

통영 가두리 양식장 인근 해역에서의 해양환경 특성

장유리¹ · 이효진^{1,2} · 문효방³ · 이원찬⁴ · 김형철⁴ · 김기범^{1,2,†}

¹경상대학교 해양환경공학과

²경상대학교 해양산업연구소

³한양대학교 해양융합학과

⁴국립수산과학원 어장환경과

Marine Environmental Characteristics in the Coastal Area Surrounding Tongyeong Cage-Fish Farms

Yu Lee Jang¹, Hyo Jin Lee^{1,2}, Hyo-Bang Moon³, Won-Chan Lee⁴,
Hyung Chul Kim⁴ and Gi Beum Kim^{1,2,†}

¹Department of Marine Environmental Engineering, Gyeongsang National University, Gyeongnam 650-160, Korea

²The Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Gyeongnam 650-160, Korea

³Department of Marine Science and Convergent Technology, Hanyang University, Ansan 426-791, Korea

⁴Marine Environment Research Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

요 약

통영 연안 양식장 주변 해역에서의 환경특성을 조사하기 위해 2013년 7월부터 12월까지 통영 주변 10개 정점에서 해수와 퇴적물 내의 pH, 용존산소(DO), 용존무기질소(DIN), 용존무기인(DIP), 화학적산소요구량(COD), 산취발성물질(AVS)에 대해 분석하였다. 양식장 주변 해수의 수질항목들은 계절별에 따른 경향성을 나타내었으며, 퇴적물 속 COD와 AVS를 분석한 결과 수질항목과는 달리 어장으로부터의 거리에 따라 농도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 본 조사지역에서 반폐쇄성 만에 위치하고 있는 어장 활동에 의해 오염된 유기퇴적물이 비교적 빠른 유속으로 인해 주변 해역으로 분산된 것으로 예측된다.

Abstract – To assess environmental characteristics of the aquaculture area in Tongyeong, pH, dissolved oxygen (DO), dissolved inorganic nitrogen (DIN), dissolved inorganic phosphorous (DIP) and chemical oxygen demand (COD), and acid volatile sulfur (AVS) were measured in seawater and sediment samples collected from 10 locations of Tongyeong coastal area from July to December in 2013. The quality of the seawater may be affected by seasonal variation rather than the distance from fish farm. However, sediment was contrary to seawater; the distance from fish farm may be a main factor to affect COD and AVS in sediment than season and other parameters. It is expected that contaminated organic sediments of fishery located in semi-closed bay are rapidly dispersed into surrounding waters due to fast current.

Keywords: Aquaculture (양식장), Standard criteria(기준), Seawater(해수), Sediment(퇴적물), Management(관리)

1. 서 론

국내 어업소비량은 1970년대부터 2000년대까지 810 천 톤에서 2668 천 톤으로 약 4배 가량 꾸준히 증가하였으나, 어업 생산량은 2000년대(2514 천 톤)를 기준으로 소비량에 비해 공급량이 낮아졌다(NFRDI[2013]). 이에 정부는 2001년 「기르는어업발전기본계획」을 수립하여 양식어장 개발 사업에 집중하였고, 그 결과 천해 양식어업의 생산량이 급격히 증대함에 따라 2006년부터는 일반해면어업의 생산량을 넘어서게 되면서 양식어업이 우리나라 수산업의 주축으로 자리잡았다(Kim *et al.*[2008]). 현재 국내 양식방법은 크게 해상가두리와 육상 수조식으로 분류되며, 해상 가두리 양식의 경우 해수순환이 적고 수력학적으로 안정된 반 폐쇄적인 연안 및 내만에 밀집되어 있다. 이로 인해 집약적 양식에 의한 높은 유기물 부하와 양식장의 장기간 사용으로 병충해와 유해성 적조가 발생하

획」을 수립하여 양식어장 개발 사업에 집중하였고, 그 결과 천해 양식어업의 생산량이 급격히 증대함에 따라 2006년부터는 일반해면어업의 생산량을 넘어서게 되면서 양식어업이 우리나라 수산업의 주축으로 자리잡았다(Kim *et al.*[2008]). 현재 국내 양식방법은 크게 해상가두리와 육상 수조식으로 분류되며, 해상 가두리 양식의 경우 해수순환이 적고 수력학적으로 안정된 반 폐쇄적인 연안 및 내만에 밀집되어 있다. 이로 인해 집약적 양식에 의한 높은 유기물 부하와 양식장의 장기간 사용으로 병충해와 유해성 적조가 발생하

[†]Corresponding author: kgb@gnu.ac.kr

어 양식 어류의 대량 폐사를 유발하는 등 주변 해양 생태계에 심각한 영향을 미치고 있다(Jung *et al.*[2013]).

