

ORIGINAL ARTICLE

순천만 패류 양식장 3개소의 지화학적 특성과 저서생물상 분포 -가리맛조개 양식장과 새꼬막 양식장-

서진수 · 김태훈 · 신세연 · 강형일 · 안삼영* · 정재성¹⁾ · 김영성²⁾ · 원남일²⁾

순천대학교 환경교육과 · 순천대학교 연안해역위생환경연구소, ¹⁾순천대학교 토목공학과, ²⁾K-water 융합연구원

Geochemical Characteristics and Benthos Distribution in the Three Shellfish Farms in Suncheon Bay, Korea

Jinsoo Suh, Taehoon Kim, Seyeon Shin, Hyung-Yeel Kahng, Samyoung Ahn*,
Jae-Sung Jung¹⁾, Youngsung Kim²⁾, Nam-Il Won²⁾

Department of Environmental Education, The Research Institute for Sanitation and Environment of Coastal Areas, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

¹⁾*Department of Civil Engineering, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea*

²⁾*K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 34045, Korea*

Abstract

This study was performed to investigate the geochemical and benthic environment of three shellfish farms in Suncheon Bay during the period of September 2014 ~ April 2015. Three sampling stations were selected; St.1 is the shellfish farm of razor clam near Jangsan area. St.2 is the shellfish farm of small ark shell near Hwapo area and St.3 is the shellfish farm of razor clam near Yongdu area. Razor clam was the dominant species at St.1, small ark shell and granulated ark shell were dominant at St.2 and St.3, respectively. Granulated ark shell inhabited St.3, although it is not cultured at that station. This station's exposure to air during the ebb tide and sediment composition likely provides the appropriate habitat for granulated ark shell species. Analysis of the number of different species showed that 8 benthos species were found to be distributed at St.1, 18 species at St.2, and 13 species at St.3. Among three stations, the highest Ignition Loss (IL), Chemical Oxygen Demand (COD) and Acid Volatile Sulfide (AVS) values were obtained from the sediment at St.2. The analysis of pore water from St.2 also showed the highest values of Total Organic Carbon (TOC), ammonia (NH₄⁺), Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN) and phosphate (PO₄³⁻). These results are related to the fact that species dominance and richness is the highest in St.2.

Key words : Shellfish farm, Suncheon bay, Sediment quality, Pore water quality

Received 9 February, 2017; Revised 24 May, 2017;

Accepted 30 May, 2017

*Corresponding author: Samyoung Ahn, Department of Environmental Education, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea
Phone : +82-61-750-3381
E-mail : sahn@sunchon.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

갯벌(tidal flat)은 조류나 강으로부터 운반된 퇴적물이 오랜 기간 쌓여 형성되는 해안 습지이다. 외해의 파도나 폭풍으로부터 육지를 보호해주고 수많은 종류의 동식물들이 서식하고 있으며, 육상기원 오염물질을 분해하며, 사람들에게는 자연의 아름다움을 전하는 등 다양한 기능과 가치를 지닌 곳이다.

남해안의 갯벌들은 반 폐쇄적인 구조로 외해로부터 영향을 상대적으로 덜 받기 때문에 패류 양식에 적합하여 경제적 가치가 높은 곳이다. 그러나 한편으로 해수의 유동이 느리고, 체류시간이 길기 때문에 오염에 취약한 특성도 가진다. 특히, 패류는 저서성이고 정착성이므로 오염된 퇴적물의 영향을 직접적으로 받을 수 있다. 육상기원 오염물질의 유입과 더불어, 어업활동에서 발생하는 각종 폐기물의 방치, 생산량 증대를 위해 과도한 밀식 양식 등 갯벌 저서환경에 나쁜 영향을 주는 요인들이 증가하는 상황이다(Lee et al., 2000; Lim et al., 2010; Cho et al., 2011).

순천과 벌교를 아우르는 순천만¹⁾ 갯벌은 예로부터 가리맛조개(razor clam; *Sinonovacula constricta*), 참꼬막(granular ark shell; *Tegillarca granosa*), 새꼬막(small ark shell; *Scapharca subcrenata*) 등의 주요 생산지로 명성이 높았다. 특히 새꼬막의 경우 1908년 처음 양식이 시작된 곳이 바로 순천만이며 1990년대 중반 이후 새꼬막 주 양식지로 자리 잡았다(NIFS, 2016). 전라남도에도 따르면 2014년 기준 전라남도 새꼬막 양식면적은 전국대비 87%(10,187 ha/11,677 ha)를 차지하고 있으며 이 가운데 순천만(여수, 순천, 보성, 고흥)이 약 93%(9,441 ha)를 차지한다(Shin, 2016). 종패 또한 전국에서 가장 많이 생산되고 있다. 그러나 최근 종패생산과 성패 성장 부진으로 새꼬막생산량이 급감하여 어업인들이 큰 피해를 입고 있다. 이러한 새꼬막의 집단폐사와 생산량 감소는 급격한 수온 및 염분 변화, 태풍 등 기후변화, 해안 산성화, 불가사리 등 해적 생물의 번성 등 외적 요인과 더불어 연안개발, 육상기원 오염물질에 대한 관리 부재, 양식장 저질의 오염, 밀식에 의한 환경악화 등 인위적 요인들이 복합적

으로 작용한 것으로 추정된다.

가리맛조개 역시 97%가 전라남도에서 수확되는데 생산량이 감소하다가 2011년 국내 처음으로 전라남도 해양수산과학원 여수지소가 가리맛조개 인공종묘에 성공하면서 순천만 상부 조간대에서 양식이 성공적으로 안착되어가고 있다. 특히 수심 10 m까지 서식하는 꼬막류와 달리 가리맛조개는 모래질이 섞인 갯벌의 상부 조간대에 서식하며 저층부로 약 40 cm 이상 들어가는 습성이 있는데(FAO, 1990; Koh et al., 1997) 순천시 장산마을과 용두마을 인근의 상부조간대는 각각 동천과 벌교천의 유하 수로에 인접하여 하천으로부터 운반되는 퇴적물로 인해 가리맛조개의 서식에 적합한 모래질이 섞인 갯벌이다.

꼬막과 가리맛조개가 지역의 특산품으로 자리매김하기 위해서는 이들 패류 양식장에 대한 체계적인 관리가 필수적이다. 본 연구의 대상지로는 가리맛조개 양식장으로 순천시 장산과 용두지역을 선정하였으며, 새꼬막 양식장으로는 역시 순천만 상부 조간대에 위치한 화포지역을 선정하였다. 패류의 주 생산 시기인 봄(4월), 가을(9월과 10월), 겨울(12월)에 이 세 지점의 지화학적 특성과 함께 주 생산 패류 개체 수 및 저서생물상을 조사하여, 순천만 패류 양식장의 저서환경을 파악하고 효율적인 관리를 위한 정보를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사 지점

2014년 3회(9, 10, 12월)와 2015년 1회(4월)에 걸쳐 3개 지점(St.1 장산, St.2 화포, St.3 용두)에서 갯벌 퇴적물시료와 생물상 조사를 실시하였다. 소형선박을 이용하여 해당 조사지점에 도착한 후 간조가 되었을 때 갯벌 퇴적물과 생물상 시료를 채취하였다. 조사 지점 세 곳의 지리적 위치와 주요 양식 패류는 Fig. 1과 Table 1에 각각 제시하였다.

2.2. 시료채취

갯벌에 서식하는 생물상 조사를 위해 방형구(50 cm × 50 cm × 50 cm)를 사용하여 지점별 모두 6곳의 갯벌

1) 순천만이라는 지명과 더불어 여자만이라는 지명이 혼용되어 사용되나 본 논문에서는 순천만으로 기술하기로 한다.

Table 1. Description of sampling stations

| Station | Description |
|---------|--|
| St.1 | Suncheon Jangsan: razor clam (<i>Sinonovacula constricta</i>) aquaculture area |
| St.2 | Suncheon Hwapo: small ark shell (<i>Scapharca subcrenata</i>) aquaculture area |
| St.3 | Suncheon Yongdu: razor clam (<i>Sinonovacula constricta</i>) aquaculture area |

시료를 채취한 후 pore size가 5 mm인 체(sieve)를 사용하여 체질하며 그 안에 포함된 생물상을 현장에서 1차 채집하고 세척하였다. 체질과 현장 1차 세척은 조사지점 인근에 설치된 바지선으로 운반하는 방법(St.1), 바닷물이 다시 들어오는 시간까지 기다리는 방법(St.2), 채취한 갯벌 퇴적물을 빨배를 이용해 육상으로 운반하는 방법(St.3)등으로 실시하였다. 1차 세척한 시료를 아이스박스에 넣어 실험실로 운반하여 세척 후 종별 개수를 계수하였으며, 계수 후 시료는 냉동 보관하였다.

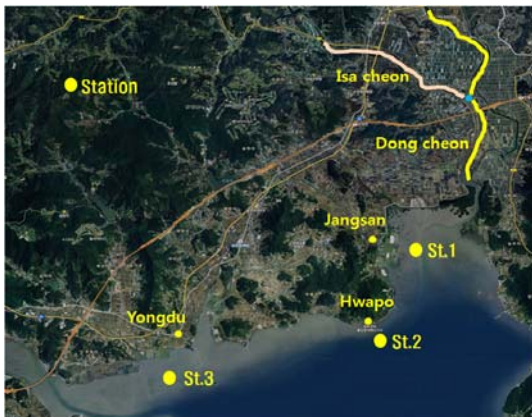


Fig. 1. Map showing sampling stations in Suncheon Bay.

갯벌 퇴적물의 이화학적 분석을 위한 시료와 공극수 시료의 채취와 보관은 우리나라 해양환경공정시험방법과 미국 환경청(U.S.EPA) 시료채취 가이드라인을 참고하여 실시하였다(MOF, 2010; EPA, 2014).

