

해산어용 생사료의 배합사료 대체기술개발

Development of Practical Feed Replacing Raw Fish-based
Moist Pellet for Aquaculture of Marine Fish

2005. 9.

주관연구기관 : 강릉대학교

협동연구기관 : 국립수산과학원

해 양 수 산 부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “해산어용 생사료의 배합사료 대체기술개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005년 9월 일

주관연구기관명 : 강릉대학교

총괄연구책임자 : 이 상 민

연 구 원 : 조성환, 이경준, 김정대, 배승철
이종관, 이종하, 박흠기, 정관식
서주영, 신일식, 김정호, 홍수희
김경덕, 이해영, 김강웅, 박중연
임영수, 임한규, 구학동, 김경민
박상언, 권문경, 장현석, 박윤정
박홍식, 김근엽, 조성수, 이용환
김은경, 김태진, 정명래, 최종호
임태준, 최경현, 이충열, 최 진
윤준창, 노미영, 임찬규, 신승훈
김병수, 구진모, 조국진, 임성률
김광석, 송영보, 서종표, 박영준
최세민, 이봉주, 이상목, 김성삼

협동연구기관명 : 국립수산과학원

협동연구책임자 : 강 용 진

요 약 문

I. 제 목

해산어용 생사료의 배합사료 대체기술개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

어류 양식에 있어 사료공급은 양식 생산비의 절반 이상을 차지할 뿐 아니라 양식에 의한 수질오염은 급여되는 사료로부터 유래하기 때문에 대상어종에 적합한 배합사료개발은 양식생산성과 환경보호 측면에서 가장 우선적으로 고려되어야 한다. 배합사료의 가격은 배합원료 단가, 영양소의 종류와 균형에 따라 달라지는데, 경제적으로 배합되어야 할 원료의 종류나 적정 첨가범위, 필수영양소의 종류 및 함량은 양식 대상종에 따라 달라지기 때문에 그 종에 맞도록 연구가 수행되어야 한다. 하지만 현재 우리나라의 해산어 양식은 생사료에 의존하고 있고, 배합사료 개발에 관한 연구는 조피볼락을 제외하면 사료영양 연구가 많이 수행되지 못한 실정이며, 최근에 넙치 사료에 대한 몇몇 연구가 수행되고 있다. 하지만 이렇게 발표되고 있는 연구 결과들이 실용적으로 배합사료 설계 및 제조에 제대로 활용되지 못하고 있는 것이 현실이다. 또한, 국내에서 시판되고 있는 배합사료의 품질 등을 감안하면, 그 효능이 생사료에 미치지 못하기 때문에 상업적으로 개발된 사료가 있더라도 양어가들은 비싼 외국수입사료나 생사료를 사용하고 있는 실정이다.

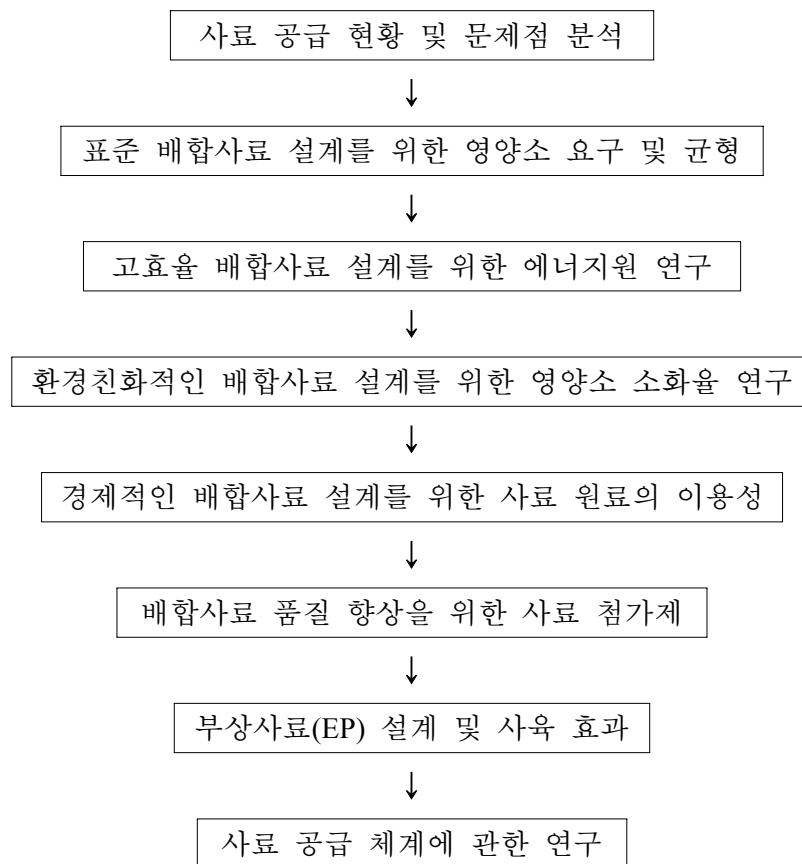
현재 양어가들이 주로 사용하고 있는 전갱이, 까나리 및 양미리 등의 생사료는 수급의 불안정, 취급 및 보관경비의 과다소요 등의 제반 문제점들을 가지고 있다. 뿐만 아니라 생사료 공급시 수중으로 유실되는 량 (공급되는 생사료의 약 20-30%)을 고려한다면 엄청난 수질오염원이 되기 때문에, 예를 들면, 10만톤의 어류를 생산하기 위해서 약 40만톤의 생사료를 공급해야 하는데, 이중에서 약 10만톤이 바다로 유실된다고 가정하면 수질오염은 실로 엄청나다고 할 수 있다. 그리고 양식어류에 공급되는 생사료는 식품으로서도 손색이 없는 고급 어류이기 때문에, 이를 고려한다면 식량공급의 측면이나 연안어종의 보호 측면에서 생사료의 사용은 많은 문제점들이 잠재되어 있다. 또한, 양식업자간에 생사료 확보 경쟁으로 인한 생사료 과동, 생사료 보관을 위한 대형 냉동시설, 전기료, 인건비, 사료공급을 위한 노동력 및 시간 등 그 문제점은 이루 헤아릴 수 없는 실정이다.

따라서, 국내에서도 생사료를 대체할 수 있는 완전 배합사료의 개발이 시급하다. 우리나라의 실정에 맞는 경제적인 배합사료 개발에 관한 연구 결과들을 분석, 보완, 개선하여 생사료를 대체할 수 있음을 증명하고, 이를 바탕으로 양식산업 및 사료산업을 활성화시킬

수 있는 기술개발이 필요하다. 이를 위해 본 연구는 국내에서도 해산어용 생사료를 대체할 수 있는 배합사료를 개발하여 현장적용실험을 통해 배합사료의 사용을 실용화하고자 수행되었다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 결과

생사료 및 배합사료 사용의 문제점을 분석하고, 기존의 넙치 및 조피볼락을 대상으로 연구된 결과를 검색하여 어종별 배합사료의 필수영양소 균형을 검토함으로써 본 연구에 사용될 기초적인 배합사료를 설계하였다. 이와 동시에 기존의 어종별 연구 결과를 update하고, 진행 중인 연구 결과들을 참고로 어종별 배합사료의 필수영양소 균형을 검토하여 표준 배합사료, 고효율배합사료 및 경제적인 환경친화적인 배합사료 설계에 적용하였다.



그림에 표시한 것처럼 연구 수행 단계별 내용 및 결과들은 다음과 같다.

1. 표준 배합사료 설계를 위한 영양소 요구 및 균형

먼저, 표준 배합사료를 설계하기 위하여 기존의 연구결과와 진행 중인 연구 내용 등을 고려한 후 영양소 요구에 관해 추가적으로 수행한 연구들은 다음과 같다.

1.1. 사료 원료 및 생체의 영양화학성분 분석

배합사료 원료를 각각 구입하여 필요에 따라 가공하고, 원료별로 영양성분을 자체 또는 의뢰하여 분석하였다. 북양어분 (개척호), 북양어분 (남북호), 북양어분 (신라호), 알라스카 명태어분, 정어리 어분, 멸치 어분, 청어어분 (러시아), 갈색어분 (파나마), 청어어분 (칠레), 고등어어분 (칠레) 등의 각종 어분들을 구입하여 사용하였다. 또한, 대두박, 육분, 육골분, 콘글루텐밀, 소맥분, 가공부산물 등의 동식물성 부산물 들을 구입하여 일정한 size로 분쇄하고 채로 걸러 사용하였다. 한약제, 생약제, 약썩, 삼지구엽, 미역분말, 고추냉이 부산물, 효모, 유산균, 키토산 등의 각종 첨가제 들을 구입하여 필요에 따라 추출액을 사용하거나 분쇄하여 사용하였다. squid liver oil, fish oil, soybean oil, linseed oil, corn oil 등의 각종 유지류를 사용시마다 구입하여 냉장 보관하였다. 각종 분말사료, 생사료 및 상품사료 등을 필요시 마다 구입하여 사용하였다.

위의 각 원료들을 가공, 분쇄 또는 추출하여 수분, 단백질, 아미노산, 지질, 지방산, 회분, 인, 열량, 섬유질, 비타민류, 과산화물가, 색소 등을 (각 연구 항목에 표시 함) 분석하여 사료 설계시에 적용하였다. 각 사육 실험 전후에 생체의 무게, 화학성분, 면역능, 조직 분석, 혈액성분 등을 (각 연구 항목에 표시 함) 분석하여, 사료 효능을 분석하였다.

1.2. 넙치 사료 내 비타민 E 결핍 및 공급시 비타민 C 요구량

넙치의 비타민 C와 E의 상호 작용을 알아보기 위해 12 주간 사육 실험을 실시하였다. 두개의 비타민 E수준 0과 200mg/kg diet (dl-tocopheryl acetate, TA), 5개 비타민 C 수준 0, 100, 300, 1000, 3000 mg/kg diet (L-ascorbic acid, AA)로 사료를 조성하여 10개의 실험사료 E0C0, E0C100, E0C300, E0C1000, E0C3000, E200C0, E200C100, E200C300, E200C1000, E200C3000를 제작하였다. 반정제 실험사료의 단백질원으로 카제인과 젤라틴이 사용 되었다. 평균무게 $4.81 \pm 0.06g$ (mean \pm SD) 넙치를 160l 수조에 20마리씩을 수용하여 각 10개의 실험사료구당 3반복으로 무작위 배치하였다. 12주간의 사육 실험 후 성장률에 있어서는 비타민 E의 두 수준 모두에서 비타민이 결핍된 실험구에 비해 비타민이 공급된 실험구들에서 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 그리고 비타민 E0C100 실험구는 비타민 E0C300, E0C1000, E0C3000 실험구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다($P < 0.05$). 하지만, 비타민 E200C100, E200C300, E200C1000, E200C3000 실험구들 간에는 유의적으로 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$). 생존율에 있어서는 비타민의 공급수준에 따라 유의적으로 차이

가 나타났는데, 비타민 C가 결핍된 구는 비타민 E의 두 수준(0, 200mg/kg diet) 모두에서 비타민 C가 공급된 모든 실험구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다($P>0.05$). 반면에 비타민 C가 공급된 실험구들 간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 비타민 결핍증상의 경우에 있어서 비타민 C가 결핍된 구는 비타민 E의 두 수준(0, 200mg/kg diet) 모두에서 성장저하, 식욕부진, 높은 폐사율을 보였다. 치어기 넙치에 있어서 성장률을 토대로 Broken-line 분석을 통한 비타민 C의 요구량은 비타민 E 0mg/diet에서 127mg/kg diet, 비타민 E 200mg/kg diet에서 100mg/kg diet로 나타났다.

1.3. 넙치 사료 내 지질 함량에 따른 비타민 E 요구량

본 연구는 넙치에 있어서 사료내 비타민 E 요구량에 대한 지질의 영향을 평가하기 위하여 12주간 실시하였다. 기초사료에 지질을 7, 14 %씩 첨가한후, 각 사료에 dl-tocopheryl acetate (TA)를 0, 15, 30, 60 및 600 (mg/kg diet) 씩을 첨가하여 총 10가지의 실험사료를 제조하여 실험에 사용하였다. 12주간의 사육실험결과, 30과 60 mg dl- α -tocopheryl acetate (TA)/kg diets를 공급한 실험구의 증중률이 0과 600 mg TA diets를 공급한 실험구보다 유의한 차이로 높게 나타났으며 ($P<0.05$), 15, 30 및 60 mg TA를 공급한 실험구는 지질함량이 7%일때 유의한 차이가 나타나지 않았다. 60 mg TA를 공급한 실험구의 증중률은 0, 15, 30 및 600 mg TA diets를 공급한 실험구보다 유의한 차이로 높게 나타났으며 ($P<0.05$), 30과 600 mg TA diets를 공급한 실험구의 증중률은 지질함량이 14%일 때 유의한 차이가 나타나지 않았다. 비타민 E 무첨가 (dietary vitamin E 0 mg TA/kg diet) 실험구의 증중률은 사료내 지질함량에 관계없이 비타민 E가 첨가된 사료를 공급한 실험구보다 유의하게 낮게 나타났다. 본 연구에서 TA의 함량이 가장 높은 실험구, 즉 600 mg TA diet를 공급한 실험구는 성장이 지연되는 것으로 나타났다. 600 mg TA diet를 공급한 실험구의 증중률과 사료효율은 지질의 함량과 관계없이 60 mg TA diet를 공급한 실험구보다 유의한 차이로 낮게 나타났다 ($P<0.05$). 전반적으로, 넙치의 생존율은 오직 사료내 비타민 E에 의해 영향을 받았다. 0, 15, 30, and 60 mg TA diets를 공급한 실험구간의 생존율은 유의한 차이가 나타나지 않았다. 그러나 600mg TA diet를 공급한 실험구의 생존율은 사료내 지질 함량이 7%일때 다른 실험 사료를 공급한 실험구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P<0.05$). 사료내 14%의 지질이 함유된 실험구에서, 15, 30, 및 60 mg TA diets를 공급한 실험구의 생존율은 유의한 차이가 나타나지 않았다. 그러나 15, 30 및 60 mg TA diets를 공급한 실험구의 생존율은 0 과 600 mg TA diet를 공급한 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P<0.05$). 60 mg TA diet를 공급한 실험구의 헤마토크릿은 사료내 지질이 7% 함유된 0, 15 및 600 mg TA diets를 공급한 실험구보다 유의한 차이로 높게 나타났으나 ($P<0.05$), 600 mg TA diet를 공급한 실험구의 헤마토크릿은 사료내 지질이 14% 함유된 0 mg TA diet를 공급한 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다. 상기 결과를 토대

로, broken line analysis에 의해 증체율을 지표로 추정된 넙치의 비타민 E 요구량은 사료 내 7%의 지질을 첨가할 경우 22.0 ± 2.4 mg dl- α -tocopheryl acetate/kg diet 이며, 사료내 14%의 지질을 첨가할 경우 48.0 ± 0.6 mg dl- α -tocopheryl acetate/kg diet, 사료내 7%와 14% 지질의 표준증체율을 기초로 하였을 경우에는 38.5 ± 8.9 mg dl- α -tocopheryl acetate/kg diet로 나타났다.

1.4. 조피볼락의 choline 요구량

본 연구는 치어기 조피볼락에 있어서 사료의 콜린 요구량을 결정하고자 실시하였다. 실험어류는 평균무게가 7.27 ± 0.04 g인 넙치 치어를 사용하였으며, 10개 실험구로 나누어 3 반복으로 콜린 농도를 달리한 정제실험사료를 공급하였다. 4주간의 예비사육(상업사료 공급)과 8 주간의 주사육 실험을 실시하였으며, 실험사료의 콜린 농도는 0, 250, 500, 750, 1000, 2000 mg choline-cl/kg diet으로 억제물질인 inhibitor를 첨가하였고 4개 실험사료는 콜린 농도를 0, 250, 500, 750 mg choline-cl/kg diet으로 억제물질인 inhibitor를 첨가하지 않았다(C-I₀, C-I₂₅₀, C-I₅₀₀, C-I₇₅₀, C-I₁₀₀₀, C-I₂₀₀₀, C₀, C₂₅₀, C₅₀₀, C₇₅₀). 증체율에 있어서 C-I₁₀₀₀, C-I₂₀₀₀, C₅₀₀, C₇₅₀을 공급한 실험구는 다른 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났으며 ($P < 0.05$), C-I₁₀₀₀, C-I₂₀₀₀, C₅₀₀ 와 C₇₅₀을 공급한 실험구 사이에는 유의적인 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 사료효율에 있어서 C-I₁₀₀₀ 와 C₇₅₀을 공급한 실험구는 다른 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 상기 결과를 토대로, broken line analysis에 의해 증체율을 지표로 추정된 조피볼락의 최대 성장을 위한 사료내 choline 요구량은 1132 ± 68 mg choline chloride/kg diet으로 나타났다.

1.5. 넙치 (치어 및 육성어) 및 조피볼락 실용 배합사료 조성에 콜린 첨가 필요성

본 연구에서는 실용적으로 배합된 넙치 및 조피볼락 배합사료에 콜린 첨가의 필요성을 조사하기 위하여 단백질원으로 어분을 사용한 사료에 콜린 무첨가가 조피볼락 치어 및 넙치 치어와 육성어의 성장과 체조성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수행되었다. 8주간 사육실험 한 넙치 성장어 및 치어의 성장결과, 생존, 성장 및 사료 이용율은 사료의 choline 첨가에 유의한 영향을 받지 않았다. 사육실험 종료시 넙치 성장어 및 치어의 수분, 단백질, 지질, 회분 함량은 모든 실험구간에 유의한 영향을 받지 않았다. 8주간 사육실험 한 조피볼락 치어의 성장결과, 생존 및 사료 이용율은 사료의 choline 첨가에 유의한 영향을 받지 않았으나, 증중율은 choline 무첨가가 높아지는 경향을 보였다. 또한 어체의 일반성분 및 혈액 정상도 두 실험사료 간에 차이를 보이지 않았다.

1.6. 넙치의 myo-inositol 요구량

본 연구는 넙치 치어에 있어서 수용성 비타민인 myo-inositol의 사료내 적정 요구량을

평가하고, 결핍시 어류에 미치게 되는 생리적 영향을 조사하고자 수행 되었다. 실험에 사용된 어류는 평균무게가 1.22 g인 넙치초기치어를 사용하였으며, 총 15개의 35L 원형 수조에 각 수조당 48 마리씩 (3반복구) 무작위 배치하였다. 반정제 사료원을 기초로 한 총 5개의 실험사료는 52%의 조단백질과 18.3MJ/kg diet 의 에너지함량을 갖도록 동일하게 조성되었고 myo-inositol 의 함량을 각각 0, 0, 400, 800, 1600 mg/kg diet으로 기초사료에 첨가하였다 (M0, M0+, M400, M800, M1600). 실험사료중M0+ 사료는 항생제인 tetracycline hydrochloride (SIGMA, USA) 를 실험사료에 0.4%로 첨가함으로써, 넙치에서 myo-inositol이 장내 미생물들에 의하여 합성이 되는지를 알아보기 위하여 디자인 하였다. 26주간의 사료공급 실험결과, 사료내 myo-inositol 첨가에 의한 어류의 성장을 결과들에서 유의적인 차이가 나타났으며($P>0.05$), 사료섭취율, 일간성장율, 단백질전환효율에서는 사료내 myo-inositol 첨가 농도가 증가함에 따라 유의적으로 증가하는 값들을 보였다. 혈액 분석 결과에서는 Hematocrit과 Hemoglobin 함량이 모든 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았고 ($P>0.05$) 어체 간에서의 총 지방함량에서도 실험구 사이에서 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 또한 전어체에서의 지방농도는 간지방 농도와 비슷한 결과를 보였으며, M0와 M400 실험구 사이에서 유의적인 차이를 나타내었다 ($P<0.05$). 넙치에 의한 inositol 신생합성 능력은 항생제가 첨가된 사료구를 다른 실험구와 비교한 결과, 넙치치어에 있어서 myo-inositol 은 신생합성 될 수 없는 것으로 사료된다. 반 정제사료를 기초로한 26주 동안의 사육실험 결과, myo-inositol 결핍사료를 섭취한 실험어류에서 성장지연과 같은 결핍증을 보였으며, 전어체 분석 결과에서는 결핍증상중 하나인 간 지방축적 경향을 보여주었다. 따라서 본 연구결과들을 바탕으로 하였을 때 넙치치어에 있어서 최적의 myo-inositol 농도는 사료내 800mg/kg diet 로 첨가 되었을때가 가장 적절한 값으로 사료된다.

1.7. 사료의 vitamin E 함량에 따른 n-3HUFA 첨가가 조피볼락의 성장 및 체성분에 미치는 영향

배합사료의 n-3HUFA (1.0-5.6%)와 α -tocopherol (70-400 mg/kg diet) 함량에 따른 조피볼락 치어(평균 체중 33 g)의 성장 및 체내 화학 성분 변화를 조사하기 위하여 16주간 사육 실험하였다. 사육결과, 증중율은 사료의 n-3HUFA 및 vitamin E 함량에 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$). 사료효율은 동일한 사료의 vitamin E 함량에서 n-3HUFA 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다 ($P<0.05$). 일간 사료 및 지질 섭취율은 사료의 n-3HUFA 및 vitamin E 함량에 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$). 간 중량비는 동일한 사료의 vitamin E 함량에서 n-3HUFA 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다 ($P<0.05$). 근육의 단백질, 지질, 회분, 비타민 E 및 간의 회분 함량은 사료의 n-3HUFA 및 vitamin E 함량 영향을 받지 않았다. 간의 지질 함량은 동일한 사료의 vitamin E 함량에서 n-3HUFA 함량이

증가할수록 감소하는 경향을 보였고, 단백질 및 수분 함량은 n-3HUFA 함량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다 ($P < 0.05$). 혈액성분 중 Hb은 사료의 n-3HUFA 및 vitamin E 함량에 따른 차이가 없었으나, Ht 값은 동일한 사료의 vitamin E 함량에서 n-3HUFA 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다 ($P < 0.05$). 혈청 glucose, protein, triglyceride 및 phospholipid 함량은 사료의 n-3HUFA 및 vitamin E 함량에 영향을 받지 않았다 ($P > 0.05$). 등근육의 지방산 함량은 사료 지질원에 직접적인 영향을 받아 다양한 값을 보였다. 이러한 결과로부터 조피볼락의 배합사료 내의 n-3HUFA 및 α -tocopherol 함량은 사료효율, 혈액성상 및 체성분에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

1.8. 넙치 치어 사료의 적정 n-3HUFA 함량

본 연구는 넙치 치어 사료의 적정 n-3 HUFA 함량을 구명하기 위하여 n-3 HUFA 함량이 0.0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 및 2.4%가 되도록 조절한 8종류의 실험사료로 평균체중 8.5 g의 넙치치어를 각 수조에 30마리씩 3반복으로 수용하여 8주간 사육 실험하였다. 생존율은 모든 실험구간 통계적인 차이가 없었다. 그러나 증중량, 사료효율 및 단백질효율은 사료의 n-3 HUFA 함량이 증가함에 따라서 유의하게($P < 0.05$) 증가하다가 n-3 HUFA 0.8% 이상에서는 더 이상 증가하지 않았으며 n-3 HUFA 1.6% 이상에서는 다시 감소하였다. 이 차회귀곡선을 이용하여 증중량을 지표로 추정된 결과 넙치 치어의 n-3 HUFA 요구량은 1.0%로 나타났다. 그리고 1.2% n-3 HUFA로 EPA만을 첨가한 실험구는 1.2% n-3 HUFA로 EPA와 DHA를 첨가한 실험구에 비해서 유의하게 낮은 증중량을 보였다. 사육실험 종료 시 전어체 극성지질의 DHA와 n-3 HUFA 함량은 사료의 n-3 HUFA 함량이 증가함에 따라서 유의하게 증가하였다 ($P < 0.05$). 그러나 전어체의 EPA 및 22:5n-3 함량은 사료의 n-3 HUFA 0.8% 이상에서는 더 이상 증가하지 않았으며 ($P > 0.05$), 사료의 n-3 HUFA로 EPA만 1.2% 첨가한 실험구에서 가장 높은 EPA 함량을 보였다. 이상의 결과로 볼 때, 넙치 치어 사료의 적정 n-3 HUFA 함량은 0.8–1.0%일 것으로 판단되며, 사료에 과다한 n-3 HUFA의 공급은 오히려 넙치 치어의 성장에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 생각된다.

2. 고효율 배합사료 설계를 위한 에너지원 연구

배합사료 개발은 그 어종에 적합한 영양소 이용효율 및 영양소 종류별 최소 요구량을 구명하는 것이 가장 먼저 선행되어야 한다. 이러한 기초적인 정보를 바탕으로 하여 영양소의 균형을 고려하면서 그 어종이 최대로 이용할 수 있는 값싼 원료의 선택과 이용성을 구명한 후, 여러 가지의 원료를 적절히 혼합하여 최소한의 사료 단가를 도출하여 반복 실험하는 것이다. 다음 연구들은 조피볼락 및 넙치 배합사료에 적합한 에너지원 및 그 함량을 조사한 것이다.

2.1. 조피볼락 배합사료의 가소화 단백질과 지질 함량

조피볼락 치어의 성장을 위한 사료내 적절한 단백질과 지질(에너지) 함량을 조사하기 위해 세 종류의 사료내 가소화 단백질(DP) 함량과 두 종류의 사료내 가소화지질함량으로 factorial 디자인하여 3반복으로 사육실험을 수행하였다. 최초평균 21.9 g의 조피볼락은 20 주 동안 실험사료를 공급했다. 증중률은 DP와 DL 함량이 증가하면서 향상되었다. 47% DP를 함유한 사료를 공급한 어류의 증중률은 37% DP 공급구보다 유의적으로 더 높았고, 14% DL에서 42% DP 공급구의 증중률과는 다르지 않았다. 하지만, 증중률은 7% DL 함량에서 사료내 DP 함량에 의해 영향을 받지 않았다. 사료효율은 DP와 DL 함량이 증가됨에 따라 향상되었지만, 동일한 DL 함량에서 42%와 47% DP 공급구 사이에 유의한 차이가 없었다. 14% DL 공급구의 사료효율은 동일한 DP 함량에서 7% DL 공급구보다 유의적으로 더 높았다. HSI, VSI, 단백질효율 및 단백질 축적률은 사료내 DL 함량에 의해 유의적으로 영향을 받았지만, DP 함량에는 영향을 받지 않았다. 일일사료섭취율은 DP와 DL 함량이 증가하면서 감소하는 경향을 보였다. 어체, 간 및 장의 지질함량은 사료내 DP와 DL 함량이 증가하면서 증가한 반면, 근육의 지질함량은 사료내 DP와 DL 함량에 의해 영향을 받지 않았다. 본 연구의 결과들로부터, 사료내 지질함량의 증가는 단백질 절약효과를 얻을 수 있었으며, 42% DP와 14% DL을 함유한 사료가 조피볼락 치어의 성장과 효율적인 단백질 이용을 위해 적절하였다.

2.2. 넙치 치어 건조사료(EP)의 단백질과 지질 함량

넙치 치어용 건조 사료의 적정 단백질 및 지질 함량을 조사하기 위하여 단백질 (50%, 55%)과 지질 (8%, 12%, 15%) 함량이 달리 함유된 6종류의 실험 EP 사료 (P₅₀L₈, P₅₀L₁₂, P₅₀L₁₅, P₅₅L₈, P₅₅L₁₂, P₅₅L₁₅)를 제조하였다. 21 g의 넙치 치어를 300 L 수조에 3반복으로 무작위로 수용하여, 평균 수온 20℃에서 1일 2회 반복으로 실험 EP 사료를 9주간 공급하였다. 사육실험 결과, 생존률은 실험구간에 유의차가 없었다. 증중률은 사료 단백질 함량이 높은 실험구에서 높아지는 경향을 보였지만, 실험구간에 유의차는 없었다. 일일사료섭취율 및 간중량비는 사료의 단백질 및 지질함량에 영향을 받지 않았다 (P>0.05). 사료효율은 사료 지질 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보여 P₅₅L₁₅를 공급한 넙치의 값이 8-12% 지질 함유 사료 (P₅₀L₈, P₅₀L₁₂, P₅₅L₈, P₅₅L₁₂) 공급구들의 값보다 유의하게 높았다 (P<0.05). 단백질효율도 사료효율과 유사한 경향을 보였고, P₅₅L₁₅를 공급한 실험구가 P₅₀L₈, P₅₅L₈ 및 P₅₅L₁₂ 실험구보다 높았다 (P<0.05). 비만도는 P₅₅L₁₂ 실험구가 P₅₀L₈, P₅₀L₁₂ 및 P₅₅L₈ 실험구보다 높았다(P<0.05). 이상의 결과로부터, 본 실험에 적용된 사육조건에서 넙치 치어용 EP 사료의 단백질 함량이 50-55% 일 때, 지질 함량을 높여주는 것이 사료이용효율을 개선시키는데 도움이 될 것으로 판단된다.

2.3. 조피볼락(치어 및 성장어) 배합사료의 지질 및 탄수화물 함량

배합사료의 지질(6-19%) 및 전분(30-6%) 함량이 조피볼락 치어(3.6 g/fish) 및 성장어(166 g/fish)의 성장 및 체조성에 미치는 영향을 조사하기 위해 각각 8주간 사육 실험하였다. 생존율은 치어 및 성장어 모두 93% 이었으며 실험구간에 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 치어의 경우, 증중량은 사료 지질함량 6%가 가장 낮았으며 사료의 지질함량이 증가함에 따라서 유의하게 증가하였지만 ($P<0.05$), 지질함량 13% 이상에서는 더 이상 증가하지 않았다 ($P>0.05$). 사료효율과 단백질효율 역시 사료 지질함량 6%가 가장 낮았으며 ($P<0.05$), 사료 지질함량 6%를 제외한 나머지 실험구간에는 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 일일사료섭취율은 사료 지질함량 6%가 가장 높았으며 ($P<0.05$), 타 실험구간들에는 서로 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 비만도는 사료 지질함량 13%가 가장 높았지만 지질함량 6%를 제외한 나머지 실험구와는 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 치어의 간중량 지수 및 장중량 지수는 모든 실험구간에 통계적인 차이가 없었다 ($P>0.05$). 성장어의 경우, 증중량, 사료효율, 일일사료섭취율, 단백질효율 및 비만도는 모든 실험구간에 통계적인 차이가 없었다 ($P>0.05$). 그러나 간중량 지수와 장중량 지수는 실험구간에 유의한 차이를 보였다 ($P<0.05$). 간중량지수는 사료 지질함량 16%가 지질함량 6 및 9%보다 유의하게 높았으며 ($P<0.05$), 장중량 지수는 사료 지질함량 6%가 타 실험구에 비해 유의하게 높았다 ($P<0.05$). 치어의 경우, 등근육, 간, 장 및 전어체 모두에서 지질함량은 사료의 지질함량이 증가함에 따라서 유의하게 증가하였다 ($P<0.05$). 성장어의 경우, 장과 전어체의 지질 함량은 사료의 지질함량이 증가함에 따라서 증가하였지만 ($P<0.05$), 등근육과 간의 지질함량은 모든 실험구간에 통계적인 차이가 없었다 ($P>0.05$). 이상의 결과로부터 단백질 50% 전후의 배합사료에 적정 지질 함량이 13-19% (이때, 전분 함량이 18-6%)의 범위일 때 조피볼락 치어의 성장 및 사료 이용률을 높아질 것으로 판단된다.

2.4. 넙치 치어 배합사료의 탄수화물원 및 α -starch 함량

배합사료의 탄수화물의 종류(α -potato starch, α -corn starch, dextrin) 및 전분 함량(15-25% α -potato starch)이 넙치 치어(1.5 g/fish)의 성장, 체조성 및 혈액성상에 미치는 영향을 조사하기 위하여 7주간 사육하였다. 생존율은 90-94%로 모든 실험구간에 차이가 없었다. 증중량은 dextrin 15% 첨가구가 타 실험구에 비해 유의하게 높았다 ($P<0.05$). 또한, α -potato starch 20% 첨가구의 증중량이 α -potato starch 15%나 25% 첨가구보다 높은 값을 보였다. 사료효율은 β -starch 15% 첨가구가 84.9%로 가장 낮아 타 실험구 (92.9-96.7%)에 비해 유의하게 낮았지만 ($P<0.05$), β -starch 15% 첨가구 외의 실험구간에는 서로 유의한 차이가 없었다. 일일 사료 섭취율은 β -starch 15% 첨가구가 타 실험구보다 유의하게 높았으며 ($P<0.05$), α -starch 20% 및 α -starch 25% 첨가구는 dextrin 15% 첨가구보다 유의하게 높은 일일 사료 섭취율을 보였다 ($P<0.05$). 단백질 효율은 α -starch 25% 첨가구가

가장 높아 α -starch 20%를 제외한 타 실험구들보다 유의하게 높았으며, β -starch 15% 첨가구가 가장 낮았다 ($P < 0.05$). 어체의 간중량 지수와 비만도는 사료 탄수화물원의 종류 및 α -전분 함량에 유의한 영향을 받지 않았다. 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분 함량은 사료 탄수화물원의 종류 및 α -전분 함량에 영향을 받지 않았다. 혈장의 glucose와 total protein 함량은 모든 실험구 간에 통계적인 없었다. 그러나 혈장의 total cholesterol 함량은 dextrin 15% 첨가구가 가장 낮아 α -starch 20% 첨가구를 제외한 타 실험구들보다 유의하게 낮았다. 이상의 결과로부터 넙치치어는 dextrin을 α -나 β -starch보다 잘 이용하는 것으로 나타났으며, 배합사료에 α -potato starch의 적정 첨가량은 20% 정도일 것으로 판단된다.

2.5. 넙치 치어용 배합사료의 α -셀룰로오스 함량

본 연구는 넙치 치어의 성장을 위한 사료내 셀룰로오스 이용성을 조사하기 위하여 평균체중 12.4 g 전후의 넙치를 각 수조에 25마리씩 3반복으로 수용하였다. 사료내 β -starch 함량을 줄이면서 셀룰로오스 함량을 0%, 5%, 10%, 15% 및 20%로 각각 첨가한 총 5종류의 사료를 제조하여 넙치치어를 73일간 사육 실험하였다. 생존률, 사료효율 및 단백질효율은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 증중률은 실험구간에 통계적인 차이는 없었지만, 셀룰로오스 첨가량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 일일사료섭취율과 일일단백질섭취율은 C20 실험구가 가장 낮았으며($P < 0.05$), C20을 제외한 나머지 실험구간에 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$). 전어체의 수분, 단백질 및 회분함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었으며($P > 0.05$), 지질함량은 셀룰로오스를 C20 실험구가 다른 실험구들에 비해 유의하게 낮은 값을 보였고($P < 0.05$), C20 실험구를 제외한 나머지 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 간의 수분함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었으나, 지질함량은 사료에 영향을 받아 C0 실험구가 C15와 C20 실험구에 비해 유의하게 높았으며($P < 0.05$), C5와 C10 실험구와는 통계적인 차이가 없었다($P > 0.05$).

3. 환경친화적인 배합사료 설계를 위한 영양소 소화율 연구

실용사료에 배합되는 원료를 평가하는 방법 중에는 그 원료의 영양소 소화율을 측정하는 것이 가장 기본적인 방법 중에 하나이다. 사료의 원료는 사료 단가, 성장 및 수질오염의 측면에서 중요하게 고려되어야 하기 때문에 어류의 영양소 소화율 측정은 실용사료 개발에 필수적이다. 넙치 및 조피볼락의 실용사료에 배합될 원료와 배합사료의 소화율을 측정하여 경제적이고 저오염적인 사료 설계에 중요한 정보를 얻고자 한다.

3.1. 넙치 배합사료 원료의 외견상 영양소 소화율

본 연구에서는 넙치를 대상으로 단백질 원료에 따른 영양소 소화율을 측정하였다. 표준 사료는 주 단백질원으로 어분을, 지질원으로 오징어간유를 사용하여 넙치의 성장에 적합하도록 설계하였으며, 실험사료에 산화크롬 (Cr_2O_3)을 0.5% 첨가하여 소화율의 지표 물질로 사용하였다. 단백질 원료의 영양소 소화율을 측정하기 위하여 표준사료 70%에 각각의 원료 (고등어 어분, 육분, 대두박, 소맥분, wheat gluten, corn gluten meal, 맥주효모) 30%씩을 첨가하여 총 7개의 실험사료를 제조하였다. 사육실험은 평균체중 300 g 전후의 넙치 성어를 자체적으로 제조한 분 수집 장치가 연결된 2000 l FRP 실험 원형수조에 20 마리씩 3반복으로 수용하였다. 건물의 소화율은 고등어 어분, 대두박, wheat gluten 및 corn gluten meal이 다른 원료에 비해 유의적으로 높게 나타났다 ($P < 0.05$). 단백질 소화율은 89~96%의 범위로 대체적으로 높게 나타났으며, 소맥분이 유의적으로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 에너지 소화율은 고등어 어분, 육분, 대두박, wheat gluten 및 corn gluten meal이 높았으며, 소맥분은 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 종합하면, 고등어 어분, 대두박, wheat gluten 및 corn gluten meal의 단백질, 아미노산, 에너지 소화율이 넙치 성어에 있어 비교적 양호하였으며, 이들 원료는 넙치 성어 사료의 부분적인 단백질원으로 효율적으로 사용될 수 있을 것이라 판단된다.

3.2. 사료 탄수화물원과 사육 수온에 따른 조피볼락 치어 및 성어의 영양소 소화율

사육수온과 사료의 탄수화물 종류에 따른 조피볼락 치어(30 g) 및 성어(300 g)의 건물, 에너지 및 탄수화물의 소화율을 조사하기 위해 산화크롬(Cr_2O_3)을 지표물질로 하여 α -potato starch, β -potato starch, β -corn starch 및 dextrin을 첨가한 4종의 실험사료를 제조하여 4 (diet) \times 2 (fish size) \times 2 (water temperature) \times 3 (replication) factorial design 실험한 결과는 다음과 같다. Reference 사료의 건물, 단백질, 지질, 에너지 및 탄수화물 (NFE, nitrogen-free extract)의 외견상 영양소 소화율은 어체 크기 및 사육수온에 영향을 받지 않았다. Reference 사료의 건물 소화율은 64-66%, 단백질 소화율은 94%, 지질 소화율은 93-94%, 에너지 소화율은 81%, NFE 소화율은 35-39%로 나타났다. 건물, 에너지 및 nitrogen-free extract의 소화율은 사료의 탄수화물 종류 및 사육수온에 영향을 받았으나, 어체 크기에는 영향을 받지 않았다. α -potato starch의 건물 소화율이 어체 크기나 사육수온에 관계없이 50-54%로 다른 종류의 탄수화물의 건물 소화율보다 양호하였다. 그리고 α -potato starch의 건물 소화율은 20°C에서 β -potato starch를 먹인 조피볼락 치어의 건물 소화율 및 20°C에서 dextrin을 먹인 치어 및 성어의 건물 소화율과 차이를 보이지 않았다. β -corn starch의 건물 소화율은 어체 크기나 사육수온에 관계없이 가장 낮은 값을 보였다. 탄수화물 종류에 따른 energy 및 NFE 소화율 값의 변화도 건물 소화율 변화 경향과 매우 유사하였다. α -potato starch의 NFE 소화율은 어체 크기 및 사육수온에 관계없이 타 원료보다 높은 값 (93-100%)을 보였다. 반면에 β -form starch의 NFE 소화율은 매우 낮았는데,

β -potato starch 의 NFE 소화율은 24-56%, β -corn starch의 NFE 소화율은 3%이하였다. 이상의 결과로부터 β -형태의 전분보다는 α -형태의 전분이 조피볼락에 적합한 사료 탄수화물 형태가 될 것으로 판단된다.

3.3. 조피볼락 사료 단백질 및 에너지 함량과 사료 공급 횟수에 따른 영양소 소화율

단백질(40, 45 and 50%)과 에너지(4.8 and 5.2 kcal/g diet, lipid 7 and 15%) 함량을 달리 한 배합사료의 공급횟수에 따른 조피볼락 (평균체중 25-60 g)의 외견상 소화율을 조사하였다. 건물 및 에너지 소화율은 사료의 단백질 (40-50%) 및 에너지 (4.8-5.2 kcal/g diet) 함량에 영향을 받았고 ($P < 0.001$), 사료공급횟수에는 영향을 받지 않았으며 ($P > 0.1$), 단백질, 에너지 및 공급횟수간에 상호작용도 인정되지 않았다 ($P > 0.1$). 단백질과 탄수화물 소화율은 사료의 단백질, 에너지 및 사료공급횟수에는 영향을 받지 않았으며 ($P > 0.05$), 단백질, 에너지 및 공급횟수간에 상호작용도 인정되지 않았다 ($P > 0.1$). 지질 소화율은 사료의 단백질 (40-50%), 에너지 (4.8-5.2 kcal/g diet) 함량 및 사료공급횟수에 영향을 받았고 ($P < 0.05$), 단백질, 에너지 및 공급횟수간에 상호작용도 인정되지 않았다 ($P > 0.1$). 본 연구에서 건물 및 에너지 소화율은 사료 NFE 함량 ($r = 0.82$ and $r = 0.85$; $P < 0.001$, respectively) 및 조섬유 함량 ($r = 0.90$ and $r = 0.93$; $P < 0.001$)과 역 상관 관계를 보였다. 본 연구에서 NFE 소화율 (39-46%)이 낮은 것은 조피볼락의 육식성 식성에 의한 한 현상으로 판단된다. 그리고 단백질 및 지질의 높은 소화율 값도 조피볼락의 식성을 잘 반영하고 있는 것으로 보인다.

3.4. 부상 배합사료의 영양소 함량과 공급횟수에 따른 넙치의 영양소 소화율

평균체중 280 g의 넙치를 대상으로 탄수화물, 단백질 및 지질 함량이 다른 3 종류의 EP 사료(HC, HP 및 HL)를 제조하여, 사료 공급율과 공급횟수를 달리하여 영양소 소화율을 조사하였다. 사료의 공급율에 따른 실험(실험 1)은 각 사료별로 1일 1회 반복 공급구와 반복의 80% 공급구로 설정하였다. 사료 공급횟수에 따른 실험(실험 2)에서는 사료의 공급횟수를 각 사료마다 2일 1회, 1일 1회, 1일 2회 및 1일 3회로 설정하였다. 사료 공급율을 달리한 실험 1에서 넙치의 건물, 단백질, 지질, 에너지 및 탄수화물 소화율은 사료 조성과의 공급율에 영향을 받지 않았다($P > 0.05$). 사료 공급횟수를 달리한 실험 2의 건물 소화율은 동일한 공급횟수에서 HP 공급구가 HC와 HL 공급구와 비교하여 높은 소화율을 보였다. 단백질 소화율은 사료에 영향을 받아 HP 공급구가 수치상으로 높은 값을 보였으나 실험구간에 유의차는 없었다($P > 0.05$). 지질 소화율은 사료 공급횟수에 영향을 받아 1일 2회와 3회 공급구에서 감소하는 경향을 보였다. 탄수화물 소화율은 사료 조성과의 공급횟수에 영향을 받았으며, 동일한 공급횟수에서 1일 3회 공급구를 제외한 실험구에서 HP 공급구의 소화율이 높은 경향을 보였다. 그리고 동일한 사료에서는 2일 1회에서 1일 2회

까지 공급횟수가 증가하면서 탄수화물 소화율이 낮아지는 경향을 보였다. 에너지 소화율은 동일한 공급횟수에서 1일 1회 공급구를 제외하고 HP를 공급한 실험구가 다른 실험구에 비해 높았고, HP 공급구들 간에는 사료공급횟수에 영향을 받지 않았다.

4. 경제적인 배합사료 설계를 위한 사료 원료의 이용성

실용사료는 성장 효과를 높일 뿐 아니라 가격이 싸고 안정적인 공급이 이루어져야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해서는 사료원료의 선정과 평가가 필수적이다. 다음 연구들은 배합사료 원료의 이용성을 조사하여 경제적인 사료 설계에 응용하고자 하였다.

4.1. 넙치 배합사료의 어분 평가

넙치 배합사료의 단백질원으로써 시판 어분의 종류가 넙치 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 어분 종류를 달리한 10종류의 실험사료로 평균체중 11.1g의 넙치를 7주간 사육 실험한 결과, 생존율은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다. 증중량은 청어어분-1과 청어어분-3 사료구가 가장 높았지만, 북양어분-2 및 청어어분과 고등어어분 혼합 사료구와는 유의한 차이가 없었으며, 북양어분-1 및 북양어분-3 사료구들이 가장 낮은 증중량을 보였다. 사료효율 및 단백질효율은 북양어분-2, 청어어분-1, 청어어분-3, 고등어어분 및 청어어분과 고등어어분 혼합 사료구들이 타 실험구들에 비하여 유의하게 높았다. 일간사료섭취율은 북양어분-3 사료구가 가장 높은 값을 보였지만 북양어분-4 및 북양어분 혼합 사료구와는 통계적인 차이가 없었고, 고등어어분 첨가구가 가장 낮았다. 사육실험 종료시 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분 함량은 각 실험구들 간에 유의한 차이를 보였다. 이러한 연구결과들은 넙치용 고효율 배합사료 및 경제적인 배합사료 설계에 적용될 수 있을 것이다.

4.2. 치어 및 성장기 넙치 사료의 어분 대체 단백질원으로서 육분, 대두박 및

콘글루텐밀의 이용성

본 연구는 넙치 치어 및 성장어 사료의 어분 대체 단백질원으로 육분, 대두박 및 콘글루텐밀의 이용성을 조사하였다. 대조구의 어분 10% 썩을 육분, 대두박 및 콘글루텐밀로 각각 대체하여 육분 12%, 대두박 16% 및 콘글루텐밀 11%가 함유되도록 한 사료를 제조하였다. 넙치 치어(0.7 g/fish) 및 성장어(55.7 g/fish)을 대상으로 8주간 사육실험 한 결과, 넙치 치어의 성장결과는 각 사료에 유의한 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$). 성장어의 경우, 생존율, 증중율, 사료효율 및 단백질효율은 사료의 대체 단백질 원료에 따른 유의한 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$). 일일사료섭취율과 일일단백질 섭취율은 대두박을 첨가한 사료가 육분과 콘글루텐밀을 첨가한 사료보다 유의하게 높게 나타났다 ($P<0.05$). 성장어의 수분, 조단백질, 조지질 함량은 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 치어의 수분, 조지질,

조회분 함량은 모든 실험구간에 유의한 영향을 받지 않았으나 ($P>0.05$), 조단백질 함량은 ($P<0.05$) 유의한 영향을 받았다. 본 연구 결과를 바탕으로 대체원의 적정 첨가량 구명과 함께 혼합 첨가의 최적 비 등을 밝히는 것이 중요하다.

4.3. 조피볼락 치어 배합사료의 어분 대체 단백질원으로서 육분 이용성

조피볼락 치어 사료의 어분 대체 단백질원으로서 육분의 이용성을 조사하기 위하여 육분을 첨가하지 않은 대조사료의 고등어 어분 대신 육분을 10%, 20%, 30% 및 40% 첨가한 5종류의 실험사료로 평균체중 4.1 g의 실험어 각 수조에 30마리씩 3반복으로 수용하여 8주간 사육 실험한 결과, 생존율은 모든 실험구가 90% 이상이었으며 실험구간에 유의적 차이는 없었다($P<0.05$). 증중율은 10% 및 20% 육분 첨가구가 대조구와 통계적인 차이없이 양호한 결과를 보였지만, 30% 및 40% 육분 첨가구는 대조구에 비해 유의하게 낮았다($P<0.05$). 사료효율 및 단백질효율은 대조구 및 10% 육분 첨가구가 30% 및 40% 육분 첨가구들보다 유의하게 높았지만($P<0.05$), 20% 육분 첨가구와는 유의한 차이가 없었다. 일일사료섭취량, 비만도, 간중량지수 및 장중량지수는 실험구간에 통계적 차이를 나타내지 않았다. 실험 종료시 전어체의 수분, 지질 및 회분 함량은 실험구들간에 유의한 차이를 보였지만, 전어체의 단백질 함량과 간조직의 수분, 단백질 및 지질 함량은 실험구들간에 유의한 차이가 없었다. 이상의 연구 결과로 볼 때, 조피볼락 치어사료의 어분 대체 단백질원으로 육분의 적정 첨가량은 10-20% 일 것으로 판단된다.

4.4. 넙치 사료의 어분 대체 단백질원으로 육분 이용성

본 실험은 겨울철 넙치 유어기에 있어서 사료 내 어분 대체원으로 육분의 첨가에 따른 성장과 체조성에 미치는 영향을 조사하였다. 12개의 250 L 유수식 수조에 23 g의 넙치 유어를 각각 25마리 씩 수용하였다. 실험사료는 4종류 (대조구, MM20, MM40 and MM60)를 두었으며 각 실험구는 3 반복구를 두었다. MM20, MM40 and MM60 사료는 어분 단백질의 20%, 40% 및 60%를 대신하여 육분을 이용하였다. 실험종료시 넙치의 생존율은 사료에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 대조구와 MM20 및 MM40 사료를 공급한 실험구에서의 어체중 증가와 일일성장율(SGR)은 MM60 사료를 공급한 실험구에서의 어체중 증가와 일일성장율보다 유의적으로 높은 것으로 나타났다. 대조구와 MM20 및 MM40 사료를 공급한 실험구에서의 사료전환효율(Feed efficiency ratio)은 MM60 사료를 공급한 실험구보다 유의적으로 우수한 것으로 나타났다. 대조구에서의 단백질전환효율(Protein efficiency ratio)은 MM40과 MM60 사료를 공급한 실험구보다 유의적으로 우수하였다. 그러나 전어체의 수분, 조단백질, 조지질과 회분 함량 및 혈액성상은 실험사료에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이상의 결과를 고려할 때, 겨울철 넙치 유어기에 있어서 사료내 어분을 육분으로 40%까지 대체하여도 성장이나 사료효율의 저

하 없이 넙치 생산이 가능하다는 결론을 내릴 수 있다.

4.5. 넙치 배합사료의 어분 대체 단백질원으로 오징어간분 이용성

넙치 유어를 이용하여 겨울철 동안 사료내 어분 대체원으로서 오징어간분 첨가에 따른 성장과 어체 조성에 미치는 영향을 조사하였다. 12개의 250 L 유수식 탱크에 어체 중 23 g의 넙치 유어를 25마리씩 수용하였다. 실험사료는 총 4종류를 준비하였으며, 각 실험구는 3 반복구를 두었다. 대조구 사료의 어분(고등어분)을 5%, 10% 및 15% 씩을 오징어간분으로 대체하였으며 이를 각각 SLM5, SLM10 및 SLM15 사료로 두었다. 실험 종료시 대조구와 SLM5 사료를 공급한 실험구에서의 넙치 어체중 증가와 일일성장율(SGR)은 SLM10 사료를 공급한 실험구와 유의적인 차이를 보이지 않았으나 SLM15 사료를 공급한 실험구보다 유의적으로 우수하였다. 대조구와 SLM5 및 SLM10 사료를 공급한 실험구에서의 사료전환효율(feed efficiency ratio)은 SLM15 사료를 공급한 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다. 그러나 단백질전환효율(protein efficiency ratio)은 실험사료에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 넙치의 조단백질, 조지질, 회분 및 혈액성상은 실험사료에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 따라서 겨울철 넙치 유어기에 있어서 사료내 어분을 10%까지 오징어간분으로 대체하여도 어류의 성장이나 사료의 이용률을 저하시키지 않는다는 결론을 내릴 수 있다.

4.6. 넙치 배합사료의 어분 대체 단백질원으로 발효 참치 내장 부산물 이용성

본 연구에서는 수산가공부산물로 폐기되고 있는 가다랑어 내장을 유산균 발효 silage로 제조하여 넙치 배합사료의 단백질원으로 이용 가능성을 조사하기 위해 영양성분 분석과 사료효과 실험을 실시하였다. 대조사료의 단백질원으로 북양어분을 사용하여 발효 silage로 각각 0, 5, 10, 15%씩 첨가(사료 1-4)하여 북양어분을 대체하였다. 사육실험한 결과, 실험개시시 평균체중은 3.3 g이었던 넙치의 증중율, 사료효율 및 단백질 이용율은 발효 silage 10% 첨가구 (사료 3)가 상대적으로 높은 값을 보였다. 어체의 지질함량도 발효 silage 10% 첨가가 상대적으로 높은 값을 보였다. 이상의 결과로부터 가다랑어 내장을 이용하여 제조한 발효 silage는 어분대체용 단백질원으로서 뿐만 아니라 지질원으로서도 사용이 가능할 것으로 판단되며, 그 적정 첨가량은 10%였다.

4.7. 넙치 치어 배합사료의 어분 대체 단백질원으로서 탈지대두박과 면실박 이용성

본 연구는 넙치 치어를 대상으로 배합사료 내 면실박과 대두박의 혼합물이 어분을 어느 정도 대체할 수 있는지를 조사하기 위하여 이루어졌다. 본 실험에서는 5 가지 실험사료를 배합제조하여 사용하였다. 어분대체 식물성단백질원으로 대두박(S)과 면실박(C) 혼합물(SC)을 사용하여 사료 내 어분단백질의 0, 10, 20, 30, 40% (Con, SC10, SC20, SC30,

SC40)를 대체하였다. 모든 실험사료의 조단백질(56%), 조지방(12%) 및 조에너지함량(16.3 MJ/kg DM)을 동일하게 유지 배합하였으며, 면실박-대두박 혼합물(CS)이 첨가된 사료에는 이들 CS에서 제한 아미노산인 L-methionine과 L-lysine을 각각 보충, 첨가하였다. 실험어는 넙치 치어(0.74 ± 0.11 g)를 수조당 60 마리씩 배치하였고, 사료실험구당 3 반복(총 15개 수조)으로 무작위 배치하였다. 어류의 성장율은 매 2주마다 전체 어류의 무게를 측정하였고 이에 따라 사료 공급율도 조정되었다. 10주간의 사육실험 결과, 사료 내 면실박-대두박의 첨가는 면실박-대두박 혼합물이 어분단백질을 40% 이상 대체한 사료를(CS40사료) 공급받은 어류에서만 대조구보다 낮은 성장률과 사료전환효율을 보였다($P < 0.05$). 반면에 일간성장율, 사료섭취율, 단백질전환효율, 단백질축적율에서는 실험구별로 유의적인 차이가 없었다($P > 0.05$). 실험기간 동안의 생존율은 모두 80% 이상으로 유의적인 차이를 발견하지 못했으며 전어체 일반성분 조성에서도 유의적인 차이가 없었다($P > 0.05$). 성장률과 사료전환효율을 기준으로 판단한다면 면실박-대두박에 L-methionine과 L-lysine을 첨가한 혼합물은 어분단백질의 30%(면실박 15%, 대두박 15%)까지 대체 가능할 것으로 판단되지만, 넙치 초기치어에서 면실박-대두박의 안전하고 실용적인 첨가 사용함량은 어분단백질의 20%(면실박 10%, 대두박 10%)가 현실적으로 적당할 것으로 사료된다.

4.8. 넙치 사료 내 면실박과 대두박 첨가에 따른 철과 인의 보충 효과

본 연구는 넙치 치어를 대상으로 식물성 단백질 사료원인 면실박과 대두박이 첨가된 사료에 철과 인의 보충이 어류의 성장과 혈액 내 항산화 능력에 미치는 영향을 조사하고자 실행되었다. 본 연구에서 사용되어진 넙치 치어의 최초평균 무게는 28.7 g이었으며, 실험 디자인은 5개의 실험사료를 제조하여, 각 실험 사료구 당 어류를 3반복으로 배치하였다. 모든 실험사료는 48%의 조단백질과 16.4 MJ/kg diet의 에너지를 갖도록 동일한 단백질 함량과 에너지로 제조되었다. 실험사료는 면실박과 대두박 혼합물이(1:1, w:w) 어분단백질을 각각 0%(Diet 1), 20%(Diet 2), 30%(Diet 3), 30%(Diet 4), 40%(Diet 5)씩 대체하도록 하였으며, Diet 4, 5 번에는 각각 철과 인을 보충하여 주었다. 또한 대두박과 면실박을 첨가사료에는 methionine과 lysine을 함께 보충하였다. 26주간의 사육실험 결과, 어류의 성장율, 사료전환효율, 사료섭취율, 단백질전환효율, 생존율에 있어서 모든 실험구에서 유의적인 차이가 없었지만, 성장율과 사료효율의 경향으로 판단한다면 철과 인이 보충되었을 때 어분단백질의 40%까지 면실박(20%)과 대두박(20%)으로 대체할 수 있음을 증명하였다. 혈액분석 중 Hemoglobin 값과AST (aspartate aminotransferase) 수치에서 유의적인 차이가 없었으나 Hematocrit 값에서는 다른 실험구들에 비해 5번(Diet 5) 실험구에서 유의적으로 낮은 값을 나타내었다. 또한 ALT (alanine aminotransferase), 수치에서는 철과 인을 보충하지 않은(Diet 2,3) 면실박과 대두박을 함유한 사료를 먹은 어류에서가 대조구 사료를 섭취한 어류에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내었다. 그러나 철과 인을 보충한 실험

구에서는 (Diet 4,5) 대조구와 유의적인 차이를 보이지 않았다. 26주 동안 각기 다른 실험 사료를 공급한 어류의 혈액에 있어서의 항산화능력 시험결과에서는 대조구에 비해 2번 실험구(CS20)에서만 유의적으로 높은 결과를 보였지만, 다른 실험구들 또한 대조구에 비해 혈액내 항산화력이 우수해지는 경향을 보였다. 본 연구는 철과 인의 보충시 넙치 치어 배합사료에 값비싼 어분단백질의 30%까지는 면실박과 대두박으로 안전하게 대체할 수 있다는 것을 보여주었으며, 이러한 두 식물성단백질의 사료 내 첨가는 어류의 항산화 능력을 높일 수 있음을 보여주는 기초자료가 될 수 있음을 보여준다.

4.9. 넙치 치어용 배합사료에 깻묵 첨가 효과

본 연구는 넙치 치어 사료의 어분 대체 단백질원으로서 식물성 분산물인 깻묵의 이용성을 조사하기 위하여 평균체중 12.4 g 전후의 넙치를 각 수조에 25마리씩 3반복으로 수용하였다. 사료내 어분함량을 줄이면서 깻묵 함량을 0%, 10%, 20%, 30% 및 40%로 각각 첨가한 총 5종류의 사료를 제조하여 넙치치어를 73일간 사육실험하였다. 사육실험 결과, 넙치의 생존률, 일일사료섭취율 및 일일단백질섭취율은 실험사료에 영향을 받지 않아 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 증중률, 사료효율 및 단백질효율은 깻묵을 첨가하지 않은 S0 실험구가 다른 실험구보다 유의하게 높았으며($P<0.05$), 깻묵의 첨가량이 증가할수록 낮아졌다. 전어체의 수분함량은 S40 실험구가 가장 높은 값을 보였으며($P<0.05$), 그 외 실험구간에 유의한 차이는 없었다($P>0.05$). 단백질 함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었으며($P>0.05$), 지질함량은 수분함량의 결과와는 반대로 S40 실험구가 가장 낮은 값을 나타내었다($P<0.05$). 회분함량은 S30 실험구가 가장 높았고 S10 실험구가 가장 낮았다($P<0.05$). 단백질함량은 실험구간에 유의한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 간의 수분함량은 S40 실험구가 S0와 S30 실험구 보다 유의하게 높았으며($P<0.05$), 이 값은 S10과 S20 실험구와 통계적인 차이가 없었다($P>0.05$). 지질함량은 S40 실험구가 가장 낮은 값을 보였으며($P<0.05$), 그 외 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$).

5. 배합사료 품질 향상을 위한 사료 첨가제

어류의 성장을 증진시키거나 품질을 개선시키는 미지의 인자를 구명하는 것은 어렵지만, 이들의 식성 등을 고려하여 사료섭취 유인 물질이나 성장이나 양식어의 육질 개선 또는 면역을 증강시키는 원료를 사료에 첨가하여 사료의 품질을 개선하려는 연구가 필요하다. 그래서 본 사업에서는 생사료 대체에 따른 배합사료의 부작용을 최소화 할 수 있는 각종 첨가제를 탐색하고 그 이용 가능성을 타진하고자 하였다.

5.1. 넙치 배합사료에 미역분말, 한약제 및 고추냉이 분말 첨가 효과

넙치 치어 배합사료의 첨가제로서 미역 분말, 어보산 및 고추냉이의 효능을 조사하기 위하여 평균 체중 8.4 g 의 넙치를 각 수조마다 30마리씩 3반복으로 수용하여 미역 분말, 어보산 및 고추냉이를 첨가한 6종류의 사료로 8주간 사육하였다. 생존율은 모든 실험구가 95% 이상이었으며, 증중량과 사료효율은 어보산 첨가구가 가장 높았지만 미역 분말 10% 첨가구를 제외한 타 실험구와는 유의한 차이가 없었다. 일일사료섭취율은 미역 분말 10% 첨가구가 가장 높았다($P<0.05$). 단백질효율은 어보산 첨가구가 미역 분말 첨가구 및 고추냉이 줄기 첨가구에 비해 유의하게 높았지만($P<0.05$), 대조구 및 고추냉이 잎 첨가구와는 통계적인 차이가 없었다. 비만도는 어보산 첨가구가 가장 높았지만 미역 분말 10% 첨가구를 제외한 타 실험구와는 유의한 차이가 없었으며, 간중량 지수는 미역 분말 첨가구가 타 실험구에 비해 낮았다($P<0.05$). 실험 종료시 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분함량은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다. 간의 수분 함량은 미역 분말 10% 첨가구가 가장 높은 반면, 지질 함량은 가장 낮았다($P<0.05$). 혈액 정상 및 혈청 성분은 사료의 첨가제에 따른 특별한 변화 경향을 보이지 않았다. 혈청 라이소자임 활성은 미역 분말 5% 및 어보산 첨가구가 대조구에 비해 유의하게 높았으며($P<0.05$), 식세포의 활성은 어보산 첨가구와 고추냉이 줄기 첨가구가 대조구보다 유의하게 높았다($P<0.05$). 이상의 결과로 볼 때, 배합사료에 어보산 첨가는 넙치 치어의 성장을 개선시키는 데 도움이 될 것으로 기대되며, 미역, 어보산 및 고추냉이 줄기의 첨가는 넙치 치어의 비특이적 면역계 활성화에 효과가 있는 것으로 판단된다.

5.2. 넙치 배합사료에 고추냉이 추출물, 키토산 및 김 분말 첨가 효과

본 연구는 배합사료에 고추냉이 추출물, 키토산 및 김 분말의 첨가가 넙치 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 고추냉이(*Wasabia japonica*) 추출물, 키토산 및 김 분말을 첨가한 사료로 평균체중 1.4 g의 넙치 치어를 7주간 사육 실험하였다. 고추냉이 추출물 및 키토산 첨가 실험의 경우, 생존율 및 성장률은 실험구간에 차이가 없었다. 그러나 고추냉이 추출물 첨가구는 대조구에 비하여 유의하게 높은 사료효율을 보였다. 일일사료섭취율은 고추냉이 추출물 첨가구가 대조구 및 키토산 첨가구보다 유의하게 낮았다 ($P<0.05$). 사육 실험 종료시, 전어체의 수분 함량은 고추냉이 추출물 및 키토산 첨가구가 대조구보다 보다 높았지만 ($P<0.05$), 단백질, 지질 및 회분 함량은 모든 실험구에서 유의한 차이가 없었다. 증중량은 대조구와 김 분말 첨가구간에 차이가 없었지만, 사료효율과 단백질효율은 대조구가 김 분말 첨가구보다 높았지만, 일일사료섭취율은 대조구가 김 분말 첨가구에 비해 유의하게 낮았다. 사육 실험 종료시, 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분 함량은 두 실험구간에 유의한 차이가 없었다. 이상의 결과로 볼 때, 배합사료에 고추냉이 추출물의 첨가는 사료효율을 개선시키는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

5.3. 넙치 EP 사료에 한약재, 김분말 및 파프리카 첨가 효과

본 연구는 넙치 치어용 건조사료에 한약재, 김분말 및 파프리카 첨가가 성장 및 체성분에 미치는 효과를 알아보기 위하여 실시되었다. 단백질이 55%, 지질이 12%인 실험사료에 바이오메이트CO-A 0.3%(A1), 김분말 5%(A2) 및 파프리카 5%(A3)를 첨가한 4종류의 실험사료를 제조하였다. 평균체중 20 g의 넙치 치어를 300 L 수조에 3반복으로 무작위로 수용하여, 평균 수온 20°C에서 1일 2회 반복으로 EP 사료를 9주간 공급하였다. 생존율은 실험구간에 유의차가 없었다. 증중률, 일일사료섭취율, 일일단백질섭취율, 간중량비 및 비만도는 한약재, 김분말 및 파프리카 첨가에 영향을 받지 않았다. 사료효율은 김분말 첨가 사료를 공급한 실험구가 대조사료, 한약재 및 파프리카 첨가 사료를 공급한 실험구보다 유의하게 높았으며($P<0.05$), 대조사료, 한약재 및 파프리카 첨가 사료를 공급한 실험구간에서는 유의적인 차이가 나지 않았다($P>0.05$). 단백질효율은 사료효율과 유사한 경향을 보였고, 김분말 첨가 실험구가 한약재 및 파프리카 첨가 실험구보다 유의하게 높았다 ($P<0.05$). 이상의 결과로부터 넙치 치어용 EP 첨가제 사료는 김분말 첨가사료가 사료이용 효율과 단백질 효율을 개선시키는 도움이 될 것으로 판단된다.

5.4. 조피볼락 배합사료에 생약제, 약쭉 및 삼지구엽 첨가 효과

본 연구는 콩비지가 첨가된 배합사료에 생약제, 약쭉 및 삼지구엽 첨가가 치어기 및 성장기 조피볼락의 성장 및 체조성에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 콩비지, 생약제 및 약쭉과 삼지구엽을 혼합 첨가한 4종류의 사료로 치어기(3.6 g) 및 성장기(166 g) 조피볼락을 8주간 사육실험 하였다. 생존율은 치어와 성장어 모두 93% 이상이었다. 치어의 경우, 증체량, 사료효율, 단백질효율, 비만도 및 간중량지수는 대조구가 비지 및 생약제를 첨가한 실험구들에 비해 유의하게 높았다($P<0.05$). 성장어의 경우, 증중량은 대조구가 가장 높은 값을 보였지만 생약제 첨가구 및 약쭉과 삼지구엽 혼합 첨가구와는 유의한 차이가 없었다. 성장어의 사료효율과 단백질효율은 생약제 첨구가 가장 높은 값을 보였지만 대조구 및 약쭉과 삼지구엽 혼합 첨가구와는 유의한 차이가 없었다. 사육실험 종료시, 치어의 등근육, 간 및 장의 수분 함량은 대조구가 비지 첨가구 및 생약제 첨구에 비해 낮은 반면, 지질 함량은 유의하게 높았다 ($P<0.05$). 성장어의 경우, 장의 지질 및 전어체의 수분 함량이 실험구들 간에 유의한 차이를 보였다. 지방산 분석결과 치어의 22:6n-3 함량에서 실험구간에 유의한 차이를 보였지만, 성어의 지방산 조성은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다. 이상의 결과로 볼 때, 성장기 조피볼락 사료에는 10% 두부 가공 부산물을 생약제 혹은 약쭉 및 삼지구엽의 혼합물과 같이 첨가할 수 있을 것으로 판단된다.

6. 부상사료(EP) 설계 및 사육 효과

대상 어류에 수행된 영양 요구 및 균형, 원료 이용성, 소화율, 첨가제 등의 연구 결과들을 활용하여 배합사료를 설계하고, 제조 공정 및 조건 등을 고려하여 EP 사료를 제조하였다. 이렇게 제조된 EP 사료를 생사료, 상품사료 등과 비교하고, 사육 결과(성장, 사료 효율, 어체 생화학적 분석, 품질 평가 등)들을 분석, 계속하여 반복실험 함으로서 실용적인 EP 사료의 효능을 검증하고자 하였다.

6.1. 넙치 배합사료로서 EP, SMP 및 생사료 비교 실험

<실험 1> FRP 사육수조를 이용한 넙치 성장실험

MP 사료를 대체할 인공배합 사료 개발을 위한 기초연구로서 물리화학적 조성이 서로 다른 EP 및 SMP 사료를 제조하여 원형수조내 개시어체중 120 g의 육성 넙치 (3처리 4반복, 반복당 20마리)에 9주간 급여한 결과는 다음과 같다. 마리당 증체량은 EP 및 SMP 구가 88.7 g 및 88.3 g으로 동일하였으나 MP 구는 56.1 g으로 유의적인 감소 ($P<0.05$)를 보였다. 마리당 건물 사료섭취량은 EP 구가 62.2 g으로 MP 구 (70.6 g)와 유의적인 차이를 보이지 않았으나 SMP 구는 105.9 g으로 처리구중 가장 높게 나타났다. 평균어체중 대비 일일 사료섭취율은 EP (0.61%), MP (0.77%), SMP 구 (1.04%) 순으로 증가하는 경향을 보였다. 사료효율 (건물사료 섭취량/증체량)은 EP 구가 0.71로서 처리구중 가장 우수하였으며 ($P<0.05$), MP (1.31) 및 SMP 구(1.22)는 유사하게 나타났다. 단백질 이용효율 (PER) 및 질소 축적효율 (NRE)은 EP 구가 각각 2.55 및 43.9%로 MP 구 (1.44, 23.8%) 및 SMP 구 (1.31, 24.7%)에 비해 유의적으로 높았다. 인 축적효율 (PRE)은 MP 구가 18.9%로 가장 낮았으나 SMP 구 (25.6%)와 유의적인 차이를 보이지 않았으며, EP 구는 37.0%로 처리구중 가장 높게 나타났다 ($P<0.05$). 지방 축적효율 (LRE)은 EP 구가 64.9%로 SMP 구 (29.5%) 및 MP 구 (10.3%)에 비해 유의적으로 높았다. 에너지 축적효율 (ERE) 또한 EP 구가 47.6%로 MP 구 (21.7%) 및 SMP 구 (27.2%)에 비해 높게 나타났다 ($P<0.05$). 체조직내 수분 함량은 MP 구가 75.8%로 EP 구 (74.2%) 및 SMP 구 (74.5%)에 비해 높았으며, 단백질은 SMP 구가 18.4%로서 EP 구 (17.7%) 및 MP 구 (17.6%)에 비해 높게 나타났다 ($P<0.05$). 지방은 EP 구가 3.0%로 SMP 구 (2.5%)와는 차이가 없었으나 MP 구(2.0%)에 비해서는 높게 나타났다. 회분 함량은 MP 구가 3.83%로 가장 높았으나, 칼슘은 EP 구가 1.28%로 가장 높았다. 인은 0.51% (EP 구)에서 0.57% (SMP 구)의 범위를 보였으며 개시어 (0.63%)에 비해 감소하는 경향을 나타내었다. 어체내 총 에너지 함량은 E 및 SMP 구가 약 700 kJ로 유사하였으나 MP 구는 630 kJ로서 낮게 나타났다 ($P<0.05$). Kg 증체당 질소 배설량은 EP 구가 35.5 g으로 나머지 두 처리구 (MP 구, 87.2 g; SMP 구 93.1 g)에 비해 두 배 이상 감소하였다. 인 배설량 또한 MP 구 (11.9 g) 및 SMP 구 (13.9 g)에 비해 EP 구 (6.0 g)에서 절반 이하로 감소하였다.

본 실험의 결과 성장률은 EP 와 SMP 구가 유사한 것으로 나타났으나, 질소 및 인 배설량 감소 측면에서는 EP 구가 유의적인 감소 효과를 나타내었다. 따라서, 양질의 EP 사료 급여로

넙치의 성장률 개선과 수질오염 예방이 가능함을 시사하였다.

<실험 2> 콘크리트 사육수조를 이용한 넙치 성장실험 (대형수조)

MP 사료를 대체할 인공배합 사료 개발을 위한 기초연구로서 물리화학적 조성이 서로 다른 EP 및 SMP 사료를 제조하여 콘크리트 수조내 개시어체중 123 g의 육성 넙치 (3처리 2반복, 반복당 500마리)에 9주간 급여한 결과는 다음과 같다. 마리당 증체량은 SMP 구가 111 g으로 처리구중 가장 높았으며 ($P<0.05$), EP 구는 104 g으로 중간을 차지하였으며, MP 구는 69 g으로 cflm중 가장 낮았다. 마리당 건물 사료섭취량은 65 g (MP 구)에서 91 g (SMP 구)으로 처리구간 유의적인 차이가 나타났으며, EP 구는 77 g으로 중간을 차지하였다. 평균어체중 대비 일일 사료섭취율은 MP (0.66%)와 EP 구 (0.71%)간에는 차이가 없었으며, SMP 구는 0.82%로 타 처리구에 비해 높았다 ($P<0.05$). 사료효율 (건물사료 섭취량/증체량)은 EP 구가 0.75로서 처리구중 가장 우수하였으며 ($P<0.05$), SMP 구가 0.82로 중간이었으며, MP 구는 0.94로 가장 높았다. 단백질 이용효율 (PER) 및 질소 축적효율 (NRE)은 EP 구가 각각 2.41 및 42.9%로 MP 구 (1.95, 32.0%) 및 SMP 구 (1.93, 33.8%)에 비해 유의적으로 높았다. 인 축적효율 (PRE)은 MP 구가 19.9%로 가장 낮았으며, SMP 구는 23.6%로 중간이었으며, EP 구는 34.2%로 처리구중 가장 높게 나타났다 ($P<0.05$). 마리당 지방 축적량은 5.0 g (MP 구)에서 5.4 g (EP 구)으로 처리구 공히 일정하였으나 ($P>0.05$), 지방 축적효율 (LRE)은 EP 구가 70.1%로 SMP 구 (60.2%) 및 MP 구 (43.7%)에 비해 유의적으로 높았다. 에너지 축적효율 (ERE) 또한 EP 구가 46.5%로 MP 구 (39.8%) 및 SMP 구 (39.7%)에 비해 높게 나타났다 ($P<0.05$). 체조적내 수분 함량은 74.0% (MP 구)에서 74.5% (SMP 구)로 유의성이 없었으며, 단백질은 SMP 구와 EP 구가 각각 17.8% 및 18.0%로 MP 구 (17.5%)에 비해 유의적으로 높았다. 지방은 MP 구가 3.82%로 SMP (3.21%) 및 EP 구 (3.39%)에 비해 높았다 ($P<0.05$). 회분은 EP 구가 3.12%로 MP (3.69%) 및 SMP 구 (3.60%)에 비해 유의적으로 낮았다. 칼슘은 MP 구가 1.50%로 가장 높았으며 EP (1.23%) 및 SMP 구 (1.33%)는 유사하였다. 인은 0.47% (SMP 구)에서 0.50% (EP 구)로 유사하였다. 전어체내 에너지 함량은 SMP 구가 708 kJ로 가장 낮고 EP 구가 728 kJ로 가장 높았으나 처리구간 유의성은 인정되지 않았다. Kg 증체당 질소 배설량은 EP 구가 38.1 g으로 나머지 두 처리구 (MP 구, 55.8 g; SMP 구 54.8 g)에 비해 유의적으로 낮았으며, 인 배설량 또한 MP 구 (8.4 g) 및 SMP 구 (9.5 g)에 비해 EP 구 (6.7 g)으로 처리구중 가장 낮았다. 등근육의 수분 함량은 75.7%에서 77.0%로 MP 구가 가장 높았으나 EP 구 (76.3%)와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 단백질은 SMP 구가 21.4%로 EP (20.9%) 및 MP 구 (20.5%)에 비해 높았다 ($P<0.05$). 지방 함량은 0.42% (SMP 구)에서 0.57% (MP 구)로 변이를 보였으나 처리구간 유의성은 인정되지 않았다. 회분은 1.34% (EP 구)에서 1.37% (SMP 구)로 처리구간 유사하였으나, 칼슘은 SMP 구가 0.33%로 가장 낮았고 인은 MP 구가 0.25%로 가장 낮았다. 복근육의 경우 수분 함량은 75.5% (SMP 구)에서 76.7% (MP 구)로 처리구간 유

의성이 없었으며, 단백질은 MP 구가 20.9%로 EP 및 SMP 구 (각 21.5%)에 비해 낮았다. 지방은 0.43% (SMP 구)에서 0.66% (MP 구)로 변이를 보였으나 유의적 차이는 없었다. 회분 및 칼슘함량은 MP 구가 각각 1.33% 및 0.39%로 가장 높았으며, SMP 구가 각각 1.28% 및 0.35%로 가장 낮았다. 그러나 인은 0.30%에서 0.31%로 처리구간 유의성이 인정되지 않았다.

본 실험의 결과 성장률은 SMP 구가 가장 우수한 것으로 나타났으나 kg 생산에 소요된 사료비와 수질오염 예방 차원에서 EP 사료구가 가장 우수한 것으로 나타나 실험 1의 결과를 뒷받침하였다. 따라서, 양질의 EP 사료 급여로 넙치 양식업의 경영 합리화와 수질오염을 감소가 가능할 것으로 보인다.

<실험 3> 넙치의 최대 성장을 위한 적정 사료 급여회수 설정 실험

EP 사료의 급여 빈도에 따른 넙치의 성장률, 사료이용효율, 영양소 축적효율 및 체조직 조성을 조사하고자 FRP 원형수조내 개시어체중 121 g의 육성 넙치 (6처리 3반복, 반복당 20 마리)에 9주간, 하루 1번 (1/d), 2번 (2/d), 3번 (3/d) 그리고 이틀에 1번 (1/EOD), 2번 (2/EOD) 및 3번 (3/EOD) 사료를 급여한 결과는 다음과 같다. 마리당 증체량은 2/d 구가 78.7 g으로 처리구중 처리구중 가장 높았으나 일일 급여구간에는 유의성이 인정되지 않았다 ($P>0.05$). 격일 급여구는 47.8 g (1/EOD)에서 57.7 g (3/EOD)으로 유의적인 차이는 없었으나, 일일 급여구에 비해 공히 유의적으로 낮았다. 마리당 건물 사료섭취량은 급여빈도가 증가함에 따라 41 g (1/EOD)에서 68 g (3/d)으로 유의적인 증가를 보였다. 평균어체중 대비 일일 사료섭취율은 0.46%에서 0.68%로 동일한 경향을 나타내었다. 사료효율 (건물사료 섭취량/증체량)은 0.79 (1/d)에서 0.91 (1/EOD 및 2/EOD)로 나타났으나 처리구간 유의적인 차이는 발견되지 않았다 ($P>0.05$). 단백질 이용효율 (PER)은 1/d 구가 2.27로 가장 높았으며, 3/EOD 구가 1.95로 가장 낮았으나 처리구간 유의적인 차이는 발견되지 않았다. 마리당 체내 질소 축적량은 급여빈도가 증가함에 따라 1.37 g (1/EOD)에서 2.32 g (3/d)으로 증가하는 경향을 나타내었으나 일일 급여구간 및 격일 급여구간에는 각각 유의적인 차이가 발견되지 않았고, 격일 급여구가 공히 일일 급여구에 비해 유의적으로 낮았다. 그러나 질소 축적효율 (NRE)은 33.0% (2/EOD)에서 41.4% (1/d)로 나타났으나 처리구간 유의적인 차이는 없었다. 어체내 인 축적량은 급여빈도가 증가함에 따라 0.20 g (1/EOD)에서 0.33 g (3/d)으로 증가하는 경향을 보였으나, 인 축적효율 (PRE)은 33.6% (3/EOD)에서 35.2% (1/d)로 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 마리당 지방 축적량은 1.37 g (1/EOD)에서 3.37 g (2/d 구)로 급여빈도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나, 지방 축적효율은 33.1% (2/EOD)에서 55.0% (1/d)로 유의적 차이를 보였음에도 불구하고 유의적인 차이를 보이지 않았다. 에너지 축적량 또한 345 kJ (1/EOD)에서 688 kJ (3/d)로 급여빈도의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였으나, 에너지 축적효율은 33.4% (1/EOD)에서 41.3% (1/d)로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 간 중량지수는 급여빈도의 증가와 함께 1.09% (1/EOD)에서 1.66% (2/d 및 3/d)로 증가하는 경향을 보였다. 체조직내 수분 함

량은 73.7% (3/EOD)에서 75.3% (1/EOD)로 처리구간 유의성이 인정되었으나, 단백질은 17.6% (2/EOD)에서 18.3% (3/d)로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 지방 함량은 급여빈도가 1/EOD에서 1/d로 증가함에 따라 2.15%에서 2.81%로 증가하였으나, 1/d 이상의 급여 빈도구에서는 유사하게 유지되었다. 인은 0.53%에서 0.57%로 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 전 처리구 공히 개시어 (0.63%)에 비해 낮게 나타났다. 에너지 함량은 1/EOD 구가 638 kJ로 처리구중 가장 낮았으나, 3/d 구 (712 kJ)를 제외한 타 처리구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. Kg 증체당 질소 배설량은 일일 급여구는 41.4 g (1/d)에서 48.6 g (3/d), 격일 급여구는 52.3 g (1/EOD)에서 54.4 g (3/EOD)로 일일 급여구가 공히 격일 급여구보다 낮은 경향을 보였으나, 급여빈도에 따른 유의적인 차이는 발견되지 않았다. 인은 7.0 g (1/d)에서 8.3 g (3/EOD)으로 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 등근육의 수분 함량은 2/dd 구가 75.5%로 처리구중 가장 낮았으나 1/EOD 구 (76.8%)를 제외한 타 처리구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 단백질은 20.3% (3/EOD)에서 20.7% (2/EOD)로 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 지방 함량은 0.34% (3/d)에서 0.71% (2/d)로 큰 차이를 보였음에도 불구하고 유의적인 차이는 발견되지 않았다. 인은 1/EOD 구가 0.26%, 3/EOD 구가 0.27% 그리고 나머지 처리구는 0.28%로 처리구 공히 유사한 수치를 보였다. 복근육의 경우 수분 함량은 76.2% (2/EOD)에서 77.1% (3/EOD)로 처리구간 유의성이 없었으며, 단백질 또한 19.9% (3/d)에서 20.6% (3/EOD)로 유의적인 차이가 없었다. 지방은 3/EOD 구가 0.38%로 가장 낮았고 2/d 구가 0.62%로 가장 높았으나 처리구간 유의성은 발견되지 않았다. 인은 0.23% (2/d)에서 0.32% (3/EOD)로 일일 급여구는 3/EOD 구에 비해 유의적으로 낮았으나 나머지 두 처리구와는 유의적인 차이가 없었다.

본 실험의 결과 120 g에서 200 g의 넙치 사육에 있어 최대 성장률은 하루 한번 급여로 충분한 것으로 나타났다. 그러나, 실험 2의 결과에서 나타난 동일 어체중 넙치의 상대적으로 높은 성장률 (78.7 g vs 103.9 g)과 사료섭취량 (64 g vs 77 g)을 고려할 때 본 실험과 같은 실험실 규모의 결과를 현장에 적용하는데는 많은 주의가 요구된다고 하겠다.

6.2. 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 10개월간 사육

상업적으로 이용가능 하거나 또는 제조된 배합사료인 부상용 배합사료(Extuded pellet, EP)와 생사료 + 분말 (3:1)의 습사료(Moist pellet, MP)가 넙치의 성장과 체조성에 미치는 효과를 알아보기 위해 상업적인 규모의 양식장에서 10개월간 사육실험을 실시하였다. MP, EP1와 EP3 사료를 공급한 실험구의 넙치 생존율은 EP2와 EP5 사료를 공급하는 실험구와 유의적인 차이는 없었으나, EP4 사료를 공급하는 실험구의 넙치 생존율보다 유의적으로 높게 나타났다. MP 사료를 공급하는 실험구의 어체중 증가는 EP3와 EP5 공급하는 실험구와 유의적인 차이는 없었으나 EP1, EP2 또는 EP4 사료를 공급하는 실험구보다

유의적으로 높았다. 사료내 조단백질 함량이 55%이면서 높은 함량의 지질로 처리된 사료(EP1, EP2와 EP3)를 공급한 실험구와 낮은 함량의 지질로 처리된 사료(EP4)를 공급하는 실험구를 비교할 때와 조단백질 함량이 61%이면서 높은 함량의 지질이 함유된 사료(MP)를 공급하는 실험구와 낮은 함량의 지질이 함유된 사료(EP5)를 공급하는 실험구를 비교할 때 지질의 단백질 절약효과(Protein-sparing effect)를 확인 할 수 있었다. 사료전환효율(FER)은 EP3를 공급하는 실험구와 EP1과 EP5를 공급하는 실험구 사이에는 유의적인 차이를 보이지 않았지만, EP2, EP4 또는 MP를 공급하는 실험구보다 현저히 높게 나타났다. 사료전환효율은 사육기간이 길어짐에 따라서 유의적으로 변화였다. 비만도(CF)는 MP를 공급하는 실험구가 EP1와 EP4를 공급하는 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다. 어체 근육의 수분함량은 EP2를 공급하는 실험구가 EP1과 EP4를 공급하는 실험구보다 유의적으로 높았으며, 조단백질 함량은 EP1과 EP4를 공급하는 실험구가 EP2를 공급하는 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다. 그러나 어체 근육의 조지질 함량과 간의 수분, 조단백질, 조지질 함량은 각각의 사료를 공급하는 실험구 사이에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 본 실험의 결과를 고려할 때 넙치 양식에 널리 이용되는 습사료(MP)보다 부상용 배합사료인 EP3와 EP5의 사용이 더욱 바람직 한 것으로 판단된다.

6.3. 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP), 시판 부상사료 및 생사료(MP) 비교 :

소형수조에서 사육

본 연구는 넙치 육성용으로 실험 부상배합사료와 시판사료 및 생사료의 효능을 비교하기 위해 평균 체중 43.5 g의 넙치를 8주동안 사육하였다. 실험사료로 4종류의 부상배합사료(EP1-EP4), 시판사료 4종류(EP5-EP8) 및 습사료(MP)를 준비하여 1일 3회 반복으로 공급하였다. 사육실험 결과, 생존율은 모든 실험구에서 85% 이상으로 양호하였으며, 증중률은 EP2-EP4 실험구에서 가장 높은 값을 보였으며, EP6 실험구에서 가장 낮았다. 사료효율과 단백질효율은 MP 실험구에서 가장 낮은 값을 보인 반면, 일일사료섭취율과 일일단백질섭취율은 MP 실험구에서 가장 높은 값을 보였다. 어체의 단백질 함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었으나, 수분, 지질 및 회분 함량은 사료에 따라 유의한 차이를 보였다. 혈액의 총 단백질은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었으며, 중성지방은 EP3 실험구에서 높은 값을 보이긴 하였지만, EP7 실험구를 제외한 모든 실험구간에 유의한 차이는 없었다. 이상의 결과들로 보아 평균체중 42 g-108 g인 넙치의 성장을 위해 EP2-EP4를 공급하여도 좋을 것으로 판단된다.

6.4. 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 12개월간

사육

본 연구는 넙치 육성용으로 실험 부상배합사료와 생사료의 효능을 비교하기 위해 평

균 체중 67.8 g의 넙치를 2반복으로 1년간 사육 실험하였다. 실험사료로 4종류의 부상배합사료(EP1-EP4)와 습사료(MP)를 준비하여 1일 3회 반복으로 공급하였다. 사육실험 결과, 생존률은 모든 실험구간에 유의한 차이 없이 양호하였지만($P>0.05$), MP 실험구의 생존률(89%)은 EP 실험구에 비해 다소 낮은 값(97-98%)을 보였다. 증중률은 EP 공급구(747-803%)와 MP 공급구(827%) 사이에 유의한 차이는 없었다($P>0.05$). 어체의 비만도, 간 중량지수 및 장 중량지수를 측정한 결과, 간 중량지수는 EP4와 MP 실험구가 EP1, EP2 및 EP3 실험구보다 유의하게 높았으며($P<0.05$), 비만도와 장 중량지수는 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 자연산의 경우, 비만도는 1.07, 간 중량지수는 1.23 그리고 장 중량지수는 2.48의 값을 나타내었다. 사료효율은 EP3과 EP4 공급구가 77-79%로 가장 높은 값을 보였으며, MP 실험구가 65%로 가장 낮았다($P<0.05$). 일일사료섭취율은 사료효율은 MP 실험구에서 가장 높았고, EP3과 EP4 실험구에서 가장 낮은 값을 보였다($P<0.05$). 단백질축적효율은 EP3 실험구가 가장 높았으나 EP1과 EP4 실험구와 유의한 차이가 없었으며, MP 실험구가 가장 낮은 값을 보였다($P<0.05$). 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 어체의 필수아미노산 분석결과, 각각의 아미노산 모두 실험구간에 유의한 차이를 보이지 않았지만($P>0.05$), Met+Cys 함량은 EP3 실험구에서 가장 높았고 MP 실험구에서 가장 낮은 값을 보였다($P<0.05$). 혈액의 글루코스, 총 단백질 및 GOT 함량은 모든 실험구간에 유의차가 없었으나($P>0.05$), 중성지방은 EP3과 EP4 실험구에서 높은 함량을 보였고, MP와 EP1 실험구에서 낮은 함량을 보였다($P<0.05$). 관능검사 결과, 자연산을 포함하여 근육의 색깔과 향은 실험구간에 유의한 차이가 없었지만, 맛은 EP4 실험구가 가장 높게 평가되었다. 그리고 탄력성은 EP4 실험구가 가장 높은 평가를 받았으나, EP1과 EP3 실험구와는 유의한 차이가 없었으며, MP 실험구가 가장 낮게 평가되었다($P<0.05$). 등근육의 경도측정 결과, hardness는 EP4 실험구에서 높은 값을 보인 반면, 자연산이 가장 낮은 값을 보였고($P<0.05$), gel strength는 실험구간에 차이가 없었다. Breaking strength는 EP2 실험구가 가장 높았지만, EP1, EP3 및 EP4 실험구와는 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, MP 실험구가 가장 낮은 값을 나타내었다($P<0.05$). 이상의 결과들로 보아 평균체중 67.8 g인 넙치에게 생사료를 기초로 제조된 MP를 공급하는 것 보다 영양소 균형이 잘 갖춰진 부상 pellet을 공급하여도 좋을 것으로 판단된다.

6.5. 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 11주간 사육 생사료(MP)와 부상배합사료(EP1, EP2, EP3, EP4 및 EP5)와 습사료(MP)의 사육효과를 비교기 위하여 평균체중 115 g의 넙치를 각 수조에 582 마리씩 2반복으로 수용하여 78일 동안 사육실험하였다. 생존률은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 증중률은 EP4를 공급한 실험구는 가장 높은 값을 보였고 EP2를 공급한 실험구가 가장 낮은 값을

보였으나($P < 0.05$), EP2를 공급한 실험구를 제외한 실험구들과는 통계적인 차이는 없었다($P > 0.05$). 사료효율은 EP4를 공급한 실험구가 다른 실험구들보다 유의적으로 높은 값을 보였으며($P < 0.05$), 그 외 실험구간에는 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 일일사료섭취율과 일일단백질섭취율은 사료에 영향을 받지 않아 실험구들간에 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 단백질효율은 EP4를 공급한 실험구가 가장 높았으며, MP를 공급한 실험구가 가장 낮은값을 보였다($P < 0.05$) 등근육의 수분함량은 MP를 공급한 실험구가 다른 실험구들에 비해 가장 높은 값을 보였으며($P < 0.05$), 단백질함량은 EP1, EP2 및 EP5를 공급한 실험구가 MP를 공급한 실험구보다 유의하게 높았다($P < 0.05$). 근육의 지질함량은 실험구간에 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 간의 수분함량은 EP4를 공급한 실험구가 다른 실험구들보다 유의하게 낮은 값을 보였으며($P < 0.05$), 그 외 실험구들간에는 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 단백질과 지질함량은 실험구간에 통계적인 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 이상의 결과들로 보아 115-300 g인 넙치에게 생사료를 기초로 제조된 MP를 공급하는 것보다 EP4 사료를 공급하여도 좋을 것으로 판단된다.

6.6. 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 상품사료 비교 : 대형수조에서 11주간 사육

본 연구는 습사료(MP)의 대체가능성이 증명된 배합사료를 실제 양식현장에서의 자체 사료조성으로 제조한 5종류의 부상 배합사료(EP1, EP2, EP3, EP4 및 EP5), 시판사료(EP6) 및 물과 각종 영양소를 흡착시킨 시판사료(EP6MP)의 사육효과를 비교기 위하여 평균체중 137 g의 넙치를 각 수조에 3000 마리씩 수용하여 79일 동안 사육실험하였다. 생존률은 89-99%의 범위로 대체로 양호한 값을 보였다. 증중량은 EP4와 EP4MP를 공급한 실험구가 다른 실험구보다 높은 값을 보였으며, 그 다음으로 EP3과 EP6MP를 공급한 실험구가 양호한 결과를 보였다. 사료효율은 EP6MP를 공급한 실험구가 가장 높은 값을 보였으며, EP1을 공급한 실험구가 가장 낮았다. 일일사료섭취율은 EP1을 공급한 실험구가 가장 높았고, EP6MP를 공급한 실험구가 가장 낮은 값을 보였다. 일일단백질섭취율은 0.38-0.47%의 범위였으며, EP1과 EP3을 공급한 실험구가 가장 높았고, EP6MP를 공급한 실험구가 가장 낮았다. 단백질효율은 2.07-2.50%의 범위로 나타났다. 등근육의 수분함량은 73.98-75.64%, 단백질함량은 23.09-24.79% 그리고 지질함량은 0.04-0.67%의 범위로 각각 나타나 수치상으로 큰 차이를 보이지 않았다. 간의 수분함량은 62.53-73.97%의 범위로, EP6을 공급한 실험구가 가장 높았고 EP4MP를 공급한 실험구가 가장 낮은 값을 보였다. 단백질함량은 EP1을 공급한 실험구가 가장 높았으며(15.24%), EP4MP를 공급한 실험구가 가장 낮았다(12.16%). 지질함량은 EP1(10.11), EP5(9.38%) 및 EP6(7.43%) 실험구가 대체로 낮은값을 나타냈으며, 나머지 실험구는 13.13-14.22%의 범위로 나타났다. 이상의 결과들로 보아 실제 양식현장에서 114-350 g인 넙치에게 물과 각종 영양소의 흡착 없이 영양소 균형이 잘 갖춰진 EP 사료를 공급하여도 좋을 것으로 판단된다.

6.7. 조피볼락 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : FRP 수조에서 35주간 사육

본 연구는 실험 부상배합사료(EP1, EP2, EP3 및 EP4)와 습사료(MP) 장기간 사육효과를 비교하기 위해 평균 체중 115.1 g의 조피볼락을 3반복으로 수용하여 35주간 사육실험하였다. 생존률은 95% 이상으로 모든 실험구간에 유의한 차이없이 양호하였다($P>0.05$). 증중률은 MP 실험구가 255%로 가장 높은 값을 보였으며, EP2와 EP3 실험구가 유의하게 낮았다($P<0.05$). 사료효율은 EP1 실험구가 가장 낮았고 증중률의 결과와 유사하게 MP 실험구에서 가장 높은 값을 보였다($P<0.05$). 일일사료섭취율은 EP1 실험구에서 가장 높은 값을 나타내었으며($P<0.05$), 일일단백질섭취율은 MP 실험구가 가장 높았고 EP3 실험구에서 가장 낮았다. 단백질 효율은 EP3 실험구가 가장 높은 값을 보였으나 EP1 실험구와 통계적인 차이는 없었다($P>0.05$). 어체의 지질과 단백질 함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었지만 ($P>0.05$), 수분함량은 EP2 실험구가 가장 높았고 MP 실험구가 가장 낮은 값을 보였다 ($P<0.05$). 또한, 단백질함량은 MP 실험구가 다른 실험구에 비해 유의하게 높았다 ($P<0.05$). 근육의 수분, 단백질 및 지질함량은 모든 실험구간에 통계적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 근육의 관능검사 결과, 향, 맛 및 탄력성은 실험구간에 유의한 차이가 없었지만, 색깔은 EP1과 MP 실험구에서 높은 경향을 보였으며, EP4 실험구에서 가장 낮았다($P<0.05$).

6.8. 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 30주간 사육

본 연구는 성장단계의 넙치 후기 치어를 대상으로 현재까지 축적된 연구결과를 바탕으로 설계된 EP 실험배합사료의 사용 가능성을 타진하고자 실제 양어장에서 사용되고 있는 MP 습사료와의 비교실험을 위하여 수행되었다. 사료 공급실험은 제주대학교 해양과 환경연구소(현장실험-1)와 제주도내 양식장인 대학수산(실험-2) 두 곳에서 수행되었으며, 두 실험에 사용된 4 가지 실험사료는 다음과 같다. 사료 1 = 대조구(MP 습사료), 사료 2 = EP 1, 사료 3 = EP 2, 사료 4 = 시판상품사료. 먼저 실험-1 에서는 총 27주 동안 사료 공급 실험을 수행하였으며, 반복구 없이 총 4개의 실험수조에 각 수조마다 100 리씩 실험어를 배치하였다. 실험결과 반복구가 없어서 유의적인 차이를 보일 수는 없었지만 EP-2 사료를 섭취한 실험어류가 다른 실험구 보다도 높은 성장률 경향을 보여주었으며, 사료전환효율에서도 가장 좋은 경향을 보여 주었다. 제주도내 현지 양식장인 실험-2에서는 총 30주간 사육실험을 수행하였고 실험-1 과는 달리 각 실험구당 2반복구를 두어 수행하였다. 실험종료시 최종평균무게에서 시판상품사료가 MP와 EP 1 사료구 보다 유의적으로 높은 결과를 보여주고 있으나 성장률 결과에서는 모든 실험구 사이에서 아무런 유의차가 없었다. 혈액분석 결과에서는 두 실험 모두 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이상의 결과로 판단한다면, 각각 27주와 30주 동안 수행된 두 실험결과, 실험용 EP 사료가

MP 사료를 대체할 수 있을 것으로 예상된다.

6.9. 넙치 및 조피볼락 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 8개월간 사육

본 연구는 우리나라의 주요 양식 해산어종인 넙치 및 조피볼락 육성용 먹이로 양식현장에서 많이 사용하고 있는 생사료를 배합사료로 대체하기 위하여 부상배합사료와 생사료의 사육효과를 비교하고자, 평균체중 329 g의 넙치와 112 g의 조피볼락을 8개월간 사육하였다. 실험사료로 넙치는 6종류의 부상배합사료(EP1-EP6), 시판사료(EP7) 및 습사료(MP)를 준비하였으며, 조피볼락은 4종류의 부상배합사료(EP1, EP2, EP5, EP6)를 준비하여 1일 2회 반복으로 공급하였다. 사육기간 동안의 넙치의 생존율은 63~78% 범위였으며, 최종체중 및 사료효율은 EP1 실험구가 EP2, EP7 및 MP 실험구들보다 유의하게 높았지만, EP3, EP4, EP5 및 EP6 실험구들과는 유의한 차이가 없었다. 단백질효율은 배합사료 실험구들이 MP 실험구 보다 높았다. 조피볼락의 경우 최종체중, 사료효율, 단백질 효율 및 일간사료섭취율은 모든 실험구들간에 유의한 차이가 없었다. 이상의 결과로 볼 때, 성어기 넙치의 성장을 위해 EP1, EP3-6을 , 성장기 조피볼락의 성장을 위해서는 실험에 사용된 EP1, EP2, EP5 및 EP6을 공급하여도 좋을 것으로 판단된다.

7. 사료 공급 체계에 관한 연구

대상 양식 어종에 적합한 사료개발과 영양소 요구량이 구명되었다 하더라도 그 사료를 보다 효율적으로 공급하지 못하면 양식 생산 단가가 높아질 뿐만 아니라 어류의 성장과 어체 품질에 영향을 미칠 수 있다. 과잉으로 사료를 어류에게 공급하는 것은 어체내 에너지 대사의 효율성을 저하시킬 뿐 아니라 사료유실로 인한 경제적 손실과 수질오염원이 증가될 수 있다. 반대로 사료를 부족하게 공급하는 것은 어류의 성장을 지연시키므로 대상어류의 소화능력 등을 고려하여 최적 성장에 필요한 양만큼의 영양소를 공급하여 사료에 소요되는 비용을 최소화시켜야 한다. 이러한 취지에서 여러 사료 및 환경 조건에서 아래와 같은 실험을 실시하였다.

7.1. 넙치 배합사료의 사료물성 평가 및 물성에 따른 사료 공급 횟수

본 연구는 11.1 g의 넙치를 대상으로 사료 물성별 이용성 (실험 1) 및 물성별 적정 사료 공급횟수 (실험 2)를 조사하기 위하여 7주간 사육실험 후에 성장효과 및 사료이용률을 조사하였다.

<실험 1: 사료물성 평가>

실험 종료후 생존율은 모든 사료구에서 사료 종류에 영향을 받지 않았다. 증중율은 EP 침강 사료가 낮았고, EP 부상 사료가 가장 높았으나 DP 침강 및 MP 침강 사료와는 차이가 없었다. 사료효율 및 단백질 효율은 EP 부상 사료가 가장 높았고, MP 침강 사료가 가장 낮았으며, EP 침강 사료와 DP 침강 사료는 서로 차이를 보이지 않았다. 일일사료섭취율은 DP 및 MP 침강 사료가 높은 경향을 보였다. 어체 영양성분은 성장 결과와 특별한 연관성을 보이지 않았다. 이상의 결과로부터, EP 부상 사료가 다른 사료물성보다 넙치의 성장과 사료효율을 높일 수 있는 형태로 판단된다.

<실험 2: 사료물성에 따른 사료 공급 횟수>

생존율은 사료의 물성과 공급횟수 모두에 영향을 받지 않았다. 증중율, 사료효율 및 단백질효율의 평균값은 MP, DP, EP 순으로 EP 사료가 가장 높았다. 공급횟수 실험에서 증중율 평균은 사료 공급횟수가 2일 1회, 1일 1회, 1일 2회, 1일 3회로 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 반면에 사료효율 및 단백질효율은 사료공급횟수가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 각 사료 물성별로도 사료공급 횟수가 증가할수록 증중율 및 일일사료섭취율은 증가하였고, 사료효율 및 단백질효율은 감소하는 경향을 나타내었다. 전어체의 수분 및 회분 함량을 사료물성에 관계없이 사료공급횟수가 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 절식구의 이틀 수치는 매우 높았다. 반면에 지질함량은 각 사료물성에서 사료공급횟수가 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 절식구에서 가장 낮았다. 본 연구 결과로부터, 평균 체중 10-60 g의 넙치 성장과 사료효율을 증진시키기 위해서는 MP보다 EP 형태의 사료가 좋을 것으로 보이며, 사료공급은 1일 3회가 적당할 것으로 판단된다.

7.2. 사료 물성과 넙치 크기에 따른 장 내용물 통과 시간

본 연구는 넙치 크기 및 사료 물성에 따른 사료의 장 통과 시간을 조사하였다. 실험 사료의 제조는, MP는 MP제조기로 압출 성형한 후 습사료 형태로, DP는 MP제조기로 압출 성형한 후 상온에서 건조하였으며, EP는 extruder로 성형하였다. 어체 크기에 따라 사료형태별로 장통과 시간이 차이가 나타났다. 즉, 어체가 클수록 건조사료가 습사료보다 위에 머무는 시간이 길어지며, 장 통과 시간에는 사료의 물성이 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이러한 자료는 사료개발에 있어 어체 크기가 고려되어야 할 뿐 아니라 넙치 양식에 있어서도 사료 공급 체계에 대한 연구가 체계적으로 연구되어야 함을 의미하고 있다.

7.3. 일일 및 격일 습사료 공급방법이 육성 넙치의 성장과 영양소 이용효율에 미치는

영향: 대형수조 실험

관행의 일일공급체제를 격일공급체제로 전환할 경우 넙치의 사료섭취량과 증체량이

어떤 변화를 보이는지 조사하고 습사료의 공급에 따른 질소와 인의 배설량을 측정하기 위하여 평균 체중 90 g의 넙치를 이용하여 양어장에서 8주간 사육실험을 수행하였다. 일일공급(ED)구의 건물 섭취량은 평균 107.7 g으로 격일공급(EO)구의 평균 섭취량 89.8 g에 비해 유의적으로 높게 나타났다. 반면, 사료전환효율은 각각 1.51(ED) 및 1.47(EO)로 유의적 차이가 나타나지 않았다. 마리당 증체량은 섭취량이 높았던 ED구에서 마리당 71.6 g으로 EO구(61.1 g)보다 높게 나타났으나 유의적 차이는 발견되지 않았다($P>0.05$). 질소 증가량은 질소 섭취량이 유의적으로 높았던 ED구가 2.13 g으로 EO구(1.76 g)보다 유의적으로 높게 나타났다. 그러나 증체단위당 질소 배설량은 두 처리구 공히 약 113 g으로 동일하였다. 인 섭취량은 유의적인 차이를 보였으나 어체내 인 증가량은 공히 0.5 g으로 동일하였다. 증체 단위당 인 배설량은 ED구가 27.6 g으로 EO구(26.0 g)에 비해 약간 높았으나 유의적 차이는 없었다. 에너지 섭취량은 ED구가 2523 kJ로 EO구(2116 kJ)에 비해 유의적으로 높았으며 그 결과 체내 에너지 증가량도 ED구가 유의적으로 높았다. 그러나, 에너지 축적효율은 각각 20.6% (ED) 및 18.9% (EO)로 유의적인 차이가 발견되지 않았다. 이상의 결과는 본 실험에 사용된 넙치 크기에서 관행의 일일공급체제를 격일공급체제로 전환할 수 있는 가능성을 제시하였다.

7.4. 넙치 치어용 부상 건조사료(EP)와 습사료(MP)의 반복 및 제한 공급 효과 : 대형수조 실험

본 연구는 부상 건조사료와 습사료의 효능을 비교함과 동시에 이들 사료의 적정 공급률(반복 및 제한 공급)을 조사하기 위해 수행되었다. 평균 체중 27 g의 넙치를 각 수조마다 500 마리씩 2반복으로 수용하여 부상 건조사료(EP1과 EP2)와 넙치용 상품 분말사료와 냉동 전갱이를 1:3의 비율(습중량 기준)로 혼합하여 성형한 moist pellet (MP)을 반복 및 반복의 85%로 공급하면서 10주간 사육하였다. 생존율은 모든 실험구에서 94% 이상이었으며, 증중량은 EP2를 반복 공급한 실험구가 가장 높았지만, EP1을 반복 공급한 실험구와 MP를 반복 및 제한 공급한 실험구들과는 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 사료효율은 EP1과 EP2를 제한으로 공급한 실험구가 가장 높은 결과를 보였으며($P<0.05$), 동일한 사료 공급률에 있어 MP를 공급한 실험구가 EP1과 EP2를 공급한 실험구에 비해 유의적으로 낮은 결과를 보였다($P<0.05$). 일일사료섭취율은 반복 및 제한 공급구 각각에서 MP를 공급한 실험구가 EP1 및 EP2를 공급한 실험구보다 유의하게 높았다($P<0.05$). 단백질효율은 반복 및 제한 공급에 관계없이 MP를 공급한 실험구가 EP1 및 EP2를 공급한 실험구보다 유의하게 낮았다($P<0.05$). 에너지 축적효율은 사료종류 및 공급률에 영향을 받지 않았다($P>0.05$). 전어체의 수분, 단백질 및 회분의 함량은 모든 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 반면에 지질의 함량은 EP2와 MP의 반복 공급구에서 가장 높았고, EP1의 반복 공급구에서 가장 낮은 값을 보였다. 본 실험의 결과로부터, 본 연구에 사용된 EP사

료들은 현재 양식현장에서 사용하고 있는 생사료를 대체할 수 있을 것으로 생각되며, 사료는 만복으로 공급되는 것이 좋을 것으로 판단된다.

7.5. 넙치 치어의 부상사료 공급횟수 : 겨울철

본 연구는 겨울철 넙치 사육시 부상 배합사료의 적정 공급횟수와 공급률을 조사하기 위해 평균 체중 45.0 g의 넙치를 각 수조마다 20 마리씩 3반복으로 수용하여 60일간 사육하였다. 사료 공급횟수는 1일 3회, 1일 2회, 1일 1회 및 2일 1회로 설정하였으며 사료 공급량은 만복 및 만복의 80%로 설정하였다. 생존율은 모든 실험구에서 96% 이상이었으며, 증중량은 1일 2회 만복 공급구가 1일 3회 공급구와 통계적인 차이는 없었지만 가장 높았고, 2일 1회 제한 공급구가 가장 낮은 결과를 보였다 ($P<0.05$). 그리고 동일한 공급횟수에서 만복 공급구가 제한 공급구보다 높은 성장을 보였다. 일일사료섭취율은 동일한 공급률에서 공급횟수가 증가할수록 증가하다가 1일 2회 공급구 이상에서는 유의한 차이가 없었다. 사료효율과 단백질효율은 1일 3회 제한 공급구가 가장 높았고 2일 1회 제한 공급구가 낮은 값을 보였으며 ($P<0.05$), 나머지 실험구들 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다. 사육 실험 종료시 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분함량은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다. 이상의 결과로부터, 평균체중 45-53 g의 넙치치어를 겨울철에 사육할 때는 부상배합사료를 1일 2회 만복으로 공급하는 것이 바람직 할 것이라 판단된다.

7.6. 넙치 부상사료의 사료조성, 공급율 및 공급횟수

본 연구는 지질과 단백질 함량이 다른 두 종류 부상사료의 적정 공급횟수와 공급율을 조사하기 위해 평균 체중 55.1 g의 넙치를 각 수조마다 20 마리씩 3반복으로 수용하여 58일 동안 사육하였다. 사료 공급횟수는 1일 3회, 1일 2회 및 1일 1회로 설정하였으며 사료 공급량은 만복 및 만복의 80%로 각각 설정하였다. 생존율은 모든 실험구에서 82% 이상이었으며, 평균 증중량은 EP1의 1일 2회 만복 공급구가 가장 높은 증중량을 보였으며, EP1의 1일 2회 및 3회 제한 공급구와 EP2의 1일 2회 제한 공급구가 가장 낮았다. 일일사료섭취율은 EP1의 1일 2회와 1일 3회 만복 공급구가 가장 높았고, EP2의 1일 3회 만복 공급구와 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 사료효율과 단백질효율은 사료 조성, 공급횟수 및 공급율 모두 영향을 받지 않았다($P>0.05$). 사육실험 종료시, 근육의 수분 함량은 동일한 사료와 공급횟수에서 제한 공급구가 만복 공급구에 비해 높았다. 이상의 결과들로 보아 평균체중 55-90 g인 넙치의 성장을 위해 EP1과 EP2를 1일 2회 만복으로 공급하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

7.7. 조피볼락 배합사료 조성 및 사료 공급횟수

본 연구는 영양소 함량이 다른 세 종류 부상사료의 적정 공급횟수를 조사하기 위해

평균 체중 4.1 g의 조피볼락을 각 수조마다 30 마리씩 3 반복으로 수용하여 8주 동안 사육하였다. 증중률은 사료조성에 관계없이 사료공급횟수에만 영향을 받아 1일 1회 공급구가 타 공급구보다 낮은 값을 보였다($P<0.05$). 동일한 사료공급횟수에서 일일사료섭취율은 HC 사료 공급구가 HL과 HP 사료 공급구보다 유의하게 높았다($P<0.05$). 사료효율과 단백질효율은 사료조성과 사료공급횟수 모두에 영향을 받았으며 동일한 사료조성에서 사료공급횟수가 증가하면서 감소하였다. 전어체의 지질함량은 동일한 사료공급횟수에서 HL 사료 공급구가 HC와 HP 공급구보다 높은 지질함량을 보였으며($P<0.05$), 근육의 일반성분은 사료조성과 사료공급횟수 모두에 영향을 받지 않았다. 위의 내용물 함량은 사료 공급 후 점차 증가하다가 24시간 후에는 사료 섭취전과 비슷한 함량을 보였다. 이상의 결과들로 보아 평균체중 4g - 21 g인 조피볼락의 성장을 위해 사료를 HL 사료를 1일 1회 공급하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

IV. 연구개발결과의 활용계획

어류양식의 먹이로 대부분 사용되고 있는 생사료와 배합사료 사용의 문제점을 분석되면서 실용배합사료의 개발 필요성을 인지하였고, 기존의 넙치 및 조피볼락 대상으로 연구된 결과를 검색하여 어종별 배합사료의 필수영양소 균형을 검토함으로써 기초적인 표준배합사료를 설계하였다. 이를 기초로 주요 양식어종인 넙치와 조피볼락 대상으로 생사료를 배합사료로 대체하기 위한 연구들이 체계적으로 수행되었다. 연구결과들을 요약해 보면, 우선, 대상종의 영양소 요구량과 균형을 조사함으로써 배합사료를 설계하는데 기초자료를 제공하였으며, 이러한 기초적인 정보를 바탕으로 영양소의 균형을 고려하면서 그 어종이 최대로 이용할 수 있는 값싼 원료의 선택과 이용성을 조사하여 경제적이고 고품질의 배합사료를 설계하였으며, 대상종이 섭취한 사료의 영양소 소화율이 조사됨에 따라 실용사료의 원료선정을 위한 정보제공과 환경친화적인 배합사료 설계의 가능성을 제시하였다. 또한, 값비싼 원료에 대한 선정된 원료의 대체효과 및 성장효과에 관한 연구를 통해 보다 경제적인 배합사료를 설계할 수 있었으며, 양식어의 성장, 품질 및 생리 상태를 향상시키고 배합사료의 부작용을 최소화시킬 수 있는 여러 가지 첨가제의 이용성에 관한 연구는 사료 품질 개선에 도움이 되었다. 이처럼 영양 요구 및 균형, 원료 이용성, 소화율, 첨가제 등의 거듭된 연구 결과들을 활용하여 넙치와 조피볼락의 실용적인 배합사료를 설계할 수 있었으며, 또한 제조 공정 및 조건 등을 함께 고려하면서 EP 사료를 제조하였다. 최종적으로 제조된 EP 사료의 효능을 검증하기 위해 생사료 및 상품사료 등과 양식현장 또는 양식현장 규모의 장소에서 반복된 사육실험을 수행하였다. 지금까지의 연구결과를 바탕으로 제조한 EP 사료의 성장효과에서 MP 사료에 결코 뒤지지 않는 것으로

로 나타나, 생사료를 EP 사료로 충분히 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 더 나아가, EP 사료의 공급체계에 관한 연구 결과들은 양식현장의 자동화를 이끌어 환경적인 문제해결과 함께 많은 경제적인 효과를 기대할 수 있을 것이다.

본 사업에서 수행된 주요 결과들을 효율적으로 활용하기 위하여

- 실험실 및 현장에서 증명된 배합사료의 효능을 세미나, 학회 발표, 기술지도, 토론회, 양식관련 잡지 등을 통하여 지속적으로 배합사료의 우수성을 양어가에게 홍보함으로써 배합사료 사용을 적극 유도한다.
- 개발된 배합사료 조성 및 제조기술을 사료제조 관련 기업에 지도하여 고품질의 사료가 상품화될 수 있도록 한다.
- 또한, 정부에 대해서는 배합사료를 정책적으로 사용할 수 있도록 결과를 제공함으로써 사료직불제 등의 제도가 원활히 수행될 수 있도록 한다.
- 이로 인해 사료 업계에서는 생사료를 대체할 수 있는 배합사료를 제조할 수 있도록 하고, 배합사료의 품질을 보증할 수 있도록 하여 양어가들이 안심하고 배합사료를 사용할 수 있도록 유도한다.
- 그리고, 각 사료업계에서 생산되어 시판되는 사료의 품질을 특정 단체나 기관(예, 국립수산과학원 등)에서 검사하여 수시로 발표할 수 있도록 하여 차후 양식 사료에 대한 신뢰성과 안정성에 대한 제도적 장치를 마련할 수 있도록 유도한다.

SUMMARY

Development of practical feed replacing raw fish-based moist pellet for aquaculture of marine fish

The object of this study is to develop practical extruded pellets and feeding programs for marine fish especially flounder and rockfish. Aquaculture production of marine fish largely composed of flounder (*Paralichthys olivaceus*) and rockfish (*Sebastes schlegeli*) has been steadily increasing since the late 1980's in Korea. Because flounder is a fast growing species and very popular as raw fish in Asia, especially in Korea and Japan, it is worth studying nutritional requirements for maximum growth and improving commercial feed for mass culture. Rockfish is one of the marine finfish species whose farming is growing rapidly in Korea. Farming technique for rockfish has been rapidly developed since the last decade, and its production from aquaculture is next to flounder, which is the highest among marine fish aquaculture production in Korea.

However, moist pellet (MP) primarily made of raw fish, e.g. frozen horse mackerel, has been used as feed for culture of flounder and rockfish in Korea. This is a problem for several reasons: unstable supply of raw fish, increased storage cost, and heavy self-pollution resulting from the thawing of raw fish to make moist pellet and leaching of nutrients from moist pellet when fed to fish. In addition, the price of raw fish has been increased due to its high demand with large scale development of marine fish aquaculture system in the country. Therefore, for further expansion of flounder and rockfish farming, it is essential to employ formulated artificial dry feeds such as extruded pellet (EP) which can support reasonable growth of fish.

1. Nutrients requirement and balance for design of reference feed formulation

1.1. Effects of vitamin E deficiency on dietary vitamin C requirement in flounder

A 12-week feeding trial was conducted to study dietary vitamin C and E interaction in flounder. Ten diets were formulated to contain two dietary vitamin E levels (0 and 200 mg/kg diet dl-tocopheryl acetate, TA) and five dietary vitamin C levels (0, 100, 300, 1000, and 3000 mg/kg diet L-ascorbic acid, AA) in the form of L-ascorbyl-2-monophosphate (AMP). Thus, the diets were designated as E₀C₀, E₀C₁₀₀, E₀C₃₀₀, E₀C₁₀₀₀, E₀C₃₀₀₀, E₂₀₀C₀, E₂₀₀C₁₀₀,

E₂₀₀C₃₀₀, E₂₀₀C₁₀₀₀ and E₂₀₀C₃₀₀₀. Casein and gelatin were used as the main protein sources in the semipurified experimental diets. Fish averaging 4.81 ± 0.06 g (mean \pm SD) were distributed randomly to each aquarium as a group of 20 fish and were fed one of ten experimental diets in triplicate groups. After 12 weeks of the feeding trial, weight gain (WG) of fish fed vitamin C supplemented diets were significantly higher than those of fish fed vitamin C free diets at either of the dietary vitamin E levels ($P < 0.05$). WG of fish fed E₀C₁₀₀ diet was significantly lower than those of fish fed E₀C₃₀₀, E₀C₁₀₀₀ and E₀C₃₀₀₀ diets ($P < 0.05$). However, there was no significant difference in WG for fish fed E₂₀₀C₁₀₀, E₂₀₀C₃₀₀, E₂₀₀C₁₀₀₀ and E₂₀₀C₃₀₀₀ diets. Survival of fish was significantly affected by dietary vitamin C supplementation. Survival of fish fed 0 mg AA diets was significantly lower than those of fish fed the diets supplemented with dietary vitamin C at either of dietary vitamin E levels ($P < 0.05$). There was no significant difference in survival of fish fed diets supplemented with dietary vitamin C. Deficiency symptoms such as retarded growth, anorexia, and high mortality were observed in fish fed vitamin C-free diets at either of the dietary vitamin E levels. Broken-line regression analysis indicated that dietary vitamin C requirement is 127 mg AA/kg diet in vitamin E-deficient diets and 100 mg AA/kg diet in diets supplemented with vitamin E at 200 mg/kg diet in juvenile flounder.

1.2. Effects of dietary lipid levels on vitamin E requirements in flounder

A 12-week feeding trial was conducted to evaluate the dietary requirement of vitamin E and the effects of dietary lipid level on vitamin E requirements in flounder. Ten diets were formulated to contain two lipid levels (7% and 14%) and five levels (0, 15, 30, 60, and 600 mg/kg diet) of dl- α -tocopheryl acetate (TA). Thus, the diets were designated as EL0, EL15, EL30, EL60, and EL600 (low lipid 7% level), EH0, EH15, EH30, EH60, and EH600 (high lipid 14%). Casein and gelatin were used as the main protein sources in the semipurified experimental diets. Fish averaging 3.92 ± 0.01 g (mean \pm SD) were distributed randomly to each aquarium as a group of 20 fish and were fed one of ten experimental diets in triplicate groups. After feeding trial, weight gain (WG) of fish fed 30 and 60 mg dl- α -tocopheryl acetate (TA)/kg diet were significantly higher than those of fish fed 0 and 600 mg TA diets, and WG of fish fed 15, 30, and 60 mg TA were not significantly different at 7% lipid level. WG of fish fed 60 mg TA was significantly higher than those of fish fed 0, 15, 30, and 600 mg TA diets, and WG of fish fed 30 and 600 mg TA diets were not significantly different at 14% lipid level. WG of fish fed vitamin E free diets (dietary vitamin E 0 mg TA/kg diet) were significantly lower than those of fish fed the dietary vitamin E supplemented diets at

either of the dietary lipid levels. Fish fed diets with the highest concentration of TA (600 mg TA/kg diet) showed adverse responses in terms of growth. When considering the interaction between dietary vitamin E and dietary lipid levels on growth, dietary vitamin E and dietary lipid significantly affected the growth of flounder in the present study. However, the interaction of dietary vitamin E and dietary lipid levels were not significant. The dietary vitamin E requirement was 22.0 ± 2.4 mg dl- α -tocopheryl acetate/kg diet at 7% dietary lipid level; 48.0 ± 0.6 mg dl- α -tocopheryl acetate/kg diet at 14% dietary lipid level based on weight gain, and 38.5 ± 8.9 mg dl- α -tocopheryl acetate/kg diet based on the pooled weight gain of 7% and 14% lipid. Vitamin E deficiency signs such as muscular dystrophy, shortened operculae and exophthalmia were observed only in fish fed vitamin E free diets. The effects of different dietary levels of TA on tissue vitamin E concentrations in juvenile flounder *Paralichthys olivaceus* will be included later.

1.3. Dietary choline requirement of juvenile rockfish

An 8-week feeding trial was conducted to evaluate the dietary choline requirement in rockfish. Six diets were formulated to contain 0, 250, 500, 750, 1000 and 2000 mg choline/kg diets with 0.3% 2-amino-2methyl-1-propanol (inhibitor) and four others contain 0, 250, 500 and 750 mg choline/kg diets without inhibitor (C-I₀, C-I₂₅₀, C-I₅₀₀, C-I₇₅₀, C-I₁₀₀₀, C-I₂₀₀₀, C₀, C₂₅₀, C₅₀₀, C₇₅₀). Casein and gelatin were used as the main protein sources in the semipurified experimental diets. 5% defatted rockfish fish muscle was also included to improve the palatability of experimental diets. Fish fed C-I₁₀₀₀, C-I₂₀₀₀, C₅₀₀ and C₇₅₀ diets showed significantly higher weight gain (WG) than the other dietary groups ($P < 0.05$). Specific growth rate showed a similar trend as WG. Feed efficiency of fish fed C-I₁₀₀₀ and C₇₅₀ diets showed significant higher values than those for fish fed C-I₀, C-I₂₅₀, C-I₅₀₀, C-I₇₅₀, C₀ and C₂₅₀ diets ($P < 0.05$). Fish fed choline deficient diet (C-I₀) showed significantly lower survival than fish fed C-I₂₅₀, C-I₅₀₀, C-I₁₀₀₀, C-I₂₀₀₀, C₂₅₀, and C₇₅₀ diets ($P < 0.05$). Protein efficiency ratio of fish fed C-I₁₀₀₀, C₅₀₀ and C₇₅₀ diets were significantly higher than those for fish fed C-I₀, C-I₂₅₀, C-I₅₀₀, C-I₇₅₀, C₀ and C₂₅₀ diets ($P < 0.05$). Broken line analysis of weight gain indicated that the dietary choline requirement of rockfish is 1132 ± 68 mg choline chloride/kg diet for maximum growth.

1.4. The necessity of supplemental choline in practical diets contained fish meal for flounder and rockfish

Two feeding experiments (exp-1 and exp-2) with three replication were conducted to

investigate the necessity of supplemental choline in practical diets contained fish meal for flounder and rockfish. Two fish meal based diets with or without supplemental choline were prepared. Weight gain, feed efficiency, protein efficiency ratio, and proximate analysis of juvenile (0.7 ± 0.05 g/fish) and grower (59.5 ± 2.0 g/fish) flounder were not affected by choline supplementation into experimental diets containing 57% fish meal (exp-1). Survival and proximate analysis of juvenile rockfish (4.1 g/fish) were not affected by choline supplementation into experimental diets containing 47% fish meal and 10% meat meal (exp-2). However, weight gain of rockfish fed diet without supplemental choline was higher than that of fish fed control diet (exp-2). These results indicate that choline supplementation is not necessary in diets fish meal-based diets for normal growth of flounder and rockfish.

1.5. Myo-inositol requirement in diets for juvenile flounder

A long-term (26 weeks) feeding experiment was conducted to examine the essentiality and requirement of inositol in diets for flounder because no information is available in the species. Five casein-gelatin based semi-purified diets were formulated to contain four different levels of myo-inositol (0, 0+antibiotic, 400, 800, and 1600 mg/kg, designated as M0, M0+, M400, M800, and M1600, respectively). One (M0+) of the control diets contained tetracycline hydrochloride (0.4%, wt/wt) as antibiotic to inhibit biosynthesis of inositol by micro-organism in intestine of fish. flounder at the early juvenile stage (initial body weight 1.22g) were randomly distributed into fifteen 35 L tanks (48 fish/tank) and fed with the experimental diets (3 replicates per diet). At the end of the feeding trial, the weight gain, feed intake, specific growth rate, and protein efficiency ratio of fish fed diets containing higher levels of myo-inositol (M800 & M1600) were significantly higher than those of fish fed the other diets ($P<0.05$). Feed conversion ratio, survival, hematocrits, and hemoglobin of fish fed experimental diets were not different among all the fish groups. Whole body composition of fish was not different except for lipid content. The lipid content was just significantly different between M0 and M400 diet groups. The total liver lipid concentration of fish fed experimental diets was presented a tendency of decreasing as dietary myo-inositol increase. These results indicate that juvenile flounder requires dietary myo-inositol supplementation in diets for normal growth and its optimum level seems to be approximately 800 mg myo-inositol/kg diet.

1.6. Influence of different dietary n-3HUFA level with varying additions of α -tocopherol on growth and body composition of rockfish

A feeding trial with three replications was conducted to investigate the influence of

different dietary n-3HUFA level (1.0-5.6%) with varying additions of α -tocopherol (70-400 mg/kg diet) on growth and body composition of rockfish. Fish, average initial weight 33 g, were fed the experimental diets for 16 weeks. Weight gain and daily feed intake were not affected by dietary n-3HUFA and α -tocopherol levels ($P>0.05$). Feed efficiency and hepatosomatic index tended to decrease with increasing dietary n-3HUFA level at same vitamin E level. Proximate analysis of muscle was not affected by dietary n-3HUFA and α -tocopherol levels ($P>0.05$). Lipid content of liver tended to decrease with increasing dietary n-3HUFA level at same vitamin E level. Concentrations of blood glucose, triglyceride, phospholipid, and hemoglobin were not affected by dietary n-3HUFA and α -tocopherol levels ($P>0.05$). Hematocrit concentration of blood tended to decrease with increasing dietary n-3HUFA level at same vitamin E level. Fatty acids compositions of muscle was directly affected by dietary fatty acids compositions. The results of this study indicate that feed utilization, blood chemistry and fatty acids composition of juvenile rockfish can be changed by dietary n-3HUFA and α -tocopherol levels.

1.7. Requirement of dietary n-3 HUFA for juvenile flounder

The effect of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids (n-3 HUFA) level on growth and body composition was investigated to determine the n-3 HUFA requirement for juvenile flounder. Eight diets of different n-3 HUFA levels ranging from 0.0 to 2.4% were fed to juvenile flounder for 8 weeks. For varying n-3 HUFA level, mixture of mainly EPA (0.0-1.1%) and DHA (0.0-0.9%) were used except one diet containing only 1.2 % EPA. Weight gain, feed efficiency and protein efficiency ratio increased significantly with increasing dietary n-3HUFA level up to 0.8 %, however, those values gradually decreased after n-3 HUFA level became higher than 1.6%. The result of second order polynomial regression showed that the maximum weight gain could be attained at 1.0% n-3HUFA level. The weight gain was significantly lower for the diet containing 1.2% EPA than for the 1.2% n-3 HUFA diet containing both EPA and DHA. The contents of DHA and n-3 HUFA in whole body polar lipid increased with dietary n-3 HUFA level. Monoenoic fatty acids content and 18:1n/n-3 HUFA ratio decreased with increasing dietary n-3HUFA level. The results suggest that the requirement of dietary n-3 HUFA for juvenile flounder is about 0.8-1.0%, however, excessive n-3 HUFA supplement may impair the growth of juvenile flounder.

2. Optimum energy source and level for design of high quality feed formulation

2.1. Proper levels of digestible protein and lipid in practical feed for juvenile rockfish

A feeding trial of three dietary digestible protein (DP) levels (37, 42 and 47%) and two dietary digestible lipid (DL) levels (7 and 14%) factorial design with three replications was conducted to investigate the proper dietary protein and lipid (energy) levels for growth of juvenile rockfish. Fish, average initial weight 21.9 g, were fed the experimental diets for 20 weeks. Weight gain improved with increasing dietary DP and DL levels. Weight gain of fish fed the diet containing 47% DP was significantly higher ($P < 0.05$) than that of fish fed the diet containing 37% DP and was not different to that of fish fed the diet containing 42% DP at the 14% DL level. However, weight gain was not significantly affected by dietary DP level at the 7% DL level ($P > 0.05$). Feed efficiency ratio of fish was improved as dietary DP and DL levels increased, whereas there was no significant difference between those of fish fed the diets containing 42 or 47% DP at the same dietary DL level ($P > 0.05$). Feed efficiency ratio of fish fed the 14% DL diets was significantly higher ($P < 0.05$) than that of fish fed the 7% DL diets at the same DP level. Hepatosomatic index, visceralsomatic index, protein efficiency ratio, and protein retention were significantly influenced by dietary DL level, but not by dietary DP level. Daily feed intake tended to decrease with increasing DP and DL levels. Lipid contents of whole body, liver and viscera increased with increasing DP and DL levels, whereas dorsal muscle lipid was not affected by dietary DP and DL levels. The results of this study indicate that an increase of dietary lipid level has protein-sparing effect and the diet containing 42% DP and 14% DL (4.2 kcal DE/g diet) is optimal for growth and effective protein utilization of juvenile rockfish.

2.2. Proper levels of protein and lipid in extruded pellet diet for juvenile flounder

This study was conducted to investigate the optimum protein and lipid levels on growth and body composition in juvenile flounder. Six experimental extruded pellet diets ($P_{50}L_8$, $P_{50}L_{12}$, $P_{50}L_{15}$, $P_{55}L_8$, $P_{55}L_{12}$, $P_{55}L_{15}$) were formulated to contain two protein levels (50% and 55%) and three lipid levels (8%, 12% and 15%). Triplicate groups of fish (21 g) were hand-fed to apparent satiation two times a day (09:00 and 17:00) for 9 weeks. Survival of each groups was no significant difference among treatments. Weight gain of fish was not significant difference among treatments. Daily feed intake and hepatosomatic index were not affected by dietary protein and lipid levels ($P > 0.05$). Feed efficiency ratio tended to increase as dietary lipid levels increased. Feed efficiency ratio of fish fed the diets containing 15%

lipid with 55% protein (P₅₅L₁₅) was significantly higher (P<0.05) than that of the fish fed the diets containing 8-12% lipid with 50-55% protein levels (P₅₀L₈, P₅₀L₁₂, P₅₅L₈ and P₅₅L₁₂). Protein efficiency ratio tended to increase with increasing dietary lipid levels. Condition factor of fish fed the P₅₅L₁₂ was significantly higher (P<0.05) than that of fish fed the P₅₀L₈, P₅₀L₁₂ and P₅₅L₈ diets. The results of this study that an increase of lipid level at 50-55% protein levels in extruded pellet can improve feed efficiency ratio for juvenile flounder.

2.3. Proper levels of dietary lipid and starch for juvenile and growing rockfish

Two feeding trials were conducted to investigate the effects of dietary carbohydrate and lipid levels on growth and body composition of juvenile and growing rockfish. Triplicate groups of juvenile (3.6 g/fish) and duplicate groups of grower (166 g/fish) rockfish were fed the iso-nitrogenous (51% CP) diets containing different 6-19% lipid with corresponding 30-6% starch levels for 8 weeks, respectively. Survival of both fish size was above 93% and not affected by dietary lipid and starch levels (P>0.05). Weight gain, feed efficiency, daily feed intake, protein efficiency ratio, and condition factor of grower rockfish were not affected by dietary lipid and starch levels (P>0.05). On the other hand, growth and feed utilization of juvenile were affected by dietary lipid and starch levels (P<0.05). Mean weight gain, feed efficiency, protein efficiency ratio and condition factor of juvenile fed the diet containing 6% lipid with 30% starch level were the lowest among the groups (P<0.05). The best weight gain was observed in juvenile fed the diets containing 13-19% lipid with 18-6% starch levels. Feed efficiency, protein efficiency ratio and condition factor were not different among groups of juvenile fed the diet containing 9-19% lipid with 24-6% starch level (P>0.05). Lipid contents of whole body, muscle, liver and viscera in juvenile fish tended to increase with increasing dietary lipid level and those of fish fed the diets containing 6% lipid with 30% starch levels were lowest among the groups. Although lipid contents of whole body and viscera in grower increased with increasing dietary lipid level, those of muscle and liver were not affected by dietary lipid and starch levels (P>0.05). Significant differences (P<0.05) were observed for the 18:2n-6, 18:3n-3, 20:4n-6, 20:5n-3 and 22:6n-3 of the whole body lipid in juvenile and grower fish. The results of this study suggest that 13-19% lipid with corresponding 18-6% starch levels in diet containing 51% protein is optimal for growth and efficient feed utilization of juvenile rockfish.

2.4. Dietary carbohydrate kind and α -starch level for juvenile flounder

A 7-week feeding trial was conducted to investigate the effects of dietary carbohydrate kind and α -starch level on growth and body composition of juvenile flounder. Triplicate groups of fish (average weight, 1.5 g) were fed the experimental diets containing 15-25% α -potato starch, 15% β -corn starch and 15% dextrin. Survival was not affected by dietary carbohydrate kind and α -starch level. The best weight gain was obtained from fish fed the diets containing 15% dextrin. Weight gain of fish fed the diet containing 20% α -potato starch was significantly higher than that of fish fed the diets containing 15% and 25% α -potato starch levels. Feed efficiency and protein efficiency ratio (PER) of fish fed the diets containing 15% β -corn starch were significantly lower than those of other groups. PER tended to increase with increasing α -potato starch. Daily feed intake of fish fed the diet containing 15% β -corn starch was significantly higher than that of other groups. Hepatosomatic index, condition factor and proximate composition of whole body were not affected by dietary carbohydrate. These results indicate that juvenile flounder are able to efficiently utilize dextrin compare to α -and β -starch in diets and that α -potato starch could be incorporated up to 20% in the diet for optimum growth of juvenile flounder.

2.5. Dietary α -cellulose level for juvenile flounder

A feeding trial was conducted to investigate the effect of α -cellulose levels in the formulated diet on the growth and body composition of juvenile flounder. Three replicates of juvenile fish (averaging weight 12.4 g) were fed one of five experimental diets containing 0%, 5%, 10% and 15% cellulose for 73 days. Survival, feed efficiency and protein efficiency ratio were not affected by dietary cellulose levels. Weight gain tended to decrease with increasing dietary cellulose level, but was not significantly different among groups. Condition factor and hepatosomatic index tended to decrease with increasing dietary cellulose level. Daily feed and protein intake of fish fed the diet containing 20% cellulose level was the lowest among groups. Moisture, crude protein and lipid contents in the whole body were not affected by dietary cellulose levels. The lowest lipid content of whole body was observed in the fish fed the C20 diet. Moisture content of liver was not affected by dietary cellulose levels and lipid content of control group was significantly higher than that of fish fed the C15 and C20 diets.

3. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for design of environment-friendly feed formulation

3.1. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for grower flounder

Grower flounder were fed a reference diet and test diets containing various feed ingredients: mackerel fish meal, meat meal, soybean meal, wheat flour, wheat gluten, corn gluten meal and brewer's yeast. Apparent digestibility was determined using a reference diet with 0.5% chromic oxide indicator and test diets contained 70% reference diet and 30% of the feed ingredient being evaluated. Apparent digestibility coefficients for dry matter, protein, lipid, nitrogen-free extract, gross energy and amino acids in the reference and test diets were determined, and digestibility coefficients for the test ingredients were calculated based on differences in the digestibility of test diets relative to the reference diet. The fish averaging 300 g were held in 2000 ℓ tanks at a density of 20 fish per tank. Feces were collected from three replicate groups of fish using a fecal collection column attached to fish rearing tank. Apparent dry matter digestibility ($93 \pm 1.7\%$) of wheat gluten was high and not significantly different from soybean meal and corn gluten meal ($P > 0.05$). Soybean meal and corn gluten meal showed high apparent protein digestibility (95-96%) among ingredients tested, but not significantly different for wheat gluten and brewer's yeast ($P > 0.05$). Lipid digestibility was significantly higher ($P < 0.05$) ranging from 87% to 92% in mackerel fish meal, meat meal, soybean meal and corn gluten meal compared to those (63-73%) of wheat flour and brewer's yeast. Energy digestibility of mackerel fish meal, meat meal, soybean meal, wheat gluten and corn gluten meal was significantly higher ($P < 0.05$) than that of wheat flour and brewer's yeast among the ingredients tested. These data provide more precise information concerning nutrient and energy utilization of flounder and will allow ingredient substitutions in practical feed based on levels of available nutrients.

3.2. Effects of dietary carbohydrate source and water temperature on nutrient digestibilities in juvenile and adult rockfish

The apparent digestibilities of dry matter, protein, lipid, energy and nitrogen-free extract in the diets contained α -potato starch, β -potato starch, β -corn starch and dextrin as dietary carbohydrate sources were determined to assess the nutritive value of these carbohydrates. Chromic oxide was used as the inert marker. Feces were collected from three replicate groups of juvenile (30 g) and adult (300 g) rockfish at 13°C and 20°C water temperatures by using fecal collector attached to fish rearing tank, respectively. Apparent nutrients digestibilities of

rockfish fed the reference diet were not affected by fish size and water temperature. The digestibilities of dry matter, energy and nitrogen-free extract were affected by dietary carbohydrate source and water temperature ($P < 0.01$), but not affected by fish size. Dry matter digestibility of fish fed the α -potato starch diet regardless of fish size and water temperature showed the highest, and this value was not different to that of juvenile fed β -potato starch or dextrin and adult fed dextrin at 20°C. Dry matter digestibility of juvenile and adult fish fed the β -corn starch diets at both water temperatures was lower than those of other groups. Apparent energy digestibility of dietary carbohydrate source followed similar trends to differences in dry matter digestibility. Nitrogen-free extract digestibility of fish fed the α -potato starch diet regardless of fish size and water temperature showed the highest (93-100%) among the treatments. Nitrogen-free extract digestibility of fish fed the β -form starch diets was relatively lower ranging from 24-56% for β -potato starch and 0-3% for β -corn starch. Results indicate that α -potato starch is a good dietary carbohydrate source for juvenile and adult rockfish at 13-20°C of rearing water temperature.

3.3. Effects of dietary protein and energy levels at different feeding frequency on the apparent digestibility coefficients of juvenile rockfish

Apparent digestibility coefficients (ADCs) of dry matter, protein, lipid, nitrogen-free extract (NFE) and energy in the diets containing different protein (40, 45 and 50%) and energy levels (4.8 and 5.2 kcal/g diet, lipid 7 and 15%) at different feeding frequency were determined using chromic oxide as an inert marker. Feces were collected from three replicate groups of juvenile rockfish averaging 25-60 g by using fecal collector attached to fish rearing tank. The ADC of protein and nitrogen-free extract were not significantly affected by either dietary protein or energy levels ($P > 0.05$), while ADC of dry matter, lipid and energy increased with dietary protein and energy levels.

3.4. Effect of feeding frequency of extruded diets containing different macro-nutrient level on apparent nutrient digestibility in grower flounder

Two feeding trials were carried out to investigate the apparent nutrients digestibility of flounder fed diets contained different levels of macro-nutrient according to satiation rates (exp-1) and feeding frequencies (exp-2). Three replicate groups of flounder averaging 280 g fed the three extruded pellets containing different protein, lipid and carbohydrate levels with two feeding satiation rates (satiation and 80% satiation) and four feeding frequencies (three meals a day, two meals a day, one meal a day and one meal every two days). Feces were

collected using a fecal collection column attached to fish rearing tanks for 6 weeks. Apparent digestibility was determined using a experimental diets with 0.5% chromic oxide indicator. Apparent digestibilities of dry matter, protein, lipid, energy and nitrogen-free extract were not affected by feeding satiation rate. Apparent protein digestibility was not affected by feeding frequency, but affected by dietary composition. Apparent protein digestibility of fish fed the high-protein diet showed a tendency to higher compared to that of fish fed the high-carbohydrate diet and high-lipid diet at the same feeding frequency. Apparent lipid digestibility was not affected by dietary composition, but affected by feeding frequency. Apparent energy and nitrogen-free extract digestibilities were affected by both dietary composition and feeding frequency. Apparent energy and nitrogen-free extract digestibilities of fish fed the high-protein diet showed a tendency to higher compared to that of fish fed the high-carbohydrate diet and high-lipid diet at the same feeding frequency. Apparent energy and nitrogen-free extract digestibilities tended to decrease with increasing of feeding frequency at same dietary composition.

4. The utilizations of feed ingredients for design of least cost feed formulation

4.1. Evaluation of fish meals as dietary protein sources for flounder

A feeding trial was carried out to investigate the effect of various fish meals as dietary protein source on growth, feed utilization and body composition of juvenile flounder. Ten experimental diets were prepared to contain different fish meals: 4 kinds of white fish meal (WM-1, 2, 3, 4), 3 kinds of herring meal (HM-1, 2, 3), mackerel meal (MM), WM mixture and HM + MM mixture. Dietary energy and protein levels were designed to be isocaloric (3.8 kcal/g diet) and isonitrogenous (46%) by adjusting the levels of fish meal, wheat flour and squid liver oil. Three replicate groups of fish (initial mean weight: 11.1 g) were hand-fed to visual satiety two times daily for 7 weeks. Survival was not significantly different among all groups. Weight gain of fish fed the HM-1 and HM-3 diets was highest, but not significantly different from that of fish fed the WM-2 or HM + MM diets. The lowest weight gain was found in fish fed the WM-1 and WM-3 diets. Feed efficiency and protein efficiency ratio of fish fed the WM-2, HM-1, HM-3, MM and HM + MM diets were significantly higher than those of fish fed other diets. Daily feed intake of fish fed the WM-3 diet was highest, but not significantly different from that of fish fed the WM-4 or WMM diets. Significant differences were found in contents of moisture, crude protein, crude lipid and ash of whole body. The results of this study indicated that WM-2, HM-1, HM-3 or HM + MM

mixture is considered as useful dietary fish meal sources for the optimal growth of juvenile flounder.

4.2. The use of meat meal, soybean meal or corn gluten meal as a dietary protein source replacing fish meal in juvenile and grower flounder

Two feeding trials were conducted to determine the each level of meat meal (MM), soybean meal (SM) or corn gluten meal (CGM) as a dietary protein source replacing fish meal in juvenile and grower flounder. A control diet with mackerel fish meal as protein source was included. Fish meal in the control diet was replaced with each of MM (12%), SM (16%) or CGM (11%). Three replicated groups of the juvenile (0.7 g/fish) and grower (55.7 g/fish) were fed four isonitrogenous (48% protein) experimental diets containing different alternative protein sources for 8 weeks, respectively. Survival, weight gain, feed efficiency and daily feed intake of juvenile were not affected by dietary protein sources ($P>0.05$). Survival, weight gain, feed efficiency and protein efficiency ratio of grower were not affected by dietary protein sources ($P>0.05$). Daily feed intake of grower fed the diet containing 16% SM was higher than that of fish fed the diets containing 12% MM or 11% CGM. The results of this study suggest that MM, SM or CGM could be use as a partial protein sources replacing fish meal in practical diets for juvenile and grower flounder.

4.3. The use of meat meal as a dietary protein source replacing fish meal juvenile rockfish

This study examined the partial replacement of the fish meal with meat meal in practical diets for juvenile rockfish. Five experimental diets were prepared to containing meat meal at 0% (control), 10%, 20%, 30% and 40% with substituting the mackerel meal in the control diet. Three replicate groups of fish (initial mean weight, 4.1 g) were hand-fed to visual satiety two times daily for 8 weeks. Survival was over 90% and was not significantly different among treatments. The best weight gain, feed efficiency and protein efficiency ratio were obtained from fish fed the diets containing 0% and 10% meat meal, and were not significantly different to those of fish fed diet containing 20% meat meal. Condition factor, visceralsomatic index and hepatosomatic index were not influenced by dietary meat meal levels. The contents of moisture, crude protein, and ash of whole body were not significantly affected by dietary meat meal levels, whereas crude lipid content of fish fed the diets containing 30% and 40% was lower than that of fish fed the control diet. Concentrations of plasma total protein and glucose were not significantly affected by dietary meat meal levels. The data obtained in this study indicate that a diet containing up to 20% meat meal could be

used for least-cost formulation in juvenile rockfish diet.

4.4. The use of meat meal as a dietary protein source replacing fish meal in juvenile flounder

This study was performed to investigate the partial substitution-effect of meat meal for fish meal in the diet on growth and body composition of juvenile flounder during winter season. Twenty-five fish (an initial body weight of 23 g) were distributed into 250 L flow-through tank. Four experimental diets with triplicates were prepared: the control, MM20, MM40 and MM60 diets. A 60% of mackerel meal was used as a primary protein source in the control diet. The 20, 40 and 60% of mackerel meal was substituted by meat meal in the MM20, MM40 and MM60 diets, respectively. Survival was not significantly affected by the experimental diets. However, weight gain and specific growth rate of fish fed the control, MM20 and MM40 diets were significantly ($P<0.05$) higher than those of fish fed the MM60 diet. Feed efficiency ratio for fish fed the control, MM20 and MM40 diets was significantly ($P<0.05$) higher than that for fish fed the MM60 diet. Protein efficiency ratio for fish fed the control diet was significantly ($P<0.05$) higher than that for fish fed the MM40 and MM60 diets. None of moisture, crude protein, crude lipid and ash content, and blood chemistry of flounder was affected by the experimental diets at the end of the feeding trial. Considering these results, it can be concluded that dietary substitution of fish meal with up to 40% by meat meal could be made without a reduction in growth and deterioration of feed efficiency of juvenile flounder during the winter season.

4.5. The use of squid liver meal as a dietary protein source replacing fish meal in juvenile flounder

We evaluated the effects of the partial dietary replacement of fish meal with squid liver mealTM on the growth and body composition of juvenile flounder during the winter season. Twenty-five fish with an initial body weight of 23 g per tank were distributed among 12, 250 L flow-through tanks. The experimental diets, which were designated SLM5, SLM10, and SLM15 diets, were prepared in triplicate along with control diet by replacing 5, 10, and 15% of mackerel fish meal with squid liver mealTM, respectively. The weight gain and specific growth rate of flounder that were fed the control and SLM5 diets did not differ from those of the fish fed the SLM10 diet, but they were significantly ($P<0.05$) higher than those of the fish fed the SLM15 diet. The feed efficiency ratios for the flounder that were fed the control, SLM5 and SLM10 diets were significantly ($P<0.05$) higher than for the fish that were fed the SLM15 diet. However, the protein efficiency ratio for the flounder was not significantly

affected by the experimental diets. The crude protein, crude lipid and ash content, and blood chemistry of the flounder were not significantly affected by the experimental diets. Therefore, the replacement of up to 10% of dietary fish meal with squid liver mealTM can be made without a reduction in growth or a deterioration of the feed efficiency of juvenile flounder during the winter season.

4.6. Utilization of fermented skipjack tuna viscera as a dietary protein source replacing fish meal for juvenile flounder

This study was carried out to evaluate the utilization of fermented skipjack tuna viscera (FSTV) in the diet for juvenile flounder. *Lactobacillus bulgaricus* was used for fermentation of skipjack tuna viscera. Six isocaloric (4.0 kcal/g diet) and isonitrogenous (49%) diets were formulated to include different levels (0-15%) of FSTV as a replacement for fish meal in diets. Three replicate groups of flounder an average weight of 3.3 g were fed the experimental diets for 5 weeks. The inclusion of FSTV up to 15% in diet had no significant effect on survival and body weight of fish. Feed efficiency, protein efficiency ratio, protein retention and lipid retention of fish fed the diet containing 10% FSTV were higher than those of fish fed the control diet ($P < 0.05$), however these values tended to decrease in fish fed the diet containing 15% FSTV. The content of lipid of fish was significantly affected by dietary FSTV level ($P < 0.05$). The results of this study indicate that FSTV can be used as a partial substitute protein source for fish meal in the formulated diets for juvenile flounder.

4.7. Fish meal replacement by cottonseed and soybean meal in diets for juvenile flounder

This study was conducted to investigate the effects of dietary supplementation of cottonseed and soybean meal on growth performance of juvenile flounder. Nine hundred fish (0.74 ± 0.11 g) in the early juvenile stage were randomly divided into 15 groups, and 3 groups were fed one of five isonitrogenous (56% CP) and isocaloric (16.3 MJ/kg) diets replacing 0, 10, 20, 30, and 40% of fish meal protein by equal proportion (1:1, w:w) of cottonseed and soybean meal (CS) (designated by Control, CS10, CS20, CS30, and CS40, respectively). A solvent extracted cottonseed meal containing high crude protein (44%) and low fiber content ($< 12\%$) was used in this study. After 10 weeks of feeding trial, the growth of fish fed diets CS10, CS20, and CS30 were not significantly ($P > 0.05$) different compared to that of fish fed the control diet. However, diet CS40 exhibited significantly lower ($P < 0.05$) growth performance than the control diet. No differences were observed in whole body composition of fish fed all the experimental diets. This study indicates that mixture of cottonseed and

soybean meal with lysine and methionine supplementation can replace up to 30% fish meal protein in diet for flounder at the early juvenile stage. However, we suggest that 20% of fish meal protein replacement by cottonseed (10%) and soybean (10%) meal can be the optimum level for commercial use in safety according to the growth performances.

4.8. Supplemental iron and phosphorus increase dietary inclusion cottonseed and soybean meal in flounder

A long-term feeding experiment was conducted to investigate the use of cottonseed and soybean meal supplemented with iron and phosphorus in diets for flounder. flounder at initial average size of 28.7 ± 0.17 g (mean \pm S.D) were divided into 15 groups (three tanks per dietary treatment) and fed one of the five experimental diets for 26 weeks. Fish were fed 49% crude protein diets in which each of five isonitrogenous diets was formulated to contain different levels of cottonseed/soybean meal (CS) to replace fish meal (FM) with supplementation of iron and phosphorus. The five experimental diets were as follows : Diet 1 (control), 0%CS; diet2, 20%CS; diet3, 30%CS; diet4, 30%CS+Fe&P; and diet5, 40%CS+Fe&P. After 26 weeks of feeding trial, no significant differences were observed in final weight gain, growth rate, feed intake and survival among all the treatments. Hemoglobin and Aspartate aminotransferase (AST) were also not significantly different among all the fish groups. However, alanine aminotransferase (ALT) of fish fed diets containing cottonseed and soybean meal without supplementation of iron and phosphorous (diet 2 and 3) was significantly higher than that of fish fed control. Based on the tendency in growth performances, 30% of FM protein replacement by CS with supplementation of iron and phosphorus might be a safe level for commercial use. The findings in this study suggest that dietary supplementation of iron and phosphorus could increase the inclusion of cottonseed and soybean meal for fish meal replacement in diets for marine fish species.

4.9. Effect of sesame seed meal in the formulated diet on growth and body composition of juvenile flounder

This study was conducted to investigate the effect of sesame residues as an substituted for fish meal in formulated diet for juvenile flounder. Three replicates of juvenile fish (averaging weight 12.5 g) were fed one of five experimental diets containing 0% (S0), 10% (S10), 20% (S20), 30% (S30) and 40% (S40) sesame residues for 73 days. Survival, daily feed intake and daily protein intake were not affected by dietary sesame residues levels. Weight gain, feed efficiency and protein efficiency ratio of fish fed the S0 diet were the highest among groups

and those values of fish were decrease with increasing dietary sesame residue level. the lowest moisture content and the highest lipid content in the whole body in the fish fed the S40 were observed among groups. Protein content of whole body was not affected by dietary sesame residue levels. Moisture content in the liver of fish fed the S40 diet was the highest among groups whereas lipid contents of fish fed the S40 diet was the lowest.

5. The utilizations of feed additives for improvement of feed quality

5.1. Effects of supplemental *Undaria*, Obosan and Wasabi in the diets on growth, body composition, blood chemistry and non-specific immune response of flounder

A 8-week feeding trial was conducted to investigate the effects of several additives in experimental diets on the growth, body composition, blood chemistry and non-specific immune response of juvenile flounder. Three replicates of juveniles (average weight 8.4 ± 0.2 g) were fed one of six isonitrogenous (45%) and isolipidic (8%) diets containing 5 and 10% *Undaria*, 2% wasabi leaf, 2% wasabi stem, and 0.5% herb (Obosan). Survival (95~98%) was not affected by the different dietary additives ($P > 0.05$). Weight gain, feed efficiency and condition factor of fish fed the diet containing 0.5% herb were significantly higher than those of fish fed the diet containing 10% *Undaria* ($P < 0.05$). No significant differences were found in contents of moisture, crude protein, lipid and ash of the whole body of fish ($P > 0.05$). Fish fed the diet containing 10% *Undaria* showed the highest moisture and the lowest crude lipid contents in the liver. Although hematological parameters (red blood cell, hematocrit and hemoglobin) and serum constituents (glucose, total cholesterol and glutamic-oxaloacetic transaminase) contents of fish varied among treatments, no specific trend was observed throughout the feeding period. Lysozyme activity in the serum of fish fed the diets containing 5% *Undaria* and herb, and nitroblue tetrazolium (NBT) reduction of macrophage in the head kidney of fish fed the diets containing herb and 2% wasabi stem were significantly higher than those of fish fed the control diet ($P < 0.05$). The results of this study suggest that the growth of juvenile flounder may improved by herb supplementation, and dietary supplementation with *Undaria*, herb and wasabi stem had beneficial effects on non-specific immune response.

5.2. Effects of supplemental wasabi extract, chitosan and *Pophyra* in the diets on growth and body composition of juvenile flounder

Two feeding trials were conducted to investigate the effects of several additives in

experimental diets on the growth and body composition of juvenile flounder. In first experiment, three replicates of juveniles (average weight 1.5 g) were fed one of three diets containing wasabi extract and chitosan for 7 weeks. Survival, weight gain, protein efficiency ratio, hepatosomatic index and condition factor were not affected by the different dietary additives. Feed efficiency of fish fed diet containing wasabi extract was significantly higher than that of fish fed the control diet ($P < 0.05$). Daily feed intake of fish fed the diet containing wasabi extract was significantly lower than that of fish fed the control diet and chitosan diet ($P < 0.05$). Moisture content of whole body in flounder fed the control diet was significantly lower than that of fish fed diets containing wasabi extract and chitosan ($P < 0.05$). In second experiment, survival, weight gain, feed efficiency, daily feed efficiency and protein efficiency ratio were not significantly affected by *Porphyra* powder supplementation in diet. The contents of moisture, protein, lipid and ash were not significantly different among diet groups. The results of this study suggest that feed efficiency of juvenile flounder may improved by wasabi extract supplementation in diet.

5.3. Effect of supplemental medicinal herb, *Porphyra* powder and paprika powder in the extruded pellets on growth, body composition and blood chemistry of juvenile flounder

This study was conducted to investigate the effect of supplemental medicinal herb, *Porphyra* powder and paprika powder in the extruded pellets on growth, body composition and blood chemistry of juvenile flounder. Triplicate groups of fish (21 g) were fed four experimental extruded pellets containing 0.2 % medicinal herb, 1% *Porphyra* powder and 1% paprika powder for 9 weeks. Survival, weight gain, daily feed intake, hepatosomatic index and condition factor were not influenced by dietary additives. Feed efficiency and protein efficiency ratio of flounder fed in diet containing 1% *Porphyra* powder were significantly higher than those of fish fed the 0.2 % medicinal herb and 1% paprika powder ($P < 0.05$). The results of this study that an fish fed the 1% *Porphyra* powder diets can improve feed utilization of juvenile flounder.

5.4. Effects of supplemental herb medicines, *Artemisia asiatica* and *Epimedium koreanum* in the diets on growth and body composition of juvenile and grower rockfish

This study were conducted to investigate the effects of several additives in experimental diets on the growth and body composition of juvenile and grower rockfish. Three replicates of juveniles (average weight 3.6 g) and two replicates growers (average weight 166 g) were fed one of four diets containing soybean-curd residues, herb medicines, *Artemisia asiatica* and

Epimedium koreanum for 8 weeks. In juvenile groups, survival (98~100%) was not significantly different among diet groups. Weight gain, feed efficiency, daily feed intake, protein efficiency ratio, condition factor and hepatosomatic index of juveniles fish fed the diet containing 10% soybean-curd residues was significantly lower than those of juvenile fish fed the control diet without soybean-curd residues ($P<0.05$). Dietary supplementation with herb medicines had no beneficial effects on growth and feed utilization of juvenile fish. Lower moisture contents and higher crude lipid contents of dorsal muscle, liver and viscera in juvenile fish fed the control diet showed compared to those of fish fed the diets containing soybean-curd residues and herb medicines ($P<0.05$). In grower groups, survival was over the 93% from all groups. Weight gain of grower fish fed the diet containing 10% soybean-curd residues was significantly lower than that of grower fish fed the control diet without soybean-curd residues ($P<0.05$), but not significantly different from fish fed diets containing herb medicines and mixture of *Artemisia asiatica* and *Epimedium koreanum*. Feed efficiency and protein efficiency ratio of grower fish fed the diet containing herb medicines were significantly higher than those of grower fish fed the diet containing soybean-curd residues ($P<0.05$), but not significantly different from fish fed diet containing mixture of *Artemisia asiatica* and *Epimedium koreanum* and control diet. Significant differences were observed in contents of crude lipid of viscera and moisture of whole body from grower fish groups ($P<0.05$).

6. Development and evaluation of extruded pellet (EP) replacing raw fish-based moist pellet for aquaculture of marine Fish

6.1. Evaluation of extruded pellet (EP), soft-moist pellet (SMP) and raw fish-based moist pellet (MP) for growth of flounder

<Experiment 1> Growth and feed utilization of growing flounder fed diets with different physio-chemical compositions (Laboratory scale experiment using FRP tank)

Feeding experiment was conducted to investigate the effects of different dietary physio-chemical composition on growth and body composition of the flounder. Four replicate groups of fish average weighing 120 g were fed to satiety by the floating extruded pellet (EP), soft-moist pellet (SMP) and moist pellet (MP) at the laboratory rearing scale using FRP tank for 9 weeks. Survival of fish was not affected by feed type. Weight gain of fish fed MP was lower than that of fish fed EP and SMP ($P<0.05$). Feed efficiency, protein efficiency

ratio and nitrogen retention of fish fed EP were higher than those of fish fed MP and SMP ($P<0.05$). Nitrogen retention, lipid retention, energy retention and phosphorus retention were the highest in the fish fed EP among the groups. Lipid and energy contents of whole body in the fish fed MP were the lowest among groups. It can be concluded that EP and SMP would be good practical feed types for growth and feed utilization of growing flounder compared to MP.

<Experiment 2> Growth and feed utilization of flounder fed different physical types of diet
(Field experiment using concrete tank)

Feeding experiment was conducted to investigate the effects of different dietary physio-chemical composition on growth and body composition of the flounder. Two replicate groups of fish average weighing 123 g were fed to satiety by the floating extruded pellet (EP), soft-moist pellet (SMP) and moist pellet (MP) at the field rearing scale using concrete tank for 9 weeks. Survival and weight gain of fish fed MP were lower than those of fish fed EP and SMP ($P<0.05$). Feed efficiency, protein efficiency ratio, nitrogen retention, nitrogen retention, lipid retention, energy retention and phosphorus retention were the highest in the fish fed EP among the groups. It can be concluded that EP would be good practical feed types for growth and feed utilization of growing flounder compared to MP.

<Experiment 3> Effects of feeding frequency on growth performance of flounder fed the extruded pellet

A 9-week feeding trial was conducted to determine the optimum feeding rate of extruded pellets (EP) for flounder. Three replicate groups of the fish (average weight of 120 g) were fed EP with one meal a day (1/d), two meals a day (2/d), three meals a day (3/d), one meal every other day (1/EOD), two meals every other day (2/EOD), and three meals every other day (3/EOD). Survival, feed efficiency, nitrogen retention, and phosphorus retention were affected by feeding frequency ($P>0.05$). The best weight gain obtained from fish fed EP with 2/d was not different to that of fish fed EP with 1/d and 3/d ($P<0.05$). The results of this study indicate that the optimum feeding frequency for the growth of juvenile flounder grown from 121 g to 200 g is one meal a day with satiation feeding.

6.2 Effects of the extruded pellets and raw fish-based moist pellet on growth and body composition of flounder for 10 months (Field experiment using concrete tank)

Effects of the commercially available or formulated extruded pellets (EP) and raw fish-based moist pellet (MP) on growth and body composition of flounder were evaluated on commercial scale for 10 months. Survivals of flounder fed the MP, EP1 and EP3 were not significantly different from those of fish fed the EP2 or EP5, but significantly ($P<0.05$) higher than that of fish fed the EP4. Weight gain of fish fed the MP was not significantly different from that of fish fed the EP3 and EP5, but significantly ($P<0.05$) higher than that of fish fed the EP1, EP2 or EP4. Improvement in weight gain of flounder fed the high lipid diets (EP1, EP2, EP3) compared to low lipid diet (EP4) in the 55% protein level, and weight gain of fish fed the high lipid diet (MP) compared to low lipid diet (EP5) in the 61% protein level indicated protein-sparing effect of lipid. FER for flounder fed the EP3, which was not significantly different from that for fish fed the EP1 or EP5 was significantly ($P<0.05$) higher than that for fish fed the EP2, EP4 and MP. FER significantly ($P<0.05$) changed over time. CF of flounder fed the MP was significantly ($P<0.05$) higher than that of fish fed EP1 or EP4. Moisture content of dorsal muscle in flounder fed the EP2 was significantly ($P<0.05$) higher than that in fish fed the EP1 or EP4. Crude protein content of dorsal muscle in flounder fed the EP1, EP4 and EP5 was significantly ($P<0.05$) higher than that in fish fed the EP2. However, crude lipid content of dorsal muscle, and moisture, crude protein and crude lipid content of liver in flounder was not significantly different among the diets. In considering performance of flounder, it can be concluded that the use of EP3 and EP5 is more recommendable than the MP, which commonly used in flounder farm.

6.3. Evaluation of experimental extruded pellet, commercial pellet and raw fish-based moist pellet for growth of flounder

An 8-week of growth feeding trial was conducted to evaluate effects of the experimental extruded pellet (EP), commercial EP and raw fish-based moist pellet (MP) for growing flounder (*Paralichthys olivaceus*). Three replicate groups of the fish average weighing 43.5 g were fed four experimental diets (EP1, EP2, EP3 and EP4), four commercial diets (EP5, EP6, EP7 and EP8) and MP. Weight gain of fish fed the EP2, EP3 and EP4 was the highest among treatments, but not significantly different to that of fish fed the EP1, EP7 and MP. Feed efficiency and protein efficiency ratio of fish fed the MP were the lowest among treatments, but daily feed intake and daily protein intake of fish fed the MP were the highest among treatments. Moisture, lipid and ash contents of whole body were affected by diets, but

protein content was not affected by diets. It is concluded that the dietary formulations used in the EP2, EP3 and EP4 can be applied in the practical extruded pellet feeds for growing flounder of 42-108 g size.

6.4. Evaluation of experimental extruded pellet and raw fish-based moist pellet for growth of flounder rearing in the field scale using concrete tank for long term

Effects of the formulated extruded pellets (EP) and raw fish-based moist pellet (MP) on growth and body composition of flounder were evaluated on commercial scale for 12 months. Two replicate groups of the fish average weighing 68 g were fed four experimental diets (EP1, EP2, EP3 and EP4) and MP. Survival (97-98%) of flounder fed the EP1-4 was not significantly different from that (89%) of fish fed the MP ($P>0.05$). Weight gain (747-827%) and condition factor (1.11-1.24) of fish fed EP and MP were not different among all the fish groups. Feed efficiency of fish fed the EP3 and EP4 was higher than that of fish fed the EP1, EP2 and MP ($P<0.05$). Protein retention of fish fed the EP3 was higher than that of fish fed the EP2 and MP ($P<0.05$). Feed efficiency, protein efficiency ratio, protein retention of fish fed the MP were the lowest among treatments, but daily feed intake and daily protein intake of fish fed the MP were the highest among treatments. Hepatosomatic index of fish fed the EP4 and MP was higher than that of fish fed the EP1, EP2 and EP3 ($P<0.05$). Moisture and lipid contents of whole body, muscle and viscera were not affected by diets. It is concluded that the dietary formulations used in the EP can be applied in the practical extruded pellet feeds for growing flounder.

6.5. Evaluation of experimental extruded pellet and raw fish-based moist pellet for growth of flounder rearing in the field scale using concrete tank

Effects of the formulated extruded pellets (EP) and raw fish-based moist pellet (MP) on growth and body composition of flounder were evaluated on commercial scale for 78 days. Two replicate groups of the fish average weighing 115 g were fed experimental diets (EP1, EP2, EP3, EP4 and EP5) and MP. Survival, condition factor, hepatosomatic index and daily feed intake were not different among all the fish groups. Weight gain of fish fed EP4 was higher than that of fish fed the EP2 ($P<0.05$). Feed efficiency of fish fed the EP4 was the highest among the groups ($P<0.05$). Protein efficiency ratio of fish fed the MP were the lowest among treatments, and lower than that of fish fed the EP4 and EP5 ($P<0.05$). Lipid contents of muscle and liver were not affected by diets. Glucose, protein and triglyceride concentrations and GOT activity of blood plasma were not affected by diets. It is concluded

that the dietary formulations used in the EP4 can be applied in the practical extruded pellet feeds for growing flounder.

6.6. Evaluation of experimental extruded pellet and raw fish-based moist pellet for growth of flounder rearing in the field scale using concrete tank

Effects of the formulated extruded pellets (EP) on growth and body composition of flounder were evaluated in the commercial scale (8 m × 8 m) for 79 days. Flounder average weighing 137 g were fed experimental diets (EP1, EP2, EP3, EP4 and EP5) and commercial pellet (EP6). In addition, EP4MP and EP6MP as moist pellet types were made from EP4 and EP6, respectively, by sprayed with mixture of water and additives. Survival (89%) of fish fed the EP6 was the lowest among the group, and other groups showed high values ranging from 95% to 99%. Mean weight gain of fish fed the experimental diets was in order of EP4, EP4MP, EP3 > EP4MP > EP5, EP1, EP2 > EP6. Fish showed good feed efficiency ranging from 108% to 137%. It is concluded that the dietary formulations used in the EP3 and EP4 can be applied in the practical extruded pellet feeds for growing flounder (114-350 g).

6.7. Evaluation of experimental extruded pellet and raw fish-based moist pellet for growth of rockfish for long term

Effects of the formulated extruded pellets (EP) and raw fish-based moist pellet (MP) on growth and body composition of rockfish were evaluated. Three replicate groups of the fish average weighing 115.1 g were fed four experimental diets (EP1, EP2, EP3 and EP4) and MP for 35 weeks. Survival was not significantly different among groups above 95%. Weight gain of fish fed the MP was the highest among treatments, and that of fish fed the EP2 and EP3 were the lowest. Condition factor was not affected by diets. Hepatosomatic index of fish fed the MP was the lowest but visceralsomatic index was highest among treatments. Feed efficiency of fish fed the MP was higher than others. Protein efficiency ratio of fish fed the EP3 was higher than that of fish fed the EP2, EP3 and MP. Proximate composition of muscle and amino acid composition of whole body were not affected by diets. Smell, taste and texture from flesh quality test of dorsal muscle were not affected by diets, but colour of muscle in fish fed the EP1 and MP was higher than that of fish fed the EP4.

6.8. Development of an alternative extruded pellet for moisture pellet in flounder reared in concrete tank (Field experiment using concrete tank)

Two experiments were conducted to examine the growth response of flounder to four

different diets (moisture pellet, EP-1, EP-2, and commercial pellet) with the aim to develop a suitable extruded pellet for aquaculture of this species. Experiment 1 (Exp-1) was taken place in Marine and Environmental Research Institute, Cheju National University. Experiment 2 (Exp-2) was allocated in a private flounder farm (Daehak Aquaculture). One of four diets was fed one group of fish stocked in 4,000 L fiber glass tank (100 fish/tank) for 27 weeks (Exp-1), and two group of fish reared in square concrete tank with dimension of 10 m x 10 m x 0.5 m (width x length x depth) (2500 fish/tank, total 8 tanks) for 30 weeks. At the end of the first experiment, highest growth performance and lowest feed utilization were observed in fish fed EP-2 diet. Fish fed EP-2 also showed the highest survival rate. In the Exp-2, growth of fish fed EP-2 diet was comparable to that of fish fed commercial diet. No significant differences were observed in percent of weight gain among fish groups fed experimental diets. Hematocrit and hemoglobin of fish fed experimental diets were not significantly different. The results of this study suggest that EP diet seem to be a proper diet for flounder aquaculture. Further studies on impacts of influent derived from aqua-farms using this diet on surrounding environment are recommended in order to develop an extruded diet for sustainable aquaculture.

6.9. Evaluation of moist pellet and extruded pellets for growth of flounder and rockfish (Field experiment using concrete tank)

Two experiments were conducted to evaluate moist pellet (MP) and extruded pellets (EP) on growth of adult flounder and growing rockfish. In the first experiment, two replicates groups of flounder (initial mean weight 329 g) were fed one of the moist pellet and seven extruded pellets for 8 months. Weight gain and feed efficiency of fish fed the EP1 were not significantly different from those of fish fed the EP3, EP4, EP5 and EP6, but significantly higher than those of fish fed the EP2, EP7 and MP. Feed efficiency of fish fed the EP1 was not significantly different from that of fish fed the EP3, EP4, EP5 and EP6, but significantly higher than that of fish fed the EP2, EP7 and MP. Significant differences were observed in the contents of crude protein in liver and ash in whole body from flounder. In the second experiment, two replicates groups of rockfish (initial mean weight 112 g) were fed one of the four extruded pellets (EP1, EP2, EP5 and EP6) for 8 months. Weight gain, feed efficiency and daily feed intake were not significantly different among the diets groups. Crude lipid content of dorsal muscle from rockfish was significantly different among diet groups. It can be concluded that EP1, EP3, EP4, EP5 and EP6 would be good practical diets for growth of adult flounder, and four extruded pellets in used study would be good practical diets for

growing rockfish.

7. Optimum feeding frequency for growth of flounder and rockfish

7.1 Effect of feeding frequency with different feed types on growth and body composition of flounder

A 7-week feeding experiment was conducted to determine the proper feeding frequency at different feed types for growth and body composition of the juvenile flounder. Three replicate groups of fish average weighing 11.1 g were fed to satiety by the moist pellet (MP), sinking dry pellet (DP) and floating extruded pellet (EP) at different feeding frequencies (three meals a day, two meals a day, one meal a day or one meal every 2 days). At the end of the feeding trial, gastric evacuation rate of the fish was monitored after feeding. Survival of fish was not affected by either feed type or feeding frequency. Weight gain, feed efficiency, protein efficiency ratio, and daily feed intake of the fish were affected by feed type and feeding frequency. Weight gain and daily feed intake of fish increased with increasing feeding frequency at each feed type. The highest weight gain of fish fed the EP diet three times daily was not significantly different from that of fish fed the DP diet three times daily. Feed intake of fish fed the MP and DP diets showed a higher tendency than that of fish fed the EP diet at each feeding frequency. Feed efficiency and protein efficiency ratio of the fish tended to decrease with increasing feeding frequency at each feed type, and were higher at EP diet than at MP diet. Proximate compositions of fish were not affected by feed type whereas they were significantly affected by various feeding frequency. As feeding frequency increased, moisture content increased and lipid content increased. It is concluded that three meals a day with EP type of feed is effective for improving growth performance of juvenile flounder grown from about 10 g to 60 g.

7.2. The effects of feed types on the rate of gastric evacuation in juvenile and growing rockfish

A feeding experiment was conducted to investigate the gastric evacuation of the juvenile (15 g/fish) and growing (200 g/fish) flounder. Three replicate groups of the fish were fed to visual satiety either dry pellets (DP) or moist pellets (MP). The stomach and intestine evacuation rate of the fish was monitored after feeding. Stomach contents of juvenile and grower peaked after feeding, then gradually decreased until the 20th h and 40th h, respectively, and reached the pre-feeding level. Grower fed the DP had keep the higher stomach contents

compared to fish fed the MP until 40th h after feeding.

7.3. Effects of everyday and every other day feeding methods of moist pellet on growth and nutrient utilization of growing flounder (Field experiment using concrete tank)

Weight gain and feed utilization of growing flounder were compared under two feeding methods, both conventional everyday (ED) and every other day (EO) feeding with three times daily, in a commercial fish farm. Flounder weighing approximately 90 g were randomly distributed into each (1200 fish/tank) of 4 circular tanks (6 m x 0.8 m). Fish were fed a moist pellet three times either a day except Sunday or an every other day for 8 weeks. No significant ($P>0.05$) differences in weight gain and feed conversion ration (FCR) were found between two groups. Chemical composition of fish did not showed any differences except lipid, which was significantly higher in ED groups (4.1%) than EO groups (3.4%). While intake and gain in whole body of nitrogen (N) were higher ($P<0.05$) in ED groups than EO groups, N retention of two groups was not significantly different. Two groups of fish excreted same amounts (114 g vs 112 g) of N. Although phosphorus intake was significantly different between two groups, fish retained same amount (0.5 g) of P in their body and P excretion maintained constant between two groups (27.6 g vs 26.0 g/kg wt. gain). Energy intake (2528 kJ) of ED groups was much higher than that (2116 kJ), which resulted in higher ($P<0.05$) gain of energy in whole body of EO groups. Energy retention efficiency was, however, not significantly different. These results indicate that every other day feeding regimen of moist pellet with three times daily feeding would be effective than every day feeding regimen with three times daily feeding for growth and feed utilization of flounder weighing between 90 g and 160 g.

7.4. Effect of extruded and moist pellets at different feeding rate on growth and body composition of juvenile flounder (Field experiment using concrete tank)

A 10-week feeding trial was conducted to determine the optimum feeding rate of two extruded pellets (EP1 and EP2) and raw fish-based moist pellet (MP) for juvenile flounder. Two replicate groups of the fish (average weight of 27 g) were fed EP and MP three times daily at different feeding rate (satiation and 85% satiation). Weight gain of fish was not affected by diet, but affected by feeding rate. Weight gain with satiation feeding group showed a tendency to higher compared to that of fish with 85% satiation feeding at the same diet. Feed efficiency of fish was affected by diet, but not feeding rate. Feed efficiency of fish fed the EP1 and EP2 was higher than that of fish fed the MP at the same feeding rate.

Daily feed intake was affected by diet and feeding rate. Daily feed intake of fish fed with satiation was higher than that of fish with 85% satiation at same diet, and this variable of fish fed the MP was higher than that of fish fed the EP1 and EP2. Protein efficiency ratio of fish fed the MP was significantly lower than that of fish fed the EP1 and EP2 regardless of feeding rate. Lipid content of whole body was affected by diet, and that of fish fed the EP2 and MP at satiation feeding was the highest. It can be concluded that satiation feeding will be good and EP is better than MP for growth of juvenile flounder grown from 27 g to 51 g.

7.5. Effect of feeding frequency of extruded pellet on growth and body composition of juvenile flounder during the winter season

A feeding trial of two feeding rate (satiation and 80% satiation) × four feeding frequency (three meals a day, two meals a day, one meal a day and one meal every two days) factorial design with three replications was carried out to investigate the optimum feeding frequency and rate for growth of flounder during the winter season. Juvenile flounder averaging 45 g were fed a extruded pellet for 60 days. Weight gain was affected by feeding frequency and feeding rate ($P < 0.001$). The best weight gain obtained from fish fed two meals a day with satiation was not different to that of fish fed three meals a day with satiation and 80% satiation. Feed efficiency and protein efficiency ratio of fish fed the diet three times daily were the highest among groups, but not different to other groups of fish except for one meal every two days with satiation and 80% satiation feeding. Daily feed intake was affected by feeding frequency and feeding rate ($P < 0.001$), this value of fish fed two and three meals a day with satiation was the highest among the groups. Moisture, crude protein, crude lipid and ash contents of fish were not affected by feeding frequency and feeding rate ($P > 0.05$). The results of this study indicate that the optimum feeding frequency for the growth of juvenile flounder grown from 45 g to 53 g is two meals a day with satiation feeding during the winter season.

7.6. Effects of dietary composition, feeding satiation rate and feeding frequency of extruded pellets on growth and body composition of flounder

A feeding trial of two extruded pellets (EP1, 45% crude protein with 7% crude lipid and EP2, 47% crude protein with 10% crude lipid) × two satiation rates (satiation and 80% satiation) × three feeding frequencies (three, two and one meal a day) factorial design with three replications was carried out to investigate the optimum feeding frequency and satiation rate for growth of juvenile flounder. Flounder averaging 55 g were fed a extruded pellets for

58 days. Daily feed intake was affected by dietary composition, feeding frequency and satiation rate ($P < 0.05$). Weight gain of fish fed the EP1 and EP2 was not affected by both dietary composition and feeding frequency ($P > 0.05$), but affected by feeding satiation rate ($P < 0.05$). Weight gain of fish fed the each of EP1 and EP2 twice daily with satiation was the highest among treatments, but was not significantly different to that of fish fed the diets three times daily with satiation feeding. Feed efficiency and protein efficiency ratio of the fish were not affected by dietary composition, feeding frequency and satiation rate ($P > 0.05$). Moisture, crude protein and crude lipid contents of the muscle of fish were affected by satiation rate. Moisture and crude protein contents of the liver were affected by dietary composition. Based on fish performance results, it can be concluded that the proper feeding frequency for the growth of juvenile flounder grown from 55 g to 90 g is two meals a day with satiation feeding, regardless of dietary composition used in this study.

7.7. Effects of dietary composition and feeding frequency on growth and body composition of juvenile rockfish

A 8-week feeding experiment was conducted to determine the optimum feeding frequency with different formulated diets on growth feed utilization and body composition of juvenile rockfish. Three replicate groups of the fish (average weight of 4.1 g) were fed the experimental diets containing high carbohydrate (HC), high lipid (HL) and high protein (HP) at different feeding frequencies (twice a day, once a day and once in 2 days). At the end of the feeding trial gastric evacuation rate of the fish was monitored after feeding. Weight gain was affected by feeding frequency ($P < 0.05$) but not by dietary composition. Weight gain of the fish fed once in 2 days was lower than that of other groups. Daily feed intake was significantly affected by both dietary composition and feeding frequency ($P < 0.05$). Daily feed intake of fish fed the HC diet was higher than that of the fish fed the HL and HP diets at the same feeding frequency. Feed efficiency and protein efficiency ratio were affected by both dietary composition and feeding frequency and decreased with increasing feeding frequency at the same dietary composition. Feed efficiency and protein efficiency ratio of fish fed the HC diet were lower than those of fish fed the HL diet at the same feeding frequency. Whole body lipid content of fish fed the HL diet was higher than that of fish fed the HL and HP diets at the same feeding frequency. Proximate composition of muscle was not influenced by both dietary composition and feeding frequency. Gastric contents of the fish fed HC, HL and HP diets with the different feeding frequencies increased after feeding then gradually decreased and reached the pre-feeding level within 24 h. These results indicate that an

increase of dietary lipid level compared to carbohydrate level has protein sparing effect, and one feeding daily of feeding regime is more effective than two times daily or one feeding in 2 days for improving growth performance of juvenile rockfish grown from 4 g to 21 g.

