

## Note

**Chuuk Lagoon에 서식하는 흑진주조개, *Pinctada margaritifera*  
(Linnaeus 1758)의 2003년 하계 생식소 발달 및 산란 특성**

강도형<sup>1</sup> · 박흥식<sup>2</sup> · 이순길<sup>3</sup> · 최광식<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>제주대학교 해양과학부  
(690-756) 제주시 아라1동 제주대학로 66번지  
<sup>2</sup>한국해양연구원 해양환경연구본부  
<sup>3</sup>한국해양연구원 해양자원연구본부  
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호

**Reproductive Condition of the Tropical Blacklip Pearl Oyster,  
*Pinctada margaritifera* (Linnaeus 1758) from Chuuk Lagoon,  
Federated State of Micronesia during the Summer Months in 2003**

Do-Hyung Kang<sup>1</sup>, Heung-Sik Park<sup>2</sup>, Soon-Kil Yi<sup>3</sup>, and Kwang-Sik Choi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*School of Applied Marine Science, College of Ocean Science,  
Cheju National University, Jeju 690-756, Korea*

<sup>2</sup>*Marine Environment Research Department, KORDI*

<sup>3</sup>*Marine Resources Research Department, KORDI  
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*

**Abstract :** Reproductive condition of the tropical blacklip pearl oyster, *Pinctada margaritifera* collected during the period July through September 2003 from Chuuk Lagoon, Federated State of Micronesia was investigated using histology. The level of gonad development for each pearl oyster was determined with an average score of five microscopic fields, and the average score was used as the maturity index (MI). All wild pearl oysters collected in July did exhibit fully ripe eggs in their ovaries (45~50  $\mu$ m in diameter), indicating that they were ready for spawning. In mid August, most wild pearl oysters were in spawning and MI dropped dramatically from mid- to late September, suggesting that the wild pearl oyster completed spawning during this period. In contrast, the cultivated pearl oysters collected in mid-September held ripe eggs in the ovaries and only a few of them spawned, indicating that gonad maturation of the cultivated pearl oyster was somewhat slower than that of the wild pearl oyster in Chuuk Lagoon during the summer period. Histological analysis also indicated that spawning of the pearl oyster is rather incomplete and they may spawn continuously during summer.

**Key words :** 흑진주조개(Tropical blacklip pearl oyster), *Pinctada margaritifera*, 번식(reproduction), 산란(spawning), 축(Chuuk), 마이크로네시아(Micronesia)

\*Corresponding author. E-mail : skchoi@cheju.ac.kr

## 1. 서 론

흑진주조개(*Pinctada margaritifera*) 양식을 근간으로 한 흑진주 생산은 남태평양 도서 국가에서 가장 중요한 산업 중 하나이다. 흑진주조개는 캘리포니아 연안과 지중해, 홍해, 인도 태평양 지역 등 전세계적으로 폭넓게 분포하며, 주로 남태평양 주변 환초에 풍부하게 분포한다(Sims 1994). 특히 폴리네시아의 흑진주 산업은 최근 30년간 빠른 속도로 발전해 왔으며, 연 평균 6 MT의 흑진주 조개를 생산하고 있다(Fassler 1995). Chuuk Lagoon에서는 현재 흑진주조개 양식이 활발히 이루어지고 있으며, 생산된 조개는 주로 식용이나 기념품 재료로 활용되고 있다. Park et al.(2004)에 의하면 Chuuk Lagoon 내 흑진주조개의 현존량은 0.3개체/100m<sup>2</sup>이며, 이는 진주 생산량이 가장 높은 폴리네시아에 비해 약 30% 정도에 해당한다. 이 지역에서 진주 생산이 가능한 모패의 잠재 현존량은 367,000개체로 추정되고 있다. 그러나 흑진주 생산량의 증가는 흑진주조개 모패의 수요를 급격히 증가시켰으며, 이는 흑진주조개 자원량의 감소를 야기시켰다. 이러한 자연산 흑진주조개 모패의 자원을 보존하기 위하여 Chuuk Lagoon에서는 자연산 흑진주조개의 채취를 금지하고 있는 실정이다.

흑진주 생산을 위한 모패의 안정적 공급은 Chuuk Lagoon의 진주양식 산업에 있어 가장 시급한 일 중의 하나로 간주된다. 현재 Chuuk Lagoon에 있어 흑진주조개의 양식 방법은 자연산 흑진주조개로부터 방출된 부유치패를 채묘하는 자연채묘 방식을 주로 사용하고 있으나, 양식 산업을 위한 충분한 양의 치패를 확보함에 있어 어려움을 겪고 있다(Arnaud-Haond et al. 2003). 따라서 흑진주조개 치패의 안정적 공급을 위하여 인공종묘생산을 통한 치패 생산 필요성이 높게 인식되고 있으나, 생활사 및 번식생리 등에 관한 기초연구 부족으로 흑진주조개의 인공종묘생산은 현재 이 지역에서 아직까지 성공적으로 이루어지지 않고 있다. 흑진주조개는 높은 산업적 가치로 인하여 이 종에 관한 개체군 연구(Service de la Pêche 1970), 환경에 따른 서식밀도(Intes et al. 1986), 먹이 선택성(Yukihira et al. 1999), 유생 성장(Alagarwami et al. 1989; Southgate and Beer 1997) 및 자원량(Zanini and Salvat 2000; Sims 1992) 등의 연구가 수행된 바 있다.

