한국해양환경공학회지
Journal of the Korean Society
for Marine Environmental Engineering
Vol. 7, No. 2. pp. 104-110, May 2004

광양만 주변해역의 표층퇴적물 중 Bisphenol A의 오염에 관한 연구

조현서[1,†] · 김용옥[1] · 신태선[2] · Toshihiro Horiguchi[3]
[1]여수대학교 해양시스템학부
[2]여수대학교 식품공학영양학부
[3]Environmental Chemistry Division, National Institute for Environmental Studies

A Study on the Pollution of Bisphenol A in Surface Sediment around Gwangyang Bay

Hyeon-Seo Cho[1,†], Yong-Ok Kim[1], Tai-Sun Shin[2] and Toshihiro Horiguchi[3]
[1]*Division of Ocean System, Yosu National University, San 96-1, Dundeok-Dong, Yeosu 550-773, Korea*
[2]*Division of Food Technology and Nutrition, Yosu National University, San 96-1, Dundeok-Dong, Yeosu 550-773, Korea*
[3]*Environmental Chemistry Division, National Institute for Environmental Studies, 16-2, Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan*

요 약

본 연구는 광양만과 여수해만에서 표층 퇴적물 중 비스페놀 A(BPA)의 오염 특성을 평가하기 위하여 1999년 10월, 2000년 2월, 5월 그리고 2000년 8월에 15개 정점에서 연구를 실시하였다. 표층 퇴적물 중 BPA는 0.46~24.59 ng/g dry wt.의 변동범위를 보였다. BPA의 계절별 평균 농도는 전체적으로 비슷하게 나타났으며, 평균 농도의 변동범위는 2.53 ng/g dry wt. 이하를 보였다. BPA의 수평분포는 계절별로 농도 값은 다소 차이가 있으나 여수해만에 비하여 광양만 퇴적물에서 비교적 높은 농도를 보였다. 또한 산업폐수와 도시하수의 영향을 크게 받는 하천 퇴적물의 조사결과 BPA는 연등천에서 농도가 높았다. TOC의 계절별 변동범위는 전계절에 걸쳐 0.09~1.65%로 나타났으며, 섬진강 하구에서 0.09%로 낮은 함량을 보였다. BPA와 TOC의 상관계수는 0.095로 상관관계가 거의 없었다.

Abstract – This study was carried out to survey the pollution of bisphenol A(BPA) and total organic carbon(TOC) in surface sediments around Gwangyang bay. BPA is suspected chemicals as endocrine disruption. Gwangyang bay is located on the mid south coast of Korea. It is a semi-closed bay which Yeosu petrochemical industrial complex, POSCO(Pohang Steel Company) and Gwangyang container harbor are located. The surface sediments were collected at 15 stations with gravity corer at October, 1999, February, May and August, 2000. Also, the stream and intertidal sediment were collected at 5 sites at August, 2000. Concentrations of BPA in surface sediments were in the range of 0.46 to 24.59 ng/g dry wt.. Seasonal range(mean value) of BPA are 0.59 to 9.00(1.88) ng/g dry wt. at October, 0.99 to 2.97(1.57) ng/g dry wt. at February, 0.46 to 24.59(2.53)ng/g dry wt. at May and 0.54 to 2.46 (1.29)ng/g dry wt. at August. BPA was seasonally fluctuated, and the highest mean value and range were detected at May, 2000. BPA was highly distributed in the inner part of Kwangyang bay than Yosu sound. Concentrations of BPA in stream and intertidal sediments showed the highest value in downstream near Yochon petrochemical industrial complex and Yondung stream. It suggests that the source of BPA are industrial wastewater and municipal sewage. TOC in surface sediments were in the range of 0.09~1.22%. There was no any correlation between the BPA and TOC.

Keywords: Bisphenol A(비스페놀A), Pollution(오염), Sediment(해양퇴적물), Gwangyang Bay(광양만)

†Corresponding author: hscho@yosu.ac.kr

1. 서 론

본 연구는 최근 내분비계 장애물질의 오염이 보고되고 있는 광양만 주변해역에서 비스페놀 A(Bisphenol A, BPA)의 오염에 대한 연구결과이다. BPA는 폴리카보네이트(65%), 에폭시(25%),불포화 폴리에스테르 스티렌과 부식방지물질에 사용되는 단량체로서 캔의 내부코팅, 파이프 강화제, 접착제, 바닥재료(flooring), Water main filters, 인공 치아, nail polish과 음식 포장재료에 이용되는 것으로 알려져 있다(Knaak and Sullivan[1966]; Patent[1974]; Patent[1975]; Patent, Chemical[1997]; European[1999]).

