

국내의 수질, 토양 및 저질시료에서의 폴리브롬화비페닐(PBBs)의 분석

어연우 · 박현미 · 류재천* · 홍종기** · 김영만 · 이강봉

한국과학기술연구원 특성분석센터, *생체대사연구소

**기초과학지원연구소, 질량분석팀

Analysis for Polybrominated Biphenyls(PBBs) Existing in Water, Soil and Sediment Samples of Korea

Yun-Woo Eo, Hyun-Mee Park, Jae-Chun Ryu*, Jongki Hong**
Young-Man Kim and Kang-Bong Lee

Advanced Analysis Center, *Bioanalysis and Biotransformation Research Center,
Korea Institute of Science and Technology,

P.O. Box 131, Cheongryangri, Seoul 130-650, Korea

**Mass Spectrometry Team, Korea Basic Science Institute,
Taejon 305-333, Korea

Analytical method using GC/MS has been developed in order to monitor congeners of polybrominated biphenyls (PBBs) for samples collected with 43 kinds of water, 35 kinds of soil and 11 kinds of sediment matrices in various places of Korea. In our analytical investigation, the 24 standard congeners of PBBs were used and were separated using AT-1 column (15 m × 0.25 mm × 0.1 μm), and were monitored using SIM (Selected Ion Monitoring) method. The mean recoveries were 96.6% for water, 96.8% for soil and sediment samples. Detection limits of PBBs in water are 20 ng/L(mono-, di-, tri-, tetra-, penta-, hexa-BB) or 300 ng/L(deca-BB) and those of soil and sediment samples are 3 (mono-, di-, tri-, tetra-, penta-BB), 5 (hexa-BB) and 50 (deca-BB) μg/kg. PBBs congeners in all samples were not detected within quantitation limit, and the contamination level of PBBs in Korea was evaluated to be much lower than that in advanced countries like USA, Japan and European countries.

Key words: PBBs, congeners, GC/MS, SIM, Analytical method

1. 서 론

폴리브롬화비페닐(PBBs)은 전자장비, 플라스틱류, 섬유류, 건축자재 및 카펫 그리고 자동차나 비행기 등에 방염제로 아주 폭넓게 사용되어져 왔다. 특히, 이들은 산, 염기, 열과 빛 그리고 산화제나 환원제 등에 대한 저항성이 아주 크며, 대기 속으로 유입 되었을 때 분해가 잘되지 않고 아주 안정한 화합물이다.^{1,2)} 특히, 이러한 PBBs에 열이 가해졌을 경우 브롬화 이벤조플란과 이벤조다이옥신을 발생시킬 가능성이 있다.³⁾ 방염 화합물의 사용과 생산량은 계속해서 증가하고 있어

사용된 방염제의 환경유입은 점차 확대되고 있으며, 통제하기 어려워지고 있다.⁴⁾ 1992년 한 해에만도 사용된 브롬 방염제의 양은 150,000톤에 이르며,⁵⁾ 이러한 방염제는 사용된 곳과 아주 먼 지역에서 채취한 시료에서조차도 미량이 존재한다는 것이 밝혀졌다. 이러한 사실은 대기를 통하여 전세계적으로 널리 확산되고 있는 것으로 추정 되어 왔다.

폴리브로모비페닐(PBBs)의 분자구조는 폴리클로로비페닐(PCBs)의 구조와 아주 유사하며, 환경 중에서 분해의 저항성도 폴리클로로비페닐과 유사하기 때문에 비록 PBBs의 분자량이 커서 생체내의 membrane을 통

과하지 못할 수도 있다고 하더라도, PBBs는 PCBs와 아주 유사한 유독성을 보일 것이라는 많은 증거가 있다.⁶⁾ 예를 들어, 급성독성의 경우 PBBs는 PCBs 혼합물과 아주 유사한 독성을 나타내며, 또한 간암을 유발하는 작용이 있다는 것이 밝혀졌으며,^{7,8)} 쥐에서의 실험결과 PBBs는 PCBs와 마찬가지로 carcinogenic 효과를 나타내는 것으로 나타났다. 이러한 PBBs는 1973년에 미국의 미시간주에서 생긴 사고 이후에야 환경위험이 존재한다는 사실을 처음으로 인식했지만,^{9,10)} 오늘날까지 이러한 화합물에 대한 관심은 별로 갖지 못했다. 일본의 경우만을 예로 들어도 브롬 유기화합물의 소비는 1975년에 2,500톤에서 1987년에는 22,100톤으로 사용량이 폭발적으로 증가하였다.³⁾