Contents

Chapter 1 Introduction	70
Chapter 2 Present status of development of feed for marine fish culture in the world	71
Chapter 3 Present status and problems of feed supply for marine fish culture in Korea ---	73
Section 1 Problems of raw fish as feed for marine fish culture	73
Section 2 Nutritional studies for flounder and rockfish	75
Chapter 4 Nutrients requirement and balance for design of reference feed formulation ----	80
Section 1 Chemical analysis of dietary ingredients and fish	80
Section 2 Effects of vitamin E deficiency on dietary vitamin C requirement in flounder	81
Section 3 Effects of dietary lipid levels on vitamin E requirements in flounder	93
Section 4 Dietary choline requirement of juvenile rockfish	101
Section 5 The necessity of supplemental choline in practical diets contained fish meal for flounder and rockfish	111
Section 6 Myo-inositol requirement in diets for juvenile flounder	116
Section 7 Influence of different dietary n-3HUFA level with varying additions of α -tocopherol on growth and body composition of rockfish	124
Section 8 Requirement of dietary n-3 HUFA for juvenile flounder	135
Chapter 5 Optimum energy source and level for design of high quality feed formulation	143
Section 1 Proper levels of digestible protein and lipid in practical feed for juvenile rockfish	143
Section 2 Proper levels of protein and lipid in extruded pellet diet for juvenile flounder	154
Section 3 Proper levels of dietary lipid and starch for juvenile and growing rockfish ---	160
Section 4 Dietary carbohydrate kind and α -starch level for juvenile flounder	173
Section 5 Dietary α -cellulose level for juvenile flounder	179

Chapter 6 Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for design of environment-friendly feed formulation -----	185
Section 1 Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for grower flounder -----	185
Section 2 Effects of dietary carbohydrate source and water temperature on nutrient digestibilities in juvenile and adult rockfish -----	198
Section 3 Effects of dietary protein and energy levels at different feeding frequency on the apparent digestibility coefficients of juvenile rockfish -----	206
Section 4 Effect of feeding frequency of extruded diets containing different macro-nutrient level on apparent nutrient digestibility in grower flounder -----	211
 Chapter 7 The utilizations of feed ingredients for design of least cost feed formulation -----	 219
Section 1 Evaluation of fish meals as dietary protein sources for flounder -----	219
Section 2 The use of meat meal, soybean meal or corn gluten meal as a dietary protein source replacing fish meal in juvenile and grower flounder -----	226
Section 3 The use of meat meal as a dietary protein source replacing fish meal juvenile rockfish -----	232
Section 4 The use of meat meal as a dietary protein source replacing fish meal in juvenile flounder -----	240
Section 5 The use of squid liver meal as a dietary protein source replacing fish meal in juvenile flounder -----	246
Section 6 Utilization of fermented skipjack tuna viscera as a dietary protein source replacing fish meal for juvenile flounder -----	252
Section 7 Fish meal replacement by cottonseed and soybean meal in diets for juvenile flounder -----	259
Section 8 Supplemental iron and phosphorus increase dietary inclusion cottonseed and soybean meal in flounder -----	267
Section 9 Effect of sesame seed meal in the formulated diet on growth and body composition of juvenile flounder -----	276
 Chapter 8 The utilizations of feed additives for improvement of feed quality -----	 281
Section 1 Effects of supplemental <i>Undaria</i> , Obosan and Wasabi in the diets on growth, body composition, blood chemistry and non-specific immune response of flounder --	281

Section 2	Effects of supplemental wasabi extract, chitosan and <i>Pophyra</i> in the diets on growth and body composition of juvenile flounder -----	290
Section 3	Effect of supplemental medicinal herb, <i>Porphyra</i> powder and paprika powder in the extruded pellets on growth, body composition and blood chemistry of juvenile flounder -----	296
Section 4	Effects of supplemental herb medicines, <i>Artemisia asiatica</i> and <i>Epimedium koreanum</i> in the diets on growth and body composition of juvenile and grower rockfish -----	301
Chapter 9	Development and evaluation of extruded pellet (EP) replacing raw fish-based moist pellet for aquaculture of marine Fish -----	309
Section 1	Evaluation of extruded pellet (EP), soft-moist pellet (SMP) and raw fish-based moist pellet (MP) for growth of flounder -----	310
	<Experiment 1> Growth and feed utilization of growing flounder fed diets with different physio-chemical compositions (Laboratory scale experiment using FRP tank) -----	310
	<Experiment 2> Growth and feed utilization of flounder fed different physical types of diet (Field experiment using concrete tank) -----	323
	<Experiment 3> Effects of feeding frequency on growth performance of flounder fed the extruded pellet -----	336
Section 2	Effects of the extruded pellets and raw fish-based moist pellet on growth and body composition of flounder for 10 months (Field experiment using concrete tank) -----	349
Section 3	Evaluation of experimental extruded pellet, commercial pellet and raw fish-based moist pellet for growth of flounder -----	356
Section 4	Evaluation of experimental extruded pellet and raw fish-based moist pellet for growth of flounder rearing in the field scale using concrete tank for long term -----	364
Section 5	Evaluation of experimental extruded pellet and raw fish-based moist pellet for growth of flounder rearing in the field scale using concrete tank -----	374
Section 6	Evaluation of experimental extruded pellet and raw fish-based moist pellet for growth of flounder rearing in the field scale using concrete tank -----	381
Section 7	Evaluation of experimental extruded pellet and raw fish-based moist pellet for growth of rockfish for long term -----	388

Section 8 Development of an alternative extruded pellet for moisture pellet in flounder reared in concrete tank (Field experiment using concrete tank) -----	401
Section 9 Evaluation of moist pellet and extruded pellets for growth of flounder and rockfish (Field experiment using concrete tank) -----	407
Chapter 10 Optimum feeding frequency for growth of flounder and rockfish -----	418
Section 1 Effect of feeding frequency with different feed types on growth and body composition of flounder -----	418
Section 2 The effects of feed types on the rate of gastric evacuation in juvenile and growing rockfish -----	431
Section 3 Effects of everyday and every other day feeding methods of moist pellet on growth and nutrient utilization of growing flounder (Field experiment using concrete tank) -----	435
Section 4 Effect of extruded and moist pellets at different feeding rate on growth and body composition of juvenile flounder (Field experiment using concrete tank) -----	442
Section 5 Effect of feeding frequency of extruded pellet on growth and body composition of juvenile flounder during the winter season -----	449
Section 6 Effects of dietary composition, feeding satiation rate and feeding frequency of extruded pellets on growth and body composition of flounder -----	457
Section 7 Effects of dietary composition and feeding frequency on growth and body composition of juvenile rockfish -----	468
<Feed cost for kg fish production> -----	480
<Conclusion> -----	484
Chapter 11 Application plan of results -----	485
Chapter 12. References -----	497

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요 -----	70
제 2 장	국내외 기술개발 현황 -----	71
제 3 장	우리나라의 사료 공급 현황 및 문제점 -----	73
제 1 절	생사료 및 배합사료의 문제점 -----	73
제 2 절	넙치 및 조피볼락의 사료 영양 연구 결과 검색 -----	75
제 4 장	표준 배합사료 설계를 위한 영양소 요구 및 균형 -----	80
제 1 절	사료 원료 및 생체의 영양화학성분 분석 -----	80
제 2 절	넙치 사료 내 비타민 E 결핍 및 공급시 비타민 C 요구량 -----	81
제 3 절	넙치 사료 내 지질 함량에 따른 비타민 E 요구량 -----	93
제 4 절	조피볼락의 choline 요구량 -----	101
제 5 절	넙치 (치어 및 육성용) 및 조피볼락 실용 배합사료 조성에 콜린 첨가 필요성 -----	111
제 6 절	넙치의 myo-inositol 요구량 -----	116
제 7 절	사료의 vitamin E 함량에 따른 n-3HUFA 첨가가 조피볼락의 성장 및 체성분에 미치는 영향 -----	124
제 8 절	넙치 치어 사료의 적정 n-3HUFA 함량 -----	135
제 5 장	고효율 배합사료 설계를 위한 에너지원 연구 -----	143
제 1 절	조피볼락 배합사료의 가소화 단백질과 지질 함량 -----	143
제 2 절	넙치 치어 건조사료(EP)의 단백질과 지질 함량 -----	154
제 3 절	조피볼락(치어 및 성장어) 배합사료의 지질 및 탄수화물 함량 -----	160
제 4 절	넙치 치어 배합사료의 탄수화물원 및 α -starch 함량 -----	173
제 5 절	넙치 치어용 배합사료의 α -셀룰로오스 함량 -----	179
제 6 장	환경친화적인 배합사료 설계를 위한 영양소 소화율 연구 -----	185
제 1 절	넙치 배합사료 원료의 외견상 영양소 소화율 -----	185
제 2 절	사료 탄수화물원과 사육 수온에 따른 조피볼락 치어 및 성어의 영양소 소화율 -----	198
제 3 절	조피볼락 사료 단백질 및 에너지 함량과 사료 공급 횟수에 따른 영양소 소화율 -----	198

	-----206
제 4 절 부상 배합사료의 영양소 함량과 공급횟수에 따른 넙치의 영양소 소화율	--211
제 7 장 경제적인 배합사료 설계를 위한 사료 원료의 이용성	-----219
제 1 절 넙치 배합사료의 어분 평가	-----219
제 2 절 치어 및 성장기 넙치 사료의 어분 대체 단백질원으로서 육분, 대두박 및 콘글루텐밀의 이용성	-----226
제 3 절 조피볼락 치어 배합사료의 어분 대체 단백질원으로서 육분 이용성	-----232
제 4 절 넙치 사료의 어분 대체 단백질원으로 육분 이용성	-----240
제 5 절 넙치 배합사료의 어분 대체 단백질원으로서 오징어간분 이용성	-----246
제 6 절 넙치 배합사료의 어분 대체 단백질원으로 발효 참치 내장 부산물 이용성 -----	-----252
제 7 절 넙치 치어 배합사료의 어분 대체 단백질원으로서 탈지대두박과 면실박 이용성 -----	-----259
제 8 절 넙치 사료 내 면실박과 대두박 첨가에 따른 철과 인의 보충 효과	-----267
제 9 절 넙치 치어용 배합사료에 깻묵 첨가 효과	-----276
제 8 장 배합사료 품질 향상을 위한 사료 첨가제	-----281
제 1 절 넙치 배합사료에 미역분말, 한약제 및 고추냉이 분말 첨가 효과	-----281
제 2 절 넙치 배합사료에 고추냉이 추출물, 키토산 및 김 분말 첨가 효과	-----290
제 3 절 넙치 EP 사료에 한약제, 김분말 및 파프리카 첨가 효과	-----296
제 4 절 조피볼락 배합사료에 생약제, 약썩 및 삼지구엽 첨가 효과	-----301
제 9 장 부상사료(EP) 설계 및 사육 효과	-----309
제 1 절 넙치 배합사료로서 EP, SMP 및 생사료 비교 실험	-----310
<실험 1> FRP 사육수조를 이용한 넙치 성장실험	-----310
<실험 2> 콘크리트 사육수조를 이용한 넙치 성장실험 (대형수조)	-----323
<실험 3> 넙치의 최대 성장을 위한 적정 사료 급여회수 설정 실험	-----336
제 2 절 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 10개월간 사육	-----349
제 3 절 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP), 시판 부상사료 및 생사료(MP) 비교 : 소형수조에서 사육	-----356
제 4 절 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 12개월간 사육	-----364

제 5 절	넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 11주간 사육	374
제 6 절	넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 상품사료 비교 : 대형수조에서 11주간 사육	381
제 7 절	조피볼락 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : FRP 수조에서 35주간 사육	388
제 8 절	넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 30주간 사육	401
제 9 절	넙치 및 조피볼락 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 8개월간 사육	407
	<실험 1> 넙치 EP 비교평가 실험	407
	<실험 2> 조피볼락 EP 비교평가 실험	410
제 10 장	사료 공급 체계에 관한 연구	418
제 1 절	넙치 배합사료의 사료물성 평가 및 물성에 따른 사료 공급 횟수	418
	<실험 1> 사료물성 평가	419
	<실험 2> 사료 물성에 따른 사료 공급 횟수	420
제 2 절	사료 물성과 넙치 크기에 따른 장 내용물 통과 시간	431
제 3 절	일일 및 격일 습사료 공급방법이 육성 넙치의 성장과 영양소 이용효율에 미치는 영향: 대형수조 실험	435
제 4 절	넙치 치어용 부상 건조사료(EP)와 습사료(MP)의 반복 및 제한 공급 효과 : 대형수조 실험	442
제 5 절	넙치 치어의 부상사료 공급횟수 : 겨울철	449
제 6 절	넙치 부상사료의 사료조성, 공급율 및 공급횟수	457
제 7 절	조피볼락 배합사료 조성 및 사료 공급횟수	468
	<어류 1 kg 증육에 소요되는 사료 단가 비교>	480
	<종합 요약 및 결론>	484
제 11 장	연구개발결과와 활용계획	485
제 12 장	참고문헌	497

제 1 장 연구개발과제의 개요

어류 양식에 있어 사료공급은 양식 생산비의 절반 이상을 차지할 뿐 아니라 양식에 의한 수질오염은 급여되는 사료로부터 유래하기 때문에 대상어종에 적합한 배합사료개발은 양식생산성과 환경보호 측면에서 가장 우선적으로 고려되어야 한다. 배합사료의 가격은 배합원료 단가, 영양소의 종류와 균형에 따라 달라지는데, 경제적으로 배합되어야 할 원료의 종류나 적정 첨가범위, 필수영양소의 종류 및 함량은 양식 대상종에 따라 달라지기 때문에 그 종에 맞도록 연구가 수행되어야 한다. 하지만 현재 우리나라의 해산어 양식은 생사료에 의존하고 있고, 배합사료 개발에 관한 연구는 조피볼락을 제외하면 사료영양 연구가 많이 수행되지 못한 실정이며, 최근에 넙치 사료에 대한 몇몇 연구가 수행되고 있다. 하지만 이렇게 발표되고 있는 연구 결과들이 실용적으로 배합사료 설계 및 제조에 제대로 활용되지 못하고 있는 것이 현실이다. 또한, 국내에서 시판되고 있는 배합사료의 품질 등을 감안하면, 그 효능이 생사료에 미치지 못하기 때문에 상업적으로 개발된 사료가 있더라도 양어가들은 비싼 외국수입사료나 생사료를 사용하고 있는 실정이다.

현재 양어가들이 주로 사용하고 있는 전갱이, 까나리 및 양미리 등의 생사료는 수급의 불안정, 취급 및 보관경비의 과다소요 등의 제반 문제점들을 가지고 있다. 뿐만 아니라 생사료 공급시 수중으로 유실되는 량 (공급되는 생사료의 약 20-30%)을 고려한다면 엄청난 수질오염원이 되기 때문에, 예를 들면, 10만톤의 어류를 생산하기 위해서 약 40만톤의 생사료를 공급해야 하는데, 이중에서 약 10만톤이 바다로 유실된다고 가정하면 수질오염은 실로 엄청나다고 할 수 있다. 그리고 양식어류에 공급되는 생사료는 식품으로서도 손색이 없는 고급 어류이기 때문에, 이를 고려한다면 식량공급의 측면이나 연안어종의 보호 측면에서 생사료의 사용은 많은 문제점들이 잠재되어 있다. 또한, 양식업자간에 생사료 확보 경쟁으로 인한 생사료 과동, 생사료 보관을 위한 대형 냉동시설, 전기료, 인건비, 사료공급을 위한 노동력 및 시간 등 그 문제점은 이루 헤아릴 수 없는 실정이다.

따라서, 국내에서도 생사료를 대체할 수 있는 완전 배합사료의 개발이 시급하다. 우리나라의 실정에 맞는 경제적인 배합사료 개발에 관한 연구 결과들을 분석, 보완, 개선하여 생사료를 대체할 수 있음을 증명하고, 이를 바탕으로 양식산업 및 사료산업을 활성화시킬 수 있는 기술개발이 필요하다. 이를 위해 본 연구는 국내에서도 해산어용 생사료를 대체할 수 있는 배합사료를 개발하여 현장적용실험을 통해 배합사료의 사용방안을 제시하여 실용화하고자 한다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

해산 어패류 양식에 있어 사료의 비중이 높기 때문에 국내외에서 많은 관심과 연구가 진행되고 있다. 특정어종에 적합한 배합사료를 개발하는 것은 많은 학자들이 수십년간에 걸쳐 계속 연구함과 동시에 기존의 배합사료 품질을 개선하기 위한 연구가 수행되고 있다. 유럽과 같은 선진국에서는 우리나라와 달리 생사료를 거의 사용하지 않기 때문에 생사료 대체에 관한 연구는 수행되고 있지 않지만, 경제적이고 실용적인 저오염 배합사료 개발을 위한 연구는 매우 많이 수행되고 있다. 그들은 주로 담수산 어류를 대상으로 연구를 수행하고 있으며, 최근에 turbot, flounder, platfish, cod, bass 등과 같은 해산어 신종 개발 및 대종어종에 적합한 배합사료 개발을 위한 영양요구에 관한 연구에 많은 투자를 하고 있는 실정이다. 그리고 일본에서는 오래전부터 방어, 참돔 등의 해산 어류에 여러 가지 연구를 수행하고 있으며, 최근에는 넙치에 대해서도 영양연구를 수행하고 있다. 넙치는 국내 주된 해산어종으로 40,000톤 정도가 생산되고 있으며, 일본의 경우 연간 10,000 톤 규모로 생산량이 그다지 높지 않다. 넙치의 영양소 요구에 관한 연구 (Kikuchi et al., 1992; Kikuchi and Takeuchi, 2002), 배합사료 대체 단백질의 개발 (Kikuchi, 1999; Sato and Kikuchi, 1997; Kikuchi and Sakaguchi, 1997)에 관한 연구와 라이신 (Forster and Ogata, 1998), 메치오닌 (Alam et al., 2000) 및 알지닌 (Alam et al., 2002)의 아미노산 요구량에 관한 연구가 일본에서 수행되어 왔으나, 자료가 빈약한 실정이다.

우리나라의 해수어류 양식 생산량은 1980년대 후반부터 매년 꾸준히 증가하였다. 넙치의 경우 1990년 인공종묘 기술의 확립으로 양식이 확대되어 생산량이 지속적으로 증가하여 국내에서 가장 주된 해수 어종이 되었다. 이와 동시에 조피볼락, 돛류, 농어 등 양식 대상 어종이 다양화되었으며, 이 중, 조피볼락은 저온에 강하고, 성장이 참돔보다 빨라, 우리나라의 양식 대상종으로 적합하여 개발 가치가 매우 높다. 조피볼락의 양식 생산량이 매년 급격히 증가되어 해산어 양식 생산량 중 넙치 다음으로 2위를 차지하는 중요한 양식 대상종으로 부각되었다. 그러나 넙치와 조피볼락은 딱딱한 EP (extruded pellet) 사료 공급시 성장률 저하와 소화 장애를 유발한다는 이유로 치어단계의 넙치에만 사용될 뿐 사료의 대부분을 차지하는 육성단계의 어류에는 생어 (raw fish)에 기초한 생사료나 생어에 분말사료를 일정량 혼합한 습사료 (MP: moist pellet)가 대부분 급여되고 있는 실정이다.

국내 해산어류 생산을 위해 소모되는 생사료 40만 톤 이상에 달하며, 대부분의 생사료가 넙치와 조피볼락 생산을 위해 사용되고 있다. 이미 언급하였듯이 생사료 사용은 많은 문제점이 잠재되어 있기 때문에 정부에서는 생사료 사용을 금지시키기 위한 방침을 세워 놓고 배합사료 사용을 장려하고 있다. 하지만 양식어민들이 실용 배합사료 사용을 아직까

지 꺼리고 있는 실정이다. 이러한 이유는 여러 가지가 있겠지만 넙치의 경우 밝혀진 영양소 요구량, 원료 이용성 등 그 연구 결과가 제한적이기 때문에 사료 설계와 제조가 만족스럽지 못한 것에도 그 원인이 있을 것이다. 우리나라에서도 다양한 연구가 수행되어 왔는데, 즉, 조피볼락 배합사료 개발, 어분 대체품 개발, 전복 배합사료 개발, 넙치 저오염 사료 개발에 관한 연구가 수행되었다. 또한 그동안 수행된 연구 결과들을 분석하고, up-grade시키고, 실용화시키기 위한 연구는 매우 중요하나, 현재 그러한 고려가 부족하여 연구 결과 발표 내용이 허공에 머물고 있는 경우도 허다하다. 실제 국내에서는 최근에 조피볼락 배합사료에 관한 연구들이 수행되고 있으나, 사료업계에서 이를 제대로 활용하고 있는지에 대해서는 의문이다.

배합사료개발에 있어 대상어종의 영양소 요구량 설정이 가장 먼저 수행되어야 한다. 그래서 국내외적으로 많은 학자들이 단백질, 아미노산, 지질, 에너지, 지방산, 비타민, 미네랄 등의 영양요구에 관한 연구가 선행되고 있다. 국내에서는 조피볼락을 시작으로 최근에는 넙치, 참돔 등에 영양소 요구량 연구가 수행되고 있다. 넙치의 단백질, 지질, 탄수화물, 지방산, 원료 이용성 등에 관한 연구 (Lee et al., 2000, 2002, 2003; Kim et al., 2000) 결과가 발표되고 있다. 그리고 이러한 연구들을 바탕으로 배합사료 원료의 이용성, 소화율 등의 연구가 수행되었거나 (Lee, 2002; Kim et al., 2000), 진행 중에 있다. 연구된 결과들을 분석하여 대상어종에 적합한 실용 배합사료를 설계하는 것이 실용화 단계에서 매우 중요하나 그에 대한 연구 결과는 매우 부족하다. 그 이유는 실용 formulation은 기업적인 측면에서 품질과 가격에 매우 중요한 요인이므로 거의 발표되지 못하고 있기 때문이기도 하다. 따라서 사료업계에서는 이러한 부분에 연구 투자가 필요하다 하겠다. 그러나 외국이나 축산 사료와는 달리 우리나라의 경우 양어 배합사료에 이에 대한 투자가 매우 부진한 실정이기 때문에 배합사료의 품질이 일정하지 못할 뿐 아니라 품질 저하에도 그 원인이 있다 하겠다.

또한, 실용화 단계에서 중요한 과제중의 하나는 대상 어종에 적합한 사료의 형태나 물성에 관한 것이다. 그러나 이에 대한 연구는 거의 수행되지 못하고 있기 때문에 이에 대한 것이 해결되어야 한다. 최근, 양어가들의 생사료 사용을 줄이고 배합사료 사용을 권장하기 위하여 해양수산부에서는 2004년부터 배합사료 직불제를 시범적으로 실시하고 있으나, 아직도 배합사료에 대한 불신은 해결되지 못한 상태이다. 정부의 이러한 노력을 매우 다행스러운 것으로 판단되며, 현재까지의 연구결과로 보아서는 생사료를 대체할 수 있는 가능성이 확인되었고, 현장 적용을 위한 실용화 등에 대한 과제가 우리 앞에 놓여 있는 상황이다. 이러한 현실에서, 본 사업에서 수행된 연구 내용 및 결과들을 다음 장에서부터 정리하였다.

제 3 장 우리나라의 사료 공급 현황 및 문제점

생사료 및 배합사료 사용의 문제점을 분석하고, 기존의 넙치 및 조피볼락을 대상으로 연구된 결과를 검색하여 어종별 배합사료의 필수영양소 균형을 검토함으로써 본 연구에 사용될 기초적인 표준배합사료를 설계하고자 하였다.

제 1 절 생사료 및 배합사료의 문제점

우리나라의 해산어류 양식 총생산량은 1999년 이후에 10만 톤을 넘어서고 있고, 주로 넙치와 조피볼락 위주로 이루어지고 있다. 현재 시중에서는 해산어용 배합사료가 일부 개발되기 시작하고 있으나, 대부분의 양어가들은 생사료 혹은 생사료와 분말상품사료를 혼합한 moist pellet (MP)을 사용하고 있으며, 양어사료로서 생사료의 사용 비율이 80% 이상으로서 그 사용량은 40만 톤을 넘어서고 있다. 최근에는 총 사용량의 30% 이상의 생사료가 수입되고 있어 국가적으로 큰 문제가 되고 있다. 생사료의 사용은 다음과 같은 여러 가지 문제점이 잠재되어 있다.

- 생사료의 영양성분은 어종, 어체크기, 어획시기 또는 어획 장소 등에 따라 변화가 심하고, 유통, 보관, 사료공급을 위한 준비 중에 지방의 변질이 쉽게 이루어 질 수 있으므로 항상 주의하여야 한다.
- 생사료를 먹이로 공급하기 위해 생사료를 절단하거나 분말사료와 혼합하여 pellet으로 성형 중에 분쇄하기 때문에 먹이 투여시 부스러기와 수용성 영양소들이 물고기가 먹기 전에 물속으로 풀어지거나 용출되기 쉽다.
- 생사료로 사용되는 연안성 어류의 어획량은 해마다 달라질 뿐 아니라, 최근에는 연안 자원이 고갈되고 있다. 또한, 생사료 확보 경쟁으로 인한 생사료 파동 및 생사료 수입이 급증되고 있다.
- 별도의 전처리나 열처리가 없기 때문에 외부의 각종 질병을 전달시킬 수 있는 매개체가 될 수 있다.
- 원료 원가 상승으로 인한 경제적 손실 등을 초래한다. 뿐만 아니라 생사료의 냉동 보관, 유통 및 준비하는데 소요되는 노동력이나 시간의 낭비로 인한 많은 불이익이 초래되고 있다. 이는 국가적으로 외화 낭비일 뿐 아니라, 국제 경쟁력에도 큰 손실이 되는 요인이다.
- 생사료 사용으로 인해 배합사료 연구에 막대한 자금을 투자하여 도출한 연구결과들을

활용할 수 없게 된다.

- 배합사료를 사용하지 않음으로 해서 사료업계에서는 사료의 질적 향상을 위한 노력 부진, 투자저하로 양어사료산업 발전이 저해되고 있다.
- 차후 이루어질 수밖에 없는 양식의 자동화에는 표준 배합사료와 공급 체계가 필요한데, 생사료의 사용은 자동사료공급체계에 걸림돌이 된다. 최근에 연구되고 있는 넙치 순환여과 사육 장치에는 필수적으로 고품질의 배합사료가 사용되어야 한다는 점을 고려하여도 이에 맞는 배합사료의 사용은 절실하다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 생사료를 대신할 수 있는 적정 배합 사료를 개발하여 이용하는 것이 절실하다. 이러한 문제점에도 불구하고 왜 생사료에서 배합사료로 전환이 안 되는가를 진단하여 보면,

- 아직까지는 생사료 사용에 대한 정부의 규제나 정책적인 제도가 마련되지 않아 연안 잡어로 생사료를 쉽게 충당할 수 있고, 또는 저품질의 생사료를 수입할 수 있기 때문에 생사료를 사용하고 있다. 저품질의 생사료의 가격이 그리 비싸지 않기 때문에 생사료 사용으로도 양식어류 판매에 이익이 남았기 때문으로 판단되며, 반면에 양질의 생사료는 가격이 상승하는 경향을 보인다. 이로 인해 저품질의 산패된 생사료 사용으로 인한 질병 발생의 문제 또한 심각한 실정이다.
- 양식장 배출수 또는 양식장 주위의 수질오염 규제가 미비하였다. 위에서 언급하였듯이 생사료의 사용으로 인한 수질오염의 증가는 배합사료보다 훨씬 높음에도 불구하고 이에 대한 규제가 없었기 때문에 생사료의 사용이 가능하였다고 하여도 과언이 아니다. 따라서 해산어 양식장 배출수에 오염을 줄일수 있는 저오염 배합 사료를 개발하고, 표준 배합사료에 적합한 사료공급체계를 설정하여, 이러한 자료들을 지표로 양어장 배출수의 오염도 규제 지침 등의 설정이 필요할 것으로 보인다.
- 현재 시판되고 있는 배합사료의 품질이 생사료를 대체할 수 있을 만큼의 품질을 가지는가 하는 문제이다. 또한, 배합사료의 가격이 적절한가 하는 문제를 해결하여야 할 것이다. 이러한 문제는 사료 영양 연구를 통해 품질을 향상시키고, 경제적인 사료 개발 연구를 통해 가격을 적절히 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

고품질의 배합사료가 개발되었다 하더라도 양어가들의 생사료 선호 의식으로 인해 배합사료의 사용을 기피하는 경향이 있다. 이러한 문제는 생사료를 대체할 수 있는 배합사료를 개발하여 증명하고 홍보함으로써 해결될 수 있을 것으로 판단된다.

제 2 절 넙치 및 조피볼락의 사료 영양 연구 결과 검색

대상어종에 대해 연구된 기존의 결과를 분석하는 것은 배합사료 설계에 매우 중요하다. 기존의 어종별 연구 결과를 개선하고, 진행 중인 연구 결과들을 참고로 어종별 배합사료의 필수영양소 균형을 검토하여 표준 배합사료, 고효율배합사료 및 경제적인 환경친화적인 배합사료 설계에 적용하였다. 조피볼락과 넙치를 대상으로, 본 사업에서 수행된 연구를 일부 포함하여, 논문으로 발표된 주요 자료를 살펴보면 다음과 같다.

<조피볼락의 경우>

단백질 요구량: Lee, J.Y., Y.J. Kang, S.-M. Lee and I.B. Kim, 1993. Protein requirements of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. J. Aquaculture, 6(1), 13-27.

단백질 에너지 비: Lee, J.Y., Y.J. Kang, S.-M. Lee and I.B. Kim, 1993. Optimum digestible energy to protein ratio in diets for the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. J. Aquaculture, 6(1), 29-46.

지질의 이용성: Lee, S.-M. 1997. Effects of dietary lipid source and water temperature on nutrient digestibilities in juvenile and adult Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Kor. J. Anim. Nutr. Feed. 21, 381-390. Lee, S.-M., J.Y. Lee and I.G. Jeon. 2000. Dietary squid liver oil and soybean oil ratio on growth and body composition of Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Aquacult., 13 (3), 207-213.

필수지방산 요구: n-3HUFA 요구, EPA 및 DHA 영양, 수온의 영향 등: Lee, S.-M., J.Y. Lee, Y.J. Kang and S.B. Hur, 1993. Effects of n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and biochemical changes in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* I. growth and body composition. J. Aquaculture, 6(2), 89-105. Lee, S.-M., J.Y. Lee, Y.J. Kang and S.B. Hur, 1993. Effects of n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and biochemical changes in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* II. changes of blood chemistry and properties of liver cells. J. Aquaculture, 6(2), 107-123. Lee, S.-M., and S.B. Hur, 1993. Effects of n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and biochemical changes in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* III. changes of body composition with starvation. J. Aquaculture, 6(3), 199-211. Lee, S.-M., J.Y. Lee, Y.J. Kang, H.D. Yoon and S.B. Hur, 1993. n-3 highly unsaturated fatty acid requirement of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. J. Korean Fish. Soc. 26(5), 477-492. Lee, S.-M., J.Y. Lee and Y.J. Kang. 1993. Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids and water temperatures on growth and body composition of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev.

- Agency, Korea, 48, 107~124. Lee, S.-M., 1994. Effects of dietary beef tallow, soybean oil and squid liver oil on growth and body composition of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*, and biochemical changes with starvation. J. Aquaculture, 7(1), 63-76. Lee, S.-M., J.Y. Lee and S.B. Hur. 1994. Essentiality of dietary eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in Korean Rockfish, *Sebastes schlegeli*. J. Korean Fish. Soc. 27, 721-726. Lee, S.-M., J.Y. Lee and Y.J. Kang 1994. Influences of dietary lipids on chemical compositions of adult Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency 49, 81-89. Lee, S.-M. 2001. Review of the lipid and essential fatty acid requirements of rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture Research, 32 (Suppl. 1), 8-17.
- 탄수화물 이용성: 탄수화물 종류, 요구량, cellulose 함량: Lee, S.-M., and J.Y. Lee 1994. Effects of dietary α -cellulose levels on the growth, feed efficiency and body composition in Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. J. Aquaculture, 7(2), 97-107.
- 비타민 요구량: 비타민 E 및 C 요구량: Bai, S.C., Lee, K.J., 1998. Different levels of dietary DL- α -tocopheryl acetate affect the vitamin E status of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. Aquaculture 161, 405-414. Lee, S.-M. and S.-M. Kim. 1996. Evaluation of supplemental vitamin premix in a test diet containing fish meal as protein source for juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Aquaculture, 9, 159-166.
- 미네랄 영양: 각 미네랄의 필수성, 인 요구량, 어분 함량에 따른 첨가 여부: Park S.R, S.-M. Lee, G.S. Jeong and Y.J. Chang. 1997. Effects of supplemental phosphorus and iron in the fish meal diets on growth in juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Aquaculture, 10, 255-260. Lee, S.-M. and S.R. Park. 1998. Influence of P, Ca, Zn, Mg, Fe, K, Mn, or Se in the dietary mineral premix on growth and body composition of Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Korean Fish. Soc., 31(2), 245-251. Lee, S.-M., S.R. Park, T.J. Kim, J.I. Myeong and Y.J. Chang. 1998. Effects of deletion of P, Ca, Zn, Mg, Fe, K, Mn, or Se from mineral premix in the diets containing 40% fish meal on growth performance of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Korean Fish. Soc., 31(2), 252-258. Lee, S.-M., S.R. Park and J.D. Kim. 1998. Dietary optimum phosphorus level of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Fisheries Science & Technology, 1(2), 180-186.
- 동식물성 원료의 이용성: 어분, 육분, 육골분, 우모분 등의 이용성, 대두박, 콩글루텐밀, 면실박, 채종박의 이용성: Lee, S.-M., J.H. Yoo and J.Y. Lee. 1996. The use of soybean meal, corn gluten meal, meat meal, meat and bone meal, or blood meal as a dietary protein source replacing fish meal in Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Kor. J. Anim. Nutr. Feed., 20, 21~30. Lee, S.-M., I.G. Jeon and J.Y. Lee. 1996. Comparison of various

- fish meals as dietary protein sources for Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Korean Fish. Soc., 29, 135~142. Lee, S.-M. and J. H. Yoo. 1996. Evaluation of cotton seed meal or rapeseed meal as a partial substitute for fish meal in formulated diets for Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Kor. J. Anim. Nutr. Feed., 20, 128-135. Lee, S.-M. and I.G. Jeon 1996. Evaluation of soybean meal as a partial substitute for fish meal in formulated diets for Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Korean Fish. Soc., 29, 586-594.
- 가공부산물 이용성: Kang Y.J., J.Y. Lee, S.-M. Lee and S.B. Hur. 1992. Availability of fish processing by-products substituted for frozen round fish in moist pellet diets for flounder, *Paralichthy olivaceus*. J. Aquaculture, 5, 127-142.
- 원료의 혼합첨가 효과: Lee, S.-M., I.G. Jeon, J.Y. Lee, S.R. Park, Y.J. Kang and K.S. Jeong. 1996. Substitution of plant and animal proteins for fish meal in the growing Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) feeds. J. Korean Fish. Soc., 29, 651-662. Lee, S.-M. and J.Y. Lee. 1996. Substitution of plant and animal proteins for fish meal in the practical formulated feeds for juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Kor. J. Anim. Nutr. Feed. 20, 409-418.
- 배합사료 효과: Lee, S.-M., J.Y. Lee and I.G. Jeon. 1995. Effects of a practical Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) diet; comparison with raw fish and moist pellet diet. J. Aquaculture, 8, 261~269. Lee, S.-M. and I.G. Jeon. 1996. Evaluation of dry pellet on growth of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) by comparing with moist pellet and raw fish-based moist pellet. J. Aquaculture, 9, 247-254. Lee, S.-M., I.G. Jeon, C.K. Lee, C.W. Im, T.J. Kim and J.G. Min. 1996. Evaluation of economical feed formulations for Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Aquaculture, 9, 255-264. Lee, S.-M. and I.G. Jeon. 1996. Evaluation of experimental formulated diets and commercial diets for growing Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Aquaculture, 9, 377-384.
- 사료 물성에 따른 성장효과: Lee, S.-M., I.G. Jeon and K.S. Kim. 1997. Effects of extruded-floating, slow-sinking, fast-sinking or moist pellet diets on the growth and body composition in Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Aquaculture, 10(2), 163-169.
- 사료공급횟수 및 급여율 등: Lee, S.-M., S.H. Kim, I.G. Jeon, S.-M. Kim and Y.J. Chang. 1996. Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and body composition of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Aquaculture, 9, 385-394. Lee, S.-M. 1997. Effects of feeding rates on growth, feed efficiency and body composition of the juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Kor. J. Anim. Nutr. Feed. 21, 327-334. Lee, S.-M., U.K. Hwang and S.H. Cho. 2000. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish

(*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, 187, 399-409.

<넙치의 경우>

단백질 요구량: Lee, S.-M., C.S. Park and I.C. Bang. 2002. Dietary protein requirement of young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. *Fisheries Science*, 68, 158-164.

단백질 및 지질의 이용성: Lee, S.-M., S.H. Cho and K.D. Kim. 2000. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 31(3), 306-315. Kim, K.-D., K.-M. Kim, Y.J. Kang and S.-M. Lee. 2005. Influence of lipid level and supplemental lecithin in diet on growth, feed utilization and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*) in suboptimal water temperatures. *Aquaculture*, In Press,

에너지 함량에 따른 공급횟수: Lee, S.-M., S.H. Cho and D.J. Kim. 2000. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel). *Aquaculture Research*, 31, 917-921.

탄수화물 이용성: Lee, S.-M. and J.H. Lee. 2004. Effect of dietary glucose, dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. *Fisheries Science*, 70 (1), 53-58.

필수지방산 요구: Kim, K.-D., S.-M. Lee, H.G. Park, S. Bai and Y.-H. Lee. 2002. Essentiality of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33(4), 432-440.

동물성 및 식물성원료의 이용성: 육분, 육골분, 대두박, 우모분 이용성: Kim, Y.S, B.S. Kim, T.S. Moon and S.-M. Lee. 2000. Utilization of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in the diet of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J. Korean Fish. Soc.*, 33 (5), 469-474. Kim, S.M., S.-M. Lee, B.-D. Yoon. 2003. Effect of fermented food garbage in diet on growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J. Fish. Sci. Tech.*, 6, 45-50. Lee, S.-M., K.-D. Kim, H.-S. Jang, Y. Lee, J.K. Lee and J.H. Lee. 2003. Effect of soybean-curd residues in the formulated diet on growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J. Korean Fish. Soc.*, 36(6), 596-600. Kikuchi, K. 1999. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 179, 3-11. Sato, T. and K. Kikuchi. 1997. Meat meal as a protein source in the diet of Japanese flounder. *Fish. Sci.*, 63, 877-880. Yamamoto, T., T. Unuma and T. Akiyama. 1998. Apparent

availabilities of amino acids from several protein sources for fingerling Japanese flounder. Bull. Nat'l. Res. Inst. Aquacult., 27, 27-35.

첨가제 및 점결제 이용성: Kim D.S., J.H. Kim, C.H. Jeong, S.-M. Lee and Y.B. Moon. 1996. Effects of dietary herbs on growth and body composition in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquaculture, 9, 461-465.

사료 공급: Cho, S.H., S.-M. Lee, B.H. Park and S.-M. Lee. 2005. Effect of feeding ratio on growth and body composition of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed extruded pellets during the summer season. Aquaculture, In Press,

위의 연구 결과들을 참고로 해산어용 실용 EP 사료 개발에 필요한 자료를 축적하면서, 필요한 보충 연구를 수행하였다.

제 4 장 표준 배합사료 설계를 위한 영양소 요구 및 균형

기존의 연구결과와 진행 중인 연구 내용 등을 고려하여 표준 배합사료 설계를 위해 보충하여 수행된 연구들은 다음과 같다.

제 1 절 사료 원료 및 생체의 영양화학성분 분석

배합사료 원료를 각각 구입하여, 필요에 따라 가공하고, 원료별로 영양성분을 자체 분석 또는 의뢰하여 분석하였다. 북양어분 (개척호), 북양어분 (남북호), 북양어분 (신라호), 알래스카 명태어분, 청어어분 (러시아), 갈색어분 (파나마), 청어어분 (칠레), 고등어어분 (칠레) 등의 각종 어분들을 구입하여 사용하였다. 또한, 대두박 (탈지, 탈피), 육분, 육골분, 콘글루텐밀, 소맥분, 가공분산물 등의 동식물성 부산물 들을 구입하여 일정한 size로 분쇄하고 체로 걸러 사용하였다. 한약제, 생약제, 약썩, 삼지구엽, 미역분말, 고추냉이 부산물, 효모, 유산균, 키토산 등의 각종 첨가제 들을 구입하여 필요에 따라 추출액을 사용하거나 분쇄하여 사용하였다. Squid liver oil, fish oil, soybean oil, linseed oil, corn oil 등의 각종 유지류를 사용시마다 구입하여 냉장 보관하였다. 각종 생사료 및 상품사료 등을 필요시 마다 구입하여 사용하였다.

위의 각 원료들을 가공, 분쇄 또는 추출하여 수분, 단백질, 아미노산, 지질, 지방산, 회분, 인, 열량, 섬유질, 비타민류, 과산화물가, 색소 등을 (각 연구 항목에 표시 함) 분석하여 사료 설계시에 적용하였다. 각 사육 실험 전후에 생체의 무게, 화학성분, 면역능, 조직 분석, 혈액성분 등을 (각 연구 항목에 표시 함) 분석 하여, 사료 효능을 분석하였다.

제 2 절 넙치 사료 내 비타민 E 결핍 및 공급시 비타민 C 요구량

1. 서론

In vitro 연구에서 비타민C의 토코페놀로부터 수소원자를 얻어서 비타민E의 재생이 특 징화 되었다 (Mukai et al., 1991; Packer et al., 1979). 그러나 이러한 vitro 상태에서 비타 민들의 자연에서 상호작용은 여전히 논쟁이 되고 있다 (Burton et al., 1990). 이러한 비타 민 C와 E의 상호작용은 육상동물의 영양연구에서 다양한 수준으로 연구되고 조사되었지 만 (Chen, 1981; Chen and Thacker, 1987; Chen et al., 1980; Ginter et al., 1984; Hrubá et al., 1982; Igarashi et al., 1991, Tanaka et al., 1997), 어류에 있어서는 부족한 실정이다 (Shiau and Hsu, 2001).

넙치에 있어 비타민 C 요구량은 평가되었지만 (Wang et al., 2002), 사료내 비타민 C의 수준이 비타민 E의 수준에 영향을 받는지에 관한 연구는 아직 이루어지지 않았다. 따라 서 본 실험에서는 넙치를 대상으로 비타민 E 결핍 및 공급시의 비타민 C 요구량을 조사 하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험에 사용된 반정제 기초 사료의 성분은 Table 1에 표시한 바와 같다. 10개의 실험 사료는 반정제 기본사료에 비타민 E를 0과 200 mg/kg diet (dl-tocopheryl acetate, TA) 첨가 한 후, 각 사료에 비타민 C를 0, 100, 300, 1000, 3000 mg/kg diet (L-ascorbic acid, AA) 첨 가하여 E0C0, E0C100, E0C300, E0C1000, E0C3000, E200C0, E200C100, E200C300, E200C1000, E200C3000 총 10개의 실험사료를 제조하였다. 실험사료별로 비타민 C와 E의 첨가량에 따른 함량 차이는 cellulose로 조절하였다. 기초 실험사료의 단백질원으로 카제 인과 젤라틴이 사용 되었다. 그리고 사료섭취율을 높이기 위해 에탄올(75-80 °C, 1:2, w/v) 로 4시간 동안 지질을 추출하여 지질을 제거한 탈지어분을 (Kosutarak et al., 1995) 첨가하 였다. 실험사료의 단백질 함량은 50%, 에너지는 16.7 kJ energy/g 기본으로 구성하였다 (Garling & Wilson, 1976; NRC 1993). 모든 원료는 혼합하여 실험실의 펠렛기를 이용하여 열처리 없이 2mm 다이를 이용하여 펠렛을 형성 하였다 (Baokyong Commercial Co., Pusan, Korea). 가공 후 모든 실험사료는 -80 °C 보관하였다.

Table 1. Composition of the experimental basal diet.

Ingredients	Vitamin E 0 mg	Vitamin E 200 mg
Casein ¹	28.00	28.00
Fish meal (defatted) ²	24.00	24.00
Gelatin ¹	5.90	5.90
Dextrin ¹	27.86	27.86
EPA + DHA (60%) ³	2.00	2.00
Corn oil (tocopherol stripped) ¹	3.70	3.70
Vitamin premix (vitamin C&E free) ⁴	3.00	3.00
Mineral premix ⁵	3.00	3.00
Attractant	1.60	1.60
Cellulose ¹	0.94	0.86
DL- α -tocopheryl acetate ^{1,6}	0	0.08

¹ United States Biochemical, Cleveland, Ohio 44122.

² White fish meal (WFM) , Kum Sung Feed Co., Pusan, Korea.

³ E-Wha oil Co., Ltd., Pusan, Korea.

⁴ Contains (as g/100g premix): dl-calcium pantothenate, 0.5; choline bitartrate, 10.2; inositol, 0.5; menadione, 0.02; niacin, 0.5; pyridoxine-HCl, 0.05; riboflavin, 0.1; thiamine mononitrate, 0.05; retinyl acetate, 0.02; biotin, 0.005; folic acid, 0.018; B₁₂, 0.0002; cholecalciferol, 0.008; alph-cellulose, 88.03.

⁵ Contains (as mg/kg diet): Al, 1.2; Ca, 5000; Cl, 100; Cu, 5.1; Co, 9.9; Na, 1280; Mg, 520; P, 5000; K, 4300; Zn, 27; Fe, 40.2; I, 4.6; Se, 0.2; Mn, 9.1.

⁶ DL- α -tocopheryl acetate: 250 IU/g, L-ascorbyl-2-monophosphate was used as dietary vitamin C source, 35% ascorbic acid activity (Hoffman La Roche, Swiss).

실험어 및 사육관리

넙치 치어를 국립수산물과학원 제주 종묘 생산장에서 가져왔다. 사육 실험을 시작하기 전 체내에 합성된 비타민 C와 E를 감소시키기 위해 비타민 C, E가 결핍된 반정제 기초 사료를 2주간 공급하였다. 실험기간동안 160 L 각 실험수조는 유수식으로 유수량은 실험 기간 동안 1.5 L/min로 여과해수를 사용하였으며, 각 실험수조에 산소 공급을 하였다. 실험기간동안 평균 수온은 17±1℃로 전 실험기간동안 자연수온에 의존하였다. 평균무게 4.81 ± 0.06 g (mean ± SD) 넙치 치어를 수조에 20마리씩을 수용하여 각 실험사료구당 3

반복으로 무작위 배치하였으며 일일 사료공급량은 어체중의 2~3% (건물 기준)정도 공급하였으며, 실험기간은 12주였다. 실험사료구당 전체무게는 3주마다 측정하였으며 일일사료섭취율은 매일 기록 하였다.

시료채취 및 성분분석

실험종류 후, 모든 실험구의 무게와 마리수를 측정 하였으며 성장률, 사료효율, 간중량 지수, 비만도 및 생존율을 조사하였다. hepatin 처리가 된 일회용 주사기를 사용하여 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈 하였다. 실험어를 5마리씩 무작위 추출하여 micro-hematocrit 방법(Brown, 1980)에 의해 헤마토크리트를 측정하고, 동시에 Drabkin's 용액을 사용하여 cyan-methemoglobin 방법으로 헤모글로빈을 측정하였다. Human blood(Sigma Chemical, St. Louis MO)을 헤모글로빈 스태다드로 준비하여 사용하였다. 전어체 분석은 AOAC(1995)방법에 따라 수분은 상압가열건조법, 조단백질은 kjeldahl 질소정량법(N×6.25), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결 건조 후, soxtec system 1046(Tactor AB, sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다.

조직내 총 ascorbic acid (AA) 분석

사료내 AMP 첨가와 ascorbic acid 함량은 L-ascorbyl-2-monophosphate (AMP)의 농도를 분석한 후에 HPLC(AMP was produced by Hoffman La Roche, containing 35% ascorbic acid activity)를 이용하여 측정하였다. 어류(수조당 5마리)의 근육과 간 내 총 비타민 C 농도는 UV detector 이용하여 HPLC (Sykno, German)로 측정하였다. 분석에 사용된 모든 화합물은 가장 좋은 질만을 사용하였다. All compounds used in analyses were of the highest quality available. Fluka (Milwaukee, IL)에서 비타민 C n-dodecyltrimethylammonium chloride, tetraocylammonium bromide, dithiothreitol를 구입하였고 Merck (Damstadt, Germany)에서 ortho-meta-phosphoric acid (MPA), sodium acetate, sodium dihydrogen phosphate, citric acid, disodium-EDTA, methanol을 구입하였다. Tris [2-carboxyethyl] phosphine hydrochloride 는 Pierce (Rockford, IL)에서 구입 하였다. 원심분리된 항응고 처리된 혈액 샘플을 혈장만을 분리하여 2mM EDYA를 함유한 10% MPA를 똑같은 부피로 혼합하였다. 샘플은 원심분리 (16,000g, 2 min)를 하여 침전시켰으며 분석할 때 까지 -80℃에서 보관하였다. 미리 무게를 측정한 조직 샘플은 2 mM EDTA를 함유한 10% 냉각 MPA에 균질화하여 위와 같이 처리하였다.

분석할 때 MPA 처리된 샘플은 얼음위에서 서서히 녹였으며 샘플을 농축 한 후에 총 비타민 C를 측정 하였다. 그 농축은 pH 4.5, 0.312 mM TCEP (0.25mM final concentration, incubating 90 minutes at 20℃)를 함유한 400 μ l에 MPA 처리된 시료들의 상층액중 100 μ l을 첨가하여 수행하였다. 샘플들은 Luna C₁₈ column (particle size, 3 μ m; 150 × 4.6 mm

i.d., Phenomenex, Torrance, CA)을 이용한 HPLC로 0.40 ml/min 동안 측정하였다. 이동상은 Levine et al. (1999)에 따라 사용하였다. 1.0 L에 13.8g의 sodium dihydrogen phosphate monohydrate (100 mM), 13.6 g sodium acetate monohydrate (100 mM), 372 mg disodium-EDTA (1.0 mM) 함유된 것과 methanol 250ml에 20 mg tetraethylammonium bromide (36.6 μ M) 용해시키고 750ml 물에 50 mg n-dodecyltrimethylammonium chloride (0.189 mM) 혼합하여 ortho-phosphoric acid로 PH를 보정하였다. 이동상은 사용하기 전에 진공상태에서 0.22 μ m로 여과하였다.

통계분석

모든 자료의 통계처리는 Computer program statistix 3.1(Analytical software, St. Paul MN, USA)로 분산분석(ANOVA test)을 실시하여 최소유의차검정(Least Significant Difference, LSD)으로 평균간의 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다. 그리고 성장률을 지표로 broken-line method (Robbins, 1986)을 이용하여 측정하였다(SAS procedure NLIN, 1985).

3. 결과 및 고찰

12주간 사육실험 후의 성장결과를 Table 2와 Figs. 1-3에 표시하였다. 성장률에 있어 E_0C_{3000} 실험구는 E_0C_0 , E_0C_{100} 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 하지만 E_0C_{300} , E_0C_{1000} , and E_0C_{3000} 실험구에서는 유의적으로 차이가 나타나지 않았다($P < 0.05$). 200 mg α -tocopheryl acetate를 첨가한 비타민 E 실험구에서 성장률은 $E_{200}C_{100}$, $E_{200}C_{300}$, $E_{200}C_{1000}$ and $E_{200}C_{3000}$ 실험구가 $E_{200}C_0$ 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다. 하지만, 비타민 $E_{200}C_{100}$, $E_{200}C_{300}$, $E_{200}C_{1000}$, $E_{200}C_{3000}$ 실험구들 간에는 유의적으로 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$). 성장률의 분산분석은 Duncan test와 최소유의차검정(LSD)을 실시하고 비타민 C 수준 300, 1000, 3000 mg 실험구가 비타민 C 수준 0, 100 mg 실험구에 비해서 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 그리고 비타민 수준 300, 1000, 3000 mg 실험구는 유의적으로 차이가 나타나지 않았다(Table 3). 그러나 Tukey test 를 사용한 분산분석에서는 비타민 수준 3000 mg 실험구가 비타민 수준 0, 100 mg 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다. 하지만, 비타민수준 100, 300, 1000 mg 실험구들 간에는 유의적으로 차이가 나타나지 않았다. 넓치에 있어 비타민 C와 E의 결핍 증상은 본 실험에서 확실히 증명되었다. 성장률에 있어서 비타민 E와 C가 결핍 되었을 시 비타민 E를 공급 했을 때 성장률이 증가 하였다. 넓치에 있어 사료내 비타민 C, E 비타민 C와 E의 상호작용에 따라 성장률에 유의적인 차이가 있었다.

일반적으로, 사료효율은 성장률과 유사한 경향을 나타내었다. 사료효율은 비타민 C 수준 (100, 300, 1000, 3000mg L-ascorbic acid/kg diet) 모두에서 비타민 E 두 수준의 비타

민 C가 결핍된 실험구 보다 유의적으로 높게 나타났다. 생존율은 사료효율과 유사한 경향을 보였으며 비타민 C와 E의 유의적으로 영향을 받았다. 비타민 C에 E가 결핍된 실험구에서는 비타민 E의 두 수준 모두보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 넙치에 있어 비타민 C, E가 생존율에도 영향을 주는 것을 본 실험에서 볼 수 있다. 생존율은 비타민 C가 결핍 시 비타민 E 공급과 함께 증가 하였다. 본 실험에서 비타민 C가 결핍된 실험구에서 높은 폐사율을 볼 수 있는데 Gouillou-Coustans et al. (1990)의하면 터봇의 비타민 C 결핍에 의한 높은 폐사율은 티로신 물질대사 저해로 인한 신장 결석으로 높은 폐사율을 일으킨다.

비타민 C와 E의 상호작용은 틸라피아에서도 보고되었다(Shiau and Hsu, 2001). 이 연구에서는 높은 수준의 ascorbate가 틸라피아의 비타민 E를 절약 할 수 있고 AA와 L-ascorbyl-2-monophosphate-Mg 도 역시 같은 절약 효과를 보여 주었다. 비타민 C와 E의 상호작용은 본 연구에서도 관찰 할 수 있었다. 성장율, 사료효율, 생존율은 비타민 E 200 mg 실험구가 비타민 E가 결핍된 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다. 그러나 Gatlin et al. (1986)는 샤넬 메기에 있어 비타민 C가 비타민 E의 절약 효과가 없다고 보고 하였다. 그것은 아마 Gatlin et al.의 연구에서는 60 mg/kg diet의 비타민 C가 사용되었기 때문일 것이다. 샤넬메기의 비타민C 요구량은 50mg / kg 이라고 보고 된 바 있다 (Andrew and Murai, 1975). Shiau and Hsu (2001)는 비타민 C 공급 수준이 증가 할 때 절약 효과를 연구 하였다.

사료에 의하여 비타민 C가 공급될 때의 효과만큼이나, 비타민 C로부터 유도되는 인산염이 아래와 같은 어종에 의해 결정되었다. Channel catfish (Wilson et al., 1989; El Nagggar and Lovell, 1991a, b); tilapia (Soliman et al., 1986; Shiau and Hsu, 1995); rainbow trout (Miyasaki et al., 1992; Cho and Cowey, 1993; Matusiewicz et al., 1995); Japanese yellowtail, *Seriola quinqueradiata* T. & S. (Kanazawa et al., 1992). 또한 본 실험에서 넙치의 비타민C의 활성을 AMP로 보여 주었다. AMP를 공급한 실험구에서 성장률은 AA 결핍증상이 없을 때 유의적으로 증가하였다. Matusiewicz and Dabrowski (1995)는 무지개 송어 장의 알칼리 인산염의 활동으로 인산염 유도 비타민 C가 가수분해 된다고 보고 하였다.

실험 시작 8주 후 비타민 C가 결핍된 실험구에서는 성장저하, 흑화현상, 식욕부진, 아가미 기형, 폐사율과 같은 비탄민 C 결핍증상이 나타났다. 이러한 결핍 증상은 연어(Lall et al., 1990; Dabrowski et al., 1996), ictalurids (Wilson and Poe, 1973; Miyasaki et al., 1985), 잉어류 (Dabrowski et al., 1988), cichlids (Soliman et al., 1986; Shiau and Hsu, 1995), scophthalmids (Gouillou-Coustans et al., 1990) 및 조피볼락(Lee et al., 1998) 등 여러 어종에서 비타민 C 결핍사료 공급을 통하여 보고되었다.

Table 2. Percent weight gain (%), feed efficiency (FE), and survival of flounder fed diets varying in dietary vitamin C and E for 12 weeks¹

Diet no.	Dietary vitamin C (mg/kg diet)	WG (%) ²	FE ³	Survival (%)
Vitamin E 0 mg/kg diet				
E ₀ C ₀	0	312.7 ^c	52.3 ^b	36.7 ^b
E ₀ C ₁₀₀	100	457.1 ^b	70.6 ^a	93.3 ^a
E ₀ C ₃₀₀	300	483.4 ^{ab}	72.8 ^a	91.7 ^a
E ₀ C ₁₀₀₀	1000	482.7 ^{ab}	72.8 ^a	91.7 ^a
E ₀ C ₃₀₀₀	3000	491.8 ^a	73.0 ^a	90.0 ^a
Pooled SEM		18.4	2.3	6.1
Vitamin E 200 mg/kg diet				
E ₂₀₀ C ₀	0	396.6 ^x	62.2 ^x	75.0 ^x
E ₂₀₀ C ₁₀₀	10	471.2 ^y	72.6 ^y	90.0 ^y
E ₂₀₀ C ₃₀₀	300	491.0 ^y	73.6 ^y	93.3 ^y
E ₂₀₀ C ₁₀₀₀	300	481.7 ^y	73.2 ^y	93.3 ^y
E ₂₀₀ C ₃₀₀₀	3000	488.5 ^y	73.6 ^y	95.0 ^y
Pooled SEM		10.8	1.3	2.2
<i>Analysis of variance</i>				
Vitamin C		0.0001	0.0001	0.0001
Vitamin E		0.0007	0.0145	0.0005
Vitamin C × E		0.0001	0.0355	0.0001

¹ Values are means from triplicate groups of fish where the means in each column with different superscript are significantly different (P<0.05).

² Weight gain % : (final weight-initial weight) × 100 / initial weight.

³ Feed efficiency % : increase in biomass of fish (g) × 100 / dry feed intake (g).

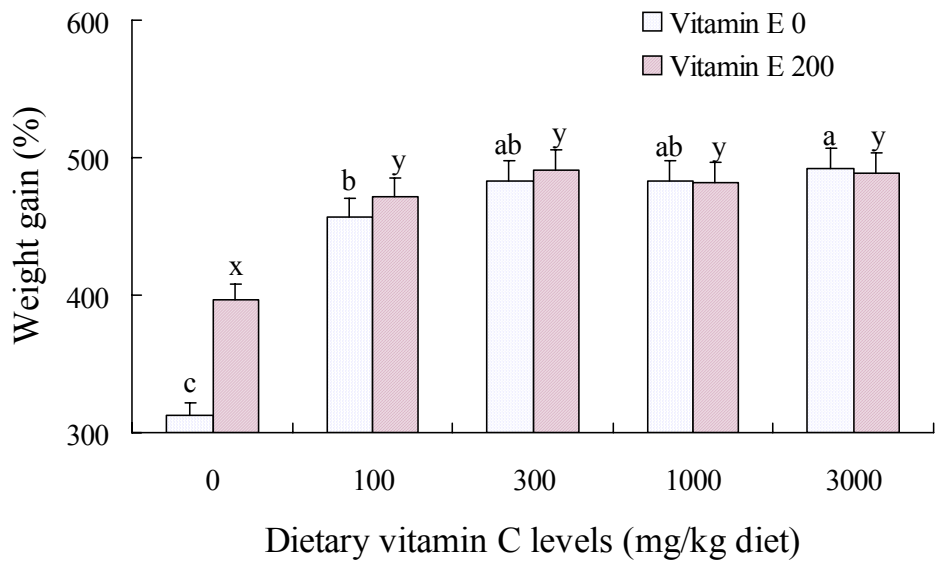


Fig. 1. Weight gain (%) of flounder fed different levels of vitamin C and vitamin E for 12 weeks. Values are means from triplicate groups where bars different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

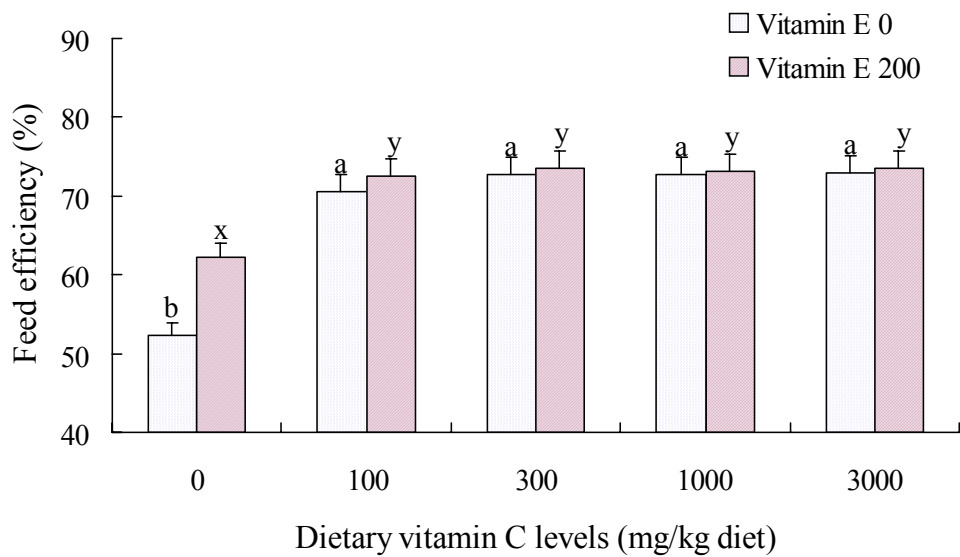


Fig. 2. Feed efficiency (%) of flounder fed different levels of vitamin C and vitamin E for 12 weeks. Values are means from triplicate groups where bars with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

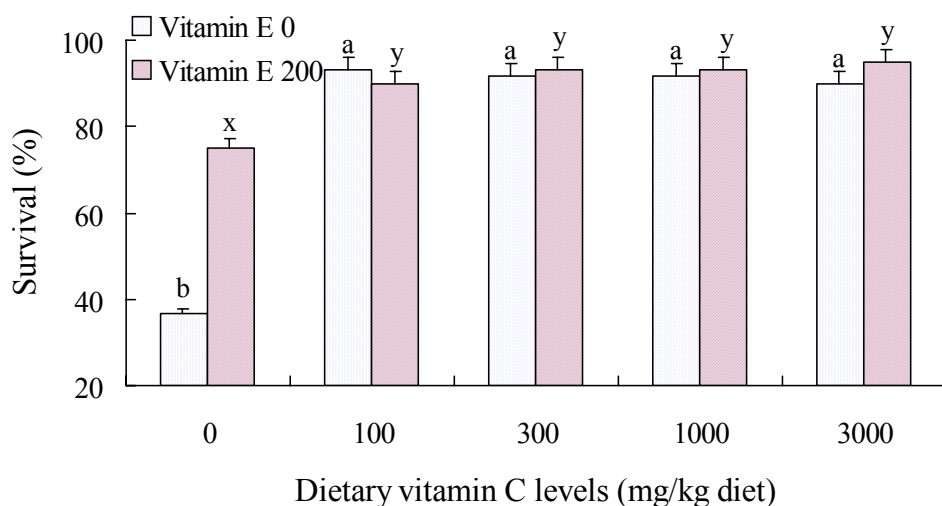


Fig. 3. Survival (%) of flounder fed different levels of vitamin C and vitamin E for 12 weeks. Values are means from triplicate groups where bars with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

Table 3. Analysis of variance by different tests in pooled percent weight gain (%) in flounder fed diets varying in dietary vitamin C and E for 12 weeks¹

Dietary vitamin C	WG (%)		
	T test (LSD)	Duncan	Tukey
0	354.6 ^c	354.6 ^c	354.6 ^c
100	464.1 ^b	464.1 ^b	464.1 ^b
300	487.2 ^a	487.2 ^a	487.2 ^{ab}
1000	482.2 ^a	482.2 ^a	482.2 ^{ab}
3000	490.1 ^a	490.1 ^a	490.1 ^a

¹ Values are means from triplicate groups of fish where the means in each column with different superscript are significantly different ($P < 0.05$).

비만도에 있어서는 비타민 C 수준 00, 300, 1000, 3000 mg과 비타민 E 수준에서 유의적으로 차이가 나타나지 않았다(Table 4). 비타민 C가 결핍된 실험구에서 비만도는 비타민 E 두 수준과 비타민 C를 함유한 실험보다 유의적으로 낮게 나타났다. 헤마토크리트, 헤모글로빈 함량은 비만도와 유사한 경향이였다(Table 4).

Table 4. Condition factor (CF), hematocrit, and hemoglobin of flounder fed diets varying in vitamins C and E for 12 weeks¹

Diet no.	Dietary vitamin C (mg/kg diet)	CF	PCV	Hb
Vitamin E 0 mg/kg diet				
E ₀ C ₀	0	0.83 ^b	15.8 ^b	3.89 ^c
E ₀ C ₁₀₀	100	1.03 ^a	22.8 ^a	4.51 ^b
E ₀ C ₃₀₀	300	1.00 ^a	25.5 ^a	4.97 ^{ab}
E ₀ C ₁₀₀₀	1000	1.03 ^a	24.7 ^a	5.27 ^a
E ₀ C ₃₀₀₀	3000	1.03 ^a	25.8 ^a	5.36 ^a
Pooled SEM		0.02	1.1	0.16
Vitamin E 200 mg/kg diet				
E ₂₀₀ C ₀	0	0.95 ^b	20.7 ^b	4.52 ^b
E ₂₀₀ C ₁₀₀	100	1.01 ^{ab}	24.8 ^a	4.89 ^{ab}
E ₂₀₀ C ₃₀₀	300	1.04 ^a	26.3 ^a	5.23 ^a
E ₂₀₀ C ₁₀₀₀	1000	1.02 ^a	26.3 ^a	5.36 ^a
E ₂₀₀ C ₃₀₀₀	3000	1.03 ^a	25.2 ^a	5.27 ^a
Pooled SEM		0.01	0.7	0.10
<i>Analysis of variance</i>				
Vitamin C		0.0001	0.0333	0.0001
Vitamin E		0.1154	0.0001	0.0188
Vitamin C × E		0.0486	0.1616	0.2236

¹ Values are means from triplicate groups of fish where the means in each column with a different superscript are significantly different (P<0.05).

조직의 비타민 C 농도는 Table 5 및 Figs. 4와 5에 표시 한 것과 같다. E0C3000, E200C300, E200C1000, E200C3000 실험구에서 간의 비타민 C 농도는 E0C0, E0C100, E0C300, E0C1000, E200C0, and E200C100 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났다 (P<0.05). 넙치에 있어 비타민 E를 공급 하였을 때 간의 비타민 C 농도는 증가하였지만 유의적인 차이는 없었다. 본 실험에서는 근육의 비타민 C 농도는 간의 비타민 C 농도와 유사한 경향이였다. 그러나 비타민 E 두 수준에서 비타민 C가 결핍되었을 시 근육에서는 비타민C가 관찰 되지 않았다.

Table 5. Total ascorbic acid concentrations in liver and muscle of flounder fed diets varying in vitamins C and E for 12 weeks¹

Diet no.	Muscle	Liver
Vitamin E 0 mg/kg diet		
E ₀ C ₀	-	5.0 ^e
E ₀ C ₁₀₀	25.1 ^c	59.3 ^d
E ₀ C ₃₀₀	33.3 ^{bc}	138.1 ^c
E ₀ C ₁₀₀₀	52.3 ^{ab}	158.9 ^{bc}
E ₀ C ₃₀₀₀	65.7 ^a	182.2 ^{ab}
Vitamin E 200 mg/kg diet		
E ₂₀₀ C ₀	-	8.5 ^e
E ₂₀₀ C ₁₀₀	28.7 ^c	73.6 ^d
E ₂₀₀ C ₃₀₀	42.1 ^{bc}	165.4 ^{abc}
E ₂₀₀ C ₁₀₀₀	65.6 ^a	188.5 ^a
E ₂₀₀ C ₃₀₀₀	70.7 ^a	189.9 ^a
Pooled SEM	4.2	16.2

¹ Values are means from triplicate groups of fish where means in each column with different superscripts are significantly different (P<0.05).

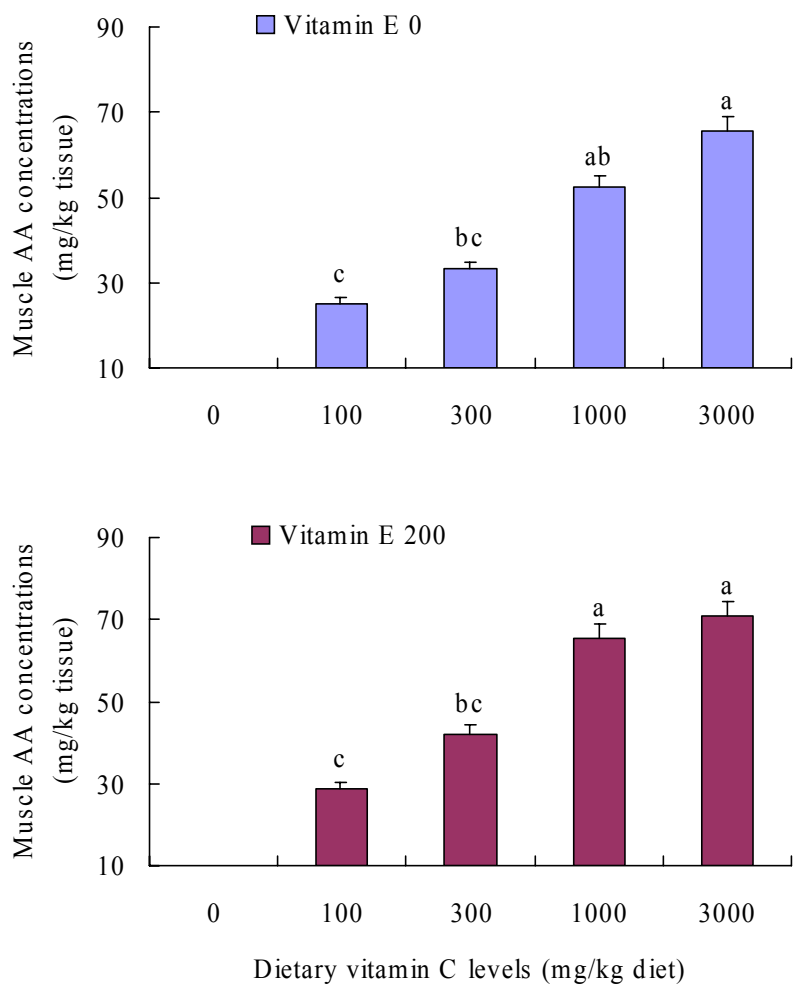


Fig. 4. Muscle total ascorbic acid concentrations (AA, mg/kg tissue) of flounder fed different levels of vitamin C and E for 12 weeks. Values are means from triplicate groups where bars with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

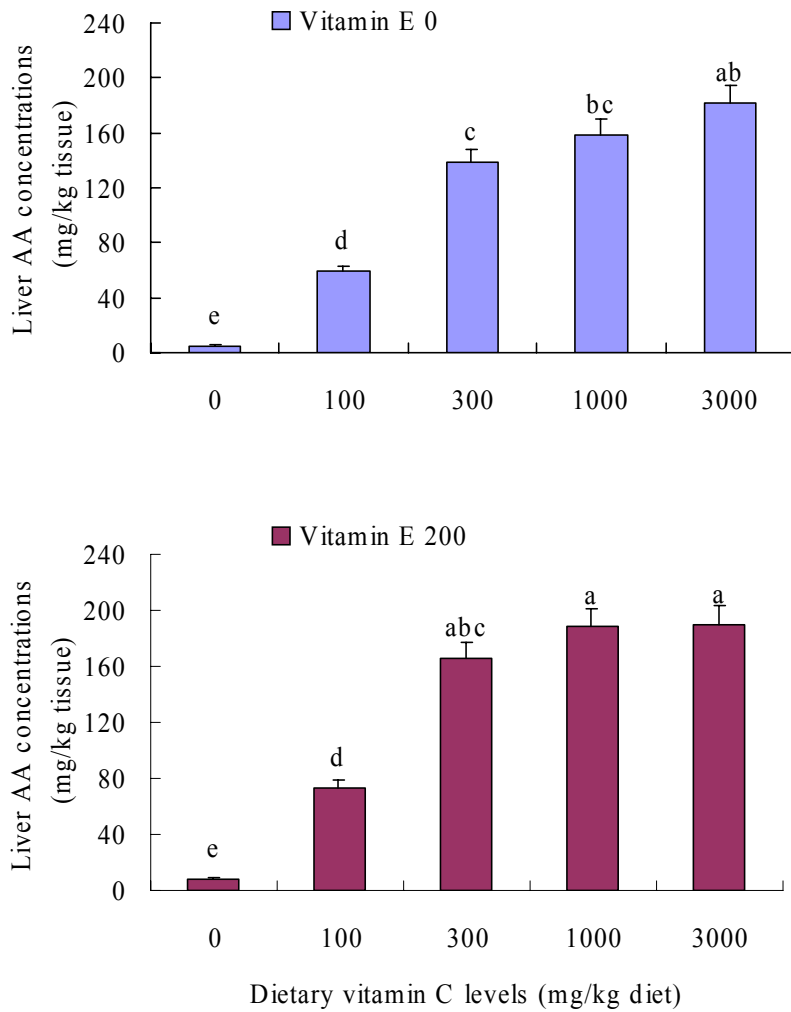


Fig. 5. Liver total ascorbic acid concentrations (AA, mg/kg tissue) of flounder fed different levels of vitamin C and E for 12 weeks. Values are means from triplicate groups where bars with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

성장률을 지표로 Broken line 분석을 통하여 넙치의 비타민 E 결핍시 비타민 C 요구량은 127 ± 2 mg AA/kg diet 나타났고 비타민 E 200mg vitamin E/kg 공급시 100 ± 6 mg 나타났다. 비타민 E 200mg를 공급한 본 실험의 결과와 93 mg AA/kg diet의 비타민 C를 요구한다는 Wang et al., 2002의 연구와 비교 할 수 있었다. 비타민 E가 결핍된 비타민 C의 요구량은 비타민E를 공급했을 때 보다 더 높았다. 이러한 결과는 넙치에 있어 비타민 C와 E의 상호 작용을 설명 할 수 있다.

제 3 절 넙치 사료 내 지질 함량에 따른 비타민 E 요구량

1. 서론

자연에서 비타민 E는 다양한 형태로 존재하는데 이중, α -tocopherol의 형태가 가장 활성이 좋다(NRC, 1993). 이러한, dl- α -tocopheryl acetate의 어류 사료에 첨가는 분말형태로 첨가되어 진다(Maynard et al., 1979). 비타민 E는 생체막, 지단백질 그리고 지방에 존재하여 모든 동물의 세포막 보전에 중요한 역할로써 고도불포화지방산의 과산화화로부터 세포를 보호하는 항산화작용을 한다. 그러므로 사료내 비타민 E의 함량과 고도불포화 지질의 상태는 어류에서 다른 항산화제와 셀레늄의 존재뿐만 아니라 사료내 비타민 E의 요구량에도 영향을 미친다(Murai and Andrews, 1974; Poston et al., 1976; Watanabe et al., 1977, 1981; Hung et al., 1980, 1981; Cowey et al., 1981, 1983; Lovell et al., 1984).

연어과 어류의 비타민 E 요구량은 사료내 α -tocopherol/kg 중 30 mg (NRC, 1981), 차넬메기(*Ictalurus punctatus*)의 경우 사료내 30-50 mg/kg (Murai and Andrews, 1974; Wilson et al., 1984), 잉어(*Cyprinus carpio*)은 사료내 200-300 mg/kg (Watanabe et al., 1977), 나일틸라피아(*O. niloticus*)는 사료내 25-50 mg/kg (Lam, 1985; Satoh et al., 1987) 그리고 조피볼락(*Sebastes schlegeli*)의 경우는 사료내 45 mg/kg (Bai and Lee, 1998)으로 보고되었다. 어류에 있어서 비타민 E 결핍증상은 매우 다양하게 나타난다. 그 중 근육의 괴사, 탈색증, 빈혈증 및 높은 폐사율 등이 대표적이다(NRC, 1981, 1983).

넙치는 한국에서 상업적으로 매우 중요한 종으로 생산량이 국내 해양 유영어류 양식 생산량 중 가장 많은 양이다(Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, 2001). 그러나 현재까지 넙치양식에 사용되는 사료는 대부분 생사료에 의존하고 있다. 이러한 사료 급여는 양식어의 질병, 수질 오염, 생산단가의 상승 및 영양소 불균형을 초래한다. 따라서 국내 넙치양식의 발전을 위하여 경제적이고 질 좋은 배합사료의 개발이 필요하다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험에 사용된 반정제 기초사료의 조성표는 Table 1에 표시하였으며, 사료내 지질함량을 7% 및 14%, dl-tocopheryl acetate (TA)의 함량을 0, 15, 30, 60 및 600 mg/kg 으로 10개의 실험사료를 조성하였다. 실험사료에 주요 단백질원으로 카제인과 젤라틴을 사용하였으며, 사료 섭취율을 증가시키기 위하여 탈지한 넙치 근육분을 첨가하였다. 넙치 근육분의 탈지는 사료에 혼합하기 전에 hot ethanol (75-80 °C, 1:2, w/v)을 이용하여 4시간동안 지질을 추출하였다(Kosutarak et al., 1995). 또한, 사료의 TA의 첨가량에 따른 함량 차이는

cellulose로 조절하였다. 기본사료의 조단백질의 함량과 가용에너지는 각각 50%와 17 kJ energy/g으로 제조 하였다(Garling & Wilson, 1976; NRC, 1993). 모든 원료를 혼합하고 실험실내 pellet 성형기를 이용하여 열을 가하지 않고 2-mm로 성형하였다(Baokyong Commercial Co., Pusan, Korea). 제조된 실험사료는 공급 전까지 -80 °C에 pack에 넣어 보관하였다.

Table 1. Composition of the experimental basal diet.

Ingredients	7%	14%
Casein ¹	35.90	35.90
Flounder muscle (defatted) ²	10.00	10.00
Gelatin ¹	5.60	5.60
Dextrin ¹	33.69	17.70
EPA + DHA (60%) ³	1.80	1.80
Corn oil (tocopherol stripped) ¹	4.19	12.19
Vitamin premix (vitamin E free) ⁴	3.00	3.00
Mineral premix ⁵	3.00	3.00
Attractant	1.60	1.60
Cellulose ¹	1.22	9.21

¹ United States Biochemical, Cleveland, Ohio 44122.

² Flounder muscle, prepared from this lab.

³ E-Wha oil Co., Ltd., Pusan, Korea.

⁴ Contains (as g/100g premix): dl-calcium pantothenate, 0.5; choline bitartrate, 10.2; inositol, 0.5; menadione, 0.02; niacin, 0.5; pyridoxine-HCl, 0.05; riboflavin, 0.1; thiamine mononitrate, 0.05; L-ascorbyl-2-monophosphate, 2.86 (ascorbic acid activity 35%); retinyl acetate, 0.02; biotin, 0.005; folic acid, 0.018; B₁₂, 0.0002; Cholecalciferol, 0.008; alph-cellulose, 85.17.

⁵ Contains (as mg/kg diet): Al, 1.2; Ca, 5000; Cl, 100; Cu, 5.1; Co, 9.9; Na, 1280; Mg, 520; P, 5000; K, 4300; Zn, 27; Fe, 40.2; I, 4.6; Se, 0.2; Mn, 9.1.

실험어 및 사육관리

넙치 치어는 국립수산과학원의 제주종묘시험장으로부터 운반해 왔으며, 사육실험 이전의 사육관리는 비타민 E가 함유되지 않은 반정제 사료를 3주간 공급하여 최대한 체내

의 vitamin C를 제거시켰다. 사육실험은 160-l 수조에 여과해수를 유속 1.2 l/min로 하여 유수식으로 사육하였으며, 포기를 통해 용존산소를 포화에 가깝게 유지하였다. 사육수온은 시작할 때 22 °C에서 실험 종료시 17 °C로 자연 수온에 의존하였다. 실험어의 평균체중은 3.92±0.01 g (mean ±SD)였으며, 각 수조당 20마리씩 무작위로 선별하여 수용한 후, 사료공급은 어체중의 3-4%로 12주간 3반복으로 사육실험을 하였다. 각 수조내 실험어의 총 체중을 3주 간격으로 측정하여 그에 따라 적당한 양의 사료를 공급하였다.

시료채취 및 성분분석

증중률(WG), 사료효율(FE), 단백질효율(PER), 간중량지수(HSI), hematocrit (PCV), hemoglobin (Hb)과 생존률은 사육실험 후 측정하였다. 최종 무게 측정후, 각 수조에서 6마리를 무작위로 추출하여 혈액 분석용으로 사용하였다. 혈액 시료은 미부정맥에서 heparinized syringe를 사용하여 채혈하여 hematocrit 과 hemoglobin을 측정하였다(Brown, 1980). Haematocrit (PCV)과 hemoglobin (Hb)의 측정은 microhematocrit method (Brown, 1980)와 Drabkins solution을 이용하여 cyanmethemoglobin 방법으로 측정했다. 이때의 Hemoglobin의 표준물질(Sigma Chemical, St. Louis MO)은 사람의 혈액으로부터 추출한 것을 사용하였다. AOAC (1995) 방법에 따라, 전어체의 조단백질, 수분 및 회분을 분석하였고, 조지질은 12시간 동결건조 한 시료를 ether 추출법(Soxtec System 1046, Foss, Hoganas, Sweden)에 의해 측정하였다.

Wt. gain (%) = (final wt. - initial wt.) × 100 / initial wt.

Feed efficiency (%) = (wet weight gain / dry feed intake) × 100

Specific growth rate (%/day) = (loge final wt. - loge initial wt.) / days

Protein efficiency ratio = (wet weight gain / protein intake)

Hepatosomatic index = (liver weight / body weight) × 100

Condition factor = [fish wt. (g) / fish length (cm)³] × 100

비타민 E의 측정

HPLC를 사용하여 사료와 조직내의 α-tocopheryl-acetate의 농도를 측정하는데 하였다. 0.5 g의 시료를 0.1 g L-ascorbic acid가 포함된 5 ml ethanol로 용해시켰다. 시료를 혼합하여 80 °C 항온수조에 10분간 방치한 후, 80% KOH 150 μl를 첨가하여 10분간 감화시켰다. 감화시킨 시료를 아이스베스에서 냉각한 후, 5 ml n-hexane을 첨가하여 완전히 혼합하였다. Homogenates를 900-1000 rpm으로 5 °C에서 1분간 원심분리 후, 상층액을 제거하였다. 상층액을 5 ml water를 사용하여 3회 세척한 후, n-hexane 용액을 Na₂SO₄가 있는 여과지를 통과시켰다. 시료를 질소기류 아래서 건조한 후, 1 ml isoctane에 녹여 0.20 μm membrane filter로 여과하였다.

HPLC 분석은 Nova-Pak silica column (150 × 3.9 mm, 5 μm particle size, 60 Å nominal pore size)을 사용하여 실온에서 수행되었다. Isooctane, acetic acid, ethyl acetate, 및 2,2-Dimethoxypropane (985:7:7:1, v/v)을 혼합하여 이동상으로 사용하였으며, 유속은 1 ml/min으로 하였다. 시료 주입량은 20 μl, 흡광도는 290nm의 광원과 330nm의 방출파장에서 측정하였다. 정량분석은 외부 표준물질을 이용하여 계산하였다.

통계처리

통계처리는 Computer Program Statistix 3.1(Analytical Software, St. Paul MN. USA)로 분산분석(ANOVA test)을 실시하여 최소유의차검정(LSD : Least Significant Difference)으로 평균간의 유의성(P<0.05)을 검정하였다. 그리고 성장률을 지표로 broken-line model (Robbins, 1986)을 이용하여 측정하였다(SAS Procedure NLIN, 1985).

3. 결과 및 고찰

12주간의 사육실험결과, 성장률(Table 2)은 사료내 지질 7% 수준에서는 비타민 E 30, 60 mg dl- α -tocopheryl acetate (TA)/kg 실험구가 비타민 E 0, 600 mg TA 실험구보다 유의하게 (P<0.05) 높게 나타났으나, 비타민 E 15, 30, 및 60 mg TA 실험구에서는 유의차가 없었다. 14% 지질함량에서는 비타민 E 60 mg TA 실험구가 비타민 E 0, 15, 30 및 600 mg TA 실험구들보다 유의적으로 높게 나타났다(P<0.05). 하지만 비타민 E 30 mg과 60 mg TA 실험구간에는 유의적인 차이가 없었다(P<0.05). 비타민 E가 결핍된 실험구는 비타민 E가 공급된 실험구보다 사료내 지질함량과 관계없이 성장률이 낮게 나타났다(Fig. 1). 성장측면에서 사료내 비타민 E와 사료내 지질사이에는 유의적인 차이를 보였지만, 비타민 E와 사료내 지질함량간의 상호관계에서는 유의적인 차이가 없었다.

사료효율(FE, Fig. 2)은 사료내 지질 7% 수준에서는 비타민 E 60 mg (TA) 실험구가 비타민 E 0, 15, 30 및 600 mg TA 실험구보다 유의하게 (P<0.05) 높게 나타났으나, 비타민 E 15, 30, 및 600 mg TA 실험구에서는 유의차가 없었다. 그러나 지질함량이 14%로 증가함에 따라, 비타민 E 60 mg TA 실험구가 비타민 E 0, 15, 30 및 600 mg TA 실험구들보다 유의하게 (P<0.05) 높게 나타났다. 하지만 비타민 E 15 mg과 600 mg TA 실험구간에는 유의차가 없었다(P<0.05). FE 또한, 본 연구에서는 사료내 비타민 E와 사료내 지질함량사이에는 유의적으로 차이가 있음이 나타났지만 비타민 E와 사료내 지질간의 상호관계에서는 유의적인 차이가 없었다.

본 연구에서 TA의 함량이 가장 높은 실험구, 즉 600 mg TA diet를 공급한 실험구는 성장이 지연되는 것으로 나타났다. 사료내 비타민 E 600 mg TA 실험구에서 WG와 FE는 지질함량에 관계없이 비타민 E 60 mg TA 실험구보다 유의하게 (P<0.05) 낮게 나타났다.

Poston and Livingston (1969)의 결과에 의하면, brook trout 자어의 경우 비타민 E (5000 mg/kg)가 사료내 다량 함유할 경우 낮은 성장률과 낮은 hematocrit이 나타난다고 보고하였다. 또한, Baker and Davies (1996)의 연구결과 의하면, African catfish (*Clarias gariepinus*)의 hematocrit 수치가 사료내 α -tocopheryl acetate 고함량(500 mg/kg dry feed) 사료를 섭취한 어류보다 저함량(0 mg/kg diet) 사료를 섭취한 어류에서 유의적으로 낮게 나타났다고 보고하였다($P<0.05$). 이러한 연구들은 본 연구와 유사한 결과를 보여, 사료내 vitamin E 0과 600 mg TA 실험구에서 다른 실험구보다 낮은 hematocrit를 보였다($P<0.05$).

본 연구에서 안구돌출, 아가미결손, 영양실조 같은 비타민 E 결핍증상은 0 mg TA diet를 공급한 실험구에서 12주후에 관찰되었다. 비타민 E의 결핍증상 중, 안구돌출과 아가미결손의 증상은 Woodall et al. (1964)과 Bai and Lee (1998)에 의하여 각각, 태평양 북부산 연어(chinook salmon)과 조피볼락(rockfish)에서 보고되었다.

일반적으로, 넙치의 생존률은 오직 사료내 비타민 E에 의해 영향을 받았다. 사료내 지질 7% 수준에서 비타민 E 0, 15, 30 및 60 mg TA 실험구에서 유의차가 없었으나(Table 2), 실험어의 생존률은 비타민 E 600 mg TA 실험구에서 다른 실험구보다 유의하게 ($P<0.05$) 낮게 나타났다. 사료내 지질 14% 수준인 그룹의 생존률은 비타민 E 15, 30 및 60 mg TA 실험구에서 유의차가 없었으나, 이러한 실험구들은 비타민 E 0 및 600 mg TA 실험구보다 유의하게 ($P<0.05$) 높게 나타났다.

Table 3은 실험구의 전체 증중률을 다른 통계처리를 분석하여 나타낸 표이다. 일반적으로 비타민 E 60 mg TA 실험구의 성장률은 비타민 E 0, 15 및 60 mg TA 실험구보다 유의하게 높게 나타났다($P<0.05$). T test와 Duncan test에서의 성장률은 비타민 E 60 mg TA 실험구가 비타민 E 30 mg TA 실험구보다 유의차가 있었으나($P<0.05$), Tukey test에서는 두 실험구사이에 유의차가 없었다.

기 결과를 토대로, broken line analysis에 의해 증체율을 지표로 추정된 넙치의 비타민 E 요구량은 사료내 7%의 지질을 첨가할 경우 22.0 ± 2.4 mg dl- α -tocopheryl acetate/kg diet이며, 사료내 14%의 지질을 첨가할 경우 48.0 ± 0.6 mg dl- α -tocopheryl acetate/kg diet, 사료내 7%와 14% 지질의 표준증체율을 기초로 하였을 경우에는 38.5 ± 8.9 mg dl- α -tocopheryl acetate/kg diet로 나타났다. (Fig. 3).

혈액의 Ht (Table 4) 저하, 안구돌출, 아가미결손, 영양결핍과 같은 비타민 E 결핍증상은 12주간의 성장실험후에 비타민 E 무첨가 실험구에서만 관찰되었다.

Table 2. Percent weight gain (%), feed efficiency (FE), and survival of flounder fed diets varying in lipid and dl- α -tocopheryl acetate levels for 12 weeks¹

Diets	dl- α -tocopheryl acetate (mg/kg diet)	WG (%) ²	FE ³	Survival (%)
Low lipid diets (7% lipid)				
E _{L0}	0	518.5 ^c	64.5 ^c	81.7 ^{ab}
E _{L15}	15	582.9 ^{ab}	73.3 ^b	86.7 ^a
E _{L30}	30	598.6 ^a	77.4 ^b	88.3 ^a
E _{L60}	60	618.6 ^a	87.2 ^a	91.7 ^a
E _{L600}	600	560.5 ^b	74.6 ^b	68.3 ^c
Pooled SEM		10.2	2.4	3.0
High lipid diets (14% lipid)				
E _{H0}	0	420.4 ^d	53.2 ^d	66.7 ^b
E _{H15}	15	481.7 ^c	56.2 ^{cd}	86.7 ^a
E _{H30}	30	527.6 ^b	67.7 ^b	90.0 ^a
E _{H60}	60	558.3 ^a	80.9 ^a	86.7 ^a
E _{H600}	600	519.3 ^b	59.9 ^c	71.7 ^b
Pooled SEM		13.1	2.8	3.6
<i>Analysis of variance</i>				
Vitamin E		0.0001	0.0001	0.0003
Lipid		0.0001	0.0001	0.1415
Vitamin E \times lipid		0.0501	0.1012	0.5350

¹ Values are means from triplicate groups of fish where the means in each column with different superscripts are significantly different (P<0.05).

² WG % (Weight gain %): (final weight-initial weight) \times 100 / initial weight.

³ FE % (Feed efficiency %): increase in biomass of fish (g) \times 100 / dry feed intake (g).

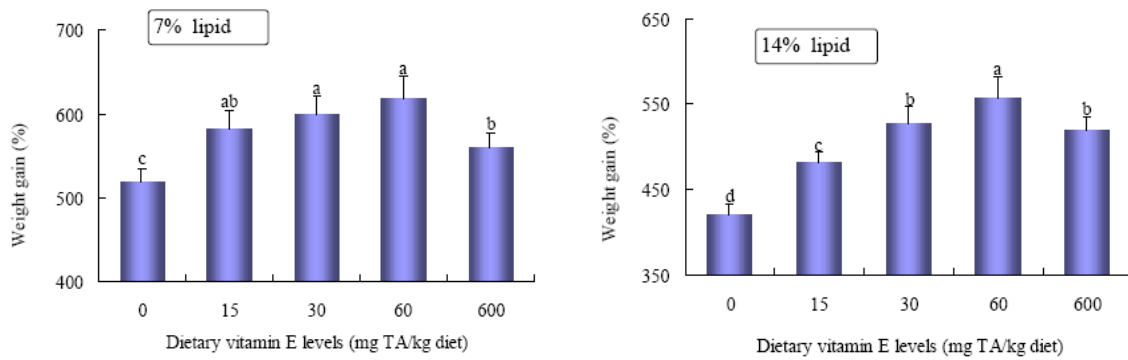


Fig. 1. Percent weight gain (%) of flounder averaging 3.92 ± 0.01 g fed diets varying in lipid and dl- α -tocopheryl acetate levels for 12 weeks.

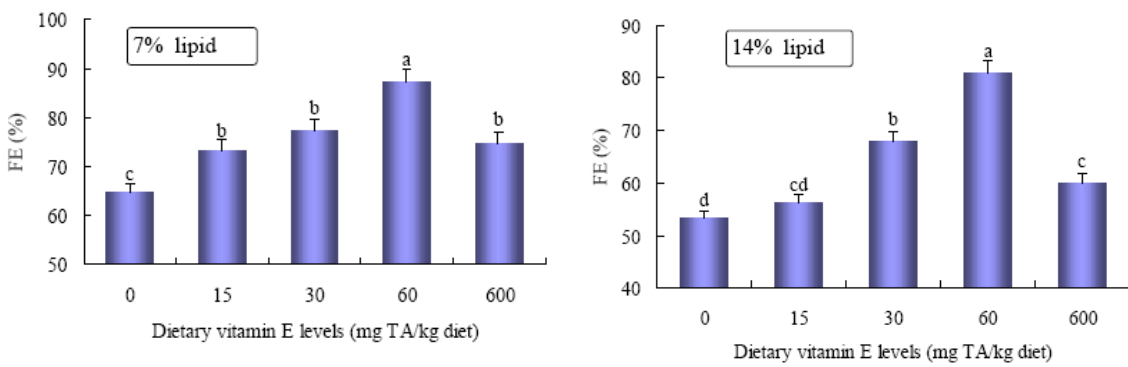


Fig. 2. Feed efficiency (%) of flounder fed diets varying in lipid and dl- α -tocopheryl acetate levels for 12 weeks.

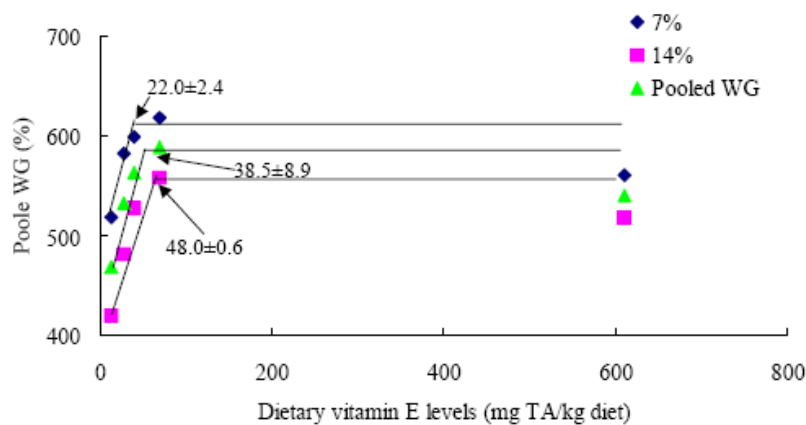


Fig. 3. Broken line analysis of dietary vitamin E requirement in flounder averaging 3.92 ± 0.01 g fed diets varying in lipid and dl- α -tocopheryl acetate levels for 12 weeks.

Table 3. Analysis of variance by different test in pooled percent weight gain (%) in flounder fed diets varying in lipid and dl- α -tocopheryl acetate levels for 12 weeks¹

dl- α -tocopheryl acetate (mg/kg diet)	Weight gain (%)		
	T test (LSD)	Duncan	Tukey
0	469.4 ^d	469.4 ^d	469.4 ^c
15	532.3 ^c	532.3 ^c	532.3 ^b
30	563.1 ^b	563.1 ^b	563.1 ^{ab}
60	588.5 ^a	588.5 ^a	588.5 ^a
600	539.9 ^c	539.9 ^c	539.9 ^b

¹ Values are means from triplicate groups of fish where the means in each column with different superscript are significantly different (P<0.05).

Table 4. Hemoglobin and hematocrit of flounder fed diets varying in lipid and dl- α -tocopheryl acetate levels for 12 weeks¹

Diets	dl- α -tocopheryl acetate (mg/kg diet)	Hematocrit (%)	Hemoglobin (g/dl)
Low lipid diets (7% lipid)			
E _{L0}	0	21.2 ^c	5.24 ^{bc}
E _{L15}	15	24.3 ^b	5.08 ^c
E _{L30}	30	25.8 ^{ab}	5.60 ^{ab}
E _{L60}	60	27.5 ^a	5.20 ^{bc}
E _{L600}	600	23.8 ^b	5.76 ^a
Pooled SEM		0.62	0.09
High lipid diets (14% lipid)			
E _{H0}	0	18.8 ^c	4.29 ^b
E _{H15}	15	23.8 ^{ab}	5.26 ^a
E _{H30}	30	22.8 ^b	5.27 ^a
E _{H60}	60	25.2 ^a	5.77 ^a
E _{H600}	600	23.8 ^{ab}	5.32 ^a
Pooled SEM		0.74	0.14
<i>Analysis of variance</i>			
Vitamin E		0.0001	0.0001
Lipid		0.0011	0.0011
Vitamin E \times lipid		0.1580	0.0010

¹ Values are means from triplicate groups of fish where the means in each column with different superscripts are significantly different (P<0.05).

제 4 절 조피볼락의 choline 요구량

1. 서론

어류의 비타민 요구량은 특정 비타민이 결핍된, 성분이 알려진 사료에 그 비타민의 함량을 달리하여 측정하게 된다. 일부 어류에 대한 요구량이 보고되었지만 종간 또는 종내에서도 요구량에 큰 차이를 나타낸다. 측정기준은 증체, 간 등 조직내 축적량을 이용하였는데 증체보다는 조직 함량에 기준을 둘 때 훨씬 요구량을 높게 측정하였음을 알 수 있다. 이외에도 어종, 체중, 성장률, 사료섭취량 및 섭취속도, 사료의 형태 및 성상, 사료의 조성 등에 따라 차이를 보일 수 있다. 콜린은 중요한 비타민의 일종으로서 그 기능을 수행한다. 콜린은 인지질 lecithin과 여러 복합지방의 중요한 구성요소로서 불안정한 메틸그룹의 공급원이며 아세틸콜린의 전구물질로서 지방대사에 관여한다. 또한 phosphatidylcholine은 생물세포막의 구성성분으로 지방의 운송을 촉진한다. 사료내 충분한 메틸기를 공급할 수 있는 메티오닌을 공급하였을 때 많은 동물들은 간에서 콜린 합성이 가능해진다. 하지만 어린 치어에 있어서 성장에 필요한 콜린의 생합성은 부족하여 사료내 콜린 첨가가 필수적이다(Wilson and Poe, 1988). 또한 세포조직의 형성 및 유지를 위한 필수물질인 콜린은 lecithin으로서 지방수송을 촉진하고 간 자체의 지방산 이용을 증진시킴으로써 지방의 비정상적인 축적을 방지하므로 콜린은 간에서의 지방대사 작용에 필수적인 역할을 한다. 이러한 기능 때문에 콜린을 항지방인자라고도 한다. 본 실험에서 콜린 합성 저해제로 2-amino-2-methyl-1-propanol을 사용하여 콜린 합성 중의 메틸화를 억제하였다. 2-amino-2-methyl-1-propanol은 사료내 콜린 이용을 저해하며 사료에 첨가시 DL-메치오닌 요구량을 4-5배 증가 시켜야 한다는 보고가 있다. 이와같이 2-amino-2-methyl-1-propanol은 메치오닌에서 콜린 합성을 저해함을 알 수 있다. 그러나 해산어류의 콜린 요구량에 관한 연구는 많이 이루어지지 않은 실정이다. 그럼으로, 본 연구는 국내 주요해산어종인 조피볼락 사료에 콜린 합성 저해제인 2-amino-2-methyl-1-propanol을 첨가하였을 때 콜린 요구량을 규명하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험에 사용된 기초사료의 조성표는 Table 1에 나타내었다. 기초사료는 단백질원으로 카제인과 젤라틴을 사용하였으며, 탄수화물원으로는 텍스트린을, 지질원으로는 오징어간유를 첨가하였다. 기초사료의 콜린 농도는 0, 250, 500, 750, 1000, 2000 (C-I₀, C-I₂₅₀, C-I₅₀₀, C-I₇₅₀, C-I₁₀₀₀, C-I₂₀₀₀) mg cholinechloride/kg diet으로 억제물질인 2-amino-2-

methyl-1-propanol을 첨가하였고 4개 실험사료는 콜린 농도를 0, 250, 500, 750 (C₀, C₂₅₀, C₅₀₀, C₇₅₀) mg choline-cl/kg diet으로 억제물질인 2-amino-2-methyl-1-propanol을 첨가하지 않았다. 실험사료별로 콜린의 첨가량에 따른 함량 차이는 cellulose로 조절하였다. 그리고 사료 섭취율을 높이기 위해 지질을 추출해 낸 탈지근육분을 5%씩 첨가하여 펠렛(직경:2mm)으로 성형하였다. 근육분의 탈지방법은 Kosutarak et al., (1995)의 방법에 따라 사료와 에탄올의 비례를 (1:2, w/v)로 하여 75-80℃에서 4회 이상 근육분에 포함된 지질을 제거하였으며, 이를 건조기에 넣어 80℃이하로 온도를 조절하여 건조시켰다. 사료 제조 후 -80℃에 냉동 보관하였다.

Table 1. Composition of the basal diet (dry matter basis)

Ingredient	%
Casein, vitamin free ¹	35.0
Gelatin ¹	6.0
Rock fish muscle(defatted) ²	5.0
Dextrin ¹	32.1
Squid liver oil ¹	11.0
Vitamin premix(choline free) ³	3.0
Mineral premix ⁴	3.0
Attractant	0.6
Inhibitor ⁵	0.3
Cellulose ¹	2.0
Total	100

¹ United States Biochemical, Cleveland, Ohio 44122

² Kum Sung Feed Co., Ltd., Pusan, Korea

³ Contains (as g/100g premix) : dl-calcium pantothenate, 0.5; inositol, 0.5; menadione, 0.02; niacin, 0.5; pyridoxine-HCl, 0.05; fiboflavin, 0.1; thiamine mononitrate, 0.05; L-ascorbic acid, 0.05; retinyl acetate, 0.02; biotin, 0.005; folic acid, 0.018; B12, 0.0002; cholecalciferol, 0.008; alph-cellulose, 98.18.

⁴ Contains (as mg/kg diet) : Al, 1.2; Ca, 5000; Cl, 100; Cu, 5.1; Co, 9.9; Na, 1280; Mg, 520; P, 5000; K, 4300; Zn, 27; Fe, 40.2; I, 4.6; Se, 0.2; Mn, 9.1.

⁵ 2-amino-2-methyl-1-propanol

실험어 및 실험 디자인

실험어는 조피볼락(*Sebastes shlegeli*) 치어를 사용하였으며, 160 L 원형 수조에 25마리씩(평균무게: 7.27 ± 0.04 g/마리) 수용하여 각 실험사료구당 3 반복으로 무작위 배치하였다. 각 실험수조는 유수식으로 유수량은 실험기간동안 2L/min 으로 조절하였으며 각 수조당 에어 스톤을 설치하여 산소를 보충하였다. 실험기간동안 평균 수온은 19 ± 1 °C로 전 실험기간동안 자연수온에 의존하였다. 예비사육 기간은 4주간 실시하였으며, 예비사육 기간중 3주간은 상업사료를 공급하였고 나머지 1주간은 콜린이 결핍한 실험사료를 공급하였다. 일일 사료 공급량은 어체중의 2~4%(건물 기준) 기준으로 1일 2회(9:00, 16:00h) 공급 하였다. 실험기간은 2002년 9월 27일부터 11월 23일까지 8주간 사육실험 하였다.

어체 측정

어체 측정은 2주 간격으로 실시하였으며, 성장률을 조사하기 위하여 24시간 절식시킨 후 MS 222 (100 ppm)에 실험어를 마취시켜 스트레스를 최소화하면서 각 수조의 실험어 전체 무게를 측정하였다. 실험종료 후, 성장률(percent weight gain, %), 일간성장률(specific growth rate, %/day), 단백질전환효율(protein efficiency ratio), 사료효율(feed efficiency, %), 간중량지수(hepatosomatic index), 비만도(condition factor) 및 생존율(survival rate, %)을 조사하였다. 간중량지수를 측정하기 위해 각 수조별로 3마리씩 간 무게를 측정하였다. 상기 측정항목들의 계산식은 다음과 같다.

$$\text{Wt. gain (\%)} = (\text{final wt.} - \text{initial wt.}) \times 100 / \text{initial wt.}$$

$$\text{Feed efficiency (\%)} = (\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$$

$$\text{Specific growth rate (\%/day)} = (\log_e \text{ final wt.} - \log_e \text{ initial wt.}) / \text{days}$$

$$\text{Protein efficiency ratio} = (\text{wet weight gain} / \text{protein intake})$$

$$\text{Hepatosomatic index} = (\text{liver weight} / \text{body weight}) \times 100$$

$$\text{Condition factor} = [\text{fish wt. (g)} / \text{fish length (cm)}^3] \times 100$$

성분분석 및 통계처리

일반성분은 실험사료와 각 수조별로 5마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체를 분석하였으며, AOAC (1995)방법에 따라 수분은 상압가열건조법 (115°C, 4시간), 조단백은 Kjeldahl 질소 정량법 ($N \times 6.25$), 조회분은 직접회화법으로 각각 분석하였다. 조지방은 샘플을 24시간 동결 건조한 후, Soxtec system 1046 (Tacator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다.

실험종료 후, 성장률 조사와 함께 혈액성분 분석을 위하여 실험어를 채혈하기 전까지

약 24시간 동안 절식시켰다. 실험어를 각 수조당 3마리씩 무작위로 추출하여 일회용 주사기를 이용하여 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈한 후, micro-hematocrit 방법 (Brown, 1980)에 의해 그리고 hemoglobin의 측정은 Drabkin 용액을 사용하여 cyan-methemoglobin 방법(Sigma Chemical, St. Louis MO; total hemoglobin procedure No. 525)으로 측정하였다. 혈청성분의 분석을 위하여 채혈한 혈액을 3,000rpm에서 15분간 원심분리한 후 냉장 보관하여 실험에 사용하였다.

콜린 분석은 Wells and Remy 방법에 따라 측정하였다. 간내 콜린함량 분석을 위해 0.5-1.0g의 간을 취하여 50ml의 1% sodium acetate(PH 4.6)에 넣어 80℃에서 1시간 균질화한 후 원심분리하여 lipid-bound choline과 free choline으로 분리한다. 침전물을 25ml PH가 4.6인 acetate buffer로 씻어주고 원심분리한다. 또다시 침전물을 chloroform/MeOH (2/1, v/v)lipid solvents로 씻어주어 잔여물을 버리고 용액을 취하여 2N의 Ba(OH)₂로 가수분해하면 lipid-bound choline이 분해된다. free choline은 0.5-1.0g의 간을 취해 50ml의 1% sodium acetate(PH 4.6)에 넣어 80℃에서 1시간 균질화한 후 원심분리하여 얻은 상층액과 25ml acetate buffer로 씻어주고 원심분리하여 얻은 상층액을 모아 2Vol.의 acetone을 넣어 0℃에서 원심분리한다. 원심분리하여 얻은 상층액은 free choline이고 침전물은 25ml의 acetate buffer로 씻어 원심분리한 침전물과 함께 lipid-bound choline를 분석하는데 사용되었다(Fig. 1). 콜린 농도를 측정하기 위해 0, 1mM, 2mM, 4mM, 6mM의 PH>7.0인 콜린 용액(PH는 2N의 NaOH 용액으로 조절)을 10ml씩 취하여 2.5 ml의 2%의 Amomnium reineckate (acetone에 용해)를 넣고 그 용액에 5ml의 증류수를 넣고 또 2.5ml의 2%의 reineckate salt를 넣어 충분히 혼합시켜준다. 혼합액을 원심분리하여 상층액은 버리고 침전만 취하여 5ml의 acetone에 넣어서 녹인다. 526nm 파장에서 spectrophotometer로 측정하여 standard curve 만든다(Fig. 2).

통계처리는 Computer Program Statistix 3.1(Analytical Software, St. Paul MN. USA)로 분산분석(ANOVA test)을 실시하여 최소유의차검정(LSD : Least Significant Difference)으로 평균간의 유의성(P<0.05)을 검정하였다. 그리고 성장률을 지표로 broken-line model (Robbins, 1986)을 이용하여 측정하였다(SAS Procedure NLIN, 1985).

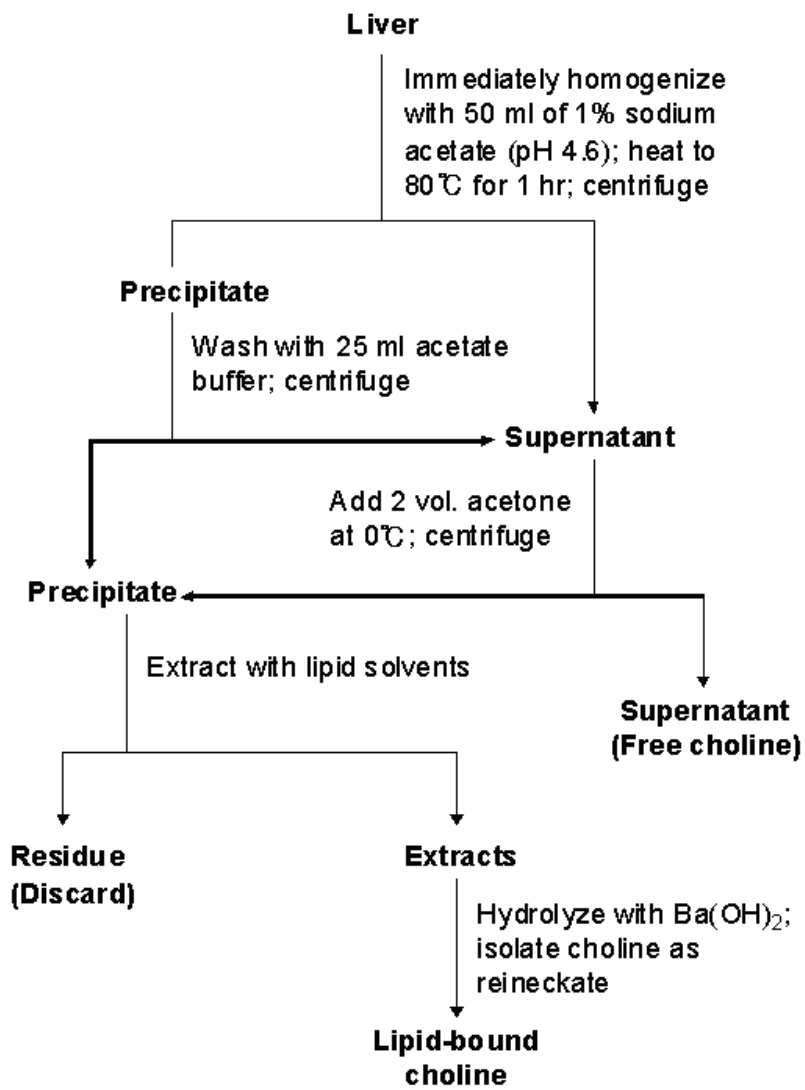


Fig. 1. Preparation of sample for choline determination

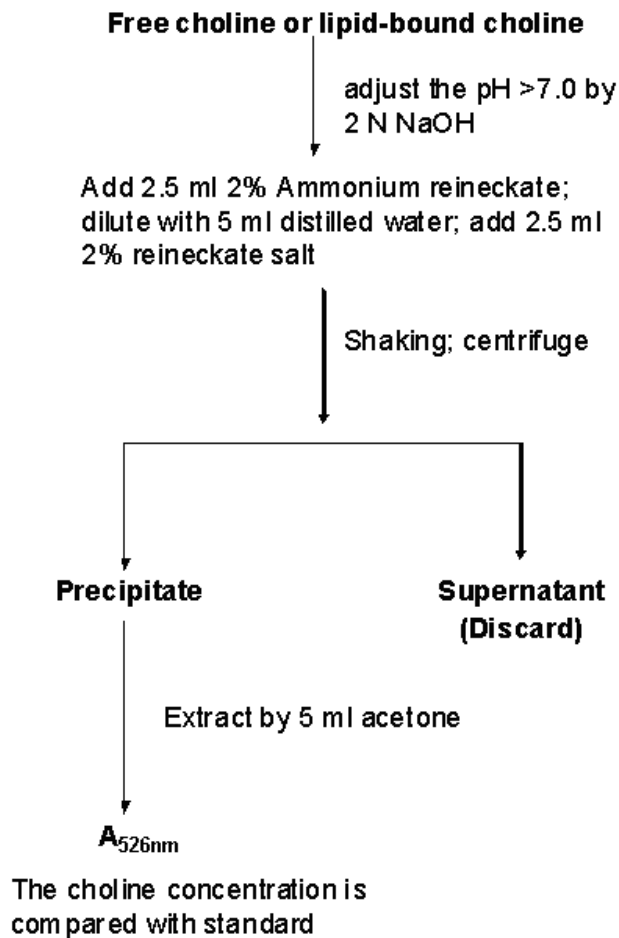


Fig. 2. Analysis chart of choline determination

3. 결과 및 고찰

8주간의 실험결과는 Table 2, 3, 4에 나타내었다. 성장률(%)에 있어서 C-I₁₀₀₀, C-I₂₀₀₀, C₅₀₀ 와 C₇₅₀ 공급구는 C-I₀, C-I₂₅₀, C-I₅₀₀, C-I₇₅₀, C₀ 와 C₂₅₀ 공급구에 비해 유의적으로 높게 나타났으며(P<0.05) C-I₁₀₀₀, C-I₂₀₀₀, C₅₀₀ 와 C₇₅₀ 공급구 사이에는 유의적인 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 사료전환효율(%), 일간성장율(%/day), 단백질전환효율(%)에 있어서 C-I₁₀₀₀, C-I₂₀₀₀, C₅₀₀ 와 C₇₅₀ 공급구는 C-I₀, C-I₂₅₀, C-I₅₀₀, C-I₇₅₀, C₀ 와 C₂₅₀ 공급구에 비해 유의적으로 높게 나타났으며(P<0.05) C-I₁₀₀₀, C-I₂₀₀₀, C₅₀₀ 와 C₇₅₀ 공급구 사이에는 유의적인 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 생존율에 있어서 C-I₀ 공급구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 낮게 나타났으며(P<0.05) 다른 실험구 사이에는 유의적인 차이를 보이지 않았다.

Table 2. Growth performance of rockfish fed the experimental diets for 8 weeks¹

Diets	WG(%) ²	FE(%) ³	SGR(%) ⁴	PER(%) ⁵	HSI(%) ⁶	CF(%) ⁷	Survival
C-I ₀	72.96 ^e	0.38 ^f	1.05 ^e	0.80 ^e	2.46	1.44	90.67 ^b
C-I ₂₅₀	101.34 ^d	0.48 ^e	1.35 ^d	1.01 ^d	2.76	1.48	100 ^a
C-I ₅₀₀	124.15 ^c	0.54 ^{de}	1.55 ^c	1.14 ^c	3.01	1.52	100 ^a
C-I ₇₅₀	137.82 ^{bc}	0.56 ^{cd}	1.67 ^{bc}	1.18 ^{bc}	3.10	1.53	97.33 ^{ab}
C-I ₁₀₀₀	168.00 ^a	0.63 ^a	1.90 ^a	1.33 ^a	3.59	1.58	100 ^a
C-I ₂₀₀₀	178.07 ^a	0.61 ^{abc}	1.97 ^a	1.29 ^{ab}	3.46	1.56	100 ^a
C ₀	129.71 ^c	0.53 ^{de}	1.60 ^c	1.13 ^c	3.30	1.48	97.33 ^{ab}
C ₂₅₀	151.31 ^b	0.57 ^{bcd}	1.77 ^b	1.21 ^{bc}	3.65	1.51	100 ^a
C ₅₀₀	171.32 ^a	0.62 ^{ab}	1.92 ^a	1.32 ^a	3.77	1.54	97.33 ^{ab}
C ₇₅₀	180.20 ^a	0.64 ^a	1.98 ^a	1.35 ^a	3.77	1.57	100 ^a

¹ Values are means from triplicate groups of fish where the means in each column with a different superscript are significantly different (P<0.05)

² Weight gain % : (final weight - initial weight) × 100 / initial weight.

³ Specific growth rate (%/day) = (log_e final wt. - log_e initial wt.) / days

⁴ Feed efficiency % : increase in biomass of fish × 100 / feed intake.

⁵ Protein efficiency ratio % : (wet weight gain / protein intake) × 100

⁶ Hepatosomatic index : (liver weight / body weight) × 100.

⁷ Condition factor : [fish wt. (g) / fish length (cm)³] × 100.

전어체 분석결과 단백질에 있어서 C-I₁₀₀₀, C-I₂₀₀₀, C₅₀₀, C₇₅₀ 실험구는 다른 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났으며(P<0.05) 지방에 있어서 C-I₇₅₀, C-I₁₀₀₀, C-I₂₀₀₀, C₂₅₀, C₅₀₀ 와 C₇₅₀ 실험구가 다른 실험구에 비해서 유의적으로 높게 나타났다(P<0.05). 회분과 수분에 있어서는 C-I₀ 구는 다른 실험구에 비해서 유의적으로 높게 나타났다(P<0.05).

혈장분석결과 혈장 지방함량에 있어서 C₀, C₂₅₀, C₅₀₀ 와 C₇₅₀ 실험구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났으며(P<0.05) 콜레스테롤(Cholesterol)에 있어서 C₇₅₀ 실험구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났고(P<0.05) 혈장내 트리글리세라이드(Triglyceride)에 있어서는 C₂₅₀, C₅₀₀ 와 C₇₅₀ 실험구가 다른실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났으며(P<0.05) 혈장내 콜레스테롤 에스테르(Cholesterol estel)에 있어서 C-I₇₅₀ 와 C-I₁₀₀₀ 실험구는 다른 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났다(P<0.05).

Table 3. Proximate composition (%) of the whole body of rockfish fed the experimental diets for 8 weeks¹

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash	liver lipid	muscle choline
C-I ₀	73.56 ^a	15.66 ^e	5.72 ^d	6.47 ^a	34.41 ^f	156 ^h
C-I ₂₅₀	71.64 ^{bc}	16.49 ^d	5.99 ^c	6.21 ^b	39.01 ^e	346 ^g
C-I ₅₀₀	71.54 ^{bcd}	17.10 ^c	6.08 ^{bc}	6.11 ^b	41.20 ^e	732 ^f
C-I ₇₅₀	70.67 ^{cde}	17.35 ^c	6.43 ^a	5.85 ^c	47.28 ^d	1321 ^d
C-I ₁₀₀₀	69.49 ^{fg}	18.20 ^a	6.54 ^a	5.58 ^d	50.78 ^c	1888 ^c
C-I ₂₀₀₀	68.72 ^g	18.34 ^a	6.48 ^a	5.52 ^d	50.56 ^c	2305 ^b
C ₀	72.46 ^a	17.22 ^c	6.18 ^b	5.46 ^{de}	49.99 ^c	919 ^e
C ₂₅₀	70.59 ^{de}	17.68 ^b	6.44 ^a	5.42 ^{def}	53.89 ^b	1416 ^d
C ₅₀₀	70.31 ^{ef}	18.39 ^a	6.49 ^a	5.24 ^{ef}	56.29 ^{ab}	1855 ^c
C ₇₅₀	69.19 ^g	18.45 ^a	6.57 ^a	5.18 ^f	57.53 ^a	2614 ^a

¹ Values are means from triplicate groups of fish where the means in each column with a different superscript are significantly different (P<0.05).

Table 4. Concentrations of cholesterol esters (CE), triglycerides (TG), cholesterol (CHOL) and total lipid (TL) in plasma of juvenile rockfish fed the experimental diets for 8 weeks¹

Diets	CE	TG	CHOL	TL
mg/kg	mg/dL			
C-I ₀	31.50 ^{cd}	95.50 ^g	99.50 ^d	428.50 ^d
C-I ₂₅₀	35.00 ^{bcd}	114.00 ^f	109.00 ^{cd}	476.00 ^d
C-I ₅₀₀	38.00 ^{ab}	121.00 ^f	117.33 ^{bc}	494.00 ^{cd}
C-I ₇₅₀	41.00 ^a	134.00 ^e	122.00 ^{bc}	502.50 ^{cd}
C-I ₁₀₀₀	41.67 ^a	150.33 ^d	129.33 ^{ab}	587.00 ^b
C-I ₂₀₀₀	30.50 ^c	171.50 ^c	107.50 ^{cd}	567.00 ^{bc}
C ₀	32.33 ^{bcd}	211.00 ^b	117.67 ^{bc}	645.33 ^{ab}
C ₂₅₀	34.00 ^{bcd}	247.67 ^a	126.67 ^{ab}	697.67 ^a
C ₅₀₀	36.67 ^{abc}	256.33 ^a	128.67 ^{ab}	713.67 ^a
C ₇₅₀	37.33 ^{ab}	249.67 ^a	140.67 ^a	719.00 ^a

¹ Values are means from triplicate groups of fish where the means in each column with a different superscript are significantly different (P<0.05).

카제인 정제사료를 조피볼락 치어기에 공급할 경우에는 사료내 콜린을 첨가하여야 한다. 이는 카제인 기초사료를 치어기 잡종 틸라피아에(Shiyen and Penshan 1999)공급 하였을 때 콜린 첨가가 필요하다는 보고와 일치하였으며 콜린 결핍사료를 쥐에게 공급하였을 때 혈장내 총 지방함량 낮게 나타났다. 이는 콜린 함유 인지질의 합성 변화로 인한 것이다(Lombardi 1971). 본 연구에서 콜린 농도는 혈장중에 있는 콜레스테롤, 인지질 및 트리글리세라이드에 영향을 주었으며 요구량에 도달하기 전에는 증가하다가 요구량에 도달하면 감소하는 추세를 보였으며 인지질은 막의 형성과 간내 지단백질의 합성에 있어서 중요한 역할을 한다. 콜린이 결핍된 사료를 공급하였을 때 혈장내 인지질의 농도는 감소하여 세포막 형성이 저해 받아 성장률이 떨어진다. 차넬메기 사료에 콜린을 요구량 이상으로 공급하였을 때 간내 지질농도는 낮게 나타났으며(Wilson and Poe 1988), laketrout(Ketola 1976)와 잡종 줄무늬 농어(Griffin et al. 1994)에서 같은 결과를 나타냈다. 그러나 홍민어 에서는 간내 지질함량이 높게 나타났으며(Craig and Gatlin 1996), 무지개송어에서는 간내 지질농도와 사료내 콜린농도 사이에 상호관계가 없다고 보고된 바 있다(Rumsey 1991). 또한 사료내 콜린 증가는 조피볼락의 전어체 구성에 민감하다. 콜린 첨가 수준이 증가함에 따라 지방 함량의 증가 및 회분함량의 감소가 관찰되었으며 단백질함량도 증가하는 추세를 보였다. 본 실험에서 단백질함량의 증가는 yellow perch(Twibell and Brown), 대서양연어(Poston 1990) 와 무지개송어(Poston 1991c)에서 보고된 것과는 차이를 보였다.

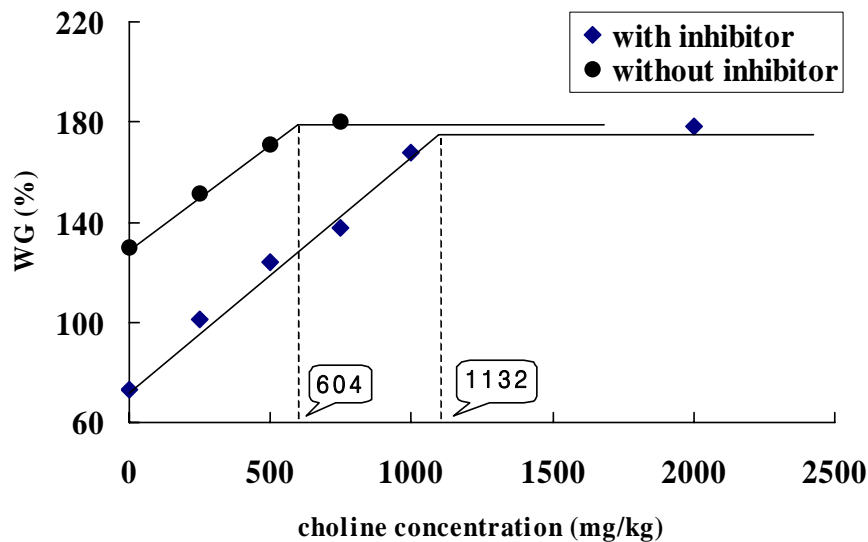


Fig. 3. Broken line analysis of weight gain (%) in rockfish fed different levels of dietary choline for 8 weeks.

Fig. 3에 표시하였듯이 증체율을 지표로 Broken line analysis에 choline 요구량이

1132±68 mg choline chloride/kg diet로 나타났다. 지금까지 여러 어종에서 콜린 요구량에 관한 연구가 이루어졌다. 초기무게가 5.0g의 lake trout에 있어서 콜린 요구량은 1000 mg/kg diet (Ketola 1976), 5.6g의 차넬메기에 있어서 콜린 요구량은 400 mg/kg diet (Wilson and Poe 1988), 34.1g의 white 철갑상어에 있어서 콜린 요구량은 1700 - 3200 mg/kg diet (Hung 1989), 10.5g의 줄무늬 농어에 있어서 콜린 요구량은 500 mg/kg diet (Griffin et al. 1994), 5.5g의 홍민어에 있어서 콜린 요구량은 590 mg/kg diet (Graig and Gatlin 1996), 4.0g의 무지개송어에 있어서 콜린 요구량은 4000 mg/kg diet (Rumsey 1991), 0.62g의 잡종 틸라피아에 있어서 콜린 요구량은 900 - 1000 mg/kg diet (Shiyen and Penshan 1999), 16g의 yellow perch에 있어서 콜린 요구량은 598 - 634 mg/kg diet (Twibell and Brown 1999). 이와 같이 초기무게와 어종이 다름에 따라 콜린 요구량도 변화한다. 치어는 성어보다 콜린 변화에 민감하다. 동일 어종이라도 초기무게가 다름에 따라 요구량도 변화한다.

척추동물에 있어서 베타인은 콜린의 산화물이다. 그러나 콜린의 생합성은 베타인으로 부터 합성 할 수 있다는 증거는 없다. 틸라피아에 있어서 베타인은 콜린을 100% 대체가 가능하며 송어에서는 50% 대체가능하다(Rumsey 1991)는 보고가 있다. 베타인은 효소작용을 거쳐 메치오닌으로 합성하여 필요한 콜린 요구량에 기부한다. 또한 메치오닌이 요구량을 만족할 때 성장에 대한 최대 콜린 요구량을 나타냈다. 황화아미노산 함량이 요구량을 초과하지 않을 때 사료에 콜린첨가 필요하다. 아미노산과의 상호관계에 대해서도 많은 연구가 진행되었다. 메치오닌을 어린 고양이에게 과다하게 공급할 경우 콜린에 대한 요구량이 감소하였다 (Anderson et. al. 1979). 메치오닌은 어린 닭에게 적은 량의 콜린 요구량을 대체할 수 있으며(Baker et al. 1982) 콜린을 적은량으로 초과 첨가시에는 닭의 메치오닌 요구량을 줄일수 있다(Baker et al. 1982). 본 연구에서 사용된 2-amino-2-methyl-1-propanol은 콜린합성 중 메틸화를 억제한다 (Rumsey 1991). 2-amino-2-methyl-1-propanol을 첨가하지 않았을 때 콜린의 생합성은 관찰 되었으며 콜린이 요구량에 미치지 전까지는 콜린이 증가함에 따라 증체율, 사료효율은 증가하였으며 요구량에 도달하면 일정하게 나타났다. 해산어류에 있어 많은 콜린 요구량에 관한 연구가 이루어지고 조피볼락에 있어서 더 많은 비타민 요구량에 관한 실험이 이루어져야할 것이다.

제 5 절 넙치 (치어 및 육성용) 및 조피볼락 실용 배합사료 조성에 콜린 첨가 필요성

1. 서론

콜린은 생체내에서는 인지질의 주성분으로 있으며, 또한 아세틸콜린의 형태로 신경활동에 중요한 역할을 담당하고 있을 뿐 만 아니라, 특히 지방간의 예방에 주요한 작용을 하는 것으로 알려져 있다. 어류의 콜린 결핍 증상으로는 성장 및 사료효율 저하, 신장과 내장조직의 출혈 및 지방간 등이 있다. 연어와 잉어의 사료내 콜린 요구량은 각각 600–800 mg 및 1500–200 mg/kg diet으로 알려져 있고, 다른 어떤 비타민에 비해서 요구량이 많다. 그러나 차넬메기의 경우 사료에 콜린 첨가는 불필요하다는 보고도 있다. 앞 실험에서 밝힌 바와 같이 조피볼락의 choline 요구량은 1132 mg/kg diet이며, 최근 연구 결과에 의하면, 넙치의 choline 요구량이 약 700 mg/kg diet로 알려져 있다. 하지만, 비타민 연구를 위한 대부분이 정제사료를 사용하였기 때문에 실용적인 배합사료에 적용하기 어렵다. 더욱이 어분과 같은 배합사료 원료에 choline이 적당히 함유되어 있기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다. 그래서 본 연구에서는 실용적으로 배합된 넙치 및 조피볼락 배합사료에 콜린 첨가의 필요성을 조사하기 위하여 단백질원으로 어분을 사용한 사료에 콜린 무첨가가 조피볼락 치어 및 넙치 치어와 육성어의 성장과 체조성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험사료의 주 단백질원으로 고등어 어분 (간접식, 칠레)을 사용하였으며, 오징어간유를 지질원으로, 소맥분과 알파전분을 탄수화물원으로 각각 사용하여 모든 실험사료의 영양소 함량이 넙치 (Lee et al., 2002, 2003)와 조피볼락 (Lee et al., 2002)의 요구에 맞도록 설계하였으며, 콜린을 0.5% 첨가한 대조 사료와 첨가하지 않은 사료를 설정하였다 (Table 1과 2). 이와 같이 설계된 원료들을 분말형태로 잘 혼합하고, 물을 적당히 첨가하여 수분이 30% 전후가 되도록 하여 moist pellet 제조기로 실험사료를 압출 성형하였다. 성형된 사료는 실온에서 24시간 건조한 후 -30°C 에 보관하면서 사료 공급시 마다 사용하였다.

Table 1. Ingredient and nutrient content of the experimental diet for flounder

Diets	F1	F2
<i>Ingredients</i>		
Mackerel fish meal	57.0	57.0
Wheat flour	26.0	26.0
α -starch	10.0	10.0
Squid liver oil	1.0	1.0
Vitamin premix	2.5	2.5
Mineral premix	3.0	3.0
α -cellulose		0.5
Choline chloride	0.5	
<i>Nutrient content (% DM)</i>		
Crude protein	47.7	47.6
Crude lipid	7.3	7.3
Ash	8.8	8.6
Choline (mg/kg)	7540	2540

Table 2. Ingredient and nutrient content of the experimental diet for rockfish

Diets	R1	R2
<i>Ingredients</i>		
Mackerel fish meal	47.0	47.0
Meat meal	10.0	10.0
Wheat flour	24.0	24.0
α -starch	5.0	5.0
Brewer's yeast	2.0	2.0
Squid liver oil	6.0	6.0
Vitamin premix	2.0	2.0
Mineral premix	2.0	2.0
<i>Sargassum</i> powder	1.5	1.5
α -cellulose		0.5
Choline chloride	0.5	
<i>Nutrient content (% DM)</i>		
Crude protein	48.0	48.2
Crude lipid	11.0	12.0
Choline (mg/kg)		

실험어 및 사육관리

넙치

사육 실험은 치어의 경우 평균 체중 0.7 g 전후의 넙치를 300 L FRP 원형수조에 50마리씩, 성장어의 경우에는 55.7 g 전후의 넙치를 300 L FRP 원형수조에 15마리씩 각 사료마다 3 반복으로 수용하여 8주간 사육하였다. 사료는 매일 3회 (07:00, 12:00, 17:00) 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져 주었으며, 사육수는 치어와 성장어의 수조에 분당 2 L와 8 L로 조정하여 흘러주었으며, 사육기간 동안의 수온은 $19.5 \pm 2.76^{\circ}\text{C}$ (평균 \pm 표준편차)였고, 비중은 1.024 ± 0.0015 였다. 실험 개시시와 종료시에 측정 전일 절식시킨 후 각 실험수조에 수용된 실험어 전체의 무게를 측정하였다.

조피볼락

강원도 수산양식시험장에서 종묘 생산되어 사육된 조피볼락을 2주간 예비사육 후, 평균체중 4.1 g의 실험어를 선별하여 300 ℓ 들이 FRP 사각수조에 각각 30마리씩 수용하여 각 실험사료마다 3복으로 8주간 사육하였으며 실험사료는 매일 2회 오전 (08:00)과 오후 (17:00)로 나누어 실험어가 사료를 먹을 때까지 손으로 던져주었다. 사육수로 여과해수를 각 수조에 분당 8 ℓ로 조절하여 각각 흘러주었으며 사육기간 동안의 수온은 $17.8 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$ (평균 \pm 표준편차), 비중은 1.024 ± 0.0013 였다. 그리고 사육실험 시작시와 종료시에는 측정 전일 절식시킨 후 MS222 100ppm (Tricaine methanesulfonate, Sigma, USA) 수용액에 마취하여 수조에 수용된 모든 실험어의 전체 무게를 측정하였다.

성분분석 및 통계처리

어체의 성분 분석용으로 넙치의 경우 사육 실험 시작시 치어 50마리와 성장어 20마리를, 조피볼락은 실험 시작시 30마리를 sample하였다. 실험사료와 어체의 화학성분분석은 앞 실험과 동일하게 하였다.

3. 결과 및 고찰

<넙치>

8주간 사육실험 한 넙치 성장어 및 치어의 성장결과를 Table 3에 각각 나타내었다. 생존, 성장 및 사료 이용율은 사료의 choline 첨가에 유의한 영향을 받지 않았다 ($P > 0.05$).

Table 3. Growth of flounder fed the experimental diets containing 57% fish meal for 8 weeks

	Diets	
	F1 (0.5%)	F2
	Grower	
Initial weight (g/fish)	59.5±2.00 ^{ns}	60.7±1.5
Weigh gain (%)	106±1.3 ^{ns}	126±12.9
Feed efficiency (%) ²	80.2±2.17 ^{ns}	89.8±5.31
Protein efficiency ratio (%) ⁴	1.68±0.046 ^{ns}	1.89±0.111
	Juvenile	
Initial weight (g/fish)	0.7±0.05 ^{ns}	0.7±0.00
Weigh gain (%)	857±61.3 ^{ns}	1116±302
Feed efficiency (%) ²	69.3±2.95 ^{ns}	78.2±13.90
Protein efficiency ratio (%) ⁴	1.45±0.064 ^{ns}	1.64±0.292

사육실험 시작시와 종료시 넙치 성장어 및 치어의 전어체의 조성분 분석 결과를 Table 4에 각각 나타내었다. 성장어 및 치어의 수분, 단백질, 지질, 회분 함량은 모든 실험구간에 유의한 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$).

Table 4. Proximate analysis in the whole body of grower and juvenile flounder fed the experimental diets for 8 weeks

Diets	Moisture (%)	Crude protein (% DM)	Crude lipid (% DM)	Crude ash (% DM)
	Grower			
Initial	74.9	19.0	1.8	3.77
F1	74.9±0.49 ^{ns}	18.8±0.53 ^{ns}	1.9±0.09 ^{ns}	3.26±0.098 ^{ns}
F2	73.7±0.02	19.3±0.13	2.2±0.05	3.75±0.132
	Juveniles			
Initial	79.52	14.50	0.63	3.62
F1	78.0±0.17 ^{ns}	16.55±0.125 ^{ns}	0.7±0.13 ^{ns}	4.0±0.16 ^{ns}
F2	78.0±0.56	16.78±0.416	0.8±0.11	3.8±0.11

<조피볼락>

8주간 사육실험 한 조피볼락 치어의 성장결과를 Table 5에 나타내었다. 생존 및 사료 이용율은 사료의 choline 첨가에 유의한 영향을 받지 않았으나 ($P>0.05$) 증중율은 choline 무첨가구가 높아지는 경향을 보였다. 또한 어체의 일반성분 (Table 6) 및 혈액 성분 (Table 7)도 두 실험사료 간에 차이를 보이지 않았다.

Table 5. Growth of juvenile rockfish (4.1 g/fish) fed the diets containing 47% fish meal and 10% meat meal for 8 weeks

	Diets	
	R1	R2
Weight gain (%)	388±9.3 ^a	419±9.4 ^b
PER	1.81±0.016 ^{ns}	1.82±0.045
Condition Factor	1.9±0.30 ^{ns}	2.0±0.06
Visceral somatic index	4.48±0.144 ^{ns}	4.19±0.327
Hepatosomatic index	3.89±0.198 ^{ns}	4.08±0.289

Table 6. Proximate composition of juvenile rockfish fed the experimental diets for 8 weeks

	Initial	Diets	
		R1	R2
<i>Liver</i>			
Moisture	62.4	58.1±0.42 ^{ns}	56.2±0.45
Crude protein	12.7	10.0±0.08 ^{ns}	9.6±0.04
Crude lipid	14.8	12.3±0.93 ^{ns}	16.7±1.08
<i>Whole body</i>			
Moisture	73.1	69.2±0.18 ^{ns}	69.3±0.09
Crude protein	15.4	16.4±0.40 ^{ns}	16.4±0.44
Crude lipid	3.4	9.03±0.37 ^{ns}	8.9±0.34
Ash	5.3	4.0±0.09 ^{ns}	4.0±0.22

Table 7. Blood chemistry of juvenile rockfish fed the diets

Diets	Total protein (g/dl)	Glucose (mg/dl)
R1	3.63±0.186 ^{ns}	42.3±7.78 ^{ns}
R2	4.03±0.089	39.7±3.77

제 6 절 넙치의 myo-inositol 요구량

1. 서 론

Inositol은 자연계에 9개의 이성질체가 존재하며 그 가운데 myo-inositol로 불려지고 있는 sis-1,2,3,5-trans-4,6-cyclohexanehexol은 세포막의 구조적 구성분으로서 유기체 내에서 가장 높은 생리적 활성을 갖는 수용성 비타민이다. Myo-inositol은 인지질의 구성 성분으로 인과 에테르결합 형태로 모든 유기체에 존재하며 (Anderson et al., 1971), myo-inositol에 관한 연구들이 포유동물을 대상으로 많이 수행되었으며 세포막의 구성 성분인 phosphatidilinositol의 생리적인 기능과 지단백질 합성 측면에서 다루어 졌다 (Anderson et al., 1971; Hawthorne and White, 1975; Kuksis and Mookerjea, 1978). 최근에는 사이토솔 칼슘의 조절과 2차 신경전달 기능에 초점을 맞춘 연구가 이루어 졌다 (Irvine RF., 1992; Hughes and Michell., 1993; Colodny et al., 1998).

양식 어류에 있어서의 사료내 myo-inositol 연구는 미비할 뿐 아니라, 지금까지의 연구들은 대체적으로 담수어종에 한정되어 있는 실정이다. 이전에 붉은조기, 뱀장어, 돌돔, 방어를 대상으로 한 연구결과에서는 실험사료에서 myo-inositol이 결핍되었을 때 다양한 결핍증상들을 보였는데 식욕부진, 무기력증, 성장지연, 지느러미 부식, 채색흑화, 위의 공복지연, 콜린가수분해효소와 특정 아미노전이 효소 활성 감소등이 보고되었다 (McLaren et al., 1947 Kitamura et al., 1967b Yone et al., 1971; Arai et al., 1972; Ikeda et al., 1988; Hosokawa, 1989). 최근에는 몇몇 어종에서 사료내 myo-inositol의 첨가가 필요 없는 것으로 보고된 바 있으며, 이유는 어체 내에서 새로 합성된 myo-inositol 양으로도 결핍증을 예방할 수 있다는 결과를 얻었기 때문이다 (Butrle and Lovell, 1989 Waagbo et al., 1997; Deng et al., 2002; Peres et al., 2004). Myo-inositol 요구량은 이처럼 어종 사이에서 큰 차이를 나타내고 있으며 최근에 틸라피아 어종을 대상으로 수행한 연구에서는 같은 어종일 지라도 어류의 성장 단계에 따라 그 필요성이 다르게 나타나는 것처럼 보인다 (Peres et al., 2004; Shiau and Su, 2005).

넙치는 우리나라를 비롯하여 중국, 일본에서 가장 중요하게 양식되고 있는 해산어 가운데 하나이며 지난 10년간 우리나라에서 가장 많이 생산되고 있는 양식어종이다. 양식 산업에서 양식생산비용의 50~60% 를 차지하는 사료는 넙치의 생산단가를 높일 뿐만 아니라 생사료 사용으로 인한 어류질병과 환경오염 문제를 야기시키는 것은 이미 누구나 알고 있는 사실이다. 우리나라의 양식장 배출수 기준이 강화됨에 따라 현지 양식장에서는 어류사료를 생사료에서 배합사료로 전환하고 있다. 이런 시점에서 어류의 영양요구량과 양식생산 단가를 낮출수 있는 배합사료의 개발이 시급히 요구되고 있다. 근래에 와서는 넙치의 영양적 측면에서 어분을 대체할 수 있는 식물성 단백질원에 관한 연구가 활발

히 이루어지고 있으나 비타민과 같은 미량 영양소에 관한 사료영양학적인 연구는 그리 많이 연구되지 않고 있다.

따라서, 본 연구는 우선적으로 넙치에 있어서 사료내 myo-inositol의 적정 요구량을 평가하였고 결핍시 나타나는 생리적인 영향을 조사하기 위하여 수행하였다.

2. 재료 및 방법

실험어류 및 사료공급

본 실험에 사용된 넙치 치어는 제주도내 종묘배양장에서 제주대학교 소속 해양과환경연구소 로 수송 하였으며, 3일 동안 실험환경에 적응기간을 갖도록 시판 배합사료를 공급 하였다. 적응기간 후 넙치치어(초기 평균무게: $1.22 \pm 0.04g$)는 총 15개의 35L 원형수조에 각 수조당 48 마리씩 무작위 배치되었다. 사료공급실험은 실험구당 3반복구를 두었고, 어류가 성장함에 따라 수조내 적정밀도 유지를 위하여 6주째 각 수조당 12 fish/tank 밀도가 되도록 어류의 평균무게를 맞춰서 재배치하였다. 사육수는 여과해수를 사용하여 1~2 L/min 의 유수량이 공급되도록 조절 하였고, 모든 실험수조에 용존산소 유지와 원활한 사육수 순환을 위하여 에어스톤을 설치하였다. 수온은 실험기간 동안 13°C 에서 29°C 범위로 계절변화에 따라 자연변동 하였다. 실험사료는 하루 두번에 걸쳐서 오전 09:00h 와 오후 16:00h 경에 공급되었고 사료공급 후 20분후에 싸이폰을 이용하여 각 수조내의 어류 배설물 청소와 사육수 환수를 하였다. 사료공급량은 최초 어체중의 4%로 공급하였으며, 사육수온이 계절변화에 의해 하강함에 따라 사료공급량을 어체중의 1%까지 점차 감소시키면서 제한 공급하였다. 어류의 성장을 측정하기 위하여 매 2주마다 전체 어류의 무게를 측정하였고, 사료공급실험은 총 26주간 수행되었다.

실험사료

반정제 사료원을 기초로 한 5개의 실험사료는 52%의 조단백질과 18.3MJ/kg diet 의 에너지함량을 갖도록 동일하게 조성되었고 기초사료 조성표는 Table 1에 나타내었다. 총 5개의 실험사료는 myo-inositol 의 함량을 각각 0, 0, 400, 800, 1600 mg/kg diet 농도로 기초사료에 첨가하였고 (M0, M0+, M400, M800, M1600), myo-inositol이 첨가되는 양 만큼 cellulose를 감소시켜 총 백분율을 맞추었다. 실험사료 중 M0+ 사료에는 항생제인 tetracycline hydrochloride (SIGMA, USA) 를 실험사료에 0.4% 수준으로 첨가하였고, 넙치에서 myo-inositol이 장내 미생물들에 의하여 자체 합성이 되는지를 알아보기 위하여 비교 실험구로서 디자인 하였다.

실험사료는 주요 단백질원으로서 Casein과 Gelatin을 사용하였고, 실험사료가 먹이섭식 유인성을 갖도록 하기위하여 기초사료에 탈지어분을 첨가하였다. 탈지어분의 제조과정은

백색어분을 70 % 에틸알콜 (ethanol:water, 7:3, v:v)로 2번에 걸쳐 총 48 h 동안 탈지시킴으로써 어분 내에 있는 myo-inositol을 제거하였다. 탈지된 어분은 상온에서 선풍기로 건조시킨 후 사료원으로 이용하였다. 실험사료 제조과정은 다음과 같다. 우선 사료원들을 잘 섞은 다음 사료원 총량의30~40 % 에 해당하는 증류수를 첨가하여 사료혼합기 (NVM-14-2P, KOREA)로 혼합, 반죽시켰다. 혼합 반죽물은 소형초파기(SMC-12, KOREA)를 이용하여 직경 3mm 크기로 뽑아내었다. 그런 다음, -40°C 동결냉동건조기에서 건조시켜, 적당한 크기의 사료로 분쇄한 다음, 사료 공급 전까지 -20°C 냉동고에 보관하였다.

Table 1. Ingredient composition of the basal diet (% dry matter)¹

Ingredients	%
Casein (vitamin free)	38
Gelatin	9
Fish meal (defatted) ²	10
Dextrin	15
Starch	10
Squid liver oil	11
CMC	0.5
Vitamin Mix. ³	3
Mineral Mix. ⁴	3
Cellulose	0.5

¹Calculated based on the compositions of the ingredients used (NRC, 1993).

² Fat and vitamin of fish meal were extracted by 70% aqueous ethanol solution (water : ethanol= 3 : 7) for 48h.

³ Vitamin premix (g/kg of mixture): retinyl acetate, 0.667; cholecalciferol, 0.033; menadione, 0.133; thiamine hydrochloride, 2.667; (-)-riboflavin, 2.933; d-pantothenic acid hemiacid, 9.667 pyridoxine hydrochloride, 2.667; cyanocobalamin, 0.007; niacinamide, 20.000; folic acid, 0.320; d-biotin, 0.133; ascorbic acid, 3.000; α -tocopherol, 0.667.

⁴ Mineral mixture was based on the composition of Sang-Min Lee et al. 2003 (Aquaculture 225:269-281).

어체측정 및 분석

26주간의 사료공급 실험 후, 각각의 수조에서 어류의 최종 평균무게를 측정하여 증체율(Weight Gain), 사료섭취율(Feed Intake), 사료전환효율(Feed Conversion Ratio), 일간성장율(Specific Growth Rate), 단백질전환효율(Protein Efficiency Ratio)을 계산하였다. 위의 성장인자 측정은 아래와 같은 식으로 계산되었다.

WG (%) : $100(\text{final mean body weight} - \text{initial mean body weight}) / \text{initial mean body weight}$

FI (DM, g / fish) : $\text{total feed fed (g)} / \text{fish}$

FCR : $\text{total feed fed (g)} / \text{wet weighted gain (g)}$

SGR (%) : $100(\log_e \text{ final mean body weight} - \log_e \text{ initial mean body weight}) / \text{days}$

PER (%) : $\text{wet weighted gain (g)} / \text{total protein given (g)}$

어체 무게를 측정한 실험어는 분석을 위해서 대뇌부를 가격하여 즉시 시킨 후 즉시 -70°C 초저온 냉동고에 보관하였다. 냉동 보관된 실험어는 전어체의 일반성분 분석과 간에서의 총 지방함량을 분석하였다. 전어체의 일반성분 분석을 위하여 각 실험구별로 3마리씩 그리고 간에서의 총 지방함량을 분석하기 위하여 각 실험구별로 6마리(2 fish/tank)씩을 무작위 선별하여 하였다.

혈액 분석

실험 종료시 수조당 3마리(실험구마다 9마리씩)의 어류는 무작위 선별되었으며 MS-222 용액(100mg/L)으로 마취되었다. 혈액샘플은 헤파린 처리된 주사기로 꼬리 정맥혈관에서 뽑아내었다. Hematocrit(Ht)은 microhematocrit technique에 의해 분석되었으며, 혈액은 플라스틱 유두관으로 넣고서 micro-hematocrit (VS-12000, Korea) 에서 8분동안 12,000 g 으로 원심분리 되었다. 헤모글로빈은 다음의 설명에서 약간 수정된 방법으로 결정되었다. 25ul 의 혈액샘플은 (헤파린처리 안됨) 2.5ml의 수정된 헤모글로빈 용액(composed of 0.7 g K₃Fe(CN)₆ and 0.1 g KCN in 1 liter double distilled water) 으로 희석되었고, 혼합물의 흡광도는 540nm의 파장에서 분광광도계(Genesys 10 UV, USA)로 측정되었으며 헤모글로빈은 다음식으로 계산되었다(Sandoval et al., 2002).

$Hb = 0.146 \times F \times OD$ (Hb: hemoglobin; F: 희석배수(200) and OD: 540nm에서의 흡광도)

통계학적 분석

실험사료의 배치는 완전확률계획법(Completely randomized design)을 실시하였고, 성장 및 분석결과는 SPSS (Version 12.0) 프로그램을 이용하여 One-way ANOVA로 통계 분석되었다. 데이터 값의 유의차는 Duncan's multiple test (P 0.05)로 비교되었다. 데이터는 평균값 ± 표준편차 (mean ± std)로 나타내었다. 백분율 데이터는 arcsine 변형값으로 계산하여 통계 분석되었다.

3. 결과 및 고찰

26주간의 사육실험 결과, 사료내 myo-inositol 첨가에 의한 어류의 성장 결과들에서 유의적인 차이가 나타났다 ($P>0.05$). 사료전환효율 (Feed conversion ratio)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 없었으나 성장율 (Weight gain, %), 사료섭취율 (Feed intake), 일간성장율 (Specific growth rate), 단백질전환효율 (Protein efficiency ratio) 에서는 사료내 myo-inositol 첨가 농도가 증가함에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 보였다 (Table 2). 실험기간 동안의 생존율 (Survival)은 61~86%로 차이를 보이고 있으나 통계분석 결과 실험구 사이에서 유의차는 나타나지 않았다 ($P>0.05$). 성장율, 사료섭취율, 일간성장율 및 단백질전환효율의 경향으로 살펴보면 사료내 myo-inositol을 800 mg/kg diet 수준으로 첨가 하였을 때가 그 이하의 농도로 첨가 되었을 때 보다 높은 성장관련 결과들을 보여 주었으며, 1600 mg/kg diet 로 첨가되었을 때 보다도 높게 나타났다.

Table 2. Growth performance of flounder fed five experimental diets with four different levels of myo-inositol for 26 weeks

Diets	M0	M0+	M400	M800	M1600
WG (%) ¹	2031 ± 108 ^a	2127 ± 151 ^{ab}	2417 ± 170 ^{bc}	3017 ± 315 ^d	2734 ± 149 ^{cd}
FI (DM, g/fish) ²	27.5 ± 0.8 ^a	30.0 ± 2.2 ^a	32.9 ± 0.8 ^b	37.3 ± 2.2 ^c	33.5 ± 0.9 ^b
FCR ³	1.11 ± 0.09	1.15 ± 0.00	1.12 ± 0.10	1.02 ± 0.10	1.01 ± 0.08
SGR (%) ⁴	0.95 ± 0.02 ^a	0.96 ± 0.02 ^{ab}	1.00 ± 0.02 ^{bc}	1.07 ± 0.03 ^d	1.04 ± 0.02 ^{cd}
PER (%) ⁵	1.66 ± 0.13 ^{ab}	1.59 ± 0.00 ^a	1.64 ± 0.14 ^{ab}	1.87 ± 0.18 ^b	1.84 ± 0.15 ^{ab}
SUV (%)	86.1 ± 9.6	72.2 ± 25.5	66.7 ± 0.0	61.1 ± 25.5	72.2 ± 17.3

Values are presented as mean±std. Value in the same row having different superscript letters are significantly different ($P<0.05$).

¹ WG (%) : 100(final mean body weight-initial mean body weight) / initial mean body weight

² FI (DM, g / fish) : total feed fed (g) / fish

³ FCR : total feed fed (g) / wet weighted gain (g)

⁴ SGR (%) : 100(log_e final mean body weight-log_e initial mean body weight)/days

⁵ PER (%) : wet weighted gain (g) / total protein given (g)

전어체의 일반성분 분석결과 (Table 3)에서는 조단백질, 조회분, 수분 함량에서 유의적인 차이를 보이지 않았으나 조지방 농도에서 M0와 M400 실험구 사이에는 유의적인 차이를 나타내었다(P<0.05).

Table 3. Whole body composition of flounder fed five experimental diets with four different levels of myo-inositol for 26 weeks

Diets	M0	M0+	M400	M800	M1600
Protein, % DM	66.32 ± 3.31	65.41 ± 1.62	69.78 ± 2.33	68.95 ± 3.61	68.27 ± 1.82
Lipid, % DM	15.72 ± 1.07 ^a	14.21 ± 2.34 ^{ab}	10.49 ± 1.46 ^b	12.41 ± 2.83 ^{ab}	13.85 ± 2.06 ^{ab}
Ash, % DM	14.13 ± 1.35	15.93 ± 2.25	16.28 ± 2.30	14.55 ± 0.30	13.94 ± 0.87
Moisture	75.65 ± 0.52	76.46 ± 0.77	75.75 ± 1.34	76.54 ± 0.46	76.85 ± 1.43

Values are presented as mean std. Value in the same row having different superscript letters are significantly different (P<0.05).

혈액분석 (Table 4) 중 Hematocrit 과 Hemoglobin 함량은 실험구별로 유의적인 차이를 보이지 않았다 (P>0.05). 실험어류의 간에서 총 지방함량을 분석한 결과에서도 모든 실험구 사이에서 유의적인 차이는 나타나지 않았으나 (P>0.05) 간지방 농도의 경향으로 판단한다면 사료내 myo-inositol을 400 mg/kg diet 이상으로 첨가되었을 때가 결핍된 실험구보다 낮은 간지방 농도 값을 보여주고 있다 (Fig. 1).

넙치의 inositol 신생합성 능력 평가를 위한 M0+ 실험구는 다른 실험구와 비교하였을 때 성장율, 혈액분석, 그리고 간지방 농도 결과값들에서 유의적인 차이를 보이지 않았다 (P>0.05).

Table 4. Blood parameters of flounder fed five experimental diets with four different levels of myo-inositol for 26 weeks.

Diets	M0	M0+	M400	M800	M1600
Hematocrits (Ht %)	14.0±0.88	17.3±2.08	18.0±7.94	15.4±40.51	17.0±2.00
Hemoglobin (Hb g/dL)	2.39±0.56	2.30±0.23	2.18±0.13	2.37±0.37	2.56±0.08

Values are presented as mean std. No significant differences (P<0.05) were observed among treatment.

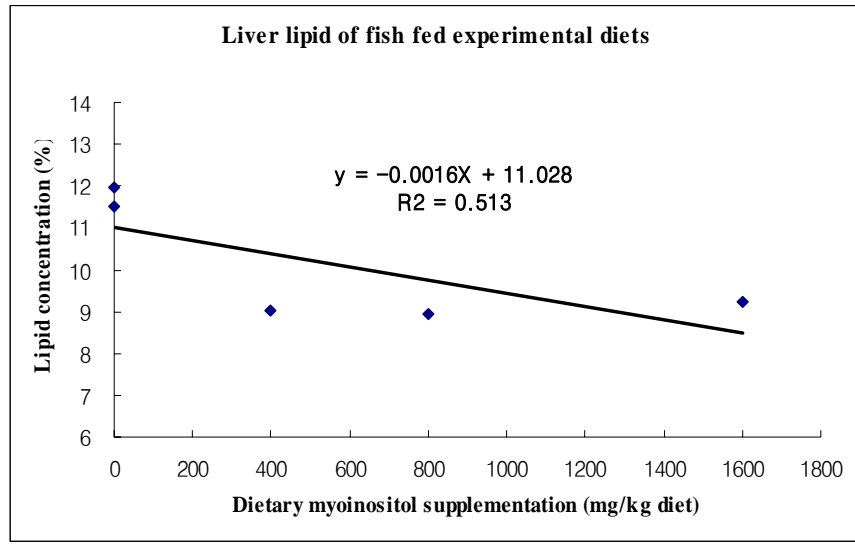


Fig. 1. Total lipid concentration in the liver of flounder fed five experimental diets with four different levels of myo-inositol for 26 weeks. Each point represents the means of three groups of fish (n=3), each containing two fish. No significant differences ($P < 0.05$) were observed among treatment.

반 정제사료를 기초로한 26주 동안의 사육실험 결과, 넙치 초기치어에 있어서 최적의 myo-inositol 농도는 사료내 800mg/kg diet 로 첨가했을때 가장 높은 성장율을 보여 이 농도가 가장 적절한 첨가량으로 사료된다. Myo-inositol의 요구량에 관한 이전 연구에서는 tilapia (Shiau and Su, 2005), yellowtail (shimeno, 1991), pacific salmon (Halver, 1972), common carp (Aoe and Masuda, 1967), and rainbow trout (McLaren et al., 1947) 종에서 수행되었으며 그 요구량이 각각 404~408, 423, 300~400, 440, 250~500 mg/kg diet 였다. 반면에, sunshine bass (Deng et al., 2002), atlantic salmon (Waagbo et al, 1988), and channel catfish (Burtle and Lovell, 1989) 종을 대상으로 한 연구에서는 사료내 myo-inositol을 필요로 하지 않았다. 그 이유는 이런 어종에서 myo-inositol이 결핍된 사료를 섭취하였을 때 아무런 결핍증상도 나타나지 않았고, 어체 분석결과에서 충분한 양의 myo-inositol을 체내에 함유하고 있었기 때문이다. Mai et al. (2001) 의 연구에 의하면 전복 조직내에 inositol 합성과 관련된 효소인 L-myoinositol-1-phosphate synthetase 와 L-myoinositol-1-phosphatase 을 분석하였으며, 사료내 myo-inositol 농도가 증가함에 따라 이런 효소의 농도가 반비례적으로 감소했다고 보고 하였는데 이것은 외부사료원내의 myo-inositol 농도와 합성효소 사이에서 되먹임 저해조절 기작을 갖고 있기 때문이라고 보고된 바 있다. 그러나 어류에 있어서 이런 조절기작을 갖고 있는지는 아직 정확하게 밝혀지지 않았다. 틸라피아를 대상으로 한 myo-inositol 연구에서는 성장율 결과에서만 비교하였을 때 틸라피아의 성장단계에 따라 그 요구량이 다르게 나타났다 (Peres et al., 2004; Shiau and Su, 2005). 이런 결

과들로 볼때 myo-inositol은 어종, 성장단계 그리고 서식 환경조건의 차이에 따라 myo-inositol 요구량이 큰 차이를 나타내는 것으로 보이며, 합성효소 유무와도 깊은 관련이 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 myo-inositol 결핍사료를 섭취한 실험어류에서 성장지연과 같은 결핍증상이 관찰 되었으며, 실험어의 간 지방농도 결과에서도 비록 유의적인 차이를 밝힐수는 없었지만 간지방 축적 경향을 보여주었다 (Aoe and Masuda, 1967, Halver, 1953a,b, McLaren et al. 1947a). 전어체 분석결과(Table 3) 에서도 간지방 분석결과와 비슷한 경향을 보였는데, 전어체의 조지방 함량에 있어서 myo-inositol 이 결핍된 실험구가 결핍되지 않은 실험구보다 높은 지방함량을 보여주었다 (Table 3). 이와 유사한 결과가 Hybrid tilapia (Shiau and Su, 2005) 를 대상으로 한 실험에서도 보고 되었는데, 간조직의 지방함량 분석결과 myo-inositol 이 결핍된 사료구에서 유의적으로 높은 간지방 함량을 나타내었다. Grass shrimp (Shiau and Su, 2004) 종을 이용한 실험에서는 myo-inositol 이 첨가되지 않은 실험구에서 shrimp 중장선의 지방함량이 높게 검출되었다. 이와 같은 지방축적 결과는 수생동물에서 뿐만 아니라 육상동물에서도 오래전 부터 많은 보고가있었는데, 설치류를 대상으로 한 실험에서는 myo-inositol 결핍시 실험 동물의 소장에서 지방 축적이 나타났으며, 소장의 지방산 분석결과 대조구 보다도 myo-inositol 결핍된 실험구에서의 triglyceride, diglyceride, and cholesterol 가 유의적으로 높게 나타났다 (Chu and Hegsted, 1980). 이런 연구결과들을 통합해 볼때, myo-inositol 이 동물체의 지방운반 이나 대사에 깊은 관여를 하고 있는것으로 사료된다.

본 연구에서 넙치의 장내 미생물들에 의한 inositol 신생합성은 초기넙치에 있어서 합성 될 수 없는 것으로 보인다. 따라서, 넙치치어는 myo-inositol 을 신생 합성할 수 없으며 배합사료로 부터 적정량의 myo-inositol을 공급 받아야될 것으로 사료된다. 이제까지 Myo-inositol 요구량에 관한 연구들이 대부분 담수성 어종을 대상으로 수행되었다. 본 연구에서는 해산어인 넙치에 있어서의 myo-inositol 요구량을 결정하였다. 본 연구결과에서는 반정제 사료를 기준으로 약 800 mg/kg diet 의 함량이 성장을 뿐만아니라 조직내의 지방축적을 고려하였을 때 가장 적절한 값으로 사료된다. 이 농도는 이전에 보고된 담수어종 (Shiau and Su, 2005 shimeno, 1991; Halver, 1972 Aoe and Masuda, 1967) 보다도 약 2배 정도 높은 함량 이다. 그러나 myo-inositol은 대부분의 사료원에 풍부하게 존재하며, 일반적으로 식물의 씨앗에 존재하는 인의 약 ~75%까지는 myo-inositol 형태로 존재 (Raboy, 2001) 할 뿐만 아니라 어류사료원 으로서 가장중요하게 인식되는 어분에서는 건조물을 기준으로 하여 약 700-800 mg/kg (Boge and Braekkan, 1974) 의 myo-inositol을 함유하고 있기 때문에 실용사료를 기초로한 myo-inositol 적정 첨가농도는 800mg/kg diet 보다도 낮은 농도에서 결정 될수 있다. 따라서, 실용사료원에서의 myo-inositol 적정 첨가함량을 구하기 위해서는 앞으로 실용사료원내의myo-inositol 함량 분석이 이루어져야 할 것이다.

제 7 절 사료의 vitamin E 함량에 따른 n-3HUFA 첨가가 조피볼락의 성장 및 체성분에 미치는 영향

1. 서론

사료중의 지질은 에너지 가(value)가 높아 값비싼 사료 단백질을 절감시킬 수 있는 에너지원일 뿐 아니라 어류의 필수지방산 (Essential fatty acid, EFA) 및 vitamin 공급원으로 서도 매우 중요한 역할을 담당하고 있는 영양소이다. 어류는 어종과 서식환경에 따라 EFA로 작용하는 지방산의 종류와 양이 다르다고 보고되어 있다. 즉, 같은 담수어에 있어서도 무지개송어(Castell et al., 1972a,b ; Watanabe et al., 1974a,b ; Takeuchi and watanabe, 1977a)는 linolenic acid를 EFA로 요구하지만 잉어(Takeuchi and watanabe, 1977b ; Watanabe et al., 1975)와 뱀장어(Takeuchi et al., 1980)는 linolenic acid와 linoleic acid를 모두 필요로 하며, Tilapia(Kanazawa et al., 1980 ; Takeuchi et al., 1983a,b)의 경우에는 linolenic acid보다 linoleic acid가 EFA로서 더 중요하다고 알려져 있다. 이와는 대조적으로 참돔(Yone and Fujii 1975a,b ; Fujii and yone 1976 ; Fujii et al., 1976)과 방어(Deshimaru et al., 1982a,b) 등 해산어에 있어서는 EPA 및 DHA와 같은 n-3계 고도불포화지방산(n-3 highly unsaturated fatty acids, n-3HUFA)이 성장에 필수적인 역할을 한다고 보고되어 있다. 우리나라의 주요 양식 대상종인 조피볼락의 경우, EFA가 EPA 및 DHA같은 n-3HUFA이며, EFA가 사료에 부족되면 여러 가지 부작용이 초래되고, 요구량 이상의 필수지방산은 성장을 더 이상 개선시키지 못하는 것으로 연구되었다 (Lee, 2001). 또한, 이(1994)는 사료에 n-3HUFA가 충족되면, 우지, 대두유 및 오징어 간유 중 어느 것을 첨가하여도 조피볼락의 성장에 특별한 영향이 없음을 밝혀 사료 단가를 절감시킬 수 있을 것으로 보고하였다. 특히, 사료의 지질 함량 및 지방산 조성은 어체 품질에 직접적인 영향을 미치는 영양소이고, 지질 중의 HUFA는 쉽게 산화될 수 있다.

Vitamin E는 천연 항산화제로서 뿐 아니라 여러 가지 중요한 기능을 가지고 있다. 일반적인 어류의 vitamin E 요구량은 25~120 mg/kg diet이며, vitamin E가 부족하면 체색, 간, 근육, 심장 등에 이상증상이 나타난다고 알려져 있다(NRC, 1993). 정제사료로 연구된 결과에 의하면, 조피볼락의 vitamin E 요구량은 45 mg/kg diet로 보고되었다 (Bai and Lee, 1998). 사료 지질 중의 HUFA 함량이 높을수록 vitamin E 요구량이 높아진다는 보고가 있으나, 해산어류에 대해서는 정확히 연구된 바가 없다. 따라서 본 연구는 실용적인 배합사료에 지질 종류 (n-3HUFA 함량)가 다를 때 vitamin E 함량이 조피볼락에 대한 성장 및 체성분의 변화를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험사료는 Table 1에 나타낸 바와 같이 사료의 단백질원과 탄수화물원으로 각각 어분과 dextrin을 첨가하였다. 사료의 n-3HUFA 함량을 조절하기 위하여 지방산 조성이 다른 지질원 (Table 2)으로 오징어 간유, 대두유 및 ME85 (85% n-3HUFA)를 조합하여 첨가하였다. 또한 사료의 비타민 E 함량은 사료의 cellulose 대신 DL- α -tocopheryl acetate를 첨가하였다. 그리고 사료의 단백질, 지질, vitamin E 요구량은 기존의 연구결과를 토대로 조피볼락의 요구에 맞도록 설계하였다. 사료는 원료들을 잘 혼합한 후 원료 100 g 당 물 40 g을 첨가하여 펠렛 제조기로 실험사료를 성형한 후 실온에서 12시간 건조하였다. 제조된 실험사료를 -30°C 에 보관하면서 사용하였다.

Table 1. Composition (%) of the experimental diets

Ingredients (%)	Diets no					
	1	2	3	4	5	6
White fish meal ¹	61	61	61	61	61	61
Dextrin	16	16	16	16	16	16
Brewer's yeast	3	3	3	3	3	3
Squid liver oil ²	2	12	8	2	12	
Soybean oil	10			10		8
n-3HUFA ³			4			4
Vitamin premix ⁴	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Mineral premix ⁵	4	4	4	4	4	4
α -cellulose ⁶	1	1	1	1	1	1
DL- α -tocopheryl acetate ⁷	-	-	-	-	-	-
Choline salt ⁶	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Nutrient composition (% in dry basis)						
Crude protein	44.6	44.3	44.4	44.9	44.9	45.1
Crude lipid	16.7	16.6	16.6	16.4	16.8	16.7
n-3HUFA ⁸	1.0	3.0	5.6	1.0	3.0	4.0
Vitamin E (mg/kg) ⁸	400	400	400	70	70	70

¹ Pollack fish meal, produced by steam dry method.

² Provided by E-wha Oil & Fat Ind. Co., Busan, Korea.

³ Highly unsaturated fatty acids ($C \geq 20$), contained 85% n-3HUFA (33% EPA + 49% DHA).

^{4, 5} Same as Lee et al. (2003).

⁶ Sigma Chemical, St. Louis, MO, USA.

⁷ Partially replaced cellulose to achieve graded levels of vitamin E.

⁸ Calculated based on analysis of ingredients.

Table 2. Major fatty acid composition (% of total fatty acids) of dietary lipid source

Fatty acid	Lipid sources			
	Fish meal oil	n-3HUFA	Squid oil	Soybean oil
16:0	19.9	tr	28.0	11.7
16:1	5.8	0.2	2.5	0.2
18:0	3.9	tr	1.7	3.9
18:1	25.6	1.1	13.5	21.9
18:2n-6	1.0	1.2	1.5	53.7
18:3n-3	0.2	4.3	1.2	8.4
EPA	9.1	32.6	6.8	-
DHA	17.5	49.1	12.2	-
n-3HUFA	26.7	86.5	20.3	0.0

실험어 및 사육관리

사육 실험은 조피볼락 치어를 2개월간 예비 사육한 후, 평균체중 33 g의 치어를 실험어로 선별하여, 300 ℓ FRP 수조 (수용적 180 ℓ)에 20마리씩 3반복으로 수용하여 16주간 사육실험하였으며, 4주 간격으로 전체무게 측정하였다. 각 실험 수조마다 여과해수를 3→5 ℓ/min로 주수하였으며, 사육기간중의 수온은 12-17℃ 사이였다. 먹이는 1일 1회 만복으로 급여하였다.

성분분석

혈액의 생화학적 성분 변화를 조사하기 위하여 실험종료시 각 수조의 실험어 5 마리를 무작위로 sample로 취하여 채혈하고 hematocrit, hemoglobin, protein, triglyceride 및 phospholipid를 측정하였다. 간, 근육의 성분 분석용으로 실험 개시시 20마리, 실험 종료시 각 수조에서 15마리씩 sample하여 냉동(-75℃) 보관하였다. 실험사료와 어체의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 분석하였는데, 조단백질 (N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 24 시간 동안 건조 후 측정하였다. 조회분은 550℃의 회화로에서 4 시간 동안 태운 후 정량하였다. 지방산 분석은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 메탄올과 클로로포름 혼합액으로 지질을 추출하여 14% BF₃-methanol (Sigma, USA)로 지방산을 methylation 시킨 후, capillary column (HP-INNOWax, 30m × 0.32mm × 0.5μm, USA)이 장착된 gas chromatography (HP-5890 II)로 분석하였다. 표준 지방산으로 12:0, 14:0, 14:1, 16:1n-7, 18:0, 18:1n-9, 18:2n-6, 18:3n-3, 20:0, 20:1n-9, 20:2n-6, 20:3n-3, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:0, 22:1n-9, 22:2n-6, 22:3n-3, 22:4n-6, 22:5n-3, 22:6n-3 및 24:0 (Sigma, USA)을 사용하였다. Carrier gas는 helium (30 ml/min)을 사용하였으며, oven 온도는 170℃에서 225℃까지 2℃/min 증가시켰고, injector의 온도는 250℃, detector (FID) 온도는

는 270℃로 설정하였다. 또한, 메탄올과 클로로포름 혼합액으로 추출한 지질을 Juaneda and Rocquelin (1985)의 방법에 따라 Sep-pak silica cartridge (Waters Associates, Milford, MA)를 사용하여 극성지질을 분리하여 정량하였다. 혈액은 측정전일 절식시킨 실험어의 미부동맥에서 일회용 주사기로 분리하였다. 채혈한 혈액 중 일부는 혈액성상을 조사하기 위해서 항응고제인 heparin-Na (Sigma, 100,000 units)을 혈액 1 cc당 0.05 cc로 처리한 complete blood cell count 병(CBC, 녹십자사제품)에 넣어 hemoglobin(Hb)양과 hematocrit(Ht)치를 측정하였다. Hb는 cyanmethemoglobin법으로, Ht는 모세관법으로 microhematocrit법을 사용하여 각각 측정하였다. 혈청성분은 채혈한 혈액을 실온에 30분간 방치한 후 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 상층액을 -75℃에 동결 보존하면서 1주 이내에 분석하였다. 혈청분석은 임상용 kit를 사용하여 분석하였다.

통계 분석

결과의 통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 SPSS program을 사용하여 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

16주간 사육실험한 후 성장, 사료효율 및 간중량비를 Table 3에 표시하였다. 증중율 (Fig. 1)은 사료의 n-3HUFA 및 vitamin E 함량에 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$). 사료효율 (Fig. 1)은 동일한 사료의 vitamin E 함량에서 n-3HUFA 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다 ($P<0.05$). 일간 사료 및 지질 섭취율은 사료의 n-3HUFA 및 vitamin E 함량에 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$). 간 중량비는 동일한 사료의 vitamin E 함량에서 n-3HUFA 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다 ($P<0.05$).

이처럼 사료의 n-3HUFA 및 vitamin E 함량에 따라 성장 차이가 없는 것은 본 실험에 사용된 실험사료 내에 이들의 요구량이 이미 충족되었기 때문으로 판단된다. 이미 조피 불락을 대상으로 연구된 결과들을 살펴보면, EPA 및 DHA같은 n-3HUFA 요구량이 1% 전후이며 (Lee, 2001), vitamin E 요구량은 45 mg/kg diet로 보고되었다 (Bai and Lee, 1998). 성장과 달리 사료효율이 사료의 n-3HUFA 함량에 영향을 받는 것은 아마도 사료내 영양소 상호작용 등에 의한 부작용으로 판단된다. 또한, 간중량비의 변화는 간의 지질 함량에 영향을 받은 것으로 보인다.

Table 3. Growth performance of rockfish fed the different experimental diets for 16 weeks¹

Diets no	Dietary n-3HUFA (%)	Dietary vitamin E (mg/kg)	Initial weight (g/fish)	Weight gain (%) ²	Feed efficiency (%) ³	HSI ⁴
1	1.0	400	33.1±0.27	132±6.0	93.2±2.06 ^{bc}	4.01±0.074 ^b
2	3.0	400	33.0±0.22	132±4.0	90.9±1.43 ^{abc}	3.43±0.037 ^a
3	5.6	400	32.8±0.12	133±2.3	88.5±1.16 ^a	3.55±0.046 ^a
4	1.0	70	33.0±0.29	135±3.8	92.0±0.78 ^{abc}	3.76±0.169 ^{ab}
5	3.0	70	33.0±0.31	137±3.1	94.2±0.12 ^c	3.47±0.174 ^a
6	4.0	70	33.0±0.38	125±3.8	89.7±1.30 ^{ab}	3.42±0.074 ^a

Two-way ANOVA

Dietary vitamin E	P<0.4	P<0.5	P<0.4
Dietary n-3HUFA	P<0.3	P<0.05	P<0.01
Interaction	P<0.9	P<0.1	P<0.3

¹ Values (mean ± SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² (Final body weight - initial body weight)×100/initial body weight.

³ Fish wet weight gain×100/feed intake.

⁴ Hepatosomatic index = (Liver weight/body weight)×100.

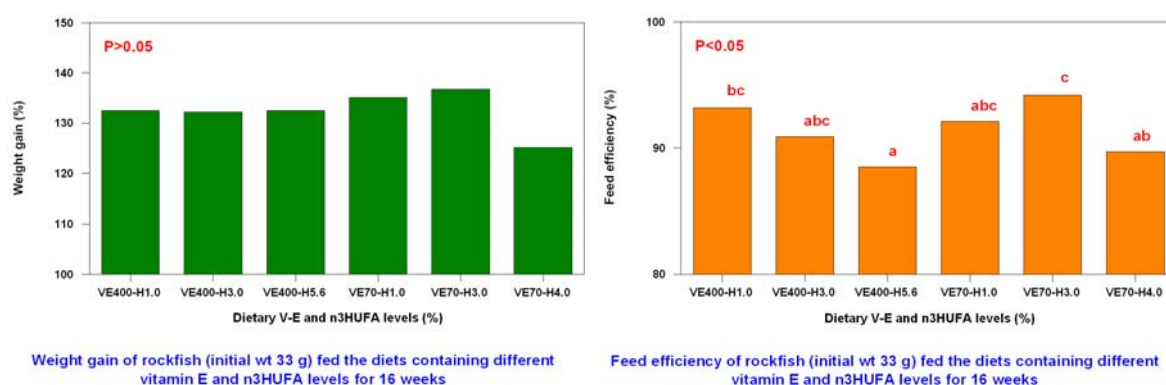


Fig. 1. Weight gain and feed efficiency of rockfish (33 g/fish) fed the different experimental diets for 16 weeks.

사육실험한 후의 근육의 일반성분 및 vitamin E 함량을 Table 4와 5에 표시하였다. 근육의 단백질, 지질, 회분 및 비타민 E 함량은 사료의 n-3HUFA 및 vitamin E 함량 영향을 받지 않았다.

간의 일반성분의 분석결과를 Table 6에 표시하였다. 회분 함량은 실험구간에 차이를 보이지 않았다. 회분간의 지질 함량은 동일한 사료의 vitamin E 함량에서 n-3HUFA 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였고, 단백질 및 수분 함량은 n-3HUFA 함량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다 ($P<0.05$).

Table 4. Proximate composition of the dorsal muscle in rockfish fed the different diets for 16 weeks¹

Diets no	Dietary n-3HUFA (%)	Dietary vitamin E (mg/kg)	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
1	1.0	400	75.0±0.50	20.1±0.23	3.9±0.58	1.3±0.00
2	3.0	400	75.8±1.18	20.1±0.28	3.9±0.20	1.3±0.00
3	5.6	400	73.1±0.21	20.5±0.29	4.7±0.55	1.3±0.00
4	1.0	70	75.4±0.08	20.5±0.16	3.4±0.29	1.3±0.00
5	3.0	70	74.5±0.14	20.2±0.17	4.4±0.23	1.3±0.03
6	4.0	70	75.7±0.76 ^b	20.0±0.26	4.2±0.15	1.3±0.33
Two-way ANOVA						
Dietary vitamin E			P<0.6	P<0.4	P<0.9	P<0.5
Dietary n-3 HUFA			P<0.1	P<0.4	P<0.2	P<0.8
Interaction			P<0.2	P<0.6	P<0.3	P<0.5

¹ Values (mean ± SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

Table 5. Vitamin E content of the dorsal muscle in rockfish fed the different diets for 16 weeks¹

Diets no	Dietary n-3HUFA (%)	Dietary vitamin E (mg/kg)	α-tocopherol (ppm)	β-tocopherol (ppm)
1	1.0	400	85±14.6	8.1±3.32
2	3.0	400	122±37.6	11.7±0.90
3	5.6	400	208±64.1	12.1±1.34
4	1.0	70	134±56.0	12.9±0.93
5	3.0	70	198±60.5	11.1±0.68
6	4.0	70	77±22.8	10.4±1.75

Two-way ANOVA

Dietary vitamin E	P<0.2	P<0.3
Dietary n-3 HUFA	P<0.1	P<0.6
Interaction	P<0.8	P<0.2

¹ Values (mean ± SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 6. Proximate analysis (%) of the liver in rockfish fed the different diets for 16 weeks¹

Diets no	Dietary n-3HUFA (%)	Dietary vitamin E (mg/kg)	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
1	1.0	400	51.2±1.12 ^{ab}	8.6±0.27 ^a	30.7±1.53 ^{cd}	0.8±0.03
2	3.0	400	53.9±0.50 ^{bc}	9.0±0.14 ^a	26.8±0.48 ^{ab}	0.8±0.03
3	5.6	400	55.0±0.77 ^c	10.1±0.18 ^b	25.4±1.04 ^a	0.9±0.03
4	1.0	70	50.6±1.14 ^a	8.6±0.12 ^a	31.6±1.58 ^d	0.7±0.03
5	3.0	70	53.4±1.00 ^{abc}	9.0±0.33 ^a	27.5±1.01 ^{abc}	0.8±0.00
6	4.0	70	52.5±0.46 ^{abc}	9.2±0.05 ^a	29.3±0.90 ^{bcd}	0.8±0.03

Two-way ANOVA

Dietary vitamin E	P<0.6	P<0.9	P<0.6	P<0.3
Dietary n-3 HUFA	P<0.05	P<0.001	P<0.01	P<0.06
Interaction	P<0.9	P<0.9	P<0.9	P<0.9

¹ Values (mean ± SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

간지질 함량은 사료 n-3HUFA 함량의 감소와 더불어 약간 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 무지개송어 (Watanabe et al., 1974a ; Watanabe and Takeuchi, 1976), 연어 (Takeuchi et al., 1979), 은어(Kanazawa et al., 1982), 참돔(Fujii et al., 1976 ; Takeuchi et al., 1990) 및 gilthead bream (Kalogeropoulos et al., 1992)의 경우에서 사료의 필수지방산 함량이 낮아지면 간지질 함량이 증가되었다는 보고와 비교했을 때 같은 경향에 있다. 이러한 변화는 n-3HUFA가 간의 지질대사에 밀접한 관계가 있음을 의미하고 있다. Fukuzawa et al. (1970,1971)은 육상동물의 간에 지질이 비정상적으로 높게 축적된 것을 lipoprotein의 합성이 저해된 것에 원인을 두고 있으며, Rogie and Skinner(1985)는 무지개송어의 lipoprotein 합성이 간에서 이루어진다고 하였다. 그리고 간에 축적되었던 지질이나 장에서 흡수된 사료지질은 lipoprotein에 의해 운반된 후 lipoprotein lipase에 의해 분해되어 저장조직에 축적되거나 에너지원으로 이용된다고 알려져 있다. 따라서, 간세포의 대사장애로 lipoprotein의 합성이 저해될 경우에는 지질이 저장조직에 효과적으로 축적되거나 에너지원으로 이용되지 못한 채 간조직에 비극성지질 형태로 축적되는 것으로 판단된다. 또한 간중량지수도 사료의 필수지방산 함량에 영향을 받는 것으로 알려져 있는데, 필수지방산 함량이 낮아지면 간지질 함량의 증가와 더불어 간중량지수가 높아지는 것이 많은 연구자들에 의해 보고되고 있고(Takeuchi and Watanabe, 1977a ; Takeuchi et al., 1979 ; Takeuchi et al., 1990 ; Kalogeropoulos et al., 1992), 본실험의 간중량지수 변화도 유사한 경향을 보였다.

사육실험 후의 혈청의 glucose, 단백질 및 지질 성상 변화를 Table 7에 표시하였다. 혈청 glucose, protein, triglyceride 및 phospholipid 함량은 사료의 n-3HUFA 및 vitamin E 함량에 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$).

사육실험 후의 혈액의 hematocrit 및 hemoglobin의 농도를 Table 8에 표시하였다. 혈액 성분 중 Hb은 사료의 n-3HUFA 및 vitamin E 함량에 따른 차이가 없었다. Ht 값은 동일한 사료의 vitamin E 함량에서 n-3HUFA 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다 ($P<0.05$).

사육실험 후의 등근육의 지방산 조성을 Table 9에 표시하였다. 등근육의 지방산 함량은 사료 지방산 구성에 직접적인 영향을 받아 다양한 값을 보였다.

Table 7. Blood chemistry of rockfish fed the different diets for 16 weeks¹

Diets no	Dietary n-3HUFA (%)	Dietary vitamin E (mg/kg)	Glucose (mg/100 ml)	Total protein (g/100 ml)	Triglyceride (mg/100 ml)	Phospholipid (mg/100 ml)
1	1.0	400	23.3±6.56	10.1±1.43	182±31.5	527±36.3
2	3.0	400	26.5±8.64	10.2±0.55	217±14.7	567±98.1
3	5.6	400	18.9±3.65	9.9±0.90	208±51.6	781±66.1
4	1.0	70	16.9±1.47	8.8±2.10	285±36.9	582±107.6
5	3.0	70	16.2±1.41	9.1±0.24	144±26.3	545±49.2
6	4.0	70	21.0±1.26	9.2±0.78	169±44.5	800±131.4
Two-way ANOVA						
Dietary vitamin E			P<0.2	P<0.4	P<0.7	P<0.9
Dietary n-3 HUFA			P<0.7	P<0.9	P<0.4	P<0.1
Interaction			P<0.7	P<0.9	P<0.05	P<0.7

¹ Values (mean ± SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 8. Hematocrit and hemoglobin of rockfish fed the different diets for 16 weeks¹

Diets no	Dietary n-3HUFA (%)	Dietary vitamin E (mg/kg)	Hematocrit (%)	Hemoglobin (g/100 ml)
1	1.0	400	52.6±0.66 ^c	10.7±1.79
2	3.0	400	55.0±2.08 ^{bc}	9.6±1.11
3	5.6	400	40.3±0.33 ^a	7.7±0.81
4	1.0	70	54.3±1.45 ^{bc}	11.3±0.02
5	3.0	70	57.0±0.57 ^c	11.5±0.59
6	4.0	70	47.0±1.15 ^b	9.9±0.97
Two-way ANOVA				
Dietary vitamin E			P<0.2	P<0.3
Dietary n-3 HUFA			P<0.001	P<0.3
Interaction			P<0.9	P<0.6

¹ Values (mean ± SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 9. Major fatty acid composition (% of total fatty acids) of dorsal muscle in rockfish fed the different experimental diets for 16 weeks.

Diets no	1	2	3	4	5	6
Dietary n-3HUFA (%)	1.0	3.0	5.6	1.0	3.0	4.0
16:0	14.9±0.17 ^{ab}	17.1±0.44 ^c	16.1±0.82 ^{bc}	15.1±0.30 ^{ab}	16.4±0.07 ^c	14.5±0.20 ^a
16:1n-7	4.6±0.0.12 ^a	7.2±0.38 ^{bc}	6.6±0.30 ^b	4.6±0.00 ^a	7.4±0.10 ^c	4.2±0.00 ^a
18:0	3.4±0.03 ^b	2.7±0.14 ^a	2.8±0.07 ^a	3.3±0.03 ^b	2.7±0.03 ^a	3.3±0.03 ^b
18:1n-(7+9)	26.8±0.55 ^c	24.1±0.87 ^b	22.6±0.18 ^a	26.8±0.34 ^c	24.6±0.27 ^b	24.9±0.09 ^b
18:2n-6	24.3±0.38 ^c	2.4±0.14 ^a	2.0±0.08 ^a	24.0±0.41 ^c	2.6±0.43 ^a	19.6±0.05 ^b
18:3n-3	7.8±0.0.2 ^d	0.9±0.01 ^b	0.7±0.02 ^a	1.7±0.04 ^d	0.9±0.02 ^b	1.0±0.00 ^c
20:5n-3	4.6±0.11 ^a	9.6±0.35 ^c	11.6±0.20 ^d	4.5±0.05 ^a	9.7±0.15 ^c	7.5±0.12 ^b
22:6n-3	8.5±0.09 ^a	13.8±0.53 ^b	18.1±0.41 ^d	8.6±0.26 ^a	14.0±0.40 ^b	15.3±0.03 ^c
Monoenes	31.4±0.65 ^{bc}	31.8±1.45 ^{bc}	29.6±0.29 ^{ab}	31.5±0.37 ^{bc}	32.6±0.35 ^c	29.1±0.11 ^a
n-3PUFA ²	15.9±0.29 ^a	29.4±1.12 ^c	35.9±0.70 ^d	15.9±0.29 ^a	29.6±0.55 ^c	26.4±0.03 ^b
n-6PUFA ²	26.3±0.38 ^d	7.7±0.59 ^{ab}	6.7±0.19 ^a	25.9±0.42 ^d	8.1±0.49 ^b	21.6±0.20 ^c
n-3HUFA ³	15.2±0.23 ^a	27.7±1.04 ^c	34.1±0.68 ^d	15.3±0.26 ^a	28.0±0.53 ^c	25.4±0.00 ^b

¹ Values (mean ± SE of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Poly unsaturated fatty acids (C≥18).

³ Highly unsaturated fatty acids (C≥20).

근육은 주로 흰감으로 이용되므로, 이 부분의 영양 성분은 매우 중요하다. 이러한 영양 성분 중 지방산 조성비의 차이는 중요한 의미를 가지는데, 이 중 EPA와 DHA같은 n-3HUFA는 건강식품으로 이용되고 있다. n-3HUFA는 생체막의 유동성 및 효소 활성화에 영향을 미칠 뿐 아니라, prostaglandin의 전구물질(Stubbs and Smith, 1984 ; Maroussem et al., 1985 ; Thomson et al., 1986 ; Swanson et al., 1989 ; Broughton et al., 1991) 등으로도 그 역할이 매우 중요시되고 있으며, n-3HUFA 부족에 의한 여러 가지 질병 유발 가능성이 제시(Herold and Kinsella, 1986; Kinsella, 1987)된 바 있다. 필수지방산 결핍사료를 먹인 어류에서는 간 극성지질의 18:1이 증가하는 것이 일반적인 경향으로 알려져 있으며, 본 실험에서도 n-3HUFA 함량이 낮은 사료에서 18:1이 증가하는 경향을 보였다.

