

국내 연안 퇴적물내  
PCBs(Polychlorinated Biphenyls) 오염도 현황

김기환·이윤  
국립환경연구원

Concentrations of PCBs (Polychlorinated Biphenyls)  
in coastal sediments of Korea

Gi-Whan Kim · Yoon Lee\*

National Institute of Environmental Research

Abstract

Polychlorinated biphenyl (PCBs) is one of major toxic pollutants in marine environments. This artificial chlorinated compound has been found in freshwater, seawater, soil, sediments and organisms living in various environments. Because of its toxicity and degradability, its uses in industrial processes have been banned after 1984 in Korea. Coastal area is an important environment for agriculture, industry, transportation, reduction of pollution loads through biogeochemical processes, cycling of nutrients and recreation. Input of pollutants from land and freshwater has been occurring through runoff, rivers and estuaries. Concentrations of PCBs were determined with GC-ECD. Concentrations of PCBs were in the range of 1.0 - 19.2 ng/g-dry weight of sediment(g-d.w.) at Ulsan, 4.5 -8.2 ng/g-d.w. at Onsan, 2.7 - 33.5 ng/g-d.w. at Masan and 4.0 - 60.7 ng/g-d.w. in Kwangyang. In Incheon area, PCBs were not detected in sediments. In sediments of Nakdong estuary, the distribution of PCBs' concentrations was 0.19 - 303 ng/g-d.w.

## I. 서론

1960년대 이후 수립·시행된 경제개발 5개년계획을 통해 본격적으로 시작한 국내의 중화학공업의 급속한 발전은 필연적으로 미량유기화합물의 사용량, 생산량 및 물동량의 계속적 증가를 가져왔다. 이들 유기화합물 중 PCBs는 국내의 경우, 1975년부터 1984년 까지 약 560톤 가량이 수입 되었다.<sup>6)</sup> 주요 생산국인 미국의 경우, 1929년과 1977년 사이에 600,000톤이 생산된 것으로 추정되며, 일본에서는 1972년까지 약 57,300톤, 영국에서는 1954년과 1977년 사이에 67,000톤가량 생산된 것으로 추정된다.<sup>1,6)</sup> 전 세계적으로 PCBs 생산량은 약  $5.7 \times 10^8$  kg 이상이 생산된 것으로 추계되며, 이 중 35%인  $2 \times 10^8$  kg 이상이 자연계로 유출되었을 것으로 추정되고 있다.<sup>1)</sup>

PCBs는 biphenyl기에 1-10개의 염소가 치환된 물질을 총칭하며, 이론적으로 209종의 congeners가 존재한다.<sup>10)</sup>

PCBs의 물리적 특성을 보면, 비등점이 매우 높은 액상의 유체로, 열역학적으로 매우 안정할 뿐만 아니라 화학적 안정성이 매우 우수하다. PCBs는 전기전도율이 낮아 변압기의 냉각제, 콘덴서 등에 사용되었으며, 열매체로써 열교환 유체, 폴리비닐 중합체 등에 주로 사용되고, 그 외에 잉크, 절연제, 봉합제, 페인트, 안료분산제, 복사지 등의 제조에도 널리 사용되었다.<sup>12)</sup> 이렇게 사용된 PCBs는 처리방법 미비와 운송·보관 방법상의 문제로 인하여 해양환경을 포함한 생태계로 상당량 유출되고 있다.<sup>4)</sup>

자연계에 유출된 PCBs는 육상을 통해 하천수계으로 유입되거나, 대기로 이동·확산된 경우 강수 등을 통해 토양, 하천 및 연안수계로 유입된 후, 최종적으로 해양생태계로 도달하게 된다. PCBs가 지닌 독성과 난분해성 등에 의해 연안 저층에 퇴적되어 점차 농축되기도 한다.<sup>11,14,16)</sup> 연안 저서환경에 축적된 PCBs는 물리화학적 경로를 통해 이동·확산되며, 먹이그물을 통해 생물체에 농축되는 등 생물의 서식에 영향을 미칠수 있다.

연안수계는 생산성이 매우 높은 생태계로 인간의 생활과 밀접한 관계가 있다. 우리나라는 대다수 수산·양식

업이 연근해에서 밀집되어 발달하고 있으며, 특히 연안역의 저서 환경은 수계에 서식하는 일차생산자에게 풍부한 무기물 및 유기물을 공급하고 각종 패류, 연체동물, 갑각류의 산란장으로, 또한 서식처로도 이용되는등 경제적인 측면 뿐 아니라 해양생태계의 안정에 있어서도 매우 중요하다. 지난 30여년동안 우리나라는 지속적 경제개발에 주력하여 왔으며, 급속한 중화학공업의 육성 결과 최근 들어 우리는 각종 환경 오염문제에 직면하고 있다. 우리나라의 경제 및 자원보유의 특성상 산업개발의 기본 전략이 수출지향적이고, 해상교통로를 통한 물동량이 차지하는 비중이 매우 큼으로 해서 잠재적 오염물질의 해양내 유입 가능성이 상존하고 있으며 이들을 매개체로 한 먹이연쇄에 의해 결국 수계생물만 아니라 궁극적으로 인간에게 까지 악영향을 미칠 수 있다.<sup>17)</sup>

