

박사학위논문

제주도산 소라, *Batillus cornutus*의
자원평가 및 관리에 관한 연구

제주대학교대학원

수산생물학과

장 대 수

2002년 12월

Studies on the Stock Assessment
and Management of the Turban
Shell, *Batillus cornutus* in Jeju
Coastal Waters, Korea

Dae-Soo CHANG

(Supervised by Professor SangChul CHUNG)

A thesis submitted in partial fulfillment
of the requirements for the degree of
doctor of science

Department of Marine Biology
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2002. 12

제주도산 소라, *Batillus cornutus*의
자원평가 및 관리에 관한 연구

지도교수 정 상 철
장 대 수

이 논문을 이학박사 학위논문으로 제출함
2002년 12월

장대수의 이학박사 학위논문을 인준함

심사위원장	이 정 재
위 원	이 기 완
위 원	노 석
위 원	최 광 식
위 원	정 상 철

제주대학교 대학원

2002년 12월

목 차

List of figures	i
List of tables	vii
Summary	ix
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 어업현황	3
2. 성숙과 산란	3
3. 연령과 성장	7
4. 자원생태학적 특성치 추정	8
5. 자원평가 및 관리	13
III. 결 과	16
1. 어업현황	16
1.1. 연도별 소라 어획량 및 혼획	16
1.2. 단위노력당 어획량 변동	17
1.3. 어획량의 월변화	20
1.4. 지역별 어획량	20
2. 성숙과 산란	25

2.1. 생식소 구조와 발달단계	25
2.2. 생식소 발달단계의 월 변화	26
2.3. 생식소지수의 월 변화	27
2.4. 군성속도	32
2.5. 성 비	32
3. 연령과 성장	37
3.1. 월별 각고조성	37
3.2. 연급군 분리	38
3.3. 성장식의 추정	42
4. 자원생태학적 특성치 추정	50
4.1. 년도별 각고조성	50
4.2. 어획물의 연령조성	50
4.3. 생산율	51
4.4. 순간자연사망계수 및 순간어획사망계수	51
4.5. 어장가입연령과 어획개시연령	62
5. 자원관리	64
5.1. 자원량의 추정	64
5.2. 최대지속적어획량 (MSY) 추정	69
5.3. 적정 어획사망계수 및 적정 어획개시연령의 추정	69
5.3.1. Beverton and Holt 모델에 의한 추정	69
IV. 고 찰	77

V. 요약	87
VI. 참고 문헌	89
감사의 글	93

List of figures

Fig. 1.	Shell height (SH) of turban shell, <i>B. cornutus</i>	5
Fig. 2.	Anatomy of <i>B. cornutus</i> . (A), conical appendage and the part cut for fixing (B), Cross section of conical appendage (C)pe: pericardium, ki: kidney, s: stomach, go: gonad, sc: stomachal caecum, dg: digestive gland.....	6
Fig. 3.	Map of Jeju Island showing the sampling locations.....	9
Fig. 4.	Systematic procedure to derive production estimated of annual catch by age.....	11
Fig. 5.	Annual changes in catches of <i>B. cornutus</i> in Jeju coastal waters from 1970 to 2000.....	18
Fig. 6.	Annual changes in number of woman diver and CPUE in the coastal waters from Jeju.....	21
Fig. 7.	Regional annual catches of <i>B. cornutus</i>	24
Fig. 8.	Photomicrographs of the testicular development of <i>B.</i> <i>cornutus</i> . [A]: Early active stage. [B]: Late active stage. [C]: Ripe stage. [D]: Spent and degenerative stage. Do: degenerative oocyte, Es: egg stalk, N: nucleus, Ol: ovarian lobule.....	28
Fig. 9.	Photomicrographs on the testicular development of <i>B.</i> <i>cornutus</i> . [A]: Growing stage. [B]: Maturation stage. [C]: Ripe stage. [D]: Spent and degenerative stage. Sc: spermatocytes, Sd: spermatids, Sg: spermatogonia, Sz: spermatozoa, Usz: undischarged spermatozoa.....	29
Fig. 10.	Monthly change in proportion of individuals with the ovarian development stages female of <i>B. cornutus</i>	30
Fig. 11.	Monthly change in production of individuals with the testicular development stages of male <i>B. cornutus</i>	31

Fig. 12. Monthly change of the gonad index of <i>B. cornutus</i>	33
Fig. 13. Relationship between shell height and percentage of maturity of <i>B. cornutus</i>	35
Fig. 14. Monthly changes in sex ratio of <i>B. cornutus</i>	36
Fig. 15. Frequency distribution of shell height of <i>B. cornutus</i> and the normal curves adjusted by the Bhattacharya method.....	39
Fig. 16. Frequency distribution of shell height of the young <i>B.</i> <i>cornutus</i> in July 2002.....	40
Fig. 17. Monthly variation in mean shell height of the specific year class (from data in Table 6).....	44
Fig. 18. Plotting annual increment of the shell height against initial shell height.....	46
Fig. 19. Growth curve fitted to the von Bertalanffy's equation for <i>B.</i> <i>cornutus</i>	47
Fig. 20. The relationship between shell height and body weight of <i>B.</i> <i>cornutus</i>	48
Fig. 21. The von Bertalanffy's equation of body weight growth curve of <i>B. cornutus</i>	49
Fig. 22. Annual shell height composition of <i>B. cornutus</i> caught by diver woman in Jeju coastal waters from 1992 to 2000.....	54
Fig. 23. The survivorship of <i>B. cornutus</i> estimated from the catch curve method.....	60
Fig. 24. Annual variation of biomass and CPUE for <i>B. cornutus</i> in Jeju coastal waters.....	66
Fig. 25. Relationship biomass and CPUE for <i>B. cornutus</i>	67
Fig. 26. Annual variation of catch and fishing mortality coefficient for <i>B. cornutus</i> in Jeju coastal waters.....	68
Fig. 27. The relationship between fishing effort and CPUE for <i>B.</i> <i>cornutus</i> in coastal waters.....	71
Fig. 28. Epuilibrium yield curves for <i>B. cornutus</i> from Schaefer model.....	72

Fig. 29. Yield per recruit curves of <i>B. cornutus</i> . Y/R against fishing mortalities (F) for various ages at first capture (t_c).....	74
Fig. 30. Yield per recruit curves of <i>B. cornutus</i> . Y/R against the age at first capture (t_c) for various fishing mortalities (F).....	75
Fig. 31. Yield isopleths for <i>B. cornutus</i> . P represents the current state of fishing mortality (F) and age at first capture (t_c)....	76
Fig. 32. Monthly distribution of water temperature in Jeju city at an interval ten years.....	81

List of tables

Table 1.	Total catch of major species by woman diver and diving boat in the coastal waters from Jeju.....	19
Table 2.	Age distribution of woman diver by major fishery.....	22
Table 3.	Monthly catch (ton) and catch rate of <i>B. cornutus</i> by the woman diver in the coastal waters from Jeju.....	23
Table 4.	First sexual maturity of <i>B. cornutus</i>	34
Table 5.	Mean shell height of <i>B. cornutus</i> spats produced from Bukjeju Marine Hatchery in June 1993.....	41
Table 6.	Polymodal distribution of shell height of <i>B. cornutus</i> analyzed by the method of Pauly and Caddy (1985).....	43
Table 7.	Calculated shell height and standard deviation by age for <i>B. cornutus</i>	52
Table 8.	Estimated shell height composition by the age of <i>B. cornutus</i>	53
Table 9.	Age-length key of <i>B. cornutus</i>	55
Table 10.	Catch in number by age of <i>B. cornutus</i> in Jeju coastal waters from 1992 to 2000.....	56
Table 11.	Catch in weight by age of <i>B. cornutus</i> in Jeju coastal waters from 1992 to 2000.....	57
Table 12.	Age composition of <i>B. cornutus</i> population derived in Jeju coastal waters from 1998 to 2000.....	58
Table 13.	Estimated instantaneous coefficient of natural mortality (M) of <i>B. cornutus</i> by two methods and input data.....	59
Table 14.	Survival rate (S), total mortality coefficient (Z), fishing mortality coefficient (F) and exploitation rates (E) for <i>B. cornutus</i> in Jeju coastal waters.....	61
Table 15.	Parameters for the analysis of the annual yield per recruit (Y/R) of <i>B. cornutus</i>	63

Table 16. Estimated stock biomass by cohort analysis for <i>B. cornutus</i> in Jeju coastal waters.....	65
Table 17. Catch and number of woman diver and CPUE of <i>B. cornutus</i> in Jeju coastal waters from 1992 and 2000.....	70

Summary

This study is performed to investigate the catches, maturation and spawning, age and growth, and population ecological parameters, including survival rate, instantaneous coefficients of natural and fishing mortalities, and age at first capture, and to conduct stock assessment of the turban shell, *Ballatillus cornutus* in the coastal waters adjacent to Jeju Island, Korea. The catches yield fluctuation and number of diving woman were analyzed, based on using fishery data from Ministry of Maritime Affairs & Fisheries (MOMAF) and Jeju Fisheries Cooperative during the period 1970~2000. Biological samples collected in Hansuri fishing ground, Bukjeju province, age and growth were investigated from samples randomly collected from January to December, 1994. Also, maturation and spawning were examined using samples caught April to August, 2002. Population ecological parameters and stock assessment of the turban shell were determined, based on length and age composition data from 1992 to 2000 and ecological parameters.

The catches

The total annual catch of the turban shell was about 1,600~2,700 metric tons (mt) in 1970's. That of the turban shell showed a peak in 1983 with about 3,600 metric tons, it has continuously declined to the level of about 480 mt in 1989 since 1983. Recently, those of the turban shell increased to about 2,100~2,300 mt during three years (1999~2000).

Maturation and spawning

Based on ovary ripening and monthly changes in gonad index (GI), it was indicated that spawning took place in months between May and August but major spawning season was July. Shell height at 50% group maturity was estimated to be 3.4 cm for females. Sex ratio ($\text{♀} : \text{♂}$) was 1:1.

Age and growth

Ages were analyzed by cohort analysis and maximum age was observed to be 8 years. The relationship between shell height (SH , mm) and total weight (W , g) of the turban shell was $W = 0.0002 \times SH^3$ ($R^2 = 0.99$). The von Bertalanffy growth parameters were estimated with the values of $L_\infty = 12.503$ cm, $K = 0.392$ and $t_0 = 0.917$ year. Growth of the turban shell expressed by using the von Bertalanffy's equation $L_t = 12.503(1 - e^{-0.392(t-0.917)})$.

Population ecological parameters

The survival rate (S) of the turban shell was estimated to be 0.1915, and the instantaneous coefficient of natural mortality (M) for the recent years was 0.2154/year. From the values of S and M , the instantaneous coefficient of fishing mortality (F) for the recent years was calculated to be 1.4375/year. The age at the first capture of the turban shell was obtained to be 2.14. Exploitation rates (E) ranged from 70 to 75 %.

Stock assessment and management

Base on these parameters, estimation of annual biomass of turban shell, was carried out by a biomass-based cohort analysis using data of annual catch in weight at age for 1992~2000 in the Coastal Waters Adjacent to Jeju Island, Korea. The biomass of the turban shell had a peak in 1994 with about 4,400 mt. However, it has continuously declined to level of 3,000 mt in 2000. The maximum sustainable yield (*MSY*) by Schaefer model was estimated to be about 2,580 ton. An yield-per-recruit analysis showed that the current yield per recruit of about 126.06 g with $F = 1.4375/\text{year}$, where the age at first capture (t_c) is 2.14 years. The analysis showed maximum yeild per recruit was effective to draw up until Maxium limit 3.7 years of the first capture with the present coefficient of fishing mortality. Above 3.7 years be reduced to yeild per recruit on the contrary.

I. 서 론

소라, *Batillus cornutus*는 연체동물문 복족강 원시복족목 소라과 (Family Turbinidae)에 속하는 종으로서, 대마난류의 영향을 받는 우리 나라, 일본, 중국, 대만, 홍콩 등의 연안해역에 분포하며, 조간대로부터 수심 20 m 사이의 암초역에 서식하고, 우리 나라의 경우는 남해안과 울릉도 등에서도 부분적으로 분포하지만 제주도에 주로 분포한다 (국립수산과학원, 1999).

이 종은 자웅이체이고, 육안으로 보아 생식선이 백색이면 수컷이고, 녹색이면 암컷이다. 식용으로 가치가 높으며 내해에 사는 것은 가시가 짧거나 없는 개체도 있지만 제주도산 소라는 전반적으로 외해에 접하여 남해안산 보다 극(가시)이 크다 (유, 1995).

“소라”라는 말은 복족류 (권패류) 통칭으로 혼용되고 있으나, 동·서해안에서 어획되어 패각을 주꾸미의 주낙어구로 이용되기도 하는 피빨고둥 (*Rapana venosa*)과는 다른 종이다.

특히, 제주도산 소라는 1970년대 초반부터 대일수출이 이루어 지면서 지역 특산 전략상품으로 중요한 위치를 차지하여 왔으나, 과도한 어획 영향으로 연간 어획량이 급감함에 따라 1991년 10월부터 수산관련 연구·행정·지도기관과 수협이 공동으로 자원량 회복을 위한 자율적 TAC (Total Allowable Catch) 제도를 시행하여 우리 나라 최초 자원관리의 성공적 사례를 보여준 것이다.

우리 나라에서 소라에 관한 연구는 제주도산 소라 서식장의 해양환경 (Lee and Lee, 1984)과 자원생물학적인 연구로 생식소 및 연체부의 칼로리 함량 비교 (Lee and Lee, 1979), 생식소 주기에 관한 조직학적 연구 (Lee and Lee, 1984)와 분화중인 정자의 미세구조 (Lee, 1984) 등에 대한 연구가 있으며, 연령과 성장 부문에 관한 연구로는 상대성장 (Hwang and Chung, 1979), 표지

방류를 통한 성장 (Chung, 1983)을 분석한 연구와 최근에는 Chang and Chung (2001)이 각고조성을 이용한 성장에 관한 분석 연구를 수행하였다.

자원평가 및 관리에 대한 연구로는 Chung et al. (1987)이 소라 종묘구의 효과와 자원분석에 관하여 연구된 바 있으며, 가입특성과 자원관리 (Chang et al., 1999) 및 제주도산 소라의 자원평가 (Chang et al., 2002)에 관한 연구가 있다.

또한, 대량 종묘생산 및 연안자원의 증강을 도모하기 위하여 소라의 종묘생산에 관한 연구 (Rho, 1976) 및 제주도 소라의 증양식을 위한 연구 (Pyen and Rho, 1985) 등 다수의 연구가 있다.

일본에서의 연구를 살펴보면, 우리 나라와 유사한 연구가 있었으며, 산란과 발생에 관한 연구 (Ai et al, 1964)가 있었고, 성장과 자원평가 등에 관하여는 각고조성을 통한 대마도 서안의 소라 성장 (Fujii, 1993)에 관한 연구 및 어획 관리에 관한 연구 (Fushimi et al. 1978) 등이 있으나, 대부분 종묘생산에 관한 연구가 주류를 이루고 있다.

최근의 Chang and Chung (2001)이 각고조성을 이용한 성장 분석 연구와 Chang et al. (2002)이 자원평가에 관한 연구를 제외하고, 우리 나라와 일본 모두 대부분 연구가 '70~'80년대에 이루어졌고, 서식환경, 성숙과 산란, 성장 종묘생산 등에 대한 부분적 연구가 주류를 이루어왔다.

TAC 대상종인 소라자원에 대한 자원평가 및 관리에 관한 연구는 전반적으로 미흡한 실정으로 합리적 자원평가를 통한 지속적 자원이용과 관리를 위한 연구가 절실하다.

이 연구에서는 제주도 연안의 마을어장에서 주로 어획되는 소라의 어획실태와 성숙 및 산란, 연령과 성장, 자원생태학적 특성치 등에 대한 연구결과를 토대로 소라자원의 합리적 관리 방안을 강구하기 위하여 수행한 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 어업현황

제주도 연안의 마을어장에서 어획되는 소라에 대한 이용실태를 파악하고 자원평가 및 관리를 위한 연구 기반자료를 확보하기 위하여 연도별 월별 지역별 소라 어획량 및 노력량 (해녀수) 등을 조사하였다.

연도별 월별 소라 어획량자료는 1970~2000년까지의 해양수산통계연보 (수산청, 1970~1977; 농림수산부, 1978~1997; 해양수산부, 1998~2000)에 기록된 자료를 이용하였다.

1992~2000년의 연도별 등록해녀수 및 지역별 어획량 자료는 1992년부터 자율적 TAC 제도를 실시하기 위하여 1968년부터 허가되었던 잠수기선이 매일 폐기되어 소라가 해녀에 의한 나잠어업으로 전량 어획되고, 각 수협별 TAC 이행여부를 확인하고 해녀에 관한 관리, 어획통계 등을 종합적으로 관리하는 수협중앙회제주도지부 자료를 각각 이용하였다 (수산업협동중앙회, 1992~2000).

어장 크기별 등록해녀수 및 연령별 구성을 파악하기 위하여 2002년 1월 현재 3개 어촌계 (온평, 한수, 법환)의 등록해녀수와 연령분포 등을 조사하였다. 또한, 마을어장에서 해녀들의 공동조업 시 소라만을 어획하고 있는 것이 아니라 마을어장에 분포하고 있는 유용동물에 대한 어획이 동시에 이루어지기 때문에 1992~2000년의 마을어장에서 어획된 주요 수산생물의 어획량을 추가 조사하였다.

2. 성숙과 산란

실험시료는 제주도 북제주군 한림읍 한수리 연안어장에서 산란기 직전에서

산란기인 2002년 4~8월까지 나잠어업으로 어획된 소라를 사용하였다. 조직학적인 조사를 위한 시료는 매월 각고 2~8 cm 전후 소라를 대, 중, 소 크기로 10개체씩 구분하여 월 30~40개체, 총 190개체를 사용하였다.

소라의 각고 (shell height: SH)는 0.1 cm까지 측정하였고 (Fig. 1), 전중량 (body weight: BW), 육중량 (meat weight), 생식소 중량 (gonad weight: GW)은 0.01g까지 측정한 후, 생식소숙도, 생식소발달, 군성숙도, 성비 등 산란생태에 관하여 분석하였다.

산란기의 추정은 월별로 생식소지수 (GI: gonad index)와 생식소 발달상황으로 추정하였고, 조직표본 관찰 결과, 생식소 발달단계를 비성장기 (IA: inactive stage), 초기성장기 (EA: early active stage), 후기성장기 (LA: late active stage), 완숙기 (R: ripe stage), 방출 및 퇴화기 (SD: spent and degenerative stage)의 5단계로 나누고 매월 각 개체에 대하여 각 단계별로 상수 (IA = 1, EA = 2, LA = 3, R = 4, SD = 0)를 곱한 전체의 합을 조사된 개체 수로 나누었다.

$$\text{생식소지수} = \frac{(\text{IA 개체} \times 1) + (\text{EA 개체} \times 2) + (\text{LA 개체} \times 3) + (\text{R 개체} \times 4) + (\text{SD 개수} \times 0)}{\text{조사된 전체 개체수}}$$

생식소의 발달은 조직학적 방법으로 관찰하였으며, 조직학적 관찰을 위해서 생식소를 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 나선형 꼬리돌기의 배측부에서 간조직을 싸고 있는 생식소를 위맹관부와 꼬리돌기 끝과의 중간부위에서 절취하여, 10% 중성 formalin에 고정한 후, 상법인 파라핀절편법에 의해 4~6 μm 의 연속절편을 만들어, Mayer's hematoxylin과 0.5% eosin으로 비교 염색하여 검경였다. 산란기간 중 체급별 성숙개체의 비율을 구하여 조사하였으며, 50% 성숙체장은 logistic 식에 의하여 구하였고, 성숙연령은 이 체장을 연령으로 환산하였다. 군 성숙도는 2002년 4~8월까지 채집된 개체들을 각고 0.5 cm 단위로 구분하여 조직표본에서 생식소의 활성이 관찰되는 개체수를 전체 개체수에 대한 백분율 (%)로 나타냈다.

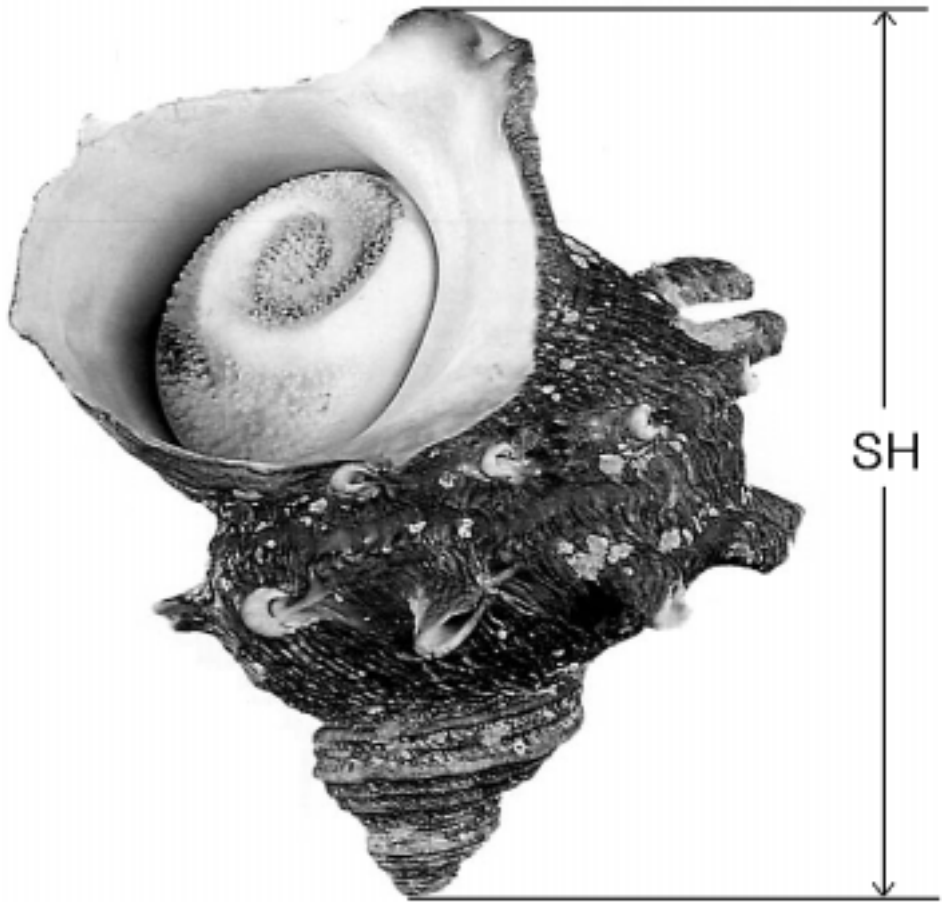


Fig. 1. Shell height (SH) of turban shell, *B. cornutus*..

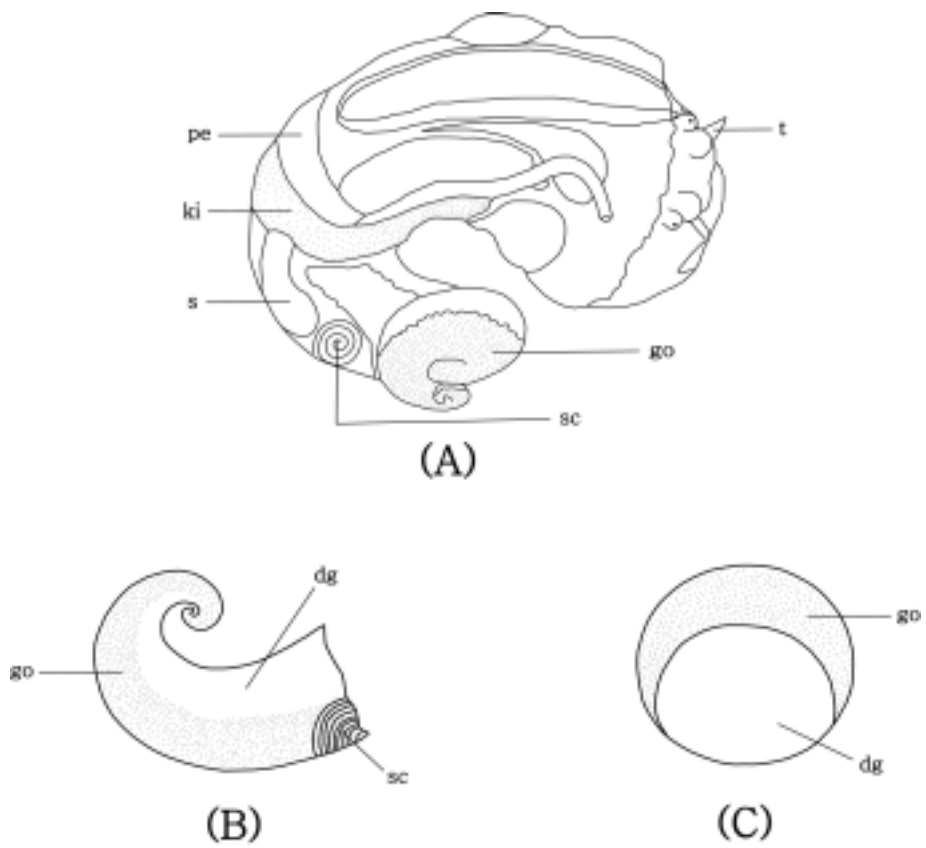


Fig. 2. Anatomy of *B. cornutus*. (A), conical appendage and the part cut for fixing (B), Cross section of conical appendage (C) pe: pericardium, ki: kidney, s: stomach, go: gonad, sc: stomachal caecum, dg: digestive gland.