대다수 온대지역의 이매패류는 수온, 먹이 및 서식장소와 같은 환경인자의 영향에 따라 번식주기의 변화를 보인다. 일반적인 이매패류의 연중 번식 주기는 에너지저장, 배우자형성, 산란 그리고 비활성 등의 4단계로 요약되는 계절적 변화를 보인다. 수온이 생식소발달을 촉진 혹은 퇴행시키는 역할을 한다면, 해수 중의 가용 먹이는 산란에 참가하는 성체의 산란량 및 유생의 발달과정에 깊은 영향

을 미친다. 온대지역의 이매패류와 달리 열대지역에 분포하는 흑진주조개는 연중 산란의 양상을 보이나 주 산란기는 수온이 높은 여름과 초가을로 보고되고 있다(Pouvreau et al. 2000a, b). 그러나 열대지역에 분포하는 이매패류의 번식에 관한 연구는 온대지역의 이매패류에 비하여 매우 빈약하며, 이에 따라 열대 이매패류의 번식전략이나 생리에 관한 정보는 절대적으로 부족한 실정이다.

북반구에 위치한 마이크로네시아의 Chuuk Lagoon에서 서식하는 흑진주조개 개체군의 연중 생식소발달과 산란 특성은 개체군동태 및 자원의 효율적 관리에 있어 매우 중요한 자료이다. 그러나 이러한 중요성에도 불구하고 흑진주조개의 서식지역별 번식생물학적 특성에 관한 연구는 전무한 실정이다. 그러므로 이 연구의 목적은 조직학적 관찰과 생식소발달 상태를 기초로 Chuuk Lagoon에서 모패로 양성된 *P. margaritifera*의 생식소발달 특성을 파악하는데 있으며, 향후, 양식산 흑진주조개의 인공종묘생산 위한 기초정보를 제공하는데 있다.

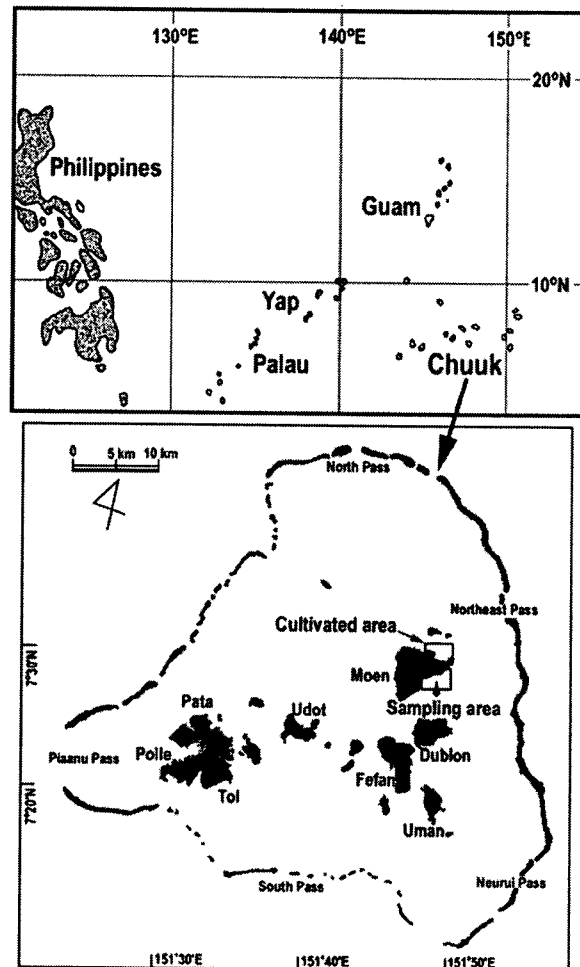


Fig. 1. Map showing the sampling area.

## 2. 재료 및 방법

### 연구 해역

Chuuk Lagoon은 마이크로네시아 연방에 속하며, 팜으로부터 남동방향으로 약 1,000 km 떨어진 곳에 위치한다 (Fig. 1). Chuuk Lagoon은 225 km에 달하는 환초로 구성되어 있으며, 면적은 2,129 km<sup>2</sup>에 이른다. Lagoon의 안쪽은 14개의 망그로브 숲으로 둘러싸인 화산기원 섬이 분포하며, 14개의 작은 환초들이 산재하고 있다. 연평균기온은 26~35°C, 수온은 28~31°C 범위를 나타낸다(Cole *et al.* 1999). 일년 중 5월과 7월 사이에 무풍기후를 나타내며, 이 시기에 플랑크톤 대번식이 발생하여 해수의 탁도가 상대적으로 높다. 국지적으로 강한 비가 내려 연간 3,525 mm의 강수량을 나타내고, 겨울철에는 건조한 날씨가 지속된다(NOAA 1997). 태풍은 거의 발생하지 않아 해안선을 따라 산호초가 발달해 있으나 최근 들어서는 기후변동에 따른 해수면 상승으로 인해 강한 파도와 조류가 발생하여 환초 내부에 외양성 해수가 유입되어 Lagoon 안쪽으로 높은 탁도를 나타내기도 한다.

### 시료채취 및 처리

실험에 사용된 흑진주조개들은 자연에서 서식하는 개체들과 양성용인 개체들을 이용하였다. 자연산 흑진주조개들은 마이크로네시아의 Chuuk Lagoon (7°25'N, 151°47'E, Fig. 1)에서 서식하는 개체들로서 수심 2~5 m에서 SCUBA를 이용하여 채집하였다. 자연산인 경우, 2003년 7월부터 9월까지 월 별 5~10개체씩 총 35개체를 채집하였다. 양성용 흑진주조개들은 흑진주 생산 계획에 따라 이 연구의 자연산 채집 지역과 동일한 지역에서 채취한 개체들을 수심 3~4 m의 채롱식 연승수하 시설에서 양성한 핵삽입 예비 실험용 모패들이다. 채집된 양성용 흑진주조개들은 채롱으로 이식 후 6개월이 지난 개체들로서 8월 19일, 9월 9~13일, 23~27일에 각각 5개체씩 총 55개체 채집하였다. 이후 채집된 두 지역의 흑진주조개들을 대상으로 시기별 생식소 발달 정도, 성숙 및 산란특성을 조사하였다.