통영 연안의 수심은 10 m 미만인 곳이 많고 외해 쪽으로 갈수록 수심이 깊어지며 주변에 많은 섬들로 둘러싸여 있어 파랑이 적은 반면, 해수유동이 원활하고 영양염류의 공급이 풍부하므로 양식업이 상당히 발달한 곳으로 알려져 있다(Park *et al.*[2000]). 통계청에 따르면 우리나라 해상 가두리 양식장 중 통영이 가장 넓은 면적(263,525 m²)을 차지하였으며, 신안(184,958 m²), 여수(161,889 m²) 순으로 넓은 면적을 나타내었다(NOS[2013]). 한편, 통영에서 가장 높은 생산량을 보이는 조피볼락(26,618 metric ton, NOS[2013])의 경우, 2010년 양식장의 누적 피해율이 전체 13.63%에 이르렀으며 이중 13.5%는 병원체에 의한 감염성 질병 피해로 집계되었다(Kim *et al.*[2012]). 또한 수십 년간 어장운영으로 인해 이루어져서 대규모 적조가 1995년부터 발생하기 시작하여 현재까지도 특정시기에 적조가 반복적으로 발생하고 있어, 이에 따른 통영지역의 해양 오염이 심각한 것으로 보고되었다(Kang *et al.*[2003]). 따라서 양식 어장으로 인한 양식생물의 집단폐사, 질병, 주변해역에서의 적조발생 등과 같은 오염을 줄이기 위해서는 어장관리해역 지정 및 해지를 통해 집중적인 관리가 필요로 하다.

그러므로 본 연구는 어장 및 인근 해역의 통합적 관리를 위해 가두리 양식어장이 밀집되어 있는 통영시 미륵도와 학림도 사이를 연구지역으로 선정하여 양식장을 기점으로 10개 조사정점에서 수질과 퇴적물을 정밀모니터링을 통해 주변해역의 환경특성을 파악하고, 해양수산부의 연구 중 양식장을 중심으로 그 영향이 예측되는 범위에서의 '어장관리 해역 지정 및 해제'를 위해 제안되어진 어장환경기준(안)에 적용하였다(MOF[2014]).

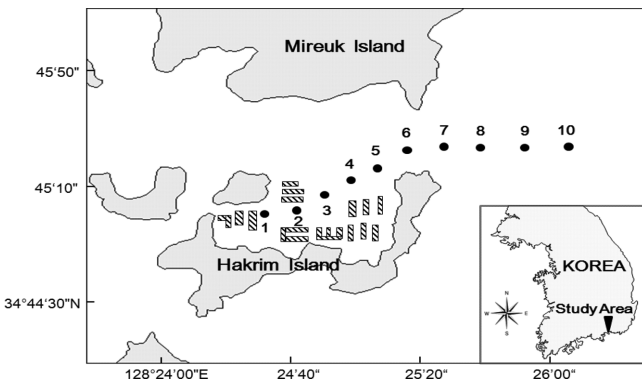


Fig. 1. Sampling sites for the monitoring of aquaculture (fish farm: ▨).

2. 재료 및 방법

2.1 조사지역

조사지역은 통영의 미륵도와 학림도 사이에 위치하고 있는 양식장 해역으로서 가두리 양식장과 인근해역에서 10개의 정점을 선정하였다(Fig. 1). 2013년 7월부터 12월까지 해수는 매월, 퇴적물은 9월과 12월 2차례 시료를 채취하였다. 또한 해수 유동과 어장환경이 주변해역에 미치는 영향을 파악하기 위하여 유향이 동쪽으로 되는 최강 유속 시간에 조사를 수행하였다. 채수방법은 국립수산과학원의 2013년 어장환경 통합 모니터링 운영지침(NFRDI[2013])과 동일하게 해수 시료는 니스킨 채수기로 수심 1m에서 채수하였으며, 퇴적물 시료는 Van Veen Grab을 이용해 표층 퇴적물이 교란되지 않도록 채취하였다. 그리고 양식장에서의 퇴적물 오염상태를 파악하기 위해 양식장 바로 아래지점(정점 0)에서 스킨스쿠버를 동원하여 채취하였다.

2.2 분석방법

분석항목은 해양수산부의 어장환경기준(안)(Table 1)을 준용하여 수질의 경우 수온, 염분, pH, DO, DIN, DIP, COD를 포함한 총 7가지, 퇴적물에서는 COD, AVS를 분석하였다. 모든 항목의 실험방법은 해양환경 공정시험 기준(MOLTM[2010])에 따라 수행하였다. 수온과 염분은 CTD장비로, pH는 pH 미터기로 현장에서 즉시 측정하였고, DO는 현장에서 해수를 차광용 DO병에 조심스럽게 옮겨 고정 시약으로 산소를 고정한 후 실험실로 운반하여 윙크러아자이드화나트륨 변법으로 즉시 분석하였다. 영양염 분석용(DIN, DIP) 해수는 현장에서 유리섬유 여과지(GF/C)로 여과하여 미리 초순수로 세척 및 건조된 고밀도 폴리에틸렌 용기에 담은 후 아이스박스에 저장해 실험실로 옮겨 냉동 보관 후 분석하였다. DIN은 실험실에서 NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N를 비색 정량하여 총합으로 얻었고, DIP는 PO₄³⁻-P를 비색 정량하였다. 영양염 분석은 T60 자외선-가시선 흡광광도계를 사용하였다. 해수 및 퇴적물 COD는 과망간산법으로 실험실에서 분석하였으며 AVS는 황검지관법을 이용하여 현장에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

조사날짜, 시간 그리고 수질 및 퇴적물 분석 항목에 대한 월별 농도를 Table 2에 제시하였다.

