

광양만 저질에서의 미량오염물질 분포특성에 관한 연구

한 상 국 · 박 지 영
목포해양대학교 해양환경공학전공
(2006년 1월 30일 접수; 2006년 5월 25일 채택)

A Study on Distribution Property of Micropollutants in Gwang-Yang Bay Sediment

Sang-Kuk Han and Ji-Young Park

Department of Marine Environmental Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea
(Manuscript received 30 January, 2005; accepted 25 May, 2006)

This study investigated the distributive property of micropollutants in sediment around Gwang-yang bay using simultaneous analytical method of 310 chemicals. In the results, the major micropollutants detected were CH type chemicals such as aliphatic, polycyclic compounds, benzenes, and CHN(O) type chemicals aromatic amines, and pesticides. Insecticides of pesticide type were frequently detected at all sampling site. The total concentration of micropollutants were higher in summer than in winter and measured within the range of ND ~ 36.50 μ g/L. Also, because of effect of seomjin river, GY6 of all sampling site detected by the highest concentration, GY10 and 11 located in Gwang-yang outside bay were not detected the micropollutants. From the result of this study, we should estimated that the industrial complex located in Gwang-yang inside bay and an inflow of fresh water through the Seomjin river are major pollution sources of Gwang-yang bay.

Key Words : Micropollutants, Sediment, Simultaneous determination, Pesticides, Aromatic amines, Aliphatic compounds, Polycyclic compounds, Endocrine disrupter

1. 서 론

자연환경이 수려한 광양만 연안 해역은 만 주변의 대소 하천으로부터 풍부한 영양물질이 유입되어 1차 생산력이 높기 때문에 예전부터 생산능력이 좋은 어장으로 이용되어져 왔다^{1,2)}. 그러나 1980년대 이후 광양제철소를 비롯한 발전소 및 산업공단이 만 주위에 건설되어짐에 따라 광양만 유역은 더 이상 어장으로서의 기능을 발휘하기 어렵게 되었다³⁾. 또한, 이들 산업단지에서 배출되어지는 폐수 및 대기오염물질, 그리고 여수, 순천, 광양, 향동 및 남해 등 항구도시들의 인구밀집에 따른 강 하구를 통한 육상오염물질들의 유입으로 광양만내에서 오염인자들의 이동과 축적이 진행되고 있다^{4,5)}. 따라서 광양만의 어장관리 및 환경오염 제어를 위해서 이 지역

에 대한 많은 연구가 진행되어져 왔으나 석유화학 단지의 존재와 같은 이 지역의 특수성 때문에 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs)과 같은 오염물질에 대한 연구가 주로 수행되어졌다⁶⁾. 동시에 하천에 의한 일반적인 오염인자로서 질소와 인 등과 같은 영양염류에 관한 연구들이 진행되었다⁷⁾. 그러나 이러한 연구들만으로는 광양만과 같이 다양하고 복잡한 오염원으로 둘러싸인 연안해역의 수질 환경의 안전성을 확보하기엔 미흡하다. 따라서 연안 해역의 수질오염 특성을 보다 종합적으로 파악하기 위해서 진보적인 분석방법에 의한 database화가 필요하다.

한편, 한⁸⁾ 등은 일본 Kitakyushu환경연구소의 Kadokami박사로 부터 310종 다성분 동시분석법을 확립하여 서·남해안 표층수 중의 오염물질 분포특성을 분석한 결과, 광양만은 주로 CH 및 pesticides 물질들에 의해 오염되어 있음을 확인하였지만 sampling site의 부족으로 광양만의 오염원 및 오염인자의 특성을 판단하기에 미흡하였다.

Corresponding Author : Sang-Kuk Han, Department of Marine Environmental Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea
Phone: +82-61-240-7236
E-mail: skhan@mmu.ac.kr

본 연구는 광양만 연안해역의 오염특성을 종합적으로 판단하기 위해 sampling site를 세분화하였고 만의 특성을 고려하여 오염인자들이 잔류할 수 있는 저질을 환경시료로 선택하였으며 광양만 저질에서의 미량오염물질 분포특성을 연구하여 이 지역의 안전성 확보를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험방법

2.1. 다성분 동시분석법

연안 해역은 육상기원 및 대기 등의 다양한 유입 경로를 통하여 수많은 미량오염물질들을 포함하고 있다. 이러한 다양한 미량오염물질을 동시에 분석할

수 있는 screening tool 개발이 필요하여 일본의 Katokami 등은 1회 주입만으로 310종의 화학물질을 스크리닝 할 수 있는 다성분 동시분석법을 개발·확립하였다^{9,10)}. 이 방법으로 동시분석이 가능한 물질 중은, 73종의 pesticides를 비롯하여 aliphatic compounds 25종, polycyclic compounds 43종, phenols 22종, phthalates 9종 등, 총 310종의 화학물질이며 편이상 조성원소 등으로 분류하여 Table 1에 나타내었다. 이런 화학물질은 한국, 일본, 미국의 환경관련 법령으로 규제되어져 있는 물질을 우선적으로 포함하였고 내분비계교란물질로 추정되는 물질 중 28종이 조사물질에 포함되었다. 또한, 본 실험법의 정확도와 정밀도를 측정하기 위해서 5번의 회수율 평가

