

환경시료에서 펜타클로로벤젠의 잔류실태 조사연구

환경연구개발팀

김현정 · 박양순 · 조성자 · 박찬구 · 김주형 · 김민영

The Survey of the Remaining Pentachlorobenzene from the Environmental Samples in Korea

Environment Research Development Team

**Hyun-jeong Kim, Yang-soon Park, Sung-ja Cho, Chan-goo Park,
Joo-hyung Kim and Min-young Kim**

Abstract

Pentachlorobenzene, which has been newly proposed for inclusion in the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants(POPs) was analyzed by GC/MSD. Methods were developed for the determination of pentachlorobenzene in water, soil and sediment samples. The water samples preparation included liquid-liquid extraction with methylene chloride. The soil and sediment samples were extracted with sonication in acetone. The environmental samples were taken from the 4 main rivers in Korea and sediments and soils were taken from the center of the 7 main cities. Pentachlorobenzene was determined in 6.76 minutes with an internal standard, phenanthrene-d10. Quantitation limit of the water samples was 0.03 $\mu\text{g/L}$, while those for the soil and sediment samples were 0.10 $\mu\text{g/Kg}$. Recovery rates of pentachlorobenzene were 81.3~94.0% in water, 77.5~98.0% in soil and sediment samples. From the analysis of pentachlorobenzene over a year(2008), it was not detected from the 72 total samples.

Key words : pentachlorobenzene, GC/MSD, POPs

서 론

펜타클로로벤젠(pentachlorobenzene, CA Service No.608-93-5)은 1,2,3,4,5-pentachlorobenzene 혹은 quitochlorobenzene이라고도 하며 상온에서 백색의 결정으로 존재하는 화합물로서 물이나 차거운 알콜에는 잘 녹지 않으나 뜨거운 알콜이나 benzene, ether, carbon tetrachloride, chloroform 등에는 잘 녹는 물질이다.

펜타클로로벤젠은 농작물에 사용되는 항진균제인 키토젠(quintozene, or pentachloronitrobenzene, PCNB)의 합성에 필요한 전구체로 많이 생산되었으며 변압기, 절연유내 PCBs와의 결합물질로 많이 사용되었고 헥사클로로벤젠(hexachlorobenzene)의 중간생성물이며 클로피랄리드(clopyralid), 아트라진(atrazine), 클로로타로닐(chlorothalonil), 텍탈(dacthal), 린데인(lindane), 펜타클로로페놀(pentachlorophenols), 피클로람(picloram), 시마진(simazine) 등 농약의 혼합물로 알려져 있다(1~3). 현재 우리나라에서는 키토젠이 잔류성이 길고 어독성이 강하여 1989년에 사용금지 되었으나 수입산 환약재 등에서 검출이 되고 있어 2006년 “식품의기준및규격중개정” 고시로 농산물의 잔류농약 허용기준을 설정하여 잔류기준을 명시하고 있다. 미국과 캐나다 등에서도 상업적으로 직접 생산되지 않고 있으나 펜타클로로벤젠은 토양이나 하천수 및 저질에 잔류하고 있는데 그 오염원은 산업폐기물의 폐기 혹은 lindane이나 hexachlorobenzene과 같은 유기염소계 화합물의 분해에 의해 발생하고, 소각로나 가정쓰레기를 태울 때 환경 중으로 방출되며 제지공장, 철강공장, 석유정제소, 폐수의 활성슬러지 처리 과정에서 발생된다고 알려졌다(3).

환경 중으로 유입된 펜타클로로벤젠은 토양과 강하게 흡착되어 지하수로 유입되지 않고, 혐기성 분해 상태가 되면 분해가 더욱 어려워져 수년간 혹은 영구히 분해되지 않는다고 보고된 바 있다(2). 이것은 산소가 희박한 토양이나 저질에서 염소 환원반응이 더디게 일어나게 되어 헥사클로로벤젠이 펜타클로로벤젠화 되는 시간이 길어지기 때문이라고 보고되었다(2). 토양 중의 펜타클로로

벤젠의 반감기는 대략 194~345일이라고 알려져 있다. 노르웨이북쪽 항구의 저질과 북극에 인접한 콜라반도의 저질에서 펜타클로로벤젠이 2~5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 의 농도로 존재한다는 보고가 있으며(4), 이들의 농도수준은 스웨덴에서의 검출농도와 비슷하다고 알려졌다.

지표수에서의 펜타클로로벤젠의 반감기는 194~1,250일로 추정되며, 심층수에서는 혐기성 생물분해가 이루어져 반감기가 대략 776~1,380일로 알려졌다(3).