주상 시료(core sample)는 각 조사지점에서 아크릴 재질(8.5 cm × 50 cm)의 코어 4개를 수직으로 박아 시료를 채취한 후 입구를 PE 재질의 비닐로 즉시 밀봉한 후 5℃ 이하로 보관하여 실험실로 운반하였다. 밀봉이

가능한 고밀도폴리에틸렌봉지를 질소로 충전시킨 후 질소 환경하에서 아크릴 코어와 연결시키고, 아크릴 코어의 한쪽에서 시료를 밀어서 빠져나오는 시료를 정해진 깊이(0~5 cm, 5~20 cm, 20~50 cm)별로 절단하였다. 주상 시료의 절단 깊이는 본 연구의 조사대상인 새꼬막과 가리맛조개의 서식 깊이를 고려하여 결정하였다. 새꼬막은 주로 갯벌의 표층에 서식하는 반면 가리맛조개는 약 50 cm 깊이까지도 파고 들어가는 습성이 있다. 또한 하천수 유입으로 인한 육상기원물질의 직접적인 영향범위, 기타 저서생물의 서식 깊이 등도 고려하여 주상 시료 상부의 깊이는 0~5 cm까지로 정하였으며, 주상 시료 중부는 5~20 cm 깊이 구간을 정하였다. 주상 시료 하부는 가리맛조개의 서식 깊이를 고려하여 20~50 cm 깊이 구간을 정하였다. 그동안의 선행연구가 주로 표층 갯벌 퇴적물의 이화학적 특성에 대한 정보를 제공하는 경우가 많아 본 연구에서는 상대적으로 생물 밀도가 적은 깊이의 주상 시료에 대한 이화학적 분석 자료를 얻고자하는 목적 또한 있었다. 절단된 시료가 담긴 비닐백은 즉시 밀봉하고 공극수 추출을 위한 것은 글로브 박스로 운반하여 공극수 추출에 사용하고, 나머지는 갯벌 퇴적물의 이화학적 분석에 사용되었다. 주상 시료로부터 얻어지는 0~5 cm 깊이의 시료양이 많지 않아 표층 시료를 추가로 얻기 위해 각 지점에서 플라스틱 재질의 주걱으로 표층에서 5 cm 깊이까지를 취하여 1 L 용량의 입구가 넓은 고밀도폴리에틸렌(wide mouth HDPE)봉지에 가득 담았다.

2.3. 저서 동물 조사

저서성 무척추동물은 국내외 무척추 생물도감, 서적, 그리고 관련 논문을 참고하여 동정하였고(Pennak, 1989; Kwon et al., 2001; Yoo, 2001), 각 어·패류는 접사 렌즈를 장착한 카메라를 사용하여 사진 촬영

하였다. 군집 분석을 위해 조사된 각 지점의 우점종과 우점도 지수, 다양도 지수, 그리고 분포 양상 등은 BioDiversity Pro software (McAleece et al., 1997)를 이용하여 분석하였다.

특히, 우점도 지수는 BioDiversity Pro software내 Berger-Parker's Species Dominance Index (DI)를 이용하여 산출하였고(McNaughton, 1967), 다양도 지수 분석은 Margalef의 정보이론에 의하여 도출된 Shannon-Weaver function (H')를 이용하였다(Margalef, 1958; Pielou, 1975). 우점도 지수(d)와 다양도 지수(H')의 산출식은 다음과 같다.

$$d = N_{max} / N$$

N_{max} , 가장 풍부한 종의 개체 수

N, 시료 속 전체 개체 수

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i [\log_2 P_i]$$

S, 군집에서 전체 종 수

P_i , 전체 종수에 대한 i종의 상대적 비율

조사기간 동안 채집된 연체동물문의 개체수 현존량을 조사하고 목(order)과 종(species) 수준에서 그 비율을 조사하였다.

2.4. 공극수 추출

주상 시료가 담긴 비닐 백을 글로브 박스로 옮긴 다음 비닐 백의 하단부에 직경 약 2~3 cm의 구멍을 낸 후 시료를 압착하듯 밀어서 미리 준비한 원심분리기용 플라스틱 병(250 mL PPCO (polypropylene copolymer) 재질)에 옮겼다. 약 80% 정도 시료를 채운 병을 글로브 박스에서 꺼내 원심분리기(4000 rpm, 20분)로 옮겨 공극수를 추출하였다. 채취한 공극수는 직경 47 mm, 여과 공극 0.45 μ m인 멤브레인 재질 여과지로 여과한 후 플라스틱 병에 담아 분석 시까지 냉동 보관하였다.

2.5. 이화학적 분석

갯벌 퇴적물에 대한 입도분석(grain size)은 해양환경공정시험법에 따라 체분석 및 피펫팅법(제4장 제1항)으로 실시하였다. 함수율(water content), 강열감량

(IL: Ignition Loss), 화학적 산소요구량(COD : Chemical Oxygen Demand), 산취발성황화물(AVS: Acid Volatile Sulfides)은 해양환경공정시험법에 따라 실험하였다(MOF, 2010).

공극수에 대한 염분은 수질측정기(ProDSS, YSI)로, pH는 micro pH meter (WTW)로 측정하였다. 공극수의 총유기탄소(TOC: Total Organic Carbon)는 TOC 분석기(SIEVERS InnovOx)로 측정하였으며, 암모니아성질소(NH_4^+), 아질산성질소(NO_2^-), 질산성질소(NO_3^-), 인산인(PO_4^{3-})의 농도는 해양환경공정시험법에 따라 흡광도(Shimazu UV-160A)를 측정하여 정량하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 이화학적 특성

3.1.1. 갯벌 퇴적물

조사한 3개 지점의 갯벌 퇴적물 입도분석 결과를 Table 2와 Fig. 2에 정리하였다. 동천이 유입되는 수로인 갯강에 인접한 St.1에서 모래(sand)의 조성이 1.76~32.60 %로 St.2와 St.3에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 특히 St.1의 주상 시료 상부(1-1)에서 모래의 조성이 높게 나타났는데 St.1의 경우 동천으로부터 사질 퇴적물이 유입되기 때문으로 판단된다. St.1의 주상 시료 상부의 퇴적물은 Folk(1957)의 모래-실트-점토 삼각분류표에 의하면 모래질 펄(sM: sandy Mud)유형이다. St.1에서 실트(silt)는 25.42~54.72%를, 점토(clay)는 26.78~58.85%를 나타내었다.

2015년 4월 St.2의 입도분석 자료는 일회적으로 일 반적인 경향을 벗어나므로 이를 제외하고 자료를 분석해보면 St.2의 경우 모래가 0.65~1.47%, 실트는 37.11~76.29%, 점토는 22.87~62.73%를 나타내었다. St.3의 경우 모래가 0.65~1.47%, 실트는 37.11~76.29%, 점토는 22.87~62.73%를 나타내었다. Fig. 3을 보면 4월을 제외하고는 St.1과 St.3에서의 모래와 실트의 함량이 St.2에서의 모래와 실트 함량보다 많은 것을 알 수 있다. St.1의 모래 함량은 다른 지역에 비해 특히 높았다. St.1에서는 가리맛조개만이 채집된 반면 St.3의 경우에는 가리맛조개와 꼬막류가 같이 채집되었고, St.2에서는 꼬막류만 채집된 것과 상관관계를 나타낸다

Table 2. Vertical profile and temporal variation of grain size distribution, mean size (Mz(ϕ)) and sorting (So) of the tidal flat sediments at three stations

| St. | Month | Depth (cm) | Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | Mz (ϕ) | So |
|------|-------|------------|----------|----------|----------|---------------|------|
| St.1 | | 0~5 | 32.60 | 25.42 | 41.98 | 7.67 | 2.96 |
| | | 5~20 | 29.83 | 30.58 | 39.59 | 7.67 | 2.96 |
| | | 20~30 | 7.96 | 34.72 | 57.31 | 9.00 | 2.31 |
| St.2 | Sept. | 0~5 | 1.47 | 66.50 | 32.04 | 8.33 | 2.16 |
| | | 5~20 | 1.12 | 64.74 | 34.14 | 8.33 | 2.16 |
| | | 20~30 | 1.15 | 59.03 | 39.82 | 8.33 | 2.16 |
| St.3 | | 0~5 | 1.30 | 69.45 | 29.25 | 8.00 | 2.16 |
| | | 5~20 | 1.43 | 62.05 | 36.52 | 8.33 | 2.16 |
| | | 20~30 | 1.90 | 70.52 | 27.59 | 8.33 | 2.16 |
| St.1 | | 0~5 | 24.43 | 48.79 | 26.78 | 7.33 | 3.11 |
| | | 5~20 | 5.99 | 39.41 | 54.60 | 9.33 | 2.06 |
| | | 20~30 | 1.70 | 54.72 | 43.58 | 8.33 | 1.76 |
| St.2 | Oct. | 0~5 | 0.65 | 61.93 | 37.42 | 8.33 | 2.16 |
| | | 5~20 | 0.84 | 69.23 | 29.93 | 7.67 | 2.01 |
| | | 20~30 | 0.84 | 76.29 | 22.87 | 9.00 | 1.76 |
| St.3 | | 0~5 | 1.35 | 73.20 | 25.44 | 8.00 | 2.01 |
| | | 5~20 | 2.30 | 51.19 | 46.51 | 8.33 | 2.41 |
| | | 20~30 | 2.33 | 58.02 | 39.65 | 8.00 | 2.41 |
| St.1 | | 0~5 | 22.18 | 48.55 | 29.27 | 7.00 | 2.71 |
| | | 5~20 | 12.48 | 28.67 | 58.85 | 9.00 | 2.46 |
| | | 20~30 | 3.62 | 50.94 | 45.44 | 8.67 | 2.15 |
| St.2 | Dec. | 0~5 | 0.73 | 45.94 | 53.34 | 9.33 | 1.76 |
| | | 5~20 | 1.16 | 37.11 | 61.73 | 9.33 | 1.76 |
| | | 20~30 | 0.76 | 43.54 | 55.70 | 9.33 | 1.91 |
| St.3 | | 0~5 | 0.97 | 49.66 | 49.18 | 8.67 | 2.16 |
| | | 5~20 | 0.81 | 53.94 | 44.84 | 8.67 | 2.16 |
| | | 20~30 | 1.38 | 55.51 | 43.10 | 8.67 | 2.16 |
| St.1 | | 0~5 | 13.79 | 45.00 | 41.21 | 9.00 | 2.16 |
| | | 5~20 | 2.74 | 44.68 | 52.47 | 9.33 | 2.06 |
| | | 20~30 | 1.76 | 46.99 | 51.15 | 8.67 | 2.16 |
| St.2 | April | 0~5 | 10.09 | 58.63 | 31.28 | 8.67 | 2.16 |
| | | 5~20 | 9.45 | 58.87 | 31.68 | 8.67 | 2.16 |
| | | 20~30 | 32.83 | 40.37 | 26.34 | 8.67 | 2.16 |
| St.3 | | 0~5 | 0.25 | 54.78 | 44.98 | 7.00 | 2.71 |
| | | 5~20 | 0.44 | 51.41 | 48.15 | 9.00 | 2.46 |
| | | 20~30 | 1.36 | 32.51 | 65.68 | 8.67 | 2.16 |

