

이학박사 학위논문

양양 남대천 재첩, *Corbicula japonica*의 성장과 종묘생산

이 논문을 바탕으로 학위논문으로 제출함

2004년 2월

부경대학교 대학원

해양산업공학 협동과정

김 완 기

김완기의 이학박사 학위논문을 인준함

2003년 12월 일

주 심 농 학 박 사 김 창 훈



부 심 이 학 박 사 김 윤



위 원 이 학 박 사 박 기 영



위 원 이 학 박 사 백 혜 자



위 원 이 학 박 사 허 성 범



목 차

Abstract	i
제1장 서론	1
제2장 서식환경과 성장	4
제1절 서설	4
제2절 재료 및 방법	7
1. 수질환경	7
2. 서식지 퇴적물의 COD	7
3. 퇴적물의 입도분석	7
4. 서식밀도	9
5. 각장조성	9
6. 운문판독의 정확성	11
7. 운문형성의 주기성	11
8. 연령과 성장	11
제3절 결과	13
1. 수질환경	13
2. 서식지 퇴적물의 COD	13
3. 퇴적물의 입도분석	13
4. 서식밀도	18
5. 각장조성	18
6. 운문판독의 정확성	22
7. 운문형성의 주기성	22
8. 연령과 성장	25
제4절 고찰	33

제3장 생식주기	37
제1절 서 설	37
제2절 재료 및 방법	39
1. 생식소의 구조	39
2. 생식소의 발달 및 생식주기	39
3. 성비	39
4. 체성분 변화	40
제3절 결 과	41
1. 생식소의 구조	41
2. 생식소지수	41
3. 생식소의 조직학적 변화	41
3-1. 난자 형성	41
3-2. 정자 형성	46
4. 생식주기	46
5. 성 비	51
5-1. 조직학적 성	51
5-2. 외형적 성	51
6. 체성분 변화	51
제4절 고 찰	55
제4장 인공종묘생산	59
4-1. 산란유발 및 부화	59
제1절 서 설	59
제2절 재료 및 방법	61
1. 산란유발	61
2. 각장에 따른 산란량	62
3. 염분에 따른 부화율	62
4. 수온에 따른 부화율	62
5. 알의 수용밀도에 따른 부화율	63

제3절 결 과	64
1. 산란유발	64
2. 각장에 따른 산란량	69
3. 부화	69
3-1. 염분에 따른 부화율	69
3-2. 수온에 따른 부화율	69
3-3. 알의 수용밀도에 따른 부화율	70
제4절 고 찰	77
4-2. 부유유생 및 치패사육	79
제1절 서 설	79
제2절 재료 및 방법	81
1. 변태와 성장	81
2. 수온과 염분에 따른 부유유생의 성장과 생존율	81
3. 수용 밀도에 따른 부유유생의 성장과 생존율	81
4. 먹이생물 종류 및 공급량에 따른 부유유생의 성장과 생존율	82
5. 채묘방법에 따른 치패의 성장과 생존율	82
6. 염분과 수온에 대한 치패의 내성	83
7. 염분과 수온별 치패의 성장과 생존율	83
8. 먹이별 치패의 성장과 생존율	84
9. 밀도별 치패의 성장과 생존율	84
제3절 결 과	85
1. 변태와 성장	85
2. 수온과 염분에 따른 부유유생의 성장과 생존율	85
3. 수용 밀도에 따른 부유유생의 성장과 생존율	92
4. 먹이생물 종류 및 공급량에 따른 부유유생의 성장과 생존율	92
5. 채묘방법에 따른 치패의 성장과 생존율	92
6. 염분과 수온에 대한 치패의 내성	96
7. 염분과 수온별 치패의 성장과 생존율	96
8. 먹이별 치패의 성장과 생존율	96

9. 밀도별 치패의 성장과 생존율	97
제4절 고찰	106
제5장 종합고찰	110
제6장 요약	113
감사의 글	116
참고문헌	117

Growth and seedling production of the brackish water clam, *Corbicula japonica* in Namdae Stream, Yangyang, Korea

Wan-Ki KIM

*Interdisciplinary Program of Ocean Industrial Engineering,
Graduate School, Pukyong National University*

ABSTRACT

In order to obtain the basic information on the reproductive biology for seedling production of the brackish water clam, *Corbicula japonica*, in the Namdae Stream, Yangyang, its environmental factors and population density, age and growth, reproductive cycle, spawning induction and hatching, and larvae and juvenile rearing were investigated.

1. Environmental factors and growth

Hydrological factors were as follows: temperature = $-0.2 \sim 26.8$, salinity = $0.50 \sim 3.21$ ppt, DO = $5.21 \sim 8.13$ ppm, PO₄-P = ND ~ 1.37 ppm, NO₂-N = $0.10 \sim 0.81$ ppm, COD = $1.53 \sim 2.82$ ppm, H₂S = ND ~ 0.0012 ppm and IL = $0.85 \sim 1.36\%$. Sediment was typical sand and gravelly sand, which had a very good sorting value ranging from 0.53 to 1.77 . The Population density of the clam *C. japonica* ranged from 2 ~ 464 ind./m². The clams were divided into four size classes, based on their shell lengths: small (0 ~ 10 mm), medium (10 ~ 20 mm), large (20 ~ 30 mm) and largest (>30 mm), and their frequencies of occurrence were 3.2%, 50.4%, 43.3% and

3.1%, respectively. Therefore, the clams larger than 10 mm in shell length accounted for 96.8% in total.

The age of *C. japonica* was determined by the rings on the shell. The average shell length of 1.5-year-olds was 10.54 mm, that of 2.5-year-olds was 17.52 mm, that of 3.5-year-olds was 23.53 mm, that of 4.5-year-olds was 28.07 mm, and that of 5.5-year-olds was 31.99 mm.

Bertalanffy's growth parameters were estimated by a non-linear regression method: the asymptotic shell length (L_{∞}) was 48.98 mm, K was 0.2042/year, the theoretical age at 0 shell length (t_0) was 0.3169 year, and the asymptotic total weight (W_{∞}) was 36.73 g. The growth formula was $L_t = 48.98(1 - e^{-0.2042(t-0.3169)})$.

The formula of allometry between the shell length (L , mm) and the total weight (W , g) of the brackish water clam was $W = 6.67 \times 10^{-4} L^{2.81}$ ($R^2 = 0.9853$)

Bertalanffy's growth formula calculating the shell length in terms of the total weight for each age group was $W_t = 36.73 (1 - e^{-0.2042(t-0.3169)})^{2.81}$.

2 Reproductive cycle

The gametogenesis, reproductive cycle, and sex ratio of the brackish water clam, *C. japonica* were monthly investigated by histological observation. Samples were collected in brackish water, an estuary of the Namdae stream, Yangyang from November 2000 to October 2001. The brackish water clam *C. japonica* was dioecious and oviparous. The ovary was grayish and the testis was milky. They were 86.7% distinguishable with the naked eye. The gametogenesis and reproductive cycle were found to be subject to the change of water temperature, and the ripe oocytes were about 80 μm . This species had five long successive

stages in the reproductive cycle : the growing stage (April through May), the mature stage (June), the ripe (July), the spawning (August through September), the recovery (October through March). The gonads did not atrophy completely after the discharge of oocytes and spermatogonia, but differentiated again in the middle of April after a long period of nonactivity later than those of the southern provinces, growing on another tissue. The gonad index corresponded with the fluctuation of its reproductive cycle. Among 395 samples, the number of females was 208, that is, larger than that of males, which was 186. However, it did not show a significant sex ratio of females to males at the 95% significance level ($p>0.05$).

3. Seedling production

3-1. Spawning induction and hatching

The brackish water clam hardly showed any reaction to a temperature stimulation in the fresh water. The spawning induction showed the best result in the salinity of 6 ppt in the temperature stimulation with different salinities. The spawning of the clam and fertilization rate were the most favorable in the salinity of 6 ppt at the temperature range of 26~28. The embryo of the brackish water clam was of a globular shape and $86\pm 3 \mu\text{m}$ in the diameter. The developmental process of fertilized eggs was as follows: the formation of the first polar bodies after the completion of fertilization, the formation of two-cell embryos by the first cleavage 60 minutes after fertilization, four-cell embryos 120 minutes after fertilization, eight-cell embryos 150 minutes after fertilization, sixteen-cell embryos 180 minutes after fertilization, the appearance of blastulas 250 minutes after fertilization which started starting rotatory motions with the appearance of cilia, the appearance of gastrulas 375 minutes after fertilization, and the hatching of

trochophore larvae 900 minutes after fertilization.

3-2. Larvae and juvenile rearing

The larvae of the brackish water clam grew to be 248 μm in shell length in a relatively short time, that is, 15 days after hatching. They showed a rapid developmental process, compared to the larval duration of other brackish water clams. The ratio of shell height to shell length, which showed morphological differences among larvae, was 0.87 in early D-shaped larvae and 0.86~0.92 in D-shaped larvae which were larger than 150 μm in shell height.

The optimal salinity and water temperature for larval rearing were 6~9 ppt and 22~24°C, respectively. Their optimum density was 1~5 inds./ml.

The most effective food organism for larvae of the clam was mixed microalgae with *I. galbana*, *P. lutheri* and *C. calcitrans*, in concentrations of 1~2 \times 10⁴ cells/ml.

For the juvenile, a mixed diet with *I. galbana*, *P. lutheri* and *C. calcitrans* showed the most excellent growth rate and best survival rate, while the sole diet of *P. lutheri* showed the steadiest growth and lowest survival rate.

Sand bottom was effective for seed collection, and the survival rate and growth of larvae showed the highest in sand smaller than 250 μm in diameter.

The growth and survival rate of juveniles showed no difference in the salinity range of 3~12 ppt. However, at the temperature range of 17 to 30, the higher the temperature was, the faster the growth of juveniles was, but the lower the survival rate was.

제1장 서론

재첩은 연체동물문(Mollusca), 부족강(Pelecypoda), 백합목(Veneroida), 재첩과(Corbiculidae)에 속하는 조개류로 우리나라에는 1속 6종이 서식하는 것으로 보고되고 있으며(권 등, 1993), 주로 호수 및 하천의 담수 또는 기수에 분포한다.

우리나라의 재첩 분류 및 분포는 중간 형태가 유사하고 종내 형태적 변이가 다양하여(유, 1976 : 권 등, 1993 : 이와 김, 1997) 현재까지도 분류학적 논란의 대상이 되고 있을 뿐만 아니라 서식지도 정확하게 조사되지 않은 실정이다.

그러나 양양 남대천은 어획활동이 시작된 후 경과기간이 짧고 낙동강이나 섬진강 등과 같이 재첩을 이용하는 사람들이 종의 구분을 명확하게 하지 않고 무분별하게 재첩 종패를 살포하지 않은 지역으로 단일종 개체군의 연구에 적합한 곳으로 사료된다.

재첩은 옛날부터 내수면 패류 중에서 가장 귀하게 여겨지고 있는 종류로, 재첩국, 재첩무침 등, 식용으로서 기호도가 높은 유용 수산자원이다. 특히 동해안에 서식하는 재첩은 크기가 클 뿐 아니라 껍질이 검고 윤기가 나서 품질이 우수하여 전량 일본으로 수출되고 있다. 그러나 최근에는 채취도구의 발달, 어획노력의 강화, 남획, 도시화 및 하천의 매립으로 수질오염과 서식장의 축소 등으로 인한 자원량이 급격히 줄어들고 있는 실정이다. 국내 생산량은 1984년에 15,515톤이던 것이 매년 감소하여 1988년 6,660톤, 1995년 659톤, 2001년 309톤으로 급격히 감소하였다(Table I-1; 해양수산부통계연보, 2002).

Table I-1. Annual production of *Corbicula japonica* in Korea

Year	1984	1986	1988	1990	1992	1994	1995	1997	2001
Production (ton)	15,515	14,890	6,660	1,516	1,153	705	659	413	309

그러나 이러한 생산량의 감소에도 불구하고 인구증가와 국민소득의 향상에 따라 고급 수산물을 선호하는 소비성향으로 변하고 있으며, 특히 패류와 갑각류의 소비는 점차 증가 추세에 있다. 따라서 이러한 수요를 충족시키기 위해서는 국내에서 생산되는 재첩의 생산량만으로는 부족할 것으로 예상되므로 자원관리가 필수적이라 여겨지고, 소득원인 자원을 지속적으로 증대시키기 위해서는 안정적인 인공종묘생산을 기반으로 한 양식생산에 많은 노력을 기울여야 한다.

재첩의 성분은 단백질, 비타민B₂, B₆, B₁₂, 칼슘, 인, 철분 등으로 이 중 단백질에는 체내에서 만들 수 없는 필수아미노산이 함유되어 있다. 또한 패류에 많은 타우린은 해독작용이 있어 간장의 기능을 좋게 하며, 특히 숙취와 흡연, 성장기의 어린이, 임산부에게는 꼭 필요한 식품이다(한방가정요법대전, 1991). 아울러 재첩은 수출되기 때문에 가격 경쟁력을 가진 품종으로 평가되고 있으며 향후 대량 생산시 고부가가치가 있는 수출전략 품종이라 할 수 있다. 그러므로 재첩의 양식기술 개발을 위하여 번식생태와 인공종묘생산에 의한 대량생산의 기반조성 연구가 절실히 요구된다.

재첩류의 연구는 일본의 경우 재첩류의 생리, 생태(谷田·平野, 1952; 石田·石井, 1971; Fuji, 1979; 丸, 1981), 성장(Fuji, 1957), 성장과 연령(宇藤, 1981)에 관한 연구가 있으며, 우리나라에서는 박과 이(1968)의 자원학적 연구 이후, 생태(정, 1977), 정자형성과정(김과 유, 2000b), 생식주기(이와 정, 1980; 김과 유, 2000a) 및 분류(이와 김, 1997), 서식밀도(김 등, 2002a) 등이 연구되어 있다.

해안선이 단조로운 동해안은 풍파의 영향이 심한 환경특성과 함께 간석지가 없으며 대륙붕이 협소하여 증·양식사업의 개발이 부진한데다, 남획에 의한 자원감소가 심하여 어가 소득이 불안정하다. 따라서 지금까지 개발이 부진한 동해안에서 증·양식장 개발을 전개해야 할 필요성이 높아지고 있는데, 양양 남대천 재첩의 경우 자연재해를 최소화 할 수 있는 기수역에 서식하고 있으므로 양식 기술개발이 이루어질 경우 보다 안정적으로 어업인의 소득을 향상시킬

수 있다.

양양 남대천에 서식하는 재첩 *Corbicula japonica*의 바닥식 양식과 자원조성을 위해서는 자연산 치패의 수집이나 인공 종묘생산에 의한 종패의 확보가 선행되어야 한다. 국외에서의 조개류 종묘생산에 관한 연구는 주로 자연채묘에 관한 연구가 이루어져 왔으며 인공종묘생산 기술에 관한 연구는 참굴 *Crassostrea gigas*, 피조개 *Anadara broughtonii*, 진주조개 *Pinctada fucata martensii* 등 일부 품종에서 실험실 규모의 연구가 이루어져 왔다. 또한 국내에서는 주로 조개류의 자연채묘에 관한 연구가 이루어져 왔으며, 인공종묘생산에 관하여는 남해안에서 참굴, 피조개, 진주조개, 큰우럭 *Tresus keenae* 등의 연구가 이루어지고 있다. 그러나 동해안에서의 조개류 인공종묘생산에 관한 연구는 북방대합 *Spisula sachalinensis*을 제외하고는 매우 드문 편이다.

그러므로 본 연구에서는 강원도 양양 남대천 하구 기수역에 서식하는 재첩 *Corbicula japonica*의 자원 보존 및 증·양식의 기초자료를 얻고자, 서식환경과 밀도, 연령과 성장, 산란기 파악을 위한 생식주기를 조사하였다. 또한 인공종묘생산을 위한 대량 산란유발 방법을 파악하였으며, 발생 및 부화에 관여하는 환경요인을 구명하였다. 그리고 유생기의 높은 생존율을 유지하기 위한 환경 및 사육방법을 연구하였으며, 치패의 성장, 사육방법, 환경내성을 파악하였다.

제2장 서식환경과 성장

제1절 서 설

양양 남대천은 강릉시 연곡면 두루봉에서 발원하고, 태백산맥의 설악산, 점봉산, 응복산, 황백산을 연결하는 각 골짜기에서 발원한 지류와 합류하여 양양읍 조산리에서 동해로 유입된다(변 등, 1996). 일반적으로 동해로 유입되는 하천들은 지형의 특성 때문에 유정(流程)이 짧으나, 양양 남대천은 계곡이 깊고, 많은 지류가 있어 유정이 길고, 유량이 풍부한 하천으로(전, 1982), 연어, 송어, 황어 등의 냉수성 어종과 기수역에는 재첩이 많이 서식하고 있다. 재첩은 하류지역에 한정 분포하는 특산종으로 성장과 광택이 우수하여 상품성이 높으나 각종 규제에 의하여 채취가 불가능하여 산업적으로 활용되지 못하다, 1998년 보호수면이 해제되면서 어업인의 소득원이 되고 있다.

한편 조개류는 환경여건이나 퇴적물 조성에 따라 서식량에 상당한 차이를 보이며, 성장 및 번식에도 큰 영향을 미치게 된다. 그러므로 자원관리 및 지속적인 유지를 위해서는 본격적인 채취가 이루어지기 이전에 서식환경과 퇴적물에 관한 연구가 선행되어야 한다

재첩류의 생태와 서식환경에 관한 연구로는 박과 이(1968)의 자원학적 연구 이후, 생태(정, 1977) 및 분류(이와 김, 1997) 등이 있으며, 최근 변과 정(2001)이 경북 포항 하구의 기수역에 서식하는 재첩의 분포와 생태조사를 보고하고 있을 뿐이다. 그러나 재첩이 서식하고 있는 전체 수역을 대상으로 한 세부적인 서식환경과 밀도의 연관성에 관한 연구는 매우 드문 편이다.

성장은 생물의 특유한 현상으로 분류학, 형태학, 생태학 등 생물학적으로 널리 취급되는 하나의 과제이다. 특히 생물의 성장을 수량적으로 파악하여 대상 자원생물의 이용에 필요한 자료를 제공하게 됨으로써 중·양식 혹은 자원진단

이나, 자원관리상 중요한 관심사가 되었다(김 등, 1977).

생물의 성장은 생물체 내의 동화작용으로 일어나는 생물체 용적이 지속적으로 증가하는 것을 말하는데, 성장은 질적으로 두 가지로 구분된다. 첫째는 자기증식성장으로 세포의 증식에 의해 성장하는 것이 있으며, 둘째는 첨가성장으로 골격, 비늘, 이빨, 패각 등에서 볼 수 있는데 핵을 중심으로 물질들이 점차 축적되며 첨가되는 성장이 있다. 그리고 성장은 그 취급방법에 따라 크게 두 분야로 나누어진다. 즉, 절대성장(absolute growth)과 상대성장(relative growth, allometry)이다. 절대성장은 상대성장에 대한 용어이며, 성장량을 시간의 함수로서 표현한다. 횡축에 연령(일령, 월령, 연령 등의 역연령; calender age), 종축에 측정된 값을 취하며, 상대성장은 전체 혹은 부분(기준부분)에 대한 다른 부분 혹은 기관 등의 성장이다. 두 성장에는 각각 개체를 대상으로 하는 경우와, 집단을 대상으로 하는 경우가 있으며, 전자를 개체성장(individual growth), 후자를 평균성장(mean growth)이라 한다. 개체성장은 동일 개체를 일정한 시간간격으로 연속 측정된 것이고, 평균성장에서는 다수 개체를 동시에 측정하여 얻은 그 평균치를 말한다.

또한, 수산생물의 성장은 같은 종 또는 같은 단위집단에 따라 고유한 성장형을 가지고 있다. 그러나 그 종 또는 단위집단에 있어서도 개개의 생물체 내의 조건이나 성(性), 발생시기에 따라 또는 수온, 먹이량, 서식밀도, 서식수역의 협소 등의 환경 요인에 따라 바뀔 수 있다.

수산생물의 성장은 성장식으로 간단히 나타낼 수 있다. 체장, 체중 등의 대표치를 계산하고, 시간의 함수로서 나타낸 것을 성장식(growth equation)이라 하며, 성장식은 수산생물에 있어서 연령과 체장 혹은 체중을 측정함으로써 구해진다. 이 경우 우리가 얻고자 하는 것은 각 개체에 대하여 해를 거듭함에 따라 어떻게 성장하는가 하는 것이 아니라, 어느 연령군의 집단평균으로서의 성장이다. 따라서 각 연령마다의 평균체장 또는 체중을 통하여 추정할 수 있다.

최근 국내에서는 패류 중 장 등(1999)의 빛조개에 대하여, 김과 장(1999)의 바지락에 대하여 자원생태학적 연구의 일환으로 성장식을 추정하였으며, 장과 정(2000)이 소라의 각고를 이용하여 성장을 분석하였으며, 홍과 박(1994)이 맛조개의 성장을 연구한 바 있다. 그리고 재첩류에 대한 연구로는 김과 유(2000a)의 참재첩의 산란생태, 권 등(1987)의 재첩의 생식조직연구, 정(1977)의 일본재첩의 생태, Britton and Morton(1986), 조 등(1983), Morton(1987)과 Huh(1998), Huh et al.(1998)의 재첩류에 대한 유전학적 연구 등이 있다. 본 종의 성장에 대한 보고로는 일본의 宇藤(1981)의 연구가 있다.

수산생물에 대한 자원관리 및 지속적인 생산을 위해서는 이에 대한 자원생태학적 연구가 이루어져야 하지만, 국내에는 본 종에 대한 자원 관리적 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 강원도 양양 남대천 하구에 서식하는 재첩의 서식환경과 밀도 개체군의 성장을 조사함으로써 생산성 향상을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 수질환경

현장조사 및 채취는 강원도 양양 남대천 하구의 22개 지점(Fig. II-1)에서 이루어졌으며, 자료분석은 지점별 또는 하류(1~7지점), 중류(8~12지점 및 16지점), 상류(13~22지점, 16지점 제외)로 구분하였다.

수질조사는 상·중·하류로 나누어 총 6지점을 대상으로 4회 채수하여 각 항목별로 분석하였고, 수온은 봉상온도계로 측정하였으며, 염분은 Inductively Coupled Salinometer(watanabe 601 MK)로 측정하였다. 용존산소는 winkler 법으로, 영양염류($PO_4\text{-P}$, $NO_2\text{-N}$, $NH_4\text{-N}$)는 Strickland and Parsons(1972)법에 의하여 분광광도계(Bausch and Lomb Spectronic 20D)로 측정하였다.

2. 서식지 퇴적물의 COD

서식지 퇴적물의 COD는 알칼리성 과망간산 칼륨법(국립수산진흥원, 1985)을 이용하였으며, 황화물 함량은 황화물 검지관법(日本水産資源保護協會, 1980)으로 측정하였다. 강열감량(ignition loss, IL)은 시료를 700°C 에서 2시간 강열한 후 데시케이터에서 1시간 방열하여 무게를 달고 시료에 대한 무게 차이로부터 계산하여 백분율로 표시하였다.

3. 퇴적물의 입도분석

퇴적물의 입도분석은 재첩이 서식하는 표층에서 10 cm까지의 퇴적물을 채취하여 H_2O_2 와 10% HCl 수용액을 가하여 유기물과 탄산염을 제거시켜 증류수로 세척하였다. 전처리한 시료는 $62\ \mu\text{m}$ 이상의 체로 습식체질(wet sieving)하여, 조립질은 건식체질(Ingram, 1971)로, 세립질은 자동입도분석기(sedi-graph 5100)를 이용하여 분석하였다. 각 입도 구간별로 측정된 자료는 통계처리하여 평균입도와 분급도(sorting value)를 계산하였으며, Folk (1968)의 분류에 따라 퇴적물의 종류(sediment type)를 결정하였다.

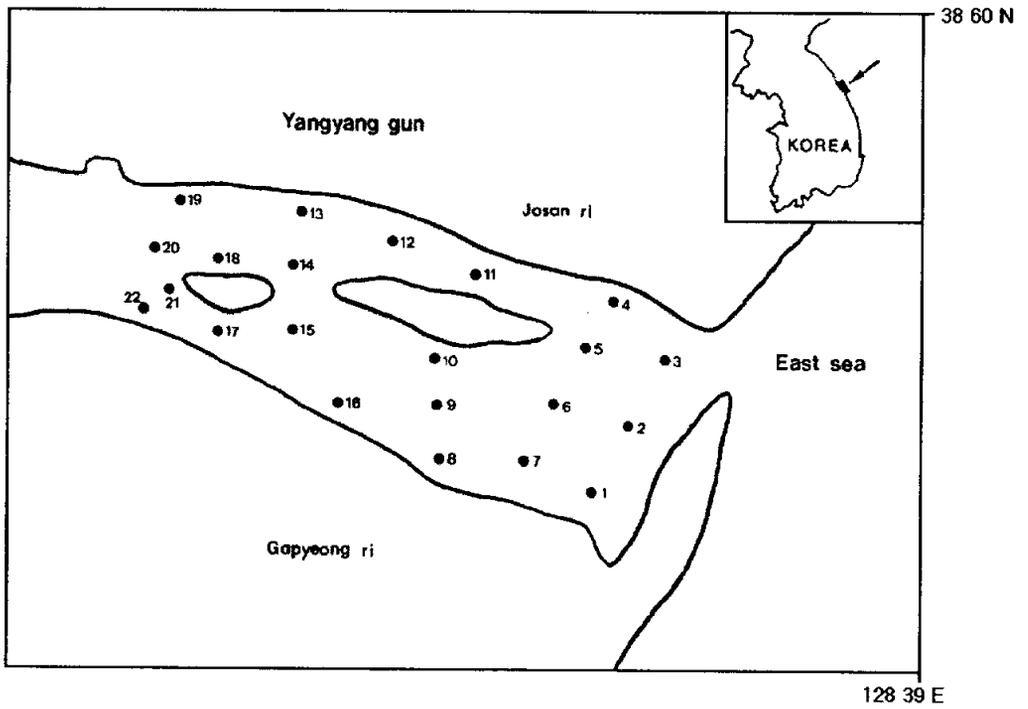


Fig. II-1. Map showing the sampling stations of *Corbicula japonica*.

4. 서식밀도

재첩의 서식밀도를 조사하기 위하여 총 22지점을 대상으로 스쿠바를 동원하여 채집하였다. 50×50 cm (0.25 m²)의 방형구를 무작위로 퇴적물의 모래 위에 설치한 후 깊이 20 cm까지 방형구내에 서식하는 시료를 채취하였으며, 각 지점별로 5회씩 채취하였다.

현장에서 채취한 재첩은 실험실로 옮겨 각 방형구별로 개체수를 계수하였으며, 각 지점별로 50개를 무작위로 선택한 후 vernier caliper를 이용하여 각 개체별 각장을 0.1 mm까지 측정하였다.

5. 각장조성

표본은 2000년 11월부터 2001년 10월까지 매월 1회 양양 남대천 하구에서 무작위로 채집하였다. 채집된 표본은 5% 포르말린 용액에 고정된 채로 실험실로 운반하였으며, 채집물에 다른 종류의 재첩이 섞여 있을 것을 염두하여 모든 표본 개체에 대해 동정하였다. 본 종의 확인은 권 등(2001)의 기준에 따라, 전중은 전자저울로 0.01 g 단위까지, 각장은 vernier calliper로 0.01 mm 단위까지 측정하였다. 각장은 패각의 전연(前緣)과 후연(後緣) 간의 최장 직선거리로 측정하였다.

본 종의 패각 표면은 전체가 흑갈색 또는 다갈색을 나타냈으며, 질은 갈색 또는 흑색의 성장선이 각정을 중심으로 달리고 있었다(Fig. II-2). 성장선 중에서 계단모양으로 뚜렷이 함몰된 것이 주기적으로 나타났는데 이를 윤문으로 정하였다. 윤문은 좌우 한쌍의 패각 중에서 좌각을 선택하여 판독하고 윤경을 측정하였다. 윤경 측정은 Fig. II-2에서 보는 바와 같이 패각의 전연과 후연간을 잇는 최장축을 기준선으로 설정하여 vernier calliper로 0.01 mm 단위까지 측정하였다.

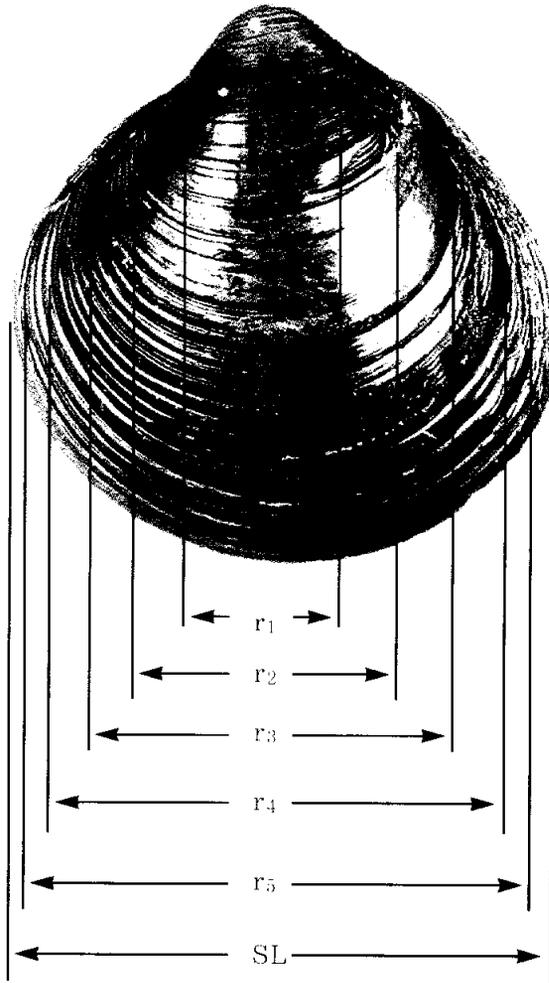


Fig. II-2. Shell length (SL) and ring radii ($r_1 \sim r_5$) of *Corbicula japonica*.

6. 운문판독의 정확성

생후 2년 이상의 폐각에는 복수의 운문이 나타난다. 채집된 표본에는 폐각에 운문을 1개 가진 개체들(이를 1륜군이라 함), 2개 가진 개체들(이를 2륜군이라 함), 최대 5개 가진 개체들(이를 5륜군이라 함)이 관찰되었으며, 본 연구에서 운문의 판독이 정확했는지는 운문 군별로 각장과 운경의 상관도로 확인하였다.

7. 운문형성의 주기성

운문형성의 시기와 횟수는 연역지수의 경월변동을 추적하여 연역지수가 가장 낮은 시기를 운문형성 시기로 정하였고, 그 시기가 일년 중에 나타나는 횟수에 의해 연간 운문형성 횟수를 확인하여 연륜으로서 타당한지를 확인하였다.

연역지수(marginal Index)는 식 (1)에 의하여 구하였다.

$$MI = \frac{L - r_n}{r_n - r_{n-1}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, L 은 각장, r_n 은 최외측의 운문(각장에서 폐각의 가장자리로 향해 n 번째의 운문)의 운경, r_{n-1} 은 $n-1$ 번째 운문의 운경이다.

각 운문이 형성되는 시점에서 생물체의 연령은 산란기에서 제 1운문이 형성되는 시점까지의 기간을 알아야 정확하게 사정되는데 본 연구에서 산란기는 김 등(2002b)이 보고한 자료를 분석하여 9월로 정하였다.

8. 연령과 성장

성장은 Bertalanffy(1938)의 성장이론에 근거하여 파악하였다. 즉, 연령이 t 일 때의 각장 L_t 는 식 (2)와 같이 구하였다.

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-K(t-t_0)}) \dots\dots\dots (2)$$

여기서, L_∞ 는 이론적 최대각장, K 는 성장계수, t_0 는 각장이 0일 때의 이론적 연령이다.

또한, 연령이 t 일 때의 전중 W_t 는 식 (3)과 같이 구하였다.

$$W_t = W_\infty(1 - e^{-K(t-t_0)})^3 \dots\dots\dots (3)$$

여기서, W_∞ 는 이론적 최대전중이다.

성장식의 모수는 연령별 평균각장을 사용하여 통계분석 프로그램인 SPSS (Release 10.1.3, SPSS Inc.)의 비선형회귀(nonlinear regression) 추정법을 사용하여 추정하였다. 추정은 기본적으로 Levenberg-Marquardt의 방법을 사용하였으며, 비선형회귀법의 초기값으로 이론적 최대각장은 50, t_0 및 K 는 0.1로 설정하였다. 또한, 각장과 전중간의 상대성장은 $W=aL^b$ 의 상대성장식으로 추정했다.

제3절 결 과

1. 수질환경

채집 서식지의 물리, 화학적 환경은 Table II-1과 같다. 수온은 $-0.2\sim 26.8^{\circ}\text{C}$ 범위로 1월에 가장 낮고 8월에 가장 높은 수온 분포를 보였으며, 수역별로는 차이를 보이지 않았다. 염분은 $0.50\sim 3.21$ ppt 범위였으며, 수역별로는 하류가 평균 2.39 ppt로 가장 높았고, 중류가 1.46 ppt, 상류는 1.07 ppt로 가장 낮았다.

용존산소는 $5.21\sim 8.13$ ppm 범위로 수역별 차이가 거의 없었다. 영양염류 중 $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 $\text{ND}\sim 1.37$ ppm 범위로 상류 0.54 ppm, 중류 0.63 ppm, 하류 0.61 ppm이었으며, $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 $0.10\sim 0.81$ ppm의 범위로 상류, 중류, 하류에서 각각 0.46 ppm, 0.62 ppm, 0.67 ppm으로 나타났다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 $0.04\sim 14.33$ ppm 범위로 하류(평균 6.82 ppm)가 상류(평균 3.02 ppm)에 비하여 높게 나타났다.

