

최 종
연구보고서

새뱅이(토하)를 이용한 환경친화적
벼 복합영농기술 개발

Development of Environment-Friendly
Rice-*Neocaridina denticulata* Complex Farming System

순천향대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “새뱅이(토하)를 이용한 환경친화적 벼 복합영농기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007 년 4 월 24 일

주관연구기관명 : 순천향대학교 산학협력단

총괄연구책임자 : 이 영 상

세부연구책임자 : 마 채 우

연 구 원 : 김 용 호

연 구 원 : 정 종 태

연 구 원 : 이 재 호

연 구 원 : 손 대 선

연 구 원 : 조 경 심

연 구 원 : 이 한 수

요 약 문

I. 제 목

새뱅이(토하)를 이용한 환경친화적 벼 복합영농기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 급속히 진행되고 있는 농산물 시장의 개방 압력은 국제 경쟁력이 우월치 못한 우리나라 농업에 큰 어려움과 위기의식을 가져다주고 있다. 설상가상으로, 농약의 사용과 다량의 화학비료 투입을 전제로 개발되어온 관행의 '생산량 중심의 농산물 재배법'은 식량의 절대량이 부족했던 한국 사회에 그동안 크게 기여해온 공로에도 불구하고 토양과 수질의 오염원으로 인식되면서 '안전치 못한 농산물'을 생산한다는 소비자 불신까지 떠안고 있는 실정이다. 한편 국민 소득의 향상은 기존의 <배불리 먹는다> 식생활로부터 <잘 먹는다> well-being 식생활 시대로의 전환을 가져 왔고, 그 결과 상대적으로 비싼 가격에도 불구하고 기능성, 안전 농산물은 그 수요가 급증하고 있다. 이에 농림부에서도 환경친화적 농산물 재배를 한국 농업의 주요 발전 방향 중 하나로 제시하게 되었다.

새뱅이(*Neocaridina denticulata denticulata*, 토하)는 한국 전역의 산골이나 계곡, 연못 등 오염되지 않은 깨끗한 물에서 서식하는 것으로 알려진 길이 2-3 cm의 민물새우로, 천일염에 절였다가 숙성 발효시킨 후 쌀밥, 마늘, 생강, 고춧가루 등으로 맛을 낸 <토하젓>의 원료로 매우 높은 가격에 소비되고 있다. 특히 토하젓은 최근 면역력 증대 등 우수한 생리 활성 효과가 밝혀지고 있어 건강식품으로서 국내 소비는 물론 일본으로의 수출이 증대하고 있다. 새뱅이는 생활사가 짧고(1년 이내), 적절한 그늘 및 부착 대상체가 필요한 생물로 생태학적 측면에서 볼 때 본답 이양 이후 수확기까지 담수 상태로 재배되는 벼와 최적의 공생관계를 가질 수 있다. 또한 새뱅이는 부화초기부터 담수산 Diatom, rotifer 등 다양한 담수플랑크톤과 부착 규조류 등을 먹이로 사용하므로 벼와는 양분경합 없어 논은 별도의 사료 공급 노력이 없이도 매우 우수한 새뱅이의 서식 환경을 제공할 수 있다.

이에 오염 물질에 민감하여 청정 환경에서만 생장이 가능한 새뱅이(토하)를 환경 친화적 벼 재배와 결합시키는 복합영농 기술을 개발함으로써 논외의 활용성 제고와 농가 소득의 향상에 기여코자 본 연구를 수행하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 새뱅이 복합 영농을 위한 벼 재배기술 개발

- ① 새뱅이논에 적합한 벼 품종 선발 및 이앙시기 선정
- ② 복합 영농에 적합한 논 토양 구조물(Pond 및 연결통로) 체계 확립
- ③ 새뱅이 복합 영농 재배법 적용에 의한 벼의 생육 및 수량 변화 구명
- ④ 병/해충 방제 효과, 토양 이화학성 및 수확된 쌀의 미질 특성 변화 분석
- ⑤ 벼 이앙 ⇨ 새뱅이 방양 ⇨ 새뱅이 및 벼 수확 시스템 공정 개발
- ⑥ 농가 실증 시험

2. 새뱅이 복합 영농을 위한 새뱅이 대량 사육기술 개발

- ① 새뱅이 모하(어미)의 논에서의 사육 관리 기술 개발
- ② 포란, 발생 및 유생 성장량 조사
- ③ 부화 유생 단계별 사육환경 조사 및 최적 방양/사육 밀도 구명
- ④ 자연 및 인공의 적정 먹이생물 탐색
- ⑤ 복합 영농 환경에서의 새뱅이 성장 model 도출
- ⑥ 새뱅이 대량 사육 시스템 체계화

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 복합영농의 주요한 성공요건을 요약하면 다음과 같다. (1) 복합영농에 투입할 새뱅이 모하의 경제적인 확보 (2) 지하수 관수를 통한 수확기까지의 상시 담수 (20cm) 유지, (3) 신속한 초장 및 군락의 형성에 적합한 품종의 선택, (4) 이앙 초기 빠른 새우 입식이 가능한 수심확보에 유리한 45일 성묘의 이앙, (5) 새우의 성장에 요구되는 그늘 제공을 위한 30cm 깊이의 논 길이 방향의 수로 및 그 상부애의 차광망 설치, (6) 방조망의 설치, (7) 이앙후 15cm 이상의 수심의 확보가 가능한 시기의 10a 당 20kg의 모하 입식, (8) 새우 입식초기 클로렐라의 공급, (9) 우렁이를 이용한 제초방법의 도입, (10) 새뱅이 수확시 낮은 유속의 배수를 이용한 새우의 자발적 이동 유도, (11) 1차 새뱅이 수확 후 재 담수 및 2차 수확 실시, (12) 10a 당 15 m²의 2m 깊이 월동 저수지 조성, (13) 백미와 더불어 현미, 발아현미, 흑미, 향미, 적미, 녹미 등 다양한 제품화를 통한 고부가가치화.
2. 복합영농에 활용 가능한 새우의 종류에 있어서는, 새뱅이는 복합영농에 유리하나 줄새우는 생존율 및 개체 증가율 측면에서 부적합함

3. 토하는 권장량 수준의 농약(특히 살충제 및 제초제)에 대해 매우 빠른 치사율을 나타냄.
4. 복합영농시 10a 당 20 kg의 유생을 투입하여 140 kg의 새뱅이 수확이 가능함.
5. 제시된 수준의 새뱅이 투입은 벼의 (1) 일반적 병충해 및 잡초 발생, (2) 초장, 분얼수, 엽록소함량 등 벼 생육 (3) 벼 수량 및 미질 등 전반적인 부분에서 크게 영향을 주지 않음.
6. 본 연구의 결과로 개발된 '새뱅이를 이용한 친환경 벼 복합영농기술'은 대규모 경작지보다는, 지하관정수를 상시로 이용할 수 있고 높은 수심의 독 형성 및 방조망 설치가 유리한 계단형 논이 위치한 일부 지역의 특산물로 흑미, 발아현미, 적미, 녹미 등 특수벼를 복합영농으로 재배하여 백미와 함께 제공하는 프리미엄급 쌀 생산 전략에 활용함이 바람직할 것으로 사료됨.

SUMMARY

I. Title

Development of Environment-Friendly Rice-*Neocaridina denticulata* Complex Farming System

II. Objectives and Significance

Rice is the most important crop in Korea although its decreasing daily consumption along with increasing import make rice production as a fading industry. Current customers' interests on well-being culture and concerns on health, however, steadily increased the needs and production of organic rice. Expanding cultivation area and subsequently increasing production of organic rice farming, however, now creates infinite competition even among the organic products. As a results, more special type of rice products in addition to organic farming becomes current trends in Korean rice industry.

Neocaridina denticulata denticulata is one of fresh water shrimps naturally growing in Korean lakes and rivers, where clean and uncontaminated waters are flowing. The "Tohajot", a fermented processed food made of this special type of shrimp is an fairly expensive and well-known traditional Korean food famous for its superior taste as well as recently-known pharmaceutical properties such as anticancer and immune-enhancing activities. Ecologically, *Neocaridina denticulata denticulata* requires both shade and somewhere to adhere for its growth and such conditions could be well provided by paddy rice field. Also no food competition seems to be found between rice and *Neocaridina denticulata denticulata*, which feeds fresh water plankton such as diatom, rotifers, algae, etc. Also *Neocaridina denticulata denticulata* is one of biological indicators representing uncontaminated waters.

This research was conducted to develop a complex farming system for rice and *Neocaridina denticulata denticulata* aiming at simultaneous production of highly value-added rice commodity as well as *Neocaridina denticulata*

denticulata which sells at high price.

III. Major Results and Recommendation

1. Based upon the results in this research, the major factors allowing efficient and successful Rice-*Neocaridina denticulata denticulata* Complex Farming System are as followings: (1) easy and inexpensive supply of *Neocaridina denticulata denticulata*, (2) continuous water-containing of paddy field up to 20cm depth provided not by conventional agricultural irrigation water but by ground water free from possible predators (3) selection of rice cultivars which provides wide shade and rapid growth after transplanting (4) transplanting 45-day-old matured rice seedling (5) longitudinal 30cm-deep underwater furrow covered by 90% shading net to provide safe water depth and shade for shrimp, especially during the early transplanting period, (6) a bird netting to protect *Neocaridina denticulata denticulata*, (7) introduction of *Neocaridina denticulata denticulata* at a rate of 20 kg/10a, (8) application of chlorella for early adaptation of introduced *Neocaridina denticulata denticulata*, (9) *Viviparous malleatus*-assisted weed control, (10) harvesting *Neocaridina denticulata denticulata* by slow drainage allowing the movement of *Neocaridina denticulata denticulata* to a drain ditch in front of which *Neocaridina denticulata denticulata* -collecting net are installed, (11) two-times *Neocaridina denticulata denticulata* harvesting by re-irrigating and re-drainage practices, (12) a wintering pond of 30 m² x 2 m depth per 10a of complex farming field to provide low cost and ensure supply of next-year *Neocaridina denticulata denticulata* introduction, (13) combining special-type rice cultivars such as waxy-, aroma-, black-, red-, or green-rice with white or brown rice to secure market competitiveness, etc.
2. *Neocaridina denticulata denticulata* exhibited rapid death upon exposure to recommend rate of insecticides and herbicides in that 0 % *Neocaridina denticulata denticulata* survived after 1 day of carbosulfan application, proving the practicality of using *Neocaridina denticulata denticulata* as a bioindicator for pesticide applicatio in paddy field.

3. Introduction of 20 kg/10a *Neocaridina denticulata denticulata* may result in 140 kg/10a of *Neocaridina denticulata denticulata* harvest.
4. Above-mentioned level of *Neocaridina denticulata denticulata* introduction caused no changes in plant height, tiller numbers, leaf chlorophyll content, yield, and even in rice palatability.
5. The Rice-*Neocaridina denticulata denticulata* Complex Farming described in this report is more recommendable to county-specialized small-scale agricultural commodity production system rather than to large-scale rice production field.

CONTENTS

Chapter 1. General introduction	12
Section 1. Purpose of research	12
Section 2. Necessity and area of research	12
Chapter 2. The current status related with research topic	13
Chapter 3. The contents and results of research development achievement	14
Section 1. The method of research development	14
1. Field preparation and rice cultivation for complex farming	14
2. Measurement of rice growth and yield	27
3. Measurement of physiochemical property of soil	27
4. Measurement of environmental factors in complex farming site	27
5. Morphological characteristics of the freshwater shrimp and sampling methods	27
6. Harvest methods of the freshwater shrimp	28
7. Statistical analysis of the freshwater shrimp	31
8. The methods of larval development , fecundity and growth of the freshwater shrimp	31
9. The study on optimum natural and artificial food survey of the freshwater shrimp	38
10. Wintering of fresh water shrimp	39
11. Survival test of shrimp exposed to various pesticides	41
Section 2. The results and discussion of research development achievement ..	41
1. Rice growth and yield under complex farming conditions	41
A. Early rice growth as affected by water depth prior to shrimp introduction	
B. Rice growth under complex farming conditions	42
2. Yield and rice quality under complex farming conditions	46
A. Changes in yield components	46
B. Changes in yield	47
C. Changes in palatability	55

D. Changes in soil property	55
3. Survival response of shrimp exposed to various pesticides	60
4. Environment factors as affected by complex farming	63
5. Larval development , fecundity and growth of the freshwater shrimp	69
A. Fecundity and reproductive output of the palaemonid freshwater shrimp	69
B. Ovary examination of the palaemonid freshwater shrimp	72
C. Size at sexual maturity of the palaemonid freshwater shrimp	72
D. Fecundity and reproductive output of the atyid shrimp	72
E. Ovary examination of the atyid shrimp	78
F. Size at sexual maturity of the atyid shrimp	78
6. Growth of fresh water shrimpt under complex farming system	78
A. Growth of palaemonid freshwater shrimp	78
B. Growth of atyid shrimp	78
7. Optimum food survey in natural and artificial conditions	83
A. Optimum food survey	83
B. Optimum temperature condition for mass culture of food	83
C. Optimum medium selection for mass culture of food	89
8. Efficiency comparisons among shrimp harvesting methods	94
9. Ecological predators in complex farming system	101
10. Evaluation for wintering of fresh water shrimp	106
11. Business analysis	106
12. Preparation of marketing sample	112
13. Complex Farming System for Rice-Fresh Water Shrimp	115
 Chapter 4. The achievement index of research proposal	 119
 Chapter 5. The application plan for research results	 120
Section 1. Achievements of research development	120
Section 2. Plan for practical application	120
 Chapter 6. References	 121

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	12
제 1 절 연구개발의 목적	12
제 2 절 연구 개발의 필요성 및 범위	12
제 2 장 국내외 기술 개발 현황	13
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	14
제 1 절 연구 수행 방법	14
1. 복합영농을 위한 포장의 조성 및 벼 재배 방법	14
2. 벼의 생육, 수확 및 수량, 미질의 조사 방법	27
3. 토양의 이화학적 특성 조사 방법	27
4. 복합영농지의 환경 요인 변화 조사 방법	27
5. 실험용 새우의 특성 및 표본 채집 방법	27
6. 새우의 회수 방법	28
7. 새우 표본의 분석 방법	31
8. 새우 포란, 발생 및 유생 성장 속도 측정 방법	31
9. 자연 및 인공 적정 먹이 생물의 탐색	38
10. 새우의 월동 실험 방법	39
11. 농약 및 비료에 대한 새우의 생존율 반응 평가	41
제 2 절 연구 수행 결과 및 고찰	41
1. 벼 복합영농에 따른 벼 성장, 수량 품질의 변화	41
가. 새우 투입 이전 수심 및 미강처리에 따른 이앙초기 벼 성장량	41
나. 새우 투입이후 복합영농에 따른 생육 후기 벼 성장량 변화	42
2. 복합 영농에 따른 벼 수량 및 품질의 변화	46
가. 수량구성요소의 변화	46
나. 수량의 변화	47
다. 쌀 식미치 등 품질의 변화	55
라. 토양 이화학성의 변화	55
3. 농약 및 비료에 대한 새우의 생존율 반응	60
4. 복합영농 논외 환경 요인 변화	63
5. 새우의 포란, 발생 및 유생 성장	69
가. 출새우의 포란수, 난의 부피 및 생식 산출력 (RO)	69

나. 줄새우의 생식소 속도지수 (GSI)	72
다. 줄새우의 군성속도	72
라. 새뱅이의 포란수, 난의 부피 및 생식 산출력 (RO)	72
마. 새뱅이의 생식소 속도 지수 (SGI)	78
바. 새뱅이의 군성속도	78
6. 포장 상태에서의 새우 성장	78
가. 포장 관찰구 줄새우 성장	78
나. 포장 관찰구 토하 성장	83
7. 자연 및 인공의 적정 먹이 생물 탐색	83
가. 먹이 생물 탐색	83
나. 먹이 생물 대량 배양을 위한 최적 배양 온도	83
다. 먹이 생물 대량 배양을 위한 최적 성장 배지 조사	89
라. 포장 상태 사료 공급에 따른 새우 성장량 평가	89
8. 수확 방법에 따른 새우 수확 효율 비교	94
9. 복합 영농 생태계에서의 새우에 대한 해적 생물 실태	101
10. 새우의 월동 가능성 평가	106
11. 경제성 평가	106
12. 시제품 개발	112
13. 벼와 새뱅이의 복합영농 모델의 제시	115
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	119
제 5 장 연구 개발 결과의 활용계획	120
제 1절 연구개발 성과	120
1. 개략적 성과	120
2. 성과 내용	120
제 2절 연구개발의 활용 계획	120
제 6 장 참고문헌	121

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

본 연구는 청정한 수질에서만 생장이 가능한 지표생물인 새뱅이(토하)를 논에 도입하는 벼와 새뱅이의 복합영농기술을 개발하여 농가소득 증대 및 국내 미곡 산업의 발전에 기여함을 목적으로 수행되었다.

제 2 절 연구 개발의 필요성 및 범위

최근 급속히 진행되고 있는 농산물 시장의 개방 압력은 국제 경쟁력이 우월치 못한 우리나라 농업에 큰 어려움과 위기의식을 가져다주고 있다. 설상가상으로, 농약의 사용과 다량의 화학비료 투입을 전제로 개발되어온 관행의 '생산량 중심의 농산물 재배법'은 식량의 절대량이 부족했던 한국 사회에 그동안 크게 기여해온 공로에도 불구하고 토양과 수질의 오염원으로 인식되면서 '안전치 못한 농산물'을 생산한다는 소비자 불신까지 떠안고 있는 실정이다. 한편 국민 소득의 향상은 기존의 <배불리 먹는다> 식생활로부터 <잘 먹는다> well-being 식생활 시대로의 전환을 가져왔고, 그 결과 상대적으로 비싼 가격에도 불구하고 기능성, 안전 농산물은 그 수요가 급증하고 있다. 이에 농림부에서도 환경친화적 농산물 재배를 한국 농업의 주요 발전 방향 중 하나로 제시하게 되었다.

새뱅이(*Neocaridina denticulata denticulata*, 토하)는 한국 전역의 산골이나 계곡, 연못 등 오염되지 않은 깨끗한 물에서 서식하는 것으로 알려진 길이 2-3 cm의 민물새우로, 천일염에 절였다가 숙성 발효시킨 후 쌀밥, 마늘, 생강, 고춧가루 등으로 맛을 낸 <토하젓>의 원료로 매우 높은 가격에 소비되고 있다. 특히 토하젓은 최근 면역력 증대 등 우수한 생리 활성 효과가 밝혀지고 있어 건강식품으로서 국내 소비는 물론 일본으로의 수출이 증대하고 있다. 새뱅이는 생활사가 짧고(1년 이내), 적절한 그늘 및 부착 대상체가 필요한 생물로 생태학적 측면에서 볼 때 본답 이양 이후 수확기까지 담수 상태로 재배되는 벼와 최적의 공생관계를 가질 수 있다. 또한 새뱅이는 부화초기부터 담수산 Diatom, rotifer 등 다양한 담수플랑크톤과 부착 규조류 뿐만 아니라 벼멸구나 미소 박테리아와 같은 해적생물도 먹이로 사용하므로 벼와는 양분경합 없이 오히려 벼의 성장에 도움이 될 것으로 기대되는 바, 논은 별도의 사료 공급 노력이 없이도 매우 우수한 새뱅이의 서식 환경을 제공할 수 있다.

이에 본 과제는 오염 물질에 민감하여 청정 환경에서만 생장이 가능한 새뱅이(토하)를 환경 친화적 벼 재배와 결합시키는 복합영농 기술을 개발함으로써 논외의 활용성 제고와 농가 소득의 향상에 기여코자 (1) 새뱅이논에 적합한 벼 품종 선발 및 이앙 시기 선정 (2) 복합 영농에 적합한 논 토양 구조물(Pond 및 연결통로) 체계 확립 (3) 새뱅이 복합 영농 재배법 적용에 의한 벼의 생육 및 수량 변화 구명 (4) 수확된 쌀의 미질 특성 변화 분석 (5) 벼 이앙-새뱅이 입식-새뱅이 및 벼 수확 시스템 공정 개발 (6) 복합영농시 새뱅이의 포란, 발생 및 유생 성장 평가 (7) 먹이 생물의 탐색 (8) 복합 영농시의 새뱅이 성장 모델 도출 (9) 농가 실증 등 연구 범위를 중심으로 본 연구를 수행하였다.

제 2 장 국내외 기술 개발 현황

새뱅이(*Neocaridina denticulata denticulata*, 토하)는 한국 전역의 산골이나 계곡, 연못 등 오염되지 않은 깨끗한 물에서 서식하는 것으로 알려진 길이 2-3 cm의 민물새우로, 천일염에 절였다가 숙성 발효시킨 후 쌀밥, 마늘, 생강, 고춧가루 등으로 맛을 낸 <토하젓>의 원료로 매우 높은 가격에 소비되고 있다. 새뱅이는 생활사가 짧고(1년 이내), 적절한 그늘 및 부착 대상체가 필요한 생물로 생태학적 측면에서 볼 때 본답 이앙 이후 수확기까지 담수 상태로 재배되는 벼와 최적의 공생관계를 가질 수 있다. 새뱅이는 부화초기부터 담수산 Diatom, rotifer 등 다양한 담수플랑크톤과 부착 규조류 뿐만 아니라 벼멸구나 미소 박테리아와 같은 해적생물도 먹이로 사용하므로 벼와는 양분경합 없이 오히려 벼의 성장에 도움이 될 것으로 기대되는 바, 논은 별도의 사료 공급 노력이 없이도 매우 우수한 새뱅이의 서식 환경을 제공할 수 있다.

복합영농이라 함은, 벼가 자라는 논에 미꾸라지, 우렁이, 잉어, 참게, 오리, 붕어 등 다양한 기타 생물을 함께 생육하는 것으로 새우가 논에 도입된 보고는 국내/외에서 이루어진 바 없으며, 단지 본 연구진이 가능성을 검토코자 벼 생장에 따른 포란 어미(모하)의 부화, 유생성장 측정, 토하 사육지 환경조사 등 예비 실험을 수행한 결과, 약간의 시행착오는 있었으나 이앙 후 7일에 도입된 새뱅이가 정상적으로 성장하여 다수의 토하 생산 실적을 보이는 등 우리나라 중부 지역에서 새뱅이를 논에 도입하는 복합 영농재배는 그 개발 가능성이 매우 높은 것으로 판단되었을 뿐이다.

새뱅이 종묘 생산을 위한 기반 기술이라 할 수 있는 생물학적 연구인 분류, 성숙 및 생식주기, 번식력, 개체군역학에 관한 연구가 수행되었으며 종묘 생산을 위한 먹이생

물 탐색, 먹이생물 배양, 어미관리, 월동, 사육방법 등에 관한 연구가 성공적으로 수행되어 종묘 대량 생산 시스템 및 종묘 생산 공정 등이 본 과제외 세부 책임자(순천향대 해양생명공학 전공 마채우 교수)에 의하여 제시된 바 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절 연구수행 방법

1. 복합 영농을 위한 포장의 조성 및 벼 재배 방법

가. 년차별 정밀 및 농가실증시험 포장의 조성

본 과제는 새우 복합영농에 따르는 벼 및 새뱅이의 성장반응을 집중적으로 조사하기 위한 정밀시험용 포장과 농가단위에서의 적용을 위한 예비 단계인 농가실증용 포장 등 2개소에서 2005년(1년차), 2007년(2년차) 등 2년간에 걸쳐 수행되었다.

1) 정밀시험 포장

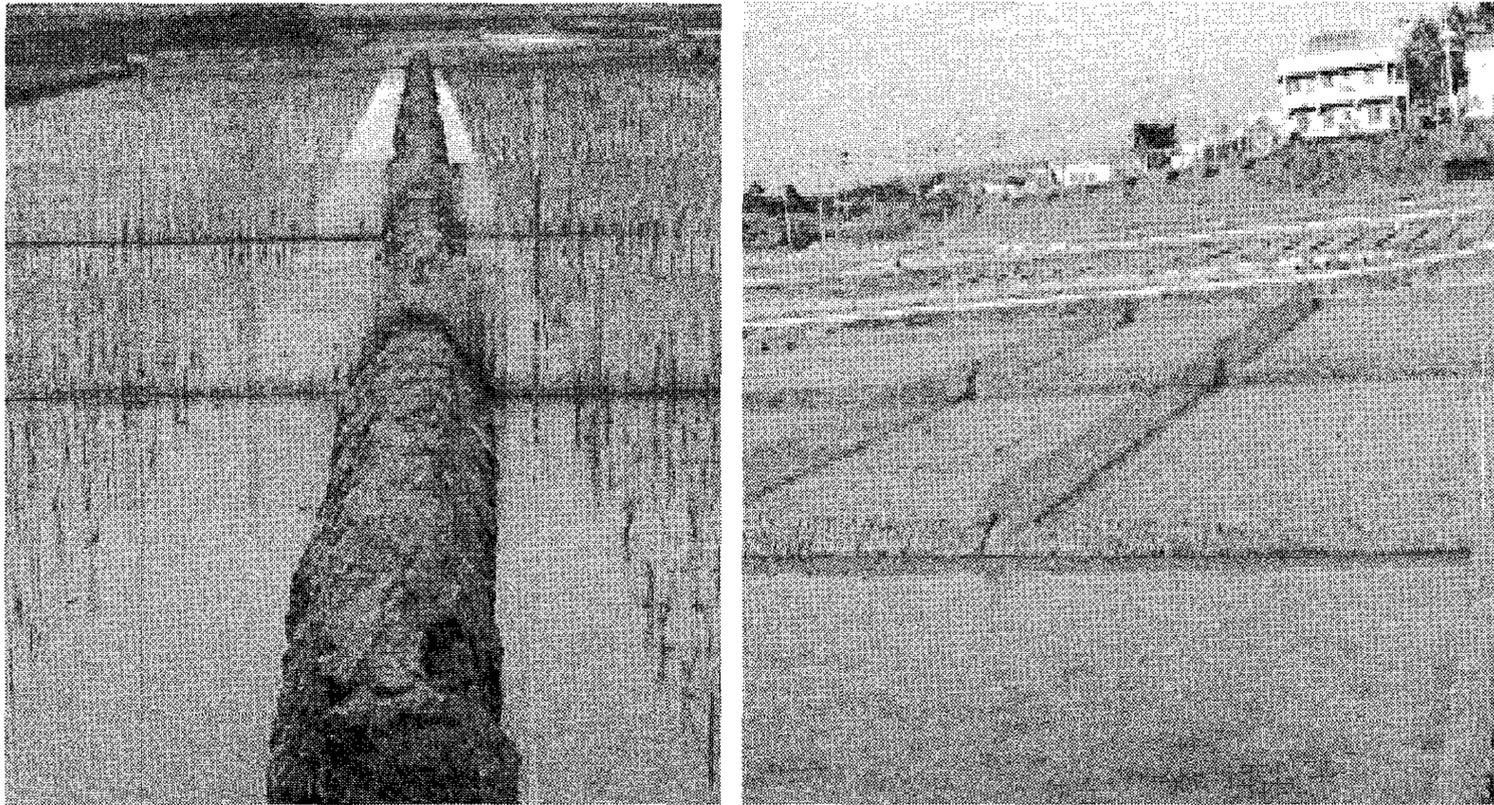
- 포장 전체 면적 : 55 m x 20 m (1,000 m²)

- 실험구(plot) 면적

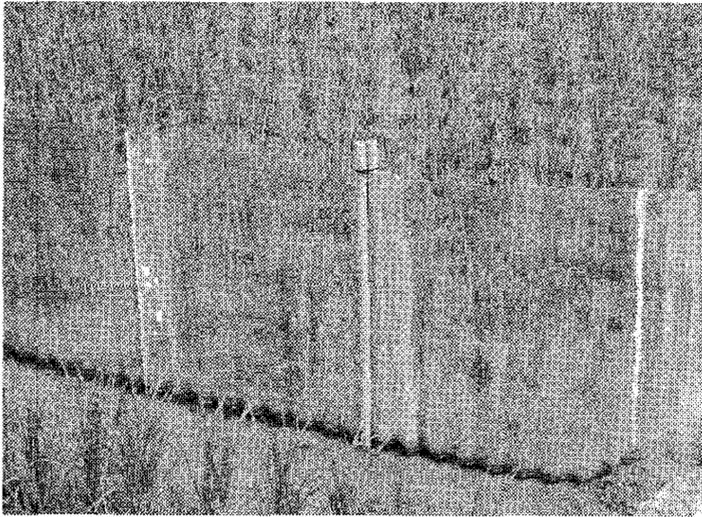
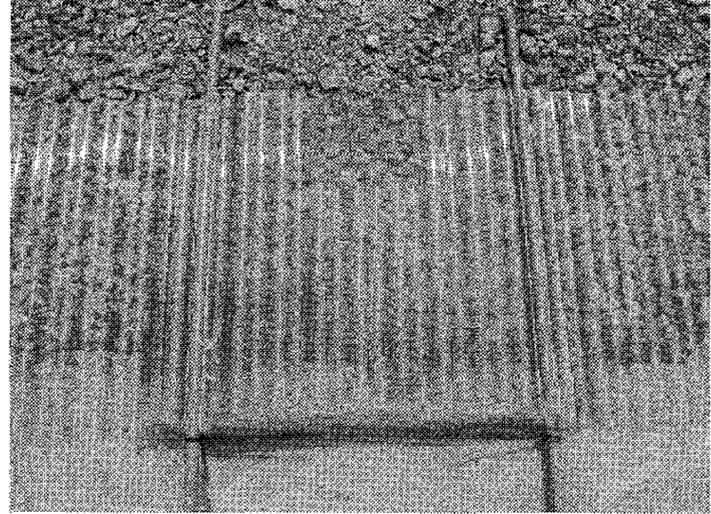
* 1년차: 각 시험구(5 m x 10 m: 50 m²) 단위로 강화 FRP (80cm x 120 cm)를 연결하여 제작한 썬라이트(구획간 물 이동 완전차단용) 및 모기장망(논 물은 자유 이동 가능)을 설치하여 격리함 (그림 1, 그림 3).

* 2년차: 각 시험구(9 m x 10 m: 50 m²) 단위로 썬라이트를 설치하되, 썬라이트의 하단부에 모기장망을 이용한 논 물 이동 가능 공간을 설치하여 구획을 격리하였음 (그림 2, 그림 4).

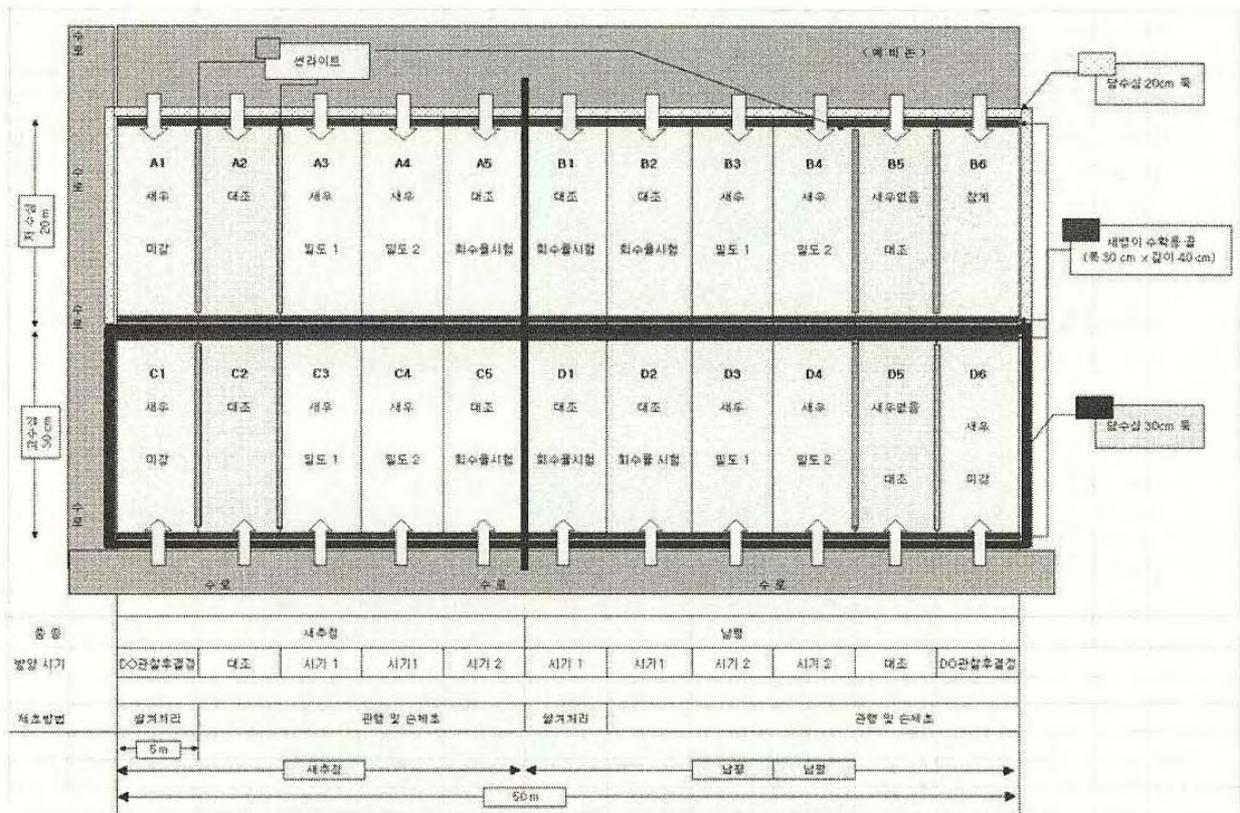
- 관수 : PVC pipe line(지름 80 mm)을 이용하여 각 시험구 별로 지하수를 공급 (그림 5).



