

제주 해양생물자원의 특성과 가치

-자리돔, 놀래기류, 바리과어류, 양식광어의 번식특성과 이용을 중심으로-

이영돈·이치훈(제주대학교 해양과학연구소)

바다와 강 등 수권(水圈)이 지구 면적의 70% 정도를 차지한다. 수권의 생물생태 특성은 육상의 생물생태 못지않은 다양성을 가지고 있으나 특성 탐색과 구명범위는 미약한 실정이다.

제주바다의 생물자원은 미생물, 플랑크톤, 해조류, 무척추동물, 척추동물 등으로 구성하고 있다. 이 연구는 제주연안에 서식하는 어류와 양식어종인 광어와 붉바리 중심으로 번식생리 생태 연구결과들과 적용사례를 논하고자 한다. 우리나라 한반도와 제주바다 연안에 분포하는 어종은 1,000여종이며 이중 제주연안에 서식하는 어종은 700 여종으로 우리나라 바다에 서식하는 어류의 70%를 차지한다(김 등 2005). 이러한 어류의 종 다양성은 다양한 해류 - 난류성 쿠로시오해류의 영향과 겨울철 한류성이 강한 황해 저층수의 유입, 여름철 양자강물의 유입, 계절풍에 의한 해황변동, 제주연안 용천수자원 등 - 구성과 먹이사슬 생태의 안정적 조성에 기인하는 것으로 사료된다.

제주 한라산이 봄, 여름, 가을, 겨울 뚜렷한 계절을 가지는 것처럼 제주바다도 사계절이 뚜렷하다. 제주의 육상 숲은 5월에서 10월까지 울창하고 11월에 낙엽이 지는데, 바다 해조숲은 12월에서 5월까지 울창하고 수온이 상승하는 여름철에는 해조 엽이 쇠퇴한다.

제주 연안에 서식하는 자리돔, 놀래기류, 바리과 어류(붉바리, 다금바리(자바리), 능성어(구문쟁이)) 그리고 광어의 계절에 따른 번식생리 생태 특성과 적용사례를 중심으로 논하고자 한다.

조사방법

자리돔은 주로 제주 서귀포시 보목동 연안에서 채집하였고 산란시기 비교를 위하여 성산과 모슬포 연안에서 월별로 채집하였다. 자리돔은 잡이는 썰물과 밀물이 교차하는 정조(물 흐름이 약한 때)시기에 자리 그물을 펼쳐서 자리돔을 거린다. 채집한 자리돔은 연구실로 옮겨 체장과 체중을 계측한 후 해부하여 뇌(뇌하수체포함), 생식소(정소, 난소), 간을 관찰 후 절취하여 고정액에 고정 보관한다. 기관의 조직과 세포상태를 현미경으로 관찰하기 위해 파라핀 절편방법 절차를 거쳐 호산성색소 eosin과 염기성 색소 haematoxylin를 비교 염색하였다. 생식소 발달상태를 탐색하기 위해 생식소중량지수(gonadosomatic index, 생식소중량/체중×100)를 조사하였다.

놀래기류는 제주시 함덕 연안에서 제주대학교 해양과학연구소 연구조사선을 이용하여 낚시 채집을 하였다. 채집한 놀래기류는 황놀래기, 어렁놀래기, 용치놀래기, 놀래기 4종이다. 놀래기

류의 생식소발달과 성전환 특성을 분석하기 위한 조직학적 방법은 자리돔의 조직 조사방법과 동일하다.

바리과 어류인 자바리(제주명 다금바리), 능성어(제주명 구문쟁이), 붉바리는 수산물 유통업자를 통하여 구입하였다. 구입한 바리과 어류는 제주대학교 해양과학연구소 사육수조에 적응시키면서 사육하였다. 바리과 어류의 건강한 수정란 확보를 위하여 광주기와 수온에 적응하는 생리특성을 탐색하였다. 광주기와 수온에 적응하는 생리특성을 이용하여 년중 상시에 수정란 생산하는 시스템을 운영하였다. 환경에 적응하는 생리적 인자들은 탐색하기 위해 kisspeptin, 생식소자극호르몬 관련인자들을 분자생물학적인 방법(RT-PCR)을 이용하여 분석하였다. 바리과 어류 난의 난문과 정자의 미세구조는 전자현미경적인 방법으로 관찰하였다.