BPA의 생분해는 28일 동안 1% 정도가 분해되었고(Stone and Watkinson[1983]), 반면 BPA를 함유한 폐수를 처리하는 생물 반응조 및 그 처리수가 방류되는 하천수에서는 쉽게 분해되는 것으로 보고되었다(Dorn et al.[1987]).

BPA 오염에 관한 연구는 실험실에서 발암성, 독성 또는 estrogenic 작용에 관한 연구가 대부분이며, 해양환경중의 기초조사는 미비한 편이다. 국내의 BPA에 관한 연구 결과로서 Khim 등[1999]은 마산만에서 BPA는 2.70~50.3 ng/g dry wt.의 농도를 보이고, 해양으로 유입되는 하천에 가까운 지점에서 농도가 높다고 보고하였으며, 국립환경연구원[2000]의 내분비계장애물질에 관한 기초조사 결과 BPA는 전국 7지점의 하천 저질에서 ND~5.7 ng/g의 농도를 보고하고 있다.

따라서 본 연구에서는 최근 잔류 유기인 농약, TBT 및 PAHs와 같은 미량 유기오염물질의 오염이 보고 되고 있는 광양만(박점순[1995]; 설순우[1999]; 유영석[2000])과 여수해만에서 표층퇴적물 중 BPA의 오염현황을 파악하여 광양만의 미량 유기오염물질의 오염특성을 파악하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구지역

본 연구대상인 광양만은 광양, 남해도 그리고 여수반도로 둘러싸여 있고, 만 중앙에 묘도가 위치하고 있는 반 폐쇄적인 만으로 주변에는 광양제철과 여수국가산업단지가 위치하고 있어 산업폐수가 유입되고 있으며, 인근유역의 동천, 서천, 수어천 그리고 섬진강으로부터 하천수가 유입되고 있다. 섬진강을 통하여 가장 많은 담수가 유입되고 있으며, 하천수의 유입량은 약 23 ton/sec이다(건설부[1975]; 건설부[1976]; 건설부[1979]; 건설부[1980]). 광양만의 조석은 1일 2회 반일주조이며, 조석주기에 따라 왕복성의 조류가 흐르고, 조차는 중 조차의 범위에 속한다(포항종합제철[1982]) 광양만은 묘도에서 만 안쪽으로 갈수록 유속과 입도가 감소하는 현상을 보이며, 점토함량은 증가한다. 이러한 점토 퇴적물은 주변의 소규모 하천으로부터 주로 공급되며, 섬진강과 외해로부터 일부 공급되어 퇴적된다(최정민[1997]).

여수해만은 서쪽으로 여수반도와 돌산도, 동쪽으로 남해도에 의해 형성된 해협으로서 북쪽으로 광양만과 남쪽으로 남해와 연결되고, 여수반도와 돌산도 사이의 좁은 수로를 따라 가막만과 연결된다. 여수해만은 섬진강으로부터 유입된 퇴적물이 일부는 퇴적되고 나머지는 낙조류의 영향으로 여수해만을 통해 남해 대륙붕으로 운반되며, 반대로 창조류에 의한 세립질 퇴적물이 여수해만을 통해 유입되어 유속이 약한 광양만 남서부지역에 퇴적된다(박용안 등[1984]; 김승우 등[1986]; 김길영 등[1994]). 조 등[2000]은 묘도 안쪽해역 퇴적물에서는 여수해만보다 오염부하량이 높고 해수유동이 낮아 세립 성분이 높아짐에 따라 유기탄소 함량이 증가한다고 보고하였다.

