

광양만과 여수해만의 표층퇴적물에서 Nonylphenol의 오염에 관한 연구

조 현 서 · 김 용 옥* · 설 순 우 · Horiguchi Toshihiro**
여수대학교 해양시스템학부 · *한국해양오염방제조합 · **일본국립환경연구원
(2004년 3월 11일 접수; 2004년 5월 4일 채택)

A Study on the Pollution of Nonylphenol in Surface Sediment in Gwangyang Bay and Yeosu Sound

Hyeon-Seo Cho, Yong-Ok Kim*, Soon-Woo Seol and Toshihiro Horiguchi**

Division of Ocean System, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea

*Korea Marine Pollution Response Corp., Seoul 135-270, Korea

**Environmental Chemistry Division, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba 305-8506, Japan

(Manuscript received 11 March, 2004; accepted 4 May, 2004)

This study was carried out to survey the pollution of nonylphenol (NP) in surface sediments around Gwangyang bay and Yeosu sound. NP was 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 there.

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 NP in surface sediments were in the range of 6.89 to 202.70 ng/g dry wt.. Seasonal range (mean value) of NP is 13.98 to 30.48 (23.46) ng/g dry wt. at October, 10.35 to 54.91 (28.10) ng/g dry wt. at February, 29.05 to 202.70 (82.32) ng/g dry wt. at May and 6.98 to 83.40 (25.37) ng/g dry wt. at August.

NP was seasonally fluctuated, and the highest mean value and range was detected at May, 2000. NP was highly distributed in the inner part of Gwangyang bay than Yeosu sound. Concentrations of NP in stream and intertidal sediments showed the highest value in downstream near Yeosu petrochemical industrial complex and Yondung stream. It suggests that the source of NP is industrial wastewater and municipal sewage.

Key Words : Nonylphenol, Sediment, Gwangyang Bay, Yeosu Sound

1. 서 론

본 연구는 최근 내분비계 장애물질의 오염이 보고되고 있는 광양만 주변해역에서 노닐페놀 (Nonylphenol, NP)의 오염에 대한 연구결과이다. Alkylphenol ethoxylates (APEO)는 페인트, 플라스틱, 살충제, 직물과 화장품, 종이, 금속, 고무 그리고 가죽 제품의 생산과 세척에 이용되며, 전세계의 APEO 생산량은 연간 30,000 ton을 넘는다^{1,2)}. 이러한 Alkylphenol (AP)의 일종인 NP는 비이온성 계면활

성제에 이용되며³⁾, 산업폐수나 도시하수 처리공정에서 분해되지 않고 일부가 잔류하여 강이나 혹은 연안으로 직접 유입된다^{4,5)}. 또한 NP는 소수성 화합물로 수중에서 쉽게 분해되지 않고, 부유입자에 흡착되어 저층에 퇴적되는 것으로 알려져 있다⁷⁾.

최근 NP와 Nonylphenol ethoxylates (NPEO)는 "estrogenic"을 하는 것으로 밝혀졌다^{2,7,8)}. Jobling 등⁹⁾은 수컷 무지개 송어를 3주 동안 30 µg/l 농도의 4-NP에서 노출실험을 한 결과, 간에서 vitellogenin의 합성이 일어나고 정소의 성장이 억제되었다. 이러한 형태학상 발육과 성장이 변화하는 것은 NP가 estrogenic 물질이라는 것을 지시하는 것이라 하였다. 새우와 연어에 대한 LD₅₀은 0.13~0.30 mg/l

Corresponding Author : Hyeon-Seo Cho, Division of Ocean System, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea
Phone : +82-61-659-3416
E-mail : hscho@yosu.ac.kr

이다. 이러한 NP는 하수처리 과정에서 전부 분해되지 않고 일부가 환경에 유입되어 오염을 가중시키고 있다^{10~12)}.

Ekelund 등¹³⁾의 연구결과 해수에서 NP가 50% 감소하는데 58일 정도 소요되었다.

미국 Environmental Protection Agency (EPA)는 30개의 주요 강에서 모니터링을 하였고, 오대호, 영국의 Tyne와 Tees하구, 일본 동경만 및 이탈리아의 Venice에서 조사가 이루어졌다^{14~18)}.

국내의 NP에 관한 연구 결과로서 Khim 등¹⁹⁾은 마산만에서 NP는 113~3890 ng/g dry wt. 농도로서 해양으로 유입되는 하천에 가까운 지점에서 농도가 높게 나타난다고 보고하였으며, 국립환경연구원²⁰⁾의 내분비계장애물질에 관한 기초조사 결과 NP는 전국 11지점의 하천 저질에서 6.0~119.1 µg/kg의 농도를 보이고 있다.

