



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시, 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리, 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지, 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학박사 학위논문

통영바다목장에 서식하는 조피볼락
(*Sebastes schlegelii*)의 자원생태



2008년 1월 10일

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 생 물 학 과

박 경 동

이학박사 학위논문

통영바다목장에 서식하는 조피볼락
(*Sebastes schlegelii*)의 자원생태

지도교수 강 용 주

이 논문을 이학박사학위 논문으로 제출함.

2008년 1월 10일

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 생 물 학 과

박 경 동

박경동의 이학박사 학위논문을 인준함.

2007년 12월



주 심 이 학 박 사 명 정 구 (인)

위 원 이 학 박 사 홍 성 윤 (인)

위 원 이 학 박 사 류 동 기 (인)

위 원 이 학 박 사 김 진 희 (인)

위 원 농 학 박 사 강 용 주 (인)

목 차

I. 서론	1
1.1. 연구배경	1
1.2. 통영바다목장사업의 개요 및 방류현황	3
1.2.1. 통영바다목장 개요	3
1.2.2. 시설 및 방류 현황	3
1.3. 연구목적	7
II. 조피볼락의 성장	9
2.1. 서론	9
2.2. 재료 및 방법	10
2.3. 결과	15
2.3.1. 운문판독	15
2.3.2. 산란시기와 산출시기	18
2.3.3. 성장식 추정	20
2.4. 고찰	27
III. 조피볼락의 생식생태	30
3.1. 서론	30
3.2. 재료 및 방법	31
3.3. 결과	33
3.3.1. 수온과 생식소숙도지수의 월별변화	33
3.3.2. 생식소의 조직학적 관찰	35
3.3.2.1. 생식소 외부 형태	35
3.3.2.2. 난소 발달과정	35

3.3.2.3. 정소 발달과정	38
3.3.3. 포란수와 체내자어수	40
3.3.4. 생식주기	43
3.3.5. 성숙전장 및 성숙연령	45
3.4. 고찰	47
IV. 식성	50
4.1. 서론	50
4.2. 재료 및 방법	51
4.3. 결과	54
4.3.1. 먹이생물 조성	54
4.3.2. 종다양성 지수	58
4.3.3. 계절에 따른 먹이 변화	61
4.3.4. 성장에 따른 먹이 변화	63
4.3.5. 섭식을 및 섭식량	66
4.3.6. Dietary breadth index	69
4.4. 고찰	72
V. 자원 특성치 추정	76
5.1 서론	76
5.2 재료 및 방법	77
5.2.1. 성장파라미터	77
5.2.2. 생존율 (S) 및 순간전사망계수 (Z)	77
5.2.3. 순간자연사망계수 (M)	78
5.2.4. 순간어획사망계수(F)	79

5.2.5. 어장가입연령 (t_r) 및 어구가입연령 (t_c)	80
5.3. 결과	82
5.3.1. 성장파라메타	82
5.3.2. 생잔율 (S) 및 순간사망계수 (Z)	82
5.3.3. 순간자연사망계수(M)	89
5.3.4. 순간어획사망계수(F)	89
5.3.5. 어장가입연령 (t_r) 및 어구가입연령 (t_c)	89
5.4. 고찰	93
VI. 자원량 추정 및 자원해석	95
6.1. 서론	95
6.2. 재료 및 방법	96
6.2.1. 자원량 추정	98
6.2.2. MSY 및 ABC 추정	102
6.2.3. 적정어획사망계수 및 적정어획연령의 추정	102
6.2.3.1. Beverton and Holt (1957) model에 의한 추정	102
6.2.3.2. 적정 $F_{0.1}$ 방법	103
6.2.3.3. 가입당 산란자원량 모델에 의한 추정	103
6.3. 결과	104
6.3.1. 자원량 추정	104
6.3.2. ABC, MSY 추정	107
6.3.3. 적정어획사망계수 및 적정어획연령 추정	108
6.3.3.1. Beverton and Holt 모델에 의한 추정	108
6.3.3.2. 적정 $F_{0.1}$ 방법	112
6.3.3.3. 가입당 산란자원량 모델에 의한 추정	112

6.5. 고찰	114
VII. 종합고찰	116
VIII. 요약	120
IV. 인용문헌	123



Population Ecology of Black Rockfish *Sebastes schlegelii* in Tongyeong Marine Ranching Area

Kyeong Dong PARK

Department of Marine Biology, Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Age and growth of black rockfish, *Sebastes schlegelii* sampled from the Tongyeong marine ranching area in Korea waters were determined from 942 otoliths from July, 2001 to May, 2004. Examination of outer margins of the otolith showed that the opaque zone was formed once a year. Marginal increment of the otolith formed annual ring from July. The von Bertalanffy growth curve had the growth parameters estimated from non-linear regression were $L_t = 53.95(1 - e^{-0.1733(t + 0.9327)})$, $W_t = 2,452.36(1 - e^{-0.1733(t + 0.9327)})^{3.02}$ for females and $L_t = 51.50(1 - e^{-0.1824(t + 0.9158)})$, $W_t = 2,148.95(1 - e^{-0.1824(t + 0.9158)})^3$ for males, where t is age(year) and L_t is body length(mm) at age t . Growth at the age of male and female shows similar ($p > 0.01$).

Gonadosomatic index (GSI) of the females began to increase in April, peaked in May, and declined sharply in June, whereas GSI of the males began to increase in September, peaked in October, and declined in November. Annual reproductive cycle can be divided into 4 successive stages. Early growing stage of ovaries was from August to September, and that of testes from May to

June. Period of late growing of testis was three month fast than that of ovaries. Females spawned in January, and males from October to November. Relationship between fecundity (F_c) and body length (BL) was $F_c = 383.7139 TL^{1.5785}$ ($r^2 = 0.6174, p < 0.001$), ranging from 44,805~139,892 eggs in body length of 22.8~37.7 cm. Body length at 50% maturity was 29.53 cm corresponding to the age of 2.8 years

Feeding habits of *Sebastes schlegelii* collected from the Tongyeong marine ranching area throughout 2002 were studied. *S. schlegelii* was a carnivore(piscivore) which consumed mainly fishes. Its diets also included a small amount of caridean shrimps, crabs, amphipods, polychaetes and isopods. The diets of *S. schlegelii* underwent some size-related changes; Small individuals (< 6cm SL) fed mainly on fishes, caridean shrimps, and amphipods while proportion of fishes increased with increasing fish size. The large individuals (> 20cm SL) extremely ate fishes. The diet of *S. schlegelii* underwent seasonal changes; caridean shrimps were mainly consumed from May to July 2002. Feeding rate and dietary breadth index of *S. schlegelii* varied with fish size and seasons.

Survival rate (S) was estimated to be 1.52/year, and the instantaneous coefficient of natural mortality (M) was 0.69/year. The age at first capture (t_c) was 2.03/year. From the estimates of survival rate (S) and natural mortality (M), the instantaneous coefficient of fishing mortality (F) was 0.83/year.

Total stock size of *Sebastes schlegelii* estimated with the method of tagging recapture was 634,910,276g in 2007. MSY is 181,616,084g. ABC is 66,557,414g.

A yield-per-recruit (YPR) analysis showed that the current yield per recruit of approximately 42.52 g, where $t_c=2.13$ year and $F=0.64$ /year.

I. 서론

1.1. 연구배경

우리나라의 연근해 어업생산량은 1950년대 초 약 30만M/T 수준에 불과하였으나 어업의 근대화에 따라 생산량이 증가하여 1970년대는 100만M/T을 넘게 되었다. 그러나 1980년대 중반부터 생산량이 감소하여 1980년대 후반에는 150만M/T, 2002년 110만M/T 수준으로 감소하였다. 이러한 어업생산량 감소는 지난 수십년간의 남획, 연안오염으로 인한 어업자원의 감소가 큰 원인으로 여겨지고 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 어업자원의 이용방법에 관한 관리등의 수산자원의 관리가 필요하며 이것은 단순히 어업인들의 소득증대만을 위한 것이 아니 국가적으로 중요한 가치를 가지고 있다. 수산자원은 국민들의 동물성 단백질 공급원으로 중요한 식량자원이며 일반국민들의 중요한 레저 활동대상이기도 하다. 더욱이 수산자원은 자연자원이 부족한 우리나라에서는 경제적 가치가 큰 유일한 자원이다. 그러나 이러한 수산자원은 이용방법에 따라 지속가능한 자원이 될 수도 있고 고갈자원이 될 수도 있다 (MOMAF, 2003).

국가에서는 수산자원의 고갈을 방지하기 위하여 자원회복, 보전 및 조성 등의 수산자원관리 정책을 적극적으로 시행할 필요가 있다. 가까운 일본에서는 1960년대부터 연안목장화 사업을 시작하여 환경제어, 어초제작, 음향급이 시스템 개발등의 다양한 분야의 기술을 접목하였고, 2000년대에는 1,200만톤의 수산물 생산을 목표로 투자계획을 세워놓고 있다. 유럽의 노르웨이에서는 1960년대 대서양연어를 대상으로 목장화사업을 시작으로 1990년대에 들어와서는 대구, 바다가재 등을 대상으로 사업을 추진하고 있다. 그 외에도 미국, 뉴질랜드, 중국 등지에서도 바다목장화사업을 계획, 추진 중에 있다 (MOMAF, 2003).

바다목장은 특정한 연안에 인공어초, 해중립어초 등을 투하하여 인위적인 수산자원의 산란 및 서식장을 조성하고 건강한 종묘를 대량방류와 이동통제로 대상연

안어장의 자원증대를 도모하는 것으로 여기에 합리적인 이용관리체계를 적용함으로써 어업인의 어업소득 향상과 어촌의 활성화를 기여하는 미래지향적이고 종합적인 어업시스템이다.

우리나라는 1998년 9개년 계획으로 경남 통영해역을 시범사업으로 먼저 실시하였고 현재 전남 다도해바다목장과 동, 서, 제주해역의 5개 지역으로 확대 추진되고 있으며 자원조성을 위하여 조피볼락, 볼락, 감성돔, 참돔, 쥐노래미, 돌돔, 자바리, 솜뱅이, 넙치, 전복 등의 대상종을 매년 방류하고 있다.

통영바다목장은 1998~2000년에 1단계로 바다목장 기반연구를 실시하였고 2001~2004년에는 2단계 목장 조성사업을 2005~2007년에는 마지막 관리체계 구축사업을 완료하였다.

통영바다목장은 대상 해역의 환경, 생태적인 특징을 파악하고 앞으로의 변화를 예측함으로써 자원 증대를 도모하고 환경 친화적인 연구 사업을 추진하여 궁극적으로는 어민들 스스로 자신의 바다를 지키고 관리할 수 있는 시스템을 구축하는데 그 최종 목적이 있다.

이러한 목적을 수행하기 위해서는 통영바다목장해역에 조성된 수산자원의 지속적인 생산, 효율적인 자원관리를 위해서는 대상종에 대한 수산자원생태학적 연구가 필요하다.

1.2. 통영바다목장사업의 개요 및 방류현황

1.2.1. 통영바다목장 개요

통영바다목장은 최초, 바다에서의 수산물 생산 자체를 제조업적 생산시스템의 개념으로 정리하고 단순한 채포 (catching), 또는 양식 (culture)이 아니라 계획적 생산과 기업적 경영시스템 개념 하에 발전시키려는 종합적인 연구 사업으로 우리나라 연안의 생산력을 회복하고 환경 친화적인 연안 어업을 활성화하여 어민 소득 증대에도 기여할 수 있는 종합적인 연안자원 복원 연구 사업으로 추진되었다.

통영바다목장해역은 보호수면 540 ha, 수산자원관리수면 1,460 ha로 지정된 총 1,200 ha로 이루어져 있으며 (Fig. 1.1), 1998년에서 2000년까지 바다목장기반조성을 목표로 하는 1단계 사업으로 시작되어 바다목장조성을 목표로 하는 2단계 (2001~2004년), 그리고 1, 2단계 사업에서 개발된 기술의 적용하여 최선의 자원 조성을 꾀하고 효과 조사를 포함한 자원 모니터링 등 다양한 관련 분야의 추진에 필요한 바다목장 매뉴얼 작성을 목표로 하는 3단계 (2005~2007년) 사업으로 실시되고 있다.

1.2.2. 시설 및 방류 현황

바다목장 조성의 목적은 생산력을 충분히 이용하거나 생산의 효율화를 도모하여 대상 종의 자원량을 향상시키는 데 있다. 따라서 통영해역에서 대상어종의 자원 증대를 위하여 종묘를 방류하여 자원을 첨가하였고 또한 새로운 바다의 생물 환경을 조성하기 위해서 인위적인 환경 조건인 시설물을 설치하였다.

시설물은 강제어초, 군함어초, 피라미트어초, 해조용어초 등과 같은 인공어초들과 인조 해조장, 어린고기의 육성장 등으로 목장해역 전역에 설치되었다.

그리고 자원의 가입을 증대시키기 위하여 1998년에 조피볼락 50,000마리, 볼락 5,000마리를 시작으로 2007년까지 조피볼락, 볼락, 감성돔, 참돔 등의 종묘를 총 12,481,472마리를 Fig 1.2의 지역에 방류하였다 (Table 1.1).

이 연구의 대상종인 조피볼락은 1998년에 50,000마리를 시작으로 2007년까지 총 6,079,317마리가 방류되었다.

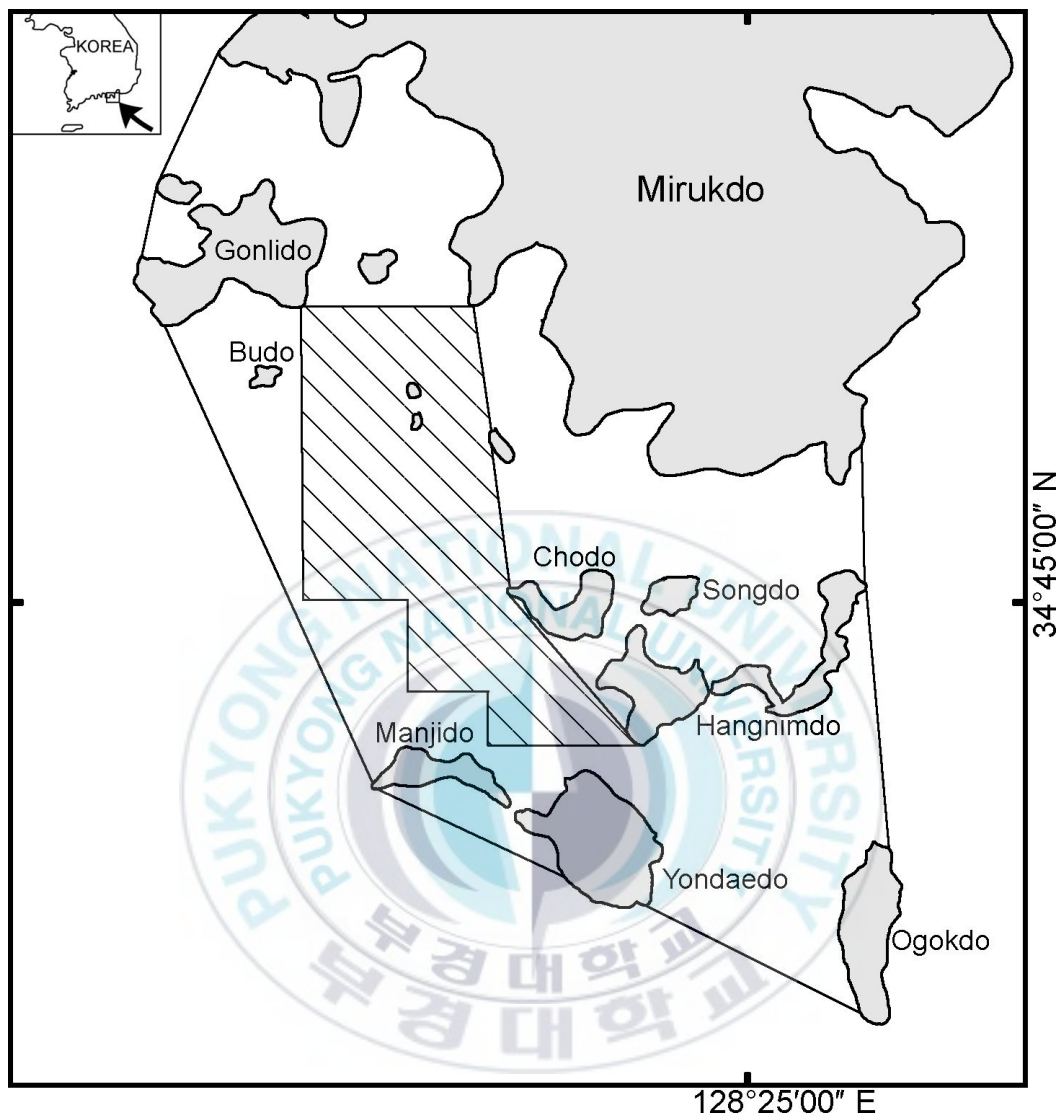


Fig. 1.1. This map showing Tongyeong marine ranching area. ▨ , conservation area; ▭ , resource management area.

Table 1.1. Seed releasing fish in the Tongyeong marine ranching area (1998~2007)

Year	Fishes	Individual	Size (cm)
1998	<i>Sebastes schlegelii</i>	50,000	7~11
	<i>Sebastes inermis</i>	5,000	7~11
1999	<i>Sebastes schlegelii</i>	500,000	15~18
	<i>Sebastes inermis</i>	500	7~11
	abalone	5,000	3
2000	<i>Sebastes schlegelii</i>	950,000	7~10
	<i>Sebastes inermis</i>	50,000	7~10
	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	70,000	13~15
	<i>Pagrus major</i>	80,000	10
	abalone	10,000	5
2001	<i>Sebastes schlegelii</i>	562,817	10~12
	<i>Pagrus major</i>	120,000	5
	<i>Sebastes inermis</i>	188,000	7
	<i>Paralichthys olivaceus</i>	52,000	5
	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	410,000	9
2002	<i>Sebastes schlegelii</i>	425,500	8
	<i>Pagrus major</i>	102,500	8
	<i>Sebastes inermis</i>	108,000	8
	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	497,000	8
	abalone	22,000	8
2003	<i>Sebastes schlegelii</i>	256,000	3
	<i>Sebastes inermis</i>	400,000	8
	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	480,000	8
	abalone	40,000	3.5
2004	<i>Sebastes schlegelii</i>	734,000	11
	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	397,000	8-9
	<i>Sebastes inermis</i>	560,000	6~8
2005	<i>Sebastes schlegelii</i>	576,000	7
	<i>Sebastes inermis</i>	731,955	7
	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	323,000	7
	abalone	130,000	5
2006	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	100,000	10
	<i>Sebastes schlegelii</i>	1,600,000	8~9
2007	<i>Sebastes schlegelii</i>	225,000	11
	<i>Sebastes inermis</i>	1,380,000	11
	sea cucumber	100,000	3
	abalone	40,000	4
Total		12,481,472	

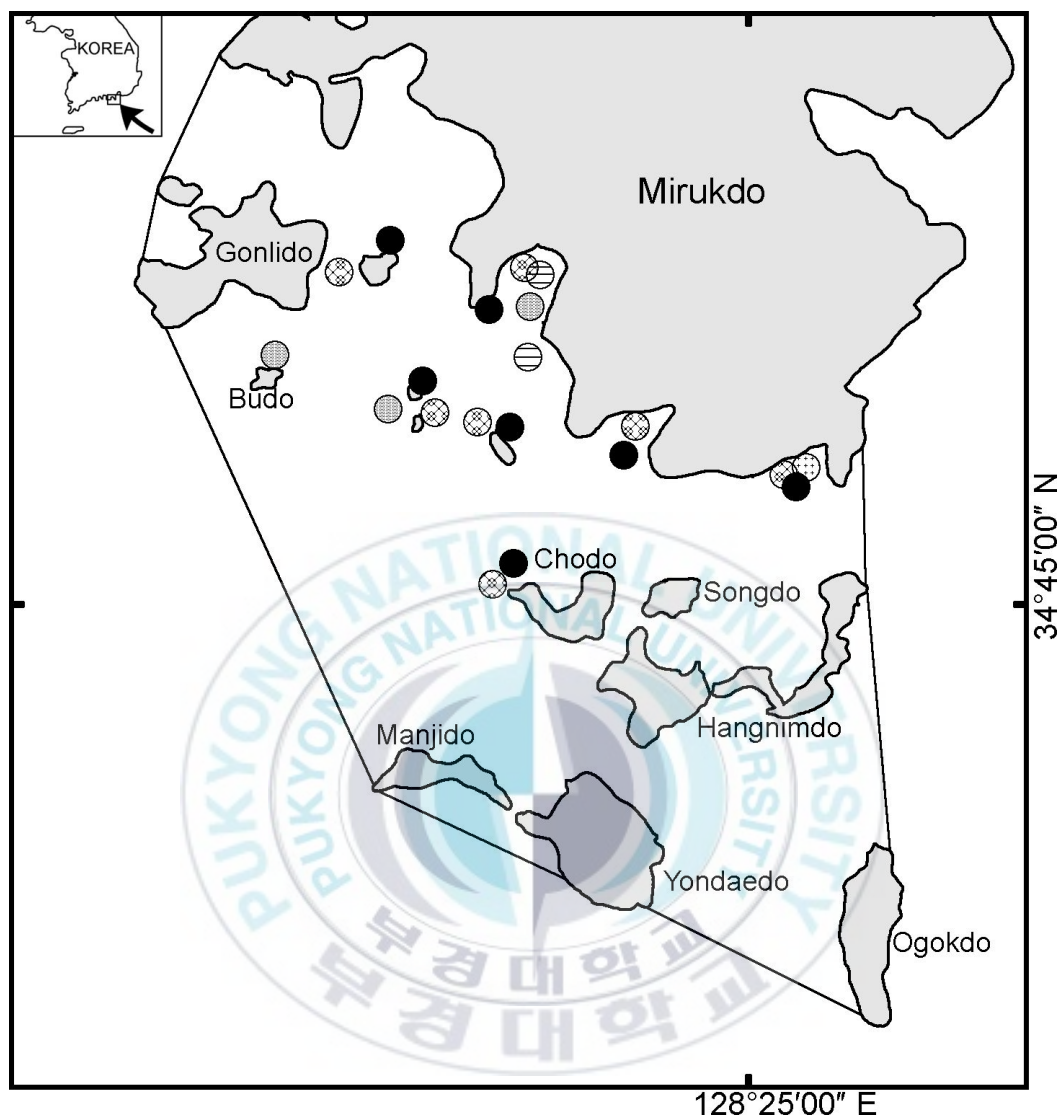


Fig. 1.2. This map showing the releasing seed area in the Tongyeong marine ranching area in Korea waters. ●, *Sebastes schlegelii*; ⊙, *Paralichthys olivaceus*; ⊗, *Sebastes inermis*; ⊖, *Acanthopagrus schlegeli*; ⊕, *Pagrus major*.

1.3. 연구목적

통영바다목장은 1998년 기반조성사업을 시작으로 2007년 사업 완료되어 관리 체계 구축이 필요한 실정이다. 그러므로 통영바다목장에 서식하고 있는 수산자원의 지속적인 생산과 효율적인 관리를 위하여 수산자원 대상종에 대한 자원생태학적 기초자료가 필요하다.

우리나라의 수산 자원 중에서 어류에 대한 자원 생태학적 특성치에 관한 연구는 고등어 (Choi et al., 2004), 보구치 (Zhang et al., 1999), 노래미 (Oh et al., 1999), 갯장어 (Zhang et al., 1998), 갈치 (Zhang, 1996), 참조기 (Zhang et al., 1992) 등이 있으며 자원평가 및 관리에 대한 연구는 한국연근해의 고등어 (Choi et al., 2004), 황아귀 (Park et al., 2003), 갈치 (Park et al., 2000), 보구치 (Zhang et al., 1999), 갯장어 (Zhang et al., 1998), 참조기 (Zhang et al., 1992) 등이 있다.

이러한 연구는 우리나라 연근해의 광범위한 해역에서 회유, 서식하고 있는 종을 대상으로 실시되었고 바다목장과 같은 특정 연안에 한정된 환경 및 지역특성에 맞는 연안정착성인 대상종에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

연구대상종인 조피볼락은 쏨뱅이목 (Order Scorpaeniformes) 양볼락과(Family Scorpaenidae)에 속하는 종으로 우리나라의 동·서·남해와 일본 북해도 이남, 중국북부 연안, 발해, 황해의 연안 얕은 바다의 암초지대에 주로 서식한다 (Chyung, 1977; Nelson, 2006). 또한 난태생 어종이며 출산시기는 4~6월이고 주로 어류 및 새우, 게류, 갑각류 등을 섭이한다고 알려져 있다 (Kim et al., 1994).

이 종은 1987년에 인공종묘생산기술이 개발되어 (Kim et al., 1987), 대량 종묘 생산도 가능해져 (Hong et al., 1990; Min et al., 1992; Myoung et al., 1988) 양식 대상종으로 각광받으며 생산량이 급증하였고 어민들과 일반인들에게 널리 알려졌다. 또한 초기생활사 (Kim and Han, 1991), 자치어기의 성장 (Lee and Kim, 2000), 생식주기 (Baeck et al., 2000), 성분화 (Lee et al., 1996), 음향 기술을 이용한 이동범위 측정 (Shin et al., 2005) 등의 여러 학문 분야에서 연구가 이루어져

왔다.

자원생태학적인 연구로는 연령과 성장 (Im and Hwang, 2002; Park and Kang, 2007)에 관한 연구만이 수행되어 자원생태학적인 특성치 및 자원평가 및 관리에 대한 연구가 필요하다.

이 연구는 통영바다목장해역에 조성된 조피볼락의 생식 생태, 식성, 연령과 성장을 연구하고 그 자료를 바탕으로 어장가입연령, 어구가입연령, 생산율, 자연사망계수 등의 자원 생태학특성치와 표지방류법에 의한 자원량의 추정 나아가 어구가입연령에 따른 가입당생산량과 어획사망계수에 따른 가입당생산량의 관계를 확인하여 적정어획사망계수를 F_{max} , $F_{0.1}$ 의 관리기준에 따라 추정하고 적정어획전장과 어획연령을 확인하여 그 결과를 바다목장의 효율적인 관리를 위한 자료로 제공하고자 한다.



II. 조피볼락의 성장

2.1. 서론

수산생물의 연령과 성장에 관한 연구는 자원개체군의 변화를 분석하는데 필요할 뿐만 아니라 계군 구조와 자원의 수준을 유지하기 위한 중요한 단서를 제공한다 (Weatherley and Gill, 1987; Zhang, 1991). 그리고 수산생물의 성장은 서식지역의 먹이 환경과 계군의 밀도, 수온 등의 생활환경에의 영향을 받는다 (Kubo and Yoshihara, 1970).

조피볼락의 연령과 성장은 Im and Hwang (2002)이 서해연안에 서식하고 있는 종을 대상으로 연구되어졌으나 연구 대상종은 남해에 서식하는 종으로 서식 환경의 차이로 인한 지역간 성장의 변화가 있을 것으로 생각된다. 또한 조사지역인 통영해역은 1998년부터 2007년까지 자원조성을 위한 바다목장사업으로 지정되어 지속적으로 조피볼락의 종묘가 방류되고 인공어초 및 해중림 등의 인위적인 환경이 조성된 곳으로 이러한 환경이 성장에 영향을 줄 것이라 생각된다.

이 연구에서는 바다목장과 같은 특정 연안에 한정된 환경 및 지역 서식 특성에 맞는 조피볼락의 성장을 이석을 연령형질로 사용하여 각 연륜이 형성되는 시점을 파악하고 추정하였다.

2.2. 재료 및 방법

이 연구는 2001년 7월부터 2004년 5월까지 29개월간 통발과 삼중자망으로 어획된 샘플 중 총 942마리의 표본을 이용하였다 (Table 2.1, Fig. 2.1).

조사어구 중 통발의 규격은 지름 31.2 cm, 길이 58 cm, 그물망 24절이며 삼중자망은 길이 400~450 m, 너비 1 m, 망목 7 cm였다. 채집된 시료는 전장 (Total length) 및 체중 (Body weight)을 0.1 cm, 0.01 g 단위까지 측정한 후에 이석과 생식소를 적출하였다. 적출된 이석은 KOH 10%에 세척한 후 그 중 윤문을 읽을 수 있는 942개의 샘플을 연령사정에 사용하였고 생식소는 0.001 g 단위까지 측정하였다.

이석에서 불투명대에서 투명대로 이행하는 경계를 윤문으로 간주하였다. 이석 중심부의 초점에서 연변까지 최장축을 측정 기준선으로 하여, 이석경(R)과 각 윤문까지의 거리(r_n)를 측정하였다 (Fig. 2.2).

먼저, 윤문의 형성시기와 주기성을 확인하기 위해 연역지수 (Marginal Index; MI)의 월별변화를 추정하였고 그 식은 (1)과 같다.

$$MI = \frac{R - r_n}{r_n - r_{n-1}} \quad (1)$$

단, R은 이석의 중심부 초점에서 연변까지의 거리이고, r_n 은 초점에서 n 번째 윤문까지의 거리이다.

윤문 형성 시기는 연역지수의 월별 변화 중 가장 작은 값을 가지는 시기로 추정하였다. 다음으로, 초점과 제 1윤문 형성까지의 시간 간격을 알기 위하여 생식주기를 추정하였다. 생식주기는 생식도 속도지수 (Gonadosomatic index; GSI)의 월변화를 추적하여 확인하였다. 생식도 속도지수를 구하기 위해 사용된 식은 (2)와 같다.

$$GSI = \frac{GW}{BW} \times 10^2 \quad (2)$$

단, GW: 생식소 무게 (g), BW: 체중 (g)이다.

연령에 따른 조피볼락의 성장은 윤문 형성시의 전장을 역계산하여 추정하였다. 역계산 전장은 이석경과 전장의 성장이 동조적이라고 가정하고 이석경과 전장 간의 상대성장식을 사용하여 각 윤경에 대한 전장을 계산하였다.

연령에 따른 성장식은 연령과 연령별로 역계산된 평균 전장을 이용하였다. Walford 정착도법으로 추정된 각각의 매개변수 값들을 초기값으로 하여 비선형회귀방법 (nonlinear regression)을 사용하여 매개변수를 추정한 후 아래의 Bertalaffy 성장식 (1938)으로 나타내었다.

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

여기서, L_t 는 t 세의 전장, L_{∞} 는 이론적 최대전장, k 는 성장계수, t_0 는 전장이 0일 때의 이론적 연령을 나타낸다.

또한 전장과 체중간의 관계식은 $W = aL^b$ 의 상대성장식으로 나타내었으며, 전장과 체중간의 관계식으로부터 계산된 연령 t 일 때의 체중의 성장식은 다음의 식 (4)와 같다.

$$W_t = W_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)})^b$$

여기서, W_t 는 t 세의 체중, W_{∞} 는 이론적 최대체중, k 는 성장계수, t_0 는 체중이 0일 때의 이론적 연령을 나타낸다.

암·수를 분리하여 각각의 성장식을 구하였고 암·수 간의 연령별 성장의 차이를 공분산 분석으로 검정하였다.

