

옹진군 어장관리해역 해제 및 변경 타당성 평가

강성찬 · 김형철* · 황운기¹ · 심보람 · 김청숙 · 이원찬² · 홍석진

국립수산과학원 어장환경과, ¹국립수산과학원 서해수산연구소, ²국립수산과학원 남해수산연구소

Feasibility of Changing or Canceling Designated Mariculture Management Areas in Ongjin-gun, Korea

Sungchan Kang, Hyung Chul Kim*, Un-Ki Hwang¹, Bo-ram Sim, Chung-sook Kim, Won-Chan Lee² and Sokjin Hong

Marine Environment Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

¹West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Incheon 22383, Korea

²South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59780, Korea

Some of the mariculture grounds near Ongjin-gun, Korea, were designated as mariculture management areas in 2007. Areas are so designated when the environmental quality of the mariculture ground deteriorates or there is an outbreak of hypoxia or harmful red tide that kills mariculture organisms. We surveyed the water and sediment quality and examined the mortality of mariculture organisms in the Ongjin-gun mariculture area. In a survey conducted in 2016, the water quality was better than the environmental quality standards for mariculture grounds, excepts for dissolved inorganic nitrogen, and the sediment quality was good. However, there was still mortality of mariculture organisms in some of the designated management areas. The areas that met the environmental quality standards should be delisted and the areas in which we observed mortality should be classified as management areas. This will enable the sustainable development of aquaculture and preserve healthy mariculture grounds.

Key words: Mariculture Management Area, Environmental quality standard of mariculture ground, Ongjin-gun, sea-water quality, sediment quality

서론

옹진군은 서해 5도의 북방한계선(NLL)에서 영흥도, 자월도, 북도권역을 잇는 서해 중부에 위치한 다도해역으로 황해 냉수대의 영향을 받는 지리적 위치에 있으며, 한강, 임진강과 더불어 주변 갯벌에서 다양하고 풍부한 먹이원이 공급됨에 따라 지역 특성어종(홍어, 참조기, 꽃게 등)의 서식지 및 산란장으로 좋은 환경을 이루고 있다. 또한 조수간만의 차가 큰 해양특성으로 인해 갯벌이 넓게 발달되어 바지락, 참굴, 동죽 등 패류가 성장하기에 알맞은 환경이다(Ongjin-gun, 2008). 하지만 시화 방조제 및 영흥 화력발전소 건설과 같은 인공구조물에 의한 갯벌 매립과 연안 산업공단 조성 등 지역 산업의 발전에 따라 주변 해역의 조류 흐름 변동과 퇴적 환경 변화가 뒤따르게 되었고, 다양한 육상 오염물질 유입으로 인해 주변 해역에 위치한 양식장 환경이

악화되고 있다(Ongjin-gun, 2008). 연안어장 환경의 악화로 인해 어장의 생산성이 감소하고 수산물 품질이 저하됨에 따라 어장 환경을 보전하는데 적당한 조치가 필요하다고 인정되면 어장관리법 제 5조에 의거 어장관리해역으로 지정할 수 있다. 옹진군 어장관리해역은 국내에서 유일하게 5개면 1,416 ha에 대해 2007년에 지정되었다. 어장관리해역으로 지정되면 지정된 해역에 위치한 어장은 어장의 면허·허가동시갱신, 어장면적의 조정, 어장휴식, 어장의 정화정비 등에 대한 계획을 수립하여야 한다. 하지만 어장관리해역으로 지정되면 어장의 과도한 개발 및 병해 발생 등 부정적 이미지가 부각될 수 있고, 어장 휴식 및 어장 정화 등에 발생하는 비용 부담을 우려하여 어장관리해역의 지정 및 관리에 취약한 실정이다. 이러한 현행 제도의 미비점을 보완하고 실효성을 높이기 위해 어장관리법을 일부 개정(시행 2014.8.14)하여 관리를 강화하고 있다. 어장관리법 개정

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0576>



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.

Korean J Fish Aquat Sci 50(5) 576-588, October 2017

Received 4 September 2017; Revised 27 September 2017; Accepted 18 October 2017

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2523 Fax: +82. 51. 720. 2515

E-mail address: hckim072@korea.kr

안의 주요 내용으로 어장관리해역 지정권자를 지자체장에서 해양수산부 장관으로 변경하여 어장의 효율적인 이용, 관리 및 조사가 이루어질 수 있도록 하였다. 또한 어장환경기준을 마련하여 어장관리해역 지정, 변경 및 해제에 대한 객관적인 평가가 가능해졌다. 웅진군 어장관리해역 지정 이후 어장관리해역 별로 어장환경조사를 실시하였지만(Kim et al., 2013b), 그 당시에는 어장환경기준이 마련되어 있지 않아 어장관리해역을 객관적으로 평가하기 어려웠다. 이후 어장환경기준이 해양수산부 고시로 2014년 8월 11일에 제정 됨에 따라 어장관리해역 변경 및 해제의 근거가 마련되었다.

따라서 본 연구는 어장관리해역으로 지정된 웅진군의 4개 도서(장봉도, 백령도, 자월도, 영흥도)에서 수질 및 퇴적물 환경을 조사하였고, 선행 연구(Kim et al., 2013b) 및 인근 해역과 비교하여 연구 해역의 환경을 평가하였다. 또한 어장환경기준에 적용하여 어장관리해역 해제 및 변경에 대한 타당성을 평가하고자 한다.

재료 및 방법

어장관리해역 지정 현황

어장관리해역으로 지정된 지역은 장봉도, 백령도, 자월도, 영흥도 주변 해역에 위치하며 지정된 총 면적은 1,416.4 ha다. 장봉도에 지정된 어장관리해역은 김과 백합 및 동족을 양식하고 있으며 총 면적이 435 ha으로 김 양식이 성행하는 양식장에서 오염원 유입을 차단하고, 양식 종료 후 시설물을 즉시 철거하여 어장환경개선이 필요하여 지정되었다. 백령도에 지정된 어

장관리해역은 피조개, 우럭, 전복, 바지락, 다시마, 미역 등을 양식하는 348 ha에 대해 지정되었으며, 지정된 이유는 해역이 여객선 항로와 인접하여 어장 관리에 특별한 주의가 필요하며, 담수호에서 담수가 어장으로 유입되면 어장 피해가 발생할 수 있기 때문이다. 자월도에 지정된 어장관리해역은 바지락 양식을 하는 12.1 ha에 대해 지정되었으며, 매년 바지락 폐사가 발생하여 어장환경개선을 위한 지속적 어장 관리가 필요한 경우다. 영흥도에 지정된 어장관리해역은 굴, 바지락, 동족, 게, 낙지, 소라 등을 양식하는 621.3 ha에 대해 지정되었으며, 육상오염원과 인접하여 어장 내 오염원의 유입이 쉬우며, 바지락 폐사가 연중 발생하여 어장환경개선을 위한 지속적인 어장 관리가 필요하기 때문이다.

현장조사 및 시료 분석방법

어장관리해역으로 지정된 웅진군 해역의 수질 환경 특성을 파악하기 위해 2016년 2월부터 12월까지 2개월 간격으로 총 6회 조사를 실시하였다(Fig. 1). 현장 관측 및 해수 시료 채취는 표층(수면 하 0.5 m)과 저층(해저면 상부 1 m)에서 실시하였고, 수심이 3 m 이하인 정점(St. 1-1, 1-3, 3-1, 9-2, 9-3)에 대해서는 표층조사만 실시하였다. 수온과 염분은 CTD (Seabird 19, USA), 수소이온농도(pH)와 용존산소(dissolved oxygen, DO)는 다항목 수질측정기(YSI-6000, USA)를 이용하여 관측하였다. 해수 채취는 Niskin 채수기를 이용하여 채취하였고, 채취한 시료는 GF/F 여과지로 여과 후 48시간 이내 실험실에서 영양염 분석을 실시하였다. 해수 내 암모니아질소(NH₄⁺-N), 아질산질소(NO₂⁻-N), 질산질소(NO₃⁻-N), 인산인(PO₄³⁻-P)은 영양염 자

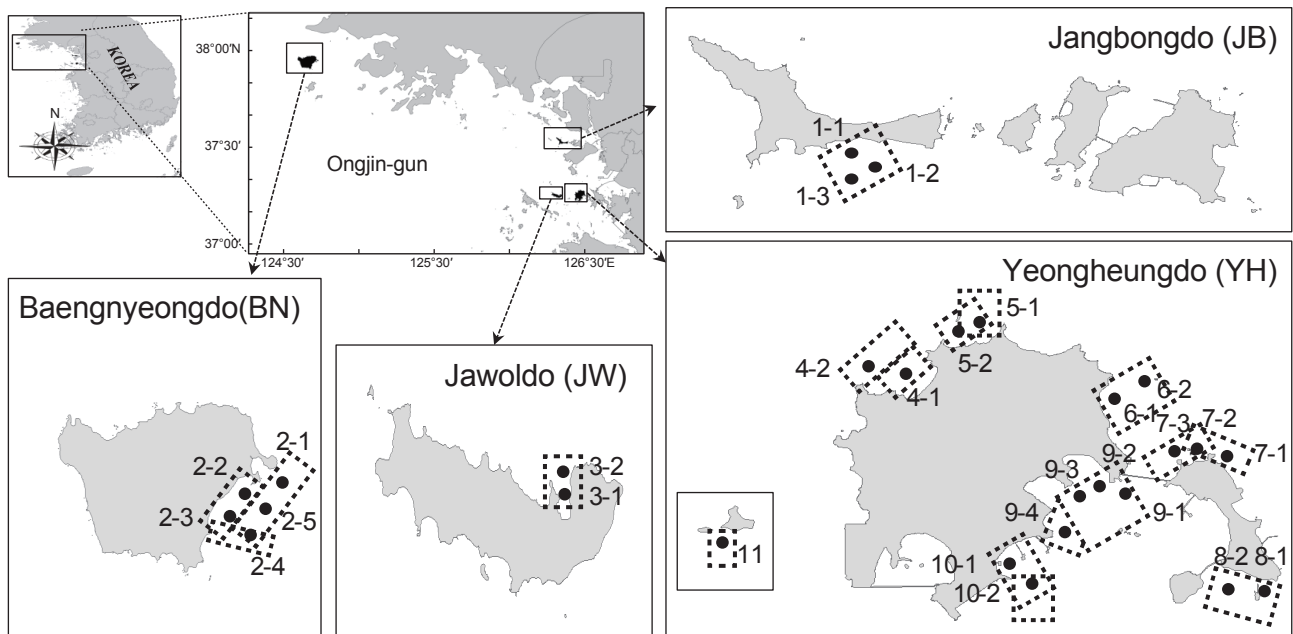


Fig. 1. Study area and sampling station. Dashed rectangles represent the designated Ongjin-gun mariculture areas.