Table 1. The environmental quality standard of aquaculture developed by Ministry of Oceans and Fisheries in 2014

Matrix	Analysis items	Standard criteria	Repeatment	Judgment
Sea water	pH	7.8~8.2	4-6 times/year	If annual average is over standard value or less, it is inadequate
	DO (mg/L)	3.0≤		If the values is even one time not more than standard, it is inadequate
	DIN (mg/L)	≤0.14		If annual average is not less than standard value, it is inadequate
	DIP (mg/L)	≤0.04		
Sediment	TOC (mg/g)	≤20	2 times/year	
	AVS (mg/g)	≤0.5		

Table 2. Monthly average values of Temp. (°C), Sal (psu), pH, DO (mg/L), DIN (mg/L), DIP (mg/L) and COD (mg/L) in seawater and COD (mg/g) and AVS (mg/g) in sediment of Tongyeong coastal area, Korea

Matrix	Analysis items	24. Jul. (pm. 12-1)	27. Aug. (pm. 3-4)	27. Sep. (pm. 3-4)	25. Oct. (pm. 3-4)	23. Nov. (pm. 2-3)	18. Dec. (pm. 12-2)	Aver.
Sea water	Temp.	19.0	19.6	23.8	20.6	16.2	12.6	18.6
	Sal.	33.3	33.6	32.0	32.8	33.8	33.9	33.23
	pH	8.07	7.97	8.17	8.17	8.12	7.98	8.08
	DO	6.76	5.77	6.55	5.53	6.73	9.13	6.74
	NH ₄ ⁺ -N	0.006	0.028	0.017	0.024	0.078	0.052	0.033
	NO ₃ ⁻ -N	0.030	0.030	0.006	0.094	0.135	0.158	0.075
	NO ₂ ⁻ -N	0.002	0.008	0.002	0.034	0.019	0.011	0.013
	DIN	0.041	0.066	0.025	0.15	0.23	0.22	0.12
	DIP	0.010	0.018	0.004	0.017	0.029	0.032	0.018
COD	6.71	0.23	0.64	0.85	0.19	0.96	1.60	
Sediment	COD			19.1			23.5	21.3
	AVS			0.032			0.079	0.056

3.1 pH

pH는 해양 생물에 밀접한 영향을 미치는 인자로서 pH가 낮을 때 산호의 뼈대 형성에 어려움을 겪고 pH가 높을 때 암모니아 농도의 증가로 인한 독성을 나타낸다. 상대적으로 pH 변화에 잘 적응하는 연안 생물의 경우에도 pH가 1.0 이상 급격하게 변화하게 되면 피해를 받을 수 있기 때문에(Knutzen[1981]), 해양 환경에서의 pH의 적절한 관리 및 제도가 없다면 양식 어류, 해조류 및 양식어장 주변 해양생물에 피해를 줄 수 있다.

본 연구에서 분석되어진 평균 pH 값은 8.08 ± 0.09 (Table 2)로 어장환경기준 값(7.8-8.2) 범위에 속하였다. 7월 시료의 경우 어장으로부터 거리가 증가함에 따라 pH가 감소하는 반면, 나머지 조사 시기에는 이와는 반대로 거리가 증가함에 따라 pH가 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 2(a)). 특히, 양식장에 가장 인접한 정점 1의 경우 7월과 8월에 최대의 pH값을, 9월부터 12월까지의 최소의 pH값을 나타냄에 따라 양식장에서의 양식 활동이 pH의 변화에 영향을 준 것으로 판단되어진다. 일반적인 해수의 pH는 약 8정도로 약알칼리성을 띠는 중탄산이온의 완충작용으로 인해 pH 변화가 적은 것으로 알려져 있지만, 육상 환경에 인접한 연안이나 내만의 경우 담수의 영향으로 인해 일시적으로 pH가 쉽게 변할 수 있으므로(Kim[2011]), 양식 활동이 잦은 해역에서는 pH 변화에 더욱 주의해야 할 것으로 판단되어진다.

3.2 용존산소(DO)

DO는 수중 생물의 필수 요소로 해수에서 용존산소 결핍은 어패류의 호흡이나 생리작용에 직접적으로 영향을 미치며, 저서생물군집의 출현종과 개체 수에도 민감하게 작용한다(Lim *et al.*[2006]; Kim *et al.*[2006]).

