

최 종
연구보고서

GOVP 12007939

632.95
L293L

농업환경 보존을 위한 농약의 표준생태독성시험법 연구

연구기관
농업과학기술원

농 립 부



제 출 문

농림부장관 귀하

본 보고서를 “농업환경 보존을 위한 농약의 표준생태독성시험법 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1999. 12. 20.

주관연구기관명 : 농업과학기술원
총괄연구책임자 : 오 병 렬
연구 원 : 신진섭 김진화 김병석
박연기 박경훈 경기성
김정구 장성희 성순희
위탁연구기관명 : 한국화학연구소
위탁과제책임자 : 이 성 규
위탁연구기관명 : 충 남 대 학 교
위탁과제책임자 : 최 신 석
위탁연구기관명 : 서 울 대 학 교
위탁과제책임자 : 김 원

여 백

요 약 문

I. 제 목

농업환경보존을 위한 농약의 표준생태독성시험법 연구

II. 연구개발 목적 및 중요성

1. 연구개발의 목적

본 연구는 국내환경에 적합한 농약의 표준생태독성시험법을 확립하고 합리적인 농약의 생태독성 평가시스템을 구축하여 우리 나라의 농업환경 보존에 기여하고자 본 연구를 수행하였다.

2. 연구개발의 중요성

농약이 환경을 오염시켜 생태계를 교란시킬 수 있다는 국민적 우려가 높고 안전관리에 대한 요구가 급증하고 있으나 이에 대한 우리의 기술이나 관리수준은 국민적 요구에 크게 미치지 못하고 있는 실정이다. 특히 OECD 가입에 따라 OECD에서 추구하는 농약관리제도의 국제적 조화와 선진화에 크게 못 미쳐 OECD 회원국으로서 그에 걸 맞는 제도의 정착이 시급히 요구되고 있다. 농약의 생태위해성평가를 위한 표준생태독성 시험법은 국제적 조화뿐만 아니라 국내에 존재하는 토착종을 보호하는 관점에서 국내환경을 반영한 시험법의 개발이 중요한 과제이다. 지금까지 국내의 농약생태독성시험기술과 생태영향평가기술은 선진외국에 비해 짧은 역사, 전문인력의 부족 등으로 종합적이고 체계적이지 못하였으며 실제 국내환경을 반영한 생태독성시험법의 개발도 미흡하였다.

본 연구를 통해 개발된 기술은 선진화된 농약의 생태위해성평가 및 관리 기술을 국내에 정착시키는데 견인차 역할을 할 것이며 농약의 생태독성을 연구할 수 있는 기반이 조성됨으로써 관련 학문분야의 발전을 크게 고무시킬 것이다. 나아가서 OECD의 guideline에 포함된 생태독성시험항목에 대한 시험법들의 확립과 GLP제도의 도입을 촉진하여 OECD회원국으로서의 지위를 한층 높일 수 있을 것이다.

또한 합리적인 농약의 위해성평가 및 관리 체계의 구축으로 농약으로 인한 환경위해영향을 최소화 시켜 농업환경과 자연생태계의 보전에 기여하며, 농업생태계의 건전성을 지속 유지할 수 있을 것이다. 아울러 농약의 위해성을 평가하는 과정이 합리적이고, 투명하게 되어 보다 안전한 농약의 도입 또는 개발의 촉매가 될 수 있을 것이다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 국내외 생태위해성 평가체계조사

합리적이고 선진화된 농약의 생태영향평가 체계를 구축하기 위해 미국, EU, 일본 및 OECD 등에서 시행하는 농약관련 등록제도와 생태영향평가 시스템 그리고 test Guideline 등을 조사하였고 국내 환경에 적합한 생태영향평가체계를 제시하고자 하였다.

2. 국내산 담수무척추동물에 대한 생태독성시험법 개발

국내산 담수무척추동물의 분류 및 분포조사를 통해 대표종을 선정하고 이들에 대한 기초 생태조사로 실내사육과 독성시험이용 가능성을 검토하여 시험종으로 가능한 생물후보종에 대한 실내사육법확립과 급성독성시험을 통한 감수성 비교로 최종 시험종을 선발하여 국내산 담수무척추동물의 표준생태독성시험법을 개발하고자 하였다.

3. 국내산 어류의 생태독성시험법 개발

국내 수계별 서식어류 및 분포 조사를 통해 한국산 담수어의 종별 상대풍부도를 비교하여 분포와 개체수가 풍부한 대표적 어종을 선정하고 대상 어류의 생태학적 연구를 통해 실내사육과 독성시험에 이용가능한 후보종을 선정하여 사육기술 개발 및 어종간 농약에 대한 감수성 비교연구를 통해 국내어류의 표준 생태독성시험법을 개발하고자 하였다.

또한 국내의 자연수계 및 농수로에 서식하는 대표적 어종으로 경제적으로나 국민보건측면에서 그 가치가 인정되는 미꾸리의 중요도를 고려하여, 실험실 조건에서 자연산란으로는 계대 사육이 불가능하므로 인공산란 유도방법과 사육법을 개발하고, 생육단계별 감수성시험을 통해 표준 독성시험법을 확립하고자 하였다.

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 결 과

가. 국내외 생태위해성 평가체계조사

일본, 미국, EU 및 OECD 등 주요국가 및 국제기구에서 시행하는 농약관련 생태위해성평가 시스템, 농약등록 시 제출자료, 시험가이드라인 등을 우리나라 시스템과 비교 분석하여 우리나라 생태위해성 평가체계의 발전방안을 제시하였다.

나. 국내 담수무척추동물에 대한 생태독성시험법 개발

전국 57개 지소에서 계절별로 현장조사를 통해 표본을 채집하여 영양수역별·계절별 담수무척추동물의 대표종을 조사하였고 이들 종의 실내순화를 통해 개체의 크기 및 사육의 용이성에 기초하여 4종의 물벼룩(*Daphnia obtusa*, *Daphnia* sp., *Moina macrocopa*,

Simocephalus vetulus)을 최종 선발하여 먹이, 온도, 사육수의 경도, 사육밀도조건을 구명하였고 5종 농약에 대한 급성독성 시험과 번식독성시험을 수행하여 최종적으로 표준 시험종으로 *Daphnia* sp., *Moina macrocopa*를 선정하고 이들에 대한 급성독성시험과 번식독성시험법을 제시하였다.

다. 국내 어류의 생태독성시험법 개발

국내 4대강 수계에 대해 문헌 및 현장 조사를 통해 한국산 담수어의 종별 상대풍부도를 비교하여 분포와 개체수가 풍부한 50종의 대표적 어종을 선정하였고 이들 종의 생태학적 연구를 통해 실내사육과 독성시험에 이용가능한 후보종으로 4종(송사리, 대륙송사리, 왜물개, 버들붕어)을 선정하여 사육기술을 개발하였고 4종 농약에 대한 어종간 감수성 비교연구를 통해 국내 어류의 표준 생태독성시험법을 개발하였다.

또한 국내의 자연수계 및 농수로에 서식하는 대표적 어종인 미꾸리의 중요도를 고려하여, 실험실 조건에서 호르몬 투여에 의한 인공산란 유도과 사육법을 개발하고, 생육단계별 감수성시험을 통해 4~20주된 미꾸리는 농약에 대한 감수성의 차이가 없는 것으로 조사하였고 최종적으로 미꾸리 자치어에 대한 표준독성시험법을 작성하였다.

2. 활용에 대한 건의

가. 개발된 생태독성시험기준과 방법을 「농약의 등록시험기준과 방법」에 고시

- 대상시험 : 물벼룩 급성유영저해시험법, 물벼룩 번식독성시험법, 어류 급성독성시험법

나. 국내산 생태독성 시험종의 사육기술 이전

○ 대상시험종

- 어 류 : 대륙송사리, 송사리, 왜물개, 미꾸리
- 물벼룩 : *Daphnia obtusa* 등 3종

○ 기술이전대상 : 농약등록시험기관, 시험생물 공급업체 등

다. 생태독성 시험기술 전수

○ 대상시험종

- 송사리, 미꾸리 급성독성시험
- 물벼룩급성유영저해시험, 물벼룩번식독성시험

○ 기술이전대상 : 농약등록시험기관

라. 농약 생태영향 평가제도의 정비 : 농약등록시험성적서 검토기준에 반영

○ 주요내용 : Tier system, TER(독성노출비) 고려 평가, 국내종에 대한 생태영향평가 요구 등

SUMMARY

I. Title

Development of the standard ecotoxicological test methods of pesticides for the protection of agricultural environment.

II. Objective and justification

The aim of this study was the development of new ecotoxicological test methods using Korean freshwater invertebrates and fishes and analysis of advanced ecological effects evaluation system for pesticide registration in EU, USA and Japan.

Nowadays, due to the increased use of pesticides following the rapid industrialization, the adverse effects of pesticides on the environment have become worldwide concern. Therefore, related laws and regulations concerning the ecological effects of pesticide have also been rapidly amended and reinforced in the developed countries. But, until a recent date, there were no well-developed test guidelines, laws and regulations based on the Korean specific environment. This facts are resulted from short periods payed attention to this field and fewer number of experts than other advanced countries.

Internationally, a wide range of studies are required to assess the potential impacts of pesticides on environmental organisms. And in order to get better ecotoxicological data

for the ecological risk assessment, the standard test procedures and test guidelines have been developed and published in advanced countries or international organization. In addition, considering many species of environmental organisms, certain indicator species were selected for each ecotoxicological testing that were most useful for risk assessment based on the specific environment for each country.

So, our study to aim of seeking better representative indicator species and developing ecotoxicological testing methods suitable for the Korean agricultural environmental risk assessment. Furthermore, after Korea's joining to the OECD member country, this study is very meaningful in the sense of setting up internationally harmonized and advanced regulatory system of ecological effect assessment for pesticides.

III. Area and Scope of the study

1. Investigation of ecological risk assessment system in advanced countries

We reviewed ecological effect assessment system on the registration process of pesticides in advanced countries and international organizations in order to provide new direction for more advanced system on ecological risk assessment in Korea. The following studies were carried out.

- Analysis of status of ecological risk assessment system

in Korea

- Comparison of the status of data requirements in ecological risk assessment of pesticides in Korea, Japan, USA and EU
- Direction for advanced ecological risk assessment system on pesticide registration process in Korea

2. Development of standard ecotoxicological test methods using the Korean freshwater invertebrate

The purpose of this study was to develop the standard test methods using the representative Korean freshwater cladocerans for assessing of ecological effect of pesticides. The following studies were carried out for the purpose.

- Investigation of distribution, classification and ecological property on the Korean freshwater invertebrate
- Establishment of optimal culture conditions on the Korean freshwater invertebrates selected
- Comparison of sensitivity of cladocerans to pesticides
- Completion of draft test guideline using water flea

3. Development of standard ecotoxicological test method using the Korean freshwater fish

The purpose of this study was to develop the standard test methods using the representative Korean freshwater

fishes for assessing of ecological effects of pesticides.
The following studies were carried out for the purpose.

- Investigation of distribution, classification and ecological property on the Korean freshwater fishes
- Establishment of optimal culture conditions on the Korean freshwater fishes selected
- Comparison of sensitivity to pesticides
- Completion of draft test guideline using the Korean freshwater fishes

IV. Results

1. Investigation of ecological risk assessment system in advanced countries

1.1. Analysis of status of ecological risk assessment system in Korea.

The data requirements and authorization criteria for registration/rejection of pesticides in Korea were reviewed in detail. The criteria of classification for toxicity and restricted use concerned with toxicity of pesticides to the environmental organisms were also summarized.

1.2. Comparison of the status of requirement in aquatic toxicology data in Korea, Japan, USA and EU.

Data requirements for registration of active ingredient, end-use products, and major metabolites of pesticides on aquatic ecotoxicology were compared with those of Korea, Japan, US, OECD, EU etc. Basic aquatic ecotoxicology data requirements, higher tier study, and the basic process for registrations of pesticides in EU, US, and Japan were reviewed and also test methods recommended by each country were compared with respect to species, life stage, study duration, and conditions, etc.

1.3. Direction for advanced ecological risk assessment system in Korea.

The basic principles for direction changes in process of evaluation of ecological effects, requirements for registration and testing approach in Korea were proposed. The area of evaluation with regard to pesticides types and organisms for protection should be expanded and the new test guidelines for ecological risk assessment and tier progression systems in data requirements for registration should be introduced to Korea.

2. Development of standard ecotoxicological test method using the Korean freshwater invertebrate

2.1. Study on distribution, classification, and ecological properties

The Korean freshwater invertebrates were periodically collected from 57 sites throughout all over the country and analyzed for their distribution regarding to affected area by pesticides. *Moina macrocopa*, *Simocephalus vetulus*, *Daphnia obtusa*, *Scapholeberis* sp. as cladocerans and *Mesocyclops leuckarti*, *Termocyclops taihokuensis*, *Megacyclops viridis*, *Paracyclops fimbriatus*, *Mesocyclops pehpeiensis* as copepods were revealed representative species in rice paddy and waterway for irrigation as primary affected area by pesticides.

2.2. Establishment of optimal culture condition

The test organisms used in this study were *Daphnia obtusa*, *Daphnia* sp., *Moina macrocopa* and *Simocephalus vetulus* as indigenous cladocerans and *Daphnia magna* as standard test species recommended worldwide.

The optimal culture conditions for the Korean species used were elucidated prior to toxicity test and the results were summarized as followed. The preferred alga was *Chlorella vulgaris* and the optimal feeding concentration was ranged from 2.5×10^5 to 5×10^5 cells/mL in all test cladocerans. The optimal temperature was 20°C in three species with the exception of *D. obtusa* which had a good

survivorship, fecundity below 20°C. The optimal test water was soft (hardness is 40~48 mg/L as CaCO₃) and moderately hard water (hardness is 80~100 mg/L as CaCO₃) for the Korean cladocerans tested and hard water (hardness is 160~180 mg/L as CaCO₃) for *D. magna*.

2.3. Comparison of sensitivity to pesticides

From the sensitivity comparison of diazinon, myclobutanil, fenprothrin and iprodione to 5 species (*Daphnia obtusa*, *Daphnia* sp., *Moina macrocopa*, *Simocephalus vetulus*, and *Daphnia magna*) in acute toxicity test, it was appeared that there was no difference in sensitivity between cladoceran species tested. The 5 species were selected as testing organism for the ecotoxicological assessment of pesticides.

3. Development of standard ecotoxicological test methods using the Korean freshwater fish

3.1. Study on distribution, classification, and ecological properties

The Korean freshwater fishes were periodically collected from 381 sites in the waterways near four major river and irrigation to paddy field throughout all over the country and analyzed for their distribution and abundance. The top 50 fishes as population amount were selected and assessed for their usefulness as toxicity test species considering

size, spawning behavior, habitat, and feeding behavior, etc. *Oryzias latipes*, *Oryzias sinensis*, *Macropodus chinensis*, and *Aphyocypris chinensis* were finally selected as test organism to establish optimal culture condition in laboratory.

3.2. Establishment of optimal culture condition

The test animals were *Oryzias latipes*, *Oryzias sinensis*, *Macropodus chinensis*, and *Aphyocypris chinensis*. The optimal culture conditions for the four Korean freshwater fishes were elucidated prior to toxicity test and the results are summarized as follows. The optimal temperature was ranged 26 to 28°C in *M. chinensis*, from 24 to 28°C in *O. sinensis*, from 24 to 30°C in *O. latipes*, and from 22 to 25°C in *A. chinensis* which had a good fecundity and egg hatching rate.

3.3. Comparative study of sensitivity on reference pesticides

From the sensitivity comparison of diazinon, myclobutanil, fenprothrin and iprodione to 5 species (*O. latipes*, *O. sinensis*, *C. auratus* and *A. chinensis*, *M. chinensis*), it was concluded that there was no difference in sensitivity between Genus *Oryzias*. The Genus *Oryzias* exposed to diazinon were observed the haemorrhage and the vertebral deformation at the caudal peduncle, however, these symptoms did not observed in *C. auratus*, and *A. chinensis*, *M. chinensis*. It was appeared that there were differences in susceptibility among the 5 species.

But *M. chinensis* should be excluded in standard test species because of their fighting behavior with each other in the same test vessel during acute toxicity test. Accordingly, the 4 species except for *M. chinensis* were selected as a testing fish for assessment of ecotoxicity.

3.4. Study on establishment of the standard toxicity test methods using muddy loach

Study on induction of artificial spawning using gonadotrophin of muddy loach, *Misgurnus anguillicaudatus* showed that the appropriate size and weight of muddy loach were minimum 10 cm and 15 g for female and 10 g for male. Also, appropriate injection volume of hormone for induction of ovulation was 10 IU per 1 g of weight. The optimum water temperature for spawning and hatching was ranged 22 to 25°C. The study showed 16 hours of light condition and 8 hours of dark condition as the optimal photoperiod. From the sensitivity comparison test according to life stage of muddy loach on 4 reference pesticides, it was showed that more than 2 weeks old muddy loach was capable of conducting acute toxicity test. There was no significant differences in sensitivity between muddy loach aged from 4 to 20 weeks. According to the results of the sensitivity comparison test, the standard toxicity test method was established.

IV. Recommendations

1. Establishment of standard test guidelines for ecological effects assessment for pesticides
 - Acute immobilization test guideline using the Korean freshwater cladocerans,
 - Chronic toxicity test guideline using the Korean freshwater cladocerans,
 - Acute toxicity test guideline using the Korean freshwater fishes

2. Transmission of culture techniques for Korean freshwater test organisms for ecotoxicology tests
 - Fish : *Oryzias latipes*, *Oryzias sinensis*, *Aphyocypris chinensis*, and *Misgurnus anguillicaudatus*
 - Cladocera : *Daphnia obtusa*, *Daphnia sp*, *Moina macrocopa*, and *Simocephalus vetulus*

3. Transmission of toxicity test techniques using the Korean freshwater species for producing ecotoxicology data for pesticide registration
 - Acute immobilization test methods using the Korean freshwater cladocerans,
 - Chronic toxicity test methods using Korean the freshwater cladocerans,
 - Acute toxicity test methods using the Korean freshwater fishes(*Oryzias latipes*, *Oryzias sinensis*, *Aphyocypris chinensis*, and *Misgurnus anguillicaudatus*)

4. Proposals for improvement on the ecological effects assessment systems for pesticides
 - Induction of tier system in data requirement for the registration of pesticides
 - Consideration of TER(toxicity exposure ratio) in the process of ecological effects assessment
 - Requirement for ecotoxicology data using indigenous species in the process of ecological effects assessment for the registration of pesticides

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
Section 1. Objectives and scope of the study	1
Section 2. Importance of the study	2
Section 3. Scheme of the study	4
Section 4. Expected effectiveness of the study	6
Chapter 2. Investigation of the ecological risk assessment system in advanced countries	7
Section 1. Introduction	7
Section 2. Status of ecological risk assessment system in Korea	8
Section 3. Comparison of the status of requirement in aquatic toxicology data in Korea, Japan, USA and EU	14
Section 4. Direction for advanced ecological risk assessment system in Korea	29
Chapter 3. Establishment of standard test method for ecological effect assessment using the Korean freshwater invertebrates	40
Section 1. Introduction	40
Section 2. Study on distribution, classification, and	

ecological properties	46
Section 3. Establishment of optimal culture condition	72
Section 4. Comparison of sensitivity to pesticides	139
Section 5. Draft guideline for testing of pesticides using water flea	169
Section 6. Reference	180
Chapter 4. Establishment of standard test method for ecological effect assessment using the Korean freshwater fishes	184
Section 1. Introduction	184
Section 2. Study on classification and ecological property	189
Section 3. Establishment of laboratory-culture condition ...	282
Section 4. Comparison of sensitivity on several pesticides	377
Section 5. Induction of artificial spawning with muddy loach and comparison of sensitivity on pesticides between different life stage	385
Section 6. Draft guideline for acute toxicity test using the Korean freshwater fishes	406
Section 7. Reference	412

목 차

제 출 문

요 약 문

SUMMARY(영문요약문)

CONTENTS(영문 목차)

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구개발의 목적과 범위	1
제 2 절 연구개발의 중요성	2
제 3 절 연구개발의 추진체계	4
제 4 절 연구개발의 기대효과	6
제 2 장 농약의 환경위해성평가 제도의 국가간 비교	7
제 1 절 서 설	7
제 2 절 한국의 생태위해성 평가체계	8
제 3 절 농약 등록 시 요구되는 수생생태독성시험의 국가간 비교	14
제 4 절 우리 나라의 생태위해성 평가체계 발전방향	29

제 3 장	담수무척추동물의 표준생태독성시험법 개발	40
제 1 절	서 설	40
제 2 절	분류 · 생태학적 조사 및 실험 대상종 선정	46
제 3 절	실내 사육특성 조사 및 사육법 확립	72
제 4 절	농약에 대한 감수성 비교	139
제 5 절	한국산 물벼룩류를 이용한 표준생태독성시험법(안)	169
제 6 절	참고문헌	180
제 4 장	담수어류의 표준생태독성시험법 개발	184
제 1 절	서 설	184
제 2 절	분류 · 생태학적 조사 및 실험 대상어종 선정	189
제 3 절	실내 사육특성 조사 및 사육법 확립	282
제 4 절	농약에 대한 감수성 비교	377
제 5 절	미꾸리 인공산란 및 생육단계별 감수성 비교	385
제 6 절	한국산 담수어류를 이용한 표준생태독성시험법(안)	406
제 7 절	참고문헌	412

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적과 범위

1. 연구개발의 목적

본 연구는 농약의 효율적인 관리를 위해 국내환경에 적합한 표준생태 독성시험법을 확립하고 합리적인 농약의 생태독성 평가시스템을 구축하여 우리 나라의 농업환경보존과 국민보건향상에 기여함을 목적으로 한다.

2. 연구개발의 범위

가. 국내외 생태위해성 평가체계조사

합리적이고 선진화된 농약의 생태영향평가 체계를 구축하기 위해 미국, EU, 일본 및 OECD 등에서 시행하는 농약관련 등록제도와 생태영향평가 시스템 그리고 test Guideline 등을 조사하였고 국내 환경에 적합한 생태영향평가체계를 제시하고자 하였다.

나. 국내산 담수무척추동물에 대한 생태독성시험법 개발

국내산 담수무척추동물의 분류 및 분포조사를 통해 대표종을 선정하고 이들에 대한 기초 생태조사로 실내사육과 독성시험이용 가능성을 검토하여 시험종으로 가능한 생물후보종에 대한 실내사육법확립과 급성독성시험을 통한 감수성 비교로 최종 시험종을 선발하여 국내산 담수무척추동물의 표준생태독성시험법을 개발하고자 하였다.

다. 국내산 어류의 생태독성시험법 개발

국내 수계별 서식어류 및 분포 조사를 통해 한국산 담수어의 종별 상대풍부도를 비교하여 분포와 개체수가 풍부한 대표적 어종을 선정하고 대상 어류의 생태학적 연구를 통해 실내사육과 독성시험에 이용가능한 후보종을 선정하여 사육기술 개발 및 어종간 농약에 대한

감수성 비교연구를 통해 국내어류의 표준 생태독성시험법을 개발하고자 하였다.

또한 국내의 자연수계 및 농수로에 서식하는 대표적 어종으로 경제적으로나 국민보건측면에서 그 가치가 인정되는 미꾸리의 중요도를 고려하여, 실험실 조건에서 자연산란으로는 계대 사육이 불가능하므로 인공산란 유도방법과 사육법을 개발하고, 생육단계별 감수성시험을 통해 표준 독성시험법을 확립하고자 하였다.

제 2 절 연구개발의 중요성

1. 현 기술상태의 취약성

현재 농약의 생태독성시험은 잉어에 대한 급성어독성시험법이 고시되어 있으나 선진국에서는 기본자료로서 어류, 수서무척추동물, 조류(algae), 조류, 비표적생물 등에 대한 자료를 요구하며, 노출자료와 비교검토하여, 더 높은 단계(long-term toxicity)의 독성자료를 요구하고 있는 실정이다. 또한 시험종에 대한 타당성 여부에 대한 검증이 없어 항상 논란의 대상이 되어 왔다. 또한 시험방법도 국제적인 시험법에 비추어 볼 때 많은 개선점이 있으나, 이에 대한 본격적 연구결과는 거의 없는 실정이었다.

농업과학기술원과 한국화학연구소에서는 농약의 환경생태독성을 평가할 수 있는 체계를 확립해 왔고, 현재 생태독성시험분야에서 상당한 수준의 기술과 경험, 시설을 확보하고 있으나, 국제적 표준종에 한정되어 있었다. 또한 국내 생태계에 대한 연구는 관련되는 대학에서 분류 및 생태조사, 발생에 대한 연구업적은 상당히 축적되어 있으나, 이를 이용한 생태독성과의 접목은 전혀 이루어져 있지 않다. 결론적으로 국내에서 농약의 환경위해성평가의 개념은 이제까지

불모지와 다름 없는 분야였고 본 연구를 통해 국내 환경에 적합한 표준 생태독성시험법의 개발하는 것은 농약의 환경생물에 대한 위해성을 최소화 하고 안전하고 쾌적한 농업환경을 보존하기 위한 생태영향평가에서 기초적이면서도 가장 핵심이 되는 연구라 하겠다.

2. 연구개발의 중요성

농약의 생태독성에 대한 연구는 농약등록시 생태독성 평가 및 환경보전의 측면에서 필수 불가결한 과제이며 특히 OECD가입에 따라 농약관리제도의 국제적인 조화와 아울러 농약의 환경위해성평가 기법의 선진화가 시급히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 그간에 축적된 독성시험기술과 국내 생태계 연구성과를 접목하여 우리 나라 환경에 서식하는 어류와 수서무척추동물의 지리적 분포상을 조사하고 대표적 생물종을 대상으로 생태독성시험 생물종으로의 이용 가능성 탐색하여, 국내 환경에 적합한 생태독성 시험법을 개발하고자 시도되었다.

본 연구를 통해 개발된 기술은 선진화된 농약의 생태위해성평가 및 관리 기술을 국내에 정착시키는데 결정적인 역할을 할 것이며 농약의 생태독성을 연구할 수 있는 기반이 조성됨으로써 관련 학문분야의 발전을 크게 고무시킬 것이다. 나아가서 OECD의 guideline에 포함된 생태독성시험항목에 대한 시험법들의 확립과 GLP제도의 도입을 촉진하여 OECD회원국으로서의 위치를 한층 높일 수 있다.

또한 합리적인 농약의 위해성평가 및 관리 체계의 구축으로 농약으로 인한 환경위해영향을 최소화 시켜 농업환경과 자연생태계의 보전에 기여하며, 농업생태계의 건전성을 지속 유지할 수 있을 것이다. 아울러 농약의 위해성을 평가하는 과정이 합리적이고, 투명하게

되어 보다 안전한 농약의 도입 또는 개발의 촉매가 될 수 있을 것이다.

제 3 절 연구개발의 추진 체계

1. 분야별 참여 전문가

본 연구의 주요 목표는 국내외 생태영향 평가 제도를 조사 분석하여, 국내 환경에 적합한 위해성 평가 체계를 구축하는 것과 국내 서식어류와 무척추동물의 대표종을 선정하고 이들에 대한 실내 사육 기법 확립과 독성시험법을 개발 하는 것이다. 따라서 위의 최종목표를 달성하기 위해서 다음과 같은 분야의 전문가들이 참여하였다.

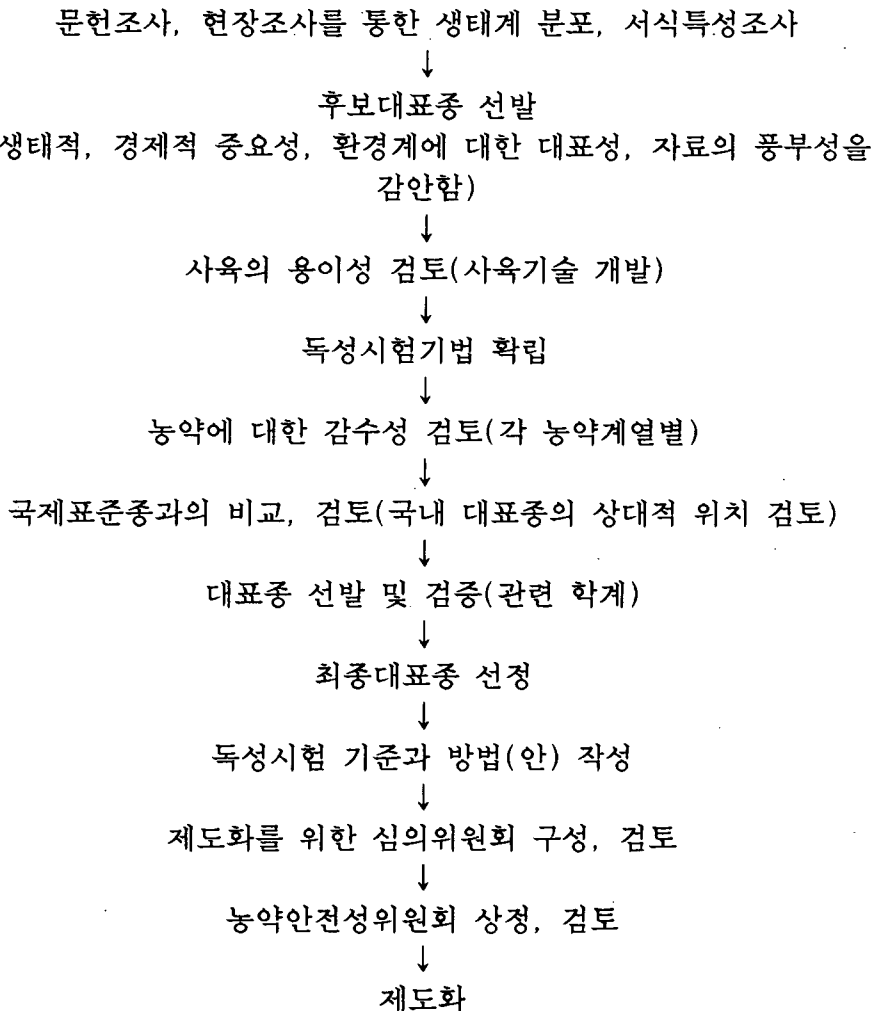
- 어류분류, 발생생리 및 생태분야
: 충남대학교 생물학과 최신석 교수팀
- 담수무척추동물의 분류, 생태분야
: 서울대학교 분자생물학과 김원 교수팀
- 농약 생태 위해성 평가 제도 연구, 담수무척추동물의 사육기술 및 생태독성 연구분야
: 농업과학기술원 작물보호부
- 담수어류의 사육기술 및 생태독성 연구분야
: 한국화학연구소 안전성연구부

2. 추진 체계

본 과제는 국내에서 농약사용에 의한 환경의 위해영향을 최소화 하기 위한 표준생태독성시험법을 확립하는 것이므로, 먼저 선진국의 농약위해성 평가시 요구하는 생태독성항목을 검토함과 동시에 국내에 서식하는 환경생물에 대한 분포 및 생태조사를 통해 대표종을 선별하고 선별된 대표종에 대한 실내사육가능성과 농약에 대한 감수성을 비

교 검토하여 독성시험종을 선정하고 최종적으로 국내산 어류의 급성 독성시험법과 수서무척추동물의 급성독성 및 만성독성시험법을 개발하였다.

본 연구의 개략적인 추진체계는 다음과 같다.



제 4 절 연구개발의 기대효과

농약의 약효보다는 인간과 야생동물의 위해성(adverse effects)에 대한 관심이 증대되는 시점에서 환경독성평가기술의 개발은 환경영향평가기술분야의 발전에 큰 기폭제가 될 수 있을 뿐만 아니라, 생물학적 평가체제의 도입은 환경영향평가의 필수적 사항이 될 것이다. 또한 국제사회에서도 OECD회원국의 위치에 걸 맞는 농약관리제도의 도입에 대한 요구가 커지고 있는 현재의 상황에서 그동안 농업과학기술원에서 단편적인 연구로 수행하여 온 농약 생태독성연구의 기존 틀을 넘어 체계적이고 국내 환경에 적합한 농약의 환경위해성 평가기법을 확립하고자 각계의 분야별 전문가가 참여하는 협력연구를 통해 단기간 내에 유용한 결과를 얻을 수 있었으며 그 결과를 농약관리정책에 반영할 수 있게 되었다.

따라서 본 연구를 통하여 국내 환경에서 서식하는 각종 생물종에 대한 대표종을 선정하고, 선정된 생물종에 대한 사육방법, 독성시험법 및 평가기법을 확립함으로써, 시험결과의 신뢰성 확보 및 체계적 관리에 획기적 전기를 마련하는 계기가 되었다고 할수 있다.

아울러 국가기관에서 생태독성기법에 대한 기술, 경험이 축적되어, 국가연구결과에 대한 신뢰성을 높일 수 있을 것이며 농약에 대한 일반국민의 왜곡된 시각을 올바르게 할 수 있는 계기가 될 것이고, 농약제조회사에서도 환경위해성이 낮은 농약의 개발에 주력하게 될 것이며, 결과적으로 이 분야의 산업발전에 크게 기여하게 될 것으로 평가된다.

제 2 장 농약의 환경위해성평가 제도의 국가간 비교

제 1 절 서 설

현재 세계 각지에서는 지구의 온난화, 동·식물의 서식처 파괴, 산성비, 생물다양성 감소, 유해화학물질에 의한 생태계 파괴 등 생태학적 문제가 크게 부각되고 있는 실정이다. 이러한 생태계의 파괴는 인간의 건강, 문화적 가치, 생활양식 및 경제적 미래에 잠재적 위협이 되며, 장기적으로는 국가의 경제적 번영을 저해하고 안정성 및 지속가능성까지 약화시킨다. 따라서 각국에서는 농약을 포함한 유해화학물질이 사용됨으로써 야기될 수 있는 생태학적 효과를 예측·평가하여 관리하는 생태계 위해성평가 제도를 시행하고 있다.

각국에서 시행하고 있는 농약의 생태위해성 평가제도의 그 원리와 최종 목적은 같으나 세부적인 방법론에서는 약간 상이한 체계를 따르고 있다. 이는 각 국가의 생태적 특성과 산업구조, 사회관습 등의 차이에서 기인한 것이라 볼 수 있다. 예를 들어 EC 국가에서는 지렁이에 대한 영향평가가 중요한 평가항목 중의 하나이나 우리 나라 및 일본에서는 누에에 대한 영향평가를 더욱 중요시하여 다루고 있다. 농약의 생태위해성 평가면에서 우리 나라와 일본의 체계는 매우 유사하며 나름대로 독특한 체계로 농약을 관리하고 있지만 EC나 미국 등 대부분의 OECD 국가와 비교할 때 보완 발전시켜야 할 점이 상당히 많은 것이 사실이다.

최근 OECD를 중심으로 농약의 관리면에서 국제적 조화, 상호인정범위를 넓히려는 국제적 동향으로 볼 때 OECD 주요 선진국의 생태위해성 평가체계를 분석하여 향후 우리 나라 제도를 발전시키는데 참고하는 것은 매우 의의 있는 것이라 여겨진다.

제 2 절 한국의 생태위해성 평가체계

한국은 1980년대에 들어서면서 경제성장과 국민소득의 증대로 환경보전에 대한 국민적 관심이 고조되면서 농약에 대한 환경위해성 평가문제도 점차 중요한 사안으로 부각되고 있다. 또한 OECD, FAO, WHO, UNEP 등을 주축으로한 각종 국제기구에서 농약의 안전성을 높이기 위한 기술적, 제도적 방안을 마련하기 위하여 추진하는 각종 국제협력사업에도 적극 동참하고 있다.

한국에서 농약은 「농약관리법」 하에서 엄격히 규제되고 있으며, 한국 정부에서는 1995년부터 WHO/지적재산권 협정이 발효됨에 따라 농약에 대한 안전성 향상과 지적재산권 보호 등 농약관리에 관한 국제적 조류에 맞추어 가기 위하여 농약의 품목고시제를 폐지하고 등록제도로 도입하는 내용을 주요골자로 농약관리법을 전면 개정하여 1996. 12. 7일자로 시행하여 오고 있다.

여기에서는 전면 개정된 농약관리법과 그 하위규정중 환경위해성 평가와 관련되는 내용을 검토해 보고자 한다.

1. 농약등록시 제출해야될 시험성적서

농약등록시 제출해야 될 환경위해성평가 관련 시험성적서에 대한 규정으로는 농약관리법 시행규칙 제 12조 6항에서 농약제조(수입)품목 등록신청시 “환경 및 동식물에 대한 영향시험성적서”를 등록신청자가 제출토록 되어 있으며, 그 구체적인 시험항목은 표2-1과 같다.

표 2-1. 농약품목등록신청시 제출해야할 환경생물독성시험 성적서 내역

환경생물독성시험항목	시험물질		비 고
	원제	제품	
담수어류에 대한 급성독성시험	○	○	제품에 대해서는 반드시 국내 시험성적 제출
물벼룩류에 대한 급성유영저해시험	○	△	제품에 대해서는 벼 재배용 농약에 한해 제출
조류(藻類) 성장저해시험	△	×	벼 재배용 제초제, 물용해도가 높은 농약성분에 대하여 제출 단 조류방제제는 제출면제
조류(鳥類)에 대한 급성독성시험	○	×	-
지렁이에 대한 급성독성시험	○	×	-
꿀벌에 대한 급성독성시험(섭식, 접촉)	○	×	-
어류에 대한 생물농축성시험	△	×	옥타놀/물분배계수가 높은 경우 (log Pow>3) 제출
기타 누에, 천적 등에 대한 독성시험	△	×	-

○ : 등록신청시 반드시 제출 × : 불필요 △ : 상황에 따라 제출

2. 농약등록 시험성적서 검토기준

농약등록시 제출된 시험성적서는 농약등록 관청에서 단계적 검토방법으로 검토하되 제 1단계에서 제출한 시험성적으로 검토하여 안전성이 인정되거나 그 위해성이 다음 항의 등록보류기준에 해당될 경우 검토를 종료한다. 만약 제 1단계에서 안전성이 인정되지 않으면 제 2단계, 제 3단계 검토를 수행하되 검토에 필요한 자료를 등록신청자에게 추가로 요구하여 검토하게 된다.

환경생물에 미치는 영향 검토시 검토단계별 시험내용은 표2-2와 같다.

표 2-2. 환경생물에 미치는 영향 검토단계별 시험내용

환경생물종		검토단계별 시험내용			
		제 1단계	제 2단계	제 3단계	기 타
수생생물종	어 류	급성독성시험 (96h LC ₅₀) 생물농축성시험 ¹⁾	초기생활단계시험 만성독성시험 -	-	-
	물벼룩	급성유영저해시험 (48h EC ₅₀)	번식독성시험 (21일)	-	-
	藻類	생장저해시험 (72h EC ₅₀)	-	-	-
육생생물종	鳥類	경구(혼이)독성시험 급성경구독성시험 ²⁾	번식독성시험 ³⁾	야외시험 ⁴⁾	농축성시험 ¹⁾
	지렁이	급성독성시험 (14일간/LC ₅₀)	번식독성시험 (NOEC)	야외시험 ⁴⁾	농축성시험 ¹⁾
	꿀벌	급성독성시험	케이지 시험 ⁴⁾	야외시험 ⁴⁾	-
	누에	실내독성시험	-	殘毒시험 ⁴⁾	-
	천적	실내시험	반야외시험 ⁴⁾	야외시험 ⁴⁾	-

1) n-옥타놀/물 분배계수 log Pow>3인 경우

2) 조류가 직접 섭취할 가능성이 있는 경우

3) 생물축적성을 고려할 필요가 있는 경우

4) 제품농약으로 실시

3. 등록보류기준

농약관리법하에서 농약등록신청 서류 검토후 등록신청서류를 반려하거나 그 보완을 요구하는 기준(농약관리법 제 9조 3항)중 환경위해성평가와 직접관련 있는 조항은 다음과 같다.

- 제 5호 : 당해 농약이 다량으로 사용되는 경우 수서생물에 해를 줄 우려가 있을 때
- 제 7호 : 신청서에 기재된 내용에 따라 농약을 사용할 경우 농경지 등의 토양에 잔류되어 토양생태계를 파괴할 우려가 있거나 그 농경지에서 생육된 농작물을 이용하는 사람과 가축에 해를 줄 우려가 있을 때

○ 제 8호 : 당해 농약이 다량으로 사용되는 경우 수질환경보전법 제 2조 제 4호의 규정에 의한 공공수역의 수질이 오염되어 수생 생태계를 파괴할 우려가 있거나 그 물을 이용하는 사람과 가축에 해를 줄 우려가 있을 때

상기 조항들은 넓은 의미의 선언적 등록보류기준이라고 말할 수 있으며, 실제로 등록신청농약의 환경생물독성과 등록신청농약의 사용으로 환경생물이 노출될 수 있는 환경중 추정농도를 비교함으로써 환경위해성평가를 실시하며, 위해성평가 기준은 표2-3과 같다.

표 2-3. 환경생물독성과 환경중 농도를 고려한 위해성평가 기준

구 분		위해성이 없는 것으로 추정	제한사용으로 경감 가능한 위해성이 있는 것으로 추정	위해성이 있는 것으로 추정 (등록보류)
급성독성	수생생물	$PEC^{1)} < 1/10LC_{50}$	$1/10LC_{50} \leq PEC < 1/2LC_{50}$	$1/2LC_{50} \leq PEC$
	鳥類	$PEC < 1/5LC_{50}$ $LD_{50} > 50mg/kg^{2)}$	$1/5LC_{50} \leq PEC < LC_{50}$ $LD_{50} \leq 50mg/kg^{2)}$	$LC_{50} \leq PEC$
만성독성	환경생물	$PEC <$ 만성적 무영향수준	-	만성적 무영향수준 $\leq PEC$

1) 환경중추정농도(Predicted Environmental Concentration)

2) 입제농약에 한함

또한 비 재배용농약으로서 어독성 I급으로 분류되는 농약은 사용량, 제제의 형태, 사용방법, 이화학적 특성 등을 고려하여 평가한 결과 안전성이 인정되지 않으면 등록을 보류할 수 있도록 규정하고 있다.

4. 농약의 독성구분 및 취급제한

농약은 병·해충·잡초와 같은 생물을 죽이는 약제로서 정도의 차이는 있으나 독성을 지니고 있으므로 사용과 취급에는 각별한 주의가 요망된다. 즉, 농약의 독성정도에 따라 적절한 취급제한 기준을 적용하고 포장지나

사용설명서에 경고문구나 주의사항 또는 그림문자를 삽입하여 사용자나 취급자의 안전을 도모함과 동시에 환경생물에 대한 안전성을 확보하고 나아가서 환경생태계를 보호할 필요가 있다. 우리 나라에서는 환경생물독성이 강한 농약은 포장지에 아래 그림2-1과 같은 그림문자를 표기토록 '95년부터 규정·시행하고 있다.

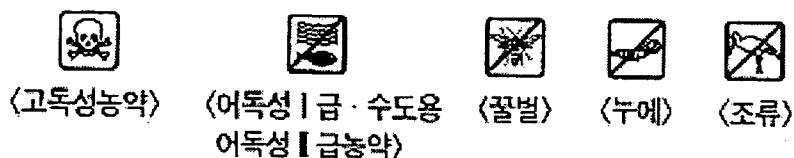


그림 2-1. 환경생물독성이 강한 농약의 포장지 그림문자

농약관리법 시행령 제 20조 3항의 규정에 따른 농약 취급제한 기준과 관련된 농약의 어독성 구분은 다음 표2-4와 같다.

표 2-4. 농약의 어독성 구분(농약관리법 시행령 제 20조 제 3항 관련 별표)

1) 농약의 어독성 구분은 제품농약의 잉어에 대한 반수치사농도(유효 성분)을 기준으로 하여 다음 표에 의해 구분하되, 비 재배용 농약의 경우에는 잉어외의 미꾸리 등에 대한 독성시험성적을 고려하여 구분한다.

구분	반수치사농도(mg/L, 48시간)
I 급	< 0.5
II 급	0.5~2
III 급	> 2

2) 사용량 고려 비재배용 농약의 어독성 구분

가) 어독성이 II급 또는 III급에 속하는 농약으로서 10a당 평균사용량이 유효성분으로 0.1 kg을 초과하는 경우에는 잉어에 대한 반수치사농도(mg/L)를 10a당 농약사용량에 대한 유효성분량(kg)으로 나눈 값이 5미만인 농약은 I급으로 구분할 수 있다.

나) 어독성이 I급으로 분류되는 농약중 10a당 평균사용량이 유효성분으로 0.01 kg 미만인 농약의 경우에는 다음과 같이 위험도 평가후 어독성을 구분할 수 있다.

• 위험도 $Z = Y/X$

X : 농약제제의 어류 LC₅₀(mg/L)

Y : 농약제제의 눈물중 기대농도치(mg/L, 수심 5 cm)

• 어독성 구분 $Z > 5$: I 급

$0.1 < Z < 5$: II 급

$Z < 0.1$: III 급

3) 급성어독성시험 수행이 곤란한 훈증제, 훈연제, 연무제 등은 제품농약에 대한 어독성시험성적서 제출을 생략하는 대신 원제의 어독성을 고려하여 어독성을 구분·평가할 수 있다.

제 3 절 농약등록시 요구되는 수생생태독성시험의 국가간 비교

우리 나라에서 사용되는 농약의 약 절반이 비재배용 농약이기 때문에 농약의 생태위해성 평가에서 수생생물에 대한 평가는 더욱 중요한 의미를 갖는다.

국제적으로 수생생물에 대한 농약의 잠재적 위해성평가를 위해 다양한 시험 수행이 요구되고 있으며 최근 수년동안 주요 농약 등록기관 사이에 시험성적서 요구나 규제조치기준에 있어서 큰 변화를 보이고 있다. 즉 EU의 새로운 규정, 미국 시험 가이드라인의 수정, OECD의 새로운 시험기준과 방법, 일본의 시험요구 방향 변화 등이다.

농약등록시 제출해야 되는 수생생태독성시험 성적서와 시험방법에 대한 주요 국가간 비교를 통해 생태위해성 평가면에서 우리나라의 상대적인 수준을 알아보겠다.

1. 농약등록시 제출 시험성적서

가. 유효성분에 대한 성적서

1) 필수 시험성적서

수생생태독성에 관해 제출해야 되는 필수 시험성적서는 조류, 물벼룩 및 어류에 대한 급성독성시험성적서이다. 우리 나라, 일본, 미국, EU 국가 별 특이사항 비교는 표2-5와 같다. 우리 나라와 일본에서는 잉어에 대한 성적을 요구하고 있으나 미국과 EU국가에서는 어류에 있어서 냉수어와 온수어에 대한 급성독성성적을 요구하고 있는 실정이다. 또한 이들 시험종에 대해서는 만성독성시험에서도 동일종이 사용되고 있어 생태위해성 평가에 대한 種에 대한 일관성을 보여주고 있다.

표 2-5. 농약등록시 필수로 제출요구하는 수생생태독성 시험성적서(유효성분)

시험생물종	주요조사항목	평가 피라미터			
		한국	일본	미국	EU
녹조류	성장, 번식	72h EC ₅₀	nr ¹⁾	120h EC ₅₀ , NOEC	72h EC ₅₀ , NOEC
물벼룩	유영저해	48h EC ₅₀	3h EC ₅₀	48h LC ₅₀	48h LC ₅₀
무지개송어	치사율	nr	nr	96h LC ₅₀	96h LC ₅₀
Fathead minnow	치사율	nr	nr	96h LC ₅₀	96h LC ₅₀
잉어	치사율	48h LC ₅₀	48h LC ₅₀	nr	nr

¹⁾ Not required

2) 제형, 사용방법 및 독성정도에 따른 추가 요구 시험성적서

필수시험성적서 이외에 농약의 제형, 사용방법 또는 독성정도에 따라 국가별 추가로 요구되는 시험성적서는 표2-6과 같다.

표 2-6. 농약제형, 사용방법, 독성정도에 따른 추가요구 시험성적서

시험생물종	평가 피라미터			
	한국	일본	미국	EU
Blue-green alga <i>Anabaena flos-aquae</i>	nr	nr ¹⁾	120h EC _{50S}	72h EC _{50S} and NOECs
Freshwater diatom <i>Navicula peliculosa</i>	nr	nr	120h EC _{50S}	nr
Marine diatom <i>Skeletonema costatum</i>	nr	nr	120h EC _{50S}	nr
Floating macrophyte <i>Lemna gibba</i>	nr	nr	14d EC _{50S}	nr
Water flea <i>Daphnia magna</i>	nr	NOEC	21d MATC	21d NOEC
Sheepshead minnow <i>Cyprinodon variegatus</i>	nr	nr	96h LC ₅₀	nr
Mysid shrimp <i>Mysidopsis bahia</i>	nr	nr	96h LC ₅₀	nr

시험생물종	평가 피라미터			
	한국	일본	미국	EU
Pacific oyster (embryo larvae) <i>Drassotrea gigas</i>	일본	미국	EC	nr
Aquatic macrophytes	nr	nr	nr	시험가이드라인 없음
Fathead minnow <i>Pimephales promelas</i>	nr	nr	32d MATC	32d NOEC
Sheepshead minnow <i>Cyprinodon variegatus</i>	nr	nr	32d MATC	nr
Mysid shrimp <i>Mysidopsis bahia</i>	nr	nr	28d MATC	nr
Fish Bioconcentration <i>Lepomis macrochirus</i>	BCF	BCF	BCF	BCF
Aquatic insect (시험종 미지정)	nr	nr	nr	시험가이드라인 없음
Gastropod mollusc (시험종 미지정)	nr	nr	nr	"
Rainbow trout <i>Oncorhynchus mykiss</i>	nr	48h LC ₅₀	nr	nr
Rice fish <i>Oryzias latipes</i>	nr	48h LC ₅₀	nr	nr
Asian loach <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	nr	48h LC ₅₀	nr	nr
Prawn acute <i>Neocaridinia denticulate</i>	nr	48h LC ₅₀	nr	nr
Shellfish <i>Corbiculo meana</i>	nr	48h LC ₅₀	nr	nr
Fish deformity studies (rice fish-Oryzias latipes)	nr	NOEC	nr	nr

1) Not required

가) 한 국

수생식물

: 현재 수생식물에 대한 시험을 요구하고 있지 않다.

어 류

: log Pow가 3보다 큰 농약의 경우 어류 생물농축성시험이 요구되고 있다.

나) 일 본

수생식물

: 현재 수생식물에 대한 시험을 요구하고 있지 않다.

어류 및 무척추동물

: 잉어에 대한 48시간 LC₅₀치가 0.5 mg/L 미만일 경우 타어종에 대한 추가시험을 요구하고 있다. 또한 잉어에 대한 48시간 LC₅₀치가 0.5 mg/L 미만인 벼재배용 농약으로서 물벼룩에 대한 독성이 0.5 ppm 미만일 경우에는 물벼룩에 대한 만성시험을 수행하도록 되어 있다.

다) 미 국

수생식물

: 제초제의 경우 *Selenastrum* 이외 조류에 대한 시험과 *Lemna*에 대한 시험을 요구하고 있으며, 환경 중 기대 농도에서 *Selenastrum*에 상당한 독성을 보이는 약제에 대해서도 그러하다.

담수어류 및 무척추동물

: 다음의 경우를 제외하고 담수어 및 물벼룩에 대한 만성시험을 수행해야 된다.

- 지속적 노출 또는 재노출이 일어나지 않을 경우
- 급성독성이 > 1 mg/L 경우

- 환경중 기대농도가 수생생물독성치보다 100배 보다 낮을 때
- 기타 자료로 볼 때 어류독성을 보이지 않을 때
- 축적영향이 없을 때
- 수중 반감기가 4일 미만일 때

어류 생물농축성 시험은 모든 농약에 요구되나 log Pow가 3미만이고 포유동물 또는 조류에 축적성이 있다는 증거가 없는 경우 시험 생략 가능하다.

기수/해양생물

: 기수나 해수에 직접 사용하는 농약의 경우에 해수어류, 새우, 굴에 대한 급성독성시험을 요구하며, 그 사용양상이나 이동성으로 볼 때 기수/해양환경에 상당히 노출가능성이 있는 화합물에 대해서도 그러하다. 예를 들면 중서부지역 옥수수재배에 사용되는 이동성이 적은 농약의 경우 이 시험은 요구되지 않는다.

현재 기수/해수 만성시험에 대한 요구기준은 불분명하다.

라) EU 국가

수생식물

: 제초제의 경우 *Selenastrum* 이외 조류에 대한 추가 시험이 요구되며 이 경우 담수 diatom(*Navicula*) 또는 blue-green 조류 (*Anabaena*)를 사용하는 것이 적당하다.

또한 제초제의 경우 고등 수생식물에 대한 시험이 요구되며, 현재로는 이에 대한 시험기준과 방법이 설정되어 있지 않다. 이 경우 통상 *Lemna gibba* 시험이 수행되어 제출된다.

수생무척추동물

: 수생생물에 지속적 또는 반복노출이 일어날 경우는 물벼룩, 수생 곤충 및 수생연체동물에 대한 만성시험이 요구된다. 현재 이들 시험에 대한 가이드라인이 설정되어 있지 않으며, 수서곤충에 대한 시

험으로는 깔따구에 대한 저니토독성시험이 수행되고 있다.

어 류

: 수생생물에 지속적 또는 반복노출 가능성 있는 농약에 대해서 EU 관리체계에서는 어류에 대한 만성시험이 요구되며, 미국에서는 fathead에 대한 조기생육시험(ELS)이 추천되고 있다.

또한 log Pow>3인 농약의 경우 생물농축성시험이 요구된다.

3) 상위단계시험의 종류 및 요구기준

제 1단계 제출 시험성적으로 위해성 평가시 안전성이 인정되지 않아 상위단계 위해성평가를 위하여 제출요구되는 시험성적은 표2-7과 같다.

표 2-7. 생태위해성 평가의 상위단계 요구시험항목

시 험	평가 피라미터			
	한 국	일 본	미 국	EU
어류생육초기독성 시험	시험기준 없음	nr ¹⁾	32d-MATCs	32d-NOECs
어류전생활사독성 시험	nr	nr	생존, 성장, 번식의 MATCs	생존, 성장, 번식의 NOECs
저니토독성시험	nr	nr	<i>Chironomus tentans</i> , <i>Hyallella azteca</i> 의 10일간 생장	<i>Chironomus riparius</i> 의 우화
Micocosm/ Mesocosm	nr	nr	상황에 따른 특별고안시험	상황에 따른 특별고안시험
모의논시험(잉어)	nr	생존 (7일간 치사율)	nr	nr
야외모니터링	nr	nr	상황에 따른 특별고안시험	nr

¹⁾ Not required(미요구)

가) 한 국

어류나 물벼룩의 경우 급성독성으로 평가되는 제1단계 검토에서 안전성이 인정되지 않으면 어류초기생육시험, 만성독성시험, 물벼룩 번식독성시험 수행을 요구하고 있으나 명확한 상위단계 요구기준이 아직 설정되어 있지 않다.

나) 일 본

모의논시험(잉어) 수행여부는 제품독성정도에 따라 정해진다. 논물 깊이를 5 cm로 가정한 논물 중 기대농도를 어류독성 및 물벼룩과 비교하여 벼재배용 농약일 경우 10배 이내, 전작물 및 과수용일 경우 20배 이내라면 모의논시험을 수행하여야 한다.

다) 미 국

어류의 전생활사독성시험(FFLC) 수행여부는 원칙적으로 어류 생육초기독성시험의 무영향수준에 의해 결정된다. 만약 환경중 추정농도가 어류생육초기독성시험의 무영향수준의 1/10 이상이면 어류의 전생활사독성시험(FFLC)이 요구된다.

미국에서 저니토독성시험 수행에 대한 명확한 기준이 아직까지 없다. 다만 농약이 흡착성과 잔류성이 있고 독성이 우려될 때 저니토시험이 요구된다. 저니토독성시험으로는 *Chironomus tentas* 및 *Hyaella azteca*에 대한 10일간 성장시험이 요구되고 있으며, 축적성이 우려되는 농약에 대해서는 *Lumbriculus variegatus*에 대한 저니토 생물농축시험이 요구될 수 있다.

미국에서 야외시험에 대한 요구는 아직 불명확하다.

라) EU

유럽에서 상위단계시험으로는 어류의 전생활사독성시험, 저니토독성

시험, 야외 mesocosm 및 microcosm 시험이 있다.

어류전생활사시험(FFLC)은 어류 BCF가 1,000이상이면서 14일간의 배설기간 중에 95% 이상이 배설되지 못한 경우 요구된다.

또한 수중 및 저니토 중에서 잔류성이 긴 농약(DT₉₀이 100일 이상)인 경우 어류전생활사시험이 요구된다. 그러나 실제로 상기조건이더라도 어류독성이 크지 않은 경우 어류전생활사시험이 요구되지 않을 수 있다.

흡착성과 잔류성이 있으면서 수서무척추동물에 위해가능성이 있는 농약에 대해서는 금후 저니토독성시험(EC에서는 *Chironomus riparius* 출현시험) 수행이 요구될 것이다. 실제적으로 Koc > 1000, 실내토양 잔류성시험 DT₅₀ > 30일 이면서 물벼룩 급성독성이 1 mg/L 미만, 만성독성이 0.1 mg/L 미만일 경우 시험이 요구된다.

야외시험 수행여부는 독성노출비(TER)에 의해 결정된다. 만약 어류 및 물벼룩에 대한 TER이 급성에 대해 100미만, 만성에 대해 10미만, 조류에 대해 10미만 일 경우 야외시험이 요구된다. 이때 microcosm이나 mesocosm 시험이 요구되며, 구체적인 시험설계는 등록당국과 협의하여 정한다.

EU에서 현재 야외모니터링 시험이 수행된다 할지라도 EU 수준의 법 테두리 내에서 규정하고 있는 것은 아니다. 그러나 개개국가에서는 특정농약에 대한 위해성이 상당히 우려될 경우에는 국가수준에서 야외모니터링시험 수행을 요구하는 것이다.

나. 제품농약에 대한 성적서

1) 한 국

모든 농약제품에 대하여 잉어급성독성시험성적이 요구되며 벼재배용 농약에 대해서는 미꾸리에 대한 성적도 추가로 요구된다.

또한 벼재배용 농약의 경우 물벼룩 급성유영저해시험성적이 요구된다.

2) 일 본

잉어와 물벼룩에 대한독성시험이 모든 제품에 대하여 요구된다. 이 제품에 대한 독성성적은 수심 5 cm 및 최대사용량을 고려 산출된 논물중 기대농도와 비교하여 벼 재배용 농약에 대해서는 10배, 그외 농약에 대해서는 20배 이상 차이를 보이지 않을 경우 타 어종에 대한 추가 시험이 요구된다.

3) 미 국

제품에 대한 독성시험은 통상 요구되는 것이 아니고 다음의 경우에 요구된다.

- 제품이 수계에 직접 살포되는 경우
- 유효성분 이외 제품 중에 있는 특정성분이 유효성분의 독성을 증진시킬 경우
- 수계 환경중 기대잔류수준이 유효성분의 효과농도수준에 근접할 경우 야외포장시험은 대표적인 제품으로 시험을 수행할지라도 제품에 대한 만성독성시험은 요구되지 않는다.

4) EU

원칙적으로 앞에서 언급된 유효성분의 경우 필수로 요구되는 기본시험 (녹조류, 물벼룩, 어류)에 대한 제품독성시험 수행이 요구된다. 그러나 유효성분에 대한 성적으로 볼 때 녹조류, 물벼룩, 어류 중 특히 감수성이 높은 생물종이 있을 때 그 생물종에 대한 시험만을 수행하여도 된다.

만약 다음의 경우라면 제품에 대한 시험을 특별히 수행하여야 한다.

- 제품이 유효성분에 비해 독성을 증진시킬 가능성이 있는 보조제나 다른 유효성분을 함유하고 있을 경우
- 수계에 직접 살포되는 제품

만약 제품의 독성과 유효성분간의 독성차이가 심할 경우 상위단계 시험 수행이 요구된다.

다. 대사산물에 대한 시험요구

1) 한국

우리 나라에서 현재 생태영향평가를 위하여 농약의 대사산물에 대한 공식적인 자료요구는 없다.

2) 일본

일본에서는 대사산물 시험에 대한 공식적인 자료요구는 없지만 주 대사산물이 수서환경에서 생성될 것이라는 지적이 있다면 등록을 지원하기 위하여 추가시험을 고려하여야만 한다.

3) 미국

대사산물에 대한 시험은 사안별로 검토한다. 실제로 수계중에 높은 수준(모화합물의 10% 이상)으로 존재하는 대사산물에 대하여 시험을 요구할 예정이다.

4) EU

수서 저니토 대사시험이나 다른 수서 행적시험에서 모화합물의 10% 이상으로 존재하는 대사산물이나 분해산물에 대하여 시험을 요구한다. 이 화합물에 대한 EC의 기본 요구자료는 어류(1종)와 *Daphnia* 및 藻類에 대한 독성 시험이다. 이 시험은 대사산물이 모화합물보다 독성이 훨씬 커서 경우에 따라 추가 시험을 요구할 수도 있다는 것을 나타낸다.

2. 시험기준과 방법

가. 급성어독성시험

급성어독성 시험기준과 방법의 경우 한국과 일본이 매우 유사하며 미국과 OECD 기준이 매우 유사하다.(표2-9) 시험종에서 한국과 일본이 잉어를 사용토록 규정하고 있으나 미국과 OECD의 경우 냉수어 및 온수어 각각에 대하여 시험토록 규정하고 있다. 시험방법에서 한국의 경우는 지수식시험만이 규정되어 있으나 일본은 지수식과 반지수식시험이 그리고 미국이나 OECD는 지수식과 반지수식 및 유수식시험법이 규정되어있다. 처리최고농도로는 한국은 10mg/L를 추천하고 있으나 일본, 미국, OECD에서는 100mg/L를 추천하고 있다.

나. 물벼룩 급성독성 시험

우리 나라의 경우 물벼룩 급성독성시험에 대한 시험기준과 방법이 미설정되어 있으며 미국, EC, OECD의 경우 시험기준이 아주 유사하다.(표2-10) 물벼룩 급성독성시험법으로 일본은 지수식이 추천되고 있으나 미국의 경우 유효성분이 시험계에서 안정하지 않을 경우 반지수식 또는 유수식 시험이 추천되기도 한다. 시험생물로 일본은 *D. purex*나 *Moina macrocopa*의 암컷 성체를 사용할 것을 추천하고 있으나 미국, EU, OECD에서는 모두 생후 24시간이 지나지 않은 어린 *D. magna*나 *D. purex*를의 추천하고 있어 차이가 있다. 일본의 경우 우리 나라의 환경과 유사하게 는 생태계가 중요하므로 이를 고려하여 시험생물을 선정한 것으로 판단된다. 이러한 차이로 볼때 우리 나라도 우리의 환경에 서식하는 대표종을 시험생물로 선정하는 것이 당연하게 받아들여져야 할 것이다. 시험기간과 end-point에서도 일본은 3시간 후의 TL_m을 추천하지만 미국, EU, 및 OECD에서는 일반적으로 24, 48시간 또는 96시간 후의 EC₅₀을 추천하고 있다.

다. 물벼룩 만성독성시험

우리 나라와 일본의 경우 물벼룩 만성독성시험에 대한 시험기준과 방법이 미설정되어 있으며 미국, ASTM, OECD의 경우 시험기준이 매우 유사하다(표 2-11). 시험생물은 OECD와 ASTM에서는 *D. magna*를 추천하나 미국은 *D. magna* 또는 *D. pulex*의 2종을 추천하고있다. 시험기간은 모두 21일간이며 시험방법도 반지수식이나 유수식을 추천하고 있다. 시험생물의 수는 반지수식의 경우 모두 농도 당 최소한 10마리를 개별적으로 수용할 것을 추천하며 대조군에서의 치사율은 OECD와 미국이 20%이하로 추천하지만 ASTM의 방법은 30%이하를 추천하고 있다. 그리고 21일간 대조군에서의 출산 새끼의 수가 60마리 이상이어야 한다는 기준은 세 기관 모두 동일하다.

Table 2-9. Summary of acute toxicity testing methods for fish

Parameter	Korea	Japan	U. S. EPA	OECD
species	Carp	Carp	Cold species : Rainbow trout Warm species : Bluegill sunfish	Cold species : Rainbow trout Warm species : Zebra-fish
Endpoints	LC ₅₀ (48h)	LC ₅₀ (48h)	LC ₅₀ (96h), NOEL(96h)	LC ₅₀ (96h)
Duration(hours)	96	96	96	96
Test type	Static	Static, semi-static	Static, static-renewal, flow-through	Static, semi-static, flow-through
Organisms/concentration	min. 10 orgs/conc	min.10 orgs/conc	min. 7 orgs/conc	min. 7 orgs/conc
Range-finding testing	10	100	100	100
(mg/ l)				
Loding(fish/ l)	1.0	1.0	0.8(Static, static-renewal) 0.5(flow-through)	≥2 mls per org
Control mortality	≤10% by test end	≤10% by test end	<10%	<10%
Replicates	1	1	2	2
Statistics	Probit	Probit	Probit	Probit
Test concentrations	3~7	5~10	5	5
Temperature(°C)	20~28	20~28	12±2(Cold species) 22±2(Worm species)	13~17(Cold species) 21~25(Worm species)
Photoperiod	-	16-h light, 8-h dark	16-h light, 8-h dark	12-h light, 12-h dark
Conductivity	-	-	<1.0 μΩ	10μs/cm
Hardness(mg/ l)	-	-	40~180	10~250
pH	-	7	>6.0 and <8.0	-
Dissolved oxygen	-	>4mg/ l	>60% air sat	> 60% air sat.

Table 2-10. Summary of acute toxicity testing methods for Clodocerans

Parameter	Japan	USA	EU	OECD
species	<i>D. pulex</i> , <i>M. macrocopa</i>	<i>Daphnia magna</i> or <i>D. pulex</i>	<i>Daphnia magna</i> or <i>D. pulex</i>	<i>Daphnia magna</i> or <i>D. pulex</i>
Endpoints	TLm	LC ₅₀ or NOAEC	EC ₅₀	EC ₅₀
Duration(hours)	3h	24, 48 or 96h	48 (less must be justified)	24 (can be extended to 48)
Test type	Static	Static, SR, or FT ¹	Static	Static
Age of organisms	adult	<24-h neonates known history	<24-h neonates known history	<24-h neonates known history
Organisms/concentration	min. 20 orgs/conc	min. 20 orgs/conc	min. 20 orgs/conc	min. 20 orgs/conc
Replicates	≥1 replicate	4 minimum	4(preferred)or 2	4(preferred)
Volume	100 mls per 20 organisms	25 ml(minimum)	≥2 mls per org	≥2 mls per org
Control mortality	-	≤10% by test end	<10%	<10%
Statistics	-	-	Graphical estimate w/95% conf. limits	-
Test chemical analysis	-	Minimum initiation and end SD <20% of initial	Within 80% of initial conc. throughout duration of test	Measured or nominal
Temperature	-	20±1°C ; or 25°C±1°C	Between 18 and 22°C	18 to 22°C with SD±1°C
Photoperiod	-	16-h light, 8-h dark	Light/Dark cycle optional	Light/Dark cycle optional, 24th darkness acceptable
Dilution water	Reconstituted from groundwater, distilled or DI water	Mod. hard synthetic water or 20% DMW or groundwater	Similar hardness and pH to culture water(same as ISO)	Similar to culture water
Conductivity	-	-	Same as ISO	Must be measured
Hardness	-	-	Same as ISO	Must be measured
pH	-	-	Same as ISO	Must be measured
Dissolved oxygen	-	Min 4 mg/L	Should be > 3 mg/L, never < 2 mg/L	> 60% air sat.
Solvents	-	-	<100 mg/L	<100 mg/L

1. SR static renewal ; FT flow through

Table 2-11. Summary of test conditions and requirements for chronic tests with Daphnid

Parameter	OECD	ASTM	U.S.EPA
Species	<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnia magna</i> or <i>D. pulex</i>
Endpoints	NOEC, LOEC	NOEC, LOEC	MATC, NOEC, EC ₅₀
Duration	21days	21days	21days
Test type	SR, FT	SR, FT	SR, FT
Age of organisms	<24-h neonates from> 14d adults	<24-h ; neonates from same brood	<24-h : neonates from same brood
Organisms/concentration	10 minimum(1 rep each organism)	10 minimum with 1 rep per organism or 20 minimum with>1 org./rep	SR : 10 minimum(1 org./rep) FT : 20 minimum
Replicates	10 SR, minimum 4 FT	minimum of 4	Minimum 10 SR, minimum 2 FT
Volume		≥30 ml/1st generation daphnid	≤40 Daphnia/1L
Control mortality	≤20% of adults	<30% of 1st generation daphnids	≤20% of adults
Control reproduction	≥60 live offspring per control parent	≥60 live offspring per control parent	same as OECD
Food	Algae preferred	Algae and trout chow, yeast, alfalfa	same as ASTM
Feeding	0.1-0.2 mg C/Daphnia/day	5 mg/L trout chow and 10 ug/L algae(dry wt.) 2X per day	15 mg/L per day
Light	16-h light, 8-h darkness		16-h light, 8-h darkness
Temperature	18-22°C ±2°C in any one test	20°C ±1°C	20°C ±1°C
Dilution water	Fully characterized(e.g. Elendt M4 and M7 are suitable)	Hard reconstituted water	surface or ground, reconstituted water or dechlorinated tap water
Dissolved oxygen		≥3 mg/L	60~105% saturation

1. SR static renewal : FT flow through

제 4 절 우리 나라의 생태위해성 평가체계 발전방안

농약의 생태영향평가와 관련한 우리 나라의 제도는 향후 보완 발전시켜야 할 과제가 많이 있다. 즉 내분비계 장애물질과 같은 새로이 대두되고 있는 환경문제의 해결, OECD 등에서 요구하고 있는 시험법의 국제조화 대응, 생물농약에 대한 새로운 평가체계의 확립, 우리 자연 조건을 반영한 생태영향평가제도의 정착 등이 금후 해결해야 될 과제들이라 할 수 있다. 금후 해결해야될 과제를 고려하여 향후 우리 나라의 생태위해성 평가체계의 발전방향을 제시하고자 한다.

1. 금후 생태계 영향평가의 기본방침

가. 평가대상 농약의 확대

최근 국내에서 그 중요성이 부각되고 연구개발이 활발히 추진되고 있는 생물농약은 증식성 또는 이동성이 있고 작용특성상 화학농약과는 상이하게 비표적 생물이나 생태계에 영향을 줄 가능성이 있으므로 생물농약의 평가시스템은 따로 검토할 필요가 있다.

나. 보호해야 할 대상 생물

농지는 농약의 사용이 당연하고 농작물이나 물관리에 따라 변화하는 인위적인 생태계이기 때문에 농지에 서식하는 생물을 생태영향평가에서 보전해야 할 대상에 포함시키는 일은 당연히 곤란하다고 생각된다.

다만 농지에 서식하거나 농지를 이용하고 있는 조류(鳥類)나 그들의 먹이가 되는 생물이 농약에 의해 오염되는 경우에는 예외적으로 대상에 포함하여 고려한다. 예를 들면 논에 서식하는 미꾸리의 경우 보호대상으로 삼아야 할 것이다.

다. 새로운 평가 시스템의 구조

금후 생태영향평가에 대해서는 화합물 고유독성의 정도와 생물종에 노출되는 농약의 노출량을 개별적으로 검토하고 그 결과를 상호 비교함으로써 위해성(리스크)을 평가하는 방법을 채택한다. 또한 평가결과 위해성이 문제되어 규제조치가 필요한 경우 등록보류기준과 위해성 경감조치를 조합하는 체계로 해야할 것이다. 위해성 경감조치에는 사용방법(장소, 사용량 등)의 규제 및 포장지 주의사항 표기 등이 포함될 수 있다.

라. 단계적 접근(Tier Approach) 평가

생태계 영향에 대한 요구 데이터는 규제 당국이 정하는 것으로 비용과 시간을 고려하여 독성과 노출량에 관계되는 시험 등을 단계적으로 수행하는 방법이 적당하다고 생각된다. 최초의 평가단계에서는 급성독성의 시험 결과를 바탕으로 구해진 예측무영향농도와 최악의 경우를 가정하여 비교적 간편한 모델 계산에 의한 환경중예측농도를 비교하여 평가한다. 다음단계에선 환경중예측농도의 산정에 필요한 시험을 요구하고 그 결과를 바탕으로 평가하는데, 평가 기준치에 만족되면 등록 가능하고 그렇지 않을 경우 만족될 수 있게 위해성 경감대책(제형개선이나 사용방법 등의 변경)을 선택하던가 혹은 다음의 단계로서 비용과 시간은 걸리나 보다 실제에 가까운 영향평가가 될 수 있게 시험을 실시하고 그 결과를 바탕으로 다시 평가를 행한다.

2. 생태계 영향의 새로운 평가시스템

새로운 평가시스템의 기본적 사고방식에 따라 농약의 생태계 영향평가에 관한 보다 구체적인 방향을 제시하면 아래와 같다.

가. 유해성(독성)의 평가

유해성은 생태독성시험의 결과에 따라 얻어진다. 생태독성시험은 약제의 특성을 고려하여 시험생물이나 시험기간을 선택하는 것이 매우 중요하다. 이 경우 가능한 한 만성영향, 가장 감수성이 높은 시험생물종, 가장 감수성이 높은 생육단계 또는 표적기관을 고려하여 실시함이 바람직하다.

1) 시험생물종의 선정

실내시험에 사용할 대상 생물종을 선정할 때에는 생태계를 구성하는 많은 생물종 중에서

- ① 환경중에서의 대표적 생물종이어야 할 것(광역분포, 고빈도출현 등)
- ② 생태계에서 중요한 위치를 차지하고 있을 것
- ③ 생물생산면에서 중요한 종이어야 할 것
- ④ 생물의 감수성이 높을 것
- ⑤ 계대사육(안정공급)의 가능성
- ⑥ 실험 결과가 실제의 환경에 적용될 것 등을 고려하는 것이 바람직하다.

그러나 이들의 조건 모두를 충족할 생물의 선정은 현실적으로 극히 어려우며, 생태계를 구성하는 생물종과 그 기능의 다양성을 고려하면서 감수성이 높은 종류 중에서 몇가지 대표적 생물종을 고르면 된다.

예컨대, 수계환경에서는 생태계의 생산자를 대표하는 조류(藻類), 일차 소비자를 대표하는 수서무척추동물(물벼룩) 및 이차소비자를 대표하는 어류(魚類)를 기본으로 수서곤충, 底棲생물, 수서식물 등이 대상에 포함된다. 또한 육상(陸域)환경에서는 포유류, 조류(鳥類), 파충류, 양서류, 곤충류, 토양생물, 육생식물 외에 화분매개충, 천적생물 등이 대상에 포함된다.

이들 시험생물종의 구체적인 선정에 있어서는 우선순위가 높은 것부터 선정해 가는 것이 기본이다. 또한 OECD 등 국제조화의 관점 뿐 아니라, 기술수준에 따른 실행가능성이나 한국에 존재하는 종과의 감수성이 다른

것에 대해서도 충분한 검토가 필요하다.

2) 생태독성시험법

생태독성시험은 실내시험을 기본으로 하며, 필요에 따라 야외시험도 추가할 필요가 있다.

현재 생태독성에 관한 시험체계는 몇 가지 시험을 조합하여 실시하게 되어 있다. 한국의 생태시험법은 시험생물종이나 시험내용을 될 수 있는 한 국제적인 가이드라인(생물종, 습, 시험기간, 영향의 정의 등)에 따르고 있어 빠른 정비가 필요하다.

그 경우 급성독성 뿐만 아니라 잔류성이 우려되는 경우나 축적되기 쉬운 경우 등으로 생물농축을 통해 일어나는 생태계의 교란을 고려하여 생체내 축적성이나 만성독성 등도 포함되도록 배려한다. 포장과 수계가 조합된 야외시험에서는 노출과 독성 쌍방이 동일 시험계에서 평가가 가능하나 실시의 곤란성, 재현성, 결과해석의 곤란성 등이 과제로 남아 있다. 더욱이 내분비 교란작용에 관해서는 불확실한 점도 많아 금후 농약에 의한 내분비계 교란작용을 밝혀내기 위해서는 시험법 및 평가법의 확립이 필요하다.

3) 생태독성시험 요구기준

생태독성시험 수행여부는 농약의 노출이 있는 경우 불가피한 것으로 생각되는 어류, 물벼룩, 조류(藻類)의 급성독성시험 등과 같이 몇 가지의 시험에 대해서는 원칙적으로 요구되나 제형, 사용장소, 사용방법 등에 따른 노출의 가능성이나 생물농축의 유·무 등에 따라 판단해야 할 것이다. 앞에서 조사 분석한 OECD 선진국가의 생태위해성 평가체계를 고려할 때 우리 나라에서 향후 생태독성시험의 요구기준을 제시해 보면 다음 표2-12와 같다.

표 2-12. 생태독성시험이 요구되는 기준 예시

생물의 종류		생태독성시험이 요구되는 경우
수 생 물	어 류	<ul style="list-style-type: none"> ○ 급성독성시험 : 수계에 유입되지 않는 경우를 제외하고 모든 농약성분에 대하여 96시간 노출로 실시 ○ 초기단계시험, 만성독성시험 등 : 어류에 대하여 연속적인 노출이 발생하는 경우 또는 적당한 Microcosm이나 Mesocosm시험이 부적당한 경우에 실시 ○ 어류농축성시험 : 쉽게 분해되지 않으면서 지용성이 있는 경우(log Pow>3) 또는 기타 생물농축성의 가능성이 시사되는 경우 실시
	물 벼 록	<ul style="list-style-type: none"> ○ 급성독성시험 : 수계에 유입하지 않는 경우를 제외한 모든 농약성분에 대하여 48시간 노출 실시 (필요에 따라 회복성을 확인) ○ 만성독성시험 : 연속적인 노출이 생길 경우 실시
	조류(藻類)	○ 성장저해시험 : 수계에 유입되지 않는 경우를 제외한 모든 농약성분에 대하여 72시간 노출 실시 (필요에 따라 회복성을 확인)
	저서(底棲)생물	○ 저니토에 이동하면서 잔류하는 가능성이 있는 경우(급성 또는 만성 저니토독성시험의 수행 여부는 전문가의 판단이 필요)
	수생식물	○ 수계에 유입되지 않는 경우 또는 타 작물관계시험으로 대응할 수 있는 경우를 제외하고 실시
육 상 생 물	조류(鳥類)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 급성독성시험 : 야생조류가 직접 또는 간접적으로 경구 섭취 하거나 노출될 가능성이 있을 경우 ○ 아만성(亞慢性) 또는 번식성 시험 : 번식기간 중의 어미새에 대하여 또는 소(巢)가 있는 장소에 대하여 연속적 또는 반복적인 노출이 있을 경우 ○ 농축성시험 : 생체내의 축적성의 징조가 보일 경우
	꿀 벌	<ul style="list-style-type: none"> ○ 급성독성시험 : 폐쇄공간에서 사용, 침투이행이 없는 종자분의, 화분매개곤충이 없는 온실내에서의 사용 또는 꿀벌에 노출될 가능성이 없을 경우를 제외하고 실시 ○ 어린벌 급이시험 : IGR제의 경우에 실시(노출될 가능성이 없는 경우 제외)
	지렁이	<ul style="list-style-type: none"> ○ 급성독성시험 : 토양에 시용될 경우 등 ○ 번식시험 : 지렁이가 연속적 또는 반복적인 노출이 있을 경우 ○ 농축성시험 : 생물농축의 가능성이 시사될 경우 실시
	토양미생물	○ 토양에 시용할 경우 등
	육상식물	○ 다른 작물관계시험으로 대체 되지 않는 경우

4) 유해성 데이터(시험생물종에 대한 영향평가)

시험생물종의 유해성평가 파라미터로서 개체수의 감소율, 증식저해 등이 쓰이고 있다. 예를 들면 급성독성시험의 LC₅₀, LD₅₀, EC₅₀, 번식독성·만성독성시험의 무영향농도(NOEC) 등이 포함된다.

5) 예측무영향농도의 추정

시험데이터는 특정 생물종에서 구한 독성치로 생태계를 대상으로 한 것은 아니기 때문에 생태계를 구성하는 많은 생물종에 적용하기 위해서는 특정생물종의 50% 영향농도(LC₅₀, EC₅₀)에서 무영향농도(NOEC)를 외삽(外挿)할 필요가 있다. 따라서 위에서 사용된 생물종수나 시험내용에 따라 안전계수를 곱하여 예측무영향농도(PNEC : Predicted No Effect Concentration)를 산정한다.

나. 노출량 평가

1) 노출량 산정의 방침

노출량 평가는 환경 중에 잔류하여 비표적 생물이 노출되는 농약의 농도를 예측하는 것이다. 즉, 환경중예측농도(PEC : Predicted Environmental Concentration)에 대해서는 살포장소로부터 환경으로의 방출량을 추정하고 환경매체(물, 토양, 저니토, 비표적 생물의 먹이)로 분배와 그 후 경시적 변화를 예측한다. 그 경우 생물 및 생태계에 대한 농약의 노출조건(노출의 세기, 농도의 수준, 노출의 시기, 빈도와 지속기간)의 특성에 관한 정보가 필요하게 된다. 또한 실제 환경 중 예측농도 산정에 있어서는 가능한 한 실측치에 가까운 것으로 되게 하기 위해 산정방식을 사전에 검증하여 둘 필요가 있다.

2) 노출경로

작물 등에 살포된 농약은 논외의 경우에 살포시의 비산(drift), 논물의 유출 또는 논물에 부유하고 있는 토양입자에 흡착된 상태의 유출로 수계에 혼입된다. 논 이외의 경우는 살포시의 비산(drift) 또는 강우로 생기는 지표수에 의해 수계에 혼입된다. 수서생물은 수중 또는 저니토 중에 잔류하는 농약에 의해 노출되고 육상생물은 직접 또는 먹이섭취 등에 의해 노출되는 것으로 본다.

3) 노출량의 산정을 위한 시나리오

한국은 구미 각국에 비하여 계절적으로 집중된 강우양상을 나타내고 있기 때문에 농약의 지표유출의 발생 빈도가 높다. 특히 재배면적의 약 반을 점하고 있는 수도작에선 담수상태로 재배되기 때문에 배수로를 통하여 수계에 유출되기 쉽다. 한편, 그 시기는 강우량이 많고 수계의 유량도 많다. 이와 같은 한국의 기상조건과 지형조건을 감안하여 농약사용형태, 살포지와 대상 생태계와의 위치관계, 유출형태 등을 적절하게 반영한 시나리오를 작성할 필요가 있다.

4) 사용방법에 관한 정보

제형(劑型), 농약사용에 관한 조건(살포방법, 적용작물, 단위면적당 사용량 등)등에 관한 정보가 노출량 산정의 기초가 된다. 모든 농약은 노출량평가를 위해 시험데이터 등이 필요하다. 단, 시설내 사용이나 종자처리제 등과 같이 비산이나 지표유출이 일어날 우려가 없는 것이 명확한 것은 예외로 한다.

5) 시험데이터

구미 각국에서는 비산과 직접노출을 주 대상으로 하고 비산은 작물, 생육시기 및 살포지와 거리에 따라 일정율을 각각 규정하고 있다. 반

면 지표유출 관련 모델시험은 요구하고 있지 않다.

예를 들면 유럽에서는 지표유출은 고려하지 않고 미국에서는 수계의 농약유입을 규정하거나 수리(數理)모델 중에서 농약유입을 고려하고 있을 뿐이다.

한국에서는 지표유출이 중요함에도 불구하고 과학적으로 신뢰성이 높은 데이터의 축적이 되어 있지 않고 수리모델도 개발되어 있지 않다. 이 때문에 농약의 노출량의 산정은 실내시험 또는 모델시험의 데이터를 이용하거나 또는 적용 가능한 수리모델을 이용하여 노출량을 예측한다. 야외시험은 실제포장에서의 농약 노출을 추정하는데에 중요한 정보가 얻어지기 때문에 필요에 따라 실시하는 것이 바람직하다.

6) 수리(數理)모델의 검토

노출량의 계산에 컴퓨터가 쓰이게 되어 일정 “파라미터”하에 시험결과를 정량적으로 외삽(外挿)하여 여러 가지 조건하의 노출량을 추정하는 일이 가능하다. 구미 각국에서는 야외시험에 쓰이는 경비와 노력을 경감하고 효율적으로 노출평가를 하기 위하여 수서생물을 포함한 환경생물이 해당농약에 노출되는 농도(환경중 예측농도)의 산정에 수리모델도입을 시도하고 있다. 이와 같은 상황에 따라 한국에서도 효율적인 농약의 환경중 예측농도를 구하기 위해 수리모델의 개발을 진행하여 한국에 적합성의 검증이나 예측치에 어느 정도의 안전율이 기대되는지 검토가 필요하다.

3. 위해성판정

가. 위해성 지표

노출량(농도)평가와 위해성 평가를 종합하여 생태계에 대한 위해성을 판정한다. 즉 다음에 나타낼 독성·노출량비율을 지표로하여 시험생물중

마다 독성치와 노출량(농도)을 비교한다.

$$\text{독성} \cdot \text{노출비율(TER)} = \text{예측무영향농도(PNEC)} \div \text{환경중예측농도(PEC)}$$

나. 위해성 판단

독성·노출비가 모든 시험생물종에 있어 충분히 큰 경우는 생태영향이 적은 것으로 판정하여 더 이상 정밀한 환경중 예측농도의 산출이나 노출수준을 낮추는 시도는 불필요한 것으로 평가된다. 한편, 독성·노출량비율이 각 시험생물종마다에 설정된 평가기준치를 하회(下回)하면 영향 가능성이 있다고 보고 해당 생물종에 대하여 다시 상위 독성시험의 실시나 보다 정밀한 노출량의 추정 또는 위해성 경감대책을 비교·검토한다.

4. 위해성관리

가. 사전평가단계의 위해성경감

농약에 의한 생태영향 정도를 경감 또는 완화하기 위해 아래와 같은 여러 가지 위해성 경감대책을 강구할 필요가 있다.

- 1) 농약의 개선 : 제형의 개선
- 2) 사용방법 변경 : 사용량 또는 사용회수의 절감, 사용시기, 사용장소 등의 변경 또는 제한, 살포방식의 변경
- 3) 지표유출 경감 : 유출 가능성이 높은 농약에 대하여 하천 등과 농약 살포지 사이에 무살포 완충지대(buffer zone)의 설정, 안전담수기간의 설정(는 사용농약의 경우)
- 4) 표류비산 경감·방지 : 비산농약의 표기, 비산방지보조제의 첨가, 안전거리의 설정, 완충대(buffer zone)의 설정

이들 조건이 농약사용장소에서 준수 가능한 것으로 여겨질 경우 지표 유출이나 비산물의 경감이 가능하다. 단 영국, 독일 등에서 도입되고 있는

완충대의 설정이 한국에 적용될 것인가에 대해서 충분한 검증이 필요하다. 특히 하천 등에 인접한 지역에도 농지가 되는 등 한국의 토지이용 상황을 고려해 볼 때 더욱 그러하다.

나. 등록시스템에 반영

독성·노출량비율이 각 시험생물마다 평가될 평가기준치를 밑돌아 생태계에 악영향을 미칠 것으로 판단된 경우에는 등록을 보류하고 등록신청자에게 신청서의 기재사항을 변경 또는 해당농약의 품질을 개선토록 지시한다. 또 평가기준치를 상회하는 농약일지라도 사용장소에서의 농약의 생태위해성을 경감하는 관점에서 해당농약 등록시에 적절한 사용방법 등을 정함과 동시에 위해성 평가의 결과를 이용하여 분류기준에 따른 생태위해성을 분류하고 사용방법이나 사용장소의 제한과 주의사항을 제품 포장지 표기에 반영시킬 필요가 있다. 이상과 같은 체제로서 등록보류기준이나 사용상 주의사항의 조합과 같은 포괄적이면서 다단계의 설정이 고려되어 금후 구체적 시스템을 검토할 필요가 있다.

다. 등록후의 위해성관리

1) 농약의 적정사용

농약사용자가 제품에 표기된 사용방법대로 농약을 적정 사용하는 것은 말할 것도 없고 앞서 사전평가단계에서 고려되었던 위해성 경감대책이 확실하게 실행될 필요가 있다.

더욱이 사용장소의 주변에 희귀 야생동식물의 서식이 확인될 경우 이들에 영향이 미치지 않도록 사용을 제한해야 함은 물론 서식지 등으로부터 충분한 안전간격을 유지하는 등 지역수준에서의 조치가 필요하다.

2) 환경모니터링 조사

어느 농약이 생물에 영향을 미치는가 아닌가는 이미 기술한 시험의 결과 등에 따라 평가가 가능하나, 복잡한 생태계의 영향을 완전하게 파악하는 것은 곤란하다고 생각된다. 또한 등록시에 정한 사용방법임에도 생태계에 대하여 얼마간의 영향이 미칠 가능성이 있다. 이와 같은 경우 모니터링조사에 의해 농약잔류와 생태영향의 실태를 파악할 필요가 있다. 더욱이 모니터링의 실시가 그 자체로 끝나는 것이 아니고 그 조사결과를 사용방법의 변경 또는 재평가의 반영 등 재환류시스템을 확립하는 것도 필요하다.

더욱이 모니터링 조사의 실시에 있어서는 조사대상(영향의 가능성, 농약의 사용량)을 명확히 함과 동시에 조사에 적절한 지점이나 대상생물의 선정, 해석기법의 개발, 기타요인에 의한 영향의 구별법 등 생태영향을 정확히 파악하기 위한 구체적인 기법개발이 필요함은 두말할 여지가 없다.

제 3 장 한국산 담수무척추동물의 표준 생태독성 시험법 개발

제 1 절 서 설

1. 연구의 배경

수서무척추동물들은 다양한 담수생태계에서 저차소비자로서 매우 중요한 위치를 점하고 있는데, 그 중에서 물벼룩류(cladocerans)와 요각류(copepods)는 담수생태계의 중형플랑크톤(mesoplankton)을 구성하는 무리들로서 주로 박테리아나 식물성 조류(algae)를 먹고 살며 어류와 같은 대형수서동물들의 주요한 먹이가 되고 있다. 이들은 각종 서식처에서 매우 높은 밀도로 출현하고 있으며, 환경조건의 변화에 따라 종들의 출현이 크게 달라지기 때문에 많은 환경생태학자들의 주목의 대상이 되어 왔다. 구미 각국에서는 이미 오래전 부터 이들의 환경지표종으로서의 가능성에 대하여 다각도에서 연구를 발전시켜 왔고, 오늘날에는 각 종들의 생태적 특성 규명이나 사육법 개발 등의 연구에서도 상당한 진척을 보이고 있어 이들을 이용한 환경관리방법의 연구에 많은 성과를 올리고 있다. 즉, 구미 각국에서는 20세기 초반 이후 지속적으로 축적된 분류, 생태학적 지식들을 십분 활용하여 환경독성시험에 수 종의 어류와 무척추동물(invertebrates) 가운데 *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia pulex*, *Daphnia magna* 등의 물벼룩류(cladocerans), 소금새우 *Artemia salina*(무갑류 anostracan) 및 곤쟁이류(misids)의 1종인 *Mysidopsis bahia* 등을 이용하여 많은 성과를 올리고 있다. 이와 더불어 국제적으로 널리 사용하는 종 이외에 자국의 환경관리를 위해 적합한 생물종들을 개발하는 연구가 매우 활발히 진행되고 있으며, 이러한 연구를 통하여 보다 간편하고

신뢰성 있는 방법을 개발, 농약과 같은 화학물질 독성평가의 질적 향상을 도모하는 동시에 신물질 개발에도 기여하고 있다.

이에 비하여 국내의 연구 수준은 매우 미진하여 농업과학기술원과 화학연구소의 경우 국내에서 거의 유일하게 환경독성을 평가할 수 있는 능력과 시설을 갖추고 있으나 활용종은 대부분 국제적 표준 중에 한정되어 있으며, 기타의 연구집단에서 일부 수행되고 있는 독성시험은 거의 초보적인 수준을 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 특히, 우리나라 특유의 환경조건을 반영할 수 있는 새로운 실험종들을 개발하기 위한 연구는 진행된 바 없는데, 이 연구 수행을 위해 선행되어야 할 분류, 생태학적 연구는 매우 미흡한 실정일 뿐만 아니라 환경독성학적 개념과의 접목이 전혀 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구는 우리나라에 서식하고 있는 담수산 수서무척추 동물들 가운데 물벼룩류, 십각류 및 요각류를 대상으로 농약의 1차 영향수역과 2차영향수역을 포괄하는 다양한 서식처 및 환경에 대하여 조사하여 대표종들을 선정하고, 이들에 대한 표준사육방법을 개발함과 동시에 환경생태학적 특성을 밝혀 이를 이용한 우리나라 환경에 맞는 농약의 환경위해성 평가기술 및 표준생태독성시험법 개발에 기여한다는 목표하에 수행되었다.

2. 연구개발의 필요성

오늘날 선진국에서는 제반 산업활동 및 인간활동의 결과로서 필연적으로 발생하는 유해화학물질 및 환경오염물질을 보다 합리적으로 관리하기 위하여 환경기준을 크게 강화하고 있으며, 이에 따라 농약이나 염료, 합성세제, 의약품 등과 같은 화학물질의 개발에 있어서 환경위해성 평가의 결과는 상품의 시장성에 결정적 영향을 미

치고 있다. 또한 생산공정의 개발에 있어서도 청정기술(clean technology)의 요구가 점차 거세지고 있으며, 특히 농약과 같은 화학물질의 경우는 시종책임(life cycle assessment)의 개념에 따라 생산에서부터 그 물질이 완전히 없어질 때 까지 생산자측에서 책임을 지는 것이 원칙으로 되고 있다. 따라서 오늘날에는 선·후진국을 막론하고 각국의 현실에 맞는 보다 과학적인 환경기준의 설정 및 환경평가 방법의 개발을 필요로 하고 있다.

따라서 농업환경을 보존하며 나아가 국민보건 향상과 우리나라 현실에 맞는 환경보전을 위한 관리, 평가기술의 개발이라는 일차적인 필요성 외에도, 앞으로 국내에서 생산, 개발되는 농약 등의 상품들에 대한 국제적 신뢰성과 경쟁력 제고를 뒷받침 할 표준생태독성 시험법 개발이라는 점에서 본 연구의 경제적 중요성은 매우 크다고 하겠다. 이와 더불어 본 연구를 통하여 얻어지게 될 한국산 담수무척추동물들에 대한 분류, 생태학적 자료들은 우리나라의 생물다양성 보존 및 생물자원 관리에 필요한 기초적 데이터베이스 구축에 직접적으로 활용될 수 있을 것이다.

3. 연구추진 개요

본 연구의 목표는 일차적으로는 우리나라에 서식하고 있는 담수산 수서무척추동물들 가운데 물벼룩류, 십각류 및 요각류를 대상으로 농약의 1차영향수역과 2차영향수역을 포괄하는 다양한 서식처 및 환경에 대하여 조사하여 대표종들을 선정하고 농약에 대한 환경생태학적 특성 및 사육특성 등을 구명하여 표준사육실험의 후보종을 선발하는 것이고, 이차적으로는 선정된 후보종의 최적 실내사육조건을 조사하여 최적사육조건을 구명하고 최적사육조건에서의 농약감수성

비교를 통해 감수성이 높은 시험종을 선발하여 최종적으로 국내종에 대한 표준 독성시험법을 확립하는 데 있다. 따라서 한국산 무척추동물 대표종의 조사 선발 및 사육법 확립, 그리고 감수성 비교를 통한 시험종 선발 등의 연구를 중심으로 하여 다음과 같은 단계적 세부목표를 두었다.

- 제1단계 목표 : 장, 단기 생태계모니터링을 통한 농약의 1차 및 2차영향수역에서의 대표종 선정 및 이들의 서식 및 출현에 영향을 미치는 물리, 화학, 생물학적 환경요인 분석, 파악
- 제2단계 목표 : 실험실에서의 종들의 기초 생육특성 파악
- 제3단계 목표 : 표준사육실험의 후보종 선정
- 제4단계 목표 : 독성시험을 위한 표준사육실험으로 후보종의 최적 실내사육조건 구명
- 제5단계 목표 : 후보종에 대한 급성독성시험 및 번식독성 시험을 통한 농약 감수성비교
- 제6단계 목표 : 시험종 선정 및 독성시험법 확립

이와 같은 단계적 목표 달성을 위하여 그림 3-1과 같은 연구추진 체계에 입각하여 연구를 수행하였다.

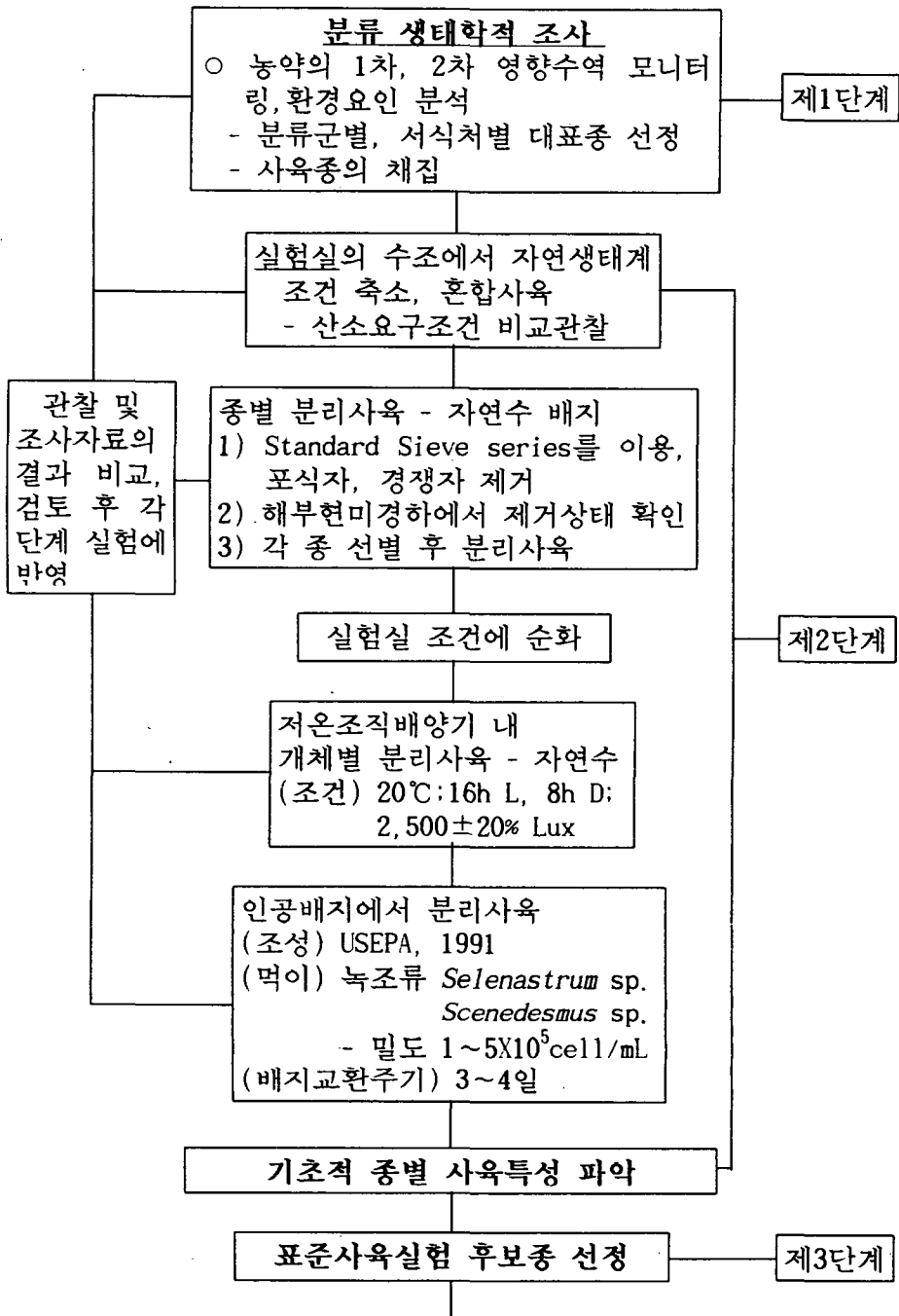


Figure 3-1. Strategy for selecting experimental organisms for the standard test of ecotoxicity assessment for agricultural chemicals

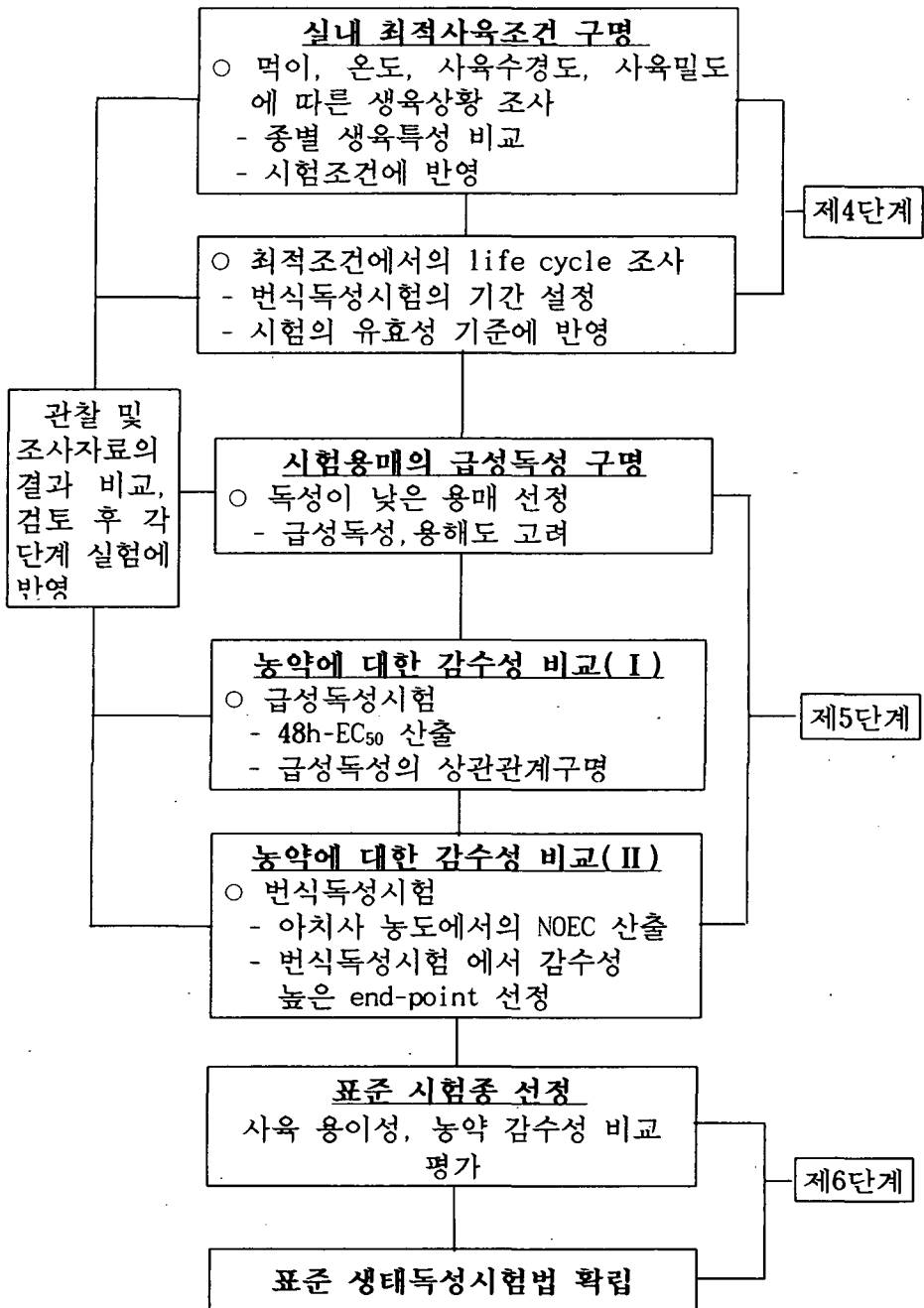


Figure 3-1. Continued.