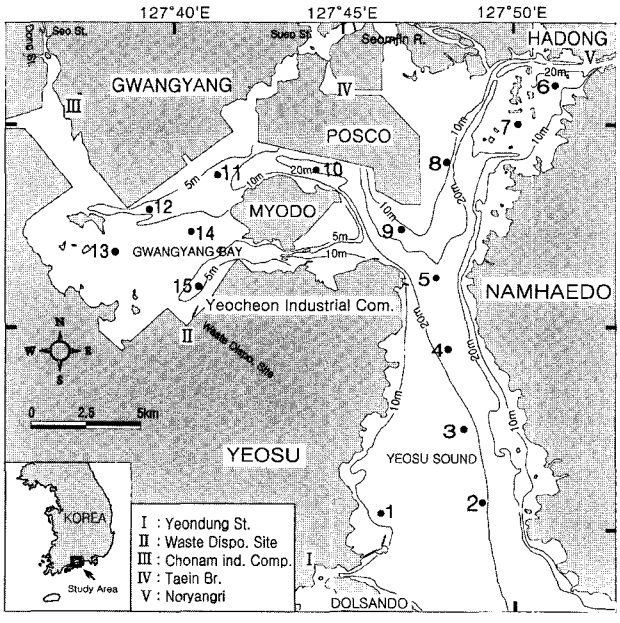
2.2 시료채취

본 연구를 위한 표층 퇴적물 시료는 광양만과 여수해만 총 15개 정점에서 1999년 10월 26일, 2000년 2월 17일, 5월 24일, 8월 30일 4회에 걸쳐 15개 정점에서 중력식 코아채니기를 이용하여 표층퇴적물(0~5 cm)을 채취하였다. 그리고 8월에는 하천으로부터의 영향을 파악하기 위해서 광양만과 여수해만으로 유입되는 주요 하천의 하류와 인근 연안역에서 조간대 퇴적물을 5개 정점에서 채취하였다(Fig. 1). 채취한 시료는 경질유리병에 담고, 즉시 아이스박스에 보관하여 실험실로 옮겨 분석 전까지 -20°C 이하로 냉동 보관하였다.

2.3 분석방법

2.3.1 BPA 전처리 방법

BPA전처리는 에틸유도체화법(1998)에 의하여 분석하였다. 추출에 사용된 유기용매는 잔류농약 분석용 등급(Pesticide grade)인 Acetone, Dichloromethane, n-Hexane, Methanol, 및 Ethanol을 사



1~15 : surface sediment, Ⅰ~Ⅴ: stream sediment.

Fig. 1. Map showing the sampling stations.

용하였고, 추출하기전 모든 초자기구는 증류수와 순수로 세척한 후 420°C 이상의 고온으로 3 hr 이상 가열하여 초자기구로부터의 오염을 제거하였다.

퇴적물 시료 5~10 g을 원심관에 취해 Methanol 30 ml를 넣고, 초음파추출을 한다. 그 후 원심분리하여 상등액을 100 ml 분액깔대기로 옮긴다. 이 조작을 2회 반복한다. 여기에 Methanol 포화 n-Hexane 20 ml를 넣고 흔든 후 Methanol 층을 미리 준비한 5% NaCl 수용액 200 ml를 넣어둔 분액깔대기에 넣고, Dichloromethane 50 ml를 더해 추출한다. 이 조작을 1회 반복하여 추출액을 합한다. 이 추출액에 초순수 50 ml를 넣고 물세척한다. Dichloromethane 층을 Na_2SO_4으로 수분을 제거하고, 농축한다. 여기에 내부표준물질(5 ppm) 0.5 μg/ml를 넣고 N_2가스로 건고한다. 여기에 1N-KOH Ethanol 용액 0.5 ml를 넣고, 다음에 Diethyl Sulfate 0.2 ml를 넣어, 실온에서 10분간 방치한다. 여기에 1N-KOH Ethanol 용액을 넣어 5 ml를 표선까지 채운 후 마개를 닫고, 70°C에서 1 시간동안 탕욕한다. 탕욕 후 실온까지 방냉한 시료에 8 ml의 표선까지 순수를 넣고 잘 흔들어 고형물을 녹인다. 여기에 n-Hexane 1.0 ml를 넣어 추출하여 농축한다. 이 농축액에 4% Diethyl Ether/n-Hexane 10 ml를 넣어 Florisil Cartridge에 통과시키고 최초의 용출액 8 ml를 채취한다. 용출된 4% Diethyl Ether/n-Hexane에 N_2가스를 불어넣어 0.5 ml까지 농축하여 측정용 시료용액으로 한다(Fig. 2).

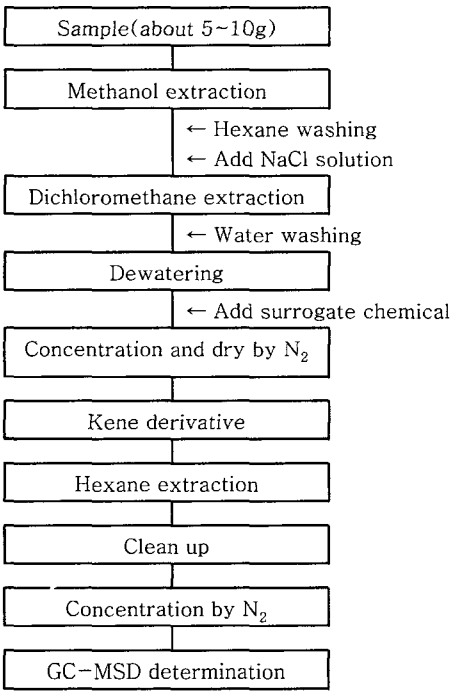


Fig. 2. Pretreatment procedure of the surface sediment sample.

퇴적물의 함수율은 퇴적물 5~10 g을 105°C에서 24 hr 건조한 후, 건조전 습시료량과 건조후 건시료량의 무게차로 함수율을 측정하였다.