본 연구 지역에서의 평균 DO 값은 6.74 ± 1.3 mg/L으로(Table 2) 어장 환경에 따른 영향보다 계절별에 따른 차이를 나타내었다. 수온이 낮아 산소용해도가 증가하는 12월에 가장 높은 DO 값(9.13 mg/L)을 나타내었으며, 10월 시료에서 평균 5.53 mg/L로 가장 낮은

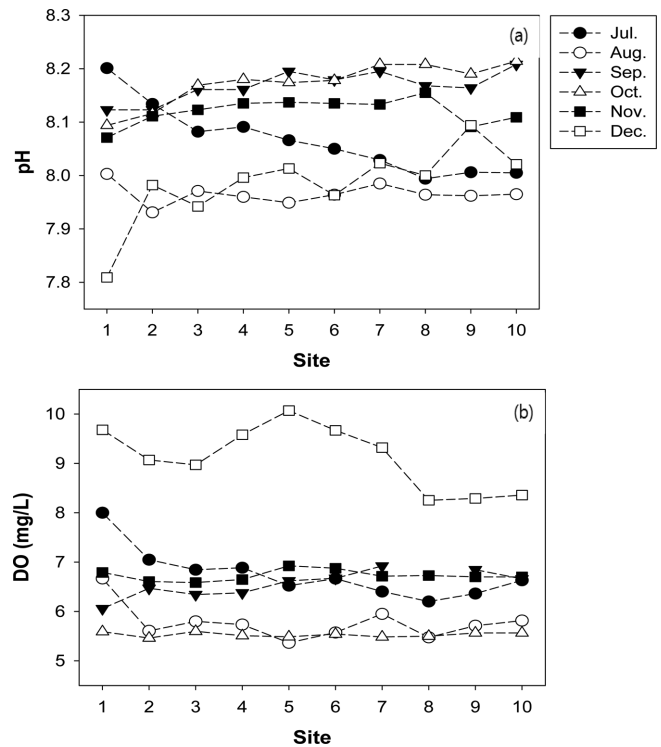


Fig. 2. pH (a) and DO concentrations (b) in seawater according to sites from Jul. to Dec.

DO 농도를 나타내었다(Fig. 2(b)). 한편 해양환경관리공단에서의 자동 수질 측정망 자료에 의하면 2010년부터 2013년까지 통영 연안 표층해수 4개 정점에서 매달 8월의 DO 평균값이 8.28 mg/L에서 5.70 mg/L 농도로 감소하였다(MEIS[2013]). 또한 국립수산과학원 2013년 이상해황속보에 의하면 DO 농도가 6월 3일부터 4일까지 원문만(표층 9.31-9.94 mg/L, 저층 2.66-2.84 mg/L)을 시작으로 7월 7-9일, 23-24일에 당동만 저층에서 각각 0.51, 2.05 mg/L, 8월은 7-9일과 22-24일에 원문만의 저층 DO 농도가 2.26 mg/L로 빈산소 수괴현상이 발생하였다(NFRDI[2013]). 이러한 빈산소수괴의 발생

요인으로는 표-저층 간의 수온 및 염분 차, 부영양화, 적조발생, (반)폐쇄성 지형 등이 있다(NFRDI[2009]). 본 연구의 조사지역 중 어느 정점에서도 3 mg/L 이하의 용존산소 값을 나타내지 않았으나, 국립수산과학원 실시간 어장정보에 의하면 학림도에서 2013년 7-9월에서의 수온은 표층이 저층보다 평균 0.9 °C 높았고, 10-12월에서의 수온은 평균 0.3 °C 낮게 나타났다(NFRDI[2013]). 이를 고려하였을 때 본 연구해역에서 수온약층이 형성되어, 저층으로 산소 공급이 원활하지 못하였을 것으로 예상된다. 따라서 저층 해수의 DO를 분석한다면 평균 DO 값이 낮은 8월과 10월에 저층해수의 DO 농도가 3 mg/L 이하의 빈산소수괴가 나타났을 것으로 예상된다. 또한 연구지역에서 특정시기에 지속적으로 DO 농도가 감소하는 경향으로 보아, 통영 연안 및 양식 생물의 폐사를 막기 위해서는 지속적인 조사가 필요할 것으로 판단되어진다.