본 실험에서 사료의 n-3HUFA 증가와 더불어 근육의 n-3HUFA 함량은 증가하는 경향을 보였는데(Fig. 2), 특이한 것은 vitamin E 함량에 따라 n-3HUFA 변화 경향이 달라지는

것이다. 근육의 EPA의 경우 vitamin E 400 mg/kg의 처리구에서는 근육의 EPA가 사료의 n-3HUFA 함량이 증가함에 따라 증가하였으나, vitamin E 70 mg/kg의 처리구에서는 근육의 EPA가 사료의 n-3HUFA 함량이 증가함에 따라 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 아마도 사료의 vitamin E의 함량에 의한 것으로 추정된다. 즉, vitamin E 함량이 낮은 처리구의 생체에서는 EPA와 같은 고도불포화 지방산의 산화 기회가 높을 수 있음을 추측할 수 있다.

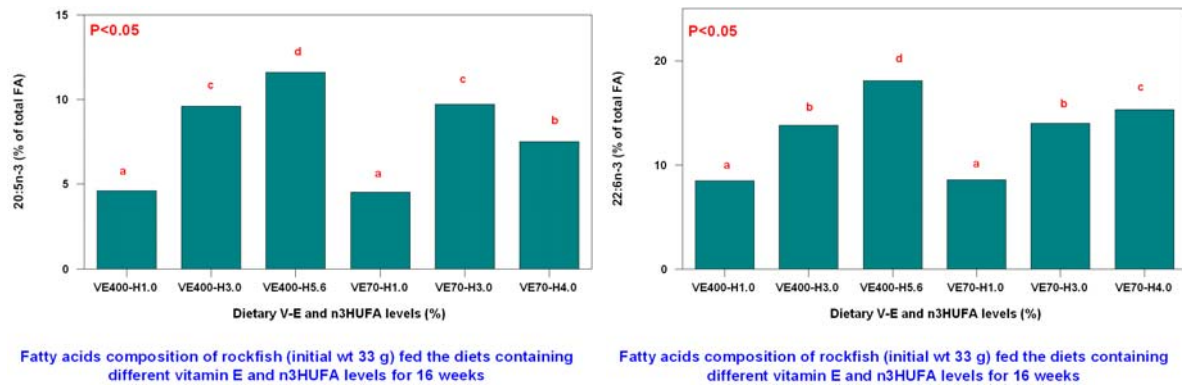


Fig. 2. Fatty acid composition of rockfish (33 g/fish) fed the different experimental diets for 16 weeks.

또한, 근육의 18:2n-6과 18:3n-3은 사료의 18:2n-6과 18:3n-3의 함량과 아주 비슷한 경향으로 구성되어 있다. 이것으로 보아 조피볼락의 체내 지방산조성은 사료지질원의 지방산 조성에 직접적인 영향을 받는 것으로 나타났으며, 다른 어종에 비해 조피볼락은 n-3계나 n-6계 고도불포화지방산으로의 전환능력이 극도로 낮은 것으로 생각된다. 이는 조피볼락과 같은 볼락아과(Sebastinae)에 속하는 솜뱅이의 경우 18:3n-3을 n-3HUFA로 전환할 수 있는 능력이 담수어(무지개송어, 은어, 뱀장어)나 다른 해산어(참돔, 복어)보다 현저히 낮음을 보고한 Kanazawa (1985)의 연구 결과와도 일치한다.

이상의 결과로 보아, 조피볼락 사료에 과잉의 n-3HUFA 함량은 불 필요할 것으로 판단되며, vitamin E와 같은 항산화력을 있는 영양소의 병행 첨가가 고려되어야 할 것으로 판단된다.

제 8 절 넙치 치어 사료의 적정 n-3HUFA 함량

1. 서론

지질은 사료의 에너지원으로서 단백질이나 탄수화물보다 에너지가가 높아 값비싼 사료단백질을 절약할 수 있는 중요한 에너지원일 뿐 아니라, 지용성 비타민의 전달체 역할을 하는 중요한 영양소이다. 또한 체내에서 지질과 지방산은 지용성 비타민의 흡수, 세포막 형성, 지방성 호르몬과 담즙 형성 및 체내 에너지 축적 등에 중요한 역할을 한다. 특히, 지질은 필수 지방산의 공급원으로 양식 대상종의 성장과 체내대사에 필수적인 역할을 하는 중요한 영양소이다. 그리고 polyunsaturated fatty acids는 생체막의 유동성 및 효소 활성을 변화시키고, prostaglandin의 전구물질 등 그 역할이 매우 중요한 것으로 알려져 있다. 육상동물의 경우는 linoleic acid (18:2n-6)와 arachidonic acid (20:4n-6)를 필수지방산으로 요구하지만, 어류는 그들이 요구하는 필수 지방산의 종류와 양이 어종과 수온 및 염분도 등과 같은 서식환경에 따라 다르다고 보고되어 있다 (Sargent et al., 1989). 해산 어류의 세포막 인지질에는 EPA (20:5n-3) 및 DHA (22:6n-3)와 같은 지방산이 많이 함유되어 있으며, 특히 DHA는 어류의 뇌 및 망막조직의 세포막에 다량 함유되어 있다 (Tocher and Harvie, 1988). 그러나 해산어는 일반적으로 C18 지방산을 EPA 및 DHA와 같은 n-3 HUFA으로 전환하는 능력이 대단히 낮은 것으로 알려져 있다. 그래서 해산어는 20:5n-3와 22:6n-3와 같은 지방산을 사료내 필수영양소로 요구하는데, Izquierdo et al. (1992)은 자어기 넙치의 n-3 HUFA 요구량은 *Artemia*의 3.0-3.5%로 보고하였으며, 최근 넙치 치어의 정상적인 성장을 위해서 사료의 n-3 HUFA이 필수적인 작용을 하는 것으로 보고되었다 (Kim et al., 2002). 그러나 이러한 필수지방산의 요구량은 자어, 치어 및 성어와 같은 어류의 성장단계 따라서 달라질 수 있다. (Sargent et al., 1989; Ibeas et al., 1996; Rodriguez et al., 1998). 따라서 양식 대상종이 요구하는 필수지방산의 종류와 요구량을 구명하기 위한 연구들이 수행되어 왔으며, 양식 대상 종이나 서식환경에 따른 지방산 요구량의 차이를 밝혀 이를 충족시킬 수 있는 사료를 사용하는 것은 양식에 있어 대단히 중요할 것이다. 그래서 본 연구에서는 사료의 n-3 HUFA 함량이 넙치 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향 및 넙치 치어의 필수지방산인 n-3 HUFA 요구량을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험사료는 Table 1에 나타낸 바와 같이 사료의 n-3 HUFA (EPA+DHA)함량이 0.0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 및 2.4 %, 그리고 n-3 HUFA로 EPA만을 1.2%가 되도록 조절한 총 8종류

의 실험사료를 설계하였다. 단백질원으로는 어분과 casein을, 지질원으로는 lauric acid, DHA 30 및 EPA 77 (Table 2)을 각각 사용하였다. 어분 중에 함유된 지방산의 영향을 없애기 위하여 어분의 지질을 제거하였는데, Folch et al. (1957)의 방법에 따라서 chloroform : methanol (2 : 1 v/v) 혼합용액을 어분에 3배 가량 첨가하여 3회 이상에 걸쳐 어분에 포함된 지질을 완전히 제거한 후, 건조시켜 실험사료 원료로 사용하였다. 모든 사료는 Lee et al. (2000)의 결과를 토대로 하여 단백질과 지질함량이 48% 및 6.5% 내외로 조절하였다. 사료는 원료들을 잘 혼합한 후 원료 100 g 당 물 40 g을 첨가하여 펠렛 제조기로 실험사료를 성형한 후 실온에서 24시간 건조하였다. 제조된 실험사료를 -30°C 에 보관하면서 사용하였다.

Table 1. Ingredients and nutrient contents of the experimental diets

	n-3 HUFA level (%)							EPA 1.2
	0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	
<i>Ingredients (%)</i>								
White fish meal ¹	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Casein	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Dextrin	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Ethyl laurate ²	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	4.4
DHA 30 ²		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	
EPA 77 ²								1.6
Vitamin premix ³	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Mineral premix ⁴	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
α -cellulose ⁵	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Choline salt ⁵	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>Nutrient contents (% of dry matter basis)</i>								
Crude protein	48.0	48.0	48.0	47.8	47.9	47.7	47.8	47.8
Crude lipid	6.4	6.5	6.4	6.4	6.5	6.4	6.3	6.4

¹ Defatted with chloroform-methanol mixture (2:1, v/v).

² Refer to Table 2.

^{3, 4} Same as Lee et al. (2003).

⁵ Sigma Chemical, St. Louis, MO, USA.

Table 2. Fatty acid compositions (% of total fatty acid) of dietary lipid sources

Dietary lipid sources	Ethyl laurate ¹	DHA 30 ²	EPA 77 ²
Fatty acids			
12:0	99.0		
16:0		4.0	
16:1n-7		1.6	
18:0		1.6	0.3
18:1n-(7+9)		5.3	6.3
18:2n-6			0.5
18:3n-3			0.7
20:1n-9		3.1	2.6
20:2n-6		0.7	1.6
20:4n-6		1.5	4.9
20:4n-3		1.0	
20:5n-3		36.6	77.2
20:1n-9		5.2	
22:3n-6		3.9	
22:3n-3		0.7	
22:5n-3		9.4	
22:6n-3		30.5	
n-3 HUFA ³		78.2	77.2

¹ Sigma, St. Louis, MO, USA

² Provided by Kohap Co., Seoul, Korea

³ Highly unsaturated fatty acid (C \geq 20).

실험어 및 사육관리

사육 실험은 넙치 치어를 2주간 예비 사육한 후, 평균체중 8.5 g의 치어를 실험어로 선별하여, 260 ℓ FRP 수조 (수용적 180 ℓ)에 30마리씩 실험사료마다 각각 3반복으로 수용하여 오전 (08:00)과 오후 (17:00)로 나누어 하루에 2회 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져주며 8주간 사육 실험하였다. 여과해수를 각 실험수조마다 분당 4 ℓ로 조정하여 흘려주었으며, 사육기간 동안의 수온은 21.1 \pm 1.94 $^{\circ}$ C (평균 \pm 표준편차)였고, 비중은 1.024 \pm 0.0011였다. 실험어는 사육실험 시작시와 종료시에 측정 전일 절식시킨 후 각 실험수조에 수용된 실험어 전체 무게를 측정하였다.

성분분석 및 통계처리

어체 성분 분석용으로 사육실험 시작시 50마리를 sample하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조에 생존한 실험어 중에서 어체의 성분분석용으로 10마리씩 임의로 sample하여 냉동(-75°C) 보관하였다. 실험사료와 어체의 조단백질 (N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 24 시간 동안 건조 후 측정하였다. 조회분은 550°C의 회화로에서 4 시간 동안 태운 후 정량하였다.

지방산 분석은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 메탄올과 클로로포름 혼합액으로 지질을 추출하였고, Juaneda and Rocquelin (1985)의 방법에 따라 Sep-pak silica cartridge (Waters Associates, Milford, MA)를 사용하여 극성지질을 분리하였다. 이렇게 분리된 극성지질에 14% BF₃-methanol (Sigma, USA)로 지방산을 methylation 시킨 후, capillary column (HP-INNOWax, 30m × 0.32mm × 0.5μm, USA)이 장착된 gas chromatography (Shimadzu, GC-17A, Japan)로 분석하였다. 표준 지방산으로 12:0, 14:0, 14:1, 16:1n-7, 18:0, 18:1n-9, 18:2n-6, 18:3n-3, 20:0, 20:1n-9, 20:2n-6, 20:3n-3, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:0, 22:1n-9, 22:2n-6, 22:3n-3, 22:4n-6, 22:5n-3, 22:6n-3 및 24:0 (Sigma, USA)을 사용하였다. Carrier gas는 helium (30 ml/min)을 사용하였으며, oven 온도는 170°C에서 225°C까지 1°C/min 증가시켰고, injector의 온도는 250°C, detector (FID) 온도는 270°C로 설정하였다. 그리고 혈액의 생화학적 성분 변화를 조사하기 위하여 각 수조의 실험어 6마리로부터 채혈하여 red blood cell 수, hematocrit, hemoglobin, Total cholesterol, triglycerol 및 glutamic-oxaloacetic acid transaminase를 측정하였다.

결과의 통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 SPSS (SPSS Inc., 1997) program을 사용하여 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

넙치 치어를 n-3 HUFA 함량이 다른 사료로 8주간 사육한 결과 (Table 3), n-3 HUFA를 첨가하지 않은 실험구에서 낮은 성장과 사료효율을 보였지만, 지느러미 부식과 같은 외형적인 필수지방산 결핍증상 (Castell et al., 1972; Bell et al., 1985)은 관찰되지 않았다. 생존율은 모든 실험구간 통계적인 차이가 없었다 (P>0.05). 그러나 증중량, 사료효율 및 단백질효율은 사료의 n-3 HUFA 함량이 증가함에 따라서 유의하게 (P<0.05) 증가하다가 n-3 HUFA 0.8% 이상에서는 더 이상 증가하지 않았으며 n-3 HUFA 1.6% 이상에서는 다시 감소하였다 (P<0.05). 이차회귀곡선을 이용하여 증중량을 지표로 추정된 결과 넙치 치어의 n-3 HUFA 요구량은 1.0%로 나타났다 (Fig. 1).

Table 3. Growth performance of juvenile flounder fed the diets containing different n-3 HUFA levels for 8 weeks¹

	Dietary n-3 HUFA level (%)								SEM ⁴
	0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	EPA 1.2	
Initial mean weight (g/fish)	8.5	8.4	8.6	8.5	8.6	8.6	8.5	8.3	0.2
Weight gain (g/fish)	20.3 ^b	24.6 ^d	28.0 ^e	26.3 ^{de}	23.8 ^{cd}	19.6 ^b	12.7 ^a	21.7 ^{bc}	0.9
Feed efficiency (%) ²	75.3 ^b	91.3 ^{cd}	103.8 ^e	96.5 ^{de}	90.5 ^{cd}	84.4 ^{bc}	60.0 ^a	86.4 ^{cd}	3.5
Protein efficiency ratio ³	1.56 ^b	1.90 ^{cd}	2.16 ^e	2.02 ^{de}	1.88 ^{cd}	1.77 ^{bc}	1.25 ^a	1.79 ^{cd}	0.07

¹ Values (mean of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

³ Fish wet weight gain × 100/protein intake.

⁴ Standard error of the treatment mean calculated from the residual mean square in the analysis of variance.

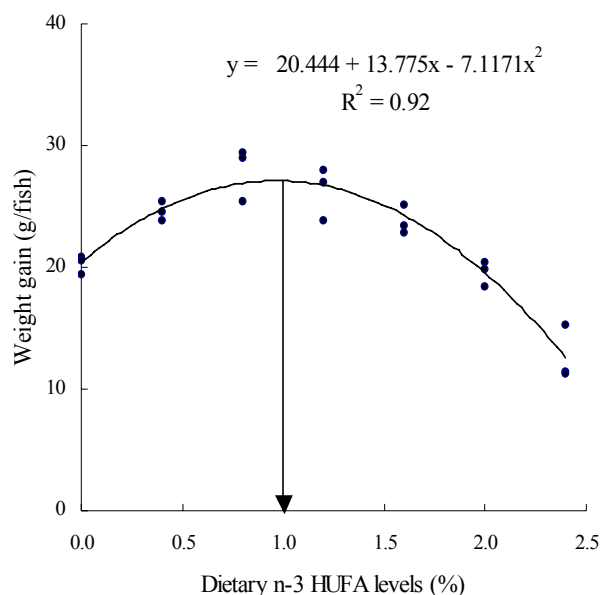


Fig. 1. Second order polynomial relation of mean weight gain and dietary n-3 HUFA levels for flounder.

사육 실험에서 가장 좋은 성장 결과를 보인 n-3 HUFA 0.8% 및 이차회귀곡선으로 추정된 요구량 1.0%를 고려하여 볼 때, 넙치 치어의 정상적인 성장을 위한 사료의 n-3 HUFA 함량은 0.8–1.0%가 적절할 것으로 판단되며, 이러한 결과는 gilthead bream (Kalogeropoulos et al., 1992), turbot (Gatesoupe et al., 1977) 및 조피볼락 (Lee, 2001)에서 보고된 0.8–0.9%와 유사하였다. 사료의 n-3 HUFA 2.4% 실험구가 가장 낮은 성장 및 사료효율을 보였는데, 이는 차넬메기 (Sato et al., 1989) 및 red drum (Lochman and Gatlin, 1993)의 필수지방산 과잉 공급구에서 관찰된 성장저하의 결과와 같은 경향을 보였다. 그리고 1.2% n-3 HUFA로 EPA만을 첨가한 실험구는 1.2% n-3 HUFA로 EPA와 DHA를 첨가한 실험구에 비해서 유의하게 낮은 증중량을 보였다 ($P<0.05$).

전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분 함량은 사료의 n-3 HUFA 함량에 유의한 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$) (Table 4). 전어체 극성지질의 지방산조성을 Table 5에 나타내었다. 16:0 및 18:1의 함량이 포화지방산과 단일불포화지방산 중에서 가장 높았으며, 포화/불포화지방산의 비는 사료의 n-3 함량에 관계없이 0.6 내외였다. 전어체 극성지질의 DHA와 n-3 HUFA 함량은 사료의 n-3 HUFA 함량이 증가함에 따라서 유의하게 증가하였다 ($P<0.05$). 그러나 전어체의 EPA 및 22:5n-3 함량은 사료의 n-3 HUFA 0.8% 이상에서는 더 이상 증가하지 않았으며 ($P>0.05$), 사료의 n-3 HUFA로 EPA만 1.2% 첨가한 실험구에서 가장 높은 EPA 함량을 보였다. 그리고 단일 불포화지방산 함량 및 18:1n/n-3 HUFA 비는 사료의 n-3 HUFA 함량이 증가함에 따라 증가하다가 ($P<0.05$) 1.6% 이상에서는 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$).

Table 4. Proximate composition (%) of the whole body from juvenile flounder fed the diets containing different n-3 HUFA levels for 8 weeks¹

	Initial	Dietary n-3 HUFA level (%)								SEM ²
		0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	EPA 1.2	
Moisture	77.0	77.7	76.4	76.5	76.7	76.7	76.5	76.7	77.6	0.51
Crude protein	16.8	17.5	18.6	18.0	18.8	18.4	17.7	17.7	18.1	0.60
Crude lipid	2.9	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	0.10
Ash	3.5	3.4	3.3	3.6	3.2	3.6	3.7	3.5	3.5	0.23

¹ Values are mean of three replications

² Standard error of the treatment mean calculated from the residual mean square in the analysis of variance.

Table 5. Major fatty acid compositions (% of total fatty acids) in polar lipid fraction of the whole body from juvenile flounder fed the diets containing different n-3 HUFA levels for 8 weeks¹

	Initial	Dietary n-3 HUFA level (%)							EPA 1.2	SEM ³
		0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4		
<i>Fatty acids</i>										
12:0	0.7	2.3	1.9	1.6	1.4	1.9	1.4	1.5	2.1	0.49
14:0	4.3	5.7	6.3	5.6	5.6	5.3	4.7	5.5	5.8	0.82
16:0	18.2	18.4	17.7	17.8	17.1	16.9	17.9	17.2	17.6	0.43
16:1n-7	8.2	6.5 ^d	5.7 ^{cd}	4.8 ^b	4.5 ^b	3.2 ^a	3.2 ^a	2.8 ^a	4.5 ^{bc}	0.35
18:0	4.8	7.5	6.9	7.1	6.9	6.9	6.7	6.6	6.8	0.46
18:1n-(7+9)	19. ⁴	23.3 ^c	23.0 ^c	20.9 ^b	19.3 ^b	16.1 ^a	16.1 ^a	15.1 ^a	19.7 ^b	0.62
18:2n-6	6.3	3.3 ^b	2.6 ^{ab}	1.9 ^a	2.7 ^{ab}	1.8 ^a	2.6 ^{ab}	2.1 ^a	2.6 ^{ab}	0.28
18:3n-3	0.7	0.3 ^{ab}	0.2 ^a	0.3 ^{ab}	0.5 ^b	0.3 ^{ab}	0.4 ^{ab}	0.4 ^b	0.3 ^{ab}	0.08
20:1n-9	3.6	2.4 ^d	2.0 ^{bc}	1.7 ^{abc}	1.9 ^{abc}	1.5 ^a	1.9 ^{abc}	1.6 ^{ab}	2.0 ^c	0.12
20:4n-6	1.0	0.9 ^{ab}	0.8 ^a	0.9 ^{ab}	1.2 ^{abc}	1.3 ^{bcd}	1.5 ^{cd}	1.5 ^{cd}	1.6 ^d	0.12
20:5n-3	8.9	4.5 ^a	6.1 ^b	6.7 ^{bc}	7.7 ^c	7.4 ^{bc}	7.6 ^c	7.7 ^c	9.5 ^d	0.45
22:1n-9	1.3	0.7 ^{ab}	0.3 ^a	0.5 ^{ab}	0.4 ^{ab}	0.4 ^{ab}	1.0 ^b	0.6 ^{ab}	0.4 ^{ab}	0.20
22:5n-3	2.2	1.6 ^a	2.5 ^b	3.3 ^{cd}	3.5 ^{cd}	3.8 ^{cd}	3.4 ^{cd}	4.0 ^d	3.1 ^{bc}	0.23
22:6n-3	10.8	12.1 ^a	13.2 ^{ab}	14.1 ^{abc}	15.3 ^{bc}	16.3 ^c	18.6 ^d	19.0 ^d	11.7 ^a	0.82
Saturates	29.9	37.3	36.3	35.7	34.7	35.3	34.8	33.9	35.8	1.63
SFA/USFA	0.4	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.04
Monoenes	32.6	33.2 ^d	31.3 ^c	28.8 ^{bc}	26.3 ^b	21.3 ^a	22.5 ^a	20.4 ^a	27.0 ^b	0.91
n-3 HUFA ²	22.6	18.6 ^a	22.3 ^{ab}	24.7 ^{bc}	27.0 ^{cd}	28.3 ^{cde}	29.5 ^{de}	31.6 ^e	25.0 ^{bc}	1.36
22:6n-3/ 20:5n-3	1.2	2.7 ^c	2.2 ^{bc}	2.2 ^{bc}	2.0 ^b	2.2 ^{bc}	2.6 ^c	2.5 ^{bc}	1.2 ^a	0.15
18:1n/ n-3 HUFA	0.9	1.3 ^d	1.0 ^c	0.9 ^b	0.7 ^b	0.6 ^a	0.5 ^a	0.5 ^a	0.8 ^b	0.05

¹ Values (mean of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Highly unsaturated fatty acids (C \geq 20).

³ Standard error of the treatment mean calculated from the residual mean square in the analysis of variance.

SFA; saturated fatty acids, USFA; unsaturated fatty acids.

혈액 성분의 분석 결과는 Table 6에 표시한 바와 같이 hematocrit, hemoglobin 및 red blood cell 수는 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 혈장의 중성지방 및 GOT activity는 n-3 HUFA 0.0% 실험구가 가장 높게 나타났으며, 콜레스테롤 함량은 n-3 HUFA 2.0% 실험구에서 가장 높았다. 이상의 결과로 볼 때, 넙치 치어 사료의 적정 n-3 HUFA 함량은 0.8–0.9%일 것으로 판단되며, 사료에 과다한 n-3 HUFA의 공급은 오히려 넙치 치어의 성장에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 생각된다.

Table 6. Blood chemistry of juvenile flounder fed the diets containing different n-3 HUFA for 8 weeks¹

	Dietary n-3 HUFA level (%)								SEM ²
	0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	EPA 1.2	
Hematocrit (%)	38.3	42.0	41.9	35.3	35.9	36.4	32.1	36.7	2.21
Hemoglobin (g/100 ml)	3.4	3.8	3.8	3.6	3.5	4.2	3.4	3.2	0.34
Red blood cell ($\times 10^9$ /ml)	2.8	2.5	2.8	2.7	3.1	2.4	3.4	3.2	0.45
Total cholesterol (mg/100 ml)	110 ^a	111 ^a	123 ^{ab}	111 ^a	129 ^b	145 ^c	112 ^a	122 ^{ab}	16.9
Triglyceride (mg/100 ml)	104 ^b	96 ^{ab}	96 ^{ab}	86 ^{ab}	80 ^{ab}	78 ^{ab}	76 ^a	99 ^{ab}	29.4
GOT ² (IU/l)	126 ^b	80 ^{ab}	55 ^a	64 ^{ab}	77 ^a	41 ^a	48 ^a	64 ^{ab}	20.7

¹ Values (mean of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

² Glutamic-oxaloacetic acid transaminase.

³ Standard error of the treatment mean calculated from the residual mean square in the analysis of variance.

제 5 장 고효율 배합사료 설계를 위한 에너지원 연구

배합사료 개발은 그 어종에 적합한 영양소 이용효율 및 영양소 종류별 최소 요구량을 구명하는 것이 가장 먼저 선행되어야 한다. 이러한 기초적인 정보를 바탕으로 하여 영양소의 균형을 고려하면서 그 어종이 최대로 이용할 수 있는 값싼 원료의 선택과 이용성을 구명한 후, 여러 가지의 원료를 적절히 혼합하여 최소한의 사료 단가를 도출하여 반복 실험하는 것이다. 이러한 취지에서 조피볼락 및 넙치 배합사료에 적합한 에너지원 및 그 함량을 조사하였다.

제 1 절 조피볼락 배합사료의 가소화 단백질과 지질 함량

1. 서론

사료내 단백질은 어류의 성장과 사료 비용에 영향을 미치는 가장 중요한 요소이다. 일반적으로 사료내 단백질 함량의 증가는 어류 생산을 향상시키는데 특히, 육식성 어류에서 더 그렇다. 성장을 위한 단백질의 이용은 지질 또는 탄수화물로 사료내 단백질을 부분적으로 대체함으로써 향상될 수 있다. 하지만, 사료내 과잉의 에너지는 사료 섭취의 감소로 성장을 위한 필수 영양소의 섭취가 부족하게 되기 때문에 성장을 감소시킬 수 있다. 이와 반대로, 사료내 비단백 에너지가 불충분하면 단백질이 에너지로 사용되는 비율이 증가하기 때문에 단백질 낭비를 야기한다. 그리고 단백질이 에너지로 전환될 때 발생하는 암모니아는 수질을 악화시킨다. 그러므로, 체내단백질합성을 위해 사료내 단백질 이용성을 향상시키는 것은 중요하다. 사료의 단백질 절약효과를 얻기 위하여 사료의 지지리나 탄수화물과 같은 에너지 함량 증가에 대한 연구는 여러 어종에서 보고되었다. 특히, 지질은 에너지가 높은 영양소이고 초식성 또는 잡식성 어류와 비교하여 대부분의 육식성 어류에 의해서 쉽게 이용된다.

조피볼락의 단백질 요구량은 이미 Lee et al. (1993)에 의해 연구되었지만, 가소화단백질(DP)이 고려되지 않았으며, 사료내 지질의 단백질 절약효과에 관한 정보가 없다. 그러므로, 본 연구는 실용사료의 가소화 단백질과 지질(에너지) 함량이 조피볼락 치어의 성장, 사료이용성 및 체조성에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행되었다.

2. 재료 및 방법

실험사료

3×2 factorial 디자인으로 3 종류의 가소화단백질 함량과 2종류의 가소화지질함량을 함유하고 있는 6 종류의 실험사료를 제조하였다. 실험사료의 원료 및 일반성분을 Table 1에 나타내었다. 백색어분, 멸치어분, 육분, 우모분, 혈분, 대두박 (dehulled, solvent extracted), 콘글루텐밀, 소맥분 및 맥주효모가 실험사료의 원료로 사용되었고, 사료내 단백질함량은 이 원료들의 비율을 조절하면서 조절되었다. 각각의 단백질 함량에 대해 오징어간유가 3.9%, 3.5% 및 3.2%로 첨가되었으며, n-3HUFA의 일정한 함량(1.4-1.5%)을 유지하면서 에너지 증가를 위해 7%의 대두유가 첨가되었다. 소화율을 측정하기 위해 산화크롬을 0.5% 첨가하였다.

실험어 및 사육관리

국립수산과학원에서 분양받은 조피볼락 치어를 50% 단백질과 10% 지질이 함유된 상업용 사료를 공급하면서 1달 동안 실험조건에 적응시켰다. 어류는 유수식의 200 L 원형 수조에 임의로 분배되었고, 6일 동안 사료를 반복에 가깝도록 손으로 던져주었다. 어류의 무게를 측정하여 평균무게 21.9 g의 어류를 각 수조에 40마리씩 재분배하였다. 모든 실험은 3반복으로 배치하여 실시하였다. 사육실험은 20주 동안 지속되었는데, 처음 10주 동안은 일주일에 6일 동안 사료를 1일 1회(15시) 반복으로 손으로 공급하여 주었으며, 10주 후부터 실험이 끝날 때까지는 이전 연구에 근거하여 2일 1회로 공급하였다. 반복은 어류의 섭취행동이 멈출 때로 결정되었으며, 어류가 성장함에 따라 적절한 Pellet 크기로 공급하였다. 사육실험 기간 동안 사료를 동일한 사람에 의해 조심스럽게 공급받았다. 각 수조마다 여과해수를 5 l/min의 비율로 공급하였으며 사육실험기간 동안 사육수온은 13.0±1.0°C를 유지하였고, 광주기는 자연조건으로 하였다.

Table 1. Ingredients and nutrients composition of the experimental diets

	DP (%)	37		42		47	
	DL (%)	7	14	7	14	7	14
<i>Ingredients (%)</i>							
White fish meal (72.5% CP, 5.5% CL) ¹	15.0	15.0	15.0	17.0	17.0	19.0	19.0
Anchovy meal (73.8% CP, 8.4% CL) ²	15.0	15.0	15.0	17.0	17.0	19.0	19.0
Meat meal	8.0	8.0	8.0	9.0	9.0	10.0	10.0
Corn gluten meal	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0
Soybean meal	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	6.0	6.0
Blood meal	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Feather meal	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Wheat flour	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Brewer's yeast	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Starch ³	15.0	15.0	15.0	10.0	10.0	5.0	5.0
Squid liver oil ⁴	3.9	3.9	3.9	3.5	3.5	3.2	3.2
Soybean oil		7.0	7.0		7.0		7.0
Vitamin premix ⁵	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Mineral premix ⁵	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Carboxymethyl cellulose ⁶	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
■-Cellulose ⁶	10.8	3.8	3.8	9.2	2.2	7.5	0.5
Choline salt ⁶	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Chromic oxide ⁷	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nutrient contents (dry matter basis)</i>							
Crude protein (%)	39.3	40.8	40.8	45.0	45.7	50.5	50.3
Crude lipid (%)	7.3	14.7	14.7	7.2	14.8	7.7	14.9
Crude ash (%)	9.4	9.6	9.6	10.2	10.3	11.2	11.2
Crude fiber (%)	10.8	5.0	5.0	9.0	2.1	7.9	2.0
N-free extract (%) ⁸	33.2	29.9	29.9	28.6	27.1	22.7	21.6
Gross energy (kcal/g diet)	4.78	5.17	5.17	4.76	5.20	4.86	5.24
<i>Digestible nutrient contents (dry matter basis)</i>							
Crude protein (DP, %)	35.8	37.5	37.5	41.2	42.0	46.5	46.5
Crude lipid (DL, %)	6.8	14.3	14.3	6.8	14.3	7.4	14.5
N-free extract (%)	13.6	12.7	12.7	12.2	11.7	9.1	9.6
Energy (DE, kcal/g diet)	3.37	4.06	4.06	3.55	4.16	3.74	4.43
DP/DE ratio (mg/kcal)	106	93	93	116	101	124	105

¹ Produced by steam dry method, Han Chang Fish Meal Co., Pusan, Korea.

² Imported from Chile.

³ Alpha-potato starch and beta-potato starch mixture (1 : 1, w/w).

⁴ Provided by E-wha Oil & Fat Ind. Co., Pusan, Korea.

⁵ Same as Lee et al. (2000).

⁶ Sigma Chemical, St. Louis, MO, USA.

⁷ Replaced 0.5 % cellulose when digestibility was investigated.

⁸ Calculated by difference (100 - crude protein - crude lipid - crude ash - crude fiber).

시료채취 및 성분분석

사육실험 시작시 50마리를, 종료시에는 각 수조에서 생존한 어류 전부를 성분분석용으로 sample하였다. 동결 건조된 시료를 곱게 분쇄하여 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether 추출법을 이용하여 결정하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정, 조회분은 550℃의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. NFE는 각 영양소의 차이로 측정되었다. 총에너지는 bomb calorimeter를 이용하여 측정하였다.

통계처리

사료의 단백질 및 지질의 상관요인을 알아보기 위해 ANOVA-test를 실시하였다. One-way ANOVA-test 결과, 유의차가 발견되면, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다. 자료들은 3반복 그룹의 mean±S.E.로 나타내었으며, 모든 통계적 분석은 SPSS Version 7.5를 사용하여 수행되었다.

3. 결과 및 고찰

20주동안 사육실험 후, 47% DP와 14% DL 사료를 공급한 실험구에서 가장 높은 성장을 보였으며, 뒤이어 42% DP와 14% DL 실험구의 성장이 양호하였다. 모든 실험구의 생존률은 97% 이상이었으며, 실험구간에 유의한 차이는 없었다($P>0.05$). 증중률, 사료효율, 간 중량지수, 장 중량지수 및 비만도를 Table 2에서 나타내었다. 증중률은 사료내 DP ($P<0.02$)와 DL ($P<0.005$) 함량에 유의하게 영향을 받았으며, DP와 DL 함량이 증가하면서 증가되었다. 14% DL 함량에서 47% DP를 함유한 사료를 공급한 어류의 증중률은 37% DP를 공급한 어류보다 높게 나타났으며($P<0.05$), 42% DP 실험구와는 유의한 차이가 없었다. 그러나 7% DL 함량에서의 증중률은 DP 함량에 영향을 받지 않았다($P>0.05$). 사료효율은 사료내 DP ($P<0.02$)와 DL ($P<0.001$) 함량에 영향을 받았으며, DP와 DL 함량이 증가함에 따라 증가된($P<0.05$) 반면, 같은 DL 함량에서 42% DP와 47% DP를 공급한 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 동일한 DP 함량에서 14% DL 공급구의 사료효율은 7% DL 공급구보다 유의하게 높았다($P<0.05$). 간 중량지수와 장 중량지수는 사료내 DL 함량에는 영향을 받았지만($P<0.001$), DP 함량에는 영향을 받지 않았다($P>0.05$). DP 함량에 관계없이 14% DL 공급구의 간 중량지수는 7% DL 공급구보다 유의하게 높았다($P<0.05$). 47% DP함량에서 7% DL 공급구의 장 중량지수는 14% DL 공급구보다 유의하게 높았다 ($P<0.05$). 비만도는 사료내 DP와 DL 함량에 영향을 받지 않았다($P>0.05$).

Table 2. Growth performance of juvenile rockfish fed the diets containing different digestible protein (DP) and lipid (DL) levels ¹

DP (%)	DL (%)	Initial av. weight (g)	Weight gain (%) ²	Feed efficiency ratio (%) ³	HSI ⁴	VSI ⁵	CF ⁶
37	7	21.7±0.9	136±7.5 ^a	62±1.8 ^a	2.7±0.05 ^a	7.7±0.14 ^{bc}	1.5±0.05
	14	21.9±0.13	157±6.2 ^{ab}	76±2.6 ^{bc}	3.1±0.03 ^b	8.5±0.21 ^c	1.6±0.05
42	7	22.0±0.21	152±4.9 ^{ab}	72±2.1 ^b	2.6±0.05 ^a	7.5±0.33 ^{ab}	1.6±0.02
	14	21.9±0.13	171±10.7 ^{bc}	82±3.0 ^{cd}	3.0±0.10 ^b	8.2±0.20 ^{bc}	1.6±0.06
47	7	21.7±0.11	160±10.5 ^{ab}	77±4.1 ^{bc}	2.6±0.01 ^a	6.9±0.25 ^a	1.6±0.05
	14	22.1±0.09	186±5.5 ^c	87±3.0 ^d	2.9±0.07 ^b	8.2±0.30 ^{bc}	1.7±0.04
<i>Two-way ANOVA</i>							
DP level			P<0.02	P<0.002	P<0.09	P<0.1	P<0.5
DL level			P<0.005	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.1
DP DL			P<0.9	P<0.8	P<0.9	P<0.4	P<0.4

¹ Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² (Final body weight - initial body weight)×100/initial body weight.

³ Fish wet weight gain × 100/ feed intake (dry matter).

⁴ Hepatosomatic index = (liver weight × 100) / body weight.

⁵ Visceralsomatic index = (viscera weight × 100) / body weight.

⁶ Condition factor = (body weight × 100)/total body length (cm)³.

사료섭취율, 단백질 효율 및 단백질 축적률을 Table 3에 나타내었다. 일일사료섭취율은 사료내 DP (P<0.003)와 DL (P<0.001) 함량에 영향을 받았으며, DP와 DL 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 일일단백질섭취율은 사료내 DP (P<0.001)와 DL (P<0.01) 함량에 영향을 받았으며, DP 함량이 증가하고 DL 함량이 감소하면서 증가되었다. 일일지질섭취율은 사료내 DP (P<0.03)와 DL (P<0.001) 함량에 유의하게 영향을 받았으며, DL 함량이 증가하면서 증가되었다. 일일가소화에너지섭취는 사료내 DL 함량에 영향을 받았으나(P<0.001), DP 함량에는 영향을 받지 않았다(P>0.05). 단백질효율과 단백질 축적률은 DL 함량에 영향을 받았지만(각각 P<0.001 및 P<0.01), DP 함량에는 영향을 받지 않았다. 단백질효율은 37%와 47%의 DP 함량에서 14% DL 공급구가 7% DL 공급구보다 유의하게 높았다(P<0.05). 그러나 단백질축적률은 실험구간에 유의한 차이가 없었다.

Table 3. Feed utilization of juvenile rockfish fed the diets containing different digestible

protein (DP) and lipid (DL) levels ¹

DP (%)	DL (%)	Daily feed intake (%) ²	Daily protein intake (%) ²	Daily lipid intake (%) ²	Daily DE intake (kcal/100 g fish) ²	Protein efficiency ratio ³	Protein retention (%) ⁴
37	7	1.06±0.02 ^c	0.42±0.01 ^a	0.08±0.003 ^a	3.6±0.05 ^a	1.58±0.05 ^a	25±0.7
	14	0.97±0.02 ^{ab}	0.40±0.01 ^a	0.14±0.003 ^c	3.9±0.08 ^{bc}	1.85±0.07 ^b	29±1.3
42	7	1.00±0.02 ^b	0.45±0.01 ^b	0.07±0.001 ^a	3.5±0.07 ^a	1.59±0.05 ^a	26±0.9
	14	0.92±0.02 ^a	0.42±0.01 ^a	0.13±0.003 ^b	3.8±0.06 ^b	1.80±0.07 ^b	28±0.6
47	7	0.95±0.02 ^{ab}	0.48±0.01 ^c	0.07±0.003 ^a	3.6±0.07 ^a	1.53±0.08 ^a	26±2.1
	14	0.93±0.01 ^a	0.47±0.01 ^{bc}	0.14±0.001 ^{bc}	4.1±0.05 ^c	1.72±0.06 ^{ab}	28±0.7

Two-way ANOVA

DP level	P<0.003	P<0.001	P<0.03	P<0.07	P<0.4	P<0.9
DL level	P<0.001	P<0.01	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.01
DP DL	P<0.2	P<0.7	P<0.8	P<0.2	P<0.8	P<0.7

¹ Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Feed (protein, lipid or energy) intake 100/ [(initial fish wt.+ final fish wt.+ dead fish wt.) days reared/2].

³ Fish wet weight gain / protein intake.

⁴ Fish protein deposited × 100 / protein intake.

조피볼락의 전어체, 간 및 장의 일반성분 분석결과를 Table 4-6에 각각 표시하였다. 전어체의 수분, 단백질 및 회분 함량은 사료내 DP와 DL 함량에 영향을 받지 않았으나 (P>0.05) 지질함량은 사료내 DP (P<0.003)와 DL (P<0.001) 함량에 영향을 받아 DP와 DL 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 전어체의 지질함량에 대해 DP와 DL 함량 사이에 유의한 상호관계가 나타났다(P<0.007).

Table 4. Proximate analysis of the whole body of juvenile rockfish fed the diets containing different digestible protein (DP) and lipid (DL) levels ¹

DP (%)	DL (%)	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Crude ash (%)
	Initial	71.7	16.7	6.0	4.6
37	7	71.5±0.6	16.4±0.1	6.4±0.1 ^a	4.8±0.3
	14	69.8±1.0	16.0±0.2	7.0±0.2 ^{ab}	4.4±0.3
42	7	70.5±0.2	16.4±0.2	6.4±0.6 ^a	4.8±0.4
	14	69.4±0.4	16.3±0.2	9.4±0.1 ^d	4.6±0.2
47	7	69.9±0.9	16.9±0.2	7.6±0.2 ^{bc}	4.8±0.3
	14	70.1±0.6	16.4±0.3	8.5±0.4 ^{cd}	4.4±0.2
<i>Two-way ANOVA</i>					
DP level		P<0.5	P<0.2	P<0.003	P<0.9
DL level		P<0.1	P<0.07	P<0.001	P<0.2
DP DL		P<0.4	P<0.7	P<0.007	P<0.9

¹Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

간의 수분함량은 사료내 DP와 DL 함량에 영향을 받았으며, DP와 DL 함량이 증가함에 따라 감소되었다(Table 5). 수분함량은 지질함량과 반대의 경향을 보였다. 간의 단백질과 회분 함량은 사료내 DL 함량에 유의하게 영향을 받았으나(P<0.02와 P<0.001), DP 함량에는 영향을 받지 않았다(P>0.05). 장의 수분과 지질 함량은 사료내 DP 함량(각각, P<0.002, P<0.001)과 DL 함량(P<0.001, P<0.001) 모두에 영향을 받았으며, 이러한 경향은 간에서의 결과와 유사하였다(Table 6). 장의 단백질함량은 사료내 DL 함량에 영향을 받았으나(P<0.001), DP 함량에는 영향을 받지 않았다(P>0.05). 등근육의 수분(75.1-76.1%), 단백질(20.2-21.0%), 지질(1.2-1.8%) 및 회분함량(1.3-1.4%)은 사료내 DP와 DL 함량에 영향을 받지 않았다.

Table 5. Proximate analysis of the liver of juvenile rockfish fed the diets containing different digestible protein (DP) and lipid (DL) levels ¹

DP (%)	DL (%)	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Crude ash (%)
	Initial	66.0	10.2	15.1	1.0
37	7	70.8±0.4 ^d	10.9±0.1	5.8±0.2 ^a	1.2±0.10 ^b
	14	61.8±0.3 ^b	9.0±0.1	16.1±0.6 ^c	0.9±0.06 ^a
42	7	69.1±0.5 ^d	10.3±0.6	9.1±0.9 ^b	1.1±0.03 ^{ab}
	14	59.1±1.5 ^a	9.6±0.5	17.4±1.3 ^c	0.9±0.06 ^a
47	7	65.3±0.4 ^c	9.9±0.5	10.7±0.3 ^b	1.0±0.03 ^{ab}
	14	58.9±1.3 ^a	9.7±0.5	16.4±0.2 ^c	0.9±0.01 ^a
<i>Two-way ANOVA</i>					
DP level		P<0.001	P<0.9	P<0.007	P<0.3
DL level		P<0.001	P<0.02	P<0.001	P<0.001
DP DL		P<0.2	P<0.2	P<0.02	P<0.3

¹Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 6. Proximate analysis of the viscera of juvenile rockfish fed the diets containing different digestible protein (DP) and lipid (DL) levels ¹

DP (%)	DL (%)	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Crude ash (%)
	Initial	67.0	11.0	19.7	0.9
37	7	63.9±0.7 ^d	11.1±0.1 ^b	20.7±0.5 ^a	0.9±0.10 ^{bc}
	14	50.7±1.9 ^a	8.7±0.5 ^a	37.2±0.5 ^c	0.7±0.03 ^{ab}
42	7	62.4±1.9 ^d	11.3±0.1 ^b	21.5±0.5 ^a	0.9±0.03 ^c
	14	51.3±1.7 ^{bc}	8.3±0.7 ^a	38.8±2.1 ^c	0.8±0.06 ^{abc}
47	7	55.9±1.5 ^c	10.5±0.1 ^b	28.9±0.7 ^b	0.8±0.01 ^{abc}
	14	46.4±0.2 ^{ab}	8.9±0.3 ^a	43.4±0.1 ^d	0.6±0.03 ^a
<i>Two-way ANOVA</i>					
DP level		P<0.002	P<0.9	P<0.001	P<0.04
DL level		P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.004
DP DL		P<0.5	P<0.2	P<0.4	P<0.9

¹Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

사료내 단백질함량이 증가하면서 성장과 사료효율이 향상되는 것은 육식성 어류에게

잘 알려져 있다(NRC, 1993). 본 연구에서도 사료의 DP 함량이 증가함에 따라 증중률과 사료효율은 향상된 반면, 같은 지질함량에서 42% DP 공급구의 증중률과 사료효율은 47% DP 공급구와 비교해서 유의한 차이가 없었다. 이것은 조피볼락의 성장을 위한 사료내 적절한 DP의 함량이 42% 임을 암시한다. 최초무게 8 g인 조피볼락의 단백질 요구량을 결정하기 위해 Lee et al. (1993)에 의해 수행된 연구에서는 조피볼락의 성장은 단백질 함량이 44%까지 증가하다가 그 이상에선 더 이상 증가하지 않았다. Lee (2001)는 조피볼락 치어의 백색어분 소화율이 95%라고 보고했다. 만약 유일한 단백질원으로 이전연구(Lee et al., 1993)에서 사용된 백색어분의 단백질 소화율이 고려된다면 DP 함량은 이번 연구에서 결정된 것과 동일하게 42%로 계산된다.

어류가 과잉의 에너지 함유 사료를 섭취할 때, 사료섭취의 감소로 인해 성장이 감소될 수 있다(Lovell, 1989). 반대로 에너지 함량이 부족한 사료를 섭취할 때, 사료내 단백질이 에너지원으로 사용되고 생산비용이 상승하게 된다. 본 연구에서 47% DP 함량에서 14% DL 공급구의 증중률이 7% DL 공급구보다 유의하게 높았고 모든 단백질함량에서 14% DL 공급구의 사료효율이 7% DL 공급구보다 유의하게 높았다. 단백질효율과 단백질 축적률 또한 14% DL 공급구가 7% DL 공급구보다 유의하게 높았다. 이러한 경향은 지질에 의한 사료내 에너지증가가 어류의 성장을 위한 단백질의 효율적인 이용을 돕는다는 것을 의미한다. 이러한 단백질 절약효과는 주요한 에너지원으로 지질을 함유하고 있는 고에너지 사료를 공급한 몇몇 어종에서 보고되었다(Page and Andrews, 1973; De Silva et al., 1991). 일반적으로 단백질 효율과 단백질축적률은 사료내 단백질과 에너지함량에 의해 영향을 받는다(Steffens, 1981; Jauncey, 1982; De Silva et al., 1991). 하지만, 본 연구에서 이러한 값들이 같은 DL 함량에서 사료내 DP 함량에 의해 영향을 받지 않았다. 단백질 함량을 다르게 함유하고 있는 사료를 먹은 어류의 단백질이용성에 있어 차이는 이번 연구에서 사용된 어종 또는 사료의 단백질과 에너지함량의 차이로 인한 것으로 보인다. 몇몇 어종의 적정 성장을 위한 DP/DE (mg/kcal)의 최적비가 조사되었으며 81-112의 범위이다(NRC, 1993). 본 연구에서 최대의 증중률과 사료효율을 얻은 14% DL 함량에서 42%와 47% DP 사료의 DP/DE 비율이 101-105 mg/kcal로 European seabass(Peres and Oilva-Teles, 1999; Dias et al., 1998)보다 높았고 무지개송어(Cho and Woodward, 1989)와는 유사했다. 같은 DL 함량에서 사료의 DP/DE비와 증중률 사이에 정상관관계가 나타났다. 하지만, 같은 DP 함량에서 DP/DE비가 더 낮았던 실험구의 성장이 양호하였다. 유사한 DP/DE비(105-106 mg/kcal)에서 37% DP - 7% DL과 47% DP - 14% DL 공급구의 성장효과가 유의하게 달랐다. 이러한 결과는 사료내 적절한 DP와 DE 함량이 Garling and Wilson (1976)에 의해 설명된 것처럼 적정 DP/DE비가 측정될 때 주의깊게 고려되어야 한다는 것을 지시한다.

사료섭취는 사료내 가용성에너지에 의해 조절된다고 제안되었다(Lee and Putnam,

1973; Jobling and Wandsvik, 1983). 그것은 아마도 어류가 자신의 에너지 요구량을 충족하기 위해 사료를 섭취하기 때문일 것이다. 본 연구에서 일일사료섭취율은 사료내 DE ($r=0.87$; $P<0.01$) 함량과 역상관관계를 나타내었다. 고에너지 사료의 낮은 사료섭취 또한 다른 어종에서 보고되었다(Lee and Putnam, 1973; Page and Andrews, 1973).

DL 함량이 높은 사료 공급구의 간과 장의 지질함량은 모든 단백질함량에서 낮은 DL 함량이 낮은 사료 공급구보다 유의하게 높았다. 이러한 경향은 사료내 에너지 함량과 밀접하게 관련되어 있는 것으로 보인다. 본 연구에서 전어체, 간 및 장의 지질함량이 사료내 DE (각각 $r=0.85$, $r=0.96$ 및 $r=0.99$; $P<0.001$) 함량과 정상관관계를 나타내었는데 이것은 고에너지 사료를 공급한 어류의 지질함량이 저에너지 사료를 공급한 어류보다 더 높았던 다른 연구결과와 일치한다(Hillestad and Jhnsen, 1994; Catacutan and Coloso, 1995; Cho, 1998; Lie et al., 1988). 대구는 간의 지질함량이 증가하여 간 중량지수가 증가하였다(Hemre et al., 1989).

본 연구에서 간 중량지수와 장 중량지수 또한 간과 내장의 지질함량과 밀접하게 연관되어 있다. 고지질 사료를 공급한 어류의 간 지질함량은 간기능을 손상시키는 결과를 초래할지도 모른다. 하지만, 간 지질함량과 간 중량지수는 적절한 사료공급조건에서 사육된 조피볼락 치어(Lee et al., 2000)에서 관찰된 값보다 더 낮게 관찰되었다. 이러한 경향은 본 연구에서 고지질 사료 공급구의 간 지질함량이 조피볼락의 성장과 건강에 손상을 입히지 않는 것으로 보인다.

사료내 지질함량의 증가는 체내 축적되는 지질이 증가하여 어체품질에 영향을 줄 수 있으므로 조심스럽게 고려되어야 한다(Cowey, 1993; Hillestrad and Jhnsen, 1994). 비록 본 연구에서 조피볼락의 간과 내장의 지질함량이 사료내 지질함량이 증가하면서 증가되었음에도 불구하고 근육에서의 지질함량은 모든 단백질함량에서 사료의 지질함량에 영향을 받지 않았다. 이런 결과는 아마도 조피볼락을 포함한 정착성 어종의 근육보다 간과 내장 주변 지방조직에 지질을 축적하는 경향 때문일 것이다. 고지질 사료를 공급한 타어종에서 이와 유사한 결과가 관찰되었다(McGoogan and Gatlin, 1999; Peres and Oliva-Teles, 1999). 본 연구에서 간과 장지질의 증가로 어체의 지질함량이 증가된 것이 분명하다. 고지질 사료에서 간과 장의 지질함량이 증가했음에도 불구하고 본 연구에서 14% DL 공급구의 경우, 근육의 지질함량, 성장 및 단백질축적률이 영향을 받지 않은 것을 고려하면, 고지질 사료는 저지질 사료와 비교하여 어류생산, 사료효율 및 단백질 절약효과에 더 유리한 효과를 지니는 것으로 보인다. 게다가 본 연구에서 고지질 사료에 있어 사료와 단백질 섭취의 감소와 더 높은 건물 소화율 및 단백질이용성은 McGoogan and Gatlin (1999)에 의해 설명된 것처럼 암모니아 생산의 감소효과를 가져올 것으로 보인다.

본 연구의 결과들은 사료내 지질함량을 7%에서 14%까지 증가시키는 것이 조피볼락의 성장효과, 사료효율 및 단백질이용성을 향상시킬 수 있다고 판단된다. 이번 연구결과를

바탕으로, 조피볼락 치어의 실용사료에 42% 가소화단백질과 14% 가소화지질(4.2 kcal 가소화에너지/ g diet)이 함유되는 것이 좋을 것으로 판단된다.

제 2 절 넙치 치어 건조사료(EP)의 단백질과 지질 함량

1. 서론

사료의 단백질은 어류의 성장과 사료비용에 영향을 미치는 가장 중요한 요소이다 (Lovell, 1989). 일반적으로 육식성 어류에서 사료내 단백질 함량의 증가는 어류 생산을 향상시킨다. 그러나 단백질 함량이 증가 할수록 사료단가는 증가 하게 된다. 어류 성장을 위한 단백질 이용은 지질 또는 탄수화물로 사료내 단백질을 부분적으로 대체함으로써 향상될 수 있다. 적당하지 않은 사료내 단백질과 에너지 함량은 성장 저하, 생산 단가의 증가, 수질 오염 및 사료 손실을 초래한다. 사료의 단백질과 함께 탄수화물과 지질의 함량도 매우 중요하다. 사료내 비 단백질 에너지원의 종류나 함량은 어류의 성장, 영양소 이용율, 체지방 조성 등에 영향을 미친다(Garing and Wilson, 1976; Daniels and Robinson, 1986; Cho and Kaushik, 1990). 넙치의 관한 연구로 단백질과 에너지 요구량 (Lee et al., 2000a)은 연구 되었지만, 습사료 형태의 실험사료로 연구되었기 때문에 실용화에 적용하기 위한 단계가 필요하다. 그래서 본 실험은 넙치 육성용 건조사료(EP)의 적정 단백질 및 지질 함량을 조사하기 위해 수행되었다.

2. 재료 및 방법

실험사료

단백질 (50%, 55%)과 지질 (8%, 12%, 15%) 함량이 달리 함유된 6종류의 실험 EP 사료 (P₅₀L₈, P₅₀L₁₂, P₅₀L₁₅, P₅₅L₈, P₅₅L₁₂, P₅₅L₁₅)를 제조하였다. 실험사료의 영양소 함량과 원료 조성은 Table 1에 나타내었다. 단백질원으로 Anchovy meal, Jack mackerel meal, Tuna meal, 및 Krill mill을 사용하였고, 지질원으로 Squid liver oil을 사용하였다.

이와 같이 설계된 원료들을 분말형태로 잘 혼합한 후 Extruder Pellet Mill(Kahl OEE08 extruder, 독일)를 이용하여 성형하였으며, 열풍건조기에서 건조 후 -30℃에서 보관하였다. 사료의 영양성분은 기존에 연구된 결과(Lee et al., 2002, 2003)를 토대로 하였다.

Table 1. Ingredients and proximate composition of the experimental diets

Ingredients(%)	Diets					
	P ₅₀ L ₈	P ₅₀ L ₁₂	P ₅₀ L ₁₅	P ₅₅ L ₈	P ₅₅ L ₁₂	P ₅₅ L ₁₅
anchovy meal	21	21	21	25	25	25
Jack mackerel	21	21	21	25	25	25
Tuna meal	8	8	8	10	10	10
Krill meal	3	3	3	3	3	3
Wheat flour	30.5	25.5	20.5	25.5	20.5	15.5
Corn gluten	1	2	3	1	2	3
Wheat gluten	5	5	5	5	5	5
Brewers Yeast	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
Squid liver oil	1.5	5.5	9.5	0.5	4.5	8.5
Vitamin premix	1	1	1	1	1	1
Mineral premix	1	1	1	1	1	1
Choline (50%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
α -Cellulose	4	4	4			
	1.77	1.77	1.59	1.59	1.59	1.59
<i>Proximate composition</i>						
Dry matter (%)	87.7	87.7	93.8	89.2	86.7	94.9
Protein (% DM)	50.7	50.7	49.5	55.7	55.5	54.1
Lipid (% DM)	7.7	12.0	15.5	8.9	12.1	15.0
Ash (% DM)	10.6	10.5	10.4	12.1	11.7	11.7
Fibre(% DM)	3.6	2.9	2.8	0.7	0.7	1.2
NFE (% DM) ¹	27.4	25.5	21.8	22.6	19.9	18.0
Energy (kcal/g diet)	5.0	5.4	5.7	5.2	5.1	5.8

¹Nitrogen-free extract: 100-(crude protein +crude lipid +crude ash +crude fibre).

실험어 및 사육관리

넙치 치어를 지역 양식장(청양수산)에서 구입하여 국립수산물연구원 양식사료 연구센터로 수송하여 2주간 넙치용 상품사료로 예비 사육한 하였으며 평균체중 20.6 g의 실험어

를 무작위로 선별한 후 300L(수용적 150L) 원형수조에 30마리씩 3반복으로 수용하여 9주간 실험하였다. 실험 사료의 공급량은 실험어가 먹을 때 까지 1일 2회(09:00, 17:00) 반복 공급하였다. 각 수조마다 약하게 폭기시켜 산소를 공급하였고 자연 해수를 분당 12 l로 조절 하여 주수하였다. 사육기간 동안의 수온은 $20.6\pm 2.9^{\circ}\text{C}$ 비중은 1.0231 ± 0.001 였다. 그리고 각 수조에서 죽은 개체는 매일 제거하여 주었으며, 오후 13:00에 수조를 청소하였다. 일일 사료 섭취율과 폐사어 등을 매일 기록하였다.

시료채취 및 성분분석

최초 어체의 성분 분석용으로 30마리를 무작위로 표본 추출하여 화학적인 분석을 위해 -75°C 에 보관 하였으며, 실험 종료시 각 수조마다 6마리 임의로 추출하여 마취 상태로 미부동맥에서 채혈하였으며, 생존한 모든 어체를 일반성분 분석용으로 냉동보관 (-30°C) 하였다. 어체 측정은 실험 개시시와 종료시에 MS222 (Tricaine methanesulfonate, Sigma, USA) 100ppm 로 마취시켜 실험수조에 수용된 실험어의 전체무게를 측정하였다. 혈장성분의 변화를 조사하기 위해 각 실험구 당 6마리씩 (3반복) 무작위로 추출하여 헤파린 주사액이 처리된 1회용 주사기로 미부 혈관에서 채혈 하였다. 실험사료 및 간의 일반성분은 AOAC(1990)의 방법에 따라 조단백질($\text{N}\times 6.25$)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Swizerland)를 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C 의 dry oven에서 6시간 건조 후 측정하였다. 조회분은 550°C 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. 혈장성분은 채혈한 혈액을 7500rpm에서 5분간 원심 분리하여 얻은 혈장을 -70°C 에 동결 보존하면서 분석하였으며, 임상용 kit (아산제약)를 사용하여 protein은 burette법으로 glucose는 효소법으로, GPT (glutamate pyruvate transaminase)와 GOT (glutamate oxaloacetate transaminase)는 Reitman-Frankel법으로 분석하였다.

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS Version 12.0 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실행 후, 자료들을 3반복 그룹의 $\text{mean}\pm\text{S.E.}$ 로 나타내었다. Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

9주간의 사육 실험 결과는 Table 2에 표시한 것과 같으며, 생존률은 실험구간에 유의차가 없었다. 증중률은 사료 단백질 함량이 높은 실험구에서 높아지는 경향을 보였지만, 실험구간에 유의차는 없었다. 일일사료섭취율 및 간중량비는 사료의 단백질 및 지질함량

에 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$). 사료효율은 사료 지질 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보여 P₅₅L₁₅를 공급한 넙치의 값이 8-12% 지질 함유 사료 (P₅₀L₈, P₅₀L₁₂, P₅₅L₈, P₅₅L₁₂) 공급구들의 값보다 유의하게 높았다 ($P<0.05$). 단백질효율도 사료효율과 유사한 경향을 보였고, P₅₅L₁₅를 공급한 실험구가 P₅₀L₈, P₅₅L₈ 및 P₅₅L₁₂ 실험구보다 높았다($P<0.05$). 비만도는 P₅₅L₁₂ 실험구가 P₅₀L₈, P₅₀L₁₂ 및 P₅₅L₈ 실험구보다 높았다($P<0.05$).

사료의 단백질 함량은 성장에 매우 중요하며, 특히 육식성 어류에 있어 그 요구량은 높다. 넙치의 경우(3-110 g/fish) 이미 단백질 요구량이 50% 전후 임을 보고하였다 (Lee et al., 2000, 2002). 본 연구에서도 지질 함량이 동일 할 때, 사료의 단백질이 50-55% 사이에서 성장과 사료효율이 차이를 보이지 않아 앞 연구 결과들을 뒷받침하고 있다. 따라서 넙치용 배합사료의 단백질 함량은 50% 정도가 적당할 것으로 판단된다.

사료중에 탄수화물이나 지질이 부족하면 어류는 유지나 대사에 필요한 에너지를 충당하기 위하여 단백질을 에너지로 이용한다. 반면, 비단백질 에너지가 적당히 함유되어 있으면, 섭취된 단백질이 성장을 위해 쓰이는 부분이 커지므로, 어류의 증중량이나 단백질 축적량이 많아지고 사료효율이나 단백질 축적효율도 좋아져서 단백질 절약효과가 나타난다(Cho and Kaushik, 1990; De silver et al., 1991). 본 연구에서는 50% 단백질에 고에너지 사료가 55%의 저에너지 사료보다 성장이나 사료효율이 개선되지 않은 것으로 나타나 사료 지질 함량 증가로 인한 단백질 절약효과는 나타나지 않았다.

또한, 넙치를 대상으로 수행된 사료 에너지 이용에 대한 연구(Lee et al., 2000)에서는 넙치의 지질 요구량이나 이용성이 낮다고 지적하였다. 기존의 연구 결과와는 달리 본 연구에서의 지질 첨가가 사료효율에 다소 긍정적인 효과를 보인 것에 대한 정확한 이유를 설명하긴 어렵지만, 이러한 차이는 사육환경, 어체크기, 사료 조성이나 물성 등에 의한 것으로 보인다. 예를 들어 기존의 연구에서는 어린 치어(3 g/fish)를 대상으로 압출성형된 습사료 형태의 실험 배합사료로 22℃에서 사육 실험되었고, 본 연구의 21 g의 넙치를 대상으로 EP 형태의 사료로 21℃에서 사육 실험되었다.

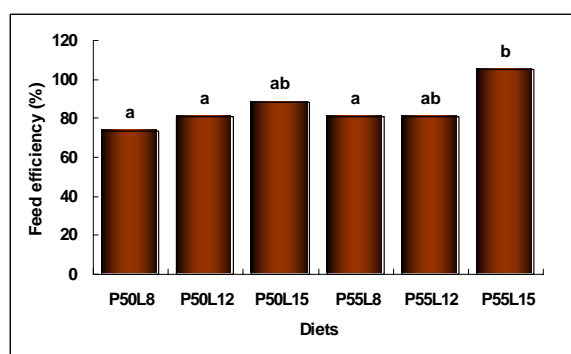
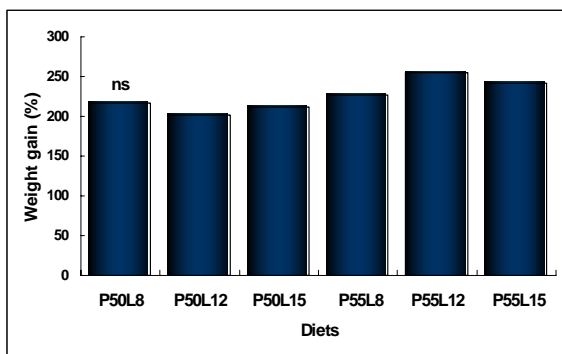


Table 2. Growth performance of flounder fed the experimental diets containing different protein and lipid levels for 9 weeks¹

Diets	Initial average weight (g)	Weight gain ² (%)	Feed efficiency ratio (%) ³	Daily feed intake (%) ⁴
P ₅₀ L ₈	20.73±0.17 ^{ns}	217.5±3.03 ^{ns}	73.5±11.15 ^a	1.8±0.06 ^{ns}
P ₅₀ L ₁₂	20.70±0.30	200.9±10.17	81.0±1.73 ^a	1.7±0.07
P ₅₀ L ₁₅	20.60±0.10	211.3±22.67	88.6±1.88 ^{ab}	1.6±0.14
P ₅₅ L ₈	20.53±0.09	227.0±12.53	80.8±5.61 ^a	1.8±0.11
P ₅₅ L ₁₂	20.60±0.12	255.8±27.63	81.1±7.28 ^a	1.8±0.02
P ₅₅ L ₁₅	20.64±0.18	242.1±27.86	105.3±4.43 ^b	1.5±0.10

Diets	Daily protein intake(%) ⁵	Protein efficiency ratio(%) ⁶	HSI ⁷	CF ⁸	Survial(%)
P ₅₀ L ₈	0.90±0.033 ^{abc}	1.5±0.22 ^a	1.2±0.14 ^{ns}	0.92±0.015 ^a	62.2±19.68 ^{ns}
P ₅₀ L ₁₂	0.82±0.034 ^{ab}	1.7±0.03 ^{ab}	1.3±0.13	0.92±0.012 ^a	60.0±3.33
P ₅₀ L ₁₅	0.77±0.070 ^a	1.8±0.03 ^{ab}	1.3±0.14	0.94±0.015 ^{ab}	66.7±11.71
P ₅₅ L ₈	0.95±0.064 ^{bc}	1.5±0.10 ^a	1.2±0.03	0.90±0.006 ^a	64.4±19.73
P ₅₅ L ₁₂	0.99±0.012 ^c	1.5±0.13 ^a	1.5±0.13	0.99±0.037 ^b	55.5±13.53
P ₅₅ L ₁₅	0.81±0.058 ^{ab}	2.0±0.08 ^b	1.5±0.16	0.95±0.021 ^{ab}	73.3±10.73

¹ Values (means ± S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05).

² (final weight - initial weight) × 100 / initial weight.

³ Fish wet weight gain × 100 / feed intake

⁴ Feed intake × 100/[initial fish wt+final fish wt+ dead fish wt) × days reared/2]

⁵ Protein intake × 100/[initial fish wt+final fish wt+ dead fish wt) × days reared/2]

⁶ Protein efficiency ratio % : (wet weight gain / protein intake) × 100

⁷ Hepatosomatic index : (liver weight / body weight) × 100.

⁸ Condition factor : [fish wt. (g) / fish length (cm)³] × 100.

어체 간과 근육의 일반성분은 Table 3에 나타내었으며, 간의 지질 함량은 사료의 지질 수준이 높을수록 증가하는 경향을 보였고 P₅₀L₈, P₅₀L₁₂ 및 P₅₅L₈ 공급구들보다 P₅₀L₁₅, P₅₅L₁₂ 및 P₅₅L₁₅ 공급구에서 유의하게 높았다(P<0.05). 단백질 함량은 P₅₀ 공급구들에서는 지질 수준이 높을수록 감소하는 경향을 보였으며, P₅₅ 공급구들에서는 지질 수준이 가장

낮은 P₅₅L₈ 공급구가 P₅₅L₁₂ 및 P₅₅L₁₅ 공급구보다 높았다(P<0.05). 수분 함량은 P₅₅L₈ 공급구가 P₅₀L₁₂, P₅₀L₁₅, P₅₅L₁₂ 및 P₅₅L₁₅ 공급구들보다 유의하게 높았다(P<0.05). 근육의 일반성분은 실험구간에 유의차가 없었다(P>0.05).

Table 3. Proximate compositions of the liver and muscle in juvenile flounder fed the experimental diets containing different protein and lipid levels for 9 weeks¹

Diets	liver			muscle		
	Moisture	Protein	Lipid	Moisture	Protein	Lipid
P ₅₀ L ₈	72.8±0.64 ^{bc}	12.3±0.10 ^c	7.2±0.17 ^a	76.1±0.21 ^{ns}	22.4±0.56 ^{ns}	0.22±0.094 ^{ns}
P ₅₀ L ₁₂	67.1±0.62 ^a	11.0±0.18 ^b	8.8±1.15 ^a	76.1±0.22	21.7±0.23	0.32±0.224
P ₅₀ L ₁₅	65.6±2.18 ^a	9.7±0.44 ^a	15.8±0.51 ^b	76.0±0.22	21.8±0.35	0.36±0.137
P ₅₅ L ₈	74.2±1.48 ^c	12.3±0.16 ^c	7.0±1.34 ^a	76.0±0.56	22.2±0.16	0.27±0.148
P ₅₅ L ₁₂	69.6±1.06 ^{ab}	11.6±0.53 ^{bc}	12.9±1.00 ^b	75.7±0.35	22.1±0.24	0.30±0.106
P ₅₅ L ₁₅	67.5±0.80 ^a	11.0±0.59 ^b	14.7±1.55 ^b	76.1±0.41	21.3±0.90	0.36±0.147

¹Values (means ± S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05).

이상의 결과로부터, 본 실험에 적용된 사육조건에서 넙치 치어용 EP 사료의 단백질 함량이 50-55% 일 때, 사료내 지질 함량 증가가 사료효율 및 단백질효율을 증가시키는 효과가 어느 정도 있는 것으로 보아 사료의 지질 첨가를 긍정적으로 고려하여도 될 것으로 기대된다. 하지만, 사료의 지질 함량 증가는 어체의 품질에 영향을 미칠 수 있으므로 주의 깊게 고려되어야 할 것이다.

제 3 절 조피볼락(치어 및 성장어) 배합사료의 지질 및 탄수화물 함량

1. 서론

어류양식에 있어서 사료는 양식경영비의 가장 큰 부분을 차지하며, 따라서 효율적인 양식생산을 위해서는 그 중에 적합한 양질의 경제적인 배합사료를 개발하여 이용하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 대상 어종이 필요로 하는 필수영양소의 요구량을 구명하는 연구가 선행되어야 한다. 어류가 필요로 하는 영양소에는 여러 종류가 있지만, 이 중 단백질은 성장에 있어 가장 중요한 요소로서 사료 중 가장 높은 함량과 비용을 차지한다. 따라서 사료의 단백질이 어류 성장에 이용되고 비 단백질 에너지원으로 값 싼 지질이나 탄수화물의 이용성을 높이기 위한 연구가 필요하며, 경제적인 배합사료 개발을 위해서는 사료중 단백질 및 비단백질 에너지원인 지질과 탄수화물의 적정 함량을 구명하는 것은 중요하다.

사료의 지질 함량이나 지질원은 어류의 성장 및 체조성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있는데, 동일한 사료 단백질 수준에서 지질 함량을 조절함으로써 무지개송어 (Takeuchi, 1982), 은연어 (Clarke et al., 1982) 및 찬넬메기 (Garling and Wilson, 1976) 등 여러 어종에서 성장 및 사료효율이 개선되었다고 보고되었다. 반면에 잉어 (Murai et al., 1985)와 European sea bass (Peres and Oliva, 1999)와 같은 어종에서는 지질 첨가에 따른 성장개선의 효과가 없거나 아주 적다는 보고도 있으며, Lie et al. (1988)은 Atlantic cod의 경우 다량의 지질첨가에 의한 고에너지 사료는 단백질과 지질의 소화율을 낮추어 성장 감소 뿐 아니라, 어체의 지질함량이 증가함에 따라 품질을 저하시키는 결과를 초래했다고 보고했다. 그러므로 사료내 적절한 지질 함량은 양식어의 성장 및 어체의 품질 개선을 위하여 대단히 중요하다.

탄수화물은 사료의 성형을 도와주는 역할을 할 뿐 아니라 체내의 중요한 에너지원으로 작용하기 때문에 사료 단백질을 절약할 수 있는 영양소이다. 또한, 탄수화물원의 원가가 다른 영양소원에 비해 싸기 때문에 대상종에 그 이용성이 연구되면 사료단가를 절감할 수 있는 영양소이다. 탄수화물의 이용성은 어종에 따라 달라져(NRC, 1993), 육식성 어류 사료의 적정 탄수화물 함량은 방어와 참돔이 각각 10% 및 20%로 알려진 반면에 잡식성인 잉어는 30%까지 첨가할 수 있는 것으로 알려져 있다(Furuichi and Yone, 1980).

본 연구에서는 사료의 지질 및 탄수화물 함량이 조피볼락 치어 및 성장어의 성장 및 체조성에 미치는 영향에 관하여 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험사료(Table 1)는 단백질원으로 청어분을 사용하여 사료의 단백질함량이 50% 전후가 되도록 하였으며, 지질원으로 오징어간유를 모든 사료에 2%씩 첨가하여 조피볼락의 필수지방산인 n-3 HUFA 함량을 동일 (1.5%)하게 조절하였다. 에너지원으로 대두유를 0, 3, 6, 9 및 12%로 증가시키는 대신 탄수화물 (α -전분+ β -전분)을 30, 24, 18, 12 및 60%로 감소시킨 총 5종류의 실험사료를 설정하였다. 이와 같이 설계된 원료들을 잘 혼합한 후 원료 100 g 당 물 40 g을 첨가하여 펠렛 제조기로 사료를 성형한 후 실온에서 24시간 건조하였다. 제조된 사료는 -30°C 에 보관하면서 사용하였다.

Table 1. Ingredients and nutrients contents of the experimental diets

Diets	L19-S6	L16-S12	L13-S18	L9-S24	L6-S30
<i>Ingredients (%)</i>					
Herring meal	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0
■-starch	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0
β -starch	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0
Squid liver oil	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Soybean oil	12.0	9.0	6.0	3.0	
■-cellulose	9.0	7.0	5.0	3.0	
Carboxymethyl cellulose	3.0	2.0	1.0		
Vitamin premix ¹	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Mineral premix ²	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Choline salt	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>Nutrient contents (% of dry matter basis)</i>					
Crude protein	50.5	51.2	51.4	51.3	50.9
Crude lipid	18.8	16.2	12.7	9.3	6.0
Crude ash	9.8	9.8	9.5	9.4	9.7
N-free extract ³	20.9	22.8	26.4	30.0	33.4
Estimated E (kcal/g) ⁴	4.2	4.1	4.0	3.9	3.9
E/P (kcal/g protein)	8.2	8.0	7.8	7.7	7.6

^{1, 2} Same as Lee et al. (2003).

³ Nitrogen-free extract: 100-(crude protein +crude lipid +crude ash + crude fiber).

⁴ Calculated based on 4 kcal/g protein, 9 kcal/g lipid and 4 kcal/g NFE.

실험어 및 사육관리

사육실험에 사용된 실험어는 치어의 경우, 2주간 실험조건에 적응시킨 후, 평균체중 3.6 ± 0.2 g 전후의 실험어를 260 l 원형수조에 각각 30마리씩 각 사료마다 3반복으로 수용하여 하루에 2회 오전과 오후 (0800와 1700, 주 6일 먹이공급)에 사료를 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져주었다. 성장어의 경우, 평균체중 166 ± 6.1 g 전후의 실험어를 1000 l 원형수조에 각각 20마리씩 각 사료마다 2반복으로 수용하여 하루에 1회 (0900, 주 6일 먹이공급) 사료를 실험어가 먹을 때 까지 손으로 던져주었다. 사육수로 여과해수를 치어와 성장어 각 수조에 분당 2 l 및 8 l로 조절하여 각각 흘려주었으며, 8주간 사육하였다. 사육실험기간 동안의 수온과 비중은 각각 $20.0 \pm 1.07^\circ\text{C}$ 와 $34 \pm 0.1\%$ 였다. 그리고 사육실험 시작시와 종료시에는 측정 전일 절식시킨 후 MS222 100ppm (Tricaine methanesulfonate, Sigma, USA) 수용액에 마취하여 수조에 수용된 모든 실험어의 전체무게를 측정하였다.

성분 분석

어체 성분 분석용으로 사육실험 시작시 치어 50마리와 성장어 10마리를 sample하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조의 생존한 모든 실험어를 성분분석용으로 sample하여 냉동 (-75°C) 보관하였다. 실험사료와 어체의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 분석하였는데, 조단백질 (N \times 6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C 의 dry oven에서 12 시간 동안 건조 후 측정하였다. 조회분은 550°C 의 회화로에서 6 시간 동안 태운 후 정량하였다. 간 glycogen은 Murat and Serfaty(1974)의 방법으로 분석하였는데, 간의 glycogen을 amyloglucosidase(Fluka, EC 3.2.1.3)로 반응시킨 후, 분해된 glucose와 분해되기 전의 glucose를 효소법으로 정량하여 total glucose와 free glucose의 차로써 glycogen 양을 계산하였다. 지방산 분석을 위해 Folch et al. (1957)의 방법으로 총지질을 추출하였고, 14% BF_3 -methanol로 methylation시킨 후, capillary column (HP-INNOWax, 30 m \times 0.32 mm \times 0.5 μm , USA)이 장착된 gas chromatography (HP-5890 II, USA)로 지방산을 분석하였다. 표준지방산으로 12:0, 13:0, 14:0, 14:1, 16:0, 16:1, 17:0, 17:1, 18:0, 18:1, 18:2n-6, 18:3n-6, 18:3n-3, 18:4n-3, 18:4n-6, 20:0, 20:1, 20:2n-6, 20:3n-6, 20:4n-3, 20:5n-3, 22:0, 22:1, 22:4n-3, 22:5n-3, 22:6n-3 및 24:1 (Sigma, USA)을 사용하였다. Carrier gas는 helium (30 ml/min)을 사용하였으며, oven 온도는 170°C 에서 225°C 까지 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 증가시켰고, injector의 온도는 250°C , detector (FID) 온도는 270°C 로 설정하였다. 혈장의 total protein, cholesterol, glucose 및 triglyceride는 clinical investigation commercial kit (Asan Pharm. Co., Kyung-gee, Korea) 를 사용하여 분석하였다.

장 내용물 및 혈당 측정

실험사료별 공급에 따른 사료의 장 통과 시간을 알아보기 위해 사육실험 조건과 같이 별도의 수조에 동일 크기의 치어를 수용하여 사육하였다. 2일간 절식시킨 후, 사육실험시의 사료공급과 동일하게 실험사료를 공급하고, 사료공급 후 시간별(1, 3, 5, 8, 12, 16, 24, 48h)로 각 실험구에서 실험어를 5마리씩 마취시켜 혈당 분석용으로 채혈하고, 위와 장의 내용물 무게를 조사하였다. 또한, 간을 분리하여 glycogen 함량을 분석하였다.

통계 처리

결과의 통계 처리는 ANOVA-test를 실시하여, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 SPSS (SPSS Inc., 1997) program을 사용하여 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

지질과 탄수화물 함량이 다른 사료로 조피볼락을 8주간 사육한 결과 (Table 2), 생존율은 치어 및 성장어 모두 93% 이었으며 실험구간에 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 치어의 경우, 증중량 (Fig. 1)은 사료 지질함량 6%가 가장 낮았으며 사료의 지질함량이 증가함에 따라서 유의하게 증가하였지만 ($P<0.05$), 지질함량 13% 이상에서는 더 이상 증가하지 않았다 ($P>0.05$). 사료효율과 단백질효율 역시 사료 지질함량 6%가 가장 낮았으며 ($P<0.05$), 사료 지질함량 6%를 제외한 나머지 실험구간에는 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 이러한 결과는 동일한 사료단백질 수준에서 지질 함량을 조절함으로써 성장 및 사료효율이 향상된 무지개송어 (Takeuchi, 1982), 은연어 (Clarke et al., 1982) 및 찬넬메기 (Garling and Wilson, 1976)의 결과와 유사하였다. 일일사료섭취율은 사료 지질함량 6%가 가장 높았으며 ($P<0.05$), 타 실험구간들에는 서로 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 비만도는 사료 지질함량 13%가 가장 높았지만 지질함량 6%를 제외한 나머지 실험구와는 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 치어의 간중량 지수 및 장중량 지수는 사료은 모든 실험구간에 통계적인 차이가 없었다 ($P>0.05$).

성장어의 경우, 증중량, 사료효율, 일일사료섭취율, 단백질효율 및 비만도는 모든 실험구간에 통계적인 차이가 없었다 ($P>0.05$). 그러나 간중량 지수와 장중량 지수는 실험구간에 유의한 차이를 보였다 ($P<0.05$). 간중량지수는 사료 지질함량 16%가 지질함량 6 및 9%보다 유의하게 높았으며 ($P<0.05$), 장중량 지수는 사료 지질함량 6%가 타 실험구에 비해 유의하게 높았다 ($P<0.05$).

Table 2. Growth performance of juvenile and grower rockfish fed the diets containing different lipid and starch levels for 8 weeks¹

Diets	L19-S6	L16-S12	L13-S18	L9-S24	L6-S30
Juvenile					
Initial av. body wt (g)	3.79±0.096	3.59±0.044	3.48±0.212	3.53±0.130	3.61±0.012
Survival (%)	97.8±2.23 ^{ns}	98.9±1.10	100.0±0.00	100.0±0.00	100.0±0.00
Weight gain (g/fish)	22.2±0.66 ^{bc}	23.8±0.55 ^c	23.2±1.39 ^c	19.4±1.32 ^b	16.0±0.68 ^a
Feed efficiency (%) ²	113±6.2 ^b	119±3.9 ^b	118±1.9 ^b	112±2.2 ^b	88±3.5 ^a
Daily feed intake (%)	2.35±0.110 ^a	2.29±0.094 ^a	2.32±0.031 ^a	2.33±0.050 ^a	2.82±0.097 ^b
Protein efficiency ratio ³	2.23±0.122 ^b	2.33±0.075 ^b	2.30±0.038 ^b	2.19±0.042 ^b	1.73±0.070 ^a
Condition factor ⁴	1.7±0.05 ^{ab}	1.8±0.01 ^{ab}	1.8±0.06 ^b	1.7±0.01 ^{ab}	1.6±0.02 ^a
Hepatosomatic index ⁵	3.5±0.20 ^{ns}	3.9±0.19	3.8±0.10	3.6±0.13	3.8±0.22
Visceralsomatic index ⁶	13.1±0.31 ^{ns}	13.2±0.43	13.1±0.11	12.2±0.45	13.6±0.59
Grower					
Initial av. body wt (g)	164.9±13.80	164.6±5.70	166.5±4.20	166.7±3.10	165.2±2.10
Survival (%)	95±5.0 ^{ns}	93±2.5	98±2.5	100±0.0	100±0.0
Weight gain (g/fish)	54.1±3.25 ^{ns}	59.3±2.50	61.4±0.35	56.5±1.85	57.8±6.40
Feed efficiency (%) ²	102±18.5 ^{ns}	92±7.9	107±11.5	105±11.0	111±6.1
Daily feed intake (%)	0.63±0.040 ^{ns}	0.69±0.030	0.75±0.005	0.77±0.065	0.76±0.020
Protein efficiency ratio ³	2.0±0.37 ^{ns}	1.8±0.15	2.1±0.23	2.1±0.21	2.2±0.12
Condition factor ⁴	1.8±0.09 ^{ns}	1.8±0.06	1.8±0.08	1.9±0.11	1.8±0.34
Hepatosomatic index ⁵	2.6±0.12 ^{ab}	2.8±0.07 ^b	2.6±0.16 ^{ab}	2.4±0.02 ^a	2.4±0.09 ^a
Visceralsomatic index ⁶	10.9±0.08 ^a	11.8±0.16 ^a	11.1±0.44 ^a	11.6±0.05 ^a	12.8±0.44 ^b

¹ Values (mean±SE of replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

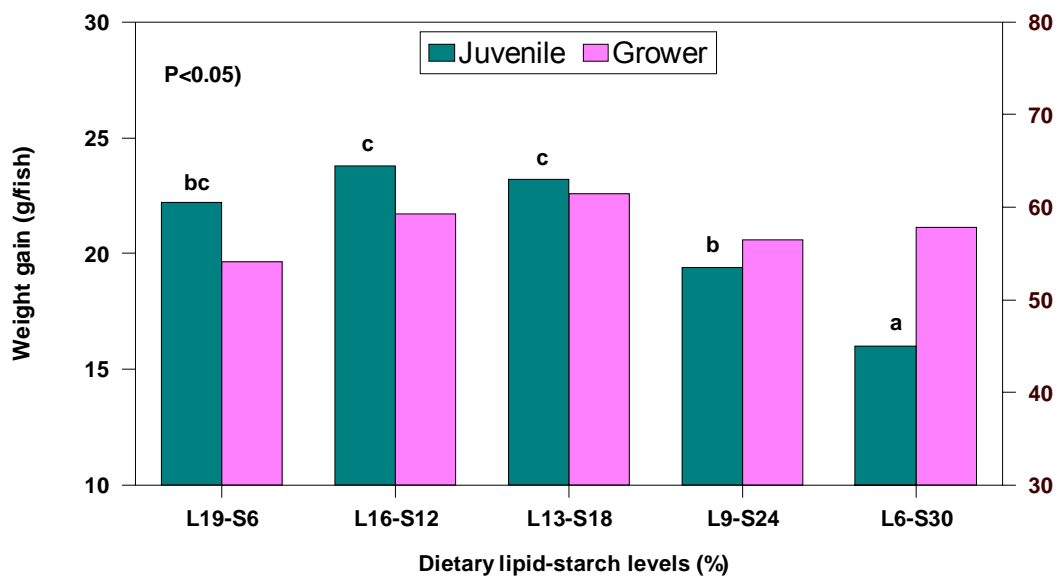
² Fish wet weight gain × 100/ feed intake (dry matter).

³ Fish wet weight gain × 100/ protein intake.

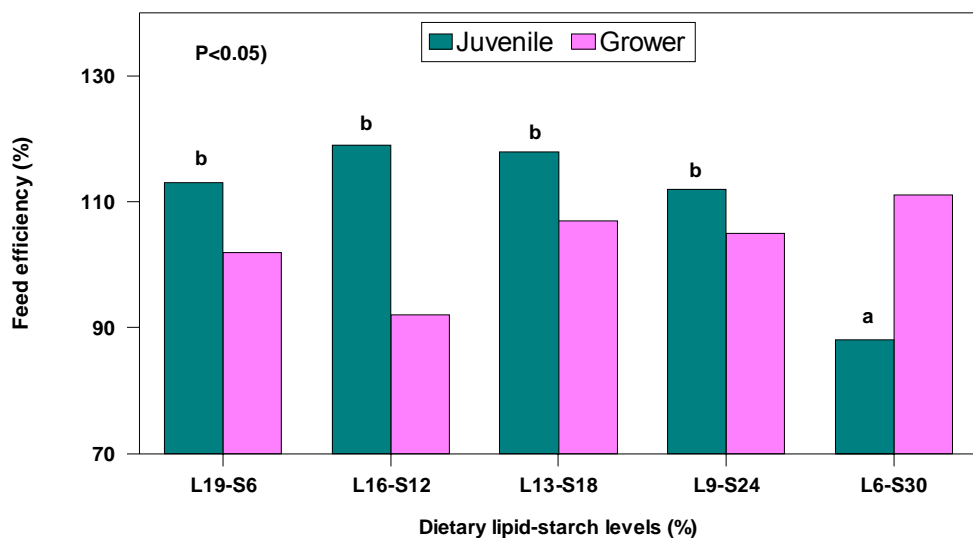
⁴ Condition factor = (body weight × 100)/total body length (cm)³.

⁵ Hepatosomatic index = (liver weight × 100) / body weight.

⁶ Visceralsomatic index = (viscera weight × 100) / body weight.



Weight gain of juvenile (3.6 g/fish) and grower (166 g/fish) rockfish fed the isonitrogenous (51%) diets containing different lipid and starch levels for 8 weeks



Feed efficiency of juvenile (3.6 g/fish) and grower (166 g/fish) rockfish fed the isonitrogenous (51%) diets containing different lipid and starch levels for 8 weeks

Fig. 1. Growth of juvenile (3.6 g/fish) and grower (166 g/fish) rockfish fed the diets containing different lipid and starch levels for 8 weeks.

사육실험 종료 후, 치어 및 성장어의 등근육, 간, 장 및 전어체의 성분 분석 결과를 Table 3-6에 각각 표시하였다. 치어의 경우, 등근육, 간, 장 및 전어체 모두에서 수분 함량은 사료의 지질함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 지질함량은 사료의 지질함량이 증가함에 따라서 유의하게 증가하였다 ($P<0.05$). 치어 등근육의 단백질함량은 사료 지질함량 6 및 9%가 13, 16, 및 19%보다 유의하게 높았지만 ($P<0.05$), 간, 장 및 전어체의 단백질함량은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 전어체의 회분 함량은 지질함량 6% 실험구가 가장 높았다 ($P<0.05$).

성장어의 경우, 등근육, 간, 장 및 전어체 모두에서 수분 함량은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 성장어의 등근육, 간, 장 및 전어체의 단백질 함량은 사료의 지질 함량에 유의한 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$). 그리고 장과 전어체의 지질 함량은 사료의 지질함량이 증가함에 따라서 증가하였지만 ($P<0.05$), 등근육과 간의 지질함량은 모든 실험구간에 통계적인 차이가 없었다 ($P>0.05$). 전어체의 회분함량은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$).

Table 3. Proximate composition (%) of whole body in juvenile and grower rockfish fed the diets containing different lipid and starch levels for 8 weeks

	Initial	Diets				
		L19-S6	L16-S12	L13-S18	L9-S24	L6-S30
Juvenile						
Moisture	76.5	67.6±0.33 ^a	67.2±0.18 ^a	68.6±0.27 ^b	71.3±0.52 ^c	72.7±0.18 ^d
Crude protein	16.1	15.0±0.97	15.1±0.52	14.9±0.62	15.8±1.39	16.8±1.77
Crude lipid	2.4	13.7±0.48 ^d	13.2±0.42 ^d	11.2±0.51 ^c	7.8±0.52 ^b	4.9±0.44 ^a
Crude ash	4.5	3.4±0.14 ^a	3.3±0.07 ^a	3.5±0.15 ^{ab}	3.6±0.13 ^{ab}	3.9±0.18 ^b
Grower						
Moisture	66.7	66.1±1.13	65.5±0.08	66.3±0.83	66.9±0.69	66.9±0.14
Crude protein	16.0	16.5±0.51	16.3±1.21	17.0±0.37	17.5±0.30	16.6±0.28
Crude Lipid	12.4	12.3±0.47 ^b	12.1±0.06 ^b	9.2±0.93 ^a	10.0±0.11 ^a	9.2±0.42 ^a
Crude ash	3.9	3.8±0.13	4.0±0.38	4.1±0.06	4.4±0.58	4.5±0.34

¹ Values (mean±SE of replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

Table 4. Proximate composition (%) of dorsal muscle in juvenile and grower rockfish fed the diets containing different lipid and starch levels for 8 weeks

	Initial	Diets				
		L19-S6	L16-S12	L13-S18	L9-S24	L6-S30
Juvenile						
Moisture		75.1±0.83 ^a	73.8±0.16 ^a	74.3±0.31 ^a	74.4±0.43 ^a	76.6±0.25 ^b
Crude protein		20.5±0.13 ^a	20.6±0.17 ^a	20.3±0.13 ^a	21.1±0.08 ^b	21.0±0.09 ^b
Crude lipid		3.5±0.39 ^{bc}	4.6±0.26 ^c	4.3±0.42 ^c	2.6±0.56 ^{ab}	1.6±0.19 ^a
Grower						
Moisture	76.1	75.6±0.87	75.8±0.65	75.0±0.33	75.6±1.09	75.5±0.79
Crude protein	20.1	20.6±0.55	20.6±0.68	21.6±0.34	21.2±0.31	21.3±0.63
Crude Lipid	3.4	2.5±0.94	1.7±1.03	1.8±0.07	1.1±0.14	2.1±0.35

¹ Values (mean±SE of replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 5. Proximate composition (%) of liver in juvenile and grower rockfish fed the diets containing different lipid and starch levels for 8 weeks

	Initial	Diets				
		L19-S6	L16-S12	L13-S18	L9-S24	L6-S30
Juvenile						
Moisture		51.2±0.75 ^a	50.3±1.06 ^a	52.9±1.14 ^{ab}	54.8±0.69 ^b	59.2±0.70 ^c
Crude protein		9.5±0.34	9.3±0.25	9.7±0.24	9.8±0.21	9.7±0.43
Crude lipid		27.0±1.27 ^c	24.3±1.69 ^{bc}	18.6±3.05 ^{ab}	15.1±2.86 ^a	11.5±1.56 ^a
Glycogen		9.0±0.68	10.0±0.48	11.7±0.56	12.0±1.30	12.1±0.68
Grower						
Moisture	53.0	47.6±1.64	49.5±1.04	47.5±1.79	48.2±1.15	45.5±0.21
Crude protein	8.7	8.7±0.23	9.2±0.59	9.4±0.51	9.4±0.61	8.4±0.20
Crude Lipid	12.1	24.9±3.06	30.1±3.80	26.3±0.91	24.8±1.07	31.2±1.19
Glycogen		5.0±0.11	4.7±0.40	5.1±0.62	4.9±0.39	4.6±1.13

¹ Values (mean±SE of replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 6. Proximate composition (%) of viscera in juvenile and grower rockfish fed the diets containing different lipid and starch levels for 8 weeks

	Initial	Diets				
		L19-S6	L16-S12	L13-S18	L9-S24	L6-S30
Juvenile						
Moisture		46.7±2.28 ^a	46.3±1.83 ^a	50.1±0.33 ^a	57.9±0.22 ^b	65.2±4.43 ^b
Crude protein		9.5±1.09	10.2±0.76	10.7±0.96	11.5±0.67	11.9±0.62
Crude lipid		40.4±3.44 ^c	42.6±1.55 ^c	38.3±0.14 ^c	29.5±0.40 ^b	19.9±1.43 ^a
Grower						
Moisture	40.6	39.7±5.47	32.9±1.75	38.3±0.31	36.5±4.13	44.6±0.96
Crude protein	7.5	5.3±0.10	5.3±0.12	5.4±0.56	5.4±0.79	7.1±0.50
Crude Lipid	49.2	53.2±7.80 ^{ab}	59.4±0.75 ^b	52.8±0.75 ^{ab}	54.2±5.51 ^{ab}	44.1±1.82 ^a

¹ Values (mean±SE of replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

어체의 지방산 조성(Table 7과 8)은 사료의 지질 함량 및 지질원에 영향을 받았다. 치어의 경우, 사료내 대두유 함량이 증가함에 따라 전어체의 지방산 중 14:0, 16:0, 18:1n-9, 20:1n-9, 20:4n-6, 20:5n-3 및 22:6n-3의 함량은 감소한 반면 18:2n-6과 18:3n-3의 함량은 현저하게 증가하였다 (P<0.05). 그리고 성장어의 경우에도 사료내 대두유의 함량이 증가함에 따라서 전어체의 18:2n-6과 18:3n-3의 함량은 유의하게 증가하였으나, 20:5n-3, 22:6n-3 및 n-3 HUFA의 함량은 유의하게 감소하였다 (P<0.05). 이처럼 어체의 지방산 조성이 사료의 지질 함량 및 지질원에 영향을 받는 것은 다른 어류에서도 나타나는 일반적이다 (Lanari et al. 1999; Morais et al., 2001).

Table 7. Fatty acids composition (% of total fatty acids) of whole body in grower rockfish fed the diets containing different lipid and starch levels for 8 weeks

	Initial	Diets				
		L19-S6	L16-S12	L13-S18	L9-S24	L6-S30
14:0	2.9	1.5±0.03a	2.0±0.01ab	1.9±0.06ab	1.8±0.15ab	2.2±0.30b
16:0	17.3	17.9±0.06	18.4±0.23	19.8±0.23	20.1±1.11	19.6±0.59
16:1n-7	10.0	4.5±0.17a	4.5±0.74a	5.3±0.16a	5.1±0.29a	7.5±0.46b
18:0	4.2	5.2±0.23ab	5.5±0.21ab	5.5±0.12ab	5.7±0.20b	5.0±0.04a
18:1n-9	24.3	20.0±0.51	21.8±0.03	18.5±1.97	20.7±0.57	21.7±0.23
18:2n-6	5.8	19.5±0.09e	15.6±0.00d	13.3±0.07c	9.0±0.08b	4.3±0.01a
18:3n-3	0.9	1.4±0.05c	1.3±0.07bc	1.0±0.08b	0.8±0.09a	0.5±0.08a
18:4n-3	1.4	0.5±0.07	0.7±0.01	0.6±0.05	0.6±0.02	0.7±0.13
20:1n-9	3	1.1±0.10a	2.0±0.14b	1.6±0.17ab	1.7±0.31ab	1.8±0.21b
20:4n-6	1.2	1.2±0.12a	1.3±0.14a	1.4±0.03ab	1.7±0.05b	1.7±0.08b
20:5n-3	8.3	5.8±0.39a	6.1±0.13ab	7.0±0.16abc	7.2±0.44bc	8.3±0.49c
22:1n-9	1.2	-	0.6±0.08	0.3±0.27	0.3±0.34	0.3±0.29
22:5n-3	1.1	1.0±0.05a	1.2±0.10b	1.3±0.01b	1.5±0.04c	1.5±0.02c
22:6n-3	18.5	20.6±0.33ab	18.9±0.10a	22.5±0.72abc	23.9±0.23bc	24.9±2.32c
SFA	25.5	24.6±0.20a	26.4±0.51ab	27.4±0.68b	28.0±0.43b	27.1±1.15ab
UFA	74.5	75.4±0.20b	73.6±0.51ab	72.6±0.68a	72.0±0.43a	72.9±1.15ab
SFA/UFA	0.3	0.3±0.01a	0.4±0.01ab	0.4±0.01b	0.4±0.01b	0.4±0.02ab
Monoene	38.5	25.5±0.24a	29.3±0.77ab	25.8±1.37a	27.8±1.50ab	31.3±0.73b
n-3HUFA	27.9	27.3±0.11ab	26.1±0.13a	30.8±0.88bc	32.5±0.71cd	34.7±1.85d
n-6HUFA	1.2	1.2±0.12a	1.3±0.14a	1.4±0.03ab	1.7±0.05b	1.7±0.08b
18:1n/n-3HUFA	0.9	0.7±0.02ab	0.8±0.00b	0.6±0.08a	0.6±0.03a	0.6±0.03a
18:1n/DHA	1.3	1.0±0.01ab	1.2±0.01b	0.8±0.11a	0.9±0.03a	0.9±0.07a
n-3/n-6HUFA	23.1	23.7±2.25	21.1±2.27	22.0±0.24	19.4±0.16	20.6±2.00
EPA/DHA	26.8	26.4±0.06ab	25.0±0.03a	29.4±0.88bc	31.0±0.67cd	33.2±1.83d
DHA/EPA	2.2	3.6±0.30	3.1±0.08	3.2±0.03	3.3±0.17	3.0±0.46

¹ Values (mean±SE of replications) in the same column having different letter are significantly different (P<0.05).

SFA: Saturated fatty acids, UFA: Unsaturated fatty acids.

Table 8. Fatty acids composition (% of total fatty acids) of whole body in juvenile rockfish fed the diets containing different lipid and starch levels for 8 weeks

	Initial	Diets				
		L19-S6	L16-S12	L13-S18	L9-S24	L6-S30
14:0	2.23	1.3±0.04a	1.6±0.06ab	1.9±0.08b	2.6±0.16c	3.5±0.21d
16:0	12.8	11.7±0.42a	12.4±0.48a	13.8±0.28ab	17.2±1.09bc	19.2±2.34c
16:1n	10	4.2±0.27a	5.6±0.70ab	5.6±0.24ab	6.4±1.21ab	10.6±3.13b
18:0	4.2	5.0±0.18	4.7±0.83	5.1±0.46	5.3±0.39	4.3±0.66
18:1n-9	27.17	22.0±0.28a	22.3±1.34a	23.6±1.05a	24.1±0.48a	28.4±0.82b
18:2n-6	10.1	32.1±0.44e	27.9±0.80d	22.8±0.11c	14.7±0.08b	2.2±0.75a
18:3n-3	1.62	4.3±0.29d	3.3±0.41c	2.8±0.03c	1.9±0.09b	0.6±0.12a
18:4n-3	0.99	0.6±0.21	0.7±0.41	0.8±0.16	1.0±0.08	0.9±0.13
20:1n-9	1.83	0.3±0.25a	0.3±0.18a	0.7±0.11ab	1.1±0.19b	1.1±0.27b
20:4n-6	2.05	0.9±0.06a	1.0±0.18a	1.0±0.02a	1.2±0.06ab	1.4±0.10b
20:5n-3	8.39	5.7±0.08a	6.9±0.25b	7.9±0.20c	8.6±0.15c	10.0±0.39d
22:1n-9	0.44	0.4±0.03	1.2±0.58	0.7±0.03	1.2±0.54	0.3±0.14
22:5n-3	1.65	1.1±0.07	0.8±0.41	1.3±0.20	1.4±0.28	1.1±0.60
22:6n-3	16.55	10.6±0.09a	11.8±0.61b	12.4±0.18b	13.9±0.23c	16.6±0.29d
SFA	19.21	18.1±0.21a	18.6±1.29a	20.7±0.80ab	25.0±1.54bc	26.9±2.80c
UFA	80.79	81.9±0.21c	81.4±1.29c	79.3±0.80bc	75.0±1.54ab	73.1±2.80a
SFA/UFA	0.24	0.2±0.00a	0.2±0.02a	0.3±0.01ab	0.3±0.03bc	0.4±0.05c
Monoene	39.44	26.9±0.37a	29.3±1.87a	30.6±1.25a	32.7±1.61a	40.4±3.61b
n-3HUFA	29.20	22.2±0.26a	23.6±0.89ab	25.1±0.26bc	26.7±0.32c	29.2±0.75d
n-6HUFA	12.15	33.0±0.42e	28.9±0.66d	23.9±0.13c	15.9±0.10b	3.5±0.81a
18:1n/n-3HUFA	0.93	1.0±0.02	1.0±0.10	0.9±0.05	0.9±0.02	1.0±0.03
18:1n/DHA	1.64	2.1±0.02b	1.9±0.18ab	1.9±0.11ab	1.7±0.03a	1.7±0.08a
n-3/n-6HUFA	2.40	0.7±0.01a	0.8±0.05a	1.1±0.01a	1.7±0.02a	9.2±1.91b
EPA/DHA	24.94	16.3±0.07a	18.7±0.71b	20.3±0.28c	22.5±0.12d	26.6±0.47e
DHA/EPA	1.97	1.9±0.04b	1.7±0.09ab	1.6±0.04a	1.6±0.05a	1.7±0.07ab

¹ Values (mean±SE of replications) in the same column having different letter are significantly different (P<0.05).

SFA: Saturated fatty acids, UFA: Unsaturated fatty acids.

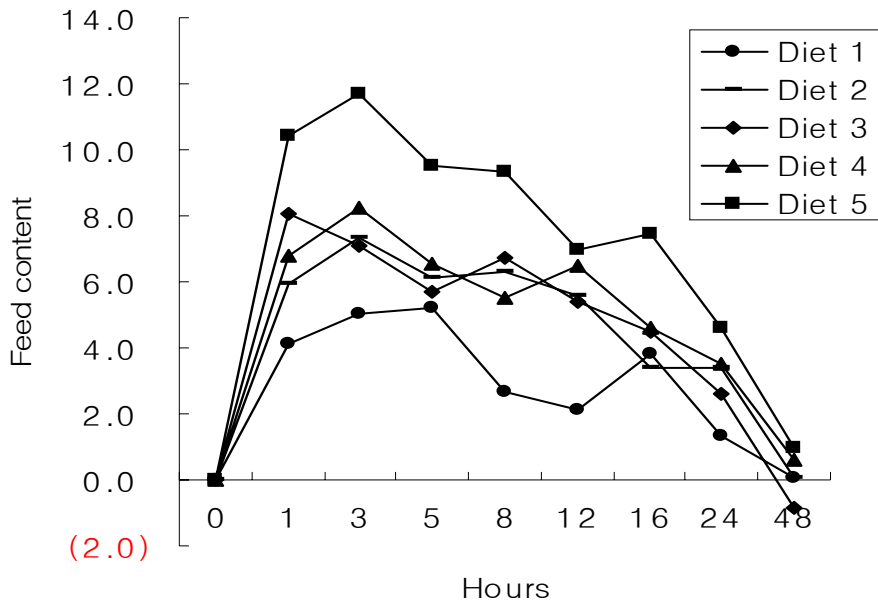


Fig. 2. Feed content (% of fish body wt) of stomach of juvenile (3.6 g/fish) rockfish after feeding of the diets containing different lipid and starch levels.

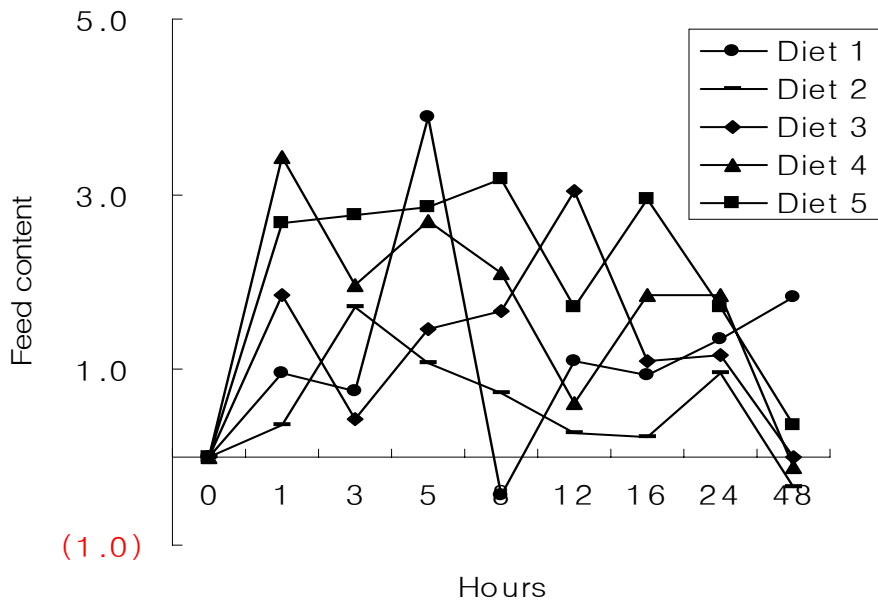
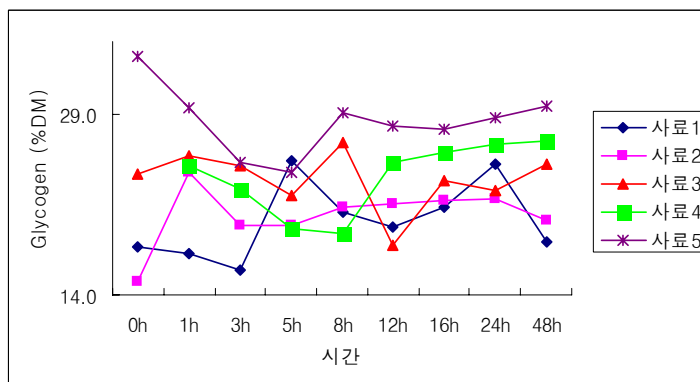
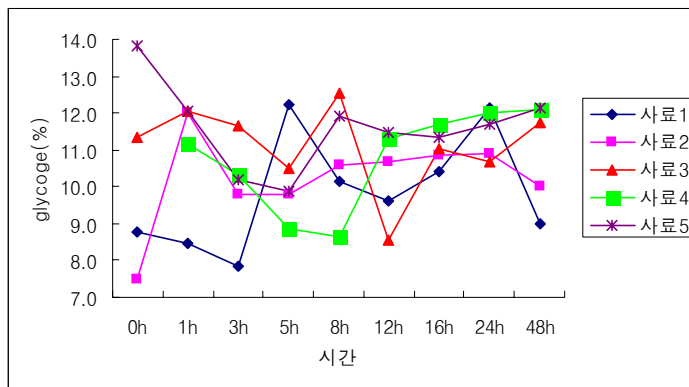


Fig. 3. Feed content (% of fish body wt) of intestine of juvenile (3.6 g/fish) rockfish after feeding of the diets containing different lipid and starch levels.

Table 9. Postprandial glycogen content of the liver in juvenile (3.6 g/fish) rockfish after feeding of the diets containing different lipid and starch levels.

Diets	1	2	3	4	5
0h	8.8±0.53	7.5±0.06	11.3±0.94		13.8±0.50
1h	8.5±0.88	12.0±0.55	12.0±0.12	11.2±0.38	12.1±0.86
3h	7.8±0.34	9.8±0.40	11.7±0.98	10.3±0.15	10.2±1.16
5h	12.2±0.37	9.8±0.70	10.5±0.23	8.8±0.38	9.9±0.22
8h	10.2±0.57	10.6±0.35	12.5±0.15	8.6±0.70	11.9±1.13
12h	9.6±0.71	10.7±0.27	8.5±0.47	11.3±0.83	11.5±0.15
16h	10.4±1.13	10.9±0.64	11.1±0.32	11.7±1.56	11.3±1.35
24h	12.1±0.67	10.9±0.40	10.7±0.65	12.0±0.12	11.7±0.47
48h	9.0±0.68	10.0±0.48	11.7±0.56	12.1±1.30	12.1±0.68



이상의 결과로부터 단백질 50% 전후의 배합사료에 적정 지질 및 전분 함량이 각각 13-19% 및 18-6%의 범위일 때 조피볼락 치어의 성장 및 사료 이용률을 높아질 것으로 판단된다.

제 4 절 넙치 치어 배합사료의 탄수화물원 및 α -starch 함량

1. 서론

탄수화물은 체내의 중요한 에너지원으로 작용하기 때문에 사료 단백질을 절약할 수 있는 영양소이다. 또한, 탄수화물원의 원가가 다른 에너지원에 비해 싸기 때문에 양식 대상종에 그 이용성이 연구되면 사료단가를 절감할 수 있는 영양소이다. 또한 사료의 탄수화물원이나 그 함량은 사료의 성형에 있어 매우 중요한 역할을 한다. 그래서 본 연구에서는 사료 탄수화물의 종류 및 전분 함량이 넙치 치어의 성장, 체조성 및 혈액성상에 미치는 영향에 관하여 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

기존에 수행된 연구결과를 바탕으로 하여 청어분을 단백질원으로, 오징어간유를 지질원으로 사용한 실험사료에 탄수화물원으로 15%의 소맥분을 첨가한 다음, α -전분, β -전분 및 dextrin을 15%씩 첨가하였으며, 소맥분을 10 및 5%로 감소하는 대신 α -전분을 20 및 25% 첨가하여 모두 6종류의 실험사료를 설정하였다. 이와 같이 설계된 원료들을 분말형태로 잘 혼합하고, 물을 적당히 첨가하여 수분이 30% 전후가 되도록 하여 moist pellet 제조기로 실험사료를 압출 성형하였다. 성형된 사료는 실온에서 24시간 건조한 후 -30°C 에 보관하면서 사료 공급시 마다 사용하였다 (Table 1).

실험어 및 사육관리

사육 실험은 넙치 치어를 2주간 예비 사육한 후, 평균체중 1.5 ± 0.04 g의 치어를 실험어로 선별하여, 260 l FRP 수조 (수용적 180 l)에 35마리씩 실험사료마다 각각 3반복으로 수용하여 하루에 3회 (0800, 1300, 1700) 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져주며 7주간 사육 실험하였다. 여과해수를 각 실험수조마다 분당 4 l로 조정하여 흘려주었으며, 사육기간 동안의 수온은 $20.6\pm 1.50^{\circ}\text{C}$ (평균 \pm 표준편차)였고, 염분은 $34\pm 0.1\%$ 였다. 실험어는 사육 실험 시작시와 종료시에 측정 전일 절식시킨 후, 각 실험수조에 수용된 실험어 전체 무게를 측정하였다.

Table 1. Ingredients and nutrients contents of the experimental diets

Diets	AS15	AS20	AS25	BS15	D15
<i>Ingredients (%)</i>					
Herring meal	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0
■-potato starch	15.0	20.0	25.0		
β-corn starch				15.0	
Dextrin					15.0
Wheat flour	15.0	10.0	5.0	15.0	15.0
Squid liver oil	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Vitamin premix ¹	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Mineral premix ²	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Choline salt	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>Nutrient contents (% of dry matter basis)</i>					
Crude protein	47.9	47.4	45.6	48.5	48.0
Crude lipid	7.0	7.2	7.1	7.8	7.2
Crude ash	9.8	10.0	9.7	10.0	9.9

¹ Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg premix): L-ascorbic acid, 121.2 DL--tocopheryl acetate, 18.8 thiamin hydrochloride, 2.7 riboflavin, 9.1 pyridoxine hydrochloride, 1.8 niacin, 36.4 Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8 D-biotin, 0.27 folic acid, 0.68 p-aminobenzoic acid, 18.2 menadione, 1.8 retinyl acetate, 0.73 cholecalciferol, 0.003 cyanocobalamin, 0.003.

² Mineral premix contained the following ingredients (g/kg premix): MgSO₄·7H₂O, 80.0 NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0 KCl, 130.0 Ferric citrate, 40.0 ZnSO₄·7H₂O, 20.0 Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0 CoCl₂·6H₂O, 1.0.

성분분석 및 통계처리

실험 종료시, 혈액 분석을 위하여 측정 전일 절식시킨 후 각 수조 당 6마리 실험어의 미부정맥에서 헤파린 처리된 1 ml 주사기로 채혈하였으며 원심 분리하여 얻은 혈장을 냉동 (-75°C) 보관하며 임상용 혈액 분석 kit (Asan Pharm. Co., Kyung-gee, Korea)을 사용하여 glucose, total protein 및 total cholesterol을 분석하였다. 그리고 각 실험수조에 생존한 모든 실험어를 분석용 시료로 취하여 냉동 (-75°C) 보관하였다. 실험사료와 어체의 일반 성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라, 조단백질 (N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8.719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 분석하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 12 시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550°C의 회화로에서 6 시간 동안 태운 후 측정하였다.

결과의 통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 SPSS Version 10 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

탄수화물원의 종류와 전분 함량이 다른 사료로 7주간 넙치 치어를 사육한 성장결과를 Table 2와 Fig 1에 나타내었다. 생존율은 90–94%로 모든 실험구간에 유의한 차이는 없었다. 증중량은 dextrin 15% 첨가구가 타 실험구에 비해 유의하게 높았다 ($P<0.05$). 또한, α -potato starch 20% 첨가구의 증중량이 α -potato starch 15%나 25% 첨가구보다 높은 값을 보였다.

Table 2. Growth performance of juvenile flounder (1.5 g/fish) fed diets (48% CP, 7% CL) containing different carbohydrate kinds and starch levels for 7 weeks¹

Diets	AS15	AS20	AS25	BS15	D15
Initial mean wt (g)	1.5±0.18	1.4±0.14	1.5±0.03	1.5±0.02	1.4±0.02
Survival	93.3±5.23 ^{ns}	90.3±2.33	93.3±3.38	93.3±2.33	94.0±3.00
Weight gain (%)	844±50.0 ^a	976±34.0 ^b	847±37.5 ^a	934±18.66 ^{ab}	1114±35.8 ^c
Feed efficiency	92.9±1.67 ^b	96.5±1.28 ^b	96.7±2.05 ^b	84.9±0.51 ^a	93.4±2.00 ^b
Daily feed intake	3.51±0.045 ^{ab}	3.45±0.045 ^a	3.37±0.063 ^a	3.91±0.028 ^c	3.67±0.067 ^b
Daily protein intake	1.75±0.023 ^c	1.63±0.021 ^b	1.53±0.028 ^a	1.89±0.014 ^d	1.76±0.031 ^c
Protein efficiency ratio	1.86±0.034 ^b	2.03±0.025 ^{cd}	2.12±0.048 ^d	1.75±0.010 ^a	1.94±0.046 ^{bc}
Hepatosomatic index ²	0.9±0.02 ^{ns}	1.0±0.05	0.9±0.06	0.9±0.03	0.8±0.05
Condition factor ³	1.1±0.02 ^{ns}	1.1±0.08	1.1±0.05	1.1±0.05	1.1±0.03

¹Values (mean±SE of replication groups) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

² Condition factor = (body weight/total body length³) × 100.

³ Hepatosomatic index = (liver weight/body weight) × 100.

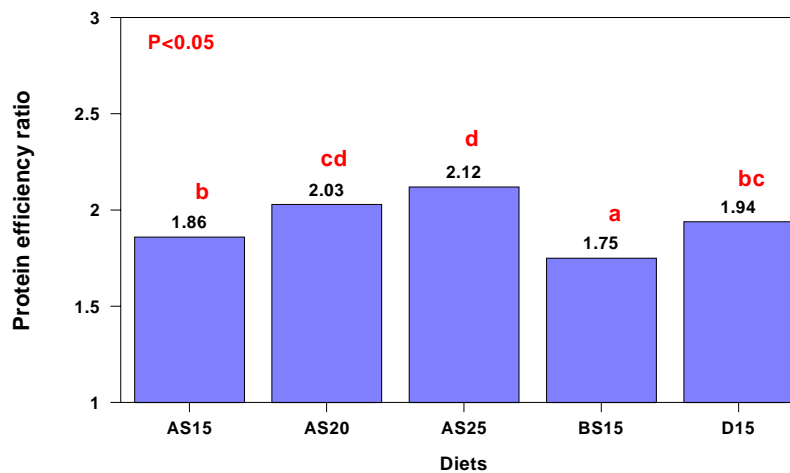
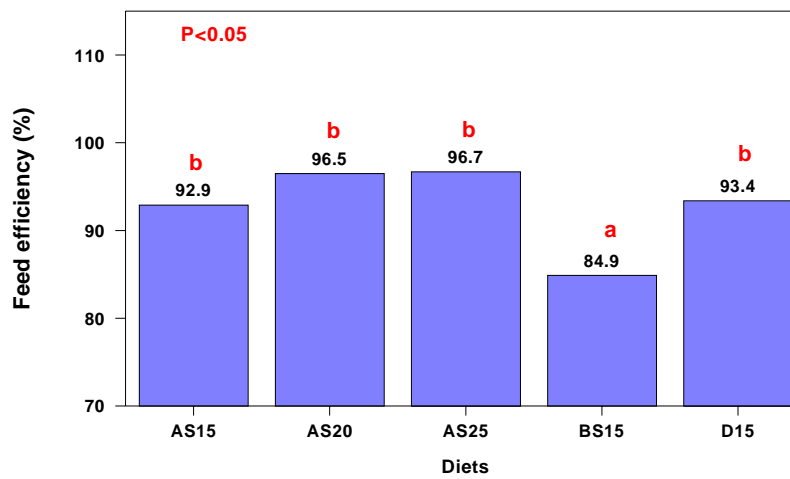
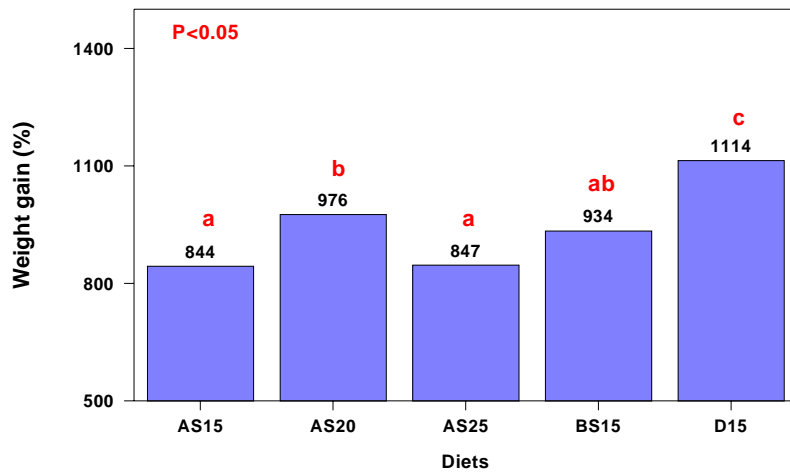


Fig. 1. Growth performance of juvenile flounder (1.5 g/fish) fed diets (48% CP, 7% CL) containing different carbohydrate kinds and starch levels for 7 weeks.

사료효율은 β -starch 15% 첨가구가 84.9%로 가장 낮아 타 실험구 (92.9–96.7%)에 비해 유의하게 낮았지만 ($P<0.05$), β -starch 15% 첨가구를 제외한 나머지 실험구간에는 유의한 차이가 없었다. 일일 사료 섭취율은 β -starch 15% 첨가구가 타 실험구보다 유의하게 높았으며 ($P<0.05$), α -starch 20% 및 α -starch 25% 첨가구는 dextrin 15% 첨가구보다 유의하게 높은 일일 사료 섭취율을 보였다 ($P<0.05$). 단백질 효율은 α -starch 25% 첨가구가 가장 높아 α -starch 20%를 제외한 타 실험구들보다 유의하게 높았으며 β -starch 15% 첨가구가 가장 낮았다 ($P<0.05$). 어체의 간중량 지수와 비만도는 사료 탄수화물원의 종류 및 α -전분 함량에 유의한 영향을 받지 않았다.

사육 실험 종료시, 전어체와 혈장의 성분 분석 결과를 Table 3과 4에 각각 나타내었다. 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분 함량은 사료 탄수화물원의 종류 및 α -전분 함량에 영향을 받지 않았다. 혈장의 glucose와 total protein 함량은 모든 실험구 간에 통계적인 없었다. 그러나 혈장의 total cholesterol 함량은 dextrin 15% 첨가구가 가장 낮아 α -starch 20% 첨가구를 제외한 타 실험구들보다 유의하게 낮았다.

Table 3. Proximate composition of whole body in juvenile flounder fed diets containing different starch levels for 7 weeks¹

Diets	AS15	AS20	AS25	BS15	D15
Moisture	75.2±0.26 ^{ns}	76.0±0.38	76.0±0.89	75.9±0.40	74.7±0.63
Crude protein	17.7±0.44 ^{ns}	17.2±0.76	17.6±0.83	17.5±0.40	17.9±0.49
Crude lipid	2.4±0.32 ^{ns}	2.0±0.43	1.9±0.42	1.3±0.45	1.5±0.28
Crude ash	3.5±0.04 ^{ns}	3.5±0.08	3.7±0.25	3.5±0.08	3.7±0.14

¹Values (mean ± SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

Table 4. Hematological changes of the plasma in juvenile flounder fed diets containing different starch levels for 7 weeks¹

Diets	AS15	AS20	AS25	BS15	D15
Glucose (mg/100 ml)	48.5±12.35 ^{ns}	46.5±4.15	47.1±4.97	49.0±6.23	40.4±2.53
T. protein (g/100 ml)	3.5±0.27 ^{ns}	3.5±0.11	3.2±0.55	3.8±0.23	3.3±0.17
T. cholesterol (mg/100ml)	187±7.2 ^b	176±9.8 ^{ab}	192±14.5 ^b	197±8.0 ^b	144±13.3 ^a

¹Values (mean±SE of replication groups) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

제 5 절 넙치 치어용 배합사료의 α -셀룰로오스 함량

1. 서론

척추동물은 섬유질을 소화시키지 못하지만, 사료 중의 섬유는 영양학적으로 매우 중요한 요소 중의 하나이다. 육상동물의 경우, 음식물 중의 섬유는 단백질 등의 다른 영양소 이용률을 감소시킨다고 보고되어 있다(Reinhold et al. 1976; Shah et al. 1982; Southgate and Durmin 1970; Walker 1975). 어류의 경우도 사료중의 섬유 함량이 증가될수록 성장, 영양소 이용률 및 먹이섭취량이 감소된다는 결과가 발표되어 있거나(Anderson et al. 1984; Buhler and Halver 1961; Dioundick and Stom 1990; Hilton et al. 1983; Leary and Lovell 1975; Shiau et al. 1988), 그 연구가 제한적이다. 육상동물과는 달리 어류, 특히 해산어는 주로 육식성이어서 단백질 요구량이 높아 사료 제조시 단백질원의 비용이 사료 단가를 결정하는 중요한 요인이 된다. 이러한 단백질원의 비용을 절감시키기 위한 노력이 계속되고 있으며, 담수어(Dabrowski and Kozak, 1979 ; Murai et al. 1986, 1989 ; Takii et al. 1989 ; Viola et al. 1983, 1988 ; Wee and Shu 1989 ; Willson and Poe 1985) 뿐 아니라 해산어에 대해서도 단백질 대체원으로 식물성 단백질, 특히 대두박의 이용성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 식물성 원료에는 동물성 단백질에 비해 조섬유가 많이 함유되어 있다(NRC, 1993). 이와 같은 조섬유는 사료원료에 따라 그 함량이 다르고 사료에 함유되어 있는 영양소의 소화 흡수에 변화를 초래함으로써 사료 조성시 및 사료원의 선정에 매우 주의해야 할 요인이 된다. 그래서 본 연구는 배합사료 제조와 실용사료원의 선정에 기초자료를 제공하기 위해 사료의 α -셀룰로오스 함량에 따른 넙치의 성장, 사료효율, 영양소 이용률 등을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

고등어 어분을 주 단백질원으로 사용하였으며, 탄수화물원으로 소맥분, α - 및 β -전분을, 지질원으로 오징어간유를 각각 사용하였다(Table 1). 그리고 셀룰로오스의 첨가 효과를 조사하기 위하여 대조구는 실험사료에 셀룰로오스를 첨가하지 않았으며, 나머지는 5%, 10%, 15% 및 20%씩 첨가하여 5종류의 실험사료를 설계하였다. 이와 같이 설계된 원료들을 잘 혼합한 후 원료 100 g 당 물 40 g 을 첨가하여 펠렛 제조기로 사료를 성형한 후 실온에서 24시간 건조하였다. 건조된 사료는 -30°C 의 냉동고에 보관하면서 사료 공급시마다 사용하였다.

Table 1. Composition (%) of the experimental diets

Diets	C0	C5	C10	C15	C20
<i>Ingredients (%)</i>					
Mackerel fish meal	60	60	60	60	60
Wheat flour	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
Alpha-starch	10	10	10	10	10
Beta-starch	20	15	10	5	
Squid oil	2	2	2	2	2
Vitamin premix	1	1	1	1	1
Mineral premix	1	1	1	1	1
α -cellulose		5	10	15	20
Choline (50%)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<i>Proximate analysis (% in dry matter basis)</i>					
Dry matter	73.3	81.4	75.7	75.7	78.8
Crude protein	47.7	47.9	46.8	46.8	47.2
Crude lipid	7.0	7.3	7.2	7.2	6.2
Crude ash	8.9	9.1	8.5	10.0	9.1

실험어 및 사육관리

평균체중 12.4 g 전후로 외형적으로 건강한 넙치를 300 L FRP 원형수조에 각각 25마리씩 3반복으로 수용하여 73일간 사육하였다. 실험사료는 매일 2회 (08:00, 17:00)로 나누어 실험어가 사료를 먹을 때까지 손으로 던져 주었다. 여과해수를 각 실험수조마다 분당 2 L로 조정하여 흘려주었으며, 사육기간 동안의 수온은 $12.4 \pm 1.74^\circ\text{C}$ (평균 \pm 표준편차)였고, 비중은 1.024 ± 0.0013 였다. 실험 개시시와 종료시에 측정 전일 절식시킨 후 각 실험수조에 수용된 실험어 전체의 무게를 측정하였다. 그리고 사육실험 시작시와 종료시에는 측정 전일 절식시킨 후 MS₂₂₂ 100 ppm (Tricaine methanesulfonate, Sigma, USA) 수용액에 마취하여 각 실험수조에 수용된 실험어의 전체무게를 측정하였다.

시료채취 및 성분분석

최초 어체 성분 분석용으로 사육실험 시작시 치어 50마리를 무작위로 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조의 실험어 중에서 어체의 성분분석용으로 15마리를 표본 추출하여 -70°C 냉동고에 보관하였다. 혈액 분석용으로 각 실험수조에서 측정전일 절식시킨 실험어 6마리씩 추출하여 미부동맥에서 일회용 주사기로 채혈하여 채혈한 혈액

을 실온에 30분간 방치한 후 3500rpm에서 5분간 원심분리하여 얻은 혈장을 -75℃에 동결 보존하였다. 실험 사료 및 어체의 일반 성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질 (N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550℃의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. 혈청성분은 임상용 kit (아산제약제품)를 사용하여 total protein은 biuret법으로 분석하였고, glucose와 Triglyceride는 효소법으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

실험 종료시 넙치의 성장 및 사료이용효율을 Table 2 및 3에 나타내었다. 넙치의 생존율은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었으나, 셀룰로오스를 5% 첨가한 실험구에서 77%로 가장 낮은 값을 보였다. 증중률은 실험구간에 통계적인 차이는 없었지만, 셀룰로오스 첨가량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 일일사료섭취율과 일일단백질섭취율은 C20 실험구가 가장 낮았으며($P<0.05$), C20을 제외한 나머지 실험구간에 유의한 차이는 없었다($P>0.05$). 사료효율 및 단백질효율은 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 비만도(CF) 및 간중량지수(HSI)는 셀룰로오스 5%까지는 대조구와 차이가 없었지만, 10-15% 첨가구는 대조구보다 유의하게 낮았다($P<0.05$).

Table 2. Growth performance of juvenile flounder fed the experimental diets containing different cellulose level for 73 days¹

Diets	Initial mean weight (g/fish)	Survival (%)	Weight gain (%) ²	CF ³	HSI ⁴
C0	12.4±0.20 ^{ns}	91±5.8 ^{ns}	98.9±8.10 ^{ns}	1.23±0.031 ^b	2.39±0.245 ^b
C5	12.6±0.13	77±8.7	87.0±18.3	1.17±0.015 ^{ab}	2.02±0.099 ^{ab}
C10	12.7±0.13	95±1.3	74.2±8.72	1.12±0.032 ^a	1.84±0.047 ^a
C15	12.4±0.14	93±4.8	73.3±5.12	1.10±0.020 ^a	1.80±0.020 ^a
C20	12.4±0.14	90±3.5	67.3±9.09	1.14±0.040 ^{ab}	1.99±0.096 ^{ab}

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² (Final body weight-initial body weight)×100/initial body weight..

³ Condition factor= (body weight×100)/total body length (cm)³.

⁴ Hepatosomatic index= (liver weight×100)/body weight.

^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 3. Feed utilization of juvenile flounder fed the experimental diets containing different cellulose level for 73 days¹

Diets	Feed efficiency (%) ²	Daily feed intake (%) ³	Daily protein intake (%)	Protein efficiency ratio (%) ⁴
C0	60±5.4 ^{ns}	1.42±0.064 ^b	0.17±0.008 ^b	1.27±0.113 ^{ns}
C5	56±5.9	1.29±0.105 ^b	0.15±0.013 ^b	1.17±0.125
C10	53±4.1	1.34±0.016 ^b	0.16±0.002 ^b	1.12±0.087
C15	51±3.1	1.36±0.071 ^b	0.16±0.008 ^b	1.09±0.067
C20	60±5.1	1.07±0.030 ^a	0.13±0.003 ^a	1.26±0.107

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² (Fish wet weight gain×100)/feed intake (dry matter)

³ Feed intake (dry matter)×100/[initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.]×days fed/2.

⁴ Fish wet weight gain/protein intake.

^{ns} Not significant (P>0.05).

전어체와 간의 일반성분 분석결과를 Table 4과 5에 나타내었다. 전어체의 수분, 단백질 및 회분함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었으며($P>0.05$), 지질함량은 셀룰로오스를 20% 첨가한 실험구가 다른 실험구들에 비해 유의하게 낮은 값을 보였고($P<0.05$), C20 실험구를 제외한 나머지 실험구간에서는 유의한 차이가 없었다. 간의 수분함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었으나, 지질함량은 사료에 영향을 받아 C0 실험구가 C15와 C20 실험구에 비해 유의하게 높았으며($P<0.05$), C5와 C10 실험구와는 통계적인 차이가 없었다($P>0.05$).

Table 4. Proximate analysis of whole body of juvenile flounder fed diets containing different cellulose level for 73 days¹

	Initial	C0	C10	C20	C30	C40
Moisture	77.3	74.3±0.66 ^{ns}	75.3±0.42	75.2±0.53	75.5±0.28	74.9±0.28
Crude protein	17.2	16.9±0.25 ^{ns}	17.6±0.37	17.2±0.18	17.5±0.22	17.2±0.59
Crude lipid	1.76	2.62±0.09 ^b	2.18±0.15 ^b	2.10±0.21 ^b	2.36±0.22 ^b	1.57±0.08 ^a
Ash	3.05	3.06±0.16 ^{ns}	3.39±0.19	3.23±0.18	3.34±0.19	3.34±0.20

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

Table 5. Proximate analysis of liver of juvenile flounder fed diets containing different cellulose level for 73 days¹

Diets	Moisture	Lipid (% DM)
C0	49.4±6.31 ^{ns}	31.8±0.77 ^b
C5	57.7±8.77	27.0±4.84 ^{ab}
C10	48.0±11.3	23.5±3.80 ^{ab}
C15	64.6±2.41	19.6±1.08 ^a
C20	53.7±3.33	21.4±0.48 ^a

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

Table 6은 혈액성상 변화를 나타낸 것으로, glucose와 total protein의 함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었으나($P>0.05$), 중성지방의 함량은 467-747 mg/100ml의 범위였으며, 셀룰로오스를 10%와 20% 첨가한 실험구가 15%를 첨가한 실험구에 비해 유의하게 높은 함량을 나타내었다.

Table 6. Blood chemistry of juvenile flounder fed the experimental diets containing different cellulose level for 73 days¹

Diets	CO	C5	C10	C15	C20
Glucose (mg/100ml)	21.85±2.59 ^{ns}	19.6±1.61	20.1±1.12	24.0±3.46	21.7±2.86
Total protein (g/100ml)	2.8±0.16 ^{ns}	3.0±0.05	3.0±0.74	2.9±0.24	3.0±0.06
Triglyceride (mg/100ml)	672±119.4 ^{ab}	531±45.1 ^{ab}	740±79.6 ^b	467±49.8 ^a	747±100.5 ^b

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

성장과 사료효율이 α -cellulose 20% 첨가구까지 통계적인 차이가 없었지만, α -cellulose 첨가 함량이 증가함에 따라 계속 감소하는 것으로 보아 넙치용 배합사료에 섬유질 함유량을 최소가 되도록 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 타어종의 경우를 살펴보면, α -cellulose 10% 첨가 사료를 먹은 참돔과 방어(Kono et al. 1987) 및 조피볼락(lee and Lee, 1994)는 성장이 저하되지 않았고, 차넬메기(Leary and Lovell 1975)는 8% 이상에서, Chionook salmon (Buhler and Halver 1961)은 α -cellulose가 증가할수록 성장이 저하된다고 보고되어 있다. 또한, Hiiton et al. (1983)은 무지개송어 사료에 α -cellulose를 10% 이하로 첨가할 것을 권장하였으며, Anderson et al. (1984)과 Dioundick and Stom (1990)은 틸라피아의 경우, 사료의 α -cellulose 10%에서는 성장이 저하되고 2.5-5%가 가장 적합한 수준이라고 보고하였다. 이와 같이 어느 수준 이상의 α -cellulose 함량은 영양소 이용율을 감소시키고, 결국 성장을 저하시키는 요인으로 작용한다. 따라서 배합사료 설계시 섬유소 함량이 사전에 잘 고려되어야 할 것이며, 본 실험의 결과는 실험사료용 사료설계나 실용사료원의 선정에 도움이 될 것으로 생각된다.

제 6 장 환경친화적인 배합사료 설계를 위한 영양소 소화율 연구

실용사료에 배합되는 원료를 평가하는 방법 중에는 그 원료의 영양소 소화율을 측정하는 것이 가장 기본적인 방법 중에 하나이다. 물고기의 영양소 소화율은 여러 가지 방법으로 측정되는데, 산화크롬과 같은 지표물질을 사료에 혼합하여 간접적으로 소화율을 측정하는 방법이 주로 사용되고 있다. 사료의 원료는 사료 단가, 성장 및 수질오염의 측면에서 중요하게 고려되어야 하기 때문에 어류의 영양소 소화율 측정은 실용사료 개발에 필수적이다. 기존에 조피볼락을 대상으로 분 수집 방법에 따른 영양소 소화율을 조사한 결과, 항문 부위를 눌러서 분을 짜내는 방법과 사육수에 배설된 분을 수집하는 방법이 신뢰성있는 결과를 얻을 수 있다고 보고하였다. 이러한 결과를 바탕으로 넙치 및 조피볼락의 실용사료에 배합될 원료와 배합사료의 소화율을 측정하여 경제적이고 저오염적인 사료 설계에 중요한 정보를 얻고자 한다.

제 1 절 넙치 배합사료 원료의 외견상 영양소 소화율

1. 서론

넙치에 적합한 배합사료를 개발하기 위해 단백질과 에너지요구량 (Kikuchi et al., 1992; Lee et al., 2000a, 2002a), 지질과 탄수화물의 이용성 (Lee et al., 2003, 2004), 단백질 원료 (Kikuchi et al., 1999; Sato and Kikuchi, 1997; Kim et al., 2000) 및 사료공급횟수 (Lee et al., 1999, 2000b)에 관한 연구 결과들이 보고되고 있다.

대상 어류의 성장과 사료 효율성은 주로 사료에 사용되는 원료의 종류와 품질에 영향을 받을 수 있다. 사료내 영양소 중에서 단백질은 어류 성장과 사료단가의 측면에서 가장 중요하게 고려되어야 한다 (Lovell, 1989). 어분은 여러가지 영양소의 균형이 잘 갖추어진 양질의 사료 단백질원으로 잘 알려져 있다. 그러나 가격이 비싸고 어획량 변동이 심해 공급이 불안정한 실정이다. 양어사료에 사용되고 있는 어분은 전 세계 어획량의 약 35%를 차지하고 있어서 고급어분의 사용은 앞으로 계속 제한적일 수밖에 없다 (Tacon and Dominy, 1999). 어분 대체와 사료 내 단백질 원료에 관한 연구는 경제적 이익을 고려해볼 때 첫 번째로 이루어져야 할 연구과제이다 (Lee, 2002b).

쉽게 소화 할 수 있는 원료를 사용하는 것은 특히 고밀도 양식에서 중요하며, 반면에

쉽게 소화되지 않는 원료를 사용함으로써 수질을 오염시키고, 어류질병과 폐어의 증가시킬 수 있다 (Smith, 1995). 사료원료의 품질 평가 방법 중에는 특히 원료의 영양소 소화율을 측정하는 것이 가장 기본적인 방법 중에 하나이다 (Allan et al., 2000). 사료원료의 소화율에 관한 정보는 사료조성의 정확성을 증진시키고 사료 설계시 비용을 최소화할 수 있다. 더욱이 사료의 영양소 소화율을 측정하는 것은 대상어종이 이용할 수 있는 영양소의 양을 적절히 제공해 줌으로써 성장을 최대화 할 수 있는 사료를 제조할 수 있을 뿐만 아니라 수질오염을 최소화 시킬 수 있는 정보를 제공한다.

넙치에 대해서는 아직 사료 원료의 소화율 측정에 대해서 연구된 것이 제한적이기 때문에 이에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다. 따라서 본 실험에서는 넙치 성어를 대상으로 고등어어분, 육분, 대두박, 소맥분, wheat gluten, corn gluten meal 그리고 맥주효모의 건물, 단백질, 지질, 탄수화물, 총 에너지 및 아미노산의 소화율을 측정하였다. 또한, 넙치 사료에 사용될 수 있는 지질원 및 탄수화물원과 같은 원료사료에 대한 넙치의 소화율도 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

표준사료(reference diet)의 주 단백질원으로 어분을, 지질원으로 오징어간유를 사용하여 넙치의 성장에 적합하도록 설계하였으며, 산화크롬 (Cr_2O_3)을 0.5% 첨가하여 소화율의 지표물질로 사용하였다. 소화율 측정에 사용한 단백질원 (실험 1), 지질원 (실험 2) 및 탄수화물 함량 (실험 3)을 달리 혼합한 실험사료를 제조하였다. 측정 항목은 건물, 단백질, 지질, 탄수화물, 에너지, 아미노산 및 지방산 소화율이며, 이를 위하여 사료 및 분의 영양소 함량을 분석하였다.

<실험 1>

실험 1에서 단백질 원료의 영양소 소화율을 측정하기 위하여 표준사료 (Table 1) 70%에 Table 2에 표시한 각각의 원료 (고등어 어분, 육분, 대두박, 소맥분, wheat gluten, corn gluten meal, 맥주효모) 30%씩을 첨가하여 총 7개의 실험사료 (Table 3)를 제조하였다.

<실험 2>

실험 2에서는 지질 종류에 따른 영양소 소화율을 측정하기 위하여 Table 4에 표시한 것처럼 어징어 간유와 대두유를 각각 6%씩 첨가하여 2개의 실험사료를 제조하였다.

<실험 3>

실험 3에서는 감자전분 함량에 따른 영양소 소화율을 측정하기 위하여 Table 5에 표시한 것처럼 전분 함량을 0, 5 및 10% 첨가하여 3개의 실험사료를 제조하였다.

Table 1. Ingredients composition of the reference diet (exp-1)

Ingredients	Percentage
Mackerel fish meal ^a	56.0
Wheat flour	29.0
Alpha-starch	5.0
Squid oil	6.0
Vitamin premix ^b	1.5
Mineral premix ^c	2.0
Chromic oxide	0.5

^a Produced by steam dry method, Chile.

^b Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg premix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.0031.

^c Mineral premix contained the following ingredients (g/kg premix): MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, ; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

Table 2. Proximate and amino acids composition of the ingredients used to test diets

	Test ingredients						
	MFM ^a	MM ^b	SM ^c	WF ^d	WG ^e	CGM ^f	Yeast ^g
<i>Proximate analysis (% in dry matter)</i>							
Crude protein	75.31	74.41	51.82	11.68	79.29	74.30	48.69
Crude lipid	7.86	10.79	1.44	1.02	1.94	1.87	1.97
Crude ash	15.66	13.20	7.15	1.00	4.92	8.55	9.13
NFE ^h	1.17	1.60	39.59	86.29	13.84	15.28	40.21
Gross energy (kcal/100 g)	437.0	477.7	423.2	369.3	476.9	534.9	435.3
<i>Essential amino acids (% in protein)</i>							
Arg	6.7	5.7	6.7	6.5	6.3	7.2	6.2
His	4.0	3.2	2.7	4.1	3.8	4.0	3.6
Ile	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	4.2	4.0
Leu	8.2	10.1	9.3	8.6	10.3	8.3	9.2
Lys	8.4	6.1	7.2	7.1	7.1	9.1	7.4
Met+Cys	3.0	1.8	2.5	1.6	0.7	0.5	1.6
Phe	4.6	4.8	4.8	4.8	5.2	4.7	5.1
Tyr	2.7	2.8	2.7	2.8	2.8	2.6	2.8
Thr	5.1	4.7	4.9	4.7	4.8	5.3	4.9
Val	5.6	5.7	5.3	5.6	5.8	5.7	5.5

^a Mackerel fish meal was produced by steam dry method.

^b Meat meal.

^c Soybean meal.

^d Wheat flour.

^e Wheat gluten

^f Corn gluten meal.

^g Brewer's yeast.

^h Nitrogen-free extract=100-(crude protein+crude lipid+crude ash).

Table 3. Proximate and amino acids composition of the reference and test diets fed to grower flounder

	Reference diet	Test diets (70% reference + 30% ingredient)						
		MFM ^a	MM ^b	SM ^c	WF ^d	WG ^e	CGM ^f	Yeast ^g
<i>Proximate analysis (% in dry matter)</i>								
Crude protein	46.46	54.68	50.39	48.10	35.60	55.23	52.48	46.65
Crude lipid	10.69	9.02	11.53	8.52	7.50	6.99	8.83	8.65
Crude ash	9.71	11.11	12.73	8.72	6.63	6.95	6.75	8.55
NFE ^h	33.14	25.18	25.35	34.66	50.27	30.83	31.94	36.15
Gross energy (kcal/100 g)	480.1	473.9	478.0	476.1	462.0	501.6	511.4	468.2
<i>Essential amino acids (% in protein)</i>								
Arg	7.9	6.5	6.2	7.2	6.3	5.7	6.7	6.7
His	4.4	3.7	3.6	4.0	3.8	3.2	2.7	4.0
Ile	4.8	4.1	4.0	4.2	3.9	4.0	3.9	4.0
Leu	11.1	8.9	9.2	8.3	10.3	10.1	9.3	8.2
Lys	9.2	7.9	7.4	9.1	7.1	6.1	7.2	8.4
Met+Cys	2.8	1.7	1.6	0.5	0.7	1.8	2.5	3.0
Phe	6.2	5.0	5.1	4.7	5.2	4.8	4.8	4.6
Tyr	3.5	2.7	2.8	2.6	2.8	2.8	2.7	2.7
Thr	6.0	4.9	4.9	5.3	4.8	4.7	4.9	5.1
Val	6.9	5.5	5.5	5.7	5.8	5.7	5.3	5.6

^a Mackerel fish meal was produced by steam dry method.

^b Meat meal.

^c Soybean meal.

^d Wheat flour.

^e Wheat gluten.

^f Corn gluten meal.

^g Brewer's yeast.

^h Nitrogen-free extract=100-(crude protein+crude lipid+crude ash).

Table 4. Ingredients composition of the experimental diet (exp-2)

	Oil kinds	
	SLO	SO
<i>Ingredients (%)</i>		
Mackerel fish meal ^a	56.0	56.0
Wheat flour	29.0	29.0
Alpha-starch	5.0	5.0
Squid liver oil	6.0	
Soybean oil		6.0
Vitamin premix ^b	1.5	1.5
Mineral premix ^c	2.0	2.0
Chromic oxide	0.5	0.5
<i>Proximate analysis (% in dry matter)</i>		
Crude protein	46.46	45.92
Crude lipid	10.69	11.45
Crude ash	9.71	9.18
NFE ^d	33.14	33.45
Gross energy (kcal/100 g)	480.0	479.1

^a Produced by steam dry method, Chile.

^b Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg premix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.0031.

^c Mineral premix contained the following ingredients (g/kg premix): MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, ; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

^d Nitrogen-free extract=100-(crude protein+crude lipid+crude ash).

Table 5. Ingredients composition of the experimental diet (exp-3)

	Starch levels (%)		
	0	5	10
<i>Ingredients (%)</i>			
Mackerel fish meal ^a	56.0	56.0	56.0
Wheat flour	30.0	29.0	28.0
Alpha-starch	0	5.0	10.0
Squid liver oil	10.0	6.0	2.0
Vitamin premix ^b	1.5	1.5	1.5
Mineral premix ^c	2.0	2.0	2.0
Chromic oxide	0.5	0.5	0.5
<i>Proximate analysis (% in dry matter)</i>			
Crude protein	45.27	46.46	45.87
Crude lipid	15.26	10.69	6.18
Crude ash	9.21	9.71	9.56
NFE ^d	30.26	33.14	38.40
Gross energy (kcal/100 g)	484.3	480.1	452.1

^a Produced by steam dry method, Chile.

^b Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg premix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.0031.

^c Mineral premix contained the following ingredients (g/kg premix): MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, ; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

^d Nitrogen-free extract=100-(crude protein+crude lipid+crude ash).

실험어 및 분 수집 방법

본 실험에 사용된 실험어는 평균체중 300 g 전후의 넙치 성어를 자체적으로 제조한 분 수집 장치가 연결된 2000 l FRP 실험 원형수조 (Fig. 1)에 20마씩 3반복으로 수용하였다. 사육기간 동안의 수온은 17.8±2.3°C (평균±표준편차), 비중은 1.024±0.0013였다. 실험사료를 오전 9시에 만복에 가깝도록 급여 오전 11시에 수조 및 분 수집 통을 깨끗이 청소하고 다음날 아침 8시에 수집통에 모인 분을 여과지(Whatman #1)에 받아 1시간동안 방치

(4°C)한 후 -80°C에서 동결 보존하였다. 이와 같은 방법으로 수집한 분을 각각 수조별로 모아서 동결 건조시켜 분쇄한 후 분석하였다.

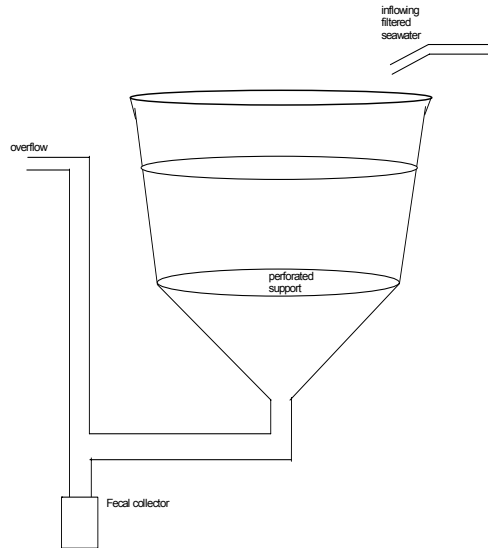


Fig. 1. 분수집 장치.

성분 분석 및 통계처리

건물, 단백질, 지질, 탄수화물, 에너지, 아미노산 및 지방산 소화율 측정을 위해 사료 및 분의 각종 성분을 다음과 같이 분석하였다. 조 단백질(N×6.25)은 Auto kjeldahl system (buch B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조 지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 24시간 동안 건조 후 측정하였다. 조 회분은 550°C 회회로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였다. Nitrogen free extract (NFE)는 100 - (수분 + 조단백질 + 조지방 + 조섬유 + 조회분)의 식으로 계산되었다. 총에너지는 adiabatic bomb calorimeter (Parr, USA)를 이용하여 측정되었다. 총 아미노산은 일정량의 시료를 취하여 6N HCl로 110°C sand bath 상에서 22시간 동안 가수분해한 후, 시료용액을 회전진공증발기로 감압 건조한 다음 0.02N sodium citrate dilution buffer (pH 2.2)로 정용하였다. 이것을 0.45 μm membrane filter로 여과한 다음, -30°C 냉동고에 저장하여 두고 실험에 사용하였다. 또한, 황 함유 아미노산인 Cys과 Met은 performic acid로 산화시켜 cysteic acid와 methionine sulfone으로 분석하였다. 아미노산의 정량은 Sykam amino acid analyzer S433 (Germany)을 이용하여 분석하였다. Folch 등(1957)의 방법에 따라 지질을 추출하여 14% BF₃-methanol (Sigma, USA)로 지방산을 methylation시킨 후, capillary column (HP-INNOWax, 30m×0.32mm×0.5μm, USA)이 장착된 gas chromatography (HP-5890 II, USA)로 지방산을 분석하였다. 표준지방산으로 12:0, 13:0, 14:0, 14:1, 16:0, 16:1, 17:0, 17:1,

18:0, 18:1, 18:2n-6, 18:3n-6, 18:3n-3, 18:4n-3, 18:4n-6, 20:0, 20:1, 20:2n-6, 20:3n-6, 20:4n-3, 20:5n-3, 22:0, 22:1, 22:4n-3, 22:5n-3, 22:6n-3 및 24:1 (Sigma, USA)을 사용하였다. Carrier gas는 helium (30 ml/min)을 사용하였으며, oven 온도는 170℃에서 225℃까지 1℃/min 증가시켰고, injector의 온도는 250℃, detector (FID) 온도는 270℃로 설정하였다. 산화크롬은 Furukawa and Tsukahara (1966)의 방법에 따라 분석되었고, 소화율은 다음의 공식에 의하여 계산되었다.

$$\text{건물 소화율} = 100 - \left(\frac{\text{사료중의 } Cr_2O_3 (\%)}{\text{분중의 } Cr_2O_3 (\%)} \times 100 \right)$$

$$\text{영양소 소화율} = 100 - \left(\frac{\text{사료중의 } Cr_2O_3 (\%)}{\text{분중의 } Cr_2O_3 (\%)} \times \frac{\text{분중의 영양소} (\%)}{\text{사료중의 영양소} (\%)} \times 100 \right)$$

각 단백질 원료의 외견상 소화율은 아래의 식으로 계산하였다.

$$\text{ADC of test ingredient (\%)} = 100/30 \times (\text{ADC in test diet} - 0.7 \text{ ADC in reference diet}).$$

실험 결과는 One-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1995)로 평균간의 유의성을 SPSS (SPSS Inc., 1993) program으로 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

넙치에 대한 실험원료의 외관상 건물, 단백질, 지질, NFE 및 에너지 소화율을 Table 6에 나타내었다. 건물, 단백질, 지질, NFE 및 에너지의 외관상소화율은 실험원료에 영향을 받았다(P<0.05). 고등어어분, 대두박, wheat gluten 및 corn gluten meal의 건물소화율은 육분, 소맥분 및 맥주효모의 건물소화율보다 유의하게 높게 나타났다(P<0.05). 대두박, wheat gluten, corn gluten meal 및 맥주효모의 단백질소화율은 89-96%로 다른 원료들 보다 높았으며, 소맥분(62%)의 단백질소화율이 가장 낮은 값을 보였다(P<0.05). 지질소화율은 고등어어분, 육분, 대두박 및 corn gluten meal이 87-92%의 범위로 유의하게 높았으며, 소맥분(63%)과 맥주효모(73%)가 가장 낮았다(P<0.05). NFE소화율은 고등어어분(98%)이 유의하게 높았으며, 소맥분(67%)이 가장 낮았다(P<0.05). 에너지소화율은 고등어어분, 육분, 대두박, wheat gluten 및 corn gluten meal이 소맥분과 맥주효모보다 유의하게 높았으며, 사용된 원료들 중에서 소맥분(52%)의 소화율이 가장 낮았다(P<0.05).

Table 6. Apparent digestibility coefficients (%) for dry matter, crude protein, lipid, nitrogen-free extract and energy of the test ingredients in grower flounder

Test ingredients	Dry matter	Crude Protein	Crude Lipid	NFE ^a	Energy
Mackerel fish meal	71±12.3 ^b	80±3.5 ^b	91±5.4 ^c	98±1.8 ^c	92±4.9 ^c
Meat meal	38±1.8 ^a	83±3.5 ^b	92±2.9 ^c	84±2.9 ^b	94±6.1 ^c
Soybean meal	83±5.5 ^{bc}	95±2.8 ^c	89±4.1 ^c	83±2.9 ^b	98±0.7 ^c
Wheat flour	26±2.1 ^a	62±5.1 ^a	55±1.1 ^a	67±1.3 ^a	52±4.1 ^a
Wheat gluten	93±1.7 ^c	89±2.3 ^{bc}	73±2.8 ^b	80±3.4 ^b	90±3.3 ^c
Corn gluten meal	80±3.8 ^{bc}	96±1.1 ^c	87±3.0 ^c	81±0.9 ^b	86±2.3 ^c
Brewer's yeast	37±2.0 ^a	90±1.4 ^{bc}	63±5.4 ^{ab}	76±2.8 ^b	65±2.4 ^b

^a Nitrogen-free extract=100-(crude protein+crude lipid+crude ash).

Table 7. Apparent amino acid availabilities (%) of the ingredients in grower flounder^a

Amino acids	Ingredients ^b						
	MFM	MM	SM	WF	WG	CGM	Yeast
Arg	94.7±2.23c	82.7±1.75b	94.9±0.10c	74.3±1.20a	83.6±1.80b	96.8±0.82c	93.6±1.60c
His	95.2±1.89c	86.6±2.67b	95.0±0.49c	71.2±1.97a	92.8±1.83c	95.9±0.93c	95.3±0.35c
Ile	91.7±2.05c	82.7±3.65b	93.0±0.02c	62.3±0.88a	94.5±0.14c	95.3±1.01c	92.4±0.21c
Leu	94.3±2.07c	94.4±3.23b	92.9±0.09c	64.7±1.20a	95.7±0.17c	94.0±1.98c	93.1±0.35c
Lys	92.1±2.17c	86.9±2.32b	94.1±0.77cd	62.3±0.67a	94.5±0.100cd	97.0±0.50d	94.6±0.36cd
Met	87.2±4.23c	64.3±2.43b	64.8±2.13b	37.8±3.22a	96.3±1.85d	91.8±3.73cd	96.5±0.46d
Phe	91.1±1.80cd	79.7±2.97b	84.6±4.78bc	23.3±0.66a	91.5±0.20cd	93.1±0.17d	87.4±0.20cd
Tyr	94.2±2.13bc	85.3±2.70a	92.9±0.15bc	88.3±2.87ab	95.9±0.27c	94.0±1.71bc	93.7±0.08bc
Thr	91.7±2.33c	79.4±3.40b	92.0±0.52c	24.2±0.00a	92.9±0.19c	93.6±1.02c	89.4±0.47c
Val	92.2±2.36c	79.8±2.62b	91.7±0.77c	32.8±1.42a	93.4±0.43c	93.4±1.02c	90.5±0.78c
Ser	92.7±2.03c	82.7±2.32b	91.2±0.64c	32.6±1.70a	92.8±0.19c	93.6±1.30c	85.5±2.23b
Glu	94.1±1.66c	85.2±2.53b	91.5±0.78c	32.4±0.70a	93.8±0.28c	94.0±1.43c	90.3±1.65c
Gly	94.6±1.90c	79.5±3.72b	94.4±0.97c	63.7±1.20a	94.5±0.23c	96.5±0.98c	94.4±0.13c
Ala	94.1±2.00c	83.9±2.65b	80.0±4.47b	65.3±1.20a	96.2±0.14c	94.9±1.56c	93.1±0.54c
Asp	88.9±5.58d	76.6±1.11c	66.1±2.95b	24.8±0.77a	93.2±0.22d	94.4±0.96d	91.5±0.17d
TAA ^c	90.3±2.78c	83.5±2.57b	93.0±0.10c	67.0±2.52a	94.2±0.14c	94.8±1.19c	92.2±0.10c

^a Values (mean of three replicate groups) in each column with a different letter are significantly different (P<0.01).

^b See Table 2.

^c Total amino acids.

원료의 외관상 아미노산소화율을 Table 7에 나타내었다. 원료의 아미노산소화율은 단

백질소화율과 유사하였다. 소맥분의 아미노산 소화율은 실험 원료들 중에서 가장 낮았다. 어분의 아미노산소화율은 비교적 높았으며, 대두박, wheat gluten 및 corn gluten meal과 같은 식물성 원료의 아미노산소화율 또한 높은 값을 나타내었다. 그리고 어분, 대두박, wheat gluten 및 corn gluten meal의 아미노산소화율은 육분과 소맥분의 아미노산소화율보다 높은 값을 보였다.

사료의 지질 종류에 따른 외관상 건물, 단백질, 지질, NFE 및 에너지 소화율을 Table 8에 나타내었다. 건물, 단백질, 지질, NFE 및 에너지의 외관상소화율은 실험사료의 지질 종류에 영향을 받지 않았다($P<0.05$).

Table 8. Apparent digestibility coefficients (%) for dry matter, crude protein, lipid, nitrogen-free extract and energy of the squid liver oil and soybean oil in grower flounder

Oil kind	Dry matter	Crude Protein	Crude Lipid	NFE ^a	Energy
Squid liver oil	55±0.9	73±2.0	79±7.7	63±4.3	71±2.9
Soybean oil	29±1.3	68±0.3	86±3.6	28±1.0	62±2.6

^a Nitrogen-free extract=100-(crude protein+crude lipid+crude ash).

Table 9. Apparent digestibility coefficients (%) for dry matter, crude protein, lipid, nitrogen-free extract and energy of the grower flounder fed the diets containing various starch levels

Starch levels (%)	Dry matter	Crude Protein	Crude Lipid	NFE ^a	Energy
Starch-0%	43±2.6 ^a	62±1.0	75±1.8 ^{ab}	37±5.8 ^a	65±2.8
Starch-5%	55±0.9 ^b	73±2.0	79±7.7 ^b	63±4.3 ^b	71±2.9
Starch-10%	50±3.1 ^{ab}	69±5.4	62±1.8 ^a	69±1.2 ^b	72±2.5

^a Nitrogen-free extract=100-(crude protein+crude lipid+crude ash).

사료의 starch 함량에 따른 외관상 건물, 단백질, 지질, NFE 및 에너지 소화율을 Table 9에 나타내었다. 단백질 및 에너지의 외관상소화율은 실험사료의 starch 함량에 영향을 받지 않았다($P<0.05$). 건물소화율은 starch 5% 첨가구가 대조구보다 높았으며, 지질소화율은 starch 5% 첨가구가 starch 10% 첨가구보다 높았고, NFE소화율은 starch 5-10% 첨가구가

대조구보다 높았다($P < 0.05$).

영양소 소화율은 사료원료에 따라 다르게 나타난다. 육식성 어종은 식물성 원료보다 동물성 원료에서 에너지 이용률이 더 좋다고 보고된바 있다 (Cho et al., 1982; Bergot and Breque, 1983; Sullivan and Reigh, 1995). 식물성 전분을 에너지원으로 이용할 수 있는 어류의 능력은 어종에 따라 다르며 육식성 어종에서는 다소 제한적인 것으로 나타난다 (Cowey and Walton, 1989). 그러나 본 실험에서 wheat gluten 과 corn gluten meal 의 건물과 에너지 소화율은 탄수화물 함량이 13~15% (Table 2)임에도 불구하고 어분의 소화율만큼 높게 나타났다. 이러한 결과는 넙치의 탄수화물 소화율이 식물성 원료와 탄수화물 함량에 영향을 받으며, 단백질과 탄수화물의 함량이 적절하게 함유되어 있는 식물성 원료는 넙치 사료의 에너지원으로서 탄수화물의 이용성을 선택적으로 최대화 할 수 있는 것으로 나타났다. 이와 비슷한 경향이 조피볼락에서도 보고된바 있다 (Lee, 2002b). 어류의 Alpha-linked된 탄수화물 (starches, dextrin and sugars)의 소화는 매우 다양하다. 육식성 어종에서 사료내 전분함량이 20~30%이상일 때 효율성이 매우 감소하는 것으로 보아 전분함량이 낮게 포함되어있을 때 탄수화물 소화율이 가장 효율적임을 알 수 있다 (Hemre et al., 1989, 1990; Grisdale-Helland and Helland, 1998). 사료내 전분은 다른 영양소의 소화율에도 영향을 미치는 것으로 나타났다 (Aksnes, 1995; Hemre et al., 1995; Hillestad et al., 2001). 최근에 몇몇 온수성 해양어종에서 사료 원료의 외견상 소화율이 보고된바 있다 (NRC, 1993).

소맥분과 맥주효모의 건물과 에너지 소화율은 다른 원료보다도 유의적으로 낮았으며, 이것은 소맥분과 맥주효모에 탄수화물의 함량이 높기 때문일 것이다. 건물의 소화율은 단백질 ($r = 0.78$, $P < 0.01$)과 상관관계가 있는 반면에, NFE (nitrogen-free extract) ($r = 0.69$, $P < 0.05$)와 상관관계가 없다.

일반적으로, 단백질의 품질은 어류성장에 영향을 미치는 주된 요인이며, 단백질 소화율은 어류에 의한 단백질의 이용성을 측정하기위한 중요한 방법이다. 어분과 같은 단백질은 본 실험의 결과와 같이 대부분의 육식성 어종에서 소화가 잘 된다 (McGoogan and Reigh 1996; Sugiura et al., 1998; Lee, 2002b). 본 실험에서 대두박과 corn gluten meal은 소화율이 높았다. 이것은 이 원료들이 넙치 사료의 부분적인 단백질 원으로서 효율적으로 이용될 수 있다는 것을 나타낸다. 넙치 사료에 식물성 단백질의 사용이 증가함에 따라 사료단가를 줄일 수 있고 어류사료의 주요한 단백질원인 어분에 대한 의존도를 줄일 수 있다 (Rumsey, 1993). 소맥분의 단백질과 에너지 소화율이 비교적 낮게 나타난 것은 원료내 탄수화물의 함량에 의해 일부 설명할 수 있을 것이다. 에너지 소화율은 단백질 함량과 상관관계가 있으나 ($r = 0.88$, $P < 0.01$), NFE (nitrogen-free extract)과는 상관관계가 없었다. McGoogan와 Reigh (1996)는 높은 단백질 소화율은 원료의 단백질과 탄수화물 함량과 관계가 있을지도 모른다고 보고하였다. 본 실험에서도 단백질 소화율은 단백질 함량과 상

관관계가 있는 반면에 ($r = 0.77$, $P < 0.01$), NFE와는 상관관계가 없었다 ($r = 0.72$, $P < 0.05$).

맥주효모는 필수영양소를 포함하고 있으며, 잘 알려지지 않은 성장인자 및 유인물질 등 기타 여러 요인들을 함유하고 있기 때문에 양식 사료의 첨가제로 많이 사용 된다 (Lee, 2002b). 그러나 동물의 사료 원료에 효모를 사용하는 것은 일반적으로 제한되어 있다. 왜냐하면, 효모의 세포벽이 mannoprotein 과 glucan과 같은 carbohydrate-protein 복합체로 이루어진 복합 heteropolysaccharides로 구성되어 있기 때문이다 (Johnson et al., 1980; Farkas, 1985). 본 실험에서 에너지와 탄수화물의 소화율이 낮은 것은 효모의 세포벽 성분과 관계가 있을지도 모른다.

사료내 단백질원으로서 단백질의 품질은 아미노산 조성과 그것의 이용성에 좌우된다. 필수아미노산의 결핍은 사료 내 단백질의 이용성을 저조하게 하며, 결과적으로 성장과 사료효율이 감소한다. 비록 본 실험의 데이터에서 단백질과 아미노산의 소화율이 어느 정도 일치하였을지라도, 사료 원료 내에서 각각의 아미노산 이용성은 다소 다양하게 나타났다. 넙치의 필수아미노산 요구량과 단백질원의 차이에 따른 이용성은 보고된 것이 없다. 본 실험으로부터 얻어진 아미노산 이용성의 효율에 관한 데이터는 더 정확하고 경제적인 넙치 사료를 제조할 수 있을 것이다.

지질과 탄수화물은 에너지원으로서 중요하다. 그러나 본 실험에서 사용된 어분과 같은 동물성 원료에서의 탄수화물 에너지와 소맥분과 같은 식물성 원료에서의 지질 에너지의 양은 비교적 낮다. 본 실험에서 어분의 지질 소화율은 91%로 측정되었고, 이것은 조피볼락 (Lee, 1997, 2002b)과 무지개송어 (Cho et al., 1982)의 어유와 어분의 지질 소화율 (93-98%)보다는 약간 낮게 나타났다.

결과적으로 넙치 성어의 경우에는 대두박, wheat gluten 및 corn gluten meal을 잘 소화하며, 이러한 원료들은 사료내 어분을 부분적으로 대체할 수 있을 것이라 생각되며, 넙치의 사료 제조시 사료 단가를 줄일 수 있을 것이라 사료된다.

제 2 절 사료 탄수화물원과 사육 수온에 따른 조피볼락 치어 및 성어의 영양소 소화율

1. 서론

사료 원료를 평가하는 방법 중에는 그 원료의 영양소 소화율을 측정하는 것이 가장 기본적인 방법 중에 하나이다. 물고기의 영양소 소화율은 여러 가지 방법으로 측정되는데, 산화크롬과 같은 지표물질을 사료에 혼합하여 간접적으로 소화율을 측정하는 방법이 주로 사용되고 있다(Hajen et al., 1993a; Windell et al., 1978; Smith, 1971; Cho and Slinger, 1979; Choubert et al., 1982; Spyridakis et al., 1989). 사료의 단백질원은 사료 단가, 성장 및 수질오염의 측면에서 중요하게 고려되어야 하기 때문에 어류의 영양소 소화율은 단백질 원 평가(Hajen et al., 1993b; Smith and Lovell, 1973; Choet and Slinger, 1979) 위주로 연구되어, 단백질과 에너지의 소화율에 초점을 두었다.

이와 더불어 양식생산에 소요되는 사료 비용을 최소화하기 위한 값싼 사료 에너지원에 대한 연구가 필요하다. 탄수화물원의 원가가 다른 영양소원에 비해 싸기 때문에 대상종에 그 이용성이 연구되면 사료단가를 절감할 수 있는 영양소이다. 또한, 탄수화물은 사료의 성형을 도와주는 역할을 할 뿐 아니라 체내의 중요한 에너지원으로 작용하기 때문에 사료 단백질을 절약할 수 있는 영양소이다. 탄수화물의 이용성은 어종에 따라 달라져 (Wilson, 1994; Hutchins et al., 1998; NRC, 1993), 육식성 어류 사료의 적정 탄수화물 함량은 방어와 참돔이 각각 10% 및 20%로 알려진 반면에 잡식성인 잉어는 30%까지 첨가할 수 있는 것으로 알려져 있다 (Millikin, 1982). 이러한 탄수화물 이용성 차이는 환경에 적응된 소화 대사 경로에 따른 차이 (Walton and Cowey, 1982)와 사료의 탄수화물의 함량이나 형태 (Bergot, 1979; Hutchins et al., 1998)에 의한 것으로 판단된다. 이처럼 가격이 싼 탄수화물의 적정 첨가는 사료 설계 및 성형에 매우 중요한 역할을 담당하고 있을 뿐 아니라 사료 단백질 유래의 수중 오염원 (질소) 배출을 최소화 할 수 있는 기능을 가지고 있다 (Suarez and Mommsen, 1987; Cowey and Walton, 1989; Wilson, 1994). 이처럼 탄수화물 원에 따라 어류에 이용성이 달라질 수 있고 (Lee et al., 2003), 수온에 따라 소화율이 달라질 수 있으므로 이에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다. 따라서 본 실험은 우리나라의 중요 양식종인 조피볼락을 대상으로 사료의 탄수화물원과 수온에 따른 외견상 영양소 소화율을 치어와 성어에서 측정하여 경제적인 배합사료 설계에 관한 정보를 제공하고자 수행되었다.

1. 재료 및 방법

실험사료

Reference diet (Table 1)에 산화크롬(Cr_2O_3)을 0.5% 첨가하여 소화율의 지표물질로 사용하였고, 사료의 주 단백질원으로 북양어분(steam-dried white fish meal, 고려원양 개척호 제품)을, 탄수화물원으로 소맥분을 사용하였으며, 비타민 및 미네랄 혼합물 등을 첨가하여 영양소가 조피블락의 요구(Lee and Lee, 1994; Lee and Kim, 1996; Lee and Park, 1997; Lee et al., 2002)에 맞도록 설계하였다. Reference diet 70: 탄수화물원 30의 비율로 하여 4종의 실험사료(Table 2)를 제조하였다. 본 연구에 사용된 탄수화물원으로는 α -potato starch, β -potato starch, β -corn starch 및 dextrin이었다.

Table 1. Composition of the reference diets

Ingredients	%
White fish meal	62.0
Wheat flour	21.5
Squid liver oil	4.0
Vitamin premix ¹	3.0
Mineral premix ²	3.0
α -Cellulose	3.0
Carboxymethyl cellulose	3.0
Cr_2O_3	0.5

¹ Vitamin mix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): ascorbic acid, 92.7; α -tocopheryl acetate, 14.5; thiamin, 2.1; riboflavin, 7.0; pyridoxine, 1.4; nicin, 27.8; Ca-D-pantothenate, 9.7; myo-inositol, 139.1; D-biotin, 4.2; folic acid, 0.5; p-amino benjoic acid, 13.9; K_3 , 1.4; A, 0.6; D_3 , 0.002; choline chloride, 278.3; cyanocobalamin, 0.003.

² Mineral mix contained the following ingredients (g/kg mix): $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 80; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 370; KCl, 130; Ferric citrate, 40; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 20; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.15; KI, 0.15; $\text{Na}_2\text{Se}_2\text{O}_3$, 0.01; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 2; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 1.

Table 2. Chemical composition (dry matter basis) of the experimental diets

Diets	Protein (%)	Lipid (%)	Fiber (%)	Ash (%)	NFE ¹ (%)	Energy (kcal/100 g)
Reference diet (R)	48.2	8.1	4.2	16.6	22.9	4758
Test diets						
70% R + 30% α -potato starch	34.1	4.8	2.7	11.9	46.5	4581
+ 30% β -potato starch	34.9	4.8	2.9	11.8	45.7	4578
+ 30% β -corn starch	34.3	5.1	3.2	11.6	45.9	4569
+ 30% dextrin	33.9	4.7	3.1	11.6	46.8	4553

¹ Calculated by difference.

실험어 및 분 수집 방법

조피볼락 치어와 성어(1년생)를 각각 구입하여 2개월간 13°C와 20°C의 수온에서 각각 예비 사육한 것을 실험어로 사용하였다. 사용한 실험어의 평균체중은 치어가 30 g이었고, 1년생은 300 g이었다. 사료별, 수온별, 어체크기별로 각각 3 반복으로 각 원형 FRP 사육 수조(150 ℓ, 실수용적: 100 ℓ)에 치어는 50마리씩, 1년생은 8마리씩 4 (diet) X 2 (fish size) X 2 (water temperature) X 3 (replication) factorial design으로 수용하였다. 실험어 사육 및 분 수집은 이(1997b)가 고안한 분 수집 통(Fig. 1) 을 이용하였다. 배설된 분이 분 수집통으로 잘 모일 수 있도록 어체 크기와 수용밀도에 따라 2-4 ℓ/min의 고압모래여과해수를 각 실험수조에 흘려주어 수조내 사육수가 천천히 돌면서 중앙으로 배수되게 조정하였다. 실험사료를 오후 2시에 만복에 가깝도록 매일 급여하여 오후 5시에 수조 및 분 수집 통을 깨끗이 청소하고 다음날 아침 10시에 수집통에 모인 분을 여과지에 받아 1시간동안 방치(4°C)한 후 -80°C에서 동결 보존하였다. 이와 같은 방법으로 7일간 수집한 분을 각각 수조별로 모아서 동결 건조시켜 분쇄한 후 분석하였다.

성분분석

사료 및 분의 일반성분, 에너지, 조섬유, 가용무질소물(NFE) 및 지방산은 다음과 같은 방법으로 분석하였다. 즉, 일반성분은 AOAC methods (1990)에 따라, 조단백질(N×6.25)은 Automatic analyzer (Vapodest 5/6, Gerhardt, W-Germany)를 사용하여 분석하였고, 조지방은 Automatic analyzer (Soxtec, Tecator, Sweden)를 사용하여 ether로 추출하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 4시간 동안 건조 후 측정하였다. 조섬유는 Automatic analyzer (Fibertec, Tecator, Sweden)를 이용하여 분석하였고, 조회분은 550°C 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였다. Nitrogen free extract (NFE)는 100 - (수분 + 조단백질 + 조지방 + 조섬유 + 조회분)의 식으로 계산하였으며, 총에너지는 adiabatic bomb calorimeter (Parr,

USA)를 이용하여 측정하였다. 산화크롬은 Furukawa와 Tsukahara (1966)의 방법에 따라 분석하였고, 소화율은 다음의 공식에 의하여 계산되었다.

$$\text{건물 소화율} = 100 - \left(\frac{\text{사료중의 } Cr_2O_3 (\%)}{\text{분중의 } Cr_2O_3 (\%)} \times 100 \right)$$

$$\text{사료 } \blacksquare \text{ 영양소의 외견상 소화율 (AD)} = 100 - \left(\frac{\text{사료중의 } Cr_2O_3 (\%)}{\text{분중의 } Cr_2O_3 (\%)} \times \frac{\text{분중의 영양소} (\%)}{\text{사료중의 영양소} (\%)} \times 100 \right)$$

$$\text{원료 영양소의 AD} = \frac{\text{실험사료의 AD} - (\text{reference 사료의 AD} \times 0.7)}{0.3}$$

통계처리

실험 결과는 One-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리 평균간의 유의성(P<0.05)을 SPSS program으로 검정하였다. 또한, 사료, 어체 크기 및 수온에 대한 효과를 Three-way ANOVA-test로 처리하였다.

3. 결과 및 고찰

Reference 사료의 건물, 단백질, 지질, 에너지 및 탄수화물 (NFE, nitrogen-free extract)의 외견상 영양소 소화율(Table 3)은 어체 크기 및 사육수온에 영향을 받지 않았다. Reference 사료의 건물 소화율은 64-66%, 단백질 소화율은 94%, 지질 소화율은 93-94%, 에너지 소화율은 81%, NFE 소화율은 35-39%로 나타났다. 이와같이 reference 사료 영양소 소화율이 어체 크기나 수온에 영향을 받지 않는 것은 표준사료로서 사용하여도 좋을 것으로 판단된다. 또한, 이러한 소화율 값들은 이미 조피볼락을 대상으로 단백질 및 지질의 함량에 따른 영양소 소화율 값(Lee et al., 2002)들과 비슷한 수준으로 나타났다. Lee et al. (2002)이 보고하였듯이 사료의 NFE의 소화율이 35-39%로 낮은 값을 보이고 있어 조피볼락의 탄수화물 이용성이 저조함을 암시하고 있다.

사료 탄수화물원에 따른 건물, 에너지 및 nitrogen-free extract의 소화율은 Tables 4-6에 표시하였다. 건물, 에너지 및 nitrogen-free extract의 소화율은 사료의 탄수화물 종류 및 사육수온에 영향을 받았으나 (P<0.01), 어체 크기에는 영향을 받지 않았다. α-potato starch의 건물 소화율 (Table 4)이 어체 크기나 사육수온에 관계없이 50-54%로 다른 종류의 탄수화물의 건물 소화율보다 양호하였다. 그리고 α-potato starch의 건물 소화율은 20℃에서 β-potato starch를 먹인 조피볼락 치어의 건물 소화율 및 20℃에서 dextrin을 먹인 치어 및 성어의 건물 소화율과 차이를 보이지 않았다. β-corn starch의 건물 소화율은 어체 크기나 사육수온에 관계없이 가장 낮은 값을 보였다. 탄수화물 종류에 따른 energy (Table 5) 및 NFE (Table 6) 소화율 값의 변화도 건물 소화율 변화 경향과 매우 유사하였다. α-potato starch의 NFE 소화율은 어체 크기 및 사육수온에 관계없이 타 원료보다 높은 값

(93-100%)을 보였다. 반면에 β -form starch의 NFE 소화율은 매우 낮았는데, β -potato starch의 NFE 소화율은 24-56%, β -corn starch의 NFE 소화율은 3%이하였다. 또한 dextrin의 NFE 소화율은 어체 크기에는 영향을 받지 않았지만, 수온에 영향을 받아 낮은 온도보다는 높은 온도에서 소화율 값이 양호하였다.

Table 3. Apparent nutrients digestibilities (% , mean \pm se of three replicates) adult (300 g/fish) and juvenile (30 g/fish) rockfish fed the reference diet at different water temperature.

Water temperature	Fish size	Dry matter	Protein	Lipid	Energy	NFE
13 °C	Adult	64 \pm 1.1	94 \pm 0.3	94 \pm 1.4	81 \pm 0.6	35 \pm 1.9
	Juvenile	66 \pm 0.9	94 \pm 0.3	93 \pm 1.7	81 \pm 0.4	38 \pm 1.3
20 °C	Adult	64 \pm 1.9	94 \pm 0.6	94 \pm 0.2	81 \pm 1.2	39 \pm 4.6
	Juvenile	65 \pm 0.7	94 \pm 0.1	94 \pm 1.5	81 \pm 0.3	37 \pm 0.1

Two-way ANOVA

Water temp.	P<0.5	P<0.5	P<0.7	P<0.7	P<0.5
Fish size	P<0.5	P<0.3	P<0.7	P<0.7	P<0.9
Water temp. \times Fish size	P<0.6	P<0.8	P<0.8	P<0.7	P<0.4

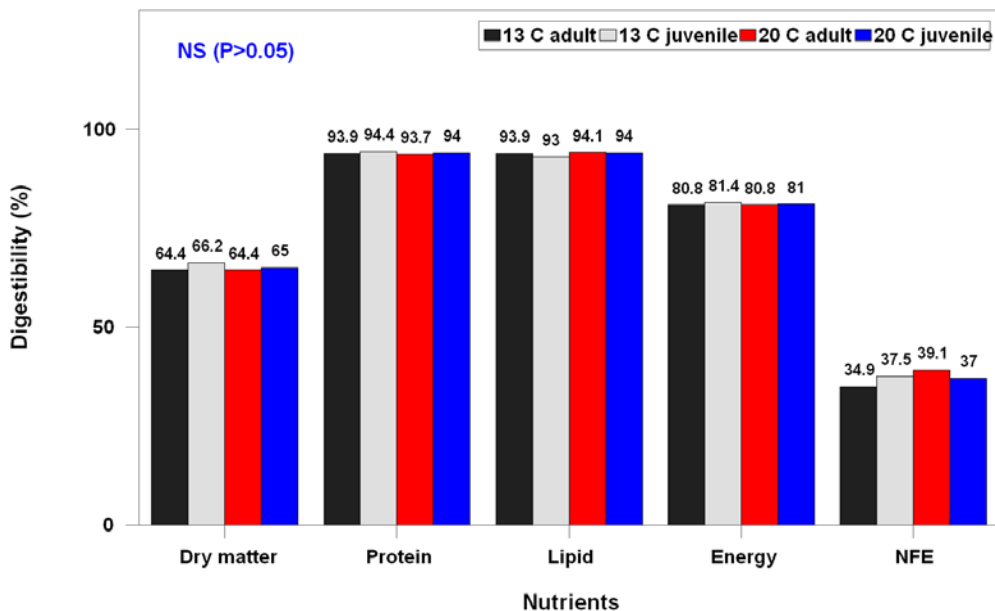


Table 4. Apparent dry matter digestibility (%; mean±se of three replicates) of juvenile and adult rockfish fed different dietary carbohydrate sources at different water temperature. Mean in each row with the same superscript letters (a-c) are not significantly different (P>0.05). Mean in each column with the same subscript letters (x-z) are not significantly different (P>0.05).

Water temperature	Fish size	Dietary carbohydrate			
		α-potato starch	β-potato starch	β-corn starch	Dextrin
13 °C	Adult	54±0.9 ^c _x	35±1.4 ^b _x	10±1.8 ^a _x	39±0.1 ^b _{xy}
	Juvenile	52±2.6 ^c _x	32±5.7 ^b _x	9±0.6 ^a _x	27±1.7 ^b _x
20 °C	Adult	50±5.0 ^b _x	26±0.1 ^a _x	13±3.5 ^a _x	59±10.3 ^b _z
	Juvenile	50±1.3 ^{bc} _x	48±2.0 ^b _y	17±2.8 ^a _x	55±0.7 ^c _{yz}

Three-way ANOVA

Dietary CHO	P<0.001
Water temp.	P<0.001
Fish size	P<0.7
Dietary CHO × Water temp.	P<0.001
Dietary CHO × Fish size	P<0.02
Water temp. × Fish size	P<0.01
Dietary CHO × Water temp. × Fish size	P<0.1

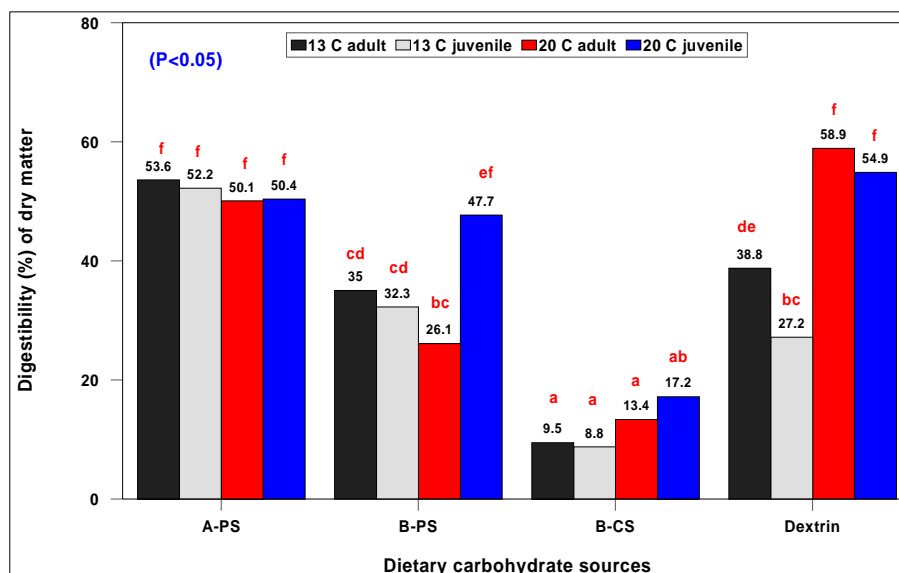


Table 5. Apparent energy digestibility (%; mean±se of three replicates) of juvenile and adult rockfish fed different dietary carbohydrate sources at different water temperature. Mean in each row with the same superscript letters (a-d) are not significantly different (P>0.05). Mean in each column with the same subscript letters (x-y) are not significantly different (P>0.05).

