어류용 배합사료의 중금속 체내축적 및 환경에 미치는 영향에 관한 연구용역

최종보고서

2008. 6

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 **“어류용 배합사료의 중금속 체내축적 및 환경에 미치는 영향에 관한 연구용역”**에 대한 연구용역과제 최종보고서로 제출합니다.

2008년 6월 19일

주관연구기관명 : 전남대학교 총괄연구책임자 : 정 관 식
책 임 연 구 원 : 배 승 철
연 구 원 : 이 정 열
연 구 원 : 김 대 진
연 구 보 조 원 : 김 종 창
연 구 보 조 원 : 이 시 우
보 조 원 : 김 영 철
보 조 원 : 이 승 형
보 조 원 : 박 상 균
보 조 원 : 하 헌 주
보 조 원 : 강 태 선
보 조 원 : 권 록 은
보 조 원 : 김 유 미

요 약 문

제 1 장 연구개발 과제의 개요

1. 연구개발의 필요성

현재 농림수산식품부에서 추진하는 배합사료 내 셀레늄(Se) 및 비소(As)의 허용 기준 강화(셀레늄 2 ppm에서 1 ppm; 비소 10 ppm에서 2 ppm)를 놓고 양식용 배합사료에 동일하게 강화될 허용 기준을 적용할 수 있을지에 대한 논의가 진행 중에 있다. 양식용 배합사료는 축산용 배합사료와 달리 어분의 사용량(전체 사료원 중 어분의 사용량 30~50%)이 높은 것을 감안할 때, 현재 사용되는 어분 등 주요 양식사료원들, 실제 사용되는 국내 배합사료 및 양식어류의 부위별 유해 중금속의 함유량 검토를 통하여 최종적으로 외국의 사례를 참고한 후 구체적인 셀레늄 및 비소의 안전성 허용 기준이 설정되어야 농림부의 배합사료 내의 허용 기준 강화에 따른 양식용 배합사료에 동일 적용가능 유무에 대한 신중한 판단을 내릴 수 있을 것이다.

따라서, 전남대학교 어류양식 연구실과 부경대학교 사료영양연구소가 주관하고 이와 관련한 여러 전문가들이 공동으로 참여하여 수행하게 될 해양수산부(현 농림수산식품부) 연구용역 과제(어류용 배합사료의 중금속 체내축적 및 환경에 미치는 영향에 관한 연구용역)를 통하여 양식용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납 및 카드뮴의 안전성 허용 기준을 설정하여, 농림부에서 추진 중인 배합사료 내 셀레늄 및 비소의 허용 기준 강화를 동일하게 양식용 배합사료에 적용할 수 있는지에 대하여 올바른 판단 자료를 제공하고자 한다.

가. 기술적 측면

새롭게 강화될 배합사료 내 셀레늄 및 비소의 허용 기준을 양식용 배합사료에 동일하게 적용 가능한지에 대한 국내외 연구 자료와 국내에서 시판중인 어분 및 주요 사료원 그리고 국내 주요 양식용 배합사료 및 양식어체내 함유량 조사 결과가

미흡한 상황이다. 또한, 새롭게 강화될 셀레늄 및 비소의 허용 기준이 양식용 배합사료에 동일하게 적용하였을 시에 양식업계와 양식용 배합사료 생산업계에 발생할 수 있는 여러 가지 문제점에 대한 분석 자료도 없는 실정이다. 따라서, 농림수산식품부에서 새롭게 강화할 배합사료 내 셀레늄 및 비소의 허용 기준을 양식용 배합사료에 동일하게 적용 가능 유무에 대한 올바른 판단을 위하여 양식용 배합사료 내 셀레늄 및 비소의 안전성 허용 기준 설정이 필요하며, 카드뮴 및 납의 허용 기준에 관한 구체적인 연구가 요구된다.

나. 경제·산업적 측면

양식용 배합사료 내 셀레늄 및 비소의 허용 기준 설정을 위한 연구용역을 통하여 농림수산식품부에서 새롭게 강화할 배합사료 내 셀레늄 및 비소의 허용 기준을 양식용 배합사료에 동일하게 적용 가능 유무에 대한 올바른 판단자료를 제공할 수 있다. 이는 곧, 적용 가능 유무에 대한 올바른 판단자료 없이 농림수산식품부에서 새롭게 강화할 허용 기준을 동일하게 양식용 배합사료에 적용하였을 시에 양식용 배합사료 생산업계에 발생할 수 있는 큰 혼란을 방지할 수 있으며, 양식용 배합사료와 양식생산물의 안전성과 대외 경쟁력을 확보하여 국내 양식산업 발전에 기여할 수 있을 것이라 사료된다.

다. 사회·문화적 측면

최근 우리나라는 국민의 소득 수준의 증가와 well-being에 대한 관심이 높아짐으로 인하여 국내 수산식품의 소비는 계속 증가 추세이며, 더불어 많은 국민들이 인체에 대한 수산식품의 안전성에 대한 관심도 커져 가고 있다. 양식용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납 및 카드뮴의 허용 기준 설정은 사회적으로 매우 중요한 문제이다. 또한 국가 간 수산물의 교역도 활발해짐에 따라 각국에서는 자국의 수산물 보호와 국민건강 보호 차원에서 수산물의 안전성 문제를 매우 중요하게 다룰 것으로 예상된다. 따라서, 양식용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납 및 카드뮴의 안전성 허용 기준을 확립함으로서 수산식품의 안전을 강화와 양식수산식품에 대한 사회적 문화적 인식을 소비자인 국민과 양식업을 함께 지켜주는 계기가 될 수 있다.

2. 연구개발의 목적

가. 연구개발의 목표 및 내용

본 연구는 양식용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납 및 카드뮴의 안전성 허용 기준을 설정하여 양식용 배합사료의 안전성을 확보하고, 농림수산식품부가 추진 중인 배합사료 내 셀레늄 및 비소 허용 기준 강화에 따른 양식용 배합사료에 동일하게 적용 가능 유무에 대한 올바른 판단 자료를 제공하고자 한다.

나. 연구개발 추진체계

본 연구의 목표 접근을 보다 효과적으로 추진하기 위하여 수요자 중시의 연구결과에 중점을 두었으며, 세부과제별 연구원의 구성을 팀제로 전개하여 정보접근의 독립성을 유기성을 통한 통합된 전체론적 접근이 가능토록 하였으며, 팀별 연구가 효율적으로 연구목표에 접근할 수 있도록 각 팀별 연구내용을 하나의 체계로 묶어 전체 연구의 흐름을 통한 상호 의존적인 상방 연구정보 교환과 팀별 신속 정확하게 상호 연구의 이해도를 높이도록 하였다.

제 2 장 연구개발수행내용

1. 국내 양식장에서 사용하는 어류용 배합사료 실태 조사

본 연구에서는 최근 국내 양식장에서 사용되는 배합사료 종류 및 연간 사용량과 위하여 각 수산 전문기관 및 문헌자료와 통계자료를 수집하고, 이를 분석하여 국내 어류양식 어가와 다년간 배합사료 판매실적을 조사하였다. 또한 2005년부터 실시중인 배합사료 직불제에 대하여 조사하였다.

2. 어류용 배합사료를 공급하는 어류체내에 축적된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 파악조사

국내 주요 양식장에서 사용되어지고 있는 어류용 배합사료를 공급한 양식어류의 체내에 축적된 중금속인 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 함유량을 파악함으로써, 배합사료 공급이 어체 내에 중금속 축적에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

조사대상으로는 국내 주요 양식 대상어종인 차지하고 있는 조피볼락과 넙치로 선정하였으며, 지역별로 조사를 위해 동·서·남해 및 제주지역에서 배합사료를 급이중인 4개의 양식장을 무작위로 설정하여 실시하였다.

분석용 어체는 각 지역별 조사대상 양식장에서 사육되고 있는 조피볼락과 넙치를 무작위로 포획하여 채집하였으며, 제주도에서는 조피볼락이 양식되고 있지 않아 넙치만 실시하였다. 채집된 어체는 즉시 얼음에 넣어 연구실로 이동한 후 분석 전까지 -80℃에 냉동보관 하였으며, 분석 시에는 전어체를 분쇄기로 갈아 혼합한 후 사용하였다.

채집된 어체의 분석항목인 중금속 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴에 대한 분석은 사료표준 분석방법과 식품공전에 준한 성분분석으로 실시하였으며, 각각의 유해중금속 전처리와 기기분석 조건은 다음과 같은 방법으로 2반복으로 실시하였다.

3. 어류용 배합사료를 공급하는 양식장의 배출수에 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 자연환경에 미치는 영향 분석

국내 어류용 배합사료를 공급하는 양식장의 배출수에 포함된 중금속이 자연환경에 미치는 영향을 분석함으로써 배합사료 내 중금속이 자연환경에 미치는 영향에 대해 조사하고자 실시하였다.

조사대상으로는 국내 주요 양식 대상 종 중 사육수의 유입과 배출에 대한 인위적 관리가 가능한 육상 수조식 양식장을 기준으로 하였으며, 육상 수조식으로 양식되어지며, 해수어와 담수어의 대표적인 어종인 넙치와 뱀장어를 선정하여 조사하였다. 조사지역은 넙치 양식장은 동·서·남해 및 제주지역에서 무작위로 4곳씩 선정하여 실시하였으며, 뱀장어 양식장은 제주지역에 뱀장어 양식장이 없어, 동·서·남해에서만 4곳씩 선정하여 실시하였다.

유입수는 각 양식장에서 사육수조로 직접 공급되고 있는 해수 및 담수를 2ℓ 투명 샘플병에 2회 채수하였고, 배출수는 양식장에서 나오는 모든 사육수가 최종적으로 배출되는 배수구에서 유입수와 같은 방법으로 채수하였다. 채수한 유입수와 배출수는 중금속 분석 전까지 -80에서 냉동 보관하였다.

채수한 유입수, 배출수의 중금속 분석항목인 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 분석은 EPA(Environmental Protection Agency) method(2005)와 수질오염공정시험방법에 준하여 성분분석을 실시하였으며, 기기 분석방법은 2.의 **다)**와 같다.

4. 어류용 배합사료 및 사료원내 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 함유량과 배합사료 주요성분 함유량 분석

본 연구에서는 국내에서 시판되고 있는 어류용 배합사료 및 사료원내 포함된 중금속인 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 함유량과 성분분석을 실시하여 배합사료 및 사료원의 영양성분과 중금속의 함량을 조사하고자 실시한다.

시판용 배합사료는 국내 양식장에서 사용되고 있는 배합사료 중 주요 양식대

상 종이며 판매량이 높은 넙치와 조피볼락의 성장기 육성사료로 선정하였으며, 사료회사는 2007년을 기준으로 판매량이 높았던 4개 회사로 선정하였다. 사료원에서는 동물성과 식물성 사료원으로 분류하였으며, 각 사료원은 사료회사에 문의를 통해 어류용 배합사료 생산에 주로 사용되는 동물성 사료원은 백색어분 2종(덴마크, 알래스카)과 갈색어분 2종(페루, 칠레남부), 국내산 어분 1종 등 총 5종을 선정하였으며, 기타 식물성 사료원은 채종박, 탈지대두박, 타카오카분, 콘글루텐밀, 소맥분을 선정하여 분석하였다. 확보된 시판용 배합사료 및 사료원의 중금속 분석항목인 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 분석방법은 사료표준 분석방법과 식품공전에 준한 성분분석으로 실시하였다.

5. 어류용 배합사료 내 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 적정 허용기준을 제시할 모델개발 연구

본 연구에서는 배합사료 내 유해 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 적정 허용기준 제시를 위한 모델 개발을 위해 국내·외 중금속 허용기준(식품, 사료 및 환경)을 조사하였으며, 유해물질에 대한 적정 허용기준을 제시할 수 있는 대한 평가모델을 제시하고자 식품 및 환경에서의 유해물질 관리와 평가방법에 대하여 조사하였다.

제 3 장 결 과

1. 국내 양식장에서 사용하는 어류용 배합사료 실태 조사

가. 국내 양식장에서 사용하는 배합사료 종류 및 연간 사용량

2004년부터 2006년까지의 전국 양식어가를 보면 매년 감소 추세에 있으며, 지역별로는 전남을 제외한 모든 지역에서 감소 추세를 나타내고 있으며, 이중 경남의 경우 2006년에는 2005년보다 13%의 감소율을 보여주었다. 또한 2006년에는 가두리가 전체의 71.5%를 차지하고 있으며, 기타 육상수조식은 21%를 차지하고 있다. 축제식 양식장은 6.6%를 차지하고 있다.

2005년부터 2007년까지 국내에 판매량이 가장 높은 9개 사료회사의 배합사료판매량을 보면 매년 감소되고 있으며, 어종별로는 담수어에서는 메기와 뱀장어가 높은 판매량을 나타내고 있으며, 해산어에서는 넙치와 조피볼락의 판매량이 2005년에는 전체의 31.2%를, 2006년에는 37.4%를, 2007년에는 32.7%를 차지하여 매년 3만톤 이상, 전체 어류용 배합사료 생산량의 30%이상이 꾸준히 판매되고 있다. 본 조사에서는 수입사료와 기타 중소 사료회사의 판매량이 포함되지 않아 배합사료의 판매량은 더 높을 수 있으며, 이러한 배합사료의 판매량을 포함해도 배합사료의 어종별 판매량에는 큰 영향을 주진 않을 것으로 판단되며, 배합사료 판매량이 매년 감소 추세에 있는 것은 국내 전국 양식어가의 감소현상과 관계있는 것으로 보인다.

나. 어류용 배합사료 직불제

배합사료 직접지불제는 2004년부터 시범적으로 실시하여 2005년부터 단계적으로 실시되고 있으며, 매년 그 지원금액도 증가되고 있어 2010년까지는 1,800억까지 지원될 예정이다. 배합사료 직불제사업이 확대됨에 따라 각 양식어가 내에서의 배합사료의 사용량은 지속적으로 증가될 것이다. 이러한 상황에 맞추어 배합사료의 품질과 함께 안전성에 대한 요구가 점차 높아질 것으로 판단된다.

2. 어류용 배합사료를 공급하는 어류체내에 축적된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 파악조사

가. 남해지역

남해지역에서 채집한 넙치, 조피볼락 어체 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴 분석결과 셀레늄은 넙치와 조피볼락의 평균값이 각각 0.12±0.01, 0.16±0.04 ppm이었으며, 비소는 평균 0.44±0.10, 0.44±0.25 ppm이었다. 납의 평균값은 각각 0.08±0.07, 0.02±0.01 ppm이었으며, 카드뮴의 평균값은 각각 0.01±0.00, 0.02±0.01이었다. 남해지역에서의 넙치와 조피볼락은 납을 제외한 3가지 중금속 모두 평균값에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

나. 서해지역

서해지역에서 채집한 넙치, 조피볼락 어체 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴 분석결과 셀레늄은 넙치와 조피볼락의 평균값이 각각 0.08±0.01, 0.19±0.05 ppm이었으며, 비소는 각각 0.17±0.07, 0.41±0.05 ppm을 나타내었다. 납은 평균값이 0.21±016 ppm이었으며, 카드뮴은 평균값이 각각 0.08±0.02, 0.02±0.01 ppm을 나타내었다. 서해지역은 카드뮴에서 넙치가 비교적 높게 나타났으나, 셀레늄과 비소의 경우 조피볼락이 넙치보다 높게 나타났다.

다. 동해지역

동해지역에서 채집한 넙치, 조피볼락 어체 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴 분석결과 셀레늄에서는 넙치와 조피볼락의 평균값은 각각 0.12±0.06, 0.16±0.03 ppm이었으며, 비소에서는 각각 0.13±0.04, 0.27±0.09를 나타내었다. 납에서는 1곳을 제외하고 검출되지 않았으며, 카드뮴에서는 평균값으로는 각각 0.03±0.01, 0.03±0.02 ppm을 나타내었다. 동해지역에서는 비소를 제외한 모든 중금속에서는 넙치와 조피볼락이 큰 차이를 보이진 않았다.

라. 제주도

제주지역에서 채집한 넙치 어체 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴 분석결과 셀레늄 평균값은 0.12±0.02 ppm이었으며, 비소의 평균값은 0.39±0.23 ppm을 나타내었다. 납에서는 모든 지역이 검출되지 않았으며, 카드뮴의 평균값은 0.11±0.10 ppm을 나타내었다.

마. 4개 지역의 넙치, 조피볼락의 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 평균 함유량

남해, 서해, 동해, 제주도에서의 넙치, 조피볼락의 어체 내 4개 유해중금속(셀레늄, 비소, 납, 카드뮴)의 각 지역의 셀레늄은 넙치, 조피볼락 모두 각 지역 모두 큰 차이를 보이지 않았으며 평균값으로는 0.11±0.03, 0.17±0.03 ppm을 나타내었다. 비소는 넙치와 조피볼락 모두 남해에서 높은 값을 보였으며 평균값으로는 각각 0.28±0.11, 0.37±0.13을 나타내었다. 납은 넙치가 남해, 서해에서 검출되었으며 동해, 서해에서는 검출되지 않았고 조피볼락은 서해에서만 검출되지 않았다. 평균값으로는 각각 0.07±0.06, 0.001±0.01 ppm을 나타내었다. 카드뮴은 넙치에서 제주가 높은 값을 나타내었으며, 조피볼락은 차이를 보이지 않았다. 평균값은 각각 0.06±0.03, 0.02±0.01 ppm을 나타내었다. 4개지역 평균으로는 넙치가 조피볼락과 비교 납과 카드뮴에서 높은 값을 보였으며, 조피볼락은 셀레늄과 비소에서 높은 값을 나타내었다.

표-Ⅰ. 4개 지역 넙치, 조피볼락의 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 평균 함유량 (ppm)

		셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치	남해	0.12±0.01	0.44±0.10	0.08±0.07	0.01±0.00
	서해	0.08±0.01	0.17±0.07	0.21±0.16	0.08±0.02
	동해	0.12±0.06	0.13±0.04	N/D	0.03±0.01
	제주	0.12±0.02	0.39±0.23	N/D	0.11±0.10
평균		**0.11±0.03**	**0.28±0.11**	**0.07±0.06**	**0.06±0.03**
조피볼락	남해	0.16±0.04	0.44±0.25	0.02±0.01	0.02±0.01
	서해	0.19±0.05	0.41±0.05	N/D	0.02±0.01
	동해	0.16±0.03	0.27±0.09	0.02±0.02	0.03±0.02
평균		**0.17±0.03**	**0.37±0.13**	**0.01±0.01**	**0.02±0.01**

N/D : not detected

Detection limits : Se 7 ppb, As 7 ppb, Pb 3 ppb, Cd 3 ppb

3. 어류용 배합사료를 공급하는 양식장의 배출수에 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 자연환경에 미치는 영향 분석

가. 남해지역

남해지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치 및 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 분석결과 넙치와 뱀장어 양식장의 셀레늄 평균값은 넙치는 배출수, 유입수 모두 0.05±0.01 ppm을 나타내었고, 뱀장어는 유입수가 0.02±0.00, 배출수가 0.01±0.00 ppm을 나타내었다. 비소도 넙치 양식장에서는 유입수와 배출수가 모두 0.01 ppm를 나타내었으며, 뱀장어 양식장에서는 검출되지 않았다. 납과 카드뮴은 넙치 양식장과 뱀장어 양식장 모두 검출되지 않았다.

나. 서해지역

서해지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치 및 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 분석결과 셀레늄은 넙치 양식장에서 유입수, 배출수 평균값이 각각 0.10±0.02, 0.10±0.03 ppm이었으며, 뱀장어 양식장에서는 0.04±0.02, 0.01±0.01 ppm을 나타내 유입수에서 배출수로 감소되는 경향을 나타내었다. 비소는 모두 검출되지 않았으며, 납은 뱀장어 양식장만 유입수, 배출수 모두 0.01 ppm이 검출되었다. 카드뮴은 넙치 양식장과 뱀장어 양식장 모두 검출되지 않았다.

다. 동해지역

동해지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치 및 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 분석결과 셀레늄은 넙치양식장 유입수, 배출수의 평균값이 각각 0.07±0.01, 0.08 ppm이었으며, 뱀장어 양식장의 평균값은 0.10±0.02, 0.02±0.00 ppm로 감소되는 경향을 나타내었다. 비소는 넙치와 뱀장어 양

식장 모두 검출되지 않았으며, 납은 넙치의 유입수, 배출수에서는 검출되지 않았으나 뱀장어에서는 2곳의 유입수에서 검출되었다. 카드뮴은 넙치 양식장과 뱀장어 양식장 모두 검출되지 않았다.

라. 제주지역

제주지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 분석결과를 표-13에 나타내었다. 제주지역의 넙치 양식장 4곳의 유입수와 배출수에서 셀레늄의 경우 0.11~14 ppm으로 평균값은 유입수, 배출수 모두 13.1±0.01 ppm을 나타내었다. 비소에서도 유입수와 배출수가 0.01~0.02 ppm으로, 평균값은 유입수, 배출수 모두 0.02±0.00 ppm을 나타내었다. 납과 카드뮴에서는 모두 검출되지 않았다.

마. 4개 지역 넙치, 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 평균 함유량

국내 남해, 서해, 동해, 제주 지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어 양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 평균함유량에서 셀레늄은 넙치 양식장에서 제주가 가장 높았으며, 전체 평균값 유입수와 배출수가 각각 0.07±0.01, 0.08±0.01 ppm을 나타내었다. 뱀장어 양식장에서는 동해 유입수 가장 높았고 전체 평균값은 0.05±0.01, 0.01±0.00 ppm을 나타내었다. 비소는 넙치 양식장에서 남해와 제주에서만 검출되었으며, 전체 평균값은 유입수와 배출수가 각각 0.01±0.00, 0.01±0.00 ppm을 나타내었고, 뱀장어 양식장은 모든 지역에서 검출되지 않았다. 납은 넙치 양식장에서는 검출되지 않았으며, 뱀장어 양식장은 서해와 동해에서 검출되었으며, 전체 평균값은 유입수만 0.01±0.00 ppm을 나타내었다. 카드뮴은 넙치, 뱀장어 양식장 모두 검출되지 않았다.

표-Ⅱ. 4개 지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 함유량

(ppm)

			셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치 양식장	남해	유입수	0.05±0.01	0.01±0.00	N/D	N/D
		배출수	0.05±0.01	0.01±0.00	N/D	N/D
	서해	유입수	0.10±0.02	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.10±0.03	N/D	N/D	N/D
	동해	유입수	0.07±0.01	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.08±0.01	N/D	N/D	N/D
	제주	유입수	0.13±0.01	0.02±0.00	N/D	N/D
		배출수	0.13±0.01	0.02±0.00	N/D	N/D
평균		**유입수**	**0.09±0.01**	**0.01±0.00**	**N/D**	**N/D**
		배출수	**0.09±0.01**	**0.01±0.00**	**N/D**	**N/D**
뱀장어 양식장	남해	유입수	0.02±0.00	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.01±0.00	N/D	N/D	N/D
	서해	유입수	0.04±0.02	N/D	0.01±0.00	N/D
		배출수	0.01±0.01	N/D	0.01±0.00	N/D
	동해	유입수	0.10±0.02	N/D	0.03±0.00	N/D
		배출수	0.02±0.00	N/D	N/D	N/D
평균		**유입수**	**0.05±0.01**	**N/D**	**0.01±0.00**	**N/D**
		배출수	**0.01±0.00**	**N/D**	**N/D**	**N/D**

N/D : not detected

Detection limits : Se 7 ppb, As 7 ppb, Pb 3 ppb, Cd 3 ppb

4. 어류용 배합사료 및 사료원내 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 함유량과 배합사료 주요성분 함유량 분석

가. 배합사료 및 사료원의 성분분석

1) 일반성분

국내 4개 사료회사의 시판용 넙치, 조피볼락용 배합사료에 대한 일반성분 분석결과 수분에서는 넙치 배합사료의 평균값이 7.53±2.12 %, 조피볼락 배합사료는 10.66±0.47이었으며, 조단백질에서는 넙치 배합사료의 평균값이 52.44±1.91%, 조피볼락 배합사료는 45.08±1.47%이었다. 조지방에서는 넙치 배합사료의 평균값이 12.73±1.58%, 조피볼락 배합사료는 8.55±0.57%를 나타내었다. 조회분에서는 넙치배합사료의 평균값이 9.71±0.71%, 조피볼락 배합사료는 9.61±1.39%를 나타내었다.

배합사료에 사용되는 동물성사료원인 주요어분 5가지의 일반성분 분석결과어분의 수분은 평균값은 6.43±1.43% 조단백질은 67.17±5.52%, 조지방은 8.67±0.94%이었다. 조회분의 평균값은 17.62±4.48%를 나타내었다. 어분을 제외한 배합사료에 사용되는 주요 사료원중 식물성인 채종박, 대두박, 타피오카분, 콘글루텐밀, 소맥분 5가지의 일반성분 분석결과 수분은 평균값이 10.19±1.66%이었으며, 조단백질은 콘글루텐밀이 가장 높았으며 평균값은 33.16±23.32%를 나타내었다. 조지방의 평균값은 1.44±0.73%이었으며, 조회분에서는 평균값이 4.41±2.98%를 나타내었다.

2) 아미노산

국내 4개 사료회사의 시판용 넙치, 조피볼락용 배합사료에 대한 아미노산 조성에서 넙치 배합사료 내 총 아미노산은 41.48~46.75%의 범위를 나타내었으며, 필수 아미노산인 EAA(Essential amino acid, EAA)에서는 17.97~21.04%의 범위로 역시 C사가 가장 높은 값을 나타내었다. 조피볼락용 배합사료 내 총 아미노산은 38.43~39.88%의 범위였으며, EAA에서도 16.48~17.58%로 각 사료별로 큰 차이를 보이진 않았다. 배합사료에 사용되는 동물성사료원인 주요어분 5가지의 아미노산 조성은 총 아미노산에서는 45.71~61.59% 범위로 덴마크산와 알레스카산, 국내산 어

분은 61%이상을 나타내었다. EAA에서는 21.22~29.40%를 나타내었다. 어분을 제외한 배합사료에 사용되는 주요 사료원중 식물성인 채종박, 대두박, 타피오카분, 콘글루텐밀, 소맥분 5가지의 아미노산 조성은 총 아미노산은 2.79~64.84%범위로 각 사료원 사이의 큰 차이를 나타내었으며, EAA에서는 1.35~27.92%로 콘글루텐밀이 가장 높았다.

3) 지방산

국내 4개 사료회사의 시판용 넙치, 조피볼락용 배합사료에 대한 지방산 조성에서 넙치 배합사료의 포화지방산은 B사가 가장 높았고, 일가불포화지방산은 A사가 가장 높았다. 다가불포화지방산에서는 C사가 가장 높은 값을 나타내었으며, n-3계열 지방산은 13.37~27.41%로 이중 D사가 가장 높았고, n-6계열은 11.33~28.87%로 C사가 가장 높았다. n-3/n-6비는 0.46~2.32로 D사가 가장 높았다. 조피볼락 배합사료은 포화지방산에서 B사가 가장 높았으며, 일가불포화지방산은 A사가 가장 높았고, 다가불포화지방산에서는 C사가 가장 높았다. n-3계열 지방산은 12.36~19.54% 범위로 B사가 가장 높았고, n-6계열은 15.85~33.12%로 C사가 가장 높았다. n-3/n-6비는 0.37~1.23로 B사가 가장 높은 값을 나타내었다.

배합사료에 사용되는 동물성사료원인 주요어분 5가지의 지방산 조성에서 각 어분 내 지방산은 포화지방산은 덴마크산 백색어분이 가장 높았고, 일가불포화지방산 알레스카산 백색어분이 가장 높았다. 다가불포화지방산에서는 칠레남부산 갈색어분이 가장 높은 값을 나타내었고, n-3계열 지방산은 이중 알래스카산 백색어분이 가장 높은 값을 나타내었다 n-6계열은 2.34~17.18%로 칠레남부산 갈색어분이 월등히 높았으며, n-3/n-6비는 1.19~12.23으로 알래스카산 백색어분이 가장 높았다.

어분을 제외한 배합사료에 사용되는 주요 사료원중 식물성인 채종박, 대두박, 타피오카분, 콘글루텐밀, 소맥분 5가지의 지방산 조성에서 포화지방산은 채종박이 가장 높았고 일가불포화지방산은 타피오카분이 가장 높았으며, 다가불포화지방산은 대두박이 가장 높았으며 모두 n-6계열이었다. n-3계열 지방산은 모든 사료원에서 검출되지 않았다.

4) 비타민

국내 4개 사료회사의 시판용 넙치, 조피볼락용 배합사료에 대한 비타민 C, B_2, E의 함유량에서 넙치 배합사료 내 비타민 C의 함유량은 A사와 B사가 검출되었고 평균값은 1.43±2.08 mg/100g이었으며, 조피볼락 배합사료에서는 B사와 C사가 검출되었으며 평균값은 0.70±0.87 mg/100g이었다. 비타민 B_2의 경우 넙치 배합사료는 평균값은 1.72±1.03 mg/100g, 조피볼락 사료는 0.76±0.42 mg/100g을 나타내었다. 비타민 E의 경우 넙치 배합사료는 평균값은 14.86±7.72 mg/100g, 조피볼락 사료는 8.36±5.00 mg/100g을 나타내었다.

배합사료에 사용되는 동물성사료원인 주요어분 5가지와 어분을 제외한 배합사료에 사용되는 주요 사료원중 식물성인 채종박, 대두박, 타피오카분, 콘글루텐밀, 소맥분 5가지 비타민 C, B_2, E 조성에서 비타민 C는 어분에서는 검출되지 않았으며, 기타 사료원에서도 대두박만이 검출되었다. 비타민 B_2에서는 어분 중 칠레남부산 갈색어분이 가장 높은 값을 나타내었으며, 기타 사료원은 소맥분에서 가장 높았다. 비타민 E에서는 어분 중 칠레남부 갈색어분이 가장 높았고, 기타 사료원은 콘글루텐밀이 가장 높은 값을 나타내었다.

5) 미네랄

국내 4개 사료회사의 시판용 넙치, 조피볼락용 배합사료에 대한 12가지의 미네랄 함유량에서 넙치 배합사료 내 칼슘(Ca)의 평균값은 2.00±0.27%, 인(P)은 1.36±0.12%, 나트륨(Na)은 0.69±0.23%,. 칼륨(K)은 0.06±0.01%, 철(Fe)은 0.32±0.12%, 아연(Zn)은 0.20±0.06%, 마그네슘(Mg)은 0.02±0.01%를 나타내었다. 넙치 배합사료 내 크롬(Cr) 평균값은 3.93±1.76 ppm, 수은(Hg)은 검출되지 않았으며, 구리(Cu)는 16.21±10.07 ppm, 망간(Mn)은 33.08±12.26 ppm를 나타내었다. 조피볼락 배합사료 내 칼슘 평균값은 2.09±0.42%, 인은 1.22±0.23%, 나트륨은 0.46±0.05%, 칼륨은 0.07±0.01%, 철은 0.47±0.15%, 아연은 0.14±0.06%, 마그네슘은 0.02%를 나타내었다.

조피볼락 배합사료 내 크롬의 평균값은 3.20±0.53 ppm, 수은은 검출되지 않았으며, 구리는 22.95±9.63 ppm, 망간은 23.35±8.34 ppm를 나타내었다.

배합사료에 사용되는 동물성사료원인 주요어분 5가지의 미네랄 12가지의 함유량에서 칼슘의 평균값은 4.93±1.24%, 인은 2.87±0.54%, 나트륨은 1.07±0.29%, 칼륨은 0.07±0.02, 철은 0.12±0.06%, 아연은 0.12±0.06%, 마그네슘은 0.03±0.01%을 나타내었

다. 크롬의 평균값은 3.35±0.94 ppm를 나타내었고, 수은은 검출되지 않았으며, 구리는 5.82±2.46%, 망간은 평균값은 13.68±17.81%를 나타내었다.

어분을 제외한 배합사료에 사용되는 주요 사료원중 식물성인 채종박, 대두박, 타피오카분, 콘글루텐밀, 소맥분 5가지의 미네랄 12가지의 함유량에서 칼슘의 평균값은 0.92±0.64%, 인은 0.46±0.40%, 나트륨은 0.48±0.23%, 칼륨은 0.05±0.03, 철은 0.66±0.91%, 아연은 0.05±0.04%, 마그네슘은 0.02±0.02%을 나타내었다. 크롬은 3.73±1.76 ppm, 수은은 검출되지 않았으며, 구리는 8.78±5.09%, 망간은 28.33±18.45%를 나타내었다.

6) 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)

가) 배합사료

국내 4개회사의 넙치, 조피볼락 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 함유량에서는 넙치 배합사료 내 셀레늄은 0.62~3.43 ppm의 범위를 보였으며, 특히 B사의 경우 3.43±0.07 ppm의 높은 값을 나타내었다. 평균값은 1.54±1.19 ppm를 나타내었다. 비소는 D사의 경우 검출되지 않았으며 그 외 회사는 0.39~1.13 ppm를 보였고 이중 B사가 가장 높은 값을 나타내었다. 평균값은 0.58±0.46 ppm이었다. 납은 B사와 D사는 검출되지 않았으며 A와 C사는 각각 0.06±0.01, 0.10±0.01 ppm를 나타내었다. 평균값은 0.08±0.01 ppm이었다. 카드뮴은 0.09~0.83%로 A사는 0.09±0.01로 가장 낮은 값을 보였으며 C사와 D사는 0.83 ppm으로 같은 값을 나타내었고 평균값은 0.55±0.33 ppm이었다. 조피볼락 배합사료 내 셀레늄은 0.32~1.24 ppm로 이중 A사가 가장 낮은 값을 보였으며 B~D사는 비슷한 값을 나타내었다. 평균값은 0.99±0.42 ppm이었다. 비소는 0.20~0.61 ppm으로 B사가 가장 높았으며 평균값은 0.44±0.16 ppm을 나타내었다. 납은 0.04~0.42 ppm으로 특히 B사에서 월등히 높은 값을 보였으며 평균값은 0.15±0.17 ppm을 나타내었다. 카드뮴은 0.28~0.91 ppm으로 D사에게 높은 값을 보였으며 평균값은 0.69±0.27 ppm을 나타내었다.

나) 어분 및 기타 사료원

배합사료에 사용되는 동물성사료원인 주요어분 5가지와 어분을 제외한 배합사료에 사용되는 주요 사료원중 식물성인 채종박, 대두박, 타피오카분, 콘글루텐밀,

소맥분 5가지의 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴 함유량을 표-26에 나타내었다. 어분에서 셀레늄은 0.45~3.71 ppm으로 덴마크산 백색어분과 국내산 어분이 높은 값을 보여주었으며, 특히 국내산 어분은 3.71±0.05 ppm으로 현재 국내 배합사료 허용기준치 이상을 나타내었다. 셀레늄의 평균값은 1.49±1.21 ppm이었다. 비소에서는 0.21~2.46 ppm으로 페루산 갈색어분은 검출되지 않았으며 국내산 어분이 높은 값을 나타내었다. 납에서는 덴마크, 러시아 백색어분과 페루산 갈색어분은 검출되지 않았으며, 칠레남부산과 국내산 어분은 각각 0.21±0.01, 0.75±0.11 ppm이 검출되었다. 납의 평균값은 0.28±0.29를 나타내었다. 카드뮴은 0.02~4.08 ppm이었으며, 국내산 어분이 다른 어분에 비해 20배이상 높은 값을 나타내었다. 평균값은 0.73±1.60 ppm을 나타내었다. 국내산 어분은 대부분 어류 가공 후 부산물을 이용하여 제조며, 특히 국외에서도 중금속 오염의 논란이 되고 있는 참치 부산물을 이용하는 경우가 많아 다른 어분에 비해 전체적으로 높은 중금속 함량을 나타낸 것으로 판단된다.

기타 사료원에서는 셀레늄이 0.06~0.78 ppm으로 채종박이 가장 높은 값을 나타내었으며 평균값은 0.34±0.27 ppm이었다. 비소는 모든 사료원에서 검출되지 않았으며, 납은 채종박이 0.47±0.06 ppm이 검출되었으며 기타 사료원은 검출되지 않았다. 카드뮴은 0.01~0.11 ppm이며, 이중 타피오카분과 콘글루텐밀은 검출되지 않았으며, 평균값은 0.51±0.15 ppm을 나타내었다.

표-Ⅲ. 국내 4개회사의 넙치, 조피볼락 배합사료 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 (ppm)

		셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치	A사	0.85±0.04	0.80±0.02	0.06±0.01	0.09±0.01
	B사	3.43±0.07	1.13±0.05	N/D	0.45±0.02
	C사	1.28±0.02	0.39±0.09	0.10±0.01	0.83±0.05
	D사	0.62±0.02	N/D	N/D	0.83±0.00
평균		**1.54±1.19**	**0.58±0.46**	**0.08±0.01**	**0.55±0.33**
조피볼락	A사	0.32±0.01	0.20±0.02	0.04±0.00	0.28±0.00
	B사	1.24±0.07	0.61±0.00	0.42±0.07	0.74±0.04
	C사	1.21±0.04	0.47±0.10	0.05±0.00	0.85±0.01
	D사	1.20±0.15	0.46±0.02	0.08±0.02	0.91±0.02
평균		**0.99±0.42**	**0.44±0.16**	**0.15±0.17**	**0.69±0.27**

N/D : not detected

Detection limits : Se 7 ppb, As 7 ppb, Pb 3 ppb, Cd 3 ppb

표-Ⅳ. 배합사료에 사용되는 주요 5가지 어분 및 사료원의 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 (ppm)

	셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
백색어분-1 (덴마크산)	1.58±0.06	1.26±0.93	N/D	0.19±0.00
백색어분-2 (알래스카산)	0.47±0.01	1.65±0.13	N/D	0.09±0.00
갈색어분-1 (페루산)	0.45±0.02	N/D	N/D	0.02±0.00
갈색어분-2 (칠레남부산)	0.96±0.01	0.21±0.02	0.21±0.01	0.02±0.00
국내산어분	3.71±0.05	2.46±0.05	0.75±0.11	4.08±0.16
평균	**1.49±1.21**	**1.26±0.93**	**0.28±0.29**	**0.73±1.60**
채종박	0.78±0.02	N/D	0.47±0.06	0.11±0.00
대두박	0.19±0.00	N/D	N/D	0.01±0.00
타피오카분	0.06±0.00	N/D	N/D	N/D
콘글루텐밀	0.47±0.01	N/D	N/D	N/D
소맥분	0.19±0.00	N/D	N/D	0.11±0.00
평균	**0.84±0.30**	N/D	**0.20±0.17**	**0.51±0.15**

N/D : not detected

Detection limits : Se 7 ppb, As 7 ppb, Pb 3 ppb, Cd 3 ppb

5. 국내·외 배합사료 및 수산물 내 유해 중금속 허용 기준 조사

가. 국내・외 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준 조사

1) 국내 배합사료 내 유해중금속 허용 기준 현황

국내 현재 양식용 배합사료 내 유해중금속 허용 기준은 별도로 설정되어 있지 않고 양식용 배합사료 생산업체들은 축산용 배합사료를 중심으로 한 사료관리기준법을 따르고 있다. 비소의 경우에는 2005년에 개정하여, 신생항목으로 어류용 배합사료로 허용기준을 10ppm 으로 두고 있으나 그 외 기타 중금속 항목의 경우에는 축산사료법의 허용기준을 포함시키고 있다. 셀레늄은 전체 배합사료의 허용기준치를 2 ppm으로 설정하였고, 납은 기타 배합사료와 동물성 단백질류에서는 10 ppm으로 설정하였다. 카드뮴에 있어서는 기타 배합사료에서 1.0 ppm으로 설정하였으나 어류용 배합사료는 허용 기준에서 제외함이 명시되어 있는데, 이는 양식용 배합사료 생산에 사용되는 사료원 중 중금속의 함유량이 높은 어분의 사용량이 다른 축산용 배합사료에 비해 높아 양식용 배합사료 내 카드뮴의 함유량이 다소 높게 나타날 수 있기 때문이다.

2) 미국의 배합사료 내 유해중금속 허용 기준 현황

현재 미국의 배합사료 내 유해중금속의 관리 및 규제는 북미대륙의 각주, 지역 및 연방 사료 검사관과 사료 및 동물약품제조 및 유통, 판매에 관련 감독관의 협의체인 미국사료 검사관 협회(Associat-ion of American Feed Control Officials)에서 발행한 Offi-cial Publication을 바탕으로 시행하고 있으며, 양식용 배합사료 내 유해중금속 허용 기준에 대하여 구분하여 설정하지 않고 축산용 배합사료로 통칭하여 관리하고 있다. 유해중금속은 Highly toxic (1~9 ppm), Toxic (10~40 ppm), Moderately toxic (41~100 ppm) 그리고 slightly toxic (101~1,000 ppm)의 4가지 범위로 나누어 허용 기준을 설정하고 있으며, 카드뮴의 경우에는 0.5 ppm, 셀레늄은 2 ppm 으 비소는 50 ppm, 납은 30 ppm으로 전반적으로 어류사료에 적용할 수 있는 우리나라의 경우의 기준치보다 카드뮴을 제외하고는 다소 높은 기준치를 두고 있다.

