

## 하수 슬러지 중의 PCBs 농도 분석

서용찬 · 김기동\*†

상지대학교 환경공학과, \*상지대학교 정밀화학신소재학과

## Analysis of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Wastewater Sludge Drying Bed

Yong Chan Seo and Kee D. Kim\*†

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

\*Department of Fine Chemical and Advanced Materials, Sangji University, 660 Usan-dong, Wonju 220-702, Korea

PCBs in the sludge drying bed of Calumet East municipal wastewater treatment plant near Chicago was collected and analyzed to address the feasibility of accelerated solvent extractor (ASE) analysis method. Before the sludge samples were transferred to precleaned ASE cell, were added anhydrous sodium sulfate and Ottawa sand sequentially in a depth of approximately 1 cm, spiked with proper surrogate then transferred to accelerated solvent extractor. The sample were extracted with a 1:1 mixture of acetone and hexane. The extracts were then concentrated by using Zymark Turbovap II evaporator to final 1 mL under pure nitrogen blowing. 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 and showed very good correlation. ( $r^2 > 0.999$ ). Surrogate recoveries were turned out to be within the acceptable range (60-125%). The moisture contents of the actual samples were in the wide range of 20-80%. PCBs concentrations of the actual samples are 0.79-3.14  $\mu\text{g/g}$  based on dry weight. According to the data, ASE extraction technique for solid samples can be considered as a potential analysis preparation technique over all.

**Key words :** PCBs, Sludge, ASE, GC/ECD

### 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, 열전달유체, 변압기와 축전기에서 내화 유전유체로 유용하다. 또 PCBs는 좋은 가소제이며 스위치, 종이 코팅제, 일부 포장재 및 페인트와 잉크 및 살충제로 다양하게 활용되어왔다. PCBs는 1881년 Schmidt에 의해 최초로

합성되어 1929년 미국에서 상업적으로 생산이 시작된 이래 Aroclor, Clophen, Phenoclor, Kaneclor 등의 상품명으로 1930, 1940년대를 거치며 공업용으로 널리 사용되었다. 1970년대 중반 이후 이들 화학약품이 생명체에 해롭다는 사실이 밝혀지면서 생산과 이용이 제한될 때까지 전 세계적으로 140만톤이 생산되었다. 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 등

†To whom correspondence should be addressed.

E-mail: kdkim@sangji.ac.kr

의 증상을 보이며 장기적으로 노출된 경우는 간 기능 장애, 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 UNEP, 바젤협약등의 국제기구에서도 PCBs를 잔류성, 생물농축성, 장거리이동성의 특성을 가진 환경 잔류성 오염물질 (Persistent Organic Pollutants, POPs)로 분류하고 있다. 이 화합물의 생산과 사용을 줄인 후에 자연환경에서의 PCBs 농도가 감소하는 경향을 보이고 있으나 PCBs를 사용하는 변압기, 축전기등은 내구성이 15년 이상으로 아직도 사용중인 제품이 있다. 우리나라는 1946년부터 1984년까지 5,000톤 이상이 수입되어 변압기등에 사용되었으며 이들 제품이 폐기되는 과정에서 자연계에 유출되는 것으로 알려졌다. PCBs는 소수성이므로 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 하수 처리장에서 발생한 슬러지 중의 PCBs의 농도를 분석하는 방법을 평가하였다.<sup>1)</sup> 슬러지 시료는 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

슬러지 시료의 채취는 2002년 6, 7, 9, 10, 11월에 미국 일리노이 주의 시카고 인근 Calumet 동부 하수처리장의 폐기물의 매립지로서도 잘 알려진 오염지역에서 실시하였다. 시료 채취는 시료처리장 부근의 슬러지 건조 상 인근 네 지역에서 동시에 실시하였으며 5회 실시하여 총 20개의 시료를 채취하였다.