앞서 살펴 본 바와 같이 NP의 오염에 관한 연구는 실험실에서 발암성, 독성 또는 estrogenic 작용에 관한 연구가 대부분이며, 해양환경 중의 기초조사는 미비한 편이다.

본 연구에서는 최근 잔류 유기인 농약, TBT 및 PAHs와 같은 미량 유기오염물질의 오염이 발생하는 것으로 보고되고 있는 광양만^{21~23)}과 여수해만에서 표층퇴적물 중 NP의 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 반폐쇄적인 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^{24~27)}. 광양만의 조석은 1일 2회 반일주조이며, 조석주기에 따라 왕복성의 조류가 흐르고, 조차는 중조차의 범위에 속한다²⁸⁾. 광양만은 묘도에서 만 안쪽으로 갈수록 유속과 입도가 감소하는 현상을 보이며, 점토함량은 증가한다. 이러한 점토 퇴적물은 주변의 소규모 하천으로부터 주로 공급되며, 섬진강과 외해로부터 일부 공급되어 퇴적된다²⁹⁾.

여수해만은 서쪽으로 여수반도와 돌산도, 동쪽으로 남해도에 의해 형성된 해협으로서 북쪽으로 광양만과 남쪽으로 남해와 연결되고, 여수반도와 돌산도 사이의 좁은 수로를 따라 가막만과 연결된다. 여

수해만은 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^{30~32)}. 조 등³³⁾은 묘도 안쪽해역 퇴적물에서는 여수해만보다 오염부하량이 높고 해수유동이 낮아 세립 성분이 높아짐에 따라 유기탄소 함량이 증가한다고 보고하였다.

2.2. 시료채취

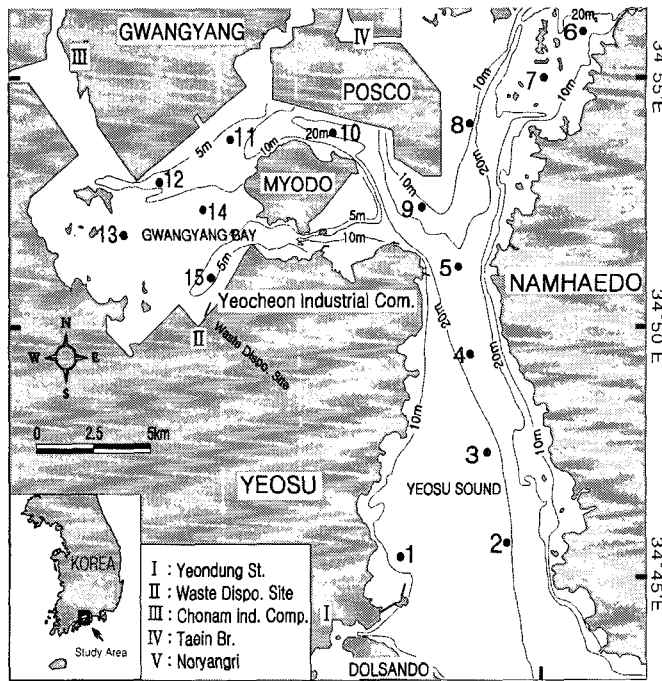
본 연구를 위한 표층 퇴적물 시료는 광양만과 여수해만 총 15개 정점에서 1999년 10월26일, 2000년 2월 17일, 5월 24일, 8월30일 4회에 걸쳐 15개 정점에서 중력식 코아채니기를 이용하여 표층퇴적물(0~5 cm)을 채취하였다. 그리고 8월에는 하천으로부터의 영향을 파악하기 위해서 광양만과 여수해만으로 유입되는 주요 하천의 하류와 인근 연안역에서 조간대 퇴적물을 5개 정점에서 채취하였다(Fig. 1). 채취한 시료는 경질유리병(세척 후 약 420°C에서 3hr 이상 가열한 것)에 담고, 즉시 아이스박스에 보관하여 실험실로 옮겨 분석 전까지 -20°C이하로 냉동 보관하였다.