Water temperature	Fish size	Dietary carbohydrate			
		α-potato starch	β-potato starch	β-corn starch	Dextrin
13 °C	Adult	62±0.4 ^d _x	41±0.8 ^b _x	17±1.9 ^a _x	47±0.5 ^c _x
	Juvenile	61±4.1 ^c _x	41±3.5 ^b _x	19±1.3 ^a _x	39±2.0 ^b _x
20 °C	Adult	65±2.4 ^c _x	36±0.1 ^b _x	23±1.9 ^a _x	64±7.3 ^c _y
	Juvenile	60±0.5 ^c _x	50±1.6 ^b _y	22±3.8 ^a _x	60±0.4 ^c _y

Three-way ANOVA

Dietary CHO	P<0.001
Water temp.	P<0.001
Fish size	P<0.9
Dietary CHO × Water temp.	P<0.001
Dietary CHO × Fish size	P<0.02
Water temp. × Fish size	P<0.4
Dietary CHO × Water temp. × Fish size	P<0.1

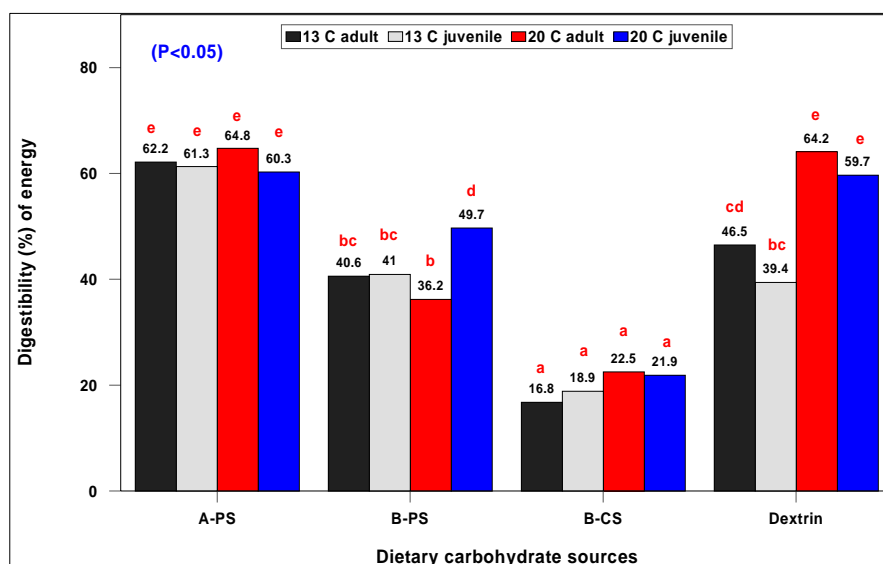
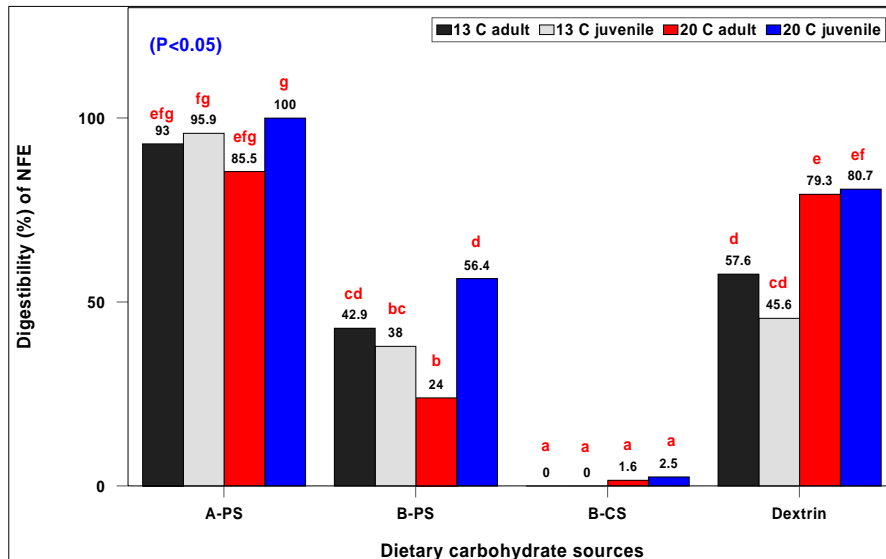


Table 6. Apparent nitrogen-free extract digestibility (% , mean±se of three replicates) of juvenile and adult rockfish fed different dietary carbohydrate sources at different water temperature. Mean in each row with the same superscript letters (a-d) are not significantly different (P>0.05). Mean in each column with the same subscript letters (x-z) are not significantly different (P>0.05).

Water temperature	Fish size	Dietary carbohydrate			
		α-potato starch	β-potato starch	β-corn starch	Dextrin
13 °C	Adult	93±4.4 ^d _x	43±1.9 ^b _{yz}	0±0.0 ^a _x	58±2.1 ^c _{xy}
	Juvenile	96±3.3 ^c _x	38±8.5 ^b _{xy}	0±0.0 ^a _x	46±1.3 ^b _x
20 °C	Adult	86±8.7 ^b _x	24±3.3 ^a _x	2±1.6 ^a _x	79±14.0 ^b _y
	Juvenile	100±0.2 ^d _x	56±3.7 ^b _z	3±0.2 ^a _x	81±1.1 ^c _y

Three-way ANOVA

Dietary CHO	P<0.001
Water temp.	P<0.01
Fish size	P<0.09
Dietary CHO × Water temp.	P<0.001
Dietary CHO × Fish size	P<0.06
Water temp. × Fish size	P<0.01
Dietary CHO × Water temp. × Fish size	P<0.1



이상의 결과로부터 β-형태의 전분보다는 α-형태의 전분이 조피볼락에 적합한 사료 탄수화물 형태가 될 것으로 판단된다. 또한 dextrin의 경우에는 사육 수온에 따라 소화율이 달라지는 것으로 나타났다.

제 3 절 조피볼락 사료 단백질 및 에너지 함량과 사료 공급 횟수에 따른 영양소 소화율

1. 서론

사료 단백질에 대한 에너지의 함량이나 비가 어류의 성장 및 어체 성분에 영향을 미칠 수 있다. 또한, 이와 동시에 사료의 에너지 함량은 먹이 섭취량에 영향을 줄 수 있으며, 먹이 섭취량은 성장 및 체성분에 영향을 미치는 상호 작용이 있다. 즉, 필요 이상의 에너지가 함유되면 사료섭취량이 감소되어 성장이 저하되고 체내에 지질이 과다하게 축적되며, 반대로 에너지 함량이 적으면 값비싼 단백질이 에너지로 소모되어 경제적인 불이익이 초래된다. 이처럼, 사료의 단백질 및 에너지 함량과 먹이 공급에 따른 성장 차이는 대상 어류의 소화율에도 영향을 미칠 가능성은 매우 높다 하겠다. 그래서 본 연구는 성장과 체성분에 영향을 미치는 요인으로 단백질 및 에너지 (지질) 함량을 달리한 사료를 설계하여 공급횟수에 따른 영양소 소화율을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

조피볼락 실용 배합사료에 사용될 경제적인 원료를 혼합하여 사료의 단백질 함량을 40%, 45% 및 50%로 조정하고 각 단백질 함량에 지질 함량을 7% 및 15% (에너지 4.8 및 5.2 kcal/g diet)로 조정한 3 × 2 factorial design으로 실험하였다. 실험사료(Table 1)에 산화크롬(Cr₂O₃)을 0.5% 첨가하여 소화율의 지표물질로 사용하였고, 사료의 단백질원으로 White fish meal, anchovy meal, meat meal, feather meal, blood meal, soybean meal (dehulled, solvent extracted), corn gluten meal, wheat flour 및 brewer's yeast를, 탄수화물원으로 감자전분 사용하였으며, 지질원으로 오징어간유와 대두유를, 비타민 및 미네랄 혼합물 등을 첨가하여 영양소가 조피볼락의 요구에 맞도록 설계하였다.

실험어관리 및 분수집

종묘 생산된 조피볼락 치어를 구입하여 대형 FRP 수조에 수용하여 시판사료로 1개월간 예비사육하다가 실험용으로 중간 크기의 건강한 어체를 각 실험수조 (200ℓ 원형수조)마다 선별하여 임의로 수용한 1주간 사료와 수조에 적응시켰다. 이렇게 사료와 수조에 순치시킨 후, 각 실험수조별로 40마리씩 다시 선별, 수용하여 평균체중 22 g 전후의 조피볼락을 120일간 사육하면서 평균 체중 25 g 및 60 g이 될 때 2회에 걸쳐 각각 1주일간

소화율 분석을 위해 분을 수집 하였다. 이때 사료공급 횟수(1일 1회 및 2일 1회 반복 공급)를 달리 하였을 때 사료의 영양소 및 에너지 소화율에 미치는 영향을 조사하였다. 각 실험사료마다 3반복으로 처리하였다. 사료를 공급할 때마다 반복에 가깝도록 사료를 급여하였으며, 사육수로 여과된 해수를 각 수조마다 5 ℓ/min씩 각각 공급하였다. 사육기간 중의 수온은 13±1.0℃, 염분은 34±0.1‰이었다.

Table 1. Ingredients and nutrients composition of the experimental diets

	Protein (%)	40		45		50	
	Energy (kcal/g diet)	4.8	5.2	4.8	5.2	4.8	5.2
<i>Ingredients (%)</i>							
White fish meal (72.5% CP, 5.5% CL) ¹	15.0	15.0	17.0	17.0	19.0	19.0	
Anchovy meal (73.8% CP, 8.4% CL) ²	15.0	15.0	17.0	17.0	19.0	19.0	
Meat meal	8.0	8.0	9.0	9.0	10.0	10.0	
Corn gluten meal	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0	
Soybean meal	4.0	4.0	5.0	5.0	6.0	6.0	
Blood meal	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
Feather meal	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
Wheat flour	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
Brewer's yeast	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
Starch ³	15.0	15.0	10.0	10.0	5.0	5.0	
Squid liver oil ⁴	3.9	3.9	3.5	3.5	3.2	3.2	
Soybean oil		7.0		7.0		7.0	
Vitamin premix ⁵	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
Mineral premix ⁵	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
Carboxymethyl cellulose	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
Cellulose	10.3	3.3	8.8	1.8	7.0	-	
Choline salt	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
Chromic oxide	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
<i>Nutrient contents (dry matter basis)</i>							
Crude protein (%)	39.3	40.8	45.0	45.7	50.5	50.3	
Crude lipid (%)	7.3	14.7	7.2	14.8	7.7	14.9	
Crude ash (%)	9.4	9.6	10.2	10.3	11.2	11.2	
Crude fiber (%)	10.8	5.0	9.0	2.1	7.9	2.0	
N-free extract (%)	33.2	29.9	28.6	27.1	22.7	21.6	
Gross energy (kcal/g diet)	4.78	5.17	4.76	5.20	4.86	5.24	

¹ Produced by steam dry method, Han Chang Fish Meal Co., Pusan, Korea.

² Imported from Chile.

³ Alpha-potato starch and beta-potato starch mixture (1 : 1, w/w).

⁴ Provided by E-wha Oil & Fat Ind. Co., Pusan, Korea.

⁵ Same as Lee et al. (2000).

실험어 사육 및 분 수집은 이(1997b)가 고안한 분 수집 통을 이용하였다. 배설된 분 이 분 수집통으로 잘 모일 수 있도록 5 l/min의 고압모래여과해수를 각 실험수조에 흘려주 어 수조내 사육수가 천천히 돌면서 중앙으로 배수되게 조정하였다. 실험사료를 오후 2시 에 만복에 가깝도록 매일 급여하여 오후 5시에 수조 및 분 수집 통을 깨끗이 청소하고 다음날 아침 10시에 수집통에 모인 분을 여과지에 받아 1시간동안 방치(4℃)한 후 -80℃ 에서 동결 보존하였다. 이와 같은 방법으로 7일간 수집한 분을 각각 수조별로 모아서 동 결 건조시켜 분쇄한 후 분석하였다.

성분분석

사료 및 분의 일반성분, 에너지, 조섬유, 가용무질소물(NFE) 및 지방산은 다음과 같은 방법으로 분석하였다. 즉, 일반성분은 AOAC methods (1984)에 따라, 조단백질(N×6.25)은 Automatic analyzer (Vapodest 5/6, Gerhardt, W-Germany)를 사용하여 분석하였고, 조지방은 Automatic analyzer (Soxtec, Tecator, Sweden)를 사용하여 ether로 추출하였으며, 수분은 10 5℃의 dry oven에서 4시간 동안 건조 후 측정하였다. 조섬유는 Automatic analyzer (Fibertec, Tecator, Sweden)를 이용하여 분석하였고, 조회분은 550℃ 회화로에서 4시간 동 안 태운 후 정량하였다. Nitrogen free extract (NFE)는 100 - (수분 + 조단백질 + 조지방 + 조섬유 + 조회분)의 식으로 계산하였으며, 총에너지는 adiabatic bomb calorimeter (Parr, USA)를 이용하여 측정하였다. 산화크롬은 Furukawa와 Tsukahara (1966)의 방법에 따라 분 석하였고, 소화율은 다음의 공식에 의하여 계산하였다.

$$\text{건물 소화율} = 100 - \left(\frac{\text{사료중의 } Cr_2O_3 (\%)}{\text{분중의 } Cr_2O_3 (\%)} \times 100 \right)$$

$$\text{영양소 소화율} = 100 - \left(\frac{\text{사료중의 } Cr_2O_3 (\%)}{\text{분중의 } Cr_2O_3 (\%)} \times \frac{\text{분중의 영양소} (\%)}{\text{사료중의 영양소} (\%)} \times 100 \right)$$

통계처리

실험 결과는 One-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리 평균간의 유의성(P<0.05)을 SPSS program으로 검정하였다. 또한, 사료 단백 질, 에너지 및 공급횃수에 대한 효과를 Three-way ANOVA-test로 처리하였다.

3. 결과 및 고찰

사료 단백질 및 에너지 함량과 사료 공급횟수에 따른 영양소 소화율값을 Table 2에 표시하였다. 건물 및 에너지 소화율은 사료의 단백질 (40-50%) 및 에너지 (4.8-5.2 kcal/g diet) 함량에 영향을 받았고 ($P < 0.001$), 사료공급횟수에는 영향을 받지 않았으며 ($P > 0.1$), 단백질, 에너지 및 공급횟수간에 상호작용도 인정되지 않았다 ($P > 0.1$). 단백질과 탄수화물 소화율은 사료의 단백질, 에너지 및 사료공급횟수에는 영향을 받지 않았으며 ($P > 0.05$), 단백질, 에너지 및 공급횟수간에 상호작용도 인정되지 않았다 ($P > 0.1$). 지질 소화율은 사료의 단백질 (40-50%), 에너지 (4.8-5.2 kcal/g diet) 함량 및 사료공급횟수에 영향을 받았고 ($P < 0.05$), 단백질, 에너지 및 공급횟수간에 상호작용도 인정되지 않았다 ($P > 0.1$).

본 연구에서 건물 및 에너지 소화율은 사료 NFE 함량 ($r = 0.82$ and $r = 0.85$; $P < 0.001$, respectively) 및 조섬유 함량 ($r = 0.90$ and $r = 0.93$; $P < 0.001$)과 역 상관 관계를 보였다. 이러한 경향은 타 어종에서도 보고되고 있다 (Sugiura et al., 1998; Sullivan and Reigh, 1995; McGoogan and Reigh, 1996). 본 연구에서 NFE 소화율 (39-46%)이 낮은 것은 조피볼락의 육식성 식성에 의한 한 현상으로 판단된다. 그리고 단백질 및 지질의 높은 소화율 값도 조피볼락의 식성을 잘 반영하고 있는 것으로 보인다.

Table 2. Apparent digestibility coefficients for dry matter, crude protein, crude lipid, nitrogen-free extract and energy of the diets containing different protein (40, 45 and 50%) and energy levels (4.8 and 5.2 kcal/g diet, lipid 7 and 15%) at different feeding frequency for juvenile rockfish¹

Protein (%)	Energy (kcal/g diet)	Feeding frequency	Dry matter (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	NFE (%)	Energy (%)
40	4.8	1 meal/day	57±0.4 ^{ab}	91±0.6	92±1.7 ^a	41±1.0	71±0.3 ^a
		1 meal/2 days	55±0.9 ^a	91±1.3	94±1.1 ^{bc}	41±1.3	70±0.5 ^a
	5.2	1 meal/day	65±0.3 ^{cd}	92±0.1	97±0.3 ^d	43±0.2	79±0.3 ^{cd}
		1 meal/2 days	64±0.7 ^{cd}	92±0.4	97±0.6 ^d	42±1.0	78±0.5 ^{cd}
45	4.8	1 meal/day	60±0.9 ^{bc}	91±0.6	93±0.9 ^{ab}	42±1.3	74±0.7 ^b
		1 meal/2 days	62±3.6 ^c	92±0.9	95±0.5 ^{cd}	43±2.9	75±2.5 ^{bc}
	5.2	1 meal/day	67±1.8 ^{de}	92±1.2	96±0.5 ^{cd}	43±2.5	81±1.3 ^{de}
		1 meal/2 days	64±2.7 ^{cd}	92±0.5	97±0.3 ^d	43±0.8	79±2.0 ^d
50	4.8	1 meal/day	63±1.9 ^{cd}	92±0.6	95±0.3 ^{cd}	39±3.3	77±1.0 ^{bcd}
		1 meal/2 days	62±0.8 ^{cd}	92±0.1	96±0.1 ^{cd}	41±0.4	77±0.2 ^{bcd}
	5.2	1 meal/day	73±0.7 ^f	93±0.6	97±0.1 ^d	46±1.1	85±0.5 ^f
		1 meal/2 days	70±1.4 ^{ef}	92±0.3	97±0.3 ^d	43±0.9	84±0.3 ^{ef}
<i>Three-way ANOVA</i>							
Dietary protein			P<0.001	P<0.2	P<0.04	P<0.6	P<0.001
Dietary energy			P<0.001	P<0.06	P<0.001	P<0.06	P<0.001
Feeding frequency (FF)			P<0.2	P<0.5	P<0.004	P<0.9	P<0.6

¹ Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

제 4 절 부상 배합사료의 영양소 함량과 공급횟수에 따른 넙치의 영양소 소화율

1. 서론

사료 품질평가 방법 중 영양소 소화율을 조사하는 것은 기본적인 연구이다. 양식 대상 어종에 영양소 소화율이 측정된 사료 공급은 경제적이고 친환경적인 양식산업을 선도할 수 있는 중요한 역할을 한다. 영양소 소화율은 어체 크기, 사료 영양소 함량, 사료 원료 및 가공조건 등의 요인들에 따라 달라질 수 있다. Hemre (1989)는 어종, 탄수화물 함량 및 탄수화물원의 전처리에 따라 영양소 소화율이 달라질 수 있다고 보고하였다.

사료내 영양소 중에서 단백질은 사료 단가, 성장 및 수질오염 측면에서 중요하게 고려되어야 하기 때문에 대부분 어류의 영양소 소화율 연구는 단백질 평가(Smith and Lovell, 1973; Cho and Slinger, 1979; Hajen et al., 1993)에 초점을 두고 수행되었다. 지질은 에너지 원으로 값비싼 사료 단백질을 절감(Beamish and Medland, 1986; De Silva et al., 1991; Takeuchi et al., 1992) 시킬 수 있을 뿐 아니라 필수지방산의 공급원이며, 먹이의 장 통과 시간에 영향을 미칠 수 있다(Smith, 1989). 탄수화물도 지질과 함께 에너지원으로 쓰이는 중요한 영양소이지만, 사료내 탄수화물 함량은 다른 영양소의 소화율에 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고되었다(Aksnes, 1995; Hemre et al., 1995; Hillestad et al., 2001). 사료내 단백질, 지질 및 탄수화물의 함량에 따라 소화율이 달라질 수 있기 때문에(Austreng et al., 1979; Morales et al., 1994; Storebakken et al., 1998), 이들 함량에 따른 에너지 및 영양소 소화율 차이를 조사하는 것은 중요하다.

영양소 소화율은 사료 공급 방법에 따라 달라질 수 있는 것으로 보고되었다(Henken et al., 1985). 양식어에게 과잉으로 사료를 공급하는 것은 어체내 에너지 대사의 효율성과 소화능력을 저하시킬 수 있을 뿐 아니라 사료유실로 인한 경제적 손실과 수질오염원이 증가될 수 있다. 반대로 부족하게 사료를 공급하는 것은 어류의 성장을 지연시키므로 대상어종의 소화능력과 함께 사료 공급방법을 결정하는 것도 중요하다. 따라서 본 실험에서는 우리나라의 중요 양식종인 넙치를 대상으로 단백질, 지질 및 탄수화물 함량을 달리 한 배합사료를 설계하고, 부상사료를 제조하여 공급횟수 및 공급율에 따른 영양소 소화율을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

Table 1에 표시한 바와 같이 단백질, 지질 및 탄수화물 함량을 달리한, 즉 탄수화물 함량이 높은 HC 사료, 단백질 함량이 높은 HP 사료 및 지질 함량이 높은 HL 사료를 설계하였다. 사료는 Extruder Pellet Mill (EX 920, Matador, Denmark)을 이용하여 부상펠렛으로 성형되었다. 사료의 단백질원으로 어분을, 지질원으로 어유를 그리고 탄수화물원으로 소맥분을 사용하였다. 외견상 영양소 소화율 측정을 위하여 지표물질로 산화크롬을 0.5% 첨가하였다.

Table 1. Ingredients and nutrient contents of the experimental diets

	Diets		
	HC	HP	HL
Ingredients (%)			
Mackerel meals ¹	49.8	57.7	50.9
Wheat gluten	2.5	2.5	2.5
Soybean meal	5.0	5.0	5.0
Corn gluten meal	5.0	5.0	5.0
Wheat flour	33.1	25.6	26.5
Fish oil	0.4	0	5.9
Cr ₂ O ₃	0.5	0.5	0.5
Others	3.7	3.7	3.7
Proximate analysis (% DM)			
Dry matter	95.5	96.4	95.4
Crude protein	45.4	51.8	47.0
Crude lipid	7.4	4.7	9.7
Ash	10.4	11.8	10.2
Nitrogen-free extract ²	36.8	31.8	33.1
Gross energy (kcal/g diet)	4.8	4.8	5.0
Essential amino acid (% in protein)			
Arg	7.9	6.5	6.2
His	4.4	3.7	3.6
Ile	4.8	4.1	4.0
Leu	11.1	8.9	9.2
Lys	9.2	7.9	7.4
Met+Cys	2.8	1.7	1.6
Phe+Tyr	9.7	7.7	7.8
Threonine	6.0	4.9	4.9
Val	6.9	5.5	5.5
Total	62.8	50.8	50.2

¹ Imported from Chile.

² 100-(crude protein+crude lipid+crude ash).

실험어 및 분 수집

평균체중 280 g의 넘치를 분 수집 통이 부착된 2000 L 실험수조(Fig. 1)에 각각 20마리씩 3반복으로 수용하여 2회에 걸쳐 소화율측정을 하였다. 실험 1에서는 3종류 사료조성 × 2가지 반복공급을, 실험 2에서는 3종류 사료조성 × 3가지 공급횟수의 factorial design으로 각각 6주간 사육하면서 분을 수집하였다. 각 실험수조마다 여과해수를 분당 10 L로 흘려주었으며, 사육기간 동안의 수온은 $17.8 \pm 2.32^\circ\text{C}$ 였고 비중은 1.024 ± 0.0013 였다. 사료의 반복공급에 따른 소화율 실험(실험 1)에서 각 사료별로 반복 공급구는 실험어가 먹을 때까지 1일 1회 손으로 던져주었으며, 제한 공급구는 각 사료별 반복 공급구의 80%를 공급하여 주었다. 사료 공급횟수에 따른 소화율 실험(실험 2)에서의 사료의 공급횟수는 각 사료마다 2일 1회, 1일 1회, 1일 2회 및 1일 3회로 설정하였다. 모든 실험구는 오전 9시에 사료를 급여한 후 오전 11시에 수조의 물을 2/3 정도 배수시켜 사료 찌꺼기와 다른 이물질을 제거하여 주었다. 이때 분 수집통도 함께 청소한 후 수조에 부착해 주었으며, 다음날 아침 8시에 수집통에 모인 분을 분리하고, 여과지(Whatman #1)를 이용하여 1시간동안 냉장실(4°C)에 방치한 후 -70°C 에서 동결하였다. 이와 같은 방법으로 수집한 분을 실험종료 후, 각각의 수조별로 모아서 동결 건조시켜 분쇄한 후 성분 분석하였다.

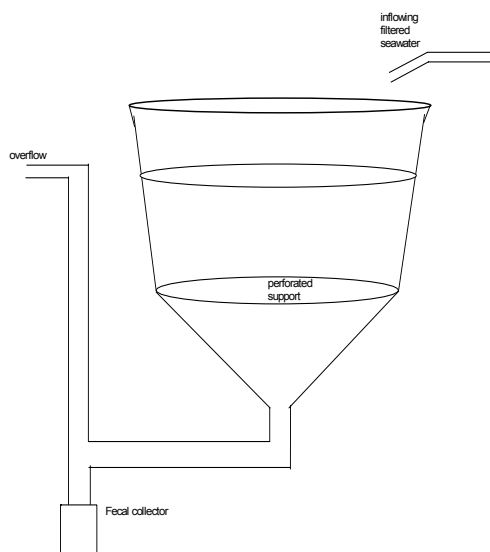


Fig. 1. Schematic diagram of a tank system for digestibility test.

성분 분석

사료 및 분의 일반성분 분석은 AOAC (1990) 방법에 따라 조단백질($N \times 6.25$)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출, 수분은 105°C 의 dry oven에서 6시간

동안 건조 후 측정, 조회분은 550℃의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. 총에너지는 bomb calorimeter (Parr 1356, USA)를 이용하여 측정였으며, 아미노산은 아미노산 전용분석기(Hitachi L-8800, Japan)를 이용하여 분석하였다. Furukawa and Tsukahara (1966)의 방법에 따라 실험사료 및 분의 산화크롬은 분석하였으며, 소화율은 다음의 공식에 의하여 계산되었다.

$$\text{건물 소화율 (\%)} = 100 - (\text{사료중의 } Cr_2O_3 / \text{분중의 } Cr_2O_3) \times 100$$

영양소 및 에너지 소화율 (%)

$$= \left(1 - \frac{\text{사료중의 } Cr_2O_3}{\text{분중의 } Cr_2O_3} \times \frac{\text{분중의 영양소 또는 에너지}}{\text{사료중의 영양소 또는 에너지}} \right) \times 100$$

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS Version 10 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다. 또한, Two-way ANOVA test로 각 사료 조성, 사료 공급횟수 및 공급율에 대한 상관요인을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

사료 조성 및 반복 공급율(실험 1)에 따른 외견상 영양소 소화율을 측정된 결과를 Table 2에 나타내었다. 반복 공급율을 달리하여 각 실험사료를 먹인 넙치의 건물, 단백질, 지질, 에너지 및 탄수화물의 외견상 소화율은 사료 조성 및 공급율에 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$).

사료 조성 및 공급횟수(실험 2)에 따른 외견상 영양소 소화율 값들을 Fig. 2에 표시하였다. 건물 소화율은 공급횟수에 영향을 받지 않았지만, 사료 조성에 영향을 받아($P<0.05$) 동일한 공급횟수에서 HP 공급구의 소화율이 HC와 HL 공급구의 소화율보다 높은 경향을 보였다. 외견상 단백질 소화율은 공급횟수에는 영향을 받지 않았으나, 사료종류에 영향을 받았으며($P<0.05$), HP 공급구가 수치상으로 높은 값을 보였으나 실험구의 처리평균간에 유의한 차이는 없었다($P>0.05$). 지질 소화율은 사료 조성에는 영향을 받지 않았지만 ($P>0.05$), 공급횟수에는 영향을 받아($P<0.05$) 사료 공급횟수가 1일 1회에서 1일 2회로 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 탄수화물 소화율은 사료 조성 및 공급횟수에 모두 영향을 받았다($P<0.05$). 1일 3회 공급구를 제외한 실험구에서 공급횟수가 동일할 때, HP

공급구의 탄수화물 소화율이 높은 경향을 보였다. 또한, 사료 공급횟수가 증가함에 따라, HP를 공급한 실험구 사이에 통계적인 차이는 없었지만, 탄수화물 소화율은 감소하는 경향을 보여 1일 2회 공급구의 탄수화물 소화율이 2일 1회 소화율보다 유의하게 낮았다 ($P<0.05$). 에너지 소화율은 사료 조성과 공급횟수에 모두 영향을 받았으며($P<0.05$), 동일한 공급횟수에서 HP를 공급한 실험구가 다른 실험구에 비해 소화율이 높은 경향을 보였고, HP 사료를 공급한 실험구 사이에서는 사료공급횟수에 따른 통계적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

Table 2. Apparent digestibility coefficients (%) for dry matter, crude protein, lipid and energy of experimental diets in grower flounder (average initial weight of 280 g) fed the experimental diets with different feeding satiation rates (exp-1)¹

Satiation rate	Diets	Dry matter	Crude protein	Crude lipid	NFE ²	Gross energy (kcal/g diet)
100%	HC	60±5.0 ^{ns}	92±0.6 ^{ns}	96±0.5 ^{ns}	57±7.4 ^{ns}	86±1.1 ^{ns}
	HP	72±1.1	94±0.1	97±0.5	72±1.4	90±0.8
	HL	60±6.3	92±1.0	91±3.6	55±6.1	84±2.5
80%	HC	64±3.1	92±0.6	96±0.9	64±2.5	85±1.2
	HP	64±2.1	92±0.6	96±0.1	68±2.3	88±1.1
	HL	66±3.8	93±0.3	96±0.2	64±3.9	87±1.0
Two-way ANOVA						
Diets		P<0.3	P<0.3	P<0.2	P<0.1	P<0.1
Satiation rate		P<0.9	P<0.7	P<0.3	P<0.4	P<0.8
Interaction		P<0.2	P<0.2	P<0.1	P<0.4	P<0.3

¹ Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

² 100-(crude protein+crude lipid+crude ash).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

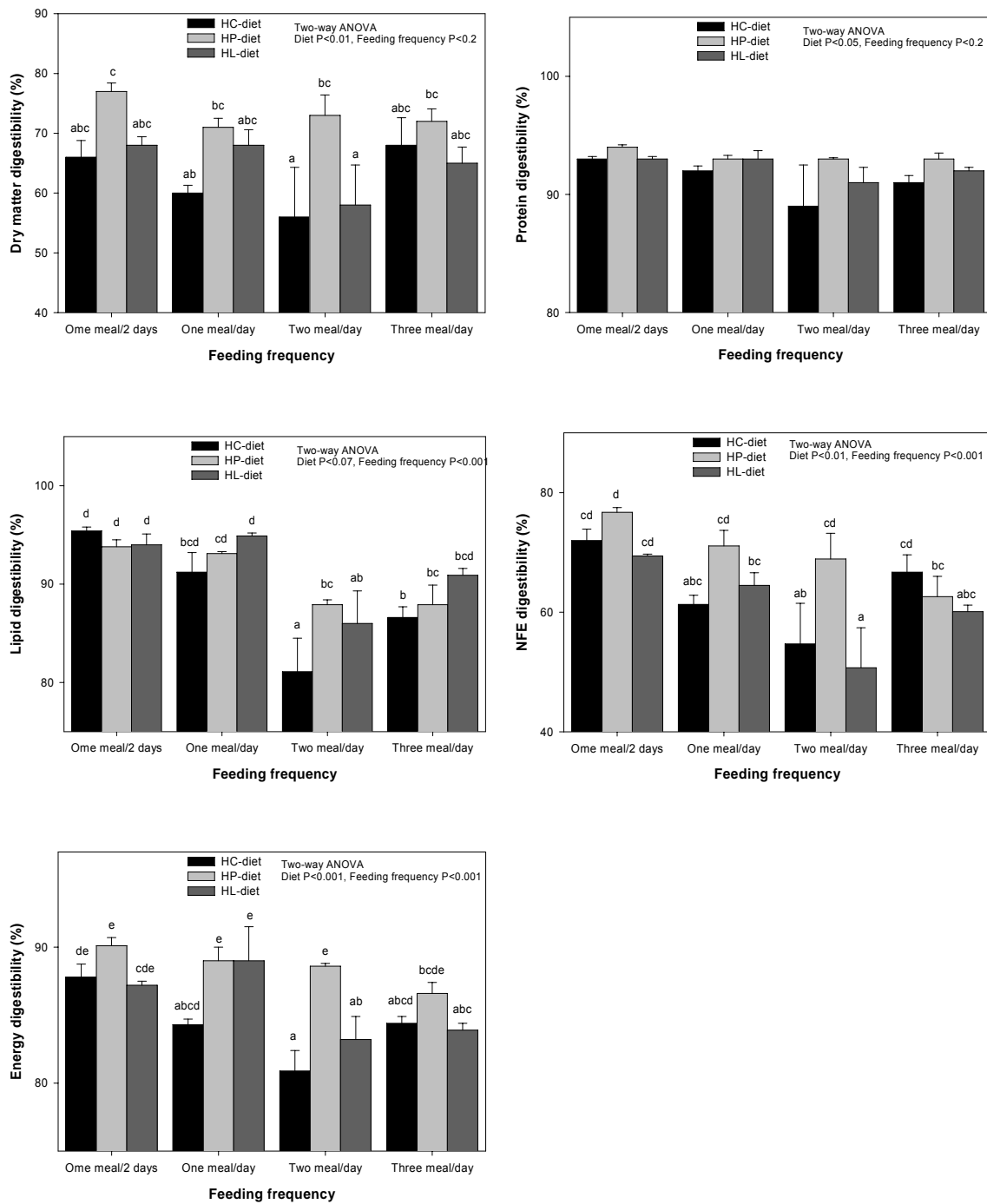


Fig. 2. Apparent digestibility coefficients (% , expressed as mean \pm SE of three replications) for dry matter, crude protein, lipid and energy of experimental diets in grower flounder (average initial weight of 280 g) fed the experimental diets with different feeding frequencies (exp-2). Values with different letter are significantly different ($P < 0.05$).

본 실험에서 사료 공급율에 관계없이 단백질 소화율은 모든 실험구에서 92% 이상으로 탄수화물 소화율에 비해 높았으며, 공급횟수에 따른 실험에서, 공급횟수가 동일할 때 HP 공급구의 단백질 소화율이 HC와 HL 공급구에 비해 수치상으로 다소 높은 값을 보였다. 이 결과는 넙치가 육식성 어종으로서 단백질 이용률이 높기 때문으로 해석된다. Red drum의 경우도 단백질 함량이 높은 사료를 공급할 때 단백질 소화율이 높았다고 보고된 바 있다(McGoogan and Reigh, 1996). 어종에 따라 사료내 단백질, 지질 및 탄수화물의 이용률이 달라질 수 있으므로(Austreng et al., 1979; Morales et al., 1994; Storebakken et al., 1998) 어류의 식성을 고려한 사료의 영양소 배합비 조절은 매우 중요하다.

동일한 사료 공급횟수에서 건물 및 에너지의 소화율은 HP 공급구가 HC와 HL 공급구들에 비해 높은 경향을 보였다. 일반적으로 육식성 어류는 초식성이나 잡식성 어류에 비해 단백질 이용률이 높은 반면 탄수화물 이용률은 낮다. 이러한 관점에서 보면, HC 공급구의 낮은 영양소 소화율은 사료의 탄수화물에 영향을 받았을 가능성이 높다. 타 연구에서도 탄수화물 함량은 다른 영양소의 소화율에 영향을 미친다고 보고되어 있으며(Aksnes, 1995; Hemre et al., 1995; Hillestad et al., 2001), 대서양 연어의 경우 사료내 탄수화물 함량이 증가함에 따라 탄수화물 소화율이 감소하였다(Grisdale-Helland and Helland, 1997). 육상동물의 경우도 사료내 탄수화물 함량에 따라 단백질 분해효소의 활성과 아미노산의 소화율이 영향을 받는다고 보고되어 있다(Larsen et al., 1994). 본 연구에서도 건물 및 에너지 소화율이 사료의 탄수화물 함량에 유의하게($R=0.47$ 및 $R=0.49$; $P<0.01$) 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 다른 연구에서도 이미 보고 되었으며(Sullivan and Reigh, 1995; McGoogan and Reigh, 1996, Sugiura et al., 1998), 사료의 높은 탄수화물 함량은 다른 영양소의 이용효율을 감소시킬 수 있다고 보고되었다(Shah et al., 1982; Hilton et al., 1983; Anderson et al., 1984). 또한, 본 실험에서 HL 공급구들의 건물, 탄수화물 및 에너지 소화율이 HP 공급구에 비해 낮은 경향을 보였는데, 이는 넙치의 경우 사료내 지질함량이 타 영양소 소화율에 영향을 미칠 수 있음을 암시하고 있다. 건물, 탄수화물 및 에너지 소화율과 사료내 지질함량 간에 역상관($R=0.36$, 0.46 및 0.41 ; $P<0.05$) 관계가 있는 것으로 분석되었다. Smith (1989)는 사료의 지질 함량이 장 내용물 통과 속도에 영향을 미친다고 보고하였다. 이처럼 사료내 지질과 탄수화물 함량 증가는 에너지 소화율을 저하시킬 수 있으므로 사료 공급시 탄수화물과 지질의 적정 함량을 설정하는 것은 중요하게 고려되어야 할 것이다.

영양소 소화율은 사료 공급율(Henken et al., 1985)과 공급횟수(Hastings, 1969)에 따라서 달라질 수 있다. 본 실험에서 영양소 소화율은 사료 공급율에 영향을 받지 않았지만, 지질, 탄수화물 및 에너지 소화율은 사료 공급횟수에 영향을 받아 1일 2회까지 사료 공급 횟수가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이러한 차이는 사료의 영양소 섭취량 및 섭취된 영양소의 장 통과 시간과 관계가 있는 것으로 판단된다(Holmgren et al., 1983; Lee

et al., 2000c). 본 실험의 결과는 사료를 1일 2회 이상 공급하는 것은 에너지의 이용률을 저하시킬 수 있음을 암시하고 있으며 에너지의 과잉 공급이 될 것으로 판단된다. Lee et al. (1999)은 1.6-4 g의 넙치치어의 적정 성장을 위한 EP의 적정 사료공급횟수가 1일 3회라고 보고하였으며, Kim et al. (2005)은 45 g 전후의 넙치의 적정 성장을 위한 EP의 적정 공급횟수가 1일 2회 반복 공급이라고 보고하였다. 본 실험에서는 성장결과를 조사하지 않았지만, 넙치 평균체중이 280 g 전후로 앞 실험들과의 체중 차이를 고려하여 볼 때, 적정 공급횟수가 달라질 수 있을 것으로 생각된다. 본 실험에서 지질, 탄수화물 및 에너지 소화율이 사료 공급횟수에 영향을 받아 2일 1회 및 1일 1회 공급구들에서 양호한 결과를 보인 것으로부터, 평균체중 280 g 이상의 넙치의 적정 사료 공급횟수는 1일 1회 정도가 좋을 것으로 판단된다. 하지만, 사료의 영양소 소화율은 어체 크기 뿐 아니라 사육수온, 사료 가공 조건(Smith, 1989; Lee, 2002) 등에 따라 달라질 수 있기 때문에 상세한 연구가 계속되어야 할 것이다.

제 7 장 경제적인 배합사료 설계를 위한 사료 원료의 이용성

실용사료는 성장 효과가 높을 뿐 아니라 가격이 싸고 안정적인 공급이 이루어져야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해서는 사료원료의 선정과 이용성 평가가 필수적이다. 사료 원료의 평가는 여러 가지 방법이 있는데, 먼저 원료중의 영양소의 종류와 양이 대상 어종의 요구에 얼마나 충족될 수 있는가를 기준으로 하여 이러한 영양소가 어떻게 이용되는가를 조사하고 부족한 영양소를 보충하거나 품질을 개선시키는 등 그 이용성을 높이는 것이다. 그래서 본 장에서는 국내에서 사용될 수 있는 각종 원료들을 구입하여, 영양 화학성분을 분석한 후, 필요에 따라 가공 처리하여 사료원료로서의 이용성을 평가하였다.

제 1 절 넙치 배합사료의 어분 평가

1. 서론

대부분의 해산어류는 육상동물이나 담수어와는 달리 육식성이 강하고 단백질 요구량이 높아 사료원가 중 단백질원이 차지하는 비중이 높다. 또한, 담수어처럼 식물성 단백질원의 이용성이 높지 않기 때문에 배합사료에 항상 어분이 주 단백질원으로 사용되고 있어 어분의 공급, 품질, 가격 등은 해산어류 사료 개발에 있어 매우 중요한 요인이다.

주 단백질원으로 사용되는 어분은 해산어에 필요한 여러 가지 영양소(단백질, 필수아미노산, 필수지방산)의 균형이 잘 갖추어진 양질의 단백질원이다. 하지만, 어분은 현재 가격이 비싸고, 어획량의 변동에 따라 공급과 가격이 불안정한 실정이며, 앞으로도 이러한 현상은 더 심해질 것으로 예상된다. 어분 생산량은 자원량의 부족으로 인하여 더 이상 증가될 전망은 없지만, 어류, 특히 해산어의 양식 생산량은 매년 증대되고 있고, 이러한 증가 추세는 당분간 계속될 전망이다. 양어 사료에 사용되고 있는 어분의 비율은 전 세계적으로 계속 증가되고 있기 때문에 고급 어분의 사용은 앞으로 계속 제한적일 수밖에 없는 실정이다.

대상 어종에 따라서 사료에 어분 첨가비가 매우 다양하며, 개발된 사료라 할지라도 그 사료의 개선 상태에 따라서도 첨가되는 어분 함량이 다를 것이다. 따라서 어분의 생산량, 가격, 품질 등의 요인을 고려하여 사료의 질을 개선시키고 원가를 절감할 수 있도록 여러 가지 종류의 어분에 대해 그 이용성을 구명하는 연구가 필요하다. 그래서 본 연구는 넙치

배합사료의 단백질원으로써 시판 어분의 종류가 넙치 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험사료에 사용된 어분의 영양조성을 Table 1에 나타내었다. 실험사료는 Table 2에 나타낸 바와 같이 북양어분 4종류, 청어어분 3종류 및 고등어어분(MM)을 각각 단백질원으로 한 8종류의 실험사료와 북양어분을 혼합한 실험사료(WMM) 및 청어어분과 고등어어분을 혼합한 총 10종류를 설계하였으며, 지질원으로 오징어간유를, 탄수화물원으로는 소맥분과 알파 감자전분을 각각 사용하였다. 사료는 원료들을 잘 혼합한 후 원료 100 g 당 물 40 g을 첨가하여 펠렛 제조기를 실험사료를 성형한 후, 실온에서 24시간 건조하였다. 제조된 실험사료는 -30°C 에 보관하면서 사용하였다.

실험어 및 사육관리

사육실험은 넙치 치어를 대형 FRP 수조에 수용하여 2주간 예비사육 하다가 실험용으로 중간 크기의 건강한 어체를 각 실험수조 (300 l 원형수조)마다 150마리씩 선별하여 임의로 수용한 후 상품사료를 10일간 공급하였다. 이렇게 사료와 수조에 순치시킨 후, 각 실험수조별로 30마리씩 다시 선별, 수용하여 평균체중 11.1 g의 넙치를 대상으로 7주간 본 사육실험을 실시하였다. 사료는 1일 2회 (0900, 1700) 반복에 가깝도록 급여하였다. 사육수로 여과된 해수를 각 수조마다 분당 5 l가 되도록 조절하여 흘려주었으며, 사육기간 중의 수온은 $20.3\pm 2.61^{\circ}\text{C}$, 비중은 1.026 ± 0.0007 , 염분은 $34.5\pm 0.73\text{‰}$ 이었다. 실험어는 사육 실험 시작시와 종료시에 측정 전일 절식시킨 후, 각 수조에 수용된 실험어 전체무게를 측정하였다.

성분분석

어체 성분분석용으로 사육실험 시작시 30마리를 sample하였으며, 실험종료시에는 각 실험수조에 생존한 모든 실험어를 sample하여 냉동(-75°C)보관하였다. 실험사료와 어체의 조단백질 ($\text{N}\times 6.25$)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland)를 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C 의 dry oven에서 24시간 동안 건조 후 측정하였다. 조회분은 550°C 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량 하였다. 총에너지는 adiabatic bomb calorimeter (Parr, USA)를 이용하여 측정하였다. 지방산조성은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 지질을 추출하여 14% BF_3 -methanol로 지방산을 methylation시킨 후, capillary column (HP-INNOWax, 30 m \times 0.32 mm \times 0.5 μm , USA)이 장착된

gas chromatography (HP-5890 II, USA)로 분석하였다. 또한, 원료의 아미노산 분석을 위해 시료의 전처리는 시료 0.5 g을 18 ml test tube에 칭량하여 6 N HCl 3 ml를 가한 다음 진공펌프를 이용하여 test tube를 sealing한 후, sealing한 test tube는 121°C로 setting된 heating block에 24시간동안 가수분해시켰다. 가수분해가 끝난 시료는 50°C, 40 psi의 rotary evaporater로 산을 제거한 후 sodium loading buffer로 10 ml 정용한 다음, 이중 1 ml를 취하여 membrane filter 0.2 ul로 여과하여 아미노산분석기 (Pharmacia Biochrom 20, Li+ type high performance ultra pack, U.K)로 정량분석하였다.

Table 1. Chemical compositions of the experimental fish meals

	White fish meal (WM) ¹				Herring meal (HM)			Mackerel meal (MM) ³
	WM-1	WM-2	WM-3	WM-4	HM-1 ²	HM-2 ²	HM-3 ³	
<i>Proximate composition (%)</i>								
Moisture	5.0	3.4	7.0	3.0	5.0	10.6	7.0	8.5
Crude protein	65.7	72.8	59.5	67.5	65.8	56.2	65.6	73.3
Crude lipid	7.9	7.5	2.7	7.6	8.8	10.0	9.5	8.0
Ash	17.9	13.2	29.8	21.1	20.2	19.8	17.2	10.0
<i>Essential amino acids (% in protein)</i>								
Arg	7.1	7.3	7.5	7.7	7.2	6.8	7.0	6.9
His	2.9	3.0	3.0	3.0	2.8	3.0	3.6	4.5
Ile	4.7	4.8	3.8	3.5	4.4	5.0	5.1	5.2
Leu	8.3	8.6	8.4	8.1	8.6	8.3	8.2	8.1
Lys	8.8	8.8	8.4	8.2	8.6	8.6	8.6	8.6
Met+Cys	3.4	3.6	3.7	3.2	3.5	3.3	3.8	4.3
Phe+Tyr	7.1	7.9	7.9	7.6	7.8	7.7	7.4	7.6
Thr	4.8	5.1	5.2	5.0	5.1	4.7	5.0	5.0
Val	5.4	5.3	4.5	4.4	5.0	5.4	5.5	5.1
<i>Essential fatty acids (% of total fatty acids)</i>								
20:4n-6	1.2	1.1	1.3	1.2	1.0	1.9	1.1	1.6
20:5n-3	12.2	16.0	12.9	15.0	12.7	11.5	13.4	10.4
22:6n-3	17.5	26.5	21.2	20.0	26.4	9.1	23.2	22.7
n-3 HUFA ⁴	32.9	44.0	35.6	36.2	40.0	24.7	37.4	37.6
VBN (mg/100 g) ⁵	57.9	135.9	104.9	122.2	67.7	101.5	43.6	33.4

¹ Produced by steam dry method. ² Imported from Russia. ³ Imported from Chile.

⁴ Highly unsaturated fatty acids (C \geq 20). ⁵ Volatile basic nitrogen.

Table 2. Ingredients and nutrient contents of the experimental diets

	Diets									
	WM-1	WM-2	WM-3	WM-4	HM-1	HM-2	HM-3	MM	WMM	HM+MM
<i>Ingredients (%)</i>										
White fish meal ¹	58.0								15.0	
White fish meal ¹		57.0							15.0	
White fish meal ¹			64.0						15.0	
White fish meal ¹				62.0					15.0	
Herring meal ²					61.0					15.0
Herring meal ²						69.0				15.0
Herring meal ³							58.0			15.0
Mackerel meal ³								54.0		15.0
Soybean meal	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Wheat flour	22.9	23.7	14.6	19.4	21.7	14.0	24.4	28.0	20.4	22.8
α-potato starch	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Squid liver oil	2.1	2.3	4.4	1.6	0.3	-	0.6	1.0	2.6	0.2
Vitamin premix ⁴	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Mineral premix ⁴	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Choline salt	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>Nutrient contents (% DM)</i>										
Crude protein	45.2	47.5	45.5	46.7	46.6	46.3	44.5	45.9	47.1	46.8
Crude lipid	6.3	7.0	6.2	7.1	6.1	7.5	6.7	6.2	6.8	6.7
Ash	12.9	8.4	18.9	14.1	12.7	17.2	12.7	9.7	13.6	13.3
Eenergy (kcal/g)	3.8	3.8	3.7	3.7	3.8	3.7	3.8	3.8	3.7	3.8

¹ Produced by steam dry method. ² Imported from Russia. ³ Imported from Chile.

⁴ Same as Lee et al. (2003).

통계처리

결과의 통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) 로 평균간의 유의성을 SPSS (SPSS Inc., 1997) program을 사용하여 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

실험사료에 사용된 모든 어분의 수분 함량은 3.0~10.6%였으며, VBN은 33~136 범위였다. 북양어분-3을 제외한 모든 어분의 단백질 함량은 60% 이상이었다. 청어어분은 북양어분 및 고등어어분에 비하여 높은 지질 함량을 보였으며, 청어어분-2는 타 어분들과 비교하여 22:6n-3 함량이 낮았다.

어분종류를 달리한 실험사료로 넙치 치어를 7주간 사육실험 종료후 생존율은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다(Table 3). 증중량은 청어어분-1과 청어어분-3 사료구가 가장 높았지만, 북양어분-2 및 청어어분과 고등어어분 혼합 사료구와는 유의한 차이가 없었으며, 북양어분-1 및 북양어분-3 사료구들이 가장 낮은 증중량을 보였다. 사료효율 및 단백질효율은 북양어분-2, 청어어분-1, 청어어분-3, 고등어어분 및 청어어분과 고등어어분 혼합 사료구들이 타 실험구들에 비하여 유의하게 높았다. 이처럼 어분 종류에 따라 성장 및 사료의 영양소 이용율이 차이가 나는 것은 사료의 영양소 균형 및 소화율 등에 따른 차이로 판단되며, 타 어종의 연구에서도 사료 어분에 따라 차이를 보인다고 보고된바 있다(Aksnes and Mundheim, 1997; Aksnes et al., 1997). 어분의 품질은 단백질 소화율, 원료의 신선도 및 어분 제조를 위한 건조방식 등과 같은 가공조건에 따라서도 달라질 수 있으며, 또한 양질의 어분은 어류의 성장 및 사료효율을 향상시키는 것으로 보고되었다(Anderson et al., 1993; Vergara et al., 1999).

사료의 어분 종류는 일간사료섭취율에 영향을 미쳤으며, 북양어분-3 사료구가 가장 높은 값을 보였지만 북양어분-4 및 북양어분 혼합 사료구와는 통계적인 차이가 없었고, 고등어어분 첨가구가 가장 낮았다. 타 어종의 연구에서도 본 연구 결과와 마찬가지로 어분의 종류에 따라 사료섭취율에 차이를 보였다(Anderson et al., 1993; Aksnes and Mundheim, 1997). Aksnes and Mundheim (1997)은 어분 종류에 따른 어류의 성장차이는 사용된 어분의 품질에 따른 사료섭취율 및 소화율 차이에 의한 것으로 보고하였다. 사육실험 종료시 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분 함량(Table 4)은 각 실험구들 간에 유의한 차이를 보였는데, Atlantic salmon (Anderson et al., 1993)의 경우에도 유사한 결과를 보였다.

Table 3. Growth performance of juvenile flounder fed the diets containing various fish meals for 7 weeks¹

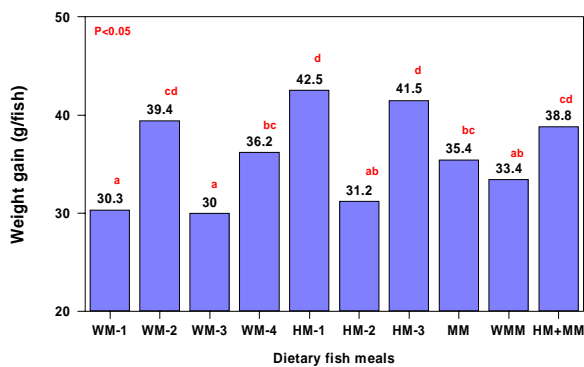
Diets	Initial weight (g/fish)	Weight gain (g/fish)	FE (%) ²	PER (%) ³	DFI (%) ⁴	Survival (%)
WM-1	10.9±0.49	30.3±1.46 ^a	95.7±3.18 ^{ab}	2.12±0.070 ^b	2.46±0.031 ^{bc}	97.7±2.33
WM-2	11.0±0.30	39.4±1.91 ^{cd}	108.3±3.48 ^c	2.28±0.069 ^c	2.40±0.069 ^{ab}	95.3±2.33
WM-3	11.1±0.07	30.0±2.00 ^a	89.0±2.89 ^a	1.96±0.063 ^a	2.62±0.009 ^d	95.7±2.96
WM-4	11.2±0.70	36.2±1.67 ^{bc}	97.7±1.20 ^b	2.10±0.024 ^{ab}	2.54±0.026 ^{cd}	92.3±4.67
HM-1	11.0±0.42	42.5±1.75 ^d	112.3±2.33 ^c	2.41±0.046 ^c	2.40±0.053 ^{ab}	98.0±1.00
HM-2	11.4±0.07	31.2±1.00 ^{ab}	98.3±1.76 ^b	2.13±0.035 ^b	2.37±0.025 ^{ab}	95.7±1.33
HM-3	11.1±0.40	41.5±0.95 ^d	107.3±2.67 ^c	2.38±0.063 ^c	2.46±0.030 ^{bc}	94.7±3.93
MM	11.5±0.09	35.4±1.56 ^{bc}	106.3±2.03 ^c	2.32±0.039 ^c	2.32±0.042 ^a	100.0±0.0
WMM	11.0±0.17	33.4±0.42 ^{ab}	95.3±1.67 ^{ab}	2.02±0.034 ^{ab}	2.57±0.050 ^{cd}	94.7±3.93
HM+MM	10.8±0.20	38.8±1.15 ^{cd}	110.0±0.58 ^c	2.34±0.012 ^c	2.38±0.027 ^{ab}	98.0±1.00

¹ Values (mean ± S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

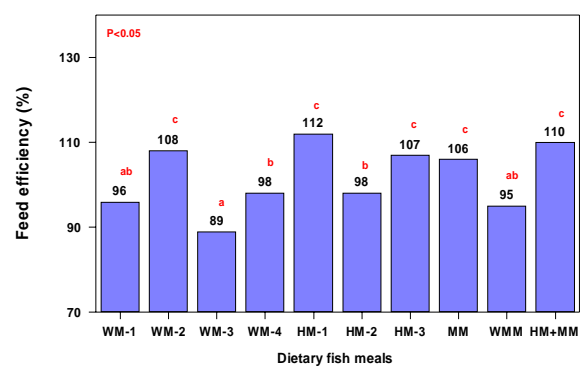
² Feed efficiency = weight gain of fish × 100 / feed intake (dry matter).

³ Protein efficiency ratio = weight gain of fish × 100 / protein intake.

⁴ Daily feed intake = feed intake (dry matter) × 100 / [(initial fish wt. +final fish wt. + dead fish wt.) / × days fed/2].



Weight gain (final av. wt.-initial av. wt.) of flounder (initial wt 11 g) fed the diets containing different fish meals for 7 weeks.



Feed efficiency of flounder (initial wt 11 g) fed the diets containing different fish meals for 7 weeks.

Table 4. Proximate composition of the whole body fed the diets containing various fish meals for 7 weeks¹

Diets	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Ash (%)
WM-1	74.9±0.02 ^{bcde}	17.8±0.21 ^a	1.4±0.35 ^a	3.9±0.14 ^{bc}
WM-2	75.4±0.28 ^{de}	17.9±0.20 ^{ab}	2.4±0.26 ^{ab}	3.6±0.19 ^{ab}
WM-3	74.7±0.21 ^{abcde}	18.0±0.12 ^{ab}	2.4±0.19 ^{ab}	4.1±0.05 ^c
WM-4	73.9±0.48 ^a	18.3±0.29 ^{abc}	2.9±0.07 ^b	3.6±0.09 ^{ab}
HM-1	75.2±0.55 ^{cde}	18.0±0.25 ^{abc}	1.5±0.38 ^a	3.4±0.03 ^a
HM-2	74.3±0.23 ^{abc}	18.3±0.12 ^{abc}	1.5±0.10 ^a	4.0±0.08 ^c
HM-3	75.6±0.27 ^e	18.5±0.13 ^{bc}	1.6±0.45 ^a	3.8±0.04 ^{bc}
MM	74.2±0.15 ^{ab}	18.6±0.29 ^c	2.3±0.59 ^{ab}	3.8±0.11 ^{bc}
WMM	74.1±0.05 ^{ab}	17.7±0.04 ^a	1.9±0.33 ^{ab}	3.9±0.07 ^{bc}
HM+MM	74.6±0.18 ^{abcd}	18.5±0.08 ^{bc}	1.4±0.08 ^a	3.7±0.06 ^{ab}

¹ Values (mean ± S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

이와 같이 어분의 품질이 양식어의 성장 및 사료이용율에 미치는 영향을 고려하여 볼 때, 양식대상종에 적합한 어분의 선택은 사료의 품질향상 및 원가절감을 위하여 신중히 고려되어야 할 것이다.

제 2 절 치어 및 성장기 넙치 사료의 어분 대체 단백질원으로서 육분, 대두박 및 콘글루텐밀의 이용성

1. 서론

최근에 넙치의 각종 영양소 요구량 구명(Lee et al., 2000, 2003, 2004)에 대한 연구가 수행되어 왔으며, 앞 연구에서 사료의 주 단백질원으로 어분 종류별 이용성을 조사하였다. 이러한 어분들의 품질은 종류, 가공 방법, 생산 년도 등에 따라 다소 차이를 보이기는 하나, 대체로 조단백질 함량이 높고, 어류에 필요한 영양소, 특히 아미노산 조성이 고르게 갖추어져 있는 양질의 단백질이다. 하지만 어분은 가격이 비싸고 공급이 불안정한 점 등 문제점이 잠재되어 있기 때문에 사료 설계시 사료 단가를 낮추기 위해서는 어분 첨가량을 줄이는 것이 중요하다. 이러한 대체단백질원으로는 식물성과 동물성 원료가 있으며, 식물성 원료로는 대두박, 콘글루텐 밀, 채종박, 면실박, 캐놀라밀, 야자박, 아마박, 루핀, 연지박, 호마박, 해바라기박, 식물성농축단백질 등이 있고, 동물성으로는 육분, 육골분, 혈분, 우모분, 난각분, 가수분해 가금부산물 등을 들 수 있다. 이러한 단백질들은 식품가공 중에 나오는 부산물로서, 가축 사료로 많이 사용되고 있는 것들이다. 본 연구에서는 넙치 치어 및 성장어 사료의 어분 대체 단백질원으로써 육분, 대두박 및 콘글루텐밀의 이용성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험 사료 원료의 영양성분은 Table 1에 나타내었다. Table 2에 표시한 바와 같이 대조사료는 고등어 어분 (간접식, 칠레)을 주 단백질원으로 사용하였으며, 오징어간유를 지질원으로, 소맥분과 알파전분을 탄수화물원으로 각각 사용하여 모든 실험사료의 영양소 함량이 넙치의 성장에 맞도록 설계하였다 (Lee et al., 2002). 어분 대체 단백질원으로서 육분, 대두박 및 콘글루텐밀의 이용성을 조사하기 위하여 대조사료의 어분 및 소맥분 대신 육분, 대두박 및 콘글루텐밀을 첨가하여 모두 4 종류의 실험사료를 설정하였다. 이와 같이 설계된 원료들을 분말형태로 잘 혼합하고, 물을 적당히 첨가하여 수분이 30% 전후가 되도록 하여 moist pellet 제조기로 실험사료를 압출 성형하였다. 성형된 사료는 실온에서 24시간 건조한 후 -30°C 에 보관하면서 사료 공급시 마다 사용하였다.

Table 1. Proximate and amino acids composition of the ingredients used to test diets

	Ingredients				
	MFM ^a	MM ^b	SM ^c	WF ^d	CGM ^e
<i>Proximate analysis (% in dry matter)</i>					
Crude protein	75.31	74.41	51.82	11.68	74.30
Crude lipid	7.86	10.79	1.44	1.02	1.87
Crude ash	15.66	13.20	7.15	1.00	8.55
Gross energy (kcal / 100g)	478.8	502.7	454.7	412.4	568.9

^a Mackerel fish meal was produced by steam dry method.

^b Meat meal. ^c Soybean meal. ^d Wheat flour. ^e Corn gluten meal.

Table 2. Ingredients and nutrient content of the experimental diets

	Protein sources			
	Con	MM	SM	CGM
<i>Ingredients</i>				
Mackerel fish meal	57.0	47.0	47.0	47.0
Meat meal		12.0		
Soybean meal			16.0	
Corn gluten meal				11.0
Squid liver oil	1.0	2.0	2.0	2.0
Wheat flour	26.0	23.0	19.0	24.0
α -starch	10.0	10.0	10.0	10.0
Vitamin premix	2.5	2.5	2.5	2.5
Mineral premix	3.0	3.0	3.0	3.0
Choline chloride cellulose	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>Nutrient content</i>				
Crude protein (% DM)	47.71	47.57	47.35	48.10
Crude lipid (% DM)	5.26	6.84	4.92	6.10
Ash (% DM)	8.17	9.33	8.58	7.98

실험어 및 사육관리

사육 실험은 치어의 경우 평균 체중 0.7 g 전후의 넙치를 300 L FRP 원형수조에 50마리씩, 성장어의 경우에는 55.7 g 전후의 넙치를 300 L FRP 원형수조에 15마리씩 각 사료마다 3 반복으로 수용하여 실시하였다. 사료는 매일 3회 (07:00, 12:00, 17:00) 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져 주었으며, 사육수는 치어와 성장어의 수조에 분당 2 L와 8 L로 조정하여 흘러주었으며, 사육기간 동안의 수온은 $19.5 \pm 2.76^\circ\text{C}$ (평균 \pm 표준편차)였고, 비중은

1.024±0.0015 였다. 실험 개시시와 종료시에 측정 전일 절식시킨 후 각 실험수조에 수용된 실험어 전체의 무게를 측정하였다.

성분분석 및 통계처리

어체의 성분 분석용으로 사육 실험 시작시 치어 50마리와 성장어 20마리를 sample하였으며, 실험 종료시에는 24시간 절식시킨 후에 각 실험수조에 수용된 실험어 전체를 sample하여 냉동(-75℃) 보관하였다. 사육실험 종료 후, 증중율, 생존율, 사료효율, 일일 사료섭취율, 일일단백질섭취율, 단백질효율을 조사하였으며, 실험사료와 어체의 화학성분 분석은 앞실험과 동일하게 하였다.

3. 결과 및 고찰

8주간 사육실험 한 넙치 성장어 및 치어의 성장결과를 Table 3와 4에 각각 나타내었다. 넙치 치어의 성장결과는 각 사료에 유의한 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$). 성장어의 경우, 생존율, 증중율, 사료효율 및 단백질효율은 사료의 대체 단백질 원료에 따른 유의한 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$). 일일사료섭취율과 일일단백질 섭취율은 대두박을 첨가한 사료가 육분과 콘글루텐밀을 첨가한 사료보다 유의하게 높게 나타났다 ($P<0.05$).

사육실험 시작시와 종료시 넙치 성장어 및 치어의 전어체의 조성분 분석 결과를 Table 4에 나타내었다. 성장어의 수분, 조단백질, 조지질 함량은 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 치어의 수분, 조지질, 조회분 함량은 모든 실험구간에 유의한 영향을 받지 않았으나 ($P>0.05$), 조단백질 함량은 ($P<0.05$) 유의한 영향을 받았다.

Table 3. Growth performance of juvenile (0.7 g/fish) and grower (55.7 g/fish) flounder fed the diets containing each of meat meal (MM), soybean meal (SM) and corn gluten meal (CGM) replacing fish meal for 8 weeks¹

	Protein sources			
	Con	MM	SM	CGM
Juvenile				
Initial weight (g/fish)	0.7±0.05 ^{ns}	0.7±0.00	0.7±0.00	0.7±0.03
Weigh gain (%) ²	857±61.3 ^{ns}	478±139	574±137	704±249
Feed efficiency ratio (%) ³	69.3±2.95 ^{ns}	45.7±7.86	46.8±8.71	64.0±15.52
Daily feed intake (%) ⁴	3.8±0.09 ^{ns}	4.4±0.15	4.4±0.21	3.6±0.28
Daily protein intake (%) ⁴	1.82±0.042 ^{ns}	2.10±0.069	2.11±0.102	1.72±0.135
Protein efficiency ratio (%) ⁵	1.45±0.064 ^{ns}	0.96±0.163	0.99±0.182	1.33±0.323
Grower				
Initial weight (g/fish)	59.5±2.00	54.7±2.29	54.7±0.76	53.0±0.95
Weigh gain (%) ²	106±1.3 ^{ns}	107±11.7	110±11.8	113±8.3
Feed efficiency ratio (%) ³	80.2±2.17 ^{ns}	80.2±4.94	75.6±3.24	86.3±2.03
Daily feed intake (%) ⁴	1.46±0.055 ^{ab}	1.45±0.038 ^a	1.60±0.032 ^b	1.42±0.055 ^a
Daily protein intake (%) ⁴	0.70±0.026 ^{ab}	0.69±0.018 ^a	0.76±0.012 ^b	0.69±0.026 ^a
Protein efficiency ratio (%) ⁵	1.68±0.046 ^{ns}	1.68±0.101	1.60±0.069	1.80±0.041

¹ Values (mean±SE of three replication groups) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Final body weight-initial body weight)×100/initial body weight.

³ Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter)

⁴ Feed (or protein) intake (dry matter) × 100/[initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days fed/2.

⁵ Fish wet weight gain/protein intake.

^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 4. Proximate analysis (% DM) in the whole body of juvenile (0.7 g/fish) and grower (55.7 g/fish) flounder fed the diets containing each of meat meal (MM), soybean meal (SM) and corn gluten meal (CGM) replacing 10% fish meal for 8 weeks¹

	Initial	Protein sources			
		Con	MM	SM	CGM
Juvenile					
Moisture	79.5	78.0±0.17	78.1±0.13	78.5±0.24	77.9±0.25
Crude protein	14.5	16.5±0.12 ^{ab}	16.3±0.23 ^{ab}	15.8±0.29 ^a	16.9±0.37 ^b
Crude lipid	0.6	0.7±0.13	1.1±0.26	0.8±0.18	1.0±0.05
Crude ash	3.6	4.0±0.16	4.2±0.09	4.1±0.06	4.3±0.46
Grower					
Moisture	74.9	74.9±0.49	74.4±0.66	73.6±0.34	74.7±0.46
Crude protein	19.0	18.8±0.53	18.6±0.40	19.1±0.43	18.6±0.27
Crude lipid	1.8	1.9±0.09	2.2±0.27	2.4±0.23	2.2±0.04
Crude ash	3.8	3.3±0.09	3.6±0.06	3.4±0.12	3.5±0.08

¹ Values (mean±SE of three replication groups) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

대두박 이용성에 관해서는 킬라피아(Jackson et al., 1982; Viola et al., 1988; Wee and Shu, 1989), 잉어(Dabrowski and Kozak, 1979; Murai et al., 1986, 1989; Viola et al., 1983), 송어(Smith, 1988) 및 메기(Robinson et al., 1985; Wilson and Poe, 1985) 등에 대해서 연구되어 담수어 사료에 널리 이용되고 있다. 또한, 해산어인 방어에 대해서도 Lee et al. (1991) 및 Shimeno et al. (1993b)이 대두박 이용성에 대해서 연구한 결과 30%까지 첨가하여 어분을 약 20%까지 대체가능한 것으로 보고하였으며, red drum, *Sciaenops ocellatus* (Reigh and Ellis, 1992)은 어분을 26%까지 대체하는 것이 경제적으로 좋은 사료라고 발표하였다. 이 외에도 넙치의 일종인 plaice, *Pleuronectes platessa* (Cowey et al., 1971, 1974) 및 갑각류인 red swamp crawfish, *Procambarus clarkii* (Robert et al., 1993; Lochmann et al., 1992)에 대해서도 연구된 바 있다.

대두박에는 trypsin inhibitor와 같은 영양저해요소(anti-nutritional factor)가 함유되어 있어 단백질의 이용성을 감소시킬 수 있을 뿐 아니라 Met이나 Lys같은 필수아미노산이 어분에 비해 낮게 함유되어 있으며, 대두박 중의 인은 phytic acid에 결합되어 있어 그 이용

성이 낮은 편이다. 그래서 많은 학자들이 대두박의 이용성을 높이기 위해서 영양저해요소를 제거시키거나 감소시키는 방법을 사용하고 있다. 예를 들어, 열에 약한 trypsin inhibitor의 특성을 이용하여 대두박을 적당히 열처리(cooking, toasting, extrusion)하여 성장효과를 개선할 수 있는 것으로 보고하였다(Wilson and Poe, 1985; Viola et al., 1983; Smith, 1988). 또한 대두박에 부족한 아미노산으로 인해 성장이 저해되는데(Cowey et al., 1971; Dabrowski and Kozak, 1979; Jackson et al., 1982), 대두박에 부족한 Met같은 아미노산이나 인을 사료에 보충하여 성장을 개선시키는 연구도 수행되고 있다(Murai et al., 1982; Dabrowska and Wojno, 1977; Shiao et al., 1988). 반면에 아미노산이나 인을 인위로 사료에 부족한 양만큼 보충하여도 성장개선효과가 없었다는 연구보고도 있다(Lee et al., 1991; Lim and Dominy, 1989; Andrew and Page, 1974).

본 실험에 사용한 대두박은 탈지압착하고 가열처리되어 상품화된 것이기 때문에 많은 량의 trypsin inhibitor가 제거되었을 것으로 생각된다. 방어를 대상으로 한 Lee et al. (1991)의 실험에서 대두박의 trypsin inhibitor 함량을 추정할 수 있는 지표로 protein solubility index를 측정해 본 결과, 어류에 큰 영향을 미칠 만큼 그 값이 높지 않는 것으로 나타났다. 또한 대두박으로 어분을 대체함으로써 사료 중의 인 함량이 적어지는데, 본 실험에서는 실험사료 중의 mineral premixture에 인을 충분히 첨가하였기 때문에 인이 부족하지는 않았다고 판단된다.

콘글루텐 밀은 조단백질 함량이 70% 정도로 다른 식물성단백원보다 더 높아서 다른 원료와 잘 혼합하여 사용하면 다른 원료에 부족한 영양소의 보완효과 등 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이라 판단된다. 이와 같은 콘글루텐 밀은 캐로틴, 크산토피 및 by-pass 단백질 함량이 높은 특성이 있어 닭이나 반추동물의 사료로 많이 사용되고 있다. 하지만 어류를 대상으로 한 연구는 거의 수행되어 있지 않다.

육분은 도살장이나 가공공장에서 나온 부산물(육편 등)들과 먹을 수 없는 부분 및 기관, 내장 등으로부터 만들어지는데, 원료를 가열처리한 후 압착해서 지방을 제거하고 고형분을 건조 분쇄한 것이다. 해산어용 사료단백원으로 육분의 이용성에 관한 연구보고는 거의 없고, 본 실험에 사용된 육분의 단백질 함량은 76%로 매우 높다. 이러한 육분은 육골분에 비해 그 생산량이 매우 적어서, 가축용으로는 주로 육골분이 사용되고 있다.

본 연구 결과를 바탕으로 대체원의 적정 첨가량 구명과 함께 이에 대해서는 계속 연구를 수행하여 혼합 첨가의 최적 비 등을 밝히는 것이 중요하다.

제 3 절 조피볼락 치어 배합사료의 어분 대체 단백질원으로 육분 이용성

1. 서론

우리나라에서는 1980년대 중반 이후부터는 조피볼락을 비롯하여 넙치, 돔류, 농어 등의 양식이 괄목할 만큼 발달하기 시작하였다. 이 중, 조피볼락은 저온에 강하고, 종묘 생산이 용이하여 양식 대상종으로 개발 가치가 매우 높아 우리나라의 가장 중요한 해산 양식 어종이지만, 아직까지도 육성용 먹이로 냉동 생사료가 주로 사용되고 있는 실정이다. 이러한 생사료 사용은 사료유실로 인한 수질오염, 병원균의 전염, 영양소 불균형으로 인한 영양성 질병 발생 및 원료단가 상승 등의 많은 문제점을 발생시키고 있다.

해산어 사료의 주 단백질원으로 사용되는 어분은 영양소의 균형이 고루 갖추어진 양질의 단백질원이지만, 최근에는 어류 양식 산업의 빠른 발전과 해양 자원 고갈이 문제되고 있다. 또한, 양식에 필요한 양질의 단백질 원인 어분의 수급이 어려워졌을 뿐만 아니라 가격이 급등하고 있으므로, 사료원가를 낮추기 위해서는 어분을 대체할 수 있는 단백질원의 개발이 필요하다(Lawrence and Lee, 1997). 이미 타 어종의 경우 어체 대체 단백질원으로 동물성 단백질원인 육분 이용성이 연구되어 왔지만(Lovell, 1992; Shimeno et al., 1993a,b, 1996; Tacon, 1994), 조피볼락 사료의 적정 육분 함량은 밝혀지지 않았다. 그래서 본 연구는 조피볼락 치어사료의 적정 육분 함량을 조사하기 위하여 사료내 육분함량이 조피볼락 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향에 관하여 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험사료 원료로 사용된 고등어 어분, 육분, 맥주효모, 소맥분의 일반성분 및 필수아미노산 조성을 Table 1에 나타내었다. 실험사료의 조성은 Table 2에 나타낸 바와 같이 고등어 어분을 주 단백질원으로 사용하였으며, 탄수화물원으로 α -전분과 소맥분을, 지질원으로 오징어간유를 각각 사용하여 모든 실험사료의 영양소 함량이 조피볼락의 성장에 적합하도록 설계하였다 (Lee et al., 1994, 1998b, 2002). 육분의 이용성을 조사하기 위하여 대조사료의 주 단백질원인 고등어 어분 대신 육분을 10%, 20%, 30% 및 40% 첨가하여 대조사료를 포함한 총 5종류의 실험사료를 설계하였다. 실험사료의 영양성분은 Table 3에 표시하였다. 이와 같이 설계된 원료들을 분말형태로 잘 혼합하고, 물을 첨가한 후 펠렛 제조기로 실험사료를 압출성형한 후, 12시간 상온에서 건조하였다. 제조된 실험사료는 -25℃의 냉동고에 보관하면서 사료 공급시 마다 사용하였다.

Table 1. Proximate analysis and essential amino acid composition of the dietary ingredients

	Protein sources			
	Mackerel meal ¹	Meat meal ²	Brewer's yeast	Wheat flour
<i>Proximate composition (% of dry matter basis)</i>				
Moisture	8.73	4.96	3.60	10.45
Crude protein	75.31	74.41	48.69	11.68
Crude lipid	7.86	10.79	1.97	1.03
Crude ash	15.66	13.20	9.13	1.00
<i>Essential amino acids (% in protein)</i>				
Arg	6.7	5.7	6.2	6.5
His	4.0	3.2	3.6	4.1
Ile	4.0	4.0	4.0	3.9
Leu	8.2	10.1	9.2	8.6
Lys	8.4	6.1	7.4	7.1
Met +Cys	3.0	1.8	1.6	1.6
Phe +Tyr	7.3	7.6	7.9	7.6
Thr	5.1	4.7	4.9	4.7
Val	5.6	5.7	5.5	5.6
Total	52.3	48.9	50.3	49.7

¹ Produced by steam dry method, imported from Chile.

² Provided by Shinchon meat meal Ind. Co., Incheon Korea.

Table 2. Ingredients (% as air-dried) of the experimental diets

<i>Ingredients (%)</i>	<i>Meat meal levels (%)</i>				
	0	10	20	30	40
Mackerel meal	55.0	47.0	39.0	31.0	23.0
Meat meal	-	10.0	20.0	30.0	40.0
Wheat flour	26.0	24.0	22.0	20.0	18.0
Alpha-starch	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Brewer's yeast	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Squid liver oil	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Vitamin premix ¹	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Mineral premix ²	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
<i>Sargassum</i> meal	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Choline salt	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

¹ Vitamin mix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003.

² Mineral mix contained the following ingredients (g/kg mix): MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

Table 3. Proximate analysis and essential amino acid composition of the experimental diets

	Meat meal levels (%)				
	0	10	20	30	40
<i>Proximate analysis (% dry basis)</i>					
Dry matter	73.1	72.4	72.1	75.6	79.4
Crude protein	48.0	47.8	47.1	48.4	48.6
Crude lipid	11.0	11.2	11.7	12.1	13.8
Ash	8.6	9.6	10.7	11.4	12.1
Gross energy (Kcal/g)	5.0	5.1	4.9	5.0	5.1
<i>Essential amino acids (% in protein)</i>					
Arg	6.6	6.8	7.1	7.2	7.5
His	4.7	4.3	4.1	3.9	3.6
Ile	4.0	3.9	3.8	3.6	3.4
Leu	8.0	7.8	7.7	7.6	7.4
Lys	8.5	8.1	7.8	7.4	7.1
Met +Cys	2.5	3.4	2.3	2.2	2.0
Phe +Tyr	7.3	7.2	7.1	6.9	6.8
Threonine	5.2	5.1	4.9	4.9	4.6
Val	5.7	5.3	5.8	5.7	5.5
Total	52.3	51.8	50.6	49.5	48.0

실험어 및 사육관리

사육실험은 강원도 수산양식시험장에서 종묘 생산되어 사육된 조피볼락 치어를 실험수조에 수용하여 2주간 예비사육한 후, 평균체중 4.1 g의 실험어를 선별하여 300L FRP 원형수조에 각각 30마리씩 각 실험사료마다 3반복으로 수용하여 8주간 실시하였다. 실험사료를 하루에 2회 (0900, 1700) 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져 주었다. 여과 해수를 각 실험수조 마다 분당 약 5L로 조정하여 흘려주었고, 사육기간 동안의 수온은 17.8±2.3°C (평균 ± 표준편차), 비중은 1.024±0.0013였다. 어체 측정은 실험 개시시와 종료시에 측정 전일 실험어를 절식시킨 후 100 ppm의 MS₂₂₂ (tricainemethane sulfonate, Sigma, USA) 에 마취시켜 각 실험수조에 수용된 실험어의 전체무게를 측정하였다.

성분분석

어체 성분분석을 위하여 실험개시시 20마리를 무작위 sample하였다. 혈장성분의 변화를 조사하기 위해 실험 종료시 어체 측정과 동시에 각 실험구 당 6마리씩 (3반복) 무작위로 조피볼락을 추출하여 heparin sodium 주사액 (녹십자, 경기도)이 처리된 1회용 주사기로 미부 혈관에서 채혈하였다. 각 수조에서 채혈하고 남은 모든 실험어를 sample로 취하여 -75°C 에 냉동보관하면서 분석용 시료로 사용하였다. 실험사료 및 어체의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질은 ($\text{N} \times 6.25$)은 Auto Kjeldahl system (Buchi B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 Soxhlet 추출법 (ether 추출법), 수분은 105°C 의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였다. 조회분은 550°C 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였다. 총 사료에너지는 Adiabatic bomb calorimeter (Parr 1356, USA)를 이용하였다. 또한, 총 아미노산은 시료를 6 N HCl로 110°C sand bath 상에서 24시간 가수분해한 후, 감압농축하고, pH 2.20 Na-citrate buffer로 정용하여, Automatic amino acid analyzer (Hitachi L-8800, Japan)를 사용하여 분석하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 SPSS Version 7.5 (SPSS Inc., Michigan Avenue, Chicago, Illinois, USA) program을 사용하여 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

육분을 각기 다른 함량으로 첨가한 총 5종류의 사료로 8주간 조피볼락 치어를 사육 실험한 결과를 Table 4에 나타내었다. 생존율은 모든 실험구가 90% 이상이었으며 실험구간에 유의적 차이는 없었다. 증중율, 사료효율 및 단백질효율은 육분의 첨가량에 따라 실험구간에 유의적 차이를 보였다($P < 0.05$). 증중율은 10% 및 20% 육분 첨가구가 각각 378%와 364%로 대조구의 388%와 통계적인 차이 없이 양호한 결과를 보였으며, 30% 육분 첨가구의 증중율은 341%로 나타나 대조구와 10%육분 첨가구보다 유의적으로 낮았으나($P < 0.05$), 20%육분 첨가구와는 차이가 없었으며, 40% 육분 첨가구가 가장 낮은 증중율을 보였다($P < 0.05$). 사료효율 및 단백질효율 또한 대조구 및 10% 육분 첨가구가 30% 및 40% 육분 첨가구들보다 유의하게 높았지만($P < 0.05$), 20% 육분 첨가구와는 유의한 차이가 없었다. 이와 같이 10%~20% 육분을 첨가한 사료를 먹은 조피볼락 치어의 성장 및 사료효율이 대조구와 비교하여 차이가 없는 결과를 고려하여 볼 때, 조피볼락 치어 사료의 어분 대체 단백질원으로 육분의 첨가량은 10~20%가 적절한 것으로 판단된다. 어분 대체 단백질원으로써 육분 이용성에 대한 연구는 타 어종들에서도 이미 수행되었는데, tilapia,

gilthead seabream, 무지개송어 및 방어와 같은 육식성 및 잡식성 어종 모두에서 어분 대체 단백질원으로써 적정 육분 첨가량은 30%~70%인것으로 보고되었다(Davies et al., 1989, 1993; Watanabe and Pongmaneerat, 1991; Shimeno et al., 1993a,b). 본 실험에서 30%~40% 육분을 첨가한 사료를 먹은 실험어의 경우, 성장 및 사료효율이 유의적으로 감소하였다 ($P<0.05$). 아직까지 조피볼락 치어의 필수아미노산 요구량이 구명되지는 않았지만, 어분에 비하여 육분의 메티오닌 함량이 적다는 점을 고려하여 볼 때, 사료에 육분 첨가비가 높아질수록 메티오닌 함량이 감소하게 되고 사료의 필수아미노산 균형이 낮아짐에 따라서 조피볼락의 성장 및 사료효율이 감소하였을 것으로 판단된다. 이러한 원료들의 필수아미노산 부족을 보완하기 위하여 별도로 아미노산을 보충하는 연구들도 수행되었는데, Lee et al.(1996)는 조피볼락 치어를 대상으로 사료 단백질원으로 어분을 동물성 및 식물성 단백질원으로 대체한 실용사료에 아미노산 보충효과를 조사한 결과, 성장 및 사료효율 개선효과는 나타나지 않았다고 보고하였으며, 잉어를 대상으로 한 연구에서도 유사한 결과를 보였다(Murai et al., 1984; 1989).

Table 4. Growth performance of juvenile rockfish (4.1 g/fish) fed diets containing various meat meal levels for 8 weeks

	Meat meal levels (%)				
	0	10	20	30	40
IMW ¹ (g/fish)	4.1±0.10	4.1±0.06	4.0±0.11	4.2±0.17	4.0±0.04
Survival (%)	97±0.0	99±1.0	100±0.0	93±5.2	100±0.0
WG ² (%)	388±9.3 ^c	378±9.6 ^c	364±8.5 ^{bc}	341±8.2 ^b	297±10.5 ^a
FE ³ (%)	87±2.0 ^b	87±3.8 ^b	82±1.2 ^{ab}	79±0.6 ^a	77±1.9 ^a
DFI ⁴ (%)	2.56±0.037	2.59±0.118	2.71±0.061	2.68±0.030	2.67±0.103
PER ⁵	1.81±0.016 ^c	1.82±0.079 ^c	1.74±0.025 ^{bc}	1.63±0.012 ^{ab}	1.59±0.040 ^a

Values (mean±SE of three replications) in each column with a different letter are significantly different ($P<0.05$).

¹Initial mean weight.

²Weight gain = Weight gain of fish × 100 / initial fish weight.

³Feed efficiency = Fish weight gain × 100 / feed intake (dry matter).

⁴Daily feed intake = [Feed (protein) intake (dry matter) × 100] / [(initial fish weight + final fish weight)/2] × days.

⁵Protein efficiency ratio = Fish wet weight gain / protein intake.

일일사료섭취량은 모든 실험구에서 2.56%~2.71%였으며 실험구간에 통계적인 차이가 없었다. 비만도, 간중량지수 및 장중량지수는 모든 실험구간에 통계적 차이를 나타내지 않았다(Table 5).

Table 5. Condition factor, visceralsomatic index and hepatosomatic index of juvenile rockfish fed diets containing various meat meal levels for 8 weeks

	Meat meal levels (%)				
	0	10	20	30	40
CF ¹	1.9±0.30	1.9±0.06	1.9±0.33	2.0±0.03	1.9±0.06
VS ²	4.5±0.14	4.2±0.17	4.6±0.28	4.3±0.22	4.5±0.40
HS ³	3.89±0.198	4.05±0.124	4.14±0.084	4.21±0.149	3.68±0.104

¹Condition factor = (body weight × 100) / total body length (cm)³.

²Visceralsomatic index = viscera weight × 100 / body weight.

³Hepatosomatic index = liver weight × 100 / body weight.

Table 6. Proximate composition (%) of the whole body in juvenile rockfish fed the experimental diets for 8 weeks

	Initial	Meat meal levels (%)				
		0	10	20	30	40
Moisture	73.1	69.2±0.18 ^a	69.2±0.38 ^a	69.2±0.15 ^a	69.7±0.12 ^{ab}	70.0±0.27 ^b
Crude protein	15.4	16.4±0.40	16.6±0.12	16.3±0.11	16.3±0.07	16.2±0.11
Crude lipid	3.4	9.03±0.37 ^b	9.3±0.13 ^b	9.0±0.14 ^b	8.0±0.39 ^a	7.5±0.26 ^a
Ash	5.3	4.0±0.09 ^a	3.9±0.22 ^a	4.1±0.09 ^{ab}	4.1±0.05 ^{ab}	4.5±0.09 ^b

¹Values (mean±SE of three replications) in each column with a different letter are significantly different (P<0.05).

실험 종료시 전어체와 간의 일반성분 분석결과를 Table 6에 나타내었다. 전어체의 수분 함량은 대조구, 10% 및 20% 육분 첨가구들이 40% 육분 첨가구에 비해 유의하게

낮았지만($P<0.05$), 30% 육분 첨가구와는 차이가 없었다. 전어체의 단백질 함량은 실험구 간에 유의한 차이가 없었으며, 지질 함량은 대조구, 10% 및 20% 육분 첨가구들이 30% 및 40% 육분 첨가구에 비해 유의하게 높았다($P<0.05$). 전어체의 회분 함량은 대조구 및 10% 육분 첨가구가 40% 육분 첨가구에 비해 유의하게 낮았지만($P<0.05$), 20% 및 30% 육분 첨가구들과는 통계적인 차이가 없었다.

간조직의 수분, 단백질 및 지질 함량은 실험구들간에 유의한 차이가 없었다 (Table 7). 또한, 혈장의 총단백질 및 글루코오스 함량에서도 실험구들간에 유의적 차이를 보이지 않았다(Table 8).

Table 7. Proximate composition (%; mean \pm SE of three replications) of the liver in juvenile rockfish fed the experimental diets for 8 weeks

	Meat meal levels (%)					
	Initial	0	10	20	30	40
Moisture	62.4	58.1 \pm 0.42	57.8 \pm 0.20	56.4 \pm 0.82	56.1 \pm 0.57	58.1 \pm 1.25
Crude protein	12.7	10.0 \pm 0.08	9.7 \pm 0.42	9.3 \pm 0.04	9.3 \pm 0.28	9.7 \pm 0.20
Crude lipid	14.8	12.3 \pm 0.93	13.7 \pm 1.60	13.5 \pm 0.56	14.6 \pm 2.31	17.1 \pm 2.07

Table 8. Blood chemistry (mean \pm SE of three replications) of juvenile rockfish fed the experimental diets for 8 weeks

	Meat meal levels (%)				
	0	10	20	30	40
Total protein (g/dl)	3.63 \pm 0.186	3.77 \pm 0.186	3.90 \pm 0.100	3.97 \pm 0.067	3.97 \pm 0.260
Glucose (mg/dl)	42.3 \pm 7.78	38.7 \pm 8.59	40.5 \pm 2.93	42.8 \pm 8.87	49.9 \pm 12.47

이상의 연구 결과로 볼 때, 조피볼락 치어용 배합사료에 어분 대체 단백질원으로서 동물성 단백질원인 육분을 10~20%까지 첨가할 수 있어 사료단가를 절감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

제 4 절 넙치 사료의 어분 대체 단백질원으로 육분 이용성

1. 서론

넙치는 한국에서 20년 이상 높은 생산량과 높은 가격으로 인하여 상업적으로 가장 중요한 해산어류이다 (KNSO, 2003). 그동안 넙치 생산에 있어 어분대체 단백질원에 대한 연구가 수행되어왔다 (Kikuchi et al., 1994a, 1994b, 1994c; Kikuchi et al., 1997 Sato and Kikuchi, 1997; Cho et al., 2005). Sato and Kikuchi (1997)는 20°C에서 유어 넙치(시작시 무게: 3 g)에 백색어분 60% 대신에 어분으로 대체가 가능하다고 보고하였으며, 육분에 결핍된 아미노산을 첨가하여도 넙치의 성장이 향상되지 않는다고 보고하였다. 그러나 어분의 대체원으로 육분이 아주 우수하다고 몇몇 해산어류에서 보고 된 바 있다 (Shimeno et al., 1993a, 1993c; Lee, 2002; Millamena, 2002). 사육수온은 사료내 영양염의 소화 능력 또는 이용성에 크게 영향을 주기 때문에 어분대체원으로 육분의 대체 효과에 크게 영향을 미칠 수 있다. 앞 연구에 이어서 본 연구에서는 겨울철에 넙치 사료의 어분 대체원으로 육분의 첨가 시 이에 따른 넙치 성장과 체조성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험어의 준비

넙치는 경북 울진에 위치한 개인 넙치 양어장에서 구입하여 실험실로 수송하였다. 25마리의 유어(시작시 무게: 23.0±0.08 g) 넙치를 250 L 유수식 수조(수량: 150 L)에 수용하여 사육실험 환경에 적응시켰다. 적응 기간동안 조단백질 함량 52%, 조지질 함량 8%가 함유된 시판용 사료(제일제당, 한국)를 손으로 1일 2회 공급하여 주었다.

실험사료의 준비

본 실험에는 총 4종류의 실험사료(대조구, MM20, MM40 와 MM60)를 두었으며, 각 사료는 3 반복구를 두었다: 대조구 사료는 단백질원으로 고등어분 60%를 사용하였다. 실험 사료 MM20, MM40와 MM60 사료는 각각 20%, 40%와 60%의 고등어분을 대신하여 육분으로 대체하였다 (Table 1). 실험 사료에 사용된 성분의 아미노산 조성은 Table 2에 나타내었다. 육분의 lysine (Lys)과 methionine+cystine (Met+Cys) 함량은 고등어분보다 비교적 낮았지만, leucine (Leu) 함량은 비교적 높았다. 소맥분과 α-전분 및 오징어 간유를 실험사료의 주요 탄수화물 및 지질원으로 이용하였다. 실험 사료는 물과 7:3으로 잘 혼합하여, 실험용 사료제조기를 이용하여 성형하여 건조시킨 후 -20°C에서 보관하면서 사용하였다.

Table 1. Ingredients (%) and proximate analysis of the experimental diets

	Diets			
	Control	MM20	MM40	MM60
Ingredients				
Mackerel meal ¹	60	48	36	24
Meat meal ²		15	30	45
Wheat flour	26.8	24	21.2	18.4
α -starch ³	5	5	5	5
Brewer yeast	2	2	2	2
Squid liver oil	2	1.8	1.6	1.4
Vitamin premix ⁴	2	2	2	2
Mineral premix ⁵	2	2	2	2
Choline (50%)	0.2	0.2	0.2	0.2
Nutrients (%)				
Crude protein	48.7	50.4	51.7	54.3
Crude lipid	7.5	7.0	7.4	7.9
Ash	9.2	9.4	9.8	10.4

¹Produced by steam dry method, imported from Chile.

²Provided by Shinchon Feed Co. Ltd., Incheon, Korea.

³Sigma Chemical, St. Louis, MO, USA.

⁴Vitamin premix contained the following amount that were diluted in cellulose (g/kg mix): L-ascorbic acid, 121.2 DL- α -tocopheryl acetate, 18.8 thiamin hydrochloride, 2.7 riboflavin, 9.1 pyridoxine hydrochloride, 1.8 niacin, 36.4 Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8 D-biotin, 0.27 folic acid, 0.68 p-aminobenzoic acid, 18.2 menadione, 1.8 retinyl acetate, 0.73 cholecalciferol, 0.003 cyanocobalamin, 0.003.

⁵Mineral premix contained the following ingredients (g/kg mix): MgSO₄·7H₂O, 80.0 NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0 KCl, 130.0 ferric citrate, 40.0 ZnSO₄·7H₂O, 20.0 Ca-lactate, 356.5 CuCl, 0.2 AlCl₃·6H₂O, 0.15 KI, 0.15 Na₂Se₂O₃, 0.01 MnSO₄·H₂O, 2.0 CoCl₂·6H₂O, 1.0.

Table 2. Proximate analysis and essential amino acids compositions of the ingredients

	Protein source			
	Mackerel ¹	Meat meal ²	Wheat flour	Brewer's yeast
Proximate composition (% of DM basis)				
Moisture	8.7	5.0	10.5	3.6
Crude protein	75.3	74.4	11.7	48.7
Crude lipid	7.9	10.8	1.0	2.0
Ash	15.7	13.2	1.0	9.1
Essential amino acids (% in protein)				
Arg	6.7	5.7	6.5	6.2
His	4.0	3.2	4.1	3.6
Ile	4.0	4.0	3.9	4.0
Leu	8.2	10.1	8.6	9.2
Lys	8.4	6.1	7.1	7.4
Met+Cys	3.0	1.8	1.6	1.6
Phe+Tyr	7.3	7.6	7.6	7.9
Thr	5.1	4.7	4.7	4.9
Val	5.6	5.7	5.6	5.5
Total	52.3	48.9	49.7	50.3

¹Produced by steam dry method, imported from Chile.

²Provided by Shinchon meat meal Ind. Co., Incheon, Korea.

실험 조건

모래 여과시킨 해수를 각 수조에 6.6 L/min로 공급하였다. 사료는 1일 2회 (09:00 and 17:00) 손으로 만복 시까지 공급하여 주었다. 사육실험은 총 10주 동안 이루어 졌으며 실험기간동안 사육 수온은 9.5~16°C (평균±표준편차: 12.3±1.75°C)의 범위이었으며 빛은 자연광주기를 이용하였다.

실험어의 화학적 분석 및 혈액성상학적 분석

실험 시작 시와 종료 시 일반성분 분석을 위해 10 마리의 넙치를 샘플하여 일반성분 분석을 하였다. 표준방법(AOAC, 1990)에 의하여 조단백질 분석은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland)을 사용한 Kjeldahl법, 지질은 에테르 추출법, 수분 함량은 오븐(105°C, 24시간)을 이용하였으며 섬유질 함량은 자동분석기(Fibertec, Tecator, Sweden)로 측정하였고 회분은 furnace muffle(550°C, 4시간)을 이용하여 측정하였다. 넙치의 혈액성상을 조사하기 위하여 24시간 절식시킨 이후 MS-222(100 ppm)으로 마취시켜 각 수조에서 5 마리의 넙치 미부동맥에서 혈액샘플을 취하였다. 혈장은 원심분리 하여 -70°C에 저장한 후 혈장 단백질, 글루코스와 glutamic oxaloacetic transaminase (GOT)를 분석하였다.

통계학적 분석

실험구간의 유의성은 One-way ANOVA와 Duncan 다중분석법 (Duncan, 1955)으로 실시하였으며 SAS Version 9.1 (SAS Institute, Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

겨울철 10주 동안 실험사료를 공급한 넙치의 생존율, 어체중 증가(g/fish)와 일일성장율(SGR)을 Table 3에 나타내었다. 생존율은 실험사료에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다 ($P>0.05$). 이와 유사하게 어분의 육분 대체효과에 따른 넙치의 생존율은 영향을 받지 않았다 (Sato and Kikuchi, 1997).

Table 3. Survival (%), weight gain (g/fish), specific growth rate (SGR) of juvenile flounder (23 g/fish) fed the experimental diets substituting meat meal for fish meal for 10 weeks during the winter season (mean±S.E.)

Diets	Initial weight (g/fish)	Final weight (g/fish)	Survival (%)	Weight gain (g/fish)	SGR ¹
Control	23.1±0.05	56.1±2.75 ^a	96.0±2.31 ^{n.s.}	33.0±2.70 ^a	1.25±0.065 ^a
MM20	23.2±0.06	55.6±1.74 ^a	94.7±2.67	32.5±1.67 ^a	1.23±0.039 ^a
MM40	22.9±0.14	52.3±1.31 ^a	97.3±1.33	29.3±1.15 ^a	1.16±0.025 ^a
MM60	23.0±0.09	44.1±1.13 ^b	97.3±2.67	21.1±1.14 ^b	0.91±0.037 ^b

Different superscript letters within same columns are significantly different ($P<0.05$).

n.s.: Not significantly different ($P>0.05$).

¹SGR = (Ln final weight-Ln initial weight) × 100/days of feeding.

그러나 본 실험에서 대조구, MM20과 MM40 사료를 공급한 실험구에서의 넙치 어체중 증가와 일일성장율은 MM60 사료를 공급한 실험구에서의 넙치보다 유의적으로 높았다($P<0.05$). 이것은 겨울철 어분대체원으로 최대 40%까지의 육분을 대체한 사료를 공급한 유어 넙치의 성장이 어분기초 사료를 공급한 넙치와 유사하다는 것을 의미한다. 그러나 Sato and Kikuchi (1997)는 20°C에서 사육한 넙치의 경우 어분의 60% 까지 육분으로 대체할 수 있다고 보고하였다. 이러한 차이는 두 실험간의 사육수온이 크게 다르기 때문이다. 본 실험의 평균 수온은 12.3°C로서 Sato and Kikuchi (1997)의 실험(사육수온: 20°C)보다 낮았기 때문에 낮은 수온에서 낮은 대사율에 기인하여 육분의 대체율이 낮게 나타

난 것 같다. 또한 두 실험간의 대조구의 단백질 함량 차이에 따른 차이로도 해석할 수 있다. 본 실험과 비교하여 Sato and Kikuchi (1997) 실험에서의 대조구 사료는 단백질 함량 (55.6%)이 높았기 때문에 높은 비율의 육분으로 대체하여도 넙치의 성장 감소가 일어나지 않을 수도 있다. 방어에 있어서 어분대체를 위해 40%의 육분대체사료를 공급하였을 경우 어분기초사료를 공급한 방어의 성장과 유사하였다 (Shimeno et al., 1993a). 어분대신 20%의 육골분 대체사료를 공급한 유어 넙치는 어분기초사료를 공급한 어류와 성장이 거의 동등하였다 (Kikuchi et al., 1997).

겨울철 10주 동안 실험사료를 공급한 넙치의 사료 공급량(g/fish), 사료전환효율(FER)과 단백질전환효율(PER)을 Table 4에 나타내었다. 사료 공급량은 실험구간에 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 그러나 대조구, MM20과 MM40 사료를 공급한 실험구에서의 사료전환효율은 MM60 사료를 공급한 실험구보다 유의적으로 높았다($P<0.05$). 이와 비슷하게 어분의 40%를 대체한 육분대체사료를 공급한 방어와 넙치에 있어서의 사료전환효율은 어분기초사료를 공급한 어류에서의 사료전환효율과 비슷하게 나타났다(Shimeno et al., 1993a Sato and Kikuchi, 1997).

Table 4. Amount of feed supply (g/fish), feed efficiency ratio (FER) and protein efficiency ratio (PER) for juvenile flounder fed the experimental diets substituting meat meal for fish meal for 10 weeks during the winter season (mean±S.E.)

Diets	Amount of feed supply	FER ¹	PER ²
Control	36.2±1.42 ^{n.s.}	0.93±0.053 ^a	1.91±0.108 ^a
MM20	36.5±0.98	0.91±0.027 ^a	1.81±0.054 ^{ab}
MM40	34.5±1.71	0.87±0.003 ^a	1.68±0.005 ^b
MM60	33.3±0.10	0.65±0.028 ^b	1.19±0.052 ^c

Different superscript letters within same columns are significantly different ($P<0.05$).

n.s.: Not significantly different ($P>0.05$).

¹FER =Weight gain/dry feed fed.

²PER=Weight gain/protein fed.

대조구에서의 단백질전환효율은 MM20 사료를 공급한 실험구와 유의적인 차이를 보이지 않았지만($P>0.05$), MM40과 MM60 사료를 공급한 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). 가장 낮은 단백질전환효율은 MM60 사료를 공급한 실험구의 넙치에서 관찰되었다. 본 실험에서 사료의 어분대체율으로 육분의 함량을 증가시킬수록 단백질전환효율은 비례적으로 감소하였다. 유사하게 방어에 있어서 어분 대신 육분 대체율이 증가할수록 단백질전환효율이 감소하는 결과를 보였다(Shimeno et al., 1993a).

10주간의 사육실험 종료 시 전어체의 수분 함량은 74.1%~74.9%, 조단백질 17.4%~17.9%, 회분 3.1%~3.3% 및 회분 함량 2.6%~3.9%의 범위로 나타났으나 실험사료에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았다($P>0.05$). 이와 비슷하게 방어와 넙치에 있어서도 어분대체 단백질원에 따른 어체의 일반성분 조성은 영향을 받지 않았다(Shimeno et al., 1993a, 1993b; Kikuchi, 1999 Cho et al., 2005). 그러나 본 실험과는 다르게 다수의 사육실험에서 사료의 영양성분은 어체의 화학적 조성에 직접적으로 영향을 미친다고 보고하였다(Shimeno et al., 1992; Kikuchi et al., 1994a, 1994b; Kikuchi et al., 1997; Sato and Kikuchi, 1997).

실험 종료 시 넙치의 혈장 단백질 함량은 3.6 g/DL~5.1 g/DL, 글루코스 함량은 17.0 mg/dL~23.2 mg/dL 및 glutamic oxaloacetic transaminase (GOT) 함량 16.8 IU/L~24.4 IU/L로 나타났으나, 실험사료에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았다($P>0.05$). 이와 유사하게 어분대체단백질원에 따른 방어와 넙치에 있어서 혈액의 화학적 조성은 영향을 받지 않았다(Shimeno et al., 1993a, 1993c; Kikuchi et al., 1994b; Kikuchi et al., 1997 Sato and Kikuchi, 1997). 그러나 탈피대두박과 모분으로 어분을 대체한 사료를 공급한 넙치의 혈액 성상에는 유의적인 영향을 미쳤다(Kikuchi et al., 1994a; Kikuchi, 1999)고 보고된 바 있다.

이상의 결과를 고려할 때 겨울철 어분대체를 위하여 육분을 40%까지 대체하여도 넙치의 성장이나 사료전환효율을 저하시키지 않는다는 결론을 내릴 수 있다.

제 5 절 넙치 배합사료의 어분 대체 단백질원으로서 오징어간분 이용성

1. 서론

넙치의 생산비용을 줄이기 위한 어분 단백질원 대체효과에 대한 다수의 연구가 이미 이루어졌다. Kikuchi et al., (1994a) feather meal로서 40% , 육골분으로 20%(Kikuchi et al., 1997), 육분으로 60% (Sato and Kikuchi, 1997), 탈피대두박으로 50% (Kikuchi et al., 1994b), 콘글루텐밀로 40% (Kikuchi, 1999a), 그리고 탈피대두박, 혈분, 콘글루텐밀과 blue mussel meat의 혼합물을 이용하여 어분의 46%를 대체할 수 있다고 보고하였다. 그러나 육분과 탈피대두박에 부족하기 쉬운 아미노산을 각각 첨가하여 사육실험을 실시한 결과 뚜렷한 성장 효과를 보이지 못하였다 (Kikuchi et al., 1994b; Sato and Kikuchi, 1997).

사료에 오징어분 첨가는 참돔 친어의 난질을 상승시키고(Watanabe et al., 1984a, 1984b), 산란을 위해 필수 지방산 요구량이 높은 striped jack *Pseudocaranx dentex* (Vassallo-Aguis et al., 2001)에 효과가 있다. 그리고 Fernandez-Palacios et al. (1997)은 gilthead seabream *Sparus aurata*의 고품질 단백질과 지질원으로 오징어분을 높이 평가하였다. 따라서 어류 생산을 위한 오징어 부산물 또는 오징어 첨가 효과에 대한 이해가 더욱 필요하다.

오징어간분은 오징어 부산물로 상업적으로 이용 가능하며(대성산업, 울진, 경북, 한국), 60% 오징어간분과 40% 대두박이 혼합되어 있으며, 오징어간분의 가격은 20 kg 당 15,000원이며, 높은 영양염류 (45.1% 조단백질, 17.4% 조지질 및 6.4% 회분 함유)를 함유하고 있다. 그러나 아직까지 넙치에 있어서 오징어간분의 첨가효과에 대한 연구가 수행된 바 없기 때문에, 본실험은 겨울철 어분대체원으로 오징어간분의 첨가가 넙치의 성장과 어체 구성에 미치는 영향을 알아보기 위함이다.

2. 재료 및 방법

실험어의 준비

넙치 유어는 경북 울진에 위치한 개인 넙치 양어장에서 구입하여 실험실로 옮겼다. 시작시 무게 23g의 유어 25마리씩은 250 L 유수식 수조(수량: 150 L)에 수용하여 1주일간 사육실험 조건에 적응시켰다. 적응 기간동안 52% 조단백질과 8% 조지질이 함유된 상업용 시판사료(제일제당, 한국)를 1일 2회 공급하여 주었다.

실험사료의 준비

본 실험은 4개의 실험 사료(대조구, SLM5, SLM10과 SLM15)를 두었으며 각 실험사료는 3반복구들 두었다. 대조구 사료의 주단백질원은 60%의 고등어분을 사용하였다 (Table 1). SLM5, SLM10과 SLM15 사료에는 고등어분 대신에 상업용 오징어간분을 어분의 각각 5%, 10%와 15% 대체하여 사용하였다. 실험 사료의 아미노산 조성은 Table 2에 나타내었다. 오징어간분의 lysine (Lys)과 methionine+cystine (Met+Cys) 함량은 고등어분보다 낮았으나 추가적인 보충은 하지 않았다. 소맥분과 α -전분(Sigma Chemical, St. Louis, USA) 및 오징어간유를 실험사료의 주요 탄수화물과 지질원으로 각각 사용하였다. 실험사료의 원료는 물과 7:3으로 잘 혼합하여 실험사료 제조기로 제조하였으며, 실험사료는 밤에 건조시킨 후 -20°C에서 냉동 보관하면서 사용하였다.

Table 1. Ingredients (%)of the experimental diets

Ingredients	Diets			
	Control	SLM5	SLM10	SLM15
Mackerel meal (Chile)	60	57	54	51
Squid liver meal TM		5	10	15
Wheat flour	26.8	25.2	23.6	22.0
α -starch	5	5	5	5
Brewer's yeast	2	2	2	2
Squid liver oil	2	1.6	1.2	0.8
Vitamin premix ¹	2	2	2	2
Mineral premix ¹	2	2	2	2
Choline (50%)	0.2	0.2	0.2	0.2
Nutrients (%)				
Crude protein	48.7	48.6	47.0	45.4
Crude lipid	7.5	6.9	6.9	6.9
Ash	9.2	8.7	8.8	8.9

¹Same as Lee et al. (2000).

Table 2. Essential amino acids compositions of the ingredients of the experimental diets

	Protein sources			
	Mackerel meal	Squid liver meal TM	Wheat flour	Brewer's yeast
Proximate composition (% of DM basis)				
Moisture	8.7	0.1	10.5	3.6
Crude protein	75.3	44.9	11.7	48.7
Crude lipid	7.9	14.4	1.0	2.0
Ash	15.7	7.4	1.0	9.1
Essential amino acids (% in protein)				
Arg	6.7	6.5	6.5	6.2
His	4.0	3.7	4.1	3.6
Ile	4.0	4.1	3.9	4.0
Leu	8.2	8.9	8.6	9.2
Lys	8.4	7.9	7.1	7.4
Met + Cys	3.0	1.7	1.6	1.6
Phe + Tyr	7.3	7.7	7.6	7.9
Thr	5.1	4.9	4.7	4.9
Val	5.6	5.5	5.6	5.5
Total	52.3	50.8	49.7	50.3

사육실험 조건

모래여과시킨 해수를 각 수조에 6.6 L/min로 공급하였으며, 사료는 1일 2회(09:00 and 17:00) 손으로 만복 시까지 공급해 주었다. 본 실험 기간은 총 10주간이었으며, 사육 실험 기간동안 수온은 9.5-16.0°C(평균±표준편차: 12.3±1.75°C)의 범위이었으며, 빛은 자연 광주기를 이용하였다.

어체의 화학적 분석 및 혈액성상학적 분석

실험 시작시와 종료시 각각 10마리의 넙치를 무작위 샘플하여 일반성분 분석을 실시하였다. 표준방법(AOAC, 1990)에 따라 조단백질 분석은 Kjeldahl (Auto Kjeldahl System, Buchi B-324/435/412, Switzerland) 방법을 사용하였으며, 지질은 에테르 추출법, 수분함량은 오븐(105°C, 24시간)을 이용하였으며, 섬유질 함량은 자동분석기(Fibertec, Tecator, Sweden)로 측정하였고, 회분은 furnace muffle(550°C, 4시간)을 이용하여 측정하였다. 실험 종료시 넙치는 24시간 절식시킨 이후 각 수조에서 5마리의 넙치를 무작위로 골라서 MS-222(100 ppm)로 마취시킨 후 미부동맥에서 혈액 샘플을 취하였다. 혈장은 원심 분리하여 -70°C에 저장한 후 혈장 단백질, glucose와 glutamic oxaloacetic transaminase (GOT)를 분석하였다.

통계 분석

실험구간의 유의성을 검정하기 위하여 One-way ANOVA와 Duncan's 다중 분석법 (Duncan, 1955)으로서 통계처리를 하였으며 이 때 SAS version 6.12 (SAS Institute, Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

겨울철 10주 동안 실험사료를 공급하였을 때 넙치의 생존율, 어체중 증가(g/fish) 및 일일성장율(SGR)을 Table 3에 나타내었다. 생존율은 실험사료에 따른 유의적인 차이를 받지 않았으며, 부분적인 오징어간분의 대체에 따른 넙치의 생존율은 향상되지 않았다. 대조구와 SLM5 사료를 공급한 실험구의 어체중 증가와 일일성장율은 SLM10 사료를 공급한 실험구와 유의적인 차이를 보이지 않았지만, SLM15 사료를 공급한 실험구보다 유의적으로 높았다 ($P<0.05$). 이것은 Lys과 Met+Cys의 필수 아미노산이 부족하여 오징어간분의 품질이 나쁘거나 또는 오징어간분에 영양저해요소의 존재로 인하여 넙치의 성장에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 단백질원의 품질은 아미노산 조성과 특유 어종의 소화능력에 따라 결정된다. Fernandez-Palacios et al. (1997)은 지질 불용해성의 오징어분이 gilthead seabream의 좋은 단백질원이라 보고한 바 있다. 그리고 Vassallo-Aguis et al., (2001)은 어분대체원으로 오징어분 50% 또는 오징어분과 크릴분이 혼합된 50%를 공급한 striped jack 친어에서 50% 오징어분만을 대체한 사료를 공급한 사료는 성장이나 또는 난질을 향상시키지 못 하였다고 보고하였으며, 따라서 사료에 오징어간분의 첨가는 성장보다는 오히려 난질을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Table 3. Survival (%), weight gain (g/fish) and specific growth rate (SGR) of juvenile flounder fed the experimental diets substituting squid liver mealTM for fish meal for 10 weeks during the winter season

Diets	Initial weight (g/fish)	Final weight (g/fish)	Survival (%)	Weight gain (g/fish)	SGR ¹
Control	23.1	56.1 ^a	96.0 ^{n.s.}	33.0 ^a	1.25 ^a
SLM5	23.0	54.7 ^a	94.7	31.6 ^a	1.22 ^a
SLM10	23.0	51.0 ^{ab}	96.0	28.0 ^{ab}	1.12 ^{ab}
SLM15	22.9	45.1 ^b	97.3	22.2 ^b	0.95 ^b
Pooled SEM		1.01	0.89	1.00	0.013

Different superscripts within columns denote significant differences ($P<0.05$).

¹SGR = (Ln final weight - Ln initial weight)×100/days.

넙치에서는 어분을 육분으로 40% 대체하고, 방어 *Seriola quinqueradiata*에서는 어분의 30% 대체한 사료를 공급하여도 이들의 성장은 어분기초사료와 유사하였으며 이때 육분에 부족한 필수아미노산인 Met과 Lys의 보충은 없었다 (Shimeno et al., 1993; Cho et al., 2005). 유사하게 넙치에 있어서 60% 육분과 50% 탈피대두박의 대체시 이들 각 단백질원에 부족하기 쉬운 아미노산을 첨가하여도 이에 따른 긍정적인 효과는 관찰되지 않았다 (Kikuchi et al., 1994b; Sato and Kikuchi, 1997). 어분기초 사료에서 보충된 아미노산의 이용성이 매우 낮았기 때문에 어류의 사료에 있어서 아미노산의 보충에 따른 유효성은 매우 주의깊게 고려되어야 한다.

겨울철 10주 동안 오징어간분사료를 공급한 넙치의 사료섭취량(g/fish), 사료전환효율(FER)과 단백질전환효율(PER)을 Table 4에 나타내었다. 사료섭취량은 실험사료에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 대조구, SLM5와 SLM10 사료를 공급한 넙치의 사료전환효율은 SLM15 사료를 공급한 넙치보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P < 0.05$). 어분의 대체 단백질원이 최대 수준을 넘어서면 어류의 생산과 사료전환효율을 저하시킨다.(Kikuchi et al., 1994a; Sato and Kikuchi, 1997; Kikuchi et al., 1997; Kikuchi, 1999a, 1999b; Cho et al., 2005). 겨울철 육분으로 40%의 어분을 대체한 사료를 공급한 넙치의 사료전환효율은 어분기초사료를 공급한 넙치와 비슷한 것을 Cho et al., (2005)은 보고하였다. 넙치의 단백질전환효율은 실험사료에 따른 유의적인 영향을 받지 않았지만 ($P > 0.05$), 오징어간분의 함량이 증가할수록 단백질전환효율이 저하되는 경향을 보였다. 본 실험에서 겨울철 동안 어분대신 10%의 오징어간분을 대체하여도 넙치의 성장과 사료전환효율을 저하시키지는 않았다. 그러나 어류의 영양염 이용성과 소화력은 수온에 따라 크게 영향을 받기 때문에 어류의 성장이 빨리 이루어지는 여름철 동안에는 오징어간분의 대체효과는 본 실험의 결과와 크게 다를 수 있다.

Table 4. Feed intake (g/fish), feed efficiency ratio (FER) and protein efficiency ratio (PER) of juvenile flounder fed the experimental diets substituting squid liver mealTM for fish meal for 10 weeks during the winter season

Diets	Feed intake	FER ¹	PER ²
Control	36.2 ^{n.s.}	0.93 ^a	1.91 ^{n.s.}
SLM5	35.0	0.90 ^a	1.86
SLM10	33.6	0.85 ^a	1.80
SLM15	31.5	0.72 ^b	1.57
Pooled SEM	0.79	0.007	0.037

Different superscripts within columns denote significant differences ($P < 0.05$).

¹FER =Weight gain/dry feed intake.

²PER =Weight gain/protein fed.

넙치 전어체의 조단백질, 조지질과 회분 함량은 각각 17.6~18.4%, 2.7~3.9% 및 2.6~3.4%의 범위로 실험사료에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다 ($P>0.05$). 그러나 다른 연구자들은 어분 대체 단백질원에 따른 어류의 어체 조성에 밀접한 상관관계가 있다고 보고하였다 (Kikuchi et al., 1994a, 1994b; Sato and Kikuchi, 1997; Kikuchi et al., 1997; Kikuchi, 1999a). 넙치의 혈장 단백질, 글루코스와 glutamic oxaloacetic transaminase(GOT)는 각각 3.7~4.6 g/dL, 18.0~19.4 mg/dL 및 12.7~24.4 IU/L의 범위에었으며, 실험사료에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았다 ($P>0.05$). 우리의 실험과는 달리 다른 연구자들은 어분 대체 단백질원에 따른 어류의 혈액 성상이 영향을 받는다고 보고하였다 (Shimeno et al., 1993; Kikuchi et al., 1994a). 비록 우리의 연구에서는 오징어간분 첨가에 따른 넙치의 성장에 긍정적인 효과를 관찰할 수 없었지만 고지질 함량을 요구하는 새우류나 또는 고도 불포화지방산을 요구하는 냉수어나 초기 해산어의 연구에 오징어간분을 이용한 많은 연구들이 앞으로 수행되어야 할 것이다.

본 실험의 결과에 따르면 어분의 10%를 오징어간분으로 대체하여도 겨울철 유어넙치의 경우 성장 감소 또는 사료전환효율의 저하 없이 넙치를 생산할 수 있다.

제 6 절 넙치 배합사료의 어분 대체 단백질원으로 발효 참치 내장 부산물 이용성

1. 서론

사료의 단백질원에 대한 평가는 사료의 질을 향상시키고, 사료단가를 낮추는데 기초적인 연구가 될 뿐 아니라 앞으로 계속될 영양연구에 자료를 제시할 수 있다. 어분은 조단백질 함량이 60% 이상으로 높고, 어류에 필요한 영양소, 특히 아미노산 조성이 고르게 갖추어져 있는 양질의 단백질원이지만, 가격이 비싸고 공급이 불안정한 점 등 문제점이 잠재되어 있다. 따라서 양식 생산비의 절반 이상을 차지하고 있는 사료비를 절감시키기 위해서는 값비싼 어분을 대신할 수 있는 값싸고, 공급이 안정적인 대체 단백질을 찾는 것이 시급하다.

수산가공공장에서 어류를 가공할 때 발생하는 다량의 잔사는 주로 어분이나 어박의 제조 및 비료 등으로 사용되고 있으며, 이들 가공 부산물 중 내장은 부패나 산화가 빠르게 진행됨으로서 효율적으로 이용되지 못하고 폐기되고 있는 실정이다. 참치통조림 제조시 부산물로 얻어지는 가다랑어 내장은 필수아미노산이나 어류 성장에 필요한 다가불포화지방산의 함량이 높아 영양적으로 우수하지만 일부만이 이용되고 있으며, 나머지는 폐기되고 있다. 그래서 본 연구에서는 수산가공부산물로 폐기되고 있는 가다랑어 내장을 유산균 발효 silage로 제조하여 넙치 배합사료의 단백질원으로서 이용 가능성을 조사하기 위해 영양성분 분석과 사료효과 실험을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

발효 silage의 제조

발효 silage는 동원산업으로부터 구입한 가다랑어 (*Katsuwonus pelamis*) 내장과 당질원으로 삼양사로부터 제당과정 중 부산물로 얻어지는 폐당밀 (molasses)을 분쇄 혼합한 다음, 한국과학기술원 유전자은행에서 분양받은 *Lactobacillus bulgaricus* (KCTC 3188) 배양액을 5% 첨가하여 20 L 용기에 넣어 밀봉한 후 35°C에서 10일간 발효시켜 제조하였으며, 이것을 4겹의 gauze로 여과한 후 실험에 사용하였다.

실험사료

Table 1에 표시한 것처럼 배합사료의 주단백질원을 북양어분과 대두박으로 선정하여 배합사료를 설계하였다. 대조사료의 단백질원으로 북양어분을 사용하여 발효 silage로 각

각 0, 5, 10, 15%씩 첨가(사료 1-4)하여 북양어분을 대체하였다. 탄수화물원으로 소맥분을 첨가하여 단백질 함량이 48% 전후가 되도록 설계하였으며, 지질원으로 오징어 간유를, 점착제로 CMC를 첨가하여 사료의 영양소가 넉치의 요구 (Lee et al., 2000, 2003)에 맞도록 하였다. 와같이 설계된 원료들을 잘 혼합한 후 원료 혼합물 내 수분이 30-40% 정도가 되도록 조정 후 펠렛 제조기로 사료를 성형한 후 실온에서 24시간 건조하였다. 건조된 사료는 -30℃의 냉동고에 보관하면서 사료 공급시마다 사용하였다.

Table 1. Composition (%) of the diets replacing white fish meal with fermented skipjack tuna viscera (FSTV)

Ingredients	FSTV level (% DM)			
	0	5	10	15
White fish meal ¹	62.0	59.0	56.0	53.0
Soybean meal, dehulled	-	-	-	-
Wheat flour	20.0	18.6	17.2	15.8
Fermented skipjack tuna viscera (DM basis)	-	5.0	10.0	15.0
Brewer's yeast	2.0	2.0	2.0	2.0
Squid liver oil ²	8.0	7.4	6.8	6.2
Vitamin premix ³	2.2	2.2	2.2	2.2
Mineral premix ⁴	3.0	3.0	3.0	3.0
CMC	2.0	2.0	2.0	2.0
Choline chloride ⁵	0.8	0.8	0.8	0.8
Proximate analysis in dry matter				
Crude protein	47.8	48.3	48.3	50.0
Crude lipid	13.1	12.6	12.3	16.6
NFE ⁶	21.8	22.3	23.4	17.0
Crude fiber	1.1	1.1	1.1	1.1
Crude ash	16.1	15.8	14.8	15.2
Energy (kcal/100 g)	396	395	398	418

¹ Imported from Rusia, contained 0.015% ethoxyquin.

² Provided by E-wha Oil & Fat Ind. Co., Pusan, Korea.

^{3, 4} Same as Lee et al. (2003).

⁵ Sigma Chemical, St. Louis, MO, USA.

⁶ Nitrogen-free extract calculated by difference: 100 - (crude protein + crude lipid + crude ash + crude fiber).

실험어 및 사육관리

경북 울진군에 위치한 종묘배양장에서 동일 친어에서 생산된 넙치 치어를 구입하여 예비사육하였다. 예비사육하던 치어들 중에서 건강한 실험어 (3.3 g/fish)들을 선별하여, 실험수조 (250 ℓ FRP)에 40마리씩 수용하였다. 사료는 1일 2회(07:00, 17:00) 반복에 가깝도록 손으로 공급하였으며, 5주간 사육실험하였다. 고압모래여과장치로 여과된 자연해수를 각 실험수조마다 5 ℓ/min씩 흘려주어 유수시켰고, 사육기간 중의 수온은 21.7±0.08(평균±표준편차)이었으며, 비중은 1.0228±0.00094이었다.

최초 어체 성분분석용으로는 50마리를 무작위로 추출하여 냉동보관(-40℃)로 보관하였다. 실험 종료시에는 실험수조에 있는 실험어 전체를 취하여 냉동보관(-40℃)하다가 전어체를 분쇄하여 성분 분석하였다.

성분분석

실험사료 및 어체의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 분석하였는데, 조단백질 (N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland)를 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 24 시간 동안 건조 후 측정하였다. 조회분은 550℃의 회화로에서 4 시간 동안 태운 후 정량하였다. 그리고 조섬유는 Automatic analyzer (Fibertec, Tecator, Sweden)로 각각 분석하였다.

구성아미노산 및 유리아미노산은 아미노산분석기 (Hitachi 835, Japan)로 Kim et al. (1999)이 사용한 방법으로 분석하였다. 산가는 식품분석 핸드북 (1982), VBN은 미량화산법 (일본후생성, 1960)으로 측정하였다.

지방산 조성은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 지질을 추출하여 14% BF₃-methanol (Sigma, USA)로 지방산을 methylation시킨 후, capillary column HP20M (0.25µm × 30m)이 장착된 gas chromatography (HP-5890 II, USA)로 분석하였다. 표준지방산으로 12:0, 13:0, 14:0, 14:1, 16:0, 16:1, 17:0, 17:1, 18:0, 18:1, 18:2n-6, 18:3n-6, 18:3n-3, 18:4n-3, 18:4n-6, 20:0, 20:1, 20:2n-6, 20:3n-6, 20:4n-3, 20:5n-3, 22:0, 22:1, 22:4n-3, 22:5n-3, 22:6n-3 및 24:1 (Sigma, USA)을 사용하였다. Carrier gas는 helium (30 ml/min)을 사용하였으며, oven 온도는 150℃에서 230℃까지 2℃/min 증가시켰고, injector의 온도는 250℃, detector (FID) 온도는 270℃로 설정하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 SPSS (SPSS Inc., 1997) program을 사용하여 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

가다랑어 내장 및 발효 silage의 일반성분, 산가 및 VBN의 함량을 Table 2에 나타내었다. 또한, 가다랑어 내장과 제조한 발효 silage의 총아미노산과 유리아미노산 및 지방산 조성을 Table 3과 4에 표시하였다.

Table 2. Proximate analysis and volatile basic nitrogen (VBN) content of raw and fermented skipjack tuna viscera.

	Raw viscera	Fermented silage
Moisture (%)	73.6	69.7
Crude protein (%)	18.0	14.8
Crude lipid (%)	4.7	2.6
Carbohydrate (%)	0.7	9.7
Ash (%)	3.0	3.2
VBN (mg/100 g)	46.7	86.7

Table 3. Total and free amino acids contents (mg/100 g) of raw and fermented skipjack tuna viscera.

Amino acids	Total amino acids		Free amino acids	
	Raw viscera	Fermented silage	Raw viscera	Fermented silage
Ala	1008	1070	262	640
Arg	779	665	194	507
Asp	1403	1265	39	1130
Cys	108	130	32	69
Glu	2165	1958	649	1494
Gly	982	1124	275	834
His	366	306	102	224
Ile	886	832	265	821
Leu	1466	1437	366	1433
Lys	301	247	167	241
Met	431	265	116	228
Phe	700	635	189	606
Pro	715	714	214	540
Ser	537	583	145	459
Tau	482	351	139	259
Trp	196	194	48	182
Thr	680	855	197	822
Tyr	289	158	69	126
Val	892	872	249	837
Total	14386	13661	3717	11452

Table 4. Fatty acid compositions (% of total fatty acids) of raw and fermented skipjack tuna viscera.

Fatty acid	Raw viscera	Fermented silage
14:0	1.6	2.9
15:0	0.8	0.9
16:0	30.1	23.9
16:1n7	4.2	7.5
18:0	10.1	7.1
18:1n9	18.3	14.7
18:2n6	0.3	3.9
18:3n3	0.3	1.0
20:0	0.0	0.2
20:1n9	0.6	0.6
20:2n6	0.0	2.0
20:4n6	2.9	0.6
20:5n3	6.6	9.4
22:2n6	0.0	1.7
22:3n6	0.0	0.6
22:6n3	24.2	22.1
24:1n9	0.0	0.9
Saturates	42.6	35.0
Monoenes	23.1	23.7
Polyenes	34.3	41.3

북양 어분을 발효 silage로 대체한 실험사료로 사육실험한 결과를 Table 5에 표시하였다. 실험개시시 평균체중은 3.3 g이었던 넙치의 증중율, 사료효율 및 단백질 이용율은 발효 silage 10% 첨가구 (Diet 3)가 상대적으로 높은 값을 보였다. 어체의 지질함량도 발효 silage 10% 첨가구가 상대적으로 높은 값을 보였다(Table 6). 이상의 결과로부터 가다랑어 내장을 이용하여 제조한 발효 silage는 어분대체용 단백질원으로서 뿐만 아니라 지질원으로서도 사용이 가능할 것으로 판단되며, 그 적정 첨가량은 10%였다.

Table 5. Growth and feed utilization of juvenile flounder fed the diets containing different fermented skipjack tuna viscera (FSTV) levels for 5 weeks¹

Dietary FSTV levels (%)	Initial weight (g/fish)	Weight gain (%) ²	Feed efficiency (%) ³	Survival (%)	Daily feed intake (%) ⁴	Protein efficiency ratio ⁵	Protein retention (%) ⁶	Lipid retention (%) ⁶
0	3.4±0.02	290±7.8	74±1.4a	71±11.1	4.8±0.21b	1.6±0.03a	24.9±0.88a	14.5±2.57a
5	3.3±0.19	329±22.7	88±7.9ab	66±7.3	4.3±0.27ab	1.8±0.17ab	30.8±3.12ab	21.1±2.07a
10	3.3±0.03	369±12.7	111±8.5b	62±3.0	3.5±0.34a	2.3±0.18b	38.4±3.07b	34.6±3.09b
15	3.3±0.02	283±23.2	96±0.8ab	52±13.1	3.3±0.26a	2.0±0.02ab	31.3±0.29ab	24.9±2.13ab

¹ Values (mean±SE of three replications) in the same column having different letters are significantly different (P<0.05).

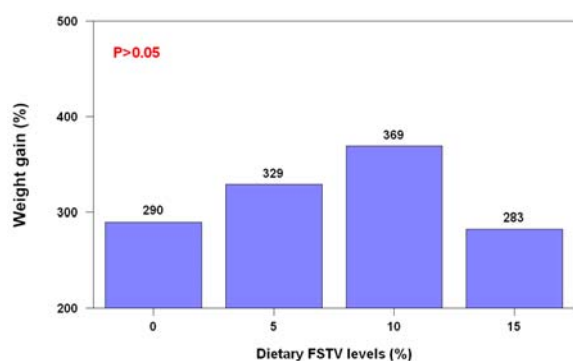
² (Final body weight - initial body weight) × 100/initial body weight.

³ Fish wet weight gain × 100/ feed intake (dry matter).

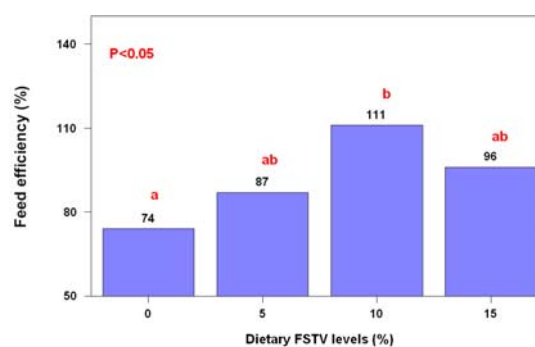
⁴ Feed intake × 100/ [(initial fish wt.+ final fish wt.+ dead fish wt.) × days reared/2].

⁵ Fish wet weight gain / protein intake.

⁶ Fish protein (or lipid) deposited × 100 / protein (or lipid) intake.



Weight gain ((final wt-initial wt) x 100/initial wt) of flounder (initial wt 3.3 g) fed the diets containing different fermented skipjack tuna viscera (FSTV) levels for 5 weeks



Feed efficiency of flounder (initial wt 3.3 g) fed the diets containing different fermented skipjack tuna viscera (FSTV) levels for 5 weeks

Table 6. Proximate analysis (%) of the whole body of juvenile flounder fed the diets containing different fermented skipjack tuna viscera (FSTV) levels for 5 weeks¹

Dietary FSTV levels (%)	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
0	78.4±0.23	15.7±0.20	1.7±0.26a	3.6±0.20
5	77.4±0.27	16.3±0.42	2.2±0.20ab	3.9±0.20
10	76.9±0.33	16.1±0.39	2.8±0.12b	3.9±0.39
15	77.4±1.03	15.4±0.17	2.0±0.23a	3.6±0.15

¹ Values (mean±SE of three replications) in the same column having different letters are significantly different (P<0.05).

제 7 절 넙치 치어 배합사료의 어분 대체 단백질원으로서 탈지대두박과 면실박 이용성

1. 서론

어분은 그 영양적인 측면에서 고단백질과 균형이 잘 잡힌 아미노산 및 뛰어난 유인성 (palatability)으로 오랫동안 양어사료의 주 단백질원으로 사용되어져 왔다. 그러나 어분을 만드는 여러 잡어들의 어획생산량이 남획과 해양 환경문제로 인해 그 생산량이 일정치 않다. 이러한 이유로 수많은 양어사료 영양학자들은 값비싼 어분을 대체할 수 있는 값싸고 질 좋은 단백질원을 찾기 위해 엄청난 시간과 노력을 들여오고 있다.

대두박은 잡식성 담수 어종들에 아주 유망한 식물단백질 사료원이고, 종종 사료 내 50-60%까지 사용하기도 한다. 이처럼 높은 함량의 사료 내 첨가가 가능한 것은 대두박의 뛰어난 유인성(맛)과 우수한 영양가 때문인데, 특히, 고단백질과 뛰어난 아미노산 성분균형, 그리고 비교적 높은 소화율 때문인 것으로 보고되고 있다(Hardy, 1995). 전 세계를 통하여 양식되고 있는 많은 잡식성 어류 사료에 있어서의 대두박은 값비싼 어분을 많은 부분 대체할 수 있기 때문에 아주 경제적인 식물성 단백질 사료원으로 오랫동안 사용되어 왔으며, 그 결과, 양어사료 생산비용을 엄청나게 줄일 수 있었다(Shimeno et al., 1993; McGoogan and Gatlin III, 1997; Boonyaratpalin et al., 1998; Gomes et al., 1995; Quantararo et al., 1998; Elangovan et al., 2000; Catacutan and Pagador, 2004; Chou et al., 2004; Kikuchi, 1999). 세계적으로 증가하고 있는 해산식품의 많은 수요를 맞추기 위하여 양식생산은 전 세계적으로 확대되고 있는 실정이므로 사료 내 대두박의 첨가이용은 여러 다른 어종들에게 고품질의 단백질을 공급하는데 있어서 더욱 더 중요한 역할을 할 것이다.

현재까지 연구되어 보고된 여러 어분대체 사료원 중 가장 실용성이 있다고 보여 지는 대체원이 대두박인데, 그 이유는 위에서 언급한 우수한 영양가 외에 매우 저렴한 가격과 안정된 공급 때문이다. 그러나 이러한 대두박의 어분대체에 관한 우수성이 주로 담수어종들에서만 연구보고 되었으며, 해산어류에 있어서의 연구는 극히 드물다고 할 수 있겠다.

면실박(cottonseed meal)은 현재까지 보고된 여러 식물성 어분 대체원들 중 하나이다. 면실박이 축산사료(Colin-Negrete et al., 1996) 에 있어서는 여러 형태로 많은 양이 사용되어지고 있지만 어류사료에서는 대개 담수어류(Hendricks et al., 1980)에서 제한된 양으로 사용되어져 오고 있다. 그러나 그것마저도 해산어류에 있어서는 극히 드물고 미흡한 연구로 인해 면실박의 이용성, 특히 고시폴(gossypol)과 polyphenol에 관해서는 잘 알려지지 않고 있다. 현재 세계 선진각국에서는 면실박에 관한 새로운 형태의 연구에 박차를 가함

으로서 값싸고 질 좋은 식물성 단백질원의 하나로써 그 사용범위와 사료내 첨가함량을 높이려는 노력을 하고 있다. 특히, 면실박은 그 생산량이 대두박과 채종박 다음으로 세계 3위에 이르고, 미국내 생산량에 있어서는 대두박 다음으로 2위를 지키는 값싼 식물성 단백질원이다. 값싼 면실박으로 값비싸고 공급이 안정적이지 못한 어분을 많은 부분 대체함으로서 엄청난 사료비용의 절감을 기대할 수 있다. 또한, 면실박은 대두박과 같이 현대 사회의 큰 문제점인 성인병의 예방에 효과가 있는 polyphenol계 화합물을 다량 함유하고 있어서 영양학자들로부터 많은 관심을 끌고 있다. 해산어, 특히 넙치에 있어서 면실박의 적정첨가함량 및 그 이용성을 조사하고 나아가서는 면실박내의 고시폴과 다른 polyphenol의 소화 흡수 그리고 어체내 축적에 관한 연구를 함으로서 양식으로 키워진 넙치가 단순한 횡감으로 소비되는 것 외에 어떤 기능성 식품으로서의 역할도 할 수 있도록 하는 것이다.

대두박과 면실박을 넙치에 있어서 성장뿐만 아니라, “기능성 및 생리활성 첨가사료원”으로 관심을 두고 계속적으로 연구를 해나간다면 경제적으로 엄청난 사료비용의 절감을 가져올 수 있을 것이다. 따라서 본 연구는 넙치 치어를 대상으로 배합사료 내 면실박과 대두박의 혼합물이 어분을 어느 정도 대체할 수 있는지를 조사하기 위하여 이루어졌다.

2. 재료 및 방법

실험사료

본 실험에 사용한 단백질원인 북양어분(간접식), 대두박, 콘글루텐밀, 효모는 (주)수협 사료회사에서 사용하고 있는 상품화된 것이었으며, 면실박(cottonseed meal)은 미국산 (Southern Cotton Oil Company, Memphis, TN, USA)으로 그 사료 조성표는 Table 1에 나타내었다. 본 실험에서는 5 가지 실험사료를 배합제조하여 사용하였다. 어분대체 식물성 단백질원으로 대두박(S)과 면실박(C) 혼합물(SC)을 사용하여 사료 내 어분단백질의 0, 10, 20, 30, 40% (Con, SC10, SC20, SC30, SC40)를 대체하였다. 모든 실험사료의 조단백질(56%), 조지방(12%) 및 조에너지함량(16.3 MJ/kg DM)을 동일하게 유지 배합하였으며, 면실박-대두박 혼합물(CS)이 첨가된 사료에는 이들 CS에서 제한 아미노산인 L-methionine과 L-lysine을 각각 보충, 첨가하였다.

본 연구에 사용된 면실박 내의 고시폴(Gossypol)은 HPLC를 이용하여 분석되었고 총 함량은 1.65%이었다. 실험 사료내 총 고시폴 함량은 Table 1에 나타내었다. 실험사료에 사용된 단백질 사료원의 일반조성은 Table 2에 나타내었다. 실험사료는 우선 사료원들을 잘 섞은 다음 사료원 총량의 30-40%에 해당하는 증류수를 첨가하여 사료혼합기(NVM-14-2P, KOREA)로 혼합, 반죽시켰다. 혼합반죽물은 소형초과기(SMC-12, KOREA)를 이용하여 직경3mm 크기로 뽑아내었다. 그런 다음, -40°C 동결냉동건조기에서 건조시켜,

적당한 크기의 사료로 분쇄한 다음, 사료 공급 전까지 -20°C 에 보관하였다.

Table 1. Formulation and proximate composition of experimental diets (% dry matter)

Ingredients	Diets				
	CS0	CS10	CS20	CS30	CS40
White fish meal	60.0	54.0	48.0	42.0	36.0
Soybean meal	0.0	4.4	8.7	13.1	17.5
Cotton seed meal ^a	0.0	4.7	9.4	14.1	18.8
Corn gluten meal	8.0	8.3	8.7	9.0	9.3
Wheat flour	21.8	17.8	13.8	9.8	5.8
Yeast	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Mineral mix ^b	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Vitamin mix ^c	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Choline chloride	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Squid liver oil	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6
CMC	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Lysine ^d	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
Methionine ^e	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
Proximate composition & Gossypol concentration					
Dry matter, %	92.2	91.3	90.2	91.0	93.7
Protein, % DM	56.8	56.6	56.5	56.6	56.3
Lipid, % DM	12.0	12.6	12.5	12.6	12.1
Ash, % DM	10.1	9.9	9.5	9.1	8.9
Gross energy, MJ/kg DM	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3
Total gossypol, % DM ^f	0	0.08	0.16	0.24	0.32

^a Cottonseed meal was purchased from Southern Cotton Oil Co., Memphis, Tennessee 38108, USA.

^b MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

^c L-ascorbic acid, 121.2; DL- tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003.

^d L-lysine mono-hydrochloride, Sigma, USA.

^e L- methionine, Sigma, USA.

^f Total gossypol in the experimental diets are calculated based on the gossypol concentration in cottonseed meal.

Table 2. The proximate composition of major ingredients used in experimental diets

Ingredients	Moisture	Protein	Lipid	NFE ^a	Ash
White fish meal	8.72	68.33	8.56	0.32	14.07
Soybean meal	7.59	46.91	2.52	36.44	6.54
Cottonseed meal	11.40	43.54	3.18	34.52	7.36
Corn gluten meal	9.50	61.70	1.03	26.59	1.18
Yeast	5.49	42.15	0.49	46.25	5.62

^a Nitrogen Free Extract = 100 - (%Moisture + %CP + %Lipid + %Ash).

^b Cottonseed meal was purchased from Southern Cotton Oil Co., Memphis, Tennessee 38108, USA.

실험어류 및 사료공급

사료공급실험은 제주도에 위치한 제주대학교 소속 해양과환경연구소에서 실시하였으며, 실험에 앞서 실험어류는 4주 동안 시판배합사료를 공급하면서 실험환경에 적응 기간을 두었다. 실험어는 넙치 치어를 사용하여(개체무게 약 0.74 ± 0.11 g) 수조당 60 마리씩 배치하였고, 사료실험구당 3 반복(총 15개 수조)으로 무작위 배치하였다. 실험수조는 플라스틱 원형수조(35L)를 사용하여 유수식으로 2-3 L/min 유수량으로 조절하였다. 또한 수조마다 충분한 산소를 공급하기 위하여 aeration을 설치하였다. 실험사료 공급은 하루 두번씩 오전 09:00h 와 오후 17:00h 경에 만복급이의 약 90%선인 어체중의 5%(시작시)-3%(종료시)로 공급하였다. 어류의 성장율은 매 2주마다 전체 어류의 무게를 측정하였고 이에 따라 사료 공급율도 조정되었다. 총 실험기간은 10주간 이루어졌다.

어체측정 및 분석

10주간의 사료공급 실험 후, 각각의 어류는 최종 평균무게를 측정하여 증체율(Weight Gain), 사료전환효율(Feed Conversion Ratio), 일간성장율(Specific Growth Rate), 사료섭취율(Feed Intake), 단백질축적율(Nitrogen Retention), 단백질전환효율(Protein Efficiency Ratio), 생존율(Survival)의 계산을 위하여 100ppm MS-222 (tricaine methane sulfonate)용액으로 마취시킨 뒤 총무게로 측정되었다.

어류 무게측정 후 모든 어류의 대뇌부를 가격하여 즉시 시킨 후 어체 분석을 위해 즉시 -20°C 초저온 냉동고에 보관하였다. 전어체 일반성분은 각 실험구마다 냉동 보관된 어류샘플을 9마리(3 fish/tank 3반복)씩 무작위로 선별하여 수분은 상압가열건조법(125°C, 3h), 조단백질은 kjeldahl 질소정량법(N6.25), 조회분은 직접회화법(550°C, 12h)을 AOAC

(1995) 방법을 이용하여 분석 하였고 조지방은 Folch et al. (1957)의 분석법을 수정된 방법으로 분석하였다.

면실박내의 고시폴(Gossypol) 함량은 Kim and Calhoun (1995) 와 Lee and Dabrowski (2002b) 방법을 변형하여 HPLC 로 분석 하였다. 처리방법은 다음과 같다. 먼저 샘플의 무게를 측정하고 Complexing reagent 용액에 넣은 다음 균질기(Homogenizer)에서 30초간 균질화 한다. 균질화 한 샘플은 다시 항온수조 95°C에서 30분간 가열 한 후 냉각 하여 1500 × g 에서 5분간 원심분리 한다. 이동상(Mobile phase)으로 상층액을 적당한 농도로 희석하고 위와 동일한 방법으로 원심분리 한다. 두번째 원심분리 한 샘플은 HPLC에 적용하기 전에 시린지 필터(0.45um, Whatman Inc., Clifton, NJ, USA)로 여과 한다.

통계학적 분석

모든 결과는 SPSS for Window (SPSS version 11.0)를 사용하여 One-way ANOVA test를 통하여 Duncan's multiple test 를 이용하여 평균간의 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다. 데이터는 평균값 ± 표준편차(mean ± std)로 나타내었다. 백분율 데이터는 arcsine 변형 값으로 계산하여 통계 분석되었다.

3. 결과 및 고찰

10주 동안 어류 성장 실험을 한 결과(Table 3), 사료 내 어분 단백질을 40% 이상 면실박-대두박 혼합물로 대체한 CS40 사료구에서만 대조구 보다 낮은 성장률(Weight gain)과 사료전환효율(Feed conversion ratio)을 보였다($P < 0.05$). 일간성장율(Specific growth rate), 사료섭취율(Feed intake), 단백질전환효율(Protein efficiency ratio), 단백질축적률(Nitrogen retention)에서는 실험구별로 유의적인 차이가 없었다($P > 0.05$). 실험기간 동안의 생존율(Survival)은 모든 실험구에서 80% 이상으로 유의적인 차이는 없었으며($P > 0.05$), 전어체 일반성분 조성(Table 4)에서도 실험사료구별로 유의적인 차이가 없었다($P > 0.05$).

Table 3. Growth performance of juvenile flounder fed different experimental diets for 10 weeks*

	Diets				
	CS0	CS10	CS20	CS30	CS40
Initial body weight (IBW, g)	0.74 ± 0.11	0.74 ± 0.11	0.74 ± 0.11	0.74 ± 0.11	0.74 ± 0.11
Final body weight (FBW, g)	11.25 ± 0.94 ^a	10.33 ± 2.12 ^{ab}	10.63 ± 0.51 ^{ab}	9.46 ± 0.62 ^{ab}	8.47 ± 0.60 ^b
Weight gain (WG) ¹	1419 ± 226 ^a	1296 ± 286 ^{ab}	1337 ± 69 ^{ab}	1179 ± 84 ^{ab}	1045 ± 81 ^b
Specific growth rate (SGR) ²	1.15 ± 0.04	1.06 ± 0.14	1.06 ± 0.09	1.01 ± 0.03	0.99 ± 0.04
Nitrogen retention (NR) ³	27.02 ± 2.20	25.58 ± 0.69	26.51 ± 0.58	24.86 ± 1.65	24.35 ± 0.10
Protein efficiency ratio (PER) ⁴	1.64 ± 0.11	1.56 ± 0.03	1.58 ± 0.05	1.53 ± 0.10	1.52 ± 0.01
Feed conversion ratio (FCR) ⁵	1.02 ± 0.14 ^a	1.09 ± 0.12 ^a	1.12 ± 0.14 ^a	1.24 ± 0.13 ^a	1.36 ± 0.06 ^b
Feed intake, (g/g BW) ⁶	0.91 ± 0.05	0.92 ± 0.06	0.92 ± 0.02	0.91 ± 0.01	0.91 ± 0.01
Survival (5)	81.1 ± 5.85	85.5 ± 0.71	86.1 ± 3.47	88.3 ± 1.67	90.0 ± 4.71

* Values are presented as mean std. Value in the same row having different superscript letters is significantly different (P<0.05).

¹ WG (%) = 100 x (final mean body weight - initial mean body weight)/initial mean body weight.

² SGR (%) = [(loge final body weight - loge initial body weight)/days] x 100.

³ NR (%) = 100 x (FBW x final CP - IBW x initial CP)/ CP intake.

⁴ PER = wet weight gain/ total protein given.

⁵ FCR = dry feed fed/wet weight gain.

⁶ FI (g/g body weight) = dry feed consumed (g)/body weight (g).

Table 4. Whole body composition of juvenile flounder fed different experimental diets for 10 weeks*

	Initial	Diets				
		CS0	CS10	CS20	CS30	CS40
Moisture content, %	81.9 ± 0.21	76.5 ± 1.55	78.7 ± 1.63	77.6 ± 0.26	78.6 ± 0.62	78.7 ± 0.17
Protein, % DM	61.5 ± 0.00	67.1 ± 0.72	69.1 ± 0.11	69.2 ± 0.84	68.4 ± 1.38	67.5 ± 0.76
Lipid, % DM	7.18 ± 0.78	9.52 ± 1.13	8.12 ± 0.98	9.05 ± 0.69	8.02 ± 0.95	8.54 ± 0.08
Ash, % DM	21.7 ± 0.76	16.6 ± 0.63	15.8 ± 0.04	15.8 ± 0.06	16.1 ± 0.46	16.9 ± 1.53

* Values are presented as mean std. Value in the same row having different superscript letters is significantly different ($P < 0.05$).

본 연구에서 어분단백질의 30%를 L-methionine과 L-lysine이 첨가된 면실박-대두박(면실박15%, 대두박 15%) 혼합물로 대체한 실험사료는 어분대체에 의한 먹이섭식 유인성에 변화를 주지 않았으며, 성장률에서도 유의차가 없는 결과를 보여주었다. 이와 유사한 연구가 면실박-대두박 혼합물에 동물 부산물을 첨가한 실험에서 이루어 졌다(Lee et al., 2002; Chou et al., 2004). 본 실험에서, 사료 내 면실박의 어분대체 비율은 이전의 연구에서보다 낮은 값을 보여주었으나, Mbahinzireki (2001) 등은 킬라피아 사료에서 어분단백질의 50% 까지는 면실박으로 대체 가능하며, 어류의 성장률과 관련된 결과에서 부정적인 영향을 나타내지 않았다고 보고하였다. 반면에 Cheng and Hardy (2002)의 연구에서는, 무지개송어의 치어(초기무게, 11.2g)에서 사료 내 어분단백질을 5-10% 까지만 대체할 수 있다고 보고하였다. 이러한 결과로 살펴 볼 때 사료 내 면실박의 대체율은 어종에 따라 다양하게 나타나는 것으로 사려 되며, 같은 종 내에서도 어류의 성장발달에 따라 그 이용율이 다르게 나타나는 것으로 사료된다. Lee et al. (2002) 은 무지개송어의 치어(초기무게, 0.96g) 사료에서 15%의 어분이 면실박으로 대체될 수 있었던 반면에 Blom (2001)등은 무지개송어 성어의 경우 어분단백질의 50%까지 면실박으로 대체할 수 있다고 보고 한 바 있다. 넙치의 성장발달에 따른 이용율을 연구하기 위해서는 이러한 연구결과를 바탕으로 면실박과 대두박의 이용률에 관한 장기간의 사료공급 실험이 이루어져야 할 것이다.

성장률 결과에서 CS40 실험구는 대조구보다도 유의적으로 낮은 성장률을 보이는데, 이 결과는 면실박과 대두박에 존재하는 항영양인자들(고시폴, 단백질분해억제자, 피틴산) 때문일 것으로 추측된다. 면실박에 다량 함유되어 있는 고시폴은 많은 어종에서 독성을 일으키는 색소로 알려져 있다(Dorsa et al., 1982; Dabrowski et al., 2000; Lee et al., 2002; Garcia-Abiado et al., 2004). 본 실험에서 CS40 사료의 총 고시폴 함량은 (18.8% dietary cottonseed meal) 초기 넙치치어의 고시폴 내성수준 보다 더 높은 농도인 것으로 판단된다. 또한 면실박과 대두박 내에 존재하는 피틴산은 어류사료에서 사료원의 이용률을 제한하는 주요 항영양인자로 보고되고 있다(Bransden and Carter, 1999; Lee et al., 2002; Barual et al., 2004; Riche and Garling JR, 2004). 피틴산은 칼슘, 마그네슘, 아연과 같은 2가 양이온들과 쉽게 결합하는 성질을 갖고 있어 어류를 포함한 단일 위를 갖는 동물에서 이런 영양소의 생체 이용율을 감소시킨다(NRC, 1993; Storebakken et al., 2000). 고시폴 분자가 L-lysine과 쉽게 결합하는 것은 이미 잘 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 사료 어분단백질이 면실박-대두박 혼합물로 대체함에 따라 L-methionine과 L-lysine을 사료 내에 보충하였다. CS40 사료구에서 보여준 낮은 성장률은 아연, 철, 인과 같은 미네랄의 결핍에 의한 것으로 사료된다. 이런 결과는 앞으로 넙치사료에서 면실박-대두박 혼합물을 첨가한 사료의 미네랄의 적정 첨가농도에 관한 연구의 필요성을 시사해 주고 있다.

최근 식물성단백질원 혼합물의 사용이 단일원을 사용한 것 보다 좋은 것으로 보고되고 있으며 이런 다양한 식물단백질원의 필수 아미노산조성은 많은 양식어종의 요구량에 부합할 수 있을 것이다. 또한 식물성 단백질원이 갖고 있는 여러 항 영양인자들은 사료 가공공정을 통하여 감소될 수 있다(Riche et al., 2001). 무지개송어에서는 어분단백질을 63% 까지 대두박-콘글루텐밀로 대체할 수 (Pongmaneerat and Watanabe, 1993) 있었고, 틸라피아 치어는 단백질을 100% 식물성 단백질원(대두박 25%, 면실박 25%, 해바라기박 25%, 아마박 25%)만 사용하여 성장률에 아무런 유의차 없이 어분을 대체할 수 있었다(El-Saidy and Gaber, 2003).

본 실험결과, 면실박 내의 독성물질인 고시폴은 30% 이내의 대체에서는 아무런 문제가 되지 않았음이 밝혀졌다. 성장률과 사료전환효율을 기준으로 판단한다면 면실박-대두박에 L-methionine 과 L-lysine을 첨가한 혼합물은 어분단백질의 30%(면실박 15%, 대두박 15%)까지 대체 가능할 것으로 판단되지만, 넙치 초기치어에서 면실박-대두박의 안전하고 실용적인 첨가 사용함량은 어분단백질의 20%(면실박 10%, 대두박 10%)가 현실적으로 적당하다는 잠정적인 결론을 얻을 수 있었다.

제 8 절 넙치 사료 내 면실박과 대두박 첨가에 따른 철과 인의 보충 효과

1. 서론

양식 산업은 연간 11%씩 세계에서 가장 빠르게 성장하고 있는 식량산업중에 하나이다 (Tidwell and Allan, 2001). 그러나 이러한 성장은 오직 어분을 기초로 한 사료만으로는 유지되어 질 수 없다. 그리하여 최근 들어 이러한 어분을 대체 할 수 있는 단백질원을 찾는데 많은 연구가 이루어지고 있다. 식물성 단백질은 많은 어종에 있어서 어분을 부분적으로 또는 완전히 대체 할 수 있는 좋은 자원으로 보고되어 지고 있다. 따라서 이러한 식물성 단백질원의 이용성은 다음과 같은 여러 어종에서 실험되었고 발표되었다 무지개송어 (Kaushik et al., 1995; Teskeredzic et al., 1995; Vielma et al., 2000), Chinook 연어(Bureau et al., 1998), 대서양 연어(Storebakken et al., 2000), gilthead sea bream (Robaina et al., 1995, 1998; Alarcon et al., 1999), European sea bass (Gouveia and Davies, 1998), striped bass (Gallagher, 1994), 넙치(Kikuchi, 1999) 그리고 turbot (Burel et al ., 2000).

대두박은 높은 단백질 함량과 비교적 우수한 아미노산조성을 가지고 있어서 양어사료에 있어서 어분을 완전히 또는 부분적으로 대체할 수 있는 식물성 단백질 원으로서 많은 연구가 수행되어져 왔다. 어분 대체 단백질 원으로서의 대두박의 이용은 대서양 연어, 농어류, 차넬메기, 초어, 잉어 등과 같은 어종에서 보고되어져 왔다(Refstie et al., 2001 Boonyaratpalrin et al ., 1998 Bai and Gatlin, 1994 Cho et al., 1974 Dabrowski and Kosak, 1979 and Viola et al., 1984). Kikuchi (1999)는 넙치 사료에 있어서 대두박과 몇몇의 단백질 원을 혼합하여 어분 단백질을 45%까지 대체 할 수 있음을 밝혔다. 그러나 어류 배합 사료에서의 대두박 사용은 여전히 제한적이다. 그 이유는 대두박이 단백질 분해효소 억제자(protein inhibitors), phytate, lectins, saponins, non-starch polysaccharide 같은 몇몇의 항영양인자를 갖고 있기 때문이다(Spinelli et al., 1983; Snyder and Kwon, 1987; Davies et al., 1990; NRC 1993; Krogdahl et al., 1994; Krogdahl 1995; Liu, 1997; Storebakken et al., 1998; Refstie et al., 1999 Storebakken et al., 2000; Hendricks, 2002). 또한 대두박에서의 methionine 및 lysine 같은 필수아미노산의 결핍은 어류사료에서 대두박의 단백질이용율을 감소시킨다(NRC, 1993; Krogdahl, 1995).

면실박은 어분대체원 중 하나이지만, 독성물질인 고시폴(gossypol)을 다량 함유하고 있어서 사료내 첨가량에 있어서 많은 제한을 받아왔으며, 주로 육상 반추동물의 첨가사료로 이용되어 왔다(Lee and Dabrowski, 2002). 지난 10여년간 여러 학계에서 보고되고 있는 또 다른 측면의 결과는 면실박에 관한 또 다른 인식을 심어주고 있다. 면실박에 함유되어

있는 많은 양의 폴리페놀계(polyphenolic) 고시폴이 항산화 효과를 비롯하여 항암효과(Benz et al., 1990; Shelley et al., 1999), 면역효과 및 최근의 큰 관심사가 되고 있는 혈중 콜레스테롤의 저하 효과를 가지고 있는 것으로 보고되고 있다. 최근에는 어류에서도 면실박을 사용하고자 하는 노력이 있었지만(Robinson and Li, 1995; Robinson and Tiersch, 1995; Lee et al., 2001; Dabrowski et al., 2001; Mbahizireki et al., 2001; Rinchards et al., 2002), 대부분 담수어류를 대상으로 이루어 졌었다.

이러한 식물성 단백질 사료원들의 가격이 낮기 때문에 궁극적으로는 사료단가와 양식 어류 생산비용을 줄일 수 있어서 가격경쟁에서도 서서히 외국산 수입어류와 경쟁할 수 있을 것으로 예측된다. 그 이유로는 대두박 가격이 어분 가격의 30%도 채 되지 않으며, 면실박의 가격은 대두박 가격의 70% 정도 밖에 되지 않기 때문이다. 현재 세계 선진각국에서는 면실박에 관한 새로운 형태의 연구에 박차를 가함으로써 값싸고 질 좋은 식물성 단백질원의 하나로써 그 사용범위와 사료 내 첨가함량을 높이려는 노력을 하고 있다. 특히, 면실박은 그 생산량이 대두박과 채종박(rape seed meal) 다음으로 세계 3위에 이르고, 미국 내 생산량에 있어서는 대두박 다음으로 2위를 차지하는 값싼 식물성 단백질원이다(NCPA, 2001). 앞 연구에서 10주간의 넙치 치어 실험 결과에서는 사료 내 어분단백질의 30%까지는 대두박과 면실박의 혼합물로 대체할 수 있음을 보였다(Pham et al., 2005). 이어서 본 연구에서는 식물성 단백질원(대두박, 면실박)들의 사료내 이용률을 높이기 위해 식물성 단백질원에 있어서 결핍되어 질 수 있는 인(P)과 고시폴의 독성을 중화시킬 수 있는 철(Fe)을 보충하여 실험사료를 제조하였다. 따라서, 본 연구는 성장기 넙치 배합사료에 인과 철을 보충하면서 식물성 단백질원인 면실박과 대두박을 혼합, 첨가하여 어분단백질을 부분적으로 대체하고 나아가 이러한 식물성 단백질원들이 어류의 건강에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지를 조사하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

실험어류 및 사료공급

넙치 치어는 제주도내 종묘배양장에서 제주대학교소속 해양과환경연구소로 수송되었으며, 약 2주 동안 시판 배합사료를 공급하면서 실험환경에 적응시켰다. 실험어류(초기평균무게: 28.7g)는 15개의 플라스틱 200L 원형 수조에(15 마리씩/수조) 3반복으로 무작위 배치시켰다. 유수량은 여과해수로 7-8L/min이었고, 용존산소 유지와 원활한 사육수 순환을 위하여 에어스톤을 설치하였다. 수온은 사육실험 기간동안 13°C에서 23°C 범위로 계절변화에 따라 자연변동 하였다. 실험사료 공급은 하루 두번씩 오전 09:00h 와 오후 16:00h 경에 처음 6주 동안은 어체중의 3%로 제한급이를 하였으며, 그 후 실험이 끝날 때까지는 만복급이에 따른 성장율과 사료섭취율을 조사하기 위하여 만복급이를 하였다.

어류의 성장율은 매 2주마다 전체 어류의 무게를 측정하였고, 사료공급실험은 26주간 행해졌다.

실험사료

총 5개의 실험사료는 어분단백질을 0%, 20%, 30%, 30%, 40%가 면실박-대두박 혼합물(1:1, w: w) 대체되도록(CS0, Diet 1; CS20, Diet 2; CS30, Diet 3; CS30+Fe&P, Diet 4; and CS40+Fe&P, Diet 5) 하였으며, Diet 4,5에는 각각 철과 인을 보충하여 주었다. 실험사료 모두 동일한 단백질(48%)과 에너지함량(16.4 MJ/kg diet)을 갖도록 실용사료원을 사용하여 제조되었다. 사료 조성은 Table 1에 나타내었다.

면실박-대두박 혼합물(CS)이 첨가된 사료에는 이들CS에서 제한 아미노산인 L-methionine과 L-lysine을 각 요구량을 충족시킬 수 있도록 보충, 첨가하였다. 본 연구에 사용된 면실박은 Southen Cotton Oil Co. (Memphis, TN, USA)에서 제공된것으로 조단백질 함량이 44%이며 조섬유질 함량이 12% 이하인 고품질 면실박을 사용하였다(Table 2). 사용한 면실박 내의 고시폴(Gossypol)은 Hron et al. (1990)의 HPLC를 이용한 방법에 따라 분석되었고 총 함량은 1.65%이었다. 실험 사료내 총 고시폴 함량은 Table 1에 나타내었다. 실험사료에 사용된 단백질 사료원의 일반조성은 Table 2에 나타내었다. 실험사료는 우선 사료원들을 잘 섞은 다음 사료원 총량의 30-40%에 해당하는 증류수를 첨가하여 사료혼합기(NVM-14-2P, KOREA)로 혼합, 반죽시켰다. 혼합반죽물은 소형초파기(SMC-12, KOREA)를 이용하여 직경3mm 크기로 뽑아내었다. 그런 다음, 동결냉동건조기에서 건조시켜, 적당한 크기의 사료로 분쇄한 다음, 사료 공급 전까지 -20°C 에 보관하였다.

어체측정

26주간의 사료공급 실험 후, 각각의 어류는 최종 평균무게를 측정하여 증체율(Weight Gain), 사료전환효율(Feed Conversion Ratio), 일간성장율(Specific Growth Rate), 사료섭취율(Feed Intake), 단백질전환효율(Protein Efficiency Ratio), 및 생존율(Survival)이 측정되었다. 위의 성장인자 측정은 아래와 같은 식으로 계산되었다.

$$WG (\%) = 100 \times (\text{final mean body weight} - \text{initial mean body weight}) / \text{initial mean body weight}$$

$$FCR = \text{dry feed fed} / \text{wet weight gain}$$

$$SGR (\%) = [(\text{loge final body weight} - \text{loge initial body weight}) / \text{days}] \times 100$$

$$FI (\text{g/kg ABW/day}) = \text{dry feed consumed (g)} / \text{kg ABW/days}$$

$$PER = \text{wet weight gain} / \text{total protein given}$$

Table 1. Formulation, and proximate composition of experimental diets (% dry matter)

Ingredients	Diets				
	CS0	CS20	CS30	CS30 Fe&P	CS40 Fe&P
White fish meal	54.00	43.20	37.80	37.80	32.40
Soybean meal	0	7.9	11.8	11.8	15.7
Cotton seed meal ^a	0	8.5	12.7	12.7	16.9
Corn gluten meal	6.6	7.0	7.2	7.2	7.4
Wheat flour	24.0	16.9	13.3	13.3	9.7
Yeast	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Mineral mix ^b	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Vitamin mix ^c	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Choline chloride	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Squid liver oil	7.3	7.9	8.2	8.2	8.5
CMC	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Lysine ^d	0	0.4	0.6	0.6	0.8
Methionine ^e	0	0.2	0.3	0.3	0.4
Ferrous Sulfate-7H ₂ O ^f					
Monocalciumphosphate ^g					
Proximate composition & Gossypol concentration					
Protein, % DM	48.	48.0	48.6	47.9	47.9
Lipid, % DM	12.6	12.7	12.7	12.7	12.7
Ash, % DM	9.1	8.0	8.0	8.5	8.9
Energy, MJ/kg DM ^h	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4
Total gossypol, % DM ⁱ	0	0.16	0.24	0.24	0.32

^aCottonseed meal was purchased from Southern Cotton Oil Co., Memphis, Tennessee 38108, USA

^bMgSO₄.7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄.2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄.7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃. 6H₂O, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄.H₂O, 2.0; CoCl₂.6H₂O, 1.0.

^cL-ascorbic acid, 121.2; DL- tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003.

^dL-lysine mono-hydrochloride, Sigma, USA.

^eL-methionine, Sigma, USA.

^fFerrous Sulfate 7H₂O, Sigma, USA.

^gMonocalciumphosphate, Sigma, USA.

^hGross energy of experimental diets was calculated according to gross energy values 5.64 kcal/g protein, 4.11 kcal/g carbohydrate, and 9.44 kcal/g fat respectively (NRC, 1993).

¹Total gossypol in diets are calculated based in the gossypol concentration in cottonseed meal.
혈액 분석

실험 종료시 수조당 3마리(실험구마다 9마리씩)의 어류를 무작위로 선별하여 MS-222 용액(100mg/L)으로 마취시켰다. 혈액샘플은 헤파린 처리된 주사기로 미부정맥에서 뽑아내었다. Hematocrit(Ht)은 microhematocrit technique에 의해 결정되었으며, 혈액은 플라스틱 유두관으로 넣고서 micro-hematocrit (VS-12000, Korea) 에서 8분 동안 12,000 g 으로 원심분리 되었다. 헤모글로빈은 다음의 설명에서 약간 수정된 방법으로 결정되었다. 25ul 의 혈액샘플은 (헤파린처리 안됨) 2.5ml의 수정된 헤모글로빈 용액(composed of 0.7 g K₃Fe(CN)₆ and 0.1 g KCN in 1 liter double distilled water) 으로 희석되었다. 혼합물의 흡광도는 540nm의 파장에서 분광광도계(Genesys 10 UV, USA)로 측정되었으며 헤모글로빈은 다음식으로 계산되었다.

$Hb=0.146 \times F \times OD$ (Hb: hemoglobin; F: 희석배수(200) and OD: 540nm에서의 흡광도)

헤파린처리 안된 주사기로 뽑힌 혈액샘플은 실온에서 약 1시간 가량 방치한 후 원심분리기(TR17, Korea)로 10분간2,800 g 로 4°C에서 원심분리하여 혈청을 분리하였다. 분리된 혈청은 생화학 혈액분석기(Chiron Diagnostics, USA)를 이용하여 ALT (alanine aminotransferase) 와AST (aspartate aminotransferase) 를 분석하는데 사용되었다. 혈액 채취된 어류는 즉시 샘플되어 70°C 초저온 냉동고에서 간과 등근육 샘플때 까지 보관되었다.

항산화 능력 분석

실험사료와 어류 혈액, 간에 있어서의 항산화 능력(antioxidant activity)은 Sandoval et al.(2002)이 사용한DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 활성소거법을 근거로 수정하여 분석하였다. -70°C에 보관되었던 최종 실험어 혈액샘플에서 200ul씩 피펫팅 되었고, 800ul 메탄올(methanol)에 첨가혼합하여 Voltex 하여, 10분 동안 4°C에서 1,500 g 속도로 원심분리되었고 얻어진 상층액은 감압 여과기를 통하여 여과(45nm) 되었다. 여과된 상층액 중 3001씩 1.5ml 큐벳으로 피펫팅 되었고, 700l의 DPPH 메탄올 용액(100M)을 첨가 혼합하여 총 1ml의 볼륨을 얻었다. 약동역학적(kinetic) 흡광도는 분광광도계(Genesys, Series 10 UV, USA)를 이용하여 10분 동안 1분 간격으로 517nm 파장에서 조사되었다. 각 실험사료는 2 반복으로 분석되었고 DPPH에 대한 추출물의 항산화 능력은 억제율을 백분율로 계산하여 다음과 같이 계산되었다.

억제율 = $[(A_0 - A_s)/A_0] \times 100$ (A₀: 0분의 샘플 흡광도 A_s:10분 경과후의 샘플 흡광도)

Table 2. The proximate composition of major ingredients used in experimental diets (% DM)

Ingredients	Moisture	Protein	Lipid	FNE ^a	Ash
White fish meal	8.72	68.33	8.56	0.32	14.07
Soybean meal	7.59	46.91	2.52	36.44	6.54
Cottonseed meal ^b	11.40	43.54	3.18	34.52	7.36
Corn gluten meal	9.50	61.70	1.03	26.59	1.18
Yeast	5.49	42.15	0.49	46.25	5.62

^aFree Nitrogen Extracts = 100 - (%Moisture + %CP + %Lipid + %Ash).

^bCottonseed meal was purchased from Southern Cotton Oil Co., Memphis, Tennessee 38108, USA.

통계학적 분석

실험사료의 배치는 완전확률계획법(Completely randomized design)을 실시하였고, 성장 및 분석결과는 SPSS (Version 11.0) 프로그램을 이용하여 One-way ANOVA로 통계 분석되었다. 데이터 값의 유의차는 Duncan's multiple test (P 0.05)로 비교되었다. 데이터는 평균 값 ± 표준편차(mean ± std)로 나타내었다. 백분율 데이터는 arcsine 변형값으로 계산하여 통계 분석되었다.

3. 결과 및 고찰

26주간의 사육실험 결과, 면실박-대두박의 첨가는 어류의 성장을 관련 결과들에 있어서 모든 실험구에서 유의적인 차이는 나타나지 않았지만(P>0.05), 사료 내 철과 인을 보충하지 않고, 면실박-대두박 혼합물로 어분을 30% 대체한 실험구(Diet 3)와 어분을 40% 대체하고 철과 인을 첨가한 실험구(Diet 5)에서 낮은 경향을 보였다. 일간성장율(Specific growth rate), 사료전환효율(Feed conversion ratio), 사료섭취율(Feed intake), 단백질전환효율(Protein efficiency ratio), 간중량지수(Hematosomatic index)에서도 실험구별로 유의적인 차이가 없었다. 실험기간 동안의 생존율(Survival)은 모두 95% 이상으로 유의적인 차이를 발견하지 못했다. 본 연구결과, 성장율과 일간성장율 및 단백질전환효율의 경향으로 판단한다면 철과 인이 보충되어지지 않았을 때 어분단백질의 20%까지 면실박(10%)과 대두박(10%)으로 대체할 수 있을 것으로 판단되어지고, 철과 인을 보충하였을 시에는 어분단백질의 30% 까지 대체가 가능할 것으로 여겨진다. (Table 3).

Table 3. Growth performance of juvenile flounder (IBW, 28.7±0.17g) fed different experimental diets for 26 weeks

Diets	CS0	CS20	CS30	CS30 Fe&P	CS40 Fe&P
Initial body weight, g	27.9±0.25	28.7±0.47	28.6±0.62	28.5±0.61	28.8±0.50
Final body weight, g	220±10.8	207±12.5	201±20.6	214±21.5	196±20.3
Specific growth rate (SGR) ^a	0.48±0.01	0.47±0.02	0.47±0.02	0.48±0.01	0.46±0.02
Protein efficiency ratio (PER) ^b	1.80±0.07	1.70±0.14	1.65±0.12	1.73±0.07	1.64±0.11
Feed conversion ratio (FCR) ^c	1.14±0.05	1.23±0.10	1.25±0.09	1.20±0.05	1.27±0.08
Feed intake, g (FI) ^d	218±3.5	219±4.2	214±11.0	218±10.6	212±13.6
Weight gain (WG) ^e	661±31.4	623±47.4	603±70.6	652±53.2	578±61.3
Survival (%)	95.3±4.04	95.3±4.04	95.3±4.04	95.3±4.04	100.0±0.0

Values are presented as mean std. Value in the same row having different superscript letters is significantly different (P<0.05)

^a SGR (%) = [(loge final body weight - loge initial body weight)/days] x 100

^b PER = wet weight gain/ total protein given

^c FCR = dry feed fed/wet weight gain

^d FI = dry feed consumed)/fish

^e WG (%) = 100 x (final mean body weight - initial mean body weight)/initial mean body weight.

혈액분석(Table 4) 중 Hemoglobin값은 5번(diet 5) 실험구 사료를 섭취한 어류에서 다른 실험구 사료를 섭취한 어류에 비해 유의적으로 낮았을 뿐 다른 실험구별로는 유의적인 차이를 보이지 않았다. Hematocrit값과 AST (aspartate aminotransferase)수치에서는 모든 실험구에서 유의적인(P<0.05) 차이를 보이지 않았다. 한편, ALT (alanine aminotransferase) 수치에서는 철과 인을 보충하지않은 (Diet 2,3) 면실박과 대두박을 함유한 사료를 먹은 어류에서가 대조구 사료를 섭취한 어류에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내었다. 그러나 철과 인을 보충한 실험구에서는 (Diet 4,5) 대조구와 비교하였을 때 유의적인 차이를 보이지 않았다.

Table 4. Blood parameters of juvenile flounder fed different experimental diets for 26 weeks

Diets	CS0		CS20		CS30		CS30 Fe&P		CS40 Fe&P	
Hematocrits(%)	24.73	1.94 ^a	23.60	0.36 ^a	23.30	2.71 ^a	23.90	1.98 ^a	19.00	3.04 ^b
Hemoglobin (g/dL)	3.63	0.34	3.46	0.33	3.55	0.19	3.45	0.03	3.61	0.11
Alanine AminoTransferase (IU/L)	3.11	0.21 ^a	4.64	0.05 ^c	4.43	0.77 ^{bc}	3.34	0.94 ^{ab}	4.24	0.26 ^{abc}
Asparate AminoTransferase (IU/L)	28.55	3.66	30.14	14.90	27.50	6.44	21.27	1.22	23.49	4.63

Values are presented as mean std. Value in the same row having different superscript letters are significantly different (P<0.05).

항산화능력 시험결과(Table 5, Figs. 1)에서는 면실박-대두박을 첨가함에 따라 사료의 항산화력이 유의적으로 높게 나타나는 경향을 보였다. 26주 동안 각기 다른 실험사료를 공급한 어류의 혈액에 있어서의 항산화능력 시험결과에서는 대조구에 비해 2번 실험구(CS20)에서만 유의적으로 높은 결과를 보였지만, 다른 실험구들 또한 대조구에 비해 혈액 내 항산화력이 우수해지는 경향을 보였다. 또한 실험어류의 간에서의 항산화능력 시험결과에서도 대조구에 비해 면실박-대두박을 첨가한 실험구에서가 유의적으로 높게 나타났다. 매우 흥미로운 사실은 면실박-대두박 혼합물 첨가 사료에서 대조구에 비해 항산화력이 높아지는 것을 확인할 수 있었다는 것이다.

Table 5. Percent antioxidant inhibition of the experimental diets, blood and liver of fish fed experimental diets for 26 weeks

Diets	CS0		CS20		CS30		CS30+Fe&P		CS40+Fe&P	
Dietary extracts	7.66	0.55 ^a	10.69	4.56 ^a	14.45	4.22 ^{ab}	11.33	0.48 ^a	19.33	2.58 ^b
Blood	2.06	0.34 ^a	3.59	0.89 ^b	3.23	1.05 ^{ab}	3.01	0.69 ^{ab}	2.75	1.04 ^{ab}
Liver	23.88	5.08 ^a	48.59	0.68 ^c	45.40	8.40 ^{bc}	32.53	5.03 ^b	37.14	2.03 ^{bc}

Values are presented as mean std. Value in the same row having different superscript letters are significantly different (P<0.05).

사료내 철과 인이 보충되어진다면 낚치 후기치어 배합사료에 값비싼 어분단백질의 40%까지는 면실박과 대두박으로 대체 가능하다는 것이 보여졌다. 면실박 내의 독성물질인 고시폴은 40% 이내의 대체에서도 철과 인이 보충된다면 아무런 문제가 되지 않는 것

도 본 연구 결과 밝혀졌다, 그러나 면실박-대두박의 안전하고 실용적인 첨가 사용함량은 철과 인의 보충시 어분단백질의 30%(면실박 15%, 대두박 15%)가 현실적으로 적당하다고 결론지을 수 있다. 특히, 본 연구에서 보여준 두 식물성단백질 사료원의 배합사료 내 첨가는 어류 혈액에서의 항산화 능력을 높일 수 있음을 보여줌으로써, 식물성단백질원 사용에 있어서의 또 다른 측면의 우수한 점을 보여준 중요한 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다. (Table 5, Figs. 1).

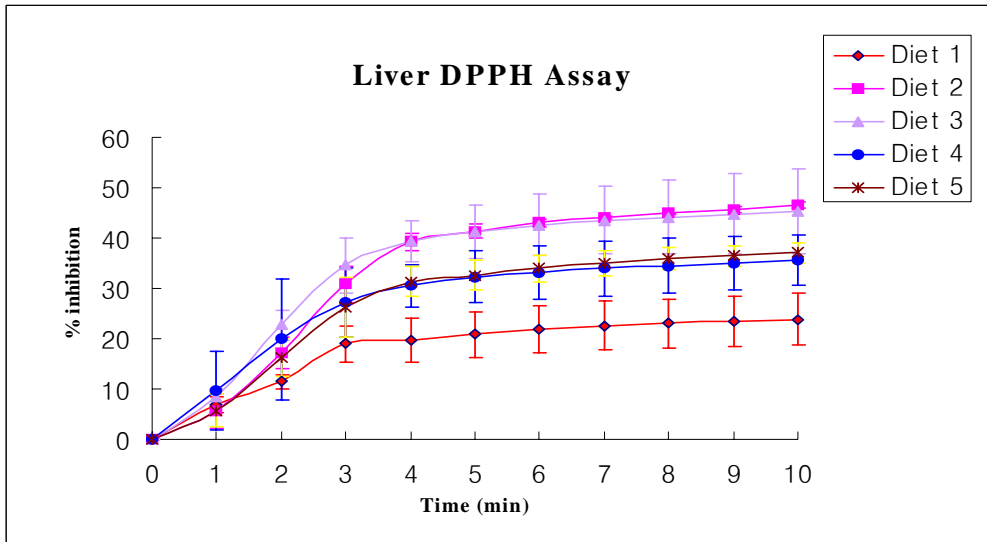


Fig. 1. The antioxidant capacity of Liver of fish fed experimental diets was evaluated by DPPH radical scavenging assay. The absorbance of 100 μ l muscle extract and 900 μ l was measured at 517 nm for 10 min .

제 9 절 넙치 치어용 배합사료에 깻묵 첨가 효과

1. 서론

깻묵은 단백질 함량이 높고 칼슘이 풍부하여 소와 돼지와 같은 가축의 사료로 이용되고 있다. 사료단가를 절감하기 위하여 앞 연구에 이어서 본 실험에서는 어분 대체원으로서 식물성 부산물인 깻묵의 이용성을 넙치 치어를 대상으로 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험사료의 원료로 사용된 고등어어분, 깻묵 및 소맥분의 일반성분 및 필수아미노산 조성을 Table 1에 나타내었다. Table 2에 나타낸 바와 같이 실험사료는 고등어 어분을 주 단백질원으로 사용하였으며, 탄수화물원으로 소맥분과 α -전분을, 지질원으로 오징어간유를 각각 사용하여 설계하였다. 깻묵의 첨가 효과를 조사하기 위하여 대조사료의 고등어어분과 소맥분의 함량을 줄이면서 깻묵을 0-40%로 첨가하여 총 5종류의 실험사료를 설계하였다. 이와 같이 설계된 원료들을 잘 혼합한 후 원료 100 g 당 물 30 g 을 첨가하여 펠렛 제조기로 사료를 성형한 후 실온에서 24시간 건조하였다. 건조된 사료는 -30°C 의 냉동고에 보관하면서 사료 공급시마다 사용하였다.

실험어 및 사육관리

사육실험에 사용된 실험어는 평균체중 12.5 g 전후의 넙치를 300 L FRP 원형수조에 각각 25마리씩 각 사료마다 3반복으로 수용하여 73일간 사육하였다. 사료는 매일 2회 (08:00, 17:00) 사료를 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져 주었으며, 사육수는 수조에 분당 2 L로 조정하여 흘러주었으며, 사육기간 동안의 수온은 $12.4\pm 1.74^{\circ}\text{C}$ (평균 \pm 표준편차)였고, 비중은 1.024 ± 0.0013 였다. 실험 개시시와 종료시에 측정 전일 절식시킨 후 각 실험수조에 수용된 실험어 전체의 무게를 측정하였다. 그리고 사육실험 시작시와 종료시에는 측정 전일 절식시킨 후 MS222 100 ppm (Tricaine methanesulfonate, Sigma, USA) 수용액에 마취하여 각 실험수조에 수용된 실험어의 전체무게를 측정하였다.

Table 1. Proximate and essential amino acids composition of ingredients

	Sesame residues	Mackerel meal	Wheat flour
<i>Proximate analysis (% in dry matter basis)</i>			
Moisture	4.36	8.73	10.45
Crude protein	39.57	75.31	11.68
Crude lipid	26.04	7.86	1.03
Crude ash	9.41	15.66	1.00
<i>Essential amino acid % in protein (A/E ratio)</i>			
Arg	7.9(125)	6.7(129)	6.5(131)
His	4.4(71)	4.0(76)	4.1(82)
Ile	4.8(77)	4.0(77)	3.9(78)
Leu	11.1(176)	8.2(157)	8.6(173)
Lys	9.2(147)	8.4(161)	7.1(143)
Met+Cys	2.8(44)	3.0(58)	1.6(32)
Phe+Tyr	9.7(154)	7.3(139)	9.7(154)
Thr	6.0(96)	5.1(97)	4.7(95)
Val	6.9(110)	5.6(107)	5.6(113)

Table 2. Composition (%) of the experimental diets

Diets	S0	S10	S20	S30	S40
<i>Ingredients (%)</i>					
Mackerel fish meal	60	55	50	45	40
sesame residues		10	20	30	40
Wheat flour	21.8	18.8	15.8	12.8	7.8
Alpha-starch	10	10	10	10	10
Squid oil	6	4	2		
Vitamin premix	1	1	1	1	1
Mineral premix	1	1	1	1	1
Alpha-cellulose					
Choline (50%)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<i>Proximate analysis (% in dry matter basis)</i>					
Dry matter	78.1	89.8	78.0	76.8	77.3
Crude protein	50.1	50.6	49.6	48.2	48.0
Crude lipid	11.4	11.4	11.2	11.1	13.7
Crude ash	8.9	9.1	9.1	9.2	9.5

시료채취 및 성분분석

최초 어체 성분 분석용으로 사육실험 시작시 치어 50마리를 무작위로 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조의 실험어 중에서 어체의 성분분석용으로 15마리를 표본 추출하여 -70℃ 냉동고에 보관하였다. 혈액 분석용으로 각 실험수조에서 측정전일 절식시킨 실험어 6마리씩 추출하여 미부동맥에서 일회용 주사기로 채혈하여 채혈한 혈액을 실온에 30분간 방치한 후 3500 rpm에서 5분간 원심분리하여 얻은 혈장을 -75℃에 동결 보존하였다. 실험 사료 및 어체의 일반 성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 분석하였다. 혈청성분은 임상용 kit (아산제약제품)를 사용하여 total protein은 biuret법으로 분석하였고, glucose와 Triglyceride는 효소법으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

실험종료시 넙치의 성장 및 사료이용효율을 Table 3 및 4에 나타내었다. 넙치의 생존률, 일일사료섭취율 및 일일단백질섭취율은 실험사료에 영향을 받지 않아 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 증중률, 사료효율 및 단백질효율은 깻묵을 첨가하지 않은 S0 실험구가 다른 실험구보다 유의하게 높았으며($P<0.05$), 깻묵의 첨가량이 증가할수록 낮아졌다. 비만도는 S40 실험구가 가장 낮은 값을 보였으며($P<0.05$), 간중량지수는 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$).

Table 3. Growth performance of juvenile flounder fed diets for 73 days¹

Diets	Initial wt (g/fish)	Survival (%)	Weight gain (%) ²	CF ³	HSI ⁴
S0	12.4±0.30 ^{ns}	96±0.0 ^{ns}	103.8±9.30 ^c	1.13±0.018 ^b	2.26±0.166 ^{ns}
S10	12.5±0.24	92±6.1	76.9±1.40 ^b	1.13±0.018 ^b	2.46±0.263
S20	12.6±0.09	89±4.8	61.1±5.67 ^b	1.09±0.010 ^{ab}	2.74±0.300
S30	12.6±0.09	92±2.3	39.0±2.64 ^a	1.08±0.032 ^{ab}	2.74±0.245
S40	12.5±0.07	72±18.9	25.4±2.51 ^a	1.04±0.013 ^a	2.72±0.171

¹Values (mean±SE) in the same column having different superscript letters are significantly different ($P<0.05$)

² $100 \times (\text{final mean body weight} - \text{initial mean body weight}) / \text{initial mean body weight}$.

³ Condition factor : $[\text{fish wt. (g)} / \text{fish length (cm)}^3] \times 100$.

⁴ Hepatosomatic index : $(\text{liver weight} / \text{body weight}) \times 100$.

Table 4. Feed utilization of juvenile flounder fed the diets for 73 days¹

Diets	Feed efficiency (%) ²	Daily feed intake (%) ³	Daily protein intake (%)	Protein efficiency ratio (%) ⁴
S0	74±0.8 ^e	1.23±0.065 ^{ns}	0.15±0.008 ^{ns}	1.49±0.015 ^e
S10	59±3.0 ^d	1.20±0.033	0.15±0.004	1.17±0.061 ^d
S20	48±1.1 ^c	1.24±0.068	0.15±0.008	0.97±0.022 ^c
S30	32±2.2 ^b	1.32±0.020	0.16±0.002	0.66±0.047 ^b
S40	18±2.0 ^a	1.28±0.202	0.15±0.024	0.39±0.041 ^a

¹Values (mean±SE) in the same column having different superscript letters are significantly different (P<0.05).