대기 중으로 방출된 펜타클로로벤젠은 먼 곳까지 이동하며 잔류하는데, 광산화 반응으로 분해되고 반감기가 약 45~467일로 알려져 있다. 북미에서 총 40지점에서 대기시료를 수집하여 펜타클로로벤젠을 분석한 결과 5지점에서 평균 0.045 ng/m^3 의 농도로 검출되었는데 이 조사에 따르면 북반구에 걸쳐 분포한 펜타클로로벤젠이 대기 중 긴 체류시간을 입증한 것이며 전세계적으로 확산될 수 있음을 보여주는 예라고 보고하였다(5).

이처럼 토양, 하천수, 대기 중 펜타클로로벤젠의 추정 및 실험실적 반감기가 길고, 대기 중 장거리 이동 특성 때문에 펜타클로로벤젠은 잔류성유기오염물질 후보물질로 제안되었으며(1~3, 6, 7), 우리나라에서는 아직 잔류성유기오염물질 관리법상에서 관리되고 있지 않는 실정이다.

펜타클로로벤젠의 독성을 평가하기 위하여 실험동물에 의한 연구가 이루어졌으며 신장과 간에 발암성이 있다고 보고되었다. 특정 식이요법에 의한 펜타클로로벤젠의 체내 축적을 줄이기 위한 동물 실험도 이루어지고 있다(4~6, 8~10).

펜타클로로벤젠의 분석은 주로 GC/MSD를 이용하여 정량하는데 그 외에도 FID, ECD, IRD 검출기를 이용한 분석법도 있으며 HPLC를 사용하여 폐출수에서 분석한 예도 있다(11~13).

잔류성유기오염물질 후보물질로서 펜타클로로벤젠은 환경내 잔류성과 체내 축적성 등의 영향 때문에 광의적인 의미의 내분비계 장애물질로 포함되며, 이에 따라 국가적인 차원에서 관리가 요구되므로 환경부 산하 국립환경과학원과 서울시보건환경연구원은 2008년 공동연구사업으로 펜타클로로벤젠을 포함하는 내분비계 장애물질 잔류실태

조사사업을 국내 4대강(한강, 낙동강, 금강, 영산강) 유역과 7개 대도시의 중심지역에서 연 2회 채취한 환경 시료에 대해 수행하였다. 본 논문은 공동연구사업 중 국내의 하천수질과 토양 및 저질에서 채취한 환경 시료 중에 존재가 의심되는 잔류성유기오염물질 중 후보물질인 펜타클로로벤젠에 대한 국내 잔류실태에 관하여 연구한 결과이다.

재료 및 방법

1. 표준품 및 시약

연구에 사용한 표준품은 펜타클로로벤젠(pentachlorobenzene)으로 Sigma-Aldrich사 제품을 사용하였다. 펜타클로로벤젠의 분자식은 C_6HCl_5 으로서 분자량은 250.32 g/mol 이다. 내부 표준품으로 phenanthrene- d_{10} 을 Cambridge Isotope Lab사의 제품으로 사용하였다(표 1).

시약은 잔류농약 분석용 디클로로메탄(Merck), n-헥산(J.T. Baker), 아세톤(Merck)을 사용하였고 무수황산나트륨과 염화나트륨은 Kanto Chemical

Co.을 사용하였다. 실험에 사용한 증류수는 ELGA PURE LAB Prima의 초순수를 사용하였다.

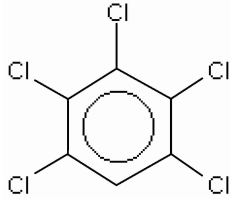
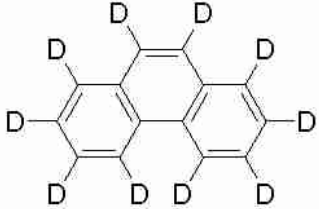
토양과 저질의 공실험에 사용한 해사(washed sea sand)는 Fisher Scientific사의 제품을 이용하였고, 정제과정에서 Supelco Florisil Cartridge 6 ml 1 g을 사용하여 불순물을 제거하였다.

2. 실험방법

표준품은 n-헥산으로 용해하여 농도가 1000 mg/L이 되도록 표준원액(stock Sol.)을 만들었다. 표준원액을 단계 희석하여 10 mg/L이 되도록 표준용액(working sol.)을 제조하였다. 이를 냉동보관하여 분석에 사용할 때 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.0 mg/L의 농도로 희석하여 표준곡선을 작성하였다. 내부표준물질도 표준원액을 거쳐 최종 농도가 0.2 mg/L이 되도록 희석하여 위의 표준혼합용액과 혼용하여 5단계 표준정량곡선을 작성할 때 이용하였다. 또한, 내부표준물질은 샘플의 전처리과정 중 최종 농축단계에 첨가하여, 내부표준법에 따른 정량분석을 실험하였다.