동분석기(Auto analyzer, Quattro, Germany)를 이용하여 측정하였고, 측정값은 표준해수시료(CSK standard solution, Wako Pure Chemical Industries)로 정확도를 검증하였다. 용존무기질소(dissolved inorganic nitrogen, DIN)는 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 합으로 나타내었다.

퇴적물 환경조사는 2016년 2월과 8월에 걸쳐 총 2회 실시하였다. 퇴적물 채취는 van Veen grab을 이용하여 표층(0-2 cm) 퇴적물을 채취하여 냉장 보관 후 실험실로 이동하였다. 산취발성 황화물(acid volatile sulfide, AVS), 강열감량(ignition loss, IL), 화학적산소요구량(chemical oxygen demand, COD)과 입도분석은 해양환경공정시험기준(MOF, 2013)에 따라 수행하였다. 산취발성황화물은 발생관에 약 2 g의 습시료를 넣은 후, 황산 2 mL을 넣고 검지관에 흡수되는 황화수소(H_2S) 양으로 측정하였고, 강열감량은 약 5 g의 퇴적물을 110°C에서 24시간 건조 후, 550°C에서 2시간 강열하여 강열 전과 후의 무게 차이로 계산하였다. 화학적산소요구량은 퇴적물 내 유기물을 강산화제인 과망간산칼륨($KMnO_4$)으로 산화시켜 소모되는 양을 대응하는 산소량으로 측정하여 분석하였다. 입도분석은 500 mL 비이커에 약 20-30 g의 퇴적물 시료를 담은 후 이온교환수로 염분을 제거한 다음 10% 과산화수소를 넣어 유기물을 제거하고, 0.1 N 염산을 이용하여 탄산염을 차례로 제거하였다. 이후 4 Ø 표준체를 이용한 습식체질(wet sieve)로 조립질 입자(>4 Ø)와 세립질 입자(<4 Ø)를 분리하였다. 조립질 입자는 110°C, 24시간 이상 건조한 시료를 진탕기를 이용하여 건식체질(dry sieve)한 후, 각 Ø별 무게를 측정하였다. 표준체를 통과한 세립질 입자는 1 L 메스실린더에 담아 젓개를 이용하여 균질하게 혼합하고 50 mL 시료를 피펫으로 분취하여 무게를 잰 후, 남은 시료는 확산제인 칼콘용액($[NaPO_3]_6$) 2%를 첨가한 후 자동입도분석기(Sedigaph 5100 D, USA)로 분석하여 1 Ø간격으로 무게 백분율을 구하였다. 분석 후 자료는 Folk and Ward (1957)의 방법으로 분류하였고, 퇴적물 유형은 Folk (1968)의 방법에 따라 구분하였다. 총유기탄소(total organic carbon, TOC)와 총질소(total nitrogen, TN)는 동결건조한 시료를 분마한 후 0.1 N 염산을 첨가하여 탄산염을 제거하고 60°C에서 24시간 이상 건조하였다. 미리 무게를 알고 있는 전처리 된 시료 약 3-5 mg을 주석박막으로 밀봉한 후 CHN 원소분석기(Perkin Elmer, model 2400, USA)를 이용하여 분석하였다.

통계분석

용진군 어장관리해역에서 표층과 저층의 수질 항목 간 차이가 있는지 알아보기 위해 SPSS프로그램(ver. 12.0)을 이용하여 대응표본 t 검정(Paired t-test)을 실시하였다(Table 1). 통계적 유의성은 $\alpha < 0.05$ 수준으로 유의확률(P-value)이 0.05 이하 일 때 표층과 저층 간 차이가 있다고 판단하였다. 통계분석 결과 수온 및 일부 계절의 염분이 통계적으로 유의한 차이가 있지만 대부분 항목에서 통계적으로 유의한 차이가 없었기 때문에 본 연구

에서는 표층과 저층의 평균값을 이용하여 분석하였다.

용진군 어장관리해역 내 어장의 수질 및 퇴적물 환경 상태변화를 살펴보기 위해 본 연구결과와 2011년에 조사한 연구결과를 비교분석하였다. 선행연구와 비교분석을 위해 본 연구에 조사자료 중 Kim et al. (2013b)이 조사한 정점과 일치한 자료(n=18)만을 사용하였고, 선행 연구에서 실시되었던 11월 조사(11월 말-12월 초)는 본 연구의 12월 결과값과 비교하였다. 선행 연구와 본 연구 간 수질 및 퇴적물 환경이 통계적으로 차이가 있는지 알아보기 위해 독립표본 t 검정(Independent sample t-test)을 실시하였다(Fig. 3, Fig. 7). 통계적 유의성은 $\alpha < 0.05$ 수준으로 유의확률(P-value)이 0.05 이하 일 때 두 시기 간 농도 차이가 있다고 판단하였다.

결과 및 고찰

수질 환경

본 연구 지역인 장봉도, 백령도, 자월도, 영흥도에 위치한 어장관리해역의 평균 수심은 각각 1.2-7.0 m (평균 3.3 m), 6.4-27.7 m (평균 15.4 m), 2.8-9.0 m (평균 5.4 m), 1.3-15.0 m (평균 5.6 m) 범위로 나타났다(Table 2). 용진군 어장관리해역의 연간 수온은 2.41-27.59°C (평균 14.14°C) 범위의 변화를 나타내었다. 하계에는 육상과 인접한 장봉도, 영흥도 해역에서 높았고, 동계에는 육상과 떨어져 있는 백령도 해역에서 수온이 높았다. 이러한 원인은 육상과 해양 간 비열차이에 의한 것으로, 하계에는 수온이 높은 담수가 유입되고 반대로 동계에는 수온이 낮은 담수가 유입된 것이 영향을 미치며(Lim et al., 2008), 백령도는 육지와 다소 떨어진 도서 지역의 지리적인 원인으로 판단된다.

본 연구 지역의 염분은 29.22-32.81 (평균 31.47)의 범위로 담수유입이 많은 하계에 염분이 낮고, 반대로 동계에 높았다(Table 2). 지역별로는 장봉도(평균 30.95), 영흥도(평균 31.42) 해역이 자월도(평균 31.73), 백령도(평균 31.87) 해역에 비해 염분이 낮았는데, 장봉도와 영흥도 해역은 각각 한강하구 및 시화호 외측에 위치하여 담수에 의한 영향이 자월도, 백령도 해역보다 큰 것으로 판단된다(Kim et al., 2013b).

Table 1. Paired t-test result to assess mean differences between surface and bottom seawater qualities in this study

	Temperature	Salinity	pH	DIN	DIP
Feb	0.01 ¹	-	0.19	0.10	0.27
Apr	0.00 ²	0.18	0.10	0.21	0.12
Jun	0.00 ²	0.00 ²	0.50	0.77	0.84
Aug	0.05 ¹	0.00 ²	0.10	0.10	0.19
Oct	0.00 ²	0.97	0.33	0.64	0.91
Dec	0.00 ²	0.65	0.11	0.05	0.06

¹P<0.05. ²P<0.01. DIN, dissolved inorganic nitrogen; DIP, dissolved inorganic phosphate.

Table 2. Summary of ranges, average, and standard deviation values of seawater quality parameters in Ongjin-gun coastal area. Salinity was not surveyed in February