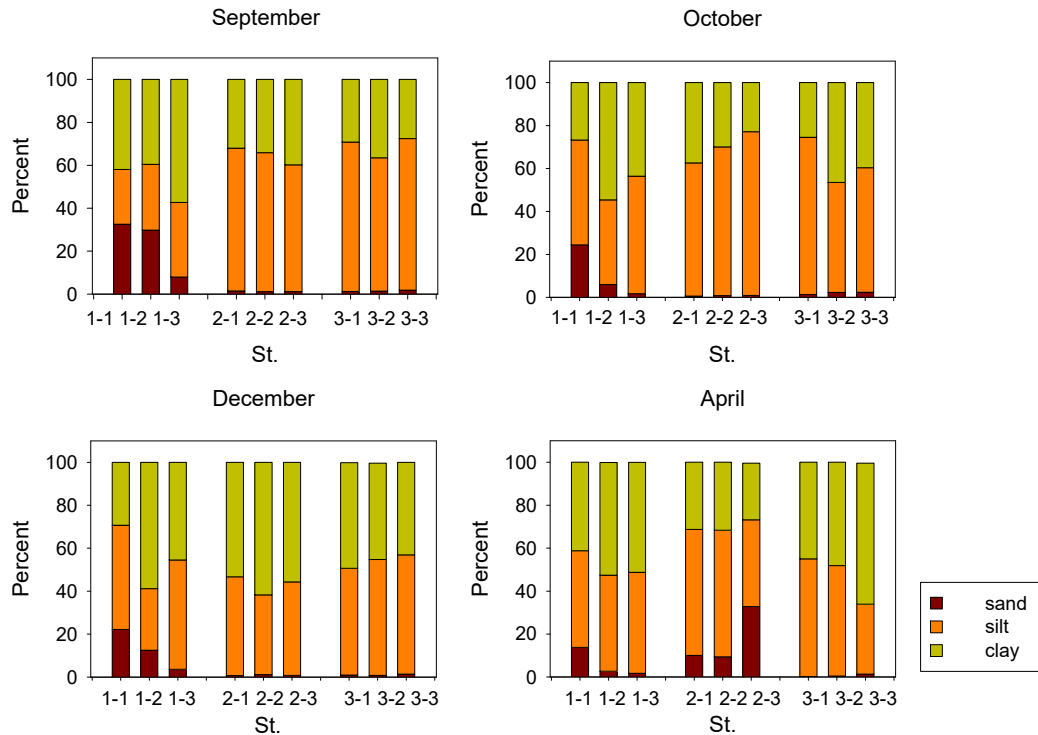


Fig. 2. Vertical profile and temporal variation of the percentage composition of sand, silt, and clay at three stations. Numbers following station No. denote the depth; 1 for 0~5 cm, 2 for 5~20 cm, 3 for 20~50 cm.

(Table 5, Table 7, Table 9).

전체적으로 평균 입도(M_z)는 7~9.3 ϕ 로 세립 실트에서 점토의 범주이고, 분급도(S_o)는 1.76-2.46의 범주로 매우 나쁜 분급(very poorly sorted, 2.0~4.0)에 속하였다.

Table 3에는 갯벌 퇴적물의 함수량, IL, COD, AVS 결과값과 평균값을 제시하였고 조사값들의 시기별, 깊이별 변화추이를 Fig. 3에 그래프로 나타내었다. 함수율은 전반적으로 9월에 가장 적은 값을, 10월과 12월에 큰 값을 나타내었다. 깊이별로는 주상 시료 하부(20~50 cm)로 갈수록 함수율이 적어지는 것을 알 수 있다. St.1의 함수율이 다른 지역(St.2와 St.3)보다 적은 것으로 조사되었는데 이는 입도분석 자료에서 St.1에서 모래 함량이 많은 것과 관련이 있다. 갯벌 퇴적물의 토양입자가 점토질로 구성되어 있으면 간조 시에도 간극수에 의해 포화상태를 유지하지만 공극율이 큰 사질의 경우 물이 쉽게 빠져나가 함수량이 적은 값

을 나타낸다(Jang and Cheong, 2010).

IL는 전반적으로 9월과 10월에 높은 값을, 12월에 낮은 값을 나타내었다. 각 조사지점에서 채집된 생물 종의 개체수가 12월에 감소하였던 것과도 관련이 있는 것으로 동절기에 갯벌 내 생물 활동이 둔화되면서 유기물의 생성과 배출이 감소하기 때문으로 분석된다 (Table 5~Table 10).

깊이별 IL 결과를 비교해보면 주상 시료 상부(0~5 cm)의 값이 주상 시료 하부(20~50 cm)의 값 보다 약간 높은 경향을 나타내었고, 주상 시료 하부(20~50 cm)에서 계절에 따른 변화폭이 작은 경향을 알 수 있었다. 갯벌 표층(0~5 cm)에서 상대적으로 생물 활동이 활발하고, 육상 혹은 해상으로부터 유입되는 유기물의 양의 변화가 주상 시료 상부(0~5 cm)에 보다 직접적인 영향을 주기 때문으로 판단된다.

본 조사지점의 주상 시료 상부(0~5 cm)의 IL값을 지형적으로 비슷한 반폐쇄적 내만형 해안 갯벌 표층

Table 3. Vertical profile and temporal variation of the tidal flat sediments quality at three stations

| St. | Month | Depth (cm) | WC ^a (%) | IL (%) | COD (mg O ₂ /g.dry) | | AVS (mg S/g.dry) | |
|------|-------|------------|----------------------------|-------------|-----------------------------------|-----------------|---------------------|--|
| St.1 | | 0~5 | 40.40 | 6.42 | 7.25 | | 0.0122 | |
| | | 5~20 | 39.88 (41.15) ^b | 5.92 (5.88) | 7.19 (7.56) | 0.0205 (0.0183) | | |
| | | 20~30 | 43.17 | 5.30 | 8.24 | | 0.0222 | |
| St.2 | Sept. | 0~5 | 48.11 | 7.24 | 8.33 | | 0.1153 | |
| | | 5~20 | 42.25 (43.25) | 7.06 (7.01) | 6.86 (6.85) | 0.0747 (0.0706) | | |
| | | 20~30 | 39.4 | 6.73 | 5.35 | | 0.0217 | |
| St.3 | | 0~5 | 46.4 | 5.13 | 2.01 | | 0.0201 | |
| | | 5~20 | 41.33 (43.31) | 5.55 (4.97) | 6.75 (4.37) | 0.0701 (0.0333) | | |
| | | 20~30 | 42.21 | 4.23 | 4.36 | | 0.0096 | |
| St.1 | | 0~5 | 50.54 | 5.58 | 9.83 | | 0.0016 | |
| | | 5~20 | 47.77 (48.17) | 6.48 (6.01) | 10.68 (10.52) | 0.0208 (0.0101) | | |
| | | 20~30 | 46.19 | 5.96 | 11.04 | | 0.008 | |
| St.2 | Oct. | 0~5 | 65.50 | 8.69 | 16.17 | | 0.0218 | |
| | | 5~20 | 56.23 (56.50) | 5.50 (7.01) | 14.39 (13.98) | 0.1296 (0.0670) | | |
| | | 20~30 | 47.76 | 6.83 | 11.37 | | 0.0496 | |
| St.3 | | 0~5 | 55.70 | 4.95 | 10.16 | | 0.0024 | |
| | | 5~20 | 52.68 (52.10) | 4.41 (4.68) | 9.51 (9.90) | 0.0522 (0.0247) | | |
| | | 20~30 | 47.91 | 4.67 | 10.02 | | 0.0196 | |
| St.1 | | 0~5 | 47.29 | 4.66 | 9.22 | | 0.0019 | |
| | | 5~20 | 46.97 (47.27) | 4.18 (4.64) | 11.20 (10.35) | 0.0103 (0.0099) | | |
| | | 20~30 | 47.55 | 5.09 | 10.64 | | 0.0174 | |
| St.2 | Dec. | 0~5 | 64.68 | 3.66 | 17.84 | | 0.0015 | |
| | | 5~20 | 55.91 (57.06) | 5.43 (4.91) | 13.47 (14.44) | 0.1113 (0.0664) | | |
| | | 20~30 | 50.59 | 5.65 | 12.02 | | 0.0865 | |
| St.3 | | 0~5 | 60.50 | 5.74 | 14.13 | | ND | |
| | | 5~20 | 50.53 (52.41) | 5.05 (4.51) | 9.82 (11.44) | 0.0628 (0.0272) | | |
| | | 20~30 | 46.21 | 2.74 | 10.37 | | 0.0188 | |
| St.1 | | 0~5 | 47.78 | 5.78 | 11.52 | | 0.0040 | |
| | | 5~20 | 45.15 (46.67) | 5.44 (5.56) | 11.91 (12.17) | 0.0037 (0.0050) | | |
| | | 20~30 | 47.08 | 5.45 | 13.09 | | 0.0073 | |
| St.2 | April | 0~5 | 53.20 | 4.67 | 18.62 | | 0.0086 | |
| | | 5~20 | 48.22 (47.55) | 4.47 (4.76) | 17.59 (15.64) | 0.0192 (0.0278) | | |
| | | 20~30 | 41.24 | 5.15 | 10.71 | | 0.0556 | |
| St.3 | | 0~5 | 55.73 | 5.81 | 13.21 | | 0.0600 | |
| | | 5~20 | 54.73 (52.84) | 4.90 (4.91) | 12.41 (11.24) | 0.0377 (0.0392) | | |
| | | 20~30 | 48.05 | 4.04 | 8.11 | | 0.0199 | |

^a WC: Water Content, ^b (average)