3. 연령과 성장

본 연구는 뚜렷한 연령형질이 없어 시간이 다른 대량의 생물학적 측정자료인 각고의 빈도분포에서 mode를 추적하는 연급군 분리방법 (Petersen, 1894)을 통한 소라의 연령과 성장 등을 추정하기 위하여 치패에서 성패까지 다양한 크기의 시료 채집이 가능한 어장을 선정 조사하였다.

선정된 한수리 어장은 제주도 서북쪽에 위치 (Fig. 3)하여, 실험실 인근에 위치할 뿐만 아니라 어획관리 및 시료채집이 용이하고, 해녀들 스스로 어장의 자율관리가 잘 이루어지고 있는 곳이다. 특히, 간조시 노출되는 중조간대의 치패에 대한 어장관리가 비교적 잘 이루어지고 있는 어장으로 1994년 1~12월 사이 매월 연구자가 직접 채집하였다. 매월 소라 채취는 간조시 노출되는 중조간대와 조하대의 수심 약 20 m 까지로 구분하여 무작위로 조사하였다. 또한, 중조간대의 치패 채취는 주로 간조시 호미와 갈고리를 이용하였고, 조하대에 대하여는 연구자가 직접 scuba diving으로 채취하였다.

소라 치패의 초기 성장과정을 분석하기 위하여 남해수산연구소 북제주수산종묘시험장에서 1993년 6월에 인공종묘 생산된 치패의 각고를 1993년 7월에서 1994년 5월까지 월 1회씩 조사하였고, 자연어장의 치패발생에 대하여는 2002년 7월 우뭇가사리 채취 시기에 맞추어 2002년 7월에 추가 보강 조사를 실시하였다.

채집된 표본은 조사어장 인근에 위치한 한수리 어촌계에서 각고 (shell height)는 버니어캘리퍼로 0.1 cm까지 측정하였고, 중량 (body weight)은 전자저울로 0.1g 까지 측정한 후 재 위치에 살포 하였다.

연급군 분리는 Bhattacharya (1967)의 방법에 의한 군 (group)을 분리하기 위해 Pauly and Caddy (1985)의 ELEFAN program을 사용하여 분리하였으며, 월별로 분리된 각 군에 대해 표본크기, 평균각고 및 표준편차의 추정 값을 구하였고, 각 군 (group)을 정규분포화하였다.

성장 모델식은 일반적으로 수산자원의 성장에 적합한 것으로 알려진 von Bertalanffy (1938) 성장식에 적용할 성장 매개변수의 추정은 각고와 연간 성장량과의 관계 (Gulland and Holt, 1959)를 이용하여 성장계수 (K)와 극한각고 (L_{∞}) 등을 계산한 후, 초기연령시 (t_0)를 추정하였다.

4. 자원생태학적 특성치 추정

년도별 어획물의 각고조성

각고조성은 1992년부터 2000년까지 9개년간 소라 포획금지 기간인 6~9월을 제외하고, 해너에 의해 어획된 것을 어촌계의 협조를 받아 현장에서 총 37,277개체에 대하여 조사하였다. 조사어장은 제주도 연안해역을 크게 동·서·남·북 4개 권역으로 구분하여 매월 권역별 2개 어장씩 총 8개 어장을 무작위로 조사하였다.

체급-체장상관표

1992~2000년 측정된 소라의 체급별 각고조성을 정규분포함수에 적용시켜 체장 (각고) 체급별 기대도수를 환산하여 어획량을 체급별 어획미수로 환산하는 상관표를 사용하였다. 각고범위는 평균각고 $\pm 3\sigma$, 각고간격은 0.5 cm, 기대도수는 천분율 (%)로 표시하였다.

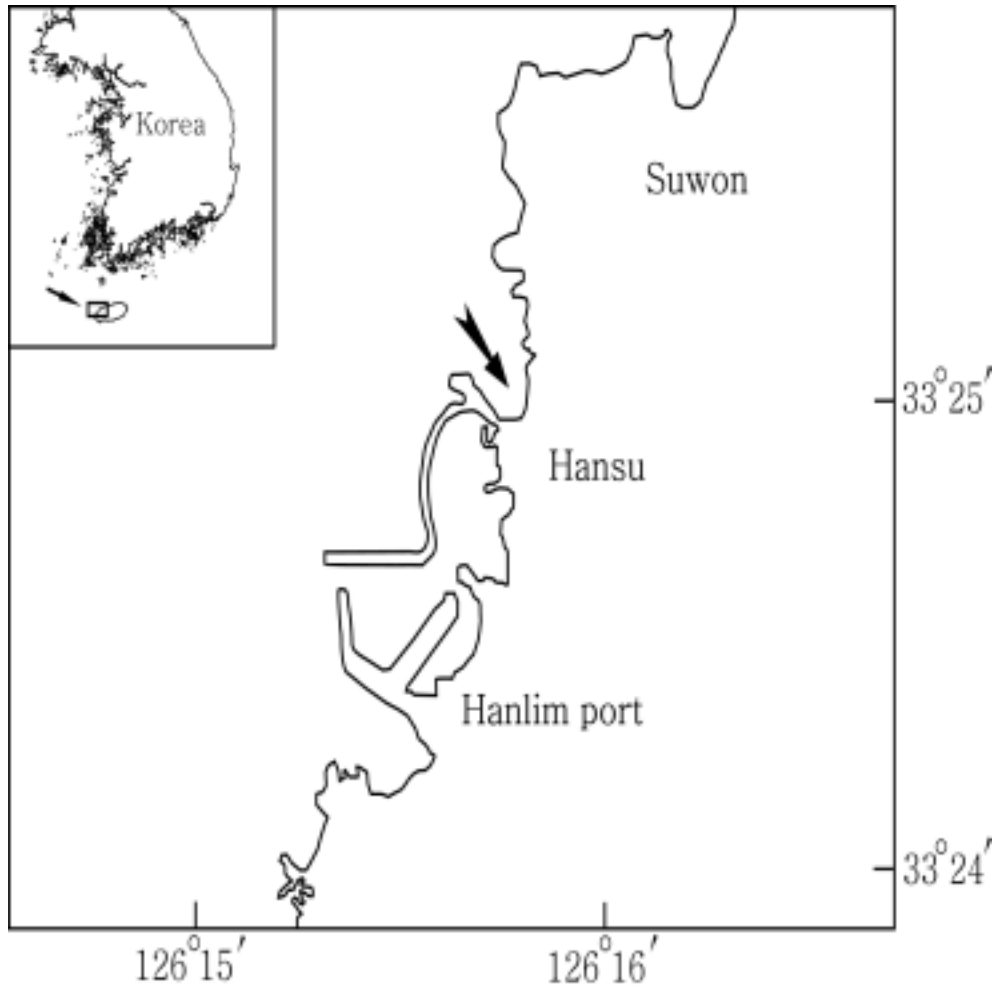


Fig. 3. Map of Jeju Island showing the sampling locations.

어획물의 각고조성

소라의 각고별 어획량을 어획개체수로 환한 후, 체급-각고 key에 의하여 어획물의 각고조성을 구하였다. 어획중량은 각고별 평균각고와 체장-체중 관계식을 이용하여 개체수로 환산하였다.

어획물의 연령조성

소라의 연령별 평균체중과 표준편차를 이용하여 정규분포 함수식에 적용시켜 각 연령별 평균각고 $\pm 3\sigma$, 각고계급 0.5 cm 간격의 기대도수를 구하여 연령-각고상관표 (age-length key)를 작성하였다. 이 연령-각고 상관표에 의해 각고별 어획개체수를 조합시켜 연령조성을 구한 후, 전체어획물의 연령조성을 구하였다 (Fig. 4).

생잔율의 추정

생잔율 추정은 소라어획물의 최근 3개년 (1998~2000년)의 평균 (combined mean) 연령조성 자료를 사용하여 어획물곡선법으로 추정하였다. 연령조성의 모-드를 나타내는 개체군의 연령 $i=0$ 에 대한 어획개체수를 R 이라 하였다. 여기서 R 값을 갖는 연령층을 생잔율 추정을 위한 최초 가입 연급군이라 하고, 이때의 연령을 완전 가입연령이라 하며, 이 이상의 연령들에 대한 자료로부터 생잔율 (S)을 추정하게 되었다. 전환연령 $i=0$ 에서 i 년 후의 자원개체수를 P_i 라 하면, $P_i = RS^i$ (R : 가입량)이고, 양변에 대수를 취하면, $\ln P_i = \ln R + (\ln S)i$ 가 되어, $Y = a + bX$ ($a = \ln R$, $b = \ln S$) 형태의 직선식이 된다. 따라서 추정된 생잔율 $S = e^b$ 이 된다.

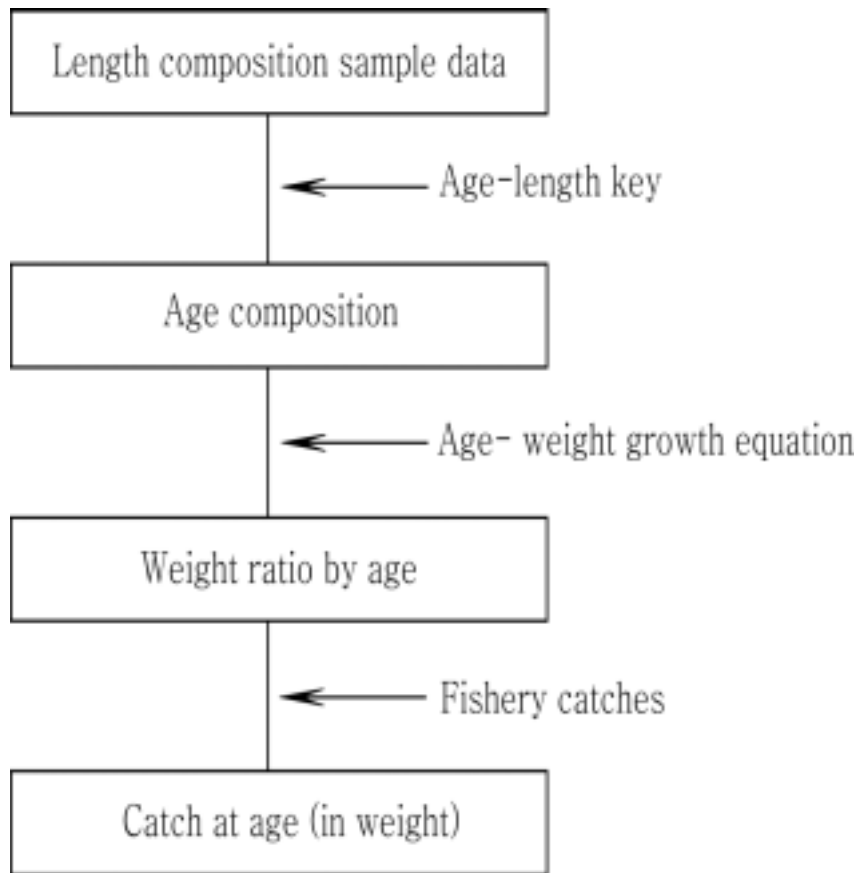


Fig. 4. Systematic procedure to derive production estimated of annual catch by age.

순간자연사망계수 및 순간어획사망계수의 추정

자연사망은 어획대상 크기로 성장한 개체들이 어장에 가입한 후, 어획을 제외한 다른 요인들에 기인된 사망을 자연사망으로 간주하고 이입과 이출은 고려하지 않았다.

이 연구에서 순간자연사망계수 (M)는 Rikhter and Efanov (1976) 방법과 Roff (1984)의 방법을 채택하여 추정하였으며, 이 두 방법의 평균값으로 사용하였고, 각 모델은 다음과 같다.

$$\text{Rikhter and Efanov (1976) 방법 : } M = \frac{1.521}{T^{0.720}} - 0.155$$

여기서, T 는 생체량이 최대가 되는 임계크기의 연령으로서, 최대연령 8세를 이용하였다.

$$\text{Roff (1984) 방법: } \log M = \log 3 + \log L_{\infty} + \log K$$

$$+ \log\left(1 - \frac{L_T}{L_{\infty}}\right) - \log L_T$$

여기서, L_T 는 전개체가 성숙하는 각고이고, 그 값은 암컷의 조직조사를 통하여 확인된 전 개체가 모두 성숙하는 크기인 각고 4.6 cm로 하였다. 순간어획사망계수 (F)는 순간전사망계수 (Z)에서 순간자연사망계수 (M)를 제외시킨 값이다.

마지막 어획사망계수는 앞에서 어획물곡선법으로 추정된 하나의 F 값을 1차적으로 마지막해의 모든 연령 및 모든 연도의 마지막 연령에 대하여 사용하였다. 이때 마지막 어획사망계수의 경우, 모두 동일한 값을 사용하였으므로 2차로 추정된 연도별 연령별 어획사망계수 (F)를 사용하여 실제로 자원구조를 반영하는 자원량과 어획사망계수를 구하기 위하여 다음과 같은 반복계산에 의해 보정하였다. 첫째, 어획사망계수는 연령별 선택비가 다를 것 ($F(a) = s(a)F$) 으로 가정하여 마지막 해의 모든 연령과 모든 연도의 마지막 연령을 제외한 연령별 평균 F 로부터 연령별 선택비 ($s(a)$)를 구해서 마지막 해의 F

값을 각 연령별로 보정하였다. 둘째, 어획사망계수는 연도별로 어획사망계수가 다를 것 ($F(t) = ft(t)$)으로 가정하여 마지막해의 모든 연령과 모든 연도의 마지막 연령을 제외한 연도별 평균 F 로부터 구한 연도별 어획강도비 ($f(t)$)를 구해서 전체연도의 마지막 F 값을 보정하였다. 이와 같이 보정된 값들을 다시 입력자료로 사용하여 모델식에 의하여 연도별 자원량과 어획사망계수를 추정하였다.

어장가입연령 및 어획개시연령의 추정

어장가입연령 (t_r)은 우뚝가사리 등에 부착된 상태로 최초 어장에서 발견되는 시기의 각고를 연령으로 환산하여 사용하였고, 어획개시연령 (t_c)은 어류자원의 경우는 망목시험을 통하여 추정하는 것이 효율적인 것으로 알려져 있으나, 패류는 이 방법의 적용이 불가능하므로 해녀의 어획물 각고조성에서 나타나는 최초 어획계급 중앙 값을 연령으로 환산하여 사용하였다.

5. 자원평가 및 관리

자원량의 추정

연도별 자원량 산정에 이용된 Pope (1972) 모델은 연급별 어획량자료를 이용하여 개체수로 표현된 자원량과 어획사망계수를 추정하는 대표적인 방법으로 모델은 다음과 같다. 먼저, 최고령 연급군에 대해서 어획이 완료되지 않은 경우, 즉, 최고령어 그룹이 하나의 연급군으로만 이루어졌을 때의 자원개체수는

$$N_{ij} = N_{i+1j+1} \exp(M) + C_{ij} \exp\left(\frac{M}{2}\right)$$

여기서, N_{ij} 는 i 년 j 연령어의 어획개체수. $N_{i+1, j+1}$ 는 $i+1$ 년, $j+1$ 연령어의 자원개체수, C_{ij} 는 i 년 j 연령어의 어획량, M 은 순간자연사망계수이다.

또, 최고령어 그룹이 여러 연령군으로 구성되어 있는 경우 즉, 어획이 최고령어 그룹에 대해 완료되었을 때의 자원개체수를 나타내는 식은 아래와 같다.

$$N_{ij} = \frac{C_{ij}(F_{ij} + M)}{F_{ij}}$$

순간어획사망계수는 $N_{ij} = -\ln\left(\frac{N_{i+1, j+1}}{N_{ij}}\right) - M$ 을 이용하여 추정하였다.

최대지속적어획량 (MSY)과 어획노력량의 추정

최대지속적생산량과 MSY일 때의 어획노력량 (f_{msy})을 추정하기 위하여 Schaefer (1957) 모델을 이용하였으며, 모델식은 아래와 같다.

Schaefer (1957) 모델

$$Y^* = U_{\infty}f - \left[U_{\infty} \frac{q}{r} \right] f^2$$

여기서, Y^* : 연간 평형생산량, U_{∞} : 최대 단위노력당어획량, q : 어획능율계수, r : 자원의 내적 증가율, f : 어획노력량이다.

위 식을 f 에 대하여 미분하면,

$$\frac{dY^*}{df} = U_{\infty} - 2 \left[U_{\infty} \frac{q}{f} \right] f$$

여기서, $\frac{dY^*}{df} = 0$ 일 때 $f = \left(\frac{r}{2q}\right)$, $Y^* = U_{\infty} \left(\frac{r}{4q}\right)$ 이 된다. 즉, Y^* 는 최대지속적생산량 (MSY)일 때의 노력량 (f_{MSY})을 나타낸다.

적정어획사망계수 및 적정어획연령의 추정

1) Beverton and Holt (1957) 모델에 의한 추정

소라 자원의 적정어획사망계수 및 적정어획연령을 구하기 위하여 아래의 Beverton and Holt (1957)의 가입당생산량 모델을 사용하였다 .

$$\frac{Y}{R} = F \exp[-M(t_c - t_r)] W_\infty \sum_{n=0}^3 \frac{U_n \exp[-nK(t_c - t_0)]}{F + M + nK} \cdot (1 - \exp[-(F + M + nK)(t_m - t_c)])$$

여기서, $U_0 = 1$, $U_1 = -3$, $U_2 = 3$, $U_3 = -1$ 이며, W_∞ , K , t_0 는 von Bertalanffy 성장식의 계수들이고, M 은 순간자연사망계수, t_r 은 어장가입연령, t_c 는 어구가입연령 혹은 어획개시연령이고, t_m 은 최고연령이다.

어획개시연령과 순간어획사망계수 사이의 상호변화에 따른 가입당 생산량의 변동을 검토하기 위하여 등어획생산량 곡선을 그렸으며, 이미 추정된 현재의 어획개시 연령과 순간어획사망 계수를 이 곡선에 적용하여 적정 생물학적 관리기준을 모색하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 어업현황

1.1. 연도별 소라 어획량 및 혼획

1970~2000년까지 약 30년간 제주도산 소라의 연간 총어획량을 연대별로 구분해보면, 1970년대에는 나잠과 잠수기어업 등 2개어업에 의해 연간 약 1,600~2,700톤이 어획되었으나, 그중 나잠어업으로는 연간 약 830~2,200톤이 어획되었다.

1980년대에 소라 어획량은 계속 증가하여 1982~1985년 4년 동안 연간 약 3,000톤 이상 어획량을 보였으며, 특히 1983년 약 3,600 톤으로 최고 어획량을 보였다. 그러나, 3년 후인 1986년에는 1985년 어획량의 절반수준에도 못미치는 1,400톤으로 급격히 감소하였고, 1987년에는 1,000톤 이하로 감소하였다. 이후 계속 감소하여 1989년에는 약 480톤 수준까지 감소하였다.

1990년대의 연간어획량은 1992년까지 1,000톤 정도였으나, 1991년 제주도의 자율적 TAC 제도 등의 자원관리 효과 등으로 1993년의 연간어획량은 약 1,400톤 수준까지 회복되었다. 또한, 1994년 부터는 연간 약 2,000~2,700톤까지 어획량이 증가하여 '70년대 말 수준 어획량으로 회복되었고, 최근인 1998~2000년 3년간 어획량은 약 2,100~2,300톤 수준을 유지한다 (Fig. 5).

마을어장에서 해녀조업 시 소라와 혼획된 주요 유용생물은 전복, 오분자기 등의 패류 및 문어, 해삼, 성게 등이었다 (Table 1). 소라를 제외한 기타 종의 1992~2000년의 연도별 어획량은 전복의 경우 1992년 약 190톤 정도가 어획되었으나, 1998년 이후 20톤 이하로 급격히 감소되었으며, 오분자기도 1992~1997년 까지는 약 160~200톤 정도가 어획되었으나, 1998~2000년에는 100톤 이하로 감소하였다. 문어는 다소 불규칙한 어획량 변동을 보이지만 전반적으

로 평년수준을 유지하고 있으며, 해삼은 연간 약 30~150톤 정도가 어획되었으나, 1996년과 1998년 그리고 2000년의 어획량은 통계과락이 어려웠다. 성게(난소)는 1995년 약 1,200톤까지 생산되었으나, 1998~2000년의 어획량은 약 100~280톤으로 감소하는 경향을 보였다.

1.2. 단위노력당 어획량 변동

나잠어업에 의한 소라의 단위노력당어획량 (CPUE)은 1970년대 초반 약 35~90 kg 수준이었으나, 1975년 약 150 kg으로 증가하고, 1970년대 말에는 약 220~260 kg까지 증가하였다.

1980년에 들어서도 CPUE는 전반적으로 계속적인 증가추세를 보이고, 특히 1982~1985년에는 약 420~480 kg까지 크게 증가하였지만, 1985년에는 약 370 kg까지 감소되었고, 1989년 약 70 kg까지 급격히 감소하였다. 그러나, 1991년부터 약 130 kg으로 다시 증가하기 시작하여 1994~1995년에는 약 400~470 kg까지 증가를 보인 후, 1996~2000년에는 약 340~400 kg 수준을 유지하고 있다.

한편, 등록해녀수는 1970~1973년까지는 약 13,000~14,000명 수준이었으나, 1974년부터 약 8,000명 수준으로 감소하고, 다소의 증가를 보이다가 1986년에는 7,000명 수준으로 재 감소한 후, 계속 감소하여 1995년 이후에는 약 5,700명 수준을 유지하고 있다 (Fig. 6).

2002년 1월 현재 어장크기별 등록해녀의 연령별 구성은 소형규모인 한수어장은 총 81명이 등록되어 있었고, 연령분포는 39~89세로 평균연령은 61.4세였다. 최대 연령층은 60대로 전체 등록해녀수의 약 40%를 차지하였다. 중형규모인 법환어장의 경우는 총 122명의 등록해녀 중 최소 39세, 최대 81세로 나타났으며, 평균연령은 63.4세, 최대연령층은 60대로 약 38%를 차지하였다.

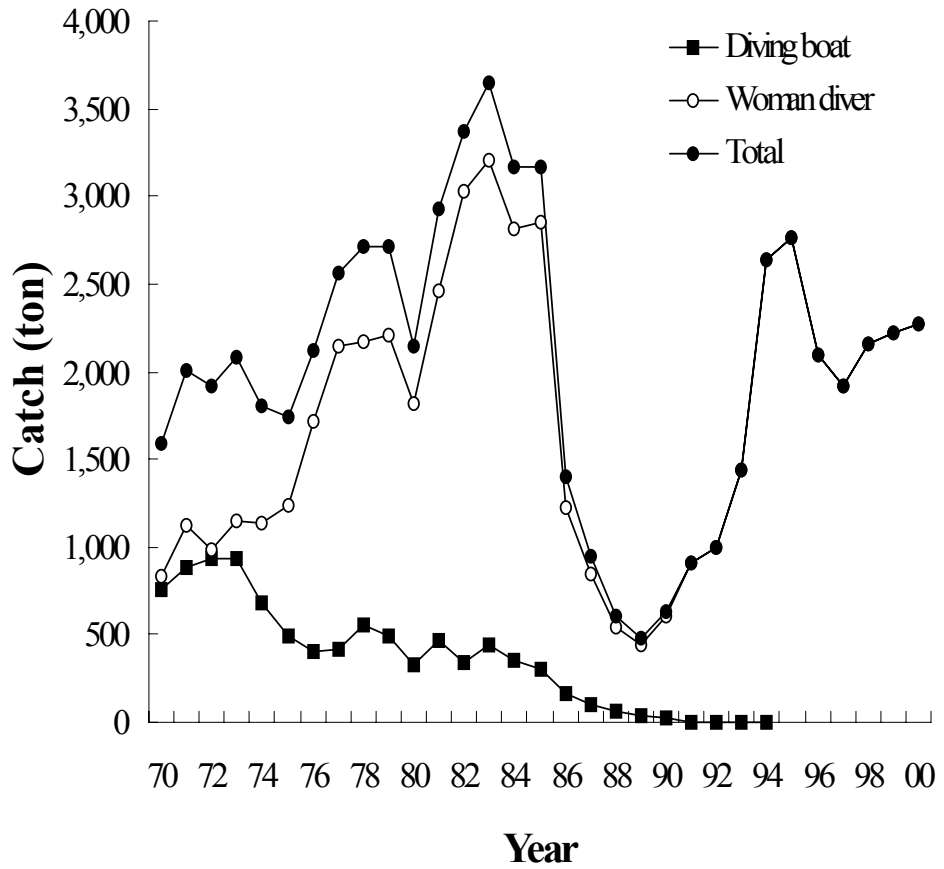


Fig. 5. Annual changes in catches of *B. cornutus* in Jeju coastal waters from 1970 to 2000.

Table 1. Total catch of major species by woman diver and diving boat in the coastal waters from Jeju

Species	Year								
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
topshell	999	1,443	2,643	2,768	2,331	1,912	2,612	2,218	2,269
abalone	186	62	57	44	39	53	18	3	11
ear shell	176	182	200	159	158	203	86	43	35
common octopus	152	138	212	253	189	387	255	148	195
sea cucumbers	88	147	90	96	-	82	-	31	-
sea urchin	509	1,345	804	1,161	825	1,066	282	114	103
Total	2,110	3,317	4,006	4,481	3,542	3,703	3,253	2,557	2,613

대형규모인 온평어장은 총 277명의 등록해녀 중 최소, 최대연령은 각각 29세, 86세로 평균연령은 64.3세였으며, 최대연령층은 60대로 약 33%를 차지하였다.

이상 3개 어장에서 조사된 총 480명의 등록해녀의 연령별 구성은, 20대 약 1%, 30대 약 15%, 40대 약 21%, 50대 약 35%, 60대 약 23%이었고, 70대의 경우도 약 5%에 달하였다 (Table 2).