Table 2.1. Number of *Sebastes schlegelii* randomly sampled for age determination in the Tongyeong marine ranching area (2001~2004)

Year	Month	No.	Mean of TL(cm)	Range of TL	
				Min	Max
2001	Jul.	24	16.3	14.2	23.7
	Aug.	6	17.5	15.2	30.5
	Sep.	15	19.1	14	27.4
	Nov.	16	18.2	14.6	22.8
	Dec.	19	23.2	18.4	34.3
2002	Jan.	24	23.8	15.9	36.8
	Feb.	9	24.4	18.9	30.0
	Mar.	26	21.6	16.7	30.3
	Apr.	14	23.7	15.4	30.8
	May	12	24.8	17.6	30.1
	Jun.	17	26.7	22.6	33.6
	Jul.	16	22.0	13.3	33.9
	Aug.	18	21.0	13.2	36.9
	Sep.	28	24.3	17.6	32.7
	Oct.	37	23.5	16.0	30.0
	Nov.	57	24.0	18.5	36.4
	Dec.	28	25.2	16.8	35.1
2003	Feb.	36	25.1	16.6	33.5
	Mar.	39	24.7	18.0	32.6
	Apr.	47	25.9	16.6	37.0
	May	59	26.9	21.1	34.3
	Jun.	59	25.8	16.8	32.9
	Aug.	57	20.9	14.3	28.1
	Sep.	40	18.6	14.5	33.0
	Oct.	68	23.2	14.5	35.0
	Nov.	44	23.6	15.4	32.8
	Dec.	49	23.4	15.5	37.4
2004	Jan.	42	21.8	9.6	28.1
	May	36	25.7	20.5	32.2
Total		942			

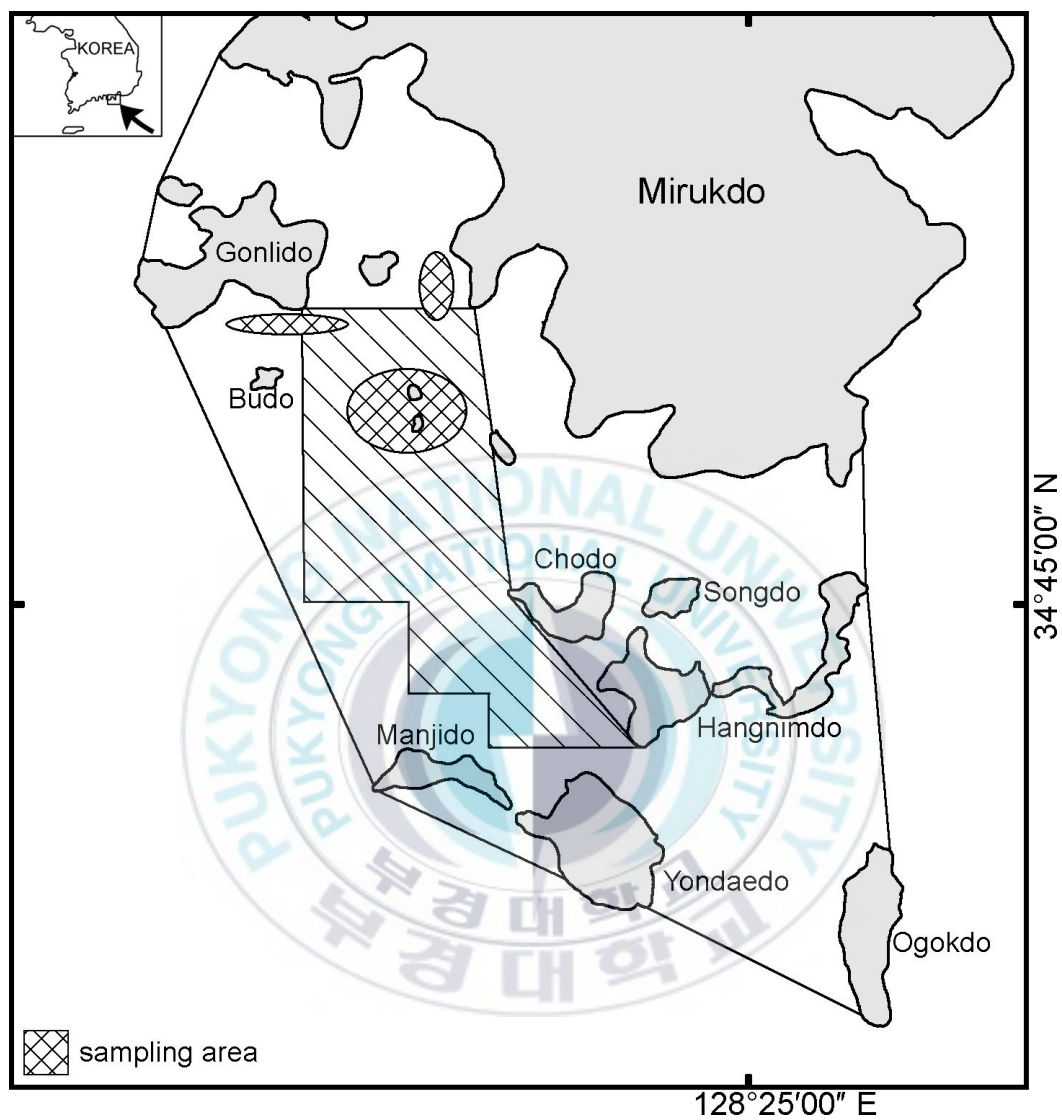


Fig. 2.1. Map showing the sampling sites of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

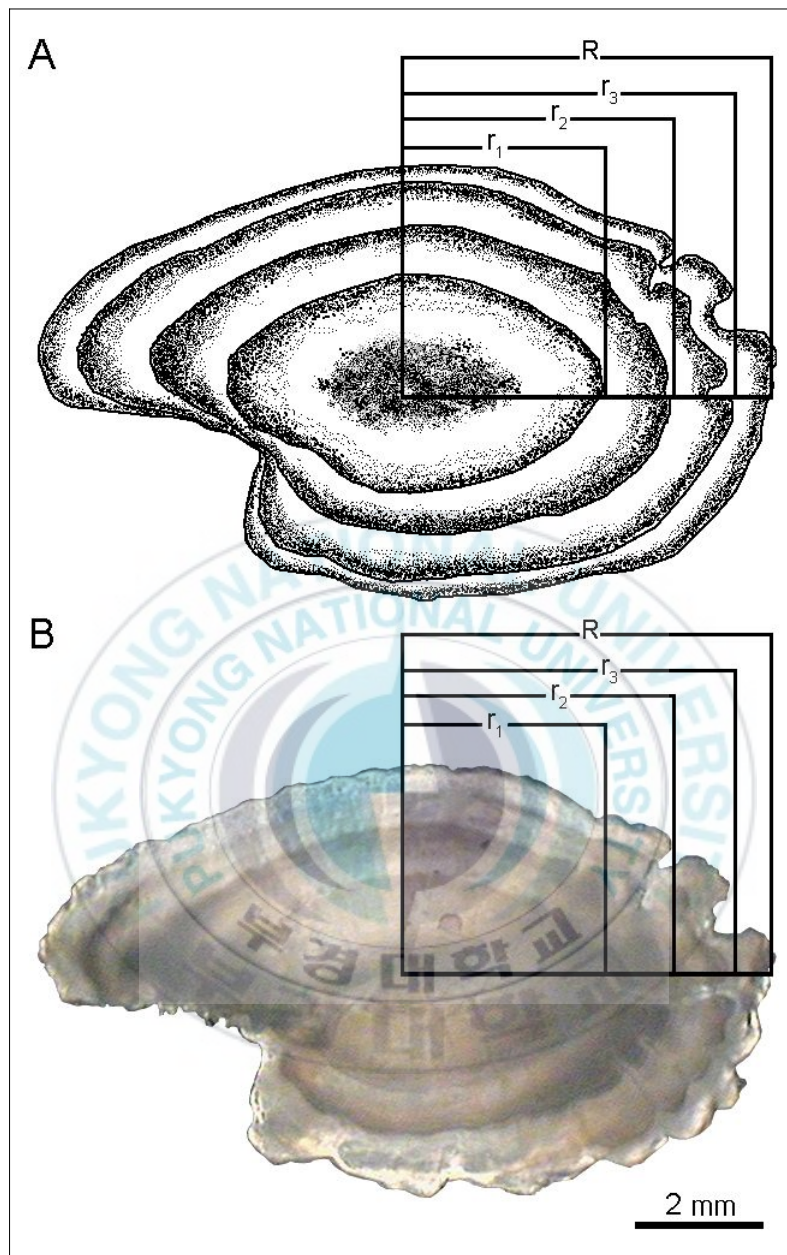


Fig. 2.2. Illustration (A) and photograph (B) showing otolith radius (R) and ring radius (r_n). Annual ring in the otolith of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

2.3. 결과

2.3.1. 운문판독

이석에 나타나는 운문이 연륜으로 적합한가를 확인하고, 운문판독의 정확성을 검토하기 위하여 연륜별 이석경에 대한 윤경간의 관계를 검토하였다 (Fig. 2.3).

각 윤경은 암 수 모두 일정한 간격으로 분포하였으며 이석경과 윤경은 직선의 관계를 가지면서 서로 중복됨이 없이 잘 분리되었다. 또한 동일 수의 운문을 가지는 경우에도 이석경이 클수록 윤경 역시 크게 나타남으로 이석에 나타난 이석경과 윤경 간에 대응성이 있음을 알 수 있다. 또한 3륜 이상 형성된 이석에서 각 운문의 윤경이 그 이전의 연륜에서의 윤경 보다 작아지는 Lee현상을 확인할 수 있었다.

이석에서 운문이 형성되는 시기, 횡수 및 주기성을 확인하기 위해 월별 연역지수(MI)의 변화를 살펴보았다 (Fig. 2.4). 연역지수는 수컷은 5월, 암컷은 6월부터 감소하기 시작하여 암 수 모두 7월에 가장 낮은 값을 보였고 8월부터 다시 조금씩 증가하였다. 따라서 이석의 운문은 연역지수가 감소하는 매년 7월에 연 1회 형성되는 것으로 추정된다.

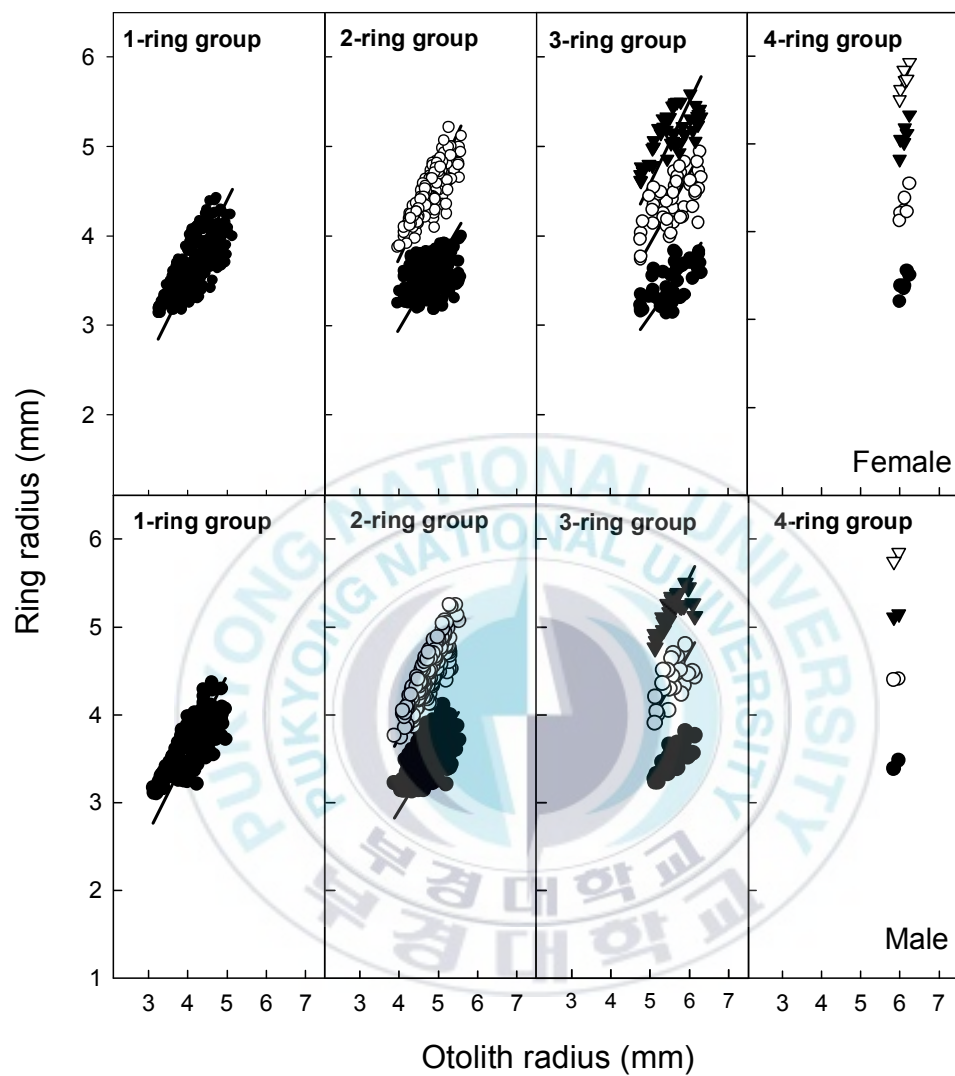


Fig. 2.3. Relationship between otolith radius and ring radius of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

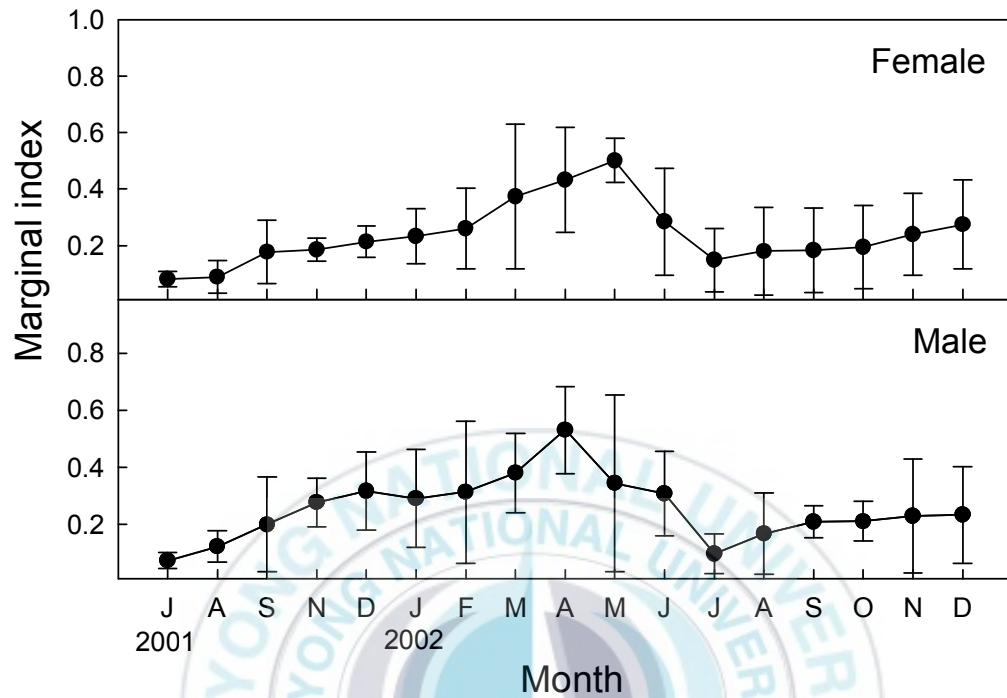


Fig. 2.4. Monthly change in the otolith marginal index (MI) of the *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area. Vertical bars denote then mean $\pm$ standard deviation.

2.3.2. 산란시기와 산출시기

조피볼락의 산란기와 산출시기를 확인하고 윤문형성기와 비교하기 위하여 월별 생식소 속도지수의 변화를 살펴보았다 (Fig. 2.5). 수컷의 생식소 속도지수는 11월부터 증가하기 시작하여 12월에 최대값을 보인 후 다시 1월에 낮아짐으로 수컷의 성숙시기는 11~1월임을 확인 할 수 있었다. 암컷의 경우는 12월부터 상승하여 1월에 최대 값을 보인 후 2, 3월에 걸쳐 낮아진 후 다시 5월까지 증가한 후 낮아졌다. 암컷의 성숙기는 1월이고 산출기는 일부 빠른 개체에서 3월에 나타났으나 대부분 4월에 새끼를 산출하여 산출이 끝나는 시기는 5월이었다.

이상의 결과에서 조피볼락의 초류이 형성되는 시간은 주성숙시기인 1월부터에서 이듬해 7월까지 약 1.5년으로 사료된다.



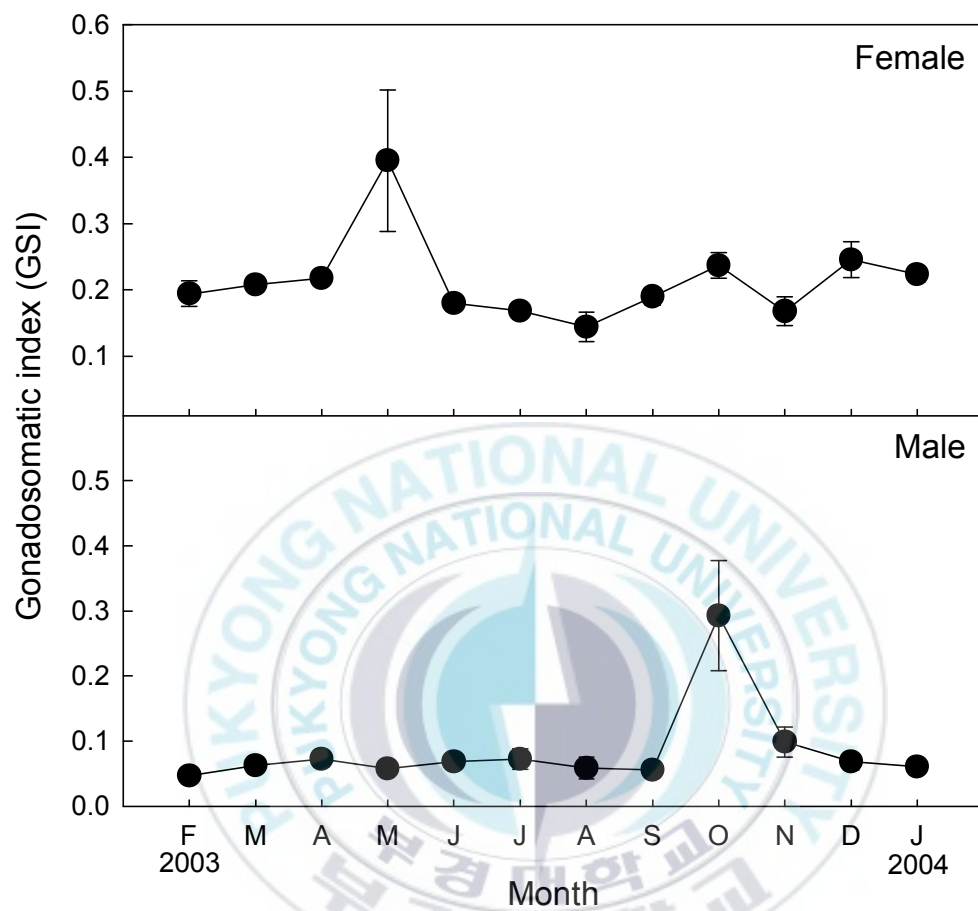


Fig. 2.5. Monthly variation of the gonadosomatic index of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area. Vertical bars denote then mean $\pm$ standard deviation.

2.3.3. 성장식 추정

불투명대에서 투명대로 이행되는 이석의 윤문이 연 1회 형성되는 주기성을 가지는 것을 확인하고, 이 윤문을 연륜으로 간주하여 각 연륜별 평균 윤경을 구하였다. 관찰된 최고 연령은 암, 수 모두 4세였으며 1세와 2세의 구성비가 높았다. 조피볼락 이석의 윤문별 평균 윤경은 Table 2와 같다.

각 평균 윤경으로부터 윤문 형성시의 전장을 역계산하기 위하여 이석경 (R)과 전장 (L)과의 관계식을 추정하였고 그 관계식은 (5), (6)의 식과 같다 (Fig. 2.6).

$$\text{Female} : L = 6.4756R - 4.2054 (R^2 = 0.8211) \quad (5)$$

$$\text{Male} : L = 6.0944R - 2.9825 (R^2 = 0.8075) \quad (6)$$

이석경과 전장간의 관계식은 직선식으로 나타났었으며 윤문 형성시의 체중을 역계산하기 위하여 전장 (L)과 체중 (W)간의 상대성장식을 다음의 식 (7, 8)과 같이 구하였다 (Fig. 2.7).

$$\text{Female} : W = 0.0152L^{3.0158} (R^2 = 0.9794) \quad (7)$$

$$\text{Male} : W = 0.0157L^{3.0006} (R^2 = 0.9856) \quad (8)$$

윤문 형성시의 조피볼락 전장과 체중의 평균치는 Table 2.3와 같고 암·수의 von Bertalaffy 성장식은 (9), (10)과 같이 구하였다 (Fig. 2.8).

$$\begin{aligned} \text{Female} : L_t &= 53.95(1 - e^{-0.1733(t + 0.9327)}) \\ W_t &= 2,452.36(1 - e^{-0.1733(t + 0.9327)})^{3.02} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{Male} : L_t &= 51.50(1 - e^{-0.1824(t + 0.9158)}) \\ W_t &= 2,148.95(1 - e^{-0.1824(t + 0.9158)})^3 \end{aligned} \quad (10)$$

성장에 있어서의 암·수간의 차이를 공분산 분석으로 검정한 결과, 기울기차 (intercept)의 검정에서 $P > 0.05$ 으로 차이가 없는 것으로 나타났으며 암·수 통합의 성장식은 다음 장에서 추정하였다 (Table 2.4).

Table 2.2. Mean ring radius on the otolith of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area

Female						
Ring group	Number of specimens	Ring radius (mm)				
		R	r_1	r_2	r_3	r_4
1	178	3.900	3.265			
2	224	4.692	3.121	4.146		
3	80	5.275	2.887	3.969	4.962	
4	6	6.025	2.661	3.692	4.497	5.529
Total	488	Mean	3.182	4.136	4.907	5.529
		SD	0.41	0.41	0.40	0.36
Male						
Ring group	Number of specimens	Ring radius (mm)				
		R	r_1	r_2	r_3	r_4
1	184	3.782	3.192			
2	193	4.575	3.106	4.130		
3	75	5.115	2.908	3.753	4.671	
4	2	5.983	2.712	3.898	4.527	5.396
Total	454	Mean	3.144	4.088	4.659	5.396
		SD	0.38	0.41	0.30	0.21

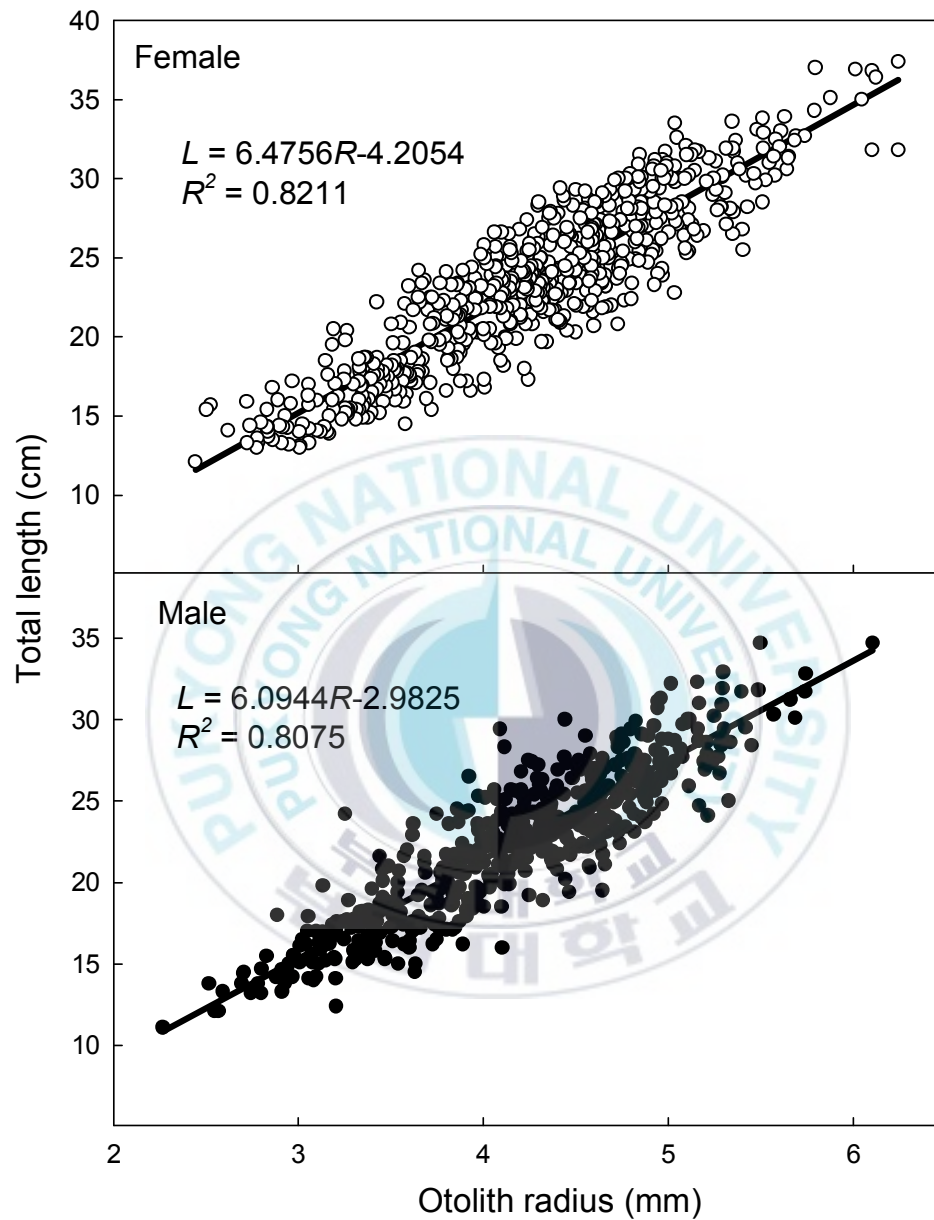


Fig. 2.6. Relationship between otolith radius and total length of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

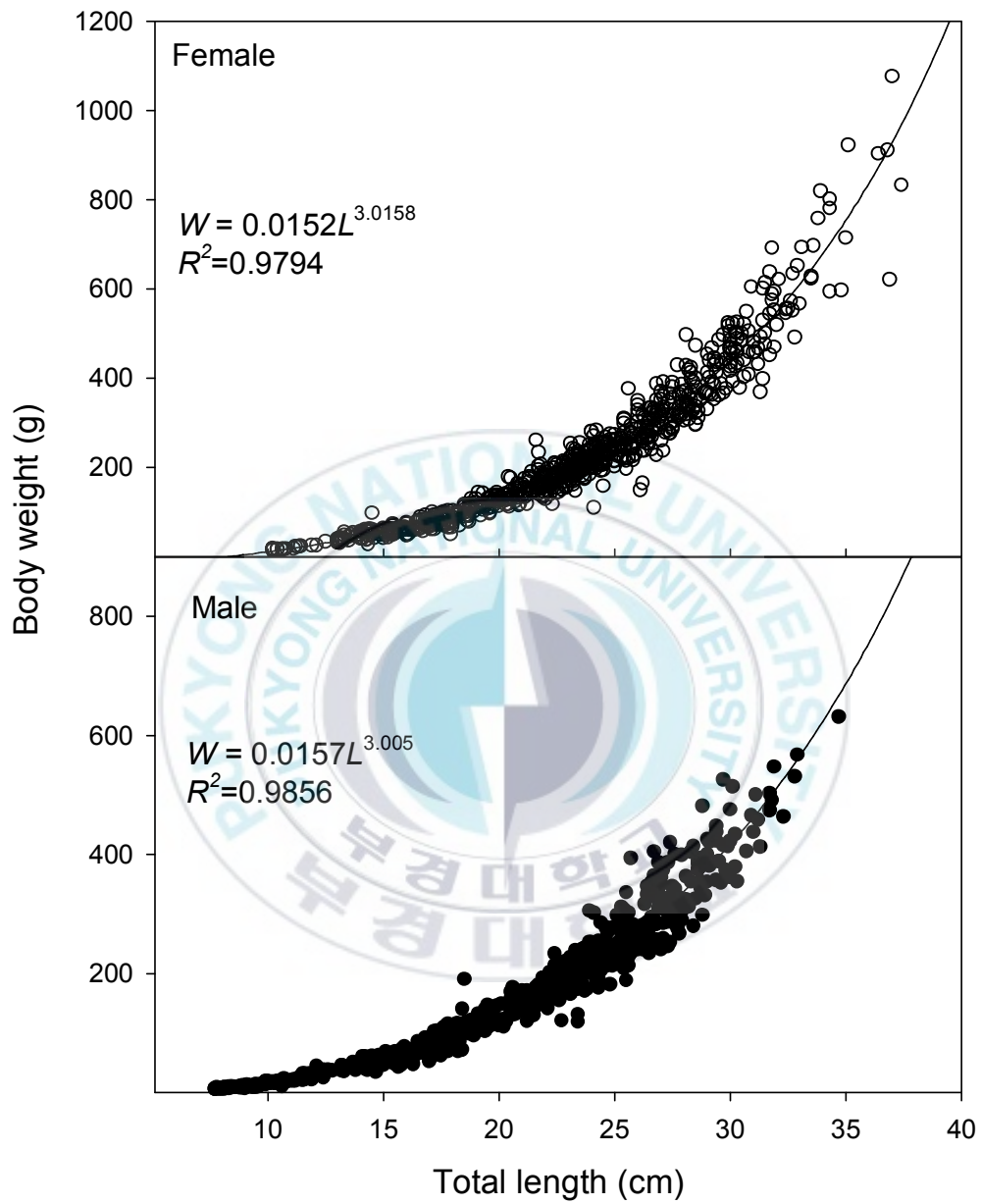


Fig. 2.7. Relationship between total length and body weight of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

Table 2.3. Back-calculated total length and body weight at the formation of the otolith ring of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area

Female					
	Ring group	$L_{1.5}$	$L_{2.5}$	$L_{3.5}$	$L_{4.5}$
Total length (L , cm)	1	19.37			
	2	18.73	24.72		
	3	18.35	24.21	29.13	
	4	17.79	23.58	28.77	32.91
	Mean	18.56	24.17	28.95	32.91
		$W_{1.5}$	$W_{2.5}$	$W_{3.5}$	$W_{4.5}$
Body weight (W , g)	1	115.80			
	2	104.55	241.62		
	3	98.30	226.82	396.30	
	4	89.49	209.47	381.69	572.33
	Mean	101.49	225.71	388.95	572.33
Male					
	Ring group	$L_{1.5}$	$L_{2.5}$	$L_{3.5}$	$L_{4.5}$
Total length (L , cm)	1	18.92			
	2	18.22	24.28		
	3	18.33	23.72	28.55	
	4	17.93	23.85	28.26	32.34
	Mean	18.35	23.95	28.40	32.34
		$W_{1.5}$	$W_{2.5}$	$W_{3.5}$	$W_{4.5}$
Body weight (W , g)	1	106.52			
	2	95.05	225.29		
	3	96.85	209.86	365.99	
	4	90.67	213.37	355.07	532.32
	Mean	97.16	216.11	360.50	532.32

Table 2.4. ANOCOVA for test the difference of growth between female and male of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area (*Sl*, separate lines; *Sd*, slope difference; *Pl*, parallel lines; *Pd*, positional difference; *Si*, single line)

	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Intercept	<i>Sl</i> : 1318 <i>Sd</i> : 1 <i>Pl</i> : 1319	0.057	P>0.05
Elevation	<i>Pl</i> : 1319 <i>Pd</i> : 0 <i>Si</i> : 1319	8.684	P<0.01



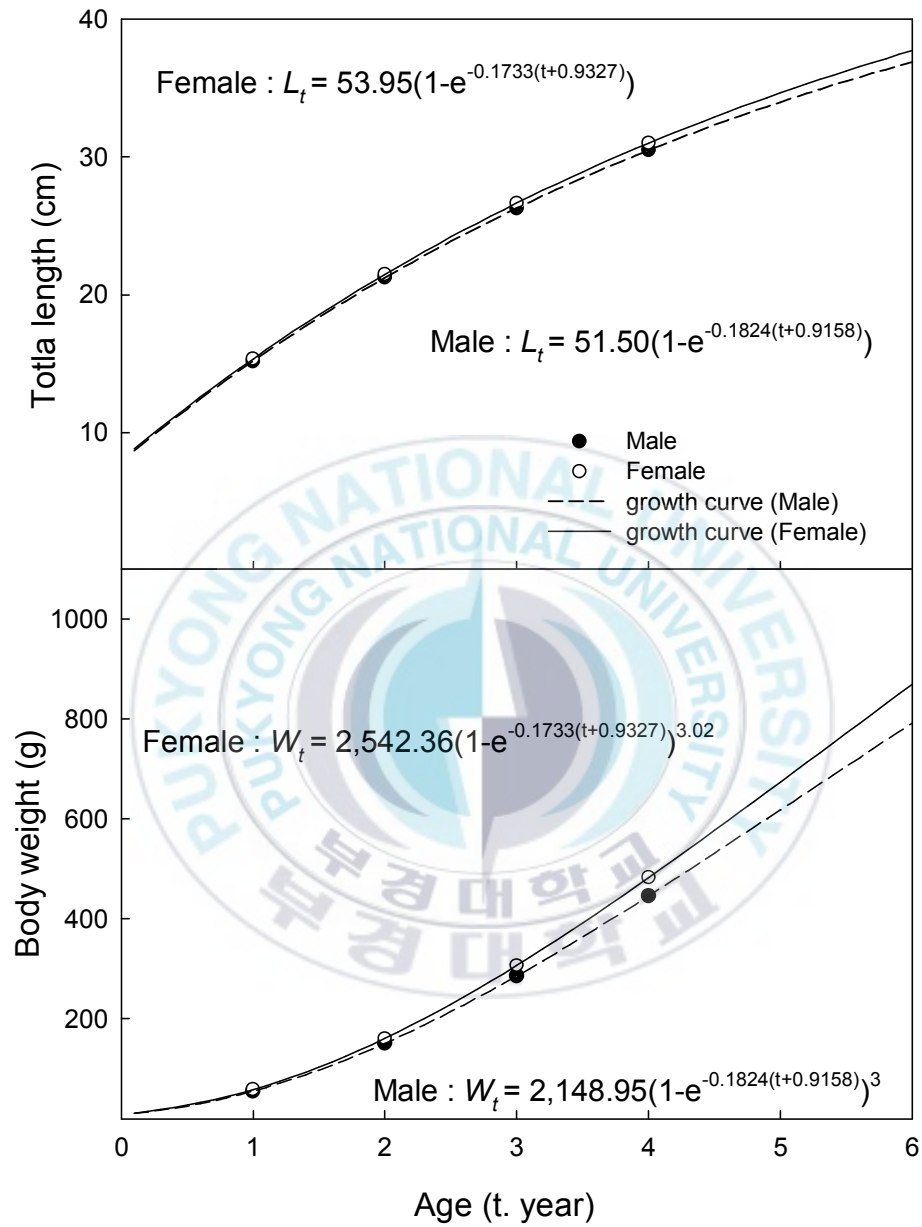


Fig. 2.8. Theoretical von Bertalanffy length growth curve and weight growth curve of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

2.4. 고찰

수산자원의 연령을 사정하는 것은 성장률을 추정하는데 있어서 뿐만 아니라 자원의 개체군의 변화를 분석하는데 필수적인 것이다 (Zhang, 1991; King, 1995; Kim and Gong, 1977). 대부분의 연령사정에서 작업의 편이성과 수집의 용이성으로 연령 형질로서 비늘을 이용하고 있으나 비늘의 탈락과 채취부위에 따라 모양과 크기가 달라지는 단점 (Secor et al., 1995; Kim et al., 2006)으로 이 연구는 이석의 윤문을 연륜으로 읽어 연령을 사정하였다. 조피볼락의 이석의 모양은 타원형으로 중심부는 두껍고 불투명하고 외연으로 갈수록 얇아지고, 중심에서 타원상의 투명대와 불투명대가 교대로 나타난다. 불투명대에서 투명대의 이행이 선명하게 나타났으며 따라서 그 경계를 윤문으로 읽었다.