양식광어의 사육환경 적응특성을 이용한 체성장 향상 연구는 광어양어장 사육수조에 광주기 조절시스템을 설치하여 사육하면서 생식소발달과 체성장 등을 조사하였다.

결과 및 고찰

1. 자리돔

자리돔은 제주를 대표하는 바다 물고기중 하나이다. 자리돔은 척박한 시대에 제주도민에게 주된 단백질원 공급역할을 담당하였다. 제주 연안 자리돔은 낮 길이가 길어지고 수온 상승하는 5월부터 생식소가 발달하기 시작하여 7월에 주 산란을 하는 하계산란 어종이다 (그림 1, 이와이, 1987). 자리돔 난은 부착란

으로 수컷이 산란장을 만들어 정돈하면 암컷이 산란장 암반, 자갈 등에 방란하여 부착시킨다. 수컷이 부착란에 정자를 방정하면 수정된다. 수컷이 수정란에서 자어가 부화되어 나올 때 까지 산란장을 지킨다. 제주에서는 보리가 익어서 수확할 때 자리젓갈을 담근다. 이시기에 자리돔의 생식소는 적당하게 발달한 상태다. 자리돔의 영양 상태가 양호하여 횡감으로 식감이 가장 좋은 시기이다. 잘 익은 자리젓갈은 밥도둑이다. 그리고 11월에 접어들면 (지금은 출베는 시기가 사라졌지만) 자리돔 복부는 지방으로 가득 찬다. 이시기 자리돔 간은 지방간 상태이다. 지방간 상태는 겨울을 나기위해 동물성 플랑크톤 먹이가 풍부한

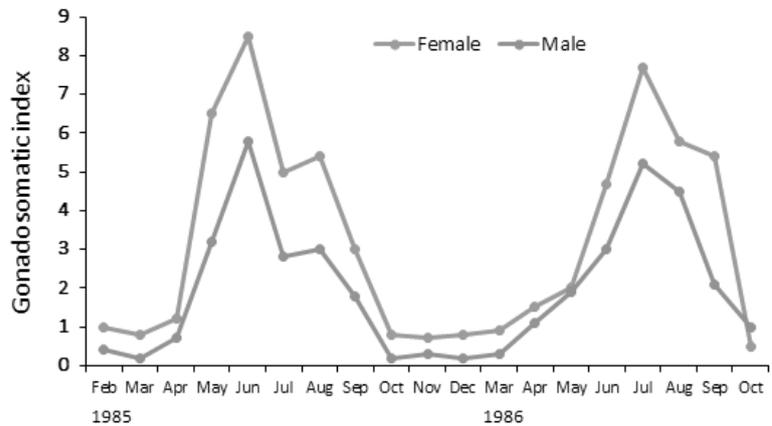


그림 1. 자리돔의 생식소증량지수 월별 변화

시기에 영양을 저장한다. 자리돔의 복부지방과 지방간은 환경에 적응하는 생존전략의 방편이다. 자리잡이 하시는 어부들이 “자리돔은 일년에 두 번 알을 가진다”라고 하시는 말씀에 수궁이 간다. 왜 자리돔이라고 부릅니까? 질문에 고민 고민 하다가 자리를 지키는 습성을 가져서, 제주 연안 가까이에 서식하는 자리돔은 곳 자리, 섬 주변에 서식하는 자리돔은 섬 자리 그래서 자리돔이라고 부르지 않을까? 라고 했는데 정답처럼 되어 간다. 이웃 일본에서는 자리돔이 물속에서 유영하는 모습이 참새들이 떼를 지어 날아다니는 모습과 비슷하다하여 참새돔(스즈메다이)이라고 부른다. 제주사람들은 자기 동네 자리돔 맛이 제일 좋다고 자랑한다. 자리돔은 지역마다 해류 흐름 세기의 차이와 먹이생물 조성의 차이에 따라 유의성이 없는 약간의 차이는 나겠지만 아마도 어린 시절부터 입맛에 길들여진 맛 때문이 아닐까 싶다. 제주 연안의 자리돔자원이 급격히 감소하는 추세에 제주도와 어민간의 합리적인 자원관리방안이 필요한 시점이다.