3.3 용존무기질소(DIN)와 용존무기인(DIP)

DIN과 DIP는 식물 플랑크톤의 성장에 필요한 영양분으로 해역에서 가장 부족하기 쉬운 원소이다(Kim[2003]). 특히 통영 연안의 경우 국내에서 두 번째로 굴 양식을 많이 하는 여수 연안에 비해 질소와 인의 농도가 낮은 것으로 보고되었다(Lee *et al.*[2011]). 반대로 높은 농도의 DIN은 DIP와 함께 조류의 과대성장을 유발하고, 부영양화를 일으킬 수 있다. DIN은 질소 유기물의 분해산물로서 여름철 식물 플랑크톤이 광합성 할 때 에너지원으로 많이 소비됨에 따라, 일반적으로 일사량이 많은 여름에 비해 겨울철에 더 높은 농도를 보인다. 본 조사지역의 DIN의 평균 농도는 0.12±0.10 mg/L로 수온이 가장 높았던 9월에 가장 낮은 농도 값(0.025 mg/L)을 나타내었으며, 10-12월 시료에서 10월의 일부 정점(8, 9번)을 제외한 나머지 정점에서 어장환경기준 값(0.14 mg/L)보다 높은 DIN 농도 값을 나타내었다(Table 2). 전반적인 DIN 농도는 어장으로부터 거리에 따른 변화보다는 계절에 따른 뚜렷한 경향성을 나타내었으며(Fig. 3(a)), NO₃⁻-N이 전체 DIN 평균 농도의 65%를 차지함에 따라 DIN 농도에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다(Table 2).

DIP의 평균 농도는 0.02±0.01 mg/L로 나타났으며(Table 2), 12월에 0.032 mg/L로 가장 높고, 9월에 0.004 mg/L로 가장 낮은 농도를 나타내었다. 또한 여름에 비해 겨울에 높은 농도를 나타내는 DIN과 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 3(b)). 본 조사에서의 DIP 평균값은 Table 1에서 제시된 어장환경기준 값(0.04 mg/L)보다 낮아 오염되지 않은 양호한 상태로 판단되어지며, DIP 역시 정점간의 유의성은 나타나지 않았다.

Quan *et al.*(2005)과 Wang *et al.*(2009)는 부영양도(Eutrophication Index, EI) = $\frac{COD \times DIN \times DIP}{4500} \times 10^6$ 를 이용하여 EI 값이 1 이상 일 때 해당 해역을 부영양화 상태라고 판정하였다. 본 연구에서 EI 값을 계산한 결과, 12월 정점 3번부터 10번 정점까지 모두 1 이상의 값을 나타내었으며 그 외 7, 10, 11월에는 각각 1곳(정점 2, 8, 9)에서만 1 이상의 값을 나타내었다(Fig. 3(c)). 따라서 본 연구지역은 양식 활동으로 인한 수질의 부영양화 정도는 심각한 수준이 아님을 알 수 있었으나, 12월에는 부분적으로 부영양화 환경임을 알 수 있었다.

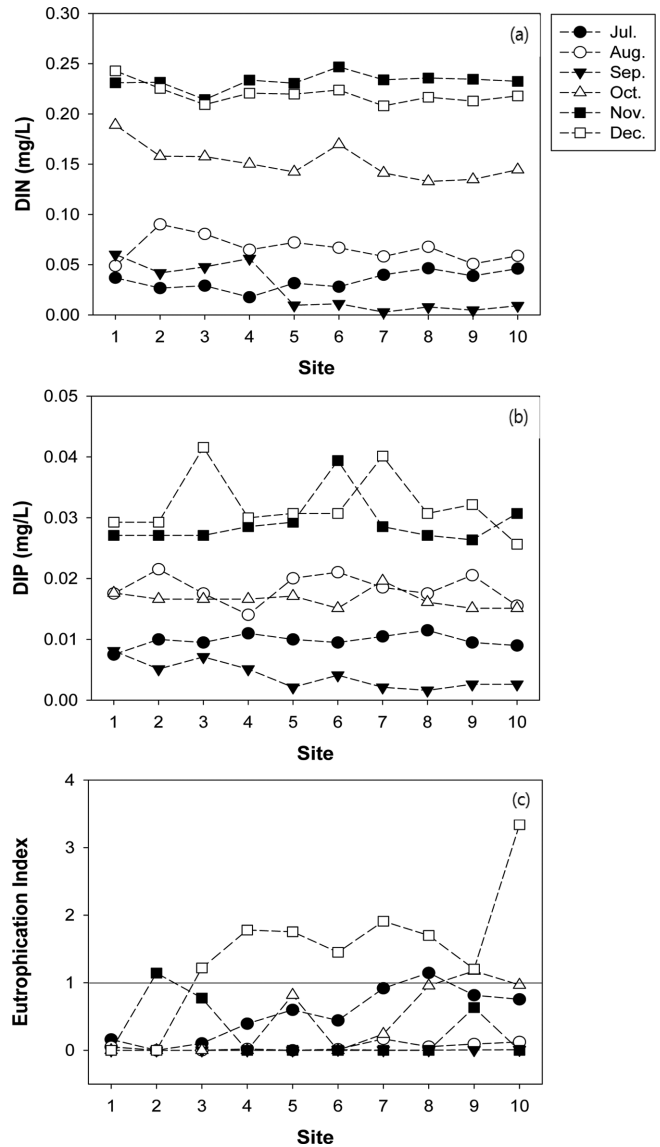


Fig. 3. DIN (a), DIP concentration (b) and EI values (c) in seawater according to sites from Jul. to Dec.