본 연구에 사용한 분석기기는 Agilent 6890N

Table 1. Formula, molecular weight and chemical structure of pentachlorobenzene and phenanthrene- d_{10}

Common name	Formula equation	Molecular weight(g/mol)	Chemical structure
Pentachlorobenzene	C_6HCl_5	250.32	
Phenanthrene- d_{10}	$C_{14}D_{10}$	188.29	

-GC/5973N-MSD로써 기기분석 조건은 표 2에 제시한 바와 같다. 펜타클로로벤젠의 환경 중 잔류실태를 파악하기 위하여 실험한 분석시료는 수질, 토양 및 저질시료로써 공실험분석을 3차 증류수와 해사를 이용하여 10회 이상 분석하여 기기 내 noise 레벨을 측정하고 그 오차를 판정하였다. 이를 위해 기기의 안정화에 중점을 두었고 SIM 및 SCAN 방법을 이용하여 정성정량분석을 실시하였다.

시료는 국립환경과학원에서 전국 4대강 유역(한강, 낙동강, 금강, 영산강) 및 7개 대도시의 중심지역에서 채수·채집하여 제공하였으며, 상반기에 수질 20건, 토양 7건 및 저질 9건으로 총36건을 사용하였고 하반기에도 동일한 수의 환경시료를 실험하여 모두 72건을 사용하였다.

시료의 전처리 과정은 국립환경과학원의 내분비계 장애물질의 측정분석방법 중 농약류의 분석법(14)을 기초로 하여 실시하였다. 수질시료는 500 mL를 디클로로메탄으로 액-액추출한 뒤 핵산으로 최종 추출하여 농축한 뒤 내부표준물질을 첨가하여 GC/MSD로 분석하였다. 토양 및 저질시료는 함수율을 따로 측정한 뒤 20 g을 취하여 실험에 이용하였는데 아세톤으로 초음파추출법(EPA3350 method)을 실시하였다. 아세톤추출액은 다시 디클로로메탄으로 액액추출하여 탈수한 후 농축하여

플로리실 카트리지를 이용하여 정제하였다. 정제된 용출액을 농축하여 내부표준물질을 첨가하여 GC/MSD로 분석하였다.

회수율은 수질시료의 경우 3차 증류수에, 토양 및 저질시료는 3~4차례 유기용매로 세척한 해사에 단계 3의 표준물질용액을 첨가하여 시료와 동일한 전처리 및 분석조건으로 실험하여 회수율을 구하였다.

3. 검출한계 및 정량한계 시험

수질, 토양, 저질 시료를 분석하기 전에 검출한계(detection limit)와 정량한계(quantitation limit)를 구하였다. 공시험용 검체를 시료와 동일하게 전처리하여 분석하였고 다음과 같은 공식을 이용하여 검출한계를 구하였다(11).

$$\text{검출한계(DL)} = \chi + 1.943s (\mu\text{g/L 또는 kg})$$

where, χ : 바탕시험 값의 평균
s : 표준편차

이때 공시험용 검체로는 수질시료로 3차 증류수를, 토양 및 저질시료로 용매 세척한 해사(Fisher Scientific)를 사용하여 10회 이상 반복 실험하였다. 정량한계는 검출한계의 3배로 정하여 구하였다.

Table 2. Analytical conditions of GC/MSD

Equipment	Conditions
GC	Column : DB-5MS(30 m×0.25 mm i.d × 0.25 μm film thickness) Carrier Gas : He
	Injection Mode : Splitless
	Injection Port Temp. : 260°C
	Temp. Programming : 100°C (0 min)→150°C (3 min)→180°C (5 min)→260°C (9 min) 20°C/min 4°C/min 12°C/min
MSD	Source Temp. : 230°C
	Electron Energy : 70 eV
	Ionization Mode : EI(SIM mode)
	Tuning Compound : PFTBA(perfluoro-tributylamine)

결과 및 고찰

분석 대상인 펜타클로로벤젠의 표준물질과 내부 표준물질의 혼합표준용액 단계 4의 0.8 ng/ μ L 농도를 GC/MSD를 이용하여 SIM-mode로 분석한 결과 펜타클로로벤젠은 6.765분대에, 페난스렌-d10은 12.486분대에 양호하게 분리됨을 알 수 있었다(그림 1).

이는 Jandera(9) 등의 HPLC를 이용하여 20분대 후반에 펜타클로로벤젠을 분석한 것과

Wennrich(13) 등의 ASE(accelerated solvent extraction) 추출하여 SBSE(stir bar sorptive extraction) 정제한 뒤 GC/MS로 24분대에 분석한 결과와 비교하여 빠른 시간에 분석이 가능한 것을 알 수 있었다.