2. 서식지 퇴적물의 COD

퇴적물의 환경은 Table II-2와 같다. 퇴적물 COD는 $1.53\sim 2.87$ ppm 범위로 상류, 중류, 하류에서 각각 2.34 ppm, 2.41 ppm, 1.93 ppm이었다. 황화물 함량은 $\text{ND}\sim 0.0012$ ppm으로 수역별 차이가 없었으나 강열감량(IL)은 $0.85\sim 1.36\%$ 범위로 상류(1.25%)가 하류(0.91%)보다 높게 나타났다.

3. 퇴적물의 입도분석

퇴적물 형태 및 분급도는 Fig. II-3과 Table II-3과 같다. 퇴적물 형태는 니질모래, 모래, 역질모래, 역니질모래 및 사력질 등 다양하게 나타났으나 대부분 모래 또는 역질모래로 구성되어 있었다. 특히, 섬을 중심으로 남쪽에는 역질모래층, 북쪽에는 모래층, 니질모래층으로 구성되어 있는 것이 특징이었다.

Table II-1. Variations of water environmental factors in study area

Stream area	WT (°C)	Salinity (ppt)	DO (ppm)	PO ₄ -P (ppm)	NO ₂ -N (ppm)	NH ₄ -N (ppm)
Down	-0.2 ~ 26.7 (10.7)	1.04 ~ 3.21 (2.39)	5.67 ~ 7.68 (6.63)	ND** ~ 0.95 (0.61)	0.10 ~ 0.76 (0.67)	0.82 ~ 14.33 (6.82)
Middle	-0.1 ~ 26.8 (10.8)	0.50 ~ 2.35 (1.46)	5.25 ~ 7.68 (6.67)	ND ~ 1.37 (0.63)	0.52 ~ 0.81 (0.62)	0.94 ~ 8.83 (4.75)
Up	0.0 ~ 26.5 (10.7)	0.50 ~ 1.85 (1.07)	5.21 ~ 8.13 (7.05)	ND ~ 1.24 (0.54)	0.34 ~ 0.59 (0.46)	0.04 ~ 4.76 (3.02)

* WT : water temperature.

** ND : not detect.

Value in the parenthese is mean.

Table II-2. Variations of sedimentary environmental factors in study area

Stream area	COD (ppm)	H ₂ S (ppm)	IL (%)
Down	1.53 ~ 2.32 (1.93)	ND** ~ 0.0112 (0.0067)	0.85 ~ 0.96 (0.91)
Middle	2.19 ~ 2.64 (2.41)	0.0042 ~ 0.0082 (0.0061)	0.96 ~ 1.08 (1.02)
Up	1.81 ~ 2.87 (2.34)	ND ~ 0.0026 (0.0013)	1.14 ~ 1.36 (1.25)

* IL : ignition loss.

** ND : not detect.

Value in the parentheses is mean.

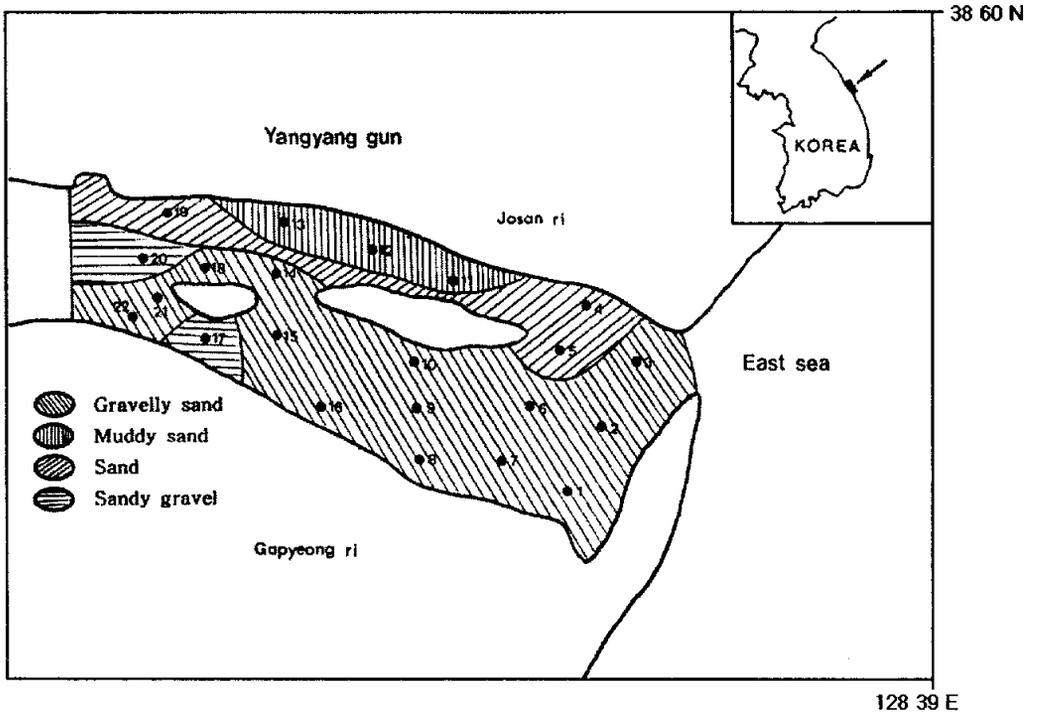


Fig. II-3. Sediment types at the habitat of *Corbicula japonica* in Namdae stream in 2000.

Table II-3. Sediment composition and type in the habitat of *Corbicula japonica* in Namdae stream

Station	Sediment composition (%)			Sediment type	Sorting value (Φ)
	Gravel	Sand	Mud		
1	6.5	92.7	0.8	Gravelly sand	0.56
2	5.2	93.9	1.0	Gravelly sand	0.53
3	4.7	94.7	0.6	Sand	0.65
4	4.8	93.7	1.4	Sand	0.69
5	7.4	92.1	0.5	Gravelly sand	0.56
6	19.1	73.2	7.7	Gravelly muddy sand	0.88
7	31.6	66.7	1.7	Gravelly sand	0.73
8	19.0	78.7	2.3	Gravelly sand	0.80
9	14.8	83.5	1.7	Gravelly sand	0.81
10	9.3	89.6	1.1	Gravelly sand	0.75
11	4.2	93.6	2.2	Sand	0.69
12	3.7	91.5	4.8	Sand	0.80
13	0.0	91.0	9.0	Muddy sand	0.58
14	28.4	69.9	1.7	Gravelly sand	1.25
15	30.5	65.0	4.5	Gravelly sand	1.52
16	12.0	81.1	7.0	Gravelly muddy sand	1.35
17	31.5	66.8	1.7	Gravelly sand	1.44
18	29.6	61.9	8.5	Gravelly sand	1.77
19	0.0	96.4	3.6	Sand	0.57
20	50.9	47.9	1.2	Sandy gravel	1.60
21	40.3	57.5	2.3	Gravelly sand	1.46
22	19.2	78.7	2.1	Gravelly sand	1.28

(Fig. II-3).

분급도는 $0.53 \sim 1.77\phi$ 의 범위로서 상류 $0.57 \sim 1.77\phi$, 중류 $0.58 \sim 1.35\phi$, 하류 $0.53 \sim 0.88\phi$ 로 나타났으며, 상류로 갈수록 분급이 불량하였다(Table II-3).

4. 서식밀도

재첩 서식장의 서식밀도는 Fig. II-4과 Table II-4와 같다. 기수재첩의 서식밀도는 $2 \sim 464$ 개체/ m^2 로서 상류는 대체적으로 50 개체/ m^2 이하로 나타났으며, 중류는 $50 \sim 400$ 개체/ m^2 , 하류는 $50 \sim 200$ 개체/ m^2 로 중 하류에 다양하게 분포하였다. 지점별로는 6, 7, 8 및 10번 지점 부근에서 200 개체/ m^2 이상으로 가장 높은 서식밀도를 보였으며, 19번과 20번 지점이 10 개체 미만으로 가장 낮은 밀도를 보였다.

크기에 따른 출현은 Table II-4와 같이 각장 10 mm 이하가 3.2% , $10 \sim 15$ mm 가 5.4% , $15 \sim 20$ mm 45.0% , $20 \sim 30$ mm 43.3% , 30 mm 이상이 3.1% 로 나타났으며, 10 mm 이상은 전체의 96.8% 를 차지하고 있다. 지점별 크기에 따른 출현은 10 mm 이하의 소형 개체는 1~11지점에서만 출현하였으며, 30 mm 이상의 대형 개체는 1~16번 지점(11, 12지점 제외)에서 출현함으로써 대체적으로 중류와 하류 수역에 다양한 크기의 개체가 서식하는 것으로 나타났다.

5. 각장조성

재첩 표본의 각장범위는 $8 \sim 38$ mm이었고, 대부분의 개체가 $20 \sim 35$ mm이었다 (Fig. II-5). 각장 10 mm 안팎의 개체들은 9월부터 출현하기 시작하여 이듬해 1월에 $14 \sim 15$ mm 급간에서 뚜렷한 모드를 보이다가, 6월에 $15 \sim 16$ mm를 중심으로 하는 모드로 이어졌다. 이 모드는 다시 서서히 증가하여 9월에 $18 \sim 19$ mm 급간에서 뚜렷해지면서, 11월과 12월에 $19 \sim 21$ mm 부근에서 또다시 뚜렷한 모드가 나타났다. 그리고 이듬해 6월에도 20 mm 부근에서 뚜렷한 모드가 나타났다. 이 모드는 다시 11월에 $25 \sim 26$ mm 급간에서 뚜렷하게 이어졌고, 7월의 28

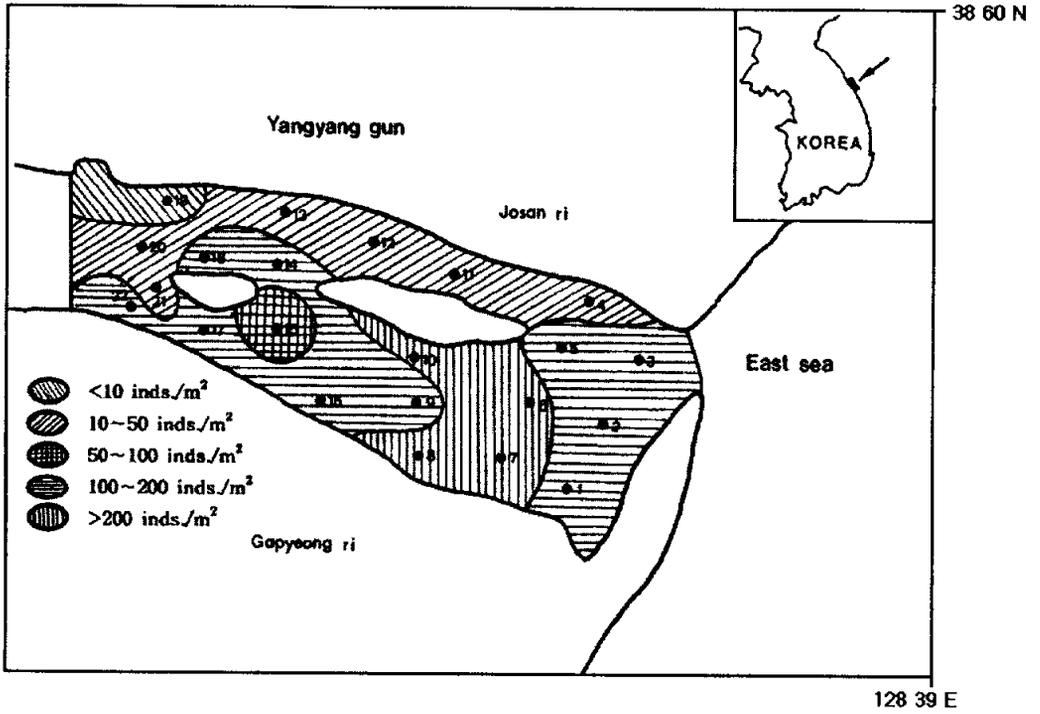


Fig. II-4. Density distribution of *Corbicula japonica* in Namdae stream in 2000.

Table II-4. Density and frequency distribution of shell length of *Corbicula japonica* in Namdae stream

Station	Density (ind./ m ²)	Frequency of shell length (%)				
		<10 mm	10~15 mm	15~20 mm	20~30 mm	30 mm<
1	125	7.5	3.8	37.5	48.7	2.5
2	189	3.3	8.3	59.5	26.4	2.5
3	158	6.9	3.0	13.9	69.3	6.9
4	28	16.7	11.1	27.8	43.6	0.8
5	170	7.4	10.1	37.6	40.4	4.5
6	357	4.8	6.6	48.9	39.3	0.4
7	203	6.2	1.5	56.2	31.5	4.6
8	464	2.0	1.4	48.8	45.8	2.0
9	181	2.6	8.6	44.8	41.4	2.6
10	248	2.5	6.3	46.5	43.4	1.2
11	16	12.5	25.0	43.8	18.7	0
12	15	0	20.0	66.7	13.3	0
13	31	0	5.0	20.0	25.0	50.0
14	117	0	5.3	44.0	40.5	10.2
15	78	0	8.0	46.0	42.0	4.0
16	138	0	2.3	35.2	61.4	1.1
17	111	0	4.2	43.7	52.1	0
18	159	0	4.9	35.3	59.8	0
19	2	0	0	0	0	0
20	11	0	20.0	40.0	40.0	0
21	14	0	22.2	44.5	33.3	0
22	191	0	4.9	58.2	36.9	0
Average	136.5	3.2	5.4	45.0	43.3	3.1

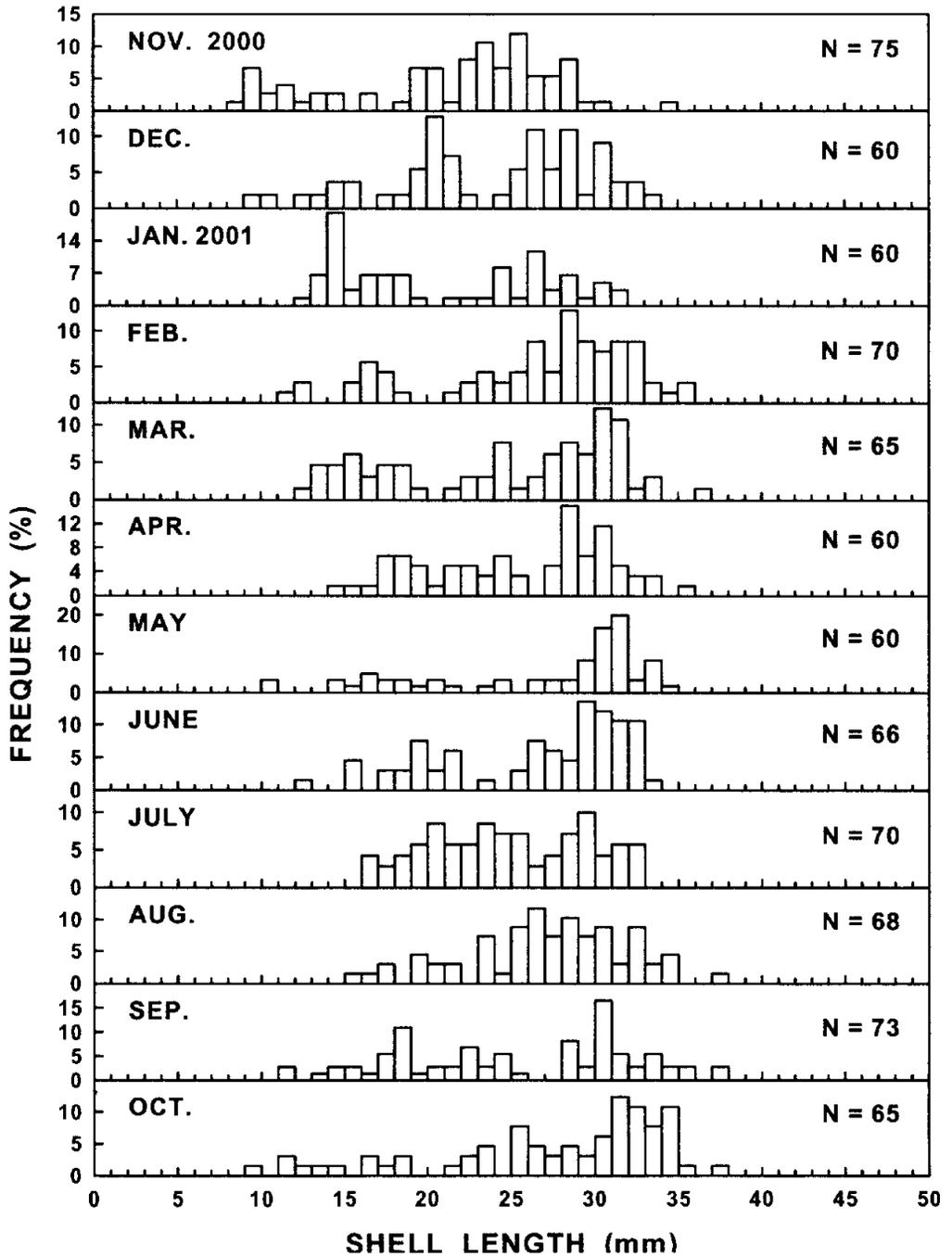


Fig. II-5. Monthly frequency distribution of the shell length of *Corbicula japonica* in Namdae stream.

~29 mm 급간을 중심으로 계속되었다. 9월에는 30~31 mm 급간에서 뚜렷한 모드가 나타났으며, 12월에는 30~31 mm 급간에서, 이듬해 2월에는 31~33 mm 급간에서, 그리고 9월에는 33~34 mm 급간에서 주된 모드가 보였다. 35 mm 이상의 개체들은 2~4월에 35~38 mm 급간에서, 8~10월에는 37~38 mm 급간에서 적은 양이 출현하였다.

6. 윤문판독의 정확성

윤문을 정확하게 판독하였는지를 검토하기 위해 각장과 윤경간의 대응성을 살펴보았다(Fig. II-6). 채집 표본의 각장과 윤경간에는 정상관을 보여 윤문판독의 정확성을 확인할 수 있었다. 그러나 각장과 윤경간에 회귀직선을 중심으로 다소의 분산을 나타내었다. 따라서 연속하는 윤문의 윤경간에는 측정치가 겹쳐 나타나는 경우가 더러 있어 윤문판독의 정확성이 의문시 되었다. 이와 같이 겹쳐 나타난 윤경측정치는 윤문판독을 다시 하였고, 정확한 윤문판독이 불가능한 것으로 판단된 경우에는 자료에서 제외하였다. 이러한 표본은 채집 792개체 중 48개체이었다.

7. 윤문형성의 주기성

윤문형성 시기와 횡수를 알아보기 위해 연역지수의 월변화를 살펴보았다(Fig. II-7). 연역지수는 11월에 가장 높은 값을 보인 이후에 서서히 낮아지다가 3월에 가장 낮은 값을 보였으며, 다시 서서히 증가하기 시작하였다. 3월 직전에도 일부 윤문이 형성되는 것으로 보이지만, 대다수의 윤문이 형성되는 것으로 판단되는 3월을 윤문형성시기로 추정하였다. 채집은 여름(7~9월)에 산란하여 9월을 기점으로 약 1.5년만에 첫 윤문을 형성하며, 연 1회 윤문을 형성하는 것으로 확인하였다. 따라서 본 연구에서 정의한 윤문을 연륜으로 확정하였다.

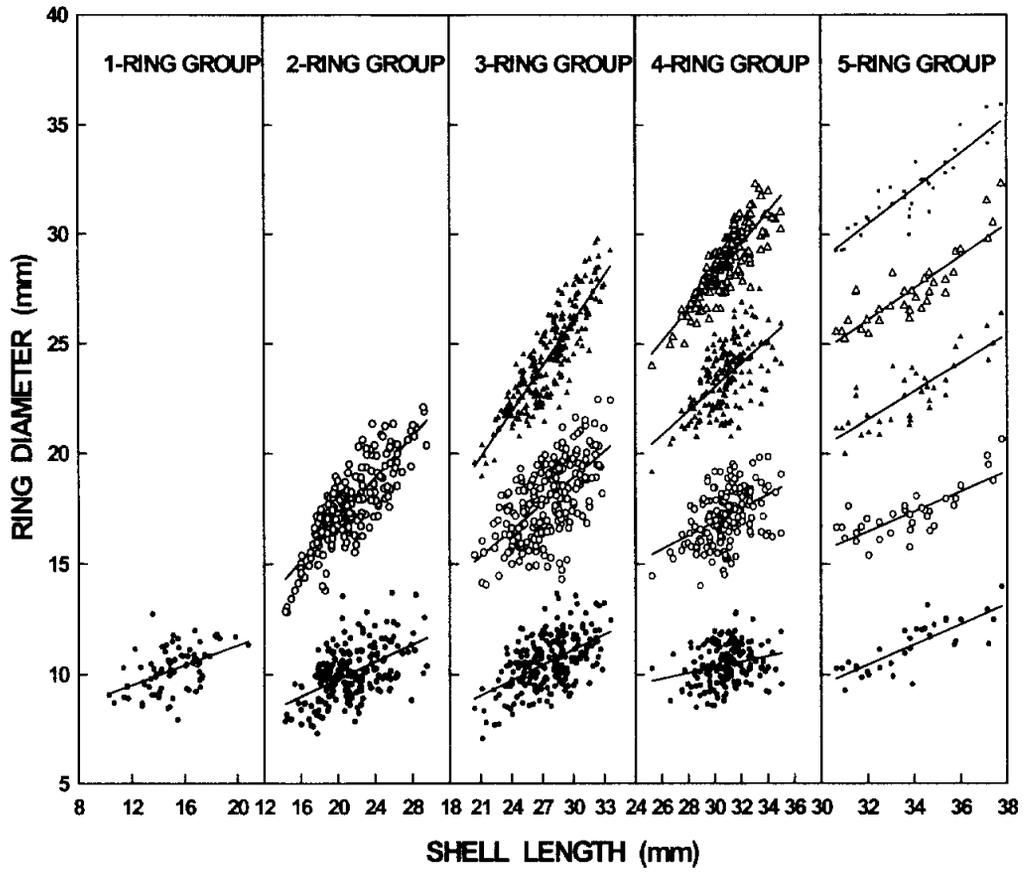


Fig. II-6. Relationship between shell length and ring diameter of *Corbicula japonica* from Namdae stream.

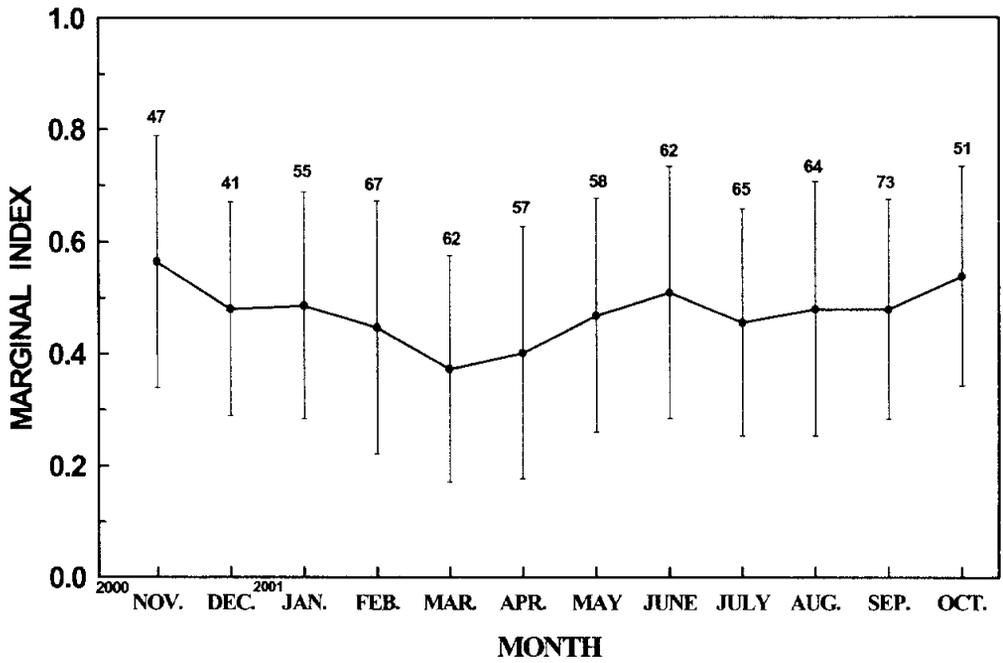


Fig. II-7. Monthly change of shell marginal index of *Corbicula japonica* from Namdae stream. Numbers represent sample size.

8. 연령과 성장

각 윤경의 평균을 각 연령군의 각장으로 정하였다(Table II-5). 즉, 1.5세의 각장은 10.54 mm, 2.5세는 17.52 mm, 3.5세는 23.53 mm, 4.5세는 28.07 mm, 5.5세는 31.99 mm였다.

여기서 구한 연령군별 각장에 의거하여 Bertalanffy 성장식의 모수를 추정하면 극한각장 L_{∞} 은 48.98 mm, 성장계수 K 는 0.2042/year, 각장이 0일 때의 이론적 연령 t_0 는 0.3169 year로 각각 추정되었으며, 성장식은 식 (3)과 같다(Fig. II-8).

$$L_t = 48.98(1 - e^{-0.2042(t-0.3169)}) \dots\dots\dots (3)$$

재첩의 각장에 대한 전중의 상대성장을 살펴보면 표본에서 각장의 범위는 8.19~37.77 mm였으며, 전중의 범위는 0.17~17.23 g이었다. 각장 10~24 mm의 범위에서는 산포의 정도가 작았으며, 각장이 점차 커질수록 산포의 정도가 커졌다. 각장 24~33 mm범위에서는 상대성장 곡선을 중심으로 밀집되어 분포하였으나 33 mm이상에서는 다른 범위보다 표본수가 작았지만 중심으로 밀집되지 않고 넓은 범위로 분포하였다. 결정계수는 0.9853으로 매우 높았다. 여기서 각장의 멱수는 2.81로서 전중은 각장의 3제곱에 가까운 상대성장을 하였다.

각장(L)과 전중(W) 간의 상대성장식은 식 (4)와 같다(Fig. II-9).

$$W = 6.67 \times 10^{-4} L^{2.81} (R^2 = 0.9853) \dots\dots\dots (4)$$

연령군별 각장을 식 (4)에 의하여 연령군별 전중으로 환산하여 추정된 Bertalanffy 성장식은 식 (5)와 같다(Fig. II-10).

각장과 전중의 상대성장식으로 환산한 연령별 전중을 살펴보면, 1세의 전중은 0.49 g, 2세의 전중은 2.05 g, 3세의 전중은 4.70 g, 4세의 전중은 7.71 g, 5세의 전중은 11.12 g이었다. 이를 토대로 추정한 성장식은 다음 식과 같다.

따라서 재첩 개체군은 성장할수록 전중이 36.73 g에 점차 접근하였다.

$$W_t = 36.73 (1 - e^{-0.2042(t-0.3169)})^{2.81} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 각장이 25 mm 이전까지는 비교적 변동폭이 좁았으나, 그 이상 증가할수록 편차가 심한 개체들이 많이 확인되었다.

각장 12.80~37.77 mm 범위 개체들의 각고의 상대성장을 살펴보면 각고(SH)의 범위는 11.15~33.60 mm였다. 각장 10~24 mm의 범위에서는 산포의 정도가 작았으며, 각장이 점차 커질수록 산포의 정도가 커졌다. 각장 24~33 mm 범위에서는 상대성장 곡선을 중심으로 밀집되어 분포하였으나 33 mm 이상에서는 중심으로 밀집되지 않고 넓은 범위로 분포하였다. 상대성장식 $SH = 0.8904 \times L^{1.01}$ ($R^2=0.9714$)과 같다(Fig. II-11).

각장에 대한 각폭(SW)의 상대성장을 살펴보면 표본에서 각폭의 범위는 8.23~21.59 mm였다. 크기가 작은 각장 10~24 mm의 범위에서는 전중과 각고에 비해서 산포의 정도가 컸으며, 각장이 점차 커질수록 산포의 정도가 점차 커졌다. 각장 24~33 mm 범위에서는 상대성장 곡선을 중심으로 밀집되어 분포하였으나 33 mm 이상에서는 중심으로 밀집되지 않고 넓은 범위로 분포하였으며, 상대성장식 $SW = 0.9828 \times L^{0.85}$ ($R^2=0.9488$)과 같다(Fig. II-12).

Table II-5. Ring diameters of each age group of *Corbicula japonica* from Namdae stream

Ring	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	N
1	10.23					82
2	10.19	17.65				204
3	10.56	17.94	24.37			221
4	10.43	17.16	23.47	28.68		160
5	11.30	17.32	22.77	27.47	31.99	35
Mean	10.54	17.52	23.54	28.07	31.99	

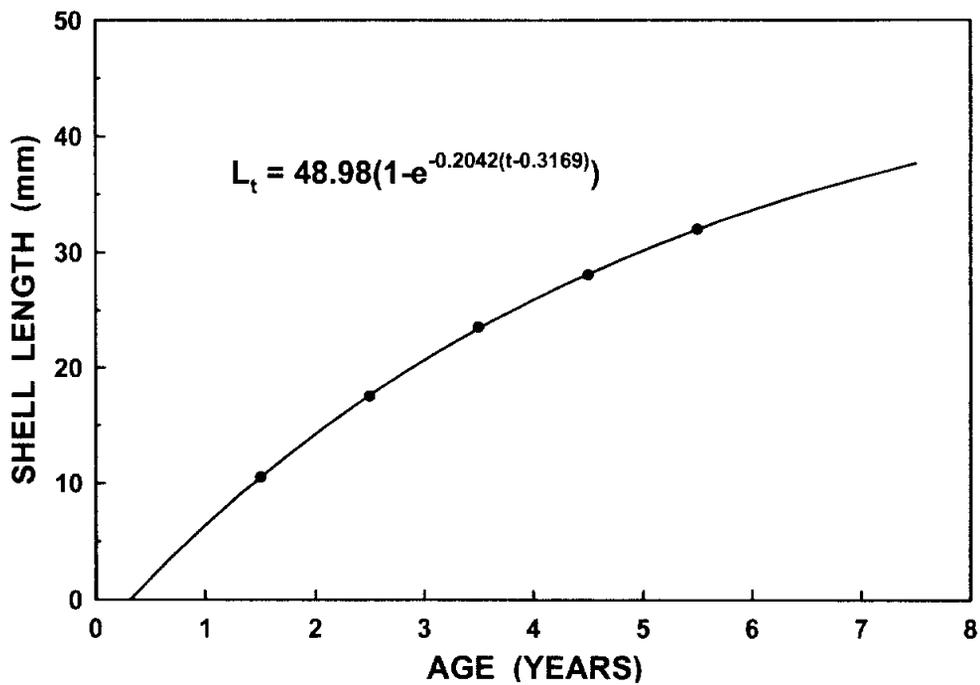


Fig. II-8. Von Bertalanffy's growth curve of shell length of *Corbicula japonica* from Namdae stream.

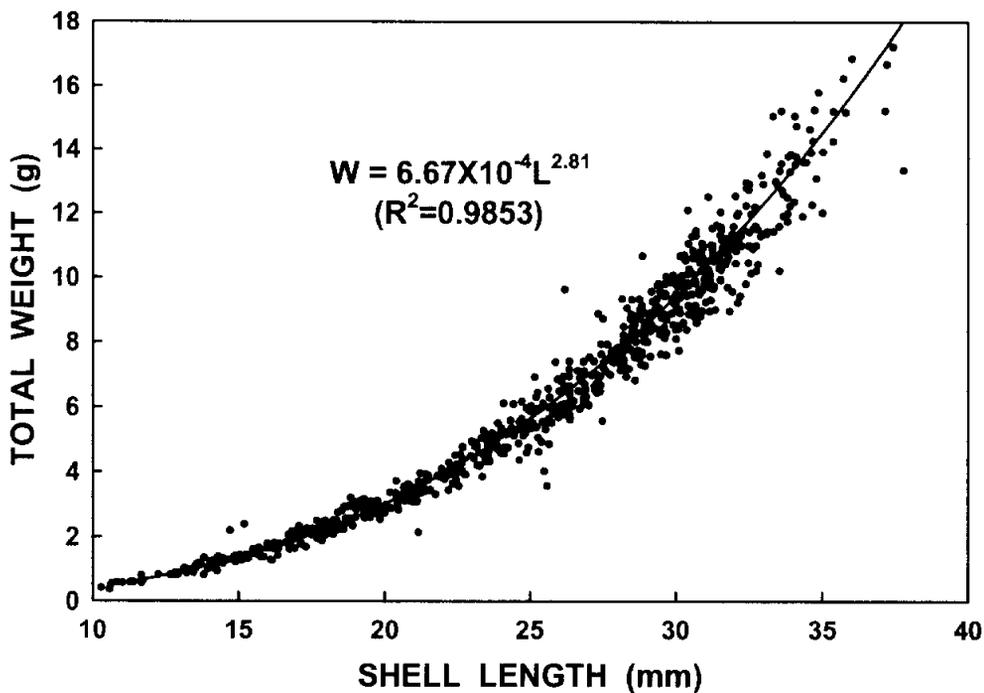


Fig. II-9. Relationship between shell length and total weight of *Corbicula japonica* from Namdae stream.