3) EU(유럽연합)의 배합사료 내 유해중금속 허용 기준 현황

영국, 노르웨이 및 기타 유럽 연합국들의 양식용 배합사료 내 유해중금속에 대한 관리 및 규제는 유럽의회와 이사회에서 제정한 DIRECTIVE 2002/32/EC를 바탕으로 시행하고 있으며, 현재 EU에서는 양식용 배합사료 내 유해중금속 허용기준을 별도로 지정해 놓지 않고 축산용 배합사료를 중심으로 허용기준을 설정하여 관리 및 규제를 실시하고 있는 실정이다. EU는 사료 내 중금속 비소와 납은 경우 어류용 배합사료 항목이 따로 지정되어 있으며 허용기준이 각각 4, 5 ppm이며, 카드뮴의 경우에는 기타배합사료 항목이 0.5 ppm으로 식물유래 배합사료 1 ppm, 동물유래 배합사료 2 ppm 으로 나눠져 있어 다소 넓은 범위로 이해가능하며 앞선 비소와 납과 같이 어류용은 제외하고 있어 어류용 배합사료에 대한 규정이 빠져 있는 실정이다. 셀레늄은 EU 기준에 따로 항목을 설정하지 않고 있다.

4) 일본의 배합사료 내 유해중금속 허용 기준 현황

일본 농림수산성의 사료안전법 내 사료의 유해 물질 지도 기준을 살펴보면 양식용 배합사료 내 유해중금속 허용 기준은 별도로 설정하여 관리 하지 않고 있으며, 특별히 축산용 배합사료 내 유해물질 허용기준에 있어서 양식용 배합사료는 관리대상에서 제외한다고 나타나 있어 일본 또한 양어사료 유해중금속에 대한 제재 기준이 따로 없는 실정이다. 현재 일본의 축산용 배합사료 내 유해물질(유해중금속) 관리 항목은 납(Pb), 카드뮴(Cd), 수은(Hg) 및 비소(As) 4가지로 나타나 있으며, 납의 허용기준은 3 ppm, 카드뮴은 1 ppm, 비소의 경우에는 2 ppm이며, 일본의 자료는 축산용 배합사료 내 유해물질 허용기준이므로 고려수준으로 봐야 할 것이다

나. 국내·외 수산물내 유해 중금속 허용 기준 조사

1) 국내

국내 수산물 내 유해중금속 잔류 허용에 관한 관리는 식품의약청에서 발간한 식품공전 내 식품오염물질 기준에 의해 관리되고 있으며, 유해 중금속 중 수은(Hg), 납(Pb) 및 카드뮴(Cd)이 관리대상이 되고 있으며 허용기준은 해산어패류 식품의 경우 납은 2.0 ppm 이하이며, 카드뮴은 2.0 ppm이하로 패류의 경우만으로 제한을 두고 있다. 국립수산품질 검사원 또한 같은 수준으로 수출입 수산물관리 기준

을 중금속관련해서 책정해 두고 있다.

2) 국제식품규격(CODEX)

국제식품규격(CODEX)내 수산물 내 관리 대상 항목은 카드뮴(Cd), 납(Pb) 및 수은(메틸수은)이 있다. 이러한 수산물 내 유해중금속 허용기준은 카드뮴의 경우 연체동물에만 그 기준이 1.0 ppm 으로 설정되어 있을 뿐 어패류에 관해서는 설정되어 있지 않으며 납의 경우에는 모두 0.2 ppm 으로 설정되어 있으며 우리나라의 규정보다 강화된 기준을 가지고 있다

3) 미국

미국의 수산물 내 유해중금속 잔류 허용에 관한 관리는 미국 식약청(United States Food & Drug Administration, USFDA)내 식품안전과 국민의 영양관리를 위한 센터(Center for Food Safety & Applied Nutrition)에서 발행한 어류 및 수산물 내 위해요소관리를 위한 지도집(FISH AND FISHERIES PRODUCTS HAZARDS AND CONTROLS GUIDANCE)을 바탕으로 하고 있으며, 어류 및 수산물내 유해 중금속 허용 항목으로는 납(Pb), 카드뮴(Cd), 니켈(Ni), 크롬(Cr), 비소(As) 및 수은(메틸수은)이 있으며, 납은 1.5~1.7 ppm이며 카드뮴은 3.0~4.0 ppm으로 책정되어 있다. 우리나라에서는 책정되어 검사항목에서 제외되어 있는 비소는 76~86 ppm로 그 허용기준이 설정되어 있다.

4) EU(유럽공동체)

EU의 수산물 내 유해중금속 잔류 허용에 관한 관리는 유럽공동체(European Communities)에서 발행한 식품 내 특정 오염물질 최대 허용 기준에 관한 규정집(COMMISSION REGULATION (EC) No 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs)을 바탕으로 하고 있으며, 어류 및 수산물 내 유해 중금속 허용 항목으로는 납(Pb), 카드뮴(Cd) 및 수은(Hg)이 있으며, 납은 어류의 경우 0.2~0.4 ppm으로 국제 식품규격과 동일한 수준이고, 카드뮴의 경우에는 0.05~0.1 ppm 으로 우리나라, 미국, 국제식품규격에서 보다 엄격한 수준이다.

5) 일본

일본의 수산물 내 유해중금속 잔류 허용에 관한 관리는 Japan External Trade Organization (JETRO)에서 2004년 4월에 발행한 Specifications and Standards for Foods, Food Additives, etc. Under The Sanitation Law을 바탕으로 하고 있으며, 어류 및 수산물 내 유해중금속은 단지 수은(Hg)의 경우에만 그 제한을 두고 있을 뿐, 본 연구에서 관찰하고 있는 납, 비소, 카드뮴, 셀레늄에 대한 기준은 아직 설정되어 있지 않다.

6) 캐나다

캐나다의 수산물 내 유해중금속 잔류 허용에 관한 관리는 Canadian Food Inspection Agency의 Fish Products Standards and Methods Manual 에 나타난 CANADIAN GUIDELINES FOR CHEMICAL CONTAMINANTS AND TOXINS IN FISH AND FISH PRODUCTS를 바탕으로 하고 있으며, 어류 및 수산물 내 유해 중금속 허용 항목으로는 수은(Hg), 비소(As), 납(Pb)의 3가지며, 비소의 경우에는 3.5 ppm이며, 납은 0.5 ppm 으로 어류단백농축이라는 살아있는 어류를 재품이 아닌 가공제품을 기준으로 하고 있어 참고용으로만 이용 가능할 것으로 보인다.

7) 호주 및 뉴질랜드

호주・뉴질랜드의 수산물 내 유해중금속 잔류 허용에 관한 관리는FOOD STANDARDS 내 CONTAMINANTS AND NATURAL TOXICANTS를 바탕으로 하고 있다. 어류 및 수산물 내 유해중금속 검사대상항목으로는 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 수은(Hg)으로 총 4가지가 설정되어 있으며 어류의 경우 비소는 2 ppm, 카드뮴 2 ppm, 납 0.5 ppm 으로 설정 되어있다.

제 4 장 결 론

1. 어류용 배합사료 내 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 적정허용기준 모델

식품에서의 위해요소에 대한 안전성 평가방법은 주로 독성실험 결과로서 평가 되며, 방법적으로는 오래전부터 사용되어온 안전계수법(Safety facotr approach)과 최근에 사용하기 시작한 정량적 위해성평가법(Quantitative risk assessment) 즉 위해평가이다(박, 2008). 특히 위해평가(Risk Assessment, RA)는 1995년부터 세계무역기구(WTO)의 위생 및 식물위생조치의 적용에 관한 협정(SPS 협정)에서 위생기준 채택 시 근거할 수 있도록 규정하고 있다. 이러한 위해평가는 인체에 유해영향을 나타내는 위험성이 확인된 다양한 위해요소(화학적, 물리적, 미생물학적 요소)의 식품 중 모니터링 결과와 독성자료를 활용하여 현 노출수준에서의 안전여부를 판단하고 관리에 필요한 정보를 제공하여 평가하는 것을 말한다. 현재 동물 사료에서 유해물질의 범위와 허용기준은 가축생물에 대한 특별한 위해평가절차나 방법이 없이 설정되어 있으며, 특히 어류와 같은 수중환경에서 사육되는 생물은 육상동물과 달리 영양학적인 면에서도 큰 차이를 보이고 있어 육상 가축사료와는 다른 양어사료 내 위해물질에 대한 평가절차가 요구된다.

따라서, 양식동물을 비롯한 양식생물에서도 위해물질에 대해서 그 기준을 설정할 수 있는 위해평가의 절차가 필요하며, 이러한 위해평가는 국제식품규격위원회(CODEX)에서 1995년 FAO/WHO 전문가회의에서 제시할 모델을 기준으로 응용하면 아래와 같이 단계별로 나눌 수 있으며, 각 단계별은 다음과 같이 설명된다.

① 위해요소 확인(Hazard Identification)

Codex의 지침에 의한 이 단계는 특정식품 중의 해가될 수 있는 오염물질 및 병원성 미생물 그리고 미생물독소를 확정하는 과정이다. 유해물질에 대한 기준 검토 시 첫 번째로 대상 유해물질에 대한 충분한 검토와 평가가 수행되어야 하며, 특히 현재 사육 대상이 되는 생물들에게 미칠 수 있는 대사과정 자료를 근거로 할 수 있는 적절성 및 독성에 대해 조사하는 작업이 요구된다.

② 노출평가(Exposure Assessment)

이 단계는 잠재적으로 유해한 오염물질 및 병원성미생물의 양(수)은 정량적으로 추정하는 단계로 소비시점 또는 생산 마지막 시점 등에서 평가한다고 볼 수 있으며, 한편으로는 위해인자확인에 의해 특정된 오염물질 및 병원성미생물이 소비자에게 섭취되는 양이나 수를 제조에서부터 최종 섭취에 이르는 각 과정에 걸쳐 영향을 미치는 각종 요인에 따라 추정하는 단계로도 정의된다. 이러한 과정은 배합사료에서의 각종 원료에 유해물질이 포함된 양이 사육대상생물에 줄 수 있는 영향을 평가할 수 있는 단계로 응용가능 할 수 있다.

③ 용량-반응평가(Dose-Response Assessment)

이 단계는 잠재적으로 유해한 오염물질 및 병원성미생물 또는 미생물독소를 섭취한 결과(노출 시), 일어날 수 있는 질병의 중요도를 정량적으로 제시하는 과정으로서, 유해물질로 인해 사육생물이 영향을 받을 수 있는 한계점, 즉 최대 허용한계량을 설정하는 단계로 응용 가능할 수 있다.

④ 위해성특성화(Risk Characterization)

위해평가의 최종단계이며 노출평가, 양-반응평가를 통합하여 위해성 추정치를 산출하는 단계이다. 즉, 어떤 집단에서 위해성에 의한 결과로 부정적인 영향(질병 발생 등)이 일어날 가능성을 평가하는 단계로 말할 수 있으며, 사육대상생물에게 유해물질이 허용한계량을 이상을 초과하였을 때 발생할 수 있는 모든 가능성을 평가함으로써 나아가 식품으로서의 안전성까지 평가받을 수 있는 단계라 할 수 있다.

이러한 사료의 위해평가에 대한 실시는 CODEX의 분과위원회인 동물사료에 관한 정부 간 특별 위원회(TFAF)에서도 2004년도 모범동물사료실행규범(Code of Practice on Good Animal Feeding)에서 사료의 안정성을 확보하기 위해 위해분석을 통해 인증된 사료원을 사용하도록 권고하고 있어 사료에 있어 평가모델로서의 가치는 충분할 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 제안된 사료 내 안전성 확보를 위한 허용기준 설정모델(안)이 인정받기 위해서는 모델을 접목시켜 유해물질에 대한 안전성 허용기준을 설정하고, 이에 따른 문제점을 파악함으로서 제시된 모델(안)에 대해 점차 수정·보완 해 나가도록 해야 할 것이다.

2. 어류용 배합사료 내 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 적정허용기준 제시

가. 배합사료를 섭취한 어류의 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)에 대한 식품안전성

FAO/WHO의 합동 식품첨가물 전문위원회(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)에서는 중금속과 같이 체내 축적되어 독성을 유발하는 물질에 대해서 잠정주간섭취허용량(Provisional tolerable weekly intake, PTWI)을 산출하여 그 오염도를 비교하도록 권장하고 있다. 본 연구에서 조사된 넙치와 조피볼락의 어체 내 중금속 함유량과 2005년도 국민영양조사결과보고서에서 나온 1일 넙치와 조피볼락의 1일 1인 연평균섭취량을 통해 PTWI를 산출하여 CODEX에서 권장하는 PTWI와 비교한 결과, 셀레늄을 제외한 비소, 납, 카드뮴에서는 권장 PTWI에 1% 미만을 나타내고 있어, 전혀 문제가 되지 않는 안전한 수준인 것으로 나타났다.

표-Ⅴ. 넙치, 조피볼락 어체 내 산출된 중금속의 PTWI와 FAO/WHO에 권장한 PTWI과의 비교 (단위 : ㎍/kg/b.W)

		셀레늄	비소	납	카드뮴
PTWI[2)]	넙치	0.008	0.039(0.26)[1)]	0.010(0.04)	0.008(0.11)
	조피볼락	0.002	0.030(0.2)	0.001(0.004)	0.002(0.03)
CODEX의 PTWI		없음	15	25	7

[1)]( ) : CODEX의 PTWI에 대한 비율(%)

[2)]잠정주간 섭취량(PTWI) = 식품 내 중금속 함량 (㎍)× 성인 1인 1일 식품섭취량(g) × 7일/성인 1인당 평균 몸무게(60kg)

- 넙치 1일 1인 연평균 섭취량 : 1.2 g,
- 볼락 1일 1인 연평균 섭취량 : 0.7 g (2005 국민건강 영양조사 보고서, 보건복지가족부)

나. 배합사료를 공급한 양식장의 배출수가 환경에 미치는 영향

어류양식에서 사료와 관련해 환경에 영향을 미칠 수 있는 문제점으로 대두되고 있는 부분은 바로 생사료 공급을 통한 수질오염이며, 이러한 수질 환경오염에 줄이기 위하여 국가적인 차원에서 배합사료 직불제사업을 실시하여 양식어가에 보급시켜 나가고 있다. 특히 배합사료는 가공된 원료들을 이용하여 각 대상생물에 적합한 형태로 제조될 수 있으며, 사료의 허실을 최대한으로 차단할 수 있어 양식어류에 있어 높은 사료효율을 나타낼 수 있다. 이러한 배합사료의 특성을 보면 배합사료 내에 중금속이 사육수 내 중금속 함유량에 직접적인 영향을 주기는 어려울 것으로 보이며, 본 연구에서도 양식장 배출수 내에 중금속은 대부분 검출되지 않았으며, 검출된 부분도 국내 수질의 중금속 검출기준과 비교하였을 때 안전성에 문제되지 않는 수준인 것을 확인 할 수 있었다. 따라서, 현재 어류용 배합사료 내에 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴과 같은 중금속이 수질환경에 미칠 수 있는 영향은 극히 미비하거나 거의 없는 것으로 판단된다.

표-VI. 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어 양식장의 유입수, 배출수에 대한 평균과 국내 수질의 중금속 검출기준과의 비교 (ppm)

		셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치 양식장 (해수)	유입수	0.09	0.01	N/D	N/D
	배출수	0.09	0.01	N/D	N/D
뱀장어 양식장 (담수)	유입수	0.05	N/D	0.01	N/D
	배출수	0.01	N/D	N/D	N/D
국내 수질의 중금속 검출기준 (호소 및 해역)		없음	0.05 이하	0.1 이하	0.01 이하

*환경정책기본법(환경기준, 법률 제6876호, 2002. 12. 30)

다. 배합사료 공급을 통한 넙치 및 조피볼락의 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 생물농축

연안오염에 대한 오염도를 측정 시 사용되는 방법 중 하나로 오염도에 대한 지표생물에 대한 생물농축을 규명함으로써 오염도의 기준을 나타내는 것으로, 연안오염을 통해 생물농축(bio accumulation)된 생물은 먹이사슬을 통해 생물확대(bio magnification)됨으로써 결국은 인간에게까지 영향을 미친다. 본 연구에서는 배합사료와 넙치 및 조피볼락의 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 함유량을 이용한 농축계수를 산출하여 배합사료에 의한 어류의 농축정도를 비교해 보았다. 그 결과 셀레늄과 비소에서는 조피볼락에서 높은 값을 보였으며, 넙치에서는 납과 카드뮴이 높은 값을 보였다. 그러나 현재까지 이러한 농축계수를 통한 배합사료의 오염도를 나타낼 수 있는 기준사항이 없어 객관적인 비교는 어려우나, 주 등(2007) 광양만 해수에서의 어류에서의 중금속 농축계수와 비교해보면 비소, 카드뮴, 납에서는 훨씬 낮은 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 그러나 본 연구에서 산출된 배합사료를 통한 어류의 농축계수는 직접적으로 비교해 볼 수 있는 자료가 없으며, 향후 다양한 연구를 통해 다양한 비교 자료를 확보한다면 배합사료 내 중금속에 대한 허용기준에 대한 자료로서 충분히 활용 가능할 것으로 판단된다.

표-Ⅶ. 배합사료를 공급한 넙치 및 조피볼락의 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 농축계수

		셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치	배합사료 (ppm)	1.54±1.19	0.58±0.46	0.08±0.01	0.55±0.33
	어체 (ppm)	0.11±0.03	0.28±0.11	0.07±0.06	0.06±0.03
	농축계수*	**0.007**	**0.483**	**0.875**	**0.109**
조피볼락	배합사료 (ppm)	0.99±0.01	0.44±0.16	0.15±0.17	0.69±0.27
	어체 (ppm)	0.17±0.03	0.37±0.13	0.01±0.01	0.02±0.01
	농축계수	**0.172**	**0.841**	**0.066**	**0.028**

*(어체/배합사료)

라. 어류용 배합사료 내 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 적정허용기준 제시

본 연구는 어류용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴에 대한 적정허용기준을 제시하기 위해 동·서·남해 및 제주도에서 배합사료를 공급하는 넙치 및 조피볼락의 어체와 배합사료를 공급하는 넙치 및 뱀장어 양식장의 유입수와 배출수, 그리고 국내 4개회사의 배합사료, 사료원의 위 4가지 중금속 함량을 조사하였으며, 향후 중금속 허용기준을 설정할 수 있는 모델(안)을 제시함으로써 어류용 배합사료의 허용기준을 제시하고자 하였다.

1) 셀레늄(Se)

셀레늄은 식품 내 허용기준치 보다는 성인 1인의 적정 섭취 기준인 50~200 ㎍을 설정하여 권고하고 있으며, 셀레늄의 PTWI는 넙치와 조피볼락이 각각 0.008, 0.002 ㎍/㎏ b.w/week에 불과해 본 연구에서 나타난 어체 내 셀레늄의 함유량은 큰 문제가 되지 않는 것을 확인하였다. 또한 배합사료를 통한 셀레늄의 수질 영향은 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

국내 4개 회사의 배합사료 내 셀레늄의 함유량은 B사에서 국내와 미국의 허용기준치인 2 ppm을 크게 초과하고 있는 것을 확인되었는데, 이에 대한 정확한 원인을 알 수는 없으나, 사료원료에 의한 기준치 초과보다는 셀레늄을 첨가제 물질로서 다량 첨가되고 있는 것으로 생각해 볼 필요성도 있다. 사료원료에서는 덴마크산 백색어분과 국내산 어분에서 높은 값이 나타났으며, 특히 국내산 어분은 국내 배합사료는 수입어분에 비해 2배이상 높은 3.71 ppm이 검출되었다. NRC(1993)에 의하면 어분 내의 셀레늄의 함유량이 종류에 따라 1.62~4.30 ppm이 검출되는 것으로 보고되고 있으며, 본 연구에서의 어분 내 셀레늄 함량 또한 크게 다르지 않게 나타났다. 즉 현재 어류용 배합사료의 어분 사용량을 최대 50%로 감안할 때 국내 어분만 사용될 경우 약 1.8 ppm 이상 될 수 있으며 기타 사료원과 혼합 시 현행 재한기준인 2 ppm이 초과될 수 있다. 그러나 국내에서 시판되는 어류용 배합사료는 국내산 어분보다는 수입산 어분이 주요 원료가 되고 있으며 본 연구에서도 국내산 어분은 한

개 회사를 제외하고는 현 기준치를 초과하지 않고 있으나, 어분은 지역별 또는 시기별로 실제 셀레늄과 같은 중금속의 함유량이 다르게 나타날 수 있어 현 기준치를 초과할 수도 있는 것도 배제될 수 없다. 현재 국내에서는 배합사료 내 셀레늄의 허용기준을 현행 2 ppm에서 1 ppm으로 허용 기준치를 강화하는 계획이 논의되고 있는데, 이는 동물성 사료원의 사용량이 적은 축산사료를 기준으로 했을 경우 문제의 소지가 적지만, 단백질 요구량이 높아 어분의 사용량이 많은 어류용 배합사료에서는 생산에 큰 어려움을 줄 수 있다.

따라서 현재 국내 어류용 배합사료를 공급하였을 때 어류의 체내 함유량 및 수질에서도 큰 문제가 없는 것으로 판단되며, 현행 배합사료 내 셀레늄 허용기준인 2 ppm은 어류용 배합사료가 생산될 수 있는 최소한의 함유량으로 판단되며 어류용 배합사료에 있어서 셀레늄 허용기준은 오히려 현행수준보다 조금 더 높은 3 ppm으로 상향 조정하는 것이 타당하다고 판단된다.

2) 비소(As)

비소의 경우 아직까지 생체 내에서의 생리작용에 대해서 구체적으로 밝혀진 바가 별로 없고 일반적으로 식품 중에 함유된 비소 함량은 대부분이 유기비소 형태인 것으로 알려져 있다. 본 연구에 나타난 넙치와 조피볼락의 어체 내 비소 함유량은 조사된 국내·외 모든 허용기준을 초과하지 않고 있으며, 또한 PTWI에서도 CODEX 권고기준에 비해 넙치와 조피볼락은 각각 0.26, 0.2%를 나타내고 있으며, 식품 안전성에 문제가 없는 것을 확인하였다.

넙치 양식장에서 수질에서 비소가 평균 0.01 ppm이 검출되었으나, 이것은 남해와 제주지역에서만 검출된 것이며, 동해와 서해에서는 검출되지 않아 남해와 제주지역의 주위환경적인 부분에 의한 영향으로 비소의 함유량이 검출된 것으로 보이며, 배합사료 내 중금속으로 인한 영향은 아닌 것으로 판단된다.

비소는 동물의 혈액이나 피부에 극미량 분포되어 있으나 영양적 필수성은 밝혀지지 않았으나 산란계의 산란율을 향상시키거나 송아지의 사료효율 개선을 위해 소량씩 첨가 이용되었다. 또한 비소는 급격한 독성을 나타내는 무기비소와 인체에 큰 해가 없는 것으로 알려진 유기비소로 나눌 수 있으며, 무기비소에 의한 독성효과는 국가별로 인정되고 있어 음용수나 사료원의 허용수준이 강화되고 있다. 본 연구에

서는 국내 4개회사의 배합사료 내 비소 함유량은 B사 넙치사료만 1 ppm이상이 검출되었고 기타 사료는 모두 1 ppm이하로 검출되었으며, 어분에서도 국내산을 제외하고 모두 2 ppm이하로 검출되었다. 특히 국내산 어분이 다른 사료원과 비교해 높은 함유량을 나타나고 있어도 배합사료에 포함되어 단독 사용될 경우에도 국내·외 현행 허용수준에서는 문제 시 되지 않는다. 그러나 최근 국내에서 추진 중인 비소의 허용기준을 현행 10 ppm에서 2 ppm으로 하향 조정할 경우 어류용 배합사료에 제조하는데 어려움이 있을 것으로 판단되며, 따라서 국내 어류용 배합사료의 비소 허용량을 대한 최소 함유량은 EU와 같은 기준인 4 ppm으로 제안할 수 있으나, 국내로 수입되는 어분 중 6곳의 어분 내 비소 함유량이 1.91에서 최대 6.49 ppm으로 보고되고 있어 EU보다 어분의 사용량이 많고 양식어종이 다양한 국내에서는 어류용 배합사료의 적정 허용 기준으로 5 ppm으로 설정하는 것이 타당한 것으로 판단된다. 또한 수산물 내에는 유기비소의 함유량이 높은 만큼 실제 독성을 나타내는 무기비소를 분류하여 이에 대한 적절한 허용기준을 설정하여야 할 것이다.

3) 납(Pb)

납에 대한 수산물 내 허용기준은 국내가 2.0 ppm이하로 가장 높은 허용기준을 보이고 있으며, CODEX에서는 0.2 ppm의 가장 낮은 허용기준을 제시하고 있다. 본 연구에서 조사된 넙치, 조피볼락의 4개 해역에 대한 평균 납의 함유량은 모두 0.1 ppm 이하를 나타내고 있어 국내·외 허용기준을 초과하지 않고 있으며, PTWI에서도 CODEX의 권장기준과 비교해 넙치와 납이 각각 0.04, 0.004%에 불과해 식품으로서의 안전성에 전혀 문제가 없는 것을 확인하였다. 양식장의 대부분의 배출수에서 납은 검출되지 않았으며, 일부 뱀장어 양식장에서의 납 검출은 주위 환경적인 영향에 기인한 것으로 보이며, 검출된 납의 함유량 또한 국내 수질 기준을 초과하지 않고 있어 사료 내 납에 의한 수질영향은 없는 것으로 판단된다.

국내 4개 회사에의 넙치, 조피볼락의 배합사료의 평균 납의 함유량이 각각 0.08, 0.15 ppm으로 국내는 물론 EU와 일본의 허용기준치보다도 크게 낮은 값을 나타내었고, 어분 및 사료원에서의 납의 검출량도 국내어분이 0.75 ppm으로 가장 높은 함유량을 나타내 국내·외 허용기준치보다 크게 낮은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 현행 어류용 배합사료 내 납의 허용기준을 10 ppm에서 일본의 허용

기준인 3 ppm 수준까지 설정하여도 큰 문제는 없는 것으로 보인다. 그러나 국내 사료관련 연구기관에서는 수입되는 6곳의 어분 내 납의 함유량을 분석한 결과 최소 2.13 ppm에서 최대 5.45 ppm까지 검출된 것으로 보고되어 본 연구에서 조사한 어분에 따라 납 함유량이 크게 다를 수 있는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 종합적으로 검토한다면 어류용 배합사료 내 납의 적정 허용기준은 국내의 다양한 어분 사용량을 감안하여 국내 허용기준의 1/2 수준이며, EU와 같은 수준인 5 ppm이 현 기준으로는 가장 적정한 것으로 판단되며, 향후 납이 어류에게 미치는 독성 및 각 부위에 축적되는 축적량에 대한 과학적인 분석과 조사를 통해 적절한 허용기준을 설정하는 것이 필요하다.

4) 카드뮴(Cd)

카드뮴의 국내·외 수산물 내 허용기준은 주로 패류나 갑각류, 연체동물, 그리고 어류의 가식부위를 기준으로 설정되어 있는 것을 확인 할 수 있으며, 본 연구에서의 넙치와 조피볼락의 어체 내 평균 카드뮴의 검출량은 가장 허용기준치가 낮은 CODEX에의 기준치를 초과하지 않고 있으며 특히, 가식부위가 아닌 전어체를 기준으로 한 검출량인 가식부위를 분석할 경우 더 낮은 검출량을 나타낼 것으로 보인다. 또한 PTWI에서도 CODEX의 PTWI와 비교해 넙치와 조피볼락은 각각 0.11, 0.03 %에 불과한 것으로 나타나 식품으로서의 안전성에 전혀 문제가 없는 것으로 확인되었다. 또한 넙치와 뱀장어 양식장에서의 배출수에서도 카드뮴은 전혀 검출되지 않아 배합사료의 카드뮴이 수질에 전혀 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

본 연구에서 국내 4개회사내 넙치, 조피볼락 배합사료 내 카드뮴 함유량은 평균 0.55, 0.69 ppm으로 모든 사료에서 1 ppm 이하를 나타내고 있어 국내와 일본의 기타 배합사료 허용기준치인 1 ppm을 초과하지 않았으며, 미국과 EU의 허용기준치인 0.5 ppm은 초과 되었다. 그러나 국내와 일본은 어류용 수산 양식용 사료는 제외하고 있으며, EU와 미국에서도 어류용이 아닌 육상 가축용 사료를 기준으로 설정되어 있는 만큼 객관적인 비교는 어렵다. 국내와 일본의 경우 배합사료 내 카드뮴 허용기준에서 어류 또는 수산양식용 배합사료를 제외하고 있는 것은 카드뮴의 함유량이 높은 것으로 알려져 있는 어분의 사용량이 높아 그 특수성을 인정하여 어류에서의 적정 허용량이 검토될 때까지 잠정적으로 보류되어 있는 실정이다. 이러한 어

분의 카드뮴은 국내어분의 높은 검출량에서도 나타나는데 그 이유로는 어분 중에는 가식부위가 아닌 대형어류의 내장 등의 부산물을 이용해 제조되는 경우가 많기 때문이다. 국내산 어분처럼 부산물을 이용한 어분의 제조는 주로 아시아 계열에서 제조되고 있는데, 이는 저렴한 가격에 비해 영양소 함량이 높기 때문이다. 국내에서는 어분의 카드뮴 허용기준은 2.5 ppm으로 설정되어 있어 배합사료에 비해 높은 기준치를 나타내지만, 어류용 배합사료에 사용되는 어분을 제외하고 있으며, 일본에서도 어분의 경우에는 2.5 ppm으로 규정하고 있어 어분에서의 카드뮴 함유량에 대한 특수성이 인정되고 있는 것으로 판단된다. 또한 국내 사료 연구기관에서 조사한 수입 어분 6개의 카드뮴 함유량에서도 0.55~6.73 ppm인 것으로 보고되고 있어 어분 내 카드뮴 함유량이 본 연구에서 조사된 어분보다도 높게 나타날 수 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 어류용 배합사료를 공급한 양식어류의 체내 카드뮴 검출량은 안전성에 문제가 되지 않으며, 사료 내 카드뮴 함유량 역시 현행 국내 허용기준치를 초과하지 않고 있어 어류용 배합사료의 카드뮴에 대한 안전성에는 문제가 없는 것으로 생각된다. 그러나 국내산 어분과 같은 부산물 어분들의 사용 필요한 만큼 어류용 배합사료 내 카드뮴 함량에 영향을 줄 수 있어 현행 가축 배합사료의 기준인 1 ppm이나, 어분 내의 2.5 ppm은 그대로 적용하기는 무리가 있을 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 어류용 배합사료 내 카드뮴의 적정 허용기준으로는 최소 3 ppm, 어분은 최소 5 ppm 이하로 제시하고 자 한다. 그러나 양어용 사료에는 어류 외에 새우나 기타 양식생물에 대한 사료의 기준도 고려해야 하며, 특히 새우사료에 주로 사용되고 있는 오징어간분이나 새우분, 크릴밀의 경우 카드뮴의 함유량이 높은 것으로 알려져 있어 카드뮴에 대한 양어용 배합사료의 대한 기준 설정을 위해서는 다양한 어종에 대해 과학적인 검증방법을 통해 적절한 허용기준에 접근 하여야 할 것이다.

5) 어류용 배합사료 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 허용기준 제시

국내의 배합사료 내 셀레늄, 납, 비소, 카드뮴의 허용기준은 축산이나 애완용 동물사료에 대해 그 기준을 맞추어 적용하고 있으며 수중생물의 특성을 고려한 양어용 배합사료의 허용기준은 카드뮴에서 제외되어있을 뿐 적절한 기준이 설정되어

있지 않다. 본 연구에서 어류용 배합사료를 공급한 넙치와 조피볼락의 어체 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 함유량은 국내는 물론 국외의 수산물 내 허용기준을 초과하지 않았으며, 특히 잠정주간섭취 허용량(PTWI)을 통해 WHO/FAO에서 제시한 수준과 비교해 안정성을 확인할 수 있었다. 또한 어류용 배합사료를 공급한 양식장의 배출수에는 일부 지역에서 비소 등이 검출되기는 하였으나, 이는 배합사료가 아닌 주변환경에서 유입된 것으로 판단되며 검출된 수치도 국내 수질기준과 비교해 문제가 없는 것으로 나타나 현재 시판되는 4개회사의 어류용 배합사료는 4가지 중금속에 대한 안전성에 문제가 없는 것으로 판단된다.

국내 4개 사료회사의 넙치, 조피볼락 배합사료 내 중금속 허용기준도 셀레늄을 제외하고 모두 국내와 일본의 허용기준치를 초과하지 않았으나, 미국과 EU기준에서는 카드뮴에서 일부 초과되었다. 그러나 미국과 EU의 카드뮴 기준 역시 가축사료를 중심으로 설정된 만큼 어류용 배합사료를 적용하기에는 무리가 있는 것으로 판단된다. 어분에서는 국내산 어분에서는 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴 검출량이 수입산 4개 어분과 5가지 식물성 원료에 비해 월등히 높게 나타났는데, 이것은 국내산 어분의 주요원료가 대형어류의 내장과 같은 부산물로 제조된 것이 원인으로 보이며, 특히 카드뮴은 다른 원료에 비해 약 40배 이상의 가까운 함유량을 보이고 있는데, 이는 국내와 일본의 어분 허용기준치인 2.5 ppm과 EU의 동물성 사료원 기준인 2 ppm를 초과하고 있어 국내 어분이 다량 첨가될 경우 배합사료 내 카드뮴 함유량에 영향을 미칠 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 표-와 같이 어류용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 허용기준에 대해 어류의 특수성과 함께 국내에서 사용되는 다양한 어분의 을 감안하여, 셀레늄은 독성이 아닌 어류의 필요 요구량도 고려해 오히려 현행보다 높은 3 ppm을, 비소에서는 현행 수준의 1/2 수준인 5 ppm으로 설정하고, 유기와 무기비소를 구분할 필요가 있으며, 납은 EU와 같은 수준인 5 ppm으로 카드뮴은 어류용 배합사료를 기준으로 한다면 최소 3 ppm, 어분은 최소 5 ppm이 조정 기준으로 판단되나 카드뮴에 대해서는 축적량이 생물학적 반감기보다 높은 것으로 알려져 있는 만큼 사육실험을 통한 어체 부위별 축적량을 조사하여 식품 기준으로의 위해 가능성을 평가 후 기준을 설정하는 것이 타당하다고 판단되며, 또한 어류가 아닌 기타 양식생물의 배합사료에 대한 별도의 기준 설치를 위한 연구도 요망된다.

본 연구과제에서 어류용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴에 대해 분석, 조

사된 자료는 제시된 배합사료의 유해물질에 대한 위해평가 모델을 적용시킬 때 독성평가와 노출 평가, 그리고 용량-반응 평가에 포함될 수 있으며, 노출 평가에서 필수적으로 요구되는 생물의 축적량에 대한 사육평가가 실시하여 최종적인 위해특성화단계로 최종 수집을 통해 과학적인 접근방법으로 구체적인 허용기준 기준이 제시되어야 할 것이다. 또한 본 연구는 셀레늄, 비소, 납 및 카드뮴에 국한되어 연구가 수행되었으나, 향후 이들 유해중금속 이외에도 다이옥신류, 잔류 농약 등의 위해물질에 대한 체계적이고 장기적인 계획을 통해 연구가 진행되어 수산양식물에 대한 식품으로서의 안전성 확보를 위한 지속적인 노력이 절실히 요구된다.