2. 놀래기류

제주연안 서식하는 어령놀래기, 용치놀래기, 놀래기의 산란시기는 자리돔 처럼 여름철에 산란하는 하계산란형 이다. 황놀래기는 10월~11월에 산란하는 추계산란형 이다. 놀래기류의 특성은 암컷으로 성장하여 성숙 후에 수컷으로 성전환하는 자성선속형 자웅동체이다. 놀래기, 용치놀래기, 황놀래기의 수컷은 처음부터 수컷이 개체(1차 수컷)와 암컷이 수컷으로 성전환 개체(2차 수컷)이 공존한다 (그림 2, 이등 1993).

놀래기의 산란시기 산란행동을 보면 1차 수컷은 암컷 5~10여 마리와 짝짓기 행동을 하는 반면에 2차 수컷은 암컷 한 마리와 짝짓기를 한다. 성숙시기 1차 수컷의 정소 무게가 2차 수컷의 정소 무게 보다 2~3배 된다. 놀래기 수컷의 정자 생산량 능력에 따라 짝짓기 행동생태가 다르다. 여름철에 산란하는 놀래기의 산란시시간은 만조에서 간조에 접어들 때 산란하여 간조에 접어드는 물흐름으로 수정란이 연안 외해로 이동하도록 한다.

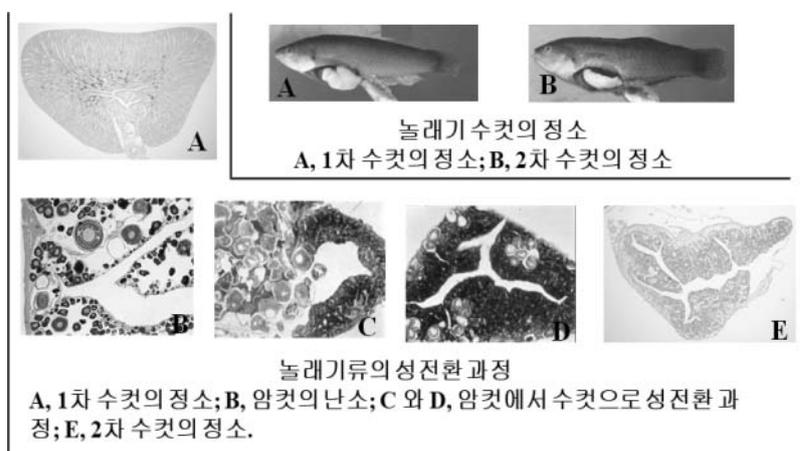


그림 2. 놀래기류의 성전환과정의 생식소 조직변화

3. 바리과 어류

해산 바리과 어류는 전 세계적으로 159종이 분포하고 있다(FAO, 1993). 바리과 어류는 세

계적으로 수요 증가로 시장 가격 형성이 높기 때문에 지나친 남획으로 연안 자원이 급격하게 감소하는 어종이다. 제주연안에 서식하는 바리과 어류는 자바리, 능성어, 붉바리, 홍바리 등 12종이 분포한다 (김 등 2005). 이들 바리과 어류는 놀래기류와 같이 자성선속형 자용동체이고 여름철에 산란하는 하계산란형이다. 자연에서 바리과 어류의 수컷은 대부분 암컷에서 성 전환 개체이다.

자연에서 바리과 어류의 성숙년령은 빠른 개체는 3살 이상, 늦게 성숙하는 어종은 5~7년 이상 소요된다, 바리과 어류 어미자원이 남획되면 자원 복원이 어려운 번식 특성을 가지고 있다. 바리과 어류가 서식하는 연안 국가들은 바리과 어류 양식연구 개발과 양식상용화에 많은 투자를 하고 있다. 제주연안에 서식하는 바리과 어류 중 시장 기호도가 높아서 양식상용화 가능성이 높은 붉바리, 자바리, 능성어를 대상으로 번식특성과 사육환경에 적응하는 생리적 특성을 탐색하였다. 붉바리, 자바리, 능성어 성숙난의 동물극에 하나의 난문이 위치한다. 이들 난문경 각각 $5.91 \pm 0.57 \mu\text{m}$, $7.23 \pm 1.63 \mu\text{m}$, $6.22 \pm 0.69 \mu\text{m}$ 전후로 유사하다 (그림 3, 김 등, 2011, Kim et al., 2013).

난자는 난문을 통하여 정자를 받아들이고 수정돌기를 형성하여 다른 정자가 들어오는 것을 방어한다 (그림 4).