Station (Average depth, m)	Month	Temperature (°C)	Salinity	pH	DO (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)
Jangbong do (3.3)	Feb	2.76-2.79 (2.78±0.02)	-	7.88-8.04 (7.97±0.08)	8.47-10.98 (9.98±1.33)	0.378-0.493 (0.447±0.061)	0.030-0.034 (0.032±0.002)
	Apr	8.20-8.68 (8.51±0.27)	32.10-32.13 (32.11±0.02)	7.97-8.10 (8.05±0.07)	8.33-10.19 (9.26±0.93)	0.328-0.352 (0.341±0.013)	0.013-0.015 (0.014±0.001)
	Jun	18.80-19.01 (18.91±0.11)	31.50-31.79 (31.62±0.15)	8.04-8.17 (8.12±0.07)	8.81-9.47 (9.14±0.33)	0.235-0.243 (0.239±0.004)	0.014-0.016 (0.015±0.001)
	Aug	27.24-27.59 (27.42±0.18)	29.22-29.54 (29.42±0.17)	8.04-8.27 (8.16±0.12)	7.50-9.30 (8.68±1.02)	0.044-0.144 (0.094±0.050)	0.001-0.003 (0.002±0.001)
	Oct	19.59-19.73 (19.65±0.07)	30.22-30.67 (30.51±0.25)	7.60-7.95 (7.82±0.19)	6.11-7.18 (6.75±0.57)	0.238-0.366 (0.293±0.066)	0.030-0.041 (0.035±0.005)
	Dec	9.19-9.28 (9.24±0.05)	31.09-31.12 (31.10±0.01)	7.85-7.95 (7.91±0.05)	7.12-7.68 (7.48±0.32)	0.395-0.405 (0.400±0.005)	0.040-0.041 (0.041±0.000)
Baeng -nyeongdo (15.4)	Feb	4.12-4.29 (4.19±0.07)	-	8.02-8.10 (8.07±0.03)	8.33-8.55 (8.41±0.08)	0.103-0.123 (0.112±0.008)	0.012-0.014 (0.013±0.001)
	Apr	6.24-6.62 (6.35±0.16)	32.64-32.81 (32.70±0.06)	8.10-8.14 (8.12±0.01)	8.70-9.07 (8.87±0.14)	0.068-0.085 (0.073±0.007)	0.010-0.011 (0.010±0.001)
	Jun	14.59-15.33 (14.99±0.31)	31.77-31.87 (31.80±0.04)	7.97-8.02 (8.00±0.02)	7.74-8.66 (8.14±0.42)	0.046-0.059 (0.053±0.006)	0.004-0.006 (0.005±0.001)
	Aug	21.57-22.16 (21.87±0.28)	31.07-31.20 (31.13±0.06)	7.99-8.17 (8.12±0.07)	6.73-7.08 (6.89±0.17)	0.062-0.076 (0.066±0.005)	0.006-0.007 (0.006±0.001)
	Oct	17.60-17.74 (17.69±0.05)	31.80-31.84 (31.82±0.02)	7.62-8.07 (7.94±0.19)	5.58-6.56 (5.94±0.38)	0.111-0.133 (0.120±0.008)	0.016-0.017 (0.016±0.001)
	Dec	11.03-11.27 (11.19±0.10)	31.90-31.95 (31.92±0.02)	7.88-8.01 (7.96±0.05)	6.76-7.23 (6.99±0.17)	0.146-0.151 (0.148±0.002)	0.019-0.021 (0.020±0.000)
Jawoldo (5.4)	Feb	3.37-3.43 (3.40±0.04)	-	7.99-8.01 (8.00±0.01)	9.28-9.90 (9.59±0.44)	0.250-0.266 (0.258±0.011)	0.030-0.032 (0.031±0.001)
	Apr	7.70-8.09 (7.90±0.28)	31.90-32.36 (32.13±0.32)	8.12-8.12 (8.12±0.00)	9.46-9.93 (9.70±0.33)	0.232-0.237 (0.234±0.003)	0.020-0.022 (0.021±0.001)
	Jun	16.37-16.38 (16.38±0.01)	31.47-31.51 (31.49±0.03)	8.00-8.01 (8.00±0.00)	7.77-8.20 (7.99±0.30)	0.155-0.159 (0.157±0.003)	0.011-0.011 (0.011±0.000)
	Aug	25.27-25.35 (25.31±0.06)	31.18-31.21 (31.19±0.02)	8.12-8.14 (8.13±0.01)	5.95-7.16 (6.56±0.86)	0.053-0.054 (0.054±0.001)	0.005-0.005 (0.005±0.000)
	Oct	20.47-20.56 (20.51±0.06)	31.80-31.83 (31.82±0.02)	7.97-8.01 (7.99±0.03)	5.87-6.05 (5.96±0.13)	0.138-0.172 (0.155±0.024)	0.024-0.027 (0.026±0.002)
	Dec	12.22-12.31 (12.27±0.06)	32.01-32.02 (32.02±0.01)	8.01-8.02 (8.01±0.00)	7.82-7.82 (7.82±0.00)	0.220-0.220 (0.220±0.000)	0.032-0.032 (0.032±0.000)
Yeong -heungdo (5.6)	Feb	2.41-3.56 (3.04±0.40)	-	7.51-8.06 (7.97±0.13)	7.18-9.60 (8.20±0.82)	0.235-0.365 (0.315±0.032)	0.029-0.050 (0.035±0.005)
	Apr	7.76-9.34 (8.78±0.39)	31.50-31.86 (31.63±0.09)	8.11-8.19 (8.16±0.02)	9.15-10.16 (9.77±0.23)	0.189-0.235 (0.213±0.012)	0.011-0.018 (0.014±0.002)
	Jun	15.88-18.36 (17.66±0.57)	31.04-31.43 (31.15±0.08)	7.86-8.08 (8.04±0.05)	6.75-8.59 (7.52±0.47)	0.123-0.157 (0.137±0.010)	0.005-0.010 (0.007±0.001)
	Aug	25.41-26.88 (26.51±0.34)	30.72-31.20 (30.82±0.11)	7.94-8.15 (8.11±0.04)	5.17-7.07 (6.08±0.54)	0.065-0.185 (0.098±0.024)	0.006-0.012 (0.009±0.002)
	Oct	19.78-20.52 (20.11±0.20)	31.48-31.77 (31.56±0.06)	7.44-8.08 (8.00±0.15)	5.56-7.38 (6.20±0.38)	0.149-0.268 (0.230±0.027)	0.023-0.044 (0.035±0.005)
	Dec	9.87-12.20 (10.75±0.52)	31.81-31.99 (31.93±0.05)	7.24-8.07 (7.91±0.20)	7.78-8.77 (8.14±0.26)	0.216-0.288 (0.271±0.016)	0.031-0.038 (0.037±0.001)

DO, dissolved oxygen; DIN, dissolved inorganic nitrogen; DIP, dissolved inorganic phosphate.

수소이온농도(pH)는 해양 생태계에 영향을 주는 요인으로, 농도가 낮으면 탄산칼슘 골격 형성에 어려움을 겪게 되고 반대로 농도가 높으면 암모니아 농도 증가에 따른 독성을 나타낸다(Jang et al., 2015). 해양에서 pH를 조절하는 요인은 수온, 담수와 해수와의 물리적 혼합, 광합성과 호흡에 의한 화학 반응으로 광합성이 활발할수록 pH가 높고, 일반적으로 담수가 해수보다 농도가 낮은 것으로 알려져 있다(Lim et al., 2007; Jeong et al., 2013). 본 연구에서 pH는 7.24-8.27의 농도 범위로 대부분 어장환경기준인 7.8-8.2 범위 내 농도를 보였고, 영흥도 내 일부 정점(St. 8-1)에서 기준치를 벗어났다(Fig. 2, Table 3). 계절별로는 하계에 pH가 높고 동계에 낮게 나타났으며 하계에는 식물플랑크톤 대량 증식에 의해 농도가 높았던 것으로 판단된다(Kwon et al., 2014). 지역별로는 육상과 인접한 장봉도와 영흥도 해역에서 pH가 7.8보다 낮거나(장봉도, 백령도 10월; 영흥도 2, 10, 12월) 8.2보다 높은 값(장봉도 8월)을 보이기도

하였다. 이는 담수 유입에 의한 영향으로 판단된다(Jang et al., 2015). 선행 연구와 비교해 보면 조사 시기동안 대부분 수소이온농도는 7.8-8.2 범위로, 장봉도, 자월도 및 영흥도 해역에서는 2011년 조사 결과와 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지

Table 3. Environmental quality standard of mariculture ground in Korea

	Seawater			Sediment		
	pH	DO (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	TOC (mg/g · dry)	AVS (mg/g · dry)
Level	7.8-8.2	≥3.0	≤0.14	≤0.04	≤20	≤0.5

DO, dissolved oxygen; DIN, dissolved inorganic nitrogen; DIP, dissolved inorganic phosphate; TOC, total organic carbon; AVS, acid volatile sulfide.

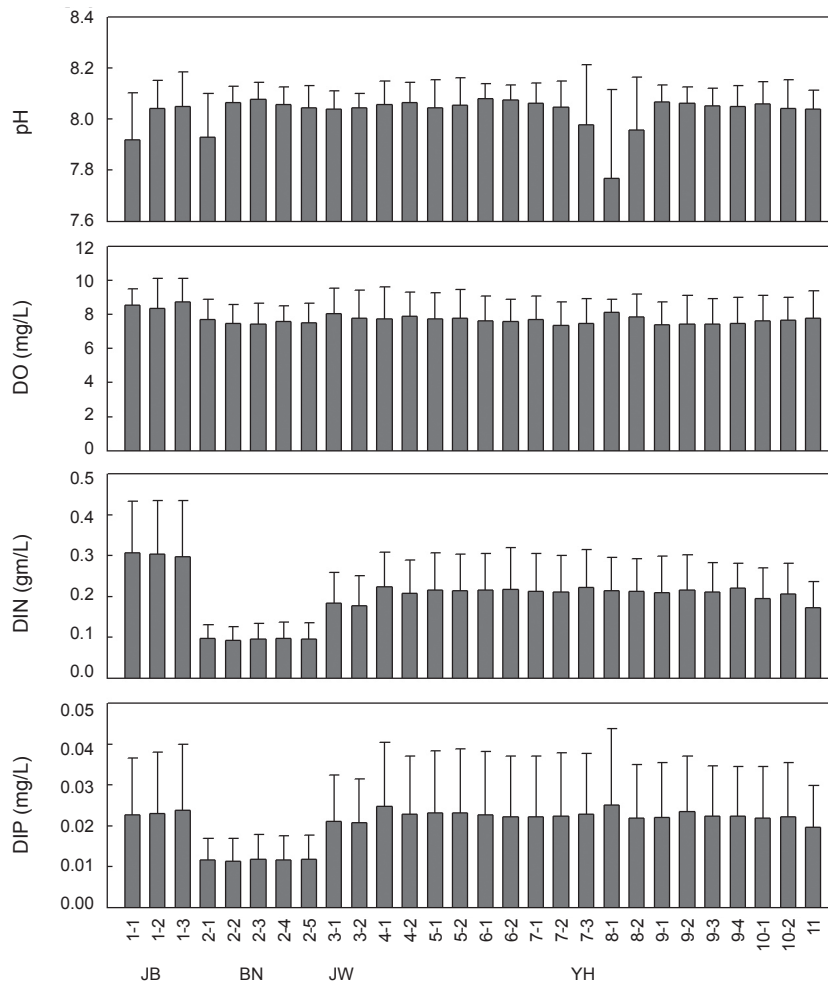


Fig. 2. Average concentration and standard deviations of water quality parameters at each station in Ongjin-gun area. JB, Jangbongdo; BN, Baengnyeongdo; JW, Jawoldo; YH, Yeongheungdo. DIP, dissolved inorganic phosphate; DIN, dissolved inorganic nitrogen; DO, dissolved oxygen.