1.3. 어획량의 월변화

나잠어업에 의한 최근 5개년 (1996~2000년) 동안 소라의 월별 소라 어획비율은 금어기 (7~9월) 직후인 10~12월 동안 약 16~21%로 1월에서 6월까지 월별 어획비율에 비하여 높은 편이었으며, 이들 3개월간의 어획량은 연간 어획량의 약 56%였다. 그러나, 1~6월까지 월별 어획비율은 약 2~12%로 3월을 제외하고 대부분 10% 미만이었다 (Table 3).

1.4. 지역별 어획량

1992년에서 2000년간 제주도내 6개 지구별 수협별 소라 어획량은 제주도 북부해역인 제주시수협의 경우 1992~1994년까지 약 220~410톤이 어획되었으나, 1994~1995년에는 약 1,000톤 정도의 높은 어획량을 보였고, 1998~2000년 동안에는 약 600~720톤 정도로 감소되었다.

제주도 남부해역인 서귀포수협의 경우 1996년 약 1,100톤을 정점으로 계속 감소되어 2,000년 현재 약 330톤 정도가 어획되었으며, 제주도 서남부 해역인 모슬포해역은 1997년 이후 약 260~350톤 어획되었고, 제주도 동부해역인 성산포 수협의 경우 연간 100~360톤 정도가 어획되었다 (Fig. 7).

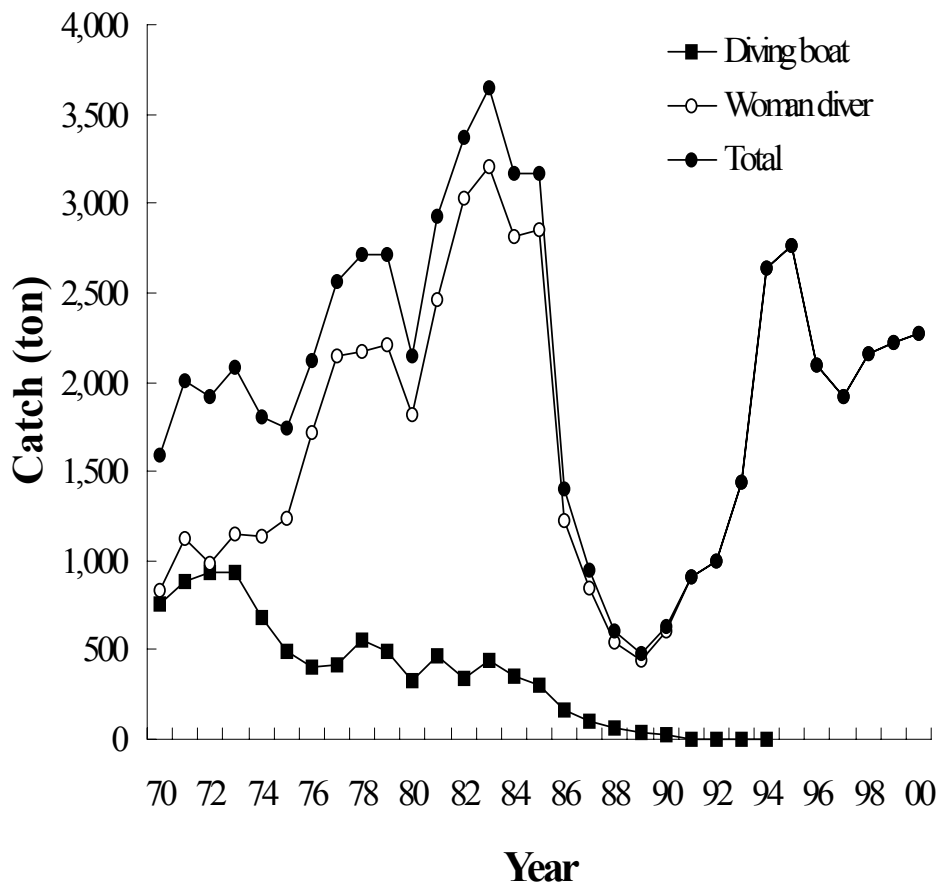


Fig. 6. Annual changes in number of woman diver and CPUE in the coastal waters from Jeju.

Table 2. Age distribution of woman diver by major fishery

Age levels	Fishery						Total	
	Han-su		Beob-hwan		On-pyung		Number	%
	Number	%	Number	%	Number	%		
10 ages	-	-	-	-	-	-	-	-
20 ages	-	-	-	-	1	0.4	1	0.2
30 ages	1	1.2	1	0.8	3	1.1	5	1.0
40 ages	14	17.3	13	10.7	43	15.5	70	14.6
50 ages	20	24.7	46	25.4	49	17.7	100	20.8
60 ages	32	39.5	27	37.7	91	32.9	169	35.2
70 ages	10	12.3	3	22.1	73	26.4	110	22.9
80 ages	4	4.9	1	2.5	17	6.1	24	5.0
90 ages	-	-	1	0.8	-	-	-	0.2
Total	81	100	122	100	277	100	480	100
Min.	39		38		29		29	
Max.	89		91		86		91	
Mean	61.4		63.4		64.3		63.6	

Table 3. Monthly catch (ton) and catch rate of *B. cornutus* by the woman diver in the coastal waters from Jeju

Month	Year					Mean catch for 1996~2000	%
	1996	1997	1998	1999	2000		
Jan.	54	29	176	76	185	104	4.7
Feb.	214	35	216	245	200	182	8.2
Mar.	-	279	275	251	267	268	12.0
Apr.	181	203	-	279	247	182	8.2
May	172	164	-	246	191	155	7.0
Jun.	39	105	-	43	48	47	2.1
Jul.	-	7	10	-	3	4	0.1
Aug.	-	-	2	-	-	-	-
Sep.	-	-	-	-	-	-	-
Oct.	497	392	442	465	438	447	20.0
Nov.	361	337	360	330	359	349	15.7
Dec.	578	361	672	283	331	445	20.0
Total	2,096	1,912	2,153	2,218	2,269	2,230	100

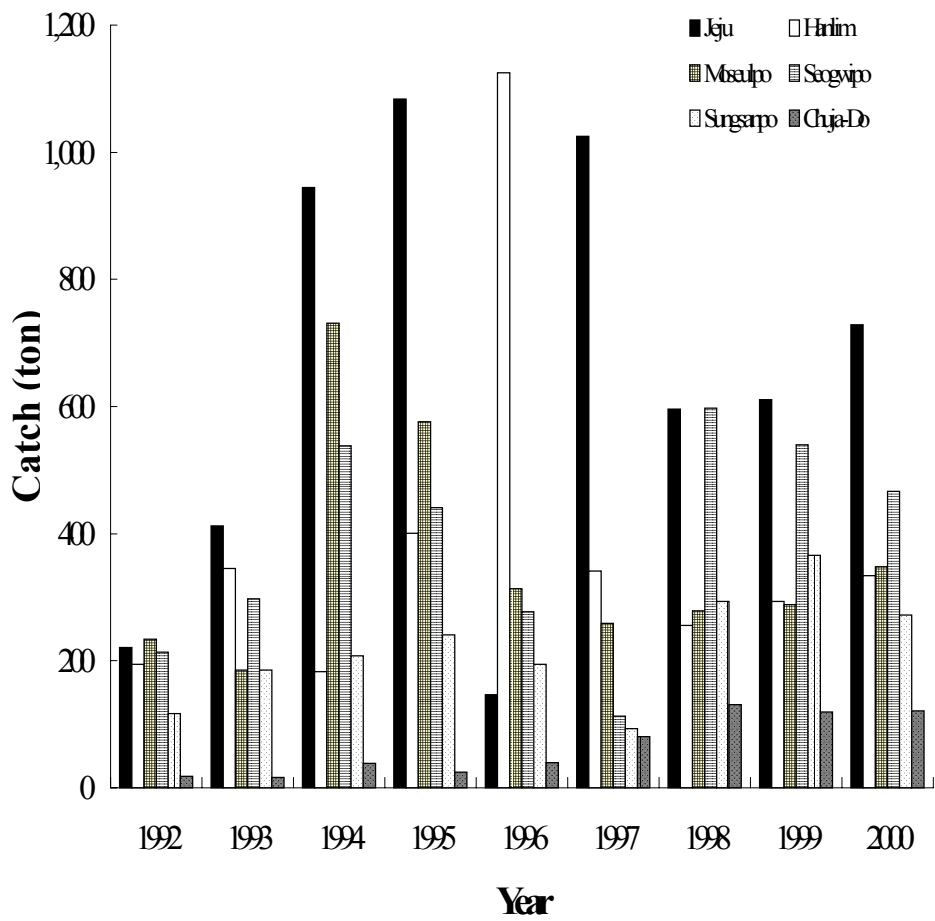


Fig. 7. Regional annual catches of *B. cornutus*.

2. 성숙과 산란

2.1. 생식소 구조와 발달단계

소라의 생식소는 폐각내 나선상 육질부 하방에 위치하는 위맹관부로 부터 꼬리돌기까지 배측 대만부의 외측을 약 2/3 정도 싸고 발달된다. 생식소의 크기와 색채는 생식소의 발달에 따라 다르며, 각고 3 cm 이하 개체는 황갈색의 위축된 생식소로 인하여 육안적으로 암, 수 구별이 불가능하나, 성숙한 개체에서는 쉽게 자웅을 구별할 수 있다.

성숙한 생식소는 배측 대만부에 분포되어 있던 생식소가 복측 소만부측으로 확장되어 나선상의 육질부 돌기의 극히 일부분을 제외하고 대부분을 차지하게 된다. 이 때 암컷의 생식소는 황갈색을 띄고, 완숙기에는 암청색 또는 녹색이며, 수컷의 경우, 성숙기에는 황백색을 띄며, 완숙기에는 유백이다.

생식소가 발달하면서 소엽들은 신장발달하여 외측의 소화선을 둘러 싸는 근섬유막과 연결되어 난소 및 정소는 여러개의 방형구조로 구분되며, 이들 방내에 또 다른 여러개의 소엽들이 신장된다.

생식소가 방난, 방정을 마치면 이들 소엽들은 퇴화되어 대부분 소실되며, 외측 근섬유막과 소화선을 싸는 근섬유막은 생식소의 위축과 함께 점차 다시 회복되어 두꺼운 층을 이룬다. 내측 소화선도 생식소의 발달과 퇴화에 따라 위축되었다가 다시 회복된다.

난소의 조직학적 발달단계는 비성장기 (inactive stage), 초기성장기 (early active stage), 후기성장기 (late active stage), 완숙기 (ripe stage), 방출 및 퇴화기 (spent and degenerative stage)로 구분할 수 있다. 4월에 주로 관찰되는 초기성장기에 암컷의 경우에는 난자형성소엽을 따라 난원세포들과 초기난모세포들이 배열하였는데, 이 시기에 주로 관찰되는 난모세포들은 뚜렷한 인을 가진 핵이 차지하는 비율이 높았다 (Fig. 8, A). 후기성장기에 난모세포들

은 난병으로 난소소엽에 연결되어 곤봉상으로 나타났으며, 난세포질에서는 eosin에 잘 염색된 호산성의 과립들이 축적되는 양상을 보였다 (Fig. 8, B). 완숙기의 난소소엽 사이의 내강은 난병에서 분리된 원형의 완숙 난모세포로 가득 차 있었는데, 이들 완숙 난모세포들은 직경 100 μm 내외로 호산성의 난황과립으로 채워져 있었고 핵은 한 쪽으로 치우친 상태였다 (Fig. 8, C). 방출 및 퇴화기의 난소에는 완숙난모세포의 방출로 소낭 내강은 비워졌으나, 일부 성장기의 난모세포들과 잔존 난모세포들의 퇴화 흡수과정이 나타났다 (Fig. 8, D).

정소 발달단계는 조직학적인 방법으로 관찰한 결과 성장기 (growing stage), 성숙기 (maturation stage), 완숙기 (ripe stage), 방출 및 퇴화기 (spent and degenerative stage)로 구분할 수 있었다. 채집이 시작된 4월에 주로 나타나는 성장기의 정소에서는 일부 정원세포들과 정세포들을 제외하고는 대부분 정모세포들의 발달상을 관찰할 수 있었다 (Fig. 9, A). 성숙기 정소의 경우에 정소엽에서는 주로 정모세포들이 관찰되었으며, 내강쪽은 대부분 정세포들이 차지하였다 (Fig. 9, B). 완숙기의 정소에서는 정자형성소낭벽 근처에서 일부 정모세포와 정세포를 관찰할 수 있었으나, 소낭 내강의 대부분은 hematoxylin에 진하게 염색되는 정자들로 가득 채워져 있었다 (Fig. 9, C). 방출 및 퇴화기의 정소에서는 방정 후, 미 방출 된 일부 잔존정자를 제외하고는 내강이 빈 공간을 이루었다 (Fig. 9, D).

2.2. 생식소 발달단계의 월 변화

4월부터 8월 사이에 소라 생식소의 발달단계를 월별로 보면 (Fig. 10), 암컷의 경우, 4월에는 초기성장기 (early active stage) 47.1%, 후기성장기 (late active stage) 17.6%, 그리고 완숙기 (ripe stage)의 조직상을 보이는 개체가 35.3%를 차지하였다. 5월에는 초기성장기 (early active stage) 25.0%, 후기성

장기 (late active stage) 50.0%, 완숙기 (ripe stage) 20.0% 그리고 방란 후 및 쇠퇴기 (spent & degeneration)의 조직상을 보이는 개체는 5.0%였다. 6월에는 초기성장기 (early active stage) 26.3%, 후기성장기 (late active stage) 5.3%, 그리고 완숙기 (ripe stage)의 조직상을 보이는 개체가 68.4%였으며, 7월에는 초기성장기 (early active stage) 13.0%, 후기성장기 (late active stage) 4.3%, 완숙기 (ripe stage) 30.4% 그리고 방란 후 및 쇠퇴기 (spent & degeneration)의 조직상을 보이는 개체가 52.2%였고, 8월에는 완숙기 (ripe stage) 6.7% 그리고 방란 후 및 쇠퇴기 (spent & degeneration)의 조직상은 93.3%를 차지하였다.

수컷의 경우 4월에 성장기 (growing stage) 64.7%, 성숙기 (maturation stage) 29.4%, 그리고 완숙기 (ripe stage)의 조직상을 보이는 개체가 5.9%였으며, 5월에는 성장기 (growing stage) 44.4%, 성숙기 (maturation stage)의 조직상을 보이는 개체가 55.6%였고, 6월에는 성숙기 (maturation stage) 46.2%, 완숙기 (ripe stage)의 조직상을 보이는 개체가 53.8%를 차지하였다. 7월에는 완숙기 (ripe stage)의 개체가 가장 많아 66.7%였으며, 방란 후 및 쇠퇴기 (spent & degeneration)의 조직상을 보이는 개체가 33.3%를 차지하였다. 8월에는 완숙기 (ripe stage) 21.4%, 그리고 방란 후 및 쇠퇴기 (spent & degeneration)의 조직상을 보이는 개체가 78.6%였다 (Fig. 11).

2.3. 생식소지수의 월 변화

생식소지수 (GI)는 암컷과 수컷 모두 4월에 증가하여 6월에 최대 값을 나타낸 후 감소하기 시작하였다 (Fig. 12). 따라서 월별 생식소 발달단계와 생식소 속도지수의 변화로부터 소라의 산란기는 조사기간 중 5월부터 8월로 추정되었으며, 주 산란기는 7월로 추정되었다.

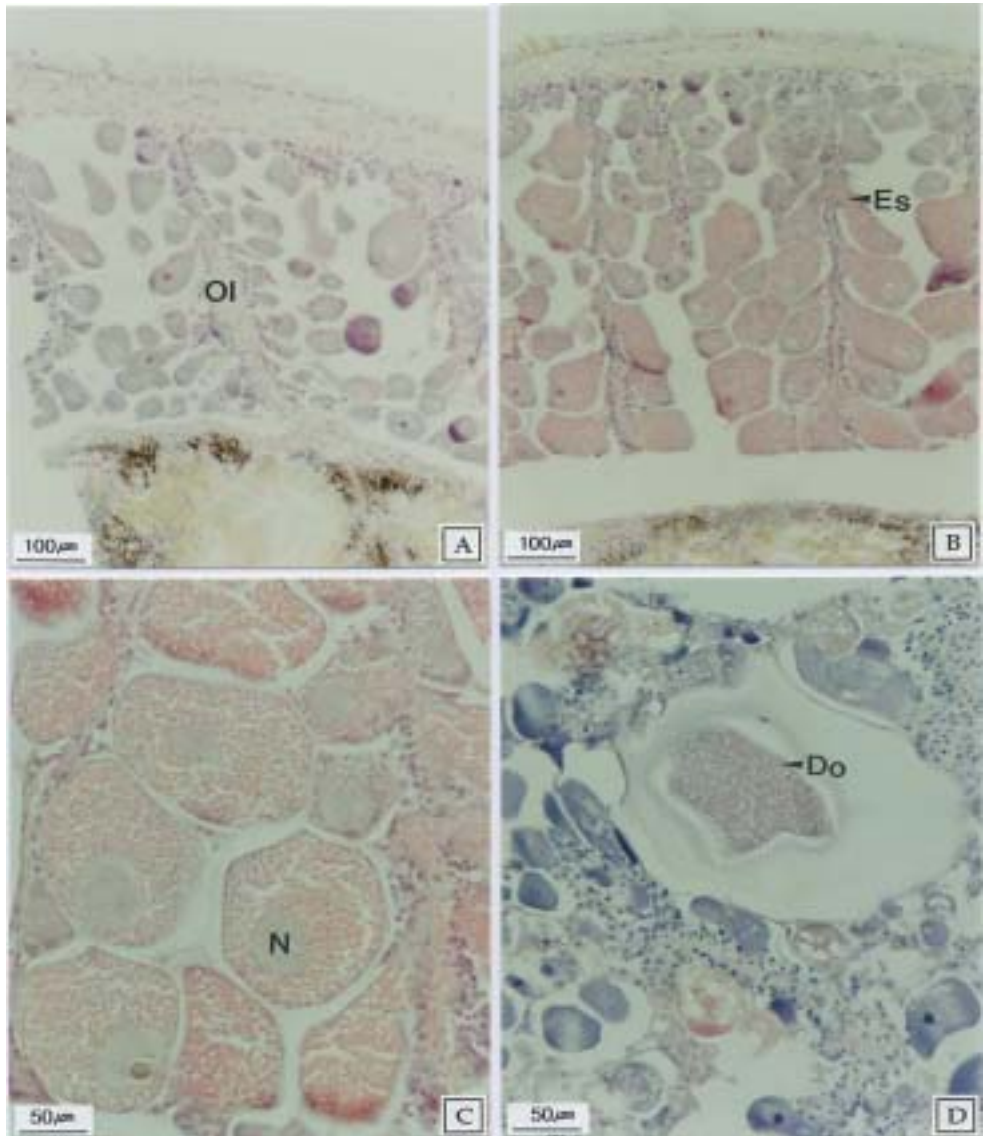


Fig. 8. Photomicrographs of the testicular development of *B. cornutus*. [A] : Early active stage. [B] : Late active stage. [C] : Ripe stage. [D] : Spent and degenerative stage. Do : degenerative oocyte, Es : egg stalk, N : nucleus, Ol : ovarian lobule.

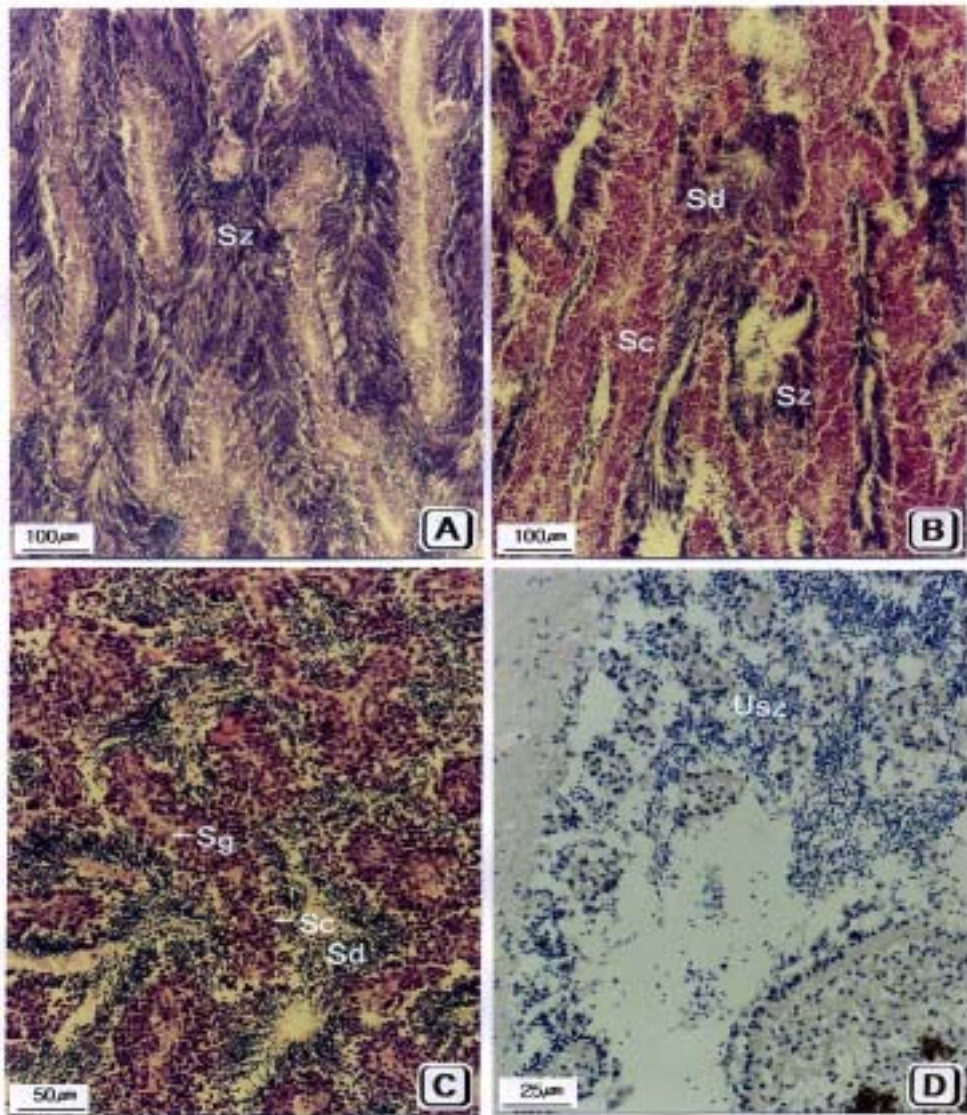


Fig. 9. Photomicrographs on the testicular development of *B. cornutus*.

[A]: Growing stage. [B]: Maturation stage. [C]: Ripe stage. [D]:
 Spent and degenerative stage. Sc: spermatocytes, Sd: spermatids,
 Sg: spermatogonia, Sz: spermatozoa, Usz: undischarged spermatozoa.

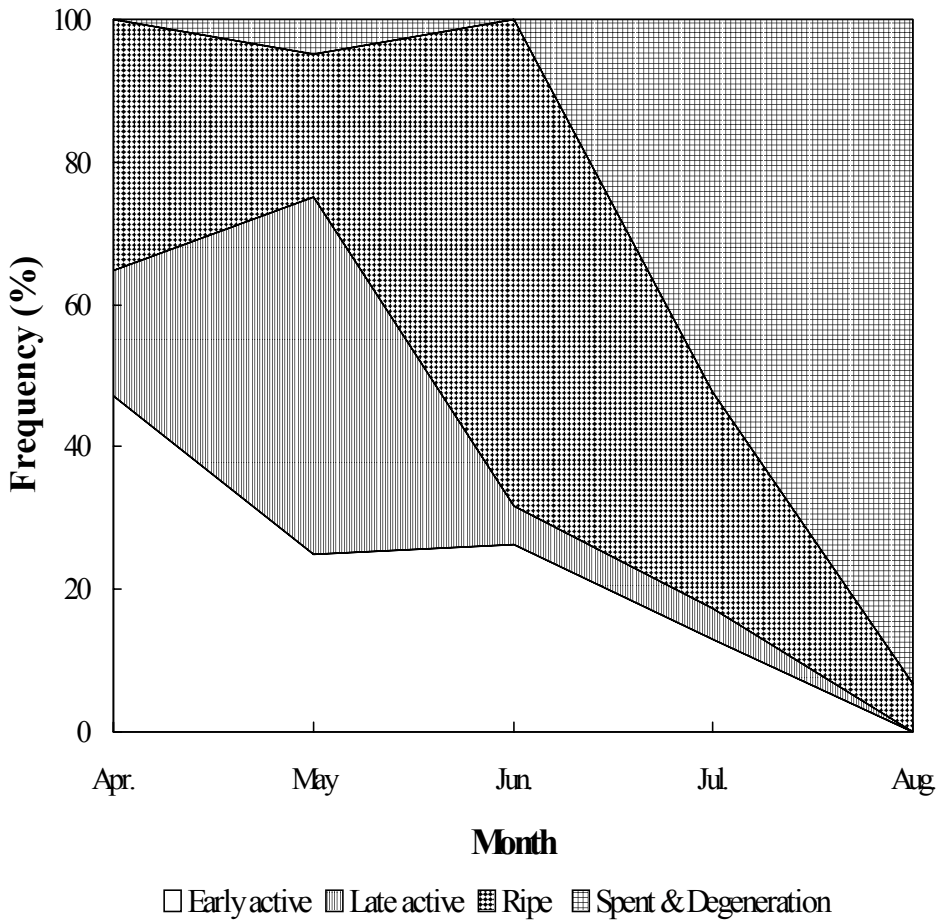


Fig. 10. Monthly change in poportion of individuals with the ovarian development stages female of *B. cornutus*.