붉바리의 상시 수정란 생산은 장주기 조건의 광주기와 사육수온 20°C 전후에 적응하는 생리적 특성을 이용하였다 (Oh et al., 2016), 이러한 사육환경 조건은 붉바리 비 산란시기인 10월부터 처리하여 붉바리의 생식소 발달과 번식생리 관련 인자(FSH β 와 LH β mRNA)의 발현양상을 조사한 결과, 생식소중량지수는

3.3 ± 0.2 로 증가하였고, 난소내에는 난경 $400 \mu\text{m}$ 이상의 난황구기 난모세포가 대부분을 차지하는 성숙단계로 발달하였으며, 번식생리 관련 인자인 FSH β 와 LH β mRNA 발현량이 급격하게

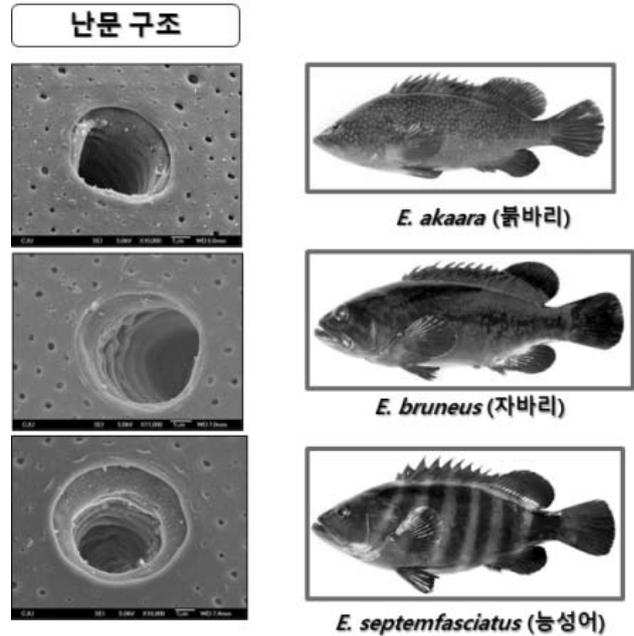
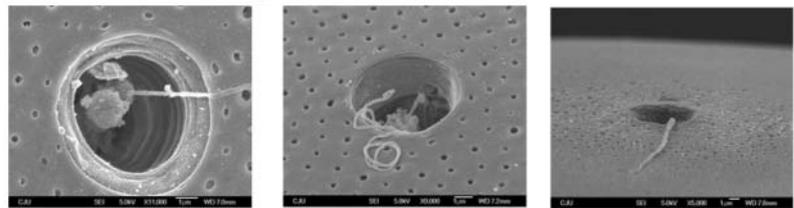


그림 3. 바리과 어류의 난문 구조와 형태

수정 (정자의 난문 진입)



수정 후 난문의 봉쇄 (수정돌기)

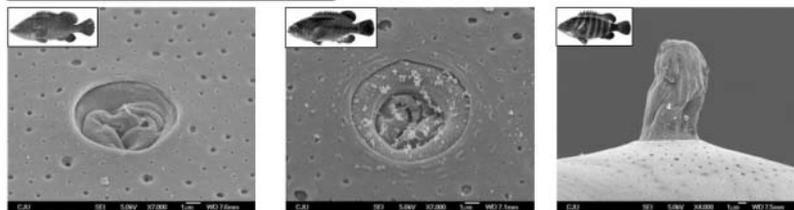


그림 4. 바리과 어류의 수정과 수정돌기 형성과정

증가하였다 (그림 5).