표준물질과 내부표준물질의 5단계의 표준품을 주입하여 정량한 결과 우수한 직선성을 나타내었고 상관계수(R^2)값이 1.000으로 양호한 결과를 나타내었다(그림 2).

정성확인을 위하여 SCAN-mode로 분석한 결과

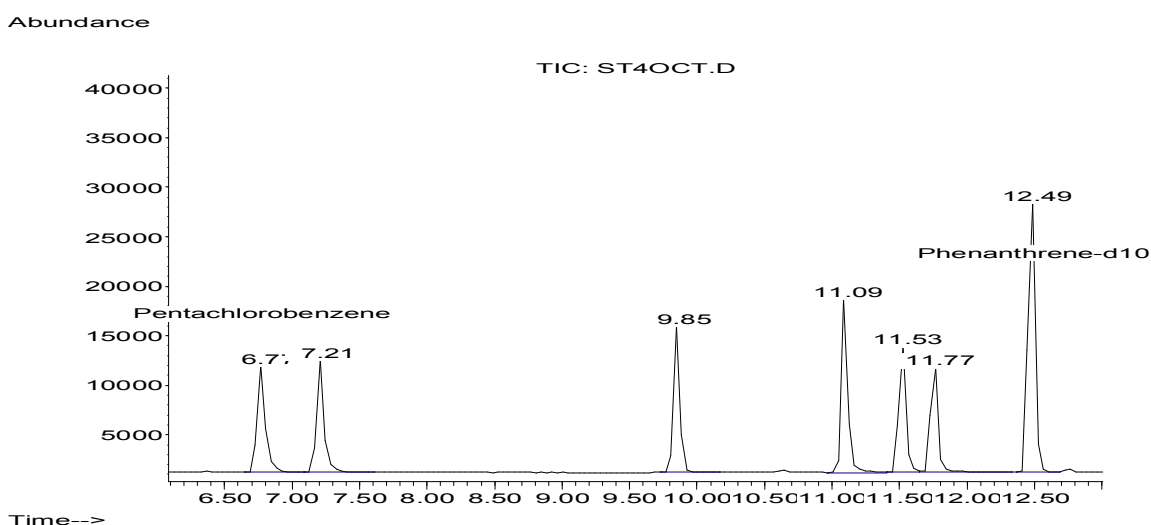


Fig. 1. Chromatograms of pentachlorobenzene and phenanthrene-d10 by GC/MSD.

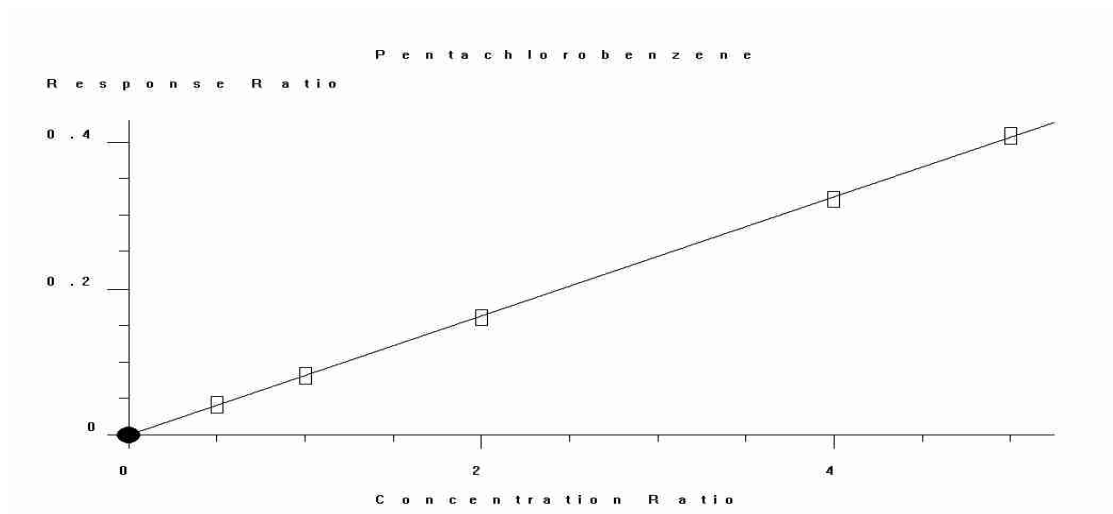


Fig. 2. Calibration curve of pentachlorobenzene by GC/MSD.

펜타클로로벤젠의 primary ion은 215(125,98)로 나타났고, 페난스렌-d10은 188이었다(그림 3, 4).

