

웅진군 어장관리해역의 수질 및 퇴적물 환경 특성

김선영* · 김형철**† · 이원찬** · 황동운** · 홍석진** · 김정배** · 조윤식** · 김청숙**

*, ** 국립수산과학원 어장환경과

Environmental Characteristics of Seawater and Sediment in Mariculture Management Area in Ongjin-gun, Korea

Sun-Young Kim* · Hyung-Chul Kim**† · Won-Chan Lee** · Dong-Woon Hwang** · Sok-Jin Hong**
· Jeong-Bae Kim** · Yoon-Sik Cho** · Chung-Sook Kim**

*, ** Marine Environment Research Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

요 약 : 어장관리해역으로 지정된 웅진군의 수질 및 퇴적물 환경 특성을 파악하기 위하여 2011년에 4개 도서(장봉도, 자월도, 영흥도, 백령도)를 대상으로 조사를 실시하였다. 수온은 9.49~24.14 °C로 계절변동 특성을 잘 나타내었고, 염분(23.19~31.49)과 용존산소(5.48~9.36 mg/L)는 수온과 역상관성을 보였으며, 화학적산소요구량(COD)은 평균 1.57 mg/L로 전체적으로 양호한 수준이었다. DIN과 DIP는 각각 0.111~0.666 mg/L, 0.002~0.043 mg/L의 범위로 전 정점에서 낮은 분포를 보였고, 염록소 a의 농도는 0.02~8.07 µg/L 범위로 서해의 다른 해역보다 낮았다. 퇴적물의 입도 분포는 모래와 실트가 각각 56.7%, 34.6%로 우세하였고, 분급은 불량하였다. 퇴적물의 화학적산소요구량과 강열감량은 각각 1.00~11.03 mg/g-dry, 0.72~5.29%의 범위로 시·공간적으로 유사한 경향을 보였다. 총유기탄소와 총질소의 C/N ratio는 8.17~17.97 범위로 하계에 육상기원과 해양기원에 의한 영향이 혼재하는 것으로 나타났다. 표층퇴적물의 미량금속 오염도 평가를 위해 농집지수(I_{geo})를 계산한 결과, Cr과 As를 제외한 나머지 금속원소에 의한 오염은 없는 것으로 판단된다. 이러한 연구 결과는 본 연구지역이 전체적으로 양호한 수질을 보이며, 유기물과 금속원소에 의한 표층퇴적물의 오염이 없다는 것을 보여준다.

핵심용어 : 웅진군, 어장관리해역, 수질환경, 퇴적환경, 이화학적 특성, 미량금속

Abstract : To improve productivity of aquaculture animals with management of culturing grounds, survey of mariculture management area in Ongjin-gun about water quality and sedimentary environment had been conducted on June, August and November in 2011. Water temperature in surface and bottom waters ranged from 9.49 to 24.14 °C. Salinity and dissolved oxygen concentrations were in the range of 23.19~31.49 and 5.48~9.36 mg/L, respectively, depending on the variation of water temperature. The average concentration of COD was 1.57 mg/L and the concentrations of DIN and DIP showed entirely low level. As the result of grain size analysis, sand(56.66%) and silt(34.60%) were predominated. The Mz of sediment showed a variation of 2.59 to 6.62Ø and sorting appeared to be poorly sorted. The concentrations of COD and IL in surface sediment ranged from 1.00 to 11.03 mg/g-dry and 0.72 to 5.29%, respectively, which showed relatively good positive correlations. On the environmental assessment of trace metals in surface sediment, geoaccumulation index (I_{geo}) class indicated that sediments were not contaminated by most of metallic elements except Cr and As. Our result implies that this study area showed good water quality and sediments were not polluted by organic matters and metallic elements.

Key Words : Ongjin-gun, Mariculture management area, Water quality, Sediment, Physico-chemical characteristics, Trace metals

1. 서 론

한반도의 중부지역 서단에 위치한 웅진군은 북쪽으로는

서해북방한계(NLL)와 접하고 있고 황해 냉수대의 영향을 받아 청정해역의 환경특성을 나타내며, 동쪽으로는 임진강과 한강으로부터 유입되는 풍부한 영양원으로 인하여 참조기와 꽃게 등의 지역 특산어종의 서식에 좋은 환경을 이루고 있다. 또한 조석간만의 차가 큰 서해안의 특성을 바탕으로

* First Author : suny@nfrdi.re.kr, 051-720-2527

† Corresponding Author : hckim@nfrdi.go.kr, 051-720-2523

갯벌이 넓게 발달되어 바지락과 동죽 등의 패류 서식량이 많은 지역이다(Ongjin-gun, 2012). 그러나 최근 시행된 수많은 간척사업 등에 의해 해안선 변화가 발생하였고, 영흥화력발전소 지역의 대규모 해상구조물에 의한 조류 및 저질 변동은 해양생태계의 변화를 초래하고 양식어장의 환경을 악화시키는 요인으로 작용하고 있다. 이러한 해양생태계의 악화는 어업생산량을 급감시키고 주 소득원인 바지락 등의 양식 생산 감소를 일으키며 어장의 경제적 가치 상실로 어업인의 어려움을 가중시키고 있다(Ongjin-gun, 2008).

우리나라는 연안해역을 특정 목적에 따라 관리하기 위하여 수산자원보호구역, 패류생산지정해역, 환경관리해역, 해양생태보호구역 등으로 지정·운영하고 있다. 이 중 어장관리해역은 어장의 환경을 보전·개선하고 생산성 회복 도모를 목적으로 어장관리법 제5조 및 동법 시행령 제4조에 의해 어업 여건 및 지역적 특성을 고려하여 어장의 생산성 회복을 위한 적당한 조치가 필요한 해역으로 지정될 수 있다.

웅진군은 현재까지 어장관리해역으로 지정된 유일한 사례로 지난 2007년에 총 31개 어장 1,416 ha에 대해 어장관리해역으로 지정되었다. 본 해역에 대한 지정 근거는 육상오염원과 근거리에서 위치해 어장 내 오염이 쉽고 바지락 폐사가 연중 발생하는 등 지속적 어장관리가 필요한 경우였으며, 김양식이 성행하는 수면으로 유입되는 연안 환경오염원의 차단 및 김 양식 시기 종료 후 시설물의 즉시 철거를 통한 어장환경 개선이 필요한 경우였다. 그 외에도 여객선 항로와 인접해 어장관리에 특별한 주의가 필요한 지역 등이 어장관리해역으로 지정되었다(MIFAFF, 2009; MIFAFF, 2012).

2007년 웅진군 바지락 폐사 원인을 규명하기 위하여 웅진군 관내 영흥면 2개소에서 수질환경조사가 수행되었고(Ongjin-gun, 2008), 서해 경기만 일대의 넓은 범위에서 수질환경의 시·공간적 특성을 파악하기 위한 해양생태계 기본조사가 실시되기도 했으며(Kim et al., 1999; Lim et al., 2007), 웅진군의 동쪽에 위치한 시화호의 내측 및 외측 해역의 수질 기초조사도 이루어진 바 있다(Jang et al., 2011; Ra et al., 2013). 그러나 웅진군 도서별 양식어장의 현황을 비교 분석하거나 수질 및 퇴적물 환경 특성에 대해 총괄적으로 분석한 연구는 이루어지지 않았다.

본 연구는 어장관리해역으로 지정된 웅진군 4개 도서(장봉도, 자월도, 영흥도, 백령도)에 대해 어장관리법 제 6조의 규정에 따라 수행된 첫 번째 어장환경 조사로써 이를 통해 수질 및 퇴적물 환경 특성을 밝히고자 하였다. 이러한 연구 결과는 양식어장 관리를 위한 기초자료로 활용되고, 나아가 지속적인 환경자료 확보를 통해 향후 지정된 어장관리해역의 변경 및 해제 시에 근거자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구 지역

웅진군의 4개 도서 중 백령도는 북방한계선과 황해도와 접해있고 외해 쪽은 수심이 깊어 갯벌 발달이 미약하고 모래사면이 적다. 해저 암반이 잘 발달하여 미역, 다시마 등의 해조류와 전복, 해삼 등이 풍부하게 서식하고 있다. 영흥도는 갯벌이 넓게 발달되어 있어 바지락 등 패류양식이 발달해 있다. 그러나 북동쪽 7km 거리에 시화호가 위치해 있고 섬 내에 영흥화력 발전소가 위치하고 있어 간척 및 매립에 의한 해안선 변경이나 조류속도의 변동 등으로 갯벌유실 현상이 일어나고 있으며, 시화호 방류구를 통한 오염물질의 영향이 미칠 우려가 있는 등 환경오염에 취약한 지리적 여건을 가지고 있다. 장봉도는 습지보전법 제 8조에 근거하여 연안습지보호구역을 지정되어 있을 정도로 갯벌이 잘 발달되어 있어 자연생태계 보전가치가 높은 지역이다. 또한 바지락, 백합 등이 서식하고 김양식이 활발하게 이루어지고 있다. 자월도는 다도해를 형성하고 있는 자월면의 여러 도서들 중 가장 큰 섬으로 갯벌 발달은 미약하지만 다시마와 전복, 해삼 등 다양한 수산생물이 서식하고 있으며, 주요 생산 수산물은 바지락과 참굴이다.

