

가막만 양식 굴, *Crassostrea gigas* 폐사에 영향을 끼치는 수온의 영향

김철원, 오현주¹, 신윤경¹

한국농수산대학, ¹국립수산과학원

Effects of Water Temperature on The Mass Mortality of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas* in Gamak Bay

Chul Won Kim, Hyun Ju Oh¹ and Yun Kyung Shin¹

Korea National College of Agriculture and Fisheries, 445-760, Korea

¹National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

ABSTRACT

We investigated the factors of mass-mortality in terms of water temperature and prey, in order to prevent the mass-mortality of cultured oysters at Gamak Bay in Yeosu City in 2007. The real-time water temperature was recorded as high, 28 to 31C, during late August. Nutrients, Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN) and Dissolved Inorganic Phosphate (DIP) were downed in September. The analyzed results of chlorophyll a content were 0.78-1.50 μgL^{-1} and phytoplankton for food resources was 81 cells mL^{-1} , both were low. The finding here indicate that Gamak Bay is in an oligotrophic state. The mass-mortality of cultured oysters occurred 43.6% in Gamak Bay. The mortality rate of oyster were above 67.0%, at Wanpo, however, it was showed 18.3% at Gumchun. Therefore, we believe the mass-mortality of cultured oysters at Gamak Bay comes from the destruction of bio-rhythms due to high water temperature and quantitatively and qualitatively decreasing food resources due to the limitation of nutrients.

Key words: *Crassostrea gigas*, mass-mortality, water temperature, nutrients, chlorophyll a

서 론

참굴 (*Crassostrea gigas*) 은 패류양식 산업에서 가장 중요한 종 중 하나이다. 연안 양식어장은 환경변화와 수용력을 벗어난 과밀양식 등에 의해서 생산성이 급격히 감소되고 있는 것으로 보고되고 있다 (Kang *et al.* 2000). 전남 여수에 위치한 가막만에서 990 ha 굴 양식이 이루어지고, 굴의 생산량은 1987년에 84,000톤이었으나 2007년에는 15,000톤으로 크게 감소하였다 (Kim *et al.* 2009). 굴양식장 시설량도 1980년대보다 약 50%정도 감소하여 굴 양식산업이 붕괴 위기에 있다. 이 현상은 불규칙한 강우, 태풍 등의 기후변화와

공업화, 도시화 등에 의한 양식어장의 환경변화로 생산성이 낮아지기 때문이고 본 연구가 이루어진 여수 가막만 해역에서의 양식 굴의 폐사는 매년 50~70% 정도로 보고되고 있다 (NFRDI, 2009).

양식 굴의 생산성은 수온, 염분, 용존산소, 먹이생물 등의 환경요인에 의하여 좌우되며, 양식 굴의 성장과 폐사는 환경요인 중 수온과 먹이생물의 영향을 가장 많이 받는다고 보고되고 있다 (Kobayashi 1997). 수온은 성숙과 먹이섭취활동, 대사 작용 및 에너지 수지에 직·간접으로 영향을 주며, 먹이생물의 양과 질은 성장과 생존에 필요한 에너지 수지 및 번식생리와 분포에 영향을 주는 것으로 보고되고 있다 (Charles *et al.* 1995, Newell and Kofoed 1977). 양식 굴의 생산력도 어장환경과 먹이조건에 영향을 받는다고 보고되었다 (Oh *et al.*, 2002).

가막만의 해양환경과 패류양식에 관하여 수온과 염분 (Lee and Cho 1990), 해수유동패턴 (Lee 1992), 기초생산력 (Cho *et al.*, 1996a), 환경수용력 (Cho *et al.*, 1996b), 빈산소수피 특성 (Kim *et al.*, 2007), 패류생산의 지속적 평가를 위한 에너지 수지 (Oh *et al.*, 2008), 이매패류 군집특성 (Kim *et al.*,

Received: March 27, 2013; Accepted: September 28, 2013
Corresponding author : Chul Won Kim
Tel: +82 (31) 229-5251 e-mail: aquaworld@korea.kr
1225-3480/24493