### 2.2. 분석기기 및 시약

시료의 추출을 위해서는 Accelerated Solvent Extractor (Dionex ASE 300)를 사용하였으며 추출은 25 mL셀을 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 수도물과 증류수로 연속하여 행구고 130°C에서 12시간 이상 건조한 후 방냉하여 사용하였다.<sup>4)</sup>

아세톤, 헥산 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

유리섬유필터(GFF)는 알루미늄 포일에 싸서 450°C 전기로에 12시간 이상 굽는다. 데시케이터 안에서 방냉한 후 밀폐용기에 넣어 -16°C에서 사용전까지 보관한다.

미리 깨끗하게 세척, 건조된 25 mL ASE 셀 아래에 위에서 처리한 GFF 필터를 깔고, 약 1 cm의 높이로 무수 황산나트륨을 채운다. 계속하여 Ottawa 모래 (Ottawa sand)를 1 cm 높이로 채운다음 약 5 g 정도의 시료를 정확하게 무게를 재어 넣는다. 위의 남은 공간은 Ottawa 모래로 끝까지 채우고 상부 뚜껑을 닫는다. 헥산과 아세톤을 1:1로 혼합한 용매를 추출용매로 하여 Table 2에 나타난 조건하에 추출을 한다. 추출된 용액은 5 mL로 농축하고 1 mL의 진한 황산 첨가,<sup>5)</sup> 1분간 진탕 후 유기층은 건조 컬럼을 통과시켜 수분과 극성 물질을 제거한다. 헥산 25 mL씩 3회 더 컬럼을 용리시킨 후 합한 헥산 용액은 농축기를 사용하여 1 mL로 농축시킨다. 건조 컬럼은 무수 황산나트륨 1 cm, 3 g의 실리카 겔, 1 cm의 무수 황산나트륨 그리고 10 g의 알루미늄나를 아래로부터 순서대로 채워서 제작한다. 잔류 황을 제거하기 위해 농축된 시료에 활성화된 구리 조각 하나(40 mesh)를 넣고 내부 표준물질을 넣은 후 분석에 사용한다.

Table 1. PCBs standards used for calibrations.