웅진군 어장관리해역의 수질 환경특성을 파악하기 위하여 이화학적 항목에 대해 장봉도, 자월도, 영흥도 및 백령도의 18개 정점에서 2011년 6월, 8월 및 11월에 조사를 실시하였으며, 백령도의 경우, 11월의 기상악화로 인해 12월에 조사가 이루어졌다. 수심이 2.5 m 이하인 정점은 표층 조사만 수행하였다. 퇴적물환경 분야는 지화학적 항목 및 미량금속 함량을 분석하였고, 8월에 11개 정점에서, 11월에 10개 정점에서 2회 실시하였으며 수질 항목과 마찬가지로 백령도의 경우 12월에 조사가 이루어졌다(Fig. 1).

2.1 현장조사 및 분석방법

해수 시료는 Niskin 채수기를 이용하여 표층(수면에서 0.5 m 하부)과 저층(바닥에서 1.0 m 상부)에서 채수한 후 분석 항목에 따라 전처리하였고, 실험실로 옮겨져 -20 °C에서 냉동보관하거나 즉시 분석을 실시하였다. 수층별 수온과 염분은 CTD(Sea bird 19, USA)를 이용하여 현장에서 관측하였고, 용존 산소(DO)와 수소이온농도(pH)는 다항목 수질측정기(YSI-6000, USA)로 측정하였다. 부유입자물질(SPM, Suspended Particulate Matter)과 화학적산소요구량(COD, Chemical Oxygen Demand)은 해양환경공정시험기준(MLTM, 2010)에 준하여 분석하였다. 암모니아질소(NH₄⁺-N), 아질산질소(NO₂⁻-N), 질산질소(NO₃⁻-N), 인산인(PO₄³⁻-P), 규산규소(SiO₂-Si)는 Strickland and Parsons(1972) 방법에 따라 영양염 자동분석기(QUAATRO, BRAN+LUEBBE,

Germany, Auto analyzer)를 사용하여 측정하였으며, 용존무기 질소(DIN, Dissolved Inorganic Nitrogen)는 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 합으로 나타내었다. 입자유기탄소(POC, Particulate Organic Carbon)는 CHN analyzer (Flash EA 1112, Thermo Finnigan, Italia, elemental analyzer)로 정량하였고, 엽록소 a(Chl, *a*)는 HPLC 시스템(Waters 2690 System, Waters Corp., Milford, USA, High Performance Liquid Chromatography system)을 이용하여 436 nm에서 분석하였다.

퇴적물 시료는 van Veen grab을 이용하여 표층 0~2 cm 내의 퇴적물만을 채집하였고, 냉장상태로 보관하여 실험실로 운반하였다. 입도 분석은 Ingram(1971)의 표준입도 분석 방법에 따라 전처리 과정을 거친 후 40(0.0625 mm)의 표준체를 이용한 습식체질(wet sieving)을 통해 조립질 입자와 세립질 입자로 분리하였다. 조립질 입자는 110 °C에서 24시간 건조시킨 후 진탕기를 이용한 건식체질(dry sieving)을 통해 무게를 구하였고, 세립질 입자는 침전속도를 고려한 피펫팅법으로 분석하여 백분율을 산출하였다. 분석 후 측정된 자료는 Folk and Ward(1957)의 방법으로 계산하였으며, 퇴적상의 분류는 Folk(1986)의 방법을 따랐다. 화학적산소요구량은 알칼리성 과망간산 칼륨법으로 정량하였고, 강열감량(IL, Ignition Loss)은 약 5g의 퇴적물을 110°C에서 항량으로 건조한 후

550 °C에서 2시간 강열하여 측정된 항량의 무게차이로 계산하였다. 총유기탄소(TOC, Total Organic Carbon)와 총질소(TN, Total Nitrogen)는 시료를 동결 건조시킨 후 미세하게 연마하여 염산을 첨가하고 50 °C에서 24시간 건조시켜 무게를 측정 한 일정 소량의 시료를 주석박막으로 말아 CHN analyzer로 정량하였다. 산취발성황화물(AVS, Acid Volatile Sulfide)은 황화수소(H₂S) 발생관에 무게를 측정된 습시료 약 2g을 넣은 후 황산을 넣고 검지관에 흡수되는 황화수소의 양으로 측정하였다.

퇴적물 내 금속원소는 -80 °C에서 퇴적물을 동결건조한 후 플라스틱 재질의 체(Ø<63 µm)로 체질하여 통과된 퇴적물 시료 1g을 50 mL의 테프론 재질 비이커에 넣고 혼합산(HNO₃:HF:HClO₄ = 2:2:1)을 이용하여 digestion하였다. 산을 완전히 휘발시킨 후 2% 질산(HNO₃)을 사용하여 100 mL로 정용한 다음 유도결합플라즈마 질량분석기(Elan 6000, Perkin Elmer, USA, ICP-MS)로 분석하였다. 수은(Hg)의 경우에는 수은자동분석기(AMA-254, Milestone, USA, Mercury analyzer)로 분석하였다. 모든 전처리 과정은 class 100의 clean booth 내에서 행하였고, 분석자료의 신뢰성을 확보하기 위해 표준물질(standard reference material)은 PACS-2(marine sediment)를 이용하였다.

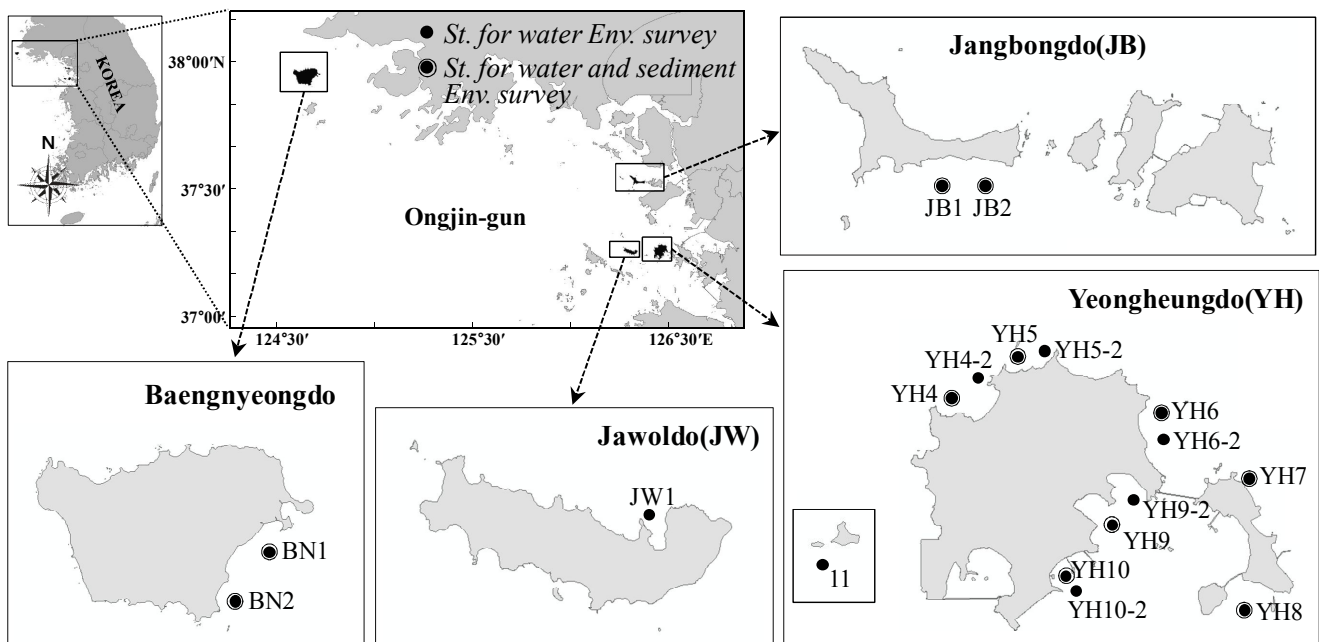


Fig. 1. Study area and sampling stations.

3. 결과 및 고찰

3.1 수질환경 특성

3회에 걸쳐 수행된 옹진군 4개 도서의 2011년도 수질 조사 결과를 Table 1에 제시하였으며, 주요항목의 시·공간별 분포를 Fig. 2에 나타내었다.

1) 수온, 염분

6월의 수온은 15.25~21.94 °C의 범위로 저층(평균 16.91 °C)은 표층(평균 18.07 °C)보다 약 1 °C 정도 낮게 나타났으며, 정점별로는 자월도(평균 15.53 °C)의 수온이 가장 낮았다. 8월의 수온은 22.14~24.14 °C의 범위로 표층과 저층 사이에 뚜렷한 차이가 없었으며 정점간에도 비슷한 분포를 보였다. 11월에는 16.11~17.67 °C의 범위로 나타났고, 12월에 조사가 이루어진 백령도의 경우 평균 9.75 °C로 가장 낮게 관측되었다. 본 연구에서의 백령도 8월 수온은 백령도에서 아산만에 이르는 경기만 연안역에서 Lim et al.(2007)에 의해 보고된 2006년 8월의 관측 결과인 18.4~21.7 °C보다 다소 높았으며, 2010년 8월에 시화호 외측에서 조사한 결과인 23.7~25.5 °C(Jang et

al., 2011)보다 약간 낮았다.