본 연구에서는 현재까지 국내 주요 연안 퇴적물을 대상으로 PCBs의 분포에 관한 자료가 미비함으로, 공업단지가 소재해 있어 PCBs의 잠재적 오염지역으로 간주될 수 있는 인천, 울산, 온산, 평양, 마산연안 및 낙동강하구역의 퇴적물을 대상으로 PCBs분포 현황을 파악하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

선정된 연안에서의 주 오염원을 대상으로 Grab sampler을 사용하여 표층퇴적물을 채취하였으며, 한지점에서 3회 이상 채취하여 선상에서 혼합한 후, 4℃에 보관하여 실험실로 운반하였다. 운반된 시료의 전처리를 위하여 시료 일정량을 알루미늄 호일에 얇게 펴서 바람이 잘 통하는 용달에서 2주-4주 정도 충분히 건조시킨 뒤, 420 mesh 체로 걸러 통과된 시료를 사용 하였다. 실험방법은 폐기물공정시험법에 준하여 분석 하였다.<sup>3,5,7,8,13,15)</sup> 먼저 잘 건조된 시료 20g을 취하여 분액갈대기에 넣고, n-Hexane 50ml과 Acetone 50ml를 첨가한 뒤 약 30분간 auto-shaker로 추출하고, 다시 n-Hexane

50ml씩 2회 추출하여 전 양을 rotary evaporator로 농축하였다. 이 농축액에 1M KOH-ethylalcohol용액을 가해 비등수욕중에서 1시간 가열하여 지용성인 지질을 수용성인 지방산 염으로 분해 하고, 농약(유기인 농약, 카바메이트계, 유기염소계 등)이나 hexane에 의해 추출될 수 있는 분자상 황의 방해를 제거하기 위해 알칼리분해를 하였다. 그리고 알칼리분해를 하여도 hexane층에 잔류하여 PCBs 측정시 chromatogram상에 방해 피크를 나타낼수 있는 미량의 유분을 제거하기 위해 activated Mg-SiO<sub>2</sub>(florisil)

column chromatography 분리조작으로 유분을 제거하였으며, 마지막 단계인 silicagel column chromatography를 통해 PCBs+DDE와 유기염소계 농약을 분리하였다.

PCBs의 정량은 시료 일정량을 GC/ECD에 주입하여 얻은 gas chromatogram과 PCBs 표준혼합액의 gas chromatogram과 유사한 피크패턴을 분리하여 PCBs 표준품의 종류와 조합을 찾아냈다. 이때 DDE와 동일한 체류시간을 가진 피크는 제외하고, 각 피크의 면적을 구하여 미리 작성된 검량선으로 부터 시료용액중에 존재하는 PCBs의 농도를 산출하였다.

Table 1. PCBs concentrations from coastal sediments in Korea unit : ng/g-dry weight

	'93	'94	'95
Inchon	ND(3)	ND(10)	ND(4)
Ulsan	-	-	1.0-19.2(5)
Masan	17.4-421.9(3)	5.3-8.0(5)	2.7-33.5(6)
Onsan	-	-	4.5-8.2(3)
Kwangyang	ND-12.2(3)	-	4.0-60.7
Chinhae	ND-38.0(3)	-	-
Youngil	ND-74.7(2)	-	-
Kimpo	-	-	ND-23.3(4)
Nakdong	-	-	0.19-303(7)

number in ( ) are number of sampling sites

### III. 결과 및 고찰

주요연안 PCBs분석 결과를 각 지역별로 보면, 마산항은 마산, 창원, 진해에서 흘러 나오는 산업폐수로 인해 연안 일대의 오염이 심한 지역으로 94년 농도(5-8ng/g)보다 다소 높은 3-33.5ng/g가 검출되었다. 광양만은 16-60.7ng/g로 평균 24ng/g가 검출되었으며, 이중 폐수종말처리장 유출지점에서 60.7ng/g로 가장 높게 검출되었고, 93년 ND-12ng/g에 비해 높은 수치를 보였다. 울산항은 장생포 마을앞과 방어진항 입구에서 17ng/g, 19ng/g가 검출되었고, 그외 지역은 ND-8ng/g 정도가 검출되었다. 인접한 온산항은 평균 6.3ng/g가 검출되었으며, 울산항의 평균 11.4ng/g에 비해 다소 낮은 농도를 보였다. 낙동강은 낙동강 하구인 일대의 공업지역인 사상, 장림공단을 중심으로 7개 지점에서 퇴적물을 채취하여 분석하였다. 그 결과 0.19ng/g-303ng/g로 평균치는 45.3ng/g이었으며, 특히 낙동대교 사상공단 남쪽 지점은 303ng/g로 채취 지점 중 가장 높게 검출되었다. 그리고 장림천 3지점의 경우는 동아건설 앞에서 가장높은 5.95ng/g정도가 검출되었으며, 장자도 남동방 지점은 평균 0.38ng/g가 검출되었다. 사상, 장림공단의 지역적 특성은 공단이 모두 연안에 위치해 있으며, 방류하천의 길어도 짧아 발생하는 폐수는 빠른 시간에 연안에 도달하게 되므로 여러가지 생산활동에서 PCBs가 사용되었을 경우, 연안에서의 PCBs오염은 빠르게 증가 할 것으로 사료된다.

