

ORIGINAL ARTICLE

도암만 수질의 부유물질 농도와 화학적 산소요구량의 시·공간적 특성 및 상관관계

장지승 · 장지혜 · 조미선 · 강형일 · 정재성¹⁾ · 안삼영*

순천대학교 환경교육과, ¹⁾순천대학교 생물학과

Seasonal and Stational Variation of SS and COD and Their Relationship in Doam Bay

Ji-Seong Chang, Ji-Hye Chang, Misun Cho, Hyung-Yeel Kahng, Jae-Sung Jung¹⁾,
Samyoung Ahn*

Department of Environmental Education, Suncheon National University, Suncheon 540-950, Korea

¹⁾Department of Biology, Suncheon National University, Suncheon 540-950, Korea

Abstract

Seasonal and stational variation of SS and COD were investigated from February 2008 to December 2010 and the relationship between them was discussed. During three years monitoring, SS decreased significantly (46% decline) possibly due to the increase of precipitation and thereby resulting salinity drop. COD on average was the highest in 2009. SS was the highest in autumn and the lowest in winter, and over 72% of SS was FSS. While SS is high in the upper sampling stations of the bay with shallow water, COD values do not show any relationship to the geomorphological characteristics. COD_{ins}, which was defined as COD after filtration, ranged 56%(winter) ~ 44.6%(summer) and showed no correlation with SS. It indicates that high SS concentration is not necessarily related to the high COD_{ins}. The seasonal COD_{ins}/SS data, which can be interpreted as COD density in SS, shows that SS in winter contains the dense COD materials compared to the other seasons.

Key words : Suspended solid, COD_T, COD_s, COD_{ins}, Doam bay

1. 서론

우리나라의 남서해안은 조류간만의 차가 크고, 넓은 갯벌이 잘 발달되어 있다. 수심이 낮은 연안에서는 바다의 갯벌이 해수유동에 쉽게 재부유하기 때문에 부유 고형물(Suspended Solid; 이하 SS)의 농도가 높은 경향을 나타내고 있다. 조류의 흐름이 느린 반 폐쇄적 해역의 경우 육상으로부터 운반된 부유물질들이 연안에

퇴적되므로, 이들 부유물질들의 물리화학적 특성은 연안해역의 수질에 영향을 줄 수 있다. 게다가, 2011년 개정 고시된 해양환경기준(수질)을 보면 생태기반 해수수질을 판단할 때 수질평가 지수값을 이용하는데 수질평가지수에 투명도가 한 가지 지표로 활용되고 있다(Marine environmental standard, 2011). 따라서 해역의 투명도와 밀접한 관련이 있는 부유물질 농도가 해역의 생태기반 수질을 판단하는 중요한 인자가

Received 14 June, 2013; Revised 11 April, 2014;

Accepted 28 April, 2014

*Corresponding author : Samyoung Ahn, Department of Environmental Education, Suncheon National University, Suncheon 540-950, 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.

되었다.

이러한 상황에서 기존에 해역의 수질을 판단해온 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand; 이하 COD)과 새로이 수질평가지수로 도입된 투명도를 반영하는 부유물질 농도 간에 상관관계가 존재하는지 조사하는 것은 매우 유의미한 일이 될 것이다. 해역수질 등급을 판단하는 수질항목인 COD는 해역의 유기물 함량과 이로 인한 오염정도를 측정하는 지표로 널리 사용되어왔다. 특히 하천의 경우 BOD (생물화학적 산소요구량)가 COD와 더불어 상호보완적인 수질지표로서 사용될 수 있는 반면 BOD가 제외된 해수의 경우는 COD의 중요성이 상대적으로 크다고 할 수 있다.

도암만은 탐진강을 통해 담수의 영향을 크게 받으며, 동시에 수심이 낮아 운반된 퇴적물과 퇴적물의 재부유로 인한 부유물질의 농도가 높은 특성을 갖는 해역으로, 낮은 투명도(높은 부유물질의 농도로 표현될 수도 있다)로 인해 해역의 감각적 수질이 부정적으로 인식될 가능성이 있다.

도암만은 전라남도 강진군의 강진읍, 도암면, 신전면, 칠량면, 대구면, 마량면으로 둘러싸인 폭이 좁고 수심이 매우 얇은 폭 7 km, 길이 19 km, 해역면적 4,100 ha의 폐쇄성 해역이다. 또한 탐진강과 소하천(금강천, 강진천, 칠량천, 대구천, 도암천)들로부터 담수가 유입되는 하구형 만이다. 한편 도암만 갯벌은 퇴적이 빠르게 진행되어 특히 만의 북쪽 중앙부의 퇴적이 빠르게 진행되고 있다. 따라서 COD와 부유물질간의 상관관계를 연구하기에 매우 좋은 조건을 갖추고 있다고 할 수 있다. 그 동안 연안해역에서 COD 혹은 SS를 조사한 연구논문들이 간혹 있었지만, 이 두 항목 간의 연관성을 알아보는 연구는 보고된 바가 없었다. Chang(2010)은 도암만과 유사한 지형학적 특성을 갖는 여자만(순천만)의 여름철 COD 상승을만으로 유입되는 토사로 인한 SS의 증가로 추정하고 있으나 이를 증명할 만한 자료는 제시하지 않고 있다.

본 연구에서는 수심이 낮고 SS가 상대적으로 높은 반 폐쇄성 해역인 도암만 해역을 대상으로 먼저 SS와 COD 농도의 다년간 추이를 조사하고, 도암만 SS가 COD에 어떤 영향을 주는 지 연구하는데 그 목적이 있다. 또한, 이를 바탕으로 새로이 도입된 해양환경기준(수질)의 적절성에 대해서도 고찰하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지의 개요

본 연구는 전라남도 강진군 도암만에서 실시하였고, 조사정점은 만 전체에 걸쳐 총 10개의 정점을 선정하였다(Fig. 1). 조사기간은 2008년 1월부터 2010년 12월까지로(2009년 7월과 12월 그리고 2010년 1월과 7월 제외) 총 32회 실시하였다. 계절은 봄(3-5월), 여름(6-8월), 가을(9-11월), 겨울(12-2월)로 구분하였다. 분석에 사용된 자료는 강우가 유입유기물과 부유물질농도에 미치는 일시적 영향을 배제하기 위해 시료채취일 포함 3일전까지 총 강수량이 30 mm 이상이고, 이로 인해 염분 농도에 큰 변화가 있었던 자료(2009년 8월, 2010년 8월)를 제외하였다.