통영바다목장해역의 조피볼락의 윤문은 불투명대에서 투명대로 이행되는 7월에 형성되었다. 이석의 가장자리에서 7월에 투명대가 형성되기 시작하여 10월까지 진행되었고 불투명대는 11월부터 이듬해 5월까지 형성되었다. 이 결과는 이 결과는 서해산 조피볼락의 불투명대 형성시기와는 일치하였으나 (Im and Hwang, 2002), 볼락류의 다른 종인 남해산 볼락 *S. inermis*이 불투명대가 형성이 11~3월에 (Kang, 1982), 동해산 개볼락 *S. pachycephalus*이 9~2월 (Choi et al., 1993)에 형성되는 결과와는 약간의 차이를 나타내었다.

일반적으로 경골어류의 이석의 구조는 탄산칼슘 (CaCO_3)의 결정체인 aragonite와 유기물질인 otolin 단백질로 구성되어 있으며 신진대사 활동이 적어지는 시기에 투명대에서 otolin이 우세하고 신진대사 활동이 활발한 시기에는 탄산칼슘인 aragonite가 우세하여 불투명대가 발달한다 (Kim et al., 2000). 이 종의 경우 한 여름인 7~9월에 투명대가 형성되기 시작하는 것은 국립수산물학원의 정지 수온 관측 결과 8~9월의 평균수온이 2001년에 25.2~26.4℃, 2002년에 23.7~25.7℃, 2003년 24.9~25.5℃으로 연중 수온이 가장 높은 시기로 서해안의 조피볼락과 같이 성장한계 수온을 넘어 성장이 둔화되거나 스트레스를 받는 어류의 신진대사

활동이 둔화되는 결과로 생각되어진다 (KORDI, 1995; Im and Hwang, 2002).

통영바다목장해역에서 서식하는 조피볼락은 1월에 성숙하여 수정 후 일부 3월에 산출되는 개체가 나타났으며 대부분 4~5월에 산출되었다. 이것은 3월에 산출된 치어의 초기생활사를 연구한 Kim and Han (1991)와 Baek et al. (2000)의 결과와 유사하였다. 이 종의 성장은 산출되어 이듬해 6~7월의 1.5세는 18.46 cm, 2.5세는 24.30 cm, 3.5세는 28.71 cm, 4.5세는 32.52 cm까지 자라는 것으로 추정된다. 이 결과는 서해 전라남도 부안군 격포 앞바다에 서식하는 조피볼락의 1.2세는 19.92 cm, 2.2세는 25.47 cm, 3.2세는 32.33 cm, 4.2세는 37.62 cm의 성장 (Im and Hwang, 2002)과 일본의 홋카이도에 서식하는 조피볼락의 2년 23.5 cm, 3년 31 cm, 4년 35 cm의 성장 (Yamada et al., 1986), 일본 북해도해역의 조피볼락의 성장에 관한 연구결과 (Sadaki et al., 2004)에서 4세 전장 350 mm이내의 크기를 비교하여 볼 때 지역간의 성장의 차이가 나타났다. 이러한 성장의 차는 Table 2.5와 같이 추정된 성장매개변수에서 확인할 수 있었다. 지역 간의 성장의 차이는 서식지역에 따른 환경조건에 기인하지만, 특히 성장 수온에 의해서 나타날 수 있다고 생각된다.

조피볼락의 성장이 활발히 이루어지는 적정 수온은 15~20℃ (NFRDI, 1995)으로 알려져 있다. 서해안에서는 연중 6~7월, 10월의 약 3개월 동안 그리고 통영해역은 5~6월 중순, 10월 하순~11월 중순의 약 2.5개월 동안 적정수온을 유지하므로 성장이 활발히 이루어지는 기간이 약 15일간의 차이를 나타내고 있다. 이러한 성장기간의 차이가 두 지역간에서 나타나는 성장의 차를 설명하는 하나의 요인으로 생각된다.

Table 2.5. Comparison of growth parameter of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area

Author	Sex	L_{∞} (cm)	k	t_0
Im and Hwang (2002)	Combined	50.62	0.31	-0.05
Sadaki et al. (2004)	Male	41.17	0.363	-0.368
	Female	60.31	0.160	-0.965
This study	Male	49.72	0.1778	-0.4323
	Female	48.45	0.2139	-0.7384
	Combined	48.91	0.1903	-0.6314



Ⅲ. 조피볼락의 생식생태

3.1. 서론

조피볼락을 비롯한 볼락류 어종은 상업적으로 유용하며 낚시 대상종으로도 인기가 높아 자원관리에 관한 연구가 필요한 실정이다. 우리나라에서는 연안의 볼락류 자원고갈로 육상 및 가두리 양식이 많이 이루어지고 있으며, 특히 조피볼락은 볼락, *Sebastes inermis*과 함께 통영 바다목장의 자원조성 목표 대상어종이다.

조피볼락의 생태에 관한 연구는 일본에서 많이 이루어졌는데, 배 발생 과정 (Yamada and Kusaki, 1991), 자치어에 관한 연구 (Hoshiai, 1977) 그리고 생활사와 체내 자어의 보육과정 (Sasaki, 1974) 등이 있다. 국내의 조피볼락에 대한 연구로는 초기생활사 (Kim and Han, 1991), 자어 출산과 초기 성장 (Park et al., 1993), 성숙에 따른 간세포 활성 (Chung et al., 1995), 성분화 (Lee et al., 1996), 남해 연안 조피볼락의 생식주기 (Baek et al., 2000) 그리고 출산조절을 위한 번식기구에 관한 연구 (Park, 2000) 등이 있다.

본 연구는 통영 바다목장 해역에 서식하는 조피볼락의 생식생태 연구의 일환으로 생식소 발달과정 및 GSI 변화 등을 조사하여 생식주기 연구와 산란기, 포란수와 체내자어수 및 성숙전장과 성숙연령 등의 생식생태를 파악하기 위해 수행하였다.

3.2. 재료 및 방법

이 연구에서는 통영 바다목장해역에서(Fig. 2.1) 조사기간 동안 채집된 조피볼락 중 2003년 2월부터 2004년 1월까지 총 634 마리를 사용하였다. 채집지역의 환경변화를 조사하기 위해 채집기간동안 채집지역의 수온을 월별 조사하였고, 광주기는 통영기상대의 기상관측자료를 이용하였다. 채집한 실험어의 전장과 전장은 0.1 cm, 체중은 0.1 g 범위까지 측정하였고, 생식소는 0.01 g까지 측정한 후 조직 표본을 제작하였다. 생식소숙도지수 (GSI, gonadosomatic index)는 다음의 식으로 산출하였다.

$$GSI = \frac{GW}{BW} \times 100$$

여기서, GW는 생식소중량 (Gonad weight; g), BW는 체중 (Body weight; g)을 나타내었다.

생식소의 조직학적 변화를 관찰하기 위해, 어체로부터 적출된 생식소는 Bouin's solution에 24시간 고정하였고, 고정한 조직은 파라핀 절편법에 의해 두께 4~6 μm 의 절편을 제작한 후, Hansen's hematoxylin과 0.5% eosin으로 비교 염색하였다.

포란수 조사는 11~5월에 육안으로 식별되는 성숙한 개체의 난소로부터 난소중량, 일부난소의 중량과 난수를 관찰하고 다음의 식으로 산출하였다.

$$F_c = \frac{GW}{GW_s} \times n_s$$

여기서, F_c 는 난소 내 전체 난 및 체내자어수, GW는 난소중량, GW_s 는 난소의 일부중량, n_s 는 GW_s 내의 난 및 체내자어수이다.

전장에 따른 포란수 및 체내자어수의 증가는 $F_c = aTL^b$ 의 식에 의해 구하였다. 여기서, F_c 는 포란수 및 체내자어수, TL은 전장, a 와 b 는 매개변수이다.

성숙전장은 군성숙도가 50%에 달하는 전장을 기준으로 하여 정하였다. 군성숙도는 성장기에서 자어출산기로 추정되는 12월부터 5월에 채집된 모든 어체에 대

해 전장별 성숙이상의 속도를 가지는 개체의 비율로서 구하였으며, 50% 군성숙전장은 전장별 군성숙도의 변화를 Gompertz curve로 나타내어 구하였다. Gompertz curve를 그리기 위한 3개의 파라미터는 비선형회귀법의 하나인 Levenbert-Marquardt법을 사용하여 추정하였다. Gompertz curve의 일반식은 다음과 같다.

$$Y = a \cdot e^{-e\left(-\frac{L-b}{c}\right)}$$

여기서 Y 는 군성숙도 (%), a , b 와 c 는 매개변수, L 은 전장 (TL , cm)을 나타낸다.

성숙연령은 군성숙도에 의해 추정된 성숙전장을 후술하는 연령-전장 성장식에 대입하여 산출하였다.



3.3. 결과

3.3.1. 수온과 생식소숙도지수의 월별변화

2003년 2월부터 2004년 1월까지 조사한 채집지역에서의 수온은 2월에 6.4 °C로 가장 낮았고, 이후 지속적으로 상승하여 8월에 25.5°C로 연중 최고 수온을 나타냈다 (Fig. 3.1). 9월이 되어 가을에 접어들면서 수온은 하강하기 시작하여 2004년 1월에 7.0 °C에 달하였다.

암컷의 생식소숙도지수 (GSI)는 2월부터 4월까지 0.2 전후의 값을 유지하다가 5월에 0.395의 연중 최고값을 보였다 (Fig. 3.2). 이후 6월이 되면 0.179로 급격히 감소하고, 1월까지 0.144~0.245의 범위의 낮은 값을 나타냈다

수컷의 경우에는 2월부터 9월까지 0.047~0.073의 낮은 값을 유지하다가, 10월에 0.293의 연중 최고값을 나타냈다 (Fig. 3.1). 이후 11월에는 0.099로 급격히 감소하였다.

수온 변화와 생식소숙도지수를 연관시켜 보면, 수온이 하강하는 가을철에 수컷의 생식소숙도지수가 10월에 연중 최고값이 나타났다. 이에 반해 암컷은 수온이 증가하는 봄철인 5월에 연중 최고값이 나타났다.

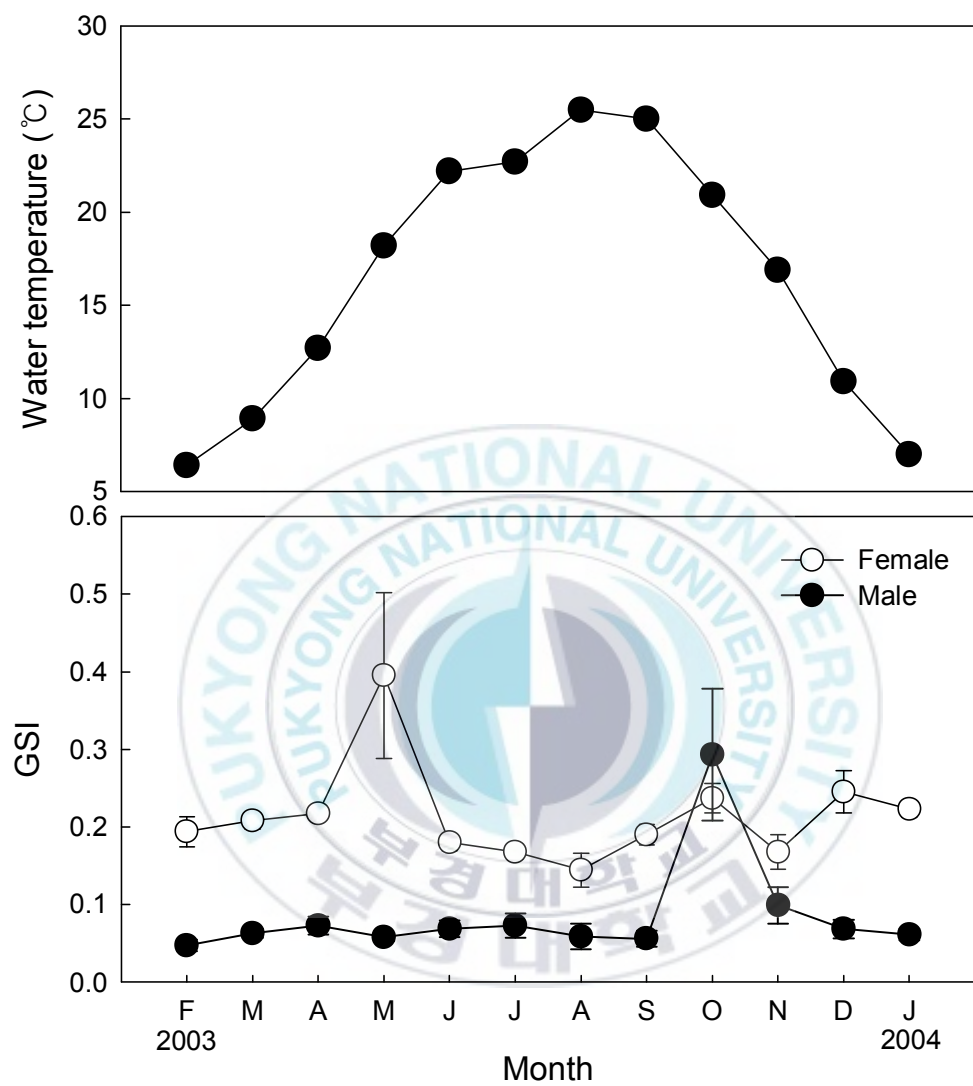


Fig. 3.1. Monthly changes in temperature and gonadosomatic index of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area. Values of GSI indicated mean±SD.

3.3.2. 생식소의 조직학적 관찰

3.3.2.1. 생식소 외부 형태

조피볼락 난소는 복강내 척추골을 따라 신장과 인접하여 앞뒤로 뻗어있으며 좌우 1쌍으로 끝은 합쳐지며 총배설강으로 열려있다. 미숙한 난소는 방추형이며 성숙하면 비후되어 난원형으로 되고 미수정시는 유향색, 수정 후 배발생이 진행되면 흑갈색을 띤다. 완숙한 난소의 말단부에는 genital pore가 있고 성숙하면 교미시 체외로 돌출한다.

조피볼락의 정소는 난소와 상동구조로 1쌍의 가늘고 긴 기관으로 복강내 척추골을 따라 위치하였다. 좌우 1쌍의 정소는 거의 같은 형태와 크기였지만 서로 연결되어 있지 않았다. 미숙한 정소는 연한 유백색을 띠며 성숙하면 유백색을 띤다. 수정관은 정소 항문 뒷부분에서 항문과는 별도로 교미기가 생기고 교미시 체외로 돌출된다.

3.3.2.2. 난소 발달과정

조피볼락 난소의 내부구조는 생식세포와 함께 난소박판으로 구성되어 있었다. 난소 내 난소강은 난소기부를 제외하고 난소박판을 포함하는 난소주변의 거의 전역으로 확대되었다.

7월에 초기성장기의 난소 내에는 생식상피를 따라 $100\ \mu\text{m}$ 이하의 초기난모세포들이 분포하였다. 이들 초기난모세포들은 세포질에 대한 핵의 비율이 차츰 감소되며 핵질에는 1~2개의 뚜렷한 인이 관찰된다 (Fig. 3.2A).

8-9월에 성장기 난모세포의 세포질에는 핵 주위로 유구들이 형성되고 있었으며, 난황과립이 축적되기 시작하였다. 이 때의 난경은 $500\ \mu\text{m}$ 정도였다 (Fig. 3.2B).

10월에 이르러 대부분 개체들의 난소는 세포질 내에 난황과립이 충만한 난황형성후기의 난모세포들로 이루어져 있었다. 이 때의 난경은 $550\sim600\ \mu\text{m}$ 정도였으며, 핵은 아직 세포질의 중앙에 위치하고 있었다 (Fig. 3.2C). 이 시기는 12월까지 관찰되었다.

1-2월에 이르러 산출직전의 난소 내에는 미수정된 완숙난과 체내자어가 관찰되었다. 산출직전의 체내자어는 복부에 상당량의 난황을 보유하며, 눈과 체절 등의 분화가 관찰되었다 (Fig. 3.2D). 3-5월에 체내자어의 발생단계는 개체에 따라 체장 분포에 있어 차이가 많으나 같은 개체내에서는 모든 자어가 같은 발생단계에 있었다.

6~7월에는 체내자어의 산출 이후, 난소 조직상에는 잔존여포가 관찰되었고 (Fig. 3.2E), 잔존난모세포가 퇴화 흡수되고 생식상피가 재배치되고 있었다 (Fig. 3.2F).



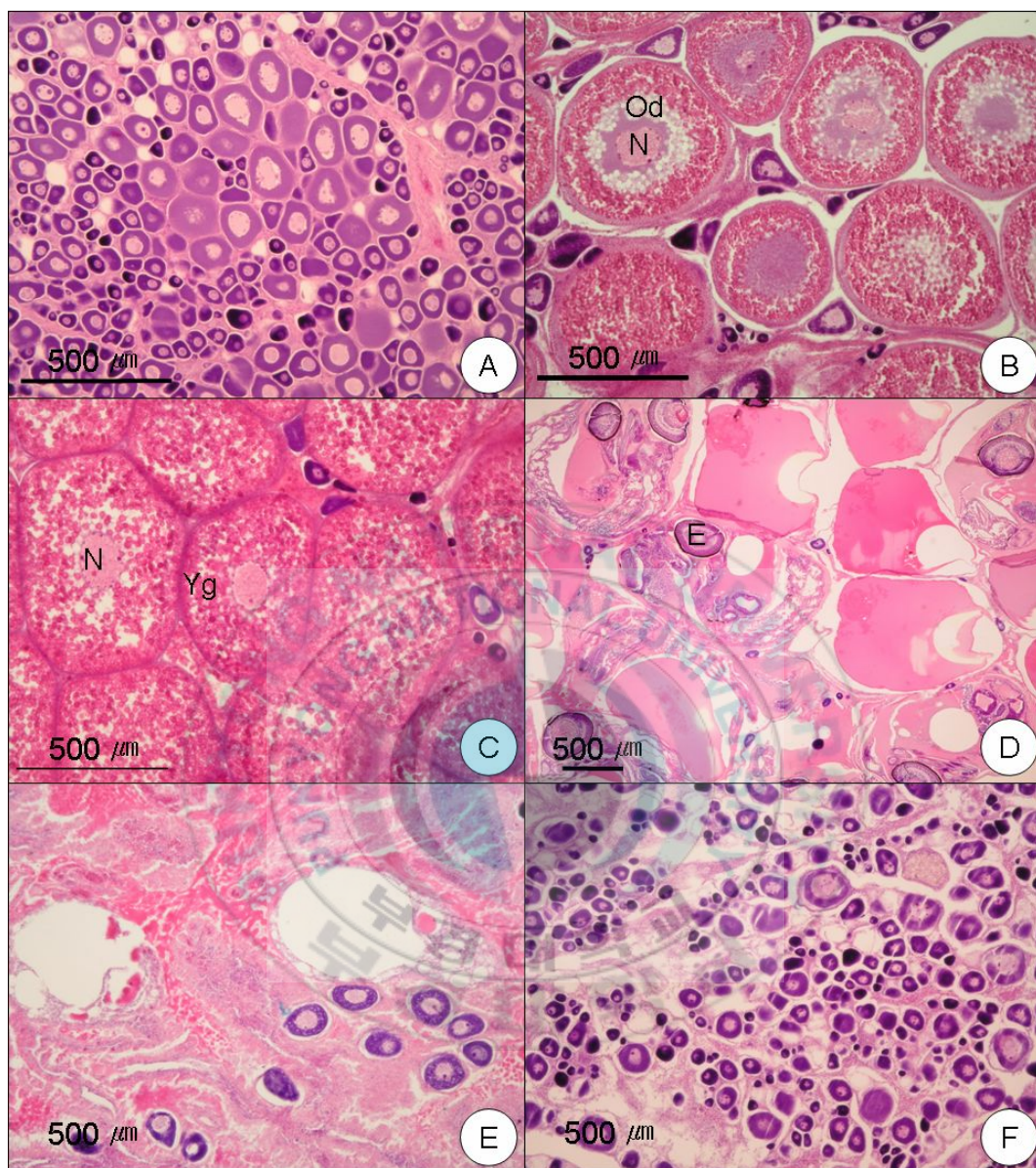


Fig. 3.2. Photomicrographs of developmental stage of ovary in *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area. A, Early growing stage; B, Growing stage; C, Maturing stage; D, Gestation and parturition stage; E, Spent stage; F, Recovery stage; E, eye; N, nucleus; Od, oil droplet; Yg, yolk granule.

3.3.2.3. 정소 발달과정

조피볼락 정소의 내부구조는, 정소간막이 연속한 정소기부에는 등쪽에서부터 정소동맥, 정소정맥, 수정관의 순서로 이어졌다. 정소내 수정관에서 가는 주머니 형태의 정소낭이 방사상으로 신장되었다.

2-4월의 초기성장기 정소에는 많은 소낭이 발달하고 정원세포는 소낭 내벽을 따라 층상으로 배열되어 있으며 호염기성의 염색상을 보인다(Fig. 3.3A).

5-6월의 성장기 정세관 내 소낭은 초기성장기에 비해 원형으로 되고 정원세포와 정모세포가 층상으로 배열되며 정모세포는 정원세포에 비해 상대적으로 호염기성이며 둥글다(Fig. 3.3B).

7월과 8월이 되면 대부분의 개체들은 정모세포들이 활발하게 성숙분열하여 모든 단계의 정모세포, 즉 정모세포의 소낭과 정세포 및 정자들로 이루어진 소낭들도 관찰할 수 있다 (Fig. 3.3C).

9-10월의 성숙기에 이르면 모든 개체의 정소 내 소낭 내강이 확장되고, 내강내에는 많은 양의 완숙정자들로 채워져 있었으며 또한 정자형성도 활발하게 일어나고 있는 것이 관찰되었다 (Fig. 3.3D).

11월이 되면 정소내의 정자형성과정에 있는 정모세포 소낭들의 수는 급격히 줄어들고 일부 퇴화중인 정모세포 소낭과 정세포 소낭들을 관찰할 수 있었으며, 정세관의 곳곳에 잔존정자들이 관찰되었다 (Fig. 3.3E).

12월과 1월에는 정소내 생식상피가 재배치되었으며, 생식상피를 따라 정원세포들이 분포하였다 (Fig. 3.3F).

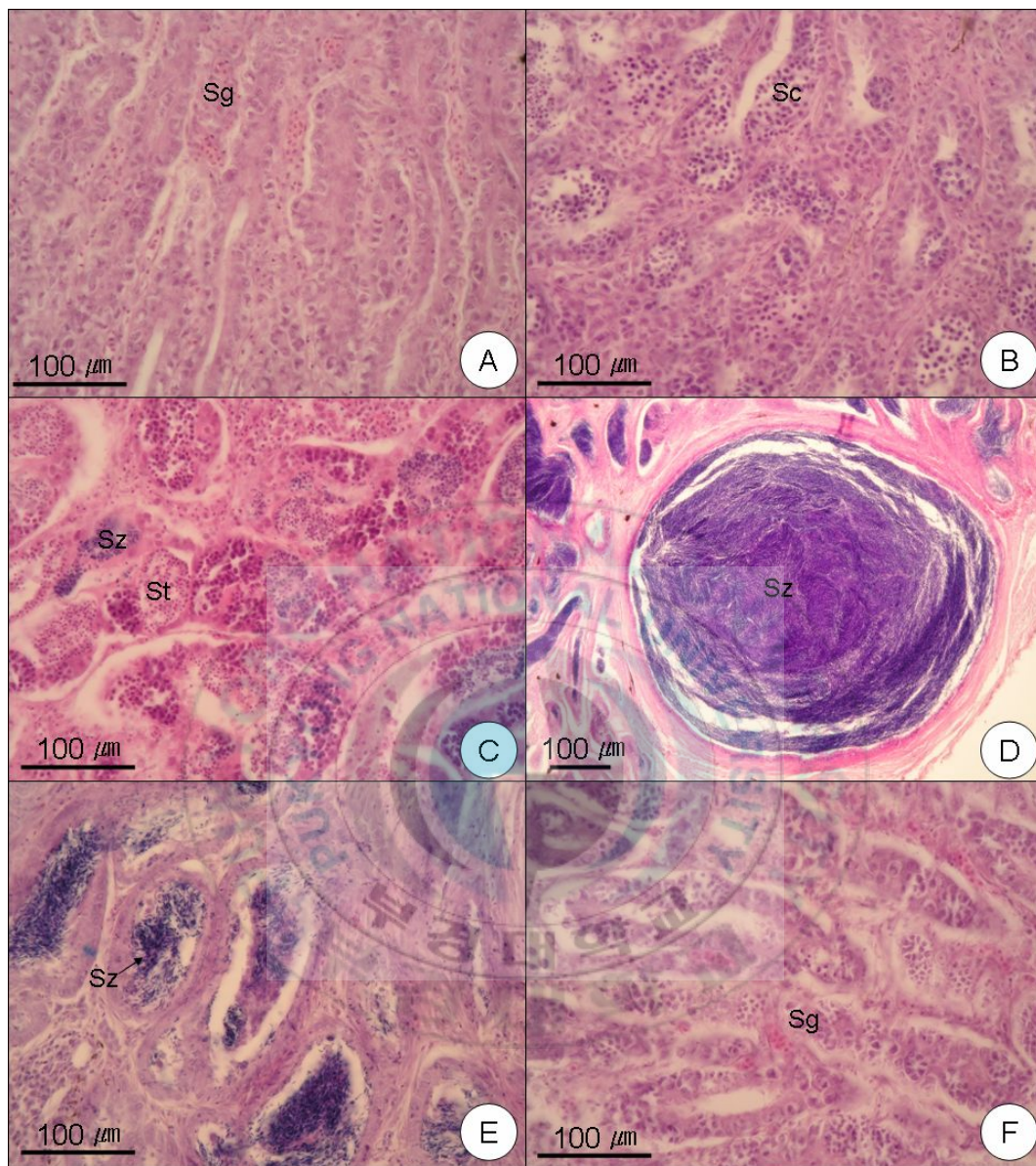


Fig. 3.3. Photomicrographs of developmental stage of testis in *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area. A, Early growing stage; B, Growing stage; C, Maturing stage; D, Ripe stage; E, Spent stage; F, Recovery stage; Sc, spermatocyte; Sg, spermatogonia; St, spermatid; Sz, spermatozoa.

3.3.3. 포란수와 체내자어수

개체군의 번식력을 알기 위해, 산란기 동안 방란의 흔적이 없는 난소를 가진 29 개체를 선별하여 포란수와 체내자어수를 계수하였다. 포란수와 체내자어수는 최대 139,892립 (TL, 37.7 cm)이었고, 최소 44,805립 (TL, 22.8 cm)이었다. 전장이 증가함에 따라 난소의 포란수와 체내자어수도 상대적으로 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 3.4). 전장에 따른 총 포란수 및 체내자어수 (F_c)를 조사한 결과, 다음의 식과 같이 나타났다.

$$F_c = 383.7139 TL^{1.5785} \quad (R^2 = 0.6174, p < 0.001)$$



Table 3.1. Composition of number of eggs and larvae by total length of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area

Total length (cm)	Number of samples	Number of eggs and larvae		
		Min.	Max.	Mean
22-23.9	2	44,805	47,682	43,519
24-25.9	4	45,681	74,225	59,002
26-27.9	2	67,824	78,216	73,020
28-29.9	4	74,385	70,425	67,964
30-31.9	6	80,982	103,945	87,571
32-33.9	5	66,609	113,571	84,538
34-35.9	3	94,352	116,725	106,327
36-37.9	3	102,820	139,892	119,191



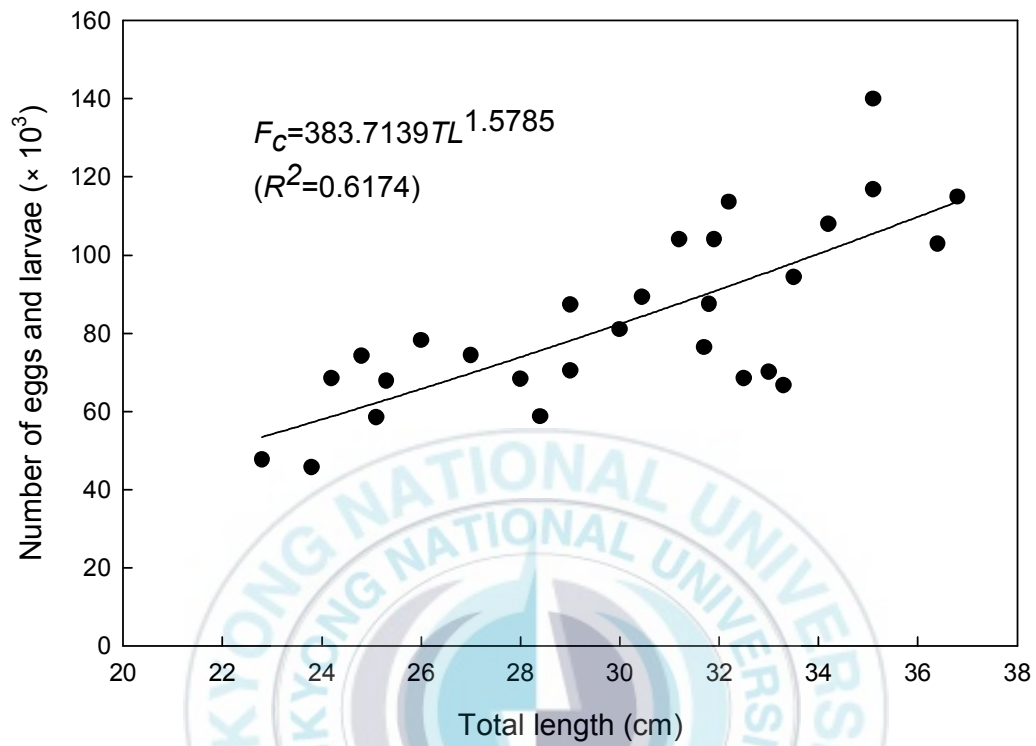


Fig. 3.4. Relationship between number of eggs and larvae and total length of the *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

3.3.4. 생식주기

생식소숙도지수의 월별변화와 생식소 발달의 조직학적 관찰을 통하여 조피볼락의 생식주기를 구하였다. 암컷의 생식주기는 성장기 (8~9월), 성숙기 (10~12월), 임신기 (1~2월), 산출 및 회복기 (3~5월), 휴지기 (6~7월)로 나눌 수 있고, 수컷의 경우는 성장기 (5~6월), 성숙기 (7~9월), 완숙 및 교미기 (10~11월), 퇴화 및 휴지기 (12~4월)로 구분되었다 (Fig. 3.5).