2.3.2. 검출방법

검출기기는 Shimazu제 GC-MS(Model GC-17A, QP-5050A)를 이용하였다. Column은 모세관 칼럼(Capillary column) 007-5를 사용하였으며, 칼럼 내경은 0.25 mm, 필름 두께는 0.25 μm, 길이는 25 m이고, 5% methyl, 95% phenyl silicone으로 코팅된 것을 사용하였다. 칼럼 승온 조건은 초기에 60°C에서 1분 동안 유지 후 250°C까지 1분당 15°C로 상승하였고, 250°C에서 10분을 유지한 후 종료하였다(Table 2). 시료 주입방법은 Splitless Mode(비분할 주입법)로 하였고, 운반기체는 헬륨(He: 99.999%)을 사용하여, 분당 1.3 ml로 흘려주었다(Table 2).

검출방법은 특정 질량의 이온만을 선택하여 검출하는 방법인 SIM(Selected Ion Monitoring) Mode를 이용하였다. 시료의 각 성분의 머무름 시간(Fig. 3)과 피크의 면적을 표준물질과 내부표준물질(BPA-d16)의 면적비를 작성한 검량선과 비교하여 정성분석 및 정량분석을 수행하였다. 각 성분의 정량분석시 정량이온과 확인이온의 질량을 Table 3에 나타내었다.

Table 1. The molecular structure, formula and weight of BPA

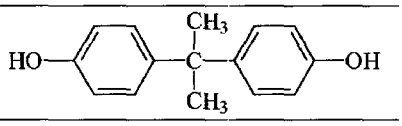
	BPA
Molecular Structure	
Molecular formula	$(CH_3)_2C(CH_4OH)_2$
Molecular weight	228.29

Table 2. Analytical conditions of GC-MSD

Item	Condition
Detector	Shimadzu GC-MSD (Model GC 17A, MS QP-5050A)
Column	Silica capillary column 007-5(Quadrex Co.) 25 m×0.25 mm I.D. 0.25 μm film thickness (5% methyl, 95% phenyl silicone)
Carrier gas	He 99.999%
Carrier gas pressure	51.8 kPa
Injector temperature	250°C
Transfer line Temperature	280°C
Initial temperature	60°C (1 min)
Temperature rate	15.0°C/min
Final temperature	280°C(10 min)

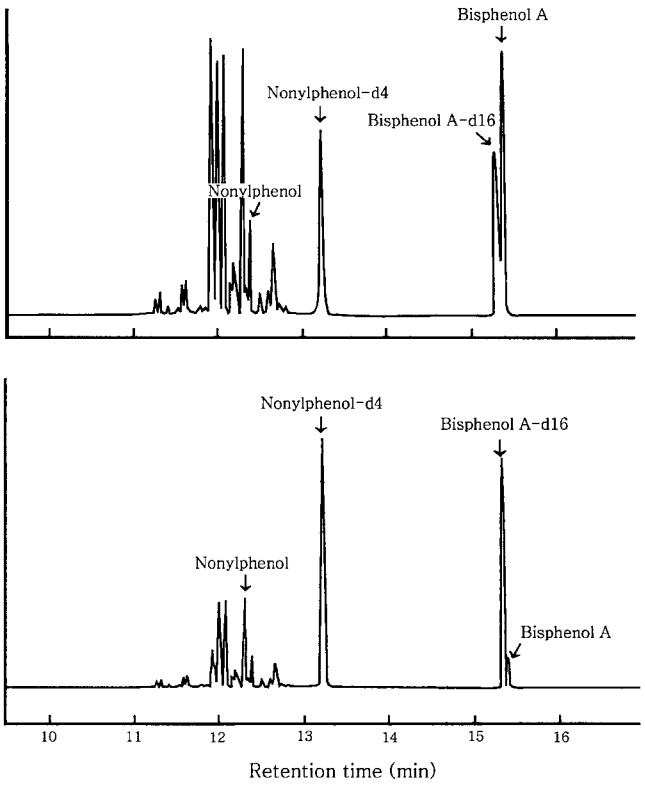


Fig. 3. GC-MSD chromatogram of BPA (upper: standard 10 ppm, lower: sample).

Table 3. Key ion and retention time of BPA and surrogate chemicals

Material	Key ion (*m/z*)		Retention time
	Quantitative ion	Reference ion	
BPA	269	284	15.49
BPA-d16	280	295	15.43

2.3.3. TOC 전처리 방법

퇴적물중 유기물량을 직접 측정하는 방법으로 유기물 연소로 인해 발생되는 이산화탄소를 측정하는 TOC meter로 분석하였다 (小林和子[1986]).