6월의 염분 분포는 29.75~30.76의 범위이며 표·저층간 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 8월 염분은 23.19~28.42 범위로 장봉도(평균 23.64)와 영흥도(평균 25.93)에서 상대적으로 낮은 분포를 보였는데, 이는 한강 하구에 위치한 장봉도와 시화호의 외측에 위치한 영흥도가 지리적으로 담수 유입의 영향을 받는 것으로 해석된다. 11월에는 29.35~31.49로 조사기간 중 가장 높은 값을 보였다. 시기별로 하계에 낮고 동계에 높아 수온분포 특성과 역상관성을 나타내었다. 우리나라 연안역의 계절변동 특성을 잘 나타내고 있으며, 홍수기에 많은 양의 담수가 유입된다는 것을 시사한다.

2) 용존산소(DO), 부유입자물질(SPM)

6월의 용존산소량은 표층과 저층에서 각각 7.12~9.30 mg/L(평균 8.46 mg/L), 5.48~9.36 mg/L(평균 8.37 mg/L)의 범위로 다른 시기에 비해 평균적으로 높게 나타났다. 정점별로 장봉도(평균 9.31 mg/L)에서 가장 높고 백령도(평균 6.81 mg/L)에서 가장 낮았다. 8월에는 6.28~8.10 mg/L(평균 7.02 mg/L)의 범위를 나타내었으며, 수온 및 염분 분포의 수직구조와 마

Table 1. Summary of the ranges and average values of seawater quality parameters in Ongjin-gun area

Station (Average depth, m)	Month	Temp. (°C)	Sal.	DO (mg/L)	SPM (mg/L)	COD (mg/L)	POC (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	Chl. <i>a</i> (µg/L)
Jangbongdo (6.9)	Jun.	17.58-17.71 (17.63)	29.75-29.78 (29.77)	9.28-9.36 (9.31)	74.0-109.4 (92.0)	0.91-1.29 (1.19)	0.54-0.65 (0.60)	0.111-0.191 (0.149)	0.003-0.004 (0.003)	0.254-0.696 (0.433)
	Aug.	23.05-23.72 (23.50)	23.19-24.39 (23.64)	6.62-7.13 (6.90)	44.8-66.6 (55.1)	1.55-2.26 (1.93)	5.33-5.69 (5.55)	0.302-0.623 (0.502)	0.028-0.038 (0.033)	0.096-1.881 (0.975)
	Nov.	16.11-16.37 (16.25)	29.35-29.95 (29.79)	7.69-8.06 (7.84)	78.6-89.6 (82.3)	1.08-1.86 (1.31)	0.15-3.36 (1.13)	0.403-0.444 (0.426)	0.037-0.040 (0.039)	0.212-0.758 (0.464)
Jawoldo (2.8)	Jun.	15.25-15.81 (15.53)	30.74-30.76 (30.75)	9.09-9.25 (9.17)	70.8-84.6 (77.7)	0.63-1.75 (1.19)	0.32-0.47 (0.39)	0.174-0.204 (0.189)	0.003-0.004 (0.004)	0.698-0.769 (0.734)
	Aug.	23.79-23.79* (23.79)*	28.12-28.12* (28.12)*	7.43-7.43* (7.43)*	71.4-71.4* (71.4)*	1.41-1.41* (1.41)*	4.80-4.80* (4.80)*	0.666-0.666* (0.666)*	0.040-0.040* (0.040)*	0.494-0.494* (0.494)*
	Nov.	16.96-16.96 (16.96)	31.49-31.49 (31.49)	7.70-7.79 (7.75)	74.8-111.4 (93.1)	1.56-1.58 (1.57)	0.43-0.88 (0.66)	0.192-0.192 (0.192)	0.024-0.024 (0.024)	0.059-0.199 (0.129)
Yeongheungdo (3.3)	Jun.	15.63-21.94 (18.28)	30.21-30.65 (30.43)	7.96-9.17 (8.53)	62.2-162.2 (93.4)	0.51-3.38 (1.42)	0.31-0.63 (0.47)	0.117-0.259 (0.184)	0.003-0.011 (0.005)	0.111-1.180 (0.616)
	Aug.	22.91-24.14 (23.45)	24.68-27.02 (25.93)	6.28-7.39 (6.91)	41.6-61.4 (51.1)	1.19-2.12 (1.60)	5.07-6.15 (5.47)	0.385-0.556 (0.478)	0.030-0.043 (0.036)	0.077-1.468 (0.610)
	Nov.	16.52-17.67 (16.95)	30.93-31.32 (31.05)	7.60-7.90 (7.73)	64.2-103.0 (79.0)	1.08-2.34 (1.68)	0.51-0.99 (0.69)	0.220-0.324 (0.261)	0.019-0.036 (0.031)	0.020-0.475 (0.203)
Baengnyeongdo (9.7)	Jun.	16.37-17.05 (16.62)	30.15-30.50 (30.36)	5.48-7.37 (6.81)	95.4-113.8 (103.2)	0.78-1.88 (1.55)	0.56-0.97 (0.71)	0.157-0.194 (0.172)	0.011-0.011 (0.011)	0.599-1.328 (0.869)
	Aug.	22.14-22.81 (22.44)	27.92-28.42 (28.22)	7.02-8.10 (7.63)	44.6-50.4 (47.8)	1.83-2.18 (2.03)	5.60-6.28 (5.96)	0.119-0.140 (0.132)	0.002-0.004 (0.003)	2.224-8.073 (3.891)
	Dec.	9.49-10.04 (9.75)	31.09-31.39 (31.30)	8.09-9.24 (8.62)	48.6-58.6 (51.8)	1.15-1.47 (1.34)	0.42-1.09 (0.75)	0.158-0.184 (0.166)	0.021-0.022 (0.021)	0.170-0.335 (0.254)

* This value was obtained at surface water only.

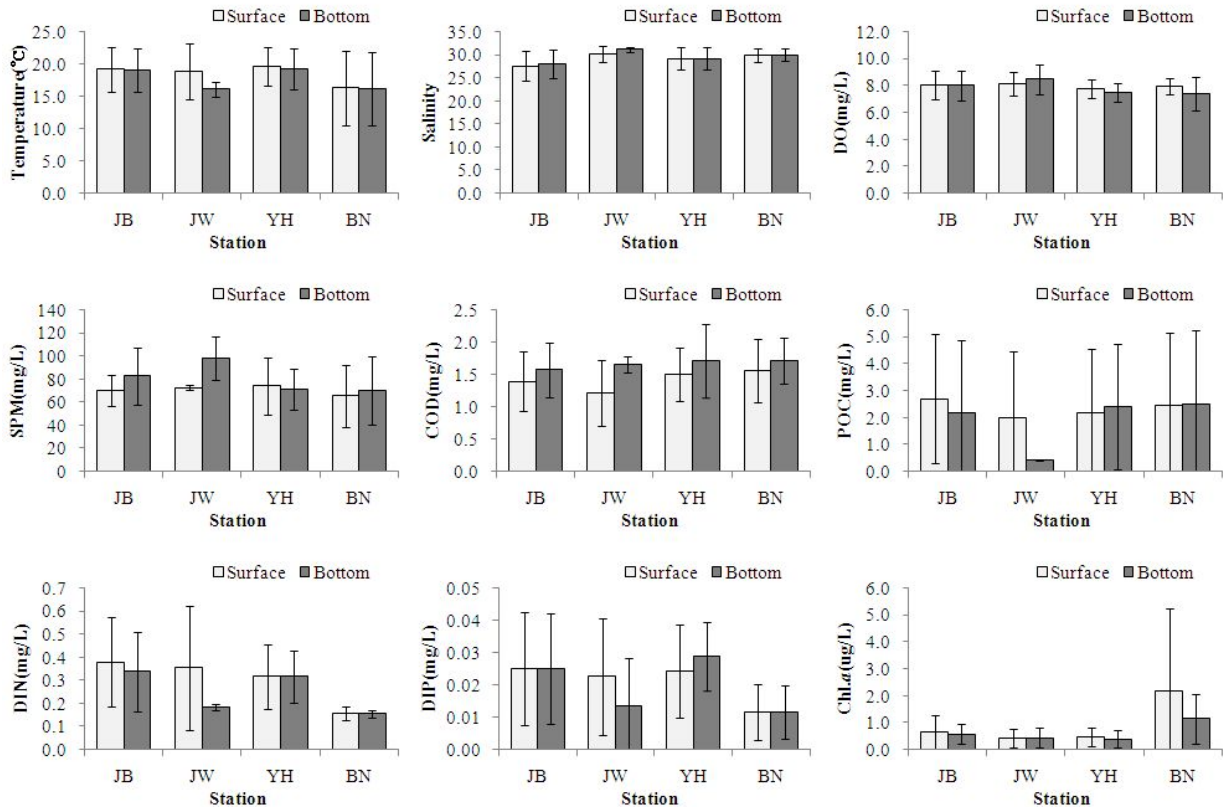


Fig. 2. Average concentrations and standard deviations of water quality parameters in surface and bottom seawaters of Ongjin-gun area (JB, Jangbongdo; JW, Jawoldo; YH, Yeongheungdo; BN, Baengnyeongdo).