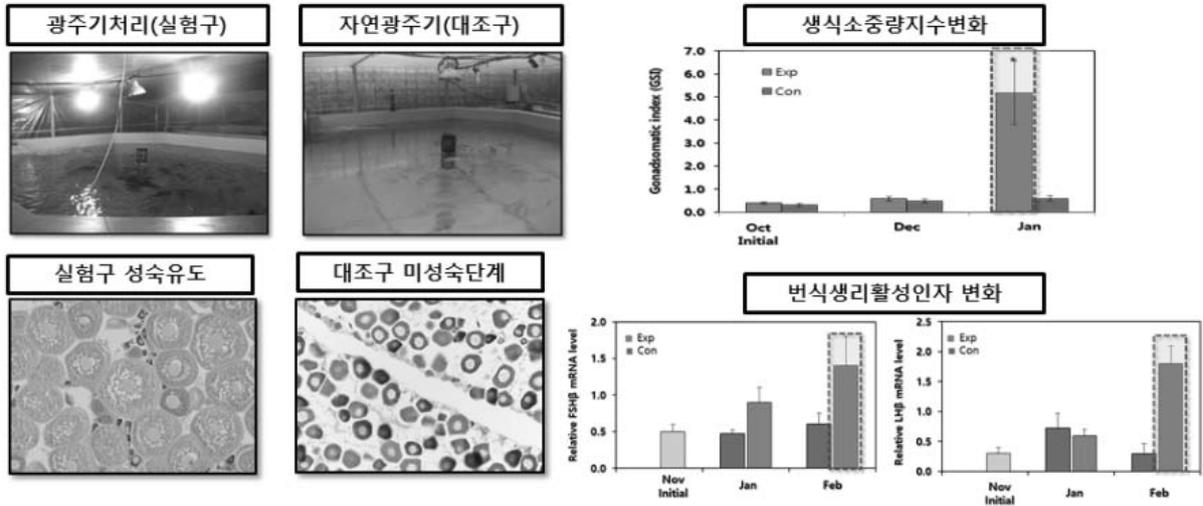


그림 5. 붉바리 상시 성숙유도시스템운영과 성숙 관련인자 활성변화

성숙이 유도된 붉바리에서 수정란 생산과정은 그림 6과 같다. 수정란은 분리부성란이며 크기는 700 μm 정도이다. 붉바리 종자는 부화일수에 따른 로티퍼, 알테미아 등 동물성 플랑크톤과 배합사료의 먹이 공급과 수온조절로 생산하였다 (그림 7). 2017년 붉바리 종자 4만5천 마리를 말레이시아 수출하였다.