그 동안 PBBs의 분석은 PCBs의 분석과 같은 방법의 추출과 cleanup과정을 거쳐서 수행되어 왔으며, GC/ECD나 GC/MS를 이용하여 분석 되어졌는데,¹¹⁻¹⁴⁾ 국내에서의 PBBs의 분석은 수행된 적이 없었다. 따라서 본 연구에서는 congeners를 분리·정량 하는 한계를 극복하기 위해 SIM(Selective Ion Monitoring) mode를 이용한 GC/MS분석법을 활용하였으며, 이론적으로 존재 가능한 209개의 congeners중 Ultra Scientific사에서 25개의 congeners를 구입 실험하였으며, total PBBs가 아닌 congener들의 각각을 분석하였고, 표준품을 첨가하여 전처리과정의 회수율을 검증하였다.

2. 실험

2.1. 시료 채취

시료 채취는 국내의 전 지역에 걸쳐 갈수기(1999. 08.-2000. 11.)에 수행하였고, 수질시료는 3 L유리병에 채취하여 유리로 된 마개로 막고 -4°C의 냉장고에 보관하였다. 토양 및 저질시료는 250 mL 유리병에 채취하여 유

리로 된 마개로 막고 -4°C의 냉장고에 보관하였다.

2.2. 건조 감량 분석

토양 및 저질시료의 건조감량분석은 도가니를 미리 105~110°C에서 1시간 건조시킨 다음 데시케이터 안에서 방냉하고 도가니의 무게를 단 후 5~6 g의 토양 및 저질시료를 도가니에 넣고 전체의 무게를 측정하였다. 시료를 담은 도가니를 105~110°C 오븐에서 4시간 건조시킨 다음 데시케이터 안에 넣어 방냉하고 무게를 정확히 단 다음 감량을 계산하였다.

2.3. 시약

표준 PBBs congener 25종과 내부표준물질인 Phenanthrene-d₁₀은 Ultra Scientific사(USA)에서 구입하여 사용하였고, Hexane, Acetone, Florisil(60~100 mesh)은 J. T. Baker사(Houston, TX, USA)의 잔류농약분석용을 Sodium sulfate anhydrous 1급은 Junsei Chemical(Japan)에서 구입하여 사용하였다.

2.4. 기구 및 장치

컬럼 크로마토그래피용 컬럼은 내경 10 mm 길이 300 mm의 유리 컬럼에 fritted disc와 teflon stopcock가 부착되어 있으며, 농축장치는 B chi사(Switzerland)의 B-480 회전식 감압 농축기, GC/MS분석 장비는 Varian사(USA)의 GC CP-3800/MS SATURN 2000모델을 사용하였다. GC/MS에 사용된 capillary column은 AT-1(15 m × 0.25 mm × 0.1 μm)으로 Alltech사(USA) 제품을 사용하였다.

2.5. 표준액의 조제

24개의 폴리브롬화비페닐 표준품(Table 1)을 10 mg씩 정확히 취하여 n-hexane에 녹인 후 100 ml 메스

Table 1. Ultra Scientific의 표준품 PBBs에 포함된 24종의 PBBs congeners

PBB congeners	Number of Congeners	Structures
monoBB	3	2-/3-/4-
diBB	5	2,2'-/2,5-/2,6-/2,4-/4,4'-
triBB	6	2,4,6-/2,2',5-/2,3',5-/2,4,5-/2,4',5-/3,4,5-
tetraBB	4	2,2',5,6'-/2,2',4,5-/2,2',5,5'-/3,3',5,5'-
pentaBB	2	2,2',4,5',6-/2,2',4,5,5'-
hexaBB	3	3,3',4,4',5,5'-/2,2',4,4',5,5'-/2,2',4,4',6,6-
decaBB	1	2,2,3,3,4,4,5,5,6,6-