3.5 퇴적물 화학적 산소요구량(COD)

퇴적물 COD는 퇴적물의 오염정도를 알아볼 수 있는 중요한 기준으로 통영 어류 양식장에서의 평균 COD 농도는 21.3±3.18 mg/g (9월 19.1±10.1, 12월 23.5±8.64 mg/g) 를 나타내었으며(Table 2), 계절에 따른 경향을 나타내는 해수와의 달리 정점간의 농도차가 크게 나타났다. 어장 바로 아래지점(정점 0)에서 가장 높은 COD 값을 나타내었으며, 양식장으로부터 거리가 증가함에 따라 COD 농도가 감소하다가 다시 농도가 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 4(a)). 한편 COD/IL(화학적 산소요구량/강열감량) 비를 통해 유기 오염물에 대한 기원을 파악할 수 있으며, 1보다 큰 경우 시료속의 유기물은 양식장이나 하천과 같은 외부로부터 유입된 유기물을 나타내고 1이하인 경우에는 자연해수층의 1차 생물생산이나 기타요인에 의해서 형성된 유기물로 판단한다(Yoon[2000]). 본 연구에

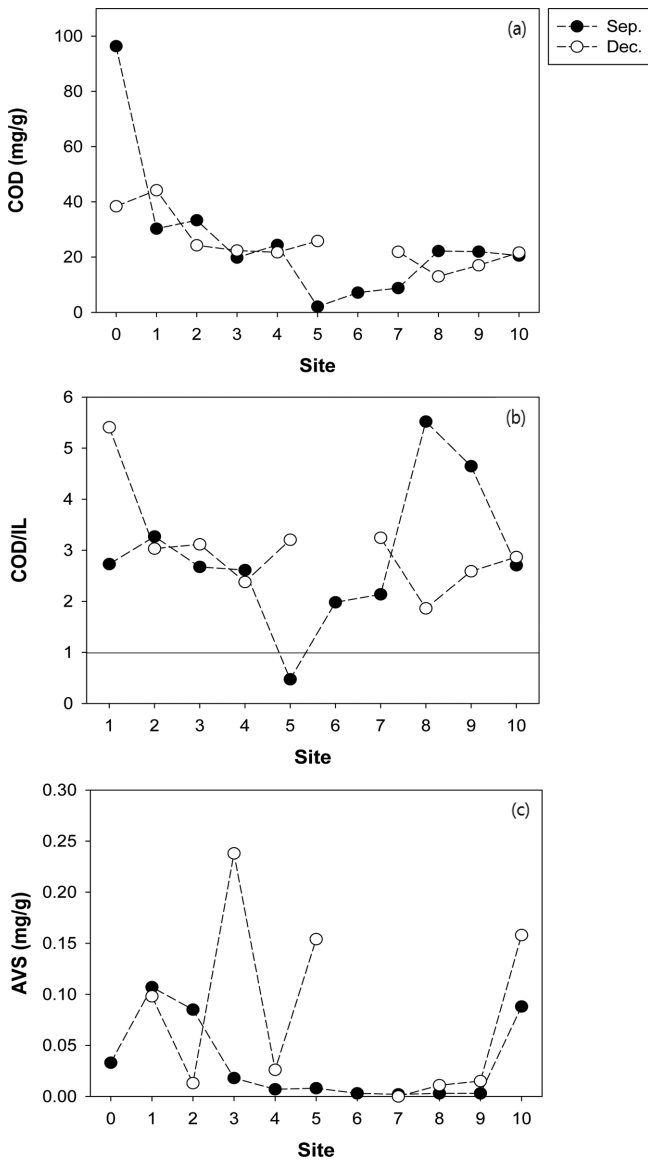


Fig. 4. COD (a), COD/IL values (b) and AVS concentration (c) in sediment according to sites at September and December.

서도 어장 환경기준설정 연구에서 얻은 강열감량 자료를 참조해 정점 1번부터 10번까지 9, 12월 각각의 COD/IL값을 계산하여 Fig. 4(b)에 나타내었다. 그 결과 9월에 채취한 정점 5를 제외한 나머지 정점(6-10)에서 모두 1보다 큰 값을 나타냈으며, 이는 퇴

적물에 포함된 유기물은 외부로부터 유입된 것임을 알 수 있었다. 본 연구에서는 최강유속 시간대에 시료를 채취하였다. 국립해양조사원에 의하면 동일한 조사날짜 및 시각에 정점 1부터 4까지는 조류의 흐름이 더뎠고(유속 0-20 cm/s), 정점 4-6번이 가장 빨랐으며(50-70 cm/s), 정점 8-10은 외해로 빠지는 구간으로서 다시 감소하였다(30-60 cm/s), (KHOA[2013]). COD/IL 값이 다시 증가하는 추세를 나타내는 정점 주변 해역은 하수종말처리장이나 유수배관 등 기타 유기물 유입의 특별한 기원이 없는 것으로 보아 학림도 인근 어장에서 미 섭이된 사료나 양식생물의 배설물, 물고기의 사체 등으로 오염된 퇴적물이 해류의 흐름으로 확산되었을 것으로 판단된다.