찬가지로 표·저층의 용존산소 농도차이가 크지 않아서 연직적인 순환이 활발한 것으로 판단된다.

11월에는 7.60~8.06 mg/L(평균 7.74 mg/L) 범위이며, 정점별로 비슷한 분포를 보였다. 12월에 조사가 이루어진 백령도의 경우 평균 8.62 mg/L로 다른 정점의 11월 농도에 비해 높은 농도를 보였는데 이는 11월보다 상대적으로 수온이 낮기 때문으로 판단된다. 옹진군 해역의 용존산소 농도 분포는 평균적으로 하계에 낮고 동계에 높아 수온과 반대의 분포경향을 보였으며(Fig. 3a), 백령2 정점의 6월 저층을 제외한 모든 정점에서 6 mg/L 이상으로 수중생물의 생존 한계농도인 5 mg/L(Yosida, 1973)보다 높았다. 이는 시화호 외측에서 조사된 결과인 6.4~9.5 mg/L(Jang et al., 2011)와 인천연안에서 조사된 결과인 6.10~11.01 mg/L(Yeo and Kang, 1998)와는 유사하였으나, 서해 전남 갯벌에서 Jun et al.(2011)에 의해 보고된 6.16~13.26 mg/L 보다 평균적으로 약간 낮은 농도였다.

부유입자물질 농도는 조사기간 중 6월에 62.2~162.2 mg/L 범위로 가장 높았고, 8월에 41.6~71.4 mg/L 범위로 가장 낮은 농도 분포 특성을 보였으며 지역별로 뚜렷한 차이는 보이지 않았다. 11월에는 64.2~111.4 mg/L의 범위를 보였으며 자월

도에서 평균 93.1 mg/L로 가장 높았고, 12월에 조사가 이루어진 백령도에서 평균 51.8 mg/L로 가장 낮게 나타났다. 부유입자물질 농도는 담수량이 많은 여름철에 낮고 갈수기인 겨울철에 높게 나타나는데(Lim et al., 2007), 본 연구에서도 염분이 낮은 8월에는 담수의 영향으로 부유입자물질의 농도가 낮았고(Fig. 3b), 6월과 11월에는 수온과 부유입자물질의 농도가 유사한 공간분포 특성을 보였다(Fig. 3c). 특징적으로 장봉도와 자월도는 표층보다 저층에서 평균적으로 각각 12.2 mg/L, 25.7 mg/L 더 높은 농도를 보였는데, 대조차 환경하에서 조석으로 인한 퇴적물 재부유 영향을 받는 것으로 판단되며, 한강하구와 태안반도 등의 지역에서 유사한 경향을 보이기도 했다(KORDI, 2008; Lim et al., 2008).

3) 화학적산소요구량(COD), 입자유기탄소(POC)

화학적산소요구량은 6월에 0.51~3.38 mg/L 범위에 평균 1.39 mg/L로 다른 시기에 비해 평균농도는 가장 낮았으나, 표층(평균 1.07 mg/L)과 저층(평균 2.10 mg/L)의 농도차이가 뚜렷하게 나타났다. 특히 영흥도의 저층에서 평균 2.94 mg/L로 상대적으로 높은 농도를 보여 향후 수질관리를 위해 주의를

용진군 어장관리해역의 수질 및 퇴적물 환경 특성

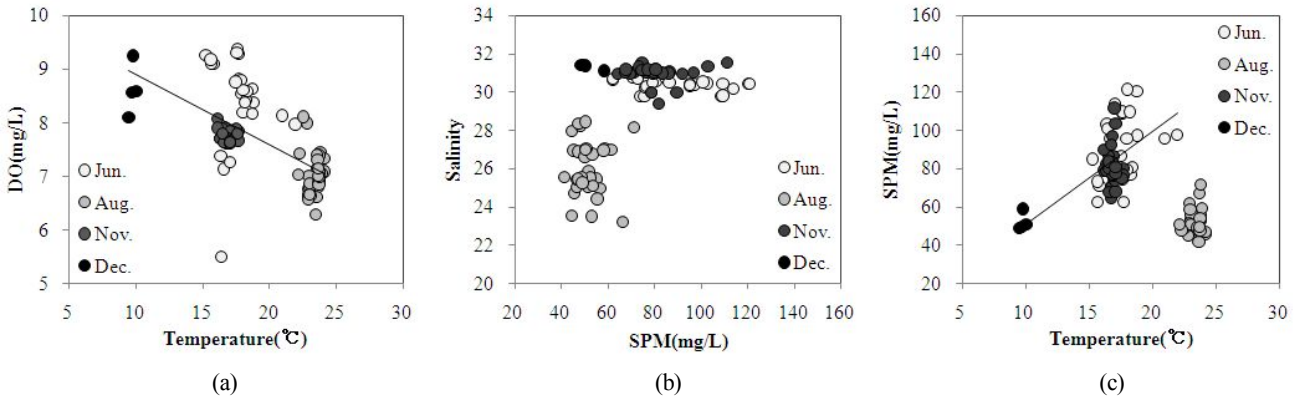


Fig. 3. Plots of temperature vs. DO(a), SPM vs. salinity(b), temperature vs. SPM(c) in the surface and bottom waters of Ongjin-gun area.

기울어야 할 것으로 사료된다. 8월과 11월의 화학적산소요구량은 각각 1.19~2.26 mg/L, 1.08~2.34 mg/L의 범위로 시·공간적으로 뚜렷한 변화 경향을 보이지 않았다.

입자유기탄소의 농도는 6월에 0.31~0.97 mg/L의 범위에 평균 0.52 mg/L로 조사기간 중 가장 낮았다. 8월에는 4.80~6.28 mg/L의 범위로 6월에 비해 10배 이상 높은 농도를 보였는데, 낮은 수심과 퇴적물의 재부유 등으로 인해 높은 값을 나타낸 것으로 사료된다. 11월에는 0.15~3.36 mg/L 범위에 평균 0.74 mg/L로 장봉도(평균 1.13 mg/L)에서 가장 높고, 자월도(0.66 mg/L)에서 가장 낮게 나타났는데, 장봉1 정점(3.36 mg/L)을 제외한 나머지 전 정점에서 1 mg/L 미만의 낮은 농도 분포를 보였다. 6월과 11월의 관측결과는 2010년 시화호 외측의 조사결과(0.34~0.83 mg/L)와 유사하였고(Jang et al., 2011), 서해 중부 연안역(0.08~2.96 mg/L)보다 낮았다(Lim et al., 2008).

4) 용존무기질소(DIN), 용존무기인(DIP)

용존무기질소의 6월 농도는 0.111~0.259 mg/L의 범위로 표층(평균 0.186 mg/L)과 저층(평균 0.157 mg/L)의 농도 차이가 크지 않았다. 정점별 농도 차이도 뚜렷하지 않았으며, 평균 0.177 mg/L로 8월과 11월보다 낮게 나타났다. 8월에는 0.119~0.666 mg/L의 범위에 평균 0.442 mg/L로 가장 높았고, 표·저층간 평균 0.073 mg/L의 차이를 보였으며, 특히 자월도에서 0.666 mg/L의 높은 농도를 나타내었다. 11월에는 0.192~0.444 mg/L 범위로 장봉도(평균 0.426 mg/L)에서 가장 높았다.

용존무기인의 농도는 6월에 0.003~0.011의 범위로 전 정점에서 매우 낮게 나타나 해역 내 식물플랑크톤 성장에 있어 제한인자(N/P ratio: 89.5)로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. 8월과 11월에는 각각 0.002~0.043 mg/L, 0.019~0.040 mg/L의 범위로 비슷한 농도를 보였고, 수심에 따른 농도 차이가 나타나지 않았다. 백령도에서 8월에 평균 0.003 mg/L로 6월보다 낮은 농도 분포를 보였는데 이는 용존무기질소의 계절적 변

동 특성과 일치하였다. 용진군 해역의 용존무기인 농도분포는 전체적으로 수층에 따른 뚜렷한 농도차가 관측되지 않았고, 하계에 높게 나타났다. 지역적으로도 용존무기질소와 비슷한 분포를 나타내고 있어 용존무기질소의 시·공간적 변동 특성과 정의 상관성을 보인다(Fig. 4).