Table 2. PBBs 표준물질의 측정이온

분석대상물질	정량이온	확인이온
monoBB	234.0	152.1, 232.0
diBB	311.9	309.9, 313.9
triBB	389.8	391.8, 230.0
tetraBB	469.7	467.7, 471.7
pentaBB	547.6	549.6, 387.8
hexaBB	627.5	625.5, 629.5
decaBB	623.5	621.5, 625.5

플라스크에 채우고, 이 용액에서 일정량을 취하여 n-hexane으로 희석 혼합하여 소정 농도의 혼합 표준액을 조제하였다(0.05, 0.10, 0.15, 0.20 µg/ml). 실린지 첨가용 내부표준물질(Phenanthrene-d₁₀) 표준용액도 같은 방법으로 희석하여 0.1 µg/ml로 만들었다.

2.6. GC/MS 분석 조건

PBBs의 확인 및 정량분석을 하기 위하여 검출기는 SIM 모드를 선택하였으며, 측정에 사용된 이온들은 Table 2에 표시하였다. Congeners의 분리에 사용한 컬럼은 Alltech사(USA)의 AT-1으로서 오븐 온도는 70°C에서 1분 유지하고 300°C까지 분당 7°C씩 올려 2분간 유지하였다. 시료는 splitless법으로 3 µl를 주입하였으며, 주입구 온도는 280°C, 이온화 온도 240°C, 이온화 전압은 70 eV, MS의 이온화는 Electron Ionization 방법을 사용하였다. Carrier gas는 He으로 1 ml/min의 유속으로 흘려주었다.

2.7. 시료의 전처리

2.7.1. 수질

시료 1l를 2l의 분액 깔대기에 넣고 염화나트륨 30g을 첨가하고 충분히 녹인 다음 n-헥산 50 ml를 넣어 10분간 진탕하여 추출하였다. 이 작업을 2회 반복하고, n-헥산층을 합하여 무수 황산나트륨으로 탈수하고, 회전식 감압 농축기를 사용하여 약 5ml지 농축하였으며, 다시 질소가스를 불어넣어 날려보내고 실린지 첨가용 내부표준물질(Phenanthrene-d₁₀ 0.1 ppm) 1ml에 녹여 GC/MS에 주입하여 분석한다. 시료에 방해물질이 많은 경우에는 플로리실 컬럼 크로마토그래피로 정제하였다. 분석을 위한 시료전처리과정의 흐름도를 Fig. 1에 요약하였다.

2.7.2. 토양 및 저질 시료

PBBs의 분석

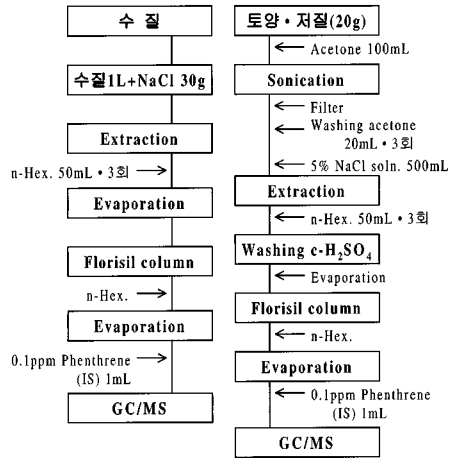


Fig. 1. Schematic diagram of sample pretreatment for PBBs analysis from the water and sediment.

시료 20 g을 100 ml의 둥근 플라스크에 취하여 아세트론 50 ml를 넣고 마개를 닫아 10분간 진탕 추출하였다. 이어서 초음파 조사를 사용하여 10분간 초음파로 추출한 다음 감압 흡입 여과 장치를 이용하여 여과하고 아세트론 20 ml씩 3회씩 시료 및 용기를 씻어주었다. 이 여액을 1 L 분액 깔대기에 옮기고 5% 염화나트륨수용액 500 ml를 넣어 흔들어 준 다음 여기에 n-헥산 50 ml를 넣고 5분간 진탕 추출하였다. 이 추출조작을 2회 반복하고 n-헥산 층을 합한 다음 분액 깔대기에 황산 10 ml를 넣고 진탕하여 씻는다. 황산 층이 맑아질 때까지 이 조작을 반복하고 n-헥산층을 물로 3회 씻었다. n-헥산층을 무수 황산나트륨으로 탈수하고 100 ml의 둥근 바닥 플라스크에 옮겨 회전식 감압 농축기(또는 KD 농축기)를 사용하여 5 ml까지 농축하고 질소가스로 날려보낸 다음 실린지 첨가용 내부표준물질(Phenanthrene-d₁₀) 0.1 ppm 1ml에 녹여 GC/MS에 주입하여 분석하였다. 이 시료에 이물질이 많을 경우에는 플로리실 컬럼 크로마토그래피로 정제한다. 토양 및 저질시료 분석을 위한 시료 전처리 과정의 흐름도를 Fig. 1에 요약하였다.