² Fish wet weight gain × 100 / feed intake

³ Feed intake × 100/[initial fish wt+final fish wt+ dead fish wt) × days reared/2]

⁴ (wet weight gain / protein intake) × 100.

전어체와 간의 일반성분 분석결과를 Table 5과 6에 나타내었다. 전어체의 수분함량은 S40 실험구가 가장 높은 값을 보였으며(P<0.05), 그 외 실험구간에 유의한 차이는 없었다(P>0.05). 단백질 함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었으며(P>0.05), 지질함량은 수분함량의 결과와는 반대로 S40 실험구가 가장 낮은 값을 나타내었다(P<0.05). 회분함량은 S30 실험구가 가장 높았고 S10 실험구가 가장 낮았다(P<0.05). 단백질함량은 실험구간에 유의한 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 간의 수분함량은 S40 실험구가 S0와 S30 실험구 보다 유의하게 높았으며(P<0.05), 이 값은 S10과 S20 실험구와 통계적인 차이가 없었다(P>0.05). 지질함량은 S40 실험구가 가장 낮은 값을 보였으며(P<0.05), 그 외 실험구간에 유의한 차이가 없었다(P>0.05).

Table 5. Proximate analysis of whole body of juvenile flounder fed diets containing different sesame residues level for 73 days¹

	Initial	S0	S10	S20	S30	S40
Moisture	77.3	74.1±0.73 ^a	74.3±0.21 ^a	74.1±0.21 ^a	74.7±0.74 ^a	76.8±0.54 ^b
Crude protein	17.2	17.3±0.25 ^{ns}	17.0±0.30	17.0±0.08	16.4±0.56	16.4±0.66
Crude lipid	1.76	3.50±0.19 ^b	2.95±0.17 ^b	3.09±0.24 ^b	2.64±0.31 ^b	1.66±0.39 ^a
Ash	3.05	3.20±0.16 ^{ab}	3.13±0.09 ^a	3.50±0.06 ^{abc}	3.65±0.15 ^b	3.59±0.10 ^{bc}

¹Values (mean±SE) in the same row having different superscript letters are significantly different (P<0.05).

Table 6. Proximate analysis of liver of juvenile flounder fed diets containing different sesame residues level for 73 days¹

Diets	Moisture	Lipid (% DM)
S0	44.0±4.86 ^{ab}	37.2±0.49 ^b
S10	49.3±2.34 ^{abc}	38.5±3.11 ^b
S20	54.9±1.06 ^{bc}	39.1±1.45 ^b
S30	36.7±5.00 ^a	35.6±1.85 ^b
S40	64.3±7.53 ^c	25.5±5.74 ^a

¹Values (mean±SE) in the same column having different superscript letters are significantly different (P<0.05).

Table 7은 혈액성상 변화를 나타낸 것으로, glucose 함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었으며(P>0.05), total protein 함량은 S40 실험구가 다른 실험구들에 비해 유의하게 낮았으며(P<0.05), 중성지방의 함량은 S0 실험구가 가장 낮은 함량을 나타내었다(P<0.05).

Table 7. Blood chemistry of juvenile flounder fed the experimental diets containing different sesame residues level for 73 days¹

Diets	S0	S10	S20	S30	S40
Glucose (mg/100ml)	21.7±1.38 ^{ns}	18.0±2.63	20.0±1.94	18.8±2.80	16.8±2.00
Total protein (g/100ml)	3.1±0.09 ^b	2.8±0.17 ^b	2.7±0.14 ^b	3.0±0.21 ^b	2.1±0.10 ^a
Triglyceride (mg/100ml)	559±52.4 ^a	813±20.67 ^b	786±112.8 ^b	849.5±39.4 ^b	840±92.2 ^b

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

^{ns} Not significant (P>0.05).

제 8 장 배합사료 품질 향상을 위한 사료 첨가제

그 동안 양식어류 배합사료에 관해 영양소 요구량 설정 등 기초적인 연구가 계속 수행되고 있고, 이와 함께 양식 생산 단가에 높은 비중을 차지하고 있는 사료비를 절감시키기 위한 배합사료 연구도 수행되고 있다. 하지만 대상종 배합사료가 연구되고 있다 하더라도 그 품질을 계속 개선하여 사료효율을 높이는 한편, 값비싼 영양소의 첨가 수준을 최소화하여 사료원가를 줄이는 연구와 양식어의 성장과 품질을 개선시키기 위한 노력은 계속되어야 할 것이다. 예를 들면, 상품배합사료로 사육할 때 발생하는 복수증이나 질병 저항성 등의 문제도 사료의 품질에 의한 부작용일 수 있음을 감안하면, 이에 대한 해결책을 연구하는 것도 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 즉, 어류의 성장을 증진시키거나 품질을 개선시키는 미지의 인자를 구명하는 것은 어렵지만, 이들의 식성 등을 고려하여 사료섭취 유인 물질이나 성장이나 양식어의 육질 개선 또는 면역을 증강시키는 원료를 사료에 첨가하여 사료의 품질을 개선하려는 연구가 필요하다. 그래서 본 사업에서는 생사료 대체에 따른 배합사료의 부작용을 최소화 할 수 있는 각종 첨가제를 탐색하고 그 이용 가능성을 타진하고자 하였다.

제 1 절 넙치 배합사료에 미역분말, 한약제 및 고추냉이 분말 첨가 효과

1. 서론

어류의 질병 치료는 발병 후 약제에 의존하기 때문에 치료 약제의 선택과 치료 기간 등에 따라 비용이 과다하게 소요될 수 있으며, 약제의 남용으로 인하여 내성균을 출현시킬 뿐 아니라 환경을 악화시켜 치료에 어려움을 더욱 가중시키고 있다(Aoki et al., 1985; 권 등, 1999). 내성균에 의한 질병 발생의 대책으로 사료에 유용물질을 첨가하여 어류의 면역능 및 생리 상태를 개선시키는 연구들이 활발히 진행되어 왔는데, 사료에 peptidoglycan, *Ulva* 및 *Chlorella*-extract 첨가가 양식어의 질병 저항력을 증가시키는 것으로 알려져 있으며(Nakagawa et al., 1981; Satoh et al., 1987; Matuso and Miyazono, 1993), 감초에서 분리된 triteponoid saponin계의 일종인 glycyrrhizin은 나일틸라피아의 성장과 질병 저항성을 향상시키는 것으로 보고 되었다(Jang et al., 1992).

사료 첨가제의 효능은 어종이나 사료조성 및 사료품질 등에 따라서 다를 수 있으므로 (Lindsay et al., 1984; Kono et al., 1987; Shiau and Yu, 1999), 첨가제 사용시에는 반드시

이에 대한 고려가 있어야 한다. 즉, 품질이 우수하고 양식 대상종이 요구하는 영양소나 물질이 충분히 함유된 사료에 첨가제의 사용은 예상했던 만큼 그 효능을 발휘하지 못할 수 있다(Lee et al., 2000). 또한, 효능이 있다고 해서 첨가제의 농도를 적정 함량 이상 사용하는 것은 첨가제의 종류에 따라서 오히려 부작용이 나타날 수도 있으며(Shiau and Yu, 1999), 그에 따른 경제적인 불이익을 초래할 것이다. 따라서 양식어의 성장, 품질 및 생리 상태를 향상시킬 수 있는 첨가제의 효능은 첨가제 종류 및 첨가범위에 따른 생리적인 변화 등을 고려하면서 연구되어야 할 것이다. 그래서 본 연구에서는 배합사료의 첨가제로서 미역 분말, 한약제(어보산) 및 고추냉이가 넙치 치어의 성장, 체성분, 혈액성상 및 비특이적 면역능에 미치는 효과를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

미역(*Undaria pinnatifida*) 분말, 어보산(성암산업, 서울) 및 고추냉이(*Wasabia japonica*)의 첨가효과를 조사하기 위하여 대조사료(Con)의 소맥분 대신 미역 분말을 5%(U5) 및 10%(U10), 어보산을 0.5%(HO), 고추냉이 잎(WL)과 줄기(WS) 건조 분말을 각각 2%씩 첨가한 모두 6종류의 실험사료를 설정하였다(Table 1). 대조사료는 북양어분(간접식, 개척호, 국산)을 주 단백질원으로 사용하였으며, 오징어간유를 지질원으로, 소맥분과 감자전분을 탄수화물원으로 각각 사용하여 모든 실험사료의 영양소 함량이 넙치의 성장에 적합하도록 설계하였다(Kim et al., 2002; Lee et al., 2002, 2003). 이와 같이 설계된 원료들을 분말 형태로 잘 혼합하고, 물을 첨가하여 수분을 30% 전후가 되도록 하여 moist pellet 제조기로 실험사료를 압출 성형하였다. 성형된 사료는 실온에서 24시간 건조한 후 -30°C 에 보관하면서 사료 공급시 마다 사용하였다.

실험어 및 사육관리

사육 실험은 평균 체중 8.4 ± 0.19 g (평균 \pm 표준편차)의 넙치를 300 L fiber reinforced plastic 원형수조에 각각 3반복으로 각 수조에 30마리씩 수용하여 8주간 실시하였다. 실험 사료는 매일 오전(09:00)과 오후(17:00)에 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져 주었으며, 실험 개시시와 종료시에 측정 전일 절식시킨 후 각 실험수조에 수용된 실험어 전체의 무게를 측정하였다. 사육수는 각 수조마다 분당 4 L로 조정하여 흘러주었으며, 사육기간 동안의 수온은 $20.1 \pm 1.94^{\circ}\text{C}$ (평균 \pm 표준편차)였고, 비중은 1.024 ± 0.0011 이었다. 이와 동시에 실험 기간 중에 혈액 성상을 조사하기 위하여 각 실험구마다 별도로 한 수조씩을 설정하여 채혈에 사용하였다. 혈액 분석을 위하여 사육기간 중 2주 간격으로 측정 전일 절식시킨 후 각 실험구 당 6마리 실험어의 미부정맥에서 헤파린 처리된 1 ml 주사기로 채혈하였으며,

어체의 성분 분석용으로 실험 시작시 30마리를, 실험 종료시 각 실험수조에서 10마리의 실험어를 sample하여 냉동(-75℃) 보관하였다.

Table 1. Ingredients and nutrient contents of the experimental diets

	Diets					
	Con	U5	U10	HO	WL	WS
<i>Ingredients (g/100 g)</i>						
White fish meal (70.0% CP, 7.5% CL)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Potato starch	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Wheat flour	22.5	17.5	12.5	22.0	20.5	20.5
Squid liver oil	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
<i>Undaria</i> powder (20.0% CP, 1.0% CL)		5.0	10.0			
Herb (Obosan) ¹				0.5		
Wasabi leaf (19.0% CP, 3.9% CL)					2.0	
Wasabi stem (8.3% CP, 1.5% CL)						2.0
Vitamin premix ²	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Mineral premix ³	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Choline salt	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>Nutrient contents (% dry matter basis)</i>						
Crude protein	45.6	45.5	46.5	45.0	45.8	45.2
Crude lipid	7.5	7.9	7.7	7.6	7.8	7.8
Ash	15.7	15.8	16.3	16.5	16.2	15.6
n-3HUFA ⁴	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4

¹ Provided by Sung-Am Co., Seoul, Korea.

^{2, 3} Same as Lee et al. (2003).

⁴ Highly unsaturated fatty acids (C_≥20).

혈청의 라이소자임 활성 및 식세포의 활성 산소 측정

혈청의 라이소자임 활성은 Parry et al. (1965)의 turbidimetric 방법에 따라 *Micrococcus lysodeikticus* (0.2 mg/ml) 현탁액(pH 6.2) 950 µl와 혈청 50 µl를 혼합하여 25℃에서 30초 및 4분 30초 동안 반응시킨 후 530 nm에서 흡광도를 측정하였다. 라이소자임 활성은

units/ml로 나타내었으며, 1 unit는 흡광도 값이 0.001/min 감소한 양으로 계산하였다.

식세포의 활성 산소 측정을 위해서 실험어의 두신을 무균적으로 분리하여 2% fetal calf serum, 1% penicillin과 streptomycin, 0.2% heparin이 함유된 L-15 medium을 소량 분주한 disposable petridish에서 40 μ m nylon membrane을 통과시켜 세포 현탁액을 준비하였다. 준비된 세포 현탁액을 51% percoll에 중층 시킨 후 3,000 rpm에서 25분간 원심 분리하여 백혈구를 분리하였으며, 분리된 백혈구는 0.1% trypan blue에서 viability를 관찰 한 후 2×10^6 cells/ml의 농도로 조정하여 microculture well에 분주한 다음 20°C에서 2시간 부착시켜 식세포를 준비하였다. 옉소닌화된 zymosan을 nitroblue tetrazolium (NBT) mg/L-15 medium ml로 현탁시킨 다음, 식세포가 부착된 microculture well에 NBT 용액을 100 μ l 씩 첨가하여 20°C에서 30분 동안 반응시킨 후 100% methanol로 고정시켰다. 각 well에 2 M KOH 용액 120 μ l와 dimethyl sulphoxide 140 μ l를 첨가한 후 630 nm에서 흡광도를 측정하였다. Blank로는 2 M KOH와 dimethyl sulphoxide의 혼합 용액을 사용하였다.

성분분석 및 통계처리

실험사료와 어체의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라, 조단백질(N \times 6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8.719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 분석하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550°C의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다.

적혈구수는 멸균생리식염수로 희석한 후 혈구계산기를 사용하여 계수하였으며, 헤마토크리트치는 capillary tube에 혈액을 채운 후 8,000 rpm으로 5분간 원심 분리하여 측정하였으며, 헤모글로빈은 임상용 kit (아산제약)을 사용하여 측정하였다. 혈청의 글루코스, 총콜레스테롤 및 glutamic-oxaloacetic transaminase 농도는 혈액자동분석기(Boehringer Mannheim, Germany)를 사용하여 분석하였다.

결과의 통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 SPSS Version 10.0 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

8주간 넙치 치어를 사육한 결과는 Table 2를 나타내었다. 생존율은 95~98%로 모든 실험구간에 유의적인 차이가 없었다($P > 0.05$). 증중량(g/fish)은 어보산 첨가구가 55.3 g으로 가장 높아 미역 분말 10% 첨가구의 38.6 g보다 유의하게 높았지만($P < 0.05$), 타 실험구의 48.1~49.8 g과는 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 사료효율도 어보산 첨가구가 가장 높아

미역 분말 10% 첨가구보다 유의하게 높았지만($P<0.05$), 타 실험구와는 역시 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$). 일일사료섭취율은 미역 분말 10% 첨가구가 가장 높았다($P<0.05$). 단백질 섭취에 따른 증체량을 나타내는 단백질효율은 어보산 첨가구가 미역 분말 첨가구 및 고추냉이 줄기 첨가구에 비해 유의하게 높았지만($P<0.05$), 대조구 및 고추냉이 잎 첨가구와는 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 비만도는 어보산 첨가구가 가장 높았지만 미역 분말 10% 첨가구를 제외한 타 실험구와는 유의한 차이가 없었으며($P>0.05$), 간중량 지수는 미역 분말 첨가구가 타 실험구에 비해 낮았다($P<0.05$).

Table 2. Growth performance of juvenile flounder fed the experimental diets containing different additives for 8 weeks *

	Diets					
	Con	U5	U10	HO	WL	WS
IMW ¹	8.4±0.12 ^{ns}	8.2±0.13	8.4±0.19	8.4±0.13	8.5±0.09	8.3±0.15
WG ²	49.8±1.40 ^{ab}	49.0±1.65 ^{ab}	38.6±1.74 ^a	55.3±1.56 ^b	48.1±0.43 ^{ab}	48.3±0.58 ^{ab}
FE ³	97±3.2 ^{ab}	93±1.5 ^{ab}	79±3.1 ^a	103±0.4 ^b	98±3.7 ^{ab}	92±3.4 ^{ab}
DFI ⁴	1.70±0.06 ^a	1.76±0.03 ^a	1.96±0.06 ^b	1.65±0.01 ^a	1.67±0.06 ^a	1.77±0.05 ^a
PER ⁵	2.15±0.07 ^{bc}	2.05±0.09 ^b	1.72±0.08 ^a	2.28±0.03 ^c	2.18±0.09 ^{bc}	2.04±0.07 ^b
CF ⁶	1.14±0.05 ^{ab}	1.11±0.01 ^{ab}	1.05±0.05 ^a	1.20±0.04 ^b	1.14±0.01 ^{ab}	1.13±0.04 ^{ab}
HSI ⁷	1.24±0.09 ^c	1.00±0.04 ^b	0.80±0.03 ^a	1.29±0.04 ^c	1.18±0.09 ^{bc}	1.29±0.06 ^c

* Values (mean±SE of three replications) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

¹ Initial mean weight (g/fish).

² Weight gain (g/fish).

³ Feed efficiency (%) = fish wet weight gain×100/feed intake (dry matter basis).

⁴ Daily feed intake = feed intake×100/[(initial fish wt.+final fish wt.+dead fish wt.)×days fed/2].

⁵ Protein efficiency ratio = fish wet weight gain×100/protein intake.

⁶ Condition factor = (body weight/total body length³)×100.

⁷ Hepatosomatic index = (liver weight/body weight)×100.

사육 실험 종료시, 전어체와 간의 성분 분석 결과를 Table 3에 나타내었다. 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분함량은 사료 첨가제의 종류에 영향을 받지 않았다($P>0.05$). 간의 수분 함량은 미역 분말 10% 첨가구가 가장 높았으나($P<0.05$), 지질 함량은 미역 분말 10% 첨가구가 미역 분말 5% 첨가구를 제외한 타 실험구보다 유의하게 낮았다($P<0.05$). 그러나 간의 단백질 함량은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$).

사육 기간 중 혈액의 생화학적 성분들을 분석한 결과, 적혈구수($178\sim373\times10^4/\text{mm}^3$), 헤마토크리트치(28.3~46.7%), 헤모글로빈(4.3~7.7 g/100 ml), 혈청의 글루코스(9.4~34.0 g/100 ml), 총콜레스테롤(228~385 g/100 ml) 및 glutamic-oxaloacetic transaminase (42~165 IU/ml) 농도는 사육기간 동안 사료의 첨가제에 따른 특별한 변화 경향을 보이지 않았다.

Table 3. Proximate compositions of the whole body and liver in juvenile flounder fed the experimental diets containing different additives for 8 weeks *

	Diets						
	Initial	Con	U5	U10	HO	WL	WS
<i>Whole body</i>							
Moisture	77.0	73.1±0.18 ^{ns}	74.0±0.78	74.1±0.17	73.7±0.48	73.1±0.48	72.9±0.54
C. protein	16.8	19.5±0.29 ^{ns}	19.4±0.13	19.6±1.04	19.4±0.15	19.6±0.58	19.5±0.37
C. lipid	2.9	2.7±0.62 ^{ns}	2.4±0.42	1.8±0.14	2.5±0.35	3.0±0.54	2.4±0.53
Ash	3.5	4.0±0.08 ^{ns}	4.1±0.15	4.0±0.07	3.9±0.15	3.8±0.13	3.9±0.03
<i>Liver</i>							
Moisture		60.0±0.74 ^a	64.9±1.74 ^b	69.9±1.06 ^c	61.5±0.45 ^{ab}	64.3±0.25 ^b	60.2±2.27 ^a
C. protein		10.4±0.97 ^{ns}	10.3±1.01	11.9±0.30	10.1±0.11	11.0±0.77	9.5±0.56
C. lipid		17.9±1.10 ^{bc}	15.2±1.61 ^{ab}	11.3±0.84 ^a	17.8±0.78 ^{bc}	19.7±1.83 ^c	19.3±1.36 ^c

* Values (mean±SE of three replications) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

어류의 비특이적 면역계의 인자로써 라이소자임 활성(Fig. 1)과 식세포의 활성화 산소(Fig. 2)를 조사한 결과, 혈청 라이소자임 활성은 대조구의 150 unit/ml에 비해 미역 분말

5% 첨가구와 어보산 첨가구가 각각 315와 337 unit/ml로 유의하게 높았으며($P < 0.05$), 식세포의 활성은 어보산 첨가구(1.05)와 고추냉이 줄기 첨가구(1.22)가 대조구(0.35) 보다 유의하게 높았다($P < 0.05$).

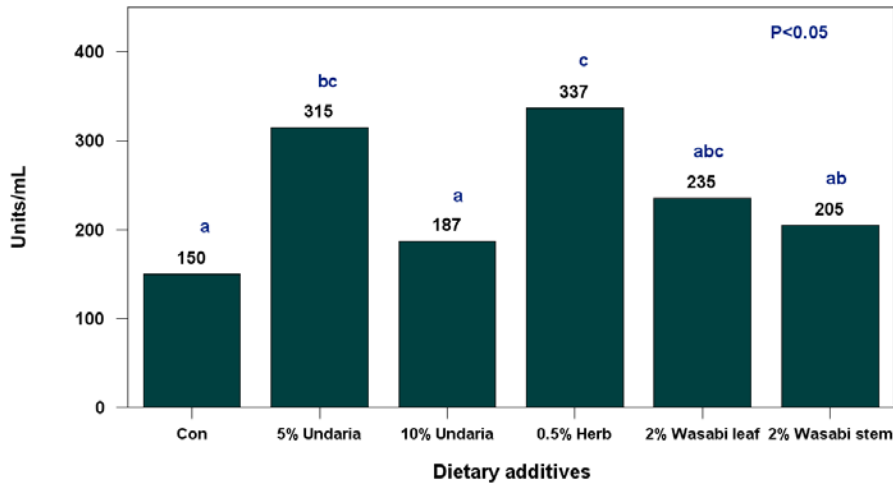


Fig. 1. Lysozyme activity in the serum of the juvenile flounder fed the experimental diets containing different additives for 8 weeks.

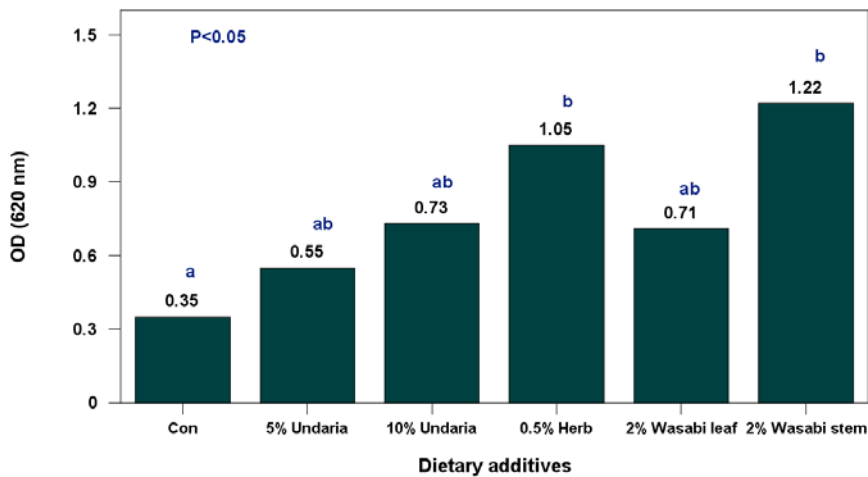


Fig. 2. Nitroblue tetrazolium (NBT) reduction of macrophage in the head kidney of the juvenile flounder fed the experimental diets containing different additives for 8 weeks.

양식 어류의 성장 및 품질 개선 뿐 만 아니라 생리적인 기능 강화를 위한 천연식물자

원 및 한방 생약제재와 같은 각종 첨가제들의 효능은 많은 연구자들에 의하여 조사되어져 왔다(Nagakawa et al., 1981; Satoh et al., 1987; Kim et al., 1998). 본 연구에서 첨가된 미역 분말, 어보산 및 고추냉이 중에서 어보산이 넙치 치어의 성장과 사료효율 개선에 효능을 나타내었다. 이미 넙치를 대상으로 한 기존의 연구에서도 습사료 및 배합사료에 어보산을 첨가함으로써 성장과 사료효율이 증가되었으며 육질도 향상되었다고 보고된 바 있어(Kim et al., 1996; 1998; Lee et al., 1998) 본 연구의 결과와 유사하였다.

사료에 클로렐라, 다시마 및 파래와 같은 해조류의 첨가는 어류의 생리 기능과 사료효율을 향상시킨다고 보고되어 있으며(Nakagawa, 1985; Nakagawa and Kasahara, 1986; Satoh et al., 1987; Lee et al., 1998), Yi and Chang (1994)은 습사료에 3~7%의 미역 분말 첨가는 조피볼락 치어의 성장과 사료효율을 개선하였다고 보고하였다. 또한 사료에 5~10%의 미역 분말 첨가는 참돔의 성장 및 영양소 이용효율을 증가시켰다고 보고된 바 있다(Yone et al., 1986a; b). 그러나 본 연구에서는 5%의 미역 분말 첨가는 타 실험구들과 비교하여 증중량과 사료효율에서 차이를 보이지 않았지만 미역 분말 첨가 수준이 5%에서 10%로 증가함에 따라 오히려 성장과 사료이용효율이 감소하여 기존의 연구들과 차이를 보였는데, 이러한 차이는 실험 어종 및 사용된 사료의 원료나 조성비와 관련이 있을 것으로 판단된다. 그리고 본 연구의 미역 분말 10% 첨가구는 타 실험구에 비해 높은 사료섭취율을 보였는데, 이는 넙치가 식물성 원료에 대한 소화율이 낮기 때문으로 판단되며, 부족한 에너지를 충족시키기 위해 사료섭취량이 상대적으로 높아진 것으로 생각된다. 이미 넙치 치어의 식물성 단백질원 대두박의 이용성에 관한 연구에서 Kim et al. (2000)은 사료의 대두박 첨가수준이 높을수록 일일사료섭취율이 증가하였다고 보고한 바 있다.

또한 사료에 미역 분말을 첨가함으로써 전어체와 간의 지질 함량은 감소하는 경향을 보였는데, 참돔과 은어의 경우에도 사료에 파래나 클로렐라와 같은 해조류의 첨가는 어체의 근육, 간 및 복강내 지방조직의 지질량을 감소시키는 것으로 보고되어(Nakagawa and Kasahara, 1986; Nematopour et al., 1987) 본 연구의 결과와 일치하였다.

고추냉이 정유의 휘발성분인 ally isothiocyanate는 맛과 향으로 인한 식욕 및 소화촉진 작용이외에도 병원미생물의 증식을 저해하는 효과가 있는 것으로 알려져 있으며(Seo et al., 1995; Shin, 2001), 서양고추냉이(*Armoracia rusticana*)의 MeOH 추출물과 이 식물에서 분리한 kaempferol 배당체들은 흰쥐의 간에서 과산화지질생성 억제효과(*in vitro*)를 나타내었다(Hur et al., 1998). 본 연구에서는 사료에 고추냉이의 첨가는 넙치 치어의 성장과 사료이용효율에는 영향을 미치지 않는 않았지만 식세포의 활성화 산소 생성을 증가시킨 점을 감안하여 차후 고추냉이가 어류의 면역 반응에 미치는 영향에 대해서는 첨가범위 및 생리적인 역할 등을 고려하여 상세한 연구가 이루어져야 할 것이다.

어류 혈청 중의 라이소자임은 세균의 세포벽 구성성분의 하나인 peptidoglycan에 작용하여 세포벽의 삼투압 작용에 손상을 주어 용균시키지만, 존재 부위와 활성은 어종에 따

라 다른 것으로 알려져 있다. 라이소자임은 많은 어류에서 정균 효과가 있는 것으로 보고 되었는데(Grinde, 1989), 김 등(1992)은 넙치의 라이소자임은 *Micrococcus luteus*, *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas fluorescens* 및 *Streptococcus epidermis*에 대하여 높은 정균 효과를 나타내었다고 보고하였으며, 실제 생체 내에서는 보체 및 식세포 등과 협력하여 훨씬 높은 용균 효과를 보일 것이라고 하였다. 박 등(1996)은 한국산 메기(*Silurus asotus*)에 β -glucan 접종 시, 권 등(1999)은 구기자를 나일틸라피아에 투여 시 라이소자임 활성이 증가된다고 하였으며, 본 연구에서도 대조구에 비하여 미역 분말 5%와 어보산 첨가구에서 라이소자임 활성이 높아 미역 분말과 어보산 첨가 사료의 공급은 넙치의 혈청 라이소자임 활성을 증가시키는 것으로 나타났다.

어류의 비특이적 면역계에서 중요한 역할을 수행하는 식세포는 병원체가 침입하여 자극하면 활성화 산소(O_2)와 같은 reactive oxygen species (ROS)를 생산하는데, 이 물질들은 강력한 살균효과가 있는 것으로 알려져 있다(Ellis, 1999). 실제 *in vitro*에서 알로에가 넙치 백혈구의 호흡폭발능을 증가시켰으며(Kim et al., 1999), *In vivo* 시험에서 구기자를 나일틸라피아에 경구 투여 시 유사한 결과를 나타내었는데(권 등, 1999), 본 연구에서도 어보산과 고추냉이 줄기 첨가구에서 활성화 산소의 생성이 높게 나타났다. 이상의 결과로 볼 때, 배합사료에 어보산 첨가는 넙치 치어의 성장을 개선시키는 데 도움이 될 것으로 기대되며, 미역, 어보산 및 고추냉이 줄기의 첨가는 넙치 치어의 비특이적 면역계 활성화에 효과가 있는 것으로 판단된다.

제 2 절 넙치 배합사료에 고추냉이 추출물, 키토산 및 김 분말 첨가 효과

1. 서론

양식 대상종의 영양소 요구량 및 배합사료 조성비가 연구되었다 하더라도 그 조성비를 계속 개선하여 양식 대상종의 성장 및 품질을 개선시키기 위한 연구들은 양식산업의 발전 및 경쟁력 향상을 위하여 계속 이어져야 할 것이다. 그리고 양식 대상종의 성장을 증진시키거나 어체의 품질을 개선시키는 성장 인자를 구명하는 것은 어렵지만, 먹이 조성 등을 고려하여 유인 효과가 있는 물질이나 성장개선 효과가 있을 것으로 생각되는 원료를 첨가하여 어류의 성장, 사료효율 및 어체의 품질을 개선하려는 연구들이 꾸준히 이루어져 왔으며 (Hirano and Suyama, 1985; Lee et al., 2000), 또한 어류의 생리적인 기능강화를 위한 각종 첨가제의 효능이 조사되고 있다 (Nagakawa and Kasahara 1986; Satoh et al., 1987). 그래서 본 연구는 배합사료에 고추냉이 추출물, 키토산 및 김 분말의 첨가가 넙치 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험 1. 고추냉이 및 키토산 첨가 효과

실험사료(Table 1)로는 단백질원으로 청어분을 사용하였으며, 지질원으로 오징어간유 및 대두유를, 탄수화물원으로 α -전분과 소맥분을 각각 사용하였다. 고추냉이(*Wasabia japonica*) 추출물 및 키토산 첨가효과를 조사하기 위하여 대조사료의 소맥분 대신 고추냉이 추출물 0.05% 및 키토산 1%를 첨가한 3종류를 설계하였다.

실험 2. 김분말 첨가 효과

실험사료(Table 2)에는 주단백질원으로 청어분을, 지질원으로 오징어 간유를, 탄수화물 원으로는 α -전분과 소맥분을 각각 사용하였다. 김 분말 첨가효과를 조사하기 위하여 김분말 1%를 대조사료의 소맥분 대신 첨가하였으며, 이와 같이 설계된 원료들을 분말형태로 잘 혼합하고, 물을 적당히 첨가하여 수분이 30% 전후가 되도록 하여 moist pellet 제조기로 실험사료를 압출 성형하였다. 성형된 사료는 실온에서 24시간 건조한 후 -30°C 에 보관하면서 사료 공급시 마다 사용하였다

Table 1. Ingredients and nutrients contents of the experimental diets (exp-1)

	Diets		
	Control	Wasabi extract	Chitosan
<i>Ingredients (%)</i>			
Herring fish meal	64.0	64.0	64.0
α -starch	15.0	15.0	14.0
Wheat flour	15.0	14.95	15.0
Wasabi extract		0.05	
Chitosan			1.0
Squid liver oil	2.0	2.0	2.0
Vitamin premix. ¹	1.5	1.5	1.5
Mineral premix. ²	2.0	2.0	2.0
Choline salt	0.5	0.5	0.5
<i>Nutrient contents (% of dry matter basis)</i>			
Crude protein	49.9	50.1	49.1
Crude lipid	7.0	7.0	7.1
Crude ash	9.8	9.7	9.9

¹ Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg premix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003.

² Mineral premix contained the following ingredients (g/kg premix): MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

Table 2. Ingredients and nutrients contents of the experimental diets (exp-2)

	Diets	
	Control	<i>Porphyra</i> powder
<i>Ingredients (%)</i>		
Casein	1.0	1.0
Herring meal	65.0	65.0
α -starch	15.0	15.0
Wheat flour	8.5	7.5
<i>Porphyra</i> powder		1.0
Squid liver oil	1.0	1.0
Soybean oil	4.0	4.0
Vitamin premix. ¹	2.0	2.0
Mineral premix. ¹	3.0	3.0
Choline salt	0.5	0.5
<i>Nutrient contents (% of dry matter basis)</i>		
Crude protein	47.3	46.9
Crude lipid	10.6	10.2
Ash	10.2	10.5

¹ Refer to Table 1.

실험어 및 사육관리

사육실험에 사용된 실험어는 평균체중 1.5 g 전후의 넙치 치어를 260 ℓ FRP 수조 (수용적 180 ℓ)에 35마리씩 실험사료마다 각각 3반복으로 수용하여 1일 3회 (0800, 1300, 1700) 사료를 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져주며 7주간 사육하였다. 사육수로 여과해수를 각 실험수조마다 분당 4 ℓ로 조정하여 흘려주었다. 사육기간 동안의 수온은 20.6±1.50 °C (평균±표준편차)였고, 비중은 1.024±0.0013 였다. 그리고 실험어는 사육실험 시작시와 종료시에는 측정 전일 절식시킨 후 각 실험수조에 수용된 실험어 전체 무게를 측정하였다.

시료수집 및 성분분석

실험 종료시 각 실험수조에 생존한 모든 실험어를 분석용 시료로 취하여 냉동 (-7 °C) 보관하였다. 실험사료와 어체의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 분석하였는데, 조단백질 (N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105 °C의 dry oven에서 6

시간 동안 건조 후 측정하였다. 조희분은 550°C의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였다.

결과의 통계처리는 SPSS(SPSS Inc., 1997) program을 사용하여 ANOVA-test를 실시한 후 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) 및 T-test로 평균간의 유의성을 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

고추냉이 추출물과 키토산을 첨가한 사료로 평균체중 1.5 g의 넙치 치어를 7주간 사육 실험한 후의 생존율은 93~95%로 모두 양호하였으며, 증중량은 모든 실험구에서 유의한 차이가 없었다 (Table 3). 사료효율은 고추냉이 추출물 첨가구는 첨가제를 사용하지 않은 대조구에 비해 유의하게 높았지만 ($P<0.05$), 키토산 첨가구는 대조구와 유의한 차이가 없었다. 일일사료섭취율은 대조구 및 키토산 첨가구가 고추냉이 첨가구보다 유의하게 높았지만 ($P<0.05$), 단백질 효율, 간중량 지수 및 비만도는 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다.

Table 3. Growth performance of juvenile flounder fed different additive for 7 weeks

	Diets		
	Control	Wasabi extract	Chitosan
Initial mean weight (g)	1.5±0.01	1.5±0.01	1.5±0.01
Weight gain (g/fish)	12.3±0.58	14.3±1.42	14.0±0.70
Feed efficiency (%) ²	92.9±1.68 ^a	101.4±2.02 ^b	96.1±2.86 ^{ab}
Daily feed intake ³	3.51±0.045 ^b	3.30±0.020 ^a	3.49±0.068 ^b
Protein efficiency ratio ⁴	1.86±0.0346	2.02±0.0384	2.00±0.0611
Survival (%)	93.3±5.23	95.0±2.64	94.3±4.25
Hepatosomatic index ⁵	0.9±0.02	0.9±0.06	0.9±0.06
Condition factor ⁶	1.1±0.02	1.1±0.04	1.0±0.06

¹ Values (mean±SE of replication groups) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

² Fish wet weight gain×100/feed intake (dry matter).

³ Feed intake (dry matter)×100/[(initial fish wt.+ final fish wt.+ dead fish wt.)×days fed/2].

⁴ Fish wet weight gain×100/protein intake.

⁵ Liver weight×/body weight.

⁶ Body weight×/total body length³.

사육 실험 종료시, 전어체의 성분 분석 결과를 Table 4에 나타내었다. 전어체의 수분 함량은 대조구가 고추냉이추출물 및 키토산 첨가구들 보다 낮은 값을 보였지만 ($P<0.05$), 단백질, 지질 및 회분 함량은 모든 실험구에서 유의한 차이가 없었다.

Table 4. Proximate composition (%) of whole body in juvenile flounder fed experimental diets for 7 weeks

	Diets		
	Control	Wasabi extract	Chitosan
Moisture	75.3±0.26 ^a	76.0±0.021 ^b	76.2±0.06 ^b
Crude protein	17.7±0.44	17.5±0.40	16.9±0.10
Crude lipid	2.4±0.32	1.6±0.47	1.7±0.10
Ash	3.5±0.04	3.3±0.14	3.2±0.10

¹ Values (mean±SE of replication groups) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

김 분말 첨가 효과를 조사하기 위하여 평균체중 1.4 g의 넙치 치어를 7주간 사육 실험한 후, 생존율은 김 분말 첨가구가 81%로 대조구의 96%에 비해 낮은 값을 보였지만 통계적인 차이는 없었다 (Table 5). 증중량은 대조구와 김 분말 첨가구간에 차이가 없었지만, 사료효율과 단백질효율은 대조구가 김 분말 첨가구보다 높은 ($P<0.05$) 반면 일일 사료 섭취율은 대조구가 김 분말 첨가구에 비해 유의하게 낮았다 ($P<0.001$). 사육 실험 종료시, 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분 함량은 두 실험구간에 유의한 차이가 없었다 (Table 6).

Table 5. Growth performance of juvenile flounder fed experimental diets for 7 weeks

	Diets		P value
	Control	<i>Porphyra</i> powder	
Initial mean weight (g/fish)	1.4±0.04	1.4±0.07	
Weight gain (g/fish)	11.6±1.01	10.4±0.27	0.4
Feed efficiency ²	109±2.5	97±1.4	0.03
Daily feed intake ³	1.40±0.001	1.58±0.003	0.001
Protein efficiency ratio ⁴	2.31±0.053	1.94±0.296	0.02
Survival (%)	96.0±2.65	81.0±6.42	0.1

¹ Values are mean±SE of replication groups.

² Refer to Table 3

Table 6. Proximate composition (%) of whole body in juvenile flounder fed experimental diets for 7 weeks

	Diets		P value
	Control	<i>Porphyra</i> powder	
Moisture	75.7±0.44	75.0±0.27	0.1
Crude protein	17.2±0.18	17.2±0.17	0.1
Crude lipid	1.5±0.16	2.6±0.19	0.07
Ash	3.7±0.09	3.8±0.21	0.3

¹ Values are mean±SE of replication groups

양식 어류의 성장 및 품질 개선 뿐 만 아니라 생리적인 기능 강화를 위한 각종 첨가제들의 효능은 많은 연구자들에 의하여 조사되어져 왔다(Satoh et al., 1987; Kim et al., 1998). 본 연구에서 첨가된 고추냉이 추출물, 키토산 및 김 분말 중에서 고추냉이 추출물은 넙치 치어의 사료효율 개선에 효능을 나타내었는데, 이미 넙치를 대상으로 한 기존의 연구에서도 배합사료에 고추냉이 분말을 첨가함으로써 비특이적 면역계 활성화에 효과가 있는 것으로 보고된 바 있다(박 등, 2003). 고추냉이 정유의 휘발성분인 ally isothiocyanate는 맛과 향으로 인한 식욕 및 소화촉진 작용이외에도 병원미생물의 증식을 저해하는 효과가 있는 것으로 알려져 있으며(Seo et al., 1995; Shin, 2001), 서양고추냉이(*Armoracia rusticana*)의 MeOH 추출물과 이 식물에서 분리한 kaempferol 배당체들은 흰쥐의 간에서 과산화지질생성 억제효과(*in vitro*)를 나타내었다(Hur et al., 1998).

사료에 클로렐라, 다시마 및 파래와 같은 해조류의 첨가는 어류의 생리 기능과 사료효율을 향상시킨다고 보고되어 있으며(Nakagawa and Kasahara, 1986; Satoh et al., 1987; Lee et al., 1998), 박 등 (2003)은 배합사료에 미역 분말 첨가는 넙치 치어의 식세포의 활성화 산소 생성을 증가시키는 것으로 보고하였다. 또한 사료에 5~10%의 미역 분말 첨가는 참돔의 성장 및 영양소 이용효율을 증가시켰다고 보고된 바 있다(Yone et al., 1986a; b). 그러나 본 연구에서는 1% 김 분말 첨가는 성장 및 사료효율 개선 효과를 보이지 않았다. 이상의 결과로 볼 때, 배합사료에 고추냉이 추출물의 첨가는 사료효율을 개선시키는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

제 3 절 넙치 EP 사료에 한약재, 김분말 및 파프리카 첨가 효과

1. 서론

최근 해산어(돔, 방어, 넙치, 송어, 연어, 농어 등)의 양식 생산량이 증가하고 있으나, 양식된 어류의 표피 또는 육질의 색택이 자연산과 다소 차이를 나타낼 수 있기 때문에 양식 어류의 육질 및 체색의 개선 등 양식어의 품질 향상에 대한 연구가 필요하다. 또한, 양식 어류의 질병 예방과 함께 생리기능을 향상시키고 아울러 육질개선 및 성장 촉진을 도모 할 수 있는 천연 물질인 β -glucan (Nikl *et al.*, 1991, 1993; Yano *et al.*, 1991; Matsuo and Miyazono, 1993; Park *et al.*, 1997; Park *et al.*, 2001), 다시마(Nakagawa *et al.*, 1985), 파래(Kakagawa and Kahara, 1986; Satoh *et al.*, 1987; Yi and Chang, 1994, Choi *et al.*, 1995), 미역(Yone *et al.*, 1986a, 1986b), 유산균(Kim *et al.*, 1998c), chlorella(Nakagawa *et al.*, 1982, 1983; Nakazoe *et al.*, 1985; Nematipour *et al.*, 1987, 1998), 알로에(Kim *et al.*, 1999), 녹차(Park *et al.*, 1999), 감귤발효액(Song *et al.*, 2002) 등에 관한 연구가 수행되어 왔다. 그리고 한방에서 치료제 및 보약 재료로 이용되는 식물성 생약재인 구기자, 인삼, 오미자, 하수오(Hwand *et al.*, 1999; Kwon *et al.*, 2000), 태국산 생약재 *Clinacanthus nutans* Lindua (Direkbusarakom *et al.*, 1998), 인도산 생약재 *Acalypha indica*, *Phyllanthus niruri*, *Ocimum sanctum*(Hemapriya *et al.*, 1997), 두충차 *Eucommialmoides* Oliver(Tanimoto *et al.*, 1993), 시판 한방 사료 첨가제 어보산(Kim *et al.*, 1998a b; Lee *et al.*, 1998)을 수산생물에 직접 투여함으로써 면역능력, 항병력, 성장 및 육질개선에 효능이 있다고 보고되었다.

어류의 질병 치료는 발병 후 약제에 의존하기 때문에 치료 약제의 선택과 치료 기간 등에 따라 비용이 과다하게 소요될 수 있으며, 약제의 남용으로 인하여 내성균을 출현시킬 뿐 아니라 환경을 악화시켜 치료에 어려움을 더욱 가중시키고 있다(Aoki *et al.*, 1985; 권 등, 1999). 내성균에 의한 질병 발생의 대책으로 사료에 유용물질을 첨가하여 어류의 면역능 및 생리 상태를 개선시키는 연구들이 활발히 진행되어 왔는데, 사료에 peptidoglycan, *Ulva* 및 *Chlorella*-extract 첨가가 양식어의 질병 저항력을 증가 시키는 것으로 알려져 있으며(Nakagawa *et al.*, 1981; Satoh *et al.*, 1987; Matuso and Miyazono, 1993), 감초에서 분리된 triteponoid saponin계의 일종인 glycyrrhizin은 나일틸라피아의 질병 저항성을 향상시키는 것으로 보고 되었다(Jang *et al.*, 1992).

사료 첨가제의 효능은 어종이나 사료조성 및 사료품질 등에 따라서 다를 수 있으므로(Lindsay *et al.*, 1984; Kono *et al.*, 1987; Shiau and Yu, 1999), 첨가제 사용시에는 반드시 이에 대한 고려가 있어야 한다. 즉, 품질이 우수하고 양식 대상종이 요구하는 영양소나 물질이 충분히 함유된 사료에 첨가제의 사용은 예상했던 만큼 그 효능을 발휘하지 못할 수 있다(Lee *et al.*, 2000). 또한, 효능이 있다고 해서 첨가제의 농도를 적정 함량 이상 사

용하는 것은 첨가제의 종류에 따라서 오히려 부작용이 나타날 수도 있으며(Shiau and Yu, 1999), 그에 따른 경제적인 불이익을 초래할 것이다. 따라서 양식어의 성장, 품질 및 생리 상태를 향상시킬 수 있는 첨가제의 효능은 첨가제 종류 및 첨가범위에 따른 생리적인 변화 등을 고려하면서 연구되어야 할 것이다. 앞 연구들에 이어서 본 연구는 건조부상배합 사료(EP)의 첨가제로서 한약재(바이오메이트CO-A), 김분말, 파프리카 분말이 넙치 치어의 성장, 체성분, 혈액성상에 미치는 효과를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

김분말, 파프리카 분말 및 바이오메이트CO-A의 첨가효과를 조사하기 위하여 대조사료(A0)의 소맥분 대신 바이오메이트CO-A 0.2%(A1), 김분말을 1%(A2), 파프리카 1%(A3)를 첨가한 모두 4종류의 실험사료를 설정하였다(Table 1). 모든 실험사료의 영양소 함량이 넙치의 성장에 적합하도록 설계하였다(Kim et al., 2002; Lee et al., 2002, 2003). 이와 같이 설계된 원료들을 분말형태로 잘 혼합한 후, Extruder Pellet Mill (Kahl OEE08 extruder)을 이용하여 성형하였으며, 열풍 건조기에서 건조 후 -30 °C에서 보관하였다.

실험어 및 사육관리

넙치 치어를 양식장(청양수산, 포항)에서 구입하여 국립수산과학원 양식사료 연구센터로 수송하여 2주간 넙치용 상품사료로 예비 사육한 후, 평균체중 20 g의 실험어를 무작위로 선별한 후 300 L(수용적 150 L) 원형수조에 30마리씩 3반복으로 수용하여 9주간 실험하였다. 각 사료의 공급량은 실험어가 먹을 때 까지 1일 2회(09:00, 17:00) 반복 공급하여 사육하였다. 각 수조마다 약하게 폭기시켜 산소를 공급 하였고, 자연 해수를 분당 12 l로 조절하여 주수하였다. 사육기간 동안의 수온은 $21.6 \pm 2.9^{\circ}\text{C}$ 비중은 1.0231 ± 0.001 였다. 그리고 각 수조에서 죽은 개체는 매일 제거하여 주었다. 일일사료섭취율과 폐사어 등을 매일 기록 하였다.

Table 1. Ingredients and proximate composition of the experimental diets

Ingredient	Diet			
	A0	A1	A2	A3
Anchovy meal	24	24	24	24
Jack mackerel	24	24	24	24
Tuna meal	10	10	10	10
Krill meal	4	4	4	4
Wheat flour	16.4	16.4	16.4	16.4
Dehulled soybean meal	4	4	4	4
Corn gluten meal	3	3	3	3
Wheat gluten	4	4	4	4
Yeast	1	1	1	1
Squid liver oil	5	5	5	5
Vitamin premix	1	1	1	1
Mineral premix	1	1	1	1
Chorine(50%)	0.1	0.1	0.1	0.1
MCP	0.27	0.27	0.27	0.27
Stay-C	0.1	0.1	0.1	0.1
Vitmin-E	0.05	0.05	0.05	0.05
Enzyme	0.2	0.2	0.2	0.2
Anti-oxidant	0.02	0.02	0.02	0.02
Bataine	0.2	0.2	0.2	0.2
Lecthine	0.5	0.5	0.5	0.5
cellulose	1	0.8		
Glucan	0.2	0.2	0.2	0.2
Bio-mate COA		0.2		
<i>Porphyra</i> powder			1	
<i>Paprika</i> powder				1
<i>Proximate composition (% dry matter basis)</i>				
Dry matter	91.2	91.1	94.2	89.9
Protein	55.0	55.1	56.4	55.1
Lipid	11.4	11.4	11.9	13.7
Ash	12.0	12.1	12.0	12.0
Fibre	2.5	2.4	1.4	3.9
NFE ¹	19.1	18.9	18.3	15.4
Gross energy (kcal/g diet)	5.4	5.4	5.6	5.3

¹ Nitrogen-free extract: 100-(crude protein +crude lipid +crude ash +crude fibre).

시료채취 및 성분분석

어체 측정은 실험 개시시와 종료시에 MS222 (Tricaine methanesulfonate, Sigma, USA) 100ppm로 마취시켜 실험수조에 수용된 실험어의 전체무게를 측정하였다. 혈장성분의 변화를 조사하기 위해 각 실험구 당 6마리씩 (3반복) 무작위로 추출하여 헤파린 처리된 1회용 주사기로 미부동맥에서 채혈하였다. 최초 어체의 성분 분석용으로 30마리를 무작위로 표본 추출 하여 화학적인 분석을 위해 -75°C 에 보관 하였으며, 실험 종료시 각 수조의 모든 개체를 sample로 취하여 -30°C 에 냉동 보관하였다. 실험사료 및 간의 일반성분은 AOAC(1990)의 방법에 따라 조단백질($N \times 6.25$)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Swizerland)를 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C 의 dry oven에서 6시간 건조 후 측정하였다. 조회분은 550°C 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정 하였다. 사료의 총에너지는 5.64 kcal/g protein, 9.44 kcal/g lipid 및 4.11 kcal/g carbohydrate로 계산하였다. 혈장성분은 채혈한 혈액을 7500 rpm에서 5분간 원심 분리하여 얻은 혈장을 -70°C 에 동결 보존하면서 분석하였으며, 임상용 kit (아산제약)를 사용하여 protein은 burette법으로 glucose와 cholesterolds 효소법으로, GPT (glutamate pyruvate transaminase)와 COT (glutamate oxaloacetate transaminase)는 Reitman-Frankel법으로 분석하였다.

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS Version 12 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실행 후, 자료들을 3반복 그룹의 $\text{mean} \pm \text{S.E.}$ 로 나타내었다. Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

9주간의 사육 실험 결과는 Table 2에 표시한 것과 같으며, 생존율은 실험구간에 유의차가 없었다. 증중률은 김분말 첨가구에서 높아지는 경향을 보였지만, 실험구간에 유의차는 없었다($P > 0.05$). 일일사료섭취율, 일일단백질섭취율, 간중량비 및 비만도는 한약재, 김분말 및 파프리카 첨가에 영향을 받지 않았다. 사료효율은 김분말 첨가 사료를 공급한 실험구가 대조사료, 한약재 및 파프리카 첨가 사료를 공급한 실험구보다 유의하게 높았으며($P < 0.05$), 대조사료, 한약재 및 파프리카 첨가 사료를 공급한 실험구간에서는 유의적인 차이가 나지 않았다($P > 0.05$). 단백질효율은 사료효율과 유사한 경향을 보였고, 김분말 첨가 실험구가 한약재 및 파프리카 첨가 실험구보다 유의하게 높았다($P < 0.05$).

Table 2. Growth performance of flounder fed the experimental diets containing different additives for 9 weeks¹

Diets	Initial average weight (g)	Weight gain ² (%)	Survival(%)	Feed efficiency (%) ³	Daily feed intake (%) ⁴
A0	19.7±0.23 ^{ns}	232±12.9 ^{ns}	67±16.6 ^{ns}	98±4.1 ^{ab}	1.54±0.06 ^{ns}
A1	19.5±0.03	215±10.9	62±7.3	94±4.3 ^a	1.55±0.03
A2	19.6±0.12	245±27.0	71±17.4	112±5.7 ^b	1.37±0.14
A3	19.7±0.07	228±5.3	56±6.7	89±4.0 ^a	1.57±0.06

Diets	Daily protein intake (%) ⁵	Protein efficiency ratio ⁶	HSI ⁷	CF ⁸
A0	0.84±0.03 ^{ns}	1.80±0.08 ^{ab}	0.9±0.13 ^{ns}	0.91±0.03 ^{ns}
A1	0.85±0.02	1.70±0.08 ^a	1.0±0.08	0.90±0.04
A2	0.77±0.08	2.00±0.10 ^b	1.2±0.04	0.94±0.02
A3	0.87±0.03	1.62±0.07 ^a	1.2±0.16	0.93±0.01

¹ Values (means ± S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05).

² (final weight - initial weight) × 100 / initial weight.

³ fish wet weight gain × 100 / feed intake

⁴ Feed intake × 100/[initial fish wt+final fish wt+ dead fish wt) × days reared/2]

⁵ protein intake × 100/[initial fish wt+final fish wt+ dead fish wt) × days reared/2]

⁶ (wet weight gain / protein intake) × 100

⁷ Hepatosomatic index : (liver weight / body weight) × 100.

⁸ Condition factor : [fish wt. (g) / fish length (cm)³] × 100.

제 4 절 조피볼락 배합사료에 생약제, 약쭉 및 삼지구엽 첨가 효과

1. 서론

사료 첨가제의 효능은 어종이나 사료조성 및 사료품질 등에 따라서 다를 수 있으므로 (Lindsay et al., 1984; Kono et al., 1987; Shiau and Yu, 1999), 첨가제 사용 시에는 반드시 이에 대한 고려가 있어야 한다. 최근에 한약제에 관한 연구들이 활기를 띄고 있는데, 그 결과들을 보면 성장이나 면역능에 효과가 있는 것으로 나타나고 있다. 앞 연구에 이어서 본 연구에서는 배합사료에 생약제, 약쭉 및 삼지구엽 첨가가 치어기 및 성장기 조피볼락의 성장 및 체조성에 미치는 영향에 관하여 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험사료는 청어분을 단백질원으로 사용하였으며, 탄수화물원으로 α -전분과 β -전분을, 지질원으로 오징어간유와 대두유를 각각 사용하였다 (Table 1). 비지, 생약제, 및 약쭉과 삼지구엽 혼합물의 첨가 효과를 조사하기 위하여 대조사료의 α -cellulose 및 청어분 대신 비지를 10%씩 첨가하였으며, 생약제 및 약쭉과 삼지구엽 혼합물 (7:3)을 0.5%씩 첨가하여 4종류의 실험사료를 설계하였다. 이와 같이 설계된 원료들을 잘 혼합한 후 원료 100 g 당 물 40 g 을 첨가하여 moist pellet 제조기로 압출 성형하였으며, 실온에서 24시간 건조하였다. 제조된 실험사료는 -30°C 에 보관하면서 사용하였다.

실험어 및 사육관리

사육실험에 사용된 실험어는 치어의 경우, 평균체중 3.6 g 전후의 실험어를 260 l 원형수조에 각각 30마리씩 각 사료마다 3반복으로 수용하여 하루에 2회 오전과 오후 (0800, 1700)에 사료를 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져주었다. 성장어의 경우, 평균체중 166 g 전후의 실험어를 1000 l 원형수조에 각각 20마리씩 각 사료마다 2반복으로 수용하여 하루에 1회 (0900) 사료를 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져주었다. 사육수로 여과해수를 치어와 성장어 각 수조에 분당 2 l 및 8 l로 조절하여 각각 흘려주었으며, 8주간 사육실험 하였다. 사육실험기간 동안의 수온과 비중은 각각 $20.0\pm 1.07^{\circ}\text{C}$ 와 $34\pm 0.1\%$ 였다. 그리고 사육실험 시작시와 종료시에는 측정 전일 절식시킨 후 MS222 100 ppm (Tricaine methanesulfonate, Sigma, USA) 수용액에 마취하여 각 실험수조에 수용된 실험어의 전체무

계를 측정하였다.

Table 1. Ingredients and nutrients contents of the experimental diets

	Diets			
	1	2	3	4
<i>Ingredients (%)</i>				
Herring meal	64.0	61.0	61.0	61.0
Soybean-curd residues		10.0	10.0	10.0
Herb medicines			0.5	
<i>Artemisia asiatica</i>				0.35
<i>Epimedium koreanum</i>				0.15
α -starch	6.0	6.0	6.0	6.0
β -starch	6.0	6.0	6.0	6.0
Squid liver oil	2.0	2.0	2.0	2.0
Soybean oil	9.0	9.0	9.0	9.0
α -cellulose	7.0			
Carboxymethyl cellulose	2.0	2.0	1.5	1.5
Vitamin premix. ¹	1.5	1.5	1.5	1.5
Mineral premix. ²	2.0	2.0	2.0	2.0
Choline salt	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>Nutrient contents (% of dry matter basis)</i>				
Crude protein	51.2	50.2	50.4	50.2
Crude lipid	16.2	18.5	16.6	17.2
Ash	9.8	9.6	9.8	9.9

¹ Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg premix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003.

² Mineral premix contained the following ingredients (g/kg premix): MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

시료수집 및 성분분석

어체 성분 분석용으로 사육실험 시작시 치어 50마리와 성장어 10마리를 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조의 실험어 중에서 어체의 성분분석용으로 치어는 10마리, 성장어는 6마리씩 임의로 sample하여 냉동 (-75°C) 보관하였다. 실험사료와 어체

의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 분석하였는데, 조단백질 (N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 24 시간 동안 건조 후 측정하였다. 조회분은 550°C의 회화로에서 4 시간 동안 태운 후 정량하였다. 지방산 분석은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 매탄올과 클로로포름 혼합액으로 지질을 추출하였으며, 14% BF₃-methanol (Sigma, USA)로 지방산을 methylation 시킨 후, capillary column (HP-INNOWax, 30m × 0.32mm × 0.5µm, USA)이 장착된 gas chromatography (Shimadzu, GC-17A, Japan)로 분석하였다. 표준 지방산으로 12:0, 14:0, 14:1, 16:1n-7, 18:0, 18:1n-9, 18:2n-6, 18:3n-3, 20:0, 20:1n-9, 20:2n-6, 20:3n-3, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:0, 22:1n-9, 22:2n-6, 22:3n-3, 22:4n-6, 22:5n-3, 22:6n-3 및 24:0 (Sigma, USA)을 사용하였다. Carrier gas는 helium (30 ml/min)을 사용하였으며, oven 온도는 170°C에서 225°C까지 1°C/min 증가시켰고, injector의 온도는 250°C, detector (FID) 온도는 270°C로 설정하였다.

결과의 통계 처리는 ANOVA-test를 실시하여, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 SPSS (SPSS Inc., 1997) program을 사용하여 검정하였다.

3. 결과 및 논의

치어기 및 성장기 조피볼락을 8주간 사육 실험한 결과를 Table 2에 나타내었다. 생존율은 치어와 성장어 모두 93% 이상이었으며, 치어의 경우 실험구간에 유의한 차이가 없었지만 (P>0.05), 성장어의 경우에는 대조구가 타 실험구에 비해 낮았다 (P<0.05). 치어의 증중량, 사료 효율, 단백질 효율, 비만도 및 간중량지수는 비지를 첨가하지 않은 대조구가 가장 높은 값을 보였으며, 비지 및 생약제를 첨가한 두 실험구들에 비해 유의하게 높았다 (P<0.05). 그러나 치어의 일일사료섭취량은 대조구에서 가장 낮은 값을 보였다 (P<0.05).

성장어의 경우, 증중량은 대조구가 가장 높은 값을 보였지만 생약제 첨가구 및 약쭉과 삼지구엽 혼합 첨가구와는 유의한 차이가 없었다 (P>0.05). 성장어의 사료 효율과 단백질 효율은 생약제 첨가구가 가장 높은 값을 보였지만 대조구 및 약쭉과 삼지구엽 혼합 첨가구와는 유의한 차이가 없었다 (P>0.05). 성장어의 일일사료섭취율은 실험구간에 통계적인 차이가 없었으며 (P>0.05), 비만도는 대조구에서 가장 높은 값을 보였지만 생약제 첨가구와 유의한 차이가 없었으며 (P>0.05), 간중량지수도 대조구에서 가장 높은 값을 보였다.

양식 어류의 성장 및 생리적인 기능 강화를 위한 한방 생약제제와 같은 첨가제들의 효능은 많은 연구자들에 의하여 조사되어져 왔다(Kim et al., 1998; Lee et al., 1998; 박 등, 2003). 본 연구에서 첨가된 생약제, 약쭉 및 삼지구엽은 치어기 및 성장기 조피볼락의 성장과 사료효율 개선 효능을 나타내지는 않았다. 그러나 넙치를 대상으로 한 기존의 연

구에서는 습사료 및 배합사료에 어보산을 첨가함으로써 성장과 사료효율이 증가되었으며 육질도 향상되었다고 보고된 바 있다(Kim et al., 1998; Lee et al., 1998).

Table 2. Growth performance of juvenile (average weight 3.6 g) and grower (average weight 166 g) rockfish fed the experimental diets for 8 weeks¹

	Diets			
	1	2	3	4
<i>Juvenile</i>				
Survival (%)	99±1.1	100±0.0	98±2.2	
Weight gain (g/fish)	23.8±0.55 ^b	15.7±0.32 ^a	14.9±1.95 ^a	
Feed efficiency (%) ²	119±3.9 ^b	91±3.0 ^a	90±5.3 ^a	
Daily feed intake (%) ³	2.29±0.094 ^a	2.66±0.060 ^b	2.60±0.122 ^{ab}	
Protein efficiency ratio (%) ⁴	2.33±0.075 ^b	1.81±0.060 ^a	1.79±0.106 ^a	
Condition factor ⁵	1.82±0.009 ^b	1.70±0.015 ^a	1.68±0.034 ^a	
Hepatosomatic index ⁶	3.97±0.318 ^b	3.15±0.167 ^a	2.66±0.051 ^a	
<i>Grower</i>				
Survival (%)	93±2.5 ^a	100±0.0 ^b	100±0.0 ^b	100±0.0 ^b
Weight gain (g/fish)	59.3±2.50 ^b	40.1±2.75 ^a	54.8±7.15 ^{ab}	43.3±3.45 ^{ab}
Feed efficiency (%)	92±7.9 ^{ab}	75±7.7 ^a	103±8.0 ^b	81±2.6 ^{ab}
Daily feed intake (%)	0.69±0.030	0.76±0.000	0.76±0.020	0.76±0.025
Protein efficiency ratio (%)	1.80±0.150 ^{ab}	1.49±0.150 ^a	2.04±0.160 ^b	1.64±0.055 ^{ab}
Condition factor	1.82±0.055 ^b	1.56±0.017 ^a	1.72±0.071 ^{ab}	1.55±0.007 ^a
Hepatosomatic index	2.80±0.068 ^b	2.40±0.206 ^{ab}	2.22±0.054 ^a	2.26±0.148 ^a

¹ Values (mean±SE of three replication groups) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² (Fish weight gain×100)/feed intake (dry matter).

³ [Feed intake (dry matter)×100]/[(initial fish weight + final fish weight)/2]×days fed.

⁴ Weight gain/protein intake.

⁵ (Body weight/total body length³)×100.

⁶ (Liver weight/body weight)×100.

사육실험 종료 후, 치어와 성장어의 등근육, 간, 장 및 전어체의 일반성분 분석 결과를 Table 3와 4에 각각 나타내었다. 치어 등근육, 간 및 장의 수분 함량은 대조구가 가장 낮은 값을 보였으며, 비지 첨가구 및 생약제 첨가구에 비해 유의하게 낮았다 (P<0.05). 그리고 치어 전어체의 수분 함량은 모든 실험구간에는 유의한 차이가 없었지만, 최초 어체의

수분 함량에 비해 현저하게 감소하였다. 치어의 단백질 함량은 등근육, 간, 장 및 전어체 모두에서 실험구간에 통계적인 차이가 없었다 ($P>0.05$). 치어 등근육, 장 및 전어체의 지질 함량은 대조구가 비지 첨가구나 생약제 첨가구에 보다 유의하게 높았다 ($P<0.05$). 또한, 전어체의 지질 함량은 각 실험구간에 차이는 있었지만 최초 어체의 지질 함량에 비해 현저히 증가하였다. 치어 전어체의 회분 함량은 대조구가 가장 낮은 값을 보였다 ($P<0.05$).

Table 3. Proximate composition of juvenile rockfish fed the experimental diets for 8 week¹

	Initial	Diets		
		1	2	3
<i>Dorsal muscle</i>				
Moisture		73.8±0.16 ^a	75.1±0.23 ^b	75.9±0.48 ^b
Crude protein		20.6±0.17	20.2±0.77	20.4±0.13
Crude lipid		4.6±0.26 ^b	2.7±0.24 ^a	2.2±0.29 ^a
<i>Liver</i>				
Moisture		50.3±1.06 ^a	54.9±0.28 ^b	55.1±0.85 ^b
Crude protein		9.3±0.25	9.7±0.12	9.7±0.17
Crude lipid		24.3±1.69	17.0±4.05	21.6±1.43
<i>Viscera</i>				
Moisture		46.3±1.83 ^a	52.5±2.00 ^b	59.2±0.92 ^c
Crude protein		10.2±0.76	10.6±0.47	11.1±0.78
Crude lipid		42.6±1.55 ^b	31.1±2.37 ^a	27.9±1.78 ^a
<i>Whole body</i>				
Moisture	76.5	67.2±0.18	69.6±0.57	69.6±0.99
Crude protein	16.1	15.1±0.52	17.0±1.22	15.6±1.26
Crude lipid	2.4	13.2±0.42 ^b	7.8±0.35 ^a	9.5±1.34 ^a
Ash	4.5	3.3±0.07 ^a	3.9±0.08 ^b	3.8±0.17 ^b

¹ Values (mean±SE of three replication groups) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

Table 4. Proximate composition of grower rockfish fed the experimental diets for 8 weeks¹

	Initial	Diets			
		1	2	3	4
<i>Dorsal muscle</i>					
Moisture	76.1	75.8±0.65	75.1±0.92	75.1±1.01	75.0±1.43
Crude protein	20.1	20.6±0.68	20.6±0.56	19.8±0.86	20.5±0.62
Crude lipid	3.4	1.7±1.03	2.3±0.41	2.1±1.18	2.3±0.22
<i>Liver</i>					
Moisture	53.0	49.5±1.04	47.6±0.88	47.7±2.20	47.6±1.07
Crude protein	8.7	9.2±0.59	8.7±0.14	8.8±0.14	9.2±0.61
Crude lipid	12.1	30.1±3.80	30.3±1.37	29.0±1.03	23.9±0.96
<i>Viscera</i>					
Moisture	40.6	32.9±1.75	40.6±0.12	35.5±3.47	39.0±2.06
Crude protein	7.5	5.3±0.12	7.6±0.95	5.7±1.78	6.5±0.66
Crude lipid	49.2	59.4±0.75 ^b	46.9±1.73 ^a	54.8±4.46 ^{ab}	53.2±3.41 ^{ab}
<i>Whole body</i>					
Moisture	66.7	65.5±0.08 ^a	67.5±0.27 ^b	67.2±0.24 ^{ab}	66.4±0.78 ^{ab}
Crude protein	16.0	16.3±1.21	16.5±0.54	17.1±0.19	17.1±0.70
Crude lipid	12.4	12.1±0.06	10.3±0.84	10.6±0.01	11.6±1.74
Ash	3.9	4.0±0.38	4.0±0.43	4.6±0.24	4.2±0.30

¹ Values (mean±SE of three replication groups) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

성장어의 경우, 등근육, 간 및 장의 수분 함량은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었지만 (P>0.05), 전어체의 수분 함량은 대조구가 타 실험구 보다 유의하게 낮았다 (P<0.05). 성장어 등근육, 간, 장 및 전어체의 단백질 함량은 모든 실험구간에 통계적인 차이가 없었다 (P>0.05). 그리고 성장어 등근육, 간 및 전어체의 지질 함량 및 전어체의 회분 함량도 실험구간에 유의한 차이가 없었지만 (P>0.05), 간의 지질 함량은 모든 실험구 (23.9-30.1%)간에 유의한 차이가 없었지만 최초 어체 간의 지질 함량에 비해 현저히 증가하였다. 그리고 성장어 장의 지질 함량은 대조구가 가장 높은 값을 보였지만 생약제 첨가구 및 약쑥과 삼지구엽 혼합 첨가구와는 유의한 차이가 없었다 (P<0.05).

사육 실험 후, 조피볼락 치어 및 성장어 전어체의 지방산 분석 결과 (Table 5, 6), 치어와 성장어 모두 18:2n-6 함량이 최초 어체의 함량에 비하여 현저하게 증가하였는데 이는 대두유에 다량으로 함유된 18:2n-6이 어체에 축적되었기 때문으로 판단된다. 치어의 경우,

22:6n-3 및 n-3 HUFA를 제외한 나머지 지방산은 모든 실험구간에 통계적인 차이가 없었으며, 22:6n-3 및 n-3 HUFA 함량은 대조구가 가장 높은 값을 보였지만 ($P<0.05$), n-3 HUFA의 경우 대조구와 생약제 첨가구간에는 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 성어의 지방산 조성은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 이상의 결과로 볼 때, 성장기 조피볼락 사료에는 10% 두부 가공 부산물을 생약제 혹은 약썩 및 삼지구엽의 혼합물과 같이 첨가할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 5. Fatty acid compositions (% of total fatty acids) of whole body in juvenile rockfish fed the experimental diets for 8 weeks¹

	Initial	Diets		
		1	2	3
14:0	2.2	1.6±0.06	1.6±0.07	1.7±0.08
16:0	12.8	12.4±0.48	11.3±0.31	12.8±0.57
16:1n-7	10.0	5.6±0.70	5.8±0.49	4.2±0.04
18:0	4.2	4.7±0.83	4.5±0.56	5.2±0.40
18:1n-9	27.2	22.3±1.34	23.1±0.73	22.0±0.97
18:2n-6	10.1	27.9±0.80	29.9±0.27	29.5±0.50
18:3n-3	1.6	3.3±0.41	3.7±0.18	3.5±0.38
18:4n-3	1.0	0.7±0.41	0.6±0.23	0.3±0.18
20:1n-9	1.8	0.3±0.18	0.6±0.14	0.8±0.04
20:4n-6	2.1	1.0±0.18	1.0±0.10	1.0±0.11
20:5n-3	8.4	6.9±0.25	6.5±0.14	6.1±0.30
22:1n-9	0.4	0.2±0.58	0.3±0.03	0.1±0.09
22:5n-3	1.7	0.8±0.41	1.1±0.05	1.2±0.12
22:6n-3	16.6	11.8±0.61 ^b	10.1±0.04 ^a	10.1±0.27 ^a
SFA	19.2	18.6±1.29	17.3±0.92	19.7±0.31
USFA	80.8	81.4±1.29	82.7±0.92	80.3±0.31
Monoenes	39.4	29.3±1.87	29.8±1.09	27.1±1.05
n-3 HUFA	29.2	23.6±0.89 ^b	22.0±0.31 ^{ab}	21.1±0.34 ^a

¹ Values (mean±SE of three replication groups) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

SFA; saturated fatty acids. USFA; unsaturated fatty acids.

Table 6. Fatty acid compositions (% of total fatty acids) of whole body in grower rockfish fed the experimental diets for 8 weeks¹

	Initial	Diets			
		1	2	3	4
14:0	2.9	2.0±0.01	1.8±0.15	1.8±0.02	1.8±0.13
16:0	17.3	18.4±0.23	17.3±0.66	18.5±0.60	18.6±0.85
16:1n-7	10.0	4.5±0.74	5.3±0.04	4.2±0.72	5.2±1.04
18:0	4.2	5.5±0.21	5.1±0.50	5.6±0.52	5.4±0.34
18:1n-9	24.3	21.8±0.03	21.4±0.39	20.4±1.09	19.6±2.20
18:2n-6	5.8	15.6±0.00	15.8±0.81	16.3±0.58	15.2±0.30
18:3n-3	0.9	1.3±0.07	1.1±0.16	1.2±0.09	1.2±0.04
18:4n-3	1.4	0.7±0.01	0.6±0.09	0.5±0.06	0.6±0.10
20:1n-9	3.0	2.0±0.14	1.7±0.20	1.4±0.14	1.6±0.41
20:4n-6	1.2	1.3±0.14	1.3±0.11	1.4±0.21	1.3±0.18
20:5n-3	8.3	6.1±0.13	5.6±0.35	5.4±0.21	6.1±0.14
22:1n-9	1.2	0.6±0.08	0.5±0.19	0.5±0.11	0.6±0.21
22:5n-3	1.1	1.2±0.10	1.1±0.03	1.3±0.12	1.2±0.16
22:6n-3	18.5	18.9±0.10	21.4±1.09	21.8±1.07	21.6±1.00
SFA	25.5	26.4±0.51	24.7±1.49	26.3±1.21	26.4±1.52
USFA	74.5	73.6±0.51	75.3±1.49	73.7±1.21	73.6±1.52
Monoenes	38.5	29.3±0.77	29.0±0.05	26.4±1.56	27.0±2.62
n-3 HUFA	27.9	26.1±0.13	28.1±0.78	28.5±0.98	28.9±1.29

¹ Values are mean±SE of three replication groups.

SFA; saturated fatty acids. USFA; unsaturated fatty acids.

제 9 장 부상사료(EP) 설계 및 사육 효과

어류는 종에 따라 생리적 특성이 모두 틀리기 때문에 배합사료 제조시 각 어종에 대한 영양소 요구량을 하나하나 구명하는 것이 선행되어야만 한다. 이러한 기초적인 정보를 바탕으로 영양소 균형을 고려하여 그 어종이 최대로 이용할 수 있는 원료를 선택하여 배합되어야 한다. 하지만, 어류의 경우 가축과 비교하여 그 종이 엄청날 뿐만 아니라 물이라는 중간 매개체의 존재로 인해 영양소 요구량과 급여 패턴 구명에 큰 어려움을 겪고 있는 실정이다. 또한 밝혀진 영양소 요구량조차도 반복 실험이 이루어지지 않고 있어 확실성이 가축보다 덜하다. 물속에 공급된 어류 사료의 유실은 양식 환경수의 주 오염원이 되기 때문에 사료 조성시 사료의 물성, 크기, 물속에서 안정성 및 침강속도를 적절히 조절하여 허실되는 사료를 줄일 수 있는 배합사료를 개발하여야 한다 (Lee et al., 1997). 하지만 국내 넙치사육은 생어 (raw fish)를 주원료로 하여 소량의 배합사료와 혼합하여 제조된 습사료 (MP; moist pellet)를 대부분 이용하고 있다. 이런 상황 때문에 넙치의 생리적, 영양학적 특성을 고려한 배합사료와 적정 급여체계가 개발되지 못하였다. 넙치용 배합사료의 개발이 지연되었던 이유는 질이 우수한 생어의 공급량이 풍부하고 가격이 싼기 때문인데, 이로 인해 양어가들은 배합사료에 대한 관심이 낮았고, 사료회사는 배합사료의 수요미비로 연구개발에 대한 투자를 게을리 할 수밖에 없었다. 또한, 최근에는 질 낮은 중국산 생어가 공급되고 있으며, 고품질의 생어 가격이 폭등함에 따라 양어가들은 획기적인 배합사료의 출현을 기다리게 되었다. 하지만 넙치의 영양 사료학적 기초 자료의 부족으로 배합사료의 개발은 많은 시간과 인력을 필요로 한다. 상업용 EP 사료가 판매되고 있으나, 사료비가 비싸고 성장률이 낮다는 이유로 사육가들이 사용을 꺼리고 있는 실정이다. 경제적인 이유 이외에 사육가들이 EP 사료를 불신하는 이유는 첫째, 급여시 소화장애를 유발하며, 둘째, 400 g 이상의 어류에는 성장도가 생사료에 비해 떨어진다는 것이다. 이것은 현재 생산 공급되고 있는 EP 사료가 질적으로 넙치의 성장에 적합하지 않기 때문일 수도 있고, 한편으론 사육가의 사료 급여방법이 체계적으로 정립되지 않았기 때문일 수도 있다. 다시 말하면, 사료의 질적인 측면에서 볼 때 넙치는 장기관이 아주 짧은 강한 육식성 어류인데 급여되는 사료가 가격이란 변이 요인 때문에 탄수화물 함량이 높아진다면 분명히 소화 장애가 유발되어 복수증과 같은 질병을 일으킬 것이다. 한편, 사료 급여측면에서 볼 때 동일한 사료를 급여할 경우에도 급여패턴이나 시간에 따라 성장률 및 생리특성에 차이가 발생한다. EP 사료의 경우 생사료에 비해 수분함량이 아주 낮은데도 사육가가 생사료를 급여하듯이 급여한다면 소화장애가 유발될 가능성이 커지게 되는 것이다. 따라서, EP 사료의 개발은 표준 급여체계의 설정 연구와 동시에 이뤄져야 할 것이다.

대상 어류에 수행된 영양 요구 및 균형, 원료 이용성, 소화율, 첨가제 등의 연구 결과들을 활용하여 배합사료를 설계하고, 제조 공정 및 조건 등을 고려하여 EP 사료를 제조하였다. 이렇게 제조된 EP 사료를 생사료, 상품사료 등과 비교하고, 사육 결과(성장, 사료 효율, 어체 생화학적 분석, 품질 평가 등)를 분석, 계속하여 반복실험 함으로서 실용적인 EP 사료의 효능을 검증하고자 하였다.

제 1 절 넙치 배합사료로서 EP, SMP 및 생사료 비교 실험

본 연구의 수행전 EP 사료를 물에 흡착하지 않고 있는 그대로 급여해도 쉽게 섭취할 수 있고, 생사료나 습사료를 급여하던 넙치에게 사료의 교체 즉시 섭취 가능한 EP 사료를 제조하기 위해 다방면의 자료를 수집하고 현장실험을 통해 기초연구를 수행하였으며 (김, 2000a; 김과 이, 2000; 김, 2002a), 그 결과 본 연구에 사용할 EP와 SMP 실험사료를 제조할 수 있었으며, 양어장에서 관행으로 사용하는 MP 사료와 비교실험을 수행할 수 있었다.

<실험 1> FRP 사육수조를 이용한 넙치 성장실험

1. 서론

넙치는 딱딱한 EP (extruded pellet) 사료 급여시 성장률과 소화장애를 유발한다는 이유로 치어단계의 넙치에만 사용될 뿐 사료의 대부분을 차지하는 육성단계의 어류에는 생어 (raw fish)에 기초한 생사료나 생어에 분말사료를 일정량 혼합한 습사료 (MP: moist pellet)가 대부분 급여되고 있는 실정이다. 2001년 국내 해산어류 생산을 위해 소모된 생사료는 약 42만 톤에 달하며 그중 2/3가 넙치 생산을 위해 사용되었다 (김, 2002a). 그러나 최근 생어의 수급 불안정에 기인한 가격불안 등으로 중국산 생어가 수입됨에 따라, 생사료 질에 대한 양어가의 불만이 확대되었고, MP 급여시 발생하는 문제점 (김 과 이, 2000)은 더욱 표면화되었다. 그 주요 문제점으로는 첫째, 생어 공급 불안정으로 인한 가격 상승, 둘째, 수중 안전성 부족과 섭취시 영양소 유출문제, 셋째, 허실사료로 인한 양어장 자가오염 확대, 넷째, 비위생적 사료제조로 인한 병원균의 전이 (멸균과정이 없으며 수분이 70%이상인 점), 다섯째, 대형 냉동창고 및 MP 제조기와 같은 부대시설 설치 및 유지관리비, 그리고 마지막으로 MP사료 제조, 저장 및 급여시 수반되는 노동력 소모를 들 수 있다 (김, 2002b). 또한, 최근 소비감소와 중국산 수입어류에 기인한 어가 하락으로 양어장 경영 악화가 더욱 심해짐에 따라 EP나 SMP (single moist pellet) 사료와 같은 배합

사료에 관심이 높아지게 되었다. 하지만 상업적으로 유통되고 있는 대부분의 EP와 SMP 사료는 MP 급여구에 비해 성장이 저조하고 복수종의 유발 빈도가 높아 사양가들에게 신뢰를 얻지 못하고 있는 실정이다. 타 동물과 마찬가지로 어류의 체내 대사와 성장에 영향을 미치는 가장 중요한 원인은 그들이 섭취하는 사료내 영양소에 기인하며, 최적의 성장과 생리활동을 위해서는 적정 영양소 요구량이 충족되어야 한다 (NRC, 1993). 또한, 어류의 종류에 따라 생리적 특성이 모두 다르기 때문에 배합사료 제조시 각 어종에 대한 영양소의 질적, 양적 요구량이 각각 달라진다. 우선, 어류가 정상적인 성장을 위해 필요한 영양소에는 수십가지가 있지만 가장 중요한 영양소는 단백질이다. 단백질은 어체조직 구성의 주 요소 (건물 환산시 약 70%)로서 어린 넙치의 적정 단백질의 요구량은 45%로 보고되었다 (Lee et al., 2002). 단백질의 질은 구성 필수아미노산의 질과 양에 좌우된다 (NRC, 1993). 필수 아미노산의 양적 요구량이 구명되면, 부족한 아미노산을 사료에 보충하여 성장을 개선시킬 수 있을 뿐 아니라 양질의 사료원료 선정으로 경제적인 사료배합이 가능해 질 것이다. 그러나, 넙치의 경우 라이신 (Forster and Ogata, 1998), 메치오닌 (Alam et al., 2000) 및 알지닌 (Alam et al., 2002) 요구량이 치어 단계의 어류를 이용하여 밝혀진 것 외에는 자료가 극히 빈약한 실정이다. 넙치는 탄수화물과 지방을 에너지원으로 이용할 수 있는 능력이 낮기 때문에 상대적으로 단백질에 대한 의존성이 높아지게 된다 (Kikuchi and Takeuchi, 2002). Sato(1998)는 치어단계의 적정 DE (digestible energy)/DP (digestible crude protein)gy 비율이 8.6 kcal/g이라 하였는데, Takeuchi et al (1978) 가 발표한 무지개 송어의 적정 비율 13 kcal/g 이나 잉어의 적정 비율 9.7-11.6 kcal/g (Takeuchi et al., 1979)에 비해 낮은 수치이다. 넙치의 체조직은 halibut이나 yellowtail flounder에 비해 단백질은 높고 지방함량이 낮은 것으로 알려져 있다 (Kim and Lall, 2000). 이런 낮은 체지방 구성에 기인한 것인지는 알 수 없으나 넙치의 사료내 지방 요구량은 7%이하라고 알려져 있다 (Lee et al., 2000c). 또한, 필수 지방산 연구는 대부분 알테미아 (artemia)를 급여하는 유생단계 (larval stage)에 국한되어 있으며 (Takeuchi, 1997), Takeuchi (1998)는 20g 이상의 넙치의 n-3 HUFA (highly unsaturated fatty acid) 요구량이 1.1-1.4%라고 보고하였다. Lee et al (2000c)은 에너지원으로 오징어간유와 대두 오일을 사용할 경우 300 kcal/100g가 적당하다고 보고하였다. 그 외에 여러 가지 영양소 연구가 일부 수행되었으나 각 단미사료의 넙치에 의한 소화율 (digestibility)에 대한 자료는 전무한 실정이어서 양질의 경제적 배합사료 개발에는 상당한 시기가 소요될 것으로 보인다. 또한 대부분의 영양소 실험이 유생이나 치어 단계에 국한되어있어 성장단계별 영양소 요구량이 하루빨리 구명되어야 하며, 대부분의 연구가 실험실 규모에서 수행된 자료이기 때문에 사료회사와 양어장에 접목하는데는 어려움이 뒤따른다. 이런 미비한 자료를 바탕으로 제조된 기존 EP사료는 사양가가 원하는 성장률에 부응할 수 없을 것이다.

넙치는 국내 주된 해산어종인 반면, 일본의 경우 연간 8,000 톤 규모로 생산량이 그

다지 높지 않다. 그럼에도 불구하고, 일본의 경우 생어의 주원료인 청어와 까나리가 해수의 수온상승으로 인해 어획량이 감소함에 따라 대체 단백질의 개발에 많은 연구를 수행해오고 있다(Kikuchi, 1999; Sato and Kikuchi, 1997; Kikuchi and Sakaguchi, 1997). 인공 배합사료의 개발은 빠른 성장률과 우수한 사료효율을 목표로 이뤄져야 한다. 본 실험은 기존의 습사료에 근거하여 단백질과 지방의 조성을 달리한 EP와 SMP의 급여가 넙치의 성장률, 사료이용효율, 체조직 조성, 영양소 축적효율 및 단백질과 인 부하량에 미치는 영향을 조사하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

생사료 대체용 넙치 배합사료를 실험적으로 제조하기 위하여 국내에서 이용 가능한 단미사료를 선별하고 일반성분을 분석하였다. 어분은 저온건조 어분을 선별, 회분함량이 낮고 단백질 함량이 높은 페루산과 칠레산 어분을 분석하였는데, 단백질 함량은 페루산이 67.5% 그리고 칠레산이 67.8%로 유사하였다. 이밖에 식물성 단백질 공급원으로 콘글루텐과 대두박 및 소맥글루텐을 선정하였으며 익스트루전 가공을 용이하게 하기 위하여 탄수화물 공급원으로 소맥분을 선정하였다.

본 실험에 사용된 사료는 EP, MP 및 SMP 3종으로 각각 물성과 화학적 조성이 다르게 배합되었다. 사료의 배합 전에 양어장에 사용하고 있는 MP의 화학적 조성을 분석한 후 EP는 고형물 기준으로 MP와 동등한 단백질 (55%) 및 절반의 지방 (9%)을 함유토록 설계하였으며, SMP는 MP에 비해 단백질의 수준이 9% 높고 (64%) 지방의 수준은 절반 (9%)이 유지되도록 설계하였다. 그 결과 세 종류의 사료는 총에너지 함량이 동일 (2500 kJ/100g DM)하게 유지되도록 하였다. 필수 아미노산의 경우 넙치 체조직 아미노산 조성 (Kim and Lall, 2000), 라이신 (Forster and Ogata, 1998) 및 메치오닌 (Alam et al., 2000) 요구량을 참고하였다. 넙치의 소화기관이 타 어종에 비해 상대적으로 짧고 탄수화물 이용능력이 낮은 점을 감안하여 조섬유 및 가용성무질소물의 함량을 최소화하였으며, EP 및 SMP의 기호성 및 유인성을 유발하기 위하여 베타인 90%를 함유한 핀스팀 (Finnsugar Bioproducts, Inc., Finland)을 첨가하였다.

EP사료는 (주)고려특수사료의 Wenger X-185 (Wenger, USA)를 이용하여 제조하였으며, 3톤의 원료를 배합한 후 5.3 mm 및 6.5 mm 펠렛으로 각각 1.5톤씩 성형하였다. SMP 사료는 완전 배합사료로서 배합비에 따라 일차 혼합된 원료를 시판 수평 혼합기 ((주)고려특수사료)를 이용 10분간 혼합한 후 포장하였다. 분말상태의 SMP 사료는 양어장으로 옮겨온 후 생사료 펠렛제조기 (CM400, 청우기기)를 이용하여 물 60%와 혼합하여 배합기에서 물과 완전히 혼합한 다음 습사료로 제조하였다. 한번 제조시 약 10일정도 사용 (분말 배합사료 1포(20 kg)+물12 L)할 수 있는 양을 제조하였으며 -30℃의 냉동창고에 보관하여

급여시마다 일정량을 사용하였다. MP의 경우 (주)항도 수산에서 제조한 관행 습사료 (생어 90 : 분말사료 5% : 다시마외 첨가물 5%)를 사용하였다. 각 실험사료는 오전 (08:30) 과 오후 (16:30) 2회에 걸쳐 급여하였으며, 급여시 반복급여를 원칙으로 매회 육안으로 관찰하여 사료에 대한 접근성이 현저히 떨어질 때 사료급여를 중단하였다. 실험에 사용된 EP, SMP 및 MP의 배합비와 화학적 조성은 Tables 1과 2에 제시된 바와 같다.

Table 1. Ingredient of the experimental diets (%)

Ingredient	EP	SMP	MP (%)	
Fish meal ¹	55.0	72.0	Sand lance	42.7
Wheat pollards	15.0	3.5	Anchovy	28.4
Soybean meal	11.5	-	Tiny shrimp	19.0
Corn gluten	5.0	5.0	Powdered feed ²	4.7
Wheat gluten	-	11.5	Water	2.4
Others	13.5	8.0	Others	2.8

¹Chilean fish meal (CP 68%).

²Commercial feed (CP 50%) supplied by Korea Special Feed mill.

Table 2. Chemical composition of the experimental diets (g or kJ/100g, as-fed)¹

Diet	Moisture	C. protein	C. fat	C. ash	C. fiber	Ca	P	GE
EP(5.3mm)	5.75	52.67	9.48	10.47	1.04	2.79	1.27	2343
EP(6.5mm)	5.31	52.65	9.36	10.47	1.02	2.93	1.29	2368
EP ²	5.53	52.66	9.42	10.47	1.03	2.86	1.28	2355
MP	70.40	16.07	5.24	3.33	0.28	1.32	0.33	740
SMP	42.13	36.58	5.50	5.52	0.30	2.44	0.88	1465
<i>DM basis</i>								
EP(5.3mm)		55.88	10.05	11.11	1.10	2.96	1.35	2486
EP(6.5mm)		55.60	9.88	11.05	1.08	3.09	1.37	2501
EP ²		55.74	9.97	11.08	1.09	3.03	1.36	2493
MP		54.29	17.72	11.26	0.95	4.46	1.10	2501
SMP		63.21	9.51	9.55	0.52	4.21	1.52	2532

¹EP, extruded pellet; MP, moist pellet; SMP, single moist pellet.

²Averaged values of two sized extruded pellets.

사양실험은 2002년 1월 7일부터 2002년 3월 11일까지 62일간 (사료급여 49일) 강원도 소재 (주)항도수산 부설 어류영양연구실에서 수행하였다. 실험에 사용된 넙치 (약 100 g)는 여수종묘 배양장에서 구입한 것으로 2002년 12월 16일 양어장으로 이송하여 콘크리트 원형수조에 약 2주간 축양한 후 실험 사육조로 배치하였다. 실험에 사용된 수조는 적응 실험 개시 2주전에 포르말린으로 소독한 다음 48시간 햇빛에 건조하였다. 각 수조당 30마리의 넙치를 넣어 2주간 적응시켰다. 적응기간 동안 EP사료를 급여하였으며, 본 실험개시 하루 전에 절식시킨 후 병어와 편차가 큰 개체를 제외하고 수조 당 20 마리 (평균 어체중 약 120 g)의 총 어체중을 개량하여 각각의 사육조에 임의 배치하였다. 실험에 사용된 수조는 FRP (fiberglass reinforced plastics) 소재 원형수조 (지름 53cm x 수심 29cm, 수량: 64 L)였으며, 3처리 4반복 (반복당 20 마리)으로 완전임의 배치한 후 본 실험에 임하였다. 각 실험 사료는 오전 (08:30)과 오후 (16:30) 2회에 걸쳐 급여하였으며 일요일은 사료공급을 중단하였다. 사료공급량은 공급 전과 후 사료 무게를 매일 매회 계량하여 계산하였으며, 양어장에서 500m에 위치한 바다해수와 화력발전소 온 폐수를 50:50 비율로 혼합한 해수를 유입수로 사용하였으며, 유속은 15 L/min 로 유지하였다.

본 실험을 위한 사육기간은 8주로 4주마다 어체중을 계량하였다. 따라서, 2002년 1월 7일부터 02년 2월 2일까지 4주 급여 후 각 수조의 총 어체중 무게를 1차 계량하였다. 후속적으로, 02년 2월 4일부터 3월 2일까지 4주간 급여 할 계획이었으나 6주째, 설날과 발전소 파업으로 인한 온수가 가동되지 않아 사료급여를 중단하였기 때문에 1주간 사료 급여를 연장하여 총 실험 기간이 9주로 증가하였다. 어체중의 계량시에는 24시간 절식하였다. 첫 4주간은 5.3 mm로 제조된 EP사료를 급여하였으며, 어류가 성장함에 따라 후속 4주간은 직경 6.5 mm EP를 공급하였다. 따라서, EP 사료의 영양소 섭취량은 펠릿 크기별 분석치에 기반하여 계산하였다. MP는 첫 4주간은 직경 1-1.2 cm로 제조된 사료를 급여하였으며, 후반 4주 동안에는 직경 1.5 cm로 제조하여 급여하였다. SMP는 직경이 1 cm로 제조하여 전 실험기간 동안 급여하였다. 전 실험기간 동안 모든 처리구의 폐사는 총 6마리로 폐사율이 낮았으며, 사육수조에 잘 적응하였다. 전 실험 기간내 DO와 NH₃는 각각 5.5-6.1 mg/l, 0.03-0.05 ppm 이었으며, 수온은 16-18 °C (6주째 기간의 수온은 10-13 °C)였다.

개시어와 종료어의 체조직 성분분석을 위해 개시시 10 마리 그리고 종료시 각 수조에서 3마리를 임의로 채취한 후 분석때까지 -30°C에 보관하였다. 분석전 전어체는 meat chopper (MN-22S, 한국후지공업)로 1차 파쇄하였으며 균질기 (2094 Homogenizer, FOSS, Sweden)를 이용하여 2차 분쇄하였다. 실험사료 및 전어체의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 의거하여 분석하였는데, 수분은 135 °C의 오븐에서 4시간 건조하였으며, 단백질 (N x 6.25)은 켈달 방법으로, 지방은 에테르 추출법 (도체 및 MP 사료) 및 산 가수분해법 (EP 및 SMP 사료)으로, 조섬유는 1.25% H₂SO₄ 용액과 1.25% NaOH 용액으로 소화시킨

후, 회분은 550 °C에서 12시간 회화시켜 분석하였다. 칼슘함량은 ammonium oxalate 용액으로 침전시킨 후 H₂SO₄ 용액과 반응 시켜 KMnO₄로 적정하여 구하였으며, 인(P)은 vandate molybdate -yellow법으로 470nm에서 spectrophotometer (UVIKON 942, Italy)로 분석하였다. 에너지분석에 사용될 전어제 시료는 어체내 지방의 손실을 최소화하기 위해 동결건조 후 단열 Bomb calorimeter (Parr-1261,USA)로 측정하였다. 분산 분석은 SAS(version 8.1)의 PROC ANOVA Procedure를 이용하였고 처리평균간 차이에 대한 비교는 Duncan(1995)의 multiple range test에 의하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

배합된 실험사료의 성분 분석 결과 (Table 2), EP와 SMP 사료의 단백질, 지방 및 총 에너지 함량은 의도한 바와 유사하게 나타났다. 즉, EP 사료의 단백질 함량은 MP 사료와 유사하게 (55.7% vs 54.3%), 지방함량은 절반 정도 (10.0% vs 17.7%) 그리고 에너지 함량은 동일하게 (2486 vs 2501 kJ/100 g) 유지되었다. SMP 사료의 경우 MP 사료에 비해 단백질 함량은 9% 높게 (63.2% vs 54.3%), 지방 함량은 절반 정도 (9.5% vs 17.7%) 그리고 에너지 함량은 동일하게 (2532 vs 2501 kJ/100 g) 유지되었다. 물리 화학적 조성이 다른 세 종류의 실험사료를 평균 개시어체중 120g의 넙치에게 62일간 급여한 결과는 Tables 3 과 4에 나타난 바와 같다. 종료어체중은 EP와 SMP 구가 공히 약 209 g으로 유사하였던 반면 MP 구는 176 g으로 타처리구에 비해 유의적으로 낮았다 (P<0.05). 사료섭취량은 MP 구가 239 g으로 가장 높았으며, EP 구가 66 g으로 가장 낮았다.

Table 3. Feed utilization of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	Initial wt. g/fish	Final wt. g/fish	F. intake(g/fish)		FCR ²		PER ³ %
			as-fed	DM	as-fed	DM	
EP	120.0±1.10 ^{ns}	208.7±4.48 ^a	65.8±1.79 ^c	62.2±1.69 ^b	0.75±0.03 ^c	0.71±0.03 ^b	2.55±0.14 ^a
MP	119.5±1.11	175.6±7.66 ^b	238.6±16.11 ^a	70.6±4.77 ^b	4.41±0.37 ^a	1.31±0.11 ^a	1.44±0.19 ^b
SMP	120.2±1.38	208.5±7.54 ^a	182.9±6.74 ^b	105.9±3.90 ^a	2.11±0.13 ^b	1.22±0.07 ^a	1.31±0.11 ^b

¹Values (means±SE of four replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05); ns= nonsignificant.

²Feed conversion ratio = feed intake, DM/wet weight gain.

³Protein efficiency ratio = wet weight gain/protein intake.

그러나, 고품질로 환산시 SMP 구가 106 g으로 세 처리구 가운데 유의적으로 높았으며, EP 구 (62 g)와 MP 구 (71 g)는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 풍건물 기준으로 사료효율 (FCR)은 MP 구가 4.4로 가장 높았으며 SMP 구가 2.1로 중간을 차지했으며, EP 구는 0.8로 처리구중 가장 낮았다 ($P<0.05$). 한편, 고품질 사료 섭취량에 의거한 FCR은 EP 구가 0.7로 가장 우수하였으며, SMP (1.2)와 MP (1.3) 구간에는 유의적인 차이가 발견되지 않았다. 단백질 이용효율은 EP 구가 2.6으로 가장 우수하였고 ($P<0.05$), MP 구가 1.4로 중간을 차지하였으며 SMP 구가 1.3으로 가장 낮게 나타났다. 그러나 MP 구와 SMP 구간의 유의적인 차이는 없었다 (Table 3).

마리당 증체량은 EP 및 SMP 구가 각각 88.7 및 88.3 g으로 유사하였으며 MP 구는 56 g으로 유의적으로 낮았다. 일간 특이성장률 (SGR)은 EP와 SMP 구가 공히 0.89%를 나타낸 반면 MP 구는 0.62%로 낮았다. 평균어체중에 기반한 일일 건물사료 섭취율은 SMP 구가 1.04%로 가장 높았으며 EP 구가 0.61%로 가장 낮았다. 한편 MP 구는 0.77%로 중간을 차지하였다. 전 실험기간중 EP 구에서 3 마리, MP 구에서 2 마리 및 SMP 구에서 1 마리의 폐사어가 기록되었다 (Table 4).

Table 4. Growth and daily feeding rate of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	Weight gain g/fish	SGR ² %/day	DFR ³ %/av.wt/d	No. of total fish died
EP	88.7±5.52 ^a	0.89±0.05 ^a	0.61±0.01 ^c	3
MP	56.1±8.37 ^b	0.62±0.08 ^b	0.77±0.04 ^b	2
SMP	88.3±8.18 ^a	0.89±0.07 ^a	1.04±0.02 ^a	1

¹Values (means±SE of four replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different ($P>0.05$); ns= nonsignificant.

²Specific growth rate = $(\ln(\text{final wt.}) - \ln(\text{initial wt.})) / \text{duration}(62\text{days}) \times 100$.

³Daily feeding rate = $(\text{feed intake}(\text{DM}) / \text{duration}(62\text{day})) / \{(\text{initial body wt.} + \text{final body wt.}) / 2\} \times 100$.

실험기간 동안 넙치에게 공급된 영양소 및 총 에너지 함량은 Table 5에 제시된 바와 같다. EP 구의 경우 마리당 34.7 g의 조단백질, 6.2 g의 조지방, 13.8 g의 가용무질소물 (NFE)을 섭취한 반면 MP 구는 조단백질 38.4 g, 조지방 12.5 g 및 NFE 11.2 g을 섭취하였다. EP와 MP 구 간의 단백질 섭취량은 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 조지방은 MP 구가 유의적으로 높았으며 NFE는 EP 구가 유의적으로 많이 섭취하였다. 총에너지 섭취량은 EP 구가 1.55 MJ로 MP 구 (1.77 MJ)에 비해 낮았으나 유의적인 차이는 없었다 ($P>0.05$). 한편, SMP 구

의 조단백질 및 NFE 섭취량은 각각 66.9 g 및 18.2 g으로 타처리구에 비해 유의적으로 높았으며, 그 결과 총에너지 섭취량 또한 2.68 MJ로 처리구중 가장 높았다 (P<0.05). 인 섭취량은 MP 구가 0.78 g 으로 가장 낮았으나 EP 구 (0.84 g)와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. SMP 구는 타처리구에 비해 약 2배 정도의 인 섭취량 (1.61 g)을 기록하였다.

Table 5. Energy and nutrient intake of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	GE	C. protein	C. fat	NFE	P
	MJ/fish	g/fish			
EP	1.55±0.04 ^b	34.7±0.95 ^b	6.2±0.17 ^c	13.8±0.37 ^b	0.84±0.02 ^b
MP	1.77±0.12 ^b	38.4±2.59 ^b	12.5±0.84 ^a	11.2±0.75 ^c	0.78±0.05 ^b
SMP	2.68±0.10 ^a	66.9±2.47 ^a	10.1±0.69 ^b	18.2±0.67 ^a	1.61±0.06 ^a

¹Values (means±SE of four replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05); GE= gross energy, NFE = nitrogen-free extract.

섭취된 질소 (조단백질/6.25)의 어체내 축적율과 배설량은 Table 6에 나타난 바와 같다. 사료내 단백질 수준과 섭취량의 차이에 기인하여 SMP 구가 마리당 10.7 g으로 EP (5.6 g) 및 MP (6.1 g) 구에 비해 유의적으로 높은 질소 섭취량을 기록하였다. 반면, 어체내 질소 축적량은 EP 구 (2.44 g)와 SMP 구 (2.66 g) 간에 유의적인 차이가 없었으며, MP 구가 1.49 g으로 가장 낮았다 (P<0.05). 따라서 질소축적효율은 EP 구가 43.9%로 처리구중 가장 높았으며 (P<0.05), MP (23.8%) 및 SMP 구 (24.7%)는 상대적으로 낮았다. 한편, kg 증체단위당 질소의 수중배설량을 환산할 경우 EP 구는 36 g으로 MP (87 g) 및 SMP 구 (93 g)에 비해 크게 감소하는 것으로 나타났다 (Table 6).

Table 6. Nitrogen utilization of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	Intake	Gain	NRE ²	Excretion
	g/fish	g/fish	%	g/kg wt. gain
EP	5.55±0.15 ^b	2.44±0.17 ^a	43.9±2.19 ^a	35.5±2.74 ^b
MP	6.14±0.41 ^b	1.49±0.24 ^b	23.8±2.42 ^b	87.2±9.78 ^a
SMP	10.71±0.39 ^a	2.66±0.24 ^a	24.7±1.57 ^b	93.1±7.62 ^a

¹Values (means±SE of four replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05).

²Nitrogen retention efficiency= N gain/N intake x 100.

인 섭취량에 따른 어체내 축적량, 축적효율 및 단위 증체량 당 배설량은 Table 7에 나타난 바와 같다. EP 구는 마리당 0.84 g의 인을 섭취하여 0.31 g이 어체에 축적되어 37.0%의 인 축적효율을 기록하였다. MP 구는 0.79 g의 인을 섭취하여 0.15 g의 인을 어체내 축적하여 18.9%의 인 축적효율을 보였다. SMP 구는 1.61 g의 인을 섭취하여 1.42 g의 인을 어체에 축적하여 25.6%의 축적효율을 기록하였다. Kg 단위 증체량당 인 배설량은 EP 구가 6.0 g으로 처리구중 가장 낮았으며 MP 구는 11.9 g 그리고 SMP 구는 13.9 g으로 두 처리구간 유의적인 차이는 발견되지 않았다 ($P>0.05$).

Table 7. Phosphorus utilization of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	Intake g/fish	Gain g/fish	PRE ² %	Excretion g/kg wt.gain
EP	0.84±0.02 ^b	0.31±0.03 ^a	37.0±2.34 ^a	6.0±0.32 ^b
MP	0.79±0.05 ^b	0.15±0.03 ^b	18.9±3.05 ^b	11.9±1.33 ^a
SMP	1.61±0.06 ^a	0.42±0.05 ^a	25.6±2.17 ^b	13.9±1.25 ^a

¹Values (means±SE of four replicates) in the same column sharing a common superscript were not significantly different ($P>0.05$).

²Phosphorus retention efficiency= P gain/P intake x 100.

EP 구는 세 처리구중 가장 낮은 지방 섭취량 (6.2 g)을 보인 반면 어체내 지방 축적량은 4.04 g으로 가장 높아 64.9%의 지방축적 효율을 기록하였다. 그러나 지방 섭취량이 가장 높았던 MP 구 (12.5 g)는 단지 1.34 g의 지방을 어체내 축적하여 10.3%의 지방축적 효율을 보였다. 한편, SMP 구는 10.1 g의 지방을 섭취하여 어체내 2.96 g의 지방을 축적하여 29.5%의 축적효율을 나타내었다 (Table 8). EP 구와 SMP 구의 경우 총 에너지 섭취량은 각각 1552 kJ 및 2680 kJ로 유의적인 차이를 보였으나 어체내 축적량은 두 처리구 공히 739 kJ로 동일하였다. 한편, MP 구는 392 kJ를 축적하여 21.7%의 축적효율을 기록하였다. EP 구가 47.6%의 에너지 축적효율을 기록하여 처리구중 가장 우수하게 사료 에너지를 이용하는 것으로 나타났다 (Table 9).

Table 8. Lipid utilization of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	Intake g/fish	Gain g/fish	LRE %
EP	6.20±0.24 ^c	4.04±0.73 ^a	64.9±10.76 ^a
MP	12.50±1.19 ^a	1.34±0.57 ^b	10.3±3.63 ^c
SMP	10.06±0.52 ^b	2.96±0.51 ^a	29.5±4.80 ^b

¹Values (means±SE of two replicates) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05).

²Lipid retention efficiency= L gain/L intake x 100.

Table 9. Energy utilization of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	Intake kJ/fish	Gain kJ/fish	ERE ² %
EP	1551.5±42.2 ^b	738.7±31.6 ^a	47.6±0.82 ^a
MP	1766.4±119.3 ^b	391.6±76.2 ^b	21.7±3.00 ^b
SMP	2680.2±98.8 ^a	738.5±69.6 ^a	27.2±1.65 ^b

¹Values (means±SE of four replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05).

²Energy retention efficiency= E gain/E intake x 100.

물리화학적 조성이 다른 세 종류의 실험사료를 급여한 넙치의 전어체 화학적 조성은 Table 10에 나타난 바와 같다. 9주간 실험사료를 섭취한 어류의 체조직 수분 함량은 MP 구가 75.8%로 EP (74.3%) 및 SMP 구 (74.5%)에 비해 유의적으로 높게 나타났다. MP 구의 수분함량은 개시어의 수분함량 75.1% 보다 더 높게 나타났다. 체단백질은 SMP 구가 18.4 g으로 처리구중 유의적으로 높았으며 EP (17.7%) 및 MP 구 (17.6%)는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 개시어의 체단백질 함량 (18.1%)에 비해 SMP 구는 높았으나 타 처리구는 낮은 경향을 보였다. 체지방 함량은 처리구 공히 개시어 (1.87%)에 비해 높게 나타났으나, EP 구가 3.01%로 처리구중 가장 높았으며 MP 구가 1.96%로 가장 낮았다. 회분 함량은 MP 구가 3.83%로 처리구중 가장 높았으며 (P<0.05), EP 구는 3.08%로 가장 낮았으나 SMP 구 (3.15%)와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 세 처리구 공히 개시어에 비해 회분 함량이 낮게 나타났다. 칼슘 함량은 SMP 구가 1.17%로 처리구중 가장 낮았으며 EP 구가 1.28%로 가장 높았다. 그러나 EP 구의 회분 함량은 MP 구 (1.21%)와 차이를 보이지 않았다. 개시어의 칼슘함량은 1.24%로 EP 구보다는 낮았으나 타 처리구보다는 높았다. 개시어의 인 함량은 0.63%로서 세 처리구의

함량에 비해 높게 나타났다. 처리구의 인 함량은 0.51% (EP 구)에서 0.57% (SMP 구)로 EP와 MP 구에 비해 SMP 구가 유의적으로 높았다. 어체내 총 에너지 함량은 EP 및 SMP 구가 각각 702 kJ 및 700 kJ로 유사하였으며 MP 구는 633 kJ로 두 처리구에 비해 유의적으로 낮았다. 한편, 개시어의 에너지 함량은 605 kJ이었고, 실험사료를 섭취한 처리구의 에너지 함량은 MP 구보다 EP 및 SMP 구에서 훨씬 증가하는 경향을 보였다.

Table 10. Whole body composition of flounder fed the experimental diets(%)

Diet	Moisture	Protein	Fat	Ash	Ca	P	GE kJ/100g
EP	74.3±0.33 ^b	17.73±0.10 ^b	3.01±0.24 ^a	3.08±0.14 ^b	1.28±0.04 ^a	0.51±0.01 ^b	701.8±5.31 ^a
MP	75.8±0.24 ^a	17.62±0.09 ^b	1.96±0.17 ^b	3.83±0.08 ^a	1.21±0.01 ^{ab}	0.52±0.01 ^b	633.0±13.05 ^b
SMP	74.5±0.13 ^b	18.42±0.08 ^a	2.50±0.14 ^{ab}	3.15±0.11 ^b	1.17±0.01 ^b	0.57±0.01 ^a	700.3±7.95 ^a
Initial	75.1±0.10	18.12±0.01	1.87±0.11	4.48±0.08	1.24±0.10	0.63±0.02	604.7±1.5

^{a,b}Values(means±SE of four replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05); ns = nonsignificant.

본 연구는 소형의 사육수조를 이용하여 수행되었지만 넙치를 상업적으로 사육하고 있는 양어장에 실험시설을 설치하여 사육수, 사육수온, 광주기 등의 모든 사육조건을 양어장과 동일하게 유지하였다는 점에서 성장률과 사료이용효율의 평가에 그 의미를 부여할 수 있을 것이다. 연간 100 톤 규모의 넙치를 생산하는 양식장의 경우 1 kg 생산에 소요되는 사료비는 총 생산비의 약 36%를 차지하며, 치어에서 출하시까지 어류를 사육함에 있어 투입되는 사료의 량과 비용을 고려할 때 90% 이상의 사료가 절대 섭취량이 높은 육성단계 (>50 g) 이후에 사용된다(김 2002b). 그럼에도 불구하고 현재까지의 넙치에 관한 영양학적 연구가 사료제조 및 관리의 용이함과 실험비용의 절약 측면에서 치어단계에 국한되어 있고, 습사료와 건조사료를 비교한 연구자료가 전무한 실정이어서 본 연구 결과를 비교 검토하기란 쉽지 않다. 따라서, 동일한 실험을 양어장의 관행 콘크리트 수조를 이용하여 실험한 결과 (EXP. 2)의 고찰 분야에서 자세하게 비교하고자 한다.

김과 이 (2000)는 관행의 MP와 시판중인 EP 및 SMP를 개시어체중 약 200 g의 넙치에게 8주간 급여한 결과 EP 사료의 섭취량이 현저히 떨어져 성장률이 낮았으며, SMP 구의 섭취량은 MP 구에 비해 우수하지만 사료효율 (1.05 vs 1.24)은 저조하였다고 보고하였다. 그러나 본 실험의 결과 EP와 SMP 구의 성장률이 MP 구에 비해 유의적으로 높게 나타났다. 이러한

결과는 넙치용 양질의 인공배합사료 제조가 가능함을 시사한다고 할 수 있다 (Table 3). 본 연구에서 건물사료로 환산시 EP 구의 사료 섭취량은 마리당 62.2 g으로 평균어체중 대비 일일 0.61%에 불과한 반면 MP 구는 70.6 g을 섭취하여 0.77%의 일일섭취율을 기록하였다. 그러나 SMP 구는 105.9 g의 사료를 섭취하여 1.04%의 섭취율을 기록하였다 (Table 4). EP 구에 비해 SMP 구의 일일 사료 섭취율이 높은 이유는 사료의 비중이 높아 유의적인 량의 사료가 허실되었음을 시사한다고 볼 수 있다. EP 사료의 허실방지를 위해 실험수조 중앙에 설치된 수위유지용 이중 파이프 (double standing pipe) 하단으로 배출수가 빠져나가도록 하였기 때문에 비중이 가장 높은 SMP 사료의 허실량이 많았을 것으로 추정되며, MP 또한 일정량의 허실이 발생하였을 것으로 추정된다. 일간 특이 성장률은 EP 및 SMP 구가 0.89%로 김과 이 (2000)의 실험결과와 유사하였다. 한편, EP 구의 단백질 이용효율 (2.55)은 Lee et al (2002)이 23 g 넙치를 9주간 사육한 실험에서 보고한 수치 (0.93-1.93) 보다 높았으며, Regost et al (1999)이 66 g의 Turbot을 9주간 사육한 연구에서 보고한 수치 (1.23-2.39) 보다도 높았다 (Table 3).

사료 단백질의 섭취량이 증가함에 따라 어체내 단백질 축적량은 증가하지만 섭취량의 증가 비율만큼 비례적으로 증가하지 않기 때문에 축적효율은 차이를 보이지 않는다 (Kim and Lall, 2001; Kim et al., 2001). Kim et al (1998)은 개시어체중 24 g 및 156 g 무지개 송어의 질소축적효율 (NRE)이 각각 34% 및 30% 라고 보고하였다. 김과 신 (2001)은 인 요구량을 충족시킨 사료를 8주간 개시어체중 10 g의 잉어에게 급여하였을 때 잉어의 NRE는 약 32%에 달하였다고 보고하였다. 본 연구에서 나타난 EP 구의 NRE (43.9%)는 양질의 단백질 급원으로 이뤄진 사료를 섭취한 Turbot 연구 (Regost et al., 1999)에서 보고된 수치 (41.1%) 및 Haddock 연구 (Kim and Lall, 2001)에서 55% 단백질 사료구에서 보고된 수치 (41.5%) 보다 우수하였다. 그러나, MP 및 SMP 구의 NRE는 상기 연구자들이 보고한 수치보다 낮았다 (Table 6). 한편, EP 구의 인 축적효율 (PRE) 또한 37%로 인 요구량을 충족한 잉어치어에서 보고된 36% (김과 신, 2001)와 필적하고 있다. 아직까지 넙치의 인 요구량이 설정되지 않았지만 본 연구에 사용된 EP 및 SMP 사료에는 무기태 인의 첨가없이 어분을 동물성 단백질 급원으로 사용하였는데, 어분내 인의 이용성이 높아 인 요구량이 충족되었을 것으로 추정된다. 그러나 SMP 구의 PRE가 25.6%로 낮았던 원인은 사료의 공급량이 과다하여 인 섭취량이 상대적으로 높았기 때문일 것이다. 한편, MP 구의 인 섭취량은 EP 구에 비해 유의적인 차이는 없었으나 어체내 인 증가량이 유의적으로 낮아 상대적으로 PRE가 18.9%로 떨어진 것으로 이에 대해서는 후속적인 연구가 수행되어야 할 것이다 (Table 7).

넙치는 사료내 지방의 수준이 증가하더라도 어체내 지방 함량은 큰 변화를 보이지 않는다. Oku and Ogata (2000)는 시판사료에 어유를 첨가하여 사료내 지방 수준을 11%에서 21%로 증가시켜 3 g 넙치 치어에게 6주간 급여한 후 전어체내 체지방 함량을 분석한 결과 2.9%에서 3.5%로 유의적인 차이는 나타났으나 16% 와 21% 수준에서는 차이가 없었다고 하였다.

국산 넙치와 같이 Turbot 또한 체지방 함량이 낮은 어류로서 양식중인 치어 (Bromley, 1980) 및 육성어 (Adron et al., 1976; Regost et al., 1999)의 경우 1-3%의 수준을 유지한다. 본 실험에서 나타난 체지방 수준은 이러한 수치와 잘 부합된다. 그러나, 어체내 지방 축적량은 사료의 물리 화학적 조성에 따라 달라지는 것으로 나타났는데, EP 사료의 경우 SMP 사료와 지방 함량이 유사하였으나 섭취량에 있어서는 SMP 구가 10.1 g으로 EP 구 6.2 g에 비해 유의적으로 높았다. 반면, 어체내 지방 축적량은 EP 구가 4.0 g으로 SMP 구의 3.0 g에 비해 높아 지방 축적효율 (LRE) 면에서 큰 차이를 나타냈다. 한편, 사료내 지방 함량이 타 처리구에 비해 두 배로 높았던 MP 구의 경우 섭취량이 유의적으로 높았음에도 불구하고 어체내 지방 축적량이 1.3 g으로 가장 낮아 10.3%의 LRE를 기록하였다. 이러한 결과가 사료내 지방 수준의 과다에 기인하는 것인지, 사료내 지방의 산패에 의한 것인지 아니면 과다한 지방 수준이 넙치의 성장을 억제하여 초래되는 것인지는 구명되어야 할 과제로 남아있다 (Table 8). Turbot 이나 flounder의 에너지 축적효율 (ERE)은 낮은 체지방 수준에 기인하여 낮게 나타난다 (Regost et al., 1999; 김과 이, 2000; 김, 2000a). MP 및 SMP 구의 ERE는 각각 21.7% 및 27.2%로서 앞선 연구자들의 결과와 유사하게 나타났다. 그러나, EP 구의 경우 47.6%로서 Haddock 연구 (Kim et al., 2001)에서 보고된 수치에 필적하고 있다. 본 연구에서 EP 와 SMP 구의 에너지 축적량은 마리당 739 kJ로서 동일하였으나 섭취량은 각각 1.55 MJ 및 2.98 MJ로 큰 차이를 보였다 (Table 9). 만약, EP 구와 SMP 구에서 동일하게 나타난 에너지 축적량이 현 성장단계의 넙치가 축적할 수 있는 최대량이라고 간주한다면 질소섭취량이 상대적으로 높았던 SMP 구의 경우 단백질이 에너지원으로 많이 이용되었거나 아니면 유의적인 사료허실에 기인하여 ERE가 낮아졌을 것으로 추정된다. 한편, MP 구의 저조한 ERE (21.7%)는 어체내 단백질과 지방의 축적량이 상대적으로 낮았기 때문으로 풀이된다. 이것은 MP 사료의 질적 양적 영양소 함량에 문제가 있었음을 시사한다고 하겠다.

어류의 성장 또는 연령이 증가함에 따라 체내 수분 함량은 감소하고 지방함량은 증가한다. (Garling and Wilson, 1976; Murai et al., 1985; 김 등, 1997). 그러나 넙치의 경우 성장에 따른 체지방 변화가 타 어종에 비해 크지 않은 것으로 추정된다. 김 (2000a)은 약 270 g의 넙치를 60일 간 사육한 결과 개시어와 종료어간의 수분 함량 (74%)이 변화를 보이지 않았으며, 지방함량은 오히려 개시어 (4.7%)에 비해 감소하는 경향을 보였다고 하였다. 이런 결과는 Turbot의 연구에서도 나타났는데, 66 g의 어류를 9주간 사육했을 때 수분함량은 개시어 (77%)와 동일하였으며 지방함량은 개시어 (3.6%)에 비해 r약간씩 감소하였다 (Regost et al., 1999). 그러나, 본 연구에서 수분함량은 개시어와 종료어간 차이를 보이지 않았으나 지방 함량은 모든 처리구에서 증가하였으며, 특히 EP 구의 경우 개시어 (1.9%)에 비해 큰 폭으로 (3.0%)으로 증가하였다. 회분의 경우 개시어 (4.5%)에 비해 처리구 공히 감소하였다. 그러나 칼슘의 경우 개시어와 종료어간 차이를 보이지 않았으나 인의 경우 개시어 (0.63%)에 비해 대부분 감소하여 0.51% (EP 및 MP 구)에서 0.57% (SMP 구)로 나타났다. 이러한 수치는

Turbot (0.6-0.7%, Regost et al., 1999)에 비해서는 약간 낮은 것으로 보인다 (Table 10).

생사료 또는 MP 사료를 급여하는 넙치양식의 경우 허실되는 사료와 분, 뇨를 통한 수질 오염은 심각한 사회문제로 대두될 전망이다. 김과 이 (2000)는 통제된 조건하에서 MP 사료를 급여할 경우 육성 넙치의 kg 증체당 및 인 배설량은 각각 62.3 g 및 11.6 g이라고 보고하였다. 후속적으로 사양가가 직접 관행의 사양방식으로 MP 사료를 급여할 경우 질소 및 인 배설량은 114 g 및 27.6 g으로 두 배 이상 증가하였다고 보고하였다 (김 등, 2002). 본 연구에서 EP 구의 질소 배설량은 35.5 g으로 MP (87.2 g) 및 SMP 구 (93.1 g)에 비해 두 배 이상 줄어 들었으며, 인 배설량의 경우 또한 EP 구가 6.0 g으로 MP (11.9 g) 및 SMP 구 (13.9 g)에 비해 두 배 이상 감소하였다. 이러한 결과는 양질의 EP 사료 제조시 넙치의 성장을 극대화할 수 있을 뿐 아니라 수질오염의 예방 측면에서도 큰 기여를 할 수 있음을 시사하고 있다.

<실험 2> 콘크리트 사육수조를 이용한 넙치 성장실험 (대형수조)

1. 서론

넙치는 국내 주된 해산 양식어종으로 2001년 생산량은 약 60,000 톤에 달했다 (김 2002a). 그러나 넙치양식은 생어를 기반으로 한 생사료 또는 생어에 소량의 분말배합사료를 혼합한 습사료 (MP) 형태로 급여되고 있기 때문에 생어의 구입가격과 질에 따라 여러 가지 문제점이 파생되고 있다. 최근 넙치의 과잉생산과 소비감소로 인하여 넙치의 출하가격이 큰 폭으로 감소되고 있는 반면, 생어의 구입가격은 계속 증가하고 있고 그 질 또한 판매도가 매우 높아 양식장의 경영은 계속 악화되고 있다. 생사료 또는 MP 사료 급여시 양어장 경영상의 문제점 외에 간과할 수 없는 문제가 주변해역의 오염문제이다. 따라서, 인공사료의 개발은 양식장의 경영합리화뿐 아니라 수질오염의 예방 측면을 동시에 조명해야 하는 것이다. MP를 이용한 넙치양식의 경우 kg 증체당 배설되는 질소 및 인의량은 각각 114 g 및 27.6 g 으로 (김 등, 2002) 배합사료를 급여하는 무지개 송어 (58 g 및 13 g: Kim et al., 1998)나 이스라엘 잉어 (38 g 및 8 g: 김 등, 1998)에 비교할 경우 엄청난 량의 잠재적 오염원이 유출되고 있는 것이다. 넙치의 인공 배합사료 개발을 위한 연구로서 (실험 1) 소형 사육수조를 이용한 9주간의 실험 결과 EP 및 SMP 사료가 성장률 면에서 MP보다 훨씬 우수한 것으로 나타났다. 그러나, 질소 및 인 축적효율 및 배설량 감소 측면에서는 EP 사료의 사용이 훨씬 우수하다는 것이 입증되었다.

본 실험은 실험 1과 소형의 사육수조가 아닌 관행의 콘크리트 사육수조에서 물리화학적 조성이 다른 세 가지 실험사료를 급여할 경우 넙치의 성장률, 사료이용효율, 체조직 및 근육조성 그리고 영양소 축적효율 및 질소와 인 배설량이 어떻게 변화하는지를 구명하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

본 실험에 이용된 실험사료는 Table 1에 제시된 바와 같다. MP 사료제조에 이용된 냉동잡어는 국산 멸치, 중국산 곤쟁이 및 까나리, 시판 분말배합사료 (CP 50%), 그리고 첨가물로서 중국산 건조분말 다시다와 국산 비타민 및 효소제 그리고 약 2.4%의 물이 사용되었다. 실험사료는 사료의 성상에 따라 수분함량이 5.5% (EP), 42.1% (SMP) 및 70.4% (MP)로 큰 차이를 보였다. 급여 사료의 조단백질 함량은 16.1% (MP), 36.6% (SMP), 52.7% (EP) 순으로 높았으며, 조지방 함량은 EP가 9.4%로 가장 높고 MP와 SMP는 각각 5.2% 및 5.5% 이었다. 급여사료 100 g 당 총 에너지 함량은 740 kJ (MP), 1465 kJ (SMP) 및 2355 kJ (EP) 이었다. 사료내 단백질 및 지방 함량은 사료배합시 의도한 바와 유사하게 나타났는데, 건물 기준시 EP (55.7%)는 MP (54.3%)와 비슷한 단백질 함량을 유지하였으며, 지방은 MP (18%)에 비해 약 절반인 10%를 유지하였다. SMP는 63%의 단백질과 9.5%의 지방을 함유하였다 (Table 2).

사양실험은 2002년 1월 7일부터 2002년 3월 11일까지 62일간 (사료급여 49일) 강원도 소재 (주)항도수산 부설 어류영양연구실에서 수행하였다. 사양실험은 실험 1과 동시에 수행하였으며, 실험에 사용된 넙치 역시 실험 1과 동일한 배양장에서 같은 시기에 구입한 넙치 (개시어체중 120g)를 사용하였다. 본 실험에 이용된 사육시설은 직렬 배치된 유수식 6개의 콘크리트 육상 수조 (3.8 m x 3.7 m x 1.0m)로 수심은 0.5 m로 유지되었으며 각 수조의 수량은 약 7 톤에 달했다. 각 처리구당 2 반복으로 반복당 500 마리를 수용하여 본 실험에 임했다. 실험수조는 적응개시 14일전 포르말린으로 소독 후 2일간 햇빛에 건조하였으며 실험에 사용된 수조가 옥외 수조였기 때문에 수조 상단 1m 지점에 차광막 (차광율 90%)을 설치하였다. 적응실험 개시 2주전 550마리를 각 사육조에 넣어 적응시켰으며 적응기간동안 모두 EP사료를 급여하였고 수용한지 이틀 후부터 EP 사료를 왕성하게 섭취하였다. 본 실험 개시 1일전에 절식시킨 후 병어 및 편차가 큰 개체를 제거하고, 수조당 500마리를 임의 배치하여 각 수조당 총 어체중을 개량하였으며, 종료시에도 동일하게 개량하였다. 실험 1과 동일하게 실험 개시후 4주차에 총 어체중 개량 및 마리수에 대한 중간 측정을 하였다. 각 실험 사료는 오전 (08:30)과 오후 (16:30) 2회에 걸쳐 급여하였으며 일요일은 사료급여를 중단하였다. 유입수는 바다해수와 화력발전소 온 폐수를 50 : 50비율로 혼합하여 사용하였으며 유속은 150 l/min 로 유지하였다. 전 사육실험 기간내 DO와 NH₃는 각각 5.7-6.07mg/l, 0.03-0.05ppm 이었으며 수온은 16-18 °C (6주제 기간의 수온은 10-13 °C)였다. 사육기간동안 총 54 마리의 폐사어가 발생하였는데, MP 구에서 34 마리 폐사가 발생하였다.

실험사료, 전어체, 등근육 (dorsal muscle) 및 복근육 (ventral muscle)의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 의거하여 분석하였으며 체조성 분석을 위해 실험 개시시 10 마리

그리고 실험 종료시에 반복당 10 마리의 어류 (도체분석용 5 마리, 간 및 근육분석용 5 마리)를 채취한 후 냉동 (-30 °C) 후 실험 1과 동일하게 분쇄하였다. 어체의 에너지분석은 일부분의 시료를 동결건조기 (FD5508, Korea)를 이용하여 건조한 후 수행하였다. 분석방법은 실험 1에 전술한 바와 동일하였다. 분산 분석은 SAS(version 8.1)의 PROC ANOVA Procedure를 이용하였고 처리평균간 차이에 대한 비교는 Duncan(1995)의 multiple range test에 의하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

개시 평균어체중 120 g의 넘치에 EP, MP 및 SMP 사료를 9주간 급여하여 얻은 종료 어체중, 사료섭취량, 사료효율 (FCR) 및 단백질이용효율 (PER)은 Table 11에 제시된 바와 같다. 마리당 종료어체중은 SMP 구가 233.4 g으로 가장 높았으며, 그 다음으로 EP 구가 228.3 g으로 나타났다. MP 구는 193.0 g으로 나머지 두 처리구에 비해 유의적인 차이를 보였다 ($P<0.05$). 사료 섭취량은 EP 구가 82 g, SMP 구가 157 g 그리고 MP 구가 220 g으로 나타났는데, 고형물 함량으로 환산시 MP 구가 65 g으로 가장 낮았으며, EP 구가 77.4 g으로 중간이었고 SMP 구가 90.9 g으로 가장 높았다. 처리구간 유의적인 차이가 발견되었다 ($P<0.05$). 사료효율은 처리구간 유의적인 차이를 보였는데 EP 구가 0.75로 가장 낮았고 SMP 구가 0.82로 중간이었으며 MP 구는 0.94로 가장 높았다. 단백질 이용효율은 EP 구가 2.41로 가장 높아 MP (1.95) 및 SMP 구 (1.93)에 비해 유의적인 차이가 발견되었다 (Table 11).

마리당 증체량, 일간 특이 성장률 (SGR), 평균 어체중 대비 일일 사료섭취율 (DFR) 및 폐사율은 Table 12에 나타난 바와 같다. SMP 구는 마리당 증체량은 111 g으로 처리구중 가장 우수하였다 ($P<0.05$). EP 구는 중간으로 103.9 g을 기록하였으며, MP 구는 68.9 g으로 가장 저조하였다. SGR은 SMP 구가 1.04%로 가장 우수하였으나 0.98%를 기록한 EP 구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. MP 구는 0.71%로 처리구중 가장 낮았다. DFR은 0.66% (MP 구)에서 0.82% (SMP 구)로 EP와 MP 구는 유의적인 차이를 보이지 않았으나 두 처리구는 SMP 구에 비해 유의적으로 낮았다. 폐사율은 MP 구가 3.2%로 가장 높았으나 나머지 두 처리구는 1.1%로 동일하였다.

Table 11. Growth and feed utilization of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	Initial wt. g/fish	Final wt. g/fish	F. intake(g/fish)		FCR ²		PER ³ %
			as-fed	DM	as-fed	DM	
EP	124.4±9.29 ^{ns}	228.3±5.56 ^a	82.0±0.34 ^c	77.4±0.33 ^b	0.79±0.03 ^c	0.75±0.02 ^c	2.41±0.08 ^a
MP	124.1±5.65	193.0±5.17 ^b	219.6±7.86 ^a	65.0±2.33 ^c	3.19±0.09 ^a	0.94±0.03 ^a	1.95±0.06 ^b
SMP	122.3±0.3	233.4±0.75 ^a	157.2±3.09 ^b	90.9±1.79 ^a	1.41±0.03 ^b	0.82±0.02 ^b	1.93±0.05 ^b

¹Values (means±SE of two replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05); ns= nonsignificant.

²Feed conversion ratio = feed intake, DM/wet weight gain.

³Protein efficiency ratio = wet weight gain/protein intake.

Table 12. Weight gain and daily feeding ratio of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	Weight gain g/fish	SGR ² %/day	DFR ³ %/Av.wt/d	Mortality %
EP	103.86±3.73 ^b	0.98±0.08 ^a	0.71±0.03 ^b	1.10±0.50 ^b
MP	68.90±0.48 ^c	0.71±0.03 ^b	0.66±0.05 ^b	3.20±0.80 ^a
SMP	111.11±0.45 ^a	1.04±0.00 ^a	0.82±0.02 ^a	1.10±0.10 ^b

¹Values (means±SE of two replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05); ns= nonsignificant.

²Specific growth rate= (ln(final wt.)-ln(initial wt.))/duration(62days) x 100.

³Daily feeding rate= (feed intake(DM)/duration(62day))/{(initial body wt.+ final body wt.)/2} x 100

육성넙치가 9주간 섭취한 영양소 및 총 에너지 함량은 Table 13에 제시된 바와 같다. 에너지 섭취량은 SMP 구가 마리당 2.3 MJ로 처리구중 가장 높았으며, MP 구는 1.63 MJ로 가장 낮았다. 단백질은 MP 구가 35.3 g을 섭취하였으며 SMP 구가 57.5 g을 섭취하였다. EP 구는 43.2 g의 단백질을 섭취한 것으로 나타났다. 지방은 MP 구가 11.5 g으로 가장 많이 섭취한 반면 EP 구가 7.7 g으로 가장 낮게 섭취하였다. SMP 구는 8.7 g의 지방을 섭취하였다. 가용무질소물 (NFE)은 EP 구가 17.1 g으로 가장 섭취량이 높았고 SMP 구가 15.7 g으로 중간이었으며, MP 구가 10.3 g으로 가장 낮았다. 인은 SMP 구가 1.38 g으로

로 EP (1.05 g) 및 MP 구(0.72 g)에 비해 섭취량이 높았다. 모든 영양소 및 에너지 섭취량은 처리구간에 유의적인 차이를 보였다 ($P < 0.05$).

Table 13. Energy and nutrient intake of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	GE	C. protein	C. fat	NFE	P
	MJ/fish	g/fish			
EP	1.93±0.01 ^b	43.17±0.18 ^b	7.72±0.03 ^c	17.14±0.07 ^a	1.05±0.00 ^b
MP	1.63±0.06 ^c	35.29±1.26 ^c	11.51±0.41 ^a	10.26±0.37 ^c	0.72±0.03 ^c
SMP	2.30±0.05 ^a	57.49±1.13 ^a	8.65±0.17 ^b	15.67±0.31 ^b	1.38±0.05 ^a

¹Values (means±SE of two replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different ($P > 0.05$); GE= gross energy, NFE = nitrogen-free extract.

질소 섭취량은 SMP 구가 마리당 9.2 g으로 가장 높았으며 어체내 질소 축적량 또한 3.11 g으로 가장 높았다. EP 구는 SMP 구에 비해 유의적으로 낮은 6.9 g의 질소를 섭취하였으나 2.96 g의 질소를 어체에 축적하여 SMP 구의 그것과 차이를 보이지 않았다 ($P > 0.05$). 한편, MP 구는 처리구중 가장 낮은 5.7 g의 질소 섭취량을 기록하였으며 어체 축적량 또한 1.80 g으로 처리구중 가장 낮았다. 그러나 질소 축적효율 (NRE)은 EP 구가 42.9%로 가장 높았으며 SMP 구가 33.8%로 중간을 차지하였고 MP 구는 32.0%로 가장 낮았다. Kg 증체량당 질소 배설량은 EP 구가 38.1 g으로 타 처리구에 비해 유의적으로 낮았다. MP 및 SMP 구의 질소 배설량은 각각 55.8 g 및 54.8 g 이었다 (Table 14).

Table 14. Nitrogen utilization of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	Intake g/fish	Gain g/fish	NRE ² %	Excretion g/kg wt. gain
EP	6.91±0.03 ^b	2.96±0.12 ^a	42.9±1.56 ^a	38.1±2.24 ^b
MP	5.65±0.20 ^c	1.80±0.05 ^b	32.0±0.18 ^c	55.8±1.75 ^a
SMP	9.20±0.18 ^a	3.11±0.07 ^a	33.8±0.15 ^b	54.8±1.18 ^a

¹Values (means±SE of two replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different ($P > 0.05$).

²Nitrogen retention efficiency = N gain/N intake x 100.

섭취량에 따른 어체내 인 축적량, 인 축적효율 (PRE) 및 kg 증체량당 인 배설량은 Table 15에 제시된 바와 같다. EP 구 (1.05 g)는 SMP 구 (1.38 g)에 비해 유의적으로 인 섭취량이 낮았으나 어체내 인 축적량은 동일하게 유지되었다 (0.36 g vs 0.33 g). 그러나 MP 구는 처리구중 가장 낮은 인 축적량 (0.14 g)을 기록하였다. PRE는 EP 구가 34.2%로 가장 우수하였으며 (P<0.05), SMP 구가 23.6%로 중간이었고 MP 구는 19.9%로 가장 낮았다. 그러나 인 배설량은 SMP 구가 9.5 g으로 가장 높았고 EP 구가 6.7 g으로 가장 낮았으며 MP 구는 8.4 g으로 중간을 차지하였다.

Table 15. Phosphorus utilization of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	Intake g/fish	Gain g/fish	PRE ² %	Excretion g/kg wt. gain
EP	1.05±0.00 ^b	0.36±0.01 ^a	34.2±1.57 ^a	6.65±0.05 ^c
MP	0.72±0.03 ^c	0.14±0.01 ^b	19.9±0.77 ^c	8.42±0.16 ^b
SMP	1.38±0.03 ^a	0.33±0.02 ^a	23.6±1.10 ^b	9.51±0.09 ^a

¹Values (means±SE of two replicates) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05).

²Phosphorus retention efficiency = P gain/P intake x 100.

어체내 지방 섭취량은 처리구간 유의적인 차이를 보였으나 지방 축적량은 5.03 g (MP 구)에서 5.41 g (EP 구)의 범위로 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. EP 구는 70.1%의 지방 축적효율 (LRE)을 기록하여 처리구중 가장 높았으며, MP 구는 43.7%로 가장 낮았다. SMP 구는 60.2%로 중간을 차지하였다 (Table 16).

Table 16. Lipid utilization of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	Intake g/fish	Gain g/fish	LRE ² %
EP	7.72±0.03 ^c	5.41±0.32 ^{ns}	70.1±4.47 ^a
MP	11.51±0.41 ^a	5.03±0.27	43.7±0.74 ^c
SMP	8.64±0.17 ^b	5.20±0.28	60.2±2.11 ^b

¹Values (means±SE of two replicates) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05); ns= nonsignificant.

²Lipid retention efficiency = L gain/L intake x 100.

에너지 축적량, 축적효율 (ERE) 및 어체중 대비 간 중량지수 (HSI)는 Table 17에 제시된 바와 같다. SMP 구가 체내 에너지 축적량이 913 kJ로 가장 높았으나 EP 구 (897 kJ)와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. MP 구는 647 kJ을 축적하여 처리구중 가장 낮았다. 그러나 ERE는 EP 구가 46.5%로 처리구중 가장 높았으며, 나머지 두 처리구는 39.8% 및 39.7%로 동일하였다. EP 구와 SMP 구의 HSI는 1.65% 및 1.66%로 동일하였으며 MP 구는 1.93%로 높게 나타났으나 처리구간 유의성은 인정되지 않았다 ($P>0.05$).

Table 17. Energy utilization and liver size of flounder fed the experimental diets for 9 weeks¹

Diet	Intake kJ/fish	Gain kJ/fish	ERE ² %	HSI ³ %
EP	1931±8.12 ^b	897±78.34 ^a	46.5±3.86 ^a	1.65±0.07 ^{ns}
MP	1626±58.17 ^c	647±28.56 ^b	39.8±0.33 ^b	1.93±0.13
SMP	2303±45.32 ^a	913±48.58 ^a	39.7±2.89 ^b	1.66±0.08

¹Values (means±SE of two replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different ($P>0.05$); ns= nonsignificant.

²Energy retention efficiency = E gain/E intake x 100.

³Hepatosomatic index = wet liver weight/wet body weight × 100.

개시어와 종료어의 어체내 화학적 조성은 Table 18에 나타난 바와 같다. 종료어의 수분 함량은 74.0 % (EP 및 MP 구)에서 74.5% (SMP 구)로 처리구간 유의적인 차이가 없었으며 개시어 (75.1%)에 비해 약간씩 감소하는 경향을 보였다. 단백질 함량은 17.49% (MP 구)에서 17.99% (EP 구)로 MP 구는 EP 및 SMP 구 (17.82%)에 비해 유의적으로 낮았으며, 처리구 공히 개시어 (18.12%)에 비해 약간씩 감소하였다. 지방은 개시어 (1.87%)에 비해 처리구 공히 큰 폭으로 증가하였는데 MP 구가 3.82%로 처리구중 가장 높았고 EP (3.39%) 및 SMP 구 (3.21%)는 유사한 수준을 보였다. 회분 함량은 처리구 공히 개시어에 비해 감소하였는데, EP 구가 3.12%로 가장 낮았고 MP (3.69%) 및 SMP 구 (3.60%)는 비슷한 수준을 보였다. 칼슘 함량은 MP 구가 1.50%로 가장 높았으며, EP (1.23%) 및 SMP 구 (1.33%)는 유의적인 차이를 보이지 않았다. EP 구는 개시어와 동일한 칼슘 수준을 보였다. 어체내 인은 EP 구가 0.50%로 가장 높았으며 MP (0.48%) 및 SMP 구 (0.47%)는 유사하였다. 처리구 공히 개시어의 인 함량 (0.63%)에 비해 낮은 경향을 보였다. 에너지 함량은 708 kJ (SMP 구)에서 729 kJ (EP 구)로 처리구간 유의적인 차이가 발견되지 않았다 ($P>0.05$).

Table 18. Whole body composition of flounder fed the experimental diets(%)

Diet	Moisture	Protein	Fat	Ash	Ca	P	GE kJ/100g
EP	74.0±0.38 ^{ns}	17.99±0.33 ^a	3.39±0.14 ^b	3.12±0.16 ^b	1.23±0.04 ^b	0.50±0.02 ^a	729.3±21.0 ^{ns}
MP	74.0±0.01	17.49±0.11 ^b	3.82±0.19 ^a	3.69±0.16 ^a	1.50±0.09 ^a	0.48±0.00 ^{ab}	724.5±16.5
SMP	74.5±0.63	17.82±0.24 ^a	3.21±0.13 ^b	3.60±0.22 ^a	1.33±0.01 ^b	0.47±0.01 ^b	708.0±19.3
Initial	75.1±0.10	18.12±0.01	1.87±0.11	4.48±0.08	1.24±0.10	0.63±0.02	604.7±1.5

^{a,b}Values (means±SE of two replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05); ns = nonsignificant.

Table 19에는 실험사료를 9주간 섭취한 넙치의 등근육과 복부근육의 일반조성이 제시되어 있다. 등근육 (dorsal muscle)내 수분함량은 MP 구가 77.0%로 가장 높았으며 SMP 구가 75.7%로 가장 낮았다. 단백질은 SMP 구가 21.45로 처리구중 가장 높았으며 EP (20.9%) 및 MP 구 (20.5%)는 유사하였다. 지방 함량은 0.42% (SMP 구)에서 0.57% (MP 구)로 차이를 보였으나 유의성은 인정되지 않았다 (P>0.05). 회분 함량 또한 1.34% (EP 구)에서 1.37% (SMP 구)로 유사하였다. 칼슘 수준은 SMP 구가 0.33%로 가장 낮았으며 EP 및 MP 구는 각각 0.39% 및 0.40%로 동일하였다. 등근육내 인 함량은 0.25% (MP 구)에서 0.35% (EP 구)로 큰 차이를 보였다. 칼슘과 인의 비율은 EP와 SMP 구의 경우 1:0.9로 동일하였으나 MP 구는 1:0.6으로 낮았다. 복부근육 (ventral muscle)의 단백질 함량은 75.5% (SMP 구)에서 76.7% (MP 구)로 유의적인 차이가 없었으며, 단백질 함량은 MP 구가 20.9%로 EP 및 SMP 구 (각 1.5%)에 비해 유의적으로 낮았다. 지방함량은 MP 구가 0.66%, EP 구가 0.60%로 SMP 구 (0.43%)에 비해 상당히 높았으나 유의성은 인정되지 않았다. 회분 함량은 SMP 구가 1.28%로 EP 및 SMP 구 (각 1.33%)에 비해 유의적으로 낮았다. 칼슘 함량은 SMP 구가 0.35%로 가장 낮았으며 EP 및 MP 구는 0.38% 및 0.39%로 유사한 수준을 유지하였다. 인은 세 처리구 공히 0.30-0.31%로 유사하였다. 복부근육내 칼슘:인 비율은 1:0.8-0.9로 유사하게 유지되었다.

Table 19. Dorsal and ventral muscle composition of flounder at the end of the experiment¹

Diet	Moisture	Protein	fat	ash	Ca	P	Ca : P
<i>Dorsal muscle</i>							
EP	76.3±0.12 ^{ab}	20.9±0.16 ^b	0.48±0.06 ^{ns}	1.34±0.01 ^{ns}	0.39±0.02 ^a	0.35±0.00 ^a	1 : 0.9
MP	77.0±0.35 ^a	20.5±0.29 ^b	0.57±0.17	1.35±0.04	0.40±0.03 ^a	0.25±0.01 ^c	1 : 0.6
SMP	75.7±0.62 ^b	21.4±0.28 ^a	0.42±0.04	1.37±0.02	0.33±0.01 ^b	0.29±0.03 ^b	1 : 0.9
<i>Ventral muscle</i>							
EP	75.6±0.25 ^{ns}	21.5±0.01 ^a	0.60±0.03 ^{ns}	1.33±0.03 ^a	0.38±0.01 ^{ab}	0.30±0.01 ^{ns}	1 : 0.8
MP	76.7±0.91	20.9±0.08 ^b	0.66±0.25	1.33±0.00 ^a	0.39±0.01 ^a	0.30±0.01	1 : 0.8
SMP	75.5±0.05	21.5±0.31 ^a	0.43±0.02	1.28±0.02 ^b	0.35±0.03 ^b	0.31±0.00	1 : 0.9

¹Values (means±SE of two replicates) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05); ns= nonsignificant.

실험 1에서와 달리 본 실험 2에서는 SMP 구의 종료어체중이 233.4 g으로 EP 구 (228.3 g)에 비해 약간 우수하였으나 유의성은 발견되지 않았다. 그러나 MP 구는 다른 두 처리구에 비해 유의적으로 낮은 종료어체중 (193.0 g)을 기록하였다. 한편, 실험 1에 비해 종료 어체중에 있어 EP 및 MP 구는 각각 20 g 및 18 g, 그리고 SMP 구는 약 25 g 정도 높은 수치를 기록하였다. 한편, 전 실험기간중 마리당 건물사료 섭취량은 SMP 구가 90.9 g으로 처리구중 가장 높았으며 MP 구가 65.0 g으로 가장 낮았는데, 실험 1에 비해 EP 구는 약 15 g 증가한 반면 SMP 구는 약 15 g 감소하였고, MP 구는 약 5 g 정도 감소하였다. 이러한 결과는 본 실험에서는 수조당 500 마리를 방양하여 먹이군의 형성이 잘되었고, MP 와 SMP 사료의 허실량이 상대적으로 낮았기 때문으로 풀이될 수 있을 것이다. 따라서, 사료효율 (FCR)의 경우 MP (0.94)와 SMP 구 (0.82)는 실험 1의 결과에 비해 크게 개선되었다고 볼 수 있을 것이다. 그러나 EP 구의 경우 실험 1에서 보다 섭취량은 더 증가하였으나 FCR은 0.75로서 실험 1에서의 수치 (0.71) 보다 더 높게 나타났다 (Tables 3 & 11). 이것은 섭취량에 비해 증체량의 상대적 증가폭이 낮은 데서 기인한 것으로 보인다. 즉, 실험 1에 비해 EP 구는 사료섭취량은 24.4% ((77.4-62.2)/62.2 x 100)의 상대적 증가를 보였으나 증체량은 단지 17.1% ((103.9-88.7)/83.7 x 100) 증가에 그쳤다. 그럼에도 불구하고 FCR은 실험 1과 동일하게 EP 구가 유의적으로 가장 낮게 나타나 EP 사료의 사용 가능성을 여실히 입증해주었다. 그러나 SMP 사료의 경우 성장률은 우수하였지만 사료 섭취량이 높아 EP 사료에 비해 FCR이 유의적으로 증가하였다. 단백질 이용효율 (PER) 또한 EP 구가 MP 나 SMP 구에 비해 유의적으로 높게 나타나 실험 1과 동일한 결과를

보였다. 일간 특이 성장률 (SGR)의 경우 실험 1에 비해 전 처리구가 개선되었으나, 여전히 MP 구가 나머지 두 처리구에 비해 유의적으로 낮았다. 폐사율은 EP 및 SMP 구는 1.1%였으나 MP 구는 3.2%로 높았다 ($P<0.05$). 한편, 본 실험에서 나타난 MP 구의 저조한 성장률은 하루 두 번 급여로 인해 초래된 낮은 섭취량이 한 원인으로 대두될 수도 있을 것이다. 그러나, 관행의 사양관리에 비추어 볼 때 본 실험에 사용된 어체중의 넙치에는 일일 두 번 급여가 이뤄지고 있으며, 매년 급여시 육안으로 사료에 대한 흥미도가 떨어질 때까지 공급했기 때문에 모든 처리구가 반복섭취를 했을 것으로 보인다. 또한, 2주간의 적응기간 동안 모든 실험어류에 EP 사료를 급여하였기 때문에 본 실험 개시시 약 3일간은 MP 구의 사료섭취율이 저조하였으나 그 이후부터 사료섭취를 왕성하게 하였다. 따라서 MP 구의 낮은 섭취율은 기호성 측면에서 설명해야 할 것이다. 핀스팀은 사탕수수과 당밀 산업에서 생산되는 베타인과 아미노산 함유물로 Dover sole (Mackie et al., 1980), 연어 (Castro et al., 1998), winter flounder (Fredette et al., 2000) 및 메기 (김, 2000b)의 사료 섭취량을 크게 증가시키는 것으로 나타났다. 특히, 베타인은 여러 해산 양식어류의 후각과 미각 자극물질로서 섭취유인물질로서 작용한다 (Hara, 1994). 넙치는 딱딱한 인공사료의 섭취를 거부하는 것으로 알려져 있으나 실험 1과 본 실험에서 EP 구는 실험사료를 아주 왕성하게 섭취하였으며 FCR 또한 가장 우수하였다. SMP의 경우 또한 MP나 EP에 비해 높은 사료섭취량을 기록하였다. 이런 높은 사료섭취량은 첨가된 핀스팀이 사료섭취 유인제 (feeding attractant) 및 촉진제 (feeding stimulant)로 작용했기 때문으로 풀이된다 (Fredette et al., 2000). 그러나 MP에 핀스팀을 첨가할 경우 섭취촉진 효과가 나타날지는 아직 미지수이지만 첨가시 사료비의 인상이 불가피함으로 경제성은 없을 것으로 보인다.

실험 1에 비해 EP 구의 섭취량은 증가한 반면 MP 및 SMP 구의 섭취량은 감소한 관계로 EP 구의 단백질 섭취량 (43.2 g)은 MP 구 (35.3 g)에 비해 유의적으로 높았다 ($P<0.05$). 그럼에도 불구하고 지방 섭취량은 MP 구가 11.5 g으로 SMP (8.7 g) 및 EP 구 (7.7 g)에 비해 높았으며 실험 1과 동일하게 처리구간 유의성을 나타내었다. 가용무질소물 (NFE) 섭취량은 실험 1과 달리 EP 구가 17.1 g으로 가장 높았으며 SMP 구가 15.7 g으로 중간을 차지하였다. 소형 사육수조에 20마리씩 수용한 실험 1에서 보다 양어장의 일반 콘크리트 수조에 500 마리씩 수용한 본 실험에서 마리당 체내 질소 축적량이 크게 증가하였다. SMP 구는 마리당 3.11 g으로 가장 높은 질소 축적량을 기록하였으나 질소 축적 효율 (NRE)은 여전히 EP 구가 42.9%로 처리구중 가장 우수하였다 ($P<0.05$). SMP 구는 33.8%의 NRE를 기록하여 MP 구 (32.0%)에 비해 유의적으로 개선되었다. 질소 배설량에서 EP 구는 실험 1에서 보다 약간 증가한 38.1 g을 기록하였으며 MP (55.8 g) 및 SMP 구 (54.8 g)는 실험 1에서 보다 큰 폭으로 감소하였다 (Tables 6 & 14). 이것은 실험 1에서 언급한 바와 같이 수조의 배출구조에 따라 허실량이 많이 발생했기 때문일 것으로 추정되며, 아울러 본 실험에서는 수조가 상대적으로 컸기 때문에 사료 이용효율의 개선으

로 배설량이 감소한 것으로 추정된다. Fruta(1998)는 넙치와 같은 저서성 어류의 경우 서서히 침강하는 사료를 섭취하는 빈도가 높다고 하였다. 그러나 실험 1에 사용된 좁은 면적의 수조에서는 실험 2에 사용된 넓은 콘크리트 수조에서 보다 가라앉는 사료에 대한 사료포획능력이 낮게 (SMP 섭취율: FRP 수조<콘크리트 수조) 관찰되었다. 하지만 콘크리트 수조의 경우 Fruta (1998)의 보고와 잘 부합되었다. 실험 1의 경우 수위조절과 배설물 제거를 위해 이중 파이프 (double standing pipe)가 사용되었는데, 안쪽의 파이프는 수위조절에 쓰이며, 바깥쪽 파이프는 배수 역할을 담당하도록 설계되었다. 그러나 사각수조의 경우 수위 조절을 하는 파이프가 수위조절뿐 아니라 배수 역할을 동시에 수행하기 때문에 물의 배출은 수면과 동일한 위치에서 행해진다. 이런 구조적 차이는 부상 (EP, MP) 또는 침강 (SMP)과 같은 사료의 물리적 성상에 따라 허실량에 영향을 미쳤는데, 실험 1의 경우 침강사료인 SMP가 미처 섭취되지 못하고 상당량 배출되어 허실이 발생한 것으로 추정되는 반면, 실험 2에서는 허실없이 대부분 섭취되는 것이 관찰되었다. MP의 경우 부상사료이나 실험 1과 같은 조건에서 부적당하였다. 실험 1에 사용된 수조는 지름 53cm 인 소형수조였으며, 유입수는 수면 위에서 공급되는 형태였다. 그러므로 사료 급여시 유입수와 공급된 사료간 충돌은 피할 수 없었으며, 상대적으로 수중안정성이 떨어져 상당 부분 물속에서 부서지는 경향을 보였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 양어장 환경과 유사한 조건이나 운영중인 양어장에서 영양실험을 수행하는 것이 가장 바람직할 것이다 (Tacon, 1995).

인의 어체 증가량은 EP 구의 경우 0.36 g으로 실험 1 (0.31 g)에 비해 증가하였으나, MP 및 SMP 구는 감소한 것으로 나타났다 (Tables 7 & 15). 이러한 결과는 EP 구와 달리 MP 및 SMP 구의 사료 섭취량이 실험 1에서 보다 감소하여 인 섭취량이 줄었기 때문에 일어난 것으로 보인다. 인 축적효율 (PRE)은 EP 구가 34.2%로 실험 1 (37.0%)에 비해 약간 감소하였으나 여전히 처리구중 가장 우수하였다 ($P < 0.05$). 그러나 MP 구는 실험 1에 비해 약간 증가하였고, SMP 구는 약간 감소하였으나 각각 19.9% 및 23.6%로 처리구간 유의성을 보였다. 한편 실험 1에서 언급한 바와 같이 SMP 구의 경우 어체내 인 축적량은 한계가 있는데 비해 섭취량이 증가하였기 때문에 상대적으로 PRE가 낮게 나타난 것으로 풀이할 수 있을 것이다. 그러나 실험 1 (0.42 g)에 비해 본 실험에서는 0.33 g으로 마리당 축적량이 크게 감소하였는데, 이것은 종료어의 인 함량이 0.57%에서 0.47%로 낮아졌기 때문에 비롯된 것이다. 한편 인 배설량은 EP 구가 6.7 g으로 실험 1에서 보다 0.7 g 증가하였으며, MP 및 SMP 구는 각각 8.4 g 및 9.5 g으로 실험 1에 비해 큰 폭으로 감소하였다. 이것은 MP와 SMP 구의 성장률이 실험 1에서 보다 우수하였던 반면 사료섭취량은 감소하였기 때문으로 풀이할 수 있다.

어체내 지방 축적량은 5.0 g (MP 구)에서 5.4 g (EP 구)으로 지방 섭취량의 차이에도 불구하고 일정하게 유지되었는데 ($P > 0.05$) (Table 16), 이것은 넙치에 있어 사료내 지방수

준에 관계없이 어체내 지방수준은 큰 차이를 보이지 않는다는 것을 시사한다. 어체내 지방 함량이 높은 무지개 송어 (Kim and Kaushik, 1992)나 은어 (Takeuchi, 1978)의 경우 지방축적효율 (LRE)은 100%가 넘게 나타나지만 넙치의 경우 어체내 지방축적량이 제한적이기 때문에 LRE는 낮게 나타난다. Oku and Ogata (2000)는 개시어체중 3 g의 넙치에 있어 사료내 지방수준을 증가시킬 경우 (10.5% - 21.0%) 6주간 마리당 지방 섭취량은 1.14 g에서 2.26 g으로 증가하였으나 LRE는 42%에서 23%로 감소하였다고 보고하였다. 그러나 본 실험에서는 실험 1의 결과와 달리 지방 섭취량의 차이에 따라 어체내 지방 축적량은 차이를 보이지 않았다. 이것은 체조직내 지방 함량의 차이가 본 실험에서는 3.21% (SMP 구)에서 3.82% (MP 구)로 실험 1에서처럼 큰 폭 (1.96% - 3.01%)의 변화를 보이지 않았기 때문으로 보인다. 따라서, LRE는 비록 처리구간 유의적인 차이는 있었지만 43.7% (MP 구)에서 70.1% (EP 구)로 높게 나타났다. 물론, 실험 1에 비해 MP 및 SMP 구의 높은 LRE는 어체내 지방 함량의 증가와 동시에 지방 섭취량이 상대적으로 감소했기 때문에 발생한 것이다. 넙치의 상대적으로 많은 량의 지방을 간 (15-23%, Lee et al., 2002)과 지느러미 (16-29%, Sato et al., 1986)에 축적하는 것으로 알려져 있다. 그러나, 어체중 대비 간 중량은 1.5%-2.2%로 낮고 지느러미 무게 또한 상대적으로 크지 않을 것이기 때문에 사료를 통해 섭취된 지방의 에너지로서 이용효율이 낮을 것으로 보인다. 그럼에도 불구하고 Sato et al (1998)은 대구내장유 (pollack viscera oil)의 넙치에 의한 소화율이 90% 이상으로 높다고 보고하였는데, 이러한 결과는 지방의 낮은 이용성에 대한 설명을 어렵게 한다.

Table 17에서 나타나는 바와 같이 단백질의 수준이 높던지 (SMP) 지방의 수준이 높던지 (MP) 간에 넙치의 에너지 축적효율은 약 40%로 일정하게 나타났다. 그러나 MP 사료에 비해 동일 단백질과 절반의 지방을 함유하고 동일한 에너지를 유지한 EP 사료의 경우 46.5%로 실험 1과 유사하였다 (Tables 8 & 17). 어체내 수분 함량은 74.0% (EP 및 MP 구)에서 74.5% (SMP 구)로 처리구간 유의성이 없었으며, MP 구의 경우 실험 1 (75.8%)에 비해 크게 낮은 수준을 보였다. 단백질은 17.5% (MP 구)에서 18.0% (EP 구)로 SMP 구가 가장 높았던 실험 1 (18.4%)에서와 달리 본 실험에서는 EP 구가 가장 높았다. 그러나 SMP 구 (17.8%)와 유의적인 차이는 발견되지 않았다. 회분 함량은 실험 1에서와 같이 MP 구가 3.7%로 가장 높았으며 SMP 구 (3.6%)와 차이는 없었으나 EP 구 (3.1%)와는 차이를 보였다. 칼슘은 MP 구가 1.50%로 가장 높았고 EP 구가 1.23%로 가장 낮았는데 이는 실험 1에서 나타난 결과와 다소 차이를 보였다. 그러나 인은 실험 1에서 0.57%로 가장 높았던 SMP 구가 0.47%로 가장 낮았다. 반면, EP 구는 0.5%로 실험 1에서 나타난 0.51%와 유사하였으며, MP 구는 0.48%로 실험 1에서 나타난 0.52% 보다 약간 낮았다. 총 에너지 함량은 SMP 구는 708 kJ로 실험 1에서 나타난 수치 (700 kJ)와 동일하였으며 EP 구는 729 kJ로 실험 1의 결과 (702 kJ)에 비해 다소 증가하였다. 한편, MP 구는 실험 1에

서 나타난 결과 (633 kJ)보다 훨씬 높은 725 kJ을 보여 EP 구와 유사하였다. 그러나 처리 구간 유의성은 발견되지 않았다 (Table 18). 실험사료의 조단백질/총에너지 비율 (g/MJ)은 EP, MP 및 SMP 각각 22.4, 21.7 및 25.0으로 나타났는데, 체조직의 비율은 각각 24.7, 24.1 및 25.2로서 유사하게 유지되었다. Lee et al (2002)은 23 g에서 110 g 어류의 단백질 요구량은 45% 그리고 조단백질/총에너지 비율은 23.5 g/kJ이라고 보고하였다. 그러나, 카제인과 백색어분을 이용하여 설정된 단백질 요구량을 관행의 단미사료를 이용한 실용사료 배합에 그대로 적용하기는 어려울 것이다.

등근육 (dorsal muscle)과 복근육 (abdominal muscle)의 분석 결과 (Table 19), 수분과 단백질 함량은 전어체 조직에 비해 상당히 높게 나타났으며, 지방 함량은 훨씬 낮게 나타났다. 수분은 등근육에서 75.7% (SMP 구)에서 77.0% (MP 구) 그리고 복근육에서 75.5% (SMP 구)에서 76.7% (MP 구)로 등근육에서는 MP 구와 SMP 구간 유의성이 나타났으나 복근육에 있어서는 차이가 없었다 ($P>0.05$). 단백질의 경우 등근육에 있어서는 SMP 구가 21.4%로 타 처리구에 비해 유의적으로 높았으나, 복근육에 있어서는 SMP 구와 EP 구가 21.5%로 20.9%의 MP 구에 비해 유의적으로 높았다. 지방 수준은 양 근육 공히 0.4%에서 0.7%의 범위로 유의적인 차이가 없었다. 등근육과 복근육을 분리하여 분석한 결과는 없지만 등근육의 경우 Lee et al (2002)의 단백질 요구량 설정 연구에서 나타난 일반 조성과의 유사한 수준을 보였다. 회분 함량은 등근육은 1.34%에서 1.37%로 처리구간 유의성이 발견되지 않았으나 칼슘은 SMP 구가 0.33%로 EP (0.39%)와 SMP 구 (0.40%)에 비해 유의적으로 낮은 경향을 보였다. 동일하게 복근육내 회분 함량 또한 EP 및 MP 구가 1.33%로 SMP 구 (1.28%)에 비해 유의적으로 높았으며, 칼슘 또한 SMP 구가 0.35%로 EP (0.38%) 및 MP 구 (0.39%)에 비해 낮았다. 그러나 인의 경우 등근육에서는 EP 구가 0.35%로 처리구중 가장 높았으며 MP 구가 0.25%로 가장 낮았다. 한편, 복근육내 인의 함량은 0.30%에서 0.31%로 처리구간 동일하게 유지되었다.

Table 20. Production cost (won/kg wt. gain) by feeding the experimental diets

Diet	Feed price won/kg	FCR ¹		Production cost	Excretion (g)	
		as-fed	DM		N	P
EP	1500	0.79	0.75	1183(100)	38	6.7
MP	550	3.19	0.94	1753(148)	56	8.4
SMP	1840	1.41	0.82	2603(220)	55	9.5

¹Feed conversion ratio (as-fed basis).

양어장에서 생어와 첨가제를 구입한 가격에 제조 및 냉동보관 비용을 합하여 계산한

MP의 kg 당 사료비는 550원이었으며, 4개 사료공장에 의뢰하여 평균값으로 계산된 EP와 SMP의 시판출하 가격은 각각 1500원 및 1840원이었다. Table 20에서 나타나는 바와 같이 본 실험에서 SMP를 급여한 구의 어체 kg 생산비용은 2603원으로 EP 구에 비해 2.2에 달하는 것으로 나타났다. MP 구의 경우 1753원으로 EP 구에 비해 1.48 배 비용이 더 투입되는 것으로 나타났다. 따라서, 경제성과 환경보호 차원에서 EP 사료를 급여하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 한편, 본 실험에서는 MP 와 SMP 사료의 급여시 사료허실을 최소화하기 위해 천천히 어류의 섭취행동을 관찰하면서 급여했기 때문에 허실량이 낮아 사료 효율이 개선되었을 것으로 보인다. 일반 양어장에서의 급여 형태는 상당한 사료허실을 유발한다는 것을 감안하면 EP 사료의 급여로 인한 경제적 효과와 질소 인 배설량 감소효과는 더욱 MP나 SMP에 비해 더욱 더 클 것으로 예상된다.

본 실험의 결과 성장률은 SMP 구가 가장 우수한 것으로 나타났으나 kg 생산에 소요된 사료비와 수질오염 예방 차원에서 EP 사료구가 가장 우수한 것으로 나타나 실험 1의 결과를 뒷받침하였다. 따라서, 양질의 EP 사료 급여로 넙치 양식업의 경영 합리화와 수질오염을 감소가 가능할 것으로 보인다.

<실험 3> 넙치의 최대 성장을 위한 적정 사료 급여회수 설정 실험

1. 서론

현재까지 국내의 넙치 양식은 생어 (raw fish)에 기반한 생사료 또는 생어와 소량의 분말 배합사료를 혼합한 습사료 (MP)를 이용하여 행해지고 있는데, 양식 생산량의 증가와 함께 생사료의 소비가 증가함에 따라 공급부족으로 인한 가격 폭등이 발생하고 있다. 생사료 또는 습사료에 의존하는 사료 급여 체계는 사료허실로 인한 양어장 인근 수역의 자가 오염을 가중시켜 지속적 양식 생산에 일차적인 걸림돌이 되고 있을 뿐 아니라, 생어의 가격폭등으로 인한 사료비 지출 증가, 생어의 질적 문제로 인한 질병 유발, 많은 노동력과 과도한 유지비를 필요로 한다 (김, 2002b). 이러한 문제점들을 보완하기 위해서는 EP (extruded pellet) 사료의 개발이 필연적이다. 그러나 배합사료의 개발은 표준 사료 급여율의 제정과 동시에 이루어져야만 상업화가 가속화 될 수 있다 (김 등, 2002). 생사료나 MP 사료는 수분 함량이 높기 때문에 상대적으로 많은 량의 사료를 투여하게 된다. 그러나, 생어의 종류가 다양하고 MP 사료내 분말배합사료의 혼합비율 또한 제각각 이어서 성장 단계별로 하루에 어느 정도의 사료를 몇 번에 나눠 급여하는 것이 효율적인지에 대한 자료가 없어 사양가가 임의로 급여하고 있는 실정이다. 김 등(2002)은 넙치양식장에서 90g의 넙치에 하루 3번 및 이틀에 3번씩 MP 사료를 급여하여, 성장률에 유의적인 차이가 없었다고 보고하였다. 그들의 실험에서 질소 및 인의 배설량은 동일한 사료를 천천히 육

안으로 살피면서 허실을 최소화한 실험 (김과 이, 2000)에서 나타난 수치보다 두 배 정도 높아, 관행적인 사료급여시 허실사료 발생량이 무척 높다는 것을 시사하였다. 사료급여 빈도가 성장에 미치는 영향은 차넬 메기 (Andrews and Page, 1975), estuary grouper (Chua and Teng, 1978), plaice (Jobling, 1982), wolffish (Fam, 1997), rockfish (Lee et al., 2000a), flounder (Lee et al., 2000b), yellowtail flounder (Dwyer et al., 2002) 등의 어류에 수행되었다. Andrews and Page (1975)는 일일 두 번 급여가 하루 종일 급여보다 차넬 메기의 성장률을 개선시켰다고 하였으나, estuary grouper의 경우 이틀에 한번 급여가 적정하다고 보고되었다 (Chua and Teng, 1978). Ruohonen et al (1998)은 400 g의 무지개 송어를 이용하여 건조사료 (EP)의 급여빈도가 증가할수록 증체량이 증가함을 발견하여, 하루 세 번 급여가 이상적이라고 보고하였다. 사료비는 양식경영의 구성비중 가장 높은 비율을 차지하며, 어류의 절대치 사료소비량은 어체중의 크기가 증가할수록 증가한다. 또한, 사료의 급여량이 증가할수록 배설되는 질소와 인의 량도 증가하게 될 것이다. 따라서, 성장률의 개선과 수질오염물의 최소화 양 측면에서 성장단계별 표준 급여율 및 적정 급여빈도의 설정이 필연적이지만, 성장단계를 고려할 때 치어단계보다 육성단계의 어류에 우선적으로 설정되어야 할 것이다. 그러나, 급여빈도에 관한 지금까지의 대부분 연구는 치어단계에 국한되어있다.

실험 1과 2에서 EP 사료의 사용으로 사료비 지출 및 질소와 인 배설량을 큰 폭으로 줄일 수 있음을 입증하였다. 그러나 과연 두 실험에 사용된 EP 사료의 급여율을 증가시키거나 감소시킨다면 어떠한 결과가 나올지는 연구대상으로 남아있다. 이 등 (1999)은 평균어체중 1.6 g의 넙치 치어를 이용하여 EP 및 MP 사료의 급여빈도에 따른 성장률을 조사하였는데, 사료의 물성에 관계없이 하루 세 번 급여하는 것이 적정하다고 하였다. 이어서, Lee et al (2000b)은 관행의 단미사료를 이용하여 동일 단백질 (48%)에 지방함량을 달리한 (3% 및 16%) 두 종류의 사료를 제조한 후 물과 혼합하여 습사료의 형태로 3.5 g의 넙치 치어에 급여한 결과 사료내 에너지 수준에 따라 하루에 두 번 또는 세 번 급여하는 것이 적당하다고 보고하였다. 사료섭취와 관련하여 넙치류는 소화관의 길이에 따라 구분할 수 있는데, 장의 길이가 체장보다 짧거나 같은 어종 (turbot), 체장보다 긴 어종 (plaice와 dab) 그리고 체장보다 장의 길이가 현저히 긴 어종 (sole)이 있다 (Barber and De Groot, 1973). 국내 사육중인 넙치는 turbot과 같이 장의 길이가 짧고 위가 크기 때문에 위가 충만해지면 먹이섭취를 더 이상 하지 않는다. 이것은 사료의 섭취빈도가 장의 길이가 긴 어종에 비해 낮다는 것을 암시한다. 그러나, 사료는 물리적 성상에 따라 수분 함량에 큰 차이가 나기 때문에 EP 사료와 MP 사료의 급여빈도에 따른 사료이용효율은 다를 것으로 추정된다.

어류의 성장실험을 수행할 때 실험사료는 포만급여로 어류가 사료를 충분히 섭취할 수 있도록 포만 급여 (apparent satiation)를 하는 것이 권장된다 (Gropp and Tacon, 1994).

그러나 포만 급여는 사료의 허실을 유발할 가능성이 높다. MP 사료를 급여하는 넙치양식에 있어 사료비는 총 생산비중 가장 높은 비중을 차지하는 항목으로, 약 100 톤 생산규모의 양어장의 경우 약 36%를 차지하는 것으로 추정되고 있다 (김, 2002b). 따라서 넙치 1 kg 생산비용을 6000원으로 가정할 경우 사료비 지출은 2160원이 되는 것이다. 만약, EP 사료를 급여하여 1 kg 넙치생산에 소요되는 사료비를 실험 2에서처럼 1180원으로 절감할 수 있다면 출하가격의 하락에 신축성있게 대처할 수 있을 것이다. 부상성 EP 사료의 장점은 사료의 섭취정도를 쉽게 파악할 수 있으며, 냉동보관이 필요 없고 급여가 간편하다는데 있다. 그러나, 기호성이 높고 성장률과 사료이용효율이 우수한 EP사료라 하더라도 적정 급여수준을 설정하지 못한다면 적정수준 이하 급여로 성장률의 감소가 유발될 수도 있고 또는 적정수준 이상 급여로 인한 과다 사료허실 문제가 발생할 수 있을 것이다. 특히, 넙치는 탄수화물의 이용능력이 낮으며 (Kikuchi et al., 1992), EP 사료의 과다급여로 인한 섭취량 증가시 복수증의 발병 빈도가 높아 폐사율이 증가하는 것으로 알려지고 있다. 본 연구는 실험 1과 2에서 성장률 및 사료이용효율이 가장 우수했던 EP 사료의 급여 빈도에 따른 성장률, 사료이용효율, 영양소 축적효율 및 체조직 조성의 변화를 조사하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

본 실험에 사용된 사료는 실험 1과 2에 사용된 EP사료를 사용하였으며, 원료사료 및 화학적 조성은 Tables 1과 2에 제시된 바와 같다. 급여빈도에 따른 사양실험은 2002년 1월 7일부터 9주간 강원도 소재 (주)항도수산 부설 어류영양연구실에서 수행하였다. 첫 4주간은 5.3 mm로 제조된 EP사료를 급여하였으며, 어류가 성장함에 따라 후속 5주간 (급여기간 4주)은 직경 6.5 mm EP를 공급하였다. 따라서, EP 사료의 영양소 섭취량은 펠릿 크기별 분석치에 기반하여 계산하였다. 일일 급여구는 매주 일요일 사료급여를 중단하였으며, 격일 급여구는 일요일 중단없이 매 이틀마다 사료를 급여하여, 사료급여일수는 각각 49일 및 28일이었다. 실험에 사용된 수조는 FRP 원형수조로서 수조당 20마리로 6처리 3반복으로 완전임의 배치하였다. 실험에 사용된 넙치의 개시 어체중 약 120g 이었으며, EP 사료를 하루 (d: day)에 한 번 (1/d), 두 번 (2/d), 세 번 (3/d) 급여하는 구와 이틀 (EOD: every other day)에 한 번 (1/EOD), 두 번 (2/EOD) 및 세 번 (3/EOD) 급여하는 구로 구분하였다. 사료공급량은 공급전과 공급 후 사료 무게를 매일 측정하여 계산하였다. 수조내 유속은 15 L/min 이었으며 기타 사양관리는 실험 1에 전술한 바와 같았다.

개시어와 종료어 성분분석에 이용될 넙치는 개시시 10 마리 그리고 종료시 각 수조에서 5마리를 임의로 채취한 후 분석에 사용될 때까지 -30°C 에 보관하였다. 개시어와 종료어 그리고 사료의 분석방법과 결과의 통계적 처리는 실험 1과 동일하였다.

3. 결과 및 고찰

평균어체중 121 g의 넙치에 EP 사료의 급여빈도를 달리하여 62일간 급여한 후 종료어체중 과 사료 이용효율을 조사한 결과는 Table 21에 제시된 바와 같다. 일일 급여구는 격일 급여구에 비해 전 처리 공히 유의적으로 높은 종료어체중을 기록하였다. 일일 한번 (1/d), 두 번 (2/d) 및 세 번 (3/d) 급여구의 증체량은 각각 197 g, 200 g 및 199 g으로 유사하였으며, 이들에 한 번 (1/EOD), 두 번 (2/EOD) 및 세 번 (3/EOD) 급여구는 각각 169 g, 176 g 및 179 g으로 급여빈도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나 처리구간 유의적인 차이는 없었다 ($P>0.05$). 건물사료 섭취량은 1/d 구가 68 g으로 처리구중 가장 높았으며, 1/EOD 구가 41 g으로 가장 낮게 나타났다. 그러나 2/d 구는 64 g 으로 1/d 또는 3/d 구와 비교할 때 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 2/EOD 및 3/EOD 구는 각각 48 g 및 52 g으로 1/EOD 구에 비해서는 높았으나 두 처리구간에는 유의적인 차이가 없었다. 사료효율 (FCR)은 0.79 (1/d)에서 0.93 (3/EOD)의 범위로 나타났으나 처리구간 유의적인 차이는 발견되지 않았다. 단백질 이용효율 (PER)은 1.95 (3/EOD)에서 2.27 (1/d)의 범위를 보였으나 처리구간 유의적인 차이는 인정되지 않았다.

Table 21. Final weight and feed utilization of flounder fed the diet with different frequencies for 9 weeks¹

Freq.	Initial wt. g/fish	Final wt. g/fish	F. intake(g/fish)		FCR ²		PER ³ %
			as-fed	DM	as-fed	DM	
1/d	122±3.33 ^{ns}	197±2.84 ^a	63±0.97 ^b	59±0.91 ^b	0.84±0.02 ^{ns}	0.79±0.02 ^{ns}	2.27±0.05 ^{ns}
2/d	121±2.95	200±4.03 ^a	68±0.57 ^{ab}	64±0.54 ^{ab}	0.88±0.07	0.83±0.06	2.20±0.17
3/d	121±2.48	199±2.24 ^a	72±2.75 ^a	68±2.59 ^a	0.93±0.06	0.88±0.05	2.06±0.13
1/EOD	121±2.30	169±4.46 ^b	44±0.41 ^d	41±0.39 ^d	0.96±0.13	0.91±0.12	2.07±0.31
2/EOD	122±1.33	176±2.69 ^b	51±0.72 ^c	48±0.68 ^c	0.96±0.06	0.91±0.05	1.99±0.12
3/EOD	122±0.17	179±7.29 ^b	55±3.88 ^c	52±3.66 ^c	0.99±0.09	0.93±0.09	1.95±0.17

¹Values (means±SE of three replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different ($P>0.05$); ns= nonsignificant.

²Feed conversion ratio = Feed intake, DM/wet weight gain.

³Protein efficiency ratio = weight gain/protein intake.

증체량, 일간 특이 성장률 (SGR), 평균 어체중 대비 일일 사료 섭취율 (DFR) 및 폐사

율에 대한 결과는 Table 22에 제시된 바와 같다. 사료의 급여빈도에 관계없이 일일 급여구가 격일 급여구 보다 유의적으로 높은 증체량을 기록하였다. 일일 급여구는 75.7 g (1/d)에서 78.7 g (2/d)으로 세 처리구간 유의적인 차이가 없었으며, 격일 급여구는 47.8 g (1/EOD)에서 57.7 g (3/EOD)으로 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. SGR 또한 증체량과 동일한 경향으로 나타났는데, 격일 급여구는 0.78% (1/d)에서 0.80% (2/d 및 3/d)으로 0.53% (1/EOD)에서 0.62% (3/EOD)의 수준으로 나타난 격일 급여구에 비해 유의적으로 높았다. DFR은 3/d 구가 0.68%로 처리구중 가장 높았으며, 1/EOD 구가 0.46%로 가장 낮았다. 실험기간 동안 1/d, 3/d 및 2/EOD 구에서는 폐사어가 한 마리도 발생하지 않았으며, 2/d 및 1/EOD 구에서 각각 1마리 그리고 3/EOD 구에서 2마리 폐사어가 발견되었다.

Table 22. Weight gain and daily feeding ratio of flounder fed the diet with different frequencies for 9 weeks¹

Frequency	Weight gain g/fish	SGR ² %/day	DFR ³ %/Av.wt/d	No. of total fish died
1/d	75.7±1.37 ^a	0.78±0.03 ^a	0.60±0.01 ^{bc}	0
2/d	78.7±6.18 ^a	0.80±0.06 ^a	0.64±0.00 ^{ab}	1
3/d	78.2±4.66 ^a	0.80±0.05 ^a	0.68±0.02 ^a	0
1/EOD	47.8±6.75 ^b	0.53±0.07 ^b	0.46±0.01 ^e	1
2/EOD	54.0±3.84 ^b	0.59±0.04 ^b	0.52±0.01 ^d	0
3/EOD	57.7±7.23 ^b	0.62±0.07 ^{ab}	0.56±0.03 ^{cd}	2

¹Values (means±SE of three replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05); ns= nonsignificant.

²Specific growth rate = (ln(final wt.)-ln(initial wt.))/duration(62day) x 100.

³Daily feeding ratio = (feed intake(DM)/duration(62day))/{(initial body wt.+ final body wt.)/2} x 100.

실험기간 동안 한 마리의 넙치가 섭취한 영양소 및 에너지 함량은 Table 23에 제시된 바와 같다. 단백질 섭취량은 23.2 g (1/EOD)에서 38.0 g (3/d)으로 격일 급여구가 일일 급여구에 비해 유의적으로 낮게 섭취하였다. 한편, 1/EOD 구는 2/EOD (27.0 g) 및 3/EOD 구 (29.4 g)에 비해 유의적으로 낮은 단백질을 섭취하였다. 지방 섭취량은 3/d 구가 6.8 g으로 2/d 구 (6.4 g)을 제외한 처리구에 비해 유의적으로 높았으며, 1/EOD 구는 4.1 g으로 격일 급여구간에서도 유의적인 차이를 보였다. 가용무질소물 (NFE) 섭취량은 3/d 구가 15.1 g으로 처리구중 가장 높았으며, 1/EOD 구가 9.2 g으로 가장 낮게 나타났다. 인 섭취

량은 0.56 g (1/EOD)에서 0.93 g (3/d)의 범위를 보였다. 한편, 에너지 섭취량은 3/d 구가 1.7 MJ로 가장 높았으며, 1/EOD 구가 1.0 MJ로 가장 낮았다. 영양소 및 에너지 섭취량은 2/d 구와 3/d 구간에는 유의적인 차이가 발견되지 않았다.

Table 23. Energy and nutrient intake of flounder fed the diet with different frequencies for 9 weeks¹

Freq.	GE	C. protein	C. fat	NFE	P
	MJ/fish	g/fish			
1/d	1.49±0.02 ^b	33.4±0.51 ^b	6.0±0.09 ^b	13.3±0.20 ^b	0.81±0.01 ^b
2/d	1.61±0.01 ^{ab}	35.9±0.30 ^{ab}	6.4±0.05 ^{ab}	14.2±0.12 ^{ab}	0.87±0.01 ^{ab}
3/d	1.70±0.06 ^a	38.0±1.45 ^a	6.8±0.26 ^a	15.1±0.57 ^a	0.93±0.04 ^a
1/EOD	1.04±0.01 ^d	23.2±0.21 ^d	4.1±0.04 ^d	9.2±0.09 ^d	0.56±0.01 ^d
2/EOD	1.21±0.02 ^c	27.0±0.38 ^c	4.8±0.07 ^c	10.7±0.15 ^c	0.66±0.01 ^c
3/EOD	1.32±0.09 ^c	29.4±2.04 ^c	5.3±0.37 ^c	11.7±0.81 ^c	0.72±0.05 ^c

Table 24. Nitrogen utilization of flounder fed the diet with different frequencies for 9 weeks¹

Frequency	Intake g/fish	Gain g/fish	NRE ² %	Excretion g/kg wt.gain
1/d	5.34±0.08 ^b	2.21±0.09 ^a	41.4±1.05 ^{ns}	41.4±0.81 ^{ns}
2/d	5.74±0.05 ^{ab}	2.30±0.10 ^a	40.0±1.77	44.5±4.63
3/d	6.09±0.23 ^a	2.32±0.13 ^a	38.3±2.86	48.6±5.09
1/EOD	3.71±0.03 ^d	1.37±0.22 ^b	37.0±6.25	52.3±11.41
2/EOD	4.33±0.06 ^c	1.43±0.13 ^b	33.0±2.64	54.4±5.29
3/EOD	4.71±0.33 ^c	1.69±0.20 ^b	35.8±2.96	54.0±7.47

¹Values (means±SE of three replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05); ns = nonsignificant.

²Nitrogen retention efficiency= N gain/N intake x 100.

Table 24에는 9주 동안 EP 사료의 급여빈도에 따른 마리당 섭취의 질소 섭취량, 어체 내 질소 축적량, 질소 축적효율 (NRE) 그리고 kg 증체당 질소 배설량을 나타내었다. 질소 섭취량은 3.71 g (1/EOD)에서 6.09 g (3/d)으로 처리구간 유의적인 차이가 발견되었다. 어체 내 질소 축적량은 1.37 g (1/EOD)에서 2.32 g (3/d)으로 차이를 보였으나 일일 급여구가

격일 급여구에 비해 유의적으로 높았을뿐 일일 급여구간에는 유의적인 차이가 발견되지 않았다. 마찬가지로 격일 급여구간에도 유의적인 차이는 없었다. 질소 축적효율은 33.0% (2/EOD)에서 41.4% (1/d)의 범위를 보였으며 전 처리구간 유의적인 차이는 없었다. 질소 배설량 또한 41.4 g (1/d)에서 54.4 g (2/EOD)의 범위를 나타내었으나 유의적인 차이는 없었다.

어체내 인 축적량, 인 축적효율 (PRE) 그리고 kg 증체당 인 배설량은 Table 25에 제시된 바와 같다. 마리당 인 축적량은 0.20 g (1/EOD)에서 0.33 g (3/d)으로 처리구간 유의적인 차이를 보였다. 그러나 인 축적효율은 33.6% (3/EOD)에서 35.2% (1/d)의 범위로서 처리구간 유의적인 차이가 인정되지 않았다. 인 배설량 또한 7.0 g (1/d)에서 8.3 g (3/EOD)으로 처리구간 유의적인 차이가 없었다.