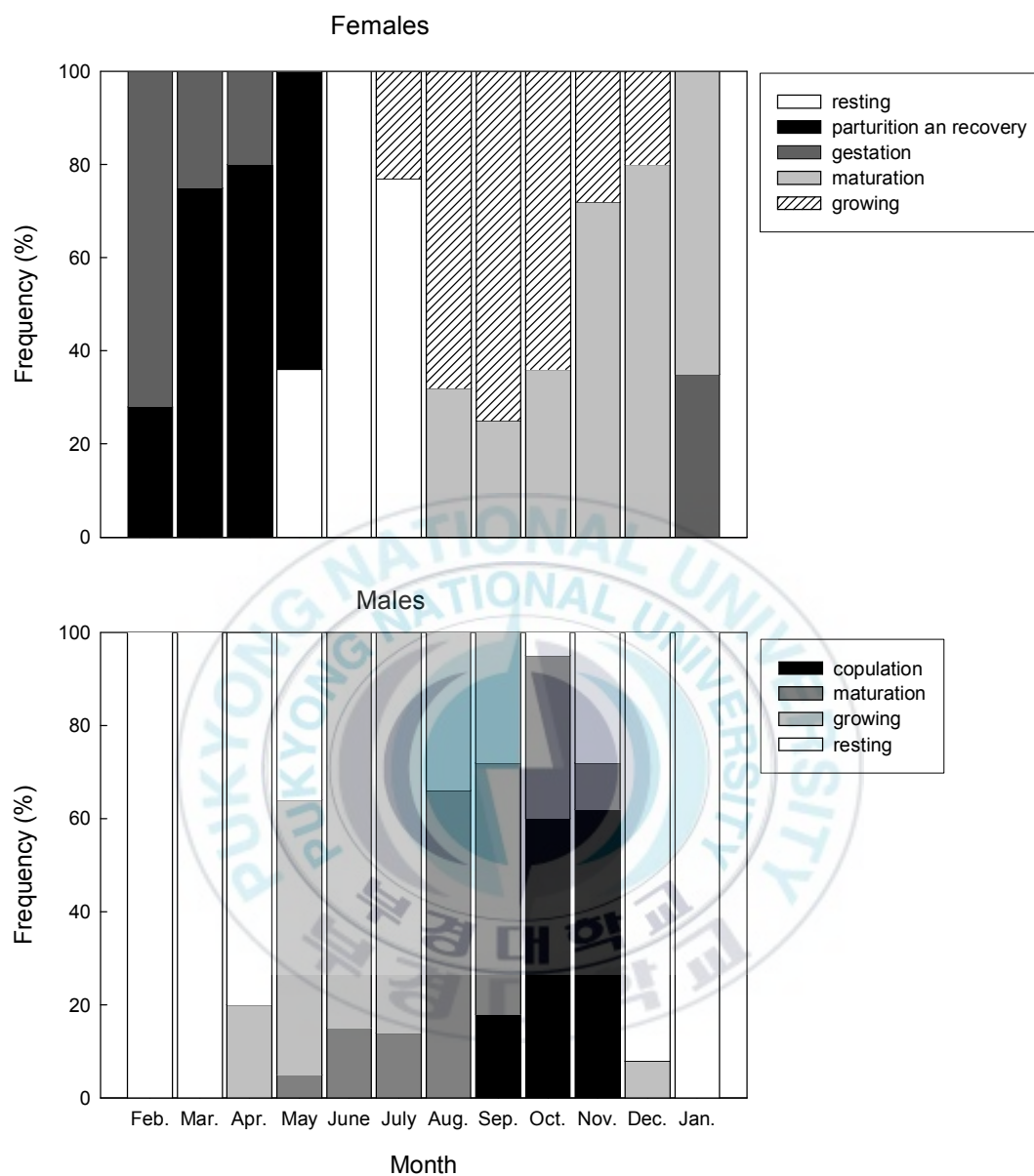


Fig. 3.5. Monthly changes in frequency of gonad developmental stage of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

3.3.5. 성숙전장 및 성숙연령

생식에 참여할 수 있는 크기와 연령을 알아보기 위해 군성숙도 (Y)를 조사하였다. 산란기동안 산란 가능한 것으로 판단되는 성숙 이상의 속도를 가지는 개체의 비율을 전장별로 구하였다. 그 결과, 22~24 cm 전장계급에서 25%가 처음으로 산란에 참여하고 있었으며, 24~26 cm 전장계급에서 55%가 산란에 참여하는 것으로 나타났다. 전장 32 cm 이상의 크기에 달하면 100% 산란에 참여한다. 본 종에 가장 적합한 비선형회귀분석을 한 결과는 다음의 식과 같다.

$$Y = 105.22 \times e^{-e(-\frac{(TL-24.6997)}{4.1514})}, (R^2 = 0.9871)$$

위 식에 의해 구한 군성숙도 50%의 성숙전장은 25.93 cm 였다 (Fig. 3.6). 이 때의 연령은 연령-전장 성장식에 의하면 2.8세였다. 그리고 군성숙도 100%의 성숙전장은 32 cm이고, 이때의 연령은 4.3세였다.

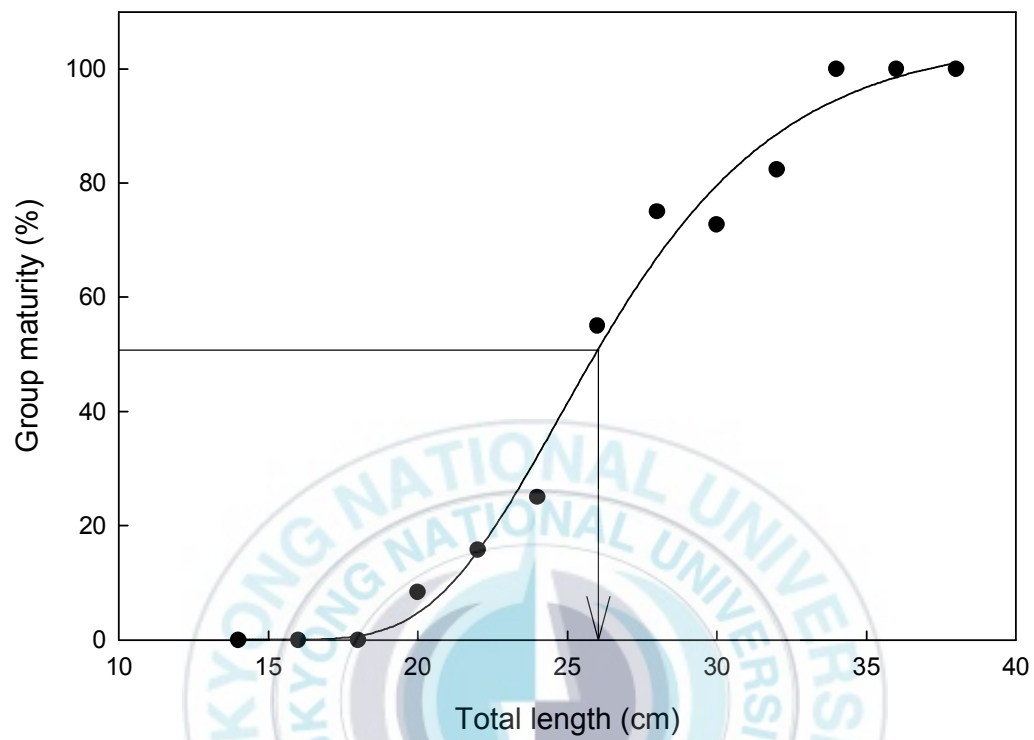


Fig. 3.6. Relationship between body length and percentage of maturity for the female of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

3.4. 고찰

일반적으로 난생어는 난모세포가 발달함에 따라 GSI가 증가하고, 난모세포가 완숙 후 산란 전에 GSI는 최고값을 나타낸다. 그러나 태생어와 난태생어는 난모세포의 발달에 따라 GSI는 증가하지만 완숙 후 수정을 거쳐 임신후기에 최고값이 나타나는 것이 일반적인 특징이다. 본 연구에서 조피볼락의 GSI는 성장기인 7월부터 서서히 증가한 후 산출 직전에 최고치를 보인다. 이는 체내에서 발생한 자어가 최대성장한 것을 의미하며 산출에 임박함을 알 수 있다. 이와 같이 조피볼락의 GSI는 쏨뱅이 *Sebastiscus marmoratus* (Bae et al., 1998), 볼락 (Lee and Kim, 1992) 그리고 불볼락 *S. thompsoni* (Lee et al., 1998)와 유사하게 태생어와 난태생어에서 볼 수 있는 특징적인 변화를 보였다.

조피볼락 난소의 내부구조는 여러개의 난소박판으로 구성되어 있는데, 이러한 난소구조는 볼락 (Lee and Kim, 1992), 누루시볼락 *S. vulpes* (Sasaki and Igarashi, 1974), 불볼락 *S. thompsoni* (Lee et al., 1998), 노래미 *Agrammos agrammus* (Chung and Lee, 1985) 등에서도 보고되어 있다.

경골어류의 정소의 내부구조는 소엽형 (lobule type)과 세관형 (tubule type)으로 구분된다 (Billard et al., 1982). 조피볼락의 정소는 다수의 정세관으로 구성되어 있으며 이들 정세관은 여러 개의 소낭구조를 가지는 tubule type에 속하며, 쏨뱅이, 누루시볼락, 볼락, 황점볼락, 불볼락 등에서도 보고되어 있다.

어류의 난모세포 발달양식은 동기발달형 (synchronous), 난군동기발달형 (group synchronous) 그리고 비동기발달형 (asynchronous)의 세 가지로 구분된다 (Wallace and Selmen, 1981). 조피볼락의 난모세포 발달양식은 성숙 난소 내에서 초기난모세포군과 성숙난모세포군으로 구분되는 것으로 보아 난군동기발달형에 속하는 것으로 판단된다.

Baek et al. (2000)은 본종의 교미시기를 11월과 12월 사이에 일어난다고 보고하였다. 본 연구에서는 10월에 완숙 정자들이 정세관 내강에 밀집해 있고 11월에

일부 퇴화중인 정모세포 소낭과 정세포 소낭들을 관찰할 수 있었으며, 정세포 소낭의 곳곳에 잔존정자들이 관찰되는 것으로 미루어 보아 교미시기가 10월과 11월 사이에 일어나는 것으로 사료된다. 그러나 교미시기 이후 암컷의 난소 내 정자의 존재를 확인할 수 없었는데, 이는 향후 연구에서 보충해야 할 부분이다. 체내 수정어류의 수정회수는 어종에 따라 다르며, 일부 열대 담수 태생어류에서는 중복수정 (superfetation)이 보고되어 있다 (Turner, 1937; Wourms, 1981). 한편, 볼락, 망상어 그리고 불볼락은 모체 내 부화자어의 발달단계가 모두 동일한 것으로 나타나 수정이 1회에 일어난다고 보고되어 있다. 조피볼락 역시 이와 유사하게 수정 후 체내자어의 발달단계가 거의 동일한 것으로 미루어보아 중복수정과는 달리 수정은 1회에 일어난다고 판단된다.

난태생 및 태생어류는 수정장소에 따라 여포강내 수정형 (intrafollicular fertilization type)과 난소강내 수정형 (intraluminal fertilization type)으로 구분된다 (Wourms et al., 1988). 여포강내 수정형은 *Neotoca bilineata* (Mendoza, 1943), *Clinus aggregata* (Wiebe, 1968), *Clinus superciliosus* (Veith, 1980), *Heterandria formosa* (Wourms et al., 1988), 망상어 (Lee et al., 1996) 그리고 불볼락 (Lee et al., 1998)이 있으며, 난소강내 수정형은 볼락 (Lee and Kim, 1992)과 황점볼락 (Chang et al., 1995) 등에서 보고되고 있다. 본 연구에서 조피볼락의 수정형태는 난소 내 성숙난들이 난소강으로 배란되면서 수정난들이 관찰되는 것으로 보아 난소강내 수정형으로 판단되며 이는 Park (2000)의 결과와 일치하였다.

조피볼락이 속해있는 *Sebastes*속은 산출시기 동안에 1회 산출하는 종과 산출시기 동안 다회 산출하는 종으로 나눌 수 있는데, 1회 산출하는 종으로는 볼락 (Lee and Kim, 1992), 개볼락 (Shiokawa, 1962), 불볼락 (Lee et al., 1998), 그리고 탁자볼락 (Takemura et al., 1987) 등이 보고되고 있으며, 여러번 산출하는 종으로는 붉감팽 (Mizue, 1959)과 쏜뱅이 (Takano et al., 1991) 등이 보고되고 있다. 본 종의 생식소에 대한 조직학적 관찰에 의하면 동일 개체의 난소 내 난모세포의 발달

단계나 자어발생 단계는 모두 비슷한 수준이며 산출 후의 난소내에는 초기발달단계의 난모세포만 관찰되는 것으로 보아 산출시기 동안 1회 산출하는 종임을 확인할 수 있었다.

이 연구에서 포란수 및 체내자어수는 최소 44,805개에서 최대 139,892개로 전장이 증가함에 따라 포란수 및 체내자어수가 증가하는 경향을 나타냈다. 조피볼락은 같은 볼락속 어류인 볼락 (Lee and Kim, 1992)이나 불볼락 (Lee et al., 1998)에 비해 약 2~3배 많은 포란수 및 체내자어수를 가지며 이는 성성숙에 이르는 전장의 차이에 의한 것으로 사료된다.

Bowers (1992)는 *S. flavidus*의 임신기간을 체내자어가 부화하여 산출시기까지로 하여 30~40일, Boehlert and Yoklavich (1984)는 *S. melanops*에서 37일, Mizue (1959)는 쏨뱅이를 30~45일로 추정하고 있다. Park (2000)에 의하면, 조피볼락의 임신기간은 수온 12~14℃에서 약 38일간이었다고 보고하였다. 이 연구에서도 체내 부화자어는 2월부터 5월까지 관찰되지만, 자어산출에 최대 두달 이상은 소요되지 않는 것으로 생각된다.

조피볼락의 산출기는 4~5월로 조사되어 우리나라 남부지방에서 보고된 볼락과 황점볼락에 비해 3-4개월 늦고 불볼락 (Lee et al., 1998)과는 유사한 것으로 나타났다.

IV. 식성

4.1. 서론

조피볼락은 일반적으로 우리나라의 전 해역과 일본 북해도 이남, 중국 북부의 연안의 수심이 낮은 암초지대에서 서식하며 주로 어류 및 새우, 게류, 갑각류 등을 섭이한다 (Kim et al., 1994; Kim et al., 2005; Nelson, 2006).

조피볼락은 1980년 후반 대량 종묘생산에 관한 연구 등으로 (Kim et al., 1987; Myeong et al., 1988) 서·남해의 양식대상종으로 현재까지 각광을 받고 있으며, 또한 연안자원의 회복을 위하여 각 지방자치단체에서 꾸준히 종묘가 방류되고 있는 연안 수산업에서 중요하게 인식되고 있는 종이다. 특히 1998년에서 시작된 통영 바다목장 조성사업에서 볼락과 함께 주대상종으로 선정되었다 (KORDI, 1997).

조피볼락의 섭식생태에 관한 연구는 서해안 장봉도 갯벌에 서식하는 조피볼락의 섭식 생태 (Seo and Hong, 2007)가 있으며 그 결과 먹이생물은 갑각류가 33종, 어류가 8종, 연체동물류와 기타 동물군이 각각 4종으로 나타났고 그 중 98.2%는 갑각류가 차지한다고 보고하였다.

통영해역은 바다목장이 조성되는 해역으로 자연 암반과 인공적으로 조성된 암반이 형성되어 있는 곳으로 갯벌 지역과는 서식환경이 크게 다르고 그로 인하여 먹이생물 조성에서도 차이가 있을 거라 생각되어 진다.

이 연구는 통영바다목장해역의 암반지역에 서식하는 조피볼락의 주요 먹이생물의 종류, 성장 및 계절에 따른 먹이습성의 변동을 파악하였다.

4.2. 재료 및 방법

이 연구에 사용된 조피볼락의 시료는 2002년 1월부터 12월까지 통영 바다목장 해역내의 곤리도와 장두도 부근의 지역 (Fig. 2.1)에서 매월 통발과 자망을 이용하여 채집하였다.

채집된 어류는 실험실로 운반하여 표준전장 (standard length : SL)과 체중 (wet weight)을 1mm와 0.1g 단위까지 측정하였으며, 위부분을 어체에서 분리하였다. 위내용물 중 출현하는 먹이생물은 Takeda (1982), Cha et al., (2001), Yoon (2002), Kim (1973) 등을 참조하여 동정하였다. 많이 출현한 먹이생물은 최대한 종 수준까지 분류하였다. 먹이 생물의 종류별로 개체수를 계수하였으며, 크기는 mm 단위까지 측정하였다. 그리고, 먹이 종류별로 80℃의 건조기에서 24시간 건조시킨 뒤, 전자식 저울을 이용하여 건조중량을 측정하였다.

월별 위내용물 출현종의 종조성을 비교하였고, 종다양성을 분석하기 위하여 Shannon-Weaver의 종다양성 지수 (H')를 계산하였다 (Shannon and Weaver, 1949).

$$H' = \frac{n \ln n - \sum_{i=1}^k n_i \ln n_i}{n}$$

여기서, K: 총 출현종 수

n : 총개체수

n_i : i 종의 개체수이다.

위내용물의 분석 결과는 각 먹이생물에 대한 출현빈도수, 먹이생물의 개체수비, 그리고, 건조중량비로 나타내었다.

각 먹이생물의 출현빈도수 (F_i)는 다음의 식을 이용하여 구하였다.

$$F_i = \frac{A_i}{N} \times 100$$

여기서, N: 조사된 총 어류의 개체수

A_i : 위내용물 중 i 먹이생물이 발견된 어류의 개체수이다.

섭이된 먹이생물의 상대중요성지수 (Index of relative importance, IRI)는 Pinkas et al. (1971)의 식을 이용하였다.

$$IRI = (N + W) \times F$$

여기서, N: 위내용물에서 발견된 총 먹이 개체수 중 해당 먹이생물이 차지하는 비율

W: 위 내용물 건조중량 중 해당 먹이생물이 차지하는 비율

F: 해당 먹이생물의 출현빈도수.

월별 생식소 중량지수 (Gonadosomatic index, GSI)와 위내용물 중량지수 (Stomach content index, SCI)를 다음의 식을 이용하여 구하였다.

$$GSI = GW (g) / BW (g) \times 10^2$$

$$SCI = SCW (g) / BW (g) \times 10^2$$

여기서 GW (Gonad weight)는 생식소 중량이고, BW (Body weight)는 체중, SCW (Stomach content weight)는 위내용물 중량이다.

Dietary breadth index는 Levins standardized index (Levin, 1970)를 이용하여

구하였다.

$$B_i = \frac{1}{n} \times 1 \left(\frac{1}{\sum_j P_{ij}^2} - 1 \right)$$

여기서, B_i : 포식자 i 에 대한 Levins standardized index

P_{ij} : 먹이생물 j 의 포식자 i 에서의 비율

n : 먹이생물 범주의 수

이 지수의 범위는 0~1까지 이며, 낮은 값은 적은 먹이생물에 의해 지배되는 식성의 지표 (specialist predators)이며, 높은 값은 잡식성을 나타낸다 (Gibson and Ezzi, 1987).



4.3. 결과

4.3.1. 먹이생물 조성

조사 기간 동안 조피볼락은 1월부터 12월까지 매달 채집되었으며, 전장분포는 3.9~30.3 cm를 보였다 (Fig. 4.1). 1월부터 5월까지의 전장 8~30 cm 범위의 개체들이 주로 분포하였다.

위내용물 분석에 사용된 조피볼락은 총 532개체였으며, 위 속에 먹이가 전혀 없었던 조피볼락은 207개체로 공복율은 38.9%였다. 이들을 제외한 325개체의 위내용물을 분석한 결과는 Table 4.1과 같이 나타났다. 먹이생물 분석 시 촬영한 먹이생물은 Fig. 4.2와 같이 나타났다. 조피볼락의 경우는 사진과 같이 먹이생물을 큰 입을 이용하여 통째로 삼키는 것으로 나타났다.

조피볼락의 위내용물 중 상대중요성지수에서 가장 높은 비율을 차지하였던 주요 먹이생물은 어류 (Pisces)였다. 어류는 총 먹이생물 개체수의 48.2%와 44.9%의 출현빈도수를 보였으며, 위내용물 건조중량의 96.3%의 높은 비율을 차지하였다. 상대중요성지수비는 95.7%를 보였다. 가장 많이 섭이된 어종은 감성돔 *Acanthopagrus schlegeli*, 볼락 *Sebastes inermis*, 멸치 *Engraulis japonica*였으며, 그 외 미역치 *Hypodytes rubripinnis*, 조피볼락 *Sebastes schlegelii*, 바리과 *Pseudanthisa* sp. 어류와 보리멸과 *Sillago* sp. 어류 등이 섭이되었다.

그 다음으로 중요한 먹이생물로는 새우류 (Macrura), 게류 (Brachyura), 단각류 (Amphipoda)의 순으로 나타났다. 새우류는 총 먹이생물 개체수의 16.5%와 8.9%의 출현빈도수를 보였으며, 위내용물 건조중량의 0.9%의 비율을 차지하였다. 상대중요성지수비는 2.3%를 보였다. 많이 섭이된 종은 긴좁은빨꼬마새우 *Heptacarpus pandaloides*, 긴발줄새우 *Palaemon ortmanni*, 흑등좁은빨꼬마새우 *Heptacarpus geniculatus*, 자주새우류 *Crangon* sp., 딱총새우류 *Alpheus* sp. 등이었다.

그 다음으로 많이 섭이되어진 것은 게류와 단각류였는데, 각각 총 먹이생물 개체수의 7.9%, 20.7%와 6.5%, 3.1%의 출현빈도수를 보였으며, 건조중량에서는 각각

2.5%, 0.1%이하를 차지하였고, 상대중요성지수비는 각각 1.0%, 0.9%를 나타내었다. 계류 중 많이 섭이된 종은 두점박이민꽃게 *Charybdis bimaculata*, 민꽃게 *Charybdis japonica*, 납작게 *Gaetice depressus*, 왕밤송이게 *Erimacrus isenbecki* 등이었다.

그 외 집게류 (Anomurus), 갯지렁이류 (Polychaets), 등각류 (Isopods), 곤쟁이류 (Mysids), , 두족류 (Cephalopods), 그리고 패충류 (Ostracods) 등도 발견되었으나, 총 먹이생물의 개체수 및 위내용물 건조중량 중 차지하는 비율은 아주 낮았다.



Table 4.1. Composition of the stomach contents of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area. by frequency of occurrence, number, dry weight and index of relative importance (IRI)

Prey organisms	Occurrence (%)	Number (%)	Dry weight (%)	IRI	IRI (%)
Pisces	44.9	48.2	96.3	6488.5	95.7
<i>Acanthogobius</i> sp.	1.5	1.5	1.3		
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	12.0	8.9	22.9		
<i>Engraulis japonica</i>	6.2	3	6.2		
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	1.5	6.1	6.4		
<i>Pseudanthias</i> sp.	1.5	1.5	3.1		
<i>Sebastes inermis</i>	7.4	13.5	41.0		
<i>Sebastes schlegelii</i>	1.5	1.5	3.3		
<i>Sebastes</i> sp.	3.1	1.8	5.7		
<i>Sillago</i> sp.	1.5	1.5	0.9		
Unidentified	8.9	8.9	5.3		
Brachyura	6.5	7.9	2.5	67.5	1.0
<i>Charybdis bimaculata</i>	1.5	0.9	0.3		
<i>Charybdis japonica</i>	1.2	1.5	0.7		
<i>Charybdis</i> sp.	1.5	1.5	0.6		
Brachyura larvae	0.6	1.3	0.4		
<i>Erimacrus isenbeckii</i>	0.6	0.6	0.4		
<i>Gaetice depressus</i>	0.9	0.9	0.1		
<i>Pugettia</i> sp.	0.6	0.6	+		
Unidentified	0.6	0.6	+		
Macrura	8.9	16.5	0.9	154.6	2.3
<i>Alpheus</i> sp.	0.9	1.5	0.1		
<i>Crangon</i> sp.	0.9	2.2	0.4		
<i>Heptacarpus futilirostris</i>	0.9	0.9	+		
<i>Heptacarpus geniculatus</i>	1.2	0.9	+		
<i>Heptacarpus pandaloides</i>	2.2	5.5	0.1		
<i>Palaemon macrodactylus</i>	0.9	2.2	+		
<i>Palaemon ortmanni</i>	1.2	0.9	0.1		
<i>Palaemon</i> sp.	0.9	0.9	+		
Unidentified	0.9	1.5	+		
Amphipoda	3.1	20.7	+	63.9	0.9
Isopoda	1.5	1.5	+	2.4	0.0
<i>Cirolana japonensis</i>	0.6	0.9	+		
<i>Rocinela maculata</i>	0.9	0.6	+		
Anomura	0.6	0.6	0.2	0.5	+
<i>Upogebia major</i>	0.6	0.6	0.2		
Mysidae	0.9	0.9	+	0.9	+
Cephalopoda	0.9	0.9	+	0.9	+
Polychaeta	1.5	2.2	+	3.3	+
Ostracoda	0.6	0.6	+	0.4	
Total		100	100		

+ : less than 0.1

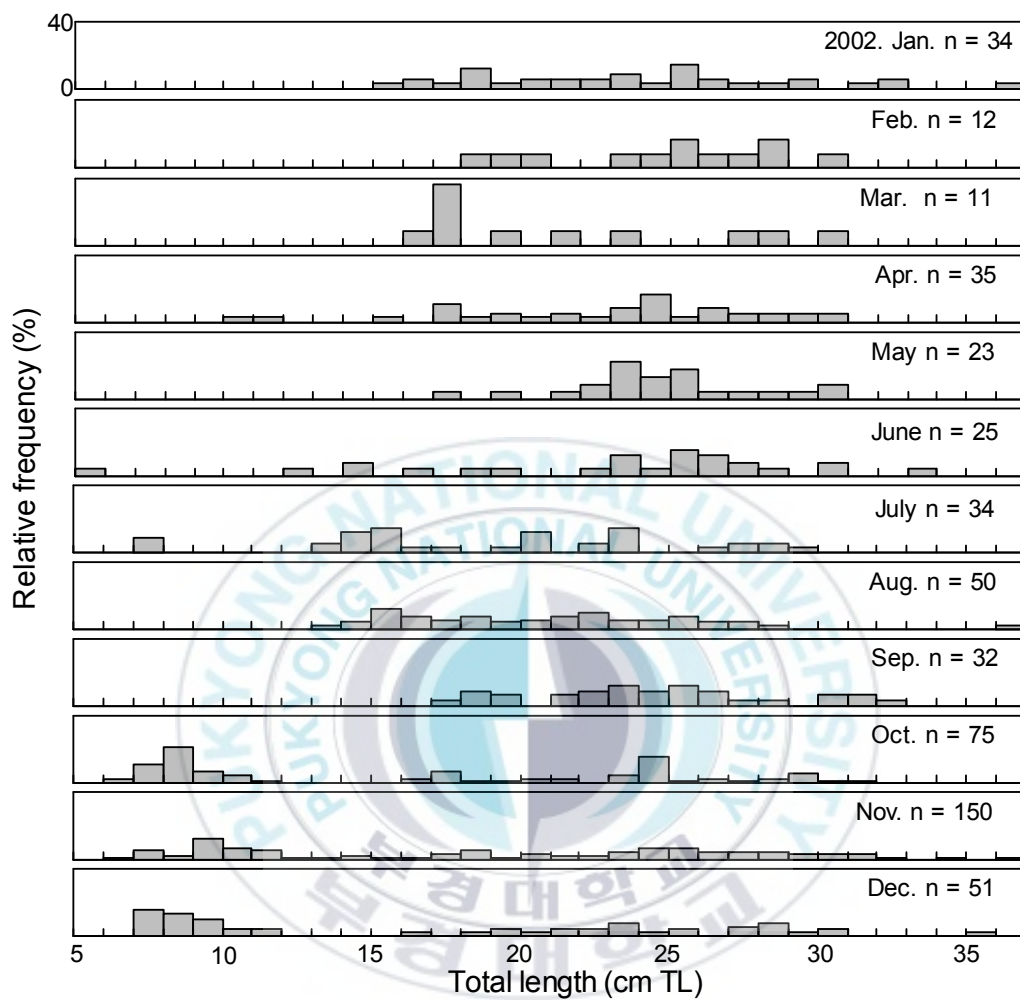


Fig. 4.1. Monthly variation in size distributions of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

4.3.2 종다양성 지수

조피볼락 위내용물의 종별 개체수 자료를 이용하여 출현종의 다양성 및 분포 상태를 파악하기 위해 전장과 월별 종다양성지수를 구하였다 (Figures 4.2, 4.3).

전장별 평균 종다양도지수의 변화는 많은 기복을 보였으나, 전장의 변화에 따라서 어류의 섭이량이 증가할수록 점차적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

월별 평균 종다양성지수는 1월과 2월에는 0.00001이었으며, 3월에는 0.301로 증가하기 시작하였으며, 5월과 8월에 0.201과 0.297의 낮은 값을 제외하고 대체적으로 겨울철인 1월, 2월 12월에 비해서 높은 값을 보였다. 그리고 7월과 11월에 각각 0.578과 0.587로 높은 값을 나타내었다.