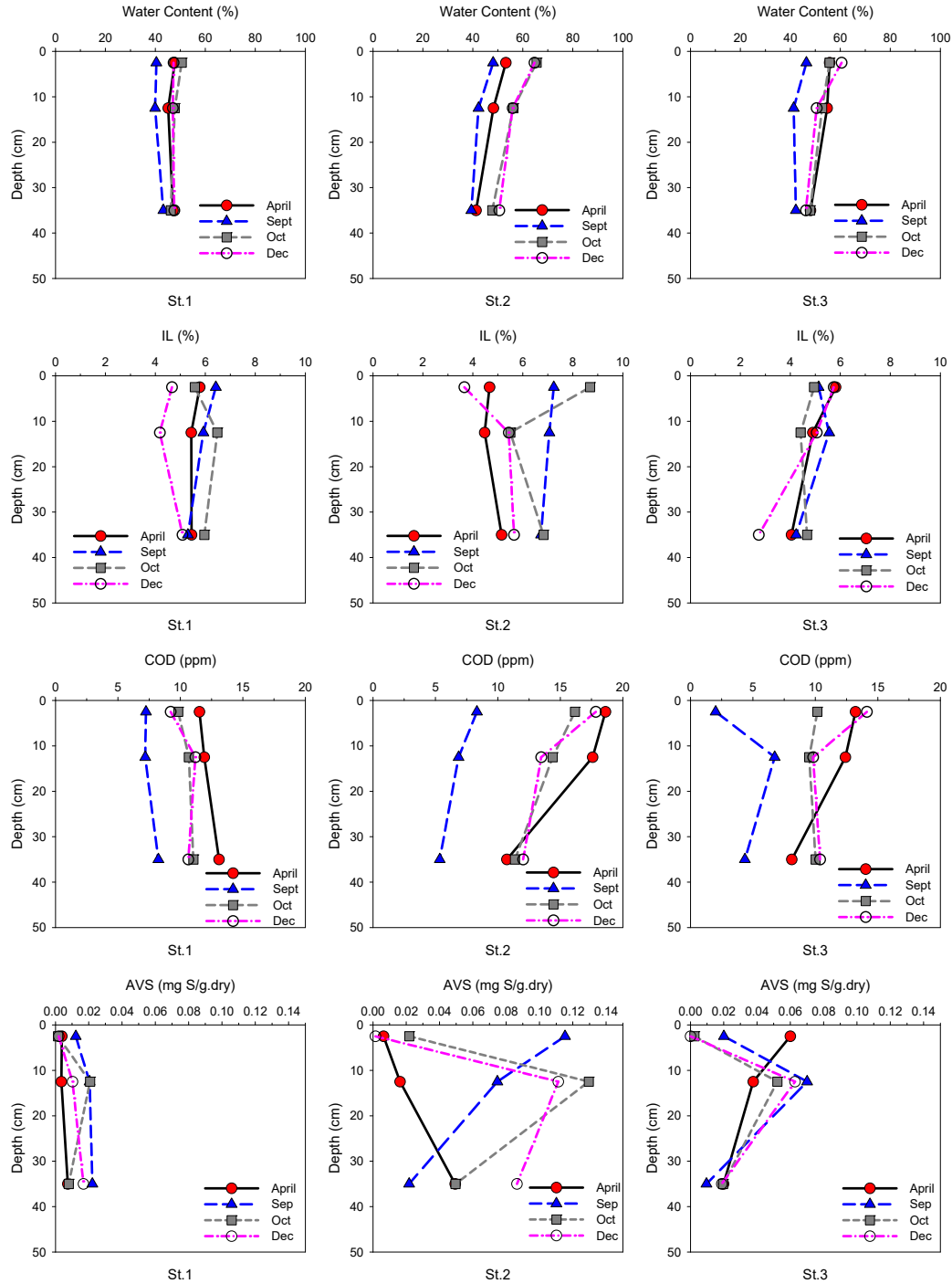


Fig. 3. Vertical profile and temporal variation of the tidal flat sediments quality at three stations.

시료의 IL값과 비교해보면, 본 연구에서 조사된 IL값은 4.64~6.01%의 범위로서, 2008년 Kim et al.(2008)이 순천만 상부 조간대(본 조사의 St.1과 인접)에서 측정된 값인 4.56~7.13%의 범위와 유사하였다. 한편, 본 조사의 IL 값은 사천만(8.77~10.33%)(Park et al., 2010), 진해만(7.2~14.3%)(Kim et al., 2012), 마산항(7.2~14.3%)(Hwang et al., 2006) 보다는 낮은 값을 나타내었다.

조사지점별로는 IL값이 St.1에서 4.64~6.01%, St.2에서는 4.76~7.01%, 그리고 St.3에서 4.51~4.94%를 나타내어 St.2에서 전반적으로 높게 측정되었다.

갯벌 퇴적물 COD의 경우 IL와 마찬가지로 주상 시료 상부(0~5 cm)에서 조사시기별 편차가 컸다. 또 IL값이 높았던 St.2에서 COD 농도도 6.84~15.64 mgO₂/g·dry로 조사시기에 관계없이 가장 높은 값을 나타내었다. St.2에서 저서생물이 가장 많이 채집된 것과 상관성이 있다. 모든 조사지점에서 주상 시료 상부(0~5 cm)의 COD 농도는 2.01~18.52 mgO₂/g·dry의 범위로 이들 값은 남해안 거금수도 부근의 표층 퇴적물 COD 농도인 15.5~32.8 mgO₂/g·dry(Yoon, 2000) 보다 낮으며, 9월에 측정된 표층 퇴적물의 값(2.01~8.33 mgO₂/g·dry)만을 고려하면 하계 득량만 표층 퇴적물에서 측정된 농도인 0.4~10.6 mgO₂/g·dry(Yoon and Kim, 2003)와 비슷한 범위에 있다.

AVS는 혐기성 조건에서 황산염 환원세균들이 에너지원으로 사용하기 위해 COD 유발 물질을 분해하는 과정에서 발생한다. 따라서 퇴적물내 AVS는 COD와 더불어 퇴적물의 유기물 농도를 파악하는 데 주요한 인자가 될 수 있다. 특히 AVS는 패류 양식장의 건강성과 관련이 높은 것으로 보고되고 있어서 어장관리 측면에서 매우 중요한 인자라고 할 수 있다(Hyun et al., 2003). 조사지점들의 AVS는 0.000~0.1296 mgS/g·dry 범위였으며 가장 높은 COD 농도를 보였던 St.2에서 AVS 역시 가장 높았다. 퇴적물 깊이별 농도 분포를 살펴보면 주상 시료 상부(0~5 cm)에서는 산소공급이 원활하여 AVS값이 작고, 주상 시료 중부(5~20 cm)에서는 생물활동으로 인한 유기물압력과 대기로 부터의 산소공급이 제한되면서 농도가 높은 경향을 보였고 주상 시료 하부(20~50 cm)에서는 유기물의 유입이 적고, 서식생물이 적은 관계로 농도가 다

시 줄어들었다. 한편, 우리나라 ‘어장 환경기준 및 어장 환경평가기준에 관한 고시’에 의하면 수산생물 서식 어장환경평가를 위해 해저 퇴적물에 대해 TOC와 AVS 기준을 각각 20 mg/g·dry와 0.5 mgS/g·dry 이하로 설정해 놓고 있다(MOF, 2014). 본 연구에서는 TOC대신 COD를 측정하였으므로 측정된 COD와 AVS를 고시 기준과 비교해 볼 때 순천만 갯벌 퇴적물은 모두 기준값 이하이므로 매우 양호한 어장상태를 유지하고 있다고 볼 수 있다.

3.1.2. 공극수

공극수에 대한 이화학적 조사결과는 Table 4, 그리고 Fig. 4와 Fig. 5에 정리하였다. 조사지점은 순천 동천과 벌교 벌교천으로부터 담수 유입의 직접적 영향권에 있는 순천만 상부 조간대에 해당하므로, 공극수의 염도는 육수 혼합과 이로 인한 독특한 생태환경을 이해하는데 매우 중요한 화학적 인자이다. 동천으로는 상류에 위치한 주암조절지 댐으로부터 최대 29 m³/sec, 평수기에 약 3 ~ 6.3 m³/sec의 유량이 유입된다(Lee et al., 2015). 평상시 많은 양의 담수가 유입되는 St.1에서 염분농도가 평균 15.8 ‰로 가장 낮았으며 벌교천이 유입되는 지점에 가까운 St.3에서 25.8 ‰로 그 다음을 나타내었고 St.2에서는 27.43 ‰로 가장 높은 값을 나타내었다. 특히 St.1 표층 공극수의 염도는 조사기간 동안 해수의 평균적인 염도를 크게 벗어나는 7.6~19.8 ‰의 값을 나타내어 이 지역 저서생물상의 구성 및 분포에 중요한 인자로 작용할 것이다.

pH는 일반적으로 담수가 해수보다 낮은 값을 보이는데 담수유입의 영향을 가장 크게 받는 St.1의 표층(0~5 cm) 공극수에서 pH는 7.25~7.99로 조사지점들 중 낮은 범위 값을 나타내었다.

영양염류는 해양의 일차생산성을 조절하는 매우 주요한 인자이기도 하지만 부영양화를 일으키는 인자이기도 하다. 순천만 조사지점의 경우 동천과 이사천, 벌교천이 유입되는 반면 광활한 갈대군락지가 형성되어 있는 특징이 있다. 따라서 도시로부터 인위적인 영양염의 유입과 갯벌 내에서의 자체적인 공급과 제거를 통한 영양염류의 순환은 순천만 갯벌생태계의 생산성과 건강성을 유지하는데 매우 중요한 기작이라고 할 수 있다.

Table 4. Vertical profile and temporal variation of pore water quality at three stations

| St. | Month | Depth (cm) | Sal (%) | pH | TOC (ppm) | Ammonia (μM) | DIN(μM) $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ | PO_4^{3-} (μM) |
|------|-------|------------|-------------|-------------|--------------|---------------------------|---|--------------------------------------|
| St.1 | | 0~5 | 13.2 | 7.53 | 1.86 | 0.52 | 1.78 | 0.78 |
| | | 5~20 | 14.1 (16.6) | 8.33 (8.02) | 2.18 (1.82) | 1.45 (1.94) | 3.65 (2.42) | 24.53 (16.75) |
| | | 20~30 | 22.4 | 8.21 | 1.43 | 3.84 | 1.82 | 24.85 |
| St.2 | Sept. | 0~5 | 26.0 | 7.92 | 2.09 | 2.65 | 1.48 | 12.64 |
| | | 5~20 | 28.2 (29.1) | 8.08 (8.02) | 4.07 (4.35) | 5.02 (5.15) | 1.59 (1.85) | 25.53 (26.30) |
| | | 20~30 | 33.1 | 8.07 | 6.90 | 7.79 | 2.47 | 40.74 |
| St.3 | | 0~5 | 23.4 | 7.72 | 0.09 | 1.29 | 1.63 | 3.06 |
| | | 5~20 | 23.9 (27.0) | 7.90 (7.90) | 1.04 (0.61) | NT (2.75) | 2.32 (1.44) | 31.80 (22.60) |
| | | 20~30 | 33.8 | 8.09 | 0.71 | 4.21 | 0.38 | 32.95 |
| St.1 | | 0~5 | 11.0 | 7.76 | 2.99 | 1.23 | 1.44 | 8.14 |
| | | 5~20 | 15.3 (12.5) | 8.13 (8.10) | 7.09 (4.21) | 1.22 (1.49) | 1.71 (1.80) | 21.82 (17.97) |
| | | 20~30 | 11.3 | 8.40 | 2.56 | 2.01 | 2.24 | 23.95 |
| St.2 | Oct. | 0~5 | 28.2 | 7.56 | 0.68 | 3.87 | 0.95 | 3.13 |
| | | 5~20 | 28.7 (28.6) | 8.01 (7.91) | 9.57 (7.72) | 9.23 (6.11) | 1.59 (1.58) | 31.26 (24.40) |
| | | 20~30 | 28.8 | 8.15 | 12.9 | 5.24 | 2.20 | 38.80 |
| St.3 | | 0~5 | 18.4 | 7.99 | 1.87 | 0.46 | 1.18 | 2.55 |
| | | 5~20 | 23.4 (21.7) | 8.11 (7.99) | 5.95 (3.47) | 3.04 (3.13) | 1.75 (1.75) | 20.15 (21.25) |
| | | 20~30 | 23.2 | 7.78 | 2.58 | 5.88 | 2.51 | 41.06 |
| St.1 | | 0~5 | 19.8 | 7.62 | 5.28 | 0.042 | 0.87 | 2.27 |
| | | 5~20 | 18.5 (19.9) | 8.44 (8.10) | 4.48 (6.85) | 0.68 (0.93) | 1.71 (1.65) | 6.83 (9.87) |
| | | 20~30 | 21.4 | 8.25 | 10.8 | 2.08 | 2.36 | 20.51 |
| St.2 | Dec. | 0~5 | 27.6 | 7.77 | 6.22 | 0.71 | 1.02 | 3.26 |
| | | 5~20 | 27.8 (27.5) | 7.83 (7.90) | 5.41 (8.84) | 2.06 (2.55) | 2.20 (2.24) | 10.81 (16.78) |
| | | 20~30 | 27.1 | 8.10 | 14.9 | 4.88 | 3.50 | 36.27 |
| St.3 | | 0~5 | 26.5 | 7.74 | 3.74 | 1.14 | 1.33 | 2.36 |
| | | 5~20 | 25.6 (26.3) | 7.79 (7.88) | 6.31 (5.81) | 2.14 (2.55) | 1.94 (2.15) | 8.37 (14.12) |
| | | 20~30 | 27.0 | 8.12 | 7.38 | 4.36 | 3.19 | 31.62 |
| St.1 | | 0~5 | 7.6 | 7.86 | 11.80 | 0.34 | 0.51 | 10.99 |
| | | 5~20 | 17.1 (14.0) | 8.06 (8.00) | 4.46 (9.31) | 0.82 (0.93) | 0.64 (1.02) | 23.00 (24.96) |
| | | 20~30 | 17.2 | 8.07 | 17.68 | 1.63 | 1.90 | 40.88 |
| St.2 | April | 0~5 | 18.7 | 7.60 | 3.16 | 0.62 | 1.40 | 17.81 |
| | | 5~20 | 26.5 (24.5) | 7.79 (7.77) | 8.71 (6.17) | 2.94 (2.42) | 1.06 (1.03) | 32.03 (33.13) |
| | | 20~30 | 28.4 | 7.92 | 6.65 | 3.70 | 0.62 | 49.54 |
| St.3 | | 0~5 | 28.1 | 7.25 | 5.18 | 0.88 | 0.40 | 15.19 |
| | | 5~20 | 28.4 (28.2) | 7.98 (7.76) | 10.40 (9.39) | 2.09 (2.10) | 0.49 (0.50) | 19.79 (23.39) |
| | | 20~30 | 28.2 | 8.06 | 12.60 | 3.33 | 0.60 | 35.19 |