3차 증류수와 해사를 이용하여 공실험 분석을 10회 실시하여 검출한계와 정량한계를 구한 결과, 수질시료에서 펜타클로로벤젠의 검출한계는 0.01 $\mu\text{g/L}$ 으로 나타났고, 토양 및 저질시료에서는 0.03 $\mu\text{g/kg}$ 으로 나타났다. 정량한계는 수질시료

에서 0.03 $\mu\text{g/L}$, 토양 및 저질시료에서는 0.10 $\mu\text{g/kg}$ 이었다(표 3). 캐나다의 호수와 강물에서 펜타클로로벤젠의 분석이 1980~1991년에 집중적으로 이루어졌는데, 이들 수질시료에서 펜타클로로벤젠이 불검출에서 13 ng/L의 검출을 보였으며 검출한계는 0.01~1 ng/L으로 나타났다(3). 이는 본 연구에서 수질시료의 검출한계와 일치하였다.

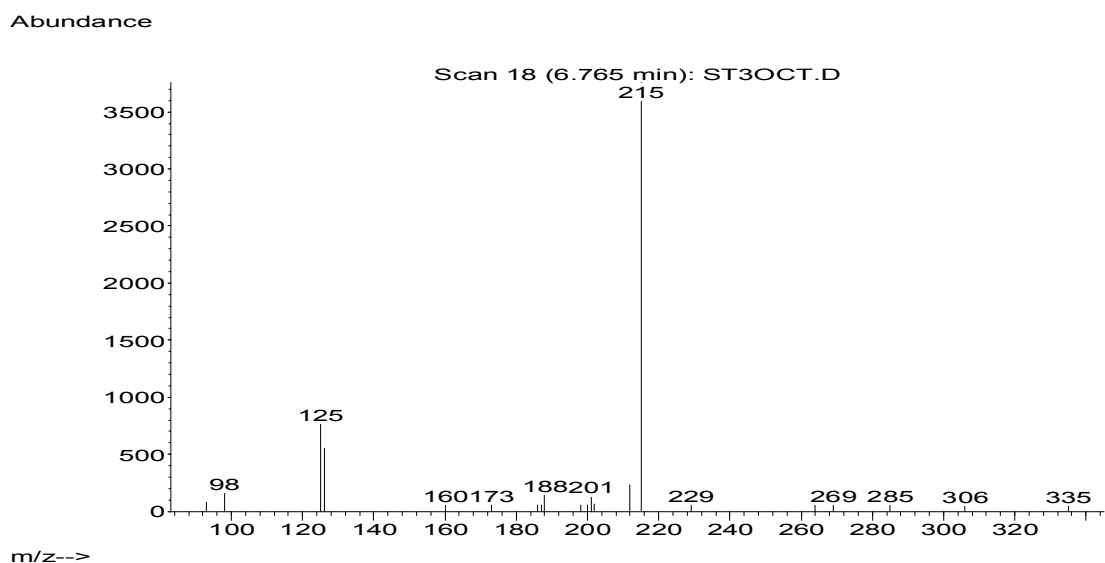


Fig. 3. Mass spectrum of pentachlorobenzene with GC/MSD.

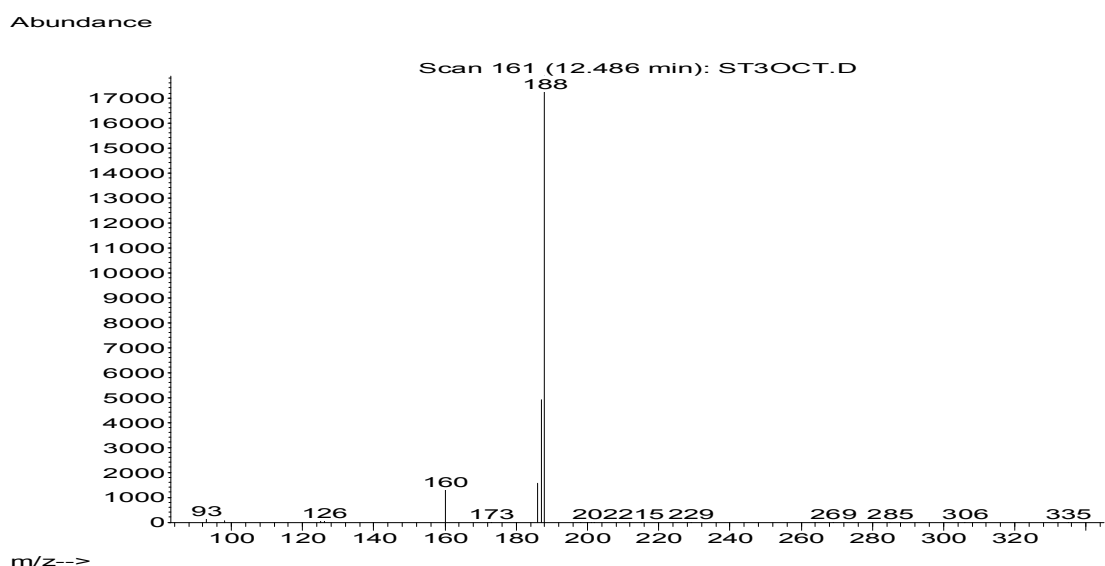


Fig. 4. Mass spectrum of phenanthrene-d10 with GC/MSD.