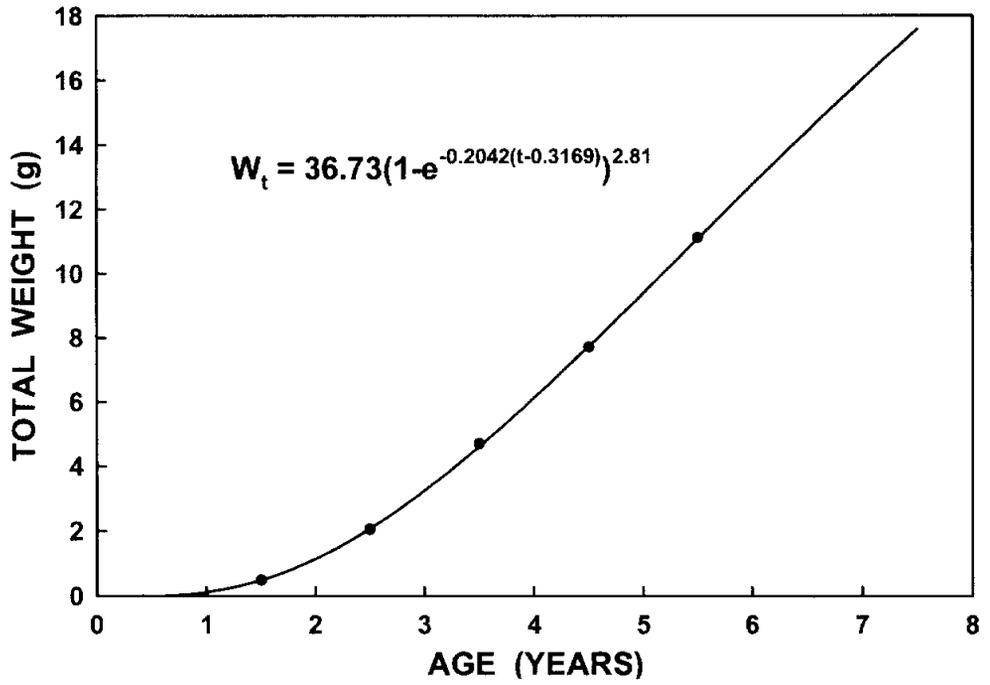


Fig. II-10. Von Bertalanffy's growth curve of total weight of *Corbicula japonica* from Namdae stream.

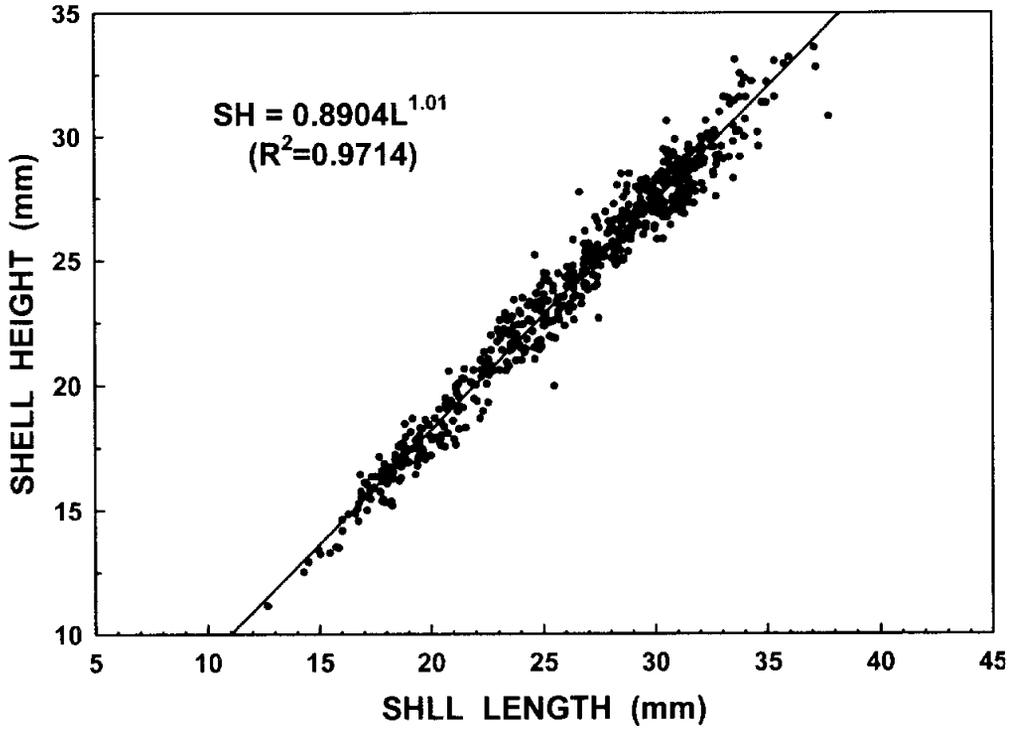


Fig. II-11. Relationship between shell length and shell height of *Corbicula japonica* from Namdae stream.

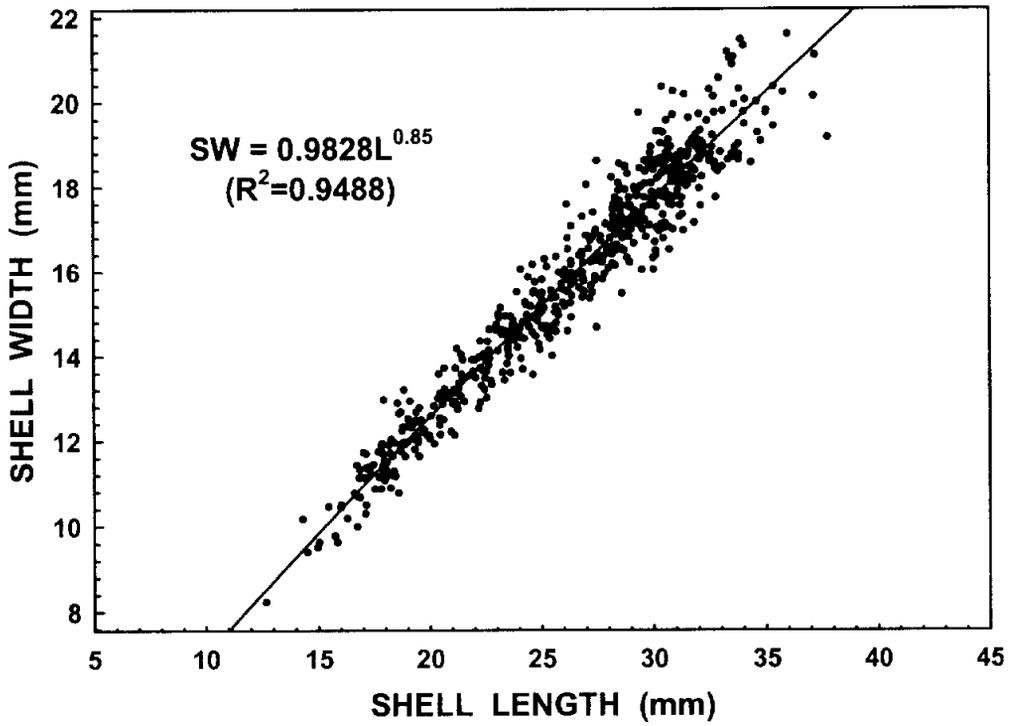


Fig. II-12. Relationship between shell length and shell width of *Corbicula japonica* from Namdae stream.

제4절 고찰

수중 저서생물에 영향을 주는 환경요인으로는 수온, 염분, 용존산소, 퇴적물 등 여러 가지가 있으나, 조개류는 수온변화에 강한 내성을 가지고 있으며, 특히 매재생활(infauna)을 하는 종은 대기의 온도변화에 직접적인 영향을 피할 수 있다(秋山, 1988). 본 조사지역인 양양 남대천은 수온의 연변화가 $-0.2 \sim 26.8$ °C의 넓은 범위를 보이는 곳으로 재첩도 수온에 대한 내성이 매우 강한 것으로 판단된다. 염분은 $0.50 \sim 3.21$ ppt로서 하류가 평균 2.39 ppt, 중류가 1.46 ppt, 상류는 1.07 ppt였으며, 변(1984)의 강원도 송지호와 향호의 각각 $10.85 \sim 11.51$ ppt, $3.68 \sim 4.33$ ppt이라고 보고한 것에 비하여 훨씬 낮다. 이는 송지호와 향호는 호소이지만 양양 남대천은 하천수와 연안수가 교차되는 곳이기 때문인 것으로 생각된다.

용존산소는 대기중 산소가 물표면을 통한 용해, 조류 등에 의한 광합성, 동물의 호흡작용 등에 의해 변동하며, 본 연구에서의 용존산소는 전체적으로 $5.21 \sim 8.13$ ppm으로 변(1984)이 강원도 5개 기수호(향호, 매호, 영랑호, 송지호, 화진포)의 $4.51 \sim 8.92$ ppm이라 보고한 것과 유사하였으며, 재첩의 서식에 적합한 환경이었다. 영양염류중 $PO_4\text{-P}$ 는 $ND \sim 1.37$ ppm, $N_2\text{-N}$ 은 $0.10 \sim 0.81$ ppm으로 변(1984)의 $PO_4\text{-P}$ 는 $0.02 \sim 0.66$ ppm, $N_2\text{-N}$ 은 $0.083 \sim 1.192$ ppm이라 보고한 것과 비슷하였다.

퇴적물의 환경에서 COD는 $1.53 \sim 2.82$ ppm, 황화물은 $ND \sim 0.0012$ ppm, 강열감량(IL)은 $0.85 \sim 1.36\%$ 로 전체적으로 안정된 상태를 보였으며, 이는 그동안 보호수면으로 지정되어 하천관리가 잘 되었기 때문으로 사료된다.

Cranford et al.(1985)는 Canada의 Fundy만에서 조개류인 *Macoma balthica*가 잠재적 먹이가 많이 포함되어 있는 세립 퇴적물에서 높은 밀도로 서식하고 있음을 밝힘으로써 퇴적물 조성이 서식밀도를 결정하는데 중요한 요인임을 지적하였다. 이 등(1969)은 패류양식을 위한 적지 환경요인에 관한 연구에서 가무

락 *Cyclina sinensis*이 고밀도로 서식하는 퇴적물의 조성은 mud가 10~30%이고, sand가 50~80%라고 보고하였으며, 이 등(1999)은 바지락 *Ruditapes philippinarum*의 서식지 중 gravel 10~15%, mud 30%, sand 55~60%인 곳에서 높은 밀도로 서식한다고 보고하였다. 또한 동죽 *Mactra veneriformis*의 입도 분포는 미사(very fine sand)가 75~90%를 차지한다고 보고되어 있다(류, 1994).

본 연구에서의 재첩 서식지는 gravel 5~30%, sand 60~90%로서 역사질로 구성된 곳에서 서식밀도가 높은 것으로 나타나 다른 연구자(이 등, 1969; 이 등, 1999)들과 다소 차이를 보이며, 이것은 종에 따라 고유한 퇴적물의 입도를 선택하기 때문으로 생각된다(이 등, 1969; 秋山, 1988).

퇴적물이 조개류의 서식에 영향을 미치는 요인으로는 조성 이외에 입도의 표준편차를 나타내는 분급도가 있다. 이 등(1999)은 바지락 서식지의 분급은 3.5~4.5 ϕ 로 다양한 크기의 입자가 혼재한 곳에서 서식밀도가 높다고 하였으나, 본 연구에서는 분급이 전체적으로 0.53~1.77 ϕ 의 범위로서 서식밀도와는 뚜렷한 영향이 없는 것으로 나타났다. 바지락은 다양한 크기의 입자(분급이 불량한 곳)를 선호하는 반면(이 등, 1999), 기수재첩은 입자의 편차가 적은(분급이 양호한 곳) 것을 선호하기 때문으로 사료된다. 이상의 결과로 볼 때 재첩의 서식에 적합한 곳은 역사질이면서 분급이 매우 양호한 퇴적물 조성을 보이는 곳으로 사료된다.

또한 지점별 조사에서는 6, 7, 8 및 10번 지점에서 200 개체/m² 이상이었으나 19번과 20번 지점은 10 개체/m² 이하로, 지점간 차이를 보인 것은 동일구역 내에서도 저질 퇴적물 등 서식환경에 따른 수용능력이 다르기 때문으로 추정된다.

각장에 대한 출현율을 조사한 결과, 각장 10 mm 이하가 3.2%, 10~15 mm가 5.4%, 15~20 mm가 45.0%, 20~30 mm가 43.3%, 30 mm 이상이 3.1%로 10 mm 이상은 전체의 96.8%를 차지하여 정(1977)의 낙동강 재첩 88.6% 보다 높았으며,

이것은 본 조사가 산란 직전의 7월에 이루어진 것과 관계가 있을 것으로 판단된다.

宇藤(1981)에 의하면, 일본의 網走湖에서 채집된 재첩의 패각 표면에는 윤문과 같은 모양의 흑갈색의 윤문이 형성되는 것으로 보고하였다. 이는 본 연구의 결과와 일치한다.

정(1977)에 의하면 낙동강에서 채집된 재첩의 경우 주산란기는 6, 7월이며, 3~10월까지의 주산란기 이외에도 약간의 산란이 이루어진다고 하였다. 김등(2002b)은 재첩의 산란기는 양양 남대천에서 7월 하순부터 9월 하순까지라고 보고하고 있다. 그러나 본 성장식에서는 산란성기가 9월인 것으로 판단되어, 9월을 산란기로 정하고 이를 기점으로 연령을 추정하였다.

윤문군별로 각장과 윤경간의 대응성을 확인한 결과(Fig. II-6), 윤경의 분산이 고령경에서보다 저령경에서 크게 나타났으며, 이는 저연령에는 윤문형성시기가 개체간에 변이가 큰 것으로 보이며, 패각이 얇은 어린시기에는 환경변화에 민감하기 때문에 윤문의 형성시기 및 크기의 개체간 차이가 비교적 큰 것으로 사료된다.

본 연구에서는 宇藤(1981)의 연구에서 나타나지 않은 30 mm 이상의 큰 개체들이 27.7%가 출현하였다. 또한 '76~'78년급 군의 성장계수 K 와 t_0 , 극한각장이 각각 0.22/년, 0.46년, 47.2 mm로 초기에 빠른 성장을 보인 후 점차 성장이 완만해지는 특성을 보인 반면 본 연구에서는 저령군과 고령군의 성장이 거의 완만하게 나타났다. 이에 대해서는 본 종이 서식하는 강원도 남대천의 여러 가지 환경적 특성에 기인하는 것으로 사료된다.

또한 본 연구에서 연변부지수의 월별 표준편차가 연중 큰 변화없이 일정한 것으로 윤문의 판독의 일정기준으로 이루어졌음을 확인할 수 있다(Fig. II-7). 월별 연역지수 변화에서 7월의 값이 6월의 것보다 조금 낮아진 것은 산란으로 인한 패각의 성장이 지체된 결과로 사료된다.

일본의 網走湖에서 채집된 재첩의 패각 표면에서도 윤문과 같은 모양의 흑

갈색의 윤문이 확인되었으나(宇藤, 1981), 윤문은 선명하지 않아 관찰되지 않은 개체가 많이 보임으로서 연령 형질로 취급하는 것은 적당하지 않다고 하였으며, 그 외에 계단모양의 윤문이 거의 완전한 개체에서 확인되었다.

각장과 최종 윤문경의 차이의 계절적 변화를 조사한 결과, 10월부터 6월의 기간에 저하하는 것을 확인하여 이 윤문은 겨울부터 봄에 걸쳐 1회 형성되는 것으로 보고되어 본 연구의 결과와 일치하였으며, 본 연구에서는 이를 종합하여 1월을 연륜형성 기점으로 성장을 추정하였다

Mouthon(2001)에 의하면 *C. fluminea*의 경우 연중 1회의 번식기만 관찰되어 해에 따라 5월 또는 6월에 시작하여 9월 또는 10월에 마친다고 하였다. 정(1977)에 의하면 낙동강에서 채집된 본 종의 경우 주산란기는 6, 7월이었으며, 3~10월까지의 주산란기 이외에도 약간의 산란이 이루어짐이 관찰되었다. 산란성기인 7월을 기준으로 각 연령별 각장을 산정하여 성장모수를 추정하였다.

각장과 전중의 상대성장에 있어서 각장이 25 mm 이전까지는 회귀곡선을 중심으로 분산이 비교적 작았으나, 각장 25 mm 이상으로 증가할수록 편차가 심한 개체들이 많이 확인되었는데(Fig. II-9), 이는 각장이 25 mm 이상 증가할수록 환경 및 생리적인 영향으로 각장과 전중의 편차가 커진 것으로 생각된다. 이같은 현상은 각장과 각고 및 각장과 각폭의 상관관계에서도 비슷한 경향이 확인되었다(Fig. II-11, 12).

각장과 각고 및 각장과 각폭은 상관관계의 먹수가 1에 비교적 가까웠으며 각고의 성장이 각폭에 비해 빠름을 알 수 있다.

제3장 생식주기

제1절 서 설

재첩의 바닥식 양식과 자원조성을 위해서는 종패의 확보가 선행되어야 하며, 종묘생산의 적정시기를 예측하기 위해서는 산란기의 파악이 필수적이다. 그러나 조개류의 생식소는 내장속(visceral mass)에 섞여 있어 개체의 중량 또는 형태적 특징만으로 성숙도를 파악하기 어려우므로 생식소의 상태와 조직학적 방법을 통한 어미의 성숙과정 파악은 종묘생산을 위한 기초지식을 얻는 데 매우 중요하다.

해산 무척추 동물의 생식주기를 지배하는 환경요인으로 먹이, 수온, 광주기 및 염분을 들 수 있으나(Giese, 1959), 조개류의 생식세포 형성과정은 종특이적으로 분포 위도에 따라 다르다(Glovani and Diana, 1994).

조개류의 생식주기에 관한 조직학적 연구는 국외에서 굴류(Kennedy and Battle, 1964), 가리비류(Thorarinsdottir, 1993), 진주담치(Reis-Henriques and Coimbra, 1990), 바지락(Toba and Miyama, 1991), 개랑조개(Sakurai et al., 1992) 등 산업적으로 중요한 종에 대하여 보고되고 있다. 국내에서는 새조개 *Fulvia mutica*(Chang and Lee, 1982), 가무락 *Cyclina sinensis*(Chung et al., 1991), 바지락(Chung et al., 1994), 코끼리조개(이, 1995), 참가리비(장 등, 1997), 백합 *Meretrix lusoria*(이, 1997), 참굴(민 등, 1999) 등의 연구보고가 있다.

재첩류의 생식주기에 관하여는 이와 정(1980)의 남방재첩 *C. fluminea*의 생식주기 연구, 김과 유(2000a)의 참재첩 *C. leana*의 생식주기 등 조직학적 방법으로 연구한 바 있었으나, 조개류의 번식활동은 온도, 염분, 빛, 먹이 및 기생충의 감염 등 외부 요인과 내분비활동 등 내부 요인들의 상호작용으로 이루어지며, 특히 외부 요인들이 분포수역 및 해에 따라 달라져 번식주기를 변화시

키는 요인이 되므로(Rodriguez Moscoso and Arnaiz, 1988), 분포수역에 따른 연구는 중요하다고 할 수 있다.

본 연구는 강원도에 적합한 양식품종 개발을 위하여 이 지역의 기수역에 서식하는 재첩의 배우자 형성과정, 생식주기, 성비 및 체성분 변화 등을 조사하여 인공양식에 필요한 생식생물학적 자료제공과 양식 대상종 탐색을 위해 실시하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 생식소의 구조

생식소의 구조를 파악하기 위하여 연체부를 Bouin 용액에 고정한 후, 종단면 및 횡단면으로 절단하여 생식소의 해부학적 위치를 조사하였다. 또한 생체를 해부하여 발달 단계에 따른 생식소의 변화와 구조를 파악하였다.

2. 생식소의 발달 및 생식주기

생식세포의 형성과정과 생식주기를 파악하기 위하여 채집시료의 내장낭에서 족부까지 분포하는 생식소 부위를 잘라 Bouin 고정액에 24시간 고정하였다. 고정된 생식소는 탈수과정을 거쳐 paraffin 절편법에 따라 5~7 μm 의 연속절편을 만들었으며, Mayer's haematoxylin-0.5% eosin 염색법으로 비교 염색하였다. 생식소 내 생식세포의 발달과 체세포 조직의 변화상을 관찰하였던 바, 이들 변화의 특징은 Redfern(1974)의 분류방법에 따라 암수 생식소의 발달단계를 연속적인 5단계(성장기, 성숙기, 완숙기, 산란기, 회복기)로 나누어 관찰하였다. 생식소지수는 Mann's method(1979)를 이용하였으며, 각 개체의 발달단계를 조직학적으로 판별하여 회복기를 1, 성장기를 2, 성숙기를 3, 완숙기를 4, 산란기를 5로 변환하여 수식으로 나타냈으며, 연체부 생식소의 발달 여부와 암·수 성을 판별하여 생식주기를 파악하였다.

3. 성비

월별 채집된 개체들을 대상으로 육안 검사에 의한 암수 판별 후 조직학적 검사를 실시하였다. 암수 성비는 조직학적 조사 결과를 이용하여 조사하였으며, 암수의 성비가 1:1과 통계적으로 유의한가를 Chisquare test를 이용하여 분석하였다. 또한 육안검사의 정확도를 월별로 조사하였다

4. 체성분 변화

산란기 전후의 체성분 변화를 조사하기 위하여 재첩 패각을 분리한 가식부를 동결 건조한 후 일반성분을 분석하였다.

가식부의 일반성분은 AOAC(1990)의 방법에 따라, 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System(Buchi B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후, 조회분은 550℃의 회화로에서 4시간 태운 후 측정하였다. 또한 glycogen 함량은 amyloglucosidase(Fluka, EC 3.2.1.3)을 이용하여 효소법으로 분석하였다(Murat and Serfaty, 1974).

제3절 결 과

1. 생식소의 구조

재첩의 생식소는 내장낭의 소화맹낭 하부로부터 족부의 외벽 근층내에 있는 섬유성망상결합조직까지 분포되어 있다. 미성숙 난소나 정소는 소화맹낭 주위에 극히 좁게 분포하고 있으므로 외관상 식별이 어려우나, 생식소가 성숙하게 되면서 이들 생식소는 내장낭의 대부분을 차지하므로 족부의 결합조직층까지 확장·발달되어 간다(Fig. III-1). 충분히 성숙한 개체의 생식소를 절개하여 보면 암컷의 경우 많은 회흑색의 난들을 관찰할 수 있고, 수컷은 유백색으로 암수 구별이 뚜렷하나 방란·방정을 마치게 되면 생식소는 위축되어 외관상 자웅의 성을 식별할 수 없게 된다.

2. 생식소지수

조직학적 관찰에 의한 생식소의 발달단계에 따른 계급값으로 나타낸 생식소지수는 4월부터 증가하기 시작하여 7월에 최대값(4.83)을 나타내었다. 이후 산란이 일어나는 시기에는 지속적으로 감소하다가 12월에 다소 높아졌으며, 이듬해 3월에 최저값(0.16)을 보였다(Fig. III-2).

3. 생식소의 조직학적 변화

3-1. 난자 형성

방란후 난소의 난소소낭 내에 남아있는 난모세포군들은 세포질 붕괴를 일으켜 퇴화흡수되며 이와 함께 난소소낭 근층만 남게된다. 텅 빈 난소소낭들 사이에 결체조직들 역시 매우 느슨한 상태로 난소가 위축되고 퇴화되었다(Fig. III-3A). 이러한 생식소 퇴화조직상은 장기간의 새로운 분화 발달과정을 거치는데 이 때 재배치된 족부 결합조직에서는 신생 난소소낭이 형성되었으며, 난

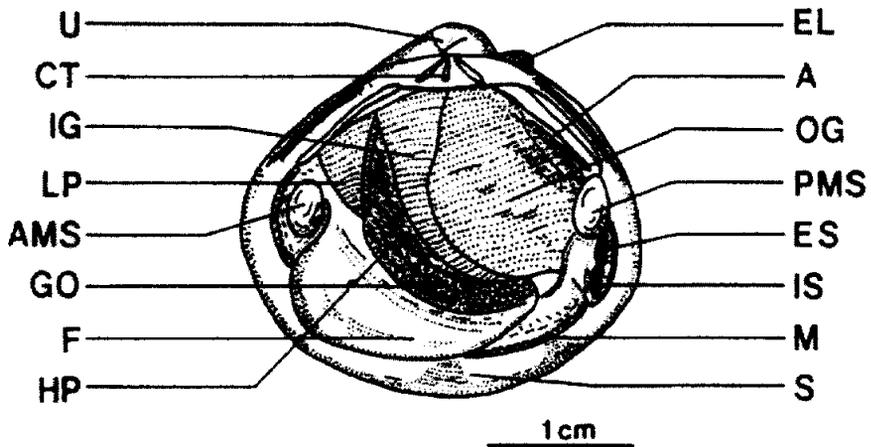


Fig. III-1. Anatomy of *Corbicula japonica*. Abbreviations: A, anus; AMS, anterior adductor muscle; CT, cardinal tooth; EL, external ligament; ES, excurrent siphon; F, foot; GO, gonad; HP, hepatopancreas; IG, inner gill; IS, incurrent siphon; LP, labial palp; M, mantle; OG, outer gill; PMS, posterior adductor muscle; S, shell; U, umbone.

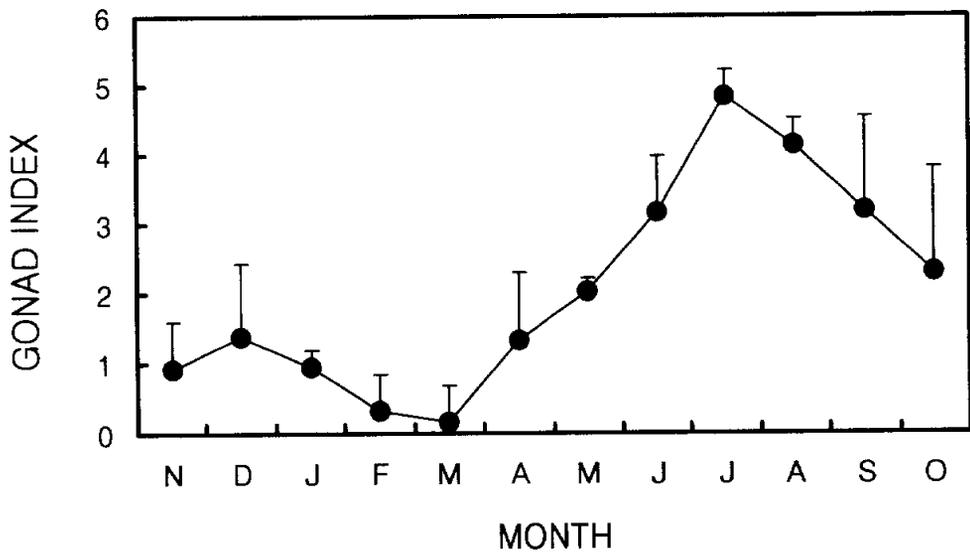


Fig. III-2. Monthly changes of gonad index of *Corbicula japonica* from Namdae stream November 2000 to October 2001.

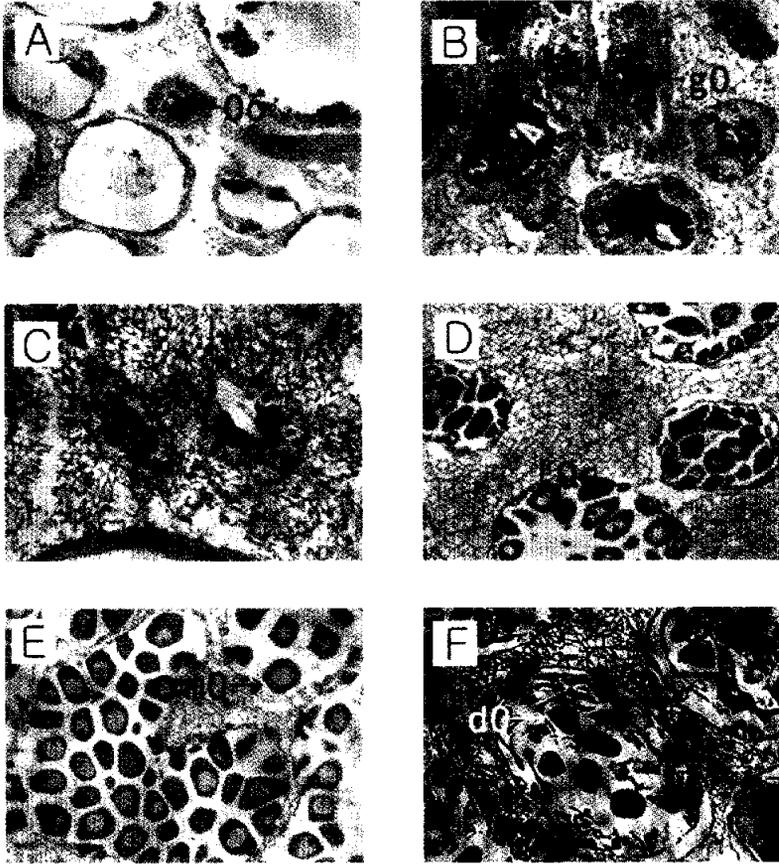


Fig. III-3. Photomicrographs of gonadal phases of the female *Corbicula japonica*. A, Section of the ovarian sacs in the spent stage ($\times 200$). B, Section of the ovarian sacs in the recovery stage ($\times 150$). C, Section of the ovarian sacs in the growing stage. Note small oogonia along the germinal epithelium of the ovarian sac ($\times 150$). D, Section of the ovarian sacs in the mature stage. Note unidentified mesenchymal tissue and pigment granular cells between the growing oocyte ($\times 200$). E, Section of the ripen ovary. Numerous yolk materials are seen in the cytoplasm and nucleolus in the large germinal vesicle ($\times 200$). F, Section of the ovarian sacs in the partially spawned stage. Note the presence of a few undischarged eggs in the ovarian sac after spawning ($\times 200$). Abbreviations: Oo, Oogonia; Oc, Oocyte; dO, degenerating Oocyte; gO, growing Oocyte; mO, mature Oocyte.

소소낭 사이의 결합조직도 기본적인 구성을 보였다(Fig. III-3B). 발달초기 난소는 소화낭 아래쪽 측부 외벽근층 내의 섬유성 망상결합조직에서 소관들이 분지되어 난소소낭을 이루면서 발달하기 시작하는데, 이들은 점차 결합조직까지 차지하였다. 난소조직 내 난소소낭의 비율이 점점 늘어나며 소낭을 이루고 있는 소낭막은 이중결체성 섬유막으로, 생식상피의 기능을 하는 내강상피에는 어린 난모세포들이 묻혀있으며, 이들 내강에는 생식상피와 연결된 미분화 간층조직과 색소 과립이 풍부하게 분포하였다.

분열증식중인 난원세포의 크기는 10 μm 전후로 인을 가진 큰 핵이 세포질의 중앙부 대부분을 차지하였다. 결합조직은 충실해졌고, H-E 염색에서 호산성을 보였다(Fig. III-3C). 난원세포가 초기 난모세포로 성장하기 시작하면서 난병이 형성되고 이들 난병을 상피상에 부착한 채 중앙 내강을 향해 긴 타원형으로 발달하였다. 난모세포가 40~50 μm 으로 성장하면 생식상피 및 난소소낭의 빈 공간에 풍부하게 분포하던 간층조직과 색소과립들이 차츰 흡수 소실되어 가면서 발달하는 난소소낭들로 채우고 있었다(Fig. III-3D). 난모세포가 60 μm 전후로 성장되면 난소소낭들은 그 수가 증가하여 측부 좌우 외벽층 내의 결합조직층 대부분을 차지하고, 난병을 가진 채 성장하던 긴 타원형의 난모세포들은 난병을 소실하고 구형으로 변형되면서 중앙 내강을 차지하였다. 난소가 완숙되면 발달된 난소소낭이 측부내의 결합조직까지 차지하였다. 구형의 완숙된 난모세포는 그 크기가 80 μm 전후로 난소소낭의 내강에 출현하였다. 이 때 생식상피상에는 어린 난원세포가 소수 나타날 뿐 초기 성장중인 난모세포는 거의 찾아볼 수 없었다. 완숙 난모세포는 난황막 외측에 얇은 젤리층을 형성하며, 세포질에는 난황과 소량의 지방과립이 축적되었다. 중앙에는 커다란 핵이 있고 핵질은 망상으로 고루 분포하며, 강한 호염기성 단일 인이 뚜렷하게 자리잡고 있었다(Fig. III-3E). 산란기가 되면 난소소낭의 중앙 내강에 자리잡고 있던 완숙 난들은 거의 방출되었고 일부 성숙기의 난모세포들이 남아 있었다(Fig. III-3F).

3-2. 정자 형성

방정을 마친 재첩의 정소는 퇴화 흡수되면서 정소세관내 일부 잔존 정자들이 식별되었다(Fig. III-4A). 이후 휴지기를 거치면서 정소세관은 결합조직 내에서 퇴화 소실되어감과 동시에 족부결합 조직들이 다시 발달하였다. 정소도 난소와 마찬가지로 소화맹낭을 비롯하여 족부의 망상결합조직층에 위치하며 분지된 정소세관들로 이루어져 있었다. 초기 새로 생긴 정소세관들은 내장낭이나 족부의 결합 조직층에서 세관상으로 나타나기 시작하였으며, 이들 세관상피에서 정원세포들이 다수 출현하였다(Fig. III-4B).

정소세관의 생식상피가 보다 활발한 기능을 발휘하면서 상피상에는 정원세포 뿐만 아니라 정모세포들이 나타나기 시작하였고, 중층으로 배열되었다. 이때 정소세관의 내강에는 많은 미분화 간충조직이 색소과립과 함께 풍부하게 나타났으며, 정소가 좀 더 발달하면 많은 정원세포, 정모세포 그리고 소수의 정세포들이 생식상피로부터 중앙 내강을 향해 층상 배열하고, 일부 변태가 완료된 정자가 출현하였다(Fig. III-4C). 변태된 정자들이 차츰 증가하면서 정자들끼리 밀집되어 두부는 생식상피 쪽을 향한 채 물결 모양의 흐름을 이루었다(Fig. III-4D). 완숙기에는 내장낭을 비롯한 족부 결합조직층 전체가 정소세관으로 채워지면서 극소수의 정원세포들과 정모세포층이 있을 뿐이고, 원래의 족부 결합조직들은 정소세관들의 경계부에서만 소량 찾아볼 수 있었다(Fig. III-4E). 방정이 일어나면 층만되어 있던 정자들이 거의 방출되어 물결모양의 정자배열은 붕괴되고 세관내에 빈 곳이 생겨났으며, 일부 정자들만 산재하였다(Fig. III-4F).