Table 25. Phosphorus(P) utilization of flounder fed the diet with different frequencies for 9 weeks¹

Frequency	Intake g/fish	Gain g/fish	PRE ² %	Excretion g/kg wt.gain
1/d	0.81±0.01 ^b	0.29±0.03 ^{ab}	35.2±3.36 ^{ns}	7.0±0.49 ^{ns}
2/d	0.87±0.01 ^{ab}	0.30±0.01 ^a	34.5±1.36	7.4±0.65
3/d	0.92±0.04 ^a	0.33±0.02 ^a	35.1±1.01	7.7±0.36
1/EOD	0.56±0.01 ^d	0.20±0.02 ^b	35.1±3.43	8.0±1.41
2/EOD	0.66±0.01 ^c	0.23±0.05 ^{ab}	34.7±7.69	8.1±1.42
3/EOD	0.72±0.05 ^c	0.24±0.03 ^{ab}	33.6±4.99	8.3±0.16

¹Values (means±SE of three replicates) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05); ns = nonsignificant.

²Phosphorus retention efficiency= P gain/P intake x 100.

마리당 어체내 에너지 및 지방의 축적량과 축적효율 그리고 어체중 대비 간 중량지수는 Table 26에 제시된 바와 같다. 에너지 축적량은 3/d 구가 688 kJ로 가장 높았으며, 1/EOD 구가 345 kJ로 가장 낮았으며, 일일 급여구가 격일 급여구에 비해 유의적으로 높았다. 에너지 축적효율은 33.4% (1/EOD)에서 41.3% (1/d)로 처리구간 유의적인 차이가 인정되지 않았다. 지방 축적량은 1.37 g (1/EOD)에서 3.37 g (2/d)으로 일일 급여구는 격일 급여구에 비해 유의적으로 높았다. 그러나 지방 축적효율은 33.0% (1/d)에서 55.0% (1/d)로 유의적인 차이가 인정되지 않았다. 한편, 간 중량지수는 2/d 및 3/d 구가 1.66%로 가장 높았으며 1/EOD 구가 1.09로 가장 낮아 두 처리구간 유의성은 인정되었으나, 나머지 처

리구간에는 유의적인 차이가 없었다.

Table 26. Energy and lipid utilization and liver size of flounder fed the diet with different frequencies for 9 weeks¹

Freq.	E gain kJ/fish	ERE ² %	L gain g/fish	LRE ³ %	HSI ⁴ %
1/d	616±53.6 ^{ab}	41.3±3.80 ^{ns}	3.30±0.62 ^a	55.0±9.50 ^{ns}	1.47±0.07 ^{ab}
2/d	612±59.5 ^{ab}	38.1±3.84	3.37±0.31 ^a	52.6±5.17	1.66±0.07 ^{ab}
3/d	688±34.2 ^a	40.5±2.15	3.33±0.15 ^a	49.1±3.41	1.66±0.00 ^a
1/EOD	345±55.1 ^c	33.4±5.64	1.37±0.29 ^b	33.0±7.12	1.09±0.05 ^b
2/EOD	441±44.3 ^c	36.4±3.25	1.61±0.53 ^b	33.1±10.57	1.15±0.12 ^{ab}
3/EOD	503±49.5 ^{bc}	38.0±1.57	2.41±0.53 ^{ab}	44.8±6.62	1.19±0.09 ^{ab}

¹Values (means±SE of three replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05); ns = nonsignificant.

²Energy retention efficiency= E gain/E intake x 100.

³Lipid retention efficiency= L gain/L intake x 100.

⁴Hepatosomatic index = wet liver weight/body weight × 100.

Table 27. Whole body composition (%) of flounder at the beginning and at the end of the experiment¹

Freq.	Moisture	Protein	Fat	Ca	P	GE kJ/100g
Initial	75.1±0.10	18.1±0.01	1.9±0.11	1.24±0.10	0.63±0.02	604.7±1.5
1/d	74.5±0.22 ^{abc}	18.2±0.28 ^{ns}	2.8±0.30 ^a	1.59±0.14 ^a	0.53±0.01 ^{ns}	685.0±31.6 ^{ab}
2/d	74.1±0.41 ^{bc}	18.2±0.24	2.8±0.14 ^a	1.42±0.03 ^{ab}	0.53±0.01	672.3±14.2 ^{ab}
3/d	74.3±0.19 ^{bc}	18.3±0.19	2.8±0.05 ^a	1.31±0.08 ^b	0.55±0.02	712.4±2.6 ^a
1/EOD	75.3±0.15 ^a	18.1±0.10	2.2±0.17 ^b	1.36±0.05 ^{ab}	0.57±0.02	637.7±9.6 ^b
2/EOD	74.7±0.30 ^{ab}	17.6±0.20	2.3±0.16 ^{ab}	1.34±0.03 ^b	0.57±0.02	669.4±12.2 ^{ab}
3/EOD	73.7±0.23 ^c	18.2±0.05	2.6±0.23 ^{ab}	1.35±0.05 ^b	0.56±0.04	690.3±8.8 ^{ab}

¹Values(means±SE of three replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05); ns = nonsignificant.

실험개시 및 종료시의 체조직 조성은 Table 27에 제시된 바와 같다. 종료어의 수분 함량은 73.7% (3/EOD)에서 75.3% (1/EOD)로 처리구간 유의성이 인정되었다. 개시어의 수분함량은 75.1%로 1/EOD를 제외한 모든 처리구보다 높았다. 단백질은 17.6% (2/EOD)에서 18.3% (3/d)로 처리구간 유의적인 차이가 없었으며, 개시어의 함량 (18.1%)와 유사하게 유지되었다. 지방함량은 2.2% (1/EOD)에서 2.8% (1/d, 2/d 및 3/d)로 처리구 공히 개시어 (1.9%)에 비해 높았으며, 1/EOD 구는 일일 급여구에 비해 유의적으로 낮았다. 인 함량은 0.53% (1/d 및 2/d)에서 0.57% (1/EOD 및 2/EOD)의 범위로 나타났으나 처리구간 유의성은 인정되지 않았으며, 처리구 공히 개시어 (0.63%)에 비해 낮게 나타났다. 에너지 함량은 638 kJ (1/EOD)에서 712 kJ (3/d)로 두 처리구간에만 유의적인 차이를 보였다. 전 처리구 공히 개시어 (605 kJ)에 비해 에너지 함량이 높게 나타났다.

Table 28. Dorsal and ventral muscle composition (%) of flounder at the end of the experiment¹

Frequency	Moisture	Protein	fat	P
<i>Dorsal muscle</i>				
1/d	76.1±0.05 ^{ab}	20.3±0.06 ^{ns}	0.49±0.16 ^{ns}	0.28±0.02 ^{ns}
2/d	75.5±0.51 ^b	20.4±0.18	0.71±0.22	0.28±0.02
3/d	76.7±0.31 ^{ab}	20.5±0.32	0.34±0.07	0.28±0.02
1/EOD	76.8±0.47 ^a	20.3±0.27	0.45±0.10	0.26±0.03
2/EOD	75.9±0.35 ^{ab}	20.7±0.06	0.38±0.05	0.28±0.05
3/EOD	76.1±0.47 ^{ab}	20.3±0.25	0.49±0.10	0.27±0.02
<i>Ventral muscle</i>				
1/d	76.4±0.14 ^{ns}	20.3±0.18 ^{ns}	0.54±0.08 ^{ns}	0.25±0.01 ^b
2/d	76.5±0.34	20.4±0.22	0.62±0.22	0.23±0.01 ^b
3/d	76.7±0.18	19.9±0.30	0.47±0.15	0.25±0.02 ^b
1/EOD	76.9±0.35	20.6±0.13	0.56±0.14	0.27±0.01 ^{ab}
2/EOD	76.2±0.30	20.5±0.35	0.62±0.01	0.27±0.02 ^{ab}
3/EOD	77.1±0.30	20.6±0.23	0.38±0.04	0.32±0.04 ^a

¹Values (means±SE of three replicates) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05).

종료어의 등근육과 복부근육의 수분, 단백질, 지방 및 회분 함량은 Table 28에 제시된 바와 같다. 등근육의 수분 함량은 75.5% (2/d)에서 76.8% (1/EOD)로 두 처리구간 유의성

은 인정되었으나, 타 처리구간 유의적인 차이는 없었다. 단백질은 20.3% (1/d, 1/EOD 및 3/EOD)에서 20.7% (2/EOD)의 범위로서 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 지방함량 또한 0.34% (3/d)에서 0.71% (2/d)로 큰 차이를 보였으나 처리구간 유의적인 차이는 발견되지 않았다. 인은 0.26%에서 0.28%로 전 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 복근육의 경우 수분 함량은 76.4%에서 77.1%로 처리구간 큰 차이를 보이지 않았다. 단백질 함량 또한 19.9%에서 20.6%로 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 지방은 3/EOD 구가 0.38%로 가장 낮았고 2/d 및 2/EOD 구가 공히 0.62%로 가장 높았으나, 전 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 인은 2/d 구가 0.23%로 3/EOD 구 (0.32%)에 비해 유의적으로 낮게 나타났으나 일일 급여구간에는 유의적인 차이가 없었다. 또한 격일 급여구간에도 0.27%에서 0.32%로 유의적인 차이를 보이지 않았다.

어류의 성장률과 사료이용효율은 사료의 물리화학적 특성뿐만 아니라 어종이나 어체중과 같은 생물학적 요인뿐 아니라 사료의 물리화학적 특성, 수온 등의 비생물학적 요인에 의해 달라진다 (NRC, 1983). 그러나, 특정사료를 동일한 수질조건 하에서 특정 어류에 급여할 경우 성장률은 섭취된 사료의 량과 사료의 이용효율에 따라 달라질 수밖에 없다 (Buurma and Diana, 1994). 사료 섭취량은 급여빈도를 증가시킴으로 증가하여 성장률의 개선을 유발할 것이다 (Ishiwata, 1969; Grayton and Beamish, 1977). 그러나, 성장률은 급여빈도의 증가에 따라 대상어류의 영양소 및 에너지 요구량이 충족할때까지는 증가하다가 그 이상의 수준에서는 일정하게 유지될 것이다. 본 연구에서 급여빈도를 이틀에 1번 (1/EOD)에서 하루 세 번 (3/d)으로 증가시킴에 따라 사료 섭취량은 41 g에서 68 g으로 지속적으로 증가하였다. 그러나 어류의 종료어체중은 169 g (1/EOD)에서 197 g (1/d)으로 유의적으로 증가하다가 그 이상의 급여수준에서는 동일하게 유지되었다. 이러한 결과는 어체중 120 g에서 200 g의 넘치에 본 실험사료를 급여할 경우 일일 한번 급여만으로 영양소 및 에너지 충족이 가능함을 시사한다고 볼 수 있다. Lee et al (2000b)은 3.5 g 넘치치어를 이용하여 고에너지 사료 (HE)와 저에너지 사료 (LE)를 이틀에 한번, 하루에 1번, 두 번 그리고 세 번으로 각각 급여하였을 때, 어류의 증체량은 HE의 경우 급여빈도의 증가와 함께 증가하다가 일일 두 번에서 최고에 달했으며 일일 세 번 급여구는 두 번 급여구와 유의적인 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. 그러나, LE의 경우 급여 빈도의 증가에 따라 증체량은 지속적으로 유의적인 증가를 보였다. 한편, Dwyer et al (2002)은 6.8 g의 yellowtail flounder를 이용하여, 이틀에 두 번, 일일 한 번, 두 번 그리고 네 번으로 급여빈도를 달리하였을 때, 일일 두 번 급여구가 성장률과 사료효율 (0.89) 측면에서 가장 우수하였다고 하였다. 그러나 본 연구의 결과 사료효율 (FCR)은 1/d 구가 0.79로 처리구중 가장 낮았고 3/EOD 구가 0.93으로 가장 높았으나 처리구간 유의적인 차이는 인정되지 않았다. 이것은 사료섭취량과 성장률의 상대적 비율로서 설명될 수 있을 것이다. 즉, 격일 급여구의 경우 성장률의 증가폭이 사료섭취량의 증가폭과 유사하여 FCR이 0.91에서 0.93으

로 유사하였으나, 일일 급여구의 경우 사료 섭취량의 증가폭에 비해 성장률의 증가폭이 상대적으로 낮았기 때문에 FCR은 0.79에서 0.88로 큰 차이를 보인 것으로 추정된다.

한편, 사료의 급여빈도가 낮을 때 생리적으로 사료 섭취량을 늘리는 경향이 송어 (Ruohonen and Grove, 1996), Arctic charr (Jobling, 1983), plaice (Jobling, 1982) 및 여러 해산어류 (Ishiwata, 1969)에서 보고되었다. 본 실험에서 일일 급여구는 49일간 사료를 섭취하였으며, 격일 급여구는 28일간 사료를 섭취하였다. 따라서, 사료 급여일수당 마리당 사료 섭취량은 1/d 및 1/EOD 구가 1.20 g 및 1.46 g, 2/d 및 2/EOD 구가 1.31 g 및 1.71 g, 그리고 3/d 및 3/EOD 구가 1.39 g 및 1.85 g으로 격일 급여구의 사료 섭취량은 더 높게 나타났다. Dwyer et al (2002)은 yellowtail flounder의 어류 생체중 g 당 사료 섭취량 (meal size)은 일일 한 번 또는 이틀에 두 번 사료를 급여했을 때가 일일 두 번이나 네 번 급여구시 보다 더 높았다고 하였다. 그러나 전체 사료 섭취량은 급여빈도가 높을수록 증가하여, 본 실험에서 나타난 결과와 잘 부합하였다. 비록, 급여빈도에 따른 매회 급여량을 조사하지는 않았지만, 본 연구의 결과로 추정해볼 때 급여빈도가 증가할수록 매회 사료 섭취량은 감소하였던 것으로 보인다. 즉, 1/d 구의 경우 마리당 총 사료섭취량은 59 g이었던 반면, 2/d 및 3/d 구의 경우 각각 64 g 및 68 g으로 두 번 또는 세 번 급여시 매회 섭취량은 일일 한번 급여구에 비해 낮았을 것이다.

단백질의 이용효율 (PER)은 단백질의 섭취량에 좌우된다 (Bowen, 1987). 즉, 섭취량이 달라질 경우 어류의 단백질 요구량이 충족될 때까지는 PER이 증가하다가 그 이상의 수준에서는 감소하게 된다. 그러나 사료를 통한 단백질 섭취량이 요구량 충족 수준보다 낮을 경우 성장률의 증가폭이 낮기 때문에 단백질 섭취 수준이 낮을수록 PER은 높아지게 된다 (Kim and Lall, 2001). 1/EOD 구의 경우 사료 섭취량이 격일 급여구중 유의적으로 낮았고 이로 인해 질소 섭취량 또한 유의적으로 낮았던 반면, 성장률은 유의적인 차이를 보이지 않았기 때문에 PER이 2.07 (1/EOD)에서 1.95 (3/EOD)로 낮아지는 경향을 나타내었다. 그러나, 일일 급여구의 급여 빈도의 증가는 사료 섭취량의 유의적 증가를 유발했고 이로 인해 질소 섭취량 또한 증가하였다. 그러나, 성장률은 유의적인 차이를 보이지 않았기 때문에 1/d 구에서 이미 단백질 요구량이 충족되었다고 볼 수 있으며, 그로 인해 PER은 급여빈도의 증가와 함께 2.27에서 2.06으로 감소하는 경향을 보인 것으로 볼 수 있을 것이다. 그러나, 양어장 사육수조를 이용한 실험 2의 결과에 비추어 볼 때, 급여 빈도가 가장 높았던 3/d의 경우에도 종료어체중과 사료 섭취량이 낮았기 때문에, 본 실험의 결과에서 1/d 구의 단백질 요구량이 충족으로 더 이상의 급여빈도 증가와 함께 성장률이나 PER이 개선되지 않았다고 보기에 어렵다. 본 실험과 동일한 수조를 이용한 실험 1의 경우 일일 두 번 급여했던 EP 사료구의 건물 사료 섭취량은 62 g으로 2/d 구의 64 g과 유사하였다. 그러나 종료어체중은 209 g (실험 1)과 200 g (본실험 2/d 구)으로 차이가 낮기 때문에 PER은 실험 1 (2.55)에 비해 낮게 나타났으며, 일간 특이성장률 또한 실험 1에

서 보다 약간 낮았다. 2/d 구의 경우 실험 1에 비해 사료섭취량은 유사하였으나 성장률 (증체량 및 SGR)이 이렇게 약간 낮아진 것은 본 실험에서 처리구의 사료 급여 회수 차이로 사료 급여자와 실험어류간의 조우시간이 많아짐에 따라 어류가 상대적으로 더 많은 스트레스에 노출되었기 때문으로 추정된다.

마리당 질소 축적량은 질소 섭취량이 3.7 g (1/EOD)에서 5.3 g (1/d) 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이다가 더 이상의 섭취수준에서는 차이를 보이지 않았다. 이차회귀분석 (quadratic regression analysis)을 실시하면 더 자세히 밝힐 수 있겠지만, 본 실험의 결과 120 g에서 200 g 정도의 넘치에 있어 최대 성장을 위한 일일 단백질 섭취량은 약 3.5 g/kg fish (질소 약 0.56 g/kg fish) 정도일 것으로 추정된다. 그러나, 양어장 수조를 이용한 실험 2에서는 EP 사료구의 질소 증가량 (2.96 g/fish)이 본 실험 (2.30 g/fish: 2/d)에서 보다 훨씬 높아 실험실 규모의 실험과 일반 양어장 규모의 실험 결과가 크게 달라질 수 있음을 시사하고 있다. 이러한 결과는 실험실 규모의 실험에서 나타난 자료를 실제 관행의 현장 적용시 큰 차이가 있을 수 있다는 것을 지적하는 것이라고 볼 수 있다. 한편, 본 연구에서 질소 섭취량이 증가할수록 KG 증체당 질소 배설량은 증가하는 것으로 나타났으나, 일일 급여구가 격일 급여구에 비해 유의성은 없었지만 낮게 나타났다. 한편, 2/d 구의 질소 배설량은 44.5 g으로 실험 1에서 나타난 35.5 g 보다 훨씬 높았는데, 이러한 차이는 본 연구에서 질소 섭취량은 높은 반면 질소 축적량은 낮았기 때문으로 설명할 수 있을 것이다. 그러나, 동일한 조건에서 사육한 실험에서 본 연구와 실험 1의 결과가 큰 차이를 보이는데 대한 이유는 설명하기가 어렵다.

급여빈도가 1/EOD에서 3/d로 증가함에 따라 마리당 인 섭취량은 0.56 g에서 0.92 g으로 지속적으로 증가하였으나 ($P < 0.05$), 어체내 인 축적량은 1/d 구 이상에서는 일정하게 유지되었다. 인 축적효율은 34%에서 35%로 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았는데 이것은 인 섭취량과 인 축적량이 처리구 공히 일정한 비율로 이뤄졌기 때문으로 설명될 수 있다. 한편, 2/d 구의 인 축적량은 0.30 g으로 실험 1의 결과 (0.31 g)과 유사하였다. 인 배설량은 질소 배설량에서 나타난 경향과 유사하게 급여 빈도가 증가함에 따라 유의성은 없었지만 증가하는 경향을 보였다. 그리고, 격일 급여구가 일일 급여구에 비해 높았는데, 이것은 어체내 인 함량의 수준이 일정하게 유지되었음에도 불구하고 격일 급여구의 성장률이 일일 급여구에 비해 유의적으로 낮았던데서 그 원인을 찾을 수 있다.

간 중량지수 (HSI)는 사료내 비단백태 에너지 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보인다 (Kim and Kaushik, 1992; Kim et al., 2001; Lee et al., 2002; Peres and Oliva-Teles, 2002). 본 연구에서 급여빈도의 증가로 사료 섭취량이 증가함에 따라 단백질뿐 아니라 지방과 가용무질소물 또한 증가하였기 때문에 간 중량지수가 1.09% (1/EOD)에서 1.66% (2/d 및 3/d)로 증가한 것으로 보인다. 한편, 실험 2에서 EP 급여구의 HSI는 1.65%로 본 실험에서 2/d 구가 보여준 수치와 유사하였다. 그러나 55% 단백질 사료를 섭취한 약 110

g 넙치 (Lee et al., 2002)에서 보고된 수치 (2.2%) 보다는 낮았으며, 136 g turbot (Regot et al., 1999)의 수치 (1.18%) 보다는 높았다. 지방 및 에너지 축적량은 급여빈도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나, 지방 (LRE) 및 에너지 축적효율 (ERE)은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이것은 각 처리구의 반복간 오차가 심하여 유발된 것으로 추정된다. 한편, 2/d 구의 결과를 실험 1에 비추어보면, 지방 섭취량은 본 실험에서 6.4 g으로 실험 1 (6.2 g) 보다 높았으나 어체내 축적량 (3.37 g vs 4.04 g)으로 실험 1에서 더 높게 나타나 LRE (52.6% vs 64.9%) 또한 큰 차이를 보였다. 마찬가지로, 에너지 섭취량은 본 실험에서 1.61 MJ로 실험 1 (1.55 MJ)에서 보다 높았으나, 축적량 (612 kJ vs 739 kJ)로 크게 낮아 ERE (38.1% vs 47.6%)가 크게 낮게 나타났다. 이것은 실험 1에서의 증체량이 본 실험에 비해 높았고, 체조직내 지방과 에너지의 수준이 높았던데서 그 원인을 찾을 수 있다. 그러나, 체조직내 단백질 함량은 실험 1에서 17.7%였던 반면 본 실험에서는 18.2%로 높았음에도 불구하고 질소 축적량이 낮았던 이유를 설명하기는 어렵다.

본 실험의 결과 120 g에서 200 g의 넙치 사육에 있어 최대 성장률은 하루 한번 급여로 충분한 것으로 나타났다. 그러나, 실험 2의 결과에서 나타난 동일 어체중 넙치의 상대적으로 높은 성장률 (78.7 g vs 103.9 g)과 사료섭취량 (64 g vs 77 g)을 고려할 때 본 실험과 같은 실험실 규모의 결과를 현장에 적용하는데는 많은 주의가 요구된다고 하겠다.

제 2 절 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 10개월간 사육

1. 서론

국내에서는 대부분 넙치 양식사료로 냉동된 어류 (정어리와 고등어) 또는 냉동된 어류와 상업적으로 시판되는 가루용 어분을 일정한 비율로 섞어서 습사료(Moist pelle, MP)를 만들어 사용하고 있다. 최근 넙치에 대한 연구가 수행되어 왔으며 여러 가지 주요 영양소 요구량을 평가하기 위한 연구 (Lee et al., 2000a; Lee et al., 2000b; Bai et al., 2001; Kim et al., 2002b; Lee et al., 2002a)와 사료 공급율 (Lee et al., 2000b; Kim et al., 2002a), 어분 대체 단백질원 평가 (Kikuchi et al., 1994a; Kikuchi et al., 1994b; Kikuchi et al., 1997; Sato and Kikuchi, 1997) 및 한약부산물 첨가에 따른 효과 (Kim et al., 1998; Kim et al., 2000) 등에 관한 연구가 수행되어 왔다. Kim et al. (2000c)는 가두리양식장에서 생사료와 부상용 배합사료를 공급할 때 조피볼락의 성장에 미치는 영향을 조사하기 위하여 장기간에 걸쳐 사육 실험한 결과, 습사료와 비교하여 부상용 배합사료는 어떤 특이한 부작용이 나타나지 않는다고 보고하였다. 그러나 아직까지 넙치를 이용하여 장기간에 걸쳐 EP와 MP를 공급함에 따른 이의 효과에 대한 사육실험이 수행된 바 없다. 따라서 본 연구의 목적은 10개월 동안 상업적인 규모의 양식장에서 부상용 배합사료와 습사료를 공급할 때 이에 따른 넙치의 성장과 체조성에 미치는 효과를 조사하기 위한 것이다.

2. 재료 및 방법

실험어의 준비

넙치 유어를 경북 울진에 위치한 개인 양어장에서 구입하였다. 넙치는 일반 넙치 양어장의 유수식 콘크리트 탱크에서 냉동 고등어와 시판용 가루 사료를 3:1의 비율로서 구성된 습사료(MP)로서 양성하여, EP를 잘 먹을 수 있는 크기로 자란 것을 사용하였다. 실험어는 상업성 규모의 유수식 원형 콘크리트 탱크(지름: 460 cm, 깊이 60 cm) 12개에 무작위로 1,000마리씩 (평균 어체중: 87.9 ± 0.56 g)을 수용하였다. 그리고 사육실험을 실시하기 전에 1주일간 실험환경에 적응시켰다. 사육실험 환경 적응기간 동안에 1일 2회 손으로 만복 시까지 사료를 공급하여 주었다.

실험 디자인 및 실험사료의 준비

본 실험에는 6종류의 실험사료를 준비하였으며 각 사료는 2반복구를 두었으며 실험사

료로는 2종류의 상업용 부상사료와 3종류의 제조된 부상사료 및 습사료(MP)를 각각 준비하였으며 이들의 사료 구성표는 Table 1과 같다.

Table 1. Ingredients, amino acid composition, volatile basic nitrogen (VBN) and thiobarbituric acid (TBA) values of the experimental diets

	Diets					
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	MP
<i>Ingredients (%)</i>						
Whitefish meal ¹	21					
Alaska Pollack meal	14		30			
Herring meal ²		60	30			
Herring meal ³	20					
Mackerel						75
Commercial binder meal						25
⁴						
Soybean meal ⁵	6	4	4			
Meat meal ⁵	4					
Wheat flour ⁵	22.8	14.8	19.8			
α -starch ⁵		5				
Wheat gluten ⁵	8	8	8			
Pollack oil ⁵	1.5	1.5	1.5			
<i>Undaria</i> powder ⁵		3	3			
Others	2.7	3.7	3.7			
<i>Proximate analysis</i>						
Moisture (%)	8.7	6.4	9.0	7.8	7.9	56.3
Crude protein (% DM)	55.3	55.2	56.0	56.1	60.7	60.6
Crude lipid (% DM)	8.1	9.0	7.4	4.6	6.1	11.0
Crude ash (% DM)	13.4	11.4	13.0	7.8	15.1	4.8
<i>Essential amino acids (% of protein)</i>						
Arginine	6.3	6.6	6.5	5.4	7.7	6.6
Histidine	3.4	3.1	4.2	3.7	4.6	3.9
Isoleucine	4.2	4.9	4.9	4.0	3.5	4.4
Leucine	8.5	8.9	8.4	10.5	6.4	8.6
Lysine	7.0	8.2	8.8	6.4	8.8	7.7
Methionine+Cystein	4.0	3.3	2.9	3.4	3.6	4.3
Phenylalanine+Tyrosine	7.0	7.4	10.9	7.4	8.0	7.4
Threonine	4.5	4.7	4.0	4.4	5.1	4.6
Valine	4.8	5.4	4.7	5.0	5.2	4.8
<i>Chemical value</i>						
VBN (mg/100 g)	39	41	53	124	86	88
TBA (g/g)	8.7	14.0	10.5	14.6	9.6	17.4

¹ Produced in Korea.

² Imported from Russia.

³ Imported from Chile.

⁴ Commercial binder meal purchased from Woosung Feed Co. Ltd, Korea.

⁵ Provided by E-wha Oil and Fat Industry Co., Busan, Korea.

실험사료로 EP1의 단백질원은 백색어분, 알래스카 볼락 어분과 칠레산 청어 어분을 사용하였으며, EP2는 러시아산 청어 어분을 사용하였고, EP3는 알래스카 볼락 어분과 러시아산 청어 어분을 사용하였다. 어보산은 넙치의 활성을 돕기 위해 EP2와 EP3에 보충되었다. EP1, EP2와 EP3는 EP제조기(Joda Extruder Pellet Mill, 일본)로 조제되었으며, EP4와 EP5는 각각 한국과 일본에서 널리 이용되고 있는 상업용 부상사료를 이용하였다. 그리고 습사료(MP)는 냉동 고등어와 시판용 가루 사료를 습중량을 기준으로 하여 3:1의 비율로 섞어서 제조하였다.

사육실험 조건

사육실험동안은 Lee et al. (2000b)의 연구에 근거하여 1일 2회 09:00와 17:00시에 손으로 만복 시까지 공급하여 주었다. 사육수는 지속적으로 에어레이션시켜 주었으며, 각 탱크 당 환수율은 1일 12~15회 이었다. 수온은 실험기간 동안 8.0~22.0℃ (평균수온 14.6±4.09℃)의 범위였으며, 광주기는 자연광에 의존하였다. 사료의 크기는 넙치가 성장함에 따라 크게 조절하였다. 오전 사료공급 이후에 1시간 이내에 각 수조의 80%이상의 사육수를 환수시켜 주었으며, 죽거나 심하게 병든 넙치는 제거하고 죽은 개체로 처리하였다.

넙치의 어체중 증가는 먹이공급이후 7주 간격으로 측정하였다. 24시간 절식시킨 이후에 각 탱크 당 50마리씩을 무작위로 샘플하여 그 무게를 측정하였다. 그리고 각 샘플에서 3마리씩을 선택하여 일반성분 분석에 사용하였고, 죽은 개체로 간주하였다. 어체 무게 측정 이후에는 병원균의 감염을 막기 위해 각 사육탱크를 2시간 동안 150 ppm의 농도로 광역 항생제(Oxymycin Aqua, 삼우화학공업주식회사)로서 약욕 처리하였다. 여름동안에는 기생충인 *Cryptocayon irritans*과 *Edawardsiella tarda* 감염이 발생하였기 때문에 포르말린과 항생제를 각각 200 ppm과 250 ppm의 농도로서 3~7일 동안 연속적으로 약욕시켰다. 약욕하는 동안에 넙치는 절식시키거나 또는 약욕이 끝난 이후 1일 1회 먹이를 공급하였다. 그럼에도 불구하고 높은 폐사율이 관찰되었다. 사육 실험 개시 이후 45주째에 바이러스성 질병과 *Scutica* sp.의 감염에 따른 높은 폐사율로 실험을 종료하였다.

실험사료와 샘플의 화학적 분석

성장 중간 측정시 각 샘플로부터 무작위 추출한 3마리 넙치와 사육실험 종료 시 10마리의 넙치를 샘플하여 일반성분 분석, 간 체장지수(HSI)와 비만도(CF)를 각각 측정하였다. 일반성분분석은 AOAC(1990)방법에 근거하여 분석하였으며, 단백질은 Kjeldahl 방법, 지질은 에테르추출방법, 회분은 muffle furnace(600℃, 3시간)을 이용하였으며, 수분 함량은 드라이오븐 (105℃, 24시간)을 이용하여 분석을 하였다. 실험 사료의 아미노산 분석은 자동 분석기(Pharmacia Biochrom 20, Li+type high performance ultra pack, UK)를 이용하였고, 사

료의 휘발성염기질소(VBN)와 thiobarbituric acid (TBA)는 Conway(1950)'s 와 Witte et al (1970)의 방법으로 각각 분석하였다.

통계분석

실험구간의 유의성을 검증하기 위하여 One-way ANOVA와 Duncan's 다중분석법을 SAS program (version 6.12)을 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

넙치를 10개월 동안 여러 가지 부상사료(EP)와 습사료(MP)를 공급하여 주었을 때 넙치의 생존률, 어체중 증가, 사료 공급량, 사료전환효율, 간체장지수 및 비만도의 결과는 Table 2에 나타내었다. MP, EP1와 EP3 사료를 공급하는 실험구의 생존율은 EP2와 EP5 사료를 공급하는 실험구와 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, EP4 사료를 공급하는 실험구에 비하여 유의적으로 높게 나타났다. MP 사료를 공급한 실험구의 넙치 어체중 증가는 EP3, EP5 사료를 공급하는 실험구와는 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, EP1, EP2와 EP4 사료를 공급하는 실험구에 비하여 유의적으로 높게 나타났다. 조단백질 함량 55%에서 지질 함량이 높은 사료(EP1, EP2와 EP3)를 공급하는 실험구와 지질함량이 낮은 사료(EP4)를 공급하는 실험구의 어체중 증가를 비교하였을 때, 그리고 조단백질 함량이 61%에서 지질 함량이 높은 사료(MP)를 공급하는 실험구와 지질 함량이 낮은 사료(EP5)를 공급하는 실험구의 어체중 증가를 비교하였을 때, 지질의 단백질 절약효과(Protein-sparing effect)가 나타났다. 이와 유사하게 지질의 단백질 절약효과는 다른 종의 어류에서 관찰된 바 있다 (Helland and Grisdale-Helland, 1998; Company et al., 1999; McGoogan and Gatlin, 1999; Lee et al., 2002b). 그러나 이러한 연구와는 다르게 Lee et al. (2000a)의 연구에서는 30%, 40%와 50%의 단백질 함량에서 과잉의 지질을 첨가한 사료를 공급받은 유어 넙치는 성장이 감소된다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 가장 낮은 생존률과 어체중 증가는 EP4 사료를 공급한 실험구이다. EP4 사료는 상업용 시판사료를 이용하였기 때문에 사료의 성분에 관한 정보를 알 수 없기 때문에 EP4 사료를 공급하는 실험구에서의 낮은 넙치 생존률과 어체중 증가에 대한 원인을 규명하기는 어렵다. 그러나 사료의 독성 단백질과 산화적 변질상태를 의미하는 VBN과 TBA의 높은 값이 그 이유가 될 수 있다 (Table 1). Yone et al.,(1986)과 Hossain et al.,(1988)의 보고에 따르면 사료내의 독성단백질과 산화 변질된 지질은 참돔의 정상적인 성장을 반드시 제거되어야 하며, 이러한 것들은 발효와 스팀 과정을 통하여 그 역효과를 최소화 시킬 수 있다고 보고하였다 (Yone et al., 1986; Hossain et al., 1988). 이와 유사하게 Kim et al.,(2002c)은 조피볼락을

가두리 양식장에서 30주간 사육하였을 때 어체중 증가는 실험 사료간의 유의적 차이가 없었으나, EP 사료를 공급하여 준 조피볼락보다 습사료(MP)를 공급하여 준 조피볼락의 성장이 더 우수한 것으로 나타났으나, 생존율은 아주 낮았다고 보고하였다. 결국 그들의 연구에서는 성장기의 조피볼락 사육에 있어서 어분을 기초로 한 습사료(MP)의 낮은 생존율 때문에 EP의 사용을 권장하였다.

Table 2. Survival (%), weight gain (g/fish), total feed supply (kg/tank), feed efficiency ratio (FER), hepatosomatic index (HSI) and condition factor (CF) of flounder fed the extruded pellets (EP) and moist pellet (MP) for 10 months (Mean±SE)

	Diets					
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	MP
Initial weight (g/fish)	88.3±0.07	87.4±0.35	87.6±0.14	88.7±0.28	87.5±0.07	87.8±0.71
Final weight (g/fish)	462.1±29.42	466.8±13.22	495.4± 6.15	405.9±22.56	511.6±13.79	525.7±16.19
Survival (%)	55.0±0.08 ^a	42.9±0.09 ^{ab}	47.0±0.01 ^a	24.2±0.02 ^b	41.0±0.11 ^{ab}	60.5±0.10 ^a
Weight gain (g/fish)	373.9±29.49 ^c	379.4±12.91 ^{bc}	407.8 ±6.01 ^{abc}	317.2±22.84 ^d	424.1±13.86 ^{ab}	437.9±16.90 ^a
Feed supply (kg/tank)	276.2±10.19 ^{bc}	258.9±31.79 ^c	269.2±41.24 ^{bc}	281.8±26.26 ^{bc}	338.5±20.89 ^{ab}	398.5±26.87 ^a
FER ¹	0.91±0.015 ^{ab}	0.87±0.070 ^b	0.96±0.007 ^a	0.69±0.022 ^c	0.91±0.010 ^{ab}	0.75±0.006 ^c
HSI ²	1.42±0.206	1.58±0.285	1.38±0.013	1.50±0.002	1.15±0.118	1.21±0.111
CF ³	1.24±0.032 ^c	1.37±0.006 ^{ab}	1.36±0.007 ^{ab}	1.31±0.056 ^{bc}	1.34±0.016 ^{ab}	1.40±0.040 ^a

Different superscripts in rows show significantly different values (P<0.05).

HSI and CF of flounder at the initiation of the feeding trial were 0.73±0.315 and 1.16±0.380, respectively.

¹ FER = weight gain/total feed fed (dry)

² HSI = liver weight×100/weight of fish

³ CF = (wet weight of fish/total length³)×100

정상적인 사육조건하에서 건강한 상태의 넙치는 붉은 빛의 간을 가지는 반면, 부상용 배합 사료를 오랜 기간 섭취한 넙치는 보통 노란 빛의 간을 가지며 부상용 배합사료가 어류의 소화기관에서 잘 소화가 되지 않기 때문에 높은 폐사율과 낮은 성장을 보이기 때문에 국내의 넙치 양어장에서 부상용 배합보다는 습사료를 선호하고 있는 실정이다. 따

라서 이러한 문제들은 넙치 양어장에서 부상용 배합사료를 널리 이용하게 하기 위해서 꼭 해결되어야 하며 장기간에 걸친 부상용 배합사료의 공급시 넙치의 부작용에 대한 생리학적 및 영양학적인 분야의 많은 연구가 필요하다.

사육실험 기간 동안의 MP 사료의 총공급량은 EP5 사료와 유의적인 차이가 없었으나, EP1, EP2, EP3 및 EP4 사료보다 유의적으로 높게 나타났다. 이것은 MP를 공급하는 실험구와 EP1, EP2와 EP3를 공급하는 실험구의 사료전환효율(FER)을 비교할 때, MP 사료를 공급하는 실험구에서 사료전환효율이 가장 낮은 결과로 나타나는 이유가 될 수 있다. 사료의 총공급량이 가장 낮은 실험구는 EP2이다. 본 실험에서 사료전환효율 범위는 0.69~0.96이었는데, 이는 상업성 규모의 넙치 양식장에서 얻어지는 범위이다. EP3 사료를 공급하는 실험구의 사료전환효율은 EP1과 EP5 사료를 공급하는 실험구의 사료전환효율과 유의적인 차이를 보이지 않았으나, EP2, EP5와 MP 사료를 공급하는 실험구에 비하여 유의적으로 높게 나타났다. EP2사료를 공급하는 실험구의 사료전환효율은 EP4와 MP 사료를 공급하는 실험구의 사료전환효율에 비하여 유의적으로 높게 나타났다. 본 연구에서 넙치의 사료전환효율은 Kim et al., (2002c)에서 보고된 30주간 상업성 규모의 조피볼락 사육실험의 사료전환효율에 비하여 높았으며, 소규모의 사육실험 결과와 유사한 값을 보였다 (Forster and Ogata, 1998; Lee et al., 2000b).

본 사육실험에서 간체장지수(HSI)의 범위는 1.15~1.58이었으며, 사육 실험구들 사이의 유의적인 차이는 보이지 않았다. 그러나 실험 종료시, 간체장지수는 실험 시작시 간체장지수의 수치에 비하여 거의 2배에 가까웠다. MP 사료를 공급하는 실험구의 넙치 비만도(CF)는 EP2, EP3와 EP5 사료를 공급하는 실험구의 비만도에 비하여 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, EP1과 EP4 사료를 공급하는 실험구의 값보다 유의적으로 높게 나타났는데, 이것은 MP 사료를 공급하는 실험구의 넙치가 EP1와 EP4 사료를 공급하는 실험구의 넙치보다 더 비만하다는 것을 의미한다. 본 실험에서의 비만도는 48주간의 사육실험을 통하여 얻은 결과와 유사하였다 (Kim et al., 1998).

부상용 배합사료와 습사료를 공급하는 실험구에서의 넙치 어체 근육과 간의 일반성분 분석결과는 Table 3에 나타내었다. EP2 사료를 공급하는 실험구의 어체 근육의 수분 함량은 EP3, EP5 및 MP 사료를 공급하는 실험구와 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, EP1 및 EP4 사료를 공급하는 실험구에 비하여 유의적으로 높게 나타났다. EP1, EP4 및 EP5 사료를 공급하는 실험구에서의 어체 근육의 조단백질 함량은 EP3와 MP 사료를 공급하는 실험구와 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, EP2 사료를 공급하는 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다. 그러나 어체 근육의 조지질 함량과 간의 수분, 조단백질 및 조지질 함량은 실험구간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 본 연구에서는 Lee et al. (2000a, b)'s 연구와는 다르게 사료내의 영양소 구성이 넙치의 어체 구성에는 큰 영향을 미치지 않았다.

Table 3. Proximate composition (%) of the dorsal muscle and liver in flounder fed the extruded pellets (EP) and moist pellet (MP) for 10 months (Mean±SE)

Diets	Dorsal muscle			Liver		
	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Moisture	Crude protein	Crude lipid
Initial	76.9	23.1	0.2	73.2	13.1	7.2
EP1	75.3±0.45 ^a	22.2±0.73 ^b	0.4±0.14	65.3±0.02	11.8±0.27	14.7±3.88
EP2	77.4±0.48 ^c	20.6±0.15 ^a	0.3±0.06	62.4±7.41	11.0±1.65	16.8±1.24
EP3	76.9±0.37 ^{bc}	21.3±0.36 ^{ab}	0.4±0.01	59.4±4.79	11.1±1.07	20.6±0.37
EP4	76.1±0.21 ^{ab}	22.5±0.30 ^b	0.7±0.25	65.8±5.54	12.1±0.57	13.5±4.05
EP5	76.2±0.30 ^{abc}	22.7±0.40 ^b	0.4±0.29	61.6±0.92	12.6±0.42	15.3±0.57
MP	77.0±0.09 ^{bc}	21.4±0.16 ^{ab}	0.5±0.28	65.2±2.06	12.6±1.37	17.4±3.88

Different superscripts in columns show significantly different values ($P < 0.05$).

현재 어류양어장으로부터 유출되는 배설물은 심각한 수질환경 오염원 중의 하나이며, 이러한 오염원은 양식장이 적합한 사료 형태를 사용함으로써 수질오염원을 최소화 시킬 수 있다. 그러므로 넙치 양어장에는 습사료(MP)의 사용보다는 수질 오염원 부하량을 최소화 할 수 있는 부상용 배합사료(EP)의 공급을 권장한다. 비록 본 연구에서는 습사료의 사용에 따른 수질의 측정은 이루어지지 않았으나, 사육실험기간 동안에 습사료는 심각한 수질오염을 보였다. 사육실험기간 동안 EP4 사료를 공급한 실험구를 제외한 다른 종류의 부상용 배합사료를 공급한 실험구에서의 넙치 생존율과 EP3와 EP5 사료를 공급한 실험구에서의 넙치 어체중 증가는 습사료를 공급한 실험구와 비교하여 부족함이 거의 없었다. 또한 EP1, EP2, EP3와 EP4 사료를 공급하는 실험구에서의 사료전환효율은 습사료를 공급하는 실험구보다 월등히 우수하였다. 따라서 넙치의 생존율, 어체중 증가, 사료전환효율을 고려할 때 결론적으로 넙치의 효율적인 생산을 위하여 습사료보다 EP3과 EP5 사료와 같은 부상용 배합사료의 사용을 더 권장한다.

제 3 절 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP), 시판 부상사료 및 생사료(MP) 비교 : 소형수조에서 사육

1. 서론

어류 양식에 있어 사료는 어류의 성장과 체내대사에 영향을 미치는 주요한 요인 (Smith, 1935; Brown, 1957)일 뿐 아니라, 어류양식 생산단가에 영향을 미치는 요인으로 가격이 싸고 품질이 좋은 사료의 안정적인 공급이 양식의 성패를 좌우한다. 우리나라에서 해산어 양식에 사용되고 있는 배합사료와 생사료의 총 사용량이 2004년 총 47만톤으로 증가되고 있으나, 아직까지 양어가들의 배합사료에 대한 불신으로 인해 양식현장에서는 넙치의 육성용 먹이로 메가리와 전갱이 같은 생사료를 주로 사용하는 실정이며, 그 사용량이 전체 사료 사용량의 약 80%에 이르고 있다 (Kim, 2005). 생사료는 성장도에 비하여 가공, 유통 및 보관 등에 많은 문제점들이 잠재되어 있을 뿐 아니라 사료 유실로 발생하는 수질오염은 심각한 환경적 문제를 유발시킬 수 있으므로 지속적으로 공급할 경우, 많은 불이익을 초래할 수 있다. 반면, 부상건조사료(Extruded pellet, EP)는 MP의 문제점을 보완함과 동시에 전분을 α -화시켜 사료의 소화율을 높일 수 있기 때문에 지속적인 양식생산량의 증대를 위해서는 그 어중에 적합한 경제적이고 환경친화적인 실용 배합사료 개발 및 공급이 시급한 실정이다. 한편, 넙치 양식의 증가와 함께 넙치용 배합사료를 시판하는 회사가 증가되고 있지만 생산 및 판매량이 안정적이지 못한 실정이다.

그동안 넙치사육에 적합한 배합사료 개발을 위해 영양소 요구량(Lee et al., 2000a, 2002, 2003; Kim et al., 2004), 사료 공급횟수(Lee et al., 1999, 2000b; Kim et al, 2005), 값싼 사료원료 개발(Kikuchi, 1999; Kim et al., 2003; Pham et al., 2005), 그리고 사료 물성 (Seo et al., 2005) 등에 관한 연구결과들이 보고되었다. 이러한 연구결과들은 넙치의 특성에 맞는 실용적인 배합사료를 개발 및 사료 공급에 중요한 자료로 이용될 것으로 기대된다. 또한, 최근 넙치 양식용으로 사용되고 있는 생사료를 대체하기 위한 EP사료 효능에 대한 연구(Kim et al., 2005; Cho et al., 2005)들이 계속 수행되면서 EP로 MP 대체 가능성이 증명되고 있다. 그래서 본 연구에서는 이미 수행된 연구결과들을 참고로 하여 넙치 육성용으로 부상 배합사료를 설계하여 시판사료 및 생사료와 그 효능을 비교함으로써 넙치 실용배합사료 개발을 위한 자료를 제공하기 위해 수행하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험에 사용된 부상 배합사료 4종류(EP1-EP4), 상업용 시판사료 4종류(EP5-EP8) 및 습

사료(Moist pellet, MP)의 사료조성, 영양성분 및 아미노산 조성을 Table 1에 표시하였다.

Table 1. Ingredient and nutrient contents of the experimental diets

Ingredients (%)	Diets									
	EP1	EP2	EP3	EP4	MP	EP5	EP6	EP7	EP8	
Brown fish meal (chile)	49.8	57.7	50.9	50.0	- Closed -					
White fish meal (Russia)				7.0						
Anchovy meal (Korea)				5.0						
Wheat gluten	2.5	2.5	2.5	2.5						
Meat meal				5.0						
Soybean meal	5.0	5.0	5.0	5.0						
Corn gluten meal	5.0	5.0	5.0	1.0						
Wheat flour	33.1	25.6	26.5	17.0						
Fish oil	0.4	0.0	5.9	2.5						
Others	4.2	4.2	4.2	5.0						
Mackerel (raw fish)					75					
Binder meal					25					
Proximate analysis (% , dry matter basis)										
Dry matter	95.4	96.3	95.3	95.3	51.8	92.9	92.6	94.6	94.8	
Crude protein	45.3	51.8	46.9	53.4	57.6	52.4	51.9	54.3	55.4	
Crude lipid	7.4	4.6	9.6	6.9	8.9	3.6	10.3	6.5	7.4	
Ash	10.4	11.7	10.2	10.9	11.3	9.9	8.8	13.4	11.4	
Nitrogen-free extract	36.9	31.9	33.3	28.8	22.2	34.1	29.0	25.8	25.8	
Gross E (kcal/100 g) ¹	480	470	490	480	500	470	510	470	490	
E/P (kcal / g protein)	10.6	9.1	10.5	9.0	8.7	8.9	9.8	8.6	8.8	
Essential amino acid composition (% in protein)										
Arg	7.9	6.5	6.2	6.5	7.0	6.3	5.7	6.7	6.7	
His	4.4	3.7	3.6	4.1	3.3	3.8	3.2	4.0	2.7	
Ile	4.8	4.1	4.0	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0	3.9	
Leu	11.1	8.9	9.2	8.6	8.6	10.3	10.1	8.2	9.3	
Lys	9.2	7.9	7.4	7.1	7.5	7.1	6.1	8.4	7.2	
Met+Cys	2.8	1.7	1.6	1.6	1.2	0.7	1.8	3.0	2.5	
Phe+Tyr	9.7	7.7	7.8	7.6	7.5	8.0	7.7	7.3	7.5	
Thr	6.0	4.9	4.9	4.7	4.9	4.8	4.7	5.1	4.9	
Val	6.9	5.5	5.5	5.6	5.6	5.8	5.7	5.6	5.3	
Nutrient contents (% , as-fed, calculated)										
Ca	1.73	1.99	1.76							
Total-P	1.26	1.43	1.27							
Arg	2.4	2.7	2.4							
Lys	2.9	3.2	2.9							
Met+Cys	1.7	1.8	1.7							
Trp	0.5	0.5	0.5							
Feed cost (won/kg) ²	857	901	928	1050						

¹ Calculated based on 5.64 kcal/g protein, 9.44 kcal/g lipid and 4.11 kcal/g NFE.

² Cost of ingredients except for diet processing cost based on the price in 2004.

실험 배합사료 EP1-EP4는 넙치의 영양소 요구(Lee et al., 2000a, 2002, 2003; Kim and Lee, 2004)를 고려하여 사료를 설계하고 사료회사에 의뢰하여 Extruder Pellet Mill (EX 920, Matador, Denmark)로 부상 건조 pellet으로 제조되었으며, EP4-EP8은 상업용으로 판매되고 있는 넙치용 사료를 구매하였고, MP는 현재 넙치 양식장에서 많이 사용하고 있는 넙치용 분말사료와 냉동 전갱이를 1:3의 무게 비율(습중량)로 혼합하여 성형하였다.

실험어 및 사육관리

실험어로 넙치를 경남 옥지도에서 구입하여 10톤 크기의 원형 콘크리트 수조에 수용하면서 3개월 동안 실험수조에 적응을 시켰다. 적응기간 동안 1일 2회 상업용 넙치 부상 건조사료를 공급해 주었으며, 실험수조에 적응 후, 외형적으로 건강한 넙치(평균 체중: 43.5 ± 1.1 g)를 무작위로 선별하여 300 L FRP 사각수조에 각각 20마리씩 3반복으로 수용하였다. 사료 종류별로 하루에 3회(07:00, 12:00, 17:00) 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져 주면서 8주간 사육실험하였으며, 여과해수를 각 실험수조마다 분당 약 8 L로 조정하여 흘려주었다. 사육기간 동안의 수온은 19-21°C의 범위였으며, 비중은 1.024 ± 0.0015 였다. 그리고 각 수조에서 죽은 개체는 무게 측정 후 매일 제거하여 주었으며, 어체 측정은 실험 개시시와 종료시에 측정 전일 절식시킨 후 100 ppm의 MS₂₂₂ (tricaine methane sulfonate, Sigma, USA)에 마취시켜 각 실험수조에 수용된 실험어의 전체무게를 측정하였다.

시료채취 및 성분분석

최초 어체의 성분 분석용으로 20마리를 무작위로 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조에서 수용된 실험어 전체를 성분 분석용 시료로 취하여 냉동보관(-75°C)하였다. 실험 사료 및 어체의 일반 성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550°C의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. 총에너지는 5.64 kcal/g protein, 9.44 kcal/g lipid 및 4.11 kcal/g NFE로 계산하였다. 혈청분석은 임상용 kit (아산제약제품)를 사용하여 total protein은 biuret법으로 분석하였고, TG (Triglyceride)는 효소법으로 분석하였다.

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS Version 10 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

평균 체중 43.5 g의 넙치 치어를 8주간 사육 실험한 결과를 Table 2와 3에 나타내었다. 생존율은 85-95%로 모든 실험구간에 통계적인 차이 없이 양호하였다($P>0.05$). 증중률과 사료효율은 실험구간에 유의한 차이를 보였다($P<0.05$). 증중률의 경우, EP2-EP4 실험구가 142-143%로 가장 높은 값을 보였으며, 이 값들은 EP1, MP 및 EP7 실험구와 유의한 차이는 없었다($P>0.05$). 시판사료구들의 증중률이 상대적으로 낮은 값을 보였는데, EP6 실험구의 증중률은 87%로 유의하게 가장 낮았다($P<0.05$).

Table 2. Growth performance of growing flounder fed various practical diets for 8 weeks¹

Diets	Initial mean weight (g/fish)	Mean weight gain (g/fish)	Survival (%)	Weight gain (%)
EP1	43.6±0.38 ^{ns}	56.7±2.67 ^{bc}	85±0.4 ^{ns}	130±5.0 ^{bc}
EP2	44.5±0.26	63.1±1.93 ^c	92±6.0	142±4.8 ^c
EP3	44.5±1.76	63.2±6.31 ^c	88±3.3	142±8.8 ^c
EP4	43.2±0.52	61.7±1.21 ^c	83±3.3	143±1.5 ^c
MP	44.4±1.90	57.9±1.44 ^{bc}	93±4.4	131±7.8 ^{bc}
EP5	42.9±0.20	47.5±3.55 ^{ab}	92±3.3	111±8.6 ^b
EP6	43.6±0.09	37.7±5.01 ^a	95±2.9	87±11.6 ^a
EP7	41.8±0.50	53.7±2.05 ^{bc}	88±4.4	129±5.57 ^{bc}
EP8	43.5±0.19	49.8±2.18 ^b	90±2.9	115±5.3 ^b

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

Table 3. Feed utilization and feed intake of growing flounder fed various practical diets for 8 weeks¹

Diets	Feed efficiency (%) ²	Daily feed intake (%) ³	Daily protein intake (%) ³	Protein efficiency ratio (%) ⁴
EP1	77.3±7.29 ^{ab}	1.55±0.502 ^d	0.70±0.023 ^{bc}	1.68±0.140 ^{bc}
EP2	93.4±5.80 ^{cd}	1.47±0.028 ^{cd}	0.76±0.014 ^d	1.80±0.112 ^{bc}
EP3	95.1±7.51 ^{cd}	1.40±0.028 ^{bc}	0.66±0.131 ^{abc}	1.20±0.163 ^c
EP4	106.0±2.78 ^d	1.24±0.028 ^a	0.66±0.151 ^{abc}	1.93±0.059 ^{bc}
MP	64.1±0.18 ^a	2.08±0.019 ^e	1.20±0.011 ^e	1.08±0.016 ^a
EP5	90.4±3.12 ^{bcd}	1.35±0.022 ^b	0.71±0.012 ^c	1.67±0.110 ^{bc}
EP6	89.9±5.85 ^{bc}	1.18±0.030 ^a	0.61±0.015 ^a	1.63±0.132 ^b
EP7	103.4±4.36 ^d	1.20±0.052 ^a	0.65±0.003 ^{ab}	1.90±0.080 ^{bc}
EP8	100.1±3.20 ^{cd}	1.21±0.047 ^a	0.67±0.026 ^{bc}	1.75±0.036 ^{bc}

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

³ [Feed or protein intake (dry matter)] × 100/[initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days fed/2].

⁴ Fish wet weight gain/protein intake.

이처럼 실험적으로 제조한 EP2, EP3 및 EP4 사료를 먹은 넙치 성장이 MP 실험구에 비해 높은 값을 보인 것은 EP 사료로 MP를 대체 가능함을 잘 보여주고 있다. Lee et al. (1999)은 넙치의 치어 시기(1.6-4 g)에 MP의 공급이 비효율적이라고 보고하였으며, Seo et al. (2005)은 27-51 g의 넙치 치어를 대상으로 10주간 사육실험한 결과, EP가 MP 못지않은 성장결과를 보여 EP로 MP 대체 가능성을 보고한바 있다. 이러한 결과들로부터 넙치의 치어기에는 그들의 먹이로 MP 공급보다는 DP (dry pellet)나 EP와 같은 건조 pellet을 공급하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 또한, 본 실험과 유사한 크기의 넙치를 대상으로 EP와 MP를 장기간(1년) 사육한 결과(unpublished date, Lee et al., 2005), 넙치 성장에 있어 EP와 MP간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 현재 장기간 사육시 EP의 성장효과가 MP에 비해 뒤떨어진다는 기존의 양어가들 생각을 바꿀 수 있을 것으로 보인다. 그러기 위해선 EP의 MP 대체 가능성을 증명한 연구결과를 바탕으로 실제 양식 현장에서의 EP와 MP의 비교사육실험이 중요하며, 현장실험에서도 이와 유사한 결과를

얻는다면 양어가들의 배합사료에 대한 불신감을 줄일 수 있어 EP를 실제 양식현장에 적용할 수 있을 것이라 판단된다.

실험 EP사료의 좋은 성장은 기존의 영양연구 결과들을 바탕으로 넙치에 필요한 영양소가 균형있게 함유되었기 때문으로 판단된다. 예를 들어, EP1-EP4 사료의 단백질 함량이 45-53%로 MP의 58%보다 낮았지만 필수아미노산의 조성이 MP사료에 비해 전혀 손색이 없었다. 이러한 결과는 역시 넙치의 단백질 요구가 45-50%라는 기존의 연구 결과들(Lee et al., 2000a, 2002)을 뒷받침하고 있다. 반면에 시판사료의 단백질 함량이 52-55%임에도 불구하고 EP5, EP6 및 EP8의 경우 매우 낮은 성장을 보인 것은 단백질 원료의 품질에 의한 차이 때문으로 생각된다. EP5의 Met+Cys의 함량, EP6의 Lys 함량 및 EP8의 His 함량이 EP1-EP4와 MP에 비해 낮은 것은 이들 사료의 단백질 품질이 다소 낮음을 암시하고 있다. 이러한 결과는 사료의 단백질 함량보다는 사료 단백질내의 필수아미노산 균형이 사료 단백질 질을 결정함을 의미한다.

또한, EP6의 경우에는 지질 함량이 EP3과 비교하여 10% 전후로 유사한 함량이었음에도 불구하고 오히려 단백질 함량이 낮은 EP3 실험구에 비해 낮은 성장 결과를 보였다. 이처럼 본 실험에 사용된 시판 사료의 원료조성은 모르지만 성장 차이는 사료에 사용된 단백질원의 품질, 가공방법, 비타민이나 미네랄 등의 첨가제 및 영양소 균형에 따른 차이로 판단된다. Choi et al. (2004)은 국내 및 국외 상업용 넙치사료의 성분 비교분석을 통하여 대부분의 사료에 단백질 및 지질이 과잉으로 첨가되어 있는 것이라고 보고하였고, Lee et al. (1996)은 조피볼락의 실험에서 여러 가지 식물성 및 동물성 단백질원으로 어분을 동일한 비율로 대체하더라도 사용되는 대체단백질원의 혼합비에 따라 조피볼락의 성장이 달라진다고 보고하였다. 그리고, extruder를 이용하여 사료 제조시, 가공조건(온도, 스팀량 및 회전률) 및 사료내 영양소 조성비에 따라서도 EP의 품질이 달라질 수 있는데, extruder 내부에서 발생하는 고열로 인해 열에 약한 비타민 및 영양소가 파괴될 수 있다(Slinger et al., 1979; Kiang, 1989; Springate, 1991). 예를 들어, 사료 성형중 스팀 첨가와 같은 열처리 기간동안 ascorbic acid가 불안정하여 파괴되거나(Slinger et al., 1979), lysine과 cystine과 같은 필수아미노산의 함량이 감소(Evans and Butts, 1951; Carpenter and Booth, 1973; Viola et al., 1983)되는 등의 결과가 이미 여러 연구에서 보고되었다. 따라서, 사료 성형시에는 영양소의 배합비율 및 가공조건 등을 종합적으로 고려하여야 하며, 차후 extruder 가공 조건에 관련하여 구체적인 실험이 요구된다.

사료효율은 MP 실험구에서 가장 낮은 결과를 보였으며($P<0.05$), EP2-EP5와 EP7-EP8 실험구내에서는 90-106%로 유의차 없이 양호한 값을 보였다($P>0.05$). 단백질효율은 EP 실험구간들 내에서는 유의한 차이는 없었지만($P>0.05$), 사료효율과 유사하게 MP 실험구에서 수치상으로 가장 낮은 결과를 보였다($P<0.05$). 일일사료섭취율은 MP 실험구가 가장 높았고, EP4 및 EP6-EP8 실험구가 가장 낮은 값을 나타내었다($P<0.05$). 일일단백질섭취율도

일일사료섭취율과 유사하게 MP 실험구가 가장 높은 값을 보였으며, EP6 실험구가 가장 낮았다($P<0.05$). MP 실험구에서 일일사료섭취율과 일일단백질섭취율이 높은 값을 보였음에도 불구하고, MP 실험구의 사료효율은 EP 실험구에 비해 저조한 결과를 보여 Seo et al. (2005)의 실험결과와 유사하였다. 이것은 MP의 특성상 Table 1에 표시한 것처럼 사료 중에 50% 정도가 수분이기 때문에 사료가 수중에 공급되면서 유실되었음을 의미하며, 결국 수질오염 발생빈도가 높아질 것으로 판단된다. 하지만, Lee et al. (1997)은 조피볼락의 경우 사료물성(부상, 반부상 및 습사료)에 대한 성장, 영양소 이용효율, 사료 섭취율 및 체성분 등에 있어 차이가 인정되지 않아 사료형태에 관계없이 사용하여도 좋을 것이라고 판단하였다. 이처럼 어종의 먹이섭취 특성에 따라 적절한 사료의 물성이나 형태가 달라질 수 있으므로 이에 대한 고려도 중요하다.

사육 실험 종료후, 전어체의 일반성분 분석 결과를 Table 4에 나타내었다. 어체의 단백질 함량은 모든 실험구에서 유의한 차이를 보이지 않았으나($P>0.05$), 수분, 지질 및 회분 함량은 사료에 따라 유의한 차이를 보였다($P<0.05$). 어체의 수분 함량은 MP 및 EP5-EP7 실험구가 높은 경향을 보였으며, EP1-EP4 및 EP8 실험구가 낮은 경향을 보였다. 지질 함량은 EP3 실험구가 가장 높은 값을 보였는데($P<0.05$), 이는 사료의 지질 함량의 차이에 의한 것으로 판단된다. 회분 함량은 EP8 실험구가 가장 높았고 EP5 실험구가 가장 낮았으며($P<0.05$), 이 두 실험구를 제외한 나머지 실험구간에 유의차는 없었다($P>0.05$).

Table 4. Proximate analysis (%) of the whole body of growing flounder fed various practical diets for 8 weeks¹

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Crude ash
EP1	74.2±0.18 ^{ab}	19.2±0.61 ^{ns}	2.7±0.19 ^c	3.4±0.09 ^{bc}
EP2	74.2±0.23 ^{ab}	19.5±0.46	1.9±0.40 ^{abc}	3.3±0.03 ^b
EP3	72.9±0.06 ^a	18.9±0.35	3.9±0.38 ^d	3.7±0.29 ^{bc}
EP4	74.1±0.15 ^{ab}	18.7±0.75	2.7±0.15 ^{bc}	3.3±0.06 ^b
MP	75.8±0.45 ^c	19.4±0.38	1.3±0.09 ^a	3.4±0.07 ^{bc}
EP5	75.8±0.98 ^c	18.3±0.95	1.9±0.53 ^{abc}	2.8±0.10 ^a
EP6	74.7±0.35 ^{bc}	18.4±0.32	2.7±0.18 ^{bc}	3.5±0.09 ^{bc}
EP7	75.8±0.19 ^c	18.6±0.09	1.7±0.46 ^{ab}	3.2±0.26 ^b
EP8	73.8±0.43 ^{ab}	19.6±0.44	2.5±0.09 ^{bc}	3.8±0.03 ^c

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

어체의 미부동맥에서 추출한 혈액의 분석 결과를 Table 5에 나타내었다. 총 단백질은 모든 실험구간에 유의차가 없었고($P < 0.05$), 중성지방은 EP3 실험구가 가장 높은 값을 나타내었다($P < 0.05$). 이는 어체 지질축적과 마찬가지로 사료의 지질 함량에 영향을 받은 것으로 생각된다.

Table 5. Blood chemistry of growing flounder fed various practical diets for 8 weeks¹

Diets	Total protein (g/100mℓ)	Triglyceride (mg/100mℓ)
EP1	4.5±0.44 ^{ns}	586±55.7 ^{ab}
EP2	4.1±0.24	568±50.5 ^{ab}
EP3	4.9±0.19	649±33.3 ^b
EP4	4.6±0.13	514±33.6 ^{ab}
MP	4.4±0.10	553±51.4 ^{ab}
EP5	4.5±0.51	529±17.5 ^{ab}
EP6	4.1±0.58	532±25.2 ^{ab}
EP7	4.3±0.47	466±48.3 ^a
EP8	4.3±0.30	571±64.4 ^{ab}

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

^{ns} Not significant ($P > 0.05$).

이상의 결과로부터, 평균체중 42 g-108 g의 넙치에게 생사료를 기초로 제조된 MP를 공급하는 것 보다 영양소 균형이 잘 갖춰진 부상 pellet을 공급하여도 좋을 것으로 판단된다. 또한, 본 실험에서 EP2-EP4 실험구간에 사료조성에 따른 증체율 및 사료효율에서 차이가 인정되지 않은 것으로 보아 이들 사료를 MP 대체 실용사료로 사용하여도 좋을 것으로 기대된다. 금후, 넙치양식에서 이러한 EP사료 사용으로 인해 경제적이고 환경친화적인 여러 가지 좋은 효과가 나타날 수 있도록 사료 품질개선, 현장사육실험, 사료공급체계에 대한 연구가 요망된다.

제 4 절 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 12개월간 사육

1. 서론

사료 공급은 양식 경영에 있어 매우 중요한 요인으로서 효율적이고 성공적인 양식을 위해서는 사료비용을 최소한으로 줄이는 것이 중요하다. 넙치용 배합사료 공급을 위해 지금까지 영양학적 요구량(Lee et al., 2000a; Leet at al., 2000b; Bai et al., 2001; Kim et al., 2000b; Kim et al., 2002a; Kim et al., 2004)과 원료별 이용성(Kikuchi et al., 1999; Kim et al 1997; Kim et al., 2003), 사료 공급체계(Kim et al., 2005; Seo et al., 2005)에 관한 연구들이 수행되었다. 이러한 연구결과들을 바탕으로 현재는 넙치 양식 현장에 배합사료가 생사료를 대신하여 공급되기 시작하고 있으며, 정부에서도 사료 직불제와 같은 제도를 운영하고 있어, 멀지 않아 전면적으로 배합사료가 공급될 것으로 전망된다. 본 연구에서는 넙치 육성용으로 부상 배합사료를 설계, 제조하여 장기간 사육실험을 통하여 생사료와 그 효능을 비교함으로써 넙치 배합사료 개발에 관한 실용적인 자료를 제공하기 위해 수행하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험 사료로 4종류의 부상 배합사료(EP1-4)와 MP (moist pellet, 넙치용 가루사료와 냉동 메가리를 1:3의 무게 비율로 혼합하여 성형)로 총 5종류를 준비하여 -40℃에서 냉동 보관하면서 먹이 급여시마다 사용하였다. 실험에 사용된 부상 배합사료 및 MP 사료의 영양성분을 Table 1에 나타내었다.

실험어 및 사육관리

실험어는 경남 옥지도에서 2002년 12월에 구입, 운반하여 울진에 위치한 어류양식연구센터의 10톤 콘크리트 원형수조에 수용하면서 6달 동안 새로운 환경에 적응을 시켰다. 적응기간 동안 실험어에게는 1일 2회 상업용 넙치 부상사료를 공급해 주었다. 사육실험은 총 10개의 10톤 콘크리트 원형 수조(지름 4.6 m, 높이 0.6 m)를 이용하였으며, 예비 사육하던 실험어 중 외형적으로 건강한 넙치 치어(평균 체중: 67.8±2.61 g)를 무작위로 추출하여 각 수조에 377 마리씩 분산 수용한 후, 1년간 사육실험 하였다.

Table 1. Ingredient and nutrient contents of the experimental diets

Ingredients (%)	Diets				
	EP1	EP2	EP3	EP4	MP
Brown fish meal (Chile)	49.8	57.7	50.9	50.0	
White fish meal (Russia)				7.0	
Anchovy meal (Korea)				5.0	
Wheat gluten	2.5	2.5	2.5	2.5	
Meat meal				5.0	
Soybean meal	5.0	5.0	5.0	5.0	
Corn gluten meal	5.0	5.0	5.0	1.0	
Wheat flour	33.1	25.6	26.5	17.0	
Fish oil	0.4	0.0	5.9	2.5	
Others	4.2	4.2	4.2	5.0	
Mackerel (raw fish)					75
Binder meal					25
Proximate analysis (% , dry matter basis)					
Dry matter (%)	94.6	95.2	95.0	92.7	49.9
Crude protein (% DM)	48.4	53.7	47.9	53.8	58.1
Crude lipid (% DM)	5.7	5.0	11.2	7.9	8.3
Ash (% DM)	10.5	11.5	10.1	10.8	10.9
Gross energy (kcal/g)	5.77	5.59	5.89	5.58	5.49
Essential amino acid composition (% in protein)					
Arg	7.9	6.5	6.2	6.5	7.0
His	4.4	3.7	3.6	4.1	3.3
Ile	4.8	4.1	4.0	3.9	3.9
Leu	11.1	8.9	9.2	8.6	8.6
Lys	9.2	7.9	7.4	7.1	7.5
Met+Cys	2.8	1.7	1.6	1.6	1.2
Phe+Tyr	9.7	7.7	7.8	7.6	7.5
Thr	6.0	4.9	4.9	4.7	4.9
Val	6.9	5.5	5.5	5.6	5.6
Nutrient contents (% , as-fed, calculated)					
Ca	1.73	1.99	1.76		
Total-P	1.26	1.43	1.27		
Arg	2.4	2.7	2.4		
Lys	2.9	3.2	2.9		
Met+Cys	1.7	1.8	1.7		
Trp	0.5	0.5	0.5		
Feed cost (won/kg) ¹	857	901	928	1050	

¹Cost of ingredients except for diet processing cost based on the price in 2004.

실험사료는 사료별 각각 2반복으로 1주일에 6일 동안 매일 3회(09:00, 13:00, 17:00) 실험어가 먹을때 까지 손으로 던져주었다. 사료공급 1시간 후에 사육수의 70~80%를 배수시켜 수조내 찌꺼기를 제거하여 주었으며, 각 수조마다 1일 12-15회 환수시켜주면서 용존산소 보충을 위해 aeration을 시켜주었다. 사육실험 기간 동안의 수온은 $15.2\pm 4.24^{\circ}\text{C}$ (평균 \pm 표준편차)이었고 비중은 1.025 ± 0.002 이었다. 그리고 각 수조에서 죽은 개체는 매일 제거하였다.

시료채취 및 성분분석

최초 어체의 성분 분석용으로 20마리를 무작위로 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조에서 15마리를 취하여 그 중 5마리는 어체의 성분 분석용으로 사용하였다. 나머지 10마리 중 5마리는 혈액분석을 위해 미부동맥에서 일회용 주사기를 이용하여 채혈 후, 7500 rpm에서 5분간 원심분리하여 상층액을 동결보존(-70°C) 하였으며, 채혈한 어체를 포함한 10마리는 다시 해부를 통해 위와 장의 무게를 조사한 후 성분 분석용 시료로 냉동보관(-75°C) 하였다. 그리고 자연산과 실험사료를 먹은 어체의 성분비교를 위해 실험 종료 당일에 한진횃집(경북 울진군)에서 잡아온 자연산 넙치중 건강한 개체 3마리를 전어체의 성분분석용으로 채취하였다. 시료의 일반 성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질($\text{N}\times 6.25$)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C 의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550°C 의 회화로에서 4 시간 동안 태운 후 측정하였다. 혈청분석은 임상용 kit (아산제약제품)를 사용하여 total protein은 biuret법으로, GOT (glutamic oxaloacetic transaminase)는 Reitman-Frankle 법으로, glucose와 TG는 효소법으로 분석하였다.

육질의 품질평가

실험 종료시 분석용으로 표본추출하고 남은 어체중에서 각 실험구와 자연산 5마리씩 리씩을 무작위로 추출하여 한진횃집(경북 울진군)에서 회로 손질한 후, 실험과 무관한 18명을 대상으로 회(근육)의 색, 냄새, 맛 및 탄력성을 알아보기 위한 관능평가를 실시하였다. 관능평가지 점수는 5점 만점으로 3점에 기준을 두어 실험구간에 상대 평가하도록 하였다. 그리고 근육의 경도를 알아보기 위해 각 수조와 자연산을 5마리씩 무작위로 추출한 후, Rheo meter를 이용하여 등근육의 Hardness와 Gel strength를 측정하였다.

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS Version 10 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후 Duncan's multiple range test

(Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

평균 체중 67.8 g의 넙치를 1년간 사육 실험한 성장결과를 Table 2와 3에 나타내었다. 생존률은 모든 실험구간에 유의한 차이 없이 양호하였지만($P>0.05$), MP 실험구의 생존률(89%)은 EP 실험구에 비해 다소 낮은 값(97-98%)을 보였다. 증중률은 EP 공급구(747-803%)와 MP 공급구(827%) 사이에 유의한 차이는 없었다($P>0.05$). 어체의 비만도, 간 중량지수 및 장 중량지수를 측정된 결과, 간 중량지수는 EP4와 MP 실험구가 EP1, EP2 및 EP3 실험구보다 유의하게 높았으며($P<0.05$), 비만도와 장 중량지수는 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 자연산의 경우, 비만도는 1.07, 간 중량지수는 1.23 그리고 장 중량지수는 2.48의 값을 나타내었다.

Table 2. Growth performance of the grower flounder fed the experimental diets for 12 months¹

Diets	IMW ²	WG ³	SUR ⁴	CF ⁵	HSI ⁶	VSI ⁷
EP1	0.067±0.002 ^{ns}	785±28.6 ^{ns}	96.6±0.01 ^{ns}	1.16±0.005 ^{ns}	1.11±0.001 ^a	2.59±0.010 ^{ns}
EP2	0.067±0.001	803±13.6	98.3±0.40	1.11±0.015	1.14±0.085 ^a	2.44±0.135
EP3	0.069±0.005	747±15.6	97.4±2.35	1.24±0.045	1.31±0.035 ^a	2.47±0.150
EP4	0.070±0.003	769±13.4	97.5±0.40	1.24±0.045	1.67±0.130 ^b	1.99±0.415
MP	0.065±0.002	827±58.0	89.0±6.00	1.19±0.040	1.58±0.090 ^b	2.22±0.050
Wild fish				1.07	1.24	2.47

¹ Values (mean±SE of two replication groups) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

² Initial mean weight (kg/fish).

³ Weight gain (%)= (final body weight-initial body weight)×100/initial body weight.

⁴ Survival (%).

⁵ Condition factor= (body weight×100)/total body length(cm)³.

⁶ Hepatosomatic index= (liver weight×100)/body weight.

⁷ Visceralsomatic index= (viscera weight×100)/body weight.

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

Table 3에 표시하였듯이 사료효율은 EP3과 EP4 공급구가 77-79%로 가장 높은 값을 보였으며, MP 실험구가 65%로 가장 낮았다(P<0.05). 일일사료섭취율은 사료효율은 MP 실험구에서 가장 높았고, EP3과 EP4 실험구에서 가장 낮은 값을 보였다(P<0.05). 일일단백질섭취율은 MP 실험구가 가장 높은 값을 보였으며 EP3 실험구에서 가장 낮았다(P<0.05). 단백질효율은 EP3 실험구가 가장 높은 값을 보였으며, MP 실험구가 가장 낮았다(P<0.05). 단백질축적효율은 EP3 실험구가 가장 높았으나 EP1과 EP4 실험구와 유의한 차이가 없었으며, MP 실험구가 가장 낮은 값을 보였다(P<0.05).

Table 3. Feed utilization of grower flounder fed the experimental diets with for 12 months¹

Diets	FE ²	DFI (%) ³	DPI (%) ⁴	PER ⁵	PRE (%) ⁶	ERE (%) ⁷
EP1	69.3±1.70 ^b	0.63±0.010 ^c	0.30±0.005 ^b	1.53±0.038 ^c	29.4±1.89 ^{bc}	50.9±1.86 ^{ns}
EP2	73.6±0.60 ^c	0.60±0.007 ^b	0.32±0.003 ^c	1.35±0.009 ^b	26.9±0.03 ^b	43.2±20.1
EP3	78.6±1.13 ^d	0.55±0.004 ^a	0.26±0.002 ^a	1.63±0.024 ^d	32.2±1.17 ^c	39.1±0.76
EP4	77.1±0.13 ^d	0.56±0.004 ^a	0.30±0.002 ^b	1.39±0.003 ^b	28.9±0.56 ^{bc}	45.0±8.88
MP	64.5±0.89 ^a	0.68±0.001 ^d	0.40±0.001 ^d	1.10±0.017 ^a	19.6±1.23 ^a	20.1±2.01

¹ Values (mean±S.E. of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Feed efficiency= Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

³ Daily feed intake= Feed intake (dry matter) × 100/[initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days fed/2.

⁴ Daily protein intake= Protein intake (dry matter) × 100/[initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days fed/2.

⁵ Protein efficiency ratio= Fish wet weight gain/protein intake (dry matter).

⁶ Protein retention efficiency= fish protein deposited × 100/protein intake.

⁷ Lipid retention efficiency= fish lipid deposited × 100/lipid intake.

^{ns} Not significant (P>0.05).

사육 실험 종료 후, 전어체의 일반성분과 아미노산 조성, 근육, 간 및 장의 일반성분 분석 결과를 Table 4-8에 나타내었다. 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분함량(Table 4)은 실험구간에 유의한 차이가 없었다(P>0.05). 자연산의 경우 수분과 단백질 함량은 실험구의 값과 비슷하였으나(Table 5), 자연산의 지질 함량은 실험사료 공급구보다 낮았다. 어체

의 필수아미노산 분석결과, 각각의 아미노산 모두 실험구간에 유의한 차이를 보이지 않았지만($P>0.05$), Met+Cys 함량은 EP3 실험구에서 가장 높았고 MP 실험구에서 가장 낮은 값을 보였다($P<0.05$).

Table 4. Proximate composition (%) of the whole body in grower flounder fed the experimental diet for 12 months¹

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
Initial	74.9	19.0	1.8	3.7
EP1	71.2±0.05 ^{ns}	20.3±0.74 ^{ns}	4.4±0.22 ^{ns}	3.0±0.01 ^{ns}
EP2	73.3±1.25	19.5±0.23	2.9±1.31	2.8±0.15
EP3	71.2±0.75	19.7±0.13	5.2±0.20	2.7±0.13
EP4	72.2±0.73	20.2±0.42	4.3±0.77	3.1±0.20
MP	72.9±0.29	19.4±0.40	3.6±0.13	2.5±0.08
Wild fish	72.3±0.39	19.5±0.05	2.9±0.04	3.4±0.19

¹ Values (mean±S.E. of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

Table 5. Amino acid composition of the whole body in grower rockfish fed the experimental diet for 12 months¹

Amino acid	Diets				
	EP1	EP2	EP3	EP4	MP
Arg	4.4	4.5	4.2	4.1	4.4
His	1.5	1.5	1.4	1.4	1.6
Ile	2.6	2.6	2.4	2.3	2.6
Leu	5.3	5.4	5.0	4.8	5.4
Lys	5.6	5.8	5.4	5.4	6.1
Met+Cys	2.1 ^{ab}	2.2 ^b	2.3 ^b	1.8 ^{ab}	1.3 ^a
Phe+Tyr	4.9	5.0	4.7	4.5	4.9
Thr	3.3	3.4	3.1	3.1	3.4
Val	3.2	3.2	3.0	2.9	3.2

등근육의 단백질 함량(Table 6)은 EP2 실험구가 가장 높았고 MP 실험구에서 가장 낮

은 값을 보였지만($P<0.05$), 이외의 실험구간에서는 유의차가 없었다($P>0.05$). 그리고 근육의 수분과 지질함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$).

Table 6. Proximate composition (%) of the muscle in grower flounder fed the experimental diets for 12 months¹

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid
Initial	74.5	23.9	1.0
EP1	74.5±0.03 ^{ns}	23.8±0.59 ^{ab}	1.0±0.59 ^{ns}
EP2	74.6±0.65	24.3±0.10 ^b	0.9±0.58
EP3	74.5±0.48	23.4±0.56 ^{ab}	1.1±0.33
EP4	74.6±0.19	23.4±0.17 ^{ab}	0.8±0.26
MP	75.9±0.18	21.8±1.01 ^a	0.8±0.32

¹ Values (mean±S.E. of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

Table 7. Proximate composition (%) of the liver in grower flounder fed the experimental diets for 12 months¹

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid
Initial	69.2	13.0	11.6
EP1	69.7±2.38 ^b	13.8±0.74 ^b	13.3±1.84 ^{ns}
EP2	67.1±2.60 ^{ab}	12.4±0.56 ^{ab}	14.6±1.22
EP3	56.6±5.65 ^a	10.4±0.91 ^a	23.1±11.60
EP4	66.6±2.02 ^{ab}	11.8±0.35 ^{ab}	15.9±3.71
MP	61.4±0.14 ^{ab}	11.0±0.06 ^a	19.7±3.59

¹ Values (mean±S.E. of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

간의 경우(Table 7), 수분함량은 EP1 실험구가 가장 높았고 EP3 실험구가 가장 낮았다 ($P<0.05$). 단백질 함량은 EP1 실험구가 가장 높았지만, EP2와 EP4 실험구와는 유의한 차이가 없었으며, EP3 실험구가 가장 낮은 값을 나타내었다($P<0.05$). 지질 함량은 실험사료에 영향을 받지 않았다($P>0.05$). 장의 일반성분 분석결과(Table 8), 수분, 단백질 및 지질함량 모두 실험구간에 통계적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

Table 8. Proximate composition (%) of the viscera in grower flounder fed the experimental diet for 12 months¹

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid
Initial	81.8	12.7	1.2
EP1	82.3±0.11 ^{ns}	12.7±0.07 ^{ns}	1.3±0.08 ^{ns}
EP2	82.0±0.49	13.1±0.14	1.2±0.19
EP3	81.8±0.50	12.8±0.76	1.3±0.47
EP4	81.4±0.54	13.3±0.13	1.1±0.01
MP	82.0±0.69	12.2±0.53	1.1±0.26

¹ Values (mean±S.E. of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

어체의 미부동맥에서 추출한 혈액의 분석 결과를 Table 9에 나타내었다. 혈액의 글루코스, 총 단백질 및 GOT 함량은 모든 실험구간에 유의차가 없었으나($P>0.05$), 중성지방은 EP3과 EP4 실험구에서 높은 함량을 보였고, MP와 EP1 실험구에서 낮은 함량을 보였다 ($P<0.05$).

실험종료 후, 핏감으로 사용되는 근육의 품질을 평가하기 위해 실시한 관능검사와 경도측정 결과를 Table 10과 11에 각각 나타내었다. 관능검사 결과, 자연산을 포함하여 근육의 색깔과 향은 실험구간에 유의한 차이가 없었지만, 맛은 EP4 실험구가 가장 높게 평가되었다. 그리고 탄력성은 EP4 실험구가 가장 높은 평가를 받았으나, EP1과 EP3 실험구와는 유의한 차이가 없었으며, MP 실험구가 가장 낮게 평가되었다($P<0.05$).

등근육의 경도측정 결과, hardness는 EP4 실험구에서 높은 값을 보인 반면, 자연산이 가장 낮은 값을 보였고($P<0.05$), gel strength는 실험구간에 차이가 없었다. Breaking strength는 EP2 실험구가 가장 높았지만, EP1, EP3 및 EP4 실험구와는 통계적으로 유의한 차이가

없었으며, MP 실험구가 가장 낮은 값을 나타내었다(P<0.05).

Table 9. Hematological changes of the plasma in grower flounder fed the experimental diets for 12 months¹

Diets	Glucose (mg/100ml)	Total protein (g/100ml)	Triglyceride (mg/100ml)	GOT (IU/L)
Initial	20.8	4.8	343.0	10.9
EP1	19.2±1.36 ^{ns}	4.0±0.62 ^{ns}	198.7±28.85 ^a	9.7±0.50 ^{ns}
EP2	19.1±0.75	5.1±0.29	222.9±20.19 ^{ab}	10.1±0.56
EP3	19.9±0.42	5.3±0.73	307.2±46.52 ^b	9.9±1.17
EP4	19.9±0.42	5.8±0.06	305.5±44.64 ^b	8.7±0.15
MP	20.1±1.21	5.7±0.27	189.9±21.87 ^a	8.6±0.12

¹ Values (mean±S.E. of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 10. Sensory test of the dorsal muscle in grower flounder fed the experimental diet for 12 months¹

	EP1	EP2	EP3	EP4	MP	자연	Significant
Colour	3.22 ^{ns}	3.39	3.28	3.67	3.56	3.17	p=0.662
Smell	3.22 ^{ns}	3.00	3.22	3.50	3.06	3.11	p=0.282
Taste	3.28 ^{ab}	3.06 ^a	3.22 ^a	3.83 ^b	2.89 ^a	3.22 ^a	p=0.028
Texture	3.56 ^{bcd}	3.22 ^{abc}	3.50 ^{bcd}	3.83 ^d	3.00 ^{ab}	3.67 ^{bc}	p=0.003

^{ns} Not significant (P>0.05).

¹ Values (mean±S.E. of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 11. Characteristic analysis of the dorsal muscle in grower flounder fed the experimental diet for 12 months¹

Diets	H ² (kg/cm ²)	G ³ (kg/cm ²)	B ⁴ (kg/cm ²)
EP1	0.42±0.03 ^{ab}	1.07±0.08 ^{ns}	1.19±0.16 ^{ab}
EP2	0.40±0.04 ^{ab}	1.00±0.09	1.36±0.27 ^b
EP3	0.36±0.06 ^{ab}	0.91±0.15	1.29±0.17 ^b
EP4	0.45±0.06 ^b	1.12±0.15	1.29±0.17 ^b
MP	0.47±0.10 ^{ab}	1.18±0.25	1.05±0.17 ^a
자연	0.31±0.06 ^a	0.77±0.16	1.16±0.16 ^a

¹ Values (mean±S.E. of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Hardness

³ Gel strength

⁴ Breaking strength

이상의 결과들로 보아 평균체중 67.8 g부터의 넙치에게 생사료를 기초로 제조된 MP를 공급하는 것 보다 영양소 균형이 잘 갖춰진 부상 pellet을 공급하여도 좋을 것으로 판단된다.

제 5 절 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 11주간 사육

1. 서론

앞 연구들에서 이미 넙치 육성용으로 생사료 대신 EP를 공급하여도 무방할 것으로 보고되었다. 앞 연구결과들을 참고로 이어서 본 연구는 사료설계를 보완하여 넙치의 육성용 먹이로 부상배합사료와 습사료의 사육효과를 비교하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험 사료로는 MP (moist pellet, 넙치용 가루사료와 냉동 메가리를 1:3의 무게 비율로 혼합하여 성형)와 자체 사료조성으로 제조한 5종류의 부상 배합사료(EP1, EP2, EP3, EP4 및 EP5)로 총 6종류를 준비하여 냉동 보관(-40℃)하면서 먹이 급여시마다 사용하였다. 실험 EP 사료들은 사료회사에 제조 의뢰하여 준비하였다. 실험에 사용된 부상 배합사료 및 MP 사료의 원료조성 및 영양성분을 Table 1과 2에 나타내었다.

실험어 및 사육관리

실험어는 강원도 강릉 해동수산에서 2004년 6월에 구입, 운반하여 울진 어류양식연구센터의 10톤 콘크리트 원형수조에 수용하면서 한 달 동안 새로운 환경에 적응을 시켰다. 적응기간 동안 실험어에게는 1일 2회 상업용 넙치 부상사료를 공급해 주었다. 사육실험은 총 12개의 10톤 콘크리트 원형 수조(지름 4.6 m, 높이 0.6 m)를 이용하였으며, 예비 사육하던 실험어 중 외형적으로 건강한 넙치 치어(평균 체중: 115±3.2 g)를 무작위로 추출하여 각 수조에 582 마리씩 2반복으로 분산 수용한 후, 78일 동안 사육하였다. 사료 공급은 각 사료 종류별로 1주일에 6일 동안 매일 2회(09:00, 17:00) 실험어가 먹을 때까지 손으로 공급하였다. 사료공급 1시간 후에 사육수의 70~80%를 배수시켜 수조내 찌꺼기를 제거하여 주었으며, 각 수조마다 1일 12-15회 환수시켜주면서 용존산소 보충을 위해 aeration을 시켜주었다. 사육실험 기간 동안의 수온은 22.9±0.99℃(평균±표준편차)이었고 비중은 1.023±0.006이었다. 그리고 각 수조에서 죽은 개체는 매일 제거하였다.

Table 1. Ingredients composition of the experimental diets

Ingredients (%)	Diets					
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	MP
J. mackerel meal				55.5	49.73	
Herring meal (Chile)	55	46	60			
Wheat flour				15	18.5	
Wheat flour (Low CP)	23.9	20.4	21.3			
Fish oil	2.4	2.4	2.4	5.5	4	
Dehulled soybean meal		7		2.33	3	
Corn gluten meal	3	3		3	3	
Starch				2	2	
Brewers yeast	2	2	4	1.1	2	
Krill meal	5	5	5	4	5	
Poultry by-product		5				
Wheat gluten				4	2	
Others	8.7	9.2	7.3	7.57	10.77	

Table 2. Nutrient composition and feed cost of the experimental diets

	Diets					
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	MP
Nutrient contents (% DM, analysed)						
Dry matter	96.76	95.50	95.09	92.90	94.65	46.87
Crude protein	51.90	51.78	55.32	54.83	53.19	59.57
Crude lipid	8.10	8.39	8.38	10.46	8.72	7.84
Ash	11.63	11.90	12.07	11.31	11.71	11.92
Gross energy (kcal/100g)	569	577	587	600	583	609
Nutrient contents (% as-fed, calculated)						
C. protein	48.1	47.5	51.0	52.6	48.8	
C. fat	9.3	9.6	9.3	12.2	8.6	
C. fiber	0.76	1.04	0.53			
Ash	9.6	9.7	9.8	12.0	13.9	
Ca	2.06	1.95	2.26	2.33		
Total-P	1.46	1.46	1.54	1.92		
Arg	2.58	2.66	2.80	3.09		
Lys	3.27	3.16	3.64	3.24		
Met+Cys	1.72	1.70	1.83	1.80		
Trp	0.49	0.50	0.55	0.47		
His	1.21	1.21	1.31			
Thr	1.95	1.91	2.12			
Ile	2.04	2.05	2.19			
Val	2.41	2.39	2.60			
Leu	3.61	3.61	3.66			
Cholesterol (g/kg)	3.11	2.92	3.59			
DHA	1.38	1.20	1.43			
EPA	0.75	0.68	0.77			
Feed cost (won/kg) ¹	984	955	972	969	1006	

¹Cost of ingredients except for diet processing cost based on the price in 2004.

시료채취 및 성분분석

최초 어체의 성분 분석용으로 20마리를 무작위로 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조에서 15마리를 취하였다. 그 중 5마리는 전어체의 일반성분 분석을 위해 냉동보관(-75℃)하였으며, 나머지 10마리 중 5마리는 혈액분석을 위해 미부동맥에서 일회용 주사기를 이용하여 채혈 후, 7500rpm에서 5분간 원심분리하여 상층액을 동결보존(-70℃) 하였으며, 채혈한 어체를 포함한 10마리는 다시 해부를 통해 간의 무게를 측정된 후 간과 근육을 채취하여 성분 분석용 시료로 사용하였다. 시료의 일반 성분은 AOAC

(1990)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550℃의 회화로에서 4 시간 동안 태운 후 측정하였다. 혈청분석은 임상용 kit (아산제약제품)를 사용하여 total protein은 biuret법으로, GOT (glutamic oxaloacetic transaminase)는 Reitman-Frankle법으로, glucose와 TG는 효소법으로 분석하였다.

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS Version 10.0 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

평균 체중 115 g의 녀치를 78일간 사육 실험한 후, 성장 및 사료 이용성에 대한 결과를 Table 2와 3에 나타내었다. 생존률은 67-78%로 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 증중률은 EP4를 공급한 실험구는 가장 높은 값(161.1%)을 보였고 EP2를 공급한 실험구가 가장 낮은 값(113.0%)을 보였으나($P<0.05$), EP2를 공급한 실험구를 제외한 실험구들에는 통계적인 차이는 없었다($P>0.05$). 어체의 비만도와 간 중량지수는 사료에 영향을 받지 않아 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 사료효율은 증중률의 결과와 유사하게 EP4를 공급한 실험구가 다른 실험구들보다 유의적으로 높은 값을 보였으며 ($P<0.05$), 그 외 실험구간에는 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 일일사료섭취율과 일일단백질섭취율은 사료에 영향을 받지 않아 실험구들간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 단백질효율은 EP4를 공급한 실험구가 가장 높았으며, 가장 낮은 값을 보인 MP를 공급한 실험구를 제외한 나머지 실험구들과는 통계적인 차이가 없었다($P>0.05$)

사육 실험 종료후, 등근육과 간의 일반성분 분석결과를 Table 4-5에 나타내었다. 등근육의 수분함량은 MP를 공급한 실험구가 다른 실험구들에 비해 가장 높은 값을 보였으며 ($P<0.05$), 단백질함량은 EP1, EP2 및 EP5를 공급한 실험구가 MP를 공급한 실험구보다 유의하게 높았으나($P<0.05$), EP3과 EP4를 공급한 실험구와는 통계적인 차이가 없었다 ($P>0.05$). 그리고 근육의 지질함량은 실험구간에 유의한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 간의 경우, 수분함량은 EP4를 공급한 실험구가 다른 실험구들보다 유의하게 낮은 값을 보였으며($P<0.05$), 그 외 실험구들간에는 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 단백질과 지질함량은 실험구간에 통계적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

Table 2. Growth performance of grower flounder fed the experimental diets for 78 days¹

Diets	Initial mean weight (g/fish)	Survival (%)	WG (%) ²	CF ³	HSI ⁴
EP1	116±11.3	70±9.5 ^{ns}	126.8±7.65 ^{ab}	1.18±0.070 ^{ns}	1.56±0.075 ^{ns}
EP2	121±6.9	78±8.1	113.0±1.50 ^a	1.19±0.010	1.58±0.015
EP3	118±6.8	67±11.0	135.8±13.80 ^{ab}	1.17±0.055	1.42±0.080
EP4	114±14.5	70±13.0	161.1±21.75 ^b	1.15±0.001	1.53±0.225
EP5	117±10.3	74±7.5	134.4±2.60 ^{ab}	1.17±0.010	1.54±0.075
MP	118±9.2	72±5.0	150.8±8.10 ^{ab}	1.10±0.010	1.18±0.135

¹ Values (mean±SE of two replication groups) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Weight gain= (final body weight-initial body weight)×100/initial body weight.

³ Condition factor= (body weight×100)/total body length(cm)³.

⁴ Hepatosomatic index= (liver weight×100)/body weight.

^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 3. Feed utilization of grower flounder fed the experimental diets for 78 days¹

Diets	FE (%) ²	DFI (%) ³	DPI (%) ⁴	PER ⁵
EP1	85.1±1.56 ^a	0.96±0.04 ^{ns}	0.50±0.02 ^{ns}	1.64±0.03 ^{ab}
EP2	84.4±0.85 ^a	0.96±0.07	0.50±0.04	1.63±0.02 ^{ab}
EP3	88.1±5.17 ^a	0.94±0.10	0.52±0.05	1.59±0.09 ^{ab}
EP4	105.4±0.88 ^b	0.90±0.02	0.49±0.01	1.92±0.02 ^b
EP5	92.7±1.02 ^a	0.95±0.07	0.51±0.04	1.74±0.02 ^b
MP	92.8±2.46 ^a	1.01±0.04	0.60±0.02	1.39±0.21 ^a

¹ Values (mean±S.E. of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Feed efficiency= Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

³ Daily feed intake= Feed intake (dry matter) × 100/[initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days fed/2.

⁴ Daily protein intake= Protein intake (dry matter) × 100/[initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days fed/2.

⁵ Protein efficiency ratio= Fish wet weight gain/protein intake (dry matter).

Table 4. Proximate composition (%) of the muscle in grower flounder fed the experimental diets for 78 days¹

Diets	Moisture	Protein	Lipid
Initial	77.1	21.6	0.8
EP1	75.3±0.12 ^{ab}	24.6±0.09 ^b	0.67±0.40 ^{ns}
EP2	74.9±0.07 ^{ab}	24.3±0.24 ^b	0.60±0.33
EP3	75.4±0.26 ^b	23.9±0.28 ^{ab}	0.41±0.02
EP4	74.6±0.24 ^a	23.3±0.15 ^{ab}	0.78±0.55
EP5	74.6±0.36 ^{ab}	24.2±0.64 ^b	0.23±0.12
MP	76.6±0.18 ^c	22.8±0.41 ^a	0.75±0.51

¹ Values (mean±S.E. of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 5. Proximate composition (%) of the liver in grower flounder fed the experimental diets for 78 days¹

Diets	Moisture	Protein	Lipid
Initial	73.3	15.7	7.3
EP1	68.6±0.20 ^b	12.8±0.46 ^{ns}	11.4±1.24 ^{ns}
EP2	68.6±0.66 ^b	13.3±0.46	12.5±1.93
EP3	68.3±1.28 ^b	13.3±0.84	13.2±1.55
EP4	64.6±1.21 ^a	11.9±0.83	15.2±1.94
EP5	69.0±1.57 ^b	13.8±0.89	9.4±0.65
MP	70.3±0.39 ^b	14.5±0.96	14.0±2.11

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

^{ns} Not significant (P>0.05).

어체의 미부동맥에서 추출한 혈액의 분석 결과를 Table 6에 나타내었다. 혈액의 글루코스, 총 단백질, 중성지방 및 GOT 함량은 모든 실험구간에 유의적인 차이가 없어($P>0.05$), 사료에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

Table 6. Hematological changes of the plasma in grower flounder fed the experimental diets for 78 days¹

Diets	Glucose (mg/100ml)	Total protein (g/100ml)	Triglyceride (mg/100ml)	GPT (IU/L)
EP1	22.0±1.52 ^{ns}	4.7±0.08 ^{ns}	191±29.9 ^{ns}	3.4±0.04 ^{ns}
EP2	22.1±1.82	5.0±0.02	185±13.3	4.3±1.81
EP3	25.0±6.55	5.0±0.04	198±18.0	5.6±0.57
EP4	22.1±4.22	4.7±0.18	198±70.3	4.1±0.39
EP5	21.7±6.26	4.9±0.19	208±19.9	4.9±0.46
MP	18.9±4.69	5.2±0.02	197±21.0	5.4±0.16

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

이상의 결과들로 보아 115-300 g인 넙치에게 생사료를 기초로 제조된 MP를 공급하는 것 보다 EP4 사료를 공급하여도 좋을 것으로 판단된다.

제 6 절 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 상품사료 비교 : 대형수조에서 11주간 사육

1. 서론

앞 실험들에서 소형 FRP 수조나 대형 10톤 수조에서 단기간 및 장기간 사육에서 생사료를 EP 사료로 대체할 수 있음을 증명하였다. 이어서 본 연구에서는 넙치 사육 현장에서 주로 사용되고 있는 규모의 수조에서 사육 실험하여 EP 조성에 따른 효능을 조사하고자 하였다. 그리고 양어가들이 실제 양식현장에서 EP 사료를 물과 각종 첨가제를 혼합시켜 습사료화하여 넙치에 공급하고 있다. 본 실험에서 이러한 방법에 대한 검정을 위하여 실험 EP와 시판사료 EP에 현장에서 양어가들이 사용하는 것처럼 물과 각종 첨가제를 혼합시켜 비교하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험 사료로는 자체 사료조성으로 제조한 5종류의 부상 배합사료 (EP1, EP2, EP3, EP4 및 EP5)과 현재 양식현장(강원도 강릉 해동수산)에서 사용하고 있는 시판사료(EP6)로 총 6종류를 준비하였다. 실험 EP (EP1-5) 제조는 사료회사에 의뢰하여 준비하였다. 이 중 EP4와 EP6은 양식현장에서의 공급하는 방법(물 혼합 및 각종 영양제 첨가)을 적용하여 비교하였다. 실험에 사용된 부상 배합사료의 원료조성 및 영양성분을 Table 1과 2에 나타내었다.

실험어 및 사육관리

실험어는 강원도 양식현장(강릉 해동수산)에서 상업용 넙치 부상사료로 육성하고 있는 넙치를 대상으로 하였으며, 사육실험은 이중 외형적으로 건강한 넙치(평균체중: 136.7 ± 11.36 g)를 무작위로 추출하여 8개의 콘크리트 수조(지름 8 m × 8 m, 수심 0.6 m)에 각각 3000 마리씩 분산 수용한 후, 79일 동안 사육하였다. 사육기간 중에 어체가 성장하면서 과밀도 사육으로 인한 피해를 예방하기 위해 사육실험 4주와 6주후에 각 수조별로 500마리씩 전체무게를 측정 한 후 다른 수조로 옮겨주었다. 사료 공급은 각 사료별로 1주일에 6일 동안 매일 2회 (09:00, 17:00) 실험어가 먹을 때까지 공급하였으며, 각 수조는 유수식으로 환수시키면서 aeration을 시켜주었고, 환수량은 1일 12-15회전으로 해주었다. 그리고 각 수조에서 죽은 개체는 매일 제거하여 주었으며 사육 실험 기간 동안의 수온은

21.5±0.93 °C(평균±표준편차)였고 비중은 1.024±0.0017이었다.

Table 1. Ingredients composition of the experimental diets

Ingredients (%)	Diets					
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EP6
Fish meal (J mackerel)				55.5	49.73	
Herring meal (Chile)	55	46	60			
Wheat flour				15	18.5	
Wheat flour (low protein)	23.9	20.4	21.3			
Fish oil	2.4	2.4	2.4	5.5	4	
Dehulled soybean meal		7		2.33	3	
Corn gluten meal	3	3		3	3	Closed
Starch				2	2	
Brewers yeast	2	2	4	1.1	2	
Krill meal	5	5	5	4	5	
Poultry by-product		5				
Wheat gluten				4	2	
Others	8.7	9.2	7.3	7.57	10.77	

Table 2. Nutrient composition and feed cost of the experimental diets

	Diets					
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EP6
Nutrient contents (% , as-fed, analysed)						
Dry matter	96.8	95.5	95.1	92.9	94.7	89.9
Crude protein	50.2	49.4	52.6	50.9	50.3	49.4
Crude lipid	7.8	8.0	8.0	9.7	8.3	6.5
Ash	11.3	11.4	11.5	10.5	11.1	10.0
Gross energy (kcal/100g)	551	551	558	557	552	523
Nutrient contents (% , as-fed, calculated)						
C. protein	48.1	47.5	51.0	52.6	48.8	
C. fat	9.3	9.6	9.3	12.2	8.6	
C. fiber	0.76	1.04	0.53			
Ash	9.6	9.7	9.8	12.0	13.9	
Ca	2.06	1.95	2.26	2.33		
Total-P	1.46	1.46	1.54	1.92		
Arg	2.58	2.66	2.80	3.09		
Lys	3.27	3.16	3.64	3.24		
Met+Cys	1.72	1.70	1.83	1.80		
Trp	0.49	0.50	0.55	0.47		
His	1.21	1.21	1.31			
Thr	1.95	1.91	2.12			
Ile	2.04	2.05	2.19			
Val	2.41	2.39	2.60			
Leu	3.61	3.61	3.66			
Cholesterol (g/kg)	3.11	2.92	3.59			
DHA	1.38	1.20	1.43			
EPA	0.75	0.68	0.77			
Feed cost (won/kg) ¹	984	955	972	969	1006	

¹Cost of ingredients except for diet processing cost based on the price in 2004.

시료채취 및 성분분석

최초 어체의 성분 분석용으로 20마리를 무작위로 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조에서 15마리를 채취하였다. 그 중 5마리는 전어체의 일반성분 분석을 위해 냉동보관(-70℃)하였으며, 나머지 10마리 중 5마리는 혈액분석을 위해 미부동맥에서 일회용 주사기를 이용하여 채혈 후, 7500rpm에서 5분간 원심분리하여 상층액을 동결보존(-70℃) 하였으며, 채혈한 어체를 포함한 10마리는 다시 해부를 통해 간의 무게를 측정한다

후 간과 근육을 채취하여 성분분석용 시료로 사용하였다. 시료의 일반 성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550℃의 회화로에서 4 시간 동안 태운 후 측정하였다. 혈청분석은 임상용 kit (아산제약제품)를 사용하여 total protein은 biuret법으로, GOT (glutamic oxaloacetic transaminase)는 Reitman-Frankle법으로, glucose와 TG는 효소법으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

평균 체중 137 g 전후의 넙치를 80일간 사육 실험한 후, 성장 및 사료 이용성에 대한 결과를 Table 3에 나타내었다. 생존률은 89-99%의 범위로 대체로 양호한 값을 보였다. 증중량은 EP4와 EP4MP를 공급한 실험구가 다른 실험구보다 높은 값을 보였으며, 그 다음으로 EP3과 EP6MP를 공급한 실험구가 양호한 결과를 보였다. 사료효율은 108-137%의 범위였으며, EP4, EP4MP, EP5, 및 EP6MP를 공급한 실험구가 123%이상으로 높은 값을 보였으며, EP1을 공급한 실험구가 가장 낮았다. 일일사료섭취율은 0.69-0.91%의 범위였으며, EP1을 공급한 실험구가 가장 높았고, EP6MP를 공급한 실험구가 가장 낮은 값을 보여 사료효율과 반대의 경향을 보였다. 일일단백질섭취율은 0.38-0.47%의 범위였으며, EP1과 EP3을 공급한 실험구가 양호하였고, EP6MP를 공급한 실험구가 가장 낮았다. 단백질효율은 2.07-2.50%로 수치상으로 실험구간에 유사한 값을 보였다. 어체의 비만도는 1.03-1.20의 범위로 대체로 유사한 값을 보였으며, 간 중량지수는 1.13-1.88의 범위로 EP4MP를 공급한 실험구가 가장 높았고, EP2를 공급한 실험구가 가장 낮은 값을 보였다.

사육 실험 종료 후, 등근육과 간의 일반성분 분석결과를 Table 4와 5에 나타내었다. 등근육의 수분함량은 73.98-75.64%, 단백질함량은 23.09-24.79% 그리고 지질함량은 0.04-0.67%의 범위로 각각 나타나 수치상으로 큰 차이를 보이지 않았다. 간의 경우, 수분함량은 62.53-73.97%의 범위였으며, EP6을 공급한 실험구가 가장 높았고 EP4MP를 공급한 실험구가 가장 낮은 값을 보였다. 단백질함량은 EP1을 공급한 실험구가 가장 높았으며 (15.24%), EP4MP를 공급한 실험구가 가장 낮았다(12.16%). 지질함량은 EP1(10.11%), EP5(9.38%) 및 EP6(7.43%) 실험구가 대체로 낮은 값을 나타냈으며, 나머지 실험구는 13.13-14.22%의 범위로 나타났다.

어체의 미부동맥에서 추출한 혈액의 분석 결과를 Table 6에 나타내었다. 혈액의 글루코스함량은 EP5를 공급한 실험구가 가장 높았으며(63.54 mg/100 ml), EP1을 공급한 실험구가 가장 낮은 값을(26.86 mg/100 ml) 보였다. 중성지방은 173.8-247.4 mg/100 ml의 범위로 다양하였으며, EP4MP를 공급한 실험구가 가장 높았고 EP3을 공급한 실험구가 가장

낮았다. 총 단백질은 4.2-5.4 g/100 ml의 범위로 나타나 수치상으로 실험구간에 큰 차이를 보이지 않았다. GPT함량은 1.82-3.04 IU/L의 범위였으며, EP6을 공급한 실험구가 가장 높았고 EP4MP를 공급한 실험구가 가장 낮았다.

Table 3. Growth performance of grower flounder fed the experimental diets for 79 days. EP were made to moist pellet types (EP4MP and EP6MP) by sprayed with mixture of water and additives

Diets	IMW ¹	SUR ²	MWG ³ (kg/fish)	FE ⁴	DFI ⁵	DPI ⁶	PER ⁷	CF ⁸	HSI ⁹
EP1	126	95	0.229	107.6	0.91	0.47	2.07	1.03	1.52
EP2	130	97	0.228	112.1	0.87	0.45	2.16	1.16	1.13
EP3	146	99	0.254	115.7	0.85	0.47	2.09	1.08	1.32
EP4	141	96	0.262	129.0	0.79	0.44	2.35	1.18	1.71
EP4MP	146	95	0.266	128.2	0.77	0.42	2.34	1.21	1.88
EP5	116	96	0.233	122.7	0.85	0.45	2.31	1.16	1.44
EP6	140	89	0.211	116.1	0.75	0.41	2.12	1.12	1.71
EP6MP	149	95	0.250	137.4	0.69	0.38	2.50	1.12	1.49

¹ Initial mean weight (g/fish).

² Survival.

³ Mean weight gain (g/fish)

⁴ Feed efficiency (%)= Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

⁵ Daily feed intake (%)= Feed intake (dry matter) × 100/[initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days fed/2.

⁶ Daily protein intake (%)= Protein intake × 100/[initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days fed/2.

⁷ Protein efficiency ratio= Fish wet weight gain/protein intake (dry matter).

⁸ Condition factor= (body weight×100)/total body length(cm)³.

⁹ Hepatosomatic index= (liver weight×100)/body weight.

Table 4. Proximate composition (%) of the muscle in grower flounder fed the experimental diets for 79 days. EP were made to moist pellet types (EP4MP and EP6MP) by sprayed with mixture of water and additives

Diets	Moisture	Protein	Lipid
Initial	75.55	21.07	0.63
EP1	75.03	24.08	0.14
EP2	74.67	23.09	0.25
EP3	74.39	24.42	0.45
EP4	73.98	24.67	0.04
EP4MP	74.05	24.54	0.67
EP5	74.35	24.68	0.10
EP6	75.64	23.36	0.62
EP6MP	75.19	24.79	0.11

Table 5. Proximate composition (%) of the liver in grower flounder fed the experimental diets for 79 days. EP were made to moist pellet types (EP4MP and EP6MP) by sprayed with mixture of water and additives

Diets	Moisture	Protein	Lipid
Initial	73.24	11.96	6.77
EP1	70.58	15.24	10.11
EP2	66.23	13.99	14.22
EP3	65.70	13.71	13.37
EP4	63.65	13.49	13.13
EP4MP	63.05	12.16	14.72
EP5	67.88	14.00	9.38
EP6	73.59	15.15	7.43
EP6MP	67.89	15.20	14.20

Table 6. Blood chemistry of grower flounder fed the experimental diets for 79 days. EP were made to moist pellet types (EP4MP and EP6MP) by sprayed with mixture of water and additives

Diets	Glucose (mg/100ml)	Triglyceride (mg/100ml)	Total protein (g/100ml)	GPT (IU/L)
EP1	26.86	195.8	4.2	1.97
EP2	43.42	223.5	4.3	2.29
EP3	38.89	173.8	4.5	2.89
EP4	36.83	218.1	4.6	2.49
EP4MP	31.83	247.4	5.4	1.82
EP5	63.54	210.6	4.9	3.04
EP6	28.91	225.2	4.8	3.12
EP6MP	42.31	178.9	4.6	1.93

이상의 결과들로 보아 실제 양식현장에서 114-350 g인 넙치에게 물과 각종 영양소의 흡착 없이 영양소 균형이 잘 갖춰진 EP 사료를 공급하여도 좋을 것으로 판단된다.

제 7 절 조피볼락 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : FRP 수조에서 35주간 사육

1. 서론

우리나라 조피볼락 양식은 1980년대 후반에 들어서면서 계속 증가하면서 양식 생산량이 가장 많은 넙치 다음으로 현재 총 해산어 생산량의 30%를 차지하고 있다. 이 어종은 성장이 비교적 빠르고 저수온에 강하며 난태생으로 종묘생산이 쉬울 뿐 아니라 활동성이 강해 근육의 탄력성이 좋아 핏감으로서 소비자들의 선호도가 높다.

어류 양식시 사료는 성장에 직접적으로 관여하며 양식 생산비용 중 가장 높은 비중을 차지하는 요소로서 반드시 고려되어야 하는 요인이다. 현재 조피볼락 양식현장에서는 성장도에 비하여 가공, 유통, 및 보관 등 뿐 아니라 환경적으로도 많은 문제점들이 잠재되어 있는 생사료를 공급하고 있다. 최근에, 이러한 생사료의 문제점을 인식하고 가두리나 육상수조 양식에서 사료 유실을 줄이고 소화율을 높이기 위하여 부상 건조사료(extruded pellet, EP)를 사용하는 양어장이 늘어나는 추세에 있긴 하지만, 배합사료의 필요성을 알면서도 대부분의 양어가들은 배합사료가 생사료에 비해 성장이 늦고 사료섭취가 잘 이루어지지 않는다는 등의 불신감으로 배합사료 사용을 기피하고 있다. 이러한 불신감을 줄이기 위해 조피볼락의 영양 요구량의 확립(Bai and Lee, 1998; Lee et al., 2000; Lee, 2002; Lee et al., 2002), 사료 단가를 최소화하기 위한 대체 원료들의 이용 가능성(Lee et al., 1996a,b;) 및 습사료 못지않은 건조 펠릿사료의 섭취 가능성(Lee and Jeon. 1996; Lee et al., 1996c, 1997) 등 많은 연구들이 수행되었다.

그래서 본 연구에서는 조피볼락 육성용으로 설계, 제조한 부상배합사료와 습사료의 장기 사육효과를 비교하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험 사료로는 MP (moist pellet, 넙치용 가루사료와 냉동 메가리를 1:3의 무게 비율로 혼합하여 성형)와 자체 사료조성으로 제조한 4종류의 부상 배합사료 (EP1, EP2, EP3 및 EP4) 총 5종류를 준비하여 -40℃에서 냉동 보관하면서 먹이 급여시마다 사용하였다. 실험에 사용된 부상 배합사료 및 MP 사료의 영양성분 및 필수아미노산 조성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Ingredient and nutrient contents of the experimental diets

Ingredients (%)	Diets				
	EP1	EP2	EP3	EP4	MP
Brown fish meal (Chile)	49.8	57.7	50.9	50.0	
White fish meal (Russia)				7.0	
Anchovy meal (Korea)				5.0	
Wheat gluten	2.5	2.5	2.5	2.5	
Meat meal				5.0	
Soybean meal	5.0	5.0	5.0	5.0	
Corn gluten meal	5.0	5.0	5.0	1.0	
Wheat flour	33.1	25.6	26.5	17.0	
Fish oil	0.4	0.0	5.9	2.5	
Others	4.2	4.2	4.2	5.0	
Mackerel (raw fish)					75
Binder meal					25
Proximate analysis (% dry matter basis)					
Dry matter (%)	96.10	95.54	95.43	94.21	41.90
Crude protein (% DM)	46.43	53.86	47.03	57.13	59.05
Crude lipid (% DM)	7.18	4.40	9.30	6.83	14.02
Ash (% DM)	10.80	15.07	11.64	15.50	12.46
Gross energy (kcal/g)	5.77	5.59	5.89	5.58	5.49
Essential amino acid composition (% in protein)					
Arg	7.9	6.5	6.2	6.5	7.0
His	4.4	3.7	3.6	4.1	3.3
Ile	4.8	4.1	4.0	3.9	3.9
Leu	11.1	8.9	9.2	8.6	8.6
Lys	9.2	7.9	7.4	7.1	7.5
Met+Cys	2.8	1.7	1.6	1.6	1.2
Phe+Tyr	9.7	7.7	7.8	7.6	7.5
Thr	6.0	4.9	4.9	4.7	4.9
Val	6.9	5.5	5.5	5.6	5.6
Nutrient contents (% as-fed, calculated)					
Ca	1.73	1.99	1.76		
Total-P	1.26	1.43	1.27		
Arg	2.4	2.7	2.4		
Lys	2.9	3.2	2.9		
Met+Cys	1.7	1.8	1.7		
Trp	0.5	0.5	0.5		
Feed cost (won/kg) ¹	857	901	928	1050	

¹Cost of ingredients except for diet processing cost based on the price in 2004.

실험어 및 사육관리

도립양식시험장에서 종묘 생산되어 사육된 조피볼락을 1000ℓ FRP 원형수조에 수용하여 2주간 예비사육 후, 외형상으로 건강한 조피볼락(평균체중 115.1±3.01 g)을 선별하여 각 수조당 40마리씩 각 실험사료마다 3반복으로 수용하여 35주간 사육하였다. 사료공급은 매일 2회(08:00와 17:00)로 나누어 실험어가 사료를 먹을 때까지 손으로 던져주었다. 사육수는 여과해수를 각 수조에 분당 20 ℓ 로 조절하여 흘려주었으며 사육실험기간 동안의 수온은 7.3-23.8℃(14.6±5.20℃)였고 비중은 1.02±0.0013였다. 그리고 사육실험 시작시와 종료시에는 측정 전일 절식시킨 후 MS222 100ppm (Tricaine methanesulfonate, Sigma, USA) 수용액에 마취하여 수조에 수용된 모든 실험어의 전체 무게를 측정하였다.

시료채취 및 성분분석

최초 어체 성분 분석용으로 사육실험 시작시 20마리를 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조의 실험어 중에서 어체, 간, 장 및 근육의 성분분석용으로 10마리를 표본 추출하여 -70℃에서 냉동 보관하였다. 실험 사료와 어체의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto kjeldahl system (buch B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 24시간 동안 건조 후 측정하였다. 회분은 550℃ 회회로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였다. 혈청분석은 임상용 kit (아산제약제품)를 사용하여 total protein은 biuret법으로 분석하였고 glucose와 TG는 효소법으로 분석하였다.

품질평가

사육실험 종료 후, 무게 측정후 남은 실험어를 대상으로 회로서의 품질을 평가하였다. 청송횃집(강원도 강릉시)에서 주방장에 의해 회로 손질한 후, 실험과 무관한 35명을 대상으로 색, 냄새, 맛 및 탄력성을 알아보는 관능평가를 실시하였다. 관능평가지 점수는 5점 만점으로 3점에 기준을 두어 실험구간에 상대적으로 평가하도록 하였다. 그리고 근육의 경도를 알아보기 위해 각 수조별로 5마리씩 무작위로 추출한 후 Rheo meter를 이용하여 등근육의 Hardness와 Gel strength를 측정하였다.

사료 (EP-1) 섭취 후 시간경과에 따른 조피볼락의 소화 효소 활성 변화

- 실험어: 실험에 사용한 조피볼락은 강릉 연곡에 위치한 도립 수산 배양장에서 사육하고 있던 어류로 수온 20~25℃의 사육수에서 관리하였다. 조피볼락의 관리는 3m³ 원형 FRP 수조에서 유수식 조건하에서 사육하였으며, 실험 사료는 EP-1을 공급하였다.
- 실험표본: 소화 효소분석을 위한 실험어는 총 8회에 걸쳐 채집하였다. 실험에 사용한 조피볼락은 사료 만복 공급 후 1h, 3h, 6h, 9h, 12h, 24h, 48h, 72h에 각 시간대별 5마

리씩 무작위로 채취하였다. 해부 전 모든 실험어의 체중을 측정하였다. 조피볼락의 척추를 절단하여 마비시킨 후 각 부위별 소화관 (위, 간, 유문수, 장)을 분리하였고 0.15M KCL에 세척한 후 용기에 담아 드라이아이스로 냉동한 후 강릉대학교 해양생명공학부 사료영양연구실로 운반하여 -70℃의 Deep freezer에 보관하였다.

- 측정 및 분석: 소화효소의 측정을 위해 실험에 사용된 조피볼락의 각 부위별 소화관은 무게의 3배인 증류수를 넣고 glass homogenizers로 균질하게 분쇄하였다. 균질화된 시료는 30분간 10000rpm으로 원심분리한 후 상등액을 조효소액으로 사용하였다. 각 효소실험에 필요한 양 만큼씩 viral tube에 분리하여 -70℃의 초저온 냉동고에 보관하여 lipase, pepsin, trypsin을 측정하였고 동시에 total protein 도 측정하였다.
- 펩신 성 효소 분석: 펩신 성 효소의 활성도 측정은 CH₃COONa-HCl (pH2.5)를 buffer로 사용하였고 pH는 HCl을 사용하여 조절하였으며 기질로는 hemoglobin을 사용하였다. 효소 활성구는 0.2ml의 효소액에 1%의 산변성 헤모글로빈 0.6 ml (5%로 5배 희석하여 사용함)과 0.2N 초산나트륨 -HCl buffer (pH3.5)의 혼합액 0.8 ml를 첨가하고 37℃에서 60분간 반응시킨 후 10% TCA 2.0 ml를 넣고 잘 섞어 반응을 정지시켰다. 이것을 3000 rpm에서 10분간 원심분리 하여 상층액 100 μ l(50 μ l)를 Lowry 법으로 단백질의 양을 측정하였다. 억제구는 효소액에 10% TCA로 반응을 미리 정지시킨 후 위의 혼합액을 넣어 여과 후 Lowry 법 (Loery et al.,1955)으로 단백질을 측정하였다. Tyrosine의 농도를 standard로 하여 각각의 조효소액의 활성도를 구했으며 동일 조건의 분석을 3회 반복 측정하였다.
- 트립신 성 효소 분석: 트립신 성 효소의 활성도 측정은 Tris-HCl pH 7.5를 buffer로 사용하였고 pH는 HCl을 사용하여 조절 하였으며 기질로는 azocasein을 사용하였다. 효소액 0.4 ml에 0.1 mg/ml Enterokinase in 50 mM Tris-HCl 0.36 ml와 0.1 M CaCl₂ 0.04 ml 섞은 시약 0.4 ml를 넣어 활성화 효소액을 만든다. 이것을 30℃에서 30분간 반응시킨 후 0.2 ml씩 2개의 원심관에 덜어내어 효소활성억제구와 효소활성구를 측정하였다. 활성구는 효소액 0.2 ml에 0.1M CaCl₂에 5% azocasein, 증류수, 0.5M의 Tris-HCl buffur를 혼합한 용액0.6 ml를 첨가하고 37℃에서 60분간 반응 시킨후 10% TCA 0.8 ml로 반응을 정지시킨 후 3000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. 이 후 Lowry법으로 단백질을 측정하였다. 억제구는 0.2 ml의 활성화 효소액에 10% TCA 3 ml 로 반응을 정지시킨 후 위의 혼합액 0.6 ml를 가하고 여과한다. Tyrosine의 농도를 standard로 하여 각각의 조효소액의 활성도를 구했으며 동일 조건의 분석을 3회 반복 측정하였다.
- 리파아제 효소 분석: 리파아제 분석법은Tris-HCl pH 8.0을 buffer로 사용하였고 pH는 HCl을 사용하여 조절하였으며 기질로는 olive oil을 사용하였다. 1.5 ml의 olive oil에 1.5 ml Tris-HCl과 1.0 ml의 조효소액을 넣고 37℃에서 6시간 이상 반응시키고 95%의

ethanol 3 ml을 첨가하고 지시약 (0.9% thymolphthalein in ethanol)을 넣어준 후 0.01 N 사용하여 적정 하였다. 동일 조건의 분석을 2회 반복 측정하였다.

- 총 단백질 분석: 단백질의 측정은 Lowry 법 (Loery et al., 1955)을 사용하였다. spectrophotometer를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였고 standard로는 BSA (Albumin, Bovine)를 사용하였다. 분석은 3회 반복 측정하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS Version 10.0 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 집단 평균간의 유의성을 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

평균 체중 115.1 g의 조피볼락을 35주간 사육 실험한 결과를 Table 2과 3에 나타내었다. 생존률은 95% 이상으로 모든 실험구간에 유의한 차이없이 양호하였다($P>0.05$). 증중률은 MP 실험구가 255%로 가장 높은 값을 보였으며, EP2와 EP3 실험구가 유의하게 낮았다($P<0.05$). 어체의 비만도와 간 및 장 중량지수를 측정한 결과, 비만도는 실험구간에 유의한 차이가 없었지만($P>0.05$), 간 중량지수의 경우, MP 실험구가 유의하게 낮은 값을 보였으며($P<0.05$), MP 실험구를 제외한 다른 실험구들간에 통계적인 차이가 없었다($P>0.05$). 반면, 장 중량지수는 MP 실험구에서 가장 높은 값을 보였으며, EP2와 EP4 실험구가 유의하게 낮은 값을 보였다($P<0.05$). 사료효율은 EP1 실험구가 가장 낮았고 증중률의 결과와 유사하게 MP 실험구에서 가장 높은 값을 보였다($P<0.05$). 일일사료섭취율은 EP1 실험구에서 가장 높은 값을 나타내었으며($P<0.05$) 다른 실험구간에 유의차는 없었다($P>0.05$). 일일단백질섭취율은 MP 실험구가 가장 높은 값을 보였으며 EP3 실험구에서 가장 낮았다. 단백질 효율은 EP3 실험구가 가장 높은 값을 보였으나 EP1 실험구와 통계적인 차이는 없었으며, MP의 단백질 효율 값은 EP1 및 EP2 실험구와 유의한 차이가 없었다($P>0.05$).

Table 2. Growth performance of grower rockfish fed the experimental diets for 35 weeks¹

Diets	IMW ²	WG ²	SUR ³	CF ⁴	HSI ⁵	VSI ⁶
EP1	113±1.5 ^{ns}	216±6.6 ^b	99±0.7 ^{ns}	2.19±0.087 ^{ns}	3.95±0.059 ^b	6.86±0.121 ^b
EP2	116±2.0	192±3.8 ^a	98±1.5	2.00±0.003	3.90±0.304 ^b	5.74±0.162 ^a
EP3	116±1.2	191±6.6 ^a	95±1.5	2.17±0.051	3.76±0.185 ^b	7.24±0.067 ^{bc}
EP4	115±3.0	209±9.1 ^{ab}	96±3.1	2.13±0.082	4.14±0.074 ^b	6.10±0.133 ^a
MP	117±0.7	255±7.5 ^c	96±3.1	2.04±0.096	3.15±0.113 ^a	7.47±0.132 ^c

¹ Values (mean±SE of three replication groups) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Initial mean weight (g/fish)

³ Weight gain (%)= (final body weight-initial body weight)×100/initial body weight.

⁴ Condition factor= (body weight×100)/total body length(cm)³.

⁵ Hepatosomatic index= (liver weight×100)/body weight.

⁶ Visceralsomatic index= (viscera weight×100)/body weight.

^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 3. Feed utilization of grower rockfish fed the experimental diets with for 35 weeks¹

Diets	Feed efficiency (%) ²	Daily feed intake (%) ³	Daily protein intake (%) ⁴	Protein efficiency ratio ⁵
EP1	81.6±0.62 ^a	0.52±0.011 ^b	0.24±0.005 ^b	1.76±0.013 ^{bc}
EP2	88.3±2.20 ^{bc}	0.45±0.011 ^a	0.24±0.006 ^b	1.64±0.041 ^a
EP3	85.1±1.43 ^{ab}	0.46±0.010 ^a	0.21±0.005 ^a	1.81±0.030 ^c
EP4	92.6±1.53 ^c	0.44±0.006 ^a	0.25±0.004 ^{bc}	1.62±0.027 ^a
MP	98.8±1.95 ^d	0.45±0.018 ^a	0.27±0.011 ^c	1.67±0.033 ^{ab}

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter)

³ Feed intake (dry matter) × 100/[initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days fed/2.

⁴ Protein intake × 100/[initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days fed/2.

⁵ Fish wet weight gain/protein intake.

^{ns} Not significant (P>0.05).

사육 실험 종료후, 어체의 필수아미노산 조성과 어체, 근육, 간 및 장의 일반성분 분석 결과를 Table 4-8에 나타내었다. 어체의 지질과 단백질 함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었지만 ($P>0.05$), 수분함량은 EP2 실험구가 가장 높았고 MP 실험구가 가장 낮은 값을 보였다 ($P<0.05$). 또한, 단백질함량은 MP 실험구가 다른 실험구에 비해 유의하게 높았으며 그 외 실험구간에 유의한 차이는 없었다($P>0.05$). 그리고 어체의 필수아미노산 함량은 모두 사료에 영향을 받지 않아 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 간의 경우 지질함량은 실험구간에 유의차가 없었지만 ($P>0.05$), 수분함량은 EP4 실험구가 가장 낮은 값을 보였고 그 외 실험구간에 유의차 가 없었으며, 단백질함량은 MP 실험구에서 가장 높았고 EP4 실험구가 가장 낮은 값을 보였다. 장의 일반성분은 EP1, EP2 및 EP4 실험구에서 높은 수분함량을 보였으며, EP3 및 MP 실험구가 유의하게 낮았다($P<0.05$). 하지만 지질함량은 EP3 및 MP 실험구가 높았고 EP1, EP2 및 EP4 실험구가 낮은 값을 보여 수분함량과 역상관 관계를 보였다. 근육의 수분, 단백질 및 지질함량은 모든 실험구간에 통계적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

어체의 미부동맥에서 추출한 혈액의 분석 결과를 Table 9에 나타내었다. 혈액의 글루코스과 총 단백질은 모든 실험구간에 유의차가 없었으나($P>0.05$), 중성지방은 EP3 실험구가 가장 낮았으며($P<0.05$), 나머지 실험구간에는 통계적인 차이가 없었다($P>0.05$).

실험종료 후, 실제 횡감으로 사용되는 근육의 품질을 평가하기 위해 실시한 관능검사와 경도측정 결과를 Table 10-11에 나타내었다. 관능검사 결과, 근육의 향, 맛 및 탄력성은 실험구간에 유의한 차이가 없었지만, 색깔은 EP1과 MP 실험구에서 높은 경향을 보였으며, EP4 실험구에서 가장 낮았다($P<0.05$). 등근육 및 꼬리근육의 경도측정 결과, 모든 실험구에서 유의차 없이 양호하였다($P>0.05$).

Table 4. Proximate composition (%) of the whole body in grower rockfish fed the experimental diet for 35 weeks¹

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Crude ash
EP1	66.4±0.25 ^b	18.7±0.63 ^a	9.9±0.34 ^{ns}	4.0±0.32 ^{ns}
EP2	67.8±0.47 ^c	18.4±0.52 ^a	8.5±0.65	3.8±0.12
EP3	66.2±0.13 ^b	18.2±0.23 ^a	9.2±1.04	4.0±0.35
EP4	66.6±0.32 ^b	18.6±0.52 ^a	8.9±1.06	4.0±0.23
MP	64.7±0.05 ^a	17.7±0.48 ^b	12.5±0.50	3.8±0.39

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

Table 5. Essential amino acid composition of the whole body in grower rockfish fed the

experimental diet for 35 weeks¹

Amino acid	Diets				
	EP1	EP2	EP3	EP4	MP
Arg	7.0	7.1	7.0	7.2	7.1
His	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4
Ile	3.9	3.9	4.0	3.9	4.0
Leu	8.0	8.0	8.1	7.9	8.1
Lys	8.6	8.6	8.8	8.9	9.1
Met+Cys	3.4	3.1	3.2	2.7	3.0
Phe+Tyr	7.7	7.7	7.9	7.6	7.9
Thr	5.2	5.2	5.3	5.2	5.3
Vla	5.0	5.0	5.0	4.9	5.0

Table 6. Proximate composition (%) of the muscle in grower rockfish fed the experimental diet for 35 weeks¹

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid
EP1	74.6±0.47 ^{ns}	21.6±0.32 ^{ns}	2.6±0.03 ^{ns}
EP2	74.7±0.28	21.4±0.31	2.2±0.40
EP3	74.1±0.10	21.7±0.67	3.0±0.91
EP4	74.5±0.16	21.6±0.13	2.3±0.35
MP	75.4±0.55	20.7±0.47	2.6±0.62

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 7. Proximate composition (%) of the liver in grower rockfish fed the experimental diet for 35 weeks¹

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid
EP1	55.7±0.39 ^{ab}	8.8±0.05 ^{ab}	20.9±3.78 ^{ns}
EP2	57.6±0.55 ^b	8.8±0.33 ^{ab}	18.6±3.63
EP3	59.4±0.26 ^b	9.2±0.14 ^b	14.8±0.92
EP4	53.4±2.06 ^a	8.5±0.27 ^a	19.4±1.69
MP	57.6±1.51 ^b	10.2±0.07 ^c	18.3±0.76

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 8. Proximate composition (%) of the viscera in grower rockfish fed the experimental diet for 35 weeks¹

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid
EP1	45.1±1.52 ^b	8.8±2.30 ^{ns}	45.3±1.52 ^a
EP2	48.5±2.53 ^b	9.1±0.45	41.5±2.53 ^a
EP3	33.6±1.53 ^a	6.8±0.57	55.9±1.53 ^b
EP4	44.0±1.12 ^b	7.6±0.14	48.3±1.12 ^a
MP	35.9±3.29 ^a	6.5±1.13	57.0±3.29 ^b

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 9. Blood chemistry of grower rockfish fed the experimental diets containing different sesame residues level for 35 weeks

Diets	Glucose (mg/100ml)	Total protein (g/100ml)	Triglyceride (mg/100ml)
EP1	38.0±1.69 ^{ns}	4.1±0.11 ^{ns}	397.0±56.37 ^b
EP2	40.1±8.00	4.1±0.26	295.0±49.07 ^{ab}
EP3	44.5±3.62	4.4±0.18	194.7±54.17 ^a
EP4	50.4±4.86	4.5±0.25	335.3±35.08 ^{ab}
MP	45.3±3.84	4.6±0.21	359.7±52.32 ^{ab}

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 10. Sensory test of the dorsal muscle in grower rockfish fed the experimental diet for 35 weeks¹ -(04.4.3)

	EP1	EP2	EP3	EP4	MP	Significant
Colour	3.9 ^c	3.5 ^{abc}	3.3 ^{ab}	3.0 ^a	3.6 ^{bc}	P=0.001
Smell	3.4	3.4	3.4	3.4	3.6	P=0.81
Taste	3.3	3.4	3.3	3.4	3.7	P=0.11
Texture	3.5	3.2	3.4	3.3	3.7	P=0.26

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 11. Characteristic analysis of the muscle in grower flounder fed the experimental diet for 35 weeks¹

(kg/cm ²)	EP1	EP2	EP3	EP4	MP	Significant
Dorsal muscle H ²	33.7±4.52 ^{ns}	29.0±4.24	34.7±3.35	31.2±4.07	27.2±3.36	p=0.613
Dorsal muscle G ³	2.26±0.294 ^{ns}	1.95±0.280	2.31±0.222	2.08±0.268	1.80±0.223	p=0.593
Tail muscle H	41.5±5.69 ^{ns}	38.3±4.15	33.4±3.70	37.5±4.54	38.3±3.49	p=0.783
Tail muscle G	2.47±0.286 ^{ns}	2.56±0.283	2.23±0.245	2.51±0.306	2.55±0.229	p=0.908

¹ Values are expressed as mean±S.E. of replications.

² Hardness. ³ Gel strength. ^{ns} Not significant (P>0.05).

펩신 성 효소의 활성 변화

사료 섭취 후 시간경과에 따른 위의 펩신 성 활성 변화를 Fig 1에 나타내었다. 조피볼락의 펩신 성 효소 (activity unit) 의 활성은 사료 섭취 후 4.2 activity unit에서 6시간이 지난 후 4.5로 가장 높은 활성을 보였고 이후 점차 낮아지기 시작하여 24시간째에는 1.9로 유의적으로 가장 낮은 활성을 보였다 (P<0.05). 이후 48시간에는 2.6이었고 72시간에는 3.7로 점차 증가하였으나 유의적 차이는 없었다. (P>0.05).

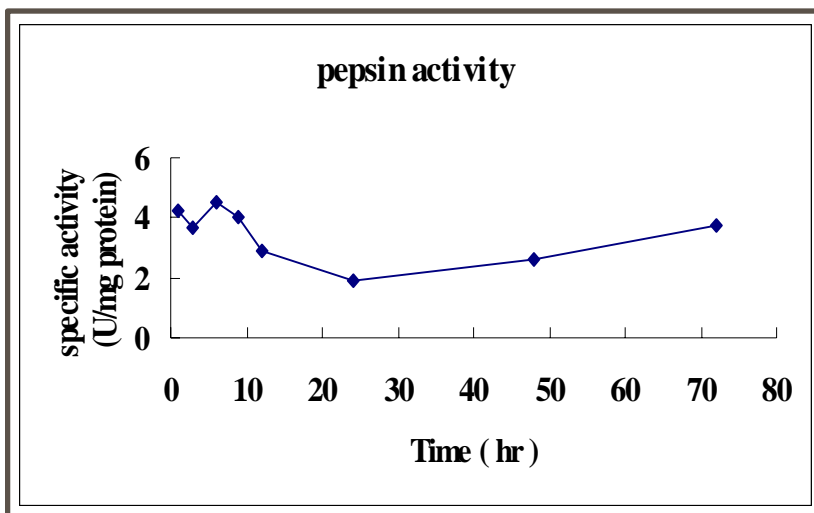


Fig. 1. 조피볼락 성어의 위에서 먹이 급여 후 Pepsin 활성의 시간에 따른 변화.

펩신은 위에 함유된 소화효소이며 수많은 위선과 낮은 pH의 환경과 높은 농도의 펩신

을 가지고 있다 (Gisbert et al.,1999). 현재까지 췌신의 활성화에 관한 연구는 활발히 이루어지고 있다. Striped bass (*Morone saxatilis*)에 대해 Baragi and Lovell (1996)이 췌신의 활성을 연구하였고, 그들은 발생 후 10일 이후부터 위선이 발달하면서 췌신의 활성이 높아진다고 보고하였다. 본 실험에서 조피볼락이 사료 섭취 후 24시간 이내에 소화가 완료됨을 알 수 있다. 그러나 이 후 췌신 성 효소의 활성화는 점차 증가함을 보이는데 이것은 본능적으로 물속의 먹이생물이나 남은 사료의 찌꺼기를 섭취한 결과이거나 체내 축적영양소의 소비로 짐작된다.

트립신 성 효소의 활성화 변화

사료 섭취 후 시간경과에 따른 장에서의 트립신 성 효소의 활성을 Fig. 2에 나타내었다. 사료 섭취 후 17.5 (activity unit)에서 점차 증가하여 6시간 후 22.0 (activity unit)로 가장 높은 활성을 보였다. 그러나 이후 활성은 낮아져서 12시간에는 9.5 (activity unit)으로 유의적으로 낮은 활성을 보였다 ($P < 0.05$). 이후 24시간의 활성은 14.3 (activity unit)으로 높았으나 그 이후에는 유의적인 차이를 보이지 않았다 ($P > 0.05$).

이와 유사한 연구로는 herring (*Clupea harengus*)과 turbot 자어를 이용한 Munilla-Motan and Stark (1989)의 보고에서 트립신은 사료 섭취에 따라 트립신이 방출되고 축적된다는 연구결과를 얻어내었다. 본 실험에서는 사료 섭취 후 높은 양의 트립신 성 효소의 활성이 관찰되었지만 12시간 후에는 그 활성이 현저히 감소함으로써 결과가 일치함을 볼 수 있다. 따라서 성어에서 단백질을 12시간에서 24시간 안에 완전한 소화가 이루어짐을 알 수 있다. 그러나 24시간 이후부터 다시 효소활성이 증가 한다는 것은 좀 더 연구해야할 필요성이 있다.

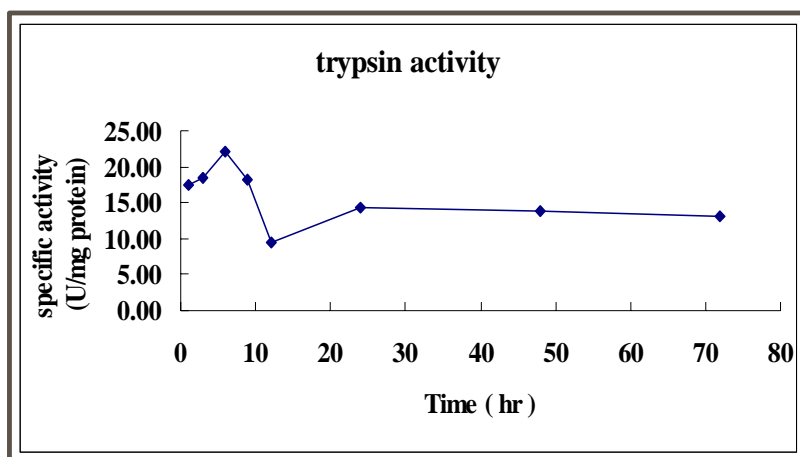


Fig. 2. 조피볼락 성어의 장에서 먹이 급여 후 Trypsin 활성의 시간에 따른 변화.

리파아제의 활성변화

장과 유문수에서 리파아제의 활성은 관찰하여 Fig. 3에 나타내었다. 사료 섭취 후 시간에 따른 장에서의 리파아제 활성은 초기에는 8.4로 높은 편이었으나 3시간 후에는 3.6으로 유의적으로 낮은 활성을 보였다 ($P<0.05$). 이후 활성은 점차 증가하여 공복 후 24시간에는 10.9으로 유의적인 증가를 보이고 ($P<0.05$) 이 후 감소하여 72시간에는 가장 낮은 활성을 보이고 있다. 유문수에서 리파아제의 활성은 먹이 공급후 6시간에서만 7.0로 높은 활성을 보였으나($P<0.05$) 이외의 시간대에는 활성이 낮아 서로 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 본 실험에서 리파아제의 활성은 먹이 공급 직후 점차 활성이 늘어나는 결과를 보였다. 이것은 조피볼락 성어에 있어 사료 섭취 후 리파아제의 분비가 매우 활발해 12시간 안에 지질을 모두 소화 시켰음을 알 수 있다. 그러나 이후 점차 활성이 늘어나는 것은 기아에 의한 본능으로 체내 축적 지방의 사용으로 짐작되나, 차후 연구가 필요하다. 이와 같은 결과를 볼 때 먹이와 소화 효소의 활성 간에는 밀접한 관계가 있으며 장기간의 기아는 어체를 매우 불안정하게 하므로 종묘생산 시 많은 주의가 필요할 것으로 생각된다. 또한 본 실험은 단지 72시간 내에서 소화효소의 활성을 조사하여 많은 부족함이 있으므로 차 후 더욱 장기간에 걸쳐 어체를 분석할 것과 세포의 중량 및 세포의 크기를 나타내는 지표로 이용되는 총단백질/DNA와 건조체중/DNA를 조사해볼 필요성이 있다.(박, 2002).

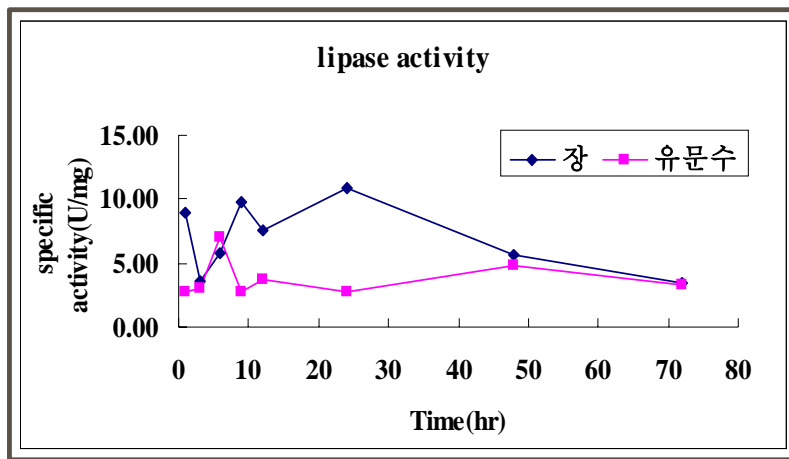


Fig. 3. 조피볼락 성어의 장과 유문수에서 먹이 급여 후 Lipase 활성의 시간에 따른 변화.

제 8 절 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 30주간 사육

1. 서론

해산양식에서 총 생산비의 50% 이상은 사료비용이며, 이런 높은 비율은 주요 사료원으로서 어분을 사용하기 때문이라고 보고하였다(Coyle, 2004). 넙치사료의 단가를 낮추기 위한 연구들이 이루어 지고 있다 (Kikuchi et al., 1997; Kikuchi, 1999; Choi et al., 2004). 넙치는 우리나라에서 가장 중요한 해산 양식 어종 가운데 하나이며, 특히 제주도의 양식장의 대부분이 넙치를 육상수조에서 양식을 하고 있다. 하지만 대부분의 제주도 넙치 양식은 생사료위주의 MP를 먹이로 공급하는 형태에서 벗어나지 못하고 있다. 이미 지적하였듯이 생사료 사용은 많은 문제점들이 잠재되어 있다. 이러한 문제들 중에 중요하게 고려되어야 할 것은 생사료위주의 MP 사용으로 인한 어병문제와 습사료 공급시 사료 유실로 인한 환경오염이다. 이런 문제들로 인해서 정부 차원에서도 양식장 배출수 환경기준을 강화시키는 등 생사료위주의 MP의 사용을 점차 줄여 나가는 노력이 이루어지고 있다. 배합사료는 이런 생사료위주의 MP의 문제점들을 보완할 수 있을 것이며, 양식어종의 요구량에 맞는 배합사료의 개발은 양식생산비를 상당량 감소시킬 수 있을 것이다.

본 연구에서는 현재 넙치를 대상으로 수행된 연구결과를 바탕으로 설계된 EP 실험배합사료와 생사료위주의 MP를 비교실험 하였으며, 장기간의 사육실험시 사료효율과 성장율을 비교함으로써 EP 실험배합사료의 사용 가능성을 타진하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 두 실험으로 나누어 실시하였다. 사료 공급실험은 제주대학교 해양과환경연구소(현장실험-1)와 제주도내 양식장인 대학수산(실험-2) 두 곳에서 수행되었으며, 두 실험에 사용된 4 가지 실험사료는 다음과 같다. 사료 1 = 대조구(MP 습사료), 사료 2 = EP 1, 사료 3 = EP 2, 사료 4 = 시판상품사료. 실험사료의 조성은 Table 1에 표시하였다.

Table 1. Ingredients and nutrient contents of experimental diets

	Diets			
	MP	EP1	EP2	CEP
Ingredients (%)				
Mackerel fish meal		57.0	24.0	
Tuna fish meal			10.0	
Anchovy fish meal			24.0	
Wheat gluten		4.0	4.0	
Soybean meal		4.0	4.0	
Corn gluten meal		3.0	2.0	
Krill meal		2.5	2.9	
Squid liver powder		3.0	4.0	
Fish oil		5.0	4.0	
Wheat flour		14.0	14.0	
Others		7.5	7.1	
Mackerel (raw fish)	95			
Binder meal	5			
Nutrient contents				
Dry matter (%)		90.7	93.8	90.0
Crude protein (%)		49.5	51.2	56.0
Crude lipid (%)		9.2	10.0	13.0
Ash (%)		11.2	12.3	6.9
Gross energy (kcal/g diet)		6.0	6.0	
Feed cost (won/kg) ¹		962	968	

¹ Cost of ingredients except for diet processing cost based on the price in 2004.

EP1, EP2: the extruded experimental feeds. MP : moist pellet.

CEP: a commercial feed. Composition of the commercial diet contained phosphorus, 1.01%; vitamin A, 10000 UI/kg; vitamin D3, 1750 UI/kg; vitamin E, 200 mg/kg; vitamin C, 250 mg/kg; ethoxyquine; copper, 3 mg/kg) that was made by LE GOUESSANT AQUACULTURE in France. Ingredient of CEP was fish meal, extruded soybean, wheat, wheat gluten, yeast, fish oil, corn gluten, rapeseed meal, minerals and vitamins,

먼저 제주대학교 해양과환경연구소(실험 1)에서는 총 4개의 4,000 L 수조에 각 실험구 당 평균체중이 241g 인 성장기 넙치 후기 치어를 각 수조마다 100마리씩 반복구 없이 배치하였다. 실험사료는 하루에 두번 08:00h 와 18:00h 경에 만복급여 하여 총 27주간에 걸쳐 사료공급 실험을 하였다. 두 종류의 실험용 EP 사료는 수협사료(주)에서 제조되어 제주도로 운반되어 사용하였으며, MP 습사료는 일주일에 1번씩 만들어 냉동보관 한 다음 매

일 사용하였다. 실험 1에서 사용된 시판 상품사료는 프랑스제 EP 사료를 사용하였으며, Table 1에 사료 조성표가 나와 있다. 용존 산소 유지와 원활한 사육수 순환을 위하여 에어스톤을 설치하였고 수온은 사육실험 기간동안 13°C 에서 27°C 범위로 계절변화에 따라 자연변동 하였다. 어류의 성장율은 매 8 주마다 각 실험수조에서 모든 어류의 무게를 측정하여 구하였다. 총 27주간의 성장실험 종료시 각 수조에서 모든 어체중을 측정하였고, 혈액 분석을 위하여 각 수조마다 5마리의 어류를 MS-222 용액으로 마취시킨 후 꼬리 미병부에서 혈액을 채취하였다.

실험 2는 대학수산에서 실시되었으며, 30주간의 사료공급 실험을 2 반복구를 두어 수행 하였고, 사료 공급과 실험어 관리가 대학수산 현지 직원들에 의하여 관리통제 되었다. 실험사료로는 실험 1에서와 마찬가지로 대조구인 MP 사료를 포함하여 EP1, EP2, 상품시판사료(Komax)를 사용하였다. 본 실험 2에서는 MP 사료를 제외한 모든 실험사료를 사료 공급 전날 공급량의 30% 가량의 물에 침지시켜 실험사료를 불린 다음 당일 사용하였다. EP실험에 사용된 어류의 최초 평균무게는 394 g이었으며, 총 8개의 시멘트 사각수조 (11.5m × 11.5m × 1m) 에 각 수조마다 2500 마리씩 수용되어 사육 되었다. 사육수는 지하해수와 자연해수를 섞어서 공급하였고, 실험 기간중 수온범위는 14°C 에서 22°C 범위였다. 사료공급은 아침 07:00h 와 오후 17:00h 하루 두 번 반복급여를 하였다. 어류의 성장율을 측정하기 위해서 매 4주마다 각 실험수조에서 무작위로 실험어 15~30 마리를 선별하여 2반복으로 측정하였다. 총 30주간의 성장실험 종료시 각 수조에서의 15 마리의 어류를 무작위 선별하여 무게를 측정하였고, 혈액 분석을 위하여 각 수조마다 5마리의 어류를 MS-222 용액으로 마취시킨후 꼬리 미병부에서 혈액을 채취하였다.

성장 및 혈액분석 결과는 SPSS (Version 12.0) 프로그램을 이용하여 One-way ANOVA 로 통계 분석되었다. 데이터 값의 유의차는 Duncan's multiple test (P 0.05)로 비교되었다. 데이터는 평균값 ± 표준편차(mean ± std)로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

제주대학교 해양과환경연구소에서 수행된 27주간의 사육실험 1의 결과, 반복구가 없어서 유의적인 차이를 낼 수는 없었지만 증중률과 사료계수에 있어서 EP2 실험구가 다른 실험구보다 더 좋은 결과를 보여주고 있다(Table 2). 이러한 경향은 첫 무게측정(8주째) 이후 전 실험기간 동안 유지되었으며, 두 가지 EP 사료구의 비교에서는 EP2 사료가 EP1 사료보다 우수하다는 것이 전 실험기간 동안 증명되었다. 또한 상품시판사료와 비교하여서도 실험용 EP2 사료가 성장률 및 사료효율에서 우수하였음이 증명되었다. 생존율에서는 실험구 사이에서 아주 큰 차이를 나타내고 있는데, 이는 사료에 의한 영향이라고 보기

는 어려우며, 약제 디스크 병리 시험결과 사료공급 실험 18주째 연쇄구균의 발병에 의해서 다수의 실험어류가 폐사하였기 때문이다. 어병 발병 기간 동안에는 사료를 하루 한번 공급하면서 7일간에 걸쳐 매일 옥시테트라사이클린으로 약육하였다. 또한 이러한 약육처리로 효과가 없어서 그 후 어병 치료를 위하여 감수성 시험을 통해 선정된 경구용 어병 치료제인 독시사이클린(녹십자수의약품주식회사)을 사용하였다. 독시사이클린을 경구투여하기 위해서, 70% 에틸알콜에 녹여 실험 사료에 분무한 후 24h 동안 상온에서 선풍기로 건조시킨 후 5일 동안 실험어류에게 경구투여 하였고, 10일간의 휴약 기간을 갖은 후 다시 3일분을 경구 공급하였다. 독시신의 일일 공급량은 각 수조내 총 어체중 당 200ppm의 독시사이클린을 공급하도록 경구투여용 사료를 제조 하였다. 실험 1에서의 혈액분석 결과에서는 반복구가 없어서 유의적인 차이를 나타낼수 없지만, Hematocrit과 Hemoglobin 결과(Table 4)로 판단 했을 때 EP2 사료를 섭취한실험구가 다른 실험구 보다 높은 결과 값을 보여 주었다.

Table 2. Growth performance of flounder fed different experimental diets for 27 weeks (Exp-1)

Diets	Moisture pellet	EP1	EP2	Commercial diet
Initial body weight (g/fish)	240.9	244.2	243.6	236.2
Final body weight (g/fish)	521.8	556.1	607.1	545.9
Feed conversion ratio ¹	1.77	1.52	1.18	1.35
Feed intake (DM g/fish) ²	497.9	474.0	428.3	417.6
Weight gain (%) ³	116.6	127.7	149.2	131.1
Survival (%)	71	22	89	68

¹ FCR = Mean dry feed consumed (g)/Mean wet weight gain

² FI (DM g/fish) = Mean dry feed consumed (g)/fish

³ WG (%) = 100 x (final mean body weight - initial mean body weight)/initial mean body weight

제주도내 현지 양식장인 대학수산에서 수행된 실험 2에서는, 30주 동안 사료 공급 실험을 수행 하였고 실험 종료시 실험어의 성장률을 비교해 본 결과 최종평균체중에서 상업사료가 MP 와 EP1 실험구보다 유의적으로 높은 값을 보였으나, Table 3에서 보여지는 바와 같이 증중율의 결과에서는 모든 실험구에서 아무런 유의차이를 나타내지 않았다.

이런 결과는 실험을 시작할 때 각 실험구마다 실험어의 평균 체중이 동일하지 않았기 때문인 것으로 사료된다. 사육실험 20주까지는 실험 1에서 보인 결과와 마찬가지로 EP2 실험사료구에서 다른 실험구와 비교하여 우수한 성장률을 보였지만, 대학수산에서도 질병문제로 약 1달간 실험사료의 공급을 중단하고 전량 MP와 EP2로 전환하여 사육함으로써 체중변화 경향이 달라진 것으로 판단된다. 실험 2에서의 혈액분석 결과, 모든 실험구에서 Hematocrit과 Hemoglobin 농도에서 아무런 유의차를 나타내지 않았다(Table 5).

실험 1에서는 어병 발병에 의해 실험어의 사료 섭취율에 많은 영향을 받았고, 실험 2에서는 실험 중간에 실험어류의 일부를 비 실험수조로 옮긴 것이 실험 결과의 일관성을 흐리게 하였지만, 이러한 원인들을 제거한 결과로만 판단한다면,

Table 3. Growth performance of flounder fed different experimental diets for 30 weeks (Exp-2) ¹

Diets	Moisture pellet	EP1	EP2	Commercial diet
Initial body weight (g/fish)	385±7.1	400±0.0	390±0.0	400±0.0
Final body weight (g/fish)	1000±35.4 ^a	992.5±16.3 ^a	1021.5±3.5 ^{ab}	1085.5±40.3 ^b
Weight gain (%) ²	159.9±13.96	148.1±4.07	161.9±0.91	171.4±10.08

¹Values having different superscripts in the same row are significantly different (P<0.05).

² WG (%) = 100 x (final mean body weight - initial mean body weight)/initial mean body weight.

Mean body wt of flounder fed EP1, EP2, CEP and MP

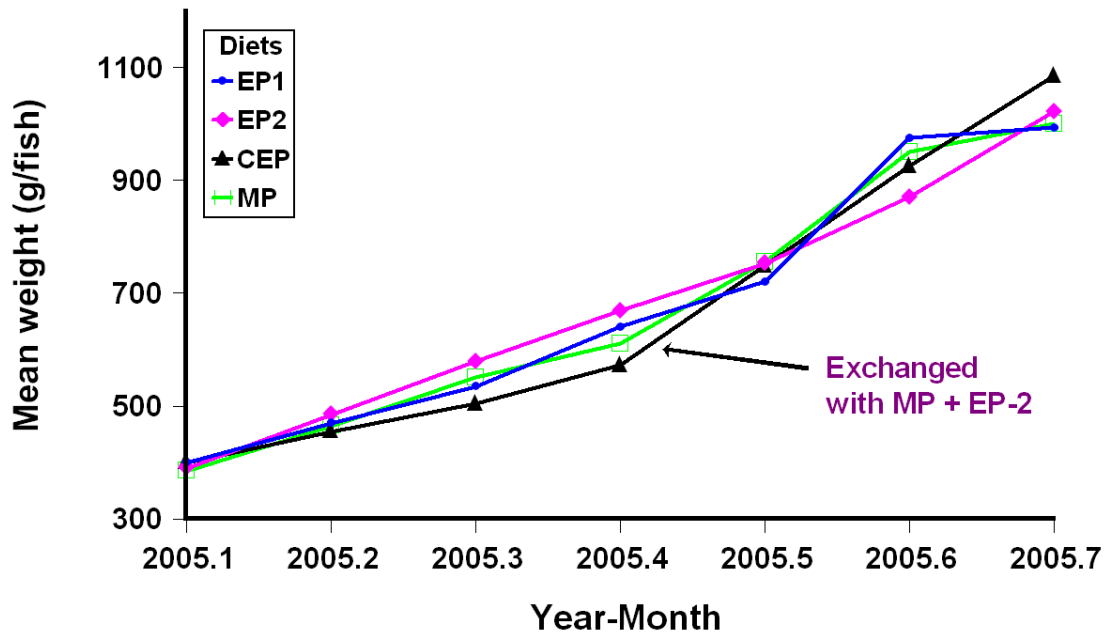


Table 4. Blood parameters of flounder fed different experimental diets for 27 weeks (Exp-1)

Diets	Moisture pellet	EP1	EP2	Commercial diet
Hematocrits (Ht %)	38.8±7.7	40.2±11.8	50.2±3.7	38.0±1.7
Hemoglobin (Hb g/dL)	5.15±1.64	6.24±1.19	7.45±0.67	4.56±0.33

Values are presented as mean±std.

Table 5. Blood parameters of flounder fed different experimental diets for 30 weeks (Exp-2)

Diets	Moisture pellet	EP1	EP2	Commercial diet
Hematocrits (Ht %)	31.2±5.37	33.8±1.13	35.3±6.93	35.9±4.67
Hemoglobin (Hb g/dL)	5.00±0.40	4.93±0.44	5.33±0.14	5.37±0.04

Values are presented as mean±std. No significant differences ($P<0.05$) were observed among treatment.

실험-1에서는 어병 발병에 의해 실험어의 사료 섭취율에 많은 영향을 받았고, 실험 2에서는 실험 중간에 실험어류의 일부를 비 실험수조로 옮긴 것이 실험 결과에 다소 영향을 미치긴 하였겠지만, 이러한 원인들을 제거한 결과로만 판단한다면, 각각 27주와 30주 동안 수행된 두 실험결과, 실험용 EP 사료가 MP 사료를 대체할 수 있을 것으로 예상됨으로써 2008년도부터 시행될 생사료 사용금지에 따른 MP 사료를 대체할 우수한 배합사료가 제조, 판매되어 질 것으로 사료된다.

제 9 절 넙치 및 조피볼락 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 8개월간 사육

1. 서론

앞 연구에서 이미 넙치 양식용으로 사용되고 있는 생사료위주의 MP를 EP로 대체할 수 있음을 증명하였다. 하지만, 일부 실험에서, 예를 들면 제주도 넙치 현장에서 사육실험을 실시하는 중에 질병 발생문제, 그리고 실험어 측정 문제(현장의 실험어 전체를 측정할 수 없었기 때문에 무작위로 샘플 측정 한 것 등) 등이 다소 잠재되어 있어 이러한 문제가 실제 성장 결과에 영향을 미쳤는지를 확인할 필요가 있다.

이미 수행된 결과들을 바탕으로, 앞 연구들에 이어서 본 연구는 우리나라의 주요 양식해산어종인 넙치 및 조피볼락 육성용 먹이로 양식현장에서 많이 사용하고 있는 생사료를 배합사료로 대체하기 위하여 부상배합사료와 생사료의 사육효과를 비교하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

<실험 1> 넙치 EP 비교평가 실험

실험사료

실험사료는 넙치의 영양소 요구량(Lee et al., 2000; 2002; Kim et al., 2002; Kim and Lee, 2004)을 고려하여 각 원료의 혼합비를 달리하여 사료를 설계한 후, 사료회사에 의뢰하여 제조한 6종류의 부상 배합사료 (EP1, EP2, EP3, EP4, EP5, EP6), 상업용 시판 넙치배합사료(EP7) 및 생사료로 총 8종류를 준비하였으며, 생사료는 매일 아침에 냉동 잡어와 분말사료를 95:5의 무게비율로 혼합하여 성형, 제조한 후 -30°C 에 냉동 보관하면서 먹이 급여시마다 사용하였다. 실험에 사용된 배합사료 및 생사료의 조성 및 영양성분을 Table 1에 나타내었으며, 실험사료의 지방산 분석결과를 Table 2에 나타내었다.

실험어 및 사육관리

실험어는 경북 포항소재 양식장에서 2004년 11월에 구입, 운반하여 양식사료연구센터의 8톤 콘크리트 수조에 200마리씩 수용하면서 2달 동안 실험환경에 적응을 시켰다. 적응기간 동안 실험어에는 1일 2회 상업용 넙치 부상사료를 공급해 주었다. 사육실험은 총 16개의 8톤 콘크리트 수조를 이용하였으며, 예비 사육하던 실험어 중 외형적으로 건강한

넙치(평균 체중: 329g)를 무작위로 추출하여 각 수조에 150 마리씩 각 사료별 2반복으로 재수용한 후, 1주일에 6일 동안 매일 2회 (0900, 1700) 사료를 실험어가 먹을 때까지 공급하며 8개월간 실시하였다. 어체측정은 실험 개시시와 종료시 측정 전일 실험어를 절식시킨 후, 각 실험수조에 수용된 실험어의 전체무게를 측정하였다. 각 수조의 사육수는 환수율이 1일 16회전 정도가 되도록 조절하여 주수하였으며, aeration을 시켜주었다. 매일 오후 1시에 사육수의 60~70% 정도를 환수하였으며, 죽은 개체를 제거하여 주었다. 사육기간 동안의 수온은 9~26℃ 범위였으며, 평균수온은 15.0±4.3℃였다.

Table 1. Ingredients and nutrient contents of experimental diets

	Diets							
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EP6	EP7	MP
Ingredients (%)								
Mackerel fish meal	57.0	24.0	57.0	47.0	46.2	52.0		
Tuna fish meal		10.0						
Anchovy fish meal		24.0						
Wheat gluten	4.0	4.0	4.0	6.0	2.5	2.0		
Soybean meal	4.0	4.0	4.0	6.2	5.0	7.0		
Corn gluten meal	3.0	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0		
Krill meal	2.5	2.9	2.0	3.0	5.0	5.0		
Squid liver powder	3.0	4.0	2.0	5.0	3.0	2.5		
Fish oil	5.0	4.0	9.2	5.0	10.0	5.0		
Wheat flour	14.0	14.0	14.0	14.5	16.0	14.6		
Others	7.5	7.1	5.8	10.3	9.3	9.9		
Mackerel (raw fish)								95
Binder meal								5
Nutrient contents								
Dry matter (%)	90.7	93.8	94.6	94.0	93.9	95.4	91.7	28.4
Crude protein (%)	49.5	51.2	50.0	49.7	51.0	51.6	49.9	17.6
Crude lipid (%)	9.2	10.0	13.7	12.6	13.2	12.3	8.9	5.6
Ash (%)	11.2	12.3	10.5	12.1	10.5	10.7	10.1	2.9
Gross energy (kcal/g diet)	6.0	6.0	6.2	6.0	6.2	6.2	6.0	-
Feed cost (won/kg) ¹	962	968	970	927	978	974		

EP1, EP2, EP3, EP4, EP5, EP6 : the extruded experimental feeds.

EP7 : a commercial flounder feed produced in Korea.

MP : moist pellet.

¹ Cost of ingredients except for diet processing cost based on the price in 2004.

Table 2. The fatty acid composition of experimental diet

	Diets							
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EP6	EP7	MP
<i>Fatty acids (% of total fatty acids)</i>								
8:0	0.4	0.0	0.8	0.9	0.8	0.7	0.9	2.5
12:0	0.3	0.3	-	0.1	-	-	0.2	1.0
14:0	3.0	2.4	2.4	2.5	2.2	2.2	2.4	3.8
14:1n	0.3	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	0.2	0.6
15:0	0.3	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.6
15:1n	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4
16:0	17.0	19.2	19.2	18.8	18.4	17.9	19.3	17.6
16:1n	4.7	3.7	4.4	4.0	4.0	3.7	4.8	7.2
17:0	0.6	0.7	0.7	0.7	0.4	0.5	0.5	1.0
17:1n	1.0	0.7	0.9	0.7	0.3	0.7	0.7	0.7
18:0	0.4	0.2	1.2	0.4	0.4	0.3	0.5	0.7
18:1n	19.3	19.3	16.8	20.3	20.5	20.6	22.8	16.0
18:2n-6	8.4	9.5	12.6	9.1	12.6	12.1	10.1	1.7
18:3n-3	1.1	1.1	1.5	1.2	1.3	1.5	1.3	1.2
18:4n-3	1.0	0.7	0.9	1.0	0.7	0.9	1.1	1.7
20:1n-9	2.3	2.3	3.7	2.8	3.5	3.5	2.7	1.6
20:3n-3	1.7	1.5	1.4	1.5	1.4	1.2	1.3	-
20:4n-6	1.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.9
20:5n-3	11.2	8.3	8.1	9.6	7.9	7.3	9.1	10.7
22:1n-9	1.0	1.1	1.1	1.0	0.7	1.4	0.7	4.6
22:2n-6	1.3	6.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.9	1.6
22:4n-6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.3	2.6
22:5n-3	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.5	2.3	5.0
22:6n-3	16.1	16.3	18.5	20.2	19.6	18.4	16.3	14.6
24:0	1.8	2.6	2.1	0.6	1.4	3.2	0.6	1.7
n-3HUFA ¹	30.8	27.7	29.7	33.0	30.4	28.5	29.0	30.3

¹Highly unsaturated fatty acid (C_{>20})

시료채취 및 성분분석

실험종료시 각 실험수조에서 10마리를 시료로 취하여 비만도와 간중량지수 측정 및 성분분석을 위하여 냉동보관(-25℃)하였다. 실험사료 및 어체의 일반 성분은 AOAC

(1990)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (VAP500T/TT125, Gerhard)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550℃의 회화로에서 4 시간 동안 태운 후 측정하였다. 사료의 총에너지량은 열량분석기(Parr-1356, USA)를 사용하여 분석하였다. 실험사료의 지방산 분석을 위하여 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 메탄올과 클로로포름 혼합액으로 지질을 추출하였고, 14% BF₃-methanol (Sigma, USA)로 지방산을 methylation 시킨 후, capillary column (HP-INNOWax, 30m × 0.32mm × 0.5μm, USA)이 장착된 gas chromatography로 분석하였다. 표준 지방산으로 12:0, 14:0, 14:1, 16:1n-7, 18:0, 18:1n-9, 18:2n-6, 18:3n-3, 20:0, 20:1n-9, 20:2n-6, 20:3n-3, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:0, 22:1n-9, 22:2n-6, 22:3n-3, 22:4n-6, 22:5n-3, 22:6n-3 및 24:0 (Sigma, USA)을 사용하였다. Carrier gas는 helium (30 ml/min)을 사용하였으며, oven 온도는 170℃에서 225℃까지 1℃/min 증가시켰고, injector의 온도는 250℃, detector (FID) 온도는 270℃로 설정하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

<실험 2> 조피볼락 EP 비교평가 실험

실험사료

실험사료는 앞의 넙치 사육실험 (실험 1)에 사용된 EP 중에서 4종류의 부상 배합사료 (EP1, EP2, EP5, EP6)를 사용하였다.

실험어 및 사육관리

실험어는 경북 포항소재 양식장에서 2004년 11월에 구입, 운반하여 양식사료연구센터의 8톤 콘크리트 수조에 수용하면서 2달 동안 실험환경에 적응을 시켰다. 적응기간 동안 실험어에는 1일 2회 상업용 조피볼락 부상사료를 공급해 주었다. 사육실험은 총 8개의 8톤 콘크리트 수조를 이용하였으며, 예비 사육하던 실험어 중 외형적으로 건강한 조피볼락 성장어(평균체중: 112 g)를 무작위로 추출하여 각 수조에 150 마리씩 재수용한 후, 각 사료별 2반복으로 1주일에 6일 동안 매일 2회 (0900, 1700) 사료를 실험어가 먹을 때까지 공급하며 8개월간 실시하였다. 어체측정은 실험 개시시와 종료시 측정 전일 실험어를 절식시킨 후, 각 실험수조에 수용된 실험어의 전체무게를 측정하였다. 매일 오후 1시에 사육수의 60~70%를 환수시켜주었다. 사육기간 동안의 수온은 9~26℃ 범위였으며, 평균수온은 15.0±4.3℃였다. 각 수조는 유수식으로 환수시키면서 aeration을 시켜주었으며, 환수

량은 1일 15-16회 회전되게 조절하였고 각 수조에서 죽은 개체는 매일 제거하여 주었다.

시료채취 및 성분분석

실험종료시 각 실험수조에서 10마리를 시료로 취하여 비만도와 간중량지수 측정 및 성분분석을 위하여 냉동보관(-25℃)하였다. 실험사료 및 어체의 일반 성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (VAP500T/TT125, Gerhard)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550℃의 회화로에서 4 시간 동안 태운 후 측정하였다. 사료의 총에너지량은 열량분석기(Parr-1356, USA)를 사용하여 분석하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

<실험 1> 넙치 EP 비교평가 실험

최초 평균체중 329 g의 성어기 넙치를 어분과 어유함량 및 각 원료함량을 달리한 배합사료들과 생사료로 8개월간 사육 실험한 성장결과를 Table 3에 나타내었다. 사육기간 동안의 생존율은 63~78% 범위였으며, 각 실험구들간에 유의한 차이를 보였다. 최종체중은 EP1 실험구가 680 g으로 EP2, EP7 및 MP 실험구들(547~568 g)보다 유의하게 높았지만(P<0.05), EP3, EP4, EP5 및 EP6 실험구들(600~638 g)과는 유의한 차이가 없었다. 증체량 역시 EP1 실험구가 342 g으로 EP2, EP7 및 MP 실험구들(224~239 g) 보다는 유의하게 높았지만(P<0.05), EP3, EP4, EP5 및 EP6 실험구들(271~307 g)과는 유의한 차이가 없었다. 이와 같이 EP사료를 공급한 실험구들이 MP 실험구와 비교하여 좋은 성장을 보인 결과를 고려하여 볼 때, 넙치의 육성용 먹이로써 EP의 MP 대체 가능성을 암시하고 있다. 그리고 30 g 전후의 넙치를 양식장 현장에서 1년간 사육 실험한 결과, EP와 MP 실험구간에 유의한 차이를 보이지 않아 본 연구 결과와 일치하였다(unpublished data, Kim et al., 2005). 사료효율은 EP1 실험구가 85%로 생사료, EP2 및 EP7 실험구들(47~64%)보다는 유의하게 높았지만(P<0.05), EP3, EP4, EP5 및 EP6 실험구들(69~72%)과는 유의한 차이가 없었다. 이와 같이 EP 실험구에 비하여 MP 실험구의 낮은 사료효율은 이미 기존의 연구

들에서도 보고된 바 있으며(Cho et al., 2005), 이는 MP의 경우 사육수조에서 사료를 섭취하는 동안 수중으로 유실되는 양이 EP사료에 비하여 많기 때문인 것으로 판단된다. 단백질효율은 배합사료 실험구들이 MP 실험구 보다 높았으며(P<0.05), 배합사료 실험구들간의 경우 EP1 실험구가 EP2 및 EP7 실험구들 보다는 유의하게 높았지만(P<0.05), EP3, EP4, EP5 및 EP6 실험구들과는 차이가 없었다.

Table 3. Growth and feed utilization of flounder fed the extruded pellets and moist pellet for 8 months

	Diets								Pooled SEM
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EP6	EP7	MP	
Initial weight (g/fish)	338	323	330	328	329	330	329	327	2.1
Survival (%)	72 ^{abc}	66 ^{bc}	66 ^{bc}	63 ^c	76 ^{ab}	64 ^c	70 ^{abc}	78 ^a	1.6
Final weight (g/fish)	680 ^a	547 ^c	600 ^{abc}	615 ^{abc}	600 ^{abc}	638 ^{ab}	568 ^{bc}	567 ^{bc}	12.1
Weight gain (g/fish)	342 ^a	224 ^b	271 ^{ab}	286 ^{ab}	271 ^{ab}	307 ^{ab}	239 ^b	239 ^b	11.3
Feed efficiency (%) ¹	85 ^a	64 ^{bc}	70 ^{ab}	69 ^{ab}	71 ^{ab}	72 ^{ab}	64 ^{bc}	47 ^c	2.9
Protein efficiency ratio ²	1.56 ^a	1.17 ^b	1.31 ^{ab}	1.30 ^{ab}	1.30 ^{ab}	1.34 ^{ab}	1.16 ^b	0.76 ^c	0.06

Values (mean of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

¹ Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

² Fish wet weight gain × 100/protein intake.

사육실험 종료 후, 사료섭취량, 비만도 및 간중량지수 결과를 Table 4에 나타내었다. 총사료공급량(kg/tank)은 MP 실험구가 배합사료 실험구들에 비해서 유의하게 높았지만(P<0.05), 배합사료 실험구들간에는 차이가 없었다. 일일사료섭취율(%/체중)도 MP 실험구가 0.62로 배합사료 실험구들의 0.42~0.47에 비하여 유의하게 높았으며, EP2 실험구는 EP1 실험구 보다 유의하게 높았다(P<0.05). 비만도는 EP5 실험구가 1.16으로 가장 높았으나, EP6(1.04)을 제외한 타 실험구들과는 유의한 차이가 없었다. 간중량지수는 1.16~1.82 범위였으며, EP4 및 EP5 실험구가 타실험구들에 비해 높은 결과를 보였다.

Table 4. Feed intake, condition factor and hepatosomatic index of flounder fed the extruded pellets and moist pellet for 8 months

	Diets								Pooled SEM
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EP6	EP7	MP	
Feed supply (kg/tank)	44.2 ^b	41.3 ^b	41.4 ^b	43.0 ^b	42.1 ^b	42.2 ^b	41.0 ^b	55.3 ^a	1.2
Daily feed intake ¹	0.42 ^c	0.47 ^b	0.45 ^{bc}	0.46 ^{bc}	0.45 ^{bc}	0.44 ^{bc}	0.46 ^{bc}	0.62 ^a	0.01
Condition factor ²	1.14 ^{ab}	1.13 ^{ab}	1.15 ^{ab}	1.06 ^{ab}	1.16 ^a	1.04 ^b	1.10 ^{ab}	1.12 ^{ab}	0.01
Hepatosomatic index ³	1.31 ^c	1.31 ^c	1.44 ^{bc}	1.82 ^a	1.79 ^{ab}	1.38 ^c	1.16 ^c	1.17 ^c	0.07

Values (mean of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

¹ Feed intake (dry matter) \times 100/ [(initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.)/2 \times days fed] .

² (Fish weight/total length³) \times 100.

³ (Liver weight \times 100)/body weight.

사육실험 종료 후, 실험어의 등근육, 간 및 전어체의 일반성분 분석 결과를 Table 5-7에 각각 나타내었다. 등근육의 수분, 단백질 및 지질 함량은 모든 실험구간에 차이를 보이지 않았다. 간의 수분 및 지질 함량 역시 실험구들간에 유의한 차이가 없었으나, 단백질 함량은 MP 실험구가 EP1, EP4, EP5, EP6 실험구들 보다 높았다(P<0.05). 전어체의 경우, 수분, 단백질 및 지질 함량은 실험사료에 영향을 받지 않았으나, 회분함량은 실험구간에 유의한 차이를 보였다(P<0.05). 하지만, Lee and Kim (2005)은 치어기 넙치의 경우 사료의 지질함량이 증가함에 따라서 전어체 및 간과 내장 조직의 지질축적량이 증가하였다고 보고하여 어체크기에 따른 차이를 보였다.

Table 5. Proximate composition (%) of dorsal muscle in flounder at the end of the feeding trial

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid
EP1	74.7±0.64	22.0±0.24	0.6±0.20
EP2	75.3±1.47	21.5±0.98	0.6±0.11
EP3	75.1±0.22	22.2±0.34	0.3±0.05
EP4	74.3±0.35	22.0±0.76	0.4±0.12
EP5	74.7±0.16	22.8±0.08	0.4±0.18
EP6	74.8±0.63	22.2±0.23	0.6±0.19
EP7	74.7±0.25	22.5±0.26	0.4±0.00
MP	75.9±0.53	21.7±0.02	0.5±0.16

Values are mean ± SE of three replications.

Table 6. Proximate composition (%) of liver in flounder at the end of the feeding trial

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid
EP1	62.0±2.22	9.7±0.33 ^b	21.7±4.03
EP2	65.8±4.63	11.5±0.49 ^{ab}	15.1±1.99
EP3	62.4±0.56	10.3±0.11 ^b	21.7±1.26
EP4	58.7±5.24	9.6±1.26 ^b	20.3±6.69
EP5	57.0±2.14	9.5±0.72 ^b	23.8±2.59
EP6	57.4±1.48	9.5±0.19 ^b	24.8±1.36
EP7	65.5±1.31	10.2±0.60 ^{ab}	16.5±1.75
MP	61.6±0.52	13.2±2.05 ^a	19.3±0.91

Values (mean ± SE of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 7. Proximate composition (%) of whole body in flounder at the end of the feeding trial

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
EP1	71.0±1.58	19.7±0.40	3.1±1.34	3.7±0.34 ^{bc}
EP2	72.6±0.12	19.1±0.83	2.2±1.10	3.0±0.25 ^d
EP3	71.7±1.26	19.5±0.31	2.1±0.38	3.2±0.14 ^{cd}
EP4	70.1±1.38	19.0±0.06	3.1±1.10	4.5±0.03 ^a
EP5	72.0±0.12	19.4±0.20	2.6±1.45	3.0±0.15 ^d
EP6	72.1±1.12	19.0±1.22	2.2±0.48	4.4±0.12 ^a
EP7	70.7±1.93	20.0±0.45	2.3±0.56	4.2±0.25 ^{ab}
MP	72.8±0.72	19.6±0.03	2.5±0.93	3.6±0.14 ^{bcd}

Values (mean ± SE of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

<실험 2> 조피볼락 EP 비교평가 실험

최초 평균체중 112 g의 육성기 조피볼락을 어분과 어유함량 및 각 원료함량을 달리한 4종류의 배합사료로 8개월간 사육실험한 성장결과를 Table 8에 나타내었다. 사육기간 동안 EP2와 EP6의 실험구들에서 1마리씩의 폐사어가 발생하였으며, 타 실험구들은 100%의 생존율을 보였다. 최종체중은 각 실험구에서 210~218 g이었으며, 증체량은 99~105g으로 실험구들간에 유의한 차이가 없었다. 조피볼락은 딱딱한 형태의 건조사료도 잘 받아먹는 것으로 이미 알려져 있으며(Lee and Jeon, 1996), 본 연구에서도 EP를 공급한 모든 실험구에서 높은 생존율 및 성장을 보였다. 사료효율은 59~61%였으며, 모든 실험구들간에 통계적인 차이가 없었다. 단백질 효율도 모든 실험구들간에 유의한 차이가 없었다.

사료실험 종료 후, 실험어의 사료공급량, 비만도 및 간중량지수를 Table 9에 나타내었다. 총사료공급량(kg/tank)은 23.8~24.7 범위였으며 실험구들간에 유의한 차이는 없었고, 일일사료섭취율 역시 모든 실험구들간에 통계적인 차이가 없었다. 비만도는 1.54~1.80범위였으며, EP1, EP2 및 EP6 실험구들이 EP5 실험구 보다 유의하게 높았다. 간중량지수는 2.33~2.75였으며, 모든 실험구들간에 통계적인 차이가 없었다.

Table 8. Growth and feed utilization of growing rockfish fed the extruded pellets 8 months

	Diets			
	EP1	EP2	EP5	EP6
Initial weight (g/fish)	112±1.0	115±2.5	111±0.0	110±1.5
Survival (%)	100±0.0	100±0.4	100±0.0	100±0.4
Final weight (g/fish)	218±6.5	216±3.0	210±3.5	210±1.5
Weight gain (g/fish)	105±5.7	101±5.2	99±3.9	100±2.9
Feed efficiency (%) ¹	61±1.1	59±2.8	60±2.1	60±2.4
Protein efficiency ratio ²	1.11±0.020	1.08±0.050	1.10±0.039	1.11±0.044

Values are mean±SEM of three replications.

¹ Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

² Fish wet weight gain × 100/protein intake.

Table 9. Feed intake, condition factor and hepatosomatic index of growing rockfish fed the extruded pellets for 8 months

	Diet			
	EP1	EP2	EP5	EP6
Feed supply (kg/tank)	24.7±0.2	24.2±0.8	23.9±0.6	23.8±0.2
Daily feed intake ¹	0.43±0.001	0.42±0.010	0.43±0.004	0.42±0.002
Condition factor ²	1.80±0.035 ^a	1.76±0.050 ^a	1.54±0.025 ^b	1.77±0.015 ^a
Hepatosomatic index ³	2.55±0.195	2.31±0.255	2.75±0.265	2.33±0.030

Values (mean ± SEM of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

¹ Feed intake (dry matter) × 100/ [(initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.)/2 × days fed] .

² (Fish weight/total length³) × 100.

³ (Liver weight × 100)/body weight.

사육실험 종료 후, 실험어의 등근육, 간 및 전어체의 일반성분 분석 결과를 Table 10-12에 각각 나타내었다. 등근육의 수분 및 단백질 함량은 실험구간에 차이를 보이지 않았지만, 지질 함량은 EP2 실험구가 EP6 실험구보다 유의하게 높았다(P<0.05). 간과 전어

체의 경우 수분, 단백질, 지질 및 회분 함량 모두 실험구들간에 유의한 차이가 없었다.

Table 10. Proximate composition (%) of dorsal muscle in rockfish at the end of the feeding trial

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid
EP1	75.2±0.35	21.9±0.57	1.5±0.60 ^{ab}
EP2	76.0±0.38	21.7±0.27	1.9±0.08 ^a
EP5	75.5±0.15	21.1±0.14	0.9±0.12 ^{ab}
EP6	76.3±0.45	21.3±0.53	0.2±0.10 ^b

Values (mean ± SE of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 11. Proximate composition (%) of liver in rockfish at the end of the feeding trial

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid
EP1	49.5±0.01	9.4±0.31	24.2±1.93
EP2	51.0±3.29	8.9±0.38	22.7±1.11
EP5	52.3±0.36	9.2±0.96	20.8±1.91
EP6	51.7±2.15	9.5±0.23	21.5±0.27

Values are mean±SEM of three replications.

Table 12. Proximate composition (%) of whole body in rockfish at the end of the feeding trial

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
EP1	64.7±1.23	18.2±0.44	10.5±0.13	5.1±0.93
EP2	64.4±0.78	18.3±0.09	11.2±0.64	5.1±0.71
EP5	64.6±0.46	17.8±0.23	11.5±0.79	4.9±0.12
EP6	64.0±0.47	17.6±0.14	11.8±0.56	3.9±0.15

Values are mean±SEM of three replications.

제 10 장 사료 공급 체계에 관한 연구

어류 양식에 있어 사료공급체계는 사료효율 및 어류 성장에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 요소이다. 사료공급체계 중 적절한 사료 공급률은 어류의 성장과 사료효율을 향상시킬 뿐 아니라 사료의 과잉공급으로 인해 발생하는 수질오염원을 줄일 수 있다고 보고되었다. 이러한 사료 공급률은 양식장의 환경, 사료종류 및 양어가들의 경험 등에 따라 달라질 수 있는데, 양식어에게 적정 사료 섭취량 이상 또는 이하의 공급은 사료효율이 낮아지거나 성장이 저하되어 결국은 양식 생산 단가를 상승시키는 불이익이 초래되므로 대상어종의 적정 사료 공급률을 조사하는 것은 매우 중요하다. 또한, 대상 양식 어종에 적합한 사료개발과 영양소 요구량이 구명되었다 하더라도 그 사료를 보다 효율적으로 공급하지 못하면 양식 생산 단가가 높아질 뿐만 아니라 어류의 성장과 어체 품질에 영향을 미칠 수 있다. 과잉으로 사료를 어류에게 공급하는 것은 어체내 에너지 대사의 효율성을 저하시킬 뿐 아니라 사료유실로 인한 경제적 손실과 수질오염원이 증가될 수 있다. 반대로 사료를 부족하게 공급하는 것은 어류의 성장을 지연시키므로 대상어류의 소화능력 등을 고려하여 최적 성장에 필요한 양만큼의 영양소를 공급하여 사료에 소요되는 비용을 최소화시켜야 한다. 그래서 본 연구에서는 적정 사료 공급에 대해 조사하였다.