제 2 절 분류생태학적 조사 및 실험 대상종 선정

1. 연구수행 방법

가. 분포 및 서식처 별 대표종 조사

본 연구에서는 농약의 1차 및 2차영향수역을 포함하는 다양한 서식처의 조사정점들에서 물벼룩류와 요각류를 중심으로 한 담수무척추동물들에 대한 분류, 생태학적 현장조사를 실시하였으며, 실험실에서 자료를 분석하여 각 분류군별, 서식처별 특성을 고려한 한국산 대표종들을 선정하였다. 본 연구에서는 우선적으로 각종 형태의 담수역에 존재하는 종들을 연구자들이 직접 채집하였으며, 연구자들에 의해 채집되어 서울대와 대구대, 조선대에 보관되어 있던 재료들에 대하여도 조사하였다. 아울러 문헌에 의거 국내외의 과거 기록과 관련된 환경생태학적 자료들을 종합, 검토하였다.

재료의 채집은 4계절에 걸쳐 년중 실시하였는데, 호소나 강 등 수량이 많은 곳에서는 플랑크톤 넷트(Mesh No.10 또는 25)를 사용하여 수평끌기를 하여 채집하였으며, 논, 웅덩이, 도랑 등 수심이 얕은 곳에서는 손잡이가 달린 간이 넷트(그물눈 크기 약 0.3 mm)를 사용하여 채집한 뒤 관병에 넣고 4% 포르말린 용액이나 95% 알콜로 고정한 후 70% 알콜에서 보존하였다.

표본을 관찰하기 위해서 polyvinyl lactophenol을 mounting medium으로 사용하여 대상 표본을 반 영구 프레파라트로 만들어 관찰하였으며, 염색이 필요한 경우에는 Lignin Pink (Gurr Mount Co.)를 사용하였다. 종의 미세구조 관찰을 위해 표본들을 해부하였는데, 이 때 사용된 해부침은 0.2 mm정도 굵기(No.35 또는 No.36)의 텅스

텐션을 끊는 아질산나트륨 속에 그 끝을 담가 부식시켜 만들었다.

종들의 분류학적 명세를 명확히 밝히기 위하여 각 종들에 대해 자세히 관찰하였으며, 관계문헌에 의거 주의깊게 동정하였다.

한편, 생태학적 연구는 주로 출현종들의 생태학적 특성을 밝히는 데 집중하였다. 이를 위하여 일차적으로 남한의 전역을 대상으로 모든 형태의 담수서식처에서 시기와 장소에 따른 종들의 출현유무를 조사하여 종합하였으며, 아울러 담수에 서식하는 생물종들의 출현유무에 영향을 미치는 주요한 환경요인으로 알려져 있는 수온, 수소이온농도(pH), 용존산소량(DO), 염도(salinity) 등을 조사하여 각 종들의 주요 환경요인들에 대한 내성의 최소, 최대한계 및 최적범위의 대강을 파악하고자 하였다. 이때 수온의 측정은 봉상수온온도계 및 디지털온도계(TOA)를, 수소이온농도 및 염도 등은 각각 운반형 계측기인 수소이온농도계(pH meter, TOA) 및 염도계(salinity meter, YSI, model 33) 등을 이용하였으며, 용존산소량은 운반형용존산소계(DO meter, TOA) 또는 Winkler-Azide 변법을 써서 측정하였다.

나. 사육실험 후보종 선발

1) 현장조사 및 사육종의 채집

분포 및 서식처별 대표종 조사를 통하여 파악된 대표종들의 출현시기와 분포에 유의하면서 현장조사를 실시하였다. 현장조사의 방법은 분포 및 서식처별 대표종 조사 연구에서의 방법과 동일하였으며, 특히 실험실내에서의 사육을 위한 재료들을 확보한 장소에 대하여는 장, 단기모니터링을 통한 주기적인 관찰과 현장조사를 실시하여 자연생태계내에서의 종개체군들의 변동양상을 파악하고 이들에 영향을 미치는 환경요인을 추론하여, 실험실내 사육조건 설정에 반

영하였다.

실험실내 사육을 위한 재료는 현장에서 특정한 종개체군이 우점한 상태를 포착하여 플랑크톤 넷트(Mesh no. 10 또는 25)와 손잡이가 달린 간이 넷트(Mesh size 0.3 mm)를 이용, 적당량을 농축한 후, 1 liter들이 관병에 넣어 생체로 실험실로 운반하였다. 이 때 일부의 재료는 따로 관병에 담고 현장에서 4% 중성포르말린으로 고정하여 실험실로 운반, 종의 정확한 동정과 생물군집 구조를 파악하는데 이용하였다. 이와는 별도로 현장의 원수를 약 5~10 liter 채수하여 실험실로 운반, 실험실에서의 초기사육에 이용하였다.

2) 실험실내 순화 및 후보종 선발

(가) 혼합사육 및 종별 분리사육

실험실내 햇별이 드는 창가에서 2개의 직경 35 cm 원형수조에 자연생태계 조건을 축소한 상태를 만들었는데, 그 가운데 하나는 공기주입기를 써서 약하게 공기를 주입하고 다른 하나는 그대로 둔 상태로 3~7일 정도 관찰하면서 산소요구조건을 비교하였다. 이와는 별도로 500 mL ~ 2,000mL 비이커에 서로 다른 크기와 서로 다른 밀도의 축소된 생태계를 만들고 이들을 유지시키면서 생태계의 크기와 개체군 밀도가 사육유지에 미치는 영향을 비교 관찰하여 이후의 종별 분리사육의 기초자료로 활용하였다.

혼합사육을 통하여 사육대상 종개체군이 유지되는 것이 확인된 실험군에 대하여 해부현미경하에서 개체들을 선별, 종개체군별로 분리사육을 실시하였다. 이때 사육에 이용한 배지로는 혼합사육시 이용하였던 자연수 배지를 standard sieve series (Mesh size 0.53~4 mm)를 써서 다른 포식자와 경쟁자를 단계적으로 걸러 제거한 것을

사용하였다. 이들을 500 mL ~ 2,000 mL 비이커에서 약 3~7일 동안 실험실 조건에 순화, 유지시키면서 개체군의 지속 및 성장 여부를 관찰하였다.

(나) 저온배양기내에서의 항온사육

실험실 조건에서 분리사육이 유지된 실험군들은 저온배양기로 옮겨 항온조건에서 사육하며 3~7일간 관찰하였다. 이때 조건은 문헌을 검토하는 한편, 본 연구에서 다수의 종개체군을 확보하였던 초여름의 환경조건을 반영하여 온도 20℃, 광조건 16h L : 8h D, 조도 $2,500 \pm 20\%$ Lux로 유지하였다.

(다) 인공합성배지내에서의 분리사육

저온항온사육기에서 분리사육이 유지되었던 실험군들에 대하여 향후 표준생태독성시험에 이용될 실험종으로서 요구되는 사육배지조건을 명확히 하기 위하여 순수배양종이던 담수조류를 먹이로 한 인공담수합성수에서의 사육을 시도하였다. 인공담수합성수로는 먼저 담수조류의 배양을 위해서 USEPA (1991)의 담수조류배양배지를 사용하였으며, 종들의 사육유지 정도를 파악하기 위하여 USEPA (1991)에 의해 제시된 soft type과 moderately hard type의 합성담수배지를 사용하여 사육하였다. 실험에 이용된 각 배지의 조성은 다음과 같다 (각각 배지 1 liter에 포함된 성분임).

담수조류배양배지:

MgCl₂ · 6H₂O -- 6.08g; CaCl₂ · 2H₂O -- 2.20g; NaNO₃ -- 12.75g;
MgSO₄ · 7H₂O -- 7.35g; K₂HPO₄ -- 0.522g; NaHCO₃ -- 7.50g;
H₃BO₃ -- 92.8mg; MnCl₂ · 4H₂O -- 208.0mg; CoCl₂ · 6H₂O -- 0.714mg;
FeCl₃ · 6H₂O -- 79.9mg; ZnCl₂ -- 1.64mg; Na₂MoO₄ · 2H₂O -- 3.63mg;
CuCl₂ · 2H₂O -- 0.006mg; Na₂EDTA · 2H₂O -- 150.0mg; Na₂SeO₄ -- 1.196 mg

Soft type 합성담수배지:

NaHCO₃ -- 48.0mg; CaSO₄ · 2H₂O -- 30.0mg; MgSO₄ -- 30.0mg; KCl -- 2.0mg

Moderately Hard type 합성담수배지:

NaHCO₃ -- 96.0mg; CaSO₄ · 2H₂O -- 60.0mg; MgSO₄ -- 60.0mg; KCl -- 4.0mg

한편 먹이의 밀도와 배지교환주기는 각 배지조성에서의 조류성장속도를 측정하여 결정하였는데, 본 실험에서는 먹이인 배양조류의 밀도 $1 \times 10^5 \sim 5 \times 10^5$ cells/mL을 기준으로 하여 3~4일 간격으로 배지교환을 하며 사육을 유지하였다. 그 밖의 온도조건과 광조건은 자연수배지를 이용한 항온사육실험에서와 동일한 조건으로 하였다.

이상의 사육조건으로 각 종들을 사육하면서 개체군 변동양상을 관찰함으로써 기초적인 각 종의 사육특성을 파악하였는데, 초기 사육조건으로서 250 mL 비이커에 100 mL의 배지를 채우고 각 종마다 3 개체씩을 분양한 실험군을 2가지 먹이에 따라 각각 4반복하여 사육을 실시하였으며, 매일 동일한 시각에 1회씩 관찰하여 그 결과를 정리하였다.

2. 연구수행 내용 및 결과

가. 분포조사 및 대표종 선정

1) 야외 현장조사

각종 담수역에 서식하는 물벼룩류와 요각류의 종류상과 출현특성을 파악하기 위하여 1995년 12월부터 1996년 11월까지 남한의 총 57개 지소에서 조사, 표본을 채집하였으며, 그 지점과 채집일자는 다음과 같다(그림3-2, 목록 3-1).

목록 3-1. 조사정점

(경기도)

- 1, 동두천 소요산 계류 웅덩이 (1996. 5. 12); 2, 수원시 서호 (1996. 9. 5); 3, 송탄시 서정동 논 (1996. 4. 28).

(강원도)

- 4, 홍천군 두촌면 영내리 논 (1996. 5. 22); 5, 인제군 북면 고원 통리 논 (1996. 5. 22); 6, 설악산 진부령 계류 (1996. 8. 24); 7, 인제군 북면 용대리 내설악 백담계류 및 습지 (1996. 3. 1; 1996. 8. 16); 8, 속초시 설악동 설악산 외설악 쌍천 계류 (1996. 2. 29; 1996. 8. 14-15); 9, 속초시 도문동 논 (1996. 5. 21); 10, 양양군 남애2리 우물 (1996. 8. 24); 11, 오대산 소금강 매표소 옆 계류 (1996. 5. 3); 12, 강릉시 지변동 샘 (1996. 8. 23).

(충청북도)

- 13, 황간 금강 상류 (1996. 5. 24).

(충청남도)

- 14, 태안군 근흥면 연포 수로, 갈대웅덩이 (1996. 5. 24); 15, 태안군 원북면 사창리 사창저수지 (1996. 9. 14); 16, 천안시 안서동 안서지 (1996. 5. 23); 17, 청양군 청양읍 장곡리 우물 (1996. 5. 24); 18, 부여시 백제대교 하 백마강 (1996. 9. 15); 19, 공주군 계룡면 봉명리 논 및 농수로 (1996. 4. 28).

(전라북도)

- 20, 정읍시 태인면 태창리 논 (1996. 7. 24); 21, 고창군 선운산 계류 (1996. 4. 28).

(전라남도)

- 22, 영광군 염산면 신성리 논, 농수로 (1996. 8. 6); 23, 영광군

염산면 대천저수지 (1996. 4. 7): 24, 신안군 지도읍 읍내리 해안가 습지, 논 (1996. 8. 6): 25, 장성군 남면 분향리 논 (1996. 4. 17): 26, 담양군 남면 광주호 (1995. 12. 7; 1996. 11. 11; 1996. 11. 25): 27, 담양군 남면 면천 논 (1996. 4. 17): 28, 화순군 화순읍 이십곡리 논 (1996. 5. 18): 29, 해남군 화원면 마산리 초등학교 연못 (1996. 7. 31): 30, 해남군 화원면 청룡리 금호 및 근처 습지, 웅덩이 (1996. 4. 20): 31, 해남군 화원면 삼호 (1996. 4. 20): 32, 진도군 의신면 초상리 논 (1996. 6. 4): 33, 진도군 고군면 회동저수지, 논 (1996. 6. 4): 34, 진도군 고군면 향동리 논못자리, 웅덩이 (1996. 6. 4): 35, 완도군 신지면 논 (1996. 6. 15): 36, 장흥군 안양면 학동리저수지 (1996. 11. 24): 37, 순천시 별양면 용두리 논 (1996. 8. 1): 38, 순천시 송광면 이읍리 논, 주암호 (1996. 8. 1).

(광주광역시)

39, 북구 용강동 용산교 상부 영산강 (1996. 4. 24): 40, 동구 청옥동 논, 연못, 습지 (1996. 4. 17).

(경상북도)

41, 문경시 호계면 부곡리 암굴, 숫굴 웅덩이 (1996. 8. 1): 42, 문경시 가은읍 막곡1리 우물, 봉암계곡 (1996. 7. 31): 43, 울진 망양정 샘 (1996. 8. 23): 44, 경산시 진량면 내리리 연못 (1996. 3. 16): 45, 경산시 진량면 내리리 논 (1996. 6. 29): 46, 경산시 자인면 울산서원 앞 수로(1996. 3. 17): 47, 경산시 하양읍 금호강 (1996. 5. 11): 48, 경주시 양북면 대종천 하류 (1996. 5. 15).

(경상남도)

49, 창원군 이방면 우포늪 (1996. 8. 25); 50, 김해시 조안천 (1995. 12. 19; 1996. 3. 20; 1996. 7. 10; 1996. 8. 13; 1996. 9. 5); 51, 함양군 수동면 죽산리저수지 (1996. 9. 21); 52, 사천시 서포면 조도리 해안가 웅덩이 (1996. 8. 2).

(부산광역시)

53, 명지 서낙동강 하류 (1995. 12. 19; 1996. 3. 20); 54, 서낙동강 (가락, 녹산 수문) (1996. 6. 22).

(제주도)

55, 서귀포 천지연, 하천 (1996. 7. 6); 56, 서귀포 안덕계곡 (1996. 7. 8); 57, 우도 웅덩이 (1996. 7. 13).

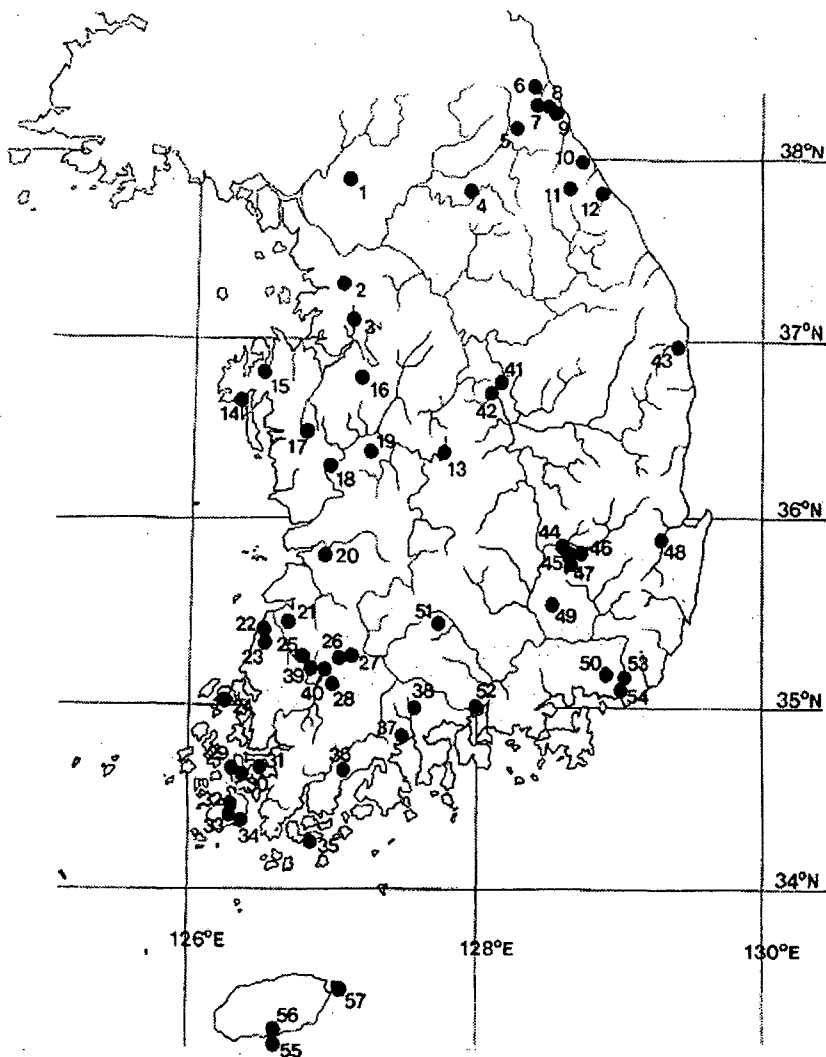


그림 3-2. 담수 무척추동물 조사 및 표본 채집지역

2) 표본의 관찰, 동정 및 분류

본 연구기간 동안에 채집된 표본들과 과거에 채집되어 서울대학교 분자생물학과, 대구대학교 생물학과 및 조선대학교 과학교육과에 보관중이던 일부 표본과 슬라이드들을 재검토한 결과 현재까지 물벼룩류 6과 21속 41종, 요각류 11과 29속 47종 등 총 17과, 50속, 88종을 동정, 분류하였으며, 그 목록은 다음(목록 3-2)과 같다.

목록 3-2. 종의 목록

Superclass Crustacea Pennant, 1777 갑각 상강

Class Branchiopoda Latreille, 1817 새각 강

Order Ctenopoda Sars, 1865

Family Sididae Baird, 1850 긴꼬리물벼룩 과

Genus *Sida* Straus, 1820 수정물벼룩 속

1. *Sida crystallina* (O.F. Müller, 1776) 수정물벼룩

Genus *Diaphanosoma* Fischer, 1850 긴꼬리물벼룩 속

2. *Diaphanosoma sarsi* Richard, 1894 남방긴꼬리물벼룩

3. *Diaphanosoma dubia* Manuilova, 1964

4. *Diaphanosoma* sp.

Order Anomopoda Sars, 1865 이지 목

Family Daphniidae Straus, 1820 물벼룩 과

Genus *Daphnia* O.F. Müller, 1785 물벼룩 속

5. *Daphnia galeata* Sars, 1864 유리물벼룩

6. *D. pulex* Leydig, 1860 참물벼룩

7. *D. obtusa* Kurz, 1874

8. *Daphnia* sp.

Genus *Ceriodaphnia* Dana, 1853 민코물벼룩 속

9. *Ceriodaphnia cornuta* Sars, 1885 뽕족코물벼룩
10. *C. laticaudata* P.E. Müller, 1867 볼록배민코물벼룩
11. *C. megos* Sars, 1862 오목배민코물벼룩
12. *C. pulchella* Sars, 1862 두줄가시물벼룩
13. *Ceriodaphnia* sp.
Genus *Simocephalus* Schoedler, 1858 시모물벼룩 속
14. *Simocephalus vetulus* (O.F. Müller, 1776) 긴눈시모물벼룩
15. *S. serrulatus* (Koch, 1841) 털이마시모물벼룩
Genus *Scapholeberis* Schoedler, 1858 곱사등물벼룩 속
16. *Scapholeberis mucronata* (O.F. Müller, 1785) 곱사등물벼룩
17. *Scapholeberis* sp.
Family Moinidae Goulden, 1968 모이나물벼룩 과
Genus *Moina* Baird, 1850 모이나물벼룩 속
18. *Moina macrocopa* (Straus, 1820) 모이나물벼룩
19. *M. affinis* Birge, 1893 털시궁모이나물벼룩
20. *M. weismanni* Ishikawa, 1896 시궁모이나물벼룩
Family Bosminidae Sars, 1865 긴빨물벼룩 과
Genus *Bosmina* Baird, 1845 긴빨물벼룩 속
21. *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785) 긴빨물벼룩
22. *Bosmina* sp.
Genus *Bosminopsis* Richard, 1895 긴빨물벼룩붙이 속
23. *Bosminopsis deitersi* Richard, 1895 긴빨물벼룩붙이
Family Macrothricidae Norman and Brady, 1867 털물벼룩 과
Genus *Echinisca* Liévin, 1848 침털물벼룩 속
24. *Echinisca rosea* Liévin, 1848 침털물벼룩

- Genus *Ilyocryptus* Sars, 1862 흙털물벼룩 속
25. *Ilyocryptus agilis* Kurz, 1878 흙털물벼룩
26. *Ilyocryptus* sp.
- Genus *Macrothrix* Baird, 1843 털물벼룩 속
27. *Macrothrix laticornis* (Jurine, 1820) 털물벼룩
Family Chydoridae Stebbing, 1902 씨물벼룩 과
Subfamily Aloninae Frey, 1965 큰씨물벼룩 아과
Genus *Alona* Baird, 1850 큰씨물벼룩 속
28. *Alona rectangula* Sars, 1862 둥근배큰씨물벼룩
29. *A. costata* Sars, 1862 줄무늬큰씨물벼룩
30. *A. guttata* Sars, 1862 오목배큰씨물벼룩
31. *A. rectangula* Sars, 1862. 둥근배큰씨물벼룩
32. *A. quadrangularis* (O.F. Müller, 1785) 사각배큰씨물벼룩
33. *Alona* sp.
- Genus *Biapertura* Smirnov, 1971 털발톱물벼룩 속
34. *Biapertura affinis* (Leydig, 1860) 털발톱물벼룩
Genus *Camptocercus* Baird, 1843 긴배물벼룩 속
35. *Camptocercus uncinatus* Smirnov, 1971
- Genus *Leydigia* Kurz, 1874 넓은배물벼룩 속
36. *Leydigia ciliata* Gauthier, 1939 좁쌀줄무늬넓은배물벼룩
Genus *Monospilus* Sars, 1862 애꾸물벼룩 속
37. *Monospilus dispar* Sars, 1862 애꾸물벼룩
Subfamily Chydorinae Frey, 1968 씨물벼룩 아과
Genus *Alonella* Sars, 1862 육각무늬큰씨물벼룩 속
38. *Alonella excisa* (Fischer, 1854) 육각무늬큰씨물벼룩

- Genus *Chydorus* Leach, 1816 씨물벼룩 속
39. *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1785) 등근씨물벼룩
Genus *Disparalona* Fryer, 1968 짧은배씨물벼룩 속
40. *Disparalona rostrata* (Koch, 1841) 짧은배씨물벼룩
Genus *Pleuroxus* Baird, 1843 긴코물벼룩 속
41. *Pleuroxus hamatus* Birge, 1879 줄무늬긴코물벼룩
Class Copepoda Sars, 1886 요각 강
Order Calanoida Sars, 1903 칼라누스 목
Family Centropagidae Giesbrecht, 1892 갈고리노벌레 과
Genus *Sinocalanus* Burckhardt, 1913
42. *Sinocalanus sinensis* (Poppe, 1889) 황해노벌레
Family Pseudodiaptomidae Sars, 1903 나도노벌레 과
Genus *Schmackeria* Poppe and Richard, 1890 매부리노벌레 속
43. *Schmackeria inopius* (Burckhardt, 1913) 매부리노벌레
Family Diaptomidae Sars, 1903 노벌레 과
Genus *Heleodiptomus* Kiefer, 1932 햇님노벌레 속
44. *Heliodiptomus kikuchii* Kiefer 햇님노벌레
Genus *Acanthodiptomus* Kiefer, 1932 뽕족노벌레 속
45. *Acanthodiptomus pacificus* (Burckhardt) 태평뽕족노벌레
Order Harpacticoida Sars, 1903 하르팍티쿠스 목
Family Ectinosomatidae Sars, 1903
Genus *Halectinosoma* Lang, 1948
46. *Halectinosoma* sp.
Family Tachidiidae Lilljeborg, 1853 타키장수노벌레 과
Genus *Tachidius* Lilljeborg, 1853 타키장수노벌레 속

47. *Tachidius (Tachidius) incisipes* Klie, 1913 타키장수노벌레
48. *Tachidius (Neotachidius) triangularis* Shen and Tai, 1963
세모타키장수노벌레
Family Harpacticidae Sars, 1909 장수노벌레 과
Genus *Harpacticella* Sars, 1908 어리장수노벌레 속
49. *Harpacticella itoi* Chang and Kim, 1989 어리장수노벌레
Family Diosaccidae Sars, 1906 두주머니장수노벌레 과
Genus *Schizopera* Sars, 1905 갈래장수노벌레 속
50. *Schizopera clandestina* (Klie) 갈래장수노벌레
51. *S. neglecta* Akatova 민짜갈래장수노벌레
Family Ameiridae Monard, 1929 맵시장수노벌레 과
Genus *Nitocra* Boeck, 1864 예쁜이장수노벌레 속
52. *Nitocra lacustris* (Schmankewitz, 1875) 예쁜이장수노벌레
Family Canthocamptidae Sars, 1906 이족장수노벌레 과
Genus *Canthocamptus* Westwood, 1836 이족장수노벌레 속
53. *Canthocamptus carinatus* Shen and Sung, 1973 마루딱정장수노벌레
Genus *Bryocamptus* Chappuis, 1928 이끼장수노벌레 속
54. *Bryocamptus (Limocamptus) hiemalis yunnanensis* Borutzky,
1952 이끼장수노벌레
55. *B. (Bryocamptus) minutus* (Claus) 꼬마장수노벌레
56. *B. (Reheocamptus) zschokkei caucasicus* (Borutzky, 1930)
코카삭장수노벌레
Genus *Attheyella* Brady, 1880 털보장수노벌레
57. *A. (Attheyella) paucisetosa* Chang and Kim, 1993 작은털보
장수노벌레

58. *A. (Mrazekiella) byblis* Chang and Kim, 1993 두마디장수노벌레
59. *A. (Mrazekiella) tetraspinosa* Chang, 1993 네가시장수노벌레
Genus *Maraenobiotus* Mrazek, 1893 요정장수노벌레 속
60. *Maraenobiotus brucei* (Richard, 1898) 요정장수노벌레
Genus *Elaphoidella* Chappuis, 1928
61. *Elaphoidella bidens* (Schmeil, 1894)
Family Cletodidae T. Scott, 1904
Genus *Limnocletodes* Borutzky, 1926
62. *Limnocletodes* sp.
Order Cyclopoida Sars, 1886 키클로프스 목
Family Cyclopidae Sars, 1913 검물벼룩 과
Genus *Macrocylops* Claus, 1893 큰검물벼룩 속
63. *Macrocylops albidus* (Jurine, 1820) 맨송꼬리큰검물벼룩
64. *M. fuscus* (Jurine, 1820) 몽당꼬리큰검물벼룩
Genus *Eucyclops* Claus, 1893 톱니꼬리검물벼룩 속
65. *Eucyclops serrulatus* (Lilljeborg, 1901) 톱니꼬리검물벼룩
66. *E. macruoides* (Lilljeborg) 긴톱니꼬리검물벼룩
67. *E. macruoides denticulatus* (Graeter, 1903) 잔니치레검물벼룩
Genus *Tropocyclops* Kiefer, 1927 남방검물벼룩 속
68. *Tropocyclops prasinus* (Fischer, 1860) 녹두검물벼룩
Genus *Paracyclops* Claus, 1893 이형검물벼룩 속
69. *Paracyclops fimbriatus* (Fischer, 1853) 이형검물벼룩
70. *P. affinis* (Sars, 1863) 근친이형검물벼룩
Genus *Ectocyclops* Brady, 1904 이방검물벼룩 속
71. *Ectocyclops phaleratus* (Koch, 1838) 이방검물벼룩

- Genus *Cyclops* O.F. Müller, 1776 검물벼룩 속
72. *Cyclops vicinus vicinus* Uljanin, 1875 참검물벼룩
Genus *Megacyclops* Kiefer, 1927 코끼리검물벼룩 속
73. *Megacyclops viridis* (Jurine, 1820) 코끼리검물벼룩
Genus *Acanthocyclops* Kiefer, 1927 가시검물벼룩 속
74. *Acanthocyclops tokchogensis* Kim and Chang, 1989 덕적가시검물벼룩
Genus *Diacyclops* Kiefer, 1927 맵시검물벼룩 속
75. *Diacyclops crassicaudis cretensis* (Kiefer, 1928) 열두마디
맵시검물벼룩
76. *D. languidoides* (Kiefer, 1928)
77. *D. thomasi* (Forbes, 1882) 맵시검물벼룩
78. *D. bicuspidatus* (Claus, 1857) 가시꼬리맵시검물벼룩
Genus *Microcyclops* Claus, 1893 꼬마검물벼룩 속
79. *Microcyclops varicans* (Sars, 1863) 꼬마검물벼룩
80. *M. varicans rubellus* (Lilljeborg, 1901) 가시꼬마검물벼룩
81. *M. longiramus* Shen and Sung, 1965 긴꼬리꼬마검물벼룩
Genus *Cryptocyclops* Sars, 1927 유령검물벼룩 속
82. *Cryptocyclops javanus* (Kiefer, 1929) 자바유령검물벼룩
83. *C. bicola* (Sars, 1863) 유령검물벼룩
Genus *Apocyclops* Lindberg, 1942
84. *Apocyclops* sp.
Genus *Mesocyclops* Sars, 1914 보통검물벼룩 속
85. *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857) 보통검물벼룩
86. *M. pehpeiensis* Hu, 1943 갈고리보통검물벼룩
Genus *Thermocyclops* Kiefer, 1927 온난검물벼룩 속

87. *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853) 유리온난검물벼룩

88. *T. taihokuensis* (Harada, 1931) 온난검물벼룩

3) 서식처(농약의 영향수역)에 따른 계절별 대표종 조사

본 연구에서 조사된 한국산 물벼룩류와 요각류의 서식처에 따른 계절별 대표종은 다음과 같다(표 3-1, 표 3-2).

표 3-1. 물벼룩류의 서식처(농약의 영향수역)에 따른 계절별 대표종

계절 서식처	겨울 ('95. 12.-'96. 2.)	봄 ('96. 3.-'96. 5.)	여름 ('96. 6.-'96. 8.)	가을 ('96. 9.-'96. 11)
논, 논웅덩이 (1차영향수역 - 정수역)		<i>Moina macrocopa</i> <i>Simocephalus</i> <i>vetulus</i>	<i>Moina macrocopa</i> <i>Simocephalus</i> <i>vetulus</i> <i>Daphnia obtusa</i>	<i>Simocephalus</i> <i>vetulus</i>
농수로 (1차영향수역 - 유수역)		<i>Simocephalus</i> <i>vetulus</i> <i>Scapholeberis</i> sp.	<i>Simocephalus</i> <i>vetulus</i> <i>Scapholeberis</i> sp.	
웅덩이, 습지 (2차영향수역 - 소형 정수역)	<i>Chydorus</i> <i>sphaericus</i>	<i>Simocephalus</i> <i>vetulus</i> <i>Daphnia obtusa</i>	<i>Simocephalus</i> <i>vetulus</i> <i>Daphnia obtusa</i>	<i>Simocephalus</i> <i>vetulus</i> <i>Chydorus</i> <i>sphaericus</i>
저수지, 호수 (2차영향수역 - 대형 정수역)	<i>Bosmina</i> <i>longirostris</i> <i>Alona costata</i>	<i>Diaphanosoma</i> sp. <i>Daphnia galeata</i> <i>Chydorus</i> <i>sphaericus</i>	<i>Diaphanosoma</i> sp. <i>Daphnia galeata</i>	<i>Diaphanosoma</i> sp. <i>Bosmina</i> <i>longirostris</i> <i>Daphnia galeata</i>
강, (대형)하천 - 대형 유수역)	<i>Bosmina</i> <i>longirostris</i>	<i>Diaphanosoma</i> sp. <i>Daphnia galeata</i>	<i>Diaphanosoma</i> sp. <i>Daphnia galeata</i>	<i>Diaphanosoma</i> sp. <i>Bosmina</i> <i>longirostris</i> <i>Daphnia galeata</i>

표 3-2. 요각류의 서식처(농약의 영향수역)에 따른 계절별 대표종

계절 서식처	겨울 ('95. 12. - '96. 2.)	봄 ('96. 3. - '96. 5.)	여름 ('96. 6. - '96. 8.)	가을 ('96. 9. - '96. 11)
논, 논옹덩이 (1차영향수역 - 정수역)		<i>Mesocyclops leuckarti</i>	<i>Termocyclops taihokuensis</i> <i>Megacyclops viridis</i>	
농수로 (1차영향수역 - 유수역)		<i>Paracyclops fimbriatus</i>	<i>Mesocyclops pehpeiensis</i>	
옹덩이, 습지 (2차영향수역 - 소형 정수역)	<i>Eucyclops serrulatus</i>	<i>Eucyclops serrulatus</i>	<i>Eucyclops serrulatus</i> <i>Macrocyclus albidus</i>	<i>Eucyclops serrulatus</i>
저수지, 호수 (2차영향수역 - 대형 정수역)	<i>Cyclops vicinus</i>	<i>Thermocyclops crassus</i> <i>Heliodyptomus kikuchii</i>	<i>Thermocyclops taihokuensis</i>	<i>Thermocyclops crassus</i> <i>Cyclops vicinus</i>
강, (대형)하천 - 대형 유수역)	<i>Cyclops vicinus</i>	<i>Thermocyclops crassus</i>	<i>Heliodyptomus kikuchii</i> <i>Macrocyclus albidus</i>	<i>Thermocyclops crassus</i> <i>Cyclops vicinus</i>
기수역 (2차영향수역)	<i>Tachidius triangularis</i>	<i>Schmackeria inopius</i>	<i>Schmackeria inopius</i>	<i>Schmackeria inopius</i>

나. 사육실험 후보종 선정

1) 현장조사 및 사육실험의 재료 확보

1997년 3월부터 1997년 11월까지 남한의 약 50여개 지소의 다양한 담수서식처를 포괄하는 농약의 1차영향수역 및 2차영향수역에서 현장조사를 실시하였으며, 이와 동시에 농약의 1차영향수역 1개소(논-전남 장성군 남면 분항리 일대)와 2차영향수역 2개소(농업용 관개호수-전남 담양군 고서면 광주호; 소형 우수지-광주광역시 동구 청옥동 소재)에 대하여 각각 1~2주일을 간격으로 장기적인 생태계 모니터링 및 단기적 생태계모니터링을 실시하여 사육실험 대상종들의 분포에 영향을 미치는 주요 환경요인을 파악, 실험실내 사육실험의 조건에 반영하였다. 조사 결과 자연상태의 담수환경에서 종들의 출현에 영향을 미치는 주요환경요인은 수온, 일주기, 영양염, 먹이와 경쟁종 등이었으며, pH는 상대적으로 영향이 적은 것으로 파악되었으며, 1차영향수역의 경우 농약살포 후 새로운 군집의 정착이 이루어지기 까지의 기간은 약 10~15일 간격인 것으로 밝혀졌다. 또한 현장에서 요각류 2종과 물벼룩류 6종 등 총 8종의 대표종들을 채집, 생체로 운반하여 실험실내 사육실험의 재료로 이용하였다(표 3-3). 이 가운데 모이나물벼룩(*Moina macrocopa*)은 농약의 1차영향수역에 분포하는 수서무척추동물 가운데 가장 대표적인 종으로서, 거의 모든 조사정점에 출현하였으며, 농약살포 후 생태계회복이 될 때에도 가장 흔하게 먼저 관찰되는 종이었다. 긴눈시모물벼룩(*Simocephalus vetulus*)은 농약의 1차영향수역인 논과 논웅덩이에도 분포하지만, 농약이 본격적으로 살포된 후에는 조사정점에 따라 생태계 회복시 분포가 극히 제한되는 것으로 드러났으며, 밀도도 매우 낮은 편이었다. 이 종은 농약의 1차영향수역에도 존재하지만 주로 2차영향수역

에 분포하는 것으로 판단된다. 기타의 종들은 모두 농약의 2차영향 수역에서만 분포구역이 제한되어 있는 것으로 판단된다.

2) 실험실내 순화 및 후보종 선발

가) 혼합사육 및 종별 분리사육

자연생태계 조건을 축소시킨 상태로 현장에서 채집된 종들을 혼합 사육, 실험실 조건에 순화시키며 관찰한 결과, 대부분의 종에서 수 온 13~27℃의 범위에서 약 1개월 이상 동안 개체군 크기의 변동은 있었으나 대체적으로 급격한 소멸 등의 변화없이 생태계가 유지되었다. 자연수를 배지로 한 종별 분리사육에서도 사육이 시도된 모든 종들은 실험실 조건에서 3~7일 동안 큰 변동없이 개체군이 유지되었다.

나) 향온사육

실험실 조건에서 분리사육되었던 종들을 향온배양기로 옮겨 향온 조건에 순화시키면서 자연수배지에 온도 20℃, 광주기 16h L:8h D, 조도 2,500±20% Lux조건으로 사육한 결과, 8종 모두 개체군 크기가 증가되면서 사육이 유지되었다(표 3-3).

다) 인공합성수배지내에서의 분리사육

자연수배지에서 향온사육이 지속된 8종을 USEPA (1991)에 따른 합성담수배지로 옮겨 녹조류 2종(*Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus subspicatus*)을 각각 먹이(밀도 5×10^5 cells/mL)로 하여 동일한 조건하에서 사육 실험한 결과, 긴빨물벼룩(*Bosmina longirostris*)을 제외한 7종은 모두 사육이 유지되었다. 긴빨물벼룩은 크기가 작아서(체장 0.5

mm 미만) 육안으로 종의 확인이 어렵기 때문에 향후 독성실험에 유용성이 떨어지는 종으로 판단되었으므로 이 단계에서 실험의 진행을 중단하였다(표 3-3).

앞의 조건에서 사육이 유지되었던 7종에 대하여 한 배의 후손들을 계대사육하여 순계의 많은 개체수를 얻기 위한 순계사육을 시도하였다. 이때 2종의 요각류는 양성생식을 하며 여러 번의 변태를 하는 유생단계들을 거치므로 실험(임의의 노플리우스 단계의 2개체로부터 시작함)횟수에 따른 성체발생 성공률이 낮아 종국적으로는 순계사육에 실패하였다. 또한 요각류는 섭식특성(잡식성)에 따른 개체군 생장의 변동이 심하다고 판단되었으므로 더 이상의 사육실험을 중지하였다(표 3-3). 이와 같은 실험의 결과를 분석해 볼 때 연구대상 수서무척추동물 분류군들 가운데 물벼룩류는 십각류나 요각류에 비해 단위생식의 방법으로 번식하므로 실험실내에서 순계사육유지와 대량 사육이 용이한 것을 알 수 있었으며, 따라서 다음 단계의 실험은 물벼룩류에 집중되었다. 그러나 순계사육이 용이하였던 물벼룩류 가운데 곱사등물벼룩류(*Scapholeberis* sp.)와 등근씨물벼룩(*Chydorus sphaericus*)은 크기가 1 mm이하의 소형종들이어서 육안관찰이 쉽지 않고 생태특성 파악에 어려움이 있어 생태독성시험에의 이용가치가 작은 것으로 판단되어 사육실험을 중단하였다(표 3-3).

Table 3-3. Results of the laboratory culture for freshwater invertebrates

분류군	종명 및 사육현황 (사육일수)	사육 진행 여부	영향 수역 별	비 고
요각류	보통검물벼룩(<i>Mesocyclops leuckarti</i>) —————> (23일)	X	2차	양성생식, 잡식성: 순계 유지사육 어려움
	톱니꼬리검물벼룩(<i>Eucyclops serrulatus</i>) —————> (25일)	X	2차	양성생식, 잡식성: 순계 유지사육 어려움
물벼룩류	몽당물벼룩(<i>Daphnia obtusa</i>) —————>(148일)	0	2차	순수분리사육 성공, 대 량사육 도중 개체군 급 감(소멸)
	모이나물벼룩(<i>Moina macrocopa</i>) —————>(185일)	0	1차	순수분리사육 성공, 종 특성 파악 실험 진행중
	긴눈시모물벼룩(<i>Simocephalus vetulus</i>) —————>(175일)	0	1차, 2차	순수분리사육 성공, 대 량사육 도중 개체군 크 기 감소
	곰사등물벼룩류(<i>Scapholeberis sp.</i>) —————> (49일)	X	2차	유용성(작은 크기) 떨어 짐: 사육 중단
	긴빨물벼룩(<i>Bosmina longirostris</i>) —> (5일)	X	2차	순수분리사육 어려움, 작은 크기: 사육 실패
	등근씨물벼룩(<i>Chydorus sphaericus</i>) —————> (39일)	X	2차	유용성(작은 크기) 떨어 짐: 사육 중단

인공합성수(USEPA, 1991)를 배지로하여 6종의 물벼룩류들을 항온 조건에서 분리사육한 실험결과는 그림 3-3 및 그림 3-4과 같다. 실험군의 사육에 적용한 조건은 앞의 항온사육실험에서의 조건과 같았으며, 면전으로 입구를 막은 250 mL 삼각플라스크에 100 mL의 배지를 넣고 그 속에 최초 3개체씩을 분양하여 사육했는데, 이때 먹이종의 밀도는 1×10^5 cells/mL로 하였고 배지의 교환주기는 4일간격으로 하였으며 관찰간격은 24시간을 주기로 하였다. 제시된 결과들은 긴빨물벼룩(*B. longirostris*)과 곰사등물벼룩류(*Scapholeberis sp.*) 및 등근씨물벼룩(*C. sphaericus*)의 경우 각각 3반복수의 실험군에서 얻은 결과를 평균한 값들이며, 긴눈시모물벼룩(*S. vetulus*)은 4반복수의 실험군에서 얻은 결과를 평균한 값들이고, 몽당물벼룩(*D.*

obtusa)과 모이나물벼룩(*Moina macrocopa*)의 경우 각각 2반복수의 실험군에서 얻은 결과들을 평균하여 나타낸 값들이다. 몽당물벼룩 (*D. obtusa*)과 모이나물벼룩(*Moina macrocopa*)의 경우 최초의 실험군 반복수는 각각 4와 3이었으나 사육개시 후 각각 15일 및 12일이 경과된 시점에서 각각 2개 및 1개의 실험군에 갑작스런 개체군 소멸이 일어났으므로 이를 제외하였다.

그림 3-3과 그림 3-4에서 보듯이 사육된 물벼룩 종들은 *Secenedesmus subspicatus*를 먹이로 하였을 때(그림 3-4) 보다는 *Selenastrum capricornutum*을 먹이로 하였을 때(그림 3-3) 개체군 성장이 활발하며, 사육이 원활히 진행된 것으로 드러났다. 두 경우 모두에서 비교적 지속적인 사육이 이루어진 종들은 긴눈시모물벼룩 (*S. vetulus*)과 몽당물벼룩(*D. obtusa*)의 2종이었으며, 긴빨물벼룩 (*B. longirostris*)은 2가지 경우 모두에서, 곱사등물벼룩류 (*Scapholeberis* sp.)와 모이나물벼룩(*Moina macrocopa*) 및 둥근씨물벼룩(*C. sphaericus*)은 *Secenedesmus subspicatus*를 먹이로 하였을 때 지속적인 사육이 이루어지지 못했다(그림s 3-3, 3-4).

*Selenastrum capricornutum*을 먹이종으로 한 실험에서 긴눈시모물벼룩과 모이나물벼룩 및 곱사등물벼룩류의 3종은 각각 최대 개체군 크기를 보인 후 어느 정도 기간 동안 개체군 성장과 감소를 거듭하다 비교적 안정된 개체군 크기를 지속하는 경향을 보였다(그림 3-2). 이상의 실험 결과로부터 향후의 표준생태독성실험에 유용할 것으로 판단되는 종들에 대한 보다 자세한 사육특성 및 생태특성을 파악하는 것이 필요하다는 것을 알 수 있었다.

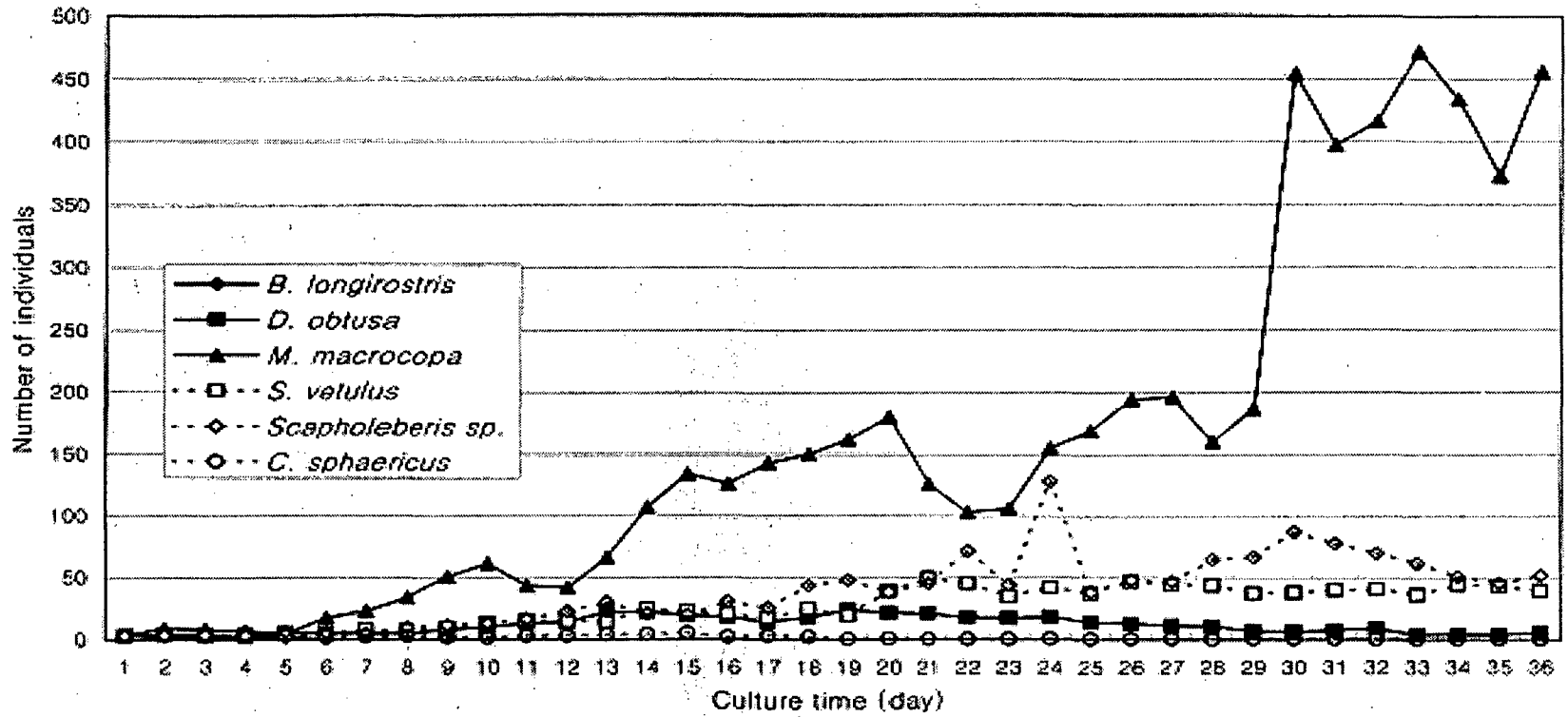


Fig.3-3. Growth pattern of cladoceran populations fed with *Selenastrum carpicornutum* in the synthetic freshwater

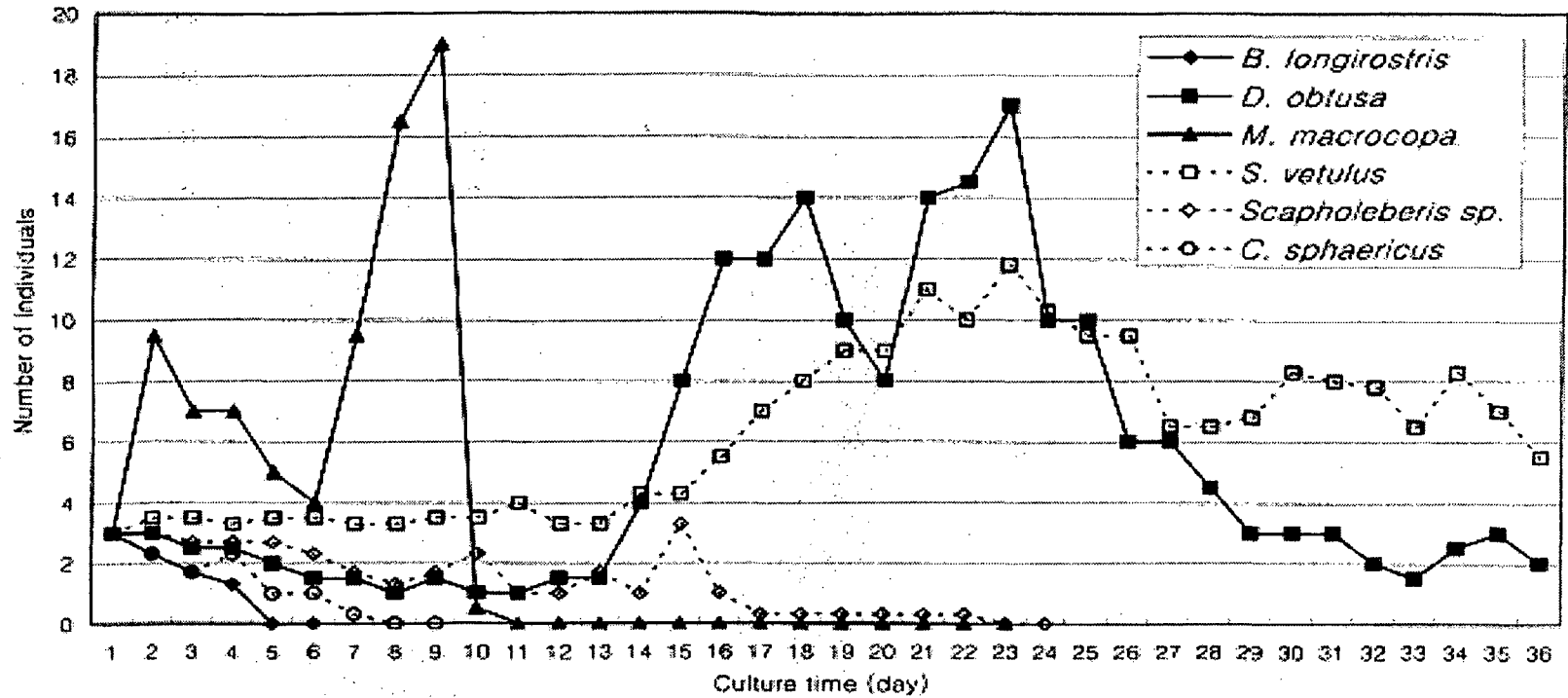


Fig.3-4. Growth pattern of cladoceran populations fed with *Scenedesmus subspicatus* in the synthetic freshwater

3. 결 과 요 약

실험의 결과를 요약하면 1차적으로 각종 담수역에 서식하는 물벼룩류, 요각류 및 새우류의 종류상과 출현특성을 파악하기 위하여 1995년 12월 부터 1996년 11월 까지 남한의 총 57개 지소에서 조사, 표본을 채집하였으며, 본 연구기간 동안에 채집된 표본들과 과거에 채집되어 서울대학교 분자생물학과, 대구대학교 생물학과 및 조선대학교 과학교육과에 보관중이던 일부 표본과 슬라이드들을 재검토한 결과 현재까지 물벼룩류 6과 21속 41종, 요각류 11과 29속 47종 등 총 17과, 50속, 88종을 동정, 분류하였다. 그리고 한국산 물벼룩류와 요각류의 농약의 영향 수역에 따라 구분한 서식처에 따른 계절별 대표종을 조사하였다(표 3-1, 3-2).

이들 대표종에 대해 실험실에서 혼합사육과 단계적인 종별 분리 사육을 통하여 초식을 주로 하는 섭식특성을 지니고 있으며 단위생식의 방법으로 번식을 하는 물벼룩류의 종들이 순수사육 유지의 측면과 생태독성실험에의 활용성 면에서 효과적인 무리임을 확인하였다. 실험사육된 물벼룩류 대표종들 가운데 종의 크기에 있어서나 실험실 조건에서 개체군 유지의 용이성 등을 고려하여 몽당물벼룩(*Daphnia obtusa*)과 모이나물벼룩(*Moina macrocopa*) 및 긴눈시모물벼룩(*Simocephalus vetulus*)과 같은 3종의 물벼룩들을 선정, 실험실 내 사육을 지속하면서 이들에 대한 기초적 사육특성을 파악하고 이 종들이 향후의 표준생태독성시험에 활용성이 크다는 것을 확인하였다.

제 3 절 실내 사육특성 조사 및 사육법 확립

1. 연구수행 방법

가. 물벼룩 먹이용 藻類(algae) 및 배양

1) 試驗藻類

시험물벼룩의 먹이로 사용된 조류(algae) 중 *Selenastrum capricornutum*(ATCC 22662)은 미국 American Type Culture Collection에서, *Scenedesmus subspicatus*(CCAP 276/20)는 영국 Shell Research Limited의 Sittingbourne Research Center에서 분양 받은 종이다. 그리고 *Chlorella vulgaris*(CCAP 211/12)는 영국 Zeneca사의 Brixham Environment Laboratory에서 계대배양 중인 종을 분양 받았다. 이들 3종 모두 농업과학기술원 환경독성실험실에서 계대배양하면서 시험에 사용하였다.

2) 藻類 배지 조성

藻類 배양용 배지는 ATCC Culture medium 625 Gorham's Medium 과 Bold's Basal Medium을 사용하였다. Stock solution은 표 3-4와 표 3-5의 방법에 따라 각 조성별로 만들어 121℃, 1.2기압에서 20분간 멸균한 후, 4℃의 냉장고에 보관하며 제조 후 1개월 이내에 사용하였다. 배지가 필요할 경우에는 보관중인 stock solution을 일정량씩 증류수에 첨가한 뒤 위와 같은 방법으로 멸균하여 조류 배양에 사용하였다.

Table 3-4. Preparation of Bold's Basal Medium

Solution number	Substance	Amount added to deionised water	Amount of stock solution added to medium (mL/L)
Soln. i	NaNO ₃	10 g/200 mL	5
Soln. ii	CaCl ₂ · 2H ₂ O	1.0 g/200 mL	5
Soln. iii	MgSO ₄ · 7H ₂ O	3.0 g/200 mL	5
Soln. iv	K ₂ HPO ₄	3.0 g/200 mL	5
Soln. v	KH ₂ PO ₄	7.0 g/200 mL	5
Soln. vi	NaCl	1.0 g/200 mL	5
Soln. vii	EDTA + KOH	(2.5+1.55 g)/50 mL	1
Soln. viii	FeSO ₄ · 7H ₂ O	0.25 g/50 mL	1
Soln. ix	H ₃ BO ₃	0.57 g/50 mL	1
Soln. x	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	(0.44 g +	1
	MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.072 g +	
	MoO ₃	0.036 g +	
	CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.079 g +	
	Co(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	0.039 g)/50 mL	

Table 3-5. Preparation of ATCC Culture medium 625 Gorham's
Medim

Solution number	Substance	Amount added to deionised water	Amount of stock solution added to medium (mL/L)
Soln. i	MgSO ₄ · 7H ₂ O	3.75 g/250 mL	5
Soln. ii	NaN ₃	24.80 g/250 mL	5
Soln. iii	K ₂ HPO ₄	1.95 g/250 mL	5
Soln. iv	CaCl ₂ · 2H ₂ O	1.80 g/250 mL	5
Soln. v	Na ₂ CO ₃	1.00 g/250 mL	5
Soln. vi	Ferric-citrate	0.30 g/250 mL	5
Soln. vii	Citric acid	0.30 g/250 mL	5
Soln. viii	EDTA	0.05 g/250 mL	5
Soln. ix	Na ₂ SiO ₃ · 9H ₂ O	2.90 g/250 mL	5

3) 藻類 배지별 성장영향 조사

물벼룩의 먹이인 藻類를 안정적으로 공급하기 위해서는 오염되지 않게 지속적으로 순수 계대배양해야 하며, 먹이용으로 사용할 때는 별도로 계대배양한 조류를 접종하여 대량배양해야 한다. 따라서 순수 계대배양조건과 대량 배양조건에서 배양액에 따른 조류의 생장율을 조사하여 최적 배양액을 선정하고자 하였다.

계대배양조건에서 藻類 생장을 조사는 ATCC Culture Medium 625 Gorham's Medim과 Bold's Basal Medium을 표 3-4와 표 3-5의 방법에 따라 제조하여 100 mL씩을 250 mL 삼각 플라스크에 담고 솜마개로

막은 뒤 호일로 싸서 1.2에서 언급한 방법에 따라 살균한 뒤 *S. subspicatus*, *S. carpricornutum*, *C. vulgaris*를 각각 1 mL씩 접종하고 온도 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$, 24시간 광조건, 조도 1,000~1,500 Lux.에서 폭기없이 정치배양과 진탕배양(120 rpm)을 하면서 생장율을 2일 간격으로 조사하였다. 조사방법은 hemacytometer를 이용하여 광학현미경(Kahl Zeiss, Germany)상에서 200배율로 각 조류의 세포수를 계수하였다.

대량배양조건에서 藻類 생장율 조사는 ATCC medium과 Bold Basal Medium을 각각 1000 mL 씩 3000 mL 삼각 플라스크에 담고 호일로 잘 밀봉하여 살균한 뒤 미리 배양해 놓은 3종의 조류배양액을 5 mL 씩 접종한 뒤 온도 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$, 24시간 광조건, 조도 2,000~2,500 Lux.에서 배양하였다. 이때 기포발생장치를 이용해 공기를 주입하였는데, 슝필터가 달린 파스퇴르피펫을 PVC호스의 맨 끝에 꽂아 공기 주입 시 먼지 등의 이물질이 들어가 오염되는 것을 방지하였다. 조류의 생장율을 조사하기 위해 접종 당일부터 시작하여 2~3일 간격으로 200배율의 광학현미경 상에서 hemacytometer를 이용하여 cell수를 계수하였다.

4) 藻類의 cell density와 흡광도 관계 분석

현미경을 이용한 조류의 세포수를 계수하는데 걸리는 시간을 줄이기 위하여 조류배양액의 흡광도를 이용하여 세포수를 측정하고자, 배양이 끝난 고농도의 조류배양액을 2배씩 증류수로 희석하여 광학현미경으로 세포수를 계수하고 440 nm의 파장에서의 흡광도를 측정하였다. 세포수와 흡광도의 회귀직선식을 계산하고 상관관계를 구명하여 현미경을 통한 세포수 측정의 오차를 줄일 수 있는 흡광도 이

용방법의 가능성을 검토하였다. 측정회수는 *S. subspicatus*와 *S. capricornutum*의 경우는 59회, *C. vulgaris*는 57회이었다.

나. 국내산 물벼룩의 실내사육조건 구명

1) 시험 물벼룩

본 시험에 사용한 국내산 물벼룩은 조선대학교에서 *Daphnia* sp, *Daphnia obtusa*, 모이나물벼룩(*Moina macrocopa*), 긴눈시모물벼룩(*Simocephalus vetulus*) 4종을 분양받았으며, 국내산 물벼룩의 사육조건과 국제적으로 공인된 시험법과의 비교를 위해 *Daphnia magna*를 한국화학연구소 안전성연구센터에서 분양받아 동시에 시험에 사용하였다.

Table 3-6. Preparation of synthetic freshwater using reagent grade chemicals(USEPA Water Quality Criteria)

Water type	Reagent added (mg/L)				Final water quality		
	NaHCO ₃	CaSO ₄ · 2H ₂ O	MgSO ₄	KCl	pH	Hardness	Alkalinity
Very soft	12.0	7.5	7.5	0.5	6.4-6.8	10-13	10-13
Soft	48.0	30.0	30.0	2.0	7.2-7.6	40-48	30-35
Moderately hard	96.0	60.0	60.0	4.0	7.4-7.8	80-100	60-70
Hard	192.0	120.0	120.0	8.0	7.6-8.0	160-180	110-120
Very hard	384.0	240.0	240.0	16.0	8.0-8.4	280-320	225-245

2) 먹이조건이 생육에 미치는 영향

*S. subspicatus*와 *S. capricornutum* 및 *C. vulgaris*의 급이량에 따른 물벼룩의 생육차이를 비교하기 위해 대량배양한 3종의 조류를

4°C의 냉장고에 보관하여 가라앉은 조류를 수확하고 cell수를 계수하여 일정량을 매일 급이하였다(표 3-7).

Table 3-7. Concentration of algae in test medium

Algae tested	Algae concentration (x 10 ⁴ cells/mL)
<i>Scenedesmus subspicatus</i>	50, 25, 10, 5
<i>Selenastrum capricornutum</i>	50, 25, 10, 5
<i>Chlorella vulgaris</i>	100, 50, 25, 10

시험에 사용한 사육수는 *D. magna*의 경우는 hard water를 국내종의 경우는 moderately hard water를 사용하였다. 시험용기는 125 mL 유리비이커를 사용하였으며, 각 비이커에 100 mL의 사육수를 채우고 나서 태어난 지 24시간이 되지 않은 어린 물벼룩을 1마리씩 5반복으로 투입한 다음 항온수조에서 21일간 관찰하였다. 배양액의 교체는 일주일에 2번 교체하였다. 시험기간은 *M. macrocopa*는 10일로 하였으며 나머지 4종은 21일로 하였다. 광조건은 700~800 Lux의 조도로 16시간 명조건, 8시간 암조건으로 조절하였고 항온수조의 온도는 20 ±1°C내에서 고정하였다.

주요 조사내용은 시험물벼룩의 탈피여부, 출산한 어린물벼룩의 수, 어미의 치사유무, 이상증상 등을 관찰하고 최종일에는 각 물벼룩의 체장을 해부현미경으로 측정하였다.

3) 사육온도가 생육에 미치는 영향

온도조건에 따른 물벼룩의 생육차이를 조사하기 위하여 16, 20,

24, 28℃의 온도조건을 설정하였다. 먹이로는 대량배양한 *C. vulgaris*를 농축하여 $2.5 \times 10^5 \sim 5 \times 10^5$ cells/mL 수준으로 사육수에 매일 일정량씩 투여하였다.

본시험은 10반복 이상으로 수행하였고 시험기간, 시험배양액, 시험용기, 관찰기간 및 주요조사항목은 2)와 같다.

4) 사육수의 경도가 생육에 미치는 영향

배양액의 경도에 따른 물벼룩의 생육차이를 조사하기 위해 USEPA 담수합성배지 조제 기준(표 3-6)에 따라 조제한 5종류의 사육수를 24시간 폭기시킨 뒤 사용하였다. 먹이의 투여는 3)과 같이 *C. vulgaris*를 농축하여 사육수에 매일 일정량씩 투여하였다. 사육온도는 3)의 결과를 토대로 24℃에서 좋은 생장을 보인 *S. vetulus*는 전기간에 걸쳐 $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 내에서 고정하였고 나머지 종은 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 하였다.

본시험은 5반복으로 수행하였고 시험기간, 시험배양액, 시험용기, 관찰기간 및 주요 조사항목은 2)와 같다.

5) 사육밀도가 생육에 미치는 영향

대량사육 및 번식독성시험에서 물벼룩의 적정 밀도를 설정하기 위해 250 mL 비이커에 200 mL의 사육수를 채우고 시험물벼룩을 각각 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50마리씩을 투입한 뒤 물벼룩의 생육상황을 조사하였다. 먹이로는 대량배양한 *C. vulgaris*를 농축하여 사육수의 농도가 $1 \times 10^5 \sim 2.5 \times 10^5$ cells/mL가 되도록 매일 일정량씩 투여하였다. 시험기간, 시험배양액, 시험용기, 관찰기간 및 주요조사항목은 2)와 같이 하였고 3반복으로 수행하였다.

6) 물벼룩의 life cycle 조사

앞에서 결정된 최적 사육조건에서 물벼룩의 전생육기간에 걸친 번식특성 및 수명을 조사하기 위해 125 mL 유리비이커에 100 mL의 배양액을 채우고 태어난 지 24시간이 되지 않은 어린 물벼룩 1마리씩을 투입하고 항온수조에서 사육하면서 먹이는 *C. vulgaris*를 농축하여 사육수에 매일 일정량씩 투여하였고 시험배양액, 시험용기는 2)와 같고 시험온도는 4)와 같으며 10반복으로 수행하였다. 사육수는 일주일에 2번씩 교체하였으며 시험기간은 각 물벼룩이 전부 사망할 때까지 조사하였다. 주요조사내용은 전생육기간동안의 시험물벼룩의 탈피회수, 출산한 새끼물벼룩의 수, 어미의 치사유무, 평균수명, 이상증상 등을 관찰하였다.

2. 연구수행 내용 및 결과

가. 물벼룩 먹이용 藻類(algae) 배양

1) 藻類 배양액 선정

ATCC Culture medium 625 Gorham's Medium과 Bold's Basal Medium 두 종류의 배양액에서 *S. subspicatus*와 *S. capricornutum* 그리고 *C. vulgaris*의 생장을 조사하였다.

위 3종 藻類를 정치계대배양을 할 경우 표 3-8에서 보는 바와 같이 ATCC medium보다는 Bold's Basal Medium이 3종 조류 모두에서 생장율이 대체로 좋은 것으로 나타났으며, ATCC medium에서는 *S. subspicatus*와 *C. vulgaris*가 Bold's Basal Medium에서는 *C. vulgaris*가 생장이 우수한 것으로 나타났다.

Table 3-8. Algae growth rate in a small scale-static culture

Media	Algae	Cell density ^{a)} (growth rate ^{b)})							
		0	2	4	6	8	10	13	16 days
ATCC	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	3 ^{a)} (1) _{b)}	50 (17)	67 (22)	80 (27)	113 (38)	114 (38)	137 (47)	175 (58)
	<i>Selenastrum capricornutum</i>	4 (1)	32 (8)	62 (16)	77 (19)	110 (28)	102 (25)	123 (31)	187 (48)
	<i>Chlorella vulgaris</i>	6 (1)	33 (6)	150 (25)	207 (35)	270 (45)	282 (47)	327 (55)	340 (57)
Bold's	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	3 (1)	25 (8)	73 (24)	78 (26)	105 (35)	167 (56)	198 (66)	191 (64)
Basal	<i>Selenastrum capricornutum</i>	3 (1)	33 (11)	73 (24)	87 (29)	113 (38)	147 (49)	203 (68)	195 (65)
	<i>Chlorella vulgaris</i>	5 (1)	23 (5)	97 (19)	140 (28)	187 (37)	275 (55)	297 (59)	363 (73)

a) Cell density(unit : x 10⁴ cells/mL)

b) Growth rate(cell density at days after start/cell density at 0 day)

3종의 조류를 진탕배양할 경우(표 3-9), 가장 좋은 생장을 보인 조류는 *S. subspicatus*로 10일 후의 조류 밀도가 ATCC Medium에서는 743×10^4 cells/mL, Bold's Basal Medium에서는 1183×10^4 cells/mL로 조사되었으며 이는 초기농도에 비해 각각 248배와 295배의 증가를 보였다. *C. vulgaris*의 경우는 10일 후의 조류 밀도가 ATCC Medium에서는 1512×10^4 cells/mL, Bold's Basal Medium에서는 2613×10^4 cells/mL로 조사되었으며 이는 초기농도에 비해 각각 168배와 201배의 증가를 보였다. 위의 두 종의 조류는 모두 Bold's Basal Medium에서 생장율이 높게 나타났으나 *S. capricornutum*의 경우에는 ATCC Medium에서 더 좋은 생장을 하는 것으로 조사 되었다.

Table 3-9. Algae growth rate in small scale-shaking culture

Media	Algae	Cell density ^{a)} (growth rate ^{b)})					
		0	2	4	6	8	10 days
ATCC	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	3 (1)	18 (6)	130 (43)	208 (69)	548 (183)	743 (248)
	<i>Selenastrum capricornutum</i>	7 (1)	26 (4)	126 (18)	408 (58)	818 (117)	1228 (175)
	<i>Chlorella vulgaris</i>	9 (1)	54 (6)	263 (29)	680 (76)	1202 (133)	1512 (168)
Bold's	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	4 (1)	44 (11)	273 (68)	708 (177)	1030 (257)	1183 (295)
Basal	<i>Selenastrum capricornutum</i>	9 (1)	48 (5)	263 (29)	900 (100)	1090 (121)	1198 (133)
	<i>Chlorella vulgaris</i>	13 (1)	170 (13)	320 (25)	1250 (96)	1948 (150)	2613 (201)

a) Cell density(unit : $\times 10^4$ cells/mL)

b) Growth rate(cell density at days after start/cell density at 0 day)

대량정체배양을 한 경우(표 3-10), *S. subspicatus*와 *S. capricornutum*은 배양액 간에 큰 차이를 보이지 않았으나 *C. vulgaris*의 경우는 Bold's Basal Medium이 ATCC Medium보다 2배의 빠른 성장을 보였다.

Table. 3-10. Algae growth rate in large scale-culture with aeration

Media	Algae	Cell density ^{a)} (growth rate ^{b)})				
		0	2	4	7	10 days
ATCC	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	2 (1)	37 (19)	208 (104)	340 (170)	495 (248)
	<i>Selenastrum capricornutum</i>	2 (1)	13 (7)	170 (85)	345 (173)	450 (225)
	<i>Chlorella vulgaris</i>	3 (1)	11 (4)	310 (103)	553 (184)	525 (175)
Bold's	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	2 (1)	15 (8)	175 (88)	309 (155)	407 (204)
Basal	<i>Selenastrum capricornutum</i>	2 (1)	13 (7)	248 (124)	298 (149)	425 (213)
	<i>Chlorella vulgaris</i>	5 (1)	12 (2)	227 (45)	797 (159)	1723 (344)

a) Cell density(unit : x10⁴ cells/mL)

b) Growth rate(cell density at days after start/cell density at 0 day)

위의 결과를 종합하여보면 3종의 조류를 계대배양할 경우에는 정체배양보다 진탕배양이 훨씬 효과적인 것으로 판단되며 배양액은 진탕배양시 최적생장을 보인 Bold's Basal Medium으로 선정하였다. 먹이용으로 대량배양시에는 폭기장치를 연결하여 정체배양을 하는 것이 적당하며 이때의 배양기간은 온도와 광조건에 따라 달라지나 본 실험조건에서는 7일 내외가 적당할 것으로 판단된다. 또한 조류 배양용 배지는 두 배양액간에 큰 차이는 없었으나 *Chlorella*의 성장

이 비교적 양호한 Bold's Basal Medium으로 선정하였다.

2) 藻類의 cell density와 흡광도 관계 분석

S. subspicatus(그림 3-5)와 *S. carpicornutum*(그림 3-6) 및 *C. vulgaris*(그림 3-7)의 세포수에 따른 흡광도를 측정한 결과, 조류세포의 크기가 작은 *C. vulgaris*가 다른 藻類에 비해 세포밀도 대비 흡광도가 가장 낮았으며 *S. subspicatus*가 가장 흡광도가 높았다. 그리고 세포 밀도와 흡광도의 상관관계를 구해본 결과 3종의 藻類 모두 매우 높은 상관을 나타냈다. *S. subspicatus*는 8×10^6 cells/mL의 농도 수준에서, *S. carpicornutum*의 경우에는 10^7 cells/mL, *C. vulgaris*는 2×10^7 cells/mL 수준에서 흡광도가 1에 가깝게 나타났다. 따라서 회귀식을 이용해 조류의 세포수를 직접 계수하지 않고 흡광도 분석을 통해 조류의 농도를 결정할 수 있었다.

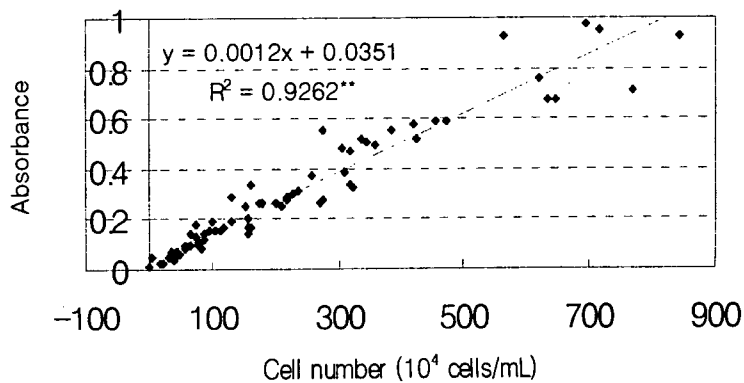


Fig. 3-5. *Scenedesmus subspicatus*: Regression of cell number on absorbance (n=59)

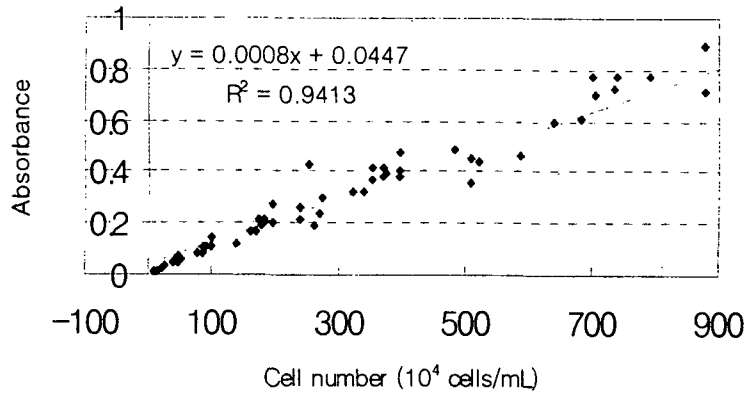


Fig. 3-6. *Selenastrum capricornutum*: Regression of cell number on absorbance (n=59)

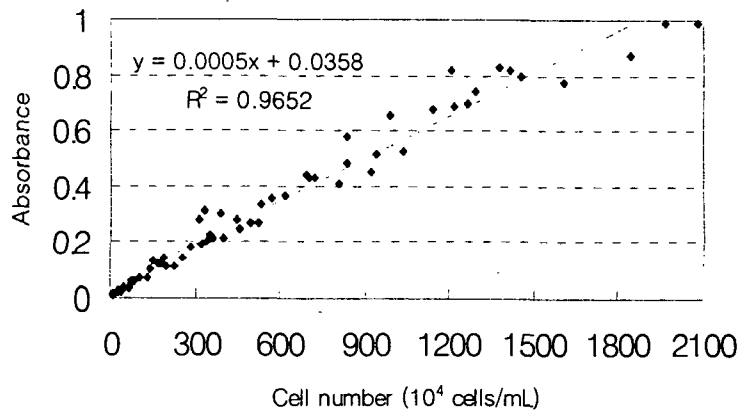


Fig. 3-7. *Chlorella vulgaris* : Regression of cell number on absorbance (n=57)

나. 국내산 물벼룩의 실내사육조건 구명

1) 먹이조건

가) *D. magna*의 최적 먹이조건

*S. subspicatus*의 급이농도를 50×10^4 , 25×10^4 , 10×10^4 , 5×10^4 cells/mL로 하여 *D. magna*의 먹이로 사용한 결과, 표 3-12에서 보는 바와 같이 21일간 생존율은 10×10^4 , 25×10^4 cells/mL에서 80%로 가장 높았으며, 첫 출산까지 걸리는 시간은 4처리군 모두 12일로 동일하였다. 어미 당 21일간 총출산수와 한배의 크기는 25×10^4 cells/mL에서 각각 32마리와 10마리로 가장 높았다. 21일 후의 체장은 3.7~4.0 mm정도이었고 21일간의 탈피회수는 4처리군에서 8.0~8.7회 정도로 비슷하였다.

Table 3-12. Effect of feeding concentration of *Scenedesmus subspicatus* on survival, reproduction, and growth of *Daphnia magna*

Parameter	Algae concentration ($\times 10^4$ cells/mL)			
	50	25	10	5
Survival rate, %	20	80	80	50
Reproduction				
Time to first brood	12	12.0 \pm 0.0	12.0 \pm 0.0	12.0 \pm 0.0
Total offspring	19.0	32.0 \pm 20.5	28.7 \pm 7.6	22.5 \pm 6.4
Number of brood produced	4.0	2.8 \pm 1.3	3.3 \pm 1.2	2.5 \pm 0.7
Brood size	4.8	10.1 \pm 5.7	9.0 \pm 2.1	9.0 \pm 0.0
Growth				
Length, mm	4.0	3.9 \pm 0.2	4.0 \pm 0.1	3.7 \pm 0.0
Molting time	8.0	8.3 \pm 1.0	8.7 \pm 1.5	8.5 \pm 0.7
Abnormal symptom	sc ^{a)}	sc	c ^{b)}	sc, c

a) Swimming with carrying

b) Colorless body

*S. carpricornutum*을 *D. magna*의 먹이로 사용한 결과는 표 3-13에서 보는 바와 같이 21일간 생존율은 5×10^4 cells/mL에서 100%로 가장 높았으나 첫 출산까지 걸리는 시간은 25×10^4 , 10×10^4 cells/mL를 먹인 시험군에서 가장 짧았다. 어미 당 21일간 총출산수는 50×10^4 과 25×10^4 cells/mL에서 각각 56, 55마리로 가장 높았으며 1회 출산시 생산되는 새끼의 수(한배의 크기)도 50×10^4 과 25×10^4 cells/mL에서 각각 4.5와 5마리로 가장 많았다. 21일 후의 체장은 50×10^4 cells/mL 농도에서 4.0 mm로 가장 높았다. 21일간의 탈피횟수는 4처리군에서 7.0~8.5회 정도로 비슷하였으며 이상증상으로 꼬리부분에 조류나 탈피각을 달고 유영하는 개체나 체색이 탈색된 개체가 25×10^4 , 10×10^4 cells/mL 처리군에서 나타났다.

Table 3-13. Effect of feeding concentration of *Selenastrum carpricornutum* on survival, reproduction, and growth of *Daphnia magna*

Parameter	Algae concentration ($\times 10^4$ cells/mL)			
	50	25	10	5
Survival rate, %	40	40	40	100
Reproduction				
Time to first brood	9.0 \pm 0.0	8.5 \pm 0.7	8.5 \pm 0.7	10.2 \pm 1.6
Total offspring	56.0 \pm 15.6	55.0 \pm 11.3	22.5 \pm 4.9	17.0 \pm 3.9
Number of brood produced	4.5 \pm 0.7	5.0 \pm 0.0	3.5 \pm 0.7	3.6 \pm 0.5
Brood size	12.3 \pm 1.5	11.0 \pm 2.3	6.4 \pm 0.1	4.7 \pm 0.9
Growth				
Length, mm	4.0 \pm 0.0	3.8 \pm 0.0	3.6 \pm 0.1	3.2 \pm 0.0
Molting time	8.0 \pm 0.0	8.5 \pm 2.1	7.0 \pm 0.0	7.0 \pm 1.0
Abnormal symptom	-	sc ^{a)}	sc	-

a) Swimming with carrying

*C. vulgaris*를 *D. magna*의 먹이로 사용한 결과는 표 3-14에서 보는 바와 같이 21일간 생존율은 50 x 10⁴과 25 x 10⁴ cells/mL에서 100%로 가장 높았으며, 첫 출산까지 걸리는 시간은 50 x 10⁴ cells/mL를 먹인 시험군에서 8.9일로 가장 짧았다. 어미 당 21일간 총출산수와 한배의 크기는 100 x 10⁴ cells/mL에서 각각 110.3마리, 21.4마리로 가장 많았으며 21일 후의 체장도 100 x 10⁴ cells/mL농도에서 4.4 mm로 가장 높았다. 21일간의 탈피횟수는 100 x 10⁴, 50 x 10⁴ cells/mL 처리군에서 8회로 가장 많이 탈피하였다. 생존율, 출산수 및 한배의 크기 등을 고려할 때 25 x 10⁴ cells/mL의 농도에서 생육이 가장 양호하였다.

Table 3-14. Effect of feeding concentration of *Chlorella vulgaris* on survival, reproduction, and growth of *Daphnia magna*

Parameter	Algae concentration (x 10 ⁴ cells/mL)			
	100	50	25	10
Survival rate, %	60	100	100	40
Reproduction				
Time to first brood	9.3±1.5	8.8±0.4	9.6±1.3	14.0±7.1
Total offspring	110.3±13.8	79.2±26.0	41.2±7.2	19.5±20.5
Number of brood produced	5.3±1.5	5.2±0.4	4.4±0.9	3.0±2.8
Brood size	21.4±4.3	15.5±5.7	9.5±1.7	5.9±1.3
Growth				
Length, mm	4.4±0.2	4.1±0.1	3.7±0.1	3.2±0.1
Molting time	8.0±1.0	7.8±0.4	7.0±0.0	6.5±0.7
Abnormal symptom	-	-	-	c ^{a)}

a) Colorless body

이상을 종합하면 *D. magna*의 생존율, 출산수 및 한배의 크기 등을 고려할 때 본시험에 사용한 3종의 藻類중에 *C. vulgaris*가 먹이

로 가장 우수하였으며 최적 급이농도는 $25 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4$ cells/mL의 수준이 적절하였다.

나) *Daphnia* sp.의 최적 먹이조건

*S. subspicatus*를 *Daphnia* sp.의 먹이로 사용한 결과는 표 3-15에서 보는 바와 같이 21일간 생존율은 모든 농도에서 낮았으며 첫 출산까지 걸리는 시간은 25×10^4 cells/mL를 먹인 시험구에서 7.5일로 가장 빨랐다. 어미 한마리 당 21일간 총출산수는 25×10^4 cells/mL에서 116.0마리로 가장 많았고 이때의 출산횟수는 평균 6.5회였다. 1회 출산시 생산되는 새끼의 수(한배의 크기)에서는 50×10^4 cells/mL에서 평균 20.8마리로 가장 많았다. 21일 후의 체장은 모든 농도에서 비슷하였고 그 범위는 2.9~3.0 mm 정도였으며, 21일간의 탈피횟수는 9~11회 정도였으나 농도에 따른 차이는 크지 않았다.

Table 3-15. Effect of feeding concentration of *Scenedesmus subspicatus* on survival, reproduction, and growth of *Daphnia* sp.

Parameter	Algae concentration ($\times 10^4$ cells/mL)			
	50	25	10	5
Survival rate, %	20	40	25	60
Reproduction				
Time to first brood	9.0	7.5 \pm 0.7	9.0	8.5 \pm 0.7
Total offspring	125.0	116.0 \pm 24.0	105.0	53.5 \pm 7.8
Number of brood produced	6.0	6.5 \pm 0.7	5.0	5.5 \pm 0.7
Brood size	20.8	17.8 \pm 1.8	9.0	9.9 \pm 2.7
Growth				
Length, mm	3.0	3.0 \pm 0.1	3.0	2.9 \pm 0.1
Molting time	11.0	10.0 \pm 0.0	9.0	10.0 \pm 1.4
Abnormal symptom	-	-	-	-

*S. carpriconutum*를 먹이로 사용한 결과는 표 3-16에서 보는 바와 같이 21일간 생존율은 25×10^4 cells/mL농도에서 80%였고 나머지는 100%였다. 첫 출산 때까지 걸리는 시간은 50×10^4 cells/mL를 먹인 시험구에서 6.3일로 가장 빠르게 조사되었다. 어미 1마리당 21일간 총출산수는 50×10^4 cells/mL에서 120.3마리로 가장 많았고 이때의 출산회수는 평균 6.5회였다. 1회 출산시 생산되는 새끼의 수(한배의 크기)는 50×10^4 cells/mL에서 평균 20.8마리로 가장 많았다. 21일 후의 체장은 모든 농도에서 2.9~3.0 mm 정도로 비슷하였으며, 21일간의 탈피회수는 9~11회 정도였으나 농도에 따른 차이는 크지 않았다.

Table 3-16. Effect of feeding concentration of *Selenastrum carpriconutum* on survival, reproduction, and growth of *Daphnia* sp.

Parameter	Algae concentration ($\times 10^4$ cells/mL)			
	50	25	10	5
Survival rate, %	100	80	100	100
Reproduction				
Time to first brood	6.3 \pm 0.6	7.0 \pm 0.0	7.3 \pm 0.6	7.3 \pm 0.6
Total offspring	120.3 \pm 9.7	97.0 \pm 4.2	63.0 \pm 4.6	36.3 \pm 3.2
Number of brood produced	6.7 \pm 0.6	6.0 \pm 0.0	6.0 \pm 1.0	5.7 \pm 0.6
Brood size	18.1 \pm 1.9	16.2 \pm 0.7	10.6 \pm 1.3	6.4 \pm 0.7
Growth				
Length, mm	3.0 \pm 0.1	2.9 \pm 0.0	2.8 \pm 0.2	2.6 \pm 0.1
Molting time	10.7 \pm 1.2	10.0 \pm 0.0	10.3 \pm 1.5	9.7 \pm 0.6
Abnormal symptom	-	-	-	-

*C. vulgaris*를 *Daphnia* sp.의 먹이로 사용한 결과는 표 3-17에서 보는 바와 같이 21일간 생존율은 10×10^4 cells/mL농도에서 100%였고 25×10^4 , 50×10^4 cells/mL농도에서 80%, 100×10^4 cells/mL에서는 60%였다. 첫 출산 때까지 걸리는 시간은 4농도에서 6.3~7.5일 정도였고, 어미 한 마리 당 21일간 총출산수는 100×10^4 cells/mL에서 179마리로 가장 많았고 농도가 낮아질수록 적게 출산하였다. 100×10^4 cells/mL농도에서의 출산횟수는 평균 6.7회였고, 이때 1회 출산시 생산되는 새끼의 수(한배의 크기)는 평균 26.7마리로 가장 많았다. 21일 후의 체장은 100×10^4 cells/mL에서 3.3 mm로 가장 길었고 10×10^4 cells/mL에서는 2.5 mm로 가장 짧았다. 21일간의 탈피횟수는 9.5~10.5회 정도였으나 농도에 따른 차이는 크지 않았다.

Table 3-17. Effect of feeding concentration of *Chlorella vulgaris* on survival, reproduction, and growth of *Daphnia* sp.

Parameter	Algae concentration ($\times 10^4$ cells/mL)			
	100	50	25	10
Survival rate, %	60	80	80	100
Reproduction				
Time to first brood	6.3 ± 0.6	7.5 ± 1.0	7.0 ± 0.0	7.0 ± 0.0
Total offspring	179.0 ± 42.0	168.0 ± 22.1	124.0 ± 2.8	47.5 ± 21.9
Number of brood produced	6.7 ± 0.6	6.8 ± 0.5	6.5 ± 0.7	5.0 ± 1.4
Brood size	26.7 ± 4.5	24.8 ± 1.6	19.2 ± 2.5	9.3 ± 1.8
Growth				
Length, mm	3.2 ± 0.1	3.1 ± 0.1	2.9 ± 0.1	2.5 ± 0.0
Molting time	10.0 ± 0.0	10.5 ± 0.6	9.5 ± 0.7	10.0 ± 0.0
Abnormal symptom	-	-	-	-

이상을 종합하면 *Daphnia* sp.의 생존율, 출산수 및 한배의 크기 등을 고려할 때 본시험에 사용한 3종의 藻類중에 *C. vulgaris*가 먹이로 가장 우수하였으며 최적 급이농도는 $25 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4$ cells/mL의 수준이었다.

다) *D. obtusa*의 최적 먹이조건

*S. subspicatus*를 *D. obtusa*의 먹이로 사용한 결과는 표 3-18에서 보는 바와 같이 21일간 생존율은 10×10^4 , 25×10^4 cells/mL에서 100%로 가장 높았으며, 50×10^4 cells/mL의 농도에서는 60%, 5×10^4 cells/mL농도에서는 80%였다. 첫 출산까지 걸리는 시간은 25×10^4 , 50×10^4 cells/mL를 먹인 시험군이 11일로 가장 짧았다. 어미 1마리 당 21일간 총출산수는 50×10^4 cells/mL에서 72.7마리로 가장 많았고 이때의 출산회수는 평균 4.7회였다. 1회 출산시 생산되는 새끼의 수(한배의 크기)는 50×10^4 cells/mL에서 평균 15.6마리로 가장 많았다. 21일 후의 체장은 그 범위가 2.4~2.1 mm 정도였으며 먹이의 농도가 낮아질수록 체장이 짧았다. 21일간의 탈피횟수는 9.4~10.8회 정도였으나 농도에 따른 차이는 크지 않았다.

Table 3-18. Effect of feeding concentration of *Scenedesmus subspicatus* on survival, reproduction, and growth of *Daphnia obtusa*

Parameter	Algae concentration (x 10 ⁴ cells/mL)			
	50	25	10	5
Survival rate, %	60	100	100	80
Reproduction				
Time to first brood	11.0±0.0	11.2±0.4	14.4±2.3	12.5±3.0
Total offspring	72.7±11.9	51.8±7.3	35.6±9.3	29.5±21.5
Number of brood produced	4.7±0.6	4.0±1.0	3.2±0.4	4.0±2.2
Brood size	15.6±1.7	13.5±3.5	11.2±3.1	6.0±3.5
Growth				
Length, mm	2.4±0.2	2.4±0.0	2.3±0.1	2.1±0.1
Molting time	10.0±1.0	10.8±0.8	9.4±0.5	10.3±1.3
Abnormal symptom	sc ^{a)}	-	sc	-

^{a)} Swimming with carrying

*S. carpriconutum*를 먹이로 사용한 결과는 표 3-19에서 보는 바와 같이 21일간 생존율은 50 x 10⁴, 25 x 10⁴ cells/mL에서 100%로 치사한 개체가 없었으며, 10 x 10⁴, 5 x 10⁴ cells/mL의 농도에서는 80%였다. 첫 출산까지 걸리는 기간은 50 x 10⁴, 25 x 10⁴, 10 x 10⁴ cells/mL의 농도로 급이한 시험군에서는 11.0~11.8일로 비슷하였으나 5 x 10⁴ cells/mL농도에서는 13.8일로 가장 길게 나타났다. 어미 1마리 당 21일간 총출산수는 50 x 10⁴ cells/mL에서 79.6마리로 가장 많았고, 이때의 출산횟수는 평균 5회였다. 1회 출산시 생산되는 새끼의 수(한배의 크기)에서는 50 x 10⁴ cells/mL에서 평균 15.7마리로 가장 많았으며 급이농도가 낮아질수록 적어지는 경향이였다. 21일 후의 체장은 2.3~2.1 mm 정도 였으며 먹이의 농도가 낮아질수록 체장이 짧았다. 21일간의 탈피횟수는 9.5~11.3회 정도였으나 농도에 따른 차이는 크지 않았다.

Table 3-19. Effect of feeding concentration of *Selenastrum carpriconutum* on survival, reproduction, and growth of *Daphnia obtusa*

Parameter	Algae concentration (x 10 ⁴ cells/mL)			
	50	25	10	5
Survival rate, %	100	100	80	80
Reproduction				
Time to first brood	11.0±0.0	11.0±0.0	11.8±3.0	13.8±2.9
Total offspring	79.6±22.9	72.2±7.9	40.8±5.2	19.5±7.0
Number of brood produced	5.0±0.7	5.0±0.0	4.0±0.8	3.0±0.8
Brood size	15.7±3.4	14.4±1.6	10.4±1.3	6.9±2.7
Growth				
Length, mm	2.3±0.2	2.3±0.1	2.1±0.1	2.1±0.1
Molting time	10.4±1.5	10.4±0.9	11.3±1.0	9.5±0.6
Abnormal symptom	-	-	sc ^{a)}	-

a) Swimming with carrying

*C. vulgaris*를 먹이로 사용한 결과는 표 3-20에서 보는 바와 같이 21일간 생존율은 25 x 10⁴ cells/mL에서 100%로 치사한 개체가 없었으며 나머지 농도에서는 60~80%로 약간 낮았다. 첫 출산까지 걸리는 시간은 100 x 10⁴, 50 x 10⁴, 25 x 10⁴ cells/mL의 농도로 급이한 시험구에서는 8.3~9.6일로 비슷하였으나 10 x 10⁴ cells/mL 농도에서는 11.7일로 가장 느리게 출산을 시작하였다. 어미 1마리 당 21일간 총출산수는 100 x 10⁴ cells/mL에서 62.3마리로 가장 많았고 이때의 출산횟수는 평균 5.5회였다. 1회 출산시 생산되는 새끼의 수(한배의 크기)는 25 x 10⁴ cells/mL에서 평균 13.2마리로 가장 많았으나 농도간에 큰 차이는 없었다. 21일 후의 체장은 그 범위가 2.3~2.7 mm 정도였으며 먹이의 농도가 낮아질수록 체장이 짧았다. 21

일간의 탈피횟수는 9.7~10.4회 정도였으나 농도에 따른 차이는 크지 않았다.

Table 3-20. Effect of feeding concentration of *Chlorella vulgaris* on survival, reproduction, and growth of *Daphnia obtusa*

Parameter	Algae concentration (x 10 ⁴ cells/mL)			
	100	50	25	10
Survival rate, %	80	60	100	60
Reproduction				
Time to first brood	8.5±1.0	8.3±1.2	9.6±1.3	11.7±4.0
Total offspring	62.3±29.8	53.7±26.7	58.6±20.3	41.0±24.6
Number of brood produced	5.5±0.6	4.3±0.6	4.4±1.1	4.0±1.0
Brood size	11.1±4.5	12.9±7.3	13.2±3.2	10.0±4.0
Growth				
Length, mm	2.7±0.1	2.7±0.1	2.5±0.0	2.3±0.1
Molting time	9.8±1.5	9.7±0.6	10.4±0.9	10.0±1.0
Abnormal symptom	sc ^{a)}	-	-	-

a) Swimming with carrying

이상을 종합하면 *D. obtusa*의 생존율과 출산수 및 한배의 크기 등을 고려할 때 시험에 사용한 3종의 藻類중에 *S. carpriconutum*과 *C. vulgaris*가 *D. obtusa*의 먹이로 가장 우수하였으며 최적 급이농도는 $25 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4$ cells/mL의 수준이었다.

라) *M. macrocopa*의 최적 먹이조건

*S. subspicatus*를 *M. macrocopa*의 먹이로 사용한 결과는 표 3-21에서 보는 바와 같이 10일간 생존율은 50×10^4 , 5×10^4 cells/mL에

서 100%로 치사한 개체가 없었으며 나머지 농도에서는 60, 80%로 약간 낮았다. 첫 출산까지 걸리는 시간은 4농도 모두 4일로 동일하였고 어미 1마리 당 10일간 총출산수는 83~98마리였고, 이때의 출산회수는 평균 4.0~4.3회였다. 1회 출산시 생산되는 새끼의 수(한배의 크기)는 19.8~24.5마리, 체장은 1.8~1.9 mm, 탈피회수는 4처리군 모두 6회였다. *S. subspicatus*의 급이농도에 따른 생육의 차이는 크지 않았으나 농도가 높을수록 출산수나 한배의 크기 등을 고려할 때 생육이 우수하였다.

Table 3-21. Effect of feeding concentrations of *Scenedesmus subspicatus* on survival, reproduction, and growth of *Moina macrocopa*

Parameter	Algae concentration ($\times 10^4$ cells/mL)			
	50	25	10	5
Survival rate, %	100	80	60	100
Reproduction				
Time to first brood	4.0 \pm 0.0	4.0 \pm 0.0	4.0 \pm 0.0	4.0 \pm 0.0
Total offspring	98.0 \pm 4.2	87.0 \pm 7.8	83.3 \pm 5.4	83.0 \pm 13.1
Number of brood produced	4.0 \pm 0.0	4.0 \pm 0.0	4.3 \pm 0.5	4.2 \pm 0.4
Brood size	24.5 \pm 1.1	21.8 \pm 2.0	19.8 \pm 3.0	20.0 \pm 4.0
Growth				
Length, mm	1.9 \pm 0.1	1.8 \pm 0.1	1.9 \pm 0.1	1.8 \pm 0.1
Molting time	6.0 \pm 0.0	6.0 \pm 0.0	6.0 \pm 0.0	6.0 \pm 0.0
Abnormal symptom	-	-	-	-

*S. carpriconutum*를 *M. macrocopa*의 먹이로 사용한 결과는 표 3-22에서 보는 바와 같이 10일간 생존율은 50×10^4 , 25×10^4 cells/mL에서 100%로 치사한 개체가 없었으며 나머지 농도에서는 60%로 낮았다. 첫 출산까지 걸리는 시간은 4 농도에서 4.0~4.7일로 비슷하였다. 어미 1마리 당 10일간 총출산수는 50×10^4 , 25×10^4 cells/mL에서 75.6, 85.0마리로 높았고, 10×10^4 , 5×10^4 cells/mL에서는 50.3, 64.3마리로 낮았다. 출산회수는 4처리군 모두 평균 4.0회로 동일하였다. 1회 출산 시 생산되는 새끼의 수(한배의 크기)는 12.6~21.3마리로 급이농도가 낮아질수록 수가 작았다. 10일 후의 체장은 1.5~1.8 mm, 탈피횟수는 4 처리군 별로 5.7~6회 정도였다. 전체적으로 급이농도에 따른 생육의 차이는 크지 않았으나 50×10^4 , 25×10^4 cells/mL의 처리군에서 생육이 가장 우수하였다.