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

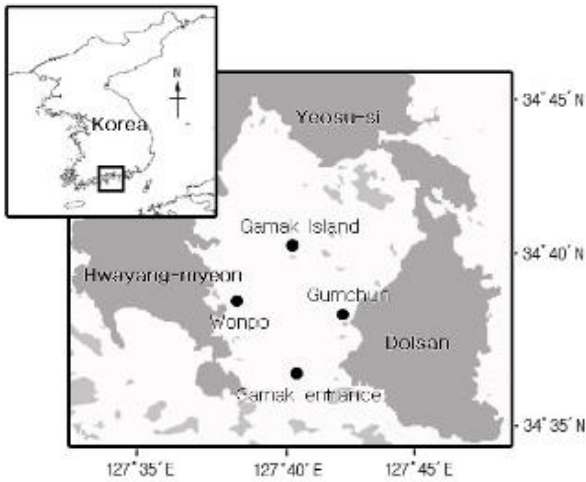


Fig. 1. Sampling station of *Crassostrea gigas* in Gamak Bay.

2008) 그리고 양식 굴의 산란과 생존률의 변동(Kim *et al.*, 2009) 등의 연구가 수행되었다. 그러나 가막만 양식장에서 매년 일어나는 만성적인 대량폐사에 끼치는 요인분석에 대한 연구는 부족하다.

따라서 가막만 4개 조사 해역에서 양식하는 굴의 성장과 생존율을 파악하고, 수온과 영양염, 클로로필 량, 식물플랑크톤 현존량을 조사하여 가막만 양식 굴의 대량폐사 요인을 파악하기 위한 기초 자료를 얻기 위하여 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

2007년 6월부터 9월까지 가막만에서 양식 굴의 대량폐사가 일어나는 요인을 파악하기 위해서 물리환경요인은 가막섬 (Gamak island), 화양면 원포 (Wanpo), 가막만 입구 (Gamak entrance), 돌산 금천 (Gumchun)의 굴 양식장에서 조사를 실시하였다 (Fig. 1).

먹이생물에 가장 영향을 많이 끼치는 수질환경요인 중 수온, 염분, DO는 조사정점에서 YSI (model-556 MPS, USA) 를 이용하여 측정하였다. 용존무기질소 (DIN) 와 용존무기인 (DIP) 함량은 양식장에서 채수된 해수를 실험실로 운반하여 해양환경공정 시험방법으로 분석하였다 (해양수산부, 2005). 클로로필 *a*는 Membrane Filter (0.45 μ m) 로 여과한 해수 500 mL를 냉암소에서 보관 후 90% 아세톤에서 추출하여 분석하였고, 식물플랑크톤은 표층에서 해수 1L를 채수 후 Lugol 용액을 고정하여 농축 후 현미경으로 검경하여 현존량 (cells/mL) 을 구하였다. 실시간 수온변동을 알아보기 위하여 TBI-32K (ONSET) 를 가막섬 양식장에 부착하여 대량폐사가 주로 발생하는 8월-10월 (3개월) 까지 30분 간격으로 자동측정 하였다.

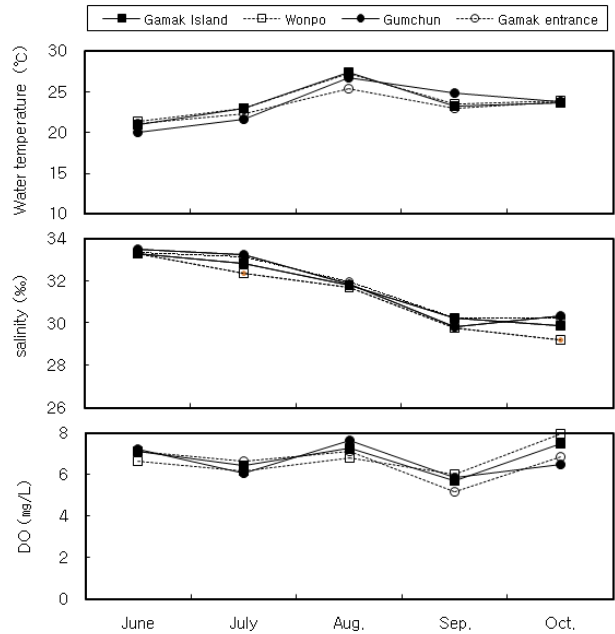


Fig. 2. Monthly variations of water temperature, salinity and dissolved oxygen (DO) of in Gamak Bay.