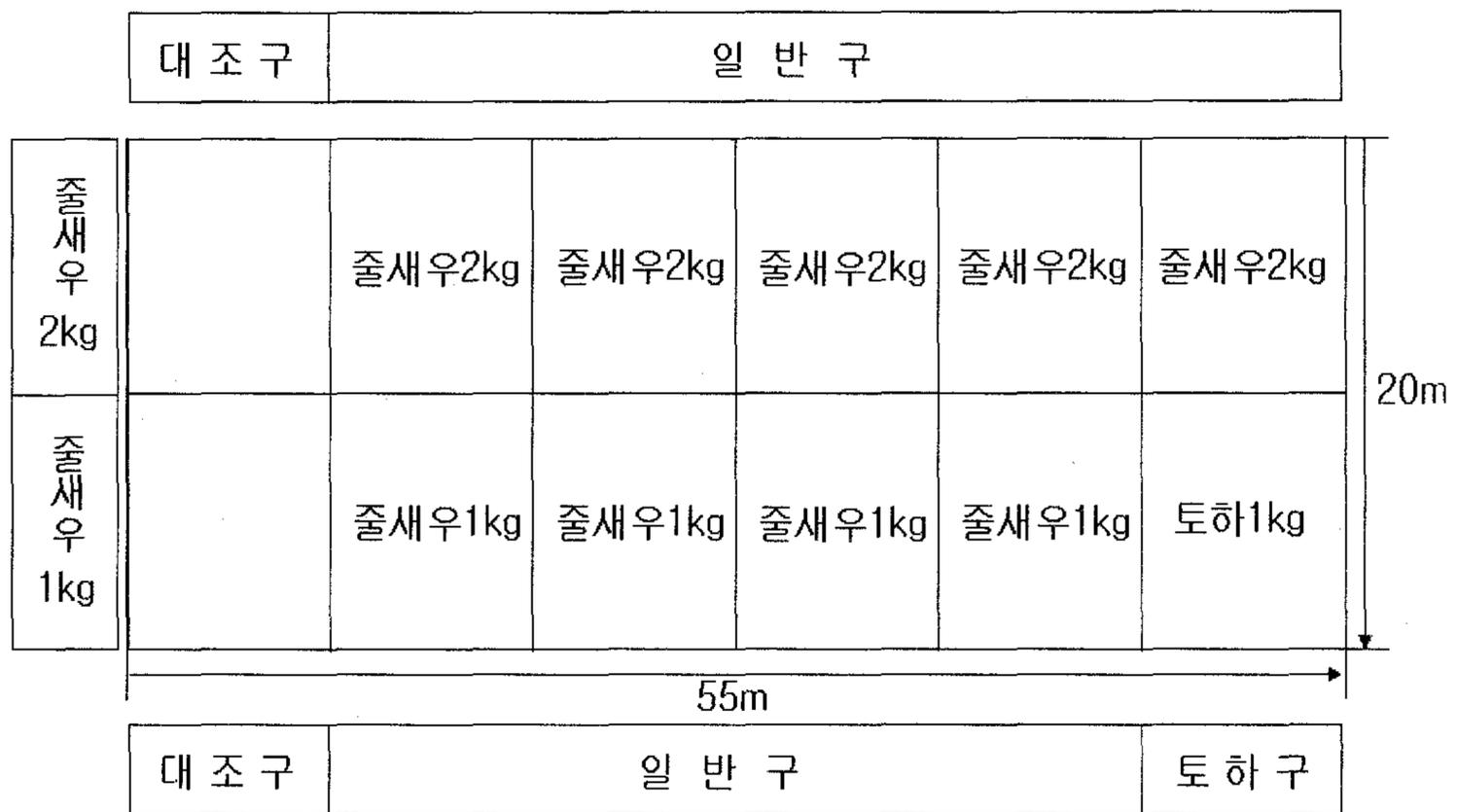
<그림 1>. 정밀포장(1년차) 썬라이트를 이용한 실험구 조성



<그림 2>. 정밀포장 2년차 썬라이트 제작 과정 및 설치



<그림 3>. 정밀시험포장 1년차 시험구 조성도

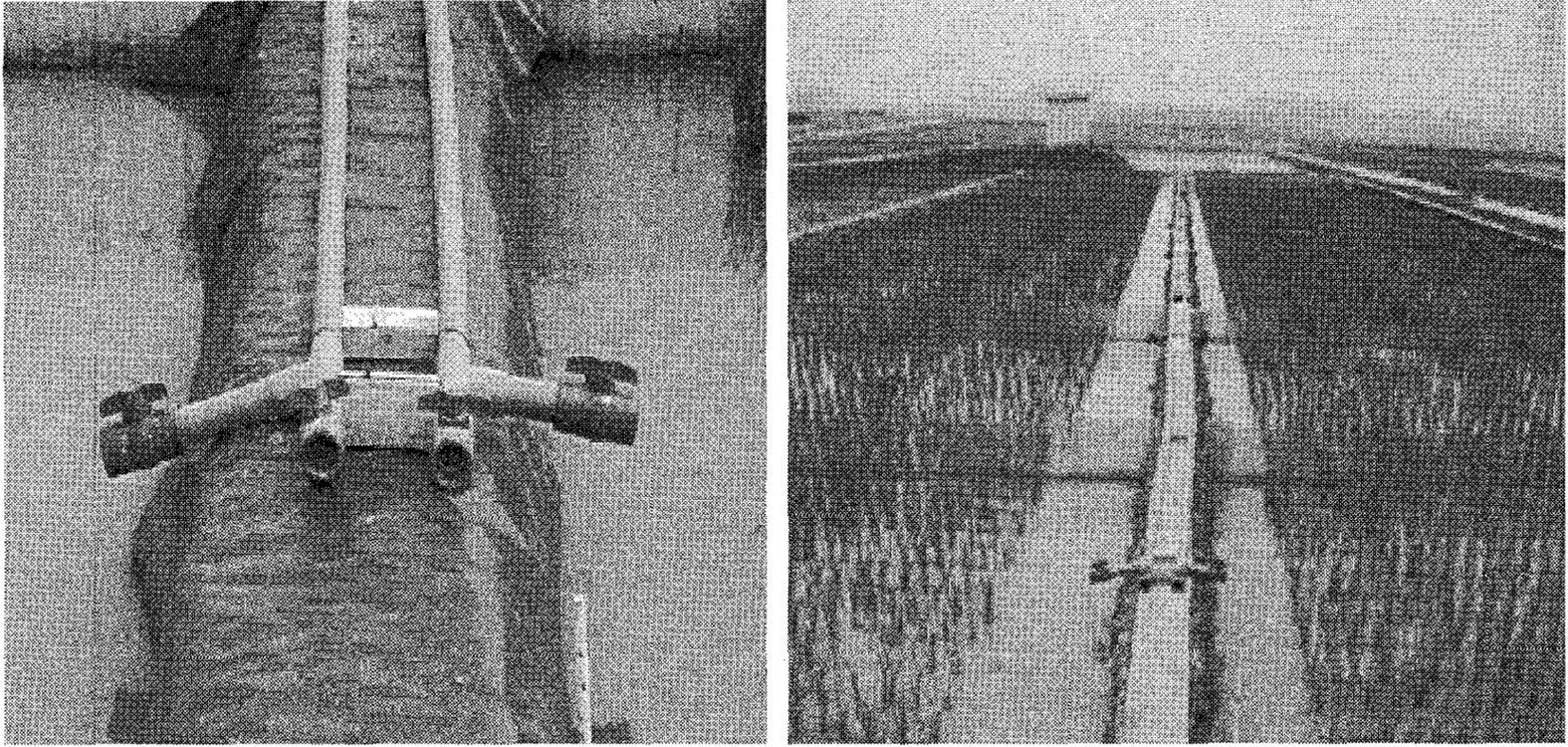


<그림 4>. 정밀시험포장 2년차 시험구 조성도

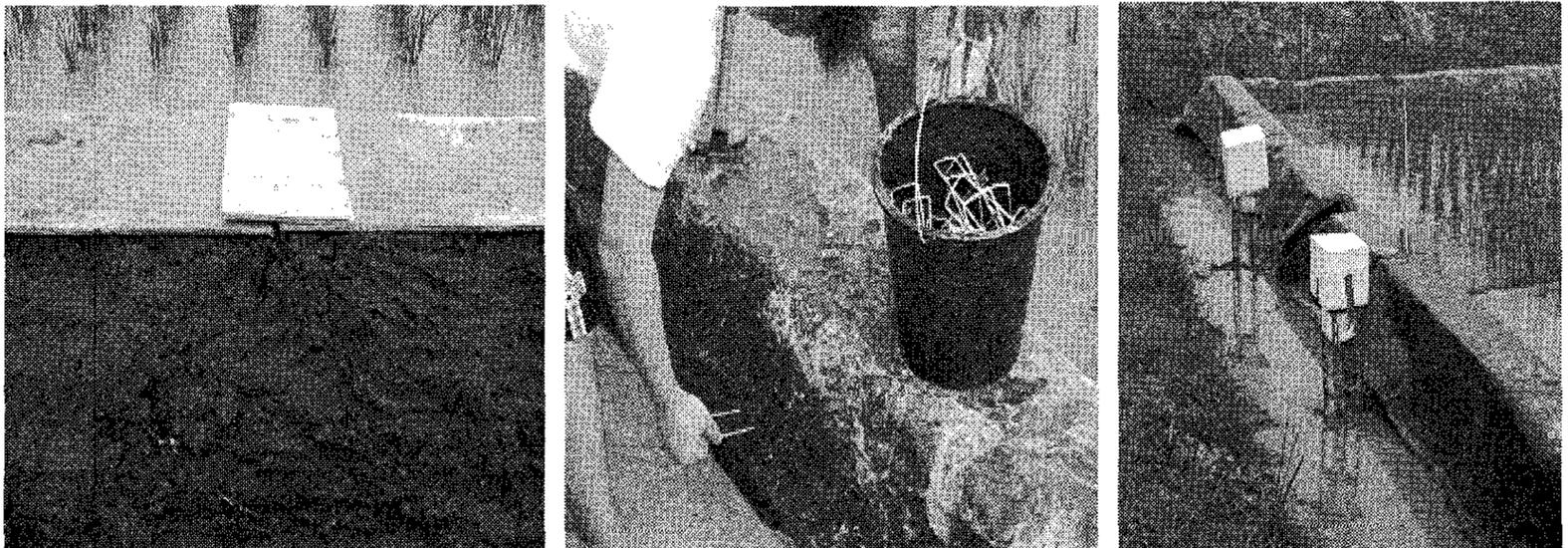
- 목표 수심
 - * 1년차: 저수심(20cm) 및 고수심 (30cm) 등 2 처리
 - * 2년차: 수심 20 cm 유지함.
- 수심 조절 : 논둑에 목표 수심에 일치하는 높이의 물고를 만든 후 2일 1회 관수
 - * 과량의 관수는 overflow 되도록 함으로써 지속적으로 수심을 유지
- 실제 조절된 수심 :
 - * 1년차: 18cm ± 2cm, 27cm ± 3 cm
 - * 2년차: 18cm ± 2cm
- 논둑 높이기 및 방수 작업 :
 - * 1년차: 논흙으로 둑 높이를 40cm 수준으로 높인 후, 합판(두께 10mm)을 깔고, 그 위에 방수 타포린 덮개를 덮음 (그림 6).
 - * 2년차: 논흙으로 둑 높이를 30cm 수준으로 높인 후, 일부는 성형된 플라스틱 논둑덮개를 사용하고, 일부는 못자리용 플라스틱 필름을 덮음.
- 새우 보호망 설치:
 - * 1년차: 논둑과 인접한 논바닥 부위에 나무 각목과 모기장망을 이용하여 논 내부의 새우가 튀어 논 밖으로 나가는 것을 방지하기 위한 보호망 설치함.
 - * 2년차: 1년차 실험의 결과에 기초할 때, 정밀포장의 경우 별도의 보호망 설치가 필요 없다 판단되어 2년차에는 설치하지 않음.
- 방조망 설치 : 논 둑 주위에는 80cm 높이의 지지대를 고정하고, 논 중앙 부위 3개소에는 높이 5m의 지지대를 추가로 설치하여 텐트형으로 시험포장 전체를 덮는 과수원 방조망을 설치함.

2) 농가실증 포장

- 포장 전체 면적 : 35 m x 20 m (600 m²)
- 실험구(plot): 별도의 실험구 plot이 없이, 전체 포장을 1개의 plot으로 활용함.
- 관수 : 자동타이머를 부착하여 지하수를 1일 1회 공급
- 수심 : 1, 2년차 공통으로 15 cm (새우처리구), 및 5 cm (대조구)
- 수심 조절 : 논둑에 목표 수심에 일치하는 높이의 물고를 만들어 overflow 시킴.
- 실제 조절된 수심 : 13cm ± 2cm,
- 논둑 높이기 및 방수 작업 : 흙으로 논둑 높이를 40cm 수준으로 높임. 별도의 방수 작업은 수행치 않음.



<그림 5>. 정밀시험 포장 관수용 PVC 파이프 설치



<그림 6>. 정밀시험포장 1년차 논둑 높이기 및 타포린 방수 처리

- 새우 보호망 설치:

* 1년차: 논둑과 인접한 논바닥 부위에 나무 각목과 모기장망을 이용하여 논 내부의 새우가 튀어 논 밖으로 나가는 것을 방지하기 위한 방지망 설치함 (그림 7).

* 2년차: 논둑 위에 높이 50cm의 나무각목을 설치하고 모기장을 이용하여 새우의 유출 방지를 위한 보호망을 설치하였음 (그림 8).

- 방조망 설치 : 논 둑 주위에는 90cm 높이의 지지대를 고정하고, 계단식 논 윗측 지지대에 걸쳐 시험포장 전체를 덮는 과수원 방조망 설치하였음.

나. 년차별 벼 재배 방법

시험에 사용된 벼 품종 및 파종, 이앙 기타 일반 재배 사항은 표1 및 표2와 같다.

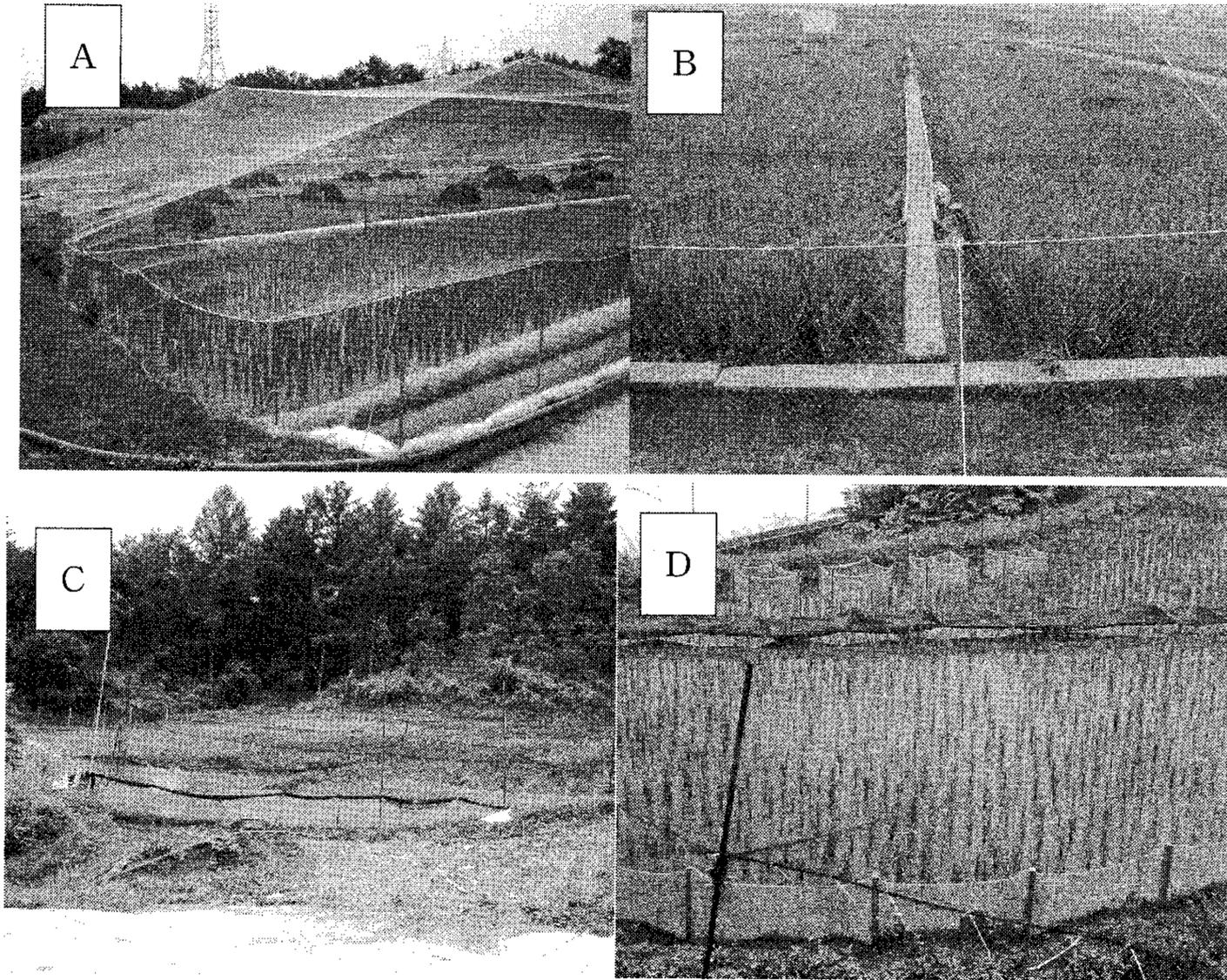
다. 새우 관찰구 및 성장구의 조성

1) 새우 관찰구의 설치

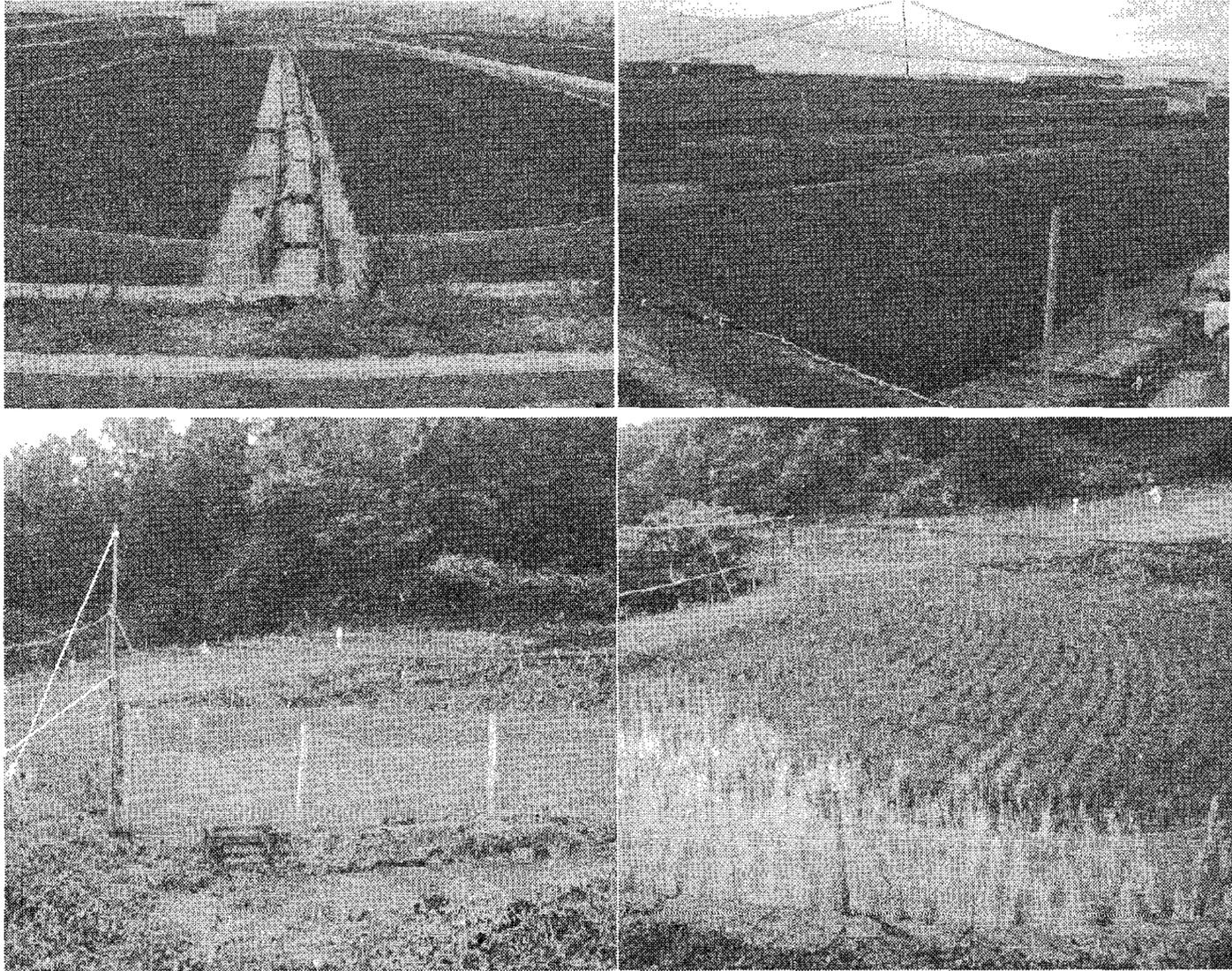
1년차 실험 수행시 논에 입식한 새우 sample의 수집 및 중간 성장 관찰이 불가능하였던 바, 2년차 실험에서는 새우의 중간 생육 관찰을 위한 관찰구를 각 구당 4개씩 설치하여 새우 입식 후 1개월 간격으로 관찰구 내의 새우 시료를 채취하여 성장량을 평가하였다. 관찰구는 1 m x 1 m 의 크기로 모기장으로 새우의 이동을 방지하도록 디자인한 후, 이앙후 10일, 새우 입식 이전에 설치하였다 (그림 9).

2) 새우 성장구의 설치

1년차 실험의 결과에 기초하여, 2년차 실험에서는 이앙초기 새우의 성장에 필요한 그늘 및 수심의 확보를 위하여 별도의 성장구를 설치하였다. 성장구는 성장구는, 각 plot 내에 1개, 2개, 3개 등 3수준을 설치하였다. 성장구는 가로 1.2 X 세로 1.2 m 크기로 써래질 후 이앙 전에 깊이 30cm 가 되도록 논을 파고, 형태가 유지될 수 있도록 4면에 플라스틱 배수관을 묻은 후 플라스틱 파이프를 박아 고정하였다 (그림 10). 성장구의 네 귀퉁이에는 파이프를 세우고 강선을 대각선 방향으로 연결한 후, 그 위에 90% 차광망을 피복하여 그늘을 형성하였다 (그림 11).



<그림 8>. 2년차 정밀포장(A,B) 및 농가실증포장(B, D)의 전경



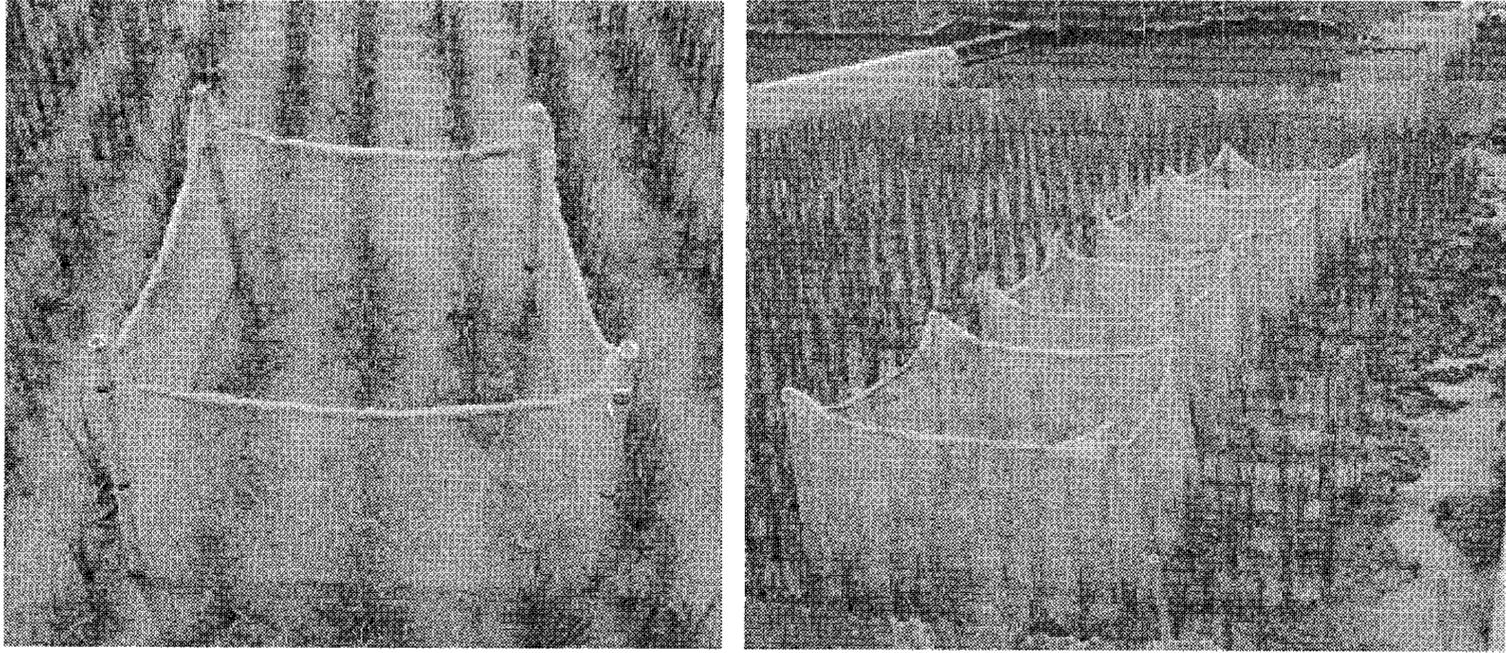
<그림 7>. 1년차 정밀포장(A,B) 및 농가실증포장(B, D)의 새우 보호망(A, C) 및 방조망(B, D)설치

<표 1>. 1년차 정밀시험 및 농가실증시험 포장에서의 수도 재배 일반 조건 요약표

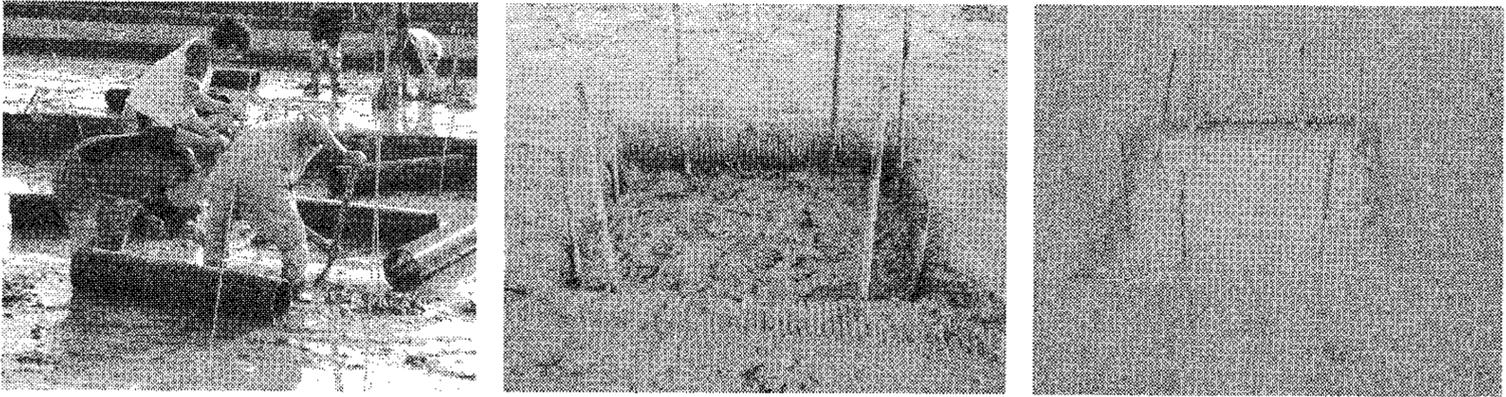
	정밀시험 포장	농가 실증 시험 포장
소재지	충남 예산군	충남 아산시
품종	새추청, 남평	새추청
파종일	2005.4.22	2005.4.13
이앙일	2005.5.20	2005.5.23
이앙 방법	손 이앙	기계 이앙
제초	쓸겨농법 및 손 제초 1회	우렁이 (5.25 투입)
병해충 관리	무방제	유기농 친환경 자재 사용
관수	지하수 관정 이용	지하수 관정 이용
수심	20 cm, 30 cm	15 cm, 5 cm (대조)
담수조건	상시 담수	상시 담수
시 비	돈분 퇴비	퇴비
새우 투입일	2005.7.1.	2005.7.3.
미강 투입일	5.22 (200kg/10a)	-

<표 2>. 2년차 정밀시험 및 농가실증시험 포장에서의 수도 재배 일반 조건 요약표

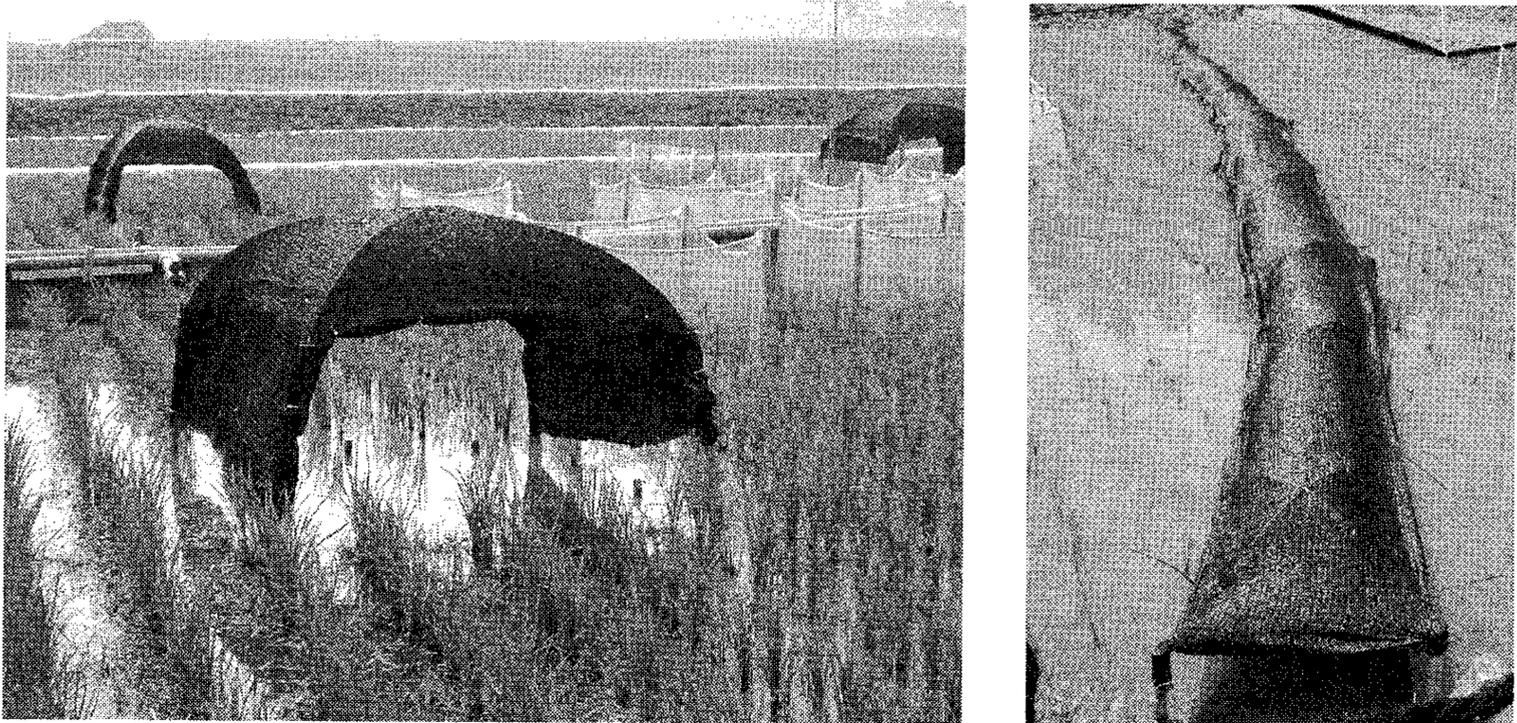
	정밀시험 포장	농가 실증 시험 포장
소재지	충남 예산군	충남 아산시
품종	남평	새추청
파종일	2006.4.20	2006.4.15
이앙일	2006.5.27	2006.6.2
이앙 방법	손 이앙	기계 이앙
제초	손 제초 2회	우렁이 (6.5 투입)
병해충 관리	손방제 2회	유기농 친환경 자재 사용
관수	지하수 관정 이용	지하수 관정 이용
수심	20 cm	15 cm
담수조건	상시 담수	상시 담수



<그림 9>. 새우 관찰구 (2년차 정밀시험포장) 설치



<그림 10>. 새우 생장구의 설치 (2년차 정밀시험포장)



<그림 11>. 2년차 새우 생장구 차광망 부착 (좌: 정밀포장, 우: 농가실증포장)

2. 벼의 생육, 수량 및 미질의 조사 방법

- 생육량 관련 평가 : 벼의 생장 및 발육 상태의 평가를 위하여 초장, 분얼수, 엽록소 함량(SPAD값), 출수기, 수장, 간장 등을 조사하였다.
- 수량 관련 평가: 주당수수, 수당영화수, 등숙율, 천립중, 정현비율, 정조중, 현미중, 백미중 등을 조사하였다.
- 미질 관련 평가: 현미/백미의 단백질, 아밀로즈, 지방산 함량 및 식미치를 평가.
- 상기 벼의 생육 및 수량 조사는 농촌진흥청의 표준조사방법에 따라 실시하였다.

3. 토양의 이화학적 특성 조사 방법

- 시험전/후 토양의 pH, EC, OM, P₂O₅, SiO₂, K, Ca, Mg, Na, CEC 등에 대하여는 농촌진흥청의 표준 토양분석방법에 준하여 실시하였다.
- 정밀시험구의 시험전 토양 이화학적성은 표 3과 같다.

4. 복합영농지의 환경 요인 변화 조사 방법

환경요인의 변화는 매주 2회 주기로 2005년 5월 30일부터 동년 10월 4일까지 수온, 용존산소 (D.O), pH 그리고 클로로필 a 를 D.O meter (YSI Model 85, USA)와 pH meter (Model 77P, istek, Inc.) 그리고 TriOS Optical Sensors (Model DU4, Germany)로 측정하였다.

5. 실험용 새우의 특성 및 표본 채집 방법

① 줄새우

본 실험에 사용된 줄새우 (*Palaemon paucidens*)는 징거미새우과에 속하는 줄새우속의 한 종으로 경북 문경시 산양면 평지리에 소재한 평지저수지에서 새우망(망목크기 : 0.5×0.5 cm)으로 채집하고 활어차로 이송하여 1년차 실험의 경우 2005년 6월 30일 예산군 충남농업기술원 시험구와 2005년 7월 1일 아산시 송악면 현장 논에, 2년차 실험의 경우 2006년 7월 12일, 8월 23일 그리고 8월 30일 예산군 충남농업기술원 정밀 시험포장 시험구와 아산시 송악면 농가 실증 시험포장에 입식하였다 (그림 12).

② 새뱅이

새뱅이 (*Caridina denticulata denticulata*)는 새뱅이과 얼룩새이속의 한 종으로 경북 문경시 산양면 평지리에 소재한 계곡에서 새우망 (망목크기 : 0.5×0.5 cm)으로 채집하였다. 2년차 실험의 경우 2006년 7월 9일 관련 연구소의 협조를 받아 어린개체를 분양받은 후 입식하였다.

③ 새우 표본의 채집

소형 새우 채집망 및 뜰망으로 2005년 10월 7일에서 동년 10월 29일까지 22일 동안 채집하였다. 그물의 망목 크기는 0.1 cm이며 채집된 시료는 채집 후 실험실로 옮겨져 전체 표본을 포르말린 10%로 고정하여 subsampling 24시간 후에 70% 알콜로 고정한 후 분석에 사용하였다.

6. 새우의 회수 방법

가. 정밀포장에서의 회수 방법

1) 1년차 회수 방법 (그림 13, 그림 14)

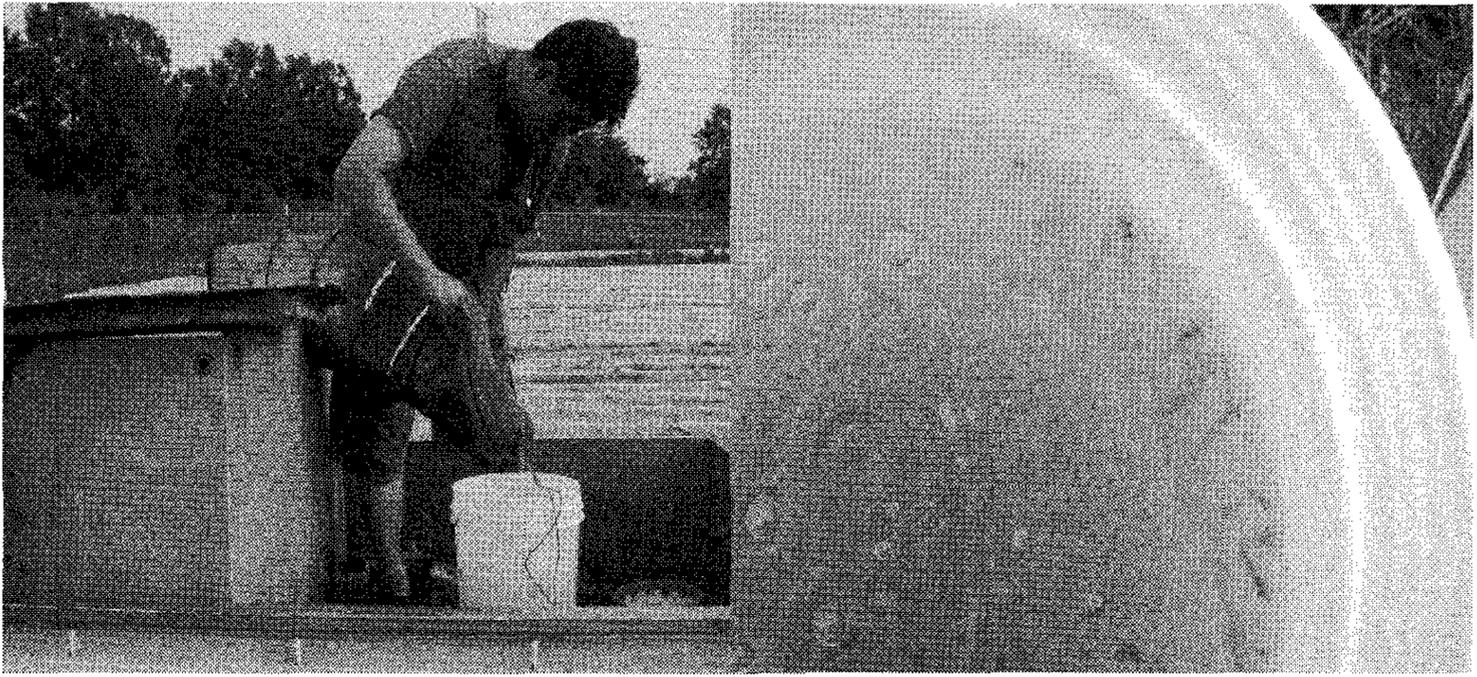
- ① 수압: 배수구에 새우밀대를 거치시키고 독을 무너트려 수압으로 수확.
- ② 먹이선택: 수심이 있는 상태에서 통발 (망목 0.1×0.1 cm)에 먹이를 넣고 24시간 후 수확.
- ③ 웅덩이와 먹이선택: 시험구 안에 웅덩이 (90×90×30 cm)를 파고 수심을 낮춘 후 물이 있는 웅덩이 안에 통발을 설치하고 24시간 후 수확.
- ④ 수심: 웅덩이와 수로에만 물이 있게 수심을 완전히 낮춘 후 24시간후 새우밀대로 수확.
- ⑤ 수로: 시험구 안에 수로(1000×40×30 cm)를 내고 수심을 낮춘 후 수로에서 새우밀대로 수확.

2) 2년차 회수 방법

정밀시험포장에서의 2년차 수확은, 1년차의 회수 방법 결과에 기초하여, 논둑을 개방하되, 매우 늦은 유속으로 논물을 방출시키며 진행되었다. 논둑이 개방된 곳 (배수구)의 논 안쪽으로 새우밀대를 거치시켜 새우의 유출을 방지하였으며, 상기 회수 방법을 각 구획별로 실시하되, 1회 회수 후에는, 다시 관정물을 관수하여 수심을 10cm 이상 유지한 후, 24시간 경과한 뒤 제 2차 회수를 실시.

<표 3> 시험전 토양의 이화학성

시험 년도	pH (1:5)	EC (ds/m)	OM (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	SiO ₂ (mg/kg)	(cmol/kg)				CEC (cmol/kg)
						K	Ca	Mg	Na	
1차년도	6.80	0.46	1.32	42	716	0.55	5.17	2.03	0.13	10.97
2차년도	6.73	1.20	1.24	51	268	0.36	4.12	1.72	0.08	6.32



<그림 12>. 활어차로부터 논으로의 입식을 위해 새우를 옮김

나. 농가실증포장에서의 회수 방법

송악면 현장 논은 수로를 이용한 5가지 단계를 통한 수확방법을 시험하였다 (그림 15).

- ① 논 안에 십자형의 배수로 (5000×30×30 cm)를 낸 후 배수구에 새우밀대를 거치시키고 독을 무너트려 수압으로 수확하였다.
- ② 2명에서 1→a, 2→b, 3→c 그리고 4→d로 새우밀대를 이동시켜 수확하였다.
- ③ b와 c를 막고 물을 유입한 후 1→a→d→4로 새우밀대를 이동시켜 수확하였다.
- ④ c와 d를 막고 1→a→b→2로 새우밀대를 이동시켜 수확하였다.
- ⑤ b와 d를 막고 1→a→c→3으로 새우밀대를 이동시켜 수확하였다.