4. 생식주기

조직학적 방법으로 조사된 재첩의 생식주기는 성장기, 성숙기, 완숙기, 산란기, 회복기의 연속적인 5단계로 구분하였다(Fig. III-5).

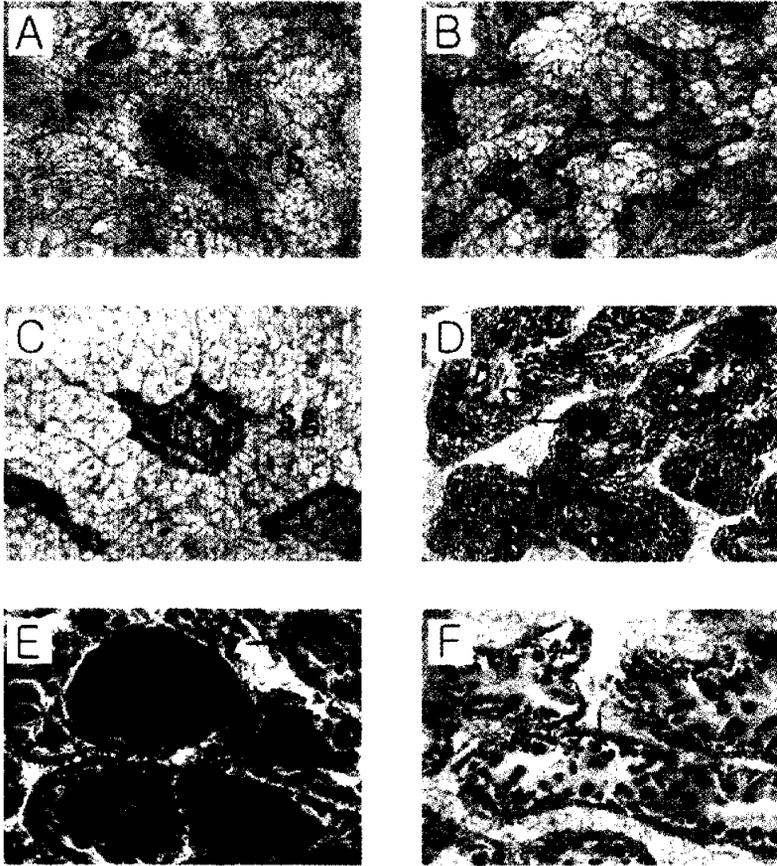


Fig. III-4. Photomicrographs of gonadal phases of the male *Corbicula japonica*. A, section of the seminiferous tubules in the spent stage. Note undischarged spermatozoa and disintegrating tissue of the testis ($\times 150$). B, Testis in the recovery stage ($\times 150$). C, Section of the testis in the growing stage. Note spermatogonia along the germinal epithelium ($\times 200$). D, Section of a seminiferous tubule in the mature stage. Note the layer composed of spermatogonia, spermatocyte and spermatid on the germinal epithelium ($\times 150$). E, Testis in the ripen stage. Note the enlarged seminiferous tubules containing a great number of spermatozoa ($\times 200$). F, Testis in the partially spawned stage. Note undischarged spermatozoa of the tubules ($\times 150$). Abbreviations: rS, remained Spermatozoa; Sg, Spermatogonia; Sc, Spermatocyte; Sz, Spermatozoa; iT, interstitial Tissue.

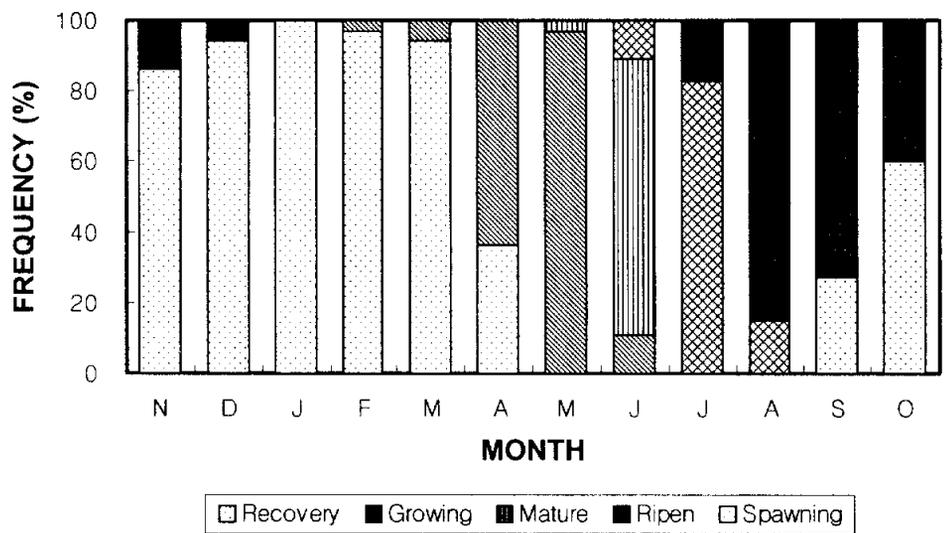


Fig. III-5. Monthly change of gonadal phase of *Corbicula japonica* from Namdae stream.

성장기(growing stage)

성장기의 개체들은 4~5월에 식별되었다.

암컷의 경우, 난소 내에 부분적으로 두터운 생식상피를 가지는 소낭들이 산재하고 있으며, 이들 생식상피를 따라 난원세포가 분열 증식되고 있는 시기로서 초기 발달중인 난모세포가 출현하였다. 수컷의 경우, 정소세관의 두터운 생식상피에 정원세포들이 출현하였으며, 다수의 정모세포가 같이 출현하였다. 이 시기에 암·수의 생식세포들 주변에는 미분화 간충조직과 호산성 과립세포들이 나타났다. 난소소낭과 정소세관을 감싸고 있는 결합조직은 다른 발달단계 중에서 가장 많은 면적을 차지하고 있으며 비교적 충실해져 있었다.

성숙기(mature stage)

성숙기를 보이는 개체들은 6월에 관찰되었다.

암컷의 경우, 난소소낭에 함몰된 듯 존재하는 소수의 난원세포들과 성장을 통해 세포질이 호산성을 띠는 난병형태의 다수의 발달중인 난모세포들이 식별되는 시기로 난소도 이와 함께 좀 더 비후되고 있었다. 수컷의 경우, 빠른 발달과정을 보이는데 정소세관 내에는 정모세포, 다수의 정세포들과 일부 변태중인 정자들이 내강을 향하여 총상으로 배열되었다. 난소소낭과 정소세관을 감싸고 있는 결합조직은 성장기에 비해 그 면적은 줄어들었으나 더욱 충실해져 호산성의 물질염색 반응을 보이며 충실해져 있었다.

완숙기(ripe stage)

완숙기의 개체들은 7월에 출현하였다.

암컷의 경우, 난소는 최대로 비후되며, 난소소강 내강에는 완숙 난모세포들로 가득 차 있었다. 이때 생식상피는 아주 얇아지고 생식상피 상에서 난원세포를 찾아보기 어려웠다. 수컷의 경우, 정소세관의 생식상피가 아주 얇아졌으며, 변태를 마친 완숙정자들이 정소세관의 내강에 밀집되어 두부는 생식상피

쪽을 향한 채 물결 모양의 흐름을 이루었다. 이 시기에는 난소소낭이나 정소세관이 생식소의 대부분을 차지하고 있어서 결합조직층은 그 사이사이를 메우는 수준으로 식별되었다.

산란기(spawning stage)

산란기의 개체들은 7~12월 초순까지 장기간 관찰되었으나, 암·수 개체들의 산란성기는 8~9월이었다. 암컷의 경우, 난소소낭 내강은 잔존 성숙 난모세포들이 채우고 있었고, 결합조직층 역시 흐트러져 있었다. 난소소낭을 가득 채웠던 완숙 난모세포들이 방란되어 난소소낭의 내강은 잔존 난모세포들이 산재하였다. 수컷의 경우, 정자들이 거의 방출되어 물결모양의 정자배열이 붕괴되고 비후된 세관은 조직상이 흐물어져 있었고, 빈 내강과 일부 방정되지 못한 잔존 정자괴가 드문드문 출현하고 있었다. 결합조직층은 흐물어져 방란 방정 후의 치밀성을 잃고 있었다.

회복기(recovery stage)

산란을 이미 끝낸 개체들이 9월부터 출현하여 이듬해 1월까지 지속되었으며, 2월부터 4월까지 식별되어 장기간의 회복기를 보였다.

암컷의 경우, 방란을 마친 난소들의 난소 소낭들은 텅 빈 채로 비교적 오랜 시간 퇴화·위축과정을 겪고 있었으며, 잔존 난모세포들의 흡수 또는 세포질 붕괴가 일어나는 것이 관찰되었다. 난소소낭들이 퇴화·흡수된 후 새로 형성되는 난소소낭 주변에 결합조직들이 재구축되고 있었으며, 소낭 상피상에는 난원세포들이 장기간 나타났다. 수컷의 경우, 방정 후 정소세관은 퇴화·위축되어 결합조직 사이로 함몰되는 모습을 보였으며, 지속적으로 일부 세관에서 잔존 정자들이 퇴화·흡수과정을 겪고 있었다. 정소세관이 퇴화·흡수된 후 정소세관 주변에 결합조직들이 가득 채워지며, 2월부터 정소세관의 생식상피에는 일부 정원세포가 출현한 후 장기간 지속되어 나타났다.

5. 성비

5-1. 조직학적 성

재첩의 미성숙 개체는 생식소가 장관 주위에 극히 좁게 분포되어 있어 외관상 식별이 곤란하였으므로, 생식소의 조직학적 판정에 의해 연중 암, 수 식별이 가능하였다. 특히 회복기에도 그들의 조직학적 특징이 달라 성의 구분에 어려움은 없었다(Table III-1). 연중 395개체 중 암컷 208개체, 수컷 186개체로 암컷이 많았으나 95% 신뢰한계 내에서 암컷에 대한 수컷의 성비는 유의하지 않았다($P>0.05$).

5-2. 외형적 성

성숙한 시기에 기수재첩의 난소는 회흑색, 정소는 유백색을 띠는데 이를 기준으로 외형적 성 판독 결과를 조직학적 판독결과에 비교해 본 결과 86.7%의 일치율을 보였다. 월별로 본 외형상 암수판단의 정확성은 생식소지수와 유사한 변화를 보였다. 생식소가 성장, 성숙해 가는 시기인 4월에 97.0%의 일치율을 보여 식별이 용이했으며, 일부 산란 개체가 나타난 10월까지 식별이 되다가 11월에는 58.6%로 식별이 어려웠다. 이후 생식소지수가 일시 높아진 12월에 82.8%로 다시 식별률이 증가하였으나 1월에 가장 낮은 50%의 일치율을 보였다(Table III-2).

6. 체성분 변화

연중 가식부의 성분 조성을 조사한 결과는 Table III-3과 같다. 수분은 1월에 91.90%였으나 점차 감소하여 9월에 86.68%로 나타났으며, 이후 11월에 91.65%로 다시 증가하였다. 단백질은 회복기인 1월과 3월에 4.70%와 5.90%이었던 것이 산란기인 7월과 9월에는 8.37%와 9.13%로 증가하였으며, 이후 다시 감소하였다. 지방도 단백질과 유사한 경향으로 1월에 가장 낮고 9월에 가장 높은 비율을 보였다. 회분과 글리코젠은 회복기에 증가하기 시작하여 산란기인 7월과 9월에 감소하기 시작하였다.

Table III-1. Monthly variations in sex ratios of *Corbicula japonica* which is larger than 10.1 mm in shell length from Namdae stream

Date	Female	Male	Hermaphroditism	Total	Sex ratio (F/F+M)	χ^2
Nov. 2000	18	14	-	32	56.25	0.50
Dec. 2000	16	14	1	30	53.33	0.13
Jan. 2001	17	13	-	30	56.67	0.53
Feb. 2001	16	16	-	32	50	0.00
Mar. 2001	16	16	-	32	50	0.00
Apr. 2001	17	16	-	33	51.51	0.03
May 2001	16	14	-	30	53.33	0.13
Jun 2001	19	18	-	37	51.35	0.03
July 2001	18	17	-	35	51.43	0.00
Aug. 2001	25	16	-	41	60.97	1.98
Sep. 2001	15	18	-	33	45.45	0.27
Oct. 2001	16	14	-	30	53.33	0.13
Total	208	186	1	395	52.66	1.22

* The critical value for χ^2 goodness of fit test of equal numbers of females and males in 95% significance was 3.84.

Table III-2. Fitness to the histological sex by optic observation of *Corbicula japonica* from Namdae stream

Month	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun	July	Aug.	Sep.	Oct.	Total
Fitness	58.6	82.8	50.0	96.9	93.1	97.0	86.7	88.2	94.3	95.1	75.0	100.0	86.7

Table III-3. Proximate body composition (%) of adult *Corbicula japonica* from Namdae stream

	Moi.	Pro.	Lipid	Ash	Gly.
Jan. 10	91.90	4.70	0.60	0.26	1.71
Mar. 23	88.59	5.90	0.69	0.68	3.25
May 12	87.66	6.56	0.97	0.74	2.81
July 14	87.33	8.37	1.37	0.52	1.73
Sep. 11	86.68	9.13	2.03	0.62	1.75
Nov. 10	91.65	4.02	0.41	0.28	1.72

Pro., protein; Moi., moisture. Gly., Glycogen.

제4절 고찰

본 조사 결과, 강원도 양양군의 남대천 하구 기수역에 서식하는 재첩은 자웅이체이며 난생종으로 판단되었다. 일본에서 채집된 재첩(Maru, 1981)이나 변과 정(2001)이 조사한 것과 같았다. 조직학적 관찰에 이용된 재첩 395개체의 각장은 최대 37.20 mm, 최저 10.58 mm, 평균 26.91 mm이었으며, 전중은 최대 10.66 g, 최소 0.77 g, 평균 4.73 g으로 나타나 변과 정(2001)이 보고한 50% 균성숙을 보이는 각장 범위인 10 mm보다 비교적 큰 개체들이 채집되었다.

패류의 생식소 발달에 있어 영양세포는 재첩 *C. fluminea*(이와 정, 1980), 소라 *Turbo cornutus*(이, 1980), 펄조개 *Anodonta woodiana*(정, 1980), 일본산 재첩 *Corbicula japonica*(Maru, 1981), 맛조개 *Solen strictus*와 붉은 맛 *S. gordonis*(정 등, 1986), 개량조개 *Macra chinensis*(Chung et al., 1987)등에서 보고되고 있다. 본 실험 결과, 재첩의 난소 내에서 출현하는 미분화간충조직과 색소과립세포들도 난모세포의 초기 성장기부터 풍부하게 나타나기 시작하여, 난모세포의 성장과 함께 점점 그 수가 감소하다가 완숙기 난소에서는 거의 찾아볼 수 없는 점으로 미루어, 난모세포 성장에 관여하는 영양세포로 생각된다. 이와 동일하게 정소 발달과정에서도 정원세포의 분열 증식과 함께 정모세포의 초기성장기에 풍부하게 나타나기 시작하여 정모세포의 발달과 함께 소실되고 완숙기에서는 거의 찾아볼 수 없는 미분화 간충조직과 색소과립들 역시 정소의 영양세포로 생각된다. Maru(1981)는 일본산 재첩에서 방란·방정 후 식세포 작용을 관찰하였는데, 이것은 먼저 발달한 생식세포를 분해하여 그 영양물질을 이후 발달하는 새로운 생식소의 증식, 성장에 사용하는 기작으로 추정된다고 보고하였다. 일반적으로 체외수정을 하는 종들은 방출기를 지나면 생식소가 휴지기에 들어가 생식소 내에서 생식세포를 찾아볼 수 없으나(정 등, 1986; Chung et al., 1987; 이와 김, 1997), 전복, 소라, 새조개, 펄조개는 방란 방정 후 생식

소가 휴지기로 들어가지 않고 곧 회복기로 들어가 새로운 생식세포를 형성하기 시작한다(이, 1980; 정, 1980; Chang and Lee, 1982). 본 재첩은 낙동강산 재첩 *Corbicula fluminea*(이와 정, 1980; 이 등, 1985) 및 일본산 재첩 *C. japonica*(Maru, 1981)과 마찬가지로 방란·방정 후 생식소가 완전 소실되지 않고 퇴화되면서 바로 분화발달하고 재배치되는 족부 결합조직내에 신생 생식소가 형성되었다. 이와 같이 휴지기를 갖지 않고 새로운 신생 생식소가 형성되는 것과 퇴화기에 관찰되는 식세포활동(Maru, 1981)과는 상관이 있을 것으로 생각된다.

패류의 생식세포 형성과 성숙을 지배하는 환경요인으로 수온, 일조시간, 먹이 등이 보고되고 있다(Giese, 1959; 이, 1980; Chung et al., 1987; 최 등, 1997; 이 등, 1997; 손 등, 1998). 본 재첩은 수온이 10℃ 이상으로 상승하는 4월부터 활발한 성장기를 보여 수온이 20℃ 이상을 보이는 6월 한달의 짧은 성숙기를 거쳐 연중 가장 고수온기인 7월의 26℃ 수온에 이를 때 완숙기를 보인다. 그리고 7월말부터 지속적인 고수온기를 보이는 8월과 수온이 점차 하강하는 9월과 10월에 걸쳐 장기간의 산란기를 보였다. 이후 10℃ 이하로 감소하는 10월 중순이후 퇴화기에 접어들고 수온이 가장 낮아 0℃ 내외로 나타나는 이듬해 1월부터 4월 초순까지 장기간의 회복기에 들어가는 특징을 보였다(Fig. III-5).

조직학적 관찰에 의한 생식소의 발달단계에 따른 계급값으로 나타낸 생식소지수는 6.5℃에서 11.8℃로 증가하는 4월부터 증가하기 시작하여 7월까지 급격한 증가를 보여 최대값(4.83)에 도달하였다. 이후 산란이 일어나는 시기동안 지속적으로 감소하다가 12월에 다소 높아지는 특징을 보였고 이듬해 3월에 최저값(0.16)을 보였다. 이러한 생식소지수의 월별 변화는 생식주기와 일치하는 경향을 보였다. 또한 재첩 속의 번식생태는 키조개(유와 유, 1984; 김 등, 1985; 정 등, 1986)와 마찬가지로 긴 생식소의 발달기간에 비하여 짧은 방란·방정기를 가지는 것으로 알려져 있으나 강원도산의 경우 비교적 장기간의 산란기와 12월에 비교적 작지만 산란모드가 일부개체에서 확인되는 특징을 보였다.

자원증식과 관리를 위한 자료로 매우 중요한 군성숙도 조사는 일본산 일본 재첩의 생물학적 최소각장이 암컷 10.5 mm, 수컷 14.4 mm로 보고되어 있다 (Maru, 1981). 또 종은 다르지만 일본산 *C. sandai*의 경우, 생물학적 최소 각장이 14.4 mm(Hurukawa and Mizumoto, 1954), 우리나라 낙동강산 재첩 *C. elatior*은 암컷 17 mm 수컷 15 mm(정, 1977), 낙동강산 *C. fluminea*는 각장 15 mm 이상부터 모든 개체가 생식에 참가하는 것으로 나타나(이 등, 1985), 재첩 속의 경우 생물학적 최소 각장이 매우 유사하였다. 본 연구에서 암컷과 수컷이 개체의 50%가 각각 생식에 참가하는 각장인 10 mm 이상의 개체들에 의한 조직학적 검경 결과로 자료화할 수 없었다. 그러나, 자료에 이용된 거의 모든 개체가 성숙에 이르러 각장 15 mm 이상이면 생식 개체로 판정해도 무리가 없을 것으로 생각된다.

조개류는 보통 외형적으로 암, 수의 구분이 어려운 경우가 대부분이다. 재첩의 미성숙 개체는 생식소가 장관 주위에 극히 좁게 분포되어 있어 외관상 식별이 곤란하였으므로, 생식소의 조직학적 관찰에 의해 연중 암, 수 식별이 가능하였다. 특히 퇴화 및 휴지기에도 그들의 조직학적 특징이 달라 성의 구분에 어려움은 없었다. 연중 395개체 중 암컷 208개체, 수컷 186개체로 암컷 개체가 많았으나 95% 신뢰한계 내에서 암컷에 대한 수컷의 성비는 유의하지 않아 1:1의 성비를 보였다($P>0.05$). 성숙한 시기에 재첩의 난소는 회흑색, 정소는 유백색을 띠는데 이를 기준으로 외형적 성판독 결과를 조직학적 판독결과와 비교해 본 결과 86.7%의 일치율을 보였다. 더욱이 월별로 본 외형상 암, 수 판단의 정확성은 생식소지수와 같은 변화를 보여 생식소가 성장, 성숙해 가는 시기에 높은 일치율을 보여 산란기에 인공 산란유도시 암, 수 판단의 큰 특징으로 이용할 수 있으리라 판단된다.

조개류의 경우 생식소 발달을 위해서는 생식소로 영양물질이 이동하므로 에너지가 요구되는 과정이라 할 수 있다. 비록 아직은 불분명하나 생식소 발달은 섭취한 먹이, 저장된 영양물질, 또는 2가지 모두에 관련되어 있다고 보고되

어 있다(Barber, 1984). 본 연구에서는 연체부의 영양물질을 조사한 결과, 생식 주기와 유사한 경향을 보이는 것으로 판단된다. Barber(1984)는 해만가리비 *Argopecten irradians*의 생식소에 영양물질을 공급하는 소화맹낭과 폐각근 조직 내의 영양성분들의 변화 및 전환관계를 방사성 동위원소로 추적하여 조사하였던 바, 영양기관인 소화맹낭 조직 내의 지방산은 생식소로 보내지고 단백질과 글리코젠은 폐각근으로 보내지는 반면, 폐각근 조직 내의 글리코젠은 지방산으로 전환된 후 생식소로 이동되어 지방산이 생식소 내에 축적되고, 단백질은 각 기관의 에너지원이 된다고 보고하였다. 또한 본 연구에서 재첩은 소형으로 기관이 다른 영양성분의 변화를 조사하지는 않았으나 연체부 성분조사 결과, 단백질과 지방은 회복기 및 성장기에는 낮은 비율은 보인 후 완숙기 및 산란기에는 높은 비율을 보였다. 그러나 글리코젠은 성장기에는 높은 값을 보인 후 완숙기 및 산란기에는 낮은 값을 보였다. 이상과 같이 재첩 연체부의 체조성은 생식주기와 일정한 관계를 가지는 연주기를 가지는 것으로 판단된다.

제4장 인공종묘생산

4-1. 산란유발 및 부화

제1절 서 설

조개류의 인공 종묘생산 과정의 첫째 조건은 양질의 수정란을 확보하는 것이며, 산란유발은 생산성을 높이는 데 필요한 선결과제이다. 그러므로 성숙한 어미로부터 일시에 대량의 수정란을 얻기 위한 여러 가지 방법들이 시도되고 있다(이, 2001). 또한 조개류의 인공 종묘생산을 위해서는 수정에서 유생단계까지의 초기 성장과 생존율을 높여야 하는데, 수산생물의 종묘생산 기간중 먹이를 필요로 하지 않는 난발생 및 부화에 있어 수온과 염분 등의 환경요인에 따라 그 생존율이 달라진다(Imai, 1953).

조개류의 인위적 채란·채정 방법으로는 온도자극(Galtsoff, 1938; Loosanoff and Davis, 1963), 화학 자극(Iwata, 1971a; Kikuchi and Uki, 1974; Gibbons and Castagona, 1984; Crawford, 1986) 및 생물학적 자극(Iwata, 1971b) 등이 있다. 그러나 대부분이 고등류인 전복류의 산란유발 방법이며, 조개류에 관해서는 serotonin 및 자외선을 쬐인 해수(자외선해수)에 의한 가리비류(菊地·浮, 1974; Matsutani and Nomura, 1982)와 새조개(西廣, 1980)의 산란유발 효과만이 보고되어 있다. 우리나라에서는 수온과 간출 자극 및 자외선해수 자극에 의해 전복의 산란유발이 이루어지고 있으나, 조개류에서는 대합과 가무락(최, 1975), 참가리비(강 등, 1996) 및 바윗굴(유와 강, 1996)에 관한 실험적 보고와 북방대합의 인공종묘생산을 위한 연구(이, 2001)를 찾아 볼 수 있다.

한편, 조개류의 발생에 관한 연구는 참굴(Staeger and Horton, 1976; Stephano and Gould, 1988), 북미산 북방대합(Clotteau and Dube, 1993), 담치

류(Dufresne-Dube et al., 1983), 가리비류(Gruffydd and Beaumont, 1970), 가 무락(최와 송, 1973), 바윗굴(유와 강, 1996) 등 매우 많다. 그러나 대부분의 연구들이 실험실 규모의 연구로서 인공종묘생산을 위한 연구는 드문 편이다.

조개류의 발생에서 온도는 초기 난할기의 세포 분열과 유생의 발생 및 사육에 큰 영향을 미치며, 대사율과 성장률에는 직접적으로, 환경 측면에는 간접적으로 영향을 미치는 요인이다(Ventilla, 1982). 또한 본 종은 기수역에 서식하는 종으로 성패는 염분에 대한 환경적응이 매우 강할 것으로 추측되나 초기 발생생물학적 적응은 예민할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 재첩의 효과적인 산란유발 방법을 파악하기 위하여 물리·화학적 자극을 시도하였으며, 이로부터 얻어진 수정란의 발생생물학적인 특징을 밝히고, 부화율 향상을 위한 최적 환경조건을 파악하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 산란유발

실험에 이용한 재첩은 산란기인 7~8월에 강원도 양양군 남대천 하구에서 행망으로 채집한 각장 23.2 ± 5.7 mm, 전중 4.9 ± 3.4 g의 모패를 사용하였다(Table IV-1).

Table IV-1. Number and size of adult *Corbicula japonica* used for the experiment of spawning induction

No. of adult	Shell length (mm)	Shell height (mm)	Total weight (g)
3000	16.3~35.4 (23.2 ± 5.7)	15.1~33.0 (21.3 ± 5.2)	1.8~16.4 (4.9 ± 3.4)

채집된 재첩 모패는 실내수조에 수용하여 24시간 안정시킨 다음, 500 l의 산란유발용 수조에서 염분농도별 수온자극의 반응률을 조사하여 최적 염분을 파악한 후, 정자 현탁액 첨가자극, 자외선 조사자극, H₂O₂ 및 NH₄OH 용액 첨가 자극을 실시하여 반응률을 조사하였다.

염분별 수온자극은 담수(0 ppt)와 3, 6, 9, 12, 15 ppt 염분으로 구분하여 자연수온에서 사육하던 어미를 4.1~4.7℃ 상승시켜 자극하였으며, 정자현탁액 자극에서는 산란기에 성숙한 재첩 정자현탁액(10^7 마리/ml)을 해수 1 l 당 10 ml씩 첨가하였으며, 자외선 조사자극은 菊地·浮(1974)의 방법에 따랐다. H₂O₂ 용액을 해수에 첨가하는 자극은 자극농도를 1/100 및 3/100 N로 조정하였으며, NH₄OH를 해수에 첨가하는 자극은 1/1000, 2/1000, 3/1000 및 5/1000 N로 조정하여 산란유발 자극을 실시하였다. 한편 간출 후 수온에 따른 반응률과 채란량 및 수정률을 조사하기 위하여 20℃에서 사육중이던 모패

를 1시간 공기중에 노출자극한 후 20, 23, 26, 28, 30 및 32℃로 조절된 해수에 수용하여 산란유발을 시켰다. 방란·방정된 알과 정자는 즉시 인공수정 시킨 후 30 μ m 망목에서 깨끗한 여과해수로 3~4회 세란한 뒤 수조(20 ℓ 원형 플라스틱수조)에 수용하여 수정률을 구하였다.

2. 각장에 따른 산란량

각장 21.3~36.5 mm 개체 30마리를 대상으로 각장 크기에 따른 산란량을 조사하였다. 실험은 자연산 재첩을 수온 20℃ 실내수조에서 2일 동안 안정시킨 후 1 ℓ 비이커에 1마리씩 수용하여 수온 28℃로 상승함으로써 산란을 유발하였다. 산란량은 산란 개시 1시간 후 산란된 알 수를 입체현미경하에서 계수하였다.

3. 염분에 따른 부화율

재첩의 난발생 과정 중 염분에 따른 부화율을 조사하기 위하여 자연산란으로 수정된 알을 0, 3, 6, 9, 12, 15 및 20 ppt 해수에서 부화율을 구하였다. 염분은 일반해수와 지하수를 희석하여 조절하였으며, 실험은 1 ℓ 비이커를 이용하여 세란이 완료된 알을 ml 당 100개의 밀도로 수용하여 수온 25℃에서 실시하였다. 각 발생단계에 이르기까지의 소요시간과 생존율은 30분 간격으로 입체현미경을 사용하여 조사하였으며, 발생단계별 소요시간은 관찰된 알의 50% 이상이 점유하는 발생단계에 이르는 시간으로 하였다.

4. 수온에 따른 부화율

재첩의 수온에 따른 발생속도의 차이를 파악하기 위하여 자연산란으로 채란한 수정된 알을 염분 6 ppt의 준비된 해수를 사용하여 5, 10, 15, 20, 25 및 30℃의 수온으로 각 단계별 경과시간과 부화율을 구하였다. 알의 수용밀도와 조사방법은 염분별 시험과 동일하게 하였다.

5. 알의 수용밀도에 따른 부화율

알의 최적 수용밀도를 조사하기 위하여 1 ℓ 비이커에 수온 25℃, 염분 6 ppt의 준비된 해수를 사용하였으며, 알의 수용밀도는 ml당 20, 100, 200, 400, 800 및 1,600개로 하였다.

제3절 결 과

1. 산란유발

재첩의 산란유발을 위하여 염분별 수온자극, 정자 현탁액 첨가자극, 자외선 조사자극, H_2O_2 및 NH_4OH 첨가자극의 반응률은 Table IV-2와 3과 같다.

수온자극은 담수와 3, 6, 9, 12, 15 ppt 염분조건으로 나누어 7월 15일, 8월 20일, 9월 3일까지 3회 실시하였다(Table IV-2). 7월 15일 수온 $21.6^{\circ}C$ 로 사육 하던 모패를 $26.3^{\circ}C$ 로 1시간동안 상승시킨 결과 담수와 15 ppt에서는 전혀 반응이 없었으며, 3 ppt 해수에서는 암컷 2마리, 수컷 5마리가 반응하여 7.0%의 반응을 보였고, 6 ppt에서는 15%, 9 ppt에서는 8.0%, 12 ppt에서는 2.0%의 반응을 보였다. 8월 20일 수온 $24.2^{\circ}C$ 로 사육하던 모패를 $28.4^{\circ}C$ 로 1시간동안 상승 시킨 결과 담수와 15 ppt에서는 전혀 반응이 없었으며, 3 ppt 해수에서는 82.0%의 반응을 보였고, 6 ppt에서는 91.0%, 9 ppt에서는 78.0%, 12 ppt에서는 26.0%의 반응을 보였다. 9월 3일 수온 $20.2^{\circ}C$ 로 사육하던 모패를 $24.6^{\circ}C$ 로 1시간동안 상승 시킨 결과, 담수와 15 ppt에서는 전혀 반응이 없었으며, 3 ppt 해수에서는 66.0%의 반응을 보였고, 6 ppt에서는 68.0%, 9 ppt에서는 56.0%, 12 ppt에서는 18.0%의 반응을 보였다. 이상의 결과로 보아 염분별 수온자극에 의한 재첩의 산란유발 시험결과는 6 ppt 해수에서 가장 양호하였다.

6 ppt 해수에서 정자현탁액을 첨가한 자극에서는 8월 20일과 9월 3일에 각각 26.0%와 14.0%의 반응률을 보였으나 자외선조사자극과 H_2O_2 첨가 자극에서는 8월과 9월에 암 수 모두에서 반응을 보이지 않았다. 그러나 NH_4OH 를 농도별로 첨가한 자극에서는 30% 전후의 반응률을 보였는데, 2/1,000N 농도에서 8월 20일에 가장 높은 50.0%의 반응률을 보였다(Table IV-3).

수온 $20^{\circ}C$ 에서 사육중인 모패를 공기중에 1시간 노출 후 6 ppt 해수에서 20, 23, 26, 28, 30 및 $32^{\circ}C$ 에 수용하여 수온별 반응률과 채란량 및 수정률을

조사한 결과, 26~28℃에서 높은 반응률을 보였으며, 28℃에서 가장 높은 92.0%의 반응률을 보였다. 채란된 알의 양에서도 26, 28 및 30℃에서 많은 양의 알이 채란되었으나 30℃에서는 수정률이 50.7%로 26℃와 28℃의 80% 이상보다 낮게 나타났다(Table IV-4).