Table 1. Summary of the target chemicals

Code 1	Compound	Number	Code 2	Compound	Number	Code 3	Halogenated	Number
A	Compounds consisting of CH	90	1	Aliphatic compounds	25	0 1	No Yes	21 4
			2	Benzenes	16	0 1	No Yes	3 13
			3	Polycyclic compounds	43	0 1	No Yes	41 2
			4	Others	4	0 1	No Yes	
B	Compounds consisting of CHO	52	1	Ethers	8	0 1	No Yes	3 5
			2	Ketones	5	0	No	5
			3	Phenols	22	0 1	No Yes	12 10
			4	Phthalates	9	0	No	9
			5	Others	8	0 1	No Yes	5 3
C	Compounds consisting of CHN (O)	63	1	Aromatic amines	38	0 1	No Yes	23 15
			2	Quinoline	1	0	No	1
			3	Nitro compounds	20	0	No	15
			4	Nitrosamines	3	1 0	Yes No	5 3
			5	Others	1	0	No	1
D	Compounds consisting of CHS (NO)	6				0	No	6
E	Compounds consisting of CHP (NOS)	6	1	Phosphoric esters	6	0 1	No Yes	4 2
F	Pesticides	73	F	Fungicides	16			
			H	Herbicides	20			
			I	Insecticides	37			
Surrogate	Surrogate compounds	15						
IS	Internal standard	5						
	Total	310						

를 수행하였다. 정제증류수 1L에 대상물질과 surrogate물질 0.1 μ g을 주입한 후에 액체-액체 추출농축 후 GC-Ion trap MS로 분석을 수행하였다. 대부분 물질들의 회수율은 80-120% 범위로 나타났으며 평균 회수율은 92.1%였다. 전체 물질에 대한 평균 상대표준편차(RSD, Relative Standard Deviation)는 10.8%로 나타났으며, 전체물질의 81%가 RSD 10% 이내로 측정되었다. 그리고 검출한계(MLD, Method Detection Limit)는 평균 0.036 μ g/L, 기기분석한계(IDL, Instrumental Detection Limit)는 평균 0.008 μ g/L로 나타났다. 이러한 결과로부터 본 실험에서 활용될 다성분 동시분석법은 신뢰할 수 있는 방법으로 판단된다.

2.2. 시료채취

저질용기는 뚜껑 내부가 teflon으로 된 300mL의 유리용기를 사용하였으며, 채취 전 질산과 증류수, methanol, acetone 그리고 dichloromethane 순으로 세척하고 건조하였다. 유기화학물질 분석을 위한 대상 시료는 2004년 9월과 12월에 2회에 걸쳐 광양만 12지점을 선정하여 중력식 코아채니기로 표층퇴적물(0~5cm)을 sampling하였다. Sampling한 시료는 ice box에 담아 운반하였으며 분석 전까지 -20 $^{\circ}$ C에서 차광 보존하였다. 광양만 시료 채취 지점을 Fig. 1에 나타내었다.

2.3. 분석방법

2.3.1. 표준시료

310종 화학물질의 표준시료는 일본 Kitakyushu 환경연구센터의 Kadokami박사로부터 제공받아 적정농도로 희석하여 사용하였다. 310종 표준시료는 Sigma-Aldrich Chemical Co.과 Merch Co. 그리고 Wako Chemical Co.등의 특급시약을 사용하여 hexane이나 acetone 용매에 각 물질의 Stock solution(1000mg/L)을 만든 다음 각 시료들을 혼합하여

표준시료로서 활용하였다. 표준 시료들은 사용하기 전까지 4 $^{\circ}$ C 차광 상태로 보관하였다.

2.3.2. 일반항목 측정

염분, pH는 현장에서 수질측정기(Orion; model 250A)를 이용하여 저층수를 채수하여 직접 측정을 하였다.

2.3.3. 저질 추출법

저질토 시료 10g을 취해 methanol 30mL을 넣고 초음파 추출을 한 후 원심분리하고 상등액을 100mL 분액깔때기로 옮기는 조작을 2회 반복하였다. 여기에 methanol 포화 n-hexane 30mL를 넣고 흔든 후 methanol층을 미리 준비한 5% NaCl 수용액 200mL를 넣어둔 분액깔때기에 넣고 dichloromethane 50mL를 더해 추출하는 조작을 2회 반복하고 추출액을 혼합하였다. 분리한 dichloromethane층을 적당량의 무수황산나트륨(Na₂SO₄)을 넣어 탈수 시킨 후 Kudema-Danish(KD)농축기로 휘발 농축하였다. 마지막으로 1mL hexane층으로 농축한 후 정확한 정량분석을 위하여 내부표준물질(internal standard) 5종 (4-chlorotoluene-d₄, naphthalene-d₈, biphenyl-d₁₀, phenanthrene-d₁₀, perylene-d₁₂)을 첨가하였다. 본 실험에 사용한 기기는 Varian사의 Star 3400CX gas chromatography에 연결된 Saturn 2000 mass detector를 사용하였으며, GC/MS 분석조건은 Table 2와 같다.