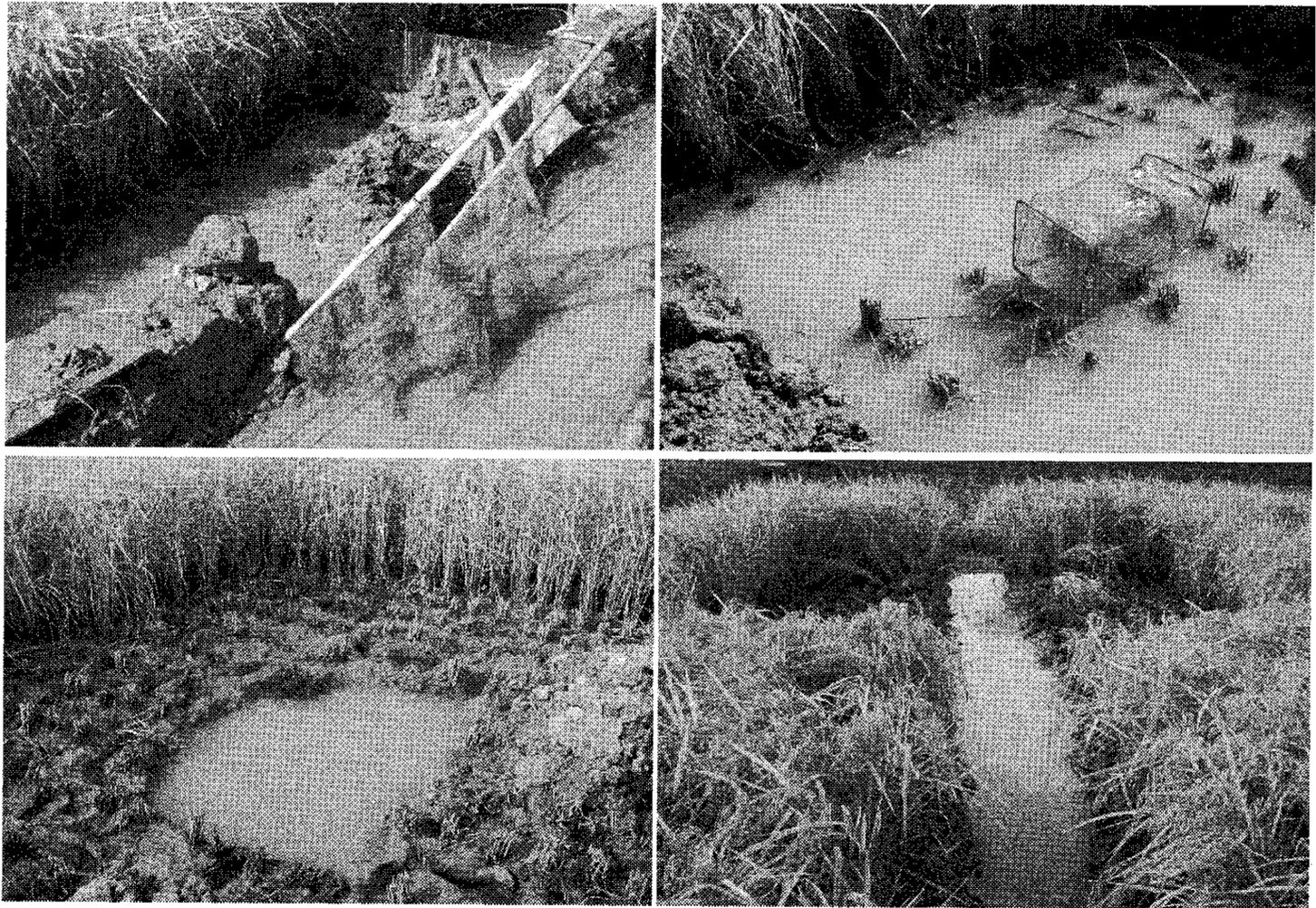
7. 새우 표본의 분석 방법

표본 개체를 무작위 추출하여 갑각장 (Carapace Length : CL)을 이미지 분석시스템 (Olympus SZX12, Image analysis software ; Image-Pro Plus Version 4.1)을 이용하여 눈구멍 기저에서 갑각의 정중선 뒷가장자리까지 가장 짧은 거리를 0.001 mm까지 측정하였다 (Fig 9). 체장빈도 분포는 갑각장 0.5 mm 간격으로 각 체장별 개체수를 표시하였으며, 무게의 측정은 전자식 저울 (Sartorius, CP64)을 이용하여 0.0001 g까지 계측하였다 (그림 16). 성 (sex)구분은 해부현미경하 (Olympus, SD30)에서 실시하였으며, 암수의 구분은 두 번째 배다리 안다리의 숫돌기 유무에 의해 암수가 결정하였고, 안부속지만 존재하거나 포란했으면 암컷으로 구분하였다. 월별 성비는 전체 개체의 출현수에 대한 암컷 개체의 출현수의 비율로 표시하였다.

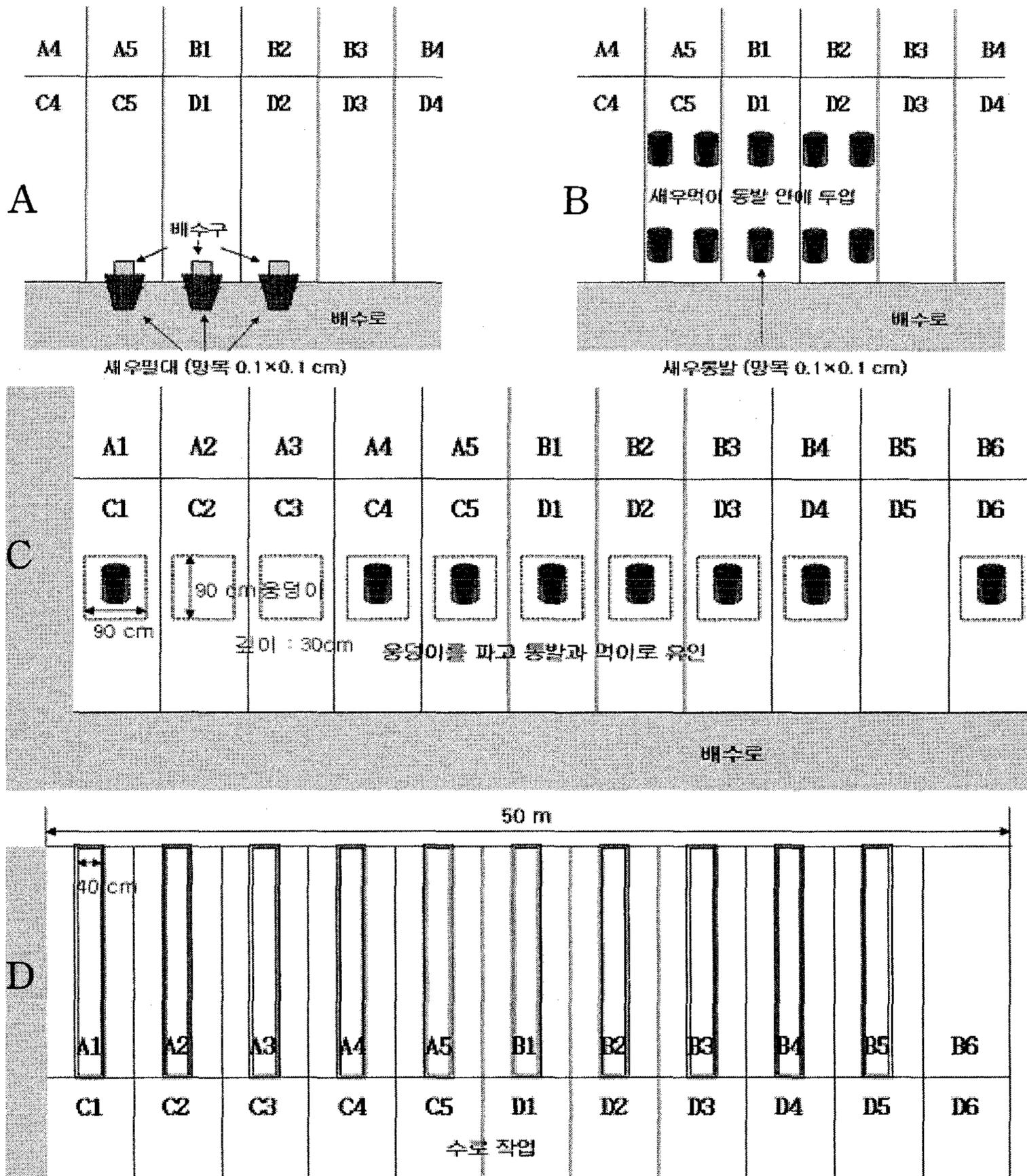
8. 새우 포란, 발생 및 유생 성장 속도 측정 방법

가. 줄새우의 포란수, 난의 부피 및 생식 산출력 (RO)

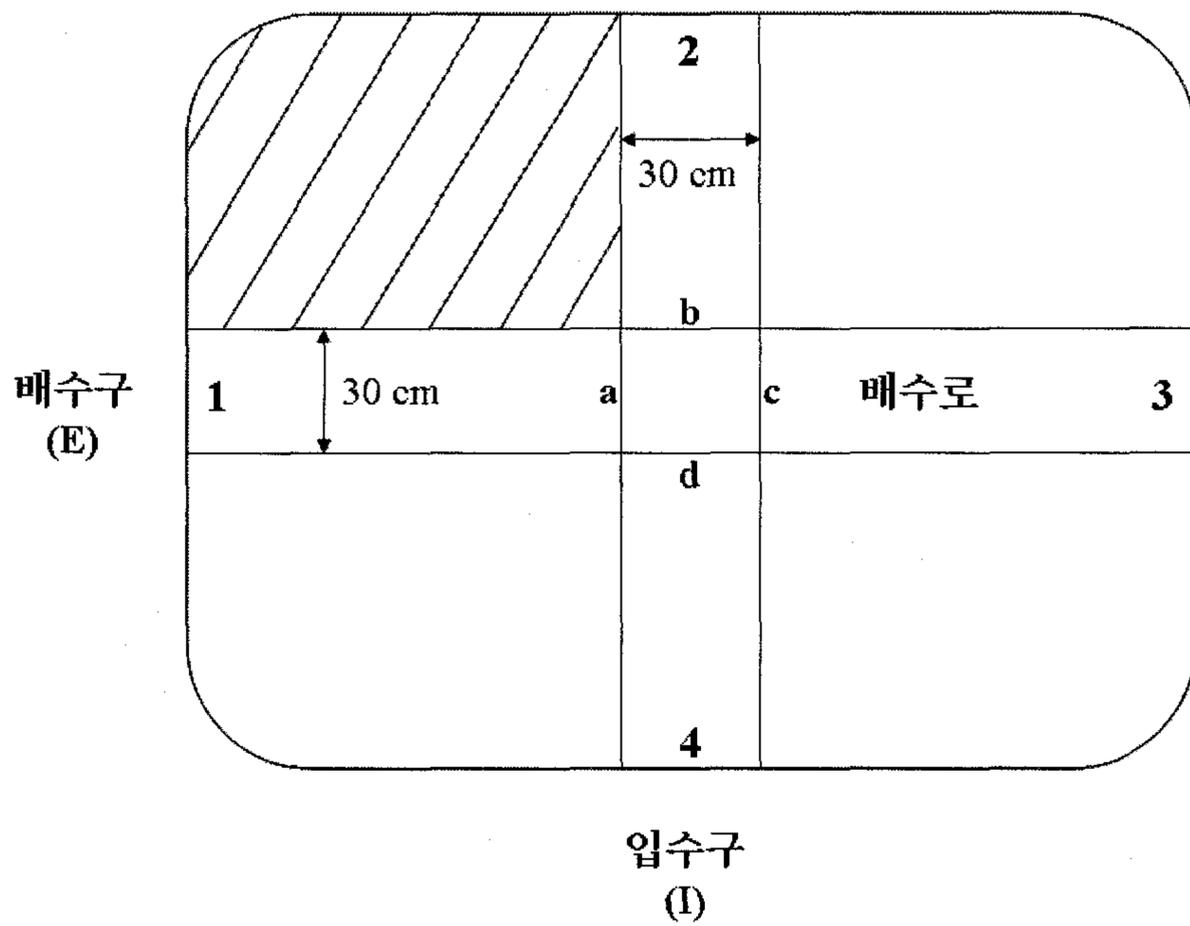
포란수는 채집 후 포란한 암컷을 모두 선별하여 난을 계수하였다. 포란수 측정은 포란한 암컷의 복지에 부착된 난을 핀셋으로 분리하여 난 단계를 2단계로 구분하고 해부 현미경을 이용하여 직접적인 방법으로 계수하였다. 이때 포란수는 포란한 암컷의 복지에 가지고 있는 난의 수로 정의하였다. 분리된 알은 해부 현미경하에서 인위적으로 설정한 아래와 같은 발생 단계에 따라 2단계로 나누었다. A단계는 난에서 유생의 눈 색소를 볼 수 없으며, B단계는 난에서 유생의 눈 색소를 볼 수 있는 단계로 나누어 구분하였다. 난의 부피를 계산하기 위하여 계수된 난 중에서 개체당 5개의 난을 무작위로 선별하여 난의 장경과 단경을 측정하였다. 난은 타원으로써 취급되었



<그림 13>. 새우수확방법 (A: 새우밀대를 거치후 수압, B: 먹이선택, C: 수심, D: 수로)



<그림 14>. 1년차 정밀포장 수확방법 모식도



<그림 15>. 농가실증포장의 1년차 수확방법 모식도

으며, 부피는 아래의 일반적인 공식에 의하여 계산하였다.

$$V = \frac{4}{3}\pi r_1 r_2^2 \quad (r_1 = \text{장경의 반지름}, r_2 = \text{단경의 반지름})$$

포란수와 갑각장 관계와 생식 산출력 (Reproductive output : RO)값 추정은 난 손실율이 적은 눈이 없는 단계의 암컷을 대상으로 하였다. 암컷의 건중량과 난의 건중량은 80℃에서 48시간 동안 Dry oven에서 건조한 후 전자식 저울로 0.0001 g까지 측정하였다. 생식산출력 (RO)은 건중량을 측정하여 아래의 Clarke et al. (1991)식을 사용하여 추정하였다.

$$RO = \frac{\text{난의 건중}}{\text{암컷의 건중}}$$

나. 출새우의 생식소 속도지수 (GSI)

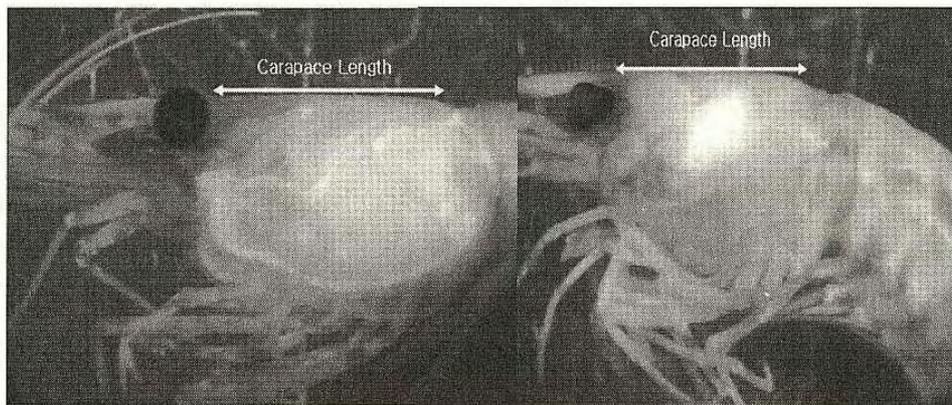
산란시기 (Spawning period)는 포란한 암컷을 대상으로 실시한 생식소 속도지수 (GSI : Gonadosomatic index) 변화를 통하여 이루어졌다. 생식소 속도지수는 암컷으로 분리한 생식소 80℃ Dry oven에서 48시간 동안 건조하여 각각의 건중을 전자식 저울로 0.0001 g까지 측정하여 다음의 계산식으로 이루어졌다.

$$\text{생식소 속도지수 (GSI)} = \frac{\text{난소의 건중}}{\text{암컷의 건중}} \times 100$$

산란빈도 평가는 포란한 암컷의 생식소를 5단계로 구분하여 발달단계의 변화 및 난 단계에 따른 생식소 단계나 생식소 속도지수의 변화를 관찰하여 주어진 산란시기 동안 1회 산란하는지 또는 다회 산란하는지를 규명하였다.

생식소의 발달단계는 다음과 같은 5단계 (I ~ V)로 구분하였다.

- I 단계 : 미성숙, 생식소가 얇고 투명함
- II 단계 : 생식소 발달, 밝은 녹색과 불투명한 생식소가 두홍부 전체 4분 1정도
- III 단계 : 미완성, 두홍부에 절반정도의 생식소 존재
- IV 단계 : 완성, 두홍부의 4분에 3정도 존재
- V 단계 : 완전 성숙, 두홍부 대부분에 생식소가 가득 차 있음



<그림 16>. 갑각장 길이 측정: A : 줄새우(*Palaemon paucidens*) B : 새뱅이(*Caridina denticulata denticulata*)

다. 줄새우의 군성숙도

군성숙도 (Size at sexual maturity)는 줄새우 개체군의 암컷 중에서 생식소가 완숙 단계에 있거나 포란한 암컷의 수를 기준으로 하였다. 군 성숙도 (P)는 각각의 체장 계급간 성숙한 암컷의 비율을 계산하여 아래의 로지스틱 방정식 (Campbell, 1985)으로 추정하였다.

$$P = \frac{1}{1 + \exp[-(a + bCL)]}$$

위의 식에서 P는 성숙비, a와 b는 변수이고 CL은 갑각장이다. 위의 방정식에서 변수 추정은 SYSTAT version 10.0에서 비선형 회귀식으로 추정하였다. 성 성숙이 일어나는 체장 즉, 암컷 개체의 50%가 성숙에 이르는 체장 (CL₅₀)은 a와 b 사이의 비율 (CL₅₀ = - | a/b |)로 계산되었다.

라. 새뱅이의 포란수, 난의 부피 및 생식 산출력 (RO)

포란한 암컷의 난 단계는 2단계로 구분하였는데, I 단계는 눈 없는 난, II 단계는 눈 있는 난으로 구분하였다. 포란한 암컷의 복지에 부착된 난을 핀셋으로 조심스럽게 분리하여 포란수를 측정하였다. 생식 갑각장 유연관계와 생식 산출력 (RO)값 추정은 난 손실율이 적은 눈이 없는 단계의 암컷을 대상으로 하였다. 암컷과 난의 건중량은 각각의 건중을 전자식 저울로 0.0001 g까지 측정하여 나타내었다. 생식 산출력은 건중량을 측정하여 아래의 Clarke et al. (1991)식을 사용하여 추정하였다. 이미지 분석시스템을 사용하여 타원의 부피에 대한 공식을 사용하여 난 부피(EV)를 추정.

$$V = \frac{4}{3}\pi r_1 r_2^2 \quad (r_1 = \text{장경의 반지름}, r_2 = \text{단경의 반지름})$$

마. 새뱅이의 생식소 속도지수 (GSI)

각 암컷의 난소 단계는 마이크로미터까지 측정할 수 있는 현미경을 이용하여 결정하였다. 난소는 단계적으로 육안으로 보이는 기준에 따라 3개의 임의의 단계로 분리.

- I 단계 : 미성숙, 얇고 밝은 오렌지색 생식소가 두흉부 전체에 3분에 1정도 존재, 직경이 난모세포 < 0.3 mm
- II 단계 : 생식소 발달, 오렌지색 생식소가 두흉부 전체에 3분에 2정도 존재, 직경이 난모세포 0.3~0.5 mm
- III 단계 : 완전 성숙, 짙은 오렌지색 생식소가 두흉부 대부분에 존재, 직경이 난모세포 > 0.5 mm

생식소 건중량은 각각의 건중을 전자식 저울로 0.0001 g까지 측정하여 나타내었다. GSI 공식은 다음의 계산식으로 이루어졌다.

$$\text{생식소 속도지수 (GSI)} = \frac{\text{난소의 건중}}{\text{암컷의 건중}} \times 100$$

바. 새뱅이의 군성속도

완전 성숙 암컷의 비율은 포란한 암컷의 수 또는 난소 성숙이 I 단계를 지난 암컷의 수와 포란한 암컷 더하기 난소 성숙 단계를 지난 암컷의 숫자는 각 크기 종류로 하는 것으로 기준하였다. 갑각장 (CL)의 완전 성숙 암컷의 비율 (P)은 로지스틱 방정식 그래프를 이용하여 추정하였다.

$$P = \frac{1}{1 + \exp[-(a + bCL)]}$$

위의 식에서 P는 성숙비, a와 b는 매개변수이고 CL은 갑각장이다. 위의 방정식에서 변수 추정은 SYSTAT version 9.0에서 비선형 회귀식으로 추정하였다. 성 성숙이 일어나는 체장 즉, 암컷 개체의 50%가 성숙에 이르는 체장 (CL₅₀)은 a와 b 사이의 비율 (CL₅₀ = - | a/b |)로 계산되었다.

9. 자연 및 인공 적정 먹이 생물의 탐색

가. 먹이생물 탐색

새뱅이 부화 유생의 먹이 기호도 조사를 위한 예비 실험으로서 부착 규조와 건조 *Chlorella*, 건조 *Spirulina*, rotifer 및 배합사료를 공급하여 선택성을 조사하였다 (그림 17).

갯 부화한 새뱅이 유생 (체장 : 3.4±0.2162 mm, 전중 : 0.42±0.1320 mg) 100마리를 6 ℓ 수조 (배양용량 2 ℓ)에 넣고 12일간 2차에 걸쳐 실험하였다. 수온은 19~23℃로 유지되는 실온에서 실시하였고 20×10 cm의 비닐 파판을 수조에 넣어 주었다. 모든 먹이는 수질 악화가 일어나지 않는 범위 내에서 충분히 공급한 후 부족한 양은 보충하였고 미약하게 공기를 주입하여 주었다. 1일 1회, 1/3환수를 해주었고 폐사 개체는 매일 제거하였다. 실험 종료 후 전장은 눈부터 미부 끝까지 길이를 측정하였고 전중은 외부 물기를 제거 후 습중량을 측정하였다.

나. 먹이생물 대량 배양을 위한 최적 배양 온도 조사

새뱅이 유생 사육실험에 사용한 미세조류는 담수에서 순수 분리하여 배양한 *Scenedesmus quadricauda*와 *Scenedesmus ecomis*로 형태는 타원형과 구형이며 모두 필라멘트를 형성하고 있다. 실험에 사용할 식물먹이생물의 배양은 f/2 (Guillard and Ryther, 1962)배지 (Table 1)를 사용하였으며, 배양수온은 22°C로 유지시켜 주었다. 세포성장을 알아보기 위해 1일 1회 Thomas 혈구측정기 (hemocytometer)로 광학현미경(CH2, Olympus)하에서 세포수를 측정하였다. 일간성장률은 Guillard (1973)의 Specific growth rate (SGR) 측정방법을 이용하였다.

식물먹이생물의 최적성장수온을 알아보기 위하여 배양 온도는 16°C, 20°C, 24°C, 28°C 및 32°C로 나누어 실험하였으며, 실험 용기는 250 ml 삼각 플라스크 (배양수 100 ml)를 이용하였고, 배양조도는 4,000 lux로 하였고, 모든 실험은 반복 실험하였다. 초기접종밀도는 *Scenedesmus ecomis*인 경우 100×10^4 cell/ml로 하였으며, *Scenedesmus quadricauda*는 20×10^5 cell/ml로 하였다.

다. 먹이 생물 대량 배양을 위한 최적 성장 배지 조사

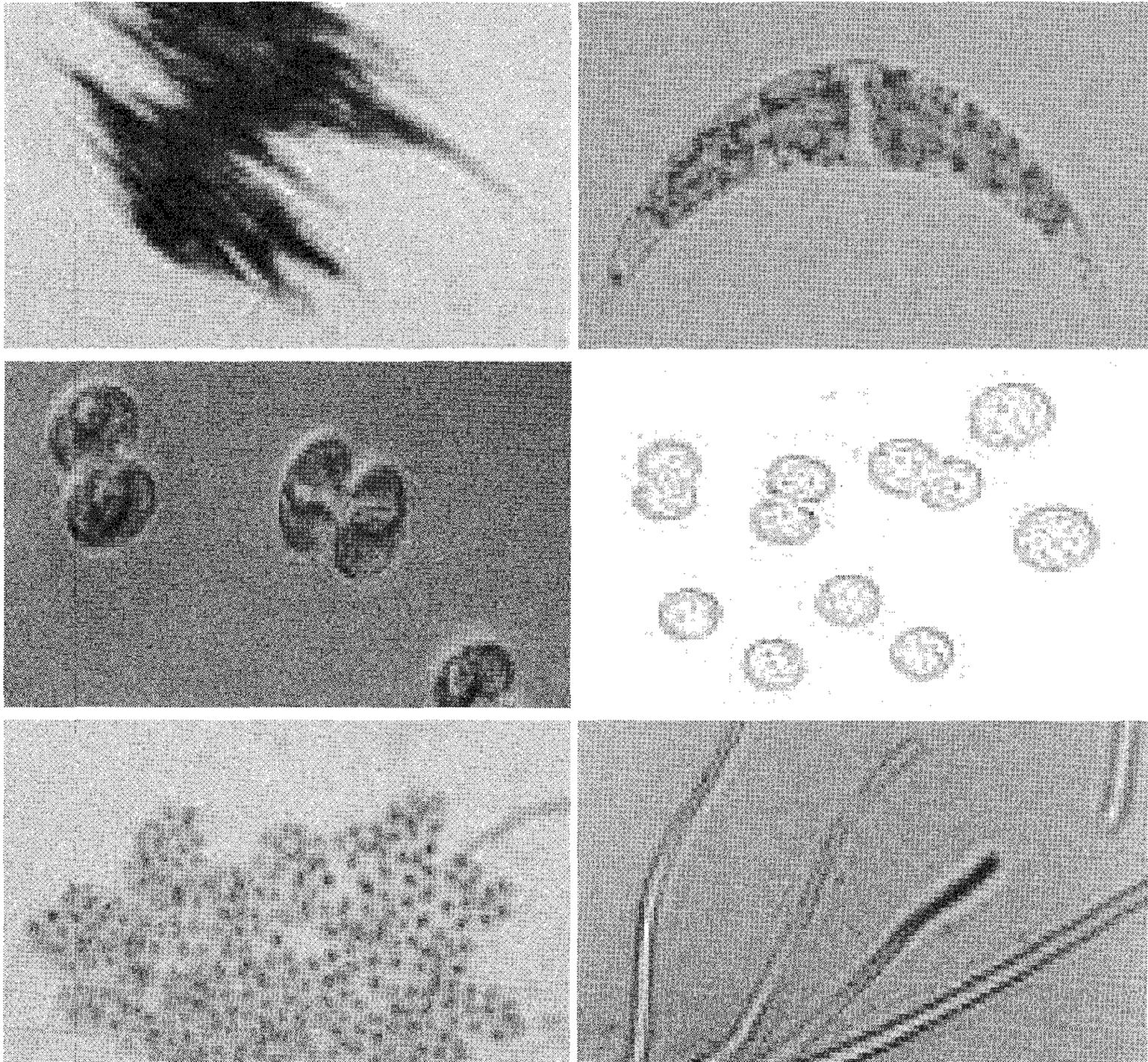
식물먹이생물의 성장을 위한 최적 배지를 규명하기 위해서 널리 사용되고 있는 f/2 (Guillard and Ryther, 1962)배지, CONWAY배지와 액상비료인 Campshal은 1 ml/l, 비교적 경제성 있는 Erdschreiber medium과 농작용으로 사용되고 있는 요소비료 0.347 g/l와 복합비료 0.029 g/l를 혼합하여 사용하였다. 실험배양용기는 250 ml 삼각 플라스크(배양수 150 ml)를 이용하였고, 배양조도는 4,000 lux로 하였다.

라. 사료 효율성 측정

2년차 정밀시험 포장에서, 새우 사료 효율성을 측정하기 위해 사료 투입구를 설정한 후, 사료(황토대하 1호, 우성사료) 2 kg/50m²씩을 주고 새우관찰구당 100마리씩을 선정하여 새우의 성장량을 평가하였다.

10. 새우의 월동 실험 방법

줄새우 및 토하의 월동 방법을 검토코자 동절기 동안 실험실내 사육조 및 일반 건물 내부 플라스틱 수조 (2,000 L)에 정밀 시험포장과 농가 실증 시험포장에서 채집된 새우를 수온 15°C~18°C로 유지시켜주고 공식 방지를 위해 사료를 1일 1회 투입하여 약 1달간 사육하며 사망개체수를 확인하였다.



<그림 17>. 새뱅이 위 내용물 및 사육수조 내에서 순수 분리된 식물플랑크톤 A : *Aphanizomenon* sp., B : *Closterium* sp., C : *Cosmarium* sp., D : *Microcystis* sp., E : *Microcystis* sp, G : *Phormidium* sp.

11. 농약 및 비료에 대한 새우의 생존율 반응 평가

줄새우 및 토하의 농약, 비료에 대한 생존 반응을 평가하기 위하여 하절기 및 동절기에 줄새우 및 토하를 각각 키우며 생존반응을 평가하였다. 생존율 평가를 위하여 30 x 30 x 20 cm (가로 x 세로 x 높이)의 플라스틱 용기에 새우 10마리씩을 넣은 후, 약제 종류별 10a 당 시용량에 기초하여 플라스틱 용기 바닥 면적에 해당하는 량의 비료/농약을 물에 희석하여 넣고 1일 간격으로 새우 생존 개체수를 평가하여 생존율을 계산하였다. 시험에 사용된 비료 및 농약의 종류와 특성은 다음과 같다.

- 복합비료 (못자리용, 21-17-17), 요소비료(N 46%), 용성인비, 염화加里
- 논브라 (ferimzone + tricyclazole; 도열병/이삭마름병; 보통독성)
- 가제트 (carbosulfan; 벼물바구미, IV급 저독성)
- 명처방 (clothianidin + bensultap, 벼멸구, 이화명/흑명나방, 저독성)
- 론스타 (oxadiazon, 일년생잡초, 저독성)
- 농이랑 (halosulfuron-methyl+mefenacet, 일년생 잡초, 저독성)

제 2절. 연구 수행 결과 및 고찰

1. 복합영농에 따른 벼 성장 및 발육의 변화

가. 새우 투입 이전 수심 및 미강처리에 따른 이앙초기 벼 성장량 변화

1) 1년차 실험 결과

- 본 과제는 새우를 키우기 위한 유기농법의 수행이 전제조건이었으며, 유기논에서의 잡초방제를 위하여 쌀겨(미강)농법을 도입하였다. 쌀겨농법은 수도의 이앙 초기 생육에 매우 큰 영향을 미치는 바, 새우가 투입되기 이전의 수도 성장상태를 평가할 필요가 있다. 특히 새우의 투입을 위해서는 30 cm 까지 유지되는 수심에 잠기지 않을 정도의 초장의 확보와 투입된 새우가 머물기에 충분한 그늘을 제공하는 canopy의 확보, 그리고 분얼의 확보가 필수적이며 이러한 벼의 이앙초기 성장량이 새우 투입 시기의 결정적 요인이 되었다.
- 쌀겨농법(미강처리)에 따른 벼 이앙 초기 초장을 평가한 결과, 새추청의 경우 저수심, 혹은 고수심 모두에서 미강 처리 효과가 나타나지 않았으나, 남평의 경우

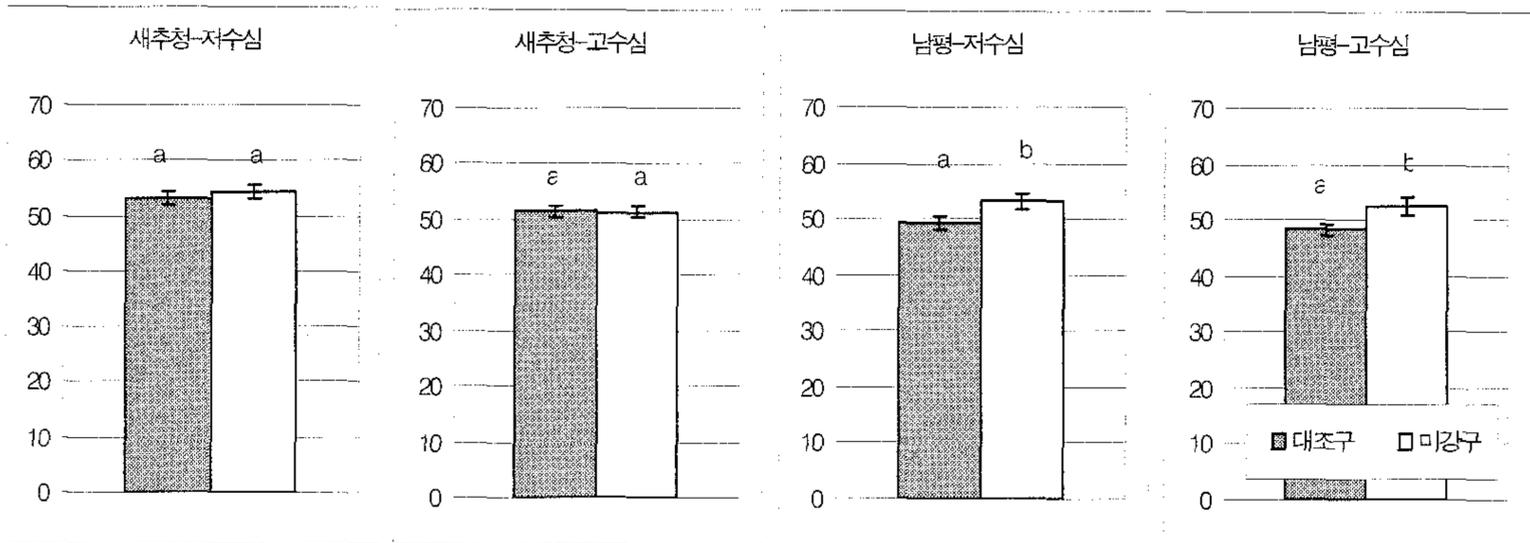
저수심에서는 미강처리에 의하여 대조(49.2 cm)보다 약 8%의 증가를 나타내었으며, 고수심에서도 미강처리구(52.5 cm)가 대조구초장이 약 8%의 증가하였다(그림 18). 새우의 투입을 위해서는 단기간의 높은 초장의 확보가 유리한 바, 쌀겨농법을 도입할 경우 새추청보다는 남평벼가 새우 투입 일을 앞당기어 논에서의 새우 성장기간을 확보함에 유리할 것으로 판단되었다.

- 미강처리에 따른 벼 이앙 초기 분얼수를 평가한 결과, 새추청의 경우 저수심과 고수심 모두에서 미강 처리 효과가 나타나지 않았다. 남평의 경우 저수심에서는 미강처리에 의한 효과가 나타나지 않았고, 고수심의 경우 미강처리(16.8개)가 대조(14.7개)보다 2개의 분얼수 증가가 관찰되어 약 13%의 증가를 나타냈다 (그림 19). 그늘을 선호하는 새우의 생태적 특성을 고려할 때, 많은 분얼수의 조기 확보가 새우 성장에 유리하므로, 높은 수심에서의 쌀겨농법의 도입이 유리할 것으로 판단된다.
- 벼 이앙 초기 엽록소 함량을 평가한 결과, 새추청의 경우 저수심에서는 미강처리 효과가 나타나지 않았으나, 고수심의 경우 미강처리(34.8)가 대조(37.0)보다 약 8% 낮은 엽록소함량을 나타내고 있고, 남평의 경우 고수심에서는 미강처리효과가 나타나지 않으나 저수심에서는 미강처리(38.2)가 대조(35.8)보다 약 5% 높은 엽록소함량을 나타냈다 (그림 20).

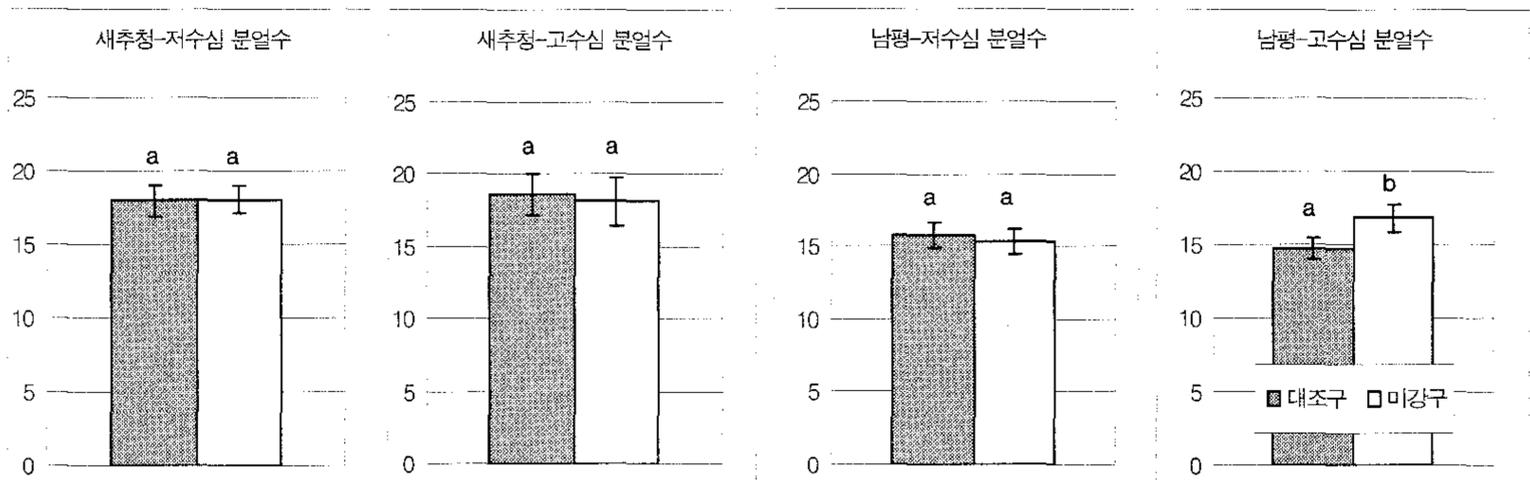
나. 새우 투입이후 복합영농에 따른 생육 후기 벼 성장량 변화

1) 1년차 시험 결과

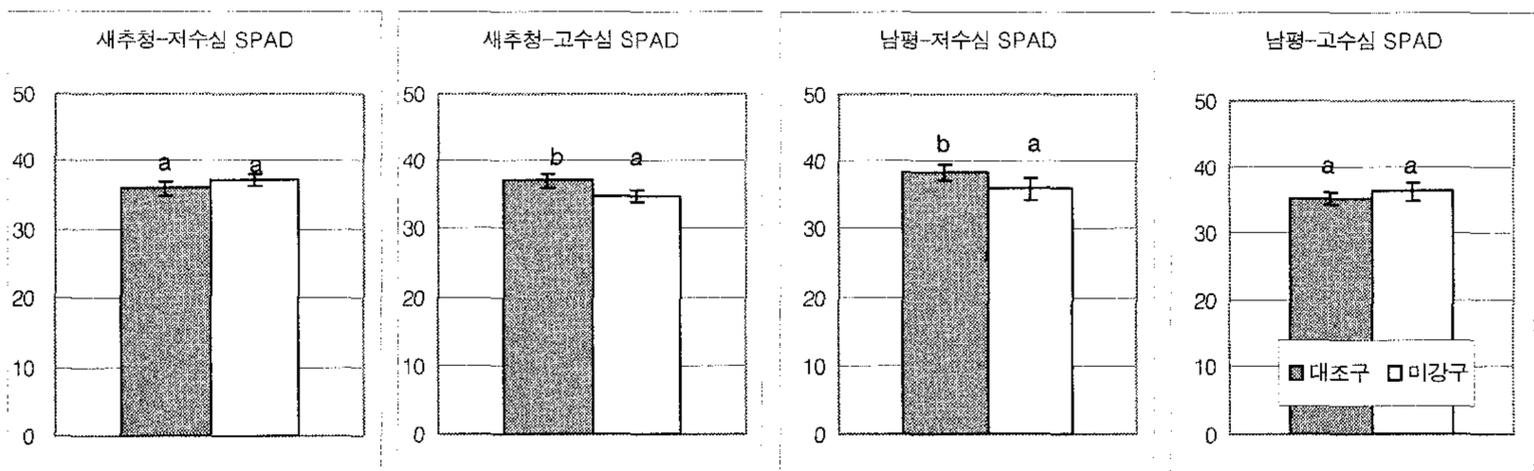
- 새우와의 복합 영농은 상시 담수, 관행보다 높은 수심의 유지 등 특이한 조건을 부여하게 된다. 따라서 이러한 포장 상태가 벼에 어떠한 영향을 미치는지 조사하기 위하여 논에 새우를 투입한 후, 생육 후기 벼 성장량을 (8월 24일) 평가하였다.
- 새우 투입 이후 벼 생육 후기의 초장에서 새추청이나 남평 모두 통계적으로 유의한 새우처리 효과는 나타나지 않았다 (그림 21). 한편 새추청의 경우 수심에 따른 초장의 차이가 있었는데, 고수심이 저수심보다 초장이 낮게 나타나 대조는 6.2 cm, 새우 1kg처리는 8.1cm, 새우 2kg처리는 6.1cm, 미강+새우 1kg처리는 5.6cm 낮은 초장이 나타났다. 반면에 남평의 경우 수심에 따른 차이는 없었으며, 이상의 결과를 미루어 볼 때, 남평은 추청 보다 수심에 대한 초장 반응성이 낮을 것으로 판단되었다.



