

## 슬러지 건조 상 인근 대기 중의 PCBs 분석

서용찬<sup>†</sup>

상지대학교 환경공학과

### Analysis of Polychlorinated Biphenyls from Ambient Air Near to Sludge Drying Bed

Yong Chan Seo<sup>†</sup>

Department of Environmental Engineering, Sangji University, 660 Usan-dong, Wonju 220-702, Korea

PCBs in ambient air around the sludge drying bed of Calumet East municipal wastewater treatment plant near Chicago was collected and analyzed to address the feasibility of PUF-ASE air analysis method. Air sampling was carried out under the regulation of EPA air sampling method using Hi-Volume sampler. PCBs, adsorbed in polyurethane foam (PUF) installed inside of the sampler, were extracted out then concentrated thru sequential operation of accelerated solvent extractor (ASE) and N<sub>2</sub> blowing concentrator. The PCBs concentration was determined by means of GC/ECD with the application of dual column technique. Calibration curve was achieved based on the total sum of 144 PCBs congeners. Surrogate recoveries were turned out to be within the acceptable range (60-125%). SRM 1493 recoveries showed even better results with the range of 64-96%. According to the data, PUF-ASE method can be considered as a potential air analysis technique over all.

**Key words :** PCBs, Ambient air, Hi-Volume sampler, PUF, ASE

## 1. 서 론

Polychlorinated biphenyls (PCBs)은 염소와 바이페닐을 반응시켜 만드는 매우 안정한 유기화합물로서 209개의 동종체 (congener)가 존재한다. 염소가 치환된 바이페닐의 이성질체인 이 공업용 혼합물은 비교적 물에 녹지 않고 무색의 점성도가 있는 액체의 형태로 시판되며, 고온에서도 품질이 떨어지지 않는 좋은 절연체이다. 이러한 성질 때문에 PCBs는 특히 윤활유, 열전달 유체, 변압기와 축전기에서 내화 유전유체로 유용하다. 또 PCBs는 좋은 가소제이며 스위치, 종이 코팅제, 일부 포장재 및 페인트와 잉크 및 살충제로 다양하게 활용되어왔다. PCBs는 1930, 1940년대를 거치며 공업용으로 널리 사용되었으나 1970년대 중반 이후 이들 화학약품이 생명체에 해롭다는 사실이 밝혀지면서 생산

과 이용이 제한되었다. PCBs가 고의로 자연환경에 방출되지 않아도 기 설치된 변압기, 폐기물 처리 시설, 기계장치로부터 자연계로 유출한다. PCBs는 잘 분해되지 않으므로, 토양과 지하수에 오랫동안 남아 있어 먹이사슬의 상위층에 많이 농축된다. PCBs는 어류와 무척추동물에게 특히 유독하며 낮은 농도에서도 이 동물들에게는 치명적이다. PCBs에 단기로 노출된 사람은 피부반점이나 마비 등의 증상을 보이며 장기적으로 노출된 경우는 간 기능장애, 피부염, 현기증 그리고 불임, 신경이상 및 발달장애 등이 유발된다. 이 물질은 또한 미국 EPA에 의해 발암물질로 분류되고 있다.

PCBs의 생산은 1977년 10월 Toxic Substance Control Act (TSCA) 에 의해 금지되었으며 이 화합물의 생산과 사용을 줄인 후에 자연환경에서의 PCBs 농도가 감소하는 경향을 보이고 있다. PCBs는 소수성이

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

E-mail: ycseo@sangji.ac.kr

므로 자연 상태에서는 수계에 녹아있기보다는 토양이나 퇴적물에 주로 부착되어 있다. 이런 성질로 생체에 섭취되면 지방층에 쉽게 축적되며 궁극적으로 생물학적 상위 포식자에 축적이 집중되게 된다.