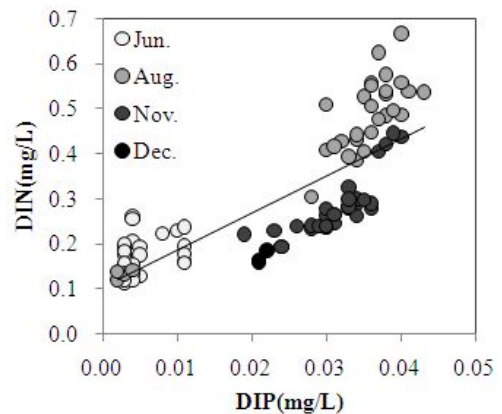


Fig. 4. Plots of DIP vs. DIN(b) in the surface and bottom waters of Ongjin-gun area.

5) 엽록소 a(chlorophyll a)

엽록소 a 농도는 6월에 0.11~1.33 µg/L의 범위로 표·저층간 농도 차이가 크지 않았다. 8월에는 0.08~8.07 µg/L의 범위로 나타나 다른 시기에 비해 엽록소 a 농도가 가장 높았고, 표층(평균 1.23 µg/L)과 저층(평균 0.86 µg/L)의 농도 차이도 가장 크게 나타났다. 특히 백령도에서 평균 3.89 µg/L로 다른 지역보다 3배 이상 높았다. 11월에는 0.02~0.76 µg/L로 가장 낮았다. 용진군 해역의 엽록소 a 농도는 시화호 외측에서 관측된 1.90~14.20 µg/L보다 낮았고(Jang et al., 2011), 전남 갯벌 해역에서 관측된 0.03~45.26 µg/L보다 낮았다(Jun et al., 2011).

3.2 퇴적환경 특성

용진군 해역의 백령도, 장봉도, 영흥도를 대상으로 2011년 8월에 11개 정점, 11월에 10개 정점에서 2회에 걸쳐 조사한 입도와 유기물 함량 및 8월에 조사한 금속원소 함량 분포 자료를 Fig. 5~Fig. 8에 나타내었다.

1) 입도 분포

본 연구해역의 퇴적물 조성은 자갈(gravel)이 0.00~5.05% 범위로 매우 낮았고, 영흥도의 일부지역에서만 나타났다. 모래(sand)는 8.28~100.00%의 범위로 전지역에 걸쳐 분포하였고, 특히 백령도에서는 모래 함량이 100.00%로 나타났다. 모래는 각 정점별 함량 비율이 큰 차이를 보이나 평균함량이 56.66%로서 본 연구지역 퇴적물의 주 구성요소로 보인다. 실트(silt) 함량은 0.00~71.73%로서 장봉2(56.13%), 영흥7(63.17%), 영흥10(71.73%) 정점에서 높게 분포하였다. 점토(clay)의 함량비율은 0.00~25.65%이고 평균함량이 7.78%로서 낮게 나타났지만 백령도를 제외한 전 지역에 걸쳐 고르게 분포하고 있었다.

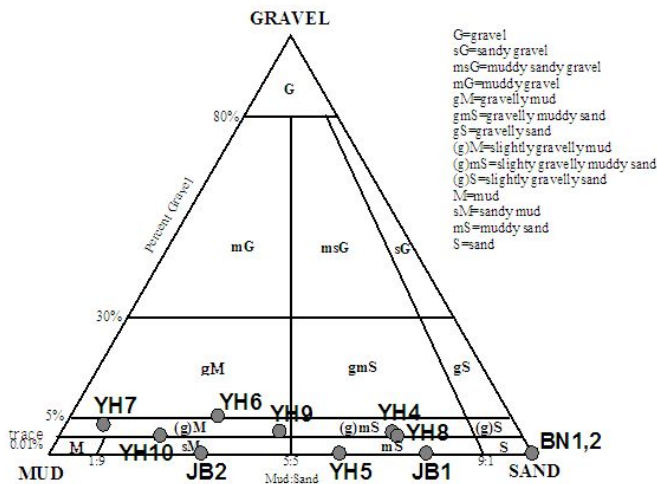


Fig. 5. The ternary diagrams showing the major sediment type of surface sediments in Ongjin-gun area.

퇴적물의 평균입도는 2.59~6.62 Ø 범위(평균 4.20 Ø)로 세립사에서 조립실트 크기 범위를 보인다. 지역별로 장봉도는 함력니질(slightly gravelly mud)과 함력니사질(slightly gravelly muddy sand)이 우세하고 백령도와 장봉도는 모래(sand)와 실트질 모래(silty sand)가 우세하게 나타났다. 퇴적물의 분급은 0.29~3.16 Ø 범위(평균 1.44 Ø)로 불량하였으나(poorly sorted), 백령도의 경우 평균 0.29 Ø로 매우 양호한 분급(very well sorted)을 나타내었다. 평균입도가 세립한 곳에서 상대적으로 더 불량하였다. 왜도는 0.02~0.55 범위(평균 0.34)로 강한 양

의 왜도를 가지는 세립꼬리를 가지며, 첨도는 1.05~2.92 범위(평균 1.96)로 입도분포곡선이 정규분포에 비해 중앙으로 매우 집중되는 경향(very leptokurtic)을 보였다.

2) 표층 퇴적물의 유기물 함량

퇴적물의 화학적산소요구량(COD) 농도는 1.00~11.03 mg/g·dry weight(이하 mg/g·dry)의 범위에 지역별로는 영흥도(평균 4.38 mg/g·dry), 장봉도(평균 4.24 mg/g·dry), 백령도(평균 1.50 mg/g·dry)의 순으로 높게 나타났다. 시기별로 8월에 1.00~11.03 mg/g·dry의 범위로 11월(1.53~6.90 mg/g·dry)보다 상대적으로 높게 나타난 반면, 장봉1과 백령1 정점에서는 11월에 2배 이상 높은 농도를 나타내었다. 전체적으로 퇴적물 오염 기준치인 20 mg/g·dry(JFRCA, 1983) 미만의 농도를 나타내어 양호한 수준이었다.

강열감량(IL) 농도의 변화는 0.72~5.27% 범위로 영흥도(평균 2.60%)와 장봉도(평균 2.25%)에 비해 백령도(평균 0.91%)에서 낮게 나타났는데 이는 모래가 많은 백령도의 입도 특성에 의한 영향이 큰 것으로 보인다. 시기별로는 8월(평균 2.61%)보다 11월(평균 1.78%)에 더 낮게 나타났으며, 특히 8월의 강열감량 농도 분포는 퇴적물의 화학적산소요구량 농도 분포와 매우 유사한 경향($r^2=0.91$)을 보였다.

산화발성황화물(AVS) 농도 분포는 ND~0.25 mg/g·dry 범위에 평균 0.04 mg/g·dry로 나타났다. 영흥6 정점에서 평균 0.24 mg/g·dry로 가장 높았고, 그 외의 정점에서는 매우 낮은 분포를 보였으며 백령도에서는 8월과 11월 모두 검출되지 않았다. 전체적으로 농도가 낮았고 시기별로 뚜렷한 차이가 없었다.

퇴적물 총유기탄소(TOC) 농도의 변화는 0.45~6.46 mg/g·dry 범위에 평균 1.91 mg/g·dry로 나타났다. 지역별로 영흥도(평균 2.36 mg/g·dry), 장봉도(평균 1.70 mg/g·dry), 백령도(평균 0.65 mg/g·dry) 순으로 높게 나타났고, 11월(평균 1.65 mg/g·dry)보다 8월(평균 2.14 mg/g·dry)에 높은 농도 분포 특성을 보였다. 용진군의 퇴적물 총유기탄소 농도 분포는 지역별 및 시기별로 퇴적물 화학적산소요구량 및 강열감량 농도 분포와 공간적으로 같은 분포 특성을 나타내었다.

총질소(TN) 농도의 변화는 0.00~0.62 mg/g·dry의 범위로 영흥도(평균 0.25 mg/g·dry), 장봉도(평균 0.17 mg/g·dry), 백령도(평균 0.07 mg/g·dry) 순으로 높게 나타났으며, 총유기탄소 농도와 유사한 공간 분포를 보였다. 시기적으로 8월(평균 0.21 mg/g·dry)이 11월(평균 0.19 mg/g·dry)에 비해 약간 높은 농도를 보였다. 총질소에 대한 총유기탄소의 비(C/N ratio)는 8.17~17.97로 8월에 C/N 비가 평균 11.68로 11월(평균 9.83)보다 높았다.