Table 3-22. Effect of feeding concentrations of *Selenastrum carpriconutum* on survival, reproduction, and growth of *Moina macrocopa*

Parameter	Algae concentration ($\times 10^4$ cells/mL)			
	50	25	10	5
Survival rate, %	100	100	60	60
Reproduction				
Time to first brood	4.0 \pm 0.0	4.0 \pm 0.0	4.7 \pm 1.2	4.0 \pm 0.0
Total offspring	85.0 \pm 4.4	75.6 \pm 8.0	50.3 \pm 18.2	64.3 \pm 2.1
Number of brood produced	4.0 \pm 0.0	4.0 \pm 0.0	4.0 \pm 0.0	4.0 \pm 0.0
Brood size	21.3 \pm 1.1	18.9 \pm 2.0	12.6 \pm 4.5	16.1 \pm 0.5
Growth				
Length, mm	1.8 \pm 0.1	1.7 \pm 0.0	1.5 \pm 0.1	1.5 \pm 0.1
Molting time	6.0 \pm 0.0	6.0 \pm 0.0	5.7 \pm 0.6	6.0 \pm 0.0
Abnormal symptom	-	-	-	-

*C. vulgaris*를 *M. macrocopa*의 먹이로 사용한 결과는 표 3-23에서 보는 바와 같이 10일간 생존율은 100×10^4 , 50×10^4 , 25×10^4 cells/mL에서 60%였고 10×10^4 cells/mL농도에서는 100%로 치사한 개체가 없었다. 첫 출산까지 걸리는 시간은 4농도에서 4.0일로 동일하였으며 어미 1마리 당 10일간 총출산수는 59.8~75.3마리의 수준이었다. 이때의 출산회수는 4처리군 모두 평균 4.0~4.3회로 비슷하였다. 1회 출산시 생산되는 새끼의 수(한배의 크기)는 14.1~18.8마리였고 10일 후의 체장은 1.7~1.8 mm, 탈피회수는 4처리군 모두 6회였다. *Chlorella*의 급이농도에 따른 생육의 차이는 크지 않았으나 100×10^4 , 50×10^4 , 25×10^4 cells/mL의 급이농도 처리군에서 출산수나 한배의 크기 등을 고려할 때 생육이 가장 우수하였다.

Table 3-23. Effect of feeding concentrations of *Chlorella vulgaris* on survival, reproduction, and growth of *Moina macrocopa*

Parameter	Algae concentration ($\times 10^4$ cells/mL)			
	100	50	25	10
Survival rates %	60	60	60	100
Reproduction				
Time to first brood	4.0 \pm 0.0	4.0 \pm 0.0	4.0 \pm 0.0	4.0 \pm 0.0
Total offspring	75.3 \pm 12.9	61.3 \pm 9.3	74.7 \pm 15.9	59.8 \pm 12.8
Number of brood produced	4.0 \pm 0.0	4.3 \pm 0.6	4.3 \pm 0.6	4.0 \pm 0.0
Brood size	18.8 \pm 3.2	14.1 \pm 0.3	17.1 \pm 1.3	15.0 \pm 3.2
Growth				
Length, mm	1.8 \pm 0.0	1.8 \pm 0.0	1.8 \pm 0.1	1.7 \pm 0.1
Molting time	6.0 \pm 0.0	6.0 \pm 0.0	6.0 \pm 0.0	6.0 \pm 0.0
Abnormal symptom	-	-	-	-

이상을 종합하면 *M. macrocopa*의 생존율과 출산수 및 한배의 크기 등을 고려할 때 3종의 藻類가 모두 특별한 차이가 없었으며 최적 급이농도는 $25 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4$ cells/mL의 수준이었다.

마. *S. vetulus*의 최적 먹이조건

*S. subspicatus*를 *S. vetulus*의 먹이로 사용한 결과는 표 3-24에서 보는 바와 같이 21일간 생존율은 10×10^4 cells/mL에서 80%인 것을 제외하면 모두 100%로 치사개체가 없었다. 첫 출산까지 걸리는 시간은 4농도에서 7.8~10.6일로 비슷하였으며 어미 1마리가 21일간 낳은 새끼의 총수는 50×10^4 cells/mL에서 79.6으로 가장 많았으며 농도가 낮아지면 그 수도 감소하였다. 또한 출산횟수 및 1회 출산시 생산되는 새끼의 수도 50×10^4 cells/mL에서 5.6회 및 14마리로 가장 많았으며 농도가 낮아지면 그 수도 감소하였다. 21일 후의 체장은 1.8~2.2 mm, 탈피횟수는 4처리군 별로 9.4~10회 정도였다. 전체적으로 농도가 높은 50×10^4 , 25×10^4 cells/mL 처리군에서 출산수나 한배의 크기 등을 고려할 때 생육이 우수하였다.

Table 3-24. Effect of feeding concentrations of *Scenedesmus subspicatus* on survival, reproduction, and growth of *Simocephalus vetulus*

Parameter	Algae concentration ($\times 10^4$ cells/mL)			
	50	25	10	5
Survival rate, %	100	100	80	100
Reproduction				
Time to first brood	8.4 \pm 2.2	7.8 \pm 1.1	10.3 \pm 1.5	10.6 \pm 3.2
Total offspring	79.6 \pm 29.4	65.6 \pm 7.4	38.0 \pm 6.7	22.2 \pm 11.1
No. of brood produced	5.6 \pm 0.5	5.4 \pm 0.5	4.3 \pm 0.5	3.4 \pm 1.8
Brood size	14.0 \pm 4.3	12.2 \pm 1.8	9.0 \pm 1.9	6.7 \pm 1.2
Growth				
Length, mm	2.2 \pm 0.1	2.1 \pm 0.1	1.9 \pm 0.0	1.8 \pm 0.1
Molting time	10.0 \pm 0.7	9.4 \pm 0.5	9.8 \pm 1.0	9.4 \pm 1.5
Abnormal symptom	-	-	-	-

*S. carpriconutum*를 *S. vetulus*의 먹이로 사용한 결과, 표 3-25와 같이 21일간 생존율은 50×10^4 , 25×10^4 cells/mL에서 100%였고 나머지는 모두 80%였다. 첫 출산까지 걸리는 시간은 4농도에서 8.0~11.3일로 비슷하였으며 어미 1마리가 21일간 낳은 새끼의 총수는 50×10^4 cells/mL에서 85.4마리로 가장 많았으며 농도가 낮아지면 그 수도 감소하였다. 또한 출산회수 및 1회 출산시 생산되는 새끼의 수도 50×10^4 cells/mL에서 5.8회 및 14.8마리로 가장 많았으며 농도가 낮아지면 그 수도 감소하였다. 21일 후의 체장은 1.7~2.1 mm, 탈피횟수는 4처리군 별로 8.8~9.3회 정도였다. 전체적으로 농도가 높은 50×10^4 , 25×10^4 cells/mL 처리군에서 출산수나 한배의 크기 등을 고려할 때 생육이 우수하였다.

Table 3-25. Effect of feeding concentrations of *Selenastrum carpriconutum* on survival, reproduction, and growth of *Simocephalus vetulus*

Parameter	Algae concentration ($\times 10^4$ cells/mL)			
	50	25	10	5
Survival rate, %	100	100	80	80
Reproduction				
Time to first brood	8.0 \pm 0.0	8.0 \pm 0.0	11.3 \pm 1.5	11.3 \pm 0.6
Total offspring	85.4 \pm 14.2	64.8 \pm 15.7	33.8 \pm 2.1	21.7 \pm 0.6
Number of brood produced	5.8 \pm 0.8	5.4 \pm 0.9	4.0 \pm 0.0	4.0 \pm 0.0
Brood size	14.8 \pm 1.5	12.1 \pm 2.7	8.4 \pm 0.5	5.4 \pm 0.1
Growth				
Length, mm	2.1 \pm 0.1	2.0 \pm 0.0	1.9 \pm 0.0	1.7 \pm 0.1
Molting time	9.0 \pm 1.4	8.8 \pm 0.4	9.3 \pm 0.5	9.3 \pm 0.6
Abnormal symptom	-	-	-	-

*C. vulgaris*를 *S. vetulus*의 먹이로 사용한 결과, 표 3-26과 같이 21일간 생존율은 50×10^4 , 25×10^4 cells/mL에서 100%였고 나머지는 모두 80%였다. 첫 출산까지 걸리는 시간은 4농도에서 7.5~8.6일로 비슷하였으며 어미 1마리가 21일간 낳은 새끼의 총수는 100×10^4 , 50×10^4 , 25×10^4 cells/mL에서 87.8, 84.6, 88.6으로 가장 많았으며 10×10^4 cells/mL농도에서는 58.5로 그 수가 가장 낮았다. 출산횟수 및 1회 출산시 생산되는 새끼의 수는 5.5~7.0회, 10.6~15.1마리로 나타났다. 21일 후의 체장은 2.1~2.3 mm, 탈피횟수는 4처리군별로 9.4~9.8회 정도였다. 전체적으로 50×10^4 , 25×10^4 cells/mL의 급이농도 처리군에서 출산수나 한배의 크기 등에서 생육이 우수하였다.

Table 3-26. Effect of feeding concentrations of *Chlorella vulgaris* on survival, reproduction, and growth of *Simocephalus vetulus*

Parameter	Algae concentration ($\times 10^4$ cells/mL)			
	100	50	25	10
Survival rate, %	80	100	100	80
Reproduction				
Time to first brood	7.5 \pm 1.0	8.6 \pm 0.9	7.6 \pm 0.9	8.0 \pm 0.0
Total offspring	87.8 \pm 22.3	84.6 \pm 17.5	88.6 \pm 3.5	58.5 \pm 13.8
Number of brood produced	7.0 \pm 0.8	5.8 \pm 1.3	6.8 \pm 0.8	5.5 \pm 0.6
Brood size	12.4 \pm 2.4	15.1 \pm 0.1	13.2 \pm 1.9	10.6 \pm 1.7
Growth				
Length, mm	2.3 \pm 0.1	2.2 \pm 0.1	2.3 \pm 0.1	2.1 \pm 0.1
Molting time	9.5 \pm 0.6	9.4 \pm 1.5	9.6 \pm 0.5	9.8 \pm 1.0
Abnormal symptom	-	-	-	-

종합하여보면 *S. vetulus*의 생존율, 출산수 및 한배의 크기 등을 고려할 때 본시험에 사용한 3종의 藻類중에 *C. vulgaris*가 먹이로 가장 우수하였으며 최적 급이농도는 $25 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4$ cells/mL의 수준이 적절할 것으로 판단된다.

2) 사육온도

가) *D. magna*의 최적 사육온도

사육온도에 따른 *D. magna*의 생육영향을 보면(표 3-27) 21일간의 생존율이 16℃에서 90%를 제외하면 모두 100%이었고 총출산수는 20℃와 28℃에서 148.6, 168.8마리로 비슷하였으며, 출생 후 첫 출산까지 걸리는 시간은 16℃에서 10.2일 이었으나 온도가 높아질수록 빨라져 28℃에서는 5.6일로 16℃에서 걸린 기간보다 2배정도 빨리 출산을 시작하였다. 출산횟수도 온도가 높아질수록 많아져서 28℃에서는 8.3회의 출산을 보였다. 그러나 한번 출산할 때 생산되는 새끼의 수는 20℃에서 가장 많아 평균 30.7마리를 출산하였다.

체장과 탈피횟수는 모두 온도가 올라갈수록 뚜렷하게 높아지는 경향을 보였으며 28℃에서 4.4 mm, 12.5회로 가장 크게 나타났다. 16℃에서는 체색이 탈색되는 개체가 발견되었다.

전체적으로 온도가 높아질 경우 *D. magna*의 생육이 촉진되어 첫 출산까지의 기간, 총출산수, 출산횟수, 체장, 탈피횟수가 높아지는 경향을 보였으나 그림 3-8에서 보는 바와 같이 초기에 생육이 과다하게 촉진되고 최종적으로는 번식율이 저하되는 경향을 보였다. 따라서 한번 출산에서 생산되는 새끼의 수가 많으며, 생존율이 높고 총출산수도 많으며 안정적인 출산율을 나타낸 20℃가 사육에 적합할 것으로 판단된다.

Table 3-27. Effect of temperature on survivorship, reproduction, and growth of *Daphnia magna* during 21 days after birth

Parameter	Temperature (°C)			
	16	20	24	28
Survival rate, %	90	100	100	100
Reproduction				
Time to first brood	10.2±0.4	9.0±0.0	6.0±0.0	5.6±0.5
Total offspring/adult	20.2±6.4	148.6±18.2	103.4±8.8	168.8±15.5
Number of brood produced	2.4±0.5	4.9±0.6	7.0±0.0	8.3±0.7
Brood size	8.5±2.2	30.7±3.2	14.8±1.3	20.4±2.7
Growth				
Length, mm	3.9±0.2	3.9±0.2	4.1±0.1	4.4±0.1
Molting time	7.8±0.4	9.6±0.5	11.4±0.5	12.5±1.1
Abnormal symptom	c ^{a)}	-	-	-

^{a)} Colorless body

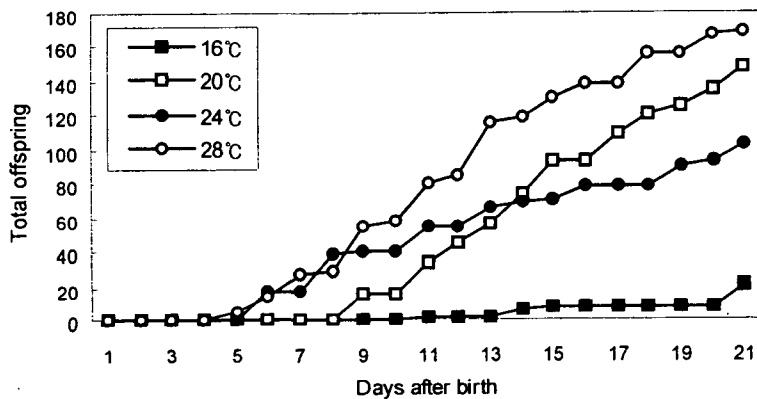


Fig. 3-8. Cumulative number of offspring of *Daphnia magna* during 21 days after birth at 4 different temperatures

나) *Daphnia* sp.의 최적 사육온도

사육 온도가 *Daphnia* sp.의 생육에 미치는 영향을 보면(표 3-28) 21일간의 생존율이 16℃에서 90%, 20℃에서는 100%를 나타냈으나 24, 28℃에서는 73, 78%로 생존율이 저조하였다. 21일간 어미 1마리가 생산한 새끼의 수는 20℃와 28℃에서 316.7마리로 가장 많았으며 온도가 낮아질수록 출산수는 낮아지는 경향이였다. 출생 후 첫 출산까지 걸린 시간은 16℃에서 11.0일 이었으나 온도가 높아질수록 빨라져 20℃에서 6.8일, 24℃에서 5.4일 28℃에서는 4.2일이 었고 28℃에서 어미로 성숙하는 기간이 16℃에서 걸린 기간에 비해 2배 정도 빠른 것으로 나타났다. 출산횟수도 16℃에서는 3.8회, 28℃에서는 12.9회로 온도가 높아질수록 많아지는 경향을 보였으며 한번 출산할 때 생산되는 새끼의 수도 16℃에서 17.7마리인데 비해 28℃에서는 24.5마리로 온도가 증가함에 따라 많은 새끼를 출산하였다. 하지만 높은 온도에서는 그림 3-9에서 보는 바와 같이 초기에 생육이 좋으나 번식율이 점차 낮아지며 21일간의 생존율도 낮았다.

탈피횟수는 온도가 올라갈수록 뚜렷하게 높아지는 경향을 보였는데 16℃에서 8.2회, 28℃에서는 16.6회의 탈피를 하였다. 그러나 체장은 모든 시험군에서 3.0~3.1 mm 정도의 크기를 보여 큰 차이가 없었다. 24℃와 28℃에서는 꼬리부위에 조류 등을 달고 다니는 개체가 보였으며 28℃에서는 체색이 하얗게 탈색된 개체도 발견되었다.

종합하여 보면 온도가 높아질 경우 *Daphnia* sp.의 생육이 촉진되어 첫 출산까지의 기간, 총출산수, 출산횟수, 탈피횟수가 높아지는 경향을 보였으나 생존율은 높은 온도에서 낮았다. 따라서 *Daphnia* sp.의 경우 생존율과 체장 및 한번 출산에서 낳는 새끼의 수도 양호한 20℃가 사육에 적합한 것으로 판단된다.

Table 3-28. Effect of temperature on survival, reproduction, and growth of *Daphnia* sp. during 21 days after birth

Parameter	Temperature (°C)			
	16	20	24	28
Survival rate, %	90	100	73	78
Reproduction				
Time to first brood	11.0±0.0	6.8±0.4	5.4±0.5	4.2±0.7
Total offspring	67.0±19.8	142.0±36.9	218.1±34.0	316.7±64.5
Number of brood produced	3.8±1.0	6.8±0.8	10.1±0.6	12.9±0.4
Brood size	17.7±2.5	20.7±3.3	21.5±2.9	24.5±4.6
Growth				
Length, mm	3.0±0.2	3.1±0.1	3.0±0.1	3.0±0.1
Molting time	8.2±1.1	10.8±0.8	13.9±0.4	16.6±0.8
Abnormal symptom	-	-	sc ^{a)}	sc, c ^{b)}

a) Swimming with carrying

b) Colorless body

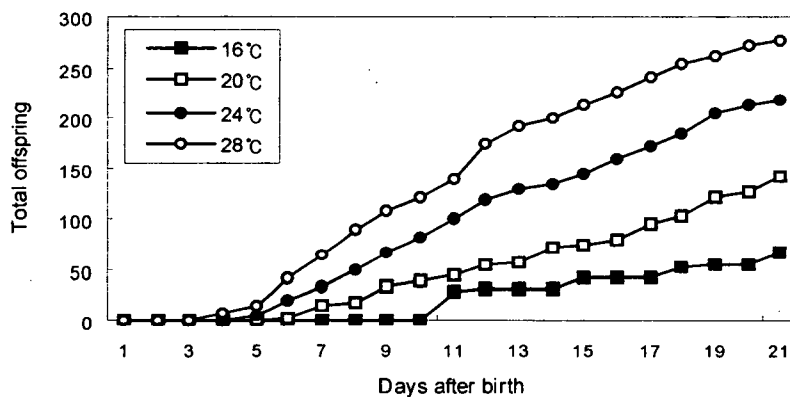


Fig. 3-9. Cumulative number of offspring of *Daphnia* sp. during 21 days after birth at different temperature

다) *D. obtusa*의 최적 사육온도

사육 온도가 *D. obtusa*의 생육에 미치는 영향은 표 3-29에 나타내었다. 21일간의 생존율이 16℃에서 100%, 20℃에서는 75%를 나타냈으나 높은 온도인 24, 28℃에서는 0%로 모든 개체가 21일간 생존하지 못하였다. 21일간 어미 1마리가 생산한 새끼의 수는 16℃와 20℃는 72.4와 68.9마리로 나타났으며 24℃에서는 평균 19마리가 죽을 때까지 출산되었고 28℃에서는 출산된 새끼가 없었다.

출생 후 첫 출산 때까지 걸리는 시간은 16℃에서 평균 10.8일, 20℃에서 8.3일, 24℃에서 5.8일이었다. 출산횟수는 16℃에서 4.0회, 20℃에서는 5.1회였으나 24℃에서는 2.6회로 저조하였다. 한번 출산할 때 생산되는 새끼의 수에서는 16℃에서 18.1마리인데 비해 20℃에서는 14.1마리, 24℃에서는 7.4마리로 온도가 증가함에 따라 새끼를 적게 출산하였다. 24℃와 28℃에서는 그림 3-10에서 보는 바와 같이 번식주기는 빨라지나 결국 21일 이전에 모두 치사하였다.

21일간의 탈피횟수 및 체장은 16℃에서 8.9회와 2.7 mm, 20℃에서는 9.6회와 2.6 mm로 큰 차이가 없었다.

종합하여 보면 온도가 24℃이상으로 높아질 경우 *D. obtusa*의 생육이 극히 불량해져 생존율, 총출산수, 출산횟수 등이 낮아지는 경향을 보였다. 따라서 생존율과 총출산수, 한번 출산에서 낳는 새끼의 수, 체장 등에서 양호한 16℃~20℃ 사이가 사육에는 가장 적합할 것으로 판단된다.

Table 3-29. Effect of temperature on survival, reproduction, and growth of *Daphnia obtusa* during 21 days after birth

Parameter	Temperature (°C)			
	16	20	24	28
Survival rate, %	100	75	0	0
Reproduction				
Time to first brood	10.8±0.6	8.3±0.9	5.8±0.4	-
Total offspring/adult	72.4±15.4	68.9±21.2	19.0±5.7	-
Number of brood produced	4.0±0.0	5.1±1.2	2.6±0.9	-
Brood size	18.1±3.9	14.1±5.2	7.4±1.0	-
Growth				
Length, mm	2.7±0.1	2.6±0.1	-	-
Molting time	8.9±0.7	9.6±1.1	-	-
Abnormal symptom	-	-	-	-

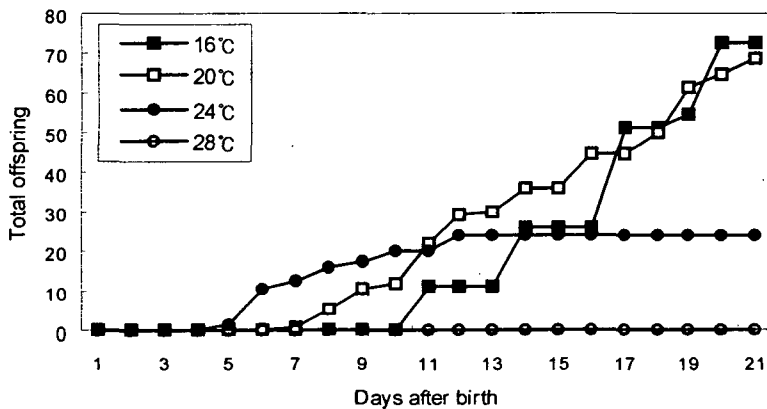


Fig. 3-10. Cumulative number of offspring of *Daphnia obtusa* during 21 days after birth at different temperature

라) *M. macrocopa*의 최적 사육온도

표 3-30은 사육 온도가 *M. macrocopa*의 생육에 미치는 영향을 나타낸 것으로 10일간의 생존율이 16℃, 20℃에서는 100%였으나 24, 28℃에서는 33, 17%로 생존율이 저조하였다. 10일간 어미 한 마리가 생산한 새끼의 수는 20℃에서 128.5마리로 가장 많았으며 16℃에서는 22.8마리, 24℃에서는 113마리, 28℃에서는 85.4마리로 20℃을 정점으로 하여 낮거나 높은 온도로 갈수록 출산수는 낮아지는 경향이 있었다. 출생 후 첫 출산 때까지 걸리는 시간은 16℃에서 평균 5.9일 이었으나 온도가 높아질수록 빨라져 20℃에서 4일, 24℃에서 3일, 28℃에서는 2일이 지나면 새끼를 출산하여 온도가 높아지면 성체로 성숙하는 기간이 단축되는 것으로 나타났다. 출산횟수는 16℃에서는 2.1회였으나 20, 24, 28℃에서는 6.0~6.5회로 온도에 따른 차이가 거의 없었다. 한번 출산할 때 생산되는 새끼의 수도 20℃에서 21.8마리로 가장 많았다. 높은 온도에서는 그림 3-11과 같이 초기에는 생육이 촉진되나 생존율이 떨어지고 최종적으로 번식을 저하되었다.

탈피횟수는 온도가 올라갈수록 높아지는 경향을 보였는데 16℃에서 4.0회, 28℃에서는 8.5회의 탈피를 하였다. 그러나 체장은 16℃의 1.6 mm를 제외하면 모든 시험군에서 1.8 mm 정도의 크기를 보여 큰 차이를 나타내지는 않았다. 28℃에서는 꼬리부위에 조류 등을 달고 다니는 개체가 보였다.

종합하여 보면 *M. macrocopa*는 생존율 총출산수, 출산횟수, 성장 등에서 가장 양호한 20℃가 사육에 가장 적합하였다.

Table 3-30. Effect of temperature on survival, reproduction, and growth of *Moina macrocopa* during 21 days after birth

Parameter	Temperature (°C)			
	16	20	24	28
Survival rate, %	100	100	33	17
Reproduction				
Time to first brood	5.9±0.6	4.0±0.0	3.0±0.0	2.0±0.0
Total offspring/adult	22.8±4.7	128.5±9.7	113.0±31.3	85.4±27.6
Number of broods produced	2.1±0.3	6.0±0.8	6.5±0.6	6.1±1.6
Brood size	11.0±2.4	21.8±3.4	17.4±4.5	14.0±3.4
Growth				
Length, mm	1.6±0.1	1.8±0.1	1.8±0.1	1.8±0.0
Molting time	4.0±0.5	6.1±0.3	8.3±0.5	8.5±0.7
Abnormal symptom	-	-	-	sc ^{a)}

a) Swimming with carrying

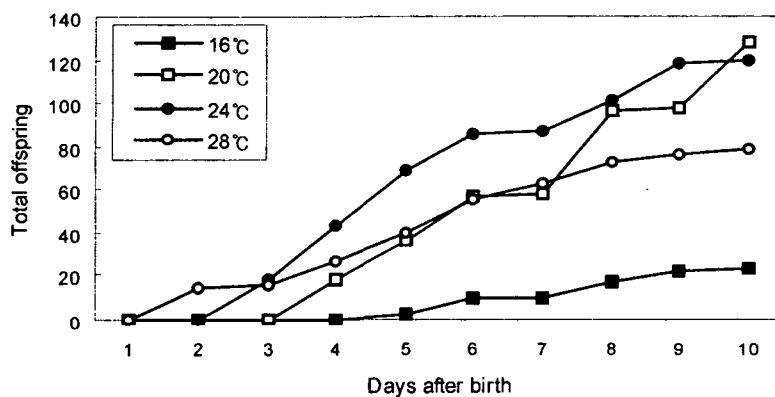


Fig. 3-11. Cumulative number of offspring of *Moina macrocopa* during 21 days after birth at different temperature

마) *S. vetulus*의 최적 사육온도

사육 온도가 *S. vetulus*의 생육에 미치는 영향을 보면(표 3-31) 21일간의 생존율이 16℃에서는 50%, 20℃에서는 100%, 24℃에서는 92%, 28℃에서는 67%의 생존율을 보여 저온에서의 생존율이 저조하였다. 21일간 생산한 새끼의 수는 온도가 높아질수록 많아지는 경향이었는데 16℃에서는 5.6마리로 극히 낮았고 20℃에서는 88.6마리, 24℃에서는 148.8마리, 28℃에서는 164.1마리로 많아졌으나 온도가 높아질수록 개체간의 차이가 심하였다. 첫 출산 때까지 걸리는 시간은 16℃에서 12.6일, 20℃에서 7.6일, 24℃와 28℃에서는 5.3일이 지나면 새끼를 출산하여 온도가 높아지면 성체로 성숙하는 기간이 단축되는 것으로 나타났다. 출산횟수는 16℃에서는 1.8회였으나 20, 24, 28℃에서는 각각 6.8, 9.3, 9.7회로 온도에 따라 증가하였다. 한번 출산할 때 생산되는 새끼의 수도 16℃에서는 2.9마리, 20℃에서는 13.2마리, 24℃에서는 16.1마리로 증가하였으나 28℃에서는 16.6마리로 24℃와 비슷하였다. 16℃와 28℃에서는 그림 3-12에서 보는 바와 같이 생육이 과다하게 저해되거나 촉진되어 생존율이 떨어졌다.

탈피횟수와 체장은 온도가 올라갈수록 높아지는 경향을 보였는데 16℃에서 가장 낮았으며 24, 28℃에서는 비슷한 수치를 보여 출산횟수나 한번 출산할 때 생산되는 새끼의 수의 경우와 유사한 경향을 보였다. 28℃에서는 꼬리부위에 조류등을 달고 다니는 개체가 보였었다(표 3-31).

종합하여 보면 *S. vetulus*는 온도가 16℃에서는 생존, 번식, 성장이 극히 위축되며 28℃에서는 생존율이 낮았고 20℃에서는 생존율, 24℃에서 총출산수, 출산횟수, 체장 등에서 양호한 것으로 나타났다.

Table 3-31. Effect of temperature on survival, reproduction, and growth of *Simocephalus vetulus* during 21 days after birth

Parameter	Temperature (°C)			
	16	20	24	28
Survival rate, %	50	100	92	67
Reproduction				
Time to first brood	12.6±3.6	7.6±0.9	5.3±0.5	5.3±0.5
Total offspring/adult	5.6±5.0	88.6±3.5	148.8±29.3	164.1±49.0
Number of brood produced	1.8±0.8	6.8±0.8	9.3±0.6	9.7±1.7
Brood size	2.9±1.5	13.2±1.9	16.1±3.4	16.6±4.1
Growth				
Length, mm	2.0±0.1	2.3±0.1	2.5±0.1	2.4±0.1
Molting time	7.0±0.0	9.6±0.5	13.2±0.8	12.6±0.7
Abnormal symptom	-	-	-	sc ^{a)}

a) Swimming with carrying

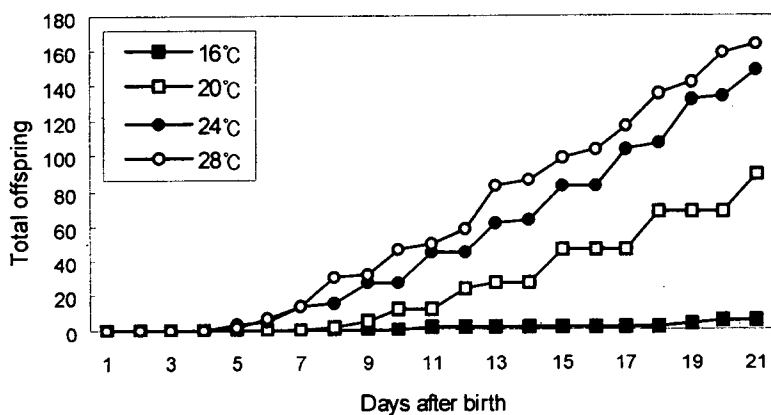


Fig. 3-12. Cumulative number of offspring of *Simocephalus vetulus* during 21 days after birth at different temperature

3) 사육수의 硬度

가) *D. magna* 사육수의 최적 硬度

사육수의 硬度가 *D. magna*의 생육에 미치는 영향은 표 3-32에서 나타내었다. 21일간의 생존율이 5종 사육수 모두에서 100%의 생존을 보였다. 21일간 어미 1마리가 생산한 새끼물벼룩의 총수는 hard water에서 142마리로 가장 많았으며 나머지 사육수는 94.2~114.6마리 정도의 새끼 물벼룩을 출산하였다. 출생 후 첫 출산 때까지 걸리는 시간은 very hard water와 soft water에서 7.6일, moderately hard water와 very soft water는 8일 hard water는 9일이었다.

Table 3-32. Effect of water hardness on survival, reproduction, and growth of *Daphnia magna* during 21 days after birth

Parameter	Water type				
	VHW ^{a)}	HW ^{b)}	MHW ^{c)}	SW ^{d)}	VSW ^{e)}
Survival rate, %	100	100	100	100	100
Reproduction					
Time to first brood	7.6±0.5	9.0±0.0	8.0±0.0	7.6±0.5	8.0±0.0
Total offspring	114.6±11.1	142.0±36.9	99.6±3.3	94.2±15.5	112.8±8.2
No. of brood produced	5.4±0.5	6.8±0.8	4.8±0.8	5.2±0.4	5.2±0.4
Brood size	21.3±1.9	20.7±3.3	21.2±3.4	24.5±4.6	21.8±2.3
Growth					
Length, mm	4.4±0.1	4.4±0.1	4.5±3.4	4.4±0.1	4.2±0.1
Molting time	9.0±0.7	9.0±0.7	9.4±0.9	9.2±0.4	9.6±0.5
Abnormal symptom	-	-	do ^{f)}	do	-

a) VHW: very hard water. b) HW: hard water.

c) MHW: moderately hard water.

d) SW: soft water. e) VSW: very soft water.

f) Dead offspring.

21일간 출산회수는 hard water에서 6.8일로 가장 많았으며 나머지 사육수에서는 4.8~5.4회 정도였다. 1회 출산시 생산되는 새끼의 수는 soft water에서 24.5회로 가장 높았으나 다른 사육수와 큰 차이는 없었다. 21일 후의 체장은 4.2~4.5 mm, 탈피횟수는 9.0~9.6 회로 사육수의 경도에 따른 차이가 크지 않았다.

그림 3-13에서 보는 바와 같이 경시적 출산수는 사육수 간에 큰 차이를 보이지는 않았으나 13일 이후부터 hard water가 다른 사육수에 비해 약간씩 높은 경향을 보였다.

이상의 결과로부터 종합하여 보면 *D. magna*는 출산수 및 출산횟수에서 가장 양호한 결과를 보인 hard water가 *D. magna*의 사육수로 적합할 것으로 생각되며 이는 EPA나 OECD에서 제시한 시험기준과도 일치하였다.

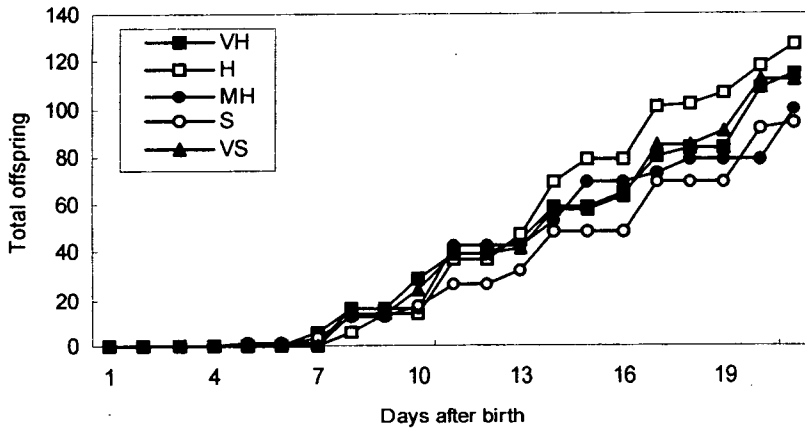


Fig. 3-13. Cumulative number of offspring of *Daphnia magna* during 21 days after birth at different hardness-rearing waters

나) *Daphnia* sp. 사육수의 최적 硬度

사육수의 硬度가 *Daphnia* sp.의 생육에 미치는 영향을 보면(표 3-33) 21일간의 생존율이 hard water에서는 75%를 보였으나 나머지 4종의 사육수에서는 100%의 생존율을 나타내었다. 첫 출산소요일은 very hard water에서는 10일이 걸렸으나 다른 사육수에서는 7.0~8.8일이 걸려 약간 빨라지는 경향을 보였다. 21일간의 출산수는 very hard water에서는 49.7마리로 가장 낮았으며 very soft water에서 123.5마리로 그 다음으로 낮았으며 나머지 3종의 사육수는 141.2~163.3마리로 출산수가 비슷하였다.

Table 3-33. Effect of water hardness on survival, reproduction, and growth of *Daphnia* sp. during 21 days after birth

Parameter	Water type				
	VHW ^{a)}	HW ^{b)}	MHW ^{c)}	SW ^{d)}	VSW ^{e)}
Survival rate, %	100	75	100	100	100
Reproduction					
Time to first brood	10.0±1.7	8.0±0.0	7.0±0.0	8.8±2.5	7.0±0.0
Total offspring	49.7±6.7	163.3±86.4	141.2±19.5	151.3±42.1	123.5±12.0
No. of brood produced	3.0±1.0	6.0±1.0	6.4±0.5	6.0±0.8	7.0±0.0
Brood size	18.4±8.9	26.1±10.0	22.1±3.1	24.9±4.5	17.6±1.7
Growth					
Length, mm	3.1±0.1	3.3±0.1	3.1±0.1	3.3±0.1	3.0±0.0
Molting time	9.0±1.0	11.3±0.6	10.8±0.8	11.3±0.5	12.5±0.7
Abnormal symptom	do ^{f)}	do	do	do	-

a) VHW: very hard water. b) HW: hard water.

c) MHW: moderately hard water.

d) SW: soft water. e) VSW: very soft water.

f) Dead offspring.

출산회수는 very hard water에서 3회 출산으로 가장 적었으며 나머지 사육수에서는 6.0~7.0회로 큰차이가 없었다. 한번 출산시에 생산된 새끼물벼룩의 수는 very hard water, very soft water에서는 18.4, 17.6마리였고 나머지는 20마리이상으로 양호하였다. 21일후의 체장은 3.0~3.3 mm로 비슷하였다. 탈피횟수에서는 very hard water의 9회가 가장 적었으며 나머지 배양액은 약 10.8~12.5회의 탈피를 하였다. very soft water를 제외한 나머지 배양액에서는 죽은 새끼가 출산되었다.

그림 3-14에서 보는 바와 같이 *Daphnia* sp. 는 very hard water에서는 생육이 현저히 저조한 반면 very soft water에서는 초기에는 빠른 생육을 보였으나 10일 이후 부터는 새끼의 출산수가 낮아지며, 이외의 3종 사육수는 대체로 지속적인 출산을 하여 양호한 생육을 보인 것으로 나타났다.

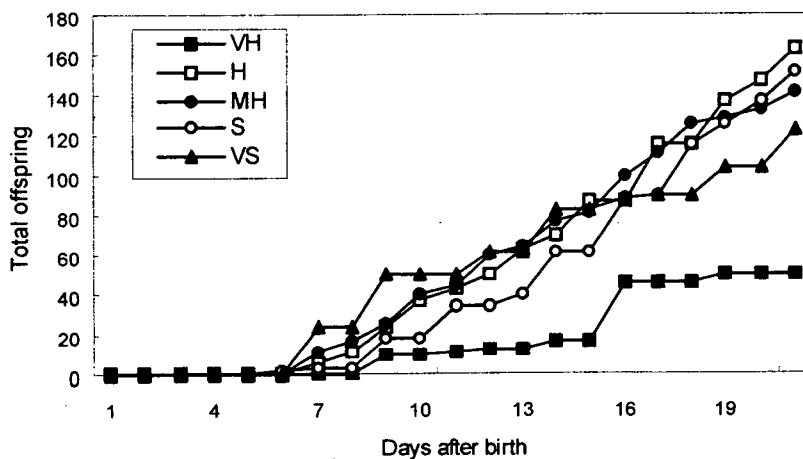


Fig. 3-14. Cumulative number of offspring of *Daphnia* sp. during 21 days after birth at different hardness-rearing waters

다) *D. obtusa* 사육수의 최적 硬度

표 3-34는 사육수의 硬度가 *D. obtusa*의 생육에 미치는 영향을 나타낸 것으로 21일간의 생존율이 very hard water에서는 60%, hard water에서는 80%를 보였으나 나머지 3종의 사육수에서는 100%의 생존율을 나타내었다. 첫출산소요일은 very hard water에서는 14일이 걸렸으나 다른 사육수에서는 6.0~8.0일이 걸려 약간 빨라지는 경향을 보였다. 21일간의 출산수는 very hard water에서는 7.3마리로 가장 낮았으며 very soft water에서 82.3마리로 그다음으로 낮았으며 나머지 3종의 사육수는 97.2~131.3마리로 출산수가 비슷하였다.

Table 3-34. Effect of water hardness on survival, reproduction, and growth of *Daphnia obtusa* during 21 days after birth

Parameter	Water type				
	VHW ^{a)}	HW ^{b)}	MHW ^{c)}	SW ^{d)}	VSW ^{e)}
Survival rate, %	60	80	100	100	100
Reproduction					
Time to first brood	14.7±1.2	6.0±0.0	8.0±0.0	8.0±0.0	6.0±0.0
Total offspring	7.3±5.5	131.3±29.6	97.2±20.5	100.6±25.2	82.3±6.1
No. of brood produced	1.7±1.2	7.5±0.6	6.0±0.7	6.0±1.0	6.5±0.6
Brood size	5.1±5.2	17.5±3.4	16.3±3.2	17.1±4.9	12.8±2.0
Growth					
Length, mm	2.2±0.3	2.6±0.1	2.5±0.1	2.6±0.2	2.6±0.2
Molting time	9.7±0.6	10.0±0.8	10.2±0.4	10.0±0.0	10.0±0.0
Abnormal symptom	do ^{f)} , sc ^{g)}	do, sc	do	do	do

a) VHW: very hard water. b) HW: hard water.

c) MHW: moderately hard water.

d) SW: soft water. e) VSW: very soft water.

f) Dead offspring. g) Swimming with carrying.

출산회수는 very hard water에서 1.7회 출산으로 가장 적었으며 나머지 사육수에서는 6.0~7.5회로 큰차이가 없었다. 한번 출산시에 생산된 새끼물벼룩의 수는 very hard water, very soft water에서는 5.1, 12.8마리로 적었고 나머지는 16.3~17.5마리 정도로 양호하였다. 21일후의 체장은 very hard water의 2.2 mm를 제외하면 나머지 사육수에서 2.5~2.6 mm로 비슷하였다.

그림 3-15에서 보는 바와 같이 *D. obtusa* 는 very hard water에 서는 출산수가 현저히 저조한 반면 very soft water에서는 초기에는 빠른 생육을 보였으나 10일 이후 부터는 새끼의 출산수가 낮아지며 이러한 경향은 *Daphnia* sp. 와 동일한 경향이였다. 나머지 3종 사육수는 대체로 지속적인 출산을 하여 양호한 생육을 보인 것으로 나타났다.

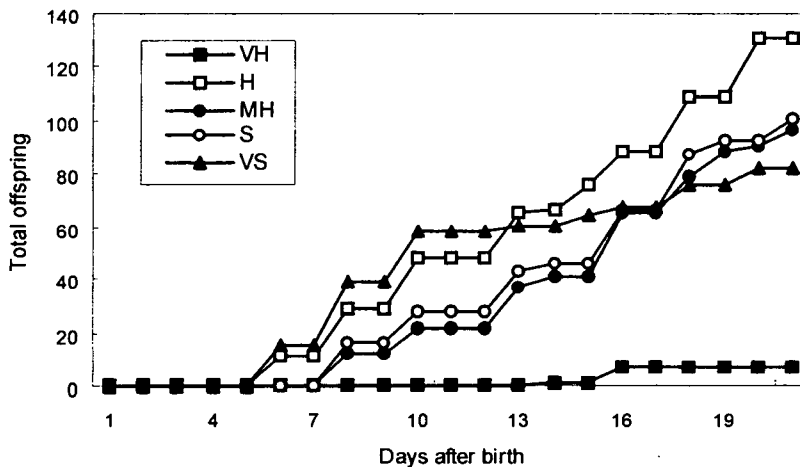


Fig. 3-15. Cumulative number of offspring of *Daphnia obtusa* during 21 days after birth at different hardness-rearing waters

라) *M. macrocopa* 사육수의 최적 硬度

사육수의 硬度가 *M. macrocopa*의 생육에 미치는 영향을 보면(표 3-35) 21일간의 생존율이 very soft water에서는 40%를 제외하면 모두 100%를 나타냈으며 첫 출산까지 걸린 시간은 모든 사육수에서 4일이었다. 21일간의 총출산수는 moderately hard water에서 가장 높은 113마리를 보였고 very soft water에서는 53.8마리로 가장 낮은 출산을 보였다.

Table 3-35. Effect of water hardness on survival, reproduction, and growth of *Moina macrocopa* during 21 days after birth

Parameter	Water type				
	VHW ^{a)}	HW ^{b)}	MHW ^{c)}	SW ^{d)}	VSW ^{e)}
Survival rate, %	100	100	100	100	40
Reproduction					
Time to first brood	4.0±0.0	4.0±0.0	4.0±0.0	4.0±0.0	4.0±0.0
Total offspring	77.6±4.0	91.5±5.8	113.0±6.8	60.8±6.8	53.8±27.8
No. of brood produced	4.2±0.4	4.0±0.0	4.4±0.5	4.0±0.0	3.2±1.3
Brood size	18.7±2.4	22.9±1.5	26.0±3.4	15.2±1.7	15.6±5.1
Growth					
Length, mm	1.8±0.0	1.9±0.0	1.8±0.1	1.7±0.0	1.9±0.1
Molting time	6.0±0.0	5.5±0.6	6.0±0.0	6.3±0.5	6.0±0.0
Abnormal symptom	-	-	do ^{f)}	-	-

a) VHW: very hard water. b) HW: hard water.

c) MHW: moderately hard water.

d) SW: soft water. e) VSW: very soft water.

f) Dead offspring.

출산회수는 very hard water에서 3.2회 출산으로 가장 적었으며 나머지 사육수에서는 4.0~4.4회로 큰 차이가 없었다. 한번 출산시에 생산된 새끼물벼룩의 수는 soft water, very soft water, very hard water에서는 15.2, 15.6, 18.7마리로 적었고 hard water와 moderately hard water에서는 22.9, 26.0마리로 20마리 이상이었다. 21일후의 체장은 1.7~1.9 mm로 경도에 따른 차이가 없었으며 탈피 횟수도 5.5~6.3회로 큰 차이가 없었다.

그림 3-16에서 보는 바와 같이 *M. macrocopa* 는 경도가 낮은 soft water와 very soft water에서는 출산이 저조하며 hard water와 moderately hard water에서는 출산이 양호하였다.

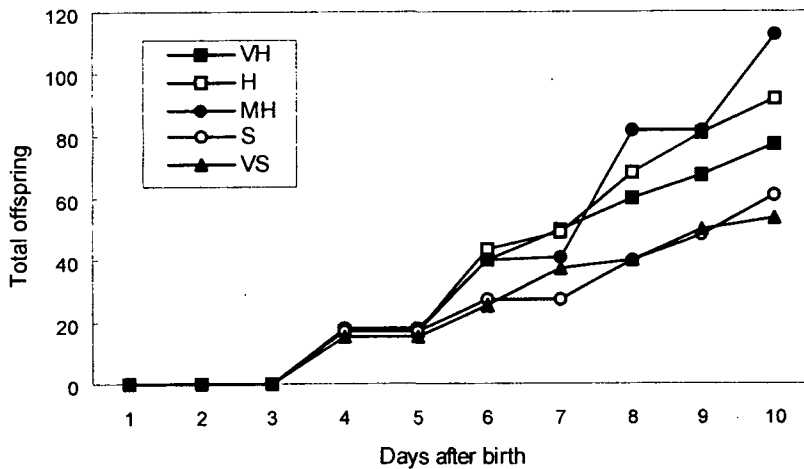


Fig. 3-16. Cumulative number of offspring of *Moina macrocopa* during 21 days after birth at different hardness-rearing waters

마) *S. vetulus* 사육수의 최적 硬度

사육수의 경도가 *S. vetulus*의 생육에 미치는 영향을 보면(표 3-36) 21일간의 생존율이 hard water와 moderately had water에서 100%를 보였고 나머지는 모두 80%를 나타냈다. 첫 출산까지 걸린 시간은 모든 사육수에서 9일에서 10일로 비슷하였으나 21일간의 총출산수는 moderately had water에서 가장 높은 90.7마리를 보였고 very hard water에서는 5.3마리로 가장 낮은 출산을 보였다.

Table 3-36. Effect of water hardness on survival, reproduction, and growth of *Simocephalus vetulus* during 21 days after birth

Parameter	Water type				
	VHW ^{a)}	HW ^{b)}	MHW ^{c)}	SW ^{d)}	VSW ^{e)}
Survival rate, %	80	100	100	80	80
Reproduction					
Time to first brood	10.3±0.5	9.0±1.0	9.0±0.0	10.3±0.5	10.5±0.6
Total offspring	5.3±6.7	76.7±3.5	90.7±9.1	27.8±21.5	71.0±22.5
No. of brood produced	1.3±0.5	5.3±0.6	6.3±0.6	3.0±1.2	4.5±0.6
Brood size	3.4±3.1	14.4±1.0	14.3±0.9	8.1±4.4	15.5±3.2
Growth					
Length, mm	1.8±0.2	2.4±0.1	2.5±0.1	2.1±0.1	2.1±0.0
Molting time	8.0±1.4	9.7±1.2	10.0±0.0	9.3±0.6	9.5±1.0
Abnormal symptom	sc ^{f)}	do ^{g)}	-	-	-

a) VHW: very hard water. b) HW: hard water.

c) MHW: moderately hard water.

d) SW: soft water. e) VSW: very soft water.

f) Swimming with carrying. g) Dead offspring.

출산회수는 moderately hard water에서 6.3회로 가장 많았으며 very hard water에서 1.3회 출산으로 가장 적었다. 한번 출산시에 생산된 새끼물벼룩의 수는 soft water, very hard water에서는 8.1, 3.4마리로 적었고 hard water와 moderately hard water에서는 14.4, 14.5마리로 양호하였다. 21일후의 체장도 hard water와 moderately hard water에서 2.4, 2.5 mm로 가장 길었으며 탈피회수는 사육수 별로 8~10회로 큰 차이가 없었다. Very hard water에서는 꼬리부위에 조류등을 달고 유영하는 개체가 있었으며 hard water에서는 죽은 새끼가 출산되었다.

그림 3-17에서 보는 바와 같이 *S. vetulus*는 moderately hard water에서 생존율, 출산수 등에서 가장 양호하였다.

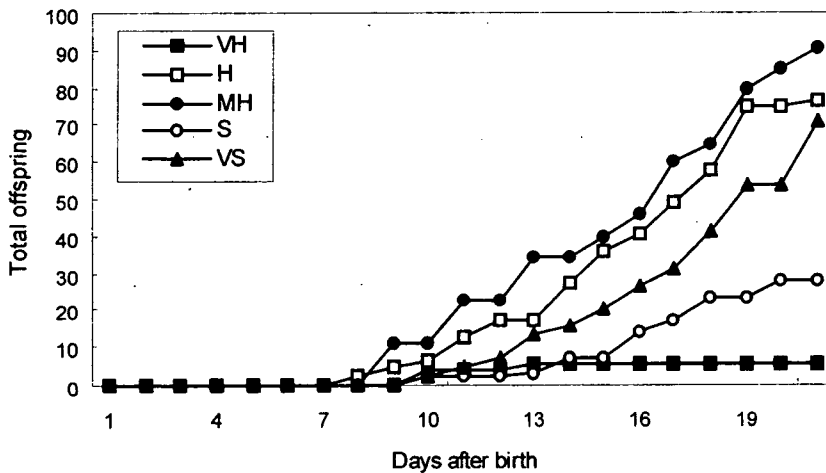


Fig. 3-17. Cumulative number of offspring of *Simocephalus vetulus* during 21 days after birth at different hardness-rearing waters

4) 사육밀도

가) *D. magna*의 최적 사육밀도

사육밀도가 *D. magna*의 생육에 미치는 영향을 표 3-37에 나타내었다. 21일간의 생존율은 모든 시험군에서 100%였다. 첫 출산에 걸리는 시간은 2, 5, 10, 20마리/200 mL까지는 8~9일로 차이가 없었으나 사육밀도가 높아질수록 첫 출산에 걸리는 기간이 길어지는 경향이였다. 21일간의 총출산수는 2마리/200 mL에서 91마리로 가장 높았고 밀도가 높아질수록 출산수는 적어졌다. 21일 후의 체장도 2마리/200 mL에서는 4.3 mm로 가장 길었으나 밀도가 높은 군에서는 물벼룩의 체장이 짧은 경향을 보여 높은 밀도가 성장을 저해하는 것으로 나타났다. 또한 밀도가 30마리/20 mL이상의 시험군에서는 휴지란(ephippium)이 발견되었다. 이것은 밀도의 증가에 따른 먹이의 부족 및 공간의 협소함 등에서 기인한 것으로 해석된다. 따라서 최적의 사육을 위해서는 2마리/200 mL, 즉 사육수 1 L에 10마리 내외가 적당할 것으로 판단된다.

Table 3-37. Survival, reproduction, and growth of *Daphnia magna* at a different population density during the 21 days after birth

Parameter	No. of <i>D. magna</i> /200 mL culture media						
	2	5	10	20	30	40	50
Survival rate, %	100	100	100	100	100	100	100
Reproduction							
Time to first brood	9	9	8	9	10	11	13
Total offspring/adult	91	37.0	45.1	15.3	14.4	7.35	3.59
Growth							
Length, mm	4.3	3.6	3.5	3.1	3.0	3.0	2.8
Abnormal symptom	-	-	-	-	e ^{a)}	e	e

a) Ehippia

나) *Daphnia* sp.의 최적 사육밀도

사육밀도가 *Daphnia* sp.의 생육에 미치는 영향을 보면(표 3-38) 21일간의 생존율은 20마리/200 mL의 95%를 제외하고 모든 시험군에서 100%였다. 첫 출산에 걸리는 시간은 2, 5마리/200 mL에서는 6일로 가장 짧았으며 사육밀도가 높아질수록 첫 출산에 걸리는 기간이 길어지는 경향을 보였다. 21일간의 총출산수에서도 2마리/200 mL에서 111.2마리로 가장 높았고 밀도가 높아질수록 출산수는 적어졌다. 21일 후의 체장도 2마리/200 mL에서는 3.0 mm로 가장 길었으나 밀도가 높은 군에서는 물벼룩의 체장이 짧은 경향을 보여 높은 밀도가 성장을 저해하는 것으로 나타났다. 또한 밀도가 20마리/200 mL이상의 시험군에서는 휴지란이 발견되었다. 따라서 최적의 사육을 위해서는 2~5마리/200 mL정도, 즉 사육수 1 L에 10~20마리 내외가 적당할 것으로 판단된다.

Table 3-38. Survival, reproduction, and growth of *Daphnia* sp. at a different population density during the 21 days after birth

Parameter	No. of <i>Daphnia</i> sp./200 mL culture media						
	2	5	10	20	30	40	50
Survival rate, %	100	100	100	95	100	100	100
Reproduction							
Time to first brood	6	6	8	8	8	9	13
Total offspring/adult	111.2	93.5	95.1	44.0	22.3	10.3	3.8
Growth							
Length, mm	3.0	2.9	2.9	2.8	2.6	2.4	2.1
Abnormal symptom	-	-	-	e ^{a)}	e	e	e

^{a)} Ehippia

다) *D. obtusa*의 최적 사육밀도

사육밀도가 *D. obtusa*의 생육에 미치는 영향을 보면(표 3-39) 21일간의 생존율은 88~100%로 모든 시험군에서 대체로 양호하였으나 첫 출산에 걸리는 시간은 2, 5마리/200 mL에서는 6일로 가장 짧았으며 사육밀도가 높아질수록 그 기간이 길어지는 경향을 보였다. 21일간의 총출산수에서도 2마리/200 mL에서 48.3마리로 가장 높았고 밀도가 높아질수록 출산수는 적어졌다. 21일 후의 체장도 2마리/200 mL에서는 2.5 mm로 가장 길었으나 밀도가 높은 군에서는 물벼룩의 체장이 짧은 경향을 보여 높은 밀도가 성장을 저해하는 것으로 나타났다. 또한 밀도가 10마리/200 mL이상의 시험군에서는 휴지란이 발견되었다. 따라서 최적의 사육을 위해서는 2마리/200 mL정도, 즉 사육수 1 L에 10마리 내외가 적당할 것으로 생각된다.

Table 3-39. Survival, reproduction, and growth of *Daphnia obtusa* at a different population density during the 21 days after birth

Parameter	No. of <i>D. obtusa</i> /200 mL culture media						
	2	5	10	20	30	40	50
Survival rate, %	100	100	96.7	87.5	97	100	96.7
Reproduction							
Time to first brood	6	6	10	9	9	11	7
Total offspring/adult	48.3	30.2	16	14.7	3.9	0.1	0.0
Growth							
Length, mm	2.5	2.3	2.2	2.2	2.1	1.9	1.8
Abnormal symptom	-	-	e ^{a)} , do ^{b)}	e	e	e	e

a) Ehippia. b) Dead offspring.

라) *M. macrocopa*의 최적 사육밀도

사육밀도가 *M. macrocopa*의 생육에 미치는 영향을 보면(표 3-40) 21일간의 생존율은 86~100%로 모든 시험군에서 대체로 양호하였으며 첫 출산에 걸리는 시간도 3일로 모든 시험군에서 동일하였다. 21일간의 총출산수는 2마리/200 mL에서 70.3마리로 가장 높았고 밀도가 높아질수록 출산수가 줄어들어 50마리/200 mL에서는 11.1마리가 한 어미에서 생산되었다. 21일 후의 체장도 2마리/200 mL에서는 1.8 mm로 가장 길었으나 밀도가 높은 군에서는 물벼룩의 체장이 짧은 경향을 보여 높은 밀도가 성장을 저해하는 것으로 나타났다. 앞의 *Daphnia* 물벼룩류와는 달리 *M. macrocopa*에서는 휴지란이 발견되지는 않았다. 이상의 결과를 종합하여보면 *M. macrocopa*의 최적사육을 위해서는 2마리/200 mL정도, 즉 사육수 1 L에 10마리 내외가 적당할 것으로 생각된다.

Table 3-40. Survival, reproduction, and growth of *Moina macrocopa* at a different population density during the 10 days after birth

Parameter	No. of <i>M. macrocopa</i> /200 mL culture media						
	2	5	10	20	30	40	50
Survival rate, %	100	100	86.0	96.7	97	97.7	96.0
Reproduction							
Time to first brood	3	3	3	3	3	3	3
Total offspring/adult	70.3	44.4	32.3	29.6	20.9	15.3	11.1
Growth							
Length, mm	1.8	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3
Abnormal symptom	-	-	-	-	-	-	-

마) *S. vetulus*의 최적 사육밀도

사육밀도가 *S. vetulus*의 생육에 미치는 영향을 보면(표 3-41) 21일간의 생존율과 첫 출산까지 걸리는 시간은 78~100%, 5~6일로 시험군에 따른 차이를 보이지는 않았다. 21일간의 총출산수는 2마리/200 mL에서 30마리/200 mL까지는 20마리 이상으로 밀도에 따른 차이를 관찰할 수 없었으나 40, 50마리/200 mL 시험군에서는 20마리 이하로 약간 낮아지는 경향이였다. 21일 후의 체장은 2마리/200 mL에서는 2.3 mm로 가장 길었으나 5마리, 10마리/200 mL의 시험군에서도 2.1 mm로 양호한 성장을 보였다. 50마리/200 mL 시험군에서 꼬리에 탈피각 등을 달고 다니는 개체가 발견되었다. 이상의 결과를 종합하여보면 *S. vetulus*의 최적사육을 위해서는 2~4마리/200 mL 정도, 즉 사육수 1 L에 10~20마리 정도가 적당할 것으로 생각된다.

Table 3-41. Survival, reproduction, and growth of *Simocephalus vetulus* at a different population density during the 21 days after birth

Parameter	No. of <i>S. vetulus</i> /200 mL culture media						
	2	5	10	20	30	40	50
Survival rate, %	100	93.3	90.0	96.7	100	100	78
Reproduction							
Time to first brood	6	5	5	5	6	5	5
Total offspring/adult	29.3	21.1	22.1	41.7	25.8	15.7	16.5
Growth							
Length, mm	2.3	2.1	2.1	1.9	1.8	1.7	1.7
Abnormal symptom	-	-	-	-	-	-	sc ^{a)}

^{a)} Swimming with carrying.

5) 확립된 최적조건에서의 생활사

앞에서 설정된 사육조건에서 물벼룩의 수명을 조사하고 아울러 일생동안의 총 출산개체수 및 출산횟수, 한배의 크기 등을 조사한 결과는 아래와 같다.

가) *D. magna*의 생활사

표 3-42에서 보는 바와 같이 *D. magna*는 평균수명이 50.1일로서 시험물벼룩 중에 가장 길며 어린 물벼룩이 성장하여 첫 출산할 때까지 걸린 시간은 평균 9일 이었다. 평생동안의 출산하는 횟수는 평균 13.3회, 한번 출산시 생산하는 새끼 물벼룩의 수는 평균 27마리였고, 한 마리가 일생동안 출산한 총 개체수는 평균 357.8마리로 나타났다. 첫 출산에서 새끼의 수는 16.6마리였고 두번째와 세번째 출산에서는 각각 39.4, 39.1마리의 새끼가 나와서 첫 출산에서의 새끼수가 적었다.

미국 EPA의 물벼룩번식독성시험법에서 추천하는 시험기간인 21일간 출산한 새끼의 수는 평균 148마리, 출산횟수는 평균 4.9회, 한번 출산시의 물벼룩 수는 평균 30.7마리였고 이때까지 시험물벼룩은 100% 생존을 하였다(그림 3-18).

Table 3-42. Life cycle of *Daphnia magna*

Parameter	Mean ± S. D.
Total offspring per adult	357.8 ± 104.7
Number of broods produced	13.3 ± 3.7
Brood size	27.0 ± 2.6
Time to first brood, days	9.0 ± 0.0
Size of first broods	16.1 ± 3.8
Size of second broods	39.4 ± 7.7
Size of third broods	39.3 ± 4.4
Average life, days	50.1 ± 10.9

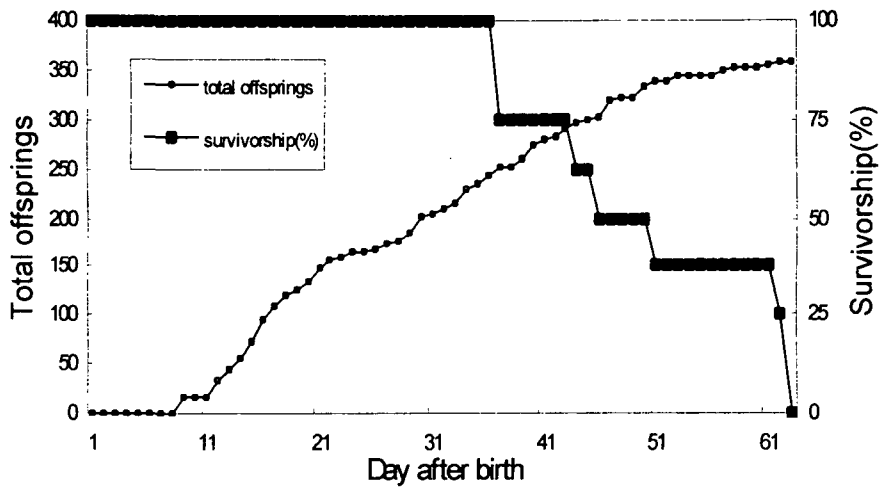


Fig. 3-18. Total offsprings and mortality of *Daphnia magna* at optimal condition

나) *Daphnia* sp. 의 생활사

표 3-43에서 보는 바와 같이 *Daphnia* sp.는 평균수명이 38.6일이며 어린 물벼룩이 성장하여 첫 출산할 때까지 걸린 시간은 평균 6.8일 이었다. 평생동안 출산하는 회수는 평균 13.6회, 한번 출산시 생산하는 새끼 물벼룩의 수는 평균 21.7마리였고, 한 마리가 일생동안 출산한 총 개체수는 평균 296.6마리로 나타났다. 첫 출산에서의 새끼수는 15.6마리였고 두번째와 세번째의 출산에서는 각각 22.4, 15.8마리의 새끼가 나와서 첫 출산때의 새끼물벼룩수가 적은 것으로 나타났다.

미국 EPA의 번식독성시험법에서 추천하는 시험기간인 21일간 출산한 새끼의 수는 평균 142마리, 출산횟수는 평균 6.8회, 한번 출산시의 물벼룩 수는 평균 20.7마리였고 이때까지 시험물벼룩은 100% 생존을 하였다(그림 3-19).

Table 3-43. Life cycle of *Daphnia* sp.

Parameter	Mean \pm S. D.
Total offspring per adult	296.6 \pm 142.0
Number of broods produced	13.6 \pm 6.1
Brood size	21.7 \pm 1.2
Time to first brood, days	6.8 \pm 0.4
Size of first broods	15.6 \pm 4.0
Size of second broods	22.4 \pm 11.5
Size of third broods	15.8 \pm 5.0
Average life, days	38.6 \pm 14.6

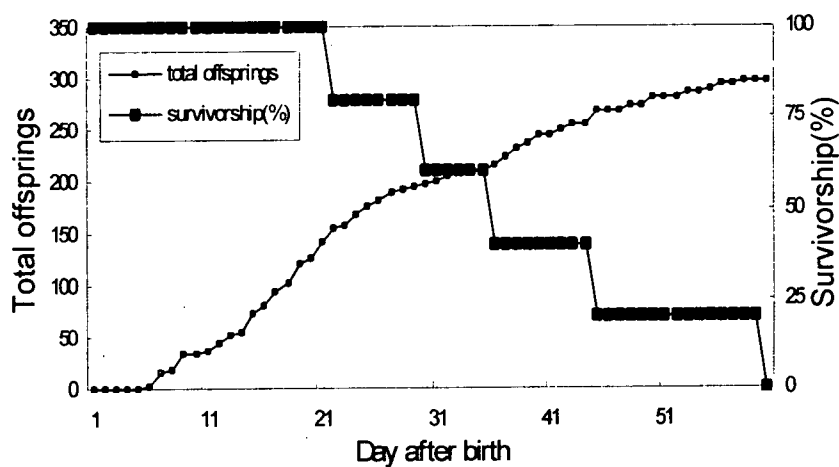


Fig. 3-19. Total offsprings and mortality of *Daphnia* sp. at optimal condition

다) *D. obtusa*의 생활사

*D. obtusa*는 평균수명이 26.1일이며 어린 물벼룩이 성장하여 첫 출산할 때까지 걸린 시간은 평균 8.4일 이었다(표 3-44). 평생동안 출산하는 횟수는 평균 6.8회, 한번 출산시 생산하는 새끼 물벼룩의 수는 평균 12.2마리였고, 한 마리가 일생동안 출산한 총 개체수는 평균 83.4마리였으나 그 표준편차가 31.1로 개체간의 변이가 심한 것으로 나타났다. 첫 출산에서의 새끼수는 17.2마리였고 두번째와 세번째의 출산에서는 각각 12.6, 26.1마리의 새끼가 나와서 첫 출산 때와 두 번째 출산에서의 새끼 물벼룩수가 세 번째 출산에 비해 적으며 그 편차도 세 번째 출산에 비해 큰 것으로 나타났다.

미국 EPA의 번식독성시험기준에서 추천하는 시험기간인 21일간 출산한 새끼의 수는 평균 66.6마리, 출산횟수는 평균 5.1회, 한번 출산시의 물벼룩 수는 평균 13.2마리였고 이때까지 시험에 사용한 *D. obtusa*의 생존율은 90% 였다(그림 3-20).

Table 3-44. Life cycle of *Daphnia obtusa*

Parameter	Mean ± S. D.
Total offspring per adult	83.4 ± 31.1
Number of broods produced	6.8 ± 1.7
Brood size	12.2 ± 3.1
Time to first brood, days	8.4 ± 0.8
Size of first broods	9.2 ± 7.5
Size of second broods	17.2 ± 11.0
Size of third broods	12.6 ± 9.5
Average life, days	26.1 ± 5.2

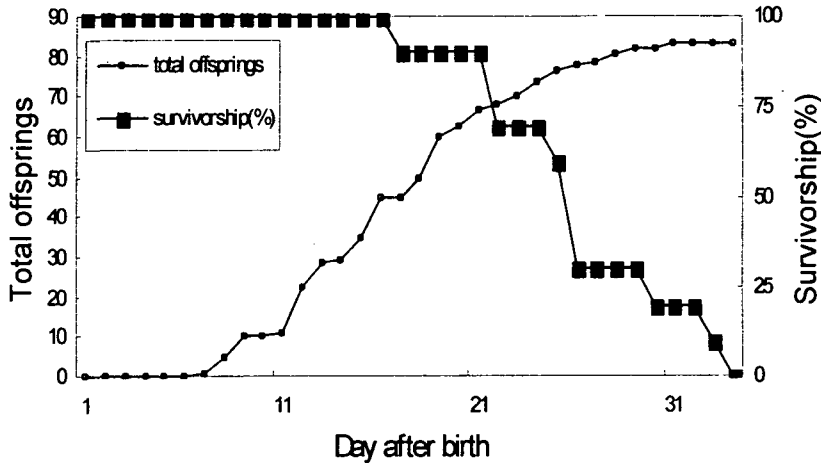


Fig. 3-20. Total offsprings and mortality of *Daphnia obtusa* at optimal condition

라) *M. macrocopa*의 생활사

표 3-45에서 보는 바와 같이 *M. macrocopa*는 평균수명이 14.9일이며 어린 물벼룩이 성장하여 첫 출산할 때까지 걸리는 시간은 평균 4일 이었다. 평생동안 출산하는 횟수는 평균 8회, 한번 출산시 생산하는 새끼 물벼룩의 수는 평균 22.2마리였고, 한 마리가 일생동안 출산한 총 개체수는 평균 218마리로 나타났다. 첫 출산에서의 새끼 수는 17.5마리였고 두번째와 세번째의 출산에서는 각각 19.3, 20.0마리의 새끼가 나와서 첫 출산때의 새끼 물벼룩수가 두 번째와 세 번째 출산에 비해 적은 것으로 나타났다.

그리고 100%의 생존을 보인 10일까지 출산한 새끼의 총수는 평균 128.5마리, 출산횟수는 평균 6.0회, 한번 출산시의 물벼룩 수는 평균 21.8마리였다(그림 3-21).

Table 3-45. life cycle of *Moina macrocopa*

Parameter	Mean \pm S. D.
Total offspring	218 \pm 38.6
Number of broods produced	8.0 \pm 1.2
Brood size	22.2 \pm 3.1
Time to first brood, days	4 \pm 0
Size of first broods	17.5 \pm 1.4
Size of second broods	19.3 \pm 2.4
Size of third broods	20.0 \pm 3.2
Average life, days	14.9 \pm 2.2

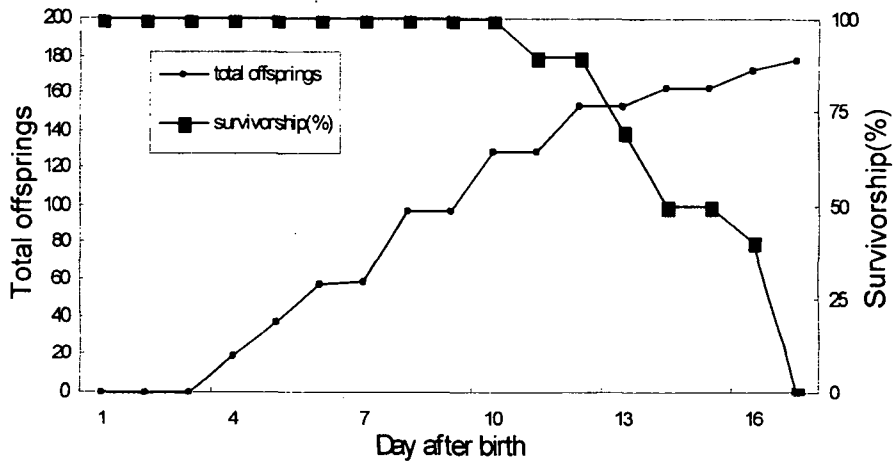


Fig. 3-21. Total offsprings and mortality of *Moina macrocopa* at optimal condition

마) *S. vetulus*의 생활사

*S. vetulus*는 평균수명이 33.9일이며 어린 물벼룩이 성장하여 첫 출산할 때까지 걸리는 시간은 평균 5.4일 이었다. 평생동안 출산하는 횟수는 평균 12.4회, 한번 출산시 생산하는 새끼 물벼룩의 수는 평균 13.9마리였고, 한 마리가 일생동안 출산한 총 개체수는 평균 183.1마리로 나타났다. 첫 출산에서의 새끼수는 4.5마리였고 두 번째와 세 번째 출산에서는 각각 8.7, 10.6마리의 새끼가 나와서 첫 출산때의 새끼 물벼룩수가 두 번째와 세 번째 출산에 비해 적은 것으로 나타났다(표 3-46).

OECD에서 추천하는 시험기간인 21일 동안 *S. vetulus*가 출산한 새끼의 수는 평균 136.6마리였으나 그 편차가 50.8이나 되어 개체간의 차이가 매우 심한 것으로 판단되며 출산횟수는 평균 8.5회, 한번 출산시의 물벼룩 수는 평균 15.1마리였고 이때까지 시험에 사용한 *S. vetulus*의 생존율은 91.7% 이었다(그림 3-22).

Table 3-46. Life cycle of *Simocephalus vetulus*

Parameter	Mean ± S. D.
Total offspring per adult	183.1 ± 61.6
Number of broods produced	12.4 ± 3.9
Brood size	13.9 ± 4.3
Time to first brood, days	5.4 ± 0.7
Size of first brood	4.5 ± 2.3
Size of second brood	8.7 ± 3.6
Size of third brood	10.6 ± 5.1
Average life, days	33.9 ± 9.7

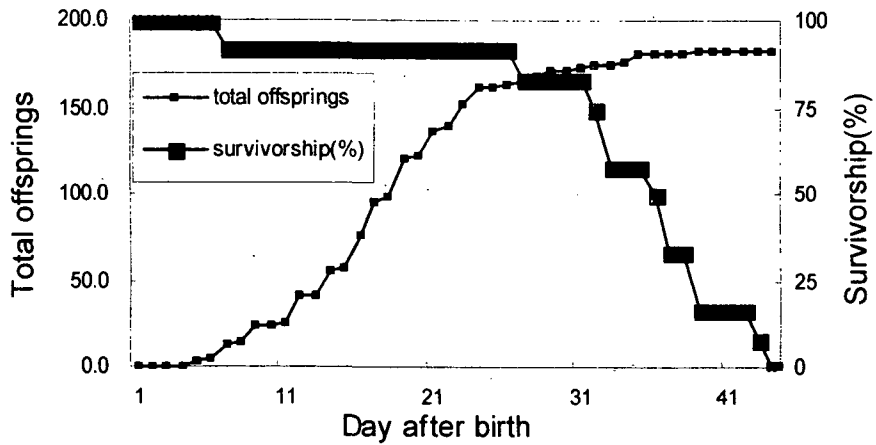


Fig. 3-22. Total offsprings and mortality of *Simocephalus vetulus* at optimal condition

3. 결 과 요 약

앞의 연구결과에서 선정된 실험대상종(*Daphnia obtusa*, *Moina macrocopa*, *Simocephalus vetulus*)과 대표종은 아니지만 체장이 크고 번식능력도 양호한 것으로 판단되는 국내산 물벼룩 *Daphnia* sp.에 대하여 이들 종에 대한 생육특성을 파악하기 위해 먹이, 사육온도, 사육수의 硬度, 사육밀도에 따른 물벼룩 종류별 생육특성을 조사하였으며, 그결과 최적조건으로 나타난 조건하에서 5종 물벼룩의 life-cycle을 조사하였다. 아울러 국제적으로 널리 이용하고 있는 *Daphnia magna*를 포함하여 국내종과 국제종과의 사육특성을 비교하였다.

먹이의 종류 및 양에 따른 물벼룩의 생육특성을 관찰한 결과 시

험에 사용된 국내산 물벼룩은 *D. magna*에 비해 먹이의 양이 절반 정도 수준에서도 잘 생육하는 것으로 조사되었고 특히 세포의 크기가 작은 *Chlorella*가 가장 적합한 먹이인 것으로 나타났다. 하지만 먹이의 양 뿐만 아니라 품질도 매우 중요하므로(Cotelle와 Ferard, 1996 ; Baer 등, 1998) 반복시험을 통한 급이량의 최적화 연구, 조류의 배양 및 저장방법에 따른 생육차이 비교연구 등이 필요한 것으로 판단된다.

온도가 물벼룩의 생육에 미치는 영향을 보면 온도가 높을수록 번식주기가 2배 정도 짧아지는 경향을 보였으며 출산수는 증가하나 생존율은 떨어지는 것으로 조사되었다. *Daphnia obtusa*는 16°C에서 성장이 양호한 것으로 나타나 저온성 물벼룩인 것으로 판단되며 나머지 종은 20°C 내외에서 양호한 생육을 보였다. 온도상승에 따라 물벼룩의 번식주기가 2배정도 짧아지는 것은 변온동물인 어류는 온도가 10°C 상승함에 따라 대사활동이 2배 정도 증가한다는 보고(Mayer 등 1994)와 여러 가지 생물발육에서 나타나는 Q10은 화학반응에서와 비슷한 2~4범위에 들어간다(부, 1996)는 보고와 일치한다.

사육수의 경도가 물벼룩의 생육에 미치는 영향을 보면 *Daphnia magna*는 경도가 160~180 mg/L(CaCO₃)인 hard water가 가장 적합한 것으로 조사되어 미국 EPA의 사육수 기준과 일치하였다. 국내산 물벼룩은 moderately hard water와 soft water가 적당한 것으로 보이며 이는 우리나라 담수의 일반적인 경도가 50~60 mg/L(CaCO₃)인 점을 감안하면 적절한 결과임을 추측할수 있다.

사육밀도가 물벼룩의 생육에 미치는 영향을 보면 200 mL에 2마리를 투입하였을 때 가장 생육이 양호하였고 4마리에서도 비교적 양

호한 번식을 나타내었으므로 대량 사육 시 1L의 배양액에 10~20마리 내외로 밀도를 조절하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 이 결과는 영국 ZENECA사의 Brixam Environmental Laboratory에서 사용하는 사육에 관한 SOP(standard operating procedure)나 OECD의 번식독성 시험기준에서 추천하는 밀도와도 일치한다.

5종 물벼룩의 생활사를 보면 물벼룩의 평균수명은 *Daphnia magna*가 50일로 가장 길고 *Moina macrocopa*가 15일로 가장 짧았고 출생 후 성숙하여 새끼를 낳을 때까지 걸리는 기간은 *Moina macrocopa*가 4일로 가장 빨랐다. 일반적으로 수명이 긴 물벼룩은 성숙하는 기간이 길며 수명이 짧은 물벼룩은 성숙하는데 걸린 기간이 짧음을 알 수 있다.

이상의 사육조건시험의 결과를 바탕으로 최적조건에서 5종 물벼룩의 생활사를 조사한 결과 *D. magna*의 평균수명은 50일로 가장 길고 *M. macrocopa*가 15일로 가장 짧았으며, 출생 후 성숙하여 새끼를 낳을 때까지 걸리는 기간은 *M. macrocopa*가 4일로 가장 빨랐다. 일반적으로 수명이 긴 물벼룩은 성숙하는 기간이 길며 수명이 짧은 물벼룩은 성숙하는데 걸리는 기간이 짧음을 알 수 있다.

미국 EPA의 번식독성시험법에서 추천하는 시험기간인 21일간 *D. magna*가 출산한 새끼의 수는 평균 148마리였는데 이는 대조군에서 21일간 출산한 새끼수가 60마리 이상일 경우에만 시험을 유효성을 인정하도록 하고 있으므로 본 시험에서 확립한 조건이 *D. magna*의 번식독성시험에 적합한 것으로 판단된다. 또한 OECD Test Guideline(OECD, 1984; OECD, 1996)에는 독성시험에 사용할 물벼룩을 어미의 첫 번째 출산에서 생산된 어린 물벼룩을 사용하지 말도록 규정하고 있는데 이는 첫배에서의 출산새끼의 수가 적고 연약한 새

끼가 나올 가능성이 높기 때문인 것으로 판단된다.

국내종인 *Daphnia* sp.의 경우에는 평균수명이 38.6일이며 어린 물벼룩이 성장하여 첫 출산할 때까지 걸린 시간은 평균 6.8일이었다. 21일간 출산한 새끼의 수는 평균 142마리였고 이때까지 시험물벼룩은 100% 생존을 하였다. 따라서 *Daphnia* sp.를 이용한 번식독성시험에서는 시험기간을 21일 이하로 하고 출산수의 유효성 기준을 60마리 정도로 하여도 무방할 것으로 판단된다. 첫 출산에서의 새끼 수가 두 번째와 세 번째의 출산에서의 새끼 수보다 적은 것으로 나타나 독성시험에 사용하는 물벼룩은 한번 이상의 출산을 한 어미에서 생산된 건강한 어린 물벼룩을 사용하도록 추천해야 할 것으로 판단된다.

*D. obtusa*의 생활사를 보면 평균수명이 26.1일이며 어린 물벼룩이 성장하여 첫 출산할 때까지 걸린 시간은 평균 8.4일 이었다. 한 마리가 출생 후 21일간 생산한 새끼 물벼룩의 수는 평균 66.6마리였으나 그 표준편차가 21.3로 개체간의 변이가 심하였고 이때까지의 생존율은 90%이었다. 따라서 *D. obtusa*의 번식독성시험을 수행하기 위해서는 앞으로 최적사육조건을 확립하기 위한 더 많은 연구가 필요하리라 판단된다. 또한 첫 출산 때와 두 번째 출산에서의 새끼 물벼룩수가 세 번째 출산에 비해 적으며 그 편차도 세 번째 출산에 비해 큰 것으로 나타났으므로 독성시험에는 두 번 이상의 출산을 한 어미에서 생산된 건강한 물벼룩을 사용하도록 추천해야 할 것으로 판단된다.

최적조건에서 *M. macrocopa*의 생활사를 보면 평균수명이 14.9일이며 어린 물벼룩이 성장하여 첫 출산할 때까지 걸리는 시간은 평균 4일 이었다. Chu 등(1997)은 26℃에서 methoprene에 대한 독성시험

을 수행하면서 대조군에서의 평균수명이 11.6일, 첫 출산할 때까지 걸리는 기간은 평균 3일이라고 발표하였는데, 이것은 온도의 증가에 따라 생존율이 떨어지고, 첫 출산할 때까지 걸리는 기간은 짧아진다는 본 연구의 결과와 일치한다. 그리고 100%의 생존을 보인 10일까지 출산한 새끼의 총수는 평균 128.5마리로 *M. macrocopa*를 이용한 번식독성시험에서 시험기간은 10일이, 출산수의 유효성 기준은 40~50마리 정도가 적당한 것으로 판단된다.

*S. vetulus*의 생활사를 보면 평균수명이 33.9일이며 어린 물벼룩이 성장하여 첫 출산할 때까지 걸리는 시간은 평균 5.4일이었다. 21일 동안 출산한 새끼의 수는 평균 136.6마리였으나 그 편차가 50.8이나 되어 개체간의 차이가 매우 심하였다. 따라서 *D. obtusa*의 최적사육조건을 구명하기 위한 더 많은 연구가 필요하리라 판단된다. 또한 21일간 이 종의 생존율이 91.7%로 대조군에서의 치사율 한계인 80%이상을 유지하였고 번식률도 지속적으로 증가하는 경향을 보이므로, 이종을 이용한 번식독성시험을 수행할 경우 시험기간은 21일로 하고 출산수의 유효성기준은 *D. magna*의 출산수 기준과 비교할 때 40~50마리 이상이 적당한 것으로 판단된다.

제 4 절 농약에 대한 감수성 비교

1. 연구수행 방법

가. 물벼룩에 대한 용매의 급성독성 구명

물벼룩에 대한 용매의 독성을 평가하여 시험생물에 영향을 미치지 않는 최적 용매를 선정하기 위해 용매 10종에 대하여 48시간 급성유영저해시험을 수행하였다.

1) 시험용매

시험용매로는 acetone, acetonitrile, dimethyl formamide(DMF), dimethyl sulfoxide(DMSO), dioxane, ethyl ether, ethanol, ethyl acetate, isopropanol, methanol의 10종을 사용하였다.

2) 시험생물

시험에 사용한 종은 *D. magna*, *Daphnia* sp, *D. obtusa*, *M. macrocopa*, *S. vetulus* 5종으로 이들 모두 24시간 이전에 출산한 건강한 어린개체를 채집하여 사용하였다.

3) 시험방법

용매 10종에 대하여 시험농도 범위설정을 위한 예비시험을 실시하여 본시험에서의 농도 범위를 설정하였으며, 농도간격의 공비는 2로 하였다. 각 농도 당 125 mL 유리비이커에 100 mL의 배양액을 채우고 시험용매를 농도별로 일정량 투여한 뒤 물벼룩을 10마리씩을 투입하고 항온수조에서 관찰하였다.

시험조건은 광조건 16시간(700~800 Lux), 암조건 8시간이었고

항온수조의 온도는 *S. vetulus*의 경우는 전기간에 걸쳐 $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 내에서 고정하였고 나머지 종은 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 하였다. 시험기간 중에는 먹이를 투여하지 않았다.

48시간후의 유영저해개체수를 조사하고 반수유영저해농도(EC_{50})를 미국 EPA의 probit 분석 프로그램(Ver. 1.5)과 moving average angle method 프로그램을 이용하여 산출하였다. 유영저해(독성영향)의 판정은 유리막대로 저어주고 15초간 관찰하여 바닥에 가라앉아 정상적인 유영을 하지 못하거나 물의 흐름에 묶여 정상적인 움직임 없이 떠다니는 것을 영향받은 개체로 간주하였으며 물 표면에 잡힌 물벼룩은 물 속으로 넣어준 뒤 같은 방법으로 판정하였다.

나. 물벼룩에 대한 농약의 급성독성 구명

국내산 물벼룩의 농약에 대한 급성독성을 평가하고, 아울러 표준시험종인 *D. magna*와의 감수성 비교를 통해 국내종 중에 시험종으로이용 가능한 종을 선별하기 위하여 5종 농약에 대하여 48시간 급성유영저해시험을 수행하였다.

1) 시험농약

우리나라에서 사용중인 농약 중에서 유기인계인 diazinon(96.8% a.i.), 트리아졸계인 myclobutanil(92.0% a.i.), 피레스로이드계인 fenprothrin (92.3% a.i.), 카바메이트계인 iprodione(96.0% a.i.) 과 carbofuran(75% a.i.)의 5약제를 사용하였다.

2) 시험생물

시험에 사용한 종은 *D. magna*, *Daphnia* sp, *D. obtusa*, *M.*

macrocopa, *S. vetulus* 5종으로 이들 모두 24시간 이전에 출산한 건강한 어린개체를 채집하여 사용하였다.

3) 시험방법

시험대상 농약의 물벼룩에 대한 독성을 평가하기 위하여 125 mL의 원형 유리수조에 사육수 100 mL를 담은 후 시험농약을 0.01, 0.1, 1, 10 mg/L로 처리하고, 준비된 어린물벼룩을 10마리씩 넣은 후 시험용액의 교환 없이 48시간 동안 관찰하였다. 시험 종료 후 유영저해 개체수를 조사하여 5종의 물벼룩에 대한 각 농약의 무영향농도와 100%영향농도를 구하였다. 위의 농도범위에서 무영향농도와 100%영향농도를 구하지 못한 diazinon과 fenprothrin은 다시 농도범위를 낮추어 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001, 0.000001mg/L에서 재시험을 실시하였다.

본실험은 예비실험을 통하여 설정된 노출범위에 따라 등비급수적으로 시험농도를 설정한 후, 시험농도에 따라 배양액에 시험물질용액을 일정량 가하여 시험용액을 조제하였다. 시험방법은 예비시험과 동일하나 반복을 3반복으로 하여 한 농도 당 총 30마리의 물벼룩을 사용하였다. 시험조건은 2.7과 같고 48시간 후의 유영저해개체수를 조사하고 반수유영저해농도(EC₅₀)를 probit 법과 moving average angle 법을 이용하여 산출하였다.

다. 물벼룩에 대한 농약의 번식독성시험

최적 사육법 확립시험을 통해 얻어진 시험생물종의 사육특성과 급성독성시험의 결과에서 나타난 종간의 감수성 정도를 비교·검토하여 사육이 용이하며 감수성도 높은 시험생물로 국내종인 *Daphnia*

sp와 *M. macrocopa*를 선정하여 아래의 방법에 따라 농약을 장기노출시켰을 때 두 종 물벼룩의 성장, 번식 등에 미치는 영향을 평가하였다.

1) 시험농약

우리나라에서 현재 사용중인 농약 중에서 유기인계인 diazinon(96.8%), 트리아졸계인 myclobutanil(92.0%), 피레스로이드계인 fenprothrin (92.3%), 카바메이트계인 carbofuran (75%)의 4 약제를 사용하였다.

2) 시험생물

시험에 사용한 물벼룩은 *Daphnia* sp.와 *M. macrocopa* 2종으로 이들 모두 24시간 이전에 출산한 건강한 어린개체를 채집하여 사용하였고 배양액은 moderately hard water를 사용하였다.

3) 시험방법

시험기간은 두 물벼룩의 평균수명을 고려하여 *M. macrocopa*는 10일, *Daphnia* sp.는 21일간 조사하였다. 시험농도를 일정수준으로 유지시키기 위해 3일에 한번씩 농약을 처리한 새로운 사육수로 교체하였다. 시험조건은 2.7과 같게 하고 시험물벼룩의 수는 각 처리 당 10마리를 개별적으로 100 mL의 배양액에 투입하였고, 먹이는 *C. vulgaris*를 2.5×10^5 cells/mL의 농도가 되게 투여하였다.

시험농도는 각 농약별 급성독성시험의 EC_{50} 의 농도로부터 공비를 3으로 하여 등비급수적으로 농도를 낮추어서 5농도를 설정하였는데 이때 농약처리군과 함께 배양액만을 담은 무처리대조군도 동시에 시

험을 수행하였다.

매일 탈피 여부와 출산수, 이상증상 등을 조사하였고 어린 물벼룩은 계수 후 시험용기에서 제외시켰다. 시험최종일에는 어미 물벼룩의 체장을 해부현미경으로 측정하고 시험기간 동안 조사한 물벼룩의 성장, 번식 등의 성적을 ANOVA 및 t-test를 통해 대조군과 비교하여 만성무영향농도(chronic-NOEC)를 산출하였다.

2. 연구수행 내용 및 결과

가. 물벼룩에 대한 용매의 급성독성

1) *D. magna*

10종 용매의 *D. magna*에 대한 급성독성을 보면 휘발성이 강한 ethyl ether가 가장 독성이 낮은 것으로 나타났고 그 다음으로는 acetone, methanol의 순으로 독성이 낮았다. 반면에 ethyl acetate는 48시간 EC₅₀이 1.4 mL/L로 가장 독성이 강한 것으로 조사되었다. 또한 48시간의 NOEC도 ethyl ether, acetone, methanol, ethanol 등이 독성이 낮아 EC₅₀과 비슷한 경향을 보였다(표 3-47).

Table 3-47. Acute toxicity of 10 organic solvents to *Daphnia magna*

Solvent	48h-EC ₅₀ (mL/L) (95% confidence limit)	NOEC ^{a)} (mL/L)
Acetone	27.62 (20.73~36.91)	8
Acetonitrile	12.96 (9.78~17.19)	4
DMF ^{b)}	4.64 (2.97~ 8.10)	0.25
DMSO ^{c)}	8.50 (6.21~11.65)	2
Dioxane	10.81 (6.50~19.55)	0.5
Ethyl ether	45.25 (33.97~60.30)	16
Ethyl acetate	1.41 (1.01~ 1.97)	0.5
Methanol	19.23 (14.09~26.25)	4
Ethanol	12.14 (9.25~15.87)	4
Isopropanol	6.63 (4.92~ 8.35)	2

a) No observed effect concentration: The highest concentration of tested chemical that do not cause adverse effects.

b) Dimethyl formamide.

c) Dimetnyl sulfoxide

2) *Daphnia* sp.

10종 용매의 *Daphnia* sp.에 대한 급성독성을 보면 ethyl ether가 가장 독성이 낮은 것으로 나타났고 그 다음으로는 methanol, acetone 순으로 독성이 낮았다. 반면에 ethyl acetate는 48시간 EC₅₀이 0.94 mL/L로 가장 독성이 강한 것으로 조사되었다. 하지만 48시간의 NOEC를 비교하면 acetone, methanol, ethanol 등의 순으로 독성이 낮아 EC₅₀과 약간 차이가 있었다(표 3-48).

Table 3-48. Acute toxicity of 10 organic solvents to *Daphnia* sp.

Solvent	48h-EC ₅₀ (mL/L)	NOEC ^{a)}
	(95% confidence limit)	(mL/L)
Acetone	19.34 (13.22~28.93)	4
Acetonitrile	5.09 (3.67~ 6.99)	2
DMF ^{b)}	6.19 (3.76~10.96)	0.5
DMSO ^{c)}	10.32 (6.52~16.78)	1
Dioxane	4.86 (3.38~ 7.07)	1
Ethyl ether	25.89 (15.94~46.17)	1
Ethyl acetate	0.94 (0.69~ 1.29)	0.25
Methanol	27.04 (17.77~41.96)	4
Ethanol	15.65 (11.66~21.13)	4
Isopropanol	3.01 (2.06~ 4.41)	0.5

a) No observed effect concentration: The highest concentration of tested chemical that do not cause adverse effects.

b) Dimethyl formamide.

c) Dimetnyl sulfoxide

3) *D. obtusa*

10종 용매의 *D. obtusa*에 대한 급성독성을 보면 methanol이 가장 독성이 낮은 것으로 나타났고 그 다음으로는 acetone, ethyl ether순으로 독성이 낮았다. 반면에 ethyl acetate는 48시간 EC₅₀이 1.21 mL/L로 가장 독성이 강한 것으로 조사되었다. 하지만 48시간의 NOEC를 비교하면 DMSO, methanol, ethanol 등이 독성이 가장 낮게 나타나 EC₅₀과는 약간 차이가 있었다(표 3-49).

Table 3-49. Acute toxicity of 10 organic solvents to *Daphnia obtusa*

Solvent	48h-EC ₅₀ (mL/L)		NOEC ^{a)}
	(95% confidence limit)		(mL/L)
Acetone	31.22	(22.04~47.67)	4
Acetonitrile	26.10	(17.37~44.52)	2
DMF ^{b)}	7.31	(5.98~ 8.71)	4
DMSO ^{c)}	14.94	(12.18~17.95)	8
Dioxane	3.68	(2.75~ 4.94)	1
Ethyl ether	25.37	(16.53~40.38)	2
Ethyl acetate	1.21	(1.08~ 1.34)	1
Methanol	33.32	(24.78~45.20)	8
Ethanol	8.12	(6.60~10.06)	8
Isopropanol	12.96	(9.78~17.19)	4

a) No observed effect concentration: The highest concentration of tested chemical that do not cause adverse effects.

b) Dimethyl formamide.

c) Dimetnyl sulfoxide

4) *M. macrocopa*

10종 용매의 *M. macrocopa*에 대한 급성독성을 보면 ethyl ether 이 가장 독성이 낮은 것으로 나타났고 그 다음으로는 acetone, methanol 순으로 독성이 낮았다. 반면에 ethyl acetate는 48시간 EC₅₀ 이 0.66 mL/L로 가장 독성이 강한 것으로 조사되었다. 48시간의 NOEC 를 비교하면 ethyl ether, acetone, methanol, ethanol 등이 독성이 가장 낮게 나타나 EC₅₀과는 비슷하였다(표 3-50).

Table 3-50. Acute toxicity of 10 organic solvents to *Moina macrocopa*

Solvent	48h-EC ₅₀ (mL/L)		NOEC ^{a)}
	(95% confidence limit)		(mL/L)
Acetone	58.82	(43.95~79.01)	16
Acetonitrile	27.96	(23.09~32.80)	16
DMF ^{b)}	8.80	(7.41~10.74)	2
DMSO ^{c)}	36.70	(31.31~44.43)	16
Dioxane	17.71	(14.93~21.58)	2
Ethyl ether	66.30	(54.39~81.79)	32
Ethyl acetate	0.66	(0.50~0.87)	0.25
Methanol	36.70	(31.31~44.43)	16
Ethanol	36.70	(31.31~44.43)	16
Isopropanol	36.70	(31.31~44.43)	16

a) No observed effect concentration: The highest concentration of tested chemical that do not cause adverse effects.

b) Dimethyl formamide.

c) Dimethyl sulfoxide

5) *S. vetulus*

10종 용매의 *S. vetulus*에 대한 급성독성을 보면 ethyl ether이 가장 독성이 낮은 것으로 나타났고 그 다음으로는 acetone, isopropanol순으로 독성이 낮았다. 반면에 ethyl acetate는 48시간 EC₅₀이 0.59 mL/L로 가장 독성이 강한 것으로 조사되었다. 48시간의 NOEC를 비교하면 isopropanol, acetone, acetonitrile methanol 등이 독성이 가장 낮게 나타나 EC₅₀과는 약간의 차이가 있었다(표 3-51).

Table 3-51. Acute toxicity of 10 organic solvents to *Simcephalus vetulus*

Solvent	48h-EC ₅₀ (mL/L)	NOEC ^{a)}
	(95% confidence limit)	(ml/L)
Acetone	35.95 (12.68~65.55)	8
Acetonitrile	35.47 (26.37~48.35)	8
DMF ^{b)}	7.14 (5.45~10.00)	0.5
DMSO ^{c)}	4.14 (3.40~ 5.11)	2
Dioxane	3.22 (2.32~ 4.50)	1
Ethyl ether	45.78 (28.51~77.03)	4
Ethyl acetate	0.59 (0.50~ 0.71)	0.25
Methanol	25.92 (19.56~34.38)	8
Ethanol	16.89 (13.97~20.77)	4
Isopropanol	34.26 (28.53~42.02)	16

a) No observed effect concentration: The highest concentration of tested chemical that do not cause adverse effects.

b) Dimethyl formamide.

c) Dimetnyl sulfoxide

6) 용매의 물리적 특성과 독성과의 상관관계

급성독성의 시험결과를 바탕으로 표 3-52에서 제시한 용매의 물리적 특성(안과 조, 1992)과 물벼룩의 급성독성과의 상관관계를 분석한 결과 표 3-53과 같이 증기압이 높은 용매일수록 물벼룩에 대한 독성이 낮음을 알 수 있었고 *D. obtusa*를 제외한 4종의 물벼룩에서 95%이상의 유의수준에서 상관이 나타났다.

Table 3-52. Physical properties of organic solvents tested

Solvent	Density (ρ), 20°C	Boiling point(°C) (760 mmHg)	surface tension (dynes/cm)	Vapor pressure (Torr)	Dipole moment (μ)	Dielectric constant (ϵ)	Viscosity (cp, 25°C)
Acetone	0.790	56.5	23.7	181.7	2.88	21.0	0.30
Acetonitrile	0.782	81.6	29.3	88.8	3.92	38.0	0.34
DMF	0.949	153.0	35.2	3.7	3.86	36.7	0.80
DMSO	1.100	189.0	42.9	0.6	3.96	49.0	2.00
Dioxane	1.033	101.3	32.2	37.1	0.00	2.2	1.20
Ethyl ether	0.713	34.6	17.0	534.2	1.15	4.3	0.24
Ethyl acetate	0.902	77.0	23.9	92.0	1.78	6.0	0.43
Methanol	0.792	64.7	22.6	125.0	1.70	32.6	0.54
Ethanol	0.789	78.5	22.8	59.8	1.69	25.0	1.08
Isopropanol	0.795	82.5	21.7	45.8	1.66	18.0	1.90

또한 용매의 비중과 *S. vetulus*의 급성독성치와는 99%수준에서 부의 상관이 있는 것으로 나타났다. 이것은 *S. vetulus*의 생활습성이 다른 4종 물벼룩의 유영형태가 부유성 유영으로 이들의 활동범위가 수층의 중간부분인 것과는 달리 유영은 하되 부유하지 않으며 바닥이나 벽 표면에 부착하고있으며 공간 이동시에만 직선적 운동을 하

는 특성을 가지고 있으므로 비중이 큰 화학물질이 이 종에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

따라서 농약독성을 위한 최적용매로 휘발성이 크지 않으며 비중도 높지 않아 일반적으로 가장 많이 사용되는 acetone, methanol, ethanol, DMSO 등을 선정하였는데 그 중 농약에 대한 용해도가 높은 acetone을 본 급성독성 및 번식독성의 시험용매로 결정하였다.

Table 3-53. Correlations between physical properties of solvents and their LC₅₀ values of cladocerans

Physical properties	Correlation coefficient (r)				
	<i>D. magna</i>	<i>D. sp</i>	<i>D. obtusa</i>	<i>S. vetulus</i>	<i>M. macrocopa</i>
Density	-0.57	-0.49	-0.60	-0.85**	-0.53
Boiling point	-0.60	-0.45	-0.46	-0.68*	-0.44
Surface tension	-0.53	-0.44	-0.35	-0.65*	-0.42
Vapor pressure	0.92**	0.65*	0.58	0.67*	0.68*
Dipole moment	-0.23	-0.15	0.20	-0.02	-0.07
Dielectric const.	-0.29	0.03	0.22	-0.09	-0.03
Viscosity	-0.50	-0.39	-0.46	-0.37	-0.12

* $P=0.05$, ** $P=0.01$

나. 물벼룩에 대한 농약의 급성독성

실험대상 농약의 독성범위를 파악하기 위하여 예비실험을 실시한 후 설정된 범위에서 diazinon, carbofuran, iprodione, myclobutanil, fenpropathrin에 대한 48시간 급성유영저해시험을 실시한 결과는 아래와 같다.

1) Diazinon

유기인계 살충제인 diazinon은 *D. magna*에 대한 독성이 가장 강해서 48시간의 EC₅₀이 0.81 ppb였으며 *D. obtusa*, *Daphnia* sp., *M. macrocopa*, *S. vetulus*의 48시간의 EC₅₀은 각각 1.7, 2.2, 4.5, 23 ppb였다. 가장 독성이 높은 *D. magna*와 가장 독성이 낮은 *S. vetulus*간의 독성치 차이는 27.8배 정도이었다. 또한 48시간에서의 NOEC를 비교하면 *D. magna*에 대한 독성이 가장 높았고 *S. vetulus*에 대해서는 가장 낮아 48시간의 EC₅₀과 같은 결과를 보였다(표 3-54).

Table 3-54. Acute toxicity of diazinon to 5 cladocerans

Test species	48h EC ₅₀ (mg/L) (95% confidence limits)	48h-NOEC (mg/L)
<i>Daphnia magna</i>	0.00081 (0.00077-0.00085)	0.0005
<i>Daphnia</i> sp.	0.0022 (0.0020-0.0024)	0.0008
<i>Daphnia obtusa</i>	0.0017 ^{a)} (0.0016-0.0019)	0.0008
<i>Simocephalus vetulus</i>	0.023 (0.019-0.027)	0.0032
<i>Moina macrocopa</i>	0.0045 (0.0040-0.0052)	0.0016

^{a)} The result was calculated by moving average angle method.