양식 굴의 성장조사는 매월 같은 로프에서 각각 2연씩의 수 하연을 실험실로 수송하여 전량을 생체 (生貝) 와 사체 (死貝) 로 구분하였다. 생존한 굴 중 30개체씩 크기 (각장, 각고, 각폭, 전중, 육중) 를 측정하였으며, 생존율은 1개 수하연 전체 개체 중 폐사한 개체를 구분하여 산출하였으며, 비만도 (Condition index) 는 아래의 식으로 산출하였다.

$$\text{Condition index (비만도)} = \frac{\text{육중 (g)} \times 100}{\text{육중 (g)} + \text{각중 (g)}}$$

결 과

가막만 굴 양식장의 2007년 6월-10월까지의 수질환경요인을 조사한 결과 수온은 19.80-27.4°C 범위로 비교적 높게 나타났으며, 8월을 제외하고는 정점에 따른 뚜렷한 차이는 보이지 않았다. 그러나 수온이 가장 높은 시기인 8월은 가막섬 해역에서 27.4°C로 나타났으며, 가막만 입구에서 25.4°C로 낮게 나타나 정점별 차이가 있는 것으로 나타났다. 염분은 29.2 -33.5 psu 의 범위로 조사되었으며 9월에 화양면 원포 해역과 돌산 금천 해역에서 29.8 psu로 낮게 나타났으며, 10월에는 화양면 원포 해역에서 29.2 psu로 가장 낮게 나타났다. 그러나 다른 정점들에 비해 가막만 입구 해역에서는 30.2-33.3 psu로 비교적 높게 나타나는 경향을 보였다. 용존산소 (DO) 는 5.16 -7.94 mgL⁻¹ 의 범위였으나, 9월에는 5.2-6.0 mgL⁻¹로 다른 조사 시기에 비

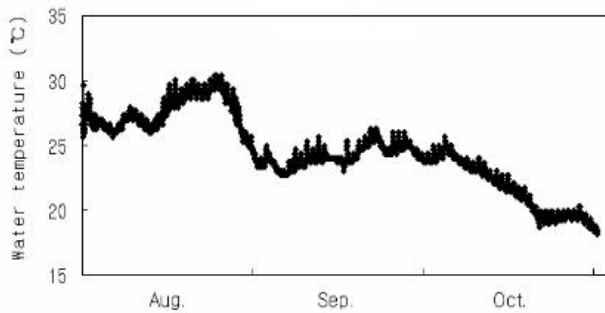


Fig. 3. Variations of real time water temperature in Gamak Bay; Temperature was the highest, in August.

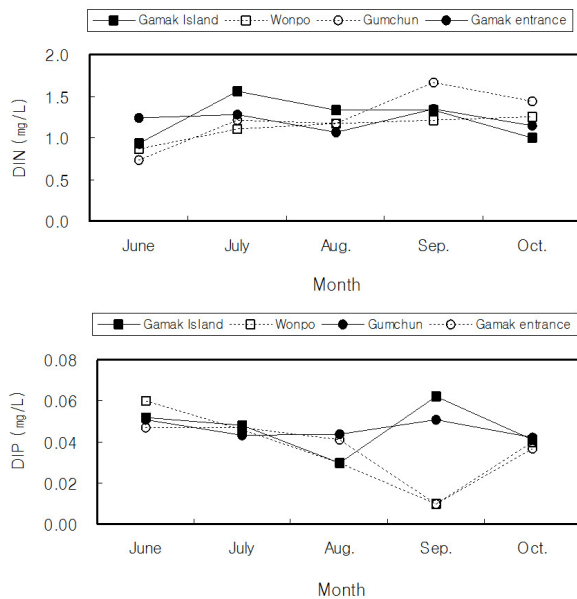


Fig. 4. Monthly variations of dissolved inorganic nitrogen (DIN) and dissolved inorganic phosphate (DIP) concentrations in Gamak Bay; DIN and DIP was constant about 1.0 mg/L, 0.4 mg/L in Gumchun area.