2.3. 분석방법

2.3.1 NP 전처리 방법

NP는 분자량이 220.36이고 페놀에 녹이기(C₉H₁₉)가 있다(Table 1). NP 전처리는 에틸유도체화법³⁴⁾에 의하여 분석하였다. 추출에 사용된 유기용매는 잔류농약 분석용 등급(Pesticide grade)인 Acetone, Dichloromethane, n-Hexane, Methanol, 및 Ethanol을 사용하였고, 추출하기전 모든 초자기구는 증류수와 순수로 세척한 후 420°C이상의 고온으로 3시간 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 Na₂SO₄으로 수분을 제거하고, 농축한다. 여기에 내부표준물질(NP-d4, 5 ppm) 0.5 µg/ml를 넣고 N₂가스로 건조한다. 여기에 1N-KOH Ethanol 용액 0.5 ml를 넣고, 다음에 Diethyl Sulfate 0.2 ml를 넣어, 실온에서 10분간 방치한다. 여기에 1N-KOH



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

Fig. 1. Map showing the sampling stations.

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 N₂가스를 불어넣어 0.5 ml까지 농축하여 측정용 시료용액으로 한다 (Fig. 2).

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

2.3.2. 검출방법

검출기기는 Shimazu 제 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).

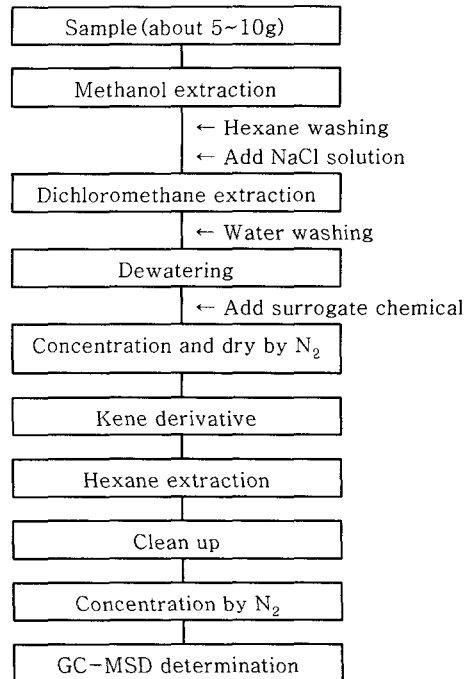
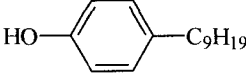


Fig. 2. Pretreatment procedure of the surface sediment sample.

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

NP	
Molecular Structure	
Molecular formula	$C_9H_{19}C_6H_4OH$
Molecular weight	220.36

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(NP-d4)의 면적비를 작성한 검량선과 비교하여 정성분석 및 정량분석을 수행하였다. 각 성분의 정량분석시 정량이온과 확인이온의 질량을 Table 3에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

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

광양만과 여수해만에서 NP의 계절별 농도변동 범위는 1999년 10월에 13.98~30.48(평균 23.46) ng/g dry wt., 2000년 2월에는 10.35~54.91(평균 28.01) ng/g dry wt., 5월에는 29.05~202.70(평균 82.32)