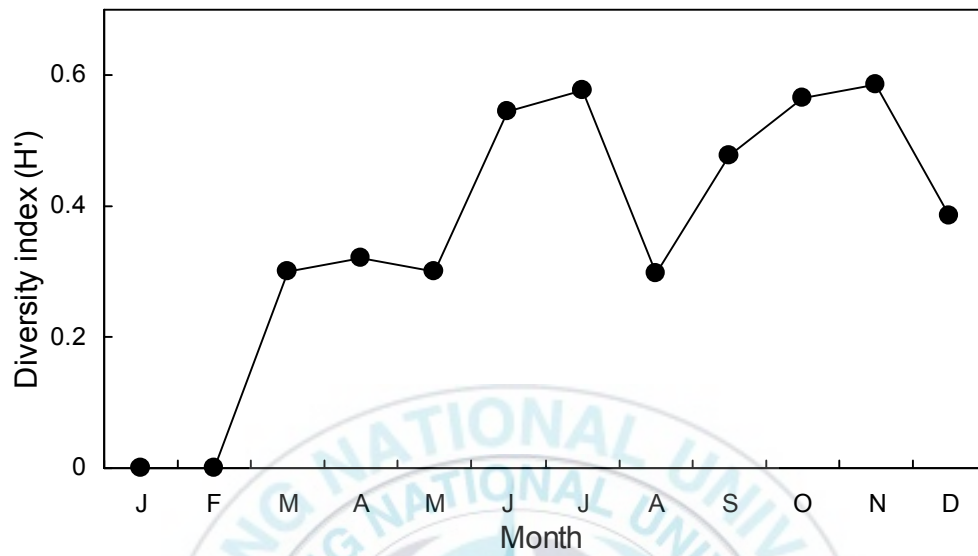


Fig. 4.2. Monthly variation of diversity indices of prey organisms of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

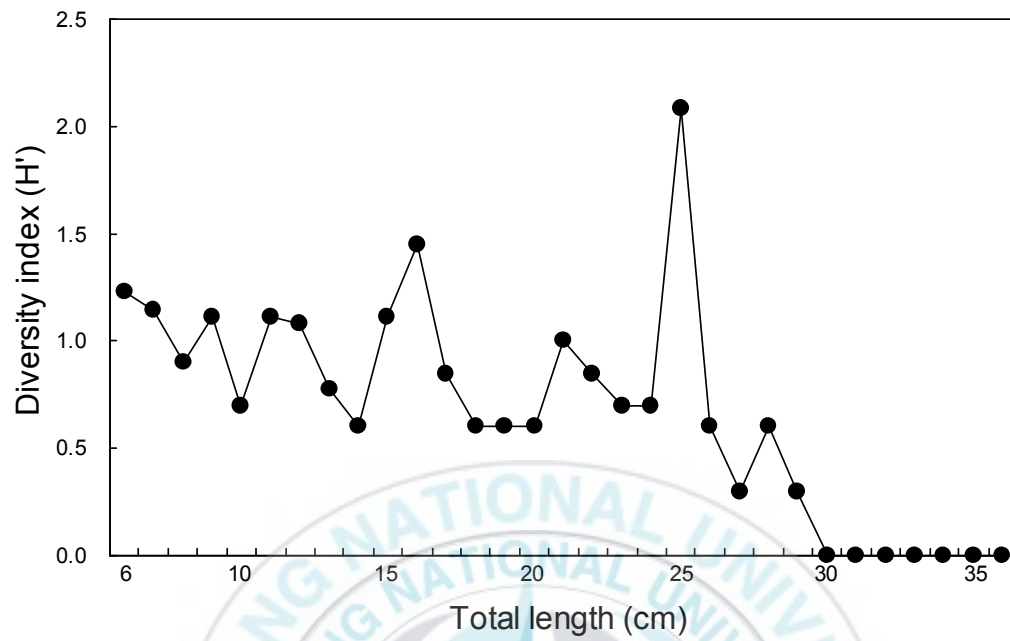


Fig. 4.3. Ontogenic change of diversity indices of prey organisms of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

4.3.3 계절에 따른 먹이 변화

건조중량을 기준으로 한 조피볼락의 계절에 따른 먹이조성은 5월에서 7월까지를 제외하고는 계절에 따라 크게 변동하지 않았으며, 대체적으로 어류가 주로 섭이되었다 (Fig. 4.4). 1월부터 4월까지의 어류가 80%이상을 차지하였으나, 5월부터는 새우류의 섭이율이 증가하여 6월에는 새우류의 점유율이 86.0%를 차지하여 새우류가 가장 많이 섭이되었다. 그러나 8월 이후로는 다시 어류의 점유율이 증가하여 약 80% 이상을 차지하며 어류가 주 먹이생물로 나타났다.



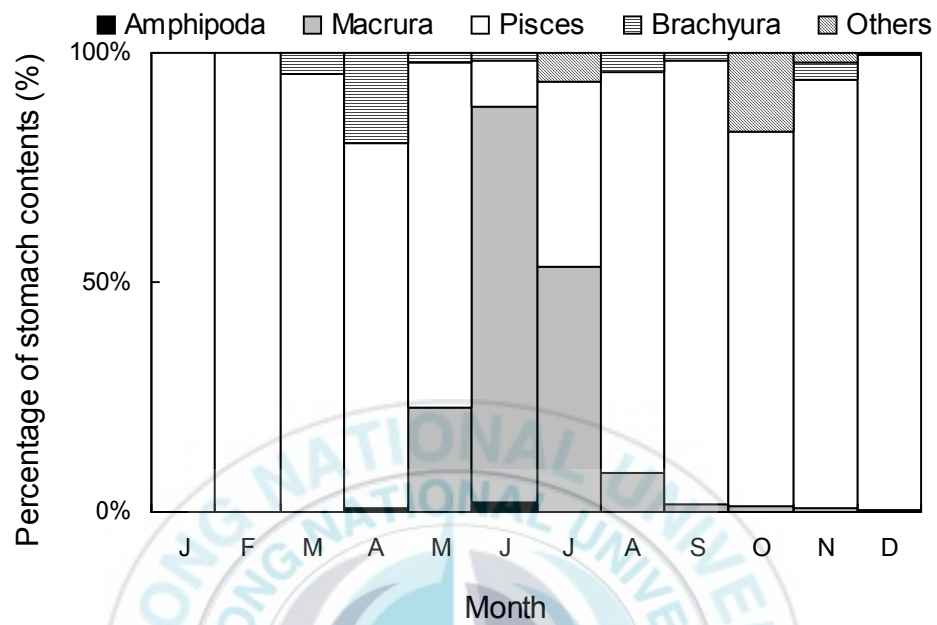


Fig. 4.4. Seasonal changes in feeding habits of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching areas.

4.3.4 성장에 따른 먹이 변화

건조중량을 기준으로 조피볼락의 성장에 따른 먹이생물 조성을 알아본 결과 대부분의 전장에서 어류가 주 먹이생물로 나타났다 (Fig. 4.5). 가장 작은 전장이었던 3.9 cm 크기의 조피볼락은 공복으로 나타났다. 위내용물이 있었던 전장이 가장 작은 6~7 cm에서는 새우류와 단각류가 약 20% 정도의 점유율을 차지하였으며, 나머지는 어류가 약 80% 정도를 차지하였다. 전장이 증가할수록 어류의 점유율은 더 증가하기 시작하여 전장이 22 cm 이상 전장에서는 거의 어류만을 섭이하는 것 (99.0%이상)으로 나타났다. 전장의 증가와 함께 먹이생물인 어류의 종이 작은 크기의 어류에서 큰 크기의 어류로 바뀌어 초기에는 작은크기의 보리멸과 어류나 볼락, 멸치 등을 섭이하였으나, 전장이 큰 개체들은 상대적으로 큰 감성돔이나 참돔 등의 어류를 섭이하는 것으로 나타났다.

조피볼락이 성장함에 따라 섭이되어진 먹이생물의 크기를 살펴보면 (Fig. 4.6), 6~7 cm 크기군에서 평균 10.4 mm였으며, 성장함에 따라 점차 증가하여 20~21 cm 크기군에서는 평균 75.5 mm, 36 cm 크기군에서는 평균 144.5 mm를 나타내었다. 전장이 증가할수록 크기가 커지는 경향을 보였다.

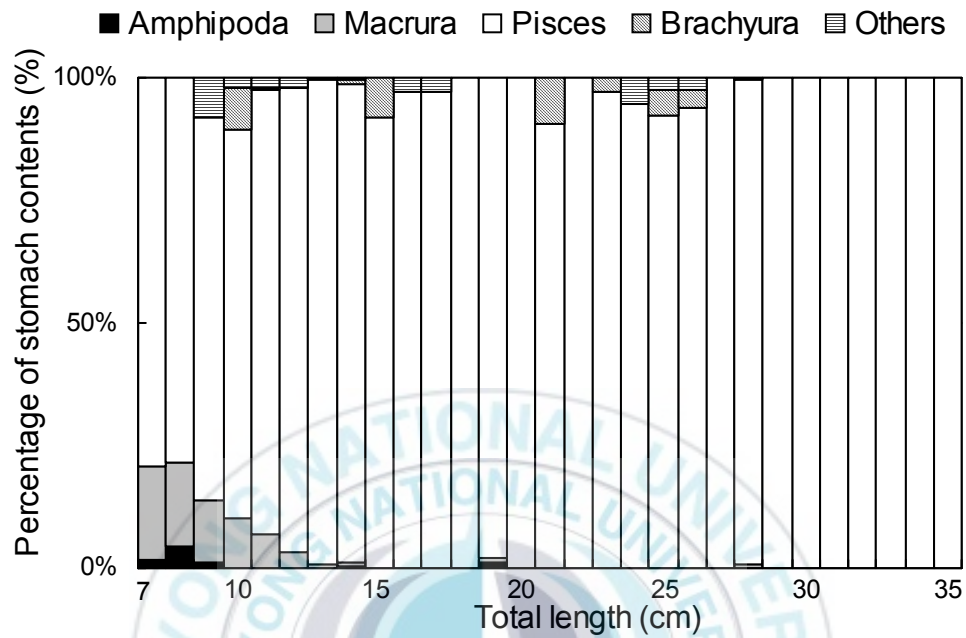


Fig. 4.5. Ontogenetic changes in feeding composition of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

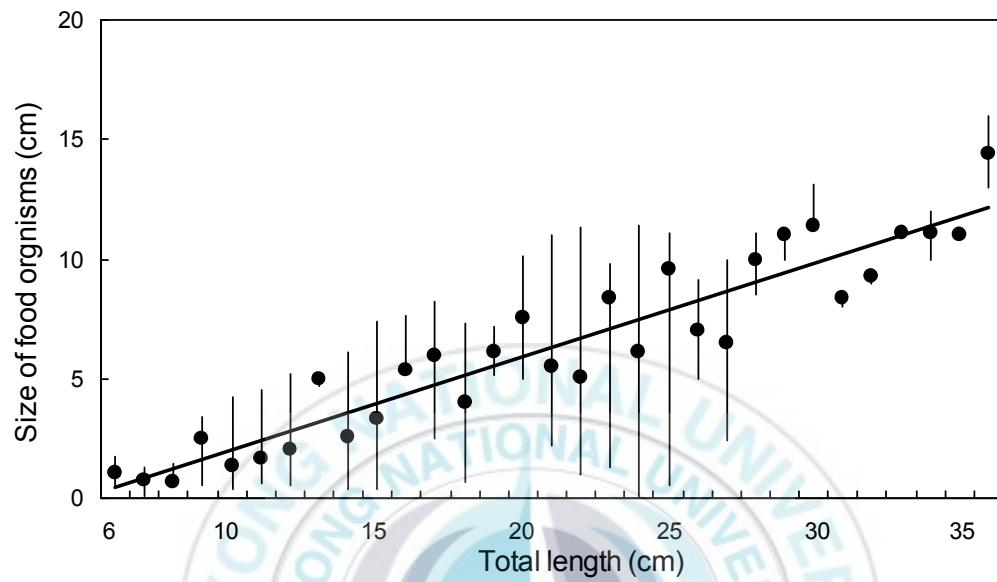


Fig. 4.6. Ontogenetic changes in the size of food organisms consumed by *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

4.3.5. 섭식율 및 섭식량

조피볼락의 체중에 대한 위내용물 중량비로서 월별 및 체급별 섭식율을 산출하여 먹이습성을 검토하였다.

월별 평균 섭식율은 0.152~9.253이었으며, 3월이 9.253으로 최고였으며, 8월이 0.152로 최소였다. 섭식율은 시간이 지남에 따라서 3월까지 증가하였으며, 4월부터 감소하여 낮은 값을 보였으나, 8월부터 다시 증가하는 양상을 보였다 (Fig. 4.7).

어체 크기별 평균 섭식율을 알아본 결과 Fig. 4.8과 같이 나타났다. 전장별 평균섭식율은 전장 6~9 cm 전장에서 4.472, 9~12 cm에서 5.239의 값을 나타냈으며 12~15 cm에서 조금 감소한 후, 다시 증가하여 전장 18~21 cm에서 5.262를 나타낸 후 전장의 증가와 함께 점차적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

조피볼락은 수온이 올라가는 여름철 보다 상대적으로 수온이 낮은 시기인 겨울, 봄, 가을에 더 많은 섭식을 하는 것으로 나타났으며, 큰 전장에서 보다 작은 전장에서 더 많이 섭이하는 것으로 나타났다.

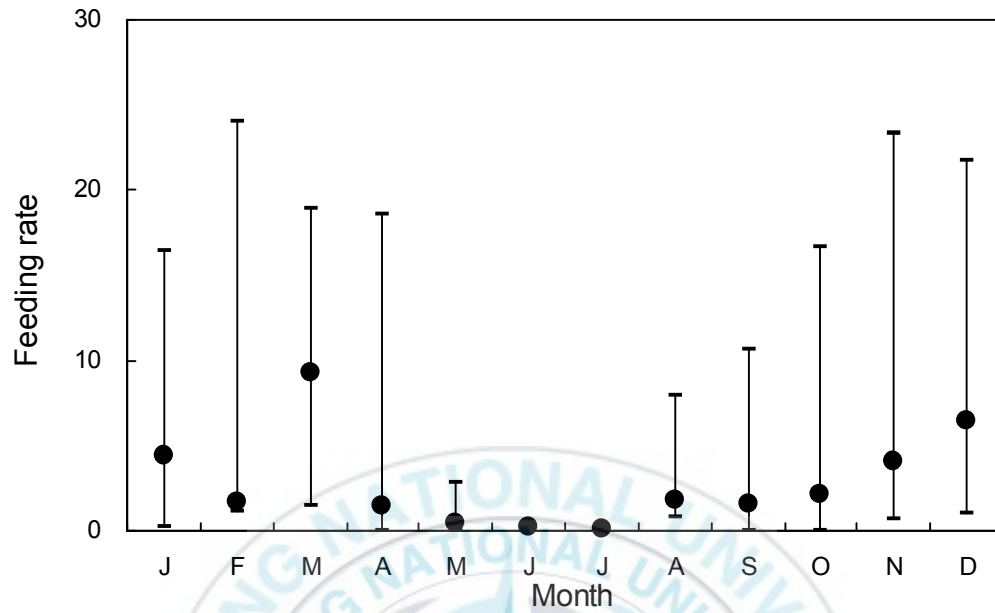


Fig. 4.7. Monthly change in feeding rate of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area in Korea waters. Circles, mean; Bars, range of feeding rate.

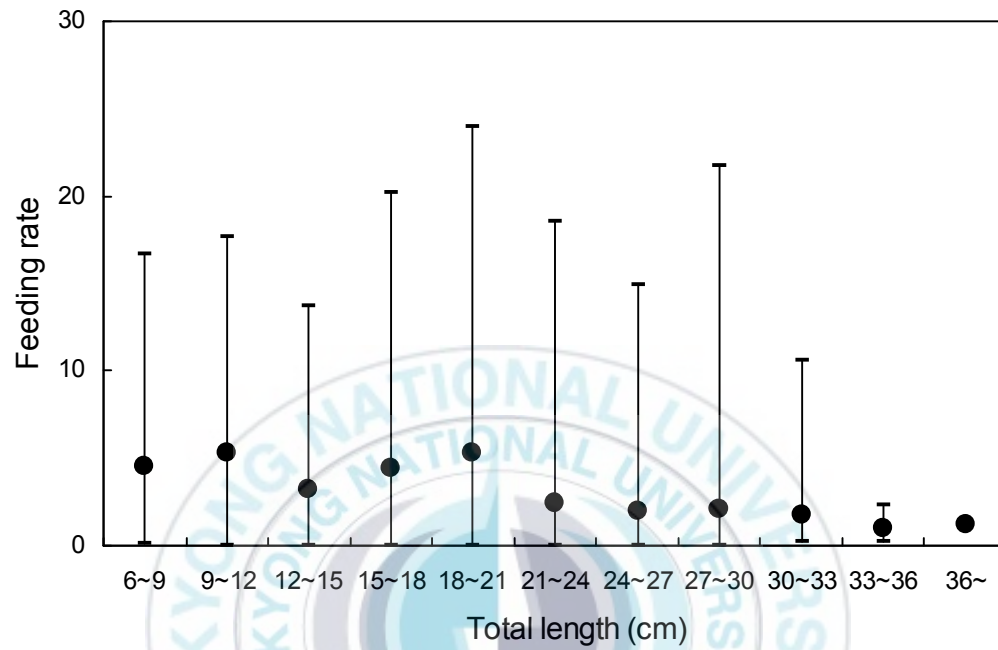


Fig. 4.8. Ontogenic change in feeding rate of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area. Circles, mean; Bars, range of feeding rate.

4.3.6. Dietary breadth index

조피볼락의 성장에 따른 Dietary breadth index의 변화를 살펴보면 (Fig. 4.9), 모든 전장에서 0.001~0.184의 범위로 아주 낮은 수치를 나타내었다. 조피볼락의 아주 작은 크기인 6~8 cm 전장에서는 단각류, 새우류, 게류 및 어류 등을 다양하게 섭이하여 다른 체장에 비하여 높은 값을 나타내었으나, 체장이 증가하면서 그 수치가 서서히 감소하여 전장이 아주 큰 크기에서는 0.001 이하의 수치를 나타내었다.

월별 Dietary breadth index의 범위는 0~0.304였으며, 1월과 2월에는 0의 값을 보였으며 계절의 변화에 따라서 점차적으로 증가하여 7월에 가장 높은 값인 0.304의 값을 보인 후 다시 계절의 변화에 따라서 감소하는 양상을 보였다. 조피볼락은 수온이 낮은 시기 보다 높은 시기에 더 다양한 먹이생물을 섭이하는 것으로 나타났다 (Fig. 4.10).



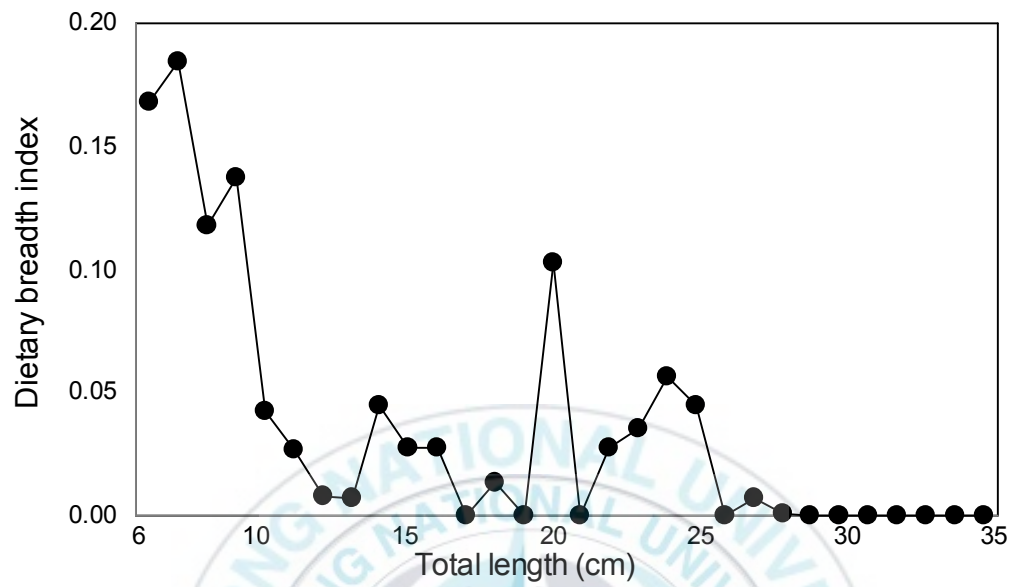


Fig. 4.9. The size-related variations of dietary breadth index of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

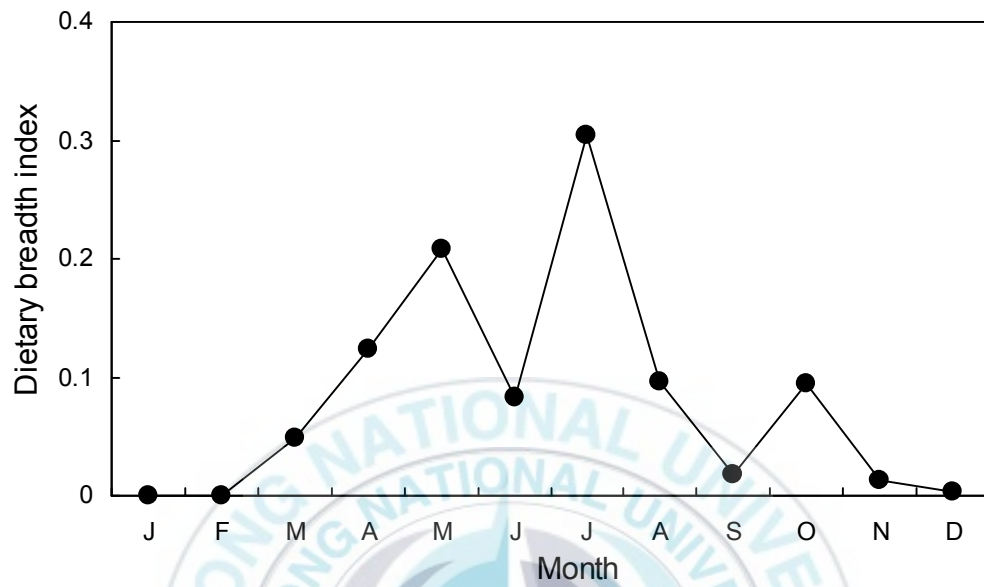


Fig. 4.10. Seasonal change of dietary breadth index of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

4.4. 고찰

조피볼락은 어류를 주로 섭이하는 어식성 어종임을 알 수 있었으며, 공복율도 38.9%로 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 어류와 같은 큰 크기의 먹이생물을 큰 입을 이용하여 통째로 섭이한 후, 오랜 기간 동안 먹이 섭이가 없이 활동하는 것으로 추정된다. 지금까지 보고된 어류의 먹이습성 연구에서 나타난 공복률과 비교해보면, 단각류를 주 먹이생물이었던 베도라치 *Pholis nebulosa*가 6.8% (Huh and Kwak, 1997), 요각류를 주로 섭이하였던 전갱이 *Trachurus japonicus*가 7% (Huh and Cha, 1998), 단각류와 새우류, 갯지렁이류와 같은 작은 크기의 먹이생물이 주 먹이생물이었던 문절망둑 *Acanthogobius flavimanus*이 2.6% (Huh and Kwak, 1999), 갯지렁이류와 단각류를 주로 섭이하였던 문치가자미 *Limanda yokohamae*가 6.5% (Kwak and Huh, 2003)로 낮은 반면에, 큰 크기의 어류를 주 먹이생물로 하는 어류인 꼬치고기 *Sphyranea pinguis*가 34.1% (Baeck and Huh, 2004), 삼치 *Scomberomorus niphonius*가 45.4% (Huh et al., 2006) 등으로 이 조사대상 어종인 조피볼락을 포함하여 어식성 어류들은 대체적으로 공복율이 높게 나타났다.

상기의 어종 중 공복율이 높으며 어류를 주 먹이생물로 한다고 보고된 어종들의 먹이생물 중 상대중요성지수비를 비교해보면, 고등어는 58.5% (Cha et al., 2004), 삼치는 84.8% (Huh et al., 2006), 황아귀는 98.8% (Cha et al., 1997), 갈치는 50.4% (Huh, 1999) 등으로 나타나, 같은 어류를 주 먹이생물로 하는 다른 어종들에 비하여 조피볼락 (건조중량비가 95.0%, 상대중요성지수비가 96.3%)은 어류가 극우점하는 특징을 나타내었다. 또한 같은 종족을 섭이하는 동종포식 (cannibalism) 현상도 나타나고 있었다. 이는 이 해역에서 조피볼락의 방류 시, 역시 수중에서 큰 개체들이 작은 개체의 조피볼락을 포식하는 것을 관찰할 수 있었다. 동종포식의 경우 광양만 잘피발의 가시망둑 (Huh and Kwak, 1998b)과 고리 주변해역의 황아귀 유어 (Baeck and Huh, 2003)에서도 보고된 바 있으며, 서부 그린랜드에서 채집된 같은 속에 속하는 *Sebastes* spp. (Pedersen and Riget, 1993) 역

시 20 cm 이상의 크기에서 동종의 유어가 중요한 먹이 생물로 나타나는 것으로 볼 수 있었다.

같은 속 (genus)에 속하는 어종들과 먹이습성을 비교해보면, 사천시 신수도 주변해역 (Kim and Kang, 1999) 및 광양만 잘피밭 (Huh and Kwak, 1998a)에서 서식하는 볼락의 경우는 어린시기에는 요각류 및 단각류를, 전장이 증가하면서 새우류, 게류 및 갯지렁이류를 섭이하여, 이 조사대상 어종인 조피볼락과는 다른 양상이었다. 러시아 북쪽 Primorye 연안해역 (Koplakov, 2006)에서 서식하는 탁자볼락 *Sebastes taczanowskii*은 어린시기에는 단각류를 섭이하였으나, 전장이 증가할수록 작은 크기의 어류를 주로 섭이하고 있어서 이 조사결과와 유사하였다. 한편 같은 해역의 쯤볼락 *S. minor*의 경우는 대체적으로 요각류 및 단각류를 주로 먹고 있었다 (Koplakov, 2006).

조피볼락의 종다양도지수값의 계절별 변화로 살펴본 결과, 겨울철 상대적으로 먹이생물의 풍도가 낮은 시기에 한정된 먹이생물을 섭이하는 현상을 보였으며, 수온이 상승하여 환경에 존재하는 먹이생물의 양이 증가하면서 다양한 먹이생물을 섭이하게 되는 것으로 나타났다.

이 조사해역과 다른 지역인 광양만 잘피밭에서 채집되었던 실고기의 먹이생물의 계절변화를 살펴보면, 계절에 따라 환경에 많이 출현하는 먹이생물을 섭이하여, 계절변화에 따라서 먹이생물이 변화하였다 (Huh and Kwak, 1997). 같은 해역에서 채집된 가시망둑의 경우는 조피볼락과 같이 어류를 주 먹이생물로 하는 종이었으며, 이 종의 계절에 따른 먹이생물의 변화양상은 크게 변화하지 않는 것으로 나타나 환경생물의 변화가 아닌 계절변화에 따른 각 개체의 성장과 연관이 있는 것으로 나타났다 (Huh and Kwak, 1998). 이 해역에서의 조피볼락의 경우는 전 계절에 걸쳐 주로 어류를 주 먹이 생물로 하였으나 5월~7월의 새우류의 비율 증가는 새우류의 산란 습성으로 인한 이 시기에 새우류의 대량 번식으로 인한 출현량의 증가가 원인이 된 것으로 추정된다. 조피볼락 암컷의 생식소숙도지수 값이 최

대를 보인 달은 5월이었으며, 6월부터는 그 값이 급격하게 감소하는 것으로 나타나 5월이 치어를 산출하는 시기로 나타났으며, 이 시기의 조피볼락의 섭이율은 낮은 값을 보이며, 먹이생물을 잘 먹지 않는 것으로 나타났으며, 본 시기의 먹이 생물 또한, 어류에서 새우류로 잠시 변환되는 것으로 나타났다.

그리고 이 해역의 가장 큰 특징은 지속적으로 참돔, 볼락, 감성돔, 조피볼락 등의 치어를 방류를 하고 있는 지역임 (KORDI, 2003)으로 인하여 방류시기 (2002년 8월 : 참돔 (102,500마리), 볼락 (108,000마리), 감성돔 (125,00마리), 2002년 9월 : 조피볼락 (425,500마리), 2002년 11월 : 감성돔 (140,000마리))에 각 종들의 치어들이 위내용물에서 집중적으로 관찰되는 것을 볼 수 있었다. 이런 방류종들을 섭이하는 조피볼락으로부터의 보호를 위해서 이 연구에서 조사된 먹이 생물이었던 참돔, 감성돔, 볼락 등을 일정한 크기까지 성장을 시킨 후 방류를 시키는 것이 방류효과를 높이는데 많은 도움이 될 것으로 판단이 되었다. 따라서 본 종의 위에서 발견되었던 먹이생물들의 크기를 살펴보았을 때, 전장이 10cm가 넘는 개체들을 방류를 할 경우 조피볼락에 의한 포식압은 현저히 감소할 것으로 판단되었다.

조피볼락은 대부분의 전장에서 어류를 주 먹이생물로 섭이함으로 인하여 Dietary breadth index가 낮은 값을 보이는 것으로 나타났으며, 이는 여러생물을 동시에 섭이하는 어종인 가시망둑 (Huh and Kwak, 1998b)과 노래미와 쥐노래미 (Kwak et al., 2005)에 비해서 상대적으로 낮은 값을 나타내어 잡식성보다는 어식성에 가까운 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해보면, *Sebastes*속에 속하는 어종들은 전장이 아주 작은 크기에서는 요각류 및 단각류 등을 주로 먹는 양상은 비슷하였지만, 전장이 증가하면서 어종에 따라 갯지렁이류, 큰 크기의 십각류 및 어류 등으로 다양하게 먹이생물을 섭이하고 있었다. 이와 같은 결과는 주변해역에서 서식하는 환경먹이생물의 종조성의 차이의 의한 결과라고 판단된다. 또한 이 조사해역과 같이 바다 목장화 사업이 시행 중인 해역은 어업행위가 일어나지 않아, 어족자원이 풍부하여 어류의

풍도가 높은 지역으로 보고되고 있어서 (KORDI, 1997; Diana, 2004), 새우류나 게류에 비해서 유연능력이 뛰어난 어류의 쉬운 포획과 먹이생물에 대한 경쟁이 적어, 상대적으로 작은 전장에서부터 에너지 효율이 높은 어류를 주 먹이생물로 활용하는 것으로 판단된다.



V. 자원 특성치 추정

5.1 서론

수산자원의 변동은 자원대상군의 가입, 성장, 사망의 과정을 통하여 이루어진다. 자원특성치는 이러한 변동을 결정하는 파라메타로 자원의 생태학적 특징과 어획하는 어업의 특성에 따라 결정된다.

자원 특성치의 연구로는 고등어 (Choi et al., 2004), 보구치 (Zhang et al., 1999), 갈치 (Zhang, 1996), 갯장어 (Zhang et al., 1998), 참조기 (Zhang et al., 1992), 덕대 (Kim et al., 1989) 등이 있고 대부분 한국 연근해 해역을 대상으로 하고 있으나 조사대상종인 조피볼락의 자원생태학적 특성치에 관한 연구는 연령과 성장 (Im and Hwang, 2002; Park and Kang, 2007)만이 있을 뿐이다.

조피볼락과 같은 연안정착성 어류는 서식해역의 환경에 따라 생태학적 특징들을 결정될 것이라 사료되며 특히 이 조사해역은 바다목장해역으로 해중립, 어초시설 등의 인위적인 서식 환경이 조성된 곳으로 다른 서식해역과 자원특성치등의 파라메타에 영향을 줄 것이라 생각된다.

자원 특성치는 어획의 개시와 가입에 관계하는 어장가입연령 (t_r), 어구가입연령 (t_c), 성장에 관계하는 전장이 0일때의 연령 (t_0), 이론적 최대전장 (l_∞), 성장계수 (K), 사망에 관계하는 전사망계수, $Z(=F+M=qf+M)$ 등이 있다. 성장에 관한 파라메타는 제 2장에서 암·수를 분리하여 제시하였으므로 이 장에서는 통합된 성장 파라메타를 추정하였다. 그리고 사망에 관한 생산률 (S), 전감소계수 (Z), 어획사망계수 (F), 자연사망계수 (M) 등을 추정하고 어구의 선택성에 관련하여 가입연령 (t_r , t_c)을 추정하였다.