Table IV-2. Spawning induction of *Corbicula japonica* with water temperature stimulation on different salinities

Salinity	Date	Process of stimulation	Number	Number of responses		Percent of responses (%)
				♀	♂	
Freshwater	July 15	21.6°C→26.3°C (1 hr)	100	0	0	0.0
	Aug. 20	24.2°C→28.4°C (1 hr)	100	0	0	0.0
	Sep. 3	20.2°C→24.6°C (1 hr)	100	0	0	0.0
3 ppt seawater	July 15	21.6°C→26.3°C (1 hr)	100	2	5	7.0
	Aug. 20	24.2°C→28.4°C (1 hr)	100	40	42	82.0
	Sep. 3	20.2°C→24.6°C (1 hr)	100	32	34	66.0
6 ppt seawater	July 15	21.6°C→26.3°C (1 hr)	100	3	12	15.0
	Aug. 20	24.2°C→28.4°C (1 hr)	100	46	45	91.0
	Sep. 3	20.2°C→24.6°C (1 hr)	100	37	31	68.0
9 ppt seawater	July 15	21.6°C→26.3°C (1 hr)	100	3	5	8.0
	Aug. 20	24.2°C→28.4°C (1 hr)	100	35	43	78.0
	Sep. 3	20.2°C→24.6°C (1 hr)	100	29	27	56.0
12 ppt seawater	July 15	21.6°C→26.3°C (1 hr)	100	0	2	2.0
	Aug. 20	24.2°C→28.4°C (1 hr)	100	11	15	26.0
	Sep. 3	20.2°C→24.6°C (1 hr)	100	8	10	18.0
15 ppt seawater	July 15	21.6°C→26.3°C (1 hr)	100	0	0	0.0
	Aug. 20	24.2°C→28.4°C (1 hr)	100	0	0	0.0
	Sep. 3	20.2°C→24.6°C (1 hr)	100	0	0	0.0

Table IV-3. Spawning induction of *Corbicula japonica* with various stimulation methods in 6 ppt

Stimulation methods	Date	Process of stimulation	Number	Number of responses		Percent of responses (%)
				♀	♂	
Add sperm suspension solution	Aug. 20	10' inds./ml	50	8	3	26.0
	Sep. 3		50	3	4	14.0
UV-ray irradiation	Aug. 20	670.2 mW/h	50	0	0	0.0
	Sep. 3		50	0	0	0.0
Add H ₂ O ₂	Aug. 20	1/100	50	0	0	0.0
		3/100	50	0	0	0.0
	Sep. 3	1/100	50	0	0	0.0
		3/100	50	0	0	0.0
Add NH ₄ OH	Aug. 20	1/1000	50	8	10	36.0
		2/1000	50	11	14	50.0
		3/1000	50	6	4	20.0
	Sep. 3	5/1000	50	0	3	6.0
		1/1000	50	5	7	24.0
		2/1000	50	9	8	34.0
		3/1000	50	3	5	16.0
		5/1000	50	0	0	0.0

Table IV-4. Spawning induction and egg collection of *Corbicula japonica* by different water temperatures in 6 ppt

Temperature (°C)	Number	Spawning induction				Egg collection		
		Response number			Response rate (%)	Spawning egg number (×1,000)	Fertilization egg number (×1,000)	Fertilization rate (%)
		♀	♂	Total				
20	50	2	3	5	10.0	160	78	48.8
23	50	7	11	18	36.0	1,120	751	67.1
26	50	19	18	37	74.0	3,160	2,620	82.6
28	50	21	23	46	92.0	3,700	2,985	80.7
30	50	15	19	34	68.0	2,650	1,344	50.7
32	50	3	3	8	16.0	170	35	20.6

2. 각장에 따른 산란량

각장에 따른 산란량은 Fig. IV-1과 같다. 각장 25 mm의 채첩의 산란량은 451천개, 각장 30 mm는 758천개, 각장 35 mm는 1,065천개로, 각장(SL)이 증가함에 따라 산란된 알의 수(NE)는 직선적 증가를 보였으며, 그 식은 $NE = 61.396SL - 1083.3$ ($R^2 = 0.742$)과 같다.

3. 부화

채첩의 초기 발생에 관한 형태적 특징은 Fig. IV-2와 같다. 염분 6 ppt, 수온 25°C 에서 수정란은 구형으로 난경은 $86 \pm 3 \mu m$ 이었으며, 수정이 완료된 알은 제1극체를 형성(Fig. IV-2A)한 후, 수정 후 1시간이 지나면 제1차 난할을 하여 2세포기로 되었고(Fig. IV-2B), 수정 후 2시간이 되면 4세포기(Fig. IV-2C), 2시간 30분이 경과하면 8세포기가 되었다(Fig. IV-2D). 수정 후 3시간 경과하면 16세포기로 되었으며(Fig. IV-2E), 수정 후 4시간 10분이 경과하면 섬모가 생겨 회전운동을 시작하는 포배기에 이르렀으며(Fig. IV-2F), 6시간 15분이 지나면 낭배기를 거쳐(Fig. IV-2G), 15시간이 지나 나선상의 상하운동을 반복하는 담륜자유생(trochophore larvae)으로 부화하였다(Fig. IV-2H). 수정 후 각 단계까지의 소요시간은 Table IV-5와 같다.

3-1. 염분에 따른 부화율

25°C 수온에서 채첩의 수정란은 염분 3~9 ppt 범위에서는 70% 이상의 부화율을 보였으나 12 ppt와 15 ppt에서는 40%와 28%의 부화율을 보였다. 한편, 0 ppt에서는 0%, 20 ppt에서는 10%의 낮은 부화율을 보였다(Fig. IV-3).

3-2. 수온에 따른 부화율

수정 후 염분 6 ppt의 해수를 사용하여 담륜자유생까지의 수온별 부화율은 Fig. IV-4와 같다. 5°C와 10°C에서는 수정 후 4시간 경과시까지 전혀 발생이

이루어지지 않았다. 15℃에서는 4시간까지 높은 생존율을 보였으나, 시간이 경과함에 따라 생존율이 점차 감소하여 담륜자유생이 나타나는 수정 15시간 후에는 50%의 생존율을 보였다. 20℃와 25℃의 수온 조건에서는 담륜자유생(trochophore larvae)기까지 70%와 80%의 생존율을 보였다. 그러나 30℃에서는 부화시간은 빨랐으나 부화율이 저조하였다.

3-3. 알의 수용밀도에 따른 부화율

알의 수용밀도에 따른 부화율은 ml당 20개의 알을 수용하였을 때 76.0%를 보였으며, ml당 100개의 알을 수용하였을 때 81.5%로 가장 높게 나타났다. 그러나 알의 수용밀도를 ml당 200개, 400개, 800개 및 1,600개로 부화시킬 때, 부화율은 각각 76.4%, 70.5%, 56.6% 및 50.8%로 나타나 알의 수용 밀도가 높을수록 부화율이 낮게 나타났다(Fig. IV-5).

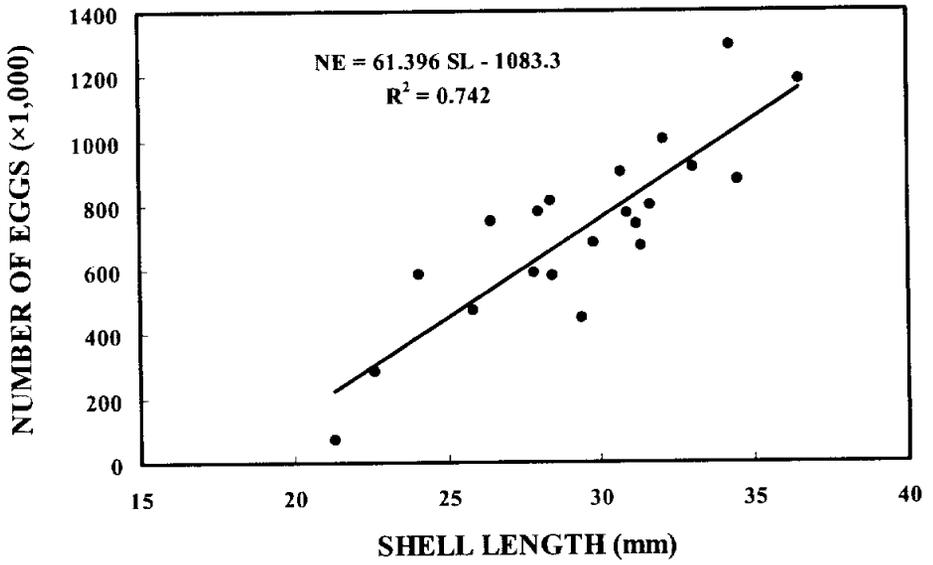


Fig. IV-1. Number of eggs (NE) on shell length (SL) of *Corbicula japonica* by water temperature stimulation.

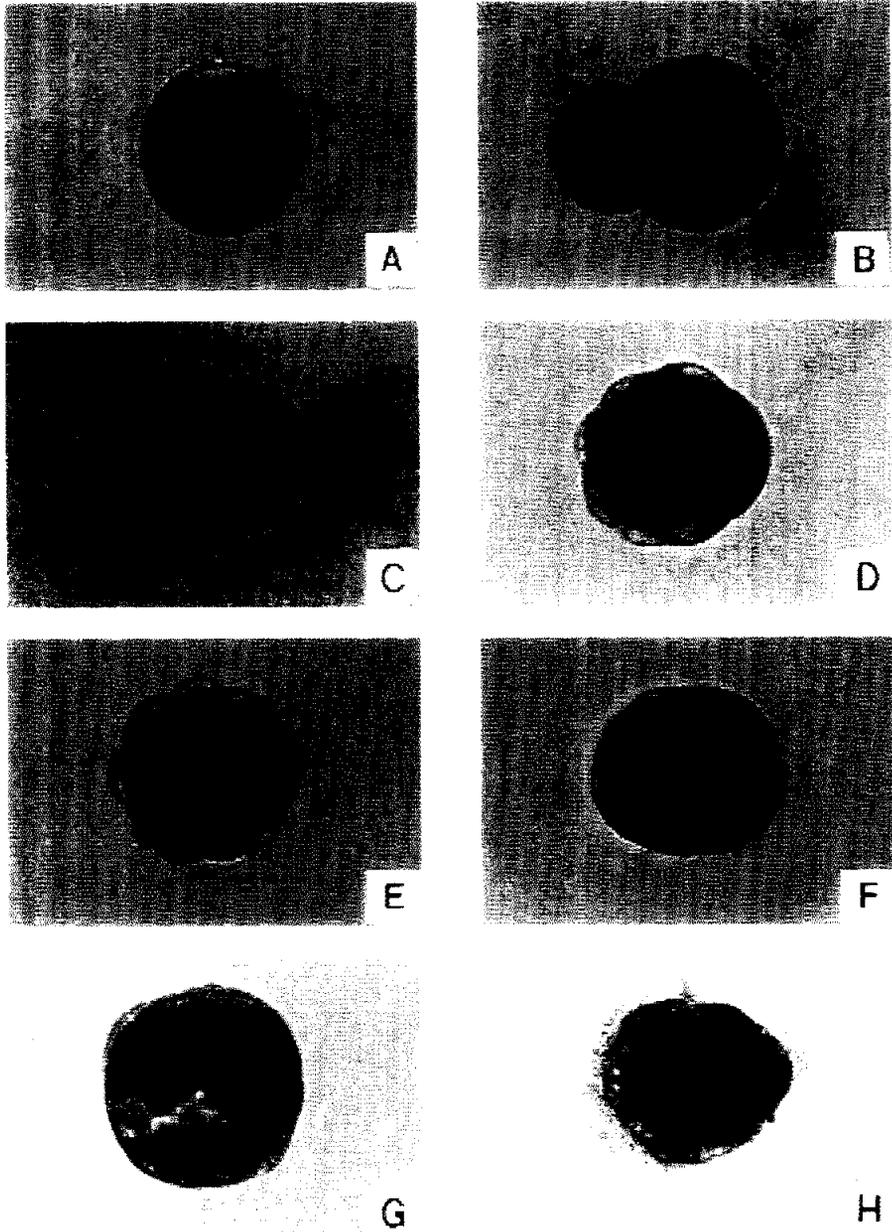


Fig. IV-2. Early development of fertilized egg of *Corbicula japonica*.
 A, 1st polar body; B, 2-cell; C, 4-cell; D, 8-cell; E, 16-cell; F, blastula; G, gastrula; H, trochophore.

Table IV-5. Development of *Corbicula japonica* at 25°C

Stages	Elapsed time after fertilization	Remarks
Fertilized egg	0	86 μ m
2 cells	1 hr. 00 min.	
4 cells	2 hr. 00 min.	
8 cells	2 hr. 30 min.	
16 cells	3 hr. 00 min.	
Blastula	4 hr. 10 min.	
Gastrula	6 hr. 15 min.	begin to move with cilia
Trochophore	15 hr. 00 min.	hatching

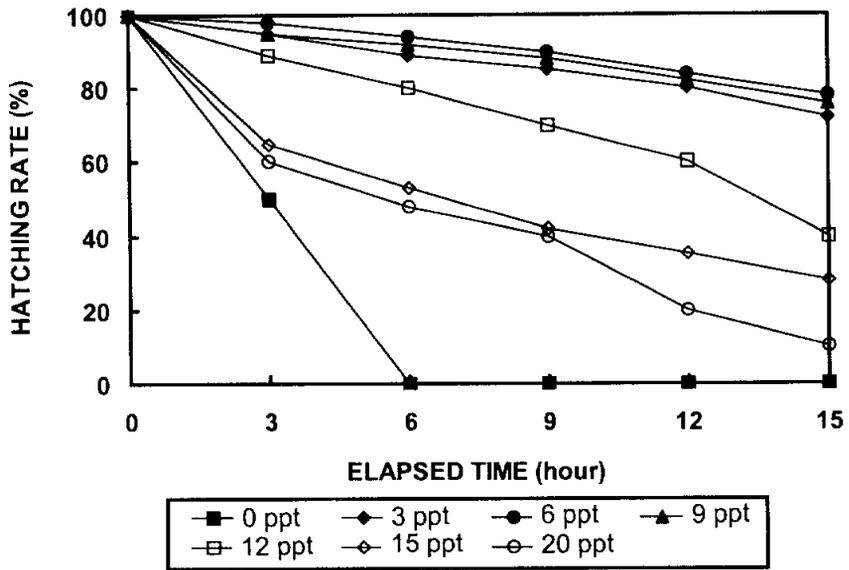


Fig. IV-3. Hatching rate from fertilization to trochophore larva of *Corbicula japonica* in various salinities.

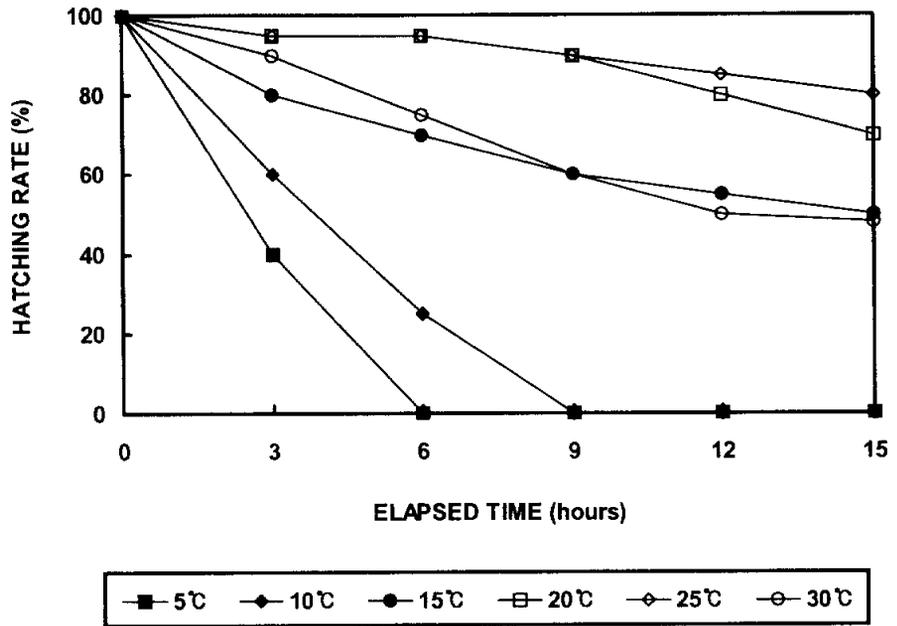


Fig. IV-4. Hatching rate from fertilization to trochophore larva of *Corbicula japonica* in various water temperatures.

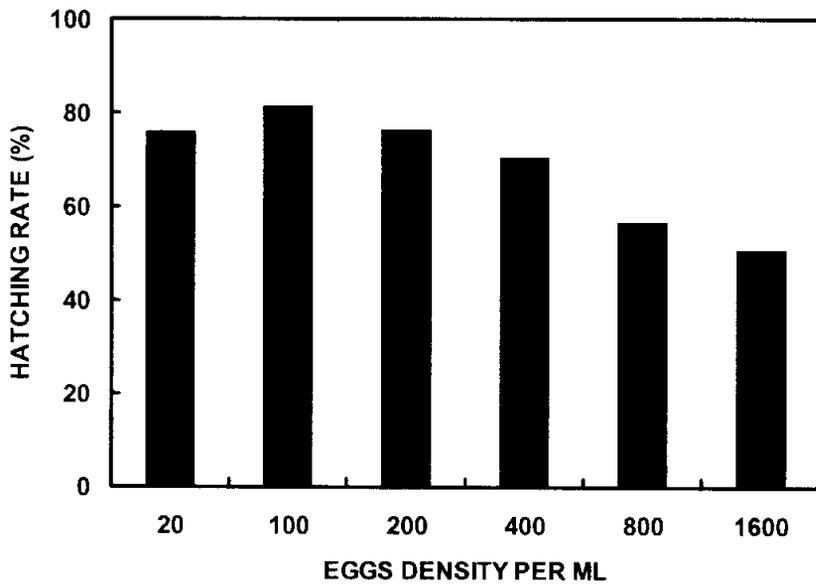


Fig. IV-5. Hatching percent of *Corbicula japonica* eggs with different stocking densities.

제4절 고찰

산란된 알은 해수중에서 난핵포 붕괴가 일어나며, 정자 없는 해수에서 배양될 때 제1성숙분열 중기에서 발생이 정지되므로(Longwell et al., 1967; Osanai, 1985) 정상적인 수정과 발생이 이루어지기 위해서는 산출된 알은 일정 시간 내에 수정이 이루어져야 한다. 조개류의 수정은 자연산란 되거나 인공자극에 의해 산란된 알이라도 난핵포(germinal vesicle)의 유무에 관계없이 수정이 용이한 종도 있으나(Allen, 1953; Clotteau and Dube, 1993) 거의 대부분이 난핵포가 소실된 후에 정상적인 발생이 이루어지는 것으로 알려지고 있다(Loosanoff and Davis, 1963).

濱本·大林(1985)은 코끼리조개의 생식소를 절개하여 인공 수정시킨 결과, 부유유생을 얻지 못했다고 하였으나, 이 등(1997)은 15.0~45.0%의 수정률을 보였다고 하여 같은 종이라도 성숙단계에 따라 절개에 의한 수정가능성이 다른 것으로 보고하였다. 이 연구에서는 濱本·大林(1985)과 같이 생식소 절개에 의해서는 수정란을 얻지 못하여 난핵포가 완전히 소실되어야 수정이 이루어지는 것으로 사료된다.

온도자극에서 Kanno(1962)와 이 등(1997)은 단일자극보다 반복자극에 의한 효과가 높았다고 하였다. 이 연구에서는 담수에서의 온도자극은 반응이 거의 없었으며, 염분별 수온자극에 의한 채첩의 산란유발 시험결과는 6 ppt해수에서 가장 양호하였다. 6 ppt해수에서 20, 23, 26, 28, 30 및 32℃의 수온별 산란유발 및 채란 시험결과, 26~28℃에서 채란량 및 수정률의 비율이 가장 양호하였다.

패류의 사육수에 NaOH 나 NH₄OH 용액을 첨가하면 해수의 pH를 높여 산란이 유발된다(木下 等, 1943). Sagara(1958)는 동족에 NH₄OH를 첨가한 경우, 8/1000 N 이하에서 방란·방정이 일어난다고 보고하였으며, 이 등(1997)은 코

끼리조개에서 8/1000~10/1000 N 에서 가장 좋은 반응을 나타내었다고 보고 하였으나, 이 연구에서는 1/1000~3/1000 N에서 15~45%의 양호한 반응을 보였다. 그러나 키조개(정 등, 1986)에서는 이 자극으로 산란유발 효과를 보지 못하였다고 보고하여 종에 따라 상이함을 알 수 있다.

재첩의 수정란은 크기가 $86 \pm 3 \mu\text{m}$ 정도의 구형으로 대합 *Meretrix lamarckii*과 맛조개 *Solen strictus*의 80~90 μm (田中, 1982)와는 비슷하였으며, 바지락(원, 1994)과 꼬끼리조개(이와 노, 1997) 보다는 컸으나 변과 정(2001)의 경북산 기수재첩의 수정란 크기가 80~90 μm 라는 보고와 유사하였다. 수정이 완료된 알은 제1극체를 형성한 후, 수정 후 1시간이 지나면 제1차 난할을 하여 2세포기로 되었고, 수정 후 2시간이 되면 4세포기, 2시간 30분이 경과하면 8세포기가 되었다. 수정 후 3시간 경과하면 16세포기로 되었으며, 수정 후 4시간 10분이 경과하면 섬모가 생겨 회전운동을 시작하는 포배기에 이르렀으며, 6시간 지나면 낭배기를 거쳐, 15시간이 지나면 나선상의 상하운동을 반복하는 담륜자유생으로 부화하였다.

조개류의 초기 생활사중 먹이를 먹지 않는 기간인 난발생 과정동안은 외부 환경에 의하여 생존율이 좌우된다. 염분에 따른 부화실험 결과, 3~9 ppt에서 70% 이상의 생존율을 보임으로써 부화를 위한 염분내성 범위는 좁은 것으로 판단되었다. 또한 수온에 따른 부화실험 결과에서도 20℃와 25℃의 수온 조건에서는 담륜자유생기까지 70%와 80%의 생존율을 보였으나 30℃에서는 부화 시간은 빨랐으나 부화율이 저조한 결과를 보임으로써 수온이 높을수록 생존율은 낮아지나 난발생이 빨라지는 것으로 이는 수온 상승에 따라 생화학 반응 및 생물학적 대사 속도가 빨라진다고 하는 Q_{10} 의 법칙에 부합되는 결과이다.

본 연구에서는 재첩의 적절한 염분과 수온 자극에 의한 대량 산란유발 방법과 발생에 관한 연구를 수행함으로써, 인공종묘생산시 유용한 자료로 이용될 수 있을 것으로 사료되나, 앞으로도 산란기구를 체계적으로 밝히기 위한 더욱 세밀한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

4.2. 부유유생 및 치패사육

제1절 서 설

조개류의 생존과 성장은 수온과 염분 등 물리적 요인과 먹이, 해적생물 등 생물학적 요인에 영향을 받는다(Kinne, 1964).

조개류의 인공 종묘생산에 있어 유생기의 성장에 미치는 중요한 요인으로 수온과 염분, 조도, 유생의 밀도 및 먹이생물 등이 있으나 그 중에서도 수온과 염분은 성장을 지배하는 가장 중요한 환경 요인이다(이, 2001). 또한 조개류는 식물성 부유생물을 여과 섭식하므로 인공 종묘생산을 위해서는 식물성 부유생물의 확보가 매우 중요하며(Epifanio, 1979a), 조개류의 먹이로는 *Chaetoceros calcitrans*, *Paolova lutheri*, *Isochrysis galbana*가 많이 이용되고 있다(Delaunay et al., 1992; Marty er al., 1992).

조개류 유생의 성장과 생존에 관한 연구는 수온과 염분의 환경적 요인(Helm and Millican, 1977; Dos Santos and Nascimento, 1985; Nell and Holliday, 1988; Robert et al., 1988; His et al., 1989), 먹이생물 종류(Wilson, 1978; Romverger and Epifanio, 1981; Enright et al., 1986; Helm and Laing, 1987; Laing and Verdugo, 1991), 먹이생물 공급량(Epifanio and Ewart, 1977; Nell and Wisely, 1984) 그리고 먹이의 선택성(Wisely and Reid, 1978) 등이 있다.

우리나라에서의 조개류 유생사육에 관한 연구는 유(1969)의 중요 조개류 유생기 먹이와 성장에 관한 연구 이후, 피조개(김과 구, 1973; 변 등, 1976; 김 등, 1980), 가리비(이와 조, 1980), 굴류(김 등, 1995; 민 등, 1995; 유와 박, 1997; 민 등, 1999), 북방대합(이, 2001)을 대상으로 사육수온, 수용밀도, 먹이생물의 종류 및 공급량 등에 대한 연구가 있으나 다양한 조개류의 종특이성을

고려한다면 더욱 많은 연구가 요구된다.

치패의 성장에 관한 연구는 참굴의 경우 먹이생물 종류에 따른 성장(Laing and Millican, 1986), 치패 수용밀도별 성장(Holliday et al., 1991), 조간대 간출 시간에 따른 성장(Spencer et al., 1978) 등이 있으며, *Crassostrea rhizophorea*의 인공 치패 생산(Rampersad and Ammons, 1992), 인공생산 치패의 채롱식 양식(Spencer and Gough, 1978), 육상수조 사육에 있어 유속의 영향(Rodhouse and O'Kelly, 1981) 그리고 육상수조에서 상품 크기까지의 양식(Spencer et al., 1992) 등이 있다. 또한 참가리비의 경우는 먹이생물 종류에 따른 성장(김, 1994) 등이 있다. 그러나 대부분의 연구 종들은 부착성이거나 일시부착성인 종으로 비부착성 잠입 조개류의 치패 성장에 관한 연구는 거의 없다.

본 연구에서는 재첩 유생의 발달단계에 따른 특징과 인공 종묘생산을 위한 유생사육의 최적 환경, 먹이생물의 종류 및 공급량을 조사하고, 채묘 방법에 관한 연구를 실시하였다. 아울러 중간육성을 위한 치패사육 실험을 실시하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 변태와 성장

D형 유생의 성장에 따른 형태적 변화를 조사하기 위하여 1 ton 원형 폴리에틸렌 수조에서 수온 23℃, 염분 6 ppt, 유생밀도 10개체/ml로 사육하였다. 먹이로는 *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, *Chaetoceros calcitrans*를 혼합 공급하였으며, 수질관리를 위하여 물러망(망목 60 μm , Swiss Silk Bolting Cloth Mfg. Co.)을 이용하여 2일 1회 전량 환수하였다. 생존율은 환수시에 조사하고, 성장도 파악을 위하여 2일마다 100개체의 유생을 채집하여 만능투영기로 각장을 측정하였으며, 형태적 변화 및 기관의 발달은 현미경으로 관찰하였다.

2. 수온과 염분에 따른 부유유생의 성장과 생존율

D형 유생의 수온에 따른 성장과 생존율을 조사하기 위하여 18, 21, 24, 27, 및 30℃의 수온으로 조절된 10 ℓ 아크릴 수조에서 10개체/ml의 밀도로 수용하여 실시하였다. 먹이로는 *I. galbana*, *P. lutheri*, *C. calcitrans* 및 *Chlorella* sp.를 혼합 공급하였으며, 수질관리를 위하여 물러망(망목 60 μm)을 이용하여 2일 1회 전량 환수하였다. 생존율은 환수시에 생존율을 조사하고, 성장도에 대하여는 2일마다 50개체의 유생을 채집하여 만능투영기로 각장을 측정하였다.

염분에 따른 유생의 성장과 생존율 실험은 0(담수), 3, 6, 9 및 12 ppt의 염분에서 24 \pm 1℃ 수온으로 실시하였으며, 다른 조건은 수온에 따른 실험과 동일하게 실시하였다.

3. 수용밀도에 따른 부유유생의 성장과 생존율

D형 유생의 수용밀도에 따른 실험은 10 ℓ 아크릴 수조에 1, 5, 10 및 50개체/ml의 실험구를 설치하여 2일 간격으로 성장과 생존율을 조사하였다. 사육 수온은 24 \pm 1℃, 염분은 6 ppt였으며, 다른 조건은 수온과 염분별 실험과 동일

하게 하였다.

4. 먹이생물 종류 및 공급량에 따른 부유유생의 성장과 생존율

식물먹이생물에 따른 성장과 생존율을 조사하기 위하여 *P. lutheri*, *I. galbana*, *C. calcitrans* 및 *Chlorella* sp.를 각각 단독 및 혼합으로 공급하여 성장과 생존율을 조사하였다. 식물 먹이생물은 f/2배지를 이용하여 실내 정온실에서 배양한 것으로 1일 2회(10시와 18시) 공급하였으며, 먹이별 공급량은 이들의 체적을 감안하여 Table IV-2-1에 따라 공급하였다(박, 1994).

식물 먹이생물의 공급량에 따른 실험은 *P. lutheri*, *I. galbana*, *C. calcitrans* 및 *Chlorella* sp.를 1:1:1로 혼합하여 0.5×10^4 , 1×10^4 , 2×10^4 , 및 1×10^4 cell/ml 밀도로 공급하여 성장과 생존율을 조사하였으며, 이외의 환경 조건으로 사육수온은 $24 \pm 1^\circ\text{C}$, 염분은 6 ppt이었다.

Table IV-2-1. Food quantity of each microalgae species for larvae culture of *Corbicula japonica*

Microalgae	Density (no. of cells/ml)
<i>Paolova lutheri</i> (KMCC-H-4)	1.0×10^4
<i>Isochrysis galbana</i> (KMCC-H-1)	1.1×10^4
<i>Chaetoceros calcitrans</i> (KMCC-B-21)	1.0×10^4
<i>Chlorella</i> sp. (KMCC-C-20)	1.0×10^4

5. 채묘방법에 따른 치패의 성장과 생존율

효과적인 채묘방법을 조사하기 위하여 플라스틱 평판, 물리그물망, 모래바닥에 채묘하여 생존율을 조사하였다. 채묘는 부화 후 15일째의 평균각장 $250.4 \mu\text{m}$ 인 유생을 대상으로 물리망(망목 $200 \mu\text{m}$)을 이용하여 거른 후 채묘하였으

며, 채묘 20일 후 생존율 및 성장을 조사하였다. 또한 모래바닥의 입자 구성에 따른 성장과 생존율을 조사하기 위하여 표준체(standard sieve)를 이용하여 미세사질(입경 250 μm 이하), 세사질(입경 250~750 μm), 사질(입경 750 μm 이상)로 구분하여 채묘를 하고 20일 후 성장과 생존율을 조사하였다.

채묘방법에 따른 채묘율과 치패의 성장에 대한 유의차는 평균을 분산분석과 Duncan's multiple range test에 의하여 검정하였다(Zar, 1984).

6. 염분과 수온에 대한 치패의 내성

치패의 염분에 따른 내성 실험은 지하수를 이용하여 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 및 33 ppt로 조절한 뒤 수온 $24\pm 1^\circ\text{C}$ 로 10일간 생존율을 조사하였다. 실험은 1 ℓ 비이커에 각장 4 mm 전후의 치패를 50마리씩 수용하여 2반복으로 실시하였으며, 2일 1회 전량 환수하여 수질 악화를 방지하였다. 실험기간 동안 먹이는 공급하지 않았으며, 지수상태로 유지하였다. 치패의 수온에 대한 저온과 고온 내성을 조사하기 위하여 염분 6 ppt에서 4, 8, 12, 25, 32 및 36°C 로 조절하여 10일 동안 생존율을 조사하였다. 다른 환경과 방법은 염분 내성 실험과 동일하게 하였다.

7. 염분과 수온별 치패의 성장과 생존율

염분에 따른 치패의 성장과 생존율을 조사하기 위하여 각장 4.13 ± 0.5 mm, 각고 3.13 ± 0.4 mm의 치패를 1 ℓ 비이커에 0(담수), 3, 6, 9, 12, 15 및 20 ppt의 염분에서 $24\pm 0.5^\circ\text{C}$ 수온으로 모래를 넣지 않고 지수식으로 50마리씩 수용하여 2반복으로 150일간 실시하였다. 먹이로는 *I. galbana*, *P. lutheri*, *C. calcitrans* 및 *Chlorella* sp. 를 혼합 공급하였으며, 수질관리를 위하여 물러망(망목 60 μm , Swiss Silk Bolting Cloth Mfg.사)을 이용하여 2일 1회 전량 환수하였다. 성장은 30일마다 전량 채집하여 vernier caliper로 각장을 측정하였으며, 생존율은 환수시에 조사하였다.

수온에 따른 성장과 생존율을 조사하기 위하여 각장 4.13 ± 0.5 mm, 각고 3.13 ± 0.4 mm의 치패를 자연수(0.2~14.8), 17, 20, 23, 26 및 30℃의 수온으로 조절된 1ℓ 비이커에 모래를 넣지 않고 50마리씩 수용하여 2반복으로 150일간 실시하였으며, 다른 환경과 방법은 염분실험과 동일하게 하였다.

8. 먹이별 치패의 성장과 생존율

각장 4.13 ± 0.5 mm, 각고 3.13 ± 0.4 mm인 치패를 1ℓ 비이커에 모래를 넣지 않은 상태로 치패 50마리씩 넣고 실시하였다. 실험은 지수식으로 하였으며, 사육수 순환을 위하여 aeration을 해주었고, 2일 1회 전량 환수하였다. 사육수온은 24.0 ± 0.5 ℃였으며, 2반복으로 150일간 실시하였다.

식물먹이생물은 *P. lutheri*, *I. galbana* 및 *C. calcitrans* 단독구와 이들의 혼합구로 하였으며, 먹이공급량은 Table IV-2-1과 같다.

성장은 30일마다 전량 채집하여 vernier caliper로 각장을 측정하였으며, 생존율은 환수시에 조사하였다.

9. 밀도별 치패의 성장과 생존율

각장 4.13 ± 0.5 mm, 각고 3.13 ± 0.4 mm인 치패를 1ℓ 비이커에 모래를 넣지 않은 상태로 각각 10, 30, 50, 70, 90마리를 넣고 실시하였다. 실험은 지수식으로 하였으며, 사육수 순환을 위하여 aeration을 해주었고, 2일 1회 전량 환수하였다. 사육수온은 24.0 ± 0.5 ℃, 염분은 6 ppt였으며, 2반복으로 150일간 실시하였다.

성장은 30일마다 전량 채집하여 vernier caliper로 각장을 측정하였으며, 생존율은 환수시에 조사하였다.

제3절 결과

1. 변태와 성장

부유 및 착저기 유생의 성장은 Fig. IV-2-1 및 IV-2-2와 같다.