만($P>0.05$), 백령도 해역에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P<0.05$) (Fig. 3).

용존산소(DO)는 해양생물의 신진대사에 필수적인 요소로 저층에서 DO가 부족하게 되면 어패류의 호흡 등 생리대사에 문제를 일으킬 수 있고, 특히 이동성이 거의 없는 저서동물은 산소 결핍으로 인해 군집의 출현 종수가 감소하고 산소 농도가 회복한 후에도 생물이 즉시 회복하지 않고 일정기간 이후에 회복된다(Lim, 2000). 본 연구지역의 저층 DO 농도는 5.17-10.98 mg/L (평균 7.75 mg/L) 범위로 모든 정점에서 3 mg/L 보다 높았다. 지역별로는 장봉도 해역(평균 8.55 mg/L)에서 높았고, 백령도 해역(평균 7.54 mg/L)에서 농도가 낮게 나타났다. 장봉도 해역은 수심이 얇고 갯벌이 잘 발달하여 식물플랑크톤의 광합성 증대에 따라 상대적으로 수심이 깊은 백령도 해역보다 농도가 높았던 것으로 판단된다. 선행 연구와 비교해 보면 장봉도, 자월도 및 백령도 해역의 저층 DO농도는 통계적으로 유의한 차이는 없었지만($P>0.05$), 영흥도 해역에서는 유의한 차이를 보였다($P<0.05$) (Fig 3).

용존무기질소(dissolved inorganic nitrogen, DIN)와 용존무기인(dissolved inorganic phosphate, DIP)은 해양에서 일차생산을 조절하는 주요 인자로 농도가 낮으면 일차생산을 제한하지만, 농도가 높으면 부영양화를 초래하게 되어 식물플랑크톤 대증식의 원인이 된다(Herbert, 1999; Kwon et al., 2004). 본 연

구지역의 용존무기질소 농도는 0.044-0.493 mg/L (평균 0.198 mg/L)의 범위로 장봉도, 자월도 및 영흥도 해역은 어장환경기준인 0.14 mg/L을 초과하였고, 백령도 해역은 어장환경기준에 부합하였다. 계절별로는 하계에 농도가 낮았고 동계에 높았다. 하계에는 한강, 임진강 등 육상에서 다량의 영양염이 해양에 공급되지만 해양에서 소비되는 양이 많아 농도가 낮고, 동계는 육상에서 공급되는 양이 하계에 비해 적지만 생물에 의한 소비 또한 적어 오히려 농도가 높았을 것으로 판단된다(Lim et al., 2008). 선행연구와 비교하면 본 연구 결과는 2011년 조사결과에 비해 평균 용존무기질소 농도가 낮았고, 특히 백령도와 영흥도 해역은 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P<0.05$). 이러한 원인으로 2011년 조사에 비해 본 연구에서 염분이 높고, 월 평균 강수량이 2011년(190.6 mm)에 비해 본 연구(48.0 mm)에서 적었던 것으로 보아 2011년에 비해 담수 유입의 영향이 적어 농도가 낮았을 것으로 판단된다(KMA, 2017). Lim et al. (2011)에 따르면 서해안으로 유입되는 한강, 임진강 및 소형 하천과 강하구 주변에 발달한 대도시 및 산업단지에서 유입되는 인위적인 오염원에 의해 서해연안은 남해 및 동해연안보다 용존무기질소 농도가 약 2배 이상 높았다고 보고하였다. 본 연구지역인 장봉도와 영흥도 해역은 각각 한강 하구와 시화호 외측에 위치에 있어 상대적으로 농도가 높았던 것으로 판단된다.

용존무기인 농도는 0.001-0.050 mg/L (평균 0.021 mg/L)의

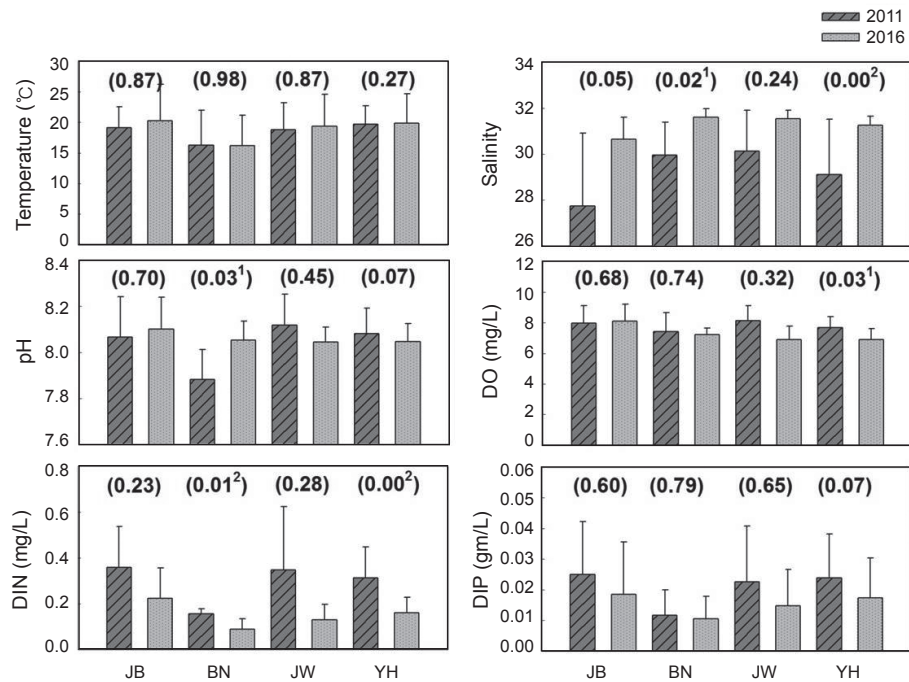


Fig. 3. Comparison of seawater quality between the result of 2011 (Kim et al., 2013b) and this study (JB, Jangbongdo; BN, Baengnyeongdo; JW, Jawoldo; YH, Yeongheungdo). The numbers in parentheses refer to p-value of independent sample t-test to assess mean difference of seawater qualities between Kim et al. (2013b) and this study. ¹ $P<0.05$. ² $P<0.01$. DIP, dissolved inorganic phosphate; DIN, dissolved inorganic nitrogen; DO, dissolved oxygen.

범위로, 전 정점에서 어장환경기준인 0.04 mg/L에 부합하였다. 해역 내 계절 및 지역 별 경향은 용존무기질소와 유사하였지만 해역 간 농도 차이는 용존무기질소에 비해 크지 않았다. 선행 연구와 비교해 보면 본 연구 결과는 2011년에 비해 평균 용존무기인 농도가 낮았고, 특히 영흥도 해역은 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$).

퇴적물 환경

퇴적물의 입도는 퇴적물의 공급, 조석, 조류, 파랑과 같은 물리적 에너지의 세기에 따라 그 분포가 달라지기 때문에 퇴적 환경 특성을 가장 잘 반영하는 인자로 알려져 있다(Hwang et al., 2010). 본 연구지역의 표층 퇴적물 평균 입도는 1.36-9.16 ϕ (평균 4.21 ϕ)로 중립사(medium sand)에서 점토(clay) 크기에 해당하는 범위로 자갈, 모래, 실트, 점토의 함량이 각각 0.0-28.28% (평균 1.49%), 3.65-97.76% (평균 58.31%), 0.84-81.51% (평균 27.61%), 1.30-85.97% (평균 12.59%)로 모래, 실트, 점토, 자갈 순으로 입도 조성이 나타났다(Fig. 4). 분급도(sorting)는 퇴적물 입도 조성의 균질 정도를 측정하는 지표로 수치가 작을수록 입도 조성이 정규분포에 가깝다는 것을 의미한다. 본 연구지역의 분급도는 0.45-3.83 ϕ (평균 1.92 ϕ)의 범위로 장봉도를 제외한 정점에서 poorly sorted (불량분급)과 very poorly sorted (극불량분급)의 분포를 보였다. 왜도(skewness)는 입도 정규분포 곡선의 비대칭 정도를 나타내는 지표로 정규분포 중앙값을 기준으로 조립질 입자가 우세하면 양의 값을 가지고 세립질 입자가 우세하면 음의 값을 갖는다. 본 연구지역에서는 -0.63~0.73 (평균 0.25)의 범위로 strongly positive skewed, positive skewed, nearly symmetrical, negative skewed, strongly negative skewed 순으로 나타났다. 첨도(kur-

tosis)는 입도 정규분포 곡선의 뾰족한 정도를 나타내는 지표로 정규분포 곡선을 기준으로 중앙에 집중되어 있으면 1보다 크고, 넓게 분산된 형태를 보일수록 0과 가까운 값을 보인다. 본 연구지역에서는 0.61-4.53 (평균 1.39)의 범위로 대부분 leptokurtic, very leptokurtic, mesokurtic의 분포로 나타났다.