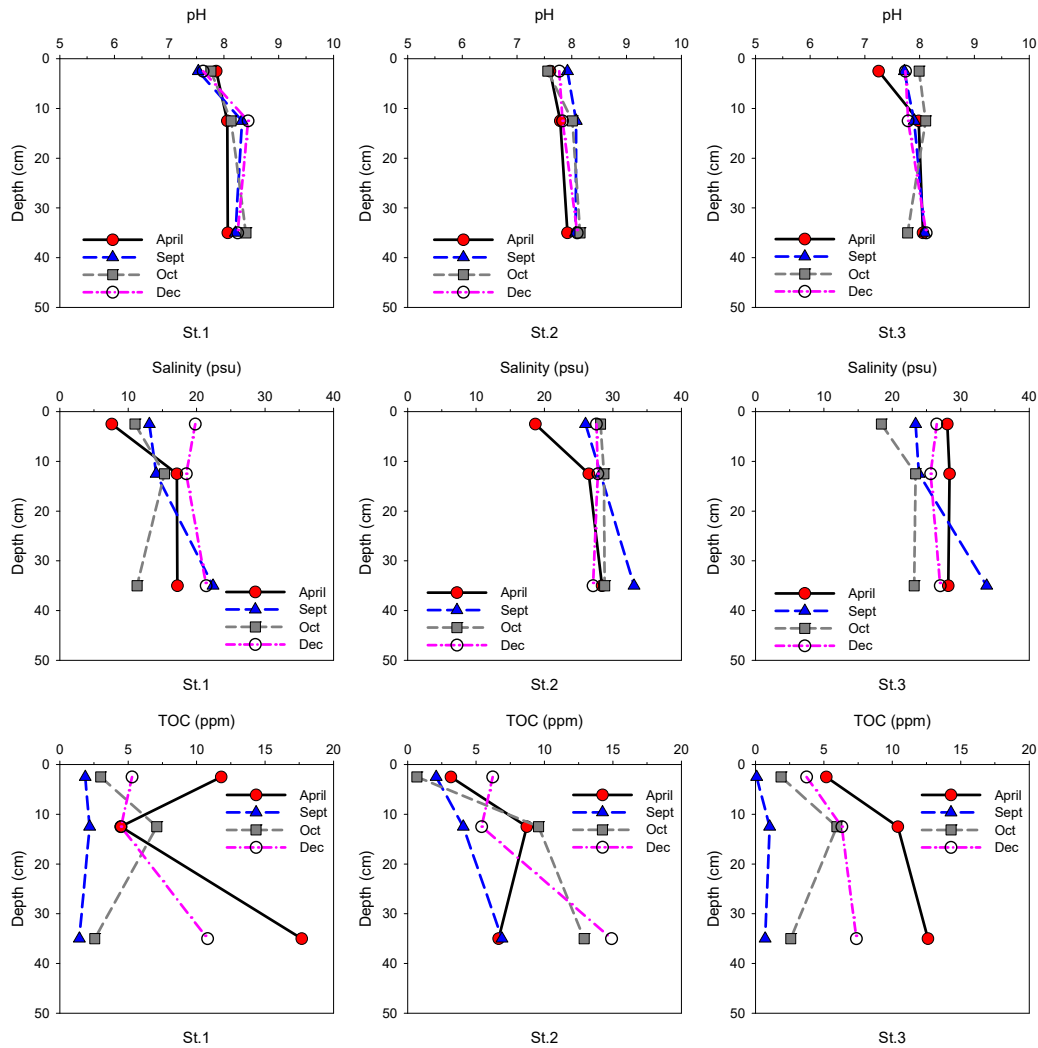


Fig. 4. Vertical profile and temporal variation of pore water quality (pH, Salinity, TOC) at three stations.

갯벌 퇴적층에 서식하는 박테리아는 에너지원인 유기물을 분해하기 위해 공극수에 들어있는 산화제(용존산소, 질산염, 황산염 등)를 이용한다. 표층에서는 에너지 효율이 가장 높은 용존산소를 사용하지만 산소공급이 부족해지면 질산염을 사용하고 이 과정에서 암모니아가 생성된다. 조사지점에서 공극수내 암모니아성질소 농도는 0.04~9.24 μM 범위였으며 수직 분포를 보면 주상 시료 하부(20~50 cm)로 갈수록 농도가 증가하는 경향을 나타내었다(Table 4와 Fig. 5). 산소공급이 원활한 주상 시료 상부(1~5 cm)에서

는 유기질소화합물의 질산화과정에서 생성된 암모니아가 더 높은 산화상태의 아질산과 질산성질소로 산화되며, 일부는 대기 중으로 휘산하고 일부는 저서플랑크톤에 흡수되어 농도가 감소하기 때문이다. 강화갯벌에 대한 암모니아성질소 농도 측정에서도 유사한 수직 분포가 보고된 바 있다(Na and Lee, 2005). 조사지점별로는 역시 COD, IL, AVS에서 높은 농도를 나타낸 St.2에서 가장 높은 농도를 보였다.

용존무기질소(DIN)는 아질산성질소와 질산성질소의 합으로 산출하였다. DIN 농도는 0.40-3.65 μM 의

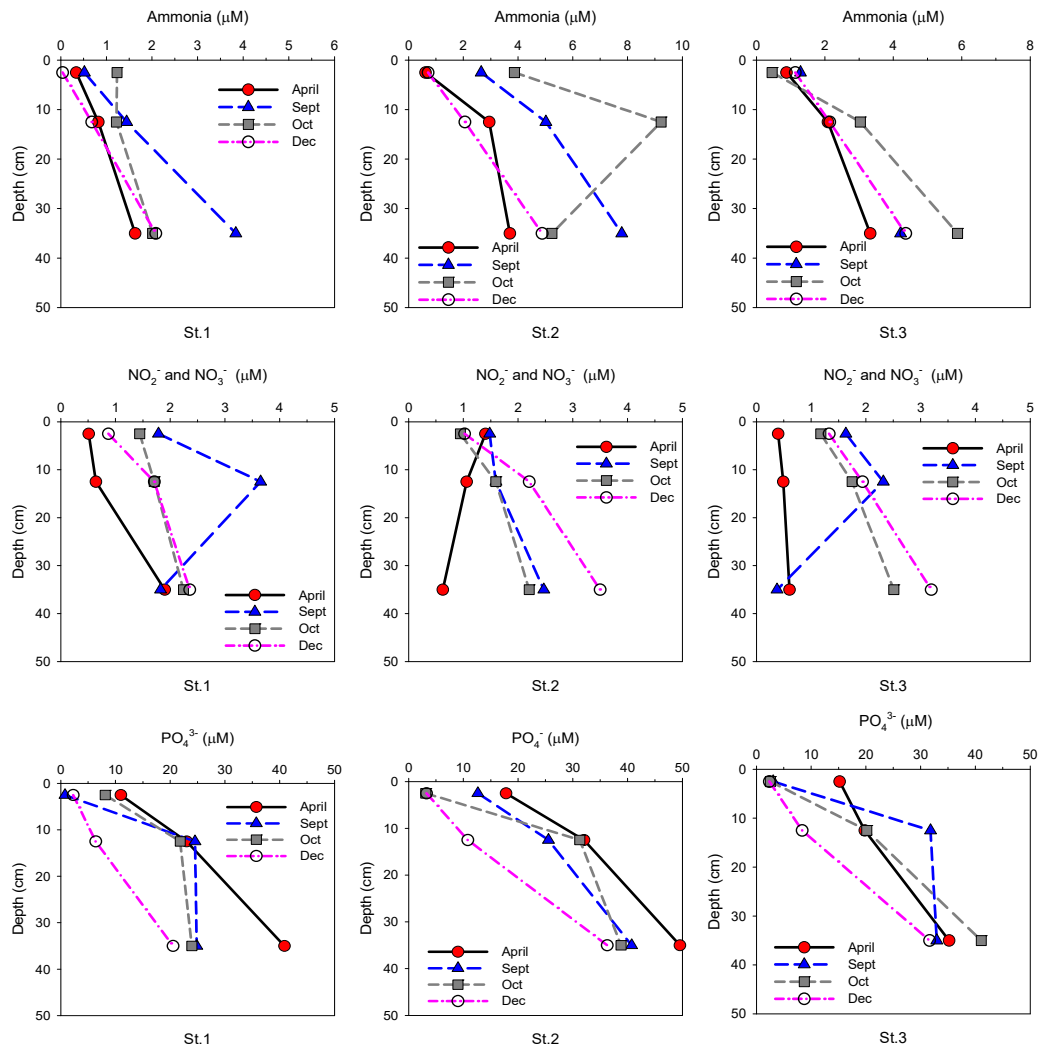


Fig. 5. Vertical profile and temporal variation of pore water quality (ammonia, DIN, phosphate) at three stations.