본 연구에서는 수중 PCBs의 증발 및 침적의 순환과정에서 polyurethane foam (PUF)을 이용한 대기 중 PCBs의 농도를 분석하는 방법을 평가하였다.<sup>1)</sup> 대기 시료를 채취한 PUF는 전통적으로 Soxhlet을 사용하여 PCBs를 추출하였으나<sup>2)</sup>, 이는 12-14시간의 추출시간이 필요할 뿐 아니라 시료 당 350 mL의 유기용매와 많은 노동력이 요구된다. 본 연구에서는 적은 노동력과 시간 그리고 환경오염의 최소화를 위해 accelerated solvent extractor (ASE)<sup>3)</sup>와 N<sub>2</sub> blowing concentrator를 사용하여 전처리를 하였으며 이는 US EPA Method 3545 (SW-846 update III)에서 제초제, 농약 및 토양의 PCBs 측정 등에 사용할 수 있다고 명시되어 있다. 전처리 후 농축된 시료는 이중 컬럼 (dual column)을 이용한 GC/ECD로 정성, 정량 분석을 하였다.

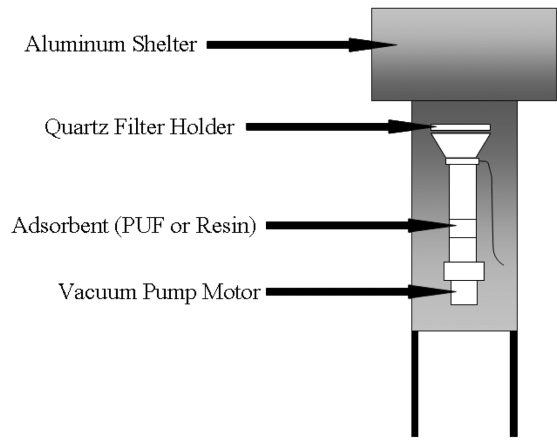
**2. 재료 및 방법**

**2.1. 시료채취**

PUF는 세제로 세척 후 수돗물, 증류수 그리고 아세톤으로 연속하여 세척한다. 이 후 대용량 Soxhlet에 넣고 아세톤과 petroleum ether 1:1 혼합용매로서 48시간 추출한다. 세척된 PUF는 감압 건조장치하에 건조를 하고 사용 전까지 알루미늄 호일로 싸고 병에 넣어 -16°C에서 보관한다.

깨끗하게 준비된 PUF 2개를 연속적으로 Hi-Volume Sampler<sup>4)</sup>에 장착하고 대기 시료를 흡입한다 (Fig. 1). 흡입 시 전면부에 위치한 PUF (PUF 1)에 주로 흡착이 되며 후면에 위치한 PUF (PUF 2)는 보완용으로 간주한다. 흡입시간은 8-12시간이 일반적이나 오염물질의 농도, 펌프의 세기에 따라 조정할 수 있다. 본 실험에서는 6시간으로 설정하였다. 미세입자와의 분리 분석을 위해 흡입 전면부에 필터를 설치하여 순수한 대기 중에 존재하는 PCBs를 분석하였다.

대기시료의 채취는 2004년 미국 일리노이 주의 시카고 인근 Calumet East 하수처리장 부근의 슬러지 건조상 인근에서 실행하였으며 이곳은 도시 및 산업 폐기물의 매립지로서도 잘 알려진 오염지역이다. 시료 채취는 4 지역에서 12일 마다 동시에 실시하였으며 총 11회 시료를 채취 하였다.



**Fig. 1.** Schematics of Hi-Volume sampler

**2.2. 분석기기 및 시약**

시료의 채취 등에 사용된 PUF는 ORBO-1000 PUF 카트리지를 (Supelco)를 사용하였고 PUF의 추출을 위해서는 Accelerated Solvent Extractor (Dionex ASE 300)를 사용하였다. 대기 시료의 채취에는 Hi-Vol sampler (Tisch Environment, Inc)를 사용하였다. 시료분석에 사용된 GC/ECD는 Hewlett Packard 5890A 모델이었고 Hewlett Packard 7637 오토샘플러를 부착하여 사용하였다. 농축장치로는 Turbo Vap II (Zymark Corp.)를 사용하였다.

모든 초자 기구는 직전 사용된 용매와 세제로 세척한 후 수돗물과 증류수로 연속하여 행구고 130°C에서 12시간 이상 건조한 후 방냉하여 사용하였다.<sup>5)</sup>

아세톤, hexan 등의 용매와 황산은 잔류 농약급을 사용하였으며 건조를 위한 실리카겔, 황산나트륨등은 특급 시약을 사용하였다.

PCBs 동종체의 표준물질은 Accustandard사에서 제조한 PCBs 동종체 혼합물 1-5번 시료 (Table 1)를 구입하여 사용하였다.