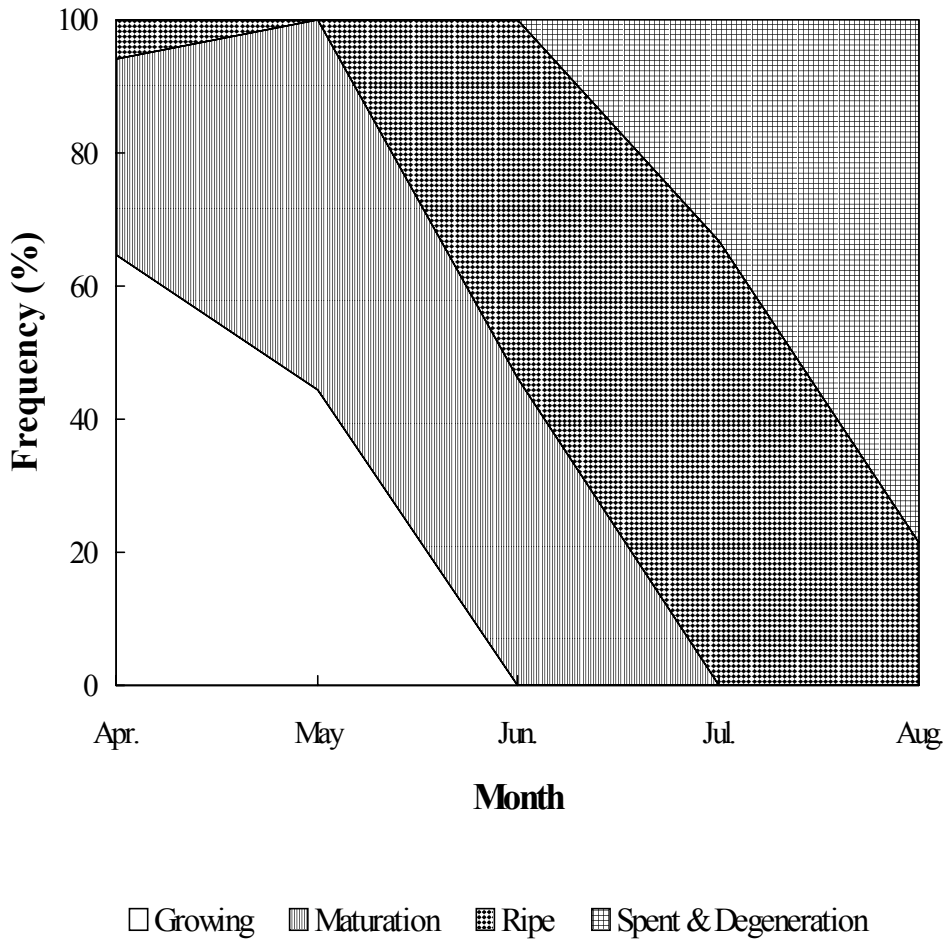


Fig. 11. Monthly change in production of individuals with the testicular development stages of male *B. cornutus*.

2.4. 균성숙도

소라의 생물학적 최소 각고를 알기 위해, 산란기로 추정되는 5월부터 8월까지의 암컷 104개체, 수컷 79개체를 대상으로 각고별 성숙개체의 비율을 구하였다 (Table. 4).

암컷은 각고 3.0 cm 이하에서는 20%, 3.1~4.5 cm에서 50~75%, 4.6 cm 이상에서는 100% 성숙하였다. 수컷은 각고 3.0 cm 이하에서 0%, 3.1~3.5 cm에서 25%, 3.6~4.5 cm 에서는 75~100%, 4.6 cm 이상에서는 100% 성숙하였다. 따라서, 암컷은 각고 3.1 cm, 수컷은 각고 3.6 cm 이상의 개체들에서 50% 이상이 생식에 참여할 수 있는 것으로 나타났다. 암컷의 50% 성숙각고는 이들 체급별 성숙개체의 출현비율을 logistic 식에 적용하여 3.4 cm로 추정되었으며, 이때의 연령은 von Bertalanffy 성장식에 대입한 결과 1.74세로 환산되었다 (Fig. 13).

2.5. 성 비

2002년 4월부터 10월까지의 표본을 월별로 분석하였다. 조사기간 동안 조직 조사를 통하여 암·수가 구별된 총 183개체의 월별 성비분포는 Fig. 14에 나타난 바와 같이 4월을 제외하고, 5~8월에는 전반적으로 암컷 비율이 높았으나, χ^2 검정결과 유의차가 없었다 ($0.05 < P < 0.10$). 따라서 성비는 1:1이었다.

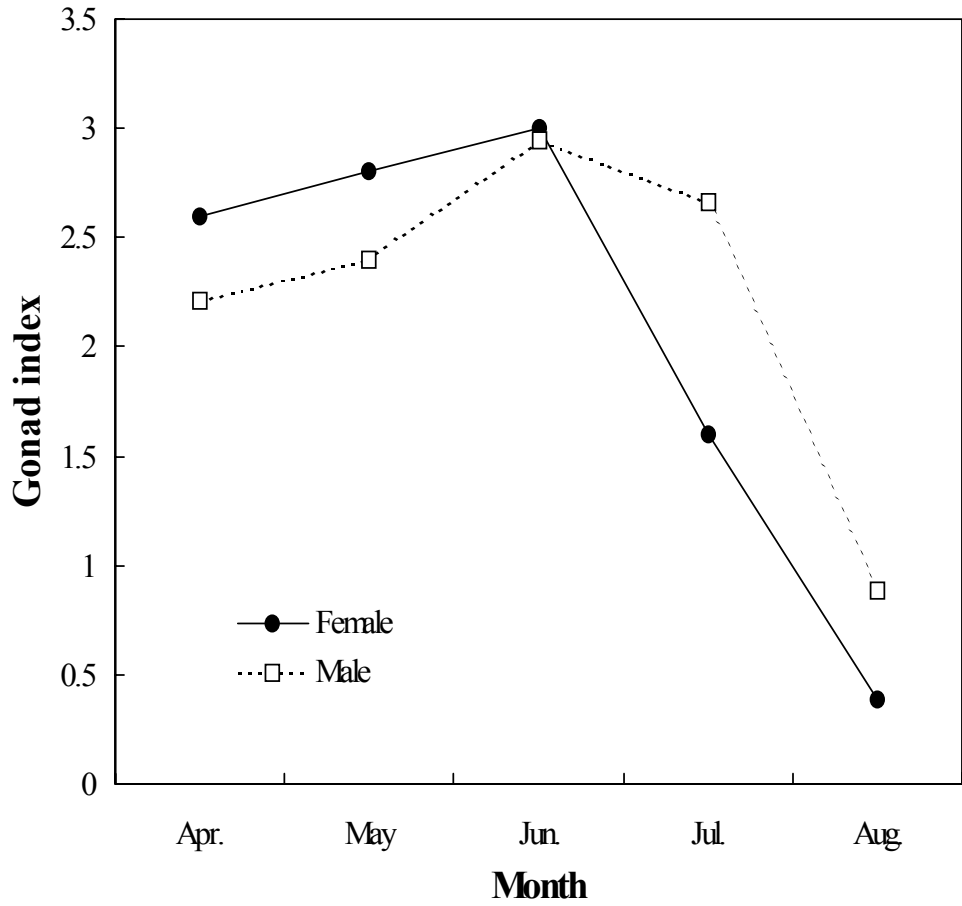


Fig. 12. Monthly change of the gonad index of *B. cornutus*.

Table 4. First sexual maturity of *B. cornutus*

Shell height (cm)	Female			Male		
	No.	No. of mature ind.	Maturity (%)	No.	No. mature ind.	Maturity (%)
~2.5	1	·	·	1	·	·
2.6~3.0	5	1	20.0	5	·	·
3.1~3.5	6	4	66.7	4	1	25.0
3.6~4.0	4	2	50.0	4	3	75.0
4.1~4.5	4	3	75.0	2	2	100.0
4.6~5.0	17	17	100.0	8	7	87.5
5.1~5.5	10	10	100.0	11	11	100.0
5.6~6.0	17	17	100.0	11	11	100.0
6.1~6.5	17	17	100.0	11	11	100.0
6.6~7.0	15	15	100.0	16	16	100.0
7.1~7.5	5	5	100.0	5	5	100.0
7.6~	3	3	100.0	1	1	100.0
Total	104	94	-	79	68	-

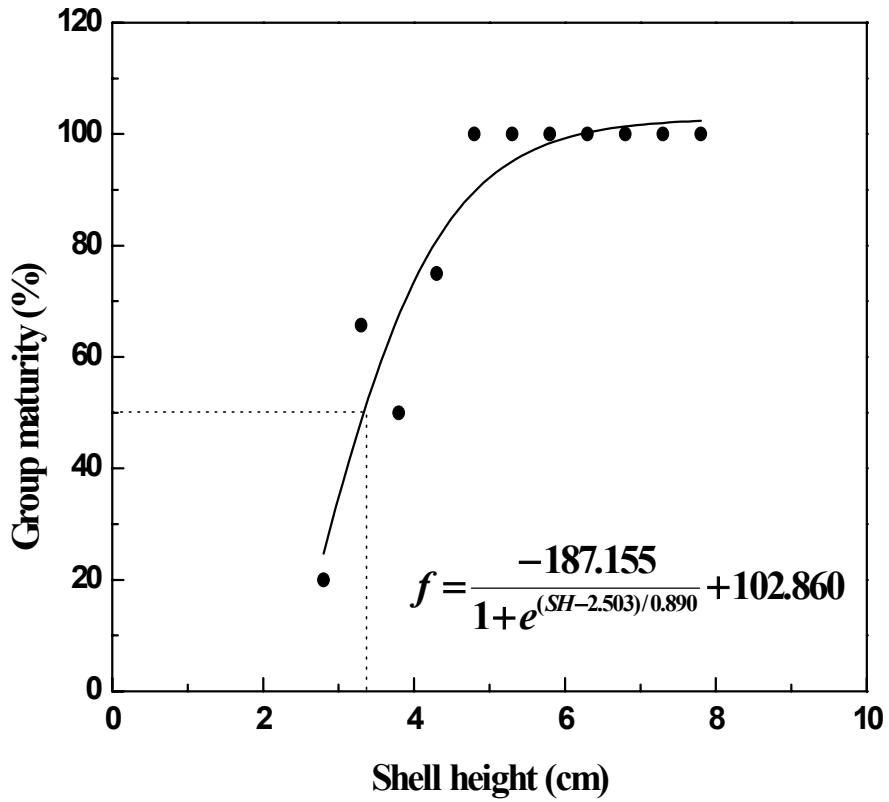


Fig. 13. Relationship between shell height and percentage of maturity of *B. cornutus*.

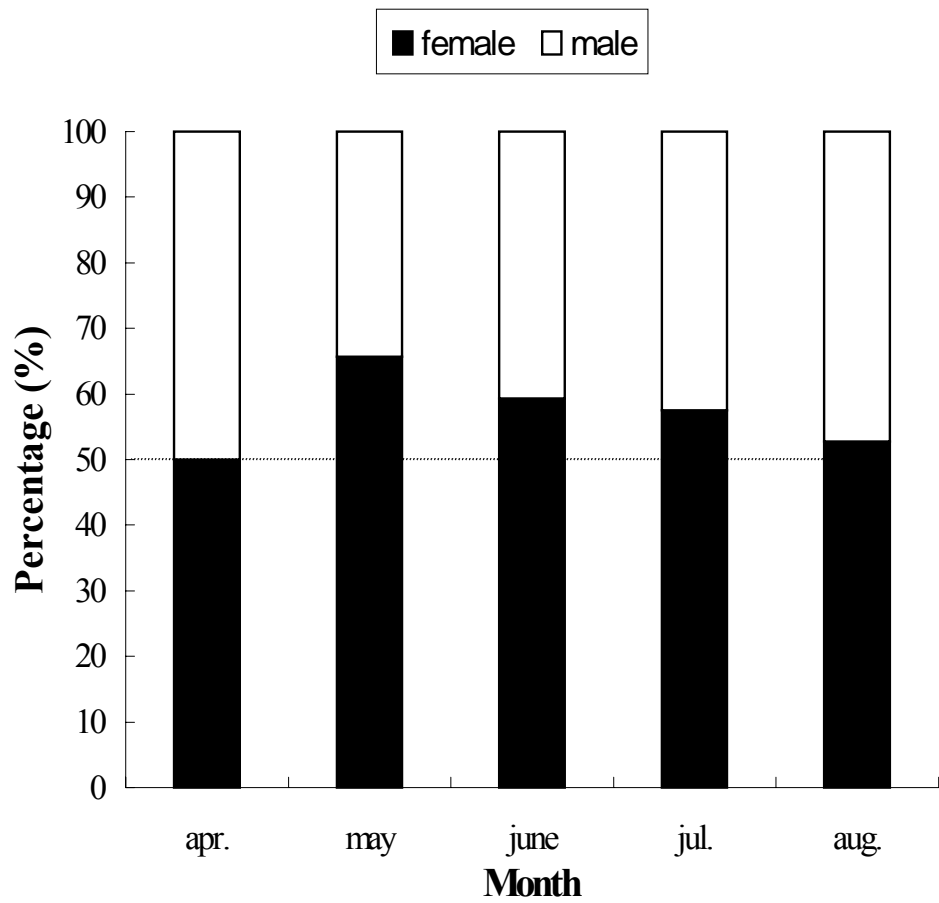


Fig. 14. Monthly changes in sex ratio of *B. cornutus*.

3. 연령과 성장

3.1. 월별 각고조성

연령과 성장 분석을 위하여 채집된 1994년 1~12월 소라 각고의 분포범위는 0.5~11.5 cm이었다. 전반적으로 매월 각고조성은 3~4개의 모-드로 구성되어 있었으며, 1~4월에는 각고 10.0 cm 이상 개체도 소량 발견되고 있으나, 5~9월에는 각고 10.0 cm 이상급 개체는 극히 소수만 출현하고, 7~9월의 금어기가 지난 10월부터 다시 각고 10.0 cm 이상의 고체급 개체가 다수 출현하였다.

1994년 6월에 각고 약 1.0 cm 내외의 새로운 치패군이 조간대 중부에서 최초로 출현하였으며, 이 치패군은 12월까지 각고 2 cm이상으로 계속 성장하여 1개의 모-드를 이룬다 (Fig. 15).

한편, 이들 치패군의 발생시기를 추정하기 위하여 이들 치패군과 비슷한 시기에 인공종묘로 생산된 치패의 성장 pattern을 비교해 보면 1994년 6월에 최초로 나타나는 치패 group은 1993년 6~8월 발생군으로 추정된다. 이는 Table 5에 나타난 바와 같이 남해수산연구소 북제주수산종묘시험장에서 1993년 6월에 인공종묘로 생산된 소라 치패의 각고 성장을 살펴보면, 종묘생산 후 약 1개월이 지난 동년 7월에 평균각고가 0.06 cm로 성장하였고, 8월 0.12 cm, 9월 0.22 cm였으며, 약 5개월이 경과한 11월에는 평균각고 0.63 cm로 성장하였다. 이듬 해인 1994년 1~4월에는 각고성장이 매우 느리게 나타나면서 평균각고 0.80~0.83 cm의 범위를 보였지만, 1994년 5월 평균각고 0.93 cm로 성장하였다.

또한, 2002년 7월에 1994년 소라가 채집되었던 동일장소에서 해녀들의 우뭇가사리 채취 작업 중에 우뭇가사리에 부착되어 어획된 각고 0.70~0.95 cm로 치패 24개체가 확인되었고, 이들 치패들은 2001년 산란기에 발생한 치패군으

로 추정되고, 1994년 6월에 최초 출현한 치패군과 같은 동일 시간대의 출현 개체군이라고 추정된다 (Fig. 16).

3.2. 연급군 분리

Bhattacharya (1967)의 방법에 의한 군 (group) 분리를 위해 Pauly and Caddy (1985)가 개발한 ELEFAN program을 이용하여 1994년 1~12월까지 총 8,276 개체에 대한 월별 연급군을 분리한 결과, 전반적으로 5월을 제외하고 3~6개의 군으로 분리할 수 있었다 (Table 6).

Table 6과 Fig. 11을 연계시켜 각 cohort별 분포 및 이동경향을 보면 1994년 1월에는 cohort II~V의 4개 cohort가 polymodal 분포를 보이며, 각고 10 cm 전후의 cohort VI는 평균각고 9.80 cm에서 극히 소수만이 출현하였다. 2월의 경우는 cohort V와 VI가 나타나지 않았으나, 5월까지의 전반적으로 cohort II~V까지 나타났다. 5~9월까지의 cohort V이상의 연급군은 출현하지 않았고, 6월에는 새로운 cohort I이 출현하였다.

cohort I은 월별 각고조성에서 연급한 바와 같이 1993년 발생군으로 1994년 6월 현재 각고 약 1.34 cm를 중심으로 모-드를 이루면서 동년 12월 각고 약 2.44 cm로 성장하였다. 1994년의 월별 각고조성에서 가장 뚜렷하게 나타나는 cohort II은 1월 각고 2.76 cm를 중심으로 분포하는 개체들이 매월 명확한 모-드의 이행을 보이면서 12월에 각고 5.31 cm의 모-드로 성장하였다. cohort III은 1월 각고 약 4.96 cm의 중심 모-드를 형성하면서 출현하여, 12월에 각고 약 7.28 cm의 모-드로서 분포하였으며, cohort IV은 1월의 모-드 약 7.29 cm에서 12월에 모-드 약 9.20 cm로 성장하였다. cohort V은 1월에 8.9 cm의 모-드가 출현 한 후, 2월에는 분포한 흔적만 있었으며, 3월에 다시 각고 약 9.25 cm의 모-드가 출현하였고, 그 이후는 극히 흔적적으로 출현하였고 10월과 11월에는 평균각고 10.20 cm를 중심으로 정규분포를 이루며 재 출

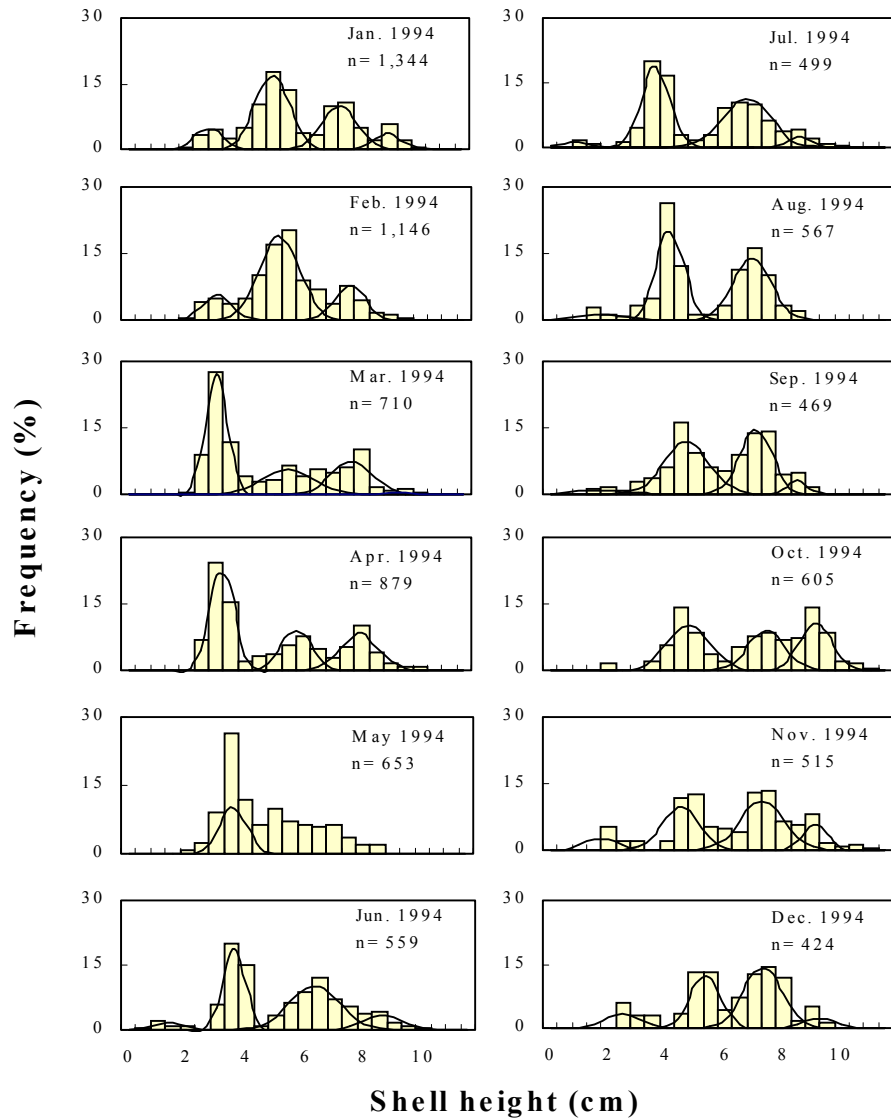


Fig. 15. Frequency distribution of shell height of *B. cornutus* and the normal curves adjusted by the Bhattacharya method.

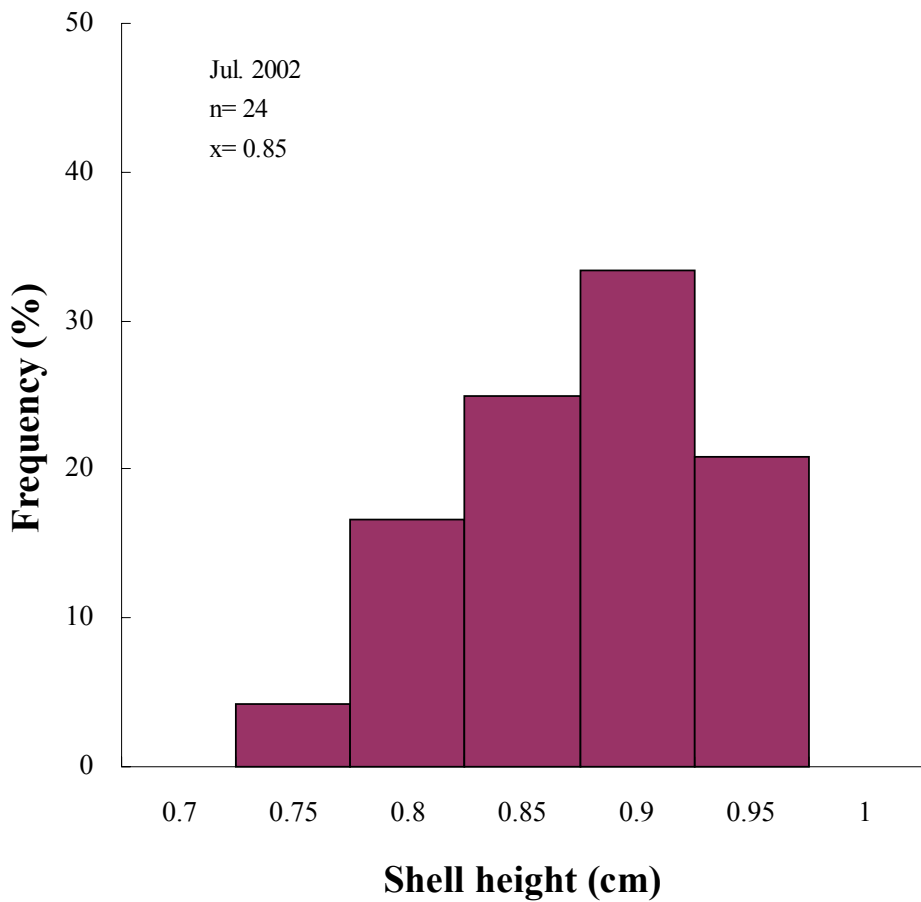


Fig. 16. Frequency distribution of shell height of the young *B. cornutus* in July 2002.

Table 5. Mean shell height of *B. cornutus* spats produced from Bukjeju Marine Hatchery in June 1993

Month	Shell height (cm)		Month	Shell height (cm)	
	Range	Mean		Range	Mean
Jun. 1993	-	-	Dec. 1993	0.38~1.12	0.77
Jul. 1993	0.03~0.09	0.06	Jan. 1994	0.74~1.95	0.80
Aug. 1993	0.08~0.15	0.12	Feb. 1994	-	0.82
Sep. 1993	0.11~0.33	0.22	Mar. 1994	-	0.83
Oct. 1993	0.27~0.78	0.53	Apr. 1994	-	0.83
Nov. 1993	0.30~0.96	0.63	May 1994	-	0.93

현하고 있다. 1988년 발생군인 cohort VI은 1994년 1월, 4월과 5월, 그리고 10월과 11월에 흔적으로 나타났다.

Table 6와 같이 매월 분리된 각 개체군별 평균각고 (Mean) 값과 표준편차 (SD)를 이용하여 개체군별로 정규분포화 시켜 각 군의 모-드 이행을 추적한 결과, 각 모-드의 간격은 1년으로 연급 (cohort)을 나타내는 모-드라 할 수 있다. 또한, 각 모-드 값을 이용하여 계절별 성장곡선 (Fig. 17)을 보면, 각고 6 cm 이하 개체들의 성장은 주로 8월과 10월 사이에 이루어지고, 각고 6 cm 이상의 개체에 있어서는 주로 3월부터 7월 사이 및 9, 10월에 성장하는 같으나 뚜렷하지 않다. 따라서, cohort I은 1993년 발생군이며, cohort II는 1992년 발생군, cohort III는 1991년 발생군, cohort IV는 1990년 발생군, cohort V는 1989년 발생군, cohort VI는 1988년 발생군의 일부 개체로 역 추정된다.