2.7.3. 컬럼 크로마토그래피

크로마토그래피관(안지름 10 mm, 길이 300 mm)에 플로리실 10 g을 n-헥산을 사용하여 습식 충전하고 무수 황산나트륨을 2 cm두께로 충전 하였다. 사용하기

전에 n-헥산 100 ml로 씻었다. 시료의 전처리액을 플로리실 컬럼에 부하하고(사전에 플로리실 용출 패턴 확인) 계산된 양의 n-헥산을 매분 5 ml의 유속으로 분석 대상물질을 용출 한 다음, 회전식 감압 농축기(또는 KD 농축기)를 사용하여 수 ml까지 농축하고 실린지 첨가용 내부표준물질(Phenanthrene-d₁₀, 0.1 ppm) 1 ml를 첨가하여 질소가스를 불어넣어 1 ml까지 농축하여 측정용 시료액으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. PBBs의 분리 및 확인

PBBs는 이론적으로 존재 가능한 congeners의 수가 209개이며, 이중 현재 상업적으로 이용 가능한 표준 congener들은 Table 1에서 보는 바와 같이 25종이다. 앞장에서 언급된 GC/MS 분리조건에 따라 분리된 24개 congener의 GC chromatogram과 이온별 chromatogram은 Fig. 2과 3에 각각 나타내었다. PBBs congener들의 정량 및 확인 이온은 Table 2에 나타냈

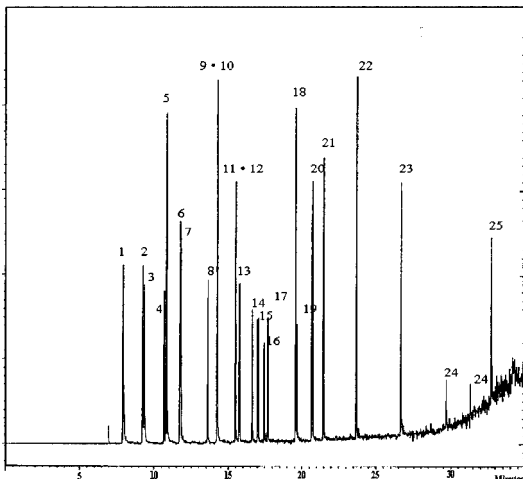


Fig. 2. Total ion chromatogram of PBBs standard(25 congeners of PBBs). 1) 2-MonoBB 2) 3-MonoBB 3) 4-MonoBB 4) 2,2'-DiBB 5) 2,6-DiBB 6) 2,5-DiBB 7) 2,4-DiBB 8) 4,4'-DiBB 9) 2,4,6-TriBB 10) 2,2',5-TriBB 11) 2,3',5-TriBB 12) 2,4,5-TriBB 13) 2,4',5-TriBB 14) 2,2',5,6'-TetraBB 15) 3,4,5-TriBB 16) 2,2',4,5-TetraBB 17) 2,2',5,5'-TetraBB 18) 2,2',4,4',5,6-PentaBB 19) 3,3',5,5'-TetraBB 20) 2,2',4,5,5'-PentaBB 21) 2,2',4,4',6,6'-HexaBB 22) 2,2',4,4',5,5'-HexaBB 23) 3,3',4,4',5,5'-HexaBB 24) OctaBB 25) DecaBB.