채집된 흑진주조개는 각장, 각고 및 각폭(shell length,

height and width in mm)과 폐각을 포함한 전중량 및 습중량(g)을 측정 후 조직학적 관찰을 위해 몸통(body)의 정 중앙에서 횡단면으로 절단하여 Bouin's solution에 고정하였다.

### 생식세포의 관찰 및 분석

생식소 관찰을 위한 조직 슬라이드는 에틸알콜을 이용하여 탈수한 뒤 파라핀에 포매하였다. 포매된 조직 시료는 마이크로톰을 사용하여 5  $\mu$ m 두께로 절단하여 절편을 제작한 후, Harris' Hematoxylin과 Eosin Y 용액을 사용하여 염색하였다(Howard and Smith 1983; Kang *et al.* 2003; Ngo *et al.* 2003). 흑진주조개의 연중 생식세포의 발달 상태 및 형태적 특징은 광학현미경을 이용하여 관찰하였다. 현미경상에 나타난 생식소의 발달은 크게 성숙기(ripe stage), 부분산란기(spawning/partially spawned stage) 및 소모기(spent stage) 등 3단계로 구분하였으며, 그 기준은 Table 1과 같다. 조직슬라이드 상의 생식소에는 서로 다른 발달 단계의 배우자들이 나타나므로 조직슬라이드 분석에 있어 일반적인 평가 방법인 임의의 지역 관찰을 통해 각 발달 단계의 시기별 출현빈도와 각 개체별 생식소 성숙지수는 다음의 방법으로 산정하여 시기별 전체 채집 개체에 대한 생식소의 변화 및 산란 특성을 비교하였다(Howard and Smith 1983; Kang *et al.* 2003).

1. 각 생식소 발달 단계의 출현빈도(Frequency of each stage, %): 개체별 생식소 내 임의의 5지역을 대표하는 각 발달 단계의 계수 횡수와 전체 계수합의 비율
2. 생식소 성숙지수(maturity index, MI): 개체에 따른 각 발달 단계별 계수 횡수와 동일 발달 단계의 numerical score (Table 1)를 곱하여 구한 값들의 평균값

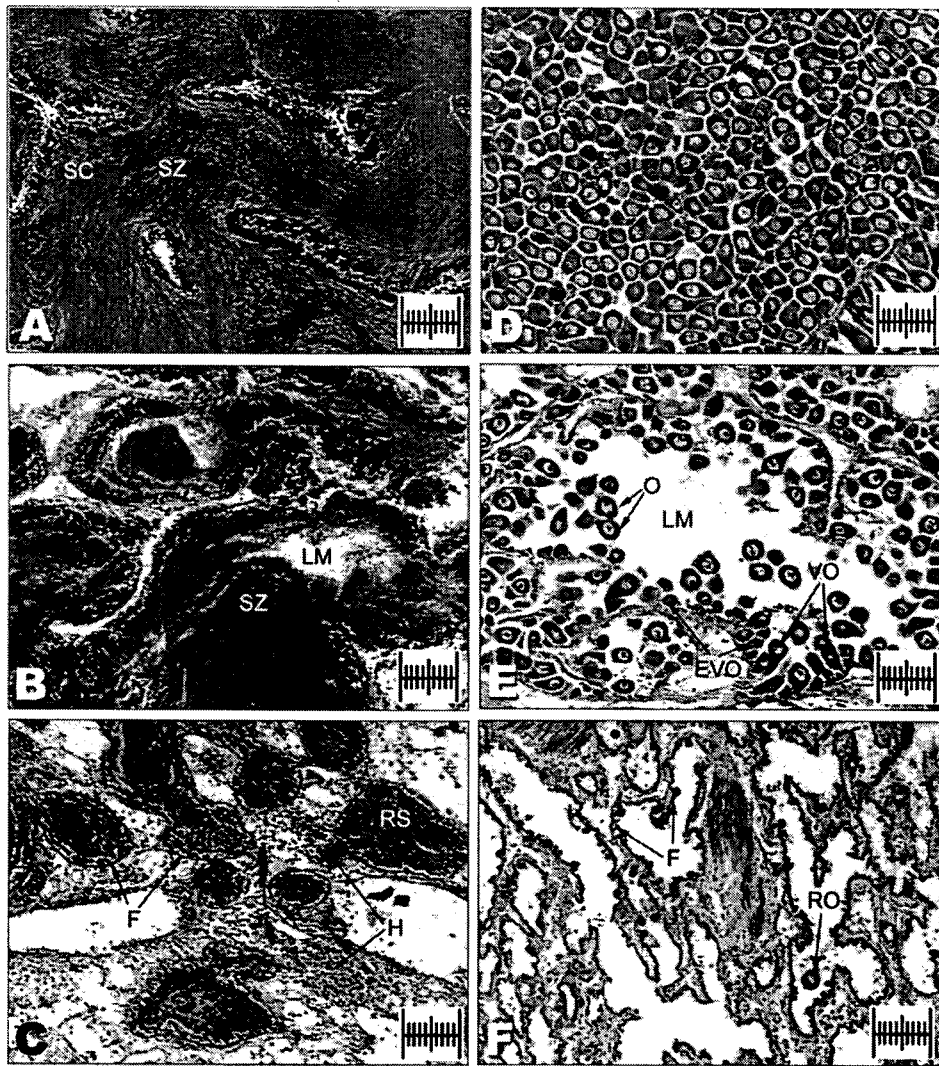
## 3. 결 과

### 생식소 및 배우자 발달단계

Fig. 2는 흑진주조개 정소와 난소의 생식소변화를 나타내고 있다. 성숙기의 정소는 2003년 8월에 채집된 개체로

Table 1. Classification of *P. margaritifera* gonad developmental stages (I-III) with each numerical score.