용진군 어장관리해역의 수질 및 퇴적물 환경 특성

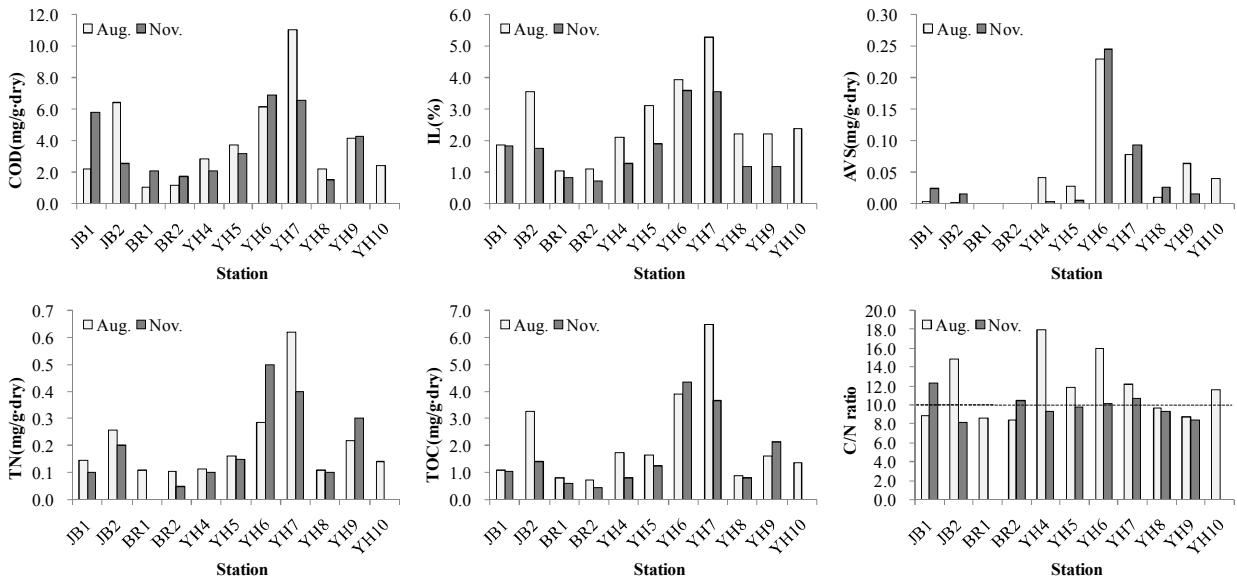


Fig. 6. Seasonal distributions of chemical parameters of surface sediment in Ongjin-gun area.

유기물의 특성을 지시하는 C/N 비는 여러 형태의 유기물의 기원을 밝히는 데 이용되고 있다. 해양생물의 기초생산에 의해 형성된 유기물은 C/N 비가 5 이상 10 이하이고, 육상으로부터 공급된 유기물의 경우 C/N 비가 10 이상으로 나타나고 있다(Muller, 1977; Stein, 1991). 용진군의 경우 C/N 비가 8월에는 6개 정점에서 10 이상으로 나타났고, 11월에는 1개 정점을 제외하고 모두 10 이하로 나타났다. 따라서 하계에는 육상기원과 해양기원에 의한 영향이 혼재하고, 동계에는 해양 기원성 유기물의 영향이 큰 것으로 보여진다. 특히 백령도는 8월과 11월 모두 10 이하로 나타나 육지에서 멀리 떨어져 있는 지형적 특성이 영향을 미치는 것으로 보인다.

3) 표층퇴적물의 금속원소 함량

용진군 해역의 표층퇴적물 중 금속원소의 농도와 분포 특성을 알아보기 위하여 각 정점별 원소의 농도를 Fig. 7에 나타내었다. 양식장 퇴적물의 금속원소 농도는 구리(Cu) 3.4~21.3 mg/kg·dry(평균 10.3±5.7 mg/kg·dry), 카드뮴(Cd) 0.028~0.101 mg/kg·dry(평균 0.055±0.022 mg/kg·dry), 납(Pb) 15.6~26.1 mg/kg·dry(평균 19.3±2.8 mg/kg), 크롬(Cr) 22.7~93.7 mg/kg·dry(평균 58.9±21.1 mg/kg·dry), 비소(As) 2.7~7.7 mg/kg·dry(평균 4.4±1.6 mg/kg·dry), 아연(Zn) 34~138 mg/kg·dry(평균 82±30 mg/kg·dry), 수은(Hg) 0.006~0.014 mg/kg·dry(평균 0.008±0.003 mg/kg·dry), 철(Fe) 12,380~41,810 mg/kg·dry(평균 27,440±8,730 mg/kg·dry) 범위였다. 전체적으로 영흥6, 7 정점에서 가장 높았고, 장봉도에서 다소 높은 분포를 보였으며, 백령도 인근에서 상대적으로 낮았다.

퇴적물 내 금속원소의 오염평가는 주로 각 나라별로 설정한 금속원소의 오염기준(Sediment Quality Guidelines; SQGs)을 이용하여 비교하는 등 여러 가지 방법이 적용된다. 본 연구에서는 연구지역내 퇴적물 중 금속원소의 농도와 미국 해양 대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)에서 생물의 영향을 고려하여 권고하고 있는 오염기준인 ERL(Effect range low)과 ERM(Effect range median) 값을 비교하였다. 아울러 오염기준 외에 농축계수(Enrichment Factor, EF)와 농집지수(Geoaccumulation index, I_{geo})를 계산하여 오염정도를 파악하였다.

여기서, EF는 퇴적물 내 광물의 구성비율을 고려한 금속원소의 함량을 보정하는 방법으로 이를 위해 각 금속원소와 지각물질 중에 높은 농도로 존재하고 오염의 영향이 적은 Al이나 혹은 Fe의 농도비를 이용하는데, 이 연구에서는 퇴적물중 Al에 대한 분석이 이루어지지 않았기 때문에 연구지역내 Fe에 대한 각 금속원소의 농도비를 기초로 다음의 식(Eq. 1)을 이용하여 EF 값을 계산하였다.

$$Enrichment\ Factor(EF) = \frac{(Me/Fe)_{observed}}{(Me/Fe)_{crust}} \quad (1)$$

이 식에서 지각 물질 중 Fe에 대한 각 금속원소의 평균 농도비는 전 세계 연안 대륙붕 지역의 퇴적물 중 각 원소의 평균농도(Taylor, 1964; Taylor and McLennan, 1995)를 이용하였다. 또한 연구지역의 지질특성을 반영하여 오염을 정량적으로 평가할 수 있는 I_{geo} 는 다음의 식(Eq. 2)을 이용하여 계산하였다.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{B_n \times 1.5} \quad (2)$$

여기서, C_n은 분석된 금속원소의 농도를, B_n은 금속원소의 바탕농도(background or reference)를 나타낸다. 금속원소의 바탕농도는 일반적으로 세일이나 지각물질의 평균농도를 사용하며(Martin and Whitefield, 1983; Jeon and Cho, 2002), 때로는 해당 연구지역에서 오염원의 영향을 가장 적게 받는 지역의 농도 혹은 가장 낮은 농도를 사용하는 경우도 있다(Sahu and Bhosale, 1991; Hyun et al., 2003; Lee et al., 2004; Hwang et al., 2010). 이 연구에서는 EF에서와 마찬가지로 Taylor and McLennan(1995)에 의해 보고된 전 세계 연안대륙붕 지역의 퇴적물중 각 원소의 평균농도를 바탕농도로 사용하였으며, I_{geo} 값이 0보다 작은 경우 오염되지 않은 것으로 간주하였다.

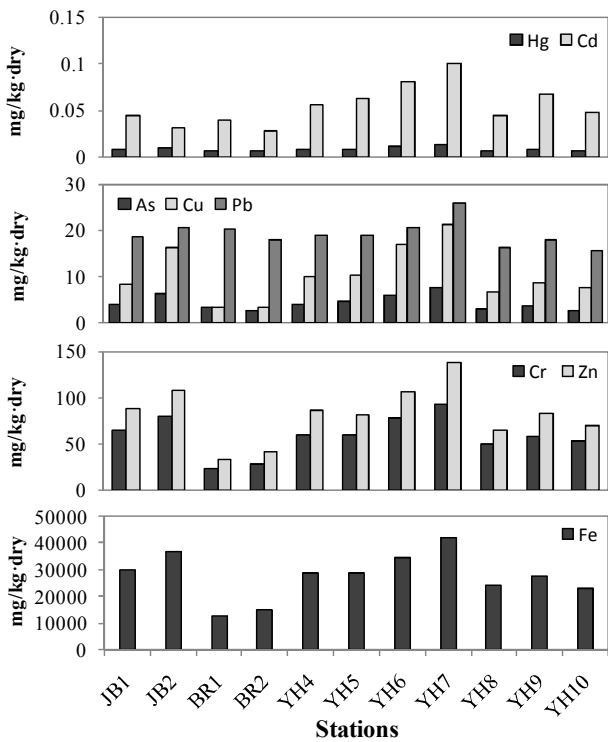


Fig. 7. The concentrations of metallic elements(Hg, Cd, As, Cu, Pb, Cr, Zn and Fe) in surface sediments of Ongjin-gun area.

옹진군 주변 양식장 퇴적물 내 미량금속 농도를 미국 NOAA에서 권고하는 퇴적물기준(ERL-ERM 기준)을 적용한 결과, 영흥7 정점에서 Cr이 NOAA의 하위권고기준인 ERL(Cr 81 mg/kg)을 초과하였으나, 그 외 모든 정점에서 미량금속 농도는 하위권고기준인 ERL 미만이었다(Fig. 8). 옹진군 주변

의 양식장 표층 퇴적물의 오염도를 평가하기 위하여 계산한 농축계수(EF) 값을 Table 2에 나타내었다. EF 값이 0.5~1.5 범위일 경우 오염이 되지 않은 자연적인 농도임을 의미하고, 1.5 보다 클 경우에는 대기나 하천 등을 통한 금속원소의 인위적인 오염의 영향을 받고 있음을 의미한다(Zhang and Liu, 2002; Hyun et al., 2007). 연구지역 내 퇴적물의 경우 Zn, Pb, Cu, Cd, Hg은 평균 EF 값이 1.5 이하로 오염되어 있지 않은 자연적인 지각 중 미량금속의 농도가 그대로 보존되어 있는 것으로 나타났으나, Cr과 As의 경우에는 EF 값이 2.0 이상으로 나타나 다른 인위적인 요인이 있는 것으로 나타났다.

