

# 여자만 북서부 꼬막양식어장의 해양환경 특성. 1. 먹이생물로서 Chlorophyll *a* 농도, 입자태 유기탄소 및 유기질소의 시·공간적 분포 특성

윤양호  
전남대학교 해양기술학부

## A Charecteristics of Marine Environments in a Blood Cockle Farm of the Northwestern Yeoja Bay, Korea. 1. Spatio-temporal Distributions of Chlorophyll *a* Concentration, Particulate Organic Carbon & Nitrogen

Yang Ho Yoon  
School of Marine Technology, Chonnam National University

**요약** 여자만 북서해역에 위치하는 꼬막 양식어장의 해양환경 중 먹이생물 특성을 파악하기 위해 2017년 5월에서 11월까지 계절별로 7개 정점의 표층과 저층을 대상으로 조사를 실시하여, 먹이생물 항목인 Chlorophyll *a* (Chl-*a*), 입자태 유기탄소(POC), 입자태 유기질소(PON) 및 POC/PON ratio, POC/Chl-*a* ratio 등을 분석 및 산출하였다. 결과 Chl-*a* 농도, POC 및 PON은 각각 1.69-7.68  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (표층 평균 3.48  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), 0.88-2.58 mM(평균 1.97 mM) 및 0.17-0.90 mM(평균 0.54 mM)을 나타내어, 봄과 여름에 높고 가을에 낮은 농도를 보였다. 우점 출현하여, 기존 결과와는 다른 결과를 나타내었다. 수층별로는 Chl-*a*와 POC는 저층이 표층보다 높았고, PON은 표층이 저층보다 높았다. POC/PON ratio 및 POC/Chl-*a* ratio는 각각 1.56-7.88 (표층 평균 3.71) 및 216-967 (표층 평균 700)를 나타내어, 탄소원 대부분은 표층퇴적물에 침강 축적된 입자태 유기물로서 식물플랑크톤에 의한 기여부분이 낮은 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 여자만 북서해역의 꼬막양식장의 먹이자원은 양적으로는 풍부한 것처럼 보이지만, 질적으로는 매우 불량한 것으로 평가되었다.

**Abstract** This study was designed to assess the quality and quantity of food resources such as the chlorophyll *a* concentration (Chl-*a*), the particulate organic carbon (POC) and the particulate organic nitrogen (PON), on blood cockle (*Tegillarca granosa* Linnaeus) farms from May to November 2017 in the northwestern area of Yeoja Bay, Korea. The values of Chl-*a*, POC and PON were 1.69-7.68  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (average: 3.48  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  in the surface), 0.88-2.58 mM (average: 1.97 mM) and 0.17-0.90 mM (average: 0.54 mM), respectively, and these values were higher in the spring and summer and lower in the autumn. Furthermore, Chl-*a* and POC had higher values on the bottom layer than those values on the surface, while PON had higher values on the surface than those values on the bottom. The POC/PON ratio and POC/Chl-*a* ratio were 1.56-7.88 (average: 3.71 on the surface of the water) and 216-967 (average: 700 on the bottom of the water), respectively, with most of the carbon sources being sediment-accumulated particle organic matter, and the contribution by phytoplankton was assessed as being low. These results show that the food source of the blood cockle farms in the northwest area of Yeoja Bay seems to be abundant in quantity, but this is considered to be very poor in quality.

**Keywords** : Spatio-Temporal Distributions, Blood Cockle Farm, Chlorophyll *a*, POC, PON, POC/PON Ratio, POC/Chl-*a* Ratio, Northwestern Yeoja Bay

이 논문은 한국수산자원관리공단 남해본부의 "2017년 보성군 연안바다목장 자원량 및 꼬막 폐사원인 규명"에 따른 연구비 지원으로 수행된 결과의 일부이다.

\*Corresponding Author : Yang Ho Yoon(Chonnam National Univ.)

email: yoonyh@jnu.ac.kr

Received May 2, 2019

Revised June 11, 2019

Accepted July 5, 2019

Published July 31, 2019

## 1. 서론

연안해역은 육상으로부터 유기탄소는 물론 기초생산을 지탱할 수 있는 다양한 원소가 대량으로 유입되기에 환경해양학에서 매우 흥미로운 곳이다[1,2]. 또한 연안해역은 전체 해양 표면적의 10% 이하의 점유율을 보이지만, 전체 어류생산의 절반 이상이 생산되기도 한다[3]. 때문에 연안의 내만해역은 어류, 이매패류 등 다양한 자원생물의 양식장으로 이용되고 있어 인류 식량자원 공급 및 산업적으로도 매우 중요한 위치를 차지한다.

꼬막류는 연체동물문(Mollusca), 이매패강(Bivalvia), 돌조개목(Arcoida), 돌조개과(Arcidae)에 속하며, 국내에는 돌조개과에 꼬막(*Tegillarca granosa* Linnaeus), 새꼬막(*Anadara subcrenata* Lischke), 피조개(*Anadara broughtonii* Schrenck), 큰이랑피조개(*Anadara satowi* Dunker) 및 어긋물린새꼬막(*Anadara inaequalvis* Bruguière) 등 5종이 있다. 그러나 돌조개과는 4개 아과에 71속을 가지는 거대 그룹으로 *Tegillarca*속 8종, *Anadara*속 92종이 있다(WoRMS: World Register of Marine Species(<http://www.marinespecies.org>)). 또한 국내에 보고되는 5종의 꼬막류는 “생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률”에 따라 국외반출시 승인을 얻어야 하는 생물자원으로 지정되어 있다(환경부고시 제 2013-126호).

여자만은 남해 중앙부에 위치하여 여수반도 및 고흥산반도(여수시), 순천시, 보성군 및 고흥반도(고흥군)로 둘러싸인 폐쇄성의 강한 내만해역으로 만입구의 협수로를 통해 북돌바다 및 남해와 연결된다. 여자만 북동부의 순천만과 북서부의 보성만은 각각 별도의 습지보전지구로 지정되어 있으며, 2003년에는 이 두 습지지구를 합해 국내 최초로 람사르 협약에 등록된 습지일 뿐만 아니라, 국내 최대 꼬막 및 새꼬막 산지이기도 하다. 그러나 최근 여자만 북서해역의 꼬막양식장에서 대량폐사가 발생하였고, 환경오염, 빈산소 등의 환경인자에 부가하여 먹이부족이 폐사원인으로 추정되기도 하지만(한국수산자원관리공단 남해본부, 미발표자료), 아직 정확한 원인은 확실하지 않다. 뿐만 아니라 동남아시아를 중심으로 환경변화에 따른 꼬막의 대량폐사가 보고되고 있으며[4-6], 2012년 말레시아 Selangor해역의 꼬막 양식장에서 30% 이상 대량폐사한 원인으로 먹이부족이 지적되어 있다[7].