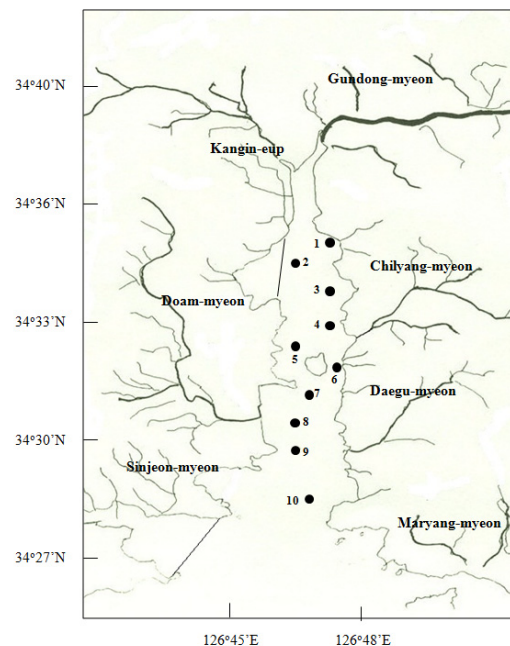


Fig. 1. Sampling stations in Doam Bay, Korea.

2.2. 이화학적 분석

일일조사시기는 도암만의 낮은 수심으로 인한 접근성을 고려하고 조석작용에 의한 수질변동을 최소화하기 위해 만조시기에 실시하였으며, 현장에서 표층 약 1 m 이내의 해수를 채취하여 5°C 이하의 냉장상태로 실험실로 운반하여 분석을 실시하였다. 수온, 염분

농도, 수소이온농도, 용존산소(DO)량은 현장에서 수질자동측정기기(YSI 6600)를 이용하여 측정하였고, 부유고형물(SS), 휘발성부유물(VSS), 잔류고형물(FSS)과 화학적 산소요구량(COD)은 해양환경공정시험기준(Standard methods for seawater analysis, 2010)으로 측정하였다. 화학적 산소요구량의 경우 부유물을 포함한 상태의 COD 측정값을 COD_T 로 정의하였고(부유물을 여과하기 전), SS를 측정하기 위해 여과한 후 여과된 해수의 COD를 COD_s 로 정의하였다. 이때 's'(soluble, 용존)는 부유물이 제거된 상태의 여과액에 용존되어 있는 COD 유발물질이란 의미이다. 그리고 COD_T 에서 COD_s 를 뺀 값을 부유물질(즉 SS)이 유발하는 COD로 보고 이것을 COD_{ms} 로 정의하였다. 여기서 'ins'은 불용성 물질(insoluble)로서 녹지 않았다는 의미이다. 첨자가 없는 COD의 경우 일반적인 '화학적 산소요구량'의 의미로 사용하였다. SS, VSS, FSS과 COD는 각기 두 번 반복 실험하였으며 반복실

험값 사이의 편차가 큰 경우 재 측정하는 방식으로 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 해역의 물리적 환경인자

2008년 2월부터 2010년 12월까지 도암만 해역의 10개 정점에서 측정된 월별, 년도별 해수 환경변화를 Fig. 2에 나타내었다. 수온은 1월에 4°C 내외로 가장 낮았고, 8월에 27°C내외로 가장 높아 계절적 특성을 보였다. 염분 농도는 계절적으로 강우량이 증가하는 여름철에 낮아지는 경향을 나타낸다. 연도별로는 2008년(염분농도 31.59 psu) 보다는 2009년(염분농도 30.63 psu)에, 2009년 보다는 2010년(염분농도 28.65 psu)에 전반적으로 약간 감소하는 것으로 측정되었다. 이는 지난 3년간 강진지방의 총강수량이 해마다 현저히 증가했기 때문으로 분석된다 (Table 1). 도암만 지

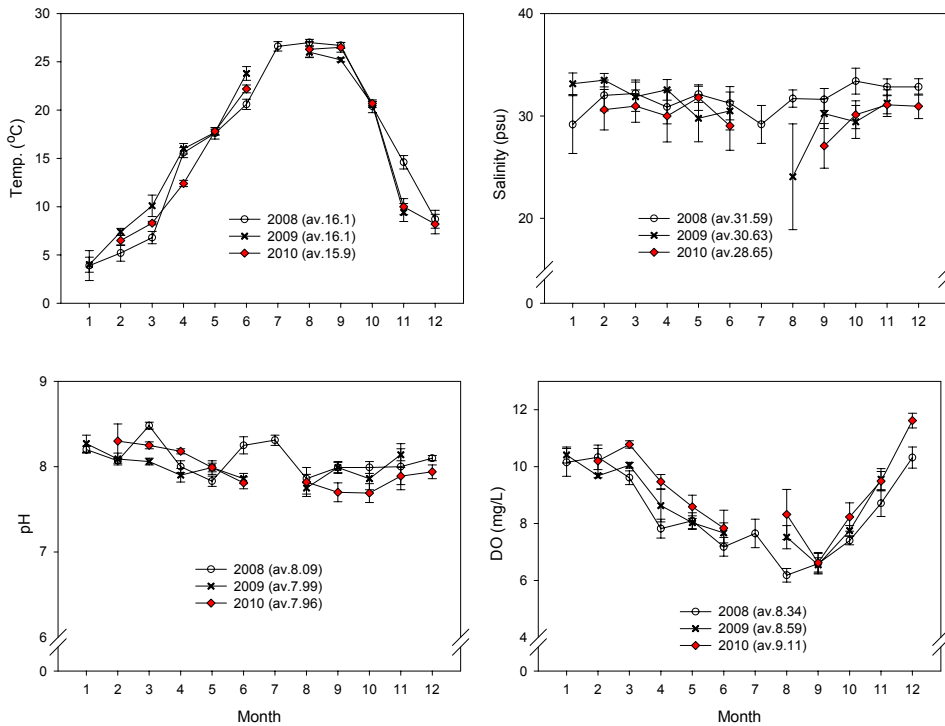


Fig. 2. Monthly variations of water temperature, salinity, pH and DO from 2008-2010. Vertical bars represent SD.

Table 1. Total monthly rainfall in Doam bay area (2008~2010)

(unit: mm)

Year	Month												Total
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
2008	50.8	26.0	102.4	70.7	204.8	362.4	79.0	105.1	45.3	91.4	27.6	14.5	1,180.0
2009	17.0	70.3	118.5	116.5	188.9	151.6	569.5	160.1	73.4	76.4	26.0	20.2	1,588.4
2010	50.4	121.0	160.9	202.3	188.0	223.5	332.7	408.6	124.0	46.7	4.0	24.1	1,886.2
Average (2008~2010)	39.4	72.4	127.3	129.8	193.9	245.8	327.1	224.6	80.9	71.5	19.2	19.6	1,551.5

(Korea Meteorological Administration)