시료 전처리는 퇴적물 시료 약 3~5 g을 110℃에서 건조한다. 건조한 시료 약 1 g을 취해 자재막대를 이용하여 시료를 균질화 시킨다. 균질화된 시료를 50 ml 원심관에 넣고, 1N-HCl 5 ml를 주의 깊게 첨가하여, 초음파 추출장치등을 이용해 잘 혼합시켜 탄산염을 제거한다. 이것을 3~4 hr 정도 방치 후 재차 6N-HCl을 수 방울 첨가해 잔류하는 탄산염을 제거한다. 탄산염을 제거 후, 원심분리(1500~2000 rpm)를 행하여 상층액을 버리고, 이에 순수 3 ml의 초순수를 첨가하여 잘 혼합 후 원심분리를 하여 상층액을 버린다. 이 조작을 3회 반복하고 110℃에서 건조한 후 건조된 퇴적물을 자재막대를 이용하여 균질화 시킨다. 균질화된 시료 약 20 mg을 SSM(Solid Sample Module; Shimazu Co., Model; SSM-5000A)이 부착된 TOC meter(Shimazu Co., Model; TOC-5000A)를 이용하여 측정하였다.

Table 4. Range and mean values of BPA and TOC

			BPA	TOC
			ng/g dry wt.	%
1999	October		0.59~9.00 (1.88±2.09)	0.09~0.98 (0.59±0.34)
2000	February		0.99~2.97 (1.57±0.48)	0.09~1.65 (0.74±0.41)
	May		0.462~4.59 (2.53±6.11)	0.09~0.98 (0.64±0.29)
	August	surface	0.54~2.46 (1.29±0.57)	0.09~1.22 (0.91±0.28)
		stream	1.03~32.90 (10.28±12.93)	0.09~1.29 (0.72±0.59)

※( ): mean value ± standard deviation.

Table 5. Comparison of the range and mean values of BPA with other studies

Location	BPA	References
Masan bay	2.70~50.3(10.5) ng/g dry wt.	Khim et al., 1999
Gwangyang bay	0.46~2.59(1.51) ng/g dry wt.	This study
Yeosu sound	0.54~24.58(2.09) ng/g dry wt.	This study
Stream sediment	1.03~32.90(10.28) ng/g dry wt.	This study

3. 결과 및 고찰

광양만과 여수해만 및 주변 하천 하류의 표층 퇴적물에서 NP, BPA 및 TOC의 분포특성을 파악하기 위하여 1999년 10월, 2000년 2월, 5월과 8월의 4회에 걸쳐 조사한 결과를 Table 4와 Table 5에 나타내었다.

3.1 BPA의 분포

광양만과 여수해만에서 BPA의 계절별 농도변동 범위는 1999년 10월에 0.59~9.00(평균 1.88)ng/g dry wt., 2000년 2월에는 0.99~2.97(평균 1.57)ng/g dry wt., 5월에는 0.46~24.59(평균 2.53)ng/g dry wt., 그리고 8월에는 0.54~2.46(평균 1.29)ng/g dry wt.의 변동범위를 보였다(Fig. 9). BPA의 평균값의 변동범위는 1.29~2.53 ng/g dry wt.를 나타내었다.

BPA의 수평분포는 Fig. 10~13에 나타내었다. BPA의 농도는 0.46~9.00 ng/g dry wt.로 이것은 마산만의 2.70~50.3 ng/g dry wt.

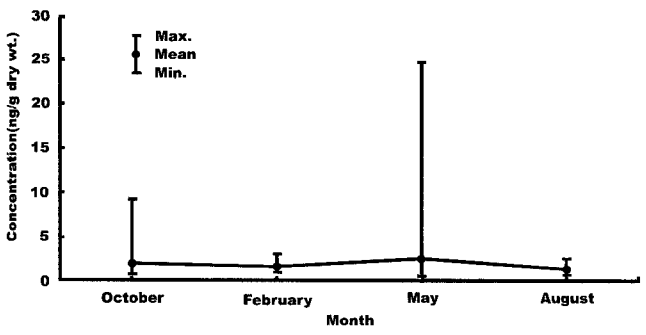


Fig. 4. Seasonal fluctuation of BPA in surface sediment around Gwangyang bay.

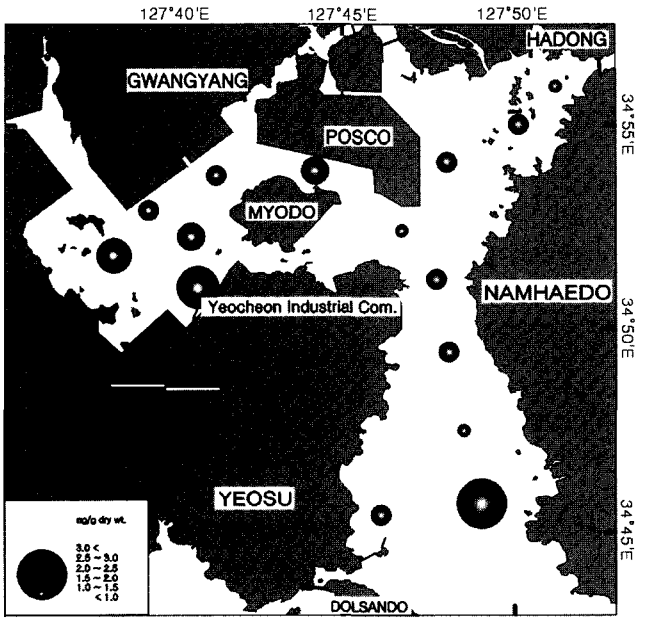


Fig. 5. Horizontal distribution of BPA (ng/g dry wt.) in surface sediments at October, 1999.