5.2 재료 및 방법

5.2.1 성장파라미터

제 2장에서 구하여진 암수의 평균 연륜과 역계산된 전장을 통합하여 이용하였다. Walford 정착도법으로 추정된 각각의 매개변수 값들을 초기값으로 하여 비선형회귀방법 (nonlinear regression)을 사용하여 다음의 von Bertalaffy 성장식 (1938)으로 추정하였다.

5.2.2. 생잔율 (S) 및 순간전사망계수 (Z)

2001년 7월부터 2007년 5월까지 매월 통영바다목장해역에서 삼중자망 어구에서 어획한 조피볼락의 자료를 사용하였다.

생잔율 (S)은 어획물곡선법 (Baranov, 1918), Jackson 방법 (1939), Heincke 방법 (1913), 평균연령 이용법 (Ricker, 1975), Chapman and Robson 방법 (1960) 등의 5가지의 방법을 통해 추정하였다.

먼저, 연령조성자료를 통해, 연령 i 에 있어, 어획개체수 P_i 가 가장 높은 연령을 $i=0$ 으로 치환한 뒤 대수 ($\ln P_i$)의 비선형관계를 통해 얻어진 직선식에 의해 생잔율을 추정하는 어획물 곡선법을 사용하였다.

다음으로 연령판독의 자료를 이용할 수 있는 Jackson 방법 (1939)으로 시간 (t)에서 어획된 어체 가운데 고연령어의 그룹의 연령을 k 이라 하면, 생잔율은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^k N_i}{\sum_{i=0}^{k-1} N_i} = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_k}{N_0 + N_1 + \dots + N_{k-1}}$$

셋째로 Heincke 방법 (1913)은 고령어수가 저령어 수에 비해 적기 때문에, 어

획된 개체들 중 최소 전환연령 0세의 N_0 를 이용하여 다음과 같이 생산율을 구할 수 있다.

$$S = \frac{\sum N_i - N_0}{\sum N_i}$$

넷째로 평균연령 이용법 (Ricker, 1975)으로 다음과 같이 구하였다.

$$S = \frac{\bar{X}}{1 + \bar{X}} \text{ (혹은 } = \frac{T}{\sum N_i + T} \text{)}, \text{ 여기서 } \bar{X} = \frac{\sum i \cdot N_i}{\sum N_i} = \frac{T}{\sum N_i} \text{ 이다}$$

마지막으로 Chapman and Robson 방법 (1960)을 사용하여 생산율을 구하였다.

$$s = \frac{T}{\sum N_i + T - 1}, \text{ 여기서 } T = \sum i \cdot N_i \text{ 이다}$$

순간전사망계수 (Z)는 생산율 추정치를 이용하여 $S = e^{-Z}$ 의 변환식인 식 (1)에 의해 추정되었다.

$$Z = -\ln S \quad (1)$$

5.2.3. 순간자연사망계수 (M)

순간자연사망계수 (M)는 Bertalanffy 성장식을 통해 구한 파라미터를 사용하는 Alverson and Carney 방법 (1975) (식 2), Pauly 방법 (1980) (식 3)과 성숙연령을 사용하는 Rikhter and Efanov 방법 (1976) (식 4)과 이를 함께 사용하는 Roff의 방법 (1984) (식 5) 그리고 자연사망계수 ($M_{1\%}$)의 추정방법 (Alagaraja, 1984)인 식 (6)을 통해 추정하였다.

$$M = \frac{3K}{e^{K(0.38 \times t_{\max})} - 1} \quad (2)$$

여기서 K 는 Bertalanffy 성장식의 성장계수, t_m 은 최대연령으로 이 조사해역에서 어획된 최대 전장인 42.12 cm를 연령으로 환산하여 연단위로 반올림한 8세와 Sasaki et al. (2004)에서 관찰한 최대연령 10세를 고려하여 9세로 간주하였다.

$$\ln M = -0.2107 - 0.0824 \ln W_{\infty} + 0.6757 \ln K + 0.4627 \ln T \quad (3)$$

여기서 W_{∞} 는 최대체중, L_{∞} 은 최대전장을 나타낸다.

$$\hat{M} = \frac{1.521}{T^{0.720}} - 0.155 \quad (4)$$

여기서, T 는 성숙연령을 나타낸다.

$$\ln M = \ln 3 + \ln L_{\infty} + \ln K + \ln \left(1 - \frac{L_T}{L_{\infty}}\right) - \ln L_T \quad (5)$$

여기서, L_T 는 성숙전장을 나타낸다.

$$M = -\frac{\ln(0.01)}{T_m} \quad (6)$$

5.2.4. 순간어획사망계수(F)

순간전사망계수 (Z)와 순간자연사망계수 (M)를 이용하여 순간어획사망계수 (F)를 식 (7)에 의해 추정하였다.

$$F = Z - M \quad (7)$$

5.2.5. 어장가입연령 (t_r) 및 어구가입연령 (t_c)

어장가입연령은 조사해역에서 어획된 어체의 최소전장을 이용하였다. 이를 연령으로 환산하여 어장가입연령 (t_r)으로 정하였다.

어구가입연령 (또는 어획개시연령, t_c)은 표본의 전장조성 자료와 Bertalanffy 성장식을 이용하는 Pauly (1984)의 방법을 적용하여 추정하였다. 이 방법에서는 완전가입연령 이상의 어획물 연령조성을 연령에 대해 직선회귀시켜 구한 회귀계수 (순간전사망계수, Z)로부터 어구가입연령을 추정하였다. 이를 위해 어획물 곡선식을 선형식으로 나타낸 것은 다음과 같다.

$$\ln \frac{C_p}{\Delta t} = c - Z \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right)$$

여기서, C_p 는 실제어획개체수, t 는 연령, Δt 는 각각의 각장 계급에 해당되는 연령간의 차이, c 는 상수이다.

위에서 추정된 Z 값을 다음의 식에 대입하여 기대어획개체수 (C_E)을 구하였다.

$$C_E = \Delta t e^{c - Zt}$$

그리고 생산율 (S)은 이로부터

$$S = \frac{C_p}{C_E}$$

와 같이 계산하였다. 이때 계산된 연령 t 의 S 값을 S_t 라 하고 이를 다음의 식에 대입하였다.

$$\ln\left(\frac{1}{S_i}-1\right)=T_1-T_2t\left(\frac{L_1+L_2}{2}\right)$$

여기서, L_1 과 L_2 은 전장, T_1 과 T_2 은 상수이고, T_1 과 T_2 을 추정하여 다음 식에 의해 50%가 어구에 가입하는 연령으로서 어구가입연령 (t_c)을 추정하였다.

$$t_c=\frac{T_1}{T_2}$$



5.3 결과

5.3.1. 성장파라메타

조피볼락 암수의 운문형성시 전장과 체중을 평균하여 통합된 자료를 보면 (Table 5.1), 암수를 통합한 조리볼락의 운문 형성시의 평균전장은 $L_1=18.46$ cm, $L_2=24.05$ cm, $L_3=28.71$ cm, $L_4=17.85$ cm, $L_5=32.62$ cm 였다.

운문형성시의 전장평균치와 체중평균치를 사용하여 Walford 정차도법으로 추정된 각각의 매개변수 값들을 초기값으로 하여 비선형회귀방법 (nonlinear regression)을 사용하여 구한 전장과 체중의 Bertalanffy 성장식을 나타내면 (Fig. 5.1) $L_t = 52.49(1 - e^{-0.1794(t+0.9154)})$, $W_t = 2,303.36(1 - e^{-0.1794(t+0.9104)})^{3.01}$ 이었다. 이론적 최대전장은 $L_\infty=52.49$ cm, 이론적 최대체중은 W_∞ 은 2,303.36 g, 성장계수는 $K=0.1794$, 전장이 0일 때의 이론적 연령은 t_0 은 -0.9104세였다 (Table 5.2).

5.3.2. 생산율 (S) 및 순간사망계수 (Z)

2001년 7월부터 2007년 5월까지 통영바다목장해역에서 어획한 조피볼락의 연령조성 자료 (Table 5.3)를 사용하여 생산율 (S)을 추정하였다. 생산율 추정방법 중 어획물 곡선법에 의한 값은 (Fig. 5.2), 0.2380로 가장 낮은값을 보였으며, Jackson의 방법과 Hiencke의 방법으로 추정한 값은 0.3407과 0.3398로서 서로 비슷하였다 (Table 5.4). 평균연령법과 Chapman and Robson의 방법은 계산방법이 서로 유사하여 각각 0.2978, 0.2979로 유사한 값으로 추정되었다 (Table 5.4). 적용된 다섯 가지 방법 중에서 어획물 곡선법, Hienck의 방법 및 Chapman and Robson의 방법은 추정된 생산율에 대한 분산값이 추정되었다. 분산값은 Chapman and Robson의 방법이 가장 작았으며 편차평방법은 어획물 곡선법이 가장 작았다.

순간전사망계수 (Z)는 다섯가지 방법으로 추정된 생산율을 변환식 ($Z = -\ln S$)에 적용하여 추정하였다 (Table 5.5). 어획물 곡선법에 의해 구한 순간전사망계수가 1.4356/year로 가장 높았으며, Jackson의 방법에 의해 구한 값이 1.0768/year로 가장 낮았다.

Table 5.1. Back-calculated total length and body weight at the formation of the otolith ring of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area

Total length (L , cm)	Ring group	$L_{1.5}$	$L_{2.5}$	$L_{3.5}$	$L_{4.5}$
Female	1	19.37			
	2	18.73	24.72		
	3	18.35	24.21	29.13	
	4	17.79	23.58	28.77	32.91
	Mean	18.56	24.17	28.95	32.91
Male	1	18.92			
	2	18.22	24.28		
	3	18.33	23.72	28.55	
	4	17.93	23.85	28.26	32.84
	Mean	18.35	23.95	28.40	32.84
Combined	1	19.18			
	2	18.50	24.55		
	3	18.33	24.01	28.89	
	4	17.81	23.59	28.53	32.62
	Mean	18.46	24.05	28.71	32.62
Body weight (W , g)	Ring group	$W_{1.5}$	$W_{2.5}$	$W_{3.5}$	$W_{4.5}$
Female	1	115.80			
	2	104.55	241.62		
	3	98.30	226.82	396.30	
	4	89.49	209.47	381.69	572.33
	Mean	101.74	225.71	388.95	572.33
Male	1	106.52			
	2	95.05	225.29		
	3	96.85	209.86	365.99	
	4	90.67	213.37	355.07	532.32
	Mean	97.16	216.11	360.50	532.32
Combined	1	112.20			
	2	99.79	233.73		
	3	97.08	218.72	381.52	
	4	99.06	207.30	367.58	555.00
	Mean	99.27	219.74	374.51	550.00

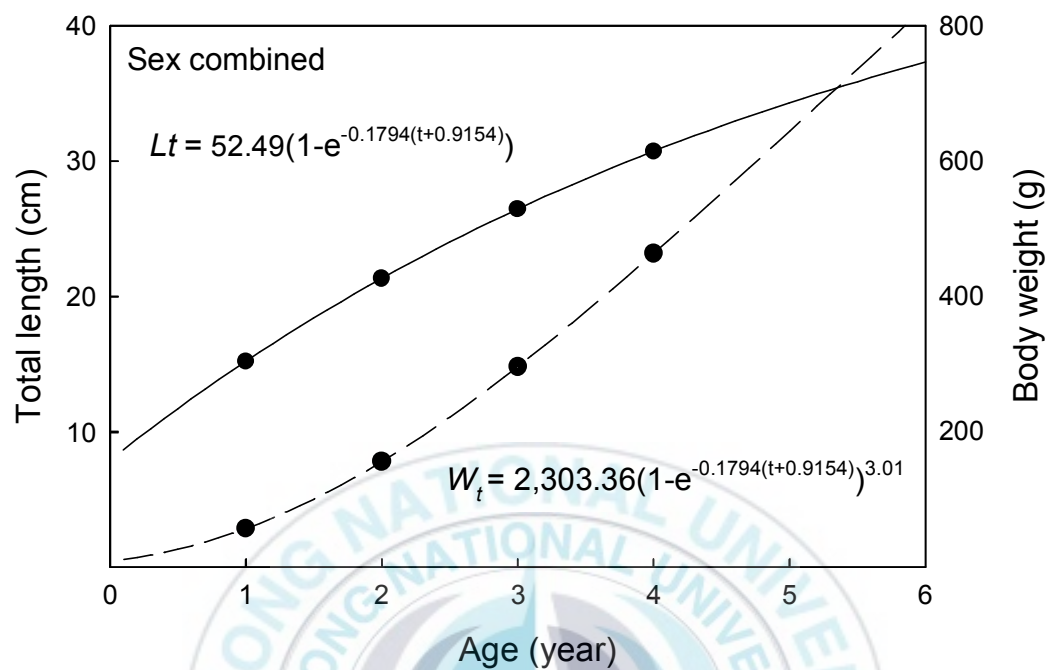


Fig. 5.1. Theoretical von Bertalanffy length growth curve and weight growth curve of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

Table 5.2. Results of parameter estimations for growth equation of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area

Parameters	Sex-combined	Females	Males
L_{∞} (cm)	52.49	53.95	51.50
W_{∞} (g)	2,303.35	2,542.36	2,148.95
K (year ⁻¹)	0.1793	0.1733	0.1824
t_0 (year)	-0.91539	-0.9327	-0.9158



Table 5.3. Age composition of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area

Age (<i>i</i>)	P_i	Convert age (<i>i</i>)	$\ln P_i$
0	48		
1	581		0.3648
2	1,082	0	6.9866
3	446	1	6.1003
4	88	2	4.4773
5	19	3	2.9444
6	4	4	1.3863



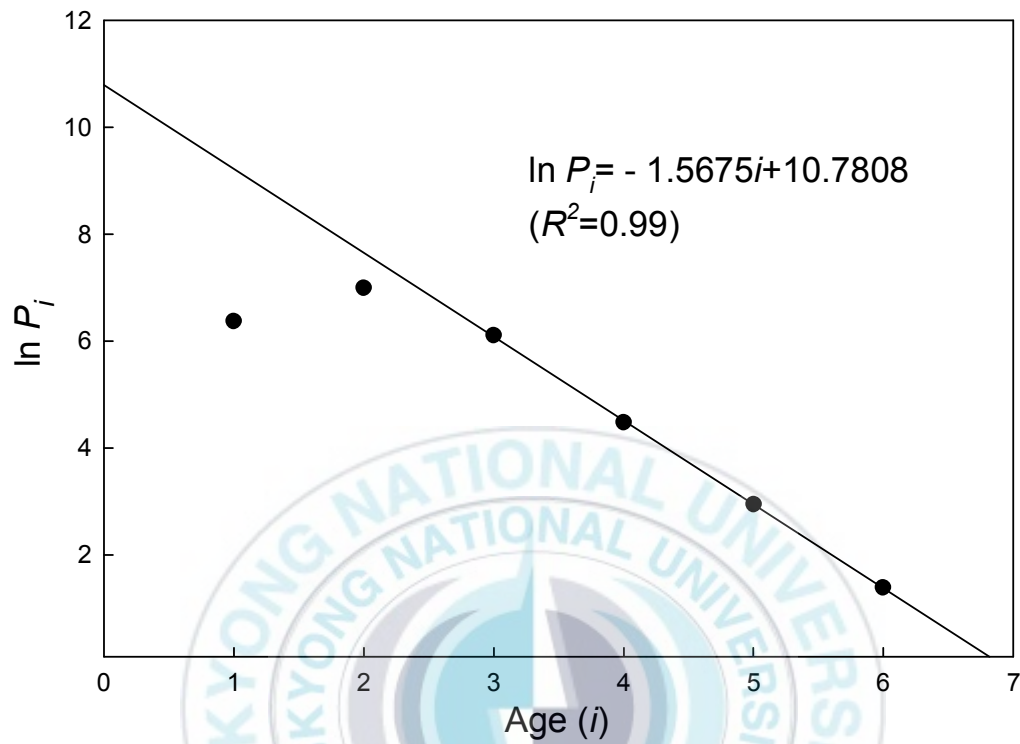


Fig. 5.2. Estimation of survival rate of *Sebastes schlegelii* from the catch curve analysis using the Pauly (1980) in the Tongyeong marine ranching area.

Table 5.4. Estimates of survival rates by different methods of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area

Methods	S	Var (S)
Catch-curve analysis (Baranov, 1918)	0.2380	0.083802
Jackson (1939)	0.3406	NA
Hiencke (1913)	0.3398	0.000137
Average age (Ricker, 1975)	0.2978	NA
Chapman and Robson (1960)	0.2978	0.000008

NA: represent not available



5.3.3. 순간자연사망계수(M)

이 연구에서 조피볼락의 순간자연사망계수 (M)는 5가지 방법을 통하여 추정하였다 (Table 5.5). Bertalanffy 성장식의 성장 파라미터를 통해 Alverson and Carney의 방법으로 추정된 순간자연사망계수 (M)는 0.6355/year이었으며 Rikhter and Efanov의 방법은 0.6541/year, Pauly의 방법은 0.3951, Roff의 방법은 0.6639/year이었고, Alagaraja의 방법에 의한 순간자연사망계수의 추정치는 0.5117/year이었다. 5가지 방법으로 구한 순간자연사망계수의 평균치는 0.5721/year였다.

5.3.4. 순간어획사망계수(F)

순간어획사망계수 (F)는 $F = Z - M$ 에 의해 추정하였다 (Table 5.5). Chapman and Robson의 방법의 생존율을 사용하여 추정한 순간전사망계수 (Z) 1.2110/year과 순간자연사망계수 (M) 0.5721/year를 식에 넣어 계산하면 순간어획사망계수 (F)는 0.6389/year으로 추정되었다.

5.3.5. 어장가입연령 (t_r) 및 어구가입연령 (t_c)

어장가입연령 (t_r)은 이 연구기간 동안에 어획된 어체의 최소전장을 연령으로 환산하여 추정하였다. 어장가입연령은 어획된 최소전장은 14 cm로 연령으로 환산한 0.81세로 추정되었다.

어구가입연령 (t_c)은 2001년 7월에서 2007년 5월까지 통영바다목장해역에서 시험 어획된 조피볼락의 전장조성 자료로 Pauly (1989)의 방법을 이용하여 추정하였다. 전장조성 자료는 Bertalanffy 성장식을 이용하여 연령조성으로 변환하였고 어획물 곡선식으로 순간전사망계수를 먼저 추정하였으며 (Fig. 5.3), 연령에 관계없이 일정한 사망계수를 가진다는 가정 하에서 가입이 되지 않은 상황을 예상한 기대어획개체수 (C_E)와 실제어획개체수 (C_P)의 비를 사용하여 50% 어구가입연령을 추정하였다. 추정된 어구가입연령은 2.14세였다.

Table 5.5. Estimated parameters of natural mortality (M) and fishing mortality (F) of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area

Methods of S	Estimates of Z (year ⁻¹)	Methods of M	Estimates of M (year ⁻¹)
Catch curve analysis (Baranov, 1918)	1.4356	Alverson and Carney (1975)	0.6355
Jackson (1939)	1.0768	Rikhter and Efanov (1976)	0.6541
Heincke (1913)	1.0793	Pauly (1980)	0.3951
Average age ($\bar{X}$) (Ricker, 1975)	1.2114	Roff (1984)	0.6639
Chapman and Robson	1.2110	Alagaraja (1984)	0.5117

Table 5.6. Length composition of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area

Length class (cm)			$t(\frac{L_1 + L_2}{2})$	Δt	C_p
12	~	14	0.9753	0.2975	131
16	~	18	1.2664	0.3142	162
18	~	20	1.5898	0.3330	211
20	~	22	1.9331	0.3542	316
22	~	24	2.2989	0.3782	464
24	~	26	2.6904	0.4058	414
26	~	28	3.1115	0.4376	266
28	~	30	3.5670	0.4749	158
30	~	32	4.0630	0.5192	84
32	~	34	4.6076	0.5725	26
34	~	36	5.2111	0.6381	12
36	~	38	5.8880	0.7207	7

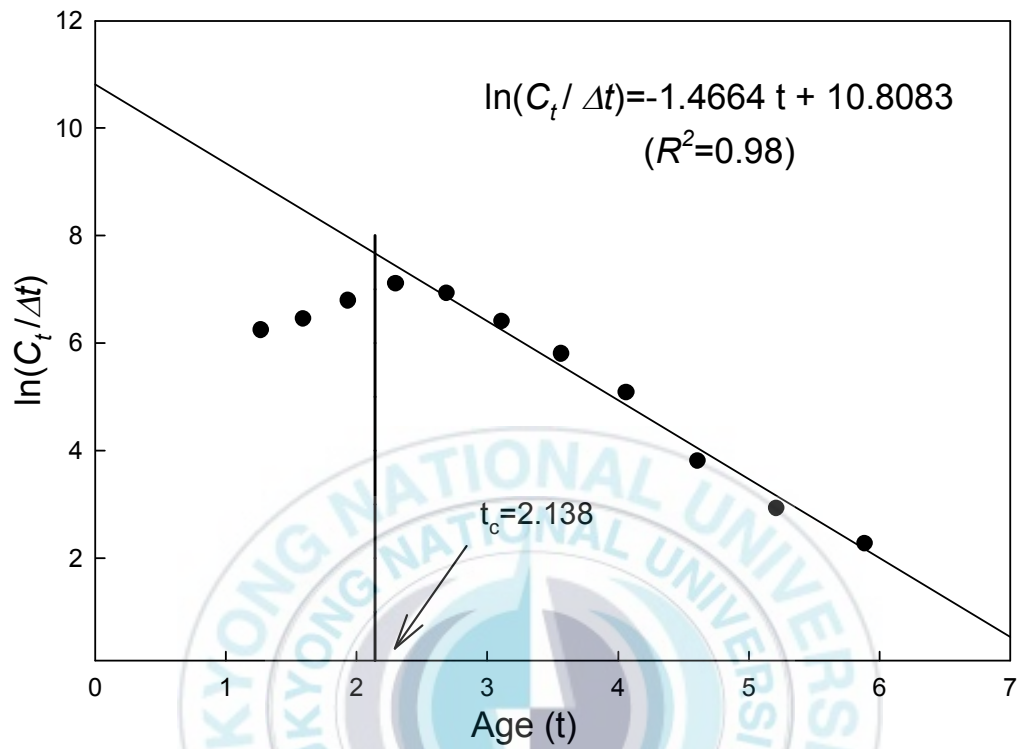


Fig. 5.3. The selection ogive of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

5.4. 고찰

수산 생물의 성장은 개체군의 양적변동에 관련되는 중요한 요소이다. 성장식을 추정하는 모델은 여러 종류가 사용될 수 있으나 이 연구에서는 순간자연사망계수, 어획개시연령을 추정하는 모델과 자원평가를 위한 가입당생산량모델의 입력 자료로 사용되고 있는 Bertalanffy의 성장식을 사용하였다. 성장식은 Walford 정차도법을 사용하여 매개변수를 구한 후 비선형회귀방법으로 추정하였다. 제 2장에서 이미 암·수를 분리하여 성장식을 추정하였지만 이 장에서는 수산자원의 변동을 파악하기 위한 자원특성치 및 자원관리를 위한 기초자료를 제공하기 위하여 통합된 성장식을 추정하였다.

개체군의 동태를 파악하기 위한 생산율을 추정하기 위하여는 원칙적으로 동일 발생연급군에 대한 자료를 사용하여야 하나 현실적으로 자료의 수집에 어려움이 있으므로 이 연구에서는 2001년에서 2007년까지 조사 어획된 조피볼락의 연령조성자료를 사용하였다.

일반적으로 생산율의 추정방법은 어획물곡선법, 평균연령법, Jackson, Hiencke, Chapman and Robson의 방법 등 다섯가지가 주로 사용되고 있으나 결과치의 선택은 최소 편차평방합값을 가진 어획물곡선법 (Zhang, 1996; Oh et al., 1999), 및 최소 분산값을 가진 Chapman and Robson의 방법 (Zhang et al., 1992; Zhang et al., 1998; Zhang et al., 2004)의 결과치를 사용하거나 또는 어획물곡선법 (Zhang et al., 1999; Choi et al., 2004) 한가지만의 결과치를 사용하는 등 일관성을 가지고 있지 않다. 다섯가지 추정 방법 중 Jackson의 방법과 평균 연령법은 분산값을 가지고 있지 않으므로 최소 분산값을 결정요인으로 사용하기에는 어려움이 있으며 최소 편차평방합 또한 적용하기에 어려움이 있다. 그러므로 이 연구에서는 분산값이 가장 적고 데이터값의 신뢰성이 높다고 생각되는 Chapman and Robson 방법의 결과치인 0.2978을 사용하였다.

순간자연사망계수는 수산자원의 가입 이후에 어획사망을 제외한 모든 기타요

인, 타생물에 의한 식이, 초기사망, 질병, 노쇠등의 원인으로 사망하는 자연사망을 말한다. 대부분의 자원평가 및 관리모형을 사용하는데 필수적인 기초자료로 사용되고 있으나 정확한 값을 추정하기란 매우 어렵다.

순간자연사망계수는 어획물 분석 및 성장률, 성숙연령, 생식 및 수명등의 생활사에 관한 특성치 자료를 이용하여 추정할 수 있다. 대부분의 특성치 연구에서는 Alverson and Carney, Rikhter and Efanov, Pauly의 방법으로 추정하여 그 값을 산술평균하여 사용하였다 (Zhang et al., 1992; Zhang, 1996; Zhang et al., 1998; Oh et al., 1999; Zhang et al., 2004; Choi et al., 2004). 이 연구에서는 연령별 자연사망계수가 동일하다는 전제하에서 5가지 방법을 사용하여 그 값을 산술평균하여 추정하였다. Pauly의 방법으로 구한 값이 0.3951/year로 가장 낮았고 나머지는 0.5117~0.6639/year로 비슷한 값을 가졌다.

어장가입연령은 조사어획 중 삼중자망에서 채집된 최소 전장 14cm를 적용하였다.

어구가입연령은 대상 어구로 망목시험을 통하여 전장별로 선택성을 계산하여야 하나 이 연구에서는 전장조성자료를 이용하여 추정하는 Pauly (1984) 방법으로 추정하였다.

이 연구에서 추정된 특성치는 앞으로 어획이 허용되는 시점에서의 특성치값과는 다소 차이가 있을거라 생각되나 현재의 자원상태에서 자원의 변동상태를 예측할 수 있는 기초자료로 충분히 활용할 수 있다고 생각한다.

앞으로 보다 정확한 자원관리를 위해서는 바다목장 완료 후 실시될 어획에 대한 통계자료를 꾸준히 보충하여 정확한 특성치값을 보정하는 연구가 실시되어야 한다.

VI. 자원량 추정 및 자원해석

6.1. 서론

자원생물 개체군을 합리적으로 관리하기 위해서는 개체군의 자원의 변동을 파악하는 것이 중요하며 이러한 자원의 동태의 파악을 위해서는 자원미수나 자원중량 등의 정보는 반드시 알아야 할 중요한 자료이다. 그리고 자원을 관리하고 효율적으로 이용할 목적으로 사용하는 자료로서는 자원의 절대량이 아니더라도 상대적 지수를 사용하여 그 목적을 달성할 수 있다. 어업의 대상자원의 기초 데이터인 어획량, 어획노력량, 노력당 어획량, 유효어획노력량이 상대적 지수로써 이용되고 있다.

그러나 조피볼락은 경제적으로 중요한 종임에도 불구하고 체계적인 어획통계 자료가 집계되어 있지 않고 또한 이 조사해역은 보호수면으로 지정되어 상업적인 어획 활동이 제한되어 있어 어획량, 어획통계량 등의 상대적 지수의 이용이 불가능하다.

이 장에서는 표지방류된 조피볼락을 직접 통발과 삼중자망등의 어구를 사용하여 어획한 자료를 이용하는 표지방류법을 사용하여 자원량을 추정하였다. 또한 앞장에서 구하여진 자원생태학적인 특성치와 기타 생물학적인 자료를 이용하여 적정어획사망계수와 적정어획개시연령을 확인하여 자원의 효율적인 관리를 위한 기초 자료들을 제공하는 것에 목적을 두고 있다.

6.2. 재료 및 방법

통영바다목장해역에 서식하는 조피볼락의 자원량을 추정하게 위하여 2001년 7월부터 2007년 5월까지 매월 1회 통발과 삼중자망등의 어구를 사용하여 시험어획을 실시하였다. 조사 정점은 그림 2.1에 나타내었다.

통발의 규격은 지름 31.2 cm, 길이 58 cm, 그물망 24절이며 모두 100~200개를 사용하였고, 삼중 자망은 길이 400~450 m, 너비 1 m, 망목 7 cm를 사용하였다. 두 어구 모두 오후 4시경에 설치하여 익일 오전 9시경에 인망 하였다.

채집된 시료는 Ice Box에 냉장보존 하여 실험실로 운반한 뒤 종 동정과 계측하였다. 어류의 종 동정은 Masuda *et al.*, (1984), Nakabo *et al.*, (1993) 및 Kim *et al.*, (1994)을 참고 하였으며 분류체계 및 학명은 Nelson (1994)과 한국동물분류학회 (1997)에 따랐다

각 어체의 전장과 전장은 1 mm까지, 체중은 0.1 g까지 측정하였고 대상종인 조피볼락은 아가미 절단부분을 살펴 표지유무를 확인하였다 (Fig. 6.1)



Fig. 6.1. *Sebastes schlegelii* tagged (↓, Opercle cut.) in the Tongyeong marine ranching area.

6.2.1. 자원량 추정

통영바다목장해역에 서식하는 조피볼락의 자원량을 추정하였다. 추정방법은 다음의 조건들을 가정으로 하는 표지방류법을 사용하였다.

- 1) 가입과 일산은 무시할 수 있을 만큼 크지 않다.
- 2) 표지어는 비표지어와 구분없이 골고루 혼합되어 분포한다.
- 3) 재포어는 완전히 발견되며 보고된다.
- 4) 표지를 부착하므로 인해 사망률이 증가하지 않는다.
- 5) 부착된 표지는 탈락되지 않는다.

위의 가정들은 조사해역이 수산자원보호구역으로 시험어획을 제외한 상업적 어획이 금지되어 있는 점, 대상종이 연안 정착성 어종인 점 그리고 표지방류법으로 아가미 절단법을 사용한 점들로 충족되었다.

y년도의 조피볼락의 자원량은 표지방류법을 이용하여 1세군에서 t세군까지의 자원개체수를 추정한 후 Bertalanffy 성장식으로 구하여진 각 연령별 평균 전중을 계산하여 추정하였다.

y연도 t연령군의 자원개체수를 추정하기 위하여 먼저 연급군인 y-1연도 t-1세군, y-2연도 t-2세군 나아가 y-(t-1)연도 1세군의 초기자원개체수를 Petersen의 공식을 적용하여 추정하였다. 다음으로 구하여진 각각의 추정자원개체수를 현시점으로 통일하기 위하여 조사시점인 y연도까지의 사망률을 적용한 후 산술평균하였다. 그 공식은 다음과 같다.

$$N_{t,y} = \left(\sum_{i=1}^t \sum_{j=y-(t-i)}^y \hat{N}_{i,j} \times e^{-(i-i)M} \right) / t$$

여기서 $N_{t,y}$ 는 y연도 t연령군의 추정자원개체수, $\hat{N}_{j,j}$ 는 Petersen의 공식으로 추정한 j연도, i연령군의 초기자원개체수이다.

2007년 각 연령군의 자원개체수의 추정식은 Table 6.1와 같다.

사망률은 $N_t = N_0 e^{-Zt}$ 의 기본식에서 조사해역에서는 어획이 이루어지지 않으므로 순간전사망계수 (Z) = M (순간자연사망계수) + F (순간어획사망계수)의 식에서 순간어획사망계수를 제외하면 $Z=M$ 이므로 $N_t = N_0 e^{-tM}$ 의 공식을 사용하였다.

각 연급군의 자원개체수를 추정하는 Petersen의 공식은 다음과 같다.

$$\hat{N}_{i,j} = \frac{C_{i,j} \times X_{i,j}}{x_{i,j}}$$

여기서 $\hat{N}_{i,j}$ 은 j 연도, i 연령군의 초기자원개체수, $C_{i,j}$ j 연도, i 연령군의 어획개체수, $X_{i,j}$ 는 j 연도, i 연령군의 표지방류개체수, $x_{i,j}$ 는 j 연도, i 연령군의 표지어의 재포개체수로서 어획개체수 ($C_{i,j}$) 중 표지어의 개체수이다.