**3. 실험방법**

**3.1. 추출 및 정제**

시료를 포함한 PUF에 김와이프를 걸에 대고 길이 방향으로 눌러가면서 말은 후 11 mL ASE 추출 셀에 장착하고 뚜껑을 닫는다. hexan을 추출 용매로 하여 Table 2에 나타난 조건하에 추출을 한다. 추출된 용액은 5 mL로 농축하고 1 mL의 진한 황산 첨가,<sup>6)</sup> 1분간 진탕 후 유기층은 건조 컬럼을 통과시켜 수분과 극

Table 1. PCBs standards used for calibrations

PCB Congeners contained in Aroclors 1242, 1254 & 1260		
<p><b>PCB Congener Mix #1</b> C-CS-01 10 µg/mL each in Isooctane (IUPAC/BZ #)</p> <p>1 x 1 mL 39 comps.</p> <p>1 2-Chlorobiphenyl 2 3-Chlorobiphenyl † 3 4-Chlorobiphenyl 4 <b>2,2'-Dichlorobiphenyl</b> 6 <b>2,3'-Dichlorobiphenyl</b> 8 <b>2,4'-Dichlorobiphenyl</b> 9 2,5-Dichlorobiphenyl 16 <b>2,2',3'-Trichlorobiphenyl</b> 18 <b>2,2',5'-Trichlorobiphenyl</b> 19 2,2',6'-Trichlorobiphenyl 22 <b>2,3,4'-Trichlorobiphenyl</b> 25 2,3',4'-Trichlorobiphenyl 28 <b>2,4,4'-Trichlorobiphenyl</b> 44 <b>2,2',3,5'-Tetrachlorobiphenyl</b> 52 <b>2,2',5,5'-Tetrachlorobiphenyl</b> 56 <b>2,3,3',4'-Tetrachlorobiphenyl</b> 66 <b>2,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl</b> 67 2,3',4,5'-Tetrachlorobiphenyl 71 2,3',4',6'-Tetrachlorobiphenyl 74 <b>2,4,4',5'-Tetrachlorobiphenyl</b> 82 <b>2,2',3,3',4'-Pentachlorobiphenyl</b> 87 <b>2,2',3,4,5'-Pentachlorobiphenyl</b> 99 <b>2,2',4,4',5'-Pentachlorobiphenyl</b> 110 <b>2,3,3',4',6'-Pentachlorobiphenyl</b> 138 <b>2,2',3,4,4',5'-Hexachlorobiphenyl</b> 146 <b>2,2',3,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl</b> 147 2,2',3,4',5,6'-Hexachlorobiphenyl † 153 <b>2,2',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl</b> 173 2,2',3,3',4,5,6'-Heptachlorobiphenyl 174 <b>2,2',3,3',4,5,6'-Heptachlorobiphenyl</b> 177 <b>2,2',3,3',4,5,6'-Heptachlorobiphenyl</b> 179 <b>2,2',3,3',5,6,6'-Heptachlorobiphenyl</b> 180 <b>2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl</b> 187 <b>2,2',3,4',5,5',6'-Heptachlorobiphenyl</b> 194 <b>2,2',3,3',4,4',5,5'-Octachlorobiphenyl</b> 195 2,2',3,3',4,4',5,6'-Octachlorobiphenyl 199/201 2,2',3,3',4,5,5',6'-Octachlorobiphenyl 203 <b>2,2',3,4,4',5,5',6'-Octachlorobiphenyl</b> 206 2,2',3,3',4,4',5,5',6'-Nonachlorobiphenyl</p>	<p><b>PCB Congener Mix #2</b> C-CS-02 10 µg/mL each in Isooctane (IUPAC/BZ #)</p> <p>1 x 1 mL 36 comps.