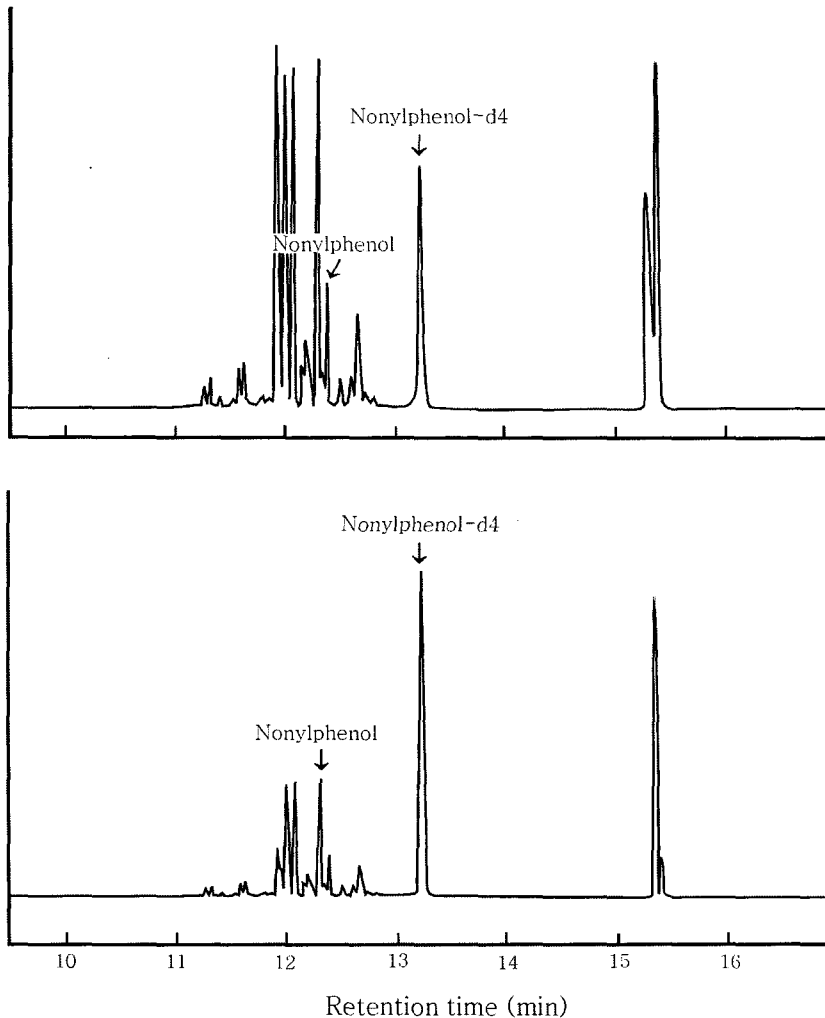


Fig. 3. GC-MSD chromatogram of NP (upper : standard 10 ppm, lower : sample).

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)

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

Material	Key ion (<i>m/z</i>)		Retention time
	Quantitative ion	Reference ion	
NP	177	163, 107	12.42
NP-d4	139	111, 275	13.29

Table 4. Range and mean values of NP in surface sediments

		NP (ng/g dry wt.)
1999	October	13.98~30.48 (23.46±5.86)
2000	February	10.35~54.91 (28.10±11.47)
	May	29.05~202.70 (82.32±45.03)
	August	surface
stream		38.10~1975.26 (661.48±851.91)

※ () : mean value±standard deviation

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

Location	NP	References
Great lake	ND~37,800(2,961)ng/g dry wt.	Bennett et al. ¹⁶⁾
Masan bay	113~3,890(510)ng/g dry wt.	Khim et al. ¹⁹⁾
Venice lagoon	5~42(14.2)ng/g	Marcomini et al. ¹⁴⁾
Strait of Georgia	(1,500)ng/g	Shang et al. ⁵⁾
Gwangyang bay	11.86~102.95(41.07 ng/g dry wt.	This study
Yeosu sound	6.98~202.7(38.66) ng/g dry wt.	This study
Stream sediment	38.10~1,975.26(661.48) ng/g dry wt.	This study
Sumidagawa river	3600~10400ng/g	Isobe et al. ¹⁸⁾
Tyne estuary	30~80(58.75)ng/g dry wt.	Lye et al. ¹⁷⁾
Tees estuary	1,600~9,050(4710)ng/g dry wt.	Lye et al. ¹⁷⁾
U.S. 30 rivers	2.9~2,960(162)μg/kg	Naylor et al. ¹⁵⁾

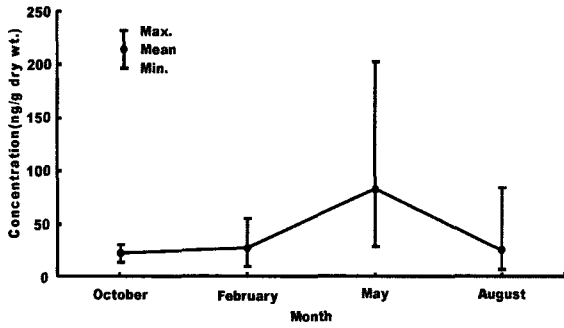


Fig. 4. Seasonal fluctuation of NP in surface sediment of Gwangyang bay and Yeosu sound.

ng/g dry wt., 그리고 8월에는 6.98~83.40(평균 25.37) ng/g dry wt.의 변동범위를 보였다(Fig. 4). 또 5월에는 변동폭이 100.00 ng/g dry wt. 이상을 나타내었다. 계절별 평균농도는 10월부터 5월까지 점점 증가하고 8월에 25.37 ng/g dry wt.로 감소하였다.

NP의 수평분포를 Fig. 5~8에 나타내었다. 광양만에서 NP농도는 반폐쇄성 해역인 마산만과 Georgia 해협보다 농도가 낮으며^{5,19)}, Venice 산호호보다는 높은 농도를 나타내었다¹⁴⁾. 동천과 서천, 여수산단과 광양제철이 위치한 광양만에서 농도가 다른 해역의

연구결과에 비해 낮게 나타나 광양만은 NP의 오염이 비교적 낮은 것으로 사료된다. 유속이 빠르고, 해수유동이 원활한 여수해만에서 NP의 농도는 광양만보다 비교적 낮고, 다양한 농도변동을 나타내었다. 본 연구 해역에서는 다른 해역에 비해 NP의 오염정도는 낮은 것으로 사료된다.