<그림 18>. 벼 이앙초기 수심에 따른 초장



<그림 19>. 수심 및 이앙 처리에 따른 이앙초기 분얼수(개)

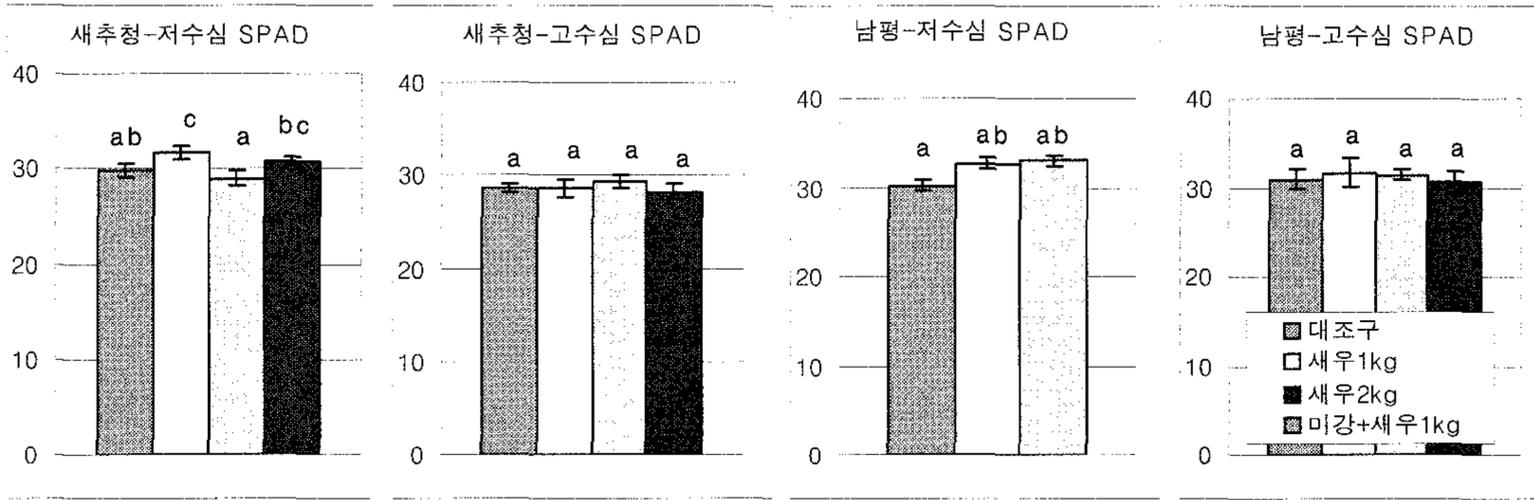


<그림 20>. 수심 및 이앙 처리에 따른 이앙초기 엽록소 함량(SPAD).

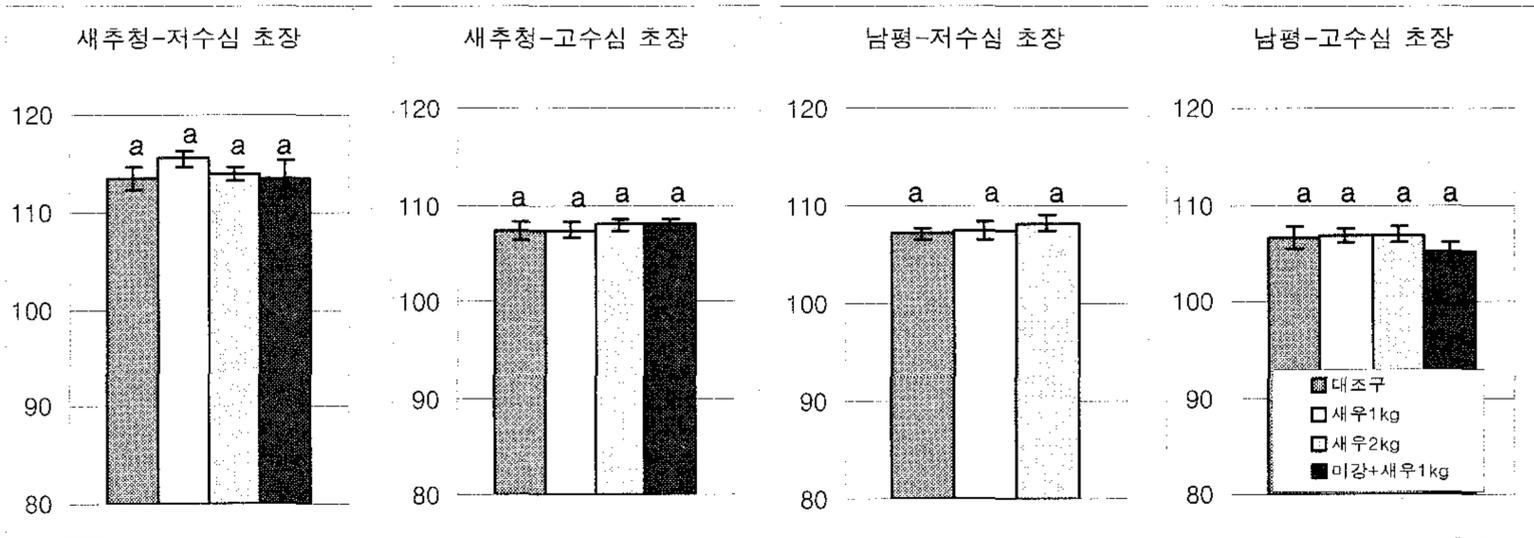
- 새우 투입 이후 생장 후기의 엽록소함량을 SPAD로 조사한 결과 고수심에서는 품종에 상관 없이 새우처리의 효과가 나타나지 않았으나 새추청, 남평 모두 저수심에서 새우처리 효과가 나타났다. 새추청의 저수심의 경우 새우 1kg구와 미강+새우 1kg구의 SPAD값은 각각 31.7과 30.7으로 대조(29.8)보다 각각 6%, 3% 높은 엽록소함량이 나타났으며, 새우 2kg을 넣은 구의 경우는 대조와 차이가 없었다. 남평의 경우 저수심에서는 새우 1kg 넣은 구와 새우 2kg 넣은 구가 각각 32.6, 33.1으로 대조(30.2)보다 약 6%, 10% 높은 엽록소함량이 나타났다. 이상의 경과를 볼 때, 새우의 투입은 다소 벼의 엽록소 함량 증대에 효과가 있는 것으로 나타났으나, 새우 투입량에 비례적이지 않았음을 고려할 때, 그 기작과 재현성에 대한 년차별 추가 조사가 필요할 것으로 사료된다 (그림 22).
- 한편 농가 실증 포장에서의 새우 투입 이후 초장 및 엽록소함량을 측정한 결과 초장은 새우 처리의 효과가 나타나지 않았으나, 엽록소함량은 대조(34.1)보다 새우처리(36.9)가 약 5% 높게 나타나 정밀시험포장과 유사한 결과였다 (그림 23).
- 이상의 결과를 종합해 볼 때, 본 실험이 수행된 조건하에서 새우의 투입은 벼의 생육에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었다.

2) 2년차 시험 결과

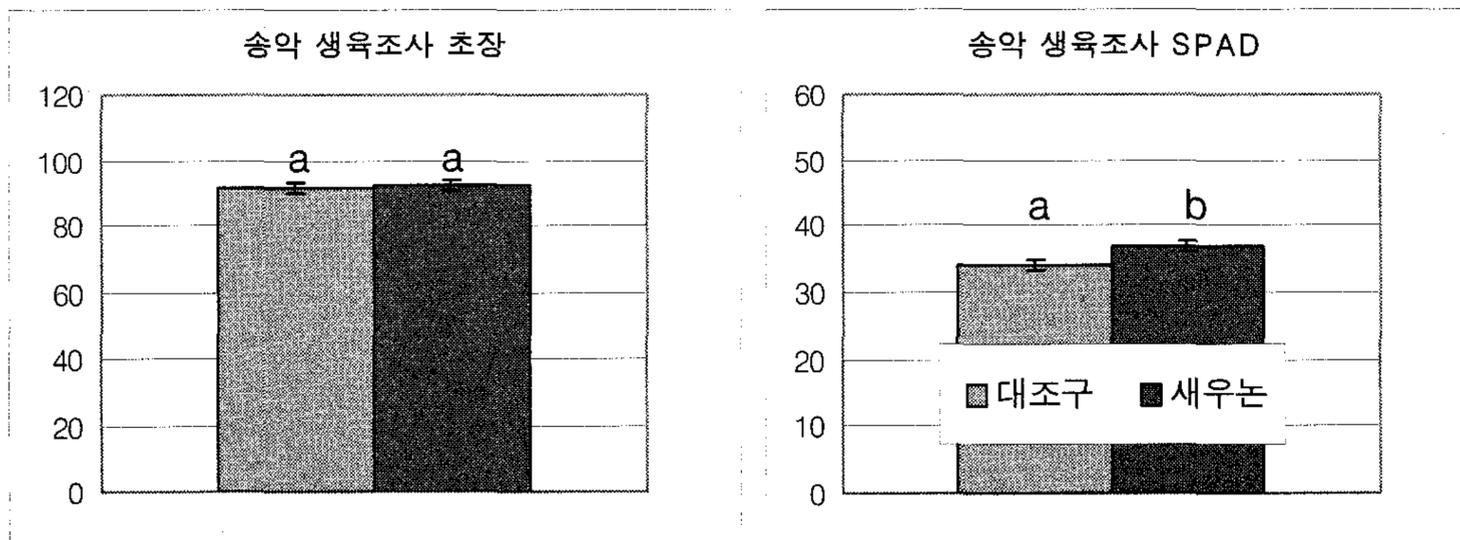
- 2년차 정밀시험포장에서 새우의 투입 후 초장, 분얼수, 엽록소 함량 등 생장지표를 비교 평가한 결과, 1년차 실험에서 나타난 바와 유사하게, 새우의 투입 여부는 벼의 생장에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다 (표 4). 또한 생육 후기의 간장과 수장 등에서도 새우 투입은 영향을 미치지 않았다.
- 농가실증 포장에서의 관찰 결과도 무처리구와 줄새우 투입구의 초장은 각각 51.15 ± 0.88 , 51.28 ± 1.21 로 유사하였고, 분얼수도 각각 17.1 ± 0.97 , 17.1 ± 0.79 로 동일하였으며, SPAD로 측정된 엽록소 함량도 각각 37.3 ± 0.98 , 37.3 ± 0.87 로 동일하였다.



<그림 21>. 수심 및 새우 처리에 따른 엽록소함량(SPAD).-정밀 시험 포장.



<그림 22>. 수심 및 새우 처리에 따른 초장 변화 (정밀 시험 포장, 단위 cm).



<그림 23>. 수심 및 새우 처리에 따른 초장(cm) 및 엽록소함량-농가 실증 포장

2. 복합 영농에 따른 수량 및 품질의 변화

가. 수량구성요소의 변화

1) 1년차 실험 결과 (표 5)

- 새우 처리에 의한 수량 구성 요소중 주당 수수에서 새추청은 새우처리 효과가 나타나지 않았으나 남평은 저수심은 새우처리 효과가 없는 반면, 고수심 조건하에서는 새우 2kg 투입구(15.6개)는 무처리구(15.0개)보다 4% 증가된 주당 수수가 관찰되었으나, 미강+새우1kg(12.2개)는 오히려 낮은 주당 수수가 관찰되었다.
- 새우 처리에 의한 이삭당 영화수는 품종에 관계 없이 고수심에서는 새우처리 효과가 나타나지 않았으나, 저수심에서는 새추청의 경우 새우1kg(61.1개)와 새우 2kg(65.5개) 및 미강+새우1kg(88.7개)구에서 무처리(68.8개)보다 증가하였으며, 남평은 무처리(79.2개)보다 새우2kg(87.5개)에서 10% 높았다.
- 등숙율에서 새추청은 저수심, 고수심 모두에서 새우 처리에 의하여 등숙율이 저하되는 것으로 나타났으나, 남평은 수심에 따라 반응이 상이하여 저수심에서는 처리 효과가 나타나지 않은 반면, 고수심에서는 새우처리효과가 인정되었다. 새추청의 경우 저수심에서는 새우1kg(88.9%)가 무처리(96.6%)보다 8%가 낮은 등숙율이 나타났고 새추청 고수심에서는 새우1kg(92.8%), 새우2kg(91.2%), 미강+새우 1kg(93.9%)가 무처리(95.6%)보다 각각 3%, 4%, 1% 낮은 등숙율이 조사되었다. 남평 고수심에서는 미강+새우1kg(92.0%)가 무처리(91.1%)보다 1% 높은 등숙율이 나타났고 새우1kg(86.4%)와 새우2kg(88.2%)는 각각 5%, 3% 낮은 등숙율이 나타났고 품종과 수심에 따라 등숙율에 미치는 복합영농 효과가 상이하게 나타난 바, 2년차 이후의 추가적인 시험이 필요할 것으로 사료된다(표 3).
- 새우 처리에 의한 수량 구성 요소중 천립중에서는 모든 품종과 수심에서 새우처리 효과가 인정되지 않았다.
- 한편 실증포장에서는 주당 이삭수, 이삭당 영화수, 등숙율, 천립중 등 평가된 주요 수량 구성요소에 있어 복합영농에 의한 차이가 나타나지 않았다.

<표 4>. 2년차 정밀시험포장에서의 벼 생육

	초장	분얼수	SPAD	수장	간장
무처리	47.1±0.67	14.1±0.81	35.3±0.80	66.8±2.53	21.0±2.11
줄새우 1kg	46.9±0.73	14.1±0.67	35.0±0.88	67.1±3.16	20.8±2.32
줄새우 2kg	47.0±0.70	14.1±0.72	35.3±0.97	66.8±2.55	21.6±1.67
토하 1kg	47.0±0.73	14.0±0.76	34.9±0.50	66.8±2.03	21.0±2.31

2) 2년차 실험 결과

2년차 정밀포장에서의 실험 결과, 새우의 종류와 새우 투입량에 따라 무처리 대비 수량구성요소의 변화가 있었으나, 이삭당 영화수와 천립중, 등숙율 등이 새우 입식에 의하여 증가하는 경향이였다 (표 6). 주당 이삭수는 새우 투입과는 무관한 것으로 나타났는데, 이는, 새우의 투입 시기와 분얼 확보의 시기가 불일치 함에 기인한 것으로 사료되며, 또한 2년차 실험시 새우의 입식 시기가 늦어졌음을 감안할 때, 새우 입식이 어떻게 등숙율 등 기타의 수량 구성요소에 영향을 미칠 수 있는지 그 기작에 대해서는 추가적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

나. 수량의 변화

1) 1년차 실험 결과

- 새우 처리에 의한 정밀 시험 포장의 수량에서 정현비율은 새우처리 효과가 새추청 저수심에서 나타나지 않았으나 새추청 고수심과 남평의 모든 수심에서 처리 효과가 나타났는데, 새추청의 경우 고수심에서 모든 새우 투입구(83.2%)에서 무처리(82.8%)보다 1% 높은 정현비율의 나타났고, 남평 저수심에서는 새우1kg(83%)과 새우2kg(82.6%)이 무처리(82.4%)보다 1% 높은 정현비율이, 남평 고수심에서는 새우1kg(82.8%) 처리가 무처리(82.1%)보다 1% 높은 정현비율이 나타났다 (표 7).
- 정밀 시험 포장에서 정조중은 새추청의 경우 저수심에서는 무처리(509.7kg/10ha)보다 새우 2kg (543.7kg/10ha)과 미강+새우1kg(570.3kg/10ha) 처리구에서 각각 6%, 11% 높은 정조중이 관찰되었다. 새추청 고수심에서는 무처리(435.7kg/10ha)보다 새우1kg(460kg/10ha), 새우2kg(471.7kg/10ha), 미강+새우1kg (463kg/10ha) 처리구에서 각각 5%, 8%, 6% 높은 정조중이 관찰되었다. 한편 남평은 저수심에서는 무처리(423kg/10ha)보다 새우1kg(499kg/10ha) 새우 2kg (466kg/10ha)가 각각 17%, 10%높은 정조중이, 고수심에서는 무처리(411kg /10ha)보다 새우1kg(488kg/10ha)가 18% 높은 정조중이 나타났다 (표 7).

<표 5>. 복합영농에 따른 벼 수량구성요소의 변화

포장	품종	수심 (cm)	새우처리 (kg/10m ²)	주당이삭 수 (개)	이삭당 영화수(개)	등숙율 (%)	천립중 (g)
정밀 시험 포장	새추청	20	무처리	14.0 a	68.8 a	96.6 b	24.3 a
			새우 1kg	16.0 a	61.1 a	88.9 a	26.0 a
			새우 2kg	16.0 a	65.5 a	92.9 b	24.0 a
			미강+새우1kg	17.8 a	88.7 b	94.7 b	23.2 a
		30	무처리	18.0 a	67.5 a	95.6 b	24.3 a
			새우 1kg	17.6 a	60.2 a	92.8 ab	25.4 a
			새우 2kg	17.0 a	66.5 a	91.2 a	23.8 a
			미강+새우1kg	18.0 a	65.9 a	93.9 ab	24.8 a
	남평	20	무처리	12.4 a	79.2 a	89.9 a	23.5 a
			새우 1kg	13.8 a	79.2 a	91.1 a	23.3 a
			새우 2kg	13.4 a	87.5 ab	90.2 a	23.7 a
		30	무처리	15.0 b	67.2 a	91.1 bc	24.0 a
새우 1kg			14.8 b	74.1 a	86.4 a	22.9 a	
새우 2kg			15.6 b	73.0 a	88.2 ab	23.3 a	
미강+새우1kg			12.2 a	72.1 a	92.0 c	23.4 a	
실증 포장		새추청	5	대조	23.6 a	73.8 a	84.5 a
	15		새우 (12kg/350m ²)	22.0 a	82.8 a	74.9 a	23.5 a

<표 6>. 2년차 정밀포장에서 수량구성요소

	주당 이삭수	이삭당 영화수	천립중(g)	등숙율(%)
무처리	12.6	73.1	23.0	85.6
줄새우 1kg	11.5	85.1	24.0	91.3
줄새우 2kg	12.8	70.7	24.2	92.0
토하 1kg	11.5	82.8	23.1	88.1

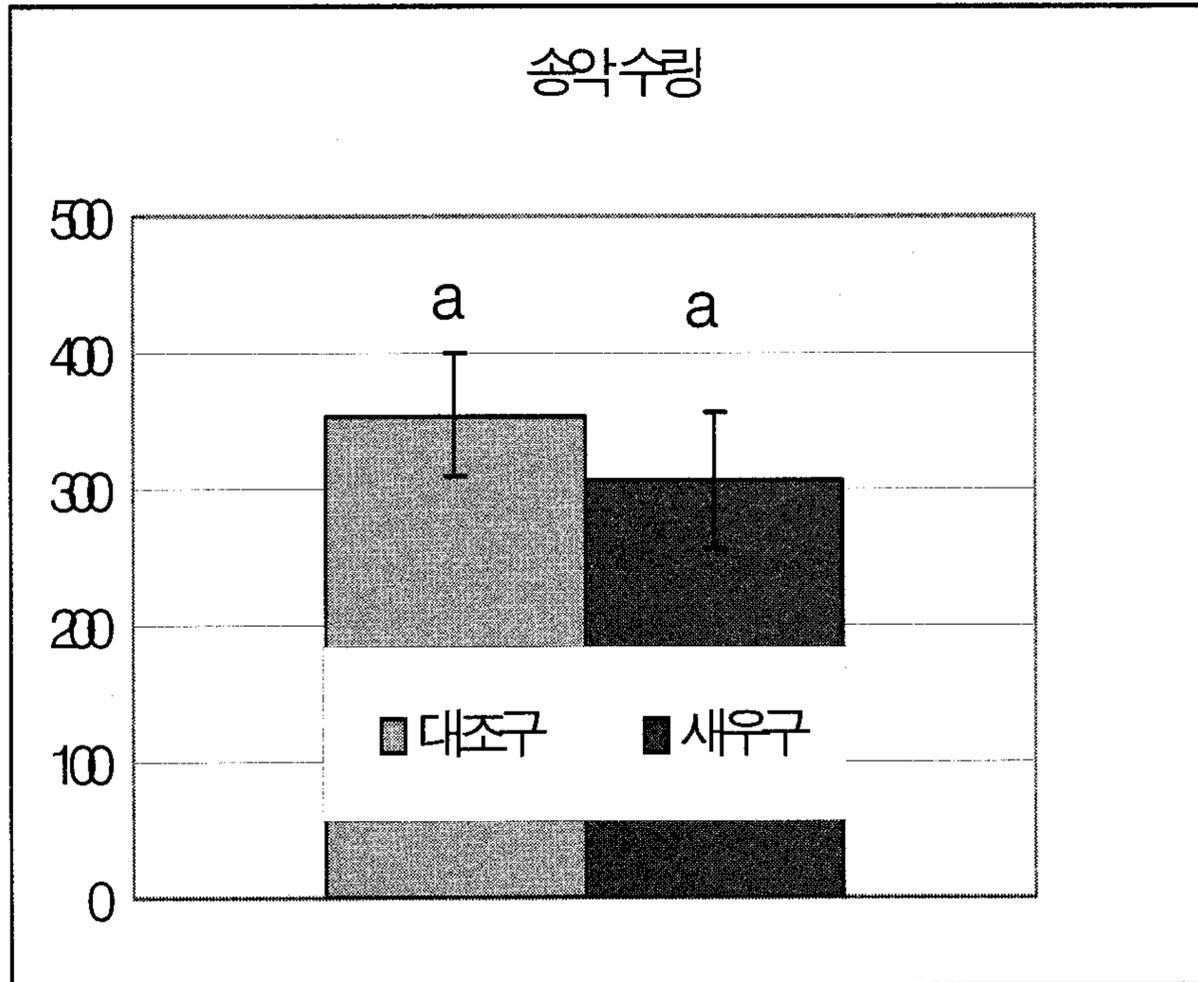
- 새우 처리에 의한 정밀 시험 포장의 수량에서 현미중은 새추청, 남평 모두 새우처리효과가 다음과 같이 나타났다. 새추청 저수심에서는 무처리(423kg/10ha)보다 새우2kg(454kg/10ha)과 미강+새우1kg(477/10ha)이 각각 7%, 12% 높은 현미중이 수확되어 처리효과가 나타났다. 새추청 고수심에서는 무처리(361kg/10ha)보다 새우1kg(382kg/10ha), 새우2kg(392kg/10ha), 미강+새우1kg(385kg/10ha)가 각각 5%, 8%, 6% 높은 현미중이 수확되어 새우 처리 효과가 나타났다. 남평 저수심에서는 무처리(348kg/10ha)보다 새우1kg(414kg/10ha) 새우 2kg(385kg/10ha)가 각각 18%, 10%높은 현미중이 수확되었다. 남평 고수심에서는 무처리(337kg/10ha)보다 새우1kg(405kg/10ha)가 20% 높은 현미중이 수확되어 새우처리 효과가 나타났다 (표 7).
- 백미중 역시 복합영농에 의한 증대가 관찰되었는데, 새추청의 경우 저수심에서는 무처리(390kg/10ha)보다 새우2kg(418kg/10ha)과 미강+새우1kg(439/10ha)이 각각 7%, 12% 높은 백미중이, 고수심에서는 무처리(332kg/10ha)보다 새우 1kg(352kg/10ha), 새우2kg(361kg/10ha), 미강+새우1kg(355kg/10ha)가 각각 6%, 8%, 6% 높은 백미중이 수확되었다. 남평의 경우도 새추청과 유사한 결과가 나타났는데, 저수심에서는 무처리(321kg/10ha)보다 새우1kg(381kg/10ha) 새우 2kg(354kg/10ha)가 각각 18%, 10%높은 백미중이, 고수심에서는 무처리(338kg/10ha)보다 새우1kg (405kg/10ha)가 20% 높은 백미중이 수확되어 새우처리 효과가 나타났다 (표 7).
- 한편 농가 실증 포장의 경우 새우와의 복합영농에 의한 수량의 변화는 나타나지 않아 정밀시험에서 수량증대에 미친 복합영농효과와 다소 상이하게 나타났다 (그림 24).

2) 2년차 실험 결과

2년차 실험 포장의 경우, 1년차와 유사한 경향으로 새우의 투입에 의하여 수량이 다소 증가하는 것으로 타나났는데, 백미중을 기준으로 볼 때 무처리 328kg/10a에 비해 줄새우 1kg/50m² 투입시는 369kg/10a로 13%, 토하 1kg/50m² 투입의 경우는 346 kg/10a로 5.4% 증가하였다. 그러나 줄새우 2kg/10a 입식의 경우는 오히려 1kg/10a 입식 보다 감소한 323kg/10a로 나타나 새우 투입량에 비 수량이 비례하지는 않는 것으로 나타났다 (표 8).

<표 7>. 1년차 정밀 시험포장의 수량

포장	품종	수심 (cm)	새우처리 (kg/10m ²)	정현비율 (%)	정조중 (kg/10a)	현미중 (kg/10a)	백미중 (kg/10a)
정밀 시험포장	새추청	20	무처리	83.0 a	509.7 a	423.3 a	390 a
			새우 1kg	83.5 a	493.7 a	412.3 a	379 a
			새우 2kg	83.7 a	543.7 b	454.7 b	418 b
			미강+새우1kg	83.8 a	570.3 b	477.7 b	439 b
		30	무처리	82.8 a	435.7 a	361.0 a	332 a
			새우 1kg	83.2 b	460.0 ab	382.7 ab	352 ab
			새우 2kg	83.2 b	471.7 b	392.3 b	361 b
			미강+새우1kg	83.2 b	463.0 ab	385.3 ab	355 ab
	남평	20	무처리	82.4 a	423.0 a	348.7 a	321 a
			새우 1kg	83.0 b	499.0 b	414.0 b	381 b
			새우 2kg	82.6 ab	466.3 b	385.0 b	354 b
		30	무처리	82.1 a	411.0 a	337.7 a	338 a
			새우 1kg	82.8 b	488.7 b	405.0 b	405 b
			새우 2kg	82.2 a	428.3 a	352.0 a	352 a
			미강+새우1kg	82.4 a	405.3 a	334.0 a	334 a



<그림 24>. 1년차 농가실증 포장에서의 수량

<표 8>. 2년차 정밀실험포장에서의 수량

새우 처리	정현비율 (%)	정조중 (kg/10a)	현미중 (kg/10a)	백미중 (kg/10a)
무처리	80.3	443.5	356.5	328.0
줄새우 1kg	81.0	501.4	402.1	369.9
줄새우 2kg	81.2	433.3	352.0	323.9
토하 1kg	80.3	467.0	376.0	346.0

다. 쌀 식미치 등 품질의 변화 (표 9)

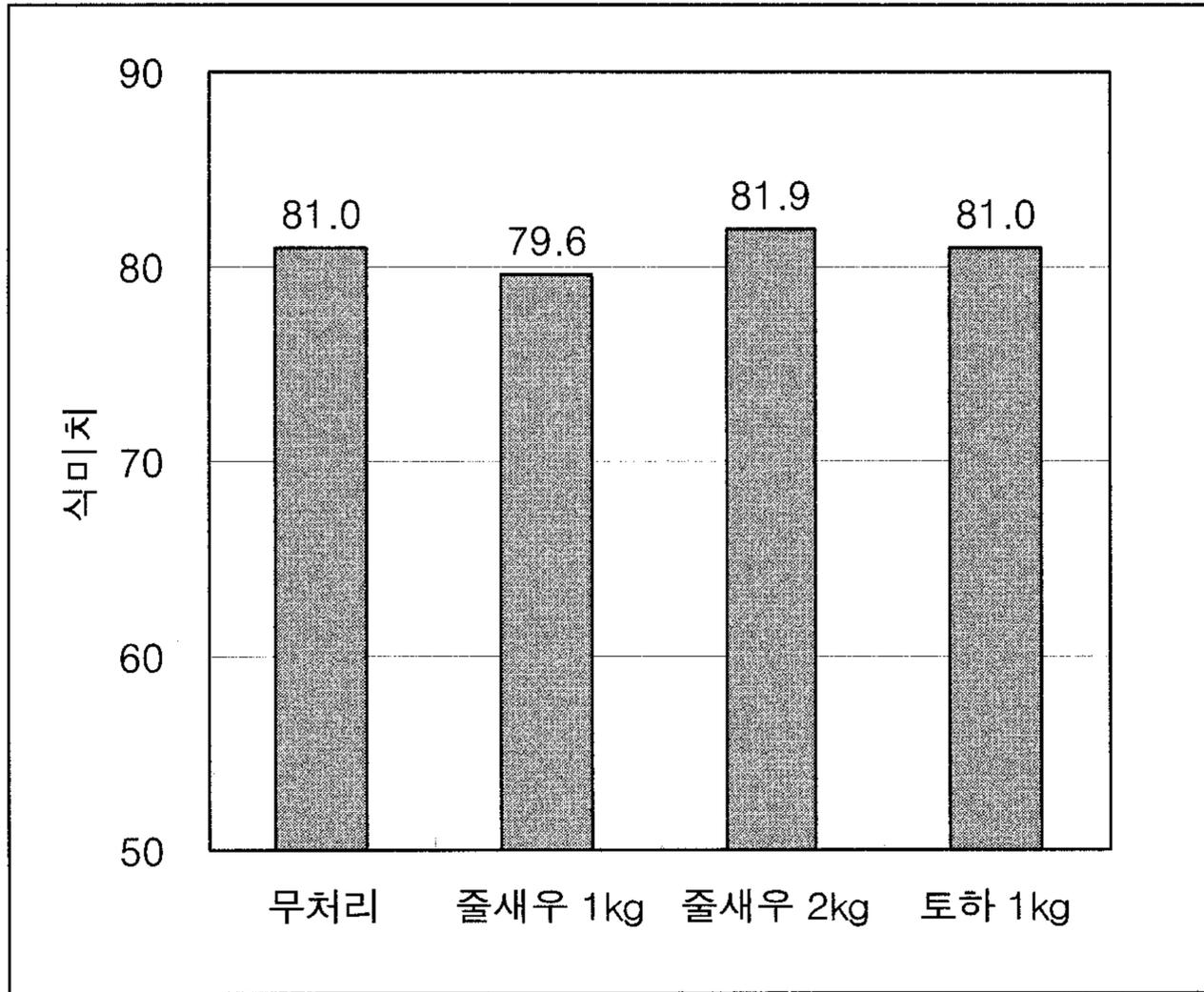
- 새우 처리에 의한 식미 품질을 평가한 결과, 현미 단백질함량이 새우처리구가 무처리보다 높은 경향을 보였는데, 남평 저수심 새우2kg(6.83%)구에서 무처리(6.9%)구보다 약 1% 낮은 단백질함량이 나타났다.
- 현미 아밀로스함량에서 새우 처리 시 낮아지는 경향이 나타났는데, 새추청 저수심의 미강+새우1kg구와 새추청 고수심 새우1kg, 남평 고수심 새우1kg가 무처리구보다 아밀로스함량이 1% 낮게 나타났다.
- 새우 처리에 의한 미질 분석 결과 현미 지방산함량에서 새우처리 효과가 무처리보다 높은 경향을 보이고 있으나, 새추청 고수심 새우1kg와 남평 고수심 새우1kg가 무처리보다 낮은 함량이 나타났다.
- 백미 단백질함량은 새우 처리 시 무처리보다 높은 경향이 나타났으며, 특히 남평 고수심 새우2kg 처리구 경우 단백질함량이 약 1% 낮게 나타났다<표 5>.
- 백미 아밀로스함량은 새우처리 시 무처리보다 높은 경향이 있었다. 특히 새추청 저수심 새우1kg와 미강+새우1kg, 남평 저수심 새우1kg, 남평 고수심 새우2kg의 아밀로스함량이 낮게 나타났다.
- 새우 처리에 의한 미질 분석 결과 식미치는 무처리와 새우처리구 간에는 뚜렷한 차이가 인정되지 않아 새우
- 2년차 실험에서 수확된 쌀의 식미치를 평가한 결과, 1년차와 유사하게 처리간 차이가 인정되지 않아 새우 입식은 식미에 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다 (그림 25). 입식은 식미에 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다.

라. 토양 이화학성의 변화

- 1년차 시험의 경우 새우 처리에 의한 토양 이화학성의 분석 결과 pH, 유기물(OM), 유효인산(P_2O_5), 양이온, 염기치환용량(CEC)은 유사한 결과가 나타났으나, 염농도(EC)와 유효규산(SiO_2)는 처리간 다소 차이가 있었다 (표 10).
- 2년차 정밀시험포장의 경우(표 11) 유기물 함량과 CEC는 다소 증가하고, 인산과 규산의 함량은 새우 투입에 의하여 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 새우의 투입량과 비례하는 반응이 나타나지는 않아 실제 새우의 효과에 의한 토양 화학성 평가를 위해서는 보다 정밀하고 반복적인 분석이 수행되어야 할 것으로 판단되었다.

<표 9>. 1년차 새우처리에 의한 벼의 미질 변화

포장	품종	수심 (cm)	새우처리 (kg/10m ²)	현미			백미		
				단백질 (%)	아밀로스 (%)	지방산 (%)	단백질 (%)	아밀로스 (%)	식미치
정밀 시험 포장	새추청	20	무처리	6.17	18.33	14.30	5.10	18.10	73.5
			새우 1kg	6.30	18.37	14.67	5.37	18.07	71.8
			새우 2kg	6.57	18.33	14.40	5.33	18.10	69.4
			미강+새우1kg	6.37	18.23	13.77	5.37	17.97	72.2
		30	무처리	5.97	18.40	14.57	5.20	18.07	76.1
			새우 1kg	6.13	18.37	14.33	5.53	17.70	74.4
			새우 2kg	6.17	18.47	14.57	5.57	17.90	75.8
			미강+새우1kg	6.07	18.43	15.33	5.77	18.03	75.9
	남평	20	무처리	6.90	18.27	14.17	5.70	18.10	70.0
			새우 1kg	7.07	18.27	14.83	6.27	18.03	68.1
			새우 2kg	6.83	18.30	14.37	5.87	18.10	70.9
			미강+새우1kg	6.23	18.33	14.60	6.20	17.83	73.3
		30	무처리	6.17	18.33	14.57	6.13	17.87	73.8
			새우 1kg	6.60	18.30	14.10	6.27	17.73	71.2
			새우 2kg	6.50	18.43	15.03	6.07	17.97	72.8
			미강+새우1kg	6.23	18.33	14.60	6.20	17.83	73.3



<그림 25>. 정밀포장 2년차 시험에서 수확된 쌀의 식미치

<표 10>. 1년차 새우처리에 의한 토양 이화학성 변화

포장	품종	수심 (cm)	새우처리 (kg/10m ²)	pH	EC	OM	P ₂ O ₅	SiO ₂	(cmol/kg)				CEC
				(1:5)	(ds/m)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	K	Ca	Mg	Na	(cmol/kg)
정밀 시험 포장	새추청	20	무처리	6.8	0.29	1.26	33.0	381	4.2	0.5	1.8	0.3	10.78
			새우 1kg	6.8	0.31	1.28	31.0	325	4.2	0.4	1.9	0.2	11.09
			새우 2kg	6.9	0.28	1.29	24.0	385	4.3	0.5	1.9	0.2	10.28
			미강+새우1kg	6.7	0.36	1.25	34.0	446	4.5	0.4	1.9	0.1	10.65
		30	무처리	6.7	0.34	1.45	33.0	254	4.1	0.4	1.9	0.1	10.17
			새우 1kg	6.6	0.98	1.44	36.0	292	4.4	0.5	2.0	0.3	10.45
			새우 2kg	6.9	0.51	1.39	26.0	274	4.1	0.5	1.9	0.1	11.00
			미강+새우1kg	6.6	0.30	1.37	38.0	277	4.4	0.4	1.8	0.2	9.80
	남평	20	무처리	6.7	0.26	1.30	23.0	300	4.1	0.5	1.8	0.1	10.69
			새우 1kg	6.7	0.27	1.39	23.0	316	4.2	0.5	1.9	0.1	9.75
			새우 2kg	6.5	0.56	1.32	20.0	419	4.3	0.5	1.8	0.1	10.12
		30	무처리	6.5	0.32	1.45	28.0	264	4.1	0.4	1.8	0.2	10.08
새우 1kg	6.3		0.56	1.45	29.0	243	4.2	0.5	1.8	0.1	10.78		
새우 2kg	6.7		0.31	1.39	31.0	304	4.8	0.5	1.7	0.1	10.66		
미강+새우1kg	6.8		0.35	1.42	25.0	342	4.5	0.4	1.8	0.1	9.86		

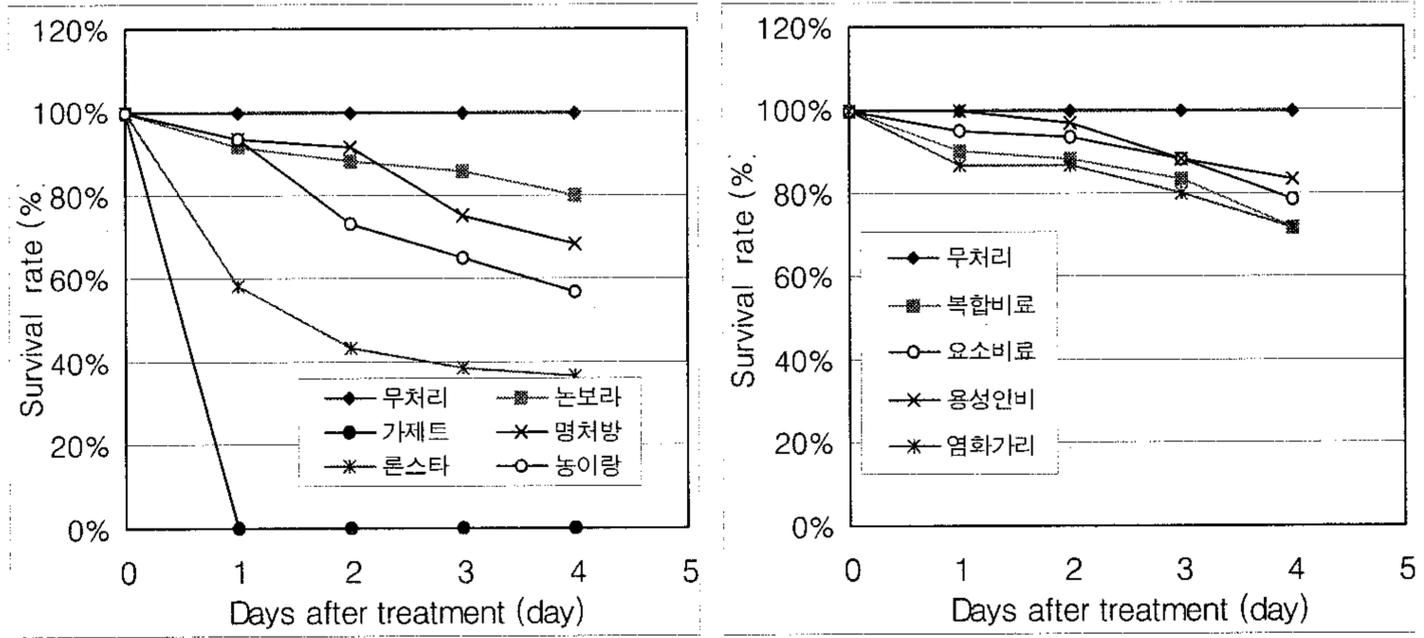
<표 11>. 2년차 새우처리에 의한 토양 이화학성 변화

새우처리 (kg/50m ²)	pH	OM	P ₂ O ₅	SiO ₂	(cmol/kg)				CEC
	(1:5)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	K	Ca	Mg	Na	(cmol/kg)
무처리	6.6	1.33	48.0	338	4.2	0.3	1.3	0.1	6.62
줄새우 1kg	6.5	1.48	40.0	175	4.1	0.3	1.6	0.1	7.68
새우 2kg	6.5	1.43	38.3	244	4.3	0.5	1.5	0.1	7.46
토하 1kg	6.7	1.40	39.0	258	4.2	0.3	1.4	0.1	7.07

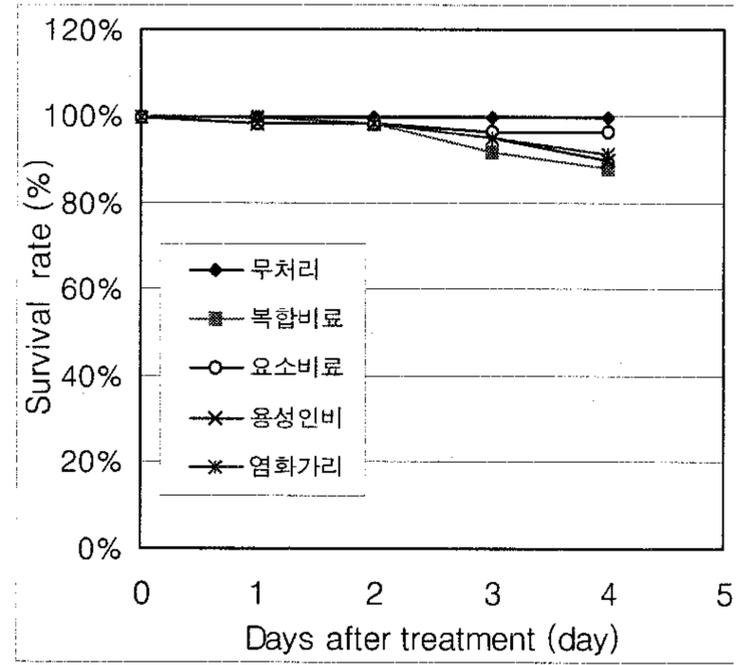
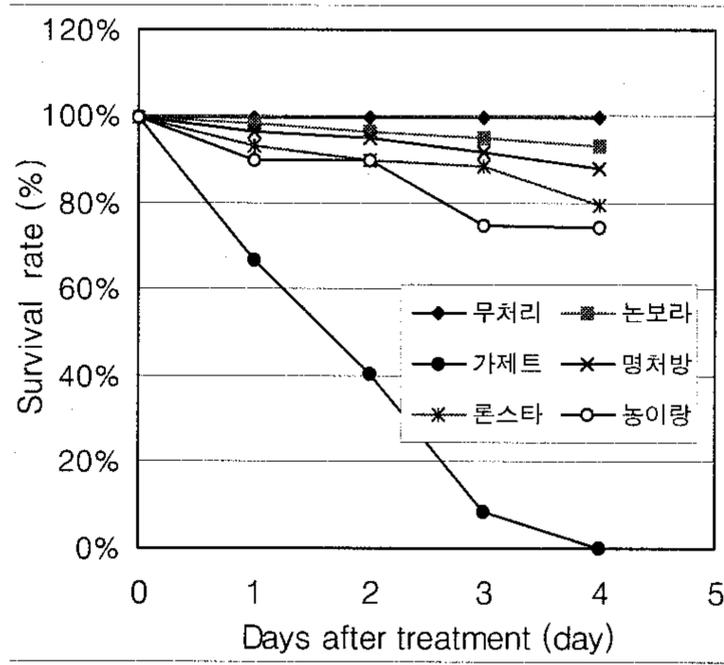
3. 농약 및 비료에 대한 새우의 생존율 반응

본 시험에 사용된 새우인 줄새우와 토하의 실제 농약에 대한 반응성을 살펴보기 위하여 본답에 시용되는 수준으로 비료 4종 및 농약 5종 조건하에서 하절기 및 동절기에 각각 줄새우와 토하를 대상으로 살펴본 결과, 그림 26에서와 같이 하절기 줄새우의 경우 복합비료, 요소, 용성인비, 염화加里 등 일반적으로 사용되는 화학비료의 경우 처리 4일 이후 각각 72%, 78%, 83%, 72%의 생존율을 나타내 비교적 피해가 적었던 반면, 농약 조건에서의 줄새우 생존율은 매우 급격히 감소하여 가제트의 경우 1일 경과후에 이미 0% 생존율(100% 치사)에 도달하였으며, 론스타의 경우도 1일 이후에 60%, 4일후 37%의 생존율을 나타내었고, 농이랑, 명처방, 논보라의 경우 처리 4일후에 각각 57%, 68%, 80%의 생존율을 나타내어 농약에 대한 새우의 반응이 매우 빠름을 알 수 있었다. 특히 벼물바구미용 IV급 저독성 농약인 살충제 가제트와 1년생 잡초를 대상으로 하는 제초제인 론스타에 대한 새우의 치사율이 매우 높게 나타났다 (그림 26).