Table 2. GC/MS conditions for determining the target chemicals

GC/MS Model	Varian GC 3400 CX
Carrier gas	He (99.999 %)
Column	J&W DB-5MS (5% phenyl-95% methylsilicone) fused silica capillary column, 30m x 0.25mm i.d., 0.25 μ m film
Detector	Saturn 2000 MS
GC	
Injector temp	250 $^{\circ}$ C
Transfer line	280 $^{\circ}$ C
Column temp	temperature programmed 1 min at 50 $^{\circ}$ C, 8 $^{\circ}$ C/min to 300 $^{\circ}$ C, 8 min at 300 $^{\circ}$ C
Injection method	split less, 2 min for purge off time
MS	
Ionization mode	Electron Impact (EI mode)
Scan rate(m/z)	45-500 amu
Background mass	44
Mass defect	0-50/100 amu

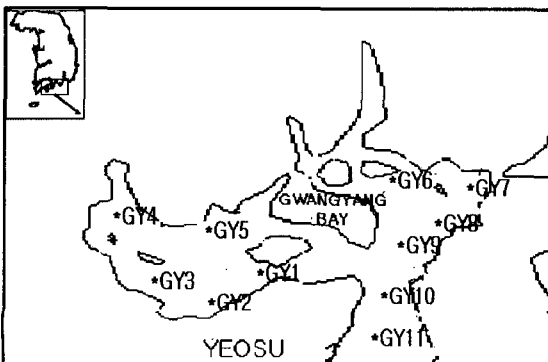


Fig. 1. Sampling sites at Gwang-yang bay.

3. 결과 및 고찰

3.1. 광양만 저층수의 일반 수질(pH, salinity)

2004년 9월 10일 부터 약 10일간 시료채취 지역 에 집중 호우가 내렸으며 동일기간 동안 390mm의 강수량을 나타낸 반면 2004년 12월의 월 강수량은 32mm에 불과하였다. 이러한 강수량의 차이는 연안 해역의 일반수질지표에 영향을 주어 부유물질(SS) 은 9월 10.2, 12월 7.9로 9월에 높았으며 총질소 (T-N)의 값도 9월 0.71mg/L, 12월 0.47mg/L로 9월 에 상대적으로 높은 T-N값을 나타내었다. 또한, 광 양만 저층수 염분도의 평균값은 장마기인 9월의 25.04 psu 비해 갈수기인 12월의 31.28 psu.로 높은 값을 보였다. 이 결과는 신안과 완도해역에서 2004 년 9월 평균 30 psu, 2004년 12월의 34 psu에 비하 여 낮게 나타난 것이며¹¹⁾, pH 또한 12월의 8.27보다 장마의 영향을 받는 9월에 7.59로 낮게 관찰되었다. 이러한 결과들은, 광양만이 섬진강 등의 담수유입에 의한 영향이 다른 연안지역과 비교해 높으며 겨울 철보다는 장마기인 여름철에 그 영향이 최대화 된 다는 것을 간접적으로 시사해 주고 있다.

3.2. 광양만 저질 중에 존재하는 미량오염물질의 화학적 특성

광양만 연안의 12개 지점에서 저질을 sampling하 여 다성분 동시분석법으로 분석한 결과 지점별, 시 기별로 다양한 미량오염물질이 검출되었다. Table 3 에서 각 지점별, 시기별로 검출된 미량오염물질의 분류와 수를 나타내었다.

광양만 저질에서 주로 검출된 미량오염물질은 CH, CHN(O)의 화학적 구조특성을 가지고 있는 물

질과 농약류로 관찰되었다. 그 중 polycyclic com- pounds, aromatic amines, 그리고 pesticides는 각각 최대 8종, 6종, 5종으로 빈번히 검출되는 화학물질 종이었고 benzenes, aliphatic compounds순으로 검 출되었다. 총 미량오염물질의 검출 종수는 2004년 9월에 최소 1종, 최대 17종, 2004년 12월에 최소 0 종, 최대 15종으로 sampling site에 따라 시기별로 다양한 차이가 나타났다. 그러나 GY6 지점은 sam- pling 시기와 상관없이 각각 17종, 15종의 미량오염 물질이 검출되어 타 지점에 비해 가장 많이 검출되 는 지점이었다. 이러한 결과는 광양만 연안해역중 에서 GY6 지점이 담수유입에 의한 육상기원 오염 인자의 영향을 가장 많이 받고 있는 지점이기 때문 으로 판단된다.

한편, 한⁸⁾ 등에 의하면 2003년 8월과 12월, 2004 년 3월과 6월 총 4회에 걸쳐 광양만 표층수를 분석 한 결과 미량오염물질의 총검출수는 각각 22, 22, 27, 23종으로 저질에서 검출된 미량오염물질의 총수 에 비해 다종 검출되었다. 이러한 결과는 해수 중 미량오염물질이 저질에 퇴적되어 가는 과정에서 물 리적, 생물학적 과정에 의해 분해되어지기 때문으로 판단된다.

3.3. 광양만 저질중의 미량오염물질에 대한 총량 적 평가

2004년 9월과 12월 2회에 걸쳐 검출된 미량오염 물질의 총 농도변화를 지점별, 시기별로 분류하여 Fig. 2에 나타내었다. 대부분의 sampling site에서 9 월이 12월에 비해 미량오염물질이 다종 고농도로 저질에 존재하는 것으로 보아 광양만 저질의 오염

Table 3. Kinds of compounds detected at each sampling sites

Compound type	Site	Sep.											Dec.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Aliphatic compounds		2	1	2	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0
Benzenes		2	0	1	0	2	3	2	0	1	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Polycyclic compounds		4	2	3	1	1	5	0	8	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	3	0	0
Ethers		0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Ketones		0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phenols		0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	3	1	0	1	0	0	1	0	0
Phthalates		0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Aromatic amines		0	0	1	6	0	2	1	2	0	0	1	2	0	1	0	0	2	1	0	0	0	0
Quinoline		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitro compounds		2	1	1	1	0	0	0	0	3	0	2	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
Nitrosoamines		0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phosphoric esters		0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Pesticides		3	2	0	1	3	5	0	2	1	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
Others		0	0	1	1	0	0	0	0	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Total No.		13	9	11	14	10	17	3	14	10	3	4	3	0	7	7	0	15	4	0	4	0	0