역의 2008-2010년 사이 월별 강수량과 총강수량 추이를 보면 연간 총강수량이 2008년 1,180 mm에서 2009년 1,588 mm로, 그리고 2010년 1,886 mm 로 해마다 크게 증가하였다. 수소이온농도는 계절적으로 큰 특이사항은 관찰되지 않았으며 해수의 특징적인 약알칼리성(7.69-8.48)을 나타내었다. 용존산소농도는 수온과 밀접한 관련이 있는 항목이어서 수온이 낮은 겨울철에 9.68~11.62 ppm을, 수온이 높은 여름철에 6.18~8.32 ppm을 나타내었다. 년도별 용존산소 변화추이를 보면 2010년에 전반적으로 용존산소 농도가 증가한 것

을 알 수 있는데 이는 2010년 평균수온이 약간 낮아진 것과 염분 농도가 낮아진 것에 기인한 것으로 추정된다. 일반적으로 일정한 온도조건에서 액체 대한 기체의 용해도는 용존물질 특히 전해질의 농도가 높을수록 감소한다. 따라서 해수의 포화용존산소량은 담수의 포화용존산소량보다 적다. 예를 들어 20°C에서 염소이온의 농도가 25psu 이면 포화용존산소량은 염소이온농도가 0일 때보다 24% 줄어든다 (Standard Methods for water and waste water, 2011; Rounds 등, 2013).

Fig. 3은 2008년부터 2010년까지 조사된 해수의 물

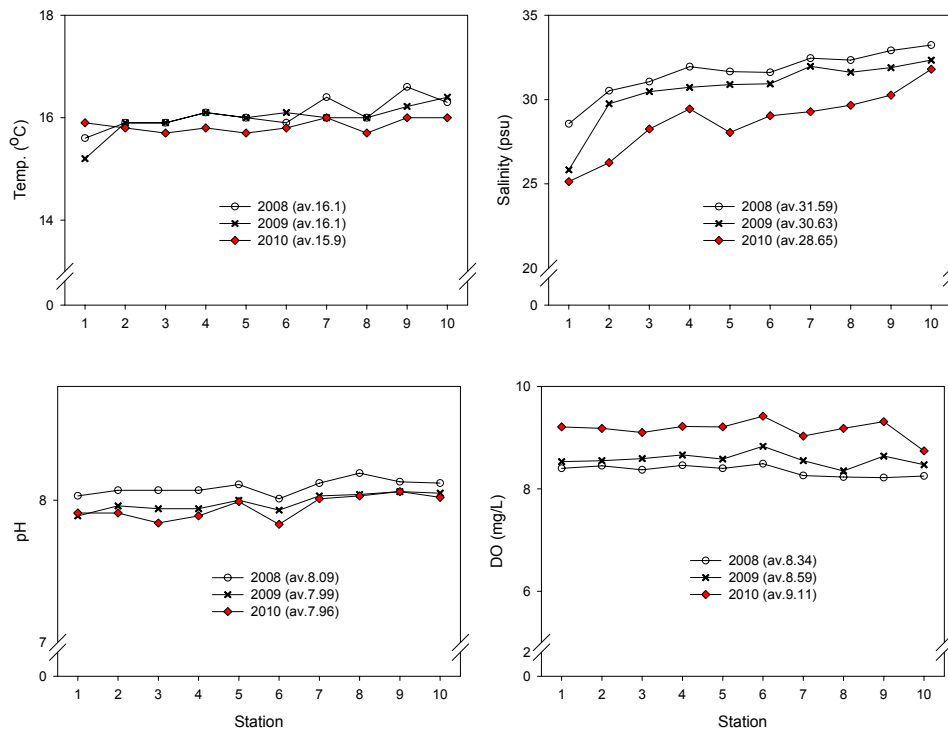


Fig. 3. Stational variations of water temperature, salinity, pH and DO.

리적 특성의 평균값(각 정점별로 2008년 12회 평균값, 2009년 9회 평균값, 2010년 9회 평균값)을 정점별로 나타낸 것이다. 도암만의 상류에서 시작하여 만의 하부로 갈수록 조사정점에 따라 해수특성이 차이가 있음을 알 수 있다. 수온의 경우, 만의 하부로 갈수록 약간 상승하는 경향을 나타내었다. 만의 상부에서는 탐진강을 비롯한 칠량천들이 유입되는데 이들 하천의 수온이 계절적 영향을 크게 받으며 특히 겨울철에 유입하천의 수온 하강이 심하기 때문에 분석된다. 이러한 특징은 만의 상부 정점에서 수온편차가 큰 것으로도 알 수 있다. 염분 농도의 경우 정점별 차이가 확연하였다. 년도별로 강수량이 증가하는 2009년과 2010년 염분 농도가 점차적으로 감소하였으며, 하천수가 유입되는 만의 상부와 하부 간의 염분 농도차이가 해마다 증가하여 2008년에는 약 5 psu 정도 였으나 2009년과 2010년에는 약 7 psu 로 증가하였다. 염분 농도의 감소와 더불어 만입부의 pH가 만하부의 pH보다 낮아 염분 농도변화의 원인인 육수유입이 pH 변화에도 영향을 미친 것을 알 수 있다. 용존산소의 경우 정점별로 특이점을 보이지 않고 전체 정점에서 일정한 값을 나타내었다.

3.2. SS

도암만 SS에 대한 3년간의 측정치는 년도별로 그리고 정점별로 매우 큰 변화를 보인다 (Fig. 4). 2008년의 SS 측정값이 가장 크게 나타났으며, 2009년에는 2008년에 비해 전체적으로 약 30% 정도 낮은 SS 측정값을 나타내었다. 정점별로는 도암만 상부, 육수가 유입되는 정점 1과 정점 2에서 높은 값을 나타내었다. 2010년에는 SS 값이 더욱 낮아졌으며 (2008년 기준 평균 46% 감소) 동시에 정점별 차이도 사라졌다. 3년간의 SS 변화추이는 짧은 기간 동안 도암만 부유물질 농도의 급격한 변화양상을 보여준다. 해역의 물리적 환경이 짧은 기간 동안 이처럼 급격히 변하는 것은 매우 이례적인 것으로 판단되며, 이 현상이 앞서 기술한 년도별 강수량증가와 이로 인한 도암만 유입유량의 증가, 염분 농도의 급격한 감소 등과 밀접한 관련이 있을 것으로 사료된다.

하천으로부터 유입되는 콜로이드성 부유물질은 염분 농도가 높아지는 기수역에서 콜로이드입자표면의

전위차가 급격히 감소하면서 엉겨 붙어 침전·퇴적하고 이것이 갯벌을 이루게 된다. 따라서 반폐쇄성 해역의 경우 하천과 바다가 만나는 지점에서 부유물질농도가 높게 나타난다. 게다가 도암만의 경우 정점 1과 2가 속한 만의 상부는 수심이 0.4 m(electronic navigational chart, 2012)로 매우 낮아 퇴적물의 재부유로 인해 부유물질농도가 더욱 높아진다. 그런데 2010년에는 이러한 (정점 1과 2에서 SS가 높은)현상이 현저히 감소하였는데 그 원인은 첫째, 만의 입구에서 유입되는 하천의 염분 농도와 해수의 염분 농도차가 줄어들면서 콜로이드입자의 엉킴이 줄어들었고, 상대적으로 만의 중하부 지점에서 입자엉킴이 늘어날 것(SS농도의 증가)이나 여기서는 수심이 4.4m로 깊어지면서(electronic navigational chart, 2012) 상대적으로 유량이 많고 해수 유동이 증가하므로 확산과 희석효과 때문에 부유물질 농도는 증가하지 않는 것이다.