한편 가을 벼 수확 당시 수확된 토하를 대상으로 동절기에 동일한 약제에 대한 실험을 수행한 결과 하절기 줄새우 보다는 다소 높은 치사율을 보였으나, 가제트의 경우 처리 1일 후에 이미 33%가 치사한 67%의 생존율을 나타내었고, 처리 4일 이후에는 농이랑, 론스타, 명처방, 논보라가 각각 75%, 80%, 88%, 93%의 생존율을 나타내었다. 한편 각종 화학비료에 대한 토하의 생존율은 높은 경향을 나타내어 처리 4일 이후에도 약 90% 이상의 생존율을 보였다. 동절기 토하의 농약/비료에 대한 생존율이 하절기 줄새우보다 높았던 것은, 새우 종류별 저항성 차이에 기인한 것일 수도 있고, 활동성이 매우 저하된 동절기에 대사속도가 저하된 때문에 기인할 수도 있어 보다 정밀한 추후 실험이 필요한 것으로 판단되었다 (그림 27).



<그림 26>. 하절기 농약 및 비료에 대한 줄새우의 생존율 반응



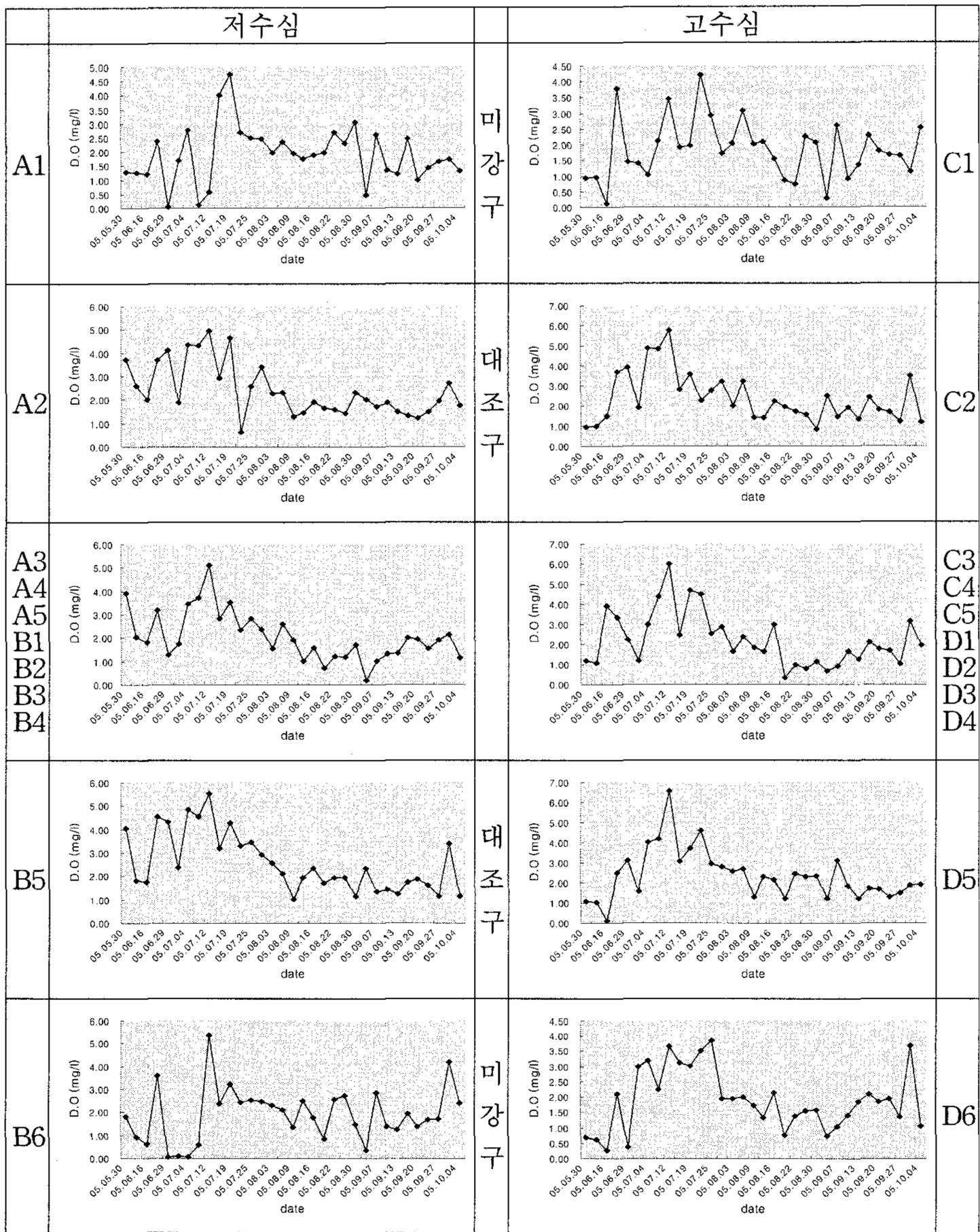
<그림 27>. 동절기 농약 및 비료에 대한 토하의 생존율 반응

4. 복합영농 논외 환경 요인 변화

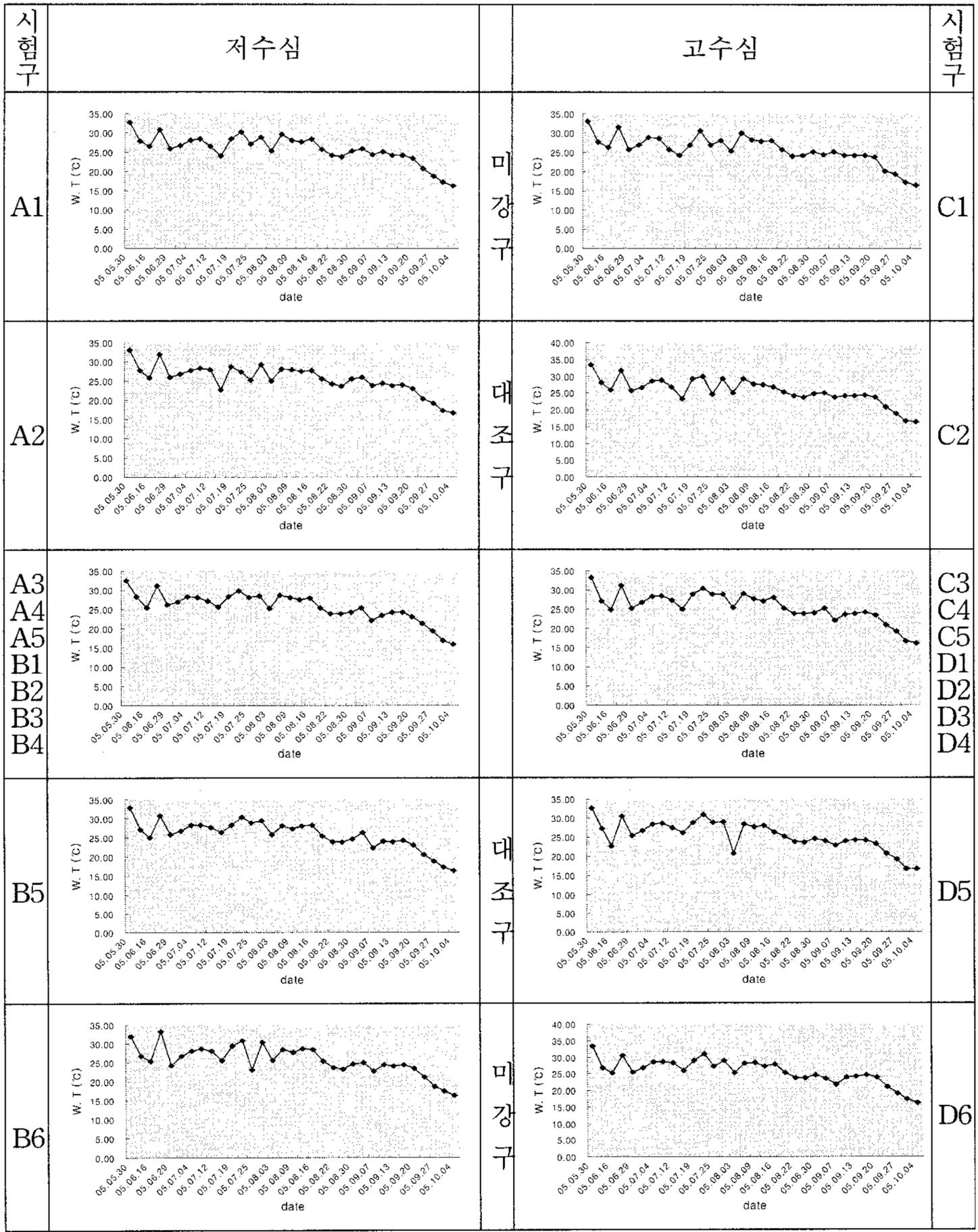
가. 1년차 환경 요인 변화 평가

실험기간동안 환경요인의 변화는 정밀시험포장 시험구의 저수심 미강구 D.O가 0.05~5.36 mg/L로 평균 1.91 mg/L의 변화를 나타내었으며, 수온은 16.3~33.3℃(평균 25.70℃)의 변화를 나타냈었고 클로로필 a 는 0~82.86(평균 13.36)의 변화를 나타내었으며, pH는 6.06~6.628의 변화를 나타내었다. 고수심 미강구 D.O가 0.13~4.24 mg/L, 수온은 16.2~33.40℃, 클로로필 a 는 0~61.73, pH는 6.07~6.78의 변화를 나타내었다. 저수심 대조구 D.O는 0.64~5.53 mg/L, 수온은 16.3~33.1℃, 클로로필 a 는 0~16.12, pH는 6.01~6.58을 나타내었다. 고수심 대조구 D.O가 0.11~6.57 mg/L로 평균 2.37 mg/L의 변화를 나타내었으며, 수온은 16.4~33.4℃로 평균 25.5℃의 변화를 나타냈었고 클로로필 a 는 0~14.21로 평균 2.55의 변화를 나타내었으며, pH는 6.03~6.69로 평균 6.34의 변화를 나타내었다. 일반구는 D.O가 0.21~6 mg/L로 평균 2.15 mg/L의 변화를 나타내었으며, 수온은 15.9~33.2℃로 평균 25.58℃의 변화를 나타내었고 클로로필 a 는 0.51~80.32로 평균 11.43의 변화를 나타내었으며, pH는 6.06~6.6로 평균 6.33의 변화를 나타내었다.

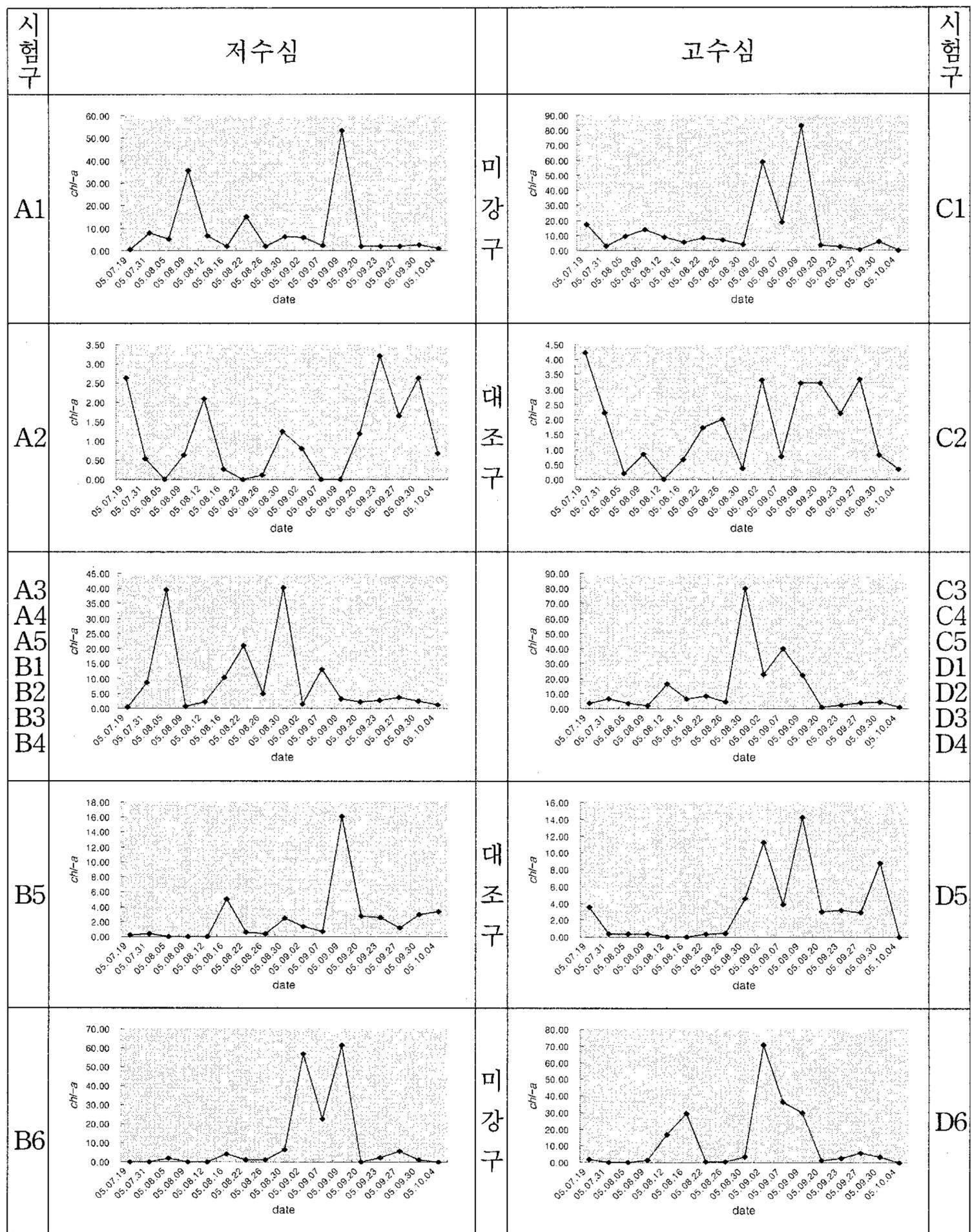
송악면 현장농가는 D.O가 0.22~2.24 mg/L로 평균 1.39 mg/L의 변화를 나타내었으며, 수온은 16.2~33℃로 평균 26.03℃의 변화를 나타내었고 클로로필 a 는 0.07~25.32로 평균 2.69의 변화를 보였다. pH는 6.06~6.42로 평균 6.28의 변화를 나타내었다 (그림 28-32).



<그림 28>. 1년차 정밀시험포장에서의 용존산소량 변화



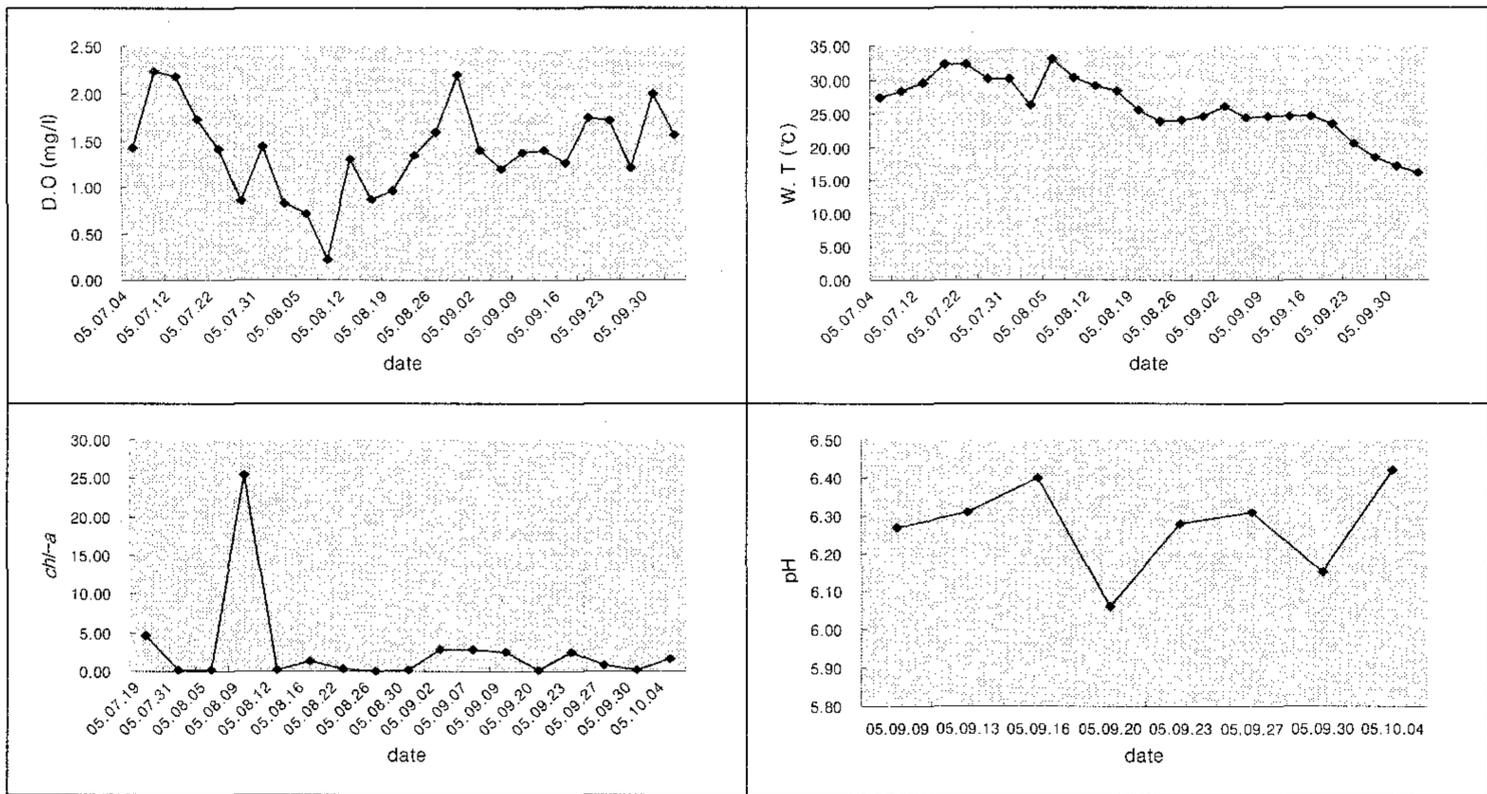
<그림 29>. 1년차 정밀시험포장에서의 수온 변화



<그림 30>. 1년차 정밀시험포장 담수의 내부 Chlorophyll a 변화

시험구	저수심		고수심	시험구
A1		미 강 구		C1
A2		대 조 구		C2
A3 A4 A5 B1 B2 B3 B4				C3 C4 C5 D1 D2 D3 D4
B5		대 조 구		D5
B6		미 강 구		D6

<그림 31>. 1년차 정밀시험포장 담수의 pH 변화



<그림 32>. 1년차 농가실증포장 용존산소의 변화

나. 2년차 복합영농 포장의 환경 변화

2년차 실험기간동안 환경요인의 변화는 정밀시험포장의 대조구에서 D.O가 4~10.6 mg/L로 평균 8.04 mg/L의 변화를 나타내었으며, 수온은 14.1~30.4℃로 평균 23.9℃의 변화를 나타냈었고 클로로필 a 는 0.22~26.13으로 평균 4.11의 변화를 나타내었으며, pH는 5.8~9.96로 평균 8.17의 변화를 나타내었다. 일반구에서 D.O가 4~10.6 mg/L로 평균 7.85 mg/L의 변화를 나타내었으며, 수온은 18.6~30℃로 평균 23.99℃의 변화를 보였고 클로로필 a 는 0.1~9.38($\mu\text{g}/\ell$)로 평균 1.99의 변화를 나타내었으며, pH는 6.01~9.16로 평균 8.16의 변화를 나타냈다. 토하구에서는 D.O가 4~9.1 mg/L로 평균 6.69 mg/L의 변화를 나타내었으며, 수온은 14.1~32.9℃로 평균 24.43℃의 변화를 나타냈었고 클로로필 a 는 0.12~15.63로 평균 3.33의 변화를 나타내었으며, pH는 5.79~9.12로 평균 8.12의 변화를 나타내었다 (그림 33).

한편 실증포장인 송악면 현장농가는 D.O가 2.3~12.6 mg/L로 평균 5.47 mg/L의 변화를 나타내었으며, 수온은 20.7~30.7℃로 평균 24.75℃의 변화를 나타내었고 클로로필 a 는 0.02~22.08로 평균 3.75의 변화를 보였다. pH는 5.8~8.38로 평균 7.19의 변화를 나타내었다 (그림 34).

5. 새우의 포란, 발생 및 유생 성장

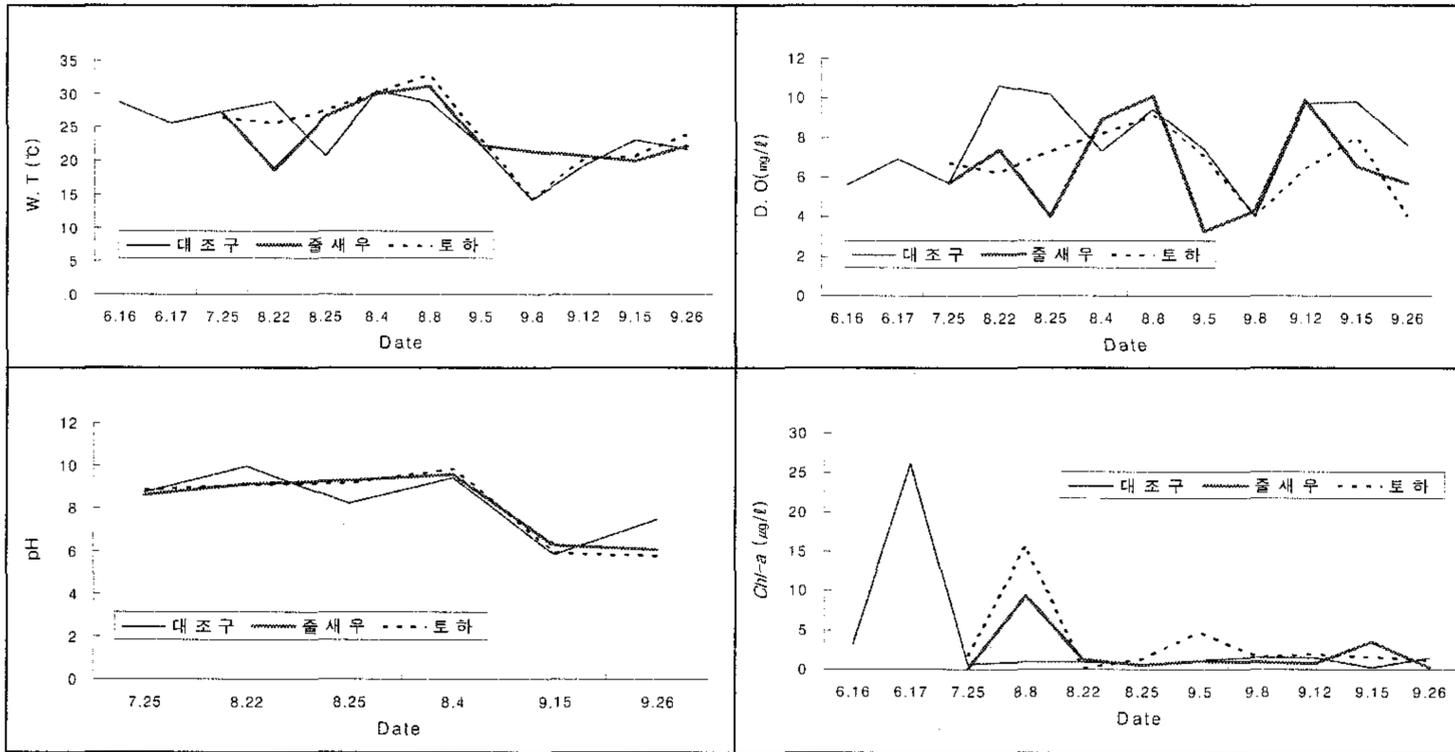
가. 줄새우의 포란수, 난의 부피 및 생식 산출력 (RO)

줄새우의 최대 포란수는 갑각장 9.60 mm에서 328개, 최소 포란수는 갑각장 7.26 mm에서 195개로 계수 되었고, 평균 포란수 (\pm 표준편차)는 241 (\pm 33)개로 나타났다. 포란한 암컷개체의 포란체장 범위는 7.26~11.50 mm이었고, 평균 갑각장은 9.13 (\pm 1.56)mm로 나타났다.

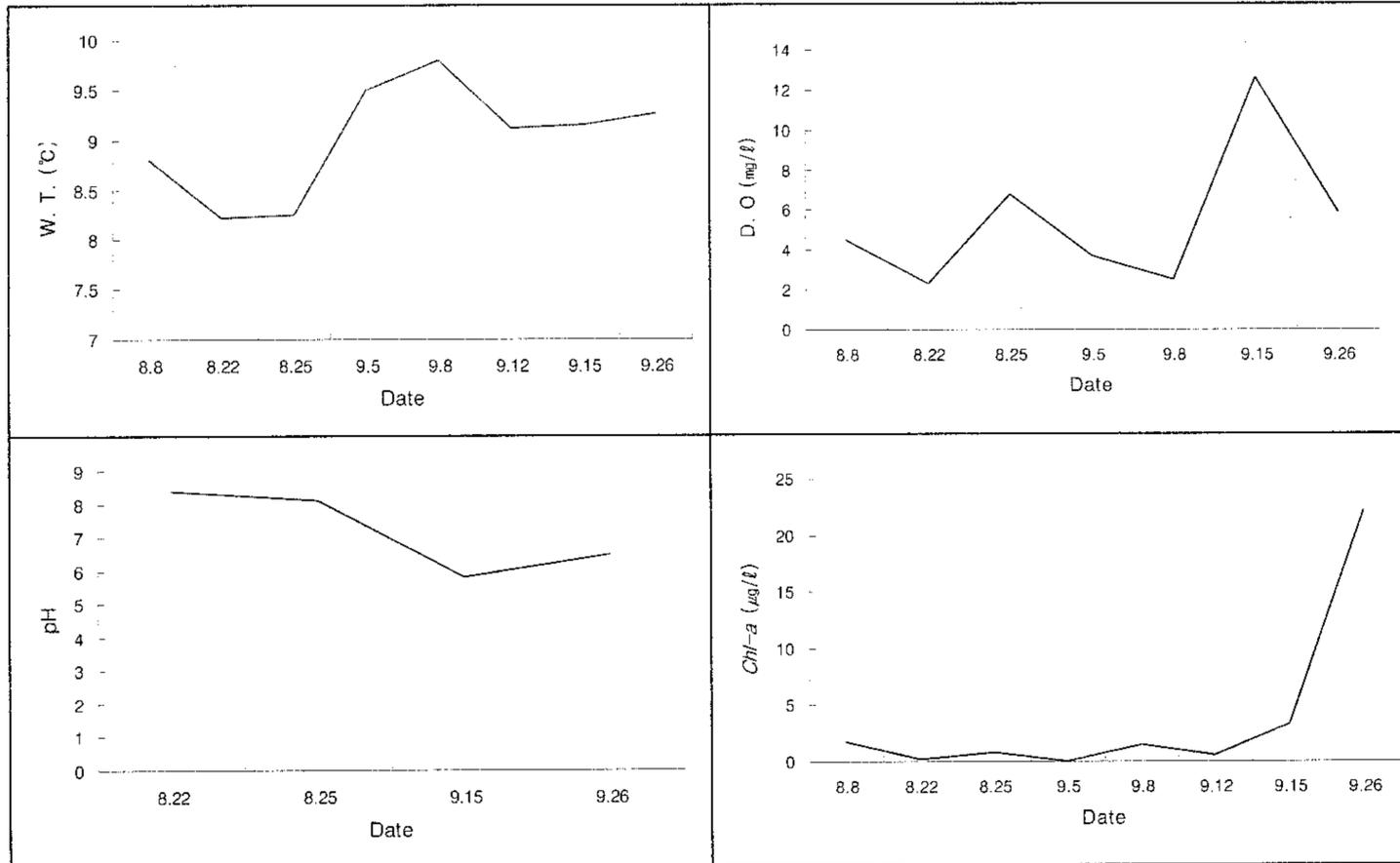
갑각장 (CL)과 포란수 (EN)의 상관관계식은 $\ln EN = 0.2691 \ln CL + 4.8751$ ($n = 16$, $r^2 = 0.1236$, $P > 0.16$)로 나타났다 (그림 35).

줄새우의 생식 산출력 (RO)은 암컷 체중의 평균 26.97% ($n = 17$)를 차지하였다.

난 단계별 평균 난의 부피는 눈이 없는 난 단계에서 6.12 mm^3 (± 0.55)이었으며, 눈이 있는 난 단계에서는 $7.20 \text{ mm}^3 \pm 0.86$)로 나타났다 (그림 35).



<그림 33>. 2년차 정밀실험포장에서의 용존산소, 수온, 클로로필a, pH의 변화



<그림 34>. 2년차 농가실증시험포장에서의 용존산소, 수온, 클로로필a, pH의 변화

나. 줄새우의 생식소 속도지수 (GSI)

줄새우의 생식소는 성숙 단계가 진행됨에 따라 생식소의 크기가 점차 커지는 것으로 나타났는데, I 단계의 평균 생식소 크기는 0.15 mm, II 단계는 0.16 mm, III 단계는 0.30 mm, IV 단계는 0.45 mm, V 단계는 0.68 mm로 나타났다.

생식소 속도지수의 가장 높은 GSI 값은 21.86으로 나타났으며, 가장 낮은 GSI 값은 0.12로 나타났고 평균 GSI는 5.27 (± 7.40)이었다.

다. 줄새우의 군성속도

줄새우는 갑각장 2.53~11.73 mm 범위에 있는 총 590개체의 암컷 중 76개체가 성숙한 개체인 것으로 나타났다. 갑각류의 군성속도를 결정하는 방법은 두 가지가 있다. 하나는 난의 포란유무와 생식소의 발달을 조합해서 조사하는 것이고 (Somerton, 1980), 다른 하나는 생식의 시작을 알리는 형태적 변화에서 이형성장의 갑작스런 변화를 조사하는 것이다 (Hartnoll, 1982). 본 실험에서는 전자의 방법을 근거로 하여 갑각장과 성숙한 암컷의 비율간의 관계를 로지스틱 방정식을 이용하여 다음과 같은 방정식을 얻었다.