3.3. 성장식의 추정

소라의 성장 parameters를 추정하기 위한 초기각고 (체장)에 대한 연간성장량 (Gulland 1968, 1983)을 이용하여, von Bertalanffy의 성장식에서 유도한 식이다.

$$l_{t+1} - l_t = L_{\infty}(1 - e^{-K}) - (1 - e^{-K})l_t \quad \dots \dots (1)$$

Table 6에 나타낸 모-드를 이용하여, 초기각고 (l_t)와 연간성장량 ($l_{t+1} - l_t$)과의 관계를 나타낸 바와 같이 각고 3.2 cm를 경계로 하여 연간성장량에 뚜렷한 차이가 있다 (Fig. 18). 3.2 cm 이하의 연간성장량은 감소 경향이 매우 불규칙하여 경사에 유의성이 없으며 (F_8 3.396), 3.2 cm이상의 자료에서는 각고가 클수록 연간성장량이 감소되는 경향이 매우 뚜렷하였다, 따라서 3.2 cm 이상 각고에 대한 연간성장량의 관계식은 $l_{t+1} - l_t = 4.051 - 0.324l_t$ ($R^2 = 0.965$)로서 위의 (1)식을 적용하면, 최대각고 (L_{∞})는 12.503 cm, 성장계수 (K)는 0.392가 얻어진다.

Table 6. Polymodal distribution of shell height of *B. cornutus* analyzed by the method of Pauly and Caddy (1985)

Month	Cohort I	Cohort II	Cohort III	Cohort IV	Cohort V	Cohort VI
	Mean, SD	Mean, SD	Mean, SD	Mean, SD	Mean, SD	Mean
Jan. 27.	-	2.76±0.44	4.96±0.59	7.29±0.59	8.90±0.46	9.8
Feb. 22.	-	3.04±0.46	5.17±0.67	7.62±0.51	-	-
Mar. 4.	-	3.03±0.36	5.46±0.88	7.66±0.69	9.25±0.44	10.5
Apr. 21.	-	3.13±0.39	5.75±0.53	7.92±0.62	9.30±0.44	10.6
May 18.	-	3.56±0.45	-	-	-	-
Jun. 26.	1.34±0.34	3.60±0.36	6.29±0.84	8.58±0.62	-	-
Jul. 21.	0.80±0.47	3.62±0.48	6.75±0.80	8.58±0.40	-	-
Aug. 20.	1.08±0.85	4.10±0.85	6.91±0.65	-	-	-
Sep. 16.	1.60±0.79	4.66±0.76	7.05±0.55	8.44±0.31	-	-
Oct. 6.	-	4.76±0.72	7.41±0.62	9.12±0.55	10.2±0.41	10.9
Nov. 10.	1.75±0.52	4.49±0.63	7.27±0.75	9.10±0.42	10.2±0.41	10.9
Dec. 23.	2.44±0.58	5.31±0.50	7.28±0.67	9.20±0.53	-	-

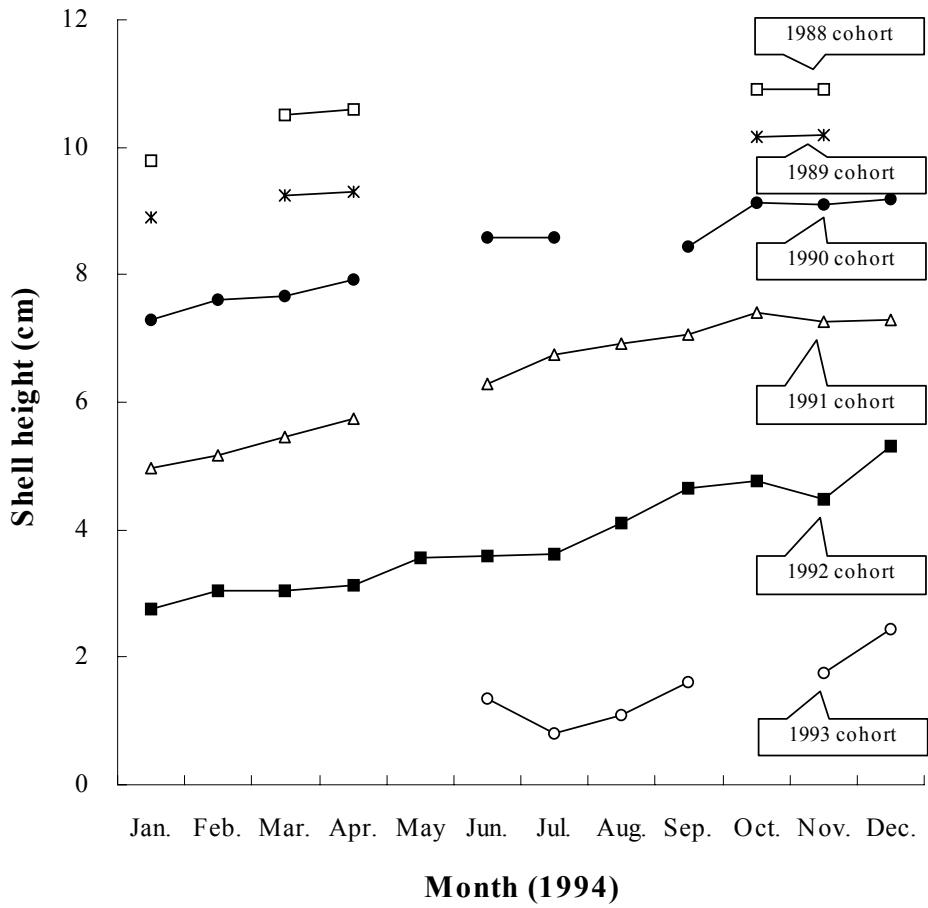


Fig. 17. Monthly variation in mean shell height of the specific year class (from data in Table 6).

그리고, t_0 는 (2)식에 의해 얻어진 평균 값으로 하였다.

$$t_0 = t + \frac{1}{K} \log_e \frac{(L_\infty - l_t)}{L_\infty} \dots \dots \dots (2)$$

L_∞ 는 12.503 cm로 하고, Table 6의 3.2 cm 이상의 모-드 값을 (2)식에 대입하여 계산된 회귀직선에서 구한 t_0 는 0.917 이었으며, von Bertalanffy 성장식에 적용한 소라의 각고 성장식은 다음과 같다.

$$l_t = 12.503 (1 - e^{-0.392(t-0.917)}) \dots \dots \dots (3)$$

각 연령별 이론적 각고(l_t)는 $l_1 = 0.40$ cm, $l_2 = 4.33$ cm, $l_3 = 6.99$ cm, $l_4 = 8.77$ cm, $l_5 = 9.98$ cm, $l_6 = 10.80$ cm, $l_7 = 11.35$ cm이었다 (Fig. 19).

각고와 체중이 측정된 총 2,870개체에 대하여 각고와 전중 (W)과의 관계를 나타냈고 (Fig. 20), 계산은 각고(l) 5 mm 단위의 평균값으로 한 그 관계식은 다음과 같다.

$$W = 0.0002SL^3 \dots \dots \dots (4)$$

위의 식의 상관계수는 0.997로 매우 높으며, 지수의 95% 신뢰구간은 2.944~3.058이었다. 최대체중 (W_∞)은 앞에서 산출된 최대각고 (L_∞)값을 (4)식에 대입하여 구하였다. 따라서 체중에 관한 von Bertalanffy의 성장식은 다음과 같다.

$$W_t = 390.0 (1 - e^{-0.392(t-0.917)})^3 \dots \dots \dots (5)$$

따라서, 각 연령별 이론적 체중은 $w_1 = 0.02$ g, $w_2 = 16.19$ g, $w_3 = 67.92$ g, $w_4 = 134.85$ g, $w_5 = 198.64$ g, $w_6 = 252.12$ g, $w_7 = 292.63$ g 이었다 (Fig. 21).

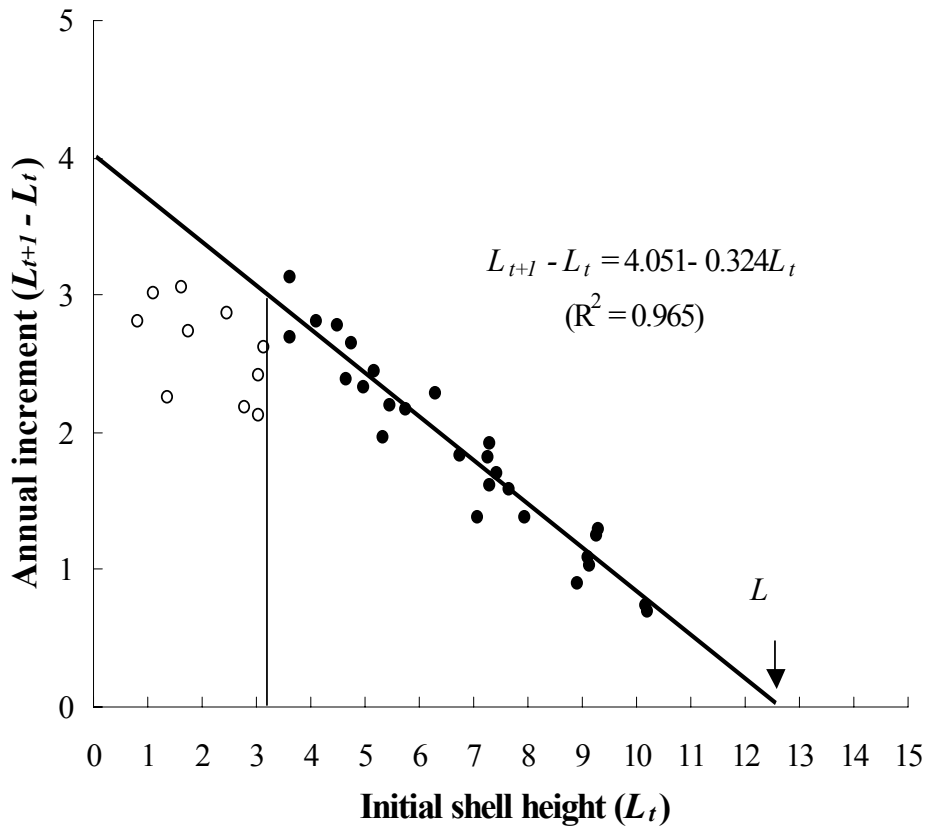


Fig. 18. Plotting annual increment of the shell height against initial shell height.

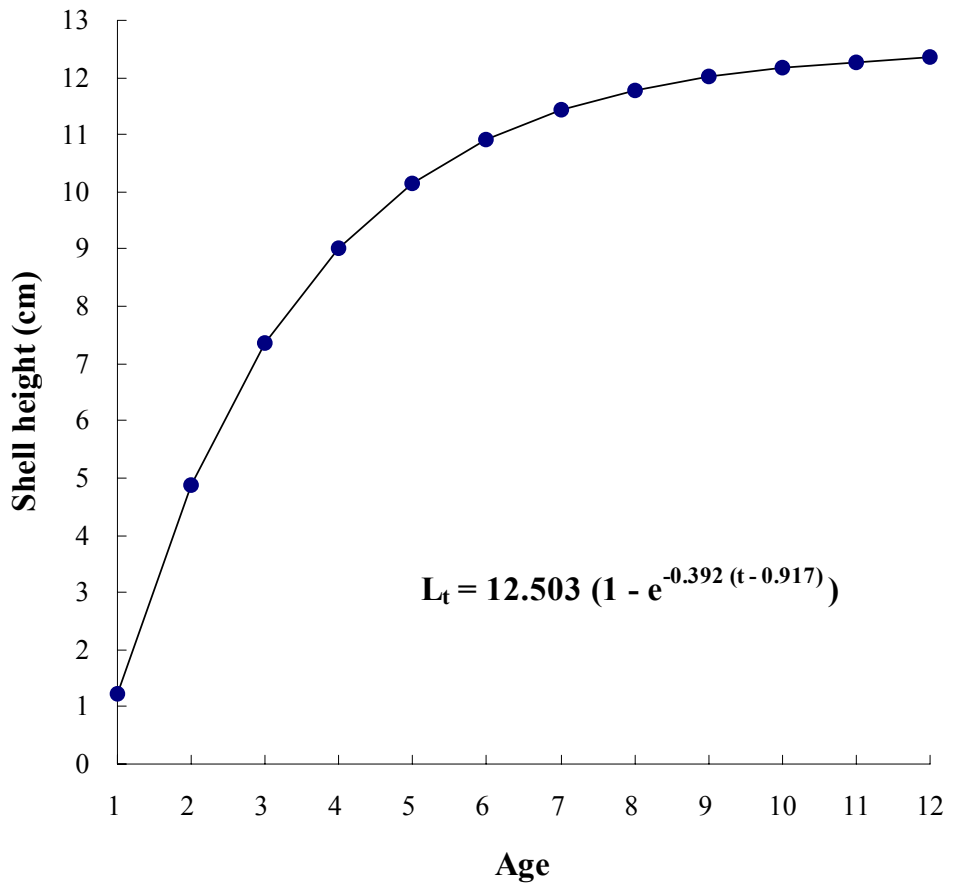


Fig. 19. Growth curve fitted to the von Bertalanffy's equation for *B. cornutus*.

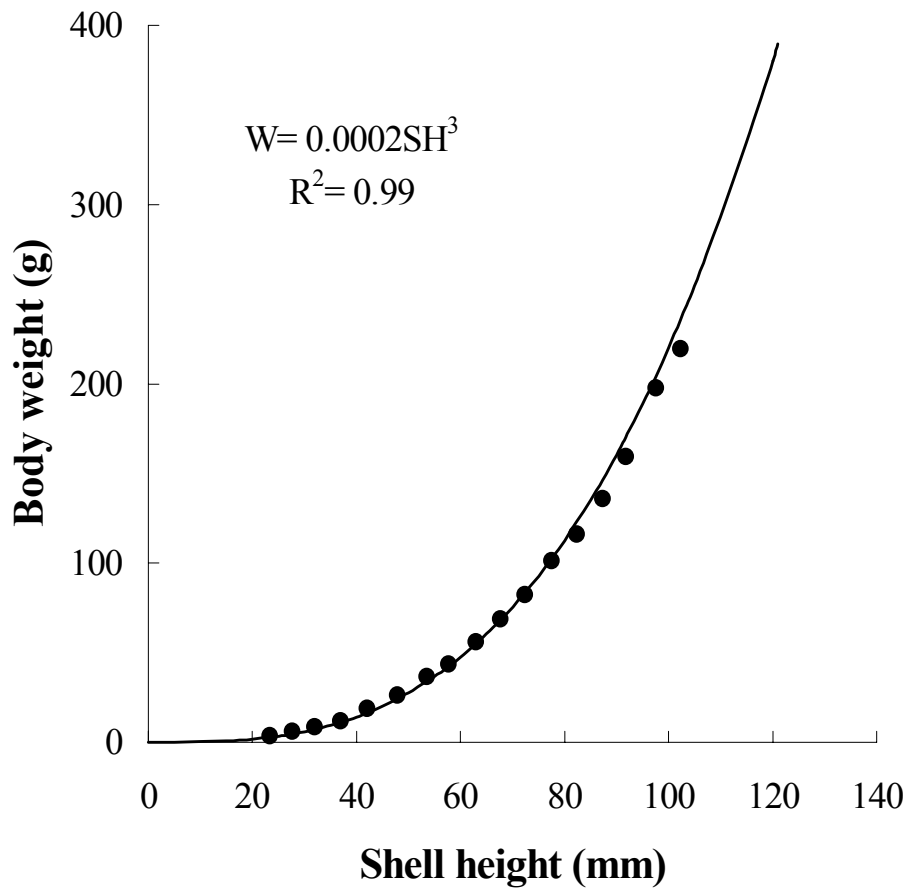


Fig. 20. The relationship between shell height and body weight of *B. cornutus*.

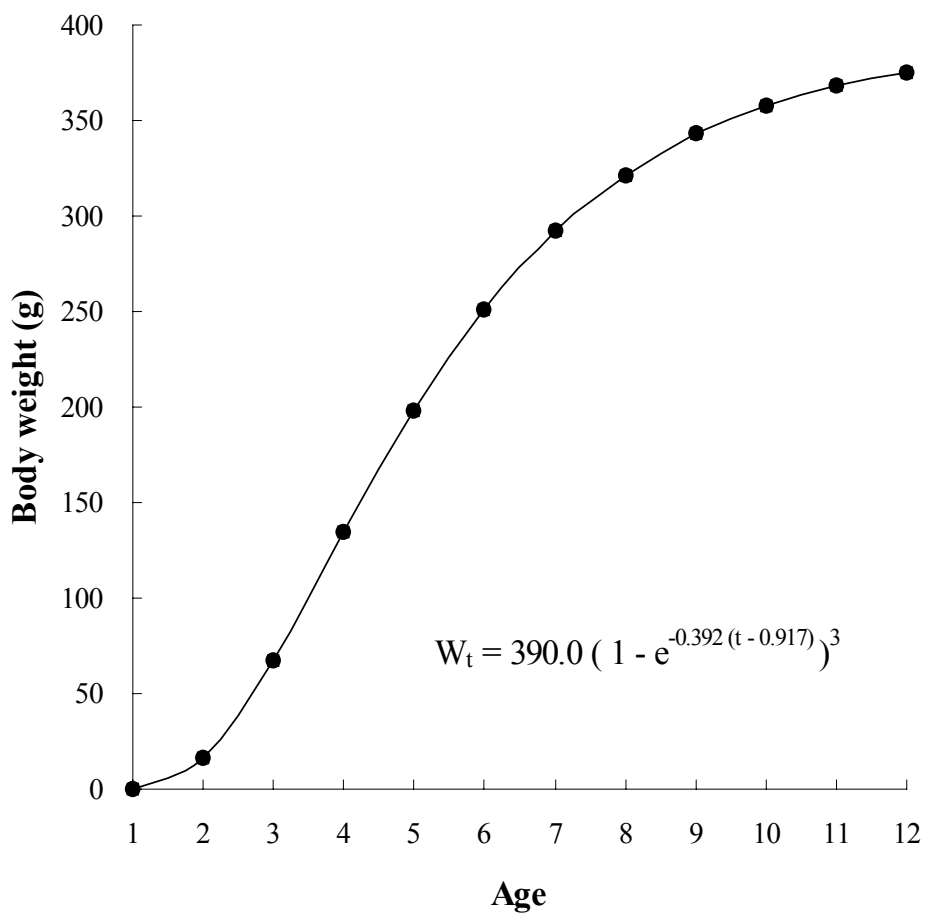


Fig. 21. The von Bertalanffy's equation of body weight growth curve of *B. cornutus*.

4. 자원생태학적 특성치 추정

4.1. 년도별 각고조성

1992~2000년까지 제주도 연안의 마을어장에서 해녀들에 의해 어획된 소라의 각고조성 결과를 살펴보면, 어획물의 크기는 각고 약 5~12 cm까지 분포하고 있었고, 중심 mode의 분포는 1992년에서 1994년까지 각고 약 7.0 cm이었으나, 1995~2000년에는 어획물의 중심 mode가 우측으로 약간 이동되고 있다. 전반적으로 각고 7.5 cm를 기점으로 어획물의 우측 편이 경사가 높게 나타났다 (Fig. 22).

각고 7 cm 이하 소형개체의 어획비율은 1992~1994년 동안은 약 51~64%로 증가하는 경향을 보였으나, 1995년에서 2000년 기간에는 약 22~49% 수준으로 감소되었다.

4.2. 어획물의 연령조성

연령과 성장부분에서 연급군 분리에서 나타난 연령별 체장 (각고)과 표준편차 (SD)에서 계산된 연령(t) - 분산 (V_t) 관계식은 $\ln(V_t) = -0.8227 - 0.1314t$ 이며, 이 연령-분산식에 의하여 수정된 각 연령에 대한 평균체장과 표준편차를 정리한 결과는 Table 7과 같다.

연령별 체장분포는 정규분포한다고 할 수 있으므로 Table 7의 평균체장과 표준편차를 이용하여 평균각고 $\pm 3\sigma$ 범위에서 연령별 체장조성을 구한 후 (Table 8), 천분율로 표시되는 연령-체장 상관표 (age-length key)를 구하였다 (Table 9). 각고 4.5 cm 이하의 개체는 모두 1세 이하군에 해당되며, 2세군은 최고각고 7 cm까지 나타났고, 각 연령군별 중심각고는 3세군이 6.5 cm, 4세군 9.0 cm, 5세군 10.5 cm, 그리고, 6세군은 12.0 cm였다. 또한 이 상관표

에 의해 어획물의 체장조성에서 같은 계급에 속하는 개체수의 조합으로 연도별 연령별 어획물의 개체수 조성은 3세군 이하의 어획량이 높았던 1994년의 어획개체수가 가장 높게 나타났다 (Table 10).

1992~2000년 동안의 연도별 연령별 어획량을 보면 주 연령군은 3세군으로 나타났고, 이 연령군은 매년 약 54.2~72.7%가 어획되었다 (Table 11).

4.3. 생산율

나잠어업으로 어획된 1992~2000년 사이의 연령조성 자료 (Table 12)로 1998~2000년의 최근 자료 만으로 어획물곡선법으로 추정된 생산율 (S)은 0.1915였다 (Fig. 23).

4.4. 순간자연사망계수 및 순간어획사망계수

소라의 순간자연사망계수는 생체량이 최대가 되는 임계크기의 연령을 이용한 Rikhter and Efanov (1976) 방법에서는 0.1853/yr이었고, 성숙각고를 이용한 Roff (1984) 방법에서는 0.2454/yr으로 나타났으므로 순간자연사망계수는 이 두 값을 산술평균한 0.2154/yr을 택하였다 (Table 13).

어획물곡선법에 의한 소라의 연간생산율 (S)은 0.16~0.21/yr의 범위에 있었고, 전사망계수 (Z)는 1994년을 제외하고, 약 1.6~1.8/yr 범위로 있는 것으로 나타났다. 또한, 앞에서 추정된 전사망계수, 생산율로부터 어획사망계수 ($F = Z - M$), 어획율 ($E = F(1 - S)/Z$)를 계산한 결과 제주도 마을어장에 분포하는 소라의 어획사망계수는 대체적으로 1.4~1.6이 어획율은 70~75% 수준이었다 (Table 14).

Table 7. Calculated shell height and standard deviation by age for *B. cornutus*

Shell height & SD	Age						
	1	2	3	4	5	6	7
Shell height (cm)	0.40	4.33	6.99	8.77	9.98	10.80	11.35
Standard deviation (cm)	0.71	0.76	0.81	0.86	0.92	0.98	1.05

Table 8. Estimated shell height composition by the age of *B. cornutus*

Shell height (cm)	Age						Total
	2	3	4	5	6	7	
5	631	21					652
5.5	723	204					928
6	339	860	5				1,205
6.5	94	2,257	40				2,391
7	16	3,828	218	4			4,066
7.5	1	2,823	545	20	1		3,391
8		954	655	45	4	1	1,659
8.5		196	503	68	7	1	776
9		25	249	68	11	2	355
9.5		2	92	54	12	3	163
10			24	31	11	3	69
10.5			4	12	6	2	25
11				2	2	1	6
11.5				1	1		2

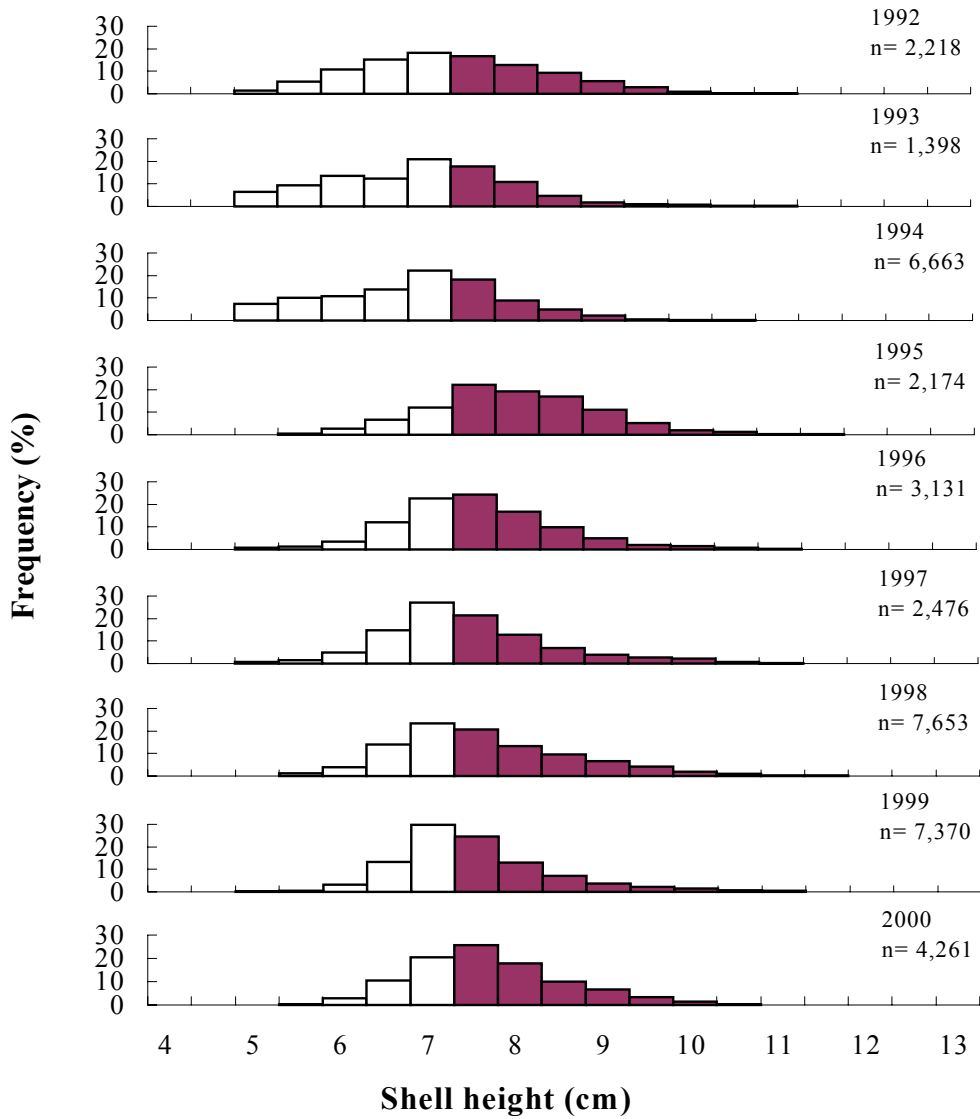


Fig. 22. Annual shell height composition of *B. cornutus* caught by diver woman in Jeju coastal waters from 1992 to 2000.