하여 비교적 낮게 나타나는 경향을 보였다. 정점별로는 6-8월은 가막섬 해역, 9-10월에는 화양면 원포 해역에서 높은 값을 보였다 (Fig. 2). 굴 양식장에서 8월-10월까지 수온을 실시간으로 측정 한 결과 수온은 18.2-31.3°C 범위로 나타나 매월 1회 측정 한 수온 값과 차이가 있는 것으로 나타났으며 특히 8월 하순은 28.5-31.3°C로 7월 정도 유지되었다. 월별 수온변동은 8월에는 24.6-31.3°C로 비교적 큰 것으로 나타났고, 9월에는 22.7-26.3°C, 10월에는 18.1-25.6로 나타났다 (Fig. 3).

용존무기질소 (DIN) 는 7.30-12.20 $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위로 나타났는데 모든 정점에서 7월에 11-12 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 높게 나타났으나 8월부터 10월까지 낮아지는 경향을 보였다. 해역별로는 돌

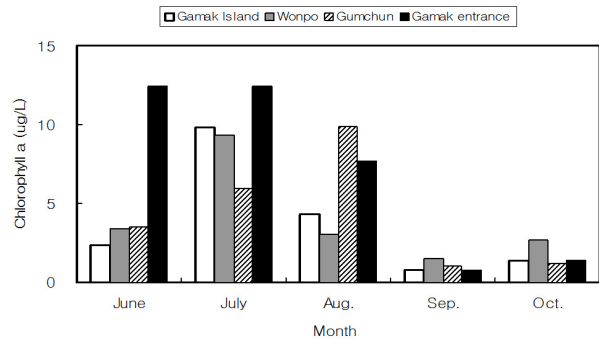


Fig. 5. Monthly variations of chlorophyll a in Gamak Bay; Chlorophyll a was the highest in August, Gumchun area.

산 금천 해역과 가막만 입구 해역에서 높게 나타났으며, 가막섬 해역과 화양면 원포 해역에서 낮은 경향을 보였다. 특히 돌산 금천 해역에서 7월에 12.20 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났으며, 가막섬 해역에서 8월에 6.50 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 낮게 나타났다. 용존무기인 (DIP) 는 0.15-0.70 $\mu\text{g L}^{-1}$ 범위로 나타났는데 월별로는 7월에 0.5-0.7 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났으며, 9월에 0.15-0.25 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 낮게 나타났다. 해역별로는 돌산 금천 해역에서 7월에 0.70 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 높은 값을 보였으며, 가막섬 해역이 9월에 0.15 $\mu\text{g L}^{-1}$ 가장 낮게 나타났었다 (Fig. 4). 클로로필 a 농도변화는 0.78-12.43 $\mu\text{g L}^{-1}$ 범위로 6-8월까지 비교적 높게 나타났으나 9월과 10월에는 매우 낮게 나타났었다. 월별로는 7월에 6.10-12.43 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 높았으며 9월에 0.78-1.50 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 낮았다. 정점별로는 6월과 7월에는 가막만 입구 해역에서 높은 값을 보였고 8월에는 돌산 금천 해역, 9월과 10월은 화양면 원포 해역에서 높은 값을 보였다 (Fig. 5).

2007년 6월에서 10월동안 출현한 식물플랑크톤은 40속 69종으로, 규조류가 31속 62종, 와편모조류는 9속 20종이 출현하였으며, 월별 우점 식물플랑크톤의 분포를 살펴보면, 굴의 먹이로 가장 많이 이용되는 규조류는 77.3-99.2%로 우점하였다. 가막섬, 원포, 금촌해역에서 대부분 규조류가 우점하였으며, 8월에는 와편모조류인 *Alexandrium* spp.와 *Scrippsiella trochoidea* 가 우점하였다 (Table 1). 굴의 폐사가 주로 일어나는 가막섬보다 굴의 성장이 원활히 이루어지고 생산량이 많은 금촌지역에서 식물플랑크톤이 많이 출현하였다.