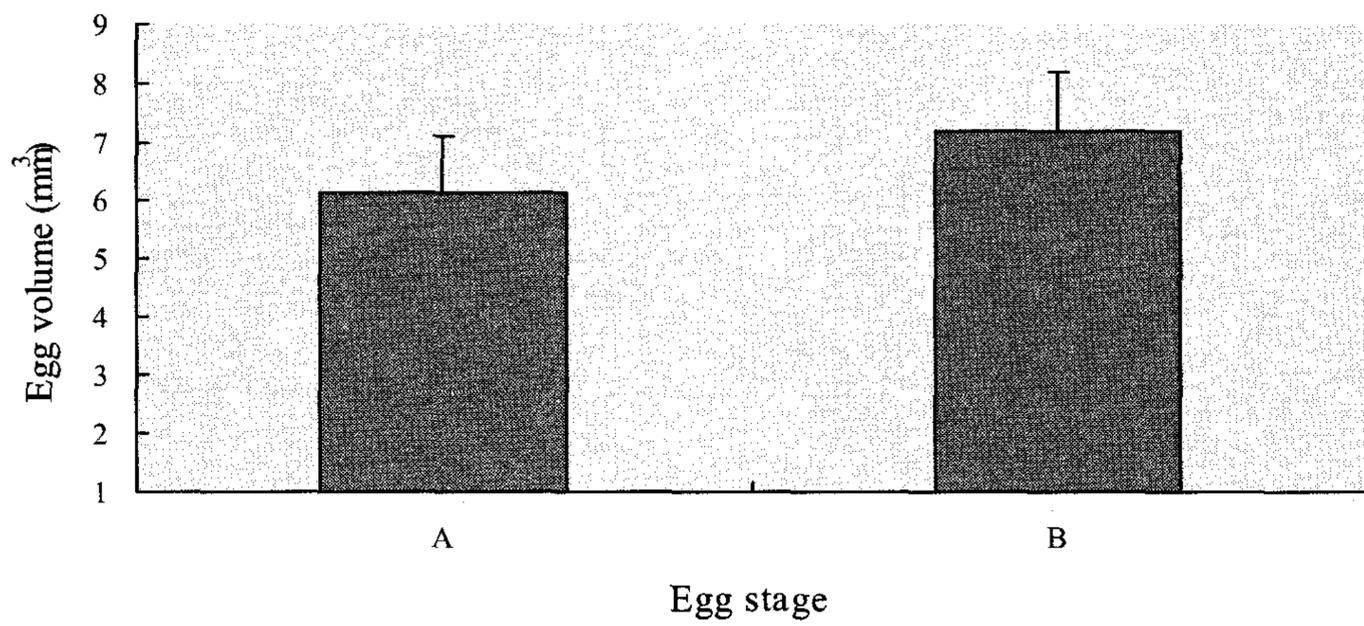
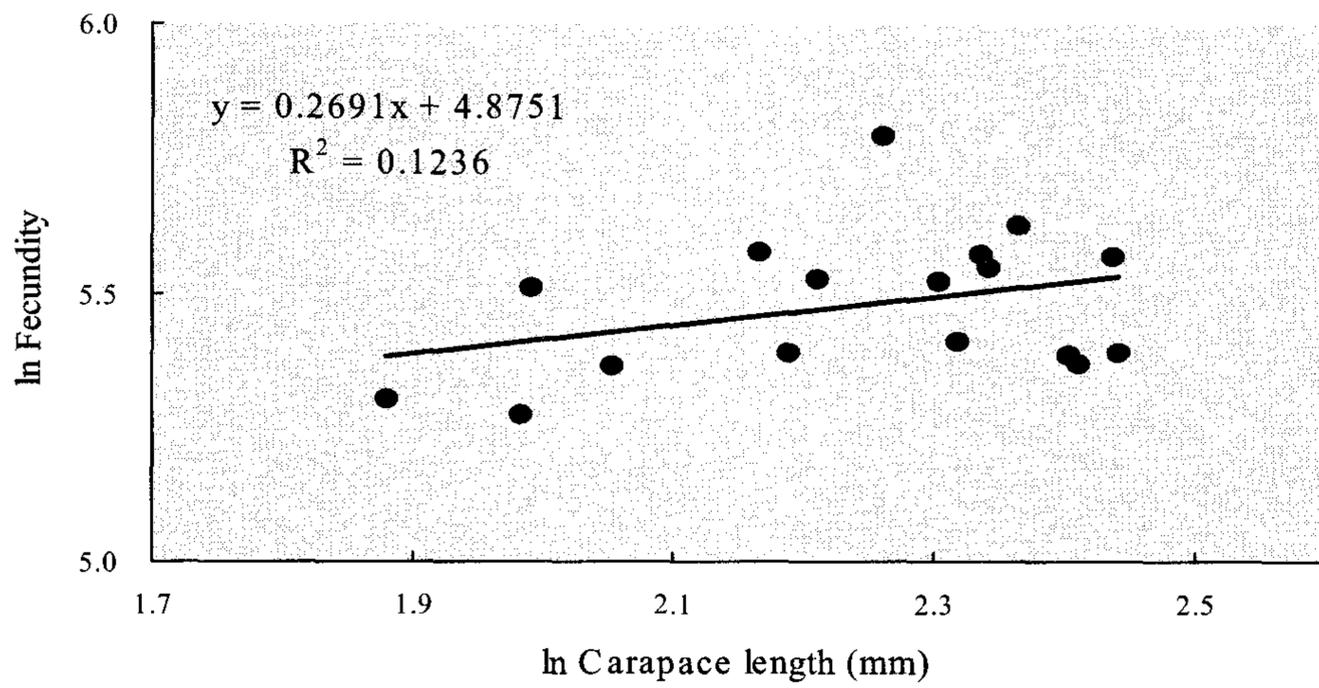
$$P = 1 / [1 + \exp\{-(16.667 - 1.9491CL)\}]$$

$$(r^2 = 0.94, P < 0.001)$$

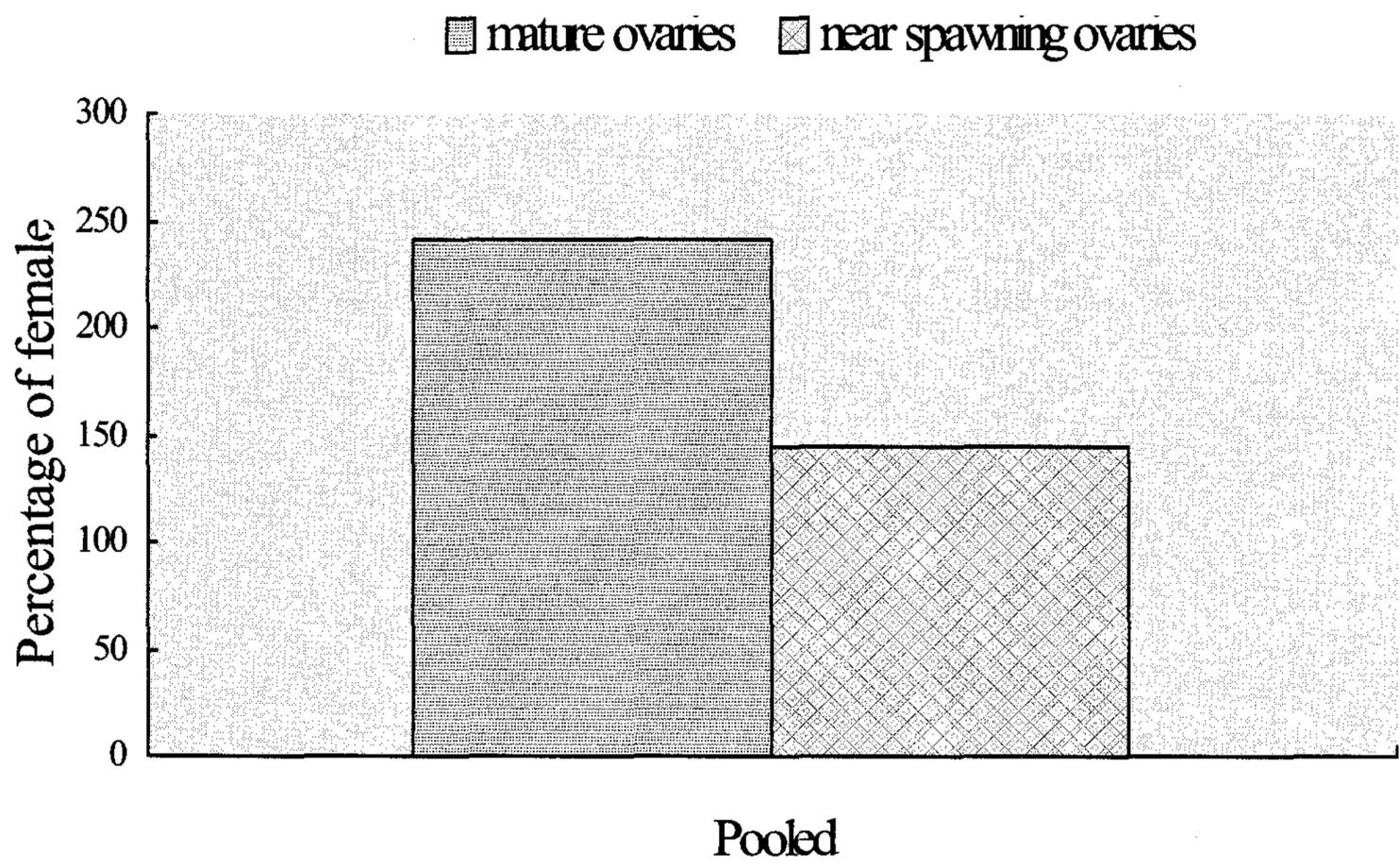
위 식으로부터 추정된 50%가 성숙에 이르는 갑각장 (CL_{50})은 8.55 (± 0.38) mm로 나타났다 (표 12, 그림 37).

라. 새뱅이의 포란수, 난의 부피 및 생식 산출력 (RO)

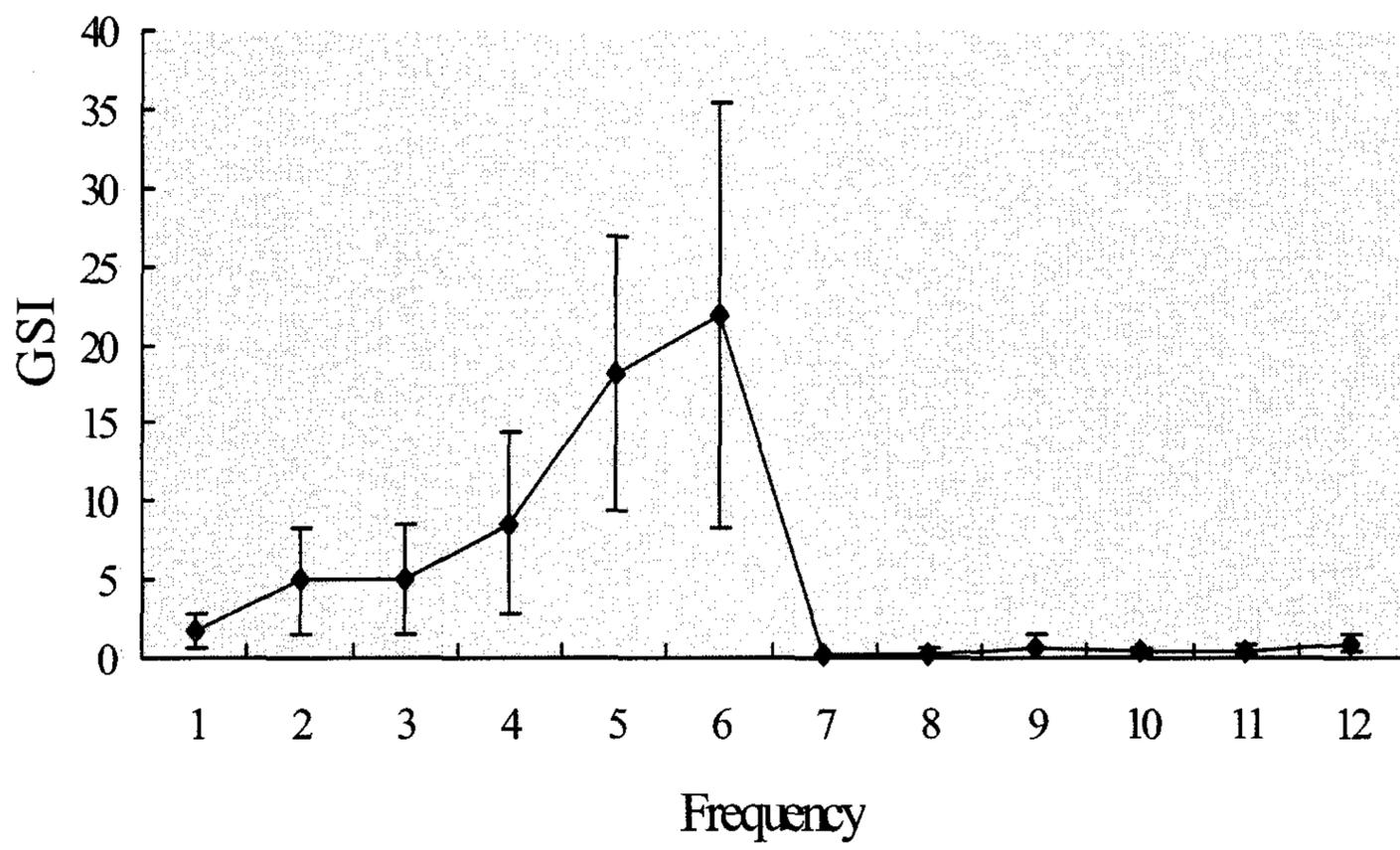
최대 포란수는 총 137개체의 암컷 새뱅이 중 갑각장 5.2~9.4 mm에서 53~146개였는데, 평균 난의 부피는 1단계 난 ($2.22 \sim 0.40 \text{ mm}^3$, $n = 395$)에서 2단계 난 ($2.81 \sim 0.47 \text{ mm}^3$, $n = 345$)으로 27%가 성장되었음을 보여주었다. son-way anova 분석에서 배 성장기간 동안 성장은 유의하게 나타났으며 ($F_{1, 721} = 337.37$, $P < 0.001$), 포란수는 갑각장에 대한 눈 없는 유생 수와 눈 있는 유생 수가 서로 유의한 상관관계가 있음을 보여주었다. 갑각장 (CL)과 포란수 (EN)의 상관관계식은 유생의 눈 없는 단계는 $\ln EN = 1.67 (\pm 0.35) \ln CL + 1.27$ ($n = 77$, $r^2 = 0.53$, $P > 0.001$), 유생의 눈 있는 단계는 $\ln EN = 1.56 (\pm 0.25) \ln CL + 1.40$ ($n = 60$, $r^2 = 0.72$, $P > 0.001$)로 나타났다. 유생의 눈 없는 단계와 눈 있는 단계에 새뱅이의 생식 산출력 (RO)은 암컷 체중의 평균 26.97% ($n = 17$)를 차지하였다. 난 단계별 평균 난의 부피는 눈이 없는 난 단계에서 $6.12 (\pm 0.55) \text{ mm}^3$ 이었으며, 눈이 있는 난 단계에서는 $7.20 (\pm 0.86) \text{ mm}^3$ 로 나타났다.



<그림 35>. 줄새우의 갑각장과 포란수와의 상관관계(A) 및 난 단계별 난의 부피(B)



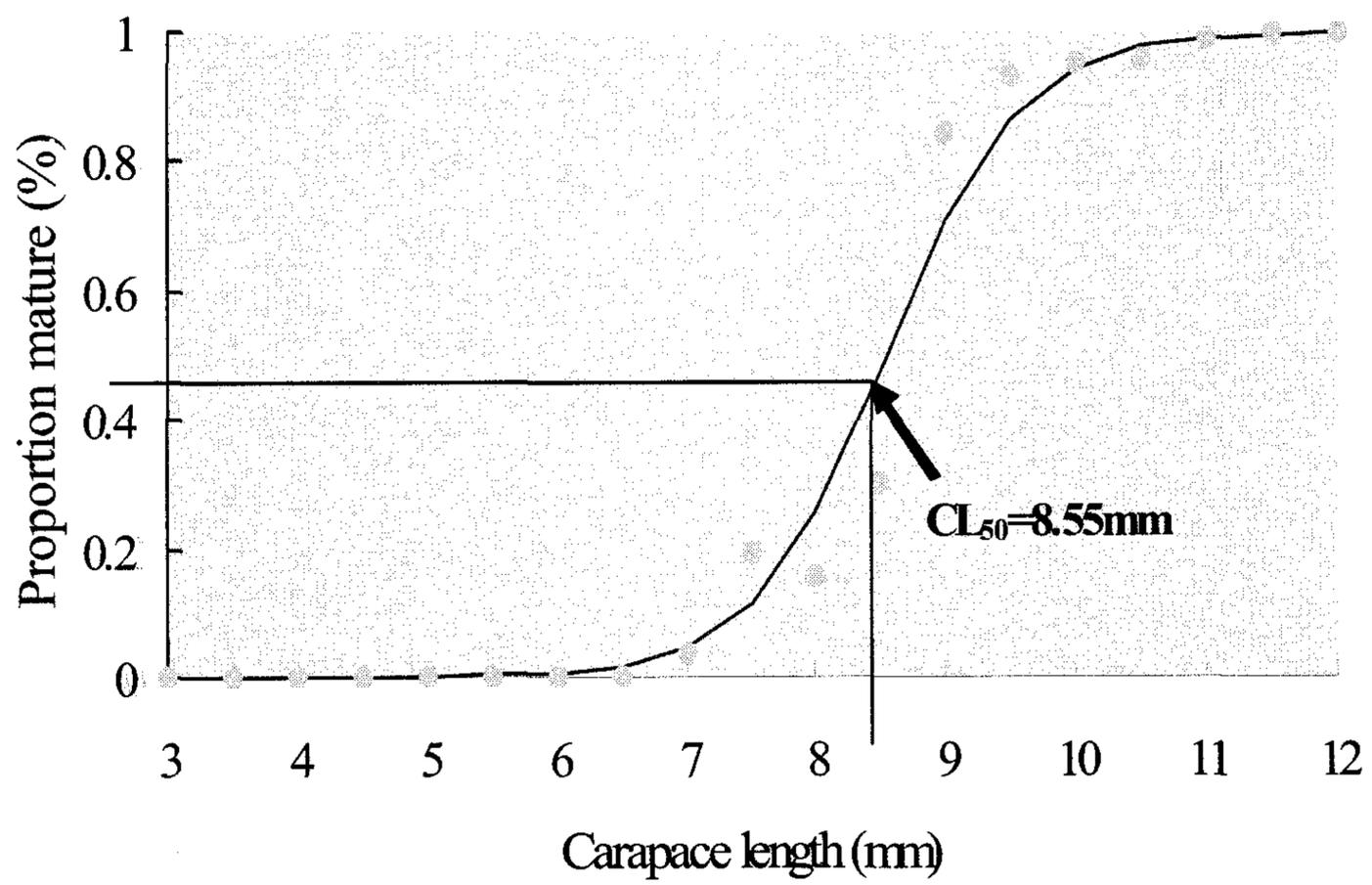
<그림 36>. 완전성숙, 성숙 암컷 줄새우의 백분율



<그림 37>. 암컷 줄새우의 생식도 속도지수

<표 12>. 암컷 50%가 성숙에 이르는 갑각장 추정을 위한 변수

Species	Equations and details	Mature categories
	Proportion mature(P) = $1/[1+\exp(a+bCL)]$	Ovigerous female and stage 5 ovarian development
<i>P. paucidens</i>	<i>a</i>	16.667
	<i>b</i>	-1.9491
	CL ₅₀	8.55
	±CL ₅₀	±0.38
	<i>r</i> ²	0.94
	<i>P</i>	<0.001



<그림 38>. 로지스틱 방정식으로 추정된 암컷 50%가 성숙에 이르는 갑각장 추정

마. 새뱅이의 생식소 속도 지수 (SGI)

생식소 발달에 따른 생식소 속도지수 (GSI) 평가는 총 828마리 암컷의 난소 상태를 고려하여 조사하였다. 평균 난소 크기는 I 난 단계에서 0.274 ± 0.167 mm ($n = 167$), II 난 단계에서 0.455 ± 0.182 mm ($n = 156$), III 난 단계에서 0.589 ± 0.229 mm ($n = 87$)로 나타났다. one-way anova에서 난 크기나 난 단계별 분석은 유의한 차를 보여주었다.

바. 새뱅이의 군성속도

암컷 새뱅이의 군성속도 조사는 총 792개체를 분석하였는데, 그들의 갑각장은 2.69~9.38 mm이었다. 이들 중 484개체는 완전성숙 또는 포란한 상태였다. 암컷 중 완전성숙 크기는 2개의 다른 그룹으로 나누었는데, 하나는 난소가 성숙한 암컷과 다른 하나는 포란한 암컷이었다. 암컷의 군성속도 조사를 위해 갑각장 (CL)의 구분은 0.5 mm로 나누어 분석하였다. 성숙암컷의 길이 성장은 로지스틱 성장곡선으로 나타났고 (그림 40), 난소성숙에 대한 암컷의 성장비율은 50%에서 암컷의 크기가 6.36 mm이었다. 또한 포란 암컷에 대한 암컷의 성장비율은 50%에서 암컷의 크기가 7.24 mm이었다

6. 포장 상태에서의 새우 성장

2차년도 실험시 설치된 각 시험구별 관찰구 내부에서 1개월 간격으로 채취된 새우 sample의 성장량을 평가한 경과는 다음과 같다.

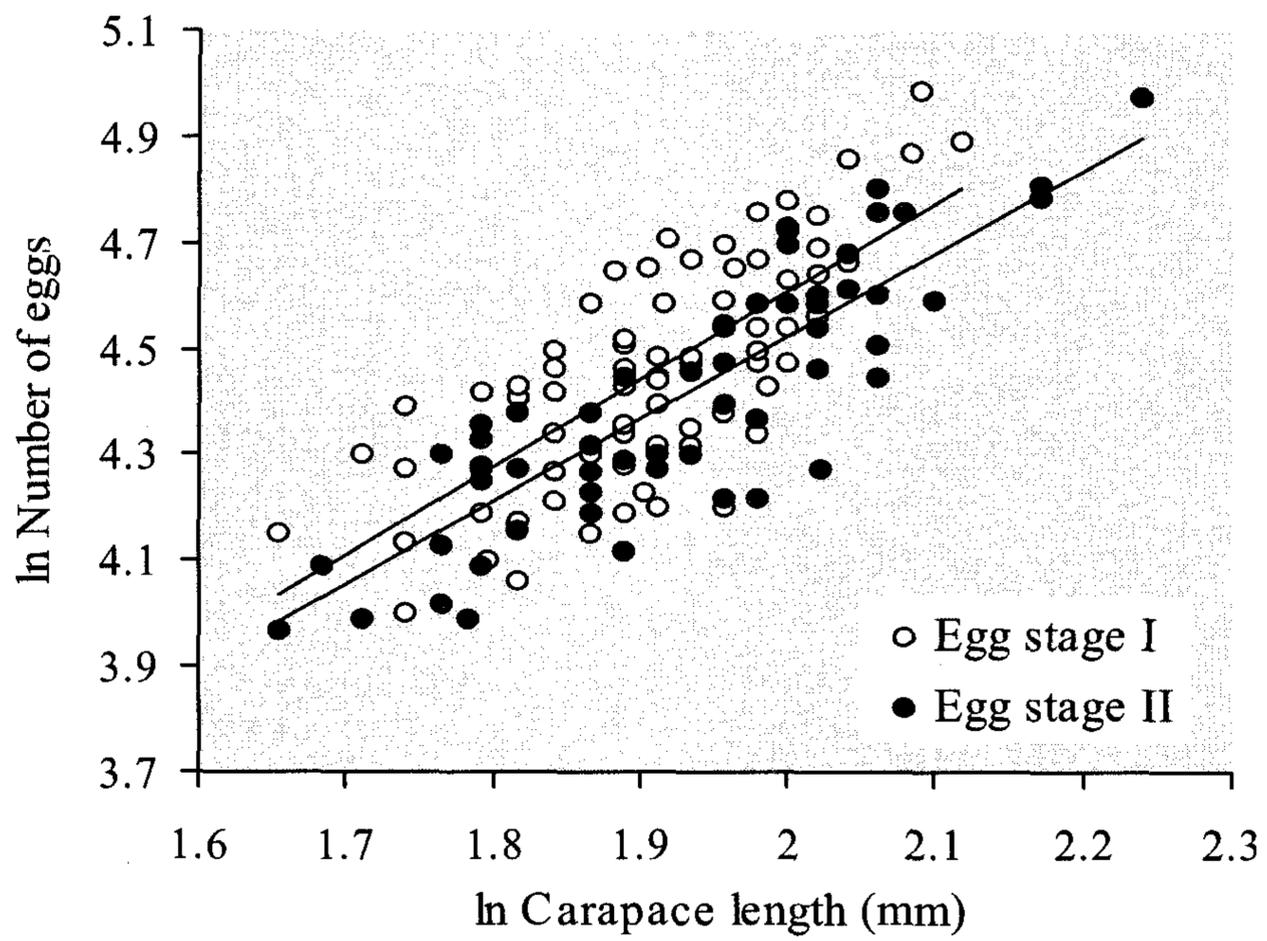
가. 포장 관찰구 출새우 성장

① 일반모하구

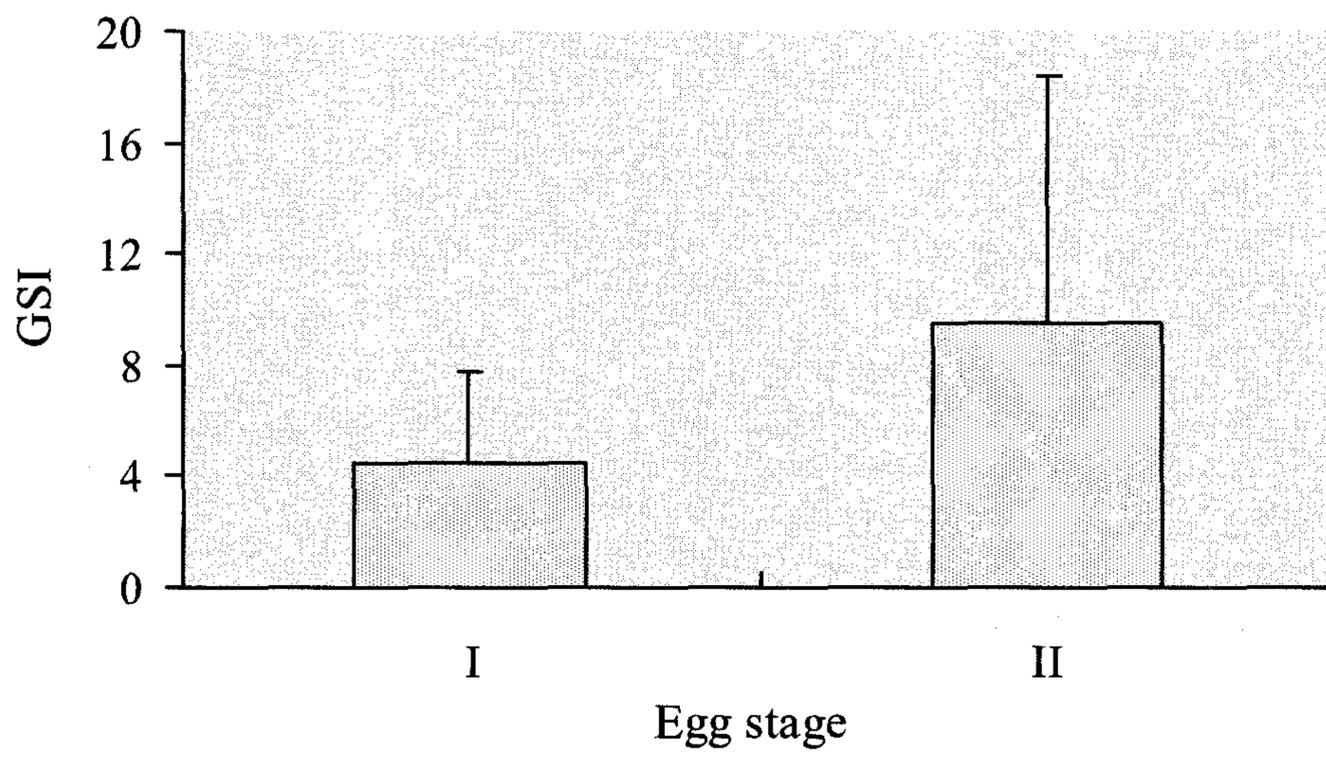
관찰기간 3개월 중 관찰구모하구1kg에서는 3.21~7.63mm로 평균 5.7mm를 관찰구모하구2kg에서는 최소 3.21에서 최대 7.63mm로 평균은 5.6mm로 측정되었다.

② 사료모하구

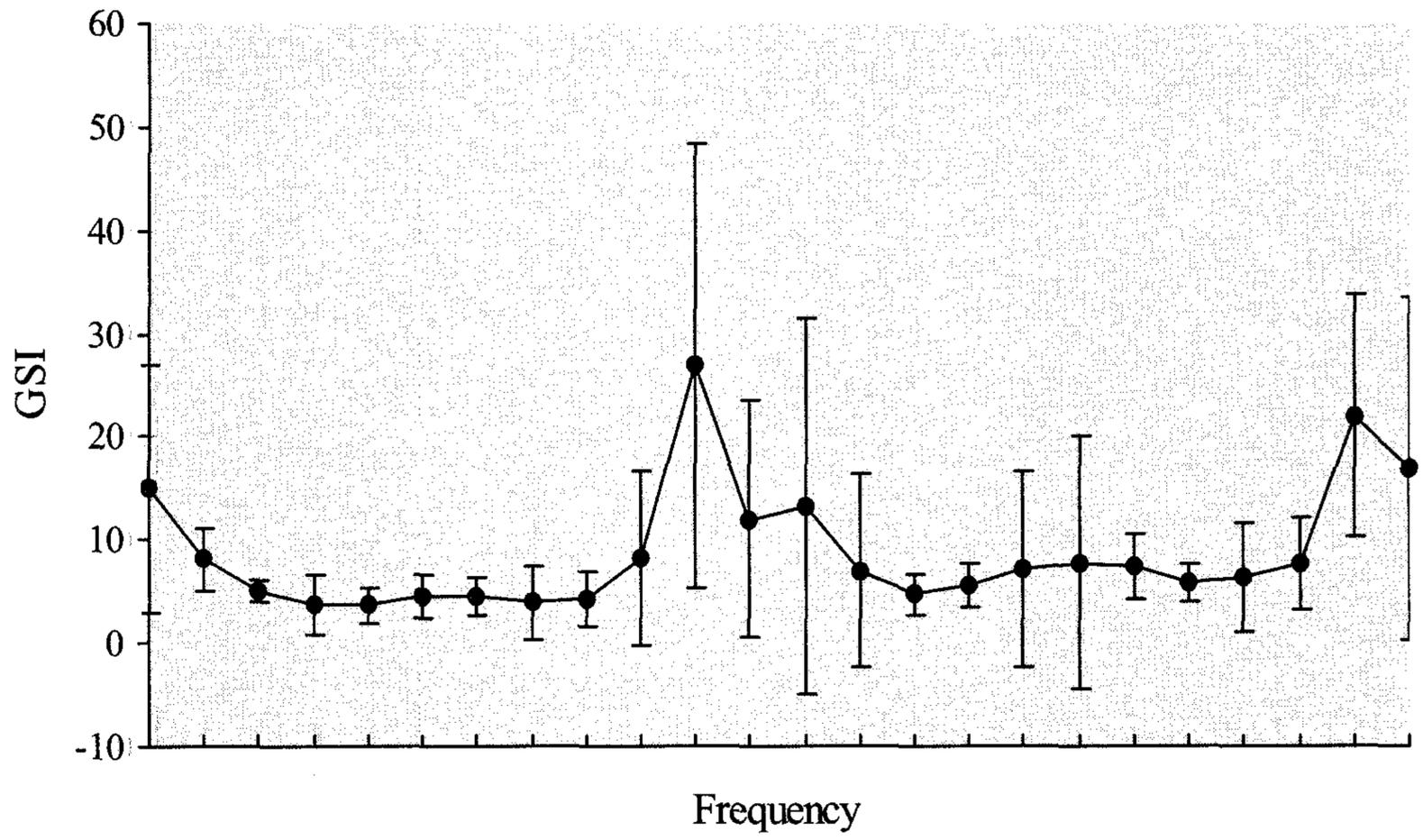
일반모하구와 같은 실험방법으로 3개월 중 사료모하구1kg에서는 3.21~8.28mm로 평균 5.68mm를 사료모하구2kg에서는 3.21~8.28mm로 평균은 5.71mm를 나타내었다.



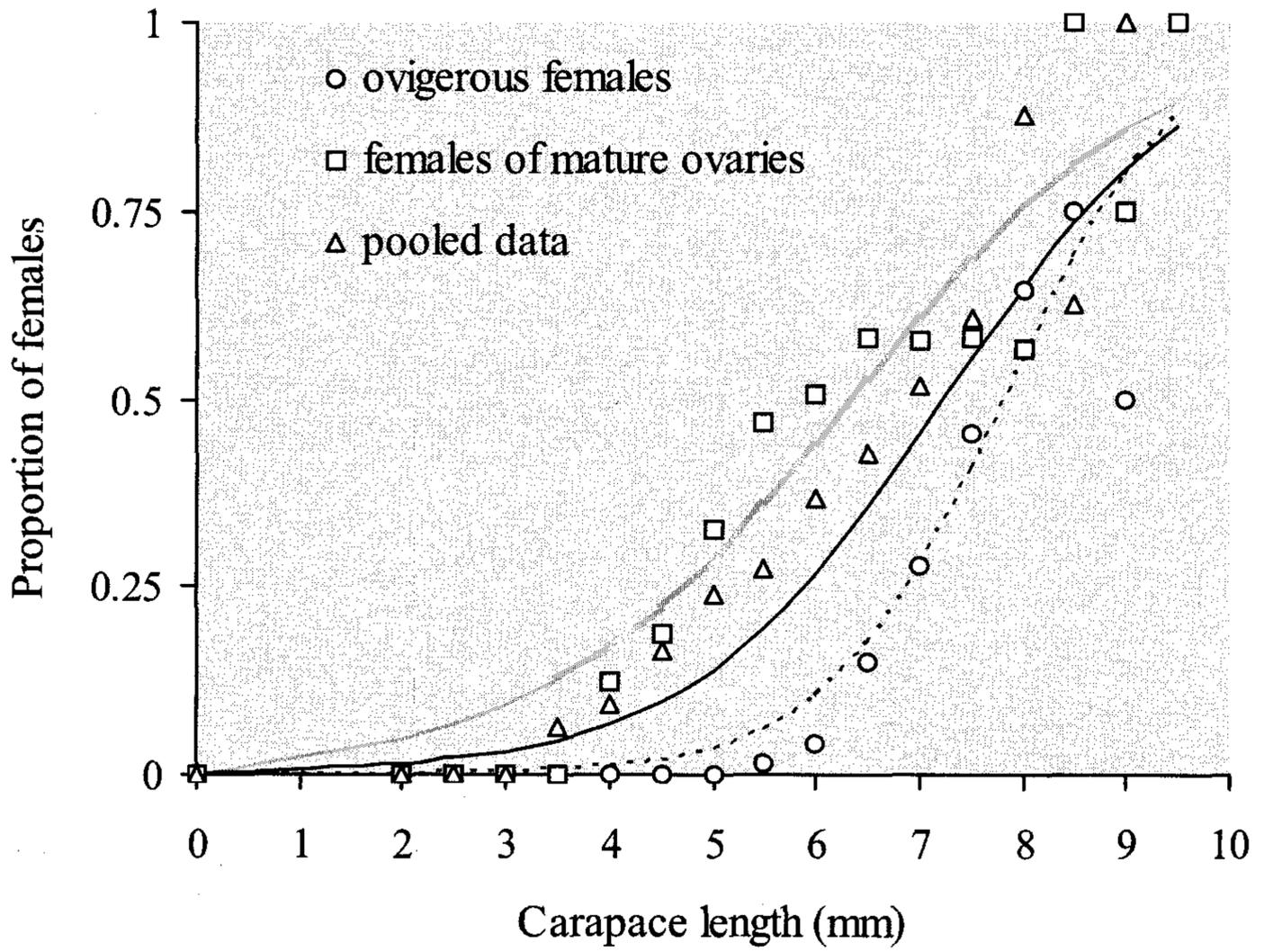
<그림 39>. 줄새우 유생 단계별 난 부피와 갑각장과의 상관 관계



<그림 40>. 새뱅이의 배성장 기간 동안의 생식소 속도지수 변화량



<그림 41>. 암컷 새뱅이의 생식소 속도지수 변화량



<그림 42>. 난소가 성숙한 암컷과 포란한 암컷 군성숙도에 대한 로지스틱 곡선

나. 포장 관찰구 토하 성장

정밀시험포장에서 토하성장을 보면 처음 입식때 갑각장(C.L.)의 길이는 3.12~4.79mm로 평균 3.84mm를 나타내었으며 8월 2일에는 3.46~6mm로 평균은 5.71mm를 나타내었다. 마지막채집인 9월 13일에는 최소 2.01mm에서 최대5.52mm를 나타내며 평균 3.85mm를 측정하였다.

7. 자연 및 인공의 적정 먹이 생물 탐색

가. 먹이 생물 탐색

새뱅이 부화 유생의 먹이 기호도 조사를 위한 부착 규조와 건조 *Chlorella*, 건조 *Spirulina*, rotifer 및 배합사료를 공급하여 선택성을 조사한 결과, 자연상태와 유사한 부착 규조를 공급한 실험구가 1차 실험에서는 생존율 42%, 2차 실험에서는 94%로 가장 높게 나타났으며, 성장률에 있어서도 부착 규조 공급구가 1차 6.4 mm, 2차에서는 5.87 mm로 나타나 담수 부착 규조의 먹이가 가장 효과적인 것으로 나타났다.

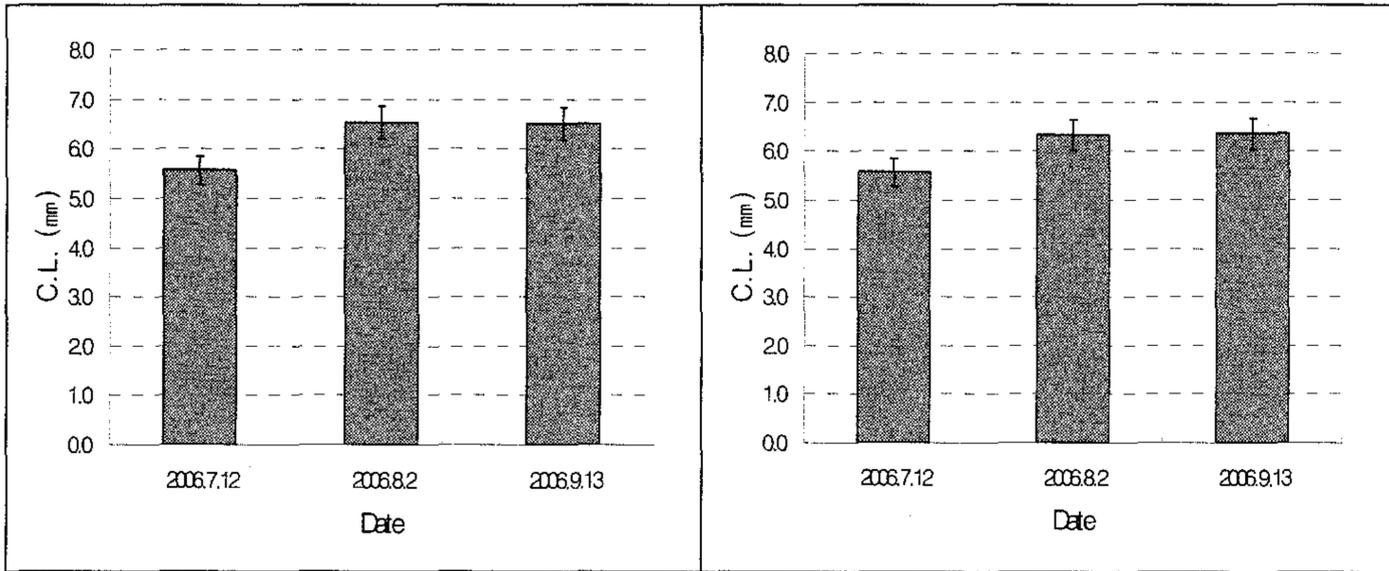
나. 먹이 생물 대량 배양을 위한 최적 배양 온도

① 온도에 따른 *Scenedesmus quadricauda*의 성장

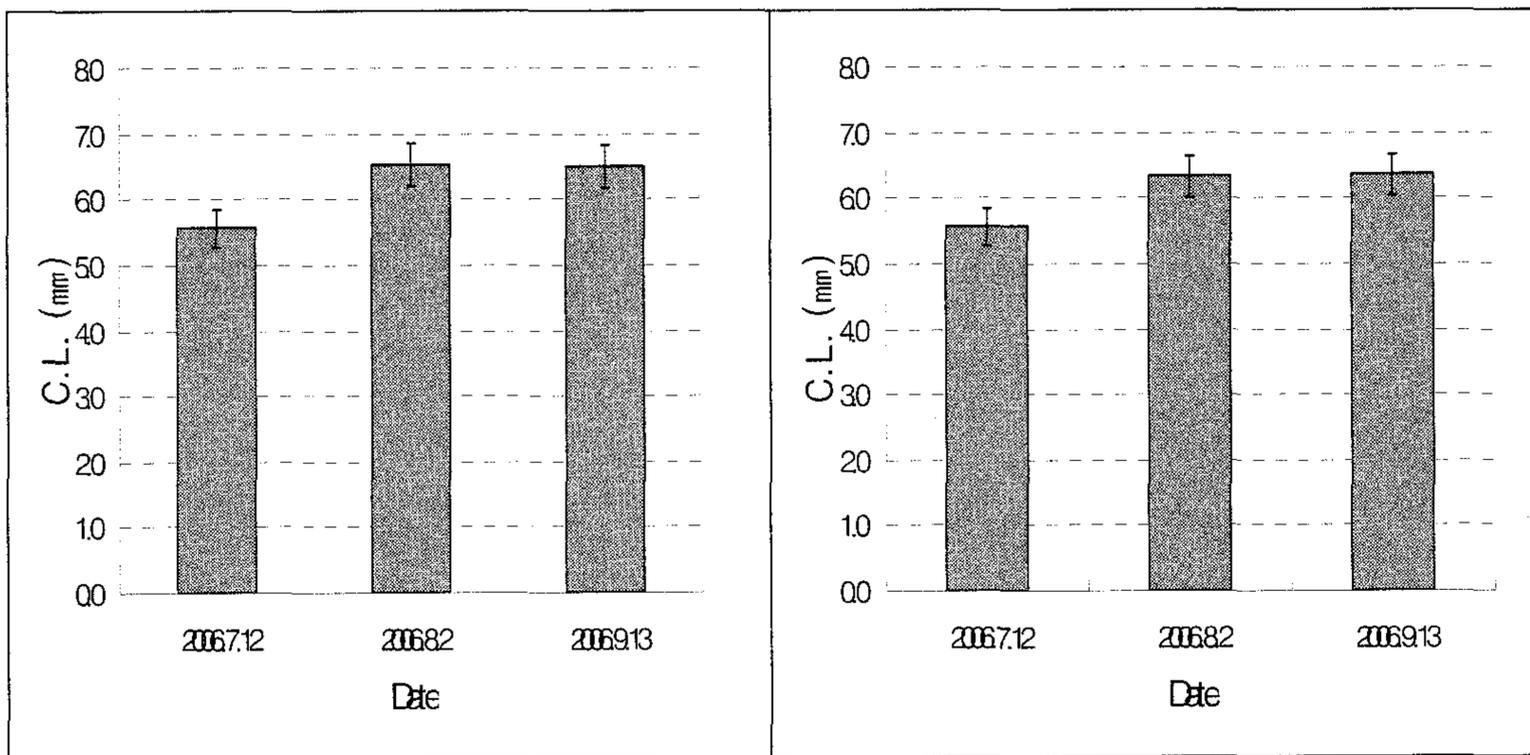
*Scenedesmus quadricauda*의 성장률과 세포밀도는 수온이 증가함에 따라 높게 나타났다 (Table 6). 세포밀도가 가장 높게 나타난 실험구는 32°C와 28°C에서 각각 2.32×10^6 cell/ml, 2.64×10^6 cell/ml로 나타났으며, 32°C에서는 배양 6일째에 최고밀도를 보이다가 배양 7일째에 감소하였으며, 28°C는 배양 6일째까지 완만한 성장을 보이다가 7일째에 급격한 세포성장을 나타냈다. 온도가 가장 낮은 16°C의 세포밀도는 5.96×10^5 cell/ml로서 다른 실험구에 비해 낮게 나타났다. 성장률이 가장 빠른 실험구는 32°C와 28°C로서 0.368~0.390으로 조사되었다 (표 13).