### IV. 결론

세계각국의 토양 및 퇴적물의 농도와 우리나라의 농도와 비교하여 보면 캐나다 (농경지내 잠정정화기준: 0.5ppm)<sup>1)</sup> 나 일본의 주 오염원인 강, 하구보다는 훨씬 낮은 농도 (퇴적물 잠정제거기준: 10ppm)<sup>1)</sup> 이지만, 우리나라 (토양 오염우려기준 / 오염대책기준: 12/30ppm)는 인천연안을 제외한 분석대상 전 연안 퇴적물에서

PCBs가 검출되었다. 검출된 농도가 외국의 연안 퇴적물이나, 비오염지역에서 검출되는 농도에 비하여 매우 낮으나<sup>11,13)</sup>, PCBs가 우리나라 연안에서도 발견되었다고 하는 것은 중요한 의미를 갖게 된다. 특히 1979년 6월 규제조치 실시까지의 국내수입량, 생산, 유통, 분배 및 사용에 대한 기초자료가 없으며 또한 오염실태가 추정되지 않는 실정이다. 세계각국에서는 환경중 PCBs의 잔류실태를 지속적으로 파악하는 한편 이를 통한 유해성평가와 관리대책을 수립하기 위한 연구를 하고있다. 우리나라도 법적 관리상의 규제와 환경잔류 실태조사 등을 통하여 PCBs에 의한 환경 위해로 부터 국민의 건강을 보호할 수 있는 국가적인 사후 관리 대책이 시급히 마련되어야 한다.

## V. 감사의 글

본 논문이 완성되기까지 도움을 주신 국립환경연구원 류재근박사님께 감사드리며, 시료분석에 도움을 주신 국립환경연구원의 허인애, 이시용, 이동훈, 이원석씨에게 감사드린다. 본 보고는 소속기관의 견해와 관계없는 개인적인 것이다.

## 참고 문헌

1. 김삼권, 김기환 : 환경자료집. PCBs, p 495-502, 1996.
2. 강성현 : 독성유기오염물질 생물농축과 오염스트레스의 영향, 서울대박사학위 논문, pp 184, 1995.
3. 김삼권, 박호성 : 폐기물공정시험방법해설, PCBs 분석법, 1995.
4. 권오섭, 이윤 : PCBs의 환원형 탈염소 반응, 미생물과 산업, p 401-408, 1995.
5. 농업진흥연구소 : 농약잔류성시험법, p 15-22, 1992.
6. 환경관리공단 : PCBs처리 계획(안), 1995.
7. 환경공무원교육원 : 기기분석응용중 GC원리와 분석 방법, p 5-40, 1995
8. 환경공무원교육원 : 특정유해물질측정검사, p 129-164, 1995.
9. 日本水産學會編 : 海洋生物の PCB汚染, pp 110, 1950.
10. 日本化學會編 : 環境汚染物質 シリーズ, 1970.
11. Atlas, E. and C. S. Giam : Global transport of organic pollutants, Ambient concentration in the marine atmosphere, Science 211, 163-165, 1981.
12. Buser, H. R., H. P. Bosshardt, and C. Rappe : Formation of PCDF's from the pyrolysis of PCBs, Chemosphere 7, 109-119, 1978
13. Erickson, M. D : Analytical chemistry of PCBs of PCBs. Lewis Pub. Inc, pp 508, Michigan, USA, 1992.
14. Kimbrough, R. D : Environmental pollution of Air, Water and Soil, Chapter 3, pp. 77-80, 1980.
15. Kingston, D. W, M. A. Henry, K. J. Aldrin, and S. D. Pryde : Comparison of Sodium Sulfate and Vacuum Drying Methods in preparing Fish Tissue Samples for PCB Analysis, Journal of Chromatographic Science, Vol. 32, 1994.
16. Larsen, P. F., D. F. Gadbois, and A. C. Johnson : Observations on the distribution of PCBs in the deepwater sediments of the Gulf of Marine, Mar. Pollut. Bull, 16, 439-442, 1985.
17. Shain, W. B., B. Bush, and R. Seegal : Neurotoxicity of polychlorinated biphenyl structure-activity relationship of individual congeners, Toxicol. Appl. Pharmacol, 111, 33-42, 1991