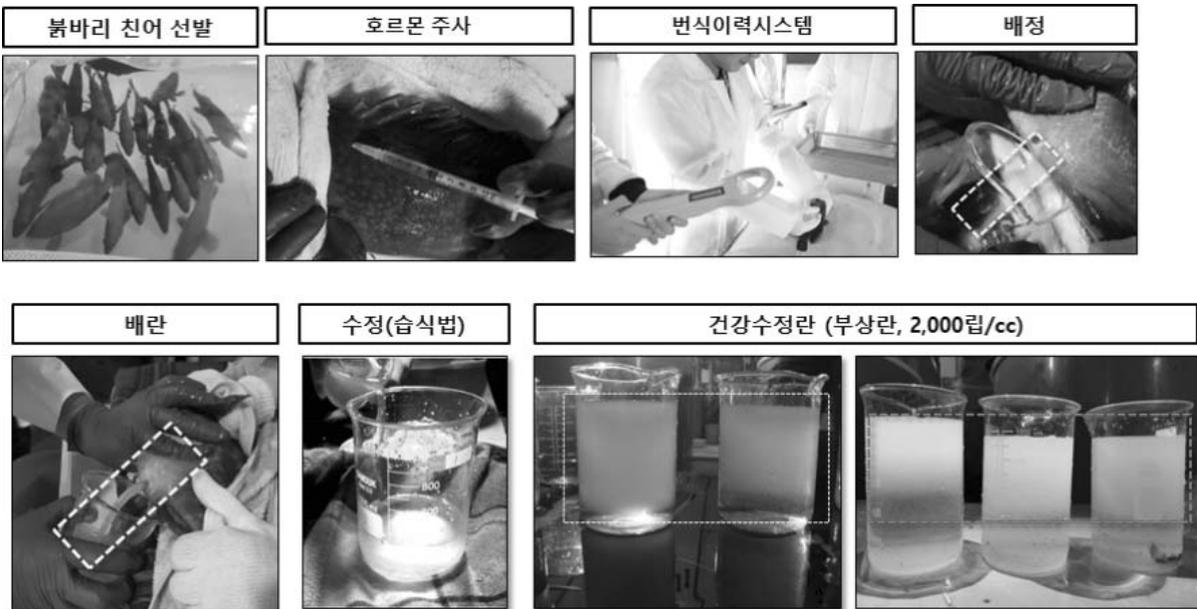


그림 6. 붉바리의 최종 성숙유도와 수정란 생산 과정

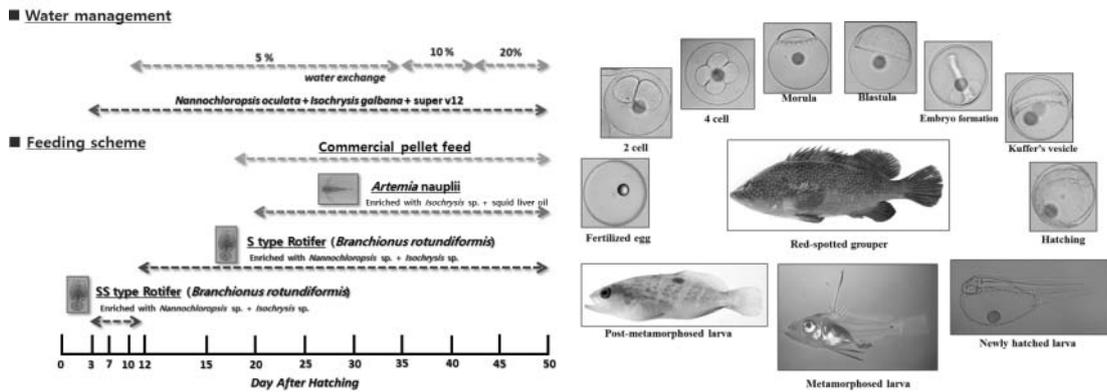


그림 7. 붉바리 종자 생산 먹이 계열 및 붉바리 수정란 발생과 자치어 성장

4. 양식광어

제주양식광어는 제주에서 생산하는 농수산물 중에서 유일하게 세계일류상품으로 선정되었다. 우리나라 양식광어 연간 생산량 5만톤 중에 2만5천 톤 전후를 차지하고 일본과 미국 그리고 동남아시아 등 대외 수출은 10% 차지한다. 현재 제주광어양식이 세계 최고 수준을 가지게 된 것 중에 하나가 제주의 자연환경 조건이다. 제주에는 용암해수(염지하수)를 가지고 있다. 용암해수의 청정성과 수온 16 ~18℃를 유지하는 향상성을 가진다. 광어 어미관리 사육 적수온이 18 ~20℃이다. 1989년~1991년에 광어 수정란 생산이 용암해수와 광주기를 조절 통하여

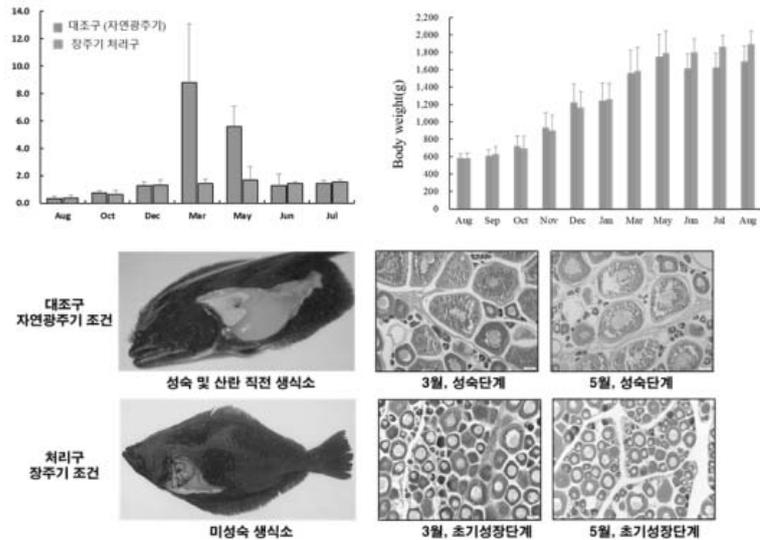


그림 8. 장주기에 적응하는 양식광어의 생식소 발달

광어가 성숙란을 포란하는(알배기과정) 산란시기를 대부분 거치게 되어 산란시기 후 면역력 저하와 체중 감소로 폐사율 증가와 상품성이 떨어지는 애로사항을 겪고 있다. 이를 해소하기 위해 광어의 생식소 휴지기 상태를 지속적으로 유지하는 광주기 조건에 적응시켜 알배기 과정 없이 건강한 광어를 생산하였다 (그림 8, 김 등 2013).