PCB Congeners contained in Aroclors 1242, 1254 & 1260			
<b>PCB Congener Mix #1</b> <b>C-CS-01</b> 10 µg/mL each in Isooctane (IUPAC/BZ #)		<b>PCB Congener Mix #2</b> <b>C-CS-02</b> 10 µg/mL each in Isooctane (IUPAC/BZ #)	
1 x 1 mL 39 comps.		1 x 1 mL 36 comps.	
1	2-Chlorobiphenyl	5	2,3-Dichlorobiphenyl
2	3-Chlorobiphenyl †	7	2,4-Dichlorobiphenyl
3	4-Chlorobiphenyl	10	2,6-Dichlorobiphenyl
4	<b>2,2'-Dichlorobiphenyl</b>	<b>17</b>	<b>2,2',4-Trichlorobiphenyl</b>
6	<b>2,3'-Dichlorobiphenyl</b>	24	2,3,6-Trichlorobiphenyl
8	<b>2,4'-Dichlorobiphenyl</b>	<b>26</b>	<b>2,3',5-Trichlorobiphenyl</b>
9	2,5-Dichlorobiphenyl	<b>31</b>	<b>2,4',5-Trichlorobiphenyl</b>
<b>16</b>	<b>2,2',3-Trichlorobiphenyl</b>	<b>32</b>	<b>2,4',6-Trichlorobiphenyl</b>
<b>18</b>	<b>2,2',5-Trichlorobiphenyl</b>	<b>37</b>	<b>3,4,4'-Trichlorobiphenyl</b>
19	2,2',6-Trichlorobiphenyl	41	2,2',3,4-Tetrachlorobiphenyl
<b>22</b>	<b>2,3,4'-Trichlorobiphenyl</b>	<b>45</b>	<b>2,2',3,6-Tetrachlorobiphenyl</b>
25	2,3',4-Trichlorobiphenyl	46	2,2',3,6'-Tetrachlorobiphenyl
<b>28</b>	<b>2,4,4'-Trichlorobiphenyl</b>	<b>48</b>	<b>2,2',4,5-Tetrachlorobiphenyl</b>
<b>44</b>	<b>2,2',3,5-Tetrachlorobiphenyl</b>	<b>60</b>	<b>2,3,4,4'-Tetrachlorobiphenyl</b>
<b>52</b>	<b>2,2',5,5'-Tetrachlorobiphenyl</b>	<b>70</b>	<b>2,3',4',5-Tetrachlorobiphenyl</b>
<b>56</b>	<b>2,3,3',4'-Tetrachlorobiphenyl</b>	83	2,2',3,3',5-Pentachlorobiphenyl
<b>66</b>	<b>2,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl</b>	<b>84</b>	<b>2,2',3,3',6-Pentachlorobiphenyl</b>
67	2,3',4,5-Tetrachlorobiphenyl	<b>95</b>	<b>2,2',3,5,6-Pentachlorobiphenyl</b>
71	2,3',4',6-Tetrachlorobiphenyl	103	2,2',4,5',6-Pentachlorobiphenyl †
<b>74</b>	<b>2,4,4',5-Tetrachlorobiphenyl</b>	109/107	2,3,3',4',5-Pentachlorobiphenyl
<b>82</b>	<b>2,2',3,3',4-Pentachlorobiphenyl</b>	115	2,3,4,4',6-Pentachlorobiphenyl
<b>87</b>	<b>2,2',3,4,5'-Pentachlorobiphenyl</b>	131	2,2',3,3',4,6-Hexachlorobiphenyl
<b>99</b>	<b>2,2',4,4',5-Pentachlorobiphenyl</b>	<b>132</b>	<b>2,2',3,3',4,6'-Hexachlorobiphenyl</b>
<b>110</b>	<b>2,3,3',4',6-Pentachlorobiphenyl</b>	<b>135</b>	<b>2,2',3,3',5,6'-Hexachlorobiphenyl</b>
<b>138</b>	<b>2,2',3,4,4',5'-Hexachlorobiphenyl</b>	<b>141</b>	<b>2,2',3,4,4',5,6'-Hexachlorobiphenyl</b>
<b>146</b>	<b>2,2',3,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl</b>	<b>149</b>	<b>2,2',3,4',5,6'-Hexachlorobiphenyl</b>
147	2,2',3,4',5,6-Hexachlorobiphenyl †	164	2,3,3',4',5',6-Hexachlorobiphenyl
<b>153</b>	<b>2,2',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl</b>	<b>170</b>	<b>2,2',3,3',4,4',5,6'-Hexachlorobiphenyl</b>
173	2,2',3,3',4,5,6-Heptachlorobiphenyl	<b>171</b>	<b>2,2',3,3',4,4',5,6'-Heptachlorobiphenyl</b>
<b>174</b>	<b>2,2',3,3',4,5,6'-Heptachlorobiphenyl</b>	172	2,2',3,3',4,5,5',6-Heptachlorobiphenyl