2) Carbofuran

카바메이트계 살충제인 carbofuran은 *D. obtusa*에 대한 독성이 가장 강해서 48시간의 EC₅₀이 6 ppb였으며 *Daphnia* sp., *D. magna*, *M. macrocopa*, *S. vetulus*의 48시간의 EC₅₀은 각각 10, 19, 211, 316 ppb였다. 가장 독성이 높은 *D. obtusa*와 가장 독성이 낮은 *S. vetulus*간의 독성치 차이는 52.7배로 시험에 사용한 5종의 농약 중 가장 큰 차이를 보였다. 48시간에서의 NOEC를 비교할 경우 *D. obtusa* 와 *Daphnia* sp.에 대한 독성이 가장 높았고 *M. macrocopa*에 대한 독성이 가장 낮아 48시간의 EC₅₀과 같은 결과를 보였다(표 3-55).

Table 3-55. Acute toxicity of carbofuran to 5 cladocerans

Test species	48h EC ₅₀ (mg/L) (95% confidence limits)	48h-NOEC (mg/L)
<i>Daphnia magna</i>	0.019 (0.016-0.021)	0.006
<i>Daphnia</i> sp.	0.010 (0.008-0.012)	0.0015
<i>Daphnia obtusa</i>	0.006 ^{a)} (0.005-0.007)	0.0015
<i>Simocephalus vetulus</i>	0.316 ^{a)} (0.272-0.371)	0.024
<i>Moina macrocopa</i>	0.211 ^{a)} (0.193-0.232)	0.048

^{a)} The result was calculated by moving average angle method.

3) Iprodione

카바메이트계 살충제인 iprodion은 같은 계통인 carbofuran보다 독성이 낮았는데 *M. macrocopa*에 대한 독성이 가장 강해서 48시간의 EC₅₀이 0.16 ppm이었으며 *Daphnia* sp., *S. vetulus*, *D. magna*, *D. obtusa*의 48시간의 EC₅₀은 각각 0.24, 1.18, 1.38, 1.62 ppm으로 독성이 낮았다. 가장 독성이 높은 *M. macrocopa*와 가장 독성이 낮은 *D. obtusa*간의 독성치는 10.1배 정도 차이를 보였다. 48시간에서의 NOEC를 비교하면 *M. macrocopa*와 *Daphnia* sp.의 NOEC값이 가장 낮았고 *D. magna*의 NOEC값이 가장 높아 48시간의 EC₅₀과는 다른 결과를 보였다(표 3-56).

Table 3-56. Acute toxicity of iprodione to 5 cladocerans

Test species	48h EC ₅₀ (mg/L) (95% confidence limits)	48h-NOEC (mg/L)
<i>Daphnia magna</i>	1.38 (1.31-1.48)	0.8
<i>Daphnia</i> sp.	0.24 (0.20-0.27)	0.08
<i>Daphnia obtusa</i>	1.62 (1.40-1.87)	0.5
<i>Simocephalus vetulus</i>	1.18 ^{a)} (1.07-1.30)	0.64
<i>Moina macrocopa</i>	0.16 ^{a)} (0.15-0.18)	0.08

^{a)} The result was calculated by moving average angle method.

4) Fenpropathrin

피레스로이드계 살충제인 fenpropathrin은 시험에서 사용한 계통별 농약 5종 중에 가장 독성이 높았는데 표 3-57에서 보는 바와 같이 *D. magna*에 대한 독성이 가장 강해서 48시간의 EC₅₀이 0.27 ppb이었으며 나머지 종은 *Daphnia* sp., *D. obtusa*, *M. macrocopa*, *S. vetulus*의 순서로 독성이 낮았으며 48시간의 EC₅₀은 각각 0.56, 0.8, 1.6, 3.4 ppb이었다. 가장 독성이 높은 *D. magna*와 가장 독성이 낮은 *S. vetulus*간의 독성치는 12.6배의 차이를 보였다. 그리고 48시간에서의 NOEC를 비교하면 *D. magna*에 대한 독성이 가장 높고 *S. vetulus*에 대한 독성이 가장 낮아 48시간의 EC₅₀과 동일한 결과를 보였다.

Table 3-57. Acute toxicity of fenpropathrin to 5 cladocerans

Test species	48h EC ₅₀ (mg/L) (95% confidence limits)	48h-NOEC (mg/L)
<i>Daphnia magna</i>	0.00027 (0.00022-0.00033)	0.00005
<i>Daphnia</i> sp.	0.00056 (0.00044-0.00070)	0.00008
<i>Daphnia obtusa</i>	0.0008 (0.0007-0.0009)	0.0003
<i>Simocephalus vetulus</i>	0.0034 ^{a)} (0.0031-0.0058)	0.0016
<i>Moina macrocopa</i>	0.0016 (0.0014-0.0018)	0.0006

^{a)} The result was calculated by moving average angle method.

5) Myclobutanil

트리아졸계 살균제인 myclobutanil은 본 시험에서 사용한 계통별 농약 5종 중에 가장 독성이 낮았는데(표 3-58), 5종의 물벼룩 중에 *D. obtusa*가 이 농약에 대하여 가장 민감한 반응을 보였으며 48시간 EC₅₀은 5.5 ppm이었다. 나머지 종은 *S. vetulus*, *Daphnia* sp., *D. magna*, *M. macrocopa*의 순서로 감수성이었으며 48시간의 EC₅₀은 각각 6.4, 7.1, 8.5, 8.5 ppb이었다. 가장 독성이 높은 *D. obtusa*와 가장 독성이 낮은 *M. macrocopa*간의 독성치의 차이는 1.5배로 5종 농약 중 가장 적은 차이를 보였다. 그러나 48시간에서의 NOEC를 비교하면 *D. obtusa*와 *D. magna*에 대한 독성이 가장 높고 *S. vetulus*에 대한 독성이 가장 낮아 48시간 EC₅₀의 독성순서와는 다른 결과를 보였다.

Table 3-58. Acute toxicity of myclobutanil to 5 caldocerans

Test species	48h EC ₅₀ (mg/L) (95% confidence limits)	48h-NOEC (mg/L)
<i>Daphnia magna</i>	8.3 (6.9-10.0)	1.6
<i>Daphnia</i> sp.	7.1 (6.1-8.3)	2.4
<i>Daphnia obtusa</i>	5.5 (4.6-6.5)	1.6
<i>Simocephalus vetulus</i>	6.4 ^{a)} (5.8-7.0)	6.0
<i>Moina macrocopa</i>	8.5 (7.3-9.8)	3.1

^{a)} The result was calculated by moving average angle method.

6) 물벼룩 종간 농약 감수성 비교

계통별로 선발된 5종의 농약에 대한 물벼룩종간 감수성을 비교해보면 표 3-59에서 보는 바와 같이 *D. magna*가 fenpropathrin과 diazinon 2종의 농약에서 가장 높은 감수성을 보여주었고 *D. obtusa*는 carbofuran과 myclobutanil 2종에서, *M. macrocopa*는 iprodion 1종에서 감수성이 다른 시험생물에 비해 높게 나타났다. 물벼룩 종간 급성독성의 차이를 비교하면 *D. obtusa*와 *S. vetulus*가 carbofuran에서 최고 53배의 차이를 보여 가장 감수성차이가 크게 나타났으며 myclobutanil의 경우는 종간의 급성독성비가 1.3에서 1.5배의 수준으로 종간감수성의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 그리고 시험에 사용한 물벼룩 중에 *S. vetulus*가 5종의 농약에 대해 비교적 감수성이 낮은 것으로 조사되었다.

Table 3-59. Interspecies difference of LC₅₀ values on 5 pesticides

Pesticide	48h EC ₅₀ (mg/L)		Ratio ^{a)}	
	Highest sensitive	Lowest sensitive	Min.	Max.
Diazinon	<i>D. magna</i> 0.00081	<i>S. vetulus</i> 0.023	2.1	27.8
Carbofuran	<i>D. obtusa</i> 0.006	<i>S. vetulus</i> 0.316	1.7	52.7
Iprodion	<i>M. macrocopa</i> 0.16	<i>D. obtusa</i> 1.62	1.5	10.1
Fenpropathrin	<i>D. magna</i> 0.00027	<i>S. vetulus</i> 0.0034	2.1	12.6
Myclobutanil	<i>D. obtusa</i> 5.5	<i>M. macrocopa</i> 8.5	1.3	1.5

a) EC₅₀ of other cladoceran/EC₅₀ of lowest sensitive cladoceran.

그러나 5종 물벼룩간의 48시간 EC₅₀의 상관관계를 조사해본 결과 표 3-60에서 보는 바와 같이 *D. obtusa*와 *M. macrocopa*간에는 95%의 유의 수준에서 상관이 있었으며 나머지 물벼룩 사이에는 99%의 유의수준에서 상관관계가 높게 나타났다. 즉 국내산 물벼룩 4종과 *D. magna*의 48시간 EC₅₀간에는 매우 높은 상관관계가 있음을 알 수 있었으며, 이는 각 시험물벼룩 모두가 계통별 농약에 대한 독성 발현의 경향이 유사함을 보여준다.

Table 3-60. Relationship of 48h-EC₅₀ to each cladocerans

X \ Y	Linear regression equation and correlation coefficient (r)			
	<i>D. sp</i>	<i>D. obtusa</i>	<i>S. vetulus</i>	<i>M. macrocopa</i>
<i>Daphnia magna</i>	Y=-0.21+0.87X r=0.9911**	Y=0.15+0.66X r=0.9912**	Y=0.11+0.76X r=0.9991**	Y=-0.22+1.03X r=0.9877**
<i>Daphnia sp.</i>	-	Y=0.35+0.73X r=0.9649**	Y=0.32+0.86X r=0.9896**	Y=0.02+1.19X r=0.9995**
<i>Daphnia obtusa</i>	-	-	Y=-0.04+1.14X r=0.9908**	Y=-0.38+1.51X r=0.9585*
<i>Simocephalus vetulus</i>	-	-	-	Y=-0.38+1.36X r=0.9870**

* P=0.05. ** P=0.01.

다. 물벼룩 대한 농약의 만성독성

1) Diazinon

*M. macrocopa*를 diazinon에 10일간 노출시켰을 때 5, 1.7, 0.55 ppb 처리군에서의 생존율은 40, 50, 40%로 낮았으나 생존개체의 첫 출산까지 걸리는 시간, 총출산 물벼룩수, 한번 출산시의 새끼수, 출산횟수 및 체장 탈피횟수등에서는 대조군과 큰 차이를 보이지 않았다. 0.55 ppb 처리군에서는 꼬리에 조류 등을 달고 유영하는 개체가 발견되었다(표 3-61).

Daphnia sp.를 diazinon에 21일간 노출시켰을 때 2.15, 0.72 ppb를 처리한 군에서는 21일까지 생존한 개체가 없었으며 0.24 ppb에서는 생존율이 80% 였고 21일간 총 출산 새끼물벼룩의 수는 125마리로 대조군에서의 159.5마리에 비해 유의하게 차이가 있었다. 그리고 한번 출산에서 생산되는 새끼의 수는 20마리 정도로 대조군의 24.8마리에 비해 약간 적은 것으로 나타났다. 하지만 체장과 탈피횟수등에서는 0.24 ppb이하의 농도수준에서 대조군과 유의한 차이를 발견할 수는 없었다(표 3-62).

종합적으로 diazinon이 국내산 물벼룩인 *M. macrocopa*와 *Daphnia* sp.의 번식에 미치는 영향을 평가하면 *M. macrocopa*가 *Daphnia* sp.보다 diazinon에 덜 민감한 것으로 나타났으며 *Daphnia* sp.의 만성영향 평가에서 가장 민감한 parameter로는 총 출산 물벼룩수로 나타났다. 따라서 diazinon의 생태계내에서의 만성영향을 평가할때는 *M. macrocopa*를 시험생물로 선정하기 보다는 *Daphnia* sp.가 더 적합하며 주요 parameter로는 총출산 물벼룩수가 적합할 것으로 판단된다.

Table 3-61. Survival, Reproduction, and growth of *Moina macrocopa* to diazinon during a 10-day period

Parameter	Control	Nominal concentration ($\mu\text{g/L}$)				
		0.06	0.19	0.55	1.7	5.0
Survival rate, %	90	90	70	40	50	40
Reproduction						
Time to first brood	5.1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Total offspring/adult	50.7	56.6	57.4	55.5	49.8	48.5
No. of brood produced	2.9	3.2	3.1	3.0	3.2	3.0
Brood size	17.6	17.8	18.3	18.5	15.8	16.2
Growth						
Length, mm	1.6	1.6	1.7	1.6	1.5	1.5
Molting time	5.3	5.8	5.6	4.8	5.0	5.3
Abnormal symptom	-	-	-	sc ^{a)}	-	-

* Significantly different from control ($P < 0.01$). ^{a)} Swimming with carrying.

Table 3-62. Survival, reproduction, and growth of *Daphnia* sp. to diazinon during a 21-day period

Parameter	Control	Nominal concentration ($\mu\text{g/L}$)				
		0.3	0.08	0.24	0.72	2.15
Survival rate, %	70	90	100	80	0	0
Reproduction						
Time to first brood	6.3	7.1	6.8	6.6	-	-
Total offspring/adult	159.5	144.7	157.1	125.0*	-	-
No. of brood produced	6.5	6.1	6.0	6.3	-	-
Brood size	24.8	23.9	26.2	20.0	-	-
Growth						
Length, mm	3.2	3.2	3.2	3.1	-	-
Molting time	10.0	11.3	11.4	10.3	-	-
Abnormal symptom	do ^{a)}	do	do	do	-	-

* Significantly different from control ($P < 0.01$). ^{a)} Dead offspring

2) Carbofuran

*M. macrocopa*를 carbofuran에 10일간 노출시켰을 때 211.0 ppb 처리군에서의 생존율은 0%이었고 70.3 ppb에서는 70%, 나머지는 90~100%의 생존율을 보였다. 생존한 어미개체가 첫 출산까지 걸리는 시간과 출산횟수는 대조군과 비교하여 큰 차이를 보이지 않았으나, 10일간 출산한 새끼물벼룩의 수는 대조군이 50.7마리였으나 70.3 ppb 처리군에서는 19.4마리로 유의한 차이를 보였다. 한번 출산시의 새끼수에서는 23.4 ppb와 70.3 ppb 처리군에서 대조군과 유의한 차이를 보였다. 10일 후의 체장에서도 70.3 ppb 처리군이 대조군과 유의한 차이를 보였다(표 3-63).

*Daphnia sp.*를 Carbofuran에 21일간 노출시켰을 때 첫 출산까지 걸린 시간은 10.0 ppb에서는 13일, 3.3 ppb에서는 12.2일로 대조군의 8.8일에 비해 길어짐을 알 수 있었고 21일간 출산한 새끼물벼룩의 수도 10.0 ppb에서는 82.1마리, 3.3 ppb에서는 70.0마리로 대조군의 117.0마리 보다 유의하게 적었다(표 3-64).

이상의 결과로 부터 carbofuran이 국내산 물벼룩인 *M. macrocopa*와 *Daphnia sp.*의 번식에 미치는 영향을 비교하면 *M. macrocopa*가 *Daphnia sp.*보다 carbofuran에 덜 민감한 것으로 나타났으며 *M. macrocopa*와 *Daphnia sp.* 두종 모두에서 carbofuran의 만성영향을 평가하기 위한 가장 민감한 parameter로는 출산한 물벼룩의 수와 한번출산시에 생산되는 새끼의 수인 것으로 나타났다.

Table 3-63. Survival, reproduction, and growth of *Moina macrocopa* to carbofuran during a 10-day period

Parameter	Control	Nominal concentration ($\mu\text{g/L}$)				
		2.6	7.8	23.4	70.3	211.0
Survival rate, %	90	100	90	90	70	0
Reproduction						
Time to first brood	5.1	4.9	5.0	5.0	6.1	-
Total offspring/adult	50.7	46.7	48.1	41.6	19.4*	-
No. of brood produced	2.9	3.1	3.0	3.0	2.9	-
Brood size	17.6	15.2	16.0	13.9*	6.5*	-
Growth						
Length, mm	1.6	1.5	1.6	1.5	1.4*	-
Molting time	5.3	5.6	5.7	5.4	5.3	-
Abnormal symptom	-	-	-	-	-	-

* Significantly different from control ($P < 0.01$).

Table 3-64. Survival, reproduction, and growth of *Daphnia* sp. to carbofuran during a 21-day period

Parameter	Control	Nominal concentration ($\mu\text{g/L}$)				
		0.12	0.37	1.1	3.3	10.0
Survival rate, %	80	90	70	90	90	90
Reproduction						
Time to first brood	8.8	9.7	8.3	9.9	12.2*	13.0*
Total offspring/adult	117.0	62.7	96.8	130.4	70.0*	82.1*
No. of brood produced	4.2	3.7	5.3	5.7	3.8	3.7
Brood size	27.7	16.9	18.5	22.8	19.2*	22.9
Growth						
Length, mm	3.2	3.0	3.1	3.2	3.1	3.0
Molting time	11.6	11.1	10.8	11.3	10.8	11.3
Abnormal symptom	-	do ^{a)}	do	do	do	do

* Significantly different from control ($P < 0.01$). ^{a)} Dead offspring.

3) Fenpropathrin

*M. macrocopa*를 fenpropathrin에 10일간 노출시켰을 때 8.5 ppb 처리군에서의 생존율은 30%였고 70.3 ppb처리군에서는 70%, 나머지는 90~100%의 생존율을 보였다. 생존한 어미개체가 첫 출산까지 걸리는 시간은 가장 높은 농도인 8.5 ppb에서 8.0일로 대조군의 4.4일과 유의한 차이를 보였으나 출산횟수는 대조군과 비교하여 큰 차이를 보이지 않았다. 10일간 출산한 새끼물벼룩의 수는 대조군이 44.4마리였으나 8.5 ppb 수준에서는 6.7마리로 유의한 차이를 보였다(표 3-65).

Daphnia sp.를 fenpropathrin에 21일간 노출시켰을 때 0.56 ppb와 0.187 ppb 수준에서의 생존율은 0%로 생존한 개체가 없었으며 첫 출산까지 걸린 시간, 21일간 출산한 새끼물벼룩의 수, 출산횟수나 체장 등은 대조군과 처리군 사이에 유의한 차이를 발견할 수 없었다(표 3-66).

종합적으로 fenpropathrin이 국내산 물벼룩인 *M. macrocopa*와 *Daphnia* sp.의 번식에 미치는 영향을 평가하면 *M. macrocopa*가 *Daphnia* sp.보다 fenpropathrin에 덜 민감한 것으로 나타났으며 *M. macrocopa*에 대한 fenpropathrin의 만성영향을 평가하기 위한 가장 민감한 parameter로는 첫 출산까지 걸리는 시간과 출산한 물벼룩의 수인 것으로 나타났다. 따라서 fenpropathrin의 생태계에서의 물벼룩의 만성영향을 평가할때는 주요 parameter로는 번식과 관련된 출산 물벼룩수를 이용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

Table 3-65. Survival, reproduction, and growth of *Moina macrocopa* to fenpropathrin during a 10-day period

Parameter	Control	Nominal concentration ($\mu\text{g/L}$)				
		0.02	0.06	0.94	2.83	8.5
Survival rate, %	90	90	100	90	70	30
Reproduction						
Time to first brood	4.4	4.2	4.4	4.8	5.4	8.0*
Total offspring/adult	44.4	51.0	47.1	42.4	35.0	6.7*
No. of brood produced	3.1	3.3	3.3	3.2	2.9	2.0
Brood size	14.3	15.3	14.3	13.1	12.1	3.7
Growth						
Length, mm	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.1
Molting time	5.3	5.0	5.5	5.8	4.1	3.7
Abnormal symptom	-	-	-	-	do ^{a)}	do

* Significantly different from control ($P < 0.01$). ^{a)} Dead offspring

Table 3-66. Survival, reproduction, and growth of *Daphnia* sp. to fenpropathrin during a 21-day period

Parameter	Control	Nominal concentration ($\mu\text{g/L}$)				
		0.007	0.021	0.062	0.187	0.56
Survival rate, %	100	90	90	80	0	0
Reproduction						
Time to first brood	6.5	6.5	6.3	7.0	-	-
Total offspring/adult	95.5	94.7	83.3	94.7	-	-
No. of brood produced	5.5	4.0	3.7	4.3	-	-
Brood size	17.4	23.8	24.4	22.0	-	-
Growth						
Length, mm	3.2	3.2	3.3	3.2	-	-
Molting time	11.5	12.0	11.7	11.3	-	-
Abnormal symptom	do ^{a)}	do	do	do	-	-

^{a)} Dead offspring.

4) Myclobutanil

Myclobutanil에 *M. macrocopa*를 10일간 노출시켰을 때 8.5 ppm 과 2.83 ppm 처리군에서는 생존개체가 없었으며 나머지는 90~100%의 생존율을 보였다. 생존한 어미개체가 첫 출산까지 걸리는 시간은 평균 4.4일에서 5.4일 사이로 대조군과 큰 차이가 없는 것으로 조사되었고 출산회수도 대조군과 비교하여 큰 차이를 보이지 않았다. 10일간 출산한 새끼물벼룩의 수는 대조군이 44.4마리였으나 8.5 ppm 수준에서는 21.0마리로 유의한 차이를 보였다(표 3-67).

Myclobutanil에 *Daphnia* sp.를 21일간 노출시켰을 때 생존율을 보면 7 ppm 처리군에서는 0%, 2.3 ppm 처리군에서는 40%로 조사되었으며 나머지 처리군 및 대조군은 80~100%이었다. 첫 출산까지 걸린 시간은 대조군과 큰 차이를 보이지 않았으나 21일간 출산한 새끼물벼룩의 수는 0.78 ppm 처리군에서 27.0마리로 대조군에서의 69.0마리에 비해 유의하게 낮았다. 체장 및 탈피회수등은 대조군과 처리군 사이에 유의한 차이를 발견할 수 없었으나 약간 낮은 것으로 조사되었다(표 3-68).

이상의 결과로부터 myclobutanil이 국내산 물벼룩인 *M. macrocopa*와 *Daphnia* sp.의 번식에 미치는 영향을 비교하면 *M. macrocopa*와 *Daphnia* sp.사이에 myclobutanil에 대한 감수성에는 차이가 없었다. 그리고 *M. macrocopa*와 *Daphnia* sp. 모두 myclobutanil의 만성영향을 평가하기 위한 가장 민감한 parameter로 출산한 물벼룩의 총수인 것으로 나타났다. 따라서 myclobutanil의 생태계에서의 물벼룩의 만성영향을 평가할 때는 주요 parameter로는 번식과 관련된 출산 물벼룩수를 이용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

Table 3-67. Survival, reproduction, and growth of *Moina macrocopa* to myclobutanil during a 10-day period

Parameter	Control	Nominal concentration (mg/L)				
		0.1	0.31	0.94	2.83	8.5
Survival rate, %	90	90	100	90	0	0
Reproduction						
Time to first brood	4.4	4.3	4.7	5.4	-	-
Total offspring/adult	44.4	47.3	42.3	21.0*	-	-
No. of brood produced	3.1	3.1	3.0	2.7	-	-
Brood size	14.3	15.1	14.1	7.7*	-	-
Growth						
Length, mm	1.5	1.6	1.5	1.4	-	-
Molting time	5.3	5.4	5.0	5.1	-	-
Abnormal symptom	-	-	-	do ^{a)}	-	-

* Significantly different from control ($P < 0.01$). ^{a)} Dead offspring.

Table 3-68. Survival, reproduction and growth of *Daphnia* sp. to myclobutanil during a 21-day period

Parameter	Control	Nominal concentration (mg/L)				
		0.09	0.26	0.78	2.3	7
Survival rate, %	100	90	80	80	40	0
Reproduction						
Time to first brood	13.3	13.4	13.3	15.0	-	-
Total offspring/adult	69.0	72.7	82.5	27.0*	0	-
No. of brood produced	4.3	3.7	4.0	1.5*	0	-
Brood size	16.2	19.4	21.0	18.8	0	-
Growth						
Length, mm	3.2	3.2	3.1	2.9	2.6	-
Molting time	10.3	10.7	10.5	10.5	8.5	-
Abnormal symptom	-	do	do	do	-	-

* Significantly different from control ($P < 0.01$). ^{a)} Dead offspring.

3. 결과 요약

계통별로 선발된 5종의 농약의 물벼룩에 대한 급성독성을 비교해 보면 피레스로이드계 살충제인 fenpropathrin이 가장 독성이 높았고 그 다음으로 유기인계 살충제인 diazinon, 카바메이트계 살충제인 carbofuran, iprodion 순이었고, 그리고 트리아졸계 살균제인 myclobutanil이 가장 독성이 낮았다.

Tomlin(1994)의 pesticide manual에 의하면 fenpropathrin의 bluegill sunfish에 대한 48시간 LC₅₀이 1.95 µg/L로 보고되고 있으나 물벼룩에 대한 자료는 찾을 수 없었다. 본시험의 결과에서 5종 물벼룩의 48시간 EC₅₀이 0.27~3.4 µg/L로 매우 높은 독성을 나타내어 fenpropathrin은 어류에 대한 독성과 물벼룩에 대한 독성이 유사함을 보여 주었다. 다른 피레스로이드계 살충제의 물벼룩에 대한 독성연구결과를 보면 tefluthrin의 *D. magna*에 대한 72시간 EC₅₀이 0.41 µg/L라는 Hamer 등(1992)의 보고와 bifenthrin의 *C. dubia*에 대한 48시간 EC₅₀은 0.07 µg/L, *D. magna*에는 0.32 µg/L이며 lambda cyhalothrin의 *C. dubia*에 대한 48시간 EC₅₀은 0.30 µg/L, *D. magna*에는 1.04 µg/L라는 Mokry와 Hoagland(1990)의 보고 등에서 볼 때 피레스로이드계 농약은 물벼룩에 대한 급성독성이 매우 강한 것으로 판단되며 이는 본 시험의 결과에서도 알 수 있다.

Diazinon은 *Daphnia*에 대한 24시간 EC₅₀이 1.4 mg/L으로 보고되고 있으나(Tomlin, 1994), Sánchez 등(1999)은 *D. magna*에 대한 24시간 LC₅₀이 0.86(0.76~0.96) µg/L라고 보고하였고 Ankley 등(1991)은 *C. dubia*에 대한 48시간 EC₅₀은 0.50 µg/L, *D. magna*에는 0.80 µg/L, *D. purex*에는 0.65 µg/L라고 보고하여 Pesticide manual의 내용과는 큰 차이가 있었다. 본 시험의 결과에서 5종 물벼룩에 대한

diazinon의 48시간 EC_{50} 이 0.81~22.5 $\mu\text{g/L}$ 로 나타나 Sánchez 등 (1999)과 Ankley 등(1991)의 보고와 더 유사한 결과를 얻었다.

카바메이트계 살충제인 carbofuran과 Iprodion의 *Daphnia*에 대한 48시간 EC_{50} 은 각각 15 $\mu\text{g/L}$ 와 0.25 mg/L로 보고되었는데 (Tomlin, 1994) 본시험에서는 5종 물벼룩의 48시간 EC_{50} 이 carbofuran은 6~420 $\mu\text{g/L}$, iprodione은 0.16~1.62 mg/L로 비슷한 결과를 보였다. Slabbert와 Venter(1999)는 cabofuran에 대한 acetylcholin esterase 저해시험을 수행하여 15분 후의 EC_{10} 이 0.049 $\mu\text{g/L}$ 라고 발표하였다. 이결과는 물벼룩 급성독성시험의 결과에 비해 감도가 1000배 이상 높으며 소요되는 시간도 매우 짧기 때문에, 하천수나 폐수 등에 포함된 carbofuran등의 카바메이트계 농약을 예비 검색하는 기법으로 유용할 것으로 판단된다.

Myclobutanil의 *Daphnia*에 대한 48시간 EC_{50} 이 11 mg/L로 보고 되고 있고, bluegill sunfish에 대한 96시간 LC_{50} 이 2.4 mg/L, rainbow trout에 대해서는 4.2 mg/L로 보고되고 있어(Tomlin, 1994) 수서무척추동물인 물벼룩보다 어류에 더 독성이 강한 농약으로 추측 된다. 본 시험의 결과에서는 5종 물벼룩의 48시간 EC_{50} 이 5.5 mg/L에서 8.5 mg/L로 Tomlin(1994)의 보고와 유사하였다.

약제에 따른 5종 물벼룩의 독성반응의 상관관계에서는 상관계수(r^2)가 0.95이상으로 매우 높은 상관을 보였으나 약제에 따라서는 물벼룩종 간에 적게는 1.3배에서 많게는 52.7배까지의 독성 차이를 보였다. 또한 국제종인 *D. magna*가 국내종보다 특별히 감수성이 예민하다는 증거를 찾을 수 없었고 따라서 농약등록 시 *D. magna*의 성적만으로 국내에 서식하는 물벼룩의 안전성을 평가하기는 어려울 것으로 판단된다. 이것은 Mark와 Solbé(1998)는 *D. magna*와

Ceriodaphnia spp. 및 *D. purex*의 화학물질에 대한 급·만성독성시험의 성적들을 조사하여 종간의 감수성을 비교한 결과 *D. magna*가 특별히 감수성이 높거나 낮은 경향을 확인하지 못했다는 보고와도 일치한다.

앞서의 최적사육조건 구명시험의 결과에서 실내사육이 용이하며 번식력도 우수한 것으로 조사된 국내산 물벼룩인 *M. macrocopa*와 *Daphnia* sp.를 대상으로 계통별로 선발된 4종 농약이 번식에 미치는 영향을 평가한 결과 대체적으로 *M. macrocopa*가 *Daphnia* sp.보다 덜 민감한 것으로 나타났으며 가장 민감한 parameter로는 총 출산 물벼룩수로 조사되었다. 따라서 OECD의 draft guideline(1996)에서 물벼룩번식독성의 1차적인 목적이 화학물질이 출산에 미치는 영향을 평가하는 것이라고 명시한 것과, ring test(1997)의 결과에서 어미가 출산한 새끼물벼룩의 수가 가장 변이가 적고 안정된 parameter라고 보고한 사실 등에서 볼 때 이들 농약이 생태계내의 물벼룩에 대한 만성영향을 평가할 때는 end-point로 번식과 관련된 요인 즉 출산한 새끼 물벼룩의 수, 한배의 크기, 출산횟수 등을 조사하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

결론적으로 국내종과 *D. magna*와의 사육특성 및 독성반응 차이를 비교, 검토하여 생태독성시험에 이용가능한 물벼룩으로 *M. macrocopa*와 *Daphnia* sp.를 제안하며, 급성독성시험은 48시간, 번식독성시험은 시험종의 수명에 따라 10~21일 정도로 하고, 특히 번식독성시험의 end-point로 시험기간동안 출생한 새끼물벼룩의 수, 출산회수, 한배의 크기 등을 조사할 것을 제안한다.

제 5 절 한국산 물벼룩류를 이용한 표준 생태 독성시험법(안)

1. 물벼룩의 급성유영저해시험 기준과 방법(안)

가. 시험물질

제품 또는 원재

나. 시험생물

1) 물벼룩종

국제표준종인 *Daphnia magna*를 사용함을 원칙으로 하되, 필요시 국내종으로 *Daphnia* sp., *Moina macrocopa*, *Daphnia obtusa*, *Simocephalus vetulus* 등을 추가하여 시험할 수 있다.

2) 나 이

출생 후 24시간이 지나지 않은 어린 물벼룩으로 실험실 조건에서 최소한 2번 이상의 새끼를 출산한 건강한 어미에서 나온 건강하고 균일한 개체를 사용해야한다.

다. 먹이공급

시험기간 중에는 먹이공급을 중단한다.

라. 시험용 수조

125 mL 이상의 원통형 유리제품 수조로 직경과 높이의 비율이 비슷한 것이라야 한다.

마. 시험용수

1) 시험용수

실내사육시 사용한 것과 동일한 오염되지 않은 지하수, 자연수 또는 조제수 등을 사용하며 시험 시작 24시간 전에 강하게 폭기시켜 사용한다.

2) 수 온

20±2℃ 범위내로 하되 시험기간중 수온의 변화는 ±1℃이상이 되지 않도록 하여야 하며 수온은 시험기간중 매일 측정하여 기록한다.

3) 용존산소

시험기간동안의 용존산소의 농도는 포화농도의 60%이상을 유지하여야 하며 시험의 시작과 끝에 용존산소의 농도를 측정하여 기록한다.

바. 시험농도 설정 및 규모

1) 농도수준 및 시험생물의 수

가) 기초시험

시험농도는 10 ppm의 1개 농도를 설정하고 공시물벼룩은 10마리 이상으로 한다.

나) 예비시험

시험농도는 3~7개 단계 범위내에서 설정하며 농도수준당 10마리 이상으로 시험한다.

다) 본시험

시험농도는 5단계 범위이상으로 설정하며 농도수준당 10마리씩 3반복 이상으로 시험한다.

2) 농도수준간의 간격

반수영향농도(EC_{50}) 치를 구할 수 있는 적당한 농도수준을 두고 농도수준단계간에는 일정한 공비(公比)를 둔다. 단, 공비는 2이하로 할 것을 추천한다.

3) 시험용수의 양

시험용수는 물벼룩 마리당 10mL 이상이 되게 한다.

4) 유효성분으로 10 ppm 농도로 시험한 기초시험 결과 유영저해 개체가 없을 경우는 10마리씩 3반복 이상으로 30마리 이상의 생물을 사용하여 재시험을 실시하고 그 결과 유영저해 개체가 10% 미만인 경우에는 그 이상의 시험농도수준 설정은 생략한다.

5) 약제특성 및 문헌정보에 따라 농도수준 및 시험물벼룩수를 증감할수 있으며 기초시험 및 예비시험을 생략하고 본시험을 실시할 수 있다.

사. 대조군 설정

약제 조제시 사용된 용매 및 계면활성제를 가한 시험용수자체를 음성 대조군으로 하고 음성 대조군에서 10%이상 치사될 경우에는 재시험을 실시하여야 한다.

필요시(새로운 시험물벼룩의 입수, 새로운 시험종에 대한 시험 등) 양성대조물질을 사용한 양성대조군을 추가하여 시험을 실시하도록 한다.

아. 시험용액의 조제

제품농약의 경우는 소량의 물에 미리 잘 교반하여 현탁시키고 원

제중 물에 용해 또는 현탁되지 않는 약제는 소량의 용매 및 계면활성제를 사용한다.

자. 처리방법

조제된 시험용액을 시험용수에 넣어 잘 교반시킨 다음 시험물 베틀을 넣고 오염방지를 위하여 유리덮개를 씌운다.

차. 관찰기간

약제 처리후 24, 48시간 간격으로 관찰한다.

카. 관찰사항

기본적으로 유영저해 유무를 관찰한다. 유영저해의 판정은 시험용액을 가볍게 저어준 다음, 약 15초간 관찰하여 물의 흐름을 벗어나지 못하거나 유영하지 못하는 개체를 영향받은 것으로 간주한다. 유영저해 이외에도 형태이상, 치사유무 등도 관찰·기록한다.

타. 수질조사

시험기간중의 수온은 매일 측정하고, pH, 용존산소량 등은 시험시작과 끝에 측정·기록한다.

파. 반수영향농도(EC₅₀) 산출

시험물질 투여후 48시간의 EC₅₀과 95% 신뢰한계를 산출하여야 한다.

2. 물벼룩의 번식독성시험 기준과 방법(안)

가. 시험물질

제품 또는 원제

나. 시험생물

1) 물벼룩종

국제표준종인 *Daphnia magna*를 사용함을 원칙으로 하되, 필요시 국내종으로 *Daphnia* sp., *Moina macrocopa*, *Daphnia obtusa*, *Simocephalus vetulus* 등을 사용하여 시험할 수 있다.

2) 나 이

출생 후 24시간이 지나지 않은 어린 물벼룩으로 실험실 조건에서 최소한 2번 이상의 새끼를 출산한 건강한 어미에서 나온 건강하고 균일한 개체를 사용해야 한다. 시험생물은 건강한 배양군에서 채집한 것이어야 한다. 예를들어 높은 치사율, 수컷 또는 ephippia의 출현, 첫배 생산일의 지연, 변색된 개체 등과 같은 stress 징후를 보이는 stock에서 나온 새끼를 사용해서 안된다.

3) 먹이공급

가) 반지수식의 경우에는 매일 먹이를 공급하는 것이 좋다. 그러나 배양액 교체시기에 따라 일주일에 최소한 3번은 먹이를 공급하여야 한다. 유수식시험과 같이 위의 기준에서 벗어나는 모든 내용은 세세히 기록하여야 한다.

나) 먹이로 추천하는 조류로는 *Chlorella* sp., *Selenastrum carpicornutum*, *Scenedesmus subspicatus* 등이 있다.

다) 먹이의 공급량은 어미 한 마리 당 유기탄소의 양으로 0.1~0.2 mg/day 내에서 조절하여야 한다. 세포수나 흡광도를 측정하여 먹이의 공급량을 결정할 수도 있다.

다. 시험용 수조 및 기구

- 1) 반지수식의 경우에는 125 mL 이상의 원통형 유리수조(비이커)로 직경과 높이의 비율이 비슷한 것이라야 한다.
- 2) 유수식시험에서는 적당한 크기의 유리제품을 사용한다.
- 3) 시험물질과 직접 접촉하는 모든 시험용기 및 기구들은 완전히 유리로 된 것이거나 또는 화학적으로 반응하지 않는 물질로 만들어진 것이어야 한다.

라. 시험용수

1) 시험용수

실내사육 시 사용한 것과 동일한 오염되지 않은 지하수, 자연수 또는 조제수 등이 가능하며 시험에 사용하기 24시간 전에 강하게 폭기시켜 사용한다. 추천 가능한 조제수로는 *Daphnia magna*에는 Elendt의 M4, M7배지와 미국 EPA에서 추천하는 hard water 등이 있으며, 국내종일 경우는 Elendt의 M4, M7배지와 미국 EPA 시험수기준에서의 soft water와 moderately hard water가 있다. 만약 시험에 사용될 시험수가 통상적으로 사용되는 사육수와 다른 경우에는 어미 생물의 스트레스를 줄이기 위해 일정기간(*Daphnia magna*의 경우 약 3주)의 순화를 거쳐야 한다.

2) 수 온

시험온도는 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 범위 내로 하되 시험기간 중 수온의 변화는 $\pm 2^\circ\text{C}$ 이상이 되지 않도록 하여야 하며 수온은 시험기간중 매일 측정하여 기록한다. 온도의 측정을 위해서는 별도의 시험용기를 사용하는 것이 좋다.

3) 용존산소

시험기간 동안 용존산소의 농도는 포화농도의 60% 이상을 유지하여야 하며 시험의 시작과 끝에 용존산소의 농도를 측정하여 기록한다. 시험기간 중에는 폭기를 하여서는 안된다.

4) pH

6~9 이내에 있어야 하며 어떤 시험에서도 1.5 units 이상 변화되어서는 아니 된다.

마. 시험농도 설정 및 규모

1) 농도수준 및 시험생물의 수

가) 유수식 시험

시험농도는 시험물질에 대한 이미 알려진 성적(급성독성시험 또는 범위찾기시험 등에서 나온 성적)을 고려하여 적당히 5단계 농도 범위 이상으로 설정하며 농도수준 당 10마리씩 4반복으로 하여 총 40마리를 시험에 사용할 것을 추천한다. 어떤 경우라도 한 농도 당 최소한 20마리를 2개 이상의 반복으로 나누어 수행해야한다. 예를 들면 20마리를 5마리씩 4반복으로 나누어 수행할 수 있다.

나) 반지수식 시험

시험농도는 5단계 범위 이상으로 설정하며 농도수준 당 최

소한 10마리의 개체를 개별적으로 수용하여 시험한다.

다) 약제특성 및 문헌정보에 따라 농도수준 및 시험물벼룩 수를 증감할수 있다. 또한 최저농도와 최고농도를 충분히 낮거나 높게 하여 대조군에서의 번식률이 최저농도와는 유의한 차이가 없어야 하며 최고농도와는 유의한 차이가 있어야 한다.

2) 농도수준간의 간격

반수영향농도(NOEC)를 구할 수 있는 적당한 농도수준을 두고 농도수준단계간에는 일정한 공비(公比)를 둔다. 단, 공비는 3.2이하로 할 것을 추천한다.

3) 시험용수의 양

시험용수는 물벼룩 한마리 당 50~100 mL 이상이 되게 한다.

바. 시험용액의 조제 및 교체

1) 제품농약의 경우는 소량의 물에 미리 잘 교반하여 현탁시키고 원제중 물에 용해 또는 현탁되지 않는 약제는 소량의 용매 및 계면활성제를 사용한다. 용매나 계면활성제를 사용할 경우에는 0.1 mg/L이상을 초과하여서는 안된다.

2) 적절한 용매로는 acetone, ethanol, methanol, dimethyl formamide와 triethylene glycol 등이 있으며, 적절한 분산제의 예로는 Cremophor RH40, methycellulose 0.01%, HCO-40 등이 있다. 하지만 어떤 경우에도 시험물질의 농도는 시험 배양액에서의 용해도 한계를 초과해서는 아니 된다.

3) 시험용액의 교체는 시험물질의 물 중에서의 안정성에 따라

달라지지만 최소한 일주일에 3번은 교체하여야 한다. 만약 시험물질이 안정하지 않을 경우 예를 들어 3일경과 후 초기 농도의 80%이하로 떨어질 경우에는 교체횟수를 늘리거나 유수식 시험을 수행해야 한다.

사. 대조군 설정

시험용수 대조군과 약제 조제 시 사용된 용매 또는 계면활성제의 최고농도를 가한 용매대조군을 둔다. 대조군에서 20%이상 치사될 경우에는 재시험을 실시하여야 한다.

필요할 경우에는(새로운 시험물벼룩의 입수, 새로운 시험종에 대한 시험 등) 양성대조물질을 사용한 양성대조군을 추가하여 시험을 실시하도록 한다.

아. 시험기간

*Daphnia magna*를 사용할 경우는 21일로 하며, *Daphnia* sp.나 *Daphnia obtusa*, *Simocephalus vetulus*를 사용할 경우는 14~21일, *Moina macrocopa*를 사용할 경우는 10일 간이 적당하다.

자. 관찰사항

기본적으로 출생한 새끼 물벼룩의 수를 매일 조사한다. 죽었거나 유산된 알의 출현유무도 기록하여야 한다. 또한 시험에 사용된 어미 물벼룩의 치사율을 매일 조사하여야 한다. 이외에도 유영이상, 휴지란 발생, 체색변화 등도 관찰·기록한다.

차. 수질조사 및 시험물질의 농도 측정

- 1) 시험기간 중의 수온은 매일 측정하고, 시험수의 교체 시에 새 시험수와 교체할 시험수의 pH, 용존산소량, 경도 등을 대조군과 가장 높은 농도로 처리한 시험군에서 측정·기록한다.
- 2) 반지수식 시험에서 시험물질의 실제 농도가 명목상 농도 (nominal)의 $\pm 20\%$ 이내에 있을 것으로 기대되면(예를들어 80~120% 이내에 있을 때), 시험시작 첫 주에 한번만 새로 만들 때와 배양액 교체시에 최고농도와 최저농도 처리군의 시험물질 농도를 분석할 것을 추천한다.
- 3) 반지수식 시험에서 시험물질의 농도가 $\pm 20\%$ 이내에 들지 않을 것으로 예상될 때는 새로 준비된 배양액과 교체할 배양액의 모든 시험농도를 분석하는 것이 필요하다. 하지만 측정된 시험물질의 초기농도가 nominal의 $\pm 20\%$ 이내에 들어있지 않은 시험에서도 그 초기농도 값이 안정되고 재현성이 있다고 보여지는 충분한 증거가 있다면(즉 초기농도의 80~120% 내에 있을 경우), 2, 3주부터는 최고, 최저농도만 분석할 수 있다.
- 4) 우수식 시험법을 사용할 경우 반지수식 시험법에서의 방법에 따라 분석하면 된다. 그러나 교체할 용액에 대한 분석은 필요하지 않을 것이다. 하지만 시험농도의 안정성을 보증하기 위해서는 첫 주 동안은 분석횟수를 증가할 것을 권한다. 이러한 형태의 시험에서는 시험물질과 희석액의 유속도 매일 측정되어야 한다.

- 5) 시험물질의 농도를 결정하기 위한 분석과정의 요구를 충족시키기 위해서 때로는 많은 양의 시험수가 필요하기도 하지만 반복을 합쳐서 분석하는 것도 허용된다.

카. 결과보고

- 1) 번식률의 NOEC/LOEC 또는 EC₅₀과 95% 신뢰한계, 통계처리 방법
- 2) 어미의 생존율과 첫 출산소요일 및 체장
- 3) 어미 당 출산한 배의 횟수 및 크기, 수컷 또는 휴지란의 존재유무, 개체군의 내적 자연증가율 등
- 4) 시험물질의 안정성에 관한 시험결과
: nominal 시험농도와 시험용기내의 시험물질의 농도를 결정한 모든 분석의 결과(분석방법의 회수율 및 검출한계)
- 5) 시험수의 수질(예를들면, pH, D.O, 온도, TOC/COD, 경도 등)
- 6) 기타 관찰된 생물학적 영향 또는 측정결과 ; 어미의 생장과 관련된 체장 등의 기록
- 7) 시험기준에서 일탈된 모든 사항.

타. 시험의 유효성 인정

시험이 유효함을 인정받기 위해서는 대조군에서 다음의 수행기준을 충족시켜야만 한다.

- 1) 어미 *Daphnia*(암컷)의 치사율이 시험이 종료한 시점에서 20%를 초과해선 안된다.
- 2) 시험종료 때까지 살아있는 어미에서 생산된 살아있는 어린 새끼의 평균수가 60마리 이상(≥ 60)이어야 한다.

제 6 절 참고문헌

Ankley, G. T., J. R. Dierkes, D. A. Jensen, and G. S. Peterson. 1991. Piperonyl butoxide as a tool in aquatic toxicological research with organophosphate insecticides, *Ecotox. Environ. Saf.* 21: 266~274.

안용준, 조광연. 1992. 살충제 개발을 위한 생물검정법 확립. I. 각종유기용매가 곤충의 독성과 약해 및 화합물의 용해성에 미치는 영향. *한국응용곤충학회지* 31(2):182-189.

Baer, K. N. and Goulden, C. E. 1998. Evaluation of a high-hardness COMBO medium and frozen algae for *Daphnia magna*. *Ecotoxicology and environmental safety* 39 : 201-206

Barera, Y. and Adams, W. J., 1984. Resolving some practical questions about *Daphnia* acute toxicity tests, *Aquatic Toxicology and Hazard Assessment, Sixth Symposium*. pp. 509-518. ASTM. Philadelphia.

부경생. 1996. 곤충생리학. 집현사. 서울

Burdick & Jackson Laboratory, INC. Solvent Guide.

Chu, K. H., Wong, C. K. and Chiu, K. C. 1997. Effects of the insect growth regulator (S)-methoprene on survival and reproduction of the freshwater cladoceran *Moina macrocopa*. *Environmental Pollution*. 96(2): 173-178.

Chu, K. H., C. K. Wong, and K. C. Chiu. 1997. Effects of the insect growth regulator (S)-methoprene on survival and

reproduction of the freshwater cladoceran *Moina macrocopa*. *Environ. Pollut.* 96(2): 173~178.

Cotelle, S. and Ferard, Jean-F. 1996. Effects of frozen at different temperatures on chronic assessment endpoints observed with *Daphnia magna*. *Ecotoxicology and environmental safety* 33: 137-142.

Elendt, B. P. and Bias, W. R., 1990. Trace nutrient deficiency in *Daphnia magna* cultured in standard medium for toxicity testing : Effects of the optimization of culture conditions on life history parameters of *D. magna*. *Water Res.* 24: 1157-1167.

Gliwicz, Z.M., 1990. *Daphnia* growth at different concentrations of blue-green filaments. *Arch. Hydrobiol.*, 120: 51-65.

Hamer, M. J., S. J. Maund, and I. R. Hill. 1992. Laboratory method for evaluating the impact of pesticides on water/sediment organisms. *Brighton Crop Protection Conference-Pest and Disease.* 6A-4: 487~496.

Landis W.G. and M.-H. Yu, 1995. Introduction to Environmental Toxicology. Lewis Publishers, Boca Raton, 328pp.

Mark, U. and J. Solbé. 1998. Analysis of the ECETOC AQUATIC TOXICITY(EAT) Database, V-The relevance of *Daphnia magna* as a representative test species. *Chemosphere.* 36(1): 155~166

Mayer F. L., Jr. Marking, L. L. Jr., Bills, T. D. and Howe, G. E. 1994. Physicochemical factors affecting toxicity in freshwater: hardness, pH, and Temperature, In Bioavailability:

Physical, Chemical, and Biological Interaction. CRC press. Boca Raton, Florida.

Mokry, L. E. and K. D. Hoagland. 1990. Acute toxicities of five synthetic pyrethroid insecticides to *Daphnia magna* and *Ceriodaphnia dubia*. *Environ. Toxicol. Chem.* 9: 1045~1051.

OECD. 1984. *Daphnia* sp., acute immobilization test and reproduction test. OECD guideline for testing of chemicals No.202

OECD. 1996. *Daphnia magna* reproduction test, OECD guideline for testing of chemicals Proposal for updated guideline No.211. TG\DAPHNIA\9678.DOC

OECD. 1997. Report of the final ring test of the *Daphnia magna* reproduction test, Series on testing and assessment No. 6.

Sánchez, M., Ferrando, M. D., Sancho, E., and Andreu, E. 1999. Assessment of the toxicity of a pesticide with a two-generation reproduction test *Daphnia magna*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, Part C. 124:247~252.

Slabbert, J. L. and E. A. Venter. 1999. Biological Assays for aquatic toxicity testing. *Wat. Sci. Tech.* 39(10-11): 367~373.

Tomlin, C. 1994. The pesticide manual, 10th ed. Crop Protection Publication.

USEPA. 1986. Ecological risk assessment, Standard Evaluation Procedure. EPA 540/9-85-001

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1991. Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms (4th ed.). Environmental Monitoring Systems Laboratory - Cincinnati Office of Research and Development, USEPA, Cincinnati, 293pp.

USEPA, 1992. Aquatic invertebrate acute toxicity test, freshwater Daphnid, Ecological Effects Test Guidelines. OPPTS 850.1010

Zellmer, I.D., 1995. UV-B tolerance of alpine and arctic *Daphnia*. *Hydrobiologia*, 307: 153-159.

제 4 장 한국산 담수어류의 표준생태독성 시험법 개발

제 1 절 서 설

고도의 산업 발달과 경제 성장에 따라 인간의 생활 수준은 날로 향상되어 가고 있다. 그러나 산업 발달에 수반되는 각종 유해물질의 배출은 대기, 수질, 토양 등의 오염원으로 작용하여 그에 의한 나쁜 영향을 간과해서는 안될 위험한 상황에 처해 있으며 이러한 각종 유해물질에 의한 피해 사례는 인간의 질병뿐 만 아니라 지구상에 서식하는 각종 동식물의 감소와 멸종에 이르기까지 다각도로 나타나 경제 성장에서 오는 이익의 부정적 요인으로 작용하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 유해물질이 생물에 미치는 영향에 대한 연구는 인간뿐 만 아니라 지구환경의 보존을 위해서도 매우 중요한 연구 과제로 떠오르고 있으며 시급히 수행해야 할 문제로 대두되고 있다.

생태계에 영향을 주는 오염물질의 평가에 있어서는 환경 변화에 민감한 지표생물을 통해 출현 생물상, 서식지 변화, 밀도 변화 등의 다양한 생물학적 변화 요인 등을 조사, 분석함으로써 간접적으로 오염의 정도와 그 영향을 평가할 수 있다. 그러나 이러한 방법을 통한 평가의 기준이 매우 광범위하고 정확하지 못한 단점도 가지고 있어 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 지표종으로서 가능성이 있는 종들의 생태학적 연구와 사육방법 등의 연구를 통하여 지표생물로서 적합한 종을 설정하고 이들 종을 대상으로 표준 환경 독성 영향 시

험법을 확립한다면 유해물질에 대한 보다 정확한 영향을 평가할 수 있을 것이다.

환경 독성, 특히 수질 환경 독성 시험을 위하여 선진 외국에서는 이미 그 나라에 적당한 양서류, 어류, 수서절지류, 연체류 등 많은 시험(공시)동물을 개발, 설정하여 사용하고 있다. 특히 어류는 서식 환경의 변화에 매우 민감하게 반응하며 이동성이 크므로 미미한 환경 조건의 변화에도 서식지역을 바꾸거나 출현 종의 구성이 달라진다. 때문에 지표종 설정에 대하여 많은 생태학자들이 깊은 관심을 가져 왔으며 지표종의 설정을 위한 연구를 다각도로 진행하여 시험 동물로서의 가능성에 대하여 여러 가지 측면에서 연구를 발전시켜 왔을 뿐만 아니라 각 종들의 생태학적 규명이나 사육 방법의 개발과 연구를 통하여 자국의 환경 조건에 적합한 다양한 어류를 시험동물로 개발함과 동시에(Denny, 1987; Denny *et al.*, 1991; Streisinger, 1994) 표준 생태 독성 시험법을 개발하여 환경보존 및 환경관리 방안의 연구에서도 많은 성과를 올리고 있다(Allison and Hermanutz, 1977; Benoit, 1982; Rand and Petrocelli, 1985).

환경 독성 영향 평가를 위하여 어류를 시험동물로 사용하기에 앞서, 선택한 어류의 산란주기(Eaton and Farley, 1974:), 산란에 대한 광주기나 수온의 조건(Nish and Takano, 1979; Awazi and Hanyu, 1989), 식성연구(Dixon, 1971; Millikin, 1982), 초기생활사연구(Kirchen and West, 1976; Eisen, 1991), 유전학적 연구(Kirschbaum, 1977; Akimenko *et al.*, 1990), 질병 연구(Hoffman, 1958; Ahne, 1982), 특정 물질에 대한 반응(Ansari and Kumer, 1984; Bellavere and Gorbi, 1984; Devillers and Chambon, 1986) 등 다양한 생물학적 실험과 그 결과의 검증을 위한 연구를 하고 있으며 이와 같은 필요

한 모든 생물학적 자료를 수집한 후 실험실에서 사육과 산란, 성장을 위한 연구를 실시하고 있다(Anon, 1982; Denny, 1987; Grady et al., 1991).

한반도에 서식하고 있는 담수어류는 기수역과 하구에 서식하는 주연성어류와 북한에 서식하고 있는 14종을 포함하여 모두 38과 189종이 보고되어 있다(김, 1995).

국내의 담수어류 중 생활사가 비교적 소상히 알려진 어류는 어름치, *Hemibarbus mylodon*(최와 백, 1970), 쉬리, *Coreoleuciscus splendidus*(송과 권, 1993), 꾸구리, *Gobiobotia macrocephalus*(최와 백, 1972), 독중개, *Cottus poecilopterus*(변 등, 1995), 납자루아과(송과 권, 1989, 1994; 송, 1994; 김, 1991), 통가리과(손과 주(1988) 등이 있으며 그 외에는 대부분 일본인 학자에 의하여 단편적으로 연구된 조선어류지(Uchida, 1939)를 참고하고 있는 실정이다.

어류의 초기생활사에 대한 연구는 잉어과의 납자루아과 어류의 초기생활사와 종간교잡 등에 관한 연구로 Suzuki and Jeon(1985, 1987, 1988a, b, c, d, e, f, 1989a, b, , 1990a, b, 1994), 김과 김(1989), 김과 한(1990b), 송과 권(1993) 등이 있으며 모래무지아과의 감돌고기, *Pseudopungtungia nigra*(Kim et al, 1991), 기름종개과의 수수미꾸리, *Niwaella multifasciata*(김과 이, 1995), 망둥어과의 두줄망둑, *Tridentiger trionocephalus*(김 등, 1992), 미끈망둑, *Luciogobius guttatus*(김과 한, 1990a) 등이 있고 그 밖에 Uchida(1939)의 초기생활사에 대한 단편적인 연구보고 등이 있다.

그 외에 한국산 담수어류의 산란생태에 관한 논문으로는 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* 의 산란행동(송과 권, 1994a)과 산란을 유발시키기 위한 산란조건(송과 권, 1995), 성적성숙(송과 권,

1994b) 등에 관한 연구와 각시붕어, *Rhodeus uyekii*의 생식주기(안, 1995a)와 생식주기에 미치는 광주기와 수온의 영향에 관한 연구(안, 1995b), 독중개, *Cottus poecilopus*의 번식행동 연구(변 등, 1995), 점줄종개, *Cobitis lutheri*의 성비와 자웅동체성에 관한 연구(김과 박, 1992), 미꾸라지, *Misgurnus mizolepis*의 성분화에 관한 연구(김 등, 1990) 등이 있다.

현재 선진외국에서 시험어류로 개발되어 사용되고 있는 어류에는 많은 종이 있으나 그 중 대표적인 온수어종으로는 bluegill(*Lepomis macrochirus*), Guppy(*Poecilia reticulata*), Ricefish(*Oryzias latipes*), Zebrafish(*Brachydanio rerio*), Fathead minnow(*Pimephales promelas*), Common carp(*Cyprinus carpio*), 냉수어종으로는 Rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*) 등이 있다.

그러나 우리 나라에서는 1977년에 제정된 농약관리법에 의거하여 잉어(*Cyprinus carpio*)에 대한 급성독성실험만이 유일한 담수독성 평가 항목으로 규정되어 있다.

표준 시험어류를 개발하기 위해서는 먼저 대상 종의 개체생태학적 특징을 알아야 하며 이러한 개체생태학적인 연구를 바탕으로 시험어종으로 설정하기 위한 검증과 제반 생물학적인 특징 등을 완전히 파악한 후 시험어종으로 확립하여야 한다. 그러나 국내 연구 결과의 대부분이 분류학적 연구에 치우쳐 있으며 어류의 개체생태학적인 연구는 미진한 실정이다.

따라서 우리 나라 고유의 담수 환경 조건과 생태조건에 적합한 어종을 선택, 이를 지표종으로하여 우리의 담수 환경 독성 영향을 평가할 수 있는 표준 시험어류를 하루 속히 개발하여 표준화된 환경 평가 방법을 구축하여야 할 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 유해물질

이 생태계에 미치는 영향에 대한 구체적인 연구 결과도 거의 없기 때문에 환경오염물질에 의한 사고가 발생하였다고 하더라도 그의 원인 규명이 곤란하여 사회 분쟁이 수 없이 발생하고 있는 현실이다.

이에 본 연구에서는 우리 나라의 담수 환경 독성 영향 평가를 위한 표준 시험어종의 개발을 위해 먼저 우리 나라의 서식환경을 잘 반영할 수 있는 대표적 어종들을 선정하고자 하였으며, 선정된 어류에 대한 개체생태학적인 연구와 어류의 사육법 연구를 통하여 시험어종을 개발하고자 한다.

또한 국내 하천 및 농수로나 논 등에서 서식하는 중요 어종인 미꾸리를 대상으로 실험실 조건에서 사육법을 확립하고 생육단계별로 감수성 비교실험을 통하여 미꾸리를 이용한 표준 독성시험법을 확립하고자 하였다.

제 2 절 분류·생태학적 조사 및 실험대상 어종 선정

1. 연구수행방법

가. 문헌 조사

현재까지 어류학자들에 의해 보고되어진 학술논문과 단행본, 보고서 등을 조사하여 우리 나라 전 지역을 대상으로 채집된 어종의 개체수와 서식 여부를 기록하였으며 현장 채집의 조사 결과와 함께 종별 상대풍부도를 구하였고 수계별(한강, 낙동강, 금강, 섬진강) 역시 서식 어종과 서식 개체수를 기록하고 상대풍부도를 구하였다.

나. 현장 채집

문헌조사를 통하여 4대강에 대한 미진한 조사 지역 및 재조사의 필요성이 요구되는 지점 등을 현지 조사하였다. 어류의 채집을 위한 도구는 족대(망목: 5 x 5 mm)와 투망(7 x 7 mm)을 사용하였으며 채집된 어류는 현장에서 즉시 10% 포르말린에 고정한 후 실험실에 운반하여 동정, 분류(최 등, 1990; 김, 1988)한 후 종별 채집 개체수를 기록하였다. 문헌 조사 및 현장 채집을 실시한 각 지점들은 다음과 같다.

1) 한강 수계

1) 강원도 화천군 화천호

2) 강원도 양구군 소양호

3) 강원도 인제군 소양호

4) 강원도 춘성군 춘천호

- 5) 강원도 춘천시 의암호
- 6) 강원도 춘성군 의암호
- 7) 강원도 춘천시 춘천호
- 8) 강원도 홍천군 내촌면
- 9) 강원도 홍천군 두촌면 장남천
- 10) 강원도 홍천군 화촌면 근업리
- 11) 강원도 홍천군 동면 덕치리
- 12) 강원도 홍천군 북방면 상화계리
- 13) 강원도 홍천군 북방면 소매곡리
- 14) 강원도 홍천군 내면 창촌리
- 15) 강원도 홍천군 내면 창촌리
- 16) 강원도 홍천군 내면 창촌리
- 17) 강원도 홍천군 내면 창촌리
- 18) 강원도 홍천군 내면 광원리
- 19) 강원도 횡성군 갑천면 초현리
- 20) 강원도 횡성군 갑천면 매일리
- 21) 강원도 횡성군 갑천면 구방리
- 22) 강원도 횡성군 갑천면 부동리
- 23) 강원도 횡성군 갑천면 수백리
- 24) 강원도 평창군 평창면 마지리
- 25) 강원도 평창군 용평면 노동리
- 26) 강원도 평창군 용평면 노동리
- 27) 강원도 영월군 남면
- 28) 강원도 영월군 북면
- 29) 강원도 영월군 상동읍
- 30) 강원도 영월군 서면
- 31) 강원도 영월군 수주면
- 32) 강원도 영월군 영월읍
- 33) 강원도 영월군 주천면
- 34) 강원도 영월군 하동면
- 35) 강원도 원성군 귀래면
- 36) 강원도 원성군 문막면
- 37) 강원도 원성군 부론면
- 38) 강원도 원성군 소초면
- 39) 강원도 원성군 신림면
- 40) 강원도 원성군 지정면
- 41) 강원도 원성군 판부면
- 42) 강원도 원성군 호저면
- 43) 강원도 원성군 흥업면
- 44) 경기도 양평군 강상면
- 45) 경기도 양평군 강하면
- 46) 경기도 양평군 개군면
- 47) 경기도 양평군 단월면
- 48) 경기도 양평군 서종면
- 49) 경기도 양평군 양동면
- 50) 경기도 양평군 양서면
- 51) 경기도 양평군 양평면
- 52) 경기도 양평군 옥천면
- 53) 경기도 양평군 용문면
- 54) 경기도 양평군 지제면

- | | |
|------------------|------------------|
| 55) 경기도 양평군 청운면 | 56) 경기도 광주군 광주읍 |
| 57) 경기도 광주군 남종면 | 58) 경기도 광주군 도척면 |
| 59) 경기도 광주군 동부읍 | 60) 경기도 광주군 서부면 |
| 61) 경기도 광주군 실촌면 | 62) 경기도 광주군 오포면 |
| 63) 경기도 광주군 증부면 | 64) 경기도 광주군 초월면 |
| 65) 경기도 광주군 퇴촌면 | 66) 경기도 고양군 벽제읍 |
| 67) 경기도 고양군 송포면 | 68) 경기도 고양군 신도면 |
| 69) 경기도 고양군 원당읍 | 70) 경기도 고양군 일산읍 |
| 71) 경기도 고양군 지도읍 | 72) 경기도 파주군 광탄면 |
| 73) 경기도 파주군 교하면 | 74) 경기도 파주군 광탄면 |
| 75) 경기도 파주군 군내면 | 76) 경기도 파주군 금촌면 |
| 77) 경기도 파주군 문산읍 | 78) 경기도 파주군 월릉면 |
| 79) 경기도 파주군 장단면 | 80) 경기도 파주군 적성면 |
| 81) 경기도 파주군 조리면 | 82) 경기도 파주군 진동면 |
| 83) 경기도 파주군 천현면 | 84) 경기도 파주군 탄현면 |
| 85) 경기도 파주군 파주읍 | 86) 경기도 파주군 파평면 |
| 87) 경기도 김포군 검단면 | 88) 경기도 김포군 계양면 |
| 89) 경기도 김포군 고촌면 | 90) 경기도 김포군 김포면 |
| 91) 경기도 김포군 대곶면 | 92) 경기도 김포군 양촌면 |
| 93) 경기도 김포군 월곶면 | 94) 경기도 김포군 통진면 |
| 95) 경기도 김포군 하성면 | 96) 경기도 강화군 강화읍 |
| 97) 경기도 강화군 교동면 | 98) 경기도 강화군 길상면 |
| 99) 경기도 강화군 내가면 | 100) 경기도 강화군 불은면 |
| 101) 경기도 강화군 삼산면 | 102) 경기도 강화군 서도면 |
| 103) 경기도 강화군 선원면 | 104) 경기도 강화군 송해면 |

- 105) 경기도 강화군 양도면
- 107) 경기도 강화군 하점면

- 106) 경기도 강화군 양사면
- 108) 경기도 강화군 화도면

2) 낙동강 수계

- 1) 경북 봉화군 소천면
- 3) 경북 봉화군 명호면
- 5) 경북 안동군 남선면
- 7) 경북 문경군 가은읍
- 9) 경북 문경군 동로면
- 11) 경북 문경군 문경읍
- 13) 경북 문경군 산양면
- 15) 경북 문경군 호계면
- 17) 경북 상주군 내서면
- 19) 경북 상주군 청리면
- 21) 경북 의성군 구천면
- 23) 경북 의성군 다인면
- 25) 경북 의성군 단북면
- 27) 경북 의성군 봉양면
- 29) 경북 의성군 사곡면
- 31) 경북 의성군 안계면
- 33) 경북 의성군 옥산면
- 35) 경북 의성군 점곡면
- 37) 경북 선산군 고아면
- 39) 경북 선산군 무을읍
- 41) 경북 선산군 선산읍

- 2) 경북 봉화군 소천면
- 4) 경북 안동군 일직면
- 6) 경북 문경군 점촌시
- 8) 경북 문경군 농암면
- 10) 경북 문경군 마성면
- 12) 경북 문경군 산북면
- 14) 경북 문경군 영순면
- 16) 경북 상주군 낙동면
- 18) 경북 상주군 공검면
- 20) 경북 의성군 가음면
- 22) 경북 의성군 금성면
- 24) 경북 의성군 단밀면
- 26) 경북 의성군 단촌면
- 28) 경북 의성군 비안면
- 30) 경북 의성군 신평면
- 32) 경북 의성군 안평면
- 34) 경북 의성군 의성읍
- 36) 경북 의성군 춘산면
- 38) 경북 선산군 도개면
- 40) 경북 선산군 산동면
- 42) 경북 선산군 옥성면

- | | |
|----------------|----------------|
| 43) 경북 선산군 장천면 | 44) 경북 선산군 해평면 |
| 45) 경북 선산군 고아면 | 46) 경북 금릉군 감문면 |
| 47) 경북 금릉군 감천면 | 48) 경북 금릉군 개녕면 |
| 49) 경북 금릉군 구성면 | 50) 경북 금릉군 남면 |
| 51) 경북 금릉군 농소면 | 52) 경북 금릉군 대덕면 |
| 53) 경북 금릉군 대항면 | 54) 경북 금릉군 봉산면 |
| 55) 경북 금릉군 부항면 | 56) 경북 금릉군 아포리 |
| 57) 경북 금릉군 어모면 | 58) 경북 금릉군 조마면 |
| 59) 경북 금릉군 증산면 | 60) 경북 금릉군 지례면 |
| 61) 경북 달성군 가창면 | 62) 경북 달성군 구지면 |
| 63) 경북 달성군 논공면 | 64) 경북 달성군 다사면 |
| 65) 경북 달성군 옥포면 | 66) 경북 달성군 유가면 |
| 67) 경북 달성군 하빈면 | 68) 경북 달성군 현풍면 |
| 69) 경북 달성군 화원면 | 70) 경북 성주군 용암면 |
| 71) 경북 성주군 가천면 | 72) 경북 성주군 금수면 |
| 73) 경북 성주군 대가면 | 74) 경북 성주군 벽진면 |
| 75) 경북 성주군 선남면 | 76) 경북 성주군 성주읍 |
| 77) 경북 성주군 수륜면 | 78) 경북 성주군 용암면 |
| 79) 경북 성주군 월항면 | 80) 경북 성주군 초천면 |
| 81) 경북 고령군 개진면 | 82) 경북 고령군 고령읍 |
| 83) 경북 고령군 다산면 | 84) 경북 고령군 덕곡면 |
| 85) 경북 고령군 쌍림면 | 86) 경북 고령군 상산면 |
| 87) 경북 고령군 우곡면 | 88) 경북 고령군 운수면 |
| 89) 경남 창녕군 유어면 | 90) 경남 창녕군 계성면 |
| 91) 경남 창녕군 고암면 | 92) 경남 창녕군 길곡면 |

- | | |
|---------------------|---------------------|
| 93) 경남 창녕군 남지읍 | 94) 경남 창녕군 대지면 |
| 95) 경남 창녕군 대합면 | 96) 경남 창녕군 도천면 |
| 97) 경남 창녕군 부곡면 | 98) 경남 창녕군 성산면 |
| 99) 경남 창녕군 영산면 | 100) 경남 창녕군 유어면 |
| 101) 경남 창녕군 이방면 | 102) 경남 창녕군 장마면 |
| 103) 경남 창녕군 창녕읍 | 104) 경남 밀양군 밀양읍 |
| 105) 경남 밀양군 상동면 | 106) 경남 밀양군 단장면 |
| 107) 경남 밀양군 무안면 | 108) 경남 밀양군 밀양읍 |
| 109) 경남 밀양군 부북면 | 110) 경남 밀양군 산내면 |
| 111) 경남 밀양군 산외면 | 112) 경남 밀양군 삼랑진읍 |
| 113) 경남 밀양군 상남면 | 114) 경남 밀양군 상동면 |
| 115) 경남 밀양군 청도면 | 116) 경남 밀양군 초동면 |
| 117) 경남 밀양군 하남면 | 118) 경남 김해시 |
| 119) 경남 김해군 가락면 | 120) 경남 김해군 녹산면 |
| 121) 경남 김해군 대동면 | 122) 경남 김해군 명지면 |
| 123) 경남 김해군 상동면 | 124) 경남 김해군 생림면 |
| 125) 경남 김해군 이북면 | 126) 경남 김해군 장유면 |
| 127) 경남 김해군 주촌면 | 128) 경남 김해군 진례면 |
| 129) 경남 김해군 진영면 | 130) 경북 영천군 자양면 용산리 |
| 131) 경북 영천군 자양면 성곡리 | 132) 경북 영천군 자양면 용화리 |
| 133) 경북 영천시 금노동 | 134) 경북 영천군 금호읍 덕성리 |
| 135) 경북 영천군 신령면 왕산리 | 136) 경북 경산군 하양읍 대조리 |
| 137) 경북 경산군 와촌면 시천리 | 138) 경북 경산시 대평동 남천 |
| 139) 대구시 북구 동변동 | 140) 대구시 북구 동천동 팔거천 |
| 141) 대구시 동구 신기동 | 142) 전북 남원군 운봉면 화수리 |

- 143) 전북 남원군 동면 인월리 144) 전북 남원군 산내면 부운리
 145) 전북 남원군 산내면 백일리 146) 경남 함안군 마천면 기흥리
 147) 경남 함안군 유림면 서주리

3) 금강수계

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 1) 전북 무주군 설천면 구월담 | 2) 전북 무주군 설천면 피파담 |
| 3) 전북 무주군 설천면 인월담 | 4) 전북 무주군 설천면 삼공리 |
| 5) 전북 무주군 설천면 파혜정 | 6) 전북 무주군 설천면 소천리 |
| 7) 전북 무주군 무주면 대차리 | 8) 전북 무주군 무주읍내 |
| 9) 전북 무주군 무주면 오산리 | 10) 전북 무주군 무주면 장백리 |
| 11) 전북 무주군 운천면 수성대 | 12) 전북 무주군 운천면 파혜정 |
| 13) 전북 무주군 운천면 삼공리 | 14) 전북 무주군 운천면 인월담 |
| 15) 전북 무주군 운천면 피파담 | 16) 전북 무주군 운천면 구월담 |
| 17) 전북 무주군 안성면 공정리 | 18) 전북 무주군 안성면 통안리 |
| 19) 전북 무주군 무주면 소천리 | 20) 충남 금산군 부리면 수통리 |
| 21) 충남 금산군 부리면 도화리 | 22) 충남 금산군 제원면 용화리 |
| 23) 충남 금산군 제원면 천내리 | 24) 충북 영동군 양산면 오탄리 |
| 25) 충북 영동군 양산면 수두리 | 26) 충북 영동군 양산면 검정리 |
| 27) 충북 영동군 심천면 고당리 | 28) 충북 영동군 용화면 용화리 |
| 29) 충북 옥천군 평산면 | 30) 충북 옥천군 동면 재영리 |
| 31) 충북 옥천군 군북면 용호리 | 32) 충남 대덕군 신탄진읍 |
| 33) 충남 대덕군 신탄진읍 석봉리 | 34) 충남 연기군 조치원읍 |
| 35) 충남 연기군 금남면 봉기리 | 36) 충남 공주군 탄천면 |
| 37) 충남 공주군 우성면 | 38) 충남 공주군 장기면 |
| 39) 충남 공주군 반포면 원봉리 | 40) 충남 공주군 반포면 이암리 |

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 41) 충남 공주군 장기면 장암리 | 42) 충남 공주군 공주시 산성동 |
| 43) 충남 공주군 우성면 죽동리 | 44) 충남 청양군 목면 화양리 |
| 45) 충남 청양군 단천면 경동리 | 46) 충남 청양군 청남면 왕진리 |
| 47) 충남 부여군 규암면 | 48) 충남 부여군 장암면 |
| 49) 충남 부여군 부여읍 구도리 | 50) 충남 부여군 규암면 줄본리 |
| 51) 충남 부여군 창남면 창남리 | 52) 충남 부여군 석성면 봉정리 |
| 53) 충남 부여군 양화면 입포리 | 54) 충남 논산군 강경읍 |
| 55) 충남 논산군 강경읍 황산동 | 56) 충남 서천군 화양면 옥포리 |
| 57) 충남 서천군 화양면 망월리 | 58) 충남 서천군 장항읍 장항동 |
| 59) 충북 진천군 이월면 신계리 | 60) 충북 진천군 백곡면 석현리 |
| 61) 충북 진천군 초평면 중석리 | 62) 충북 진천군 초평면 용정리 |
| 63) 충북 진천군 문백면 평산리 | 64) 충북 청원군 오창면 여천리 |
| 65) 충북 청원군 오창면 석만리 | 66) 충북 청원군 남일면 은행리 |
| 67) 충북 청원군 남일면 장암리 | 68) 충북 청원군 옥산면 신촌리 |
| 69) 충북 청원군 강내면 마호리 | |

4) 섬진강수계

- | | |
|----------------|----------------|
| 1) 전북 진안군 동향면 | 2) 전북 진안군 백운면 |
| 3) 전북 진안군 상전면 | 4) 전북 진안군 안천면 |
| 5) 전북 진안군 주천면 | 6) 전북 남원군 금지면 |
| 7) 전북 남원군 대산면 | 8) 전북 남원군 보절면 |
| 9) 전북 남원군 산내면 | 10) 전북 남원군 송동면 |
| 11) 전북 남원군 이백면 | 12) 전남 곡성군 고달면 |
| 13) 전남 곡성군 삼기면 | 14) 전남 곡성군 석곡면 |
| 15) 전남 곡성군 오편면 | 16) 전남 곡성군 옥과면 |

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 17) 전남 구례군 간전면 | 18) 전남 구례군 광의면 |
| 19) 전남 구례군 마산면 | 20) 전남 구례군 산동면 |
| 21) 전남 구례군 용방면 | 22) 전남 승주군 송광면 대곡리 |
| 23) 전남 승주군 주암면 대광리 | 24) 전남 승주군 주암면 광천리 |
| 25) 전남 승주군 송광면 이윤리 | 26) 전남 보성군 북내면 사천리 |
| 27) 전남 보성군 겸백면 | 28) 전남 보성군 문덕면 |
| 29) 전남 보성군 벽교면 | 30) 전남 보성군 조성면 |
| 31) 전남 보성군 웅치면 강산리 | 32) 전남 보성군 노동면 대치리 |
| 33) 전남 보성군 노동면 신천리 | 34) 전남 보성군 노동면 명봉리 |
| 35) 전남 보성군 보성읍 용문리 | 36) 전남 보성군 보성읍 용문리 |
| 37) 전남 보성군 겸백면 용산리 | 38) 전남 보성군 북내면 웅전리 |
| 39) 전남 보성군 북내면 시천리 | 40) 전남 보성군 문덕면 죽산리 |
| 41) 전남 화순군 남면 주산리 | 42) 전남 화순군 능주면 |
| 43) 전남 화순군 도암면 | 44) 전남 화순군 동북면 |
| 45) 전남 화순군 이서면 | 46) 전남 화순군 한천면 |
| 47) 전남 장흥군 장평면 봉림리 | 48) 전남 장흥군 부산면 |
| 49) 전남 장흥군 안량면 | 50) 전남 장흥군 장동면 |
| 51) 전남 장흥군 회진면 | 52) 전남 광양군 광양읍 |
| 53) 전남 광양군 다압면 | 54) 전남 광양군 봉강면 |
| 55) 전남 광양군 옥곡면 | 56) 전남 광양군 옥룡면 |
| 57) 전남 광양군 진월면 | |

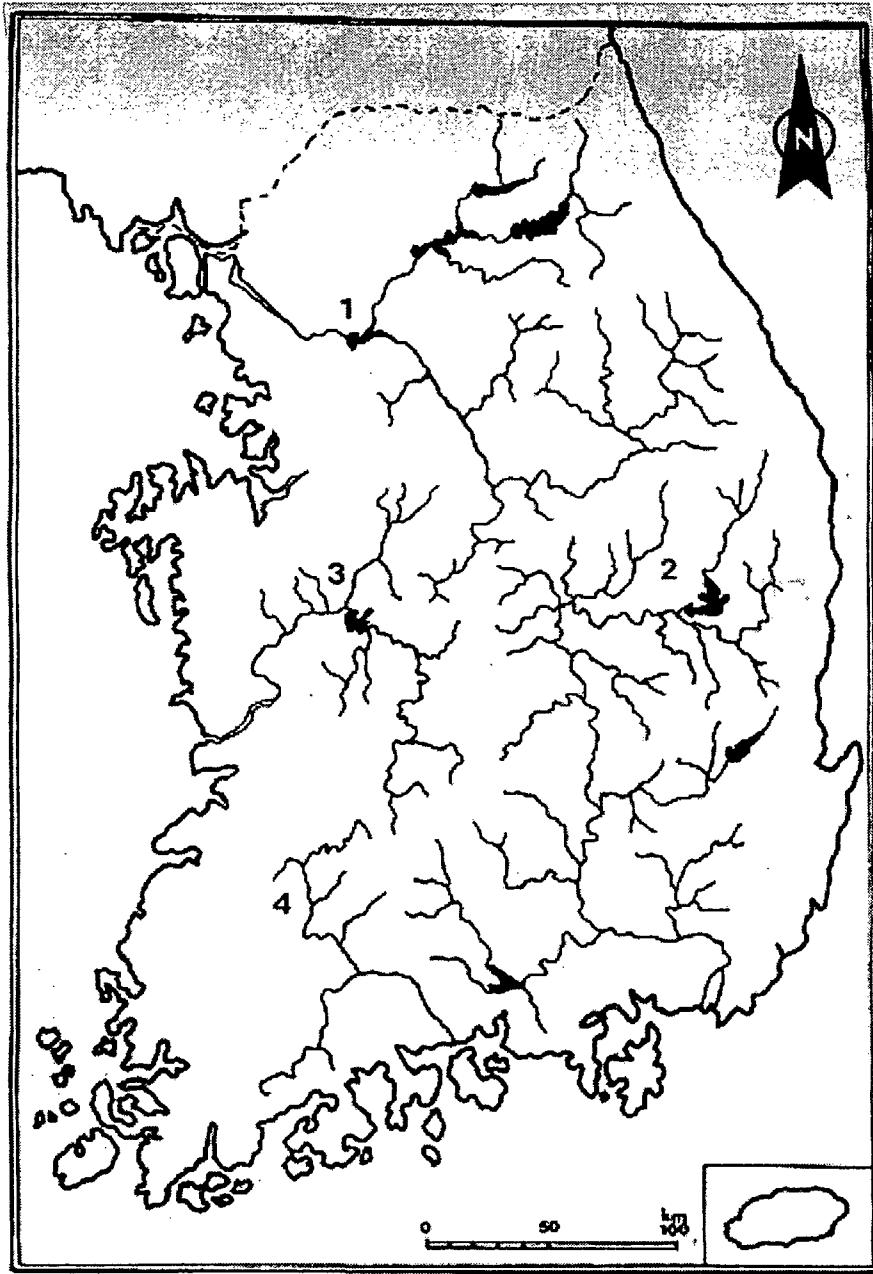


그림 4-1. 담수어 서식 현황 조사 수계도.

1. 한강, 2. 낙동강, 3. 금강, 4. 섬진강.

다. 실험 어종 선정

상기의 문헌조사와 현장 채집의 결과를 바탕으로 남한의 전역과 수계별로 어종별 상대풍부도를 구하였으며 상대풍부도가 낮더라도 실험실 사육이 용이할 것으로 추측되는 종들도 사육 대상에 포함시켰다.

대표적인 실험 어종을 선정하기 위한 기준은 개체수가 풍부한 어종(개체수 서열 50위 이내)을 기본 조건으로 하여 다음과 같은 특이성을 가지는 어류는 실험실내에서 사육이 곤란할 것으로 판단되어 배제한 후 선별하였다.

- 생태적 특이성: 강하성, 소하성 어류, 양측회유성 어류, 회유성 (담수내) 어류
- 서식지 특이성: 여울성, 냉수성
- 어류의 크기: 수조내에서 사육이 곤란한 대형종
- 행동 특이성: 야행성, 은닉성(하상 바닥에 잘 숨는 종)
- 산란 특이성: 다른 동물을 산란장소로 이용하는 종
- 먹이 특이성: 살아있는 대형의 먹이 또는 부착성 조류 만을 먹는 종

라. 선정 어류의 실험실 사육

위와 같은 선발 기준에 따라 선정한 어류를 어류 사육실에서 사육하면서 수조 내에서의 적응도, 민감성, 먹이 붙임, 산란 가능성 등을 타진하여 최종적으로 실험 어종을 선정하였다. 어류의 사육 수조는 60 x 30 x 30 cm의 유리 수조를 사용하였으며 사육수는 수돗물을 탈 염소하여 사용하였고 수조 바닥에는 모래와 자갈을 깔았으며 필요에 따라서 수초도 넣어 주었다. 공기펌프를 사용하여 통기하였으

며 사육 수온은 $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하였다. 사육 어류의 먹이는 어종에 따라 brine shrimp(*Artemia* sp.)의 난을 부화시켜 공급하거나 시판용 어류 사료(TetraMin, flake food)를 1일 2회씩 충분히 공급하였다.

2. 연구수행내용 및 결과

가. 한국의 담수어류의 일반 현황

1) 현황

우리 나라의 담수어류는 한국, 중국, 일본과 밀접한 연관성을 가지고 있다. 이들 세 국가는 신생대 선신세(200~500만년전) 이후 고황하수계(Paleo-Hwangho) 및 고아무르수계(Paleo-Amur river)의 영향을 받아 담수어류를 공유하게 되었다. 즉 빙하기에 해수면이 낮아지면서 고황하수계와 고아무르수계가 형성되었는데 황해에서 동지나해의 중앙을 지나고 고황하수계가 형성되면서 중국대륙, 한반도의 서남부, 일본 서남부의 여러 하천이 연결되어 중국대륙으로부터 기원된 어류와 남방계 어류가 한반도에 유입되었으며 동북부는 고아무르수계와 연결되었다. 그러나 이후 해수면이 상승하므로써 각 하천으로 격리된 후 종분화 과정을 거치면서 고유종 또는 아종이 형성되어 한반도의 독특한 어류상을 이루게 되었다.

현재 한반도와 한반도의 인근 해역에 서식하고 있는 담수어와 해산어는 약 900여종이 알려져 있다. 그 중 한반도 담수어류는 최 등(1990)이 145종을 보고한 바 있으며 김(1995)은 낙동강, 섬진강 하류와 도서지방의 어류 등의 주연성 어류를 추가하고 북한 지역의 일

부 담수어를 추가하여 총 38과 189종으로 정리하였다. 그러나 이 목록에는 외국으로부터 도입된 15종의 외래어종이 포함되지 않았으며 현재 국내 수계에 정착하여 번식하고 있는 7종을 합하면 약 200여종의 담수어가 한반도에 서식하고 있는 셈이된다(그림 4-1).

이들 189종의 한국산 담수어를 분류군별로 보면 잉어과(Cyprinidae) 어류가 65종으로 전체 어종의 34.4%를 차지하고 있으며 다음으로 망둑어과(Gobiidae) 어류가 23종 12.2%, 기름종개과(Cobitidae)가 17종 9.0%로 이들 어종이 우리 나라 담수어류의 과반수 이상을 차지하고 있다.

담수어를 생태형으로 분류해 보면 일생동안 담수역에서만 생활하는 1차 담수어(순수담수어)는 96종이 나타나고 있으며, 담수에서 서식하다가 바다로 내려가 산란하는 강하성(catadromous) 어류는 뱀장어, 무태장어, 꺾정어 등 3종이며 반대로 바다에서 성장한 후 담수로 올라와 산란하는 소하성(anadromous) 어류는 칠성장어, 황어, 뱀어, 국수뱀어, 붕통뱀어, 도화뱀어, 젓뱀어, 실뱀어, 송어, 자치, 홍송어, 낙연어, 곱사연어, 가시고기, 큰가시고기, 황복 등 16종이다. 또한 기수역에서 성장과 산란을 하는 양측회유성(amphianadromous) 어류는 은어, 한독종개, 모치망둑, 갈문망둑, 검정망둑, 구굴무치, 꼭저구, 사백어 등 8종이다. 원래는 해수와 담수를 왕래하는 주연성 어류였으나 담수에 적응하여 살아가는 육봉형(landlocked types) 어류는 빙어, 열목어, 산천어, 가시고기, 밀어, 독종개, 참독종개 등이 있다. 한편 서식지에 따라 상류성, 중류성, 하류성, 하구(기수)성, 호수성 어류로 나누어 볼 수도 있다(표 4-1)

표 4-1. 한국산 담수어류의 목록과 서식지

어종명	서식 처				
	상류	중류	하류	하구	호수
Petromyzontiformes 칠성장어목					
Petromuzontidae 칠성장어과					
1. <i>Lampetra japonica</i> 칠성장어			●	○	
2. <i>Lampetra reissneri</i> 다묵장어	○	●	○		
3. <i>Lampetra mori</i> 칠성말배꼽	●				
Acipenseriformes 철갑상어목					
Acipenseridae 철갑상어과					
4. <i>Acipenser sinensis</i> 철갑상어			○	●	
5. <i>Acipenser dabryanus</i> 칼상어			○	●	
Anguilliformes 뱀장어목					
Anguillidae 뱀장어과					
6. <i>Anguilla japonica</i> 뱀장어	○	●	○	○	
7. <i>Anguilla marmorata</i> 무태장어			●		
Congridae 붕장어과					
8. <i>Conger myriaster</i> 붕장어				●	
Clupeiformes 청어목					
Engraulidae 멸치과					
9. <i>Coilia ectens</i> 웅어			○	●	
Clupeidae 청어과					
10. <i>Konosirus punctatus</i> 전어			○	●	
11. <i>Sardinella zunasi</i> 밴댕이			○	●	
Cypriniformes 잉어목					
Cyprinidae 잉어과					
Cyprininae 잉어아과					
12. <i>Cyprinus carpio</i> 잉어		○	●		●
13. <i>Carassius auratus</i> 붕어	○	○	●	○	●

다음장에 계속

표 4-1 계속

어종명	서식 처				
	상류	중류	하류	하구	호수
Acheilognathinae 납자루아과					
14. <i>Rhodeus ocellatus</i> 흰줄납줄개		●	○		●
15. <i>Rhodeus uyekii</i> 각시붕어		●	○		○
16. <i>Rhodeus notatus</i> 떡납줄갱이		●	○		○
17. <i>Rhodeus hondae</i> 서호납줄갱이		○			○
18. <i>Rhodeus sericeus</i> 납줄개		●			○
19. <i>Acheilognathus yamatsutae</i> 줄납자루 ○	○	●	○		●
20. <i>Acheilognathus signifer</i> 묵납자루 ●	●				
21. <i>Acheilognathus koreanus</i> 칼납자루		●			●
22. <i>Acheilognathus somjinensis</i> 임실납자루		●			
23. <i>Acheilognathus intermedia</i> 납자루		●	○		●
24. <i>Acheilognathus rhombeus</i> 납지리 ○		●			●
25. <i>Acanthorhodeus assumussi</i> 큰납지리		○	●		●
26. <i>Acanthorhodeus gracilis</i> 가시납지리					
Gobioninae 모래무지아과					
27. <i>Pseudorasbora parva</i> 참붕어		●	○		●
28. <i>Hemibarbus labeo</i> 누치		●	○		○
29. <i>Hemibarbus longirostris</i> 참마자 ○		●	○		
30. <i>Hemibarbus mylodon</i> 어름치 ●		○			
31. <i>Sarcocheilichthys n. czerskii</i> 북방중고기 ○		●	○		
32. <i>Sarcocheilichthys n. mori</i> 중고기 ○		●	○		
33. <i>Sarcocheilichthys v. wakiyae</i> 참중고기 ○		●	○		
34. <i>Ladislavia taczanowski</i> 새미 ●		○			
35. <i>Pungtungia herzi</i> 돌고기 ○		●	○		○
36. <i>Pseudopungtungia nigra</i> 감돌고기 ●		○			
37. <i>Pseudopungtungia tenuicorpus</i> 가는돌고기 ●		○			
38. <i>Coreoleuciscus splendidus</i> 쉬리 ●		○			
39. <i>Gnathopogon strigatus</i> 줄몰개 ○		●	○		○
40. <i>Squalidus japonicus coreanus</i> 몰개 ○		●	○		○
41. <i>Squalidus chan-kaensis tsuchigae</i> 참몰개		●	○		
42. <i>Squalidus gracilis majimae</i> 긴몰개 ○		●	○		○
43. <i>Squalidus multimaculatus</i> 점몰개 ○		●	○		
44. <i>Pseudogobio esocinus</i> 모래무지		●	○		○

다음장에 계속

표 4-1 계속

어종명	서식 처				
	상류	중류	하류	하구	호수
45. <i>Gobio gobio minus</i> 모섬치		○	○		
46. <i>Coreius heterodon</i> 케톱치			○		
47. <i>Abbottina rivularis</i> 버들매치		●	○		○
48. <i>Abbottina springeri</i> 왜매치		●	○		○
49. <i>Microphysogobio koreensis</i> 모래주사 ○	○	●			
50. <i>Microphysogobio yaluensis</i> 돌마자 ○	○	●	○		○
51. <i>Microphysogobio longidorsalis</i> 배가사리 ●	●	○			
52. <i>Microphysogobio uchidai</i> 땡경모치		●	○		
53. <i>Saugogobio babryi</i> 두우쟁이		○	●	○	
54. <i>Gobiobotia macrocephalus</i> 꾸구리 ●	●	○			
55. <i>Gobiobotia brevibarva</i> 돌상어 ●	●	○			
56. <i>Gobiobotia naktongensis</i> 흰수마자 ○	○	●			
57. <i>Mesogobio lacgmeri</i> 압록강자그사니 ○	○	●	○		
58. <i>Mesogobio tumensis</i> 두만강자그사니 ○	○	●	○		
Leuciscinae 황어아과					
59. <i>Tribolodon hakonensis</i> 황어		○	●	○	
60. <i>Tribolodon brandti</i> 대황어		○	●	○	
61. <i>Leuciscus waleckii</i> 야래 ○	○	●			
62. <i>Phoxinus lagowskii</i> 버들개 ●	●	○			
63. <i>Phoxinus percnurus</i> 동버들개 ●	●	○			
64. <i>Phoxinus oxycephalus</i> 버들치 ●	●	○			
65. <i>Phoxinus semotilus</i> 버들가지 ●	●	○			
66. <i>Phoxinus kumgangensis</i> 금강모치 ●	●	○			
67. <i>Phoxinus phoxinus</i> 연준모치 ●	●	○			
68. <i>Zacco platypus</i> 피라미 ○	○	●	○		●
69. <i>Zacco temmincki</i> 갈겨니 ●	●	○	○		
70. <i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i> 끄리 ○	○	○	●	○	●
71. <i>Aphyocypris chinensis</i> 왜물개 ●	●	○	○	○	
72. <i>Squaliobarbus curriculus</i> 눈불개 ○	○	●	○		

다음장에 계속

표 4-1 계속

어종명	서식 처				
	상류	중류	하류	하구	호수
Cultrinae 강준치아과					
73. <i>Hemiculter eigenmanni</i> 치리		○	●	○	●
74. <i>Hemiculter leucisculus</i> 살치		○	●	○	●
75. <i>Erythroculter erythropterus</i> 강준치		○	●	○	○
76. <i>Culter brevicauda</i> 백조어		○	●	○	○
Cobitidae 미꾸리아과					
77. <i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 미꾸리		●	○		○
78. <i>Misgurnus mizolepis</i> 미꾸라지		○	●		○
79. <i>Misgurnus fossilis</i> 강종개		●	○		
80. <i>Cobitis sinensis</i> 기름종개	○	●	○		
81. <i>Cobitis striata</i> 줄종개	○	●	○		○
82. <i>Cobitis lutheri</i> 점줄종개	○	●	○		○
83. <i>Cobitis melanoleuca</i> 북방종개	○	●			
84. <i>Cobitis rotundicaudata</i> 새꼬미꾸리	●	○			
85. <i>Iksookimia koreensis</i> 참종개	●	○			
86. <i>Iksookimia pumila</i> 부안종개	●	○			
87. <i>Iksookimia choii</i> 미호종개	○	●			
88. <i>Iksookimia longicorpus</i> 왕종개	●		○		
89. <i>Iksookimia hugowolfeldi</i> 남방종개	○	●			
90. <i>Niwaella multifasciata</i> 수수미꾸리	●	○			
91. <i>Niwaella brevifasciata</i> 좀수수치	●	○			
92. <i>Nemacheilus toni</i> 종개	●	○			
93. <i>Lefua costata</i> 쌀미꾸리	○	●	○		
Siluriformes 메기목					
Bagridae 동자개과					
94. <i>Pseudobagrus fulvidraco</i> 동자개	○	●	○		●
95. <i>Pseudobagrus koreanus</i> 눈동자개	○	●			
96. <i>Pseudobagrus brevicorpus</i> 꼬치동자개	●	○			
97. <i>Leiocassis nitidus</i> 밀자개		○	●	○	○
98. <i>Leiocassis ussuriensis</i> 대농갱이			●	○	○
99. <i>Leiocassis longirostris</i> 종어		○	●	○	

다음장에 계속

표 4-1 계속

어종명	서식 처				
	상류	중류	하류	하구	호수
Siluridae 메기과					
100. <i>Silurus asotus</i> 메기	○	●	○		○
101. <i>Silurus microdorsalis</i> 미유기	●	○			
Amblycipitidae 통가리과					
102. <i>Liobagrus andersonii</i> 통가리	●	○			
103. <i>Liobagrus obesus</i> 통사리	●	○			
104. <i>Liobagrus mediadiposalis</i> 자가사리	●	○			
Osmeriformes 바다빙어목					
Osmeridae 바다빙어과					
105. <i>Hypomesus olidus</i> 빙어		○	●	○	●
106. <i>Plecoglossus altivelis</i> 은어	○	●	○	○	○
Salangidae 뱀어과					
107. <i>Salangichthys miceodon</i> 뱀어		○	○	●	
108. <i>Salana ariakensis</i> 국수뱀어		○	○	●	
109. <i>Protosalanx chinensis</i> 붕통뱀어		○	○	●	
110. <i>Hemisalanx prognathus</i> 벗꽃뱀어		○	○	●	
111. <i>Neosalanx andersoni</i> 도화뱀어		○	○	●	
112. <i>Neosalanx jordani</i> 젓뱀어			○	●	
113. <i>Neosalanx hubbsi</i> 실뱀어		○	○	●	
Salmoniformes 연어목					
Salmonidae 연어과					
114. <i>Brachymystax lenok</i> 열목어	●	○			
115. <i>Oncorhynchus masou masou</i> 송어	●	○			
116. <i>Oncorhynchus masou ishikawai</i> 산천어	●				
117. <i>Oncorhynchus keta</i> 연어	○	○	●	○	
118. <i>Oncorhynchus lagocephalus</i> 낙연어	○	○	●	○	
119. <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> 곱사연어	○	○	●	○	
120. <i>Hucho ishikawai</i> 자치	○	○	●	○	
121. <i>Salvelinus leucomaenis</i> 홍송어	○	○	●	○	
122. <i>Salvelinus malma</i> 곤돌메기	●				

다음장에 계속

표 4-1 계속

어종명	서식 처				
	상류	중류	하류	하구	호수
123. <i>Brachymystax coregonoides</i> 우레기	●				
124. <i>Thymallus arcticus grubei</i> 사루기	●				
Gadiformes 대구목					
Gadidae 대구과					
125. <i>Lota lota</i> 모오케	●	○			
Mugiliformes 송어목					
Mugilidae 송어과					
126. <i>Mugil cephalus</i> 송어			○	●	
127. <i>Liza haematocheila</i> 가송어			○	●	
Beloniformes 동갈치목					
Adrianichthyidae 송사리과					
128. <i>Oryzias latipes</i> 송사리		●	○		●
129. <i>Oryzias sinensis</i> 대륙송사리		●	○		●
Hemiramphidae 학공치과					
130. <i>Hemiramphus sajori</i> 학공치			○	●	
131. <i>Hemiramphus intermedius</i> 줄공치			○	●	
Gasterosteiformes 큰가시고기목					
Gasterosteidae 큰가시고기과					
132. <i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i> 큰가시고기			●	○	
133. <i>Pungitius sinensis</i> 가시고기	●		○		
134. <i>Pungitius Pungitius tynensis</i> 두만가시고기	●		○		
135. <i>Pungitius kaibarae</i> 잔가시고기	●		○		
Syngnathidae 실고기과					
136. <i>Syngnathus schlegeli</i> 실고기			○	●	
Synbranchiformes 드렁허리목					
Synbranchidae 드렁허리과					
137. <i>Monopterus albus</i> 드렁허리		●	○		○

다음장에 계속

표 4-1 계속

어종명	서식 처				
	상류	중류	하류	하구	호수
Scorpaeniformes 솜뱅이목 Scorpaenidae 양볼락과					
138. <i>Sebastes schlegeli</i> 조피볼락				●	
Platycephalidae 양태과					
139. <i>Platycephalus indicus</i> 양태				●	
Cottidae 독중개과					
140. <i>Trachidermis fasciatus</i> 꺾정어			○	●	
141. <i>Cottus poecilopus</i> 독중개	●	○			
142. <i>Cottus hangiongensis</i> 한독중개		●	○		
143. <i>Cottus czerskii</i> 참독중개	●	○			
Perciformes 농어목 Moronidae 농어과					
144. <i>Lateolabrax japonicus</i> 농어			○	●	
Centropomidae 꺾지과					
145. <i>Coreoperca herzi</i> 꺾지	○	●			○
146. <i>Coreoperca kawamebari</i> 꺾저기	○	●			○
147. <i>Siniperca scherzeri</i> 쏘가리	○	●			○
Leiognathidae 주둥치과					
148. <i>Leiognathus nuchalis</i> 주둥치			○	●	
Sparidae 도미과					
149. <i>Acanthopagrus schlegeli</i> 감성돔			○	●	
Teraponidae 살벤자리과					
150. <i>Terapon jarbua</i> 살벤자리			○	●	
151. <i>Rhyncopelates oxyrhynchus</i> 줄벤자리			○	●	
Callionymidae 돛양태과					
152. <i>Replomucenus olidus</i> 강주걱양태			●	○	
153. <i>Replomucenus sagitta</i> 참주걱양태			○	●	

다음장에 계속

표 4-1 계속

어종명	서식 처				
	상류	중류	하류	하구	호수
Eleotridae 구굴무치과					
154. <i>Eleotris oxycephala</i> 구굴무치	○	●	○		
155. <i>Hypseleotris swinhonis</i> 좁구굴치	●		○	●	
Odontobutidae 동사리과					
156. <i>Odontobutis platycephala</i> 동사리	○	●	○		
157. <i>O. obscurus interrupta</i> 얼룩동사리	○	●	○		
Gobiidae 망둥어과					
158. <i>Acentrogobius pflaumi</i> 줄망둑			○	●	
159. <i>Acentrogobius pellidebilis</i> 점줄망둑			○	●	
160. <i>Synechogobius hasta</i> 풀망둑			○	●	
161. <i>Acanthogobius flavimanus</i> 문절망둑			○	●	
162. <i>Acanthogobius lactipes</i> 흰발망둑			○	●	
163. <i>Acanthogobius elongata</i> 왜풀망둑				●	
164. <i>Chaenogobius urotaenia</i> 꼭저구			○	●	○
165. <i>Chaenogobius castaneus</i> 날망둑			○	●	
166. <i>Chaenogobius macrognathus</i> 왜꼭저구			○	●	
167. <i>Favonigobius gymnauchen</i> 날개망둑			○	●	
168. <i>Leucopsarion petersii</i> 사백어			○	●	
169. <i>Luciogobius giurinus</i> 미끈망둑				●	
170. <i>Mugilogobius abei</i> 모치망둑			○	●	
171. <i>Rhinogobius giurinus</i> 갈문망둑			●	○	●
172. <i>Rhinogobius brunneus</i> 밀어	○	●	○		○
173. <i>Boliophthalmus pectinirostris</i> 짱둥어				●	
174. <i>Periophthalmus modestus</i> 말둑망둥어			○	●	
175. <i>Tridentiger obscurus</i> 검정망둑			○	●	
176. <i>Tridentiger brevispinis</i> 민물검정망둑			●		●
177. <i>Tridentiger trigonocephalus</i> 두줄망둑			○	●	
178. <i>Taenioides rubicundus</i> 개소갱			○	●	
179. <i>Ctenotrypauchen microcephalus</i> 빨갱이			○	●	
180. <i>Parioglossus dotui</i> 등설망둑				●	

다음장에 계속

표 4-1 계속

어종명	서식 처				
	상류	중류	하류	하구	호수
Belontiidae 천상어과					
181. <i>Macropodus chinensis</i> 버들붕어		●	○		●
Channidae 가물치과					
182. <i>Channa argus</i> 가물치			●		●
Pleuronectiformes 가자미목					
Pleuronectidae 가자미과					
183. <i>Pleuronichthys cornutus</i> 도다리					●
184. <i>Kareius bicoloratus</i> 들가자미					●
Cynoglossidae 참서대과					
185. <i>Cynoglossus semilaevis</i> 박대					●
Tetraodontiformes 복어목					
Tetraodontidae 참복과					
186. <i>Takifugu obscurus</i> 황복			○		●
187. <i>Takifugu niphobles</i> 복섬			○		●
188. <i>Takifugu vermicularis</i> 매리복					●
189. <i>Takifugu xanthopterus</i> 까치복					●
총 38과 189 종					

● : 주된 서식지, ○ : 일부 서식

2) 고유종 및 보호어류

한반도에 서식하는 한국 고유종(특산종)은 모두 9과 49종으로 전체 서식 어류의 25.9%를 차지하고 있다. 고유종 중에는 잉어과가 30종으로 가장 많고 기름종개과가 8종으로 나타나고 있다. 한반도에 고유종이 비교적 많이 나타나는 것은 고향하수계와 고아무르수계를

통해 유입된 어류가 해수면의 상승으로 각 하천에 고립, 격리된 후에 유속이 빠른 계류형 하천에 적응하는 과정에서 종분화 과정을 거치면서 고유종과 아종이 형성된 것으로 추측된다. 따라서 한국 고유종은 대부분은 하천의 중상류에 서식하고 있으며 비교적 소형인 특징을 가지고 있다(표 4-2).