광양만에서는 전 계절에 걸쳐 도시하수와 산업폐수가 유입되는 묘도 서쪽해역의 퇴적물에서 비교적 높은 농도를 보이고, 여수해만 입구쪽에서 비교적 낮은 농도를 나타내었다. 이것은 여수해만보다 해수의 유동이 적고, 조류가 약한 광양만에서 NP가 부유물질에 흡착되어 저층에 퇴적된 것 때문인 것으로 사료된다. NP는 소수성 화합물로서 수중의 입자에 흡착되어 저층에 퇴적되며, 수중에서 2일 정도에 흡착과 퇴적이 일어난다고 알려져 있다^{6,35)}.

한편, 도시하수의 영향을 받는 연등천 하류(I)와 산업폐수의 영향을 받는 수자원공사 매립지 부근(II) 하류 퇴적물에서 높게 나타나 NP의 유입은 도시하수와 산업폐수로 부터의 영향이 큰 것으로 사료된다. 마산만에서 NP는 PAHs, PCB나 유기농약보다 오염정도가 큰 것으로 나타났지만, 유의 연구와 비교한 결과 광양만에서는 NP보다 PAHs의 오염이 큰 것으로 나타났다²³⁾.

광양만에서 1999년 10월부터 2000년 5월까지 NP

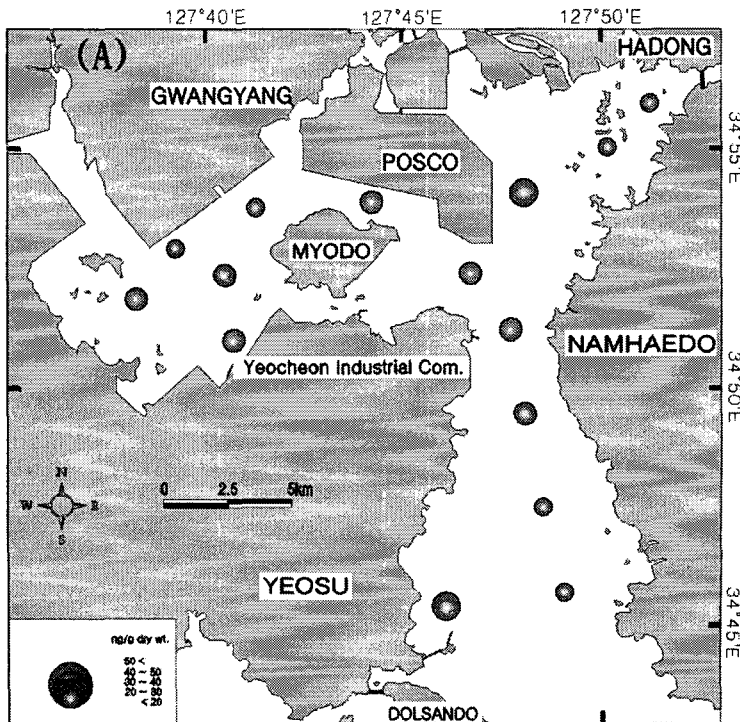


Fig. 5. Horizontal distribution of NP (ng/g dry wt.) in surface sediments at October, 1999.