은 여름철에 집중되는 것으로 보인다. 이러한 결과는 현⁸⁾ 등의 광양만 표층수의 결과와 일치하여 광양만 연안해역의 오염시기가 여름철에 집중되는 것으로 판단된다. 여름철 광양만 저질에서 검출된 미량오염물질의 총 농도범위는 ND ~ 36.50 $\mu\text{g/L}$ 이었으며 여천산단, 광양제철, 그리고 담수유입 영향을 덜 받는 GY7 지점 및 이러한 오염원들로부터 거리상 떨어져 있는 GY9, 10, 11 지점에서의 총 농도 값은 상대적으로 저농도로 관찰되었다. 반면에 육상하천과 인접된 지점(GY6) 및 산업단지와 가까운 GY1, 2, 3, 4, 5 지점에서 미량오염물질의 총 농도 값이 고농도로 관찰되어 여름철 이들 지역에 대한 오염관리가 정확하게 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이러한 지역들은 sampling 시기와 상관없이 미량오염물질이 관찰되어 광양만 연안해역의 오염에 오랫동안 영향을 주었을 것으로 판단된다. 또한 총 농도에서 농약류가 차지하는 비율이 타 오염인자들에 비해 상대적으로 높게 나타나 농약류 화학물질이 광양만 저질의 주 오염인자로 추측되어진다.

3.3.1. 광양만 주요오염물질의 분포특성

3.3.1.1. Pesticides의 분포특성

광양만 저질에 분포하는 농약류는 동강의 영향권에 있는 GY1, 2, 5 지점 및 섬진강의 영향권에 있는 GY6, 8, 9지점에서 주로 관찰되었다(Fig. 2). 그 중에서도 GY6 지점에서 가장 높은 농도로 검출되었으며 GY6 지점으로부터 멀어질수록 저농도로 검출되거나 관찰되지 않았다(GY10, 11지점).

Sampling sites에서 검출된 농약류를 Insecticides, Fungicides, Herbicides로 분류하여 Table 4에 나타내었다. 각 sampling site에서 Insecticides는 10번, Herbicides 7번, Fungicides는 5번으로 Insecticides 중이 광양만 저질 중에서 가장 빈번하게 검출되는 농약류였다. 검출된 Insecticides는 r-HCH 0.68 $\mu\text{g/L}$,

b-HCH 0.88 $\mu\text{g/L}$, isofenphos oxon 3.86 $\mu\text{g/L}$, dichlofenthion 2.43 $\mu\text{g/L}$, cis-chlordane 1.33 $\mu\text{g/L}$ 로 분포하였다. Isofenphos oxon과 dichlofenthion등의 유기인계살충제들이 고농도로 빈번히 검출되는 것은 그들의 방범위한 사용량 때문으로 판단된다. 이들 유기인계살충제는 오탁놀, VC와 같은 농약상품에 들어있으며 벼, 채소 등을 침해하는 각종 병충해의 방제에 사용된다. 또한, HCH류는 우리나라에서 1980년대에 사용이 제한되었지만 b-HCH 등은 난분해성 물질이기 때문에 환경 및 체내에서 자주 검출된다. Fungicides로는 iprobenfos와 edifenphos가 각각 4.57 $\mu\text{g/L}$ 로 검출되었고 이들 또한 유기인계살균제로서 히노산, 키타진과 같은 농약에 포함되어 도열병 등의 방제에 광범위하게 사용되는 물질이다. Herbicides는 molinate 1.76 $\mu\text{g/L}$, simazine 0.78 $\mu\text{g/L}$, terbucarb 0.66 $\mu\text{g/L}$, simetryn 2.32 $\mu\text{g/L}$, esprocarb 2.89 $\mu\text{g/L}$, methyl dymron 1.01 $\mu\text{g/L}$ 로 검출되었다. 검출된 제초제들은 esprocarb, simetryn, molinate 등과 같이 대부분 카바메이트계 제초제들이었으며 이들은 잡초제거에 광범위하고 유용하게 사용되는 물질이다. 광양만에서 검출된 유기인계 및 카바메이트계 농약류들은 유기염소계 농약류에 비해서 환경 중에서 분해가 용이하기 때문에 잔류독성에 대한 문제는 심각하지 않다고 판단되지만 광양만의 안전성 확보를 위해서는 환경 중에서 분해된 대사체들에 대한 안전성 검토가 필요하다고 판단된다.