</p> <p>5 2,3-Dichlorobiphenyl 7 2,4-Dichlorobiphenyl 10 2,6-Dichlorobiphenyl 17 <b>2,2',4'-Trichlorobiphenyl</b> 24 2,3,6'-Trichlorobiphenyl 26 <b>2,3',5'-Trichlorobiphenyl</b> 31 <b>2,4',5'-Trichlorobiphenyl</b> 32 <b>2,4',6'-Trichlorobiphenyl</b> 37 <b>3,4,4'-Trichlorobiphenyl</b> 41 2,2',3,4'-Tetrachlorobiphenyl 45 <b>2,2',3,6'-Tetrachlorobiphenyl</b> 46 2,2',3,6'-Tetrachlorobiphenyl 48 <b>2,2',4,5'-Tetrachlorobiphenyl</b> 60 <b>2,3,4,4'-Tetrachlorobiphenyl</b> 70 <b>2,3',4',5'-Tetrachlorobiphenyl</b> 83 2,2',3,3',5'-Pentachlorobiphenyl 84 <b>2,2',3,3',6'-Pentachlorobiphenyl</b> 95 <b>2,2',3,5',6'-Pentachlorobiphenyl</b> 103 2,2',4,5',6'-Pentachlorobiphenyl † 109/107 2,3,3',4',5'-Pentachlorobiphenyl 115 2,3,4,4',6'-Pentachlorobiphenyl 131 2,2',3,3',4,6'-Hexachlorobiphenyl 132 <b>2,2',3,3',4,6'-Hexachlorobiphenyl</b> 135 <b>2,2',3,3',5,6'-Hexachlorobiphenyl</b> 141 <b>2,2',3,4,5,5'-Hexachlorobiphenyl</b> 149 <b>2,2',3,4',5',6'-Hexachlorobiphenyl</b> 164 2,3,3',4',5',6'-Hexachlorobiphenyl 170 <b>2,2',3,3',4,4',5'-Heptachlorobiphenyl</b> 171 <b>2,2',3,3',4,4',6'-Heptachlorobiphenyl</b> 172 2,2',3,3',4,5,5',6'-Heptachlorobiphenyl 178 2,2',3,3',5,5',6'-Heptachlorobiphenyl 183 <b>2,2',3,4,4',5',6'-Heptachlorobiphenyl</b> 193 2,3,3',4',5,5',6'-Heptachlorobiphenyl 196 2,2',3,3',4,4',5',6'-Octachlorobiphenyl 197 2,2',3,3',4,4',6',6'-Octachlorobiphenyl 205 2,3,3',4,4',5,5',6'-Octachlorobiphenyl</p>	<p><b>PCB Congener Mix #3</b> C-CS-03 10 µg/mL each in Isooctane (IUPAC/BZ #)</p> <p>1 x 1 mL 27 comps.</p> <p>15 <b>4,4'-Dichlorobiphenyl</b> 20 2,3,3'-Trichlorobiphenyl 27 2,3',6'-Trichlorobiphenyl 29 2,4,5'-Trichlorobiphenyl 34 2',3,5'-Trichlorobiphenyl 40 2,2',3,3'-Tetrachlorobiphenyl 42 <b>2,2',3,4'-Tetrachlorobiphenyl</b> 47 <b>2,2',4,4'-Tetrachlorobiphenyl</b> 69 2,3',4,6'-Tetrachlorobiphenyl † 92 2,2',3,5,5'-Pentachlorobiphenyl 93 2,2',3,5,6'-Pentachlorobiphenyl † 101 <b>2,2',4,5,5'-Pentachlorobiphenyl</b> 105 <b>2,3,3',4,4'-Pentachlorobiphenyl</b> 118 <b>2,3',4,4',5'-Pentachlorobiphenyl</b> 119 2,3',4,4',6'-Pentachlorobiphenyl 128 <b>2,2',3,3',4,4'-Hexachlorobiphenyl</b> 134 2,2',3,3',5,6'-Hexachlorobiphenyl 136 <b>2,2',3,3',6,6'-Hexachlorobiphenyl</b> 144 2,2',3,4,5',6'-Hexachlorobiphenyl 151 <b>2,2',3,5,5',6'-Hexachlorobiphenyl</b> 157 2,3,3',4,4',5'-Hexachlorobiphenyl 158 2,3,3',4,4',6'-Hexachlorobiphenyl 190 2,3,3',4,4',5,6'-Heptachlorobiphenyl 191 <b>2,3,3',4,4',5',6'-Heptachlorobiphenyl</b> 207 2,2',3,3',4,4',5,6,6'-Nonachlorobiphenyl † 208 2,2',3,3',4,5,5',6,6'-Nonachlorobiphenyl 209 2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-Decachlorobiphenyl †</p>