표 4-2. 한국산 고유담수어류 목록과 분포지역

어종명	분포지역
Cyprinidae (잉어과)	
<i>Rhodeus uyekii</i> (각시붕어)	서남해 유입하천
<i>Rhodeus honda</i> (서호납줄갱이)	수원 서호(멸종 추정)
<i>Acheilognathus yamatsutae</i> (줄납자루)	서남해 유입하천
<i>Acheilognathus signifer</i> (묵납자루)	서해 유입하천(한강 이북)
<i>Acheilognathus koreanus</i> (칼납자루)	서남해 유입하천(금강 이남)
<i>Acheilognathus somjinensis</i> (임실납자루)	섬진강
<i>Acheilognathus intermedia</i> (납자루)	서남해 유입하천
<i>Acanthorhodeus gracilis</i> (가시납지리)	서남해 유입하천
<i>Hemibarbus mylodon</i> (어름치)	서해 유입하천(금강 이북)
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i> (참중고기)	서남해 유입하천
<i>Coreoleuciscus splendidus</i> (쉬리)	전국
<i>Pseudopungtungia nigra</i> (감돌고기)	금강, 만경강, 웅천천
<i>Pseudopungtungia tenuicorpus</i> (가는돌고기)	한강 상류
<i>Squalidus japonicus coreanus</i> (물개)	한강, 금강, 동진강
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> (참물개)	한강 이남
<i>Squalidus gracilis majimae</i> (긴물개)	전국
<i>Squalidus multimaculatus</i> (점물개)	동해남부 하천
<i>Mesogobio lachneri</i> (암록자그사니)	북한
<i>Mesogobio tumenensis</i> (두만강자그사니)	북한
<i>Abbottina springeri</i> (왜매치)	서남해 유입하천
<i>Microphysogobio koreensis</i> (모래주사)	서남해 유입하천
<i>Microphysogobio yaluensis</i> (돌마자)	서남해 유입하천
<i>Microphysogobio longidorsalis</i> (배가사리)	한강, 금강
<i>Microphysogobio tungtingensis</i> (땡경모치)	한강, 금강, 낙동강
<i>Gobiobotia brevibarba</i> (돌상어)	한강, 금강
<i>Gobiobotia macrocephalus</i> (꾸구리)	한강, 금강
<i>Gobiobotia naktongensis</i> (흰수마자)	임진강, 금강, 낙동강
<i>Moroco semotilus</i> (버들가지)	강원도 고성군
<i>Moroco kumgangensis</i> (금강모치)	한강, 금강 상류
Cobitidae (기름종개과)	
<i>Niwaella multifasciata</i> (수수미꾸리)	낙동강
<i>Niwaella brevifasciata</i> (좁수수치)	

다음장에 계속

표 4-2 계속

어종명	분포지역
<i>Cobitis rotundicaudatus</i> (새코미꾸리)	한강, 임진강, 금강, 낙동강
<i>Cobitis koreensis koreensis</i> (참종개)	서해 유입하천
<i>Cobitis koreensis pumilus</i> (부안종개)	전북 부안군 백천
<i>Cobitis choui</i> (미호종개)	금강
<i>Cobitis longicorpus</i> (왕종개)	동해남부, 남해 유입하천
<i>Iksookimia hugowolfeldi</i> (남방종개)	
Bagridae (동자개과)	
<i>Pseudobagrus</i> sp. (눈동자개)	서남해 유입하천(낙동강 제외)
<i>Coreobagrus brevicorpus</i> (꼬치동자개)	낙동강
Siluridae (메기과)	
<i>Silurus microdorsalis</i> (미유기)	전국
Amblycipitidae (통가리과)	
<i>Liobagrus andersoni</i> (통가리)	금강 이북
<i>Liobagrus obesus</i> (통사리)	금강, 웅천천, 영산강
<i>Liobagrus mediadiposalis</i> (자가사리)	금강 이남
Salmonidae (연어과)	
<i>Coreoperca ishikawai</i> (자치)	북한
Serranidae (농어과)	
<i>Coreoperca herzi</i> (깍지)	전국
Eleotrididae (구굴무치과)	
<i>Odontobutis platycephala</i> (동사리)	전국
<i>Odontobutis obscura interrupta</i> (얼룩동사리)	금강 이북의 서해 유입하천
Salangidae (뱅어과)	
<i>Neosalanx jordani</i> (젓뱅어)	서남해 유입하천의 하구
총 9과 49종	

현재 우리나라에서 천연기념물로 지정하여 법적으로 보호하고 있는 어류와 어류의 서식지 그리고 특정야생동식물로 지정해 보호하고 있는 어류는 아래와 같으며 천연기념물 지정 어류가 3종, 서식지가 4곳이며 특정물고기는 24종이다.

* 천연기념물 지정 어류와 어류 서식지 *

어류

Siniperca scherzeri(황쏘가리)-----190호(1967. 7. 11)

Anguilla marmorata(무태장어)-----258호(1978. 8. 18)

Hemibarbus mylodon(어름치)-----259호(1978. 8. 18)

서식지

제주도 서귀포시 천지연 무태장어 서식지-----27호(1962. 12. 3)

강원도 정선군 사북읍 정암사 계곡 열목어 서식지-----73호(1962. 12. 3)

경북 봉화군 석포면 백천 계곡 열목어 서식지-----74호(1962. 12. 3)

충북 옥천군 이원면부터 금강 상류 어름치 서식지-----238호(1972. 5. 1)

자연환경보전법에 의해 지정된 특정야생동식물 중 어류는 모두 24종으로 종 지정이 21종 서식지 지정이 3곳이다. 이들 어류 중 무태장어, 어름치, 열목어는 천연기념물로 지정되어 있고 철갑상어, 칼상어, 무태장어, 눈불개, 연준모치, 두우쟁이, 열목어, 가시고기, 꺾저기 등 9종을 제외한 15종은 한국 고유종이다. 이밖에 관찰대상 어류도 9종이 있다.

* 특정야생동식물 중 보호 어류 24종 *

전국대상: *Acipenser sinensis*(철갑상어), *Acipenser dabryanus*
(칼상어), *Anguilla marmorata*(무태장어), *Acheilognathus*
signifer(묵납자루), *Acheilognathus somjinensis*(임실
납자루), *Hemibarbus mylodon*(어름치), *Pseudopungtungia*
nigra(감돌고기), *Saurogobio dabryi*(두우쟁이), *Gobiobotia*
macrocephalus(꾸구리), *Gobiobotia brevibarba*(돌상어),
Gobiobotia naktongensis(흰수마자), *Phoxinus semotilus*
(버들가지), *Phoxinus phoxinus*(연준모치), *Squaliobarbus*
curriculus(눈볼개), *Iksookimia pumila*(부안종개),
Iksookimia choii(미호종개), *Niwaella brevifasciata*(좁
수수치), *Pseudobagrus brevicorpus*(꼬치동자개), *Liobagrus*
obesus(툽사리), *Brachymystax lenok*(열목어), *Pungitius*
sinensis sinensis(가시고기)

금강: *Phoxinus kumgangensis*(금강모치)

낙동강: *Cobitis rotundicaudata*(새코미꾸리)

거제 산양천, 해남 삼산천, 구산천: *Coreoperca kawamebari*(꺾저기)

관찰대상어류(9종): *Microphysogobio longidorsalis*(배가사리),
Phoxinus kumgangensis(금강모치), *Cobitis rotundicaudata*
(새코미꾸리), *Niwaella multifasciata*(수수미꾸리),
Oncorhynchus masou(산천어), *Cottus poecilopterus*(독종개),
Cottus hangiongensis(한독종개), *Coreoperca kawamebari*
(꺾저기), *Takifugu ocellatus*(황복)

3) 외국으로부터 도입된 어류

현재까지 외국으로부터 우리 나라에 도입되어 양식용으로 사육하거나 자연수계에 방류한 어종은 모두 15종이다. 이들 어류 중 국내의 수계에 정착하여 번식하고 있는 어종으로는 향어, 떡붕어, 찬넬메기, 큰입우럭, 작은입우럭, 파랑불우럭, 무지개송어 등 7종이 있으며 출현은 되지만 자연 번식은 이루어지지 않고 있는 초어, 흑연어, 백연어, 모잠빅틸라피아, 나일틸라피아 등 5종과 방류를 하였지만 현지 출현되지 않는 종은 은연어, 곱사연어, 극지송어 등 3종이다(표 4-3). 그밖에 금빛황어(*Idus melanotus*), 열대어 등도 있으나 하천에는 정착되지 않았고 잉어의 변종인 금붕어와 비단잉어는 일부 하천에서 포획되기도 한다. 국내에서도 원래 서식하고 있지만 외국으로부터 추가로 도입되어 양식되고 있는 어종으로는 시마연어, 산천어, 뱀장어, 미꾸리, 미꾸라지 등도 있다.

표 4-3. 외국으로부터 국내에 도입된 외래어종

어종명	영명	도입연도
Cyprinidae(잉어과)		
<i>Cyprinus carpio nudus</i> (향어)	Israel carp	1971-75
<i>Carassius cuvieri</i> (떡붕어)	Herabuna	1970-72
<i>Ctenopharyngodon idellus</i> (초어)	Grass carp	1963-75
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (백연어)	Silver carp	1963-67
<i>Aristichthys nobilis</i> (흑연어)	Bighead carp	1967

다음장에 계속

표 4-3 계속

어종명	영명	도입연도
Salmonidae(연어과)		
<i>Salmo mykiss</i> (무지개송어)	Rainbow trout	1965-88
<i>Oncorhynchus kisutch</i> (은연어)	Coho salmon	1969-92
<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (곱사연어)	Pink salmon	1985-89
<i>Thymallus arcticus</i> (극지송어)	Arctic grayling	1987
Centrarchidae(검정우럭과)		
<i>Lepomis macrochirus</i> (파랑볼우럭)	Bluegill	1969
<i>Microterus salmoides</i> (큰입우럭)	Large mouth bass	1973
<i>Micropterus dolomieu</i> (작은입우럭)	Small mouth bass	1973
Siluridae(메기과)		
<i>Ictalurus punctatus</i> (찬넬메기)	Channel catfish	1972, 85
Cichlidae(시크리드과)		
<i>Oreochromis niloticus</i> (나일틸라피아)	Nile tilapia	1975
<i>O. mossambicus</i> (모잠빅틸라피아)	Mossambique tilapia	1955

나. 담수어류의 수계별 분포

1) 한강의 담수어류

한강은 한반도의 중앙부에 위치하고 있으며 유역면적은 26,200 km², 유로연장이 514.4 km에 이르는 큰 하천이다. 한강은 태백산맥의 주봉인 오대산에서 발원하여 서남류하면서 송천, 평창강, 달천, 섬강 등과 합류하여 이루어진 남한강과 단발령에서 발원하여 금강천, 화천천, 소양강 및 홍천강 등 무소한 대소 지천들과 합류하여 이루어진 북한강의 양대 지류를 형성하며 이 두 하천은 서울시로부터 35 km 상류인 양수리 부근에서 합류하여 한강의 본류를 이루며 경기도 파주군에서 임진강과 합류하여 서해로 유입된다.

본 조사 결과 한강에서 서식이 확인된 어류는 총 25과 99종으로 나타났으며 우점종은 피라미(상대풍부도 12.69%)였고 아우점종은 붕어(11.99%)였으며 그밖의 우세종으로는 미꾸라지(7.34%), 잉어(5.67%), 버들치(4.72%), 강준치(3.89%), 미꾸리(2.98%), 물개(2.91%), 참붕어(2.62%), 갈겨니(2.57%), 동자개(2.28%), 줄납자루(2.27%) 등이었다.

한강의 본류와 지천에서 조사된 어류 현황은 다음과 같다. 화천군에는 북한강 수계가 분포하고 있으며 파로호와 춘천호가 본 수계의 대부분을 차지하고 있고 그외에 이들 호수로 유입되는 작은 지류들이 있다. 본 군에서는 모두 45종의 어류가 서식하는 것으로 밝혀졌다. 양구군은 파로호와 소양호의 일부와 북한강의 지류인 수입천이 흐르고 있다. 본 군에서 조사된 어류는 모두 38종이었다. 인제군에는 서화면에서 발원한 소양강이 인제읍을 거쳐 합강리에서 소양호와 합수되고 인북천은 진부령에서 발원하여 백담사계곡수와 합류한 후 다시 한계천과 만나고 원통리를 관통한 후 소양강에 합류된다. 내린천은 홍천군 내면, 상남면과 인제군 기린면을 통과하면서 방동천과

합류한 후 인제읍에서 소양호에 유입된다. 본 군에서는 39종의 어종이 서식하는 것으로 나타났다. 춘성(현 춘천시), 춘천, 의암호에는 총 65종이 서식하는 것으로 밝혀졌으며 본 군과 시에는 북한강 수계에 위치한 춘천호, 소양호, 의암호 등의 대형 댐과 소지류들이 산재해 있는 관계로 비교적 풍부한 담수어류상을 보여주고 있으며 청수성 어류와 유수성 어류가 골고루 나타나는 특징을 보이고 있다. 홍천군에는 홍천강(화양강)을 본류로 하여 내춘천, 군업천, 내린천, 계방천 등의 비교적 큰 지류들이 합류하고 그 외에 작은 지류들이 홍천강에 합류되어 춘천시 남면으로 유입된 후 북한강에 유입된다. 홍천군에서는 모두 41종의 어류가 확인 되었으며 우점종은 갈겨니로 나타났고 아우점종은 피라미였으며 동사리, 들마자 등도 우세하였다. 본 군의 대소 하천들은 대부분이 산간지역에 위치해 있는 관계로 상류에 주로 서식하는 유수성 어류들이 우세하게 나타나는 경향을 보이고 있다. 횡성군에는 섬강과 주천강의 상류가 위치해 있으며 27종의 어류가 조사되었고 갈겨니가 우점종, 쉬리가 아우점종이었으며 피라미, 배가사리, 묵납자루 등이 우세하게 나타났다. 평창군에는 남한강의 상류가 위치해 있고 송천, 오대천, 속사천, 흥정천 등의 지류들이 산재해 있다. 본 군의 담수어는 모두 34종이 확인 되었다. 영월군에는 남한강 본류인 동강과 주천강 하류인 서강이 흐르고 있으며 두 강은 영월읍 하송리에서 합류되어 팔괴리, 진별리, 각동리를 통과한 후 충청북도 단양군 영춘면으로 유입된다. 본 군에서는 모두 40종의 어류가 기록되었고 본 지역 역시 상류 수역인 관계로 버들치가 단연 우점종이었고 아우점종은 피라미였으며 쉬리, 갈겨니, 꺾지 등도 많은 개체수가 채집되었다. 원성군(현 원주시)에는 남한강 본류와 섬강이 흐르고 있으며 남한 강 본류는 부론면 단강

리, 정산리, 홍호리를 따라 흐른 후 여주군으로 유입되며 섬강은 소초면, 호저면, 서원면, 지정면, 문막면을 통과한 후에 부른면 홍호리에서 남한강에 합류된다. 본 지역에서는 모두 55종의 어류가 기록되었으며 본 지역에 서식하는 어류 중 피라미가 단연 압도적으로 나타나 우점종이었고 아우점종은 버들치였다. 청평호는 북한강의 본류를 막아 생성된 발전용 댐호로서 홍천강과 가평천이 유입되며 총 25종의 어류가 조사되었고 얼룩동사리가 우점종, 그리고 줄납자루가 아우점종이었으며, 피라미, 모래무지, 끄리, 누치 등이 우세하게 분포함으로써 전형적인 호수 어류상의 특징을 나타내고 있었다. 양평군에는 양서면 양수리에서 북한강과 남한강이 합류되어 팔당호를 이루고 서종면과 양서면에는 북한강이, 개군면, 양평읍, 옥천면, 양서면, 강상면, 강하면에는 남한강이 흐르고 있으며 흑천을 비롯한 소지류들이 있다. 본 지역은 대형 호수와 큰 강을 가지고 있는 관계로 풍부한 어류상을 나타내고 있으며 총 46종의 어류가 조사되었고 우점종은 큰납지리, 아우점종은 피라미로 나타났으며 강준치, 미꾸리, 줄납자루, 흰줄납줄개, 각시붕어 등이 우세한 것으로 나타나 우리나라 중하류의 어류상을 대변해 주고 있었다. 남북한강이 만나 형성된 팔당호와 팔당호가 위치한 광주군에서는 총 55종의 어류가 채집되었고 우점종은 강준치 아우점종은 물개였으며 피라미, 줄납자루, 끄리, 누치 등도 우세하게 나타나고 있었으며 양평군, 팔당, 광주군이 유사한 어류상을 보여주고 있다. 고양군은 한강 본류의 하류가 본 군과 서울시 및 김포군과의 경계를 동남부에서 서남으로 흐르고 있으며 그밖에 곡릉천과 창릉천이 있으나 본 군의 수계는 심하게 오염되어 있어서 어종들이 급격하게 감소되고 있는 실정이다. 총 44종의 어류가 기록되었으며 비교적 오염에 강한 미꾸라지와 붕어가 우

점종, 아우점종으로 나타났으며 피라미, 왜몰개, 송어 등과 지천의 상류에서 채집된 버들치 등이 우세하였다. 파주군에서는 모두 61종의 어류가 기록되었고 우점종과 아우점종은 웅어와 피라미였으며 붕어, 미꾸라지, 미꾸리 등이 우세하게 나타났다. 본 군에는 임진강의 본류와 지류가 흐르고 있으며 교하면에서 한강과 합류되고 문산천은 문산읍에서 임진강에 합류되며 곡릉천은 교하면과 탄현면의 경계를 서진한 후 한강 하류와 합류된다. 김포군은 김포 반도에 위치하며 동부와 북부는 한강의 하류, 서남부는 바다와 접하고 있어서 강의 하구는 간조 지대이다. 본 군에서는 망둥어류와 웅어, 송어 등 기수역이나 바다를 넘나드는 어류들이 풍부하게 서식하고 있으며 총 63종의 어류가 조사되었고 우점종은 붕어, 아우점종은 미꾸라지로 나타났다. 동자개, 잉어, 살치 등이 우세하였다. 강화군은 섬으로 구성되어 있으며 전장 10km 내외의 소하천과 저수지에 담수어가 서식하고 있다. 모두 33종의 어류가 기록되었으며 우점종은 붕어, 아우점종은 피라미였고 참붕어, 미꾸라지 등이 우세하였다(표 4-6).

표 4-6. 한강의 지역별 담수어류 목록과 상대풍부도

종명	장소	지역별																			계	RA	
		화천	양구	인제	춘성	춘천	의암	홍천	횡성	평창	영월	원성	청평	양평	팔당	광주	고양	파주	김포	강화			
1. <i>Z. platypes</i> 피라미		0	0	0	0	0	0	167	203	0	548	2583	421	749	235	0	360	1941	20	1185	8412	12.6854	
2. <i>C. auratus</i> 붕어		0	0	0	0	0	0	22	2	0	90	268	35	453	141	0	422	830	3262	2423	7948	11.9857	
3. <i>M. mizolepis</i> 미꾸라지		0	0	0	0	0				0	3	1		95	5	0	1067	282	2892	523	4868	7.3410	
4. <i>C. ectens</i> 웅어																0	3763	0			3763	5.6746	
5. <i>P. oxycephalus</i> 버들치		0	0	0	0	0	0	55	9	0	653	930		524	234	0	101	429		203	3129	4.7186	
6. <i>E. erythropterus</i> 강준치						0	0					0	33	1	2545	0	0		1		2580	3.8906	
7. <i>M. anguillicaudatus</i> 미꾸리		0	0	0	0	0	0	62	5	0	24	402	2	717	4	0	0	400	137	223	1976	2.9798	
8. <i>S. c. tsuchigae</i> 물개		0	0	0	0	0	0	0					9	12		1777	0	0	32	9	88	1927	2.9059
9. <i>O. sinensis</i> 대륙송사리														6			101	43	175	1435	1760	2.6541	
10. <i>P. parva</i> 참붕어					0	0	0						3	5	65	9	0	28	185	414	1031	1740	2.6239
11. <i>Z. temmincki</i> 갈겨니		0	0	0	0	0	0	238	576	0	286	200		393				24		5	1704	2.5696	
12. <i>P. fulvidraco</i> 동자개		0	0	0	0	0	0	0			2	50	3	1	11	0	10	28	1405	0	1510	2.2771	
13. <i>A. yamatsutae</i> 줄납자루		0	0		0	0	0	8			81	13	433	723	244	0			0		1502	2.2650	
14. <i>C. carpio</i> 잉어		0	0	0	0	0	0	0				4	4		23	0	3	65	1308	5	1412	2.1293	
15. <i>I. koreensis</i> 참종개		0	0	0	0	0	0	37	19	0	187	567		393		0	26	53	0	7	1289	1.9438	

다음장에 계속

표 4-6 계속

종명	장소	화천	양구	인제	춘성	춘천	의암	홍천	횡성	평창	영월	원성	청평	양평	팔당	광주	고양	파주	김포	강화	계	RA
16. <i>H. leucisculus</i> 살치												0			4	0	0	5	1236		1245	1.8774
17. <i>P. esocinus</i> 모래무지		0	0	0	0	0	0	88	147	0	128	220	139	105	111	0	18	84	0		1040	1.5683
18. <i>R. brunneus</i> 밀어		0	0	0	0	0	0	20			45	309	32		191	0	0	171	1	208	977	1.4733
19. <i>C. splendidus</i> 쉬리		0	0	0	0	0	0	24	316	0	294	242		72		0	1	0			949	1.4311
20. <i>P. herzi</i> 돌고기		0	0	0	0	0	0	132	140	0	173	242	55	137	30	0		18	0		927	1.3979
21. <i>O. platycephala</i> 통사리		0	0	0	0	0	0	165	39		0	0		488		0	98	120		3	913	1.3768
22. <i>A. assumussi</i> 큰납지리												1		854		0		1	0		856	1.2908
23. <i>L. costata</i> 쌀미꾸리		0			0	0				0		1		61	5	0	31	163	266	268	795	1.1988
24. <i>O. bidens</i> 꼬리		0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	45	113	16	370	0	24	15	207		793	1.1958
25. <i>L. andersonii</i> 통가리		0	0	0	0	0	0	78	36	0	201	460				0	0	0			775	1.1687
26. <i>O. o. interrupta</i> 얼룩통사리								4					712		39						755	1.1385
27. <i>S. asotus</i> 메기		0	0	0	0	0	0	3		0	15	89		7	67	0	24	74	457	16	752	1.1340
28. <i>R. ocellatus</i> 흰줄납줄개		0		0		0	0		9			41		566		0	1		0		617	0.9304
29. <i>A. japonica</i> 뱀장어		0			0	0	0					69			6		0	291	217	4	587	0.8852
30. <i>H. labeo</i> 누치		0	0	0	0	0	0	51	1	0		3	154		311	0	0	33	1		554	0.8354

다음장에 계속

표 4-6 계속

종명	상소																					RA
		화진	양구	인제	춘성	춘천	의암	홍천	횡성	평창	영월	원성	청평	양평	팔당	광주	고양	파주	김포	강화	계	
31. <i>S. g. majimae</i> 긴물개				0	0		0	13	32		14	109	8	82	2	0	22	17	60	188	547	0.8248
32. <i>R. uyekeii</i> 각시붕어							0						43	452	31	0			0		526	0.7932
33. <i>A. chinensis</i> 왜물개					0									26		0	113	205	171	0	515	0.7766
34. <i>M. cephalus</i> 송어													0		0	125	74	309	0	508	0.7660	
35. <i>C. herzi</i> 각지		0	0	0	0	0	0	13	55	0	260	180				0		0	0	508	0.7660	
36. <i>H. longirostris</i> 참마사		0	0	0	0	0	0	0	63	0	96	116	23		33	0		160	0	491	0.7404	
37. <i>M. yaluensis</i> 돌마사		0	0	0	0	0	0	165	60	0	40	203			2	0	12	0	5	487	0.7344	
38. <i>N. toni</i> 종개		0	0	0	0	0	0	0	18	0	114	273					6			448	0.6755	
39. <i>M. longidorsalis</i> 배가사리		0	0	0	0	0	0	67	194	0	151	0								412	0.6213	
40. <i>C. poecilopus</i> 독중개		0	0	0	0		0	0		0	84	235		3				0	0	322	0.4855	
41. <i>M. chinensis</i> 버들붕어							0							0		0	27	28	161	83	299	0.4508
42. <i>A. signifer</i> 묵납자루		0	0	0	0		0	60	186	0	30							18		294	0.4433	
43. <i>S. n. mori</i> 증고기		0	0		0	0	0				4	0	5	55	194	0		4	0	262	0.3951	
44. <i>G. brevibarva</i> 돌상어									70			163	8							241	0.3634	
45. <i>A. flavimanus</i> 문전망둑																	146	63	7	216	0.3257	

다음장에 계속

표 4-6 계속

종명	장소																				계	RA	
		화천	양구	인제	춘성	춘천	의암	홍천	횡성	평창	영월	원성	청평	양평	팔당	광주	고양	파주	김포	강화			
46. <i>C. rotundicaudata</i> 새코미꾸리		0	0	0	0	0	0	3	27	0	122	42		10		0			0		204	0.3076	
47. <i>A. gracilis</i> 가시납지리					0							7	28	1	164	0			0		200	0.3016	
48. <i>R. giurinus</i> 갈문망둑					0		0								7				18	167	192	0.2895	
49. <i>C. lutheri</i> 점줄종개							0		1			8		158		0		2	0		169	0.2548	
50. <i>G. macrocephalus</i> 꾸구리							0	4			151										155	0.2337	
51. <i>A. intermedia</i> 납자루		0			0		0		89	0	25	2		8	2	0			14	0	140	0.211	
52. <i>P. koreanus</i> 눈동자개		0	0	0	0			12		0	53	22		26	1				1		115	0.1734	
53. <i>S. microdorsalis</i> 미유기		0	0	0	0	0	0	0		0	48	61		3		0			0		112	0.1688	
54. <i>A. rhombeus</i> 납지리					0	0								104	5	0			0		109	0.1643	
55. <i>S. v. wakiyae</i> 참중고기		0			0	0	0				19	0	1	66	1	0			7	0	94	0.1417	
56. <i>P. kumgangensis</i> 금강모치		0	0	0			0	0		0	86	1									87	0.1311	
57. <i>L. ussuriensis</i> 대농쟁이		0	0	0	0	0	0	0		0	10	46	1	5	7	0	1	2	0		72	0.1085	
58. <i>C. argus</i> 가물치		0	0	0	0	0	0				0	20	13	1	24	0	0	13	0	0	71	0.1070	
59. <i>C. urotaenia</i> 꼭적구							0						13		4				3	36	11	67	0.1010
60. <i>P. tenuicarpus</i> 가늬돌고기		0		0				0		0				63							63	0.0950	

다음장에 계속

표 4-6 계속

종명	장소	화천	양구	인제	춘성	춘천	의암	홍천	횡성	평창	영월	원성	청평	양평	판당	광주	고양	파주	김포	강화	계	RA
61. <i>A. lactipes</i> 흰발망둑														1					51		52	0.0784
62. <i>G. strigatus</i> 줄물개		0			0	0	0		2			20				0	0	24	1	2	49	0.0738
63. <i>L. japonicus</i> 농어																0		41	0	0	41	0.0618
64. <i>M. albus</i> 드렁허리							0					22		0	1	0	2	0	0	6	31	0.0467
65. <i>S. scherzeri</i> 쏘가리		0	0	0	0	0	0	0		0	7	1	5	14	1		1	0			29	0.0437
66. <i>H. mylodon</i> 이름치		0	0	0	0	0	0	0		0	23							0			23	0.0346
67. <i>A. springeri</i> 애매치														2		0	0	14			16	0.0241
68. <i>R. sericeus</i> 남줄개									16												16	0.0241
69. <i>L. obesus</i> 통사리														12							12	0.0180
70. <i>L. nitidus</i> 밀자개																	0	10	0		10	0.0150
71. <i>L. taczanowski</i> 새미			0		0			0		0	10										10	0.0150
72. <i>R. notatus</i> 떡납줄갱이												2			8						10	0.0150
73. <i>S. babryi</i> 두우쟁이							0									0	0	9	0		9	0.0135
74. <i>T. obscurus</i> 검정망둑					0												1	6	0		7	0.0150
75. <i>F. gymnauchen</i> 날개망둑											0	4									4	0.0060

다음장에 계속

표 4-6 계속

종명	장소	화천	양구	인제	춘성	춘천	의암	홍천	횡성	평창	영월	원성	청평	양평	팔당	광주	고양	파주	김포	강화	계	RA
76. <i>T. trigonocephalus</i> 두줄망둑																		4			4	0.0060
77. <i>T. obscurus</i> 황복														0			0	3	0	0	3	0.0045
78. <i>H. intermedius</i> 줄공치																	0	3	0	0	3	0.0045
79. <i>H. olidus</i> 빙어		0			0	0														1	1	0.0015
80. <i>T. fasciatus</i> 걱정이																		0		1	1	0.0015
81. <i>L. reissneri</i> 다륙장어		0		0	0	0	0				0											
82. <i>A. dabryarus</i> 칼상어																				0		
83. <i>A. koreanus</i> 칼납자루																						
84. <i>G. gobio minus</i> 모샘치					0																	
85. <i>M. koreansis</i> 모래주사						0																
86. <i>P. phoxius</i> 연준모치										0	0											
87. <i>S. curriculus</i> 눈불개																	0	0	0			
88. <i>C. brevicauda</i> 백조어							0															
89. <i>C. striata</i> 줄종개											0											
90. <i>C. melanoleuca</i> 북방종개																				0		

다음장에 계속

표 4-6 계속

종명	장소																						계	RA
	화천	양구	인제	춘성	춘천	의암	홍천	횡성	평창	영월	원성	청평	양평	팔당	광주	고양	파주	김포	강화					
91. <i>L. longirostris</i> 종개																0	0							
92. <i>P. altivelis</i> 은어																	0		0					
93. <i>P. chinensis</i> 붕통뱅어																0		0						
94. <i>N. andersoni</i> 도화뱅어																		0						
95. <i>N. hubbsi</i> 실뱅어																		0						
96. <i>B. lenok</i> 열목어		0	0				0		0									0						
97. <i>O. latipes</i> 송사리				0		0						0												
98. <i>E. oxycephals</i> 구굴부치						0																		
99. <i>P. modestus</i> 말뚝망둥어																			0					
총출현종: 25과 99종	45종	38종	39종	49종	43종	57종	41종	27종	34종	40종	55종	25종	46종	38종	48종	44종	61종	63종	33종					

김과 이(1975), 송 등(1995), 양 등(1991), 전(1994, 1995), 최(1971, 1985, 1986), 환경부(1987), 기타 보고서 및 현지 조사.

2) 낙동강의 담수어류

낙동강은 강원도 태백시 황지에서 발원하여 남하하면서 흐르다가 반변천, 내성천, 영강이 합류되고 상주와 선산지역에서 감천과 위천이 합류되며 다시 대구시의 금호강과 합류하여 하류의 황강, 남강, 밀양강, 양산천과 합류된 후 남해로 유입되는 유로연장 525.7 km에 달하는 강이다. 낙동강의 유역면적은 상류 지역인 발원지에서 금호강 합류전까지는 11,758.75 km²이며 금호강 합류 이후 황강 합류 전까지인 중류역의 유역 면적은 3,361.95 km², 황강 이후부터 하구연까지의 하류 유역면적은 22,854.28 km²에 달한다.

낙동강에 서식하고 있는 어류는 총 23과 89종이었으며 우점종은 피라미로서 상대풍부도 12.35%를 기록하였으며 아우점종은 갈겨니(9.49%)로 나타났다. 우세종으로는 붕어(8.43%), 버들치(8.00%), 긴몰개(6.89%), 동사리(5.49%), 꺾지(4.48%), 돌고기(4.25%), 들마자(3.58%), 칼납자루(3.08%), 기름종개(2.62%), 미꾸라지(2.43%)의 순이었다.

낙동강의 본류와 지류가 포함되어 있는 13개 시, 군의 담수어류상은 다음과 같다. 낙동강의 상류 지역에 해당되는 봉화군에는 황지에서 발원한 낙동강이 석포면으로 유입된 후 대현리 계곡, 반야 계곡, 도화동 계곡 등의 지류와 합쳐진 후 소천면과 춘양면에서 다시 소지류와 춘양천이 합류한 뒤 명호면을 거쳐 안동군으로 유입된다. 본 군에서는 27종의 어류가 기록되었으며 우점종은 버들치, 아우점종은 갈겨니, 우세종으로는 참몰개, 자가사리, 미꾸리, 금강모치 등으로 미꾸리를 제외하고 모두 상류성 어류들이 주종을 이루고 있었다. 안동군에서는 모두 45종이 조사되었고 우점종은 피라미, 아우점종은 칼납자루, 우세종들은 꺾지, 동사리, 가물치, 긴몰개, 버들치

등이었으며 상류성, 중류성, 호수성 어류들이 골고루 채집되었는데 본 군에 나타나는 낙동강 본류와 미천, 반변천, 길안천 등의 지류 그리고 안동호 등의 호수가 다양하게 나타나는 결과로 보여진다. 문경읍에는 낙동강의 지류인 영강과 금천이 있으며 영강은 점촌시와 호계면을 흘러 상주군으로 유입되고 금천은 양면, 산양면을 통과한 후 예천군 용궁면에서 낙동강 본류와 합류한다. 본 군에서는 33종의 어류가 기록되었고 피라미가 우점종 갈겨니가 아우점종이었으며 동사리, 꺾지, 모래무지, 긴물개, 참마자등이 우세하였으며 본 군 역시 다양한 어종이 고르게 서식하고 있었다. 상주군(상주시)에서는 36종의 어류가 기록되었으며 우점종은 붕어, 아우점종은 버들치였고 우세종은 피라미, 갈겨니, 돌마자, 미꾸리 등이었으며 문경군에서 유입되어 사벌면, 중동면, 낙동면 등을 거친 후 선산군으로 유입되는 낙동강 본류와 이안천, 병성천, 화양강, 농암천 등의 지류가 산재해 있어 서식지가 다양하게 나타나는 관계로 어종 역시 다양하고 풍부한 출현상을 보이고 있다. 의성군에서는 총 26종이 확인 되었고 우점종은 갈겨니, 아우점종은 피라미, 우세종은 긴물개, 붕어, 큰납지리, 돌마자, 미꾸라지 등이었다. 본 군에는 낙동강 본류의 일부와 낙동강의 지류인 위천과 미천의 상류가 흐르고 있다. 선산군에서는 25종이 기록되었고 피라미가 우점종, 참붕어가 아우점종, 붕어, 동사리, 긴물개, 돌마자, 개름종개 등이 우세종으로 나타났다. 본 지역에는 낙동강 본류와 지류인 감천이 흐르고 있다. 금릉군에는 감천과 감천의 지류가 흐르고 있으며 중산면 일대에 대가천의 최상류가 흐르고 있다. 본 군에서는 31종의 어류가 기록되어 있고 우점종은 갈겨니, 아우점종은 버들치, 그밖의 우세종은 피라미, 붕어, 동사리, 긴물개 등으로 붕어를 제외한 대부분의 우세 어종들이 중, 상류

성 어종들이었다. 달성군에서는 총 22종이 조사되었고 우점종은 붕어, 아우점종은 각시붕어였으며 미꾸라지와 버들붕어 등은 우세종에 속하였다. 본 군에는 낙동강 본류와 금호강, 수성천 등이 있으나 심하게 오염되어 있는 상태이다. 중, 하류성이고 비교적 오염에 대한 내성이 강한 어종들이 많이 채집되었다. 성주군에는 선남면과 용암면을 흐르는 낙동강 본류와 대가천, 백천 등의 지류가 있다. 본 군에서는 31종이 기록되었고 피라미가 우점종, 갈겨니가 아우점종, 그리고 긴몰개, 붕어, 참붕어 등이 우세하게 나타났다. 고령군에서는 48종의 비교적 많은 어류가 조사되었으며 우점종은 기름종개, 아우점종은 흰줄납줄개였으며 참붕어, 피라미, 수수미꾸리, 갈겨니 등이 우세하였으나 개체수는 풍부한 편이 아니었다. 창녕에서는 총 40종이 기록되었고 우점종은 긴몰개 아우점종은 뿔꼬치였고 우세종으로는 피라미, 몰개 등이었다. 밀양군에서는 57종이 조사되었으며 붕어가 우점종이었고 피라미가 아우점종, 몰개, 갈겨니 등이 우세종이었다. 밀양군에는 낙동강 본류가 흐르고 있고 비교적 수량이 풍부하고 깨끗한 밀양강이 흐르고 있어 풍부한 담수어류상을 나타내고 있다. 낙동강 본류의 하류가 흐르고 있는 김해에서는 총 51종이 기록되었고 이들 어류중 우점종은 큰납지리, 아우점종은 붕어, 우세종은 흰줄납줄개, 참붕어 등으로 하천의 중, 하류역에 주로 서식하는 어종들이 주류를 이루고 있었다(표 4-7).

표 4-7. 낙동강의 지역별 담수어류 목록과 상대풍부도

종명	장소															
		봉화	안동	문경	상주	의성	선산	금릉	달성	성주	고령	창녕	밀양	김해	계	RA
1. <i>Z. platypus</i> 피라미		66	868	913	457	155	214	343	24	99	80	171	390	26	3806	12.348
2. <i>Z. temmincki</i> 갈겨니		346	473	714	278	175	12	481		95	49		291	12	2926	9.494
3. <i>C. auratus</i> 붕어		60	220	84	516	141	50	328	426	85	1	79	416	193	2599	8.433
4. <i>P. oxycephalus</i> 벵게치		826	523	148	465	53	16	389	17	9	9	1	5	3	2464	7.995
5. <i>S. gracilis majimae</i> 긴몸개			574	443	90	144	38	255	9	86	37	327	73	47	2123	6.888
6. <i>O. platycephala</i> 동사리		94	650	511	16	31	3	310	16	12	13	o	37	o	1693	5.493
7. <i>C. herzi</i> 격지		26	687	478	9			12		15	8		10		1380	4.477
8. <i>M. yaluensis</i> 돌마자		99	243	147	260	72	15	51	1	27		5	183		1103	3.579
9. <i>A. koreanus</i> 칼납자루			797	37	26	36	5	25		12	o		11		949	3.079
10. <i>C. sinensis</i> 기류종개		31	87	222	9	33	15	228	30	19	129	4	o	o	807	2.618
11. <i>M. mizolepis</i> 미꾸라지		3	o	213	56	67	4	107	247		2	2	40	7	748	2.427
12. <i>C. splendidus</i> 쉬리		76	322	175	23	3		53		9	8		26		695	2.255
13. <i>M. anguillicaudatus</i> 미꾸리		111	27	22	185	7	1	231	16	6	o	3	36	20	665	2.158
14. <i>C. argus</i> 가물치			636							o	o	o	1	6	644	2.089
15. <i>P. parva</i> 참붕어		1	2		21	11	81	11	87	76	104	27	53	147	621	2.015

다음장에 계속

표 4-7 계속

종명	장소															계	RA
		봉화	안동	문경	상주	의성	선산	금릉	달성	성주	고령	창녕	밀양	김해			
16. <i>P. esocinus</i>	모래무지	42	32	445	46	5	1	9		o	24	1	o	2	607	1.969	
17. <i>S. j. coreanus</i>	참물개	184	99	170	46	30	18	5	2		16				570	1.894	
18. <i>A. assumussi</i>	큰납지리		20		3	93	2	o			7	o	29	359	513	1.664	
19. <i>S. c. tsuchigae</i>	물개											148	328	8	484	1.579	
20. <i>R. uyekii</i>	각시붕어		3		2	17			376		14	11	3	21	447	1.450	
21. <i>N. multifasciata</i>	수수미꾸리	59	178	107		7				6	67		14		438	1.421	
22. <i>H. longirostris</i>	참마자		49	268	16	18	14	15		10	27	1	19	o	437	1.418	
23. <i>L. mediadiposalis</i>	자가사리	121	73	158	4	1		42		8	1	o	5	o	413	1.339	
24. <i>R. ocellatus</i>	흰줄납줄개					44	1		1		117	10	2	161	336	1.090	
25. <i>M. uchidai</i>	뿔경모치		10	55	30			10		3	10	208			326	1.058	
26. <i>R. brunneus</i>	밀어	68	46	12	51	2	6	17	1	1	7	2	24	6	243	0.788	
27. <i>S. asotus</i>	메기	4	100	25	36	1	5	19	7	1	4	o	4	3	209	0.678	
28. <i>M. chinensis</i>	버들붕어		7			6	8	64	77		2	o	21	7	192	0.623	
29. <i>P. kumgangensis</i>	금강모치	103													103	0.334	
30. <i>S. microdorsalis</i>	미유기	1	84	5	2			1	1	o			2		96	0.311	

다음장에 계속

표 4-7 계속

종명 \ 장소	봉화	안동	문경	상주	의성	선산	금릉	달성	성주	고령	창녕	밀양	김해	계	RA
31. <i>A. intermedia</i> 남자루		18		59								o	o	77	0.249
32. <i>H. labeo</i> 누치		1	13	1		3		4	o	4	31	11	o	68	0.221
33. <i>M. koreensis</i> 모래주사		13	4							28		19		64	0.208
34. <i>A. yamatsutae</i> 줄남자루		17	41		5				o					63	0.204
35. <i>I. koreensis</i> 참종개				62										62	0.201
36. <i>C. rotundicaudata</i> 새코미꾸리		47	13											60	0.195
37. <i>L. costata</i> 쌀미꾸리				2			50			o				52	0.169
38. <i>N. toni</i> 종개				49										49	0.159
39. <i>A. rhombeus</i> 납지리		11		10			1	1			3	3	o	29	0.094
40. <i>P. altivelis</i> 은어			13							o	o	16	o	29	0.094
41. <i>C. striata</i> 줄종개	1	3		1			21				2	o		28	0.091
42. <i>S. scherzeri</i> 쏘가리			26											26	0.084
43. <i>A. somjinensis</i> 인실남자루										25				25	0.081
44. <i>O. sinensis</i> 대륙송사리				11				9		1	1	2	o	24	0.078
45. <i>C. brevicauda</i> 백조어		6		5	3	1				o	o	2	9	21	0.068

다음장에 계속

표 4-7 계속

종명	장소	지역														계	RA
		봉화	안동	문경	상주	의성	선산	금릉	달성	성주	고령	창녕	밀양	김해			
46. <i>L. reissneri</i>	다독장어	12	1					7							20	0.065	
47. <i>I. longicarpus</i>	왕종개											20			20	0.065	
48. <i>A. signifer</i>	묵납자루										8	9	0		17	0.055	
49. <i>R. giurinus</i>	갈문망둑						4		12			1			17	0.055	
50. <i>C. castaneus</i>	날망둑													15	15	0.049	
51. <i>A. japonica</i>	뱀장어	2	3	1			1	1		1	0	0	0	4	13	0.042	
52. <i>R. notatus</i>	떡납줄갱이				1						11				12	0.030	
53. <i>R. notatus</i>	떡납줄갱이				1						11				12	0.030	
54. <i>P. brevicarpus</i>	꼬치동자개				1					10	1				12	0.039	
55. <i>A. gracilis</i>	가시납지리		1									11			12	0.038	
56. <i>S. v. wakiyae</i>	참중고기		7	1						0	0		2		10	0.032	
57. <i>A. chinensis</i>	왜물개		1						4	0			3	2	10	0.032	
58. <i>L. taczanowski</i>	세미														10	0.032	
59. <i>A. springeri</i>	왜매치									3	7				10	0.032	
60. <i>G. naktongensis</i>	흰수마자		7												7	0.023	

다음장에 계속

표 4-7 계속

종명 \ 장소	봉화	안동	문경	상주	의성	선산	금릉	달성	성주	고령	창녕	밀양	김해	계	RA
61. <i>C. carpio</i> 잉어	o	1	1							o	1	o	3	6	0.010
62. <i>A. flavimanus</i> 문절망둑												o	3	3	0.009
63. <i>P. koreanus</i> 눈동자개				1										1	0.003
64. <i>C. ectens</i> 용어										o	o	o	1	1	0.003
65. <i>O. bidens</i> 꼬리				1						o				1	0.003
66. <i>L. japonica</i> 천성장어		o								o		o	o		
67. <i>S. n. mori</i> 중고기	o								o	o	o	o			
68. <i>T. hakonensis</i> 황어											o	o	o		
69. <i>H. leucisculus</i> 살치													o		
70. <i>S. miceodon</i> 뱀어												o			
71. <i>S. ariakensis</i> 국수뱀어													o		
72. <i>H. prognathus</i> 벚꽃뱀어												o			
73. <i>N. andersoni</i> 도화뱀어													o		
74. <i>N. jordani</i> 칫뱀어													o		
75. <i>N. hubbsi</i> 싨뱀어	o														
76. <i>O. masou ishikawai</i> 산천어												o	o		
77. <i>C. hangiongensis</i> 한독중개										o	o	o			
78. <i>L. lota</i> 모오케											o	o	o		
79. <i>M. cephalus</i> 숭어													o		
80. <i>L. haematocheila</i> 가숭어							o			o	o	o	o		

다음장에 계속

표 4-7 계속

종명	장소	지역														계	RA
		봉화	안동	문경	상주	의성	선산	금릉	달성	성주	고령	창녕	밀양	김해			
81. <i>H. sajori</i> 학꽂치												o	o	o			
82. <i>C. hangiongensis</i> 한득중개												o	o	o			
83. <i>C. czerskii</i> 참득중개		o	o	o				o		o	o		o	o			
84. <i>L. japonicus</i> 농어			o	o									o				
85. <i>S. hasta</i> 풀망둑														o			
86. <i>C. urotaenia</i> 꼭저구														o			
87. <i>P. modestus</i> 말뚝망둥어														o			
88. <i>T. obscurus</i> 검정망둑														o			
89. <i>T. obscurus</i> 황복													o				
총출현종 : 23과 89종		27종	45종	33종	36종	26종	25종	31종	22종	31종	48종	40종	57종	51종			

전(1995), 정과 양(1981), 주 등(1980), 주와 전(1977), 양(1973), 양과 채(1993, 1994), 최(1983, 1990), 환경부(1987), 기타 보고서 및 현지 조사

3) 금강의 담수어류

금강의 본류는 소백산맥의 주봉인 덕유산에서 발원하여 전북 무주군, 충남 금산군을 통과한 후 북쪽으로 흐르다가 충북 영동군과 옥천군을 통과한 뒤 공주시, 청양군, 논산, 서천을 지나 군산지역에서 황해로 유입된다. 금강 본류의 유로연장은 401.4 km에 이르며 총 유역면적은 9,885 km²의 면적을 점유하고 있다. 주요 지류는 상류로부터 남대천, 봉황천, 옥천천, 갑천, 미호천, 유구천, 금강천, 논산천, 단상천 등이 있으나 미호천을 제외하고는 모두 본류 유역면적의 3~6%에 해당하는 소하천들이다.

금강에서 서식이 확인된 종은 모두 24과 94종이었으며 우점종은 피라미(15.97%), 아우점종은 모래무지(6.72)로 나타났으며 우세종으로는 붕어(6.13%), 들마자(5.88%), 치리(5.20), 참마자(4.86%), 대농갱이(4.07%), 돌고기(3.56%), 꾸구리(3.45%), 버들치(3.16%), 누치(2.84%), 꺾지(2.83%) 등으로 나타났다.

금강의 본류와 지천에서 조사된 어류들을 각 시, 군별로 보면 다음과 같다. 무주군의 금강 본류는 대차리에서 무주 남대천과 합류한 뒤 금산군 부리면으로 흐르는데 본 군에서는 총 39종으로 버들치가 우점종이었고 아우점종은 금강모치, 우세종은 갈겨니, 자가사리, 쉬리 등으로 상류성 어류가 주종을 이루고 있었다. 금산군에서는 금강 본류가 무주읍에서 흘러나와 부리면을 북상한 뒤 제원면에서 영동군으로 동진한다. 금강의 지류인 봉황천은 남이면 상금리에서 발원하여 제원면 대산리에서 본류와 합류하게 되는데 금산군에서는 총 49종이 조사되었으며 우점종은 대농갱이, 아우점종은 피라미였고 우세종은 돌고기, 꺾지, 갈겨니 등으로 나타났다. 영동군에서는 39종이 조사되었고 우점종은 피라미, 아우점종은 꾸구리로 나타났으며

본 군의 금강 본류는 충남 금산군에서 영동군의 양산면과 원당리, 양강면, 심천면, 구탄리, 장도리를 거쳐 옥천군 이원면으로 유입된다. 이원면으로 유입된 금강은 동이면, 안남면, 안내면, 군북면을 서진한 후 보은군 회남면으로 흐른다. 옥천군에서는 모두 49종이 조사되었고 우점종은 피라미, 아우점종은 증고기였다. 대덕군에서는 61종이 조사되었고 우점종은 피라미, 아우점종은 줄납자루였으며 모래무지, 돌마자, 참종개 등은 우세종이었다. 대청댐의 구축으로 신탄진과 동면의 일부는 대청댐에 포함되어 있다. 연기군은 52종에 우점종은 돌마자, 아우점종은 참마자였으며 피라미, 모래무지, 참종개 등이 우세하였다. 금강은 대덕군에서 본 군의 금남면으로 흐른 뒤 공주군으로 유입된다. 미호천은 청원군에서 동면으로 흐르고 남면 양화리에서 금강 본류와 합류된다. 공주에서는 66종이 조사되었고 우점종은 피라미, 아우점종은 누치, 우세종으로는 참마자, 끄리, 붕어, 참붕어 등이었다. 청양군에서는 64종에 우점종은 붕어, 아우점종은 피라미였으며 모래무지, 참마자, 누치, 끄리 등도 우세하였다. 금강은 연기면에서 장기면과 반포면의 경계를 흐른 뒤 공주시를 통과한 후 부여군과 청남면으로 흐른다. 부여로 유입된 금강은 세도면, 임천면, 양화면을 거쳐 서천군으로 흘러들어간다. 부여에서는 70종이 채집되었고 우점종은 승어, 아우점종은 붕어로 나타났다. 논산에서는 54종에 우점종이 붕어, 아우점종이 동자개였고, 서천군에서는 61종이 조사되었으며 우점종은 치리, 아우점종은 붕어로 나타났다. 금강은 서천군의 한산면, 화양면, 마서면, 장항을 거쳐 서해로 유입된다(표 4-8).

표 4-8. 금강의 지역별 담수어류 목록과 상대풍부도

종명	장소	지역											계	RA
		무주	금산	영동	옥천	대덕	연기	공주	청양	부여	논산	서천		
1. <i>Z. platypus</i>	피라미	13	118	337	110	219	39	85	124	0	0	0	1045	15.971
2. <i>P. esocinus</i>	모래무지	2	59	171	4	65	18	21	100	0	0	0	440	6.724
3. <i>C. auratus</i>	붕어	0	0	0	0	32	11	41	141	4	115	57	401	6.128
4. <i>M. yaluensis</i>	돌마자	2	22	141	0	45	118	23	34	0	0		385	5.884
5. <i>H. eigenmanni</i>	치리		0			0	0	16	2	1	0	321	340	5.196
6. <i>H. longirostris</i>	참마자	0	25	63	3	33	44	60	91	0	6	0	319	4.857
7. <i>L. ussuriensis</i>	대농갱이	8	174	39	7	10	3	12	11	0	2	0	266	4.065
8. <i>P. herzi</i>	돌고기	18	111	76	0	24	4	0	0	0	0	0	233	3.561
9. <i>G. macrocephalus</i>	꾸구리	0	0	226	0	0	0	0	0	0			226	3.454
10. <i>P. oxycephalus</i>	버들치	207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	207	3.163
11. <i>H. labeo</i>	누치	0	0	0	0	15	5	71	89	0	6	0	186	2.842
12. <i>C. herzi</i>	꺾지	0	60	83	1	33	0	0	0				185	2.827
13. <i>O. bidens</i>	꼬리	0	12	0	6	28	2	47	89	0	0	0	184	2.812
14. <i>Z. temmincki</i>	갈겨니	51	41	38	2	27	0	0	0	0	0	0	159	2.430
15. <i>A. intermedia</i>	납자루	0	33	0	0	0	2	19	97	0	0	0	151	2.307

다음장에 계속

표 4-8 계속

종명 \ 장소	무주	금산	영동	옥천	대덕	연기	공주	청양	부여	논산	서천	계	RA
16. <i>A. yamatsutae</i> 줄납자루	0	8	0	0	137	0	0	0	0		0	145	2.216
17. <i>C. splendidus</i> 쉬리	23	26	54	12	20		0		0	0	0	135	2.063
18. <i>P. kumgangensis</i> 금강모치	129											129	1.971
19. <i>I. koreensis</i> 참종개	1	20	13	0	58	17	8	1				118	1.803
20. <i>P. ulvidraco</i> 동자개	0	0	0	0	0	14	29	52	0	17	1	113	1.727
21. <i>G. brevibarva</i> 들상어	11	0	85	0	0							96	1.467
22. <i>A. koreanus</i> 칼납자루	0	13	46	0	19	4	0	0		0		82	1.253
23. <i>P. nigra</i> 감돌고기	6	22	41	0	3							72	1.100
24. <i>S. scherzeri</i> 쏘가리	0	8	5	0	14	1	27	11	0	0	0	66	1.008
25. <i>P. parva</i> 참붕어		0	0	0	0	9	40	12	0	0	0	61	0.932
26. <i>S. asotus</i> 메기	3	1	4	0	17	1	31	2	0	0	0	59	0.901
27. <i>O. platycephala</i> 동사리	5	18	24	0	8				0			55	0.840
28. <i>C. carpio</i> 잉어		0			0	13	25	4	0	1	11	54	0.825
29. <i>M. anguillicaudatus</i> 미꾸리	0	0	13	0	13	0	21	2	0	0	0	49	0.748
30. <i>C. ectens</i> 응어					0	6	23	1	3	7	5	45	0.687

다음장에 계속

표 4-8 계속

종명 \ 장소	무주	금산	영동	옥천	대덕	연기	공주	청양	부여	논산	서천	계	RA
31. <i>L. lobesus</i> 통사리	0	27			13							40	0.611
32. <i>L. mediadiposalis</i> 자가사리	25	10	0	0	0	3	0	0	0			38	0.580
33. <i>S. gracilis majimae</i> 긴물개			0	0	0	0	0	37	0	0	0	37	0.565
34. <i>A. rhombeus</i> 납지리	0	0	0	0	10		9	14	0	0	0	33	0.504
35. <i>S. n. morii</i> 중고기		6		13			11	3				33	0.504
36. <i>L. nitidus</i> 밑자개	0	0					2	30	0		0	32	0.489
37. <i>M. mizolepis</i> 미꾸라지		0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	28	0.427
38. <i>C. argus</i> 가물치				0	0	2	22	2	0	0	0	26	0.397
39. <i>A. gracilis</i> 가시납지리			0		0	0	21	4	0	0	0	25	0.382
40. <i>A. japonica</i> 뱀장어	0	0		0		2	7		0	3	13	25	0.382
41. <i>S. v. wakiyae</i> 참중고기		13	0	3	4	0	0	4				24	0.366
42. <i>A. springeri</i> 왜매치						0	6	18	0	0	0	24	0.366
43. <i>S. curriculum</i> 눈물개	0				0	15	2	2	0	2	0	21	0.320
44. <i>M. cephalus</i> 송어				0	0	0	0		8	2	7	17	0.259
45. <i>G. strigatus</i> 줄물개					0	3	4	10	0	0	0	17	0.257

다음장에 계속

표 4-8 계속

종명 \ 장소	무주	금산	영동	옥천	대덕	연기	공주	청양	부여	논산	서천	계	RA
46. <i>I. japonicus</i> 농어							0	0	2	4	10	16	0.244
47. <i>O. interrupta</i> 얼룩동사리						0	9	3	0		0	12	0.183
48. <i>R. brunneus</i> 밀어	0	0	0	0	8	0	3	0	0	0	0	11	0.168
49. <i>C. kawamebari</i> 격저기	11											11	0.168
50. <i>C. lutheri</i> 점줄종개		0		0	0	0	0	10	0	0	0	10	0.152
51. <i>R. ocellatus</i> 흰줄납줄개		4	2	0	0			2	0	0	0	8	0.122
52. <i>R. uyekii</i> 각시붕어	0	0		0	0	1	6	0	0	0	1	8	0.122
53. <i>S. microdorsalis</i> 미유기	6	2	0	0				0			0	8	0.122
54. <i>L. japonica</i> 칠성장어							0		1	5	1	7	0.106
55. <i>P. altivelis</i> 은어							5		0			5	0.076
56. <i>E. erythropterus</i> 강준치							3	2	0			5	0.076
57. <i>T. trigonocephalus</i> 두줄망둑									2	1	2	5	0.076
58. <i>S. j. coreanus</i> 참물개	0					1		2				3	0.045
59. <i>H. intermedius</i> 줄꽁치									1	0	1	2	0.030
60. <i>T. fasciatus</i> 격정어		0			1		1	0	0	0		2	0.030

다음장에 계속

표 4-8 계속

종명 \ 장소	무주	금산	영동	옥천	대덕	연기	공주	청양	부여	논산	서천	계	RA
61. <i>G. naktongensis</i> 환수마자						0	1		0			1	0.015
62. <i>I. choii</i> 미호종개					0	0	1	0	0			1	0.015
63. <i>A. assumussi</i> 큰납지리					0		1	0	0	0	0	1	0.015
64. <i>R. giurinus</i> 갈문망둑					0			1	0		0	1	0.015
65. <i>A. dabryanus</i> 칼상어											0		
66. <i>R. notatus</i> 떡납줄갱이				0	0	0	0	0	0	0	0		
67. <i>H. mylodon</i> 어류치	0	0											
68. <i>S. n. mori</i> 중고기		0		0	0		0	0	0	0	0		
69. <i>S. c. tsuchigae</i> 물개				0	0		0	0	0	0	0		
70. <i>A. rivularis</i> 버들매치								0	0		0		
71. <i>M. longidorsalis</i> 배가사리					0								
72. <i>M. uchidai</i> 땡경모치						0	0	0	0				
73. <i>S. babryi</i> 두우쟁이									0				
74. <i>A. chinensis</i> 왜물개		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

다음장에 계속

표 4-8 계속

종명 \ 장소	무주	금산	영동	옥천	대덕	연기	공주	청양	부여	논산	서천	계	RA
75. <i>C. melanoleuca</i> 북방증개		0			0	0	0	0	0	0			
76. <i>N. toni</i> 증개				0									
77. <i>L. ussuriensis</i> 종어									0				
78. <i>L. costata</i> 쌀미꾸리				0	0	0			0	0	0		
79. <i>P. koreanus</i> 눈동자개	0	0	0		0		0	0	0				
80. <i>L. andersonii</i> 통가리		0	0	0	0						0		
81. <i>H. olidus</i> 빙어				0			0				0		
82. <i>S. ariakensis</i> 국수뱅어									0				
83. <i>N. andersoni</i> 도화뱅어							0						
84. <i>O. latipes</i> 송사리		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
85. <i>H. sajori</i> 학꽂치											0		
86. <i>M. albus</i> 드렁허리					0	0	0	0	0	0	0		
87. <i>R. olidus</i> 강주걱양태									0	0			
88. <i>S. hasta</i> 풀망둑							0	0	0	0	0		
89. <i>C. urotaenia</i> 꼭저구								0			0		

다음장에 계속

표 4-8 계속

종명 \ 장소	무주	금산	영동	옥천	대덕	연기	공주	청양	부여	논산	서천	계	RA
90. <i>A. pflaumi</i> 줄망둑								0					
91. <i>T. obscurus</i> 검정망둑					0					0	0		
92. <i>P. modestus</i> 말뚝망둥어											0		
93. <i>M. chinensis</i> 비늘붕어					0	0	0	0	0	0	0		
94. <i>T. obscurus</i> 황복							0	0	0				
총출현종 : 24과 94종	39종	49종	39종	49종	61종	52종	66종	64종	70종	54종	61종		

김(1995), 최와 이(1977), 손(1983), 안 등(1992), 이(1992), 전(1995), 최(1978, 1986, 1987, 1988), 최와 김(1972), 최 등(1990), 환경부(1987), 홍(1995), 기타 보고서 및 현지 조사.

4) 섬진강의 담수어류

섬진강은 전라북도 진안군 백운면 신암리에서 발원하여 전북 남원군에서 전남의 곡성군으로 유입된 후 남하하면서 구례군을 지나고 광양시에서는 경남의 하동군과의 경계를 남하한 후에 바다로 유입되는 유로연장 212.3 km에 달하는 강이다. 보성강은 섬진강의 제 1지류로서 전남 장흥군 제암산에서 발원하여 곡성군 오폭면 압록에서 섬진강에 합류된다. 그밖에 서시천은 구례군 산동면에서 발원하여 구례읍 봉북리에서 섬진강과 합류되고 연곡천은 지리산 계곡에서 발원하여 구례군 외곡리에서 섬진강 본류와 합류된다.

본 강에서는 총 20과 75종이 서식하는 것으로 밝혀 졌으며 우점종은 피라미(23.90%), 아우점종은 갈겨니(14.03%)였고 우세종으로는 납자루(8.04%), 칼납자루(7.26%), 밀어(4.67%), 돌마자(3.78%), 줄납자루(3.65%), 긴몰개(3.35%), 각시붕어(3.33%), 참중고기(2.92%) 등으로 나타났다.

섬진강의 지천과 본류에서 채집된 어류들을 각 군별로 보면 진안군에서 총 42종의 서식이 확인되었으며 본 군의 섬진강 상류는 백운면과 마령면을 흐른 후 성수면을 통과 임실군으로 유입된다. 남원군에서는 38종이 기록되었으며 섬진강 상류가 덕과면, 보절면, 사매면, 산동면, 대산면, 이백면, 대강면, 주생면, 금지면, 송동면, 주천면, 수지면을 흘러 남진한다. 곡성군에서 33종의 어류가 조사되었으며 본 군을 흐르는 섬진강의 본류는 전라북도에서 옥과면으로 유입된 후 입면과 곡성읍을 지나 고달면, 오폭면과 구례군, 죽곡면 등의 경계를 흘러 구례군과 송주군의 경계를 따라 남하를 계속한다. 섬진강의 지류인 보성강은 송주군에서 북상하여 석곡면과 목사동면의 경계를 따라 동북진 하다가 죽곡면 압록에서 섬진강과 합류된다.

구례군에서는 총 32종의 서식이 확인되었으며 섬진강 본류는 곡성군에서 흘러들어온 강물은 구례읍과 곡성군 및 승주군과의 경계를 흐른 후 문척면과 마산면, 토지면과의 경계를 동진, 다시 토지면과 간전면과의 경계를 동진한 다음에 광양군과 하동군과의 경계로 흘러간다. 지류인 서시천은 산동면에서 발원하여 용방면과 광의면의 경계를 동남진하고 구례읍으로 흐른 후 구례읍과 마산면의 경계를 따라 본류와 합류한다. 연곡천은 지리산 피아골에서 발원하여 내동리, 내서리를 남하한 후 외곡리에서 섬진강 본류와 합류한다. 승주군에서는 모두 27종이 확인되었고 우점종은 피라미, 아우점종은 밀어로 나타났고 갈겨니도 우세종에 속하였다. 본 군의 담수어는 주로 하천 상류에 서식하는 상류성 어류들이 주로 채집되었는데 섬진강의 많은 지류가 흐르고 있는 본 군의 지세와 어류상이 일치하고 있다. 본 군에는 섬진강의 제 1 지류인 보성강이 보성군 문덕면에서 송광면으로 흘러와 동진한 후 주암면으로 유입하여 북으로 흘러 곡성군에 유입된다. 이사천은 승주읍에서 발원하여 상사면을 통과한 후 순천시로 흘러 들어간다. 이수천은 서면 청소리에서 발원하여 남하한 후 순천시 삼산동으로 유입된다. 보성군에서는 총 40종의 담수어류가 확인되었고 갈겨니가 우점종으로 나타났으며 아우점종은 칼납자루, 우세종들은 피라미, 납자루, 각시붕어, 돌마자 등이었다. 본 군에는 섬진강의 지류인 보성강이 흐르고 있으며 웅치면에서 발원하여 문덕면을 거쳐 승주군으로 유입된다. 화순군을 흐르는 섬진강 지류는 북면 송단리에서 발원한 지류가 난치리를 거쳐 외애리에서 소지류와 합류하고 호천리에서 또 다른 소지류와 합류한 후 이서면으로 유입하여 보성군 문덕면으로 흘러간다. 본 군에서는 23종이 기록되었고 우점종은 피라미였으며 빙어, 갈겨니, 줄납자루, 참종고기 등이 우세하

게 나타났다. 장흥군에서는 모두 22종이 조사되었으며 우점종은 납자루였고 그밖의 우세종들은 갈겨니, 긴물개, 참중고기 등이었다. 본 군에는 보성강이 흐르는데 장평면 병동리 계곡에서 발원하여 장동면까지 남하한 후 보성읍으로 유입된다. 광양군의 섬진강은 구례군에서 흘러와 다압면, 진월면과 하동군의 경계를 동남진한 후 바다로 유입된다. 본 군에서는 총 30종의 어류가 기록되었다(표 4-9).

표 4-9. 섬진강의 지역별 담수어류 목록과 상대풍부도

종명 \ 장소	진안	남원	곡성	구례	송주	보성	화순	장흥	광양	계	RA
1. <i>Z. platypus</i> 피라미	o	o	o	o	630	361	282	11	o	1284	23.897
2. <i>Z. temmincki</i> 갈겨니	o	o	o	o	108	513	46	87	o	754	14.033
3. <i>A. intermedia</i> 납자루	o	o	o	o		323		119	o	432	8.040
4. <i>A. koreanus</i> 칼납자루	o		o	o	3	381		1	o	390	7.259
5. <i>R. brunneus</i> 밀어		o	o	o	141	105		5	o	251	4.672
6. <i>M. yaluensis</i> 돌마자	o	o	o	o	27	172	1	3	o	203	3.778
7. <i>A. yamatsutae</i> 줄납자루	o		o	o	30	131	28	7	o	196	3.648
8. <i>S. gracilis majimae</i> 긴물개	o	o	o	o	15	129		36	o	180	3.350
9. <i>R. uyekii</i> 각시붕어		o		o		175		4		179	3.331
10. <i>S. v. wakiyae</i> 참중고기		o	o	o	22	79	22	34		157	2.922
11. <i>C. striata</i> 줄종개	o	o	o	o	21	89	4	11	o	125	2.326
12. <i>P. herzi</i> 돌고기	o	o	o		21	81	8	8	o	118	2.196
13. <i>A. rhombeus</i> 납저리	o				52	13	46			101	1.879
14. <i>P. esocinus</i> 모래부지	o	o	o	o	22	61	6	8	o	97	1.805
15. <i>S. c. tsuchigae</i> 물개						90		2		92	1.712

다음장에 계속

표 4-9 계속

종명 \ 장소	진안	남원	곡성	구례	송주	보성	회순	장흥	광양	계	RA
16. <i>H. olidus</i> 빙어						5	80			85	1.582
17. <i>L. mediadiposalis</i> 자가사리	o	o		o	21	51	10	2		84	1.563
18. <i>A. rivularis</i> 버들매치					14	37	18			69	1.284
19. <i>P. oxycephalus</i> 버들치	o	o	o	o	1	40		20		61	1.135
20. <i>O. platycephala</i> 동사리	o		o	o	6	45	10		o	61	1.135
21. <i>P. koreanus</i> 눈동자개	o	o	o	o	9	42	4	3	o	58	1.079
22. <i>C. splendidus</i> 쉬리	o	o	o	o	12	34	8	3	o	57	1.060
23. <i>P. parva</i> 참붕어	o	o	o		2	44			o	46	0.856
24. <i>C. auratus</i> 붕어	o	o	o	o	6	28	4	4	o	42	0.782
25. <i>H. longirostris</i> 참마자	o	o	o	o	12	27	2		o	41	0.763
26. <i>I. longicarpus</i> 왕종개	o	o	o	o	18		20			38	0.707
27. <i>H. eigenmanni</i> 치리					1	26				27	0.503
28. <i>O. bidens</i> 꼬리	o		o	o		24				24	0.447
29. <i>A. gracilis</i> 가시납지리			o		2	20				22	0.409
30. <i>M. anguillicaudatus</i> 미꾸리	o	o		o		17	4	1		22	0.409

다음장에 계속

표 4-9 계속

종명 \ 장소	진안	남원	곡성	구례	송주	보성	회순	장흥	광양	계	RA
31. <i>H. labeo</i> 누치	o		o	o		16				16	0.298
32. <i>R. ocellatus</i> 흰줄납줄개	o	o		o		15				15	0.279
33. <i>G. strigatus</i> 줄몰개		o			2	8				10	0.186
34. <i>M. koreensis</i> 모래주사	o		o	o		5		3	o	8	0.149
35. <i>C. carpio</i> 잉어					3	2				5	0.093
36. <i>A. japonica</i> 뱀장어	o		o	o		4				4	0.074
37. <i>L. reissneri</i> 다목장어		o			2			1		3	0.056
38. <i>R. notatus</i> 떡납줄갱이						3				3	0.056
39. <i>C. argus</i> 가물치	o	o					2			2	0.037
40. <i>C. herzi</i> 꺾지		o	o	o		2			o	2	0.037
41. <i>S. microdorsalis</i> 미유기	o	o		o		2			o	2	0.037
42. <i>M. chinensis</i> 버들붕어							2			2	0.037
43. <i>P. fulvidraco</i> 동자개	o	o					2			2	0.037
44. <i>S. scherzeri</i> 쏘가리			o			1				1	0.019
45. <i>M. albus</i> 드렁허리		o	o				1			1	0.019

다음장에 계속

표 4-9 계속

종명 \ 장소	진안	남원	곡성	구례	승주	보성	화순	장흥	광양	계	RA
46. <i>S. n. mori</i> 증고기	o		o			1				1	0.019
47. <i>P. herzi</i> 감돌고기	o										
48. <i>M. longidorsalis</i> 배가사리	o										
49. <i>S. j. coreanus</i> 참물개		o	o	o					o		
50. <i>G. macrocephalus</i> 꾸구리	o										
51. <i>G. brevibarva</i> 돌상어	o										
52. <i>T. hakonensis</i> 황어									o		
53. <i>A. chinensis</i> 왜물개		o	o	o							
54. <i>M. mizolepis</i> 미꾸라지	o	o	o								
55. <i>C. sinensis</i> 기름종개		o									
56. <i>C. lutheri</i> 점줄종개	o										
57. <i>C. rotundicaudata</i> 새코미꾸리		o									
58. <i>I. koreensis</i> 참종개	o										
59. <i>L. costata</i> 쌀미꾸리		o									
60. <i>L. ussuriensis</i> 대농갱이	o										

다음장에 계속

표 4-9 계속

종명 \ 장소	진안	남원	곡성	구례	송주	보성	화순	장흥	광양	계	RA
61. <i>S. asotus</i> 메기		o	o								
62. <i>P. altivelis</i> 은어		o		o					o		
63. <i>L. haematocheila</i> 가숭어									o		
64. <i>M. cephalus</i> 숭어									o		
65. <i>O. latipes</i> 송사리		o		o							
66. <i>C. poecilopus</i> 독충개	o										
67. <i>C. kavamebari</i> 꺾저기	o										
68. <i>L. japonicus</i> 농어									o		
69. <i>L. nuchalis</i> 주둥치	o										
70. <i>II. swinhonis</i> 졸구굴치	o										
71. <i>S. hasta</i> 풀망둑									o		
72. <i>A. flavimanus</i> 문철망둑									o		
73. <i>C. urotaenia</i> 꺾저구									o		
74. <i>R. giurinus</i> 갈문망둑		o									
75. <i>T. obscurus</i> 검정망둑									o		
총출현종: 20과 75종	42종	38종	33종	32종	27종	40종	23종	22종	30종		

나와 신(1992), 김 등(1993), 전(1995), 최(1989), 환경부(1987), 기타 보고서 및 현지 조사.

5) 농수로의 담수어류

농수로 어류상 조사에서 채집된 어류는 총 10과 28종 이었다. 과별 채집종수를 보면 잉어과(Cyprinidae)가 15종으로 가장 많은 종수로 차지하였고, 기름종개과(Cobitidae)가 4종, 동자개과(Bagruidae) 메기과(Siluridae), 송사리과(Oryzidae), 드렁허리과(Synbranchidae), 극락어과(Belontiidae), 구굴무치과(Eleotridae), 망둥어과(Gobiidae)가 1종씩 채집되었으며, 도입종인 개복치과(Centrarchidae)도 2종이 채집되었다.

경기도, 전라북도, 전라남도에서는 각각 13종, 15종, 18종이 채집되어 비교적 많은 어종이 채집된 반면에 강원도는 4종이 채집되어 가장 적은 종이 채집되었는데, 이는 강원도가 주로 산악지대로 구성되어 농경지가 적었기 때문이라 생각되며, 특징적인 것은 주로 하천의 상류에 서식하는 버들치가 많이 채집되었다.

채집된 1,483 개체 중에서 붕어가 486 개체로 전체 어류의 32.8%를 차지하여 농수로 조사에서 채집된 28종의 어류 중에서 가장 높은 비율을 차지하였으며, 미꾸라지가 27.3%로 두 번째로 높은 비율을 차지하였다. 피라미가 13.7%, 송사리가 7.4%, 왜물개가 3.9%, 각시붕어가 2.6%, 버들치가 2.4%, 참붕어가 2.3% 순으로 이들 7 종의 어류가 총 채집된 어류의 92.4%를 차지하였다.

특이할 점은 우리나라에서 시험어종으로 사용되는 잉어는 채집된 어류의 0.1% 밖에 차지하지 못한 것으로 조사되었다. 이는 잉어의 주된 서식처가 농수로 및 1차 영향수역이 아니고 큰 하천 및 호수, 저수지와 같은 물이 많은 곳에서 서식하기 때문이라 생각된다.

표 4-4. 농수로 어류상 조사지역

조사지점	조사지역		
1	강원도	춘천시	신북읍 지내리
2		원주군	문막면 후용리
3	경기도	이천시	백사면 도립리
4		여주군	대신면 무옥촌리
5		여주군	북내면 신접리
6		여주군	능서면 번도리
7		이천시	강천면 이호리
8	충청북도	음성군	음성읍 석인 1리
9		진천군	진천읍 벽암리
10		청주시	상당구 외평동
11		청원군	강내면 수의동
12	충청남도	부여군	세도면 청포리
13		대전시	유성구 장대동
14		논산군	강경읍 산양동
15		논산군	양촌면 거사리
16		논산군	연무읍 화정리
17	전라북도	부안군	동진면 하장리
18		김제시	부량면 금강리
19		김제시	부량면 화호리
20		정읍시	태인면 태서리
21		정읍시	정우면 수금리
22	전라남도	장성군	삼서면 수해리
23		함평군	해보면 우치리
24		함평군	월야면 월야리
25		함평군	나산면 월봉리
26		나주군	문평면 송산리
27	경상북도	선산군	선산읍 이문리
28		선산군	고아면 이문리
29		경산시	와촌면 시천리
30		영천시	도동
31	경상남도	진주시	정촌면 옥산리
32		사천시	용현면 죽천리
33		김해시	주촌면 원지리
34		김해시	장유면 죽림동
35		김해시	풍유동

표 4-5. 농수로별 어류개체수 및 분포도

종 명	강원	경기	충북	충남	전북
잉어과 Cyprinidae					
버들치 <i>Moroco oxycephalus</i>	28	6			
피라미 <i>Zacco platypus</i>		113	28		1
갈겨니 <i>Zacco temmincki</i>					
왜물개 <i>Aphyocypris chinensis</i>				51	6
치 리 <i>Hemiculter eigenmanni*</i>					4
모래무지 <i>Pseudogobio esocinus</i>					1
중고기 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis mori</i>					
줄물개 <i>Gnathopogen strigatus</i>					
긴물개 <i>Squalidus gracilis majimae*</i>					3
참붕어 <i>Pseudorasbora parva</i>				9	1
잉 어 <i>Cyprinus carpio</i>		1			1
붕 어 <i>Carassius auratus</i>	18	124	27	29	96
흰줄납줄개 <i>Rhodeus ocellatus</i>					
각시붕어 <i>Rhodeus uyekii*</i>		9			13
돌마자 <i>Microphysogobio yaluensis</i>					
기름종개과 Cobitidae					
미꾸리 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		1			1
미꾸라지 <i>Misgurnus mizolepis</i>	7	29	90	55	65
점줄종개 <i>Cobitis lutheri</i>		4	2		3
종 개 <i>Nemacheilus toni</i>	1	4			
동자개과 Bagridae					
동자개 <i>Pseudobagrus fulvidraco</i>			1		
메기과 Siluridae					
메 기 <i>Silurus asotus</i>					8
송사리과 Oryziidae					
송사리 <i>Oryzias latipes</i>		1		17	5
드렁허리과 Synbranchidae					
드렁허리 <i>Monopterus albus</i>					1
극락어과 Belontiidae					
버들붕어 <i>Macropodus chinensis</i>				9	
구굴무치과 Eleotridae					
얼룩동사리 <i>Odontobutis odontobutis interrupta*</i>		2			
망둥어과 Gobiidae					
밀 어 <i>Rhinogobius brunneus</i>		1			
개복치과 Centrarchidae					
베 스 <i>Micropterus almoides</i>		1			
부르길 <i>Lepomis macrochirus</i>					
조사지점수	2	5	4	5	5
종수	4	12	5	6	15
개체수	54	54	148	170	209

* : 한국특산종

표 4-5. 계속

종 명	전남	경북	경남	계	R.A.
잉어과 Cyprinidae					
버들치 <i>Moroco oxycephalus</i>	2			36	2.4
피라미 <i>Zacco platypus</i>	52	9		203	13.7
갈겨니 <i>Zacco temmincki</i>	6			6	0.4
왜물개 <i>Aphyocypris chinensis</i>				57	3.9
치 리 <i>Hemiculter eigenmanni*</i>	8	6		18	1.2
모래무지 <i>Pseudogobio esocinus</i>	2			3	0.2
중고기 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis mori</i>	1			1	0.1
줄물개 <i>Gnathopogen strigatus</i>	1			1	0.1
긴물개 <i>Squalidus gracilis majimae*</i>	6			9	0.6
참붕어 <i>Pseudorasbora parva</i>		20	4	34	2.3
잉 어 <i>Cyprinus carpio</i>				2	0.1
붕 어 <i>Carassius auratus</i>	18	56	118	486	32.8
흰줄납줄개 <i>Rhodeus ocellatus</i>	1			1	0.1
각시붕어 <i>Rhodeus uyekii*</i>	8		9	39	2.6
돌마자 <i>Microphysogobio yaluensis</i>	2			2	0.1
기름종개과 Cobitidae					
미꾸리 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>				2	0.1
미꾸라지 <i>Misgurnus mizolepis</i>	67	64	28	405	27.3
점줄종개 <i>Cobitis lutheri</i>	6			15	1.0
종 개 <i>Nemacheilus toni</i>				5	0.3
동자개과 Bagridae					
동자개 <i>Pseudobagrus fulvidraco</i>				1	0.1
메기과 Siluridae					
메 기 <i>Silurus asotus</i>	14		70	22	1.5
송사리과 Oryziidae					
송사리 <i>Oryzias latipes</i>	2	15		110	7.4
드렁허리과 Synbranchidae					
드렁허리 <i>Monopterus albus</i>				1	0.1
극락어과 Belontiidae					
버들붕어 <i>Macropodus chinensis</i>				9	0.6
구굴무치과 Eleotridae					
얼룩동사리 <i>Odontobutis odontobutis interrupta*</i>				2	0.1
망둥어과 Gobiidae					
밀 어 <i>Rhinogobius brunneus</i>	4		1	6	0.4
개복치과 Centrarchidae					
베 스 <i>Micropterus almoides</i>				1	0.1
부르길 <i>Lepomis macrochirus</i>	1	5		6	0.4
조사지접수	5	4	5	35	
종수	18	7	6	28	100.0
개체수	201	175	230	1483	

* : 한국특산종, R.A. : Relative abundance(%)

본 조사에서 측정된 농수로의 폭은 대부분이 3 m 이내 였고, 수심은 1 m 이내 였다. 하상구조는 대부분이 모래와 진흙으로 조사되었으나, 조사지점 22와 33은 인공 농수로로 하상이 콘크리트 였다. 수환경 조사결과, pH 는 4.2~9.1, 용존산소는 1.0~11.0 mg/L, 수온은 14.6~29.3 °C 였다.

6) 한국산 담수어류의 개체수 순위

우리 나라 전국에 서식하고 있는 담수어의 종별 개체수 순위를 조사하기 위하여 현재까지 어류학자들에 의해 보고되어진 학술논문과 단행본, 각종 보고서 및 본 연구진의 현장 채집의 결과 등을 종합하여 분석하였다. 본 분석에 이용된 자료는 1960년대 중반부터 1996년 10월에 이르기까지 약 30년간의 자료를 종합한 것으로서 어류의 개체수 비는 산업화에 따른 수질 오염과 하천 개수 등에 따라 다소 변동이 있을 것으로 예상되며 현 시점의 개체수 비와는 차이가 있겠으나 최근 30년간의 각종 담수어류의 개체군 동향은 파악할 수 있을 것으로 생각된다. 총 189종의 담수어류 중 139종의 서열을 작성하였으며 기록에 포함되지 않은 나머지 50종은 최근에 새로이 분류되어 첨가된 종이거나 북한에 서식하는 종 또는 채집이 거의 되지 않는 종, 바다에 주로 서식하며 기수역에 잠시 나타나는 종 등으로 자료의 부족으로 인해 명단과 서열에서 제외하였다. 한국산 민물고기의 종별 개체수 순위와 상대풍부도 비는 표 4-10, 그림 4-2와 같다.

우리 나라의 전국에 서식하는 어종 중 가장 많은 개체가 채집된 종은 피라미로서 185,987개체가 채집되었고 상대풍부도 19.293%로 나타났으며 다음은 붕어(채집 개체수: 99,155 개체, 상대풍부도:

10.285%), 갈겨니(61,572, 6.387%), 버들치(53,869, 5.588%), 각시붕어(27,014, 2.802%), 돌마자(26,839, 2.784%), 참붕어(26,221, 2.720%), 미꾸리(23,558, 2.244%), 미꾸라지(21,779, 2.259%), 긴몰개(19,808, 2.055%) 등의 순으로 나타났다.

피라미는 우리 나라 전국의 호수나 저수지 그리고 하천의 상류, 중류, 하류 등을 가리지 않고 폭넓게 서식하며 수질 오염에도 비교적 내성이 강한 것으로 알려진, 우리 나라의 어디에서나 흔히 볼 수 있는 어종이다. 붕어는 하천의 중, 하류 지역과 저수지, 호수 등의 물이 고여있는 지역을 선호하는 어종이며 피라미와 마찬가지로 수질 오염에 대한 내성이 비교적 강한 어종이며 댐호의 증가와 내수면 자원 증식을 위한 방류 사업 등으로 개체수가 증가하고 있다. 하천 중, 상류의 비교적 맑은 물에 서식하는 갈겨니와 돌마자는 수질 오염과 환경 파괴 등으로 인한 서식지 상실로 근래에는 개체수가 줄어들고 있는 어종이며, 각시붕어, 참붕어 등은 정수역을 선호하고 수초가 많은 지역에 주로 서식하며 수질 오염에 대한 내성이 비교적 강한 종으로 댐 등의 건설로 인해 개체수가 증가하고 있는 어종이다. 버들치는 우리 나라의 영동지방을 제외한 전국의 산간 계류에 풍부하게 서식하고 있으며 유수역과 찬물을 선호하는 물고기이지만 수질 오염이나 환경 변화 등에도 강한 내성을 발휘하는 어종이다.

미꾸리와 미꾸라지는 하천보다는 작은 농수로나 논 등에 주로 서식하는데 최근에는 농수로의 직선화와 시멘트 수로 등으로 인한 서식지 상실과 서식지의 수질 오염 등을 견디지 못하고 감소하고 있다. 긴몰개는 하천의 중, 하류와 호수 등에도 적응하여 서식하는 소형 어종으로 전국의 중류역 이하의 하천과 호수에서 흔히 볼수 있는 어종이다.

표 4-10. 전국에 서식하고 있는 담수어의 종별 개체수 순위 및 상대풍부도(%)

순위	학명 및 국명	개체수	상대풍부도
1	<i>Z. platypus</i> 피라미	185,987	19.293
2	<i>C. auratus</i> 붕어	99,155	10.285
3	<i>Z. temmincki</i> 갈겨니	61,572	6.387
4	<i>P. oxycephalus</i> 버들치	53,869	5.588
5	<i>R. uyekii</i> 각시붕어	27,014	2.802
6	<i>M. yaluensis</i> 돌마자	26,839	2.784
7	<i>P. parva</i> 참붕어	26,221	2.720
8	<i>M. anguillacaudatus</i> 미꾸리	23,558	2.244
9	<i>M. mizolepis</i> 미꾸라지	21,779	2.259
10	<i>S. gracilis majimae</i> 긴물개	19,808	2.055
11	<i>P. herzi</i> 돌고기	19,345	2.007
12	<i>R. brunneus</i> 밀어	16,093	1.669
13	<i>P. esocinus</i> 모래무지	15,955	1.655
14	<i>A. chinensis</i> 왜물개	15,319	1.589
15	<i>H. eigenmani</i> 치리	14,610	1.516
16	<i>O. platycephala</i> 동사리	13,960	1.448
17	<i>I. koreensis</i> 참종개	13,421	1.392
18	<i>A. intermedia</i> 납자루	12,950	1.343
19	<i>R. ocellatus</i> 흰줄납줄개	12,607	1.308
20	<i>C. splendidus</i> 쉬리	11,786	1.223
21	<i>A. yamatsutae</i> 줄납자루	11,431	1.186
22	<i>H. labeo</i> 누치	11,414	1.184
23	<i>H. longirostris</i> 참마자	11,103	1.152
24	<i>A. japonica</i> 뱀장어	10,307	1.069
25	<i>M. longidorsalis</i> 배가사리	9,879	1.025
26	<i>A. assumussi</i> 큰납지리	9,084	0.942
27	<i>C. herzi</i> 꺾치	7,719	0.801
28	<i>L. costata</i> 쌀미꾸리	7,717	0.800
29	<i>A. koreanus</i> 칼납자루	7,423	0.770
30	<i>O. sinensis</i> 대륙송사리	6,813	0.707

다음장에 계속

표 4-10 계속

순위	학명 및 국명	개체수	상대풍부도
31	<i>S. chankaensis tsuchigae</i> 참물개	7,271	0.754
32	<i>S. dabryi</i> 두우쟁이	6,605	0.685
33	<i>O. bidens</i> 끄리	5,993	0.622
34	<i>P. fulvidraco</i> 동자개	5,895	0.611
35	<i>C. lutheri</i> 점줄종개	5,476	0.568
36	<i>P. lagowski</i> 버들개	5,079	0.527
37	<i>C. urotaenia</i> 꼭저구	4,825	0.501
38	<i>N. toni</i> 종개	4,742	0.492
39	<i>P. kuemgangensis</i> 금강모치	4,475	0.464
40	<i>C. ectens</i> 용어	4,457	0.462
41	<i>R. atremius</i> 달납줄개	4,028	0.418
42	<i>L. andersoni</i> 통가리	3,987	0.414
43	<i>C. carpio</i> 잉어	3,876	0.402
44	<i>P. altivelis</i> 은어	3,757	0.390
45	<i>L. mediadiposalis</i> 자가사리	3,749	0.389
46	<i>T. obscurus</i> 검정망둑	3,368	0.349
47	<i>I. longicorpus</i> 왕종개	3,204	0.332
48	<i>S. asotus</i> 메기	3,181	0.330
49	<i>A. gracilis</i> 가시납지리	3,179	0.330
50	<i>M. splengeri</i> 왜매치	3,174	0.329
51	<i>O. odontobutis interrupta</i> 얼룩동사리	3,077	0.319
52	<i>H. leucisculus</i> 살치	3,044	0.316
53	<i>M. chankaensis</i> 뿔경모치	2,996	0.311
54	<i>A. rhombea</i> 납지리	2,934	0.304
55	<i>O. latipes</i> 송사리	2,839	0.294
56	<i>P. koreanus</i> 눈동자개	2,836	0.294
57	<i>P. nigra</i> 감돌고기	2,828	0.293
58	<i>E. erythropterus</i> 강준치	2,724	0.283
59	<i>A. hasta</i> 풀망둑	2,712	0.281
60	<i>R. giurinus</i> 갈문망둑	2,706	0.281

다음장에 계속

표 4-10 계속

순위	학명 및 국명	개체수	상대풍부도
61	<i>C. poecilopterus</i> 독종개	2,686	0.279
62	<i>C. sinensis</i> 기름종개	2,655	0.275
63	<i>M. cephalus</i> 송어	2,608	0.271
64	<i>A. rivularis</i> 버들매치	2,520	0.261
65	<i>R. suigensis</i> 납줄갱이	2,317	0.240
66	<i>I. koreensis pumilus</i> 부안종개	2,208	0.229
67	<i>S. scherzeri</i> 쏘가리	2,135	0.221
68	<i>M. chinensis</i> 버들붕어	2,134	0.221
69	<i>G. aculeatus</i> 큰가시고기	2,077	0.215
70	<i>S. nigripinnis morii</i> 중고기	1,863	0.193
71	<i>G. brevibarba</i> 돌상어	1,850	0.192
72	<i>C. rotundicaudata</i> 새코미꾸리	1,772	0.184
73	<i>S. japonicus coreanus</i> 물개	1,705	0.177
74	<i>P. phoxinus</i> 연준모치	1,638	0.170
75	<i>C. striata</i> 줄종개	1,365	0.142
76	<i>S. variegatus wakiyae</i> 참중고기	1,324	0.137
77	<i>T. brevispina</i> 민물검정망둑	1,324	0.137
78	<i>H. olidus</i> 빙어	1,285	0.133
79	<i>A. signifer</i> 묵납자루	1,268	0.132
80	<i>L. ussuriensis</i> 대농갱이	1,253	0.130
81	<i>G. strigatus</i> 줄물개	1,204	0.125
82	<i>T. trigonocephalus</i> 두줄망둑	1,131	0.117
83	<i>S. microdorsalis</i> 미유기	1,108	0.115
84	<i>N. multifaciata</i> 수수미꾸리	1,103	0.114
85	<i>I. hugowolfeldi</i> 남방종개	1,029	0.107
86	<i>L. reissneri</i> 다목장어	947	0.098
87	<i>L. taczanowskii</i> 새미	920	0.095
88	<i>L. nitidus</i> 밀자개	842	0.087
89	<i>G. macrocephalus</i> 꾸구리	840	0.087
90	<i>P. sinensis kaibarae</i> 잔가시고기	823	0.085

다음장에 계속

표 4-10 계속

순위	학명 및 국명	개체수	상대풍부도
91	<i>A. latipes</i> 흰발망둑	708	0.073
92	<i>H. kurumeus</i> 줄공치	663	0.069
93	<i>C. homgiongensis</i> 한독중개	628	0.065
94	<i>F. gymnachen</i> 날개망둑	602	0.062
95	<i>G. naktangensis</i> 흰수마자	541	0.056
96	<i>L. obesus</i> 통사리	529	0.055
97	<i>P. tenuicorpus</i> 가는돌고기	523	0.054
98	<i>M. koreensis</i> 모래주사	505	0.052
99	<i>P. semotilus</i> 버들가지	483	0.050
100	<i>C. granooei</i> 북방종개	458	0.048
101	<i>T. hakonensis</i> 황어	429	0.045
102	<i>R. olidus</i> 강주걱양태	411	0.043
103	<i>C. argus</i> 가물치	409	0.042
104	<i>T. faseiatus</i> 걱정이	402	0.042
105	<i>C. kawamebari</i> 꺾저기	400	0.041
106	<i>S. multimaculatus</i> 점물개	364	0.038
107	<i>A. flavimanus</i> 문절망둑	362	0.038
108	<i>H. mylodon</i> 어름치	340	0.035
109	<i>H. sajori</i> 학공치	328	0.034
110	<i>C. brevicauda</i> 백조어	315	0.033
111	<i>P. sinensis sinensis</i> 가시고기	288	0.030
112	<i>L. japonicus</i> 농어	283	0.029
113	<i>F. ocellatus</i> 황복	267	0.028
114	<i>L. choii</i> 미호종개	236	0.024
115	<i>L. petersi</i> 사백어	216	0.022
116	<i>B. lenok</i> 열목어	174	0.018
117	<i>F. niphobles</i> 복섬	167	0.017
118	<i>P. cantonensis</i> 말뚝망둥어	163	0.017
119	<i>O. masou</i> 산천어	147	0.015
120	<i>M. albus</i> 드렁허리	142	0.015

다음장에 계속

표 4-10 계속

순위	학명 및 국명	개체수	상대풍부도
121	<i>C. castaneus</i> 날망둑	120	0.012
122	<i>R. sericius</i> 납줄개	97	0.010
123	<i>H. swinhonis</i> 좁구굴치	91	0.009
124	<i>M. abei</i> 모치망둑	82	0.009
125	<i>P. brevicorpus</i> 꼬치동자개	71	0.007
126	<i>O. keta</i> 연어	60	0.006
127	<i>S. curriculum</i> 눈불개	59	0.006
128	<i>L. japonica</i> 칠성장어	52	0.0053
129	<i>A. pflaumi</i> 줄망둑	49	0.0050
130	<i>M. haematocheila</i> 가숭어	48	0.0049
131	<i>C. mystus</i> 싱어	39	0.0040
132	<i>O. masou</i> 송어	35	0.0036
133	<i>N. andersoni</i> 도화뱅어	29	0.0030
134	<i>S. microdon</i> 뱅어	28	0.0029
135	<i>N. brevifasciata</i> 좁수수치	19	0.0019
136	<i>L. guttatus</i> 미끈망둑	19	0.0019
137	<i>H. prognathus</i> 벚꽃뱅어	16	0.0016
138	<i>T. brandti</i> 대황어	16	0.0016
139	<i>A. somjinensis</i> 임실납자루	13	0.0013
합계	총 139 종	964,025	100%

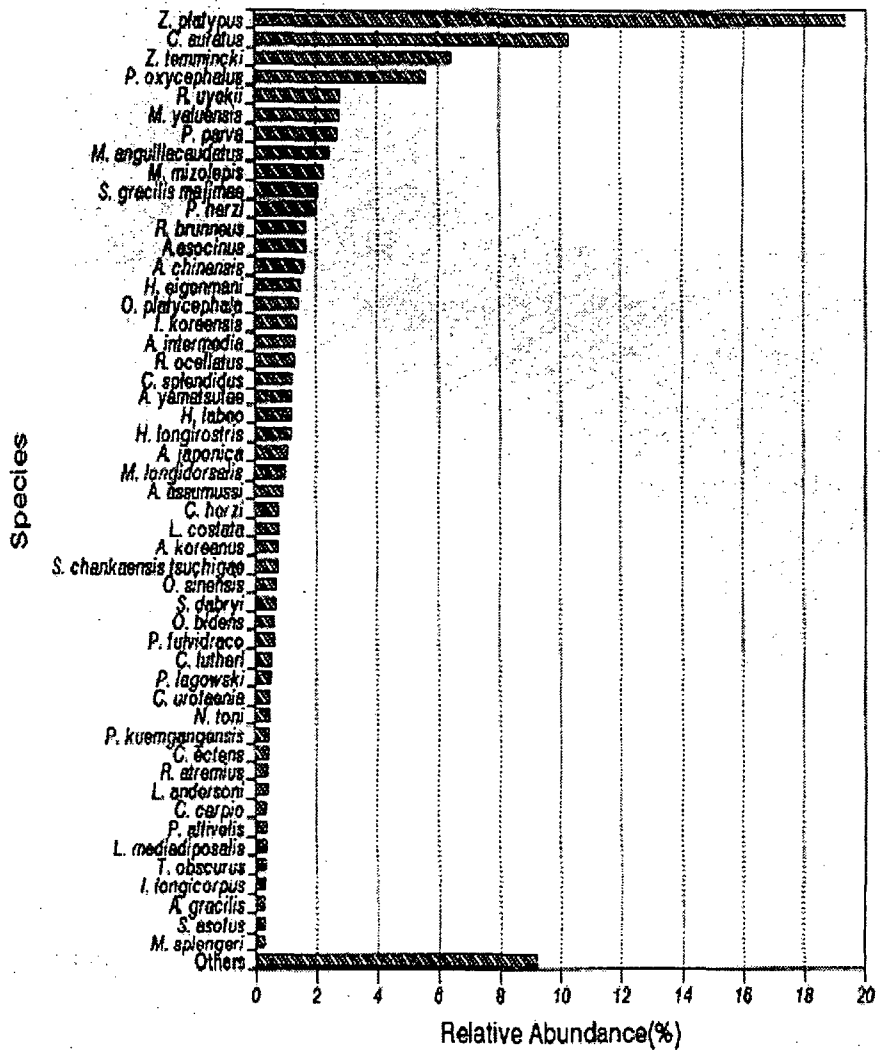


그림 4-2. 한국산 담수어류의 상대풍부도 비.

다. 대표종 선정

1) 대표종의 타당성 검토 및 선정

대표종을 선발하는데 있어서 대표종으로서의 타당성을 검토하고 객관적인 어종을 선정하기 위하여 다음과 같은 기준으로 각 어종을 선별하고 실험 어류를 선정하였다.

가) 개체수가 풍부한 종

한국산 민물고기 개체수 순위에서 서열 50위 안에 포함되는 어종은 우리 나라의 고유 환경 조건에 잘 적응하여 서식하는 어종으로 간주하고 우선적으로 실험 어종의 대상으로 선정하였으며 서식지가 영동지방으로 한정되어 있는 버들개는 이에서 제외하였다.

나) 생태적 특이성

개체수 순위가 서열 50위 안에 포함되는 어종 가운데 생태형이 바다와 담수를 왕래하는 강하성 또는 소하성 어류와 생활사의 일부 기간을 바다에서 보내거나 기수역에 서식하는 주연성 어류의 특징을 가지는 뱀장어, 꼭져구, 웅어, 은어, 검정망둑 등과 담수역 내에 서식하지만 산란기에 하류와 상류로 회유하는 어종인 두우쟁이를 제외하였다.