범위였고 정점별로는 큰 차이가 없었다. 수직 분포를 보면 주상 시료 하부(20~50 cm)로 갈수록 약간 증가하는 경향성을 나타내지만 암모니아성질소의 경우보다는 경향성이 적었다. 아질산성질소와 질산성질소의 경우 저산소 환경에서 유기물 분해에 산소 대신 사용될 수 있으므로 표층 약 5 cm 이내에서 급격히 감소하는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구의 경우, 공극수를 추출한 주상 시료의 깊이 분포가 5 cm, 20 cm, 30 cm이어서 5 cm 이내에서의 변화 양상은 파악할 수 없었다. 암모니아성질소의 경우와 마찬가지로 DIN도

4월에 농도가 가장 낮은 것으로 조사되었는데 봄철 저서미세조류의 일차생산이 활발해지면서 질산성질소의 소비가 증가하였기 때문으로 예상할 수 있다.

일반적으로 용존무기인은 호기성 조건에서 부유입자 및 퇴적물에 흡착되거나 혐기성 조건에서 탈착되어 수층으로 용출되는 것으로 알려져 있다(Bates and Neafus, 1980). 본 조사에서도 Na와 Lee(2005)의 결과와 유사하게 혐기조건인 주상 시료 하부(20~50 cm)에서 인산인의 농도가 높게 나타났으며, 시기적으로는 12월에 낮고 4월에 높게 검출되었다(Table 4와

Table 5. Distribution of razor clam grouped by three size classes at St.1

| Size (cm) | No. of individuals collected | | | |
|------------|------------------------------|------|------|-------|
| | 2014 | | | 2015 |
| | Sept. | Oct. | Dec. | April |
| <5.0 | 2 | 5 | 0 | 1 |
| 5.0 ~ <7.0 | 7 | 8 | 0 | 11 |
| >7.0 | 3 | 3 | 0 | 3 |
| Total | 12 | 16 | 0 | 15 |

Fig. 5). 조사지점별로 표층 인산인 농도를 비교하면 St.1 지역에서 약간 낮게 측정되었다.

3.2. 갯벌생물상

3.2.1. St.1의 저서생물상

St.1은 가리맛조개(*Sinonovacula constricta*)양식장으로서 방형구내에 채집된 가리맛조개의 계절별 총 개체수와 크기를 Table 5에 정리하였다. 9월과 10월, 그리고 4월에 방형구내 갯벌에서 채집된 개체수는 각각 12, 16, 15개체로 비슷하였으나 12월에는 채집된 개체가 없었다. 겨울철 개체수의 감소는 Koh et al. (1997) 에서도 보고된 바가 있는데 동절기 수온이 낮아져 가리맛조개가 조사 깊이인 50 cm 보다 더 깊이 내려갔기 때문으로 추정된다. 또한, 퇴적층 40-50 m 깊이에 서식하는 가리맛조개의 현장채집이 용이하지 않아 실제 서식 개체수는 조사 개체수 보다는 많을 것으로 예측된다. 참꼬막이나 새꼬막 등 니질(실트와 점토) 함량이 80% 이상인 곳을 좋아하는 꼬막류는 관찰

되지 않았다. 동천으로부터 유입되는 모래질 퇴적물로 인해 갯벌 퇴적층의 모래함량이 높기 때문에 판단된다 (Table 2와 Fig. 2).

St.1의 갯벌 퇴적물에서 조사된 기타 저서생물상을 Table 6에 정리하였다. 동절기인 12월에 생물개체수가 크게 감소한 것을 알 수 있다. 십각목(Decapoda), 농어목(Perciformes), 부채발갯지렁이목(Phyllodocida), 중복족목(Mesogastropoda), 백합목(Veneroida) 등 5개 목(order), 달랑게과(Ocypodidae), 밤게과(Leucosiidae), 보리새우과(Penaeidae), 망둥어과(Gobiidae), 참갯지렁이과(Nereidae), 갯고둥과(Batillariidae), 백합과(Veneridae) 등 7개 과(family)에 속하는 칠게(*Macrophthalmus japonicus*), 밤게(*Philyra pisum*), 보리새우(*Marsupenaeus japonicus*), 짱뚱어(*Boleophthalmus pectinirostris*), 두토막눈썹참갯지렁이(*Perinereis vancaurica tetradentata*), 갯고둥(*Batillaria multiformis*), 개조개(*Saxidomus purpurata*) 등 7개 종(species)이 분포하는 것으로 조사되었다.

Table 6. Temporal variations of benthos at St.1

| Biological classification | Species | No. of individuals collected | | | | |
|---------------------------|---------------|---|------|------|-------|----|
| | | 2014 | | | 2015 | |
| | | Sept. | Oct. | Dec. | April | |
| Decapoda | Ocypodidae | <i>Macrophthalmus japonicus</i> | 16 | 10 | 5 | 8 |
| | Leucosiidae | <i>Philyra pisum</i> | 0 | 3 | 0 | 0 |
| | Penaeidae | <i>Marsupenaeus japonicus</i> | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Perciformes | Gobiidae | <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> | 0 | 3 | 0 | 1 |
| Phyllodocida | Nereidae | <i>Perinereis vancaurica tetradentata</i> | 0 | 7 | 3 | 1 |
| Mesogastropoda | Batillariidae | <i>Batillaria multiformis</i> | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Veneroida | Veneridae | <i>Saxidomus purpurata</i> | 0 | 2 | 0 | 0 |
| Total | | | 16 | 26 | 8 | 13 |

Table 7. Distribution of ark shells grouped by three size classes at St.2

| Species | Size (cm) | No. of individuals collected | | | |
|---|------------|------------------------------|------|------|-------|
| | | 2014 | | 2015 | |
| | | Sept. | Oct. | Dec. | April |
| Granulated Ark shell (<i>Tegillarca granosa</i>) | <2.5 | 0 | 10 | 4 | 0 |
| | 2.5 ~ <3.0 | 3 | 10 | 0 | 0 |
| | >3.0 | 4 | 1 | 1 | 5 |
| | Total | 7 | 21 | 5 | 5 |
| Small Ark shell (<i>Scapharca subcrenata</i>) | <2.5 | 21 | 12 | 8 | 0 |
| | 2.5 ~ <3.0 | 122 | 43 | 17 | 1 |
| | >3.0 | 52 | 14 | 7 | 0 |
| | Total | 195 | 69 | 32 | 1 |

3.2.2. St.2의 저서생물상

St.2는 새꼬막(*Scapharca subcrenata*)양식장으로 서 방형구내에 채집된 새꼬막과 참꼬막의 계절별 총 개체수와 크기를 Table 7에 정리하였다. 새꼬막(*Scapharca subcrenata*)이 가장 많은 개체수를 차지하였고 참꼬막(*Tegillarca granosa*)은 양식하지는 않으나 자연상태에서 서식하는 것으로 조사되었다. 크기는 2.5 cm이하부터 3.0 cm이상까지 고루 분포하였다. 새꼬막 개체수는 9월과 10월, 그리고 12월에 각각 195, 69, 32개체로 급격히 감소하다가 2015년 4월에는 폐사한 새꼬막 껍데기만 채집되었다. 그러나 양식하지 않고 자연상태에서 자라는 참꼬막 개체수는 10월을 제외하고는 일정한 수준을 보였다(Table 7).

St.2에서 채집된 기타 갯벌 생물상을 조사한 결과 십각목(Decapoda), 농어목(Perciformes), 부채발갯지렁이목(Phyllodocida), 익각(Mytiloidea), 신복족목(Neogastropoda), 중복족목(Mesogastropoda), 백합목(Veneroidea), 이족목(Heteropoda) 등 8개 목(order), 달랑게과(Ocypodidae), 밤게과(Leucosiidae), 썩과(Upegebiidae), 보리새우과(Penaecidae), 망둥어과(Gobiidae), 참갯지렁이과(Nereidae), 빨소라과(Muricidae), 물레고둥과(Buccinidae), 좁쌀무늬고둥과(Nassariidae), 굴과(Ostreidae), 갯고둥과(Batillariidae), 총알고둥과(Littorinidae), 백합과(Veneridae), 구슬우렁이과(Naticidae) 등 14개 과(family)에 속하는 칠게(*Macrophthalmus japonicus*), 밤게(*Philyra pismus*), 썩(*Upogebia major*), 보리새우(*Marsupenaeus japonicus*), 계소갱(*Odon-*

-tamblyopus rubicundus), 말뚝망둥어(*Periophthalmus modestus*), 두토막눈썩참갯지렁이(*Perinereis vancaurica tetrudentata*), 굴(*Crassostrea gigas*), 피빨고둥(*Rapana venosa*), 타래고둥(*Japeuthria ferrea*), 왕좁쌀무늬고둥(*Hinia festiva*), 갯비틀이고둥(*Cerithideopsis djadjariensis*), 총알고둥(*Littorina brevicula*), 개조개(*Saxidomus purpurata*), 큰구슬우렁이(*Glossaulax didyma*), 갯우렁이(*Lunatia fortunei*) 등 16개 종(species)이 분포하는 것으로 조사되었다(Table 8).