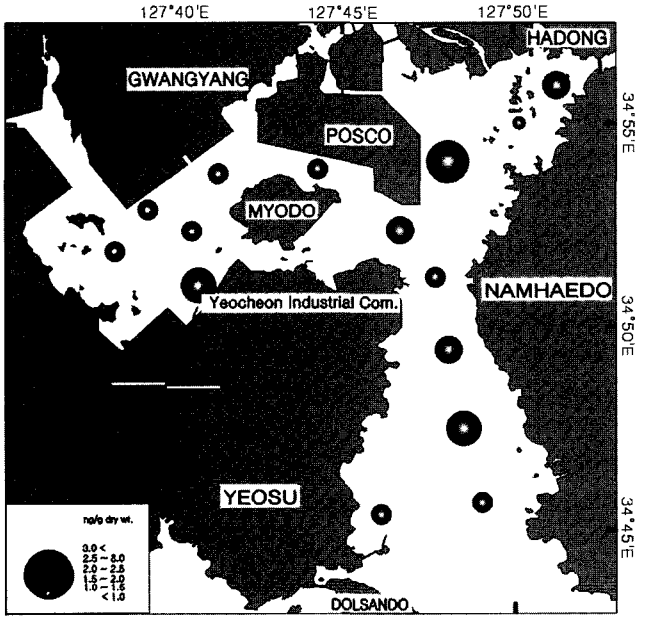


Fig. 6. Horizontal distribution of BPA (ng/g dry wt.) in surface sediments at February, 2000.

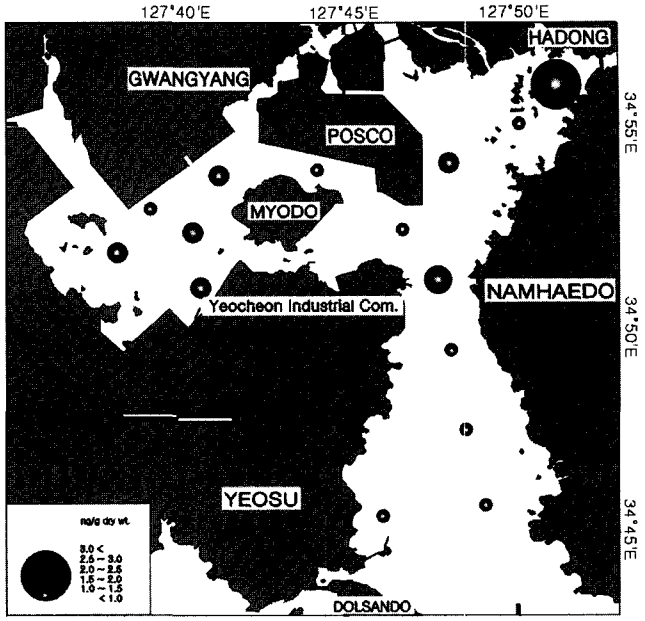


Fig. 7. Horizontal distribution of BPA (ng/g dry wt.) in surface sediments at May, 2000.

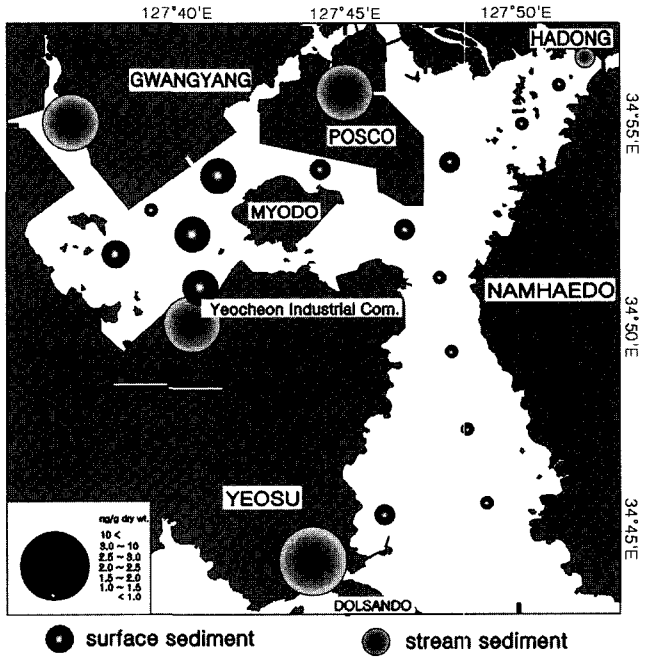


Fig. 8. Horizontal distribution of BPA(ng/g dry wt.) in surface and stream sediments at August, 2000.