다) 서식지 특이성

상기의 어류를 제외한 43종의 어류 가운데 다시 서식지 특이성을 나타내는 어류들 즉 유속이 비교적 빠른 지역에 서식하는 갈겨니, 쉬리, 통가리, 자가사리와 냉수성 어류인 금강모치를 제외하였다.

라) 어류의 크기

성어(adult fish)의 평균 크기가 지나치게 대형이어서 실험실의 수조 내에서 사육이 어려운 어종들은 제외하였으며 전장 평균 150 mm 이상인 어종들을 제외 대상으로 하였다. 이에 해당되는 어류들은 붕어, 모래무지, 치리, 참마자, 누치, 동자개, 끄리, 잉어, 메기, 살치 등이었다.

마) 행동 특이성

행동 특이성을 가진 어종들, 즉 야행성이거나 하상의 바닥에 주로 숨어서 생활하는 어종들은 실험 중 관찰하기가 매우 곤란할 것으로 생각되어 대상 어종에서 제외하였으며 야행성인 동사리와 하상에 주로 숨는 습성을 가진 기름종개과 어류인 미꾸리, 미꾸라지, 참종개, 쌀미꾸리, 점줄종개, 종개, 왕종개 등이 이에 해당되어 제외하였다.

바) 산란 특이성

부족류(Pelecypoda)인 이매패(Bivalvia)의 아가미(demibranch)에 산란을 하는 납자루아과(Acheilognathine) 어류와 같이 다른 동물에 난을 위탁하는 어종 역시 사육상의 문제점과 산란시의 문제점들이 있는 관계로 각시붕어, 납자루, 흰줄납줄개, 줄납자루, 큰납지리, 칼납자루, 달납줄개 등을 제외하였다.

사) 먹이 특이성

실험실에서 어류를 사육시 가장 중요한 문제 중의 하나가 먹이 확보이다. 어종에 따라서 초식성, 잡식성, 육식성 등으로 나타나는

데 이러한 섭이 습성도 실험실 내에서의 어류의 사육에 있어서는 큰 장애 요인으로 작용한다. 격지와 같이 살아있는 대형 먹이 만을 먹는 종이나 부착조류 만을 섭식하는 돌마자, 배가사리, 왜매치 등은 사육하는데 있어서 먹이 확보의 문제가 어려울 것으로 판단되어 대상 어종에서 제외하였다.

2) 실험실 사육을 통한 대표종의 선정

가) 실험사육

위와 같은 선발 기준에 따라 선정한 12종의 어류를 어류사육실에서 사육하면서 수조 내에서의 적응도, 민감성, 먹이 붙임, 산란 가능성 등을 타진하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 실험실 사육이 양호한 어종

송사리, 대륙송사리: 성어의 크기가 30~45 mm의 소형인 관계로 좁은 면적에 많은 개체를 수용할 수 있었으며 실험실의 사육 환경에 쉽게 적응하였다. 먹이 붙임도 용이하여 brine shrimp나 기타 사료도 잘 먹었고 장일 조건(15시간 light, 9시간 dark)과 수온을 20℃ 이상을 유지해 주면 계속적으로 산란하였다.

버들붕어: 전장 50~70 mm 내외의 소형종으로 각 수조에 한 쌍씩 수용한 결과 쉽게 산란이 유도되었으며 먹이 붙임도 용이하였고 적응력도 뛰어났으며 한꺼번에 많은 양의 난과 자어(prelarva)와 치어(postlarva)를 확보할 수 있었다.

왜물개: 전장 50 mm 내외의 소형종이며 작은 수조에 많은 개체를 수용할 수 있었고 적응성, 먹이 붙임과 산란 역시 용이하였다.

다만 난이 약 점착성으로 수조 바닥에 흡어지는 관계로 난의 수거에 약간의 문제점이 발견되었다.

(2) 실험실 사육에 문제점이 있는 어종

물개, 줄물개, 긴물개: 본 종들은 모두 같은 속(*Squalidus*)에 포함되는 어종들로서 환경의 변화에 매우 민감하여 적응과 먹이 붙임이 힘들었으며 질병에 걸리는 확률도 다른 어종에 비하여 높게 나타났다. 줄물개를 제외하고 산란 유발도 이루어지지 않았으며 수조 내에서의 적응이 용이하지 않아 실험 어종으로서는 문제점이 있는 것으로 판단 되었다.

피라미, 버들치: 본 종들은 비교적 유속이 빠른 장소에 서식하는 종으로 먹이 붙임은 용이하였으며 버들치의 경우 적응성 면에서도 좋은 결과를 나타내었으나 피라미의 경우는 매우 민감하여 수조 밖으로 튀어 나오거나 수조의 벽에 부딪쳐 죽는 경우도 자주 발생하였다. 그러나 무엇보다도 두 종 모두 하상의 바닥을 파고 산란을 하는 어종으로 산란의 유무를 판가름하기가 어려웠으며 난의 회수에도 문제점이 있었고, 두 종 모두 포식성인 관계로 산란된 난이나 부화된 자어들을 먹어버리는 결과가 발생하였다. 따라서 본 종들도 실험 어종으로 사용하는데는 문제성이 있을 것으로 사료된다.

(3) 기타 어종

돌고기, 밀어: 두종 모두 실험실내 사육은 용이하였으며 먹이 붙임도 비교적 쉽게 이루어졌다. 밀어의 경우는 산란유발도 가능하였으나 좀더 시간을 두고 사육해보아야만 결정 여부를 판단할 수 있을 것으로 본다.

개체수가 풍부한 어종

피라미, 붕어, 갈겨니, 버들치, 각시붕어, 돌마자, 참붕어, 미꾸리, 미꾸라지, 긴물개, 돌고기, 밀어, 모래무지, 왜물개, 치리, 동사리, 참종개, 납자루, 흰줄납줄개, 쉬리, 참마자, 누치, 줄납자루, 뱀장어, 배가사리, 큰납지리, 꺾지, 쌀미꾸리, 칼납자루, 대륙송사리, 두우쟁이, 동자개, 끄리, 참물개, 점줄종개, 버들개, 꼭저구, 종개, 금강모치, 웅어, 달납줄개, 통가리, 잉어, 은어, 자가사리, 검정망둑, 왕종개, 왜매치, 메기, 살치 (한국산 담수어류 중 개체수 서열 50 위 이내의 어종)

제4외

생태적 특이성 어류

강하성, 소하성, 주연성 어류: 뱀장어, 꼭저구, 웅어, 은어, 검정망둑
담수내 회유성 어류: 두우쟁이
서식지 한정 어류: 버들개

제4외

서식지 특이성 어류

계류성 어류: 갈겨니, 쉬리, 통가리, 자가사리
냉수성 어류: 금강모치

제4외

어류의 크기

대형 어류: 붕어, 모래무지, 치리, 참마자, 누치, 동자개, 끄리, 잉어, 메기, 살치

제4외

행동 특이성 어류

야행성: 동사리
은닉성 어류: 미꾸라지, 미꾸리, 참종개, 쌀미꾸리, 점줄종개, 종개, 왕종개

제4외

그림 4-3. 실험 어종의 선별 과정.

제외

산란 특이성 어류

다른 동물에 산란하는 어류: 각시붕어, 납자루, 흰줄납줄개, 줄납자루, 큰납지리, 칼납자루, 달납줄개

제외

먹이 특이성 어류

살아있는 대형 먹이만을 먹는 어류: 꺾지
부착조류만을 먹는 어류: 돌마자, 배가사리, 왜매치

제외

1차적 선별 어종

피라미, 버들치, 참붕어, 긴물개, 돌고기, 밀어, 왜물개, 대륙송사리

추가 어종

송사리, 버들붕어, 물개, 줄물개
(위의 문제점이 없는 서열 100위 이내의 어류)

사육실험

실험실 사육 실험

실험 가능 어종: 송사리, 대륙송사리, 버들붕어, 왜물개, 참붕어

보류 어종: 돌고기, 밀어

문제점이 있는 어종: 적응 문제-물개, 줄물개, 긴물개

산란 문제-피라미, 버들치

제외

최종 실험어종 선정

송사리 대륙송사리 버들붕어 왜물개

그림 4-3. 계속.

3) 최종 실험 어종 선정

현재 우리 나라의 담수 수계에 서식하고 있는 담수어류는 남, 북한을 합하여 총 38과 189종이며 이들 어류 중 순수 담수어는 96종이고 강하성, 소하성 및 주연성 어류가 27종으로 나타났다. 한국 고유종은 9과 49종으로 전체 어종의 25.9%를 차지하고 있으며 천연기념물 지정 어류는 황쏘가리(*Siniperca scherzeri*, 190호), 무태장어(*Anguilla marmorata*, 258호), 어름치(*Hemibarbus mylodon*, 259호) 등 3 종이고 천연기념물 지정 어류 서식지가 4곳으로 지정되어 있으며 특정야생동식물로 분류된 보호 어류는 24 종이다. 한편 외국으로부터 도입되어 국내 수계에 방류된 어종은 약 15종이며 이들 중 7종이 국내 수계에 적응, 번식하고 있다.

960년대 중반부터 현재까지의 자료와 현장 채집을 바탕으로 조사한 우리 나라의 수계별 어류 서식 현황을 보면 한강 25과 99종, 낙동강 23과 88종, 금강 24과 94종, 섬진강 20과 75종이 서식하고 있는 것으로 나타났다.

우리 나라 전국을 대상으로 조사한 서식 어류의 개체수 서열을 보면 가장 많은 개체가 채집된 종은 피라미(*Zacco platypus*)로서 185,987개체가 채집되었고 상대풍부도 19.293%로 나타났으며 다음은 붕어(*Carassius auratus*, 채집 개체수: 99,155 개체, 상대풍부도: 10.285%), 갈겨니(*Zacco temmincki*, 61,572, 6.387%), 버들치(*Phoxinus oxycephalus*, 53,869, 5.588%), 각시붕어(*Rhodeus uyekii*, 27,014, 2.802), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*, 26,839, 2.784%), 참붕어(*Pseudorasbora parva*, 26,221, 2.720%), 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*, 23,558, 2.244%), 미꾸라지(*M. mizolepis*, 21,779, 2.259%), 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*, 19,808, 2.055%) 등의 순으로 나타났다.

이상의 자료를 바탕으로 비교적 지리적 분포 범위가 넓고 개체수가 풍부한 개체수 서열 50위 이내의 어종(100위 이내의 4종 포함) 54종을 대상으로 생태적 특이성, 서식지 특이성, 어류의 크기, 행동적 특이성, 산란 특이성, 먹이특이성 등의 문제성이 없는 어류 12종을 선별하였고, 선별된 어류의 실험실 사육 등을 통해 실험 어종의 가능성이 있는 어종을 검토하여 최종적으로 송사리(*Oryzias latipes*), 대륙송사리(*O. sinensis*), 버들붕어(*Macropodus chinensis*), 왜물개(*Aphyocypris chinensis*) 등 4종을 실험을 위한 최종 어류로 선정하였다. 돌고기와 밀어는 보류 어종으로, 그리고 참붕어, 물개, 긴물개, 줄물개, 피라미, 버들치 등은 적응성, 먹이 붙임, 산란특성 등에 문제점이 있는 것으로 나타나 실험 어종에서 제외하였다. 최종적으로 선정된 어류 4종의 생물학적 특징은 다음과 같으며 전국 분포 현황은 그림 4-4, 4-5, 4-6과 같다.

가) 송사리(*Oryzias latipes*)

전장: 전장 30 mm 내외인 개체는 흔히 볼 수 있으며 40 mm에 이르는 것도 있으나 50 mm 이상의 개체는 발견되지 않는다

형태: 몸은 길고 옆으로 납작하며 머리는 위, 아래로 납작하다. 입은 주둥이의 끝에 있으며 위쪽을 향하고 눈은 머리의 중앙보다 앞쪽에 있고 비교적 크며 윗턱이 아래턱보다 짧다. 옆줄은 없으며 등지느러미는 몸의 뒤쪽에 있고 지저가 짧으며 뒷지느러미의 기저는 매우 길고 꼬리지느러미의 가장자리는 직선형이다.

색채: 등쪽은 담갈색이고 배쪽은 담색이다. 머리에서 몸의 앞부분까지는 등쪽에 백색의 새로피가 있으며 체색의 변화가 심한 편이다.

습성: 수심이 얇은 호수, 늪, 웅덩이, 농수로 등에 널리 서식하

나 최근에는 수가 격감하고 있다. 용존산소나 수질 오락 등의 변화에 대한 내성이 강한 편이다. 물의 표층을 헤엄치면서 플랑크톤, 소동물, 부착조류 등을 먹는다.

산란: 산란기는 5~7월이며 수온이 20℃ 이상 올라가면 산란하기 시작한다. 주로 오전에 산란하며 암컷은 생식공에 수정란을 달고 다니다가 수초 등에 부착시킨다.

성장: 부화후 5개월이 지나면 성가 된다. 최대형은 수컷이 45 mm, 암컷이 48 mm 정도로 암컷이 수컷보다 크다.

분포: 전국적으로 분포한다.

나) 대륙송사리(*Oryzias sinensis*)

송사리와 대륙송사리는 한 종으로 통용되어 오다가 최근에 두 종으로 분리된 종으로서 현재로서는 두 종의 습성이나 생활사, 분포 등의 차이점을 알 수는 없으나 두 종이 생태적으로 아주 유사할 것으로 추측된다. 송사리보다 대륙송사리의 전장이 작은 편이다.

다) 버들붕어(*Macropodus chinensis*)

전장: 50~70 mm 정도이며 80 mm 이상의 개체는 흔하지 않다.

형태: 몸은 길고 옆으로 심하게 납작하다. 머리는 비교적 크고 입은 작으며 위쪽을 향하고 있다. 옆줄은 없고 가슴지느러미는 가시가 1개이고 살이 5개이며 살이 매우 길다. 등지느러미와 뒷지느러미의 기저는 길고 꼬리지느러미는 등근형이다. 수컷이 암컷보다 크고 등지느러미와 뒷지느러미의 끝이 길게 뒤쪽으로 연장되어 있다.

색채: 등쪽은 암록색이고 배쪽은 담갈색이다. 몸의 옆면에는 10개 이상의 암갈색 화살무늬가 있다.

습성: 늪, 연못, 웅덩이 등과 같이 물이 고여 있고 수초가 많은 곳에 서식한다. 주로 바닥에 사는 수서곤충을 섭식하며 산소 결핍이나 수질 오탁에 대한 내성이 강한 편이다.

생활사: 산란기는 6~7월이며 수초가 많은 곳의 수면에 수컷이 거품을 내어 기포소를 만들고 암컷을 유인하여 산란하며 산란 후의 난과 부화 후의 전기자애기까지 수컷이 적극적으로 보호한다.

분포: 전국적으로 분포하지만 최근에는 수가 격감하고 있다.

라) 왜물개(*Aphyocypris chinensis*)

전장: 60 mm 이상의 개체를 볼 수 없는 소형종이다.

형태: 비늘이 크고 입수염은 없다. 옆줄이 없으며 등지느러미는 뒷지느러미보다 앞에 있고 등지느러미살과 뒷지느러미살은 6~7개이며 꼬리지느러미는 중앙이 파여있다.

색채: 등쪽은 담갈색이고 배쪽은 은백색이다. 몸의 옆면 중앙에는 윤곽이 희미한 암색 세로띠가 있으며 지느러미는 담색이다.

습성: 송사리와 혼서하는 경우가 많고 잡식성이며 주로 표층에서 헤엄친다.

생활사 및 성장: 산란기는 5~6월이며 만 1년에 40~50 mm까지 성장하여 성숙한다.

분포: 서해와 남해로 흐르는 각 하천에 분포한다.



그림 4-4. 송사리(*Oryzias latipes*)와 대륙송사리(*O. sinensis*)의 전국 분포도

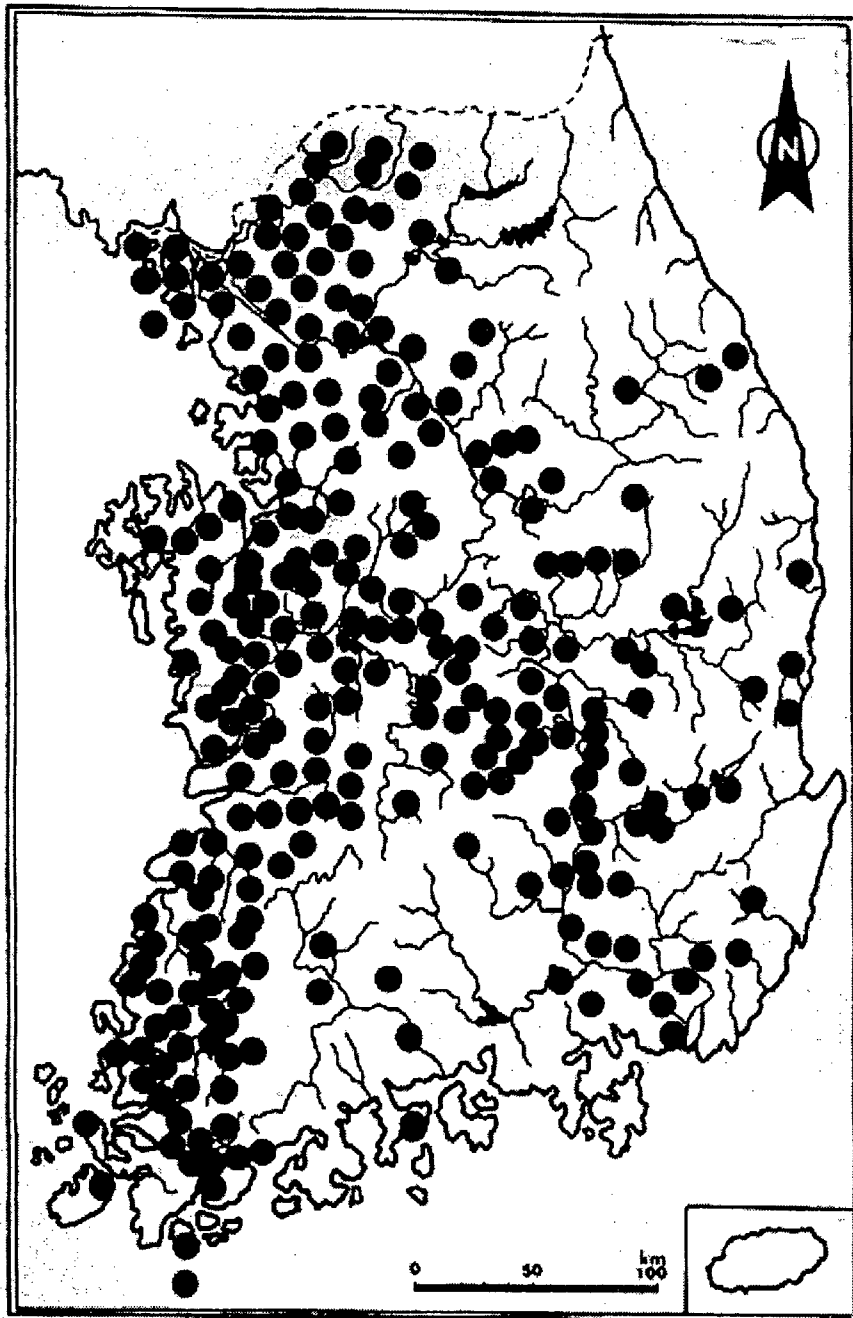


그림 4-5. 버들붕어(*Macropodus chinensis*)의 전국 분포도.

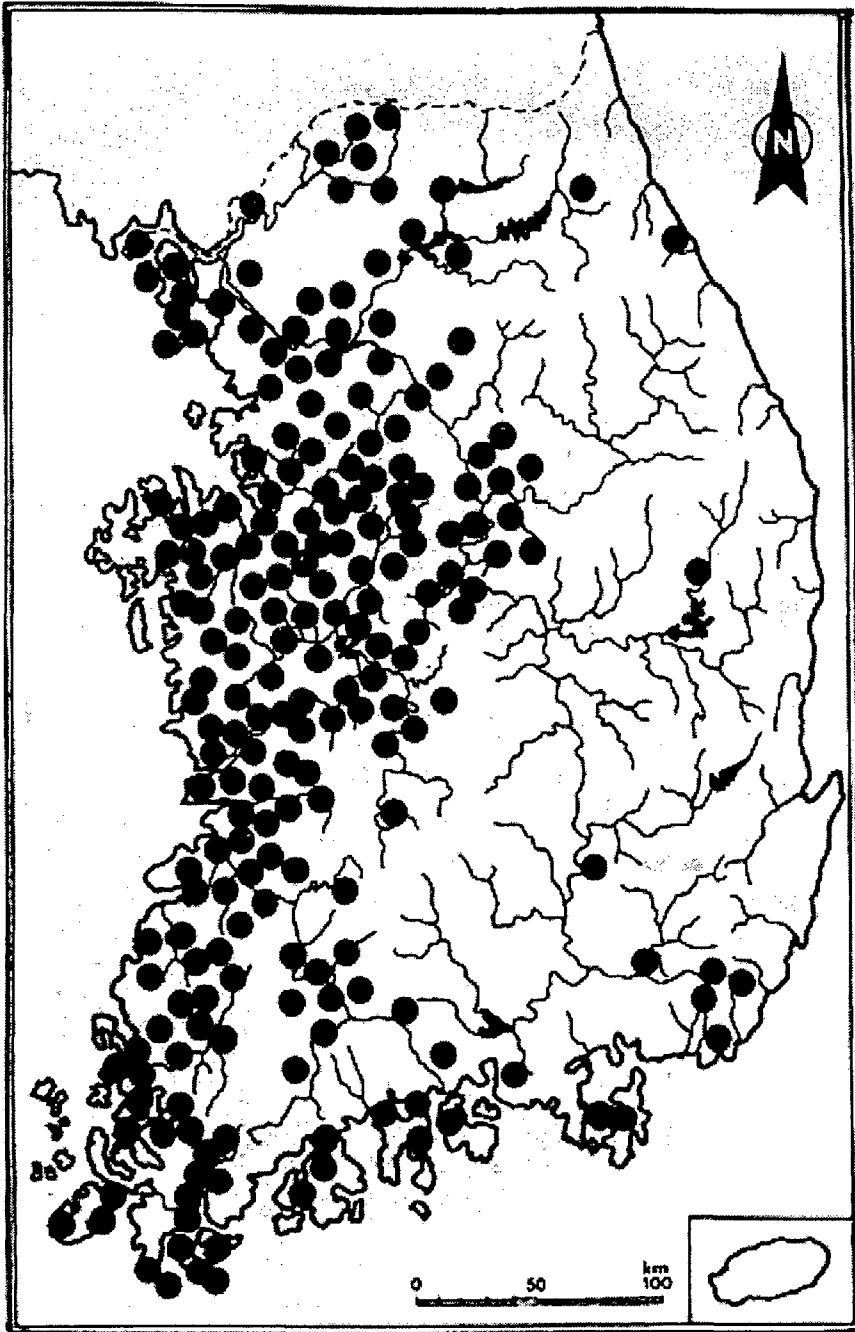


그림 4-6. 왜물개(*Aphyocypris chinensis*)의 전국 분포도.

3. 결과요약

현재 우리 나라의 담수 수계에 서식하고 있는 담수어류는 남, 북한을 합하여 총 38과 189종이며 이들 어류 중 순수 담수어는 96종이고 강하성, 소하성 및 주연성 어류가 27종으로 나타났다. 한국 고유종은 9과 49종으로 전체 어종의 25.9%를 차지하고 있으며 천연기념물 지정 어류는 황쏘가리(*Siniperca scherzeri*, 190호), 무태장어(*Anguilla marmorata*, 258호), 어름치(*Hemibarbus mylodon*, 259호) 등 3 종이고 천연기념물 지정 어류 서식지가 4곳으로 지정되어 있으며 특정야생동식물로 분류된 보호 어류는 24종이다. 한편 외국으로부터 도입되어 국내 수계에 방류된 어종은 약 15종이며 이들 중 7종이 국내 수계에 적응, 번식하고 있다.

960년대 중반부터 현재까지의 자료와 현장 채집을 바탕으로 조사한 우리 나라의 수계별 어류 서식 현황을 보면 한강 25과 99종, 낙동강 23과 88종, 금강 24과 94종, 섬진강 20과 75종이 서식하고 있는 것으로 나타났다.

우리 나라 전국을 대상으로 조사한 서식 어류의 개체수 서열을 보면 가장 많은 개체가 채집된 종은 피라미(*Zacco platypus*)로서 185,987개체가 채집되었고 상대풍부도 19.293%로 나타났으며 다음은 붕어(*Carassius auratus*, 채집 개체수: 99,155 개체, 상대풍부도: 10.285%), 갈겨니(*Zacco temmincki*, 61,572, 6.387%), 버들치(*Phoxinus oxycephalus*, 53,869, 5.588%), 각시붕어(*Rhodeus uyekii*, 27,014, 2.802), 들마자(*Microphysogobio yaluensis*, 26,839, 2.784%), 참붕어(*Pseudorasbora parva*, 26,221, 2.720%), 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*, 23,558, 2.244%), 미꾸라지(*M. mizolepis*, 21,779, 2.259%), 긴물개(*Squalidus*

gracilis majimae, 19,808, 2.055%) 등의 순으로 나타났다.

이상의 자료를 바탕으로 비교적 지리적 분포 범위가 넓고 개체수가 풍부한 개체수 서열 50위 이내의 어종(100위 이내의 4종 포함) 54종을 대상으로 생태적 특이성, 서식지 특이성, 어류의 크기, 행동적 특이성, 산란 특이성, 먹이특이성 등의 문제성이 없는 어류 12종을 선별하였고, 선별된 어류의 실험실 사육 등을 통해 실험 어종의 가능성이 있는 어종을 검토하여 최종적으로 송사리(*Oryzias latipes*), 대륙송사리(*O. sinensis*), 버들붕어(*Macropodus chinensis*), 왜몰개(*Aphyocypris chinensis*) 등 4종을 실험을 위한 최종 어류로 선정하였다.

제 3 절 실내 사육특성 조사 및 사육법 확립

1. 연구수행방법

가. 어류 서식지 및 채집지

어류의 서식지 조사와 채집 장소는 1차 연도의 조사를 바탕으로 선발 어종의 서식 밀도가 높은 지역을 선택하였다. 버들붕어와 왜물개는 충청남도 논산시 강경읍 세도면 청포리에서, 대륙송사리는 대전시 유성구 갑동, 송사리는 경상남도 남해군 수산리에서 조사 및 채집하였다. 어류의 채집에는 투망(망목 5x5 mm), 족대(망목 5x5 mm), 뜰채(2x2 mm) 등을 사용하였으며 서식지의 유속, 수심, 유속 등은 줄자를, DO, pH, 수온 등의 화학적 조사는 수질측정기(TOA, WQC-20A, Japan)를 이용하였다. 채집된 일부 어류는 분석을 위하여 10% 포르말린에 고정하였고 일부는 산채로 실험실에 운반하여 실험실 내에서 사육하면서 실험 재료로 사용하였다.

나. 생식 시기 및 포란 조건

실험 어종의 월별 생식소 성숙도($\text{gonad somatic index} = \frac{\text{gonad weight}}{\text{body weight}} \times 100$)와 자치어의 출현 유무 등을 포괄하여 생식시기를 추정하였으며 생식시기의 수온과 광주기를 바탕으로 이들 조건을 timer와 수조용 히터를 사용하여 실험실 내에 조성하면서 실험 어종의 포란 조건을 조사하였다.

다. 산란생태 및 산란 조건

실험 어종의 산란행동시의 성비, 세력권의 범위, 혼인색, 산란 징

후 등을 관찰하였으며, 산란 적정 조건들을 실험실의 수조에 조성해 주면서 최적의 산란 조건을 연구하였다.

라. 난 발생과 지치어 발육 및 난 발생 온도

실험 어종의 수정란을 채취하여 인공수정 후 발생 과정과 지치어의 발달 과정을 조사, 연구하였으며 수온별 난의 부화율을 조사하여 최적 발생 온도를 조사하였다.

마. 성 장

실험 어종을 부화 직후부터 사육하면서 최초 산란에 이르기까지 성장도를 측정하였으며 이를 바탕으로 최적 성장 조건을 조사하였다.

2. 연구수행내용 및 결과

가. 사육시설

1) 사육실

어류의 사육실은 진동이나 소음이 없는 조용한 장소를 선택하도록 하고, 환풍기를 설치하여 통풍이 용이하도록 한다. 사육 어류가 받을 수 있는 스트레스를 줄이기 위하여, 출입자는 가능한한 제한하여 안정된 상태를 유지하고, 출입자의 복장도 실험복으로 통일하며, 전담 관리자를 배치하도록 한다.

어류는 광조건에 따라 성 주기가 민감하게 반응하므로 필요에 따라 광주기를 조절할 수 있도록 암막과 timer, 인공 조명 시설을 설치한다. 조명은 형광등을 사용하면 무방하며 백열전구는 열의 발산이 많으므로 사용하지 않는 것이 좋다.

사육실은 가능하면 항온화하여 일정 수준의 온도를 유지해 주는 것이 관리상 매우 편리하고 각 어종에 따른 특정 온도는 수조용 히터를 사용하도록 한다.

항온기, 공기 펌프, 히터, 조명 시설 등 대부분의 시설물이 전기를 사용하므로 장시간의 정전에 대비하여 보조용 발전기를 설치한다.

2) 사육수

사육수는 수돗물을 사용하거나 연못물 또는 지하수를 사용한다. 본 실험실에서 사용한 수돗물은 유입수에 필터를 장착하여 물 속의 부유성 입자들을 제거하였고, 걸러진 수돗물은 저장조에 1~2일간

방치하여 물 속의 잔류 염소를 제거한 후 수조에 공급하였다. 연못 물을 사용할 경우에는 유해성 세균이나 미생물 등이 유입될 수 있으므로 정화 처리에 더욱 주의를 요해야 하며, 지하수의 경우 물속의 고형물 등은 제거할 필요가 있다. 일반적으로 사람이 먹을 수 있는 물이라면 무리가 없다. 급수는 수도관을 이용 각 수조 위에 밸브를 설치하고 이를 통해 급수하며 급수된 물은 수조에 설치된 배수구를 통해 over flow된 양만큼 배출되도록 하면 관리에 편리하다.

어류를 사육하고 있는 수조에 사육수를 보충하거나 환수할 경우에는 특히 수온의 차이에 주의해야 한다. 일반적으로 수온이 5℃ 이상 차이가 나면 물고기들은 심한 스트레스를 받게 되므로 가급적 물고기가 살고 있는 수조의 수온과 유사한 온도의 물을 공급해야 하며 환수시에는 반듯이 수조물의 1/3~1/2만을 환수하도록 한다.

3) 사육 수조

어류의 사육 수조는 관찰이 용이하도록 유리로 만든 투명한 장방형의 수조가 적합하며 플라스틱으로 제작한 것이나 원형의 수조는 가급적 피하는 것이 좋다. 측면과 뒷면이 불투명한 것도 물고기의 안정을 위해서는 이상적이라 할 수 있다. 수조의 크기는 물고기의 크기나 사육 개체수에 따라 달라져야 한다. 그러나 본 실험에 사용한 어류는 모두 소형종이고, 버들붕어와 같은 경우는 한 수조에 1쌍만을 사육하므로 30~50L들이 정도의 소형 수조라면 사육이 가능하고 관리 측면에서도 편리하다. 다만 자치어를 대량 사육하기 위한 사육 수조는 용량이 큰 수조를 별도로 마련하여 사용하는 것이 좋다.

최근에는 여과 기술의 발달로 모래와 슴을 사용한 저면 여과장치

대신 전기 동력을 이용하거나 테트라 필터(독일산) 등을 사용하므로 수조 바닥에 모래를 깔지 않는 경우가 많다. 모래를 깔지 않으면 수조의 청소 등 관리 측면에서는 매우 편리하나 반면에 수조내에 서식하는 유용미생물의 밀도가 상대적으로 떨어져 오히려 수질관리나 물고기의 건강에 문제점이 발생할 수도 있다. 수조의 관리에 다소 불편한 면이 있더라도 모래를 깔고 공기펌프를 이용한 저면 여과장치를 설치하는 것이 수질 관리와 물고기의 건강뿐 만 아니라 예산상으로도 절감이 된다.

수조의 청소는 물고기의 배설물, 남은 먹이 등이 바닥에 침전되어 썩게 되면 수질 악화의 원인이 되므로 사이폰 등을 이용해서 가급적 자주 침전물을 제거해 주는 것이 좋다. 바닥의 모래까지 들어내어 씻는 등의 청소는 자주 하지 않는 것이 좋고 부득이하게 이러한 청소를 하더라도 상층의 맑은 물을 받아 놓았다가 수조물의 1/2 정도는 이 물로 다시 보충해 주는 것이 유용미생물이 쉽게 번식하는데 유익하다. 새로이 설치하는 수조의 경우 수조 설치 후 약 5일 정도 방치하여 수조내의 미생물들이 번식하고 안정을 찾은 후에 어류를 넣는 것이 바람직 하다.

조명이 강할 경우 수조벽에 녹조류가 번식하는 경우가 흔히 발생하는데 녹조류는 물고기의 먹이원으로도 이용되므로 관찰을 위해 수조의 앞면만 제거하도록하고 측면과 뒷면은 놔두는 것이 좋다. 물이 파랗게 될 정도로 심하면 조명이 너무 강한 것이므로 조명의 강도를 낮추어 주어야 한다.

수조에 심는 수초는 물 속의 유기물 등을 흡수하여 수질의 악화와 오염을 막아주며 물고기를 안정시켜주는 역할을 하지만 실험용 수조에 수초를 심으면 물고기를 잡아내거나 난을 수거할 때 여러 가지

불편한 점이 따르므로 심지 않는 것이 관리상 편리하다. 그러나 벼 들붕어와 같이 수초 등에 의지하여 수표면에 산란소를 만드는 경우에는 수초를 심어주어야 한다.

수조에 주입하는 공기는 물고기의 산소공급원으로서 뿐만 아니라 물의 순환과 물이 썩지않게 하는 역할을 하므로 반드시 필요하며 저면 여과 장치와 결합하여 사용하면 무방하다.

수온 조절은 각 어류마다 특유의 적정 수온이 있으므로 난과 자어의 원활한 생산을 위해서는 필수적이다. 사육실 전체를 항온화하여 연중 적정 수온을 유지하도록 하고(최저 수온의 수조와 같거나 조금 낮은 온도로 조정) 미세한 수온 조절은 수조용 히터(IC회로 자동 조절 히터)를 사용한다. 또한 각 수조에는 온도계를 설치하여 온도의 변동사항을 항상 체크하도록 한다(그림 4-7).

4) 먹 이

어류의 먹이는 물고기를 사육하는데 있어서 가장 중요한 요인 중의 하나이다. 주로 사용하는 먹이의 종류에는 생사료로서 brine shrimp(*Artemia* sp.), 실지렁이, 물벼룩 등이 있으며, 관상어 사료로 널리 쓰이는 가공용 배합사료는 물고기 시판점에서 쉽게 구할 수 있다. 생사료인 실지렁이나 물벼룩은 계절에 따라 구하기가 쉽지 않고 오염 및 세균 감염의 우려가 있으므로 많이 사용하지 않고, 대량 사육시에는 주로 영양이 좋고 다루기가 용이한 brine shrimp의 난을 부화하여 공급한다. brine shrimp의 난을 부화시키기 위해서는 별도의 부화 장치를 마련해야 한다. 가공용 배합사료는 어류의 크기와 영양 조성에 따라 용도에 맞는 것을 선택하여 사용하면 무방하나 상품명 "TetraMin(Flake Food, 독일산)"이 영양면에서도 우수하고 어

류의 크기에 관계없이 사용할 수 있어서 많이 쓰인다. 한편 난황 흡수 직전이나 직후의 자치어는 유영력이 떨어지고 입이 작아 위와 같은 사료를 쉽게 섭취하지 못하므로 이 시기에는 계란을 삶아 노른자를 물에 풀어주도록 한다.

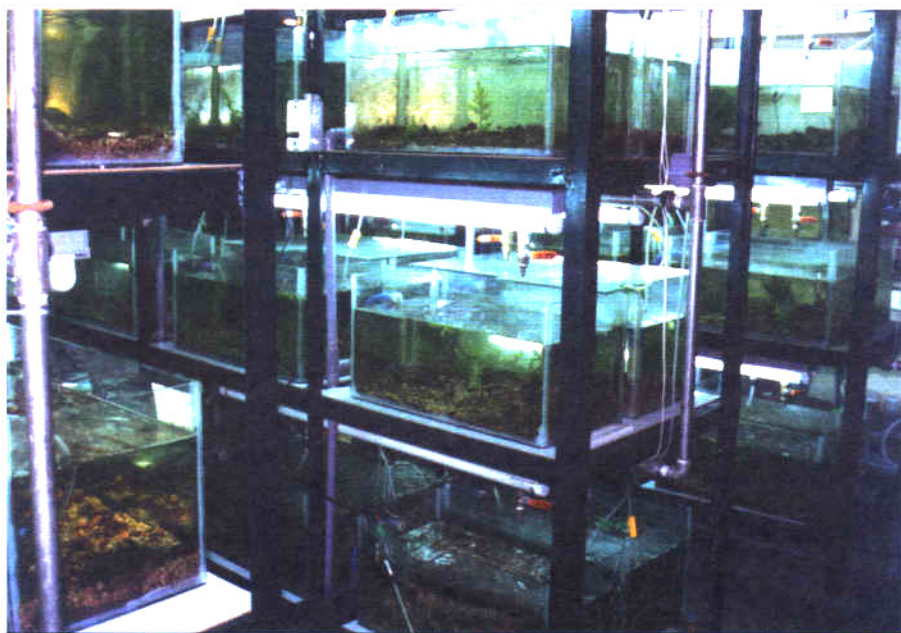


그림 4-7. 어류 사육실.

류의 크기에 관계없이 사용할 수 있어서 많이 쓰인다. 한편 난황 흡수 직전이나 직후의 자치어는 유영력이 떨어지고 입이 작아 위와 같은 사료를 쉽게 섭취하지 못하므로 이 시기에는 계란을 삶아 노른자를 물에 풀어주도록 한다.



그림 4-7. 어류 사육실.

나. 어종별 사육법

1) 버들붕어(*Marcropodus chinensis*)

가) 생물학적 연구

(1) 버들붕어의 생물학적 특징

극락어과(Belontiidae)에 속하는 버들붕어는 우리 나라와 일본 중국에 서식하고 있다. 체형은 옆으로 심하게 납작하며 긴 편이다. 머리는 비교적 크고 입은 작으며 위쪽으로 향하여 있고, 눈은 크며 머리의 옆면 중앙보다 앞쪽에 있고 위쪽으로 붙어 있으며 아가미뚜껍은 비늘로 덮혀 있다. 옆줄은 없으며 등지느러미와 뒷지느러미의 기저는 길며 꼬리지느러미의 후연은 둥근형이다. 전장은 50~70 mm 정도이다. 본 종은 농수로나 늪, 습지, 연못 등과 같이 물이 정체되어 있고 수초가 우거진 얕은 물에 서식하고 있으며 산소 결핍이나 수질 오염에 대한 내성이 강하다(최 등, 1990). 산란기에 수컷은 수초 사이의 수표면에 원형의 부유성 기포소를 만들며 암컷을 유인하여 산란 방정한 후 난과 자어를 적극적으로 보호한다. 국내에는 영동지방을 제외한 전국에 분포하고 있으며 최근에는 수질오염과 서식지 상실 등으로 인해 그 수가 격감하고 있다.

(2) 성적 이형

수컷이 암컷보다 조금 큰편이며 등지느러미와 뒷지느러미의 마지막 연조가 꼬리지느러미의 반 이상을 넘어설 정도로 길게 신장되어 있다. 배지느러미의 연조도 길게 신장되어 뒷지느러미 첫 번째 연조의 끝에 이른다. 반면 암컷의 등지느러미와 뒷지느러미의 연조

는 꼬리지느러미의 반을 넘지 못하며 배지느러미의 연조도 상대적으로 짧다. 평상시의 체색은 암수가 유사하나 산란기의 수컷의 혼인색은 체색이 검어지고 체표면에 화살무늬가 진하게 나타나며 모든 지느러미의 색상이 화려하게 나타난다. 산란행동시의 암컷은 평소보다 체색이 창백하게 변한다.

(3) 생식생태

(가) 자연 서식지 환경

본 종의 서식지인 충청남도 논산시 강경읍 세도면 청포리의 서식지 특성은 다음과 같다. 본 지점은 상류의 저수지와 이어진 농수로로서 하상은 진흙으로 이루어졌고, 수로의 폭은 50~70 cm, 수심은 10~30 cm 정도이며 물은 매우 탁하여 수중이 들여다 보이지 않았다. 수로의 양 옆으로는 수변식물이 서식하고 있었으며 수중에는 붕어마름, 검정말, 말 등의 수생식물이 서식하고 있었다. 수온은 연중 0~32℃로 수온의 범위가 매우 컸으며 6~7월의 수온은 23~29℃, 수소이온농도(pH)는 6.1~6.9의 범위였으며, 용존산소(DO)는 4~6 mg/L로 낮은 편이었다. 본 지역에서 채집된 물고기는 대륙송사리(49.2%), 참붕어(17.8), 붕어(11.0%), 왜물개(9.2%), 버들붕어(6.5%), 미꾸라지(3.6%), 가물치(1.9%), 눈불개(0.8%) 등이었으며 그밖에 황소개구리의 올챙이와 논우렁이, 물달팽이 등이 다수 서식하고 있었다.

버들붕어의 경우 6월부터 혼인색이 나타난 수컷이 채집되고 암컷의 복부가 팽만해 있으며 중순 이후부터 치어들이 다수 채집되는 것으로 보아 6월경부터 산란을 시작하는 것으로 보이며 8월중순부터는 수컷의 혼인색이나 복부가 팽만된 암컷 그리고 소형의 치어

들이 더 이상 채집되지 않는 것으로 보아 본 종의 산란기는 6~7월로 추정되었다.

(나) 수온에 따른 산란주기와 산란 수

어류의 산란 주기에 있어서 중요한 요인으로 작용하는 수온이 산란주기와 산란수에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하기 위하여 20, 22, 24, 26, 28, 32℃ 등 6개의 온도를 달리한 수조를 이용하여 100일간 비교, 조사한 결과는 다음과 같다.

수온 20℃에서는 실험 기간 중 한 번도 산란을 하지 않았다. 22℃에서는 실험 초기에 단 1회의 산란을 하였으며 이때의 산란수는 1,557개였다. 24℃는 모두 4회의 산란이 있었고 산란 간격은 14, 26, 27, 25일로 평균 21~22일 마다 한 번씩 산란하였으며 총 산란수는 4,650개였고 1회 산란시의 난 수가 평균 1,163개를 넘는 많은 난을 산란하였다. 수온 26℃에서는 11회의 산란이 있었으며 약 9일 간격으로 산란이 일어났다. 총 산란수는 8,900개로 24℃보다 약 2배의 산란수를 보였으나 1회의 평균 산란수는 809개로 24℃보다는 적었다. 28℃에서는 총 12회의 산란을 하였으며 산란 간격은 약 8일로 26℃보다 하루가 짧게 나타났다. 총 산란수는 11,472개, 1회 평균 산란수는 956개 6개의 그룹 중 가장 많은 산란 횟수와 산란수를 나타내었다. 그러나 다른 수온에서와는 달리 1회 최고 1,375개에서 최저 448개의 불규칙한 산란수를 나타내었다. 수온 32℃에서는 실험 기간 중 암수가 번갈아 수조 밖으로 튀어 나와 죽는 관계로 약 40일간의 결과만을 산출할 수 있었다. 약 40일간 모두 5번의 산란 횟수를 나타내었고 총 산란수는 1,213개였으며 1회 평균 산란수는 243개였다. 40일 동안의 산란 간격은 6일로 가장 짧은 간격을 나타냈으며

최고 산란수는 524개, 최저 산란수는 27개 였다. 본 온도 조건에서는 짧은 산란 간격으로 자주 산란한 반면 1회의 산란수가 다른 그룹에 비하여 현저히 적었다. 40일간의 결과를 다른 수온 집단과 비교하기 위해 100일로 환산해 보면 산란 횟수는 12.5번, 총 산란수는 6,075개, 1회 평균 산란수는 486개로 추정할 수 있었다(그림 4-8, 표 4-11).

각 수온별 산란 빈도와 산란수를 비교해 볼 때 수온이 낮을수록 산란 빈도는 적으나 산란수가 많은 반면, 수온이 높을수록 산란 횟수는 증가하지만 산란수는 적게 나타났다. 본 실험 결과 수온 20~22℃에서는 산란이 일어나지 않거나 1회의 산란만이 이루어 졌는데 이것으로 보아 수온 22℃ 이하는 본 종의 적정 산란 온도가 아닌 것으로 생각된다. 또한 32℃의 경우 잦은 빈도의 산란 횟수를 나타냈으나 상대적으로 산란수가 적은 점으로 미루어 역시 적정 산란 온도 보다는 높은 것으로 생각된다. 24℃ 이상에서는 산란 횟수와 산란수가 많았는데 이러한 결과로 보아 24℃ 이상의 수온이 되어야 원활한 산란이 이루어질 수 있는 것으로 판단된다. 결과적으로 100일간의 실험 결과 수온 28℃에서 12번의 산란 횟수와 11,472의 산란수로 난의 생산량이 가장 높게 나타났고 26℃에서는 산란 횟수 11번, 산란수 8,900개인 점으로 미루어 보아 본 종의 산란 적정 수온은 26~28℃ 범위라고 사료된다.

표 4-11. 수온 조건에 따른 버들붕어의 산란주기와 산란수

수온(°C)	산란 횟수	산란 간격(일)	평균 1회 산란수	총 산란수
20	0	0	0	0
22	1	0	1,557	1,557
24	4	21.5	1,163	4,650
26	11	9	809	8,900
28	12	8	956	11,472
*32	5(12.5)	6	243(486)	1,213(6,075)

*: 32°C는 40일간의 결과임, ()안은 100일의 결과로 환산했을 경우.

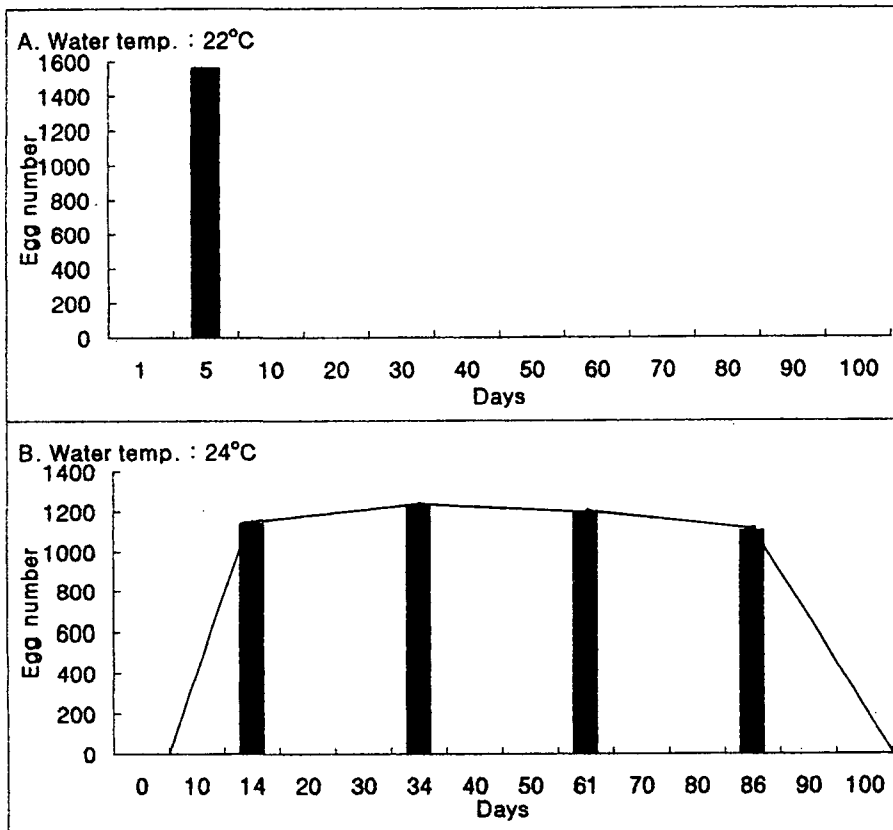


그림 4-8. 수온에 따른 버들붕어의 산란주기와 산란수

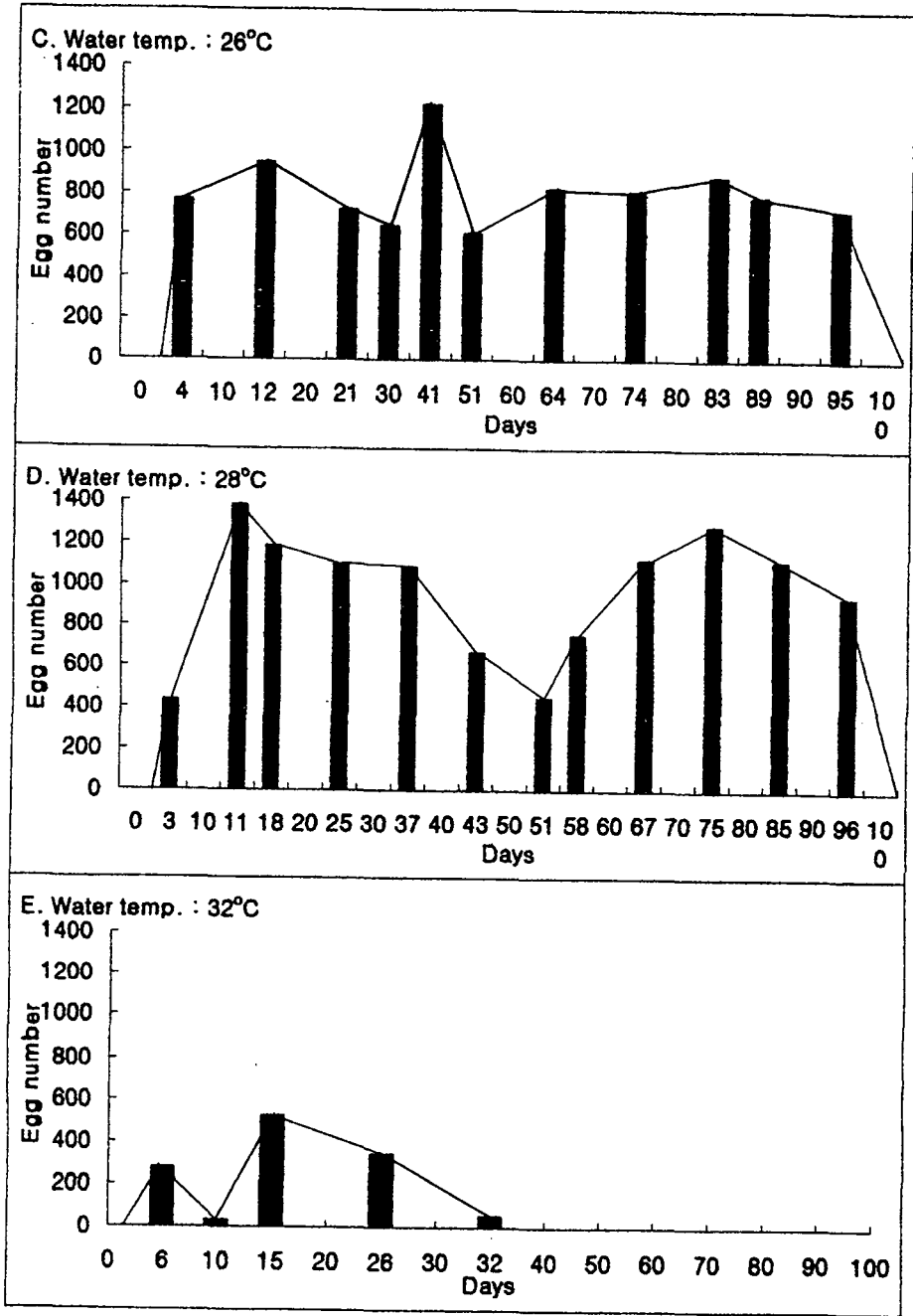


그림 4-8. 계속.

(다) 수온에 따른 부화율

4개의 부화조에 본 종의 난을 각각 100개씩 넣은 후 24, 26, 28, 32℃로 설정한 후 오도에 따른 부화율을 관찰하였다.

2차례의 실험 결과 각 온도별 부화율은 24℃가 1차 37%, 2차 46%로 평균 41.5%의 부화율을 보였으며, 26℃에서는 1, 2차 각각 64%와 57%로 평균 60.5%를, 28℃에서는 각각 49%, 53%로 평균 51.0%의 부화율을 나타내었고, 32℃에서는 각각 24%, 14%로 평균 19.0%의 부화율을 나타내었다. 가장 높은 부화율을 보인 수온은 26℃의 60.5%이고 그 다음이 51.0%의 28℃, 24℃의 46.0%였으며 32℃는 19.0%의 낮은 부화율을 보였다. 결과적으로 본 종의 난이 부화하는데 가장 적절한 수온은 26~28℃의 범위로 나타났으며 이는 최적 산란 수온과 매우 긴밀한 연관 관계를 나타내었다(표 4-12). 또한 수온 조건이 높을수록 부화 속도가 빠르고 수온이 낮을수록 낮은 부화 속도를 나타내었다.

표 4-12. 수온에 따른 버들붕어 난의 부화율

수온(℃)	1회 부화율(%)	2회 부화율(%)	평균 부화율(%)
24	37	46	41.5
26	64	57	60.5
28	49	53	51.0
32	24	14	19.0

(라) 생식행동

① 산란행동

산란기의 수컷은 체색이 암갈색으로 변하면서 체표면에 선명한 화살무늬가 나타나며 매우 난폭해지고 다른 개체에게 공격적인 행동을 한다. 이와 함께 물의 유동이 없는 잔잔한 장소의 수표면에 입으로 기포를 만들어 거품 덩어리를 형성하여 산란을 위한 기포소(bubble nest)를 만든다. 기포소가 완성되면 암컷에게 다가가서 구애행동을 시작하며 구애행동시에는 모든 지느러미를 활짝펴서 암컷의 옆이나 앞에서 시위를 하고 암컷이 이에 응하지 않을 경우에는 계속적으로 쫓아 다니면서 구애행동을 반복한다. 암컷이 구애행동에 응하지 않을 경우 암컷 역시 체색이 암갈색으로 변색되면서 약간의 공격적인 행동을 보이거나 구애행동에 응할 시에는 체색이 연하게 변하면서 등지느러미와 뒷지느러미를 접는다. 수컷이 기포소쪽으로 유도하면 암컷은 이에 따라 기포소 밑에 이르고 수컷이 몸을 둥글게 말아 암컷을 감싸 안은채로 암컷의 생식공과 수컷의 생식공이 기포소를 향하도록 몸을 180도 뒤집어 거꾸로 위치시킨다. 이어서 암컷의 방란과 함께 수컷이 방정을 하므로써 1회의 산란을 마치게 되고 이러한 방법으로 수차례 반복하면서 산란행위를 끝내게 된다. 산란행동은 1~3시간 가량 행해진다(표 4-13, 그림 4-9).

표 4-13. 버들붕어의 산란 행동 양상

behavior	male	female
nesting make	bubble nest, territory defend	
courtship	brownish black color, arrow pattern, spread all fin, opercula raise, leading to nest	refusal: runaway, spread fin, opercula raise, brownish black color follow: pail color, fold of dorsal, anal andcaudal fin, following
spawning and ejaculation	wrapping the female, reverse posture, ejaculation	be wrapped by the male reverse posture, spawning
care	care of eggs and larvae, drive the female away, attack all intruder	unconcern, expelled by the male

② 난과 자어 보호행동

버들붕어의 난은 유구가 발달한 관계로 비중이 매우 작다. 따라서 기포소 밖으로 난이 유출되면 수표면을 떠다니게 되는데 이때 수컷은 재빨리 알을 입으로 물어와 기포소 밑에 뱉어 놓는다. 한편 알을 보호하고 있는 수컷은 매우 공격적으로 변해서 알을 낳은 암컷이라도 기포소 부근에 접근하면 심하게 공격하여 쫓아 버린다. 수컷은 계속적으로 알 주위에 기포를 만들어 알을 감싸며 알이 흩어지지 않

도록 한곳에 알을 모아 난괴를 형성한다.

부화된 자어들은 머리를 위로 향한채 기포소 밑에 매달려 있으며 때때로 꼬리운동을 하여 기포소 밖으로 빠져나가는 자어들이 있는데 이때도 수컷이 따라가 자어를 입속에 넣은 후 기포소 밑에 뱉어 놓는다. 기포소 부근에 다른 동물의 출현이 빈번하여 분주하거나 난이나 자어가 위험하다고 생각되면 수컷은 이들을 입으로 물어 조용한 곳으로 옮긴 후 보호행동을 계속한다. 보호행동은 자어가 기포소를 자주 벗어나 수컷이 물어 옮기기가 어려울 때까지 계속된다. 부화 후 약 4일까지 수컷은 기포소를 벗어난 자어를 물어와 보살피지만 그 이후가 되면 자어들이 수컷의 보호권에서 벗어나 기포소 밖으로 흩어진다.

(4) 난 발생과 자치어 발육

(가) 난 발생(egg development)

본 종의 난은 유구(oil globe)가 발달한 분리 부성난(floating egg)이다. 난각(vitelline membrane)은 투명하고 난황은 연회색이며 한개의 대형 유구와 수개의 작은 유구들이 존재한다. 물 흡수 후 난의 크기는 1.01 ± 0.038 mm, 난황은 0.76 ± 0.023 mm, 대유구의 크기는 약 0.6 mm이고 소유구는 가장 큰 것이 0.05 mm 정도이다(N=20).

- 산란, 0:00, 약 15분이 경과하면서 난이 물을 흡수한다.
- 1 세포기, 산란 후 30분, 배반(blasto disk)이 동물극(animal pole) 쪽에 형성된다.
- 2 세포기, 산란 후 45분, 경찰에 의해 배반이 2개로 나누어 진다.
- 4 세포기, 산란 후 1시간, 경찰에 의해 배반이 4개로 나누어 진다.



그림 4-9. 벵고붕어의 산란행동 및 난과 자어 보호행동.

A: 거품집(bubble nest), B: 구애행동(courtship), C, D: 감쌌(wrapping the female), E: 역위자세(reverse posture), F: 산란 및 방정(spawning and ejaculating), G: 산란 직후(release after the spawning and ejaculating), H: 난 보호행동(protection of the eggs)

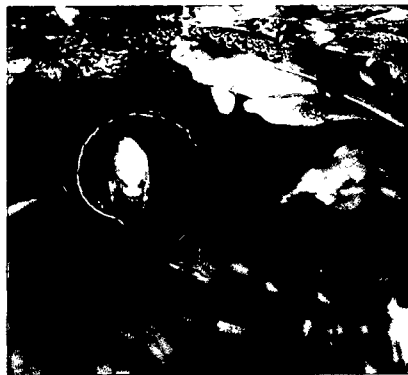
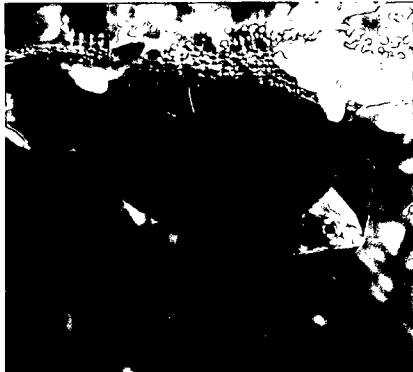


그림 4-9. 버들붕어의 산란행동 및 난과 자어 보호행동.

A: 거품집(bubble nest), B: 구애행동(courtship), C, D: 감쌈 (wrapping the female), E: 역위자세(reverse posture), F: 산란 및 방정 (spawning and ejaculating), G: 산란 직후(release after the spawning and ejaculating), H: 난 보호행동(protection of the eggs)



그림 4-9. 계속.



그림 4-9. 계속.

- 8 세포기, 산란 후 1시간 15분, 경찰에 의해 배반이 8개로 나누어 진다.
- 16 세포기, 산란 후 1시간 30분, 각 할구의 크기가 불규칙해지며 16개의 할구를 형성한다.
- 32 세포기, 산란 후 1시간 45분, 32개의 할구를 형성한다.
- 64 세포기, 산란 후 2시간, 64개의 할구를 형성하며 상실배(morula)에 이른다.
- 포배기(blastula), 산란 후 2시간 30분, 난할이 더욱 진행되며 포배를 형성한다.
- 초기 낭배기(early gastrula), 산란 후 5시간, 배반엽이 식물극(vegetal pole)쪽으로 확장되며 난황의 1/3을 덮는다
- 후기 낭배기(late gastrula), 산란 후 8시간, 난황의 1/2을 배반엽이 덮는다.
- 난황전(yolk plug)과 신경배(neurula), 산란 후 11시간, 배반의 가장자리가 식물극쪽으로 더욱 확장되어 난황전이 형성되고 신경습(neural fold)이 나타난다.
- 체절(somite)과 안포(optic cup) 생성기, 산란 후 20시간, 10~15개의 체절이 형성되고 안포가 나타난다.
- 꼬리 생성(tail bud), 산란 후 24시간, 꼬리가 신장되며 안포가 현저해 지고 난황과 몸체 중앙부에 흑색소(melanophore)가 나타난다. 체절은 22~26개가 관찰된다.
- 심장 박동 및 혈액 순환, 산란 후 28시간, 심장박동(약 101/min)이 관찰되고 난황과 미부쪽으로 혈액 순환이 일어나지만 혈색소는 생성되지 않았다. 이석이 관찰되고 막지느러미(embryo fin)가 형성되며 간헐적인 근육 수축운동이 일어난다.

- 부화, 산란 후 42~44시간, 경련성 근육 수축운동과 활발한 꼬리운동으로 난각을 뚫고 부화한다.

(나) 전기 자어기(prelarva stage)

- ① 부화 직 후, 혈액소가 생성되기 시작하며 심장이 붉게 보인다. 안구는 흑색소의 발달로 검게 보이고 난황, 등, 항문부위에 흑색소가 다수 관찰된다. 머리가 위쪽을 향한채 거품 밑에 매달려 있으며 전장은 3~3.15 mm.
- ② 부화 후 1일, 아가미뚜껑과 턱이 관찰되나 입은 열리지 않고 막상의 가슴지느러미를 빠르게 움직여 균형을 잡을 수 있으나 대부분 거품 밑에 매달려 있다. 분당 68~70회의 아가미뚜껑 운동을 하며 전장은 약 3.6~3.8 mm이다.
- ③ 부화 후 2일, 아래턱을 아가미뚜껑의 움직임과 병행하여 자연스럽게 움직이며 몸통부위와 눈을 움직일 수 있다. 안구에 백색소(guanophore)가 나타나고 체표면의 흑색소가 수축되기 시작한다. 소화관이 생성되고 부레에 공기가 차며 전장은 3.9~4 mm이다.
- ④ 부화 후 5일, 흑색소가 부정형에서 원형으로 수축되어 자어가 투명하게 보이며 외비공과 소화관의 연동운동이 관찰된다. 부화 후 4일부터 기포소를 떠나 표층 아래쪽으로 이동하여 몸의 수평을 유지하며 5일째부터는 먹이를 섭취하기 시작한다. 전장은 4.5~5.4 mm이다.
- ⑤ 부화 후 10일, 체고가 높아지기 시작하고 꼬리지느러미가 부정형으로 변하기 시작하며 약 6개의 꼬리지느러미살이 관찰된다. 전장은 5.8~6.2 mm이다.

⑥ 부화 후 15일, 주둥이가 앞으로 돌출되고 난황(유구)이 모두 흡수되며 미부의 끝이 위로 솟기 시작한다. 꼬리지느러미가 부정형이고 13~15개의 지느러미살이 형성되며 가슴지느러미 기부와 체측면에 백색소가 나타난다. 전장은 6.3~7.3 mm이다.

(다) 후기 자어기(post larva stage)

① 부화 후 20일, 등쪽의 막지느러미가 축소되고 등지느러미가 생성되며 15~20여개의 지느러미살이 관찰된다. 20~25개의 뒷지느러미살은 막지느러미에서 생성되며 꼬리지느러미의 외연부에 거치가 생성되고 15~16개의 지느러미살과 마디가 생성된다. 전장은 7.8~9.2 mm이다.

② 부화 후 25일, 부레가 미병부까지 길게 확장되며 배지느러미가 나타나지만 지느러미살은 생성되지 않았으며 등지느러미살이 20~25개, 뒷지느러미살이 25~28개, 꼬리지느러미살이 16~18개가 관찰된다. 전장은 9.4~9.7 mm.

(라) 치어기(juvenile stage)

① 부화 후 44일, 아가미뚜껑의 후단에 청록색 반점이 나타나기 시작하며 등, 뒷, 꼬리지느러미의 후연이 붉게 보인다. 등지느러미가 16가시 9연조, 뒷지느러미가 18가시 10연조, 꼬리지느러미가 16~18연조로 완성되며 배지느러미도 완성된 상태이다. 전장은 21.15 mm이다.

② 부화 후 65~75일, 아가미뚜껑 후단의 청록색 반점이 선명해지고, 수컷의 경우 등지느러미와 뒷지느러미가 뒤쪽으로 길어지고 배지느러미살이 신장되며 이차성징이 확연하게 나타난다. 전장 45.20 mm(체장 34.50 mm).

표 4-14. 버들붕어의 난과 자치어 발육

(수온: 25.5±1℃)

Time	Stage characters*	Total length
Egg development(time after fertilization, hr: min)		
Fertilization		
0: 30	Blastodisc(one cell)(A)	
0: 45	Two cells(B)	
1: 00	Four cells(C)	
1: 15	Eight cells(D)	
1: 30	Sixteen cells	
1: 45	Thirty~two cells	
2: 00	Sixty~four cells(E)	
2: 30	Blastula(F)	
5: 00	Early gastrula	
8: 00	Late gastrula(G)	
11: 00	Yolk plug & neurula(H)	
20: 00	10~15 somites, optic cup appear(I)	
24: 00	Elongation of tail, melanophores appears(J) on yolk sac and upper of air bladder	
28: 00	Heart beat and blood circulation	
42-44:00	Hatching(K)	
Prelarva stage(day after hatching)		
Hatching	Immediately after hatching, hemoglobin appear(A)	3.0-3.25mm
1 day	Opercula and mandible formed	3.6-3.8mm
2 days	percula and mandible begin to move, intestine formed, air bladder expanded(B)	3.9-4.0mm
5 days	Contraction of melanophore, feeding begin(C)	4.5-5.4mm
10 days	Caudal fin ray appear	5.8-6.2mm
15 days	Yolk(oil globe) absorbed, notochord flexed(D)	6.3-7.3mm
Postlarva stage		
20 days	Dorsal and ventral fin ray appear	7.8-9.2mm
25 days	Pelvic fin appear(E)	9.4-9.7mm

*: 각 stage는 그림 4-10과 일치함.

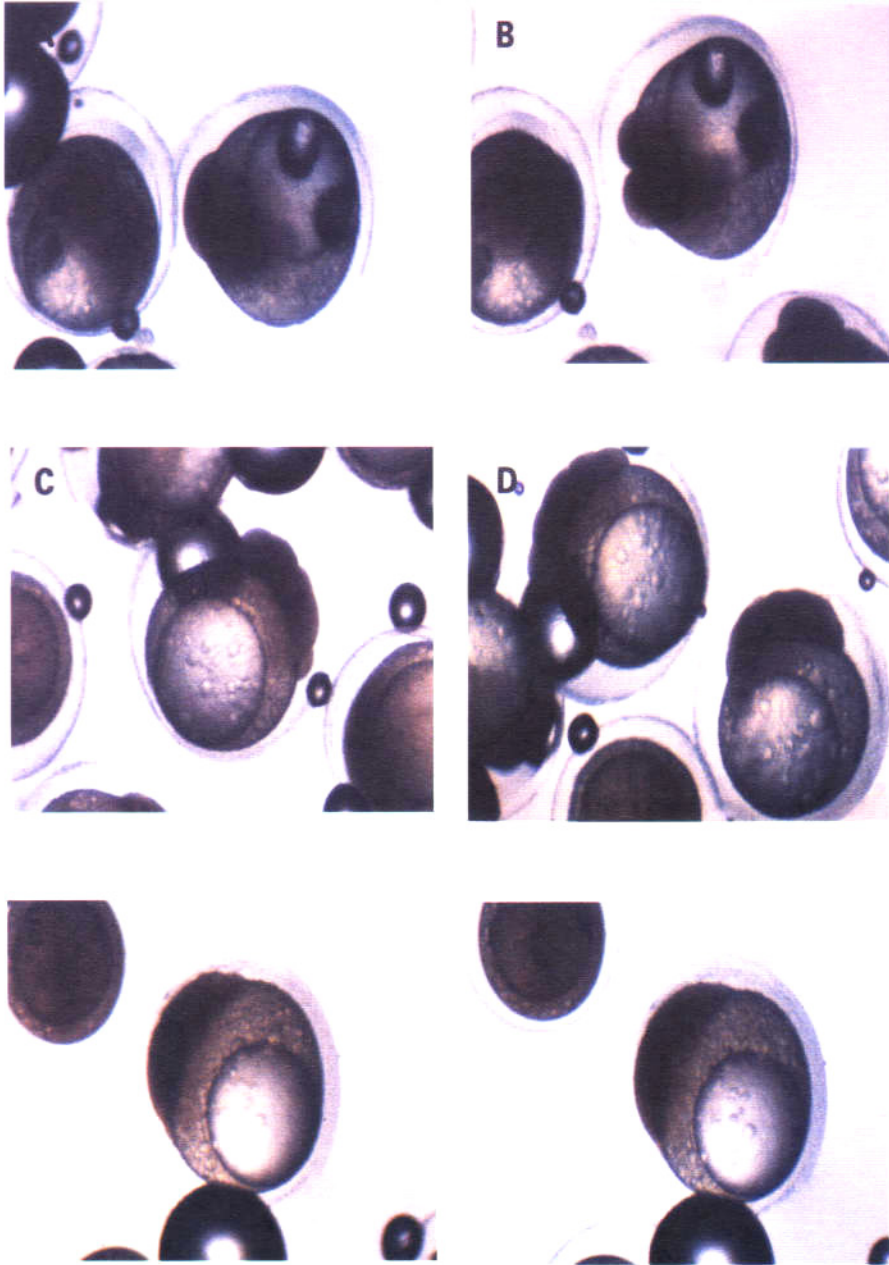


그림 4-10. 버들붕어의 난 발생과 자치어 발육.

각 stage는 표 4-11과 일치함

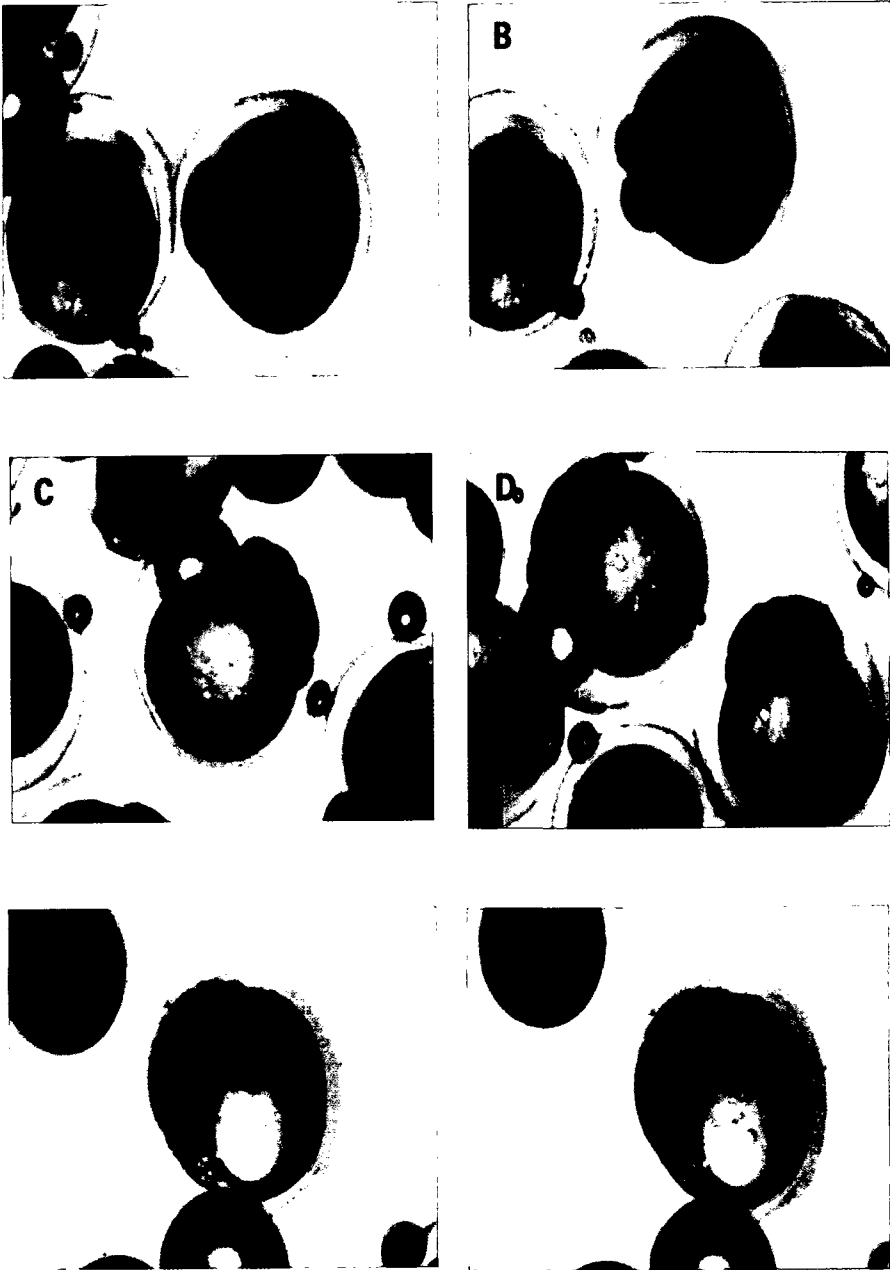


그림 4-10. 벵골붕어의 난 발생과 자치어 발육.
 각 stage는 표 4-11과 일치함

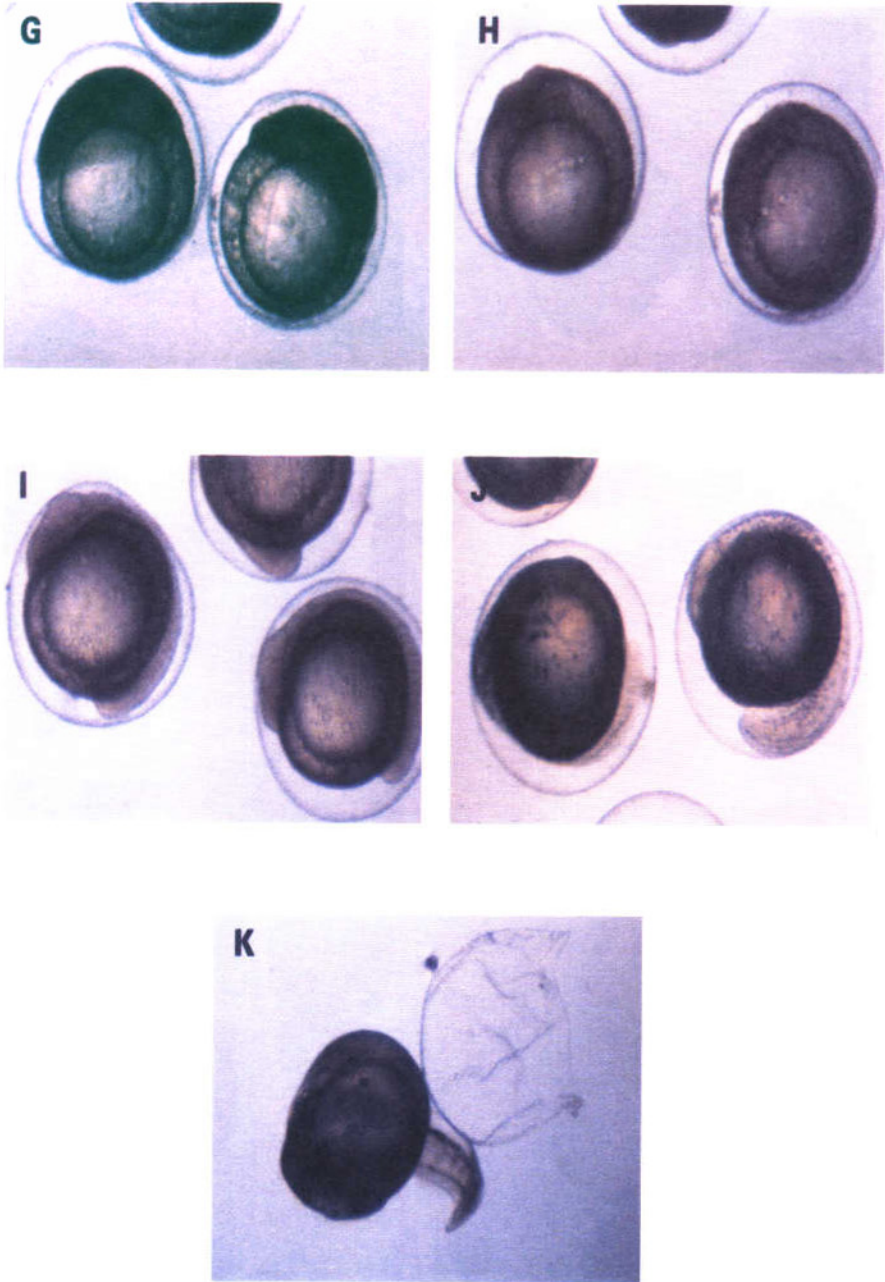


그림 4-10. 계속. 각 stage는 표 4-11과 일치함.

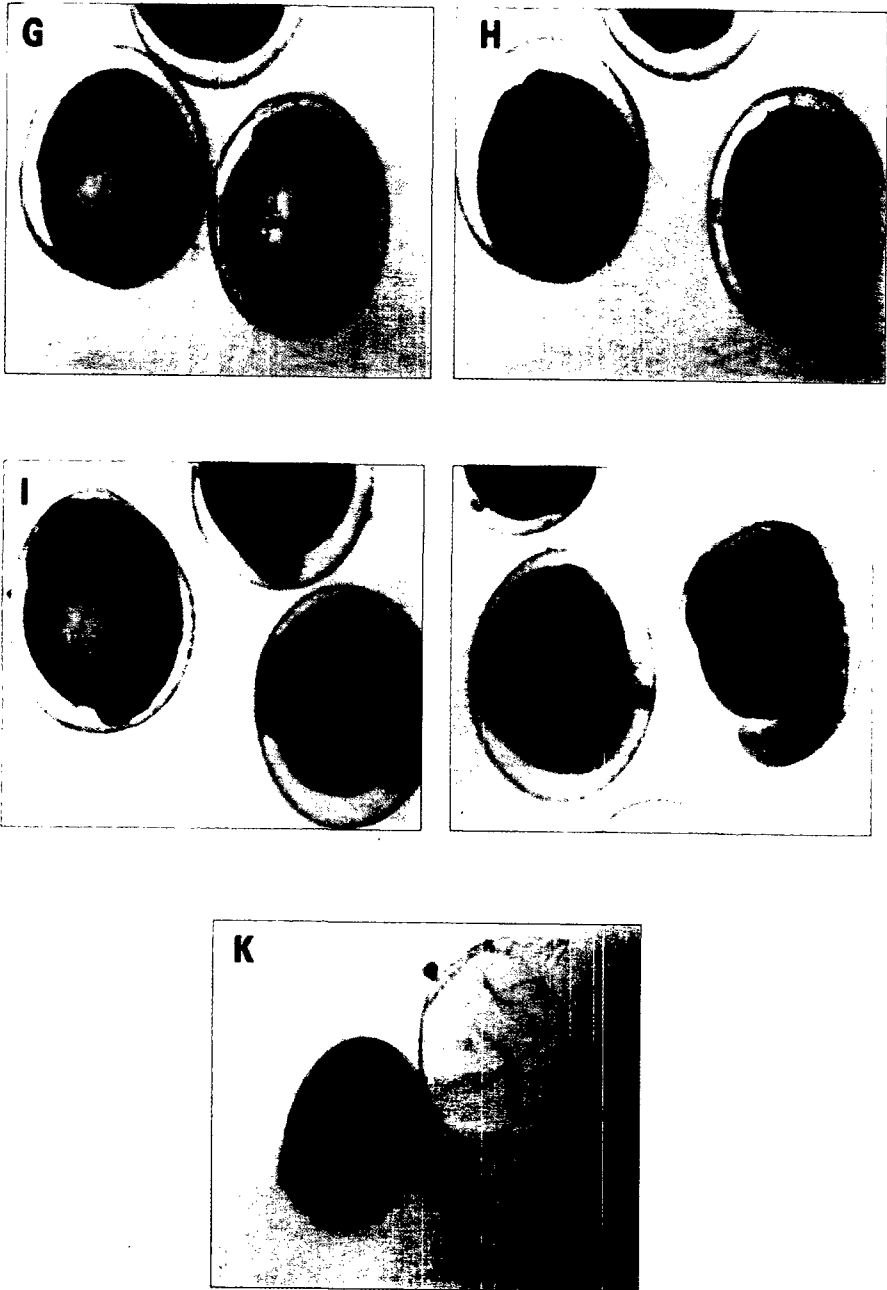


그림 4-10. 계속. 각 stage는 표 4-11과 일치함.

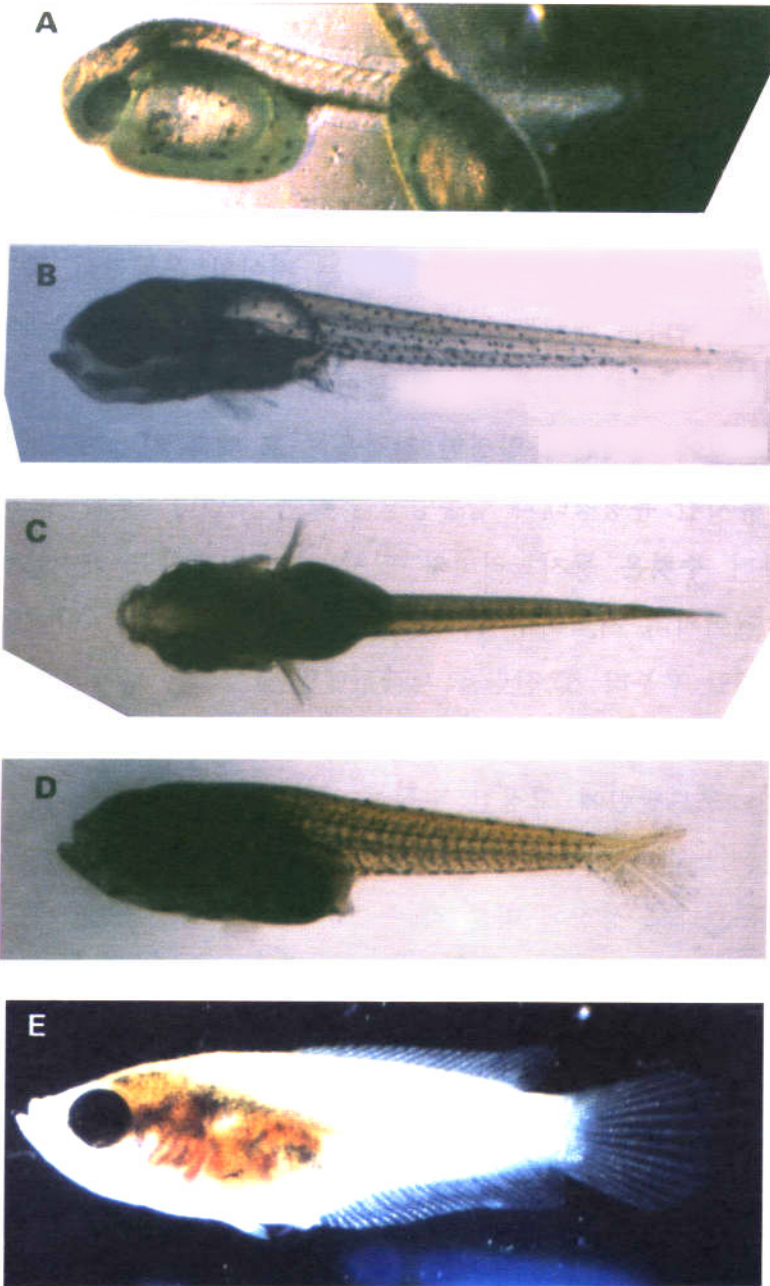


그림 4-10. 계속. 각 stage는 표 4-11과 일치함.

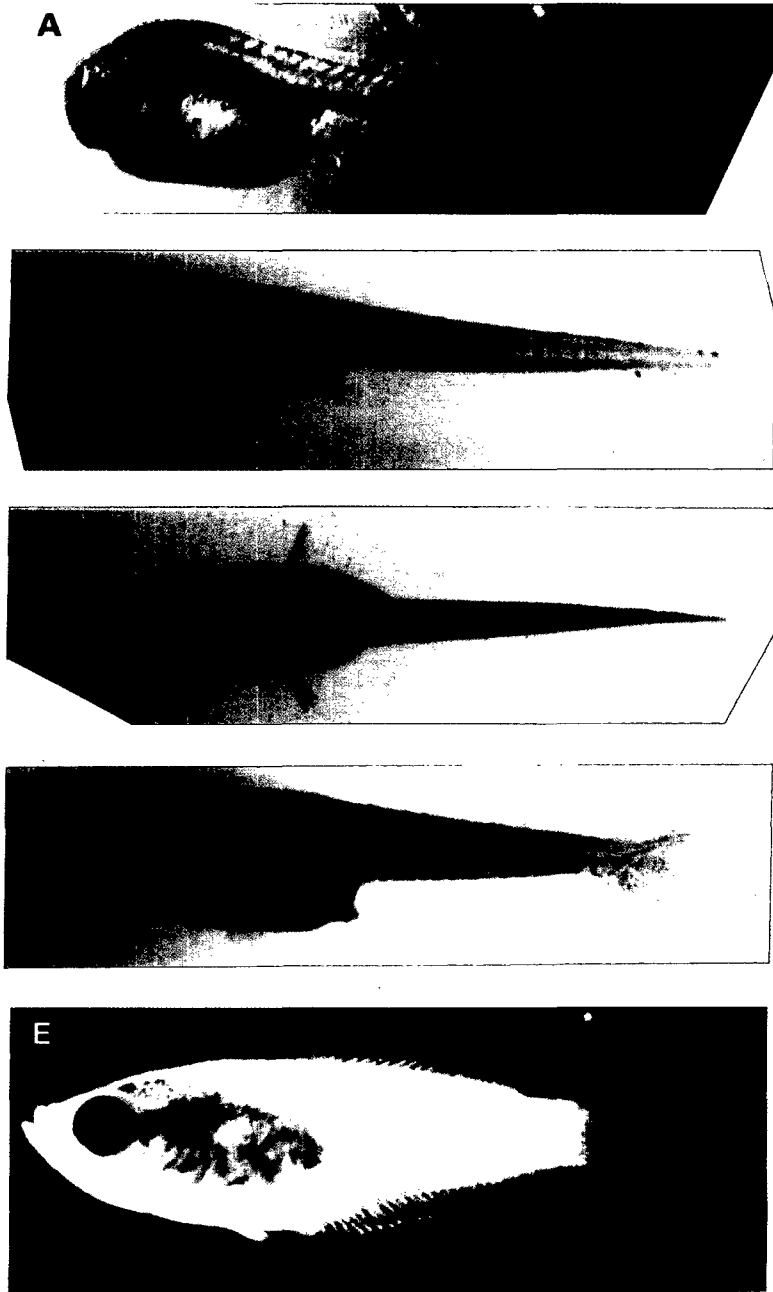


그림 4-10. 계속. 각 stage는 표 4-11과 일치함.

(5) 성장

본 종은 부화 직후 자어는 머리를 위로하고 기포소에 매달려 있으며 친어(parental fish)로부터 지속적인 보호를 받는다. 만약 어린 자어가 기포소를 벗어날 경우 친어가 물어와 기포소 밑에 뱉어놓는 보호행동을 반복하였다. 부화 후 5일째부터 먹이(brine shrimp)를 섭취하기 시작하였으며 이 때부터는 자어의 운동력이 증가하여 기포소를 벗어나는 개체들이 많아지고 친어는 통제력을 잃는 관계로 친어를 벗어나 독립생활기로 접어 들었다. 수면 가까이의 잔잔한 곳이나 수초밑에 개체간의 일정한 간격을 두고 떼를 지어 모여 있으며 어미와 유사한 유영형태와 행동양상을 보여 주었다. 부화 후 65~75일 경부터 수컷은 등지느러미와 뒷지느러미, 그리고 배지느러미의 연조가 길어지기 시작하며 이차성징이 나타나고 전장이 약 45 mm에 이르는 90일 후부터 첫 산란을 시작하였다.

부화 직후의 자어기부터 최초 산란에 이르는 성어기까지 주기적으로 10% 포르말린에 고정된 버들붕어의 전장, 체장, 두장, 문장, 안경, 뒷지느러미 기점거리, 등지느러미 기점거리, 체고를 측정하였다. 이를 토대로 성장에 따른 각 부위별 비례 성장 관계를 알아보기 위하여 체장에 대하여 두장, 뒷지느러미 기점거리, 등지느러미 기점거리, 체고의 비와 두장에 대하여 문장, 안경의 상대 성장비를 구하였다.

부화 직후부터 부화 후 110일까지의 기간 동안 전장과 체장은 시간에 비례하는 관계로 성장하였고, 그 식은 각각 $y=0.4377x + 1.7516$, $y=0.3292x + 2.2092$ 로 나타났으며 체장보다는 전장의 성장이 빠르게 나타났다.(그림 4-11).

체장에 대한 두장, 뒷지느러미 기점거리, 등지느러미 기점거리,

체고의 성장은 각각 $y=0.3232x + 0.0742$, $y=0.4467x + 0.4268$, $y=0.409x + 0.467$, $y=0.356x - 0.431$ 로 체장에 대한 성장율에서 비례관계를 보였다. 체장에 대한 성장비가 가장 큰 것은 뒷지느러미 기점거리이고 다음이 등지느러미 기점거리였다. 그에 비해 두장의 상대 성장율이 가장 낮았다(그림 4-12).

두장에 대한 문장과 안경의 성장식은 각각 $y=0.297x - 0.0643$, $y= 0.2727x + 0.1747$ 이었다. 두장이 성장함에 따라 문장과 안경도 성장하는 비례관계를 보였으며 안경보다는 문장의 상대 성장율이 높게 나타났다(그림 4-13).

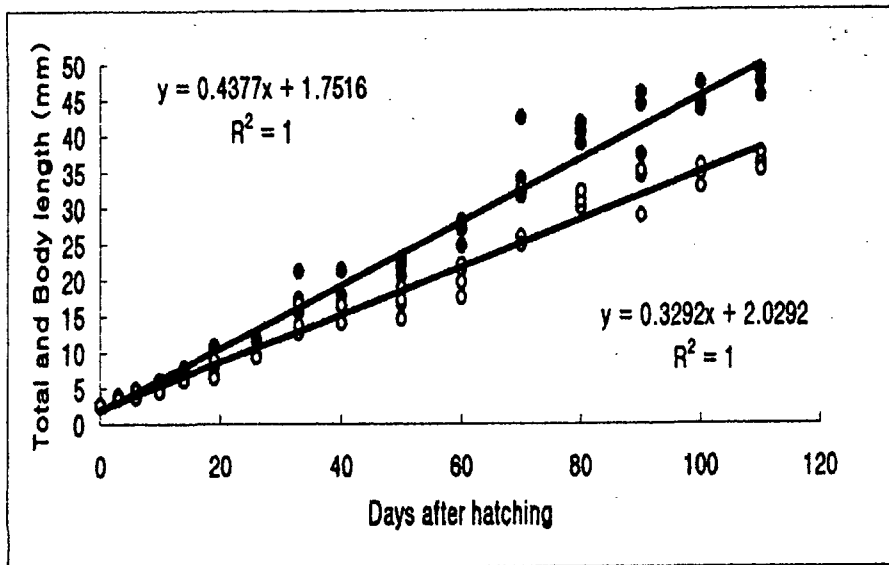


그림 4-11. 버들붕어의 부화 자어부터 성어기까지 전장과 체장의 성장. 전장 : ○, 체장 : ●

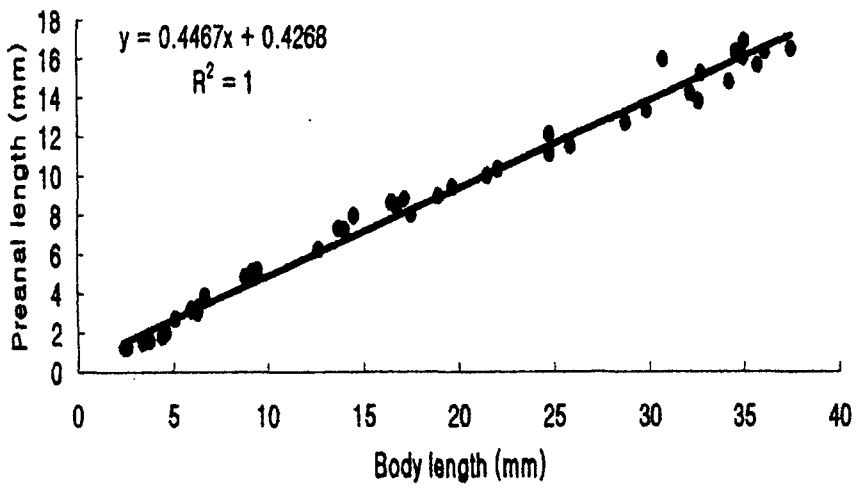
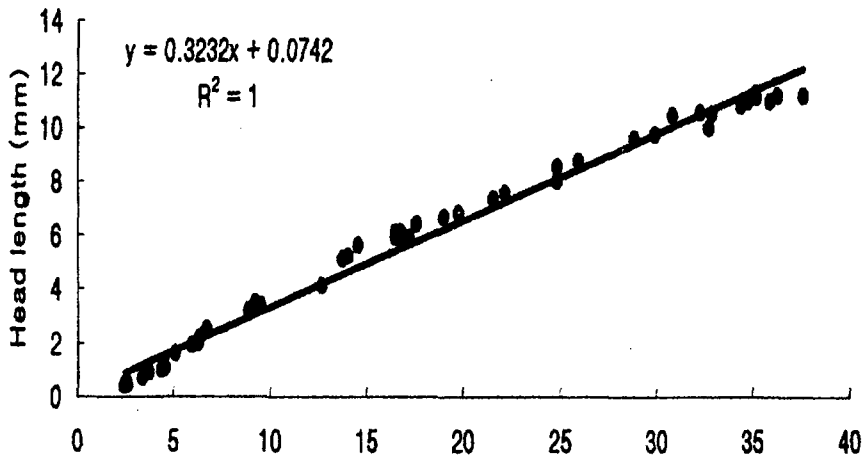


그림 4-12. 버들붕어의 부화 자어부터 성어기까지 전장에 대한
두장, 뒷지느러미 기점거리, 등지느러미기점거리,
체고의 변화.

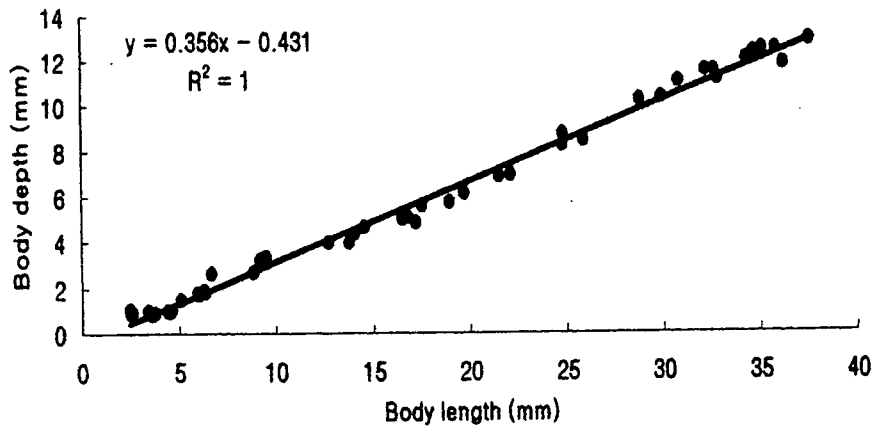
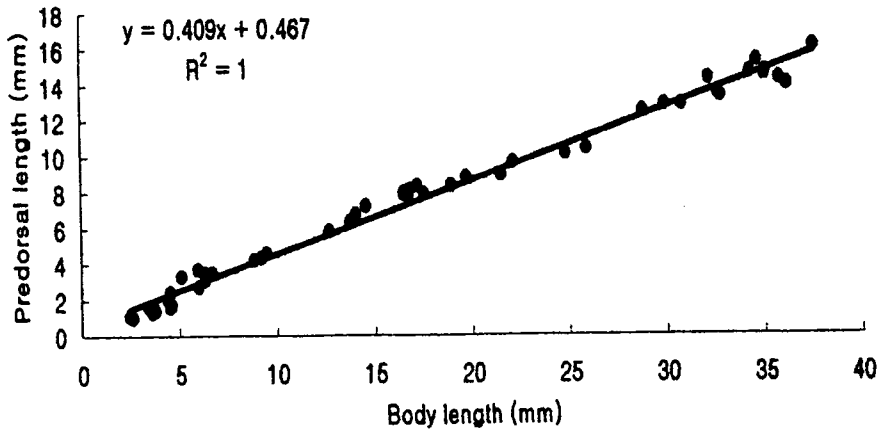


그림 4-12. 계속

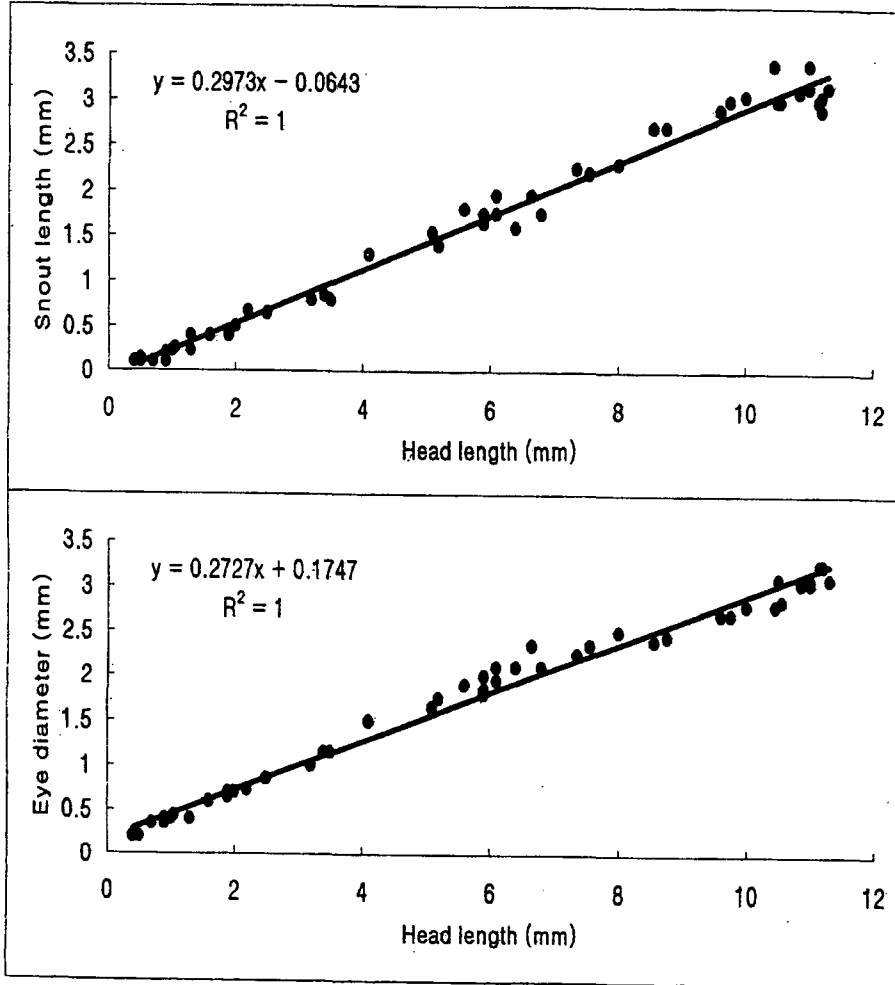


그림 4-13. 버들붕어의 두장에 대한 문장과 안경의 변화.