가막만 양식 굴의 각고 성장은 양식시설을 설치한 6월에 평균 23.1 mm에서 8월에 평균 51.0 mm로 2.2배 빠른 성장을 보이다가 점차 성장이 느려지는 것으로 나타났다. 정점별로는 돌산 금천에서 10월 기준 60.7 mm로 가장 빠른 성장을 보였고, 가막섬에서 57.4 mm로 성장이 가장 좋지 않은 것으로 나타났다. 육중은 6월에 평균 0.24 g에서 8월에 2.33 g으로 약 9.7배 빠른 성장을 보이다가 9월부터 성장이 둔화되는 것으로

Table 1. The most dominant species the diatom and dinoflagellates of phytoplankton appeared in study area, 2007

Species (cells/L)	June			July			Aug.		
	Gamak Is.	Wonpo	Gumchon	Gamak Is.	Wonpo	Gumchon	Gamak Is.	Wonpo	Gumchon
Diatom									
<i>Chaetoceros compressus</i>				82,320	106,820	111,720			32,340
<i>C. curvisetus</i>	16,380		84,280	86,240	107,800	97,020	176,400	91,140	59,780
<i>C. lorenzianus</i>	12,810	2,520	28,420	112,700	12,152	49,980	88,200	54,880	90,160
<i>C. pseudocurvisetum</i>	210	630	32,340				132,300	165,620	48,020
<i>Cylindrotheca closterium</i>	420	270	10,780	980	8,820	2,940	8,820	17,640	581,140
<i>Skeletonema costatum</i>				33,320	21,560	7,840	76,440	31,360	37,240
Diniflagellates									
<i>Alexandrium</i> spp.								13,720	
<i>Scripssiella trochoidea</i>					2,940	1,960		11,760	8,820

Species (cells/L)	Sep.			Otc.		
	Gamak Is.	Wonpo	Gumchon	Gamak Is.	Wonpo	Gumchon
Diatom						
<i>Chaetoceros compressus</i>				44,800		
<i>C. curvisetus</i>				15,400		
<i>C. lorenzianus</i>				29,400	4,200	12,600
<i>C. pseudocurvisetum</i>			1,400	2,800	30,800	79,800
<i>Cylindrotheca closterium</i>	420	420	4,200			
<i>Skeletonema costatum</i>	40,320	38,320	91,000			25,200
Diniflagellates						
<i>Alexandrium</i> spp.						
<i>Scripssiella trochoidea</i>						

나타났으며, 특히 9월에 육중의 성장이 되지 않는 것으로 나타났다. 정점별로는 돌산 금천 해역에서 10월 기준 4.45 g으로 가장 빠른 성장을 보였으며, 가막만 하부 해역에서 3.54 g으로 성장이 가장 나빴다.

비만도는 굴 육질부의 건강도를 나타내는 요소로 돌산 금천 해역에서 19.6으로 가장 높은 값을 보였고 화양면 원포 해역에서 16.5로 유의적으로 낮게 나타나 두 정점에서 굴의 건강도와 생존율은 양의 상관관계를 나타냈다.

양식 굴의 폐사율은 10월에 급격히 높아진 것으로 나타났으며, 특히 화양면 원포 해역에서 67.0%, 가막섬 해역에서 55.3%의 높은 폐사율을 보였으나 돌산 금천 해역과 가막만 입구 해역에서는 각각 34.0%와 18.3%로 낮은 폐사율을 보였다 (Fig. 6). 굴 양식장 환경을 조사한 결과 실시간 수온이 가장

높았던 시기는 8월 하순으로 28-31℃로 나타났으며, 고수온대가 7일 정도 유지되었다.

고 찰

일정해역에서 성장과 생산되는 패류는 수질환경요인의 변화에 따라 성장과 폐사 양상이 달라진다. Yoo (2000)는 양식 굴의 성장과 폐사가 수온변동, 먹이생물량과 섭식활동 및 밀식 여부 등에 의해 차이가 나는 것으로 보고하였다. Bae and Han (1998)은 양식어장의 지역적 차이와 양식방법에 의해서도 성장차이가 나는 것으로 보고하고 있다.