수질시료의 회수율 범위는 81.3~94.0%를 나타내었고, 토양 및 저질시료의 회수율 범위는 77.5~98.0%를 나타냄으로써 양호한 회수율을 보여주었다(표 4). Takats(11)의 연구에서 다양한 전처리를 통한 회수율 효율실험에서 DSTD(Double stage thermal desorption) 전처리한 토양시료는 97.5~96.2%의 회수율을 보였고, 수질시료에서는 SPE1(solid phase extraction using double stage thermal desorption) 전처리한 시료에서 94.6~100%의 높은 회수율을 나타내어 본 연구보다 우수한 회수율을 나타내었다.

이를 토대로 2008년 환경부에서 제공한 4대강 유역 및 7대도시의 수질, 토양, 저질 시료를 분석한 결과 72건의 시료에서 펜타클로로벤젠은 모두 불검출로 나타났다(표 5). Scan-mode에서는 시료와 펜타클로로벤젠의 peak가 90% 이상의 일치율을 보였으나 SIM-mode로 분석하였을 때에는 표준품과 시료의 머무름시간이 일치하지 않아서 모두 불검출로 판정되었다. 그림 5는 토양 2번 시료의 크로마토그램으로써, 표준품 레벨 3과 레벨 5를 겹쳐보기 하였을 때 펜타클로로벤젠의 peak와 일치하지 않는 것을 나타내었다.

Table 3. Detection limits(D/L) and Quantitation limits(Q/L) of pentachlorobenzene in water, soil and sediment(n=10)

Compound	Water($\mu\text{g/L}$)		Soil and sediment($\mu\text{g/kg}$)	
	D/L	Q/L	D/L	Q/L
Pentachlorobenzene	0.01	0.03	0.03	0.10

Table 4. Recovery rates of pentachlorobenzene in water, soil and sediment

PeCB	Spike Level(ng)	Mean Conc.(ng)	Recovery(%)	Std. Dev.	RSD(%)
Water	0.40	0.36	87.63	0.04	10.88
Soil and Sediment	0.40	0.35	87.75	0.01	3.17

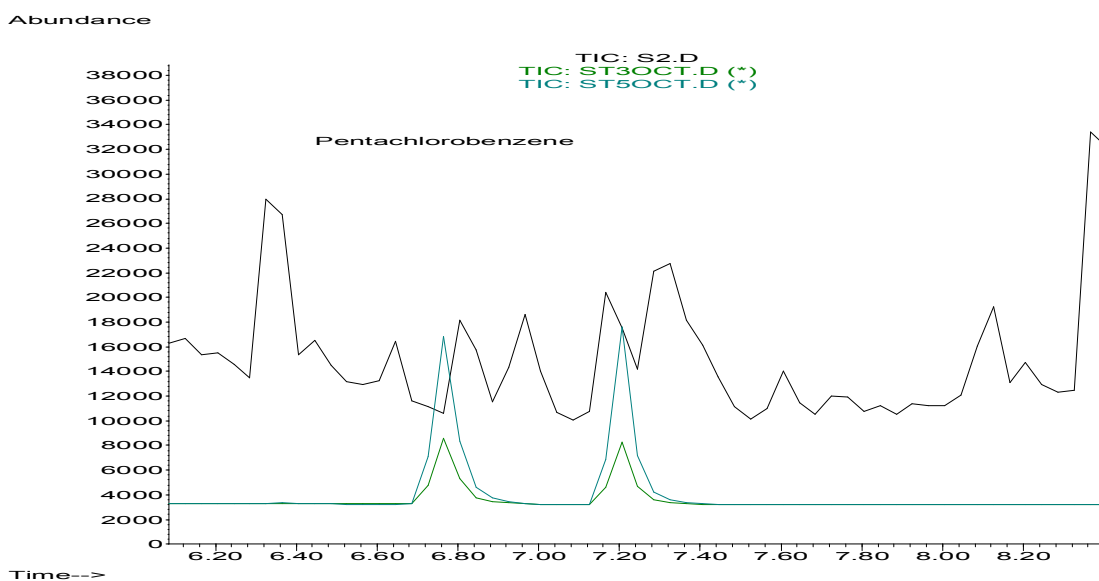


Fig. 5. Overlay TIC(total ion chromatograms) of soil sample with standard level 3 & 5.