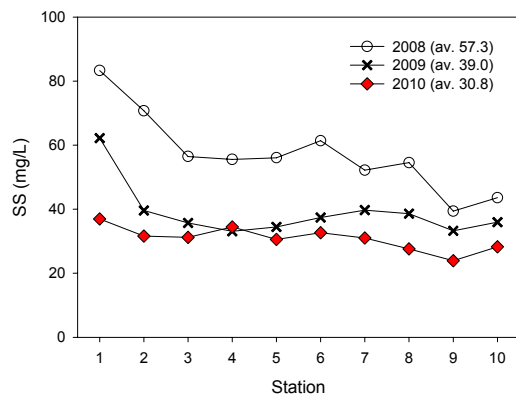


Fig. 4. Stational variation of SS in Doam bay (2008-2010).

둘째 원인은 강진천과 탐진강으로부터 유입되는 SS의 양이 감소한 것과도 관련이 있을 것으로 추정된다. Table 2는 도암만 상부로 유입되는 두 개의 주요하천인 강진천과 탐진강하류(탐진강 3지점)에서 측정된 SS를 년도 별, 계절별로 정리한 것이다(Minister of Environment, 2011). 년도 별로는 조사기간 3년 중 2010년 가장 낮은 SS를 나타내어 Fig. 4에서 2010년의 가장 낮은 SS결과와 일치하는 것이다. 또한, 수량이 많아 도암만 수질에 가장 큰 영향을 미치는 탐진강 3지점의 SS의 계절별 추이를 보면 3년 평균을 볼 때 겨울<가

Table 2. Seasonal variation of SS in Gangjin Stream and Tamjin River 3 (unit: mg/L)

		2008		2009		2010		
Gangjin Stream	av. 7.57	spring	10.1	av. 10	spring	14	spring	12
		summer	5.87		summer	14.4	summer	7.3
		autumn	10.4		autumn	6.1	autumn	6.8
		winter	3.87		winter	5.47	winter	3.87
Tamjin River 3	av. 8.28	spring	12.2	av. 11.6	spring	16.7	spring	9.3
		summer	11.5		summer	17.8	summer	7.53
		autumn	5.03		autumn	5.67	autumn	6.4
		winter	4.3		winter	6.23	winter	3.5

을<여름~봄의 순으로 나타났다. 이러한 경향은 유입 담수의 영향을 가장 크게 받는 정점 1에서의 부유물질의 계절적 변화와 일치하는 것으로서 (Fig. 5), 정점 1에서 봄철 부유물질 농도가 가장 높게 측정되며, 겨울철 가장 낮은 농도를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

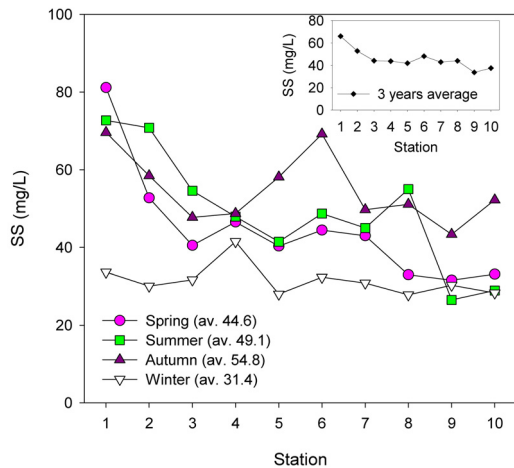


Fig. 5. Seasonal variation of SS in Doam bay (2008-2010).

수심이 낮은 연안해역의 SS농도는 해수염분 농도, 저층지형, 조류 등에 의해 영향을 받는다. 도암만의 경우 상부 조사정점 부근의 저층지형은 넓은 갯벌로 이루어진 편평한 구조를 하고 있어서 지형적 영향은 크지 않을 것으로 사료된다. 또한 본 연구의 조사시점을 만조시에 실시하였기 때문에 조수간만의 차에 의한 영향도 배제할 수 있다. 따라서 본 연구에서 측정된 SS의 농도변화는 그 원인이 주로 유입하천의 SS 농도, 해수염분 농도변화와 가장 큰 관련성이 있다고 판단

된다. 다른 해역에 있는 폐쇄성만인 가로림만(Nam 등, 2010)의 경우 SS농도가 여름과 가을에 낮게 측정되었다. 이는 가로림만의 경우 큰 하천이 발달하지 못해 담수유입의 영향이 없기 때문으로서, 도암만의 SS가 탐진강으로부터 유입되는 담수의 영향을 받고 있음을 확인시킨다.

한편, SS의 경우 정점과의 상관관계가 뚜렷한데 육지에 가까운 정점에서 높게 나타난다 (3년 평균을 보여주는 Fig. 5의 inset 참고). 다만 겨울철의 경우 SS가 다른 계절에 비해 현저히 감소하여 정점과의 상관관계가 별로 없는 것으로 나타난다. SS의 계절적 특성은 도암만으로 유입되는 하천수의 유량과 관련이 있는 것으로 겨울철의 적은 강수량과 계절적 요인으로 유입되는 하천의 결빙으로 인해 담수유입이 적었기 때문으로 판단된다.

도암만 해역에서 관측된 연도별 SS의 급격한 변화는 도암만의 퇴적층 형성과 갯벌생태계의 특성에 중요한 영향을 미칠 수 있다는 점에서 시사점이 크다. 연안에서 식물성플랑크톤은 연안 일차생산의 62~88%를 차지하는 것으로 알려져 있다 (Shim과 Kang, 1986). 식물성플랑크톤의 광합성은 SS와 같은 환경요인과 밀접한 관련이 있기 때문에 도암만 연안의 SS 농도변화는 해역의 일차생산력에 영향을 미칠 수 있다. 또한 갯벌 퇴적물의 양과 생화학적 조성은 갯벌에서 살아 가는 여과섭식 동물군의 먹이 유용성을 결정하는 중요한 요인이며 결과적으로 어패류 등의 갯벌생산성에 영향을 미치게 된다(Joo 등, 2002).