본 연구 결과 가막만의 양식 굴은 돌산 금천 해역에서 10월 기준 60.7 mm로 가장 빠른 성장을 보였고, 가막섬 해역에서 57.4 mm로 성장이 가장 좋지 않은 것으로 나타났으며, 육중

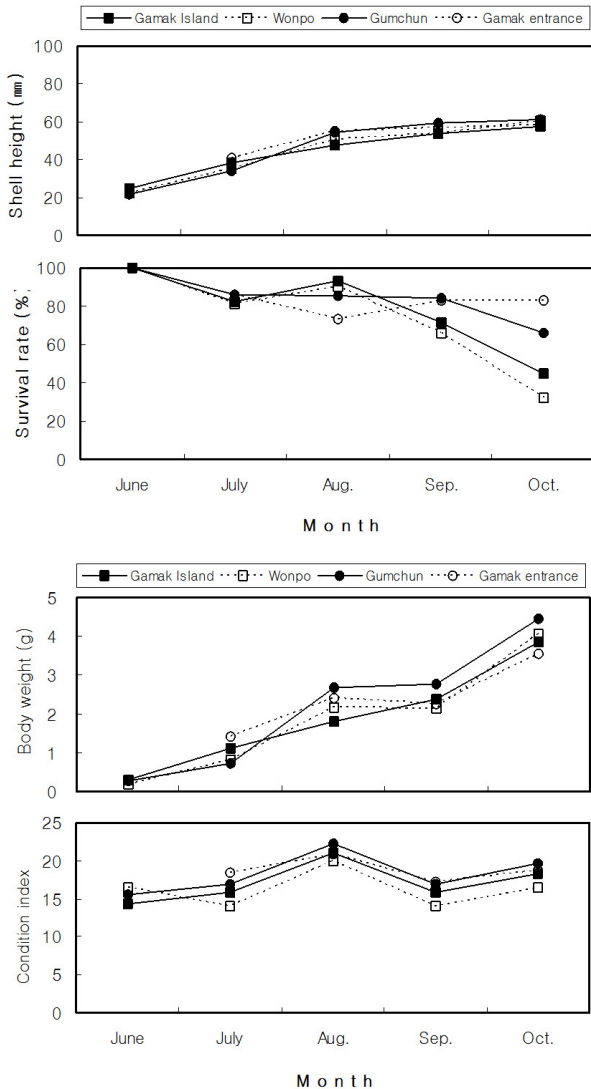


Fig. 6. Growth of shell length, body weight, survival rate and condition index of *Crassostrea gigas* in Gamak Bay.

은 9월에 성장이 되지 않는 것으로 나타났다. 비만도는 돌산 금천 해역에서 가장 좋았으며, 화양면 원포 해역에서 낮게 나타났다. 양식 굴의 생존율은 가막만 하부 해역과 돌산 금천해역에서 각각 81.7%와 66.0%로 비교적 양호하였으며, 화양면 원포 해역과 가막섬 해역에서는 각각 44.7%와 33.0%로 매우 낮게 나타났다. 이 시기에는 고수온과 영양염류의 부족으로 먹이생물의 급격히 감소하는 현상이 관찰되었다.

수온은 패류의 대사생리와 에너지 수치 등에 직접적인 영향을 끼친다. 일시적이고 불안정한 환경요인이 지속될 경우 에너지 불균형에 의해 굴이 대량 폐사한다. 본 연구결과 가막만의 수온은 월 1회 측정된 자료에서는 최고수온이 27.4℃로 굴의

성장과 생존에 영향을 주지 않은 것으로 나타났다. 그러나 실시간 측정된 수온은 최고수온이 31.3℃로 월간 측정 자료에 비하여 4℃이상 높게 나타났으며, 8월 하순에는 28.31℃로 가장 높게 나타나 이러한 고수온은 굴의 대량폐사와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. Soletchnik *et al.* (2007) 은 프랑스에서 양식 굴은 19℃ 이상의 수온에서 대량폐사가 발생한다고 하였는데 이것은 프랑스와 국내 굴 양식 방법 차이 때문으로 판단된다.

높은 수온상승은 낮은 수심과 원활하지 못한 조류 소용돌이 때문에 가막만의 해수교환율이 만 중양과 만 북서해역에서 26-41%정도밖에 되지 않은 것으로 보고하고 있다 (Lee, 1992). Kim *et al.* (2008) 은 비단가리비의 경우 30℃이상에서 먹이 섭취활동이 원활하지 못한 것으로 보고하고 있다. 굴은 27℃이상에서부터 산소소비율과 여수율이 감소한다는 Kim and Chin (2002) 의 연구결과처럼 가막만의 양식 굴도 하계 고수온에서 먹이섭취가 원활하지 못하고 에너지 대사가 어려워 대량폐사가 발생하였을 것으로 판단된다.