부화 1일째 각장 114 μm 의 D형 유생(Fig. IV-2-2A)은 활발한 유영과 먹이 섭취로 9일째에는 각장 173 μm 로 각의 연변부가 둥글게 되면서 D상의 직선 부분에서 각정이 형성되었다(Fig. IV-2-2C). 각장 201 μm 에서는 각정부가 더욱 커지며(Fig. IV-2-2D), 15일째에는 각장 248 μm 로 성장하여 성숙자패가 되면서 저서생활로 이행하였으며, 족부를 이용하여 이동하고 수관부가 관찰되었다(Fig. IV-2-2E). 또한 이때부터 잠입을 하게되며, 잠입한지 3일이 지나 각장 302 μm 로 성장하였다(Fig. IV-2-2F).

유생기의 각장 및 각고의 성장 특성은 Fig. IV-2-3 및 Table IV-2-2와 같다.

유생의 각장(SL) 성장에 따른 각고(SH)의 상대성장식은 $SH=1.0342SL-26.379$ ($r^2=0.9697$) 이었다. 또한 유생 성장 단계에 따른 각장에 대한 각고의 비는 D형 유생 초기에는 0.87이었으나 144~301 μm 의 각정기 유생기 및 착저기 유생은 0.86~0.92이었으며, 착저후 저서생활을 하는 유생은 0.85로 각고에 비하여 각장의 빠른 성장을 보였다.

2. 수온과 염분에 따른 부유유생의 성장과 생존율

유생의 수온별 사육실험 결과, 30 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 실험시작 6일 후 모두 폐사하였으며, 18 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 높은 생존율에 비하여 늦은 성장을 보였다. 24 $^{\circ}\text{C}$ 와 27 $^{\circ}\text{C}$ 에서 빠른 성장을 보였으나, 27 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 성장에 비하여 낮은 생존율을 보였다(Fig. IV-2-4).

염분에 따른 유생의 사육실험 결과 0 ppt에서는 실험시작 10일 후 모두 폐사하였으며, 성장은 6~9 ppt, 생존율은 3 ppt에서 가장 높게 나타났다(Fig. IV-2-5).

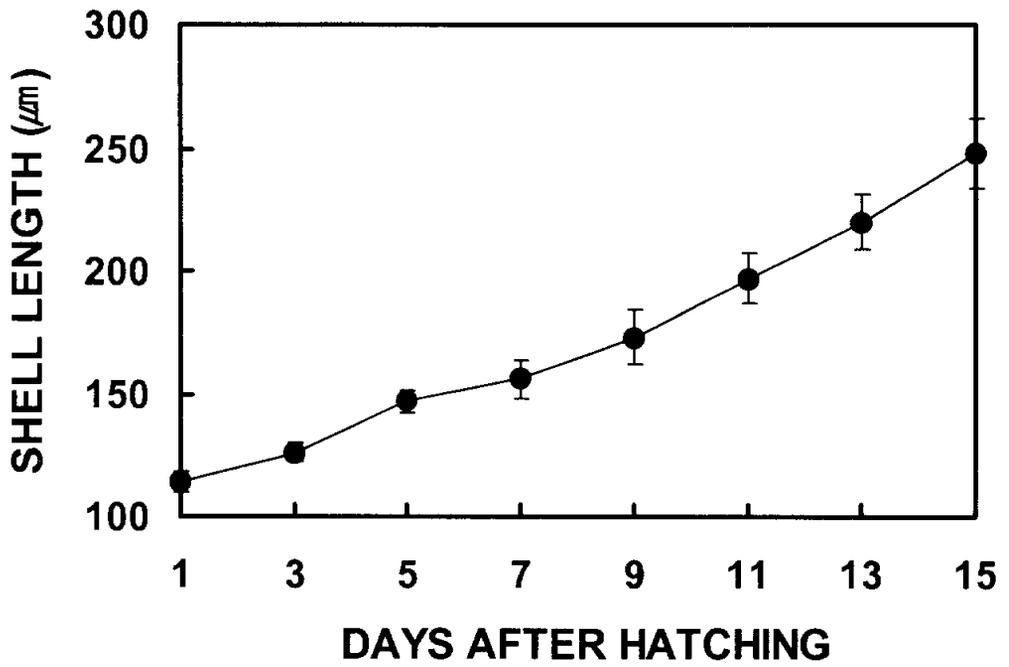


Fig. IV-2-1. Growth in shell length of *Corbicula japonica* larvae.

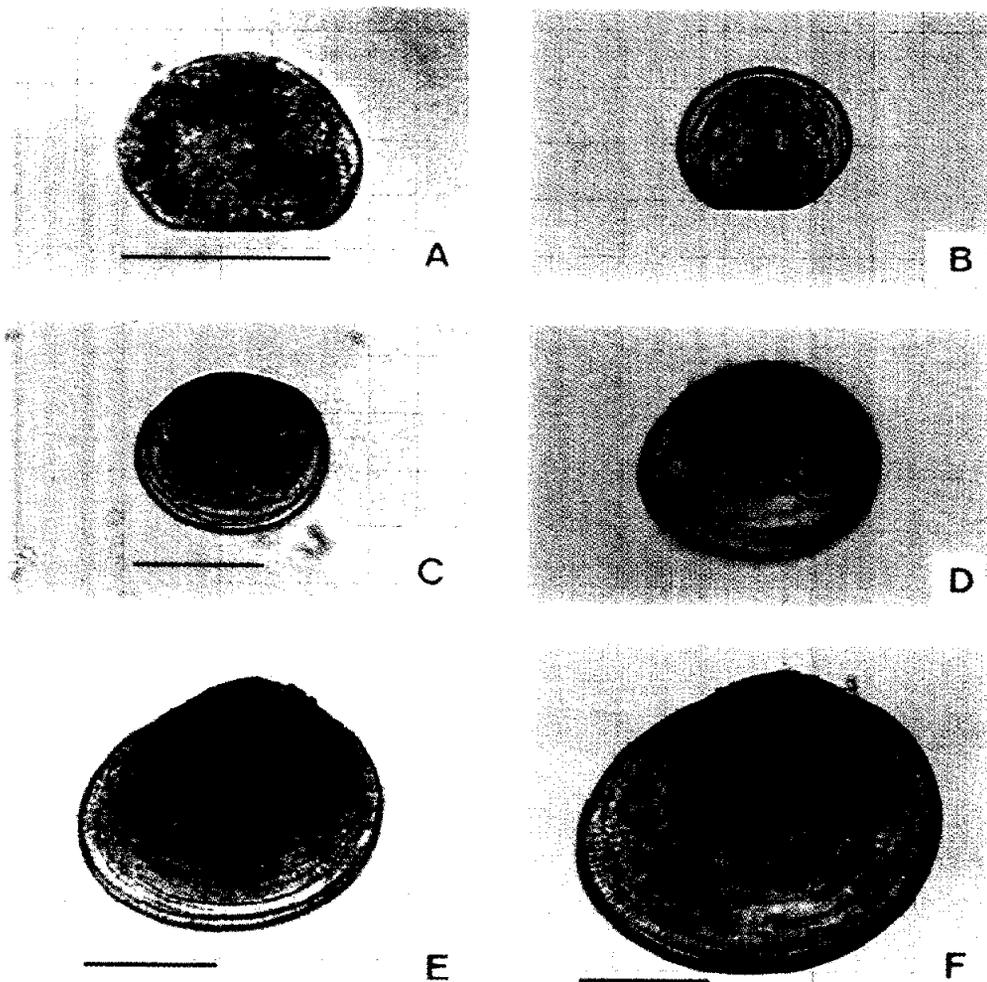


Fig. IV-2-2. Larval development of *Corbicula japonica*. A, D-shaped larvae; B, post D-shaped larvae; C, early umbone stage; D, post umbone stage; E, full grown stage (shell length : 248 μm); F, 3rd days after infiltration (shell length : 302 μm). bar= 100 μm .

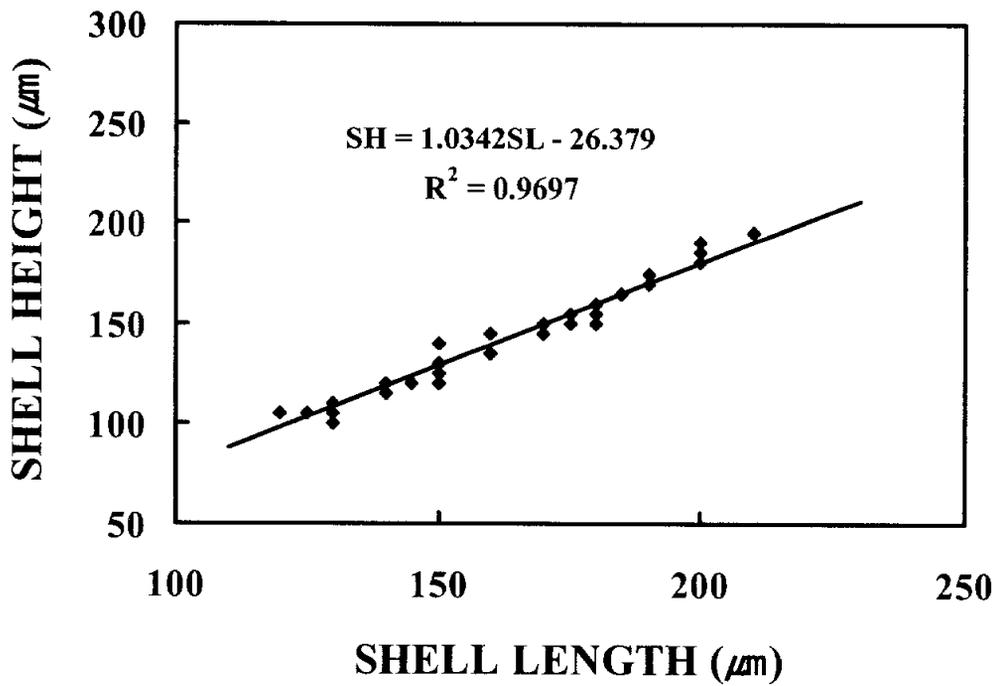


Fig. IV-2-3. Relationship between shell length (SL) and shell height (SH) of *Corbicula japonica* larvae.

Table IV-2-2. Ratio between shell length (SL) and shell height (SH) of *Corbicula japonica* larvae

Developmental stages	Shell length (μm)	Shell height (μm)	Ratio (SL/SH)
D-shaped larva	114 ~ 143	82 ~ 125	0.87
Early umbo stage	144 ~ 200	126 ~ 142	0.90
Umbo stage	201 ~ 266	143 ~ 247	0.86
Full grown larva	267 ~ 301	248 ~ 270	0.92
Early juvenile	302 ~ 330	271 ~ 298	0.85

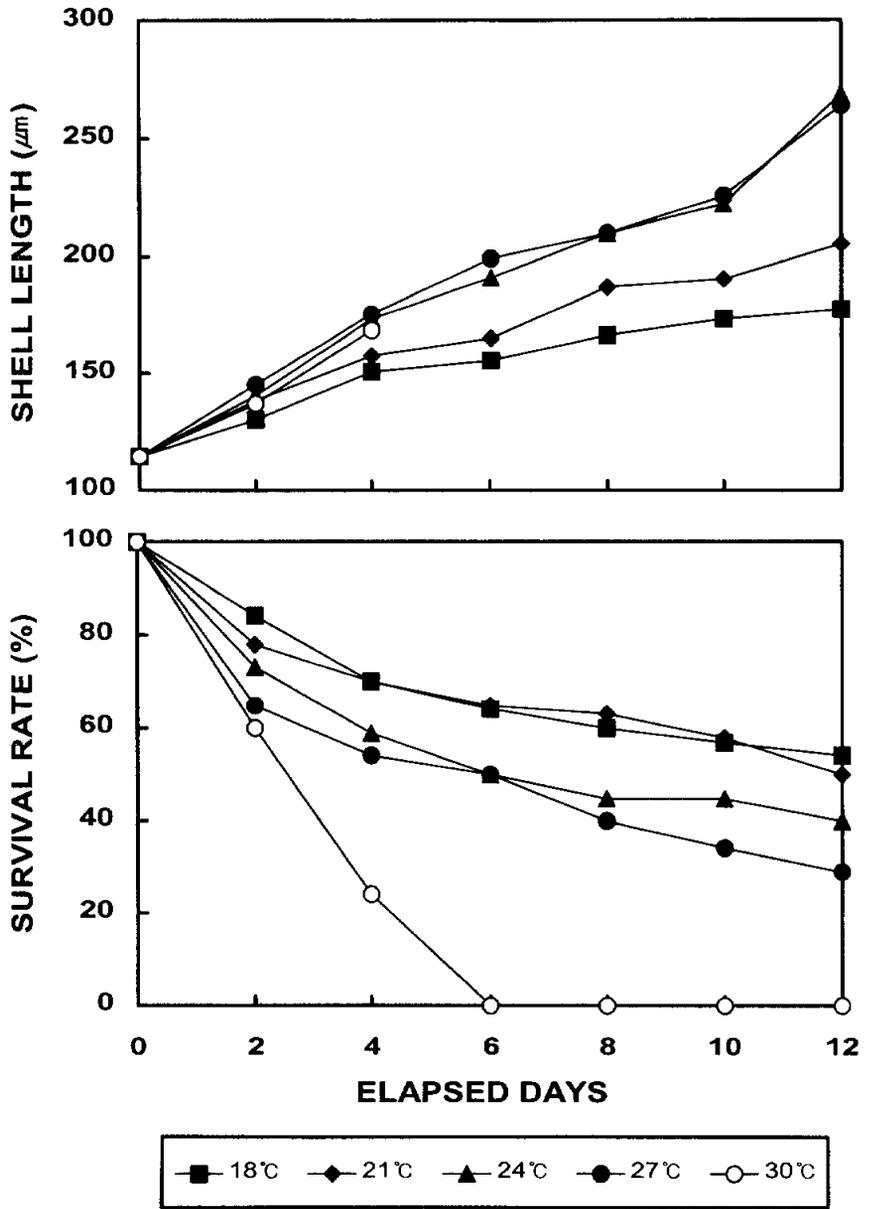


Fig. IV-2-4. Variations of shell length and survival rate of larvae reared at various water temperatures.

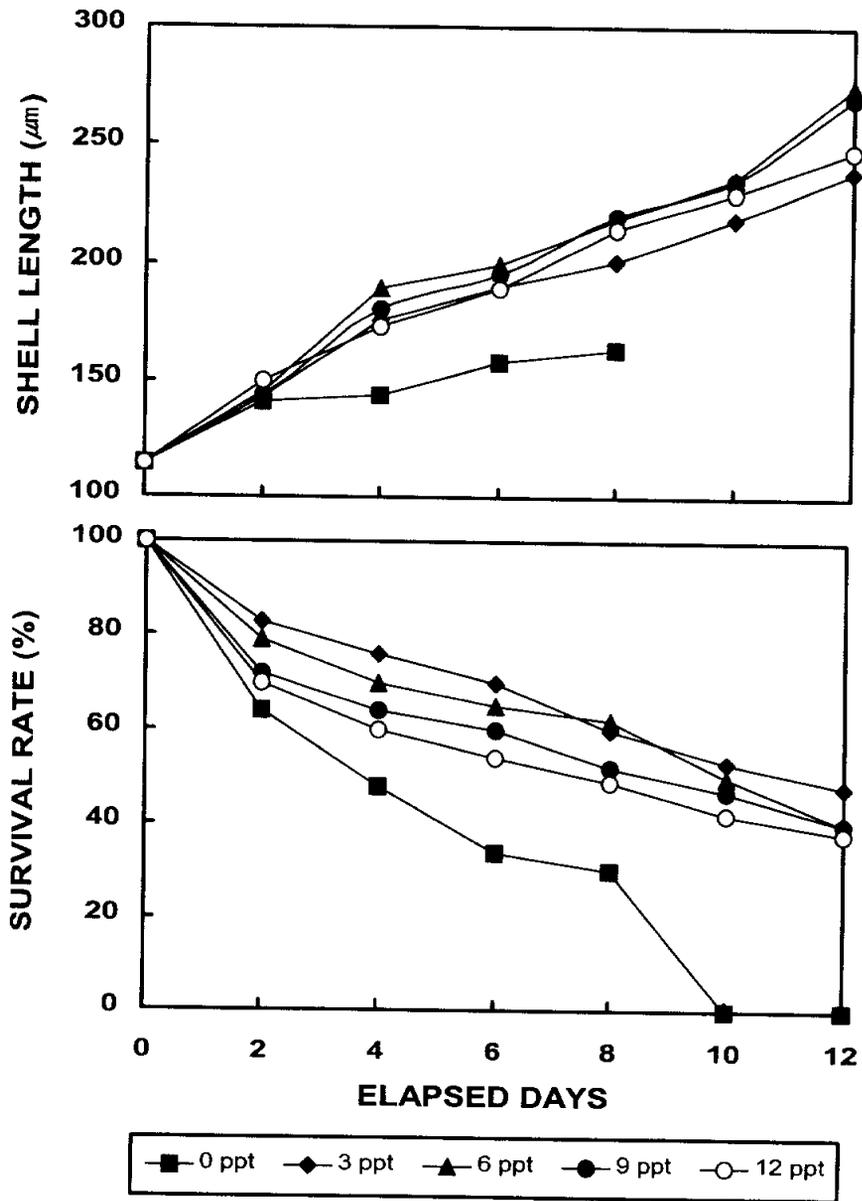


Fig. IV-2-5. Variations of shell length and survival rate of *Corbicula japonica* larvae reared at various salinities.

3. 수용밀도에 따른 부유유생의 성장과 생존율

유생의 수용밀도에 따른 사육실험 결과, 1 ml당 1~5 개체의 저밀도에서는 성장과 생존율이 양호하였으며, 50개체/ml의 고밀도에서는 성장과 생존율이 낮았으며, 실험시작 12일째에 모두 폐사하였다(Fig. IV-2-6).

4. 먹이생물 종류 및 공급량에 따른 부유유생의 성장과 생존율

식물 먹이생물에 따른 유생사육 실험 결과, 혼합 공급구가 가장 빠른 성장을 보였고, 단일 공급구에서는 *I. galbana*, *P. lutheri*, *C. calcitrans* 순으로 비슷한 성장을 보였으며, *Chlorella* sp.는 가장 늦은 성장을 보였다. 생존율 또한 혼합구가 가장 높고 *I. galbana*, *P. lutheri*가 비슷한 반면 *Chlorella* sp. 실험구가 가장 낮았다(Fig. IV-2-7).

공급량에 따른 사육 실험에서는 먹이 공급량이 많을수록 유생의 성장은 양호하였으나, 8일 이후 50,000 cells/ml 밀도에서 전량 폐사하였다. 실험 종료시인 12일째에는 20,000 cells/ml 밀도에서 가장 빠른 성장과, 10,000 cells/ml 밀도에서 높은 생존율을 보였으며, 5,000 cells/ml 밀도에서는 성장과 생존율 모두 낮았다. 따라서 유생사육을 위한 재첩 먹이생물의 밀도는 10,000~20,000 cells/ml가 효과적이었다(Fig IV-2-8).

5. 채묘방법에 따른 치패의 성장과 생존율

성숙유생을 대상으로 플라스틱평판, 물러망, 모래바닥에 채묘하여 20일후 성장과생존율을 조사한 결과, 착저 후 초기 성장에 있어서도 모래바닥에서 빠른 성장을 보였으며, 채묘 20일 후에는 평균 각장 740 μm 로 빠른 성장을 보였으나 플라스틱 평판과 물러망에서는 평균 각장 420 μm 과 400 μm 의 낮은 성장률을 보였다

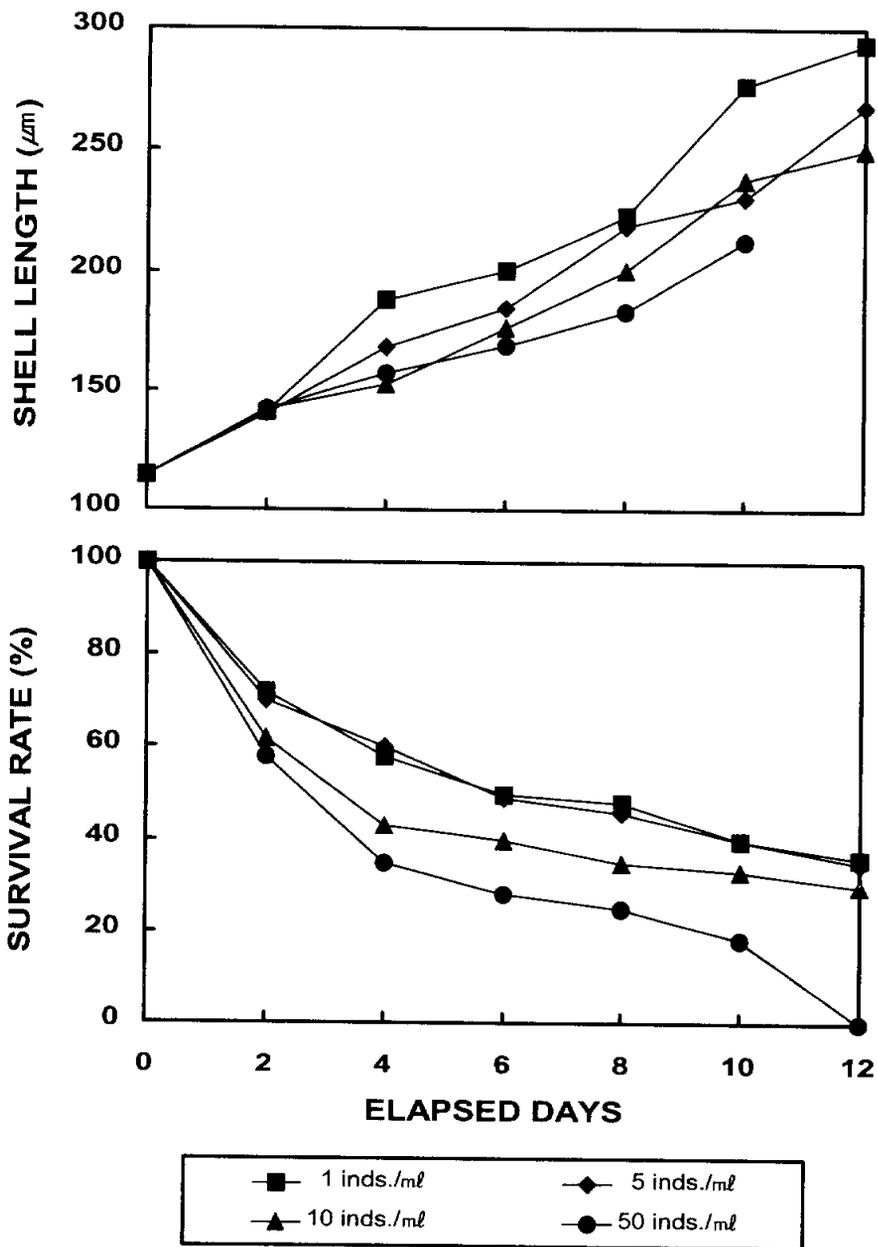


Fig. IV-2-6. Variations of shell length and survival rate of *Corbicula japonica* larvae reared at different larvae densities.

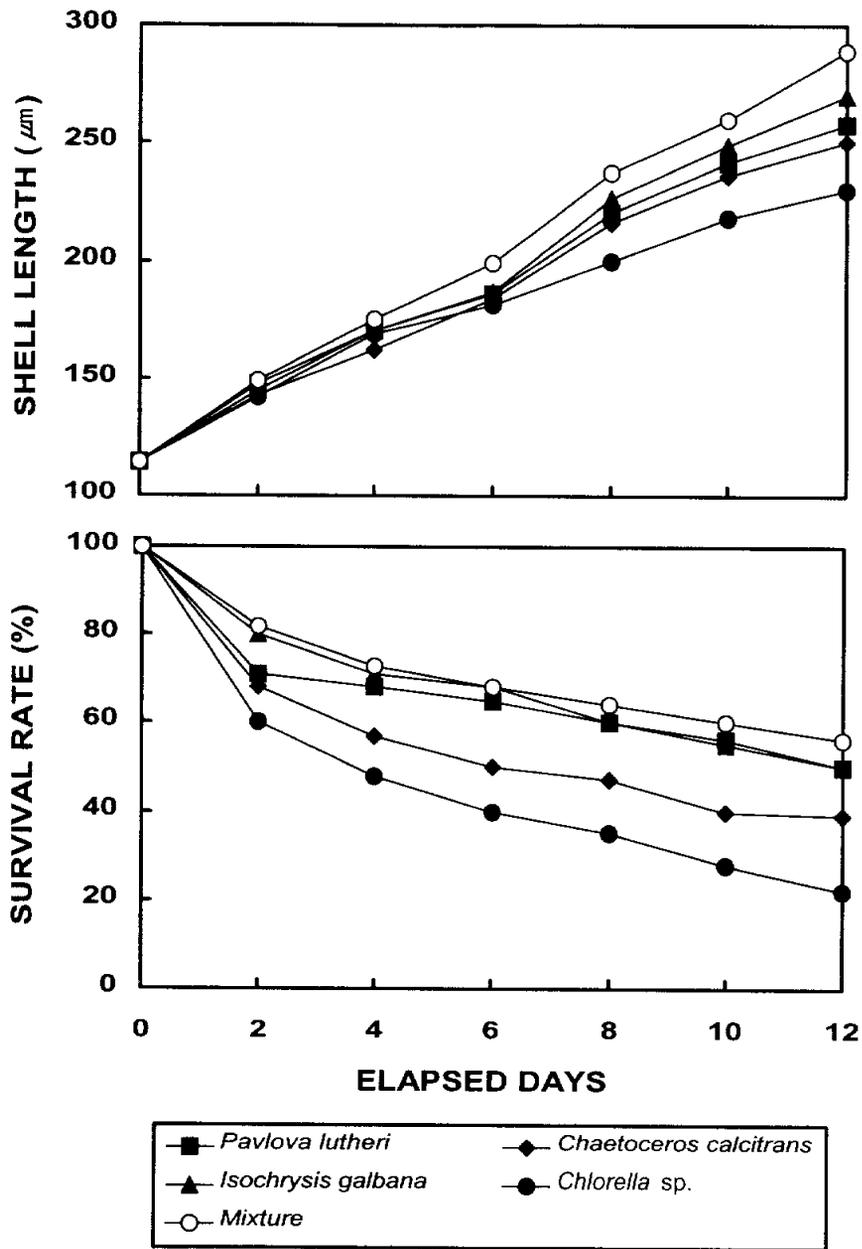


Fig. IV-2-7. Variations of shell length and survival rate of *Corbicula japonica* larvae fed four different or mixed microalgae.

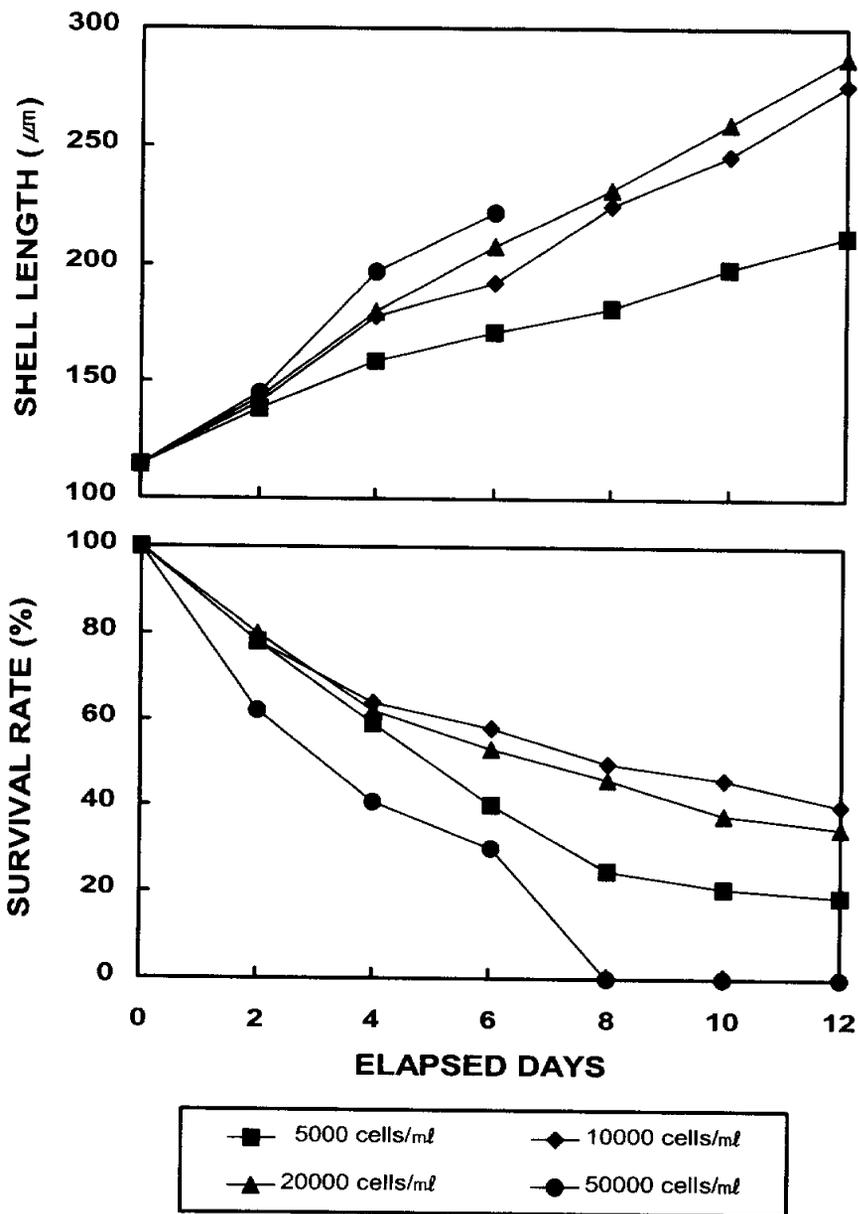


Fig. IV-2-8. Variations of shell length and survival rate of *Corbicula japonica* larvae reared at different amounts of mixed microalgae.

(Table IV-2-3). 플라스틱평판과 물러망에서는 5% 미만의 생존율을 보였으나 모래 바닥에서는 14.0%의 생존율을 보임으로서 유의한 차이를 나타냈다($P < 0.05$).

모래바닥 입도조성에 따른 채묘율은 유의한 차이를 보이지 않았으나 ($P > 0.05$), 0.25 mm 이하의 미세사질에서 20.5%로 가장 양호하였으며, 나머지 모래크기에서는 14.0% 전후로 나타났다(Fig. IV-2-9).

6. 염분과 수온에 대한 치패의 내성

염분에 따른 내성을 조사하기 위하여 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 및 33 ppt의 농도로 10일간 사육한 결과, 25 ppt이하에서는 90% 이상의 생존율을 보였으나, 30 ppt 이상에서는 20% 이하의 낮은 생존율을 보였다(Table IV-2-4).

치패의 수온에 대한 하한 및 상한 내성을 조사하기 위하여 4, 8, 12, 25, 32 및 36°C에서 10일간 생존율을 조사한 결과는 Table IV-2-5와 같다. 저수온에 따른 생존율 실험에서는 25°C까지는 100% 생존하였으나, 고수온에 따른 생존율은 32°C에서 52%의 생존율을 보였으며, 36°C에서는 38%의 생존율을 보였다.

7. 염분과 수온별 치패의 성장과 생존율

염분에 따른 치패의 사육실험 결과, 3, 6, 9 및 12 ppt에서는 성장과 생존율에 큰 차이가 없었으나 15 ppt에서는 낮은 성장과 생존율을 보였고, 0과 20 ppt에서는 실험시작 30일째에 모두 폐사하였다(Fig. IV-2-10).

수온에 따른 치패의 사육실험 결과, 자연수온에서는 높은 생존율에 비하여 낮은 성장을 보였으나, 30°C에서는 높은 성장에 비하여 낮은 생존율을 보였다.

17, 20, 23 및 26°C에서도 높은 수온에서 빠른 성장을 보인 반면 생존율은 낮았다(Fig. IV-2-11).

8. 먹이별 치패의 성장과 생존율

식물 먹이생물 3종과 혼합 공급에 따른 치패의 성장과 생존율은 Fig. IV

-2-12와 같다. 3종 혼합구가 가장 빠른 성장을 보였고, 다음으로 *C. calcitrans* + *I. galbana* 혼합구 순으로 높은 성장률을 보였으며, *P. lutheri* 단독구는 가장 느린 성장을 보였다. 치패의 먹이별 생존 또한 3종 혼합구가 가장 높은 생존율을 보였고, 다음으로 *C. calcitrans* + *I. galbana* 혼합구 순으로 높은 생존율을 보였으며, *P. lutheri* 단독구는 60%로 가장 낮은 생존율을 보였다.

9. 밀도별 치패의 성장과 생존율

밀도에 따른 성장과 생존율을 조사한 결과, 저밀도인 1 ℓ 당 10마리의 밀도로 사육 할 때 성장과 생존율이 평균각장 14.19 mm 와 96%로 가장 높았으며, 1 ℓ 당 30마리의 밀도구는 초기에는 1 ℓ 당 10마리의 밀도구와 비슷하게 성장하였으나 성장함에 따라 성장률과 생존율이 감소하였다. 또한 1 ℓ 당 50~90마리의 고밀도 구역에서는 성장과 생존율 모두 낮게 나타났다(Fig. IV-2-13).