Table 5. The concentrations of pentachlorobenzene in water, soil and sediment, Korea(2008)

No.	Stations	First half	Second half	Sample type
1	Han River-1	n.d.	n.d.	water
2	Han River-2	n.d.	n.d.	
3	Han River-3	n.d.	n.d.	
4	Han River-4	n.d.	n.d.	
5	Han River-5	n.d.	n.d.	
6	Nakdong River-1	n.d.	n.d.	
7	Nakdong River-2	n.d.	n.d.	
8	Nakdong River-3	n.d.	n.d.	
9	Nakdong River-4	n.d.	n.d.	
10	Nakdong River-5	n.d.	n.d.	
11	Nakdong River-6	n.d.	n.d.	
12	Keumkang River-1	n.d.	n.d.	
13	Keumkang River-2	n.d.	n.d.	
14	Keumkang River-3	n.d.	n.d.	
15	Keumkang River-4	n.d.	n.d.	
16	Keumkang River-5	n.d.	n.d.	
17	Youngsan River-1	n.d.	n.d.	
18	Youngsan River-2	n.d.	n.d.	
19	Youngsan Riverr-3	n.d.	n.d.	
20	Youngsan River-4	n.d.	n.d.	
21	Seoul	n.d.	n.d.	soil
22	Busan	n.d.	n.d.	
23	Incheon	n.d.	n.d.	
24	Daegu	n.d.	n.d.	
25	Daegeon	n.d.	n.d.	
26	Ulsan	n.d.	n.d.	
27	Gwangju	n.d.	n.d.	
28	Han River-3	n.d.	n.d.	sediment
29	Han River-4	n.d.	n.d.	
30	Nakdong River-2	n.d.	n.d.	
31	Nakdong River-3	n.d.	n.d.	
32	Nakdong River-6	n.d.	n.d.	
33	Keumkang River-3	n.d.	n.d.	
34	Keumkang River-5	n.d.	n.d.	
35	Youngsan River-2	n.d.	n.d.	
36	Youngsan River-4	n.d.	n.d.	

* n.d means not detected in samples.

Moon(15) 등은 2001년에 우리나라 경북 포항의 영일만 20지점의 해수에서 클로로벤젠류를 분석하였는데 모든 지점의 해수에서 펜타클로로벤젠이 0.03~0.12 ng/L의 검출을 나타내었는데 역시 전 지점의 해수에서 검출된 트리클로로벤젠의 검출농도인 0.35~3.56 ng/L 보다 낮은 검출을 나타내었다. 이것은 우리나라 남동해안의 해수에서 펜타클로로벤젠이 낮은 농도로 존재함을 나타내는 것이다. 또한, 우리나라에 미도입 물질로 알려진 헥사클로로벤젠은 0.22~0.86 ng/L의 검출을 보임으로써 그 당시 해수에서 POPs 물질 오염이 있었음을 알 수 있었다.

Falandysz(16) 등은 2000년 발틱해 그다니스크만에서 잡힌 다양한 물고기에서의 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠에 대해 조사한 연구에서 청어 등에서 펜타클로로벤젠이 0.75 ng/g 이 검출되었다고 보고하였는데 이를 통해 해양오염의 실태를 알 수 있었다.

Lee(17) 등은 2000년 대만의 카오슝 해안의 퇴적물에서 클로로벤젠류의 조사를 하였는데 디클로로벤젠과 트리클로로벤젠이 117.1~290.5 ng/g으로 높은 검출율을 보인 것에 비해 펜타클로로벤젠이 평균 15.7 ng/g으로 낮은 검출을 보였다.

본 연구의 결과와 다른 문헌을 고찰한 결과, 2000년 초반에는 해수나 해안퇴적물 특히 어류나 쌍각조개류에서 클로로벤젠류가 낮은 농도로 존재함을 알 수 있었고, 토양이나 내륙의 하천수 및 하천의 저질에서 검사한 결과 클로로벤젠 특히 펜타클로로벤젠이 검출됨을 알 수 있었다(18). 그 후 우리나라에서 펜타클로로벤젠의 조사연구가 이루어지지 않았으며 특히 하천수와 저질, 토양에서 펜타클로로벤젠의 조사는 없는 실정이었다. 2008년 국립환경과학원과 서울시보건환경연구원의 공동연구사업을 통해 펜타클로로벤젠이 국내 하천을 포함한 환경에서 잔류하지 않음을 알 수 있었다.

결 론

2008년에 국내 4대강 유역(한강, 낙동강, 금강, 영산강)과 7개 대도시 중심 지역의 강물, 토양 및

저질시료 72건에 대한 펜타클로로벤젠의 잔류 실태를 조사하였다. 하천수는 디클로로메탄으로 액·액 추출하였고, 토양 및 저질은 아세톤으로 초음파 추출하여 GC/MSD로 분석하였다. 페난스렌-d10의 내부표준품을 이용하여 내부표준법으로 분석하였으며 두 물질은 6.76분~12.48분대에 양호하게 분리되었고, 검량선은 0.1~1.0 ng/ μ L의 농도로 주입하여 정량한 결과 우수한 직선성을 보였다.