굴과 같은 패류는 먹이생물의 연변동주기에 의존하여 성장과 생존하고 번식하는 것으로 알려져 있다 (NFRDI, 2007). Choi *et al.* (1971) 은 먹이생물이 부족한 빈영양상태가 지속되면 굴의 성장과 생존에 영향을 끼친다고 보고하였다. 또한 굴의 성장과 폐사에 밀접한 연관성이 있는 식물플랑크톤의 현존량은 9월에 81 cells mL⁻¹ 로 가장 낮은 양을 보였고, 클로로필 a 농도는 6월에 12.43 μg L⁻¹ 가장 높게 나타났다가 9월에 0.78-1.50 μg L⁻¹로 크게 감소하여 가을철 영양상태가 매우 좋지 않은 것을 알 수 있었다. 특히 굴의 먹이원을 이용하여 조사한 굴 양식장의 먹이지수는 1.5-6.5%로 매우 낮았고 (NFRDI, 2007), 8월에는 먹이원이 급격히 감소하는데 이것은 16.5-9 먹이지수범위로 진주만의 21.4 (Choi *et al.*, 1971) 에 비하여 낮은 것으로 나타나 가막만이 빈영양상태임을 알 수 있었다. Kim *et al.* (2008) 은 가막만의 총질소와 총인이 2005년 이후 감소하고 있으며 이러한 빈영양상태의 원인은 하수종말처리장 배출수가 유입이 되지 않고, 적은 강우량으로 육상영양염 유입이 어렵고, 해수순환이 원활하지 못하기 때문으로 보고하였으며, 가막만의 수질환경은 II등급 수준으로 점차 악화되고 있어 양식 굴의 성장과 폐사에 영향을 끼쳤을 것으로 보고하였다.

가막만 양식 굴의 성장과 생존율은 돌산 금천 해역에서 가장 좋게 나타났다. 돌산 금천 해역은 조류소용돌이 빠르고 작은 하천을 통하여 육지로부터 영양염이 공급되므로 먹이생물이 풍부하다. 그러나 가막섬 해역은 만 중양부의 원활하지 못한 조류소용돌이로 인해 먹이생물 유입이 부족하여 굴의 성장이 낮은 것으로 판단된다. 특히, 9월 이후 성장과 생존율이 급격히 낮아지는 것은 고수온과 가을철 먹이생물 부족으로 판단된다.

결국, 가막만 양식 굴의 대량폐사는 불규칙한 강우로 육지로 부터 영양염 공급이 원활하지 않아 먹이생물이 부족하며 기온 상승으로 수온이 상승하기 때문이다. 그 결과 굴의 대사 생리가 균형을 이루지 못하여 발생한 것으로 나타났다. 그러므로 향후 굴의 폐사에 영향을 미치는 환경요인 뿐 아니라 수온상승, 먹이 부족 등이 굴의 산란특성의 변동에 어떤 영향을 유발하는가에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

사 사

이 연구는 해양수산부 수산실용화기술개발 연구사업 (312017-4) 에 의해 이루어진 것으로 연구수행에 도움을 주신 국립수산물과학원과 굴 수하식 양식 수협 여수지소 직원들에게 감사의 말씀을 드리며, 논문을 세심하게 검토해 주시고 조언해 주시 익명의 심사위원님들께 진심으로 감사드립니다.