SS구성성분을 유기물과 무기물로 분류하기 위해 시료를 550℃에서 강열하여 타는 물질(VSS; 주로 유기물)과 잔류하는 물질(FSS; 무기물)로 나누어 제시

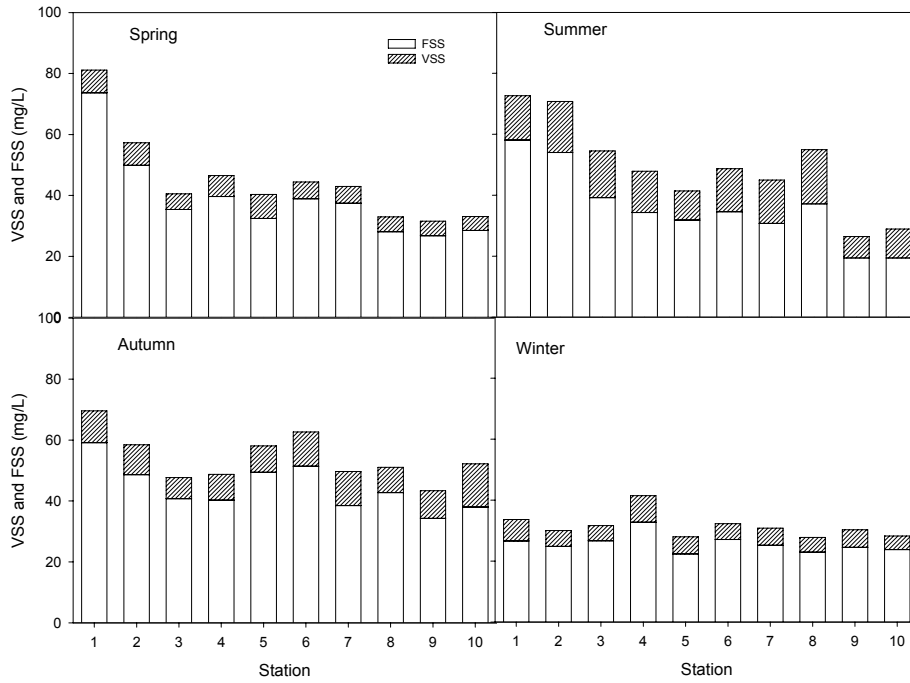


Fig. 6. Seasonal and stational variation of FSS and VSS.

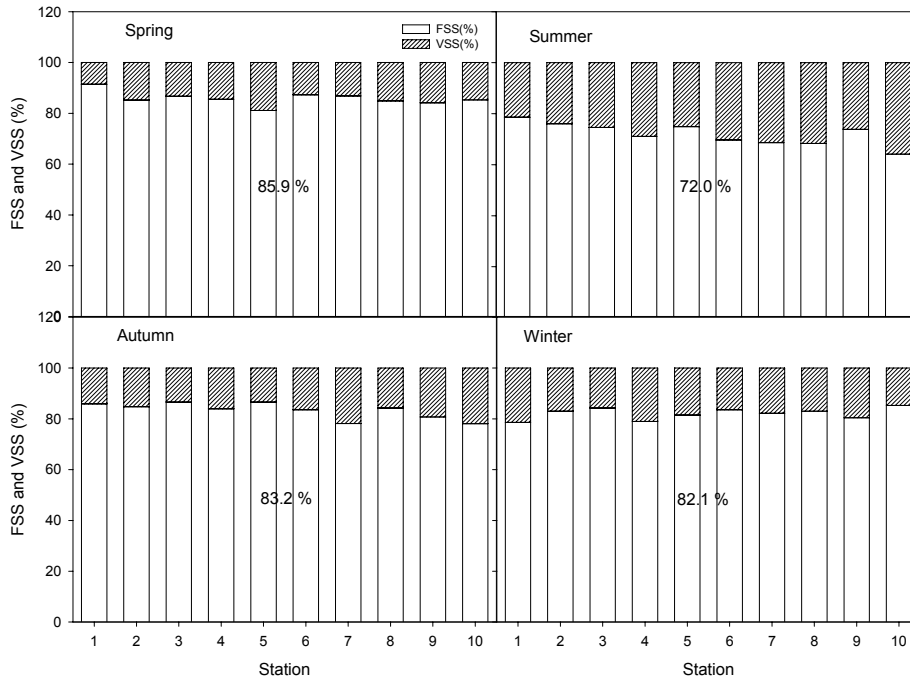


Fig. 7. Seasonal variation of FSS(%) and VSS(%) vs. station.

한 것이 Fig. 6과 Fig. 7 이다. Fig. 6은 FSS 와 VSS의 계절별 농도를 정점에 따라 나타낸 것이고, Fig. 7은 FSS 와 VSS 의 백분율을 계절별로 나타낸 것이다. Fig. 6에서 FSS의 절대량을 보면 평균값기준으로 봄에 38.63 mg/L, 여름에 35.91 mg/L, 가을에 44.91 mg/L, 겨울에 25.68 mg/L 로 가을에 가장 많은 양을 나타내어 SS의 계절적 특성(Fig. 5, Autumn av. 54.8 ppm)과 유사한 경향을 보인다. 한편 FSS 가 차지하는 비율은 72.0% ~ 85.9% 로서, 여름에 가장 적은 비율을, 봄에 가장 높은 비율을 보인다(Fig. 7). VSS 의 절대량은 여름(13.2 mg/L)에 가장 많은 양이 측정되었고, 그 다음이 가을(9.9 mg/L)>봄(6.0 mg/L)>겨울(5.7 mg/L) 의 순서였다. VSS가 차지하는 비율을 보면 역시 여름철에 가장 높은 비율(27.98%)을 차지하여 VSS 의 절대량이 가장 많았다는 측정결과와 함께, 식물성플랑크톤과 같은 여름철 연안의 자생적 유기입자 생성등과 밀접한 관련이 있을 것으로 사료된다.

3.3. COD_T

조사해역의 3년간 COD_T 결과를 Fig. 8에 정리하였다. 3년간의 관측값에서 평균값 기준으로 2009년에 가장 낮은 COD_T 값을 나타냈고, 2010년 가장 높은 COD_T 값을 나타내었다. 계절별로 살펴본 COD_T 측정치에서는 계절별 특이점이 나타났다(Fig. 9). 봄에 가장 낮은 COD_T 값(1.63)을 보였으며, 그 다음이 겨울

(1.89), 그리고 여름(2.07)과 가을(2.19)에 높은 COD_T 값을 나타내었다. 이는 여름과 가을에 생물활동이 활발해짐으로서 플랑크톤과 같은 자생기원 유기물질의 양이 증가한 원인과 강우에 의해 유입되는 육상기원 유기물의 양이 증가하기 때문으로 분석된다. 도암만에서 식물성플랑크톤에 의한 Chlorophyll a 농도가 7월과 9월에 증가한 반면 겨울철에서 봄철까지 감소한다는 연구결과가 발표된 바 있어 자생기원 유기물농도와 여름철 COD_T의 비례관계를 설명해 준다(Lee 등, 2001).