여자만은 이와 같이 수산자원 및 해양환경 보전에 매우 중요한 해역이지만, 현재까지 해양관련 연구는 일부 수질 및 퇴적물에 관련된 결과[8~10], 식물플랑크톤, 와

편모조 시스트 관련 일부 연구[11~15], 자원생물로서 짙은 상태[16,17]와 꼬막, 새꼬막의 생리에 관련된 보고[18-20] 등이 보여 질 뿐으로, 전반적인 해역관리를 위한 해양학적 자료는 매우 한정적이다[21]. 때문에 여자만 북부해역의 습지보전지구의 효율적 관리는 물론 이매패류 등 수산생물의 양식어장에 대한 효율적 관리 및 해양환경 보전을 위해서도 체계적이고 지속적인 해양관련 연구 자료 축적이 시급히 요구되는 해역이다.

따라서 이 연구는 여자만 북서해역 꼬막 양식장의 해양환경 특성 중 먹이생물의 양과 질적 평가를 위해, Chlorophyll *a* (Chl-*a*)를 포함하여, 이매패류의 주요 먹이원인 미생물을 포함하는 입자태 유기탄소(POC)와 입자태 유기질소(PON)를 분석하여, 해석하고 있을 뿐만 아니라 여자만의 해양환경 보전에 필요한 자료를 제공하고자 실시되었다.

## 2. 재료 및 방법

먹이생물 분포 특성을 파악하기 위한 현장조사는 2017년 5월, 8월, 11월 등 3회에 걸쳐, 여자만 북서부의 보성군 7개의 꼬막양식장을 대상으로 실시하였다(Fig. 1). 조사는 소형어선을 이용하여 반도채수기(3L)로서 각 어장의 표층과 저층 해수를 채수하였고, 정점의 위치는 휴대용 GPS (Gelman, Germany)로 확인하였다.

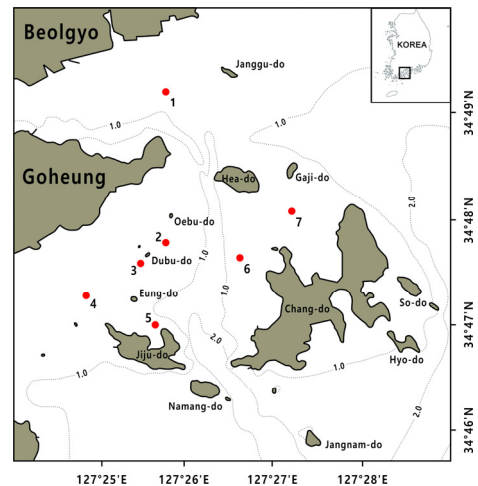


Fig. 1. Map show to the bathymetry and sampling stations at the blood cockle farms in the northwestern Yeosu bay.

측정 및 분석한 항목은 먹이생물량의 질과 양을 파악하기 위한 Chlorophyll *a* (Chl-*a*)은 현장에서 직접 연속측정이 가능한 잠수형 형광광도계(JFE Advantech Co., Ltd, ASTD102)를 이용하여 형광측정하였고, 표층 해수시료를 여과시켜 분광광도계에 의해 측정된 값으로 보정하였다[22]. POC와 PON은 채수 당일 실험실에서 유기물을 제거하여 건조시킨 유리섬유여과지(GF/C,  $\phi$  25cm or 47cm)를 이용하여 해수 250mL를 1N HCL 용액으로 유기물을 제거하면서 여과, 건조하는 전처리를 한 다음에 전남대학교 공동기기실(여수)에 표본을 의뢰하여 대용량원소분석기(Elementar Analysensysteme GmbH Co., Model: vario MACRO cube, Germany)에 의해 시료를 분석하였다. 분석된 POC, PON, Chl-*a* 값으로 이용하여 POC/PON ratio, POC/Chl-*a* ratio를 계산하여 먹이근원 및 질을 평가하였다.

### 3. 결과

#### 3.1. Chlorophyll *a* 농도

식물플랑크톤 생물량을 나타내는 Chl-*a* 농도는 1.69~7.68  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 변동 폭으로 가을에 낮고, 봄과 여름에 높은 농도를 보였다. 표층에서 시간적 변동은 봄에 3.12~6.67  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $4.23 \pm 1.33 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , 평균  $\pm$  표준편차로 이하 동일한 방법으로 표시)의 변동 폭을 보였고, 여름은 2.85~7.27  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $4.05 \pm 1.61 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), 그리고 가을은 1.69~2.76  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $2.18 \pm 0.35 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )의 변동 폭으로 비교적 높은 Chl-*a* 농도를 나타내었으며, 저층이

표층보다 다소 높은 농도를 보였다(Table 1).

Chl-*a* 농도의 시·공간적 분포는 봄 표층에서 제주도 및 장도를 연결하는 동서의 띠 모양을 중심으로 남부해역에서 5.0  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  이하의 농도를, 중앙부에서 6.0  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  이상을, 그리고 북부해역에서 5.0~6.0  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  범위의 농도를 보여, 상대적으로 높은 농도를 나타내었다. 저층은 장도 서쪽 중앙부 해역에서 6.0  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  이상의 높은 농도를 보였고, 제주도 및 장도 북서해역에서 5.0  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  이하로 낮았다(Fig. 2A). 여름 표층은 제주도와 고흥방도 사이의 남쪽해역에서 7.0  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  이상의 높은 Chl-*a* 농도를 보이지만, 북동진 하면서 점차 감소하여 장도 서쪽해역에서는 3.0  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  이하의 농도로 감소하였다. 저층도 전체적으로 표층과 유사하여 제주도 서쪽해역에서 7.0  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  이상의 높은 Chl-*a* 농도 패치가 북동진하면서 감소하여, 대부분 해역에서 4.0  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  이하의 농도로 낮았다(Fig. 2B). 가을 표층은 여름과는 달리 고흥반도 돌출부(상진)에서 장도 북서쪽을 연결하는 북동해역에서 2.5  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  이상의 농도를 보였고, 제주도 서쪽해역에서 2.0  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  이상의 농도를, 그리고 이 둘 사이의 중앙부 해역에서 2.0~2.5  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도를 보였으며, 저층은 북부해역에서 6.0  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  이상의 높은 패치분포를 제외한 나머지 해역은 2.0  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  전후의 Chl-*a* 농도를 보였지만(Fig. 2C), 가장 낮은 농도를 보였다.