일반적으로 서해안은 한국의 남해 및 동해에 비해 연안에서 발생하는 강한 조류 및 파랑에 의해 계절적으로 입자 차이가 크고, 분급이 불량할 뿐 아니라 입자가 큰 쪽으로 편향되어 나타난다(Kang et al., 1993; Chang and Choi, 1998; Ryu et al., 2001). 또한 지형적인 특징에 따라 계절적으로 평균 입도의 차이를 보이는데, 개방형 해안에서는 몬순계절풍의 영향에 의해 여름에 남풍계열의 바람이 우세하고 바람의 세기가 약화됨에 따라 세립질 퇴적물이 퇴적되고, 겨울은 북풍계열로 바람의 방향이 바뀌고 세기가 현저히 증가함에 따라 여름에 쌓인 세립질 퇴적물이 침식된다. 반 폐쇄형 해안은 파랑의 영향이 강하면 개방형 해안과 유사한 입도 변화를 보이지만, 지형적 특징 및 인위적인 구조물에 의해 파랑의 영향이 약한 해안에서는 반대로 여름에 침식되고, 겨울에 퇴적되는 경향을 보인다(Ryu et al., 2001; Ryu, 2003). 본 연구 결과 대체로 겨울보다 여름에 세립하지만 백령도 및 영흥도 일부 정점(St. 2-1, 7-1, 7-2, 9-4, 10-1, 11)은 반대로 겨울에 더 세립하였다(Fig. 5). 선행 연구의 평균입도, 분급도, 왜도 및 첨도는 각각 2.59-6.62 ϕ (평균 4.20 ϕ), 0.29-3.16 ϕ (평균 1.44 ϕ), 0.02-0.55 (평균 0.34), 1.05-2.92 (평균 1.96) 범위로 본 연구와 유사하였지만, 백령도 해역은 본 연구 결과가 2011년 연구 결과(모래 함량 100%, 분급도 0.29)보다 더 세립하고 분급이 불량하였다. 이러한 원인으로 2011년 11월 백령도 연안에 용기포 신항이 건설된 이후 해수 소통이 원활하지 못하고 유속이 감소함에 따라 과거에 비해 세립질 퇴적물이 집적된

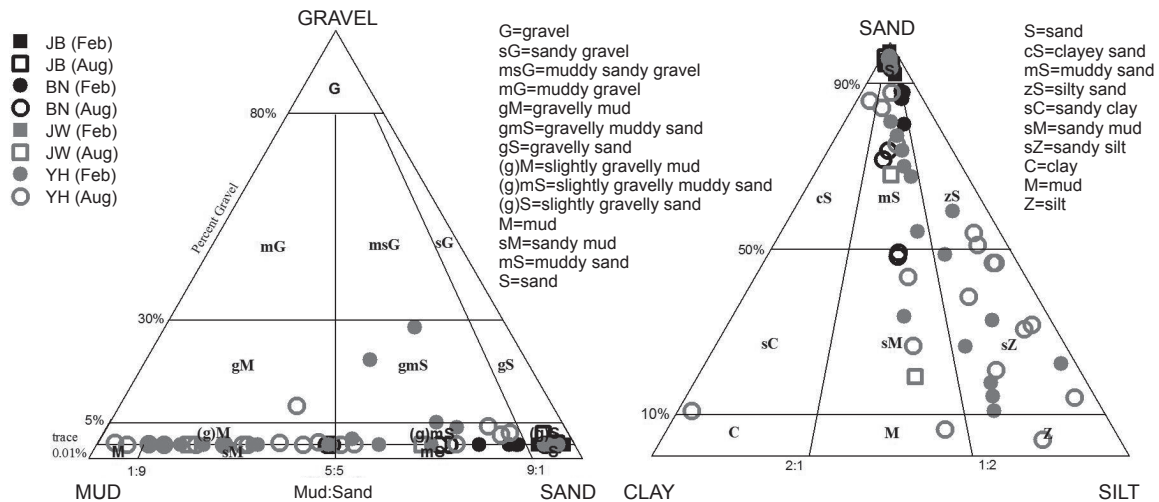


Fig. 4. The ternary diagrams showing the major sediment type of surface sediments in Ongjin-gun area (JB, Jangbongdo; BN, Baengnyeongdo; JW, Jawoldo; YH, Yeongheungdo).

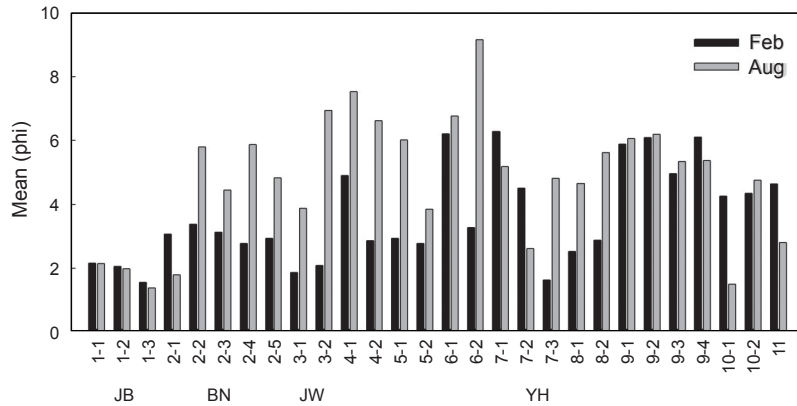


Fig. 5. The mean grain size of surface sediment in Ongjin-gun area. JB, Jangbongdo; BN, Baengnyeongdo; JW, Jawoldo; YH, Yeongheungdo.

Table 4. The range and average concentration of sediment qualities from coasts of Korea

Study region	Mean grain size (Ø)	IL (%)	COD (mg/g.dry)	AVS (mg/g.dry)	TOC (mg/g.dry)	TN (mg/g.dry)	C:N ratio	Reference
Hampyeong bay	1.0-7.6 (5.6)	1.6-9.0 (4.5)	1.1-14.4 (8.1)	ND-0.15 (0.01)	-	-	-	Hwang and Koh (2012)
Gomso bay	2.61-4.79 (4.11)	0.73-2.03 (1.35)	0.68-3.95 (2.30)	ND-0.07 (0.02)	0.65-2.30 (1.48)	0.10-0.35 (0.22)	-	Choi et al. (2015)
Yeoja bay	7.61-10.1 (8.75)	3.10-6.34 (5.00)	3.67-22.4 (10.4)	ND-0.55 (0.13)	4.25-12.1 (8.38)	0.55-1.45 (1.09)	-	Choi et al. (2013)
	8.45-10.03 (9.07)	4.21-5.93 (4.98)	6.60-10.03 (8.85)	ND-0.10 (0.05)	7.6-9.8 (8.6)	0.9-1.2 (1.0)	8.50	Kim et al. (2013a)
Gangjin bay	7.54-9.12 (8.70)	4.93-7.94 (6.67)	11.5-23.2 (17.0)	0.02-0.66 (0.22)	8.95-16.3 (13.0)	1.35-2.20 (1.73)	-	Choi et al. (2013)
	8.67-8.99 (8.81)	5.80-6.35 (6.10)	16.82-19.92 (18.29)	0.08-0.40 (0.28)	9.8-11.9 (10.5)	1.5-1.7 (1.6)	6.60	Kim et al. (2013a)
Gamak bay	-	4.6-11.6 (7.1)	12.25-99.26 (30.98)	ND-10.29 (1.02)	5.45-23.24 (10.34)	0.71-2.99 (1.37)	5.40-10.82 (7.61)	Noh et al. (2006)
Jangbongdo	1.36-2.17 (1.88)	0.71-1.08 (0.87)	0.02-1.36 (0.54)	ND	0.70-1.30 (0.86)	0.20-0.30 (0.24)	2.33-6.50 (3.74)	This study
Baengnyeongdo	1.79-5.87 (3.80)	0.82-3.78 (1.91)	0.02-7.88 (3.42)	ND-0.177 (0.038)	0.60-7.50 (2.93)	0.20-1.15 (0.55)	3.00-6.85 (4.64)	
Jawoldo	1.86-6.94 (3.69)	0.65-3.90 (1.88)	1.84-7.57 (3.72)	ND-0.047 (0.012)	0.85-8.70 (3.86)	0.25-1.25 (0.61)	3.00-7.69 (5.26)	
Yeongheungdo	1.49-9.16 (4.78)	0.86-7.21 (2.49)	0.03-9.39 (2.84)	ND-0.246 (0.040)	0.65-6.50 (2.80)	0.25-1.00 (0.48)	2.50-7.88 (5.57)	

ND, not detected. IL, ignition loss; COD, chemical oxygen demand; AVS, acid volatile sulfide; TOC, total organic carbon; TN, total nitrogen.

것으로 판단된다.