② 온도에 따른 *Scenedesmus ecomis*의 성장

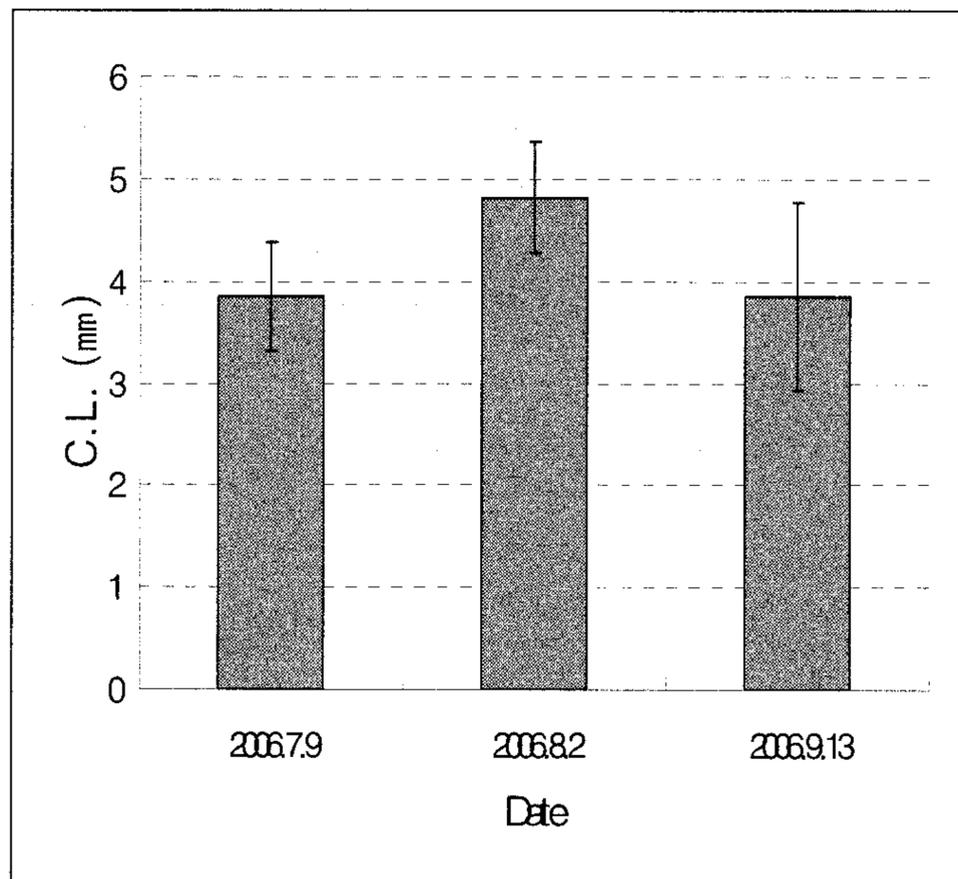
*Scenedesmus ecomis*의 세포밀도는 수온이 증가함에 따라 높게 나타났다. 세포밀도가 가장 높게 나타난 실험구는 32°C와 28°C에서 각각 1.136×10^7 cell/ml, 1.064×10^7 cell/ml로 나타났다. 온도가 가장 낮은 16°C의 세포밀도는 6.39×10^6 cell/ml로서 다른 실험구에 비해 가장 낮게 나타났다. 24°C의 세포성장은 배양 5일째까지 꾸준한 성장을 보이다가 이후로 성장이 멈추었으며, 20°C와 16°C의 세포성장은 배양 5일째에 감소하였고, 성장률은 0.350~0.404로서 각 실험구간의 유의적인 차이는 보이지 않았다 (표 14).



<그림 43>. 일반모하구의 기간별 줄새우 각갑장 길이의 변화



<그림 44>. 사료모하구의 기간별 줄새우 각갑장 길이의 변화



<그림 45>. 토하구의 기간별 새뱅이 각갑장 길이의 변화

<표 13>. 상이한 온도 조건에서의 *Scenedesmus quadricauda*의 성장률과 세포밀도

Temperatur e (°C)	Maximum density approach time (Days)	Maximum density ($\times 10^4$ cell/ml)	SGR
16	6	59.6 \pm 3.08 ^a	0.181 \pm 0.0086 ^a
20	7	88.7 \pm 5.26 ^a	0.211 \pm 0.0084 ^a
24	7	132.3 \pm 9.02 ^b	0.268 \pm 0.0095 ^b
28	7	264 \pm 7.36 ^c	0.368 \pm 0.0042 ^c
32	6	232.8 \pm 22.12 ^c	0.390 \pm 0.0032 ^c

<표 14>. 상이한 온도 조건에서의 *Scenedesmus ecomis* 의 성장률과 세포밀도

Temperature (°C)	Maximum density approach time (Days)	Maximum density ($\times 10^4$ cell/ml)	SGR
16	5	639.6 \pm 38.85 ^a	0.350 \pm 0.0297 ^a
20	5	792.9 \pm 71.51 ^{ab}	0.388 \pm 0.0224 ^a
24	6	939.5 \pm 69.09 ^{bc}	0.423 \pm 0.0378 ^a
28	6	1064.4 \pm 94.33 ^c	0.418 \pm 0.0265 ^a
32	6	1136.8 \pm 77.81 ^c	0.404 \pm 0.0111 ^a

다. 먹이 생물 대량 배양을 위한 최적 성장 배지 조사

① 배지에 따른 *Scenedesmus quadricauda*의 성장

f/2배지와 CONWAY배지를 첨가한 실험구의 세포밀도는 각각 3.76×10^6 cell/ml, $3.98 \times \text{Conwy} 10^6$ cell/ml로서 다른 실험구에 비해 높게 나타났으며, campshal을 첨가한 실험구와 Erdschreiber medium, 복합비료실험구간에는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 성장률은 0.400~0.420으로 CONWAY배지와 Erdschreiber medium에서 높게 나타났다. f/2배지와 CONWAY배지를 첨가한 실험구는 배양 6일째까지 지속적인 세포성장을 보였으나 Erdschreiber medium를 첨가한 실험구는 배양 4일째에 세포밀도가 급격히 감소하였고, campshal구는 배양 5일째에 감소하였다 (표 15).

② 배지에 따른 *Scenedesmus ecomis*의 성장

Campshal배지 실험구의 최고밀도는 배양 5일째에 가장 높게 나타났으며, 다른 실험구의 세포밀도는 $7.79 \sim 8.90 \times 10^6$ cell/ml로 유의적인 차이는 보이지 않았다. CONWAY구는 세포수가 최고밀도에 도달한 시간이 4일로 가장 빨랐으며, 배양 4일째부터는 성장이 감소함을 보였다. 성장률은 모든 실험구에서 0.274~0.383으로 유의적인 차이는 보이지 않았다 (표 16).

라. 포장 상태 사료 공급에 따른 새우 성장량 평가

1) 일반구

① 갑각장 (Carapace length)

사료효율구간과 비교하여 일반1구에서는 4.29~8.71mm로 평균 6.57mm를 나타내며 일반2구에서는 5.28~9.13mm로 평균 6.78mm가 측정되었다. 일반3구에서는 5.02~9.09mm로 평균 6.86mm를 일반4구의 경우 4.65~8.68mm으로 평균 6.39mm가 측정되었다.

② 습중량

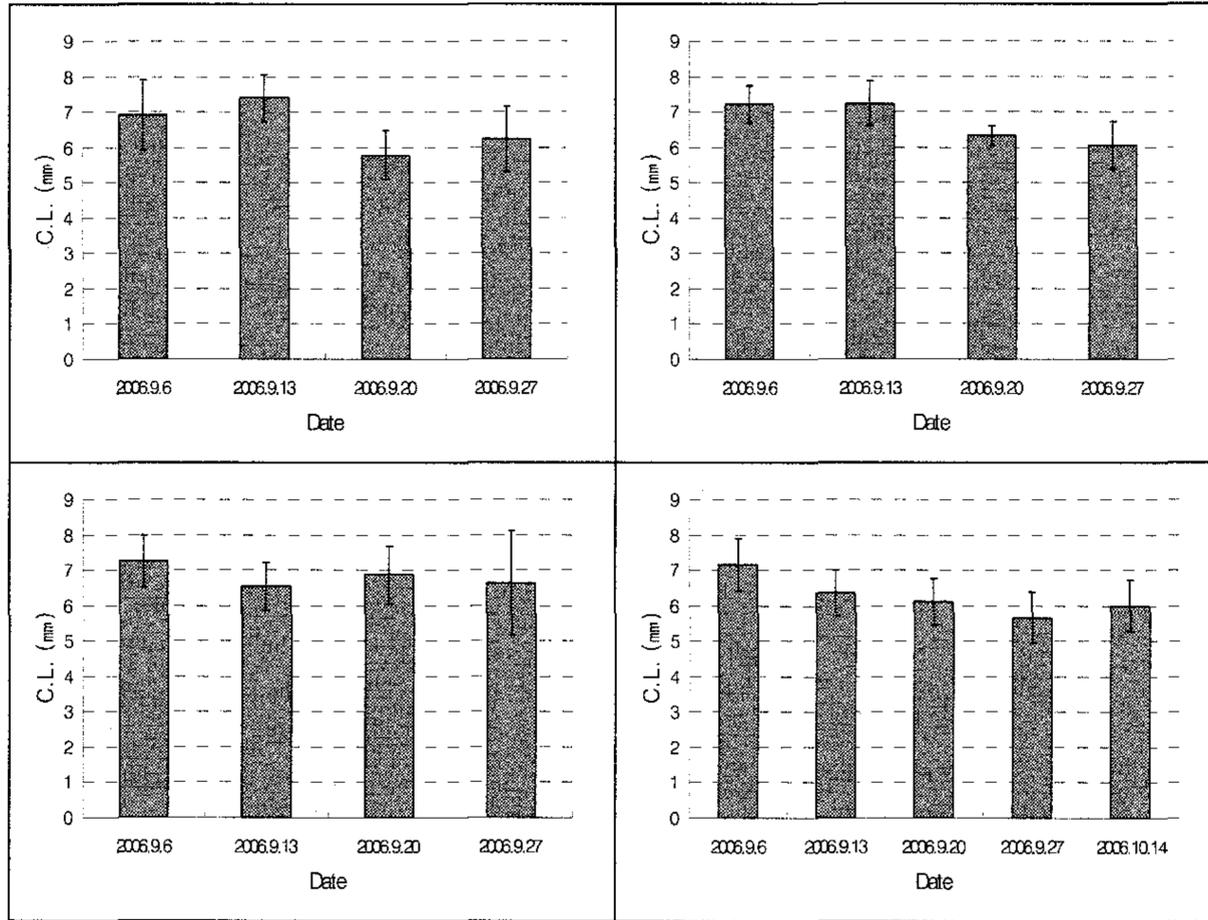
일반1구에서는 총 79개체가 채집되었고 습중량은 25.141g이며 평균 0.318g을 나타냈고 일반2구에서는 총 습중량 21.633g으로 70개체에 평균 0.309g로 측정되었다. 일반3구는 46개체에 습중량은 15.764g이고 평균은 0.343g으로 측정되었고 일반4구에서는 총 72개체로 습중량은 22.443g과 평균은 0.312g으로 측정되었다.

<표 15>. 배지에 따른 *Scenedesmus quadricauda*의 성장

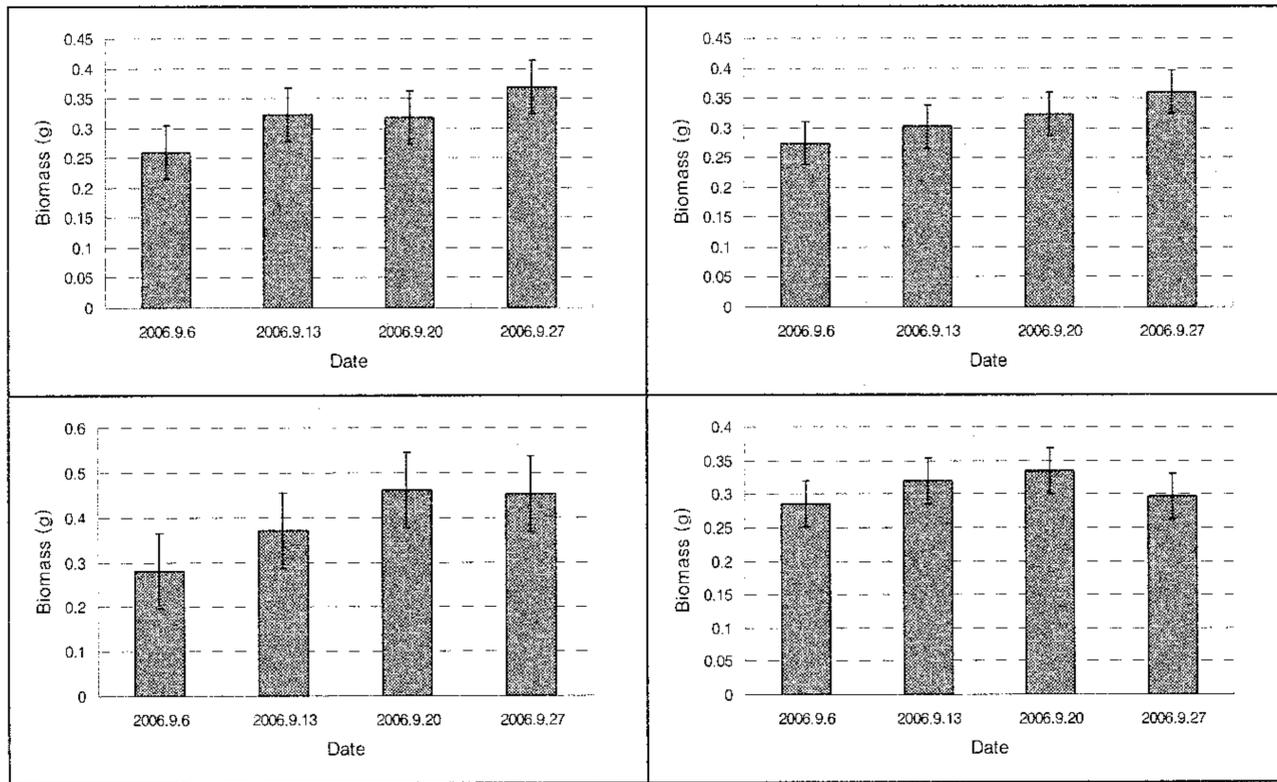
Medium	Maximum density approach time (Days)	Maximum density ($\times 10^4$ cell/ml)	SGR
f/2	6	373.3 \pm 22.81 ^a	0.345 \pm 0.0101 ^{ab}
Conway	6	398.5 \pm 32.42 ^a	0.400 \pm 0.0130 ^b
Campshal	5	223.1 \pm 10.45 ^b	0.292 \pm 0.0130 ^a
Erdschreiber	4	253.2 \pm 9.13 ^b	0.420 \pm 0.0091 ^b
Fertilizer	6	244.3 \pm 38.16 ^b	0.315 \pm 0.0502 ^a

<표 16>. 배지에 따른 *Scenedesmus ecomis*의 성장

Medium	Maximum density approach time (Days)	Maximum density ($\times 10^4$ cell/ml)	SGR
f/2	6	868.7 \pm 13.69 ^a	0.292 \pm 0.0026 ^a
Conway	4	890.4 \pm 91.47 ^a	0.365 \pm 0.0547 ^a
Campshal	5	1148.3 \pm 55.70 ^b	0.383 \pm 0.0180 ^a
Erdschreiber	6	779.2 \pm 14.13 ^a	0.274 \pm 0.0032 ^a
Fertilizer	5	804.6 \pm 18.51 ^a	0.326 \pm 0.0550 ^a



<그림 46>. 일반구의 기간별 줄새우(*Palaemon paucidens*) 갑각장 길이의 변화



<그림 47>. 일반구의 기간별 줄새우(*Palaemon paucidens*) 습중량의 변화

2) 사료구

① 갑각장 (Carapace length)

사료1구에서는 갑각장의 범위가 3.55~7.61mm로 평균 6.04mm를 사료2구에서는 4.3~7.69mm와 평균 5.98mm로 측정되었다. 사료3구에서는 4.59~8.12mm로 평균 6.14mm를 나타내며 사료4구의 경우 4.87~6.15mm으로 평균 7.89mm로 측정되었다.

② 습중량

사료1구는 총 79개체가 채집되었고 습중량은 26.48g으로 평균 0.296g을 측정하였으며 사료2구에서는 총 습중량 25.296g에 79개체로 평균 0.32g을 나타내었다. 사료3구는 82개체에 습중량은 29.148g이고 평균 0.355g으로 측정되었고 사료4구에서는 총 20개체로서 습중량은 6.276g와 평균은 0.314g으로 측정되었다.

8. 수확 방법에 따른 새우 수확 효율 비교

가. 정밀시험포장 시험구의 5가지 방법에 따른 수확량 비교

① 수압

수압에 의한 수확량은 0~15%로 수확률이 매우 낮았다. 배수 속도가 많이 느리고 논 밖 배수로와 높이가 거의 같아 배수가 잘 되지 않았다.

② 먹이

수압에 의한 수확량은 0~5%로 수확률이 매우 낮았다. 먹이 유인에 의한 수확은 거의 미미하다고 사료된다.

③ 웅덩이와 먹이

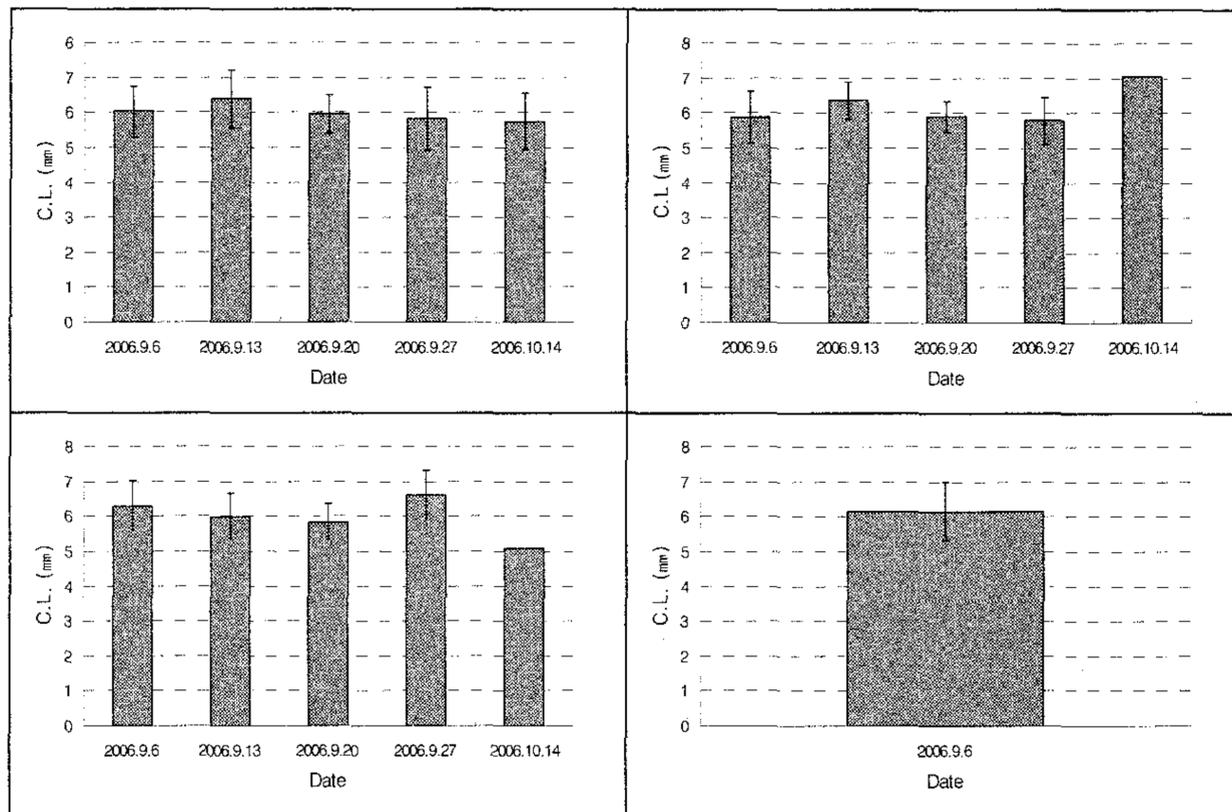
웅덩이와 먹이에 의한 수확량은 0~5%로 수확률이 매우 낮았다. 수심이 낮아짐으로 인해 새우들이 수로로 이동하여 웅덩이와 먹이 유인에 의한 수확도 거의 미미하다고 사료된다.

④ 수심

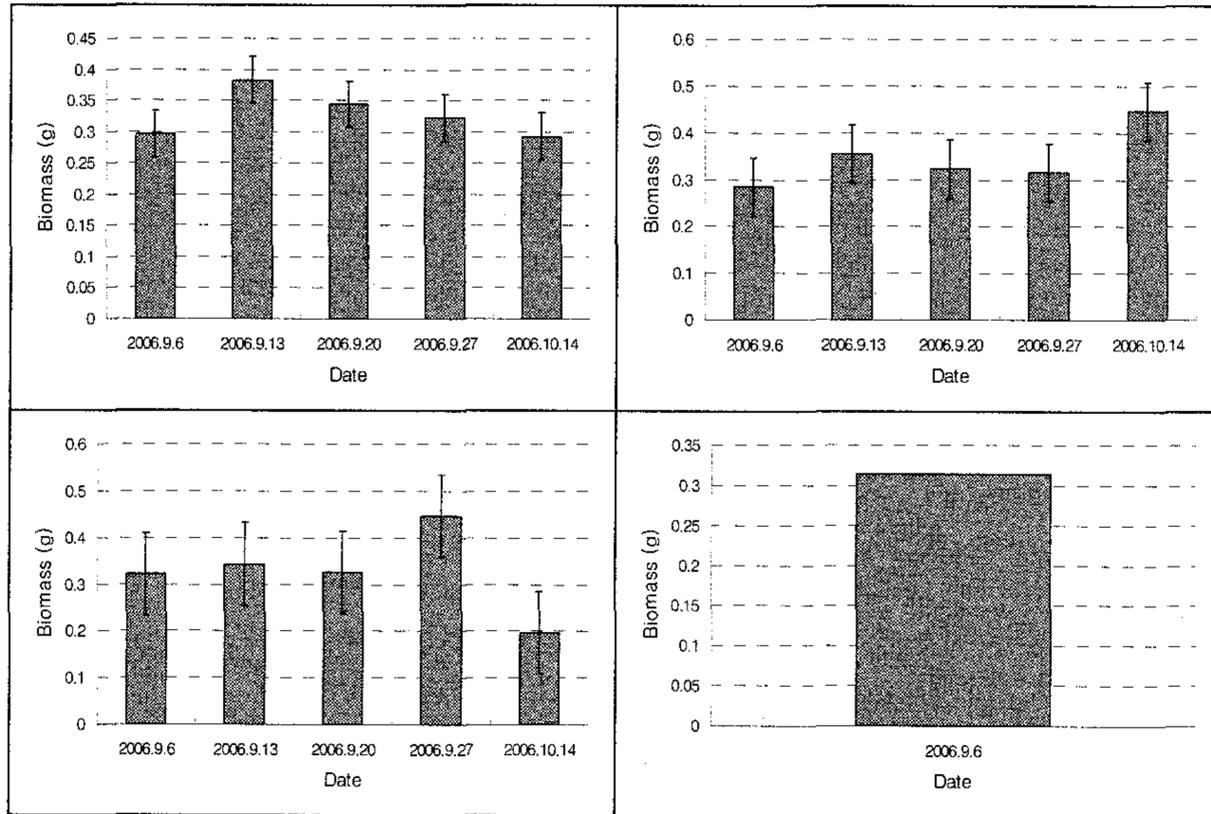
수심에 의한 수확량은 5.5~80%로 평균 31.8% (± 28.6)의 수확률을 보였다. 수심에 의한 수확량이 5가지 방법 중 가장 높은 수확률을 보였다.

⑤ 수로

수로에 의한 수확량은 0.5~60%로 평균 20.3% (± 22.1)의 수확률을 보였다. 수심에 의한 수확량 다음으로 높은 수확률을 보였다.



<그림 48>. 사료구의 기간별 줄새우(*Palaemon paucidens*) 각갑장 길이의 변화



<그림 49>. 사료구의 기간별 줄새우(*Palaemon paucidens*) 습증량의 변화

나. 송악면 현장농가의 수로를 이용한 5가지 단계 수확

5단계에 따른 수확량은 2.8~63.6%로 평균 20% (± 24.8)로 나타내었다.

- ① 첫 번째 배수구에 새우밀대를 거치시키고 독을 무너트려 수압으로 수확한 양은 2.8%로 매우 미미하였다.
- ② 2명이서 전 구획을 한 번씩 수확한 구간은 63.6%로 가장 높은 수확량을 보였다.
- ③ b와 c를 막고 물을 유입한 후 수확한 단계는 15.4%로 나타났다..
- ④ c와 d를 막고 수확한 단계는 10.5%로 다른 단계와 비슷한 값을 나타냈다.
- ⑤ b와 d를 막고 수확한 단계도 7.7%로 미미한 수확 수치를 보였다..

다. 새우 수확량

수심차에 의한 수확으로 줄새우 1 kg구간에서는 총 1.15 kg을 줄새우 2 kg 구간에서는 1.65 kg을 수확하였으며, 토하구에서는 약 7.2 kg을 수확하였다. 실증농가 포장에서는 정밀포장과 같은 방식으로 약 7 kg을 수확하였다.

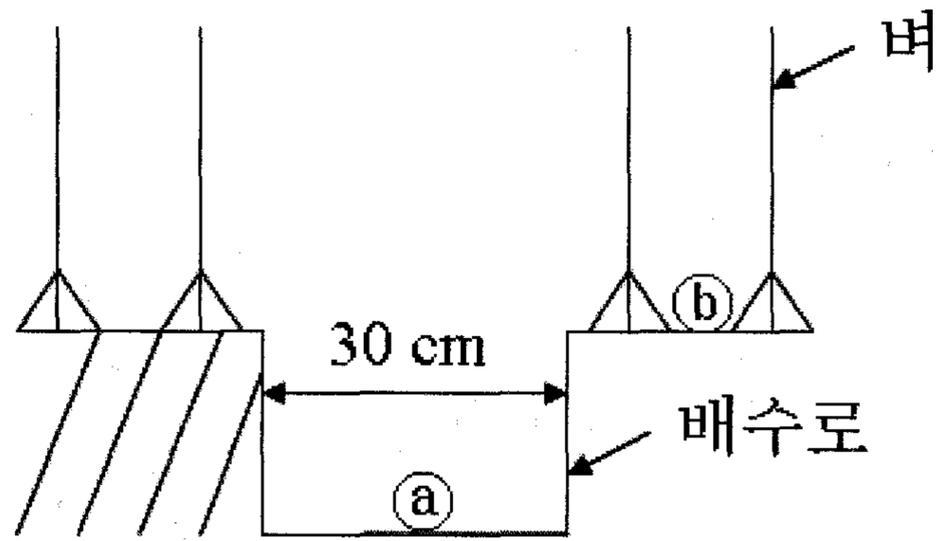
라. 논에서의 새우 부착의 문제점

새우를 수확하는데 있어 문제점은 새우류가 수심이 낮아질 때 습한 물풀의 부착 기질 (㉞)과 진흙 (㉠)속에서 기어 다니며 배수로로 나오지 않는 것에 있었다 (Fig. 24). 보다 효율적인 수확을 위해서 수확 전에 물풀 제거와 수확용 수로나 웅덩이를 구비해야 할 것으로 사료된다.

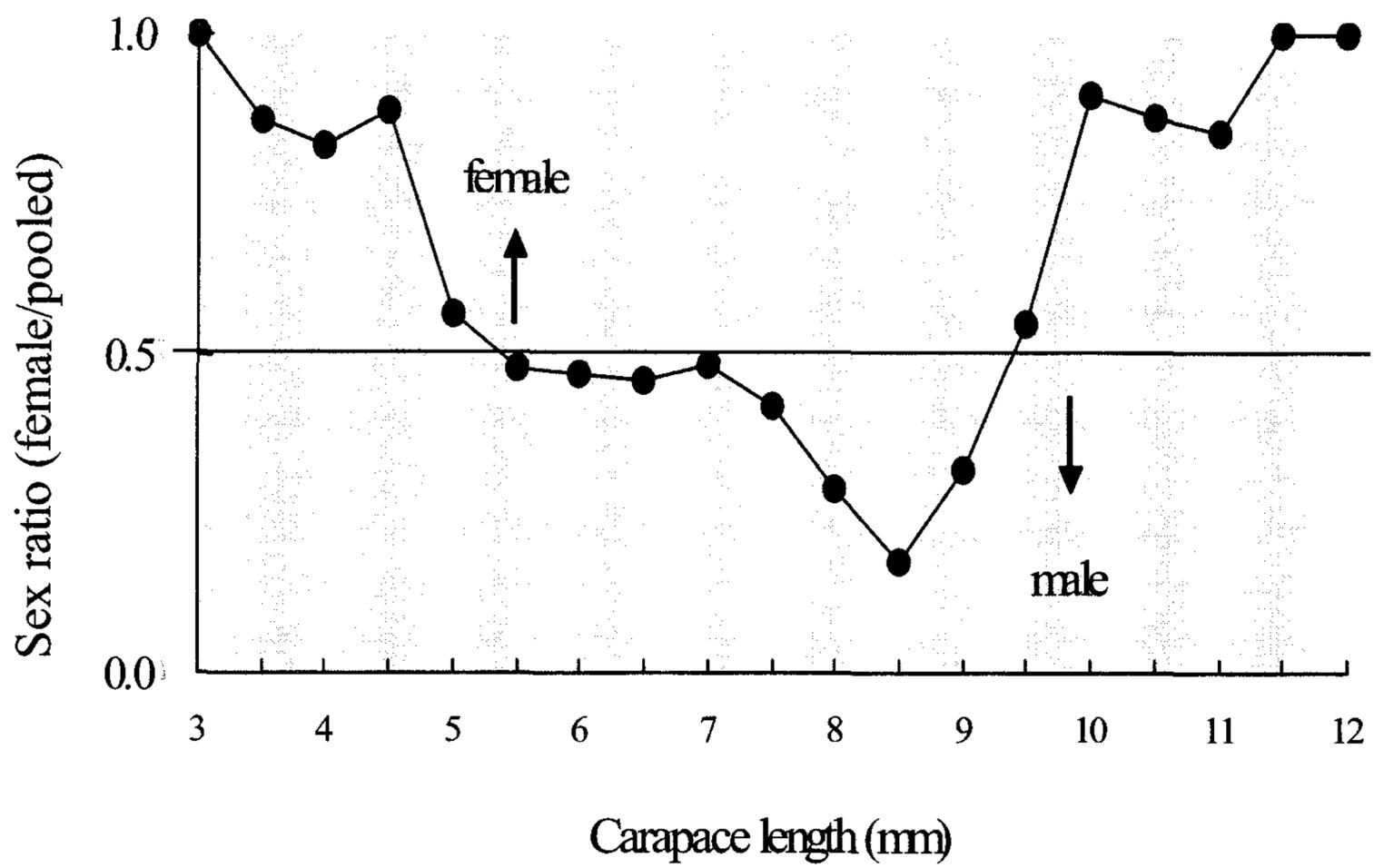
마. 채취된 표본 새우의 분석

① 줄새우

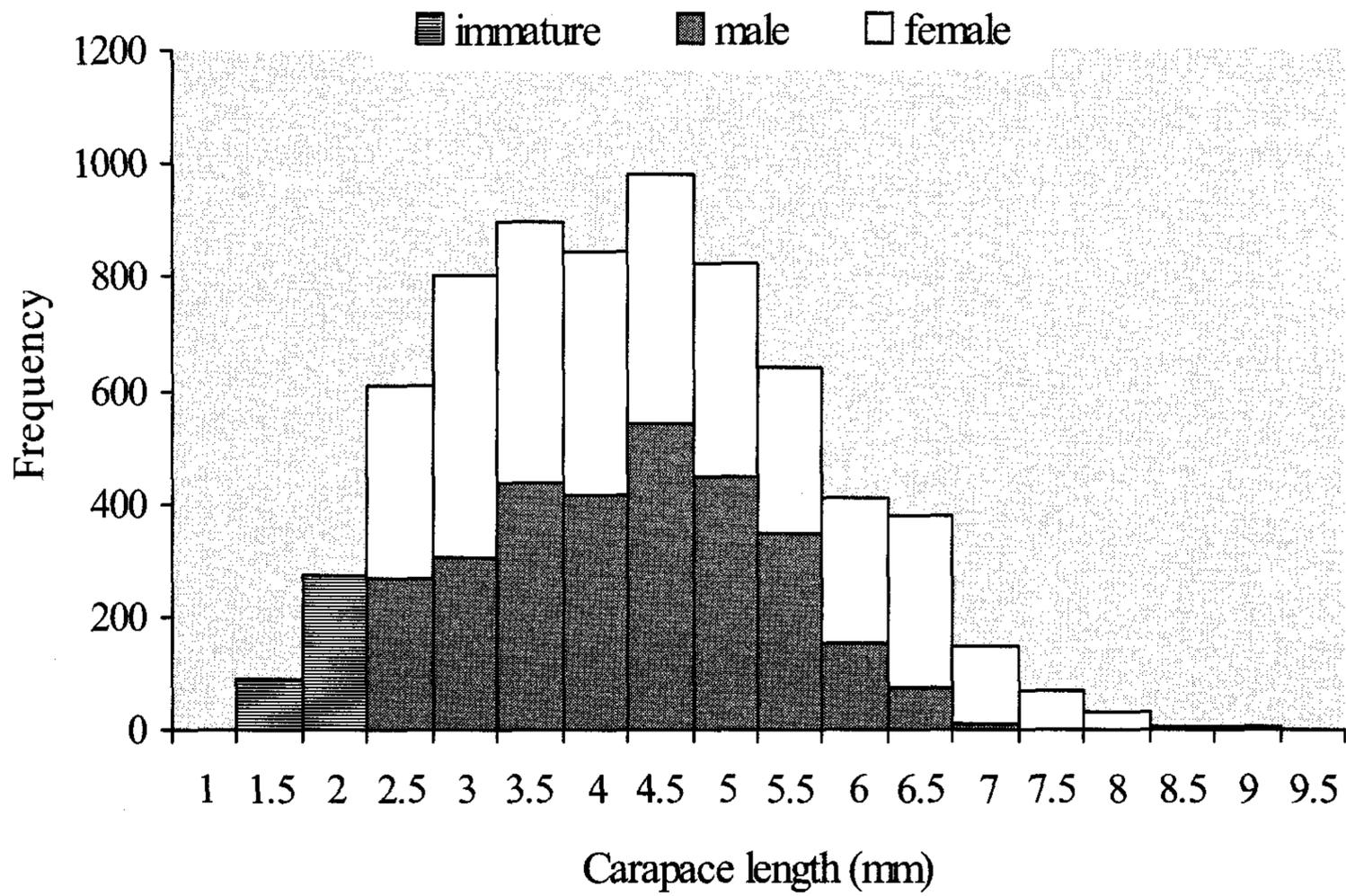
암수의 개체수는 암컷이 49%를 차지하였고, 수컷이 51%를 차지하여 수컷의 출현 비율이 암컷에 비해 높게 나타났다. Chi-square test 결과 수컷이 암컷보다 성비에 있어 유의하게 높게 나타났다 ($\chi^2 = 216.49$, d.f. = 11, $P < 0.001$). 갑각장에 따른 성비의 분포는 0.5 mm 간격으로 구분하여 3.0~4.5 mm와 10.0~12.0 mm에서 암컷이 우점적으로 나타났고, 7.5~9.0 mm에서 수컷이 우점적으로 나타났다 (Fig. 25). 채집된 암·수컷의 최대최소 갑각장은 암컷의 경우 각각 11.73 mm 및 2.53 mm이었고, 수컷은 각각 10.65 mm 및 3.07 mm이었다.



<그림 50>. 농가 실증 시험포장의 수로 단면



<그림 51>. 줄새우의 갑각장에 따른 성비



<그림 52>. 새뱅이의 갑각장에 따른 출현빈도

② 새뱅이

조사기간 동안 새뱅이의 크기빈도 분포는 정규분포를 하지 않았다 (Anderson-Daring normality test : $P < 0.01$). 그러나 오른쪽은 비대칭도를 나타내었다 (비대칭도 = 0.3819). 미숙한 새뱅이 (< 2 mm CL) 수컷과 암컷 그리고 전체 개체수 크기는 각각 5.2%, 42.7% 그리고 52.1%로 나타내었다. 수컷과 암컷 사이에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다 (Kolmogorov-Smirnov two-sample test ; $d_{max} = 0.250$, $P > 0.6$).