#### 3.2 입자태 유기탄소(POC)

입자태 유기탄소(POC) 농도는 0.88~2.58 mM의 변화 폭으로 Chl-*a*와 같이 가을에 낮고, 봄에 높았다. 시간적 변화는 봄 표층에서 1.74~2.77 mM ( $2.45 \pm 0.34$

Table 1. Temporal variations of marine environmental factors in the fishing grounds for blood cockle

Seasons		Spring(May 28, 2017)			Summer(August 10, 2017)			Autumn(November 4, 2017)		
Parameters Layer		Min.	Max.	Mean $\pm$ SD	Min.	Max.	Mean $\pm$ SD	Min.	Max.	Mean $\pm$ SD
Chl- <i>a</i> ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Surface	3.12	6.67	4.23 $\pm$ 1.33	2.85	7.27	4.05 $\pm$ 1.61	1.69	2.76	2.18 $\pm$ 0.35
	Bottom	4.08	6.80	5.56 $\pm$ 1.03	3.07	7.60	4.16 $\pm$ 1.60	1.72	6.12	2.65 $\pm$ 1.55
POC (mM)	Surface	1.74	2.77	2.45 $\pm$ 0.34	1.82	3.00	2.37 $\pm$ 0.42	0.93	1.24	1.10 $\pm$ 0.12
	Bottom	2.58	4.06	3.03 $\pm$ 0.49	1.64	2.76	2.19 $\pm$ 0.42	0.88	3.29	1.46 $\pm$ 0.84
PON (mM)	Surface	0.40	0.69	0.58 $\pm$ 0.11	0.43	0.68	0.57 $\pm$ 0.08	0.26	0.70	0.47 $\pm$ 0.16
	Bottom	0.46	0.72	0.57 $\pm$ 0.11	0.34	0.58	0.49 $\pm$ 0.08	0.24	0.49	0.39 $\pm$ 0.09
POC/PON ratio	Surface	3.48	6.53	4.35 $\pm$ 1.07	3.31	5.49	4.16 $\pm$ 0.76	1.56	4.78	2.64 $\pm$ 1.14
	Bottom	3.74	7.66	5.51 $\pm$ 1.49	3.60	6.00	4.52 $\pm$ 0.85	2.04	7.00	3.80 $\pm$ 1.70
POC/Chl- <i>a</i> ratio	Surface	430	907	738 $\pm$ 185	495	967	749 $\pm$ 168	525	838	613 $\pm$ 106
	Bottom	526	829	664 $\pm$ 106	295	1028	689 $\pm$ 226	528	836	668 $\pm$ 120

Min.: Minimum, Max.: Maximum, SD : Standard Deviation, Chl-*a* : Chlorophyll *a*, POC : Particulate Organic Carbon, PON : Particulate Organic Nitrogen.

mM)의 변동 폭을 보였고, 여름은 1.82~3.00 mM ( $2.37 \pm 0.42$  mM), 그리고 가을은 0.93~1.24 mM ( $1.10 \pm 0.12$  mM)의 변동 폭을 나타내었으며, 저층도 표층과 유사하여 봄과 가을은 표층보다 저층이 높은 농도를 보였지만, 여름은 표층이 다소 높았다(Table 1).

POC의 시·공간적 분포는 봄 표층에서 고흡반도 인근해역이 2.0 mM 이하로 낮았지만, 동으로 진행할수록 증가하여 장도를 포함하는 대부분 해역에서 2.5 mM 이상의 농도를 보였다. 저층은 상진마을 앞의 해도에서 지주도 서쪽을 연결하는 3 mM의 등량선을 기준으로 서쪽인 고흡반도 연안에서 높고, 동쪽 및 북쪽해역에서 낮은 농도를 보였다(Fig. 3A). 여름 표층은 해도 동단에서 지주도 동단을 연결하는 2.0 mM의 등량선을 기준으로 서쪽인 연안부에서 높고, 동쪽의 외연부에서 낮았으며, 지주도 서쪽 해역에서 3.0 mM 이상의 농도를 나타내었다. 저층은 표층 높은 농도를 보였던 지주도 서쪽의 연안부에서 2.0 mM 이하의 낮은 농도를 보였고, 장도 북쪽해역에서 2.0 mM 이상의 농도를 나타내었다(Fig. 3B). 가을 표층은 상진마을 북동부에서 장도 서단을 연결하는 1.0 mM 등량선 및 지주도 중앙부에서 상진마을 남서부를 연결하는 1.0 mM 등량선 사이의 중앙부에서 1.0

mM보다 낮았고, 기타 해역에서 1.0 mM 이상의 농도를 나타내었으며, 저층은 북서부 해역에서 3.0 mM 이상의 농도를 보이는 것이 남쪽으로 진행할수록 감소하였으나, 장도 북서 해역인 중앙부 해역에서 1.0 mM 이하의 낮은 농도를 나타내었다(Fig. 3C).

### 3.3 입자태 유기질소(PON)

입자태 유기질소(PON) 농도는 0.17~0.90 mM의 변화 폭으로 다른 항목과 동일하게 가을에 낮고, 봄과 여름에 높은 농도를 나타내었다. 시간변화는 표층에서 봄은 0.40~0.69 mM ( $0.58 \pm 0.11$  mM)의 변동 폭을 보였고, 여름은 0.43~0.68 mM ( $0.57 \pm 0.08$  mM), 그리고 가을은 0.26~0.70 mM ( $0.47 \pm 0.16$  mM)의 변동 폭을 보였으며, 저층도 표층보다 다소 낮았다(Table 1),

PON의 시·공간적 분포는 봄 표층에서 지주도 북서해역과 장도 북부해역에서 0.6 mM 이상으로 높은 농도를 보였고, 이 두 해역 사이의 해역 및 북부해역에서 0.6 mM 이하의 낮은 농도를 보였다. 저층도 표층과 유사한 분포로서 지주도 서부해역에서 0.6 mM 이하의 농도를 보였고(Fig. 4A). 여름 표층은 북부해역에서 0.6 mM 이하로 낮았고, 해도 남부해역에서 0.6 mM 이상의 농도를

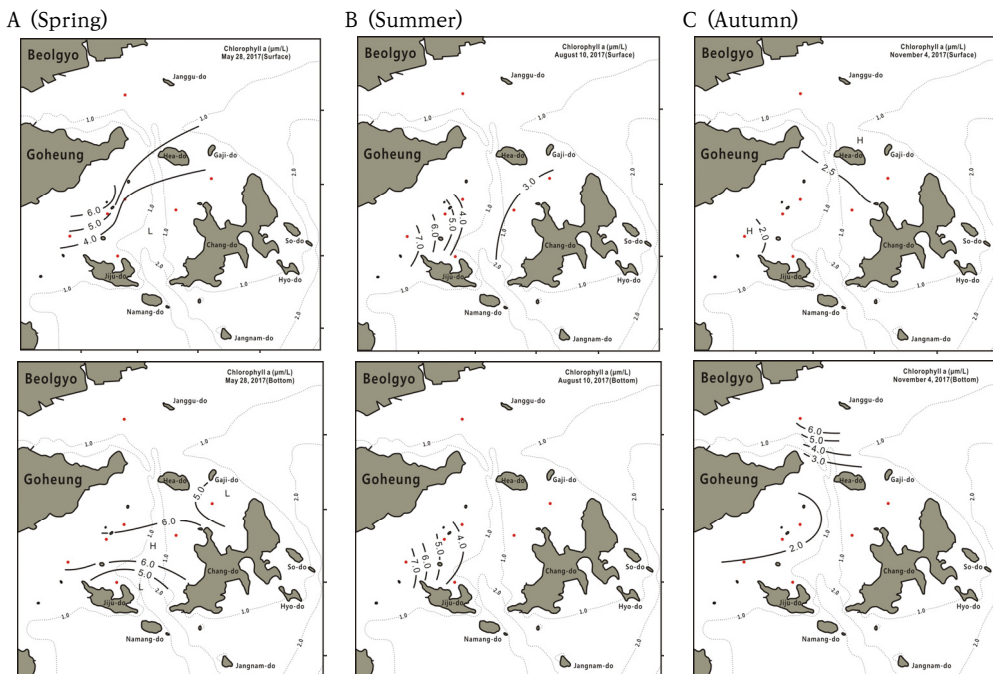


Fig. 2. Spatio-temporal variations of chlorophyll a concentration at surface(upper) and bottom(lower) layers in the fishing grounds for blood cockle.