Developmental stages	Numerical score	Histological description
Ripe (I)	3	Most gametes are mature; prespawning gonads are filled with closely packed gametes and little connective tissues are remaining.
Spawning/partly spawned (II)	2	Partly spawned gametes are loosely packed with spaces vacated by spawned gametes; reduced number of mature gametes; some mature gametes still remaining.
Spent (III)	1	Spent gonads have thin walls, and relict gametes still remaining. Evidence of renewed reproductive activity.



**Fig. 2.** Photomicrographs of the gonads of *P. margaritifera*. A~C: testes, D~F: ovaries. (A) Ripe stage: ripe testes filled with spermatocytes (SC) and spermatozoa (SZ), and largely devoid of nutritive tissue. (B) Spawning/partially spawned stage: partially spawned testes with spaces vacated by spawned SZ. (C) Spent stage: spent testes appear to be partly devoid of content, although relict SZ (RS) and hemocytes (H) are present. (D) Ripe stage: ripe ovary packed with ripe oocytes and a thin layer along follicle wall (F). (E) Spawning/partially spawned stage: partially spawned ovaries with loosely packed mature oocytes. Some early vitellogenic oocyte (EVO) and vitellogenic oocyte (VO) still remain. (F) Spent stage: spent ovaries largely devoid of relict ova (RO). Scale bar: 100  $\mu\text{m}$ .

부터 관찰되었다(Fig. 2-A). 정소소엽은 성숙한 정자(spermatozoa, SZ)로 가득 채워지고, 정자의 축적으로 소엽 내부가 발달 및 확장되었으며, 일부 개체에서는 산란기에 일부 정자의 방출이 일어나 소엽 내의 빈 공간(lumen, LM)이 형성되고 방출되지 않은 정자들이 잔존하였다(Fig. 2-B). 소엽 내 빈 공간에는 방출되지 않은 정자들이 남아 있었다. 한편, 2003년 9월 말에 채집한 개체의 산란 후 모습으로 정자의 방출에 의한 빈 공간이 많이 관찰되며 방

출되지 않은 정자들이 남아 있다(Fig. 2-C). 위 두 단계와 비교했을 때 소엽의 부피가 상당히 줄어들었음을 알 수 있었다.

2003년 8월에 채집된 개체에서는 다각형 모양을 나타낸 알(ripe oocytes)을 포함하고 있으며, 성숙기 난의 크기는 평균직경이 40~50  $\mu\text{m}$  정도로 소엽을 가득 채웠고, 난 내부에 핵이 관찰되었다(Fig. 2-D). 한편, 2003년 9월 초에 채집된 개체의 경우 산란기의 흑진주조개 암컷의 생식소

Table 2. Summary on total number of the pearl oysters, biometric data with standard deviation (SD), and MI with percentage of developmental stages used for histology at each sampling dates. SL: shell length, SH: shell height, SW: shell width, TWW: tissue wet weight, MI: maturity index.

Pearl oysters	Sampling date	Number	Measurement (Average ± SD)				Frequency of each stage (%)			MI
			SL	SH	SW	TWW	Ripe	Spawning/ Partially spawned	Spent	
Wild	29 Jul.	5	13.57 ± 0.76	13.71 ± 1.36	3.57 ± 0.22	52.67 ± 9.70	48.0	52.0	0.0	4.1 ± 0.6
	14 Aug.	10	12.94 ± 1.42	12.55 ± 2.04	2.98 ± 0.77	49.51 ± 10.66	64.4	31.1	4.4	3.9 ± 1.5
	10 Sep.	10	11.85 ± 1.27	11.94 ± 1.21	3.12 ± 0.60	35.73 ± 10.19	31.6	41.1	27.4	2.6 ± 0.5
	25 Sep.	10	13.34 ± 1.95	13.53 ± 2.76	3.73 ± 0.74	52.96 ± 28.09	2.0	54.0	44.0	2.6 ± 0.7
Cultivated	19 Aug.	5	11.94 ± 1.02	13.17 ± 0.64	3.52 ± 0.58	48.84 ± 12.68	25.0	65.0	10.0	3.6 ± 0.6
	09 Sep.	5	14.17 ± 0.88	14.34 ± 1.17	3.74 ± 0.59	54.54 ± 8.44	36.0	48.0	16.0	3.7 ± 0.8
	10 Sep.	5	13.33 ± 0.96	13.36 ± 0.95	3.45 ± 0.16	47.60 ± 6.76	20.0	80.0	0.0	3.7 ± 0.6
	11 Sep.	5	14.71 ± 1.24	15.16 ± 1.24	3.95 ± 0.62	80.77 ± 30.05	0.0	64.0	36.0	2.7 ± 0.6
	12 Sep.	5	14.69 ± 1.48	15.37 ± 1.75	4.17 ± 0.29	77.94 ± 13.88	0.0	32.0	68.0	2.2 ± 0.7
	13 Sep.	5	13.96 ± 0.20	14.38 ± 0.69	3.59 ± 0.20	68.40 ± 8.99	24.0	76.0	0.0	3.7 ± 0.4
	23 Sep.	5	15.96 ± 0.74	16.99 ± 1.29	4.40 ± 0.20	86.44 ± 23.11	12.0	64.0	24.0	3.1 ± 0.9
	24 Sep.	5	15.22 ± 1.02	16.65 ± 1.77	4.27 ± 0.69	65.00 ± 8.84	8.0	48.0	44.0	2.7 ± 1.0
	25 Sep.	5	13.35 ± 1.04	13.81 ± 0.84	9.72 ± 0.40	51.94 ± 7.39	28.0	72.0	0.0	3.8 ± 0.6
	26 Sep.	5	13.91 ± 1.11	14.16 ± 1.29	3.74 ± 0.23	58.04 ± 15.08	0.0	24.0	76.0	2.1 ± 0.6
	27 Sep.	5	14.55 ± 1.81	13.95 ± 1.61	3.60 ± 0.51	56.76 ± 27.82	16.0	64.0	20.0	3.3 ± 0.6