REFERENCES

- Bae PA and Han CH. (1998) Effects of Nursery Environmental Factors on the Growth of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*. *J. Aquaculture.*, **11**: 391-400.
- Charles, F, Amouroux JM, Gremare A and Baudart J. (1995) A bioassay approach to temporal variation in the nutritional value of sediment trap material. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **191**: 65-81.
- Choi WJ, Chun YY, Park JH and Park YC. 1971. The Influence of Environmental Characteristics on the Fatness of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, in Hansan-Koje Bay. *J. Kor. Fish. Soc.*, **30**: 794-803.
- Cho EI, Park CK and Lee SM. (1996a) Estimation of Carrying capacity in Kamak Bay(I) Estimation of Primary Productivity Using the Eco-hydrodynamic Model. *J. Kor. Fish. Soc.*, **29**: 669-385
- Cho EI, Park CK and Lee SM. (1996b) Estimation of Carrying Capacity in Gamak Bay(II) - Estimation of carrying capacity of oyster culture ground. *J. Kor. Fish Soc.*, **29**: 709-715.
- Kang CK, Park MS, Lee PY, Choi WJ and Lee WC. (2000) Seasonal variations in condition, reproductive activity, and biochemical composition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg), in suspended culture in two coastal bays of Korea. *Journal of Shellfish Research*. **19**: 771-133.
- Kim KS and Chin P. (2002) Influence of increased temperature on the standard metabolism th the marine bivalves acclimated to seasonal water temperature: 1. Effects of acclimation temperature. *J. Kor. Fish Soc.*, **35**: 463-468.
- Kim JB, Lee SY Yu J, Choi YH, Jung CS and Lee PY. (2007) The characteristics of Oxygen deficient water mass in Gamak Bay. *J. Kor. Soc. Mar. Env. Eng.*, **9**: 216-224.
- Kim CW, Baek JM and Han .SJ. (2008a) Effects of Water temperature and salinity on dietary feeding and body composition of juvenig jicon scallop, *Chlamys farreri* transplanted in Chin. *Korean J. Environ. Biol.*, **26**: 323-329.
- Kim YS, Yoon HS, Park IW, Lee WB, Joo SY and Choi SD. (2008b) Annual variation of water quality and bivalvia communities in Gamak Bay. *Korean J. Environ. Biol.*, **26**: 279-291.
- Kim CW, Kim EO, Jeong HD, Jung CG, Park MW and Son SG. (2009) Variation of body composition and survival rate according to spawning of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas* in Gamak Bay. *Kor. J. Fish Aquat. Sci.*, **42**: 329-334.
- Kobayashi M, Hofmann EE, Powell EN, Klinck JM and Kusaka K. (1997) A population dynamics model for the Japanese oyster, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, **149**: 285-321.
- Lee K.H and Cho K.D. (1990) Distributions of the Tem-perature and Salinity in Kamak Bay. *J. Kor. Fish Soc.*, **23**: 25-39.
- Lee GH. (1992) The Pattern of Sea Water Circulation in Kamak Bay. *Bulletin of the Korean Society of Fisheries Technology*, **28**: 117-131.
- Lee, YS. (1997) Mechanism of eutrophication in Hiroshima Bay, Japan. *J. of KSEE.*, **19**: 371-380.
- MOMAF. (2005) Standard methods of marine environment. 450pp.
- Newell RC and Kofode LH. (1977) Adjustment of the components of energy balance in the gastropod *Crepidula fornicata* in response to thermal acclimation. *Mar. Biol.*, **44**: 275-286.
- NFRDI. (2007) Research of mechanism of organic pollutants at Gawang Yang Bay and Gamak Bay. Report of National Fisheries research& Development Institute. 1-12p.
- NFRDI. (2009) Survey on the ecological environment of coastal aquaculture area in mid-South sea of Korea Report of National Fisheries research& Development Institute. 1-198.
- Oh KH, Pang IC, Hofmann EE, Kim Y, Kim SY, Park YJ and Choi KS. (2002) Modeling Oyster Populations Dynamics I. Effect of Available Food on Growth of the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas* in Goseong Bay. *Korea J. Kor. Fish Soc.*, **35**: 327-335.
- Oh HT, Lee SM, Lee WC, Jung RH, Hong SJ, Kim NK and Tilburg C. (2008) Substantiality Evaluation for Shellfish Production in Gamak Bay Based on the Systems Ecology 1. EMERGY Evaluation for Shellfish Production in Gamak Bay. *J. Environ Sci.*, **17**: 841-856.
- Soletchnik P, Ropert M, Mazurie J, Fleury PF and Coz FLe. (2007) Relationships between oyster mortality patterns and environmental data from monitoring databases along the coasts of France. *Aquaculture*, **271**: 384-400.
- Yoo SK. (2000) Mariculture. Guduck Publishing, Busan, Korea, 71-137.