5. 참고문헌

- 김익수, 최윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현. 2005. 한국어류대도감. (주) 교학사.
- 김성훈, 이치훈, 김형배, 이영돈. 2011. 바리과 어류의 수정 전·후 난문과 정자의 형태학적 연구. 수산공동학술대회 발표요약집, 부산, 2011.5. pp. 252.
- 이영돈, 이택열. 1987. 자리돔의 생식주기에 관한 연구. 한국수산과학회지. 20: 509-519.
- 이영돈, 고환봉, 김형배, 박인석, 이정재. 1993. 자성선숙어(proto gynous fish)의 성전환. 제주대학교 해양연보. 17: 115-127.
- FAO. 1993. FAO Species Catalogue Vol. 16. Groupers of the World. PP. 1-10. FAO Rome.
- Kim BH, Lee CH, Hur SW, Hunr SP, Kim DW, Suh HL, Kim SY, Lee YD. 2013. Long photoperiod affects gonadal development in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Dev. Rerpord. 17: 241-246.
- Kim SH, Lee CH, Song YB, Hur SW, Kim BH, Lee YD. 2013. Ultrastructure of late spermatids and spermatozoa during spermiogenesis in longtooth grouper *Epinephelus bruneus* from Jeju, Korea. Tissue & Cell. 45: 261-268.
- Oh SB, Lee CH, Kim BH, Hur SP, Boo MS, Baek HJ, Kim HB, Soyano K, Lee YD. 2016. Early onset of puberty at elevated rearing water temperature in red spotted grouper, *Epinephelus akaara*. In: Proc. 8th International Symposium on Fish Endocrinology. Sweden, 28 Jun ~ 2 Jul, 2016, pp 94.

■ abstract

Features and Values of Marine Bioresources of Jeju:

Reproductive features and use of damselfish, wrasses, groupers, and olive founder

Young-Don Lee

Chi-Hoon LEE

Marine Science Institute

Jeju National University

This study examines the application of data on the ecological features of the reproduction of damselfish (*Chromis notata*), wrasses, groupers including red spotted grouper (*Epinephelus akaara*), Dageumari (*Niphon spinosus Cuvier* (i.e. longtooth grouper (*E. bruneus*)), Gumunjaengi (i.e. seven-band grouper (*E. septemfasciatus*)), and cultured olive founder (*Paralichthys olivaeus*), all of which inhabit coastal areas of Jeju (the island off the southern tip of the Korean Peninsula).

Damselfish caught in the seas off the coast of Jeju are classified as a summer-spawning species that begin to develop their gonads in May (with lengthening daytime hours and rising water temperatures) and mostly spawn in July. After the male creates the spawning ground, the female lay eggs in rocky or pebbled areas in order for the eggs to remain stationary. The male then releases its sperm over the immobile eggs for fertilization. The reproductive ecology of damselfish is remarkable in that the male guards the spawning ground until the fry finally hatch.

Wrasses such as *Pteragogus flagellifer*, *Halichoeres poecilopterus*, and *Halichoeres tenuispinis* feature reproduction that takes place in the summer months much like that of damselfish. Another wrasse called *Pseudolabrus sieboldii* is an autumn-spawning species that breeds from October to November. Wrasses are known for their sexual characteristic of being protogynous hermaphrodites, which grows as females until their genital organs change into that of a male. Notably, the *Pseudolabrus sieboldii* has two different types of male: the initial phase male (originally born as male) and the terminal phase male (born as female and later changing into a male).

Groupers are found in many areas across the globe, and feature 159 species in total. Of them, 12 species inhabit the Jeju Seas, including the longtooth grouper (*E. bruneus*), seven-band grouper (*E. septemfasciatus*), red spotted grouper (*E. akaara*), and blacktip grouper (*E. fasciatus*). Like wrasses, groupers are also protogynous hermaphrodites and spawn in the summer. In terms of maturation, after hatching they can become adults in three years at the earliest or in five to seven years at the latest. Naturally, mostly males experience sex reversal from being females. The adaptive features of maturation apply to the aquaculture of red spotted grouper, resulting in the all-year-round production of fertilized

eggs and healthier fry that are exported to other countries.

Cultured olive flounder (*Paralichthys olivaeus*) is one of the Jeju's agri-fishery products that boasts world-class quality, taking up 50% of the national total yield. Jeju has seen a steady growth in the export of cultured olive flounder to Japan, the US, and many Southeast Asian countries. The recent production trend represents the preference of large-sized olive flounder weighing 2kg. During production, however, most fish undergo the breeding period when they brood (or incubate) matured roe. Fish with decreased immunity and weight loss after brooding result in such problems as an increased mortality rate or diminished commercial value. Since olive flounder's ecological feature is such that they can easily adapt to new aquaculture conditions, this offers a solution to the afore-mentioned problems. A photoperiodic adjustment is adopted to create a time of diapause of developing gonads, which leads to no roe incubation and helps culture healthier fish.