모습을 분명하게 보였으며, 산란이 이루어진 모습을 나타냈다(Fig. 2-E). 난소소엽에는 방란 후의 성숙난이 존재하며, 방란에 의한 빈 공간이 관찰되었다. 이 때의 난소는 성숙기의 난소와 비교했을 때, 소엽의 크기는 변화가 없으나 성숙한 알들이 존재하던 부분의 감소를 시각적으로 분별할 수 있을 만큼 알들의 방출이 많은 시기로 보여진다. 특히, 산란 후 개체의 생식소로서 성숙난과 초기 성장하는 초기난황형성난모세포(early vitellogenic oocyte, EVO), 난황형성난모세포(vitellogenic oocyte, VO) 및 비어있는 소엽 공간 등이 관찰되었다. 2003년 9월 말에 채집한 개체들의 생식소는 소모기 상태를 나타냈다(Fig. 2-F). 소엽에는 잔존 난(relict ova, RO)이 일부 관찰되었지만 일부 영양세포를 제외하고는 소엽이 거의 비어있는 상태로 나타났다. 또한 성숙기나 산란기의 난소소엽을 비교했을 때, 소엽의 크기는 상대적으로 많이 수축하고 퇴화되어 모든 산란 활동이 끝났음을 나타내고 있었다. 한편 잔존 난들의 혈구들에 의한 식세포현상은 관찰할 수 없었다.

자연산과 양성용 흑진주조개의 산란 특성

Table 2는 실험에 사용된 시료들의 개체수, 크기, 무게, 생식소의 발달단계에 따른 출현빈도 및 생식소 성숙 지수를 나타낸 표이다. 자연산 개체들에 비해 모패로서 안정되게 관리한 양성용 개체들의 크기 및 무게가 상대적으로 크게 나타났지만, 양성용 개체들의 크기에 대한 습중량의

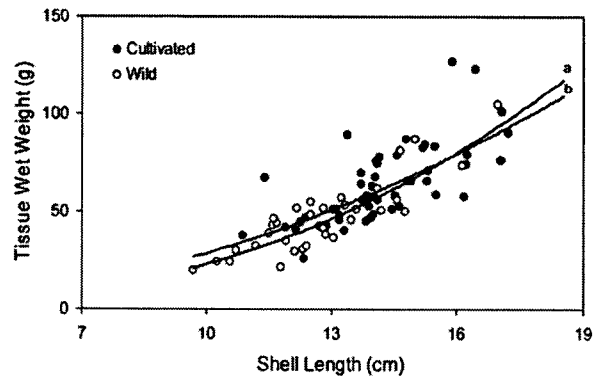


Fig. 3. Relationship between shell length (L) and tissue wet weight (W) of the pearl oysters collected from different area. Wild (a):  $W = 0.0525 \times L^{2.6426}$  ( $r^2 = 0.7358$ ), Cultivated (b):  $W = 0.1961 \times L^{2.1657}$  ( $r^2 = 0.5133$ ).

편차는 자연산에 비해 높고, 상관계수는 오히려 낮게 나타났다(Fig. 3). 자연산 흑진주조개 중 9월 25일에 채집한 개체들의 습중량은 다른 시기보다 더 무거웠지만 습중량의 편차는 컸다. 양성용 흑진주조개의 습중량은 9월 11일과 23일이 다른 시기에 비해 높았으나 이 때 또한 습중량 편차가 컸으며, 12일, 23일, 26일 및 27일에 채집한 개체들의 습중량 편차도 컸다. 이러한 시기별 습중량 편차의 차이는 흑진주조개 체중의 증감을 의미한다.

자연산 각 개체의 채집 시기별 생식소에 대한 현미경 관찰 결과, 7월 말에 채집한 개체들은 성숙한 생식소와 부분 방출기의 현상이 약 50%씩 나타났다. 그러나 8월 중순에는 생식세포의 성숙이 약 64%로서 7월 말보다는 다소 높았으며, 상대적으로 산란은 줄어들었다(31%). 9월 중순에는 산란하는 개체들(41%)과 소모기의 개체들(27%)이 상대적으로 늘어나는 경향을 보였다. 9월 말에는 성숙한 개체들이 약 2% 밖에 나타나지 않아 산란이 마무리 되고 있는 경향을 보였다. 8월 중순에서 9월 말까지 성숙한 개체는 약 62% 감소했고, 산란중인 개체(23%)와 소모기의 개체들은 약 40% 증가했다. 자연산 개체들의 생식소 성숙지수는  $2.6 \pm 3.3 \sim 4.1 \pm 4.7$ 의 범위였고, 7월 29일의 개체들에서 가장 높았다가 9월로 가면서 낮아져 9월 25일의 개체들에서 가장 낮은 값을 나타냈다. 생식소 성숙지수가 높은 것은 성숙기의 특징을 보여주는 것이고, 낮아질수록 소모기의 개체들이 많다는 것을 의미하므로 각 생식소 발달 단계별 출현빈도와도 잘 부합하였다.