3.2.3. St.3의 저서생물상

St.3은 가리맛조개(*Sinonovacula constricta*) 양식장으로서 방형구내에 채집된 가리맛조개와 새꼬막, 그리고 참꼬막의 계절별 총 개체수와 크기를 Table 9에 정리하였다. St.3의 주요 생물상은 참꼬막(*Tegillarca granosa*)과 가리맛조개(*Sinonovacula constricta*)로 가리맛조개의 경우 양식을 하기 때문이지만 참꼬막은 양식하지 않는데도 자연 상태에서 많은 개체수가 서식하는 점이 특이하였다. St.3은 St.2에 비해 육지에 더 가까운 조간대 상층부에 해당하여 간조 시 외부에 노출되는 시간이 길어 참꼬막이 자연적으로 서식할 수 있는 것으로 사료된다. 일반적으로 참꼬막은 꼬막류 중 가장 천해성으로 바닷물이 빠지고 개펄이 드러난 곳으로부터 수심 10 m 전후의 고운 펄에서만 서식하는 반면 새꼬막은 물에 잠겨있는 시간이 많아 함수량이 상대적으로 높은 갯벌에 잘 서식하는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2009). 꼬막류가 주로 서식하는

Table 8. Temporal variations of benthos at St.2

| Biological classification | | Species | No. of individuals collected | | | |
|---------------------------|---------------|---|------------------------------|------|------|-------|
| | | | 2014 | | | 2015 |
| | | | Sept. | Oct. | Dec. | April |
| Decapoda | Ocypodidae | <i>Macrophthalmus japonicus</i> | 5 | 6 | 2 | 20 |
| | Leucosiidae | <i>Philyra pisum</i> | 0 | 1 | 2 | 5 |
| | Upogebidae | <i>Upogebia major</i> | 0 | 3 | 2 | 0 |
| | Penaeidae | <i>Marsupenaeus japonicus</i> | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Perciformes | Gobiidae | <i>Odontamblyopus rubicundus</i> | 0 | 1 | 0 | 2 |
| | | <i>Periophthalmus modestus</i> | 0 | 0 | 1 | 2 |
| Phyllodocida | Nereidae | <i>Perinereis vancaurica tetradentata</i> | 7 | 1 | 1 | 0 |
| Myltiloidea | Ostreidae | <i>Crassostrea gigas</i> | 2 | 0 | 2 | 1 |
| | Muricidae | <i>Rapana venosa</i> | 0 | 1 | 0 | 6 |
| Neogastropoda | Buccinidae | <i>Japeuthria ferrea</i> | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | Nassariidae | <i>Hinia festiva</i> | 4 | 2 | 0 | 0 |
| Mesogastropoda | Batillariidae | <i>Cerithideopsisilla djadjariensis</i> | 12 | 4 | 2 | 1 |
| | Littorinidae | <i>Littorina brevicula</i> | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Veneroidea | Veneridae | <i>Saxidomus purpurata</i> | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Heteropoda | Naticidae | <i>Glossaulax didyma</i> | 0 | 2 | 1 | 0 |
| | | <i>Lunatia fortunei</i> | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Total | | | 35 | 20 | 15 | 40 |

표층 주상 시료 상부(0~5 cm)에 대한 함수량을 비교하면 St.3에서 54.58%로 St.2에서의 평균 함수량 57.87%보다 낮은 것을 확인할 수 있다.

St.3의 양식 패류인 가리맛조개는 8~11월 사이에서는 비슷한 개체수가 채집되었으나, 12월에 조사에서는 그 개체 수가 크게 감소하였다. St.1의 경우와 마찬가지로 동절기 수온 저하로 인해 가리맛조개가 갯벌 하층부 깊은 곳으로 이동하였기 때문으로 보인다.

St.3의 갯벌 퇴적물에서 조사된 기타 갯벌 생물상은 Table 10에 정리하였다. 7개 목(order), 9개 과(family)에 속하는 칠게(*Macrophthalmus japonicus*), 밤게(*Philyra pisum*), 떡조개(*Phacosoma japonica*), 왜접시조개(*Merisca capsoides*), 짱뚱어(*Boleophthalmus pectinirostris* L.), 두토막눈썹참갯지렁이(*Perinereis vancaurica tetradentata*), 피빨고둥(*Rapana venosa*), 갯고둥(*Batillaria multiformis*), 속(*Upogebia major*), 보리새우(*Marsupenaeus japonicus*) 등 10개 종(species)이 분포하는 것으로 조사되었다.

3.2.4. 순천만 연안의 정점별 갯벌 생물상 분포도 비교

Table 11은 채집된 저서생물상을 정점별로 비교한 결과를 보여준다. 가리맛조개(*Sinonovacula constricta*), 개조개(*Saxidomus purpurata*), 떡조개(*Phacosoma japonica*), 왜접시조개(*Merisca capsoides*), 참꼬막(*Tegillarca granosa*), 새꼬막(*Scapharca subcrenata*), 굴(*Crassostrea gigas*), 갯비틀이고둥(*Cerithideopsisilla djadjariensis*), 총알고둥(*Littorina brevicular*), 갯고둥(*Batillaria multiformis*), 피빨고둥(*Rapana venosa*), 타래고둥(*Japeuthria ferrea*), 왕좁쌀무늬고둥(*Hinia festiva*), 큰구슬우렁이(*Glossaulax didyma*), 갯우렁이(*Lunatia fortunei*), 두토막눈썹참갯지렁이(*Perinereis vancaurica tetradentata*), 짱뚱어(*Boleophthalmus pectinirostris*), 말뚝망둥어(*Periophthalmus modestus*), 게소강(*Odontamblyopus rubicundus*), 속(*Upogebia major*), 보리새우(*Marsupenaeus japonicus*), 칠게(*Macrophthalmus japonicus*), 밤게(*Philyra pisum*) 등

Table 9. Distribution of granulated ark shell and razor clam grouped by three size classes at St.3

| Species | Size (cm) | Number of individuals collected | | | |
|---|------------|---------------------------------|------|------|-------|
| | | 2014 | | | 2015 |
| | | Sept. | Oct. | Dec. | April |
| Granulated ark shell (<i>Tegillarca granosa</i>) | <2.5 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | 2.5 ~ <3.0 | 28 | 6 | 1 | 2 |
| | >3.0 | 75 | 22 | 26 | 34 |
| | Total | 104 | 29 | 27 | 36 |
| Small ark shell (<i>Scapharca subcrenata</i>) | <2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2.5 ~ <3.0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | >3.0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Total | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Razor clam (<i>Sinonovacula constricta</i>) | <5.0 | 7 | 0 | 0 | 0 |
| | 5.0 ~ <7.0 | 6 | 6 | 2 | 3 |
| | >7.0 | 6 | 13 | 5 | 5 |
| | Total | 19 | 19 | 7 | 8 |

23개의 저서생물이 분포함을 알 수 있었다. 각 지점에서 개별 개체들의 분포 양상을 BioDiversity Pro software (McAleece et al., 1997)를 이용하여 분석한 결과, 가리맛조개, 참꼬막, 새꼬막, 갯비틀이고둥, 갯고둥은 집단 분포(agggregated distribution) 양상을, 조사된 다른 생물들은 무작위 분포(random distribution) 경향을 나타내었다. 집단 분포를 보이는 군집들은 서

식지의 이질성으로부터 비롯될 수 있으며, 지점별 환경요소들의 영향을 비교적 민감하게 받는 생물들로 알려져 있다. 따라서 가리맛조개, 참꼬막, 새꼬막, 갯비틀이고둥, 갯고둥과 같은 군집들은 같은 지역 내에서도 가장 알맞은 환경조건이 형성된 특정 지점에서 집중 분포 양상을 나타내는 것으로 보인다.

특히 순천만 주요 패류인 참꼬막, 새꼬막, 가리맛

Table 10. Temporal variations of benthos at St.3

| Biological classification | Species | Number of individuals collected | | | | |
|---------------------------|---------------|---|------|------|-------|---|
| | | 2014 | | | 2015 | |
| | | Sept. | Oct. | Dec. | April | |
| Decapoda | Ocyropodidae | <i>Macrophthalmus japonicus</i> | 5 | 11 | 3 | 2 |
| | Leucosiidae | <i>Philyra pisum</i> | 1 | 0 | 0 | 2 |
| Veneroida | Veneridae | <i>Phacosoma japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | | <i>Merisca capsoides</i> | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Perciformes | Gobiidae | <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> L. | 0 | 3 | 0 | 2 |
| Phyllococida | Nereidae | <i>Perinereis vancaurica tetradentata</i> | 0 | 4 | 2 | 1 |
| Neogastropoda | Muricidae | <i>Rapana venosa</i> | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Mesogastropoda | Batillariidae | <i>Batillaria multiformis</i> | 24 | 6 | 2 | 0 |
| Decapoda | Upogebidae | <i>Upogebia major</i> | 0 | 5 | 2 | 0 |
| | Penaeidae | <i>Marsupenaeus japonicus</i> | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Total | | | 30 | 29 | 10 | 7 |

Table 11. Comparison of species distribution at three stations

| Species | Sampling stations | | | Distribution |
|---|--------------------|-------|------|--------------|
| | St.1 | St.2 | St.3 | |
| <i>Sinonovacula constricta</i> | 10.8 ^{a)} | 0.0 | 13.3 | Aggregated |
| <i>Saxidomus purpurata</i> | 0.5 | 1.5 | 0.0 | Random |
| <i>Phacosoma japonica</i> | 0.0 | 0.0 | 0.5 | Random |
| <i>Merisca capsoides</i> | 0.0 | 0.0 | 0.8 | Random |
| <i>Tegillarca granosa</i> | 0.0 | 9.5 | 49 | Aggregated |
| <i>Scapharca subcrenata</i> | 0.0 | 74.3 | 0.3 | Aggregated |
| <i>Crassostrea gigas</i> | 0.0 | 1.3 | 0.0 | Random |
| <i>Cerithideopsisilla djadjariensis</i> | 0.0 | 4.8 | 0.0 | Aggregated |
| <i>Littorina brevicular</i> | 0.0 | 0.5 | 0.0 | Random |
| <i>Batillaria multiformis</i> | 0.5 | 0.0 | 8.0 | Aggregated |
| <i>Rapana venosa</i> | 0.0 | 1.8 | 0.3 | Random |
| <i>Japeuthria ferrea</i> | 0.0 | 0.5 | 0.0 | Random |
| <i>Hinia festiva</i> | 0.0 | 1.5 | 0.0 | Random |
| <i>Neverita didyma</i> | 0.0 | 0.8 | 0.0 | Random |
| <i>Lunatia fortunei</i> | 0.0 | 0.3 | 0.0 | Random |
| <i>Perinereis vancaurica tetrudentata</i> | 2.8 | 2.3 | 1.8 | Random |
| <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> | 1.0 | 0.0 | 1.3 | Random |
| <i>Periophthalmus modestus</i> | 0.0 | 0.8 | 0.0 | Random |
| <i>Odontamblyopus rubicundus</i> | 0.0 | 0.8 | 0.0 | Random |
| <i>Upogebia major</i> | 0.0 | 0.5 | 1.8 | Random |
| <i>Marsupenaeus japonicus</i> | 0.5 | 1.3 | 1.0 | Random |
| <i>Macrophthalmus japonicus</i> | 9.8 | 8.3 | 5.3 | Random |
| <i>Philyra pisum</i> | 0.8 | 2.0 | 0.8 | Random |
| Total | 26.7 | 112.8 | 84.2 | |

a) Indicates mean value of the number of individuals obtained from four time investigations

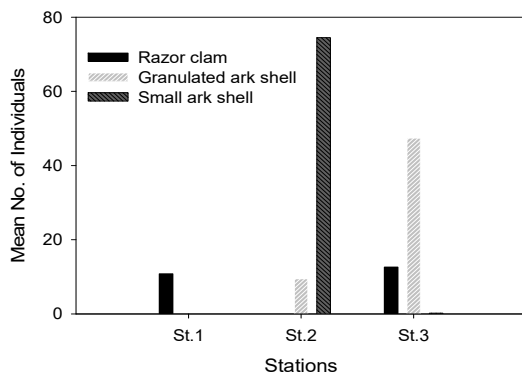
조개의 분포를 비교한 결과를 보면 가리맛조개는 가리맛조개 양식장인 St.1과 St.3에 분포하며, 새꼬막은 새꼬막 양식장인 St.2에 집중적으로 분포하는 것으로 조사되었다.