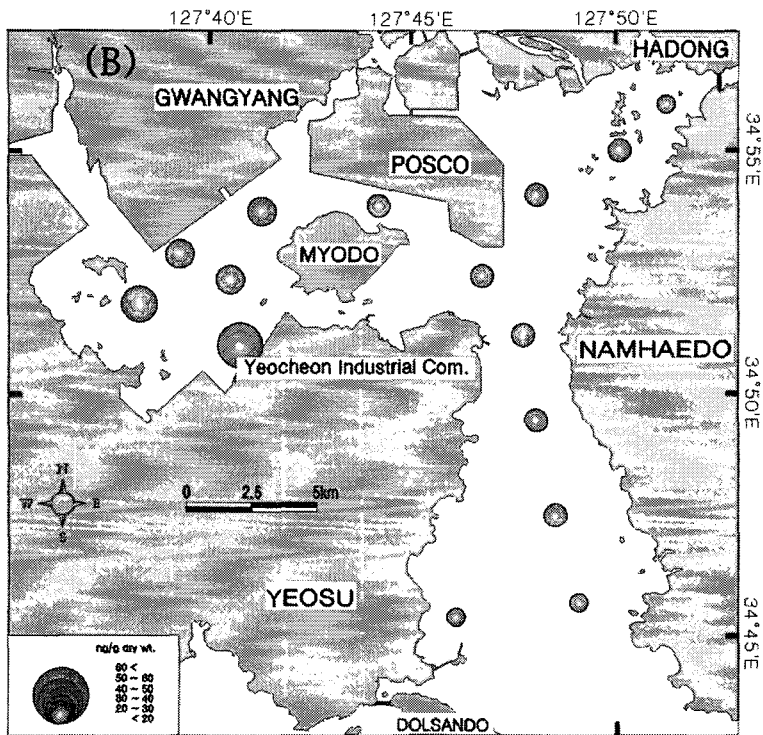


Fig. 6. Horizontal distribution of NP (ng/g dry wt.) in surface sediments at February 2000.

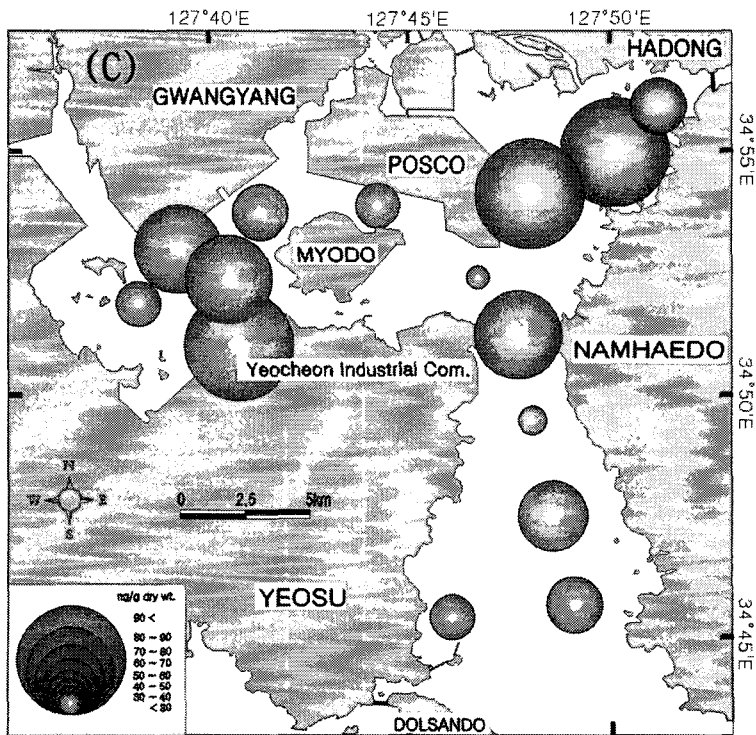


Fig. 7. Horizontal distribution of NP (ng/g dry wt.) in surface sediments at May, 2000.

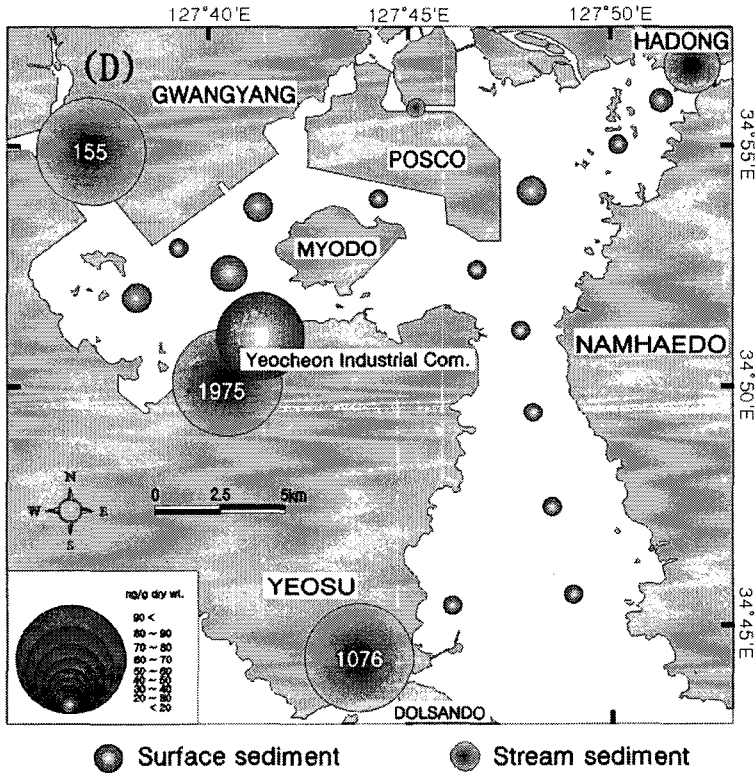


Fig. 8. Horizontal distribution of NP (ng/g dry wt.) in surface and stream sediments at August, 2000.