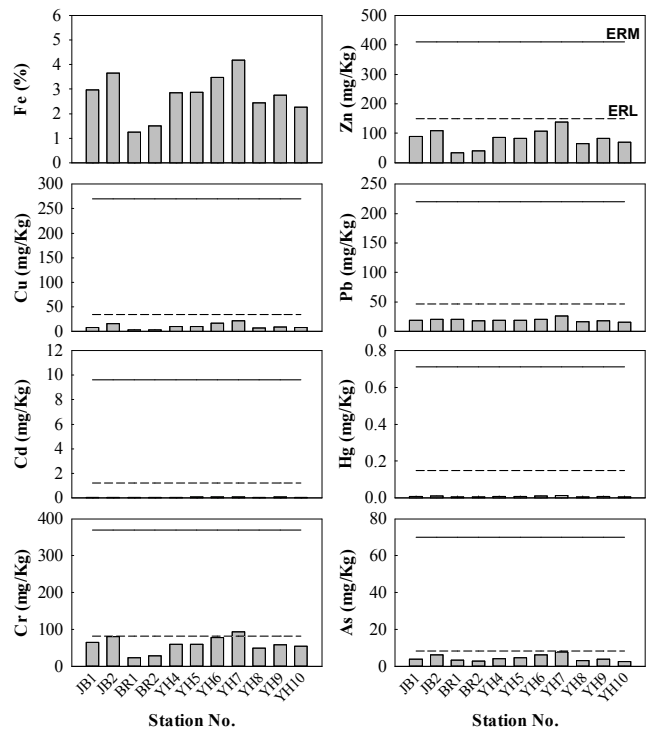


Fig. 8. The concentrations of metallic elements(Fe, Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Hg, Cr, and As) with each station in surface sediments of Ongjin-gun area. The dotted and solid lines represent the values of ERL(effect range low) and ERM(effect range median) proposed by NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) as the sediment quality guidelines, respectively.

한편, I_{geo} 값은 총 7개 등급으로 구분되는데(Jeon and Cho, 2002; Hyun et al., 2003; Lee et al., 2004; Hwang et al., 2010), 연구지역 내 표층 퇴적물에 대한 I_{geo} 계산결과를 Table 3에 나타내었다. EF 값에 따른 퇴적물 오염평가결과와 유사한 경향을 보였고, Cu, Cd, Pb, Hg은 모든 정점에서 I_{geo} class가 0

웅진군 어장관리해역의 수질 및 퇴적물 환경 특성

이였으며, Zn 경우에는 대부분의 정점에서 I_{geo} class가 0으로서 이들 원소들은 오염되지 않은 수준(Practically unpolluted)인 것으로 나타났다. 하지만 Cr과 As의 경우에는 대부분의 정점에서 I_{geo} class가 1로서 오염되지 않은 수준(Practically unpolluted)과 약간 오염된 수준(Moderately polluted)의 중간단계로 주변 육상으로부터 약간의 인위적인 오염의 영향을 받는 것으로 나타났다.

Table 2. Ratios of metallic elements relative to Fe in surface sediment of Ongjin-gun area and in earth crust reported by Taylor(1964) and Taylor and McLennan(1995)

Region	Metals/Fe × 1000					Metals/Fe × 10000	
	Zn/Fe	Pb/Fe	Cu/Fe	Cr/Fe	As/Fe	Cd/Fe	Hg/Fe
Earth's crust	2.03	0.57	0.71	1.00	0.04	0.028	0.023
Ongjin-gun area	2.95	0.78	0.35	2.11	0.16	0.021	0.003
E.F.*	1.45	1.37	0.49	2.11	3.81	0.74	0.14

* E.F. : Enrichment Factor

Table 3. Classification of geoaccumulation index(Muller, 1979) and the number of I_{geo} -class for the concentrations of metallic elements in surface sediment in Ongjin-gun area

I_{geo}	I_{geo} Class	Designation of sediment quality	I_{geo}								
			Cu	Cd	Pb	Cr	As	Zn	Hg	Fe	
> 5	6	Very strongly polluted	0	0	0	0	0	0	0	0	
4~5	5	Strongly/very strongly polluted	0	0	0	0	0	0	0	0	
3~4	4	Strongly polluted	0	0	0	0	0	0	0	0	
2~3	3	Moderately/strongly polluted	0	0	0	0	0	0	0	0	
1~2	2	Moderately polluted	0	0	0	0	4	0	0	0	
0~1	1	Practically unpolluted /moderately polluted	0	0	0	8	7	3	0	0	
0	0	Practically unpolluted	11	11	11	3	0	8	11	11	

4. 결 론

웅진군 어장관리해역의 4개 도서에 대해 수질 환경과 퇴적물 환경 특성을 분석하였다. 수질 환경 중 수온과 염분은 서로 역상관성을 가지는 우리나라 연안역의 계절변동 특성을 잘 나타내었다.

용존산소량은 대부분의 정점에서 6 mg/L 이상으로 수중생물의 생존 한계농도인 5 mg/L보다 높았으나, 서해 전남 갯벌(6.16~13.26 mg/L)보다는 평균적으로 약간 낮은 농도였다. 부유입자물질의 농도는 염분이 낮은 8월에는 담수의 영향으로 낮은 분포를 보였고, 담수의 영향이 적은 6월과 11월에는 수온과 부유입자물질의 농도가 유사한 공간분포 특성을 보였다. 특징적으로 장봉도와 자월도는 표층보다 저층에서 평균적으로 더 높은 농도를 보였는데, 대조차 환경 하에서 조석으로 인한 퇴적물 재부유의 영향을 받는 것으로 판단된다.

화학적산소요구량과 입자유기탄소의 농도는 전체적으로 양호한 농도 수준으로 나타났고, 시·공간적으로 유사한 분포를 보였으나 부유입자물질의 농도와 상관성이 확인되지 않았다.

영양염류 중 용존무기인의 농도는 전체적으로 낮은 농도 분포를 보여 해역 내 생물성장에 있어 제한인자로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 백령도에서 여름철에 낮게 관측되었고, 이는 용존무기질소의 계절적 변동 특성과 일치하였다. 웅진군 해역의 영양염류는 전체적으로 수층에 따른 뚜렷한 농도 차가 관측되지 않았고, 하계에 높게 나타나고 있어 용존무기질소와 용존무기인의 시·공간적 변동 특성은 정의 상관성을 보인다. 엽록소 a 농도는 전체적으로 낮은 분포를 보였으나 하계에 백령도에서 평균 3.891 µg/L로 다른 지역보다 3배 이상 높았다.

웅진군 해역의 퇴적물 조성은 모래와 실트가 우세한 상황으로 모래의 평균함량이 56.66%였고, 특히 백령도의 경우 모래 함량이 100%로 나타나 본 연구지역 퇴적물의 주 구성요소를 이루었다. 퇴적물의 평균입도는 세립사에서 조립실트 크기 범위를 보였고, 분급은 불량하였으며(poorly sorted), 평균입도가 세립한 곳에서 상대적으로 더 불량하였다. 퇴적물의 화학적산소요구량 농도는 전체적으로 퇴적물 오염기준치인 20 mg/g·dry 이하의 농도를 나타내어 양호한 수준이었다. 강열감량 농도는 백령도에서 낮게 나타났는데 이는 모래가 많은 백령도의 입도 특성에 의한 영향이 큰 것으로 보인다. 8월의 강열감량 농도 분포는 퇴적물의 화학적산소요구량 농도 분포와 매우 유사한 경향을 보였으며, 산화발생황화물 농도는 전체적으로 매우 낮은 분포를 보여 시기별로도 평균적으로 뚜렷한 차이가 없었다. 웅진군의 퇴적물 총유기탄소 농도 분포는 지역별 및 시기별로 퇴적물 화학적산소요구량 및 강열감량 농도 분포와 공간적으로 같은 분포 특성을 나타내고 있었다. 총질소 농도는 총유기탄소 농도와 유사한 분포를 보였고, 총질소에 대한 총유기탄소의 비(C/N ratio)는 8.17~17.97 범위로, 하계에는 육상기원과 해양기원에 의한 영향이 혼재하고, 동계에는 해양기원성 유기물의 영향이 큰 것으로 보인다.