지점별로 보면 GY6 지점에서 농약류의 검출이 가장 빈번하게 이루어졌으며 특히 Insecticides가 자주 검출되는 특성을 보였다. 또한 GY1과 GY6 지점에서는 Herbicides가 타 지점에 비해서 비교적 자주 검출되는 경향을 보이고 있다. Figure 3에서도 GY 1, 2, 5, 6 지점에서의 농약류 총 농도 값은 타 지점에 비해 상대적으로 높게 나타났으며 특히 여름철에

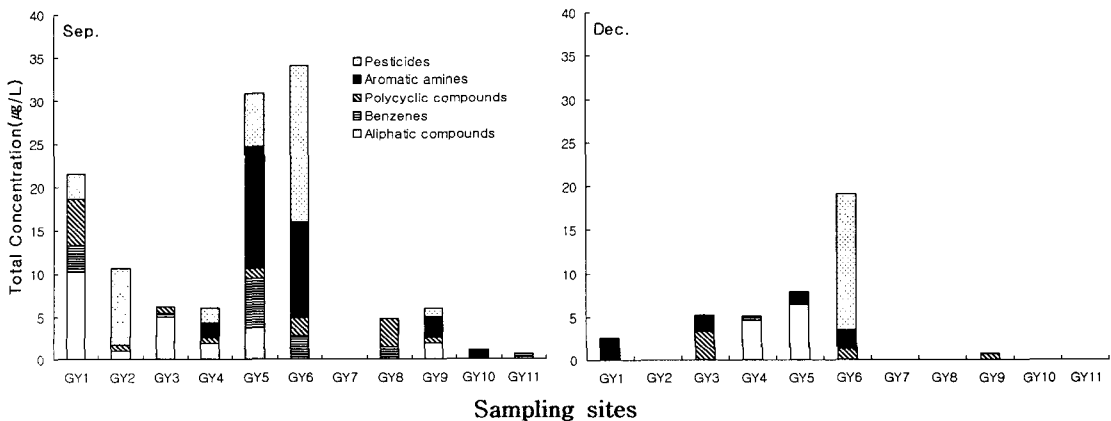


Fig. 2. Total concentration detected at each sampling sites. (GY; Gwang-yang bay)

Table 4. Kind of pesticide compounds detected at each sampling sites

	Insecticides	Fungicides	Herbicides
GY1	0	1	2
GY2	2	0	0
GY3	0	0	0
GY4	0	0	1
GY5	1	1	2
GY6	6	3	2
GY7	0	0	0
GY8	0	0	0
GY9	1	0	0
GY10	0	0	0
GY11	0	0	0
Total	10	5	7

(GY; Gwang-yang bay)

고농도로 검출되었다. 이러한 결과는 여름철 우기에 섬진강, 동강의 하천수가 광양만으로 다량 유입되면서 육상 하천환경에 노출된 농약류들을 연안 해역으로 운반하기 때문으로 판단된다. 따라서 이러한 농약류로부터 광양만 연안 해역을 보호하기 위해서는 연안 해역으로 유입되는 하천수의 지속적이면서 철저한 관리가 필요하다.

3.3.1.2. Polycyclic compounds에 의한 오염

각 sampling site에서 광양만 저질 중 polycyclic compound의 검출농도범위는 ND ~ 5.32 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났으며 여름철에 GY1, 6, 8 지점에서 타 지점에 비해 높게 검출되었다(Fig. 4). 또한 광양만 내만해역(GY1 - 9)의 저질 중에서 관찰되었던 polycyclic compounds는 광양만 외만해역(GY10, 11)에서는 관찰되지 않았다. 이러한 결과들은 광양만 내만해역에 인접하고 있는 산업단지 영향에 의한 것으로 판단된다. 또한 대부분의 저질 sampling sites에서 겨울

철보다는 여름철에 다종 고농도로 관찰되는 것은 표층수의 분석결과⁸⁾와 일치하였으며 polycyclic compounds중에서도 2-isopropyl-naphthalen은 2.69 $\mu\text{g/L}$ 로 높게 검출되어 오염발생원 관리가 보다 철저히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

3.3.1.3. Aliphatic compounds에 의한 오염

각 sampling site에서 검출된 aliphatic compounds의 총 농도 값을 Fig. 5에 나타내었다. 여름철의 검출농도범위는 ND ~ 10.22 $\mu\text{g/L}$ 이었으며 대부분의 지점에서 10 $\mu\text{g/L}$ 이하의 낮은 농도로 분포되었다. 지점별로 보면, 석유정제공장이 밀집되어 있는 GY1 - 5 지점에서 aliphatic compounds의 대부분이 검출되었으며 이러한 결과는 석유의 주성분이 지방족 탄화수소류로 이루어져 있기 때문으로 판단된다. 겨울철에는 GY4, 5 지점을 제외하고 대부분의 지점에서 aliphatic compounds가 검출되지 않았다. Aliphatic compounds가 저질에서 낮은 농도로 검출되거나 존재하지 않는 것은 대부분의 물질이 환경 중에서 반감기가 짧기 때문인 것으로 판단되지만 석유정제공장이 밀집되어 있는 곳에 대부분 분포하고 있기 때문에 광양만의 안전성을 확보하기 위해서는 이들 산업단지로부터의 유입을 차단해야 될 것으로 판단된다.

3.3.1.4. Benzene류에 의한 오염

광양만 저질에서 검출된 주요 미량오염물질 중 Benzene류의 총 농도를 Fig. 6에 나타내었다. 여름철에 Benzene류는 모든 지점에서 ND ~ 5.76 $\mu\text{g/L}$ 의 농도범위로 검출되었으며 GY5 지점에서 가장 높게 관찰되었다. 겨울철에는 GY4 지점을 제외한 모든 지점에서 관찰되지 않았다. Benzene 종류별로는 1,4-dichlorobenzene 0.35 $\mu\text{g/L}$, pentamethylbenzene 0.58 $\mu\text{g/L}$ 등이 검출되었다. 이러한 결과들은 Kadokami⁹⁾ 등이 조사한 Kitakyushu 연안해역 저질에서의 검출