표-X. 어류용 배합사료 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 허용기준 제시안 (ppm)

중금속	사료종류	허용기준 (현행)	**허용기준 (안)**	비고
셀레늄(Se)	돼지,닭 배합사료	2	**3**	
비소(As)	어류용 배합사료	10	**5**	어류용 배합사료 기준설정
납(Pb)	기타배합사료	10	**5**	
카드뮴(Cd)	기타배합사료	1 (어류용 제외)	**2 (어분 5)**	

<목 차>

요 약 문

제 1 장 연구개발 과제의 개요 ····· 1

1. 연구개발의 필요성 ····· 1

가. 기술적 측면 ····· 3

나. 경제·산업적 측면 ····· 3

다. 사회·문화적 측면 ····· 4

2. 연구개발의 목적 ····· 4

가. 연구개발의 목표 및 내용 ····· 4

나. 연구개발 추진체계 ····· 5

제 2 장 연구개발수행내용 ····· 9

1. 국내 양식장에서 사용하는 어류용 배합사료 실태 조사 ····· 9

2. 어류용 배합사료를 공급하는 어류체내에 축적된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 파악조사 ····· 9

가. 조사대상 ····· 9

나. 샘플채집 ····· 10

다. 중금속 분석 ····· 10

1) 셀레늄(Se) ····· 10

2) 비소(As) ····· 11

3) 납(Pb), 카드뮴(Cd) ····· 11

3. 어류용 배합사료를 공급하는 양식장의 배출수에 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 자연환경에 미치는 영향 분석 ····· 12
가. 조사대상 ····· 12
나. 유입수, 배출수 채수 ····· 12
다. 중금속 분석 ····· 13

4. 어류용 배합사료 및 사료원내 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 함유량과 배합사료 주요성분 함유량 분석 ····· 13
가. 조사대상 ····· 13
나. 중금속 분석 ····· 14
다. 성분분석 ····· 14

5. 어류용 배합사료 내 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 적정 허용기준을 제시할 모델개발 연구 ····· 16

제 3 장 결 과 ····· 17

1. 국내 양식장에서 사용하는 어류용 배합사료 실태 조사 ····· 17
가. 국내 양식장에서 사용하는 배합사료 종류 및 연간 사용량 ····· 17
나. 어류용 배합사료 직불제 ····· 20

2. 어류용 배합사료를 공급하는 어류체내에 축적된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 파악조사 ····· 21
가. 남해지역 ····· 21
나. 서해지역 ····· 21

다. 동해지역 ····· 23
라. 제주도 ····· 23
마. 4개 지역의 넙치, 조피볼락의 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 평균 함유량 ····· 25

3. 어류용 배합사료를 공급하는 양식장의 배출수에 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 자연환경에 미치는 영향 분석 ····· 26
가. 남해지역 ····· 26
나. 서해지역 ····· 26
다. 동해지역 ····· 29
라. 제주지역 ····· 29
마. 4개 지역 넙치, 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 평균 함유량 ····· 29

4. 어류용 배합사료 및 사료원내 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 함유량과 배합사료 주요성분 함유량 분석 ····· 34
가. 배합사료 및 사료원의 성분분석 ····· 34
1) 일반성분 ····· 34
가) 배합사료 ····· 34
나) 어분 ····· 34
다) 기타 사료원 ····· 35
2) 아미노산 ····· 37
가) 배합사료 ····· 37
나) 어분 ····· 37
라) 기타 사료원 ····· 37
3) 지방산 ····· 42

가) 배합사료 ····· 42
나) 어분 ····· 42
다) 기타사료원 ····· 43
4) 비타민 ····· 48
가) 배합사료 ····· 48
나) 어분 및 기타 사료원 ····· 48
5) 미네랄 ····· 50
가) 배합사료 ····· 50
나) 어분 ····· 53
다) 기타사료원 ····· 53
6) 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) ····· 56
가) 배합사료 ····· 56
나) 어분 및 기타 사료원 ····· 56

5. 국내·외 배합사료 및 수산물 내 유해 중금속 허용 기준 조사 ··
····· 59

가. 국내·외 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준 조사 ····· 59
1) 국내 배합사료 내 유해중금속 허용 기준 현황 ····· 59
2) 미국의 배합사료 내 유해중금속 허용 기준 현황 ····· 61
3) EU(유럽연합)의 배합사료 내 유해중금속 허용 기준 현황 ····· 62
4) 일본의 배합사료 내 유해중금속 허용 기준 현황 ····· 66
나. 국내·외 수산물내 유해 중금속 허용 기준 조사 ····· 68
1) 국내 ····· 68
2) 국제식품규격(CODEX) ····· 70
3) 미국 ····· 71
4) EU(유럽공동체) ····· 72
5) 일본 ····· 72
6) 캐나다 ····· 72
7) 호주 및 뉴질랜드 ····· 74

제 4 장 결 론 ····· 77

1. 어류용 배합사료 내 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 적정허용기준 모델 ····· 77

2. 어류용 배합사료 내 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 적정허용기준 제시 ····· 82

가. 배합사료를 섭취한 어류의 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)에 대한 식품안전성 ····· 82

나. 배합사료를 공급한 양식장의 배출수가 환경에 미치는 영향 ····· 84

다. 배합사료 공급을 통한 넙치 및 조피볼락의 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 생물농축 ····· 85

라. 어류용 배합사료 내 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 적정허용기준 제시 ····· 87

1) 셀레늄(Se) ····· 88

2) 비소(As) ····· 90

3) 납(Pb) ····· 91

4) 카드뮴(Cd) ····· 92

5) 어류용 배합사료 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 허용기준 제시 ····· 96

참고문헌 ····· 100

<표 차례>

표-1. 세부별 연구개발 목표 및 내용 ····· 6
표-2. 2004~2006년도 국내 양식어가 현황 ····· 8
표-3. 국내 9개사 시판 양어용 배합사료 판매실적(2005~2007년) ····· 9
표-4. 환경친화형 배합사료 직불제사업 지원계획 ····· 20
표-5. 남해지역 넙치, 조피볼락 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 ····· 22
표 6. 서해지역 넙치, 조피볼락 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 ····· 22
표-7. 동해지역 넙치, 조피볼락 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 ····· 24
표-8. 제주도지역 넙치 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량. ····· 24
표-9. 4개 지역 넙치, 조피볼락의 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 평균 함유량 ····· 25
표-10. 남해지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 함유량 ····· 27
표-11. 서해지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 함유량 ····· 28
표-12. 동해지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 함유량 ····· 31
표-13. 제주지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 함유량 ····· 32
표-14. 4개 지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 함유량 ····· 33
표-15. 국내 4개 사료회사의 넙치, 조피볼락 배합사료 일반성분 조성 ····· 35
표-16. 배합사료에 사용되는 주요 5가지 어분 및 사료원의 일반성분 조성 ····· 36

표-17 국내 4개 사료회사의 넙치 배합사료 내 아미노산 조성 ····· 38
표-18. 조피볼락 배합사료 내 아미노산 조성 ····· 39
표-19. 배합사료에 사용되는 주요 어분 5가지의 아미노산 조성 ····· 40
표-20. 배합사료에 사용되는 주요 5가지 사료원의 아미노산 조성 ····· 41
표-21. 국내 4개 사료회시의 넙치 배합사료 내 지방산 조성 ····· 44
표-22. 국내 4개 사료회사의 조피볼락 배합사료 내 지방산 조성 ····· 45
표-23. 배합사료에 사용되는 주요 어분 5가지의 지방산 조성 ····· 46
표-24. 배합사료에 사용되는 주요 사료원 5가지의 지방산 조성 ····· 47
표-25. 국내 4개 사료회사의 넙치, 조피볼락 배합사료 내 비타민 C, B2, E 함량 ····· 49
표-26. 배합사료에 사용되는 5가지 주요 어분 및 사료원의 Vitamin C, B2, E 함량 ····· 49
표-27. 국내 4개 사료회사의 넙치 배합사료 내 8가지 미네랄 함유량 ····· 51
표-28. 국내 4개회사의 넙치 배합사료 내 크롬(Cr), 수은(Hg), 구리(Cu), 망간 (Mn) 함유량 ····· 51
표-29. 국내 4개 사료회사의 조피볼락 배합사료 내 8가지 미네랄 함유량. ····· 52
표-30. 국내 4개회사의 조피볼락 배합사료 내 크롬(Cr), 수은(Hg), 구리(Cu), 망간 (Mn) 함유량 ····· 52
표-31. 배합사료에 사용되는 주요 어분 5가지의 8가지 미네랄 함유량 ····· 54
표-32. 배합사료에 사용되는 주요 어분 5가지의 크롬(Cr), 수은(Hg), 구리(Cu), 망간 (Mn)의 함유량 ····· 54
표-33. 배합사료에 사용되는 주요 사료원 5가지의 8가지 미네랄 함유량 ····· 55
표-34. 배합사료에 사용되는 주요 사료원의 5가지의 크롬(Cr), 수은(Hg), 구리(Cu), 망간(Mn)의 함유량 ····· 55
표-35. 국내 4개회사의 넙치, 조피볼락 배합사료 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량. ····· 57
표-36. 배합사료에 사용되는 주요 5가지 어분 및 사료원의 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 ····· 58
표-37. 유해물질(유해중금속)의 범위와 허용기준(국내 사료관리법 제 13조; 2005년 개정안 포함) ····· 60

표-38. 미국의 배합사료내 유해 중금속 허용 기준 ····· 63
표-39. EU의 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준 ····· 65
표-40. 일본의 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준 ····· 67
표-41. 현행 식품공전상의 수산물 내 유해중금속 허용 기준 현황(2006년 12월) ···96
표-42. 수산물 및 수산가공품 검사기준 및 이식용 수산물 검역기준(국립수산물품질검사원고시 제 2007-3호; 중금속관련 개정) ····· 69
표-43. 국제식품규격의 수산물 내 유해 중금속 허용기준 ····· 70
표-44. 미국의 수산물 내 유해중금속 허용기준 ····· 71
표-45. EU의 수산물 내 유해 중금속 허용 기준 ····· 73
표-46. 일본의 수산물 내 유해 중금속 허용 기준 ····· 74
표-47. 캐나다의 수산물 내 유해 중금속 허용 기준 ····· 74
표-48. 호주・뉴질랜드의 수산물 내 유해 중금속 허용 기준 ····· 75
표-49. 넙치, 조피볼락 어체 내 산출된 중금속의 PTWI와 FAO/WHO에 권장한 PTWI과의 비교 ····· 83
표-50. 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어 양식장의 유입수, 배출수에 대한 평균과 국내 수질의 중금속 검출기준과의 비교. ····· 84
표-51. 배합사료를 공급한 넙치 및 조피볼락의 전어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 농축계수 ····· 86
표-52. 광양만 해수 및 어류의 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb) 함유량과 농축계수 ··· ····· 86
표-53. 국내·외 수산물 내 셀레늄, 납, 카드뮴, 비소 허용기준과 배합사료를 공급한 넙치, 조피볼락의 어체 내 셀레늄(Se),비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd), 평균 함유량 ····· 95
표-54. 국내 4개 회사의 넙치, 조피볼락 배합사료 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 평균 함유량과 국내·외 배합사료 내 허용기준 ····· 96
표-55. 어류용 배합사료 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 허용기준 제시안 ····· 98

<그림 차례>

그림-1. 연구개발 추진체계도 ····· 7
그림-2. 과업수행 연구원의 구성 체계도 ····· 8
그림-3. 유해물질에 대한 사료내 허용기준을 설정할 제시 모델(안) ····· 79

제 1 장 연구개발 과제의 개요

1. 연구개발의 필요성

셀레늄(Selenium, Se)은 항산화효소 중 하나인 Glutathine peroxidase의 구성 성분 중 하나로써 항산화 효소의 기능을 수행하는데 중요한 역할을 하지만, 반면 셀레늄(Se)은 황(sulfur, S)과 매우 유사한 화학·물리학적 특성을 지니고 있어 체내 셀레늄이 높은 농도로 축적이 되면 황을 가지고 있는 황아미노산은 황 대신 셀레늄과 결합하여 체내 단백질이 제 기능을 발휘하지 못함으로써 여러 가지(조직파괴, 기형 등) 독성을 나타내게 된다. 현재까지 연구된 어류의 사료 내 셀레늄의 요구량은 무지개 송어에 있어서 0.38 mg/kg, 챠넬메기 0.25 mg/kg 및 그루퍼 0.7 mg/kg 으로 보고되어졌으며, 반면 무지개송어의 사료 내 셀레늄의 함유량이 3 mg/kg 을 초과할 경우 어류에 독성을 나타낼 수 있다고 보고되었다. 비소(Arsenic, As)의 동물체내 요구량은 극소량인 것으로 알려져 있으며, 극소량이지만 공급되지 않을 시에 결핍증상이 나타난다고 보고되어져 있다. 과거에는 비소 화합물을 양돈과 가금류의 성장 촉진제로 활용되어졌으며, 지금은 영계 가금류의 사료 내 첨가되어 내장 기생충 제거에 활용된다는 보고가 있다. 한편, 어류에 있어서는 비소의 요구량에 관한 연구보다는 독성에 관한 연구가 이루어졌으며, 치어기 무지개 송어에 있어 사료 내 비소의 함유량이 8 mg/kg 일 때는 독성이 나타나지 않으나, 44 mg/kg 첨가되었을 때는 성장과 사료효율이 감소한다고 보고되었다. 카드뮴(Cadmium, Cd)은 설치류, 가금류 및 일반 가축에 있어 사료 내 극소량이 첨가될 때 성장 촉진 효과가 알려져 있으나, 일반적으로 요구량에 관한 연구는 미비한 실정이며, 이 외에 인체와 동물실험을 통해 독성에 관한 연구는 많이 진행되어 왔다. 송어류에 있어 사료 내 카드뮴이 0.789 ppm이 첨가되었을 때 성장 저하와 폐사율이 증가한다는 보고가 되어져 있다. 납(Lead, Pb)은 카드뮴과 마찬가지로 설치류 및 닭에 있어서 미량이 첨가되었을 때 성장 촉진 효과가 있음이 연구되어졌으나, 일반적으로 요구량에 관한 연구는 미비한 실정이며, 생리적으로는 동물체내 납(Pb)의 농도가 증가할 경우 단백질 합성에 방해를 일으켜 특정 단백질이 제 역할을 수행할 수 없도록 하며, 인체에서는 급성중독 시 식욕부진, 소화불량, 복통의 증상이 나타나는 것으로 알려져 있다(WHO, 1997).

어류에서는 무지개 송어에 있어 사료 내 0.201 ppm 이상이 첨가될 때 성장이 저하된다고 알려져 있다. 이와 같이 어류의 사료 내 셀레늄, 비소, 카드뮴 및 납의 함유량에 따라 결핍 또는 독성 증상이 나타나게 되므로, 이와 관련한 많은 연구가 진행되어 올바른 허용 기준을 설정할 필요성이 있음을 확인할 수 있으며, 앞으로의 연구결과를 통하여 양식용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 안전성 허용 기준 설정이 절실히 요구되어진다.

양식용 배합사료의 안전성을 확보하기 위한 방안으로 해양수산부(현 농림수산식품부)의 2006년 용역연구과제 “양식용 배합사료의 안전성 허용기준에 대한 가이드라인제시를 위한 연구용역”을 통하여 양식용 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준에 대한 가이드라인을 제시하였다. 양식용 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준 가이드라인은 현행 농림수산식품부 사료관리법의 허용 기준과 동일하게 수은 (0.4 ppm), 납(10 ppm), 셀레늄(2 ppm), 크롬 (100 ppm) 및 비소(10 ppm)으로 제시하였으며(카드뮴의 허용 기준은 별도로 제시하지 않았음), 이러한 허용 기준은 국내 3사 및 국외 수입 2사 주요 4개 양식어종(넙치, 조피볼락, 돔류, 새우류)의 성장 단계별(치어기, 성장기) 배합사료 내 유해 중금속 함유량 조사, 국내 3개 해역(동해, 남해, 서해) 자연 및 양식산의 주요 4개 어종 전어체내 유해 중금속 함유량 조사, 국내 3 개 해역 넙치 양식장의 유입 및 배출수내 유해 중금속 함유량 조사 및 국내·외 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준 비교·분석을 통하여 이루어진 것이다. 한편, 현재 농림수산식품부에서 추진하는 배합사료 내 셀레늄(Se) 및 비소(As)의 허용 기준 강화(셀레늄 2 ppm에서 1 ppm; 비소 10 ppm에서 2 ppm)를 놓고 양식용 배합사료에 동일하게 강화될 허용 기준을 적용할 수 있을지에 대한 논의가 진행 중에 있다. 양식용 배합사료는 축산용 배합사료와 달리 어분의 사용량(전체 사료원 중 어분의 사용량 30~50%)이 높은 것을 감안할 때, 현재 사용되는 어분 등 주요 양식사료원들, 실제 사용되는 국내 배합사료 및 양식어류의 부위별 유해 중금속의 함유량 검토를 통하여 최종적으로 외국의 사례를 참고한 후 구체적인 셀레늄 및 비소의 안전성 허용 기준이 설정되어야 농림수산식품부의 배합사료 내의 허용 기준 강화에 따른 양식용 배합사료에 동일 적용가능 유무에 대한 신중한 판단을 내릴 수 있을 것이다.

따라서, 전남대학교 어류양식 연구실과 부경대학교 사료영양연구소가 주관하고 이와 관련한 여러 전문가들이 공동으로 참여하여 수행하게 될 농림수산식품부 연구용역과제(어류용 배합사료의 중금속 체내축적 및 환경에 미치는 영향에 관한 연구용역)를 통하여

양식용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납 및 카드뮴의 안전성 허용 기준을 설정하여, 농림수산식품부에서 추진 중인 배합사료 내 셀레늄 및 비소의 허용 기준 강화를 동일하게 양식용 배합사료에 적용할 수 있는지에 대하여 올바른 판단 자료를 제공하고자 한다.

가. 기술적 측면

기존 “양식용 배합사료의 안전성 허용 기준에 대한 가이드라인 제시를 위한 연구용역”을 통하여 제안된 양식용 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준 중 셀레늄(2 ppm) 및 비소(10 ppm)에 있어 농림수산식품부의 새롭게 강화될 허용 기준(셀레늄 2 ppm에서 1 ppm; 비소 10 ppm에서 2 ppm)을 동일하게 따르기에는 양식용 배합사료의 특성인 어분의 사용량이 높아 다른 배합사료에 비해 중금속의 함유량이 높게 나타날 수 있으므로, 셀레늄 및 비소에 있어 농림수산식품부의 새롭게 강화될 허용 기준을 동일하게 양식용 배합사료에 적용하기에는 문제가 될 수 있다. 그리고 현행 사료관리법 내 유해 중금속 허용 기준 중 카드뮴의 허용 기준은 설정되어 있지 않아 배합사료 내 카드뮴의 함유량에 따른 어체에 미치는 영향에 대한 연구가 부족한 상태이다. 새롭게 강화될 배합사료 내 셀레늄 및 비소의 허용 기준을 양식용 배합사료에 동일하게 적용 가능한지에 대한 국내외 연구 자료와 국내에서 시판중인 어분 및 주요 사료원 그리고 국내 주요 양식용 배합사료 및 양식어체내 함유량 조사 결과가 미흡한 상황이다. 또한, 새롭게 강화될 셀레늄 및 비소의 허용 기준이 양식용 배합사료에 동일하게 적용하였을 시에 양식산업과 양식용 배합사료 생산업계에 발생할 수 있는 여러 가지 문제점에 대한 분석 자료도 없는 실정이다. 따라서, 농림수산식품부에서 새롭게 강화할 배합사료 내 셀레늄 및 비소의 허용 기준을 양식용 배합사료에 동일하게 적용 가능 유무에 대한 올바른 판단을 위하여 앞서 언급한 연구를 통하여 양식용 배합사료 내 셀레늄 및 비소의 안전성 허용 기준 설정이 필요하며, 카드뮴 및 납의 허용 기준에 관한 구체적인 연구가 요구된다.

나. 경제·산업적 측면

양식용 배합사료 내 셀레늄 및 비소의 허용 기준 설정을 위한 연구용역을 통

하여 농림수산식품부에서 새롭게 강화할 배합사료 내 셀레늄 및 비소의 허용 기준을 양식용 배합사료에 동일하게 적용 가능 유무에 대한 올바른 판단자료를 제공할 수 있다. 이는 곧, 적용 가능 유무에 대한 올바른 판단자료 없이 농림수산식품부에서 새롭게 강화할 허용 기준을 동일하게 양식용 배합사료에 적용하였을 시에 양식용 배합사료 생산업계에 발생할 수 있는 큰 혼란을 방지할 수 있으며, 양식용 배합사료와 양식생산물의 안전성과 대외 경쟁력을 확보하여 국내 양식산업 발전에 기여할 수 있을 것이라 사료된다.

다. 사회·문화적 측면

최근 우리나라는 국민의 소득 수준의 증가와 well-being에 대한 관심이 높아짐으로 인하여 국내 수산식품의 소비는 계속 증가 추세이며, 더불어 많은 국민들이 인체에 대한 수산식품의 안전성에 대한 관심도 커져 가고 있다. 이러한 상황에서 수산식품 내 유해중금속, 잔류 농약 및 항생물질 등으로 인하여 수산식품안전성 및 국민건강보건에 대한 문제가 야기 되고 있어 양식용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납 및 카드뮴의 허용 기준 설정은 사회적으로 매우 중요한 문제이다. 또한 국가 간 수산물의 교역도 활발해짐에 따라 각국에서는 자국의 수산물 보호와 국민건강 보호 차원에서 수산물의 안전성 문제를 매우 중요하게 다룰 것으로 예상되며, 특히 어체 내 유해중금속 잔류문제 및 인체 위해성 의약품의 사용이 큰 문제로 대두될 수 있다. 따라서, 양식용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납 및 카드뮴의 안전성 허용 기준을 확립함으로서, 양식산업 발전을 이루고 수산식품의 안전을 강화함으로써 양식산업과 양식수산식품에 대한 사회적 문화적 인식을 소비자인 국민과 양식어업인을 함께 지켜주는 계기가 될 수 있다.

2. 연구개발의 목적

가. 연구개발의 목표 및 내용

본 연구는 양식용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납 및 카드뮴의 안전성 허용 기준을 설정하여 양식용 배합사료의 안전성을 확보하고, 농림수산식품부가 추진 중인 배합사

료 내 셀레늄 및 비소 허용 기준 강화에 따른 양식용 배합사료에 동일하게 적용 가능 유무에 대한 올바른 판단 자료를 제공하고자 한다. 본 연구 용역에 세부별 연구개발 목표 및 내용은 표-1에 나타내었다.

나. 연구개발 추진체계

본 연구의 목표 접근을 보다 효과적으로 추진하기 위하여 그림-1과 같은 연구개발 추진계도에 따라 전체 연구원을 그림-2와 같이 구성하여 수요자 중시의 연구결과에 중점을 두었으며, 연구원의 구성은 그림-2와 같이 세부과제별 연구원의 구성을 팀제로 전개하여 정보접근의 독립성을 유기성을 통한 통합된 전체론적 접근이 가능토록 하였으며, 팀별 연구가 효율적으로 연구목표에 접근할 수 있도록 각 팀별 연구내용을 하나의 체계로 묶어 전체 연구의 흐름을 통한 상호 의존적인 상방 연구정보 교환과 팀별 신속 정확하게 상호 연구의 이해도를 높이도록 하였다.

표-1. 세부별 연구개발 목표 및 내용

연구개발목표	연구개발내용 및 범위
1. 국내 양식장에서 사용하는 어류용 배합사료 실태 조사	국내 양식장에서 사용하는 배합사료 종류 및 연간 사용량 조사
	양식현장의 배합사료 사용방법 및 그에 따른 문제점 파악
2. 어류용 배합사료를 공급하는 어류체내에 축적된 중금속(셀레늄, 비소, 납, 카드뮴) 함유량 조사	어류용 배합사료를 공급한 어체내 중금속 함유량을 파악
3. 어류용 배합사료를 공급하는 양식장의 배출수에 포함된 중금속(셀레늄, 비소, 납, 카드뮴)의 자연환경에 미치는 영향 분석	어류용 배합사료내 함유량 중금속 함유량에 따라 양식장 주변 자연화경에 어떠한 영향을 미치는지 확인
4. 어류용 배합사료 및 사료원내 중금속(셀레늄, 비소, 납, 카드뮴)의 함유량과 배합사료 주요성분 함유량 분석	국내 양식장에서 사용되는 2품종·4회사의 제품과 배합사료 생산에 사용되는 어분(5 종류 와 다른수입시기등) 및 주요사료원(5종류)을 대상으로 연구
5. 어류용 배합사료내 적정한 중금속(셀레늄, 비소, 납, 카드뮴) 허용기준을 제시할 모델개발 연구	어류용 배합사료내 중금속의 적정 허용기준 제시
	어류용 배합사료의 안전성 및 대외 신뢰도를 확보하고 적정한배합사료 품질관리 규정마련을 위한 기초자료 연구

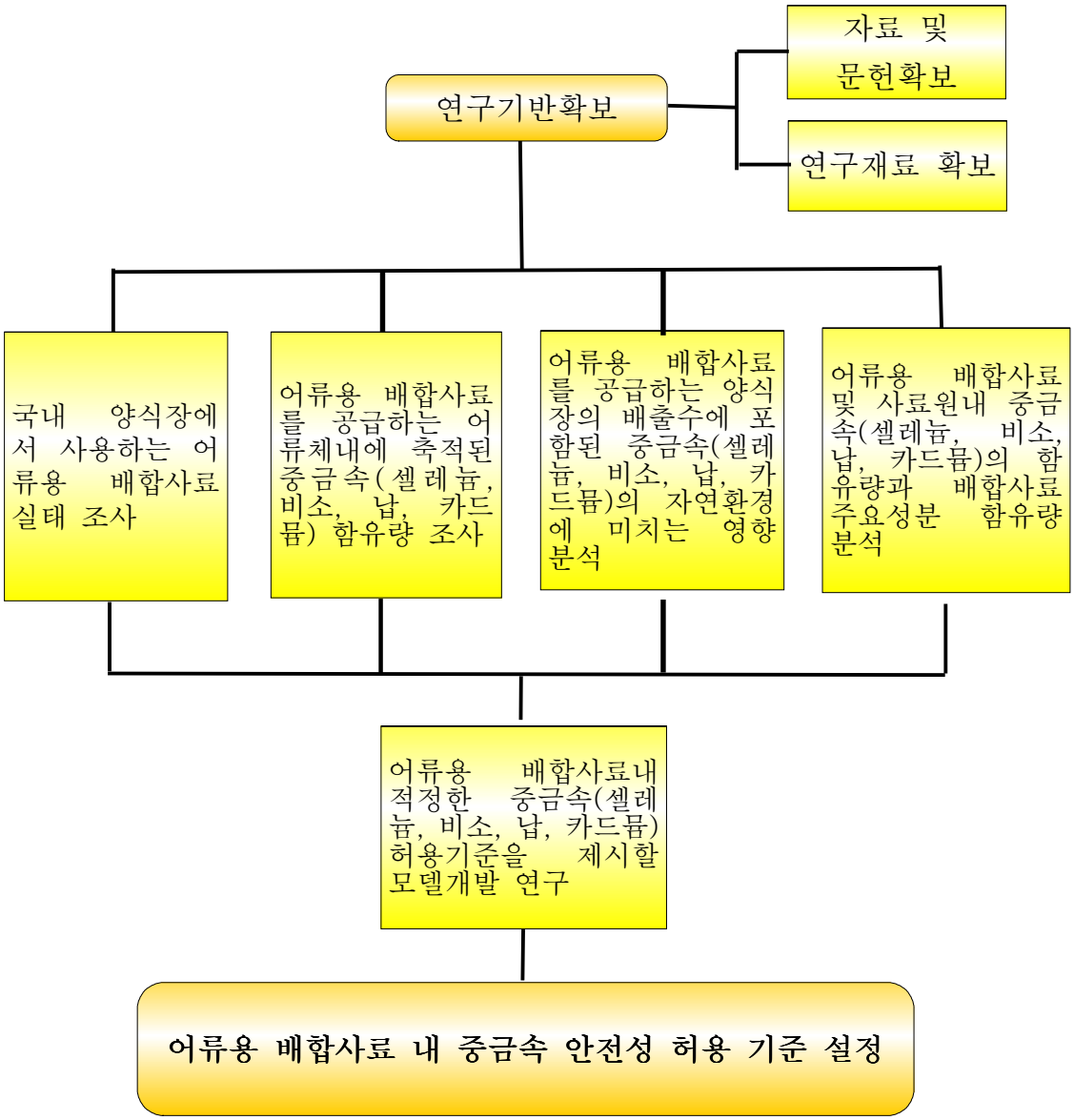

그림-1. 연구개발 추진체계도

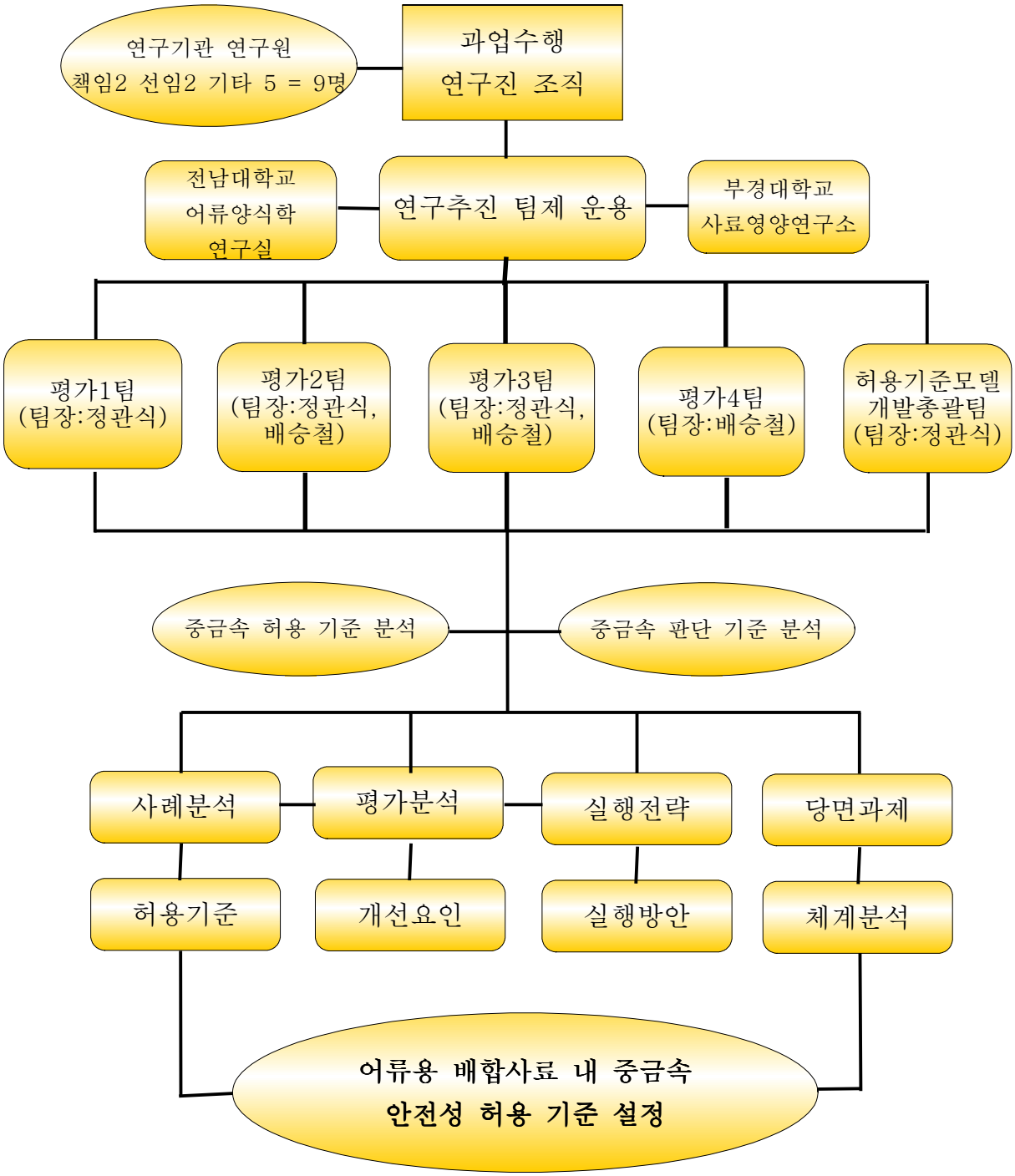

그림-2. 과업수행 연구원의 구성 체계도

제 2 장 연구개발수행내용

1. 국내 양식장에서 사용하는 어류용 배합사료 실태 조사

국내 어류용 배합사료의 중금속 체내 축적과 환경에 미치는 영향에 대해 조사와 그에 따른 모델과 허용기준을 제시하기 위해서는 우선적으로 국내 양식 양식장 수와 사용되는 배합사료, 그리고 사용량에 대한 기초적인 통계조사가 필수적으로 요구된다. 따라서 본 연구에서는 최근 국내 양식장에서 사용되는 배합사료 종류 및 연간 사용량과 위하여 각 수산 전문기관 및 문헌자료와 통계자료를 수집하고, 이를 분석하여 국내 어류양식 어가와 다년간 배합사료 판매실적을 조사하였다. 또한 2005년부터 실시중인 배합사료 직불제에 대하여 조사하였다.

2. 어류용 배합사료를 공급하는 어류체내에 축적된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 파악조사

국·내외적으로 으로서 유해성이 높은 중금속으로 알려져 있는 비소, 납, 카드뮴과 건강 기능 식품으로도 이용되는 셀레늄은 지속적으로 섭취할 경우 인체에 치명적인 독성을 나타낸다. 특히 이러한 중금속들은 체내에 들어가 쉽게 배출되지 않고, 생물체 내에 축척됨으로써, 이를 섭취한 포식생물에게도 중금속 축척이 이루어진다. 따라서 본 연구에서는 국내 주요 양식장에서 사용되어지고 있는 어류용 배합사료를 공급한 양식어류의 체내에 축적된 중금속인 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 함유량을 파악함으로써, 배합사료 공급이 어체 내에 중금속 축적에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

가. 조사대상

조사대상으로는 국내 주요 양식 대상어종인 차지하고 있는 조피볼락과 넙치로 선정하였으며, 지역별로 조사를 위해 동·서·남해 및 제주지역에서 배합사료를

공급 중인 4개의 양식장을 무작위로 설정하여 실시하였다.

나. 샘플채집

분석용 어체는 각 지역별 조사대상 양식장에서 사육되고 있는 조피볼락과 넙치를 무작위로 포획하여 채집하였으며, 제주도에서는 조피볼락이 양식되고 있지 않아 넙치만 실시하였다. 채집된 어체는 즉시 얼음에 넣어 연구실로 이동한 후 분석 전까지 -80℃에 냉동보관 하였으며, 분석 시에는 전어체를 분쇄기로 갈아 혼합한 후 사용하였다.

다. 중금속 분석

채집된 어체의 분석항목인 중금속 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴에 대한 분석은 사료표준 분석방법과 식품공전에 준한 성분분석으로 실시하였으며, 각각의 유해중금속 전처리와 기기분석 조건은 다음과 같은 방법으로 2반복으로 실시하였다.

1) 셀레늄(Se)

셀레늄 분석을 위한 시료 전처리는 시료 3 g을 정확히 분해 플라스크에 취한 후에 HNO_3 : H2O = 1:1 용액 10 ㎖를 첨가한 후 시료를 분해하기 위해 가열하였으며, 분해 완료 시까지 HNO_3용액을 일정량 추가하면서 가열분해하였다. 분해가 완료된 시료는 H_2O_2용매를 일정량 첨가하여 완전분해 시켰다. 얻어진 분해액을 5 ㎖정도 될 때까지 농축 시킨 후 일정량으로 정용하여 기기 분석을 실시하였다. 분석은 digestion tube에 sample 50 ㎖을 넣은 후 HNO_3(1+1) 1 ㎖, HCl(1+1) 0.5 ㎖을 혼합하여 넣고, digestion tube를 heating block에 넣어 95℃에서 25 ㎖까지 증발시켜 농축한 후 tube cap을 닫고 30분간 환류 시켰다. 환류된 시료는 식힌 후 일정량으로 정용하였고, 정용된 시료액을 PerkinElmer ICP/MS 6100(Made in U.S.A)기기를 이용하여 분석하였으며, RF power는 1500 watts로 하였다. 이때 Carrier gas는 아르곤(Ar)으로 하였으며, Sample Folw rate는 100 ㎕/min으로 하였다. 셀레늄분자량은 78.96이며, 분석한계치는 7 ppb 이다.

2) **비소(As)**

비소 분석을 위한 시료의 전처리는 분해 플라스크에 정확히 시료 5g을 취하고 수분함량을 80%정도 되도록 증류수를 넣은 다음 질산 20 ㎖을 넣어 혼합하여 실온에서 15분간 방치한 후 황산 10 ㎖을 넣어 서서히 약하게 가열하였다. 혼합물이 암색이 되기 시작하면 질산을 30 ㎖씩 넣어 가열을 계속하고, 혼합물이 미황색에서 무색으로 될 때 분해를 완료하고 냉각한 뒤, 증류수 40 ㎖을 가하여 아황산가스(SO_2)의 흰 연기가 발생 될 때까지 가열 한 후 냉각하고 증류수로 일정량을 제조한 시료액을 분석하였다. 분석은 digestion tube에 sample 50 ㎖을 넣은 후 HNO_3(1+1) 1 ㎖, HCl(1+1) 0.5 ㎖을 혼합하여 넣고, digestion tube를 heating block에 넣어 95℃에서 25 ㎖까지 증발시켜 농축한 후 tube cap을 닫고 30분간 환류 시켰다. 환류된 시료는 식힌 후 일정량으로 정용하였고, 정용된 시료액을 PerkinElmer ICP-OES 2000DV(Made in U.S.A)기기를 이용하여 분석하였으며, RF power는 1300 watts로 하였다. 이때 Plasma Flow는 15 ℓ/min으로 하였으며, Sample Flow rate는 1.5 ㎖/min으로 하였다. 비소의 측정 wavelength는 193.696(㎚)이며, 측정 한계치는 7 ppb이다.

3) **납(Pb), 카드뮴(Cd)**

납 및 카드뮴 분석을 위한 시료의 전처리는 자제도가니에 정확히 시료 5 g을 정확히 취하여, 500℃ 회화로에 48~72시간 동안 회화한 후 방냉하여 소량의 증류수로 회분을 씻어 톨비커에 넣고 염산용액(1:1) 30 ㎖로 도가니의 나머지 회분까지 씻어 넣은 다음, 그 분해액이 무색이 될 때까지 가열 분해한 후 얻어진 용액을 시료액으로 사용하였다. digestion tube에 sample 50 ㎖을 넣은 후 HNO_3(1+1) 1 ㎖, HCl(1+1) 0.5 ㎖을 혼합하여 넣고, digestion tube를 heating block에 넣어 95℃에서 25 ㎖까지 증발시켜 농축한 후 tube cap을 닫고 30분간 환류 시켰다. 환류된 시료는 식힌 후 일정량으로 정용하였고, 정용된 시료액을 PerkinElmer ICP-OES 2000DV(Made in U.S.A)기기를 이용하여 분석하였으며, RF power는 1300 watts로 하였다. 이때 Plasma Flow는 15 ℓ/min로 하였으며, Sample Flow rate는 1.5 ㎖/min으로 하였다. 또한 납의 측정 wavelength는 220.352(㎚)로 카드뮴의 wavelength는 228.802(㎚)이다. 납 및 카드뮴의 측정한계치는 각각 3 ppb이다.

3. 어류용 배합사료를 공급하는 양식장의 배출수에 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 자연환경에 미치는 영향 분석

양식장에서 배합사료 공급 시 어체가 배합사료를 섭취함과 동시에 수중에 배합사료의 성분이 일부 용출되어 나올 수 있으며, 특히 양식어류들의 체내에서 배출된 배설물과 함께 수질환경에 영향을 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 어류용 배합사료를 공급하는 양식장의 배출수에 포함된 중금속이 수질환경에 미치는 영향을 분석함으로써 배합사료 내 중금속이 자연환경에 미치는 영향에 대해 조사하고자 실시하였다.

가. 조사대상

조사대상으로는 국내 주요 양식 대상 종 중 사육수의 유입과 배출에 대한 인위적 관리가 가능한 육상 수조식 양식장을 기준으로 하였으며, 육상 수조식으로 양식되어지며, 해수어와 담수어의 대표적인 어종인 넙치와 뱀장어를 선정하여 조사하였다. 조사지역은 넙치 양식장은 동·서·남해 및 제주지역에서 무작위로 4곳씩 선정하여 실시하였으며, 뱀장어 양식장은 제주지역에 뱀장어 양식장이 없어, 동·서·남해에서만 4곳씩 선정하여 실시하였다.

나. 유입수, 배출수 채수

유입수는 각 양식장에서 사육수조로 직접 공급되고 있는 해수 및 담수를 2 ℓ 투명 샘플병에 2회 채수하였고, 배출수는 양식장에서 나오는 모든 사육수가 최종적으로 배출되는 배수구에서 유입수와 같은 방법으로 채수하였다. 채수한 유입수와 배출수는 중금속 분석 전까지 -80℃에서 냉동 보관하였다.

다. 중금속 분석

채수한 유입수, 배출수의 중금속 분석항목인 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 분석은 EPA(Environmental Protection Agency) method(2005)와 수질오염공정시험방법에 준하여 성분분석을 실시하였으며, 기기 분석방법은 위의 방법(2.의 다)과 같다.

4. 어류용 배합사료 및 사료원내 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 함유량과 배합사료 주요성분 함유량 분석

국내 시판되는 어류용 배합사료는 사용되는 어분과 사료원에 따라 그 질과 가격이 크게 달라진다. 특히 배합사료의 제조에 사용되는 사료원에 따라 배합사료의 성분에서 차이가 발생되는 만큼, 각 사료원의 중금속 함량은 배합사료의 중금속 함량을 결정하는 주요인이 된다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 시판되고 있는 어류용 배합사료 및 사료원내 포함된 중금속인 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 함유량과 성분분석을 실시하여 배합사료 및 사료원의 영양성분과 중금속의 함량을 조사하고자 실시한다.

가. 조사대상

시판용 배합사료는 국내 양식장에서 사용되고 있는 배합사료 중 중 주요 양식대상 종이며 판매량이 높은 넙치와 조피볼락의 성장기 육성사료로 선정하였으며, 사료회사는 2007년을 기준으로 판매량이 높았던 4개 회사로 선정하였다. 사료원에서는 동물성 사료원과 식물성 사료원으로 분류하였으며, 각 사료원은 사료회사에 문의를 통해 어류용 배합사료 생산에 주로 사용되는 동물성 사료원은 백색어분 2종(덴마크산, 알래스카산)과 갈색어분 2종(페루산, 칠레남부산), 국내산 어분 1종 등 총 5종을 선정하였으며, 기타 식물성 사료원은 채종박, 대두박, 타피오카분, 콘글루텐밀, 소맥분을 선정하여 분석하였다.

나. 중금속 분석

확보된 시판용 배합사료 및 사료원의 중금속 분석항목인 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 분석방법은 사료표준 분석방법과 식품공전에 준한 성분분석으로 실시하였으며, 분석방법은 위와 방법(2.의 다)와 같다.

다. 성분분석

1) 일반성분

확보된 시판용 배합사료 및 사료원의 일반성분분석은 AOAC(2000)에 따라 수분은 상압가열건조법, 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법(N×6.25)에 따라 Kjeltec Auto 1030 Analayzer(Tecator, Sweden)로 분석하였고, 조지방은 Soxhlet 추출법(ether 추출법)에 따라 Soxtec system 1046(Tecator AB, Sweden)으로, 조회분은 직접회화법으로 분석하였다.

2) 아미노산

아미노산 분석을 위한 시료 전처리는 시료 약 0.02 g을 정확히 측정한 후, 6N HCl 30 ㎖를 가하여, 110℃ dry oven에서 24시간이상 동안 산 가수분해 하여 분해된 시료를 55℃ Water bath에서 감압농축 한 후, pH 2.20 Sodium Citrate buffer로 25 ml에 Volumetric flask에 정용하여 전처리 한다. 전처리된 시료는 Amino Acid Analyzer(Sykam S433, Germany)를 이용하여 분석하며, 이때 분석조건은 Column size가 4 ㎜ × 150 ㎜, Absorbance는 570 ㎚ and 440 ㎚ 이며, Reagent flow rate는 0.25 ㎖ / min 이다. Buffer flow rate는 0.45 ㎖ / min, Reactor temperature는 130℃이며, Reactor Size는 15 m로 한다.

3) 지방산

지방산 분석을 위한 시료 전처리는 유지 함량 0.02~0.03 g정도의 시료를 Chloroform : Methanol(2:1) 용매를 사용해서 유지추출 후, 0.5N NaOH-MeOH, 14% BF3-MeOH 등을 사용해서 Methylation시킨 후 heaxane으로 추출하여 하며,

전처리된 시료는 Trace Gas Chromatograph(Made in Germany)에서 분석한다. 이때 분석조건은 Column은 Quadrex, 30M, Bonded carbowax 0.25 mm I.D×0.25 ㎛ film을 사용하였고, Injector temperature는 250℃, Detector temperture는 270℃이며, Split Ratio 는 1 : 20으로 한다. Oven temperature는 100℃이며 분당 5℃씩 상승시켜 220℃에서는 분당 3℃씩 상승시켜 240℃에서 10분 동안 유지한다.

4) 비타민 B_2

비타민 B_2 분석을 위한 전처리는 시료 무게 1 g을 정확히 취하여, 소량의 증류수를 가해 균질기를 이용하여 미세하게 분쇄한 후 수욕 중(70~80℃)에서 추출한 후 냉각시키고 이를 여과하여 나온 시료를 사용하였다. 분석기기는 HPLC(DIONEX, Made in Germany)를 이용하였으며, Column은 역상분배형(u-Bondapak C_{18})을 사용하였다. Detector는 FLD detector를 사용하였으며, wavelength는 EX-445nm, EM-530nm, Flow rate는 1 ㎖ / min이며, Injection Volume은 20 ㎕이다.