나) 사육방법

(1) 수조

수조의 크기는 30~50L면 적당하다. 수조 바닥에는 모래를 깔고 공기펌프를 이용하여 저면 여과장치를 설치한다. 본 종은 산란하기 위해 수표면에 기포소를 만들므로 기포소가 수표면을 떠다니지 않도록 의지할 물체를 집어넣어 주거나 잎이 수표면까지 이르는 수초를 심어준다. 또한 공기펌프의 기포 발생이 너무 강하면 기포소가 손상을 입을 염려가 있으므로 기포 공급을 약하게하여 수표면이 심하게 흔들리지 않게 한다. 본 종은 상새기관을 가지고 있으므로 공기 호흡이 가능하여 산소 부족에 대한 내성이 강하다. 또한 물의 유동이 없는 지역을 선호 한다. 사육 중 드물게 수조 밖으로 튀어나오는 경우가 있으므로 판유리 등을 사용하여 수조의 윗면을 덮어주는 것이 좋다.

(2) 수온과 광주기

본 종이 산란이 가능한 온도는 24~32℃의 범위이며 산란 주기와 산란수 등에서 가장 생산량이 많은 적정 온도 범위는 26~28℃이다. 그 외의 수온에서는 26~28℃에 비하여 생산량이 다소 떨어지는 결과를 나타낸다.

적정 광주기를 밝히는 데는 많은 시간과 연구가 필요할 것으로 생각되며 일단은 자연 상태에서의 산란 성기인 6~7월의 광주기를 적용하여 15(명) : 9(암)시간으로 설정하였다.

(3) 성비

본 종은 수컷이 세력권을 정하고 기포소를 만들며 이 세력권 내에 들어오는 다른 생물에 대하여 매우 난폭한 세력권 방어행동을 한다. 일부 다처제의 산란 습성을 가지고 있으며, 동종의 수컷이 세력권내에 들어오면 세력권방어행동에 의해 상처를 입는 경우까지 발생하며, 산란 후 난과 자어를 보호할 경우에는 친어의 암컷마저 심하게 공격하므로 수조의 구석에 돌 등을 넣어 암컷이 숨을 장소를 마련해 주어야 한다. 따라서 산란을 유도하기 위해서는 하나의 수조에 반드시 암, 수 한 마리씩 1쌍만을 수용해야 한다. 한 마리의 수컷과 여러마리의 암컷을 함께 수용하면 난의 확보는 쉬울지 모르나 산란행동시 다른 암컷에 의해 방해 받는 경우가 흔히 일어나므로 수조내에서는 오히려 역 효과를 가져 온다. 또한 본 종은 일부다처제의 습성을 가지고 있으므로 자연 발생시의 성비가 4 : 1 정도로 암컷에 비해 수컷의 수가 매우 적게 나타나는 특징이 있다.

(4) 난과 자어 관리

본 종의 난은 26~28℃에서 부화율이 가장 높게 나타났다. 산란 후 40~45시간 만에 부화하고 부화 후 4~5일이면 자어들이 산란소를 떠나 독립생활에 들어간다. 위에서 언급했듯이 본 종은 산란 직후부터 난과 자어를 철저히 보호하는 행동을 한다. 따라서 실험을 위해 난이 필요한 경우를 제외하고는 자어가 산란소를 떠나기 전까지 친어인 수컷에게 맡겨 놓는 것이 난의 부화율과 자어의 생존율이 높다. 친어로부터 계속적으로 난과 자어를 확보하기 위해서는 자어를 친어로부터 분리시켜 주어야 하며, 자어가 산란소를 떠나기 직전인 부화 후 3~4일경에 비이커 등을 이용해서 한꺼번에 떼내면 된

다. 일단 자어들이 산란소 밖으로 흩어져 버리면 잡아 내기가 쉽지 않고, 자어를 잡기 위해 분주해지면 어미를 불안하게 하거나, 또는 몇 마리의 자어가 수조에 남아 있을 경우에는 어미의 다음 산란에 큰 영향을 미치게 된다.

본 종의 자어들은 아주 어린 시기에도 떼를 짓지 않고 일정한 개체간의 간격을 두고 수중에 머물러 있다. 따라서 자치어의 사육 수조에는 수초를 심어 주거나 돌 등의 숨을 장소를 마련해 주는 것이 좋으며, 역시 물이 유동적인 것을 좋아하지 않으므로 공기 펌프는 약하게 가동하는 것이 좋다. 한 수조에 많은 개체를 한꺼번에 사육하게 되면 성어가 되어도 쉽게 발정하지 않으므로 큰 문제는 없으나 수컷의 수가 많지 않으므로 수컷만을 따로 분리하여 관리하는 것이 좋다.

(5) 먹이

본 종의 자어는 부화 후 4~5일경 산란소를 떠나면서부터 먹이를 섭취하기 시작하므로 부화후 4~5일부터 먹이를 공급한다. 자어의 입이 비교적 크므로 brine shrimp 등을 주어도 잘 먹는다. 매일 아침과 저녁에 2회 정도 충분한 먹이를 주도록하고 자어가 성장하여 20mm 정도에 이르면 TetraMin(Flake Food)를 점심경에 공급한다. 정상적인 성장을 하면 부화후 65~75일경부터 이차성징이 나타나기 시작한다. 성어가 산란을 하기 시작하면 영양소의 요구량이 많아지므로 먹이의 양을 늘려 주도록 한다.

(6) 산란

적정 온도(26~28℃)가 유지되고 장일 조건(15시간(명) : 9시간(암))하에서, 이차성징이 나타나 암, 수의 구별이 가능한 암, 수 한 쌍씩을, 기포소를 의지시킬 수 있는 수초가 심어져 있거나 의지물이 있는 수조에 격리시키면, 수컷이 즉시 반응하여 체색이 검어지며 암컷에게 접근하고 수일 내에 기포소를 만들기 시작한다. 만약 적정 상태(부화 부화 3~4일 후 자어 제거, 광주기, 수온, 먹이 공급, 안정도 등)에서 10일 이내에 산란 징후가 나타나지 않으면 성적으로 미성숙한 개체이거나 암수의 구별이 잘못된 경우이므로 교체해야 한다. 산란이 시작되고 모든 조건이 양호하다면, 약 7~15일 간격으로 500~1300개의 난과 자어를 얻을 수 있으며, 수컷으로부터 자어를 분리시키면 수컷은 2~4일만에 재 발정하여 기포소를 만들고 암컷에게 구애행동을 시작한다. 본 종은 비교적 적응력이 뛰어나고 건강하며 사람이 다가가도 쉽게 놀라지 않으므로 사육과 관찰이 용이한 장점이 있다.

2) 대륙송사리(*Oryzias sinensis*)

가) 생물학적 연구

(1) 생물학적 특징

대륙송사리는 종전까지 한 종으로 취급되어 오다가 최근에 대륙송사리(*Oryzias sinensis*)라 명명되어 이종으로 분리되었다. 국내에 서식하고 있는 두종의 송사리에 대한 연구는 핵형과 Isozyme 분석에 의해 동한집단과 서한집단으로 분리되었으며(Kim and Moom, 1987; Sakaizumi and Jeon, 1987; Uwa and Jeon, 1987) 두 집단간의 교잡 실험과 척추골수와 가슴지느러미의 기조 수를 조사하여 송사리와 대륙송사리로 분리하였고(김 등, 1992; 김 등, 1993) 최근에는 Masaru 등(1997)이 송사리와 대륙송사리 두 집단간의 교잡실험을 통해 두 집단이 독립적으로 진화해 왔음을 보고한 바 있다.

본 종의 제반 특징은 송사리와 매우 유사하여 구별하기 힘들 정도이지만 성어의 전장이 30~35 mm 정도로 최대형이 40 mm를 넘지 못한다. 반면 송사리는 성어의 전장이 35~40 mm 정도이고 최대형은 45mm에 이른다.

서식지는 송사리와 유사하여 수심이 얇은 호수, 늪, 웅덩이, 농수로 등에 주로 서식하므로 일반적인 생태는 유사할 것으로 생각된다. 송사리는 체표면(특히 미병부쪽)에 흑색소가 많이 나타나는 반면 대륙송사리는 매우 연하게 나타난다. 송사리와 같이 전국적으로 분포할 것으로 예상되지만 현재까지 보고된 서식지는 송사리와 대륙송사리를 함께 표기한 것으로 자세한 서식지는 알려져 있지 않다. 본 종은 일본에는 서식하고 있지 않으며 일본에서 실험 어종으로 개발되어 이용하고 있는 Medaka(송사리, *Oryzias latipes*)와는 다른

종이다.

(2) 성적이형

수컷이 암컷에 비해 조금 작고 체형이 가는 편이며 성숙한 암컷은 배가 매우 부른 편이다. 암, 수의 가장 큰 특징은 수컷 등지느러미의 5번째와 6번째 사이의 연조 간격이 크게 벌어져 있으며 뒷지느러미도 암컷에 비해 큰 편이고 연조와 연조 사이의 틈니 모양이 매우 현저하고 날카롭게 나타난다. 발정한 수컷은 복부의 가슴부위에 약하게 노란빛이 나타나고 배지느러미와 뒷지느러미가 검게 변색된다. 지느러미의 변색은 암컷에게도 나타나지만 수컷만큼 현저하지는 않다.

(3) 생식생태

(가) 자연 서식지 환경

본 종의 채집 및 연구 장소인 대전시 유성구 갑동의 하천은 하폭이 10~100 m 정도이고 유폭은 2~5 m이다. 수심은 20~60 cm이며 유속은 느린 편이며 수색은 탁하였다. 채집지의 상부에는 대형 보가 있으며 아래쪽으로는 소형 보가 설치되어 있다. 하상은 빨이고 수변에는 갈대, 갯버들 등의 수변식물과 수중에는 말, 검정말, 부레옥잠 등이 서식하고 있었다. 수온 범위는 3월에 11℃였고 이후 점차 상승하여 8월에 30.8℃로 정점에 달하였고 다시 점차 하강하였다. 용존 산소(DO)는 4.8~11.4 mg/L였고 수소이온농도(pH)는 7.00~9.35의 범위로 나타났다.

본 종은 하천 가장자리의 유속이 완만한 장소에 떼를 지어 서식한다. 본 지역에서 함께 서식하고 있는 어류는 피라미, 붕어, 참붕

어, 메기, 동자개 등으로 주로 3급수에 서식하는 어종들이었다. 본 종 암컷의 생식소성숙도 변화는 3월에 5.0%, 4월에 10.0%, 5월에 12.6% 그리고 6월에 14.8%에 이르고 이후 점차 하강하여 7월에는 9.7%, 8월 2.9%, 그 이후에는 2.0% 이내로 유지되었다. 생식소의 이와 같은 변화로 볼 때 본 종의 산란기는 수온이 25℃에 이르는 5월부터 수온 28℃인 7월 사이로 추측되어진다.

(나) 수온에 따른 산란주기와 산란수

수온에 따른 산란주기와 산란 수를 조사하기 위하여 장일조건 (15(명) : 9(암)) 하에서 18, 22, 24, 26, 28, 30, 32℃의 7개 그룹을 대상으로 50일간 3(암) : 2(수)의 성비로 실험한 결과는 표 4-15와 같다.

본 종은 수온 18℃의 조건하에서는 전혀 산란이 일어나지 않았다. 그러나 22~32℃ 사이의 수온에서는 산란을 관찰할 수 있었다. 30℃와 32℃에서는 총 산란수가 365개와 319개로 적었으며 22℃는 480개였다. 반면 24℃와 26℃는 865개와 884개로 로 많은 난 생산을 보였다. 28℃에서는 713개로 감소하는 추세를 나타내었다. 본 결과로 볼 때 산란횟수는 26, 24, 28℃의 순이었으며 1회 평균 산란수는 24, 26, 28℃의 순서로 나타났고 1개체 당 평균 산란수는 26, 24, 28℃의 순이었다. 일일 평균 산란수는 24℃와 26℃가 18개로 같았고 그다음이 28℃의 15회였다. 따라서 본 종의 최적 산란 수온은 26℃로 나타났으며 24~28℃ 사이의 수온이라면 난의 생산을 어느정도 유지할 수 있을 것으로 본다. 이러한 산란 적정 수온은 자연서식지의 조사에서 주된 산란기로 나타난 5월~7월의 수온인 25~28℃와 매우 유의성이 깊게 나타났다.

표 4-15. 수온에 따른 대륙송사리의 난생산

수온 (℃)	산란 횟수	1회 평균 산란수	1개체 당 평균 산란수	일일 평균 산란수	총 산란수
18	0	0	0	0	0
22	20	24	160	10	480
24	32	27	288	18	865
26	36	25	294	18	884
28	30	24	237	15	713
30	15	24	121	7	365
32	18	18	106	6	319

본 종의 적정 산란 수온으로 나타난 26℃에서 본 종의 생활사 동안 난 생산의 추이를 조사해 본 결과 본 종은 부화 후 약 70일부터 산란하기 시작하였으며 최초 산란일부터 30일간은 산란 주기가 1.1일, 31~60일 사이에는 1.3일, 61~90일 사이에는 2.1일이었으며 91~120일 사이에는 2.8일로 산란주기가 감소하였다. 최초 산란일로부터 약 120일간 산란하였으며 이 기간 동안의 총 생산 난수는 2,369개였다. 이를 송사리와 비교해보면 최초 산란일은 대륙송사리가 송사리보다 약 15일 가량 빨랐으며 총 산란수도 약 500개 많았다. 그러나 산란 주기와 산란 기간은 두 종 모두 유사한 패턴을 나타내었다.

표 4-16. 대륙송사리와 송사리의 부화일로부터 최초 산란일, 최후 산란일, 산란기간 및 총 산란수

어 종	사육수온	최초 산란일	최후 산란일	산란기간	총 산란 수
대륙송사리	26℃	70일	190일	120일	2,369
송사리	28℃	84일	199일	115일	1,825

(다) 수온에 따른 부화율

수온이 부화율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수온 24, 26, 28, 30, 32℃에서 50개의 난을 사용하여 2차례의 부화율을 실험하였다. 실험 결과 모든 수온에서 80% 이상의 부화율을 나타내 수온에 따른 부화율의 차이는 크지 않았으며 수온에 따른 부화일수는 24℃가 14일, 26℃는 10일, 28℃는 9일, 30℃는 8일 그리고 32℃에서는 7일로 점차 부화 시간이 단축되는 결과를 나타내었다.

표 4-17. 대륙송사리의 수온에 따른 부화 시간과 부화율

수온(℃)	부화 시간	부화율
24	14일	80% 이상
26	10일	80% 이상
28	9일	80% 이상
30	8일	80% 이상
32	7일	80% 이상

(라) 산란행동

본 종은 수온과 광주기가 적정 조건에 이르면 계속적으로 산란을 하기 시작하였으며 발정한 암, 수는 배지느러미와 뒷지느러미가 검은 색으로 변색된다. 산란 시간은 이른 아침으로 실험실의 광주기 하에서는 광이 들어오면서부터 약 2시간 이내에 산란하였다. 본 종의 생식행동은 산란 전단계, 산란 단계, 산란 후 단계로 나누어 볼 수 있었다(그림 4-14).

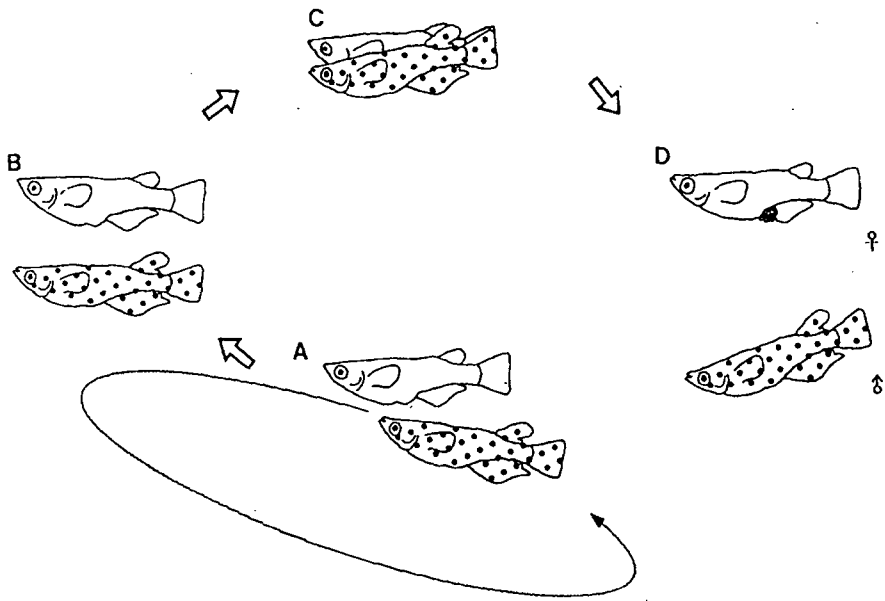


그림 4-14. 대륙송사리의 산란행동.

A, B: courtship by male, C, D: embrace and spawning

산란 전단계에는 수컷이 암컷의 하복부에 위치하고 암컷의 하복부를 수컷의 두부, 등, 복부 등으로 접촉을 시도하며 타원을 그리고 회전하면서 암컷의 하복부에 다시 위치하는 행동을 수차례 반복한다(그림 4-14-A). 이때 수컷은 미병부와 지느러미의 색채가 진해지며 가슴부위가 담황색으로 변한다. 본 행동의 초기에는 암컷이 도망가는 행동을 보이지만 5~10분가량 수컷의 구애행동이 계속되면 암컷은 수컷의 행동을 받아들인다(그림 4-14-B).

산란 단계에는 수컷이 암컷에게 밀착하여 약 30초 이내의 시간 동안 움직임을 멈춘다. 이후 순간적으로 수컷의 복부와 미병부가 암컷의 생식공과 접하게 된다. 이 시기에는 수컷의 두부와 미부가 빠르게 떨어지며 암컷은 복부를 수컷쪽으로 밀착하며 방란을 계속한다(그림 4-14-C). 이러한 행동은 약 30~60초 정도 지속되고 이후 약 1분 가량 난괴가 암컷의 생식공을 통해 외부로 배출된다. 이때 암컷은 정지된 자세로 난이 모두 생식공 밖으로 나올 때까지 기다리며 난은 포도 송이와 같이 생식공에 매달려 있게 된다(그림 4-14-D).

산란 후 단계에는 수컷은 방정이 끝나면 암컷으로부터 떨어져 더 이상 관심을 보이지 않고 암컷은 약 1~2분 가량 정지된 상태로 있거나 바닥으로 내려 앉는다. 이 시기에는 난괴가 계속적으로 생식공을 통해 나오는 단계이므로 암컷은 활동을 자제하며 난이 생식공 밖으로 모두 나온 후에 활동을 시작한다. 난괴는 암컷의 생식공에 1~2시간 정도 매달려 있으며 이후 수초 또는 필터의 수폰지 등에 부착하거나 부착물이 없을 경우에는 바닥에 떨어뜨린다. 본 종은 난 보호행동은 하지 않으며 먹이가 부족할 경우 송사리는 수초나 바닥에 떨어져 있는 난을 포식하는 경우도 있지만 본 종은 난의 직경보다 입이 작은 관계로 난을 포식할 수 없다.

한편 한 수조에 여러 개체의 수컷이 있을 경우 세력권행동이 관찰되는데 다른 수컷이 산란행동 반경(세력권) 내에 들어오면 즉시 쫓아가 다른 개체를 몰아내 버린다. 이때 침입한 수컷은 도망가 버리거나 약간의 공격 자세를 취하다가 물러난다. 산란행동 중 다른 수컷이 접근해 오면 산란행동을 중지하고 이를 물리친 후 산란행동을 계속한다.

(3) 난 발생과 자치어 발육

(가) 난 발생

성어로부터 채취된 난을 이용하여 수정란의 발생 과정에 따른 특징을 관찰한 결과는 다음과 같다(표 4-18, 그림 4-15).

- A) 성숙 미수정란: 송사리의 성숙란은 난경이 1.07 ± 0.07 mm로서 불투명한 황색을 띤 구형이다(그림 4-15-A).
- B) 수정란: 수정란은 직경이 1.10~1.25 mm(평균 1.15 mm, N=10)로서 유구가 전체적으로 덮고 있었고 부착사가 있으며 난표면은 투명한 난막으로 덮혀 있다. 수정후 약 3분경에 난각과 난막이 분리되어 위란강(perivitelline space)이 형성되었다(그림 4-15-B).
- C) 수정 후 30분, 렌즈모양의 배반(blastodisc)이 동물극쪽에 나타나고 유구(Oil droplet)가 식물극쪽으로 이동하기 시작한다(그림 4-15-C).
- D) 수정 후 1시간 05분, 2세포기가 되며 유구가 식물극으로 거의 이동했다(그림 4-15-D).
- E) 수정 후 1시간 30분, 4세포기가 된다(그림 4-15-E).
- F) 수정 후 1시간 55분, 8세포기가 된다(그림 4-15-F).
- G) 수정 후 2시간 20분, 16세포기가 된다(그림 4-15-G).
- H) 수정 후 2시간 45분, 32세포기가 된다(그림 4-15-H).

- I) 수정 후 3시간 10분, 64세포기가 된다(그림 4-15-I).
- J) 수정 후 3시간 55분, 상실배(morula)가 형성된다(그림 4-15-J).
- K) 수정 후 6시간 10분, 계속적인 난황에 의해 할구가 작아지고 배반엽이 아래쪽으로 확장하여 후기 포배기(late blastula stage)에 이른다(그림 4-15-K).
- L) 수정 후 11시간 00분, 낭배기(gastrula stage)에 도달하며 배반엽이 식물극쪽으로 확장하며 난황의 1/2을 덮는다(그림 4-15-L).
- M) 수정 후 16시간, 배반이 난황의 대부분을 덮으며 난황위에 신경습(neural fold)이 나타나고 유백색의 배체가 형성되어 나타난다(그림 4-15-M).
- N) 수정 후 21시간, 안포(Optic vesicle)가 관찰되나 이포(auditory vesicle)는 관찰되지 않고 2개의 체절이 생성되었다(그림 4-15-N).
- O) 수정 후 31시간, 안포에 렌즈가 생성되고 유구가 하나로 합쳐지며 흑색소포(melanophores)가 난황 표면에 나타나고 12개의 체절이 형성되었다(그림 4-15-O).
- P) 수정 후 33시간, 심장이 박동하기 시작하고 약 45회/min 이다. 이포가 생성되며 이석(otoliths)은 아직 관찰되지 않는다. 배체가 난황의 1/2을 둘러싸고 16개의 체절이 형성된다(그림 4-15-P).
- Q) 수정 후 43시간, 등부에 흑색소포(melanophores)가 관찰되고 가슴지느러미가 뚜렷해지고 꼬리 부분이 난황으로 부터 분리된다. 30개의 체절이 거의 완성되며 꼬리지느러미 끝의 체절은 관찰하기가 어렵다(그림 4-15-Q).
- R) 수정 후 168시간(약 7일), 꼬리지느러미끝이 가슴지느러미까지 확장하고 배체는 난막내에서 회전을 하고 지속적인 꼬리 운동으로 난각을 뚫고 꼬리부터 부화된다. 부화시간은 개체에 따라 ± 1 일의 시차가 있었다(그림 4-15-R).

표 4-18. 대륙송사리의 난발생 과정

(water temperature: $26 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$)

Time	Developmental characters
Egg development(time after fertilization, hr: min)	
O. sinensis	
0: 00	Fertilized eggs (B)
0: 30	Blastodisc (C)
1: 05	Two cells (D)
1: 35	Four cells (E)
1: 55	Eight cells (F)
2: 20	Sixteen cells (G)
2: 45	Thirty~two cells (H)
3: 10	Sixty~four cells (I)
3: 55	morula (J)
6: 10	Late blastula (K)
11: 00	Gastrula (L)
16: 00	Yolk plug & neurula(M)
21: 00	2 somites, optic vesicle appearance (N)
31: 00	12 somites, Lense formation, Appearance melanophores in yolk(O)
33: 00	16 somites, start of heart beating (P)
43: 00	30 somites, Appearance pectoral fin (Q)
168: 00	Hatching, (R)

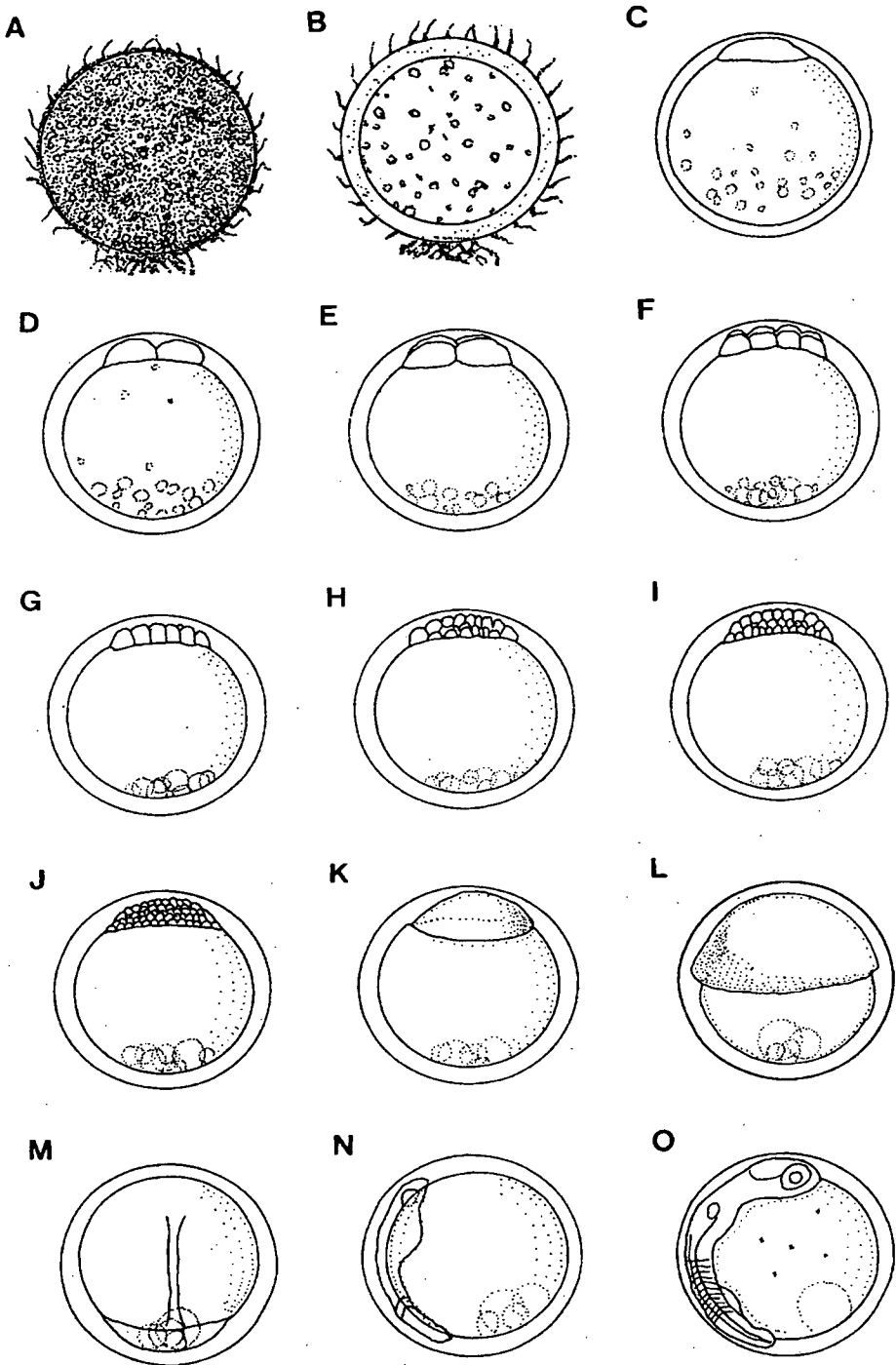


그림 4-15. 대륙송사리의 난발생 과정(각 stage는 표 4-18과 같음).

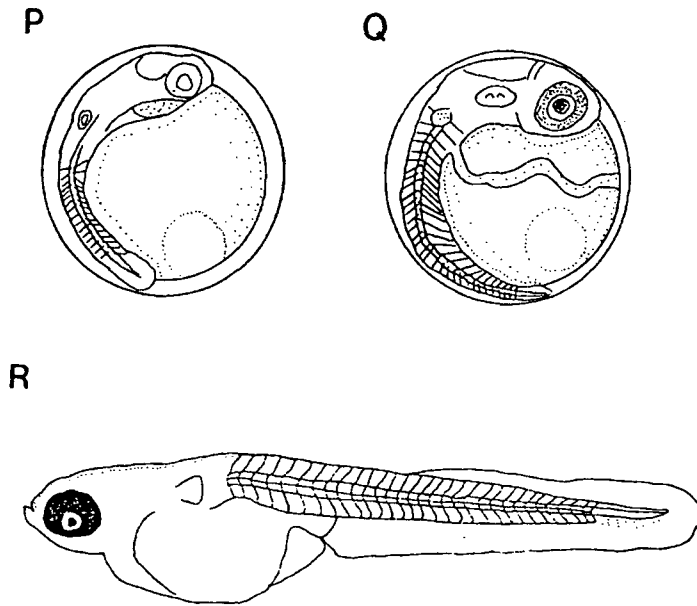


그림 4-15. 계속.

(나) 자어, 치어, 미성어 발육

A) 부화 직후, 혈액순환이 활발히 일어나고 불규칙적인 꼬리 운동을 하며 체절은 30~31개로 거의 완성되고, 두부와 등부에 흑색소포가 관찰되고 등부, 복부, 미병부에 막성지느러미가 넓게 생성되었다. 부화후 수조 바닥에 누워있고 간혹 움직인다. 전장은 3.6~3.9 mm(평균, 3.7 mm)였다(그림 4-16-A).

B) 부화후 1일, 난황위에 흑색소포(melanophores)가 나타나기 시작하고, 자유유영을 하며 흑색소포가 머리 부위에서 꼬리 부위까지 확장된다. 전장은 3.8~4.0 mm(평균, 3.9 mm)였다(그림 4-16-B).

C) 부화후 2일, 아래턱과 이석이 뚜렷해지고 비장이 담홍색으로 관찰되고 약간의 난황이 남아있다. 전장은 4.1~4.4 mm(평균, 4.2 mm)였다(그림 4-16-C).

D) 부화후 4일, 난황이 완전히 흡수되었으며 아래턱이 뚜렷해지고 뒷지느러미와 가슴지느러미 기조가 생성된다. 전장은 4.5~4.8 mm (평균, 4.6 mm)였다(그림 4-16-D).

E) 부화후 7일, 등부와 복부의 막성지느러미가 작아지고 등, 뒷지느러미의 기조가 생성되고 아가미 뚜껑이 생성된다. 뒷지느러미 기조가 8개로 증가한다. 전장은 5.8~6.4 mm(평균, 6.1 mm)였다(그림 4-16-E).

F)부화후 10일, 등부, 복부, 미병부의 막성지느러미가 거의 사라지고 등지느러미 원기, 뒷지느러미 원기가 생성되고, 꼬리지느러미 원기가 10개로 뚜렷해지고 아가미뚜껑(operculum)이 완전해진다. 전장은 7.4~7.7 mm(평균, 7.6 mm)였다(그림 4-16-F).

G)부화후 17일, 배지느러미와 비늘이 나타나기 시작하고 막성지느러미가 완전히 없어지고 등, 뒷지느러미 기조가 뚜렷해지고 황색소포가 나타나기 시작한다. 전장은 12.0~13.1 mm(평균, 12.5 mm)였다(그림 4-16-G).

H)부화후 21일, 비공이 관찰되고 복부에 흑색소포가 확장하고 복부에 내장기관이 완성되어 짙은 검은색 빛깔로 나타나고, 배지느러미가 뚜렷해진다. 전장은 13.0~15.8 mm(평균, 14.3 mm)였다(그림 4-16-H).

I)부화후 35일, 등지느러미 6, 뒷지느러미 17~19, 꼬리지느러미 17~19, 가슴지느러미 8~9개로 완성되고 비늘(Scale)이 뚜렷이 완성되며 암수의 구분이 가능해지는 2차 성장을 나타낸다. 전장은 21.5~22.9 mm(평균, 22.3 mm)였다(그림 4-16-I).

표 4-19. 대륙송사리의 자어, 치어, 미성어기의 발육

(water temperature: $26 \pm 0.5^\circ\text{C}$)

Time	Developmental characters	Total length(mm)
Prelarvae stage(day after hatching)		
Hatching	Blood circulation(A)	3.7
1 day	Free swimming(B)	3.9
2 days	Mandible begin to move(C)	4.2
Postlarvae stage(day after hatching)		
4 days	Fin ray appearance(D)	4.8
7 days	Opercula formation(E)	6.1
10 days	membranous fin disappear(F)	7.6
17 days	ventral fin appearance (G)	12.5
21 days	Melanophore expansion (H)	14.3
35 days	Secondary sexual characters appearance(I)	22.3

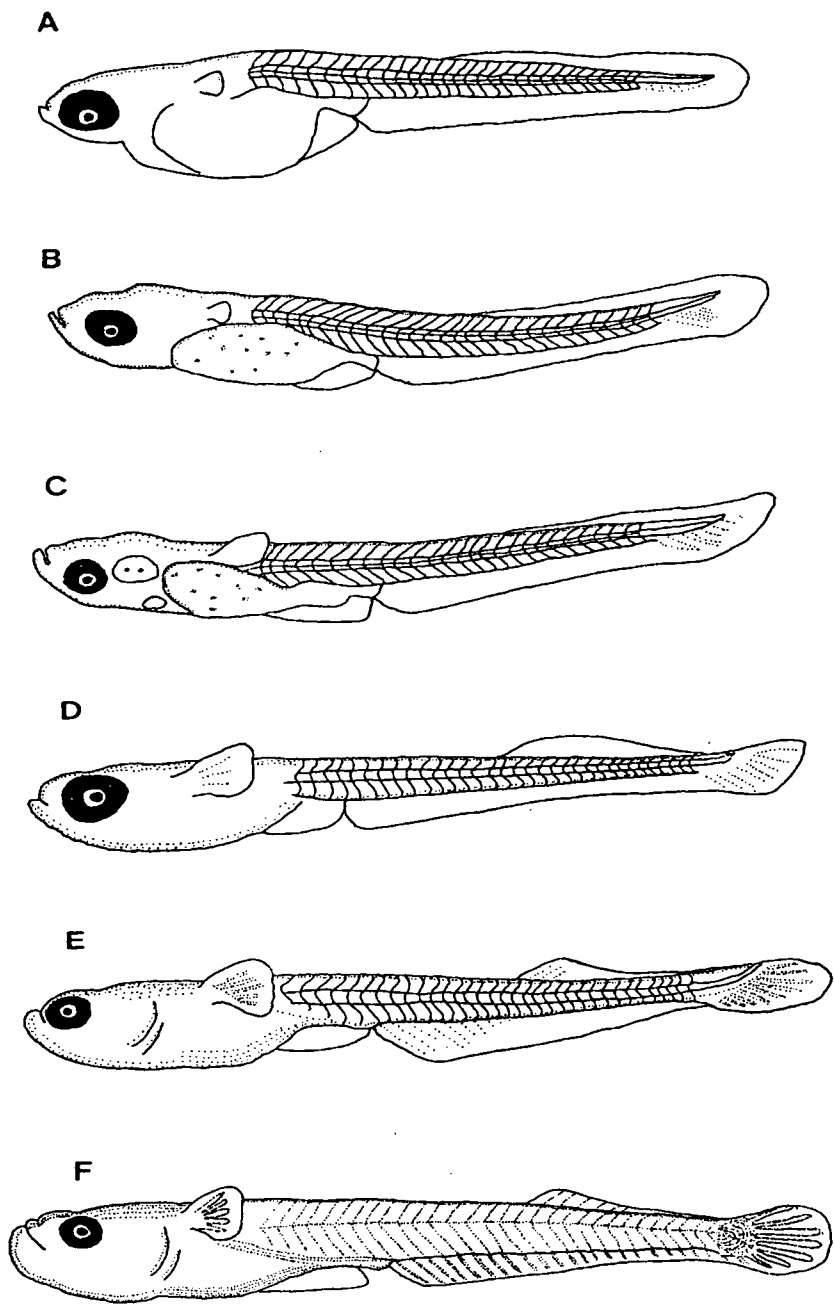


그림 4-16. 대륙송사리의 자어, 치어, 미성어기의 발육(각 단계는 표 4-19와 같음)

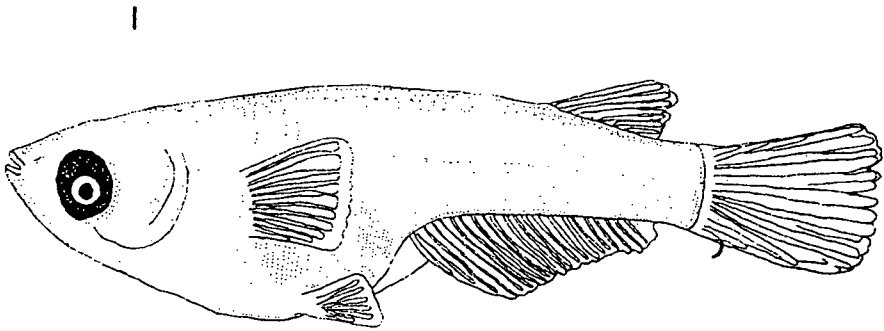
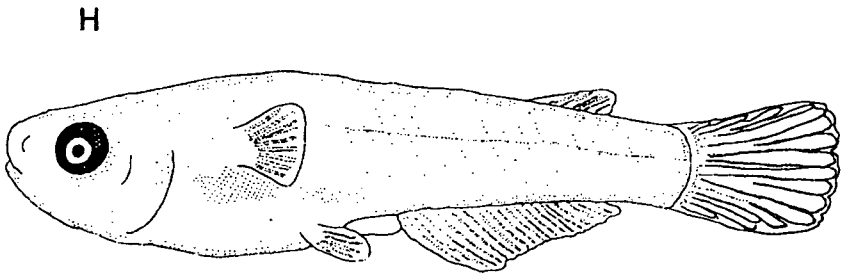
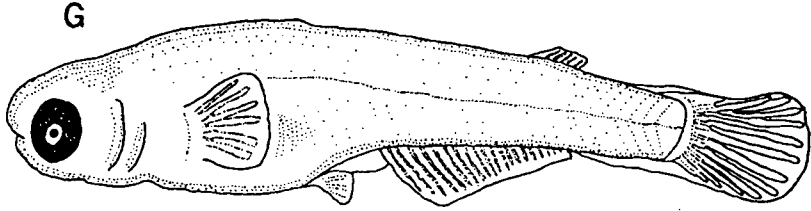


그림 4-16. 계속.

(4) 성장

부화 직후부터 성어가 되어 최초 산란기에 이르기까지 본종의 전장과 체장의 성장은 그림 4-17과 같다. 부화직후의 전장은 평균 3.7 mm였으며 10일후에는 7.6 mm까지 성장하였고 약 20일에 14 mm, 35일에는 전장이 22.3 mm에 달하였다. 최초 산란이 일어나는 약 70 일 후에는 전장이 33 mm에 이르렀고 이때의 체장은 약 26 mm였다. 어류의 성장은 어류가 성장하는 동안에 받는 스트레스의 강도와 수 온 특히 먹이의 양에 큰 영향을 받는다.

그밖에 체장에 대한 등, 뒷지느러미기점거리, 두장과 체고의 성장은 그림 4-18와 같으며 두장에 대한 문장과 미병장, 안경의 성장은 그림 4-19과 같다.

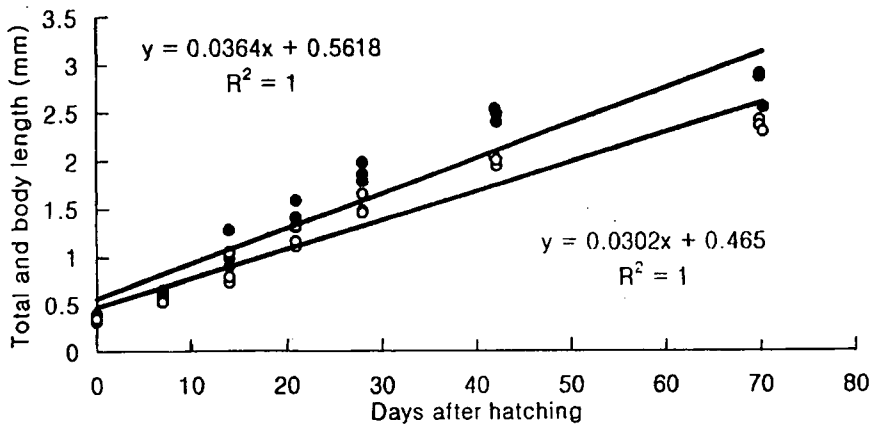


그림 4-17. 대륙송사리의 부화직 후부터 성어까지 전장과 체장의 성장. 전장: ●, 체장: ○

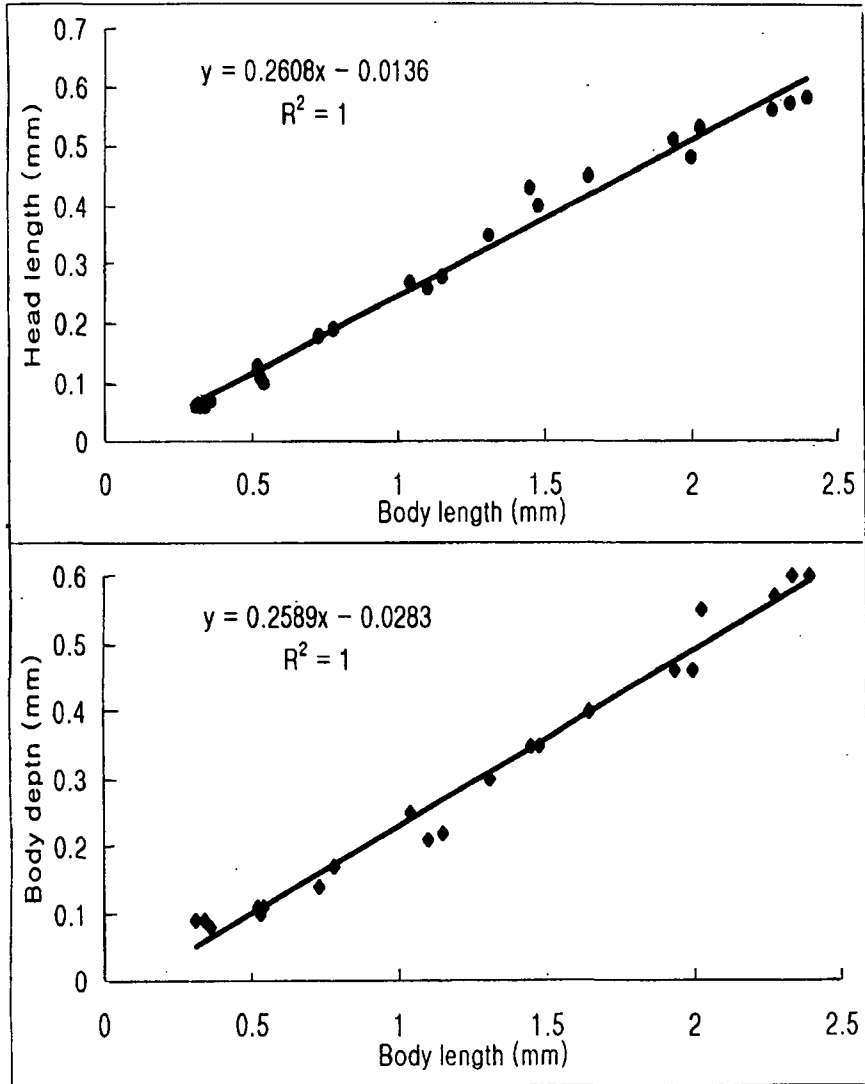


그림 4-18. 대륙송사리의 체장에 대한 각 부위별 성장.

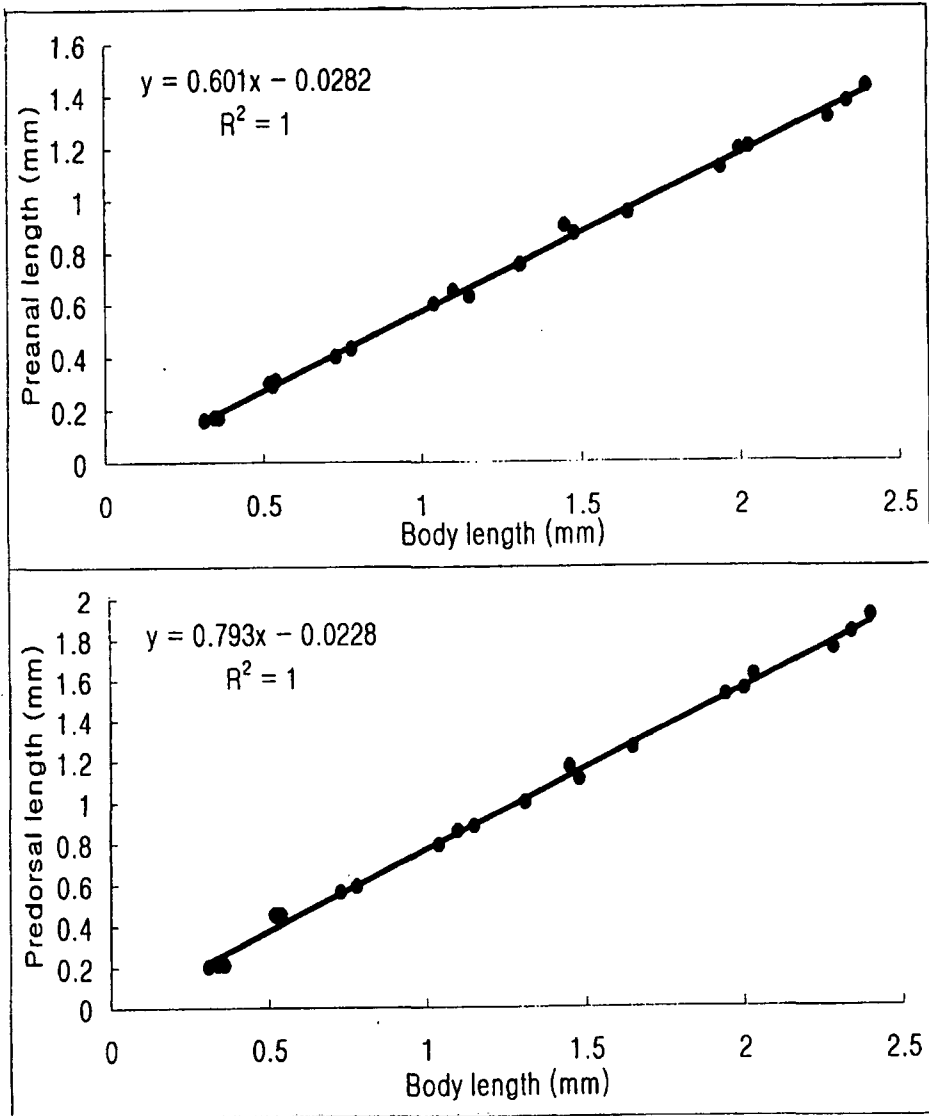


그림 4-18. 계속.

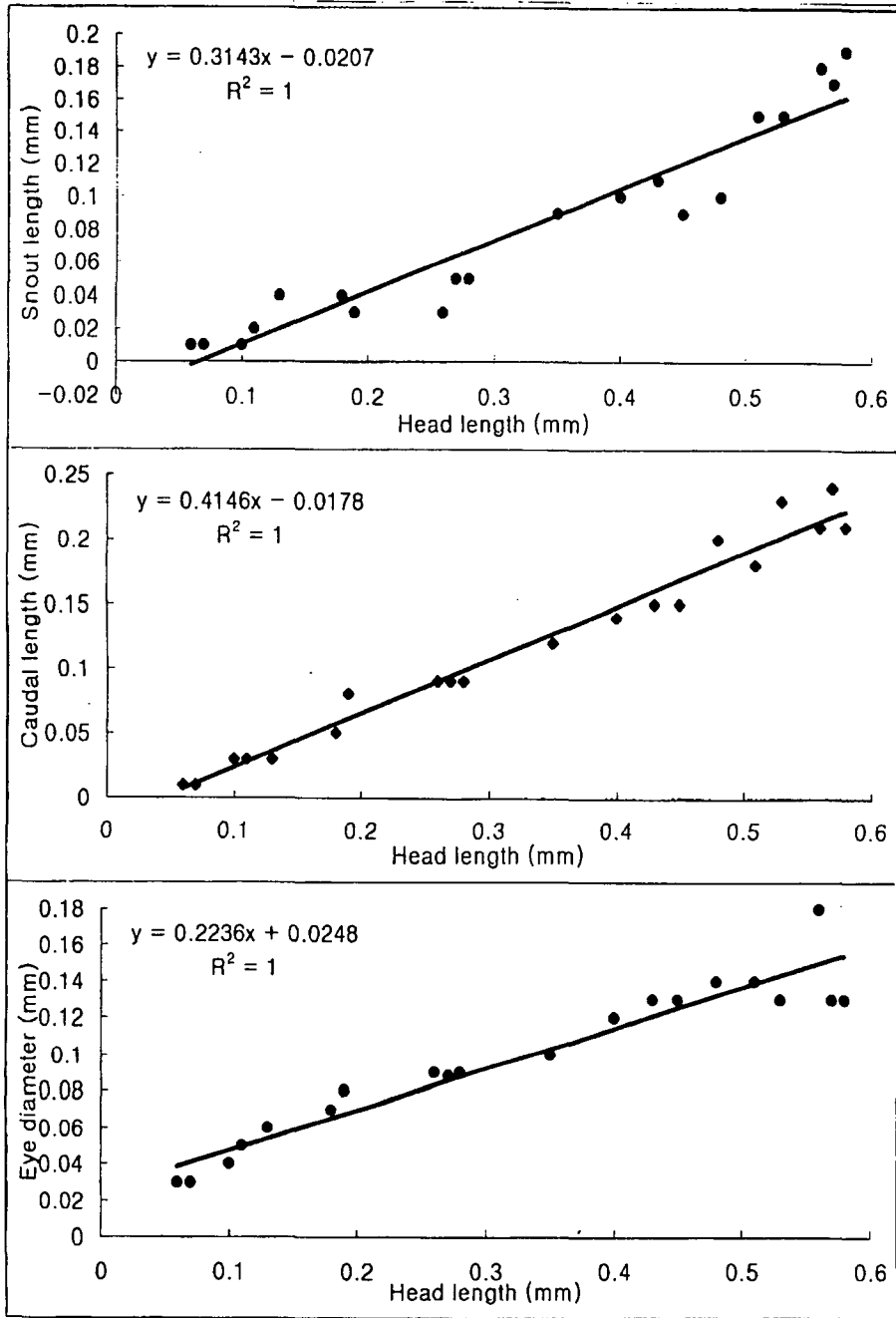


그림 4-19. 대륙송사리의 두장에 대한 각 부위별 성장.

나) 사육방법

(1) 수조

대륙송사리를 사육하기 위한 수조는 약 30~40L 정도의 장방형 유리 수조가 적당하다. 수조에 모래를 깔고 저면 여과장치를 설치하거나 또는 모래 없이 Tetra filter 등을 장착해도 무난하다. 본 종은 정수성 어류이므로 기포의 공급을 약하게 조절한다. 성어가 소형이며 수조 내에서 활발하게 헤엄치는 성질이 아니므로 수조 밖으로 튀어나올 염려는 없으므로 수조에 뚜껑 등을 덮을 필요는 없다.

(2) 수온과 광주기

실험 결과 본 종은 24~28℃의 수온이면 활발하게 산란을 하고 최적 산란 수온은 26℃로 나타났다. 그러나 24℃ 이하나 28℃ 이상의 수온에서는 약간의 생산성 감소가 있다. 광주기는 본 종의 자연 환경에서의 산란기가 5~7월 사이 이므로 이 때의 광주기를 적용하면 무난하다. 본 실험에서는 15시간(명) : 9시간(암)의 광주기를 적용하였다.

(3) 성비

수조에 사육시 본 종의 성비는 수컷:암컷의 비가 1:1에서 1:4 정도가 적당한 것으로 나타났고 성비가 1:5를 넘어서면 난 생산량의 감소를 보였다. 따라서 30~40L 수조에 약 10개체를 수용한다면 암컷의 생산량을 감안한 적정 성비는 4:6~3:7 정도가 좋을 것으로 생각된다.

(4) 난과 자치어 관리

본 종은 난을 생식공에 달고 다니다가 수조 바닥이나 다른 물체에 부착하므로 지속적으로 난과 자치어를 확보하기 위해서는 매일 오전 중 난을 생식공에 달고 다니는 암컷을 포획하여 난을 수거해야 한다. 그렇지 않을 경우 수조에 부착해 놓은 알들은 수거가 어렵고 수조 내에서 부화가 되더라도 성어들에 의해 자어가 먹힐 염려가 있다. 그러나 본 종은 송사리와는 달리 입의 크기가 난보다 작으므로 난을 먹지는 못한다. 본 종의 난은 부화 기간이 26℃에서 10일 내외로 길기 때문에 수생균의 침입을 받기 쉬어 생존율이 떨어지는 경우가 있다. 난의 부화 기간 중에는 자주 환수를 해주어야 하며 물곰팡이의 침입을 억제하기 위하여 곰팡이 억제제인 Nystatin을 소량 물에 풀어주거나 그 외에 Methylene blue 등에 난을 소독하면 좋은 효과를 얻을 수 있다. 자어와 치어는 작은 용량의 수조에도 많은 개체들을 수용할 수 있으나 연령 또는 크기별로 선별하여 사육 수조를 운영하는 것이 성장과 영양면에서도 바람직하다.

(5) 먹이

본 종은 부화 후 약 3~4일이면 난황이 완전히 소비되므로 부화 후 2~3일 경부터 먹이를 공급해 주어야 한다. 전장이 약 4.5 mm 정도로 매우 작기 때문에 brine shrimp 등과 같이 큰 먹이는 먹을 수 없으므로 이 시기에는 계란 노른자를 삶아 수시로 물에 풀어준다. 자어 시기의 영양 부족은 체형의 변형을 가져오고 기형 개체가 많이 발생하므로 충분한 먹이를 공급해 주어야 한다. 자어가 성장하여 brine shrimp를 먹을 수 있게 되면 아침 저녁으로 충분한 양을 공급한다. 성어의 먹이도 brine shrimp가 가장 무난하다.

(6) 산란

본 종은 적정 수온과 광주기만 유지되면 암컷의 최대 산란 기간인 약 120일 동안 1~3일 간격으로 약 2,000~2,500개의 난을 계속 산란한다. 난은 생식공에 달려 있는 난을 직접 수거하거나 또는 수조내의 물체에 부착한 난을 수거하면 된다. 산란을 유도하기 위해 특별한 설치물은 필요치 않으며 난의 부착을 유도하기 위해서는 수조내에 스폰지 필터를 넣어 주면 이곳에 난을 잘 부착시킨다.

3) 송사리(*Oryzias latipes*)

가) 생물학적 연구

(1) 생물학적 특징

전장은 35~40 mm이며 45 mm 이상은 넘지 않는 소형종이다. 몸은 길고 옆으로 납작하며 머리는 위아래로 납작하다. 입은 주둥이의 끝에 있고 위를 향하며 위턱이 아래턱보다 짧다. 옆줄은 없으며 등지느러미는 몸의 뒤쪽에 있고 기저가 짧으며 뒷지느러미의 기저는 매우 길다. 등쪽은 담갈색이고 배쪽은 담색이다. 등쪽의 머리에서 몸의 앞부분까지 두줄의 띠가 나타나며 채색은 변화가 심한 편이다. 수심이 얕은 호수, 늪, 웅덩이, 농수로 등에 주로 서식한다. 온도 변화, 염도, 용존산소량, 수질 오염 등에 대한 내성이 강한 편이다. 대륙송사리와 매우 유사하나 평균적으로 본 종이 약 5 mm 가량 큰 편이며 대륙송사리에 비해 체표면 특히 미병부쪽에 흑색소가 많이 나타난다. 대륙송사리와 동일 종으로 분류되어 오다가 최근에 이종으로 분리되었다. 전국적으로 분포할 것으로 예상되나 자세한 서식지는 알려져 있지 않다.

(2) 성적이형

대륙송사리와 동일(2) 대륙송사리의 성적이형 참조).

(3) 생식생태

(가) 자연 서식지 환경

송사리의 조사 및 채집지역인 경상남도 남해군 수산리의 서식지

환경은 다음과 같다. 본 조사지의 하천은 농로 사이를 흐르고 있으며 직접 바다로 유입되는 작은 하천으로서 본 종의 서식지는 하구로부터 300 m 상류에 위치하고 있어 해수에 대한 영향은 없었다. 하상은 자갈과 펄로 이루어져 있고 유속은 느린편이며 물은 비교적 맑은 편이었다. 하폭은 5~8 m, 유평은 3~5 m 정도이고 수심은 30~70 cm였다. 하천변에는 갈대와 갯버들 등의 수변식물이 서식하고 있었으며 유속이 느린 수중에는 말미 서식하고 있었다. 본 지역의 수소이온농도(pH)는 7.0~8.0 사이였으며 용존산소는 5~10 mg/L였다. 본 하천에 송사리와 동서하는 어류는 붕어, 참붕어, 미꾸라지 등이었으며 하류쪽으로는 농어, 송어, 큰가시고기, 두줄망둑, 검정망둑 등의 기수성 어류들이 출현하였다.

본 종의 치어들은 4월에는 전혀 채집이 되지 않았으며 암컷의 생식소성숙도는 4.75%였고 6월에는 다수의 치어들이 관찰되고 채집되었으며 생식소성숙도는 15%에 달하였다. 8월말에는 치어들이 전혀 관찰되지 않았고 생식소성숙도 역시 2.0%로 낮은 값을 보였다. 월별 채집이 되지 않아 명확한 판단은 어려우나 대략 5월에서 7월 사이에 산란을 하는 것으로 보인다. 한편 전장이 30 mm 이상이 되어야 암컷의 생식소성숙도가 5%를 넘어서고 난소에 난이 생성되기 시작하는 것으로 보아 생식이 가능한 최소 크기는 전장 30 mm 이상이 되어야 할 것으로 보인다.

(나) 수온에 따른 산란주기와 산란수

수온에 따른 산란주기와 산란 수를 조사하기 위하여 장일조건(15(명) : 9(암)) 하에서 18, 22, 24, 26, 28, 30, 32℃의 7개 그룹을 대상으로 50일간 3(암) : 2(수)의 성비로 실험한 결과는 표 4~

20과 같다.

18℃의 수온에서는 실험기간동안 전혀 산란이 일어나지 않았으며 22~32℃의 온도 범위에서는 모두 산란을 하였다. 그러나 수온에 따른 산란 횟수나 산란수는 매우 큰 차이를 보여주었는데 22℃부터 수온이 증가할수록 생산량도 증가하다가 수온 28℃에서 총 52회의 산란횟수, 평균 1회 산란수 35개, 1개체당 평균 산란수 602개, 일일 평균 산란수 37개, 총 산란수 1,808개를 기록하여 난의 생산성이 가장 뛰어났으며 28℃를 정점으로 다시 생산량이 감소하기 시작하였다. 22~28℃ 사이의 경우 수온이 2℃씩 증가함에 따라 총 산란수는 약 350개에서 700개의 차이를 나타냈으며 28~32℃ 사이의 경우에도 450~950개의 차이를 나타내었다. 32℃의 경우 28℃에 비하여 산란횟수는 반 이상이 감소하였고 산란수의 경우는 1/4로 급격한 감소를 나타내었다. 본 실험의 결과 본 종의 산란 적정 수온은 24~30℃ 사이로 나타났으며 난의 생산성이 가장 높은 수온은 28℃였다.

표 4-20. 송사리의 수온에 따른 산란주기와 산란수

수온(℃)	산란횟수	1회 평균 산란수	1개체당 평균 산란수	일일 평균 산란수	총 산란수
18	0	0	0	0	0
22	12	13	50	3	150
24	36	24	282	17	847
26	46	26	396	24	1,189
28	52	35	602	37	1,808
30	40	22	289	18	868
32	25	17	139	9	419

한편 산란 적정 수온인 28℃에서 본 종의 산란주기와 산란기간을

보면 부화 후 80~90일 사이에 최초 산란을 시작하였으며 최초 산란 후 처음 약 30일간은 산란 주기가 1.1일, 산란횟수 23회, 산란수 700개 였으며, 31~60일 사이는 산란주기 1.6일, 산란횟수 26회, 산란수 767개, 61~90일에는 산란주기가 3일로 길어지면서 산란횟수 12회, 산란수는 230개로 생산성이 점차 감소하였고 약 110~120일까지 간헐적으로 산란을 계속한 후 그 이후에는 산란을 하지 않았다. 따라서 본종의 산란 지속 기간 중 난의 생산성이 가장 높은 시기는 최초 산란 일로부터 약 60일 사이였으며 그 이후로는 생산성이 급격히 감소하였다. 산란 기간 중 송사리 한쌍이 생산한 난의 수는 총 1,825개였다(표 4-16).

(다) 수온에 따른 부화율

수온에 따른 난의 부화율을 조사하기 위하여 수온 24, 26, 28, 30, 32℃에서 50개의 난을 사용하여 2회의 부화율을 실험하였다(표 4-21). 본 종의 부화율은 24℃에서 28%, 26℃에서 32%, 28℃에서는 80%로 증가하였으며 30℃에서 92%로 최고의 부화율을 나타내었고 32℃에서는 부화율이 84%로 감소하였다. 수온에 따른 부화 기간은 24℃가 13일, 26℃가 9일, 28℃에서는 8일이었고 30℃ 7일로 나타났다. 부화율이 가장 높게 나타난 수온은 30℃로서 본 종의 산란 적정 수온으로 나타난 28℃보다 약 2℃가 높게 나타나 주목되었다.

표 4-21. 송사리의 수온에 따른 부화 시간과 부화율

수온(℃)	부화 시간	부화율
24	13일	28%
26	9일	32%
28	8일	80%
30	7일	92%
32		84%

(라) 산란행동

대륙송사리의 산란행동과 유사하다(2) 대륙송사리의 산란행동 참조). 본 종의 혼인색은 대륙송사리와는 달리 수컷의 가슴부위가 담황색으로 변색되고 이곳에 2~3개의 흑색 세로줄이 나타난다. 또한 본 종은 난의 직경보다 입이 큰 관계로 먹이가 부족하게 되면 수초나 바닥에 부착되어 있는 난들을 포식하는 경우가 흔히 있다.

(4) 난 발생과 자치어 발육

(가) 난 발생(egg development)

성어로부터 채취된 난을 이용하여 수정란의 발생 과정에 따른 변화를 관찰한 결과는 다음과 같다(표 4-22, 그림은 대륙송사리의 그림 4-15와 동일).

- A) 성숙 미수정란: 송사리의 성숙란은 난경이 1.25 ± 0.05 mm 로서 불투명한 황색을 띤 구형이다(그림 4-15-A).
- B) 수정란: 수정란은 직경이 1.25~1.35 mm(평균 1.28 mm, N=11) 로서 유구가 전체적으로 덮고 있었고 부착사가 있으며 난표면은 투명한 난막으로 덮혀 있다. 수정후 약 3분경에 난각과 난막이 분리되어 위란강(perivitelline space)이 형성되었다(그림 4-15-B).
- C) 수정 후 30분, 배반(blastodisc)이 동물극쪽에 나타나고 유구(Oil droplet)가 식물극쪽으로 이동하기 시작한다(그림 4-15-C).
- D) 수정 후 1시간 05분, 2세포기가 되며 유구가 식물극으로 거의 이동했다(그림 4-15-D).
- E) 수정 후 1시간 45분, 4세포기가 된다(그림 4-15-E).
- F) 수정 후 2시간 20분, 8세포기가 된다(그림 4-15-F).
- G) 수정 후 2시간 55분, 16세포기가 된다(그림 4-15-G).

- H) 수정 후 3시간 30분, 32세포기가 된다(그림 4-15-H).
- I) 수정 후 4시간 05분, 64세포기가 된다(그림 4-15-I).
- J) 수정 후 5시간 00분, 상실배(morula)가 형성된다 (그림 4-15-J).
- K) 수정 후 8시간 20분, 계속적인 난황에 의해 할구가 작아지고 배반엽이 아래쪽으로 확장하여 후기 포배기(late blastula stage)에 이른다(그림 4-15-K).
- L) 수정 후 17시간 00분, 낭배기(gastrula stage)에 도달하며 배반엽이 식물극쪽으로 확장되며 난황의 1/2을 덮는다(그림 4-15-L).
- M) 수정 후 25시간, 배반이 난황의 대부분을 덮으며 난황위에 신경습(neural fold)이 나타나고 유백색의 배체가 형성되어 나타난다(그림 4-15-M).
- N) 수정 후 27시간, 안포(Optic vesicle)가 관찰되나 이포(auditory vesicle)는 관찰되지 않고 2개의 체절이 생성되었다(그림 4-15-N).
- O) 수정 후 41시간, 안포에 렌즈가 생성되고 유구가 하나로 합쳐지며 흑색소포(melanophores)가 난황에 나타나고 12개의 체절이 형성되었다(그림 4-15-O).
- P) 수정 후 44시간, 심장이 박동하기 시작하고 약 45회/min 이다. 이포가 생성되며 이석(otoliths)은 아직 관찰되지 않는다. 배체가 난황의 1/2을 둘러싸고 16개의 체절이 형성된다(그림 4-15-P).
- Q) 수정 후 64시간, 등부에 흑색소포(melanophores)가 관찰되고 가슴지느러미가 나타나고 꼬리 부분이 난황으로 부터 분리된다 30개의 체절이 관찰되고 거의 완성되며 꼬리지느러미 끝의 체절은

관찰하기가 어렵다. 이때의 심장박동은 약 75회/min 이다(그림 4-15-Q).

R) 수정 후 216시간(약 9일), 꼬리지느러미 끝이 가슴지느러미까지 확장하고 배체는 난막내에서 회전을 하고 계속적인 꼬리 운동으로 난각을 뚫고 꼬리부터 부화된다. 부화시간은 개체에 따라 ± 1일의 시차가 있었다(그림 4-15-R).

표 4-22. 송사리의 난발생 과정 (water temperature: 26±0.5℃)

Time	Developmental characters
Egg development(time after fertilization, hr: min)	
0: 00	Fertilized eggs (B)
0: 30	Blastodisc (C)
1: 05	Two cells (D)
1: 45	Four cells (E)
2: 20	Eight cells (F)
2: 55	Sixteen cells (G)
3: 30	Thirty-two cells (H)
4: 05	Sixty-four cells (I)
5: 00	morula (J)
8: 20	Late blastula (K)
17: 00	Gastrula (L)
21: 00	Yolk plug & neurula(M)
27: 00	2 somites, optic vesicle appearance (N)
41: 00	12 somites, Lense formation, Appearance melanophores in yolk(O)
44: 00	16 somites, start of heart beating (P)
64: 00	30 somites, Appearance pectoral fin (Q)
216: 00	Hatching, (R)

각 stage는 그림 4-15의 대륙송사리의 난발생과 동일

(나) 자어, 치어, 미성어 발육

송사리의 부화 후 자어, 치어, 미성어기의 발달 특징은 다음과 같다(표 4-23, 그림은 대륙송사리의 그림 4-16과 동일)

A) 부화 직후, 혈액순환이 활발히 일어나고 불규칙적인 꼬리 운동을 하며 체절은 31~33개로 거의 완성되고, 두부와 등부에 흑색 소포가 관찰되고 등부, 복부, 미병부에 막성지느러미가 넓게 생성되었다. 부화후 수조의 바닥에 있으며 간혹 움직인다. 전장은 3.9~4.2 mm(평균, 4.0 mm)였다(그림 4-16-A).

B) 부화후 1일, 난황위에 흑색소포(melanophores)가 나타나기 시작하고, 자유유영을 하며 흑색소포가 머리 부위에서 꼬리 부위까지 확장된다. 전장은 4.1~4.3 mm(평균, 4.2 mm)였다(그림 4-16-B).

C) 부화후 2일, 아래턱과 이석이 뚜렷해지고 비장이 담홍색으로 관찰되고 약간의 난황이 남아있다. 전장은 4.3~4.5 mm(평균, 4.4 mm)였다(그림 4-16-C).

D) 부화후 3일, 난황이 완전히 흡수되었으며 아래턱이 뚜렷해지고 뒷지느러미와 가슴지느러미 기조가 생성된다. 전장은 4.3~4.7 mm(평균, 4.5 mm)였다(그림 4-16-D).

E) 부화후 5일, 등부와 복부의 막성지느러미가 작아지고 등, 뒷지느러미의 기조가 생성되고 아가미 뚜껑이 생성된다. 뒷지느러미 기조가 13개로 증가한다. 전장은 5.3~5.7 mm(평균, 5.5 mm)였다(그림 4-16-E).

F) 부화후 7일, 등부, 복부, 미병부의 막성지느러미가 거의 사라지고 등지느러미 기조 5개, 뒷지느러미 기조 16개, 꼬리지느러미 기조가 8개로 뚜렷해지고 아가미뚜껑(operculum)이 완전해진다. 전장은 6.0~6.9 mm(평균, 6.6 mm)였다(그림 4-16-F).

G)부화후 14일, 배지느러와 비늘(Scale)이 나타나기 시작하고 막성지느러미가 완전히 없어지고 등, 뒷지느러미 기초가 뚜렷해지고 황색소포가 나타나기 시작한다. 전장은 9.5~10.0 mm(평균, 9.8 mm)였다(그림 4-16-G).

H)부화후 28일, 외비공이 관찰되고 복부에 흑색소포가 확장되고 복부에 내장기관이 완성되어 짙은 검은색 빛깔로 나타나고, 배지느러미가 뚜렷해진다. 전장은 14.3~21.2 mm(평균, 17.7 mm)였다(그림 4-16-H).

I)부화후 42일, 등지느러미 6~7, 뒷지느러미 19~21, 꼬리지느러미 21~22, 가슴지느러미 9~10개로 완성되고 비늘이 뚜렷히 완성되며 암수의 구분이 가능해지는 2차 성장을 나타낸다. 전장은 24.1~25.0 mm(평균, 24.5 mm)였다(그림 4-16-I).

(5) 성장

송사리는 부화 직후의 전장이 약 4.0 mm였으며 부화 후 5일에는 5.5 mm까지 성장하였고 14일에 9.8 mm, 28일에는 17.7 mm로 성장하였으며 42일째에는 전장이 24.5 mm에 달하였다. 최초산란에 이르는 부화 후 약 85일에는 전장이 34 mm, 체장은 27 mm에 이르렀다(그림 4-18).

표 4-23. 송사리의 자어, 치어, 미성어기 성장 특징

(water temperature: $26 \pm 0.5^\circ\text{C}$)

Time	Developmental characters	Total length(mm)
Prelarvae stage(day after hatching)		
Hatching	Blood circulation(A)	4.0
1 day	Free swimming(B)	4.2
2 days	Mandible begin to move(C)	4.4
Postlarvae stage(day after hatching)		
3 days	Fin ray appearance(D)	4.5
5 days	Opercula formation(E)	5.5
7 days	membranous fin disappear(F)	6.6
14 days	ventral fin appearance (G)	9.8
28 days	Melanophore expansion (H)	17.7
42 days	Secondary sexual characters appearance(I)	25.5

각 stage는 그림 4-16의 대륙송사리의 발달 과정과 동일

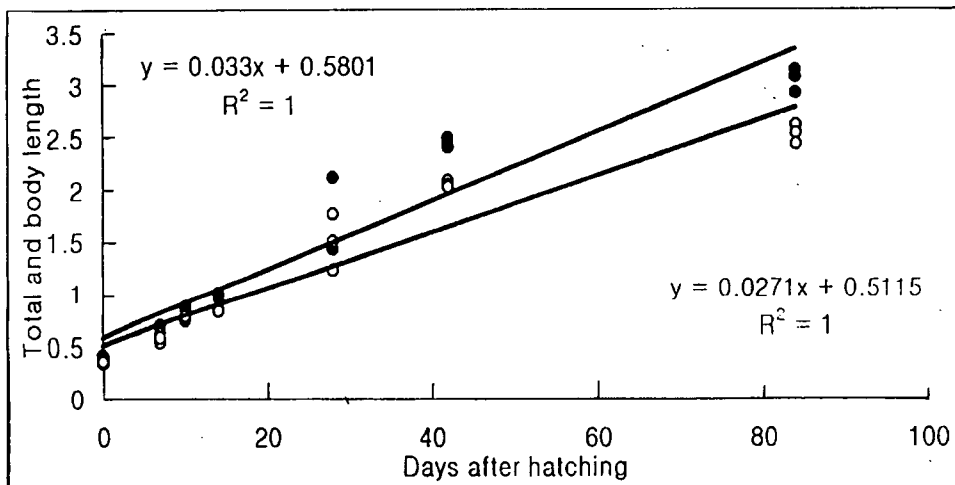


그림 4-20. 송사리의 부화직 후부터 성어까지 전장과 체장의 성장.

전장: ●, 체장: ○

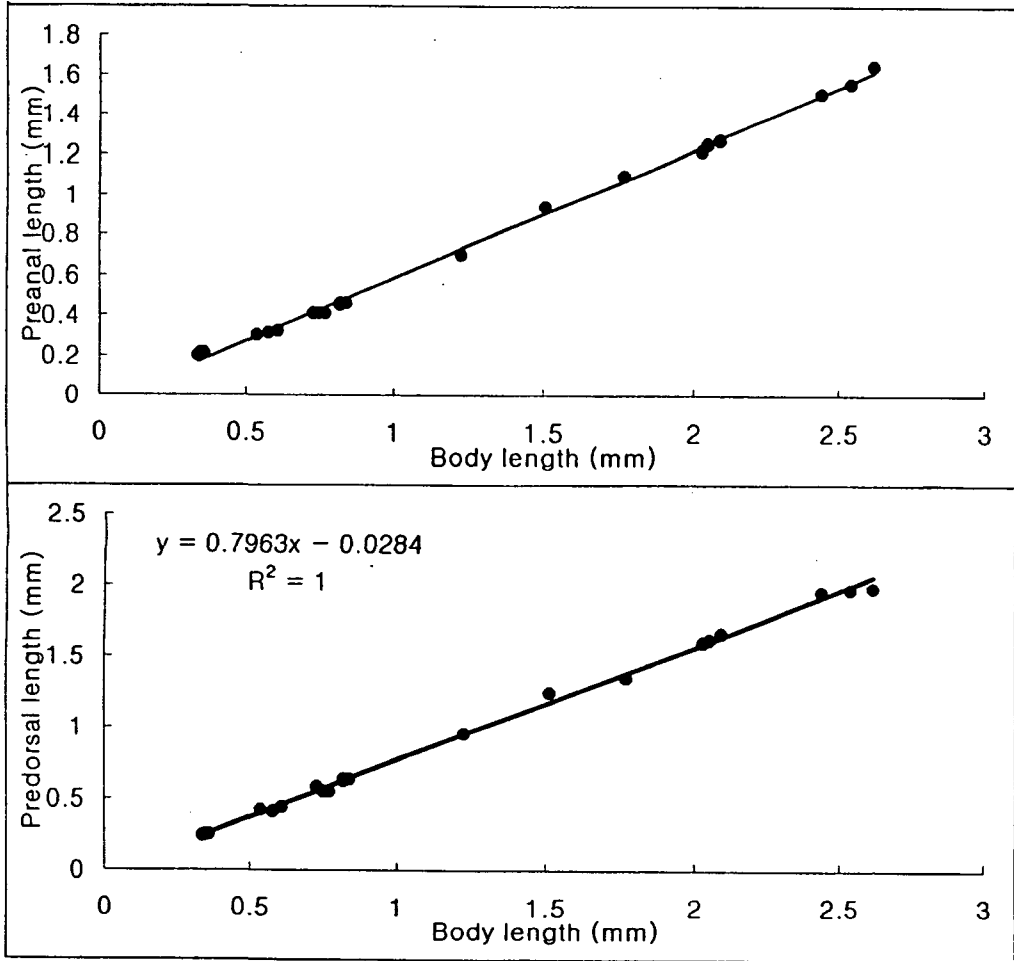


그림 4-21. 송사리의 체장에 대한 각 부위별 성장.

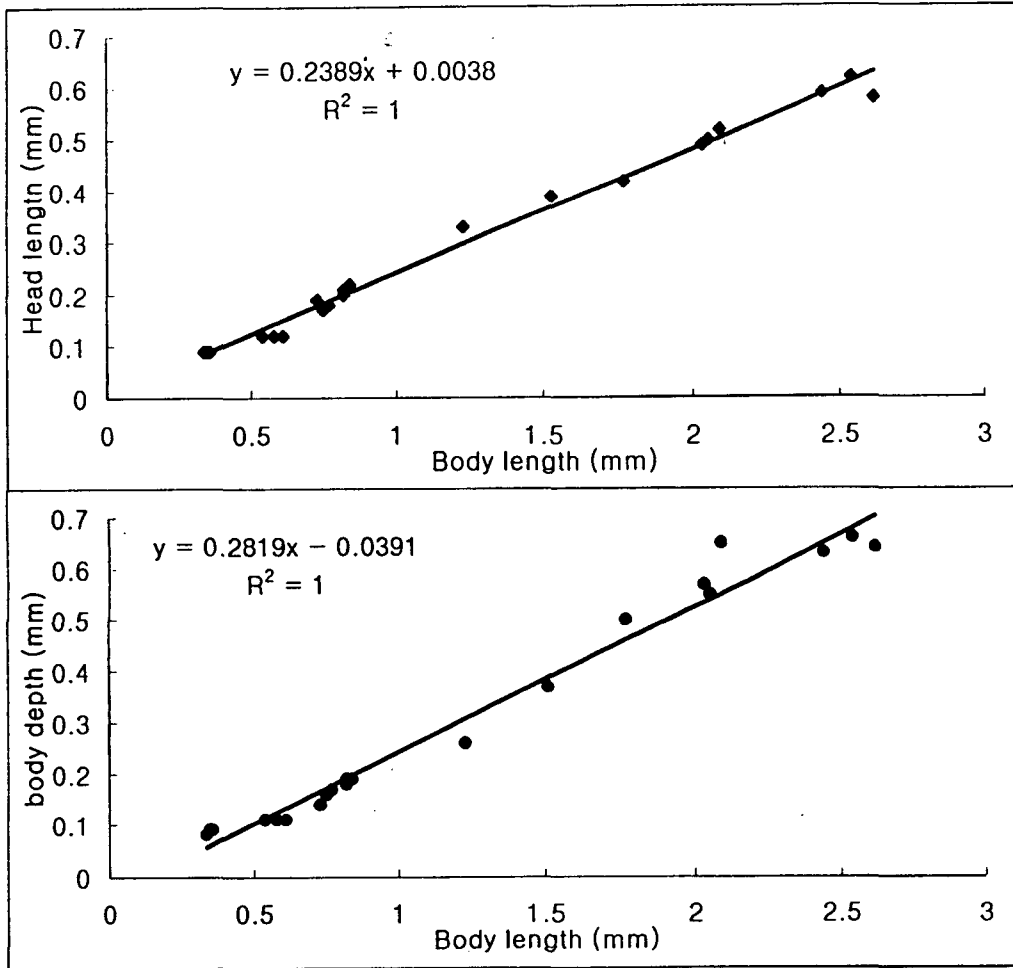


그림 4-21. 계속.

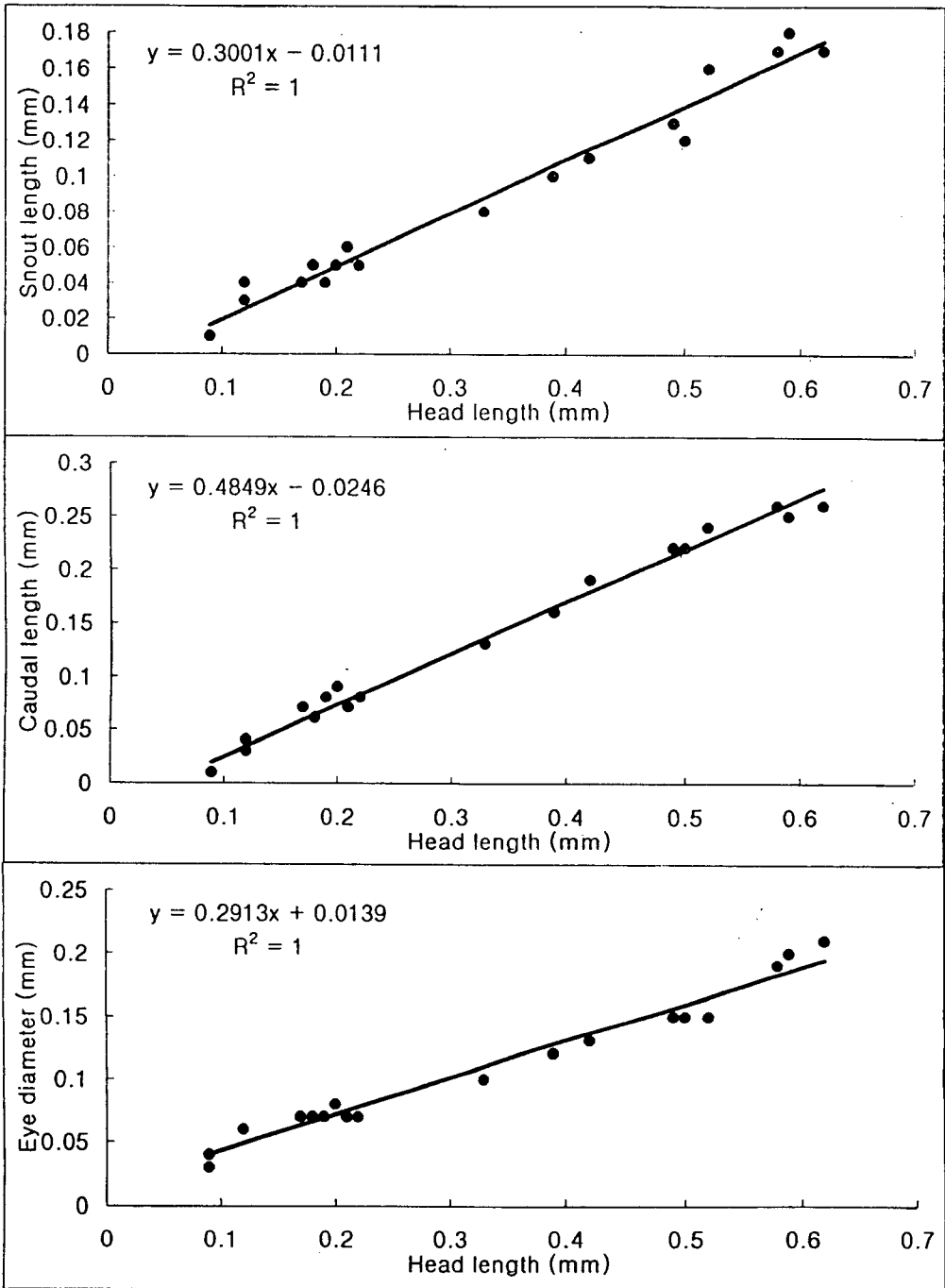


그림 4-22. 송사리의 두장에 대한 문장과 안경의 성장.

나) 사육방법

(1) 수 조

대륙송사리와 동일

(2) 수온과 광주기

본 종은 24~30℃의 수온이면 활발하게 산란을 하고 최적 산란 수온은 28℃로 나타났으며 18℃ 이하에서는 산란하지 않았고 나 30℃ 이상의 수온에서는 약간의 생산성 감소가 있다. 광주기는 본 종의 자연 환경에서의 산란기가 5~7월 사이이므로 이 때의 광주기를 적용하면 무난할 것이며 본 실험에서는 15시간(명) : 9시간(암)의 광주기를 적용하였다.

(3) 성 비

대륙송사리와 동일

(4) 난과 자치어 관리

대륙송사리의 관리 방법과 동일하나 송사리는 입의 크기가 난의 직경보다 크므로 난을 빨리 수거하지 않거나 먹이가 부족할 경우 난을 포식하는 경우가 있다. 따라서 많은 난을 확보하기 위해서는 오전 중에 암컷의 생식공으로부터 난을 수거하는 것이 바람직하다.

(5) 먹 이

대륙송사리와 동일

(6) 산란

대륙송사리와 동일하며 송사리는 적정 수온과 광주기 하에서 암컷의 최대 산란 기간인 약 110~120일 동안 1~3일 간격으로 약 1,800개의 난을 계속 산란한다. 난은 생식공에 달려 있는 난을 직접 수거하거나 또는 수조내의 물체에 부착한 난을 수거하면 되지만 성어가 포식하는 것을 막기 위해 오전 중에 난을 직접 수거하는 것이 바람직하다.

4) 왜몰개(*Aphyocypris chinensis*)

가) 생물학적 연구

(1) 생물학적 특징

왜몰개(*Aphyocypris chinensis*)는 잉어과(Cyprinidae)의 황어아과(Leyciscinae)에 속하는 전장 60 mm이내의 소형 담수어이다(김 등, 1993). 본 종은 한국 일본, 중국 등 동아시아의 담수에 널리 분포하고 있으며 현재까지 1속 2종이 보고되었다(정, 1977; 水野信彦, 1969; 최 등, 1990; 김 등, 1993).

본종은 몸이 옆으로 납작하며 뭉툭하고 머리와 눈이 큰 편이다. 입은 머리 끝에서 위로 비스듬히 향해 있으며 등은 담갈색, 배쪽은 은백색이다. 체측 중앙에는 측선을 따라 경계가 불분명한 암색 줄무늬가 있다. 서식지는 하천 중하류의 소하천이나 농수로의 흐름이 거의 없는 곳에 떼를 지어 서식하며, 주로 낙하하는 육상곤충이나 수서곤충을 먹는다. 송사리와 혼서하는 경우가 많고, 산란기는 5~6월로 수초에 알을 붙인다.

왜몰개에 대한 생태학적 연구로는 内田(1939)의 서식지 및 식성에 대한 보고와 水野信彦(1969)에 의한 서식지, 산란습성, 초기발생과 자어의 성장에 대한 보고 등이 있다.

본 종의 서식지인 충남 논산시 강경읍 세도읍에는 버들붕어, 송사리, 왜몰개 등이 혼서하고 있었다.

(2) 성적이형

본 종은 암컷이 수컷보다 큰 편이며 수컷의 체형은 암컷에 비하

여 날씬한 편이고 암컷은 수컷에 비하여 배가 부른 편이다. 산란기의 수컷은 체측 중앙에 있는 불분명한 암대가 매우 진해져서 현저하게 나타나고 암컷의 암대는 특이한 변화 없이 불분명하게 나타난다.

(3) 생식생태

(가) 자연 서식지 환경

본 종의 서식지 조사 지역은 버들붕어와 같이 동서하고 있는 지역으로 자연 서식지 환경은 버들붕어의 환경 특성과 동일하다.

(나) 수온에 따른 산란주기와 산란수

본 종의 수온에 따른 산란 주기와 산란 수를 조사하기 위하여 18, 22, 25, 28℃의 4개 군으로 나누어 30일간 연구, 관찰한 결과는 표 4-24와 같다.

18℃와 28℃에서는 산란이 일어나지 않았으며 22℃와 25℃의 두 개 군에서만 산란하였다. 22℃에서는 모두 6회의 산란이 일어났고 1회 평균 산란 수는 120개였으며 30일간의 총 산란수는 719개였다. 반면 25℃에서는 총 22회의 산란을 하였고 1회 평균 산란 수는 약 80개였고 이 기간 동안의 총 산란수는 1,732개였다. 본 실험의 결과로 볼 때 본 종의 산란 수온 범위는 매우 좁았으며 산란 적정 수온은 25℃로 나타났다. 한편 서식지에서 주된 산란기로 추측되는 5~6월(최 등, 1990)의 수온 범위는 20~23℃로 나타나 본 종의 산란 적정 수온에 대해서는 좀더 면밀한 조사가 필요할 것으로 본다.

한편 성비에 따른 산란율을 15일간 조사해 본 결과 총 산란 수가 성비 1:1(암:수)에서 347개, 1:2에서 273개, 1:3에서 468개, 1:4에서 285개의 산란을하여 1:1에서 1:4의 성비 범위에서는 산란에 크

계 영향을 받지 않는 것으로 나타났다(표 4-25).

표 4-24. 왜물개의 수온 조건에 따른 난생산 변화

수온(℃)	산란횟수	평균 1회 산란수	총 산란수
18	0	0	0
22	6	120	719
25	22	80	1,731
28	0	0	0

표 4-25. 왜물개의 성비에 따른 산란

성비(암:수)	산란횟수	1회 평균 산란수	총 산란수
1 : 1	3	116	347
1 : 2	4	68	273
1 : 3	5	94	468
1 : 4	3	95	285

(다) 산란행동

본 종의 수컷은 산란기가 되면 체측에 짙은 검은색의 암색띠가 나타나며 산란행동은 매일 아침 새벽(명 조건)부터 오전 중에 이루어 졌다. 산란행동의 과정은 수컷이 암컷을 계속해서 쫓아다니고, 암컷은 이런 수컷을 피해 계속 달아나는 형태를 취한다(그림 4-23-A). 수컷이 도망가는 암컷과 수 차례 접촉을 시도하고, 유리 수조의 벽 등에 암컷의 복부를 자신의 두부를 이용해 계속해서 밀어 붙이는 행동을 반복한다(그림 4-23-B). 이런 수컷의 행동이 반복되

게 되면 암컷은 달아나는 행동을 멈추고, 이때 수컷이 암컷을 자신의 미병부로 감싸 안아 방란을 유도하고, 동시에 방정을 한다(그림 4-23-C). 이렇게 방란과 방정이 끝나면 수컷은 다시 암컷을 쫓아다니며 위의 행동을 반복하게 된다. 이때 암컷에게서 대응 반응이 없으면 수컷은 암컷의 주위를 돌며 두부로 암컷을 건드려 산란을 재촉할 수 있다(그림 4-23-D). 암컷의 반응 시간이 점차적으로 길어지게 되면 수컷은 암컷을 더 이상 재촉하지 않고, 암컷을 떠나 산란이 종료된다. 산란행동의 지속 시간은 약 30분에서 5시간 정도가 소요되었으며, 1회 산란시 1~14개의 난을 방란하였고, 이러한 행동은 1분에 3~5회 정도 반복되었다. 암컷과 수컷 모두 산란이 끝난 후 난을 보호하는 행동은 하지 않았다.

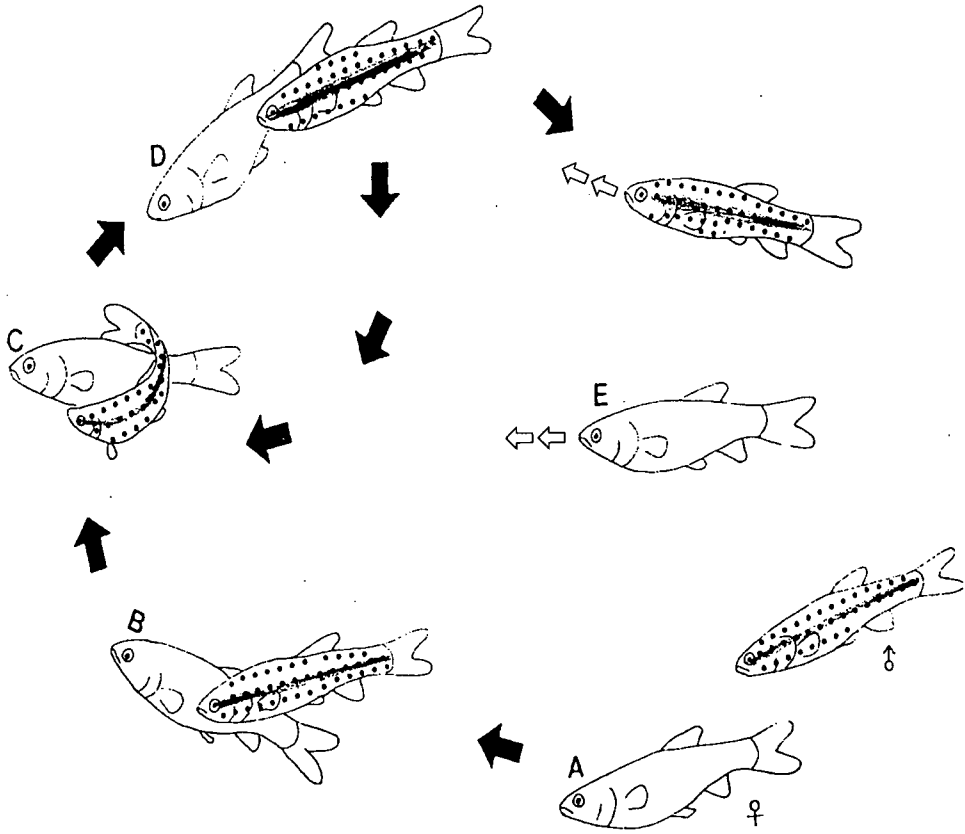


그림 4-23. 왜몰개의 산란행동.

(4) 난 발생과 자치어 발육

(가) 난 발생

A) 수정란 : 왜몰개의 수정란은 직경이 1 ± 0.02 mm로 부착사가 존재하며, 난 표면은 약간 두껍고 투명하다. 난황은 약간 투명한 옅은 황색을 띠고, 거의 구형에 가까운 분리 침성란이다(그림 4-24-A).

B) 수정후 20분, 동물극 쪽에서 배반(blastodisc)이 형성된다(그림

- 4-24-B).
- C) 수정후 45분, 배반의 중앙부위가 수직 이등분되며 2세포기가 된다(그림 4-24-C).
- D) 수정후 1시간, 2세포기의 할구들이 다시 수직 이등분되어 4세포기 단계가 된다(그림 4-24-D).
- E) 수정후 1시간 15분 이 되면 4세포기의 할구들이 다시 수직 이등분되어 8세포기를 형성하며 할구의 크기는 계속 감소된다(그림 4-24-E).
- F) 수정후 1시간 30분, 8세포기는 16세포기로 할구의 분할이 진행된다(그림 4-24-F).
- G) 수정후 1시간 45분, 32개의 할구가 형성된다(그림 4-24-G).
- H) 수정후 2시간, 64개의 할구가 형성되며, 상실배를 형성하게 되며 이후로 발생속도가 느려지게 된다(그림 4-24-H).
- I) 수정후 3시간 15분, 지속적인 난황에 의해 할구가 작아지고 배반엽이 식물극쪽으로 확산되기 시작하는 포배기(blastula stage) 단계가 된다(그림 4-24-I).
- J) 수정후 6시간 10분, 배반이 난황을 덮고 내려와 낭배기(gastrula stage)에 이르며, 난황의 약 50%정도를 덮는다(그림 4-24-J).
- K) 수정후 7시간 10분, 배반이 계속 내려와 난황의 대부분을 덮으며, 난황전(yolk plug)을 형성한다(그림 4-24-K).
- L) 수정후 7시간 40분, 원구가 폐쇄되며, 난황위에 유백색의 배체(embryo)가 형성되어 엷게 나타난다(그림 4-24-L).
- M) 수정후 11시간 30분, 배체의 윤곽이 뚜렷해지고, 희미하게 안포(optic vesicle)가 형성되며, 근절(myomere)이 3~4개 형성된다(그림

4-24-M).

N) 수정후 12시간 30분, 안포가 더 뚜렷해지며, 근질이 6~7개로 증가된다(그림 4-24-N).

O) 수정후 18시간 50분, 안포에 렌즈가 생성되고, 안포의 뒤쪽으로 이포(auditory vesicle)가 형성되며, 체절은 20~21개가 된다(그림 4-24-O).

P) 수정후 23시간 40분, 꼬리부위가 신장되기 시작한다(그림 4-24-P).

Q) 수정후 26시간 40분, 난황 앞쪽에서 심장이 형성되고 서서히 고동하며, 가끔 꼬리의 움직임을 볼 수 있다. (심장박동수 19/min)(그림 4-24-Q).

R) 수정후 30시간 50분, 배체가 난막내에서 활발하게 회전운동을 하며, 혈액의 흐름을 관찰할 수 있다(그림 4-24-R).

S) 수정후 33시간을 전후하여 꼬리부분의 활발한 움직임이 관찰된 후 머리부분이 난각을 뚫고 나온다. 난각을 완전히 빠져나오는 데는 약 4분정도가 소요되었다(그림 4-24-S).

(나) 자어 및 치어 발육

A) 부화 직후, 자어는 전장 3.43 ± 0.062 mm로 무색 투명하고, 두 개의 이석(otholith)이 뚜렷이 관찰된다. 색소포는 보이지 않으며, 입은 아직 열리지 않았고 일자로 뻗은 소화관을 관찰할 수 있었다. 이시기의 자어는 침성자어로 수조의 바닥이나 벽면에 붙어 있으며 때때로 움직인다. 활발한 혈액의 흐름을 관찰할 수 있다. 심장박동수는 약 98/min이었다(그림 4-25-A).

B) 부화후 1일, 자어는 전장 3.82 ± 0.267 mm로 눈가에 흑색의 색

소(melanopore)가 착색되며, 난황의 아랫부분과 몸의 전반에 걸쳐 흑색소포가 나타난다. 가로로 누운 상태에서 가끔 헤엄을 치기도 하지만 오래 물에 떠 있지는 못한다. 심장박동수는 약 132/min 이었다(그림 4-25-B).

C) 부화후 4일, 자어는 전장 4.20 ± 0.082 mm로 눈은 완전히 흑색으로 착색되었으며, 몸의 전반에 흑색소포가 더 많이 확대되고, 체측선을 따라 1줄의 흑색소포가 나열된다. 난황은 거의 소비되고, 가슴지느러미가 나타나고 입이 열려있으며, 부레(swim bladder)의 생성으로 물에 떠있을 수 있으며, 헤엄쳐 다닌다. 아가미 원기가 나타난다(그림 4-25-C).

D) 부화후 7일, 자어는 전장 4.63 ± 0.024 mm로 두부가 발달하고, 아가미뚜껑과 입의 개폐가 뚜렷이 관찰되며, 흑색 소포가 두부 앞쪽에 다수 나타났다. 자유롭게 물속에서 유영할 수 있고, 먹이를 섭식하기 시작한다. 1분에 약 87회의 아가미 운동을 관찰할 수 있었으며, 굽어지고 일자로 뺨은 소화관을 관찰할 수 있다(그림 4-25-D).

E) 부화 후 11일, 자어는 전장 4.85 ± 0.041 로 등쪽의 막지느러미는 폭이 좁아지고, 꼬리지느러미살이 생성되기 시작하고 이 부분에 흑색포가 집합해 있다. 1분에 약 108회의 아가미 운동을 관찰할 수 있고, 일자로 뺨은 소화관의 연동운동을 볼 수 있다(그림 4-25-E).

F) 부화 후 18일, 자어는 전장 6.10 ± 0.374 mm이 되며, 등지느러미와 뒷지느러미의 원기가 보이며, 꼬리지느러미에 약 15~16개의 기조(fin ray)가 나타난다 (그림 4-25-F).

G) 부화 후 21일, 자어는 전장 7.27 ± 0.287 mm로 배지느러미의 원기가 나타나기 시작하며 등지느러미가 분화하여 7개의 기조를 형성

하고, 형태를 거의 갖추어가며, 뒷지느러미도 분화하여 7개의 기조가 관찰되며, 지느러미 뒷부분이 둥글게 변한다. 꼬리지느러미의 기조수는 18개로 정수에 달하게 되며, 막지느러미가 대부분 사라진다(그림 4-25-G)

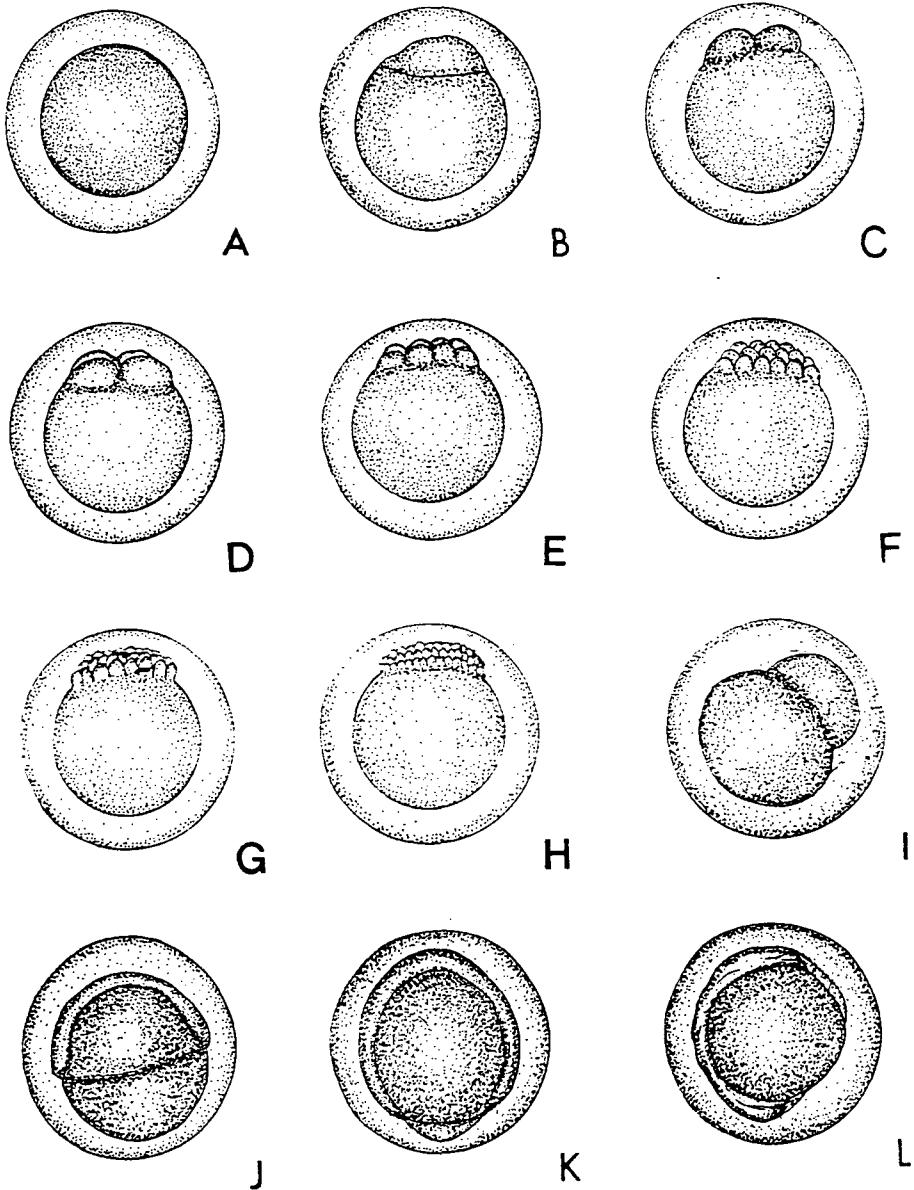
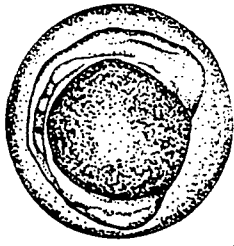
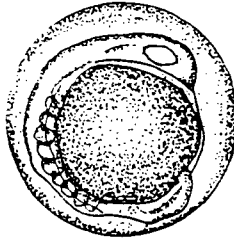


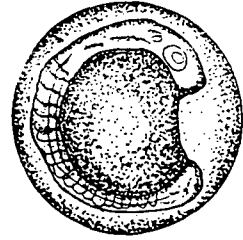
그림 4-24. 왜물개의 난 발생 과정(각 stage는 “가. 난 발생”과 같음).