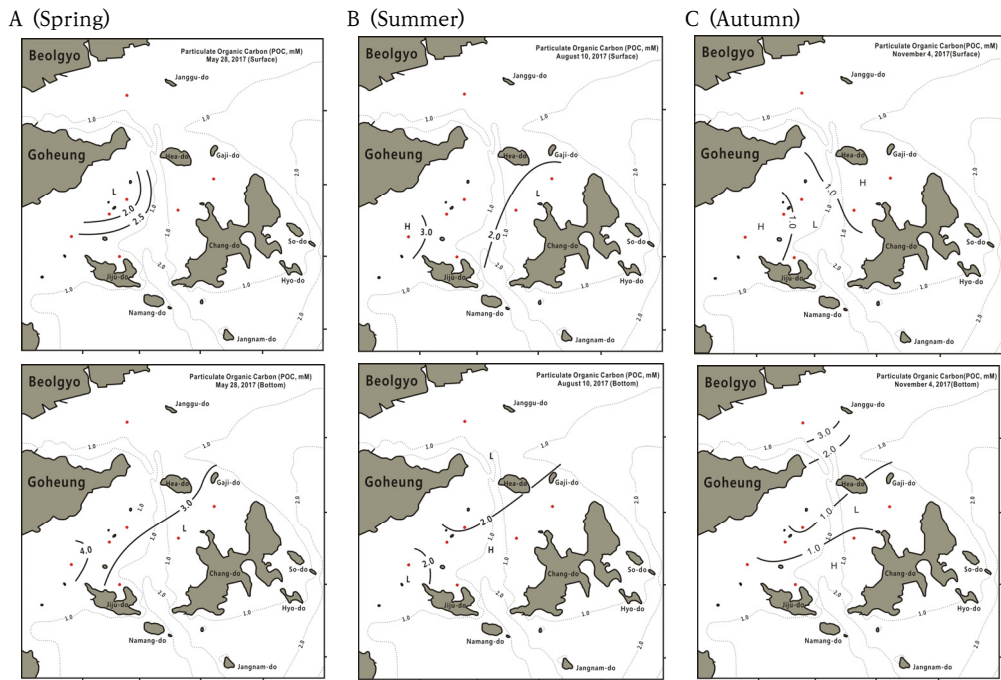


Fig. 3. Spatio-temporal variations of particulate organic carbon (POC) at surface (upper) and bottom (lower) layers in the fishing grounds for blood cockle.

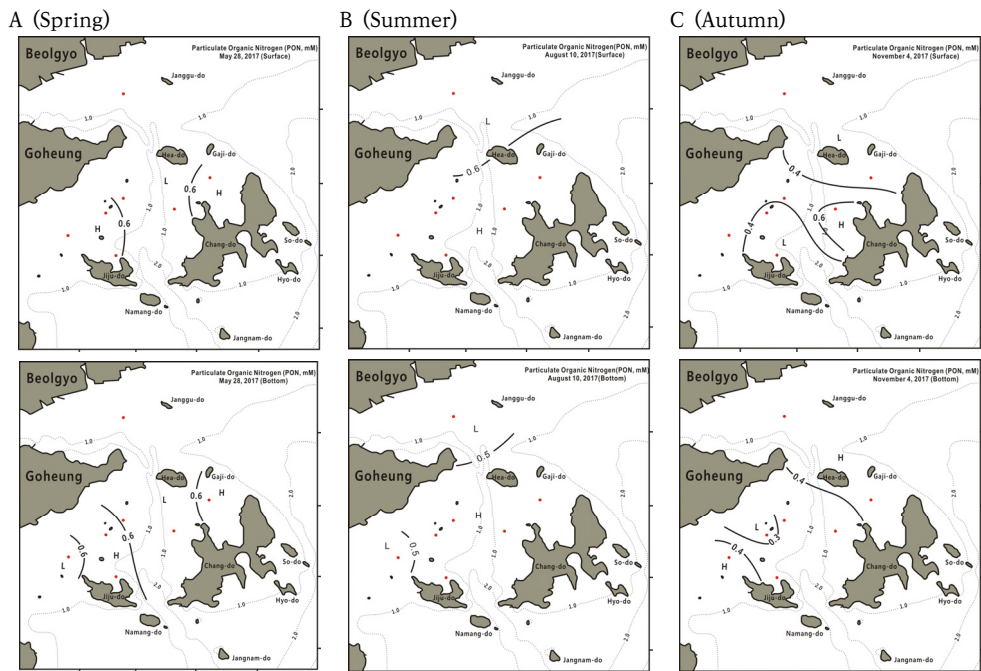


Fig. 4. Spatio-temporal variations of particulate organic nitrogen (PON) at surface (upper) and bottom (lower) layers in the fishing grounds for blood cockle.



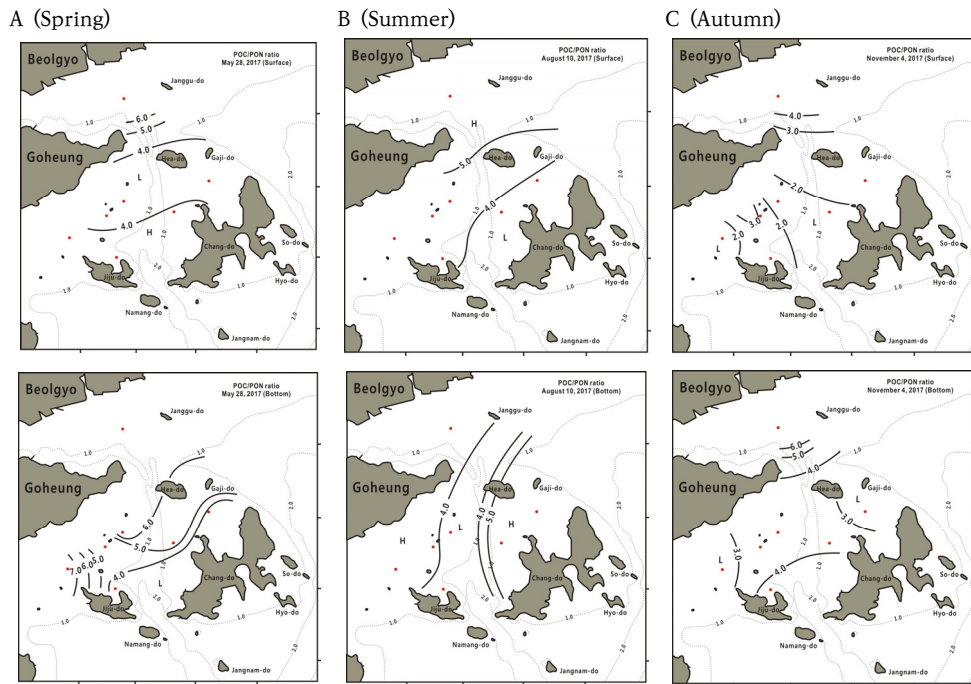


Fig. 5. Spatio-temporal variations of POC/PON ratio at surface (upper) and bottom (lower) layers in the fishing grounds for blood cockle.