어장환경기준설정 연구에서는 퇴적물 오염을 직접적으로 판단하는 기준 항목으로 COD보다 TOC를 사용하는 것이 더욱 적절하다는 결론을 내렸다. 하지만 현재 수행되고 있는 어장환경모니터링 항목으로 TOC가 이용되고 있지 않으므로 해양수산부에서는 국립수산과학원 어장환경과에서 COD와 TOC를 동시 측정할 데이터베이스로부터 얻어진 회귀 직선식($TOC=0.46 \cdot COD+6.153, r=0.714$)을 이용해 COD 값을 TOC 값으로 변환하여 사용할 수 있다고 보고하였다(MOF.[2014]). 따라서 위 회귀 직선식을 통해 본 연구 지역에서 측정되어진 COD 농도는 9월과 12월 각각 평균 TOC 14.9 mg/g과 17.0 mg/g으로 변환되었으며, 두 계절 모두 어장환경기준 값(20 mg/g)을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

3.6 산 휘발성 화합물(AVS)

퇴적물 중의 유기물이 분해되는 과정을 거치면서 산소를 소비해 저산소상태에 이르면 황산염 환원세균 증식에 의해 황화가스가 발생된다. 어장 지역은 퇴적물 속 황화수소 함량이 생물과 어장환경에 큰 영향을 미치기 때문에 퇴적물에서의 AVS 농도는 퇴적물 환경악화 지표 항목으로 이용되고 있다(Lee[2010]). AVS의 평균 농도는 9월과 12월 각각 0.032 ± 0.043 mg/g, 0.079 ± 0.086 mg/g으로(Table 2) Table 1의 기준 값(0.5 mg/g)과 비교한 결과 연구 지역은 양호한 상태로 판단되어지나, 양식장에 인접한 정점 1-3에서는 상대적으로 높은 농도를 나타내었다. 또한 정점 10은 9월과 12월에 각 0.088 mg/g, 0.158 mg/g으로 AVS 값이 다시 증가하였다(Fig. 4(c)). 이는 미록도-한산도 사이 조류의 흐름으로 인하여 해수가 학림도로 유입되기 때문에 미록도 연안에서 발생하는 다양한 유기오염물질이 지속적으로 영향을 주었을 것으로 판단되어진다.

Table 3. Environmental grade in aquaculture nearby area around Tongyeong

Matrix	Analysis items	Standard criteria	This study	Judgment
Sea water	pH	7.8-8.2	8.08	○
	DO (mg/L)	≤3.0	6.74	○
	DIN (mg/L)	0.14≤	0.12	○
	DIP (mg/L)	0.04≤	0.018	○
Sediment	TOC (mg/g)	20≤	16.0	○
	AVS (mg/g)	0.5≤	0.056	○

4. 결 론

본 연구는 어장관리해역 지정 및 해지를 위한 어장환경기준 설정을 위해 기초적인 자료로 활용하고자 통영 해역 내의 양식어장이 밀집되어있는 미륵도와 학림도 사이의 수질과 퇴적물을 분석하였다. 각 분석항목에 대한 조사지역의 오염은 해양수산부에서 제시한 어장환경기준 범위에 모두 적합하여(Table 3) 지속이용가능한 해역상태로 판정되었다. 한편 해수 pH와 퇴적물 COD값이 어장과 가장 가까운 정점 1에서는 다른 정점들과 확연한 차이를 보여 통영 가두리 양식장의 환경조건이 해수의 pH와 퇴적물의 COD 농도에 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 AVS 분석을 통해 양식활동으로 인한 양식장 주변 퇴적물 오염정도가 심각한 수준은 아니지만 COD/IL의 비를 통하여 조사지역의 퇴적물 중의 유기물은 자연해수중의 1차 생물생산이나 기타요인에 의해 형성된 것이 아니라, 양식장의 잉여사료나 배설물 등과 같은 외부로부터 유입된 것임을 확인하였다. 또한 조류와 풍속이 상대적으로 빠른 겨울철에는 퇴적된 유기물의 확산 범위가 넓어지는 경향을 나타내었다.

차후 어장환경평가를 위한 현장평가방법을 고안할 때, 조사지역 범위를 해수 유동이 활발하고 조류와 해류를 타고 널리 퍼져 나갈 수 있는 지리적 특성과 외부 오염원을 고려하여야 할 것으로 판단된다. 또한 DO, DIN, DIP와 같이 계절에 따른 농도 차이가 해양환경 특성 변화에 영향을 주는 항목에 대해서는 년간 4회 이상 조사를 하여야 할 것으로 판단된다. 특히 DO는 수산생물의 생명과 직접적인 관계가 있으므로 산소 농도가 낮은 저층 해수도 조사항목에 포함하여 빈산소수괴의 발생여부를 파악함으로써 더욱 효과적인 어장관리를 할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2013년 해양수산부 <어장환경기준설정 연구>사업에 의해 지원되었습니다. 또한 일부는 2014년 해양수산부 <유류오염 환경영향평가 및 환경복원연구>사업에 의해 지원되었습니다.