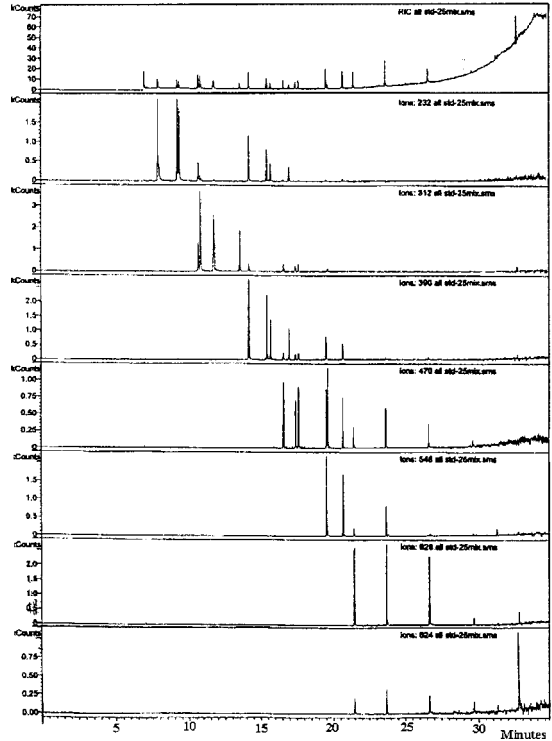


Fig. 3. Total ion chromatogram and extracted ion chromatogram of 25 congeners of PBBs.

다. 25개의 congener들중 확인 및 정량에 사용된 congener는 3-MonoBB, 2,6-DiBB, 2,4,6-TriBB, 2,2',5,5'-TetraBB, 2,2',4,5,5'-PentaBB, 2,2',4,4',5,5'-HexaBB, DecaBB 등 총 7개의 congener만이 정량을 위해 사용 되었다. DecaBB congener의 경우는 분자량이 934.2 amu로 GC/MS 질량 스펙트럼의 영역(10~650 amu)을 벗어나므로 m/e 624 fragment 이온을 사용하였다. 각 congener의 mass spectrum 및 구조는 Fig. 4에 나타내었다.

3.2. 검출한계 및 검출량의 계산식

시료중의 검출 한계(DL)는 아래의 식 (1)을 이용하여 얻어졌으며

$$DL = 1.943 \times s(s: \text{표준편차}) \tag{1}$$

Response factor(RF, 식 2)를 이용하여 검출량(ng)을 계산시 아래의 식 (3)를 이용하여 계산하였다.

$$RF = (As \times Cis) / (Ais \times Cs) \tag{2}$$

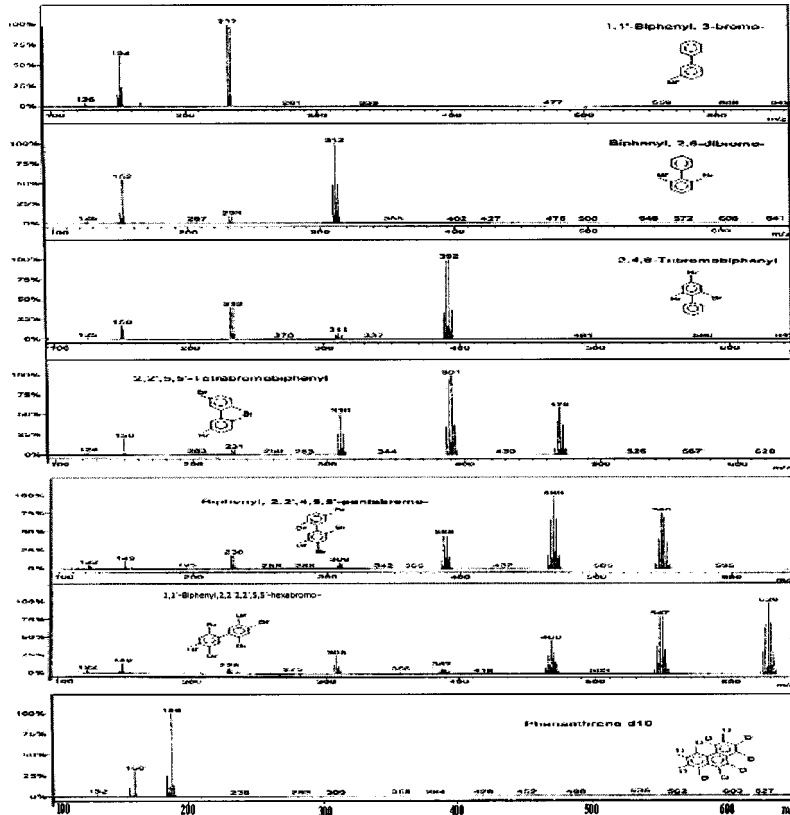


Fig. 4. The mass spectrum of standard PBBs(A: 3-MonoBB, B: 2,6-DiBB C: 2,4,6-TriBB D: 2,2',5,5'-TetraBB, E: 2,2',4,5,5'-PentaBB F: 2,2',4,4',5,5'-HexaBB, G: Phenanthrene-d₁₀).