양성용 흑진주조개의 경우, 각 개체의 채집시기별 생식소에 대한 현미경 관찰 결과, 8월 중순에는 생식세포의 성숙(25%), 부분산란(65%) 및 소모기(10%)의 현상이 부분적으로 일어났고, 9월 중순과 9월 말로 갈수록 소모기가 증가하는 경향을 나타냈다. 9월 말에 이르러서는 8~28%만이 성숙한 생식소로 관찰됐다. 8월 중순에서 9월 말까지 성숙한 개체들과 산란중인 개체들은 감소했고, 소모기의 개체들은 증가했다. 양성용 개체들의 생식소 성숙지수는  $2.1 \pm 2.5 \sim 3.8 \pm 4.4$ 의 범위였고, 각 생식소 발달단계에 따른 출현빈도에서 볼 수 있듯이 9월에 채집한 양성용 흑진주조개들은 9월 중순과 말에 약 3년의 부분산란을 하는 것으로 관찰됐다.

Table 2의 각 채집 시기별 중량의 편차와 조직학적 관찰 결과를 비교해 볼 때, 중량의 편차가 클수록 생식소 발달 단계 부분산란기와 소모기의 출현빈도가 높고, 생식소 성숙지수는 낮았다. 또한 Chuuk Lagoon에서 2003년 7월부터 9월까지 양식산과 자연산을 채집하여 흑진주조개 개체들의 생식소를 조직학적 방법을 이용하여 분석한 결과, 모든 개체에서 성숙난과 정자를 보유하고 있었으나, 자웅동체는 없었다. 전체 채집 기간에 걸쳐 자연산과 양성용 개체들의 생식소는 성숙, 산란 및 소모기까지 존재하며 9월 말에 산란이 줄어드는 것으로 관찰됐다.

#### 4. 고 찰

##### 흑진주조개 개체군의 성숙

진주조개의 연구는 1910년대 해산 진주 양식이 본격 진행됨과 동시에 모패 생태 연구와 더불어 진행되었다. 주로 백색 진주를 생산할 수 있는 *P. fucata* 또는 *P.*

*maxima*를 대상으로 연구가 진행되었으며, 흑진주조개의 경우 1950년대부터 시작되었지만 초기 발생과 생식소 발달에 관한 연구는 국지적으로 진행되고 있는 실정이다 (KORDI 1988). 흑진주조개의 번식생물학적 특성 파악을 위한 이 연구에서도 현장에서의 개체군 채집과 자연산 모패 확보의 어려움으로 인하여 하계(7~9월)를 대상으로 실시하였다. Pouvreau et al.(2000a)은 폴리네시아에 서식하는 흑진주조개는 물리적으로 안정된 열대 지역에 서식하므로 배우자 생산에 필요한 충분한 에너지가 공급될 경우 연중 산란할 수 있는 생식소의 상태를 나타낸다고 보고하였다. 또한 흑진주조개의 주 산란 시기는 여름철인 7~9월 사이라고 보고되고 있다(Gervis and Sims 1992). 지역적으로 차이가 있긴 하지만 본 조사 기간인 7~9월 흑진주조개의 생식소 상태도 성숙과 산란이 동시에 일어나는 것을 고려했을 때, Chuuk Lagoon에 서식하는 흑진주조개의 주 산란시기는 여름철인 9월로 생각된다.

또한 폴리네시아의 경우 2년 정도 성장하여 개체 각각의 크기가 평균 120~130 mm 정도 이르는 개체가 완전 성숙을 하는 것으로 나타났다(Pouvreau and Prasil 2001). 작은 개체로 성장한 종류의 경우 1년생도 성숙은 이루어 지기도 한다(Friedman and Southgate 1999). 이 연구에 사용된 흑진주조개들의 크기는 110 mm 이상인 개체들로서 조직학적 관찰 결과에서도 모든 개체에서 활성화된 생식소가 관찰되었다. 따라서 성숙단계를 평가하는데 있어 조직학적 방법 뿐만 아니라 이 연구에서 수행하지 못한 생식소의 크기 및 중량을 비교할 경우, 각장에 대한 성숙의 정도를 비교할 수 있다고 판단된다. 한편 흑진주조개의 경우 초기 성비는 환경과 조건에 따라 변하고 있지만, 성체가 되면서 개체군 내에서 1:1을 유지한다고 보고되고 있다(Gervis and Sims 1992). 이번 실험에서 채집된 흑진주조개의 개체수는 개체군 성비를 파악하는데는 충분한 양의 시료로 판단되지 않으나, 자웅동체 현상이 없었고 이전 연구와 비교했을 때 유사한 경향을 보였다.

##### 흑진주조개의 하계 산란 패턴

양성모패의 8월 시료에서 나타난 활성화된 정자들은 소용돌이 모양을 하고 있어 방출이 임박했음을 시사하였다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 성숙한 정자들은 소엽의 가운데에 대부분 위치하나 아직까지 성숙하지 않은 정모세포들은 소엽벽 가까이에서 띠를 형성하여 존재하였다. 이러한 결과를 대비해 볼 때 Chuuk Lagoon에서 서식하는 흑진주조개에서는 8월 시료에서 정소가 성숙기의 정소와 비교했을 때, 소엽의 크기는 변화가 없으나 성숙한 정자들이 존재하던 부분의 감소를 시각적으로 분별할 수 있을 만큼 정자의 방출이 많은 시기임을 알 수 있다. 이러한 양상은 난소에서 나타나는데, 알들이 다각형 모양을 한 이유는 성숙

했다는 것을 의미하며 소엽 내 공간이 없을 만큼 많은 알들로 구성되어 있다. 소엽벽은 시각적으로 구분을 할 수 없을 만큼 얇아져 난소의 대부분이 난으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 이후 2003년 9월 초순 채집된 시료에서 성숙 난 방출이 관찰되어 산란 활동이 이루어졌음을 알 수 있다. 또한 성숙 난의 방출에 의한 소엽 내 빈 공간들이 많이 관찰되었다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 양성용 모패의 각 크기별 습중량의 편차가 자연산에 비해 크고, 상관계수가 낮은 이유는 9월에 채집한 양성용 흑진주조개의 개체수와 연관된 현상일 수도 있으나, 실험에 사용된 양성용 흑진주조개 모패의 크기와 무게는 자연산 개체들에 비해 상대적으로 컸으나, 습중량 편차가 컸으므로(Table 2), 조직학적 관찰 결과와 대비하여 고려했을 때 배우자 방출에 의한 체중 감소가 주 원인으로 추정되어 산란 활동과 직접적인 연관이 있는 것으로 보인다.