산취발성황화물은 퇴적물에 서식하는 황산염 환원세균의 증식에 의해 생성된 황화물 양으로 농도가 높을수록 수질 및 저서

생물에 악영향을 끼침에 따라 퇴적물 오염을 평가하는 지표항목으로 이용되고 있다. 본 연구결과 not-detected (ND)-0.246 mg/g.dry (평균 0.03 mg/g.dry)의 범위로, 모든 정점에서 어장

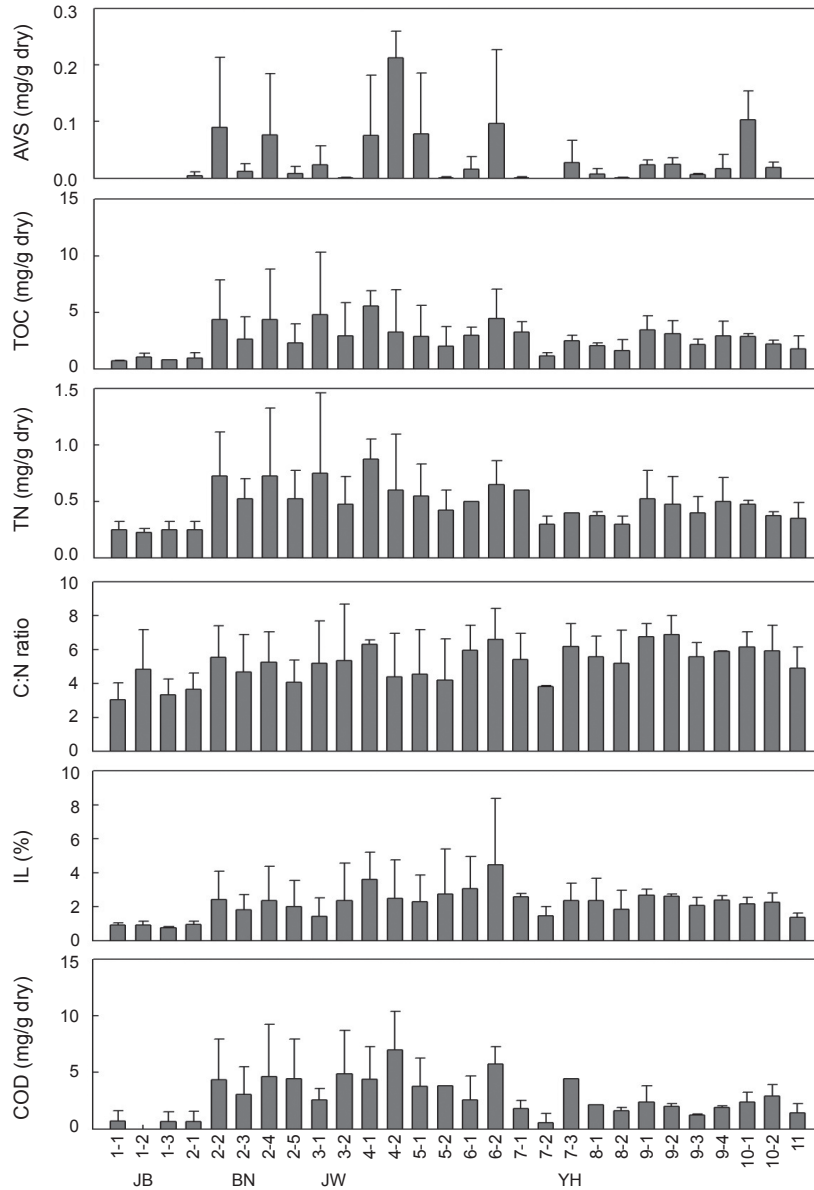


Fig. 6. Average concentration and standard deviations of chemical parameters of surface sediment in Ongjin-gun area. JB, Jangbongdo; BN, Baengnyeongdo; JW, Jawoldo; YH, Yeongheungdo. COD, chemical oxygen demand; IL, ignition loss; TN, total nitrogen; TOC, total organic carbon; AVS, acid volatile sulfide.

환경기준인 0.5 mg/g·dry 이하로 나타났다(Fig. 6).

정점별로는 백령도(평균 0.038 mg/g·dry), 영흥도(평균 0.040 mg/g·dry) 해역에서 높았고, 장봉도(평균 ND mg/g·dry) 해역에서 낮게 나타났다. 선행 연구와 비교하면 장봉도 해역에서 농도 차이가 통계적으로 유의하였지만(P<0.05), 두 시기 모두 농도가 낮았다. 반면에 백령도 해역은 선행 연구와 통계적으로 유의한 차이는 없지만(P>0.05), 2011년에 비해 농도가 높았다. 서해안에 위치한 함평만, 곰소만에서 측정된 산화발성황화물 농

도는 각각 ND-0.15 mg/g·dry, ND-0.07 mg/g·dry 범위로 본 연구 결과와 유사하였고, 남해안의 강진만, 가막만 및 여자만에서는 각각 0.02-0.66 mg/g·dry, ND-10.29 mg/g·dry, ND-0.55 mg/g·dry 범위로 본 연구보다 농도가 높았다.

퇴적물 내 총유기탄소량은 생물생산량, 유기탄소 보존량 증가, 육상에서 유입되는 유기탄소량에 의해 조절된다(Noh et al., 2006). 본 연구에서는 0.60-8.70 mg/g·dry (평균 2.69 mg/g·dry) 범위로, 모든 정점에서 수산동식물 서식 어장환경기준

인 20 mg/g-dry보다 낮아 양호한 퇴적물 내 유기물 농도를 보였다. 지역별로는 백령도, 자월도 및 영흥도 해역에서 높았고 장봉도 해역에서 낮았다. 선행 연구와 비교해보면 장봉도와 영흥도 해역에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만 ($P>0.05$), 백령도 해역에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($P<0.05$). 본 연구지역의 총유기탄소 농도는 서해안의 곱소만 해역(0.65-2.30 mg/g-dry)과 유사하였고, 남해안의 강진만(8.95-16.3 mg/g-dry), 가막만(5.45-23.24 mg/g-dry) 및 여자만(4.25-12.1 mg/g-dry)보다 낮았다(Table 4).

총질소는 플랑크톤 사체 및 양식어장에서 양식생물의 먹이 또는 배설물이 수층으로 침강하면서 퇴적물에 쌓여 농도가 높을수록 양식장의 노후화 등 퇴적물 환경을 평가하는 자료로 사용된다(Yoon and Choi, 2006). 본 연구지역의 총질소 농도는 0.20-1.25 mg/g-dry (평균 0.48 mg/g-dry)의 범위로 총유기탄소와 유사한 경향을 보였다. 선행 연구와 비교해보면 장봉도 해역에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만($P>0.05$), 백령도 및 영흥도 해역에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P<0.05$). 본 연구지역의 총질소 농도는 곱소만 해역(0.10-0.35 mg/g-dry)과 유사하거나 다소 높았고, 강진만(1.35-2.20 mg/g-dry), 가막만(0.71-2.99 mg/g-dry) 및 여자만(0.55-1.45 mg/g-dry)보다 농도가 낮았다. 총유기탄소와 총질소 농도가 각각 9 mg/g-dry, 1.2 mg/g-dry보다 높으면 대형저서생물의 생물

량이 급격히 감소한다는 보고가 있다(Yokoyama, 2003). 본 연구 결과는 이보다 낮게 나타나 용진군 어장관리해역의 퇴적물 유기물 농도는 낮게 평가되었다.

퇴적물 내 총유기탄소와 총질소의 비(C:N ratio)는 유기물의 특성과 기원을 파악하는데 유용하게 사용되어지고 있으며 일반적으로 10 이상이면 육상에서 유입된 유기물이 우세하고, 10보다 낮으면 해역 자체에서 생성된 유기물의 양이 우세하다고 알려져 있다(Stein, 1990; Hyun et al., 2003). 본 연구의 C:N비 값은 2.33-7.88 (평균 5.19)의 범위로 육상에서 유입되는 유기물보다 해역 자체에서 생성되는 생물기원 유기물이 우세하는 것으로 판단된다. 본 연구 결과는 2011년 연구 결과에 비해 C:N 비 값이 낮게 나타났다.

강열감량은 퇴적물 내 총유기물량을 측정하는 비교적 간편한 방법으로, 현재 우리나라에서 오염퇴적물 기준이 설정되어 있지 않지만, 일반적으로 7-10% 이상이면 퇴적물은 오염되었다고 판단할 수 있다(Yun, 2008). 퇴적물 내 화학적산소요구량은 퇴적물 내 유기물을 강산화제로 산화시킬 때 소모되는 산소량을 나타낸 것으로서 유기물의 오염을 간접적으로 평가할수 있는 항목으로 일본에서는 오염퇴적물 기준이 20 mg O₂/g dry로 정해져 있다. 본 연구에서 강열감량과 퇴적물 내 화학적산소요구량은 각각 0.65-7.21% (평균 2.17%), 0.02-9.39 mg O₂/g dry (평균 2.80 mg O₂/g dry)범위로 모든 정점에서 퇴적물 오

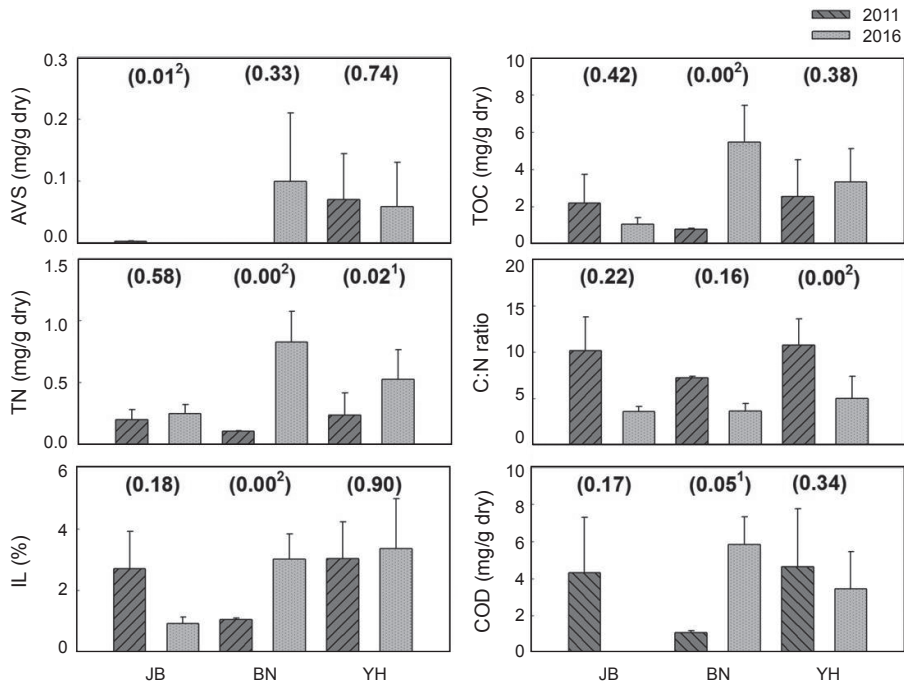


Fig. 7. Comparison of sediment quality between the result of 2011 (Kim et al., 2013b) and this study. JB, Jangbondo; BN, Baengnyeongdo; JW, Jawoldo; YH, Yeongheungdo. The numbers in parentheses refer to p-value of independent sample t-test to assess mean difference of sediment qualities between Kim et al.(2013b) and this study. ¹P<0.05. ²P<0.01. COD, chemical oxygen demand; IL, ignition loss; TN, total nitrogen; TOC, total organic carbon; AVS, acid volatile sulfide.