여기서 A_s : 표준물질 측정이온의 피크 면적, C_{is} : 검량선용 표준액 중의 정제용 내부표준물질의 양(ng), A_{is} : 정제용 내부표준물질 측정이온의 피크 면적, C_s : 검량선용 표준액 중의 표준물질의 양(ng)을 나타낸다.

$$\text{검출량 } C_s(\text{ng}) = (A_s \times C_{is}) / (A_{is} \times \text{RF}) \quad (3)$$

여기에서 A_s 는 분석대상물질(정제용 내부 표준물질) 측정이온의 피크 면적(또는 높이)를 나타내며, A_{is} 는 실린지 첨가용 내부표준물질 측정이온의 피크 면적(또는 높이)를 나타내고, C_{is} 는 측정용 시료 액 중의 실린지 첨가용 내부표준물질의 양(ng)을 나타낸다.

3.3. 재현성, 회수율, 검출한계 및 평균 RF

3.3.1. 시료의 재현성, 회수율 및 검출한계

수질시료의 검출한계 및 회수율은 물 1l를 취하여 3-monoBB, 2,6-diBB, 2,4,6-triBB, 2,2',5,5'-tetraBB,

2,2',4,4',5,5'-hexaBB는 각각 100 ng, decaBB는 3,000 ng을 첨가하고 위에서 기술한대로 시료의 전처리 과정을 통하여 4회 분석한 결과로부터 구하여 Table 3에 나타내었다. 회수율의 범위는 86.4~111.4%이었으며, 상대표준편차(%)는 3.34~10.55%로 양호하였다. 그리고 3-monoBB, 2,6-diBB, 2,4,6-triBB, 2,2',5,5'-tetraBB, 2,2',4,4',5,5'-hexaBB의 검출한계는 20 ng/L이고, decaBB는 300 ng/L이었다. 토양시료의 검출한계 및 회수율은 토양 20 g을 취하여 3-monoBB, 2,6-diBB, 2,4,6-triBB, 2,2',5,5'-tetraBB, 2,2',4,4',5,5'-hexaBB는 각각 100 ng, decaBB는 3,000 ng을 첨가하여 위에서 기술한 대로 시료의 전처리 과정을 통하여 4회 분석한 결과로부터 구하여 Table 4에 표시하였다. 토양 및 저질의 경우 회수율의 범위는 86.7~11.25%이며, 특히 3-monoBB는 86.7%로 가장 작은 값을 나타내었다. 상대표준편차(%)는 2.47~16.7%였는데, 2,4,6-triBB가 16.7%로 가

Table 3. 수질에서 PBBs의 회수율 및 검출한계

Compound	첨가량 (ng)	회수율(%)					RSD (%)	검출한계 (ng/l)
		1	2	3	4	평균		
3-monoBB	100	85.3	89.7	94.5	76.2	86.4	9.01	20
2,6-diBB		89.5	94.5	95.8	82.8	90.6	6.50	
2,4,6-triBB		95.1	102.6	96.5	97.5	97.9	3.34	
2,2',5,5'-tetraBB		91.9	85.6	93.2	92.8	90.9	3.92	
2,2',4,5,5'-pentaBB		97.4	94.9	103	95.8	97.8	4.54	
2,2',4,4',5,5'-hexaBB		97.1	109.7	124	114.7	111.4	10.07	
decaBB	3,000	106.6	87.7	98.7	112.4	101.4	10.55	300