Table 2. A List on the value of particulate organic matters of Korean coastal waters and world regions.

Regions	Survey time	POC	PON	POC/PON	POC/Chl-a	References
		$\mu\text{mol } (\mu\text{M})$		ratio		
Jinhae bay	1993 (12 times)	16.5~368.0 (mean 63.9)	1.7~56.6 (mean 8.0)	7.0~10.0 (mean 6.53)	-	[29]
Nakdong river estuarine	1970 (10 times)	4.6~54.0 (32.7)	2.1~11.1 (6.6)	1.5~8.4 (4.6)	-	[30]
Seojim river estuarine	1999~2001 (10 times)	27.4~192.2 (49.7)	2.1~29.1 (7.8)	3.0~12.8 (6.3)	41.5~1737.2 (533.5)	[31]
Shiwa lake	2005~2006 26 times	83.3~5471.4 (616.7)	-	-	63.0~105.4 (82.9)	[27]
Asan bay	1991~1992 (4 times)	16.6~174.3	0.6~25.6	6.7~18.2	518.6~4270.3	[32]
Cheonsu bay	1985~1986 (12 times)	58.6~684.7 (208.5)	monthly mean	-	9.1~100.5	[33]
Seamangeum inner bay	2003~2006 (8 times)	58.3~1766.7	-	-	-	[28]
Southern East Sea	2011~2013 (3 times)	9.3~63.7	0.9~8.8	6.25~7.54	87.6~202.0	[34]
East China Sea	2003~2006 (6 times)	6.7~67.0 ( $\approx$ 20)	< 6.0	5.59~8.59	57~277	[35]
Inland Sea of Japan	1994~1996 (24 times)	16.7~1376.4 ( $\approx$ 204.4)	-	-	$\approx$ mean 42.6	[36]
Seine river estuary	1995 (2 times)	133.3~5258.3	-	3.0~9.9	$\approx$ mean 903.8	[37]
Bering Sea	1975 (summer)	3.8~86.5	0.4~5.6	6.5~8.5	52~248	[40]
Northwestern Yeosu bay	2017 (3 times)	880~2580	170~900	1.56~7.88	216~967	this study

values in ( ) indicated mean

나타내었다. 저층도 표층과 유사한 분포 양상으로 북부해역 및 제주도 서부해역에서 0.5 mM 이하의 낮은 농도를 보이는 것에 대해, 기타 해역에서 0.5 mM 이상으로 상대적으로 높았다(Fig. 4B). 가을 표층은 해도를 포함하는 북부해역과 제주도 북부해역에서 0.4 mM 이하의 낮은 농도를 나타내었고, 이 두 해역 사이에서 0.4 mM 이상의 농도를, 특히 장도 서쪽 해역에서 0.6 mM 이상의 PON 패치분포가 관찰되었다. 저층은 표층과 달리 표층에서 낮은 농도를 보였던 북부해역과 제주도 서쪽 해역에서 0.4 mM 이상의 농도를 보였으며, 이 두 해역 사이에서 0.4 mM 이하의 상대적 낮은 농도를 나타내었다(Fig. 4C).

### 3.4 POC/PON ratio

POC/PON ratio는 1.56~7.88의 변화 폭으로 가을에 최고 및 최저값을 나타내었다. 시간변화는 봄 표층에서 3.48~6.53 ( $4.35 \pm 1.07$ )의 변동 폭을 나타내었고, 여름은 3.31~5.49 ( $4.16 \pm 0.76$  mM), 그리고 가을은 1.56~4.78 mM ( $2.64 \pm 1.14$  mM)의 변동 폭을 보여, 평균으로 가을에 낮고, Chl-*a* 농도가 높은 봄과 여름에 높은 값을 보였으며, 저층은 표층보다 다소 높은 농도를 나타내었다(Table 1).

POC/PON ratio의 시·공간적 분포는 봄 표층에서 북부해역에서 6 이상의 값을 보이는 것이 점차 남하할수록 감소하여 상진마을 등 고흥반도 연안에서 4.0 이하의 비를, 그리고 제주도 및 장도 남서에 거친 해역은 4.0 이상의 비를 나타내었다. 저층도 제주도 서쪽의 남부해역 및 해도를 포함하는 고흥반도 연안부와 북부해역에서 6.0 이상의 비가 남동진하면서 점차 감소하여 제주도에 서 장도 남서해역에서는 4.0 이하의 비를 나타내었다(Fig. 5A). 여름 표층도 상진마을에서 북부해역에 거쳐 5.0 이상의 비가 남동해역으로 진행하면서 점차 감소하여 장도 서부해역에서 4.0 이하로 낮아졌다. 저층은 표층과는 달리 북부해역의 장구도에서 남부해역인 제주도 서단을 연결하는 연안부 및 해도에서 장도 서단을 연결하는 동부해역에서 4.0 및 5.0 이상의 비를 보였으나, 이 두 경계역 사이 해역은 4.0 이하 비를 나타내었다(Fig. 5B). 가을 표층은 북부해역에서 4.0 이상의 비를 보이지만, 남쪽으로 내려감에 따라 감소하여 장도 서부해역은 2.0 이하로 낮았으나, 북부해역을 제외하면 전체 해역에서 3.0 이하의 매우 낮은 비를 나타내었다. 저층은 표층보다 다소 높은 비를 보이지만, 분포 양상은 표층과 유사

하여 북부해역에서 6.0 이상의 비가 남하 할수록 감소하여 기타해역에서는 4.0 전후의 비를 나타내었다(Fig. 5C)

### 3.5 POC/Chl-*a* ratio

POC/Chl-*a* 비는 216~967의 범위로 크게 변화하여, 봄과 가을이 높고, 여름이 낮았다. 시간변화는 봄에 430~907 ( $738 \pm 185$ )의 변동 폭을 보였고, 여름은 495~967 ( $749 \pm 168$ ), 그리고 가을은 525~837 ( $613 \pm 106$ )의 변동 폭으로 평균 약 700 정도의 비를 보였다. 저층은 봄과 여름이 저층에서 낮고, 가을은 표층에서 다소 낮은 비를 나타내었다(Table 1). 그리고 POC/Chl-*a* 비의 시·공간적 분포는 전체적으로 100 이상의 비를 나타내어 세부적 공간분포에 큰 의미를 부여할 수 없기에 생략하였다[23].