<p><b>PCB Congener Mix #4</b> C-CS-04 10 µg/mL each in Isooctane (IUPAC/BZ #)</p> <p>1 x 1 mL 22 comps.</p> <p>13 3,4'-Dichlorobiphenyl 14 3,5-Dichlorobiphenyl † 35 3,3',4'-Trichlorobiphenyl 51 2,2',4,6'-Tetrachlorobiphenyl 53 2,2',5,6'-Tetrachlorobiphenyl 54 2,2',6,6'-Tetrachlorobiphenyl † 73 2,3',5',6'-Tetrachlorobiphenyl † 75 2,4,4',6'-Tetrachlorobiphenyl † 81 3,4,4',5'-Tetrachlorobiphenyl † 90 2,2',3,4',5'-Pentachlorobiphenyl † 100 2,2',4,4',6'-Pentachlorobiphenyl † 117 2,3,4',5,6'-Pentachlorobiphenyl 122 2',3,3',4,5'-Pentachlorobiphenyl 124 2',3,4,5,5'-Pentachlorobiphenyl 130 2,2',3,3',4,5'-Hexachlorobiphenyl 154 2,2',4,4',5,6'-Hexachlorobiphenyl † 163 <b>2,3,3',4',5,6'-Hexachlorobiphenyl</b> 165 2,3,3',5,5',6'-Hexachlorobiphenyl † 175 2,2',3,3',4,5',6'-Heptachlorobiphenyl 200/199 2,2',3,3',4,5,6,6'-Octachlorobiphenyl 201/200 2,2',3,3',4,5',6,6'-Octachlorobiphenyl 202 2,2',3,3',5,5',6,6'-Octachlorobiphenyl</p>	<p><b>PCB Congener Mix #5</b> C-CS-05 10 µg/mL each in Isooctane (IUPAC/BZ #)</p> <p>1 x 1 mL 20 comps.</p> <p>12 3,4-Dichlorobiphenyl 33 <b>2',3,4-Trichlorobiphenyl</b> 49 <b>2,2',4,5'-Tetrachlorobiphenyl</b> 59 2,3,3',6'-Tetrachlorobiphenyl 63 2,3,4',5'-Tetrachlorobiphenyl 64 <b>2,3,4',6'-Tetrachlorobiphenyl</b> 77 3,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl 85 <b>2,2',3,4,4'-Pentachlorobiphenyl</b> 91 2,2',3,4',6'-Pentachlorobiphenyl 97 <b>2,2',3',4,5-Pentachlorobiphenyl</b> 104 2,2',4,6,6'-Pentachlorobiphenyl † 114 2,3,4,4',5'-Pentachlorobiphenyl 123 2',3,4,4',5'-Pentachlorobiphenyl 129 2,2',3,3',4,5'-Hexachlorobiphenyl 137 2,2',3,4,4',5'-Hexachlorobiphenyl 156 <b>2,3,3',4,4',6'-Hexachlorobiphenyl</b> 167 2,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl 176 2,2',3,3',4,6'-Heptachlorobiphenyl 185 2,2',3,4,5,5',6'-Heptachlorobiphenyl 189 2,3,3',4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl</p>	<p><b>Reference Key</b></p> <p>non-Bold = Congener in any of Aroclors 1242, 1254 or 1260 @ &lt; 1.0 Wt. %</p> <p><b>Bold</b> = Congener in any of Aroclors 1242, 1254 or 1260 @ &gt; 1.0 Wt. %</p> <p>† = Congener not in any of the 3 Aroclors @ &gt; 0.05 Wt. %</p> <p>Bold congeners related to mixes #6, 7 &amp; 8 marginally above 0.05 Wt%, except #43 @ 0.24 Wt% in Aroclor 1242.</p> <p>Some "non-Aroclor" congeners assigned to Mixes 1-5 to reduce coelutions and number of mixes needed.</p>