Table 4. 토양 및 저질에서 PBBs의 회수율 및 검출한계

Compound	첨가량 (ng)	회수율(%)					RSD (%)	검출한계 (µg/kg)
		1	2	3	4	평균		
3-monoBB	100	87.9	109.8	83.4	77.5	86.7	15.7	3
2,6-diBB		88.1	103.6	102.2	101.1	98.8	7.26	
2,4,6-triBB		92.5	112.5	81.3	79.2	91.4	16.7	
2,2',5,5'-tetraBB		95.6	107.9	112.6	90.5	101.7	10.2	
2,2',4,5,5'-pentaBB		85.4	100.2	97.1	87.6	92.6	7.76	
2,2',4,4',5,5'-hexaBB		110.9	115.6	109.5	113.9	112.5	2.47	
decaBB	3,000	86.2	104.2	97.2	89.3	94.2	8.60	50

장 빈약한 재현성을 보였다. 검출한계는 3-monoBB, 2,6-diBB, 2,4,6-triBB, 2,2',5,5'-tetraBB, 2,2',4,5,5'-pentaBB는 3 µg/kg, 2,2',4,4',5,5'-hexaBB는 5 µg/kg이며, decaBB는 50 µg/kg이었다.

3.3.2. 평균RF

PBBs의 RF값을 구하기 위하여 3-monoBB, 2,6-diBB, 2,4,6-triBB, 2,2',5,5'-tetraBB, 2,2',4,5,5'-pentaBB, 2,2',4,4',5,5'-hexaBB congener들의 경우는 0.025, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 µg/ml 농도를 사용하여 RF를 측정하였으며, decaBB는 정량한계가 높은 관계로 1, 2, 3,

4, 5 µg/ml 농도를 사용하여 RF값을 구하여 그 결과를 Table 5에 나타내었다. 선정된 7개의 PBB congeners에 대하여 농도별(0.025~0.20 µg/ml) RF 값은 각기 달랐으며 특히, decaBB는 mass range관계로 분자이온값을 선정하지 못하여 큰 차이를 나타냈다. 평균값의 범위는 0.0345~1.404이며 상대평균편차는 4.36~10.7%로 비교적 양호한 편이었다.

3.5. 시료 분석

수질의 전처리과정은 방해물로 인한 분석상의 문제

Table 5. Ultra Scientific의 PBBs의 표준품에 Congeners의 평균 response factor, 표준편차 및 상대표준편차

성분	구분	3-mono	2,6-di	2,4,6-tri	2,2',5,5'	2,2',4,5,5'	2,2',4,4',5,5'	decaBB
		BB	BB	BB	tetraBB	pentaBB	hexaBB	
농도 (µg/ml)	0.025	0.548	1.504	1.400	0.896	1.544	1.416	0.0328
	0.05	0.732	1.396	1.354	1.034	1.434	1.402	0.0307
	0.10	0.621	1.393	1.156	0.874	1.304	1.254	0.0385
	0.15	0.601	1.379	1.139	0.825	1.244	1.316	0.0337
	0.20	0.640	1.339	1.188	0.919	1.494	1.486	0.0370
Average		0.628	1.402	1.247	0.909	1.404	1.374	0.0345
Std. Deviation		0.067	0.061	0.120	0.077	0.126	0.090	0.00317
RSD (%)		10.7	4.36	9.67	8.54	9.02	6.59	9.179

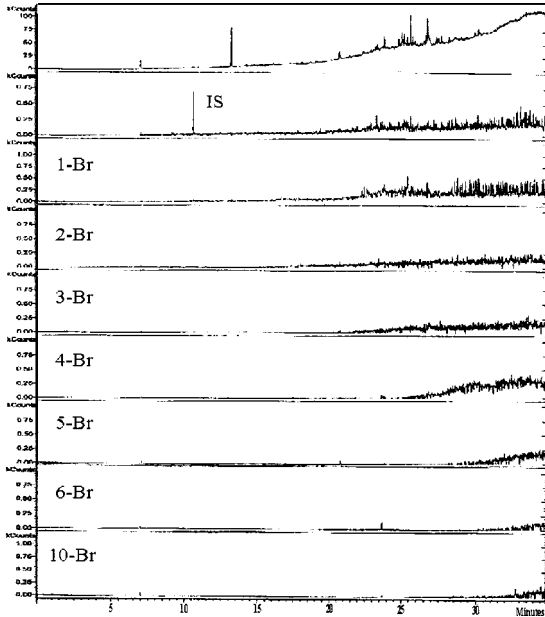


Fig. 5. Total ion chromatogram and extracted ion chromatogram of typical water sample.