의 농도가 점점 증가하고, 8월에 감소하였다. 이것은 NP의 오염이 추계에서 춘계에 걸쳐 점진적으로 증가하고 있으며, 수온이 높은 하계인 8월에 감소하고 있어, 온도의 상승에 따른 NP의 분해효율과 관계가 있는 것으로 사료된다. Tanghe et al.³⁶⁾은 sludge에서 온도에 따른 NP의 분해에 관한 연구결과 NP는 10~15°C에서는 54.8% 정도가 분해되고, 28°C에서 거의 100%에 가깝게 분해되어 온도가 상승하면 분해효율이 높아진다고 보고하고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 광양만과 여수해만에서 NP의 오염 특성을 분석 평가하였다.

1999년 10월, 2000년 2월, 5월 그리고 8월에 15개 정점에서 실시한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

NP는 6.98~202.70 ng/g dry wt.의 변동범위를 보였다. NP의 계절별 평균농도는 10월부터 점점 증가하여 5월에 평균 45.03 ng/g dry wt.의 가장 높은 농도를 보이고, 8월에 평균 25.37 ng/g dry wt.로 감소하였다. NP의 수평분포는 계절별로 농도값은 다소 차이가 있으나 여수해만에 비하여 광양만에서 비교적 높은 농도를 보였다. 이것은 NP의 농도가

높은 도시하수와 산업폐수가 해수의 유동이 비교적 적고, 유속이 약한 광양만으로 유입되어 부유퇴적물에 흡착되어 퇴적된 결과로 사료된다.

또한 산업폐수와 도시하수의 영향을 크게 받는 하천 퇴적물의 조사결과 NP는 여수산단 폐수와 연등천에서 농도가 높았다. 이것은 NP는 산업폐수와 도시하수가 주 오염원인 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- 1) Naylor, C. G., 1992, Environmental fate of alkylphenol ethoxylates, Soap Cosmetics Chemical Specialities, 72, 27-31.
- 2) White, R., S. Jobling, S. A. Hoare, J. P. Sumpter and M. G. Parker, 1994, Environmentally persistent alkylphenolic compounds are estrogenic, Endocrinology, 135, 175-182.
- 3) Tolls, J, P. Kloepper-Sams and D. Sijm, 1994, Surfactant bioconcentration A critical review, Chemosphere, 29, 693-719.
- 4) Ahel, M., W. Giger and M. Koch, 1994, Behaviour of alkylphenolpolyethoxylates in the aquatic environment-1. Occurrence and trans-