<b>177</b>	<b>2,2',3,3',4',5,6'-Heptachlorobiphenyl</b>	178	2,2',3,3',5,5',6-Heptachlorobiphenyl
<b>179</b>	<b>2,2',3,3',5,6,6'-Heptachlorobiphenyl</b>	<b>183</b>	<b>2,2',3,4,4',5',6'-Heptachlorobiphenyl</b>
<b>180</b>	<b>2,2',3,4,4',5,5',6-Heptachlorobiphenyl</b>	193	2,3,3',4',5,5',6-Heptachlorobiphenyl
<b>187</b>	<b>2,2',3,4',5,5',6-Heptachlorobiphenyl</b>	196	2,2',3,3',4,4',5',6-Octachlorobiphenyl
<b>194</b>	<b>2,2',3,3',4,4',5,5',6-Octachlorobiphenyl</b>	197	2,2',3,3',4,4',6,6'-Octachlorobiphenyl
195	2,2',3,3',4,4',5,6-Octachlorobiphenyl	205	2,3,3',4,4',5,5',6-Octachlorobiphenyl
199/201	2,2',3,3',4,4',5,5',6-Octachlorobiphenyl		
<b>203</b>	<b>2,2',3,4,4',5,5',6-Octachlorobiphenyl</b>		
206	2,2',3,3',4,4',5,5',6-Nonachlorobiphenyl		
<b>PCB Congener Mix #4</b> <b>C-CS-04</b> 10 µg/mL each in Isooctane (IUPAC/BZ #)		<b>PCB Congener Mix #5</b> <b>C-CS-05</b> 10 µg/mL each in Isooctane (IUPAC/BZ #)	
1 x 1 mL 22 comps.		1 x 1 mL 20 comps.	
13	3,4'-Dichlorobiphenyl	12	3,4-Dichlorobiphenyl
14	3,5-Dichlorobiphenyl †	<b>33</b>	<b>2',3,4-Trichlorobiphenyl</b>
35	3,3',4-Trichlorobiphenyl	<b>49</b>	<b>2,2',4,5'-Tetrachlorobiphenyl</b>
51	2,2',4,6'-Tetrachlorobiphenyl	59	2,3,3',6-Tetrachlorobiphenyl
53	2,2',5,6'-Tetrachlorobiphenyl	63	2,3,4',5-Tetrachlorobiphenyl
54	2,2',6,6'-Tetrachlorobiphenyl †	<b>64</b>	<b>2,3,4',6-Tetrachlorobiphenyl</b>
73	2,3',5',6-Tetrachlorobiphenyl †	77	3,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl
75	2,4,4',6-Tetrachlorobiphenyl	<b>85</b>	<b>2,2',3,4,4'-Pentachlorobiphenyl</b>
81	3,4,4',5-Tetrachlorobiphenyl †	91	2,2',3,4',6-Pentachlorobiphenyl
90	2,2',3,4',5-Pentachlorobiphenyl †	<b>97</b>	<b>2,2',3',4,5-Pentachlorobiphenyl</b>
100	2,2',4,4',6-Pentachlorobiphenyl †	104	2,2',4,6,6'-Pentachlorobiphenyl †
117	2,3,4',5,6-Pentachlorobiphenyl	114	2,3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl
122	2',3,3',4,5-Pentachlorobiphenyl	123	2',3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl
124	2',3,4,5,5'-Pentachlorobiphenyl	129	2,2',3,3',4,5-Hexachlorobiphenyl
130	2,2',3,3',4,5'-Hexachlorobiphenyl	137	2,2',3,4,4',5-Hexachlorobiphenyl
154	2,2',4,4',5,6'-Hexachlorobiphenyl †	<b>156</b>	<b>2,3,3',4,4',5-Hexachlorobiphenyl</b>
<b>163</b>	<b>2,3,3',4',5,6-Hexachlorobiphenyl</b>	167	2,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl
165	2,3,3',5,5',6-Hexachlorobiphenyl †	176	2,2',3,3',4,6,6'-Heptachlorobiphenyl
175	2,2',3,3',4,5,6-Heptachlorobiphenyl	185	2,2',3,4,5,5',6-Heptachlorobiphenyl
200/199	2,2',3,3',4,5,6,6'-Octachlorobiphenyl	189	2,3,3',4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl
201/200	2,2',3,3',4,5,6,6'-Octachlorobiphenyl		
202	2,2',3,3',5,5',6,6'-Octachlorobiphenyl		