표층 퇴적물의 금속원소 농도는 퇴적물의 분급과 강열감량의 분포와 유사한 경향을 보여 금속원소의 농도가 입도와 유기물의 함량에 의해 영향을 받는 것으로 판단된다. 전체적으로 영흥도에서 높았고, 백령도 인근에서 상대적으로 낮았으며, 미국 NOAA에서 권고하는 퇴적물기준을 적용한 결과, 정점 영흥7에서 Cr이 하위권고기준인 ERL(Cr 81 mg/kg)을 초과하였다. 또한 표층 퇴적물의 오염도를 평가하기 위하여 EF 값을 계산한 결과 Cr과 As의 경우에는 EF 값이 2.0 이상으로 나타나 대기나 하천을 통한 인위적인 유입이 있을 것으로 보였으며, I_{geo} class의 계산결과에서도 Cr과 As가 오염되지 않은 수준(Practically unpolluted)과 약간 오염된 수준(Moderately polluted)의 중간단계로 주변 육상으로부터 약간의 인위적인 오염의 영향을 받은 것으로 나타났다.

이러한 조사결과를 종합해 보면 본 연구지역은 외해와의 해수교환이 잘 이루어지고 주변에 공단이나 직접적인 하천수의 유입이 없어 전체적으로 양호한 수질과 오염되지 않은 퇴적물 환경을 유지하고 있는 것으로 사료된다. 그러나 조석과 파랑, 바람 등의 해양 물리적인 영향에 의한 급격한 환경변화가 일어날 수 있고, 갯벌의 특성으로 인해 해역의 물리·생물학적인 환경이 크게 좌우될 수 있는 지역인 만큼 단기간의 조사에서 해역의 특성을 파악하기에는 부족함이 있다고 판단된다. 따라서 해역의 특성 및 어장환경과의 상호작용을 보다 정확하게 판단하고 어장관리해역의 보전 및 개선에 도움이 되기 위해 지속적인 모니터링과 체계적인 관리정책이 요구된다.

감사의 글

이 연구는 국립수산과학원의 사업과제(어장환경 모니터링, RP-2013-ME-094)의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Fork, R. L. and W. C. Ward(1957), Brazos river bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters, Journal of Sedimentary Research, Vol. 27, No. 1, pp. 3-26.
- [2] Fork, R. L.(1986), Petrology of Sedimentary Rocks, Austin, Texax, Hemphill, p. 170.
- [3] Hwang, D. W., S. O. Ryu, S. G. Kim, O. I. Choi, S. S. Kim and B. S. Koh(2010), Geochemical Characteristics of Intertidal Surface Sediments along the Southwestern Coast of Korea, Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Vol. 43, No. 2, pp. 146-158.
- [4] Hyun, S., T. Lee, J. S. Choi, D. L. Choi and H. J. Woo(2003), Geochemical Characteristics and Heavy Metal Pollutions in the Surface Sediments of Gwangyang and Yeosu Bay, South Coast of Korea, Journal of the Korean Society of Oceanography, Vol. 8, No. 4, pp. 380-391.
- [5] Hyun, S., C. H. Lee, T. Lee and J. W. Choi(2007), Anthropogenic Contributions to Heavy Metal Distributions in the Surface Sediments of Masan Bay, Korea. Marine Pollution Bulletin, Vol. 54, No. 7, pp. 1031-1071.
- [6] Ingram, R. L.(1971), Sieve Analysis, In: Procedures in Sedimentary Petrology, ed. R. E. Carver, Wilson Interscience, Wiley Interscience, New York, pp. 49-68.
- [7] Jang, J. I., I. S. Han, K. T. Kim and K. T. Ra(2011), Characteristics of Water Quality In the Shihwa Lake and Outer Sea, Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, Vol. 17, No. 2, pp. 105-121.
- [8] Jeon, S. G. and Y. G. Cho(2002), Some Heavy Metal Concentration of Surface Sediments from the Southwestern Coast of Korea. Journal of the Environmental Sciences, Vol. 11, No. 12, pp. 1299-1305.
- [9] JFRCA(1983), Water Quality Criteria for the Protection of Aquatic Living Resources. Tokyo, Japan Fisheries Resources Conservation Association. p. 29.
- [10] Jun, S. K., C. K. Kim and Y. Kim(2011), The Evaluation of the Water Quality in Coastal Boundary on Tidal flat, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 14, No. 1, pp. 1-10.
- [11] Kim, N. Y., K. H. Kim and K. Park(1999), Distribution Characteristics of Major Water Quality Parameters in the Kyung Gi Bay, Yellow Sea, Journal of the Korean Earth Science Society, Vol. 20, No. 5, pp. 564-579.
- [12] KORDI(2008), Development of Management and Restoration Technologies for Estuaries with Focus on Han River Estuary Region, Korea Ocean Research and Development Institute, p. 711.
- [13] Lee, M. K., W. Bae, I. K. Um and H. S. Jung(2004), Characteristics of Heavymetal Distribution in Sediments of Youngil Bay, Korea. Journal of the Korean Environmental Engineering, Vol. 26, No. 5, pp. 543-551.
- [14] Lim, D. I., C. R. Rho, P. G. Jang, S. M. Kang, H. S. Jung, R. H. Jung and W. C. Lee(2007), Temporal-spatial Variations of Water Quality in Gyeonggi Bay, West Coast of Korea, and Their Controlling Factor, Ocean and Polar Research, Vol. 29, No. 2, pp. 135-153.

- [15] Lim, D. I., M. R. Kang, P. G. Jang, S. Y. Kim, H. S. Jung, Y. S. Kang and Y. S. Kang(2008), Water Quality Characteristics Along Mid-western Coastal Area of Korea, Ocean and Polar Research, Vol. 30, No. 4, pp. 379-399.
- [16] Martin, J. M. and M. Whitfield(1983), The Significance of River Input of Chemical Elements to the Ocean. In: Trace Metals in Sea Water. Wang C. S., Boyle E., Burton J. D. and Goldberg E. D., ed. Plenum, New York, U.S.A., pp. 265-298.
- [17] MIFAFF(2009), Annual Monitoring Report of Korean Marine Environment 2008, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, p. 443.
- [18] MIFAFF(2012), Annual monitoring report of Korean marine environment 2011, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, p. 377.
- [19] MLTM(2010), A Guidebook for the Seawater, Sediment and Marine Biota Analyses in Ocean Environment, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, MLTM Notice No. 2010-914, p. 495.
- [20] Muller, P. J.(1977), C/N ratio in Pacific Deep-sea Sediments: Effects of Inorganic Ammonium and Organic Nitrogen Compounds Sorbed by Clays, Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 41, No. 6, pp. 765-776.
- [21] Muller, G.(1979), Schwernmetalle in Den Sedimenten des Rheins, Verderyngen Seit. Umschau, Vol. 24, pp. 778-783.
- [22] Ongjin-gun(2008), A Site Selection of Aquaculture and a Reduction Measures of Clams Dead in Island of Ongjin-gun, Inchon, Ongjingun, p. 572.
- [23] Ongjin-gun(2012), A White Book of Ongjin-gun, Inchon, Ongjin-gun, p. 503.
- [24] Ra, K. T., J. K. Kim, E. S. Kim, K. T. Kim, J. M. Lee, S. K. Kim, E. Y. Kim, S. Y. Lee and E. J. Park(2013), Evaluation of Spatial and Temporal Variations of Water Quality in Lake Shihwa and Outer Sea by Using Water Quality Index in Korea: A Case Study of Influence of Tidal Power Plant Operation, Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy, Vol. 16, No. 2, pp. 102-114.
- [25] Sahu, K. C. and U. Bhosale(1991), Heavy Metal Pollution Around the Island City of Bombay, India. Part I: Quantification of Heavy Metal Pollution of Aquatic Sediments and Recognition of Environmental Discriminants, Chemical geology, Vol. 90, No. 3-4, pp. 263-283.
- [26] Stein, R(1991), Accumulation of Organic Carbon in Marine Sediments. Results from the Deep Sea Drilling Project/Ocean Drilling Program, Lecture Notes in Earth Sciences, Vol. 34, Berlin, Springer-Verlag, p. 217.
- [27] Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons(1972), A Practical Handbook of Seawater Analysis, Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 167, Alger Press, p. 310.
- [28] Taylor, S. R.(1964), Abundance of Chemical Elements in the Continental Crust: A New Table. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 28, No. 8, pp. 1273-1285.
- [29] Taylor, S. R. and S. M. McLennan(1995). The Geochemical Evolution of the Continental Crust, Reviews of Geophysics Vol. 33, No. 2, pp. 241-265.
- [30] Yeo, H. G. and H. Kang(1998), Water Quality and Phytoplankton Community Waters of Inchon, Journal of the Korean Environmental Sciences Society, Vol. 7, No. 3, pp. 321-326.
- [31] Yosida, Y.(1973), Changes in Biological Production in Low Trophic Levels, Fisheries Series, 1, Kaseisha Koseikaku, Tokyo, pp. 92-103.
- [32] Zhang J. and C. L. Liu(2002), Riverine Composition and Estuarine Geochemistry of Particulate Metals in China-weathering Features, Anthropogenic Impact and Chemical Fluxes, Coastal and Shelf Science, Vol. 54, No. 6, pp. 1051-1070.

원고접수일 : 2013년 10월 15일

원고수정일 : 2013년 12월 13일

게재확정일 : 2013년 12월 26일