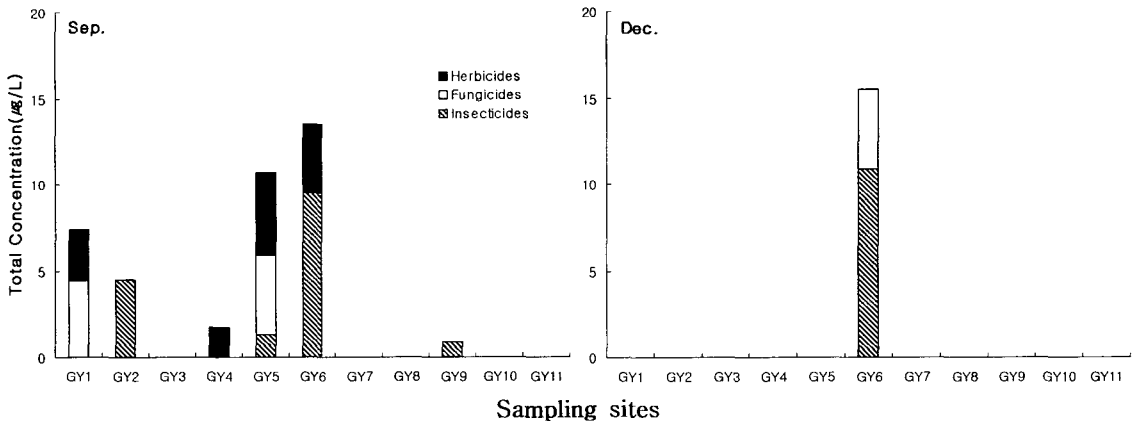


Fig. 3. Total concentration of pesticides at each sampling sites. (GY; Gwang-yang bay)

광양만 저질에서의 미량오염물질 분포특성에 관한 연구

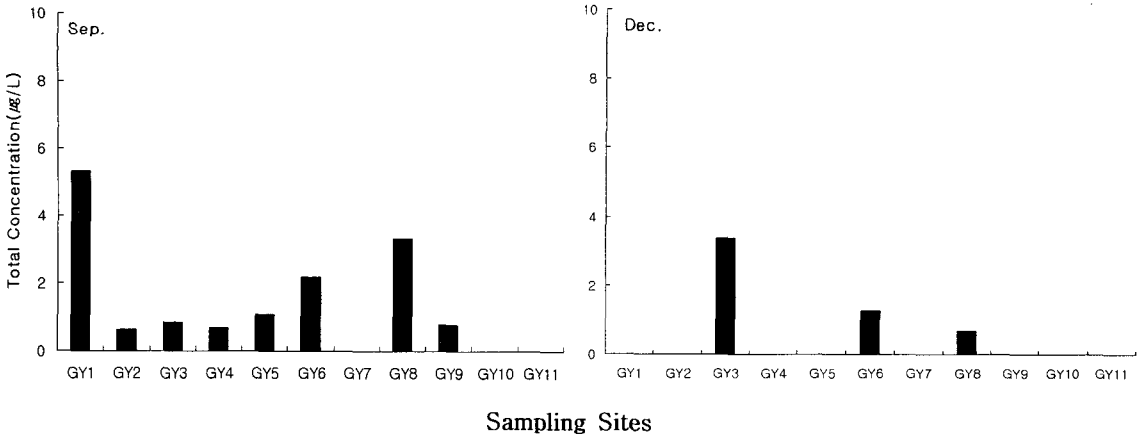


Fig. 4. Total concentration of Polycyclic compounds at each sampling sites. (GY; Gwang-yang bay)

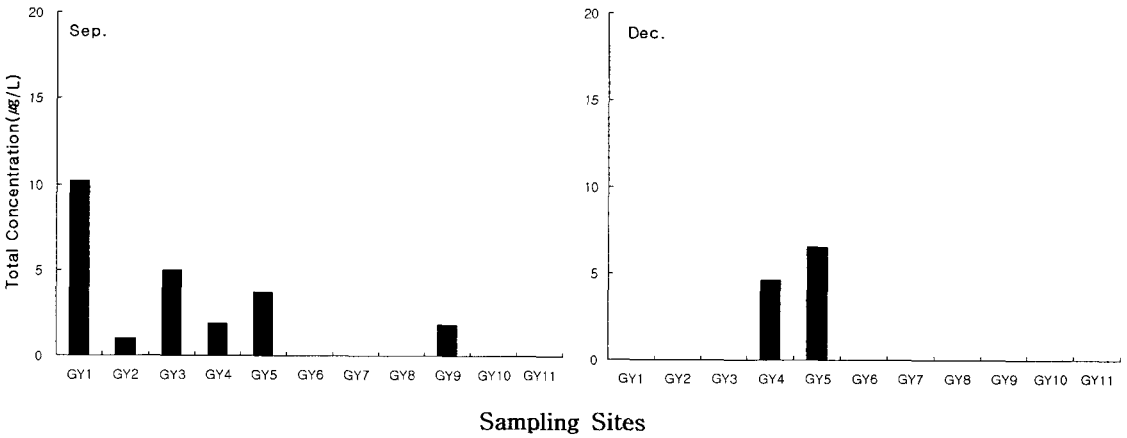


Fig. 5. Total concentration of aliphatic compounds at each sampling sites. (GY; Gwang-yang bay)