이 연구에 있어 하계에 채집된 양성용 흑진주조개들과 직접 채집한 자연산 개체들은 암수 모두 동시다발적인 방란 방정 패턴을 나타냈고, 채집 기간 내내 성숙과 산란을 반복하는 지속적인 산란 패턴을 나타냈다. 이러한 점에서, 짧은 시기의 채집에도 불구하고 Chuuk에 서식하는 *P. margaritifera*도 지속적인 연중 산란종으로 분류했던 Pouvreau *et al.*(2000a, b)의 견해와 일치하는 것으로 보인다. 지속적인 연중 번식패턴은 *Pinctada* 종에서의 일반적인 현상이다(Gervis and Sims 1992). Pouvreau *et al.*(2000a, b)은 채집지역의 낮은 먹이용성에도 불구하고 빠른 성장과 연중 성숙한 생식소를 가진 이유는 지속적인 산란준비를 위한 것이며 이는 *P. margaritifera*의 번식전략이라고 보고하였다. 그러므로 이번 연구에서 나타난 흑진주조개의 주된 번식패턴은 수온이 높은 계절 동안 일어났고 이는 남반구에 서식하는 열대성 이매패류의 번식을 조사한 연구들과 전반적으로 일치하는 것으로 보인다(Garcia-Dominguez *et al.* 1996; Grant and Creese 1995). 또한 자연산과 양성모패들 모두 9월 중순과 9월 말로 갈수록 소모기(40%)가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 흑진주조개의 경우, 연중 산란이 가능하도록 산란 후에도 생식소의 약 60% 정도만이 방출되고 나머지는 체내에 유지하고 있으면서 다시 영양상태에 따라 배우자 형성을 시도한다고 보고한 Bullivant(1962)의 연구와 일치하는 것으로 보인다. 이 연구에 있어서 양성모패와 자연산 개체들 모두 전체 채집기간동안 성숙과 산란이 일어났으며, 9월 말에 산란이 줄어드는 것으로 관찰됐다. Chuuk Lagoon에서 2003년 7월부터 9월까지 양성모패와 자연산을 채집하여 흑진주조개 개체들의 생식소를 조직학적 방법을 이용하여 분석한 결과, 모든 개체에서 성숙난과 정자를 보유하고 있었다. 전체 채집 기간에 걸쳐 양식산과 자연산 모두 성숙난이 존재하고 산란과 소모기까지 존재하는 것으로 비추

어 볼 때 이 때가 흑진주조개의 산란 시기인 것으로 추정된다. 또한 흑진주조개의 여름철 번식패턴을 조직학적 발달과정과 관련 지어서 보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 첫째, 같은 생식소의 소엽 내 난모세포들은 동일한 시기에 동일한 발달단계를 나타내는 것은 아니었다. 둘째, 9월의 양성용 흑진주조개 생식소 발달패턴의 경우(Table 2)처럼 배우자형성과정이 성숙과 산란 기간 사이가 빠르고 활동적이었다는 Lefort and Clavier(1994)의 연구와 유사하였다. 셋째, 산란은 전체 배우자들을 모두 산란하지 않는 불완전형이었으나, Gervis and Sims(1992)가 관찰한 잔존 배우자의 재흡수과정은 관찰하지 못하였다. 이는 여름철의 짧은 채집기간동안 도출한 결과이므로 재흡수과정이 관찰되지 못했을 수 있다. 그러므로 향후 연중 채집에 의한 개체들의 생식소분석을 통해 산란하지 않은 성숙난의 체내 현상을 밝혀 에너지저장 및 배우자형성의 관계를 심도있게 분석할 필요가 있을 것으로 생각된다. 또한 Chuuk Lagoon 연안의 연중 환경인자 분석을 통해 흑진주조개의 성숙과 산란 과정을 서로 비교하고, 흑진주조개 번식과 관련된 주요 인자들을 밝혀 내는 것이 흑진주 생산을 위한 기초연구에 있어 중요한 고려 사항인 것으로 생각된다.

## 사 사

이 연구는 해양수산부의 해양수산연구개발과제의 일환으로서 한국해양연구원에서 수행한 “남서태평양 해양생물자원 개발연구”와 관련되었고, 이번 연구와 관련하여 협조해 주신 Chuuk 정부와 Hansmicronesia 관계자들, 한국해양연구원 바다목장센터와 제주대학교 해산무척추동물양식연구실의 연구원들께 감사드립니다. 또한 논문을 정성껏 심사해 주신 두 심사자 분들께도 감사드립니다.