## 4. 고찰

꼬막은 이때때로서 해수의 현탁물을 여과하여 먹이를 취득하는 여과식자이기 때문에 해수에 부유하는 동·식물플랑크톤은 물론 입자태 유기물과 그에 부착되어 있는 세균 등의 유기물은 물론 미세먹이망의 출발점이 되는 용존유기물을 분해하는 free-living bacteria까지 해수의 입자형태의 유기물을 먹이원으로 이용한다[24]. 때문에 꼬막의 먹이원 해석에는 Chl-*a*와 같은 식물플랑크톤 생물량을 포함하는 다양한 유기물질의 정량적 분석은 필연적이라 할 수 있다[23].

여자만 북서해역의 꼬막양식장은 3m 이내의 얕은 수심으로 내만부에는 소형하천이지만 별교천이 유입되어 전체적으로 높은 Chl-*a* 농도를 나타내었다[25]. 또한 표층보다 저층에서 높은 값을 보이는 것은 낮은 수심으로 외력에 의한 혼합이 강하게 발생하여 표층퇴적물이 수층에 재부유 되어 혼합되기 때문이라 할 수 있었다.

국내·외의 하구해역 및 비교적 청정한 해역인 동해남부 등 다양한 해역에서 분석된 POC, PON, POC/PON ratio 및 POC/Chl-*a* ratio에 대한 기존연구의 연구결과를 Table 2에 정리하여 두었다. 일반적으로 수권에서 POC 평균농도는 해양에서 4.2  $\mu$ M, 담수권의 빈영양호는 16.7  $\mu$ M, 부영양호는 141.7  $\mu$ M, 그리고 하천은 166.7  $\mu$ M 정도인 것으로 알려진다[26]. 이러한 일반적 내용과 비교하면, 여자만 북서부해역의 꼬막양식장에서

측정된 3회의 POC 평균농도 1,973.3  $\mu\text{M}$ 은 매우 높은 값으로 시화호의 기수역보다는 낮지만[27], 폐쇄된 새만금 방조제 내부해역에 준하는 농도[28]로서 국내의 반폐쇄적 특성 및 부영양화 해역보다도 높은 값을 나타내었다[29-35]. 국외에서도 일본의 대표적 폐쇄해역인 세도내해와 유사한 농도이나[34], 높은 부유물질과 식물플랑크톤 대발생이 빈발하는 프랑스의 센강(세느강) 하구인 세느만에 비하면 1/3 정도 수준이다[37]. 이러한 결과로부터 여자만 북서부 꼬막양식장에서 이매패류 먹이원으로 사용할 수 있는 탄소량은 매우 풍부하게 존재한다고 할 수 있었다. 다만 꼬막양식장 해수를 현미경으로 관찰한 결과는 일반적 부유물보다 부유물이 완전히 침강되지 않은 부유성 부유물 비율이 매우 높은 것으로 관찰되었다.

해양의 PON은 원자비로서 POC의 약 1/6~1/8분에 해당하여, 해양 화학양론(stoichiometry)에서 POC/PON ratio는 일반적으로 Redfield 비라는 C:N:P=106:16:1로 C/N ratio는 106/16 (=6.63)으로 알려져 있다[38]. 그러나 최근 탄소가 풍부한 해역(C-rich)에서 seston(입자성 유기물)을 구성하는 C:N:P = 166:20:1로 C/N ratio는 166/20 (=8.3)으로 보는 것이 타당하다는 보고도 있다[39]. 또한 해역에서 POC/PON ratio는 질소원을 구성인자로 하는 아미노산, 단백질의 변화, 즉 수심에 따라 차이를 나타내어, 광합성이 이루어지는 유광층은 7~8의 수준을 보이지만, 무광층에서는 10 이상으로 비가 증가하는 것이 알려진다[40]. 또한 조석에 따라서도 크게 변화하는 것도 보고되지만[37], 해역에 따라 각 해역의 해양환경 및 부유물질 총량인 seston의 구성 인자 및 농도에 따라 다양하게 변화하는 특성을 보인다(Table 2). 여자만 북서해역의 꼬막양식장의 POC/PON ratio는 표층에서 3계절 평균값으로 3.7로 낮은 특성을 보였고, 계절적으로는 봄과 여름에 다소 높았고, 가을에 낮은 특성을 보였다.

그러나 Redfield 비는 식물플랑크톤 군집을 구성하는 종에 따라 생리 및 생화학적 기반에서 영양염을 흡수하고 고정시키는 원소의 비가 다르게 나타나기 때문에 실내실험에서는 종에 따라 원소비가 2~10배로 변한다[41]. 그리고 해역에서도 화학양론적 반응에서 독립영양과 종속영양생물 및 유기체설물이 혼재되어 있기 때문에 시·공간적인 변동 폭이 크게 나타난다[39,42]. 또한 해역의 레드필드 비보다 높은 10 이상의 비는 연안에서 육상기원의 탄소가 유입되는 것으로 판단하기도 한다. 이러한 내용으로 보면, 여자만 북서해역의 낮은 C/N ratio는 높은 유기체설물(detritus)의 영향으로 판단할 수 있었고,

별교천에서 유입되는 육상기원 유기물 영향은 매우 낮은 것으로 판단되었다.

수권의 POC/Chl-a ratio는 식물플랑크톤의 종과 생리조건은 물론 수온, 광량, 영양염류 등의 비생물학적 환경 인자에 따라 시·공간적인 변화가 크지만[43], 수권생태계에서 POC의 기원을 파악하는 방법으로 POC/Chl-a ratio가 널리 사용된다[36,44]. 수권에서 POC/Chl-a ratio는 일반적으로 하구역은 30~60의 범위[45], 해양에서는 10~90의 범위[46]로 보고된다. POC/Chl-a ratio를 기준으로 100 이하이면 POC 대부분 식물플랑크톤에 의해 생산되는 것으로 판단할 수 있다[23]. 이러한 기준으로 여자만 북서해역의 POC, PON 농도를 평가하면, 대부분 탄소원은 식물플랑크톤 생산에 기여하는 것보다, 식물플랑크톤 이외의 생물성 물질에서 기인하고 있는 부분이 매우 크다는 것으로 해석할 수 있다[34] 이는 여자만 북서부 해역 꼬막양식장은 풍부한 탄소원을 가지고 있지만, 질적으로는 그다지 좋지 못한 상태인 것임을 나타낸다고 할 수 있으며, 이는 현미경에서 관찰되는 부유성 부유물질의 높은 비율과도 맥을 같이하는 것으로 판단할 수 있었다.

아직 충분한 자료가 축적되지 않아, 이러한 먹이자의 양과 질이 꼬막폐사와 어떻게 관련되고 있는지는 확실하지 않지만, 꼬막 등 이매패류의 성장에 좋지 않은 영향을 미치고 있는 것으로는 판단되었다. 이에 대해서는 앞으로 보다 심도있는 자료축적이 요구된다.