**Reference Key**

non-Bold = Congener in any of Aroclors 1242, 1254 or 1260 @ < 1.0 Wt.%

**Bold** = Congener in any of Aroclors 1242, 1254 or 1260 @ > 1.0 Wt.%

† = Congener not in any of the 3 Aroclors @ > 0.05 Wt.%

Bold congeners related to mixes #6, 7 & 8 marginally above 0.05 Wt%, except #43 @ 0.24 Wt% in Aroclor 1242.

Some "non-Aroclor" congeners assigned to Mixes 1-5 to reduce coelutions and number of mixes needed.

### 3.2. 함수를 측정

채취한 슬러지 시료는 중량이 사전에 측정된 도가니에 넣고 150°C 오븐에서 밤새 건조한다. 건조된 시료는 테시케이타어에서 실온으로 방랭하고 다시 무게를

측정한다. 습도 백분율과 건조 백분율은 아래의 식에 따라 계산되며 최종 PCBs 농도는 건조 시료의 중량을 기준으로 계산하였다.

**Table 2.** ASE extraction condition.

Extraction solvent	Acetone:Hexane(1:1)
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 extraction time	12 min/sample
Total solvent use	30 mL/sample

**3.2. 함수율 측정**

채취한 슬러지 시료는 중량이 사전에 측정된 도가니에 넣고 150°C 오븐에서 밤새 건조한다. 건조된 시료는 데시케이터안에서 실온으로 방랭하고 다시 무게를 측정한다. 습도 백분율과 건조 백분율은 아래의 식에 따라 계산되며 최종 PCBs 농도는 건조 시료의 중량을 기준으로 계산하였다.

$$\text{Percent Dry Weight} = \frac{\text{Grams Dry Samples}}{\text{Grams of Wet Samples}} \times 100$$

$$\text{Precent Moisture Weight} = 100 - \text{Percent Dry Weight}$$

**3.3. 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 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. 1은 DB 5 column으로 0.5 ng/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. 검정곡선의 직선성은  $r^2 > 0.999$  이상으로 상당히 좋은 직선성을 보여주고 있다. 회수를 측정을 위해 기지 농도의 surrogate 표준물을 Ottawa 모래에 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 Ottawa 모래에 직접 주입하여 농도가 알려진 17종의 PCBs에 대하여 분석한 결과 17 ug/L 시료는 67-96%, 200 ug/L 시료는 64-77%의 회수율을 나타냈다.

시료를 전혀 넣지 않은 비어있는 셀과 세척된 깨끗한 Ottawa 모래를 넣은 셀을 동일 조건하에 ASE로 전 처리하여 바탕 시료로서 분석하였고 분석에 방해가 되는 물질의 검출이 없음을 확인하였다.

Table 4는 실제 채취한 시료의 분석 결과이다. 매 시료 채취 시 4개 지역에서 시료를 채취하였으며 5회 채취를 실시하여 총 20개의 시료를 얻었다. 실제 시료를 위에서 설명한 방법으로 건조를 한 결과 시료의 함수율은 약 20-80%로 나타났으며 건조 중량을 기준으로 했을 때 PCBs의 농도는 0.79-3.14 ug/g이며 평균 농도는 1.99 ug/g으로 나타났다. 일반적으로 높은 분자량을 갖는 PCBs가 고농도를 나타내며, 낮은 분자량을 갖는 PCBs들은 낮은 농도를 보이는 경향이 있다. 아마도 낮은 분자량을 갖는 PCBs들은 낮은 끓는점을 가지므로 쉽게 기화가 되어 슬러지에서 대기로 기화됨으로서 슬러지 중의 PCBs 중 저분자량의 PCBs 농도를 감소시키는 것으로 판단된다. PCBs의 농도는 우기나 건기, 혹은 지역에 따라서도 관계없이 전반적으로 큰 변화를