Table 9. Age-length key of *B. cornutus*

Shell height (cm)	Age					
	2	3	4	5	6	7
4.5	1,000					
5	968	32				
5.5	780	220				
6	282	714	4			
6.5	39	944	17			
7	4	941	54	1		
7.5		833	161	6		
8		576	395	27	1	
8.5		252	648	88	10	2
9		70	701	193	30	6
9.5		14	564	330	74	18
10		2	349	454	152	43
10.5			164	489	256	91
11			59	422	357	162
11.5			17	301	427	255
12			4	182	448	366

Table 10. Catch in number by age of *B. cornutus* in Jeju coastal waters from 1992 to 2000

Year	Age						Total
	2	3	4	5	6	7	
1992	5,835,434	9,491,282	1,554,874	199,248	32,812	8,033	17,121,682
1993	15,877,322	13,925,543	1,473,913	156,605	30,852	8,474	31,472,709
1994	30,565,908	25,642,706	2,594,571	231,248	33,601	7,521	59,075,555
1995	2,520,402	22,076,328	7,081,894	1,068,650	187,494	45,208	32,979,977
1996	3,937,888	21,065,554	3,650,834	433,694	72,014	16,584	29,176,569
1997	4,716,543	19,811,625	2,815,638	412,322	85,841	23,234	27,865,203
1998	3,495,521	20,910,382	3,861,372	593,987	114,204	29,682	29,005,147
1999	2,725,976	23,750,862	3,301,732	436,350	87,768	22,776	30,325,462
2000	2,157,204	20,721,317	4,526,549	815,166	167,508	41,422	28,429,165

Table 11. Catch in weight by age of *B. cornutus* in Jeju coastal waters from 1992 to 2000

Year	Age						Total (ton)
	2	3	4	5	6	7	
1992	94	645	210	40	8	2	999
1993	257	946	199	31	8	2	1,443
1994	495	1,742	350	46	8	2	2,643
1995	41	1,499	955	212	47	13	2,768
1996	64	1,431	492	86	18	5	2,096
1997	76	1,346	380	82	22	7	1,912
1998	57	1,420	521	118	29	9	2,153
1999	44	1,613	445	87	22	7	2,218
2000	35	1,407	610	162	42	12	2,269

Table 12. Age composition of *B. cornutus* population derived in Jeju coastal waters from 1998 to 2000

Age	1998	1999	2000	Combined mean
2	3,495,521	2,725,976	2,157,204	2,792,900
3	20,910,382	23,750,862	20,721,317	21,794,187
4	3,861,372	3,301,732	4,526,549	3,896,551
5	593,987	436,350	815,166	615,168
6	114,204	87,768	167,508	123,160
7	29,682	22,776	41,422	31,293

Table 13. Estimated instantaneous coefficient of natural mortality (M) of *B. cornutus* by two methods and input data

Methods	Estimates of M	Input data
Rikhter and Efanov	0.1853	$T = 8$ year
Roff	0.2454	$L_{\infty} = 12.503$ cm $K = 0.392$ year $L_T = 4.6$ cm
Mean	0.2154	

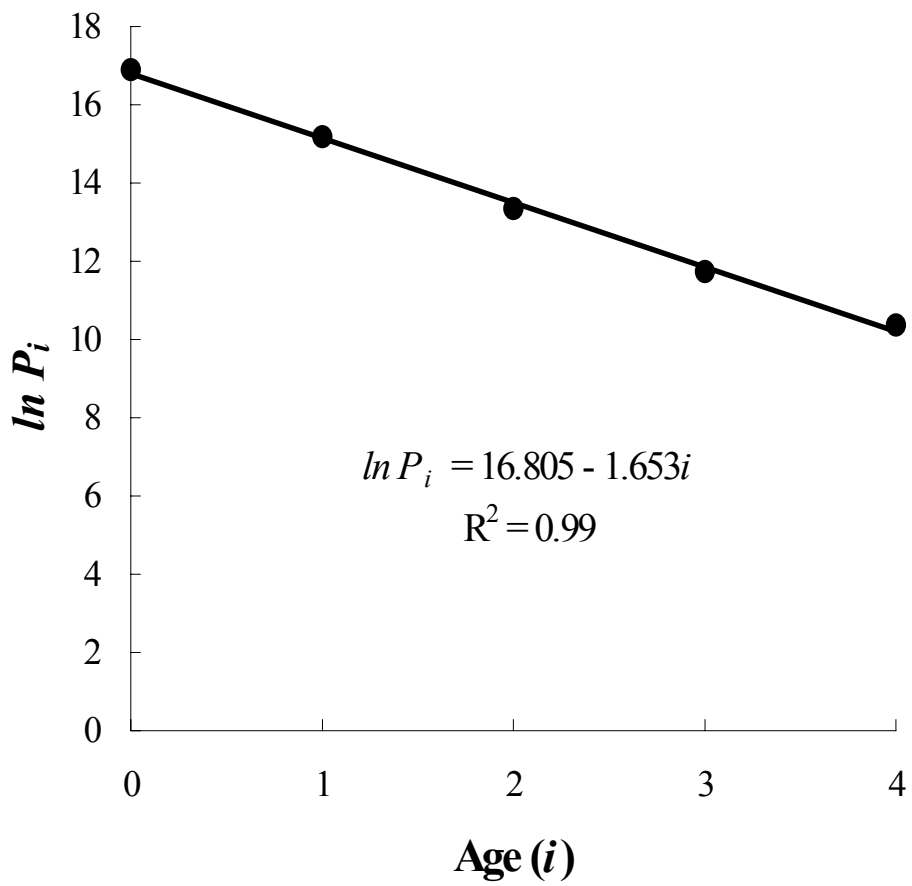


Fig. 23. The survivorship of *B. cornutus* estimated from the catch curve method.

Table 14. Survival rate (S), total mortality coefficient (Z), fishing mortality coefficient (F) and exploitation rates (E) for *B. cornutus* in Jeju coastal waters

Year	Parameters			
	S	Z	F	E
1992	0.1652	1.8008	1.5854	0.7350
1993	0.1893	1.6645	1.4491	0.7058
1994	0.1612	0.8251	1.6097	0.7398
1995	0.2016	1.6014	1.3860	0.6910
1996	0.1617	1.8220	1.6066	0.7392
1997	0.1829	1.6987	1.4833	0.7135
1998	0.1895	1.6636	1.4482	0.7056
1999	0.1733	1.7527	1.5373	0.7251
2000	0.2075	1.5727	1.3573	0.7031
Mean (1998~2000)	0.1915	1.6529	1.4375	0.7031

4.5. 어장가입연령과 어획개시연령

소라 치패가 우뚝가사리에 부착되어 발견되는 시기인 7월에 치패 크기는 0.70~0.95 cm로 평균 0.85 cm를 연령과 성장부문에서 유도된 각고성장식을 변형하여 대입시킨 환산연령은 1.10세로 계산되며, 이 값을 어장가입연령 (t_r)으로 하였다.

또한, 어획개시연령 (t_c)은 현행 수산업법에 제시된 소라의 채포허용 크기인 각고 7.0 cm와 실제 어획크기가 일치한다면 이를 연령으로 환산하여 어획개시연령으로 사용되어야 하겠지만, 실제 해녀에 의한 각고조성에서 나타난 출현빈도로 보아 각고 4.5~5.0 cm 급에서 총 673개체가 어획되었고, 이들 개체의 크기의 중앙값 4.75 cm를 연령으로 환산한 2.14세를 어획개시연령 (t_c)으로 하여 자원평가를 위한 자원생물학적 주요 매개변수를 정리한 결과는 Table 15와 같다.

Table 15. Parameters for the analysis of the annual yield per recruit (Y/R) of *B. cornutus*

Index	Parameters						
	M (Yr ⁻¹)	t_r (Yr ⁻¹)	t_c (Yr ⁻¹)	t_0 (Yr ⁻¹)	t_m	K	W_∞
Value	0.215	1.10	2.14	-0.917	8	0.392	390.0

5. 자원 관리

5.1. 자원량의 추정

1992년에서 2000년간의 소라자원량의 변동을 보면 1992년 약 1,700톤에서 1993년 2,500톤으로 증가한 후, 1994년 근년에 들어 최고자원량인 약 4,400톤을 정점으로 감소하기 시작하여 최근인 2000년의 경우에는 약 3,000톤 이상의 수준을 유지하였다.

연령별 자원량은 2세군이 1994년 약 1,120톤 수준에서 최근 2000년에 약 600톤 수준을 유지하며, 가장 많은 자원량을 보이는 3세군은 1994년 약 2,600톤 수준까지 증가하였다가 감소와 증가를 반복하는 경향을 보였으며, 2000년 현재 약 1,500톤 이상 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 4세군, 5세군, 6세군 및 7세군 이상의 자원량은 2, 3세군과 달리 1995년에 최고의 자원량을 보인 후 감소추세에 있으며, 2000년 현재의 자원량은 각각 약 680톤, 180톤, 50톤, 10톤 수준인 것으로 나타났다 (Table 16).

자원량의 변동과 CPUE 관계를 보면 자원량의 증가에 따라 CPUE도 증가하고 있으며, 자원감소에 따라 CPUE도 감소하는 경향을 보였다. 한편 CPUE는 1992년에서 1993년에는 약 140~210kg 수준이었으나, 자원량과 같이 1994년 약 440kg으로 최고를 보인 후, 1998년에서 2000년간에는 약 380~400kg의 범위를 나타내었다 (Fig. 24).

CPUE는 자원량과 거의 같은 증감추세를 보이며, CPUE가 자원량의 변동경향을 잘 반영하는 것으로 나타났다 (Fig. 25).

어획량과 년도별 평균 어획사망계수 (F)의 변동을 보면 1992년에서 1994년간을 제외하고, 어획량과 어획사망계수간에 밀접한 상관성이 있었다 (Fig. 26).

Table 16. Estimated stock biomass by cohort analysis for *B. cornutus* in Jeju coastal waters

Age	Year								
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
2	501.0	1,023.0	1,120.5	586.3	607.8	636.4	682.9	487.9	602.4
3	887.9	1,392.9	2,598.2	2,028.1	1,897.4	1,884.8	1,936.5	2,175.4	1,539.8
4	275.8	302.4	593.2	1,147.7	641.9	549.9	683.4	633.8	679.8
5	53.9	57.0	104.5	258.7	126.2	126.9	165.3	139.7	180.3
6	12.0	11.3	24.3	57.4	28.0	33.8	39.5	38.3	47.5
7	2.7	2.9	2.7	14.6	5.5	7.9	9.8	7.8	13.7
Total	1,733.3	2,789.4	4,443.3	4,092.8	3,306.9	3,239.6	3,517.5	3,482.9	3,063.5

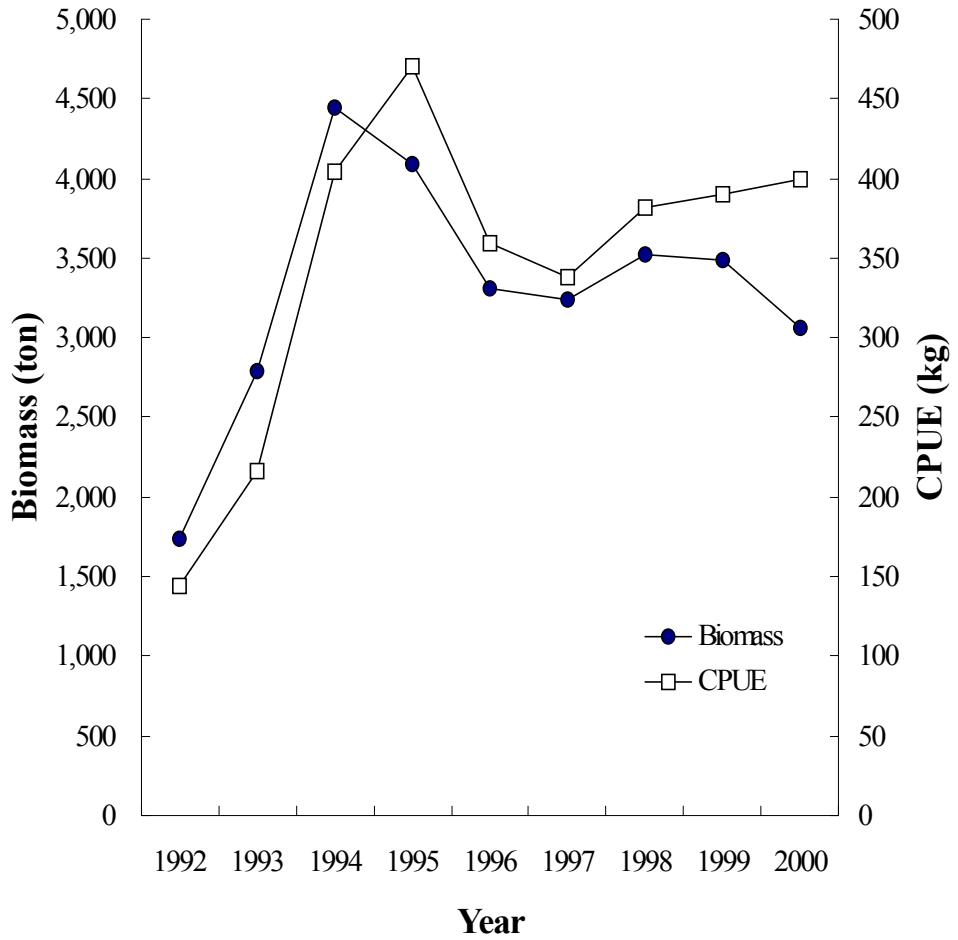


Fig. 24. Annual variation of biomass and CPUE for *B. cornutus* in Jeju coastal waters.

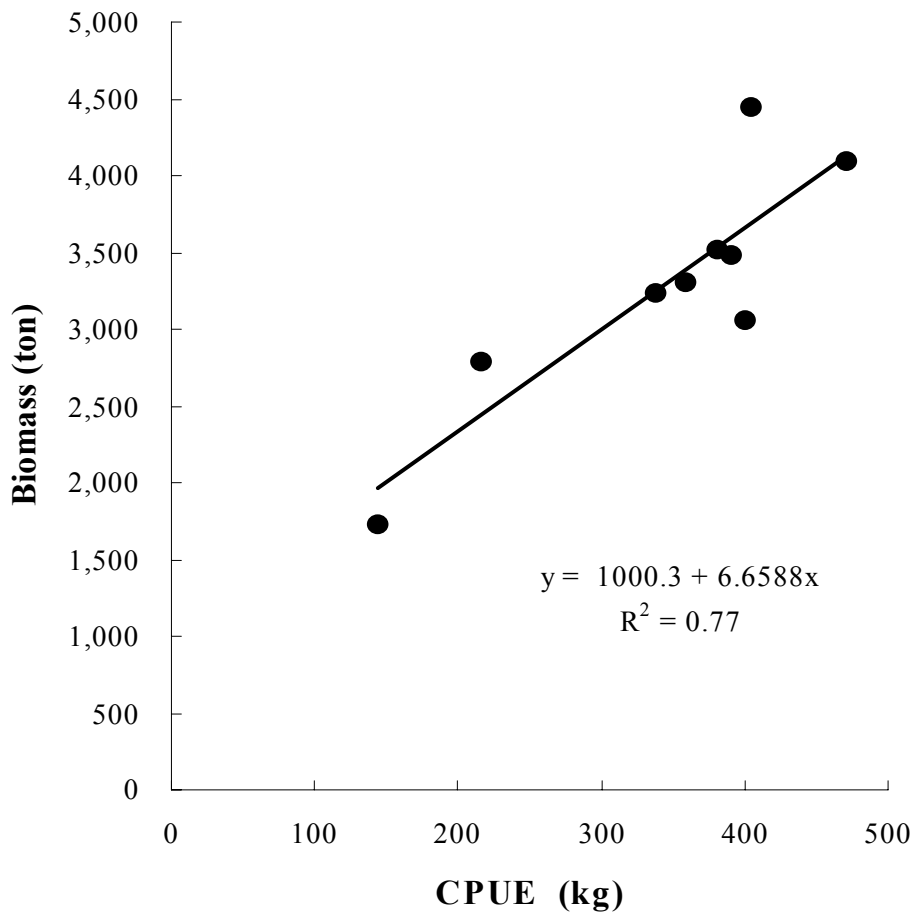


Fig. 25. Relationship biomass and CPUE for *B. cornutus*.

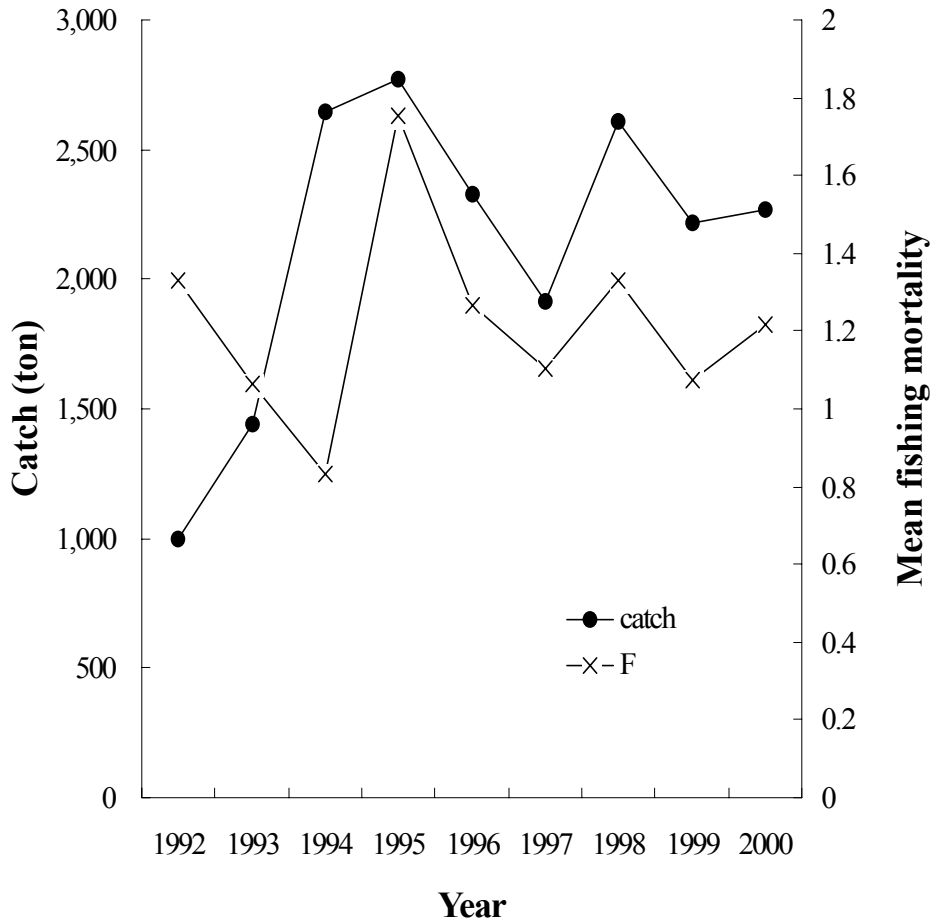


Fig. 26. Annual variation of catch and fishing mortality coefficient for *B. cornutus* in Jeju coastal waters.

5.2. 최대지속적어획량 (MSY) 추정

Schaefer 모델에 적용하기 위하여 1992~2000년 동안 해녀에 의해 어획된 제주도산 소라의 총어획량과 해녀 1인당 어획량으로 표준화시킨 어획노력량 자료는 Table 17과 같다. Schaefer 모델에 적용한 결과 5%의 유의수준 ($R^2 = 0.53$)에서 단위노력당어획량 (CPUE)은 노력량 (등록해녀수)에 대하여 유의한 회귀직선 관계가 되고, 생산량은 노력량의 2차곡선 ($Y = 1,223.9X - 0.1451X^2$) 이 된다 (Fig. 27).

추정된 최대지속적어획량 (MSY)은 해녀수 4,200명에서 최대 약 2,580톤이 얻어져 MSY시 적정어획노력량 (f_{MSY})은 약 4,200명 수준이었다. 또한, f_{MSY} 는 최근인 2000년의 소라자원에 가해지는 어획강도의 약 74% 수준에 있어야 되는 것으로 분석되었다 (Fig. 28).

5.3. 적정 어획사망계수 및 적정 어획개시연령의 추정

5.3.1. Beverton and Holt 모델에 의한 추정

순간어획사망계수 (F)에 대한 가입당 생산량 (Y/R)과 어획개시연령 (t_c)과의 관계는 Fig. 29와 같다. 직선으로 표시된 종선은 현재의 어획개시연령 (t_c)인 2.14세, $F = 1.4375/\text{yr}$ 에서의 가입당생산량은 126.3g이다. 앞으로 F 값이 1.0/yr까지 감소하더라도 현재의 어획량 보다 큰 가입당생산량을 기대할 수 없다. 현재 수준의 어획연령이라면, 가장 효과적인 F 의 값은 약 0.69/yr이며, 이 때의 가입당생산량은 130.3g이다. 따라서 현재의 F 의 값은 과도의 남획상태에 있는 것으로 추정되었다.

어획개시연령 (t_c)에 대한 순간어획사망계수 (F)와 가입당생산량 (Y/R)과의 관계는 Fig. 30과 같다. 현재 어업상태인 순간어획사망계수 (F) 1.4375/yr을 유지하면서 보다 많은 Y/R 을 얻기 위해서는 어획개시연령 (t_c)을 높이는

Table 17. Catch and number of woman diver and CPUE of *B. cornutus* in Jeju coastal waters from 1992 and 2000

Year	Catch (ton)	Effort (woman diver)	CPUE (kg)
1992	999	6,924	144.3
1993	1,443	6,686	215.8
1994	2,643	6,537	404.3
1995	2,768	5,886	470.3
1996	2,096	5,841	358.8
1997	1,912	5,647	338.6
1998	2,153	5,646	381.3
1999	2,218	5,678	390.6
2000	2,269	5,678	399.6

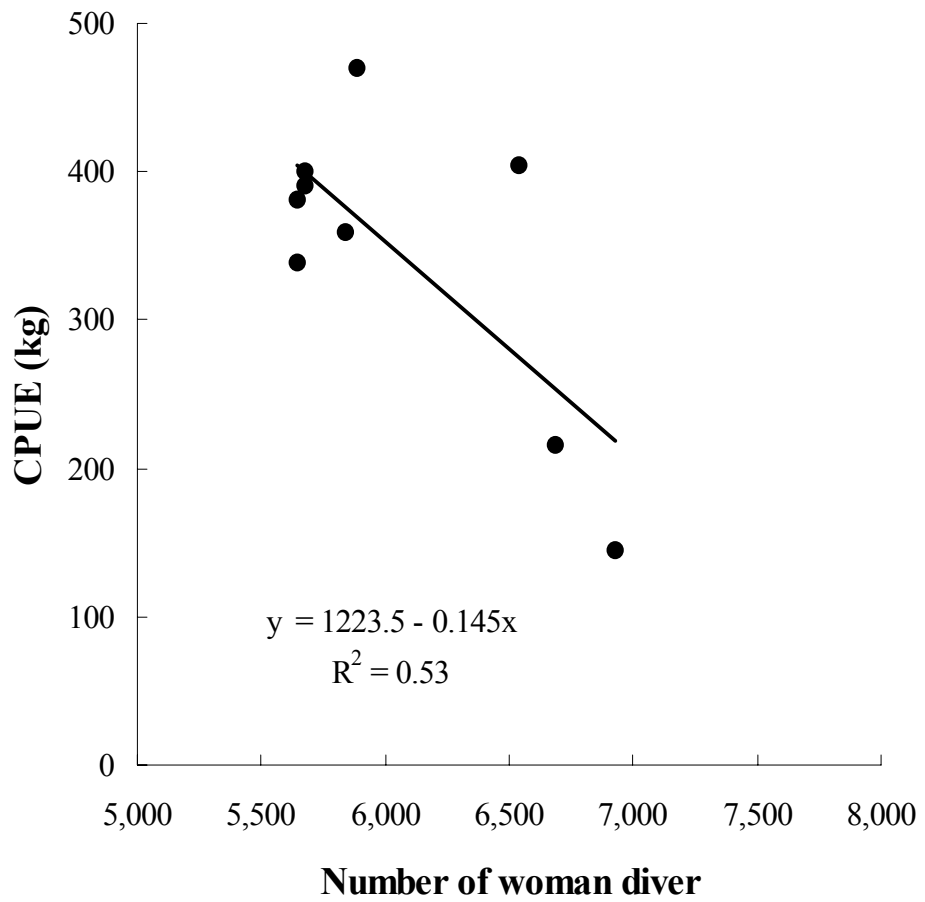


Fig. 27. The relationship between fishing effort and CPUE for *B. cornutus* in coastal waters.