St.3에서는 가리맛조개와 함께 자연적으로 서식하는 참꼬막이 많이 분포하였다(Fig. 6). 이번 연구로 그동안 서식환경 악화로 생산량이 크게 감소한 것으로

알려진 참꼬막이 가리맛조개 양식장인 St.3 지역에 집단으로 서식하고 있는 것이 밝혀져, 앞으로 St.3의 가리맛조개 양식과 더불어 참꼬막 서식 요인에 대한 조사와 모니터링이 필요하다. 양식 패류를 제외한 기타 저서생물의 정점별 분포 패턴의 차이를 보면 역시 St.2에서 개체수와 종류가 가장 많은 것을 확인할 수 있다.

Table 12. Species diversity, dominance and richness at three stations

| Index | Sampling stations | | | |
|-----------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | St.1 | St.2 | St.3 | |
| Diversity | Shannon H' | 2.052 | 2.074 | 2.084 |
| Dominance | Berger-Parker Dominance (d) | 0.404 | 0.659 | 0.582 |
| Richness | | 10.0 | 33.05 | 30.56 |

**Fig. 6.** Representative shellfish species at three stations.

3.2.5. 순천만 갯벌의 정점별 저서생물 종 다양도, 우점도, 풍부도 지수

Table 12는 BioDiversity Pro software (McAleece et al., 1997)를 이용하여 분석한 조사지점의 생물종 다양도, 우점도, 풍부도 지수를 나타낸다. 정점별 갯벌 저서생물 종 다양도 지수는 St.1에서 가장 낮은 것으로 나타났는데, 이는 채집된 종의 종류가 적고 중간 개체 수에 큰 차이가 있기 때문에 나타난 결과로 보인다(Table 11). St.2와 St.3의 생물종 다양도 지수는 비슷하였다. 생물 종 우점도는 St.2에서 가장 높게 나타났고 St.1에서 가장 낮게 나타났다. St.2에서는 새꼬막과 참꼬막의 비율이 매우 높게 나타났고, St.3에서는 참꼬막과 가리맛조개의 비율이 매우 높게 나타나기 때문이다. 생물 종 풍부도는 St.2 (33.05) > St.3 (30.56) > St.1 (10.0) 순으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 순천만 상부의 가리맛조개 양식장 2 곳과 새꼬막 양식장 1곳의 양식장 환경을 알아보기 위

해 퇴적물과 공극수에 대한 이화학적 특성을 조사하였다. 아울러 양식 패류의 개체수와 양식장 갯벌에 서식하는 기타 저서생물상도 조사하여 양식장 환경에 대한 종합적인 자료를 얻고자 하였다. 양식장 갯벌 퇴적물과 공극수에 대한 이화학적 조사값을 보았을 때 이들 양식장이 위치한 순천만 상부 조간대는 다른 지역의 유사한 반폐쇄성 만과 비교하여 매우 양호한 상태인 것을 알 수 있었다. 조사한 세 지점(St.1 장산, St.2 화포, St.3 용두) 가운데 양식 패류의 개체 수 및 기타 서식생물종의 종류와 개체 수가 가장 많은 지점은 St.2이었다. St.2에서 IL, COD, TOC, AVS, DIN, PO_4^{3-} 값을 보면 St.1이나 St.3에 비해 높은 값을 나타내었는데 퇴적물 및 공극수의 유기물 및 영양염 함량과 갯벌 저서생물상 개체수는 높은 상관성이 있음을 유추할 수 있다. 새꼬막 양식장인 St.2는 St.1이나 St.3에 비해 간조 시에도 갯벌이 외부로 노출되는 시간이 상대적으로 적어 새꼬막이 서식하기에 좋은 조건을 갖고 있다. 그러나 2015년 4월에 새꼬막 서식 개체수가 급격히 감소하고 폐사한 폐각이 주로 채집되어 원인을 파악하기 위해서는 지속적인 모니터링이 필요하다고 판단된다. 가리맛조개 양식장인 St.1과 St.3에서는 겨울을 제외하고는 조사기간 내내 일정한 개체수의 가리맛조개가 채집되었다. 해마다 많은 양의 종패가 양식장에 뿌려지고 있으며 순천만 일원에 양식장도 확대될 것으로 예상되므로 가리맛조개의 성장과 생장에 대한 향후 꾸준한 조사가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 K-water 연구비지원에 의하여 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Bates, M. H., Neafus, N. J., 1980, Phosphorus release from sediments from Lake Carl Blackwell, Oklahoma, *Water Res.*, 14, 1477-1481.
- Cho, E. S., Lim, W. A., Hwang, J. D., Suh, Y. S., 2011, Effects of environmental characteristics on the production of shellfish in Deukryang Bay, Korea, *J. Environ. Sci.*, 20(10), 1243-1263.
- Fisheries and Aquaculture Department, 1990, Brief introduction to mariculture of five selected species in China, <http://www.fao.org/fishery/>, Rome, Italy.
- Folk, R. L., Ward, W. C., 1957, Brazos River bar: A Study in the significance of grain size parameters, *J. of Sedimentary Petrology*, 27, 3-27.
- Hwang, D. W., Jin, H. G., Kim, S. S., Kim, J. D., Park, J. S., Kim, S. G., 2006, Distribution of organic matters and metallic elements in the surface sediments of Masan Harbor, Korea, *Kor. J. Fish Aquat. Sci.*, 39(2), 106-117.
- Hwang, D. W., Lee, I. S., Choi, M. K., Kim, S. Y., Choi, H. G., 2013, Evaluation of organic matter and trace metal contamination in surface sediments around the Geum River Estuary using sediment quality guidelines, *Kor. J. Fish Aquat. Sci.*, 46(6), 930-940.
- Hyun, J. H., Lee, H. K., Kwon, K. K., 2003, Sulfate reduction in the marine environments: Its controlling factors and relative significance in mineralization of organic matter, *The Sea*, 8(2), 210-224.
- Jang, S. G., Cheong, C. J., 2010, Characteristics of grain size and organic matters in the tidal flat sediments of the Suncheon Bay, *J. Kor. Soc. Marine Environ. Engineering*, 13(3), 198-205.
- Kim, S. Y., Kui, J. K., Kim, B. M., Lee, Y. G., Choi, Y. S., Kim, S., 2008, Geochemical characteristics in the coastal wetland and intertidal zone of Suncheon Bay, *J. Wetland*, 10(2), 81-96.
- Kim, S. Y., Lee, Y. H., Kim, Y. S., Shim, J. H., Ye, M. J., Jeon, J. W., Hwang, J. R., Jun, S. H., 2012, Characteristics of marine environmental in the hypoxic season at Jinhae Bay in 2010, *Kor. J. Nature Conservation*, 6(2), 1155-129.
- Kim, S. Y., Moon, T. S., Shin, Y. K., Park, M. S., 2009, Gonadal development and reproductive cycle of the granular ark *Tegillarca granosa* (Bivalvia: Arcidae), *J. Aquaculture*, 22(1), 34-41.
- Koh, C. H., Yang, M. R., Chang, W. K., 1997, Growth and production of *Sinonovacula constricta* (Bivalvia) from the Hwaseong tidal flat in the Namyang Bay, Korea, *The Sea*, 2(1), 21-30.
- Kwon, O. K., Min, D. K., Lee, J. R., Lee, J. S., Je, J. G., Choe, B. L., 2001, In Korean mollusks with color illustration; Hanguel Publishing Co., Seoul.
- Lee, C. W., Kwon, Y. T., Kwon, H. B., Boo, M. H., Yang, K. S., 2000, Eutrophication characteristics in the shellfish farms the southern coastal sea of Korea, *J. Kor. Soc. Marine Environ. Engineering*, 3(3), 24-33.
- Lee, H. N., Jung, K. S., Cheon, G. H., Hur, Y. T., 2015, A Investigation and analysis of water temperature by Juam Regulation Dam, Outflow in downstream and Suncheon Bay, *J. Kor. Water Resour. Assoc.*, 48(6), 501-509.
- Lim, J. Y., Hur, S. B., 2010, Comparison of seed collection and the growth of *Anadara subcrenata* in Suncheon and Boseong Bays, *Kor. J. Fish Aquat. Sci.*, 43(3), 223-230.
- Margalef, R., 1958, Temporal succession and spatial heterogeneity in natural phytoplankton, In perspectives in marine biology, Buzzati-Traverso, A. A. (Ed.), University of California Press, Berkeley, CA, USA.
- McAleece, N., Gage, J. D. G., Lambhead, P. J. D., Paterson, G. L. J., 1997, BioDiversity Professional statistics analysis software.
- McNaughton, S. J., 1967, Relationships among functional properties of California Grassland, *Nature*, 216, 168-169.
- Ministry of Oceans and Fisheries, 2010, Standard methods for the examination of seawater, Sejong, Korea.
- Ministry of Oceans and Fisheries, 2014, Aquaculture management act(2014-96), Sejong, Korea.
- Na, T. H., Lee, T. S., 2005, Estimation of denitrification in the Ganghwa Tidal Flat by a pore water model, *The Sea*, 10(1), 56-68.
- National Institute of Fisheries Science, 2016, History of aquaculture in Korea (SP-2016-AQ-001), Busan, Korea.
- Park, J. Y., Kim, Y. I., Bae, K. S., Oh, K. S., Choi, J. D., 2010, Bacteriological and physicochemical quality of seawater and surface sediments in Sacheon Bay, *Journal of Agriculture & Life Science*, 44(2), 7-15.

- Pennak, R. W., 1989, Freshwater invertebrates of the United States, 3rd ed., Wiley, New York.
- Pielou, E. C., 1975, In ecological diversity; John Wiley and Sons Inc., New York, NY, USA.
- Shin, S. B., 2016, Assessment of sanitary state of seawater and shellfish in Yeolja bay for the approved area for shellfish export to USA. 2016, Proceedings of the workshop for the shellfish sanitation program (NSSP, USA) guidelines for approved areas, Southwest Sea Fisheries Research Institute, Yeosu, Korea.
- U.S. Environmental Protection Agency, 2014, Sediment sampling, science and ecosystem support division, Athens, Georgia, USA.
- Yoo, J. S., 2001, Korean shells in colour, 9th ed., Il Ji Sa Publishing Co., Seoul.
- Yoon, Y. H., 2000, Distributional characteristic of organic matters on the surface sediments and its origin in Keogeum-sudo, Southern Part of Korean Peninsula, J. Environ. Sci., 9(2), 137-144.
- Yoon, Y. H., Kim, D. G., 2003, On the spatio-temporal distribution of phytoplankton community in the southwestern parts of Deukryang Bay, South Korea, Korean J. Environ. Biol., 21(1), 8-17.