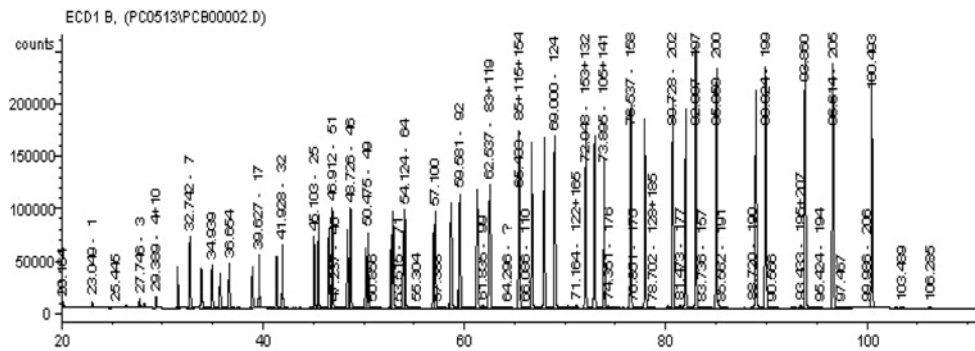


Fig. 1. Chromatogram of standard mix 1 (DB 5, 500 pg/mL).

Table 4. PCBs concentration in sludge samples.

Unit: ug/g

number	sampling date	Weight (g)		Moisture (%)	PCBs conc.	number	sampling date	Weight (g)		Moisture (%)	PCBs conc.
		Wet	Dry					Wet	Dry		
1	'02/06	7.95	1.78	77.62	2.75	11	'02/07	10.58	4.07	19.57	1.85
2	'02/06	9.24	2.40	74.03	2.92	12	'02/07	10.19	4.09	59.87	1.99
3	'02/06	10.20	2.81	72.46	2.63	13	'02/10	10.99	2.11	80.81	2.13
4	'02/06	10.61	2.76	73.99	3.14	14	'02/10	10.16	4.97	13.19	1.42
5	'02/09	10.15	4.07	59.91	1.55	15	'02/10	10.17	4.10	59.87	1.67
6	'02/09	10.39	5.40	48.03	1.41	16	'02/10	10.09	6.33	37.27	1.83
7	'02/09	10.09	3.20	68.29	1.35	17	'02/11	10.94	4.37	60.06	1.56
8	'02/09	10.25	4.97	51.52	0.79	18	'02/11	10.61	4.58	56.84	0.99
9	'02/07	10.84	3.43	68.36	2.54	19	'02/11	10.40	2.71	73.95	1.81
10	'02/07	10.77	3.65	66.11	3.06	20	'02/11	10.90	2.61	76.06	1.45

보이지는 않고 있다. 단, 함수율에 상당한 차이를 보이는 것은 우수의 시기와 집하 위치에 따른 차이로 보이므로 건조 후의 PCBs 농도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

## 5. 결 론

ASE를 이용한 추출 및 정제 방법은 기존 Soxhlet 방법에 비해 적은 노동력과 시간이 소요될 뿐만 아니라 매우 적은 용매만으로도 만족할만한 추출 효과를 보이고 있다. 슬러지의 오염도에 관계없이 대부분의 PCBs가 추출되며 그 효율은 기존의 약 90% 정도의 회수율을 보이는 Soxhlet법에 비해 큰 차이를 보이지는 않는다. 적은양의 용매를 사용하며 빠른 시간 및 적은 노동력으로도 동일한 결과를 보여준다는 점에서 경제적인 측면의 우수성을 설명할 수 있다. 그러나 고체시료를 ASE 셀에 장착하는 과정에서 뚜껑의 마개부분에

시료가 물을 경우 그 부분을 통해 용매가 빠져나갈 수 있을 뿐 아니라 셀 자체도 영구적으로 훼손될 수 있으므로 각별한 주의가 필요하다.

PCBs는 워낙 많은 동종체를 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.

## 참고문헌

1. EPA, US EPA Method TO-4A (EPA/625/R-96/010b).
2. US EPA Method 3540.
3. Dionex Application Note 333.
4. US EPA Method 8082A.
5. US EPA Method 3665.