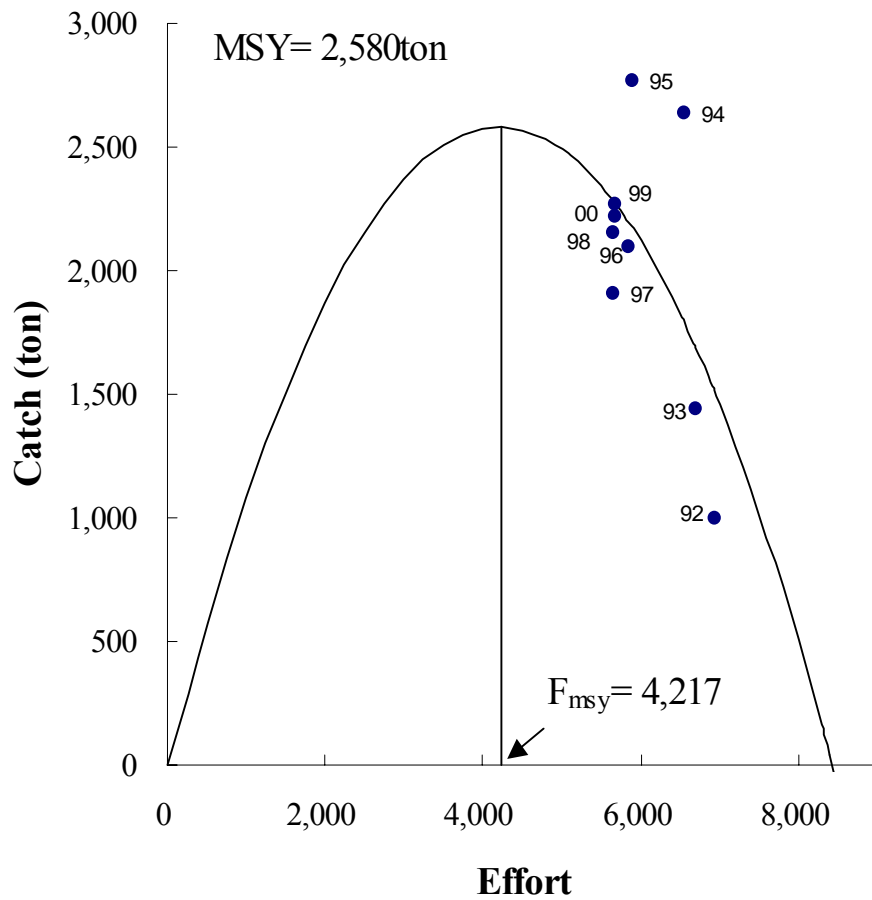


Fig. 28. Equilibrium yield curves for *B. cornutus* from Schaefer model.

것이 효과가 있다. 연령을 높이는 한계는 3.7세로 이 때의 최대 가입당생산량 142.4g이며, 그 이상으로 어획개시연령 (t_c)을 증가시키면 $t_c = 3.7$ 세때 보다 오히려 가입당생산량이 감소한다. 또한 현재의 t_c 인 2.14세에서는 F 값이 0.69/yr에서 최대 가입당생산량인 130.3g을 나타내었으나, 현재의 F 값인 1.4375/yr에서의 가입당생산량 (126.3g)과 큰 차이가 없었다.

어획개시연령 (t_c)와 순간어획사망계수 (F)와의 상호관계로부터 얻어진 가입당생산량 (Y/R)은 Fig. 31과 같다. 점선 AA' 는 주어진 어획개시연령 (t_c)에 따라 최대의 가입당 생산량을 산출하는 점들을 연결한 점이며, BB' 는 순간어획사망계수 (F) 값에 따라 최대 가입량을 산출한 점들을 연결한 선으로 F 값이 클수록 t_c 의 MSY 수준은 크게 됨을 나타내고 있다. 현재의 어획개시연령 및 순간어획사망계수의 두가지 기준에서 모두 적정수준을 넘어 난획상태에 있다. 즉, 특히 너무 어획개시연령이 낮고 순간어획사망계수도 매우 높은 것으로 판단된다.

따라서, 어획강도를 낮추고 어획개시연령을 높이면 가입당생산량의 증대를 기대할 수 있으나, 현재의 어획강도는 수산정책과 관련이 있어 강제적으로 해녀수를 줄이지 못하는 현실에서 현재의 F 에서 어획연령을 3세까지 올린다면 가입당생산량이 139.0로 현재상태 보다 10% 증가되고, 어획개시연령을 3.7세까지 높일 경우 최대 가입당생산량 (142.4g)을 얻게 되어 현재보다 약 13%의 생산량 증대를 기대할 수 있다.

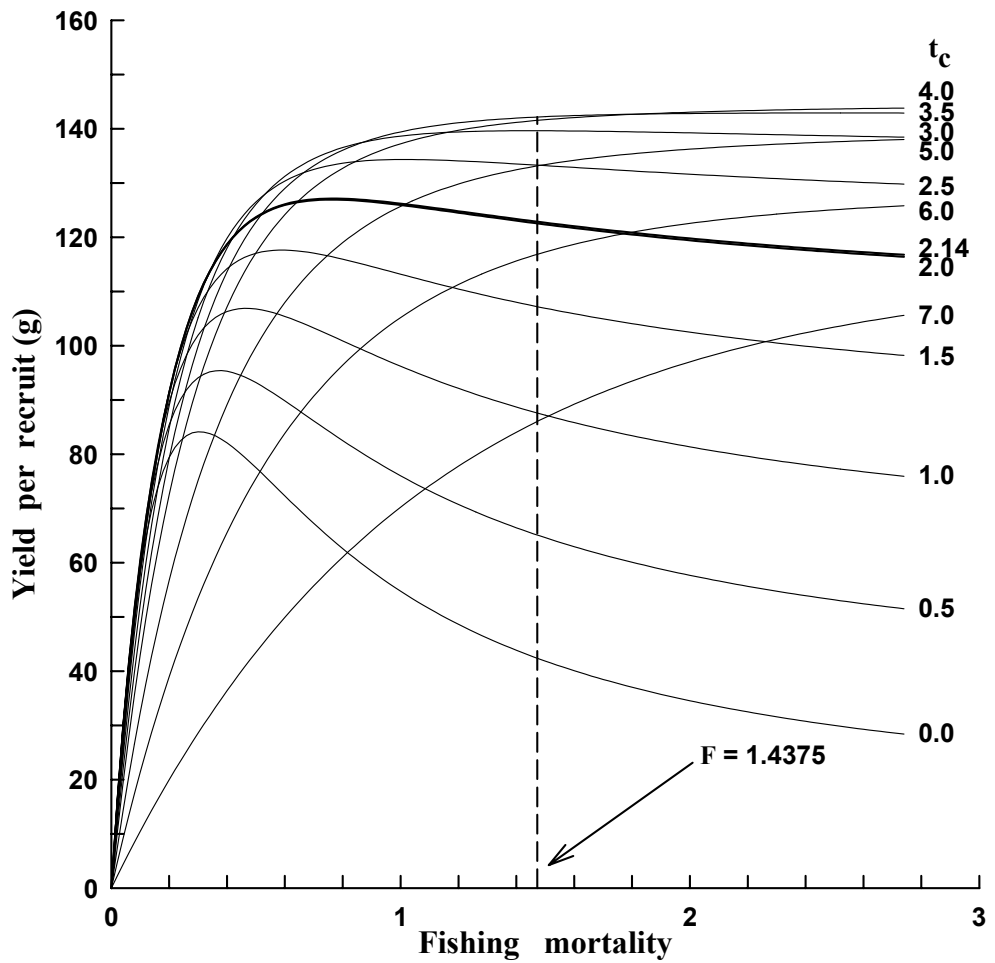


Fig. 29. Yield per recruit curves of *B. cornutus*. Y/R against fishing mortalities (F) for various ages at first capture (t_c).

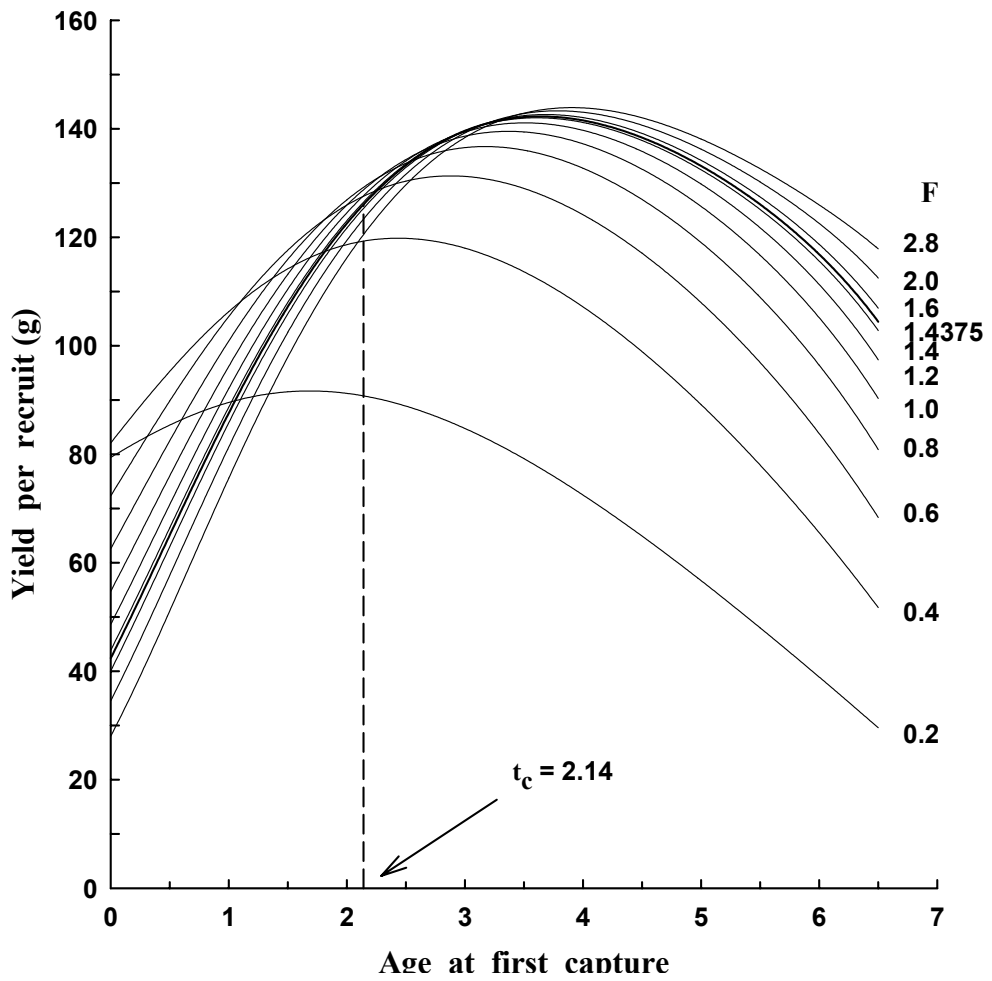


Fig. 30. Yield per recruit curves of *B. cornutus*. Y/R against the age at first capture (t_c) for various fishing mortalities (F).

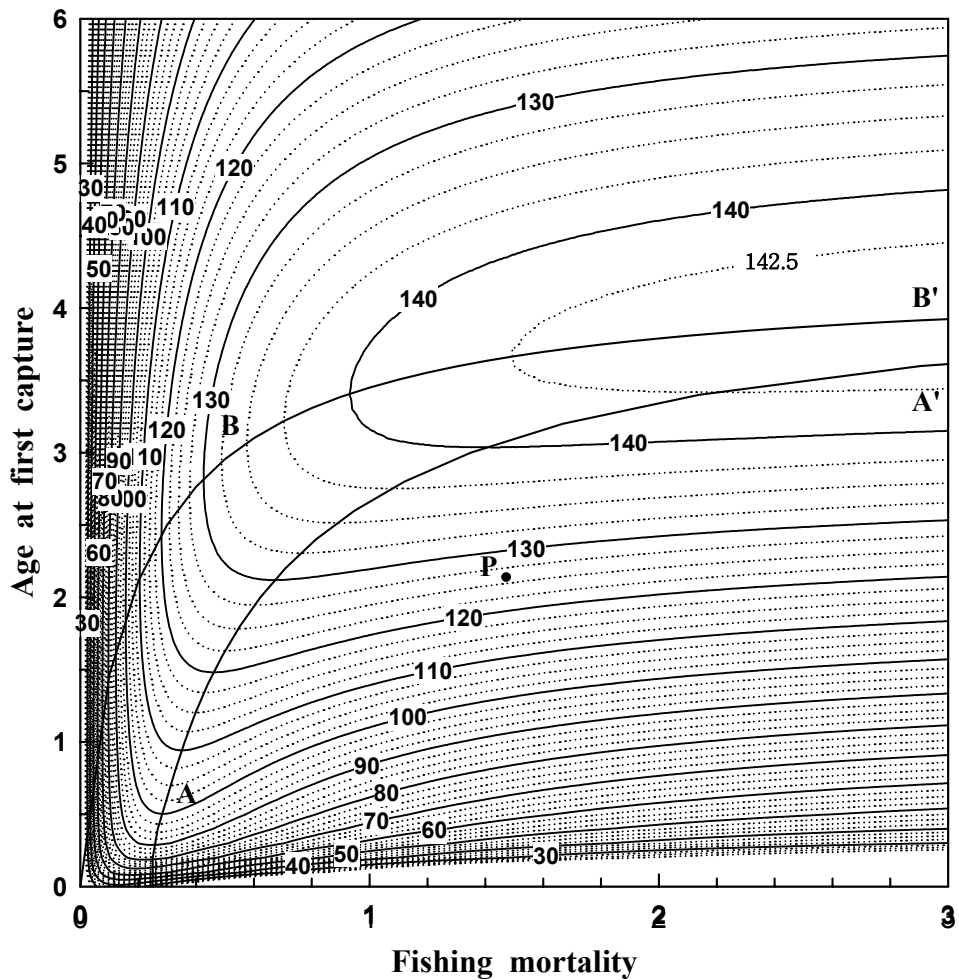


Fig. 31. Yield isopleths for *B. cornutus*. *P* represents the current state of fishing mortality (F) and age at first capture (t_c).

IV. 고 찰

우리 나라에 있어서 소라, *B. cornutus*는 제주도 연안외에도 대마난류의 영향을 받는 거문도, 거제도, 남해도 등을 비롯한 남해안 일부해역에 분포하며, 동해안에는 방어진 등 동해 남부해역과 울릉도, 독도 등에 분포하고 있는 것으로 알려져 있다 (국립수산과학원, 1999). 특히, Rho (1976)의 경우에 있어서는 소라의 종묘생산에 관한 연구를 위하여 방어진산 시료를 정기적으로 확보하여 종묘생산 시험을 실시한 바 있으며, 최근에는 독도의 해양생태계에 대한 연구 필요성이 증대함에 따라 독도 생태계 기초조사 연구에서 그곳에도 다량의 소라가 분포하고 있음을 밝혀져 있다 (해양수산부, 2000). 그러나, 제주도를 제외한 기타 지역에서 소라에 대한 기호도가 낮고, 가격도 제주도에 비하여 저가로 취급될 뿐만 아니라 어획량 통계 등에 관한 자료는 전혀 찾아 볼 수 없다. 제주도에서 소라자원은 마을어장에서 생산되는 품종 중 매우 높은 경제적 비중을 차지하며, 예로부터 어획되었던 주요 자원이다. 특히, 해녀의 소득과 직접적으로 연계되는 중요한 어업자원이다.

제주도 연안의 마을어장에서 어획된 소라어획량은 1982년에서 1985년 동안 연간 약 3,100~3,600톤까지 어획되었으나, 과도한 어획영향과 1986년 이후 약 2년간 이상 폐사현상 등이 겹치면서 1989년에는 약 440톤으로 급감하고, 최근에는 약 2,000톤을 약간 상회한다. 1980년대 하반기 어획량 감소원인은 이상과 같은 원인 외에도 생물학적 최소형 (각고 3.4 cm) 보다 작은 소라에 대한 예비자원 관리 및 포획금지 각고 기준의 미 설정 등의 소극적 어장관리, 그리고 자원관리를 위한 제도적 장치 미흡 등 여러가지 요인이 복합적으로 작용하였을 것으로 판단된다.

과거의 연도별 어획량과 최근 어획경향 등의 비교를 통한 시기별 자원 이용상태를 정리하면, 연간 약 2,000톤 수준이 어획되었던 1970년대가 적정어획 시기였다면, 엔화 (yen) 상승과 제주도의 사회적 여건상 대일수출에 의한 외

화획특이 강조되어 연간 3,000톤 이상 어획한 1980년대 초반에서 중반까지를 과도어획시기라고 할 수 있다. 또한, 1990년부터 TAC 실시로 어획량이 회복되면서 연간 약 1,500톤까지 증가하는 1991년~1993년은 자원회복 시기라고 할 수 있겠다. 최근인 2000년은 1994과 1995년 2년간 연간 2,600톤에서 2,800톤이 어획되던 과도어획 기간을 거쳐 2,000톤 내외의 어획수준은 1970년대와 다른 어획강도를 고려할지라도, 어느 정도의 과도어획이 이루어지는 것으로 판단된다. 1994~1995년의 과도어획은 1990년에서 1993년까지 약 4년간 시행되었던 총허용어획량 (TAC)이 어업인의 어획요구에 의하여 일시적으로 중단되어 일시적인 어획강도의 증가와 높은 관계가 있었던 것으로 사료된다.

1996년에서 2000년간 5개년간 소라의 월별 평균어획비율은 10월 20.0%, 11월 15.7%, 12월 20.0%로 3개월간 어획량이 연간 총어획량의 약 50~60%를 차지하여 단기간 집중적 어획은 분산하여 어획하는 것이 바람직한 것으로 사료된다. 이는 현재 어획수준인 2,000톤 이상 어획량을 유지하고 자원증가를 도모하기 위하여는 미역 등 갈조류 계통의 해조류가 풍부한 춘계까지 어획을 유보 또는 분산하여 어획한다면 성장에 따른 단위개체당 중량 증가로 어획량적인 면에서 더 높은 실익을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 10월에서 12월의 3개월간 집중어획 원인은 대일수출 물량의 우선적 확보를 위하여 계속되는 적체현상을 초래하여 각 항·포구에 장기축양 등으로 인한 개체당 중량 감소와 폐사 등이 발생하고 있다. 따라서, 월별 계획생산과 대일 수출에 의존한 유통 및 소비구조의 개선이 절실하다. 이와 같은 단기간 집중어획은 춘계에 미역 등 갈조류 계통의 해조류가 번무하면 조업 시 소라가 잘 노출되지 않아 10월에서 12월보다 단위시간당어획능률이 떨어짐으로서 일시에 많은 양을 어획하려하므로 어업인의 관습적 어획방법을 개선하는 것이 자원증강 및 합리적 이용에 매우 유익할 것으로 사료된다.

제주도산 소라의 생식소는 각고 3 cm 이상의 개체에서 암, 수 구분이 용이할 정도로 쉽게 구분이 가능하였으며, 특히 생식소의 성숙이 진행중이거나 완

숙된 개체에서는 암컷의 경우 황갈색→암청색→녹갈색으로 변화하고 수컷의 경우에는 황백색→유백색으로 변화는 성숙단계에 따라 간단하게 성을 구분할 수 있었다. 암, 수별 조직학적 발달단계는 Lee (1983)의 관찰과 거의 유사한 형태의 결과가 관찰되었는데, 완숙기의 난모세포의 크기가 100 μm 전후였던 것과 마찬가지로 이 연구에서도 완숙기의 난소 소엽 사이의 내강에서 관찰된 완숙난모세포의 크기는 100 μm 전후였다. 아울러 암, 수 모두의 생식소는 연중 연속적으로 성숙의 변화 패턴을 바꾸면서 매우 활동적인 생체 리듬을 유지하는 것으로 판단되었다.

한편, 이 연구에서는 완숙기 이후에 관찰 가능한 방란기를 부분방란기와 방란기로 구분하여 관찰하였는데, 부분방란기에는 완숙기에 생식소낭 속에 가득 차 있던 난모세포 중 일부가 방란된 것이 관찰되었고, 방란기에는 생식소낭 속의 난모세포 대부분이 방출되어 부분방란기에 비교하여 빈 공간이 상당히 넓어진다. 그리고 거의 대부분의 난이 방출된 후에는 암, 수 구분이 어려울 정도로 생식소낭이 크게 위축되고 난모세포는 거의 관찰할 수 없었다.

Lee (1983)는 광학현미경과 전자현미경을 사용하여 소라의 생식소 발달단계를 조직학적으로 관찰한 결과로서 분열증식기, 성장기, 성숙기, 방출기 그리고 회복기의 5단계로 구분하였으나, 이 연구에서는 소라의 생식소 발달단계를 비성장기 (IA), 초기성장기 (EA), 후기성장기 (LA), 완숙기 (R) 그리고 방출 및 퇴화기 (SD)의 5단계로 구분하여, Lee (1983)의 연구에서 구분 설정한 방출기와 회복기의 단계를 방출 및 퇴화기로서 정리한 반면에 초기 생식소 발달단계를 조금 더 구체적으로 구분하였다. 한편, 이 연구에서 북제주도 한수리를 대상으로 실시한 제주도산 소라의 생식소는 4월에 성숙을 시작하여 개체군의 35.3%가 완숙하였으며, 5월에는 개체군 중 극소수의 생식소가 쇠퇴기로 넘어가고 7월에는 개체군의 52.2%가 방란 후 쇠퇴기로 발달되었다. 수컷에서도 마찬가지로 정소는 이미 4월에 64.7%가 성장기에 접어 들어 8월에는 78.6%의 정소가 방정 후 쇠퇴기로 넘어간 것이 관찰되었다. 이러한 결과는

한수리를 대상으로 실시한 제주도산 소라의 주산란기가 7월과 8월 사이임을 의미한다.

한편, Lee (1983)는 제주도산 소라의 산란성기를 7월 중순에서 9월 중순으로 보고한 반면, 이 연구에서는 생식소지수를 관찰하는 방법으로 산란기와 산란성기를 분석한 결과, 7~8월의 주산기를 중심으로 5월에서 8월 사이가 산란기인 것으로 나타났다. Lee (1983)의 연구와 이 연구의 비교에서 볼 수 있는 산란기 및 산란성기의 차이는 연구 대상 지역의 상이에서 유래된 것으로 추측할 수 있으나, 연구 기간의 상이에서 오는 수온 상승, 연간 수온의 변화 그리고 제주 연안을 통과하는 대마난류가 미치는 영향의 정도 등과 같은 연안 해양환경의 변화가 그 원인일 가능성도 배제할 수는 없을 것으로 생각한다. 이러한 추측의 근거로서, Lee (1983)가 연구한 1978~1980년 6월 제주도 북부 연안해역의 표면 평균수온은 18.5~19.1°C 범위였으나, 이 연구가 진행된 2002년 6월 수온은 17.7~22.7°C, 평균 19.5°C였다. 또한, 과거 제주도 북부연안의 표면수온을 10년 간격으로 나누어 보면, 2002년의 표면수온은 20년 전인 1982년 수온에 비하여 일부 월을 제외하고 전반적으로 0.4~3.4°C 정도 높은 것으로 나타나고 있으며, 특히 산란기로 추정되는 6~8월에 약 1.1~3.4°C 고온상을 보인다 (Fig. 32).

암, 수별 제주도산 소라의 크기별 성숙 상태를 비교한 결과, 암컷의 경우에는 각고 3 cm 이하의 개체에서는 약 20% 정도가 생식소가 성숙된 것이 관찰되었으나, 수컷의 경우에는 약 3.0 cm 이하 개체군에서 전혀 성숙된 개체가 관찰되지 않은 점으로 보아 암컷의 경우에는 최초 생식에 참가할 수 있는 생물학적최소형은 각고 약 3.4 cm 이상으로 추정된다. 이러한 생물학적 최소형의 구명은 금후 제주도 연안에서의 소라 자원 보호 및 관리 유지에 있어서

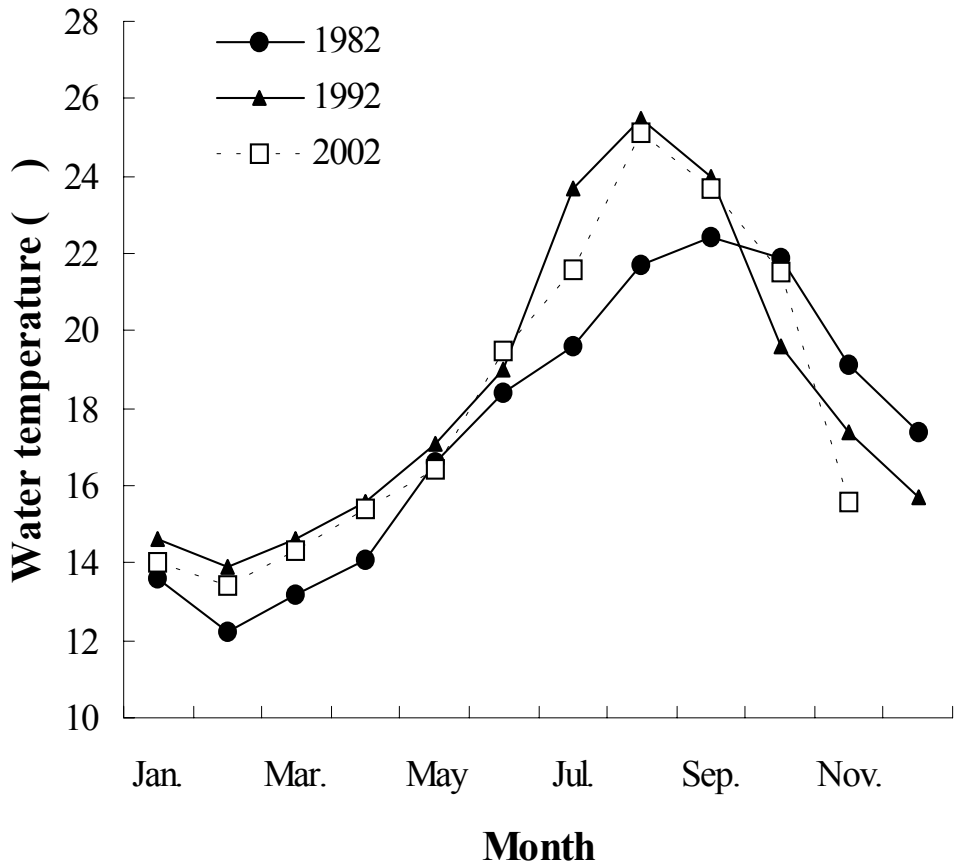


Fig. 32. Monthly distribution of water temperature in Jeju city at an interval ten years.