## 참고문헌

- Alagarwami, K., S. Dharmaraj, A. Chellam, and T.S. Velayudhan. 1989. Larval and juvenile rearing of black-lip pearl oyster, *Pinctada margaritifera* (Linnaeus). *Aquaculture*, 76, 43-56.
- Arnaud-Haond, S., V. Vonau, F. Bonhomme, P. Boudry, J. Prou, T. Seaman, M. Veyret, and E. Goyard. 2003. Spat collection of the pearl oyster (*Pinctada margaritifera cumingii*) in French Polynesia: an evaluation of the potential impact on genetic variability of wild and farmed populations after 20 years of commercial exploitation. *Aquaculture*, 219, 181-192.
- Bullivant, J.S. 1962. Direct observation of spawning in the

- blacklip pearl oyster (*Pinctada margaritifera*) and the thorny oyster (*Spondylus* sp.). *Nature*, 193, 700-701.
- Cole, T.G., C.E. Katherine, and N.D. Nora. 1999. Structure of mangrove trees and forests in Micronesia. *Forest Ecol. Manag.*, 117, 95-109.
- Fassler, R. 1995. Farming jewels; new developments in pearl farming. *World Aquacult.*, 26, 4-10.
- Friedman, K.J. and P.C. Southgate. 1999. Growout of blacklip pearl oyster, *Pinctada margaritifera*, on Chaplets in suspended culture in Solomon Islands. *J. Shellfish Res.*, 18, 451-458.
- Garcia-Dominguez, F., B.P. Ceballos-Vazquez, and A.T. Quezada. 1996. Spawning cycle of the pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856), (Pteriidae) at Isla Espiritu Santo, Baja California Sur, Mexico. *J. Shellfish Res.*, 15, 297-303.
- Gervis, M.H. and N.A. Sims. 1992. The biology and culture of pearl oysters (Bivalvia: Pteriidae). *ICLARM Stud. Rev.*, 21, 1-49.
- Grant, C.M. and R.G. Creese. 1995. The reproductive cycle of the tuatua *Paphies subtriangulata* (Wood, 1828), in New Zealand. *J. Shellfish Res.*, 14, 287-292.
- Howard, D. and C. Smith. 1983. Histological techniques for marine bivalve mollusks. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/NEC-25.
- Intes, A., P. Laboute, and M. Coeroli. 1986. Le stock naturel de nacre (*Pinctada margaritifera* L.) dans l'atoll de Scilly (Archipel de la Societe, Polynesie Francaise). *ORSTOM*, 31, 1-38.
- Kang, D.-H. I.-Y. Ahn, and K.-S. Choi. 2003. Quantitative assessment of reproductive condition of the Antarctic clam, *Laternula elliptica* (King and Broderip), using image analysis. *Invertebr. Reprod. Develop.*, 44, 71-78.
- KORDI. 1988. Studies on the seed production of pearl oyster. Korea Ocean Research & Development Institute (KORDI), BSPE00118-178-3.
- Lefort, Y. and J. Clavier. 1994. Reproduction of *Annachlamys flabellata*, *Comptopallium radula* and *Mimachlamys gloriosa* (Mollusca: Pectinidae) in the south-west lagoon of New Caledonia. *Aquat. Living Resour.*, 7, 39-46.
- Ngo, T.T.T., F.C.J. Berthe, and K.-S. Choi. 2003. Prevalence and infection intensity of the ovarian parasite *Marteilioides chungmuensis* during an annual reproductive cycle of the oyster *Crassostrea gigas*. *Dis. Aquat. Org.*, 56, 259-267.
- NOAA. 1997. Rainfall data, Chuuk 1935-1990. Available from WWW: <<http://www.ncdc.noaa>> [cited 2005-03-11].
- Park, H.S., S.K. Yi, K.S. Won, and R.S. Kang. 2005. Spatial distribution and natural stocks of black-lip pearl oyster, *Pinctada margaritifera* in Chuuk Lagoon, Federated State of Micronesia. *J. Shellfish Res.*, in press.
- Pouvreau, S. and V. Prasil. 2001. Growth of the black-lip pearl oyster, *Pinctada margaritifera*, at nine culture sites of French Polynesia: synthesis of several sampling designs conducted between 1994 and 1999. *Aquat. Living Resour.*, 14, 155-163.
- Pouvreau, S., A. Gangnery, J. Tiapari, F. Lagarde, M. Garnier, and A. Bodoy. 2000a. Gametogenic cycle and reproductive effort of the tropical blacklip pearl oyster, *Pinctada margaritifera* (Bivalvia: Pteriidae), cultivated in Takapoto Atoll (French Polynesia). *Aquat. Living Resour.*, 13, 37-48.
- Pouvreau, S., C. Bacher, and M. Héral. 2000b. Ecophysiological model of growth and reproduction of the black pearl oyster, *Pinctada margaritifera*: potential applications for pearl farming in French Polynesia. *Aquaculture*, 186, 117-144.
- Service de la Peche. 1970. Etude sur l'industrie naciere en Polynesie Francaise. Bull. Tech. No. 2. Tahiti. Polynesie Francaise. 34 p.
- Sims, N.A. 1992. Population dynamics and stock management of the black-lip oyster, *Pinctada margaritifera* in the Cook Island, South Pacific. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 43, 1423-1435.
- Sims, N.A. 1994. Growth of wild and cultured black-lip pearl oysters, *Pinctada margaritifera* (L.) (Pteriidae; Bivalvia), in the Cook Islands. *Aquaculture*, 122, 181-191.
- Southgate, P.C. and A.C. Beer. 1997. Hatchery and early nursery culture of the blacklip pearl oyster (*Pinctada margaritifera* L.). *J. Shellfish Res.*, 16, 561-567.
- Yukihira, H., D.W. Klumpp, and J.S. Lucas. 1999. Feeding adaptations of the pearl oysters *Pinctada margaritifera* and *P. maxima* to variations in natural particulates. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 182, 161-173.
- Zanini, J.M. and B. Salvat. 2000. Assessment of deep water stocks of pearl oysters at Takapoto Atoll (Tuamotu Archipelago, French Polynesia). *Coral Reefs*, 19, 83-87.

Received Jun. 3, 2005

Accepted Aug. 30, 2005