점은 들어 나지 않았으며, 방해물이 있는 경우에 한하여, 플로리실 컬럼을 통하여 방해물을 제거한 후 측정용 시료로 만들었다. 전형적인 수질시료의 RIC 및 이온크로마토그램은 Fig. 5와 같이 검출한계 내에서 어떤 종류의 PBBs congeners나 방해물질이 검출되지 않았다. 토양과 저질은 방해물이 항상 존재하므로 액체-액체 분배 후 컬럼크로마토그래피를 수행하였으며, 본 실험에서는 컬럼크로마토그래피를 하지 않고 n-헥산 층을 진한 황산으로 씻어 황산 층이 맑아질 때까지 이 작업을 반복하고 n-헥산 층을 정제수로 3 회 씻음으로 방해물질을 많이 제거 할 수 있었고 시간도 많이 절약할 수 있었다. 전형적인 토양 및 저질 시료의 RIC 및 이온크로마토그램도 수질시료와 마찬가지로 검출한계 내에서 어떤 종류의 PBBs도 검출되지 않았다.

4. 결 론

국내의 다양한 장소에서 채취된 수질 43종, 토양 36종, 저질 11종 시료의 분석결과 Polybrominatedbiphenyls(PBBs) congeners 성분들은 검출한계 이하로 검출되지 않아 국내에 아직 PBBs의 오염은 없는 것으로 판명되었다. 본 분석방법으로 표준물(PBBs)을 첨가

하여 회수율을 구한 결과 수질은 86.4~111.4%, 토양 및 저질은 86.7~112.5% 범위였으며 상대표준편차(%)도 3.34~10.55%, 2.47~16.7%로 만족스러운 결과를 보여주었다. 또한, 이들의 검출한계도 수질은 20 ng/L, 토양 및 저질은 3~5 µg/kg으로 극미량까지 검출할 수 있으며 deca-BB는 GC/MS의 질량스펙트럼의 영역이 작은 관계로 수질 300 ng/L, 저질 및 토양 50 µg/kg으로 조금 높은 값을 나타내었다. 비록 상업적으로 이용 가능한 표준 PBBs congeners 종류가 제한되고 이중에서 7종의 congener만 대표적으로 선택하여 분석 연구가 수행되었다고 할지라도 본 분석법이 환경시료 중의 PBBs 분석법으로서 유용하며, 또한 국내의 환경이 PBBs에 오염되지 않았다는 것을 대표적으로 표현하는 것으로 확신한다.

참고문헌

- 1) U. Sellstrom, B. Jansson, A. Kierkegaard and M. Olsson, *Chemosphere*, **1993**, 26, 1703-1718.
- 2) A.M.C.M. Pijnenburg, J. W. Everts and J. P. Boon, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, **1985**, 141, 1-26.
- 3) I. Watanabe and R. Tatsukawa, *Proceedings workshop on Brominated Flame Retardants*, **1980** Stokloster, 24-26, National Chemicals Directorate, Sweden, 63-71.
- 4) B. Jansson, R. Andersson, L. Asplund, K. Litzen, K. Nylund, U. Sellstrom and T. Odsjo, *Environmental Toxicology and Chemistry*, **1993**, 12, 1163-1174.
- 5) U. Sellstrom, *ITM Rapport 1996*: 45. Licentiate thesis, University of Stockholm.
- 6) S. Tanabe, *Environmental Pollution*, **1998**, 50, 5-28.
- 7) B. N. Gupta, E. E. McConnell and J. A. Moore, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **1983**, 68, 19-35.
- 8) S. Safe, *CRC Crit. Rev. Toxicol.*, **1984**, 13, 319-395.
- 9) S. D. Aust, C. D. Millis and L. Holcomb, *Arch. Toxicol.*, **60**, 229-237.
- 10) N. V. Fehring, *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **1975**, 58, 978.
- 11) N. V. Fehring, *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **1975**, 58, 1206.
- 12) T. J. Farrell, *J. Chromatogr. Sci.*, **1980**, 18, 10-17.
- 13) E. F. Domino, D. D. Wright and S. E. Domino, *J. Anal. Toxicol.*, **1984**, 4, 299-304.
- 14) J. A. Sweetman, *J. Chromatogr.*, **1982**, 236, 127-136.