정점별로는 만입구 부분에서 높고 점차 낮아지다가 5번과 6번 정점에서 다시 높아졌다가 다시 감소하였다. 6번 정점의 경우 인근에 선착장이 위치하며, 칠량천의 유입과 인근 저두리 주택지에 위치한 가축축사가 오염원일 가능성이 있다. 8번과 9번 정점의 경우 인근 도암천에 조성된 도암수문으로부터 농업용수가 방류되어 COD_T가 높은 것으로 사료된다. 2010년 8월 실시된 도암수문내 저수용수에 대한 COD 측정값이 8.1 ppm로 매우 높았다(Ahn, 2010). 이처럼 도암만의 경우 만으로 유입되는 하천이 만 전체에 걸쳐 분포하며, 만의 일부를 매립하여 조성한 간척지와 농업용수 공급목적으로 조성된 담수호가 만의 중하부에 위치하고 있어서, 이러한 요소들이 만 전체에 걸쳐 유기물 유입원으로 작용하여 COD_T 농도의 변동에 영향을 미치는 중요한 요인이 되는 것으로 파악된다. 도암만과 유사한 반폐쇄성 만인 순천만의 경우 동천이 유입되는

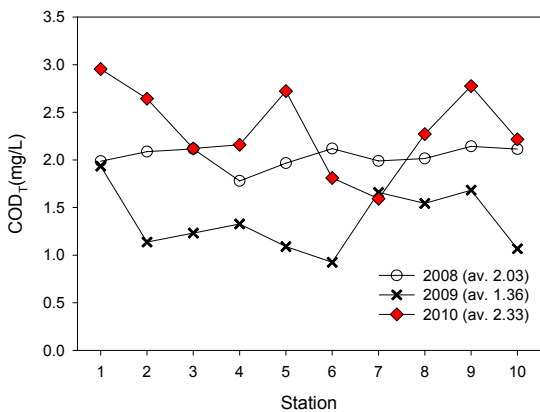


Fig. 8. Stational variation of COD_T in Doam bay during 2008-2010.

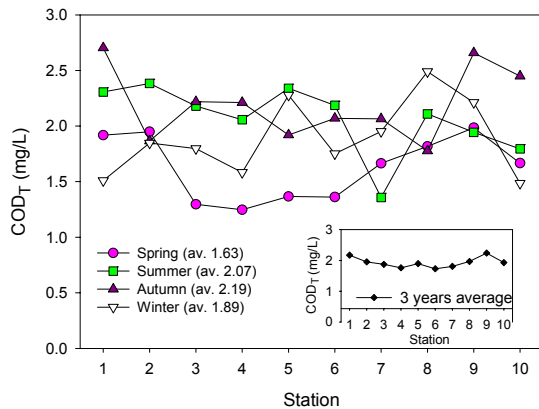


Fig. 9. Seasonal variation of COD_T in Doam bay during 2008-2010.

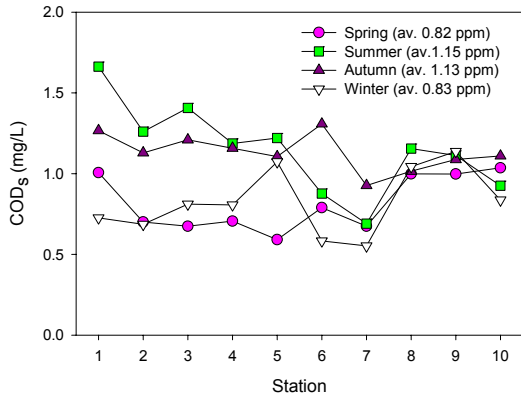


Fig. 10. Seasonal variation of COD_s in Doam bay during 2008-2010.

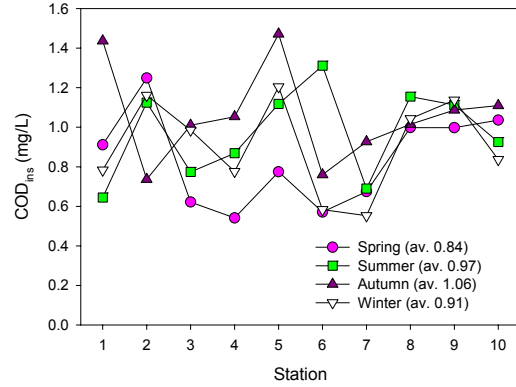


Fig. 11. Seasonal variation of COD_{ins} in Doam bay during 2008-2010.

만 상부에서 COD가 가장 높게 나타난 것과 비교하면, 도암만의 경우는 만전체에 골고루 분포하는 오염원에 대한 관리가 필요함을 시사한다 (Kim 등, 2008).

COD_T 는 SS를 분리하지 않고 시료 전체에 대해 화학적 산화제의 소비량을 측정하는 것이다. SS가 COD와 어떠한 관련성이 있는지 알아보기 위해 COD_T 를 COD_s

과 COD_{ins} 으로 분리하여 자료를 분석하였다. COD_s 는 GF/C를 이용하여 시료의 부유물질을 거른 후 여액에 대해 화학적 산소요구량을 계산한 것이고, COD_{ins} 는 COD_T 에서 COD_s 를 제한 값이다. COD_s 의 경우(Fig. 10) 평균적으로 여름에 가장 높은 농도인 1.15 ppm 을, 다음으로 가을에 1.13 ppm 을 나타내며, 봄과 겨울에

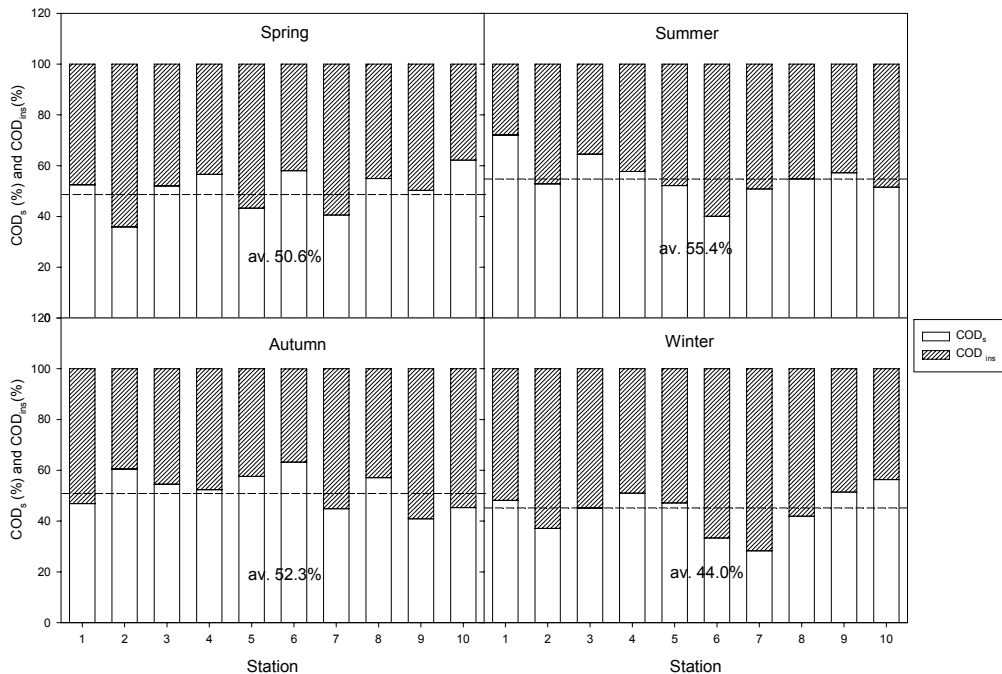


Fig. 12. Seasonal variation of COD_s (%) and COD_{ins} (%) vs. station.