수질시료의 정량한계는 0.03 μ g/L를 나타내었고 토양 및 저질시료에서는 0.10 μ g/kg으로 나타났다. 수질시료의 회수율 범위는 81.3~94.0%를 나타내었고, 토양 및 저질시료의 회수율 범위는 77.5~98.0%를 나타내었다.

수질, 토양 및 저질 시료 총 72건을 정량 분석한 결과 2008년 우리나라에서 펜타클로로벤젠의 검출이 없는 것으로 나타났다. 본 연구의 분석결과에서 우리나라 4대강과 그 유역의 저질 및 7개 도시의 토양에서 잔류성유기오염물질 후보물질인 펜타클로로벤젠이 잔류되지 않았음을 확인하였다.

참고문헌

1. Proposal for listing Pentachlorobenzene in the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. United Nations Environment Programme. 26 July 2006.
2. E. van de Plassche, A. Schwegler, M. Rasenberg and G. Schouten(Royal Haskoning, The Netherlands). Pentachlorobenzene.
3. Canadian Environmental Protection Act (CEPA). Priority Substances List Assessment Report. Pentachlorobenzene. Government of Canada, 1993.
4. Arctic Monitoring and Assessment Programme. 2004. <http://amap.no/>
5. Shen L, Wania F, Lei YD, Teixeira C, Muir DCG and Bidleman TF : Atmospheric distribution and long-range tran-

- sport behaviour of organochlorine pesticides in North America. Environ. Sci. Technol., 39:409~420, 2005.
6. Thomas R, Benjamin S, Gustafson D, Pott W, Long M and Yang R : Evidence for hepatocarcinogenic activity of pentachlorobenzene with intralobular variation in foci incidence. Carcinogenesis, 19, 1998. Oxford Uni. Press.
 7. 잔류성유기오염물질 관리법. 일부개정 2007.1.29 법률 제8404호. 시행일 2008.1.27
 8. Hosoyamada Y, Kuroda K and Kobatake Y : Suppression of Pentachloro benzene Accumulation in Rat Serum and Tissues by Various Dietary Phospholipids. Journal of Japanese Society of Nutrition and Food Science, 53(1):11~17, 2000.
 9. TOX-6 Toxicity Studies of Pentachlorobenzene in F344/N Rats and B6C3F1 Mice(Feed Studies). National Toxicology Program.
 10. Sachie I, Keizo U, Yoshiki K and Tomio I : Viscous Indigestible Polysaccharides Reduce Accumulation of Pentachlorobenzene in Rats. Journal of Nutrition, 124(5):754~760, 1994.
 11. Takats Z and Torkos K : Determination of Chlorobenzenes in Environmental Samples Using Solid Phase Microextraction, Thermal Desorption and Analysis by Gas Chromatography Coupled to FID, ECD, MSD, IRD Detectors. Chromatographia, 48:74~80, 1998.
 12. Jandera P, Fischer J and Prokes B : HPLC Determination of Chlorobenzenes, Benzenesulphonyl Chlorides and Benzenesulphonic Acids in Industrial Waste Water. Chromatographia, 54:581~587, 2001.
 13. Wennrich L, Popp P and Breuste J : Determination of Organochlorine Pesticides and Chlorobenzenes in Fruit and Vegetables Using Subcritical Water Extraction Combined with Sorptive Enrichment and CGC-MS. Chromatographia, 53:380~386, 2001.
 14. 내분비계 장애물질의 측정분석방법. 제3장 농약류 분석법. 국립환경연구원. 2002. 5.
 15. Moon HB, Choi HG, Kim SS, Jeong SR and Lee PY : Distribution of Certain Chlorobenzenes in Seawater from Youngil Bay, Korea. Environmental Sciences 10 (S-3):107~111, 2001.
 16. Falandysz J, Strandberg L, Strandberg B, Bergqvist PA and Rappe C : Pentachlorobenzene and Hexachlorobenzene in Fish in the Gulf of Gdansk. Polish Journal of Environmental Studies, 9(2): 129~132, 2000.
 17. Lee CL, Song HJ and Fang MD : Concentraions of chlorobenzenes, hexachlorobutadiene and heavy metals in surficial sediments of Kaohsiung coast, Taiwan. Chemosphere, 41:889~899, 2000.
 18. Moon HB, Lee SJ and Choi HG : Monitoring of Some Chlorobenzenes in Marine Sediments and Bivalves from Several Coastal Regions of Korea. Journal of Fisheries Science and Technology, 7(4):215~218, 2004.