9. 복합 영농 생태계에서의 새우에 대한 해적 생물 실태

새뱅이나 줄새우는 다른 갑각류에 비하여 소형이고 상대적으로 공간 다듬에 따른 경쟁력이 약하므로 대량으로 장기간 사육하는 탱크나 논에 수용할 때는 반드시 해적생물을 구제하고 수용하여야 한다.

이러한 소형 새우류를 사육할 때 해적생물이라고 할 수 있는 것은 곤충유생에서 큰 포유동물에까지 실로 광범위하며, 실제 성장율에도 큰 영향을 준다. 직접 새뱅이나 줄새우를 잡아먹는 해적생물로는 족제비, 개구리, 뱀, 자라, 황새, 두루미, 물새 종류 등을 비롯하여 물방개, 물무당, 개아재비, 송장수염벌레 등의 수서곤충류, 잠자리류의 유충이 있다. 이에 반해 간접적인 해적생물은 직접 이들을 포식하는 일은 없지만, 성장을 방해하거나 시설을 파괴 손실케 하여 관리에 많은 시간과 노력을 소모케 하여 간접적인 피해를 준다. 이들은 논에서 공급된 먹이 등을 소비하거나, 산소 소모까지 하고 있으며, 일광의 투시를 차단하여 천연먹이 발생을 방해하며, 이료분을 흡수할 수 있는 수중 고등식물도 있을 수 있다. 직접 포식하는 종류 중에 가장 큰 개체는 역시 새 종류이다. 이들은 새우류의 성체를 마구 먹어치우는데, 그 종류로는 도요새, 뜰부기, 물총새, 오리, 황새 등이 있다. 이들을 방지하기 위해서는 실이나 망을 논 위에 쳐서 이들의 접근을 막을 수밖에 없다. 또, 직접 포식하는 자라와 남생이 등의 파충류, 개구리 등의 양서류 등이 있으며, 특히 유생 시기에 큰 피해가 되고 있는 수서 곤충류 등이 있다. 수서 곤충류로는 물장군, 장구애비, 개아재비, 물방개, 물땅땀이, 물자라 등이 있으며, 이들의 방지책은 수초를 제거하여 은신처 또는 산란처를 없애 주는 방법이 있겠으나 새우류 역시 수중식물과 부유물 등의 은신처를 생활근거지로 이용하고 있으므로 이들의 무조건적인 제거에는 신중한 고려가 필요하다 하겠다. 따라서 직접 포식하는 동물들은 논에 망을 둘러 논과 격리시켜야 하며, 논에 유입되는 수로에 망을 대어 수서 곤충류의 침입을 사전에 막아야 하겠다. 특히 겨울철에 생식회를 살포하고, 보이는 대로 성충이고 유충이고 포충망으로 제거해야 한다. 이 외에도 거머리나 거머리무리 등이 성체 등에 붙어서 죽음으로 이끄는 수도 있어 생산량

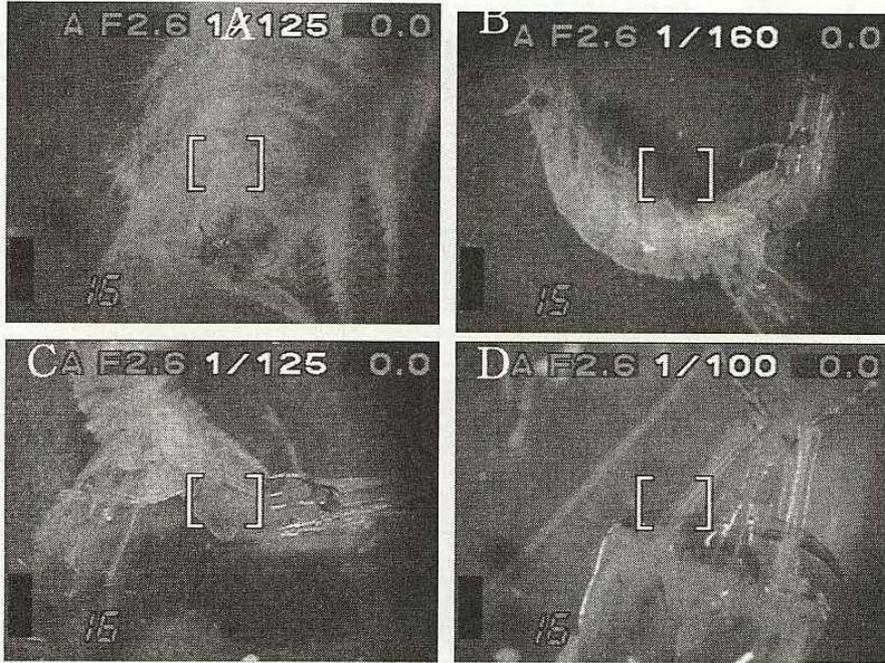
을 감소케 함으로 이에 대한 방제 및 제거에 만전을 기해야 할 것이다.

이번 실험에서 초기유생의 대부분은 뱀잠자리 유충 (그림 50)에 의해 많이 포식되었는데, 이들의 분류학적 위치는 뱀잠자리목 (Megaloptera)으로 곤충강, 유시아강에 속하는 외시류의 한 독립된 분류군 날개를 가진 곤충 중에서 원시적인 유형의 하나이며, 유충은 크기가 다양하고 표피는 경질로 이루어져 있다. 머리는 가슴과 거의 비슷한 폭을 가지며 겹눈은 작고 머리에 앞쪽 옆 가장자리에 있다. 더듬이는 짧고 가늘며 4마디로 되어있다. 유충은 배의 아가미로 호흡하면서 대단한 포식성으로 실지렁이류나 다른 곤충류, 혹은 몸체가 큰 종류는 양서류나 물고기의 치어까지 잡아먹는 반면, 큰물고기의 먹이가 되기도 하므로 수중생태계의 먹이사슬관계에서 2차 소비자로서 중요한 역할을 한다. 용존산소가 많은 저수지 혹은 평지의 계류에서 출현하고 진흙 속에서 서식한다 (윤, 1995).

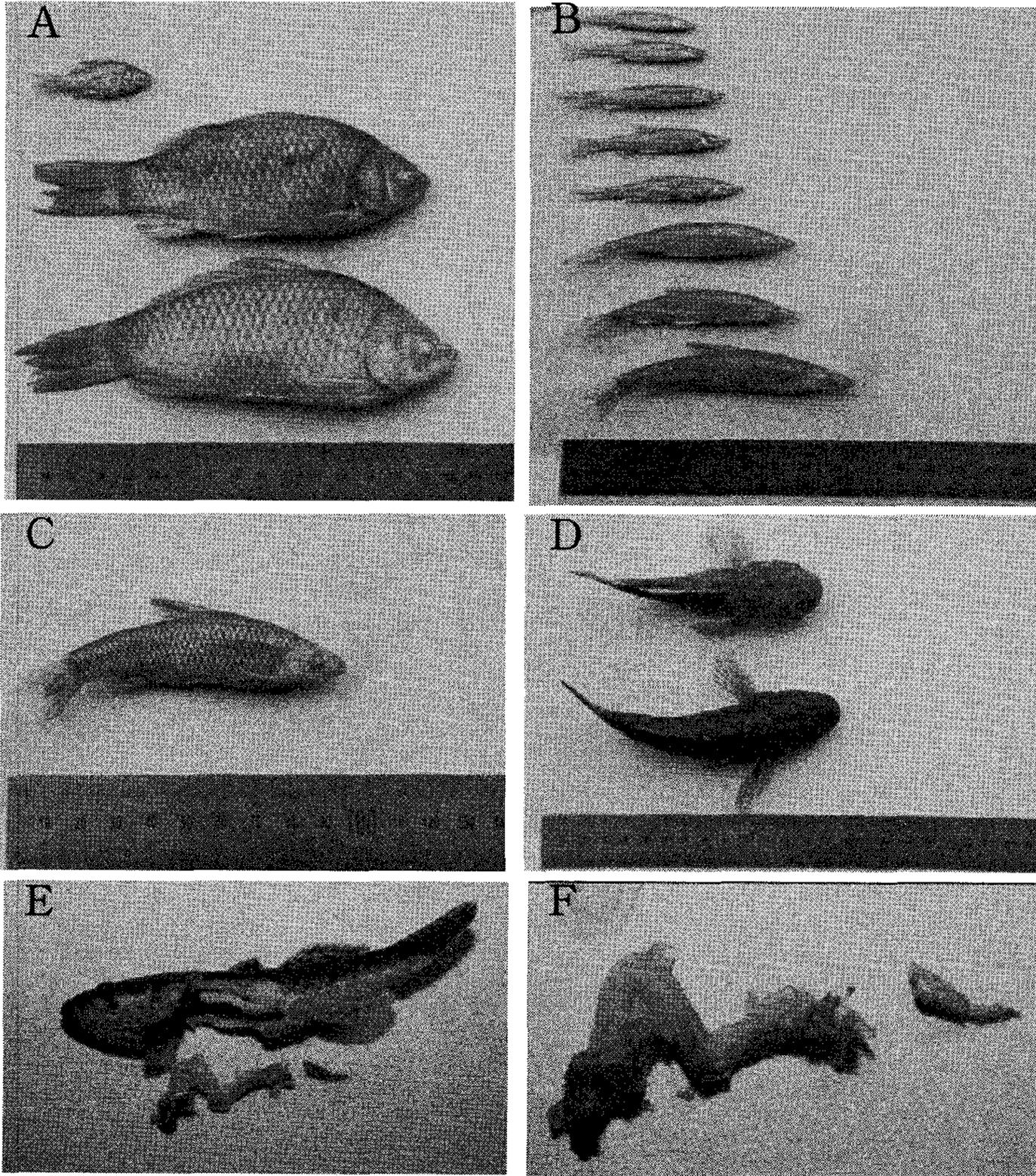
포란 새우 채집 시 붕어 3마리 (Fig. 38. A), 참붕어 8마리 (Fig. 38. B, C), 얼룩동사리 2마리 (Fig. 38. D)가 함께 채집되었는데, 얼룩동사리 (*Odontoutis odontobutis intereupta*)는 잉어목 구굴무치과에 속하는 몸길이 10~15 cm (때로는 20 cm 이상) 어류로 황갈색, 머리와 몸통의 등쪽 짙은 색과 배쪽의 연한 체색을 하고 있으며 물살이 비교적 느린 여울에 산란을 한다. 낮에는 돌 밑에 숨어 있다가 주로 밤에 활발히 움직이며, 육식성으로 수생곤충이나 물고기, 새우류 등을 잡아먹는다. 식용으로 애용되고 있지만 관상어로도 널리 알려져 있는 어종이다. 채집된 어류를 해부하였는데 얼룩동사리 내장에서 새우의 머리가 관찰되었다 (그림. 51, E, F).

붕어 (*Carassius carassius*)는 잉어목 잉어과의 몸길이 20~43 cm 어류로 분포지가 광범위하고 지리적 또는 환경적으로 형태상 여러 가지 차이가 보이므로 종래에는 많은 종이 설정되어 있다.

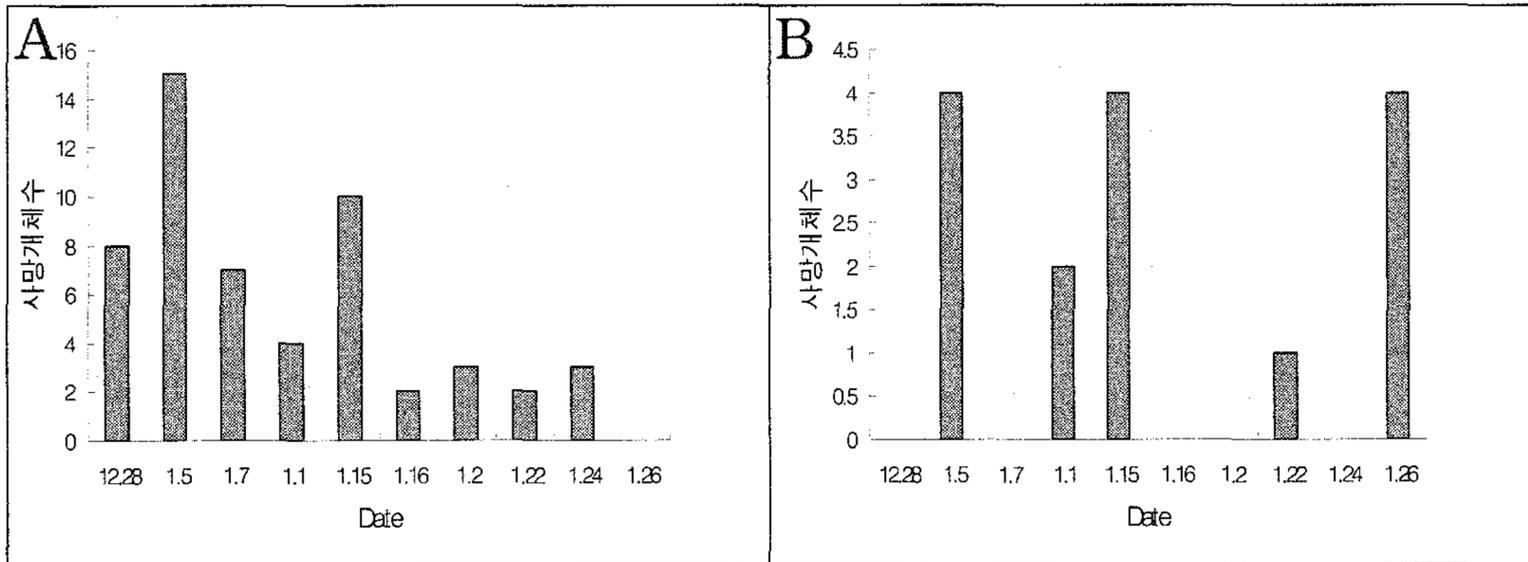
참붕어 (*Pseudorasbora parva*)는 잉어목 잉어과의 몸길이 약 6~9 cm 어류로 저수지·연못·하천의 물살이 세지 않고 물풀이 우거진 곳에 서식하며 수질오염에 강하며 3급수의 대표 어종인 붕어, 잉어, 메기 등과 같은 지역에서 어울려 서식한다 (김 등, 2005).



<그림 53>. 복합영농 생태계에서 발견된 뱀잠자리 유충



<그림 54>. 복합영농 생태계에서 발견된 붕어, 참붕어, 얼룩동사리



<그림 55>. A : 줄새우(*Palaemon paucidens*)의 사망개체수 B : 새뱅이(*Caridina denticulata denticulata*)의 사망개체수

10. 새우의 월동 가능성 평가

실험실내 약 1달간 줄새우(*Palaemon paucidens*)와 새뱅이(*Caridina denticulata denticulata*)의 사망개체수를 보면 줄새우 일 평균 최대 사망개체수는 15마리로 평균 5.4마리가 사망하였으며 새뱅이의 경우 일 평균 최대 4마리로 평균 1.5마리가 사망하였다. 일반 건물 내에서 간이식 월동 수조를 설치하여 토하를 월동시킨 결과 새뱅이는 약 90% 정도의 월동이 가능하였다.

11. 경제성 평가

가. 노동투하량 분석

관행농법이 10a당 19.86시간의 노동을 필요로 하는데 비해 토하농법에서는 35.48시간의 노동이 투하되는 것으로 조사되었다 (표 17). 관행농법에 비해 제초와 병충해 방제 노력이 절감되나 논관리와 토하수확, 방조망 및 그늘막 설치등을 위해 20시간의 노동력이 더 필요하다. 토하의 안전한 생육을 위해서는 조류와 파충류의 침입을 방지하기 위해 논둑을 높이고 방조망을 설치하는 것이 필요하다. 또한 토하가 생육할수 있도록 20~30cm로 일정하게 물 깊이를 유지하는 한편 논의 곳곳에 골을 파고 그늘막을 설치하여 수온상승과 햇볕에 의한 스트레스를 방지해야 한다. 한편, 다자란 토하는 벼를 수확하기 전에 물빼기를 실시하고 토하가 골에 모이면 뜰채나 그물을 이용하여 토하를 채집한다.

나. 토하농법의 생산비분석

토하농법의 생산비는 (표 18)와 같다. 토하농법의 생산비는 1,473,845원으로 관행농법의 600,120원에 비해 873,725원이 더 소요되는 것으로 나타났다. 추가되는 비용을 비목별로 살펴보면 토하구입비(594,000원)와 제초를 위해 살포하는 우렁이 구입비(30,000원), 방조망과 그늘막 설치를 위한 재료비(61,828원), 인건비(150,000원)가 대부분을 차지하였으며, 이밖에 관정 설치와 운영에 따른 영농시설비, 농구비 등에 추가비용이 투입되어 총 14,542원의 자본용역비가 상승되었다.

<표 17>. 작업단계별 노동투하시간

(시간/10a)

구 분	토하농법	관행	토하농법의 추가 노동내역
묘관 및 온상	3.60	3.60	
파종	0.04	0.04	
기경및정지	1.79	1.79	
이앙	3.22	3.22	
관리	7.00	3.00	독 보수 및 수심 관리
시비	1.26	1.26	
제초	0	2.78	
병충해방제	0	1.60	
수확	5.38	1.38	토하수확
운반	0.40	0.40	
건조	0.65	0.65	
기타	12.14	0.14	방조망 및 그늘막 설치
합계	35.48	19.86	

* 관행 : 통계청, 2006 논벼 생산비 조사결과

다. 경영성과 분석

- 토하농법의 경영성과를 분석한 결과는 표와 같다 (표 19).
- 쌀 수량은 관행재배의 493kg/10a에 비해 475kg/10a로 13% 감소되었는데 이것은 친환경재배를 위해 화학비료를 시비하지 않은 것과 토하의 생육을 위해 논에 그늘막을 설치하기 위해 부분적으로 모를 이앙하지 않는 부분이 발생하기 때문이다. 판매가격은 아직 출하하지 않아 정확히 산정하기가 어렵다. 그러나 전남 강진군에서 생산되는 친환경쌀인 음천 토하미쌀이 시장에서 65,000원/20kg에 판매되고 있는 것을 감안하면 kg당 3,095원에 판매가 가능할 것으로 생각된다.
- 그리고 부산물로 수확한 토하 139kg의 판매액은 2,780,000원이 가능하여 총 조수입은 4,113,945원/10adl 될 것으로 추정된다.
- 한편 경영비는 관행재배에 비해 토하농법에서 토하종묘 구입비와 제초를 위한 우렁이 구입비, 방조망 및 그늘막 재료비, 관정설치비 등이 추가되어 관행재배에 비해 699,818원/10a이 추가 투입되었다.
- 그리고 토하생육을 위한 제반여건 조성 및 수확을 위한 노력비와 자본용역비의 추가로 인해 생산비도 관행농법에 비해 874,725원/10a 늘어난 1,475,845원으로 나타났다.
- 따라서 소득은 관행농법에 비해 5.69배 많은 3,064,528원/10a이 되고, 순수익은 9.12배 높은 2,639,100원/10a가 가능할 것으로 추정된다.

라. 토하 생산비용

- 친환경 농업을 실시하면서 토하를 생산하기 위해 추가되는 비용을 시산하면 표와 같이 토하 및 우렁이 구입비, 제재료비, 영농광열비, 영농시설비, 노력비 등의 비목으로 구성되며 총 849,818원/10a이다 (표 20).

<표 18>. 토하농법의 비목별 생산비

(원/10a)

구 분	토하농법	관행	토하농법 추가자재 내역	
생 산 비 계	1,473,845	600,120		
직 접 생 산 비	종 묘 비	11,603	11,603	
	토하구입비	594,000		토하 19.8kg
	우렁이구입비	30,000		우렁이 5kg
	비 료 비	70,000	32,232	퇴비 1,000kg
	농약비	0	28,414	
	기타재료비	70,210	8,382	방조망 330m ² , 차광망 48m ² , 활죽 60개
	영농광열비	9,266	4,266	관정 전기료
	농구비	46,657	45,657	토하채집도구
	영농시설비	10,501	1,501	관정 설치
	수리(水利)비	0	577	
	축력비	5	5	
	노동비	253,633	103,633	방조망 및 차광망 설치, 토하수확 등
	위탁영농비	95,981	95,981	
	소 계	1,191,856	332,251	
간 접 생 산 비	토지용역비	240,361	240,361	
	자본용역비	42,051	27,509	
	소 계	282,412	267,870	

* 관행 : 통계청, 2006 논벼 생산비 조사결과

<표 19>. 토하농법의 경영성과

(원/10a)

구 분	토하농법(A)	관행(B)	A/B	비고
쌀 수량(kg)	431	493	0.87	
단 가	3,095	1,762	1.76	음천토하미 '06년산 판매가격 적용
쌀 조수입	1,333,945	868,493	1.69	
부산물조수입	2,780,000	23,574	118.93	토하 139kg*20,000원
총조수입	4,113,945	892,067	4.79	
경영비	1,049,417	349,599	3.00	
생산비	1,474,845	600,120	2.46	
소득	3,064,528	542,468	5.69	
순수익	2,639,100	291,946	9.12	
소득율(%)	74.5	60.8	1.23	
순수익율(%)	64.2	32.7	1.96	

<표 20>. 토하 직접생산비

(원/10a)

총 계	토하구입비	우렁이구입비	제 재료비	영농광열비	영농시설비	노동비
869,818	594,000	30,000	61,818	5,000	9,000	150,000

12. 시제품 개발

- 본 연구개발결과의 조속한 보급 및 상업화 촉진을 위하여 생산된 쌀의 판매를 위한 시제품 개발을 수행하였다.
- 시제품 제작을 위하여 특허 출원중인 새뱅이 복합영농 쌀의 고유 상표를 도안하였는데, 상품명은 ‘맑은물 토하쌀’, ‘너나들이 새뱅이쌀’, 및 ‘새뱅이쌀’, ‘하늘지기 새우쌀’, ‘새뱅이네 뜨락’ 등이 제안되었고, 그 중 ‘맑은물 토하쌀’ 기타 몇몇 상품명은 제품의 특성이 상표에 반영할 수 없다는 상표등록규정을 통과하기 어려움을 고려하여 현재 출원이 검토중이고, ‘너나들이 새뱅이쌀’과 ‘새뱅이쌀’ 등 2종에 대해서는 현재 상표 출원이 진행중이다.
- ‘맑은물 토하쌀’과 ‘너나들이 새뱅이쌀’을 대상으로 포장 디자인을 수행한 결과 아래와 같은 시안이 도출되었다. ‘맑은물 토하쌀’의 경우 아랫면이 원형으로 넓고 윗면이 좁은 세워놓는 형태로 제작하였다.
- ‘너나들이 새뱅이쌀’은 2kg 들이 백미와, 1kg 들이 흑미 및 발아현미를 set로 판매할 것에 대비하여 3종을 제작하였고, 포장 형태는 박스형으로 하였다.



<그림 56>. '맑은물 토하쌀' 브랜드의 시제품 (시안)

13. 벼와 새뱅이의 복합영농 모델의 제시

본 “새뱅이(토하)를 이용한 환경친화적 벼 복합영농기술 개발” 과제의 수행으로 얻어진 결과에 기초하여 도출된 최적의 복합영농 모델은 다음과 같다.

가. 복합영농에 적합한 지역 및 포장 조건

- 적합 지역 및 규모

- 소요되는 입식용 새뱅이의 확보가 대량이기 어려움과 관정을 이용한 지하수만을 이용해야 함을 고려할 때, 대규모의 평야지는 본 복합영농에는 적합하지 않고, 계단식으로 조성된 일부 산간 지역에서 새뱅이쌀을 지역특산물화할 수 있는 곳이 적합할 것으로 판단됨.

- 새뱅이가 요구하는 그늘의 제공

- 그늘을 필요로 하는 새뱅이에 있어 특히 이앙 초기의 논 상태는 stress를 받는 조건이므로, 별도의 그늘을 제공할 필요가 있음.
- 또한 하절기 수온의 상승 조건하에서는 깊은 수심이 요구되나, 복합영농담 전체의 수심을 항상 깊에 유지함보다는, 일부 면적을 논 바닥보다 30cm 더 깊이 파고, 그 위에 활대 등으로 구조물을 설치한 후 그 위를 차광망으로 덮어 줌이 새뱅이 생장에 효과적임.
- 상기 그늘과 담수심을 제공하는 논 구조물은 논 독 안쪽을 이용함이 논둑 성형과 작업의 편리성에서 유리하나, 논둑 폭이 넓은 경우는 논 가운데를 길이방향으로 조성함이 효율적이라 판단됨.

- 방조망 설치

- 황새 등 다양한 조류(鳥類)가 새뱅이를 먹이로 하므로 이의 방지를 위하여는 높이 1m 내외의 방조망 설치가 필수적임. 단, 복합영농지역이 넓거나, 충분한 벼 군락이 형성된 이후에는 상대적으로 방조망의 필요성이 낮아질 수 있음.

- 배수로 확보

- 새뱅이의 효율적 수확을 위하여는 충분한 깊이의 배수로의 구비가 필수적인바, 이는 새뱅이 수확에 요구되는 만큼의 논 수위 유지/혹은 조절이 가능한 수준이어야 함.

나. 벼 재배 방법

- 품종의 선택
이앙 초기 새우의 생장에 필요한 그들의 형성과 수심의 확보를 위해서는 빠른 기간 내에 초형이 형성되고 절간 신장이 빠른 품종의 선발이 요구됨.
- 종자소독
종자의 소독은 유기농 재배 조건에 합당한 온탕침지법, 혹은 친환경 자재를 이용한 종자 소독이 요구되며, 특히 염수선에 의한 종자 선별은 필수적인 것으로 사료됨.
- 상토의 선택 및 준비
상토의 준비는 일반 유기농 재배기술과 동일함.
- 파종
파종은 이앙초기 수심의 확보가 요구됨에 따라 40-45일 이상 육묘된 성묘가 요구되므로, 이앙예정일에 준하여 파종이 수행되어야 함.
- 치상
일반 유기농 벼 재배기술에 준함.
- 양분관리
기비로는 부숙이 완료된 퇴비가 요구되며, 새우의 생장에 별도의 양분공급원이 요구되지는 않는 것으로 사료되어 일반 유기농 벼 재배법에 준하는 기비의 시용이 요구되며, 일반 화학비료에 대한 새우의 생장반응이 민감하지 않음을 고려할 때 이삭거름, 알거름 등 다양한 종류의 유기 퇴비의 시용도 수량 증수에 효과적일 것으로 판단됨. 단, 과도한 질소질 공급은 단백질 함량의 증가와 그로 인한 미질의 저하 우려가 있어 주의를 요함.
- 병해충 관리
새뱅이 투입은 논에서의 병/해충 발생에 긍정적, 혹은 부정적인 일체의 영향을 미치지 않는 것으로 판단되며 따라서 일반 유기농 벼 재배기술에 준하는 병해충관리에 준하여 실시함이 요구됨. 단, 친환경 자재를 이용한 병해충 방제는 해당 약제에 대한 새뱅이의 생존율 등 반응의 평가가 되지 않았음을 고려하여 주의를 요함. 또한 새뱅이가 살충제 등 각종 농약에 대해 매우 민감함을 고려할 때 인접한 농지로부터 바람 등을 통해 유입되는 농약의 위험에 대한 주의가 요구됨.
- 잡초관리
잡초의 발생이 새뱅이에게 있어서는 수초 및 새뱅이 서식에 유익한 효과를 가져올 것으로 판단되나, 새뱅이의 수확과정에서 논에 존재하는 다양한 잡초는 배수와 함께 따라나오는 새뱅이를 회수해야 하는 만큼, 새뱅이 수확에

매우 불리한 여건을 조성하게 됨. 따라서 잡초 방제는 새뱅이의 생육이 아닌, 수확을 위해서는 철저히 수행되어야 함. 친환경적 잡초방제 방법 중 오리를 이용하는 방법은 새뱅이가 오리의 먹이로 이용됨을 고려할 때 반드시 피해야 하며, 미강을 이용한 잡초방제는 미강 투여후 발생하는 논물의 부영양화와 산소고갈 등 불량 환경으로 새뱅이에 피해가 우려되므로 역시 부적절하며, 현실적으로 많이 사용이 증대되는 우렁이를 이용한 제초가 우렁이와 새뱅이간의 포식관계가 없음을 고려할 때 가장 권장되는 잡초방제 방법이라 판단됨.

● 관수

농업기반공사에서 공급되는 일반 농업용수는 저수지/호수의 물을 사용하는 경우가 많은 바, 여기에는 각종 어류 등 새뱅이를 먹이로 하는 해적생물이 다수 존재할 위험이 매우 높아 사용이 불가능함. 또한 가능한 많은 새뱅이의 생육기간 확보를 위해서는 벼 수확 직전에 새뱅이를 수확해야 하므로 결국 벼의 전 생육기간동안 상시담수가 이루어져야 함. 이상을 고려할 때 관정을 이용한 지하수의 상시 공급이 필수적임.

다. 새뱅이 사육

● 새뱅이의 입식

- 복합영농에 소요되는 새뱅이의 입식량은 10a 당 20kg의 모하가 소요됨.
- 입식에 요구되는 새뱅이는 자연상태에서의 토종 새뱅이를 구매함이 가장 편리하나, 경비가 매우 높고 최근 자연산 새뱅이 모하의 생산이 급감하고 있어 충분한 물량을 저렴하게 구입하기 어려울 것으로 판단됨. 따라서 인근 지역의 저수지에서 이양 시기 수위가 낮아질 때 채취하는 것이 대안이 될 수 있거나, 입식에 소요되는 새뱅이를 가을 수확 후 월동시켜 이용함이 요구됨.
- 새뱅이는 10a 당 20kg의 모하, 혹은 부화된 유생을 넣는 것이 적절한 것으로 판단됨. 단, 유생의 투입에는 포란한 개체의 확보와 부화, 유생의 관리 등이 추가로 요구됨이 고려되어야 함.

● 새뱅이의 성장

- 새뱅이는 벼와의 양분 경합이 없고, 논 바닥의 규조나 플랑크톤 등을 주요 먹이로 하는 바, 새뱅이의 사육을 위한 별도의 사료 공급은 필요 없으나, 수온의 저하, 일조의 부족 등이 우려될 경우 새뱅이의 초기 성장에 필요한 클로렐라의 공급이 효과적일 것으로 판단됨.

● 새뱅이의 수확

- 새뱅이는 출수 후 45일의 벼 수확일을 기준하여 콤바인 작업에 요구되는 논바닥 굳히기에 소요되는 기간을 고려하여 가능한 늦은 시기에 수확함이 충분한 새뱅이의 성장량 확보에 유리할 것으로 판단됨.
- 새뱅이는 생태 습성상 빠른 유속의 물에는 이동하지 않고 오히려 대상체에 부착하는 것으로 판단되며 따라서 논둑을 통해 서서히 수위를 낮춤으로써 새뱅이가 배수되는 물을 따라 자의적으로 이동을 유도함이 효과적임.
- 새뱅이를 1회 수확한 후에는 논둑을 막고 지하수를 관수한 후, 2차로 수확을 할 경우 1차에 수확되지 못한 새뱅이를 대부분 수확함이 가능할 것으로 판단됨. 3차 이후에는 매우 수확량이 급감함을 고려할 때 2차의 수확이 노동력 절감에도 효과적일 것으로 판단됨.
- 새뱅이의 월동
 - 입식을 위한 새뱅이를 자가 공급하는 체계를 구축함에는 새뱅이의 월동이 가장 경제적인 것으로 판단됨.
 - 새뱅이의 월동을 위하여는 10a의 복합영농 경지면적당 15m²(가로 3m x 세로 5m x 깊이 2m)의 저수지를 확보하고, 가을에 수확된 새뱅이 일부를 본 저수지로 옮긴 후, 저수지 윗쪽 공간에는 비닐하우스를 설치함이 바람직할 것으로 사료됨.
 - 월동기간중에는 새뱅이의 활동성이 극히 저하되는 시기이므로, 별도의 사료 공급은 필요치 않을 것으로 판단되며 지하 2m의 깊이라면 새뱅이의 자연생태계에서의 월동 가능 온도인 약 4-5℃의 수온이 유지되어 월동이 가능할 것으로 판단됨.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 본 과제의 최종 목표는 새뱅이와 벼가 함께 자랄 수 있는 복합영농기술을 개발하고 그 생산품인 유기농 새우쌀과 수확된 새우를 판매하여 농가의 소득을 향상함에 있으며 그를 위해 필요한 벼 재배 분야와 새뱅이 사육 분야의 기술 개발을 목표로 수행된 바, 적절한 품종과 이앙 방법, 제초방법, 수확방법 등 일련의 영농체계가 구축된 것으로 평가된다.
2. 복합영농을 위한 재배 조건으로는, 이앙 초기 분얼 및 초장, 그리고 canopy의 형성이 빠른 품종을 45일 성묘 조건으로 육묘하여 이앙하고, 우렁이를 이용한 제초를 하며, 적정 수심은 20cm 임을 알 수 있었다.
3. 새뱅이의 생태적 안정을 위해서는 적절한 그늘이 요구되는 바, 특히 이앙 초기 canopy 형성 이전에 깊이 30cm 수준의 골을 논 바닥에 설치하되, 복합영농을 실시할 포장의 너비를 고려하여 논의 좌/우측 1개씩, 혹은 논 중앙부위에 1개를 설치하고, 활대와 90% 차광망을 이용한 그늘 조성이 효율적임을 알 수 있었다.
4. 농업용수로 공급되는 논물에는 각종 어류를 비롯한 새우를 먹이로 삼는 해적생물이 함께 유입될 가능성이 높으므로, 지하수 관정이 복합영농에 필수적임을 알 수 있었음.
5. 새우의 수확을 위해서는 논둑을 통한 느린 배수로 새뱅이의 이동을 유도하는 것이 가장 효과적임을 알 수 있었음.
6. 복합영농지 10a를 기준으로 볼 때, 20 kg의 모하를 수심이 확보되는 가능한 이른 시기에 입식할 때 약 140 kg의 새우를 가을에 수확할 수 있음을 알 수 있었으며, 이 때 벼의 성장 및 수량은 새우에 크게 영향받지 않음을 알 수 있었음.
7. 한편 복합 영농시 이용되는 새뱅이 및 줄새우에 대하여는 본답 초기의 클로렐라 이용한 영양공급, 부화/유생 단계별 먹이 생물의 탐색, 성장모델의 도출 등이 성공적으로 수행되었음.
8. 이상에서 개발된 복합영농기술은 기타 다양한 종류의 생물을 논에 도입함으로써 특수성을 갖은 쌀을 생산하는 농업/어업 분야의 기초 자료로 활용이 가능함.

5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 연구개발 성과

1. 계약적 성과

(2004. 9월 현재)

전문학술지 (편수)				학회발표		특허 (건수)				상품화
국외		국내		국외	국내	국외		국내		
게재	투고중	게재	투고중			출원중	등록	출원중	등록	진행중
-	-		-		1	-	-	1	-	1

2. 성과내용

가. 국내 학회 발표

이재호, 성민석, 차현일, 이영상, 2007. 한국작물학회. 춘계학술발표요지. 52(1) 160p

나. 특허출원 (국내)

- 상표 출원: '새뱅이쌀', '너나들이 새뱅이쌀' 등 2종
- 특허 출원 (발명의 국문명칭): '새뱅이(토하)를 이용한 벼 복합영농기술 및 그 생 산품' (출원문 작성중임)

제 2 절 연구개발의 활용 계획

본 연구의 결과 획득된 기술 및 특허를 이용한 제품 생산을 위하여 (주)미실란을 비롯 한 몇 몇 영농 단체 및 지자체와 협의중에 있음.

제 6 장 참고 문헌

1. Clarke, A., C.C. E. Hopkins and E. M. Nilssen. 1991. Egg size and reproductive output in the deep water prawn *Pandalus borealis* Krøyer, Functional Ecology, 5: 724-730.
2. Guillard, R.R.L. and J.H. Ryther. 1962. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* Cleve. Can. J. Microbiol. 8: 229-239.
3. Guillard, R.R.L. 1975. Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates in "Culture of Marine Invertebrate Animals." (eds: Smith W.L. and Chanley M.H.) Plenum Press, New York, USA. pp 26-60.
4. Hartnoll, R.G. 1982. Growth. In: D.E. Bliss, editor-in-chief. the Biology of Crustacea. editor-in-chief, L.G. Abele, Vol. 2: Embryology, Morphology and Genetics, 111-185.
5. Somerton, D.A. 1980. A computer technique for estimating the size of sexual maturity in crabs. Can. J. of Fisheries and Aqu. Sci., 37: 1488-1494.
6. 김익수, 최윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현. 2005. 한국어류대도감. pp. 615
7. 윤병일. 1995. 수서곤충검색도설. pp. 262
8. 김종춘. 2002. 줄새우 (*Palaemon paucidens*)의 개체군 역학과 생식. pp. 6-28.
9. 임성도. 2003. 새우 양식장에 서식하는 곤쟁이 (*Neomysis aponica*)의 개체군 역학과 성 성숙. pp. 4-23.
10. 이장욱, 차형기, 박차수, 백철인, 홍성윤외 10명. 2001. 한국새우류도감. pp. 82-83.
11. 오용비, 임무상, 박래경. 1989. 양어논 벼 재배기술 확립. 시험연구사업보고서 (작물시험장, 수도권) 514 - 518
12. 오용비, 김상수, 임무상. 1990. 양어논 벼 재배기술 개발연구. 시험연구사업보고서(작물시험장, 수도권) 706 - 713
13. 이경희, 이숙재, 김상수, 오용비, 박정화, 오윤진. 1991. 벼 재배논 양어(논우렁이)기술 개발. 시험연구사업보고서(작물시험장, 수도권) 384 - 387
14. 이경희, 박정화, 오윤진. 1993. 논 오리 사육이 양질미 생산에 미치는 영향. 시험연구사업보고서(작물시험장, 수도권) 354 -357
15. 강양순, 김정일, 박정화. 1994. 논 오리 사육이 양질미 생산에 미치는 영향. 시

- 협연구사업보고서(작물시험장, 수도편) 442 - 446
16. 김동철. 1997. 민물새우(토하) 양식. 월간 양식산업 5월호. 45 - 49
 17. 김훈수. 1977. 한국동식물도감 제 19권. 동물편 (새우류). 삼화서적주식회사. Pp. 694.
 18. 권진수, 김석용. 1992. 담수산새우, *Macrobrachium nipponense*(De Hann)의 생활사 및 종묘생산에 관한 연구. 동의대학교 생물생산지, 12(3):15- 23
 19. 최규정, 김동철. 1997. 중국새뱅이의 난 및 유생발생, 여수대학교 수산과학연구소 연구보고,6:23-32
 20. 동신대학교. 1996. 토하젓의 식품기능 우수성 및 식품안전성 구명시험. 농림수산부. 285pp
 21. Ma, C. W. and C. W. Oh. 2000. Reproductive biology of the Atid shrimp, *Caridina* sp. in Korea. The fourth Japan-Korea Korea-Japan joint Symposium on Aquaculture, 42pp
 22. Oh, C. W., C. W. Ma and H. S. Kim. 2000. Reproductive output and loss of the Atid shrimp, *Caridina* sp. in Korea. The fourth Japan-Korea Korea-Japan joint Symposium on Aquaculture, 42pp.