는 각각 0.82 ppm, 0.83 ppm 으로 여름에 가장 큰 값을 나타내었다.

한편, SS가 유발하는 화학적 산소요구량이라고 할 수 있는 COD_{ins} 의 평균값이 가을(1.06 ppm)>여름(0.97 ppm)>겨울(0.91 ppm)>봄(0.84 ppm)의 순으로 농도가 감소하여 COD_s 와 유사한 계절적 경향을 보이나 계절별 편차는 COD_s 에 비해 현저하게 작다. (Fig. 11). COD_T 에서 COD_s 가 차지하는 비율은 여름에 55.4%로 가장 높았고, 겨울에 44%로 가장 낮아, 약 10%의 편차를 보였다. 여름에는 COD_T 에서 용존유기물에 의한 화학적 산소요구량이 차지하는 비율이 높은 반면 겨울에는 부유물질에 의한 화학적 산소요구량의 비율이 상대적으로 높다는 것을 알 수 있었다 (Fig. 12).

3.4. COD와 SS의 상관관계

Fig. 13은 SS와 COD_T 간의 상관관계를 살펴보기 위한 그래프이다. (a)는 도암만 전체에 대한 자료를 분석한 반면, (b)는 SS 영향을 크게 받는 도암만 상부 정점 3지점까지의 자료를 분석한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 COD_T 와 SS간에 상관관계가 없으며 도암만 전체를 대상으로 한 (a)의 경우와 SS가 높게 측정되는 정점 3까지를 조사한 자료(b)에 별 차이가 없음을 알 수 있다. 계절적으로도 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

COD는 주로 유기물의 농도를 나타내는 수질지표이다. 그런데 도암만의 경우 탁도가 높고, 탁도유발 물질은 점토 등의 무기물질과 여기에 부착된 유기물질로 구성되어 있다. COD_T 측정시 시료내 부유물질에 의한 화학적 산소요구량이 같이 측정되므로 COD_T 가운데

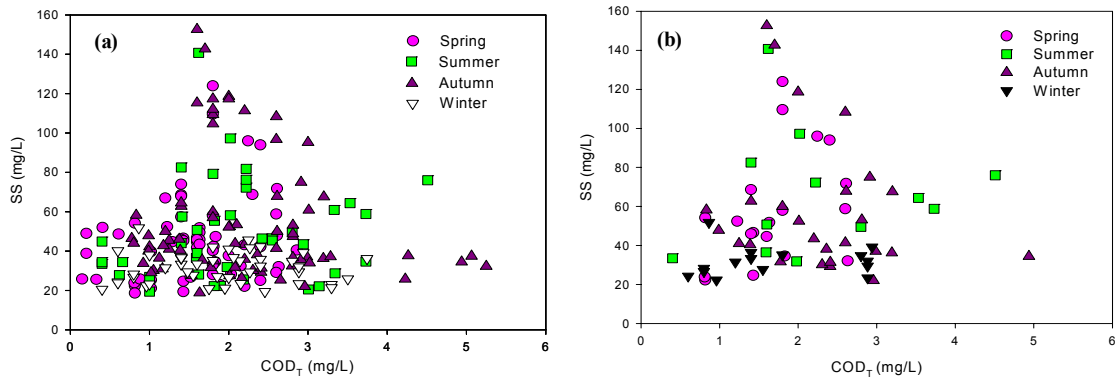


Fig. 13. Relationship of SS with COD_T , (a)Stations 1-10. (b)Stations 1-3.

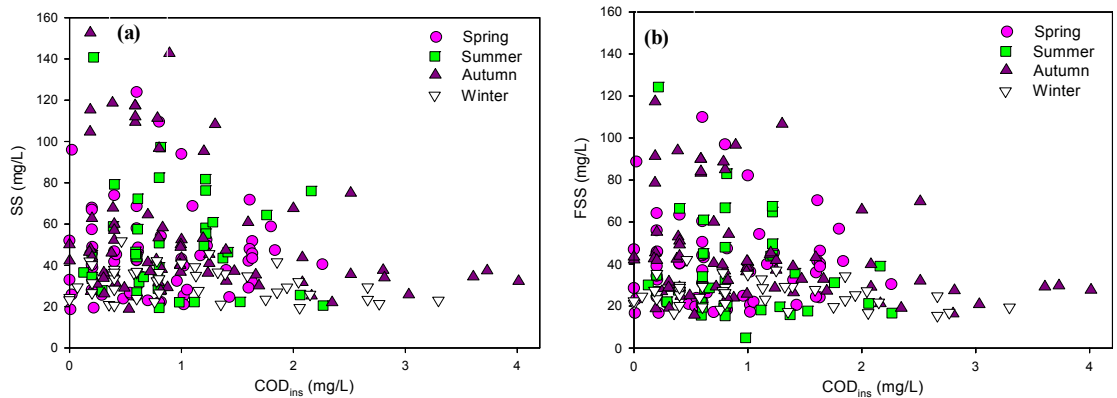


Fig. 14. (a) Relationship of SS with COD_{ins} , (b) Relationship of FSS with COD_{ins} .

SS와 밀접한 관련이 있는 COD_{ms}과 SS와의 상관관계를 살펴볼 필요가 있다. Fig. 14a에 제시한 결과를 보면 COD_{ms}과 SS간의 상관관계가 없는 것을 알 수 있으며 계절적으로도 상관관계는 없었다. 한편, SS 가운데 80%(여름의 경우만 72%) 이상을 차지하는 FSS와 COD_{ms}의 상관관계를 살펴보니 이 또한 계절별로 보나 전체로 보나 상관관계를 찾을 수 없었다(Fig. 14b).