- formation in sewage treatment, *Water Research*, 28, 1131-1142.
- 5) Shang, D. Y., R. W. Macdonald and M. G. Ikononou, 1999, Persistence of nonylphenol ethoxylate surfactants and their primary degradation products in sediments from near a municipal out fall in the Strait of Georgia, British Columbia, Canada, *Environmental Science and Technology*, 33, 1366-1372.
 - 6) Sundram, K. M. S. and S. Szeto, 1981, The dissipation of nonylphenol in stream and pond water under simulated field conditions, *Environmental Science and Health Part B*, 16, 767-776.
 - 7) Soto, A. M., H. Justicia, J. W. Wray and C. Sonnenschein, 1991, p-Nonylphenol: An estrogenic xenobiotic released from "modified" polystyrene, *Environmental Health Perspectives*, 92, 167-173.
 - 8) Jobling, S. and J. P. Sumpter, 1993, Detergent components in sewage effluent are weakly oestrogenic to fish: An in vitro study using rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes, *Aquatic Toxicology*, 27, 361-372.
 - 9) Jobling, S., D. Sheahan, J. A. Osborne, P. Matthiessen and J. P. Sumpter, 1996, Inhibition of testicular growth in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to estrogenic alkylphenolic chemicals, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15, 194-202.
 - 10) 배경숙, 하영철, 홍순우, 1982, 서울시역 한강수계에서의 합성세제 분해균의 분리 및 동정, *한국미생물학회지*, 20(2), 98-104.
 - 11) Gerstl, Z., Y. Chen, U. Mingelrinn and B. Yaron, 1989, *Toxic organic chemicals in porous media*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
 - 12) Folsom, B. R., P. J. Chapman and P. H. Prichard, 1990, Phenol and trichloroethylene degradation by *Pseudomonas cepacia* G4: kinetics and interactions between substrates, *Applied and Environmental Microbiology*, 6, 1275-1285.
 - 13) Ekelund, R., Å. Granmo, K. Magnusson and M. Berggren, 1993, Biodegradation of 4-nonylphenol in seawater and sediment, *Environmental Pollution*, 79, 59-61.
 - 14) Marcomini A., B. Pavoni, A. Sfriso and A. A. Orto, 1990, Persistent metabolites of Alkylphenol polyethoxylates in the marine environment, *Marine Chemistry*, 29, 307-323.
 - 15) Naylor, C. G., J. P. Mieure, W. J. Adams, J. A. Weeks, F. J. Castaldi, L. Ogle and R. R. Romano, 1992, Alkylphenol ethoxylates in the environment, *Journal of American Oil Chemistry Society*, 69, 659-703.
 - 16) Bennett, E. R. and C. D. Metcalfe, 1998, Distribution of alkylphenol compounds in Great lakes sediments, United States and Canada, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17(7), 1230-1235.
 - 17) Lye, C. M., C. L. J. Frid, M. E. Gill, D. W. Cooper and D. M. Jones, 1999, Estrogenic alkylphenols in fish tissues, sediment and waters from the U. K. Tyne and Tees estuaries, *Environmental Science and Technology*, 33, 1009-1014.
 - 18) Isobe, T., M. Satoh, N. Orura and H. Takada, 1999, Determination of Nonylphenol by GC-MS in environmental samples in Tokyo, *Journal of Japan Society on Water Environment*, 22(2), 118-126 (in Japanese).
 - 19) 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.
 - 20) 국립환경연구원, 2000, '99 내분비계장애물질 조사·연구 결과 발표회, 52pp.
 - 21) 박점숙, 1995, 광양만에서의 잔류 유기인 농약성분, 부산수산대학교 대학원 석사학위논문, 36pp.
 - 22) 설순우, 1999, 광양만의 대수리층에 발현하는 입포색소현상 및 유기주석 오염에 관한 연구, 여수대학교 대학원 석사학위논문, 46-47pp.
 - 23) 유영석, 2000, 광양만 주변해역 퇴적물에서의 다환방향족탄화수소류(PAHs)의 오염에 관한 연구, 여수대학교 대학원 석사학위논문, 50-51pp.
 - 24) 건설부, 1975, 수문조사연보.
 - 25) 건설부, 1976, 수문조사연보.
 - 26) 건설부, 1979, 수문조사연보.
 - 27) 건설부, 1980, 수문조사연보.
 - 28) 포항종합제철 주식회사, 1982, 광양만 수리모형 실험 및 해양조사보고서.
 - 29) 최정민, 1997, 광양만과 여수해만의 퇴적환경,

- 여수수산대학교 석사학위논문, 49-51pp.
- 30) 박용안, 이창범, 최진용, 1984, 광양만의 퇴적환경에 관한 연구, 한국해양학회지, 19(1), 82-88.
 - 31) 김승우, 김종수, 이윤오, 공영세, 이치원, 민건홍, 박영수, 최계림, 1986, 연근해저 지질조사 연구 (남해-거제도 해역), 한국동력자원연구소 조사연구보고, KR-86-20, 7-52.
 - 32) 김길영, 성준영, 김재철, 김정창, 1994, 여수해만 주변해역 퇴적물의 물리적 및 음향학적 성질, 한국수산학회지, 27(4), 434-444.
 - 33) 조영길, 이창복, 고철환, 2000, 광양만 표층퇴적물의 중금속 함량 및 분포, 한국해양학회지, 5(2), 131-140.
 - 34) 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).
 - 35) Heinis, L. J., M. L. Knuth, K. Liber, B. R. Sheedy, R. L. Tunell and G. T. Ankley, 1999, Persistence and distribution of 4-nonylphenol following repeated application to littoral enclosures, Environmental Toxicology and Chemistry, 18, 363-375.
 - 36) Tanghe, T., G. Devriese and W. Verstraete, 1998, Nonylphenol degradation in lab scale activated sludge units is temperature dependent, Water Research, 32(10), 2889-2896.