## References

- [1] C. J. Hopkinson and E. M. Smith. Estuarine respiration: an overview of benthic, pelagic and whole system respiration. In: "P.A. del Giorgio and P.J. le B. Williams (eds), Respiration in Aquatic Ecosystems., Oxford Univ. Press, New York", pp.122-146. 2005.
- [2] J. E. Cloern, S. Q. Foster1 and A. E. Kleckne. "Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems". Biogeosci., Vol. 11, pp.2477-2501. May 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-11-2477-2014>
- [3] J. H. Ryther, "Photosynthesis and fish production in the sea. The production of organic matter and its conversion to higher forms of life vary throughout the world ocean". Science, Vol. 166, No. 3901, pp.72-76. Oct. 1969  
DOI: <https://www.jstor.org/stable/1727735>
- [4] P. C. Liang. "Large scale mortality of cockle in



- Province Wellesley, Malays". *Agric. J.*, Vol. 52, No. 1, pp.51-57 1979.
- [5] M. J. Broom. "Mortality and production in natural, artificially seeded and experimental populations of *Anadarn granosa* (L.) (Bivalvia: Arcidae)". *Oecologia* (Berlin), Vol. 58, No. 3, pp.389-397. 1983.
- [6] M. J. Broom. "The Biology and Culture of Marine Bivalve Molluscs of Genus *Anadara*". ICLARM Studies and Reviews 12, ICLARM (International Center for Living Aquatic Resources Management), Manila, pp.1-37. 1985.
- [7] T. Yurimoto, F. M. Kassim, R. Fuseya and A. Man, "Mass mortality event of the blood cockle, *Anadara granosa*, in aquaculture ground along Selangor coast, Peninsular Malaysia". *Int'l Aquat. Res.* Vol. 6, No. 4, pp.1-10. Sept. 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s40071-014-0077-3>
- [8] H. C. Kim, W. C Lee, J. G. Kim, S. J., Hong, K. M. Kim, Y. S. Cho, S. E. Park and J. H Kim. "Assessment of permissible inflow load for water quality management in Yeoja Bay, Korea", *J. Korean Soc. Mar. Environ. Safety*, Vol. 17, No. 4, pp.345-356. Dec. 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2011.17.4.345>
- [9] S. Y. Park, S. S. Kim, P. J., Kim, E. S. Cho, M. B. Kim, S. B. Jeon and S. J. Jang. "Long-term variation and characteristics of water quality in the Yeoja Bay of South Sea, Korea", *J. Korean Soc. Mar. Environ. Safety*, Vol. 17, No. 3, pp.203-218. Sept. 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2011.17.3.203>
- [10] M. Choi, L. S. Lee, H. C. Kim and D. W. Hwang. "Distribution and contamination status of trace metals in surface sediments of shellfish farming areas in Yeoja and Gangjin Bays, Korea". *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, Vol. 48, No. 5, pp.789-797. Oct. 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0789>
- [11] J. H. Shim. "Biological oceanography of Gamagyang Bay-the Yeoja Bay water system (1). *J. Oceanol. Soc. Korea*, Vol. 15, No. 2, pp.89-99. June 1980.
- [12] J. H. Lee and S.M. Youn, "Water quality and phytoplankton communities in Yeoja Bay of Korea", *Algae*, Vol. 15, No. 2, pp.89-98. Jan. 2000.
- [13] H. H. Shin, K. Mizushima, S. J. Oh, J. S. Park, I. H. Noh, M. Iwataki, K. Matsuoka and Y. H. Yoon. "Reconstruction of historical nutrient levels in Korean and Japanese coastal areas based on dinoflagellate cyst assemblages", *Mar. Poll. Bull.*, Vol. 60, No. 8, pp.1243-1258. Aug. 2010a.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.03.019>
- [14] H. H. Shin, K. Matsuoka, Y. H. Yoon and Y. O. Kim. "Response of dinoflagellate cyst assemblages to salinity changes in Yeoja Bay, Korea", *Mar. Micropaleon.*, Vol. 77, No. 1-2, pp. 15-24. Oct. 2010b.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2010.07.001>
- [15] D. Lim, S. W. Jung, J. K. Park and D. H. Jeong. "Seasonal changes in water masses and phytoplankton communities in the western part of south coastal waters, Korea". *Korean J. Environ. Biol.*, Vol. 30, No. 4, pp. 328-338. Dec. 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.11626/KJEB.2012.30.4.328>
- [16] G. W. Baeck, T. Takita and Y. H. Yoon, "Lifestyle of Korean mudskipper *Periophthalmus magnuspinnatus* with reference to a congeneric species, *Periophthalmus modestus*", *Ichth. Res.*, Vol. 54, No. 1, pp.43-52. Feb. 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10228-007-0009-y>
- [17] J. W. Kim, Y. H. Yoon, H. C. Shin, T. Takita, J. H. Kim, S. C. Park, C. I. Park. and G. W. Baeck. 2008, "Reproduction of the goby fish *Periophthalmus magnuspinnatus* in mud flat of Suncheon Bay, Korea", *J. Korean Fish. Soc.*, Vol. 41, No. 4, pp.289-293. Aug. 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2008.41.4.289>
- [18] Y. K. Shin, T. S. Moon and C. H. Wi. "Effects of the dissolved oxygen concentration on the physiology of the Manila clam, *Tegillarca granosa* (Linnaeus)". *J. Korean Fish. Soc.*, Vol. 35, No. 5. pp.485-489. Sept. 2002.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2002.35.5.485>
- [19] T.-S. Moon, M.-M. Jung, M.-H. Yang, C. Wi1, J.-H. Lee, Y.-S. Shin, Y.-K. Shin and Y.-J. Chang. "Spats appearance and distribution of blood cockle, *Tegillarca granosa* in each tidal time and line". *J. Aquacul.* Vol. 19, No. 2, pp.119-124, June 2006.
- [20] T.-S. Moon and Y.-K. Shin. "Effect of salinity on survival and metabolism of ark shell, *Tegillarca granosa*". *Korean J. Malacol.* Vol. 26, No. 3, pp.171-177. Sept. 2010.
- [21] Y. H. Yoon. The marine environments and its activation plan in Yeosu Bay. In: "Y.H. Yoon, W.J Cgo, H.J. Kim and J. Kim (eds). *The Marine Environments, Ecosystem Services Value, and Its Utilization and Coservations in Yeosu Bay*. Bummin Cultur Foundation, Yeosu". pp.7-57. Jan. 2019.
- [22] SCOR-Unesco, Determination of photosynthetic pigments. In: "Unesco(ed), *Determination of photosynthetic pigments in sea water*. Paris", pp. 10-18, 1996.
- [23] J. A. Berg and R. I. E. Newell. "Temporal and spatial variations in the composition of seston available to the suspension feeder *Crassostrea virginica*". *Est. Coast. Mar. Sci.*, Vol. 23, No. 3, pp.375-386. Sept. 1986.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(86\)90034-X](https://doi.org/10.1016/0272-7714(86)90034-X)
- [24] P. J. Cranford, J. E. Ward and S. E. Shumway. Bivalve filter feeding: variability and limits of the aquaculture biofilter. In: "S. Shumway (ed.) *Shellfish Aquaculture and the Environment.*, Wiley-Blackwell" pp.81-124. 2011.
- [25] Y. H. Yoon. Marine environments and phytoplankton in the South-western Sea of Korea. In: "C. K. Choi (ed.), *The Plankton Ecology in Korean Coastal Waters*. Donghwa Publ., Seoul". pp.68-93. 2011.
- [26] R. G. Wetzel. "Limnology: Lake and River Ecosystems