M



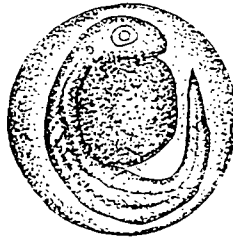
N



O



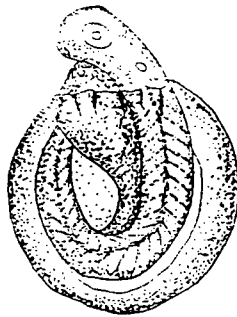
P



Q



R



S

그림 4-24. 계속.

H) 부화 후 26일, 자어는 전장 11.60 ± 2.123 mm로 막지느러미가 모두 없어지고, 모든 지느러미는 제 형태를 갖추며, 가슴지느러미에 7개의 기조를 볼 수 있다. 꼬리지느러미는 커지며 가운데 부분이 안으로 더 깊게 패인다. (그림 4-25-H)

I) 부화 후 30일, 모든 지느러미들이 정수에 달하며, 성체와 같은 형태를 갖추고, 전장 16.33 ± 0.943 mm이 된다(그림 4-25-I)

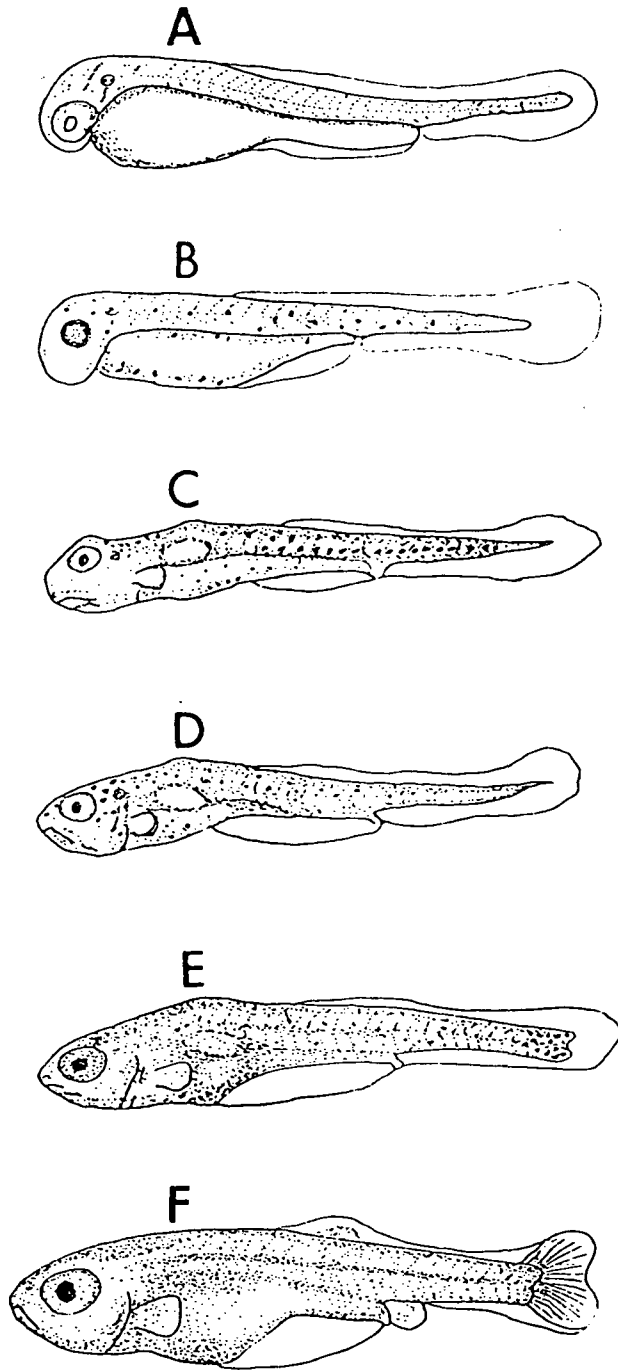


그림 4-25. 왜물개의 자, 치어 발육(각 stage는 “나. 자어 및 치어 발육”과 같음).

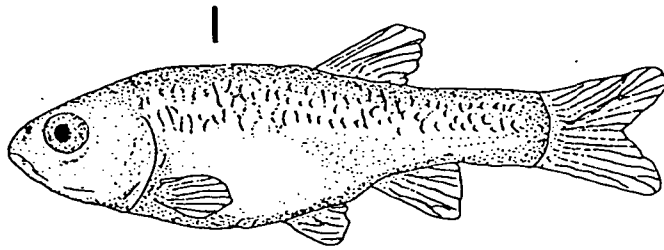
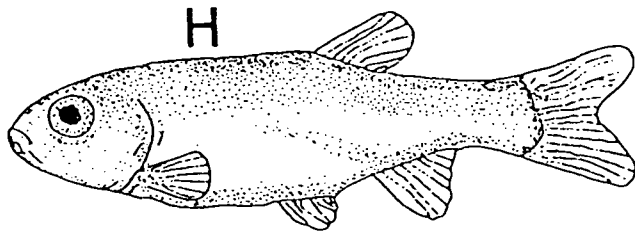
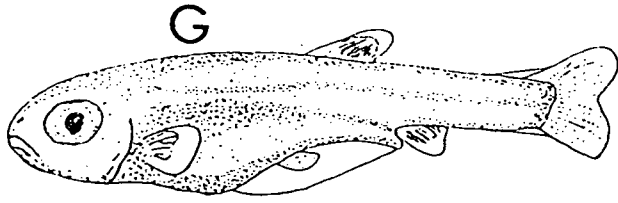


그림 4-25. 계속.

(5) 성장

왜물개는 부화 직후의 전장이 약 3.4 mm이며 부화 후 4일만에 4.2 mm까지 성장한다. 부화 후 11일에는 약 4.9 mm에 이르고 30일에는 약 16.5 mm까지 성장한다. 본 종이 50 mm 이상으로 자라 성적으로 성숙하기까지는 약 100일 정도 소요될 것으로 추측된다. 한편 성장 과정 중 체장에 대한 두장, 체고, 뒷지느러미기점거리 등과 두장에 대한 문장, 안경, 미병장 등은 어체가 성장함에 따라 비례관계의 성장을 보여 주었다.

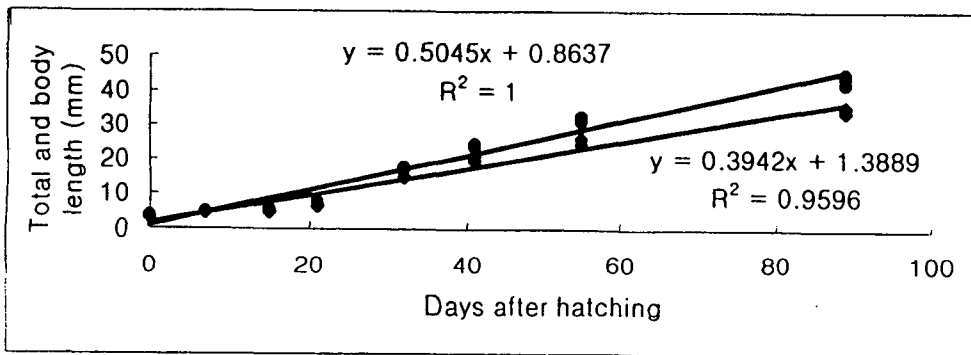


그림. 4-26. 왜물개의 부화 직후부터 성어까지 전장과 체장의 성장.

전장: ●, 체장: ◆

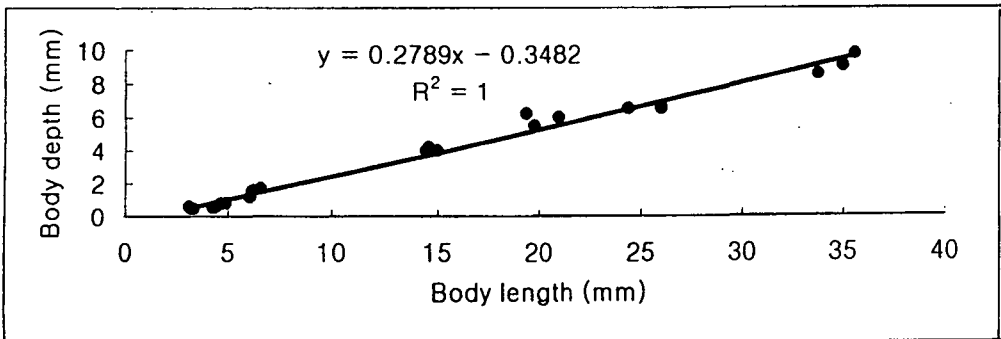
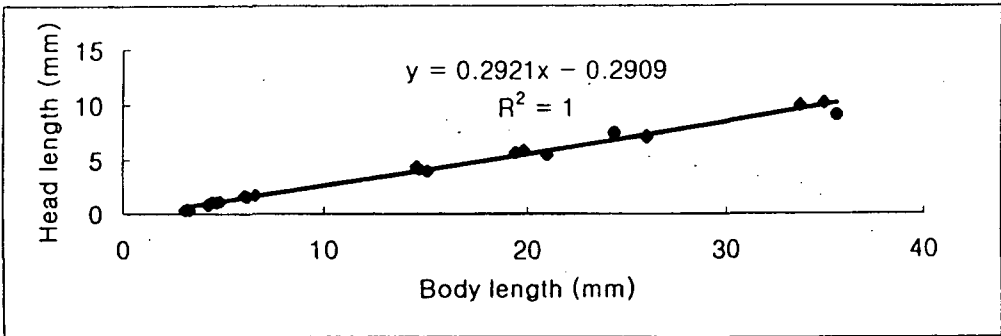
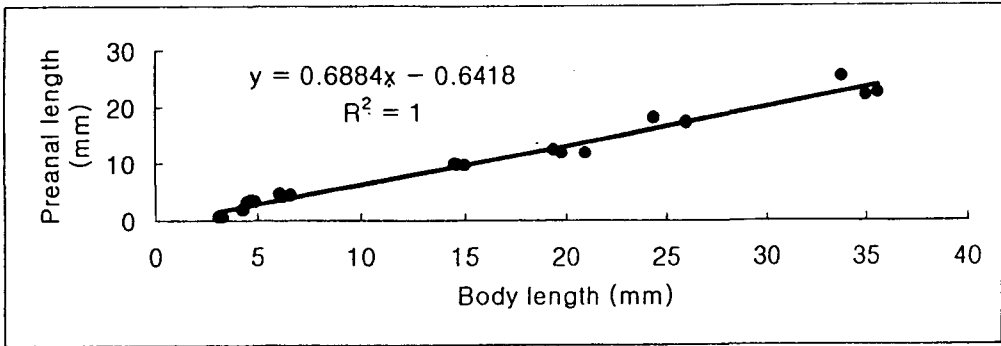


그림 4-27. 왜물개의 체장에 대한 각 부위별 성장.

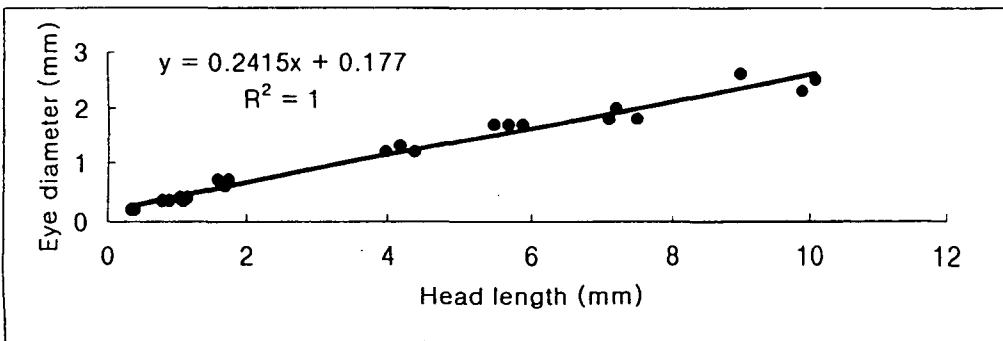
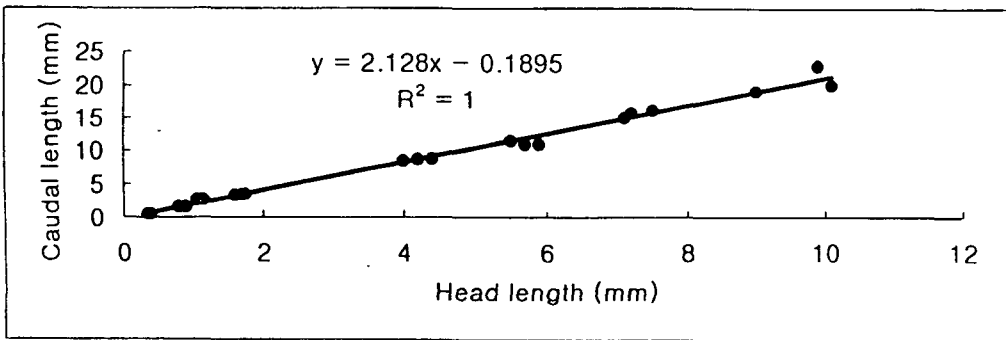
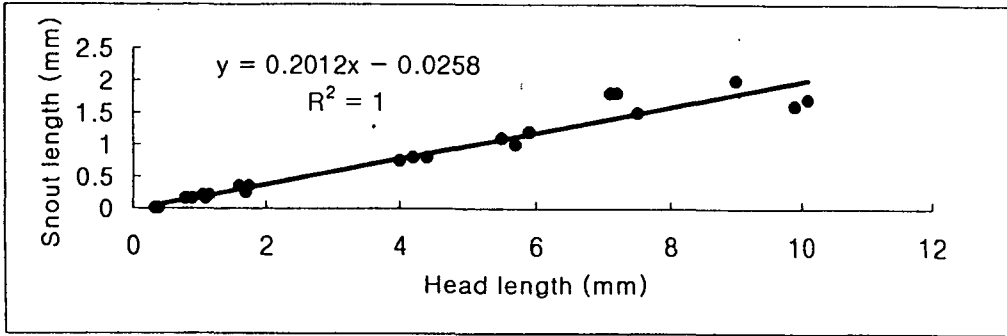


그림 4-28. 왜몰개의 두장에 대한 각 부위별 성장.

나) 사육방법

(1) 수 조

본 종은 성어의 크기가 50~60 mm 정도의 소형이므로 40~50 L 들이 수조에 5~10개체 정도를 수용할 수 있다. 수조에는 모래를 깔지 않아도 무방하며 스폰지 필터를 사용하는 것도 좋다. 수조 내에서도 매우 활발하게 헤엄치며 움직이는 종이므로 밖으로 튀어나오는 것을 방지하기 위하여 판유리 등을 사용하여 덮어주는 것이 좋다. 본 종은 난을 수초에 붙인다는 보고도 있으나 수초를 심지 않는 것이 관리상 편리하고 난을 부착시키기 위한 부착소를 따로 설치할 필요는 없다.

(2) 수온과 광주기

본 종의 산란기는 5~6월로 추정되는 바 광주기는 장일 조건(15시간(명) : 9시간(암))으로 설정해 주면 산란이 유발된다. 산란 적정 수온은 본 실험에서는 22~25℃로 나타났으며 25℃에서 산란 수가 매우 많았는데 실험실 내 사육시 수온을 25℃로 유지한다면 양호한 결과가 나올 것으로 사료된다.

(3) 성 비

성비의 범위는 암수의 비가 1:1에서 1:4까지 난의 생산에 있어서 큰 차이를 보이지 않았으며 이러한 결과로 볼 때 1:4의 비율까지는 암컷의 산란에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 따라서 1개의 수조에 3:5 또는 3:7 마리의 비율로 사육하면 좋을 것으로 생각된다. 본 종은 한 마리의 암컷에 2~3마리의 수컷이 함께 산란행

동을 하므로 항상 수컷이 많은 개체수를 유지해야 한다.

(4) 난과 자치어 관리

본 종은 수조 내에서 활발히 산란행동을 하면서 산발적으로 산란을하는 습성이 있으므로 난이 일정 장소에 모여있지 않고 수조의 바닥이나 수조벽에 흩어져 부착하게 된다. 본 종의 난각이 두껍지 않고 점착성이므로 바닥이나 벽면에 붙은 난을 수거할 경우 손상을 입는 경우가 대부분이다. 또한 산란 후의 알이나 부화된 자어들을 암, 수의 친어들이 먹는 경우가 흔하므로 산란이 끝나면 수조로부터 난을 분리하는 것보다는 친어들을 분리하여 다른 수조에 수용하는 것이 바람직하다. 본 종의 자어들은 부화 직후의 크기가 약 3.4 mm 정도로 매우 작고 투명하므로 다루기가 용이하지 않으며 부화된 수조에서 자유유영기까지 사육한 후 적정 개체수를 각각의 수조에 분산 수용하는 방법이 바람직하다. 부상기 후의 후기자어들은 한 수조에 50~100개체 정도를 수용하는 것이 무난하며 이후 성장에 따라 밀도를 조정해 주면 된다.

(5) 먹이

본 종은 부화 후 4일이면 부상하여 자유유영기에 접어들고 5~7 일째부터 먹이를 섭취하기 시작한다. 따라서 이 시기부터 먹이를 공급해 주어야하며 계란을 삶아 노른자를 물에 풀어주면 된다. 먹이 공급 시기가 늦어지면 기아에 의해 죽는 경우가 많이 발생하므로 부상기에 이른 후부터 먹이를 공급하는 것이 좋다. Brine shrimp를 먹을 만큼 성장하면 아침, 저녁으로 충분히 공급해 준다.

3. 결과요약

우리 나라의 담수 환경 독성 영향평가와 농약의 위해성 평가를 위한 “한국산 담수어류의 대표종 선발 사육 및 시험법 연구”를 위하여 대표종으로 선정된 어류를 대상으로 이들 어류의 생물학적 연구와 사육 기술에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

가. 사육 시설

어류의 사육실은 진동이나 소음이 없도록 안정상태를 유지하고 암막, timer, 조명, 항온기, 발전기 등을 설치한다.

사육수는 수돗물, 지하수, 연못물 등을 사용하며 일차적인 정수처리를 한 후 사용하고 염소, 유해 미생물 등의 유입에 주의하며 환수 시에는 수온이 5℃이상 차이가 나지 않도록 한다.

수조는 30~50 L의 장방형의 유리수조를 사용하며 자치어 사육 수조는 별도로 운용한다. 여과 장치는 모래와 스폴을 이용한 저면 여과 장치가 바람직하며 수조의 청소시에는 수조 물의 1/2 이상은 갈아주지 않도록 한다. 각 수조에는 수조용 히터, 온도계, 에어 공급기 등을 설치한다.

어류의 먹이는 생사료로서 brine shrimp, 배합사료는 TeraMin(Flake Food) 등이 취급이 용이하고 영양이 풍부하다.

나. 생물학적 연구

1) 버들붕어, *Macrophodus chinensis*

본 종은 물이 잔잔하고 수초가 많은 연못이나 농수로 등에 서식하고 있었다. 산란기는 6~7월이며 산란 및 발생 적정 수온은 26~

28℃였다. 산란기에 부유성 기포소를 만들어 산란하며 난과 자어 보호행동을 하였고 난은 25℃에서 42~44시간만에 부화하였으며 5일째부터 먹이를 섭취하였고 부화 후 약 90일부터 산란을 시작하였으며 이 때의 전장은 약 45 mm였다. 본 종은 적정 조건하에서 7~15일 간격으로 500~1,300개의 난을 생산하였다.

2) 대륙송사리, *Oryzias sinensis*

서식지는 하천의 가장자리나 연못, 농수로 등 비교적 수온이 높은 정수지역을 선호하였다. 본 종의 산란기는 5~7월 사이이며 산란 및 발생 적정 수온은 24~28℃였으며 산란행동은 산란 전단계, 산란 단계, 산란 후 단계로 나뉘어 졌다. 26℃에서 산란 후 약 10일만에 부화하였고 부화 후 약 3일째부터 먹이를 섭취하였다. 부화 후 약 70일이면 성장하여 산란하였으며 일생 동안(산란일수: 약 120일) 1~3일 간격으로 2,000~2,500개의 난을 생산하였다.

4) 송사리, *Oryzias latipes*

본 종은 대륙송사리와 유사한 생태적 특성을 보였으며 산란기는 5~7월이었고 산란 및 발생 적정 수온은 24~30℃였다. 산란행동은 대륙송사리와 유사하였고 26℃의 수온 하에서 약 9일만에 부화하였으며 부화 후 3~4일에 먹이 섭취를 시작하였다. 본 종은 부화 후 80~90일만에 최초 산란을 시작하였으며 일생 동안(산란일수: 110~120일) 1~3일 주기로 약 1,800개의 난을 생산하였다.

5) 왜몰개, *Apyocypris chinensis*

본 종의 서식지는 농수로, 하천 중, 하류의 정수 지역 등이었으며 산란 적정 수온은 22~25℃였다. 암컷 1마리에 수컷 2~3 마리의 비율로 산란행동을 하였으며 난은 침성, 점착성이었다. 적정 수온과 광주기(15(명):9(암)) 하에서 다회 산란하는 습성이 있으며 1회 산란 수는 60~110개의 범위였다. 산란 후 33시간만에 부화하였으며 4일째에 부상하였고 5~7일이면 먹이를 섭취하기 시작하였으며 성숙하는데까지는 약 100일이 소요되었다.

다. 사육 방법

1) 버들붕어

30~50 L용 수조에 수초를 심고 성숙한 암, 수 한 쌍 씩만을 수용한다. 먹이는 brine shrimp를 아침 저녁으로 충분히 공급하고 정오에는 TetraMin(Flak)를 준다. 본 종의 최적 산란 수온은 28℃이며 광주기는 15(명):9(암)로 한다. 난과 자어는 수컷이 적극적으로 보호하므로 기포소를 떠나기 전까지 그대로 놓아 두며 4~5일째에 수컷으로부터 분리하여 brine shrimp를 공급한다. 정상적으로 성장하면 부화 후 약 90일부터 산란 한다.

2) 대륙송사리, 송사리

30~50L용 수조에 성비를 암:수 4:6~3:7 마리 정도 수용하며 광주기는 15(명):9(암)로 한다. 대륙송사리의 산란과 발생 적정 수온은 26℃, 송사리는 28℃이다. 난은 암컷의 생식공으로부터 매일 오전 중에 분리하여 부화조에서 부화시킨다. 먹이공급은 대륙송사리

는 부화 후 2~3일, 송사리는 3~4일만에 공급하기 시작하며 계란을 삶아 노른자를 물에 풀어서 투여하고 이후에는 brine shrimp를 공급한다. 정상적인 성장을 하면 대륙송사리는 약 70일, 송사리는 약 80~90일에 산란하기 시작한다.

3) 왜물개

30~50 L용 수조에 10개체 정도를 수용한다. 암수의 비를 3:5~3:7 마리로하면 적당하다. 산란 적정 수온은 22~25℃이며 광주기는 15(명):9(암) 시간으로 조절한다. 부화 후 5~7일에 계란 노른자를 공급하고 이후에는 brine shrimp를 투여한다. 부화 후 약 100일 이면 성숙하며 적정 수온과 광주기 하에서 수회 산란한다.

제 4 절 농약에 대한 감수성 비교

1. 연구수행방법

가. 실험어류

본 실험에 사용된 벵들붕어(*Macropodus chinensis*)는 충남대학교에서 송사리 (*Oryzias latipes*)와 대륙송사리 (*Oryzias sinensis*)는 농업과학기술원에서 분양을 받았고, 붕어 (*Carassius auratus*)는 시중(수원 소재의 강남수족관)에서 약 2개월 된 개체를 구입하여 독성 실험에 사용하기 전에 본 연구실의 사육실에서 2주 이상 순화시켜 사용하였다. 왜물개(*Aphyocypris chinensis*)는 본 실험실 사육실에서 계대사육중인 개체를 사용하였다. 독성실험은 순화시킨 개체 중에서 부화 후 8~16주된 개체를 독성시험 24시간 전에 선발하여 독성실험실에서 순화와 절식을 시킨 후 사용하였다. 외부에서 입수한 어종은 독성실험에 사용하기 전에 본 연구실의 사육실에서 최소한 2주 이상 순화시켜 사용하였으며, 순화기간 동안 20% 이상 치사어가 발생하면 순화수조내 전체 어류를 도태시켰다.

사육실의 사육조건은 수온 $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, 광조건 16시간, 암조건 8시간이었다. 먹이는 오전에 Brine shrimp(*Artemia salina*)의 유생을 공급하였으며, 오후에는 Tetramin flake(Tetra, Germany) 공급하였으며, 붕어는 침강용 송어 치어용 먹이 2호(우성사료)를 매일 오전 1회 공급하였다.

공시어를 사육하고 독성시험에 사용한 희석수는, 본 연구소내의 지하수를 1차로 membrane filter(1 μ)를 통과시킨 후, 활성탄 여과장치를 통과시켜 사용하였다. 수질특성은 알칼리도 91~115 mg/L CaCO₃, 경도 109~116 mg/L CaCO₃, pH 6.4~8.4 였다.

시험에 사용된 어류의 전장과 체중은 다음 표 4-26과 같다.

표 4-26. 어종별 전장 및 체중

어 종	전 장(cm)	체 중(g)
버 들 붕 어	4.9±0.9	1.28±0.62
왜 몰 개	4.4±0.5	0.69±0.22
송 사 리	2.5±0.1	0.10±0.01
대륙송사리	2.3±0.2	0.08±0.03
붕 어	4.6±0.4	1.26±0.34

나. 실험농약

우리나라에서 사용중인 농약 중에서 각계별로 대표적인 농약을 선정하였다. 유기인계는 diazinon(93.9%), 트리아졸계는 myclobutanil(93.6%), 피레스로이드계는 fenprothrin (91.3%), 카바메이트계는 iprodione (95.5%)로서 원제를 사용하였다.

다. 실험방법

실험대상 농약의 독성정도를 파악하기 위하여 0.1, 1, 10, 100 mg/L에서 예비실험을 실시하여 4종의 실험대상 어종에 대한 무영향 농도와 100% 치사농도를 구하였다. 예비실험은 1.5 L 용량의 원형유리수조에 희석수 1 L 를 넣고, 예비시험 농도에 맞추어 시험물질용액을 투여한 후, 준비된 버들붕어, 송사리와 대륙송사리, 왜몰개는 5마리씩, 붕어는 4마리씩 넣고, 시험용액의 교환 없이 48시간 동안 관찰하였다.

급성독성실험은 예비실험을 통하여 설정된 노출범위에 따라 대수등간격으로 실험농도를 설정한 후, 실험농도에 따라 희석수에 조제한 시험물질용액을 일정량 가하여 실험용액을 조제하였다. 송사리와 대륙송사리는 3 L 용량의 원형유리수조에 2 L의 실험용액을 넣고 7마리씩 넣었으며, 버들붕어와 왜물개는 5 L의 원형유리수조에 4 L의 실험용액을 준비하여 7마리씩 넣었다. 붕어는 25 L 용량의 사각유리수조에 20 L의 실험용액을 넣고 10마리씩 무작위로 노출시켰다. 실험은 4종 모두 정체식으로 시험용액의 교환없이 96시간 동안 관찰하였다. 치사판정은 미병을 접촉 자극할 때 반응이 없는 것과 아가미 호흡이 중단된 것을 치사한 것으로 간주하였고, 발견 즉시 제거하였다. 관찰은 24 시간마다 하였고, 시험기간동안 수온, 용존산소, pH를 측정하였으며, 광주기는 광조건 16 시간, 암조건 8 시간이었다.

결과의 분석은 100% 영향농도와 무영향농도 사이에 2개 이상의 중간영향농도가 있는 경우에는 Probit법(U.S. EPA, version 1.5)을 사용하였고, 100% 영향농도와 무영향농도 사이에 중간영향농도가 1개 이하인 경우에는 Moving Average-angle 법¹⁾에 의하여 96시간 LC50 값과 95% 신뢰한계를 구하였으며, 급성독성값의 통계적인 비교는 미국 EPA 법¹⁾에 따라 실시하였다.

2. 연구수행내용 및 결과

Diazinon에 대한 5종 어종의 감수성 비교실험 결과(표 4-27), 버들붕어의 급성독성 값이 4.51 mg/L으로 가장 낮게 나타났으며, 감수성은 버들붕어(*Macropodus chinensis*) > 송사리(*Oryzias latipes*) >

대륙송사리(*Oryzias sinensis*) > 붕어(*Carassius auratus*) > 왜물개(*Aphyocypris chinensis*) 순으로 나타났다. 그러나 미국 EPA의 통계적인 방법으로 급성독성 값을 비교해볼 때, 송사리와 대륙송사리의 급성독성 값에는 서로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으며, 붕어와 왜물개의 급성독성 값에도 서로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 버들붕어와 왜물개의 급성독성 값에 유의한 차이가 있는 것으로 나타나 감수성 차이가 있는 것으로 나타났다. 이들 급성독성 값의 차이는 미미한 것으로 이들 수치상의 차이를 어종간의 감수성 차이로 보기에 는 무리가 따르리라 생각된다. 그럼에도 불구하고 diazinon에 노출된 붕어와 왜물개는 미병 부위에 출혈이 관찰되지 않았으나, 송사리와 대륙송사리는 미병 부위의 출혈과 함께 척추 변형이 관찰되었고, 버들붕어의 경우는 수조내 심한 다툼을 보였다.

표 4-27. diazinon에 대한 어종별 반수치사농도(96hr-LC₅₀)

어 종	반수치사농도(96hr-LC ₅₀ , mg/L)
버들붕어	4.5 (3.8~5.7)
송사리	6.1 (5.0~7.3)
대륙송사리	6.1 (3.6~11.1)
붕어	9.2 (7.8~11.1)
왜물개	14.1 (10.9~17.4)

Myclobutanil에 대한 4종 어종의 감수성 비교실험 결과(표 4-28), 송사리 > 버들붕어 > 대륙송사리 > 붕어 > 왜물개 순으로 나타났다.

송사리의 급성독성 값은 4.4 mg/L로 다른 4개 어종에 비해 가장 낮게 나타났으며, 대륙송사리, 붕어, 왜물개의 급성독성 값과는 2배 이상의 차이가 관찰되었다. 미국 EPA의 통계적인 방법으로 비교해 볼 때, 송사리를 제외하고는 버들붕어, 대륙송사리, 붕어와 왜물개의 급성독성 값의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이처럼 송사리와 다른 4개 어종에서 나타난 급성독성 값의 차이가 어종간의 감수성 차이인지를 확인하기 위해서는 가장 먼저 반복실험을 통한 급성독성 값의 변화범위를 확인한 다음에 판단할 문제라고 판단된다. 그럼에도 불구하고 왜물개와 붕어는 myclobutanil에 노출되었을 때 미병 부위에 출혈이 관찰되지 않았으나, 송사리와 대륙송사리는 96시간 이상 노출시 미병부위에 출혈이 관찰되었고, 버들붕어들은 서로를 공격하여 물어뜯는 현상이 나타났다. diazinon과 마찬가지로 송사리 속이 버들붕어와 붕어, 왜물개에 비해서 실험물질에 민감하게 반응을 나타내는 것으로 생각된다.

표 4-28. myclobutanil에 대한 어종별 반수치사농도(96hr-LC₅₀)

어 종	반수치사농도(96hr-LC ₅₀ , mg/L)
버들붕어	6.5 (5.4~8.1)
송 사 리	4.4 (3.7~5.1)
대륙송사리	8.6 (6.8~11.3)
붕 어	11.5 (9.8~13.9)
왜 물 개	11.9 (10.5~14.0)

Fenpropathrin에 대한 5종 어종의 감수성 비교실험 결과(표 4-29), 왜물개 > 버들붕어 > 송사리 > 대륙송사리 > 붕어 순으로 나타났다. 물개의 급성독성 값은 3.0 µg/L로 다른 3개 어종에 비해 가장 낮게 나타났으며, 대륙송사리, 붕어, 왜물개의 급성독성 값과는 약 2~3 배 정도의 차이가 관찰되었다. 미국 EPA의 통계적인 방법으로 비교해 볼 때, 왜물개를 제외하고는 버들붕어, 송사리, 대륙송사리, 붕어의 급성독성 값은 차이가 없는 것으로 나타났다. 이상증상으로는 버들붕어들의 다툼이 관찰되었다.

표 4-29. fenpropathrin에 대한 어종별 반수치사농도(96hr-LC₅₀)

어 종	반수치사농도(96hr-LC ₅₀ , µg/L)
버들붕어	5.0 (4.0~7.0)
송 사 리	5.9 (5.2~7.0)
대륙송사리	7.8 (5.9~10.2)
붕 어	8.9 (7.5~10.8)
왜 물 개	3.0 (2.3~3.7)

Iprodione에 대한 5종 어종의 감수성 비교실험 결과(표 4-30), 송사리 > 붕어 > 왜물개 > 버들붕어 > 대륙송사리 순으로 나타났다. 대륙송사리의 급성독성 값은 23.4 mg/L로 버들붕어와는 비슷하게 나타났으나, 그외 어종에 비해 높게 나타났다. 미국 EPA의 통계적인 방법으로 비교해 볼 때, 송사리, 붕어, 왜물개의 급성독성 값은 차이가 없는 것으로 나타났다. 버들붕어의 공격적인 행동들이 관찰되었다.

표 4-30. iprodione에 대한 어종별 반수치사농도(96hr-LC₅₀)

어 종	반수치사농도(96hr-LC ₅₀ , mg/L)
버들붕어	21.3 (15.8~29.4)
송 사 리	10.6 (2.2~22.5)
대륙송사리	23.4 (13.1~35.9)
붕 어	10.9 (9.4~12.4)
왜 물 개	18.0 (15.1~22.2)

이상의 결과를 종합하면 아래와 같다. (표 4-31).

표 4-31. 농약에 대한 어종별 감수성 비교

농 약	반수치사농도(96hr-LC ₅₀)				
	버들붕어	송 사 리	대륙송사리	붕 어	왜 물 개
Diazinon (mg/L)	4.5 (3.8~5.7)	6.1 (5.0~7.3)*	6.1 (3.6~11.1)	9.2 (7.8~11.1)	14.1 (10.9~17.4)
Myclobutanil (mg/L)	6.5 (5.4~8.1)	4.4 (3.7~5.1)	8.6 (6.8~11.3)	11.5 (9.8~13.9)	11.9 (10.5~14.0)
Fenprothrin (μg/L)	5.0 (4.0~7.0)	5.9 (5.2~7.0)	7.8 (5.9~10.2)	8.9 (7.5~10.8)	3.0 (2.3~3.7)
Iprodione (mg/L)	21.3 (15.8~29.4)	10.6 (2.2~22.5)	23.4 (13.1~35.9)	10.9 (9.4~12.4)	18.0 (15.1~22.2)

* 95% confidence limit

5종의 어종 모두에서 피레스로이드계인 fenprothrin의 급성독성 값이 가장 낮게 나타났으며, 카바메이트계인 iprodion의 급성독성 값이 다른 농약에 비해 가장 높게 나타났다. 또한 diazinon과

fenpropathrin 경우를 제외하고는 다른 어종에 비해서 송사리가 가장 감수성이 높은 것으로 나타났다. 같은 속인 대륙송사리의 실험농약에 대한 감수성은 송사리에 비해 낮게 나타났으나, 버들붕어와 붕어, 왜물개와는 거의 비슷한 것으로 나타났다. diazinon에 노출된 송사리와 대륙송사리에서는 미병 부위에 출혈 및 척추변형이, myclobutanil에서는 출혈이 관찰되었으나 붕어와 왜물개에서는 전혀 이상증상이 관찰되지 않은 것으로 보아, 어종 간의 특이성이 나타나는 것으로 조사가 되었다. 그러나 버들붕어는 농약에 노출되면 같은 수조내의 다른 어류와 심한 다툼현상이 관찰되었으며, 심한 경우에는 서로 물어뜯는 현상이 나타나, 급성독성 시험어종으로 사용하기에는 다소 문제점이 있는 것으로 생각되었다.

제 5 절 미꾸리 인공산란 및 생육단계별 농약 감수성 비교

1. 연구수행방법

가. 미꾸리의 입수, 순화 및 사육

미꾸리 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 친어는 전북 남원시 천거동 160~176 미꾸리 자연산 수집소 (상호명 : 새집)에서 1999년 4월 21일 분양 받았으며, 분양어류는 채집통에 넣어 통기를 시키면서 실험실로 운반하였다. 본 실험에 사용된 개체는 실험실에서 최소 2주간 사육조건과 동일한 환경조건 하에서 순화를 시켜 사용하였다.

실험실에서 순화가 완료된 미꾸리는 저장조 (50×32×35H cm)에서 암, 수를 격리하여 사육하였다. 인공수정에 사용된 개체는 저장조로부터 암컷과 수컷 각각 체중 10 g 이상, 체장이 10 cm 이상되는 암, 수를 선별하여 사용하였다.

사육실의 사육조건은 수온 $23 \pm 1^\circ\text{C}$, 광조건 16시간, 암조건 8시간이었으며, 먹이는 Tetra bits(Germany)을 오전, 오후 일일 2회 공급하였다. 미꾸리 사육과 독성시험에 사용한 희석수는 본 연구소내의 지하수를 1차로 membrane filter(1 μm)를 통과시켜 여과한 후, 활성탄 여과장치를 통해 사용하였다. 수질특성은 알카리도 101~108 mg/L CaCO_3 , 경도 98~109 mg/L CaCO_3 였다.

나. 실험실조건에서의 미꾸리 사육법 확립

1) 미꾸리의 인공수정

미꾸리의 인공수정에 사용된 호르몬제는 주성분이 메노트로핀인 IVF-M (LG화학, 150IU×5vials) 이었으며, 10 IU/1 g를 복부에 주사하였다. 호르몬 투여 후 6~13시간 사이에 암컷의 복부를 1시간 간격으로 압박해 난자의 배란을 검사하여, 난자의 배란이 확인되면, 수컷의 정소를 적출 하였다. 적출된 정소는 생리식염수로 혈액과 불순물을 세척한 다음, 해부가위로 잘게 절개하여 미꾸리의 정액이 생리식염수와 잘 섞이도록 하였다. 수컷의 정액준비가 완료된 후, 암컷의 복부를 압박하여 난을 방출시켰다. 이때 스포이드로 준비된 정액을 암컷의 생식공에 분사시키어 인공수정을 시켰다. 수정된 난은 사육수를 넣은 부화조의 부화판으로 고루게 떨어지도록 조절하였으며, 암컷의 복부는 10~15초 간격으로, 약 15~20회 정도 압박하였다.

2) 미꾸리의 사육

미꾸리의 수정란은 바닥에는 미세한 망 (0.5 mm)으로 된 아크릴 판 (20×20×2.5 H cm 2개, 40×20×2.5H cm 1개)을 설치한 약 50 L 용량의 부화조 (50×50×20H cm)에서 부화를 시켰다. 부화조는 유리로 제작을 하였으며, 히터를 이용하여 수온을 조절하였고, 공기 공급기로 폭기시켜 용존산소가 충분히 공급되도록 하였다. 해부현미경으로 검경하여 부화중에 사멸난이 관찰된 경우에는 스포이드를 이용하여 제거하였다.

부화된 자어는 부화후 10일까지는 부화조 내에서 사육하였으며,

부화 후 10일 이후에는 용량 5 L 의 자어 사육조 (27×22×13H cm) 에 각각 150~200 마리를 넣어 사육하였으며, 부화 후 30일 이후에는 50 L 용량의 치어 사육조 (50×50×20H cm)에 약 25 L의 사육수를 200~300 마리를 넣어 사육하였다. 먹이 공급은 부화 후 5일까지는 rotifer를 배양하여 공급하였으며, 부화 후 6일부터 10일까지는 Artemia를, 부화 후 11~60일까지는 Artemia(오전)와 Tetramin(오후)를 공급하였다. 부화 후 60일 이상된 개체는 Tetrabit(Tetramin, Germany)를 각각 오전, 오후 매일 2회씩 공급하였다. 사육조건은 수온 23±1℃, 광조건 16시간, 암조건 8시간이었으며, 사육수는 본 연구소내의 지하수를 1차로 membrane filter(1 μm)와 활성탄 여과장치를 통과시켜 사용하였다.

3) 미꾸리의 초기 먹이 배양

부화직후 미꾸리에 대한 초기 사료를 확보하기 위하여, 본 연구에서는 rotifer를 직접 배양하여 미꾸리에게 공급하였다. Rotifer를 배양하기 위해서는 먼저 이들의 먹이가 되는 클로렐라를 배양해야 하는데, 본 연구에 사용된 클로렐라는 본 연구실에서 계대사육중인 클로렐라 (*Chlorella vulgaris*)를 OECD 방법에 따라 배양하였으며, Rotifer는 미국 Bio International 사에서 알을 구입하여 부화시켜 사용하였다.

다. 생육단계별 감수성 비교실험

1) 절식실험 (starvation test)

초기 생육단계의 미꾸리를 96시간동안 급성독성이 가능한지를 알아보기 위하여, 부화 후 약 1주, 2주, 3주된 자어를 대상으로 6일

동안 절식시험을 실시하였다. 실험은 부화 후 약 1주된 미꾸리는 100 mL 사육수에, 부화 후 약 2주와 3주된 미꾸리는 500 mL의 사육수에, 5마리씩 3반복으로 노출시킨 다음, 먹이를 공급하지 않은 상태에서 매일 치사여 발생여부를 관찰 기록하였다.

2) 실험농약

우리나라에서 사용중인 농약 중에서 각 특성별로 대표적인 농약을 선정하였다. 유기인계는 diazinon(93.9%, 동양화학), 트리아졸계는 myclobutanil(93.6%, 경농), 피레스로이드계는 fenpropathrin(91.3%, 동방아그로), 카바메이트계는 carbaryl (NAC, 97.0%, 농업과 학기술원)로서 원제를 사용하였다.

3) 실험방법

미꾸리의 감수성 비교실험은 부화 후 2주, 4주, 8주, 16주, 20주된 개체를 사용하여 실시하였으며, 실험에 사용된 미꾸리의 생육단계별 크기와 시험조건은 표 4-32 와 같다.

표 4-32. 미꾸리의 생육단계별 크기 및 시험조건

Age (Weeks)	Total length (cm)	Body weight (g)	No. Of fish per conc.	DO (mg/L)	Temp (°C)	pH	Vol. of test sol'n (mL)
2	1.06±0.05	0.006±0.001		7.0~8.4		7.31~8.41	500
4	1.55±0.13	0.015±0.004		7.7~8.4		7.41~8.54	1,000
8	2.80±0.42	0.1±0.04	7	5.3~8.5	22.3~24.1	6.73~8.21	2,000
16	3.63±0.17	0.21±0.02		5.8~8.7		7.31~8.46	2,000
20	3.94±0.01	0.26±0.01		5.9~8.0		7.28~8.43	2,000

감수성 비교실험은 각 생육단계별로 예비실험을 통하여 설정된 노출범위에 따라 대수등간격으로 실험농도를 설정하였다. 실험용액은 각 실험농도에 따라 미리 조제한 실험물질용액(stock solution)을 일정량을 가하여 조제하였으며, 준비된 실험용액에 미꾸리를 무작위로 노출시킨 후, 실험용액의 교체없이 96시간동안 관찰하였다. 본 실험에 사용한 희석수는, 본 연구소내의 지하수를 1차로 membrane filter(1 μm)를 통과시켜 여과한 후, 활성탄 여과장치를 통해 사용하였다. 수질특성은 알카리도 101~108 mg/L CaCO_3 , 경도 98~109 mg/L CaCO_3 였다.

치사판정은 미병을 접촉 자극할 때 반응이 없는 것과 아가미 호흡이 중단된 것을 치사한 것으로 간주하였고, 발견 즉시 제거하였다. 관찰은 24 시간마다 하였고, 시험기간 동안 수온, 용존산소, pH를 48시간마다 측정하였으며, 광주기는 광조건 16시간, 암조건 8시간이었다. 결과의 분석은 100% 영향농도와 무영향농도사이에 2개 이상의 중간영향농도가 있는 경우에는 Probit법을 사용하였고, 100% 영향농도와 무영향농도 사이에 중간영향농도가 1개 이하인 경우에는 Moving Average-angle 법¹⁾에 의하여 96시간 LC_{50} 값과 95% 신뢰한계를 구하였다.

2. 연구수행내용 및 결과

가. 실험실조건에서의 미꾸리 사육법 확립

1) 미꾸리의 인공수정

오래 전부터 미꾸리의 인공채란을 위해서 개구리 뇌하수체를 뽑아서 미꾸리의 알 성숙 촉진제로 사용하는 방법이 개발되었다. 그러나, 개구리의 양적 확보가 쉽지 않으며, 개구리를 해부하여 골 밑에 있는 뇌하수체 전엽을 뽑는 것도 숙련된 기술이 필요하므로 최근에는 편리한 인공합성 호르몬제를 사용하여 인공채란을 하고 있다. 인공수정을 위해서는 미꾸리의 사육조건을 수온 23~25℃, 광조건 16시간, 암조건 8시간으로 유지해주는 것이 바람직하며, 복부를 관찰하여 복부가 팽창된 암컷을 선별하며, 인공산란 유도시 암컷 2마리와 수컷 1마리의 비율로 유도하는 것이 바람직하다.

호르몬 투여 직전 암컷을 얼음에 약 5분 정도 마취시킨 후, 마취된 암컷 미꾸리를 거즈로 싸아 움직이지 않게 잡은 다음, 복부를 위로하여 호르몬을 주사한다. 주사하는 위치는 내막과 배의 근육 사이 즉, 복강이다. 주사를 하면서 주사기를 좌우로 가볍게 흔들며 보는 것이 좋다. 근육이 움직이는 것처럼 되면 그곳에 바늘이 들어가 있는 증거이므로 조금 더 바늘을 깊게 찌러 넣는다. 복강 내에 바늘이 잘 들어간 후 살며시 피스톤을 눌러 기준량의 호르몬 액을 주입하면 된다. 주사를 마친 암컷은 다시 관찰이 용이한 수조에 넣고, 시간 경과에 따른 암컷의 변화를 관찰해야 한다. 호르몬 투여 후, 8~10시간 이내에 배란이 이루어지므로 호르몬 투여 후 6시간부터는 1시간 간격으로 암컷의 복부를 압박하여 난의 배란을 확인한다. 암컷의

배란이 확인되면 수컷의 생식소를 적출하여 정액을 준비한다.

본 연구에서는 호르몬 주사 후, 암컷의 사육수온을 $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 에 맞춘 경우에는 대부분의 개체가 8~10시간 후에 산란 가능한 상태로 관찰되었으며, 수온을 30°C 정도로 조절해 주었을 때는 난의 수정율이나 부화율이 다소 떨어지는 것이 관찰되어 25°C 전후의 수온이 최적으로 판단되었다. 암컷의 배란이 확인되면 부화조 내에 부화판을 넣고, 물은 수심이 10 cm 정도 되게 준비를 하여, 암컷의 복부를 압박하여 배란을 시키면 된다. 복부압박을 하면 암컷의 생식공에서 미수정란이 배란되기 시작하는데, 이때 스포이드를 이용해 암컷의 생식공 부위에 정액을 뿌려준다. 이렇게 하면 배란된 난은 정액과 같이 물 가운데 떨어지고, 물속에서 수정이 이루어지게 된다. 미꾸리의 수정란은 점착성란으로 부화판에 부착하게 된다. 그러나 부착시 난이 밀집하게 되면 난발생 과정중에 산소의 결핍으로 기형이 되며, 동시에 부화율이 저하됨으로 인접한 난의 간격이 1~2 mm 정도가 되도록 하는 것이 높은 부화율을 얻을 수 있는 중요한 포인트로 관찰되었다.

발생과정 중에 죽은 난은 부화조 내의 수질악화와 질병을 전염시키기 때문에 가능한 한 자주 제거해 주어야 한다. 사멸난은 육안적으로 구분이 가능할 정도로 초기에는 불투명한 색으로 변하며, 이후 부패하여 물곰팡이가 발생하여 흰색으로 변한다.

본 연구기간 동안 미꾸리의 인공산란을 유도하기 위해 총 5회의 호르몬제를 투여하여 산란유도를 실험한 결과는 표 4-33와 같다.

표 4-33. 미꾸리 인공산란 유도

Date	No. of female	Total length (cm)	Weight (g)	Time from hormone injection to ovulation (hr)	No. of eggs ovulated	No. of unfertilized egg
99. 5. 6.	I	16.0	25.6	-*	0	0
	II	18.0	29.0	9:30	2,000	60
99. 5. 11.	I	16.8	24.0	9:55	5,000	200
	II	15.5	20.3	8:08	5,000	215
99. 6. 15.	I	15.0	21.0	-	0	0
99. 7. 6.	I	13.0	12.1	-	0	0
99. 9. 7.	I	12.0	11.5	-	0	0
	II	17.0	28.6	-	0	0

* : No ovulation

총 5회의 인공산란 유도시험 중에서 2회, 3마리의 암컷에서 산란성공을 나타냈으며, 3회는 배란이 되지 않았다. 인공산란 시 배란이 되는 난의 수는 약 2,000~5,000개를 나타냈으며, 수정 성공률은 96~98%로 매우 높게 나타났다 (표 4-33). 시기별로 살펴보면 자연산란 시기인 5월에는 인공산란 유도가 원활하게 이루어진 반면에 5월 이후에는 호르몬을 사용한 인공산란 유도가 이루어지지 않았다. 이런 결과는 암컷과 수컷을 동시에 사육수조에 넣고, 사육한 수조에서는 자연산란기가 지난 1999년 7월 6일과 9월 16일에 자연산란이 이루어진 것으로 미루어 보아, 인공산란을 위한 친어를 암컷과 수

컷을 각각 분리하여 사육을 하는 과정 중에 산란환경조건에서 암컷이 장기간 노출되어 난소의 과성숙으로 인한 결과라고 판단된다.

또한 미꾸리를 농약의 생태독성 시험어종으로 사용하기 위해서는 실험실 환경조건에서 년 중 모든 단계의 미꾸리를 생산할 수 있어야 한다. 이렇게 되기 위해서는 년 중 자연산란 또는 인공산란이 이루어져야 하는데, 성성숙 유도 및 재생숙 유도를 하기 위한 환경조건을 확립하기 위해서는 지속적인 보완 연구가 필요하다고 생각된다.

2) 미꾸리의 사육

가) 부화조 및 부화판

인공채란 후, 수정란을 수용하여 부화시키는데 사용되며, 부화 후 7일간 즉 치어가 먹이 섭식을 개시할 때까지 부화조에서 관리한다. 부화조 재질은 유리 수조가 적합하며, 옆면에 배수구 구멍을 높이에 따라 설치하여 배수를 용이하게 조절할 수 있어야 한다. 배수구는 배수시 치어가 사육수와 함께 빠져나가는 것을 방지하기 위해 배수구에 적당한 크기의 망을 설치해야 한다. 부화조는 수위가 높은 것보다는 밑면적이 넓은 것이 치어 사육에 적합하다. 부화조는 인공산란 2~3일 전에 사육수를 넣어 유수식으로 가동시키는 것이 안전성을 확보할 수 있다.

부화판은 유리, 망, 나무 등의 재질을 부화조에 설치하는 것이 일반적이다. 본 실험에서는 아크릴 부화판을 제작하여 사용하였다. 아크릴로 사각틀을 제작하여 밑부분이 부화조 바닥에 붙지 않도록 다리를 2~3 cm 높이로 부착하였고, 사각틀 안쪽에 망목 0.5 mm의 미세망을 설치하였다. 이것은 수정된 미꾸리 난이 부착하는 장소로 제

공되고, 망목을 통해 물의 이동이 자유롭게 이동할 수 있게 신선한 물의 공급을 유지하였으며, 부화조내의 물은 분당 100 mL 씩 환수시켰다. 부화조내의 수온은 산란기의 자연수온인 $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하였고, 광주기는 광조건 16시간, 암조건 8시간으로 조절하였다.

나) 수정란의 수확과 부화

미꾸리 수정란은 약한 점착성이 있기 때문에 부화수조 바닥에 설치된 부화판에 약하게 붙어있게 된다. 부화판에 부착되어 있는 수정란과 무수정난은 쉽게 구분이 가능한데, 무수정난은 점차 백색으로 변한다. 무수정난은 발견 즉시 제거해야 하며, 시간이 지나면 수질 악화와 물곰팡이의 번식이 이루어져 정상난의 발생에 영향을 미친다. 사멸난 제거는 10 mL 스포이드를 이용해서 제거하는데, 사멸난은 점착성이 없어지기 때문에 스포이드를 이용해 약간의 수류를 일으키면, 사멸난은 부화판에서 분리된다. 이때 스포이드를 이용해 흡입하여 제거한다. 미꾸리 수정란은 $23 \sim 25^\circ\text{C}$ 에서 약 35~40시간 이내에 부화가 된다.

인공산란을 통하여 이루어진 미꾸리 수정란의 부화율에 대한 실험 결과는 다음 표 4-34와 같다.

표 4-34. 미꾸리 수정란 부화율

Replication	A	B	C	D	E
No. of eggs incubated	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
Hatching success (%)	80	80	70	90	90
	$82.0 \pm 8.4\%$				

인공수정을 통한 미꾸리 수정란의 부화율은 평균 $82.0 \pm 8.4\%$ 로 비교적 높게 나타났다. 그러나 부화는 되었지만 형태이상을 나타낸 비율이 평균 $18.0 \pm 11.0\%$ 로 매우 높게 나타났다. 이는 자연산란을 유도한 것이 아니라, 호르몬제제를 사용하여 인공수정을 시켜 나타난 결과로 생각되며, 종묘생산이 아닌 실험어종 생산을 위해서는 적절하지 못한 방법이라 생각된다. 부화후 자어는 난황을 매달고 있으며, 수조바닥이나, 벽면에 매달려 움직임이 거의 없었으며, 밝은 빛을 비추면 반대편으로 움직이기도 하는 것이 관찰되었다.

다) 자, 치어의 사육

부화된 자어는 부화 후 10일까지는 부화조 내에서 사육하였으며, 부화 후 10일 이후에는 용량 5 L의 자어 사육조에 약 100마리씩 사육하였다. 이때 밀도가 너무 높으면 생존율이 감소하고, 관찰도 어렵게 된다. 부화 후 30일 이후에는 40 L 용량의 치어 사육조에 약 25 L의 사육수를 채워 100마리씩 사육하였다. 사육수는 깨끗한 사육수 보다는 기존의 사육수조 중에서 담수조류가 적당히 자란 물을 사용하여, 수중의 담수조류(algae)와 원생동물을 먹이로 사용하도록 하였다. 부화 후 30일 정도 시간이 지난 다음에는 40 L의 사육수에 40~50마리를 넣고 사육하였다.

미꾸리는 잡식성으로 시중에 시판되는 미꾸리 사료, 시판되는 열대어 먹이, 그리고 brine shrimp와 같은 다양한 먹이를 공급할 수 있다. 본 연구실에서 실험한 결과, 미꾸리는 수조 밑바닥에 가라앉은 먹이나, 수중 또는 수표면에 떠 있는 먹이 모두에게 특별한 선호도가 관찰되지 않을 정도로 잡식성으로 나타났다. 미꾸리는 부화 후 약 2~3일 정도가 지나면 난황이 흡수되고, 입이 열리게 되어 먹이를 섭취할 수 있으며, 이시기에 약 2일 정도만 먹이공급을 하지 않

으면 거의 대부분의 자어가 치사하는 특징을 나타냈다. 자어 사육시 먹이가 항상 문제점으로 대두되고 있다. 자어단계에서는 시중에 시판되는 대부분의 종류에 대해 높은 치사율을 나타냈지만, Rotifer의 경우 이러한 문제점을 해결할 수 있었다. 먹이 공급은 부화 후 5일까지는 rotifer, 부화 후 6일부터 10일까지는 brine shrimp, 부화 후 11일부터 부화후 60일까지는 brine shrimp와 Tetra-min, 부화후 60일 이후에는 Tetra-bit를 각각 오전, 오후 매일 2회씩 공급하였다. 위와 같은 방법으로 미꾸리를 사육하였을 때 각 단계별 생존율은 93.9~100%로 매우 높게 나타났다.

3) 미꾸리의 초기 먹이 배양

전기자어의 미꾸리 먹이로서 확립한 rotifer를 배양하기 위해서는 먼저, rotifer의 먹이가 되는 클로렐라를 배양해야 하는데, 배양방법은 다음과 같다.

가) 클로렐라 (*Chlorella vulgaris*) 배양방법

(1) 클로렐라를 대량으로 배양할 수 있는 아크릴 원통(약 11 L) 3개에 클로렐라 배양액을 약 10 L 정도를 넣은 후, 공기를 공급해 준다. 배양용기의 용량이나 개수는 rotifer 배양 용량에 따라 결정을 하며, 클로렐라 배양액의 조성은 다음 표 4-35와 같다.

(2) 접종용 클로렐라를 접종한다. 접종량은 가능한 농축되고 많은 양을 접종해주는 것이 좋다.

(3) 약 일주일동안 24시간 계속 조명을 해주면서 배양을 한다. 이때의 배양환경조건은 온도 25~28℃, 조도 6,000~8,000 Lux 정도가 바람직하다.

(4) 클로렐라 사육조의 색이 짙은 녹색이 되면, 상온 또는 냉장 상태에서 침전을 시켜 배양액은 버리고, 클로렐라만을 수확한 다음, rotifer 배양액으로 희석하여 먹이로 사용한다.

표 4-35. 클로렐라 배양액

Chemicals	Concentration of stock solution (mg/L)
MgSO ₄ · 7H ₂ O	75.0
NaNO ₃	496.0
K ₂ HPO ₄	39.0
CaCl ₂ · 2H ₂ O	36.0
Na ₂ CO ₃	20.0
Ferric-Citrate	6.0
Citric acid	6.0
EDTA	1.0
Na ₂ SiO ₃ · 9H ₂ O	58.0

나) Rotifer 배양방법

(1) 약 5 mL 용량의 시계접시에 어류 사육수 2 mL 정도를 넣고, rotifer seed를 넣은 다음, growth chamber (온도 25~28°C, 조도 6,000~8,000 Lux)에서 약 2일 동안 부화시킨다.

(2) 부화된 rotifer 유생을 사육수조에 넣어 준다. 이때 사육수는 어류 사육수를 그대로 사용하면 된다. 가능한 폭기를 해주는 것이 좋다.

(3) 부화된 rotifer 유생을 사육수조에서 계속 키우면서 해부현미경으로 관찰하여 대량으로 번식된 것이 확인되면 약 2~3 L 정도를 꺼내어 75 μ m의 체에 유생만을 거른 다음 미꾸리의 전기자어 먹이로 공급한다.

(4) 사육수를 보충한 다음, rotifer 배양정도에 따라 클로렐라를 먹이로 공급한다. 이때 배양액의 색깔은 짙은 녹색을 유지하는 것이 바람직하다.

나. 생육단계별 감수성 비교실험

1) 절식실험(starvation test)

미꾸리에 대한 생육단계별 감수성 비교실험을 실시하기 위하여 96시간 급성독성시험을 수행할 수 있는지를 알아보기 위하여 미꾸리에 약 1주, 2주, 3주된 자어를 대상으로 6일동안 절식실험(starvation test)을 실시하였으며, 실험결과는 다음 표 4-36과 같다.

표 4-36. 미꾸리 절식실험

Exposure duration (days)	Cumulative mortality (%)		
	Age (weeks after hatching)		
	1	2	3
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	7	0	0
6	7	0	0

실험기간동안 절식시험에 노출된 모든 생육단계의 미꾸리는 4일째까지는 치사어가 발생하지 않았으나, 5일째에 부화 후, 약 1주일된 자어에서만 노출된 15마리 중에서 1마리가 사망하여 7%의 치사율을 나타냈다. 부화 1주일된 자어부터 96시간의 급성독성시험이 가능한 것으로 나타났다.

2) 감수성 비교실험

Diazinon에 대한 미꾸리의 생육단계별 감수성 비교실험 결과는 다음 표 4-37과 같다.

표 4-37. 미꾸리의 diazinon에 대한 반수치사농도(96hr-LC₅₀)

Age (Weeks after hatching)	96hr-LC ₅₀ (95% confidence limit, mg/L)
2	0.03 (0.02~0.05)
4	0.03 (0.02~0.05)
8	0.03 (0.02~0.03)
16	0.07 (0.05~0.10)
20	0.05 (0.04~0.06)
Maximum/Minimum	2.3

96시간 LC₅₀값의 최대치와 최소치 (극한치값의 비율)은 2.3로 나타났다. 생육단계별로 급성독성 값의 변화 양상을 살펴보면 부화 후 2, 4, 8주된 미꾸리와 부화 후 20주된 미꾸리의 급성독성 값을 미국 EPA의 통계적 방법으로 96시간 급성독성 값을 비교한 결과, 서로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 부화 후 16주된 미꾸리의 96시간 급성독성 값과 신뢰한계는 각각 0.07 mg/L과 0.05~0.10 mg/L으로 나타나 다른 실험군에 비해 급성독성 값이 높게 나타났다. 그러나 위와 같은 급성독성 값의 차이는 반복간에도 충분히 발생할 수 있는 미소한 차이로 생각되며, 이와 같은 차이로 인하여 생육단계별로 감수성 차이가 있다고 말하기는 어려울 것으로 판단된다.

Myclobutanil에 대한 미꾸리의 생육단계별 감수성 비교실험 결과는 다음 표 4-38과 같다.

표 4-38. 미꾸리의 myclobutanil에 대한 반수치사농도(96hr-LC₅₀)

Age (weeks after hatching)	96hr-LC ₅₀ (95% confidence limit, mg/L)
2	4.4 (3.7~5.1)
4	11.9 (10.5~14.0)
8	7.8 (5.9~10.2)
16	11.9 (10.5~14.0)
20	8.6 (6.8~11.3)
Maximum/Minimum	2.7

Myclobutanil의 96시간 LC₅₀값의 최대치와 최소치 (극한치값의 비율)은 2.7로 나타나 diazinon에 비해 높게 나타났다. 생육단계별로 급성독성 값의 변화 양상을 살펴보면 미꾸리 실험군의 연령에 따라 급성독성 값의 변화가 나타났다. 실험군에 따른 급성독성 값은 부화 후 2주된 미꾸리의 96시간 LC₅₀ 값이 4.4 mg/L으로 가장 낮게 나타났으며, 부화 후 4주 이상된 미꾸리의 96시간 LC₅₀ 값은 7.8~11.9 mg/L 사이로 부화 후 2주된 미꾸리에 비해 1.7~2.7배 정도 급성독성 값이 높게 나타났다.

Fenpropathrin에 대한 미꾸리의 생육단계별 감수성 비교실험 결과는 다음 표 4-39와 같다.

표 4-39. 미꾸리의 fenpropathrin에 대한 반수치사농도(96hr-LC₅₀)

Life stage (weeks after hatching)	96hr-LC50 (95% confidence limit, mg/L)
2	3.9 (2.3~5.9)
4	5.7 (4.6~7.4)
8	7.1 (4.9~10.2)
16	7.4 (6.6~8.7)
20	9.7 (7.3~12.7)
Maximum/Minimum	2.5

Fenproprathrin의 96시간 LC₅₀값의 최대치와 최소치 (극한치값의 비율)은 2.5로 나타났다. 생육단계별로 fenproprathrin의 급성독성 값의 변화 양상을 살펴보면 부화 후 4, 8, 16, 20주된 미꾸리의 급성독성 값을 미국 EPA의 통계적 방법으로 비교하면 서로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 부화 후 2주된 미꾸리 96시간 급성독성 값과 신뢰한계는 각각 3.9 mg/L과 2.3~5.90 mg/L으로 나타나 다른 실험군에 비해 급성독성 값이 낮게 나타나는 경향을 나타냈다. 그러나 위와 같은 급성독성 값의 차이는 반복간에도 충분히 발생할 수 있는 미소한 차이로 생각되며, 이와 같은 차이로 인하여 생육단계별로 감수성 차이가 있다고 말하기는 어려울 것으로 판단된다.

Carbaryl에 대한 미꾸리의 생육단계별 감수성 비교실험 결과는 다음 표 4-40과 같다.

표 4-40. 미꾸리의 carbaryl에 대한 반수치사농도(96hr-LC₅₀)

Age (Weeks after hatching)	96hr-LC ₅₀ (95% confidence limit, mg/L)
2	5.1 (3.9~6.8)
4	8.5 (5.8~12.7)
8	11.3 (9.2~14.7)
16	11.0 (9.3~12.8)
20	14.8 (13.1~17.5)
Maximum/Minimum	2.9

Carbaryl 96시간 LC₅₀값의 최대치와 최소치(극한치값의 비율)는 2.9로 나타나 4개의 실험농약 중에서 최고 높은 값을 나타냈다. 미국 EPA의 통계적 방법으로 비교한 결과, 부화 후 2주와 4주된 미꾸리의 급성독성 값은 서로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나, 또한 부화 후 8, 16, 20주된 미꾸리의 급성독성 값은 미소한 차이로 서로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나 서로 다른 차이가 매우 작아 생육단계별로 carbaryl에 대한 감수성의 차이로 보기에는 문제점이 있으리라 생각된다.

4종의 실험농약에 대한 미꾸리의 생육단계별 감수성 변화양상을 보면, 다음 그림 4-29와 같다. 생육단계별 감수성 변화양상에서 보듯이, 4종의 실험농약은 부화 후 2주된 미꾸리는 급성독성값이 다른 연령 실험군에 비해 낮은 특징을 나타냈다. 부화 후 4주 이상된 미꾸리는 연령이 증가할수록 급성독성 값이 점점 높아져 감수성이 낮아지는 경향을 나타냈다. 그러나 본 실험결과 나타난 감수성의 변화는 동일한 실험실에서 반복간에도 충분히 나타날 수 있는 범위로 생각된다. 그러므로 이러한 차이로 생육단계별로 감수성 차이가 있는 것으로 보기에는 다소 무리가 따르리라고 생각된다.

현재까지 이루어진 미꾸리의 생육단계별 감수성 비교실험 결과를 종합해 볼 때, 미꾸리는 부화 후 4주 즉, 약 1개월 정도가 지나면 실험물질에 대한 감수성의 변화가 급격하게 나타나지 않는 것으로 생각된다. 그러나 위의 실험결과를 명확하게 하기 위하여 실험 연령의 확대와 함께 동일 연령에 대한 반복실험을 수행하는 것이 필요하다고 생각된다.

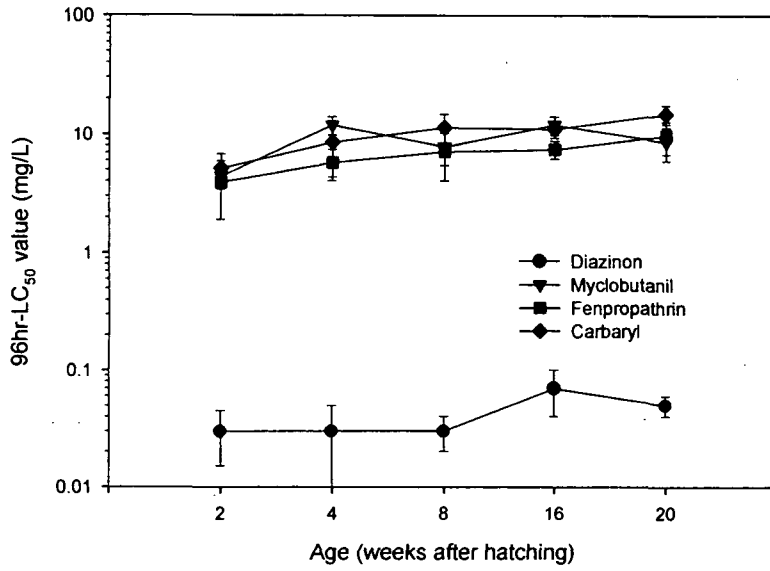


그림 4-29. 4종의 실험농약에 대한 미꾸리의 생육단계별 감수성 변화양상

3. 결과요약

국내의 자연수계에서 서식하고 있는 담수어류를 이용한 인공산란, 사육법, 및 표준생태독성 시험법을 확립하기 위한 노력의 일환으로서 미꾸리에 대하여 인공산란, 사육방법, 생육단계별 감수성 비교시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

가. 미꾸리의 암컷과 수컷은 최소 전장이 10.0 cm 이상, 체중은 암컷의 경우 15 g, 수컷의 경우 10 g 이상의 개체가 인공산란에 적당한 것으로 판단되었으며, 호르몬 투여량은 미꾸리 체중 1 g당 10 IU가 적정량으로 조사되었다.

나. 실험실에서 수행한 미꾸리의 산란 및 부화적온은 22~25℃로 판단되었다. 광주기의 경우 광조건 14~16시간, 암조건 8~10시간으로 관찰되었다.

다. 미꾸리에 대한 인공산란 및 자, 치어에 대한 사육방법을 확립하였다.

라. 미꾸리에 대한 생육단계별 감수성 비교실험 결과, 96시간 급성 독성시험이 가능한 연령은 부화 후 2주째부터 가능하였으며, 부화 후 4~20주된 미꾸리는 농약에 대한 감수성에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

제 6 절 한국산 담수어류를 이용한 표준생태 독성 시험법(안)

국내산 담수어류에 대한 급성독성시험법은 OECD guideline, 미국 EPA guideline, 농촌진흥청 농약등록시험 기준과 방법과 본 연구의 결과 등을 참고로 하여 작성하였다.

1. 정 의

가. LC₅₀ (median lethal concentration)

시험생물의 50%를 치사시키는 시험물질 농도이며, 시험기간을 명기한다(예, 96시간 LC₅₀).

나. 대조물질

독성시험이 정상적인 조건에서 수행되었는가를 확인하기 위하여 사용하는 물질이며, 대조물질로 병행 시험한 경우에는 그 결과를 보고한다. 중크롬산칼륨 (K₂Cr₂O₇) 또는 펜타크로로페놀 나트륨염(PCP-Na)을 사용한다.

다. 지수식 시험 (Static test)

시험기간중 시험용액을 교환하지 않는 시험을 말한다.

라. 반지수식 시험 (Semistatic test)

시험기간중 시험용액을 일정기간 마다 시험용액의 전량을 교환하는 시험을 말한다.

마. 유수식 시험 (Flow-through test)

시험기간중 시험용액을 연속적으로 교환해 주면서 하는 시험을 말한다.

2. 시험

가. 시험의 준비

1) 장치 및 기구

가) 시험용 수조 : 화학적으로 불활성인 재질로 만들어진 용기를 사용하는데, 일반적으로 유리로 된 것을 사용한다.

나) 온도제어 장치 : 20~28℃의 온도범위에서 온도의 편차가 $\pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지한다.

다) pH측정기

라) 용존산소 측정기

마) 기타 일반적인 실험실의 장치 및 기구

2) 희석수

양질의 천연수나 조제수를 사용하는 것이 좋으나, 탈염소 처리한 수도수도 사용 할 수 있다. 조제수는 다음과 같이 만든다.

가) Calcium chloride 용액

$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 11.76 g을 탈이온수에 녹이고 1리터로 맞춘다.

나) Magnesium sulphate 용액

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 4.93 g을 탈이온수에 녹이고 1리터로 맞춘다.

다) Sodium bicarbonate 용액

NaHCO_3 2.59 g을 탈이온수에 녹이고 1리터로 맞춘다.

라) Potassium chloride 용액

KCL 0.23 g을 탈이온수에 녹이고 1리터로 맞춘다.

모든 시약은 특급시약을 사용하며 증류수 또는 탈이온수의 전도도는 $10 \mu\text{Scm}^{-1}$ 이하여야 한다. 가)~라)까지의 용액을 25 mL씩

취하여 섞고, 탈이온수로 1 L에 맞춘다. 조제후 통기하여 산소를 포화되게 한 후 보관한다.

3) 어종의 전장 및 온도

어 종	전 장(cm)	온 도(℃)
왜 물 개	4.0±0.5	22~25
송 사 리	3.0±0.5	22~25
대륙송사리	3.0±0.5	22~25
붕 어	5.0±0.5	22~25
미 꾸 리	>2.0*	22~25

* 보완연구 필요

4) 순화

동일한 시험기관에서 사육된 어종은 시험 전에 48시간 동안 시험조건과 동일한 환경에서 순화를 시켜도 무방하다. 그러나 외부에서 구입한 어종은 시험 전에 14일 이상 실험실의 환경에서 순화시켜야 하며, 시험개시 7일 전에는 아래의 조건에서 순화를 시켜야 한다.

가) 조명 : 하루 12~16시간 조명

나) 온도 : 사용 어종의 적정 온도

다) 용존산소 : 포화산소 농도의 80% 이상

라) 사료 : 시험개시 24시간 전까지 주 3회 또는 1일 1회

사용어류는 순화를 시작한지 48시간 후부터 치사어를 관찰하여 다음의 기준에 따라 처리한다.

- 7일안에 치사율이 10% 이상이면 사용군 전부를 폐기한다.
- 치사율이 5~10% 이면 7일간 더 사육한 후 판정한다.
- 치사율이 5% 이하이면 시험에 사용한다.

나. 시험방법

1) 원리

시험어류를 일정조건 하에서 시험농약을 처리한 후, 96시간 동안 관찰하여 처리한 어류의 50%가 치사하는 농도(96시간 LC₅₀)를 구하는 것이다. 이때 시험물질의 적절한 농도범위를 알기 위하여 예비시험을 실시하고, 그 결과에 기초하여 본시험을 실시한다.

2) 예비시험

시험물질의 농도는 0.1, 1, 10, 100 mg/L의 4단계로 처리하고, 대조군은 두지 않아도 되며 반복시험할 필요는 없다. 48시간 동안 관찰하며, 한 농도당 4마리를 처리한다.

3) 본시험

가) 예비시험 결과에 기초하여 100%영향농도와 무영향농도 사이에 적어도 5개 농도(대조군 제외)를 대수등간격으로 정하는데 공비는 2를 초과하지 않도록 한다. 만일 100 mg/L에서 50%이하의 영향이 관찰되는 경우에는 대조군과 100 mg/L 농도에서 시험하여 영향이 50%이하이면 LC₅₀값을 100 mg/L 이상으로 한다.

나) 만일 시험물질 조제시 유기용매나 분산제를 사용하는 경우는 이들 물질이 포함된 대조군 (최고농도로 들어간 농도 기준)을 추가로 두어야 한다.

다) 한 농도당 7마리 이상을 처리한다.

라) 독성시험 기간동안 24시간마다 대조군, 최저농도, 최고농도에서 수온 pH, 용존산소를 측정한다.

마) 96시간 동안 매일 관찰하여 치사어와 독성증상을 기록하고, 치사어는 기록 후 곧 제거한다.

4) 시험환경

가) 미꾸리 무게와 시험수의 비율은 최대투여량(maximum loading)이 1.0g/L를 넘지 않도록 한다.

나) 시험물질이 난용성인 경우에는 어류에 대한 독성이 낮은 유기용매, 계면활성제, 분산제 등의 보조제를 사용하여 조제할 수 있다. 이 경우에 보조제의 농도가 100 mg/L를 초과해서는 안된다.

다) 시험물질이 휘발성인 경우에는 밀폐된 용기에서 시험해야 하는데, 이 경우 용존산소 농도가 포화농도의 60% 이하가 되지 않도록 한다.

라) 시험물질을 처리한 후, 시험용액의 pH가 현저하게 변화하면, 시험목적에 따라 시험물질용액(stock solution)의 pH를 염산 또는 수산화나트륨으로 조절할 수도 있다. 이때 농도가 변화한다든지 화학반응이 일어나서는 안된다.

마) 용존산소는 60% 이상이 유지되도록 하며, 통기(aeration)는 원칙적으로 하지 않으나 부득이한 경우는 시험물질이 잘 휘발되지 않는다는 근거가 있어야 한다.

바) 광주기는 16시간(light) : 8시간(dark)로 한다.

사) 시험기간 동안 먹이는 공급하지 않는다.

아) 시험어종의 적정온도에서 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 온도를 유지한다.

자) 치사의 판정은 공시어를 건드려도 움직이지 않거나 아가미 호흡이 중단된 경우 사망으로 판정한다.

차) 시험종료 후 대조군의 개체는 무게와 길이를 측정한다.

5) 시험시의 유의사항

가) 대조군에서 공시어 사망률은 시험종료시 10%를 넘지 않아야 한다.

나) 시험기간 중 시험물질 농도는 원칙적으로 설정농도의 80% 이상으로 유지되어야 한다.

다) 시험실시 기관은 시험의 신뢰성을 확인하기 위하여 정기적으로 대조물질을 가지고 시험을 실시하도록 한다.

3. 시험결과의 처리

본시험이 종료되면 적당한 통계적 방법을 사용하여, 급성독성값 (LC_{50})과 95%에서의 신뢰구간을 구하며, 보고서에는 통계적 방법을 명시하여야 한다.

제 7 절 참고문헌

- 국립환경연구원, 1998. 국립환경연구원고시 제 1998-4호, 화학물질 유해성시험기관의 지정 등에 관한 규정.
- 김동수, 이기영, 이택열, 1990. 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*)의 성분화에 관한 연구. 한어지, 2: 95~105.
- 김용억, 한경호, 1990. 실험실에서 사육한 한국산 각시붕어, *Rhodeus uyekii*의 초기생활사. 한어지, 2:159~168.
- 김용억, 한경호, 강충배, 유정화, 1992. 미끈망둑, *Luciogobius guttatus* Gill의 산란습성 및 초기생활사. 한어지, 4:1~13.
- 김익수, 1988. 한국 담수산 골표상목과 극기상목 어류의 분류. 전북 대생물학연구연보, 8: 83~173.
- 김익수, 1995. 한국의 위기 담수어류의 서식 현황과 보존. 1995 한국 생태학회, 한국어류학회 공동 심포지움 발표 논문집, pp. 31~43.
- 김익수, 강언종, 1993. 원색 한국어류도감. 아카데미서적, 서울, 477 pp.
- 김익수, 김소영. 1993. 한국산 송사리 두 종의 교잡실험. Korean J. Ichthyol. 5: 113~121.

김익수 김치홍, 1989. 한국산 잉어과 어류 칼납자루(*Acheilognathus limbata*)와 묵납자루(*A. signifer*)의 초기발생과 분류에 관한 연구. 동학지, 32: 22~23.

김익수, 문교정. 1987. 한국 송사리의 핵형. 한국동물학회지. 30: 379~386.

김익수, 박종영, 1992. 한국산 점줄종개, *Cobitis lutheri*의 성비와 자웅동체성. 한어지, 4: 72~76.

김익수, 이은희, 1995. 수수미꾸리의 초기발생에 관한 연구. 육수지, 28: 455~462.

김을배, 김영길. 1985. 치리(*Cultricus eigenmani*)의 형태 및 생활사에 관한 연구. 한국육수학회지. 18(1~2):35~42.

김재구, 홍영표, 안광국, 최신석. 1991. 한국특산종 감돌고기의 초기발생에 관한 연구. 한국육수학회지. 24(2):129~142.

김재원, 이병기, 1975. 남한강상류의 어류상과 수서곤충상. 한국육수학회지, 8: 39~49.

김중홍, 조현욱, 한원동, 이완욱, 1993. 보성강 유역의 생태계 변화에 따른 어류군집 변화. 한국환경생물학회지, 11: 154~160.

김치홍, 1991. 한국산 납자루속(잉어과) 어류의 계통분류학적 연구. 전북대 대학원 박사학위논문, 132 pp.

나창수, 신선숙, 1992. 주암댐 축조후의 어류상에 관한 연구. 한국 어류학회지. 4: 55~62.

변화근, 심하식, 최재석, 손영목, 최준길, 전상린, 1995. 치악산 계류에 서식하는 독종개(*Cottus poecilopus* Heckel)의 식성. 한어지, 7: 160~170.

변화근, 조규송, 최재석, 김종필, 1995. 한국산 독종개의 번식행동. 육수지, 28: 191~198.

변화근, 조규송, 최재석, 박정호, 최준길, 손영목, 전상린. 1995. 열목어(*Brachymystax lenok tsinlingensis*)의 먹이선택 습성. 한국 육수학회지. 28(3):279~288.

백윤걸. 1978. *Microphysogobio yaluensis*(Mori)의 생활사에 관한 연구. 한국육수학회지. 11(1~2):43~48.

손영목, 1983. 미호천의 담수어류상에 관한 연구. 한국육수학회지, 16: 13~20.

손영목, 주일영, 1988. 한국산 퉁가리속(genus *Liobagrus*) 어류의 생태. 육수지, 21: 243~251.

송태근, 양효식. 1995. 영산강 본류 상류수계의 어류상에 대하여. 연안환경연구. 12(1):59~70.

송태근, 김재근. 1995. 영산강 본류 하류수계의 어류상에 대하여. 연안환경연구. 12(1):71~84.

송호복, 1994. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* Mori(잉어과)의 생태학적 연구. 강원대 대학원 박사학위논문, 181 pp.

송호복, 권오길, 1989. 의암호에 서식하는 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae* Mori)의 산란 및 발생특성에 관한 연구. 육수지, 22: 51~70.

송호복, 권오길, 1993. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae*(Cyprinidae)의 초기생활사. 강원대학교 과학기술논문집, 32: 66~74.

송호복, 권오길, 1993. 홍천강에 서식하는 쉬리, *Coreoleuciscus splendidus* Mori(Cyprinidae)의 생태. 육수지, 26:235~244.

송호복, 권오길, 1994. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae*(Cyprinidae)의 생식생태, 산란행동에 관하여. 강원대 과학기술논문집, 33: 71~75.

송호복, 권오길, 1994. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae*(Cyprinidae)의 생식생태, 성적성숙과 산란시기. 강원대학교 과학기술논문집, 33: 76~84.

- 송호복, 권오길, 1995. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* Mori(Cyprinidae)의 산란조건. 한어지, 7: 18~24 (1995).
- 송호복, 권오길, 전상호, 김휘중, 조규송, 1995. 황성 섬강 상류의 어류상. 한국육수학회지, 28: 225~232.
- 안광국, 홍영표, 김재구, 최신석, 1992. 금강 담수어의 대상분포와 군집분석에 관한 연구. 한국육수학회지, 25: 99~112.
- 안철민, 1995a. 각시붕어, *Rhodeus uyekii*의 생식주기. 한어지, 7: 33~42.
- 안철민, 1995b. 각시붕어, *Rhodeus uyekii*의 생식주기에 미치는 광주기 및 수온의 영향. 한어지, 7: 43~55.
- 양홍준, 1973. 낙동강산 어류의 조사. 한국육수학회지, 6: 19~36.
- 양홍준, 채병수, 1993. 금호강수계의 어류상과 어류군집구조(I). 한국육수학회지, 26: 1~10.
- 양홍준, 채병수, 1994. 대도시 주변 하천수계의 수질환경과 육수생물학적 연구, 금호강수계의 어류상과 어류군집구조(II). 한국육수학회지, 27: 177~188.
- 양홍준, 채병수, 남명모, 1991. 홍천강 상류수역의 추계어류상. 한국육수학회지, 24: 37~44.

이충렬, 1992. 금강하구의 하구둑 축조 이후 어류군집의 변화. 한국
육수학회지, 25: 193~204.

장계남, 1995. 담수어 양식. 오성출판사, 서울, p. 995.

전상린, 1977. 한국산 감들고기의 생태에 관한 연구. 한국육수학회
지, 10(1-2):33~46.

전상린, 1994. 계방산 계류의 수환경 및 담수어류상. 환경생물학회
지, 12: 43~51.

전상린, 1995. 한국산담수어생물지리논문집. 상명여대생물학과, pp. 13~312.

정문기, 1961. 한국동물도감, 어류편. 문교부, 861 pp.

정문기, 1977. 한국어도보. 일지사, 서울, p. 591.

정문기, 1977. 한국어도보. 일지사, 서울, 727 pp.

정준, 양홍준, 1981. 영천 인공 댐호 예정지의 육수생물학적 연구.
경북대학교 논문집, 31: 249~267.

주일영, 김익수, 고재명, 1980. 낙동강의 어류상에 관한 연구 2, 지
리산일대의 계류를 중심으로. 한국육수학회지, 13: 25~31.

주일영, 전상린, 1977. 낙동강의 어류상에 관한 연구. 한국육수학회지, 10: 19~28.

최기철, 1971. 춘천호, 의암호, 및 아침못의 어류동태에 관한 비교 연구, 한국육수학회지, 4: 43~62.

최기철, 1983. 경남의 자연, 담수어 편. 경상남도교육위원회, pp. 11~311.

최기철, 1985. 경기의 자연, 담수어편. 경기도교육위원회, pp. 11~362.

최기철, 1986. 강원도의 자연, 담수어편. 강원도교육위원회, pp. 11~389.

최기철, 1986. 충북의 자연 담수어 편. 충청북도교육위원회, pp. 7~310.

최기철, 1987. 충남의 자연 담수어 편. 한국과학기술진흥재단, pp. 9~363.

최기철, 1988. 전북의 자연 담수어 편. 전라북도교육위원회, pp. 10~386.

최기철, 1989. 전남의 자연 담수어 편. 전라남도교육위원회, pp. 7~310.

- 최기철, 1889. 한국의 민물고기. 서문당, 서울, p. 51.
- 최기철, 1990. 경북의 자연, 담수어 편. 경상북도교육위원회. pp. 9~408.
- 최기철, 김익수, 1972. 무주 남대천의 어류상에 관하여. 한국육수학회지, 5: 1~13.
- 최기철, 백윤걸, 1970. 어름치의 생활사에 관하여. 육수지, 3: 1~11.
- 최기철, 백윤걸, 1972. *Gobiobotia macrocephalus* Mori의 생활사. 육수지, 5: 45~57.
- 최기철, 이지영, 김태용, 1977. 금강에 건설중인 대형댐을 중심으로한 어류조사. 한국육수학회지, 10: 25~32
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목, 1990. 원색한국담수어도감. 향문사, 서울, 274 pp.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목, 1989. 한국산담수어분포도. 한국담수생물연구소, 234 pp.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목, 1987. 한국산담수어분포도. 한국담수생물연구소, 215 pp.

최기철, 전상린, 김익수, 손영목. 1990. 원색 한국담수어도감. 향문사, 서울, 279 pp.

최신석, 1978. 대청댐 상류의 담수어에 관하여. 한국육수학회지, 11: 27~35.

한국건설기술연구원. 1995. 하천관리를 위한 어류서식처 구조에 관한 조사. pp. 67~68.

환경청, 1987. '87자연생태계 전국조사(I). 환경청, pp. 5~458.

홍영표, 1995. 금강 중, 하류수계의 어류군집의 변화. 95한국생태학회, 한국어류학회 공동 심포지움논문집, pp. 63~84.

Ahne, W., 1982. Isolation of infectious pancreatic necrosis virus from zebra Danio, *Brachydanio rerio*. Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol., 2: 8.

Akimenko, M.A., M. Ekker Lin and M. Westerfield, 1990.

Characterization of three zebrafish genes related to Hox-7, In developmental patterning of the vertebrate lim. J.R. Hinchliff,

Allison, D.T. and R.O. Hermanutz, 1977. Toxicity of dizainon to brook trout and fathead minnows. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 600/3-77-060.

American Society for Testing and Materials, 1980. Standard practice for conducting toxicity tests with fishes, macroinvertebrates and amphibians. Philadelphia: ASTM E 729-80.

American Society for Testing and Materials, 1981. Proposed standard practice for conducting toxicity tests with freshwater and saltwater algae. Philadelphia: ASTM E 47.01, Draft.

Anon, 1982. Breeding the zebra daino. *Prac. Fishkeep.* pp. 26~27.

Ansari, B.A. and K. Kumer, 1984. Malathion toxicity: in vivo inhibition of acetylcholinesterase in the fish *Brachydanio rerio*(Cyprinidae). *Toxicol. Lett.* 20: 283~288.

Asahina, K. and I. Hanyu. 1983. Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling *Rhodeus ocellatus*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 49(1):61~67.

Shimizu, A. and I. Hanyu. 1981. Annual reproductive cycle in a springspawning bitterling, *Acheilognathus tabira*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 47(1):333~339.

Awaji, M. and I. Hanyu, 1989. Temperature-photoperiod conditions necessary to begin the spawning season in wild type medaka. *Bull. Japan. Soc. Fish.*, 55: 747.

Benoit, D.A., 1982. User's guide for conducting life cycle chronic toxicity tests with fathead minnows(*Pimephales promelas*). U.S. Environmental Protection Agency, EPA 600/8-81-011, pp.17.

Bellavere, C. and G. Gorbi, 1984. Biological variability and acute toxicity of parathion, dichlobenil and TPBS to *Biomphalaria grabrata* and *Brachydanio rerio*. Environ. Technol. Lett., 5: 389~396.

Benoit, D.A., 1982. User's guide for conducting life cycle chronic toxicity tests with fathead minnows(*Pimephales promelas*). U.S. Environmental Protection Agency, EPA 600/8-81-011, pp.17.

British Crop Protection Council, 1994. A World Compendium The Pesticide Manual, Incorporating the Agrochemicals Handbook. Tenth Edition, Crop Protection Publications. U.K.

Brown, V.W., 1973. Concepts and outlooks in testing the toxicity of substances to fish. In: Bioassay Techniques and Environmental Chemistry, edited by GE Glass, Ann Arbor, Mich., pp. 73~96

Cummins, K W., 1962. An evaluation of some techniques for the

collection and analysis of benthic samples with special on lotic waters. *Am. Midl. Nat.*, 67: 477~504.

Denny, S.J., 1987. Guidelines for the culture of fathead minnows *Pimephales promelas* for use in toxicity tests. U.S. Environ. Protection Agency, pp. 1~41.

Denny, S.J., Robert, L.S., Kurt, E.M. and Shirin, C.Y., 1991. Guidelines for culturing the Japanese medaka, *Oryzias latipes*. U.S. Environ. Protection Agency, pp. 1~38.

Denny, S.J., 1987. Guidelines for the culture of fathead minnows *Pimephales promelas* for use in toxicity tests. U.S. Environ. Protection Agency, pp. 1~41.

Denny, S.J., Robert, L.S., Kurt, E.M. and Shirin, C.Y., 1991. Guidelines for culturing the Japanese medaka, *Oryzias latipes*. U.S. Environ. Protection Agency, pp. 1~38.

Devillers, J. and P. Chambon, 1986. Acute toxicity of chlorophenols to *Daphnia magna* and *Brachydanio rerio*. *J. Fr. Hydrol.* 17: 111~119.

Dixon, R.D., 1971. Predation of mosquito larvae by the fathead minnow, *Pimephales promelas* Rafinesque. *Manit. Entomol.* 5:

68~70.

Eaton, R. and R.D. Farley, 1974. Spawning cycle and egg production of zebrafish, *Brachydanio rerio*, in the laboratory. *Copeia*, 1: 195~204.

Eisen, J.S., 1991. Developmental neurobiology of the zebrafish. *J. Neurosci*, 11: 311~317.

Hoffman, G.L., 1958. Studies on the life cycle of *Ornithodiplostomum ptychocheilus*(Faust) (Trematoda: Strigeoidea) and the "self cure" of infected fish. *J. Parasit*, 44: 416~421.

J. Hurle and D. Summerbell eds., New York, Plenum Press. pp. 61~63.

Kirchen, R.V. and W.R. West, 1976. The Japanese medaka, its care and development. Carolina Biological Supply Company, Burlington, NC. 36pp.

Kim, J.K., Y.P. Hong, K.G. An and S.S. Choi, 1991. Studies on early embryonic development of *Pseudopungtungia nigra*, Korean endemic species. *Kor. J. Limnol.*, 24: 129~136.

Kirschbaum, F., 1977. The genetics of some color mutant of the zebrafish *Brachydanio rerio* (Cyprinidae, Teleostei) and of the phenotype of species hybrids of the genus *Brachydanio*. Biol. Zentralbl., 96: 211~222.

Lagler, K.F., J.E. Bardach and R.R. Miller, 1962. Ichthyology, The study of fishes. John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 429~476.

Lorenzen, C.J., 1966. A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. Deep Sea Res., 13: 223~227.

Masaru, M., Yamagishi, T., Sakaizumi, M and S. R. Joen. 1997. Mitochondrial DNA Variation in the Korean wild Population of Medaka, *Oryzias latipes*. Korean J. Limnol. 78: 119~128.

Millikin, M.R. 1982. Qualitative and quantitative nutrient requirement of fishes. Fish. Bull., 80: 655~686.

Nish, K. and K. Takano, 1979. Effects of photoperiod and temperature on the ovary of the bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Hokkaido Univ. Faculty of Fish., 30: 63~73.

OECD, 1985. Methods for Measuring the Acute Toxicity of

Effluents to Freshwater and Marine Organisms. EPA/600/4-85/013.

OECD, 1993. OECD guidelines for the testing of chemicals.
Paris.

Pitcher, T.J., 1986. The behaviour of the teleost fishes. Croom
Helm, London, 553 pp.

Rand, G.M. and S.R. Petrocelli, 1985. Fundamentals of aquatic
toxicology. Hemisphere Publishing Co., Washington, pp. 335~471.

Ricker, W.E., 1971. Methods for assessment of fish production
in freshwater. IBP hand book, 3:112~113.

Sakaizumi, M. and S. R. Jeon. 1987: Two divergent groups in
the wild populations Of medaka *Oryzias latipes* in Korea. Korean
J. limno. 20: 13~20.

Shin C.C., S.K. Lee, Y.B. Kim, Y.H. Kim and J.K. Roh, 1987.
Changes in Susceptibility of Killifish(*Oryzias latipes*) to
Three Pesticides with Growth, Korean Journal of Environmental
Agriculture, 6(1):50~60.

Steindachner, S.M., 1872. Ichthyologische bemerkungen aus dem
zool. Zool. Mus. K. Acad. Wiss., 13:230~233.

Suzuki, N. and T. Hibiya, 1985. Development of eggs and larvae of two bitterlings, *Acheilognathus lanceolata* and *A. limbata*(Cyprinidae). Bull. Coll. Agr. Med., Nihon Univ., 42:195~202.

Suzuki, N. and S. R. Jeon, 1987. Development of the bitterling, *Acheilognathus yamatsutae*(Cyprinidae), with notes on minute tubercles on the skin surface and pharyngeal apparatus. Kor. J. Limnol., 20:229~241.

Suzuki, N. and S. R. Jeon, 1988a. Development of eggs, larvae and juveniles of *Rhodeus ocellatus* from Ansong-river, Korea(Pisces: Cyprinidae), with a note on minute tubercles on the skin surface. Kor. J. Limnol., 21:1~15.

Suzuki, N. and S. R. Jeon, 1988b. Hybridization experiments in Acheilognathinae fishes(Cyprinidae), an intrageneric hybrid between *Rhodeus suigensis* and *R. uyeekii*. Kor. J. Limnol., 21:57~78.

Suzuki, N. and S. R. Jeon, 1988c. Hybridization experiments in Acheilognathinae fishes(Cyprinidae), an intrageneric hybrid between *Rhodeus uyeekii* and *R. ocellatus smithi*. Kor. J. Limnol., 21:129~142.

Suzuki, N. and S. R. Jeon, 1988d. Development of the

bitterling, *Acheilognathus signifer*(Cyprinidae), with a note on minute tubercles on the skin surface. Kor. J. Limnol., 21:165~179.

Suzuki, N. and S. R. Jeon, 1988e. Development of the bitterling, *Acheilognathus limbata*(Cyprinidae) from Korea and Japan, with notes on minute tubercles on the skin surface and on the genetic implication in hybrid embryos. Kor. J. Limnol., 21:211~229.

Suzuki, N. and S. R. Jeon, 1988f. Development of egg and larvae of the bitterling, *Rhodeus suigensis* (Cyprinidae) from Korea, with a note on minute tubercles on the skin surface. Kor. J. Limnol., 21:231~242.

Suzuki, N. and S. R. Jeon, 1989a. Development of of the bitterling, *Achanthorhodeus asmussi*(Cyprinidae) with note on minute tubercles on the skin surface. Kor. J. Ichthyol., 1:73~82.

Suzuki, N. and S. R. Jeon, 1989b. Pharyngeal teeth and masticatory process of the basioccipital bone in Korean bitterling(Teleostomi: Cyprinidae). Kor. J. Ichthyol., 1:83~92.

Suzuki, N. and S. R. Jeon, 1990a. Development of *Acheilognathus lanceolatus* from Ungchon river, Korea. Kor. J. Ichthyol., 2 :77~87.

Suzuki, N. and S. R. Jeon, 1990b. Development of the bitterling, *Acanthorhodeus*(=*Acheilognathus*) *gracilis* (*Cyprinidae*), with a note on minute tubercles on the skin surface. Kor. J. Ichthyol., 2:169~181.

Suzuki, N. and S.R. Jeon, 1994. Interspecific and intergeneric hybridization experiments between females of four species of *Acheilognathus limbata*, *A. koreensis*, *Rhodeus ocellatus* and *R. suigensis* and male of *A. signifer*(*Cyprinidae*, *Teleostei*). Kor. J. Limnol., 27: 339~348.

Uchida, K., 1939. The fishes of Tyosen(Korea). Part I. Nematognathi and Eventognathi. Bull. Fish. Exp. St., 458 pp.

U. S. EPA, 1985. Methods for measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine Organisms (3 rd edition). EPA/600/4-85/013.

Uwa, H. and S. R. Jeon. 1987. Karyotypes in two divergent groups of a ricefish, *Oryzias latipes*, from Korea. Korean J. Lim. 20: 139~147.

Verhoeven, B. and G.J. Van Oordt, 1995. The influence of light and temperature on the sexual cycle of the bitterling, *Rhodeus amarus*. *Zoology*, 628~634.

Wootton, R.J., 1990. Ecology of teleost fishes. Chapman and Hall, London, 404 pp.

Yamamoto, T., 1975. Series of stock culture in biological field, Medaka(killifish) biology and strains. Keigaku Publishing Co. Tokyo, Japan, 365 pp.

水野信彦, 1969, 日本のコイ科魚類. pp 326~351.

鈴木伸洋, 전상린. 1988. 안성천산 흰줄납줄개의 난발생과 자어의 발육 및 자어의 표피상들기에 관하여. 한국육수학회지. 21(1):1~16.

岩田明久, 田祥麟, 水野信彦, 崔基哲. 1988. 동사리 *Odontobutis platycephala* (망둥어과)의 개체발생. 한국육수학회지. 21(1):25~32.

鈴木伸洋, 전상린. 1988. 묵납자루의 난발생과 자어의 발육 및 자어의 표피상들기에 관하여. 한국육수학회지. 21(3):165~180.

鈴木伸洋, 전상린. 1988. 한국 및 일본산 칼납자루의 난발생, 자어의 발육, 자어의 표피상들기 및 이들의 교배에 관하여. 한국육수학회지. 21(4):211~230.

鈴木伸洋, 전상린. 1988. 납줄갱이의 난발생, 자어의 발육 및 자어의 표피상들기. 한국육수학회지. 21(4):231~242.

鈴木伸洋, 전상린. 1988. 납줄갱이와 각시붕어의 인공교배 실험에 관하여. 한국육수학회지. 21(2):57~78.

鈴木伸洋, 전상린. 1988. 각시붕어 *Rodeus uyekii* 와 *R. ocellatus smith*의 인공교배 실험에 관하여. 한국육수학회지. 21(3) :129~142.