Table. IV-2-3. Survival rate and growth of *Corbicula japonica* larvae with different seedling collectors (after 20 days)

Seedling collector	Survival rate (%)	Shell length (μm)
Plastic plate	3.2 ^b	373 ~ 645 ^{ab} (420)
Muller net	4.8 ^b	350 ~ 510 ^b (400)
Sand bottom	14.0 ^a	657 ~ 974 ^a (740)

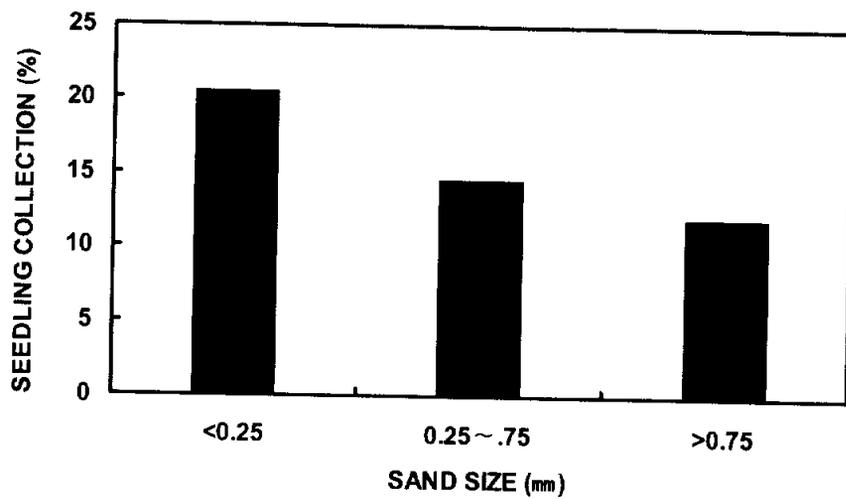


Fig. IV-2-9. Variations of seedling collection percent of *Corbicula japonica* larvae with different sand sizes.

Table IV-2-4. Survival rate (%) of *Corbicula japonica* juveniles with various salinities

Salinity (ppt)	Elapsed time (days)					
	0	2	4	6	8	10
33	100	96	90	50	32	12
30	100	100	90	60	48	20
25	100	100	100	96	92	92
20	100	100	100	96	96	96
15	100	100	100	100	98	98
10	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100
0	100	100	100	100	98	94

Table IV-2-5. Survival rate (%) of *Corbicula japonica* juveniles with various water temperatures

Temperature (°C)	Elapsed time (days)					
	0	2	4	6	8	10
4	100	100	100	100	100	100
8	100	100	100	100	100	100
12	100	100	100	100	100	100
25	100	100	100	100	100	100
32	100	100	100	88	65	52
36	100	92	82	74	42	38

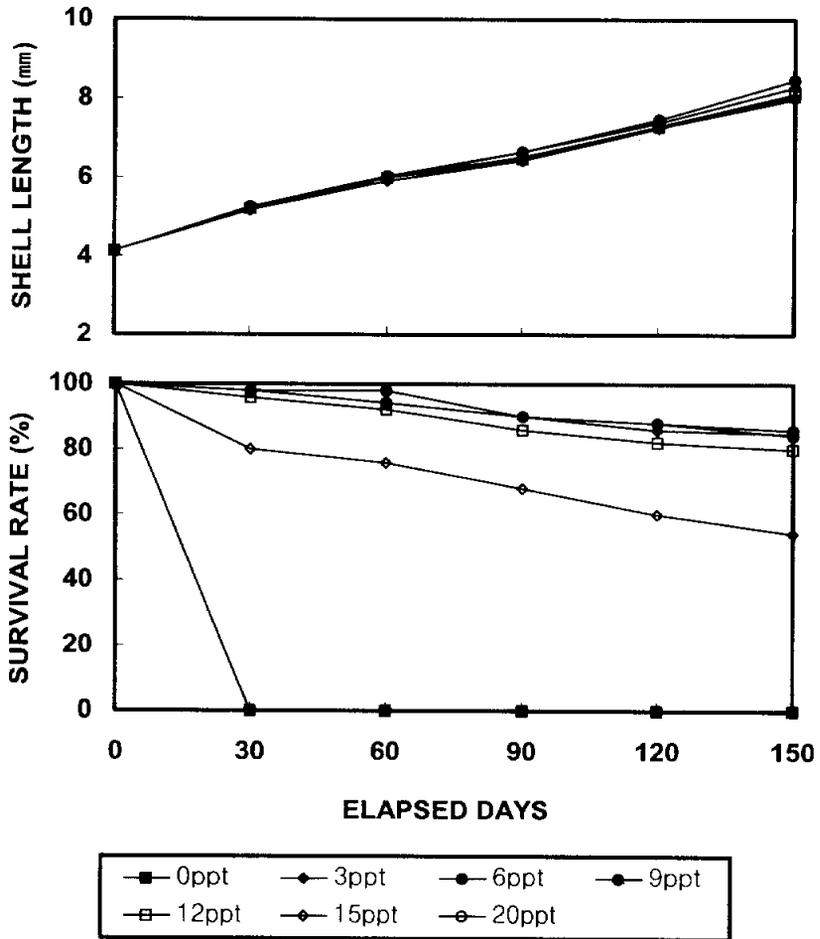


Fig. IV-2-10. Variations of shell length and survival rate of *Corbicula japonica* juveniles with different salinities.

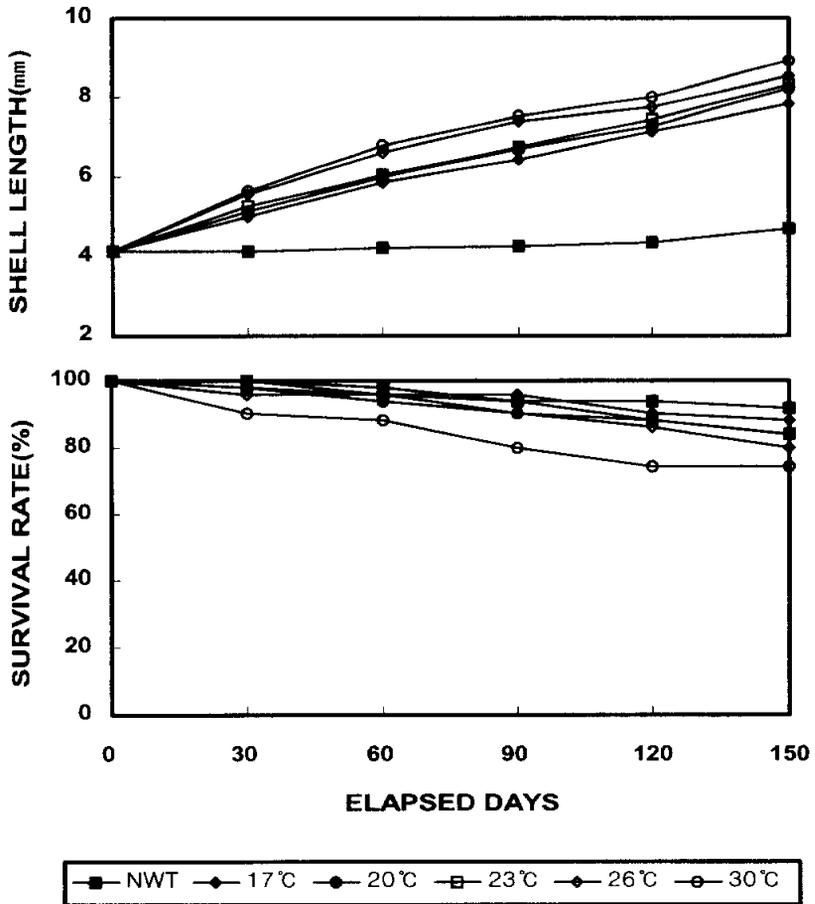


Fig. IV-2-11. Variations of shell length and survival rate of *Corbicula japonica* juveniles with different water temperatures. NWT (natural water temperature) : 0.2~14.8°C.

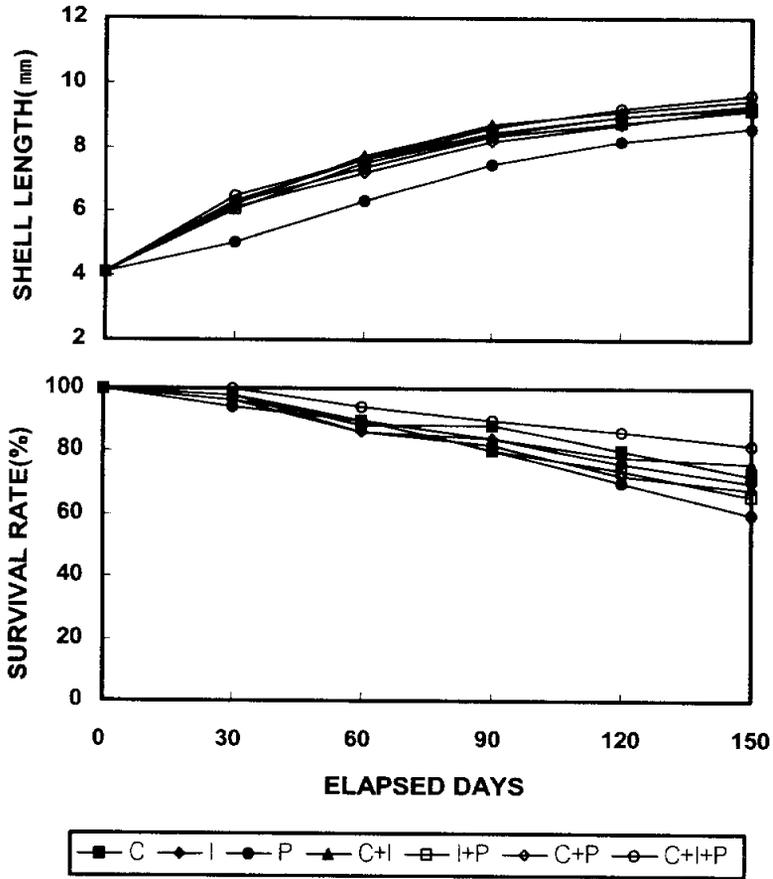


Fig. IV-2-12. Variations of shell length and survival rate of *Corbicula japonica* juveniles fed three different or mixed microalgae. C : *Chaetoceros calcitrans*, I : *Isochrysis galbana*, P : *Paolova lutheri*.

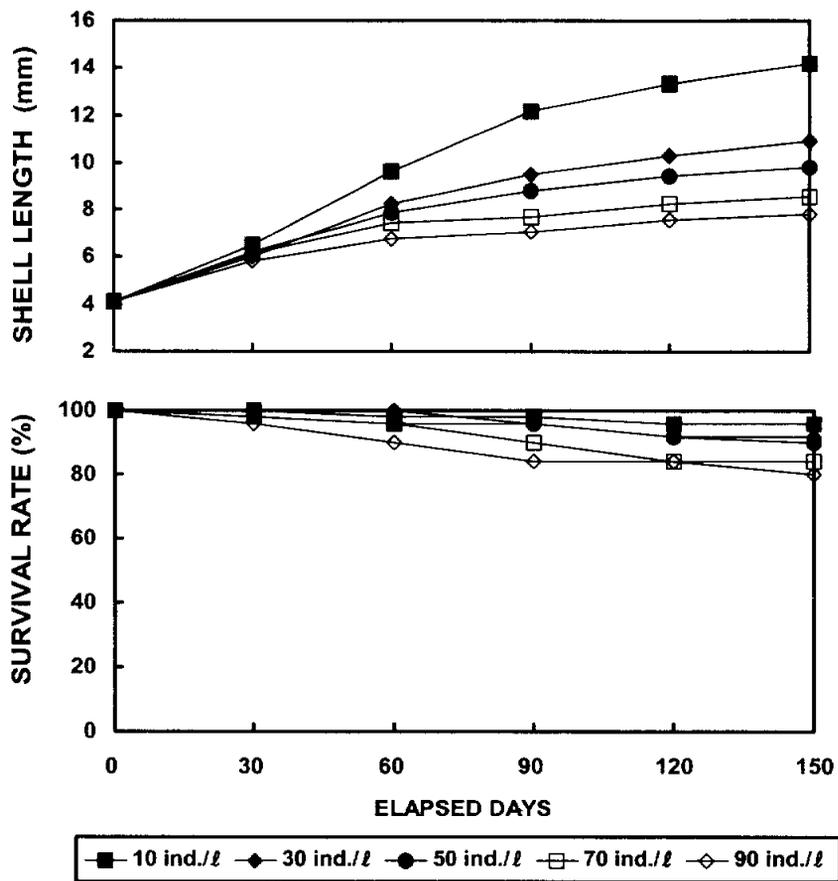


Fig. IV-2-13. Variations of shell length and survival rate of *Corbicula japonica* juveniles with different culture densities.

제4절 고찰

재첩의 초기발생은 대부분의 조개류와 비슷한 과정을 거치면서 부화 후 1일째에 D상으로 변태하였는데 이는 참담치(류 등, 1993) 및 북방대합(이, 1996)과 비슷하였으나 가무락의 20~23시간(小野, 1972) 보다는 늦은 편이다. 이때의 크기는 114 μm 로서 대합류(*Meretrix lamarckii*)의 121 μm (田中, 1982) 보다는 작았지만, 왕우럭조개(龜山, 1966)와 참굴(민 등, 1995) 보다는 큰 것으로 판단된다.

이와 노(1997)에 의하면 코끼리조개의 부유유생 변태기간은 수정 후 25일째 D상에서 각정이 조금 팽출하여 각정기로 되고, 36일째에는 성숙기유생으로 된다고 보고된 바 있으며, 대합(최, 1975)의 성숙 유생기까지는 20일이 소요된다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 성숙 유생기까지 15일이 소요되어 비교적 발생이 빠른 것으로 나타났다.

또한 성숙 유생기까지의 크기는 248 μm 로 코끼리조개의 205 μm (이와 노, 1997), 대합의 208 μm (최, 1975), 왕우럭조개의 234 μm (龜山, 1966) 보다는 컸으며, 피조개의 260 μm (田中, 1982)와는 비슷하였다.

조개류의 초기 부유유생은 일정기간 부유생활을 한 후 고착생활을 하는 부착성 종과 일시적인 부착후 저서생활을 하는 일시부착성 종, 부착하지 않고 저서생활을 하는 비부착성 종이 있다(유, 2000). 본 연구에서 재첩은 부착하지 않고 저서생활을 하는 비부착성 종으로 판단되며, 부화 15일째에 각장 248 μm 전후에서 성숙유생으로 성장한 후 착저생활을 하였다.

유생의 형태적 차이를 구분하기 위한 각장에 대한 각고의 비는 D형 유생 초기에는 0.87이었으나 150 μm 이상에서는 0.86~0.92이었다. 이것은 동해안에 서식하는 참가리비 유생의 각장에 대한 각고의 비가 1 이상인 것(박, 1998)과는 차이를 보였다. 재첩 유생의 성장과 생존에 가장 중요한 염분은 서식분포

를 제한하는 요인으로 좁은 염분 범위에서 발생 가능하였다. 본 연구에서 염분에 따른 유생의 사육실험 결과 0 ppt에서는 실험시작 10일 후 모두 폐사하였으며, 성장은 6~9 ppt, 생존율은 3 ppt에서 가장 높게 보임으로서 염분에 대한 내성은 좁은 종으로 판단된다.

일반적으로 수온은 유생사육의 중요한 요인으로 낮은 온도에서는 성장과 발달이 늦으나 높은 온도에서는 폐사율이 증가한다(O'Connor and Heasman, 1998). 본 연구에서 재첩의 유생사육 수온은 18~27℃의 넓은 수온범위에서 사육 가능하였으며, 18℃에서는 생존율이 양호하였으나 성장이 늦었던 반면, 27℃에서는 성장은 빨랐으나 생존율이 낮았고, 30℃에서는 실험시작 6일 후 모두 폐사하였으므로 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 성장과 생존율을 고려한 유생사육 수온은 22~24℃인 것으로 판단된다.

종묘의 대량생산을 위해서는 유생의 밀도를 높이는 것이 경제적이지만 한계 이상으로 높아지면 성장률이 낮아지거나 변태속도가 느려지며, 유생의 과다한 배설물 축적으로 수질이 악화되어 폐사하기 쉽다. 그러므로 유생사육시 적정 밀도의 파악은 매우 중요하다. 이(2001)는 북방대합의 인공 종묘생산에 있어 수정란의 발생과 부화된 유생의 생존은 염분 및 수온과 같은 환경요인 뿐만 아니라 알의 수용밀도에 따라 크게 영향을 받으며, 최적 수용밀도는 사육수 1 ml당 1~10개체라 보고하였다. 또한 Helm and Millican(1977)은 참굴의 부유 유생 사육에서 사육수 1 ml당 1개체에서 5개체로 유생의 밀도가 증가하면 D 상 유생의 경우 성장이 16% 감소하는 반면, 더 높은 밀도에서는 60%의 감소 경향을 보임으로서 성장률과 생존율은 사육밀도에 큰 영향을 받는다고 하였다. 본 연구 결과, 재첩 유생은 1 ml당 1~5개체의 저밀도에서는 성장과 생존율이 양호하였으나, 50개체/ml의 고밀도에서는 실험시작 12일째에 모두 폐사하였다. 조개류의 먹이는 식물부유생물이므로 실내에서의 유생 사육을 위해서는 적합한 식물부유생물의 확보가 가장 중요하다(Epifanio, 1979a, b).

Enright et al.(1986)는 조개류 유생사육시 *P. lutheri* 및 *I. galbana*는 초기 먹

이로서 우수하다고 보고하였으며, 또한 김 등(1995)은 참굴 유생에 대하여 *I. galbana*, *P. lutheri* 및 *C. calcitrans*을 단독 또는 혼합 공급한 연구에서 단일종 보다는 2종 또는 3종을 혼합하여 공급하는 것이 유생의 성장과 생존율을 높일 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서도 혼합 공급구가 가장 빠른 성장을 보였으며, 단일 공급구에서는 *I. galbana*, *P. lutheri*, *C. calcitrans* 순으로 비슷한 성장을 보였으며, *Chlorella* sp.는 가장 늦은 성장을 보였다. 생존율 또한 혼합구가 가장 높고 *I. galbana*, *P. lutheri*가 비슷한 반면, *Chlorella* sp. 실험구가 가장 낮았다

자연에서 비부착성 조개류의 채묘방법으로는 완류식 채묘가 있으나(유, 2000), 실내에서의 효과적인 채묘 방법에 관한 연구는 드물다. 재첩의 착저기 유생은 플라스틱평판이나 물리망에서는 바닥 생활 중에 서로 붙어서 함께 폐사하는 현상이 관찰되었다. 그러나 모래바닥에서는 이동이 어렵고 표면적이 넓어짐으로 인하여 폐사율이 감소하였으며, 착저 후 초기 성장에 있어서도 안정된 환경에서 이동 없이 충분한 먹이를 먹음으로써 빠른 성장을 보인 것으로 판단된다.

또한 모래바닥의 입도 구성에 따른 성장과 생존율을 조사한 결과, 미세사질(입경 250 μm 이하)에서 높은 성장과 생존율을 보였는데 이것은 사질 속의 유기물을 함께 먹음으로써 빠른 성장을 보인 것으로 생각된다.

조개류에 있어서 염분에 대한 내성은 알, 유생, 치패 순서로 증가하며, 성패(노령패)에서는 감소한다(Tettelbach and Rhodes, 1981)고 하였으나, 본 연구에서는 치패의 사육실험 결과, 3, 6, 9 및 12 ppt에서는 성장과 생존율에 큰 차이가 없었으나 15 ppt에서는 낮은 성장과 생존율을 보였고, 0과 20 ppt에서는 실험시작 30일째에 모두 폐사하였다. 따라서 재첩은 유생기와 마찬가지로 치패도 염분에 대한 내성은 좁은 종으로 판단된다.

수온에 따른 치패의 사육실험 결과, 저수온에서는 높은 생존율에 비하여 낮은 성장을 보였고, 30 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 높은 성장에 비하여 낮은 생존율을 보였으나,

150일 사육실험 결과 74~92%의 생존율을 보여 광온성을 보여주었다.

식물먹이생물 3종과 혼합 공급에 따른 치패의 성장과 생존율 결과에서 3종 혼합구가 유생기처럼 가장 빠른 성장과 생존율을 보였고, *P. lutheri* 단독구가 가장 느린 성장과 낮은 생존율을 보여, *P. lutheri* 단독구는 유생기에는 효과적이었으나 치패로 성장함에 따라 비효율적인 먹이로 판단된다. 따라서 치패 사육시 성장률 개선과 관련하여 먹이 종류에 따른 성분 분석과 먹이생물 배양방법에 따른 경제성 등이 고려되어야 할 것으로 생각된다.

치패의 밀도에 따른 성장과 생존율에 관해서는 자연산 바지락을 이용한 연구(이 등, 1996)와 인공종묘생산한 북방대합을 이용한 연구(이, 2001) 모두에서 고밀도에서는 성장과 생존율이 낮아 본 연구와 같은 결과를 보였다. 이것은 치패 한 마리당 먹을 수 있는 먹이의 양이 적었으며, 고밀도로 인한 스트레스가 영향을 주었을 것으로 추측된다.

이상과 같이 재첩 인공 종묘생산의 최종 단계라 할 수 있는 사육방법에 따른 부유유생과 치패의 성장에 관한 연구결과는 내수면 패류 양식산업을 체계화 할 수 있을 것이며, 재첩 양식으로 내수면 양식의 저변 확대를 기할 수 있을 것이다.

제5장 종합고찰

재첩의 양식 방법은 현재 서식장에 자연산 종패를 살포하고 자연적으로 성장이 되면 체포해 내는 일을 반복하는 방법으로 생산을 하고 있다.

양식방법은 바다에서 피조개나 새꼬막 등의 종패를 살포하는 방법과 같이 종패를 살포하고 성장 후에 전량 수확한 뒤, 수확한 곳은 경운하고 다시 종패를 재살포하여 양식하는 방법과 일부분을 부분적으로 수확한 곳에 종패를 다시 뿌려 양식하는 방법이 있을 뿐 아직 인공양식 방법이 알려진 바가 없다.

그러나 양식의 생산성을 높이기 위하여 양식 대상종의 종묘생산이 안정적으로 이루어져야 하며, 안정적인 종묘생산을 위해서는 자연생산력에 의존하는 자연산 치패의 수집보다는 인공종묘생산 기술의 확립이 필요하다.

안정적인 인공종묘생산을 위해서는 산란기 판정 등의 번식기구 해명과 채란 기법에 대한 기초적 연구가 필요하며, 알의 발생 및 부화에 관여하는 환경요인에 대해서도 충분한 검토가 뒤따라야 한다. 아울러 유생사육 및 치패사육을 위한 환경요인과 대량사육 방법은 경제성을 고려하여 매우 시급한 문제이다.

따라서 본 연구에서는 인공종묘생산의 기초자료로 양양 남대천에 서식하는 재첩의 서식환경과 밀도를 조사하였으며, 자연상태에서의 성장과 산란기 파악을 위한 생식주기 및 수정란 확보를 위한 대량 산란유발 방법을 파악하였다. 또한 산란된 알의 발생 및 부화에 관여하는 환경요인을 연구하였으며, 가장 약한 시기인 유생기와 치패의 높은 생존율을 유지하기 위한 환경 및 사육방법을 구명하였다.

조개류는 환경여건에 따라 서식량에 상당한 차이를 보이며, 성장 및 번식에도 큰 영향을 미치게 되므로 지속적인 생산 유지를 위해서는 본격적인 채취가 이루어지기 이전에 서식환경과 퇴적물에 관한 연구가 선행되어야 한다. 본 조사지역인 양양 남대천은 수온의 연변화가 $-0.2 \sim 26.8^{\circ}\text{C}$ 의 넓은 범위를 보이는

곳으로 재첩은 수온에 대한 내성이 매우 강한 것으로 판단된다. 염분은 0.50~3.21 ppt로서 하천수와 연안수가 교차되는 곳이기 때문이며, 퇴적물의 환경에서도 전체적으로 안정된 상태를 보였는데, 이것은 그동안 보호수면으로 지정되어 하천관리가 잘 되었기 때문으로 사료된다.

조개류의 서식밀도에 관하여 바지락의 경우 원(1994)은 강진만 어장에서 63 개체/ m^2 정도로 보고하였으며, Shin(1996)은 광양만에서 최고 1,291 개체/ m^2 라고 보고하였다. 또한 이 등(1999)은 태안 어장이 1,572 개체/ m^2 , 고창 어장이 745 개체/ m^2 라고 보고하여 서식지에 따른 차이를 보이고 있었다. 본 연구에서 재첩의 서식밀도는 2~464 개체/ m^2 로서 바지락 보다 대체적으로 낮았으나, 이것은 종에 따라 서식환경과 생태가 다르므로 서식밀도의 차이를 보이는 것으로 생각되며, 이에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

생물의 성장은 생물체 내의 동화작용으로 일어나는 생물체 용적이 지속적으로 증가하는 것을 말한다. 宇藤(1981)에 의하면, 일본의 網走湖에서 채집된 재첩의 패각 표면에는 윤문과 같은 모양의 흑갈색 윤문이 형성되는 것으로 보고하였다. 이는 본 연구의 결과와 일치한다. 본 연구에서는 宇藤(1981)의 연구에서 나타나지 않은 30 mm 이상의 큰 개체들이 27.7%가 출현하여 고령어의 연령사정이 용이하였다. 또한 76~78년급군의 성장계수 K 와 t_0 , 극한각장이 각각 0.22/년, 0.46년, 47.2 mm였던 것과 비교하여 본 연구에서는 K 값이 높고 t_0 값이 낮아 성장이 비교적 빠른 것을 확인하였으며 이에 대해서는 보다 많은 환경 및 생리적 연구가 계속 요구된다.

조개류의 산란기를 추정하는 방법으로는 GSI 조사(Kawamata, 1983)나 생식소의 조직학적 관찰(Chang and Lee, 1982; 이 등, 1997)과 같은 직접적인 방법과 부유유생의 출현량 조사(김 등, 1985; 유 등, 1988)나 비만도와 육중량비 조사(Hamamoto and Oobayashi, 1985)에 의한 간접적 추정 방법이 있다. 본 연구에서는 생식소의 발달단계를 조직학적으로 관찰하여 정확한 재첩의 생식주

기를 알아냈다. 일본의 藻琴湖에 서식하는 일본재첩의 산란기는 7~8월로 보고되고 있고(Maru, 1981), 동계에는 결빙되는 일본 북해도 網走湖산 일본재첩 역시 7월 중순부터 9월 상순까지 산란기로 보고되고 있다(宇藤, 1981). 한국 동해남부 포항의 강 하구에 서식하는 참재첩의 산란기 역시 7~8월로 보고되고 있는데 양양의 하구역에 서식하는 재첩은 주산란기가 8월에서 9월로 다른 지역의 재첩보다 다소 늦었으며, 수온이 10℃이하로 나타나는 10월부터 3월에 이르기까지 장기간의 회복기를 보였다. 또한 포항산의 초기활성기가 2~4월인데 비해 강원도 양양산은 4월에 시작되며 각 발달단계가 뚜렷한 모드를 보임으로서 재첩은 수온과 생식주기가 밀접한 상관성을 갖는 것으로 판단되며 지역적 차이에 따라 산란기가 늦어짐을 알 수 있었다. 이는 인공산란 유도 등 지역적으로 기초 생식생물학적 연구가 수반되어야만 좋은 산란유도가 가능한 것을 보여주는 것이라 할 수 있다.

본 연구에서는 재첩의 적절한 염분과 수온 자극에 의한 대량 산란유발 방법과 발생에 관한 연구를 수행함으로써, 인공종묘생산시 유용한 자료로 이용될 수 있을 것으로 사료되나, 앞으로도 산란기구를 체계적으로 밝히기 위한 더욱 세밀한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 비부착성 조개인 재첩의 유생사육 방법과 치패사육, 채묘 방법에 관한 연구결과는 다른 조개류에서도 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 재첩의 대량 종묘생산 기술은 파도가 거센 동해안에서 파도에 의한 영향을 받지 않는 호소나, 강하구의 저층 바닥을 활용한 양식이 가능하여 양식장 관리에 따른 비용이 거의 들지 않기 때문에 지금까지의 어떠한 조개류 양식보다도 경제적인 것으로 생각된다. 또한 기존서식지에 대해서는 강의 수로 변경, 매립 공사, 수질오염 등으로 기존 서식장이 변경되거나 사라지는 것을 방지해야 하겠으며, 아울러 생산성을 넓히기 위해서는 종묘 생산된 종패를 서식환경으로서 적당한 곳을 찾아 지속적인 종묘 방류가 이루어질 경우 어업인의 소득증대에 크게 기여함은 물론 지속적 수출이 가능할 것이며, 개인보다는 마을 공동의 안정적인 고소득원이 될 것이다.

제6장 요약

본 연구는 양양 남대천 기수역에 서식하는 재첩의 인공종묘생산을 위한 기초자료를 얻고자, 2000년 6월부터 2003년 8월까지 서식환경과 밀도, 연령과 성장, 생식주기, 산란유발과 부화, 부유유생 및 치패사육을 조사하였다.

1. 서식환경과 성장

재첩, *Corbicula japonica*의 서식환경과 서식밀도를 파악하기 위하여 수질, 퇴적물 환경, 입도분석 및 서식밀도와 크기별 출현율 등을 조사하였다.

재첩 서식지의 수온은 $-0.2 \sim 26.8^{\circ}\text{C}$, 염분은 $0.50 \sim 3.21$ ppt, 용존산소는 $5.21 \sim 8.13$ ppm이었으며, 영양염류 중 $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 $\text{ND} \sim 1.37$ ppm, $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 $0.10 \sim 0.81$ ppm으로 나타났다. 퇴적물의 환경에서 COD는 $1.53 \sim 2.82$ ppm, 황화물은 $\text{ND} \sim 0.0012$ ppm, 강열감량(IL)은 $0.85 \sim 1.36\%$ 로 안정된 값을 보였다. 퇴적물 조성은 대부분 모래 또는 역질 모래였으며, 분급도는 $0.53 \sim 1.77\phi$ 로 매우 양호하였다.

재첩의 서식밀도는 $2 \sim 464$ 개체/ m^2 로서 상류 50 개체/ m^2 , 중류 $50 \sim 400$ 개체/ m^2 , 하류 $50 \sim 200$ 개체/ m^2 로 다양하였으며, 크기에 따른 출현율은 각장 10 mm 이하가 3.2% , $10 \sim 20$ mm가 50.4% , $20 \sim 30$ mm가 43.3% 그리고 30 mm 이상이 3.1% 로서 10 mm 이상은 전체의 96.8% 로 나타났다.

각 윤경의 평균을 각 연령군의 각장으로 정하였다. 즉, 1.5세의 각장은 10.54 mm, 2.5세는 17.52 mm, 3.5세는 23.53 mm, 4.5세는 28.07 mm, 5.5세는 31.99 mm였다.

여기서 구한 연령군별 각장에 의거해 Bertalanffy 성장식의 모수를 추정하면 극한각장 L_{∞} 은 48.98 mm, 성장계수 K 는 $0.2042/\text{year}$, 각장이 0일 때의 이론적 연령 t_0 는 0.3169 year로 각각 추정되었으며, 성장식은 아래와 같다.

$$L_t = 48.98(1 - e^{-0.2042(t - 0.3169)})$$

각장 (L)과 전중 (W)간의 상대성장식은 아래와 같다.

$$W = 6.67 \times 10^{-4} L^{2.81} (R^2 = 0.9853)$$

연령군별 각장을 연령군별 전중으로 환산하여 추정된 Bertalanffy 성장식은 아래와 같다.

$$W_t = 36.73 (1 - e^{-0.2042(t-0.3169)})^{2.81}$$

여기서, 각장 25 mm 이전까지는 변동폭이 비교적 좁았으나, 그 이상 증가할수록 편차가 심한 개체들이 많이 확인되었다.

2. 생식주기

재첩의 자원관리와 인공종묘생산을 위한 생식생물학적 조사를 위해 2000년 11월부터 2001년 10월까지 매월 30~40개체씩 채집하여 생식소지수, 생식주기, 성비 등을 조사하였다. 강원도 재첩은 자웅이체 난생 종으로 암컷의 생식소는 회흑색이며, 수컷의 생식소는 유백색을 띄어 육안적으로 86.7%의 뚜렷한 구별 가능성을 보였다. 생식주기는 수온의 변화와 관계되어 지배되는 것으로 나타났다으며, 성숙한 난모 세포는 약 80 μm 을 보였다. 생식주기는 성장기 (4~5월), 성숙기 (6월), 완숙기 (7월), 산란기 (8~9월), 회복기 (10~익년 3월)의 연속적인 5단계로 구분되었다. 방란·방정 후 생식소 자체가 완전히 퇴화되지 않고 새로운 조직에서 신생되면서 남부지방산보다 늦게 4월까지의 긴 회복기를 지나 4월 중순부터 다시 분화가 활발히 개시되었다. 생식소지수는 생식주기의 변동과 일치하였으며, 연중 395개체 중 암컷이 208개체, 수컷 186개체로 암컷 개체가 많았으나 95%신뢰한계 내에서 암컷에 대한 수컷의 성비는 유의하지 않아 1:1의 성비를 보였다($P>0.05$).

3. 인공종묘생산

3-1. 산란유발 및 부화

재첩은 담수에서의 온도자극 반응이 거의 없었으며, 염분별 수온자극에 의한 산란유발 실험결과는 6 ppt 해수에서 가장 양호하였다. 6 ppt 해수에서

20, 23, 26, 28, 30 및 32℃의 수온별 산란유발 및 채란 실험결과, 26~28℃에서 채란량 및 수정률이 가장 양호하였다.

재첩의 수정란은 크기가 $86 \pm 3 \mu\text{m}$ 정도의 구형으로, 수정이 완료된 알은 제1극체를 형성한 후, 수정 후 1시간이 지나면 제1차 난할을 하여 2세포기로 되었고, 수정 후 2시간이 되면 4세포기, 2시간 30분이 경과하면 8세포기가 되었다. 수정 후 3시간 경과하면 16세포기로 되었고, 수정 후 4시간 10분이 경과하면 섬모가 생겨 회전운동을 시작하는 포배기에 이르렀으며, 6시간 15분이 지나면 낭배기를 거쳐, 15시간이 지나면 나선상의 상하운동을 반복하는 담륜자유생(trochophore larvae)으로 부화하였다.