포획금지 크기 설정에 매우 가치 높은 자료로서 활용이 가능할 것이다.

Lee (1983)의 연구 결과와 Joll (1980)의 연구 결과에서 제주도산 소라와 오스트라리아산 소라의 성비는 거의 1:1이었으며, 성전환은 관찰할 수 없었다고 보고하였다. 그러나, 이 연구에서 제주도산 소라의 암수 성비는 산란시기에 채집된 조사 대상 개체 183개체 중 암컷 104개체, 수컷이 79개체로 그 성비는 1:0.76으로 수컷 개체 보다 암컷 개체가 차지하는 비율이 훨씬 높았으나, χ^2 검정 결과 1:1이었다. 한편, 연구기간 중 소라의 성전환은 직접 관찰하지 않았으나, 산란 기간 중 매월 실시한 소라의 채집 분석 실험 중 2002년 7월 (n=36) 시료에서 1개체의 자웅동체가 관찰되었다.

연령과 성장 parameters를 구하기 위하여 1994년도 채집된 시료 중, 가장 작은 소라 개체들의 출현은 6월에 각고 모-드가 1.34 cm의 치패들이었으며, 이들 치패들은 모두 중조간대에서 채집된 것으로, 이 논문의 연령과 성장 부분에서 검토한 결과로 보면 1세군으로 추정된다. 즉 1994년 6월 각고 1.34 cm의 치패들은 1년 전에 발생한 1993년 6~8월에 발생한 개체군이며, 1994년도의 당년생은 발견되지 않았다.

이들 치패의 발생을 역 추정하기 위하여, 조사어장에서 3 km 정도 떨어진 남해수산연구소 북제주수산종묘시험장의 인공종묘 생산한 치패의 성장을 비교 검토해 보면, 1993년 6월에 인공산 소라 치패의 평균각고는 약 1개월 후인 7월에 0.06 cm로 성장하고, 8월 0.12 cm, 9월 0.22 cm, 10월 0.53 cm, 11월 0.63 cm, 12월 약 0.77 cm내외로 성장하였다. 이듬해인 1994년 1월에서 4월까지의 저수온의 영향으로 전년과 같이 성장 폭이 크지 않지만 평균각고 0.80~0.83 cm의 범위였고, 5월에 약 0.93 cm로 성장하였다.

이 치패들의 성장은 Lee (1983)가 제주도산 소라의 산란기는 6월 하순~9월 중순에 걸쳐 산란한다고 보고되어, 1994년도 6월에 출현한 1.34 cm 각고의 치패들은 당해 년도의 발생군이 아니라, 1993년도 산란기에 발생한 개체들이 약 1년 후인 6월에 출현한 개체들이라 할 수 있다.

한편, 제주도의 마을어장에서 매년 4~5월경 우뚝가사리를 채취할 때 이 해조에 각고 약 0.6~0.9 cm의 치패들이 많이 부착되어 있는 것으로 보아, 당년 생들은 소형의 만 형태의 저지대에 서식하는 우뚝가사리 분포 지역에서 약 1 cm 전후로 성장한 후, 중조간대로 이동하는 것으로 추정된다. 2002년 7월 연령과 성장을 위한 치패채취와 동일어장인 북제주군 한수리 어장에서 우뚝가사리 채취시 이 해조에 부착되어 채취된 소라치패의 각고는 0.70~0.95 cm로 1994년 치패의 성장과 유사한 경향을 보였다.

성장식의 추정을 위한 연간성장량 검토에서 각고 3.2 cm 이하의 개체에 대한 연간성장량이 불안정한 경향을 이루는 것은 Lee (1983)가 보고한 소라의 산란기 (6월하순~9월중순)가 길기 때문에, 빠르고 늦게 출생하는 시기에 따른 개체 크기의 차이, 즉 아직 충분히 성장하지 못한 개체에 대한 표본 오차라고 생각된다. 각고 3.2 cm 이상의 개체에서 각고의 크기에 따른 연간성장률이 거의 같은 것으로 보아, 어린 개체들이 완전 성장에 가입되는 크기는 각고 3.2 cm 부근인 것 같다.

따라서, 이 연구에서 추정된 소라의 성장식은 3.2 cm 이하의 어린 개체에서는 적용할 수 없고, 원래 von Bertalanffy의 성장식은 어류의 초기 성장에는 적용할 수 없는 이유가 여기에 있는 것으로 판단된다. 그러나, 자원의 평가는 완전 가입이 이루어진 성숙개체를 대상으로 하고 있기 때문에, 여기에서 추정된 성장식은 매우 유효하게 적용할 수 있을 것이다.

Fujii (1993)가 대마도 연안산 소라의 연급군 분리를 이용한 연령별 각고 분포를 보면, 1세 1.5 cm, 2세 3.8 cm, 3세 6.6 cm, 4세 8.4 cm, 5세 9.0 cm, 6세 9.2 cm로 보고하고 있으며, L_{∞} 를 9.30 cm로 보고하고 있다. 이는 이 논문에서 나타난 연령별 각고와 비교하여 1~4세까지는 전반적으로 비슷한 연령별 각고 값을 나타내고 있으나, 5세 이후의 각고 값과 L_{∞} 는 이 논문에 비하여 낮은 값을 나타내고 있는 것은 대마도 연안산 소라의 채취는 scuba diving을 이용한 소형패 위주의 표본에 기인한 결과라고 추정된다. 또한 0령

패의 경우는 성장이 느리고, 1~3세까지는 성장이 빠르며 4세 이후는 성장이 다시 늦게 되는 경향은 Logistic 곡선에 적합하다고 판단하여 Robertson 성장식을 사용하고 있다. 그러나, Fujii (1993)는 5세 이상의 성장은 불명확하고, 대마도 내에서도 지역간 소라의 성장 차가 있는 것으로 밝히고 있다. 따라서 5세 이후의 연령별 각고의 차는 위도상 북쪽에 위치한 대마도산 소라와 제주도산 소라의 성장에는 어느 정도의 성장 차가 있을 것으로 판단된다.

자원생물학적 특성치 분석 중 일반적으로 생산율의 추정을 위해서는 수산자원 연구에서 사용되는 연령조성 자료는 하나의 동일한 cohort에 대한 일생 동안 추적한 자료를 사용하여야 한다. 그러나 하나의 cohort로 부터 매년에 걸쳐 일반적인 생산율을 알아내는 것은 자연적인 상황 하에서는 거의 불가능하다. 생산율은 자원의 평형적인 상태를 가정하여 몇 해에 걸친 어획물의 연령조성자료를 이용하게 되는 데, 이러한 가정은 실질적인 상황을 무시하고 있기 때문에 자원평가에 오류를 범할 가능성은 높다고 할 수 있다. 그렇지만 지금까지 밝혀진 연구로는 별 다른 방법이 없으므로 가정을 바탕으로 추정할 수 밖에 제시되지 소라의 생산율은 3개년 동안의 해녀 어획물의 연령조성 자료를 인위적 평형상태로 만들어 추정하였다.

소라자원 뿐만 아니라 어업자원생물의 순간자연사망계수 (M)는 매우 중요하고 자원평가이론의 적용에 있어서 필수적인 특성치의 하나지만 실제 정확한 값을 추정한다는 것은 매우 어려우므로 간접적인 방법으로 값을 추정하는 것이 보통이다. 이 연구에서는 집단성숙연령을 이용한 Rikhter and Efanov (1976)의 방법과 성숙각고를 이용한 Roff (1984)의 방법을 적용하여 소라의 순간자연사망계수를 추정하였다. 두 방법에 의하여 구해진 값은 각각 0.1853/yr과 0.2454/yr으로 큰 차가 없다고 생각되었으므로 추정치의 중간 값에 해당하는 0.2154/yr을 택하여 제주도산 소라의 순간자연사망계수로 하였다. 그러나, 실제의 연령별 자연사망계수는 서로 다르며, 이러한 값을 이용한 자원평가의 결과는 자원의 과소 또는 과대평가를 내릴 경우가 내포되므로 연

령별 자연사망계수의 추정에는 향후 다각적인 연구가 매우 필요하다. 앞서의 자연사망계수의 한 추정방법에서 집단성숙연령을 8세로 한 것은 Rikhter and Efanov (1976)가 집단성숙연령 (T)은 한 연급군의 생체량이 최대가 되는 임계연령과 같다고 주장하였으므로 이론적으로 최대중량이 되는 최대연령을 적용한 것은 무리가 없는 것으로 판단된다. 또한 두 번째의 Roff (1984)의 방법에 의한 순간자연사망계수의 추정에 사용된 성숙크기 각고 4.6 cm의 적용은 성숙과 산란 등의 구명과 관련하여 생물학적 최소각고를 알기 위하여 산란기로 추정되는 5월에서 8월까지의 암컷 104개체의 각고별 성숙개체의 비율로 구하여 100%가 성숙하는 크기를 사용하였다. 일반적으로 50% 이상이 생식에 참여할 수 있을 때의 크기를 군성숙도로 보고있지만, 성숙각고에 차이에 따른 계산 값은 미미하다. Yamamoto and Yamakawa (1985)는 소라 각고를 최소 4.0 cm에서 1 cm 간격으로 구분하여 각고 12 cm까지 8개 계급으로 구분하여 속도지수 및 난경분포 등의 조사방법으로 성숙크기를 각고 5.5 cm로 보고하였음을 볼 때, Roff 방법에 의한 성체크기 (length maturity)로 전 개체가 성숙하는 크기를 적용하여도 무리가 없을 것으로 생각된다.

어획개시연령 (t_c)은 이론적으로 그 개념이 정립되어있지만, 실제 그 값을 구하기는 연구자의 관점에 따라 방법과 추정 값의 차이가 크다. 보통 어획개시 연령의 추정은 Pauly (1984)의 주장과 같이 어획하고 있는 어구의 망목을 대상으로 체장별 망목선택성을 추정하여야 하나 도수에 의하여 어획되는 패류의 경우는 이와 같은 방법을 적용하는 것은 곤란하다. 그렇지만 자료가 없을 경우 순간전사망 계수가 가입이전의 연령을 포함하여 모든 연령에서 동일하다는 가정을 바탕으로 체장 (각고) 조성자료를 이용하여 추정하는 방법을 사용하였다. 이 연구에서의 어획개시연령은 수산업법상의 공식적인 크기는 각고 7.0 cm 이상으로 이 값을 성장식에 대입하여 연령으로 환산하여 어획개시연령으로 사용하기보다는 실제로 어획되는 각고조성으로 분석하는 것이 합당하다고 생각되어 해녀의 어획물 각고조성에서 나타난 총 673개체의 출현빈도

중앙값 4.75 cm를 2.14세로 환산하였다.

소라자원 상태를 진단하고 관리방안을 위해 Beverton and Holt (1957)의 가입당 어획량곡선에 의거 추정된 결과 어획개시연령 (t_c)인 2.14세, $F = 1.4375/\text{yr}$ 에서의 가입당 생산량은 126.30 g으로 추정되고, 현재의 어획개시연령에서 순간어획사망계수를 높일수록 가입당생산량은 점점 더 감소하므로 현재의 F 값 수준인 1.4375/yr에서 최고의 가입당생산량을 얻기 위해서는 어획개시연령 (t_c)을 3.7세로 높여야 할 것으로 나타났다. 그러나, 순간어획사망계수 (F) 값을 1.4375/yr을 유지하면서 어획개시연령 (t_c)이 3.7세로 높이면 최대 가입당생산량 142.43 g을 얻을 수 있으나, 그 이상으로 어획개시연령 (t_c)을 증가시키면 $t_c = 3.7$ 세때보다 오히려 가입당 생산량이 감소하는 것을 알 수 있다. 또 현재의 t_c 인 2.14세에서는 F 값이 0.69/yr에서 최대 가입당생산량인 130.3g을 나타내었으나, 현재의 F 값인 1.4375/yr에서의 가입당생산량 (120.9 g)과 큰 차이가 없었다. 이러한 결과는 현재의 어획개시연령 및 순간어획사망계수의 두가지 기준에서 모두 적정수준 이상에 있으며, t_c 를 높이고 F 는 낮추어야 한다. 그러나, F 를 낮출 수 없는 현실에서 현재의 어획강도에서 어획개시연령을 3세 (각고 7 cm) 및 3.7세 (각고 8.3 cm)로 높일 경우에는 현재보다 각각 약 10% 및 약 13%의 생산량 증대를 기대할 수 있다.

V. 요약

소라, *B. cornutus*의 어업현황, 성숙과 산란, 연령과 성장 및 자원생태학적 특성치를 구명하여 그 결과를 토대로 자원상태를 평가하고 진단하였으며, 이 평가결과를 바탕으로 자원의 관리에 관하여 연구하였다. 이 연구에서 어업현황에는 해양수산부통계연보와 수협제주도지부 자료를 사용하였다. 산란과 성숙에 관한 시료는 2002년 4월에서 8월까지 북제주군 한수리에서 어획된 것을 사용하였고, 연령과 성장에 관한 시료는 1994년 1월에서 12월까지 한수리어장에서 연구자가 직접 어획하여 사용하였다. 자원생태학적 특성치 및 자원관리는 1992년에서 2000년의 어획물 각고, 연령조성자료 등 자원생물학적 특성치를 사용하였다.

주요 연구결과는 다음과 같다.

어업현황

1970~2000년까지 약 30년간 나잠어업에 의한 제주도산 소라의 연간 총어획량은 1970년대는 약 1,600~2,700톤이 어획되었고, 1980년대에는 1983년 약 3,600톤으로 최고 어획량을 보인 후 계속 감소하여 1989년에는 약 480톤 수준까지 감소하였다. 최근 3년간 (1998~2000년) 어획량은 약 2,100~2,300톤 수준이었다.

산란과 성숙

월별 생식소 발달단계와 생식소 속도지수의 변화로부터 추정된 소라의 산란기는 5~8월로 추정되며, 주 산란기는 7월로 추정되었다. 50% 균성숙도는 암컷의 경우 3.4 cm로 추정되었다. 성비는 1:1이었다.

연령과 성장

연령은 cohort analysis에 의하여 분석되었고, 최고연령은 8세로 추정된다. 각고와 전중과의 관계는 $W = 0.0002SH^3$ ($R^2 = 0.997$)이었고, von Bertalanffy 성장식의 매개변수 추정치는 $L_\infty = 12.503$ cm, $K = 0.392/\text{년}$, $t_0 = 0.917/\text{년}$ 이었으며, 각고 성장식은 $L_t = 12.503(1 - e^{-0.392(t-0.917)})$ 으로 나타났다.

자원생태학적 특성치 추정

1992~2000년까지 제주도 연안의 마을어장에서 나잠어업으로 어획된 소라의 각고는 약 5~12 cm까지 분포하며, 각고 7.5 cm를 기점으로 어획물의 우측 경사가 높게 나타났다.

1992~2000년 동안의 연도별 연령별 어획량을 보면 주 연령군은 3세군으로 매년 어획물의 약 54.2~72.7%를 차지하였다. 자원평가를 위한 자원생물학적 주요 매개변수는 생잔율 (S) 0.1915, 순간자연사망계수 (M) 0.2154/년, 어획사망계수 (F)는 1.4375/년, 어획개시연령 (t_c) 2.14세, 어장가입연령 (t_r)은 1.10세로 추정되었다. 어획율 (E)은 70~75% 수준이었다.

자원평가 및 관리

1992년에서 2000년간의 소라 자원량은 약 1,700~4,400톤이었고, 1994년 4,400톤으로 최고 자원량을 나타낸 후, 최근 2000년은 약 3,000톤 이상 수준을 유지하고 있다. 소라의 최대지속적어획량 (MSY)는 Schaefer model에 의해 약 2,580톤으로 추정되었으며, 이 때의 적정해녀수는 약 4,200명이었다.

소라 자원을 가입당생산량 모델에 적용시킨 결과, 현재의 어획개시연령 (t_c) 2.14세, $F = 1.4375/\text{yr}$ 에서 가입당생산량은 126.30 g이었다. 현재의 F 값 수준에서 최대의 가입당생산량을 얻기 위해서는 어획개시연령 (t_c)을 조금씩 끌어올리는 것이 효과적이었고, 최대한계는 3.7세 (각고 8.3 cm)이었다. 3.7세 이후는 오히려 가입당생산량이 감소하였다.

VI. 참 고 문 헌

- Ai. T., M. Nonaka and T. Sasaki. 1964. Spawning and early development of the top shell, *Turbo cornutus* Solander - I. Bull. Japan. Soc. Fish., 30: 828-830.
- Bertalanffy, L. von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquires on growth laws. II). Hum. Biol., 10(2): 181-213.
- Beverton, R. J. H. and S. J. Holt. 1957. On the dynamics of exploit fish populations. Fishery investigation, series II. Marine Fisheries. Great Britain Ministry of Agriculture. Fisheries and Food, 19: 533pp.
- Bhattacharya, C. G. 1967. A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. Biometrics, 23: 115-129.
- Chang, D. S. and S. C. Chung. 2001. Shell growth pattern of the top shell, *Batillus cornutus* in the Coastal Jeju Island. Jour. Soc. Fish. Res., Korea, 3: 9-15 (Korean).
- Chang, D. S., Y. C. Park and S. C. Chung. 2002. Stock Assessment of the top shell, *Batillus cornutus* in Jeju Island. Bul. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst., Korea, 61: 22-33 (Korean).
- Chang, D. S., S. C. Chung, D. W. Lee, D. S. Ha and D. G. Kim. 1999. Recruitment characteristics and stock assessment of topshell, *Batillus cornutus* in Jeju Island. Bul. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst., Korea, 57: 27-34 (Korean).
- Chung, S. C. 1983. A study on the growth of Jeju Island's turban shell, *Turbo cornutus*. Bull. Mar. Resour. Res. Inst. Jeju Univ., 7: 71-75 (Korean).

- Fujii, A, 1993. Growth of Topshell, *Batillus cornutus*, in the Waters of West Tsushima Islands, Nagasaki. Bull. Naga. Pref. Inst. Fish., 19: 9-14 (Japanese).
- Fushimi, H., Y. Kageyama and S. Matsubara. 1978. Studies on the Fishery Management of the Japanese Top Shell, *Turbo cornutus* Slander- I. Bull. Shizuoka Pref. Fish. Exp. Stn., 12: 15-34 (Japanese).
- Gulland, J. A. 1968. Manual of methods for fish stock assessment. part 1. Fish population analysis. FRs/T40 (Rev. 2), F.A.O. 1-97.
- Gulland, J. A. 1983. Fish Stock Assessment. John Wiley & Sons, 223pp.
- Gulland, J. A and S. J. Holt. 1959. Estimation of growth parameters for data at unequal time intervals. J. Cons. Int. Explor. Mer., 25: 47-49.
- Hwang, H. J. and K. O. Chung. 1979. A Study on the growth of the top shell, *Turbo Cornutus* (Solander). Bull. Fish. Res. Dev. Agen., 22: 45-53 (Korean).
- Joll, L. M. 1980. The reproductive biology of the ormer, *Haliotis tuberculata*. J. Mar. Biol. Assoc., U. K. 60(2), 415-430.
- Lee, J. J. 1983. Histological Study on the Reproductive Cycle of Jeju Island's turban shell *turbo cornutus*. Bull. Mar. Resour. Res. Inst. Jeju Nat. Univ., 7: 29-51.
- Lee, J. J. 1984. The Fine Structure of Differentiating Spermatozoa in the Turban Shell, *Turbo cornutus*. Jeju Nat. Univ., 8: 53-64 (Korean).
- Lee, J. J. and J. Y. Lee. 1979. Calorific Content Change in the Gonad and Meat of *Turbo cornutus* Sorander. Bull. Mar. Resour. Res. Inst. Jeju Nat. Univ., 3: 17-22 (Korean).
- Lee, J. J. and K. W. Lee. 1984. On the Growth of Released Turban Shell,

- Turbo cornutus* and Environments of its Habit. Jeju Nat. Univ., 8: 31-40 (Korean).
- Pauly, D. 1984. Length-converted catch data. A powerful tool for fisheries research in the tropics (Part II). ICLARM. Fishbyte, 2(3): 9-10.
- Pauly, D. and J. F. Caddy. 1985. A modification of Bhattacharya's method for analysis of mixtures of normal distribution. FAO. Fish. Cir., 781: 1-16.
- Petersen, C. G. J. 1894. On the biology of our flatfishes and on the decrease of our flatfish fisheries. Rep. Dan. Biol. Stn., IV: 147p.
- Pope, J. G. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. ICNAF, Res. Bull., 9: 65-74.
- Pyen, C. G. and S. Rho. 1985. Research for top shell, *Batillus cornutus* (Light Foot) culture in Che Ju Do. Jeju Uni., 1-69 (Korean).
- Rho, S. 1976. Spawning and early development of the top shell. *Turbo cornutus Splander*. Bull. Kor. Fish. Soc., 9(1): 43-55 (Korean).
- Rikhter, V. A. and V. N. Efanov. 1976. On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish population. ICNAF, Res. Doc., 76/VI/8, 12p.
- Roff, D. A. 1984. The evolution of life history parameters in teleosts. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 41: 989-1000.
- Schaefer, M. B. 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. Inter. Am. Trop. Tuna Comm. Bull., 2: 245-285.
- Yamamoto, T. and H. Yamakawa. 1985. The Gonadal maturation in *Turbo (Batillus) cornutus*. Bull. Japan. Sci. Fish., 51: 357-364 (Japanese).
- 국립수산과학원. 1999. 한국연근해 유용연체동물도감, 구덕인쇄사, 35.

- 농림수산부. 1970-1997. 농림수산통계연보. 어업생산량통계.
- 수산업협동조합중앙회. 1992-2000. 수산물계통판매고 통계연보.
- 유종생. 1995. 원색 한국패류도감, 일지사, 서울. 38-39.
- 정상철, 이기완, 조재현, 김대환. 1987. 소라종묘구의 효과와 자원분석. 소라의 증산에 관한 학술보고서, 제주대학교 해양자원연구소, 7-19.
- 해양수산부. 1998-2000. 해양수산통계연보.

감사의 글

바쁘신 중에도 본 논문의 체계를 잡아주시고 다듬어 주신 이정재 교수님, 이기완 교수님, 노 섬 교수님, 최광식 교수님께 감사드리며, 새로운 분야를 가르켜 주신 송춘복, 이영돈 교수님께도 감사드립니다. 이 논문이 완성되기까지 한결같이 보살펴 주시고, 수산자원 평가의 중요성을 일깨워 주시며 기본에 충실한 학문의 길로 이끌어 주신 정상철 지도교수님께 깊은 감사를 드립니다.

1991년 석사과정의 입문 과정을 지켜보시면서 많은 지도를 해주셨고, 소라의 자원감소에 따른 대책수립과 우리 나라 최초로 TAC 제도 적용을 제주도 소라자원에 적용하고 추진하시면서 더 많은 배움의 중요성을 일깨워 주신 안국전 국립수산과학원 원장님께 진심으로 고마움을 전하고 싶습니다.

이제야 연구자로서 거름마 단계인 나 자신을 뒤돌아 볼 수 있도록 항상 격려해 주시고, 한발 한발 정진토록 지원해 주신 전임기 남해수산연구소 소장님께 감사드리며, 남해수산연구소에서 재직 시 많은 지도와 편달을 주신 박영철 어업자원 부장님, 김 윤 증식부장님께도 깊은 감사를 드립니다. 또한, 바쁜 업무 속에서도 최선을 다하도록 지원해 주신 고태승 자원환경과장님, 박승윤 전임 자원환경과장님께도 감사함을 전합니다.

소라의 생식소 조사에 있어 많은 지도를 주신 여수대학교 이정식 교수님께 깊이 감사드리며, 특히 1992년 초창기 소라자원의 평가 및 관리를 위한 연구에서 많은 도움을 주셨던 이동우 연구관계 깊은 감사를 드립니다. 또한, 소라 시료 채집과 어획자료 수집을 도와준 하동수, 강호심씨와 김병엽, 서익조 읍서버 및 자원조성연구소 직원 여러분에게 깊은 감사를 드립니다.

항상 서로를 위로하면서 같이 달려온, 자원연구실의 김종빈, 김영혜, 김성태 연구사와 추은경, 장인철, 김용민, 이명희, 김영훈, 유경희, 황선영양에게도 그간의 고마움을 전하며 아울러 자원환경과 모든 직원에게 감사를 포함합니다.

백야도를 보면서 내일을 위해 함께 고뇌하였던 고우진, 김성수박사와 이중

배, 조희일 사무관님에게도 부족한 지면이지만 그간의 고마움을 표하고 싶습니다.

홀로 어린자식들을 위하여 희생하신 나의 어머니, 객지로 나간 동생을 대신하여 항상 이해하여 주시고 집안의 대소사를 챙겨주신 누님과 매형들에게 고마움을 전합니다. 또한, 자신의 조직과 우리 고향 김녕을 위하여 항상 노력하는 자랑스러운 나의 동생들과 여러 동문 여러분, 그리고 조카, 종민, 종호, 정환이 모두가 항상 건강하길 진심으로 바랍니다.

끝으로 오늘이 있기 까지 어려운 여건 속에서도 참아주고 힘이 되어준 나의 아내 이복희와 장인 장모님께 깊은 고마움을 전하며, 더 나은 미래를 위하여 노력하는 나의 아들 종윤이게 고맙다고 말하고 싶습니다. 그 어렵고 힘들었던 시절, 수산과학원에 입사를 위하여 여객선에 올라 일출봉이 내 시야에 멀어 지면서 세상을 달리하신 아버지 영전에 이 논문을 바쳐 용서를 빕니다.