- (3th eds). Academic Press, New York”, pp.1-1006. 2001
- [27] K. Choi, S. Kim, D. Kim and W. Heo. “Effect of agal faction to particulate organic matter in the upper regions of a backish lke Sihwa”. Korean J. Ecol. Environ., Vol. 46, No. 4. pp.499-506. Dec. 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.11614/KSL.2013.46.4.499>
- [28] J. K. Park, E. S. Kim, K. T. Kim, S. R. Cho, T. Y. Song, J. K. Yoo, S. S. Kim and Y. C. Park. “Characteristics in organic carbon distribution in the Seamangeum area during the construction of artificial sea dike, Korea”. J. Korean Soc. Mar. Environ. Eng., Vol. 12, No. 2, pp.75-83, May 2009.
- [29] P. Y. Lee, C. K. Kang, J. S. Park and J. S. Park, “Annual change and C:N:P: ratio in particulate organic matter in Chinhae Bay, Korea”. J. Korean Soc. Oceanogr., Vol. 29, No. 2, pp.107-118. June 1994.
- [30] S. Choi, T.-H. Jeong. Nutrients and suspended organic particulates in the estuary of NakDong River. J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 7, No. 1, pp.1-14. March 1972.
- [31] K.-Y. Kwon, C.-H. Moon, C.-K. Kang and Y.-N. Kim, “Distribution of particulate organic matter along the salinity gradients in the Seomjin River estuary”, J. Korean Fish. Soc., Vol. 35, No. 1, pp.86-96. Feb. 2002.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2002.35.1.086>
- [32] C.-H. Moon, C. Park and S. Y. Lee. “Nutrients and particulate organic matter in Asan Bay”. Buul. Korean Fish. Soc., Vol. 26, No. 2, pp.173-181. June 1993.
- [33] J. H. Shim and Y. K. Shin. “Biomass of primary producer in the Chonsu Bay-Relationships between phytoplankton carbon, cell number and chlorophyll-”. J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 24, No. 3, pp.194-205. Sept. 1989.
- [34] S. J. Oh, S. Jeong, and S.-Y. Kim, “Spatio-temporal distribution of particulate organic carbon (POC) and nitrogen (PON) in the southwestern area of East Sea”. J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, Vol. 19, No. 2, pp.144-150. May 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7846/JKOSMEE.2016.19.2.144>
- [35] D. Kim, S.-H. Choi, K. H. Kim and C.-H., Kim. “The distribution and interannual variation in suspended solid and particulate organic carbon in the Northern East China Sea”. Ocean and Polar Res., Vol. 31, No. 2, pp.219-229. June 2009.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2009.31.2.219>
- [36] P. Magni and S. Montani, “Water chemistry variability in the lower intertidal zone of an estuary in the Seto Inland Sea, Japan: seasonal patterns of nutrients and particulate compounds”. Hydrobiol., Vol. 432, No. 1-2, pp.9-23. Aug. 2000.  
DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1004064917794>
- [37] L. Bodineau, G. Thoumelin, V. Béghin and M. Wartel, “Particulate organic matter composition in the Estuarine Turbidity Maxima (ETM) of the Seine River estuary”. Hydrobiol., Vol. 373/374, No. 0, pp.281-295. June 1998.  
DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1017083924578>
- [38] A. C. Redfield, “The biological control of chemical factors in the environment”. Am. Sci., Vol. 46, No. 3, pp. 203A, 205-221. Sept. 1958.  
DOI: <https://www.jstor.org/stable/27827150>
- [39] R. W. Sterner, T. Andersen, J.J. Elser, D.O. Hessen, J.M. Hood, E. McCauley and J. Urabe. “Scale-dependent carbon: nitrogen: phosphorus seston stoichiometry in marine and freshwaters”, Limnol. Oceanogr., Vol. 53, No. 3, pp.1169-1180. May 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.3.1169>
- [40] E. Tanoue. and N. Handa. “Distribution of particulate organic carbon and nitrogen in the Bering Sea and northern north pacific Ocean”. J. Oceanogr. Soc. Japan, Vol. 35, No. 1, pp.47-62. Jan. 1979.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02108282>
- [41] R. J. Geider and J. La Roche. “Redfield revisited: variability of C:N:P in marine microalgae and its biochemical basis”. Eur. J. Phycol., Vol. 37, No. 1, pp.1-17. July 2002.  
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0967026201003456>
- [42] H. Frigstad, T. Andersen, D. O. Hessen, L. J. Naustvoll, T M. Johnsen and R. G. J. Bellerby, “Seasonal variation in marine C:N:P stoichiometry: can the composition of seston explain stable Redfield ratios?” Biogeosci., Vol. 8, No. 10, pp.2917-2933. Oct. 2011.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.5194/bg-8-2917-2011>
- [43] R. J. Geider, H. L. MacIntyre and T. M. Kana, “Dynamic model of phytoplankton growth and acclimation: responses of the balanced growth rate and the chlorophyll a:carbon ratio to light, nutrient-limitation and temperature”. Mar. Ecol. Prog. Ser., Vol. 148, No. 1, pp.187-200. March 1997.  
DOI: <https://www.jstor.org/stable/24857483>
- [44] L. Arin, X. A .G. Moran and M. Estrada. “Phytoplankton size distribution and growth rates in the Alboran Sea (SW Mediterranean): short term variability related to mesoscale hydrodynamics. J. Plank. Res., Vol. 24, No. 10, pp.1019-1033. Oct. 2002.  
DOI: <https://doi.org/10.1093/plankt/24.10.1019>
- [45] D. H. Peterson and J. F. Festa, “Numerical simulation of phytoplankton productivity in partially mixed estuaries”. Est. Coast. Mar. Sci., Vol. 19, No. 5, pp.563-589. Nov. 1984.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(84\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0272-7714(84)90016-7)
- [46] R. W. Eppley, W. G. Harrison, S. W. Chisholm and E. Stewart. “Particulate organic matter in surface waters off Southern California and its relationship to phytoplankton”. J. Mar. Res., Vol. 35, No. 4, pp.671-696. 1977.

윤 양 호(Yang Ho Yoon)

[정회원]



- 1986년 3월 : Nagasaki대학 대학원 수산학연구과(수산학석사)
- 1989년 3월 : Hiroshima대학 대학원 생물권과학연구과(학술박사)
- 1990년 3월 ~ 2006년 2월 : 여수대학교 교수
- 2019년 6월 ~ 현재 : 전남대학교 해양기술학부 교수

〈관심분야〉

해양환경보전 및 관리, 양식장어장환경, 해양환경복원