보다 낮고(국립환경연구원[2000], 박점순[1995]의 하천저질의 결과인 ND~5.7 ng/g과 비슷하게 나타나 광양만은 마산만에 비하여 BPA의 오염정도가 낮은 것으로 사료된다. BPA의 계절별 평균 농도는 전체적으로 비슷한 농도를 보이고, 평균 농도의 변동범위도 2.53 ng/g dry wt. 이하를 나타내었다. 이와 같이 BPA의 수평분포는 계절별로 농도값은 다소 차이가 있으나 여수해만에 비하여 광양만에서 비교적 높은 농도를 보였다. 이것은 BPA의 농도가 높은 도시하수와 산업폐수가 해수의 유동이 비교적 적고, 유속이 약한 광양만으로 유입되어 부유퇴적물에 흡착되어 퇴적된 결과로 사료된다.

8월의 조간대 퇴적물 조사시 도시하수가 유입되는 연등천(I) 하류와 산업폐수의 영향을 받는 수자원공사 매립지 부근 하천(II) 하류 퇴적물에서 각각 32.90 ng/g dry wt.와 7.61 ng/g dry wt.의 높은 농도를 보였다. 이 결과 연등천 하류에서 가장 높은 농도를 보여 BPA 오염의 주원인은 도시하수의 유입으로 사료된다.

본 연구해역에서 전 계절에 걸쳐 BPA의 농도가 낮은 것은 미

생물에 의해 분해가 이루어지고 있는 것으로 사료된다. Stone et al.[1983]은 BPA의 생분해는 28일 동안 1%정도가 분해되는 것으로 보고하였지만, Dorn et al.[1987]의 연구에서는 BPA를 함유한 폐수의 처리수가 방류되는 하천수에서는 쉽게 분해되었고, BPA의 호기성 생분해 메카니즘에 관한 연구에서 Pseudomonas paucimoilis 균에 의해 230 mg/l 이하의 농도에서 분해효율이 좋은 것으로 확인되었다(Khim et al.[1999]).

3.2 TOC의 분포

광양만 주변해역에서 TOC의 계절별 함량의 변동범위는 1999년 10월에는 0.09~0.98(평균 0.58)%, 2000년 2월에는 0.09~1.65(평균 0.74)%, 5월에는 0.09~0.98(평균 0.64)%, 8월에는 0.09~1.22(평균 0.90)%의 범위를 보였다(Fig. 14). 평균 함량은 하계에 0.90%로 가장 높은 함량을 보이고, 추계에 0.58%로 가장 낮은 함량을 나타내었다. 변동범위는 동계에 가장 컸다.

TOC의 계절별 수평분포를 Fig. 15에 나타내었다. TOC의 함량은 마산만(국립환경연구원[2000])에서 0.75~4.6%, 시화호 Khim[1999]에서 0.49~0.89%로 보고하였고, 광양만은 마산만보다 변동폭과 함량이 낮고, 시화호보다는 높은 변동폭 및 함량을 보였다. 해역별로는 묘도 안쪽에서는 마산만과 여수해만에서는 시화호와 비슷한 함량을 보여주었다. 이것은 여천산단과 광양제철소가 위치하고 동천과 서천으로부터 유기물질이 유입되는 묘도 안쪽해역 퇴적물에서 높은 오염부하량과 낮은 해수유동에 의해, 세립 성분이 높아짐에 따라 유기탄소 함량이 증가하여[42] 묘도 안쪽 해역에서 유기물질의 함량이 높은 것으로 사료된다. 이 결과는 유[32]의 결과와 비슷한 분포였다.

퇴적물의 유기오염의 직접적인 측정방법인 TOC와 미량유기오염물질인 BPA의 상관계수는 0.095로 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다. 이 결과는 Khim et al.[1999]이 마산만에서 연구한 결과와 비슷한 경향을 나타내어 BPA와 총 유기탄소 함량은 서로 다른 축적 특성을 나타내었다.

4. 결 론

본 연구는 광양만과 여수해만 표층퇴적물에서 BPA의 오염 특성을 연구하였다. 1999년 10월, 2000년 2월, 5월 그리고 8월에 15개 정점에서 실시한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

BPA는 0.46~24.59 ng/g dry wt.의 변동범위를 보였다.

BPA의 계절별 평균 농도는 전체적으로 비슷한 농도를 보였으며, 평균 농도의 변동범위는 2.53 ng/g dry wt. 이하를 나타내었다.