5) 비타민 C

비타민 C 분석을 위한 전처리는 시료 무게 1 g을 정확히 취하여, 10% HPO_3 용액 9 ㎖을 가해 균질기를 이용하여 추출한 후 원심분리(3000 rpm, 15 min)하여 상층액을 분석시료로 사용하였다. 분석기기는 HPLC(HP, Made in U.S.A)를 사용하였으며, Column은 역상분배형(u-Bondapak C_{18})을, Detector는 UV/VIS detector를 사용하였으며, wavelength는 254 nm로 Flow rate는 1 ㎖ / min이며 Injection Volume은 20 ㎕이다.

6) 비타민 E

비타민 E 분석을 위한 전처리는 시료를 1 g을 정확히 취하여, ascorbic acid 0.1g, Ethanol 5 ㎖을 넣어 1차 추출한 다음, 50% KOH 0.5 ㎖ 넣어 수욕 상(80~90℃, 30min)에서 비누화시킨 후, 여기에 hexane을 넣어서 최종 추출하여 얻은 시료를 사용하였다. 분석기기는 HPLC(HP, Made in U.S.A)를 사용하였으며, Detector는 FLD detector를 Column은 Silica를 사용하였다. Mobile phase는 Hexane과 Isopropanol를 98 : 2섞어 사용하였으며, Injection volumn은 20 ㎕, Flow rate는 1.0ml/min, wavelength는 EX 290 nm, EM 330 nm 이었다.

7) 미네랄 분석

미네랄 분석을 위한 전처리는 시료의 무게를 달고 조회분(600℃ 2시간)하여 염산용액(1:1)에 녹이고 하룻밤 방치 후 완전히 가열하여 뜨거운 물로 여과하여 얻은 시료액으로 분석하였다. 분석기기는 PerkinElmer ICP-OES 2000DV(Made in U.S.A)를 사용하였고, RF power: 1300 watts는 이었다. Plasma Flow는 15ℓ/min 이었으며, Sample Flow rate는 1.5 mℓ/min이었다. 각 미네랄 별 wavelength는 칼슘(Ca)이 393.366 nm, 인(P)은 213.618 nm, 칼륨(K)은 769.896 nm, 마그네슘(Mg)은 279.353 nm, 나트륨(Na)은 588.995 nm, 망간(Mn)은 257.610 nm, 구리(Cu)는 324.754 nm, 아연(Zn)은 213.856 nm, 철(Fe)은 259.940 nm이었다.

5. 어류용 배합사료 내 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 적정 허용기준을 제시할 모델개발 연구

본 연구는 어류용 배합사료 내 중금속의 적정 허용기준 제시를 위해 실시되었으며, 어류용 배합사료의 안전성 및 대외 신뢰도를 확보하고 적정한배합사료 품질관리 규정마련을 위한 기초자료 연구로서 추진되고자 한다. 따라서 본 연구에서의 배합사료 내 유해 중금속인 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 적정 허용기준 제시를 위한 모델 개발을 위해 국내·외 중금속 허용기준(식품, 사료 및 환경)을 조사하였으며, 유해물질에 대한 적정 허용기준을 제시할 수 있는 대한 평가모델을 제시하고자 식품 및 환경에서의 유해물질 관리와 평가방법에 대하여 조사하였다.

제 3 장 결 과

1. 국내 양식장에서 사용하는 어류용 배합사료 실태 조사

가. 국내 양식장에서 사용하는 배합사료 종류 및 연간 사용량

현재 국내 양식장에서 사용되어지고 있는 시판용 배합사료는 크게 담수어와 해산어용 사료로 나눌 수 있으며, 그 형태로는 크게 압출성형사료(Extured Pellet, EP)와 생사료와 혼합하여 사용하여 제조되는 습사료(Moist pellet, MP)용 분말배합사료로 나눌 수 있으나, 일반적으로 양식용 배합사료로는 대부분 EP사료를 말한다. 육성용 EP사료는 어종특성에 따라서 부상과 침강사료로 제조되어 공급되고 있으며, 뱀장어의 경우는 분말사료를 반죽하여 사용되어지는 반죽사료가 주로 사용되어지고 있다. 또한 자치어용 배합사료로 분쇄사료(Crumble pellet)와 미립자사료가 이용되고 있다.

우리나라 2004년부터 2006년까지의 전국 양식어가의 현황에 대해 표-2에 나타내었다. 2004년도에 3,241개소에서, 2005년 3,209개소, 2006년에는 3,131개소로 매년 감소추세에 있으며, 지역별로는 전남을 제외한 모든 지역에서 감소 추세를 나타내고 있으며, 이중 경남의 경우 2006년에는 2005년보다 13%의 감소율을 보여주었다. 또한 2006년의 전국 양식어가는 총 3,131호로 이중 가두리가 2,239호로 전체의 71.5%를 차지하고 있으며, 기타 육상수조식은 659호로 21%를 차지하고 있다. 축제식 양식장은 총 207호로 6.6%를 차지하고 있다(표-2).

2005년부터 2007년까지 국내에 판매량이 가장 높은 9개 사료회사의 배합사료판매량을 보면 2005년에는 총 판매량이 107,665톤이었으며, 2006년은 100,690톤, 2007년은 95,924톤으로 매년 감소되고 있으며, 어종별로는 담수어에서는 메기와 뱀장어가 높은 판매량을 나타내고 있으며, 해산어에서는 넙치와 조피볼락의 판매량이 2005년에는 33,603톤으로 전체의 31.2%를, 2006년에는 37,650톤으로 37.4%를, 2007년에는 31,156톤으로 32.7%를 차지하여 매년 3만톤 이상, 전체 어류용 배합사료 생산량의 30%이상이 꾸준히 판매되고 있다(표-3). 본 조사에서는 수입사료와 기타 중소 사료회사의 판매량이 포함되지 않아 배합사료의 판매량은 더 높을 수 있으며, 이러한 배합사료의 판매량을 포함해도 배합사료의 어종별 판매량에는 큰 영향을 주진 않을 것으로 판단

되며, 배합사료 판매량이 매년 감소 추세에 있는 것은 국내 전국 양식어가의 감소현상과 연결성이 있는 것으로 보인다.

표-2. 2004~2006년도 국내 양식어가 현황 (개소)

		계	해상가두리	육수조식	축제식	기타
2004	**전국**	**3,241**	**2,363**	**705**	**141**	**32**
	전남	1,397	1,025	288	57	27
	전북	58	1	1	56	-
	경남	988	930	56	2	-
	경북	125	28	82	11	4
	충남	371	367	-	4	-
	제주	237	4	233	-	-
	기타	65	8	43	11	1
2005	**전국**	**3,209**	**2,383**	**682**	**113**	**31**
	전남	1,388	1,043	273	45	27
	전북	44	1	1	42	-
	경남	1,020	956	62	1	1
	경북	117	25	77	12	3
	충남	351	347	-	4	1
	제주	229	2	227	-	-
	기타	60	9	42	9	-
2006	**전국**	**3,131**	**2,239**	**659**	**207**	**26**
	전남	1,401	1,051	259	70	21
	전북	-	-	-	53	-
	경남	887	822	61	3	1
	경북	110	24	72	11	3
	충남	378	333	1	43	1
	제주	227	2	225	-	-
	기타	75	7	41	27	-

[해양수산부(현 농림수산식품부) 통계연보, http://badasori.momaf.go.kr]

표-3. 국내 9개사 시판 양어용 배합사료 판매실적(2005~2007년) (톤)

		2005년	2006년	2007년
담수어	뱀장어	4,157	4,657	6,952
	송 어	4,859	4,243	4,352
	메 기	9,947	7,609	11,469
	미꾸라지	7,031	4,240	2,452
	우렁이	2,475	3,269	5,592
	기 타	2,181	2,395	2,900
	소 계	30,650	26,413	33,717
해수어	**넙 치 (EP+분말)**	**15,818(14.7%)**	**16,588(16.5%)**	**17,169(17.9%)**
	조피볼락 (EP+분말)	**17,785(16.5%)**	**21,062(20.9%)**	**13,987(14.6%)**
	돔	6,188	5,195	3,871
	새 우	7,954	6,585	5,733
	숭 어	13,552	15,550	15,111
	전 어	2,532	8,563	6,107
	기 타	3,186	733	229
	소 계	67,015	74,276	62,207
총합계		**107,665**	**100,690**	**95,924**

[(주)CJ 양어사료팀, 2005~2007]

나. 어류용 배합사료 직불제

배합사료 직접 지불제는 국내 양식산업에서 생사료 사용으로 야기되는 연안 어류양식 어장의 환경악화 및 자원남획을 방지하고 WTO체제하에서 경쟁력 있는 환경친화경 양식어업의 육성을 위해 생사료를 배합사료로 전환하여 사용하는 어가에 대한 경영비용 증가분을 지원하는 국가적 사업이다. 배합사료 직접지불제는 2004년부터 시범적으로 실시하여 2005년부터 단계적으로 실시되고 있으며, 매년 그 지원금액도 증가되고 있어 2010년까지는 1,800억까지 지원될 예정이다(표-4). 이렇듯 배합사료 직불제와 같은 국가적 지원사업이 확대됨에 따라 각 양식어가 내에서의 생사료 사용량은 점차 감소되고, 아울러 배합사료의 사용량은 지속적으로 증가될 것이다. 이러한 상황에 맞추어 배합사료의 품질과 함께 안전성에 대한 요구가 점차 높아질 것으로 판단된다.

표-4. 환경친화형 배합사료 직불제사업 지원계획 (백만원)

구 분	2004년	2005년	2006년	2010년까지
계	5,000	10,000	10,100	180,000
가 두 리	3,200	7,900	6,600	144,000
육상수조식	1,800	2,100	3,500	36,000

[해양수산부(현 농림수산식품부) 양식산업과, 2006]

2. 어류용 배합사료를 공급하는 어류체내에 축적된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 파악조사

가. 남해지역

남해지역에서 채집한 넙치, 조피볼락 어체 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴 분석 결과를 표-5에 나타내었다. 셀레늄은 넙치가 0.11~0.13 ppm, 조피볼락은 0.10~0.19 ppm의 범위를 나타내었고, 평균값으로는 각각 0.12±0.01, 0.16±0.04 ppm이었다. 비소는 넙치가 0.33~0.55 ppm, 조피볼락은 0.08~0.71 ppm의 범위를 나타내었으며, 3번 지역만 0.08 ppm으로 낮은 값을 나타내었고, 평균값은 0.44±0.10, 0.44±0.25 ppm이었다. 납은 2와 4번 지역 넙치에서는 불검출되었고 1번지역과 3번지역에서는 각각 0.14, 0.05 ppm가 검출되었으며, 조피볼락은 1,3,4번 지역이 불검출되거나 0.02 ppm 이하를 나타내었으나 2번 지역은 0.33 ppm으로 높은 량이 검출되었으며, 평균값은 각각 0.08±0.07, 0.02±0.01 ppm이었다. 카드뮴은 넙치가 0.01~0.02 ppm, 조피볼락에서는 0.01~0.03 ppm의 범위를 나타내었으며, 평균값은 각각 0.01±0.00, 0.02±0.01이었다. 남해지역에서의 넙치와 조피볼락은 납을 제외한 3가지 중금속 모두 평균값에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

나. 서해지역

서해지역에서 채집한 넙치, 조피볼락 어체 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴 분석 결과를 표-6에 나타내었다. 서해지역에서의 셀레늄은 넙치가 0.08~0.10 ppm, 조피볼락은 0.14~0.25 ppm의 범위를 나타내었으며, 평균값은 각각 0.08±0.01, 0.19±0.05 ppm이었다. 비소는 넙치가 0.13~0.29 ppm, 조피볼락은 0.35~0.47 ppm의 범위를 나타내었으며, 평균값은 0.17±0.07, 0.41±0.05 ppm이었다. 납은 1, 2번지역 넙치에서만 각각 0.12±0.09, 0.38±0.00 ppm이 검출되었고, 3, 4번 지역 넙치와 조피볼락에서는 검출되지 않았으며, 넙치의 평균값은 0.21±016 ppm이었다. 카드뮴은 넙치가 0.07~0.09 ppm, 조피볼락은 0.01~0.02 ppm의 범위를 나타내었으며, 평균값

표-5. 남해지역 넙치, 조피볼락 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 (ppm)

		셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치	1	0.12±0.00	0.57±0.01	0.14±0.05	0.01±0.00
	2	0.13±0.01	0.33±0.05	N/D	0.02±0.00
	3	0.11±0.00	0.44±0.02	0.05±0.00	0.01±0.00
	4	0.11±0.01	0.44±0.03	N/D	0.01±0.00
평균		**0.12±0.01**	**0.44±0.10**	**0.08±0.07**	**0.01±0.00**
조피볼락	1	0.19±0.00	0.71±0.03	0.02±0.00	0.01±0.00
	2	0.18±0.02	0.52±0.19	0.03±0.00	0.01±0.00
	3	0.10±0.00	0.08±0.01	N/D	0.03±0.01
	4	0.16±0.00	0.45±0.02	0.01±0.00	0.01±0.00
평균		**0.16±0.04**	**0.44±0.25**	**0.02±0.01**	**0.02±0.01**

N/D : not detected

Detection limits : Se 7 ppb, As 7 ppb, Pb 3 ppb, Cd 3 ppb.

표-6.서해지역 넙치, 조피볼락 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)함유량 (ppm)

		셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치	1	0.10±0.00	0.29±0.02	0.12±0.09	0.07±0.02
	2	0.08±0.01	0.14±0.03	0.38±0.00	0.09±0.05
	3	0.08±0.00	0.13±0.00	N/D	0.08±0.00
	4	0.08±0.01	0.14±0.03	N/D	0.08±0.00
평균		**0.08±0.01**	**0.17±0.07**	**0.21±0.16**	**0.08±0.02**
조피볼락	1	0.14±0.01	0.35±0.00	N/D	0.01±0.00
	2	0.15±0.01	0.42±0.01	N/D	0.02±0.01
	3	0.20±0.02	0.47±0.06	N/D	0.01±0.00
	4	0.25±0.02	0.40±0.01	N/D	0.02±0.00
평균		**0.19±0.05**	**0.41±0.05**	**N/D**	**0.02±0.01**

N/D : not detected

Detection limits : Se 7 ppb, As 7 ppb, Pb 3 ppb, Cd 3 ppb

은 각각 0.08±0.02, 0.02±0.01 ppm이었다. 서해지역은 카드뮴에서 넙치의 검출량이 비교적 높게 나타났으나, 셀레늄과 비소의 경우 조피볼락이 넙치보다 검출량이 높게 나타났다.

다. 동해지역

동해지역에서 채집한 넙치, 조피볼락 어체 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴 분석결과를 표-7에 나타내었다. 동해지역에서의 셀레늄은 넙치가 0.05~0.18 ppm, 조피볼락은 0.13~21 ppm의 범위를 나타내었으며, 평균값은 각각 0.12±0.06, 0.16±0.03 ppm이었다. 비소는 넙치가 0.08~0.16 ppm, 조피볼락은 0.15~0.40 ppm의 범위를 나타내었으며, 평균값은 각각 0.13±0.04, 0.27±0.09 ppm으로 조피볼락이 2배 이상의 높은 값을 나타내었다. 납은 넙치는 모든 지역에서 검출되지 않았으며, 조피볼락에서는 1번 지역만이 0.03±0.00 ppm이 검출되었으며, 그 외 모든 지역은 검출되지 않았다. 카드뮴은 넙치가 0.02~0.04 ppm, 조피볼락은 0.01~0.06 ppm의 범위를 나타내었으며, 평균값은 각각 0.03±0.01, 0.03±0.02 ppm이었다. 동해지역에서는 비소를 제외한 모든 중금속에서는 넙치와 조피볼락이 큰 차이를 보이진 않았다.

라. 제주도

제주지역에서 채집한 넙치 어체 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴 분석결과를 표-7에 나타내었다. 셀레늄은 0.11~0.14 ppm의 범위를 나타내었으며, 평균값은 0.12±0.02 ppm이었다. 비소는 0.20~0.76 ppm의 범위를 나타내었으며, 4번 지역에서 0.76±0.02 ppm으로 다른 지역보다 2배 이상의 높은 값을 보였다. 평균값은 0.39±0.23 ppm이었다. 납에서는 모든 지역이 검출되지 않았으며, 카드뮴은 0.03~0.21 ppm의 범위를 나타내었고, 평균값은 0.11±0.10 ppm이었다..

표-7. 동해지역 넙치, 조피볼락 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 (ppm)

		셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치	1	0.18±0.01	0.16±0.03	N/D	0.04±0.01
	2	0.16±0.06	0.08±0.00	N/D	0.02±0.00
	3	0.09±0.02	0.13±0.00	N/D	0.02±0.00
	4	0.05±0.00	0.16±0.02	N/D	0.03±0.01
평균		**0.12±0.06**	**0.13±0.04**	**N/D**	**0.03±0.01**
조피볼락	1	0.14±0.01	0.15±0.00	0.03±0.00	0.01±0.00
	2	0.21±0.01	0.25±0.01	N/D	0.01±0.00
	3	0.13±0.02	0.28±0.02	N/D	0.04±0.01
	4	0.16±0.02	0.40±0.03	N/D	0.06±0.00
평균		**0.16±0.03**	**0.27±0.09**	**0.02±0.02**	**0.03±0.02**

N/D : not detected

Detection limits : Se 7 ppb, As 7 ppb, Pb 3 ppb, Cd 3 ppb

표-8. 제주도지역 넙치 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 (ppm)

		셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치	1	0.14±0.01	0.31±0.05	N/D	0.06±0.00
	2	0.13±0.02	0.31±0.03	N/D	0.03±0.00
	3	0.11±0.01	0.20±0.01	N/D	0.14±0.13
	4	0.12±0.02	0.76±0.02	N/D	0.21±0.10
평균		**0.12±0.02**	**0.39±0.23**	**N/D**	**0.11±0.10**

N/D : not detected

Detection limits : Se 7 ppb, As 7 ppb, Pb 3 ppb, Cd 3 ppb

마. 4개 지역의 넙치, 조피볼락의 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 평균 함유량

국내 남해, 서해, 동해, 제주도 지역에서의 넙치, 조피볼락의 어체 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 각 지역의 평균함유량과 전체 평균값을 표-9에 나타내었다.

셀레늄은 넙치, 조피볼락 모두 각 지역 모두 큰 차이를 보이지 않았으며 평균값으로는 0.11±0.03, 0.17±0.03 ppm을 나타내었다. 비소는 넙치와 조피볼락 모두 남해에서 높은 값을 보였으며 평균값은 각각 0.28±0.11, 0.37±0.13 ppm이었다. 납은 넙치가 남해, 서해에서 검출되었으며 동해, 서해에서는 검출되지 않았고 조피볼락은 서해에서 검출되지 않았으며, 평균값은 각각 0.07±0.06, 0.001±0.01 ppm이었다. 카드뮴은 넙치에서 제주가 높은 값을 나타내었으며, 조피볼락은 차이를 보이지 않았다. 평균값은 각각 0.06±0.03, 0.02±0.01 ppm이었다. 4개지역 평균으로는 넙치가 조피볼락과 비교 납과 카드뮴에서 높은 값을 보였으며, 조피볼락은 셀레늄과 비소에서 높은 값을 나타내었다.

표-9. 4개 지역 넙치, 조피볼락의 어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 평균 함유량 (ppm)

		셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치	남해	0.12±0.01	0.44±0.10	0.08±0.07	0.01±0.00
	서해	0.08±0.01	0.17±0.07	0.21±0.16	0.08±0.02
	동해	0.12±0.06	0.13±0.04	N/D	0.03±0.01
	제주	0.12±0.02	0.39±0.23	N/D	0.11±0.10
평균		**0.11±0.03**	**0.28±0.11**	**0.07±0.06**	**0.06±0.03**
조피볼락	남해	0.16±0.04	0.44±0.25	0.02±0.01	0.02±0.01
	서해	0.19±0.05	0.41±0.05	N/D	0.02±0.01
	동해	0.16±0.03	0.27±0.09	0.02±0.02	0.03±0.02
평균		**0.17±0.03**	**0.37±0.13**	**0.01±0.01**	**0.02±0.01**

N/D : not detected

Detection limits : Se 7 ppb, As 7 ppb, Pb 3 ppb, Cd 3 ppb

3. 어류용 배합사료를 공급하는 양식장의 배출수에 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 자연환경에 미치는 영향 분석

가. 남해지역

남해지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치 및 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 분석결과를 표-10에 나타내었다. 셀레늄은 남해지역의 넙치 양식장의 유입수와 배출수에서 0.04~0.06 ppm의 범위를 나타내었고, 뱀장어 양식장에서는 0.01~0.02 ppm의 범위을 나타내었다. 각 평균값은 넙치 배출수, 유입수 모두 0.05±0.01 ppm이었으며, 뱀장어는 유입수가 0.02±0.00, 배출수가 0.01±0.00 ppm을 나타내었다. 비소는 넙치 양식장에서는 유입수와 배출수가 모두 0.01 ppm를 나타내었으며, 뱀장어 양식장에서는 검출되지 않았다. 납과 카드뮴은 넙치 양식장과 뱀장어 양식장 모두 검출되지 않았다.

나. 서해지역

서해지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치 및 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 분석결과를 표-11에 나타내었다. 셀레늄은 넙치 양식장의 유입수와 배출수에서 0.07~0.13 ppm의 범위로 평균값은 각각 0.10±0.02, 0.10±0.03 ppm이었다. 뱀장어 양식장에서의 유입수, 배출수에서는 0.01~0.07 ppm의 범위로 평균값은 0.04±0.02, 0.01±0.01 ppm이었으며, 유입수에서 배출수로 감소되는 경향을 나타내었다. 비소는 넙치와 뱀장어 양식장 모두 검출되지 않았다. 납은 넙치는 검출되지 않았으나 뱀장어에서는 유입수, 배출수 모두 0.01 ppm이 검출되었다. 카드뮴은 넙치 양식장과 뱀장어 양식장 모두 검출되지 않았다.

표-10. 남해지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 함유량

(ppm)

			셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치 양식장	1	유입수	0.04±0.00	0.01±0.00	N/D	N/D
		배출수	0.05±0.00	0.01±0.00	N/D	N/D
	2	유입수	0.05±0.01	0.01±0.00	N/D	N/D
		배출수	0.05±0.00	0.01±0.00	N/D	N/D
	3	유입수	0.05±0.00	0.01±0.01	N/D	N/D
		배출수	0.05±0.01	0.01±0.01	N/D	N/D
	4	유입수	0.06±0.00	0.01±0.00	N/D	N/D
		배출수	0.04±0.00	0.01±0.00	N/D	N/D
평균		**유입수**	**0.05±0.01**	**0.01±0.00**	**N/D**	**N/D**
		배출수	**0.05±0.01**	**0.01±0.00**	**N/D**	**N/D**
뱀장어 양식장	1	유입수	0.02±0.00	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.01±0.00	N/D	N/D	N/D
	2	유입수	0.02±0.00	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.01±0.00	N/D	N/D	N/D
	3	유입수	0.02±0.00	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.01±0.00	N/D	N/D	N/D
	4	유입수	0.02±0.01	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.01±0.00	N/D	N/D	N/D
평균		**유입수**	**0.02±0.00**	**N/D**	**N/D**	**N/D**
		배출수	**0.01±0.00**	**N/D**	**N/D**	**N/D**

N/D : not detected

Detection limits : Se 7 ppb, As 7 ppb, Pb 3 ppb, Cd 3 ppb

표-11. 서해지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 함유량

(ppm)

			셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치 양식장	1	유입수	0.10±0.01	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.07±0.00	N/D	N/D	N/D
	2	유입수	0.09±0.00	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.08±0.00	N/D	N/D	N/D
	3	유입수	0.08±0.00	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.12±0.00	N/D	N/D	N/D
	4	유입수	0.13±0.00	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.13±0.00	N/D	N/D	N/D
평균		**유입수**	**0.10±0.02**	**N/D**	**N/D**	**N/D**
		배출수	**0.10±0.03**	**N/D**	**N/D**	**N/D**
뱀장어 양식장	1	유입수	0.01±0.00	N/D	0.01±0.00	N/D
		배출수	0.02±0.00	N/D	0.01±0.00	N/D
	2	유입수	0.02±0.00	N/D	0.01±0.00	N/D
		배출수	0.02±0.00	N/D	0.01±0.00	N/D
	3	유입수	0.07±0.00	N/D	0.01±0.00	N/D
		배출수	0.01±0.00	N/D	N/D	N/D
	4	유입수	0.04±0.00	N/D	0.01±0.00	N/D
		배출수	0.01±0.00	N/D	0.01±0.00	N/D
평균		**유입수**	**0.04±0.02**	**N/D**	**0.01±0.00**	**N/D**
		배출수	**0.01±0.01**	**N/D**	**0.01±0.00**	**N/D**

N/D : not detected

Detection limits : Se 7 ppb, As 7 ppb, Pb 3 ppb, Cd 3 ppb

다. 동해지역

동해지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치 및 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 분석결과를 표-12에 나타내었다. 셀레늄에서는 넙치 양식장의 유입수와 배출수에서 0.07~0.09 ppm의 범위로 평균값은 각각 0.07±0.01, 0.08 ppm이었다. 뱀장어 양식장에서는 유입수가 0.08~0.11 ppm, 배출수에서는 0.01~0.02 ppm의 범위로 평균값은 0.10±0.02, 0.02±0.00 ppm이었으며, 역시 유입수에서 배출수로 감소되는 경향을 나타내었다. 비소에서는 넙치와 뱀장어 양식장 모두 검출되지 않았다. 납은 넙치의 유입수, 배출수에서는 검출되지 않았으며, 뱀장어에서는 2곳의 유입수에서만 0.01, 0.05 ppm이 검출되었으며, 그 외에는 배출수와 유입수는 검출되지 않았다. 카드뮴에서는 넙치 양식장과 뱀장어 양식장 모두 검출되지 않았다.

라. 제주지역

제주지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 분석결과를 표-13에 나타내었다. 셀레늄에서는 넙치 양식장의 유입수와 배출수에서 0.11~14 ppm의 범위로 평균값은 유입수, 배출수 모두 13.1±0.01 ppm이었으며, 비소에서도 유입수와 배출수가 0.01~0.02 ppm의 범위로, 평균값은 유입수, 배출수 모두 0.02±0.00 ppm이었다. 납과 카드뮴에서는 넙치, 뱀장어 양식장 모두 검출되지 않았다.

마. 4개 지역 넙치, 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 평균 함유량

4개 지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어 양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 평균함유량을 표-14에 나타내었다. 셀레늄에서는 넙치 양식장의 유입수, 배출수에서 평균 0.05~0.13 ppm의 범위로 제주가 가장 높았으며, 전체 평균값은 0.07±0.01, 0.08±0.01 ppm이었다. 뱀장어 양식장에서는 평균 0.02~0.10 ppm의 범위로 동해 유입수가 0.10 ppm으로 가장 높았고 전체 평균값

은 0.05±0.01, 0.01±0.00 ppm이었다. 비소에서의 넙치 양식장 유입수, 배출수에서는 평균 0.01~0.02 ppm의 범위로 남해와 제주에서만 검출되었고, 서해와 동해에서는 검출되지 않았으며, 전체 평균값은 각각 0.01±0.00, 0.01±0.00 ppm이었다. 뱀장어 양식장은 모든 지역에서 검출되지 않았다. 납에서의 넙치 양식장 유입수, 배출수는 모든 지역에서 검출되지 않았으며, 뱀장어 양식장은 0.01~0.03 ppm의 범위로 서해와 동해에서 검출되었으며 전체 평균값은 유입수만 0.01±0.00 ppm을 나타내었다. 카드뮴은 넙치, 뱀장어 양식장 모두 모든 지역에서 검출되지 않았다. 뱀장어 양식장에서는 유입수와 배출수에 차이를 보이는 것은, 뱀장어 양식장은 일반적으로 유수식이 아닌 지수식으로 사육되고 있어 사육수 내의 셀레늄이 뱀장어에 의해 흡수되고 있는 것으로 보인다.

표-12. 동해지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 함유량

(ppm)

			셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치 양식장	1	유입수	0.06±0.00	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.09±0.00	N/D	N/D	N/D
	2	유입수	0.07±0.00	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.09±0.00	N/D	N/D	N/D
	3	유입수	0.08±0.00	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.07±0.00	N/D	N/D	N/D
	4	유입수	0.09±0.01	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.08±0.00	N/D	N/D	N/D
평균		**유입수**	**0.07±0.01**	**N/D**	**N/D**	**N/D**
		배출수	**0.08±0.01**	**N/D**	**N/D**	**N/D**
뱀장어 양식장	1	유입수	0.11±0.00	N/D	0.01±0.00	N/D
		배출수	0.02±0.00	N/D	N/D	N/D
	2	유입수	0.10±0.00	N/D	0.05±0.00	N/D
		배출수	0.02±0.00	N/D	N/D	N/D
	3	유입수	0.12±0.00	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.02±0.00	N/D	N/D	N/D
	4	유입수	0.08±0.00	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.01±0.00	N/D	N/D	N/D
평균		**유입수**	**0.10±0.02**	**N/D**	**0.03±0.00**	**N/D**
		배출수	**0.02±0.00**	**N/D**	**N/D**	**N/D**

N/D : not detected

Detection limits : Se 7 ppb, As 7 ppb, Pb 3 ppb, Cd 3 ppb

표-13. 제주지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 함유량 (ppm)

			셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치 양식장	1	유입수	0.14±0.00	0.02±0.00	N/D	N/D
		배출수	0.13±0.00	0.01±0.00	N/D	N/D
	2	유입수	0.14±0.00	0.02±0.00	N/D	N/D
		배출수	0.13±0.00	0.02±0.00	N/D	N/D
	3	유입수	0.13±0.00	0.02±0.00	N/D	N/D
		배출수	0.12±0.00	0.02±0.01	N/D	N/D
	4	유입수	0.11±0.00	0.02±0.00	N/D	N/D
		배출수	0.12±0.00	0.02±0.00	N/D	N/D
평균		**유입수**	**0.13±0.01**	**0.02±0.00**	**N/D**	**N/D**
		배출수	**0.13±0.01**	**0.02±0.00**	**N/D**	**N/D**

N/D : not detected

Detection limits : Se 7 ppb, As 7 ppb, Pb 3 ppb, Cd 3 ppb

표-14. 4개 지역의 어류용 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어양식장의 유입수, 배출수에 대한 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 함유량

(ppm)

			셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치 양식장	남해	유입수	0.05±0.01	0.01±0.00	N/D	N/D
		배출수	0.05±0.01	0.01±0.00	N/D	N/D
	서해	유입수	0.10±0.02	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.10±0.03	N/D	N/D	N/D
	동해	유입수	0.07±0.01	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.08±0.01	N/D	N/D	N/D
	제주	유입수	0.13±0.01	0.02±0.00	N/D	N/D
		배출수	0.13±0.01	0.02±0.00	N/D	N/D
평균		**유입수**	**0.09±0.01**	**0.01±0.00**	**N/D**	**N/D**
		배출수	**0.09±0.01**	**0.01±0.00**	**N/D**	**N/D**
뱀장어 양식장	남해	유입수	0.02±0.00	N/D	N/D	N/D
		배출수	0.01±0.00	N/D	N/D	N/D
	서해	유입수	0.04±0.02	N/D	0.01±0.00	N/D
		배출수	0.01±0.01	N/D	0.01±0.00	N/D
	동해	유입수	0.10±0.02	N/D	0.03±0.00	N/D
		배출수	0.02±0.00	N/D	N/D	N/D
평균		**유입수**	**0.05±0.01**	**N/D**	**0.01±0.00**	**N/D**
		배출수	**0.01±0.00**	**N/D**	**N/D**	**N/D**

4. 어류용 배합사료 및 사료원내 포함된 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 함유량과 배합사료 주요성분 함유량 분석

가. 배합사료 및 사료원의 성분분석

1) 일반성분

가) 배합사료

국내 4개 사료회사의 시판용 넙치, 조피볼락용 배합사료에 대한 일반성분 분석결과를 표-15에 나타내었다. 수분에서는 넙치 배합사료가 4.90~10.74%의 범위로 평균값은 7.53±2.12%이었으며, 이중 A사가 C사보다 2배이상 높았다. 조피볼락 배합사료에서는 10.11~11.13%의 범위로 평균값은 10.66±0.47%이었으며 각 사료회사별로 큰 차이를 보이진 않았다. 조단백질에서는 넙치 배합사료가 50.11~55.04%의 범위로 평균값은 52.44±1.91%이었고 C사가 가장 높았으며, 조피볼락 배합사료는 43.71~46.71%의 범위로 평균값은 45.08±1.47%이었으며 A와 C사, B사와 D사가 비슷한 값을 나타내었다. 조지방에서는 넙치 배합사료가 11.41~14.94%의 범위로 평균값은 12.73±1.58%이었으며, 이중 B사가 가장 높은 값을 나타내었다. 조피볼락 배합사료는 7.91~9.25%의 범위로 평균값은 8.55±0.57%이었으며 역시 B사가 가장 높은 값을 나타내었다. 조회분에서는 넙치배합사료가 9.17~10.46%의 범위로 평균값은 9.71±0.71%이었으며, 조피볼락 배합사료는 8.64~11.83%의 범위로 평균값은 9.61±1.39%를 나타내 조피볼락과 넙치 배합사료 간 큰 차이를 보이지 않았다.

나) 어분

배합사료에 사용되는 동물성사료원인 주요어분 5가지의 일반성분 분석결과를 표-16에 나타내었다. 어분의 수분은 4.10~7.59%의 범위로 페루산 갈색어분이 가장 높았으며, 평균값은 6.43±1.43%이었다. 조단백질에서는 65.58~72.27%의 범위로 덴마크산 백색어분이 가장 높았으며 평균값은 67.17±5.52%이었다. 조지방에서는 7.54~10.20%로 페루산 갈색어분이 가장 높았으며 평균값은 8.67±0.94%이었다. 조회분

은 13.27~25.14%의 범위로 페루산 갈색어분이 가장 높았으며 평균값은 17.62±4.48%이었다..

다) 기타 사료원

어분을 제외한 배합사료에 사용되는 주요 사료원중 식물성인 채종박, 대두박, 타피오카분, 콘글루텐밀, 소맥분 5가지의 일반성분 분석결과를 표-16에 나타내었다. 수분은 7.78~11.87%의 범위로 대두박이 가장 높았으며 평균값은 10.19±1.66%이었다. 조단백질에서는 3.24~65.10%의 범위로 콘글루텐밀이 가장 높았으며 평균값은 33.16±23.32%이었다. 조지방은 0.98~2.81%의 범위로 소맥분이 가장 높았으며 평균값은 1.44±0.73%이었으며, 조회분에서는 1.15~8.68% 범위로 채종박이 가장 높았고 평균값은 4.41±2.98%를 나타내었다.

표-15. 국내 4개 사료회사의 넙치, 조피볼락 배합사료 일반성분 조성 (%)

		수분	조단백질	조지방	조회분
넙치	A사	10.74±0.13	50.11±0.18	11.58±0.01	9.17±0.10
	B사	8.57±0.02	52.05±0.00	14.94±0.16	10.05±0.10
	C사	4.90±0.01	55.04±0.21	12.39±0.25	8.92±0.03
	D사	7.48±0.03	51.47±0.07	11.41±0.27	10.46±0.15
평균		**7.53±2.12**	**52.44±1.91**	**12.73±1.58**	**9.71±0.71**
조피볼락	A사	10.35±0.03	46.17±0.10	7.91±0.22	8.64±0.04
	B사	11.13±0.06	43.74±0.03	9.25±0.27	11.83±0.21
	C사	11.06±0.01	46.71±0.04	8.53±0.60	8.93±0.29
	D사	10.11±0.10	43.71±0.24	8.50±0.05	9.04±0.25
평균		**10.66±0.47**	**45.08±1.47**	**8.55±0.57**	**9.61±1.39**

표-16. 배합사료에 사용되는 주요 5가지 어분 및 사료원의 일반성분 조성

(%)

	수분	조단백질	조지방	조회분
백색어분-1 (덴마크산)	7.31±0.14	72.27±0.21	8.32±0.17	13.27±0.24
백색어분-2 (알래스카산)	5.79±0.10	69.84±0.07	7.54±0.08	16.36±0.47
갈색어분-1 (페루산)	7.59±0.05	65.58±0.30	10.20±0.04	25.14±0.06
갈색어분-2 (칠레남부산)	7.53±0.05	70.49±0.21	8.78±0.02	14.38±0.14
국내산어분	4.10±0.11	57.66±0.33	8.73±0.42	19.06±0.14
평균	**6.46±1.43**	**67.17±5.52**	**8.67±0.94**	**17.62±4.48**
채종박	8.90±0.02	38.16±0.12	1.04±0.14	8.68±0.20
대두박	11.87±0.21	45.18±0.06	1.17±0.00	5.68±0.06
타피오카분	11.29±0.16	3.24±0.02	0.98±0.18	5.12±0.12
콘글루텐밀	7.78±0.29	65.10±0.08	1.17±0.00	1.42±0.11
소맥분	11.13±0.15	14.14±0.03	2.81±0.02	1.15±0.13
평균	**10.19±1.66**	**33.16±23.32**	**1.44±0.73**	**4.41±2.98**

2) 아미노산

가) 배합사료

국내 4개 사료회사의 시판용 넙치, 조피볼락용 배합사료에 대한 아미노산 조성을 표-17, 18에 나타내었다. 넙치 배합사료 내 총 아미노산은 41.48~46.75%의 범위를 나타내었으며, 필수 아미노산인 EAA(Essential amino acid, EAA)에서는 17.97~21.04%의 범위로 역시 C사가 가장 높은 값을 나타내었고, A사가 가장 낮은 값을 나타내었다(표-17). 조피볼락용 배합사료 내 총 아미노산은 38.43~39.88%, EAA에서는 16.48~17.58%의 범위로 각 사료별로 큰 차이를 보이진 않았다(표-18).

나) 어분

배합사료에 사용되는 동물성사료원인 주요어분 5가지의 아미노산 조성을 표-19에 나타내었다. 총 아미노산에서는 45.71~61.59%의 범위로 이중 페루산 갈색어분이 가장 낮았으며, 덴마크와 알래스카산 백색어분, 국내산 어분은 61%이상을 나타내었다. EAA에서는 21.22~29.40%를 나타내었고, 역시 페루산 갈색어분이 가장 낮았다.

라) 기타 사료원

어분을 제외한 배합사료에 사용되는 주요 사료원중 식물성인 채종박, 대두박, 타피오카분, 콘글루텐밀, 소맥분 5가지의 아미노산 조성을 표-20에 나타내었다. 총 아미노산은 2.79~64.84%범위로 각 사료원 사이의 큰 차이를 나타내었으며, 이중 타피오카가 2.79±0.03%, 콘글루텐밀은 64.84±0.01%로 서로 20배 이상의 차이를 나타내었다. EAA에서는 1.35~27.92%의 범위로 총아미노산과 같이 타피오카가 가장 낮았으며, 콘글루텐밀이 27.92±0.13%로 가장 높았다.