염 기준보다 낮게 나타났다. 선행연구와 비교해보면 장봉도와 영흥도 해역에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만($P>0.05$), 백령도 해역에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P<0.05$). 강열감량과 퇴적물 내 화학적산소요구량은 곰소만(각각 0.73-2.03%, 0.68-3.95 mg O₂/g dry)과 유사하였고, 남해안의 강진만(각각 4.9-7.9%, 11.5-23.2 mg O₂/g dry), 가막만(각각 4.6-11.6%, 12.25-99.26 mg O₂/g dry) 및 여자만(각각 3.10-6.34%, 3.67-22.4 mg O₂/g dry)보다 농도가 낮게 나타났다(Table 4).

본 연구를 선행 연구와 비교해보면 장봉도와 영흥도 해역에서는 대부분 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 백령도 해역에서는 2011년에 비해 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 2011년 11월에 백령도에 용기포 신항이 건설된 후 유속이 감소함에 따라 과거에 비해 유기물이 쉽게 집적되어 퇴적물 환경이 달라졌을 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 선행연구 결과와 연안어장환경모니터링 결과 및 타 해역과 비교한 결과 본 연구지역의 퇴적물 항목의 농도가 낮은 분포를 보여 퇴적물 환경은 양호한 것으로 평가되었다.

양식생물 피해 사례

수질 및 퇴적물 조사 결과를 통한 옹진군 어장관리해역의 양식생물 서식환경은 양호한 것으로 판단되었지만, 일부 옹진군 어장관리해역 내에서 양식생물 피해가 다수 발생하고 있다(Fig. 8). 옹진군 자체 조사에 따르면 장봉도 해역에서 2009년 3월에 폐사율은 낮았지만 상품성이 있는 굴의 양이 감소한 보고가 있고(NFRDI, 2009), 백령도 해역에서는 2015년 8월에서 10월까지 개량 조개가 대량으로 폐사한 바 있다(Ongjin-gun, 2015). 자월도 해역에서는 2010년 2월과 2012년 10월에 대량으로 굴이 폐사하였고(NFRDI, 2010; NFRDI, 2012), 영흥도 해역에서는 2009년 4월, 2013년 9월 및 2016년 9월에 바지락, 서해비단고둥 및 동죽이 각각 대량으로 폐사하였다(NFRDI, 2009; IFR, 2013; IFR, 2016).

어장관리해역 해제 및 변경 타당성 평가

2014년 8월에 어장관리법이 개정되면서 어장관리해역을 지정할 수 있는 근거인 어장관리기준이 해양수산부 고시(제

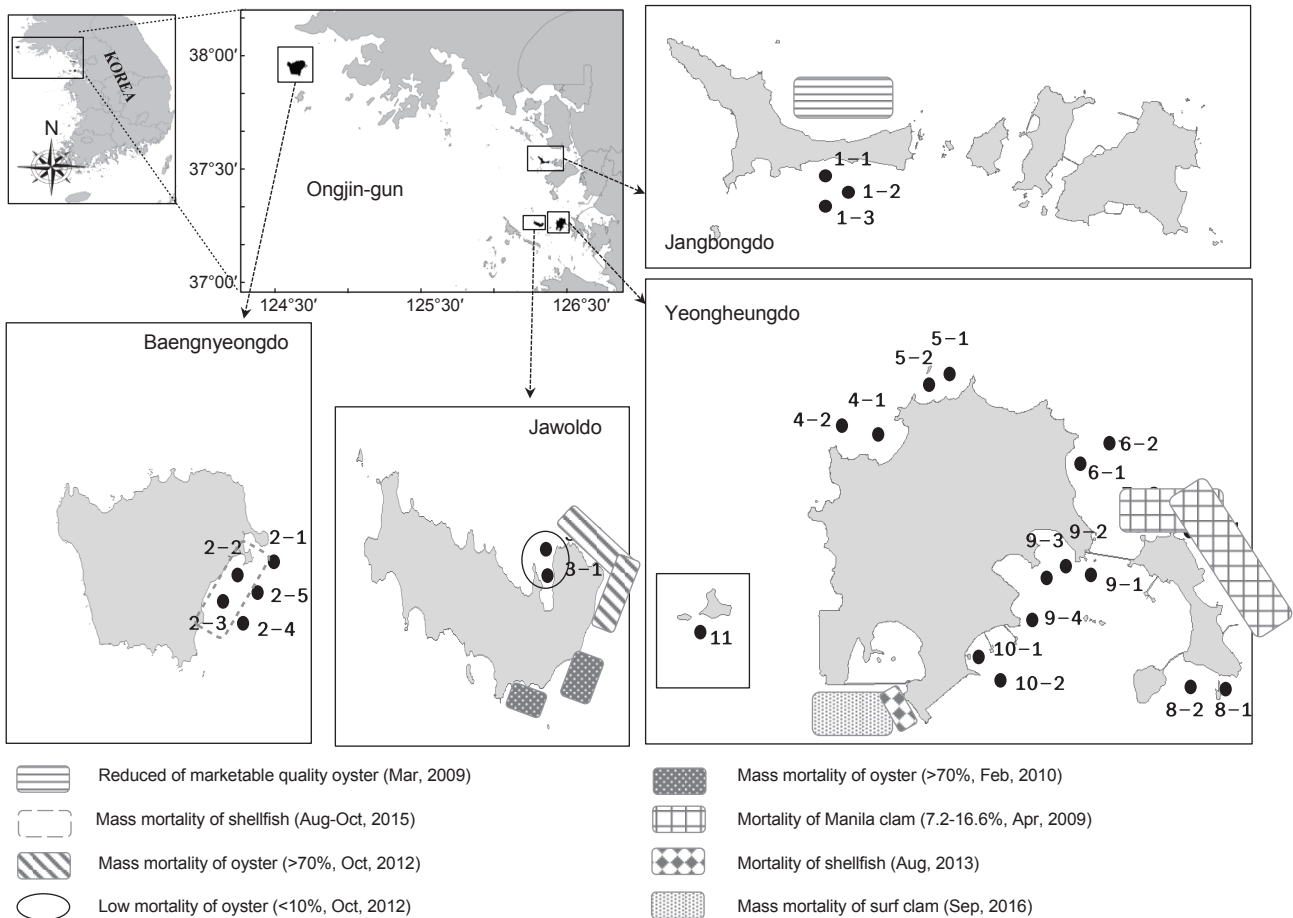


Fig. 8. Fishery damaged area in according to research of Ongjin-gun county office.

2014-96호)로 마련되었으며, 기준항목 중 수질은 수소이온농도, 저층 용존산소, 용존무기질소 및 용존무기인의 4개 항목에 대해서 연 평균값을 사용하고, 퇴적물은 산취발성황화물과 총유기탄소 2개 항목에 대해 2월과 8월의 평균값을 사용한다. 총 6개 항목 중 50%를 초과(3개 항목)한 어장은 어장관리해역으로 지정할 수 있다(Table 3).

본 연구결과 대부분 지역이 어장환경기준에 부합하지만(Fig. 2, Fig. 6, Table 3). 영흥도의 일부 정점(St. 8-1)에 2개 항목이 어장환경기준을 초과하여 향후 어장관리의 주의를 필요로 하는 것으로 판단된다. 수질 중 저층 용존산소 및 용존무기인 농도는 모든 정점에서 어장환경기준을 만족하였지만, 수소이온농도는 영흥도 일부 지역(St. 8-1)에서 초과하였고, 용존무기질소 농도는 장봉도, 자월도, 영흥도 전 정점에서 어장환경기준을 초과하였다. 반면에 퇴적물 항목은 모든 정점에서 어장환경기준을 만족하였다. 장봉도, 자월도, 영흥도 조사 지역에서 어장환경기준을 벗어난 원인으로 장봉도 및 영흥도 해역의 경우 백령도 해역보다 염분이 낮고, 영양염류의 농도가 높아 담수 유입에 의한 영향을 받았을 것으로 판단된다. 하지만 수질과 다르게 퇴적물 내 유기물 오염 정도는 장봉도 해역이 백령도 및 자월도 해역보다 오히려 낮았다. 이러한 결과로 미루어보면 육상에서 유입되는 담수의 영향을 받아 단기간 수질이 악화될 수 있지만, 수질이 장기간 퇴적물 환경에 미친 영향을 살펴 볼 때, 퇴적물 환경은 어장환경기준보다 최소 2배 이상 낮아 장기간 수질에 의한 퇴적물 환경은 양호한 것으로 판단된다(Cho et al., 2013).