통영바다목장의 조피볼락의 표지방류는 매년 0세군으로 실시된다. 그러므로 j 연도, i 연령군의 표지류개체수 ($X_{i,j}$)는 각 연도의 0세군의 표지방류개체수에 사망률을 적용하여 계산하였다. 그 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_{ij} = X_{0,j-i} \times e^{-iM}$$

여기서 $X_{0,j-i}$ 는 $j-i$ 연도의 0세군의 표지방류개체수이다.

이 공식에 적용되는 표지방류개체수의 계산식은 Table 6.2와 같다.

Table 6.1. Estimating methods of biomass according to age of of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area (2007) ($C_{i,j}$ is catch biomass of i year, j age)

N of age in 2007	Estimating methods
$\hat{N}$ of 5 =	$(\hat{N}_{1,2003} \times e^{-4M} + \hat{N}_{2,2004} \times e^{-3M} + \hat{N}_{3,2005} \times e^{-2M} + \hat{N}_{4,2006} \times e^{-M} + \hat{N}_{5,2007}) / 5$
$\hat{N}$ of 4 =	$(\hat{N}_{1,2004} \times e^{-3M} + \hat{N}_{2,2005} \times e^{-2M} + \hat{N}_{3,2006} \times e^{-M} + \hat{N}_{4,2007}) / 4$
$\hat{N}$ of 3 =	$(\hat{N}_{1,2005} \times e^{-2M} + \hat{N}_{2,2006} \times e^{-M} + \hat{N}_{3,2007}) / 3$
$\hat{N}$ of 2 =	$(\hat{N}_{1,2006} \times e^{-M} + \hat{N}_{2,2007}) / 2$
$\hat{N}$ of 1 =	$\hat{N}_{1,2007}$

Table 6.2. Estimating methods of tagged individuals of *Sebastes schlegelii* according to time (year) in the Tongyeong marine ranching area

year	Age				
	5	4	3	2	1
2007	$X_{0,2002} \times e^{-5M}$	$X_{0,2002} \times e^{-4M}$	$X_{0,2002} \times e^{-5M}$	$X_{0,2002} \times e^{-5M}$	$X_{0,2002} \times e^{-5M}$
2006		$X_{0,2003} \times e^{-4M}$	$X_{0,2003} \times e^{-4M}$	$X_{0,2003} \times e^{-4M}$	$X_{0,2003} \times e^{-4M}$
2005			$X_{0,2004} \times e^{-3M}$	$X_{0,2004} \times e^{-3M}$	$X_{0,2004} \times e^{-3M}$
2004				$X_{0,2005} \times e^{-2M}$	$X_{0,2005} \times e^{-2M}$
2003					$X_{0,2006} \times e^{-M}$



6.2.2 MSY 및 ABC 추정

최대지속어획량 (MSY)는 처녀자원량 모델인 Gulland (1971)의 추정방법으로 자원량과 순간자연사망계수를 사용하였다.

$$MSY = 0.5 M \times B_{\infty} \quad (M, \text{순간자연사망계수}; B_{\infty}, \text{처녀자원량})$$

생물학적 허용어획량 (ABC, Allowable Biological Catch)은 다음의 식을 이용하여 추정하였다.

$$ABC = F_{0.1} \cdot B_c \cdot \frac{1}{M + F_{0.1}} (1 - e^{-(M + F_{0.1})})$$

(B_c , 자원량; M , 순간자연사망계수)

6.2.3 적정어획사망계수 및 적정어획연령의 추정

6.2.3.1. Beverton and Holt (1957) model에 의한 추정

통영바다목장에 서식하는 조피볼락 자원의 적정어획사망계수 및 적정어획개시 연령을 추정하기 위하여 Beverton and Holt (1957) model 을 사용하였다(식 1)

$$\frac{Y}{R} = F e^{-M(t_c - t_r)} W_{\infty} \sum_{n=0}^3 \frac{\Omega_n e^{-nK(t_c - t_0)}}{F + M + nK} (1 - e^{-(F + M + nK)(t_{\lambda} - t_c)}) \quad 1)$$

여기서, $\frac{Y}{R}$: 가입당생산량, $\Omega_0 = 1$, $\Omega_1 = -3$, $\Omega_2 = 3$, $\Omega_3 = -1$ 이며, Bertalanffy 성장식의 성장파라미터에서 이론적 최대체중 ($W_{\infty} = 2,303.36\text{g}$), 성장계수 ($K = 0.1794$), 전장이 0일 때의 이론적 연령 (t_0), 어장가입연령 ($t_r = 0.81$), 어구가입연령 ($t_c = 2.14$) 및 최고연령 ($t_{\lambda} = 9\text{세}$)를 사용하였다.

6.2.3.2. 적정 $F_{0.1}$ 방법

$F_{0.1}$ 은 어획이 없을 때의 가입당생산량곡선에 대한 기울기의 10%에 해당하는 어획사망계수이다. 적정 $F_{0.1}$ 은 Beverton and Holt (1957) model 을 순간어획사망계수에 대해 미분하여 다음 식을 구한 후, 그 결과의 10%에 해당하는 값으로서 추정하였다.

$$\frac{d(Y/R)}{R} = e^{-M(t_c - t_r)} W_{\infty} \sum_{n=0}^3 \left\{ \frac{(M+nK)\Omega_n e^{-nK(t_c - t_0)}}{(M+F+nK)^2} + \frac{e^{-(F+M+nK)(t_L - t_c)}}{(F+M+nK)^2} \cdot [(t_L - t_c)F_2 + (M+nK)(t_L - t_c)F - (M+nK)] \right\}$$

6.2.3.3. 가입당 산란자원량 모델에 의한 추정

가입당 산란자원량 모델에 의하여 주어진 가입연령에 대해서 어획이 전혀 없을 때 산란자원량을 기준으로 하여, 그 산란자원량의 35%와 40%를 유지할 수 있는 순간어획사망계수의 값 $F_{35\%}$ 와 $F_{40\%}$ 을 추정하였다.

$$\frac{SB}{R} = m e^{-M(t_c - t_r)} W_{\infty} \sum_{n=0}^3 \frac{U_n e^{-nK(t_c - t_0)}}{(F+M+nK)} (1 - e^{-(F+M+nK)(t_{\lambda} - t_c)})$$

여기서, SB (Spent biomass)는 산란자원량을 의미하며 이 식에 사용된 연령별 성숙비 (m)와 그 외 모든 값은 위의 Beverton and Holt model 식에서와 동일한 것을 사용하였다. 위의 식에서 사용된 연령별 성숙비는 1세 0.25, 2세 0.4, 3세 0.8, 4, 5세는 1을 사용하였다.

6.3. 결과

6.3.1. 자원량 추정

표지방류법의 Petersen의 공식을 바탕으로 2007년 통영바다목장해역의 조피볼락의 각 연령별 자원개체수를 추정하였다 (Table 6.3).

추정자원개체수는 2007년 1세군은 1,896,179마리, 2세군은 726,896마리, 3세군은 441,571마리, 4세군은 120,524마리, 5세군은 57,911마리였다.

또한 추정자원량을 구하기 위하여 각 연령별 추정개체수에 제 3장에서 구하여진 연령별 평균체중을 계산하였다 (Table 6.4).

추정자원량은 2007년 1세군은 182,296,461g, 2세군은 163,220,486g, 3세군은 173,582,714g, 4세군은 70,439,062g, 5세군은 45,371,552g이었다. 총 추정자원량은 634,910,276g으로 추정되었다 (Table 6.4).



Table 6.3. Esimating number of individuals of *Sebastes schlegelii* according to time (year) in the Tongyeong marine ranching area

age	parameter	2007	2006	2005	2004	2003
5	$X_{i,j}$	2,436				
	$C_{i,j}$	15				
	$x_{i,j}$	1				
	$\hat{N}_{i,j}$	36,534				
4	$X_{i,j}$	2,597	4,316			
	$C_{i,j}$	32	25			
	$x_{i,j}$	1	1			
	$\hat{N}_{i,j}$	83,090	107,895			
3	$X_{i,j}$	13,192	4,601	7,648		
	$C_{i,j}$	78	98	145		
	$x_{i,j}$	3	2	5		
	$\hat{N}_{i,j}$	342,997	127,232	70,631		
2	$X_{i,j}$	18,344	23,376	8,153	13,551	
	$C_{i,j}$	159	125	169	184	
	$x_{i,j}$	4	3	3	7	
	$\hat{N}_{i,j}$	729,189	549,674	146,274	64,021	
1	$X_{i,j}$	90,294	32,506	41,422	14,447	24,013
	$C_{i,j}$	147	158	131	145	118
	$x_{i,j}$	7	4	4	3	5
	$\hat{N}_{i,j}$	1,896,179	724,603	432,044	125,501	57,479
Esimating individuals		$N_{5, 2007}$	$N_{4, 2007}$	$N_{3, 2007}$	$N_{2, 2007}$	$N_{1, 2007}$
		57,911	120,524	441,571	726,896	1,896,179

Table 6.4. Biomass (g) of *Sebastes schlegelii* estimated by age class in the Tongyeong marine ranching area

Age	2007	
	Individuals	Biomass (g)
1	1,896,179	45,371,552
2	726,896	70,439,062
3	441,571	173,582,714
4	120,524	163,220,486
5	57,911	182,296,461
Total	3,243,081	634,910,276

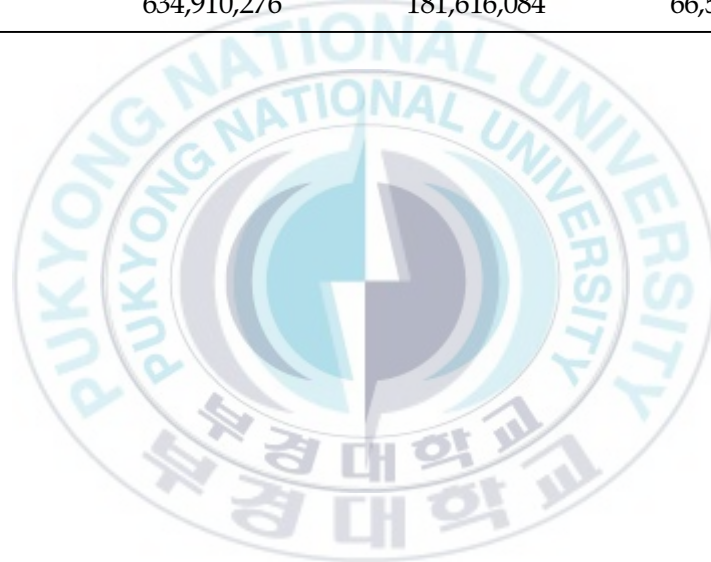


6.3.2. ABC, MSY 추정

2007년 조피볼락의 추정자원량에서 최대지속어획량 (MSY)과 생물학적허용어획량 (ABC)을 구하였다. $F_{0.1}$ 로 추정한 최대지속적생산량 (MSY)은 181,616,084g (약 181톤)이며 생물학적허용어획량은 67,841,489g (약 67톤) 이었다. (Table 6.5).

Table 6.5. ABC and MSY of *Sebastes schlegelii* according to age in the Tongyeong marine ranching area in Korea waters (2007)

$F_{0.1}$	Biomass (g)	MSY (g)	ABC (g)
0.147	634,910,276	181,616,084	66,557,414



6.3.3. 적정어획사망계수 및 적정어획연령 추정

6.3.3.1. Beverton and Holt 모델에 의한 추정

Beverton and Holt의 모델로 조피볼락에 대해 적정한 순간어획사망계수 (어획 강도)와 적정어구가입연령을 추정하는데 필요한 모수로 이론적인 최대체중 (W_{∞}) 2,303.36g, 성장계수 (K) 0.1794 /year, 전장이 0일 때의 이론적 연령 (t_0) -0.9014 세, 순간자연사망계수 (M) 0.5721/year, 어장가입연령 (t_r) 0.81세, 어구가입연령 (t_c) 2.14세, 그리고 최대연령 (t_m) 9세를 사용하였다.

어획개시연령의 변화에 따른 가입당생산량곡선을 어획사망계수별로 나타내보면 현재의 어획사망계수 ($F=0.64$)을 기준으로 볼때, 가입당생산량이 최대가 되는 연령은 2.8세인 것으로 분석된다. 또한 현재의 어획개시연령에서 순간어획사망계수를 높여도 가입당생산량의 증가는 미미하며 현재보다 높은 사망계수에서는 어획개시연령이 3~4세 사이에서 가입당생산량이 최대를 나타내었다. 어획개시연령이 2.7세 이후가 되면 순간어획사망계수가 높을수록 가입당생산량이 증가하는 것을 알 수 있다. 가입당생산량이 가장 많을 경우는 어구가입연령이 3.7세이고 어획사망계수가 2.0/year일 때였다(Fig. 6.1).

어획개시연령(t_c)에 대한 순간어획사망계수(F)와 가입당생산량(Y/R)간의 관계를 살펴보면(Fig. 6.2). 현재의 순간어획사망계수 0.64/year 일 때 가입당생산량이 가장 많은 어획개시연령은 5세였고 다음으로 현재의 어획개시연령(2.14세)이 었다. 순간어획사망계수가 증가할수록 가입당생산량이 증가하는 어획개시연령은 2~5세 까지이다. 어획개시연령이 2.14세인 경우는 순간어획사망계수가 0.99/year일 때 가입당생산량은 43.57 g으로 가장 많았다.

어획개시연령과 순간어획사망계수간의 변화에 따른 가입당생산량의 변동을 검토하기 위하여 등생산량곡선을 구하였다(Fig. 6.3). 선 AA'는 주어진 t_c 에 따라 최대의 가입당생산량을 산출하는 점들을 연결한 선이며, BB'는 F 값에 따라 최대 가입당생산량을 산출하는 점들을 연결하는 선으로 적정어획곡선이라 부른다. 최대가입당생산량은 어획개시연령을 2.6세이상, 순간어획사망계수를 0.9/year이상에서 산출될 수 있다.

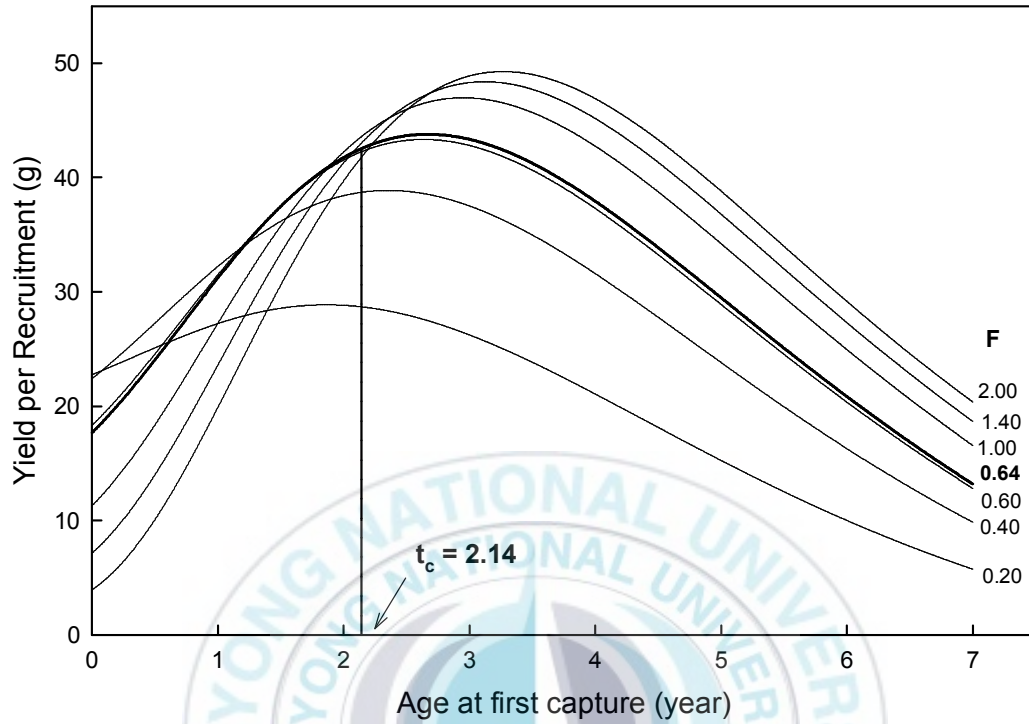


Fig. 6.1. Yield per recruit curves of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area (2001. 06~2003. 02). Y/R against the age at first capture (t_c) for various fishing mortalities (F).

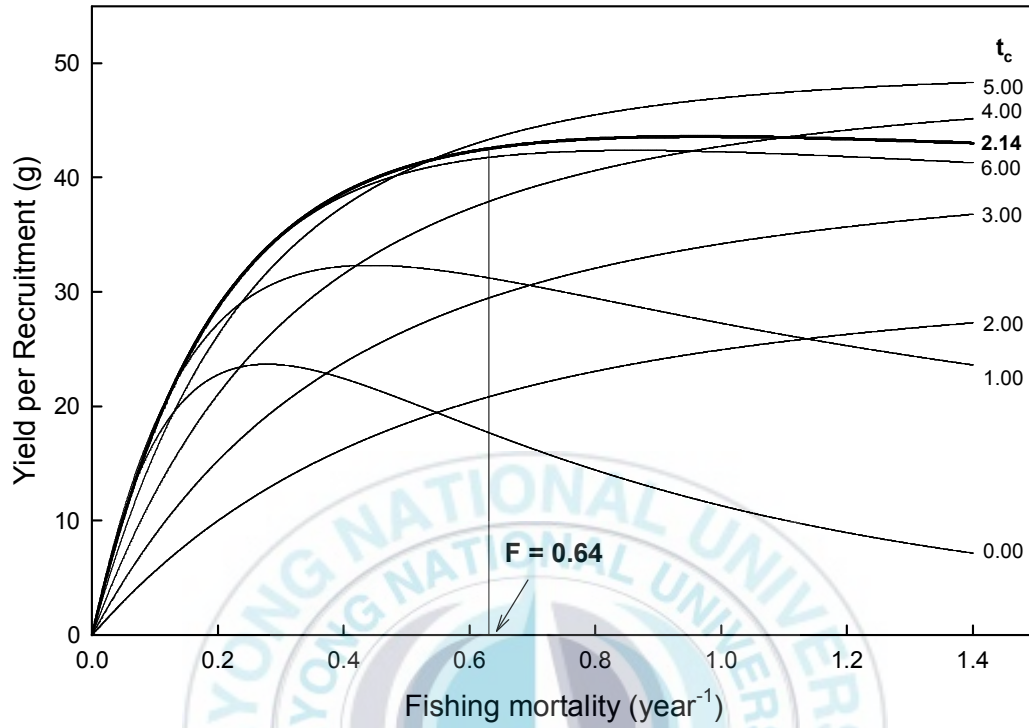


Fig. 6.2. Yield per recruit curve of Y/R against fishing mortalities (F) for various ages at first capture (t_c) of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area.

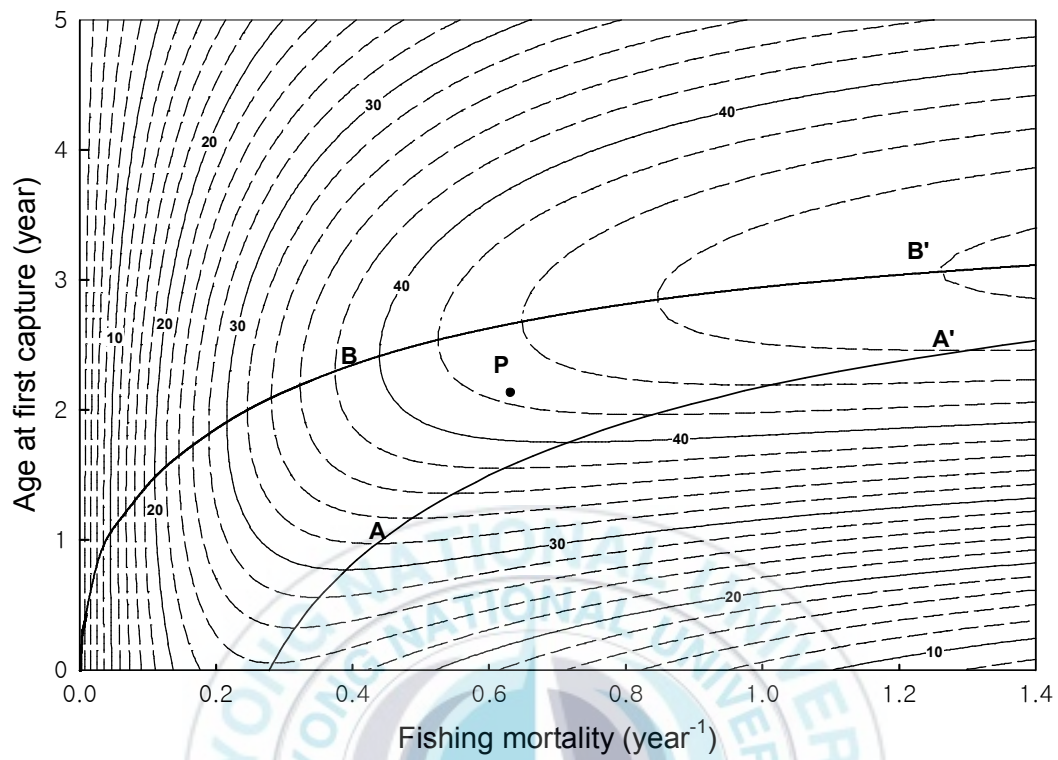


Fig. 6.3. Yield isopleths for *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area (2001. 06~2007. 03). P represents the current state of fishing mortality(F) and age at first capture (t_c).

6.3.3.2. 적정 $F_{0.1}$ 방법

Beverton and Holt model에서 어획사망계수에 대해 미분한 식을 이용하여 추정된 1세부터 5세까지의 $F_{0.1}$, $F_{35\%}$, $F_{40\%}$ 와 F_{MAX} 값을 비교해 보았다(Table 6.4). 추정된 어획개시연령 2세 때의 F_{MAX} 은 0.861/year으로 현재의 순간어획사망계수 0.64/year보다 높았으며, $F_{0.1}$ 은 0.147/year로 상당히 낮은 것으로 나타났다. F_{MAX} 의 값에 의하면 가입당생산량은 3세 때 48.98g으로 가장 많은 것으로 나타났고, $F_{0.1}$ 은 1세 때 가장 높은 가입당생산량의 값 (25.99 g)을 나타내었다.

6.3.3.3. 가입당 산란자원량 모델에 의한 추정

가입당산란자원량 모델식에서 주어진 어획개시연령에 대하여 어획이 전혀 없을 때 산란자원량의 35% 및 40%를 유지할 수 있는 순간어획사망계수를 구하였다 (Table 6.6). 어획개시연령이 3세일 때 각각 55.62g, 63.56g으로 가장 높았으며, 2세 보다는 4세 때가 높음을 알 수 있었다.

Table 6.6. Yield and spawning biomass per recruit of *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area in Korea waters under harvest strategies on F_{MAX} , $F_{0.1}$, $F_{35\%}$, $F_{40\%}$

Age at first capture	F_{MAX}	$F_{0.1}$	$F_{35\%}$	$F_{40\%}$	Y/R (g)		SB/R (g)	
					F_{MAX}	$F_{0.1}$	$F_{35\%}$	$F_{40\%}$
1	0.441	0.180	0.350	0.298	32.32	25.99	22.74	25.99
2	0.861	0.147	0.478	0.402	42.36	23.94	33.52	38.31
3	2.560	0.133	0.621	0.516	48.98	19.86	55.62	63.56
4	>3	0.125	0.772	0.639	49.86	14.90	52.15	59.60
5	>3	0.120	0.945	0.782	43.53	10.18	35.64	40.73



6.5. 고찰

수산생물 개체군을 합리적으로 관리하기 위해서는 그 개체군의 변동에 관련되는 정보를 알아야한다. 수산자원의 개체수를 추정하는 것에는 직접 세는 것이 제일 정확하지만 수산생물에서는 시간과 비용 등의 부족은 물론이고 실제적으로 실현 불가능한 일이다. 그래서 표본을 이용한 통계학적 추론으로 추정정하는 방법이 주로 사용되고 있다.

수산자원의 추정방법에는 트롤조사, 잠수조사, 어탐조사, 난생산량법과 같은 직접 조사하는 방법도 있지만 주로 어획자료를 이용하는 코호트분석법, 단위노력당 어획량모델과 같은 간접적인 조사방법이 이용되고 있다. 그리고 자원의 효율적인 관리를 목적으로 연구는 자원의 절대량만이 아닌 어획노력량, 노력당 어획량과 같은 상대적 지수를 Schaefer 및 Fox 등의 모델을 적용하여 수행되고 있다.

이 연구의 대상어종인 조피볼락은 대형어선에 의해 어획되어 그 어획통계량 등의 자료가 누적되는 참조기 (Zhang et al., 1992), 덕대 (Kim et al., 1989)와 같은 다른 연구대상 어종과는 다르게 주로 소형어선을 통한 연안자망, 연승어업으로 적은 양이 어획되고 판매 또한 어판장을 통하지 않고 직접 판매가 많이 이루어져 어획통계량의 확보가 어려웠다.

특히 조사해역은 바다목장으로 조성되어 보호수면으로 지정되어 상업적인 어획이 제한되었다. 그러므로 이 연구에서는 대상어종을 표지방류하고 직접 시험어획을 실시하여 재포획하여 자원량을 추정하는 표지방류법으로 절대자원량을 추정하였다. 표지방류법을 이용하기 위하여 필요한 표지탈락방지, 표지시 사망 방지, 가입과 일산의 크지 않아야 하는 것 등과 같은 몇 가지 조건들은 대상종이 연안 정착성어종인 점과 표지를 아가미 절단법을 사용한 점들로 충족시켰다.

자원량은 Petersen의 식을 기본으로 하고 표지방류와 재포획이 다년간 여러번에 걸쳐 실시됨으로 연간사망율등과 같은 변동요인을 적용하여 그 식을 변형하여 사용하였고 연령별로 각 연급군을 역추적하여 추정하였다.

2007년 통영바다목장의 자원량은 1세군은 약 182톤, 2세군은 163톤, 3세군은 173톤, 4세군은 70톤, 5세군은 43톤으로 추정되어 연령이 높을 수록 그 양이 적어지는 안정된 피라미드 구조를 가졌다.

통영바다목장의 조피볼락 자원을 가입당생산량모델에 적용시킨 결과 현재의 어구가입연령 (t_c) 2.14세, 어획사망 (F) 0.64/year에서 가입당생산량은 42.52g으로 나타났다. 여기서 t_c 를 현재상태로 고정시킨 후 가입당생산량을 증가시키는 방안을 살펴보면 현재의 F 값인 0.64에서 1까지 조정하면 43.57g을 생산할 수 있으나 그 이상에서는 감소의 경향을 보였다. 또한 현재의 F 를 고정시키는 경우에는 t_c 를 2.9세로 조정하면 최대의 가입당생산량을 얻을 수 있다.

생물학적 허용어획량 (ABC)은 어획이 없을 때의 생산량곡선의 기울기가 10%가 되는 기울기가 되는 $F_{1.0}$ 을 목표기준점으로 하여 추정하였다. 총자원량은 634톤을 사용하였고 ABC는 66톤으로 추정되었다.

통영바다목장의 조피볼락의 자원은 위의 ABC 추정모델을 시행하면 지속적으로 이용 가능할 것으로 생각되어진다. 그리고 ABC 추정은 적용되는 정보의 수준이 낮을수록 과대 추정되는 경향이 있으므로 앞으로 더욱 정확한 자원생태학적인 정보가 꾸준히 보충되어야 한다.

VII. 종합고찰

통영바다목장은 최근까지 남획 및 연안오염으로 연근해의 수산 자원이 고갈되어 국민들의 수산물에 대한 수요를 충족시키지 못하고 있는 문제를 해결하기 위하여 실시되고 있는 자원조성사업인 바다목장조성사업중의 한 곳이다.

바다목장은 자원조성을 위하여 감섬돔, 참돔, 볼락, 조피볼락 등의 종묘를 매년 방류하였고 이번 연구대상어종인 조피볼락은 1998년 15,000마리를 시작으로 1999년 500,000마리, 2000년 950,000마리, 2001년 328,817마리 등 현재까지 총 6,079,317마리가 매년 방류되었다. 1998년 기반연구를 목표로 시작된 바다목장은 2007년 현재 사업완료 되었고 조성된 자원의 지속적인 이용을 가능하게 하는 효율적인 관리체계가 필요하였다.

이 연구는 자원생태학적 연구 분야인 성장, 생식생태, 식성을 연구하고 그 자료를 바탕으로 어장가입연령, 어구가입연령, 생산율, 자연사망계수 등의 자원생태학특성치와 표지방류법에 의한 자원량의 추정 나아가 어구가입연령에 따른 가입당생산량과 어획사망계수에 따른 가입당생산량의 관계를 확인하여 적정어획사망계수를 F_{max} , $F_{0.1}$ 의 관리기준에 따라 추정하고 적정어획전장과 어획연령을 확인하여 그 결과를 바다목장의 효율적인 관리를 위한 자료로 제공하고자 실시되었다.

조피볼락의 성장에 관한 연구에서 성장파라메타는 이론적 최대전장은 $L_{\infty}=52.49\text{cm}$, 이론적 최대체중은 W_{∞} 은 2,303.36g, 성장계수는 $K=0.1794$, 전장 0일 때의 이론적 연령은 t_0 은 -0.9104세로 추정되었다. 이 결과에서 최대전장인 52.49cm는 Im and Hwang (2002)의 서해 전라남도 부안군 격포 앞바다에 서식하는 조피볼락의 최대전장 50.62cm와 일본 북해도 연안의 최대전장 암컷 60.31cm, 수컷 41.17cm와는 다소 차이가 있었다. 이러한 지역간의 최대 성장의 차이는 서식지역의 환경, 특히 성장 수온에 의해서 나타날 수 있고 생각된다. 그리고 성장식의 추정은 주로 어획되는 연령군의 평균전장을 기준으로 계산되어지므로 위의 계산된 이론적 최대전장을 증가하는 크기의 개체가 어획될 수 있다. 이러한 오차를 줄이기 위해서

는 잘 어획되지 않는 고연령군의 개체를 꾸준히 확보하여 성장식을 보정하여야 한다.

조피볼락의 계절에 따른 먹이생물의 변화와 생식주기를 비교해 보았을 때, 산란기 전인 3월에 많은 양의 먹이를 섭이함으로 인하여 위내용물중량지수가 가장 높은 값을 보였으며, 임신기인 4월과 5월은 위내용물중량지수가 급격하게 감소하여 먹이 섭이율이 급격하게 줄어드는 것으로 볼 수 있었으며, 이 시기에는 먹이생물 역시 어류에서 새우류로 먹이 전환이 일어나는 것으로 나타났다. 이는 내장 기관 내에서 생식소가 차지하는 부피가 증가함에 따라서 큰 크기의 먹이인 어류를 위 속에 저장할 수 없음으로 인하여 상대적으로 크기가 작은 새우류를 섭이함으로써 이와 같은 현상이 일어나는 것으로 판단되었다.

통영바다목장의 조피볼락은 갑각류를 92.2%로 섭이하는 장봉도 갯벌지역의 것 (Seo and Hong, 2007)과 다르게 위내용물의 96.3%를 어류를 섭이하는 것으로 나타났다. 이러한 어류의 섭이율이 높은 것은 통영바다목장만의 서식환경에서 기인한 것으로 생각된다. 이 해역은 멸치, 날뚝양태류, 베도라치류 등 74종의 많은 자치어들과 (Park et al., 2005), 멸치, 인상어 등의 소형어류가 많이 서식하고 있을 뿐만 아니라 인위적으로 인공어초 및 해중림 등의 성육장이 조성과 매년 감성돔, 볼락등의 치어들이 방류되어 작은 어류들이 많이 서식하고 있으므로 조피볼락의 성장에 필요한 먹이를 충분히 제공할 수 있는 환경조건을 가졌다고 생각된다.