표-17 국내 4개 사료회사의 넙치 배합사료 내 아미노산 조성 (%)

아미노산	A사	B사	C사	D사
Asp.	4.56±0.01	5.05±0.44	5.31±0.15	5.13±0.19
Thr.	1.84±0.08	1.99±0.12	2.04±0.07	2.04±0.00
Ser.	1.83±0.08	1.99±0.02	2.12±0.10	1.93±0.04
Glu.	7.14±0.28	7.71±0.65	8.00±0.32	7.01±0.01
Pro.	2.36±0.17	2.29±0.17	2.48±0.04	1.85±0.24
Gly.	3.65±0.11	3.18±0.21	3.06±0.09	2.89±0.07
Ala	2.97±0.03	2.94±0.06	3.33±0.14	3.08±0.05
Val.	2.24±0.00	2.59±0.07	2.70±0.10	2.59±0.02
Ile.	1.86±0.04	2.12±0.03	2.01±0.17	2.05±0.05
Leu	3.50±0.01	3.67±0.10	4.44±0.21	3.75±0.06
Tyr.	1.00±0.02	1.29±0.05	1.40±0.07	1.27±0.11
Phe.	1.73±0.02	2.01±0.03	2.24±0.19	1.93±0.11
His.	1.60±0.02	2.01±0.08	1.78±0.01	2.00±0.04
Lys.	2.69±0.11	3.26±0.11	3.12±0.07	3.70±0.17
Arg.	2.53±0.10	2.79±0.02	2.71±0.05	2.57±0.04
Total	41.48±1.04	44.90±1.54	46.75±1.71	43.80±0.45
***EAA**	**17.97±0.36**	**20.44±0.38**	**21.04±0.87**	**20.64±0.44**

*Essential amino acid(필수아미노산): Threonine, Valine, Arginine, Histidine, Isoleucine, Leucine, Lysine, Phenylalanine.
(함황아미노산인 Tryptophan, Methionine 제외)

표-18. 조피볼락 배합사료 내 아미노산 조성 (ppm)

아미노산	A사	B사	C사	D사
Asp.	3.90±0.13	4.63±0.02	4.15±0.02	4.39±0.00
Thr.	**1.53±0.09**	**1.76±0.02**	**1.55±0.01**	**1.61±0.03**
Ser.	1.79±0.00	1.85±0.08	1.90±0.02	1.79±0.04
Glu.	7.38±0.14	7.22±0.00	7.87±0.13	6.76±0.14
Pro.	2.53±0.02	2.12±0.17	2.35±0.01	2.02±0.15
Gly.	2.79±0.02	2.67±0.16	2.18±0.04	2.24±0.00
Ala	2.90±0.14	2.45±0.09	2.65±0.13	2.53±0.08
Val.	**2.05±0.04**	**2.19±0.01**	**2.12±0.01**	**2.17±0.06**
Ile.	**1.67±0.09**	**1.80±0.07**	**1.86±0.03**	**1.81±0.01**
Leu	**3.78±0.01**	**3.31±0.02**	**3.91±0.02**	**3.59±0.07**
Tyr.	1.23±0.08	1.18±0.11	1.21±0.01	1.21±0.12
Phe.	**1.78±0.00**	**1.84±0.11**	**2.03±0.05**	**1.97±0.21**
His.	**1.32±0.01**	**1.43±0.07**	**1.48±0.06**	**1.52±0.02**
Lys.	**2.17±0.04**	**2.45±0.01**	**2.34±0.07**	**2.49±0.03**
Arg.	**2.17±0.02**	**2.38±0.07**	**2.29±0.09**	**2.33±0.05**
Total	39.01±0.51	39.27±0.35	39.88±0.61	38.43±0.93
***EAA**	**16.48±0.18**	**17.16±0.02**	**17.58±0.35**	**17.49±0.39**

*Essential amino acid(필수아미노산): Threonine, Valine, Arginine, Histidine, Isoleucine, Leucine, Lysine, Phenylalanine.
(함황아미노산인 Tryptophan, Methionine 제외)

표-19. 배합사료에 사용되는 주요 어분 5가지의 아미노산 조성 (ppm)

아미노산	백색어분-1 (덴마크산)	백색어분-2 (알래스카산)	갈색어분-1 (페루산)	갈색어분-2 (칠레남부산)	국내산어분
Asp.	6.96±0.03	6.97±0.18	4.78±0.23	6.27±0.35	6.87±0.10
Thr.	2.85±0.01	2.71±0.03	2.03±0.15	2.62±0.10	2.86±0.19
Ser.	2.48±0.03	2.84±0.11	1.63±0.07	2.40±0.08	2.51±0.01
Glu.	9.60±0.01	9.05±0.16	6.76±0.44	8.20±0.27	8.45±0.06
Pro.	2.21±0.12	3.18±0.42	2.47±0.24	3.22±0.01	3.12±0.32
Gly.	4.59±0.11	6.52±0.09	4.61±0.04	6.22±0.19	5.25±0.22
Ala	4.35±0.32	4.51±0.11	3.74±0.11	4.35±0.30	4.44±0.09
Val.	3.90±0.14	3.51±0.28	2.77±0.12	3.22±0.12	3.69±0.18
Ile.	3.22±0.05	2.70±0.09	2.37±0.17	2.56±0.06	3.00±0.01
Leu	5.15±0.04	4.45±0.01	3.57±0.07	4.34±0.16	5.04±0.18
Tyr.	1.72±0.04	1.63±0.03	0.49±0.03	1.24±0.11	1.46±0.13
Phe.	2.72±0.05	2.53±0.16	2.11±0.08	2.44±0.15	2.79±0.02
His.	2.05±0.05	1.88±0.06	1.82±0.05	2.39±0.06	3.14±0.04
Lys.	5.34±0.13	4.85±0.13	3.74±0.22	4.42±0.04	4.96±0.25
Arg.	4.01±0.13	4.25±0.08	2.83±0.04	3.95±0.25	3.92±0.01
Total	61.16±0.32	61.59±0.83	45.71±1.53	57.85±2.11	61.50±0.46
***EAA**	**29.24±0.32**	**26.87±0.83**	**21.22±0.90**	**25.94±0.82**	**29.40±0.81**

*Essential amino acid(필수아미노산): Threonine, Valine, Arginine, Histidine, Isoleucine, Leucine, Lysine, Phenylalanine.
(함황아미노산인 Tryptophan, Methionine 제외)

표-20. 배합사료에 사용되는 주요 5가지 사료원의 아미노산 조성 (ppm)

아미노산	채종박	대두박	타피오카분	콘글루텐밀	소맥분
Asp.	2.54±0.11	5.52±0.01	0.20±0.00	4.91±0.07	0.78±0.01
Thr.	1.39±0.02	1.81±0.02	0.13±0.01	2.24±0.02	0.44±0.00
Ser.	1.31±0.00	2.23±0.01	0.14±0.01	3.06±0.04	0.64±0.00
Glu.	6.37±0.04	9.08±0.02	0.53±0.01	14.21±0.38	5.00±0.04
Pro.	1.82±0.10	2.19±0.20	0.15±0.04	5.09±0.42	1.39±0.00
Gly.	1.81±0.03	2.12±0.02	0.15±0.01	1.84±0.04	0.67±0.05
Ala	1.41±0.07	2.04±0.13	0.18±0.01	5.26±0.15	0.49±0.00
Val.	1.87±0.09	2.52±0.01	0.17±0.00	3.20±0.05	0.64±0.01
Ile.	1.42±0.01	2.29±0.06	0.14±0.00	2.75±0.06	0.55±0.00
Leu	2.32±0.07	3.57±0.13	0.23±0.01	10.41±0.15	0.98±0.00
Tyr.	0.64±0.02	1.19±0.08	N/D	2.54±0.01	0.27±0.00
Phe.	1.36±0.04	2.37±0.14	0.12±0.00	4.07±0.09	0.71±0.00
His.	1.18±0.04	1.63±0.01	0.17±0.00	1.98±0.01	0.48±0.00
Lys.	1.62±0.04	2.86±0.01	0.20±0.01	1.18±0.03	0.36±0.01
Arg.	2.20±0.02	3.22±0.05	0.19±0.02	2.10±0.04	0.62±0.01
Total	29.25±0.04	44.64±0.05	2.79±0.03	64.84±0.01	14.02±0.02
***EAA**	**13.35±0.02**	**20.27±0.00**	**1.35±0.02**	**27.92±0.13**	**4.78±0.02**

*Essential amino acid(필수아미노산): Threonine, Valine, Arginine, Histidine, Isoleucine, Leucine, Lysine, phenylalanine.
(함황아미노산인 Tryptophan, Methionine 제외)

3) 지방산

가) 배합사료

국내 4개 사료회사의 시판용 넙치, 조피볼락용 배합사료에 대한 지방산 조성을 표-21, 22에 나타내었다. 넙치 배합사료 내 지방산은 포화지방산(Saturated)이 32.50~41.54%의 범위를 나타내었고, 이중 B사가 가장 높았다. 일가불포화지방산(Monoenes)은 22.12~25.41%의 범위를 나타내었으며, 이중 A사가 가장 높았다. 다가불포화지방산(Polyenes)에서는 35.21~42.63%의 범위로 이중 C사가 가장 높은 값을 나타내었다. n-3계열 지방산은 13.37~27.41%의 범위로 이중 D사가 가장 높은 값을 나타내었고, n-6계열은 11.33~28.87%위 범위로 C사가 가장 높은 값을 나타내었다. n-3/n-6비는 0.46~2.32의 범위로 D사가 가장 높은 값을 나타내었다(표-21).

조피볼락 배합사료 내 지방산은 포화지방산이 30.50~39.87%의 범위를 나타내었고, 이중 B사가 가장 높았다. 일가불포화지방산(Monoenes)은 23.08~26.71%의 범위를 나타내었으며, 이중 A사가 가장 높았다. 다가불포화지방산에서는 35.81~45.67%의 범위로 이중 C사가 가장 높은 값을 나타내었다. n-3계열 지방산은 12.36~19.54%의 범위로 이중 B사가 가장 높은 값을 나타내었고, n-6계열은 15.85~33.12%의 범위로 C사가 가장 높은 값을 나타내었다. n-3/n-6비는 0.37~1.23의 범위로 B사가 가장 높은 값을 나타내었다(표-22).

나) 어분

배합사료에 사용되는 동물성사료원인 주요어분 5가지의 지방산 조성을 표-23에 나타내었다. 각 어분 내 지방산은 포화지방산은 34.90~50.49%의 범위를 나타내었고, 이중 덴마크산 백색어분이 가장 높았다. 일가불포화지방산은 20.94~28.33%의 범위를 나타내었으며, 이중 알레스카산 백색어분이 가장 높았다. 다가불포화지방산에서는 28.57~38.28%의 범위로 이중 칠레남부산 갈색어분이 가장 높은 값을 나타내었다. n-3계열 지방산은 20.41~28.59%의 범위로 이중 알레스카산 백색어분이 가장 높은 값을 보였고, n-6계열은 2.34~17.18%의 범위로 이중 칠레남부산 갈색어분이 월등히 높은 값을 나타내었다. n-3/n-6비는 1.19~12.23%의 범위로 알레스카산 백색어분이 가장 높은 값을 나타내었다(표-22).

다) 기타사료원

어분을 제외한 배합사료에 사용되는 주요 사료원 중 식물성인 채종박, 대두박, 타피오카분, 콘글루텐밀, 소맥분 5가지의 지방산 조성을 표-24에 나타내었다. 포화지방산은 14.56~44.72%를 나타내었으며 사료원 중 채종박이 가장 높았다. 일가불포화지방산은 15.80~39.41%로 사료원 중 타피오카분이 가장 높았으며, 다가불포화지방산은 25.28~62.58%로 사료원 중 대두박이 가장 높았고, 모두 n-6계열이었다. n-3계열 지방산은 모든 사료원에서 검출되지 않았다.

표-21. 국내 4개 사료회시의 넙치 배합사료 내 지방산 조성 (%)

Fatty acid	A사	B사	C사	D사
C14:0	2.85±0.35	4.25±0.07	4.21±0.41	6.43±0.48
C15:0	0.32±0.02	0.51±0.00	0.43±0.02	0.58±0.03
C16:0	18.39±1.02	20.94±0.11	18.47±0.28	20.46±0.51
C17:0	0.35±0.23	0.48±0.22	0.37±0.22	0.54±0.34
C18:0	4.30±0.06	5.19±0.06	4.77±0.03	4.50±0.02
C20:0	4.31±0.27	6.52±0.06	1.76±0.07	1.79±0.02
C21:0	0.52±0.01	0.92±0.00	0.36±0.04	0.79±0.10
C22:0	3.14±0.17	0.09±0.02	0.75±0.02	0.18±0.03
C23:0	0.18±0.01	0.34±0.07	0.21±0.10	0.30±0.11
C24:0	1.57±0.09	2.30±0.00	1.18±0.03	2.42±0.10
Saturated	**35.93±1.00**	**41.54±0.11**	**32.50±0.47**	**37.99±0.30**
C14:1	0.10±0.01	0.16±0.00	0.13±0.01	0.19±0.01
C15:1	0.03±0.02	0.08±0.02	-	0.08±0.00
C16:1	4.08±0.14	4.59±0.16	4.28±0.08	7.36±0.27
C17:1	0.29±0.04	0.25±0.10	0.53±0.23	0.25±0.06
C18:1	20.74±0.28	18.01±0.04	19.84±0.12	14.04±0.08
C20:1	0.18±0.31	0.16±0.28	0.08±0.14	0.20±0.17
Monoenes	**25.41±0.64**	**23.26±0.59**	**24.87±0.05**	**22.12±0.04**
C18:2n9c	16.18±0.25	8.94±0.22	25.24±0.10	9.30±0.14
C18:3n6,9,12c	1.77±0.10	1.32±0.05	3.04±0.04	1.42±0.03
C18:3n9,12,15c	0.72±0.02	0.87±0.01	0.98±0.01	1.66±0.02
C20:2	0.39±0.24	0.11±0.00	0.17±0.10	0.12±0.00
C20:3	0.95±0.04	0.96±0.01	0.53±0.02	1.12±0.00
C20:4	0.09±0.07	0.11±0.09	0.05±0.04	-
C20:5(EPA)	6.56±0.31	7.26±0.05	5.43±0.20	12.43±0.06
C22:2	0.25±0.02	0.33±0.00	0.22±0.02	0.52±0.02
C22:6(DHA)	11.75±0.77	15.30±0.28	6.95±0.21	13.32±0.16
Polyenes	**38.66±1.42**	**35.21±0.66**	**42.63±0.42**	**39.89±0.27**
Total		**100**		
n-3	**19.04±1.10**	**23.43±0.33**	**13.37±0.42**	**27.41±0.07**
n-6	**18.99±0.35**	**11.33±0.34**	**28.87±0.11**	**11.84±0.18**
n-3/n-6	**1.00±0.05**	**2.07±0.03**	**0.46±0.01**	**2.32±0.03**

표-22. 국내 4개 사료회사의 조피볼락 배합사료 내 지방산 조성 (%)

Fatty acid	A사	B사	C사	D사
C14:0	2.72±0.33	3.85±0.20	3.11±0.17	4.71±0.47
C15:0	0.26±0.04	0.51±0.03	0.40±0.00	0.59±0.03
C16:0	17.08±1.38	21.74±0.14	18.07±0.69	20.04±0.89
C17:0	0.46±0.03	0.52±0.36	0.37±0.21	0.49±0.27
C18:0	4.51±0.74	5.30±0.02	4.48±0.01	4.32±0.07
C20:0	2.82±0.15	3.39±0.01	1.65±0.03	2.11±0.08
C21:0	0.54±0.03	0.65±0.01	0.31±0.01	0.50±0.02
C22:0	1.86±0.19	1.66±0.54	0.90±0.27	1.28±0.34
C23:0	0.23±0.09	0.20±0.00	0.22±0.12	0.42±0.04
C24:0	1.78±0.04	2.05±0.01	1.00±0.03	1.48±0.11
Saturated	32.25±0.91	39.87±0.24	30.50±0.82	35.92±1.29
C14:1	0.07±0.01	0.13±0.01	0.12±0.02	0.18±0.02
C15:1	0.02±0.02	0.02±0.03	-	0.06±0.05
C16:1	3.56±0.34	5.08±0.07	3.76±0.23	5.41±0.32
C17:1	0.29±0.08	0.46±0.14	0.31±0.11	0.45±0.08
C18:1	22.54±1.11	18.43±0.15	19.57±0.13	16.88±0.41
C20:1	0.20±0.34	0.21±0.30	0.08±0.13	0.10±0.18
C22:1	0.02±0.04	-	-	-
Monoenes	26.71±0.60	24.32 0.04	23.83±0.17	23.08±0.63
C18:2n9c	21.82±0.39	13.18±0.01	29.33±0.37	18.44±0.57
C18:3n6,9,12c	2.23±0.12	1.68±0.03	3.18±0.10	2.21±0.09
C18:3n9,12,15c	0.61±0.03	0.83±0.02	0.80±0.03	1.27±0.09
C20:2	0.40±0.23	0.26±0.24	-	0.03±0.05
C20:3	0.74±0.06	0.99±0.04	0.61±0.03	0.86±0.05
C20:4	-	-	-	0.06±0.05
C20:5(EPA)	5.83±0.32	6.81±0.12	4.56±0.10	6.96±0.50
C22:2	0.23±0.04	0.15±0.22	0.19±0.02	0.20±0.13
C22:6(DHA)	9.19±0.74	11.90±0.08	7.00±0.31	10.97±0.97
Polyene	41.04±0.97	35.81±0.20	45.67±0.85	41.00±1.74
Total		100		
n-3	15.63±1.04	19.54±0.21	12.36±0.44	19.20±1.50
n-6	24.78±0.53	15.85±0.01	33.12±0.47	21.57±0.68
n-3/n-6	0.63±0.04	1.23±0.01	0.37±0.01	0.89±0.07

표-23. 배합사료에 사용되는 주요 어분 5가지의 지방산 조성 (%)

Fatty acid	백색어분-1 (덴마크산)	백색어분-2 (알래스카산)	갈색어분-1 (페루산)	갈색어분-2 (칠레남부산)	국내산어분
C10:0	0.04±0.00	-	-	-	-
C11:0	0.03±0.00	-	-	-	-
C14:0	4.14±0.04	4.93±0.38	8.87±0.65	3.64±0.20	4.00±0.01
C15:0	0.42±0.00	0.33±0.01	0.73±0.02	0.34±0.01	1.06±0.00
C16:0	15.55±0.08	20.79±0.20	28.59±0.66	18.25±0.91	25.65±0.10
C17:0	0.35±0.01	0.24±0.05	0.55±0.41	0.36±0.13	0.50±0.00
C18:0	2.26±0.03	4.11±0.02	5.64±0.18	5.62±0.19	8.05±0.01
C20:0	11.40±0.00	0.40±0.00	0.40±0.00	1.97±0.08	3.32±0.00
C21:0	0.61±0.01	0.82±0.00	0.91±0.06	0.84±0.06	0.44±0.00
C22:0	14.63±0.06	6.21±0.05	-	0.31±0.14	0.35±0.02
C23:0	0.21±0.05	0.25±0.02	0.16±0.11	0.23±0.00	0.43±0.00
C24:0	0.84±0.01	1.89±0.02	2.30±0.05	3.34±0.23	1.25±0.01
Saturated	**50.49±0.07**	**39.99±0.46**	**48.15±0.74**	**34.90±0.79**	**45.18±0.24**
C14:1	0.20±0.00	0.14±0.01	0.20±0.01	0.10±0.00	0.18±0.00
C15:1	0.09±0.00	-	0.09±0.00	0.06±0.02	0.12±0.00
C16:1	4.45±0.01	6.46±0.09	11.64±0.01	5.01±0.18	5.44±0.00
C17:1	0.09±0.00	0.37±0.01	0.79±0.68	0.19±0.10	0.28±0.00
C18:1	16.05±0.10	21.37±0.13	10.30±0.32	21.02±0.10	16.27±0.02
C20:1	0.07±0.00	-	-	0.44±0.53	0.09±0.00
Monoenes	**20.94±0.12**	**28.33±0.04**	**23.01±0.36**	**26.82±0.32**	**22.19±0.33**
C18:2n9c	1.33±0.10	1.01±0.01	0.72±0.98	14.15±0.27	1.57±0.01
C18:2n9t	-	-	-	-	0.16±0.00
C18:3n6,9,12c	0.85±0.06	0.47±0.01	0.39±0.44	2.03±0.11	0.54±0.08
C18:3n9,12,15c	1.68±0.02	1.56±0.04	2.65±0.17	0.77±0.11	0.91±0.02
C20:2	0.04±0.00	0.26±0.00	0.19±0.04	0.31±0.02	0.08±0.00
C20:3	0.66±0.00	0.86±0.02	1.59±0.10	1.00±0.04	2.01±0.01
C20:4	0.22±0.00	-	-	-	-
C20:5(EPA)	7.82±0.07	14.07±0.24	12.52±0.79	7.34±0.45	5.99±0.08
C22:2	0.25±0.00	0.49±0.02	0.35±0.29	0.38±0.04	0.19±0.00
C22:6(DHA)	15.73±0.24	12.96±0.10	10.43±1.70	12.30±0.15	21.12±0.05
Polyenes	**28.57±0.19**	**31.68±0.42**	**28.84±1.09**	**38.28±1.12**	**32.63±0.13**
Total			100		
n-3	**25.23±0.34**	**28.59±0.39**	**25.61±2.65**	**20.41±0.71**	**28.05±0.06**
n-6	**3.05±0.15**	**2.34±0.01**	**2.70±1.31**	**17.18±0.34**	**4.15±0.07**
n-3/n-6	**8.27±0.50**	**12.23±0.10**	**11.04±6.36**	**1.19±0.02**	**6.76±0.11**

표-24. 배합사료에 사용되는 주요 사료원 5가지의 지방산 조성 (%)

Fatty acid	채종박	대두박	타피오카분	콘글루텐밀	소맥분
C15:0	0.07±0.01	-	-	-	-
C16:0	10.47±0.44	17.26±0.35	26.03±0.65	12.28±0.17	18.35±0.02
C17:0	0.21±0.02	-	-	-	-
C18:0	2.59±0.18	4.13±0.05	7.89±0.43	2.28±0.08	1.45±0.10
C20:0	3.84±0.10	0.23±0.05	1.39±0.42	-	-
C22:0	26.89±1.21	-	-	-	-
C24:0	0.65±0.01	-	-	-	-
Saturated	44.72±0.45	21.62±0.36	35.31±0.63	14.56±0.08	19.80±0.08
C16:1	0.71±0.06	0.14±0.01	-	-	-
C17:1	0.11±0.15	-	-	-	-
C18:1	20.69±0.81	15.66±0..01	39.41±1.92	27.36±0.84	18.68±0.37
Monoenes	21.51±0.90	15.80±0.01	39.41±1.92	27.36±0.84	18.68±0.37
C18:2n9c	25.78±0.20	55.61±0.36	22.61±0.61	56.36±0.62	57.78±0.60
C18:3n6,9,12c	7.99±0.24	6.97±0.01	2.67±0.67	1.73±0.14	3.73±0.15
Polyenes	33.78±0.45	62.58±0.37	25.28±1.29	58.09±0.75	61.52±0.45
Total			100		
n-3	-	-	-	-	-
n-6	33.78±0.45	62.58±0.37	25.28±1.29	58.09±0.75	61.52±0.45
n-3/n-6	-	-	-	-	-

4) 비타민

가) 배합사료

국내 4개 사료회사의 시판용 넙치, 조피볼락용 배합사료에 대한 비타민 C, B_2, E의 함유량을 표-25에 나타내었다. 넙치 배합사료 내 비타민 C의 함유량은 A사와 B사가 검출되었고 각각 0.99±0.27, 4.71±0.29 mg/100g이었으며 C사와 D사는 검출되지 않았다. 평균값은 1.43±2.08 mg/100g이었다. 조피볼락 배합사료에서는 B사와 C사가 검출되었으며 각각 0.82±0.13, 1.99±0.08 mg/100g을 나타내었다. A와 D사는 검출되지 않았으며, 평균값은 0.70±0.87 mg/100g이었다. 비타민 B_2의 경우 넙치 배합사료는 0.58~3.08 mg/100g의 범위로 A사가 가장 높았으며 평균값은 1.72±1.03 mg/100g이었다. 조피볼락 사료에서는 0.14~1.17 mg/100g의 범위로 D사가 가장 높았으며 평균값은 0.76±0.42 mg/100g을 나타내었다. 비타민 E의 경우 넙치 배합사료는 6.13~24.81 mg/100g의 범위로 이중 D사가 가장 높았으며, 평균값은 14.86±7.72 mg/100g을 나타내었다. 조피볼락 사료에서는 3.65~14.01 mg/100g의 범위로 D사가 가장 높았으며 평균값은 8.36±5.00 mg/100g을 나타내었다.

나) 어분 및 기타 사료원

배합사료에 사용되는 동물성사료원인 주요어분 5가지와 어분을 제외한 배합사료에 사용되는 주요 사료원 중 식물성인 채종박, 대두박, 타피오카분, 콘글루텐밀, 소맥분 5가지 비타민 C, B_2, E 조성을 표-26에 나타내었다. 비타민 C에서는 어분에서는 검출되지 않았으며, 기타 사료원에서도 대두박만이 1.87±0.06 mg/100g이 검출되었고, 기타 다른 사료원은 검출되지 않았다. 비타민 B_2에서는 어분이 0.08~1.78 mg/100g의 범위로, 칠레 남부 갈색어분이 가장 높은 값을 나타내었다. 기타 사료원은 0.01~0.33 mg/100g의 범위를 나타내었으며, 소맥분에서 가장 높은 값을 나타내었다. 비타민 E에서는 어분이 0.36~2.16 mg/100g의 범위로 이중 칠레 남부 갈색어분이 가장 높은 값을 나타내었다. 기타 사료원은 0.23~5.96 mg/100g의 범위로 이중 콘글루텐밀이 가장 높은 값을 나타내었다.

표-25. 국내 4개 사료회사의 넙치, 조피볼락 배합사료 내 비타민 C, B_2, E 함유량

(mg/100g)

비타민		비타민 C	비타민 B_2	비타민 E
넙치	A사	0.99±0.27	3.08±0.21	6.13±0.39
	B사	4.71±0.29	0.58±0.00	15.17±0.06
	C사	-	2.11±0.12	13.30±2.98
	D사	-	1.11±0.03	24.81±0.91
평균		1.43±2.08	1.72±1.03	14.86±7.22
조피볼락	A사	-	0.91±0.13	3.65±0.14
	B사	0.82±0.13	0.14±0.02	11.90±0.56
	C사	1.99±0.08	0.81±0.19	3.87±0.13
	D사	-	1.17±0.10	14.01±1.01
평균		0.70±0.87	0.76±0.42	8.36±5.00

표-26. 배합사료에 사용되는 5가지 주요 어분 및 사료원의 Vitamin C, B_2, E 함유량

(mg/100g)

Vitamin	백색어분-1 (덴마크산)	백색어분-2 (알래스카산)	갈색어분-1 (페루산)	갈색어분-2 (칠레남부산)	국내산어분
Vitamin C	-	-	-	-	-
Vitamin B_2	0.72±0.00	0.48±0.01	0.08±0.01	1.78±0.03	0.35±0.00
Vitamin E	1.78±0.03	2.16±0.07	0.36±0.02	2.26±0.58	0.70±0.03
Vitamin	**채종박**	**대두박**	**타피오카분**	**콘글루텐밀**	**소맥분**
Vitamin C	-	1.87±0.06	-	-	-
Vitamin B_2	0.04±0.02	0.01±0.00	0.10±0.04	0.09±0.01	0.33±0.00
Vitamin E	0.61±0.14	0.23±0.02	0.48±0.17	5.96±0.33	1.55±0.02

6) 미네랄

가) 배합사료

국내 4개 사료회사의 시판용 넙치, 조피볼락용 배합사료에 대한 12가지의 미네랄 함유량을 표-27, 28, 29, 30에 나타내었다. 넙치 배합사료 내 칼슘(Ca)은 1.74~2.30%의 범위로 B사가 가장 높았으며 평균값은 2.00±0.27%이었다. 인(P)은 1.24~1.54%의 범위로 역시 B사가 가장 높았으며 평균값은 1.36±0.12%을 나타내었다. 나트륨(Na)은 0.54~1.05%의 범위로 D사가 가장 높았으며 평균값은 0.69±0.23%이었다. 칼륨(K)은 0.05~0.07%의 범위로 D사가 가장 높았으며 평균값은 0.06±0.01%를 나타내었다. 철(Fe)은 0.21~0.46%로 A사가 가장 높았으며 평균값은 0.32±0.12%를 나타내었다. 아연(Zn)은 0.14~0.29%로 B사가 가장 높았으며 평균값은 0.20±0.06%를 나타내었다. 마그네슘(Mg)은 0.02~0.03%로 큰 차이를 보이지 않았으며 평균값은 0.02±0.01%를 나타내었다(표-27). 넙치 배합사료 내 크롬(Cr)은 2.67~6.72 ppm의 범위로 A사가 가장 높았으며 평균값은 3.93±1.76 ppm을 나타내었으며, 수은(Hg)은 모든 회사에서 검출되지 않았다. 구리(Cu)는 2.52~26.13 ppm의 qjadln로 이중 A사가 가장 높았으며 평균값은 16.21±10.07 ppm이었다. 망간(Mn)에서는 20.98~47.01 ppm의 범위로 이중 C사가 가장 높았으며 평균값은 33.08±12.26 ppm를 나타내었다(표-27). 조피볼락 배합사료 내 칼슘은 1.69~2.71%의 범위로 B사가 가장 높았으며 평균값은 2.09±0.42%를 나타내었다. 인은 1.01~1.55%의 범위로 B사가 가장 높았고 평균값은 1.22±0.23%를 나타내었다. 나트륨은 0.44~0.48%의 범위로 각 사료회사별로 큰 차이를 보이진 않았으며, 평균값은 0.46±0.05%이었다. 칼륨은 0.06~0.08%의 범위로 각 사료회사별로 큰 차이를 보이지 않았으며 평균값은 0.07±0.01%를 나타내었다. 철은 0.35~0.68%의 범위로 C사가 가장 높았으며 평균값은 0.47±0.15%를 나타내었다. 아연은 0.07~0.22%의 범위로 D사가 가장 높았으며 평균값은 0.14±0.06%이었고, 마그네슘은 모두 0.02%이었으며 평균값도 0.02%를 나타내었다(표-29). 조피볼락 배합사료 내 크롬은 2.82~3.67 ppm의 범위로 B사가 가장 높았으며 평균값은 3.20±0.53 ppm을 나타내었다. 수은은 넙치 배합사료 같이 검출되지 않았다. 구리는 11.74~36.80 ppm의 범위로 C사가 가장 높았으며 평균값은 22.95±9.63 ppm를 나타내었다. 망간은 23.35~8.34 ppm의 범위로 C사가 가장 높았으며, 평균값은 23.35±8.34 ppm를 나타내었다.(표-30)

표-27. 국내 4개 사료회사의 넙치 배합사료 내 8가지 미네랄 함유량 (%)

광물질	A사	B사	C사	D사	평균
칼슘(Ca)	1.74±0.04	2.30±0.03	1.81±0.01	2.12±0.31	2.00±0.27
인(P)	1.31±0.01	1.54±0.01	1.24±0.02	1.35±0.04	1.36±0.12
나트륨(Na)	0.54±0.00	0.54±0.08	0.62±0.03	1.05±0.02	0.69±0.23
칼륨(K)	0.05±0.00	0.06±0.00	0.05±0.01	0.07±0.00	0.06±0.01
철(Fe)	0.46±0.02	0.24±0.01	0.37±0.01	0.21±0.10	0.32±0.12
아연(Zn)	0.20±0.01	0.29±0.01	0.15±0.01	0.14±0.00	0.20±0.06
마그네슘(Mg)	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.03±0.00	0.02±0.01

표-28. 국내 4개회사의 넙치 배합사료 내 크롬(Cr), 수은(Hg), 구리(Cu), 망간(Mn)함유량 (ppm)

		크롬(Cr)	수은(Hg)	구리(Cu)	망간(Mn)
넙치	A사	6.72±0.73	N/D	26.13±0.40	22.59±0.01
	B사	2.67±0.07	N/D	23.65±0.08	20.98±0.52
	C사	3.08±0.02	N/D	2.52±0.52	47.01±0.64
	D사	3.27±0.01	N/D	12.54±0.61	41.75±0.10
평균		**3.93±1.76**	**N/D**	**16.21±10.07**	**33.08±12.26**

표-29. 국내 4개 사료회사의 조피볼락 배합사료 내 8가지 미네랄 함유량 (%)

광물질	A사	B사	C사	D사	평균
칼슘(Ca)	1.69±0.14	2.71±0.03	2.04±0.17	1.91±0.07	2.09±0.42
인(P)	1.26±0.14	1.55±0.02	1.01±0.02	1.06±0.03	1.22±0.23
나트륨(Na)	0.44±0.06	0.45±0.00	0.45±0.09	0.48±0.06	0.46±0.05
칼륨(K)	0.06±0.01	0.06±0.00	0.08±0.00	0.07±0.00	0.07±0.01
철(Fe)	0.37±0.08	0.35±0.03	0.68±0.13	0.48±0.03	0.47±0.15
아연(Zn)	0.12±0.01	0.07±0.00	0.17±0.03	0.22±0.01	0.14±0.06
마그네슘(Mg)	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00

표-30. 국내 4개회사의 조피볼락 배합사료 내 크롬(Cr), 수은(Hg), 구리(Cu), 망간(Mn) 함유량 (ppm)

		크롬(Cr)	수은(Hg)	구리(Cu)	망간(Mn)
조피볼락	A사	2.86±0.22	N/D	20.23±0.29	19.25±0.80
	B사	3.67±0.61	N/D	11.74±0.02	12.64±0.34
	C사	2.82±0.07	N/D	36.80±0.14	31.66±0.54
	D사	3.46±0.65	N/D	23.02±0.16	29.84±0.50
평균		**3.20±0.53**	**N/D**	**22.95±9.63**	**23.35±8.34**

나) 어분

배합사료에 사용되는 동물성사료원인 주요어분 5가지의 미네랄 12가지의 함유량 표-31, 32에 나타내었다. 칼슘은 3.09~6.76%의 범위로 페루산 갈색어분이 가장 높았으며 평균값은 4.93±1.24%이었다. 인은 2.11~3.66%의 범위로 역시 페루산 갈색어분이 가장 높았으며 평균값은 2.87±0.54%을 나타내었다. 나트륨은 0.72~1.47%의 범위로 덴마크산 백색어분이 가장 높았고 평균값은 1.07±0.29%이었으며, 칼륨은 0.05~0.09%의 범위로 덴마크산 어분이 가장 높은 값을 보였으며, 평균값은 0.07±0.02%를 나타내었다. 철은 0.15~1.87%의 범위로 페루산 갈색어분이 가장 높았으며 평균값은 0.12±0.06%를 나타내었다. 아연은 0.07~0.24%의 범위로 칠레 남부산 갈색어분이 가장 높았으며 평균값은 0.12±0.06%를 나타내었다. 마그네슘은 0.02~0.04%의 범위로 어분별로 큰 차이를 보이지 않았으며 평균값은 0.03±0.01%이었다.(표-30). 크롬은 2.04~4.27 pp의 범위로 페루산 갈색어분이 가장 높았으며 평균값은 3.35±0.94 ppm 이었고, 수은은 모든 어분에서 검출되지 않았다. 구리는 2.57~9.56 ppm으로 국내산 어분이 가장 높았고 평균값은 5.82±2.46 ppm을 나타내었다. 망간은 3.60~47.33 ppm의 범위로 페루산 갈색어분이 다른 어분에 비해 월등히 높은 값을 나타내었으며 평균값은 13.68±17.81 ppm을 나타내었다(표-31).

다) 기타사료원

어분을 제외한 배합사료에 사용되는 주요 사료원 중 식물성인 채종박, 대두박, 타피오카분, 콘글루텐밀, 소맥분 5가지의 미네랄 12가지의 함유량을 표-33, 34에 나타내었다. 칼슘은 0.18~1.84%의 범위로 대두박이 가장 높았으며 평균값은 0.92±0.64%을 나타내었다. 인은 0.05~1.00%의 범위로 대두박이 가장 높았으며 평균값은 0.46±0.40%이었다. 나트륨은 0.13~0.72%의 범위로 채종박이 가장 높았고 평균값은 0.48±0.23%를 나타내었다. 칼륨은 0.01~0.09%의 범위로 채종박과 소맥분이 높은 값을 보였으며 평균값은 0.05±0.03를 나타내었다. 철은 0.08~2.33%의 범위로 타피오카분이 월등히 높은 값을 나타내었고 평균값은 0.66±0.91%이었다. 아연은 0.02~0.05%의 범위로 대두박이 가장 높았으며 평균값은 0.05±0.04%를 나타내었다. 마그네슘은 0.01~0.05%의 범위로 채종박과 소맥분이 높았으며 평균값은 0.02±0.02%이었다(표-31). 크롬은 2.07~7.04 ppm의 범위로 타피오카분이 가장 높았으며 평균값은 3.73±1.76 ppm을 나타내었고, 수은은 모든 어분에서 검출되지 않았

다. 구리는 2.49~14.17 ppm의 범위로 채종박이 가장 높았고 평균값은 8.78±5.09 ppm을 나타내었다. 망간은 1.83~50.43 ppm의 범위로 채종박이 가장 높았으며 평균값은 28.33±18.45 ppm을 나타내었다(표-32).

표-31. 배합사료에 사용되는 주요 어분 5가지의 8가지 미네랄 함유량 (%)

광물질	백색어분-1 (덴마크산)	백색어분-2 (알래스카산)	갈색어분-1 (페루산)	갈색어분-2 (칠레남부산)	국내산 어분	평균
칼슘(Ca)	5.04±0.20	5.04±0.35	6.76±0.26	3.09±0.02	4.72±0.12	4.93±1.24
인(P)	3.05±0.12	2.86±0.05	3.66±0.16	2.11±0.04	2.65±0.01	2.87±0.54
나트륨 (Na)	1.47±0.30	1.22±0.03	0.72±0.02	0.88±0.04	1.06±0.06	1.07±0.29
칼륨(K)	0.09±0.00	0.07±0.01	0.06±0.00	0.07±0.00	0.05±0.00	0.07±0.02
철(Fe)	0.22±0.02	0.15±0.02	1.87±0.04	0.22±0.06	0.56±0.04	0.61±0.69
아연(Zn)	0.10±0.00	0.09±0.00	0.07±0.00	0.24±0.03	0.13±0.00	0.12±0.06
마그네슘 (Mg)	0.04±0.01	0.02±0.01	0.03±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.03±0.01

표-32. 배합사료에 사용되는 주요 어분 5가지의 크롬(Cr), 수은(Hg), 구리(Cu), 망간(Mn)의 함유량 (ppm)

	크롬(Cr)	수은(Hg)	구리(Cu)	망간(Mn)
백색어분-1 (덴마크산)	2.04±0.42	N/D	5.90±0.15	3.60±0.10
백색어분-2 (알레스카산)	2.96±0.06	N/D	2.57±0.31	4.05±0.42
갈색어분-1 (페루산)	4.27±0.32	N/D	4.55±0.06	47.33±0.36
갈색어분-2 (칠레남부산)	3.34±0.97	N/D	6.53±0.42	7.89±0.41
국내산어분	4.12±0.13	N/D	9.56±0.95	5.54±0.56
평균	**3.35±0.94**	N/D	**5.82±2.46**	**13.68±17.81**

표-33. 배합사료에 사용되는 주요 사료원 5가지의 8가지 미네랄 함유량 (%)

광물질	채종박	대두박	타피오카분	콘글루텐밀	소맥분	평균
칼슘(Ca)	1.34±0.13	1.84±0.07	0.80±0.04	0.18±0.03	0.46±0.16	0.92±0.64
인(P)	0.82±0.06	1.00±0.03	0.05±0.01	0.26±0.06	0.16±0.01	0.46±0.40
나트륨(Na)	0.72±0.01	0.43±0.06	0.51±0.07	0.62±0.23	0.13±0.04	0.48±0.23
칼륨(K)	0.09±0.00	0.06±0.01	0.04±0.00	0.01±0.00	0.09±0.00	0.05±0.03
철(Fe)	0.50±0.01	0.23±0.02	2.33±0.41	0.13±0.00	0.08±0.00	0.66±0.91
아연(Zn)	0.05±0.00	0.13±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.05±0.00	0.05±0.04
마그네슘(Mg)	0.05±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.05±0.00	0.01±0.00	0.02±0.02

표-34. 배합사료에 사용되는 주요 사료원의 5가지의 크롬(Cr), 수은(Hg), 구리(Cu), 망간(Mn)의 함유량 (ppm)

	크롬(Cr)	수은(Hg)	구리(Cu)	망간(Mn)
채종박	3.65±0.09	N/D	14.17±0.18	50.43±0.73
대두박	3.28±0.80	N/D	10.35±0.08	25.79±3.60
타피오카분	7.04±0.41	N/D	3.69±0.03	44.11±0.97
콘글루텐밀	2.68±0.37	N/D	13.18±0.29	1.83±0.67
소맥분	2.07±0.30	N/D	2.49±0.29	19.50±0.03
평균	**3.73±1.76**	N/D	**8.78±5.09**	**28.33±18.45**

6) 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)

가) 배합사료

국내 4개회사의 넙치, 조피볼락 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 함유량을 표-35에 나타내었다. 넙치 배합사료 내 셀레늄은 0.62~3.43 ppm의 범위를 보였으며, 특히 B사의 경우 3.43±0.07 ppm의 높은 값을 나타내었고, 평균값은 1.54±1.19 ppm를 나타내었다. 비소는 D사의 경우 검출되지 않았으며 그 외 회사는 0.39~1.13 ppm의 범위를 보였으며 이중 B사가 가장 높은 값을 나타내었고, 평균값은 0.58±0.46 ppm이었다. 납은 B사와 D사는 검출되지 않았으며 A와 C사는 각각 0.06±0.01, 0.10±0.01 ppm이 검출되었고, 평균값은 0.08±0.01 ppm이었다. 카드뮴은 0.09~0.83%의 범위로 A사는 0.09±0.01로 가장 낮은 값을 보였으며 C사와 D사는 0.83 ppm으로 같은 값을 나타내었고 평균값은 0.55±0.33 ppm이었다. 조피볼락 배합사료 내 셀레늄은 0.32~1.24 ppm의 범위로 이중 A사가 가장 낮은 값을 보였으며 B~D사는 비슷한 값을 나타내었고 평균값은 0.99±0.42 ppm이었다. 비소는 0.20~0.61 ppm의 범위로 B사가 가장 높았으며 평균값은 0.44±0.16 ppm을 나타내었다. 납은 0.04~0.42 ppm의 범위로 특히 B사에서 월등히 높은 값을 보였으며 평균값은 0.15±0.17 ppm을 나타내었다. 카드뮴은 0.28~0.91 ppm의 범위로 D사에게 높은 값을 보였으며 평균값은 0.69±0.27 ppm이었다.