BPA의 수평분포는 계절별로 농도 변화가 있었으나 여수해만에 비하여 광양만 퇴적물에서 비교적 높은 농도를 보였다.

산업폐수와 도시하수의 영향을 크게 받는 하천 퇴적물의 조사결과 BPA는 연등천에서 농도가 높았다.

TOC의 계절별 변동범위는 전계절에 0.09~1.65%로 나타났으며, 섬진강 하구에서 낮은 0.09%의 함량을 나타내었다.

BPA와 TOC의 상관계수는 0.095로 상관관계가 거의 없었다.

참고문헌

[1] Knaak J. and L. Sullivan, 1966, "Matabolism of bisphenol A in the rat", Toxicology and Applied Pharmacology, 8, 175-184.

[2] Patent No. 2419887 (Ger. Offen), 1974, Dental filling composition. Novenber 21.

[3] Patent No. 397740 (U. S.), 1975, Composition for use in prosthodontics. December 2.

[4] Patent No. 7818742 (Japan Kokai). Preparation of manicuring compositions.

[5] Chemical and Engineering News, 1997, August, 6, 14.

[6] European Chemical News, 1999, 18-24th October. 22.

[7] Stone, C. M. and R. J. Watkinson, 1983, Diphenyl propane ; an assessment of ready biodegradability. Sitting Boume Research Center, 83, 425.

[8] Dorn, P. B., C. S. Chon and J. J. Gentempo, 1987, "Degradation of bisphenol A in the natural waters", Chemosphere, 16, 1501-1507.

[9] Khim J. S., D. L. Villeneuve, K. Kannan, K. T. Lee, S. A. Snyder, C. H. Koh and J. P. Giesy, 1999, "Characterization and Distribution of Trace Organic Contaminants in Sediment from Masan Bay, Korea. 1. Instrumental Analysis", Environmental Science and Technology, 33, 4199-4205.

[10] 국립환경연구원, 2000, '99 내분비계장애물질 조사·연구 결과 발표회, p 52.

[11] 박점숙, 1995, "광양만에서의 잔류 유기인 농약성분", 부산수산대학교 석사학위논문, 36.

[12] 설순우, 1999, "광양만의 대수리중에 발현하는 임포섹스현상 및 유기주석 오염에 관한 연구", 여수대학교 석사학위논문, 46-47.

[13] 유영석, 2000, "광양만 주변해역 퇴적물에서의 다환방향족탄화수소류(PAHs)의 오염에 관한 연구", 여수대학교 석사학위논문, 50-51.

[14] 건설부, 1975, 수문조사연보.

[15] 건설부, 1976, 수문조사연보.

[16] 건설부, 1979, 수문조사연보.

[17] 건설부, 1980, 수문조사연보.

[18] 포항종합제철 주식회사, 1982, 광양만 수리모형실험 및 해양조사보고서.

[19] 최정민, 1997, "광양만과 여수해만의 퇴적환경", 여수수산대학교 석사학위논문, 49-51.

[20] 박용안, 이창범, 최진용, 1984, "광양만의 퇴적환경에 관한 연구", 한국해양학회지, 19(1), 82-88.

[21] 김승우, 김종수, 이윤오, 공영세, 이치원, 민건홍, 박영수, 최계림, 1986, "연근해저 지질조사 연구(남해-거재도 해역)", 한국동력자원연구소 조사연구보고, KR-86-20, 7-52.

[22] 김길영, 성준영, 김재철, 김정창, 1994, "여수해만 주변해역 퇴적물의 물리적 및 음향학적 성질", 한국수산학회지, 27(4), 434-444.

[23] 조영길, 이창복, 고철환, 2000, "광양만 표층퇴적물의 중금속

함량 및 분포", 한국해양학회지, 5(2), 131-140.
[24] 環境廳水質保全局水質管理課, 1998, 外因性內分泌攪亂化學物質調査暫定 マニュアル(水質, 底質, 水生生物).
[25] 小嶌和子, 1986, 沿岸環境調査 マニュアル I(底質 · 生物篇). 日本海洋學會編, 57-59.
[26] 진창숙, 강호, 籐田正憲, 1998, "비스페놀 A의 호기성 생분해 메카니즘에 관한 연구", 대한환경공학회지, 20(3), 397-410.
[27] Khim J. S., D. L. Villeneuve, K. Kannan, K. T. Lee, S. A. Snyder, C. H. Koh and J. P. Giesy, 1999, "Alkylphenols, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and Organochlorines in Sediment from Lake Shihwa, Korea: Instrumental and Bioanalytical Characterization", Environmental Toxicology and Chemistry, 18, 2424-2432.

2004년 4월 28일 원고접수
2004년 5월 6일 수정본 채택