성 물질을 제거한다. hexan 25 mL씩 3회 더 컬럼을 용 리시킨 후 합한 hexan 용액은 농축기를 사용하여 1 mL 로 농축시킨다. 건조 컬럼은 무수 황산나트륨 1 cm, 3 g의 실리카 겔, 1 cm의 무수 황산나트륨 그리고 10 g

의 알루미늄나를 아래로부터 순서대로 채워서 제작한다. 잔류 황을 제거하기 위해 농축된 시료에 활성화된 구 리 조각 하나(40 mesh)를 넣고 내부 표준물질을 넣은 후 분석에 사용한다.

**Table 2.** ASE extraction condition

Extraction solvent	Hexane
Temperature	100°C
Pressure	10 MPa(1500 psi)
Heat-up time	5 min
Static time	5 min
Flush volume	60%
Purge time	100 s
Static cycles	1
Total extractionTime	12 min/sample
Total solvent use	30 mL/sample

**3.2. 분석**

농축 정제된 시료는 Table 3에 나타난 조건 하에 GC/ECD로 분석하였다. 주입된 시료는 컬럼을 지나기 전에 두 부분으로 분리되고 각 분리된 시료는 DB-XLB와 DB-5 컬럼을 통해 각 성분으로 분리된 후 ECD로 측정된다. 양 컬럼을 통해 분리된 PCBs가 각 컬럼에 따른 표준물질과의 체류시간 비교에서 공히 일치될 경우에만 검출로 인정한다. Surrogate standard로는 PCBs 11, 65 그리고 166을 사용하였으며 internal

**Table 3.** Analytical condition of GC/ECD

Ionization mode	EI (70 eV)
Column DB-XLB	60 m × 0.25 mm I.D. × 0.25 μm
Column DB-5	60 m × 0.25 mm I.D. × 0.25 μm
Oven temperature	100°C(1 min) → 2°C/min → 280(15 min)
Injection mode	Splitless
Injection volume	1 μL
Inlet temperature	300°C
Detector temperature	330°C
Flow rate	1.0 mL/min(He 99.999%)

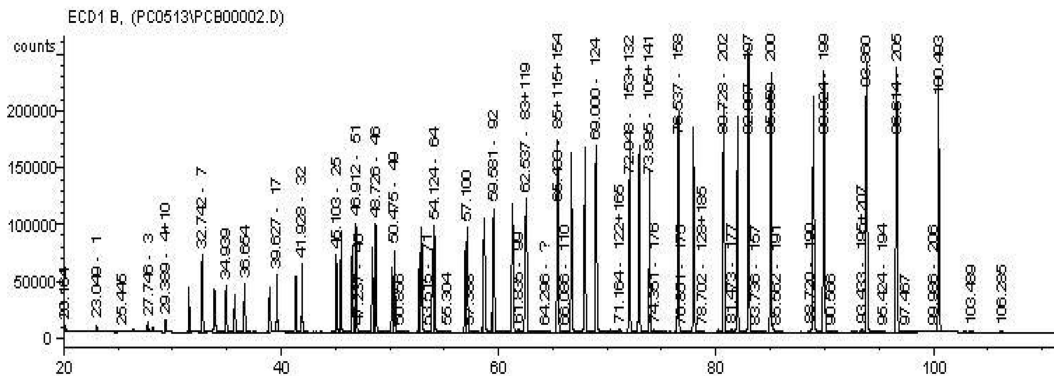
standard로는 PCBs 30, 204와 tetrachloroxylene (TCMX)를 사용하였다. 검량곡선은 Table 1에 나타난 144 종의 PCBs 동종체의 합량으로 계산하였으며 크로마토그램에 나타는 PCBs peak의 수는 각 표준물질을 포함하여 최대 150개가 된다.

**4. 결과 및 고찰**

Fig. 2는 DB 5 column으로 500 pg/mL의 표준용액 (mix 1)에 대한 크로마토그램을 보여준다. 분석의 정확도를 높이기 위해 검정곡선은 매 분석 때 마다 새로 작성하였으며 기기의 안정성을 확인하기 위해 기지 농도의 표준물질로 검정하였다. 회수를 측정을 위해 기지 농도의 surrogate 표준물을 PUF에 직접 주입하여 동일한 전처리를 거쳐 분석하였고 60-125% 로서 양호한 편이었다.

분석의 품질관리를 위해 NIST로부터 표준물질 SRM 1493을 구입하여 분석하였다. SRM 1493은 PCBs 동종체 20종의 혼합물이며 이중 17종은 평균 200 ug/L로 농도가 보장되어 있다. 17 ug/L로 희석한 시료와 200 ug/L의 고농도 시료를 PUF에 직접 주입하여 농도가 알려지 17종의 PCBs에 대하여 분석한 결과 17 ug/L 시료는 67-96%, 200 ug/L 시료는 64-77%의 회수율을 나타냈다.