한편, 앞서 3.3 절에서 COD_{ms}의 경우에는 평균값이 가을(1.06 ppm) > 여름(0.97 ppm) > 겨울(0.91 ppm) > 봄(0.84 ppm)의 순으로 농도가 감소하였다. 그런데, COD_{ms}값의 원인이 되는 SS의 경우 겨울에 다른 계절에 비해 약 43% 정도 농도가 감소(가을의 54.8 ppm에서 겨울의 31.4 ppm으로)한다는 것을 고려할 때 겨울철의 COD_{ms} 0.91 ppm 값은 상대적으로 높은 값을 의미한다. 앞서 Fig. 12에서도 겨울철 COD_{ms}의 비율이 가장 높게 나타났었다. 이는 겨울철 부유물질에 화학적 산소요구량을 유발하는 물질의 밀도가 높다는 것을 의미하며 부유물질 단위질량당 COD_{ms}, 즉 COD_{ms}/SS (Fig. 15)의 계절별 추이를 살펴보면 보다 명확히 알 수 있다.

이러한 특징은 유기물의 분해 및 용해도와 수온과의 관련성에 그 원인이 있다고 사료된다. 수온이 낮은 겨울철의 경우 해수 및 갯벌에 유기물을 분해하는 분해자의 밀도가 상대적으로 낮고, 수온도 낮아 부유물에 부착되어 만으로 유입된 유기물들의 분해가 느리게 일어날 것이고, 해수에 대한 유기물의 용해도 또한 낮을 것이다. 이러한 부유물의 계절적 특성은 부유물질의 유입과 퇴적, 이로 인해 형성된 갯벌과 갯벌 서식패류의 생산성에도 영향을 줄 것으로 사료된다.

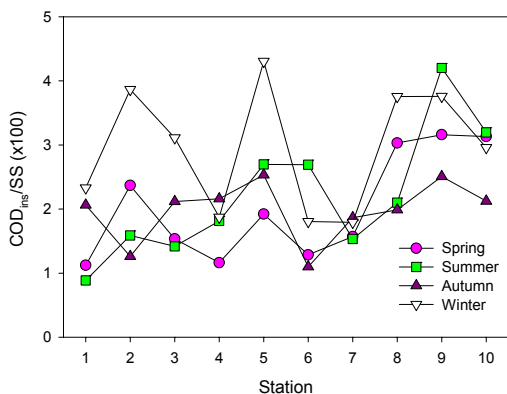


Fig. 15. Seasonal variation of COD_{ms}/SS.

4. 결론

2008년부터 2010년까지 3년 동안 도암만의 10개 정점에서 월별로 측정된 SS와 COD_T 결과, SS의 경우는 수심이 낮은 만의 입구부분 정점들에서 현저히 높은 농도를 나타내었다. 이는 육수에 의해 운반된 퇴적물들이 만의 입구에서 주로 퇴적되며, 수심이 낮아 퇴적물이 재부유하기 때문으로 판단된다. 그러나 이러한 특성은 조사기간 3년 동안 점차 약화되어, 그 원인이 년강수량 증가와 하천으로부터의 탁도물질 유입감소로 추정된다. SS중 강열잔류물질인 FSS가 72% 이상을 차지하였고 VSS는 여름철에 가장 높은 비중을 차지하였다. COD_T의 경우 상부정점에서 더 높은 수치를 나타내지는 않았다. 만의 입구로 유입되는 담수, 만의 중간부분에 조성된 간척지의 농업용수 방류, 선착장, 기타 소규모 하천, 마을 등 비점오염원이 만 전체에 골고루 분포되어 있기 때문으로 파악된다. 부유물질을 제거한 후 측정된 COD_s을 COD_T에서 제한 COD_{ms}를 SS와 비교해보니 두 항목간에 상관관계가 없음을 알 수 있었다. 즉, 부유물질의 양이 많다고 해서 반드시 화학적 산소요구량이 높은 것은 아니라는 것이다. 특히 겨울철의 경우 부유물질의 농도는 가장 낮았지만, 단위 부유물질당 COD_{ms} 농도는 가장 높은 특이점을 보였다.

이번 조사결과는 SS와 COD농도가 항상 상관관계를 갖지 않으며, 해역의 지형적·인문적 특성, 오염원의 분포, 계절적 특성 등, 여러 요인에 의해 복합적인 영향을 받을 수 있다는 것을 의미한다. 따라서, 2011년 개정된 해양환경기준에서 해역의 수질을 판단할 때, 기존의 COD를 제외시키고, SS농도와 관련된 투명도를 해양수질 판단지표로 사용하는 것의 적절성에 대한 심도 있는 재논의가 필요하다고 판단된다.

참고 문헌

Ahn, S. Y., 2010, Evaluation of the bacteriological safety of the shellfish-growing area in doam bay, National fisheries research and development institute.
 Chang, S. G., 2010, Seasonal characteristics of seawater and sediment properties in the Suncheon bay, Master's thesis, Suncheon National University, Suncheon.
 Electronic navigational chart, 2012, Korea hydrographic

- and Oceanographic Administration, http://www.khoa.go.kr/app/geo_chartindex/list.asp?sgrp=A01&siteCmsCd=CM0892&topCmsCd=CM1090&cmsCd=CM2333&pnum=1&cnum=1.
- Joo, H. S., Kim, S. H., Lee, W. B., 2002, Seasonal variation of primary productivity in Gangjin bay, Korean J. Environ. Biol., 20(2), 146-151.
- Kim, S. Y., Jung, K. 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. Wetlands Research, 10(2), 81-96.
- Korea Meteorological Administration, Precipitation data, 2008-2010.
- Lee, P. Y., Kang, C. K., Choi, W. J., Yang, H. S., 2001, Seasonal variation of the quantity and quality of seston as diet available to suspension-feeders in Gosung and Kangjin bays of Korea, J. Korean Fish. Soc., 34(4), 340-347.
- Marine environmental standard, 2011, Marine environment management act, Minister of Oceans and Fisheries. <http://www.meis.go.kr/meis/rest/law/ALL/null/14/1>
- Minister of environment, 2011, Real-time water quality monitoring system, 2008-2010.
- Nam, H. J., Heo, S., Park, S. Y., Hwang, U. K., Park, J., Lee, H. K., 2012, The physico-chemical characteristics in the Garorim bay, Korea, J. Kor. Soc. Mar. Environ. Safety, 18(2), 101-114.
- Real-time water quality monitoring system, Minister of Environment, 2012, <http://water.nier.go.kr/waterMeasurement/selectWater.do>
- Rounds, S. A., Wilde, F. D., Ritz, G. F., 2013, National field manual for the collection of water quality data, chapter A6 field measurement, section 6.2 dissolved oxygen, Techniques of water-resources investigations book 9-A6, USGS. http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/Chapter6/6.2_ver3.pdf
- Shim, J. H., Kahng, S. H., 1986, A comparative study of primary production by using ^{14}C and oxygen methods, J. Oceanol. Soc. Korea, 21(2), 73-84.
- Standard methods for seawater analysis, 2010, Minister of oceans and fisheries, p34 and p50.
- Standard methods for water and waste water, 2011, Minister of environment, ES 04308.1, p167.