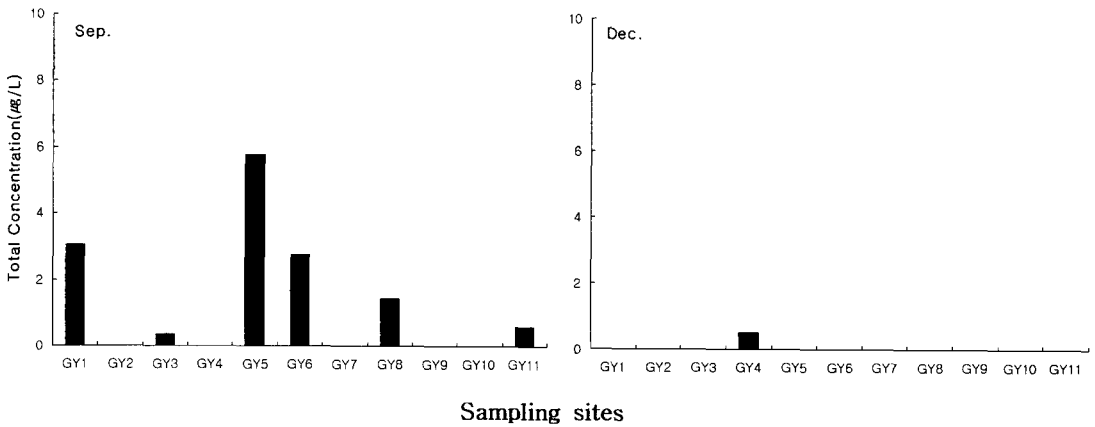


Fig. 6. Total concentration of Benzenes at each sampling site. (GY; Gwang-yang bay)

농도와 비교해 2배 정도 높게 검출되었다. 한편, 1,4-dichlorobenzene은 GY1, 5, 6 지점에서 관찰되어 이 지역에서의 chlorobenzene류의 오염원 존재 가능성이 높다고 판단된다.

3.3.1.5. Aromatic amines에 의한 오염

Fig. 7은 광양만 저질에서 검출된 Aromatic amines의 총 농도 값을 표시한 것이다. 지점별 검출농도 범위는 ND ~ 14.15µg/L로 나타났으며 o-toluidine을 포함

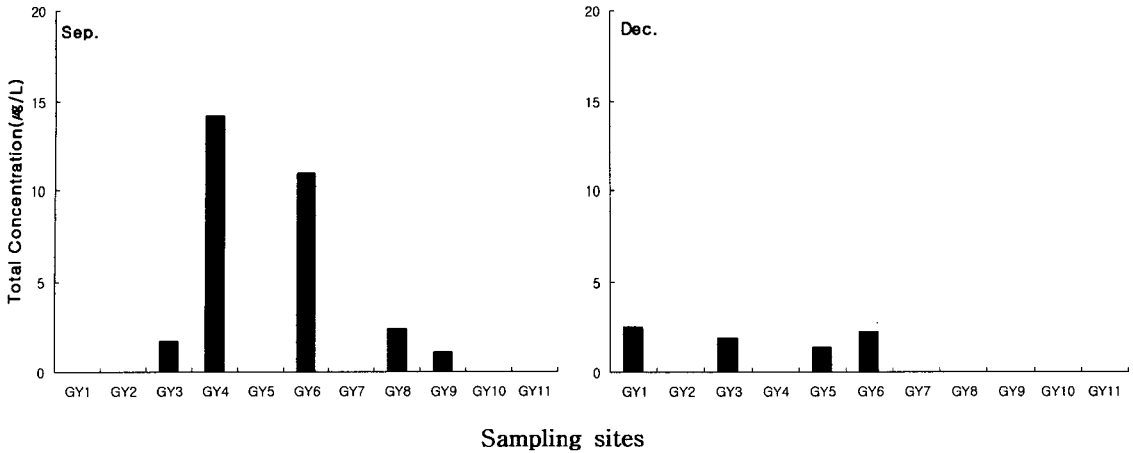
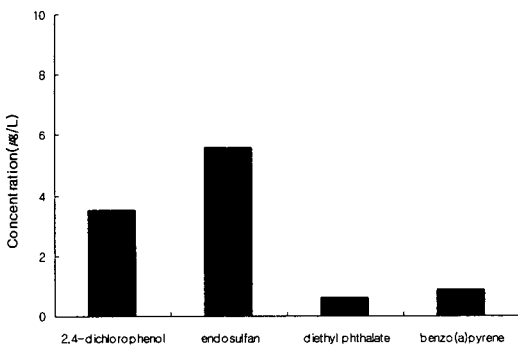


Fig. 7. Total concentration of Aromatic amines at each sampling sites. (GY; Gwang-yang bay)

하여 p-anisidine, 2,4-dichloroanilin 등 총 15종이 검출되었다. 여름철 G4 지점 14.15µg/L, G6 지점 10.95µg/L로 sampling sites 중에서 가장 고농도로 관찰되어 이 지점에서의 amines 발생원 존재가 의심되어진다. 또한, 본 실험에서 1.24µg/L로 검출된 aniline은 유독성으로 분류되는 물질이기 때문에 미량으로 존재하여도 해양 생태계에 악영향을 줄 가능성이 높다.