나) 어분 및 기타 사료원

배합사료에 사용되는 동물성사료원인 주요어분 5가지와 어분을 제외한 배합사료에 사용되는 주요 사료원 중 식물성인 채종박, 대두박, 타피오카분, 콘글루텐밀, 소맥분 5가지의 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴 함유량을 표-36에 나타내었다. 어분에서 셀레늄은 0.45~3.71 ppm의 범위로 덴마크산 백색어분과 국내산 어분이 높은 값을 보여주었으며, 특히 국내산 어분은 3.71±0.05 ppm으로 다른 회사보다 3~5배가량 높은 값을 나타내었다. 셀레늄의 평균값은 1.49±1.21 ppm이었다. 비소는 0.21~2.46 ppm의 범위로 페루산 갈색어분은 검출되지 않았으며 국내산 어분이 2.46±0.05 ppm으로 높은 값을 나타내었다. 납은 덴마크, 러시아산 백색어분과 페루산 갈색어분은 검출되지 않았으며, 칠레남부산과 국내산 어분은 각각 0.21±0.01, 0.75±0.11 ppm이 검출되었다. 납의 평균값은 0.28±0.29 ppm이었다. 카드뮴은 0.02~4.08 ppm의 범위

로, 국내산 어분이 다른 어분에 비해 20배이상 높은 값을 나타내었다.

기타 사료원에서는 셀레늄이 0.06~0.78 ppm범위로 채종박이 가장 높은 값을 나타내었으며 평균값은 0.34±0.27 ppm이었다. 비소는 모든 사료원에서 검출되지 않았으며, 납은 채종박이 0.47±0.06 ppm이 검출되었으며 기타 사료원은 검출되지 않았다. 카드뮴은 0.01~0.11 ppm의 범위이며, 이중 타피오카분과 콘글루텐밀은 검출되지 않았으며, 평균값은 0.51±0.15 ppm을 나타내었다.

표-35. 국내 4개회사의 넙치, 조피볼락 배합사료 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 (ppm)

		셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치	A사	0.85±0.04	0.80±0.02	0.06±0.01	0.09±0.01
	B사	3.43±0.07	1.13±0.05	N/D	0.45±0.02
	C사	1.28±0.02	0.39±0.09	0.10±0.01	0.83±0.05
	D사	0.62±0.02	N/D	N/D	0.83±0.00
평균		**1.54±1.19**	**0.58±0.46**	**0.08±0.01**	**0.55±0.33**
조피볼락	A사	0.32±0.01	0.20±0.02	0.04±0.00	0.28±0.00
	B사	1.24±0.07	0.61±0.00	0.42±0.07	0.74±0.04
	C사	1.21±0.04	0.47±0.10	0.05±0.00	0.85±0.01
	D사	1.20±0.15	0.46±0.02	0.08±0.02	0.91±0.02
평균		**0.99±0.42**	**0.44±0.16**	**0.15±0.17**	**0.69±0.27**

표-36. 배합사료에 사용되는 주요 5가지 어분 및 사료원의 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 함유량 (ppm)

	셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
백색어분-1 (덴마크산)	1.58±0.06	1.26±0.93	N/D	0.19±0.00
백색어분-2 (알레스카산)	0.47±0.01	1.65±0.13	N/D	0.09±0.00
갈색어분-1 (페루산)	0.45±0.02	N/D	N/D	0.02±0.00
갈색어분-2 (칠레남부산)	0.96±0.01	0.21±0.02	0.21±0.01	0.02±0.00
국내산어분	3.71±0.05	2.46±0.05	0.75±0.11	4.08±0.16
평균	**1.49±1.21**	**1.26±0.93**	**0.28±0.29**	**0.73±1.60**
채종박	0.78±0.02	N/D	0.47±0.06	0.11±0.00
대두박	0.19±0.00	N/D	N/D	0.01±0.00
타피오카분	0.06±0.00	N/D	N/D	N/D
콘글루텐밀	0.47±0.01	N/D	N/D	N/D
소맥분	0.19±0.00	N/D	N/D	0.11±0.00
평균	**0.84±0.30**	N/D	**0.20±0.17**	**0.51±0.15**

5. 국내·외 배합사료 및 수산물 내 유해 중금속 허용 기준 조사

가. 국내・외 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준 조사

경제의 세계화에 따라 축산물을 포함한 식품의 국가 간 이동이 자유로워지면서 축산물의 품질과 규격이 수입국의 기준에 합당하여야 하고 그러한 축산물의 품질과 규격이 수입국의 기준에 합당해야 하며, 이러한 축산물을 품질을 위해서는 사료품질관리 또한 국제적이 기준에 따라야 한다. 이러한 추세에 따라 각국의 품질관리의 목표와 기준이 세계화되어 가고 있어서 FAO나 유럽연합과 같은 국제적인 기관에서 권장 사항이나 기준을 제시하고 각 정부나 기업에서는 이러한 권장사항을 따르거나 벤치마킹하면서 품질관리 체계를 세워나가고 있는 추세이다.

수산양식은 축산에 비해 역사가 짧고 경제적 규모도 상대적으로 매우 작으며, 양식대상동물이 매우 다양하여 양식 생물의 사료 내 중금속에 대한 연구는 초보수준에 머물고 있어, 양어사료 내 중금속에 대한 기준을 설정하는데 어려움이 많다. 현재 국내・외 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준은 주로 축산용 배합사료를 중심으로 설정되어 있으며, 국가별 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준에 관한 관련법 또는 관련자료를 보면 국내는 농림수산식품부 사료관리법, 미국은 Association of American Feed Control Officials에서 발행한 Official Publication, EU는 유럽이사회에서 제정한 DIRECTIVE 2002/32/EC 그리고 일본은 농림수산성의 사료 안전법 내 사료의 유해 물질 지도 기준을 바탕으로 하여 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준을 관리하고 있다.

1) 국내 배합사료 내 유해중금속 허용 기준 현황

국내의 사료의 품질관리에 관련된 법규의 근간이 되는 것은 사료관리법으로서 1963년에 제정되어 2005년 3월까지 일부개정 및 전면개정(2001.03.28:신법)을 거쳐 현재에 이르고 있다. 특히 2001년 3월 제6차 개정에서는 “소해면상뇌증(BSE) 등 인체·동물에 대하여 질병감염원의 개연성이 우려되는 동물부산물”등을 반추가축의 사료원료로 사용되는 것을 금지하여 사료로 인한 질병 발생을 예방하고, 품질 좋은 사료의 생산 및 관리를 위하여 사료의 제조 및 유통과정 등에 있어 사료별로

표-37. 유해물질(유해중금속)의 범위와 허용기준(국내 사료관리법 제 13조; 2005년 개정안 포함)

유해물질명	사료의 종류			허용기준
비소	배합사료	프리믹스사료		12ppm
		어류용 배합사료		**10ppm**
		기타 배합사료		2ppm
	단미사료	광물질(식염류를 제외한다)		40ppm
불소	배합사료	고기소용		100ppm
		젖소용		50ppm
		돼지용		150ppm
		닭용		300ppm
		프리믹스사료		1,800ppm
	단미사료	다량광물질류 및 미량광물질류		1,800ppm
		인산염류 및 칼슘염류		인 함량의 1/100이하
크롬	배합사료	전체 배합사료(프리믹스사료를 제외한다)		100ppm
	단미사료	동물성 단백질류	어분 및 어즙흡착사료	100ppm
			우모분·육분·육골분 및 동물성단백질 혼합물	300ppm
			피혁가공부산물	1,000ppm
		동물성무기물		100ppm
납	배합사료	프리믹스사료		30ppm
		기타 배합사료		**10ppm**
	단미사료	동물성단백질류		10ppm
		알팔파, 건초		10ppm
		곡물류, 식물성단백질류, 남은 음식물사료		20ppm
		동물성무기물류, 광물성(식염류를 제외한다)		30ppm
수은	배합사료	프리믹스사료		0.5ppm
		기타 배합사료		0.4ppm
	단미사료	동물성단백질류 및 무기물류, 광물성(식염류를 제외한다), 곡물류, 식물성단백질류, 남은 음식물사료		0.5ppm
		알팔파, 건초		0.4ppm
카드뮴	배합사료	프리믹스사료		50ppm
		기타 배합사료(기타동물·어류용은 제외한다)		**1.0ppm**
	단미사료	곡물류, 식물성단백질류, 어분(배합사료 원료용은 제외한다), 남은 음식물사료		2.5ppm
		광물성(식염류를 제외한다)		50ppm
아플라톡신 B_1	배합사료	어린송아지 및 어린병아리용, 젖먹이·젖뗀돼지용, 육계 전기용, 비유젖소용		10ppm
		기타 배합사료(프리믹스사료를 제외한다)		20ppb
	단미사료	식물성단백질류, 곡물류, 곡물부산물, 남은 음식물사료		50ppb
셀레늄	배합사료	**전체 배합사료(프리믹스사료를 제외한다)**		**2ppm**

우수제조 관리 및 위해요소 중점관리 제도를 도입하는 등 사료의 품질관리체계를 보강하는 한편, 현행 제도의 운영과정에서 나타난 미비점을 대폭 개선·보완하려는 것이 그 목적으로 하고 있다(해양수산부, 2001). 이러한 사료법의 주요개정내용을 보면 종전 사료관리법의 목적(제 1조)을 “사료의 안정적인 생산과 품질 향상”으로 개정하여 사료의 품질향상을 강조하였고 품질관리(제 3장)에서는 사료의 안전관리 제도(제 9조)를 도입하고, 사료표시 기준을 강화(제 13조)하며, 우수제조 관리 및 위해요소 중점관리기준(제 15조)을 마련해 GMP 및 HACCP 제도를 사료에 적용 가능토록 근거 규정을 마련하고 있다. 또한 사료검사(제 4장)에서 수입신고 대상을 모든 사료로 확대하였으며(제 17조), 자가품질 검사를 강화하였으며(제 18조), 사료의 재검사 제도를 도입(제 21조)함으로써 검사 업무의 신뢰도를 확보하고 있다.

현재 양식용 배합사료 내 유해중금속 허용 기준은 별도로 설정되어 있지 않고 양식용 배합사료 생산업체들은 축산용 배합사료를 중심으로 한 사료관리기준법을 따르고 있다. 비소(As)의 경우에는 2005년에 개정하여, 신생항목으로 어류용 배합사료로 허용기준을 10ppm 으로 두고 있으나 그 외 기타 중금속 항목의 경우에는 축산사료법의 허용기준을 포함시키고 있다. 배합사료 내 유해 중금속 관리 항목은 수은(Hg), 납(Pb), 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 아연(Zn), 셀레늄(Se), 크롬(Cr) 및 비소(As)가 있으며, 이중 셀레늄은 전체 배합사료의 허용기준치를 2 ppm으로 설정하였고, 납은 기타 배합사료와 동물성 단백질류에서는 10 ppm으로 설정하였다. 특별히 카드뮴에 있어서는 기타 배합사료에서 1.0 ppm으로 설정하였으나 어류용 배합사료는 허용 기준에서 제외함이 명시되어 있는데, 이는 양식용 배합사료 생산에 사용되는 사료원 중 중금속의 함유량이 높은 어분의 사용량이 다른 축산용 배합사료에 비해 높아 양식용 배합사료 내 카드뮴의 함유량이 다소 높게 나타날 수 있기 때문이며, 어분 또한 2.5 ppm의 허용기준이 있으나 배합사료 원료용은 제외하고 있다(표-37).

2) 미국의 배합사료 내 유해중금속 허용 기준 현황

미국은 각 주별로 독자적인 행정기능을 수행하는 국가 체계로 사료 품질관리에 관련된 법규 또한 각 주별로 제정되어 집행되고 있다. 이러한 사료가 식품의 품질과 안전성에 영향을 미치는 중요한 요인인 만큼 연방 정부에서 제정된 연방식품의약품 화장품법(Federal Food, Drug and Cosmetic Act)에 의해서 규제를 받고 있다. 1906년에 “연방식품의약품법(일명 Wiley 법)”이 최초로 제정된 이후 1938년에 “연방식품의약품 및

화장품법"으로 개정되었으며 그 이후에는 개정 보완을 거쳤고, 1970년에는 환경보호청(Enviromintal Proteciton Agency, EPA)이 설립되면서 식품이나 사료에서 환경물질에 대한 관련 조합 조항이 삽입되었다(Hanks, 1999),

현재 미국의 배합사료 내 유해중금속의 관리 및 규제는 북미대륙의 각주, 지역 및 연방 사료 검사관과 사료 및 동물약품제조 및 유통, 판매에 관련 감독관의 협의체인 미국사료 검사관 협회(Association of American Feed Control Officials)에서 발행한 Official Publication을 바탕으로 시행하고 있다. 매년마다 발행되고 있는 이 보고서에서는 양식용 배합사료 내 유해중금속 허용 기준에 대하여 구분하여 설정하지 않고 축산용 배합사료로 통칭하여 관리하고 있다. 현재 허용 기준 항목으로는 카드뮴(Cd), 수은(Hg), 셀레늄(Se), 구리(Cu), 납(Pb), 비소(As), 아연(Zn) 및 크롬(Cr)이 있으며, 이러한 유해중금속을 Highly toxic (1~9 ppm), Toxic (10~40 ppm), Moderately toxic (41~100 ppm) 그리고 slightly toxic (101~1,000 ppm)의 4가지 범위로 나누어 허용 기준을 설정하였다. 배합사료 내 8가지 유해중금속의 허용 기준은 표-38에 나타나 있다. 카드뮴의 경우에는 0.5 ppm 으로 우리나라 축산용 사료 기준 1 ppm 의 절반 수준이며, 셀레늄은 2 ppm 으로 우리나라의 기준과 일치한다. 비소는 50 ppm 으로 우리나라 어류용 배합사료 10 ppm에 비해 5배 많은 양을 기준으로 두고 있으며, 납의 경우 30 ppm으로 우리나라 기타사료의 경우(10 ppm) 보다 3배 많은 양을 기준으로 두고 있어, 전반적으로 어류사료에 적용할 수 있는 우리나라의 경우의 기준치보다 카드뮴을 제외하고는 다소 높은 기준치를 두고 있다. 그러나 미국의 경우 동물들에 대해 세분화가 되어 있지 않아 우리나라 현실에 접목시키기에는 다소 무리가 있어 보인다.

3) EU(유럽연합)의 배합사료 내 유해중금속 허용 기준 현황

EU의 법규는 규정(regulations), 지침(directive) 및 위원회 의결(commission decision)의 세가지 형태가 있어서 EU 회원국에서 법률 조항을 그대로 받아들이지만 세부사항은 각 나라의 실정에 맞게 변경이 가능하다. EU의 유럽연하의 사료관련 규정 내 주요사항을 보면 배합사료 지침(The Compound Directives) 73/373에서는 가축과 애완 및 야생동물용 배합사료 제조를 위한 일반적인 규정을 제시하고 있다.

표-38. 미국의 배합사료내 유해 중금속 허용 기준 (ppm)

종류	사료의 종류	허용 기준 (ppm)
Highly Toxic		
카드뮴	완전 사료	0.5
수은	완전 사료	2
셀레늄	완전 사료	2
Toxic		
구리	완전 사료	25
납	완전 사료	30
Moderately Toxic		
비소	완전 사료	50
Slightly Toxic		
아연	완전 사료	300
크롬	완전 사료	1,000

사료 내 영양소 함량표기 사항과 사료급여 방법도 표기할 것을 규정하고 있으며 salmonella와 같은 유해 미생물이나 곰팡이 독소 같은 유해물질에 대한 규정도 포함되어 있다. 특히 유해물질 지침(The Undesirable Substance Directives) 74/63 에는 사료 내 유해물질의 최대허용기준을 제시하고 있으며, dioxin, 중금속, aflatoxin 과 같은 독성물질 이외에도 사료 원료 내에 함유된 gossypol, 겨자기름(mustard oil) 및 잡초씨 등 사료원료 내에 들어있는 성장저해인자들의 허용 한계도 제시하고 있다(CooKe, 1999).

영국, 노르웨이 및 기타 유럽 연합국들의 양식용 배합사료 내 유해중금속에 대한 관리 및 규제는 유럽의회와 이사회에서 제정한 DIRECTIVE 2002/32/EC를 바탕으로 시행하고 있다. 현재 EU에서는 양식용 배합사료 내 유해중금속 허용기준을 별도로 지정해 놓지 않고 축산용 배합사료를 중심으로 허용기준을 설정하여 관

리 및 규제를 실시하고 있는 실정이다. EU의 유해중금속 관리 대상은 수은(Hg), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 및 비소(As)가 있으며, 그 외 구리(Cu)와 아연(Zn)은 미량원소로 분류되어 관리되고 있다. 2003년 5월 EU 위원회에서는 구리와 아연에 있어 기존의 허용 기준에 대한 새로운 허용기준을 제시하였고 동물영양에 관한 유럽공동체 상임위원회(EC Standing Committee for Animal Nutrition)와 유럽사료제조연합회(European Feed Manufactures' Federation)의 의견을 충분히 수렴하여 동물용 배합사료 내 구리와 아연의 허용기준을 재설정 후 시행할 계획이다. EU 위원회로부터 제안된 구리와 아연의 새로운 허용기준을 살펴보면 기존의 허용기준에 있어서는 어류용 배합사료에 관한 기준이 구체적으로 설정되어 있지 않고 기타동물로 분류되어 있으나 새롭게 제안될 허용기준에는 어류용 배합사료 내 구리와 아연에 대한 기준이 별도로 나타나 있다. EU의 이러한 움직임은 축산용 배합사료 내 유해물질의 허용기준이 동물별로 구별되어 설정되어야 함을 반영하고 식품 안전성을 확보하기 위한 노력의 일환으로 확인되며 향후 배합사료 내 유해중금속에 대한 허용기준은 보다 강화될 것이라 여겨진다.

EU의 배합사료 내 유해 중금속 허용기준으로 표-39에 나타냈으며, 비소의 경우 어류용 배합사료 항목이 따로 지정되어 있으며 허용기준이 4 ppm으로 우리나라의 10 ppm 보다 2배 넘게 낮게 설정되어 있다. 납은 어류용 배합사료 항목이 따로 지정되어 있지 않고 축산용 배합사료 기준 내에 포함시키고 있으며 허용기준은 5 ppm으로 우리나라의 기타배합사료로 설정된 항목의 10 ppm 보다 절반수준이다. 카드뮴의 경우에는 기타배합사료 항목이 0.5 ppm으로 식물유래 배합사료 1 ppm, 동물유래 배합사료 2 ppm 으로 나눠져 있어 납의 경우와 같이 따로 어류용 배합사료의 항목을 따로 두지 않고 있어 0.5~2 ppm의 다소 넓은 범위로 이해가능하며 우리나라에서는 기타 배합사료에서 1 ppm 으로 규정 해두고 있으나 앞서 언급한 바와 같이 어류용은 제외하고 있어 어류용 배합사료에 대한 규정이 빠져 있는 실정이다. 셀레늄의 경우에는 우리나라에서 2 ppm과 같이 축산사료의 기준을 따르고 있으나 EU 기준에 따로 항목을 설정하지 않고 있다.

표-39. EU의 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준 (ppm)

종류	사료 종류	최대허용기준량, mg/kg, (수분 12% 기준)
비소(AS)	배합사료	2
	배합사료(어류용)	4
	배합사료(광물질제외)	4
	광물성사료	12
	단미사료(목건초, 비트펄프, 당밀 제외)	2
	목건초, 비트펄프, 당밀	4
	인산염류, 어분 류 등	10
납(Pb)	첨가제(광물질 제외)	10
	배합사료	5
	목초	40
	인산염류	30
	효모류	5
	광물질 사료	30
수은(Hg)	배합사료(개, 고양이사료 제외)	0.1
	배합사료(개, 고양이 사료)	0.4
	첨가제(개, 고양이 사료용)	0.2
	단미사료(어분류 제외)	0.1
	어분류	0.5
카드뮴 (Cd)	배합사료(반추가축용)	1
	기타배합사료	0.5
	첨가제(반추가축용)	0.5
	동물유래 사료	2
	식물유래 사료	1
	인산염류	인 1%당 0.5이하
	광물질 사료	인 1%당 0.75이하
구리(Cu)	배합사료(10주차까지의 젖먹이 돈용)	170
	배합사료(그외 육성돈용)	35
	배합사료(우유생산을 위한 축우용)	30
	배합사료(그외 축우용)	50
	배합사료(양)	15
	배합사료(기타 동물)	35
아연(Zn)	배합사료(모든 동물)	250

4) 일본의 배합사료 내 유해중금속 허용 기준 현황

일본의 사료 관련법규는 우리나라와 상당히 유사한 체계를 가지고 있다. 사료 관련법규에 있어서도 식품안전성 확보를 뒷받침하기 위한 보완작업이 이루어져 1975년도에 종래의 “사료품질 개선을 위한”법을 “사료안전성 확보와 품질 개선을 위한”법률로 개정하였다. 이러한 일본의 사료 안전성 확보 및 품질 개선에 관한 법률의 주요 항목을 보면 유해물질 지도 기준에 농약, 중금속, 곰팡이 독소 등의 허용한계치를 제시하고 있다.

일본 농림수산성의 사료안전법 내 사료의 유해 물질 지도 기준을 살펴보면 일본의 경우에도 양식용 배합사료 내 유해중금속 허용 기준은 별도로 설정하여 관리 하지 않고 있으며, 특별히 축산용 배합사료 내 유해물질 허용기준에 있어서 양식용 배합사료는 관리대상에서 제외한다고 나타나 있어 일본 또한 양어사료 유해중금속에 대한 제재 기준이 따로 없는 실정이다. 현재 일본의 축산용 배합사료 내 유해물질(유해중금속) 관리 항목은 납(Pb), 카드뮴(Cd), 수은(Hg) 및 비소(As) 4가지로 나타나 있다(표-40). 납의 경우 배합사료기준으로 유해중속 허용기준은 3 ppm으로 우리나라에서 기타배합사료 항목의 10 ppm 보다 1/3의 수준이며 카드뮴은 1 ppm으로 우리나라 축산용 배합사료 기준 1 ppm과 동일수준이다. 비소의 경우에는 2 ppm이며 이는 우리나라의 기타배합사료의 경우와 동일수준이나 어류용 배합사료 기준인 10 ppm의 1/5 수준이다. 하지만 일본은 축산용 배합사료 내 유해물질 허용기준이므로 고려수준으로 봐야 할 것이다

표-40. 일본의 배합사료 내 유해 중금속 허용 기준 (ppm)

종류	유해물질명	대상사료	기준
중금속	납(Pb)	배합사료, 건목초등	3.0
		어분, 육분, 육골분	7.5
	카드뮴(Cd)	배합사료, 건목초등	1.0
		어분, 육분, 육골분	2.5
	수은(Hg)	배합사료, 건목초등	0.4
		어분, 육분, 육골분	1.0
	비소(As)	배합사료, 건목초등	2.0
		어분, 육분, 육골분	7.0
곰팡이독	아플라톡신 B_1	배합사료(우용(포유기 송아지용 및 유용우용을 제외한다), 돼지용(포유기 새끼 돼지용을 제외한다), 닭용	0.02
		배합사료(포유기 송아지용, 젖소용, 포유기 새끼 돼지용, 브로일러 전기용)	0.01

주 1. 기준의 대상이 되는 배합사료에는, 혼합 사료를 포함해, 양식 수산 동물용 사료는 포함하지 않는다.

2.「건목초등」은, 건목초, 헤이 큐브, 벼짚, 면실 및 비트 펄프를 가리킨다.

3.「육골분」에는, 집에서 기르는 새 처리 부산물을 포함한다.

나. 국내·외 수산물내 유해 중금속 허용 기준 조사

식품중의 위해요소는 식품에 비의도적 또는 의도적으로 포함되는 오염물질을 말하며, 이러한 위해요소는 크게 유해중금속, 잔류농약, 잔류동물약품, 환경호르몬 , 자연독, 미생물 유래의 독소, 알러지성 유해물질과 같은 화학적 위해요소와 살모넬라균, 병원성 대장균, 비브리오균과 같은 세균 그 자체에 의하여 발병하는 감염형식중독의 미생물학적 위해요소로 나눌 수 있다(박, 2000). 이중에서 특히 중금속은 인류가 금속을 이용하기 시작하면서 대두되기 시작한 위해인자로 중금속 오염물질 중 1974년 FAO/WHO 합동회의에서 감시대상이 된 수은, 납, 카드뮴, 비소, 등을 우선순위로 다루면서, 세계 각국에서는 중금속의 식품오염현황조사와 방지대책을 수립하기 시작하였다(식품의약품 안전청, 2006).

1) 국내

국내에서는 1962년 식품위생법이 제정된 이후 식품안전관리 체계는 법의 재개정과 더불어 부처 간 업무이관 등의 변화를 거치게 되며(정, 2003), 현재는 식품안전청에서는 관리되고 있으며 2005년에는 '위해평가'조항을 신설하였으며, 2006년부터 유해물질관리단을 신설하여 위해정보 수집부터 관리 및 안전조치, 제도개선 등 통합적 관리체계를 확립하고 있다(최, 2006). 이러한 식품관리 체계에서도 특히 수산물은 해양수산부(현 농림수산식품부)령에 따라 수산물의 상품성과 안전성을 높이기 위해 수산물품질관리법을 제정해 관리되고 있다. 또한 해양수산부(현 농림수산식품부)고시 제 '06-8호(06.2.23)에 따라 수산물의 안전성을 확보하기 위해 잔류된 중금속·패류독소·식중독균·항생물질 등의 유해물질을 해양수산부(현 농림수산식품부)령이 정하는 식품기준 및 식품위생법 등의 관계법령에 따라 잔류허용 기준을 넘는지 여부를 조사를 실시하고 있다.

국내 수산물 내 유해중금속 잔류 허용에 관한 관리는 식품의약청에서 발간한 식품공전 내 식품오염물질 기준에 의해 관리되고 있다. 수산물 내 유해 중금속 중 수은(Hg), 납(Pb) 및 카드뮴(Cd)이 관리대상이 되고 있으며 허용기준은 표-41에 나타나 있다. 해산어패류 식품의 경우 납은 2.0 ppm 이하로 제한을 두고 있지만 카드뮴은 2.0 ppm이하로 패류의 경우만으로 제한을 두고 있을 뿐 어류기준으로는 관리항목에서 빠져있다. 국립수산품질 검사원에서 또한 같은 수준으로 수출입 수산물관리 기준을 중금속관련해서 책정해 두고 있다(표-42).

표-41.현행 식품공전상의 수산물 내 유해중금속 허용 기준 현황(2006년 12월)

(ppm)

구분	식품	중금속	기준
식품일반의 규격	해산어패류 (연체동물포함, 생물로 기준할 때) 담수어(생물로 기준할 때)	납	2.0 이하
		총수은	0.5이하(심해성 어류, 다랑어류 및 새치류 제외)
		메틸수은	1.0이하(심해성 어류, 다랑어류 및 새치류에 한함)
	패류(생물로 기준할 때)	카드뮴	2.0 이하
통・병조림식품	통조림	납	0.3이하(다만, 수산 통・병조림은 2.0 이하)
제5의 2 수산물에 대한 잠정규격	냉동식용대구머리	총수은	0.5 이하
		납	2.0 이하

표-42. 수산물 및 수산가공품 검사기준 및 이식용 수산물 검역기준(국립수산물 품질검사원고시 제 2007-3호; 중금속관련 개정)

항 목	기 준	검 사 대 상
1. 중금속		○ 활, 신선・냉장품, 냉동품, 건제품
1) 총수은	0.5mg/kg이하	○ 해산어(어류・패류・연체류), 담수어, 냉동식용대구머리, 냉동창란 (생물로 기준할 때) 다만, 심해성 어류 및 다랑어류 및 새치류 제외 〔심해성어류 : 쏨뱅이류(적어포함, 연안성어종 제외), 금눈돔, 칠성상어, 얼룩상어, 악상어, 청상아리, 기름치, 곱상어, 귀상어, 은상어, 청새리상어, 흑기흉상어, 다금바리, 체장메기(홍메기), 블랙오레오도리, 스무스오레오도리, 오렌지라피, 붉평치, 먹장어(연안성 제외), 흑점샛돔(은샛돔), 파타고니아이빨고기, 은민대구(뉴질랜드계군에 한함) 등 〔다랑어류 및 새치류 : 참다랑어, 남방참다랑어, 날개다랑어, 눈다랑어, 황다랑어, 돛새치, 청새치, 녹새치, 백새치, 황새치, 백다랑어, 가다랑어, 점다랑어, 몽치다래, 물치다래〕
2) 납	2.0mg/kg이하	○ 해산어(어류・패류・연체류), 담수어, 냉동식용대구머리, 냉동창란(생물로 기준할 때)
3) 카드뮴	2.0mg/kg이하	○ 패류(생물로 기준할 때)

2) 국제식품규격(CODEX)

국제식량농업기구(FAO)와 세계보건기구(WHO)에서는 소비자가 식품을 안전하게 소비하고 국제 식품 무역에 있어 각국의 정부기관과 무정부기관들이 안전한 식품의 표준을 공동으로 따를 수 있도록 1963년 국제식품규격위원회를 창설하였고 이 위원회를 통해 국제식품규격(CODEX)집을 발행하여 전 세계 식품 안전 확보를 위하여 노력하고 있다. 국제식품규격(CODEX)내 유해중금속 허용 기준 항목으로는 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 수은(메틸수은) 및 주석이 있으며, 이 중 수산물 내 관리 대상 항목은 카드뮴(Cd), 납(Pb) 및 수은(메틸수은)이 있다. 이러한 수산물 내 유해중금속 허용기준은 표-43과 같다. 카드뮴(Cd)의 경우 연체동물에만 그 기준이 1.0 ppm 으로 설정되어 있을 뿐 어패류에 관해서는 설정되어 있지 않으며 납의 경우에는 모두 0.2 ppm 으로 설정되어 있어 우리나라의 규정보다 강화된 기준을 가지고 있다. 납(Pb)의경우에는 1/10 수준으로 대단히 낮게 책정되어 있다.

표-43. 국제식품규격의 수산물 내 유해 중금속 허용기준 (ppm)

종 류	목 록	기 준
카드뮴	연체동물	1.0
납	강・소하성 어류	0.2
	담수어류	0.2
	해산어류	0.2
수은 (메틸수은)	어류	0.5
	육식성 어류	1.0
	창꼬치	1.0
	상어	1.0
	황새치	1.0
	참치	1.0

3) 미국

미국의 수산물 내 유해중금속 잔류 허용에 관한 관리는 미국 식약청(United States Food & Drug Administration, USFDA)내 식품안전과 국민의 영양관리를 위한 센터(Center for Food Safety & Applied Nutrition)에서 발행한 어류 및 수산물 내 위해요소관리를 위한 지도집(FISH AND FISHERIES PRODUCTS HAZARDS AND CONTROLS GUIDANCE)을 바탕으로 하고 있다. 어류 및 수산물내 유해 중금속 허용 항목으로는 납(Pb), 카드뮴(Cd), 니켈(Ni), 크롬(Cr), 비소(As) 및 수은(메틸수은)이 있으며 허용기준은 표-44에 나타내었다. 납(Pb)은 1.5~1.7 ppm 수준으로 우리나라의 경우보다 다소 낮은 수준이며 카드뮴(Cd)은 3.0~4.0 ppm 으로 약간 높게 설정되어 있다. 우리나라에서는 검사항목에서 제외되어 있는 비소(As)는 76~86 ppm로 그 허용기준이 설정되어 있다.

표-44. 미국의 수산물 내 유해중금속 허용기준 (ppm)

종 류	목 록	기 준
납	갑각류	1.5
	굴, 홍합, 대합, 조개	1.7
카드뮴	갑각류	3.0
	굴, 홍합, 대합, 조개	4.0
니켈	갑각류	70
	굴, 홍합, 대합, 조개	80
크롬	갑각류	12
	굴, 홍합, 대합, 조개	13
비소	갑각류	76
	굴, 홍합, 대합, 조개	86
수은(메틸수은)	어류, 패류, 갑각류, 다른 수생동물 (fresh, 냉동, 가공품)	1.0

4) EU(유럽공동체)

EU의 수산물 내 유해중금속 잔류 허용에 관한 관리는 유럽공동체(European Communities)에서 발행한 식품 내 특정 오염물질 최대 허용 기준에 관한 규정집(COMMISSION REGULATION (EC) No 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs)을 바탕으로 하고 있다. 어류 및 수산물내 유해 중금속 허용 항목으로는 납(Pb), 카드뮴(Cd) 및 수은(Hg)이 있으며 허용기준은 표-45와 같다. 납은 어류의 경우 0.2~0.4 ppm으로 우리나라보다는 높게 설정되어 있으며, 국제 식품규격과는 동일한 수준이고 미국의 경우보다는 낮은 기준을 가지고 있다. 카드뮴의 경우에는 0.05~0.1 ppm 으로 우리나라, 미국, 국제식품규격에서 보다 엄격한 수준이다.

5) 일본

일본의 수산물 내 유해중금속 잔류 허용에 관한 관리는 Japan External Trade Organization (JETRO)에서 2004년 4월에 발행한 Specifications and Standards for Foods, Food Additives, etc. Under The Sanitation Law을 바탕으로 하고 있다. 어류 및 수산물내 유해중금속 허용기준은 표-46과 같다. 하지만 단지 수은(Hg)의 경우에만 그 제한을 두고 있을 뿐, 본 연구에서 관찰하고 있는 납, 비소, 카드뮴, 셀레늄에 대한 기준은 아직 설정되어 있지 않다.

6) 캐나다

캐나다의 수산물 내 유해중금속 잔류 허용에 관한 관리는 Canadian Food Inspection Agency의 Fish Products Standards and Methods Manual 에 나타난 CANADIAN GUIDELINES FOR CHEMICAL CONTAMINANTS AND TOXINS IN FISH AND FISH PRODUCTS를 바탕으로 하고 있다. 어류 및 수산물 내 유해 중금속 허용 항목으로는 수은(Hg), 비소(As), 납(Pb)의 3가지며 허용기준은 표-47과 같다. 비소(As)의 경우에는 3.5 ppm이며 납(Pb)은 0.5 ppm 으로 우리나라보다 비교적 낮은 기준치를 가지나 어류단백농축이라는 살아있는 어류를 재품이 아닌 가공제품을 기준으로 하고 있어 참고용으로만 이용 가능할 것으로 보인다.

표-45. EU의 수산물 내 유해 중금속 허용 기준 (ppm)

종 류	목 록	기 준
납(Pb)	어류의 가식부위 (가랑어, 돔, 장어, 숭어, 고등어, 정어리, 농어, 다랑어, 넙치제외)	0.2
	가랑어, 돔, 장어, 숭어, 고등어, 정어리, 농어, 다랑어, 넙치의 가식부위	0.4
	이매패류 (Brown meat을 가진 게 제외)	0.5
	이매패류	1.5
	두족류(내장 제외)	1.0
카드뮴(Cd)	어류의 가식부위 (가랑어, 돔, 장어, 숭어, 고등어, 정어리, 농어, 다랑어, 넙치제외)	0.05
	가랑어, 돔, 장어, 숭어, 고등어, 정어리, 농어, 다랑어, 넙치의 가식부위	0.1
	이매패류	1.0
	두족류 (내장 제외)	1.0
수은(Hg)	수산물 [단, 아귀(*Lophius* species), 대서양 메기(*Anarhichas lupus*), 베스(*Dicentrarchus labrax*), Blue ling(*Molva dipterygia*), 가다랑어(*Sarda sarda*), 장어(*Anguilla* species), Emperor 또는 orange roughy(*Hoplostnthus atlanticus*), 대구(*Coryphaenoides rupestris*), 넙치(*Hippohlossus hippohlossus*), 청새치(*Makaira* species), 창꼬치(*Sox lucius*), Plain bonito(*Orcynopsis unicolor*), Protuguese dogfish(*Centroscymnes coelolepis*), 가오리(*Raja species*), redfish(*Sebastes marinus, S. mentella, S. viviparus*), 돛새치(*Istiophorus platypterus*), 갈치(*Lepidopus caudatus, Aphanopus carbo*), 상어(모든 종), 고등어 또는 미꾸라지(*Lepidocybium flavobrummeum, Ruvettus pretiousus, Gempylus serpens*), 철갑상어(*Xiphias gladius*), 황새치 및 참치(*Thunnus* species and *Euthynnus* species) 는 제외]	0.5
	아귀(*Lophius* species), 대서양 메기(*Anarhichas lupus*), 베스(*Dicentrarchus labrax*), Blue ling(*Molva dipterygia*), 가다랑어(*Sarda sarda*), 장어(*Anguilla* species), Emperor 또는 orange roughy(*Hoplostnthus atlanticus*), 대구(*Coryphaenoides rupestris*), 넙치(*Hippohlossus hippohlossus*), 청새치(*Makaira* species), 창꼬치(*Sox lucius*), Plain bonito(*Orcynopsis unicolor*), Protuguese dogfish(*Centroscymnes coelolepis*), 가오리(*Raja species*), redfish(*Sebastes marinus, S. mentella, S. viviparus*), 돛새치(*Istiophorus platypterus*), 갈치(*Lepidopus caudatus, Aphanopus carbo*), 상어(모든 종), 고등어 또는 미꾸라지(*Lepidocybium flavobrummeum, Ruvettus pretiousus, Gempylus serpens*), 철갑상어(*Xiphias gladius*), 황새치 및 참치(*Thunnus* species and *Euthynnus* species)의 가식부위	1.0

표-46. 일본의 수산물 내 유해 중금속 허용 기준 (ppm)

종 류	목 록	기 준
수은	어류와 갑각류 (총수은)*	0.4
	어류와 갑각류 (메틸수은)*	0.3
	*참치류, 하천산 어류 및 갑각류, 심해성어류 및 갑각류는 적용하지 않음	

표-47. 캐나다의 수산물 내 유해 중금속 허용 기준 (단위: ppm)

종류	목록	기준
수은	모든어류(황새치, 상어, fresh/frozen 참치 제외)	0.5
비소	어류 단백 농축	3.5
납	어류 단백 농축	`0.5

7) 호주 및 뉴질랜드

호주・뉴질랜드의 수산물 내 유해중금속 잔류 허용에 관한 관리는FOOD STANDARDS 내 CONTAMINANTS AND NATURAL TOXICANTS를 바탕으로 하고 있다. 어류 및 수산물내 유해중금속 허용기준은 표-47과 같다. 검사대상항목으로는 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 수은(Hg)으로 총 4가지가 설정되어 있으며 어류의 경우 비소는 2 ppm, 카드뮴 2 ppm, 납 0.5 ppm 으로, 비소는 우리나라에서는 대상항목으로 지정되어 있지 않으며 카드뮴은 동일수준, 납은 1/4 수준이다.

표-48. 호주·뉴질랜드의 수산물 내 유해 중금속 허용 기준 (ppm)

종 류	목 록	기 준
무기비소	갑각류	2
	어류	2
	연체류	1
	해조류(식용가능한)	1
카드뮴(Cd)	연체류(굴, 가리비 제외)	2
납(Pb)	어류	0.5
	연체류	2
수은(Hg)	어류, 어류제품 [gemfish, billfish(marlin 포함), southern bluefin tuna, barramundi, ling, orange roughy, rays, all species of shark는 제외]	0.5
	gemfish, billfish(marlin 포함), southern bluefin tuna, barramundi, ling, orange roughy, rays, all species of shark	1

제 4 장 결 론

1. 어류용 배합사료 내 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 적정허용기준 모델

식품에서의 위해요소에 대한 안전성 평가방법은 주로 독성실험 결과로서 평가 되며, 방법적으로는 오래전부터 사용되어온 안전계수법(Safety facotr approach)과 최근에 사용하기 시작한 정량적 위해성평가법(Quantitative risk assessment) 즉 위해평가이다(박, 2008). 특히 위해평가(Risk Assessment, RA)는 1995년부터 세계무역기구(WTO)의 위생 및 식물위생조치의 적용에 관한 협정(SPS 협정)에서 위생기준 채택 시 근거할 수 있도록 규정하고 있다(노, 2005). 이러한 위해평가는 인체에 유해영향을 나타내는 위험성이 확인된 다양한 위해요소(화학적, 물리적, 미생물학적 요소)의 식품 중 모니터링 결과와 독성자료를 활용하여 현 노출수준에서의 안전여부를 판단하고 관리에 필요한 정보를 제공하여 평가하는 것을 말한다(노, 2005; 이 등, 2008)이러한 위해평가는 크게 4단계의 과정을 거치게 되는데 생체 내 독성여부를 확인하는 위험성 확인과정, 오염도자료와 섭취량자료를 활용하여 인구집단의 1일 인체노출량을 산출하는 노출평가과정, 노출량과 유해영향과의 용량-반응 상관성을 평가하는 위험성 결정과정, 위험성확인노출평가 위험성결정과정의 정보를 종합적으로 취합하는 위해도 결정과정으로 구분된다. 이러한 위해평가 과정을 토대로 위해도를 조절하고 위해요인을 제거하는 등 위해상황을 개선하는 일련의 행위인 위해관리를 실시될 수 있으며, 위해요소에 안전성에 대한 기준을 설정하여 위해상황을 개선하는 효과를 기대할 수 있다(이 등, 2008).