세척된 깨끗한 PUF를 동일 조건하에 전 처리하여 바탕 시료로서 분석하였다. 약 78분과 92분 위치에서 두개의 작은 peak이 검출되었으나 이 peak들은 PCBs peak와 겹치지 않기 때문에 분석에 문제를 주지는 않는다. 그러나 간혹 polybrominated diphenylether (PBDE)오염에 의한 문제가 발생하기도 한다. PBDE는 PUF의 제조과정에서 오염이 되며 GC 상에서 상당히



**Fig. 2.** Chromatogram of standard mix 1 (DB 5, 500 pg/mL).

Table 4. PCBs concentration in air samples.

Unit: ng/m<sup>3</sup>

Site A		Site B		Site C		Site D	
PUF 1	PUF 2	PUF 1	PUF 2	PUF 1	PUF 2	PUF 1	PUF 2
0.08	0.03	1.17	0.10	0.61	0.01	0.48	0.01
1.03	0.02	0.69	0.05	0.73	0.008	0.70	0.00
2.17	0.12	2.30	0.05	1.63	0.08	0.84	0.00
2.98	0.54	2.25	0.06	1.80	0.13	2.24	0.01
1.12	0.00	1.56	0.05	0.68	0.05	0.14	0.05
1.80	0.15	0.79	0.01	0.81	0.03	1.41	0.03
5.06	0.57	1.41	0.21	1.88	0.00	1.34	0.29
1.84	0.44	2.01	0.20	1.51	0.25	1.11	0.10
0.61	0.02	2.00	0.18	1.62	0.35	1.02	0.24
1.71	0.58	0.99	0.02	0.52	0.03	1.11	0.04
1.43	0.04	2.06	0.09	1.43	0.15	1.17	0.06

앞부분에서 검출이 된다. 이러한 이유로 PBDE로 인한 오염이 발생한 경우에는 앞부분에서 검출되는 PCBs는 분석에 포함시킬 수 없다.

Table 4는 실제 포집한 대기 시료의 분석 결과이다. Hi-Vol sampler를 이용한 대기 시료 채취 시 장착한 2개의 PUF를 개별적으로 분석한 결과 전면의 PUF (PUF 1)에 비해 후면 PUF (PUF 2)에서는 약 10% 이하의 PCBs가 검출되었다. 이 결과로 대부분의 경우에 한 개의 PUF만으로도 시료 채취가 가능함을 알 수 있다.

## 5. 결 론

PUF를 이용한 대기시료의 채취와 ASE를 이용한 추출 및 정제 방법은 기존인 Soxhlet 방법에 비해 적은 노동력과 시간이 소요될 뿐만 아니라 매우 적은 용매만으로도 만족할만한 추출 효과를 보이고 있다. 대기의 오염도에 관계없이 PUF하나만으로도 대부분의 PCBs가 포집되고 사용된 PUF도 세척을 통해 재사용이 가능하다는 점에서 경제적인 측면의 우수성을 설명할 수 있다. 그러나 PUF의 제조 과정에서 불가피하게 오염되

는 PBDE에 의한 분석에의 영향은 그 제거 방법에 좀 더 심각한 연구가 필요함을 보여주고 있다.

PCBs는 워낙 많은 congeners를 포함하고 있으므로 GC/ECD를 이용한 분석 시 단일 컬럼을 사용할 경우 타 성분과의 혼란이 야기될 소지가 있다. 이러한 문제는 본 연구에서 실행한 바와 같이 이중 컬럼을 사용하여 이중으로 성분 확인을 함으로서 그 문제점을 최소화시킬 수 있다.

## 감사의 글

이 연구는 2003년도 상지대학교 교내 연구비에 의해 수행되었으며 이에 감사한다.

## 참고문헌

1. EPA, US EPA Method TO-4A (EPA/625/R-96/010b).
2. US EPA Method 3540.
3. Dionex Application Note 333.
4. <http://epa.gov/glnpo/glindindicator/air/air/air.html>.
5. US EPA Method 8082A.
6. US EPA Method 3665.