3-2. 부유유생 및 치패사육

재첩은 부화 후 성숙유생기까지 15일이 소요되어 비교적 발생이 빠른 것으로 나타났으며, 크기는 $248 \mu\text{m}$ 로 나타났다. 유생의 형태적 차이를 구분하기 위한 각장에 대한 각고의 비는 D형 유생 초기에는 0.87이었으나 $150 \mu\text{m}$ 이상에서는 0.86~0.92였다.

유생사육을 위한 적정 염분은 6~9 ppt였으며, 수온 22~24℃에서 1ml당 1~5개체의 밀도로 사육하는 것이 효과적이었다. 먹이생물은 *I. galbana*, *P. lutheri*, *C. calcitrans*를 혼합하여, $1 \sim 2 \times 10^4$ cells/ml의 농도로 공급하는 것이 가장 효과적이었다.

성숙유생의 채묘는 모래바닥이 효과적이었으며, 특히 모래입자가 $250 \mu\text{m}$ 이하의 미세사질에서 높은 채묘율을 보였다.

치패 사육실험 결과, 염분 3~12 ppt에서는 성장과 생존율에 큰 차이가 없었으며, 수온 17~30℃에서는 수온이 높을수록 빠른 성장을 보였으나 생존율은 낮아졌다.

식물먹이생물 3종과 혼합 공급에 따른 치패의 성장과 생존율 실험 결과, 3종 혼합구가 유생기처럼 가장 빠른 성장과 생존율을 보였고, *P. lutheri* 단독구가 가장 느린 성장과 낮은 생존율을 보였다.

감사의 글

이 논문이 완성되기까지의 과정은 저에게 학문의 진리를 한층 더 깊이 있게 느끼게 하였고 또한 제가 알고 있는 지식이 얼마나 외소 한지를 깨닫게 하였습니다.

부족함이 많은 저에게 정열과 성의로 지도하여 주신 허성범 교수님께 진심으로 존경과 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 와중에도 부족한 논문의 심사를 맡아 바로 잡아 주신 부경대학교 김창훈 교수님, 백혜자 교수님, 국립수산과학원 김윤 박사님, 강릉대학교 박기영 교수님께 또한 깊은 감사를 드리며, 아울러 학위과정 중 자상한 충고를 주신 조규대 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

어려운 여건 속에서도 학위과정을 다닐 수 있도록 후원하여 주신 전 강릉수산종묘시험장 장장님이시던 박영제 서해수산연구소 증식과장님, 백국기 전 양양내수면 연구소장님께 감사드립니다. 자료 분석을 도와주신 강릉대학교 이상민 교수님, 국립수산과학원 이주 박사님, 김봉석 박사님, 부경대학교 한국해양미세조류은행의 이계안 박사님, 자원학 실험실 권대현님과 천해양식 실험실 후배들께도 고마움을 전합니다.

그리고 이 연구를 수행함에 있어 시작부터 끝까지 모든 자료를 다 챙겨주시고 물심양면으로 도와주신 강릉수산종묘시험장의 이채성 장장님을 비롯하여 이정용 박사님, 김태래 주사님, 박세규님, 최승인님, 김기승님, 김두호님, 장태훈님, 최선화님, 권오남님께 진심으로 감사드립니다.

항상 막내 걱정이신 아버님 과 장모님, 큰 형님, 작은 형님, 누님 가족 모두에게 감사드리며 그 누구보다도 멀리 부산에서 강릉까지 시집와 박봉으로 공부하는 남편 만나 어려운 여건 속에서도 늘 곁에서 용기를 심어주던 아내와 사랑하는 딸 남현, 남주에게 작은 선물이 되었으면 합니다. 그리고 늘 마음속으로 격려를 아끼지 않았던 친구들에게 고마움을 전합니다.

끝으로 수업 받느라 어머님 임종도 보지 못한 불효자식이 하느님 곁에 계신 어머님 영전에 늦게나마 삼가 이 논문을 바칩니다.

참고문헌

- Allen, R.D. 1953. Fertilization and artificial activation in the egg of the surf clam *Spisula solidissima*. Biol. Bull., 105: 213~239.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298pp.
- Barber, B. J. 1984. Reproductive energy metabolism in the bay scallop, *Argopecten irradians concenryicus*(Say). Ph.D. Thesis University of South Florida. Tempa. 122pp.
- Bertalanffy, L. Von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). Hum. Biol., 10(2): 181~213.
- Britton, J.C. and B. Morton. 1986. Polymorphism in *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculacea) from North America. Malacological Review, 19: 1~43.
- Chang, Y.J. and T.Y. Lee. 1982. Gametogenesis and reproductive cycle of the cockle, *Fulvia mtuica* (Reeve). Bull. Korean Fish. Soc., 15: 241~253.
- Chung, E.Y., D.K. Ryou. and J.H. Lee. 1994. Gonadal development, age and growth of the shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum* (Pelecypoda: Veneridae), on the coast of kimje, Korea. Korean J. Malacol, 10(1): 38~54.
- Chung, E.Y., Y.G. Kim and T.Y. Lee. 1987. A study on sexual maturation of hen clam *Mactra chinensis* Philippi. Bull. Korean Fish. Soc., 20: 501~508.
- Chung, E.Y., T.Y. Lee and C.M. An. 1991. Sexual maturation of the venus clam, *Cyclina sinensis*, on the west coast of Korea. J. Med. Appl. Malacol, 3: 125~136.
- Clotteau, G. and F. Dube. 1993. Optimization of fertilization parameters for rearing surf clams (*Spisula solidissima*). Aquaculture, 114: 339~353.
- Cranford, P.J., D.L. Peer and D.C. Gordon. 1985. Population dynamics and production of *Macoma balthica* in cumberland basin and Shepody Bay.

Bay of Fundy, J. of Sea Rec., 19: 135~146.

Crawford, C.M. 1986. Spawning induction and larval and juvenile rearing of the giant clam, *Tridacna gigas*. *Aquaculture*, 58: 281~295.

Delaunay, F., Y. Marty, J. Moal and J.F. Samain. 1992. Growth and lipid class composition of *Pecten maximus* (L) larvae grown under hatchery conditions. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 163: 209~219.

Deridovich, I.I. and O.V. Reunova. 1993. Prostaglandins; reproduction control in bivalve molluscs. *Comp. Biochem. Physiol.*, 104: 23~27.

Dos Santos, A.E. and I.A. Nascimento. 1985. Influence of gamete density, salinity and temperature on the normal embryonic development of the mangrove oyster, *Crassostrea rhizophorae* Guilding. *Aquaculture*, 47: 335~352.

Dufresne-Dube, L., F. Dube, P. Guerrier and P. Couillard. 1983. Absence of a complete block to polyspermy after fertilization of *Mytilus galloprovincialis* (mollusca pelecypoda) oocytes. *Develop. Biol.*, 97: 27~33.

Enright, C.T., G.F. Newkirk and J.D. Castell. 1986. Comparison of phytoplankton as diets for juvenile *Ostrea edulis* L. *J. Exp. Mar. Biol.*, 96: 1~13.

Epifanio, C.E. 1979a. Comparison of yeast and algal diets for bivalve molluscs. *Aquaculture*, 16: 187~192.

Epifanio, C.E. 1979b. Growth in bivalve molluscs, nutritional effects of two or more species of algae in diets fed to the American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin) and the hard clam *Mercenaria mercenaria* (L.). *Aquaculture*, 18: 1~12.

Epifanio, C.E. and J. Ewart. 1977. Maximum ration of four algal diets for the oyster *Crassostrea virginica* Gmelin. *Aquaculture*, 11: 13~29.

Folk, R.L. 1968. Petrology of sedimentary rocks Hemphill's Austin, Texas. 170pp.

- Fuji, A. 1957. Growth and breeding season of the brackish-water bivalve, *Corbicula japonica*, in Zyusan-gata Inlet. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 8: 178~184.
- Fuji, A. 1979. Phosphorus budget in natural population of *Corbicula japonica* Prime in poikilohaline lagoon, Zyusan-ko. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 30: 34~49.
- Gallager, S.M. and R. Mann. 1986. Growth and survival of larvae of *Mercenaria mercenaria* (L.) and *Crassostrea virginica* (Gmelin) relative to broodstock conditioning and lipid content of eggs. Aquaculture, 56: 105~121.
- Galtsoff, P.S. 1938. Physiology of reproduction of *Ostrea virginica*. I. Spawning reactions of the female and male. Biol. Bull., 74: 461~486.
- Gibbons, M. and M. Castagona. 1984. Serotonin as an inducer of spawning in six bivalve species. Aquaculture, 40: 189~191.
- Giese, A.C. 1959. Comparative physiology. Annual reproductive cycles of marine invertebrates. Ann. Rev. Physiol., 21: 547~576.
- Giese, A.C. and H. Kanatani. 1987. Maturation and spawnig. pp. 251~329. In; A.C. Giese, J.S. Pearse and V.B. Pearse (eds). Reproduction of marine invertebrates. Vol. 9. Blackwell Scientific Publications, Palo Alto, California.
- Glovani, S. and C. Diana. 1994. Gametogenic and spawning patterns of manila clam, *Tapes philippinarum* (Bivalvia: Veneroida) in two lagoons of the river Po Delta, Italy. J. Shellfish Res., 13: 37~46.
- Gruffydd, L.D. and A.R. Baumont. 1970. Determination of the optimum concentration of eggs and spermatozoa for the production of normal larvae in *Pecten maximus* (mollusca, lamellibranchia). Helgolander Wiss. Meeresunters, 20: 486~497.
- Hamamoto, S. and T. Oobayashi. 1985. The suitable time for taking eggs and some problems in breeding the larvae of shell, *Tresus Keenae* (Kuroda et Habe). Bull. Kagawa Pref. Fish. Exp. Stn., 22: 1~9.

- Helm, M.M. and I. Laing. 1987. Preliminary observations on the nutritional value of Tahiti *Isochrysis* to bivalve larvae. *Aquaculture*, 62: 281~288.
- Helm, M.M. and P.E. Millican. 1977. Experiment in the hatchery rearing of Pacific oyster larvae (*Crassostrea gigas* Thunberg). *Aquaculture*, 11: 1~12.
- His, E. and M.N.L. Seaman. 1992. Effects of temporary starvation in the survival and on subsequent feeding and growth of oyster (*Crassostrea gigas*) larvae. *Mar. Biol.*, 114: 277~279.
- His, E., R. Robert and A. Dinet. 1989. Combined effects of temperature and salinity on fed and starved larvae of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* and the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. *Mar. Biol.*, 100: 455~463.
- Holliday, J.E., G.L. Allan and J. Frances. 1991. Cold storage effects on setting of larvae of Sydney rock oyster *Saccostea commercialis*, and the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 92: 179~185.
- Huh, M.K. 1998. Allozyme variation and population structure of *Corbicula papyracea* from Nam and Sumjin Rivers. *Kor. J. Genetics*, 20(3): 163~172.
- Huh, M.K., D.H. Moon and H.W. Huh. 1998. Genetic diversity and thermostabilital variants of *Corbicula japonica* from the two main rivers in Korea. *J. Kor. Environ. Sci. Soc.*, 7(3): 243~249.
- Hurukawa, M. and Mizumoto, S. 1954. An ecological studies on the "Bivalve Setashijimi", *Corbicula sandai* Reinhardt of the Lake Biwa - II. On the development. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, 19: 91~94.
- Imai, T. 1953. Mass production of molluscs by means of rearing the larvae in tanks. *Venus*, 25: 157~167.
- Ingram, F.L. 1971. Sieve analysis in procedures in sedimentary petrology. Wiley-Interscience, 49~67.
- Iwata, K.S. 1971a. Spawning of *Mytilus edulis* (5). A method to obtain mature eggs from mantle piece. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 17: 15~18.
- Iwata, K.S. 1971b. Spawning of *Mytilus edulis* (7). Acid-inhibition of spawning

- by KCl. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 17: 91~93.
- Kanno, H. 1962. Artificial discharge of reproductive substance of mollusca caused by repeatedly stimulation of temperature. Bull. Tohoku Rep. Fish. Res. Lab., 20: 114~120.
- Kawamata, K. 1983. Reproductive cycle of the scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay), planted in Funka Bay, Hokkaido. Bull. Hokkaido Pref. Fish. Exp. Stn., 25: 15~20.
- Kennedy, A.V. and H.I. Battle. 1964. Cyclic changes in the gonad of the American oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin). Can. J. Zool., 42: 305~321.
- Khotimchenko, Y.S. and I.I. Deridovich. 1991. Monoaminergic and cholinergic mechanisms of reproduction control in marine bivalve molluscs and echinoderms: a review. Comp. Biochem. Physiol., 100: 311~317.
- Kikuchi, S. and N. Uki. 1974. Technical study on artificial spawning of abalone, Genus *Haliotis* II. Effect of irradiated sea water with ultraviolet rays on inducing to spawn. Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 33: 79~86.
- Kinne, O. 1964. The effects of temperature and salinity on marine and brackish water animals. II. Salinity and temperature-salinity combinations. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 2: 281~339.
- Laing, I. and C.G. Verdugo. 1991. Nutritional value of spray-dried *Tetraselmis suecica* for juvenile bivalves. Aquaculture, 92: 207~218.
- Laing, I. and P.F. Millican. 1986. Relative growth and growth efficiency of *Ostrea edulis* L. spat fed various algal diets. Aquaculture, 54: 245~262.
- Longwell, A.C., S.S. Stiles and D.G. Smith. 1967. Chromosome complement of the American oyster, *Crassostrea virginica*, as soon in meiotic and cleaving eggs. Can. J. Genet. Cytol., 9: 845~856.
- Loosanoff, V.L. and H.C. Davis. 1963. Rearing of bivalve molluscs. In Advances in Marine Biology, Russell. F.S. (ed.) Vol. 1. Academic Press. New York, 14~26.

- Mann, R. 1979. Some biochemical and physiological aspects of growth and gametogenesis in *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis* grown at sustained elevated temperatures. *Journal of Marine Biological Association U.K.*, 59: 95~110
- Marty, Y., F. Delaunay, J. Moal and J.F. Samain. 1992. Changes in the fatty acid composition of *Pecten maximus* (L) during larval development. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 163: 221~234.
- Maru, K. 1981. Reproductive cycle of the brackish-water bivalve, *Corbicula japonica*, in Lake Abashiri. Report from Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station, 23: 83~85.
- Matsutani, T. and T. Nomura. 1982. Induction of spawning by serotonin in the scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay). *Mar. Biol. Lett.*, 3: 353~358.
- Miyazaki, K. 1936. On the development of bivalves belonging to the genus *Corbicula*. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, 5: 249~254.
- Morton, B. 1987. Polymorphism in *Corbilula fluminea* (Bivalvia: Corbiculacea) from Hong Kong. *Malacological Review*, 20: 105~127.
- Morton, J.E. 1968. Molluscs. Hutchinson Univ. Library, London. 244pp.
- Mouthon, J. 2001. Life cycle and population dynamics of the Asian clam *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae) in the Saone River at Lyon (France). *Hydrobiologia*, 452: 109~119.
- Murat, J.C. and A. Serfaty. 1974 Simple enzymatic determination of polysaccharide (glycogen) content of animal tissues. *Clin. Chem.*, 20: 1576~1577.
- Nell, J.A. and J.E. Holliday. 1988. Effects of salinity on the growth and survival of Sydney rock oyster (*Saccostrea commercialis*) and Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) larvae and spat. *Aquaculture*, 68: 39~44.
- Nell, J.A. and B. Wisely. 1984. Experimental feeding of Sydney rock oysters (*Saccostrea commercialis*). III. Food concentration and fattening procedures. *Aquaculture*, 37: 197~208.

- O'Connor, W.A. and M.P. Heasman. 1998. Ontogenetic changes in salinity and temperature tolerance in the doughboy scallop, *Mimachlamys asperrima*. J. Shellfish Res., 17: 89~95.
- Osanai, K. 1985. In vitro induction of germinal vesicle breakdown in oyster oocytes. Bull. Mar. Biol. Stn. Asamushi, Tohoku Univ., 18: 1~9.
- Rampersad, J.N. and D.R. Ammons. 1992. Production of *Crassostea rhizophorae* (Guilding) spat from hatchery-reared larvae, Aquaculture, 106: 253~260.
- Redfern, P. 1974. Biology and distribution of the toheroa, *Paphies (Mesodesma) ventricosa* (Gray). Fisheries Research Bulletin, 11: 1~51.
- Reis-Henriques, M.A. and J. Coimbra. 1990. Variations in the levels of progesterone in *Mytilus edulis* during the annual reproductive cycle. Com. Biochem. Physiol., 95: 343~348.
- Robert, R.,E. His and A. Dinet. 1988 Combined effects of temperature and salinity on fed and starved larvae of the European flat oyster *Ostrea edulis*. Mar Biol., 97: 95~100.
- Rodhouse, P.G. and M. O'Kelly. 1981. Flow requirement of the oysters *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas* Thunberg in an upwelling column system of culture. Aquaculture, 22: 1~10.
- Rodriguez-Moscoso, E. and R. Arnaiz. 1988. Gametogenesis and energy storage in a population of the grooved carpet-shell clam, *Tapes decussatus* (Linne, 1787), in northwest Spain. Aquaculture, 162: 125~139.
- Romverger, H.P. and C.E. Epifanio. 1981. Comparative effects of diets consisting of one or two algal species upon assimilation efficiencies and growth of juvenile oysters, *Crassostrea virginica* (Gmelin). Aquaculture, 25: 77~87.
- Sagara, J. 1958. Artificial discharge of reproductive elements of certain bivalves caused by treatment of seawater and by injection with NH₄OH. Bull. Japanese Soc. Sci. Fish., 23 (9): 505~510.
- Sakurai, I., M. Kurata and T. Miyamoto. 1992. Breeding season of the sunray surf clam *Macrta sachalinensis* in Tomakomai, Southwest Hokkaido.

- Nippon Suisan Gakkaishi, 58: 1279~1283.
- Shin, S.H. 1996. Growth and production of short necked clam (*Tapes philippinarum*: Bivalvia) in Kwangyang Bay. Dep. of Oceanogr. Graduate School Nat. Fish. Univ.,Yosu. 118pp.
- Spencer, B.E. and C.J. Gough. 1978. The growth and survival of experimental batches of hatchery reared spat of *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas* Thunberg using different methods of tray cultivation. *Aquaculture*, 13: 293~312.
- Spencer, B.E., D.B. Edwards and P.F. Millican. 1992. Growing hatchery reared Pacific oyster(*Crassostrea gigas* Thunberg) to marketable size in trays-observations on coastal small scale culture methods and rough handling trials. *Aquaculture*, 106: 261~274.
- Staeger, W.H. and H.F. Horton. 1976. Fertilization method quantifying gamete concentrations and maximizing larvae production in *Crassostrea gigas*. U.S. Natl. Mar. Fish. Serv. Fish. Bull., 74: 698~701.
- Stephano J.L. and M. Gould. 1988. Avoiding polyspermy in the oyster (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture*, 73: 295~307.
- Strickland, J.D. and T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Rec. Bd. Can.*, 167~310.
- Tettelbach, S.T. and E.W. Rhodes. 1981. Combined effects of temperature and salinity on embryos and larvae of the northern bay scallop *Argopecten irradians*. *Mar. Biol.*, 63: 249~256.
- Thorarinsdottir, G.G. 1991. The Iceland scallop, *Chlamys islandica* (O.F. Muller) in breidafjordur, west Iceland. I. Spat collection and growth during the first year. *Aquaculture*, 97: 13~23.
- Thorarinsdottir, G.G. 1993. The Iceland scallop, *Chlamys islandica* (O.F. Muller) in breidafjordur, west Iceland. II. Gamete development and spawning. *Aquaculture*, 110: 87~96.
- Toba, M. and T. Miyama. 1991. Gonadal development and spawning induction

in artificially conditioned Manila clams, *Ruditapes philippinarum*. Nippon Suisan Gakkaishi, 57: 1269~1275.

Ventilla, R.F. 1982. Scallop culture in Japan. Adv. Mar. Biol., 20: 309~382.

Walne, P.R. 1974. Shellfish culture. In (Harden Jones, F.R., ed.). Sea Fisheries Res. Elek, Londen, 379~398.

Wilson, J.H. 1978. The food value of *Phaedactylum tricornutum* Bohlin to the larvae of *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas* Thunberg. Aquaculture, 13: 313~323.

Wisely, B. and B.L. Reid. 1978. Experimental feeding of Sydney rock oyster (*Crassostrea commercialis* = *Saccostrea cucullata*). I. Optimum particle sizes and concentrations. Aquaculture, 15: 319~331.

Zar, J.H. 1984. Biostatistical analysis. 2nd. Prentice-Hall, 718pp.

谷田専治・平野和夫. 1952. 松島灣附近のシジミに関する研究. 東北水研報, 1: 68~81.

龜山展志. 1966. ミルクイ幼生の水槽飼育について. 水産増殖, 14(3): 151~156.

菊地省吾・浮永久. 1974. アワビ属の採卵技術に関する研究. 第2報, 紫外線照射海水の産卵誘發效果. 東北水研報, 33: 79~86.

木下虎一郎・澁谷三五郎. 1939. 藻琴湖産蜆の産卵期. 北水試旬報, 417: 7~8.

木下虎一郎・澁谷三五郎・清水二郎. 1943. ホタテガイ, *Pecten (Pationpecten) yessoensis* JAYの産卵誘發に関する試験(豫報). 日水誌, 11(5~6): 168~170.

濱本俊策・大林萬鋪. 1985. 備讃瀬戸鹽飽諸島海域におけるナミカイ *Panopea japonica* (A, Adams)の大量發生と その漁業實態. 栽培技研, 14(2): 7~25.

西廣富夫. 1980. トリガイの人工種苗生産に関する研究 - I. 産卵誘發と初期發生. 京都海洋センター研究報告, 4, 13~17.

石田 修・石井俊雄. 1971. ヤマトシジミの鹽分に對する抵抗性ならびに地域による形態の相違. 水産増殖, 19(4): 167~182.

- 小野 剛, 1972. ハマグリ的人工種苗生産に就て. 養殖, 1: 114~118.
- 宇藤均. 1981. 網走湖産ヤマトシジミ *Corbicula japonica Prime*의 成長. 北水試報, 23, 65-81.
- 日本水産資源保護協會. 1980. 水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣, 東京, 256~257.
- 田中彌太郎, 1982. 二枚貝類の幼生同定. 海洋と生物, 4(2): 137~139.
- 舟橋三郎・原一郎・山川民夫. 1972. 脂質2. 共立出版社, 376pp.
- 秋山章男. 1988. 生物の生態と環境. 河口・沿岸域の生態とエコテクノロジー (栗原康 編著). 東海大學出版部, pp. 85-98.
- 丸 那義. 1981. 網走湖産ヤマトシジミ *Corbicula japonica Prime* 의 生殖週期. 北水試報, 23: 83~95.
- 강경호・백국기・장영진・유성규. 1996. 자극방법에 따른 큰가리비, *Patinopecten yessoensis*의 산란유발효과 비교. 한국패류학회지, 12(2): 99~104.
- 국립수산진흥원. 1985. 해양오염 및 적조조사 지침. 예문사, 부산, 297pp.
- 권오길・민덕기・이종낙・이준상・제종길・최병래. 2001. 신원색한국패류도감. 도서출판한글, 332pp.
- 권오길・이준상・박갑만. 1987. 의암호산 재첩의 생식소와 반사에 관한 연구. 한국육수학회지, 20(1): 30~38.
- 권오길・박갑만・이준상. 1993. 원색한국패류도감. 아카데미서적, 서울, 221~223.
- 김기주・공영. 1977. 수산자원학. 태화출판사, 332pp.
- 김백균・고태승・송홍인・이생동・김숙양. 1985. 개량조개의 산란과 성장에 관한 연구. 국립수산진흥원연구보고, 34: 157~167.
- 김병학・문영봉・류호영・한석중. 1995. 참굴 인공종묘생산 기술개발에 관한 연구. 국립수산진흥원연구보고, 50: 103~114.
- 김완기・이채성・이정용・백국기・허성범. 2002a. 양양 남대천 기수재첩, *Corbicula*

- japonica*의 서식환경과 밀도. 한국양식학회지, 15(1): 1~6.
- 김완기 · 이채성 · 이정용 · 허성범. 2002b. 기수재첩, *Corbicula japonica*의 인공종묘 생산. 한국양식학회지, 15(1): 23~29.
- 김종두 · 구자현. 1973. 피조개 *Anadara broughtonii* (Schrenck)종묘 생산시험. 국립수산진흥원연구보고, 11: 71~78.
- 김종두 · 정성채 · 강해원. 1980. 피조개 *Anadara broughtonii* (Schrenck)의 인공종묘 양산에 관한 연구. 국립수산진흥원연구보고, 25: 45~53.
- 김진희 · 유명숙. 2000a. 참재첩, *Corbicula leana* (Prime)의 정자형성과정과 정자형태. 한국수산학회지, 33(3): 171~175.
- 김진희 · 유명숙. 2000b. 참재첩, *Corbicula leana* (Prime)의 생식주기. 한국수산학회지, 33(3): 184~191.
- 김현주 · 장창익. 1999. 진해 연안산 바지락(*Tapes philippinarum*)의 자원생태학적 연구. 한국수산자원학회지, 2(2): 32~43.
- 김혜영. 1994. 실내사육시 참가리비(*Patinopecten yessoensis*) 치패의 먹이효과. 부산수산대학교 대학원 석사학위논문, 69pp.
- 류동기. 1994. 동죽(*Mactra veneriformis* Reeve)의 자원생태학적 연구. 제주대학교 대학원 박사학위논문. 110pp.
- 류호영 · 박두원 · 정춘구 · 김경희 · 전창영 · 김대회 · 명정인. 1993. 참담치 인공종묘 생산기술에 관한 연구. 경상남도, 156pp.
- 민광식 · 김태익 · 허성범 · 허영백 · 박두원 · 이해영 · 황미숙. 1999. 참굴, *Crassostrea gigas*의 인공채묘 방법에 관한 연구. 국립수산진흥원연구보고, 57: 35~41.
- 민광식 · 장영진 · 박두원 · 정춘구 · 김대회 · 김경희. 1995. 참굴, *Crassostrea gigas*의 인공종묘생산을 위한 유생사육 조건에 관한 연구. 국립수산진흥원연구보고, 49: 91~111.
- 박승원 · 이성현. 1968. 확률도에 의한 재첩(*Corbicula elatior*) 각고빈도의 분포. 한국수산학회지, 1(1): 31~43.

- 박영제. 1998. 참가리비, *Patinopecten yessoensis*의 양식생물학적 연구. 제주대학교 대학원 박사학위논문, 187pp.
- 박정은. 1994. 식물성 먹이생물 4종의 최적 배양 환경. 부산수산대학교 대학원 석사학위논문, 34pp.
- 변경숙·정의영. 2001. 경상북도 채첩자원분포 및 생태조사(II). 일본채첩 *Corbicula japonica*의 생식주기 및 유생발생. 한국패류학회지, 17(1): 45~55.
- 변충규. 1984. 강원도 기수호의 환경생물상 보고. 제주대학교 논문집, 18: 1~13.
- 변충규·노용길·유영권. 1976. 피조개(*Anadara broughtonii* Schrenck)의 유생사육과 채묘에 관하여. 국립수산진흥원연구보고, 15: 7~18.
- 변화근·최재석·최준길. 1996. 양양 남대천의 어류상과 소하성 어류의 분포. 한국육수학회지, 29(3): 159~166.
- 손팔원·하동수·노섭·장대수·이창훈·김대권. 1998. 헤가리비 종묘생산에 관한 연구. 한국양식학회지, 11(3): 371~380.
- 원문성. 1994. 바지락의 종묘생산과 양식장 환경이 생산성에 미치는 영향. 부산수산대학교 대학원 박사학위논문, 220pp.
- 유성규. 1969. 중요 조개류 유생기의 먹이와 성장. 부산수산대학연보, 9(2): 65~87.
- 유성규. 2000. 천해양식. 구덕출판사, 부산, 639pp.
- 유성규·강경호. 1996. 자극방법별 바윗굴, *Crassostrea nippona*의 산란효과와 난발생 및 유생사육에 미치는 수온의 영향. 한국패류학회지, 12(2): 91~97.
- 유성규·강경호·이동엽. 1988. 담치 종묘생산기술개발에 관한 연구. 한국수산학회지, 21(1): 35~41.
- 유성규·박흥기. 1997. 바윗굴 *Crassostrea nippona* 유생기의 사육조건과 성장. 한국양식학회지, 10(2): 97~103.
- 유성규·유명숙. 1984. 키조개의 양식개발에 관한 연구(I). 한국수산학회지, 17(6): 529~535.

- 유성종. 1976. 원색한국패류도감. 일지사, 서울, 196pp.
- 이보형 · 조문규. 1980. 영일만 가리비의 자연채묘에 관한 연구. 국립수산진흥원연구보고, 24: 59~66.
- 이정용. 2001. 북방대합, *Spisula sachalinensis*의 번식주기와 인공 종묘생산. 부경대학교 대학원 박사학위논문, 142pp.
- 이정용 · 장영진 · 박영제. 1996. 북방대합 *Spisula sachalinensis*의 산란유발 및 난발생. 한국양식학회지, 9(4): 419~427.
- 이정용 · 장영진 · 이채성. 1997. 북방대합(*Spisula sachalinensis*)의 생식주기. 한국수산학회지, 30(1): 132~138.
- 이주하. 1980. 소라, *Turbo cornutus* Solander의 생식세포형성과정 및 생식주기에 관한 조직학적 연구. 한국수산학회지, 13(4): 125~134.
- 이주하. 1997. 백합, *Meretrix lusoria*의 생식세포형성과정 및 생식주기에 관한 조직학적 연구. 한국수산학회지, 13(2): 131~141.
- 이준상 · 김종범. 1997. 한국산 재첩속(*Corbicula*) 이매패류의 계통분류학적 연구. 한국동물분류학회지, 13: 233~246.
- 이채성. 1995. 코끼리조개, *Panope japonica*의 번식생물학적 연구. 제주대학교 대학원 박사학위논문, 109pp.
- 이채성 · 노섬. 1997. 코끼리조개의 인공종묘생산에 관한 연구(난발생과 유생의 발달). 한국양식학회지, 10(1): 25~31.
- 이채성 · 노섬 · 박영제. 1997. 코끼리조개의 인공종묘생산에 관한 연구(산란유발 및 부화). 한국양식학회지, 10(2): 113~121.
- 이채성 · 백국기 · 홍관의. 1998. 코끼리조개, *Panope japonica*의 서식생태에 관한 연구. 한국양식학회지, 11(1): 105~111.
- 이채성 · 최용석 · 조영록. 1999. 바지락 서식밀도 및 서식환경. 국립수산진흥원연구보고, 56: 117~186.
- 이춘구 · 장남기 · 최신석. 1969. 패류양식을 위한 적지환경요인에 관한 연구. 한국

- 수산학회지, 2(1): 33~40.
- 이택열 · 박주석 · 진평 · 강용주 · 손철현 · 이필용. 1985. 낙동강 하구역의 주요 수산생물의 환경 및 자원생물학적 연구. 국립수산진흥원연구보고, 34: 5~60.
- 이택열 · 정의영. 1980. 남방재첩, *Corbicula fluminea*의 생식주기. 부산수산대학 해연보, 12: 47~54.
- 조동현 · 권오길 · 박성빈. 1983. 담수산 이매패 재첩의 전기영동 및 면역학적 분석. 한국육수학회지, 16(3~4): 39~41.
- 장대수 · 정상철. 2001. 각고 조성을 이용한 소라의 성장 분석. 한국수산자원학회지, 3(3): 11~15.
- 장영진 · 임한규 · 박영제. 1997. 동해안 양식산 참가리비, *Patinopecten yessoensis*의 생식주기. 한국양식학회지, 10(2): 133~141.
- 장창익 · 이만옥 · 윤성규. 1999. 한국다대포 연안산 빛조개, *Nuttallia olivacea*의 자원생태학적 특성치 추정. 한국수산자원학회지, 2(2): 24~31.
- 전상인. 1982. 동해로 유입되는 소하천 수계의 어류상에 관하여. 자연보존연구보고, 4: 109~118.
- 정성채 · 허종수 · 문영봉 · 이종관 · 송천호 · 김경길. 1986. 키조개의 종묘생산을 위한 실험적 연구. 국립수산진흥원연구보고, 39: 143~150.
- 정의영. 1980. 담수산 진주패 뿔조개, *Anodonta (Sinanodonata) woodiana* (LEA)의 생식주기 및 임란기. 한국수산학회지, 13(4): 135~144.
- 정의영 · 김형배 · 이택열. 1986. 맛조개, *Solen gordonis*의 생식주기. 한국수산학회지, 19(6): 563~574.
- 정종윤. 1977. 재첩(*Corbicula japonica*)의 생태에 대하여. 수산청 청평양어장, 130~140.
- 조용계 · 박수진 · 안철우. 1982. 재첩의 지질에 관한 연구. 한국수산학회지, 15(1): 94~98.
- 최신석. 1975. 개랑조개와 바지락의 난 발생과 성장 비교연구. 한국수산학회지, 8(3): 185~195.

- 최신석 · 송용규. 1973. 가무락 *Cyclina sinensis*의 인공수정 및 발생에 관한 연구. 한국수산학회지, 6(1,2): 76~80.
- 최우정 · 전영렬 · 박정흠 · 박영철. 1997. 한산 · 거제만의 환경특성이 양식 굴의 비만에 미치는 영향. 한국수산학회지, 30(5): 794~803.
- 한방가정요법대전. 1991. 한국도서출판중앙회, 서울, 1288pp.
- 해양수산부통계연보. 2002. 해양수산부, 서울, 372pp.
- 홍재상 · 박홍식. 1994. 인천연안 간석지산 주요 저서생물의 성장과 생물생산. I. 척전지역 간석지에 서식하는 맛조개, *Solen (Solen) strictus*의 성장. 한국수산학회지, 27(5): 549~559.