3.3.2. 내분비계 교란물질의 분포 특성

광양만 저질에서 검출된 내분비계 교란물질은 phenols, pesticides, phthalates, polycyclic compounds에서 각각 1종씩 총 4종이 검출되었으며 GY6 지점에서는 4종 전부 관찰되었다. 광양만 연안 해역 저질 중 검출된 내분비계 교란물질의 농도를 Fig. 8에 나타내었다¹²⁾. GY6지점은 2,4-dichlorophenol 3.52µg/L을 포함하여 endosulfan 5.78µg/L, benzo(a)pyrene 0.84µg/L 등 총 10.52µg/L이 검출되었다. 내분비계 교란물질들



Endocrine disrupters

Fig. 8. Concentration of Endocrine disrupters in Gwang-yang Bay.

은 극미량에서도 양성반응을 나타내므로 광양만 연안 해역을 보호하기 위해서 이러한 내분비계 교란물질을 규제할 수 있는 관계법들이 확립되어야 할 것이다. 또한, GY6 지점에 영향을 주는 육상기원 오염원들을 관리하여 내분비계교란물질로부터 연안 해역을 보호해야 할 것이다.

4. 결 론

다성분 동시분석법을 본 연구에 적용하여 광양만 연안 해역 저질 중 미량오염물질의 분포특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 광양만 연안해역의 저질을 2004년 9월, 12월 2회에 걸쳐 관찰한 결과 최소 1종에서 최대 17종의 미량오염물질이 검출되었다. 검출된 미량오염물질의 종은 sampling sites에 따라 시기별로 많은 차이가 나타났다.
- 2) 광양만 저질에서 검출된 미량오염물질은 CH, CHN(O), pesticides의 화학적 구조 특성을 가지고 있으며 광양만 연안 해역 중 담수유입에 의한 영향을 가장 많이 받고 있는 GY6 지점에서 미량오염물질이 다종 고농도로 관찰되었다.
- 3) 광양만 연안 해역 저질의 미량오염물질은 여름철에 집중적으로 관찰되었다.
- 4) 광양만 연안 해역 저질에서 검출된 미량오염물질의 총 농도 중 농약류가 차지하는 비율이 타 오염인자들에 비해 상대적으로 높게 나타났으며 특히 농약류 중 Insecticide류가 가장 빈번하게 검출되었다. 지점별로 보면 GY2, GY6 지점의 농약류 총 농도 값은 타 지점에 비해 상대적으로 높게 나타났으며 특히 여름철에 고농도로 검출되었다.
- 5) Sampling sites 중 산업단지가 밀집되어 있고 담수 영향을 받는 GY1-6 지점에서 미량오염

물질이 집중적으로 관찰되었고 광양외만(GY 10, 11 지점)에서는 미량오염물질이 검출되지 않았다.

- 6) 광양만 저질 중 내분비계 교란 물질은 pesticides, phenols, phthalates, polycyclic compounds에서 각 1종씩 총 4종이 검출되었다. 특히 GY6지점에서 2,4-dichlorophenol 3.5 μ g/L을 포함하여 총 4종이 8.46 μ g/L의 농도로 검출되어 타 지점에 비해 다종 고농도로 관찰되었다.

이상의 결론으로부터, 광양만 연안해역의 미량유기물질에 의한 오염발생은 광양만내에 위치하고 있는 공장 및 섬진강 등을 통한 담수유입 등이 영향을 미치며 광양만 내해에만 영향력이 미치는 것으로 확인되었다.

참 고 문 헌

- 1) 정우건, 조상만, 김용술, 김무찬, 2003, 광양만 저수온기 해양화학환경 특성, 해양산업연구소논문집, 16, 193-199.
- 2) 이종섭, 이문옥, 박일홍, 이삼노, 1997, 광양만권 개발에 따른 해양환경의 변화, 대한토목학회 학회발표회 논문집, 473-476.
- 3) Magi, E., R. Bianco, C. Ianni and M. D. Carro, 2002, Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Adriatic Sea, Environmental Pollution, 119(1), 91-98.
- 4) 한국해양연구소, 2000, 해양환경 관측 및 개선을 위한 기반기술연구, BSPE 00787-00-1297-1, 57-66.
- 5) 환경부, 2000, 내분비계 장애물질 조사연구사업 결과보고서, 국립환경연구원보, 115-122.
- 6) Nam, J. J., B. H. Song, K. C. Eom, S. H. Lee and A. Smith, 2003, Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in South Korea, Chemosphere, 50, 1281-1289.
- 7) 김성수, 고우진, 조영조, 이필용, 전경암, 1998, 1996년 여름철 남해 표층수의 이상 저염수 현상과 영양염류의 분포특성, 한국해양학회지, 3(3), 165-169.
- 8) 한상국, 박지영, 이문희, 2005, 서남해 연안해역의 유기오염물질 분포특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 14(6), 597~603.
- 9) Kadokami, K., K. Sato, Y. Hanada, R. Shinohara, M. Koga and S. Shiraishi, 1995, Simultaneous determination of 266 chemicals in water at ppt levels by GC-Ion trap Ms, Anal. Sci., 11, 375-384.
- 10) Kadokami, K., K. Sato, M. Koga and R. Shinohara, 1995, Simultaneous determination of 285 chemicals in water at ppt levels by GC-Ion Trap mass spectrometry, Anal. Sci. Technol., 8, 771-778.
- 11) 김은영, 정홍호, 정호승, 조익환, 황주찬, 최상원, 2004, 광양만으로 유입하는 하천구에서의 이화학적 특성, 한국환경과학회지, 13, 789-798.
- 12) 식품의약품안전청 국립독성연구소, 2003, 내분비계장애(추정)물질 독성자료집, 112-189.