References

- [1] Jung, R.H., Yoon, S.P., Kim, Y.J., Lee, W.C., Hong, S.J., Park, S.E. and Oh, H.T., 2013, Effect of an Offshore Fish Culture System on the Benthic Polychaete Community, *Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 18, pp.195-205.
- [2] Kang, Y.S., Kwon, J.N., SHON, J.K., Hong, S.J. and Kong, J.Y., 2003, Interrelation Between Water Quality and Community Structure of Phytoplankton around the Season of Red Tide Outbreak off the Coast of Tongyeong Area, 2002, *Korean journal of fisheries and aquatic sciences*, Vol. 36, pp.515-521.
- [3] KHOA, Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, 2013, http://sms.khoa.go.kr/koofs/kor/introduce/sea_wf.asp?wf=current_wf.
- [4] Kim, D.W., 2011, Marine Environment Characteristics of Environment Conservation Sea Area in South Sea, Graduate school of Education Chonnam National University.
- [5] Kim, J.B., Hong, H.P., Jeong, C.S. and Kim, B.T., 2008, Method of the improvement in usage system of fishery for the development of aquaculture industry, *Korea Maritime Institute*, pp.1-194.
- [6] Kim, J.B., Lee, S.Y., Yu, J., Choi, Y.H., Jung, C.S. and Lee, P.Y., 2006, The characteristics of oxygen deficient water mass in Gamak bay, *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, Vol. 9, pp.216-224.
- [7] Kim, J.G. and Jeong, T.J., 2003, A study on Eutrophication control in coastal area of Gunsan, *Journal of the environmental science*, Vol. 12, pp.957-966.
- [8] Kim, J.W., Lee, H.N., Jee, B.Y., Woo, S.H., Kim, Y.J. and Lee, M.K., 2012, Monitoring of the mortalities in the aquaculture farms of South Korea, *Journal of fish pathology*, Vol. 25, pp.271-277.
- [9] Knutzen, J., 1981, Effects of decreased pH on marine organisms, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 12, pp.25-29.
- [10] Lee, M.Y., 2010, Characteristics of organic matters and trace metal distribution in the surface sediments of Gwangyang bay, Korea, Graduate school of Education Pukyong National University.
- [11] Lee, Y.S., Lim, W.A., Jung, C.S. and Park, J.S., 2011, Spatial Distributions and Monthly Variations of Water Quality in Coastal Seawater of Tongyeong, Korea, *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, Vol. 14, pp.154-162.
- [12] Lim, H.S., R.J. Diaz, J.S. Hong and L.C. Schaffner, 2006, Hypoxia and benthic community recovery in Korean coastal waters, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 52, No. 11, pp.1517-1526.
- [13] MEIS, Marine Environment Information System, 2013, <http://www.meis.go.kr>.
- [14] MOF, Ministry of Oceans and Fisheries, 2014, Assessment of Standard Criteria in Aquaculture Environment, pp.1-270.
- [15] MOLTM, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010, Standard Method in Marine Matrix, pp.1-495.
- [16] NFRDI, National Fisheries Research & Development Institute, 2009, Hypoxia in the Coast of Korea, pp.1-173.
- [17] NFRDI, National Fisheries Research and Development Institute, 2013, <http://www.nfrdi.re.kr>.
- [18] NSO, National Statistical Office, 2013, <http://www.kostat.go.kr>.
- [19] Park, H.S., Choi, J.W. and Lee, H.G., 2000, Community structure of Macrobenthic Fauna under Marine Fish Culture Cages near Tong-yong, Southern Coast of Korea, *Journal of the Korean fisheries society*, Vol. 33, pp.1-8.
- [20] Quan, W.M., X.Q. Shen, J.D. Han, 2005, Analysis and assessment on eutrophication status and developing trend in Chang-

jiang Estuary and adjacent sea, Marine Environmental Science, Vol. 24, pp. 13-16.

[21] Wang, X.L., Z.G. Cui, Q. Guo, X.R. Han, 2009, Distribution of nutrients and eutrophication assessment in the Bohai Sea of China, Chinese Journal of Oceanology and Limnology, Vol. 27, pp.177-183.

[22] Yoon, Y.H., 2000, A Study on the Distributional Characteristic

of Organic Matters on the Surface Sediments and Its Origin in Keogeum-sudo, Southern Part of Korean Peninsula, Journal of the Korean Environmental Sciences Society, Vol. 9, pp.137-144.

Received 7 October 2014

1st Revised 18 December 2014, 2nd Revised 15 May 2015

Accepted 15 May 2015