이러한 위해평가는 현재 국내 식품의약안전청이 위해물질관리와 위해물질에 대한 식품기준을 설정하기 위한 방법 및 절차로서 사용되고 있으며(최, 2006), 국외에서는 국제식품규격위원회(CODEX)에서 요청한 식품첨가물, 식품오염물질, 자연발생독소, 잔류동물의약품 등을 위해평가를 수행하며 위해물질에 대한 식품기준을 검토하는 기능을 담당하는 WHO/JECFA(The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)라는 전문가 그룹 모임이 활동하고 있다. 이러한 WHO/JECFA은 유해물질에 대한 기준설정 시 위해평가 작업원칙인 EHC 70(Environmental Health

Criteria 70, Principles for the safety assessment of food additives and contaminants in food)를 지침서로 제시하고 있으며, 이러한 위해평가 결과에 따라 식품 내 유해물질에 대한 기준을 고려하여 설정하게 된다. 이 등(2008) 이러한 식품 내 유해물질의 기준은 크게 다음과 같은 사항들에 대한 검토가 있은 후 종합적 내용을 고려하여 설정하게 된다고 보고하였다.

① 식품 중에 개입된 유해물질의 독성자료 검토
② 오염도 자료에 근거한 노출평가
③ 현 노출 수준에서의 위해수준 확인
④ 현 위해평가 결과를 근거로 기준설정 필요성 검토
⑤ 소비자 보호 및 오염저하방법 등의 확인 하에 제안된 식품기준(Maximin Level, ML)
⑥ ML시나리오를 근거로 ML 적용 효율 검토

이 위해평가 절차는 현재 식품을 기준으로 이루어지고 있는 유해물질에 대한 안전성 확보를 위해 국제적으로 인정받는 평가 방법으로서, 이러한 기준을 활용하여 배합사료 내 유해 물질에 대한 허용기준을 설정하는 것은 사료의 안전성은 물론, 수산양식생물의 품질안전성까지 확보 할 수 있는 좋은 모델이 될 수 있다. 이러한 위해평가 절차는 앞선 모든 항목을 만족하기 위해서는 사실상 지속적인 노력과 시간, 그리고 비용이 소모된다. 또한 이러한 내용들은 사실상 실제 인체 직접적으로 영향을 줄 수 있는 식품이 기준인 만큼 동물을 기준으로 하는 배합사료에서는 좀 더 효율성 있게 활용하는 방법도 검토될 수 있다. 현재 동물 사료에서 유해물질의 범위와 허용기준은 가축생물에 대한 특별한 위해평가절차나 방법이 없이 설정되어 있으며, 특히 어류와 같은 수중환경에서 사육되는 생물은 육상동물과 달리 영양학적인 면에서도 큰 차이를 보이고 있어 육상 가축사료와는 다른 양어사료 내 위해물질에 대한 평가절차가 요구된다.

배합사료에서는 사료관리법 제15조 규정에 의하여 2004년부터 농림부(현 농림수산식품부) 고시(2004-84호)를 통해 사료공장의 위해요소중점관리기준(Hazard Analysis Critical Control Point, HACCP)을 통해 각 사료공장의 HACCP의 인증에 대해 희망하는 업체에 대해 자율적으로 실시되고 있다. 이러한 HACCP의 인증은

배합사료의 위해요소에 대해 중점관리를 하여 배합사료의 안전성을 확보할 수 있다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다. 그러나 배합사료 내에 위해요소에 대한 중점관리에서의 허용한계치를 각 사료공장에서의 자율적인으로 부분에서 관리하도록 하고 있으며, 배합사료 내에서의 위해물질에 대한 평가에 대한 절차나 모델에 대해선 특별히 언급되고 있지 않다. 이러한 배합사료 내에서의 위해물질에 대한 평가와 허용기준의 설정은 모든 가축동물에 대한 안전성을 확보하는 데 필수적임에도 불구하고 이러한 위해물질에 대한 평가 절차에 대해서 확립되어 있지 못하고 있는 것이 현실이다.

따라서 양식어류에서도 위해물질에 대해서 그 기준을 설정할 수 있는 위해평가의 절차가 필요하며, 이러한 위해평가는 국제식품규격위원회(CODEX)에서 1995년 FAO/WHO 전문가회의에서 제시할 모델을 기준으로 응용하면 그림-3과 같이 적용될 수 있다.

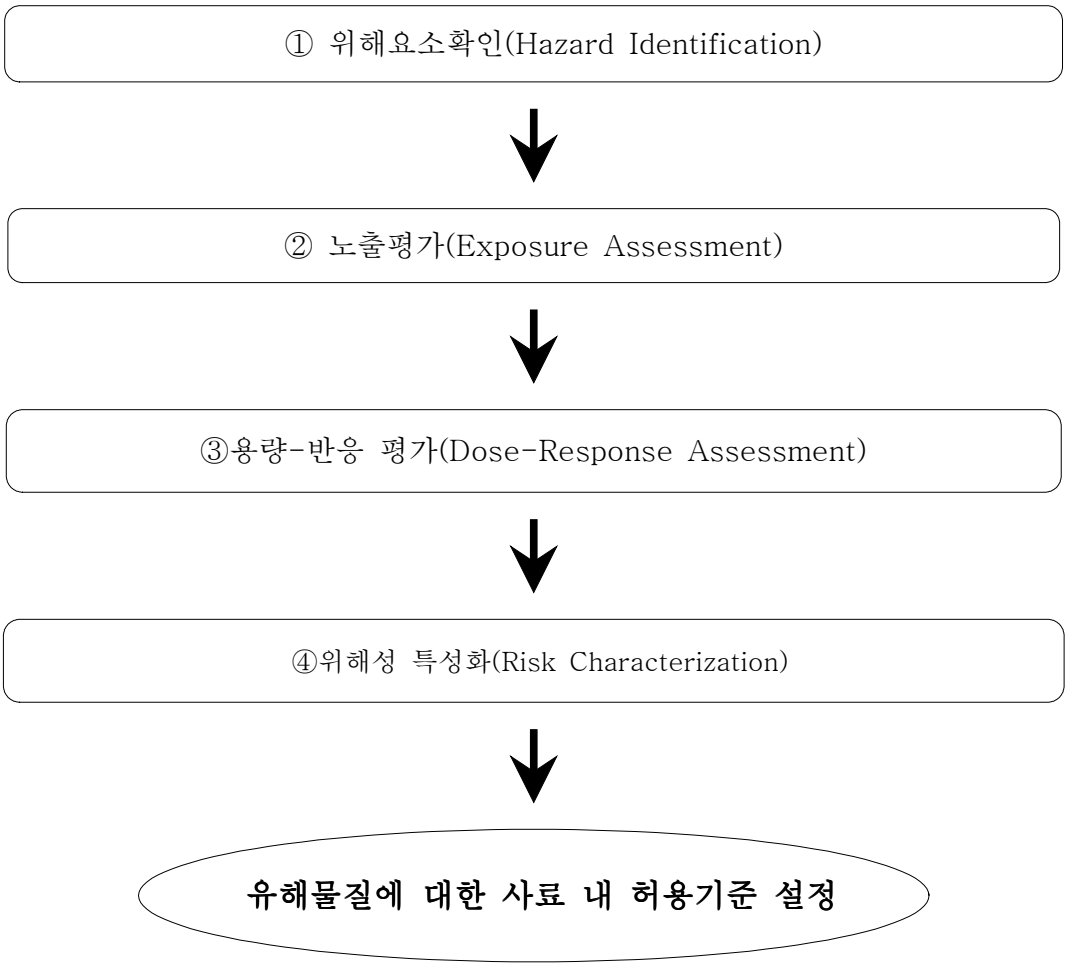

그림-3. 유해물질에 대한 사료내 허용기준을 설정할 제시 모델(안)

그림-3의 제시 모델(안)에 대한 각 단계별은 다음과 같이 설명된다.

① 위해요소 확인(Hazard Identification)

Codex의 지침에 의한 이 단계는 특정식품 중의 해가될 수 있는 오염물질 및 병원성 미생물 그리고 미생물독소를 확정하는 과정이다. 유해물질에 대한 기준 검토 시 첫 번째로 대상 유해물질에 대한 충분한 검토와 평가가 수행되어야 하며, 특히 현재 사육 대상이 되는 생물들에게 미칠 수 있는 대사과정 자료를 근거로 할 수 있는 적절성 및 독성에 대해 조사하는 작업이 요구된다.

② 노출평가(Exposure Assessment)

이 단계는 잠재적으로 유해한 오염물질 및 병원성미생물의 양(수)은 정량적으로 추정하는 단계로 소비시점 또는 생산 마지막 시점 등에서 평가한다고 볼 수 있으며, 한편으로는 위해인자확인에 의해 특정된 오염물질 및 병원성미생물이 소비자에게 섭취되는 양이나 수를 제조에서부터 최종 섭취에 이르는 각 과정에 걸쳐 영향을 미치는 각종 요인에 따라 추정하는 단계로도 정의된다. 이러한 과정은 배합사료에서의 각종 원료에 유해물질이 포함된 양이 사육대상생물에 줄 수 있는 영향을 평가할 수 있는 단계로 응용가능 할 수 있다.

③ 용량-반응평가(Dose-Response Assessment)

이 단계는 잠재적으로 유해한 오염물질 및 병원성미생물 또는 미생물독소를 섭취한 결과(노출 시), 일어날 수 있는 질병의 중요도를 정량적으로 제시하는 과정으로서, 유해물질로 인해 사육생물이 영향을 받을 수 있는 한계점, 즉 최대 허용한계량을 설정하는 단계로 응용 가능할 수 있다.

④ 위해성특성화(Risk Characterization)

위해평가의 최종단계이며 노출평가, 양-반응평가를 통합하여 위해성 추정치를 산출하는 단계이다. 즉, 어떤 집단에서 위해성에 의한 결과로 부정적인 영향(질병 발생 등)이 일어날 가능성을 평가하는 단계로 말할 수 있으며, 사육대상생물에게 유해물질이 허용한계량을 이상을 초과하였을 때 발생할 수 있는 모든 가능성을 평가함으로써 나아가 식품으로서의 안전성까지 평가받을 수 있는 단계라 할 수 있다.

위에서 제시한 모델(안)은 현재 위해물질에 대한 식품기준을 설정하는데 이루어지는 평가지침을 사료 내 허용기준을 설정하는데 응용이 가능한 부분을 제시한 것이다. 본 연구에서 실시한 조사 및 분석은 위의 제시 모델(안)을 적용할 경우 ①번과 ②번 단계에서 실시되고 있는 것으로 적용할 수 있으며, 향후 연구 및 평가해야할 방향이 무엇인지를 좀 더 명확히 알 수 있다. 이러한 사료의 위해평가에 대한 실시는 CODEX의 분과위원회인 동물사료에 관한 정부 간 특별 위원회(TFAF)에서도 2004년도 모범동물사료실행규범(Code of Practice on Good Animal Feeding)에서 사료의 안정성을 확보하기 위해 위해분석을 통해 인증된 사료원을 사용하도록 권고하고 있어 사료에 있어 평가모델로서의 가치는 충분할 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 제안된 사료 내 안전성 확보를 위한 허용기준 설정모델(안)이 인정받기 위해서는 모델을 접목시켜 유해물질에 대한 안전성 허용기준을 설정하고, 이에 따른 문제점을 파악함으로서 제시된 모델(안)에 대해 점차 수정·보완 해 나가도록 해야 할 것이다..

2. 어류용 배합사료 내 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 적정허용기준 제시

배합사료에서의 유해 중금속 허용기준은 현재 국내·외에 있어서 양식용 배합사료를 별도로 구분 짓지 않고, 축산용 배합사료 내에 유해 중금속 허용기준을 중심으로 관리하고 있는 실정이다. 그러나 어류용 배합사료는 육상 가축동물과 달리 단백질 요구량이 높아 단백질 함량이 높은 어분을 30~59%이상 첨가하여 사용되고 있어 무기질 함량이 많은 어분 사용은 육상 가축용 배합사료에 비해 높은 중금속 함유량을 나타낼 수 있다. 그러나 어류용 배합사료의 특수성에도 불구하고 현재 사료관리법에는 양식어류에 대한 사료 내 중금속에 대한 허용기준이 적절한 검토없이 축산용 배합사료의 기준을 그대로 적용하고 있는 실정이며, 최근농림수산식품부에서는 현행에 수준에서 중금속에 대한 허용기준치를 강화하고자 하는 계획을 가지고 있어, 어류용 배합사료의 품질과 가격에 영향을 주는 것은 물론 어류용 배합사료 생산 자체에 타격을 줄 수 있어 양식업계에 커다란 문제점으로 부각될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 어류용 배합사료 내 유해 중금속인 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 허용 기준을 제시할 수 있도록 기초자료를 수집하고 아울러 허용기준을 설정, 평가할 수 있는 모델을 제시함으로써 양식용 배합사료의 안전성 확보와 함께 양색생물에 대한 안전성을 확보하고자 실시하였다.

가. 배합사료를 섭취한 어류의 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)에 대한 식품안전성

양식을 대상으로 하는 어류는 최종적으로는 사람의 식품으로서의 이용되며, 이러한 식품으로의 양식생물의 안전성을 확보하는 것은 중요한 문제이다. 특히 최근의 광우병과 같은 문제에서 나타나듯, 식품의 안전성 문제는 사회적으로도 큰 파장을 일으킬 수 있으며, 이러한 안전성을 확보하기 위해서 국내·외적으로 다양한 안정적 장치를 마련하여 실시되고 있다.

본 연구에서 채집된 넙치와 조피볼락은 국내에서 소비되는 양식생물 중 큰 비중을 차지하고 있으며 배합사료의 소비량도 큰 대표적 양식어종이다. 이러한 넙치

와 조피볼락은 배합사료로 사육되었을 경우에는 사료 내 중금속이 어체 내 축적율에 절대적인 영향을 미칠 수 있으며 배합사료 내 중금속 함유량이 문제가 있다면 식품으로서의 안전성에도 문제가 발생될 수 있다. FAO/WHO의 합동 식품첨가물 전문위원회(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)에서는 중금속과 같이 체내 축적되어 독성을 유발하는 물질에 대해서 잠정주간섭취허용량(Provisional tolerable weekly intake, PTWI)을 산출하여 그 오염도를 비교하도록 권장하고 있다(이, 2004; 전 등, 2007; 김 등, 2007). 본 연구에서 조사된 넙치와 조피볼락의 어체 내 중금속 함유량과 2005년도 국민영양조사결과보고서에서 나온 1일 넙치와 조피볼락의 1일 1인 연평균섭취량을 통해 배합사료를 공급한 넙치와 조피볼락의 PTWI를 산출하여 CODEX에서 권장하는 PTWI와 비교한 결과 셀레늄을 제외한 비소, 납, 카드뮴에서는 권장 PTWI에 1% 미만을 나타내고 있어, 전혀 문제가 되지 않는 안전한 수준인 것으로 나타났다(표-49). 따라서 본 연구에서는 현재 배합사료를 공급해 사육된 넙치와 조피볼락에 있어서는 비소, 납, 카드뮴에 대한 안전성에 대해 큰 문제는 없는 것으로 이야기될 수 있으며, 셀레늄은 독성을 나타낼 수 있는 중금속인 동시에 결핍증을 일으킬 수 있는 필수적인 요소인 만큼 식품에 있어서 허용량이 설정되지 않고 있다.

표-49. 넙치, 조피볼락 어체 내 산출된 중금속의 PTWI와 FAO/WHO에 권장한 PTWI과의 비교 (단위 : ㎍/kg/b.W)

		셀레늄	비소	납	카드뮴
PTWI[2)]	넙치	0.008	0.039(0.26)[1)]	0.010(0.04)	0.008(0.11)
	조피볼락	0.002	0.030(0.2)	0.001(0.004)	0.002(0.03)
CODEX의 PTWI		없음	15	25	7

[1)]( ) : CODEX의 PTWI에 대한 비율(%)

[2)]잠정주간 섭취량(PTWI) = 식품 내 중금속 함량 (㎍)× 성인 1인 1일 식품섭취량(g) × 7일/성인 1인당 평균 몸무게(60kg)

- 넙치 1일 1인 연평균 섭취량 : 1.2 g,
- 볼락 1일 1인 연평균 섭취량 : 0.7 g (2005 국민건강 영양조사 보고서, 보건복지가족부)

나. 배합사료를 공급한 양식장의 배출수가 환경에 미치는 영향

어류양식에서 사료와 관련해 환경에 영향을 미칠 수 있는 문제점으로 대두되고 있는 부분은 생사료 공급을 통한 수질오염이다. 생사료는 먹이로 공급하기 위해 절단하거나 분말사료와 혼합하여 pellet으로 성형 중에 분쇄하기 때문에 먹이 투여시 부스러기와 수용성 영양소들이 어류가 먹기 전에 물속으로 풀어지거나 용출되기 쉽고 이로 인해 유실량이 많아져 수질오염에 심각한 영향을 주고 있다(해양수산부, 2005). 이러한 수질 환경오염에 줄이기 위하여 사료허실이 적고 영양소의 수중 용출이 적은 배합사료로 전환하기 위하여 국가적인 차원에서 배합사료 직불제사업을 실시하여 양식어가에 보급시켜 나가고 있다. 특히 배합사료는 가공된 원료들을 이용하여 각 대상생물에 적합한 형태로 제조될 수 있으며, 사료의 허실을 최대한으로 차단할 수 있어 양식어류에 있어 높은 사료효율을 나타낼 수 있다. 이러한 배합사료의 특성을 고려해 본다면 배합사료 내에 중금속이 수질 내 중금속 함유량에 직접적인 영향을 주기는 어려울 것으로 보이며, 본 연구에서도 양식장 배출수 내에 중금속은 대부분 검출되지 않았고, 검출된 부분도 국내 수질의 중금속 검출기준과 비교하였을 때 안전성에 문제되지 않는 수준인 것을 확인 할 수 있었다(표-50).

따라서, 현재 어류용 배합사료 내에 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴과 같은 중금속이 수질환경에 미칠 수 있는 영향은 극히 미비하거나 거의 없다고 할 수 있으며, 아울러 배합사료보다는 논이나 밭에서의 농약, 제초제, 살충제와 가축장에서 분뇨와 항생제, 그리고 공장 등에서 나올 수 있는 폐수 등이 각 양어장의 주위 환경에 의한 오염도 문제가 오히려 양식어류에 더 심각한 문제를 야기할 수 있다.

표-50. 배합사료를 공급하는 넙치, 뱀장어 양식장의 유입수, 배출수에 대한 평균과 국내 수질의 중금속 검출기준과의 비교. (ppm)

		셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치 양식장 (해수)	유입수	0.09	0.01	N/D	N/D
	배출수	0.09	0.01	N/D	N/D
뱀장어 양식장 (담수)	유입수	0.05	N/D	0.01	N/D
	배출수	0.01	N/D	N/D	N/D
국내 수질의 중금속 검출기준 (호소 및 해역)		없음	0.05 이하	0.1 이하	0.01 이하

*환경정책기본법(환경기준, 법률 제6876호, 2002. 12. 30)

다. 배합사료 공급을 통한 넙치 및 조피볼락의 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 생물농축

연안오염 물질 중에서 중금속은 생물농축(bio accumulation)된 먹이사슬을 통해 생물확대(bio magnification)됨으로써 결국은 인간에게까지 영향을 미치는 대표적인 지속성 오염물질이다(백 등, 1998; 이, 1994). 이러한 중금속에 의한 연안오염의 오염도를 측정 시 사용되는 방법 중 하나로 오염도에 대한 지표생물에 대한 생물농축을 규명함으로써 오염도의 기준을 나타내는 것이다(이 등, 1995). 특히 어류의 생물농축은 일반적으로 먹이를 통한 공급이 아닌 주위환경 즉 생태계 내에 분포한 화학물질이 생물의 체내에 지속적인 영향을 줌으로써 생물농축 현상이 일어나고 이로 인한 연안의 오염도에 대한 지표로서 사용되어지게 된다(김 등, 2002). 이러한 유해물질에 대한 어류의 생물농축은 지금까지 연안오염에 대한 지표로서 사용되어지고 있으나, 양식어류에 있어서는 생물농축과 관련된 연구자료는 전무한 실정이며, 특히 사료를 공급하며 인위적으로 사육되는 양식어류는 사료에 의한 유해물질의 생물농축은 안전성에서 문제가 될 수 있으나, 이에 대한 연구는 아직 시도되지 않고 있다. 본 연구에서는 생물농축과 관련한 사료와 어체, 그리고 수질의 오염정도를 파악할 수 있는 기준 측정을 위한 기초자료 활용하고자 표-51에 배합사료와 넙치 및 조피볼락의 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 함유량을 이용한 농축계수를 산출하여 배합사료에 의한 어류의 농축정도를 비교해 보았다. 그 결과 셀레늄과 비소에서는 조피볼락에서 높은 값을 보였으며, 넙치에서는 납과 카드뮴이 높은 값을 보였다. 그러나 현재까지 이러한 농축계수를 통한 배합사료의 오염도를 나타낼 수 있는 기준사항이 없어 객관적인 비교는 어려우나, 주 등(2007) 광양만 해수에서의 어류에서의 중금속 농축계수와 비교해보면 비소, 카드뮴, 납에서는 훨씬 낮은 값을 나타내는 것을 알 수 있다(표-52). 따라서, 본 연구에서 산출된 배합사료를 통한 어류의 농축계수는 직접적으로 비교해 볼 수 있는 자료가 없어, 오염도에 대해 결론은 내리기리는 어려우나 양식어류에 있어서 농축계수를 통한 배합사료 내 중금속 함유량의 오염도 조사는 현재까지 적용된 사례가 없는 만큼 향후 다양한 연구를 통해 다양한 비교자료를 확보한다면 배합사료 내 중금속에 대한 허용기준에 대한 자료로서 충분히 활용 가능할 것으로 생각된다.

표-51. 배합사료를 공급한 넙치 및 조피볼락의 전어체 내 셀레늄(Se), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 농축계수

		셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
넙치	배합사료 (ppm)	1.54±1.19	0.58±0.46	0.08±0.01	0.55±0.33
	어체 (ppm)	0.11±0.03	0.28±0.11	0.07±0.06	0.06±0.03
	농축계수*	0.007	0.483	0.875	0.109
조피볼락	배합사료 (ppm)	0.99±0.01	0.44±0.16	0.15±0.17	0.69±0.27
	어체 (ppm)	0.17±0.03	0.37±0.13	0.01±0.01	0.02±0.01
	농축계수	0.172	0.841	0.066	0.028

*(어체/배합사료)

표-52. 광양만 해수 및 어류의 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb) 함유량과 농축계수

	해수 (㎍/ℓ)	어류* (㎎/kg)	농축계수**
비소(As)	1.07±0.87	0.048	44.86
카드뮴(Cd)	0.34±0.36	0.013	32.24
납(Pb)	2.97±7.59	0.091	30.64

*가자미, 서대, 전어 등
**(어류/해수*1,000)

라. 어류용 배합사료 내 중금속인 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 적정허용기준 제시

중금속의 인체 위해문제는 비교적 최근에 인지하게 되어 연구나 대책마련을 위한 시도 또한 최근에 광범위하게 이뤄지고 있다. 국제적으로는 1974년 FAO/WHO 합동회의에서 중금속, 잔류농약, PCBs 등을 감시대상으로 정하였고 특히, 중금속 오염물질로 수은, 납, 카드뮴, 비소 등을 우선순위로 다루기로 하고 1976년부터 식품 중 모니터링 사업을 수행하고 있다. 우리나라의 경우 식품위생법 제7조에 따라 식품의약품안전청장이 고시하여 식품공전에 기준을 제시하고 있는데, 농산물의 경우에는 쌀에 대하여 카드뮴만 0.2 ppm으로 정해져 있고, 해산어패류 및 담수어에 납 2.0 ppm이하, 총 수은 0.5 ppm이하, 카드뮴 2.0 ppm이하 등이 기준으로 정해져 있다. 농산물에 대한 중금속 기준의 추가설정 필요에 따라 농림부, 환경부, 보건복지부가 합동으로 “중금속기준설정위원회”를 설립, ‘06년 말 기준설정을 목표로 납, 카드뮴, 수은, 비소, 구리 등 5개 중금속과 쌀, 옥수수, 대두, 팥, 감자, 고구마, 배추, 무, 시금치, 파 등 10개 농산물에 대하여 모니터링 사업을 수행하고 있다.

어류를 비롯한 수산동물은 축산이나 일반 가축과는 달리 단백질 요구량이 높은 것이 특징이며, 특히 육식성이 강할수록 탄수화물보다는 단백질을 더 쉽게 이용할 수 있도록 생리적으로 적응되어 있으며, 단백질 요구량은 대부분의 어류가 30~55% 범위를 갑각류는 28~50% 범위를, 전복의 경우에는 20~37%의 단백질을 요구한다고 보고되고 있다. 특히 해산어류와 같이 육식성이 강할수록 단백질 요구량은 높아서 약 40~50%를 요구하는 반면에 탄수화물의 이용성이 낮아지는 경향을 가진다(유, 2003). 어류에 있어서 단백질 요구량은 단순한 단백질 양만이 아닌 필수 아미노산의 균형이 중요하며, 특히 해산어류는 식물성 단백원의 이용성이 높지 않아 항상 어분 주 단백원으로 사용되고 있어 해산어용 사료설계에 매우 중요한 요인이다. 이러한 어분들의 품질은 종류, 가공방법, 생산년도 등에 따라 다소 차이를 보이기는 하나 대체로 조단백질 함량이 60%이상으로 높고, 어류에 필요한 영양소, 특히 어류에게 필요한 필수 아미노산 조성이 고르게 갖추어져 있는 양질의 단백원이다(Ronald and Frederick, 2002; 유, 2003). 그러나 어분은 제조 특성상 무기질 함유량이 높으며, 특히 이중에서도 유해물질로서 대표적인 중금속인 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 높은 함유량에 대하여 논란의 여지가 되고 있으나 양어용 배합사료, 특히

어류용 배합사료는 어분을 제외한 사료 제조는 현실상 불가능에 가까워 어류에서의 중금속에 대한 적절한 허용기준이 필요한 시점이다.

최근 국내의 배합사료 내 중금속 허용기준에 강화에 대한 논의가 이루어지고 있으며, 이중 셀레늄은 2 → 1 ppm, 비소는 10 → 2ppm으로 허용기준을 변경이 추진되고 있다. 그러나 셀레늄과 비소의 경우 어류용 배합사료의 주요 사료원인 어분에서의 함유량이 높게 나타나 현행보다 허용기준을 강화할 경우 어류용 배합사료 생산에 문제가 될 수 있어, 양식업계 큰 걸림돌로 작용 될 수 있다.

본 연구는 어류용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴에 대한 적정허용기준을 제시하기 위해 동·서·남해 및 제주도에서 배합사료를 공급하는 넙치 및 조피볼락의 어체와 배합사료를 공급하는 넙치 및 뱀장어 양식장의 유입수와 배출수, 그리고 국내 4개회사의 배합사료, 사료원의 위 4가지 중금속 함량을 조사하였으며, 향후 중금속 허용기준을 설정할 수 있는 모델(안)을 제시함으로써 어류용 배합사료의 허용기준을 제시하고자 하였다.

1) 셀레늄(Se)

셀레늄 함유량의 식품 안전성에 대해서는 비교할 수 있는 부분은 많지 않다. 셀레늄은 국내는 물론이고 국외의 수산물은 물론 식품 내 허용 기준치를 설정되어 있지 않는데, 이는 셀레늄이 중금속인 동시에 주요 효소와 구성성분으로서 세포구조의 손상을 방지하고 지방대사에 관여하며 항산화제의 기능을 수행하는 필수적인 미량 원소로서 부족 시 결핍증상도 나타날 수 있기 때문이다. 따라서 국내에서는 셀레늄에 대한 허용기준치 보다는 적정 섭취 기준인 50~200 ㎍을 설정하여 권장하고 있으며, 셀레늄의 PTWI는 넙치와 조피볼락이 각각 0.008, 0.002 ㎍/kg b.w/week에 불과해 본 연구에서 나타난 어체 내 셀레늄의 함유량은 섭취 기준치에 크게 못 미치고 있어 셀레늄에 대한 안전성은 확인되었으며, 오히려 셀레늄의 일부 첨가가 필요할 수도 있다. 셀레늄은 해수나 담수 내에서도 함유하고 있으며, 담수에서는 0.2~10 ㎍/ℓ, 해수에서는 약 0.09 ㎍/ℓ가 분포 되어있으며(NRC, 1976), 어류는 먹이 외에도 수중에서 아가미를 통해 셀레늄이 흡수되기도 한다(Santosh, 2002). 따라서 본 연구에서 조사된 양식장의 셀레늄 검출은 배합사료가 아닌 수중에 존재하는 미량 셀레늄인 것으로 판단되며 뱀장어 양식장의 유입수, 배출수의 발생되는 차이는 대부분 지수식으로 양식되는 뱀장어가 수중 내 셀레늄의 흡수가 이루어진 것으

로 보이며, 배합사료로 인한 수질 내 셀레늄 량에는 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

국내 4개 회사의 배합사료 내 셀레늄의 함유량은 B사에서 국내와 미국의 허용기준치인 2 ppm을 크게 초과하고 있는 것을 확인되었는데, 이에 대한 정확한 원인을 알 수는 없으나, 사료원료에 의한 기준치 초과보다는 셀레늄을 첨가제 물질로서 다량 첨가되고 있는 것으로 생각해 볼 필요성도 있다. 사료원료에서는 덴마크산 백색어분과 국내산 어분에서 높은 값이 나타났으며, 특히 국내산 어분은 국내 배합사료는 수입어분에 비해 2배이상 높은 3.71 ppm이 검출되었다. NRC(1993)에 의하면 어분 내의 셀레늄의 함유량이 종류에 따라 1.62~4.30 ppm이 검출되는 것으로 보고되고 있으며, 본 연구에서의 어분 내 셀레늄 함량 또한 크게 다르지 않게 나타났다. 즉 현재 어류용 배합사료의 어분 사용량을 최대 50%로 사용할 때 국내 어분만 사용될 경우 약 1.8 ppm 이상 될 수 있으며 기타 사료원과 혼합 시 현행 재한기준인 2 ppm이 초과될 수 있다. 그러나 국내에서 시판되는 어류용 배합사료는 국내산 어분보다는 수입산 어분이 주요 원료가 되고 있으며 본 연구에서도 국내산 어분은 한 개 회사를 제외하고는 현 기준치를 초과하지 않고 있으나, 어분은 지역별 또는 시기별로 실제 셀레늄의 함유량이 다르게 나타날 수 있어 현 기준치를 초과할 수도 있는 것도 배제될 수 없다. 현재 국내에서는 배합사료 내 셀레늄의 허용기준을 현행 2 ppm에서 1 ppm으로 허용 기준치를 강화하는 계획이 논의되고 있는데, 이는 동물성 사료원의 사용량이 적은 축산사료를 기준으로 했을 경우 문제의 소지가 적지만, 단백질 요구량이 높아 어분의 사용량이 많은 어류용 배합사료에서는 생산에 큰 어려움을 줄 수 있다.

따라서, 현재 국내 어류용 배합사료를 공급하였을 때 어류의 체내 함유량 및 수질에서도 큰 문제가 없는 것으로 판단되며, 현행 배합사료 내 셀레늄 허용기준인 2 ppm은 어류용 배합사료가 생산될 수 있는 최소한의 함유량으로 판단되며, 어류용 배합사료에 있어서 셀레늄 허용기준은 오히려 현행수준보다 조금 더 높은 3 ppm으로 상향 조정하는 것이 타당하다고 판단된다. 또한 셀레늄은 유해 중금속으로 분류하기에는 난해한 부분이 있는 만큼 인위적인 셀레늄 첨가만 제한시키며 어류 및 양어용 사료는 셀레늄 허용기준은 제외하는 것도 고려해 보아야 할 것이다.

2) 비소(As)

비소의 경우 아직까지 생체 내에서의 생리작용에 대해서 구체적으로 밝혀진 바가 별로 없고, 과량 축척 시에만 신체독성을 나타내는 것으로 알려져 있다(WHO, 1997). 국내·외 비소의 수산물 내 허용기준은 미국에서는 갑각류나 패류에 대해 최대 86 ppm으로 설정되어 있으며, 캐나다는 2 ppm으로 어류단백농축에 대해서만 설정되어 있다. 호주와 뉴질랜드에서는 무기비소에 대해서만 갑각류, 어류는 2 ppm, 연체류, 해조류에서는 1 ppm으로 설정되어 있으며, 국내에서는 비소에 대한 허용기준이 설정되어 있지 않다. 본 연구에 나타난 넙치와 조피볼락의 어체 내 비소 함유량은 조사된 모든 허용기준을 초과하지 않고 있으며, 또한 PTWI에서도 CODEX 권고기준에 비해 넙치와 조피볼락은 각각 0.26, 0.2%를 나타내고 있으며, 권고기준 역시 유기비소가 아닌 무기비소에 대해서 규정하고 있어 비소에 대한 식품 안전성에는 문제는 없는 것으로 확인되었다. 배출수에서는 넙치 양식장에서 비소가 평균 0.01 ppm이 검출되었으나, 이는 남해와 제주지역에서만 검출된 것이며, 동해와 서해에서는 검출되지 않았다. 이는 남해와 제주지역의 주위환경적인 부분에 의한 영향으로 비소의 함유량이 검출된 것으로 보이며, 배합사료 내 중금속으로 인한 영향은 아닌 것으로 판단된다. 비소는 동물의 혈액이나 피부에 극미량 분포되어 있으나 영양적 필수성은 밝혀지지 않았으나 산란계의 산란율을 향상시키거나 송아지의 사료효율 개선을 위해 소량씩 첨가 이용되었다. 또한 비소는 급격한 독성을 나타내는 무기비소와 생물 내에 섭취되어 생물에 필요한 무독한 화합물 형태로 변화하기 때문에 인체 큰 해가 없는 것으로 알려진 유기비소로 나눌 수 있으며(황 등, 2006; 전 등, 2007; 김 등, 2007), 일반적으로 식품 중에 함유된 비소 함량은 대부분이 유기비소 형태인 것으로 알려져 있다(황 등, 2006). 식품 내 무기비소에 의한 독성효과는 국가별로 인정되고 있어 음용수나 사료원의 허용수준이 강화되고 있다. 비소에 대한 국가별 허용 기준을 보면 국내의 경우 어류용 배합사료를 포함한 기타 배합사료의 허용수준을 현재 10ppm으로, 미국은 50, EU는 4 ppm, 일본은 7 ppm으로 설정되어 있다. 본 연구에서는 국내 4개회사의 배합사료 내 비소 함유량은 B사 넙치 사료만 1 ppm이상이 검출되었고 기타 사료는 모두 1 ppm이하로 검출되었으며, 어분에서도 국내산을 제외하고 모두 2 ppm이하로 검출되었다. 특히 국내산 어분이 다른 사료원과 비교해 높은 함유량을 나타나고 있어도 배합사료에 포함되어 단독 사용될 경우에도 국내·외 현행 허용기준에서는 문제 시 되지 않는다. 그러나 최근

국내에서 추진 중인 비소의 허용기준을 현행 10 ppm에서 2 ppm으로 상향 조정할 경우 어류용 배합사료에 제조하는데 문제가 발생 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 배합사료와 어분 내 비소 함유량을 고려하면 국내 어류용 배합사료의 비소 허용량을 대한 최소한의 함유량은 EU와 같은 기준인 4 ppm으로 제안할 수 있으나, 해양수산부(2007)에 의하면 국내 사료기관에서 국내로 수입되는 어분 중 6곳의 어분 내 비소 함유량이 1.91에서 최대 6.49 ppm으로 보고되고 있어 EU보다 어분의 사용량이 많고, 다양한 국내에서는 어류용 배합사료의 적정 허용 기준으로 5 ppm으로 설정하는 것이 타당한 것으로 판단된다. 또한 수산물 내에는 유기비소의 함유량이 높은 만큼 실제 독성을 나타내는 무기비소만을 분류하여 이에 대한 적절한 허용기준을 설정하여야 할 것이다.

3) 납(Pb)

납은 대표적인 유해중금속으로 생체 내에서 필수금속과 경쟁하며 헤모글로빈과 같은 분자들과 결합하여 그 기능을 방해하여 빈혈을 일으킬 수 있으며, 특히 납(Pb)은 섭취된 소량만이 배설되며 대부분 뼈와 치아에 축적되어, 어린이가 납에 장기간 노출되면 학습능력저하, 성장저하, 뇌손상 등이 발생할 수 있다(WHO, 1997; 김 등, 2005). 납에 대한 수산물 내 허용기준은 국내가 2.0 ppm이하로 가장 높은 허용기준을 보이고 있으며, CODEX에서는 0.2 ppm의 가장 낮은 허용기준을 제시하고 있다. 본 연구에서 조사된 넙치, 조피볼락의 4개 해역에 대한 평균 납의 함유량은 모두 0.1 ppm 이하를 나타내고 있어 국내·외 허용기준을 초과하지 않고 있으며, PTWI에서도 CODEX의 권장기준과 비교해 넙치와 조피볼락이 각각 0.04, 0.004%에 불과해 납에 대한 식품으로서의 안전성에 전혀 문제가 없는 것으로 확인되었다. 그러나 넙치에서는 서해, 남해 해역 일부지역에서는 0.2 ppm이상 또는 가까운 납이 검출되었는데 이는 배합사료로 인한 납의 축적보다는 양식장 주변의 환경적인 문제에 기인한 것으로 생각되며, 특히 0.2 ppm이상을 나타내 CODEX 기준을 초과한 지역에 대해서는 환경오염평가에 대한 조사가 검토되어 야 할 것으로 보인다.

양식장의 대부분 배출수에서 납은 검출되지 않았으며, 일부 뱀장어 양식장에서의 납 검출은 주위 환경적인 영향에 기인한 것으로 보이며, 검출된 납의 함유량 또한 국내 수질 기준을 초과하지 않고 있어 사료 내 납에 의한 수질 영향은 없는 것으로 판단된다.

국내·외의 배합사료 내 납의 허용기준은 국내 10 ppm, 미국은 30 ppm, EU는 5 ppm, 일본은 3.0 ppm으로 설정되어 있으며, 주로 축산용 배합사료를 중심으로 설정되어 있다. 국내 4개 회사에의 넙치, 조피볼락 배합사료 내 평균 납의 함유량은 각각 0.08, 0.15 ppm으로 국내는 물론 EU와 일본의 허용기준치보다도 크게 낮은 값을 나타내었고, 어분 및 사료원에서의 납의 검출량도 국내어분이 0.75 ppm으로 가장 높은 함유량을 나타내 국내·외 허용기준치보다 크게 낮은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 현행 어류용 배합사료 내 납의 허용기준을 10 ppm에서 일본의 허용기준인 3 ppm 수준까지 설정하여도 큰 문제는 없는 것으로 보인다. 그러나 해양수산부(2007)에 의하면 국내 다른 사료관련 연구기관에서는 수입되는 6곳의 어분 내 납의 함유량을 분석한 결과 납의 함유량이 최소 2.13 ppm에서 최대 5.45 ppm까지 검출된 것으로 보고되어 본 연구에서의 어분 내 납 함유량과 차이를 보였는데, 이는 어분의 원료와 제조 시기와 방법, 지역에 따라 차이를 보이는 것으로, 국내 어류용 배합사료는 본 연구에서 조사된 어분 외에도 다양한 어분이 사용되고 있다. 이러한 결과를 종합적으로 검토한다면 어류용 배합사료 내 납의 적정 허용기준은 국내 허용기준의 1/2 수준이며, EU와 같은 수준인 5 ppm이 현 기준으로는 가장 적정한 것으로 판단되며, 향후 납이 어류에게 미치는 독성 및 각 부위에 축적되는 축적량에 대한 과학적인 분석과 조사를 통해 적절한 허용기준을 설정하는 것이 필요하다.