제 1 절 낱치 배합사료의 사료물성 평가 및 물성에 따른 사료 공급 횟수

1. 서론

실용 배합 사료의 물성이나 가공 형태는 제조 공정, 사료 가격, 유통, 수질 오염 등에 영향을 미치는 중요한 요인으로 어종마다 선호하는 사료의 형태나 물성이 다를 수 있으며, 이러한 사료의 물성 또는 가공 형태는 각각 장단점을 가지고 있는데, 현재 양어가들이 선호하고 있는 생사료나 생사료와 분말 사료를 혼합한 형태의 moist pellet (MP)는 성장도에 비하여 가공, 유통, 취급, 보관 등 많은 문제점이 있다. 가두리나 육상수조 양식에서는 사료 유실을 줄이고 소화율을 높이기 위하여 부상 사료(EP, expansion or extruded pellet)를 기능적으로 사용하기도 한다. EP는 전분을 α 화시켜 소화율을 높이는 대신 사료 가공 단가가 높아질 뿐 아니라 사료 제조시 고온과 고압으로 인하여 사료내의 영양소가 파괴되어 사료효율이 낮아지는 단점이 있다. 반면에 물속으로 침강하는 dry pellet (DP) 사료는 EP가 가진 장점은 없으나 가공 단가가 낮고 가공시에 영양소 파괴가 비교적 적은

장점이 있다. 우리 나라의 해산어 양식의 경우, 딱딱한 DP보다는 수분 함량이 높은 사료가 더 기호성이 높은 것으로 알려져 대부분 생사료 위주의 MP 사료가 사용되고 있기 때문에 양식대상종에 보다 적합한 배합 사료의 개발과 품질개선이 시급한 실정이다. 조피 불락용 사료의 물성에 따른 성장차이를 구명하기 위하여, 사료를 각각 EP (extruded pellet, 부상사료), SP (slow sinking pellet, 반부상사료), DP (simple dry pellet, 침강사료)와 MP (moist pellet, 습사료) 형태의 배합 사료를 제조하여 사육 실험한 결과, 사료 물성에 따른 최종평균체중, 증체율, 사료효율, 사료섭취율, 단백질효율, 간중량비, 내장중량비 및 어체의 영양성분은 전혀 차이가 없는 것으로 나타났다. 이어서 본 사업에서는 넙치를 대상으로 사료 물성별 그 이용성을 조사함과 동시에 적정 사료 공급횟수를 조사하였다.

실험 1. 사료물성 평가

실험 2. 사료 물성에 따른 사료 공급 횟수

2. 재료 및 방법

<실험 1> 사료물성 평가

실험사료 설계 및 제조

사료의 물성이 넙치의 성장과 체조성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 EP (사료1, 2), DP (사료 3) 및 MP (사료 4) 형태의 4종류의 침강사료와 1종류의 부상사료(사료5)를 설계하였다. 사료1과 2는 원료사료를 혼합 분쇄하여 extruder로 성형한 후 각각 120℃ 및 상온에서 건조하였으며, 사료 3는 MP제조기로 압출 성형한 후 상온에서 건조하였으며, 사료 4는 MP제조기로 압출 성형한 후 건조하지 않았으며, 사료 5는 extruder로 성형한 후 건조기에서 건조하여 제조하였다. 모든 실험사료는 단백질과 지질 함량이 각각 50% 및 10% 전후로 거의 비슷한 수준이었다(Table 1).

실험어 및 사육관리

실험어는 넙치 치어를 1000 L 원형수조에 수용하여 2주간 MP사료로 예비 사육한 후, 평균체중 11.0 g 전후의 실험어를 선별하여 각 수조(300 L)에 실험사료별로 30마리씩 3반복으로 수용하여 사육실험 하였다. 실험사료는 1일 2회(07:00, 17:00) 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져주었으며, 사육수는 여과해수를 각 실험수조마다 분당 7 L로 조정하여 흘러주었으며, 사육기간 동안의 수온은 20.3±2.67℃였고, 염분도는 34.50.73%였다. 사육실험 개시시와 종료시 각 실험수조에 수용된 실험어 전체의 무게를 측정하였다.

Table 1. Nutrient contents of the experimental diets.

Diet types	EP sinking-A	EP sinking-B	DP sinking	MP sinking	EP floating
Extruding	Yes	Yes	No	No	Yes
Dry temperature	Dry oven (120°C)	Room temp.	Room temp.	No	Dry oven (120°C)
Dry matter (%)	96.2	86.0	87.1	64.7	89.1
Crude protein (% DM)	50.2	50.2	52.1	52.4	51.6
Crude lipid (% DM)	10.6	11.4	9.2	9.1	8.5
Ash (% DM)	12.2	12.1	13.2	13.1	12.0

- 실험 사료 1 (EP 침강-A): 원료사료를 혼합 분쇄 → extruder에서 extruded pellet (EP) → 건조기 (120°C)에서 건조 → vitamin C와 oil coating
- 실험 사료 2 (EP 침강-B): 원료사료를 혼합 분쇄 → extruder에서 extruded pellet (EP) → vitamin C와 oil coating → 상온에서 건조
- 실험 사료 3 (DP 침강): 원료사료를 혼합 분쇄 + vitamin C와 oil 첨가 → simple pellet 기에서 사료 압출성형 → 상온에서 건조
- 실험 사료 4 (MP 침강): 원료사료를 혼합 분쇄 + vitamin C와 oil 첨가 → simple pellet 기에서 사료 압출성형 → 습사료형태로 냉동보관
- 실험 사료 5 (EP floating): 원료사료를 혼합 분쇄 → extruder에서 extruded pellet (EP) → 건조기에서 건조 → vitamin C와 oil coating

<실험 2> 사료 물성에 따른 사료 공급 횟수

실험사료 설계 및 제조

양식어에게 사료를 과잉으로 공급하는 것은 어체내 에너지 대사의 효율성을 저하시킬 뿐 아니라 사료유실로 인한 경제적 손실과 수질오염원이 증가될 수 있다. 반대로 사료를 부족하게 공급하는 것은 어류의 성장을 지연시키므로 대상어류의 소화능력 등을 고려하여 최적 성장에 필요한 양만큼의 영양소를 공급하여 사료에 소요되는 비용을 최소화시켜야 한다. 사료의 영양소 이용률은 어종, 사료의 품질, 사료 공급량, 사료 공급 횟수 및 사육환경 등에 따라 달라질 수 있다고 판단된다. 또한, 사료 조성시 사료의 물성이나 크기 등이 대상 어종에 적합하여야 하며, 물 속에서의 안정성 및 침강속도를 적절히 조절하여 섭취된 사료가 허실되지 않고 최대한 이용될 수 있도록 고려하여야 한다. 이러한 일련의 과정이 수행된 후 개발된 사료의 이용성과 크기별, 수온별에 따른 먹이 공급 체제를 경제성 분석과 함께 최종 검토하여야 할 것이다. 하지만 넙치를 양식하고 있는 대부분의 양어가들은 생사료를 혼합한 습사료를 사용하고 있다. 그리고 각 사료의 공급체계가 양어가마다 다른 것이 현실이다. 그래서 본 연구는 사료 물성에 따른 적정 사료 공급 횟수에 대

하여 그 효과를 조사함으로써 사료의 과잉공급으로 인한 사료유실을 줄여 양식생산에 소요되는 사료비를 절감하고, 수중오염원을 줄이는 방안을 제시하고자 수행되었다. 사료의 제조 물성과 공급횟수에 따른 효과를 factorial design으로 조사하였다. 사료 물성은 위 실험 1의 실험사료 4 (MP 침강), 실험사료 3 (DP 침강) 및 실험사료 5 (EP floating)를 대상 (Table 2)으로 각 실험 사료마다 사료 공급 횟수를 각각 1일 3회(08:00, 12:00, 17:00), 1일 2회(08:00, 17:00), 1일 1회(08:00), 2일 1회 및 절식구로 설정하였다.

Table 2. Ingredient and nutrient contents of the experimental diets

Ingredients (%)	Diets		
	MP	DP	EP
Brown fish meal (Chile)		50.0	
White fish meal (Russia)		7.0	
Anchovy meal (Korea)		5.0	
Wheat gluten		2.5	
Meat meal		5.0	
Soybean meal		5.0	
Corn gluten meal		1.0	
Wheat flour		17.0	
Fish oil		2.5	
Others		5.0	
Proximate analysis (% dry matter basis)			
Dry matter (%)	64.7	87.1	89.1
Crude protein (% DM)	52.4	52.1	51.6
Crude lipid (% DM)	9.1	9.2	8.5
Ash (% DM)	13.1	13.2	12.0

실험어 및 사육관리

종묘 생산된 넙치 치어를 구입하여 대형 FRP 수조에 수용하여 예비사육하다가 실험용으로 중간 크기의 건강한 어체를 각 실험수조 (300ℓ 원형수조)마다 150마리씩 선별하여 임의로 수용한 후 상품사료로 10일간 급여하였다. 이렇게 사료와 수조에 순치시킨 후, 각 실험수조별로 30마리씩 다시 선별, 수용하여 평균체중 11.1 g의 넙치를 대상으로 본 사육실험을 실시하였다. 실험은 7주간 각 실험사료마다 각각 3반복으로 사육 실험하였다. 사료를 공급할 때마다 만복에 가깝도록 사료를 급여하였으며, 사육수로 여과된 해수를 각 수조마다 7ℓ/min씩 각각 공급하였다. 사육기간 중의 수온은 20.3±2.61℃, 비중은 1.026±0.0007, 염분은 34.5±0.73‰이었다.

원료, 실험사료 및 생체의 영양성분 분석은 앞 실험과 동일하게 실시하였으며, 결과의

통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 SPSS (SPSS Inc., 1997) program을 사용하여 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

<실험 1> 사료물성 평가

실험 종료후 생존율 (89-100%)은 모든 사료구에서 사료 종류에 영향을 받지 않았다. Table 3와 Fig. 1에 표시하였듯이 증중율은 EP 침강 사료가 낮았고, EP floating 사료가 가장 높았으나 DP 침강 및 MP 침강 사료와는 차이가 없었다. 사료효율 (feed efficiency) 및 단백질 효율 (protein efficiency ratio)은 EP floating 사료가 가장 높았고, MP 침강 사료가 가장 낮았으며, EP 침강 사료와 DP 침강 사료는 서로 차이를 보이지 않았다. 일일사료섭취율은 DP 및 MP 침강 사료가 높은 경향을 보였다.

Table 3. Growth performance of flounder fed diets with the different type.

Diet types	EP sinking-A	EP sinking-B	DP sinking	MP sinking	EP floating
Initial mean weight (g)	11.1±0.03	11.1±0.36	11.0±0.16	11.5±0.35	11.2±0.34
Survival (%)	95.7±4.67	99.0±2.00	100.0±4.04	89.0±4.93	92.0±4.93
Weight gain (g/fish)	31.5±1.01 ^a	32.0±1.25 ^a	35.6±1.84 ^{ab}	36.5±1.36 ^{ab}	38.0±2.46 ^b
Weight gain (%)	283±8.2 ^a	288±3.5 ^a	322±14.6 ^{ab}	320±16.0 ^{ab}	340±19.9 ^b
Feed efficiency ¹	131±2.8 ^{ab}	128±35.6 ^{ab}	125±1.4 ^{ab}	122±2.36 ^a	133±3.4 ^b
Daily feed intake ²	1.81±0.045 ^a	1.88±0.078 ^{ab}	2.00±0.028 ^b	2.00±0.032 ^b	1.89±0.053 ^{ab}
Daily protein intake ²	0.91±0.023 ^a	0.94±0.039 ^a	1.04±0.015 ^b	1.05±0.017 ^b	0.97±0.027 ^{ab}
Protein efficiency ratio ³	2.61±0.055 ^b	2.56±0.112 ^b	2.41±0.028 ^{ab}	2.32±0.043 ^a	2.59±0.066 ^b

Values (mean of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

¹ Fish wet weight gain 100/feed intake (dry matter).

² Feed intake (dry matter) × 100/[(initial fish wt.+ final fish wt.+ dead fish wt.) × days fed/2].

³ Fish wet weight gain 100/protein intake.

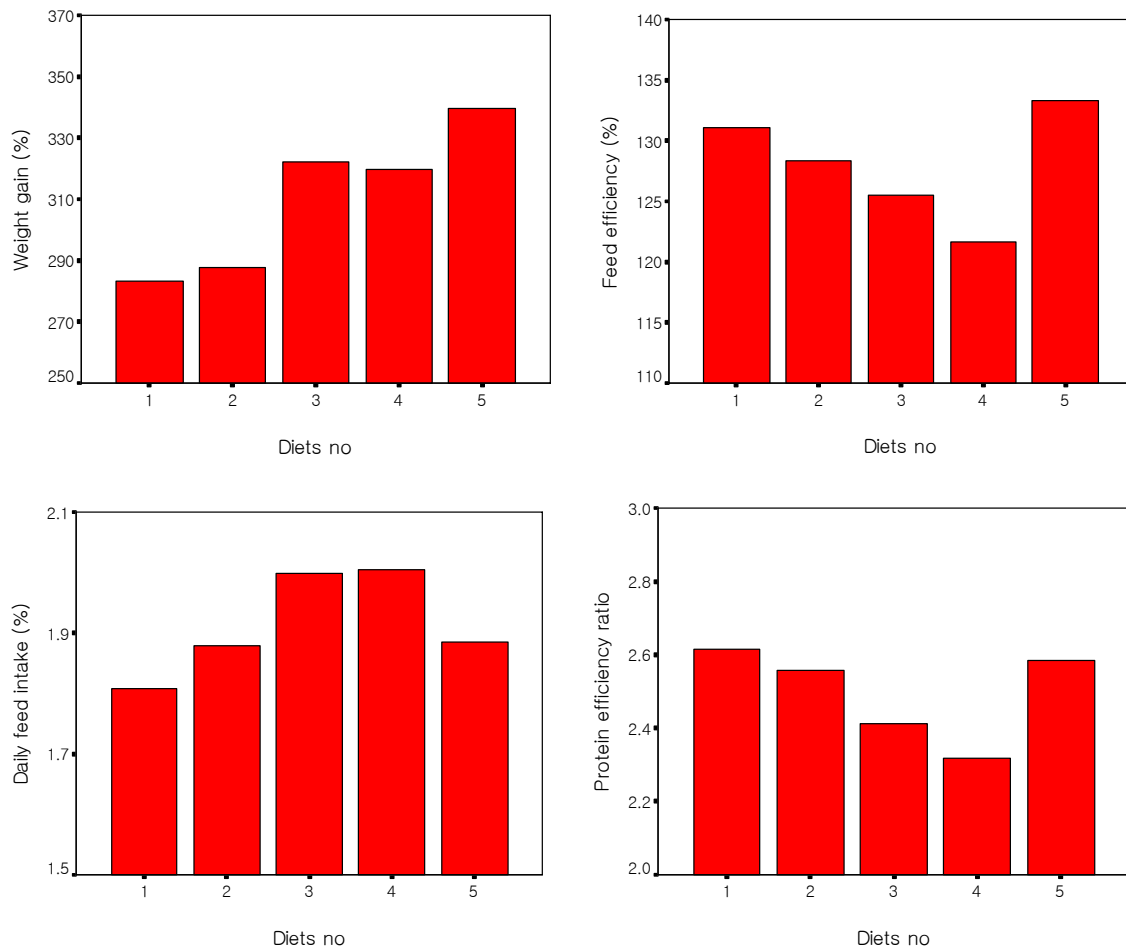


Fig. 1. Growth performance of flounder fed different diet types for 7 weeks. (Diets - 1: EP sinking-A, 2: EP sinking-B, 3: DP sinking, 4: MP sinking, 5: EP floating)

Table 4에 표시한 바와 같이 전어체의 수분함량은 EP 침강사료 공급구들이 낮았으며, 단백질 함량은 EP 침강-B 실험구가 가장 높았다. 지질 함량은 MP 실험구가 가장 낮았다. 회분 함량은 실험구간에 차이를 보이지 않았다.

Table 4. Proximate analysis of whole body in flounder fed diets with the different type

Diet types	EP sinking-A	EP sinking-B	DP sinking	MP sinking	EP floating
Moisture (%)	73.4±0.23 ^{ab}	72.4±0.44 ^a	73.9±0.25 ^b	74.4±0.22 ^b	74.2±0.46 ^b
Crude protein (%)	17.7±0.21 ^a	18.6±0.31 ^b	17.7±0.24 ^a	17.6±0.27 ^a	17.7±0.32 ^a
Crude lipid (%)	3.0±0.70 ^b	3.8±0.61 ^b	2.8±0.45 ^b	1.1±0.22 ^a	2.7±0.29 ^b
Ash (%)	3.7±0.09	3.7±0.05	3.8±0.07	3.8±0.17	3.7±0.07

Values (mean of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

이와 같이 사료의 물성에 따라 성장 및 영양소 이용성이 달라지는 것은 차후 사료 개발 방향 및 어류 양식 기술 개발에 중요한 자료가 될 것으로 판단된다.

<실험 2> 사료 물성에 따른 사료 공급 횟수

실험 종료 후 생존율은 89-100% 범위로 사료의 물성과 공급횟수 모두에 영향을 받지 않았다. 먼저 사료 물성별 평균을 비교하였을 때, Fig. 2에 표시하였듯이 증중율, 사료효율 및 단백질효율의 평균값은 MP (1), DP (2), EP (3) 순으로 EP 사료가 가장 높았다.

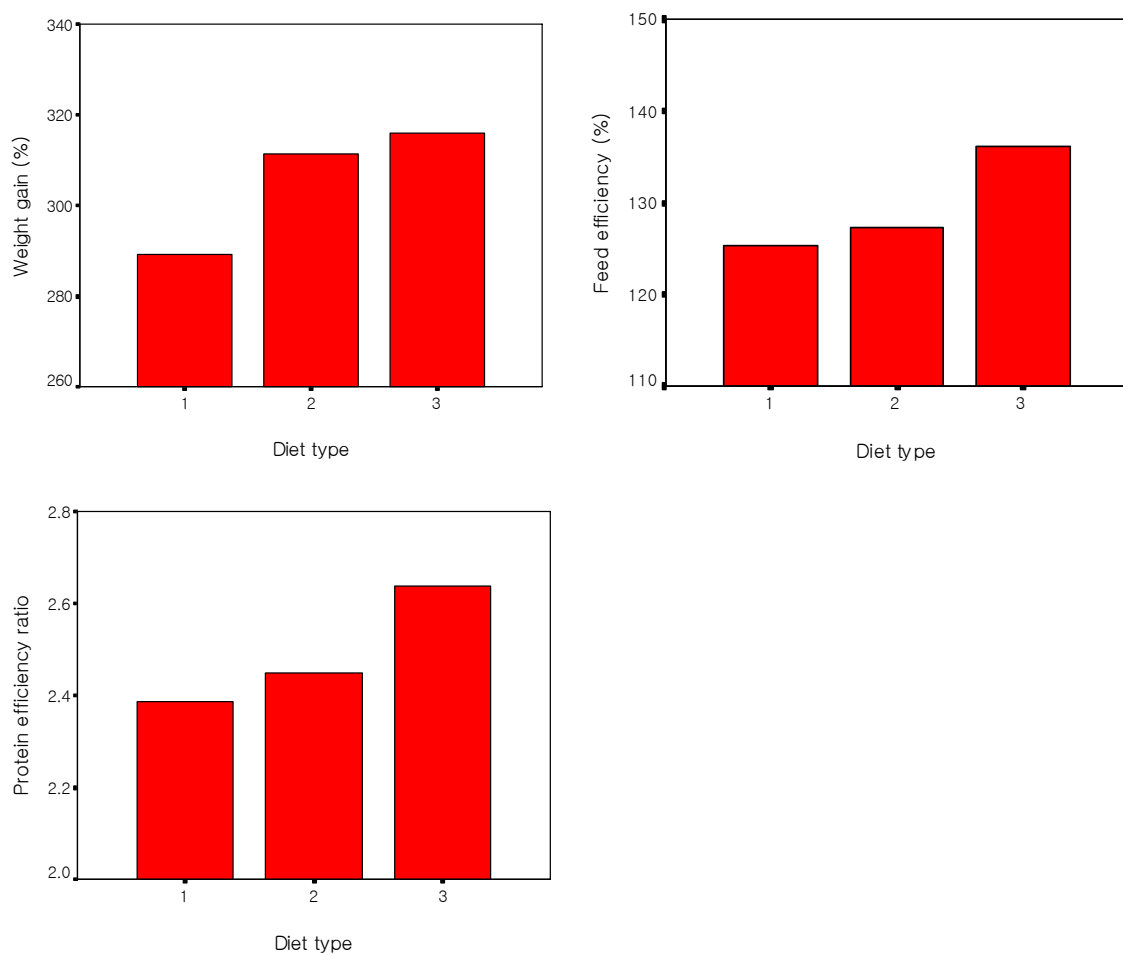


Fig. 2. Growth performance of flounder fed the moist pellet (MP, diet 1), sinking dry pellet (DP, diet 2) and floating extruded pellet (EP, diet 3) for 7 weeks.

사료 공급횟수별 평균을 비교하면, Fig. 3에 표시하였듯이 증중율 평균은 사료 공급횟

수가 2일 1회 (0.5), 1일 1회 (1.0), 1일 2회 (2.0), 1일 3회 (3.0)로 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 반면에 사료효율 및 단백질효율은 사료공급횟수가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다.

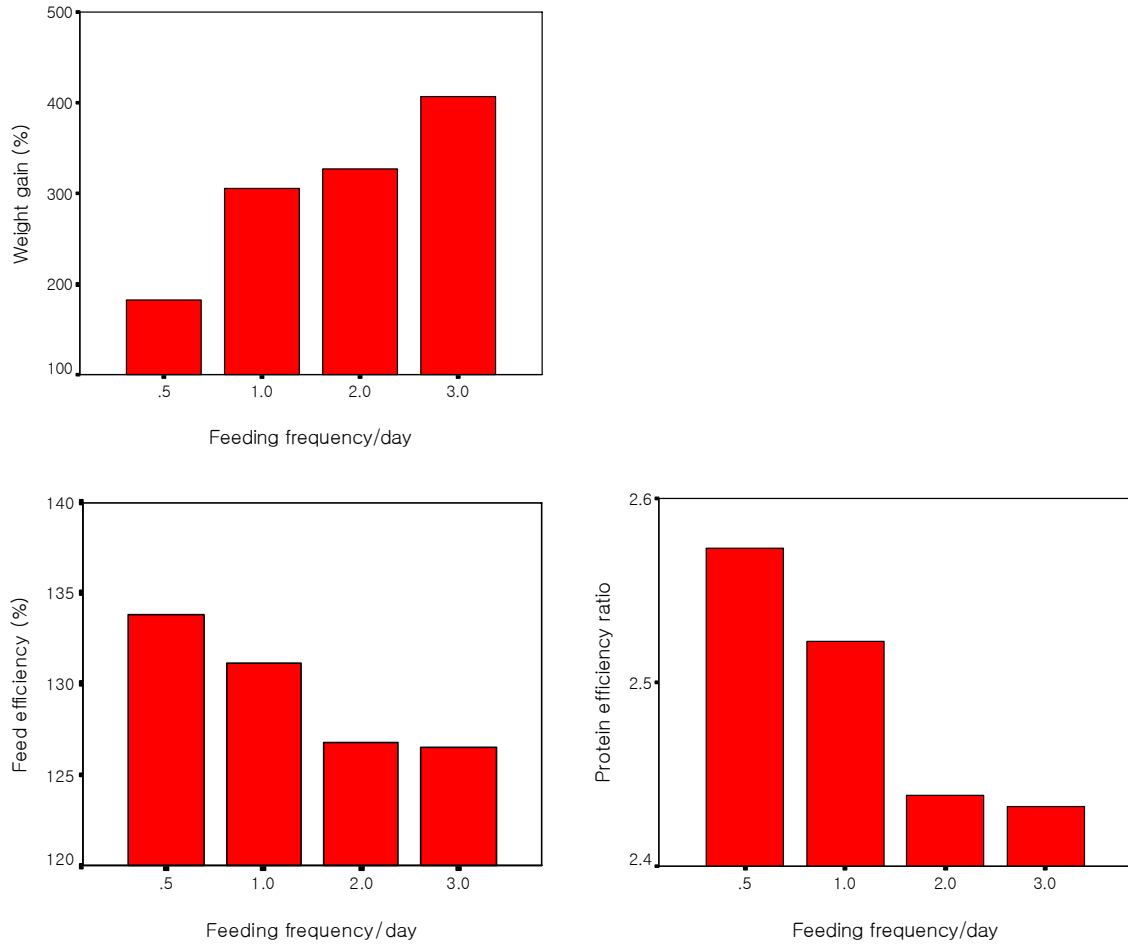


Fig. 3. Growth performance of flounder fed different diet type with different feeding frequency for 7 weeks. (one meal every 2 days: 0.5, one meal a day: 1.0, two meals a day: 2.0, three meals a day: 3.0).

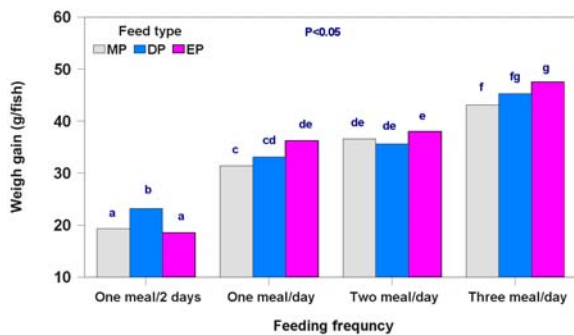
사료 물성에 따른 사료공급횟수별 성장효과를 Table 5와 6 및 Figs에 표시하였다. 각 사료 물성별로도 사료공급 횟수가 증가할수록 증중율 및 일일사료섭취율은 증가하였고, 사료효율 및 단백질효율은 감소하는 경향을 나타내었다.

Table. 5 Growth and feed efficiency of flounder fed different diet type with different feeding frequency for 7 weeks. Values (mean±SE of three replications) in each column with different letters are significantly different (P<0.05)

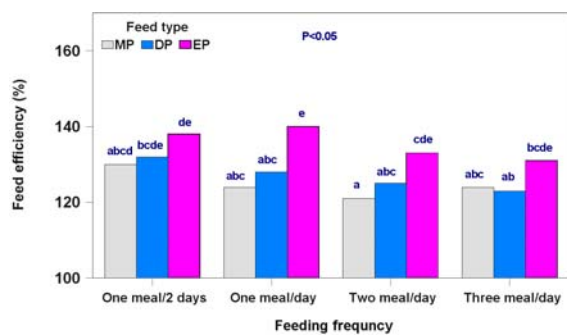
Feed type	Feeding frequency	IMW (g)	MWG (g/fish)	FE (%)	Survival (%)
MP	One meal/2 days	11.4±0.34	19.3±0.37a	130±3.3abcd	100.0±0.00b
	One meal/day	11.1±0.45	31.4±0.94c	124±1.3abc	95.7±1.33ab
	Two meals/day	11.5±0.35	36.6±1.36de	121±2.3a	89.0±4.93a
	Three meals/day	11.3±0.36	43.1±0.63f	124±0.4abc	97.0±0.00 ab
DP	One meal/2 days	11.6±0.37	23.2±0.85b	132±2.3bcde	94.3±1.33 ab
	One meal/day	1±0.9±0.26	33.1±0.26cd	128±1.7abc	99.0±1.00b
	Two meals/day	11.0±0.16	35.6±1.84de	125±1.4abc	97.7±2.33 ab
	Three meals/day	1±0.9±0.49	45.3±0.47fg	123±2.4ab	94.3±1.33 ab
EP	One meal/2 days	10.6±0.52	18.5±1.82a	138±7.2de	100.0±0.00b
	One meal/day	11.1±0.50	36.2±0.72de	140±1.7e	96.7±2.03 ab
	Two meals/day	11.2±0.34	38.0±2.46e	133±3.4cde	92.0±4.93 ab
	Three meals/day	11.3±0.08	47.5±1.70g	131±2.0bcde	94.7±3.93 ab

Two-way ANOVA

Feed type	P<0.05	P<0.001	P<0.9
Feeding frequency	P<0.001	P<0.05	P<0.2
Interaction	P<0.06	P<0.7	P<0.2



Mean weight gain of flounder (initial wt. 11.1 g) fed the various feed types at different frequencies for 7 weeks. Two-way ANOVA: feed type, P<0.05; feeding frequency, P<0.001.



Feed efficiency of flounder (initial wt. 11.1 g) fed the various feed types at different frequencies for 7 weeks. Two-way ANOVA: feed type, P<0.001; feeding frequency, P<0.05.

Table 6. Feed intake and protein efficiency ratio of flounder fed different diet type with different feeding frequency for 7 weeks. Values (mean±SE of three replications) in each column with different letters are significantly different (P<0.05)

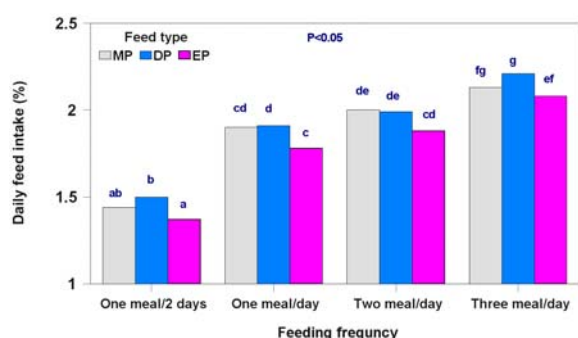
Feed type	Feeding frequency	DFI	DPI	PER1
MP	One meal/2 days	1.44±0.020ab	0.75±0.010ab	2.49±0.032abc
	One meal/day	1.90±0.034cd	1.00±0.018de	2.36±0.024ab
	Two meals/day	2.00±0.032de	1.05±0.016ef	2.31±0.043a
	Three meals/day	2.13±0.022fg	1.12±0.011gh	2.37±0.008ab
DP	One meal/2 days	1.50±0.041b	0.78±0.021b	2.54±0.043bcd
	One meal/day	1.91±0.033d	0.99±0.017de	2.46±0.032abc
	Two meals/day	1.99±0.028de	1.03±0.014ef	2.41±0.027abc
	Three meals/day	2.21±0.070g	1.15±0.036h	2.37±0.045ab
EP	One meal/2 days	1.37±0.024a	0.70±0.012a	2.68±0.139de
	One meal/day	1.78±0.027c	0.92±0.013c	2.73±0.033e
	Two meals/day	1.88±0.052cd	0.97±0.027cd	2.58±0.065cde
	Three meals/day	2.08±0.058ef	1.07±0.029fg	2.55±0.038bcd

Two-way ANOVA

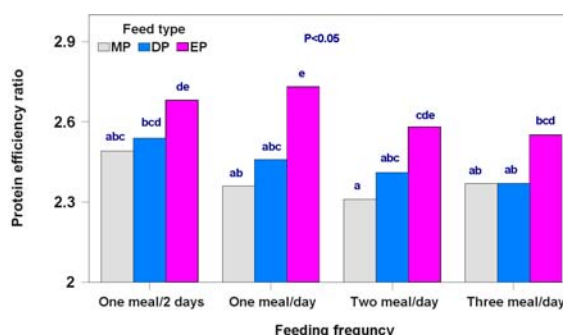
Feed type	P<0.001	P<0.001	P<0.001
Feeding frequency	P<0.001	P<0.001	P<0.05
Interaction	P<0.9	P<0.9	P<0.7

Values (mean of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

1 Weight gain of fish × 100 / protein intake.



Daily feed intake of flounder (initial wt. 11.1 g) fed the various feed types at different frequencies for 7 weeks. Two-way ANOVA: feed type, P<0.001; feeding frequency, P<0.001.



PER of flounder (initial wt. 11.1 g) fed the various feed types at different frequencies for 7 weeks. Two-way ANOVA: feed type, P<0.001; feeding frequency, P<0.05.

Table 7와 Fig에 표시한 바와 같이 전어체의 수분 및 회분 함량을 사료물성에 관계없이 사료공급횟수가 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 절식구의 이들 수치는 매우 높았다. 반면에 지질함량은 각 사료물성에서 사료공급횟수가 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 절식구에서는 낮았다.

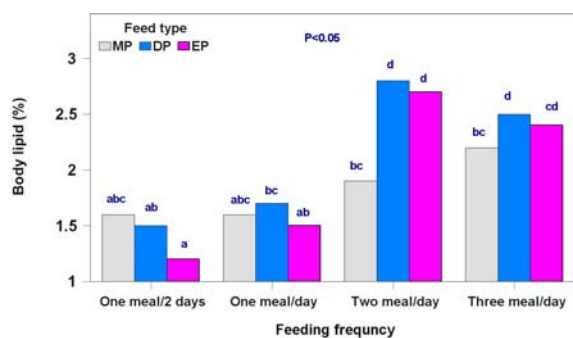
Table 7. Proximate analysis of flounder fed different diet type with different feeding frequency 7 weeks. Values (mean±SE of three replications) in each column with different letters are significantly different (P<0.05)

Feed type	Feeding frequency	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Ash (%)
MP	One meal/2 days	75.6±0.68d	18.3±0.19bc	1.6±0.40abcd	4.0±0.23ab
	One meal/day	74.1±0.43ab	19.0±0.26c	1.6±0.45abcd	3.8±0.09ab
	Two meals/day	74.3±0.21abc	17.6±0.26b	1.9±0.22bcd	3.8±0.16ab
	Three meals/day	74.0±0.32ab	19.1±0.41c	2.2±0.18bcd	3.9±0.16ab
DP	One meal/2 days	74.7±0.38bcd	18.4±0.25bc	1.5±0.15abc	4.1±0.10b
	One meal/day	74.0±0.16ab	18.7±0.16c	1.7±0.18bcd	3.8±0.08ab
	Two meals/day	73.8±0.25ab	17.7±0.23b	2.8±0.44e	3.8±0.06ab
	Three meals/day	73.3±0.28a	18.9±0.14c	2.5±0.06e	3.8±0.04ab
EP	One meal/2 days	75.3±0.18cd	18.2±0.28bc	1.2±0.09ab	4.1±0.08b
	One meal/day	74.0±0.24ab	18.7±0.20c	1.5±0.33abc	3.6±0.06a
	Two meals/day	74.1±0.46ab	17.7±0.32b	2.7±0.29e	3.7±0.07ab
	Three meals/day	73.3±0.30a	18.9±0.08c	2.4±0.21de	3.6±0.11a
	Starvation	80.9±0.40e	14.6±0.56a	0.7±0.09a	4.6±0.10c

Two-way ANOVA

Feed type	P<0.2	P<0.9	P<0.08	P<0.3
Feeding frequency	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.05
Interaction	P<0.9	P<0.9	P<0.05	P<0.9

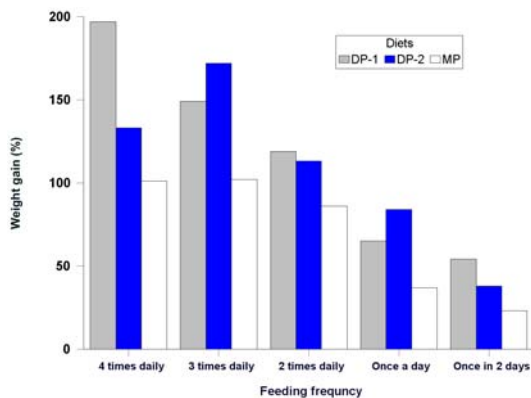
Values (mean of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).



Whole body lipid of flounder (initial wt. 11.1 g) fed the various feed types at different frequencies for 7 weeks. Two-way ANOVA: feed type, P<0.08; feeding frequency, P<0.001.

현재 우리나라에서 넙치는 육상 수조에서 주로 양식되고 있으므로 이에 적합한 형태의 사료를 개발하는 것이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 육상수조의 형태, 수심, 환수율이나 유속 등의 사육조건을 고려하여 사육환경에 적합한 사료의 형태나 침강 속도 등이 정해져야 할 것이다. 본 실험 결과에서 사료 가공방법 또는 물성이나 침강 조건이 넙치의 성장, 영양소 이용효율, 사료 섭취율 및 체성분에 영향을 미치는 것으로 나타나, 이러한 결과들을 참고로 사료선정에 주의가 필요하다고 판단된다. 전반적으로 DP보다는 EP 형태의 사료가 넙치에는 적합한 것으로 판단된다. 해상 가두리 양식의 경우, 예를 들어, 바람이 심하거나 유속이 빠른 가두리 양식장에서 물에 뜨는 EP 형태의 사료를 급여하는 것은 곤란하기 때문에 이런 경우에는 오히려 물 속으로 빨리 침강하는 형태가 더 적합할 것으로 생각된다. 또한 육상수조 양식장에서는 빠른 속도로 침강하는 것보다는 서서히 침강하는 형태나 물에 뜨는 EP 형태의 사료를 급여하는 것이 어류에게 사료를 충분히 섭취할 수 있는 기회를 주기 때문에 더 효율적일 수 있을 것으로 판단된다.

어류의 크기 등에 대한 고려도 있어야 하는데, 어린 넙치의 경우는 부상보다는 침강 형태의 사료가 양호한 것으로 알려져 있으며, 이미 넙치를 대상으로 발표된 자료(Lee et al., 1999)를 요약해보면 다음과 같다. 넙치 치어(평균체중 1.6 g)의 적정 사료 공급 횟수를 조사하여 경제적이고 수질오염원을 줄이기 위한 먹이 공급 체계를 제시하기 위해 수행되었다. 양어가들이 주로 사용하고 있는 건조 pellet 형태의 상품사료와 습사료(moist pellet, MP)를 제조하여 각 실험수조(50 l)에 40마리씩 3 (diet)×5 (feeding regimen)×3 (replication) factorial design으로 수용하여 사육 실험하였다. 사료 공급은 1일 4회(06:00, 10:00, 14:00, 18:00), 1일 3회(06:00, 12:00, 18:00), 1일 2회(06:00, 18:00), 1일 1회(06:00) 및 2일 1회(09:00)로 설정하였다. 3 종류의 실험사료로 넙치 치어를 30일간 사육 실험한 결과, 모든 사료에서 공급 횟수가 낮아질수록 일일사료섭취량은 감소하였으며($P < 0.05$), 아래 그림에 표시하였듯이 증체율은 각 공급구에서 MP보다 DP 사료가 성적이 좋았으며, 사료 종류에 따라 1일 3회 또는 1일 4회 공급이 적합하였다.



사료의 형태는 각각 장단점을 가지고 있는데, 양어가들이 선호하는 생사료나 생사료와 분말 사료를 혼합한 형태의 MP는 가공, 유통, 취급, 보관 등 많은 문제점이 있다. EP와 SP 사료는 extrusion 과정을 거치므로 전분이 α 화되어 어중에 따라 소화율이 높아질 수 있을 뿐 아니라 점결력이 좋아져서 사료 유실을 줄일 수 있지만, 대신 사료 가공 단가가 높아지고, 사료 제조시 고온과 고압으로 사료의 영양소가 파괴되어 사료효율이 낮아지는 단점이 있다. Takeuchi et al.(1990)은 무지개송어와 잉어에 EP 사료를 급여하였을 때 성장이나 사료효율이 높아진다고 보고하였으나, 조피볼락(Lee et al., 1997)에는 성장이나 영양소 이용률이 개선되지 않아 어중에 따른 차이를 보였다. 사료 제조 과정에서 사료의 탄수화물의 함량이나 성상이 어류의 사료 이용효율을 변화시키기도 하는데, 조피볼락의 경우 탄수화물의 종류에 영향을 받지 않았고 α 전분보다는 β 전분이나 α 와 β 전분을 혼합하는 것이 양호한 것으로 나타났으며(정 등, 1995), extrusion시킨 대두박이나 옥수수의 첨가효과도 없었다(이 등, 1996c). 낱치의 경우(Lee et al., 2003), dextrin 첨가구가 양호하였으며, 낮은 탄수화물 함량보다는 다소 높은 탄수화물이 함유된 사료가 좋은 성적을 거두었다. 이처럼 어중에 따른 차이는 탄수화물의 이용성 차이 때문으로 생각되며, 육식성 어류의 탄수화물 소화율은 잡식성인 담수어보다 훨씬 낮은 것으로 보고되어 있다.

사육조건이나 먹이 급여방법에 따라서 사료형태가 어류의 성장에 영향을 미칠 가능성도 무시할 수 없다. 본 실험은 육상수조에 낱치를 수용하여 사료를 반복에 가깝도록 손으로 주의 깊게 던져 주었지만, 실제 양식장에서는 본 실험에서처럼 사료를 정확히 반복으로 급여하는 것이 다소 어렵기 때문에 이에 대한 고려가 있어야 할 것이다. 사료의 수분 함량에 따라 대상 양식어류가 먹은 실제 건물량이 달라지며, 사료 가공방법이나 배합된 원료에 따라 침강속도가 달라지므로 이러한 요인들을 고려하여 사료 공급시 사료의 품질과 함께 물성에 따른 추가적인 고려가 필요하다고 생각된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 개발된 사료에 대하여 어체크기별, 수온별, 사료의 물성이나 형태별로 먹이 급여체계를 확립하는 것이 중요하다. 배합사료의 급여체계가 어체 크기별, 수온별로 확립되면 적정 먹이량을 미리 준비하여 효율적으로 사료를 급여할 수 있어 여러 가지 문제점들을 해결할 수 있을 것으로 전망된다. 즉, 사료효율을 극대화시켜 양식생산에 대한 사료 원가를 절감하고, 수중으로 사료 유실을 줄임으로서 수질 오염원을 감소시킬 수 있을 뿐 아니라 항상 일정한 품질의 사료를 안정적으로 공급함과 동시에 사료 급여방식을 자동화할 수 있어 사료급여에 소요되는 인력이나 시간을 최소화 할 수 있을 것이다.

본 연구 결과로부터, 평균 체중 10-60 g의 낱치 성장과 사료효율을 증진시키기 위해서는 MP보다 EP type의 사료가 좋을 것으로 보이며, 사료공급은 1일 3회가 적당할 것으로 판단된다.

제 2 절 사료 물성과 넘치 크기에 따른 장 내용물 통과 시간

1. 서론

어류의 소화율은 어종, 사육환경, 사료종류 및 어체 크기 등의 다양한 조건에 영향을 받을 수 있다. 그래서 많은 학자들이 어종마다 사료의 영양소 소화율을 측정하여 왔다. 특히 사료원료별 소화율에 대한 연구가 주로 이루어 졌는데, 이러한 소화율은 대상 어종의 소화효소나 장의 길이 등의 식성에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 또한, 장내의 사료 통과 시간도 소화율에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으며, 이러한 사료의 장 통과 시간은 사료의 물성이나 어체 크기에 영향을 받을 수 있다. 그래서 본 연구는 넘치 크기 및 사료 물성에 따른 사료의 장 통과 시간을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

장통과 시간측정

사료형태에 따른 각 사료의 장통과 시간을 조사하기 위해 사육실험을 종료한 실험어를 48시간 절식 시킨 후 각 실험사료를 반복으로 공급하였으며, 시간 간격으로 수조에 수용된 실험어중 10마리를 MS 222 300ppm에 마취한 후 샘플 채취하여 급속 냉동 (-75℃) 시킨 후 보관하다가 위 및 장 내용물의 무게를 측정하였다. 위 및 장 내용물의 양은 $\text{wet weight (g) of feed} \times 100 / \text{fish (g)}$ 으로 나타내었다(Brett and Higgs, 1970).

실험 디자인 및 실험사료의 준비

실험 1: 성장어

Table 1에 표시한 것처럼 실험사료로는 건조부상사료(EP)와 습사료(MP)를 각각 준비하였다. EP 사료의 단백질원은 백색어분, 알래스카 볼락 어분과 칠레산 청어 어분을 사용하였으며, EP제조기(Joda Extruder Pellet Mill, 일본)로 조제되었으며, 습사료(MP)는 냉동 고등어와 시판용 가루 사료를 습중량을 기준으로 하여 3:1의 비율로 섞어서 제조하였다. 사육실험동안은 수온은 14~15℃의 범위였으며, 비중은 1.026이었다. 실험 넘치는 평균 200 g 전후를 선별하여 300 l 원형 수조에 수용한 것으로 하였다.

Table 1. Ingredients and proximate composition of the experimental diets

Ingredients (%)	Diets	
	EP	MP
Fish meal	55	
Mackerel		75
Commercial binder meal		25
Soybean meal	6	
Meat meal	4	
Wheat flour	22.8	
Wheat gluten	8	
Pollack oil	1.5	
Others	2.7	
<i>Proximate analysis</i>		
Moisture (%)	8.7	56.3
Crude protein (% DM)	55.3	60.6
Crude lipid (% DM)	8.1	11.0
Crude ash (% DM)	13.4	4.8

실험 2: 치어

사료는 Table 2에 표시하였듯이, MP는 MP제조기로 압출 성형한 후 습사료 형태로, DP는 MP제조기로 압출 성형한 후 상온에서 건조하였으며, EP는 extruder (Joda Extruder Pellet Mill, 일본)로 성형한 후 건조기에서 건조하여 제조하였다. 모든 실험사료는 단백질과 지질 함량이 각각 50% 및 10% 전후로 거의 비슷한 수준이었다. 실험어는 넙치 치어를 1000 L 원형수조에 수용하여 2주간 MP사료로 예비 사육한 후, 평균체중 15 g 전후의 실험어를 선별하여 각 수조(300 L)에 실험사료별로 30마리씩 3반복으로 수용하여 사육실험 하였다. 사육기간 동안의 수온은 20.3±2.67℃였고, 염분도는 34.50.73‰였다.

Table 2. Ingredient and nutrient contents of the experimental diets

Ingredients (%)	Diets		
	MP	DP	EP
Fish meal		62.0	
Wheat gluten		2.5	
Meat meal		5.0	
Soybean meal		5.0	
Wheat flour		17.0	
Fish oil		2.5	
Others		6.0	
<i>Proximate analysis (% DM)</i>			
Dry matter (%)	64.7	87.1	89.1
Crude protein (% DM)	52.4	52.1	51.6
Crude lipid (% DM)	9.1	9.2	8.5

3. 결과 및 고찰

어류의 위나 장내 사료의 evacuation rate는 어류의 크기, 사료종류나 형태, 사료품질, 수온 등의 요인에 영향을 받는 것으로 보고되고 있다 (Swenson and Smith, 1973; Paul et al., 1990; Karjalainen et al., 1991; Singh-Renton and Bromley 1996; Andersen, 1998; Rosch, 1987; Persson, 1981; Santulli et al., 1993; Singh-Renton and Bromley, 1996). 본 실험에서, Fig. 1에서처럼 어체 크기에 따라 사료형태가 장통과 시간에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 어체가 클수록 건조사료가 습사료보다 위에 머무는 시간이 길어지며, 장 통과 시간에는 사료의 물성이 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이러한 자료는 사료개발에 있어 어체 크기가 고려되어야 할 뿐 아니라 넙치 양식에 있어서도 사료 공급 체계에 대한 연구가 체계적으로 연구되어야 함을 의미하고 있다. 따라서 차후 이에 대한 연구를 수행할 예정이다.

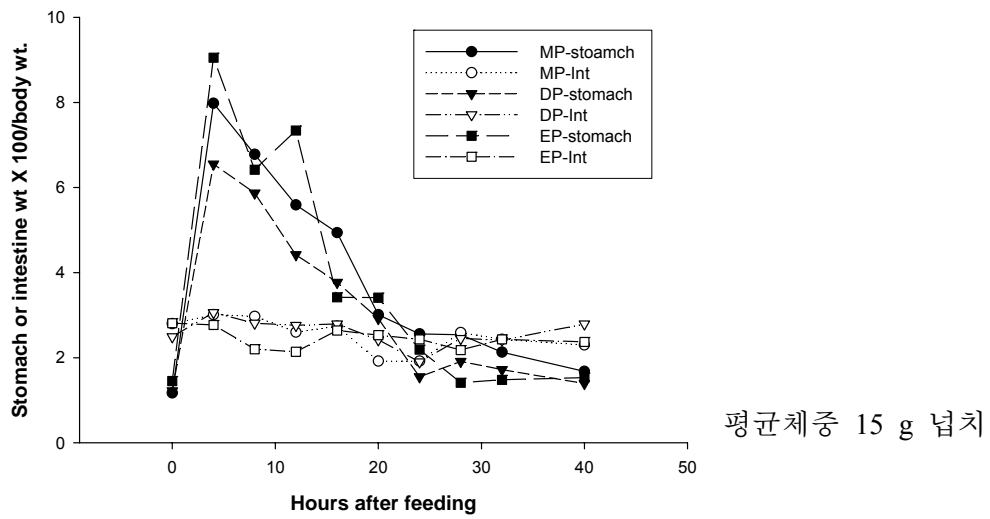
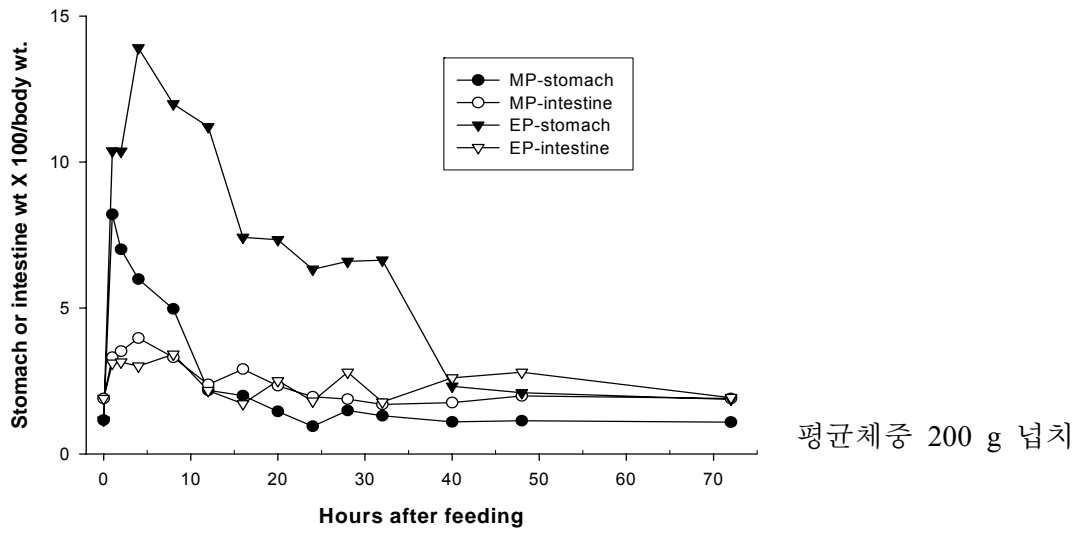


Fig. 1. Gastric contents of juvenile and growing flounder fed the moist pellet (MP), dry pellet (DP) or extruded floating pellet (EP).

제 3 절 일일 및 격일 습사료 공급방법이 육성 넙치의 성장과 영양소 이용효율에 미치는 영향: 대형수조 실험

1. 서론

국내의 넙치 사육은 펠렛사료를 공급하는 치어단계를 제외하고는 생어에 기초한 생사료나 생어에 분말사료를 일정량 혼합한 습사료(MP)에 기반하여 행해지고 있다. 그러나, 지금까지 생사료나 습사료의 공급에 따른 넙치의 질소 및 인 배설량에 관한 연구는 수행되지 않았다. 생사료 위주의 먹이 공급은 병원균 전염, 생사료 단독공급에 따른 심한 영양학적 불균형에 기인한 영양성 질병, 다량의 사료를 제조하는 과정에서 많은 노동력과 시설비 필요, 수질오염 등의 많은 단점을 내포하고 있다(김, 1992). 넙치는 한국인과 일본인이 가장 선호하는 해수어류중 하나이며, 양식기간이 타 어종에 비해 짧아 자본회전이 빠르고, 우리 바다 환경에서 양식이 적합하여 사육관리가 비교적 쉬운 저서성 어종이나 넙치 치어부터 상품크기까지 육성시 영양소 요구량과 사료공급 패턴에 대한 연구는 아직 구명되어야 할 연구 분야로 남아 있는 실정이다. 또한, 대상 양식 어종에 적합한 사료개발과 영양소 요구량이 구명되었다 하더라도 그 사료를 보다 효율적으로 공급하지 못하면 양식 생산 단가가 높아질 뿐만 아니라 어류의 성장과 어체 품질에 영향을 미칠 수 있다(Sedgwick, 1979; Mills and McClude, 1983). 과잉으로 사료를 어류에게 공급하는 것은 어체내 에너지 대사의 효율성을 저하시킬 뿐 아니라 사료유실로 인한 경제적 손실과 수질오염원이 증가될 수 있다. 반대로 사료를 부족하게 공급하는 것은 어류의 성장을 지연시키므로 대상어류의 소화능력 등을 고려하여 최적 성장에 필요한 양만큼의 영양소를 공급하여 사료에 소요되는 비용을 최소화시켜야 한다.

일반적으로 어류영양 연구는 인공적인 실험실 조건의 통제된 상태에서 이뤄지고 있는데, 이것은 현장 실험이 실험실 조건의 실험보다 엄청난 자원과 연구자의 노력을 요구하기 때문이다. 하지만 실제 육상수조나 가두리에서 생산되는 어류는 계속적으로 변하는 환경조건에 노출되어 있다. 따라서 영양 연구는 양어장 환경과 유사한 조건이나 운영중인 양어장에서 시행되어 그 결과를 실제조건에 적용하는 것이 가장 바람직하다(Tacon, 1995). 그러나 넙치의 경우 실험실 조건에서조차도 적정 공급횟수 설정에 관한 연구는 평균체중 1.6-15 g의 치어 단계(Lee et al., 1999, 2000a)를 제외하고는 전무한 실정이다. 이로 인해 양어가들은 다분히 경험적으로 사료를 공급하고 있으며, 그 결과 많은 량의 사료가 허실되어 자원의 낭비뿐 아니라 수질오염을 야기시키는 것으로 추정되고 있다. 따라서, 본 실험은 육상 수조식 양식에서 관행의 일일공급체제를 격일공급체제로 전환할 경우 넙치의 사료섭취량과 증체량이 어떻게 변화하는지를 조사하고, 습사료의 사용에 따른 질소

와 인의 배설량을 측정하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

실험사료

본 실험에 이용된 실험사료는 생사료(raw fish)와 분말 배합사료를 혼합한 습사료 두 종류(사료 2와 3호)로서 강원도에 위치한 향도수산 양어장에서 생사료 펠렛제조기(청강기기)를 이용하여 관행에 따라 습사료로 제조하였다. 2호 사료 (No. 2)는 곤쟁이 16%, 전어 21%, 까나리 47%, 분말사료 5%, 영양제와 비타민제 1%, 물 10%를 펠렛제조기에 장착되어있는 배합기를 이용, 완전히 혼합되도록 배합한 후 사료를 성형하여 냉동고에 보관(-30°C)하였으며, 3호 사료(No. 3)는 곤쟁이 14.9%, 전어 19.9%, 까나리 44.8%, 분말사료 9.9%, 영양제와 비타민제 1%, 물 9.5%로 동일한 방법으로 성형하였다. 2호 사료는 8 mm 크기로 성형되었으며 사육실험 시작 후 38일간 공급하였으며, 그 후 10 mm 크기로 성형된 3호 사료를 실험종료시까지 공급하였다.

Table 1에 제시된 바와 같이 실험사료는 분말사료의 첨가량에 따라 수분함량이 71% (No. 2) 및 68.9% (No. 3)로 차이를 보였으나 건물 기준으로 볼 때 단백질, 지방, 회분 등의 함량은 큰 차이가 없었다.

Table 1. Chemical composition of the experimental diets

Diets	Moisture (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Ash (%)	Ca (%)	P (%)	Gross energy (kJ/100 g)
No. 2	71.04	17.26	2.28	2.92	0.90	0.65	675
No. 3	68.90	18.74	2.36	2.86	1.02	0.75	745
Dry matter basis							
No. 2		59.58	7.89	10.08	3.11	2.23	2332
No. 3		60.24	7.58	9.20	3.27	2.40	2394

실험어 사육

강원도 양양 소재의 (주)향도수산에서 MP를 공급하여 사육중이던 평균 체중 90 g의 넙치(*Pararichthys olivaceus*)를 하루동안 절식시킨 후 각 사육수조에 1,300 마리씩 수용하여 일일공급구와 격일공급구를 2반복으로 완전임의 배치하여 8주간 사육실험하였다. 실험개시와 종료시 24시간의 절식후 사육조의 모든 어류를 계량하고 마리수를 측정하였으며, 사료공급은 구배치와 계량이 시작된 다음날부터 행하였다.

유수식 사육장치는 4개의 육상 실내 원형사육조(3 x 3 x 1m)로서 수량은 16톤(수심 0.6 m)으로 유속은 초당 26 L로 유지되었으며, 유입수는 양어장에서 약 500 m에 위치한

바다로부터 펌핑하였다. 전 실험기간동안 자연 해수를 이용하였으며 수온은 13.5~22℃의 범위를 보였다. 실험개시 후 4주정도 냉수대가 형성되어 평균수온이 14.1℃로 낮았다가, 그 후 8주까지는 평균수온 20.3℃를 회복하였다.

실험기간 중 수온은 매 사료 공급 전에 측정하였으며, DO, pH 및 유입수의 암모니아는 1주 간격으로 측정하였다. 실험기간 동안 평균 DO, 수온, pH 및 NH₃-N은 각각 5.6 mg/l, 17.8 °C, 7.15 및 0.03 ppm 이었다. 광주기는 자연 광주기에 의존하여 사육하였다. 병어 및 폐사어는 발생 즉시 수조에서 제거하여 어체중을 계량하였으며, 되도록 폐사후 체중 감량과 손실 및 어병의 확산을 막기 위해 병어 발생 시 격리를 우선으로 시행하였다. 또한, 어병의 발생시 양어장 관행에 따라 약욕 (oxytetracycline 4 ppm과 formalin 200 ppm을 혼합)을 하였으며 약욕전후 절식을 원칙으로 하였다. 사료는 양어장 관행에 따라 1일 3회 (08.00, 12.00 및 17.00 h) 공급하였는데, 일일공급구는 일요일을 제외하고 주 6일 하루에 3회 공급하였으며, 격일공급구는 격일로 절식하면서 절식 다음날마다 3회 사료를 공급하는 방식을 채택하였다. 사료공급량은 공급전과 공급후 사료 무게를 측정하였다.

조사항목

사료의 공급방법에 따른 성장 및 사료효율을 파악하기 위하여 사료섭취량(feed intake), 증체량(weight gain) 및 사료전환효율(feed conversion ratio)을 조사하였다. 실험 개시시 20마리 그리고 종료시 각 수조에서 20마리를 임의로 채취한 후 분쇄기(2094 Homogenizer, FOSS)를 이용하여 분쇄한 다음 균질화한 후 일정량을 분석에 사용하였다. 일반성분은 AOAC(1990)의 방법에 따라 분석하였으며, 항목별 분석방법은 Kim et al. (1998)에 전술한 바와 동일하였다. 질소 축적효율(nitrogen retention efficiency: NRE), 인 축적효율(phosphorus retention efficiency: PRE) 및 에너지 축적효율(energy retention efficiency: ERE)은 섭취량과 어체내 축적량에 기반하여 계산하였다. 질소와 인의 증체단위당 배설량은 질소와 인의 섭취량과 체내 증가량의 차를 증체량으로 나누어 계산하였다. 사료와 동결건조한 어체의 에너지 분석은 단열 bomb calorimeter (Parr-1261, USA)를 이용하여 수행하였다. 얻어진 결과는 종합하여 t-test로 평균의 유의차를 SAS program (1985)을 이용하여 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

개시 평균 체중 90 g인 넙치에 사료공급 방식을 달리하여 8주간 사육한 넙치의 성장, 사료전환효율 및 단백질효율에 관한 결과는 Table 2에 제시된 바와 같다. 일일공급구(ED)와 격일공급구(EO)의 평균 개시어체중은 각각 90.9 g과 89.5 g으로 유의적 차이가 없었다 ($P>0.05$). 마리당 증체량은 ED구가 71.6 g으로 EO구의 61.1 g보다 다소 높았으나 유의적

인 차이는 발견되지 않았다. ED구의 건물사료 섭취량은 평균 107.7 g으로 EO구 89.8 g에 비해 유의적으로 높게 나타났으나 사료전환효율(FCR)은 ED구 및 EO구에서 각각 1.51 및 1.47로 유의적인 차이가 없었다. 단백질 이용효율(PER) 또한 1.07 및 1.04로 두 처리구간 유의성이 없었다.

Table 2. Weight gain and feed utilization of flounder fed the diets for 8 weeks

Treatment ¹	Initial wt. (g/fish)	Wt. gain (g/fish)	Feed intake (g DM/fish)	FCR ²	PER ³
ED	90.9±2.56	71.6±4.63	107.7 ^x ±1.47	1.51±0.08	1.07±0.05
EO	89.5±5.28	61.1±2.03	89.8 ^y ±0.90	1.47±0.06	1.04±0.04

¹ED, everyday feeding; EO, every other day feeding.

²Feed conversion ratio = Feed intake, DM/wet weight gain

³Protein efficiency ratio = wet wt. gain/protein(N x 6.25) intake.

^{xy}Values (mean±SE) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05).

Table 3에 나타난 바와 같이 종로어의 체내 수분은 공히 약 75%로 유사하였으며, 단백질은 17.8%(ED구) 및 17.5%(EO구)로 유사하였다. 체지방 함량은 ED구가 4.1%로 EO구의 3.4%에 비해 유의적으로 높은 경향을 보였다(P<0.05). 한편, 회분 함량은 두 처리구가 유사하게 나타났으며, 칼슘과 인 함량 또한 유의적인 경향을 보이지 않았다. 어체 100 g 당 총 에너지(gross energy, GE) 함량은 ED구가 6.19 kJ로 EO구(5.82 kJ)에 비해 약간 높게 나타났으나 유의적인 차이는 발견되지 않았다.

Table 3. Whole body composition of flounder fed the diets for 8 weeks (wet wt. basis)

Treatment	Moisture (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Ash (%)	Ca (%)	P (%)	Gross energy (kJ/100 g)
ED	75.0±0.43	17.8±0.88	4.1±0.05 ^x	2.7±0.05	0.84±0.07	0.64±0.01	619±0.22
EO	75.1±0.35	17.5±0.49	3.4±0.13 ^y	2.8±0.06	1.08±0.05	0.70±0.02	582±0.06
Initial	77.2±0.21	17.1±0.02	3.5±0.02	2.7±0.04	0.75±0.04	0.59±0.00	541±0.21

^{xy}Values (mean±SE) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05).

일일공급구와 격일공급구의 질소 섭취량, 어체내 질소증가량 및 증체 단위당 질소 배

설량은 Table 4에 나타난 바와 같다. 실험기간 동안 ED구는 마리당 10.3 g의 질소를 섭취하였으며 EO구는 8.6 g의 질소를 섭취하였다(P<0.05). 개시어와 종료어의 어체 분석을 통해 얻어진 질소 증가량은 ED구가 2.13 g으로 EO구(1.76 g)에 비해 유의적으로 높았다. 그러나 질소 축적효율은 20.7% (ED) 및 20.4% (EO)로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 또한, 증체 단위당 질소 배설량도 114 g 및 112 g으로 유사하게 나타났다.

Table 4. Nitrogen (N) utilization of flounder fed the diets for 8 weeks

Treatment	N intake (g/fish)	N gain (g/fish) ¹	N excretion (g/kg wt. gain)	N retention (%) ²
ED	10.3 ^x ±0.14	2.13 ^x ±0.09	114.2±4.13	20.7±1.19
EO	8.6 ^y ±0.09	1.76 ^y ±0.06	112.0±4.14	20.4±0.49

¹N in whole body of final fish - N in whole body in initial fish.

²N gain/N intake x 100.

^{xy}Value (means±SE) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05).

인의 섭취량과 어체내 증가량 그리고 증체 단위당 인 배설량은 Table 5에 나타난 바와 같다. ED구는 8주간의 실험기간 동안 마리당 2.46 g의 인을 섭취한 반면 EO구는 유의적으로 낮은 2.07 g을 섭취하였다. 그러나 어체내 인 증가량은 두 처리구 공히 마리당 0.5 g으로 동일하였다. 그 결과 인 축적효율은 EO구가 23.5%로 ED구에 비해 약간 높게 나타났으나 유의성은 발견되지 않았다. 한편, 증체 단위당 인 배설량은 두 처리구가 각각 27.6 g(ED) 및 26.0 g(EO)으로 유사하였다.

Table 5. Phosphorus (P) utilization of flounder fed the diets for 8 weeks

Treatment	P intake (g/fish)	P gain (g/fish) ¹	P excretion (g/kg wt. gain)	P retention (%) ²
ED	2.46 ^x ±0.03	0.50±0.04	27.6±1.92	20.1±1.44
EO	2.07 ^y ±0.02	0.49±0.04	26.0±0.65	23.5±1.45

¹P in whole body of final fish - P in whole body in initial fish.

²P gain/P intake x 100.

^{xy}Values (mean±SE) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05).

마리당 에너지 섭취량은 ED구가 2528 kJ로서 EO구(2116 kJ)에 비해 유의적으로 높게 나타났으며, 어체내 에너지 증가량 또한 전자가 520 kJ로 후자(399 kJ)보다 유의적으로 높았다($P<0.05$). 그러나 에너지 축적효율은 각각 20.6% (ED) 및 18.9% (EO)로 유의적인 차이가 발견되지 않았다(Table 6).

Table 6. Energy (E) utilization of flounder fed the diets for 8 weeks

Treatment	E intake (kJ/fish)	E gain (kJ/fish) ¹	E retention (%) ²
ED	2527.8 ^x ±34.07	519.6 ^x ± 4.76	20.6±0.47
EO	2115.8 ^y ±20.78	399.1 ^y ±23.96	18.9±1.32

¹E in whole body of final fish - E in whole body in initial fish.

²E gain/E intake x 100.

^{xy}Values (mean±SE) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different ($P<0.05$).

본 실험에서 일일공급체제에 의한 넙치의 마리당 건물 사료섭취량은 격일공급체제에 의한 그것보다 유의적으로 높게 나타났으나 증체량과 사료전환효율은 두 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이것은 일반 양어장에서 관행으로 공급하는 일일사료공급체제는 과잉공급을 초래하여 많은 량의 사료가 허실되고 있다는 것을 의미한다. 두 공급체제에 따른 종료어의 화학적 조성은 지방 함량을 제외하고는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이처럼 일일사료공급이 격일사료공급에 비해 성장은 유의하게 개선되지 않고 어체 지질이 증가된 것은 넙치 성장에 필요한 에너지 요구보다 과잉으로 공급되었기 때문으로 판단된다. 일반적으로 과잉의 사료 공급은 영양소 이용률이 낮아져(Lee et al., 1996), 섭취되어 이용되지 못한 과잉의 영양소는 수중으로 배출되어 수질오염원을 증가시킬 뿐 아니라 과잉의 에너지는 체내에 지방으로 축적(Page and Andrews 1973; Lee et al., 2000b)되어 어체 품질을 저하시키는 결과를 초래한다. 또한 사료내에 지질(에너지) 함량 증가가 어체에 지질을 증가시킨다고 넙치를 대상으로 이미 보고되어 있고(Lee et al., 2000c), 과잉의 사료 공급이 본 실험과 같이 성장을 더 이상 개선되지 않고, 어체 지질만 증가된다는 연구결과가 넙치와 조피볼락 치어에 대해서 보고되어 있어(Lee et al., 2000a,b), 본 실험 결과를 뒷받침하고 있다.

한편, 개시어에 비해 수분함량은 두 처리구 공히 감소하였으나 지방 함량은 일일공급구만 증가했을 뿐 격일공급구는 변화가 없었다. 넙치는 양식되고 있는 타 넙치류(yellowtail flounder 및 halibut)에 비해 체지방 함량이 상대적으로 낮은데(Kim and Lall, 2000), 그 이유가 공급하는 사료내 지방함량의 차이에서 기인하는지 아니면 어종의 유전

적 특성에서 기인하는 것인지는 명확하게 밝혀져 있지 않다. 질소 섭취량과 어체내 축적량에 기반한 축적효율은 두 처리구(20.7% 및 20.4%) 공히 유사하게 나타났으나, 일일공급구가 질소 섭취량이 높아 어체내 질소 축적량이 유의적으로 높게 나타났다. 그러나, 증체 단위당 질소 배설량은 두 처리구가 각각 114 g 및 112 g으로 동일하였다. 이 수치는 김과 이(2000)가 개시어체중 210 g의 넙치를 습사료로 8주간 사육하여 측정한 배설량(62 g)보다 두 배 정도 높았다. 한편, 인 섭취량은 일일공급구가 격일공급구보다 유의적으로 높았으나 어체내 인 축적량은 마리당 0.5 g으로 두 처리구가 동일하였다. 이 결과는 인의 경우 격일 공급에 의해서도 넙치가 필요로하는 인 요구량이 충족되었음을 의미한다고 볼 수 있을 것이다. 그러나, 증체 단위당 인 배설량은 27.6 g (ED) 및 26.0 g (EO)으로 김과 이(2000)의 연구에서 보고된 수치(11.6 g)보다 두 배 이상 높았다. 에너지 섭취량과 어체내 에너지 증가량은 일일공급구가 유의적으로 높게 나타나 질소 이용효율에서 관찰된 결과와 동일한 경향을 보였다. 이러한 결과는 두 처리구의 증체량이 유의적인 차이는 없었지만 일일공급구가 더 높게 나타난 것을 반영한다.

일반적으로 배합사료를 섭취하는 연어류에 있어 질소와 인의 체내 축적효율은 각각 30% 및 32% 정도이다(Ramseyer and Garling, 1997). 김과 이(2000)는 통제된 조건하에서 넙치에 습사료를 공급하여 37.2% 및 40.1%의 질소 및 인 축적효율을 보고하였다. 그러나 본 실험에서는 질소 축적효율은 각각 20.7% (ED) 및 20.4% (EO)이었으며 인 축적효율은 20.1% (ED) 및 23.5% (EO)로 두 처리구 공히 낮게 나타났다. 이것은 사육기간중 해수의 급격한 수온변화와 사료공급시 허실량 두 가지 요인에 기인한 것으로 추정된다. 첫째, 사육실험의 개시전 적응기간의 수온은 18℃ 이었으나, 실험시작시 수온은 13.5℃로 급격한 변화를 보여, 실험기간중 첫 4주 평균수온은 14.1℃로서 전년도에 비해 5℃이상 낮은 수온이 계속되었다. 어류는 주변환경에 의해 체내대사 및 생리상태가 변화하며(Clarke et al., 1981; Berg et al., 1992), 수온은 어류의 번식, 영양대사, 성장 등과 같은 생리학적 요인을 좌우하는 중요한 변수가 된다(장 등, 1999). 특히, 급격한 수온의 변화는 어체의 생리 조건을 변화시키거나 체내 항상성을 붕괴시킬 수 있다(Barton and Iwama, 1991; Pickering, 1992). 둘째, 사료의 영양소 이용률은 어종, 사료의 품질, 사료 공급량, 사료 공급 횟수 및 사육환경 등에 달라진다(Lee et al., 2000a,b,c). 본 연구에서는 사료의 공급을 양어가가 직접 관행대로 하였기 때문에 사료의 유의적인 허실이 일어나 영양소의 이용성이 낮았을 것으로 추정된다. Whalen et. al. (1998)은 yellowtail flounder의 공급횟수(1일 4회, 1일 2회, 1일 1회, 격일 2회)를 달리할 경우 성장률과 사료전환효율은 처리구간 유의적 차이가 없었다고 보고하였다. 이러한 결과는 본 실험에서 나타난 결과를 잘 뒷받침해 준다. 본 실험의 결과는 관행적인 일일공급체제를 격일공급체제로 전환해도 성장률이나 사료이용 효율에 아무런 영향이 없다는 것을 시사하고 있지만, 수온변화의 요인을 무시할 수 없기 때문에 더욱 더 세밀한 연구의 수행을 필요로 한다.

제 4 절 넙치 치어용 부상 건조사료(EP)와 습사료(MP)의 반복 및 제한 공급 효과 : 대형수조 실험

1. 서론

어류 양식에 있어 사료공급체계는 사료효율 및 어류 성장에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 요소이다(Tsevis et al., 1992; Azzaydi et al., 2000; Lee et al., 2000a). 사료공급체계 중 적절한 사료 공급률은 어류의 성장과 사료효율을 향상시킬 뿐 아니라 사료의 과잉 공급으로 인해 발생하는 수질오염원을 줄일 수 있다고 보고되었다(Ng et al., 2000; Mihelakakis et al., 2002; Webster et al., 2002). 이러한 사료 공급률은 양식장의 환경, 사료 종류 및 양어가들의 경험 등에 따라 달라질 수 있는데, 양식어에게 적정 사료 섭취량 이상 또는 이하의 공급은 사료효율이 낮아지거나 성장이 저하되어 결국은 양식 생산 단가를 상승시키는 불이익이 초래되므로 대상어종의 적정 사료 공급률을 조사하는 것은 매우 중요하다.

양어사료의 물성이나 가공 형태는 제조공정, 사료 가격, 유통 및 수질 오염 등에 영향을 미치는 요인으로 어종마다 선호하는 사료의 형태나 물성이 다를 수 있으며, 이러한 사료의 물성 또는 가공 형태는 각각 장단점을 가지고 있다. 현재 양어가들이 선호하고 있는 생사료나 생사료와 분말 사료를 혼합한 형태의 moist pellet (MP)은 성장도에 비하여 가공, 유통, 및 보관 등에 많은 문제점들이 잠재되어 있을 뿐 아니라 사료 유실로 발생하는 수질오염은 매우 심각한 환경적 문제를 초래 할 수 있다. 최근에, 가두리나 육상수조 양식에서는 사료 유실을 줄이고 소화율을 높이기 위하여 부상 건조사료(extruded pellet, EP)를 사용하는 양어장이 늘어나는 추세에 있다. EP는 전분을 알파화시켜 소화율을 높이는 대신 사료 가공 단가가 높아질 뿐 아니라 사료 제조시 고온과 고압으로 인하여 열에 약한 영양소가 파괴되는 단점을 지닌다.

양식 대상 어종의 식성 및 소화능력에 따라 사료의 영양소 이용효율이 달라질 수 있으므로 이러한 요인들을 고려하여 양식어에 적합한 형태의 사료가 공급되어야 할 것이다. 그리고 사육환경, 사료품질 및 형태, 어체크기 등은 사료 공급률에 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다. 본 연구에서는 두 종류의 부상 건조사료와 생사료와 분말이 혼합된 습사료의 효능을 비교함과 동시에 이들 사료의 공급률(반복 및 제한 공급)이 넙치 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험에 사용된 부상 건조사료(EP) 및 습사료(MP)의 사료조성 및 영양성분을 Table 1에 표시하였다. 실험 배합사료로 EP1과 EP2는 넙치의 영양소 요구(Lee et al., 2000b)를 고려하여 사료를 설계하고 사료회사에 의뢰하여 Extruder Pellet Mill로 부상 건조 pellet으로 제조되었다. 또한, MP로 현재 넙치 양식장에서 많이 사용하고 있는 넙치용 분말사료(우성사료)와 냉동 전갱이를 1:3의 무게 비율(습중량 기준)로 혼합하여 성형하였다.

Table 1. Ingredients and nutrient contents of the experimental diets

	Diets		
	EP1	EP2	MP
Ingredients (%)			
Fish meals ¹	48.0	53.0	
Meat meal	3.0	3.0	
Wheat gluten	8.0	8.0	
Soybean meal	9.0	9.0	
Corn gluten meal	4.0	4.0	
Wheat flour	23.0	18.0	
Others	5.0	5.0	
Nutrient contents			
Dry matter (%)	94.5	93.6	55.1
Crude protein (% DM)	56.5	55.9	57.9
Crude lipid (% DM)	6.9	7.7	7.9
Ash (% DM)	10.3	10.1	9.5
Gross energy (kcal/g diet) ²	4.9	4.9	5.0

¹ Mixture of mackerel fish, tuna and pollack fish meal.

² Based on 5.64 kcal/g protein, 9.44 kcal/g lipid and 4.11 kcal/g carbohydrate.

실험어 및 사육관리

실험어로 넙치를 경남 옥지도에서 구입하여 10톤 크기의 원형 콘크리트 수조에 수용하면서 3개월 동안 실험수조에 적응을 시켰다. 적응기간 동안 1일 2회 상업용 넙치 부상 건조사료를 공급해 주었다. 실험수조에 적응 후, 외형적으로 건강한 넙치(평균 체중: 27±1.1 g)를 무작위로 추출하여 원형 콘크리트 수조(지름 460 cm, 높이 60 cm)에 각각

500 마리씩 2반복으로 수용하였다. 사료 종류별로 매일 3회(09:00, 13:00, 17:00) 반복 및 제한으로 사료를 공급하면서(1주일에 6일) 10주간 사육 실험하였다. 사료 공급량은 각 사료마다 반복 공급구는 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져주었으며, 제한 공급구는 각 사료별 반복 공급구의 85%를 3회로 나누어 공급하였다. 사료 공급 1시간 후에 사육수의 약 80%를 배수시켜 수조내 찌꺼기를 제거하여 주었으며, 각 수조의 해수 환수율은 1일 15회 전으로 하였고, 용존산소 보충을 위해 에어를 공급하였다. 사육 실험 기간 동안의 수온은 11.0 - 18.5°C의 범위였으며, 평균 수온은 13.5±1.47°C이었다. 그리고 각 수조에서 죽은 개체는 매일 제거하여 주었다.

시료채취 및 성분분석

최초 어체의 성분 분석용으로 20마리를 무작위로 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조에서 10마리를 성분 분석용 시료로 취하여 냉동보관(-75°C)하였다. 실험 사료 및 어체의 일반 성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8.719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550°C의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. 총에너지는 5.64 kcal/g protein, 9.44 kcal/g lipid 및 4.11 kcal/g carbohydrate로 계산하였다.

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS Version 10 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였고, Two-way ANOVA-test로 사료 종류와 공급량에 대한 상관요인을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

평균 체중 27 g의 넙치 치어를 10주간 사육 실험한 결과, 생존율은 94% 이상으로 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 사료섭취율, 성장 및 영양소 이용율에 대한 결과를 Table 2에 표시하였다. 일일사료섭취율은 사료 종류와 사료 공급률에 모두 영향을 받았다($P<0.01$). 동일한 사료에서 일일사료섭취율은 제한 공급구가 반복 공급구의 84-86%로 나타나 각각의 사료를 반복과 반복의 85%로 조절하여 공급한 결과와 거의 유사한 경향을 보였다. 또한, 일일사료섭취율은 반복 및 제한 공급구 각각에서 MP를 공급한 실험구가 EP1 및 EP2를 공급한 실험구보다 유의하게 높았다($P<0.05$).

Table 2. Growth performance of juvenile flounder fed the experimental diets with different feeding rates for 10 weeks¹

Diets	Feeding rate	IMW ²	DFI (%) ³	WG (g/fish) ⁴	FE (%) ⁵	PER ⁶	ERE (%) ⁷
EP1	Satiation	26.9±1.85 ^{ns}	0.97±0.001 ^b	25.0±2.15 ^{abc}	94.9±1.64 ^{bc}	1.68±0.030 ^b	22.5±0.35 ^{ns}
	85% satiation	27.3±0.65	0.83±0.003 ^a	22.7±1.15 ^{ab}	104.8±1.64 ^c	1.86±0.025 ^b	26.0±3.05
EP2	Satiation	26.9±1.30	1.00±0.001 ^b	27.6±0.05 ^c	95.0±3.88 ^{bc}	1.70±0.070 ^b	26.7±0.25
	85% satiation	27.4±0.45	0.85±0.004 ^a	21.3±1.27 ^a	99.2±4.19 ^c	1.77±0.075 ^b	23.0±0.05
MP	Satiation	27.2±0.70	1.27±0.071 ^c	27.1±0.00 ^{bc}	77.6±5.39 ^a	1.34±0.090 ^a	21.1±0.05
	85% satiation	27.2±0.10	1.07±0.020 ^b	23.6±1.02 ^{abc}	83.8±1.51 ^{ab}	1.45±0.025 ^a	20.9±1.00

Two-way ANOVA

Diets	P<0.001	P<0.5	P<0.004	P<0.002	P<0.3
Feeding rate	P<0.001	P<0.008	P<0.05	P<0.05	P<0.08
Interaction	P<0.7	P<0.4	P<0.8	P<0.7	P<0.08

¹ Values (mean±SE of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Initial mean weight (g/fish).

³ Daily feed intake = feed intake (dry matter) × 100 / [(initial fish wt.+ final fish wt.+ dead fish wt.)/2 × days fed].

⁴ Weight gain.

⁵ Feed efficiency = fish wet weight gain × 100 / feed intake (dry matter).

⁶ Protein efficiency ratio = fish wet weight gain × 100 / protein intake (dry matter).

⁷ Energy retention efficiency = fish energy gain × 100/ energy intake.

증중량은 사료 종류에는 영향을 받지 않았지만(P>0.05), 사료의 공급률에는 영향을 받았다 (P<0.01). EP2를 반복 공급한 실험구의 증중량이 27.6 g으로 가장 높았지만, EP1을 반복 공급한 실험구와 MP를 반복 및 제한 공급한 실험구들과는 유의한 차이가 없었다 (P>0.05). 그리고 다른 사료와 달리 EP2 사료 공급구의 증중량은 반복 공급구가 제한 공급구에 비해 높은 값을 보였다(P<0.05).

사료효율은 사료 종류와 공급률에 모두 영향을 받았다(P<0.05). EP1과 EP2를 제한으로 공급한 실험구의 사료효율이 가장 높은 결과를 보였지만, EP1과 EP2의 반복 공급구와 유의한 차이는 없었다(P>0.05). MP 사료에서도 반복 공급구의 사료효율이 제한 공급구에 비해 낮은 경향을 보였지만 유의한 차이는 없었다. 동일한 사료 공급률에 있어 사료효율은

MP를 공급한 실험구가 EP1과 EP2를 공급한 실험구에 비해 유의적으로 낮은 결과를 보였다($P<0.05$).

단백질효율은 사료 종류에 영향을 받았으며($P<0.01$), 만복 및 제한 공급에 관계없이 MP를 공급한 실험구가 EP1 및 EP2를 공급한 실험구보다 유의하게 낮았다($P<0.05$). 에너지 축적효율은 21-27%의 범위로 나타났으며, 사료종류 및 공급률에 영향을 받지 않았다($P>0.05$).

Table 3. Proximate composition (%) of the whole body in juvenile flounder fed the experimental diets with different feeding rates for 10 weeks¹

Diets	Feeding rate	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Crude ash
EP1	Satiation	75.6±0.09 ^{ns}	17.2±0.24 ^{ns}	1.71±0.055 ^a	3.79±0.185 ^{ns}
	85% satiation	75.4±0.11	17.5±0.24	1.86±0.110 ^{ab}	3.56±0.300
EP2	Satiation	75.7±0.54	17.7±0.04	2.97±0.235 ^c	3.49±0.120
	85% satiation	75.2±0.54	17.5±0.08	1.90±0.025 ^{ab}	3.65±0.060
MP	Satiation	74.9±0.46	17.7±0.12	2.87±0.435 ^c	3.36±0.080
	85% satiation	74.9±0.15	17.2±0.17	2.60±0.310 ^{bc}	3.48±0.215
Two-way ANOVA					
Diets		$P<0.3$	$P<0.4$	$P<0.03$	$P<0.5$
Feeding rate		$P<0.5$	$P<0.4$	$P<0.1$	$p<1.0$
Interaction		$P<0.8$	$P<0.2$	$P<0.2$	$P<0.6$

¹ Values (mean±SE of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

사육 실험 종료후, 전어체의 일반성분을 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다. 전어체의 수분, 단백질 및 회분의 함량은 사료종류 및 공급률에 영향을 받지 않았으며($P>0.05$), 모든 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 반면에 지질의 함량은 사료종류에 영향을 받았으며($P<0.05$), EP2와 MP의 만복 공급구에서 가장 높았고, EP1의 만복 공급구에서 가장 낮은 값을 보였다.

본 실험에서 제한 공급구에 비해 만복 공급구의 증중량이 높은 경향을 보였는데, 이는 사료의 공급률이 증가할수록 어류의 성장이 증가한다는 타 어종에 대해 보고된 결과(De Silva et al., 1986; Hung and Lutes, 1987; Xiao-Jun and Ruyung, 1992; Adebayo et al., 2000;

Ng et al., 2000; Mihelakakis et al., 2002)와 유사한 경향을 나타내었다. 그리고 사료의 공급률이 증가할수록 사료 이용효율이 낮아진다고 타 어종(Sedgwick, 1979; Mills and McCloud, 1983; Clark et al., 1990; Hung et al., 1993; Mihelakakis et al., 2002)에 보고되어 있어, 본 연구의 결과와 같은 경향을 보였다.

한편, 사료의 적정 공급률은 어종, 어류의 크기 및 사육환경 등에 따라 달라질 수 있기 때문에(Brett, 1979; Ng et al., 2000; Webster et al., 2002; Fiogbe and Kestemont, 2003), 이에 대한 고려가 필요하다. 본 실험에 사용한 넙치와는 달리 평균체중 25-60 g의 조피볼락의 적정 사료 공급률이 만복의 70-85%라고 보고되었으며(Lee, 1997), European sea bass 에서는 평균체중 30 g일 때 체중의 3.0-3.5%를(Eroldogan, 2003), 60 g일 때 체중의 3.2%를(Tsevis et al., 1992) 그리고 78 g일 때 체중의 1.06% (Ballestrazzi et al., 1998)를 공급하여 주는 것이 적합하다고 보고된 바 있다. 이러한 차이는 어종과 동일 어종이라도 크기에 따른 차이가 있음을 의미한다. 또한, 적정 사료 공급률은 공급횟수를 몇 회로 할 것인가에 따라서도 달라질 수 있으므로 공급횟수와 만복 또는 제한 공급에 대한 상관관계를 심도 있게 연구할 필요가 있다. 본 실험조건에서의 성장 결과로부터, 넙치는 조피볼락과는 달리 제한 공급보다는 만복 공급이 성장에 좋을 것으로 생각된다. 이는 대상 어종의 식성, 소화기관의 구조, 소화효소 활성 등의 차이에 의한 것으로 판단되나, 차후 이러한 차이에 대한 상세한 연구가 요구된다.

아직까지 우리나라의 해산어, 특히 넙치 양식의 먹이로 생사료가 주로 사용되고 있으며, 배합사료를 사용하는 경우에도 딱딱한 건조사료를 그대로 사용하지 않고 수분을 건조 pellet에 첨가하여 습사료 형태로 흔히 사용되고 있다. 이러한 현상은 수분 함량이 높은 사료가 넙치에 기호성이 더 높은 것으로 알려져 있기 때문인데, 사실 이에 대한 정확한 근거는 없는 실정이다. 단지, 지질함량이 높은 연질사료(soft dry pellet)를 연구하여(Viyakarn et al., 1992, Watanabe et al., 1992) 사용한 예는 있지만, 이러한 연질사료가 수분 함량과 상관도가 있는지는 의문이다. 어쨌든 우리나라 양식생산량이 높은 넙치 사육용으로 사용되는 생사료의 문제점, 즉 생사료의 생산 시기나 종류에 따라 영양소 함량 및 가격 변동이 심하고, 수급이 불안정할 뿐 아니라 사료 급여시 수중으로 유실되기 쉬워 수질 오염 등 많은 문제점이 잠재되어 있으므로 하루빨리 생사료에서 부상 건조사료로 전환하는 것이 시급하다. 본 연구의 동일한 사료 공급률에서 사료 종류에 따른 증중량이 유의한 차이를 보이지 않은 것은 MP를 EP로 대체하여 공급할 수 있음을 암시하고 있다. 물론 넙치의 영양소 요구량, 원료 이용성 등의 측면이 고려되어야 하겠지만, 본 연구에서 동일 공급구에서 사료간에 성장 차이가 없었던 것은 사료간에 영양소 함량이 비슷하였기 때문으로 생각된다.

이미 언급했던 것처럼 본 실험에서 동일한 먹이 공급률에서 사료 종류에 따른 성장 차이가 인정되지 않았지만, MP 실험구의 일일사료섭취율이 EP1과 EP2에 비해 유의하게

높았다. 그럼에도 불구하고 MP 실험구의 사료효율과 단백질효율은 EP 실험구보다 유의하게 낮은 값을 보였다. 이러한 현상은 MP가 넙치에게 공급될 때 수중으로 유실된 양이 EP에 비해 높았거나, 섭취된 MP 사료의 영양소의 소화율이 낮았을 가능성 때문으로 추측되는데, 아마도 수중으로 유실된 량의 증가가 주요 원인으로 보인다. 따라서 점결력이 약한 습사료보다는 전분이 알파화된 건조 pellet 형태의 EP사료가 경제적으로나 환경친화적인 면에서 장점이 많을 것으로 기대된다. 이러한 관점에서 보면 본 실험에 사용된 EP 사료들은 현재 양식현장에서 사용하고 있는 생사료를 대체할 수 있을 것으로 생각된다. 하지만, 본 연구에서는 사료 단가나 경제적인 면에 대한 고려가 없었다. 따라서 앞으로 생사료를 경제적으로 대체할 수 있는 질 좋은 경제적인 배합비 개발에 대한 연구가 계속 수행되어야 할 것이다. 최근에 인건비는 계속 상승하고 있고 양식어는 판매가격이 하락하고 있는 추세이기 때문에 양식에 투자되는 노동적인 비용을 최소한으로 하는 것이 합리적인 양식방법으로 판단된다. 따라서 넙치 어체 크기와 계절별로 적정 일일사료섭취율이 결정되면, MP로는 실행할 수 없는 자동화된 사료공급체계의 양식산업이 형성될 수 있을 것이다.

제 5 절 넙치 치어의 부상사료 공급횟수 : 겨울철

1. 서론

넙치는 성장이 빠르고, 종묘생산기술이 확립되어 있을 뿐만 아니라 고밀도 사육이 가능하며, 특히 우리나라와 일본에서 횡감으로 선호도가 높아 양식 대상종으로 가치가 높은 종으로서, 양식생산량이 계속 증가되고 있다. 하지만 아직까지 넙치 육성용으로 냉동 전갱이나 메가리 등 주로 생사료 위주의 먹이가 사용되고 있어 배합사료로의 사용 전환이 매우 시급한 실정이다. 최근에 넙치 배합사료 개발을 위한 연구 (Kim et al., 2000, 2002, 2003; Kim and Lee, 2004; Lee et al., 2002, 2003; Park et al., 2003)와 사료 공급에 대한 연구 (Lee et al., 1999, 2000a)들이 계속 수행되고 있지만, 넙치 크기별, 계절별 등에 따른 적정 사료 개발 및 공급 체계에 관한 연구는 아직 미흡한 상황이다.

어류를 양식함에 있어 가장 중요하게 고려하여야 할 요인은 대상어종에 적합한 사료 공급 및 환경조건이다. 사료공급에 있어 적정 공급횟수와 공급률은 대상 어종의 크기와 사육환경에 영향을 받는 다고 보고되어 있다 (Gershanovich and Taufik, 1992; De Silva and Anderson, 1995). 어류 양식을 위한 환경조건 중에서도 수온은 해양어류의 성장에 직접적으로 관련된 중요한 요소이며 (Horning and Pearson, 1973), 대상 어류에 따라 적정 성장에 요구되는 수온범위는 다양하다. 사육수온은 어류의 사료섭취량에 영향을 미칠 수 있고 (Brett and Higgs, 1970), 생체의 영양 대사속도와 직접적인 관련이 있기 때문에 양식시 사육수온에 따른 사료 공급 체계에 대한 연구는 매우 중요하다. 수온 21℃ 전후에서 잘 성장하는 넙치는 우리나라의 양식 대상종으로 적합한 종이지만, 수온이 낮은 겨울철에는 성장속도가 저하되기 때문에 계절별 (수온별)로 사료 공급체계에 대한 연구는 양식 생산량 증대를 위해 필요하다. 이러한 취지에서 본 연구는 겨울철에 배합사료의 공급횟수와 공급률이 넙치치어의 성장과 체조성에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험 배합사료로 넙치의 영양소 요구 (Lee et al., 2000b)를 고려하여 사료를 설계하고 사료회사에 의뢰하여 Extruder Pellet Mill로 부상 건조 pellet으로 제조하였다. 실험 배합사료의 사료조성 및 영양성분을 Table 1에 표시하였다.

Table 1. Ingredients and nutrient contents of the experimental diets

	%
Ingredients	
Fish meals ¹	53.0
Meat meal	3.0
Wheat gluten	8.0
Soybean meal	9.0
Corn gluten meal	4.0
Wheat flour	18.0
Others	5.0
Nutrient contents	
Dry matter (%)	93.0
Crude protein (%)	52.3
Crude lipid (%)	6.6
Ash (%)	10.7
Gross energy (kcal/g diet) ²	4.8

¹ Mixture of mackerel fish, tuna and pollack fish meal.

² Based on 5.64 kcal/g protein, 9.44 kcal/g lipid and 4.11 kcal/g NFE.

실험어 및 사육관리

실험어는 강원도 수산양식시험장에서 종묘 생산한 넙치 치어를 260 L 원형수조 (수용적 180 L)에 수용하여 2주간 상품사료로 예비 사육하였다. 평균체중 45.0 g의 실험어를 선별하여 24개 수조에 20마리씩 3반복으로 수용하여 2 (feeding rate) × 4 (feeding frequency) factorial design으로 60일간 사육하였다. 사료 공급량은 각 사료마다 만복 공급구는 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져주었으며, 제한 공급구는 만복 공급구의 80%를 공급하였다. 사료 공급횟수는 사료 및 공급률에 대하여 각각 1일 3회 (07:00, 12:00, 17:00), 1일 2회 (07:00, 17:00), 1일 1회 (07:00) 및 2일 1회 (07:00)로 설정하였다. 각 실험수조마다 여과해수를 분당 4 L로 조정하여 흘려주었으며, 사육기간 동안의 수온은 6.6-14.5°C (10.7±2.92)였고, 비중은 1.0261±0.0016였다. 그리고 각 수조에서 죽은 개체는 매일 제거하여 주었다. 사육실험 후 넙치의 성장 및 사료이용효율의 측정항목으로 일일사료섭취율, 증중률, 사료효율 및 단백질효율을 다음과 같은 식으로 계산하였다.

일일사료섭취율 (daily feed intake, %/day) = $\text{feed intake} \times 100 / [(\text{initial fish weight} + \text{final fish weight} + \text{dead fish weight}) / 2 \times \text{days fed}]$.

증중량 (weight gain, g/fish) = final fish average weight - initial fish average weight.

사료효율 (feed efficiency) = fish wet weight gain×100/feed intake (dry matter).

단백질효율 (protein efficiency ratio) = fish wet weight gain×100/protein intake.

시료채취 및 성분분석

최초 어체의 성분 분석용으로 50마리를 무작위로 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조에서 10마리를 성분 분석용 시료로 취하여 냉동보관(-75℃)하였다. 실험사료 및 어체의 일반 성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550℃의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. 총에너지는 5.64 kcal/g protein, 9.44 kcal/g lipid 및 4.11 kcal/g carbohydrate로 계산하였다.

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS Version 10 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였고, Two-way ANOVA-test로 공급횟수 및 공급률에 대한 상관요인을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

평균 체중 45.0 g의 넙치 치어를 60일간 사육 실험한 결과, 생존율은 96% 이상으로 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 일일사료섭취율 (Fig. 1)은 사료 공급횟수와 공급률에 영향을 받았다 ($P<0.001$). 동일한 사료 공급횟수에서 일일사료섭취율은 제한 공급구가 반복 공급구에 비해 80-90% 범위로 나타났다. 그리고 동일한 공급률에서 공급횟수가 증가할수록 일일사료섭취율은 증가하는 경향을 보이면서 1일 3회 공급구에서 가장 높았지만, 1일 2회 공급구와는 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$).

증중량 (Fig. 2)은 사료 공급횟수 ($P<0.001$)와 공급률 ($P<0.01$)에 모두 영향을 받았다. 반복 공급구의 경우, 1일 2회 공급구가 1일 3회 공급구와 통계적인 차이는 없었지만 가장 높았고, 2일 1회 제한 공급구가 가장 낮은 결과를 보였다 ($P<0.05$). 제한 공급구의 증중량은 1일 3회 공급구가 가장 높았으며 반복 공급구와 마찬가지로 공급횟수가 2일 1회 공급구에서 가장 낮은 결과를 보였다 ($P<0.05$). 동일한 공급횟수에서는 공급횟수와 관계 없이 반복 공급구가 제한 공급구보다 높은 증중량 값을 보였는데, 1일 2회 공급구에서는

만복 공급구의 증중량이 제한 공급구보다 유의하게 높았다 ($P<0.05$).

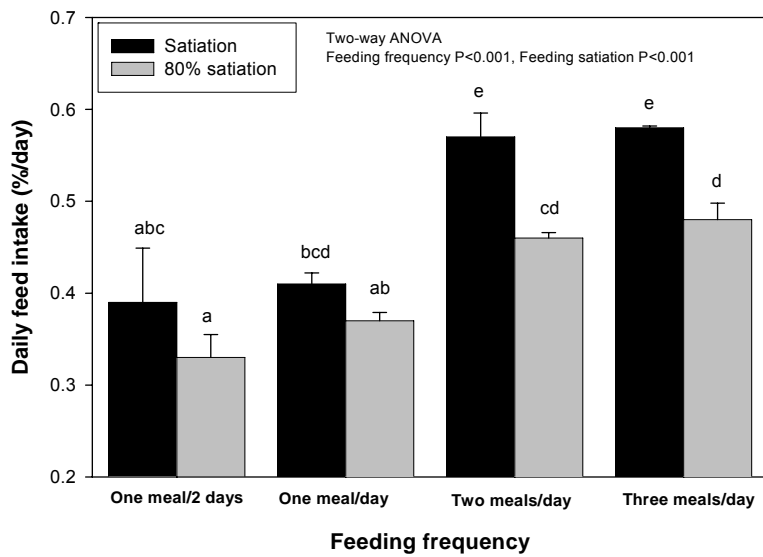


Fig. 1. Daily feed intake (expressed as mean \pm S.E. of three replications) of flounder (average initial weight of 45.0 ± 0.09 g) fed the experimental diet at different feeding frequency with satiation and 80% satiation at $6.6-14.5^{\circ}\text{C}$ (10.7 ± 2.92) for 60 days. Values with different letter are significantly different ($P<0.05$).

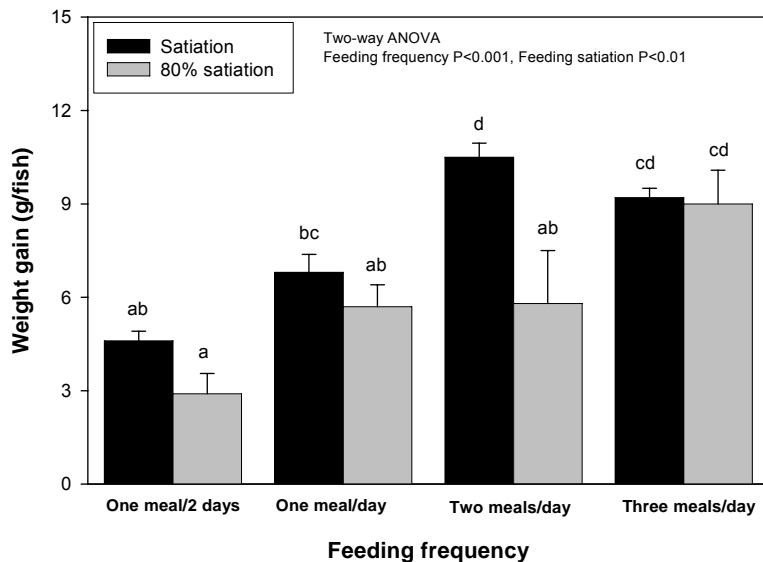


Fig. 2. Weight gain (expressed as mean \pm S.E. of three replications) of flounder (average initial weight of 45.0 ± 0.09 g) fed the experimental diet at different feeding frequency with satiation and 80% satiation at $6.6-14.5^{\circ}\text{C}$ (10.7 ± 2.92) for 60 days. Values with different letter are significantly different ($P<0.05$).

사료효율 (Fig. 3)과 단백질효율 (Fig. 4)은 사료 공급횟수와 공급률에 영향을 받지 않았지만 ($P>0.05$), 1일 3회 제한 공급구가 가장 높았고 2일 1회 제한 공급구가 낮은 값을 보였으며, 나머지 실험구들 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다.

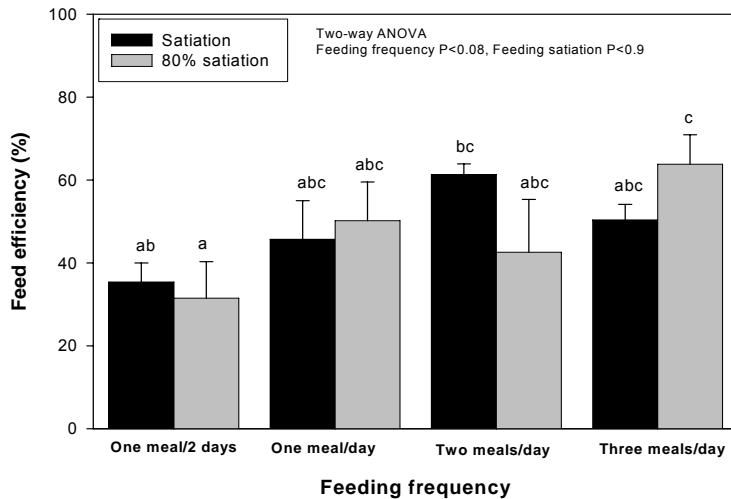


Fig. 3. Feed efficiency (expressed as mean \pm S.E. of three replications) of flounder (average initial weight of 45.0 ± 0.09 g) fed the experimental diet at different feeding frequency with satiation and 80% satiation at $6.6-14.5^{\circ}\text{C}$ (10.7 ± 2.92) for 60 days. Values with different letter are significantly different ($P < 0.05$).

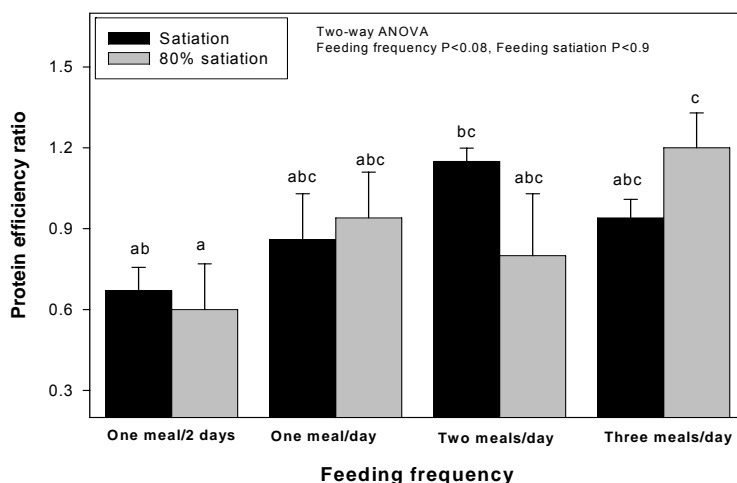


Fig. 4. Protein efficiency ratio (expressed as mean \pm S.E. of three replications) of flounder (average initial weight of 45.0 ± 0.09 g) fed the experimental diet at different feeding frequency with satiation and 80% satiation at $6.6-14.5^{\circ}\text{C}$ (10.7 ± 2.92) for 60 days. Values with different letter are significantly different ($P < 0.05$).

사육 실험 종료시 전어체의 일반성분 분석 결과를 Table 2에 나타냈다. 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분 모두 사료 공급횟수와 공급률에 영향을 받지 않았다 ($P>0.05$).

Table 2. Proximate composition (%) of flounder fed the experimental diet at different feeding frequency with satiation and 80% satiation at 6.6-14.5°C (10.7±2.92) for 60 days¹

Feeding frequency	Feeding satiation	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
One meal/2 days	Satiation	76.6±0.91	16.7±0.56	2.0±0.50	3.6±0.20
	80% satiation	75.9±0.24	17.5±0.21	2.0±0.14	3.5±0.15
One meal/day	Satiation	76.4±0.85	17.4±0.54	2.3±0.24	3.8±0.05
	80% satiation	75.8±0.19	17.0±0.03	2.1±0.72	3.7±0.07
Two meals/day	Satiation	75.8±0.42	17.3±0.10	2.4±0.18	3.7±0.10
	80% satiation	76.2±0.44	17.1±0.22	2.1±0.05	3.6±0.04
Three meals/day	Satiation	75.6±0.32	17.5±0.29	2.3±0.10	3.7±0.13
	80% satiation	75.7±0.68	17.1±0.22	2.2±0.33	3.6±0.16
Two-way ANOVA					
Feeding frequency		P<0.7	P<0.5	P<0.5	P<0.4
Feeding satiation		P<0.2	P<0.6	P<0.1	P<0.7
Interaction		P<0.8	P<0.4	P<0.8	P<0.9

¹ Values are mean±SE of three replications.

수온은 어류의 성장, 번식, 대사, 삼투압 조절 및 면역 등에 영향을 미치는 중요한 요인이다 (Ishioka, 1980; Davis and Parker, 1990; Ryan, 1995). 넘치는 낮은 수온보다 21°C 전후의 높은 수온에서 성장이 좋은 어종으로 알려져 있으며, 수온이 낮아지면 사료섭취량이 줄어들 뿐 아니라 성장속도 또한 상대적으로 감소된다. 본 실험에서 사용된 넘치는 겨울철 10°C 전후에서 사육 실험되었기 때문에 일일사료섭취율도 어체중의 0.5% 전후로 매우 낮은 값을 보였다. 이 값은 본 실험에 적용한 수온 보다 높은 수온에서 실험된 넘치 (Lee et al., 2003) 및 강도다리 (Lee and Lee, 2004)의 사료섭취율보다 매우 낮은 값을 알 수 있다. 이러한 차이는 물론 어종의 특성 및 어체 크기 차이 때문이기도 하겠지만 수온에 의해 먹이 섭취량이 달라졌음이 분명하다. 본 실험에서 넘치의 증중량 또한 상대적으로 낮은 값을 보였는데, 이는 먹이 섭취 감소와 함께 사료효율 값이 32-64%로 낮은 것으로 보아 저 수온으로 인한 체내 대사 속도 감소 때문으로 판단된다.

본 연구에서 공급횟수가 증가되면서 일일사료섭취율이 증가하다가 더 이상 증가하지 않는 경향은 아주 어린 넙치를 대상으로 먹이 공급 체계에 대해 연구된 결과에도 나타났으며 (Lee et al., 1999), 조피볼락에서도 비슷한 경향을 보였다 (Lee et al., 2000c). 먹이섭취량이 어떤 사료공급횟수 이상에서 더 이상 증가되지 않는 현상은 아마도 그 어종의 소화기관의 사료 섭취 허용량과 섭취 에너지 요구량 만족 여부와 관련된 것으로 보인다 (Lee and Putnam, 1973; Page and Andrews, 1973). 어체 증중량 및 사료이용효율이 동일 공급률의 경우, 반복구는 사료공급횟수가 증가할수록 증가하여 1일 2회 공급구까지만 증가한 반면에, 제한 공급구에서는 1일 3회 공급구가 다른 공급구보다 높은 값을 보였다. 이러한 경향은 역시 어체가 요구하는 에너지의 요구와 관련성이 있을 것으로 판단된다. 즉, 제한 공급의 경우 에너지가 제한적으로 공급되어 그만큼 공급횟수가 많은 것이 양호한 성장과 사료 이용효율을 나타낸 것으로 판단된다. 이미 앞 연구 (Lee et al., 2000a)에서 넙치 치어의 경우 사료의 에너지 함량과 사료 공급횟수에 따라 성장과 사료섭취율이 달라짐을 보고한 바 있어, 이러한 추정을 뒷받침 하고 있다. 이러한 관점에서 보면, 사료공급을 적정횟수 이상으로 증가시키는 것은 넙치 성장에 필요한 에너지 요구보다 과잉으로 사료가 공급될 수 있다. 일반적으로 과잉의 사료 공급은 영양소 이용률이 낮아져 (Lee et al., 1996), 섭취되어 이용되지 못한 과잉의 영양소는 수중으로 배출되어 수질오염원을 증가시킬 뿐 아니라 과잉의 에너지는 체내에 지방으로 축적 (Page and Andrews 1973; Lee et al., 2000a,c)되어 어체 품질을 저하시키는 결과를 초래한다. 반대로 사료를 부족하게 공급하는 것은 어류의 성장을 지연시키므로 대상어류의 소화능력 등을 고려하여 최적 성장에 필요한 양만큼의 영양소를 공급하여 사료에 소요되는 비용을 최소화시키는 것이 합리적인 사료공급체계가 될 것이다.

넙치의 경우, 평균체중 1.5-4 g인 치어의 적정 사료 공급횟수는 1일 3회 반복 공급하는 것이 바람직하다고 보고되었으며 (Lee et al., 1999), 평균체중 3.5-15 g인 경우에는 사료의 에너지 함량에 따라 1일 2회 또는 1일 3회 공급이 적합하다고 보고되어 있다 (Lee et al., 2000a). 본 실험에서의 반복 사료 공급률에서 1일 2회 공급구가 1일 3회 공급구보다 오히려 다소 높은 증중량 값을 보여 사료를 1일 3회 반복으로 공급할 필요는 없을 것으로 판단된다. 또한, 본 연구의 사료효율과 단백질효율에서도 1일 2회 반복 공급구가 가장 높은 값을 보였던 1일 3회 제한 공급구와 비교하여 유의한 차이를 보이지 않아 사료의 1일 2회 반복공급이 적절하다는 것을 보여 주고 있다. 이미 언급된 기존의 연구들 (Lee et al., 1999, 2000a)과 본 연구의 성장 결과 값의 차이는 같은 어종이라 할지라도 크기에 의해 먹이의 섭취 허용량, 소화 및 흡수 속도가 달라질 수 있다는 것을 의미한다. 넙치와 함께 우리나라의 해산어류의 주요 양식종인 조피볼락의 경우에도 평균 체중 6-20 g의 크기에는 1일 1회, 25-60 g의 크기에는 1일 1회 또는 2일 1회 공급하는 것이 경제적인 측면에서 좋을 것이라고 보고되어 있다 (Lee et al., 1996, 2000c). 또한, 어종, 어체의

크기, 사료내 영양소 종류와 함량 및 사육조건 등에 의해서도 어류의 최대성장을 위한 사료의 적정 공급횟수는 달라질 수 있다고 이전 연구에서 보고되었다 (Wang et al., 1998; Lambert et al., 2001; Dwyer et al., 2002; Riche et al., 2004). 이러한 연구결과는 어체의 크기에 따라 사료 공급횟수가 달라질 수 있다는 것을 의미하며, 어체 크기가 커지면서 내장 기관들이 함께 커지므로 사료 섭취후 장이 비워지는 시간 (gastric evacuation time)이 오래 걸리기 때문이라 생각된다. 위와 같은 결과들로 미루어 보아, 사료의 적정 공급횟수는 대상어의 종이나 크기를 고려하여 설정하는 것이 바람직하다 하겠다.

이상의 결과들을 종합하면, 동일한 사료 공급횟수에서 반복 공급구의 증중량이 제한 실험구에 비해 높은 결과를 보인 것으로 보아 넙치는 조피볼락 (Lee, 1997)과는 다르게 사료를 반복으로 공급하는 것이 더 효율적으로 보인다. 또한, 증중량 및 사료효율이 반복 사료 공급률에서 1일 2회 공급구까지 증가하는 것으로 보아, 평균체중 45-53 g의 넙치치어를 겨울철에 사육할 때, 사료비용, 노동력 및 시간 등을 고려하여 본 실험의 조건에서는 사료를 1일 2회 반복으로 공급하는 것이 바람직 할 것이라 판단된다.

제 6 절 넙치 부상사료의 사료조성, 공급율 및 공급횟수

1. 서론

어류 양식에 소요되는 비용 중 사료비는 다른 요인들에 비해 상대적으로 높은 비율을 차지하므로 양식장 환경 및 질병과 함께 가장 중요하게 고려되어야 할 요인이다. 특히 사료공급은 양식현장의 양어가들에 의해 조절되므로 양식성공의 중요한 변수이다. 하지만, 양식 대상종에 적합한 사료공급체계가 확립되어 있지 않을 경우에는 영양소 이용효율이 정확히 고려되지 못하기 때문에 사료가 과잉 또는 부족하게 공급되기 쉽다. 사료의 과잉 공급은 어체내 사료의 비효율적인 이용으로 사료 유실을 초래하고, 이로 인해 경제적 손실과 수질오염원을 증가시킬 수 있다. 또한, 사료를 부족하게 공급하는 것은 어류의 최대 성장에 필요한 영양소 요구를 만족 시키지 못하므로, 어류의 최대성장과 사료효율을 도출할 수 있는 적정 사료 공급횟수와 공급량을 결정하는 것은 양식 생산량의 향상과 수질 오염의 감소를 위해 매우 중요하다.

어류의 사료섭취는 어종, 어류의 크기(연령), 수온 및 사료조성 등에 영향을 받기 때문에(Lee et al., 2000a, b), 이러한 요인들이 고려된 적정 사료공급체계가 양식어종별로 연구되어야 할 것이다. 이러한 요인들 중에서 사료내 영양소의 균형은 어류의 성장과 사료단가에 영향을 미치는 가장 중요한 요소인데, 해산어류와 같은 육식성 어류의 경우에는 사료내 단백질 함량이 사료단가를 결정짓는 중요한 요인이다(NRC, 1993). 이러한 측면을 고려하여 우리나라 주요 해산양식어류인 넙치 및 조피볼락의 사료 단백질 요구량 및 단백질 절약을 위한 연구들이 수행되었다(Lee et al., 2000c; Lee et al., 2002a, b). 지질 또한, 주 에너지원으로 쓰이는 중요한 영양소이며 어류의 성장이나 사료섭취에 영향을 미칠 수 있을 뿐 아니라, 사료내 적절한 함량은 단백질의 이용효율을 향상시켜 단백질 절약효과를 가져올 수 있는 영양소이다(Vergara et al., 1996; Company et al., 1999; Harpaz et al., 1999). 대상어종의 요구량보다 높은 에너지가 공급되면 사료의 섭취가 감소하여 성장이 지연되어(Lovell, 1989) 양식 생산 단가를 상승시킬 수 있으며, 반면에 사료의 에너지가 요구량보다 낮으면 성장에 이용될 단백질이 에너지로 이용되어 단백질이용효율이 낮아지기 때문에 사료의 단백질과 에너지(지질)의 적절한 균형은 매우 중요하게 고려되어야 한다.

Brett and Higgs (1970)은 적절한 사료의 공급횟수와 공급율이 수온, 어체 크기와 사료 물성 등에 따라 달라질 수 있다고 보고하였다. 현재 양식현장에 주로 사용되고 있는 생사료나 생사료와 분말 사료를 혼합한 형태의 moist pellet (MP)은 성장도에 비하여 가공, 유통, 및 보관 등에 많은 문제점들이 잠재되어 있을 뿐 아니라 사료 유실로 발생하는 수질 오염은 매우 심각한 환경적 문제를 초래 할 수 있다. 최근에, 가두리나 육상수조 양식에서는 사료 유실을 줄이고 사료효율을 높이기 위하여 부상사료(extruded pellet, EP)를 사용

하는 양어장이 늘어나는 추세에 있다. Lee et al. (1999)은 넙치 치어기(1.6-4 g)에 MP사료가 EP사료보다 오히려 낮은 성장을 보였다고 보고하였으며, Seo et al. (2005)은 27-51 g의 넙치 치어를 대상으로 실험한 결과, EP가 MP 못지않은 성장결과를 보여 EP의 사용가능성을 증명하였다.

현재 넙치의 사료 공급방법에 관한 몇몇 연구(Lee et al., 1999; Lee et al., 2000a)들이 수행된바 있지만, 아직까지 넙치 부상 배합사료의 영양소를 고려한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지질과 단백질 함량이 다른 두 종류 부상 배합사료의 공급횟수 및 공급율이 넙치 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향에 관하여 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험사료는 지질과 단백질 함량을 달리한 2종류로 Table 1과 같이 설계하고 사료회사에 의뢰하여 Extruder Pellet Mill (EX 920, Matador, Denmark)을 이용하여 부상사료 형태로 제조되었다. 사료의 단백질원으로 어분을, 지질원으로 어유를 그리고 탄수화물원으로 소맥분을 각각 사용하였으며, 사료의 영양성분은 기존에 연구된 결과(Lee et al., 2002a)를 토대로 하였다.

실험어 및 사육관리

실험어로 넙치 치어를 300 L 원형수조에 수용하여 2주간 넙치용 상품사료로 예비 사육한 후, 평균체중 55.1 g의 실험어를 임의로 선별한 후 실험수조에 20마리씩 3반복으로 수용하여 2 (사료) × 2 (사료공급율, satiation rate) × 3 (사료공급횟수, feeding frequency) factorial design으로 58일 동안 사육하였다. 사료 공급 횟수는 각 사료 및 사료 공급량에 대하여 각각 1일 3회 (07:00, 12:00, 17:00), 1일 2회 (07:00, 17:00) 및 1일 1회 (07:00)로 설정하였다. 사료 공급량은 각 사료마다 만복 공급구의 경우, 1일 2회 및 1일 1회 공급구는 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져주었다. 1일 3회 공급구의 경우에는 1일 2회 만복 공급 후 3회째 공급에서 사료섭취가 거의 없었기 때문에 1일 2회 만복 공급구의 일일 사료 공급량을 3회로 나누어 공급하였다. 그리고 제한 공급구는 본 실험에서의 넙치와 종은 다르지만 같은 육식성 해산어종인 조피볼락을 대상으로 실행된 Lee (1997)의 결과를 바탕으로 각각 만복 공급구의 일일 사료공급량의 80%를 공급하였다. 여과해수를 각 실험수조마다 분당 8 L로 조정하여 흘려주었으며, 사육기간 동안의 수온은 $19.5 \pm 2.76^{\circ}\text{C}$ (평균±표준 편차)였고, 비중은 1.024 ± 0.0015 였다. 실험 개시시와 종료시에 MS-222 (Tricaine methanesulfonate, Sigma, USA) 100 ppm에 마취시켜 실험수조에 수용된 실험어의 전체무게를 측정하였다.

Table 1. Ingredient and nutrient contents of the experimental diets

	Diets	
	EP1	EP2
Ingredients (%)		
Mackerel meal ¹	49.8	50.9
Wheat gluten	2.5	2.5
Soybean meal	5.0	5.0
Corn gluten meal	5.0	5.0
Wheat flour	33.1	26.5
Fish oil	0.4	5.9
Others	4.2	4.2
Proximate analysis		
Dry matter (%)	95.5	95.4
Crude protein (% DM)	45.4	47.0
Crude lipid (% DM)	7.4	9.7
Ash (% DM)	10.4	10.2
Nitrogen-free extract (% DM) ²	36.8	33.1
Gross energy (kcal/g diet) ³	4.8	5.0

¹ Imported from Chile.

² 100-(crude protein+crude lipid+crude ash).

³ Calculated based on 5.64 kcal/g protein, 9.44 kcal/g lipid and 4.11 kcal/g NFE.

위 및 장 내용물 측정

사육실험 종료 후, 실험구별로 어체의 전체무게를 측정한 후, 실험사료별 공급에 따른 사료의 장 통과 시간을 알아보기 위해 다시 각각의 수조에 수용하여 1주일간 실험수조에 적응시켰다. 그리고 2일간 절식시킨 후, 사육실험시의 사료공급과 동일하게 실험사료를 공급하고, 사료공급 후 시간별(1, 3, 6, 10, 15, 24, 36 and 48h)로 각 실험구에서 실험어를 5마리씩 마취시켜 위와 장의 내용물 무게를 조사하였다.

시료채취 및 성분분석

최초 근육과 간의 성분 분석용으로 20마리를 무작위로 표본 추출하였고, 사육실험 종료시에는 각 실험수조마다 48시간 절식한 실험어를 5마리씩 냉동보관(-75℃)하였다가 사용하였다. 실험사료, 근육 및 간의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질

(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550°C의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. 총에너지는 5.64 kcal/g protein, 9.44 kcal/g lipid 및 4.11 kcal/g NFE로 계산하였다.

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS Version 10 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였으며, two-way 및 three-way ANOVA-test로 사료, 공급횟수 및 공급율에 대한 상관요인을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

평균체중 55.1 g의 넙치 치어를 58일간 사육 실험한 결과를 Table 2에 표시하였다. 생존율은 사료 조성, 공급횟수 및 공급율 모두에 영향을 받지 않았지만($P>0.05$), EP1의 1일 3회 반복 공급구가 100%로 가장 높았으며 EP1의 1일 1회 제한 공급구가 82%로 가장 낮은 값을 나타내었다.

일일사료섭취율은 사료 조성, 공급횟수 및 공급율 모두에 영향을 받았으며($P<0.001$), 사료조성과 공급횟수, 공급횟수와 공급율 그리고 사료조성, 공급횟수 및 공급율 사이에서 모두 상호작용을 보였다($P<0.05$). EP1의 1일 2회와 1일 3회 반복 공급구가 가장 높은 일일사료섭취율을 보였지만, 이 값은 EP2의 1일 3회 반복 공급구와 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). EP1 공급구의 경우, 동일한 공급율에서는 공급횟수가 1일 1회에서 1일 2회까지 일일사료섭취율이 유의하게 증가되었지만($P<0.05$), 1일 2회와 1일 3회 공급구는 유의한 차이가 없었고($P>0.05$), 동일한 공급횟수에서는 반복 공급구가 제한 공급구보다 유의하게 높았다($P<0.05$). 동일한 공급율에서 EP2 실험구의 경우, 반복 공급구에서는 공급횟수가 증가할수록 1일 2회까지 일일사료섭취율이 유의하게 증가되었지만($P<0.05$), 1일 2회와 1일 3회 공급구는 유의한 차이가 없었다. 공급횟수가 동일할 때 1일 1회 공급구를 제외한 나머지 공급구에서 반복 공급구가 제한 공급구보다 유의하게 높은 일일사료섭취율을 보였다($P<0.05$). 그리고 사료 공급횟수와 공급율이 동일할 때, 두 사료의 일일사료섭취율은 1일 1회 제한 공급구와 1일 3회 반복 공급구를 제외하고 EP1을 공급한 실험구가 EP2를 공급한 실험구에 비해 유의하게 높았다($P<0.05$).

평균 증중량은 사료 조성과 공급횟수에는 영향을 받지 않았지만($P>0.05$), 공급율에 영향을 받았다. EP1의 1일 2회 반복 공급구가 가장 높은 증중량을 보였으며, EP1의 1일 2

회 및 3회 제한 공급구와 EP2의 1일 2회 제한 공급구가 가장 낮았다. 사료 조성구와 공급 횟수가 동일할 때 반복 공급구가 제한 공급구에 비해 높은 결과를 보였는데, EP1의 1일 2회 및 EP2의 1일 2회 공급구에서는 반복 공급구가 제한 공급구보다 유의하게 높았다 ($P<0.05$).

Table 2. Growth performance of flounder (initial average 55.1 ± 2.80 g) fed experimental extruded pellets (EP1 and EP2) with different feeding frequency and satiation rate for 58 days¹

Diets	Feeding frequency / day	Feeding satiation (%)	Survival	DFI (%) ²	WG (g/fish) ³	FE (%) ⁴	PER ⁵
EP1	Three meals	100	100±0.0 ^c	1.30±0.007 ^g	38.9±1.77 ^{abc}	68.9±1.39 ^{ab}	1.52±0.031 ^{ns}
		80	95±2.9 ^{abc}	1.11±0.031 ^{cde}	28.2±6.10 ^a	56.3±9.62 ^{ab}	1.24±0.212
	Two meals	100	98±1.7 ^{bc}	1.30±0.033 ^g	45.7±1.34 ^c	75.7±1.41 ^{ab}	1.67±0.031
		80	92±4.4 ^{abc}	1.10±0.017 ^{cde}	29.3±1.03 ^a	61.2±4.88 ^{ab}	1.35±0.107
	One meal	100	93±1.7 ^{abc}	1.14±0.002 ^{de}	31.5±4.82 ^{ab}	60.0±8.36 ^{ab}	1.32±0.184
		80	82±7.3 ^a	0.99±0.021 ^{ab}	30.2±5.65 ^{ab}	52.1±9.74 ^a	1.15±0.215
EP2	Three meals	100	83±3.3 ^{ab}	1.25±0.018 ^{fg}	41.2±0.34 ^{bc}	61.6±4.98 ^{ab}	1.31±0.085
		80	97±3.3 ^{abc}	0.95±0.011 ^a	31.0±3.45 ^{ab}	76.9±4.34 ^{ab}	1.64±0.092
	Two meals	100	92±4.4 ^{abc}	1.18±0.062 ^{ef}	41.0±4.33 ^{bc}	78.4±3.55 ^b	1.67±0.075
		80	93±4.4 ^{abc}	0.96±0.013 ^a	28.9±0.92 ^a	68.4±4.79 ^{ab}	1.46±0.102
	One meal	100	88±7.3 ^{abc}	1.03±0.027 ^{abc}	36.9±2.97 ^{abc}	68.5±13.14 ^{ab}	1.46±0.280
		80	83±9.3 ^{ab}	1.05±0.043 ^{bcd}	30.0±3.45 ^{ab}	54.5±12.85 ^{ab}	1.16±0.274
Three-way ANOVA							
Diet (D)			P<0.2	P<0.001	P<0.7	P<0.3	P<0.5
Feeding frequency (F)			P<0.09	P<0.001	P<0.3	P<0.1	P<0.1
Feeding satiation (S)			P<0.5	P<0.001	P<0.001	P<0.2	P<0.2
D × F			P<0.7	P<0.04	P<0.5	P<1.0	P<1.0
D × S			P<0.07	P<0.6	P<1.0	P<0.4	P<0.4
F × S			P<0.3	P<0.001	P<0.1	P<0.4	P<0.5
D × F × S			P<0.7	P<0.007	P<0.6	P<0.3	P<0.3

¹ Values (mean ± SE of three replicate groups) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

² Daily feed intake = feed intake × 100 / [(initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) / 2 × days fed].

³ Weight gain = final fish av. weight - initial fish av. weight.

⁴ Feed efficiency = fish wet weight gain × 100 / feed intake (dry matter).

⁵ Protein efficiency ratio = fish wet weight gain / protein intake.

사료효율은 사료 조성, 공급횟수 및 공급율 모두 영향을 받지 않았지만($P>0.05$), EP2의 1일 2회 반복 공급구가 가장 높았고 EP1의 1일 1회 제한 공급구가 가장 낮은 값을 보였으며, 나머지 실험구들 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다. 단백질효율은 사료효율과 마찬가지로 사료조성, 공급횟수 및 공급율 모두 영향을 받지 않았으며, 모든 실험구간에 유의한 차이를 보이지 않았다.

Table 3. Proximate composition (%) in the muscle of flounder (initial average 55.1 ± 2.80 g) fed experimental extruded pellets (EP1 and EP2) with different feeding frequency and satiation rate for 58 days¹

Diets	Feeding frequency / day	Feeding satiation (%)	Moisture	Crude protein	Crude lipid
EP1	Three meals	100	76.7 ± 0.18^{ab}	21.7 ± 0.23^{ns}	0.4 ± 0.05^{ns}
		80	77.1 ± 0.17^{bc}	21.1 ± 0.31	0.3 ± 0.05
	Two meals	100	76.6 ± 0.18^a	21.7 ± 0.20	0.3 ± 0.06
		80	77.1 ± 0.12^{bc}	21.2 ± 0.18	0.2 ± 0.04
	One meal	100	77.0 ± 0.11^{abc}	21.1 ± 0.15	0.3 ± 0.06
		80	77.2 ± 0.11^c	21.3 ± 0.25	0.2 ± 0.05
EP2	Three meals	100	76.6 ± 0.20^a	21.9 ± 0.34	0.2 ± 0.06
		80	77.2 ± 0.10^c	21.4 ± 0.19	0.3 ± 0.05
	Two meals	100	76.6 ± 0.20^{ab}	22.0 ± 0.30	0.3 ± 0.03
		80	77.1 ± 0.15^{bc}	21.3 ± 0.27	0.2 ± 0.05
	One meal	100	76.9 ± 0.12^{abc}	21.7 ± 0.29	0.3 ± 0.05
		80	77.1 ± 0.15^{bc}	21.2 ± 0.32	0.2 ± 0.03
Three-way ANOVA					
Diet (D)			$P<0.8$	$P<0.2$	$P<0.7$
Feeding frequency (F)			$P<0.2$	$P<0.5$	$P<1.0$
Feeding satiation (S)			$P<0.001$	$P<0.004$	$P<0.02$
D × F			$P<0.7$	$P<1.0$	$P<0.9$
D × S			$P<1.0$	$P<0.4$	$P<0.3$
F × S			$P<0.3$	$P<0.5$	$P<0.3$
D × F × S			$P<0.9$	$P<0.6$	$P<0.4$

¹ Values (mean \pm SE of three replicate groups) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

^{ns} Not significant ($P>0.05$).

사육실험 종료시 어체로부터 채취한 근육과 간의 일반성분을 분석한 결과를 Table 3과

4에 각각 나타내었다. 근육의 단백질과 지질 함량은 모든 실험구에서 유의한 차이가 없었지만($P>0.05$), 수분 함량은 사료 공급율에 영향을 받아 동일한 사료 조성과 공급횟수에서 제한 공급구가 반복 공급구에 비해 높은 경향을 보였다. 간의 지질 함량은 실험구간에 유의한 차이를 보이지 않았지만($P>0.05$), 수분과 단백질 함량은 사료에 영향을 받았다($P<0.05$). 동일한 사료 공급횟수와 공급율에서 두 사료를 비교하였을 때, 수분과 단백질 함량 모두 EP1 공급구가 EP2 공급구에 비해 높은 값을 보였다. 그리고 지질 함량의 경우 실험구간에 유의한 차이는 없었지만, EP1 공급구가 EP2 공급구에 비해 수치상으로 낮은 값을 보였으며 사료 공급횟수가 증가할수록 EP2 공급구는 1일 3회까지 지질함량이 증가하는 경향을 보였다.

Table 4. Proximate composition (%) in the liver of flounder (initial average 55.1 ± 2.80 g) fed experimental extruded pellets (EP1 and EP2) with different feeding frequency and satiation rate for 58 days¹

Diets	Feeding frequency / day	Feeding satiation (%)	Moisture	Crude protein	Crude lipid
EP1	Three meals	100	70.7 ± 1.55^{abc}	11.5 ± 0.30^{abc}	11.3 ± 1.30^{ns}
		80	72.3 ± 1.76^c	12.8 ± 0.52^c	9.9 ± 1.50
	Two meals	100	70.9 ± 1.78^{bc}	12.0 ± 0.38^{abc}	11.3 ± 1.45
		80	72.4 ± 0.51^c	12.4 ± 0.48^{bc}	10.1 ± 1.26
	One meal	100	73.1 ± 0.96^c	12.4 ± 0.80^{bc}	8.4 ± 1.59
		80	71.0 ± 0.56^{bc}	12.2 ± 0.48^{bc}	10.2 ± 0.77
EP2	Three meals	100	68.0 ± 0.70^{ab}	10.4 ± 0.46^a	12.9 ± 0.99
		80	70.1 ± 0.89^{abc}	10.9 ± 0.92^{ab}	11.0 ± 0.73
	Two meals	100	66.9 ± 1.45^a	10.5 ± 0.20^a	12.7 ± 1.15
		80	70.5 ± 1.20^{abc}	11.8 ± 0.43^{abc}	10.6 ± 1.10
	One meal	100	70.0 ± 0.81^{abc}	11.7 ± 0.27^{abc}	10.2 ± 0.78
		80	69.4 ± 1.15^{abc}	11.6 ± 0.45^{abc}	9.6 ± 0.89
Three-way ANOVA					
Diet (D)			$P<0.001$	$P<0.002$	$P<0.2$
Feeding frequency (F)			$P<0.7$	$P<0.3$	$P<0.08$
Feeding satiation (S)			$P<0.2$	$P<0.08$	$P<0.2$
D × F			$P<0.6$	$P<0.9$	$P<0.9$
D × S			$P<1.0$	$P<0.4$	$P<0.3$
F × S			$P<1.0$	$P<0.4$	$P<0.3$
D × F × S			$P<0.4$	$P<0.6$	$P<0.4$

¹ Values (mean \pm SE of three replicate groups) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

EP1과 EP2를 먹인 후의 시간에 따른 위와 장의 함량변화를 Fig. 1과 2에 각각 나타내었다. 위 내용물 함량은 사료공급 후 10시간까지 증가하는 경향을 보이면서 그 이후 서서히 감소하여 36시간과 48시간 이후 처음과 동일한 함량을 보였다. 그러나 EP1의 1일 1회 제한 공급구의 경우에는 사료를 공급한 후 15시간 이후에 위가 완전히 비워지는 결과를 보였다. 장 내용물 함량은 모든 실험구에서 사료공급 후 1시간 이후부터 증가하였고, 1일 1회 공급구의 경우에는 15시간 이후부터, 1일 2회 및 3회 공급구의 경우에는 24-36시간 이후부터 감소하는 경향을 보이면서 36-48시간 이후에는 처음과 동일하였다. EP1의 1일 1회 제한 공급구에서는 24시간만에 장이 완전히 비워지는 결과를 보였다.

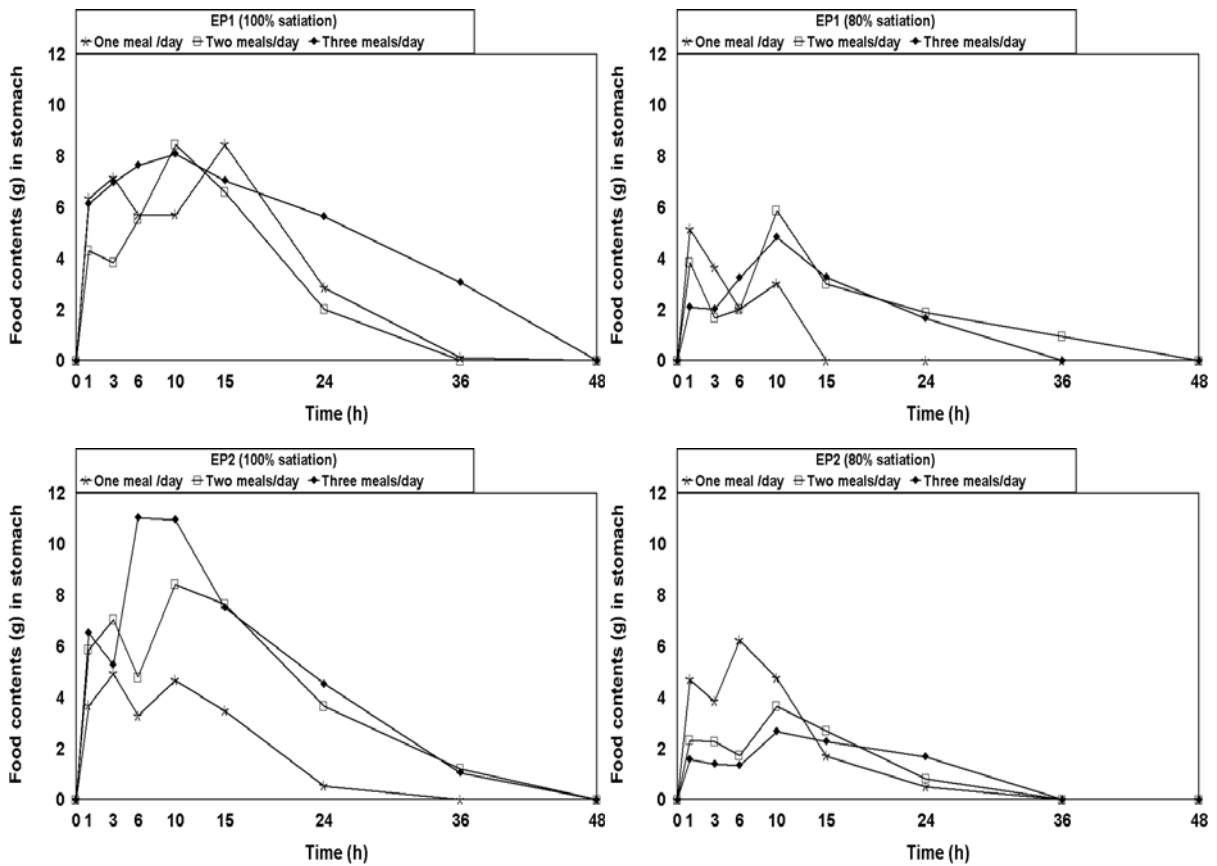


Fig. 1. Stomach evacuation of juvenile flounder fed experimental extruded pellets (EP1 and EP2) with different feeding frequency and satiation rate.

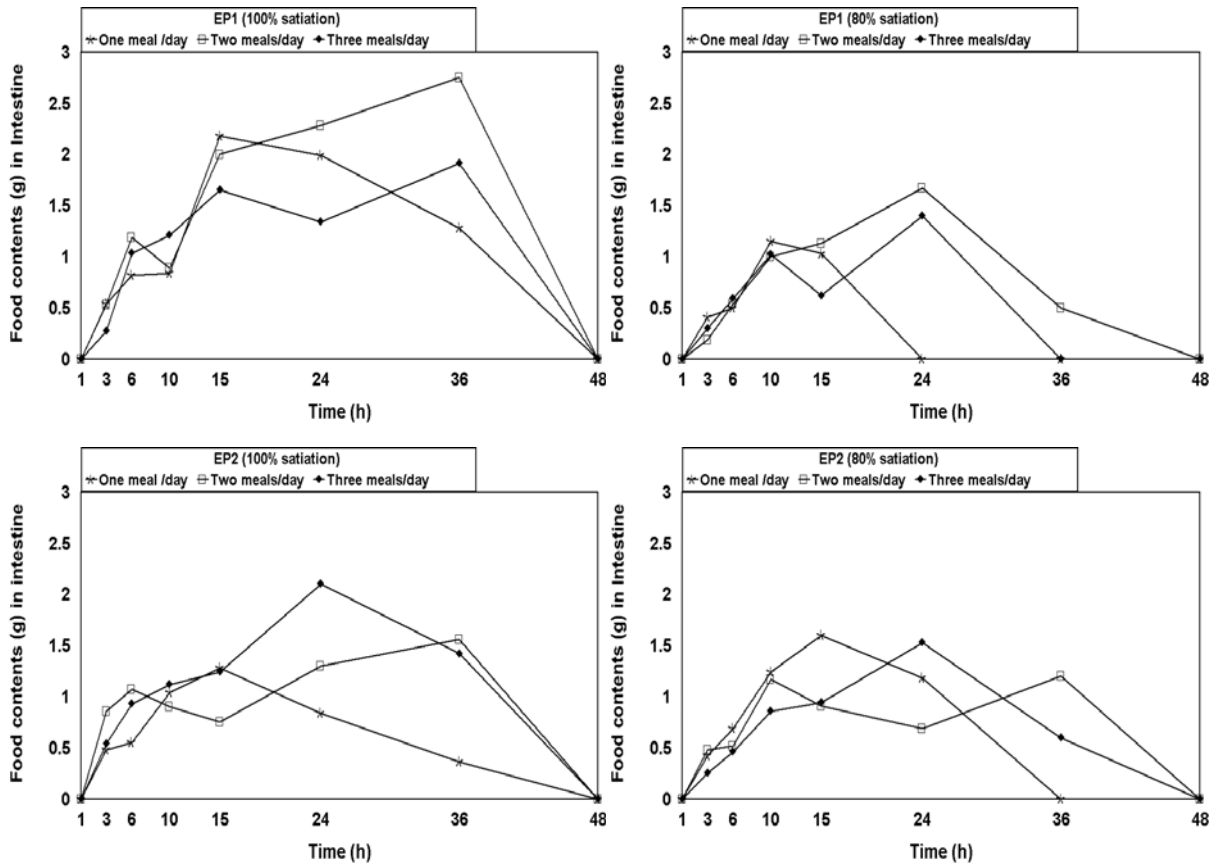


Fig. 2. Intestine evacuation of juvenile flounder fed experimental extruded pellets (EP1 and EP2) with different feeding frequency and satiation rate.

동일한 사료 조성과 공급횟수에서 1일 1회 공급구를 제외한 나머지 실험구에서 반복 공급구가 제한 공급구에 비해 성장이 유의하게 높은 결과를 보여 평균체중 55-90 g의 넙치를 사육할 때 제한 공급보다는 반복 공급이 더 효율적임을 알 수 있었으며, 이러한 결과는 Seo et al. (2005)의 실험결과와 유사하였다. 그리고 동일한 공급율에서 두 사료 모두 1일 2회 반복 공급구의 성장이 1일 3회 반복 공급구에 비해 비슷하거나 오히려 높은 값을 보인 것은 본 실험에 사용된 조건에서 부상사료를 1일 3회 반복으로 공급할 필요가 없음을 암시한다. Kim et al. (2005)은 45 g 전후의 넙치 치어를 대상으로 실험한 결과, 본 실험과 유사하게 사료의 적정 공급횟수가 1일 2회 반복 공급이라고 보고하였다. 그러나 Lee et al. (1999)은 1.6-4 g인 넙치 치어의 경우, EP를 1일 3회 공급하는 것이 적절하다고 보고 하였으며, Lee et al. (2000b)은 1.5-3.5 g의 넙치 치어를 대상으로 DP (dry pellet)의 에너지 함량에 따라 1일 2회 또는 1일 3회 공급이 적절하다고 보고 하였다. 이는 같은 어종이라 할지라도 어체 크기와 사료 물성 및 영양소 함량에 따라 적정 사료 공급횟수가 달라질 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 평균체중 25 g전후인 조피볼락 치어에 대한 DP의 적정 공급율은 반복 공급의 70-85% (Lee, 1997)였고 적정 공급횟수는 사료의 품질에

따라 1일 1회 또는 2일 1회(Lee et al., 1996)였으며, 평균체중 5.7 g 전후의 조피볼락 치어의 경우 사료를 1일 1회 반복으로 공급하는 것이 적절하다고 보고되어 있다(Lee et al., 2000a). 이처럼 어종에 따라서도 사료의 적절한 공급방법이 달라질 수 있으므로 사료 공급시 이에 대한 고려가 반드시 필요하겠다. 그리고 어종, 어체의 크기, 사료내 영양소 종류와 함량 및 사육조건 등에 의해서도 어류의 최대성장을 위한 사료의 적정 공급횟수는 달라질 수 있다고 이전 연구들에서도 보고되어 있다(Wang et al., 1998; Lambert and Dutil, 2001; Dwyer et al., 2002; Riche et al., 2004).

단백질 요구량을 만족 하면서 어류가 요구하는 양만큼의 에너지를 비단백질 에너지로 섭취한다면 단백질이 성장에 효율적으로 이용될 수 있을 뿐 아니라 단백질 절약효과로 사료 비용을 최소화 할 수 있을 것이다. 넙치 치어의 경우, 동일한 공급횟수에서 1일 2회 공급까지 낮은 에너지보다 높은 에너지가 함유된 사료를 먹은 실험구에서 양호한 성장결과를 보였다고 보고되어 있다(Lee et al., 2000a). 하지만 본 실험에서 증체율이 동일한 사료 공급횟수와 공급율에서 사료 구성에 대한 차이를 인정하지 않았으므로 두 사료 중 단백질과 지질 함량이 다소 낮은 EP1을 사용하는 것이 경제적으로 좋을 것으로 판단된다. 금후, EP의 가공 물성과 영양소 함량 등에 따른 구체적인 연구가 계속 수행되어야 할 것이다.

일일사료섭취율은 EP1의 경우 동일한 공급율에서 1일 2회 공급구가 1일 1회 공급구보다 높았지만 1일 3회 공급구와 유의한 차이를 보이지 않아 1일 3회가 과잉 공급횟수임을 암시하고 있으며, 사료를 1일 2회만 공급하여도 넙치의 영양소 요구량을 충족시킬 수 있을 것이라 생각된다. 그리고 사료 공급율은 사료내 지질 함량에 따라 달라질 수 있는데 (Marais and Kissil, 1979; Munsiri and Lovell, 1993), 본 실험에서는 1일 1회 제한 공급구를 제외한 모든 실험구를 비교해 보았을 때 동일한 공급횟수와 공급율에서 사료의 지질함량이 다소 낮았던 EP1의 공급구가 EP2의 공급구에 비해 높은 사료 섭취율을 보였다. 이것은 EP1의 에너지 함량이 EP2보다 더 낮아서 에너지 요구량을 충족시키기 위해 그만큼 사료 섭취율이 높게 나타난 것으로 판단된다. 이처럼 사료의 에너지 함량과 사료섭취량은 어류 성장에 상관관계가 있는 것으로 보고되고 있으며(Lee et al., 2002b), 넙치치어의 경우에도 낮은 에너지함량의 사료에서는 1일 3회 공급이 적절하였지만 높은 에너지 함량에서는 사료의 적정 공급횟수가 1일 2회라고 보고하였다(Lee et al., 2000a). 차넬메기 (Garling and Wilson, 1976) 및 무지개송어(Takeuchi and Watanabe, 1982)에서도 사료내 동일한 단백질 함량에서 지질 함량을 조절함으로써 성장과 사료효율이 개선되었다고 보고된 바 있다. 하지만 잉어(Murai et al., 1985)와 European sea bass (Peres and Oliva, 1999)와 같이 몇 어종에서는 지질 첨가에 따른 성장개선의 효과가 없거나 아주 적다는 보고도 있으며, Lie et al. (1988)은 Atlantic cod의 경우 다량의 지질첨가에 의한 고에너지 사료는 단백질과 지질의 소화율을 낮추어 성장 감소 뿐 아니라, 어체의 지질함량이 증가함에 따라

품질을 저하 시킨다고 보고했다. 이처럼 영양소 요구량은 어종에 따라 다르므로 각 어종마다 이에 대한 연구가 개별적으로 수행되어야 할 것이다.

통계적인 차이는 없었으나 EP2 공급구가 EP1 공급구에 비해 간의 지질 함량이 수치상으로 높았고 EP2 공급구에서 사료 공급횟수가 1일 3회까지 증가할수록 지질함량이 증가하는 경향을 보였다. 이는 지질의 과잉 섭취로 과잉의 에너지가 간에 지질로 축적된 것으로 생각되며 어체의 지질함량 증가는 상품의 질을 저하시킬 수 있다. Lee et al. (2000a)의 실험에서도 공급횟수가 증가할수록 어체 지질함량이 높아져 본 실험의 결과와 유사한 경향을 보였으며, 타 어종에 관한 몇몇 연구에서도 공급횟수가 증가할수록 어체내 지질함량이 증가된다고 보고 되어있다(Grayton and Beamish, 1977; Kayano et al., 1993; Yao et al., 1994; Lee et al., 1996).

사료 공급시간과 사료 공급횟수는 장의 내용물이 비워지는 시간과 밀접한 관계를 가지며(Holmgren et al, 1983), 어류가 이용할 수 있는 사료 섭취량은 위의 포만과 장 배설시간에 따라 달라질 수 있다고 보고되어 있다(Grove and Grawford, 1980; Grove et al., 1985). 식욕이 되돌아오는 시간을 알 수 있으면 적절한 사료 공급으로 사료 섭취와 사료 효율을 향상시킬 수 있어(Lee et al., 2000b) 결국, 최대성장을 이룰 수 있을 것이다. 조피볼락(Lee et al., 2000b)의 경우 24시간 만에 장이 비워지는 결과를 보였는데 본 실험에서의 넘치는 사료 공급 후 48시간 이후에 위와 장이 모두 비워지는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 어종에 따라 장의 길이나 내용물 통과시간이 다를 수 있으며, 또한 어종별, 크기별, 사육환경에 따른 소화능력이 다르다는 것을 의미하며 넘치의 장 통과시간에 대한 구체적인 연구가 계속 수행되어야 할 것이다. 이상의 결과들로 미루어 보아 평균 체중 55-90 g인 넘치의 성장을 위해 본 실험에 사용된 부상사료의 경우, 1일 2회 반복으로 공급하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 최근에 인건비는 계속 상승하고 있고 양식어는 판매가격이 하락하고 있는 추세이기 때문에 양식에 투자되는 노동적인 비용을 최소화하는 것이 합리적인 양식경영으로 판단된다. 지금까지 연구된 넘치의 영양적 요구량을 바탕으로 EP 공급방법에 관련한 연구들이 진행되어 적정 공급횟수 및 공급율이 확립된다면 사료 공급의 자동화로 인해 인건비와 노동시간의 최소화 및 수질오염 감소 등의 효과를 올릴 수 있어 경제적이고 환경친화적인 양식산업이 형성될 수 있을 것으로 기대된다.

제 7 절 조피볼락 배합사료 조성 및 사료 공급횟수

1. 서론

사료 내 단백질과 에너지의 함량과 그 비율은 어류의 성장, 생산비용 및 수질에 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 사료의 단백질과 에너지의 적절한 비율은 실용사료를 제조하는데 있어 매우 중요하다. 사료의 단백질과 에너지의 비율이 대상어종에 대해 적절하게 함유되어 있으면, 어류 성장의 감소 없이도 사료의 단백질 함량을 줄일 수 있다. 지질 또는 탄수화물 함량에 의한 단백질 절약효과는 몇몇 어종에 대해 보고되었다(Cho and Kaushik, 1990; De Silver et al., 1991). 불균형된 사료의 비 단백질 에너지의 원료 또는 함량은 성장, 영양소 이용효율 및 체내 지질축적 등에 해로운 영향을 미칠 수 있기 때문에 사료의 단백질 함량 뿐 아니라 지질과 탄수화물의 적절한 함량을 결정하는 것 또한 매우 중요하다(Garling and Wilson, 1976).

사료 섭취는 사료 공급횟수에 영향을 받으며, 어류의 성장은 사료의 섭취량에 영향을 받는다(Buurma and Diana, 1994). 영양소가 균형있게 배합되어 사료효율이 높은 사료를 제조할 때, 대상어종에 대한 적절한 사료공급체계도 동시에 고려되어야 한다. 사료 공급횟수 또는 공급률과 같은 사료공급체계가 적절하게 확립되어 있지 않는 상품사료는 보장될 수 없다. 이것은 어류의 영양소 요구량이 사료 섭취에 의해 크게 영향을 받기 때문이다(Tacon and Cowey, 1985; Talbot, 1985). 어류의 성장과 사료효율에 대한 사료공급횟수의 영향은 channel catfish (Andrews and Page, 1975), estuary grouper (Chua and Teng, 1978), plaice (Jobling, 1982), wolfish (Fam, 1997) 및 flounder (Lee et al., 2000b)를 포함한 몇몇 어종에서 조사되었다. 일반적으로 사료공급횟수가 증가하면 사료섭취가 향상되어 성장이 증가할 수 있다(Ishiwata, 1969a, b; Grayton and Beamish, 1977). 적절한 사료공급횟수는 어류의 성장과 사료효율을 향상시킬 뿐 아니라 사료 찌꺼기를 줄이고 어체의 크기를 일정하게 유지할 수 있다. 하지만, 어류가 사료를 부족하게 섭취한다면, 개체크기의 다양성과 보상성장으로 인해 성장이 감소되고 중간에 우위체계가 발생될 수 있다(Jobling, 1983). 이와 반대로, 사료가 과잉공급은 사료낭비와 수질오염으로 인해 경제적 손실을 초래한다. 어류의 성장을 위한 적절한 사료공급횟수는 일반적으로 어체 크기, 사육조건 및 사료조성에 영향을 받는다(Brett and Higgs, 1970; Gershanovich and Taufik, 1992; De Silva and Anderson, 1995; Lee et al., 2000b).

조피볼락은 우리나라에서 상업적으로 중요한 양식어종이다. 지금까지 이 어종에 대해 영양소 요구량과 사료공급횟수에 대한 몇몇 연구들이 보고되었다(Bai and Lee, 1998; Lee et al., 2000a; Lee, 2002; Lee et al., 2002). 하지만, 조피볼락 치어에 대한 사료조성의 상호작용과 사료공급횟수의 영향을 함께 고려한 자료는 없다. 그러므로 본 연구는 단백질, 지질 및 탄수화물 함량이 다르게 함유된 사료를 공급했을 때 조피볼락치어의 성장에 대한 적절한 사료공급횟수를 결정하기 위해 수행되었다.

2. 재료 및 방법

실험사료

실험사료의 원료 및 영양소 함량을 Table 1에 표시하였다. 주요 단백질원으로 고등어 어분을, 지질원으로 오징어 간유를, 그리고 탄수화물원으로 소맥분을 사용하여 3종류의 실험사료를 제조하였다. 실험사료의 단백질, 탄수화물 및 지질함량을 다르게 조절하기 위해 육분, α -전분 및 오징어 간유를 각각 다르게 첨가하였다. 이와 같이 설계된 원료들을 잘 혼합하여 분말사료 100 g 당 35-40 g의 물을 첨가하여 실험실에서 보유하고 있는 moist pellet 제조기로 성형한 후, 실온에서 24시간동안 건조하여 -30°C 냉동고에 보관하면서 사료 공급시마다 사용하였다.

실험어 및 사육관리

실험어는 강원도 강릉의 개인양식장에 구입하여 사육실험을 시작하기 전 2주간 실험조건에 적응시키면서 시판사료를 공급하였다. 평균체중 4.1 ± 0.23 g의 실험어를 무작위로 선별하여 300 L FRP 원형수조에 30마리씩 수용하였다. 각 실험수조마다 지속적으로 여과해수를 분당 5 L로 조정하여 흘려주었으며 에어레이션을 시켜주었다. 사육기간 동안의 수온은 $17.8 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였으며 광주기는 자연조건으로 하였다.

사료공급 및 장통과 시간

사료공급횟수는 1일 2회(0800 h, 1700 h), 1일 1회(0800 h) 및 2일 1회(0800 h)로 설정하였다. 각 사료공급횟수별로 3반복의 실험구를 두었으며, 사료공급은 1주일 6일동안 어류가 사료를 먹을 때 까지 만복에 가깝도록 손으로 던져주었다. 사육실험은 동일한 사람에 의해 8주간 지속되었다. 사육실험 종료 후, 측정하고 분석용으로 샘플을 취하고 남은 실험어를 대상으로, 각 실험구별로 사료의 장 통과 시간을 조사하였다. 우선 3반복의 실험구로 나누어진 어류를 동일한 사료를 공급한 실험구끼리 하나의 실험수조로 옮긴 다음 2주간 실험조건에 적응시켰다. 사료는 사육실험과 동일한 방법으로 만복으로 공급하였다. 어류는 사료 공급후, 일정한 시간간격(1, 3, 8, 13, 24 및 48 h)으로 100ppm의 MS222(tricaine methane sulfonate, Sigma, USA)에 마취시켜 해부를 통해 위 내용물 함량을 조사하였다.

Table 1. Ingredients and proximate composition of the experimental diets

	Diets		
	HC	HL	HP
<i>Ingredients (%)</i>			
Mackerel fish meal ¹	55.0	55.0	55.0
Meat meal			10.0
Wheat flour	26.5	29.5	26.5
Alpha-starch	9.0		
Wheat gluten	2.0	2.0	2.0
Squid liver oil	2.0	8.0	1.0
Vitamin premix ²	2.0	2.0	2.0
Mineral premix ²	3.0	3.0	3.0
Choline salt (50%)	0.5	0.5	0.5
<i>Proximate composition</i>			
Moisture (%)	21.3	18.7	20.1
Crude protein (% DM)	50.5	48.9	55.0
Crude lipid (% DM)	5.8	13.2	7.0
Crude Ash (% DM)	9.1	8.6	14.3
N-free extract (% DM)	34.6	29.3	23.7
Gross energy (kcal/g diet)	5.3	5.7	5.3

¹ Imported from Chile.

² Same as Lee (2002).

시료채취 및 성분분석

어체, 간 및 근육의 성분 분석용으로 최초 50마리를 무작위로 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조에서 15마리를 성분 분석용 시료로 취하여 냉동보관(-75℃)하였다. 실험사료 및 어체의 일반 성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550℃의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. Nitrogen-free extract는 각 영양성분의 차이로 계산하였으며, 사료의 총에너지는 bomb calorimeter (Parr, USA)를 사용하여 측정하였다.

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS Version 10 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였고, Two-way ANOVA-test로 사료조성과 사료공급횟수에 대한 상관요인을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

8주간의 사육실험 후, 사료공급횟수에 따른 조피볼락의 증중률, 비만도, 간 중량지수 및 장 중량지수를 Table 2에 표시하였다. 생존률은 모든 실험구에서 유의차 없이 양호한 값 (90% 이상)을 보였다($P>0.05$). 증중률은 실험사료 조성에는 영향을 받지 않았지만, 공급 횟수에는 유의하게 ($P<0.01$) 영향을 받았다. 사료조성에 관계없이 사료를 1일 1회 공급한 어류의 증중률은 2일 1회 공급구보다 유의하게 높았지만($P<0.05$), 1일 2회 공급구와는 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 비만도는 사료조성과 사료공급횟수 모두에 영향을 받지 않았다($P>0.05$). 간 중량지수는 사료공급횟수에 영향을 받았으며, 장 중량지수는 사료조성에 영향을 받았다 ($P<0.01$). 사료조성에 관계없이 사료를 2일 1회 공급한 어류의 간 중량지수는 다른 실험구보다 더 낮은 경향을 보였다.

사료효율, 단백질효율, 일일사료섭취율 및 일일단백질섭취율을 Table 3에 표시하였으며, 이러한 값들은 사료조성과 사료공급횟수 모두에 유의한 영향을 받았다($P<0.001$). 사료조성에 관계없이 사료를 2일 1회 공급한 어류의 일일사료섭취율은 실험구중에서 가장 낮았으며 동일한 사료공급횟수에서 HC 사료를 공급한 어류의 일일사료섭취율은 HL과 HP 사료를 공급한 어류보다 더 높았다. 동일한 사료조성에서 사료를 2일 1회 공급한 어류의 일일단백질섭취율은 실험구중에 가장 낮은값을 보였으며 동일한 사료공급횟수에서 HL 사료를 공급한 어류의 일일단백질섭취율은 HC와 HP 사료를 공급한 어류보다 유의적으로 더 낮았다($P<0.05$). 사료효율과 단백질효율은 동일한 사료조성에서 사료공급횟수가 증가하면서 감소하였으며, 동일한 사료공급횟수에서 HC사료를 공급한 어류의 사료효율과 단백질효율은 HP와 HL 사료를 공급한 어류보다 더 낮았다.

Table 2. Growth performance of juvenile rockfish fed the experimental diets with different feeding frequencies for 8 weeks¹

Diets	Feeding	Initial weight (g/fish)	Weight gain (%)	CF ³	HSI ⁴	VSI ⁵
HC	Twice a day	4.2±0.15 ^{ns}	446±2.9 ^b	1.95±0.045 ^{ns}	3.97±0.132 ^{abc}	4.02±0.071 ^a
	Once a day	4.2±0.12	450±13.1 ^b	1.90±0.023	4.08±0.187 ^{bc}	4.22±0.132 ^{ab}
	Once in 2 days	4.1±0.03	341±10.3 ^a	1.88±0.030	3.46±0.131 ^a	4.16±0.066 ^{ab}
HL	Twice a day	3.9±0.00	432±15.3 ^b	1.86±0.074	4.13±0.206 ^{bc}	5.01±0.448 ^c
	Once a day	3.9±0.29	472±52.9 ^b	1.93±0.122	4.27±0.066 ^c	4.45±0.118 ^{abc}
	Once in 2 days	4.1±0.10	371±5.2 ^a	1.86±0.017	3.90±0.194 ^{abc}	4.82±0.356 ^{bc}
HP	Twice a day	4.0±0.10	449±2.3 ^b	1.86±0.056	4.11±0.167 ^{bc}	4.00±0.301 ^a
	Once a day	4.1±0.18	460±8.3 ^b	1.92±0.047	4.08±0.181 ^{bc}	4.22±0.113 ^{ab}
	Once in 2 days	4.3±0.12	333±5.0 ^a	1.79±0.029	3.67±0.116 ^{ab}	4.28±0.174 ^{abc}
<i>Two-way ANOVA</i>						
Dietary composition			P<0.7	P<0.6	P<0.2	P<0.01
Feeding frequency			P<0.001	P<0.3	P<0.01	P<0.9
Interactions			P<0.7	P<0.8	P<0.9	P<0.5

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a superscript are significantly different (P<0.05).

² (Final body weight-initial body weight)×100/initial body weight.

³ Condition factor = (body weight×100)/total body length(cm)³.

⁴ Hepatosomatic index = (liver weight×100)/body weight.

⁵ Visceralsomatic index = (viscera weight×100)/body weight.

^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 3. Feed intake and utilization of juvenile rockfish fed the experimental diets with different feeding frequencies for 8 weeks¹

Diets	Feeding	Daily feed intake (%)	Daily protein intake (%)	Food efficiency (%)	Protein efficiency (%)
HC	Twice a day	3.12±0.029 ^e	1.57±0.015 ^e	79.2±0.62 ^a	1.57±0.012 ^a
	Once a day	2.96±0.013 ^d	1.49±0.007 ^d	83.4±0.81 ^{ab}	1.65±0.017 ^{ab}
	Once in 2 days	2.35±0.038 ^b	1.19±0.021 ^b	93.5±0.43 ^d	1.85±0.010 ^d
HL	Twice a day	2.80±0.078 ^c	1.37±0.040 ^c	86.9±2.42 ^{bc}	1.78±0.053 ^{cd}
	Once a day	2.70±0.061 ^c	1.32±0.031 ^c	91.6±2.59 ^{cd}	1.87±0.054 ^d
	Once in 2 days	2.24±0.015 ^{ab}	1.09±0.006 ^a	102.5±0.69 ^e	2.10±0.012 ^e
HP	Twice a day	2.80±0.052 ^c	1.54±0.031 ^{de}	88.3±1.60 ^{bcd}	1.61±0.027 ^{ab}
	Once a day	2.68±0.020 ^c	1.47±0.015 ^d	92.6±1.39 ^d	1.68±0.023 ^{bc}
	Once in 2 days	2.18±0.058 ^a	1.20±0.031 ^b	99.9±2.25 ^e	1.81±0.039 ^d
<i>Two-way ANOVA</i>					
Dietary composition		P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
Feeding frequency		P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
Interactions		P<0.4	P<0.4	P<0.8	P<0.5

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Feed intake (dry matter) × 100/[(initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days fed/2].

³ Protein intake (dry matter) × 100/[(initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days fed/2].

⁴ Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

⁵ Fish wet weight gain/protein intake.

전어체, 간 및 근육의 일반성분 분석결과를 Table 4-6에 각각 표시하였다. 전어체의 수분과 지질함량은 사료조성과 사료공급횟수 모두에 유의하게 영향을 받았다(P<0.001). 동일한 사료조성에서 수분함량은 사료공급횟수가 감소하면서 증가하였으며 동일한 사료공급횟수에서 HL 사료를 공급한 어류의 수분함량은 HC와 HP 사료를 공급한 어류보다 더 낮았다. 그리고 동일한 사료공급횟수에서 HL 사료를 공급한 어류가 가장 높은 지질함량을 보였으며 (P<0.05) 동일한 사료조성에서 사료를 2일 1회 공급한 어류의 지질함량이 1일 1회 또는 2회

공급한 어류보다 낮은 값을 보였다. 단백질함량은 사료조성에 영향을 받아(P<0.01) 동일한 사료공급횟수에서 HP 사료를 공급한 어류가 HC와 HL 사료를 공급한 어류보다 더 높은 경향을 보였다. 간의 수분과 단백질함량은 사료공급횟수에 영향을 받았다(P,0.05). 사료조성에 관계없이 사료공급횟수가 증가하면서 간의 수분함량은 감소하는 경향을 보였고 단백질함량은 증가하는 경향을 보였다. 근육의 일반성분은 모든 실험구에서 유의한 차이가 없었다.

Table 4. Proximate composition (%) of whole body of juvenile rockfish fed the experimental diets with different feeding frequencies for 8 weeks¹

Diets	Feeding frequency	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Crude ash
Initial		73.1	15.4	3.4	5.3
HC	Twice a day	69.8±0.16 ^b	16.3±0.21 ^{ab}	8.3±0.09 ^{bc}	4.0±0.10 ^{ns}
	Once a day	69.6±0.34 ^b	16.9±0.19 ^{bcd}	8.3±0.19 ^{bc}	3.8±0.24
	Once in 2 days	71.4±0.27 ^c	16.6±0.45 ^{abc}	6.2±0.10 ^a	4.0±0.05
HL	Twice a day	68.1±0.48 ^a	16.0±0.53 ^a	10.6±0.58 ^c	3.9±0.12
	Once a day	68.9±0.64 ^{ab}	16.6±0.09 ^{abc}	9.6±0.56 ^{de}	3.6±0.27
	Once in 2 days	69.2±0.83 ^{ab}	16.6±0.12 ^{abc}	8.8±0.28 ^{cd}	4.0±0.07
HP	Twice a day	70.0±0.57 ^b	17.4±0.07 ^d	7.7±0.41 ^{bc}	4.0±0.13
	Once a day	69.6±0.18 ^b	17.0±0.10 ^{bcd}	7.5±0.39 ^b	3.8±0.03
	Once in 2 days	71.4±0.24 ^c	17.3±0.36 ^{cd}	6.2±0.27 ^a	3.9±0.21
<i>Two-way ANOVA</i>					
Dietary composition		P<0.001	P<0.002	P<0.001	P<0.8
Feeding frequency		P<0.001	P<0.3	P<0.001	P<0.2
Interactions		P<0.4	P<0.2	P<0.5	P<0.8

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 5. Proximate composition (%) of liver in juvenile rockfish fed the experimental diets with different feeding frequencies for 8 weeks¹

Diets	Feeding frequency	Moisture	Crude protein	Crude lipid
Initial		62.4	12.7	14.8
HC	Twice a day	57.1±0.46 ^{ab}	10.6±0.24 ^d	18.9±0.62 ^{ns}
	Once a day	55.9±0.81 ^a	10.0±0.12 ^{bc}	19.5±1.64
	Once in 2 days	59.9±0.03 ^c	9.6±0.07 ^{ab}	13.4±1.09
HL	Twice a day	58.5±1.29 ^{bc}	10.3±0.22 ^{cd}	18.0±0.81
	Once a day	58.2±0.37 ^b	9.9±0.22 ^{abc}	16.0±3.26
	Once in 2 days	58.4±0.71 ^{bc}	9.4±0.10 ^a	15.5±1.22
HP	Twice a day	58.0±0.36 ^{bc}	10.7±0.11 ^d	19.8±0.97
	Once a day	58.6±0.22 ^{bc}	10.3±0.18 ^{cd}	15.9±2.50
	Once in 2 days	59.2±0.60 ^{bc}	9.7±0.18 ^{ab}	17.3±1.02
<i>Two-way ANOVA</i>				
Dietary composition		P<0.2	P<0.07	P<0.7
Feeding frequency		P<0.02	P<0.001	P<0.07
Interactions		P<0.06	P<1.0	P<0.3

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 6. Proximate composition (%) of muscle of juvenile rockfish fed the experimental diets with different feeding frequencies for 8 weeks¹

Diets	Feeding frequency	Moisture	Crude protein	Crude lipid
Initial		78.00	20.21	0.14
HC	Twice a day	75.4±0.50 ^{ns}	21.0±0.07 ^{ns}	2.0±0.64 ^{ns}
	Once a day	75.1±0.58	22.4±0.76	1.4±0.39
	Once in 2 days	77.1±0.30	22.5±0.74	1.0±0.27
HL	Twice a day	75.8±0.61	20.8±0.23	1.2±0.37
	Once a day	75.9±0.26	22.0±0.93	1.9±0.53
	Once in 2 days	75.9±0.27	22.2±0.73	0.8±0.28
HP	Twice a day	74.9±0.44	21.0±0.24	2.4±0.65
	Once a day	74.6±1.29	22.2±0.88	1.9±0.41
	Once in 2 days	76.8±0.39	22.5±0.71	1.1±0.45
<i>Two-way ANOVA</i>				
Dietary composition		P<0.6	P<0.9	P<0.5
Feeding frequency		P<0.03	P<0.04	P<0.06
Interactions		P<0.4	P<1.0	P<0.8

¹ Values (mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

^{ns} Not significant (P>0.05).

사료공급횟수에 따른 실험사료 공급 후 어류의 위와 장의 함량변화를 Fig. 1과 2에 나타내었다. 위 내용물 함량은 사료 공급 후 점차 증가하다가 24시간 후에는 사료 섭취전과 비슷한 함량을 보였다. 장 내용물 함량은 위 내용물 함량변화와 유사하였으며, 사료 공급 후 48시간 이후 처음과 동일한 함량을 보였다.

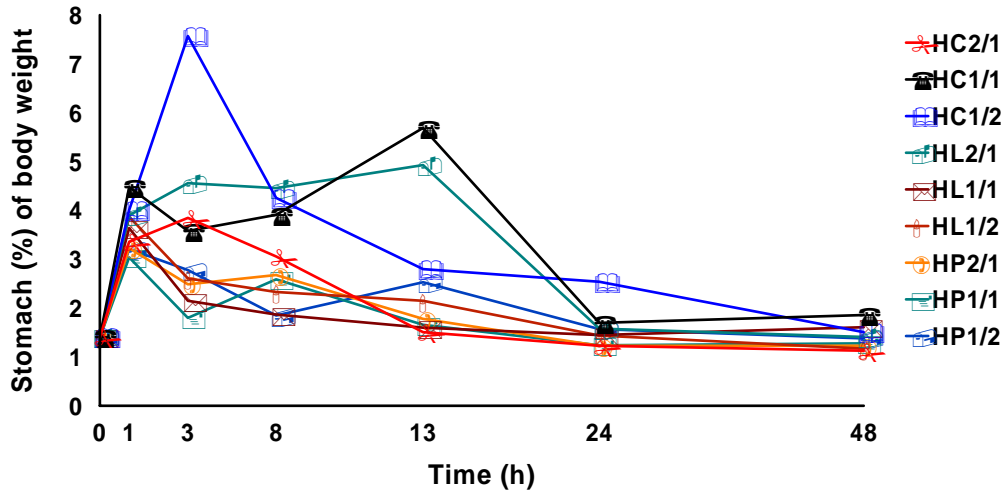


Fig. 1. Stomach contents of rockfish after feeding with different feeding frequencies.

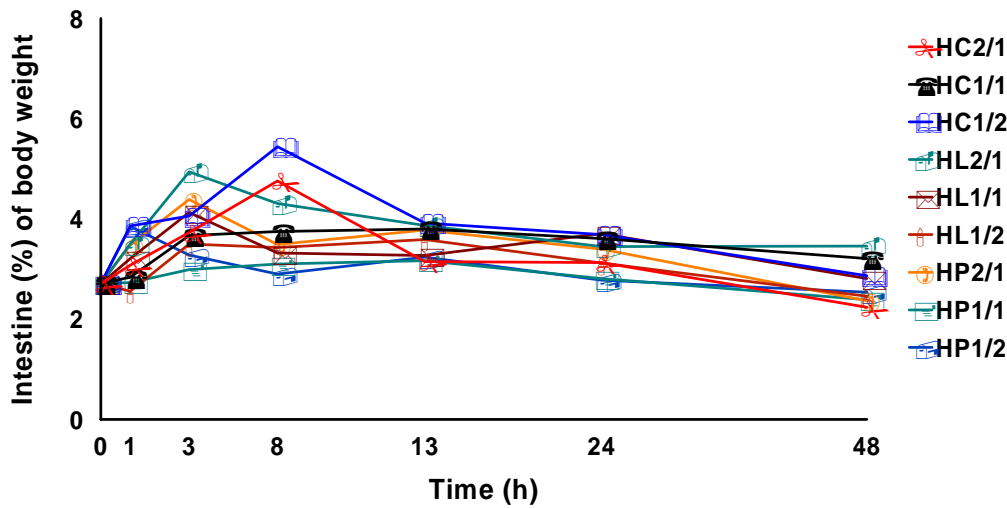


Fig. 2. Intestine contents of rockfish after feeding with different feeding frequencies.

본 실험에서 동일한 사료조성에서 사료를 1일 1회 공급한 어류의 증중률이 2일 1회 공급구보다 더 높았지만 1일 2회 공급구와는 유의한 차이를 보이지 않은 결과로 보아 1일 1회 공급이 2일 1회 또는 1일 2회로 공급하는 것보다 더 효율적이며 1일 2회는 조피볼락 치어의 성장에 과잉 공급임을 암시한다. 하지만, 어류의 최대성장을 위한 적절한 사료공급횟수는 어종, 어체크기, 사료내 영양소조성 또는 함량 및 사육조건에 의존하여 달라질 수 있는데, Cho et al., (2003)은 평균무게 0.15 g의 은어에 적합한 사료공급횟수가 1일 4회라고 보고하였으며, Lee et al. (1996b)은 25 g-60 g의 조피볼락치의 성장을 위해 2일 1회의 사료공급이 1일 1회 또는 2회로 공급하는 것보다 더 적절하다고 제안했다. 또한, 본 실험에 사용된 조피볼락과 유사한 크기인 넙치 치어(initial weight of 3.5 g)는 사료

내 에너지함량에 따라 1일 2회 또는 3회로 공급하는 것이 더 적절하다고 보고되었다(Lee et al., 2001b). 이러한 결과로 미루어보아, 적정 사료공급횟수의 결정을 위해 어종 또는 어체 크기를 고려하는 것은 바람직할 것이다.

본 연구에서, HC 사료를 공급한 어류의 일일사료섭취율은 공급횟수 증가하면서 증가하였지만, HL과 HP 사료를 공급한 어류는 1일 1회에서 1일 2회 까지만 증가하였다. 이처럼 사료 영양소에 따라 다른 반응을 보인 것은 사료내 가용성 에너지 함량과 밀접한 관계가 있기 때문으로 판단된다. 즉 탄수화물의 가용 에너지가 단백질이나 지질보다 낮기 때문에 체내에 필요한 양만큼의 에너지 섭취를 위해 사료섭취가 상대적으로 높아진 것이다. 이러한 가설은 이미 조피볼락의 탄수화물 소화율이 단백질이나 지질보다 훨씬 낮음을 보고한 앞 연구(Lee, 2002)에서도 증명된 바 있다. 또한, 동일한 사료공급횟수에서 HC 사료를 공급한 어류의 경우, 일일사료섭취율은 가장 높게 나타났지만, 사료효율이 다른 실험구보다 더 낮은 결과는 단백질과 지질에 비해 탄수화물의 이용성이 낮다는 것을 의미한다. 이처럼 사료의 영양소 종류나 함량에 따라 사료의 공급량이 달라져야 함은 사료 설계시나 현장에서 사료공급시에도 당연히 고려되어야 할 것이다. 본 연구에서 조피볼락 치어에게 HL과 HP 사료를 1일 2회 공급하는 것은 과잉 공급으로 보인다. 어류의 사료섭취량은 사료내 가용성에너지에 의해 조절된다고 이전 연구들에서 보고되었다(Lee and Putnam, 1973; Jobling and Wandsvik, 1983). Lee et al. (2002)은 조피볼락(initial wt. 21 g)의 일일사료섭취가 사료내 에너지함량에 의해 영향을 받는다고 보고하였으며, 고에너지 사료를 먹은 어류의 더 낮은 사료섭취는 다른 어종들에서도 보고되었다(Lee and Putnam, 1973; Page and Andrew, 1973).

일반적으로, 조피볼락과 같은 대부분의 육식성 어종은 초식성 또는 잡식성 어류보다 탄수화물 이용성이 더 낮은 반면 단백질 요구량이 높다. 이러한 결과는 몇몇 육식성 어종에서 보고되었다(Lie et al., 1988; Ruohonen et al., 2003). 또한, 사료내 탄수화물 함량은 다른 영양소의 소화율에 영향을 미친다(Aksnes, 1995; Hemre et al., 1995; Hillestad et al., 2001). Rosenlund et al. (2004)은 대구를 대상으로 사료내 탄수화물 함량이 증가되면 사료효율의 역효과를 초래하며 에너지원으로 거의 이용되지 않는다고 보고했다.

단백질효율은 사료내 단백질과 에너지함량에 의해 영향을 받는다(Steffens, 1981; Jauncey, 1982; De Silva et., 1991; Lee et al., 2002). 본 연구에서, HL 사료를 공급한 어류의 단백질효율이 동일한 사료공급횟수에서 다른 사료보다 높은 값을 보인 것은 지질에 의한 사료내 에너지함량의 증가가 탄수화물보다 조피볼락의 단백질이용효율을 더 향상시킬 수 있다는 것을 다시 한번 보여주는 결과라고 볼 수 있다. 즉, 사료내 지질의 증가는 탄수화물보다 단백질 절약효과를 더 이룰 수 있다는 것을 의미하며, 이러한 경향은 타 어종에서도 보고되었다(Cho and Kaushik, 1990; De Silva et., 1991; Wilson, 1994; Vergara et al., 1996). 또한, 사료효율과 단백질효율은 사료공급횟수가 증가하면서 감소하는 경향

을 보였는데, 이러한 경향은 어류의 장내 소화 또는 흡수와 밀접한 관계가 있는 것으로 보인다(Kim et al., 2005). Henken et al. (1985)은 사료공급량이 증가하면서 외관상 소화율 계수가 감소한다고 보고한 바 있다.

동일한 사료공급횟수에서 HL 사료를 공급한 어류의 전어체 지질함량이 HC와 HP 사료를 공급한 어류보다 더 높은 값을 보였는데, 이것은 사료내 지질함량에 직접적으로 영향을 받은 것으로 보이며, 다른 어종들의 연구결과와 일치한다(Lie et al., 1988; Cho, 1990; Hillestad and Johnsen, 1994; Catacutan and Coloso, 1995; Lee et al., 2000b). 그리고 전어체의 지질함량과는 다르게 근육의 지질함량이 사료조성과 사료공급횟수에 영향을 받지 않았다. 이런 현상은 아마도 조피볼락을 포함한 정착성 어종은 근육보다 간과 내장주변조직에 지질을 축적하는 경향 때문일 것이다. 이와 유사한 결과가 조피볼락(Lee et al., 2002)을 포함한 다른 연구에서도 보고된 바 있다(McGoogan and Gatlin, 1999; Peres and Oliva-Teles, 1999). 그리고 사료조성에 관계없이, 어체의 지질함량은 사료공급횟수가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이는 섭취된 과잉의 에너지가 어체에 지질로 축적된 것으로 생각되며 타 어종에서의 실험결과와 유사하였다(Grayton and Beamish, 1977; Kayano et al., 1993; Yao et al., 1994; Lee et al., 2000b).

사료 공급시간과 사료 공급횟수는 장의 내용물이 비워지는 시간과 밀접한 관계를 가지며(Holmgren et al, 1983), 어류가 이용할 수 있는 사료 섭취량은 위의 포만과 장 배설시간에 따라 달라질 수 있다고 보고되어 있다(Grove and Grawford, 1980; Grove et al., 1985). 식욕이 돌아오는 시간을 알 수 있으면 적절한 사료 공급으로 사료 섭취와 사료효율을 향상시킬 수 있다(Lee et al., 2000a). 본 실험에서 조피볼락은 사료 공급 후 24시간 만에 위 내용물 함량이 다 비워졌는데, 이는 Lee et al. (2000a)에 의해 보고된 결과와 유사하였다. 이러한 결과는 조피볼락의 식욕이 되돌아오는 시간이 약 24시간임을 의미하며 성장결과에서 설명된 조피볼락의 적정 사료공급횟수가 1일 1회임이 다시 증명된 결과이다. 하지만, 장 배설률은 사료공급횟수(Riche et al., 2004)를 포함하여 어체 크기와 먹이의 크기 또는 유형(Karjalainen et al., 1991; Singh-Renton and Bromley, 1996; Andersen, 1998), 사료의 에너지함량(Marais and Kissil, 1979; Munsiri and Lovell, 1993), 수온(Singh-Renton and Bromley, 1996) 및 밀도(Gershanovich and Taufik, 1992)등과 밀접한 관계가 있기 때문에, 이러한 요소들은 사료 공급시 조심스럽게 고려되어야 한다.

이상의 결과들로 부터, 평균 체중 4 g - 21 g의 조피볼락 치어용 사료에는 탄수화물보다 지질함량을 증가시키는 것이 단백질 절약효과를 가져오며, 이때 사료공급횟수는 1일 1회 공급하는 것이 2일 1회 또는 1일 2회 공급하는 것 보다 더 효율적이라고 판단된다.

<어류 1 kg 증육에 소요되는 사료 단가 비교>

어류를 판매할 때까지 증육시키는데 소요되는 사료비를 계산하여 비교하는 것은 사료 선택에 따른 경제성을 비교하는데 도움이 된다. 간단히 표시하면, 사료 효과 비교를 위한 사육실험에서 어류 1 kg 증중에 소요되는 사료비를 계산하는 것이다. 본 연구의 사료원료 단가 및 사료 출하가격으로 표시된 값들은 어느 특정 시기에 산출된 것임을 밝혀둔다. 이러한 계산 값들은 사육시기, 생산지, 사료종류, 사료 가공 방법, 시세, 사육환경 등의 주변 요인들에 따라 다소 차이가 있을 수 있다. 예를 들면, 제 9 장 1절에서 사용된 사료 단가 산출은, 양어장에서 생어와 첨가제를 구입한 가격에 제조 및 냉동보관 비용을 합하여 계산한 MP의 kg 당 사료비는 550원 (건물 기준으로 1858원)이었으며, 4개 사료공장에 의뢰하여 평균값으로 계산된 EP와 SMP의 시판출하 가격은 각각 1500원 및 1840원이었다. 아래 표는 제 9 장에서 연구된 EP 사료와 MP 사료의 사육효과 실험들에서 계산된 어류 1 kg 증중에 소요되는 사료비를 표시한 것이다.

9-1. 넙치 배합사료로서 EP, SMP 및 생사료 비교 실험

Diets	Feed price won/kg diet (DM)	Feed efficiency (WG■100/feed intake, DM)	Production cost/kg fish	Relative cost
EP	1500	133	1183	100
MP	550 (1858)	106	1753	148
SMP	1840	122	2603	220

9-2. 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 10개월간 사육

Diets	Feed price (won/kg feed, DM)	Feed efficiency (WG■100/feed intake, DM)	Production cost/kg fish	Relative cost
EP1	1500	91	1648	100
EP2	1500	87	1724	105
EP3	1500	96	1563	95
EP4	1500	69	2174	132
EP5	1500	91	1648	100
MP	1858	75	2477	150

9-3. 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP), 시판 부상사료 및 생사료(MP) 비교 : 소형수조에서 사육

Diets	Feed price (won/kg feed, DM)	Feed efficiency (WG■100/feed intake, DM)	Production cost/kg fish	Relative cost
EP1	1286	77	1663	100
EP2	1352	93	1447	87
EP3	1392	95	1464	88
EP4	1575	106	1486	89
MP	1858	64	2899	174
EP5	1500	90	1659	100
EP6	1500	90	1669	100
EP7	1500	103	1451	87
EP8	1500	100	1499	90

9-4. 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 12개월간 사육

Diets	Feed price (won/kg feed, DM)	Feed efficiency (WG■100/feed intake, DM)	Production cost/kg fish	Relative cost
EP1	1286	69	1855	100
EP2	1352	74	1836	99
EP3	1392	79	1771	95
EP4	1575	77	2043	110
MP	1858	65	2881	155

9-5. 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 11주간 사육

Diets	Feed price (won/kg feed, DM)	Feed efficiency (WG■100/feed intake, DM)	Production cost/kg fish	Relative cost
EP1	1476	85	1734	100
EP2	1433	84	1697	98
EP3	1458	88	1655	95
EP4	1454	105	1379	80
EP5	1509	93	1628	94
MP	1858	93	2002	115

9-6. 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 상품사료 비교 : 대형수조에서 11주간 사육

Diets	Feed price (won/kg feed, DM)	Feed efficiency (WG■100/feed intake, DM)	Production cost/kg fish	Relative cost
EP1	1476	108	1372	100
EP2	1433	112	1278	93
EP3	1458	116	1260	92
EP4	1454	129	1127	82
EP5	1509	123	1230	90
EP6	1500	116	1292	94

9-7. 조피볼락 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : FRP 수조에서 35주간 사육

Diets	Feed price (won/kg feed, DM)	Feed efficiency (WG■100/feed intake, DM)	Production cost/kg fish	Relative cost
EP1	1286	82	1575	100
EP2	1352	88	1531	97
EP3	1392	85	1636	104
EP4	1575	93	1701	108
MP	1858	99	1881	119

9-8 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 30주간 사육

Diets	Feed price (won/kg feed, DM)	Feed efficiency (WG■100/feed intake, DM)	Production cost/kg fish	Relative cost
EP1	1443	66	2186	100
EP2	1452	85	1708	78
CEP	1500	74	2027	93
MP	1858	57	3260	149

9-9. 넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 8개월간 사육

Diets	Feed price (won/kg feed, DM)	Feed efficiency (WG■100/feed intake, DM)	Production cost/kg fish	Relative cost
Flounder				
EP1	1443	85	1698	100
EP2	1452	64	2269	134
EP3	1455	70	2079	122
EP4	1391	69	2015	119
EP5	1467	71	2066	122
EP6	1461	72	2029	120
EP7	1500	64	2344	138
MP	1858	47	3953	233

위의 표에서 나타나는 바와 같이 본 연구에서 수행된 대부분의 넙치 사육실험에서 MP 공급구들의 어체 kg 생산비용이 EP 공급구들보다 최고 2배까지도 높게 나타났다. 사료의 품질이나 생사료의 품질에 따라 차이는 있겠지만, 결론적으로는 EP 공급이 경제적인 면을 나타내는 것이다. 하지만 현재 우리나라 양어장의 경우 어체 kg 생산비용이 생사료 MP가 EP 보다 더 싸거나 비슷한 것으로 분석하는 양어가나 기관이 있기 때문에 보다 정확한 비교가 필요하다.