반면에 조사해역은 바다목장화 사업이 진행되고 있는 지역으로써 향후 사후관리 기간 중 방류종들에 대한 보호와 육성이 필요한 지역이다. 따라서 이런 방류종들을 섭이하는 조피볼락으로부터의 보호를 위해서 본 연구에서 조사된 먹이 생물이었던 참돔, 감성돔, 볼락 등을 일정한 크기까지 성장을 시킨 후 방류를 시키는 것이 향후 방류효과를 높이는데 많은 도움이 될 것으로 판단이 되었다. 따라서 이번 조사시 조피볼락의 위에서 발견되었던 먹이생물들의 크기 (1.3~11.3cm)를 살펴 보았을 때, 전장이 11cm가 넘는 개체들을 방류를 할 경우 조피볼락에 의한 포식압

은 현저히 감소할 것으로 판단되었다. 또한 방류 시점을 어류의 섭이가 적은 5월에서 7월 사이에 실시하면 본 해역에서 방류의 효과를 높일 수 있을 것이다.

조피볼락 자원의 효율적인 관리를 위한 기본 정보를 제공하기 위하여 Beverton and Holt의 모델로 이론적인 최대체중 (W_{∞}) 2,303.36g, 성장계수 (K) 0.1794/year, 전장이 0일 때의 이론적 연령 (t_0) -0.9014세, 순간자연사망계수 (M) 0.5721/year, 어장가입연령 (t_r) 0.8100세, 어구가입연령 (t_c) 2.1382세, 그리고 최대연령 (t_m) 9세를 파라메타로 사용하여 조피볼락에 대해 적정한 순간어획사망계수 (어획강도)와 적정어구가입연령을 추정하였다.

어획개시연령과 순간어획사망계수간의 변화에 따른 가입당생산량의 변동을 검토하기 위하여 등생산량곡선으로 살펴보면 현재 조피볼락의 자원은 안정적으로 나타났다. 주어진 t_c 에 따라 최대의 가입당생산량을 산출하는 점들을 연결한 선인 AA'와 주어진 t_c 에 따라 최대의 가입당생산량을 산출하는 점들을 연결한 적정어획곡선인 BB'를 기준으로 현재의 t_c 인 2.14세, F 인 0.64/year를 t_c 인 3.7세, F 인 2.0/year로 조정하면 최대가입당생산량을 얻을 수가 있다.

이번 연구에서 조피볼락의 효과적인 자원관리를 위하여 총자원량 약 634톤에 대한 MSY와 ABC를 추정하였다. 그러나 MSY는 목표기준점이 아니라 한계기준점으로 사용되어야하고 (Caddy and Mahon, 1995), 목표수준으로 이용되어서는 안 된다는 지적이 있다 (Barber, 1988). 따라서 자원관리 목표기준점으로 ABC인 66톤을 사용하여야 한다.

나아가 ABC에서 사회경제적 여건을 감안한 허용어획량 (TAC)을 산정하여 출구관리를 통한 자원관리가 더욱 효과적이라 할 수 있다. 그러나 조피볼락의 이용도는 다른 볼락류에 비하여 다소 낮아 현재 ABC인 66톤 보다 낮은 수준에서 이용되고 있으므로 허용어획량을 실시하는 것은 커다란 의미를 가지지 않는다.

따라서 당분간은 최대가입당생산량을 얻을 수 있는 어구가입연령 3.7세, 전장

28cm 이상의 크기에서 어업을 허가한 후 철저한 출구조사를 통하여 어획통계량을 확보하고 그 후 자원의 증감 변동에 따른 관리가 이루어지는 것이 바람직하다고 생각된다.

끝으로 바다목장은 최초 울타리 없는 양식과 같은 계획 생산, 자원회복이나 빠른 시간 내의 자원 조성을 위한 전제조건 또는 개념으로 정의되었다. 그러나 바다 목장으로 지정된 해역은 행정적인 관리를 위하여 인위적으로 선정한 것으로 실제 그 속에 수천톤을 계획 생산하는 어장을 포함하고 있지는 않다.

대부분이 사니질, 사패질인 바다목장해역내에서 보호수면이나 관리수면으로 지정된 통영 바다목장은 원래의 개념처럼 계획된 자원 생산 질서 하에 일부 지역에서 일정량의 어획 생산을 보장하고 이와 동시에 통영 인근 해역의 볼락, 조피볼락 자원 증대 또는 자원 유지를 위한 어미 보호장, 또는 자원 보충을 위한 완충 해역 등의 역할을 담당하는 것도 하나의 큰 역할이라 생각된다.

따라서 향후 바다목장의 보호수면이나 관리수면은 일부 어초어장과 자연 암반에서의 어미 자원 보호로 인하여 매년 산란기를 통한 새끼자원의 가입으로 경남 서부 해역의 자원 보충을 위한 “어미 자원 보호구역” 또는 “어미 자원 관리구역 (brood stock enhancement area)”으로서 역할을 내포한 의미로 사용되는 것도 좋다고 생각된다.

VIII. 요약

이 연구의 목적은 통영바다목장에 서식하고 있는 조피볼락의 지속적인 생산과 효율적인 자원 관리를 위하여 필요한 자원생태학적 기초자료를 제공하는데 있다.

2001년 7월부터 2004년 5월까지 29개월 동안 매월 경상남도 통영 바다목장해역에서 채집된 총 942마리의 조피볼락의 이석을 사용하여 연령과 성장을 연구하였다. 윤문은 불투명대에서 투명대로 이행되는 7월에 형성되었다. 주성숙기는 1월이며 산출시기는 5월으로 조피볼락의 초륜이 형성되는 시간은 주성숙시기인 1월부터 이듬해 7월까지 약 1.5년으로 사료된다.

추정된 조피볼락의 Bertalaffy length식과 weight growth equation식은 암컷은 $L_t = 53.95(1 - e^{-0.1733(t+0.9327)})$, $W_t = 2,452.36(1 - e^{-0.1733(t+0.9327)})^{3.02}$ 이었으며 수컷은 $L_t = 51.50(1 - e^{-0.1824(t+0.9158)})$, $W_t = 2,148.95(1 - e^{-0.1824(t+0.9158)})^3$ 였다. 암·수의 성장의 차이는 없었다 ($P < 0.01$).

암컷의 생식소숙도지수 (GSI)는 2월부터 4월까지 0.2 전후의 값을 유지하다가 5월에 0.395의 연중 최고값을 보였다. 이후 6월이 되면 0.179로 급격히 감소하고, 1월까지 0.144~0.245의 범위의 낮은 값을 나타냈었다. 수컷의 경우에는 2월부터 9월까지 0.047~0.073의 낮은 값을 유지하다가, 10월에 0.293의 연중 최고값을 나타냈었다. 조피볼락의 암컷의 생식주기는 성장기 (8~9월), 성숙기 (10~12월), 임신기 (1~2월), 산출 및 회복기 (3~5월), 휴지기 (6~7월)로 나눌 수 있고, 수컷의 경우는 성장기 (5~6월), 성숙기 (7~9월), 완숙 및 교미기 (10~11월), 퇴화 및 휴지기 (12~4월)로 구분되었다. 포란수 및 체내자어수는 최소 44,805개에서 최대 139,892개 였으며 군성숙도 50%의 성숙전장은 25.93 cm 였다. 이 때의 연령은 연령-전장 성장식에 의하면 2.8세였다.

2002년 1월부터 2002년 12월까지 매월 경상남도 통영 바다목장해역에서 채집된 조피볼락의 식성을 조사하였다. 조피볼락의 주요 먹이는 어류였으며, 그 외 새우류, 게류, 단각류, 갯지렁이류, 등각류 등이 소량 섭취되었다. 조피볼락은 초기에

새우류와 어류를 섭이하였으나, 성장함에 새우류의 섭이율은 감소하였으며, 그 대신 어류의 섭이율이 증가하여 대부분을 차지하였다. 먹이 종류는 계절에 따라 변화하였는데, 산란기인 4월부터 6월까지 새우류로 먹이생물이 변화하였다가 다시 7월부터 어류로 먹이생물이 변화하였다. 섭이율은 체장의 증가와 함께 감소하였으며, 계절변화에 따라 여름에 감소한 후 다시 증가하였다. Dietary breadth index는 체장의 증가와 함께 감소하였으며, 계절변화에 따라 여름에 증가한 후, 다시 감소하였다.

자원특성치 중 생잔율(S)은 어획물 곡선법에서 0.2380로 가장 낮은 값을 보였으며, Jackson's method과 Hiencke's method으로 추정된 값은 0.3407/year과 0.3398/year을 나타냈다. 평균연령법과 Chapman and Robson's method은 0.2978, 0.2979/year로 추정되었다. 순간전사망계수(Z)는 추정된 결과, 1.2110/year였다. Alverson and Carney's method (1975)과 Pauly's method으로 추정된 순간자연사망계수(M)의 값은 0.6355/year와 0.3951/year이었으며, Rikhter and Efanov's method는 0.6541/year, Roff's method는 0.6639/year, Alagaraja's method는 0.5117/year이었다. 5가지 방법으로 구한 각 순간자연사망계수의 평균치는 0.5721/year였다. 순간전사망계수 1.211/year에서 순간자연사망계수 0.5721/year를 제하면 어획사망계수(F)는 0.6389/year으로 추정되었다. 어장가입연령(t_r)은 연구기간동안 어획된 어체의 최소체장 14 cm를 연령으로 환산한 0.81세였다. Pauly's method에 의하여 추정된 어구가입연령을 추정하면 2.14였다.

2007년 조피볼락의 추정자원량은 634,910,270g으로 추정되었고 최대지속적생산량 (MSY)은 181,616,084g (약 181톤)이며 생물학적허용어획량은 66,557,414g (약 66톤) 이었다.

현재의 어획개시연령 (2.13세)과 순간어획사망계수 (0.64/year)를 적용한 Beverton and Holt Model의 가입당생산량은 42.52g로 나타났다. 현재의 F값인 0.64에서 1까지 조정하면 43.57g을 생산할 수 있으나 그 이상에서는 감소의 경향

을 보였다. 또한 현재의 F 를 고정시키는 경우에는 t_c 를 2.9세로 조정하면 최대의 가입당생산량을 얻을 수 있다.



IV. 인용문헌

- Bae, H.C., S.C. Chung, J.J. Lee and Y.D. Lee. 1998. Annual reproductive cycle and embryonic development within the maternal body of the marbled rockfish, *Sebasticus marmoratus* from the Cheju Island. J. Kor. Fish. Soc. 31(4), 489~499.
- Baeck, G.W. and S.H. Huh. 2004. Feeding habits of brown barracuda (*Sphyræna pinguis*, Teleostei) in the coastal waters of Gadeok-do, Korea. J. Kor. Fish. Soc., 37, 505~510.
- Baek, J.M., C.H. Han, D.J. Kim, C.W. Park, K. Aida. 2000. Reproductive Cycle of a Rockfish, *Sebastes schlegelii*. J. Kor. Fish. Soc. 33(5), 431~438.
- Bertalanffy, L. von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). Hum. Biol. 10(2), 181~213.
- Billard, R., A. Fostier, C. Weil and B. Breton. 1982. Endocrine control of spermatogenesis in teleost fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39, 65~79.
- Boehlert, G.W. and M.M. Yoklavich. 1984. Reproduction, embryonic energetics and the maternal-fetal relationship in the viviparous genus *Sebastes* (Pisces: Scorpaenidae). Biol. Bull. (Woods Hole), 167, 354~370.
- Bowers, M.J. 1992. Annual reproductive cycle of oocytes and embryos of yellowtail rockfish, *Sebastes flavidus* (Family Scorpaenidae). Fish. Bull. 90, 231~242.
- Cha, B.Y., B.Q. Hong, H.S. Jo, H.S. Sohn, Y.C. Park, W.S. Yang and O.I. Choi. 1997. Food habits of the yellow goosfish, *Lophius litulon*. J. Kor. Fish. Soc., 30, 95~104.
- Cha, B.Y., Y.G. Gong, C.H. Lee and D.H. Kim. 2004. Feeding ecology of pacific mackerel, *Scomber japonicus*, in Korean waters. J. Kor. Soc. Fish. Res., 6, 14~22.

- Cha, H.K., J.U. Lee, C.S. Park, C.I. Baik, S.Y. Hong, J.H. Park, D.W. Lee, Y.M. Choi, K.S. Hwang, Z.G. Kim, K.H. Choi, H.S. Sohn, M.H. Sohn, D.H. Kim and J.H. Choi. 2001. Shrimps of the Korean Waters. Hanguel Graphics Press, Pusan, 1~188.
- Chang, Y.J., H.K. Lim and S.G. Byun. 1995. Gonadal maturation and reproductive cycle in oblong rockfish, *Sebastes oblongus*. J. Aquaculture, 8(1), 31~46.
- Choi, S.H., J.P. Hong, Y.J. Park and G.T. Sung. 1992. Growth, spawning and feeding ecology of jacoper, *Sebastes pachycephalus* in the East Sea of Korea. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Agency, 48, 39~56.
- Chung, E.Y. and T.Y. Lee. 1985. Studies on the reproductive cycle of greenling, *Agrammos agrammus*. Bull. Nat'l Fish. Univ. Pusan, 25, 26~42 (in Korean).
- Chung, E.Y. and T.Y. Lee. 1985. Studies on the reproductive cycle of greenling, *Agrammos agrammus*. Bull. Nat'l Fish. Univ. Pusan, 25, 26~42.
- Chung, E.Y., Y.J. Chang and K.K. Lee. 1995. Activities of hepatocytes and changes of protein and total RNA contents on liver and muscle of *Sebastes schlegeli* with the gonadal maturation. J. Kor. Fish. Soc. 28(3), 338~346.
- Chyung, M.K. 1977. The fishes of the Korea. IL JI SA Publishing Co., Seoul. 727 pp.
- Diana, J.S. 2004. Biology and Ecology of Fishes(2nd). Biological Sciences Press, U.S.A, 1~498.
- Gibson, R.N. and I.A. Wzzi. 1987. Feeding relationships of a demersal fish assemblage on the wet coast of Scotland. J. Fish Biol., 31, 55~69.
- Hoshiai, G. 1977. Larvae and juveniles of the Scorpaenid fish, *Sebastes schlegeli*. Jap. J. Ichthyol., 24(1), 35~42.
- Hoshiai, G. 1977. Larvae and juveniles of the scorpaenid fish, *Sebastes shlegelii*. Jap. J. ichthyol., 24(1), 35~42.
- Huh, S.H. 1999. Feeding Habits of Hairtail, *Trichiurus lepturus*. Korean J.

- Ichthyol., 11, 191~197.
- Huh, S.H. and B.Y. Cha. 1998. Feeding habits of jack mackerel, *Trachurus japonicus*, collected from the Nakdong River Estuary. Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 34, 320~328.
- Huh, S.H. and S.N. Kwak. 1997a. Feeding habits of *Pholis nebulosa*. Korean J. Ichthyol., 9, 22~29.
- Huh, S.H. and S.N. Kwak. 1997b. Feeding habits of *Syngnathus schlegeli* in Eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay. J. Kor. Fish. Soc. 30(5), 896~902.
- Huh, S.H. and S.N. Kwak. 1998a. Feeding habits of *Sebastes inermis* in the eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay. J. Kor. Fish. Soc., 31, 168~175.
- Huh, S.H. and S.N. Kwak. 1998b. Feeding habits of *Pseudoblennius cottoides*. J. Kor. Fish. Soc., 31, 37~44.
- Huh, S.H. and S.N. Kwak. 1999. Feeding habits of *Acanthogobius flavimanus* in the eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay. J. Kor. Fish. Soc., 32, 10~17.
- Huh, S.H., J.M. Park and G.W. Baek. 2006. Feeding habits of Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) in the Southern Sea of Korea. J. Kor. Fish. Soc., 39, 35~41.
- Hyeon Ok Shin, Jong Wan Tae, Kyoung Mi Kang. 2005. Acoustic telemetry Measurement of the Movement Range and Diurnal behavior of rockfish (*Sebastes schlegelii*) at the Artificial Reef. J. Korean Fish. Soc. 38(2), 129~136.
- Hyun, C.H. and S. Rho. 1996. Studies on the early growth of rockfish, *Sebastes schlegelii*. J. Aquacult., 9, 25~42.
- Im, Y.J. and S.D. Hwang. 2002. Age and growth of black rockfish, *Sebastes schlegelii* in the western coastal water of Korea. Kor. J. Ichthyol. 14(2),

149~152.

- Kang, Y.J. 1982. Studies on the structure and production process of biotic communities in the coastal shallow waters of Korea. 1. Age and growth of *Sebastes inermis* from Namhae Island, Korea. Publ. Inst. Mar. Sci. Nat'l. Fish. Univ. Busan. 14, 51~53.
- Kim, C.K. and Y.J. Kang. 1999. Feeding ecology of black rockfish, *Sebastes inermis*. J. Kor. Fish. Soc., 32, 637~641.
- Kim, H.S. 1973. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea. Vol. 14 Anomura · Brachyura. Ministry of Education. Korea., 1~694.
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyo-Hak Publishing Co., 1~615.
- Kim, K.J. and Y. Gong. 1977. Fisheries Biology. Taehwa Press, Busan. 286 pp.
- Kim, M.K., Y.J. Kang and B.H. Park. 1989. Studies on the fishery biology of pomfrets *Pampus* spp. in the Korean waters. 6. Stock assessment of Korean pomfret, *Pampus echinogaster*. Bull. Kor. Fish. Soc. 22(5), 306~316.
- Kim, S.G., C.S. Koh and C.h. Song. 1987. Study for mass production of *Sebastes schlegelii*. Rep. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst., Korea. 71, 117~114.
- Kim, Y.H., S.K. Lee, J.B. Lee, D.W. Lee and Y.S. Kim. 2006. Age and growth of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* in the South Sea of Korea. Kor. J. Ichthyol. 18(1), 45~54.
- Kim, Y. and K.H. Han. 1991. The early life history of rockfish, *Sebastes schlegelii*. Kor. J. Ichthyol., 3(2), 67~83.
- Kim, Y.H., Y.J. Kang and D.K. Ryu. 2000. Growth of *Ammodytes personatus* in the South Sea, Korea. Kor. J. Ichthyol. 12(3), 166~172.
- Kim, Y.U. and I.S. Kim. 1997. Pisces. In: Kim, H.S., ed., List of Animals in Korea (excluding insects). Academi Press, Seoul, 243~281 pp.
- Kim, Y.U. and K.H. Han. 1991. The early life history of rockfish, *Sebastes schlegelii*.

- Korean J. Ichthyol., 3, 67~83.
- Kim, Y.U., Y.M. Kim and Y.S. Kim. 1994. Commercial fishes of the coastal and offshore waters in Korea. Yemun Press, Busan, pp. 299.
- King, M. 1995. Fisheries biology, assessment and management. Blackwell, Oxford, 341 pp.
- Kolpakov, NV. 2006. On the biology of rockfishes *Sebastes minor* and *S. taczanowskii* (Sebastidae) from the Coastal Waters of Northern Primorye. J. Ichthyol., 46, 311~321.
- KORDI (Korea Ocean Research and Development Institute). 1997. A study for the marine ranching program in Korea. Ecosystem Management Model and Stocking Technique. Korea Ocean Research and Development Institute, BSPE 97602-00-1073-3, 1~631.
- KORDI (Korea ocean research and Development Institute). 2003. Studies on the Development of Marine Ranching Program in Tongyeong, Korea. Korea Ocean Research and Development Institute, BSPM175-00-1532-3, 1~689.
- KORDI (Korea ocean research and Development Institute). 2007. Studies on the Development of Marine Ranching Program in Tongyeong, Korea. Korea Ocean Research and Development Institute, 1,082 pp.
- Krebs, C. J. 1989. Ecological Methodology, Harper and Row, Hew York, 1~654.
- Kubo, I. and T. Yoshihara. 1970. Fisheries Biology. Kyoritsu shuppan Co. Ltd., Tokyo, 482pp.
- Kwak, S.N. and S.H. Huh. 2003. Feeding habits of *Limanda yokohamae* in the eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay. J. Kor. Fish. Soc., 36, 522~527.
- Kwan, S.N., G.W. Baeck and D. W. Klumpp. 2005. Comparative feeding ecology of two sympatric greenling species, *Hexagrammos otakii* and

- Hexagrammos agrammus* in eelgrass *Zostera marina* beds. Environmental biology of Fishes. 74 : 129~140.
- Lee, J.S., C.M. Ahn and S.H. Huh. 1998. Reproductive cycle of the goldeye rockfish, *Sebastes thompsoni*. J. Kor. Fish. Soc. 31(1), 8~16 (in Korean).
- Lee, J.S., C.M. An and P. Chin. 1996. Copulation and embryonic development of the viviparous teleost surfperch, *Ditrema temminki*. J. Kor. Fish. Soc. 29(1), 26~34.
- Lee, J.S., C.M. An and S.H. Huh. 1998. Reproductive cycle of the goldeye rockfish, *Sebastes thompsoni* (Teleostei: Scorpaenidae). J. Kor. Fish. Soc. 31(1), 8~16.
- Lee, T.W. and K.C. Kim. 2000. Microstructural growth in otoliths of black rockfish, *Sebastes schlegelii*, from prenatal larval to early juvenile stage. Ichthyol. Res., 47(4):335~341.
- Lee, T.Y. and S.Y. Kim. 1992. Reproduction and embryonic development within the maternal body of ovoviviparous teleost, *Sebastes inermis*. Bull. Korean. Fish. Soc., 413~431 (in Korean).
- Lee, T.Y. and S.Y. Kim. 1992. Reproduction and embryonic development within the maternal body of ovoviviparous teleost, *Sebastes inermis*. Bull. Korean. Fish. Soc., 413~431.
- Lee, Y.D., S. Rho, Y.J. Chang, H.J. Baek and C.M. An. 1996. Sex differentiation of the rockfish, *Sebastes schlegelii*. J. Kor. Fish. Soc. 29(1), 44~50.
- Lee, Y.D., S. Rho, Y.J. Chang, H.J. Baek and C.M. An. 1996. Sex differentiation of the rockfish, *Sebastes schlegelii*. J. Korean Fish. Soc., 29, 44~50.
- Levin, D. A. 1970. Community equilibria and stability, and an extension of the competitive exclusion principle. American Naturalist 104, 413~423
- Mendoza, G. 1943. The reproductive cycle of the viviparous teleost, *Neotoca bilineata*. A number of the family Goodeidae. IV. The germinal tissue. Biol.

- Bull., 84, 87~97.
- Mizue, K. 1959. About the seasonal cycle of mature testis of *Sebastes inermis*. J. Hokkaido Fish. Exp. Stn. 8, 84~110.
- Mizue, K. 1959. About the seasonal cycle of mature testis of *Sebastes inermis*. J. Hokkaido Fish. Exp. Stn. 8. 84~110 (in Japanese).
- Mori, H., H. Nakagawa, K. Soyano and Y. Koya. 2003. Annual reproductive cycle of black rockfish *Sebastes schlegeli* in captivity. Fisheries Science. 69: 910~923.
- Myeong, J.I. T.S. Ko and B.G. Kim. 1998. Effects of salinity, rearing density and feeding rate on survival rate of Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) larvae. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Inst., 54, 47~55.
- Myeong, J.I., T.S. Go and B.G. Kim. 1998. Effect of early survival rate of *Sebastes schlegelii* by salinity, density, food supply in culture. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. 54, 47~55.
- Nakagawa, M. and K. Hirose. 2004. Individually specific seasonal cycles of embryonic development in cultured broodstock females of the black rockfish, *Sebastes schlegelii*. Aquaculture 233, 549~559.
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the World (4thed). John Wiley & Sons, Inc., New York, 601 pp.
- Omori, M., Y. Sugawara and H. Honda. Morphogenesis in hatchery-reared larvae of the black rockfish, *Sebastes schlegelii*, and its relationship to the development of swimming and feeding functions. Ichthyol. Res. 43, 267~282.
- Park, K.D. and Y.J. Kang. 2007. Age and growth of black rockfish, *Sebastes schlegelii* in the Tongyeong marine ranching area in Korea Waters. Korean J. Ichthyol., 19, 35~43.
- Park, K.D., J.G. Myoung, Y.J. Kang and Y.U. Kim. 2005. Seasonal variation of abundance and species composition of ichthyoplankton in the coastal

- water off Tongyoung, Korea. J. Kor. Fish. Soc. 38(6), 385~392.
- Park, M.E. 2000. Control of reproductive mechanism related to parturition of black rockfish, *Sebastes schlegeli*. Ph.D. Thesis, Cheju National University. Cheju, Korea.
- Park, S., S. Rho and S.K. Kim. 1993. the parturition and early growth of rockfish, *Sebastes schlegeli*. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency. 7, 45~57.
- Pinkas, L., M.S. Loiphant, and I.L.K. Iverson. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. Calif. Dep. Fish Game, Fish Bull., 152, 1~105.
- Sasaki, T. 1974. On the larvae of three species of rockfish (Genus: *Sebastes*) in Hokkaido. Bul. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 25, 169~173.
- Sasaki, T. and T. Igarashi. 1974. Seasonal changes of the testis and the spermatogenesis of *Sebastes vulpes* Steindachner et Doderlein. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 25, 100~106.
- Sasaki, T. and T. Igarashi. 1974. Seasonal changes of the testis and the spermatogenesis of *Sebastes vulpes* Steindachner et Doderlein. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 25, 100~106.
- Sasaki, M., N. Miautani, S. Nishiuchi, F. Shiokawa and T. Takahashi. 2004. Age and Growth of *Sebastes schlegeli* in the coastal waters of Shiribeshi Subprefecture, Hokkaido, Japan. Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr., 68(4): 232~238 (in Japanese with English abstract)
- Secor, D.H., J.M. Dean and S.E. Campana, 1995. Recent development in fish otolith research. Univ. South Carolina Press, U.S.A., 735pp.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana, 177 pp.
- Shiokawa, T. 1962. Growth and maturity of the common rockfish, *Sebastes marmoratus* Cuvier et Valenciennes. Env. Biol. Fish. 6, 91~102.
- Shiokawa, T. 1962. Growth and maturity of the common rockfish, *Sebastes*

- marmoratus* Cuvier et Valenciennes. Env. Biol. Fish. 6, 91~102.
- Takano, K., A. Takemura, M. Furihata, T. Nakanishi and A. Hara. 1991. Annual reproductive and spawning cycle of female *Sebasticus marmoratus*. Env. Biol. Fish. 30, 39~48.
- Takano, K., A. Takemura, M. Furihata, T. Nakanishi and A. Hara. 1991. Annual reproductive and spawning cycle of female *Sebasticus marmoratus*. Env. Biol. Fish. 30, 39~48.
- Takeda, M. 1982. Keys to Japanese and Foreign Crustaceans. Hokuryukan, Tokyo., 1~284.
- Takemura, A., K. Takano and H. Takahashi. 1987. Reproductive cycle of a viviparous fish, the wipe-edged rockfish, *Sebastes taczanowskii*, Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 38, 111~125.
- Takemura, A., K. Takano and H. Takahashi. 1987. Reproductive cycle of a viviparous fish, the wipe-edged rockfish, *Sebastes taczanowskii*, Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 38, 111~125.
- Turner, C.L. 1937. Reproductive cycles and superfetation in poeciliid fishes. Biol. Bull. 72, 145~164.
- Veith, W.J. 1980. Viviparity and embryonic adaptation in the teleost *Clinus superciliosus*. Can. J. Zool., 58(1), 1~12.
- Wallace, R.A. and K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. Amercan. Zool. 21, 325~343.
- Weatherley, A.H. and H.S. Gill. 1987. The biology of fish growth. Academic Press Inc. London, 443pp.
- Wiebe, J.P. 1968. The reproductive cycle of the viviparous seaperch, *Cymatogaster aggregata* Gibbon. Can. J. Zool., 46, 1221~1234.
- Wourms, J.P. 1981. Viviparity: The maternal fatal relationship in fishes. Amer. Zool., 21, 473~515.
- Wourms, J.P., B.D. Grove and J. Lombardi. 1988. The maternal embryonic

- relationship in viviparous fishes. In: Fish Physiology. 11B. W.S. Hoar & D.J. Randall., ed. Academic Press, New York. 1~134.
- Yamada U., M. Tagawa, S. Kishida and K. Honjo. 1986. Fishes of the East China Sea and the Yellow Sea. Sei. Reg. Fish. Res. Lab. Press, Nagasaki, 501 pp.
- Yamada, J. and M. Kusaki. 1991. Staging and the time course of embryonic development in kurosoi, *Sebastes schlegeli*. Env. Biol. Fish., 30, 15~22.
- Yong Uk Kim, Kyeong Ho Han 1991 The Early Life History of Rockfish, *Sebastes schlegelii* Korean J. Ichthyol. 13(2), 67~83.
- Yoon, C.H. 2002. Fishes of Korea with Pictorial Key and Systematic List. Academy Publ. Co. Seoul, 1~341.
- Zar, H. 1974. Biostatistical Analysis. Trentice Hall, 620 pp.
- Zhang, C.I. 1991. Fisheries population ecology. Woosungmunhwa Press, Seoul, 399 pp.
- Zhang, C.I. 1991. Fisheries Resource Ecology. Woosung Publ. Co., Seoul, Korea. 399 p.
- Zhang, C.I. 1996. A study on the stock assesment and Management implications of the Hairtail, *Trichiurus lepturus* Linne in Korea Waters. 1 estimation of Population Ecological Characteristics of the hairtail *Trichiurus lepturus* Linne in Korea Waters. J. Kor. Fish. Soc., 29(5), 567~577.
- Zhang, C.I., S. Kim and S.B. Yoon. 1992. Stock Assessment and Management Implications of Small Yellow Croker in Korean Waters. Bull. Korean Fish. Soc., 25(4), 282~290.
- Zhang, C.I., Y.J. Kang, C.S. Park and M.H. Sohn. 1998. A study on the stock management of the sharp-toothed eel, *Muraenesox cinereus* (FORSKAL) in Korean waters V. Stock assessment and management implications. J. Kor. Soc. Fish. Res., 1(1), 36~43.

감사의 글

먼저 하늘에서 항상 지켜주시는 아버지님께 감사드립니다. 그리고 박사학위를 마치기까지 끊임없이 용기를 주시고 따뜻하게 지켜주신 어머니, 형님, 형수님, 그리고 조카 상은, 지혜에게 감사드립니다.

이 논문의 심사과정에서 세심한 배려와 조언을 주신 홍성윤 교수님, 류동기 교수님, 김진희 박사님께 감사드립니다.

그리고 논문을 위한 채집을 위하여 항상 관심을 주시고 수고하여 주신 박용주 소장님과 한국해양연구원 직원분들과 논문의 전체적인 부분에 대하여 조언을 해주시고 끝까지 지켜보신 명정구 박사님께 감사드리며 설 익은 저에게 지식의 폭을 넓혀주신 유명숙 교수님, 남기완 교수님, 백혜자 교수님, 김수암 교수님, 김기수교수님께 감사드립니다.

석사과정을 마치고 진로의 고민을 가진 저에게 새로운 학문의 길을 열어주시고 지금까지 아들처럼 감싸주시고 아껴주신 강용주 교수님께 가슴깊이 감사드립니다.

논문에 대한 지식을 나누어 주신 이동우 연구관님, 권대현 선배님, 김승태 선배님과 실험실 생활을 하며 같이 기쁘해 주고 걱정해준 이해원 박사, 그리고 채집활동과 늦은 밤까지 같이 실험을 도와주신 실험실 후배님들, 논문 데이터 분석에 도움을 준 황인준 후배님, 이하원 후배님외 모든 후배님들께 감사드리며 가족같은 나사나해 친구들과 친동생들처럼 정겨운 한영태, 박정호, 강정훈 남윤석, 손규원, 최주현에게 감사드립니다.

그리고 항상 저의 현재와 미래를 걱정해주시고 용기를 주시고 친동생처럼 지켜주신 김진구 박사님, 강충배 박사님, 김영혜 박사님, 최정화 박사님, 김정현 박사님께 감사드립니다.