비록 어장환경기준에 부합되더라도 양식생물 피해가 상승적으로 발생하는 어장에 대해서는 어장관리해역으로 지정할 수 있다(어장관리법 제 5조). 따라서 굴, 조개 및 바지락 등 양식생물의 폐사가 발생하고 있는 백령도 및 영흥도 어장관리해역 일부 지역과 어장관리해역으로 지정된 지역 외에서 수산 피해가 발생하고 있는 자월도 해역 및 어장관리해역은 아니지만 양식생물의 피해가 지속적으로 발생하고 있는 용진군 인근 연안어장에 대해서는 어장관리해역으로 유지 또는 신규 지정하고, 수질 및 퇴적물 환경이 양호하여 어장관리해역에 부합하는 해역에 대해서는 지정된 어장관리해역을 해제하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이와 더불어 전국 연안 양식해역에 대한 어장환경기준을 초과하는 지역과 양식피해가 발생하는 지역에 대해서 지속적인 모니터링이 필요하다. 이를 기반으로 어장관리가 필요한 해역은 어장관리해역으로 지정하여 어장관리법에 따라 어장 면허·허가 동시갱신, 어장면적의 조정, 어장 휴식 및 어장의 정화정비 등을 실시하여 오염된 어장환경을 개선하고 어장의 효율적인 이용 및 관리를 해 나가야 할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 국립수산물과학원 수산과학연구사업(R2017055)의 지원으로 수행된 연구입니다.

References

- Chang JH and Choi JY. 1998. Seasonal accumulation pattern and preservation potential of tidal-flat sediments: Gomso bay, west coast of Korea. *J Kor Soc Oceanogr* 3, 149-157.
- Choi M, Kim HC, Hwang DW, Lee IS, Kim YS, Kim YJ and Choi HG. 2013. Organic enrichment and pollution in surface sediments from shellfish farming in Yeoja bay and Gangjin Bay, Korea. *Korean J Fish Aqua Sci* 46, 424-436. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0424>.
- Choi M, Lee IS, Kim CS, Kim HC and Hwang DW. 2015. Distributions of organic matter and trace metals in surface sediments around a manila clam *Ruditapes philippinarum* farming area in Gomso bay, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 48, 555-563. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0555>.
- Cho YS, Lee WC, Kim JB, Hong SJ, Kim HC and Kim CS. 2013. Establishment of environmental assessment using sediment total organic carbon and macrobenthic polychaete community in shellfish farms. *J Kor Soc Mar Environ Safety* 19, 430-438. <http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2013.19.5.430>.
- Folk RL and Ward WC. 1957. Brazos river bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters. *J Sed Petol* 27, 3-26.
- Folk RL. 1968. Petrology of sedimentary rock. Hemphill Publishing CO., Austin TX, U.S.A., 170.
- Herbert RA. 1999. Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems. *FEMS microbio review* 23, 563-590. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1999.tb00414.x>.
- Hwang DW, Ryu SO, Kim SG, Choi OI, Kim SS and Koh BS. 2010. Geochemical characteristics of intertidal surface sediments along the southwestern coast of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 148-158. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2010.43.2.146>.
- Hwang DW and Koh BS. 2012. Sedimentary and benthic environment characteristics in macroalgal habitats of the intertidal zone in Hampyeong bay. *Korean J Fish Aquat Sci* 45, 694-703. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0694>.
- Hyun S, Chio JW, Choi JS and Lee T. 2003. Surface sediment characteristics and benthic environments in the mouth of Jinhae bay, Korea. *J Kor Fish Soc* 36, 700-707. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2003.36.6.700>.
- IFR (Institute of Fisheries Resources). 2013. Investigation report of shellfish mortality in Oe-ri and up-beol of Yeongjeungmyeon, Ongjin-gun, Incheon, Korea in 2013. Retrieved from <http://fish.incheon.go.kr/posts/1083/10373?num=7&curpage=1> on Aug 4, 2017.
- IFR (Institute of Fisheries Resources). 2016. The plan of sediment quality survey for the investigation of surf clam mortality. Retrieved from <http://fish.incheon.go.kr/posts/1083/10378?num=2&curpage=1> on Aug 4, 2017.
- Jang YL, Lee HJ, Moon HB, Lee WC, Kim HC and Kim GB. 2015. Marine environmental characteristics in the coastal area surrounding Tongyeong cage-fish farms. *J Kor Soc Mar*

- Environ Energy 18, 74-80. <https://doi.org/10.7846/JKOS-MEE.2015.18.2.74>.
- Jeong DH, Shin HH, Jung SW and Lim DI. 2013. Variations and character of water quality during flood and dry seasons in the eastern coast of south sea, Korea. *Korean J Environ Biol* 31, 19-36. <http://doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.1.019>.
- Kang CK, Lee PY, Park JS and Kim PJ. 1993. On the distribution of organic matter in the nearshore surface sediment of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 26, 557-566.
- Kim DH, Cho HS and Lee YS. 2005. The characteristic of point source loads for nitrogen and phosphorus to Gwangyang Bay, Korea. *J Kor Soc Mar Environ Engin* 8, 1-8.
- Kim SY, Choi M, Hwang DW and Lee IS. 2013a. The characteristic of photosynthetic pigments distribution of the sediment in the shellfish farm. *Kor J Malacol* 29, 291-301. <http://doi.org/10.9710/kjm.2013.29.4.291>.
- Kim SY, Kim HC, Lee WC, Hwang DW, Hong SJ, Kim JB and Kim CS. 2013b. Environmental characteristics of seawater and sediment in mariculture management area in Ongjin-gun, Korea. *J Kor Soc Mar Environ Safety* 19, 570-581. <http://doi.org/10.7837/kosomes.2013.19.6.570>.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2017. Past precipitation database. Retrieve from http://www.kma.go.kr/weather/climate/past_table.jsp on Aug 14, 2017.
- Kwon JN, Lim JH, Shim J, Lee J and Choi TJ. 2014. The long-term variations of water quality in Masan bay, south sea of Korea. *J Kor Soc Mar Environ Energy* 17, 212-223. <http://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2014.17.3.212>.
- Kwon KY, Moon CH, Lee JS, Yang SR, Park MO and Lee PY. 2004. Estuarine behavior and flux of nutrients in the Seomjin River Estuary. *J Kor Soc Oceanogr* 9, 153-163.
- Lim HS. 2000. Formation of oxygen deficient water masses and nursery environment in coastal area. *Korea aquaculture* 12, 127-134.
- Lim DI, Kim YO, Kang MR, Jang PK, Shin K and Jang M. 2007. Variability of water quality and limiting factor for primary production in semi-enclosed Masan bay, south sea of Korea. *Ocean and Polar Res* 29, 349-366. <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2007.29.4.349>.
- Lim DI, Kang MR, Jang PG, Kim SY, Jung HS, Kang YS and Kang YS. 2008. Water quality characteristics along mid-western coastal area of Korea. *Ocean and Polar Res* 30, 379-399. <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2008.30.4.379>.
- Lim DI, Choi HW, Kim YO, Jung HS and Kang YS. 2011. Concentration level and grading of water quality components (COD, DIN, DIP, Chlorophyll-a) in Korean coastal waters: a statistical approach. *Ocean and Polar Res* 33, 13-20. <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2011.33.1.013>.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2013. Official test criteria the marine environment. MOF, Busan, Korea. 495.
- NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute). 2009. Field survey report of Oyster farm in Jangbongdo, Ongjin-gun, Incheon, Korea. NFRDI, Incheon, Korea. 6.
- NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute). 2009. Investigation report of manila clam mortality in Seonjae-ri, Yeongheung-myeon, Ongjin-gun, Incheon, Korea. NFRDI, Incheon, Korea, 5.
- NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute). 2010. Field survey report of Oyster farm in Jawoldo, Ongjin-gun, Incheon, Korea. NFRDI, Incheon, Korea, 8.
- NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute). 2012. Investigation report of oyster mortality in Jawoldo, Ongjin-gun, Incheon, Korea. NFRDI, Incheon, Korea, 5.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2017. Annual monitoring report of marine environment around aquaculture area in Korea (2016). NIFS, Busan, Korea, 342.
- Noh IH, Yoon YH, Kim DI and Park JS. 2006. The spatio-temporal distribution of organic matter on the surface sediment and its origin in Gamak bay, Korea. *J Kor Soc Mar Environ Engin* 9, 1-13.
- Ongjin-gun. 2008. A site selection of aquaculture and a reduction measures of clam dead in island of Ongjin-gun, Incheon. Ongjingu, Incheon, Korea, 572.
- Ongjin-gun. 2015. Shellfish mortality report In: Investigation report of mass mortality of shellfish. Ongjin-gun, Incheon, Korea, 3.
- Ryu SO, Kim JY and Chang JH. 2001. Distribution of surface sediments and sedimentation rates on the tidal flat of Muan bay, southwestern coast, Korea. *J Kor Earth Sci Soc* 22, 30-39.
- Ryu SO. 2003. Seasonal variation of sedimentary processes in a semi-enclosed bay: Hampyong bay, Korea. *Est Coast Shelf Sci* 56, 481-492. [http://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00199-3](http://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00199-3).
- Stein R. 1990. Organic carbon content/sedimentation rate relationship and its paleoenvironmental significance for marine sediments. *Geo-Marine Letter* 10, 37-44.
- Yokoyama H. 2003. Environmental quality criteria for fish farms in Japan. *Aquaculture* 226, 45-56. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00466-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00466-6).
- Yoon HS and Choi SU. 2006. Environmental characteristics of natural habitat of protothaca jedoensis in Gamak bay, Korea. *Aquaculture* 19, 7-13.
- Yun SK. 2008. The characteristics of the marine aquafarm environment in Yeosu coast. Graduate school Chonnam national university, Gwangju, Korea.