사료효율이 낮다는 것은 그만큼 생산단가가 높아짐과 동시에 수질오염원이 증가될 수 있다. MP의 사료효율은 47-93%의 범위인 반면에, EP의 사료효율은 64-133%로 실험에 따라 큰 차이를 보이고 있으며 전반적으로 EP의 사료효율이 훨씬 높음을 알 수 있다. 또한, 사육 실험에 따라 어체 kg 생산비용이 사료에 따라 다르게 나타났다. 즉, EP 공급구의 어체 kg 생산비용의 범위는 실험에 따라 1400원대에서 2300원대까지 MP 공급구의 경우는 1500원에서 3900원대까지 다양하게 나타났다. 이러한 차이는 아마도, 사육환경의 차이에 의한 것으로 판단된다. 즉 사육수온이 낮을 때는 사료효율이 상대적으로 낮아져 생산단가가 높아질 것이고, 최초 사육 어체 크기가 클수록 계산된 사료효율이 낮아진다는 점, 사료공급 방법에 따른 차이 등에 의한 것으로 판단된다. 어쨌든 MP 공급보다는 EP 공급이 경제성과 환경보호 차원에서 더 바람직할 것이다.

<종합 요약 및 결론>

어류양식의 먹이로 대부분 사용되고 있는 생사료와 배합사료 사용의 문제점을 분석되면서 실용배합사료의 개발 필요성을 인지하였고, 기존의 넙치 및 조피볼락을 대상으로 연구된 결과를 검색하여 어종별 배합사료의 필수영양소 균형을 검토함으로써 기초적인 표준배합사료를 설계하였다. 이를 기초로 우리나라 주요 양식어종인 넙치와 조피볼락을 대상으로 생사료를 배합사료로 대체하기 위한 많은 연구들이 체계적으로 수행되었다. 연구결과들을 요약해 보면, 우선, 대상종의 영양소 요구량과 균형을 조사함으로써 고효율 배합사료를 설계하는데 기초자료를 제공하였으며, 이러한 기초적인 정보를 바탕으로 영양소의 균형을 고려하면서 그 어종이 최대한 이용할 수 있는 값싼 원료의 선택과 이용성을 조사하여 경제적이고 고품질의 배합사료를 설계하였으며, 대상종이 섭취한 사료의 영양소 소화율이 조사됨에 따라 실용사료의 원료선정을 위한 정보제공과 환경친화적인 배합사료 설계의 가능성을 제시하였다. 또한, 값비싼 원료에 대한 선정된 원료의 대체효과 및 성장효과에 관한 연구를 통해 보다 경제적인 배합사료를 설계할 수 있었으며, 양식어의 성장, 품질 및 생리 상태를 향상시키고 배합사료의 부작용을 최소화시킬 수 있는 여러 가지 첨가제의 이용성에 관한 연구는 사료 품질 개선에 도움이 되었다. 이처럼 영양 요구 및 균형, 원료 이용성, 소화율, 첨가제 등의 거듭된 연구 결과들을 활용하여 넙치와 조피볼락의 실용적인 배합사료를 설계할 수 있었으며, 또한 제조 공정 및 조건 등을 함께 고려하면서 EP 사료를 제조하였다. 최종적으로 제조된 EP 사료의 효능을 검증하기 위해 생사료 및 상품사료 등과 양식현장 또는 양식현장 규모의 장소에서 반복된 사육실험을 수행하였다. 지금까지의 연구결과를 바탕으로 제조한 EP 사료의 성장효과에서 MP 사료에 결코 뒤지지 않는 것으로 나타나, 생사료를 EP 사료로 충분히 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 넙치 1 kg 증육에 소요되는 사료 단가를 계산하여 보면, MP 사료로 넙치를 사육하는 것은 EP 사료로 사육하는 것보다 최고 2배 정도까지 높았다. 더 나아가, EP 사료의 공급체계에 관한 연구 결과들은 양식현장의 자동화를 이끌어 환경적인 문제해결과 함께 많은 경제적인 효과를 기대할 수 있을 것이다. 그러므로 앞으로 이러한 결과들을 적극적으로 홍보하여 앞으로 시행될 생사료 사용금지에 따른 양어가의 불만을 해소하고, EP 사료에 대한 믿음을 주는 것이 중요하겠다.

제 11 장 연구개발결과의 활용계획

1. 기술(연구)개발 현황

가. 연구목표 및 대비 결과(요약)

당초 연구 목표	당초 목표 대비 연구결과
주요 양식어종 고효율배합 사료 설계 및 생사료 대체 가능성 기초실험	<ul style="list-style-type: none"> - 생사료 문제점 분석 - 기존의 연구결과 검색 및 분석 - 어종별 배합사료의 필수영양소 이용성 및 균형검토 - 고효율 배합사료 설계를 위한 연구: 비타민, 첨가제, 소화율, 사료물성, DP:DE ratio 기타 - 대상어종(넙치, 조피볼락)에 적합한 표준사료 설계 및 제조 - 생사료 대체 기초실험
생사료 및 배합사료 비교평가 실험	<ul style="list-style-type: none"> - 기존상품사료, 외국수입사료, 표준배합사료 및 생사료 비교실험 - 어종별 배합사료의 필수영양소 균형 - 경제적이고 환경친화적인 배합사료 설계를 위한 연구 - 배합사료 품질개선을 위한 연구
환경친화적 고기능성 배합 사료 제조 및 품질평가	<ul style="list-style-type: none"> - 기존상품사료, 외국수입사료, 표준배합사료 및 생사료 비교실험 - 배합사료의 필수영양소 균형 - 경제적이고 환경친화적인 배합사료 설계 및 제조 - 배합사료 품질개선을 위한 연구 - 현장 적용을 위한 사육실험 및 평가
현장적용실험 및 경제성 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 및 진행중인 연구결과 update - 경제적이고 환경친화적인 배합사료 설계 및 제조 - 현장 적용을 위한 사육실험 및 평가 - 배합사료의 실용화를 위한 시제품 평가

나. 기술(연구)개발 목적(1개만 선택하여 v표시하여 주십시오)

산업화(기술이전)

기술보급

정책활용(제도개선 등)

다. 논문게재 실적

- 논문게재: 국내

- Kim, J.-D., S.-H. Shin, K.-J. Cho and S.-M. Lee. 2002. Effect of daily and alternate day feeding regimens on growth and food utilization by juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult., 15(1), 15-21.
- Park, S.-U., M.G. Kwon, Y.-H. Lee, K.-D. Kim, I.-S. Shin and S.-M. Lee. 2003. Effects of supplemental *Undaria*, *Oboson* and wasabi in the diets on growth, body composition, blood chemistry and non-specific immune response of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult., 16(4), 210-215.
- Seo, J.-Y., J. H. Lee, G.-U. Kim and S.-M. Lee. 2005. Effect of extruded and moist pellets at different feeding rate on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult., 18(1), 26-30.
- Kim, G.-U., H.-S. Jang, J.-Y. Seo and S.-M. Lee. 2005. Effect of feeding frequency of extruded pellet on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* during the winter season. J. Aquacult., 18(1), 31-36.
- Cho, S. H., S.-M. Lee and J. H. Lee. 2005. Effects of the extruded pellets and raw fish-based moist pellet on growth and body composition of flounder *Paralichthys olivaceus* L. for 10 months. J. Aquacult., 18(1), 60-65.
- Lee, Y. and S.-M. Lee. 2005. The use of meat meal as a dietary protein source replacing fish meal in juvenile rockfish *Sebastes schlegeli*. J. Aquacult., 18(2), 92-97.
- Seo, J.-Y., H.-S. Jang, K.-D. Kim, G.-U. Kim and S.-M. Lee. 2005. Effects of dietary composition, feeding satiation rate and feeding frequency of extruded pellets on growth and body composition of flounder *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult., 18(2), 98-106.
- Cho, S.H., S.-M. Lee, S.-M. Lee, B.-H. Park, I.-S. Park, C.Y. Choi, B.H. Min, S.-B. Hur and J.-Y. Cho. 2005. Effect of partial replacement of fish meal with squid liver mealTM in the diet on growth and body composition of juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) during winter season. J. Fish. Sci. Technol., 8 (2), 65-69.
- Pham, M.A., K.-J. Lee, S.-J. Lim, B.-J. Lee, S.-S. Kim, Y.-J. Park and S.-M. Lee. 2005. Fish meal replacement by cottonseed and soybean meal in diets for early juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). J. Aquacult., 18(3), 215-221.
- Seo, J.-Y., K.-H. Choi, J. Choi and S.-M. Lee. 2005. Effect of feeding frequency of extruded diets containing different macro-nutrient level on apparent nutrient digestibility in

grower flounder *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult., 18(3), 160-166.

- 논문게재: 국외

- Lee, S.-M. 2002. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture, 207, 79-95.
- Lee, S.-M., I.G. Jeon and J.Y. Lee. 2002. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture, 211, 229-241.
- Kim, K.-D, Lee, S.-M., 2004. Requirement of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids for juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture, 229, 315-323.

라. 학술회의 발표실적

- 논문 발표: 국내

- 2001년 11월 2일: 한국양식학회 학술논문발표. 제목: Nitrogen and Phosphorus Excretion of Juvenile Oliver Flounder Fed Moist Pellet. 2001년도 추계 한국양식학회 학술대회 발표요지집, 53-54.
- 2002년 5월 17일: Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids levels on growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). 2002년도 춘계 한국수산학회 발표요지집, 261-262.
- 2003년 2월 17일: 양식생물의 산업생산성 향상방안. 제목: 양식 어류의 영양소 요구 및 사료 개발/제주대.
- 2003년 2월 18일: 양식생물의 산업생산성 향상방안. 제목: 양식 넙치 및 전복 산업 생산성 향상을 위한 사료개선 방안과 동향/제주대.
- 2003년 2월 19일: 해산 어패류 배합사료 개발 및 이용. 제1회 해양생명기술개발 세미나, pp.37-47.
- 2003년 5월 16일: Evaluation of various fish meals as dietary protein source for juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). 2003년도 춘계 한국수산학회 발표요지집, 173-174.
- 2003년 5월 16일: Effect of dietary protein, lipid and carbohydrate levels on and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). 2003년도 춘계 한국수산학회 발표요지집, 175-176.
- 2003년 10월 24일: 한국양식학회 학술논문발표. 제목: Utilization of dietary protein, lipid and carbohydrate by flounder (*Paralichthys olivaceus*). 2003년도 추계 한국양식학회 학술대회 발표요지집. pp.17-18.

- 2003년 10월 24일: 한국양식학회 학술논문발표. 제목: Effects of supplemental *undaria* powder, herb and wasabi in the diets on growth, body composition, blood chemistry and non-specific immune response of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. 2003년도 추계 한국양식학회 학술대회 발표요지집. pp.74-75.
- 2004년 5월 14일: 조피볼락 치어 사료의 어분대체 단백질원으로서 육분 이용성. 2004년도 춘계 한국수산학회 발표요지집, 215-216.
- 2004년 5월 14일: 부상사료, 시판사료 및 생사료의 넙치 사육효과 비교. 2004년도 춘계 한국수산학회 발표요지집, 220-221.
- 2004년 5월 14일: 사료조성 및 사료공급횟수가 조피볼락 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향. 2004년도 춘계 한국수산학회 발표요지집, 236-237.
- 2004년 10월 22일: 한국양식학회 학술논문발표. 제목: Substitution of meat meal for fish meal in the diet for juvenile flounder *Paralichthys olivaceus* during the winter season. 2004년도 추계 한국양식학회 학술대회 발표 요약집. pp. 71-72.(Sung Hwoan Cho, Sang-Mok Lee, In-Seok Park, Cheol Young Choi, Sang-Min Lee and Sung-Bum Hur)
- 2004년 10월 22일: 한국양식학회 학술논문발표. 제목: Effect of extruded pellet and moist pellet at different feeding rate on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys oliveceus*. 2004년도 추계 한국양식학회 학술대회 발표 요약집. p. 94. (Sang-Min Lee^a, Joo-Young Seo^b and Jong Ha Lee^b)
- 2004년 10월 22일: 한국양식학회 학술논문발표. 제목: Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for grower flounder, *Paralichthys olivaceus*. 2004년도 추계 한국양식학회 학술대회 발표 요약집. p. 95. (Kyoung-Hyun Choi and Sang-Min Lee)
- 2004년 10월 22일: 한국양식학회 학술논문발표. 제목: Dietary supplementation of cottonseed meal and soybean meal containing high levels of natural antioxidants as a plant protein source for olive flounder. 2004년도 추계 한국양식학회 학술대회 발표 요약집. p. 98. (Minh Anh Pham^a, Kyeong-Jun Lee^a, Se-Jin Lim^a, Bong-Joo Lee^a, Sung-Sam Kim^a, Young-Jun Park^a, Young-Don Lee^b, and Sang-Min Lee^c)
- 2005년 5월 20일: 한국양식학회 학술논문발표. 제목: Effects of dietary composition, feeding satiation rate and feeding frequency of extruded pellets on growth and body composition of flounder *Paralichthys olivaceus*. 2005년도 춘계 한국양식학회 학술대회 논문요약집. 부산 수산과학원. p. 55.
- 2005년 5월 20일: 한국양식학회 학술논문발표. 제목: Effect of feeding frequency and rate of extruded diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels on apparent digestibility coefficients of dietary macro-nutrient of grower flounder

Paralichthys olivaceus. 2005년도 춘계 한국양식학회 학술대회 논문요약집. 부산 수산과학원. p. 56.

- 논문 발표: 국외

Present status and problems of aquaculture in Korea with special reference to fish feed. Proceedings of the World Aquaculture Society/23-27 April, 2002. p. 386.

Utilization of lipid and carbohydrate in flounder *Paralichthys olivaceus*. Proceedings of the World Aquaculture Society/23-27 April, 2002. p. 394.

Effects of dietary lipid level on vitamin E requirements in olive flounder. World aquaculture 2002, 북경, 중국, 22-27, 4, 2002.

Growth and feed utilization of juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed three different physical types of diets. Proceedings of the Ninth International Symposium on Nutrition & Feeding in Fish/2-7 June, 2002. p. 158.

Effect of feeding frequency on growth, feed utilization and whole body composition of juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). Proceedings of the Ninth International Symposium on Nutrition & Feeding in Fish/2-7 June, 2002. p. 177.

한국의 해산어류 양식과 사료. 제 5회 한일수산세미나. 2002년 9월 3일, 일본 돗토리현. pp. 9-23.

Optimal digestible protein and lipid levels in practical diet for rockfish *Sebastes schlegeli*. Proceedings of the International Scientific Forum, Techniques and Technology in Fishery of the XXI, Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia, September 25-27, 2002. p. 144.

Dietary choline requirement of Korean rockfish. World aquaculture 2003, Bahia convention center Salvador, Brazil, May 19-23, 2003.

Effects of vitamin E deficiency on dietary vitamin C requirement in olive flounder. Aquaculture America 2003, Louisville, Kentucky International Convention Center, February 18-21, 2003.

Evaluation of various fish meal as dietary protein source for juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Proceedings of the World Aquaculture Society/ Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, USA/1-5 March, 2004. p. 340.

Effects of supplemental undaria powder, herb and wasabi in the diets on growth, body composition, blood chemistry and non-specific immune response of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. Proceedings of the World Aquaculture Society/ Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, USA/1-5 March, 2004. p. 340.

- Effect of various levels of lipid and carbohydrate at different protein levels in diet on growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Proceedings of the World Aquaculture Society/ Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, USA/1-5 March, 2004. p. 341.
- Effect of dietary lipid levels on growth and body composition of juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). Proceedings of the World Aquaculture Society/ Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, USA/1-5 March, 2004. p. 341.
- Effect of various fish meals as dietary protein sources on growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Proceedings of the 11th International Symposium on Nutrition & Feeding in Fish/2-7 May, 2004. p. 188.
- Effect of various levels of lipid and carbohydrate at different protein levels in diet on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. Proceedings of the 11th International Symposium on Nutrition & Feeding in Fish/2-7 May, 2004. p. 121.
- S.-M. Lee and H.G. Park. 2004. Effect of feeding frequency with different feed types on growth and body composition of flounder *Paralichthys olivaceus*. Abstracts of the 7th Asian Fisheries Forum 04/Nov. 30 - Dec. 4, 2004. p. 339. (The Triennial meeting of the Asian Fisheries Society)
- G.-U. Kim, J.-Y. Seo and S.-M. Lee. 2004. Effects of feeding frequency and dietary composition on growth and body composition of juvenile rockfish *Sebastes schlegeli*. Abstracts of the 7th Asian Fisheries Forum 04/Nov. 30 - Dec. 4, 2004. p. 340.
- Y. Lee, K.-H. Choi and S.-M. Lee. 2004. The use of meat meal as a dietary protein source replacing fish meal for juvenile rockfish *Sebastes schlegeli*. Abstracts of the 7th Asian Fisheries Forum 04/Nov. 30 - Dec. 4, 2004. p. 341.
- S.-M. Lee. 2004. Effects of type of dietary carbohydrate and ■-starch level on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. Abstracts of the 7th Asian Fisheries Forum 04/Nov. 30 - Dec. 4, 2004. p. 342.
- Lee, B.-J., K.-J. Lee, S.-M. Lee and Y.-D. Lee. 2005. Dietary requirement of myoinositol in juvenile olive flounder. Books of Abstract, World Aquaculture Society, Bali International Convention Center, Nusa Dua, Bali, Indonesia, 9-13 May, 2005. p. 343.
- Lee, S.-M. 2005. Effect of feeding frequency with different feed types on growth and body composition of flounder *Paralichthys olivaceus*. Books of Abstract, World Aquaculture Society, Bali International Convention Center, Nusa Dua, Bali, Indonesia, 9-13 May, 2005. p. 344.
- Seo, J.-Y., G.-U. Kim and S.-M. Lee. 2005. Effects of dietary composition and feeding

frequency on growth and body composition of juvenile rockfish *Sebastes schlegeli* .
Books of Abstract, World Aquaculture Society, Bali International Convention Center,
Nusa Dua, Bali, Indonesia, 9-13 May, 2005. p. 345.

Lee, S.-M. 2005. Effects of dietary carbohydrate kind and ■-starch level on growth and body
composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. Books of Abstract, World
Aquaculture Society, Bali International Convention Center, Nusa Dua, Bali, Indonesia,
9-13 May, 2005. p. 348.

마. 발생품 및 시작품 내역

- 넙치용 EP 배합사료를 수협사료(주), 이하유지, 고려특수, 신촌사료 (SCF)와 협조하
여 제조, 현장 실험

바. 정책활용실적

- 배합사료 개발 및 시험(연구) 결과 제출 (해양수산부 양식개발과-1325(2004. 5. 29)호
와 관련)하여 사료직불제 관련 자료로 활용함과 동시에 수산과학원 사료연구센터와
협력하여 관련 기관, 업체 및 어업인과 양식사료 협의체 구성 (제목: 배합사료 사업
협의회, 일시 : 2004. 6. 2. 장소 : 국립수산과학원 양식사료연구센터)

사. 기타 활용실적

<기술지도>

- 교육명: 양식생물의 산업생산성 향상 방향
교재명: 양식어류 영양소 요구 및 사료개발
일시: 2003. 2. 17. 장소: 제주대학교 TIC 교육실
참석대상 및 인원: 양식관련 어업인
- 교육명: 한국양식 어패류 양식과 사료
교재명: 강릉대학교 농수산교육원
일시: 2003. 5. 2. 장소: 강릉대학교 생명과학관 109호
참석대상 및 인원: 농수산최고경영자과정생
- 교육명: 어류영양 단기 교육과정
교재명: 어류영양과 생리
일시: 2005. 1. 17- 19. 장소: 강릉대학교 해양생명공학부
참석대상 및 인원: CJ 양어사료팀
- 교육명: 양식어민 교육

교재명: 해산어용 배합사료 개발 현황

일시: 2005. 4. 7. 장소: 포항시 청솔밭 웨딩 뷔페

참석대상 및 인원: 양식 관련 어민

- 교육명: 배합사료 직불제 활성화를 위한 홍보

교재명: 해산어용 배합사료 연구결과

일시: 2005. 4. 14 - 4. 15. 장소: 남해해양수산물사무소, 제주지방해양수산청

참석대상 및 인원: 대상어업인 및 관계자

<협의회 및 세미나-홍보>

- 과제 : 해산어용 생사료의 배합사료 대체기술개발

일자: 2001. 10. 18

장소: 강릉대학교 공학 2호관

- 교육명: 해양생명 기술개발 세미나

교재명: 해산 어패류 배합사료 개발 및 이용

일시: 2003. 2. 19

장소: 강릉대학교 공실관 308호

참석대상 및 인원: 산학연 관련 40명

- 제목: 해산어용 생사료 대체 배합사료 개발과 전망

일시 : 2003. 9. 18

장소 : 강릉대학교 공동실험실습관

- 제목: 해산어용 생사료 대체 배합사료 개발

일시 : 2004. 9. 17

장소 : 강릉대학교 생명과학대학 2호관

- 교육명: 한국양식학회 학술대회

교재명: 해산어 양식을 위한 생사료 대체 배합사료 개발 현황 (초청특강)

일시: 2005. 5. 20.

장소: 국립수산과학원

참석대상 및 인원: 어업인, 관련 부서, 양어사료 관련 200명

- 교육명: 양식 사료의 개발 현황과 발전 방향. 2005년도 산·학·연 공동 국제 심포지엄

교재명: 해산어 양식, 생사료 대체 배합사료 사용 가능한가?

일시: 2005. 8. 12.

장소: 국립수산과학원

참석대상 및 인원: 어업인, 관련 부서, 양어사료 관련 100명

3. 핵심기술(연구내용) 수준 및 활용유형

핵심기술 (연구내용)	핵심기술(연구내용) 수준					기술(연구결과) 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
영양소 요구량 및 균형	0						0			0
사료 원료 이용성	0						0			0
소화율	0						0			0
첨가제	0						0			0
배합비	0						0			0
원료 가공 및 사료 제조				0			0			0
EP 효능	0							0	0	0
사료 공급 체계	0							0	0	0

※ 해당 내용에 대해서만 표기

4. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술(연구내용)	활용 계획(활용시기, 활용방법 등을 요약하여 기재)
영양소 요구량 및 균형	배합사료 설계에 응용
사료 원료 이용성	배합사료 설계 및 제조에 응용
소화율	배합사료 설계 및 제조에 응용
첨가제	배합사료 설계 및 제조에 응용
배합비	기능성 사료 설계 및 제조에 응용
원료 가공 및 사료 제조	해산어 배합사료 제조
EP 효능	생사료 대체 가능함을 사료회사, 양어민에게 홍보 정책 자료로 이용
사료 공급 체계	사료회사, 양어민에게 홍보 정책 자료로 이용

5. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명	해산어류 사료 배합비 및 제조		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	최저기술료(예정)	천원
이전방식	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	년 개월	실용화예상시기	년도
기술이전시 선행조건	참여업체의 제조 능력을 고려하여 수시로 협의		

- * 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
 2) “기술이전시 선행요건”은 기술이전(실시계약체결)을 위해 실시기업에서 사전에 준비해야 할 사항(기술지도, 설비 및 장비 등 확보 등)을 기재
 3) “실용화예상시기”는 상품화인 경우 대표적인 제품이 최초로 생산되는 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등

6. 기대효과

가. 정량적 효과(과학기술적 효과, 경제 및 사회적 효과 등을 계량화 하여 기재)

- 현재 해산어류 양성에 사용되는 약 40만톤의 생사료를 EP 사료로 대체하면,
- 생사료 사용시 수중으로 유실되는 환경 오염원(10-20만톤/년, 추정치) 차단 가능
- 사료회사에서는 고품질 EP 사료 개발로 약 10만톤의 어류 생산에 소요되는 EP 사료 15만톤 생산으로 예상매출액 약 2,500억원, 약 5만톤의 수입사료 대체효과로 약 1,000억원, 우리나라 EP 제조 최대 능력 약 30만톤에서 국내공급 15만톤을 제외한 EP 사료 15만톤 생산을 수출하면 약 2,500억원의 매출이 예상된다. 또한, 이에 따른 원가절감효과 및 고용창출 약 50명 정도 가능.
- 양식 및 사료관련 산업, 예를 들면 단미사료 산업 활성화, 양식 자동 system 등의 활성화 예상 및 이에 따른 고용창출 가능.
- 먹역 강화 EP 사료 개발시 약제 남용 억제 효과
- 노동집약적인 1차 산업에서 첨단산업으로 전향 효과

나. 정성적 효과(비계량적인 과학기술적 효과, 경제 및 사회적 효과 등을 기재)

- 생사료 대체 가능한 배합사료가 개발되어 보급되면, 생사료 사용으로 인한 각종 문제점 해결: (1) 영양소의 불균형에서 유래되는 영양성 질병 및 병원균의 전염을 예방 (2) 사료 유실로 인한 수질오염원을 감소 (3) 연안 자원 보호 (4) 냉동 보관, 유통 및

준비하는데 소요되는 노동력이나 시간의 낭비 감소.

- 사료회사에서는 보다 질 좋은 실용 배합사료 개발에 투자
- 관련 산업 활성화
- 품질이 보증된 배합사료가 개발되어 보급되면, 배합사료 공급에 따른 안정적인 양식 어류생산량 예측 가능
- 양식 생산물의 수요와 공급 조절 가능
- 국내 배합사료를 공급함으로써 기존의 수입사료를 대체 및 수출로 국가경쟁력 재고
- 배합사료 사용으로 사료의 자동 공급 체계 구축 등 양식자동화 추진이 가능하여 첨단 산업화

제 12 장 참고문헌

○ 표준 배합사료 설계를 위한 영양소 요구 및 균형

<넙치 사료 내 비타민 E 결핍 및 공급시 비타민 C 요구량>

- Andrew, J.W., Murai, T., 1975. Studies on vitamin C requirement of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *J. Nutr.* 105, 557-561.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1995. P. Cunniff (Editor), Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA.
- Brown, B.A., 1980. Routine hematology procedure. In *Hematology: Principles and Procedures*. Lea and Febiger, Philadelphia, PA, pp. 71-112.
- Burton, G.W., Wronska, U., Stone, L., Foster, D.O., Ingold, K.U., 1990. Biokinetics of dietary RRR- α -tocopherol in the male guinea-pig at three dietary levels of vitamin C and two levels of vitamin E. Evidence that vitamin C does not "spare" vitamin E in vivo. *Lipids* 25, 199-211.
- Chen, L.H., Lee, M.S., Hsing, W.F., Chen, S.H., 1980. Effect of vitamin C on tissue antioxidant status of vitamin E deficient rats. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 50, 156-162.
- Chen, L.H., 1981. An increase in vitamin E requirement induced by high supplementation of vitamin C in rats. *Am. J. Clin. Nutr.* 34, 1036-1041.
- Chen, L.H., Thacker, R.R., 1987. Effect of ascorbic acid and vitamin E on biochemical changes associated with vitamin E deficiency in rats. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 57: 385-390.
- Cho, C.Y., Cowey, C.B., 1993. Utilization of monophosphate esters of ascorbic acid by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). In: Kaushik S.J., Luquet P. (Eds.), *Fish Nutrition in Practice*, INRA, Paris (Les Colloques, No 61), pp. 149-156.
- Dabrowski, K., Hinterleitner, S., Sturmbauer, C., El-Fiky, N., Wieser, W., 1988. Do carp larvae require vitamin C? *Aquaculture* 72, 295-306.
- Dabrowski, K., Matusiewicz, K., Matusiewicz, M., Hoppe, P.P., Ebeling, J., 1996. Bioavailability of vitamin C from two ascorbyl monophosphate esters in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquacul. Nutr.* 2, 3-10.
- El Naggar, G.O., Lovell, R.T., 1991a. L-ascorbyl-2-monophosphate has equal antiscorbutic

- activity as L-ascorbic acid but L-ascorbyl-2-sulfate is inferior to L-ascorbic acid for channel catfish. *J. Nutr.* 121, 1622-1626.
- El Naggar, G.O., Lovell, R.T., 1991b. Effect of source and dietary concentration of ascorbic acid on tissue concentrations of ascorbic acid in channel catfish. *J. World Aquacult. Soc.* 22, 201-206.
- Gatlin, D.M., Poe, W.E., Wilson, R.P., Ainsworth, A.J., Bowser, P.R., 1986. Effects of stocking density and vitamin C status on vitamin E-adequate and vitamin E-deficient fingerling channel catfish. *Aquaculture* 56, 187-195.
- Ginter, E., Kosinova, A., Hudecova, A., Mlynarcikova, U., 1984. Parabolic response of hepatic microsomal hydroxylating system and lipids to graded doses of ascorbic acid in guinea pigs on low and high α -tocopherol intake. *J. Nutr.* 114, 485-492.
- Gouillou-Coustans, M.F., Guillaume, J., Metailler, R., Dugornay, O., Messenger, J.L., 1990. Effect of an AA deficiency on tyrosinemia and renal granulomatous disease in turbot (*Scophthalmus maximus*) interaction with a slight polyhypovitaminosis. *Comp. Biochem. Physiol.* 97a, 145-152.
- Hruba, F., Novakova, V., Ginter, E., 1982. The effect of chronic marginal vitamin C deficiency on the α -tocopherol content of the organ and plasma of guinea-pigs. *Experientia* 38, 1454-1455.
- Igarashi, O., Yonekawa, Y., Fujiyama-Fujihara, Y., 1991. Synergistic action of vitamin E and vitamin C in vivo using a new mutant of Wistar-strain rats, ODS, unable to synthesize vitamin C. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 37, 359-369.
- Kanazawa, A., Teshima, S., Koshio, S., Higashi, M., Itoh, S., 1992. Effect of L-ascorbyl-2-phosphate-Mg on the yellowtail *Seriola quinqueradiata* as a vitamin C source. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58, 337-341.
- Kosutarak, P., Kanazawa, A., Teshima, S., Koshio, S., 1995. Interactions of L-ascorbyl-2-phosphate-Mg and n-3 highly unsaturated fatty acids on Japanese flounder juveniles. *Fisheries Sci.* 61, 860-866.
- Lall, S.P., Olivier, G., Weerakoon, D.E.M., Hines, J.A., 1990. The effect of vitamin C deficiency and excess on immune response in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). In: Takeda, M., Watanabe, T. (Eds), 3. Int. Symp. on Feeding and Nutrition in Fish, 28 Aug-1 Sep 1989, Toba, Japan. pp. 427-441.
- Lee, K.J., Kim, K.W., Bai, S.C., 1998. Effects of different dietary levels of L-ascorbic acid on growth and tissue vitamin C concentration in juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf). *Aquacult. Res.* 29, 237-244.

- Matusiewicz, M., Dabrowski, K., 1995. Characterization of ascorbyl esters hydrolysis in fish. *Comp. Biochem. Physiol.* 110B, 739-745.
- Matusiewicz, M., Dabrowski, K., Volker, L., Matusiewicz, K., 1995. Ascorbate polyphosphate is a bioavailable vitamin C source in juvenile rainbow trout: tissue saturation and compartmentalization model. *J. Nutr.* 125: 3055-3061.
- Miyasaki, T., Plumb, J.A., Li, Y.P., Lovell, R.T., 1985. Histopathology of broken-back syndrome in channel catfish. *J. Fish Biol.* 26, 647-655.
- Miyasaki, T., Sato, M., Yoshinaka, R., Sakaguchi, M., 1992. Conversion of ascorbyl-2-polyphosphate to ascorbic acid in rainbow trout. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58, 2101-2104.
- Murai, T., Andrews, J.W., 1974. Interaction of dietary α -tocopherol, oxidized menhaden oil and ethoxyquin on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *J. Nutr.*, 104, 1416-1431.
- National Research Council (NRC), 1993. *Nutrient Requirements of Fish*. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Packer, J.E., Slater, T.F., Willson, R.L., 1979. Direct observation of a free radical interaction between vitamin E and vitamin C. *Nature (Lond.)* 278, 737-738.
- Robbins, K.R., Norton, H.W., Baker, D.H., 1979. Estimation of nutrient requirements from growth data. *J. Nutr.* 109, 1710-1714.
- Shiau, S.Y., Hsu, T.S., 1994. Vitamin C requirement of grass shrimp *Penaeus monodon*, as determined with L-ascorbyl-2-monophosphate. *Aquaculture* 122, 347-357.
- Shiau, S.Y., Hsu, T.S., 2001. Vitamin E sparing effect by dietary vitamin C in juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* \times *O. aureus*. *Aquaculture* in press.
- Shiau, S.Y., Hsu, T.S., 1995. L-Ascorbyl-2-sulfate has equal antiscorbutic activity as L-ascorbyl-2-monophosphate for tipapia, *Oreochromis niloticus* \times *O. aureus*. *Aquaculture* 133, 147-157.
- Soliman, A.K., Jauncey, K. and Roberts, R.J., 1986. The effect of varying forms of dietary ascorbic acid on the nutrition of juvenile tilapias (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 52: 1-10.
- Wang, X.J., Kim, K.W., Bai, S.C., 2002. Effects of different dietary levels of L-ascorbyl-2-polyphosphate on growth and tissue vitamin C concentrations in juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). *Aquaculture Research* 33, 261-267.
- Wilson, R.P., Poe, W. E., 1973. Impaired collagen formation in the scorbutic channel catfish. *J. Nutr.* 103, 1359-1364.

Wilson, R.P., Poe, W.E., Robinson, E.H., 1989. Evaluation of L-ascorbyl-2-polyphosphate (C2PP) as a dietary ascorbic acid source for channel catfish. *Aquaculture* 81, 129-136.

<넙치 사료 내 지질 함량에 따른 비타민 E 요구량>

AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1995. P. Cunniff (Editor), Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA.

Brown, B.A., 1980. Routine hematology procedure. In *Hematology: Principles and Procedures*. Lea and Febiger, Philadelphia, PA, pp. 71-112.

Hung, S.S.O., Cho C.Y., Slinger, S.J., 1980. Measurement of oxidation in fish oil and its effect on vitamin E nutrition on rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquatic Sci.* 37, 1248-1253.

Hung, S.S.O., Cho C.Y., Slinger, S.J., 1981. Effect of oxidized fish oil, dl- α -tocopherol acetate and ethoxyquin supplementation of the vitamin E nutrition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed practical diets. *J. Nutr.* 111, 648-657.

Kosutarak, P., Kanazawa, A., Teshima, S., Koshio, S., 1995. Interactions of L-ascorbyl-2-phosphate-Mg and n-3 highly unsaturated fatty acids on Japanese flounder juveniles. *Fisheries Sci.* 61, 860-866.

Murai, T., Andrews, J.W., 1974. Interaction of dietary α -tocopherol, oxidized menhaden oil and ethoxyquin on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *J. Nutr.*, 104, 1416-1431.

Poston, H.A., Combs, G.F., Jr., Leibovitz, L., 1976. Vitamin E and selenium interrelations in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*): gross, histological and biochemical deficiency signs. *J. Nutr.*, 106, 892-904.

Robbins, K.R., Norton, H.W., Baker, D.H., 1979. Estimation of nutrient requirements from growth data. *J. Nutr.* 109, 1710-1714.

Watanabe, T., Takeuchi, T., Matsui, M., Ogino, C., Kawabata, T., 1977. Effect of α -tocopherol deficiency on carp. VII. The relationship between dietary levels of linoleate and α -tocopherol requirement. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish* 43, 935-946.

Watanabe, T., Takeuchi, T., Wada, M., Uehara, R., 1981. The relationship between dietary lipid levels and α -tocopherol requirement of rainbow trout. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 47, 1463-1471.

Wilson, R.P., Poe, W.E., Robinson, E.H., 1989. Evaluation of L-ascorbyl-2-polyphosphate (C2PP) as a dietary ascorbic acid source for channel catfish. *Aquaculture* 81, 129-136.

<조피볼락의 choline 요구량>

- Anderson, P.A., Baker, D.H., Sherry, P.A. & Corbin, J.E. 1979. Choline-methionine interrelationship in feline nutrition. *J. Anim. Sci.* 49, 522-527.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1995. P. Cunniff (Editor), Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA.
- Baker, D.H., Halpin, K.M., Czarnecki, G.L. & Parsons, C.M. 1982. The choline-methionine interrelationship for growth of the chick. *Poult. Sci.* 62, 133-137.
- Brown, B.A. 1980. Routine hematology procedures. In: *Hematology Principles and Procedures*. 71-112. Lea and Febiger, Philadelphia.
- Craig, S.R. Gatlin, D., 1996. Dietary choline requirement of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). *J. Nutr.* 126, 1696-1700.
- Craig, S.R. Gatlin, D., 1997. Growth and body composition of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*) fed diets containing lecithin and supplemental choline. *Aquaculture* 151, 259-267.
- Griffin, M.E., Wilson, K.A., White, M. R. & Brown, P. B. 1994. Dietary choline requirement of juvenile hybrid striped bass. *J. Nutr.* 124, 1685-1689.
- Hung, S.S.O. 1989. Choline requirement of hatchery-produced juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Aquaculture* 78, 183-194.
- Ketola, H.G. 1976. Choline metabolism and nutritional requirement of lake trout (*Salvelinus namaycush*). *J. Anim. Sci.* 43, 474-477.
- Kosutarak, P., Kanazawa, A., Teshima, S., Koshio, S., 1995. Interactions of L-ascorbyl-2-phosphate-Mg and n-3 highly unsaturated fatty acids on Japanese flounder juveniles. *Fisheries Sci.* 61, 860-866.
- Lombardi, B. 1971. Effects of choline deficiency on rat hepatocytes. *Fed. Proc.* 30, 139-142.
- Poston, H.A. 1990. Effect of body size on growth, survival and chemical composition of Atlantic salmon fed soy lecithin and choline. *Prog. Fish-Cult.* 52, 226-230.
- Poston, H.A. 1991. Choline requirement of swim-up rainbowtrout fry. *Prog. Fish-Cult.* 53, 220-223.
- National Research Council. 1993. *Nutrient Requirements of Fish*. National Academy Press, Washington, DC.
- Robbins, K.R. 1986. A method, SAS program, and Example for Fitting the Broken Line to Growth Data. University of Tennessee, Knoxville, TN.
- Rumsey, G.L. 1991 Choline-betaine requirements of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).

Aquaculture 95, 107-116

Wilson, R.P. & Poe, W.E. 1988. Choline nutrition of fingerling channel catfish. Aquaculture 68, 65-71.

<넙치의 myo-inositol 요구량>

Anderson, et al. 1971. Inositol. In The Vitamins, Vol. 3, 2nd ed. (Sebrell and Harris, Eds.). New York, Academic Press.

Arai, S., Nose, T., and Hashimoto, Y. 1972. Qualitative requirements of young eels, *Anguilla japonica*, for water-soluble vitamins and their deficiency symptoms. Bull. Freshwater Res. Lab. Tokyo 22: 69-83.

Burtle, G. J., and Lovell, R. T., 1989. Lack of Response of Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) to Dietary Myo-inositol. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46: 218-222.

Chu, S-H. W. and Gegsted, D. M. 1980. Myo-inositol Deficiency in Gerbils: Comparative Study of the Intestinal Lipodystrophy in *Meriones unquiculatus* and *Meriones Libycus*. J. Nutr. 110: 1209-1216.

Colodny, L., Pharm, D. and Hoffman, R. L. 1998. Inositol: clinical applications for exogenous use. Altern. Med. Rev. 3: 423-447.

Folch, J., Lees, M., and Sloane Stanley, G. H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem. 226: 497-509.

Hughes, P. J., and Michell, R. H. 1993. Novel inositol containing phospholipids and phosphates: their synthesis and possible new roles in cellular signaling. Curr Opin Neurobiol 3, 383-400.

Hawthorne and White., 1975. Vitamin. Horm., 33, 529.

Hosokawa, H. 1989. The vitamin requirements of fingerling yellowtail, *Seriola uinqueradiata*. Ph. D. dissertation. Kochi University. Japan.

Ikedo, S., Ishibashi, Y. Murata, O., Nasu, T., and Harada, T. 1988. Qualitative requirements of the Japanese parrot fish for water-soluble vitamins. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 54: 2029-2035.

Irvine, R. F. 1992. Inositol Lipids in cell signaling. Curr. Biol. Abstract 2: 228.

Kitamura, S., Suwa, T., Ohara, S., and Nakagawa, K. 1967b. Studies on vitamin requirements of rainbow trout. 2. The deficiency symptoms of fourteen kinds of vitamin. Bul. Jpn. Soc. Sci. Fish. 33: 1120-1125.

Kuksis, A., and Mookerjee, S. 1978. Inositol. Nutr. Rev., 36, 233-238.

Lee, S.-Min., Lee, J.H., and Kim, K.-D. 2003. Effect of dietary essential fatty acids on

- growth, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture* 225, 269-281.
- McLaren, B. A., Keller, E., O'Donnell, D. J., and Elvehjem, C. A. 1947. The nutrition of rainbow trout. 1. Studies of vitamin requirements. *Arch. Biochem. Biophys.* 15: 169-178.
- National Research Council (NRC), 1993. Nutritional Requirements of Fish. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Peres, H., Lim, C., and Klesius, P. H. Growth, chemical composition and resistance to *Streptococcus iniae* challenge of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed graded levels of dietary inositol. 2004. *Aquaculture*. 235: 423-432.
- Raboy, V. 2001. Seeds for a better future: 'low phytate' grains help to overcome malnutrition and reduce pollution. *TRENDS in Plant Science*. 6(10): 458-462.
- Sandoval, M., Okuhama, N. N., Angeles, F. M., Melchor, V. V., Condezo, L. A., Lao, J., and Miller, M. J. S., 2002. Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium myyenii*). *Food Chemistry* 79: 207-213.
- Shiau, S.-Y., and Su, S.-L. 2005. Juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) requires dietary myo-inositol for maximal growth. *Aquaculture*. 243: 273-277.
- Waagbo, R., Sandnes, K., and Lie, O. 1998. Effects of inositol supplementation on growth, chemical composition and blood chemistry in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fry. *Aquaculture Nutrition*. 4: 53-59.
- Yone, Y., M. Furuichi, and K. Shitanda. 1971. Vitamin requirements of the red sea bream. 1. Relationship between inositol requirements and glucose levels in diet. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 37: 149-155

<사료의 vitamin E 함량에 따른 n-3HUFA 첨가가 조피볼락의 성장 및 체성분에 미치는 영향>

- Bell, M.V., R.J. Henderson, B.J.S. Pirie and J.R. Sargent, 1985. Effects of dietary polyunsaturated fatty acid deficiencies on mortality, growth and gill structure in the turbot, *scophthalmus maximus*. *J. Fish Biol.*, 26 : 181-191.
- Castell, J.D., R.O. Sinnhuber, J.H. Wales and D.J. Lee, 1972a. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): growth, feed conversion and some gross deficiency symptoms. *J. Nutr.*, 102 : 77-86.
- Castell, J.D., R.O. Sinnhuber, D.J. Lee and J.H. Wales, 1972b. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): physiological symptoms of EFA deficiency. *J.*

- Nutr., 102 : 87-92.
- Csengeri, I., F. Majoros, J. Olah and T. Farkas, 1979. Investigations on the essential fatty acid requirements of carp (*Cyprinus carpio* L.). In: J.E. Halver and K. Tiews (Editors), *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Vol. I. Heeneman, Berlin, 151-174.
- Deshimaru, O., K. Kuroki and Y. Yone, 1982a. Nutritive values of various oils for yellowtail. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 48 (8) : 1155-1157.
- Deshimaru, O., K. Kuroki and Y. Yone, 1982b. Suitable Levels of Lipids and Ursodesoxycholic Acid in Diet for Yellowtail. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 48 (9) : 1265-1270.
- Duncan, D.B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11 : 1-42
- Folch, J., M. Lees and G.H.S. Stanley, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues, *J. Biol. Chem.*, 226 : 497-509
- Fujii, M. and Y. Yone, 1976. Studies on nutrition of red sea bream-XIII. Effect of dietary linolenic acid and ω 3 polyunsaturated fatty acids on growth and feed efficiency. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 42 (5) : 583-588.
- Fujii, M., H. Nakayama and Y. Yone, 1976. Effect of ω 3 fatty acids on growth, feed efficiency and fatty acid composition of red sea bream(*Chrysophrys major*). Report of Fishery Research Laboratory, Kyushu University, 3 : 65-86.
- Fukuzawa, T., O.S. Privett and Y. Takahashi, 1970. Effect of essential fatty acid deficiency on release of triglycerides by the perfused rat liver. *J. Lipid Res.*, 11 : 522-527.
- Fukuzawa, T., O.S. Privett and Y. Takahashi, 1971. Effect of essential fatty acid deficiency on lipid transport from liver. *Lipids*, 6 : 388-393.
- Gatesoupe F., C. Leger., R. Metailler and P. Luquet, 1977. Alimentation lipidique du turbot (*Scophthalmus maximus* L.) I. L'Influence de la longueur de chaîne des acides gras de la série ω 3. *Ann. hydrobiol.*, 8 : 89-97.
- Halver, J.E., 1957 : Nutrition of salmonoid fishes. III. Water-soluble vitamin requirements of chinook salmon. *J. Nutr.*, 62(2): 225-243.
- Higashi, H., T. Kaneko, S. Ishii, M. Ushiyama and T. Sugihashi, 1966. Effect of ethyl linoleate, ethyl linolenate and ethyl esters of highly unsaturated fatty acids on essential fatty acid deficiency in rainbow trout. *J. Vitaminol.*, 12 : 74.
- Izquierdo M.S., T. Watanabe, T. Tacheuch, T. Arakawa and C. Kitajima, 1989. Requirement of larval red seabream *Pagrus majoer* for essential fatty acids. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55 (5) : 859-867.
- Juaneda, P. and G. Rocquelin, 1985. Rapid and convenient separation of phospholipids and

- nonphosphorous lipids from rat heart using silica cartridges. *Lipids*, 21, 40-41.
- Kalogeropoulos N., M.N. Alexis and R.J. Henderson, 1992. Effect of dietary soybean and cod-liver oil levels on growth and body composition of gilthead bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 104 : 293-308.
- Kanazawa, A., S.I. Teshima, M. Sakamoto and Md.A. Awal, 1980. Requirements of *Tilapia zillii* for essential fatty acids. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46 (1) : 1353-1356.
- Kanazawa, A., S.I. Teshima and M. Sakamoto, 1982. Requirements of for essential fatty acids for larval ayu. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 48 (4) : 587-590.
- Kanazawa, A., 1985. Essential fatty acid and lipid requirement of fish. In: C. B. Cowey, A. M. Mackie and J. G. Bell (Editors), *Nutrition and Feeding in Fish*, 281-298.
- Kissil, G., A. Uoungson and C.B. Cowey, 1987. Capacity of the European eel (*Anguilla anguilla*) to elongate and desaturate dietary linoleic acid. *J. Nutr.*, 117 : 1379-1384.
- Lee, J.Y., 1991. Protein requirement of the rockfish *Sebastes schlegeli* and optimum digestible energy to protein ratio in diets. Ph. D. Thesis. National Fisheries University of Pusan, 84p.
- Leger, C., F.J. Gatesoupe., R. Metailler., P. Luquet and L. Fremont, 1979. Effect of dietary fatty acids differing by chain lengths and ω series on the growth and lipid composition of turbot *scophthalmus maximus* L. *Comp. Biochem. Physiol.*, 64B : 345-350.
- Murat, J.C. and A. Serfaty, 1974. Simple enzymatic determination of poly- saccharide (glycogen) content of animal tissues. *Clin. Chem.*, 20 : 1576-1577.
- NAS (National Academy of Sciences), 1973. Nutrient requirements of trout, salmon and catfish. NAS, Washington, D.C., 50 pp.
- Owen, J.M., J.W. Adron, C. Middleton, and C.B. Cowey, 1975. Elongation and desaturation of dietary fatty acids in tubot, *Scophthalmus maximus* L., and rainbow trout, *Salmo gairdnerii* Rich. *Lipids*, 10 (9):528-531.
- Robbins, K.R., H.R. Norton and D.H. Baker, 1979. Estimation of nutrient requirements from growth data. *J. Nutr.*, 109 : 1710-1714.
- Rogie, A. and E.R. Skinner, 1985. The roles of the intestine and liver in the biosynthesis of plasma lipoproteins in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Comp. Biochem. Physiol* 81B, 285-289.
- Satoh, S., W.E. Poe and R.P. Wilson, 1989. Effect of dietary n-3 fatty acids on weight gain and liver polar lipid fatty acid composition of fingerling channel catfish. *J. Nutr.*, 119 : 23-28.
- Takeuchi, T. and T. Watanabe, 1977a. Dietary levels of methyl laurate and essential fatty acid

- requirement of rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 43 (7) : 893-898.
- Takeuchi, T. and T. Watanabe, 1977b. Requirement of carp for essential fatty acids. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 43 (5) : 541-551.
- Takeuchi, T., T. Watanabe and T. Nose, 1979. Requirement for essential fatty acids of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in freshwater environment. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 45 (10):1319-1323.
- Takeuchi, T., S. Arai, T. Watanabe and Y. Shimma, 1980. Requirement of eel *Anguilla japonica*, for essential fatty acids. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 46 : 345-353.
- Takeuchi, T. and T. Watanabe, 1982. Effects of various polyunsaturated fatty acids on growth and fatty acid compositions of rainbow trout *Salmo gairdneri*, coho salmon *Onchorhynchus kisutch*, and chum salmo *Onchorhynchus keta*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 48 (12) : 1745-1752.
- Takeuchi, T., S. Satoh and T. Watanabe, 1983a. Requirement of *Tilapia nilotica* for essential fatty acids. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 49 (7):1127- 1134.
- Takeuchi, T., S. Satoh and T. Watanabe, 1983b. Dietary lipids suitable for the practical feed of *Tilapia nilotica*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 49 (9): 1361-1365.
- Takeuchi, T., M. Toyota, S. Satoh and T. Watanabe, 1990. Requirement of juvenile red seabream *Pagrus major* for eicosapentaenoic and docosaheptaenoic acids. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 56 (8) : 1263-1269.
- Watanabe, T., F. Takashima and C. Ogino, 1974a. Effect of dietary methyl linolenate on growth of rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 40 (2):181-188.
- Watanabe, T., C. Ogino, Y. Koshishi and T. Matsunaga , 1974b. Requirement of rainbow trout for essential fatty acids : Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 40 (5):493-499.
- Watanabe, T., T. Takeuchi and C. Ogino, 1975. Effect of dietary methyl linoleate and linolenate on growth of carp-II. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 41 (2):263-269.
- Watanabe, T. and T. Takeuchi, 1976. Evaluation of pollock liver oil as a supplement to diets for rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 42 (8):893-906.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, T. Arakawa, K. Imaizumi, S. Sekiya and c. Kitajima, 1989. Requirement of juvenile striped jack *Longirostris delicatissimus* for n-3 highly unsaturated fatty acids. Nippon Suisan Gakkaishi, 55 (6):1111-1117.
- Yamada, K., K. Kobayashi and Y. Yone, 1980. Conversion of linolenic acid to w3-highly unsaturated fatty acids in marine fishes and rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 46 (10):1231-1233.
- Yone, Y. and M. Fujii, 1975a. Studies on nutrition of red sea bream-XI. Effect of ω 3 fatty

- acid supplement in a corn oil diet on growth rate and feed efficiency. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 41 (1):73-77.
- Yone, Y. and M. Fujii, 1975b. Studies on nutrition of red sea bream-XII. Effect of ω 3 fatty acid supplement in a corn oil diet on fatty acid composition of fish. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 41 (1):79-86.
- <넙치 치어 사료의 적정 n-3HUFA 함량>
- Bell, M.V., Henderson, R.J., Pirie, B.J.S., Sargent, J.R., 1985. Effects of dietary polyunsaturated fatty acid deficiencies on mortality, growth and gill structure in the turbot, *Scophthalmus maximus*. J. Fish Biol. 26, 181–191.
- Castell, J.D., Sinnhuber, R.O., Wales, J.H., Lee, J.D., 1972. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): growth, feed conversion and some gross deficiency symptoms. J. Nutr. 102, 77–86.
- Duncan, D.B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics 11, 1–42.
- Folch, J., Lees, M., Sloane-Stanley, G.H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem. 226, 496–509.
- Gatesoupe, F. J., Leger, C., Boudon, M., Metailler, R., Luquet, P., 1977. Lipid feeding of turbot (*Scophthalmus maximus* L.). 2. Influence on growth of supplementation with methyl esters of linolenic acid and fatty acids of the w 9 series. Ann. Hydrobiol. 8, 247–254.
- Ibeas, C., Cejas, J.R., Gomez, T., Jerez, S., Lorenzo, A., 1996. Influence of dietary n-3 HUFA levels on juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*) growth and tissue fatty acid composition. Aquaculture 142, 221–235.
- Izquierdo, M.S., Arakawa, T., Takeuchi, T., Haroun, R., Watanabe, T., 1992. Effect of n-3 HUFA levels in *Artemia* on growth of larval Japanese flounder. Aquaculture 105, 73–82
- Juaneda, P., Rocquelin, G., 1985. Rapid and convenient separation of phospholipids and nonphosphorous lipids from rat heart using silica cartridges. Lipids 21, 40–41.
- Kalogeropoulos, N., Alexis, M.N., Henderson, R.J., 1992. Effect of dietary soybean and cod-liver oil levels on growth and body composition of gilthead bream (*Sparus aurata*). Aquaculture 104, 293–308.
- Kim, K.-D., Lee, S.-M., Park, H.G., Bai, S.C., Lee, Y.-H., 2002. Essentiality of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). J. World Aquacult. Soc. 33(4), 432–440.

- Lee, S.-M., Cho, S.H., Kim, K.-D., 2000. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aquacult. Soc. 31, 306–315.
- Lee, S.-M., 2001. Review of the lipid and essential fatty acid requirements of rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquacult. Res. 32 (Suppl. 1), 8–17.
- Lochman, R.T., Gatlin, D.M., 1993. Essential fatty acid requirement of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). Fish Physiol. Biochem. 12, 221–235.
- Rodriguez, C., Perez, J.A., Badia, P., Izquierdo, M.S., Fernandez-Palacios, H., Lorenzo Hernandez, A., 1998. The n-3 highly unsaturated fatty acids requirements of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) larvae when using an appropriate DHA/EPA ratio in the diet. Aquaculture 169, 9–23.
- Sargent, J.R., Henderson, R.J., Tocher, D.R., 1989. The lipids. In: Halver, J.E. (Eds), Fish nutrition, 2nd edn. Academic Press, London, pp. 153–218.
- Satoh, S., Poe, W.E., Wilson, R.P., 1989. Effect of dietary n-3 fatty acids on weight gain and liver polar lipid fatty acid composition of fingerling channel catfish. J. Nutr. 119, 23–28.
- Tocher, D.R., Harvie, D.G., 1988. Fatty acid composition of the major phosphoglycerides from fish neural tissues; (n-3) and (n-6) polyunsaturated fatty acids in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and cod (*Gadus morhua*) brains and retinas. Fish Physiol. Biochem. 5, 229–239.

○ 고효율 배합사료 설계를 위한 에너지원 연구

<조피볼락 배합사료의 가소화 단백질과 지질 함량>

- Anderson, J.S., Jackson, A.J., Matty, A.J., Capper, B.S., 1984. Effects of dietary carbohydrate and fiber on the tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linn.). Aquaculture 37, 303-314.
- Catacutan, M.R., Coloso, T.M.T., 1995. Effect of dietary protein to energy ratios on growth, survival, and body composition of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*. Aquaculture 131, 125-133.
- Cho, C.Y., Kaushik S.J., 1990. Nutritional energetics in fish: Energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). World Rev. Nutr. Diet 61, 132-172.
- Cho, C.Y., Woodward, B., 1989. Studies on the protein-to-energy ratio in diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Proc. of the 11th Symp. on Energy Metabolism, Lunteren 1988. European Association for Animal Production Publication 43, pp. 37-40, Pudoc

- Wageningen, Wageningen, Netherlands,
- Cho, C.Y., Slinger, S.J., Bayley, H.S., 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. *Comp. Biochem. Physiol.* 73B,25-41.
- Cho, S.H., 1998. Variable feed allowance with constant protein input for channel catfish ponds. Ph. dissertation. Auburn University, AL, USA.
- Cowey, C.B., 1993. Some effects of nutrition and flesh quality of cultured fish. In: Kaushik, S.J., Luquet, P. (Eds.), *Fish Nutrition in Practice, Proc. of the IV Int. Symp. on Fish Nutrition and Feeding, Les Colloques*, vol. 61, INRA, Paris, pp. 227-236.
- Daniels, W.H., Robinson, E.H., 1986. Protein and energy requirements of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture* 53, 243-252.
- De Silva, S.S., Gunasekera, R.M., Shim, K.F., 1991. Interactions of varying dietary protein and lipid levels in young red tilapia: evidence of protein sparing. *Aquaculture* 95, 305-318.
- Dias, J., Alvarez, M.J., Diez, A., Arzel, J., Corraze, G., Bautista, J.M., Kaushik, S.J., 1998. Regulation of hepatic lipogenesis by dietary protein/energy in juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 179, 325-334.
- Duncan, D.B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Garling, D.L., Wilson, R.P., 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *J. Nutr.* 106, 1368-1375.
- Hemre, G.I., Lie, O., Lied, E., Lambertsen, G., 1989. Starch as an energy source in feed for cod (*Gadus morhua*): digestibility and retention. *Aquaculture* 80, 261-270.
- Hillestad, M., Johnsen, F.T., 1994. High-energy/low-protein diets for Atlantic salmon: Effects on growth, nutrient retention and slaughter quality. *Aquaculture* 124, 109-116.
- Hilton, J.W., Atkinson, J.I., Slinger, S.J., 1983. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40, 81-85.
- Jauncey, K., 1982. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*). *Aquaculture* 27, 43-54.
- Jobling, M., Wandsvik, A., 1983. An investigation of factors controlling food intake in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. *J. Fish Biol.* 23, 391-404.
- Lee, D.J., Putnam, G.B., 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet. *J. Nutr.* 103, 916-922.
- Lee, J.Y., Kang, Y.J., Lee, S.-M., Kim, I.B., 1993. Protein requirements of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *J. Aquaculture* 6, 13-27, in Korean with English abstract.

- Lee, S.-M. 2001. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture, in press.
- Lee, S.-M., Hwang, U.K., Cho, S.H., 2000. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 187, 399-409.
- Lee, S.-M., Lee, J.Y., Hur, S.B., 1994. Essentiality of dietary eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. J. Korean Fish. Soc. 27, 721-726.
- Lie, O., Lied, E., Lambertsen, G., 1988. Feed optimization in Atlantic cod (*Gadus morhua*):fat versus protein content in the feed. Aquaculture 69, 333-341.
- Lovell, R.T. 1989. Nutrition and Feeding of Fish. Van Nostrand Reinhold. New York, USA. 260 pp.
- McGoogan, B.B., Gatlin, D.M., 1999. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus*. I. Effects of dietary protein and energy levels. Aquaculture, 178, 333-348.
- McGoogan, B.B., Reigh, R.C., 1996. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. Aquaculture 141, 233-244.
- NRC (National Research Council), 1993. Nutrient Requirements Fishes. National Academy Press, Washington DC, 114 pp.
- Page, J.W., Andrews, J.W., 1973. Interaction of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). J. Nutr. 103, 1339-1346.
- Peres, H., Oliva-Teles, A., 1999. Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juveniles *Dicentrarchus labrax*. Aquaculture 179, 325-334.
- Phillips, A.M., 1972. Calorie and energy requirements. In: Halver, J.E. (Ed.), Fish Nutrition. Academic Press, NY, pp. 2-29.
- Sargent, J., Henderson, R.J., Tocher, D.R., 1989. The lipids. In: Halver, J.E. (Ed), Fish Nutrition. 2ndedn., Academic Press, New York, NY, pp. 153-218.
- Shyong, W.J., Huang, C.H., Chen, H.C., 1998. Effects of dietary protein concentration on growth and muscle composition of juvenile *Zacco barbata*. Aquaculture 167, 35-42.
- Steffens, W., 1981. Protein utilization of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and carp (*Cyprinus carpio*): a brief review. Aquaculture 23, 337-345.
- Sugiura, S.H., Dong, F.M., Rathbone, C.K., Hardy, R.W., 1998. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonids feeds. Aquaculture

159, 177-202.

- Sullivan, J.A., Reigh, R.C., 1995. Apparent digestibility of selected feedstuffs in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* ? × *Morone chrysops* ?). *Aquaculture* 138, 313-322.
- Vergara, J.M., Fernandez-Palacios, H., Robaina, L., Jauncey, K., De La Higuera, M., Izquierdo, M., 1996. The effects of varying dietary protein level on the growth, feed efficiency, protein utilization and body composition of gilthead sea bream. *Fisheries Sci.* 62, 620-623.
- Wilson, R.P., 1994. Utilization of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture* 124, 67-80.

<넙치 치어용 배합사료의 α-셀룰로오스 함량>

- Anderson J., A.J. Jackson, A.J. Matty and B.S. Capper. 1984. Effects of dietary carbohydrate and fiber on the tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linn.). *Aquaculture* 37: 303-314.
- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemicals, 14th edition. Arlington. AV. 1141 pp.
- Buhler, D.R. and J.E. Halver. 1961. Nutrition of salmonid fishes. IX. Carbohydrate requirements of chinook salmon. *J. Nutr.*, 74: 307-318.
- Cho, C.Y. and S.J. Slinger. 1979. Apparent digestibility measurement in feedstuff for rainbow trout. In J.E. Halver and Tiews (editors), *Proc. World symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*. Hamburg, 20-23 June 1978, Vol. II, Berlin. pp. 239-248.
- Dabrowski, K. and B. Kozak. 1979. The use of fish meal as a protein source in the diet of grass carp fry. *Aquaculture* 18: 107-114.
- Dioundick, O. B. and D. I. Stom. 1990. Effects of dietary α-cellulose levels on the juvenile tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Peters). *Aquaculture* 91: 311-315.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11: 1-42
- Furukawa, A. and H. Tsukahara. 1966. On the acid digestion for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 32: 502-506.
- Halver, J.E. 1957. Nutrition of salmonoid fishes III. Water-soluble vitamin requirements of chinook salmon. *J. Nutr.* 62: 225-243.
- Hilton, J.W., J.I. Atkinson and S.J. Slinger. 1983. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40: 81-85.
- Kono, M., T. Matsui and C. Shimizu. 1987. Effect of chitin, chitosan, and cellulose as diet

- supplements on the growth of cultured fish. Nippon Suisan Gakkaishi 53 : 125-129.
- Leary, D.F and T. Lovell. 1975. Value of fiber in production-type diet for channel catfish. Trans. Am. fish. Soc. 104: 328-332.
- Lee, S.-M., and J.Y. Lee 1994. Effects of dietary α -cellulose levels on the growth, feed efficiency and body composition in Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. J. Aquaculture, 7(2), 97-107.
- Murai, T., H. Ogata, P. Kosutark and S. Arai. 1986. Effects of amino acid supplementation and methanol treatment on utilization of soy flour by fingerling carp. Aquaculture 56: 197-206.
- Murai, T., Wang Daozum and H. Ogata. 1989. Supplementation of methionine to soy flour diets for fingerling carp, *Cyprinus carpio*. Aquaculture 77: 373-385.
- NAS (National Academy of Sciences). 1973. Nutrient requirements of trout, salmon and catfish. NAS, Washington, D. C. 50 pp.
- National Research Council (NRC). 1983. Nutrient Requirements of Warmwater Fishes and Shellfishes. National Academy Press, Washington, D.C., 102.
- Reinhold, J.G., B. Faradgi, P. Abadi and F. Ismail-Beigi. 1976. Decreased absorption of Ca, Mg, Zn and P by humans due to increased fiber and phosphorous consumption from wheat bread. J. Nutr. 106: 493-503. 1976
- Shah, N., M.T. Atallah, R.P. Mahoney and P.L. Pellet. 1982. Effect of dietary fiber components of fecal nitrogen excretion and protein utilization in growing rats. J. Nutr. 112: 658-666.
- Shiau, S.Y., H.L. Yu, S. Hwa, S.Y. Chen and S.L. Hsu. 1988. The influence of carboxymethylcellulose on growth digestion, gastric emptying time and body composition of tilapia. Aquaculture 70: 345-354.
- Shimeno, S., H. Hosokawa, M. takeda and H. Kajiyama. 1980. Effects of calorie to protein ratio in formulated diet on growth, feed conversion and body composition of young yellowtail. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 49: 1083-1087.
- Smith, B.W. and R.T. Lovell. 1973. Determination of apparent protein digestibility in feeds for channel catfish. Trans. Am. Fish. Soc. 102: 831-835.
- Southgate, D.A.T. and J.V.G.A. Durnin. 1970. Caloric conversion factors. An experimental reassessment of the factors used in the calculation of the energy value of human diets. Br. J. Nutr. 24: 517-535.

- Takeda, M., S. Shimeno, H. Hosokawa, H. Kajiyama and T. Kaisyo. 1975. The effect of dietary calorie-to-protein ratio on the growth, feed conversion and body composition of young yellowtail. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 41: 443-447.
- Takii, K., S. Shimeno, M. Nakamura, Y. Itoh, A. Obatake, H. Kumai and M. Takeda. 1989. Evaluation of soy protein as a partial substitute for fish meal protein in practical diet for yellowtail. In M. Takeda and T. Watanabe (editors), *The current status of fish nutrition in aquaculture, The Proceedings of the Third International Symposium on Feeding and Nutrition in Fish*, Aug. 28-Sep. 1, 1989, Taba, Japan, pp. 281-288.
- Viola, S., S. Mokedy and Y. Arieli. 1983. Effects of soybean processing methods on the growth of carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture* 32: 23-38.
- Viola, S., Y. Arieli and G. Zohar. 1988. Animal-protein-free feeds for hybrid tilapia (*O. niloticu* x *O. Aureus*) in intensive culture. *Aquaculture* 75: 115-125.
- Wee, K.L. and S.W. Shu. 1989. The nutritive value of boiled full-fat soybean in pelleted feed for Nile tilapia. *Aquaculture* 81, 303-312.
- Willson, R.P. and W.E. Poe. 1985. Effects of feeding soybean meal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish. *Aquaculture* 46: 19-25.
- Walker, A.R.P., 1975. Effect of high crude fiber intake on transit time and absorption of nutrients in South African Negro schoolchildren. *Am. J. clin. Nutr.* 28: 1161-1169.

○ 환경친화적인 배합사료 설계를 위한 사료의 영양소 소화율 연구

<넙치 배합사료 원료의 외견상 영양소 소화율>

- Allan, G.L., Parkinson, S., Booth, M.A., Stone, D.A.J., Rowland, S.J., Frances, J., Warner-Smith, R., 2000. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I. Digestibility of alternative ingredients. *Aquaculture* 186, 293-310.
- Anderson, J.S., Jackson, A.J., Matty, A.J., Capper, B.S., 1984. Effects of dietary carbohydrate and fiber on the tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.). *Aquaculture* 37, 303-314.
- Aksnes, A., 1995. Growth, feed efficiency and quality of salmon (*Salmo salar*) given feeds with different ratios of carbohydrates and protein. *Aquac. Nutr.* 1, 241-248.
- Bergot, F., Breque, J., 1983. Digestibility of starch by rainbow trout: effects of the physical state of starch and of intake level. *Aquaculture* 34, 203-212.
- Cho, C.Y., Slinger, S.J., Bayley, H.S., 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake,

- expenditure and productivity. *Comp. Biochem. Physiol.* 73B, 25-41.
- Cowey, C.B. and Walton, M.J., 1989. Intermediary metabolism. In: J.E. Halver (Editor), *Fish Nutrition*, 2nd edn., Academic Press, New York, NY, pp. 259-329.
- Duncan, D.B., 1955. Multiple-range and multiple *F* tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Farkas, V., 1985. The fungal cell wall. Fungal protoplasts. In: Peberdy, J.F., Ferenczy, L. (Eds.), *Applications in Biochemistry and Genetics*. Marcel Dekker, NY, USA, pp. 3-29.
- Furukawa, A., Tsukahara, H., 1966. On the acid digestion for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 32, 502-506.
- Grisdale-Helland, B., Helland, S., 1998. Macronutrient utilization by Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*): diet digestibility and growth of 1 kg fish. *Aquaculture* 166, 57-65.
- Hilton, J.W., Atkinson, J.I., Slinger, S.J., 1983. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo Gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40, 81-85.
- Hemre, G.-I., Lie, Ø., Lied, E., Lambertsen, G., 1989. Starch as an energy source in feed for cod (*Gadus morhua*): digestibility and retention. *Aquaculture* 80, 261-270.
- Hemre, G.-I., Lie, Ø., Lambertsen, G., 1990. Digestibility of different carbohydrate sources in cod (*Gadus morhua*), and its relation to glucose content in blood and urine. *Fiskeridir. Skr., Ser. Ernæ.* III, 3-9.
- Hemre, G.-I., Sandnes, K., Lie, Ø., Torrissen, O., Waagbø, R., 1995. Carbohydrate nutrition in Atlantic salmon: I. Growth and feed utilization. *Aquac. Res.* 26, 149-154.
- Hillestad, M., Johnsen, F., Aasgaard, T., 2001. Protein to carbohydrate ratio in high-energy diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquac. Res.* 32, 517-529.
- Johnson, E.A., Villa, T.G., Lewis, M.J., 1980. *Phaffia rhodozyma* as an astaxanthin source in salmonid diets. *Aquaculture* 20, 123-134.
- Kikuchi, K., H. Honda, and M. Kiyono. 1992. Effect of dietary protein level on growth and body composition of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Suisanzoshoku* 40, 335-340.
- Kikuchi, K. 1999. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture* 179, 3-11.
- Kim, Y.S., B.S. Kim, T.S. Moon and S.M. Lee. 2000. Utilization of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in the diet of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*) *J. Kor. Fish. Soc.* 33, 469-474.
- Lee, S.-M., 1997. Effects of dietary lipid source and water temperature on nutrient

- digestibilities in juvenile and adult Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Korean J. Anim. Nutr. Feed. 21, 381-390.
- Lee, S.-M., Seo C.H. & Cho Y.S. 1999. Growth of the juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed the diets at different feeding frequencies. J. Kor. Fish. Soc. 32, 18-21.
- Lee, S.-M., S. H. Cho, and K.-D. Kim. 2000a. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aquacult. Soc. 31, 306-315.
- Lee, S.-M., S. H. Cho, and D. J. Kim. 2000b. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. Aquac. Res. 31, 917-921.
- Lee, S.-M., C. S. Park, and I. C. Bang. 2002a. Dietary protein requirement of young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. Fish. Sci. 68, 158-164.
- Lee, S. M., 2002b. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 207, 79-95.
- Lee, S. M., K.D. Kim and S.P. Lall. 2003. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture 221, 427-438
- Lee, S. M., J. H. Lee. 2004. Effect of dietary glucose, dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. Fish. Sci. 70, 53-58.
- Lovell, RT. 1989. Nutrition and feeding of fish. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- McGoogan, B.B. and R.C. Reigh. 1996 Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*sciaenops acellatus*) diets. Aquaculture 16, 39-46.
- National Research Council (NRC), 1993. Nutrient Requirements of fish. National Academy Press, Washington, DC. 114 pp.
- Rumsey, G.L., 1993. Fish meal and alternate sources of protein in fish feeds update 1993. Fisheries 18, 14-19.
- Sargent, J., Henderson , R.J., Tocher, D.R., 1989. The lipids. In: Halver, J.E. (Ed.), Fish Nutrition, 2nd edn. Academic Press, New York, NY, pp. 153-218.
- Sato, T., Kikuchi K., 1997. Meat meal as a protein source in the diet of juvenile japanese flounder. Fish. Sci. 63, 877-880.
- Shah, N., Atallah, M.T., Mahoney, R.P., Pellet, P.L., 1982. Effect of dietary fiber components of fecal nitrogen excretion and protein utilization in growing rats. J. Nutr. 112, 658-666.
- Smith, R. R. 1995. Apparent digestion coefficients and metabolizable energy of feed ingredients for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. J. World Aquacult. Soc. 26,

- Sugiura, S. H., F. M. Dong, C. K. Rathbone, and R. W. Hardy. 1998. Apparent digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonids feeds. *Aquaculture* 159, 177-202.
- Sullivan, J.A., Reigh, R.C., 1995. Apparent digestibility of selected feedstuffs in diets for hybrid striped bass (*Morone Saxatilis* ♀ × *Morone chrysops* ♂). *Aquaculture* 138, 313-322.
- Tacon, A.G.J., Dominy, W.G., 1999. Overview of world aquaculture and aquafeed production. Book of Abstracts. World Aquaculture' 99, 26 April-2 May 1999, Sydney, Australia. World aquaculture society, Baton Rouge, LA. 853 pp.
- Walker, A.R.P., 1975. Effect of high crude fiber intake on transit time and absorption of nutrients in South African negro schoolchildren. *Am. J. Clin. Nutr.* 28, 1161-1169.
- <사료 탄수화물원과 사육 수온에 따른 조피볼락 치어 및 성어의 영양소 소화율>
- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemicals, 14th edition. Arlington. AV. 1141 pp.
- Cho, C.Y. and S.J. Slinger. 1979. Apparent digestibility measurement in feedstuff for rainbow trout. In: J.E. Halver and Tiews (editors), Proc. World symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology. Hamburg, 20-23 June 1978, Vol. II, Berlin. pp. 239-248.
- Choubert, G., J. De la Noue and P. Luquet. 1982. Digestibility in fish: improved device for automatic collection of feces. *Aquaculture* 29: 185-189.
- Duncan, D. B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11: 1-42
- Hajen, W. E., R.M. Beames, D.A. Higgs and B.S. Dosanjh. 1993a. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water. 1. Validation of technique. *Aquaculture* 112: 321-332.
- Hajen, W. E., D.A. Higgs, R.M. Beames and B.S. Dosanjh. 1993b. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water. 2. Measurement of digestibility. *Aquaculture* 112: 333-348.
- Smith, R. R. 1971. A method for measuring digestibility and metabolizable energy of fish feeds. *Prog. Fish-Cult.* 33: 132-134.
- Smith, R. W. and R. T. Lovell. 1973. Determination of apparent protein digestibility in feeds for channel catfish. *Trans. Am. Fish. Soc.* 102: 831-835.
- Spyridakis, P., R. Metailler, J. Gabaudan and A. Riaza. 1989. Studies on nutrient digestibility

- in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). 1. Methodological aspects concerning faeces collection. *Aquaculture* 77: 61-70.
- Windell, J. T., J. W. Foltz and J. A. Sarokon. 1978. Methods of fecal collection and nutrient leaching in digestibility studies. *Prog. Fish-Cult.* 40: 51-55.
- Bergot, F., 1979. Carbohydrate in rainbow trout diets: effects of the level and source of carbohydrate and the number of meals on growth and body composition. *Aquaculture* 18, 157-167.
- Hutchins, C.G., Rawles, S.D., Gatlin III, D.M., 1998. Effects of dietary carbohydrate kind and level on growth, body composition and glycemic response of juvenile sunshine bass (*Morone chrysops* ? × *M. saxatilis* ?). *Aquaculture* 161, 187-199.
- . (Lee et al., 2003),
- Millikin, M.R., 1982. Qualitative and quantitative nutrient requirement of fishes: A review. *Fish. Bull.* 80, 655-696.
- Suarez, P. K., Mommsen, T. P., 1987. Gluconeogenesis in teleost fishes. *Can. J. Zool.* 65, 1869-1882.
- Walton, M.J., Cowey, C.B., 1982. Aspects of intermediary metabolism in fish. *Comp. Biochem. Physiol.* 73B, 59-79.
- Wilson, R.P., 1994. Utilization of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture* 124, 67-80.
- <조피볼락 사료 단백질 및 에너지 함량과 사료 공급 횟수에 따른 영양소 소화율>
- Duncan, D.B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Lee, S.-M. 2001. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*,
- Lee, S.-M., Hwang, U.K., Cho, S.H., 2000. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture* 187, 399-409.
- McGoogan, B.B., Reigh, R.C., 1996. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. *Aquaculture* 141, 233-244.
- NRC (National Research Council), 1993. *Nutrient Requirements Fishes*. National Academy Press, Washington DC, 114 pp.
- Sugiura, S.H., Dong, F.M., Rathbone, C.K., Hardy, R.W., 1998. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonids feeds. *Aquaculture* 159, 177-202.
- Sullivan, J.A., Reigh, R.C., 1995. Apparent digestibility of selected feedstuffs in diets for

hybrid striped bass (*Morone saxatilis* ? × *Morone chrysops* ?). *Aquaculture* 138, 313-322.

<부상 배합사료의 영양소 함량과 공급횟수에 따른 넙치의 영양소 소화율>

Aksnes, A., 1995. Growth, feed efficiency and quality of salmon (*Salmo salar*) given feeds with different ratios of carbohydrate and protein. *Aquacult. Nutr.*, 1, 241-248.

Anderson, J.S., A.J. Jackson, A.J. Matty and B.S. Capper, 1984. Effects of dietary carbohydrate and fiber on the tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.). *Aquaculture*, 37, 303-314.

AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA. 1298pp.

Austreng, E., A. Skrede and A. Eldegard, 1979. Effect of dietary fat source on the digestibility of fat and fatty acids in rainbow trout and mink. *Acta Agric. Scand.*, 29, 119-126.

Beamish, F.W.G. and T.E. Medland, 1986. Protein sparing effects in large rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 55, 35-42.

Cho, C.Y. and S.J. Slinger, 1979. Apparent digestibility measurement in feed stuffs for rainbow trout. In: Halver. J. H., K. Tiews. (Eds.). *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Vol. II. Heeneman, Berlin, pp. 239-247.

De Silver, S.S., R.M. Gunasekera and K.F. Shim, 1991. Interactions of varying dietary protein and lipid levels in young red tilapia: evidence of protein sparing. *Aquaculture*, 95, 305-318.

Duncan, D.B., 1955. Multiple-range and multiple *F* tests. *Biometrics*, 11, 1-42.

Grisdale-Helland, B. and S.J. Hellannd, 1997. Replacement of protein by fat and carbohydrate in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) at the end of the freshwater stage. *Aquaculture*, 139, 157-163.

Hajen, W.E., D.A. Higgs, R.M. Beames and B.S. Dosanjh, 1993. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water. 2. Measurement of digestibility. *Aquaculture*, 112, 333-348.

Hastings, W.H., 1969. Nutritional score. In; O.W. Neuhaus and J.E. Halver (Eds). *Fish in research*. Academic press, New York, USA. pp. 263-292.

Henken, A.M., D.W. Kleingeld and P.A.T. Tijssen, 1985. The effect of feeding level on apparent digestibility of dietary dry matter, crude protein and gross energy in the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture*, 51, 1-11.

- Hemre, G.-I., Ø. Lie, E. Lied and G. Lambertsen, 1989. Starch as an energy source in feed for cod (*Gadus morhua*): digestibility and retention. *Aquaculture*, 80, 261 - 270.
- Hemre, G.-I., K. Sandnes, Ø. Lie, O. Torrissen and R. Waagbø, 1995. Carbohydrate nutrition in Atlantic salmon: I. Growth and feed utilization. *Aquacult. Res.*, 26, 149-154.
- Hillestad, M., F. Johnsen and T. Aasgaard, 2001. Protein to carbohydrate ratio in high-energy diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquacult. Res.*, 32, 517-529.
- Hilton, J.W., J.I. Atkinson and S. Slinger, 1983. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquacult. Sci.*, 40, 81-85.
- Holmgren, S., D.J. Grove and D.J. Fletcher, 1983. Digestion and control of gastrointestinal motility. In: J.C. Rankin. and R.T. Dugan (Eds.), *Control Processes in Fish Physiology*. Wiley, New York, NY, USA, pp. 23-40.
- Kikuchi, K., 1999. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 179, 3-11.
- Kim, K.D., S.-M. Lee, H.G. Park, S.C. Bai and Y.H. Lee, 2002. Essentiality of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J. World Aquacult. Soc.*, 33, 432 - 440.
- Kim, S.M., S.-M. Lee and B.-D. Yoon, 2003. Effect of fermented food garbage in diet on growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J. Fish. Sci. Tech.*, 6, 45-50.
- Kim, G.-U., H.-S. Jang, J.-Y. Seo and S.-M. Lee, 2005. Effect of feeding frequency of extruded pellet on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* during the winter season. *J. Aquacult.*, 18, 31-36.
- Larsen, F.M., M.N. Wilson and P.J. Moughan, 1994. Dietary fiber viscosity and amino acid digestibility, proteolytic digestive enzyme activity and digestive organ weights in growing rats. *J. Nutr.*, 124, 833-841.
- Lee, S.-M., 2002. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, 202, 79-95.
- Lee, S.-M., C.S. Park and I.C. Bang, 2002. Dietary protein requirement of young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. *Fish. Sci.*, 68, 158-164.
- Lee, S.-M., C.H. Seo and Y.S. Cho, 1999. Growth of the juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed the diets at different feeding frequencies. *J. Kor. Fish. Soc.*, 32, 18-21.
- Lee, S.-M., K.-D., Kim and S.P. Lall, 2003. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 221, 427-438.

- Lee, S.-M., U.-G. Hwang and S.H. Cho, 2000c. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, 187, 399-409.
- Lee, S.-M., S.H. Cho and K.D. Kim, 2000a. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. World Aquacult. Soc.*, 31, 306-315.
- Lee, S.-M., S.H. Cho and D.J. Kim, 2000b. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquacult. Res.*, 31, 917-921.
- McGoogan, B.B. and R.C. Reigh, 1996. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops acellatus*) diets. *Aquaculture*, 16, 39-46.
- Morales, A.E., G. Cardenete, M. De la Higuera and A. Sanz, 1994. Effect of dietary protein Source on growth, feed conversion and energy utilization in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 124, 117-126.
- Shah, N., M.T. Atallah, R.P. Mahoney and P.L. Pellet, 1982. Effect of dietary fiber components of fecal nitrogen excretion and protein utilization in growing rats. *J. Nutr.*, 112, 658-666.
- Smith, L.S., 1989. Digestive functions in teleost fishes. In: J.E. Halver (Ed.), *Fish Nutrition*. Academic Press, London, UK. pp. 332-411.
- Smith, R.W. and R.T. Lovell, 1973. Determination of apparent protein digestibility in feeds for channel catfish. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 102, 831-835.
- Storebakken, T., K.D. Shearer, S. Refstie, S. Lagocki and J. McCool, 1998. Interaction between salinity, dietary carbohydrate source and carbohydrate concentration on the digestibility of macronutrients and energy in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 163, 347-359.
- Sugiura, S.H., F.M. Dong, C.K. Rathbone and R.W. Hardy, 1998. Apparent digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonids feeds. *Aquaculture*, 159, 177-202.
- Sullivan, J.A. and R.C. Reigh, 1995. Apparent digestibility of selected feedstuffs in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* ♀ × *Morone chrysops* ♂). *Aquaculture*, 138, 313-322.
- Takeuchi, T.Y. Shina, T. Watanabe, S. Sekiya and K. Imaizumi, 1992. Suitable protein and lipid levels in diet for fingerlings of yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 1333-1339.

○ 경제적인 배합사료 설계를 위한 사료 원료의 이용성

<넙치 배합사료의 어분 평가>

- Anderson, J. S., S. P. Lall, D. M. Anderson and M. A. McNiven, 1993. Evaluation of protein quality in fish meals by chemical and biological assays. *Aquaculture*, 115, 305-325.
- Aksnes, A. and H. Mundheim, 1997. The impact of raw material freshness and processing temperature for fish meal on growth, feed efficiency and chemical composition of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture*, 149, 87-106.
- Aksnes, A., M. S. Izquierdo, L. Robaina, J. M. Vergara and D. Montero, 1997. Influence of fish meal quality and feed pellet on growth, feed efficiency and muscle composition in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 153, 251-261.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11, 142.
- Folch, J., M. Lees and G. H. S. Stanley, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226, 496-509.
- Lee, S.-M., J. H. Lee and K.-D. Kim, 2003. Effect of dietary essential fatty acids on growth, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture*, 225, 269-281
- Vergara, J. M., G. Lopez-Calero, L. Robaina, M. J. Caballero, D. Montero, M. S. Izquierdo and A. Aksnes, 1999. Growth, feed utilization and body lipid content of gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed increasing lipid levels and fish meals of different quality. *Aquaculture*, 179, 35-44.

<치어 및 성장기 넙치 사료의 어분 대체 단백질원으로서 육분, 대두박 및 콘글루텐밀의 이용성>

- Andrews, J. W. and J. W. Page. 1974. Growth factors in the fishmeal component of catfish diets. *J. Nutr.* 104: 1091-1096.
- Cowey, C. B., J. A. Pope, J. W. Adron and A. Blair. 1971. Studies on the nutrition of marine flatfish. Growth of the plaice *Pleuronectes platessa* on diets containing proteins derived from plants and other sources. *Mar. Biol.* 10: 145-153.
- Cowey, C. B., J. Adron, A. Blair and A. M. Shanks. 1974. Studies on the nutrition of marine flatfish. Utilization of various dietary proteins by plaice (*Pleuronectes platessa*). *Br. J. Nutr.* 31: 297-306.
- Dabrowski, K. and B. Kozak. 1979. The use of fish meal and soybean meal as a protein source in the diet of grass carp fry. *Aquaculture* 18: 107-114.

- Dabrowska, H. and T. Wojno. 1977. Studies on the utilization by rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) of feed mixture containing soya bean meal and an addition of amino acid. *Aquaculture* 10: 297-310.
- Furukawa, A. and H. Tsukahara. 1966. On the acid digestion for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 32: 502-506.
- Jackson, A. J., B. S. Capper and A. J. Matty. 1982. Evaluation of some plant proteins in complete diets for the tilapia *Sarotherodon Mossambicus*. *Aquaculture* 27: 97-109.
- Lee S.-M., J. Y. Lee and S. B. Hur. 1994. Essentiality of Dietary EPA (Eicosapentaenoic Acid) and DHA (Docosahexaenoic Acid), and Importance of Dietary EPA/DHA Ratio in the Korean Rockfish *Sebastes schlegeli*. *Bull. Korean Fish. Soc.* 26 (5): 477-492..
- Lim, C. and W. Dominy. 1989. Utilization of plant proteins by warmwater fish. American soybean association, 541 Orchard Road #11-03 Liat Towers, Singapore 0923, 12pp.
- Lochmann, R., W. R. McClain and D. M. Gatlin III. 1992. Evaluation of practical feed formulations and dietary supplements for red swamp crawfish. *Journal of the World Aquaculture Society* 23: 217-227.
- Murai, T., H. Ogata, and T. Nose. 1982. Methionine coated with various materials supplemented to soybean meal diet for fingerling carp *Cyprinus carpio* and channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 48: 85-88.
- Murai, T., H. Ogata, P. Kosutarak and S. Arai. 1986. Effects of amino acid supplementation and methanol treatment on utilization of soy flour by fingerling carp. *Aquaculture* 56, 197-206.
- Murai, T., Wang Daozun and H. Ogata. 1989. Supplementation of methionine to soy flour diets for fingerling carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 77, 373-385.
- Reigh, R. C. and S. C. Ellis. 1992. Effects of dietary soybean and fish-protein ratios on growth and body composition of red drum (*Sciaenops ocellatus*) fed isonitrogenous diets. *Aquaculture* 104: 279-292.
- Robert C. R., S. L. Braden, and R. J. Laprarie. 1993. Substitution of soybean protein for fish protein in formulated diets for red swamp crawfish *Procambarus clarkii*. *Journal of the World Aquaculture Society* 24: 329-338.
- Robinson, E. H., J. K. Muler and V. M. Vergara. 1985. Evaluation of dry extrusion cooked protein mixes as replacements for soybean meal and fish meal in catfish diets. *Prog. Fish. Cult.* 47(2): 102-109.
- Shiau, S. Y., B. S. Pan, S. Chen, H. L. Yu and S. L. Lin. 1988. Successful use of soybean

- meal with a methionine supplement to replace fish meal in diets fed to milkfish *Chanos chanos* Forskal. J. World Aquacult. Soc. 19: 14-19.
- Shimeno, S., T. Mima, O. Yamamoto, and Y. Ando. 1993a. Effects of fermented defatted soybean meal in diet on the growth, feed conversion, and body composition of juvenile yellowtail. Nippon Suisan Gakkaishi 59(11): 1883-1888.
- Shimeno, S., T. Mima, T. Imanaga and K. Tomaru. 1993b. Inclusion of combination of defatted soybean meal, meat meal and corn gluten meal to yellowtail diet. Nippon Suisan Gakkaishi 59(11): 1889-1895.
- Smith, R. R. 1988. Soybeans and wheat flour byproducts in trout feeds. American soybean association, 541 Orchard Road #11-03 Liat Towers, Singapore 0923, 8pp
- Viola, S., S. Mokady and Y. Arieli. 1983. Effects of soybean processing methods on the growth of carp (*Cyprinus carpio*). Aquaculture 32, 27-28.
- Viola, S., S. Mokady and Y. Arieli. 1988. Animal protein-free feeds for hybrid tilapia (*O. niloticus* × *O. aureus*) in intensive culture. Aquaculture 75,115-125.
- Viyakarn V., T. Watanabe, H. Aoki, H. Tsuda, H. Sakamoto, N. Okamoto, N. Iso, S. Satoh and T. Takeuchi. 1992. Use of soybean meal as a substitute for fish meal in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. Nippon Suisan Gakkaishi 58(10): 1991-2000.
- Wee, K. L. and S. W. Shu. 1989. The nutritive value of boiled full-fat soybean in pelleted feed for Nile tilapia. Aquaculture 81, 303-312.
- Wilson, R. P. and W. E. Poe. 1985. Effects of feeding soybean meal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish. Aquaculture 46, 19-25.
- <조피블락 치어 배합사료의 어분 대체 단백질원으로서 육분 이용성>
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis, 15th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA.
- Davies, S.J., Nengas, I., Alexis, M., 1993. Partial substitution of fish meal with different meat meal products in diets for sea bream (*Sparus aurata*). In: Fish Nutrition in Practice. Kaushik, S.J., Luquet, P. (Eds.), Coll. Les Colloques No. 61 INRA, Paris, pp. 908-911.
- Davies, S.J., Williamson, J., Robinson, M., Bateson, R.I., 1989. Practical inclusion levels of common animal by-products in complete diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus*, Peters). Proceeding of the 3th International Symposium on Feeding and Nutrition in Fish, Japan Translation Centre, Ltd. 28 Aug.-1 Sep., Toba, Jap., pp. 325-332.
- Duncan, D.B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics 11: 1-42.
- Lee, S.-M., 1997a. Evaluation of the nutrient digestibilities by different fecal collection

- methods in juvenile and adult Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Kor. Fish. Soc. 30(1): 62-71.
- Lee, S.-M., Lee, J.Y., 1996. Substitution of plant and animal proteins for fish meal in the practical formulated feeds for juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Kor. J. Anim. Nutr. Feed. 20: 409-418.
- Lee, S.-M., Park, S.R., Kim, J.D., 1998b. Dietary optimum phosphorus level of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Fish. Sci. Technol. 1: 180-186.
- Lee, S.-M., Jeon, I.G., Lee, J.Y., 2002. Effect of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aqua. 211: 227-239.
- Lee, S.-M., Yoo, J.-H., Lee, J.Y., 1996. The use of soybean meal, corn gluten meal, meat meal, meat and bone meal, or blood meal as a dietary protein source replacing fish meal in Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Kor. J. Anim. Nutr. Feed. 20: 21-30.
- Lovell, R.T., 1992. Replacing fish meal in channel catfish diets. In: Allan, G.L., Dall, W. (Eds.), Proceedings on Aquaculture Nutrition Workshop, Salamander Bay, 15-17 April 1991. NSW Fisheries, Brackish Water Fish Culture Research Station, Salamander Bay, Australia, pp. 118-121.
- Lawrence A.L. Lee P.G., 1997. Research in the Americas. In Crustacean Nutrition Advances in World Aquaculture Vol 6. (ed. by L. R. D'Abramo, D. E. Conklin & D. M. Akiyama). World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, pp. 556-587.
- Murai, T., H. Ogata, T. Takeuchi, T. Watanabe and T. Nose, 1984. Composition of free amino acids in excretion of carp fed amino acid diets and casein-gelatin diets. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 50, 1957.
- Murai, T., W. Daozun and H. Ogata, 1989. Supplementation of methionine to soy flour diets for fingerling carp, *Cyprinus carpio*. Aquaculture, 72, 373-385.
- Shimeno, S., Masumoto, T., Hujita, T., Mima, T., Ueono, S.-I., 1993a. Alternative protein sources for fish meal in diets of young yellowtail. Nippon Suisan Gakkaishi 59: 137-143.
- Shimeno, S., Mima, T., Imanaga, T., Tomaru, K., 1993b. Inclusion of combination of defatted soybean meal, meat meal, and corn gluten meal to yellowtail diets. Nippon Suisan Gakkaishi 59: 1889-1895.
- SPSS Inc. 1997. SPSS Base 7.5 for Window, SPSS Inc., 444 N. Michigan Avenue, Chicago, IL, USA.
- Tacon, A.G.J., 1994. Feed ingredients for carnivorous fish species: alternatives to fish meal

and other fisheries resources. In: FAO Fisheries Circular No. 881 FAO, Rome, pp. 35.

Watanabe, T., Pongmaneerat, J., 1991. Quality evaluation of some animal protein sources for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Nippon Suisan Gakkaishi 57: 495-501.

<넙치 사료의 어분 대체 단백질원으로 육분 이용성>

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. USA. pp. 1298.

Cho, S.H., S. Lee, S. Lee, B. Park, I. Park, C. Y. Choi, B.H. Min, S. Hur and J. Jo. 2005. Effect of partial replacement of fish meal with squid liver mealTM in the diet on growth and body composition of juvenile olive flounder (*Paralichthys livaceus*) during winter season. J. Fish. Sci. Technol., 8, 65-69.

Duncan, D.B. 1955. Multiple range and multiple F tests. Biometrics, 11, 1-42.

Kikuchi, K., T. Furuta and H. Honda. 1994a. Utilization of feather meal as a protein source in the diet of juvenile flounder. Fish. Sci., 60, 203-206.

Kikuchi, K., T. Furuta and H. Honda. 1994b. Utilization of soybean meal as a protein source in the diet of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. Suisanzoshoku, 42, 601-604.

Kikuchi, K., T. Sato, T. Furuuta, I. Sakaguchi and Y. Deguchi. 1997. Use of meat and bone meal as protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. Fish. 63, 29-32.

KNSO (Korea National Statistical Office). 2003. KOSIS Statistical DB, Daejeon, Korea.

Lee, S.M. 2002. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture, 207, 79-95.

Millamena, O.M. 2002. Replacement of fish meal by animal by-product meals in a practical diet for grow-out culture of grouper *Epinephelus coioides*. Aquaculture, 204, 75-84.

Sato, T. and K. Kikuchi. 1997. Meatmeal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. Fish. Sci., 63, 877-880.

Shimeno, S., H. Hosokawa, M. Kumon, T. Masumoto and M. Ukawa. 1992. Inclusion of defatted soybean meal diet for fingerling yellowtail. Nippon Suisan Gakkaishi, 58, 1319-1325.

Shimeno, S., T. Masumoto, T. Hujita, T. Mima and S. Ueno. 1993a. Alternative protein sources for fish meal in diets of young yellowtail. Nippon Suisan Gakkaishi, 137-143.

Shimeno, S., H. Hosokawa, M. Kumon, H. Ando and M. Ukawa. 1993b. The growth performance and body composition of young yellowtail fed with diets containing defatted soybean meal for a long time period. Nippon Suisan Gakkaishi, 59, 821-825.

Shimeno, S., T. Mima, T. Imanaga and K. Tomaru. 1993c. Inclusion of combination of

defatted soybean meal, meat meal, and corn gluten meal to yellowtail diets. Nippon Suisan Gakkaishi, 59, 1889-1895.

<넙치 배합사료의 어분 대체 단백질원으로서 오징어간분 이용성>

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. USA. p. 1298.

Cho, S.H., S. Lee, B. Park, I. Park, S. Lee, B.H. Min, S. Hur and Y. Lim. 2005. Substitution of meat meal for fish meal in the diet for juvenile flounder *Paralichthys olivaceus* during the winter season. J. Fish. Sci. Tech., (submitted).

Duncan, D.B. 1955. Multiple range and multiple F tests. Biometrics, 11, 1-42.

Fernandez-Palacios, H., M. Izquiedo, L. Robaina, A. Valencia, M. Salhi and D. Montero. 1997. The effect of dietary protein and lipid from squid and fish meals on egg quality of broodstock for gilthead seabream (*Sparus aurata*). Aquaculture, 148, 233-246.

Kikuchi, K., T. Furuta and H. Honda. 1994a. Utilization of feather meal as a protein source in the diet of juvenile flounder. Fish. Sci., 60, 203-206.

Kikuchi, K., T. Furuta and H. Honda. 1994b. Utilization of soybean meal as a protein source in the diet of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. Suisanzoshoku, 42, 601-604.

Kikuchi, K., T. Sato, T. Furuuta, I. Sakaguchi and Y. Deguchi. 1997. Use of meat and bone meal as protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. Fish., 63, 29-32.

Kikuchi, K. 1999a. Partial replacement of fish meal with corn gluten meal in diets for Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aquacult. Soc., 30, 357-363.

Kikuchi, K. 1999b. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture, 179, 3-11.

Lee, S.M., S.H. Cho and K. Kim. 2000. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aquacult. Soc., 31, 306-315.

Sato, T. and K. Kikuchi. 1997. Meat meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. Fish. Sci., 63, 877-880.

Shimeno, S., T. Masumoto, T. Hujita, T. Mima and S. Ueno. 1993. Alternative protein sources for fish meal in diets of young yellowtail. Nippon Suisan Gakkaishi, 59,137-143.

Vassallo-Agius, R., H. Imaizumi, T. Watanabe, T. Yamazaki, S. Satoh and V. Kiorn. 2001. Effect of squidmeal in dry pellets on the spawning performance of striped jack

- Pseudocaranx dentex*. Fish. Sci., 67, 271-280.
- Watanabe, T., T. Arkawa, C. Kitajima and S. Fujita. 1984a. Effect of nutritional quality of broodstock diets on reproduction of red sea bream. Nippon Suisan Gakkaishi, 50, 495-501.
- Watanabe, T., A. Itoh, A. Murakami and Y. Tsukashima. 1984b. Effect of nutritional quality of broodstock on the verge of spawning on reproduction of red sea bream. Nippon Suisan Gakkaishi, 50, 1023-1028.
- <넙치 배합사료의 어분 대체 단백질원으로 발효 참치 내장 부산물 이용성>
- Folch, J., M. Lees and G.H. Sloane Stanley. 1957. A simple methods for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem., 226, 375~379.
- Hossain, M.A., M. Furichi and Y. Yone. 1987. Effects of scrap meals fermented with fungoid growth of red sea bream and feed efficiency. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 53(9), 1669~1671.
- Hossain, M.A., M. Furichi and Y. Yone. 1988. Proximate and fatty acid composition of liver, haematological characteristics and chemical components in plasma of red sea bream fed on scrap meals fermented with molds. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 54(8), 1385~1389.
- Ji, C.I., J.H. Park, Y.J. Kang, J.Y. Lee and S.J. Kim. 1996. Preparation of acid stabilized silage from viscera of skipjack tuna. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 52, 81~92 (in Korean).
- Kang, Y.J., J.Y. Lee, S.M. Lee and S.B. Hur. 1992. Availability of fish processing by-products substituted for frozen round fish in moist pellet diets for flounder, *Paralichthys olivaceus*.
- Kato, F., I. Nakajato, A. Murata, S. Okamoto and Y. Yone. 1986. Use of waste fish for large scale production of fermented fish meal and its feed efficiency. Nippon Nogeikagaku Kaishi, 60(4), 287~293.
- Lee, S.C. and K.L. Woo. 1992. A study on development of effective utilization methods of skip jack tuna viscera. Korean J. Food Sci. Technol., 24, 86~91 (in Korean).
- Lee, S.M., J.Y. Lee, Y.J. Kang, H.D. Yoon and S.B. Hur. 1993. n-3 Highly unsaturated fatty acid requirement of the Korean rockfish. Bull. Korean Fish. Soc., 26(5), 477~492 (in Korean).
- Mary, B.H., K. Norasak, R. Purbita and R. Bibek. 1993. Bacteriocins of lactic acid bacteria in combination have greater antibacterial activity. J. Food Prot, 45, 420~425.
- Matsuno, N., M. Nomura and M. Yamaguchi. 1978. Correlation between contents of essential

- amino acids in food proteins. The Japanese Journal of Nutrition, 36(5), 225~230.
- Strom, T. and B.O. Eggum. 1981. Nutritional value of fish viscera silage. J. Sci. Food Agric, 32, 115~120.
- Van Wyk, H.J. and C.M.S. Heydenrych. 1985. The production of naturally fermented fish silage using various lactobacilli and different carbohydrate source. J. Sci. Food Agric., 36, 1093~1103.
- Yanase, M. 1982. Fish waste utilization using its autolysis. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 108, 1~7.
- Yanase, M. 1983. Fish waste utilization using its autolysis. Centrifugal separation of lipid. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 112, 111~116.
- Yoon, H.D., D.S. Lee and S.B. Suh. 1997. Studies on the utilization of waste fish processing. II-Changes of chemical properties of skipjack tuna viscera silage during storage by the processing method. J. Korean Fish. Soc., 30(1), 8~15 (in Korean).

<넙치 치어 배합사료의 어분 대체 단백질원으로서 탈지대두박과 면실박 이용성>

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1995. Official methods of analysis. 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA.
- Barual, K., N. P. Sahu, A. K. Pal and D. Debnath, 2004. Dietary phytase: An ideal approach for a cost effective and low-polluting aquafeed. NAGA, World Fish Center Quarterly, 27, 15-19.
- Blom, J. H., K. J. Lee, J. Rinchar, K. Dabrowski and J. Ottobre, 2001. Reproductive efficiency and maternal offspring transfer of gossypol in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets containing cottonseed meal. J. Anim. Sci., 79, 1533 pp.
- Boonyaratpalin, M., P. Suraneiranat and T. Tunpibal, 1998. Replacement of fish meal with various types of soybean products in diets for Asian seabass *Lates calcarifer*. Aquaculture, 161, 67-78.
- Brandsen, M. P. and C. G. Carter, 1999. Effect of processing soybean meal on the apparent digestibility of practical diets for greenback flounder *Rhombosolea tapirina* (Gunther). Aquacult. Res., 30, 719-723.
- Catacutan, M. R. and G. E. Pagador, 2004. Partial replacement of fish meal in formulated diets for the mangrove red snapper *Lutjanus argentimaculatus* (Forsskal 1775). Aquacult. Res., 35, 299-306.
- Cheng, Z. J. and W. R. Hardy, 2002. Apparent digestibility coefficients and nutritional value of cottonseed meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 212, 361-372.

- Chou, R. L., B. J. Her, M. S. Su, G. Hwang, Y. H. Wu and H. Y. Chen, 2004. Substituting fish meal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*, 229, 325-333.
- Colin-Negrete, J., H. E. Kiesling, T. T. Ross and J. F. Smith, 1996. Effect of whole cottonseed meal on serum constituents, fragility of erythrocyte cells, and reproduction of growing Holstein heifers. *J. Dairy Sci.*, 79, 2016-2023.
- Dabrowski, K., J. Rinchard, K-J. Lee, J. H. Blom, A. Cierezko and J. Ottobre, 2000. Effects of diets containing gossypol on reproductive capacity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Biol. Reprod.*, 62, 227-234.
- Dorsa, W. J., R. H. Robinette, H. E. Robinson and E. W. Poe, 1982. Effects of dietary cottonseed meal and gossypol on growth of young channel catfish. *T. Am. Fish. Soc.*, 111, 651-655.
- El-Saidy, D. M. S. and M. M. A. Gaber, 2003. Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. *Aquacult. Res.*, 34, 1119-1127.
- Elangovan, A. and K. F. Shim, 2000. The influence of replacing fish meal partially in the diet with soybean meal on growth and body composition of juvenile tin foil barb (*Barbodes altus*). *Aquaculture*, 189, 133-144.
- Folch, J., M. Lee and G. H. Sloane -Stanley, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226, 497-509.
- Hardy, R.W., 1995. Current issues in salmonid nutrition. In: *Nutrition and Utilization Technology in Aquaculture* (Ed. By C. Lim and D.J. Sessa), 26-35. AOCS Press, Campaign, IL, USA.
- Hendricks, J. D., R. O. Sinnhuber, P. M. Loveland and J. E. Nixon, 1980. Hepatocarcinogenicity of glandless cottonseed oil to rainbow trout (*Salmo gairdnerii*). *Science*, 208, 309-311.
- Garcia-Abiado, M. A., G. Mbahinzireki, J. Rinchard, K-J. Lee and K. Dabrowski, 2004. Effects of diets containing gossypol on blood parameters and spleen structure in tilapia, *Oreochromis sp.*, reared in re-circulating system. *J. Fish Dis.*, 27, 359-368.
- Gomes, E. F., R. A. Gouveia and A. O. Teles, 1995. Replacement of fish meal by plant proteins in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): effect of the quality of the fish meal based control diets on digestibility and nutrient balances. *Water Sci. Technol.*, 31, 205-211.
- Kikuchi, K., 1999. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of

- Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 179, 3-11.
- Kim, H. L. and M. C. Calhoun, 1995. Determination of gossypol in plasma and tissues of animals. Symposium on Available Gossypol in Cottonseed Products. Inform 6, 486 (Abstr).
- Lee, K-J., K. Dabrowski, J. H. Blom, S. C. Bai and P. C. Stromberg, 2002. A mixture of cottonseed meal and soybean meal and animal byproduct mixture as a fish meal substitute: growth and gossypol enantiomer in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Anim. Physiol. A. Anim. Nutr.*, 86, 201-213.
- Lee, K-J. and K. Dabrowski, 2002b. High performance liquid chromatographic determination of gossypol and gossypolone enantiomers in fish tissues using simultaneous electrochemical and ultraviolet detectors. *J. Chromatogr. B.*, 779, 313-319.
- Mbahinzireki, G. B., K. Dabrowski, K-J. Lee, D. El-Saidy and E. R. Wisner, 2001. Growth, feed utilization and body composition of tilapia (*Oreochromis sp.*) fed with cottonseed meal-based diets in a re-circulating system. *Aquacult. Nutr.*, 7, 189-200.
- McGoogan, B. and D. M. III. Gatlin, 1997. Effect of replacing fish meal with soybean meal in diets for red drum *Sciaenops acellatus* and potential for palatability enhancement. *J. World Aquacult. Soc.*, 28, 374-385.
- NRC (National Research Council), 1993. Nutritional Requirements of Fish, 144 pp. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Pongmaneerat, J. and T. Watanabe, 1993. Nutritional evaluation of soybean meal for rainbow trout and carp. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59, 157-163.
- Quantararo, N., G. L. Allan and J. D. Bell, 1998. Replacement of fish meal in diets for Australian snapper, *Pagrus auratus*. *Aquaculture*, 153, 263-272.
- Riche, M., N. L. Trottier, P. K. Ku and D. L. Garling, 2001. Apparent digestibility of crude protein and apparent availability of individual amino acids in tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed phytase pretreated soybean meal diets. *Fish Physiol. Biochem.*, 25, 181-194.
- Shimeno, S., M. Kumon, H. Ando and M. Ukawa, 1993. The growth performance and body composition of young yellowtail fed with diets containing defatted soybean meal for a long period. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 59, 177-202.
- <넙치 사료 내 면실박과 대두박 첨가에 따른 철과 인의 보충 효과>
- Alarcon, F.J., Moyano, F.J. and Diaz, M., 1999. Effect of inhibitors present in protein sources on digestive proteases of juvenile sea bream (*Sparus aurata*). *Aquat. Living Resour.*

- (Montrouge) 12, pp. 233238.
- Bai, S. C., and Gatlin, D.M., 1994. Effects of lysine supplementation of diets with different protein levels and sources on channel catfish *Ictalurus punctatus* (Rafinesque). *Aquac. Fish. Manage.* 25 (1994), pp. 465474.
- Benz, C. C., Keniry, M. A., Ford, J. M., Townsend, A. J., Cox, F. W., Palayoor, S., Matlin, M. A., Hait, W. N., and Cowan, K. H., 1990. Biochemical correlates of the antitumor and antimitochondrial properties of gossypol enantiomers. *Mol. Pharmacol.* 37, 840.
- Boonyaratpalrin, M., Suraneiranat, P., Tunpibai, T., 1998. Replacement of fish meal with various types of soybean products in diets for Asian sea bass (*Lates calcarifer*). *Aquaculture* 161 (1998), pp. 6778.
- Bureau, D.P., Harris, A.M. and Cho, C.Y., 1998. The effect of purified alcohol extracts from soy products on feed intake and growth of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 161, pp. 2743.
- Burel, C., Boujard, T., Kaushik, S.J., Boeuf, G., Van Der Geyten, S., Mol, K.A., Kuhn, E.R., Quinsac, A., Krouti, M. and Ribailier, D., 2000. Potential of plant-protein sources as fish meal substitutes in diets for turbot (*Psetta maxima*): growth, nutrient utilization and thyroid status. *Aquaculture* 188, pp. 363382.
- Cho, C. Y., Bayley, H. S., and Slinger, S. J., 1974. Partial replacement of herring meal with soybean meal and other changes in a diet for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Board Can.* 31 (1974), pp. 15231528.
- Dabrowski, K., and Kosak, K., 1979. The use of fish meal and soybean meal as a protein source in the diet of grass carp fry. *Aquaculture* 18 (1979), pp. 107114.
- Dabrowski, K., Lee, K.-J., Rinchard, J., Ciereszko, A., Blom, J. H. and Ottobre, J., 2001. Gossypol isomers bind specifically to blood plasma proteins and spermatozoa of rainbow trout fed diets containing cottonseed meal. *Biochem. Biophys. Acta*, 1525: 37-42.
- Davies, S. J., McConnell, S. and Bateson, R. I., 1990. Potential of rapeseed meal as an alternative protein source in complete diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters). *Aquaculture*, 87: 145-154.
- Gallagher, M.L., 1994. The use of soybean meal as a replacement for fish meal in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* × *M. chrysops*). *Aquaculture* 126, pp. 119127.
- Gouveia, A., and Davies, S.J., 1998. Preliminary nutritional evaluation of pea seed meal (*Pisum sativum*) for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 166, pp. 311320.

- Hendricks, J.D., 2002. Adventitious toxins. In: Halver, J.E., and Hardy, R.W. (Eds.), Fish Nutrition, 3rd ed. Academic Press, San Diego, CA, USA, pp.601-649.
- Kaushik, S.J., 1995. Protein and amino acid nutrition of fish in comparison to terrestrial vertebrates. In: Nunes, A.F., Portugal, A.V., Costa, J.P. and Ribeiro, J.R., Editors, 1995. *Protein Metabolism and Nutrition*, INIA, Portugal, pp. 4756.
- Kikuchi, K., 1999. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture* 179, pp. 311
- Kikuchi, K., 1999. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder (*Paralihcths olivaceus*). *Aquaculture*, 179: 3-11.
- Krogdahl, A., 1995. Soybean products may cause intestinal problems (Abstract). In: Produksjon av laksefisk (PAL) programmets rapport sammendrag. Oslo: Norwegian Research Council: 23-24.
- Krogdahl, A., 1995. Soybean products may cause intestinal problems (Abstract). In: Produksjon av laksefisk (PAL) programmets rapport sammendrag. Oslo: Norwegian Research Council: 23-24.
- Krogdahl, A., Lea, T.B. and Olli, J. J., 1994. Soybean protein are inhibitors affect intestinal tripsin activities and amino acid digestibility in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 107A: 215-219.
- Lee, K.-J., and Dabrowski, K., 2002. Tissue gossypol and gossypolone isomers in rainbow trout fed low and high levels of dietary cottonseed meal. *J. Agr. Food Chem.*, 50: 3056-3061.
- Lee, K.-J., and Dabrowski, K., 2002. Tissue gossypol and gossypolone isomers in rainbow trout fed low and high levels of dietary cottonseed meal. *J. Agr. Food Chem.*, 50: 3056-3061.
- Liu, K., 1997. In: Soybeans: Chemistry, Technology and Utilization. Chapman & Hall, International Thomsom Publishing, Singapore, 532pp.
- National Research Council (NRC), 1993. Nutritional Requirments of Fish, 144pp. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- NCPA (2001) Nutrient composition of cottonseed feed products. National Cottonseed Products Association Inc., Memphis, Tennesse, USA.
- Refstie, S., Storebakken, T., Baeverfjord, G., and Roem, A.j., 2001. Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level. *Aquaculture* 193 (2001), pp. 91106

- Refstie, S., Svihus, B., Shearer, K.D. and Storebakken, T., 1999. Nutrient digestibility in Atlantic salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharides content in different soybean products. *Aquaculture* 79, 331-345.
- Rinchard, J., Mbahinzireki, G., Dabrowski, R., Lee, K. J., Garcia-Abiado, M., and Ottobre, J., 2002. Effects of dietary cottonseed meal protein level on growth, gonad development and plasma sex steroid hormones of tropical fish tilapia *Oreochromis* sp. *Aquaculture International* 10: 11-28.
- Robaina , L., Izquierdo, M.S., Moyano, F.J., Socorro, J., Vergara, J.M., Montero, D. and Fernandez-Palacios, H., 1995. Soybean and lupin seed meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): nutritional and histological implications. *Aquaculture* 130, pp. 219-233.
- Robaina , L., Izquierdo, M.S., Moyano, F.J., Socorro, J., Vergara, J.M. and Montero, D., 1998. Increase of the dietary n-3/n-6 fatty acid ratio and addition of phosphorus improves liver histological alterations induced by feeding diets containing soybean meal to gilthead seabream, *Sparus aurata*. *Aquaculture* 161, pp. 281-293
- Robinson, E. H., and Li, M. H., 1995. Use of cottonseed meal in aquaculture feeds. In: Lim, C., Sessa, D. J. (Eds.), *Nutrition and Utilization Technology in Aquaculture*. AOCA Press, Champaign IL, pp. 157-165.
- Robinson, E. H., and Tiersch, T. R., 1995. Effects of long-term feeding of cottonseed meal on growth, testis development, and sperm motility of male channel catfish *Ictalurus punctatus* broodfish. *J. World Aquac. Soc.* 26: 426-431.
- Sandoval, M., Okuhama, N. N., Angeles, F. M., Melchor, V. V., Condezo, L. A., Lao, J., and Miller, M. J. S., 2002. Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium myyenii*). *Food Chemistry* 79: 207-213.
- Shelley, M. D., Hartley, L., Fish, R. G., Groundwater, P., Morgan, J. J. G., Mort, D., Mason, M., Evans, A., 1999. Stereo-specific cytotoxic effects of gossypol enantiomers and gossypolone in tumour cell lines. *Cancer Lett.* 135, 171.
- Snyder, H.E. and Kwon, T.W., 1987. *Soybean Utilization*, Van Nostrand-Reinhold, New York, NY, USA, 346 pp.
- Spinelli, H. E., Houle, C. R. and Wekell, J. C., 1983. The effects of phytate on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed purified diets containing varies quantities of calcium and magnesium. *Aquaculture*, 30: 71-83.
- Storebakken ,T., Shearer, K.D., Baeverfjord, G., Nielsen, B.G., Asgard, T., Scott, T. and De Laporte, A., 2000. Digestibility of macronutrients, energy and amino acids, absorption of

- elements and absence of intestinal enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with wheat gluten. *Aquaculture* 184, pp. 115-132
- Storebakken, T., Refstie, S., and Ruyter, B., 2000. Soy products as fat and protein sources in fish diets for intensive aquaculture. In: Drackley, J.K. (Editor), *Soy in Animal Nutrition*. Fed. Anim. Sci. Soc., Savoy, IL, pp.127-170.
- Storebakken, T., Shearer, K. D. and Reom, A. J., 1998. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytate treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon (*Salmon salar*). *Aquaculture*, 161: 365-379.
- Teskeredzic, Z., Higgs, D.A., Dosanjh, B.S., McBride, J.R., Hardy, R.W., Beames, R.M., Jones, J.D., Simell, M., Vaara, T. and Bridges, R.B., 1995. Assessment of undephytinized and dephytinized rapeseed protein concentrate as sources of dietary protein for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 131, pp. 261-277.
- Tidwell, J.H., and Allan, G.L., 2001. Fish as food: aquaculture's contribution. *EMBO Rep.* 2, pp. 958-963.
- Vielma, J., Makinen, T., Ekholm, P. and Koskela, J., 2000. Influence of dietary soy and phytase levels on performance and body composition of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and algal availability of phosphorus load. *Aquaculture* 183, pp. 349-362.
- Viola, S., Mokady, S., and Arieli, Y., 1984. Effects of soybean processing methods on the growth of carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture* 32 (1983), pp. 2738.

○ 배합사료 품질 향상을 위한 사료 첨가제

<넙치 배합사료에 미역분말, 한약제 및 고추냉이 분말 첨가 효과>

- AOAC, 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemicals, 14th edition. Arlington. AV. 1141 pp.
- Aoki, T., T. Kanazawa and T. Kitao, 1985. Epidemiological surveillance of drug resistant *Vibrio anguillarum* strains. *Fish pathol.*, **29**: 199–208.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, **11**: 1–42.
- Ellis, A. E., 1999. Immunity to bacteria in fish. *Fish & Shellfish Immunol.*, **9**: 291–308.
- Grinde, B., 1989. Lysozyme from rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, as an antibacterial agent against fish pathogens. *J. Fish. Dis.*, **12**: 95–104.
- Hur, J.-M., J. H. Lee, J.-W. Choi, G.-W. Hwang, S.-K. Chung, M.-S. Kim and J.-C. Park,

1998. Effect of methanol extract and kaempferol glycosides from *Armoracia rusticana* on the formation of lipid peroxide in bromobenzene-treated rats *in vitro*. Kor. J. Pharmacogn, **29**: 231–236.
- Jang, S. I., J. Y. Jo and J. S. Lee, 1992. Effects of vitamins and glycyrrhizin added to oxidized diets on the growth and on the resistance to *Edwardsiella* infection of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. J. Aquacult., **5**: 143–155.
- Kim, D. S., J. H. Kim, C. H. Jong, S.-M. Lee and Y. B. Moon, 1996. Effects of dietary herbs on growth and body composition in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Fish. Pathol., **9**: 461–465.
- Kim, D. S., J. H. Kim, C. H. Jong, S. Y. Lee, S.-M. Lee and Y. B. Moon, 1998. Utilization of obosan (dietary herbs) I. Effects on survival, growth, feed conversion ratio and condition factor in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Fish. Pathol., **11**: 213–221.
- Kim, K.-D., S.-M. Lee, H. G. Park, S. Bai and Y.-H. Lee. 2002. Essentiality of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aquacult. Soc., **33**: 432-440.
- Kim, K. H., Y. J. Hwang and S. H. Bai, 1999. In vitro of Aloe on the respiratory burst activity of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) leucocytes. J. Fish. Pathol., **12**: 1–6.
- Kim Y. S., B. S. Kim, T. S. Moon and S.-M. Lee, 2000. Utilization of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in the diet of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). J. Korean Fish. Soc., **33**: 469–474.
- Kono, M., T. Matsui and C. Shimizu, 1987. Effect of chitin, chitosan and cellulose as diet supplements on the growth of cultured fish. Nippon Suisan Gakkaishi, **53**: 125–129.
- Lee, K. H., Y. S. Lee, J. H. Kim and D. S. Kim, 1998. Utilization of obosan (dietary herbs) II. Muscle quality of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* fed with diet containing obosan. J. Aquacult., **11**: 319–325.
- Lee, S.-M., D. J. Kim, J. K. Kim, S. B. Hur, J. K. Lee and H. K. Lim. 2000. Effects of *Kluyveromyces fragilis*, *Candida utilis* and brewer's yeast as an additive in the diet on the growth and body composition of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Korean Fish. Soc., **33**: 463-468.
- Lee, S.-M., C. S. Park and I. C. Bang, 2002. Dietary protein requirement of young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. Fish. Sci., **68**: 158–164.
- Lee, S.-M., Kim, K.-D., Lall, S. P. 2003. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture, **221**: 427-438.
- Lie, O., O. Evensen, A. Sorensen and E. Froysadal, 1989. Study on lysozyme activity in

- some fish species. *Dis. Aquat. Org.*, **6**: 1–5.
- Lindsay, G. J. H., M. J. Walton, J. W. Adron, T. C. Fletcher, C. Y. Cho and C. B. Cowey, 1984. The growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) given diets containing chitin and its relationship to chitinolytic enzymes and chitin digestibility. *Aquaculture*, **37**: 315–334.
- Matuso, K. and I. Miyazono, 1993. The influence of long-term administration of peptidoglycan on disease resistance and growth of juvenile rainbow trout. *Nippon Suisan Gakkashi*, **59**: 1377–1379.
- Nakagawa, H., S. Kasahara, E. Uno, T. Minami and K. Akira, 1981. Effect of *Chlorella*-extract supplement in diet on resisting power against disease of cultured ayu. *Aquaculture*, **29**: 109–116.
- Nakagawa, H., 1985. Usefulness of *Chlorella*-extract for improvement of the physiological condition of cultured ayu, *Plecoglossus altivelis* (Pisces). *Tethys*, **11**: 328–334.
- Nakagawa, H. and S. Kasahara, 1986. Effect of *Ulva*-meal supplement to diet on the lipid metabolism of red sea bream. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **52**: 1887–1893.
- Nematipour, G. R., H. Nakagawa, K. Nanba, S. Kasahara, A. Tsujimura and K. Akira, 1987. Effect of *Chlorella*-extract supplement to diet on lipid accumulation of ayu. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**: 1687–1692.
- Parry, R. M., R. C. Chandau and R. M. Shahani, 1965. A rapid and sensitive assay of muramidase. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **119**: 384–386.
- Satoh, K. I., H. Nakagawa and S. Kasahara, 1987. Effect of *Ulva* meal supplementation on disease resistance of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**: 1115–1120.
- Seo, K. L., D. Kim and S.-I. Yang, 1995. Studies on the Antimicrobial effect of wasabi extracts. *Korean J. Nutrition*, **28**: 1073–1077.
- Shiau, S.-Y. and Y.-P. Yu, 1999. Dietary supplementation of chitin and chitosan depress growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture*, **179**: 439–446.
- Shin I. S., 2001. Bactericidal activity of Sawa-wasabi (*Wasabia japonica*) against the fish pathogenic bacteria. *J. Fish. Sci. Tech.*, **4**: 252–256.
- Yi, Y.-H. and Y.-J. Chang, 1994. Physiological effects of seamustard supplement diet on the growth and body composition of young rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **27**: 69–82.
- Yone, Y., M. Furuichi and K. Urano, 1986a. Effects of dietary wakame *Undaria penatifida* and *Ascophyllum nodosum* supplements on growth, feed efficiency, and proximate compositions of liver and muscle for red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **52**:

1465–1468.

- Yone, Y., M. Furuichi and K. Urano, 1986b. Effects of wakame *Undaria pinnatifida* and *Ascophyllum nodosum* on absorption of dietary nutrients, and blood sugar and plasma free amino-N levels of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **52**: 1817-1819.
- 권문경, 김이칭, 손영찬, 박수일, 1999. 구기자 투여가 나일틸라피아, *Oreochromis niloticus*의 *Edwardsiella tarda* 백신 처리에 미치는 효과. *한국어병학회지*, **12**: 73–81.
- 김진우, 박수일, 전세규, 1992. 양식 넙치로 부터의 lysozyme 정제와 병원성 세균에 대한 정균작용. *한국어병학회지*, **5**: 61–76.
- 박성우, 김영길, 최동립, 1996. β -glucan을 접종한 한국산 메기 (*Silurus asotus*)의 호중구와 리소자임 활성 증강. *한국어병학회지*, **9**: 87–93.

<넙치 배합사료에 고추냉이 추출물, 키토산 및 김 분말 첨가 효과>

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298pp.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, **11**: 1-42.
- Hirano, T. and M. Suyama, 1983. Fatty acid composition and its seasonal variation of lipids of wild and cultured ayu. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **49**: 1459-1464.
- Hur, J.-M., J. H. Lee, J.-W. Choi, G.-W. Hwang, S.-K. Chung, M.-S. Kim and J.-C. Park, 1998. Effect of methanol extract and kaempferol glycosides from *Armoracia rusticana* on the formation of lipid peroxide in bromobenzene-treated rats *in vitro*. *Kor. J. Pharmacogn*, **29**: 231–236.
- Kim, D. S., J. H. Kim, C. H. Jong, S. Y. Lee, S.-M. Lee and Y. B. Moon, 1998. Utilization of obosan (dietary herbs) I. Effects on survival, growth, feed conversion ratio and condition factor in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J. Fish. Pathol.*, **11**: 213–221.
- Lee, K. H., Y. S. Lee, J. H. Kim and D. S. Kim, 1998. Utilization of obosan (dietary herbs) II. Muscle quality of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* fed with diet containing obosan. *J. Aquacult.*, **11**: 319–325.
- Lee, S.M., D.J. Kim, K.D. Kim, J.K. Kim and J.H. Lee, 2000. Growth and composition of larval ayu (*plecoglossus altivelis*) fed the micro-diets containing *Kluyveromyces fragilis* and *Candida utilis*. *J. Korean Fish. Soc.*, **33**: 22-24.
- Nakagawa, H. and S. Kasahara, 1986. Effect of *Ulva*-meal supplement to diet on the lipid metabolism of red sea bream. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **52**: 1887-1893.
- Satoh, K.I., H. Nakagawa and S. Kasahara, 1987. Effect of *Ulva* meal supplementation on disease resistance of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**: 1115-1120.

- Seo, K. L., D. Kim and S.-I. Yang, 1995. Studies on the Antimicrobial effect of wasabi extracts. Korean J. Nutrition, **28**: 1073–1077.
- Shin I. S., 2001. Bactericidal activity of Sawa-wasabi (*Wasabia japonica*) against the fish pathogenic bacteria. J. Fish. Sci. Tech., **4**: 252–256.
- 박상언, 권문경, 이윤호, 김경덕, 신일식, 이상민. 2003. 배합사료에 미역, 어보산 및 고추냉이 첨가가 넙치 치어의 성장, 체성분, 혈액성상 및 비특이적 면역계에 미치는 효과. 한국양식학회지. 16, 210-215
- <조피볼락 배합사료에 생약제, 약쭉 및 삼지구엽 첨가 효과>
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298pp.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics, **11**: 1-42.
- Folch, J., M. Lees and G. H. S. Stanley, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem., **226**, 496-509.
- Kim, D. S., J. H. Kim, C. H. Jong, S. Y. Lee, S.-M. Lee and Y. B. Moon, 1998. Utilization of obosan (dietary herbs) I. Effects on survival, growth, feed conversion ratio and condition factor in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Fish. Pathol., **11**: 213–221.
- Kono, M., T. Matsui and C. Shimizu, 1987. Effect of chitin, chitosan and cellulose as diet supplements on the growth of cultured fish. Nippon Suisan Gakkaishi, **53**: 125–129.
- Lindsay, G. J. H., M. J. Walton, J. W. Adron, T. C. Fletcher, C. Y. Cho and C. B. Cowey, 1984. The growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) given diets containing chitin and its relationship to chitinolytic enzymes and chitin digestibility. Aquaculture, **37**: 315–334.
- Lee, K. H., Y. S. Lee, J. H. Kim and D. S. Kim, 1998. Utilization of obosan (dietary herbs) II. Muscle quality of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* fed with diet containing obosan. J. Aquacult., **11**: 319–325.
- Shiau, S.-Y. and Y.-P. Yu, 1999. Dietary supplementation of chitin and chitosan depress growth in tilapia, *Oreochromis niloticus*×*O. aureus*. Aquaculture, **179**: 439–446.
- 박상언, 권문경, 이윤호, 김경덕, 신일식, 이상민. 2003. 배합사료에 미역, 어보산 및 고추냉이 첨가가 넙치 치어의 성장, 체성분, 혈액성상 및 비특이적 면역계에 미치는 효과. 한국양식학회지. 16, 210-215.

○ 부상사료(EP) 설계 및 사육 효과

<넙치 배합사료로서 EP, SMP 및 생사료 비교 실험>

- Adron, J.W., A. Blair, C.B. Cowey, and A.M. Shanks. 1976. Effects of dietary energy level and dietary energy source on growth, feed conversion and body composition of turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Aquaculture*, 7:125-132.
- Alam, M.S., S. Teshima, M. Ishikawa, and S. Koshio. 2000. Methionine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 31:618-626.
- Alam, M.S., S.I. Teshima, S. Koshio, and M. Ishikawa. 2002. Arginine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* estimated by growth and biochemical parameters. *Aquaculture*, 205:127-140.
- Andrews, J.W. and J.W. Page. 1975. The effects of frequency of feeding on culture of catfish. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 104:317-321.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, 1904 PP.
- Barber, L. and S.J. De Groot. 1973. On the morphology of the alimentary tract of flatfishes. *J. Fish Biol.*, 5:147-153.
- Bowen, S.H. 1987. Dietary protein requirements of fishes a reassessment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44:1995-2001.
- Bromley, P.J. 1980. Effect of dietary protein, lipid and energy content on the growth of turbot *Scophthalmus maximus*. *Aquaculture*, 19:359-369.
- Buurma, B.J. and J.S. Diana. 1994. Effects of feeding frequency and handling on growth and mortality of cultured walking catfish *Clarias fuscus*. *J. World Aquaculture Soc.*, 25:175-182.
- Castro, H., J. Battaglia, and E. Virtanen. 1998. Effects of FinnStim on growth and sea water adaptation of coho salmon. *Aquaculture*, 168:423-429.
- Cho, C.Y., and D.P. Bureau, 1997. Reduction of waste output from salmonid aquaculture through feeds and feeding. *Prog. Fish-Culturist*, 59:155-160.
- Chua, T.E. and S.K. Teng. 1978. Effects of feeding frequency on the growth of young estuary groupers, *Epinephelus tauvina* (Forsk.) cultured in floating net cages. *Aquaculture*, 14:31-47.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11:1-42.
- Dwyer, K. J.A. Brown, C. Parrish, and S.P. Lall. 2002. Feeding frequency affects food consumption, feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). *Aquaculture* (in Press).
- Fam, S. 1997. Food and feeding requirements of juvenile striped wolffish (*Anarhichas lupus*).

- MSc thesis, Memorial University of Newfoundland, St. John's.
- Forster, I. and H.Y. Ogata. 1998. Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red sea bream *Pagrus major*. *Aquaculture*, 161:131-142.
- Fredette, M., J. Batt. and J. Castell. 2000. Feeding stimulant for juvenile winter flounders. *North American Journal of Aquaculture*, 62:157-160.
- Furuta, S. 1998. Comparison of feeding behaviour of wild and hatchery-reared Japanese flounder juvenile by laboratory experiments. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 64:393-397.
- Garling, D.L. and R.P. Wilson. 1976. Optimum dietary to energy ratio for channel catfish fingerlings. *J. Nutrition*, 106:1368-1375.
- Grayton, B.D. and F.W.H. Beamish. 1977. Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 11: 159-172.
- Gropp, J.M. and A.G.J. Tacon (Editors). 1994. Report of the EIFAC Workshop on Methodology for Determination of Nutrient Requirements in Fish, Eichenau, Germany, 29 June-1 July 1993. EIFAC Occas. Pap. No. 29. FAO, Rome, 92pp.
- Hara, T. 1994. The diversity of chemical stimulation in fish olfaction and gustation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 4:1-35.
- Ishiwata, N. 1969. Ecological studies on the feeding of fishes-VIII. Frequency of feeding and satiation amount. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 35:979-984.
- Jobling, M. 1982. Some observations on the effects of feeding frequency on the food intake and growth of plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J. Fish Biol.*, 20:431-444.
- Jobling, M. 1983. Effect of feeding frequency on food intake and growth of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. *J. Fish Biol.*, 23:177-185.
- Kikuchi, K. 1999. Partial replacement of fish meal with corn gluten meal in diets for Japanese flounder. *Aquaculture*, 30:357-363.
- Kikuchi, K. and I. Sakaguchi. 1997. Blue mussel as an ingredient in the diet of juvenile Japanese flounder. *Fisheries Science*, 63:837-838.
- Kikuchi, K., H. Honda, M. Hiyono and I. Miyazono. 1992. Effect of dietary protein level on growth and body composition of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Suisanzoshoku*, 40:335-340.
- Kikuchi, K. and T. Takeuchi. 2002. Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. (In) *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*. Webster, C.D. and C.E. Lim (Editors), pp113-120. CABI publishing, UK.

- Kim, J.D. and S.J. Kaushik. 1992. Contribution of digestible energy from carbohydrates and estimation of protein/energy requirements for growth of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 106:161-169.
- Kim, J.D. and S.P. Lall. 2000. Amino acid composition of whole body tissue of Atlantic halibut, yellowtail flounder and Japanese flounder. *Aquaculture*, 187:367-373.
- Kim, J.D. and S.P. Lall. 2001. Effects of dietary protein level on growth and utilization of protein and energy by juvenile haddock *Melanogrammus aeglefinus*. *Aquaculture*, 195: 311-319.
- Kim, J.D., S.P. Lall, and J.E. Milley. 2001. Dietary protein requirements of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). *Aquaculture Research*, 32:1-7.
- Kim, J.D., S.J. Kaushik, and J. Breque. 1998. Nitrogen and phosphorus utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets with or without fish meal. *Aquat. Living Resour.*, 11(4):261-264.
- Koskela, J., M. Jobling and J. Pirhonen. 1997. Influence of the length of the daily feeding period on feed intake and growth of whitefish, *Coregonus lavaretus*. *Aquaculture*, 156:35-44.
- Lee, D.J. and G.B. Putnam. 1973. The response of rainbow trout to varying protein / energy ratios in a test diet. *J. Nutrition*, 103:916-922.
- Lee, S.M., C.S. Park, and I.C. Bang. 2002. Dietary protein requirement of young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. *Fisheries Science*, 68:158-164.
- Lee, S.M., S.H. Cho and D.J. Kim. 2000b. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture Research*, 31:917-921.
- Lee, S.M., S.H. Cho, and K.D. Kim. 2000c. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. World Aquaculture Soc.*, 31:306-315.
- Lee, S.M., U.G. Hwang and S.H. Cho. 2000a. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture*, 187:399-409.
- Mackie, A.M., J.W. Adron, and P.T. Grant. 1980. Chemical nature of feeding stimulants for juvenile Dover sole *Solea solea*. *J. Fish Biol.*, 16:701-708.
- Murai, T., T. Akiyama, T. Takeuchi, T. Watanabe, and T. Nose. 1985. Effects of dietary protein and lipid levels on performance and carcass composition of fingerling carp. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 51:605-608.

- NRC, 1983. Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington, D.C., 102pp.
- NRC. 1993. Nutrient requirements of fish. National academy Press, Washington, D.C., 114pp.
- Oku, H. and H.Y. Ogata. 2000. Body lipid deposition in juveniles of red sea bream *Pagrus major*, yellowtail *Seriola quinqueradiata*, and Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Fisheries Science, 66:25-31.
- Peres, H. and A. Oliva-Teles. 2002. Utilization of raw and gelatinized starch by European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. Aquaculture, 205:287-299.
- Regost, C., J. Arzel, S.J. Kaushik. 1999. Partial or total replacement of fish meal by corn gluten meal in diet for turbot *Psetta maxima*. Aquaculture, 180:99-117.
- Ruohonen, K. and D.J. Grove. 1996. Gastrointestinal responses of rainbow trout to dry pellet and low-fat herring diets. J. Fish Biol., 49:501-513.
- Ruohonen, K., J. Vielma, and D.J. Grove. 1998. Effects of feeding frequency on growth and food utilisation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low herring or dry pellets. Aquaculture, 165:111-121.
- Sato, T., T. Watanabe, S. Sato, and K. Kikuchi. 1998. Optimum energy-to- protein ratio in diet of juvenile Japanese flounder. Abstract. Meeting Jap. Soc. Fisheries Sci., April, p112 (in Japanese).
- Sato, M., R. Yoshinaka, Y. Nishinaka, H. Morimoto, T. Kojima, and Y. Yamamoto. 1986. Comparison of nutritive components in meat of wild and cultured bastard halibut *Paralichthys olivaceus*. Nippon Suisan Gakkaishi, 52:1043-1047.
- Sato, T. 1998. Development of formulated feeds for juvenile Japanese flounder. PhD thesis, Tokyo University of Fisheries, Tokyo, Japan.
- Sato, T. and K. Kikuchi. 1997. Meat meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. Fisheries Science, 63:877-880.
- Tacon, A.G.J. 1995. Application of nutrient requirement data under practical condition: special problems of intensive and semi-intensive fish farming systems. J. Appl. Ichthyol., 11:205-214.
- Takeuchi, M. 1978. Effect of dietary lipid on lipid accumulation in ayu, *Plecoglossus altivelis*. Bull. Takai Reg. Fish. Res. Lab., 93:103-109.
- Takeuchi, T. 1997. Essential fatty acids requirements of aquatic animals with emphasis on fish larvae and fingerlings. Reviews in Fisheries Science, 5:1-25.
- Takeuchi, T. 1998. Nutritional requirements of larval and juvenile Japanese flounder. (In)Text Book of Basic and Theoretical Course in Sea Farming-XII, pp1-23.
- Takeuchi, T., T. Watanabe, and C. Ogino. 1979. Optimum ratio of dietary energy to protein

- for carp. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 45:983-987.
- 김정대, 김광석, 이승복, 정관식. 1997. 사료내 단백질과 지방의 수준이 잉어의 성장, 체조직 및 질소 배설량에 미치는 영향. 한영사지, 21(5)399-406.
- 김정대, 신승훈, 조국진, 이상민. 2002. 일일 및 격일 습사료 공급방법이 육성 넙치의 성장과 영양소 이용효율에 미치는 영향. 한국양식학회지, 15:15-21.
- 김정대, 신승훈. 2001. 사료내 이용가능 인의 수준과 미생물 Phytase의 첨가가 잉어 치어의 성장과 체조직 구성에 미치는 영향. 동물자원지, 43:165-176.
- 김정대, 이승복. 2000. 사료의 물성이 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 성장, 사료이용효율 및 오염부하량에 미치는 영향. 동물자원연구, 11:75-84.
- 김정대, 이종훈, 김광석, 이승복, 최낙중, 김응오. 1998. 저오염 사료의 급여에 의한 잉어의 성장과 질소 및 인 배설량. 한국양식학회지, 11:39-48.
- 김정대. 2000a. 사료내 Phytase의 첨가가 육성용 넙치의 성장과 사료이용효율에 미치는 영향. 동물자원연구, 11:46-59.
- 김정대. 2000b. 사료의 급여율에 따른 메기 (*Silurus asotus*)의 성장, 사료이용효율 및 오염부하량. 동물자원연구, 11:67-74.
- 김정대. 2002a. 환경친화형 해산어류 양식업 육성을 위한 배합사료 개발방향. 해양수산부, 248pp.
- 김정대. 2002b. 넙치양식: 생사료 대체 배합사료의 개발은 불가능한가. 제2차 양식어민을 위한 바이오 해양 교육 교재. pp33-43, 제주대학교 생명과학기술혁신센터.
- 전임기. 1996. 조피볼락 배합사료 개발. 해양수산부, 294pp.
- <넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 10개월간 사육>
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA. 1298 pp.
- Bai, S. C., Y. Cho and X. Wang, 2001. A preliminary study on dietary protein requirement of Japanese flounder larvae, *Paralichthys olivaceus*. North Amer. J. Aquac., 63, 92-98.
- Company, R., J. A. Caldach-Giner, S. Kaushik and J. Perez-Sanchez, 1999. Growth performance and adiposity in gilthead sea bream (*Sparus aurata*): risks and benefits of high energy diets. Aquaculture, 171, 279-292.
- Conway, E. J., 1950. Microdiffusion analysis and volumetric error. Cosby, Lochwood and Son, London, England.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics, 11, 1-42.
- Forster, I. and H. Y. Ogata, 1998. Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red sea bream *Pagrus major*. Aquaculture, 161,

131-142.

- Helland, S. J. and B. Grisdale-Helland, 1998. Growth, feed utilization and body composition of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets differing in the ratio between the macronutrients. *Aquaculture*, 166, 49-56.
- Hossain, M. A., M. Furuichi and Y. Yone, 1988. POV, TBA, omega 3 HUFA and nutritive value of scrap meal fermented with *Aspergillus glaucus*. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 54, 1391-1394.
- Kikuchi, K., T. Furuta and H. Honda, 1994a. Utilization of soybean meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Suisanzoshoku*, 42, 601-604.
- Kikuchi, K., T. Furuta and H. Honda, 1994b. Utilization of feather meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. *Fish. Sci.*, 60, 203-206.
- Kikuchi, K., T. Sato, T. Furuta, I. Sakaguchi and Y. Deguchi, 1997. Use of meat and bone meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. *Fish. Sci.*, 63, 29-32.
- Kim, D. S., J. H. Kim, C. H. Jeong, S. Y. Lee, S.-M. Lee and Y. B. Moon, 1998. Utilization of Obosan (dietary herbs). I. Effects on survival, growth, feed conversion ratio and condition factor in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J. Aquacult.*, 11, 213-221.
- Kim, J. H., Y. B. Moon, C. H. Jeong and D. S. Kim, 2000. Utilization of dietary herb Obosan. III. Growth of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J. Aquacult.*, 13, 231-238.
- Kim, J.-D., S.-H. Shin, K.-J. Cho and S.-M. Lee, 2002a. Effect of daily and alternate day feeding regimens on growth and food utilization by juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. Aquacult.*, 15, 15-21.
- Kim, K.-D., S.-M. Lee, H.G. Park, S. Bai and Y.H. Lee, 2002b. Essentiality of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J. World Aquac. Soc.*, 33, 432-440.
- Kim, K., X. Wang, S. Choi, S. Bai, Y. Choi and S. Choi, 2002c. Long-term evaluation of extruded diets compared with raw fish moist diet for growing Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf). *Aquac. Res.*, 33, 979-985.
- Lee, S.-M., S. H. Cho, and K.-D. Kim, 2000a. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J. World Aquac. Soc.*, 31, 306-315.
- Lee, S.-M., S.H. Cho and D. J. Kim, 2000b. Effects of feeding frequency and dietary energy

- level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck and Schlegel). Aquac. Res., 31, 917-921.
- Lee, S.-M., C.S. Park, and I.C. Bang, 2002a. Dietary protein requirement of young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. Fish. Sci., 68, 158-164.
- Lee, S.-M., I.G. Jeon and J.Y. Lee, 2002b. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture, 211, 227-239.
- McGoogan, B. B. and D. M. Gatlin, 1999. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus*. I. Effects of dietary protein and energy levels. Aquaculture, 178, 333-348.
- Sato, T. and K. Kikuchi, 1997. Meat meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. Fish. Sci., 63, 877-880.
- Witte, V. C., G. F. Kraus and M. E. Bailey, 1970. New extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. J. Food Sci., 35, 582.
- Yone, Y., M. A. Hossain, M. Furuichi and F. Kato, 1986. Effect of fermented and fermented-resteamed scrap meals on growth and feed efficiency of red sea bream. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 52, 549-552.
- <넙치 육성용으로 부상건조사료(EP), 시판 부상사료 및 생사료(MP) 비교 : 소형수조에서 사육>
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298 pp.
- Brown, M.E., 1957. Experimental studies on growth, In: M.E. Brown (Ed.), The Physiology of Fishes. Vol. I. Academic Press New York, pp. 361-400.
- Carpenter, K.J. and V.H. Booth, 1973. Damage to lysine in food processing: its measurement and its significance. Nutr. Abstr. Rev. 43, 424-451.
- Cho, S.H., S.-M. Lee and J.H. Lee, 2005. Effects of the extruded pellets and raw fish-based moist pellet on growth and body composition of flounder *Paralichthys olivaceus* L. for 10 months. J. Aquacult., 18, 60-65.
- Choi, S.-M., K.-M. Han, X. Wang, S.-H. Lee and S.C. Bai, 2004. Quality evaluation of domestic and foreign extruded pellets and moist pellet based on Biochemical Analyses for juvenile olive flounder, *Paralichthys Olivaceus*. J. Aquacult., 17, 144-150.
- Duncan, D.B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics, 11, 1-42.
- Evans, R.J. and H.A. Butts, 1951. Heat inactivation of the basic amino acids and tryptophan.

- J. food Res. 16, 415-421.
- Kiang, M.-J., 1989. Nutrition and Feeding of Fish. Van Nostrand-Reinhold, New York, 260 pp.
- Kikuchi, K., 1999. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture, 179, 3-11.
- Kim, Y.-U., 2005. Policy of artificial feed supply for marine fish culture in Korea. International Symposium on the Present Status of Nutrition Research and the Future of Aquaculture Feed in Korea. NFRDI, Busan, Korea, 12 August, 2005. pp. 11-16.
- Kim, G.-U., H.-S. Jang, J.-Y. Seo and S.-M. Lee, 2005. Effect of feeding frequency of extruded pellet on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* during the winter season. J. Aquacult., 18, 31-36.
- Kim, K.-D. and S.-M. Lee, 2004. Requirement of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids for juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture, 229, 315-323.
- Kim, S.M., S.-M. Lee and B.-D. Yoon, 2003. Effect of fermented food garbage in diet on growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). J. Fish. Sci. Tech., 6, 45-50.
- Lee, S.-M., I.-G. Jeon and K.-S. Kim, 1997. Effects of extruded-floating, slow-sinking, fast-sinking or moist pellet diets on the growth and body composition in Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*)
- Lee, S.-M., C.H. Seo and Y.S. Cho. 1999. Growth of the juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed the diets at different feeding frequencies. J. Kor. Fish. Soc., 32, 18-21.
- Lee, S.-M., C.S. Park and I.C. Bang. 2002. Dietary protein requirement of young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. Fish. Sci., 68, 158-164.
- Lee, S.-M., I.G. Jeon and J.Y. Lee, 1996. Comparison of various fish meals as dietary protein sources for Korean Rockfish, *Sebastes schlegeli*. J. Kor. Fish. Soc., 29, 135-142.
- Lee, S.-M., K.-D. Kim and S.P. Lall, 2003. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture, 221, 427-438.
- Lee, S.-M., S.H. Cho and K.D. Kim. 2000a. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aquacult. Soc., 31, 306-315.
- Lee, S.-M., S.H. Cho and D.J. Kim, 2000b. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel). Aquac. Res., 31, 917-921.

- Pham, M.A., K.-J. Lee, S.-J. Lim, B.-J. Lee, S.-S. Kim, Y.-J. Park and S.-M. Lee, 2005. Fish meal replacement by cottonseed and soybean meal in diets for early juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult., 18, 215-221.
- Seo, J.-Y., J.H. Lee, G.-U. Kim and S.-M. Lee, 2005. Effect of extruded and moist pellets at different feeding rate on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult., 18, 26-30.
- Slinger, S.J., A. Razzaque and C.Y. Cho, 1979. Effects of feed processing and leaching on the losses of certain vitamins in fish diets. (In) Halver, J.E. and K. Tiews. (eds.). Finfish Nutrition and Fishfeed Technology, Vol. 2. Heenemann, Berlin, Germany, pp. 425-434.
- Smith, H.W., 1935. Metabolism of the lung fish. II. Effects of feeding on meat on the matabolic rate. J. Cell. Comp. Physiol., 6: 335-349.
- Springate, J., 1991. Extruded diets-worth the extra. Fish Farmer (Narch/April 1991). 45 pp.
- SPSS Inc. 1997. SPSS Base 10.0 for Window, SPSS Inc., 444 N. Michigan Avenue, Chicago, IL, USA.
- Viola, S., S. Mokady and Y. Arieli, 1983. Effects of soybean processing methods on the growth of carp (*Cyprinus carpio*). Aquaculture, 32, 27-38.
- <넙치 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 30주간 사육>
- Choi, S. M., X. Wang, G. J. Park, S. R. Lim and K. W. Kim, 2004. Dietary de-hulled soybean meal as replacement for fish meal in fingerling and growing olive flounder *Paralichthys olivaceus* Aquacult. Res., 35, 410-418.
- Coyle, S. D., G. J. Mengel, J. H. Tidwell and D. C. Webster, 2004. Evaluation of growth, feed utilization, and economics of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*, fed diets containing different protein resources in combination with distillers dried grains with soluble. Aquacult. Res., 35, 365-370.
- Kikuchi, K., T. Sato, T. Furuta, I. Sakaguchi and Y. Deguchi, 1997. Use of meat and bone meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. Fish. Sci., 63, 29-32.
- Kikuchi, K., 1999. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder (*Paralihcths olivaceus*). Aquaculture, 179, 3-11.
- <넙치 및 조피볼락 육성용으로 부상건조사료(EP)와 생사료(MP) 비교 : 대형수조에서 8개월간 사육>
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical

- Chemists. Arlington, Virginia. 1298pp.
- Cho, S. H., S.-M. Lee and J. H. Lee. 2005. Effect of the extruded pellets and raw fish-based moisture pellet on growth and body composition of flounder, *Paralichthys olivaceus* L. for 10 months. J. Aquacult. 18: 60-65.
- Duncan, D. B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics 11: 1 - 42.
- Folch, J., M. Lees, and G. H. S. Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. Journal of Biological Chemistry 226: 496 - 509.
- Kim, K.-D., S.-M. Lee, H. G. Park, S. C. Bai, and Y.-H. Lee. 2002. Essentiality of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Journal of the World Aquaculture Society 33: 432 - 440.
- Kim, K.-D. and S.-M. Lee. 2004. Requirement of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids for juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture 229: 315-323.
- Lee, S.-M. 2001. Review of the lipid and essential fatty acid requirements of rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture Research. 32 (Supplement 1): 8 - 17.
- Lee, S.-M. and I.-G. Jeon. 1996. Evaluation of dry pellet on growth of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) by comparing with moist pellet and raw fish-based moist pellet. J. Aquacult. 9: 247-254.
- Lee, S.-M., S. H. Cho, and K.-D. Kim. 2000. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. Journal of World Aquaculture Society 31: 306 - 315.
- Lee, S.-M., C. S. Park, and I. C. Bang. 2002. Dietary protein requirement of young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. Fisheries Science 68: 158 - 164.
- Lee, S.-M., I. G. Jeon, and J. Y. Lee. 2002a. Effects of digestible protein and lipid levels in practical feed on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 211: 227 - 239.
- Lee, S.-M. and K.-D. Kim. 2005. Effect of various levels of lipid exchanged with dextrin at different protein level in diet on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture Nutrition 11:1-8.

○ 사료 공급 체계에 관한 연구

<넙치 배합사료의 사료물성 평가 및 물성에 따른 사료 공급 횟수>

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical

- Chemists. Arlington, Virginia. 1298pp.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11: 1-42.
- Lee, S. M., J. Y. Lee and S. B. Hur. 1994. Essentiality of dietary eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27: 721-726.
- SPSS for Window. 1993. Base System User's Guide, Release 6.0, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago, IL, 60611.
- Takeuchi, T., K.S. Jeong and T. Watanabe. 1990. Availability of extruded carbohydrate ingredients to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and carp *Cyprinus carpio*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56: 1839-1845.
- Viyakarn V., T. Watanabe, H. Aoki, H. Tsuda, H. Sakamoto, N. Okamoto, N. Iso, S. Satoh, and T. Takeuchi. 1992. Use of soybean meal as a substitute for fish meal in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58: 1991-2000.
- Watanabe T., V. Viyakarn, H. Kimura, T. Ogawa, N. Okamoto, and N. Iso. 1992. Utilization of soybean meal as a protein source in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58: 1761-1773.

<사료 물성과 넙치 크기에 따른 장 내용물 통과 시간>

- Andersen, N.G. 1998. The effect of meal size on gastric evacuation in whiting. *J. Fish. Biol.* 52, 743-755
- Grove, D.J., L.G. Loizides, J. Nott. 1978. Satiation amount, frequency of feeding gastric emptying rate in *Salmo gairdneri*. *J. Fish. Biol.* 12, 507-516.
- Karjalainen, J., J. Koho and M. Viljanen. 1991. The gastric evacuation rate of vendace (*Coregonus albula* L.) larvae predation on zooplankters in the laboratory. *Aquaculture* 96, 343-351.
- Lee, S.M., S.H. Kim, I.G. Jeon, S.M. Kim and Y.J. Chang. 1996. Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and body composition of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *J. Aquaculture* 9, 385-394.
- Loya-Javellana, G.N., D.R. Fielder and M.J. Thorne. 1995. Foregut evacuation, return of appetite and gastric fluid secretion in the tropical freshwater crayfish, *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture* 134, 295-306.
- Paul, A.J., J.M., Paul and R.L. Smith. 1990. Consumption, growth and evacuation in the Pacific cod, *Gadus macrocephalus*. *J. Fish. Biol.* 37, 117-124.
- Persson, L. 1981. The effects of temperature and meal size on the rate of gastric evacuation

- in perch (*Perca flavescens*) fed on fish larvae. *Freshwater Biol.* 11, 131-138.
- Rosch, R. 1987. Effect of experimental conditions on the stomach evacuation rate of *Coregonus lavaretus* L. *J. Fish Biol.* 30, 521-531.
- Santulli, A., A. Modica, L. Cusenza, A. Curatolo and V. D'-Amelio. 1993. Effects of temperature on gastric evacuation rate and absorption and transport of dietary lipids in sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.). *Comp. Biochem. Physiol.* 105A, 363-367.
- Singh-Renton, S. and P.J. Bromley. 1996. Effects of temperature, prey type and prey size on gastric evacuation in small cod and whiting. *J. Fish. Biol.* 49, 702-713.
- Swenson, W.A. and L.L. Smith. 1973. Gastric digestion, food consumption and food conversion efficiency in walleye, *Stizostedion vitreum vitreum*. *J. Fish. Res. Board Can.* 30, 1327-1336.
- Thia-Eng, C. and T. Seng-Keh. 1978. Effects of feeding frequency on the growth of young estuary grouper, *Epinephelus tauvina* (Forsk.) cultured in floating net-cages. *Aquaculture* 14, 31-43.
- <일일 및 격일 습사료 공급방법이 육성 넙치의 성장과 영양소 이용효율에 미치는 영향: 대형수조 실험>
- Association of Official Analytical Chemists. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Arlington, Virginia. 1298pp.
- Barton, B. A. and G.K. Iwama. 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Ann. Rev. Fish Dis.*, 1:3-26.
- Berg, A., T. Hansen and S. Stefansson. 1992. First feeding of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) under different photoperiods. *J. App. Ichthy.*, 8:251-256.
- Clarke, W.C., J.R. Shelbourne and J.R. Brett. 1981. Effects of artificial photoperiod cycles, temperature and salinity on growth and smolting in underyearing coho (*Oncorhynchus kisutch*), chinook (*O. tshawytscha*), and sockeye (*O. nerka*) salmon. *Aquaculture*, 22:105-116.
- Kim, J.-D., K.S. Kim, J.S. Song, Y.J. Lee and K.S. Jeong. 1998. Optimum level of dietary monocalcium phosphate based on growth and phosphorus excretion of mirror carp. *Aquaculture*, 161:335-342.
- Kim, J.-D. and S.P. Lall. 2000. Amino acid composition of whole body tissue of Atlantic halibut, yellowtail flounder and Japanese flounder. *Aquaculture*, 187:367-373.
- Lee, S.-M., S.H. Kim, I.G. Jeon, S.M. Kim and Y.J. Chang. 1996. Effects of feeding

- frequency on growth, feed efficiency and body composition of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Aquacult., 9:385-394.
- Lee, S.-M., C.H. Seo and Y.S. Cho. 1999. Growth of the juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed the diets at different feeding frequencies. J. Korean Fish. Soc., 32:18-21.
- Lee, S.-M., S.H. Cho and D.J. Kim. 2000a. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel). Aquaculture Research, 31:917-921.
- Lee, S.-M., U.K. Hwang and S.H. Cho. 2000b. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture, 187:399-409.
- Lee, S.-M., S.H. Cho and K.D. Kim. 2000c. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Journal of the World Aquaculture Society, 31:306-315.
- Mills, B.J. and P.I. McCloud. 1983. Effects of stocking and feeding rates on experimental pond production of the crayfish *Cherax destructor* Clark (Decapoda: Parastacidae). Aquaculture, 34:51-72.
- Page, J.W. and J.W. Andrews. 1973. Interaction of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). J. Nutr., 102:1399-1346.
- Pickering, A.D. 1992. Rainbow trout husbandry: management of the stress response. Aquaculture, 100:125-139.
- Ramseyer, L.J. and D.L. Garling, 1997. Fish nutrition and aquaculture waste management. pp. 57-62 in Proceeding of the 1997 North Central Aquaculture Conference, Indianapolis, IN February 6-7, 1997.
- SAS, 1985. SAS user's guide: Statistic, SAS Inst. Inc., Cary. NC. USA.
- Sedgwick, R.W. 1979. Effects of ration size and feeding frequency on growth and food conversion of juvenile *Penaeus merguensis* Deman. Aquaculture, 16:279-298.
- Tacon, A, G, J. 1995. Application of nutrient requirement data under practical conditions, special problems of intensive and semi-intensive fish farming systems. J. Appl. Ichthyol., 11:205-214.
- Whalen, K. S., J. A. Brown, C. C. Parrish, S. P. Lall and J. S. Goddard. 1998. Frequency of feeding in juvenile yellowtail flounder possible regimes for grow-out. Bull. Aquacul. Assoc. Can., 98:25-26.
- 김정대, 이승복. 2000. 사료의 물성이 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 성장, 사료이용효율 및

- 오염부하량에 미치는 영향. 동물자원연구, 11:75-84.
- 김정대. 1992. 지속적 해수어 양식을 위한 저오염 배합사료의 개발방향. pp.114-118. 제1회 축산과학 기술 강습회 교재. pp.114-118. 서울대학교.
- 장영진, 박명룡, 강덕영, 이복규. 1999. 양식넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 생리조건에 미치는 연속적인 수온 급강하의 영향. 한수지, 32:601-606.

<넙치 치어용 부상 건조사료(EP)와 습사료(MP)의 반복 및 제한 공급 효과 : 대형수조 실험>

- Adebayo, O. T., A. M. Balogun and O. A. Fagbenro, 2000. Effects of feeding rate on growth: body composition and economic performance of juvenile clariid catfish hybrid (♀ *Clarias gariepinus* × ♂ *Heterobranchus bidorsalis*). J. Aquac. Trop., 15, 109-117.
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, 1298pp.
- Azzaydi, M., F. J. Martines, S. Zamora, F. J. Sanchez-Vazquez and J. A. Madrid, 2000. The influence of nocturnal vs. diurnal feeding under winter conditions on growth and feed conversion of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). Aquaculture, 182, 329-338.
- Ballestrazzi, R., D. Lanari and E. D'Agaro, 1998. Performance, nutrient retention efficiency, total ammonia and reactive phosphorus excretion of growing European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) as affected by diet processing and feeding level. Aquaculture, 182, 329-338.
- Brett, J. R., 1979. Environmental factors and growth. (In) Fish Physiology, (eds) W. S. Hoar., D. J. Randall and J. R. Brett, Bioenergetics and Growth, vol. 8. Academic Press, New York, USA, pp. 599-675.
- Clark, J. H., W. O. Watanabe and D. H. Eranst, 1990. Effect of feeding rate on growth and feed conversion of Florida red tilapia reared in reared in floating marine cages. J. World Aquac. Soc., 21, 16-24.
- De Silva, S. S., M. R. Gunasekera and C. Keembiyahetty, 1986. Optimum ration and feeding frequency in *Oreochromis niloticus* young. (In) The first Asian Fisheries Forum, (eds) J. L. Maclean., L. B. Dizon and L. V. Hosillos, Asian Fisheries Society, Manila, Philippines, pp. 559-564.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics, 11, 1-42.
- Eroldogan, O. T., 2003. Acclimation of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) to freshwater and determination of its optimal feeding rates in freshwater. Ph. D. thesis, University of Cukurova, Adana, Turkey.

- Fiogbe, E. D. and P. Kestemont, 2003. Optimum ration for Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. reared at its optimum growing temperature. *Aquaculture*, 216, 243-252.
- Hung, S. S. O. and P. B. Lutes, 1987. Optimum feeding rate of hatchery-produced juvenile white surgeon (*Acipenser transmontanus*) at 20°C. *Aquaculture*, 65, 307-317.
- Hung, S. S. O., F. S. Conte and E. K. Hallen, 1993. Effects of feeding rates on growth, body composition and nutrient metabolism in striped bass (*Morone saxatilis*) fingerlings. *Aquaculture*, 112, 349-361.
- Lee, S.-M., 1997. Effects of feeding rates on growth, feed frequency and body composition of the juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Kor. J. Anim. Nutr. Feed*, 21, 327-334.
- Lee, S.-M., U.-G. Hwang and S. H. Cho, 2000a. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, 187, 399-409.
- Lee, S.-M., S. H. Cho and K.-D. Kim, 2000b. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. World Aquac. Soc.*, 31, 306-315.
- Mihelakakis, A., C. Tsolkas and T. Yoshimatsu, 2002. Optimization of feeding rate of hatchery-produced juvenile gilthead sea bream *Sparus aurata*. *J. World Aquac. Soc.*, 33, 169-175.
- Mills, B. J. and P. I. McCloud, 1983. Effects of stocking and feeding rates on experimental pond production of the cryfish *Cherax desiructor* Clark (Decapoda: Paratacidae). *Aquaculture*, 34, 51-72.
- Ng, W. K., K. S. Lu, R. Hashim and A. Ali, 2000. Effects of feeding rate on growth, feed utilization and body composition of a tropical bagrid catfish. *Aquac. Int.*, 8, 19-29.
- Sedgwick, R. W., 1979. Effects of ration size and feeding frequency on growth and food conversion of juvenile *Penaeus merguensis* de Man. *Aquaculture*, 16, 279-298.
- Tsevis, N., S. Klaoudatos and A. Coides, 1992. Food conversion budget in sea bass, *Dicentrarchus labrax*, fingerlings under two different feeding frequency patterns. *Aquaculture*, 101, 293-304.
- Viyakarn V., T. Watanabe, H. Aoki, H. Tsuda, H. Sakamoto, N. Okamoto, N. Iso, S. Satoh and T. Takeuchi, 1992. Use of soybean meal as a substitute for fish meal in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 1991-2000.
- Watanabe T., V. Viyakarn, H. Kimura, T. Ogawa, N. Okamoto and N. Iso, 1992. Utilization of soybaen meal as a protein source in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail.

- Nippon Suisan Gakkaishi, 58, 1761-1773.
- Webster, C. D., K. R. Thompson and L. Muzinic, 2002. Feeding fish and how feeding frequency affects sunshine bass. *World Aquac.*, 33, 20-24.
- Xiao-Jun, X. and S. Ruyung, 1992. The bioenergetics of the southern catfish (*Scoththalmus maximus*). *Aquaculture*, 217, 547-558.
- <치 치어의 부상사료 공급횟수 : 겨울철>
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298pp.
- Brett, J.R. and D.A. Higgs. 1970. Effects of temperature on rate of gastric digestion in fingerling sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. *J. Fish. Res. Board Can.* 27, 1767-1779.
- Davis, K.B. and N.C. Parker. 1990. Physiological stress in striped bass : effect of acclimation temperature. *Aquaculture* 91, 349-358.
- De Silva, S.S. and T.A. Anderson. 1995. In: *Fish Nutrition in Aquaculture*. Chapman and Hall, New York, NY, pp. 32-42.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Dwyer, K., J. Brown, C. Parrish and S. Lall. 2002. Feeding frequency affects food consumption, feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). *Aquaculture* 213, 279-292.
- Gershanovich, A.D. and L.R. Taufik. 1992. Feeding dynamics of sturgeon fingerlings (Acipenseridae) depending on food concentration and stocking density. *J. Fish Biology* 41, 425-434.
- Horning, W.B. and R.E. Pearson. 1973. Growth temperature requirement and lower lethal temperature for juvenile smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*). *J. Fish. Res. Bd. Can.* 30, 1226-1230.
- Ishioka, H. 1980. Stress reactions in the marine fish-I. Stress reactions induced by temperature chang. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 46, 523-532.
- Kim, Y.S, B.S. Kim, T.S. Moon and S.-M. Lee. 2000. Utilization of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in the diet of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J. Korean Fish. Soc.* 33, 469-474.
- Kim, K.-D. and S.-M. Lee. 2004. Requirement of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids for juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 229, 315-323.
- Kim, S.M., S.-M. Lee and B.-D. Yoon. 2003. Effect of fermented food garbage in diet on

- growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). J. Fish. Sci. Tech. 6, 45-50.
- Kim, K.-D., S.-M. Lee, H.G. Park, S. Bai and Y.-H. Lee. 2002. Essentiality of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aquac. Soc. 33, 432-440.
- Lambert, Y. and J. Dutil. 2001. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. Aquaculture 192, 233-247.
- Lee, D.J. and G.B. Putnam. 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet. J. Nutr. 103, 916-922.
- Lee, S.-M. 1997. Effects of feeding rates on growth, feed frequency and body composition of the juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Kor. J. Anim. Nutr. Feed. 21, 327-334.
- Lee, S.-M. and J.H. Lee. 2004. Effect of dietary glucose, dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. Fish. Sci. 70, 53-58.
- Lee, S.-M., S.H. Kim, I.G. Jeon, S.M. Kim and Y.J. Chang. 1996. Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and body composition of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Aquacult. 9, 385-394.
- Lee, S.-M., C.H. Seo and Y.S. Cho. 1999. Growth of the juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed the diets at different feeding frequencies. J. Kor. Fish. Soc. 32, 18-21.
- Lee, S.-M., S.H. Cho and D.J. Kim. 2000a. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel). Aquac. Res. 31, 917-921.
- Lee, S.-M., U.-G. Hwang and S.H. Cho. 2000b. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 187, 399-409.
- Lee, S.-M., S.H. Cho and K.-D. Kim. 2000c. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aquac. Soc. 31, 306-315.
- Lee, S.-M., C.S. Park and I.C. Bang. 2002. Dietary protein requirement of young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. Fish. Sci. 68, 158-164.
- Lee, S.-M., K.-D., Kim and S.P. Lall. 2003. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture 221, 427-438.

- Park, S.-U., M.G. Kwon, Y.-H. Lee, K.-D. Kim, I.-S. Shin and S.-M. Lee. 2003. Effects of supplemental *Undaria*, Obosan and wasabi in the diets on growth, body composition, blood chemistry and non-specific immune response of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult. 16, 210-215.
- Riche, M.D., I. Haley, M. Oetker, S. Garbrecht and D.L. Garling. 2004. Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture 234, 657-673.
- Ryan, S.N. 1995. The effect of chronic heat stress on cortisol levels in the Antarctic fish, *Pagothenia borchgrevinki*. Experientia 51, 768-774.
- Page, J.W. and J.W. Andrews. 1973. Interaction of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). J. Nutr. 103, 1339-1346.
- Wang, N., R.S. Hayward and D.B. Noltie. 1998. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation, and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish. Aquaculture 165, 261-267.

<넙치 부상사료의 사료조성, 공급율 및 공급횟수>

- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298 pp.
- Brett, J. R. and D. A. Higgs, 1970. Effects of temperature on rate of gastric digestion in fingerling sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. J. Fish. Res. Board Can., 27, 1767-1779.
- Company, R., J. A. Caldach-Giner, S. Kaushik and J. Perez-Sanchez, 1999. Growth performance and adiposity in gilthead sea bream (*Sparus aurata*): risks and benefits of high energy diets. Aquaculture, 171, 279-292.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics, 11, 1-42.
- Dwyer, K., J. Brown, C. Parrish and S. Lall, 2002. Feeding frequency affects food consumption, feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). Aquaculture, 213, 279-292.
- Garling, D. L. and R. P. Wilson, 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. J. Nutr., 106, 1368-1375.
- Grayton, B. D. and F. W. Beamish, 1977. Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquaculture, 11, 159-172.
- Grove, D. J. and C. Crawford, 1980. Correlation between digestion rate and feeding frequency

- in the stomachless teleosts, *Blennius pholis* L. J. Fish Biol., 16, 235-247.
- Grove, D. J., M. A. Moctezuma, H. R. J. Flett, J. S. Foott, T. Watson and M. W. Flowerdew, 1985. Gastric emptying and the return of appetite in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* L., fed on artificial diets. J. Fish Biol., 18, 245-259.
- Harpaz, S., S. Sklan, I. Karplus, A. Barki and Y. Noy, 1999. Evaluation of juvenile silver perch *Bidyanus bidyanus* (Mitchell) nutritional needs using high- and low-protein diets at two feeding levels. Aquacult. Res., 30, 603-610.
- Holmgren, S., D. J. Grove and D. J. Fletcher, 1983. Digestion and control of gastrointestinal motility. In: Rankin, J. C., T. J. Pitcher and R. T. Dugan, (Eds.), Control Processes in Fish Physiology. Wiley, New York, NY, USA, pp. 23-40.
- Kayano, Y., S. Yao, S. Yamamoto and H. Nakagawa, 1993. Effects of feeding requery on the growth and body constituents of young red-spotted grouper, *Epinephelus akaara*. Aquaculture, 110, 271-278.
- Kim, G.-U., H.-S. Jang, J.-Y. Seo and S.-M. Lee, 2005. Effect of feeding frequency of extruded pellet on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* during the winter season. J. Aquacult., 18, 31-36.
- Lambert, Y. and J. Dutil, 2001. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. Aquaculture, 192, 233-247.
- Lee, S.-M., S. H. Kim. I. G. Jeon. S. M. Kim and Y. J. Chang, 1996. Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and body composition of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Aquacult., 9, 385-394.
- Lee, S.-M., 1997. Effects of feeding rates on growth, feed frequency and body composition of the juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Kor. J. Anim. Nutr. Feed., 21, 327-334.
- Lee, S.-M., C. H. Seo and Y. S. Cho, 1999. Growth of the juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed the diets at different feeding frequencies. J. Kor. Fish. Soc., 32, 18-21.
- Lee, S.-M., S. H. Cho and D. J. Kim, 2000a. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel). Aquacult. Res., 31, 917-921.
- Lee, S.-M., U.-G. Hwang and S. H. Cho, 2000b. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture, 187, 399-409.

- Lee, S.-M., S. H. Cho and K. D. Kim, 2000c. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). J. World Aquacult. Soc., 31, 306-315.
- Lee, S.-M., C. S. Park and I. C. Bang, 2002a. Dietary protein requirement of young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. Fish. Sci., 68, 158-164.
- Lee, S.-M., I. G. Jeon and J. Y. Lee, 2002b. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture, 211, 227-239.
- Lie, O., E. Lied and G. Lambertsen, 1988. Feed optimization in Atlantic cod (*Gadus morhua*): fat versus protein content in the feed. Aquaculture, 69, 333-341.
- Lovell, R. T., 1989. Nutrition and feeding of fish. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Marais, J. F. K. and G. W. Kissil, 1979. The influence of energy level on the feed intake, growth, food conversion and body composition of *Sparus aurata*. Aquaculture, 17, 203-219.
- Munsiri, P. and R. T. Lovell, 1993. Comparison of satiate and restricted feeding of channel catfish with diets of varying protein quality in production ponds. J. World Aquacult. Soc., 24, 459-465.
- Murai T., T. Akiyama, T. Watanabe and T. Nose, 1985. Effects of dietary protein and lipid levels on performance and carcass composition of fingerling carp. Bull. Jap. Soc. Fish, 8, 54, 605-608.
- NRC (National Research Council), 1993. Nutrient Requirements Fishes. National Academy Press, Washington DC, 114 pp.
- Peres, H. and A. Oliva-Teles. 1999. Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juveniles *Dicentrarchus labrax*. Aquaculture, 179, 325-334.
- Riche, M. D., I. Haley, M. Oetker, S. Garbrecht and D. L. Garling, 2004. Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture, 234, 657-673.
- Seo, J.-Y., J. H. Lee, G.-U. Kim and S.-M. Lee, 2005. Effect of extruded and moist pellets at different feeding rate on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult., 18, 26-30.
- Takeuchi, T. and T. Watanabe. 1982. The effect of starvation and environmental temperature on proximate and fatty acid compositions of carp and rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Fish., 8, 1307-1316.

- Vergara, J. M., H. Fernandez-Palacios, L. Robaina, K. Jauncey, M. De La Higuera and M. Izquierdo, 1996. The effects of varying dietary protein level on the growth, feed efficiency, protein utilization and body composition of gilthead sea bream. *Fish. Sci.*, 62, 520-623.
- Wang, N., R. S. Hayward and D. B. Noltie, 1998. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation, and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish. *Aquaculture*, 165, 261-267.
- Yao, S. J., T. Umino and H. Nakagawa, 1994. Effect of feeding frequency on lipid accumulation in ayu. *Fish. Sci.*, 60, 667-671.

<조피볼락 배합사료 조성 및 사료 공급횟수>

- Aksnes, A., 1995. Growth feed efficiency and quality of salmon (*Salmo salar*) given feeds with different ratios of carbohydrate and protein. *Aquaculture Nutrition* 1, 241-248.
- Andersen, N.G., 1998. The effect of meal size on gastric evacuation in whiting. *Journal of Fish Biology* 52, 743-755.
- Andrews, J.W., Page, J.W., 1975. The effects of frequency of feeding on culture of catfish. *Transaction of American Fisheries Society* 104, 317-321.
- AOAC, 1990. In: *Official Methods of Analysis*. 15th end. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, p. 1298.
- Bai, S.C., Lee, K.J., 1998. Different levels of dietary DL- α -tocopheryl acetate affect the vitamin E status of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture* 161, 405-414.
- Brett, J.R., Higgs, D.A., 1970. Effects of temperature on rate of gastric digestion in fingerling sockeye salmon *Oncorhynchus nerka*. *Journal of Fisheries Research Board Canadian* 27, 1767-1779.
- Buurma, B.J., Diana, J.S., 1994. Effects of feeding frequency and handling on growth and mortality of cultured walking catfish *Clarias fuscus*. *Journal of World Aquaculture Society* 25, 175-182.
- Catacutan, M.R., Coloso, T.M.T., 1995. Effect of dietary protein to energy ratios on growth survival and body composition of juvenile Asian seabass *Lates calcarifer*. *Aquaculture* 131, 125-133.
- Cho, C.Y., Kaushik, S.J., 1990. Nutritional energetics in fish, energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *World Rev. Nutr. Diet.* 61, 132-172.

- Cho, S.H., Lim, Y.S., Lee, J.H., Lee, J.K., Park, S.G., 2003. Effects of feeding rate and feeding frequency on survival, growth, and body composition of ayu post-larvae *Plecoglossus altivelis*. J. World Aquacult. Soc. 34, 85-90.
- Chua, T.E., Teng, S.K., 1978. Effects of feeding frequency on the growth and food conversion of *Cyprinus carpio* fry. Aquaculture 40, 293-300.
- De Silva, S.S., Gunasekera, R.M., Shim, K.F., 1991. Interactions of varying dietary protein and lipid levels in young red tilapia, evidence of protein sparing. Aquaculture 95, 305-318.
- De Silva, S.S., Anderson, T.A., 1995. In, Fish Nutrition in Aquaculture. Chapman and Hall New York NY pp. 32-42.
- Duncan, D.B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics 11, 1-42.
- Dwyer, K., Brown, J., Parrish, C., Lall, S., 2002. Feeding frequency affects food consumption feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). Aquaculture 213, 279-292.
- Fam, S., 1997. Food and feeding requirements of juvenile striped wolffish (*Anarhichas lupus*). MSc thesis Memorial University of Newfoundland St. John's.
- Gershanovich, A.D., Taufik, L.R., 1992. Feeding dynamics of sturgeon fingerlings (Acipenseridae) depending on food concentration and stocking density. Journal of Fish Biology 41, 425-434.
- Goddard, S., 1996. Feed Management in Intensive Aquaculture. Chapman and Hall London.
- Grayton, B.D., Beamish, F.W., 1977. Effects of feeding frequency on food intake growth and body composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquaculture 11, 159-172.
- Henken, A.M., Kleingeld, D.W., Tijssen, P.A.T., 1985. The effect of feeding level on apparent digestibility of dietary dry matter crude protein and gross energy in the African catfish *Clarias gariepinus*(Burchell 1822). Aquaculture 51, 1-11.
- Hemre, G.-I., Lie, K.Ø., Torrissen, O., Waagbo, R., 1995. Carbohydrate nutrition in Atlantic salmon, I. Growth and feed utilization. Aquaculture Research 26, 149-154.
- Hillestad, M., Hohnsen, F.T., 1994. High-energy/low-protein diets for Atlantic salmon, effects on growth nutrient retention and slaughter quality. Aquaculture 124, 109-116.
- Hillestad, M., Johnsen, F., Aasgaard, T., 2001. Protein to carbohydrate ratio in high-energy diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture Research 32, 517-529.
- Ishiwata, N., 1969a. Ecological studies on the feeding of fishes, VII. Frequency of feeding and growth. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 35, 979-984.

- Ishiwata, N., 1969b. Ecological studies on the feeding of fishes, VIII. Frequency of feeding and growth. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 35, 985-990.
- Jauncey, K., 1982. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*). Aquaculture 27, 43-54.
- Jobling, M., 1982. Some observations on the effects of feeding frequency on the food intake and growth of plaice *Pleuronectes platessa* L. Journal of Fish Biology 20, 431-444.
- Jobling, M., 1983. Effect of feeding frequency on food intake and growth of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. Journal of Fish Biology 23, 177-185.
- Jobling, M., Wandsvik, A., 1983. An investigation of factors controlling food intake in Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. Journal of Fish Biology 23, 391-404.
- Karjalainen, J., Koho, J., Viljanen, M., 1991. The gastric evacuation rate of vendace (*Coregonus albula* L.) larvae predation on zooplankters in the laboratory. Aquaculture 96, 343-351.
- Kayano, Y., Yao, S., Yamamoto, S., Nakagawa, H., 1993. Effects of feeding frequency on the growth and body constituents of young red-spotted grouper *Epinephelus akaara*. Aquaculture 110, 271-278.
- Kubitza, F., Lovshin, L.L., 1999. Formulated diets feeding strategies and cannibalism control during intensive culture of juvenile fishes. Rev. Fish. Science 7, 1-22.
- Lee, D.J., Putnam, G.B., 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet. J. Nutr. 103, 916-922.
- Lee, J.Y., Kang, Y.J., Lee, S.-M., Kim, I.B., 1993. Protein requirements of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. Journal of Aquaculture 6, 13-27.
- Lee, J.Y., Kang, Y.J., Lee, S.-M., Kim, I.B., 1993. Optimum digestible energy to protein ratio in diets for the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. Journal of Aquaculture 6, 29-46.
- Lee, S.-M., Lee, J.Y., Hur, S.B., 1994. Essentiality of dietary eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. Journal of the Korean Fisheries Society 27, 721-726.
- Lee, S.-M., Park, S.R. Kim, J.D., 1998. Dietary optimum phosphorus level of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Journal of Fisheries Science Technology 1, 180-186.
- Lee, S.-M., Jeon, I.G., Lee, J.Y., 2002. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 211, 227-239.

- Lee, S.-M., Jeon, I.G., Lee, J.Y., Park, S.-R., Kang, Y.-J., Jeong, K.-S., 1996a. Substitution of plant and animal proteins for fish meal in the growing Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) feeds. *Journal of the Korean Fisheries Society* 29, 651-662.
- Lee, S.-M., Kim, S.-H., Jeon, I.G., Kim, S.-M., Chang, Y.J., 1996b. Effects of feeding frequency on Growth, feed efficiency and body composition of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Journal of Aquaculture* 9, 385-394.
- Lee, S.-M., 1997a. Effects of feeding rates on growth, feed efficiency and body composition of the juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Korean Journal of Animal Nutrition Feed* 21, 327-334
- Lee, S.-M., 1997b. Effects of dietary lipid source and water temperature on nutrient digestibilities in juvenile and adult Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Korean Journal of Animal Nutrition Feed* 21, 381-390.
- Lee, S.-M., 2002. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture* 207, 79-95.
- Lee, S.-M., Hwang, U.-G., Cho, S.H., 2000a. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture* 187, 399-409.
- Lee, S.-M., Cho, S.H., Kim, D. J., 2000b. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel). *Aquaculture Research* 31, 917-921.
- Lie, Ø., Lied, E., Lambertsen, G., 1988. Feed optimization in Atlantic cod (*Gadus morhua*), fat versus protein content in the feed. *Aquaculture* 69, 333-341.
- Lovell, R.T., 1989. *Nutrition and feeding of fish*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Marais, J.F.K., Kissil, G.W., 1979. The influence of energy level on the feed intake growth food conversion and body composition of *Sparus aurata*. *Aquaculture* 17, 203-219.
- Munsiri, P., Lovell, R.T., 1993. Comparison of satiate and restricted feeding of channel catfish with diets of varying protein quality in production ponds. *J. World Aquacult. Soc.* 24, 459-465.
- McGoogan, B.B., Gatlin, D.M., 1999. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum *Sciaenops ocellatus*, I. Effects of dietary protein and energy levels. *Aquaculture* 178, 333-348.
- NRC (National Research Council), 1993. *Nutrient requirements of fish*. National Academy Press Washington D C. USA.

- Page, J.W., Andrews, J.W., 1973. Interaction of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Journal of Nutrition* 103, 1339-1346.
- Paul, A.J., Paul, J.M. Smith. R.L., 1990. Consumption growth and evacuation in the Pacific cod *Gadus macrocephalus*. *Journal of Fish Biology* 37, 117-124.
- Peres, H., Oliva-Teles, A., 1999. Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juveniles *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 179, 325-334.
- Persson, L., 1981. The effects of temperature and meal size on the rate of gastric evacuation in perch (*Perca flavescens*) fed on fish larvae. *Freshwater Biology* 37, 117-124.
- Riche, M.D., Haley, I., Oetker, M., Garbrecht, S., Garling, D.L., 2004. Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia *Oreochromis niloticus*(L.). *Aquaculture* 234, 657-673.
- Rosch, R., 1987. Effect of experimental conditions on the stomach evacuation rate of *Coregonus lavaretus* L. *Journal of Fish Biology* 30, 521-531.
- Rosenlund, G., Karlsen, Ø., Tveit, K., Mangor-Jensen, A., Hemre, G.-I., 2004. Effect of feed composition and feeding frequency on growth feed utilization and nutrient retention in juvenile Atlantic cod *Gadus morhua* L. *Aquaculture Nutrition* 10, 371-378.
- Ruohonen, K., Koskela, J., Vielma, J., Kettunen, J., 2003. Optimal diet composition for European whitefish (*Coregonus lavaretus*), analysis of growth and nutrient utilisation in mixture model trials. *Aquaculture* 225, 27-39.
- Singh-Renton, S., Bromley, P.J., 1996. Effects of temperature prey type and prey size on gastric evacuation in small cod and whiting. *Journal of Fish Biology* 49, 702-713.
- Steffens, W., 1981. Protein utilization of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and carp (*Cyprinus carpio*), a brief review. *Aquaculture* 23, 337-345.
- Tacon, A.G.J., Cowey, B.C., 1985. Protein and amino acid requirements. In, Tytler P. and P. Calow. (Eds.) *Fish Energetics, New Perspectives*. The Johns Hopkins University Press Baltimore MD pp, 155-183.
- Talbot, C., 1985. Laboratory methods in fish feeding and nutritional studies. In, Tytler P. and P. Calow. (Eds.). *Fish Energetics, New Perspectives*. The Johns Hopkins University Press Baltimore MD pp, 125-154.
- Vergara, J.M., Fernandez-Palacios, H., Robaina, L., Jauncey, K., De La, M., Izquierdo, M., 1996. The effects of varying dietary protein level on the growth feed efficiency protein utilization and body composition of gilthead sea bream. *Fisheries Science* 62, 620-623.

- Wang, N., Hayward, R.S., Noltie, D.B., 1998. Effect of feeding frequency on food consumption growth size variation and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish. *Aquaculture* 165, 261-267.
- Wilson, R. P., 1994. Utilization of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture* 124, 67-80.
- Yao, S.J., Umino, T., Nakagawa, H., 1994. Effect of feeding frequency on lipid accumulation in ayu. *Fisheries Science* 60, 667-671.

주 의

1. 이 보고서는 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.