4) 카드뮴(Cd)

카드뮴은 일본에서 골연증, 가성골절 및 신변성증에 기인하여 심한 통증을 특징으로 하는 '이따이 이따이'병의 원인물질로도 잘 알려진 대표적인 유해 중금속으로서(이 등 1987), 국내·외 수산물 내에서의 허용기준은 국내 2.0 ppm 이하, 미국은 최대 4.0 ppm, CODEX는 1.0 ppm, EU는 0.1 ppm, 캐나다는 3.5 ppm, 호주와 뉴질랜드는 2 ppm으로 설정되어 있다. 특히 이러한 수산물 내 허용기준은 주로 패류나 갑각류, 연체동물, 그리고 어류의 가식부위를 기준으로 설정되어 있는 것으로, 본 연구에서의 넙치와 조피볼락의 어체 내 평균 카드뮴의 검출량은 가장 허용기준치가 낮은 CODEX에의 기준치를 초과하지 않고 있으며 특히, 가식부위가 아닌 전어체를 기준으로 한 검출량인 가식부위를 분석할 경우 더 낮은 검출량을 나타낼 것으로 보인다. 또한 PTWI에서도 CODEX의 PTWI와 비교해 넙치와 조피볼락은 각

각 0.11, 0.03 %에 불과한 것으로 나타나 카드뮴으로부터의 식품안전성에 전혀 문제가 없는 것으로 확인되었다. 또한 넙치와 뱀장어 양식장에서의 배출수에서도 카드뮴은 전혀 검출되지 않아 배합사료의 카드뮴이 수질에 전혀 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

일반적으로 어류는 카드뮴에 대한 해독능력이 다른 해양무척추동물보다는 높은 것으로 알려져 있으며(Langston, 1980), 어류에 대한 카드뮴의 독성으로는 성장장애를 비롯한 아가미에서의 칼슘 흡수 억제, 간 기능 저하뿐만 아니라 생식이나 대사작용을 방해한다(Verbost et al., 1989; Sorensen, 1981; Lemairce and Lemaire, 1992; Soengas et al., 1996). 또한 호흡관련 기능뿐만 아니라 혈장 내 혈당이 증가하거나 칼륨과 칼슘을 저하시키는 등 혈장의 조성을 바꾸며(Sorensen, 1991), 카드뮴의 노출된 어류의 간이나 신장, 근육 등의 기관에서는 대사활동을 저해하기도 한다(Ststry and Subhadra, 1982). 국내·외 카드뮴에 대한 배합사료 내 허용기준은 국내 1 ppm, EU는 주로 사료원에 대해 0.5~2 ppm, 미국은 0.5 ppm, 일본은 1 ppm으로 설정되어 있고 국내와 일본에서는 양식용 배합사료는 제외하고 있으며, EU에서는 어류용 배합사료에 대해 별도로 설정하지 않고 동물성 사료원의 경우 2 ppm으로, 기타 사료원에 대해선 0.5 ppm으로 허용기준을 설정하고 있으며 미국은 별도의 배합사료에 기준은 설정되어 있지 않다. 본 연구에서 국내 4개회사내 넙치, 조피볼락 배합사료 내 카드뮴 함유량은 평균 0.55, 0.69 ppm으로 모든 사료에서 1 ppm 이하를 나타내고 있어 국내와 일본의 기타 배합사료 허용기준치인 1 ppm을 초과하지 않았으며, 미국과 EU의 허용기준치인 0.5 ppm은 초과 되었다. 그러나 국내와 일본은 어류용 수산 양식용 사료는 제외하고 있으며, EU와 미국에서도 어류용이 아닌 육상 가축용 사료를 기준으로 설정되어 있는 만큼 객관적인 비교는 어렵다. 국내와 일본처럼 배합사료 내 카드뮴 허용기준에서 어류 또는 수산양식용 배합사료를 제외하고 있는 것은 카드뮴의 함유량이 높은 것으로 알려져 있는 어분의 사용량이 높아 그 특수성을 인정하여 어류에서의 적정 허용량이 검토될 때까지 잠정적으로 제외시켰다. 이러한 어분의 카드뮴은 국내어분의 높은 검출량에서도 나타나는데 그 이유로는 국내산 어분 중에는 가식부위가 아닌 대형어류의 내장 등의 부산물을 이용해 제조되는 경우가 많기 때문이다. 국내산 어분과 같이 부산물을 이용한 어분의 제조는 주로 아시아 계열에서 제조되고 있는데, 이는 저렴한 가격에 비해 영양소 함량이 높기 때문에 경제성 있는 사료를 제조하는 데 있어 유리하기 때문이

다. 국내에서는 어분의 카드뮴 허용기준은 2.5 ppm으로 설정되어 있어 배합사료에 비해 높은 기준치를 나타내지만, 배합사료에 사용되는 어분은 제외하고 있으며, 일본에서도 어분의 경우는 2.5 ppm으로 규정하고 있다. 해양수산부(2007)에 의하면 국내 연구사료기관에서 조사한 수입 어분 6개의 카드뮴 함유량은 0.55 ~ 6.73 ppm인 것으로 보고되고 있어 최대 카드뮴 함유량이 본 연구의 국내 어분보다도 높게 나타날 수 있음을 알 수 있으며, 국내와 일본의 허용기준을 크게 초과할 수도 있음을 시사하고 있다. 이렇게 카드뮴 함유량은 어분별로 차이가 큰 것은 사용되는 어종이나 원료, 제조방식, 그리고 제조시기가 다른 것이 원인인 것으로 보인다. EU에서는 동물성 원료 대해서는 카드뮴 함유량에 기준치가 0.5 ppm이하로 규정하기 있는데 어분에 대해서는 언급되어 있지 않아, 이를 포함한 허용기준치 인 것으로 보이며 이러한 카드뮴 기준치에 대한 설정이 국내와 일본과 비교해 1/5의 수준에 불과한 것은 한국, 일본과 유럽에서의 어분의 원료나 제조기술 등의 차이 때문인 것으로 생각된다.

본 연구에서는 어류용 배합사료를 공급한 양식어류의 체내 카드뮴 축적량은 안전성에 문제가 되지 않으며, 사료 내 카드뮴 함유량 역시 현행 국내 허용기준치를 초과하지 않고 있어 어류용 배합사료의 카드뮴에 대한 안전성에는 문제가 없는 것으로 보이나, 국내산 어분과 같은 부산물 어분들을 포함한 카드뮴 함유량이 높은 어분들의 사용이 필요한 만큼 어류용 배합사료 내 카드뮴 함량에 영향을 줄 수 있어 현행 가축 배합사료의 기준인 1 ppm이나, 어분 내의 2.5 ppm은 그대로 적용하기는 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 어류용 배합사료 내 카드뮴의 적정 허용기준으로는 최소 3 ppm, 어분은 최소 5 ppm 이하로 제시하고 자 한다. 그러나 양어용 사료에는 어류 외에 새우나 기타 양식생물에 대한 사료의 기준도 고려해야 하며, 특히 새우사료에 주로 사용되고 있는 오징어간분이나 새우분, 크릴밀의 경우 카드뮴의 함유량이 높은 것으로 알려져 있어 카드뮴에 대한 양식용 배합사료의 대한 기준 설정을 위해서는 다양한 어종에 사육실험과 위해평가 실험을 통해 과학적인 검증방법으로 적절한 허용기준에 접근 하여야 할 것이다.

표-53. 국내·외 수산물 내 셀레늄, 납, 카드뮴, 비소 허용기준과 배합사료를 공급한 넙치, 조피볼락의 어체 내 셀레늄(Se),비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd), 평균 함유량 (ppm)

	셀레늄(Se)	비소(As)	납(Pb)	카드뮴(Cd)
국내	-	-	2.0이하	2.0이하
CODEX[1)]	-	-	0.2	1.0
미국[2)]	-	최대86	최대1.7	최대4.0
EU[3)]	-	-	0.4	1.0
일본[4)]	-	-	-	-
캐나다[5)]	-	3.5	0.5	3.5
호주, 뉴질랜드[6)]	-	2	0.5	2
넙치	0.11±0.03	0.28±0.11	0.07±0.06	0.06±0.03
조피볼락	0.17±0.03	0.37±0.13	0.01±0.01	0.02±0.01

1) 카드뮴은 연체동물, 납은 강·소하성, 담수, 해수어류 기준
2) 납, 카드뮴, 비소 모두 갑각류나 굴, 홍합, 대합, 조개 등 기준
3) 납, 카드뮴 모두 어류의 가식부위와 이매패류, 두족류(내장 제외)기준
4) 수은만 제한
5) 비소, 납은 어류단백농축 기준
6) 비소는 무기비소이며, 갑각류, 어류, 연체류, 해조류 포함기준. 카드뮴은 굴, 가리비를 제외한 연체류, 납은 어류기준

표-54. 국내 4개 회사의 넙치, 조피볼락 배합사료 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 평균 함유량과 국내·외 배합사료 내 허용기준

(ppm)

	셀레늄 (Se)	비소 (As)	납 (Pb)	카드뮴 (Cd)
국내	2	10	10	1 (어류용 제외)
미국	2	50	30	0.5
EU	-	4	5	0.5
일본	-	7	3	2.5
넙치	1.54±1.19	0.58±0.46	0.08±0.02	0.55±0.33
조피볼락	0.99±0.42	0.44±0.16	0.15±0.17	0.69±0.27

5) 어류용 배합사료 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 허용기준 제시

국내의 배합사료 내 셀레늄, 납, 비소, 카드뮴의 허용기준은 축산이나 애완용 동물사료에 대해 그 기준을 맞추어 적용하고 있으며 수중생물의 특성을 고려한 양어용 배합사료의 허용기준은 카드뮴에서만 제외되어있을 뿐 적절한 기준이 설정되어 있지 않다.

본 연구에서 어류용 배합사료를 공급한 넙치와 조피볼락의 어체 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 함유량은 국내는 물론 국외의 수산물 내 허용기준을 초과하지 않았으며, 특히 잠정주간섭취 허용량(PTWI)을 통해 WHO/FAO에서 제시한 수준과 비교해 안정성을 확인할 수 있었다. 또한 어류용 배합사료를 공급한 양식장의 배출

수에는 일부 지역에서 비소 등이 검출되기는 하였으나, 이는 배합사료가 아닌 주변 환경에서 유입된 것으로 판단되며 검출된 수치도 국내 수질기준과 비교해 문제가 없는 것으로 나타나 현재 시판되는 4개회사의 어류용 배합사료는 4가지 중금속에 대한 안전성에 문제가 없는 것으로 확인되었으며, 현행 수준에서의 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴 허용기준에서는 양식어류와 수질환경에 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 국내 4개 사료회사의 넙치, 조피볼락 배합사료 내 중금속 허용기준도 셀레늄을 제외하고 모두 국내와 일본의 허용기준치를 초과하지 않았으나, 미국과 EU기준에서는 카드뮴에서 일부 초과되었으나, 미국과 EU의 카드뮴 기준 역시 가축사료를 중심으로 설정된 만큼 어류용 배합사료를 적용하기에는 무리가 있는 것으로 보인다. 어분에서 국내산 어분은 대표적 수입산 4개 어분과 5가지 식물성 원료에 비해 월등히 높은 함유량을 나타내었는데, 이것은 국내산 어분의 주요원료가 대형어류의 내장과 같은 부산물로 제조된 것이 원인으로 보이며, 특히 카드뮴은 다른 원료에 비해 약 40배 이상의 가까운 함유량을 보이고 있는데, 이는 국내와 일본의 어분 허용기준치인 2.5 ppm과 EU의 동물성 사료원 기준인 2 ppm를 초과하고 있어 국내 어분이 다량 첨가될 경우 배합사료 내 카드뮴 함유량에 영향을 미칠 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 표-55와 같이 어류용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴의 허용기준에 대해 어류의 특수성과 함께 국내에서 사용되는 다양한 어분의을 감안하여, 셀레늄은 독성이 아닌 어류의 필요 요구량도 고려해 오히려 현행보다 높은 3 ppm을, 비소에서는 현행 수준의 1/2 수준인 5 ppm으로 설정하고, 유기와 무기비소를 구분할 필요가 있으며, 납은 EU와 같은 수준인 5 ppm으로 카드뮴은 어류용 배합사료를 기준으로 한다면 최소 3 ppm, 어분은 최소 5 ppm이 조정 기준으로 판단되나 카드뮴에 대해서는 축적량이 생물학적 반감기보다 높은 것으로 알려져 있는 만큼 사육실험을 통한 어체 부위별 축적량을 조사하여 식품 기준으로의 위해가능성을 평가 후 기준을 설정하는 것이 타당하다고 판단되며, 또한 어류가 아닌 기타 양식생물의 배합사료에 대한 별도의 기준 설치를 위한 연구도 요망된다.

본 연구과제에서 어류용 배합사료 내 셀레늄, 비소, 납, 카드뮴에 대해 분석, 조사된 자료는 제시된 배합사료의 유해물질에 대한 위해평가 모델을 적용시킬 때 독성평가와 노출 평가, 그리고 용량-반응 평가에 포함될 수 있으며, 노출 평가에서 필수적으로 요구되는 생물의 축적량에 대한 사육평가가 실시하여 최종적인 위해특성

화단계로 최종 수집을 통해 과학적인 접근방법으로 구체적인 허용기준 기준이 제시되어야 할 것이다. 또한 본 연구는 셀레늄, 비소, 납 및 카드뮴에 국한되어 연구가 수행되었으나, 향후 이들 유해중금속 이외에도 다이옥신류, 잔류 농약 등의 위해물질에 대한 체계적이고 장기적인 계획을 통해 연구가 진행되어 수산양식물에 대한 식품으로서의 안전성 확보를 위한 지속적인 노력이 절실히 요구된다.

표-55. 어류용 배합사료 내 셀레늄(Se), 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd)의 허용기준 제시안 (ppm)

중금속	사료종류	허용기준 (현행)	**허용기준 (안)**	비고
셀레늄(Se)	돼지,닭 배합사료	2	**3**	
비소(As)	어류용 배합사료	10	**5**	어류용 배합사료 기준설정
납(Pb)	기타배합사료	10	**5**	
카드뮴(Cd)	기타배합사료	1 (어류용 제외)	**2 (어분 5)**	

참고문헌

Alan Ward, D., C. G. Carter. and A. T. Townsend. 2005. The use of yttrium oxide and the effect of faecal collection timing for determining the apparent digestibility of minerals and trace elements in Atlantic salmon(*Salmo slsr*, L.) feeds. Aquaculture Nutrition. 11. pp. 49 ~ 59.

Albergoni, V. and A. Viola. 1995. Effects of cadmium on catfish, *Ictalurus melas*, humoral immune response. Fish & shellfish Immunology 5. pp. 89 ~ 95.

Albergoni, V. and A. Viola. 1995. Effects of cadmium on lynphocyte proliferation and macrophgae activation in catfish, *Ictalurua melas*. Fish & shellfish Immunology 5. pp. 301 ~ 311.

Arai, T., M. Maeda, H. Yamakawa, A. Kamatani. and N. Miyazaki. 2002. Growth effect on the uptake and elimination of trace metals in the abalones *Haliotis*. Fisheries Science. 68. pp. 1094 ~ 1098.

Article No. jfbi. 1999. 09. 42. available online at http://www.idealibrary.com

AUSTRALIA AND NEW ZEALAND, STANDARDS 1.4.1 CONTAMINANTS AND NATURAL TOXICANTS,

Axelesson, B., S.E. Darhlgren and M. Piscator, 1968. Renal lesions in th rabbit after long-term exposure to cadium. Arch. Environ. Health, 17, pp. 24-28.

Balfour Hepher(저자), 노선호(역자). 2002. 양어 영양학. 신광.

Berg, J.W. and F. Burbank, 1972. Correlation between carcinogenic trace metals in water supplies and cancer mortality. Ann. N. Y. Acad Sci., pp. 249-262.

Berlin, M. and B. Fredsiesson, 1961. Bone marrow changes in chronic cadmium poisoning in rabbits. Arch. Environ. Health, 3, pp. 58-62

Berntssen, M. H. G., R. Waagbo, H. Toften. and A.-K. Lundebye. 2003. Effects of dietary cadmium on calcium homeostasis, Camobilization and bone deformities in Atlantic salmon(*Salmo salsr* L.) parr. Aquaculture Nutrition. 9. pp.175 ~ 183.

Berntssen, M. H., A. Aatland, and R. D. Handy. 2003. Chronic dietaru mercury exposure causes oxidative stress, brain lesions, and altered behavior in Atlantic salmon (S*almo salar*) parr. Aquatic Toxicol. 65:55-72.

Cain, K. and D.N. Skilleter, 1983. Comparison of cadmium-metallothionein synthesis in parenchymal and non-parenchymal rat liver cells. Biochem. J. 210, pp. 769-773.

Cha, Y. T. and D. S. Reu. 1997. Effects of mercury and cadmium on the early development of zebrafish(*Brachydanio rerio*). J. Ind. Sci., Chongju Univ. Vol. 15, No. 2.

Chang, Y. T., K. J. Jong, B. K. Liao. and S. M. Wu. 2007. Cloning and expression of metallothionein cDNA in the hard clam (*Meretrix lusoria*) upon cadmium exposure. Aquaculture. 262. pp. 504 ~ 513.

Cho, T. H, G.S. Chung, S. W. Son, J. M. Park. and K. S. Park. 1987. Residue of Harmful heavy on Swine Tissue and Feedstuff. Kor. J. Food Hygiene. 2(3). pp. 103 ~ 108.

Choi, S. R. 2006. Food Policy for safety Management of Risks. Food Science and industry. Vol. 39, No. 2. pp. 30 ~ 33.

Choung, K. H. 2003. Reorganization of food safety management system in Korea. Food Science and industry. Vol. 36, No. 2. pp. 42 ~ 53.

Chun, K. J. and B. H. Kim. 1996. Changes of Heavy Metal Concentration in Rat's Tissues and Urine after Cd-administration. Yakhak Hoeji. Vol.40. No.5. pp. 501 ~ 506.

Clearwater, S. J., A. M. Farag, and J. S. Meyer. 2002. Bioavailability and toxicity of diet-borne copper and zinc to fish. Comp. Biochem. Physiol. C. 132:269-313.

Cockell, K. A., J. W. Hilton, and W. J. Bettger. 1991. Chronic toxicity of dietary disodium arsenate heptahydrate to juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Arch. Environ. Contam. Toxicol. 21:518-527.

De Silva. S. S., D. F. Deng. and V. Rajendram. 1997. Digestibility in goldfish fed diets with and without chromic oxide and exposed to sublethal

concentrations of cadmium. Aquaculture Nutrition. 3. pp109~114.

Deaven, L.L., and E.W. Campbell, 1980. Factors affecting the induction of chromosomal aberrations by cadmium in Chinese hamster cells. Cytogenet. Cell Gent., 26, pp. 251-260.

Deknudt, G.H. and A. Leonard, 1975. Cytogenetic investigations on leukocytes of workers from a cadmium plant. Environ. Physiol. Biochem. 5. pp. 319-327.

Deknudt, G.H., A. Leonard and B. Ivanov, Chromosome aberrations observed in male workers occupationally exposed to lead. Environ. Physiol. Biochem., 3, pp. 132-138.

DIRECTIVE 2002/32/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed. Official Journal of the European Communities, Pages L140/10-21. May 2002.

Dudley, R.E., D.J. Svovoda and C.D. Klaassen, 1982. Acute exposure to cadmium causes severe liver injury in rats. Toxicol Appl. Pharmacol., 65, pp. 302-301.

EU, COMMISSION REGULATION (EC) No. 466/2001 of 8 March setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal 77, 16/3/2001, Pages 1-20, 2001.

Eum, K. S., M. Y. Song, J. C. Chung and Y. Chung. 1987. Toxicity of Hg. Pb. Cd and Cr ion on a Freshwater Fish, *Apiochilus latipes*('Songsari' in Korean). J. KSWPRC Sep. pp. 53~62.

Faeder, E.J., L.M. Gammal and L.C. King. 1977. Biochemical and ultrastructural changes in livers of cadmium treated rats. Toxicol Appl. Pharmacol., 39, pp. 473-483.

Faustino. M. and D. M. Power. 1999. Development of the pectoral, pelvic, dorsal and anal fins in cultured sea bream. Journal of Fish Biology. 54. pp. 1094~1110.

FISH AND FISHERIES PRODUCTS HAZARDS AND CONTROL GUIDANCE (APPENDIX I - FDA & EPA Safety Levels in Regulations and Guidance), Third Edition, June 2001.

FISH PRODUCTS STANDARDS AND METHODS (APPENDIX 3 -

CANADIAN GUIDELINES FOR CHEMICAL CONTAMINANTS AND TOXINS IN FISH AND FISH PRODUCTS). May, 2005.

Gatlin, D. M. and R. P. Wilson. 1984. Dietary selenium requirement of fingerling channel catfish. J. Nutr. 114:627-633.

Gatlin, D. M. and R. P. Wilson. 1986. Dietary copper requirement of fingerling channel catfish. Aquaculture 54:277-285.

Gilliavod, N. and A. Leonard, 1975. Mutagenicity tests with cadmium in the mouse. Toxicology, 5, pp. 43-47.

Hahn, Y. H., J. S. Lee. and J. H. Lee. 2007. Determinations of Environmental Hormones and Heavy Metals in Seawater of Tongyeong Marine Ranching Ground of Korea. Korean J. Environ. Biol. 25(4). pp. 313~318.

Hamilton, S. J. 2004. Review of selenium toxicity in the aquatic food chain. Sci. Total Environ. 326:1-31.

Hanks, A. R. 1999. Feed safety in the United States of America. 사료의 안전성 제고를 위한 품질관리제도 국제 심포지움. pp. 13~90.

Hwang, G. S. 1997. The Characteristics of Fish Metallothionein and Its Application to the Biomonitoring for the Evaluation of Water Pollution. KOR J ENVIRON TOXICOL. Vol. 12. No. 3~4. pp. 15~22.

Hwang, Y. O. and S. G. Park. 2006. Contents of heavy metals in marine fishes, sold in Seoul. Analytical Sclence & Technology., Vol. 19, No. 4, pp. 342~351.

http://www.foodstandards.gov.au/_srcfiles/fsc_1_4_1_Contaminants_v78.pdf

Jang, S. K, S. G. Kim, and J. C. Kang. 2002. Cadmium Accumulation in Tissue of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* During Long Term Exposure. J. Kor. Fish. Soc. 35(5). pp .480~484.

Joo, H. S., J. Kim, J. C. Park, S. H. Kim, W. S. Jeong, H. C. Soung, Y. T. Lee and W. B. Lee. 2007. Heavy Metal Concentration on the Some Marine Organisms on Gwangyang Bay. Chonnam Nat'I. Univ. Vol. 7. pp. 55~62.

Jun, J. Y, X. M. Xu. and I. H. Jeong. 2007. Heavy Metal Contents of Fish Collected from the Korean Coast of the East Sea (Donghae). J. Kor. Fish.

Soc. 40(6). pp. 362~366.

Kang, J. C, H. Y. Kim. and P. Chin. 1997. Toxicity of Copper, Cadmium and Chromium on Survival, Growth and Oxygen Consumption of the Mysid, *Neomysis awatschensis*. J. korean Fish. Soc. 30(5). pp. 874~881.

Kang, J. C, S. G. Kim. and J. H. Jee. 2003. Long-Term Sublethal Cadmium Exposure Effected Survival, Growth and Metabolic Rate Change in the Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus.* J. korean Fish. Soc. 36(1). pp. 39~43.

Kim, H. Y., J. C. Kim, S. Y. Kim, J. H. Lee. and Y. M. Jang. 2007. Monitoring of Heavy Metals on Fishes on Korea - As, Cd, Cu, Pb, Mn, Zn, Total Hg-.Korean J. Food Sci. Technol. Vol. 39, No. 4. pp. 353~359.

Kim, H. Y., S. Y. Chung, Y. S. Sho, G. S. Oh, S. S. Park, J. H. Suh, E. J. Lee, Y. D. Lee, W. J. Choi, J. Y. Eom, M. S. Song, J. O. Lee. and G. J. Woo. 2005. The Study on the methylmercury Analysis and the Monitoring of Total Mercury and Methylmercury in Fish. Korean J, Food Sci. Technol. Vol. 37, No. 6. pp. 882~888.

Kim, J. G., S. J. You. E. I. Cho., and W. S. Ahn. 2003. Distribution Characteristics of Heavy Metals for Tidal Flat Sediments in the Saemankeum Area. J. Korean Fish. Soc., 36(1), pp. 55~61

Kim, J. H. and I. S. Lee. 1998. Studies on Cadmium and Zinc Detoxification of *Rumex maritimus*. Korean J. Ecol. 21(3). pp. 225~231.

Kim, M. H., Y. D. Lee, H. J. Park, S. K. Park and J. O. Lee. 2005. Contents of Heavy Metals in Soybean Curd and Starch Jelly Consumed in Korea. Korean J. Food Sci. Technol. Vol. 37, No. 1, pp. 1~5.

Kim, S. G, S. W. Jang. and J. C. Kang. 2003. Cadmium Elimination in Tissue of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* after Long-Term Exposure. J. Kor. Fish. Soc. 36(1). pp. 44~48.

Kolonel, L. and W.Jr. Winkelstein, 1977. Cadimium and prostatic carcinoma. Lancet, ii, pp. 566-567.

Kwak, N. S. 2006. Development of Food Safety Control System. Food Science

and industry. Vol. 39, No. 2. pp. 34~39.

Kwon, K. S., M. H. Oh. and Y. S. Kang. 2006. Risk Assessment and Prevention of Pathogenic Microorganisms in Powdered Infant Formula. Food Science and Industry. Vol. 39, No. 2. pp. 24~29.

Lee, B. K. and M. K. Huh. 2004. Death Rate and Bioaccumulation on the Early Development of Mitten Crab by Treatment of Cadmium and Mercury. Korean J. Environ. Biol. 22(3). pp. 369~375.

Lee, H. M. and K. H. Jung. 2008. Risk Assessment for Identifying Maximum Level of Hazardous Chemicals in Foods. Journal of Food Hygiene and Safety. Vol. 23, No. 1, pp. 80~84.

Lee, I. S., J. I. Song, K. s. Park, B. L. Choe and B. J. Rho. 1995. Bioaccumulation of Trace Metals by Mussel (*Mytilus edulis*) from Korean Coast. Korean J. Ecol. 18(3). pp. 419~427.

Lee, K. W. and H. B. Lee. 1987. The Effects of Dietary Cadmium, Wine, Iron and Copper Concentrations of Tissues and Hair in Rats. Korean J. Vet. Res. Vol. 27, No. 2, pp. 361~383.

Lee, M. K, S. Y. Cho, E. M. Park. and M. J. Kim. 1994. The Effect of Dietary Zinc on Lipid Metabolism in Cadmium Treated Rats. J. korean Soc. Food Nutr. 23(5). pp. 718~724.

Lee, S. Y. 2004. Food Safety in Codex Alimentarius Commission. Food Science and industry. Vol. 37, No. 2. pp. 9~11.

Lemaire, G.S. and P. Lemaire, 1992. Interactive effects of cadmium and benzo(a)pyrene on cellular structure and biotransformation enzymes of the liver of the European eel. Aquat. Toxicol., 22, pp. 145-160.

Lin, Y. H. and S. Y. Shiau. 2005. Dietary selenium requirements of juvenile grouper, Epinephelus malabaricus. Aquaculture. 250:356-363.

Malcolm. D., Cadmium as a carcinogen, In : Cadmium toxicity. Mennear J. H., pp. 173-180.

Min, K. J. and C. G. Cha. 2001. Determination of the Bioconcentration Factor in Some Pesticides by Flow-through Fish Test. Kor. J. Env. Hlth. Soc., Vol.

27, No. 2, pp 37~42.

Mineral feed contaminants. Pages 313-315. In: Official Publication of the Association of Feed Control Officials, 2005. Inc., Oxford, IN.

Moren, M., J. Suontama, G.-I. Hermre, O. Karlsen, R. E. Olsen, H. Mundheim. and K. Julshamn. 2006. Element concentrations in meals from krill and amphipods - Possible alternative protein sources on complete diets for farmed fish. Aquaculture. 261. pp. 174~181.

Mormede, S. and I. M, D. 2001. Trace elements in deep-water fish species from the Rockall Trough. Fisheries Research 51. pp. 197~206.

Murai, T. J. W. Andrews, and R. G. Smith. 1981. Effects of dietary copper on channel catfish. Aquaculture 22:353-357.

Ng, W., and R. P. Wilson. 1997. Chromic oxide inclusion in the diet does not affect glucose utilization or chromium retention by channel catfish, *Ictalurus punctatus*. J. Nutr. 127:2357-2362.

Ng, W.-K., C.-B. Koh, and Z. B. Din. 2006. Palm oil-laden spent bleaching clay as a substitute for marine fish oil in the diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture Nutrition. 12. pp. 459~468.

NRC (National Research Council), 2005. Arsenic. Pp 31-45 in Mineral Tolerance of Animals, 2nd eds. Washington, D.C. National Academy Press.

NRC (National Research Council), 2005. Cadmium. Pp 79-96 in Mineral Tolerance of Animals, 2nd eds. Washington, D.C. National Academy Press.

NRC (National Research Council), 2005. Chromium. Pp 115-123 in Mineral Tolerance of Animals, 2nd eds. Washington, D.C. National Academy Press.

NRC (National Research Council), 2005. Copper. Pp 134-153 in Mineral Tolerance of Animals, 2nd eds. Washington, D.C. National Academy Press.

NRC (National Research Council), 2005. Lead. Pp 210-223 in Mineral Tolerance of Animals, 2nd eds. Washington, D.C. National Academy Press.

NRC (National Research Council), 2005. Mercury. Pp 248-261 in Mineral Tolerance of Animals, 2nd eds. Washington, D.C. National Academy Press.

NRC (National Research Council), 2005. Selenium. Pp 321-347 in Mineral

Tolerance of Animals, 2nd eds. Washington, D.C. National Academy Press.

NRC (National Research Council), 2005. Zinc. Pp 413-427 in Mineral Tolerance of Animals, 2nd eds. Washington, D.C. National Academy Press.

NRC (National Research Council). 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. Washington, D.C. National Academy Press.

O'Riordan, M.L., E.G. Hughes and H.J. Evans, 1978. Chromosome studies on blood lymphocytes of men occupationally exposed to cadmium. Murat. Res., 58, pp. 305-311.

Oladimeji, A. A., S. U. Qadri, and A. S. W. deFreitas. 1984. Long-term effects of arsenic accumulation in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 32:732-741.

Paek, S. M. and I. S. Lee. 1998. A study on Bioaccumulation of Heavy Metals in Mussels(*Mytilus edulis*) from the Onasan Coastal Zone. Korean J. Ecol., 21(3). pp. 217~224.

Park, B. Y., B. Y. Lee, S. Y. Yang, S. J. Kang. and D. H. Lee. 1997. A Study on the Uptake of Cd and Pb by Vegetables. HSJAS. Vol. 6. No. 1. pp. 145~150.

Park, J. J. and J. S. Lee. 2003. Cadmium Toxicity on the Survival Rate and Activity of the Equilateral Venus, *Gomphina veneriformis*(Bivalvia: Veneridae). J. Kor. Fish. Soc. 36(5). pp. 463~468.

Park, J. M. The Effect of heavy Metals on Human and Animal Health.

Park, J. S. and H. G. Kim. 1979. Acute Toxicity Test of Mercury, Copper Cadmium and to Yellowtail, *Seriola quinqueradiata* and Rock Bream, *Oplegnathus fasciatus*. Bull. Korean Fish. Soc. 12(2). pp. 119~123.

Paton, G.R. and A.C. Allison, Chromosome damage in human cell cultures induced by metal salts. Mutat. Res., 16, pp. 332-336.

Potts, S.L., 1965. Cadmium proteinuria-the health of battery workers exposed to cadmium oxide dust. Ann. Occup. Hyg., 8, pp. 56-61.

Provisional regulatory limitations of contaminants in food. In: SPECIFICATIONS AND STANDARDS FOR FOODS, FOOD ADDITIVES, ETC. UNDER THE

SANITATION LAW (ABSTRACTS). Pages, 127-128. April, 2004. JETRO (Japan External Trade Organization).

Ren, H., H. Jla, S. Kim, M. Maita, S. Sato, M. Yasui, H. Endo. and T. Hayashi. 2006. Effect of Chinese parsley *Coriandrum sativum* and chitosan on inhibiting the accumulation of cadmium in cultured rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Fisheries Science. 72. pp. 263~269.

Ren, H., Y. Okamoto, H. Jla, R. Fukuda, A. Kobayashi, S. Goto, H. Endo. and T. Hayashi. 2008. Removal of cadmium from scallop processing waste by washing with weak acid solution and utilization of useful constituents for organic fertilizer manufacturing. Fisheries Science. 74. pp. 187~192.

Ronald W. Hardy and Frederick T. Barrow. 2002. Diet Formulation and Manufacture. in Fish Nutrition(3th). ACADEMIC PRESS. pp. 506~596.

Santosh, P. Lall. 2002. The Minerals. in Fish Nutrition(3th). ACADEMIC PRESS. pp. 260~301

Sastry, K.V. and K. Subhadra. 1982. Effect of cadmium on some aspects of carbohydrate metabolism in a fresh water catfish, *Heteropneustes fossilis*. Toxicol. Lett., 14. pp. 45-51.

SCHEDULE I OF THE GENERAL STANDARD FOR CONTAMINANTS AND TOXINS IN FOODS. In: JOINT FAO/WHO FOOD STANDARDS PROGRAMME CODEX COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES AND CONTAMINANTS. Thirty-seventh Session. The Hague, the Netherlands, 25-29 April 2005. CX/FAC 05/37/19 April 2005(English only)

Schrauzer, G.N., D.A. White and C.J. Schneider, 1972. Cancer mortality correlation studies. Ⅳ. Associations with dietary intakes and blood levels of certain trace elements, notalby Se-antagonists. Bioinorg. Chem., 7, pp. 35-56.

Sendelbach, L.E. and C.D. Klassen, 1988. Kidney ssnthesizes less metallothionein than live in response to cadmium chloride and cadmium, metallothionein. Toxic Appl. Pharmacol, 92, pp. 95-102.

Shiraishi, Y., H. Kurahshi and T.H. Yoshida, 1972. Chromosomal aberrations in cultured human leukocytes induced by cadmium sulfide. Proc. Jpn. Acad., 48,

pp. 133-137.

Sin, D. H. 2007. Risk Communication for Food Safety Control. Safe Food. Vol. 02, No. 2. pp. 5~10.

Sippel, A. J. A., J. R. Geraci, and P. Hodson. 1983. Histo pathological and physiological responses of rainbow trout, *Salmo gairdneri* to to sublethal levels of lead. Water Res. 17:1115-1118.

Sirover, M. A. and L. A. Loed, 1976. Enfidelity of DNA synthesis in vitro : Screening for potential metal mutagens of carcinogens. Science, 1974. pp. 1434-1436.

Soengas, J.L. M.J. Agra-Lago, B. Carballo, M.D. Andres and J.A.R. Vieira. 1996. Effect of an acute exposure to sublethal concentrations of cadmium on liver carbohydrate metabolism of Atlantic Salmon (*Slamon salar*). Bull. Environ. Contamin. Toxicol., 57, pp. 625-631.

Sorensen, E.M. 1991. Cadmium. In: Metal poisoning in fish. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 175-234.

Szebedinszky, C., J. C. McGeer, D. G. McDonald, and C. M. Wood. 2001. Effects of chronic Cd exposure via the diet or water on internal organ-specific distribution and subsequent gill Cd uptake kinetics in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Environ. Toxicol. Chem. 20: 597-607.

Tacon, A. G., Jr., and M. M. Beveridge. 1982. Effects of dietary trivalent chromium on rainbow trout. Nutr. Rep. Int. 25:49-56.

Verbort, P.M., Van Rooij, G. Flik, R.A.C. Lock and S.E. Wendelaar Bonga, 1989. The movement of cadmium throuth freshwater trout branchial epithelium and its interference with calcium transport. J. Exp. Biol., 145, pp. 185-197.

Wang, C., R. T. and L. 1997. Orgnaic selenium sources, slenomethionine and selenoyeast, have higher bioavailability than an inorganic selenium source, sodium selenite, in diets for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Aquaculture. 152. pp. 223~234.

Watanabe, T., T. Shmada and A. Endo, 1979. Mutagenic effects of cadmium on mammalian oocyte chromosomes. Mutat. Res., 67, pp. 349-356.

Watanabe, T., V. Kiron. and S. Satoh. 1997. Trace minerals in fish nutrition. Aquaculture., 151. pp. 185 ~ 207.

Webb M., 1979. In The Chemistry, Biochemistry and Biology of Cadimium(Webb, M., ed). Elsevier/North-Holland, Amsterdam, pp, 195-266.

Webseter, W.S., Cadmium induced fetal growth rataradation in the mouse. Arch. Environ. Health, 32, pp. 16-22.

WHO. Environmental Health criteria 3-Lead. World Health Organization, Geneva, Switzerland. pp. 44 ~ 54.

Witeska, M., B. Jezierska. and J. Chaber. 1995. The influence of cadmium on common carp embryos and larvae. Aquaculture. 129. pp. 129 ~ 132.

Yu, H. L. and Y. S. Shi. 2007. The effects of dietary selenium on the oxidative stress of grouper, *Epinephelus malabaricysm,* fed high copper. Aquaculture. 267. pp. 38 ~ 43.

Yu, H. L., Y. S. Shi. 2005. Dietary selenium requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus.* Aquaculture. 250. pp. 356 ~ 363.

구자완, 김강웅, 박건준, 박흥식, 배승철, 엄인주, 옥임호, 왕소길, 유진형, 임성률, 최세민, 한경민. 어류의 영양소 요구량. 부경대학교 사료영양연구소,

김균, 김용화. 2002. 송사리에서 제초제 Butachlor의 생물 농축성. J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol. 45(1). pp. 30 ~ 36.

김재수. 2005. 미국 식품 안전관리제도 현황과 시사점. 농촌경제 제 28권. 제 4호. pp. 73 ~ 92.

노민정. 2005. 식품 안전관리를 위한 미생물 정량적 위해 평가 방법의 활용. 한국산업식품공학회 2005 춘계 학술심포지엄 특강(1). Food and Machinery. Vol. 3, No. 1.

농림부, 2005. 사료관리법 개정법률. 2004.

문옥표. 2008. “안전한 식품”의 신화와 현실 : GM 콩에 대한 한국인의 반응. 비교문화연구 제 14집. 1호. pp. 5 ~ 41.

미국의 식품안전 관련 조직 및 법규(1). 2004. KHIDI 한국보건산업진흥원. pp. 1 ~ 5.

박경진. 식품위해요소 및 안전성 평가 방법. 한국보건산업진흥원 식품산업단 (http://www.foodinfo.pe.kr/haccp/sub/hm edu0003 4.htm)

배인화, 이춘구. 1998. 줄납자루 간장의 미토콘드리아내 LDH isozyme에 미치는 아연과 카드뮴의 영향. urnal of Natural Sciences, Sookmyumg Women's Univ. Vol. 9. pp. 33~37.

사료공장위해요소중점관리기준. 농림부. 고시 제 2004-81호.

사료관리법 (유해사료의 범위와 기준, 개정 2004년 12월 10일)

飼料の 有害物質の 指導基準. Pages 115-116. In: 飼料 安全法について, Japan.

삼성서울병원. Study of the exposure to heavy metals in the Korean population 한국인의 체내 중금속 오염도 조사 연구 최종 보고서. 국립 독성연구소.

생약등의 중금속 허용기준 및 시험방법. 1989. 보건사회부. 고시 제 89-2호.

송인순, 조영채, 김수영, 박암, 손경선, 이태용, 이동배. 1997. 카드뮴 장기간 투여에 따른 흰쥐의 신장 내 카드뮴 축적량과 뇨 중 배설량의 변화. Korean J Occup Med. 9(1). pp. 109~121.

식품공전 (2006년)

식품영양학 교재편찬위원회, 2003. 기초영양학. 광문각.

식품의약품 안전청, 2006, 식품중 중금속 실태조사. pp. 16~17.

염용태. 금속과 금속관련 화합물. 산업보건. Vol.4, No.0. pp. 27~29.

유성규, 2003. 천해양식. pp. 100~128.

유성규. 2003. 양식개론. pp. 63~80.

유해사료의 범위와 기준. 농림부. 고시 제 2004-72호

이문한. 식품안전관리의 선진화. Safe Food. Vol. 03, No. 1.

정갑식. 연안의 환경변화와 관리를 위한 지속가능 우선 과제. 해양환경 보전활동 강화를 위한 제2차 정책 워크샵. pp. 77~93.

중금속 및 유기화합물 오염. 연안의 환경변화와 관리를 위한 지속가능 우선 과제. 해양환경 보전활동 강화를 위한 제2차 정책 워크샵. pp. 97~118.

중금속에 대한 이해와 평가. 농업과학기술원(RDA).

津田佳世子, 小泉 明, 橋 定李, 1975. 土橋 ゆり子, 勝沼晴雄鹽化ヵドミウム投與したラツトにみられる染色體異狀. 第48回日本産業衛生學會講演集, 産業醫學, 17(5), pp. 436-437.

천석조, 김영찬. 2002. 식품 위해인자 관리체계 구축에 관한 연구. 식품 중 각종 위해 요인의 위해성 평가와 관리 방안 수립에 관한 연구의 제8세부 과제. pp.

2~31.
한중수. 1996. 흰쥐 간장에 존재하는 카드뮴 결합 단백질의 정제 및 아미노산 조성에 관한 연구. J. Hanyang Med. Coll. vol. 16, No. 2. pp. 197~207.
한중수. 흰쥐 간장에 존재하는 카드뮴 결합 단백질의 정제 및 아미노산 조성에 관한 연구. 한양의대 학술지, 제 16권, 제 2호, pp. 197-207.
해양수산부, 양식용 배합사료의 안전성 허용기준에 대한 가이드라인제시를 위한 연구용역. 2007.
해양의 부영양화와 적조. 연안의 환경변화와 관리를 위한 지속가능 우선 과제. 해양환경 보전활동 강화를 위한 제2차 정책 워크샵. pp. 69~73.