

## PCBs 함유 액상폐기물의 신속분석방법 고찰

신선경<sup>1\*</sup> · 전태완<sup>2</sup> · 윤정기<sup>3</sup> · 김태승<sup>3</sup> · 오길종<sup>2</sup> · 김영식<sup>3</sup> · 김경수<sup>4</sup>

<sup>1</sup>국립환경과학원 유기물질분석연구과, <sup>2</sup>자원순환과,

<sup>3</sup>토양지하수연구과, <sup>4</sup>청주대학교 환경공학과

(2008. 5. 6. 접수, 2008. 5. 30. 승인)

## Rapid analytical method of the polychlorinated biphenyls in PCBs containing liquid wastes

Sun-Kyoung Shin<sup>1\*</sup>, Tae Wan Jeon<sup>2</sup>, Jeong-Ki Yoon<sup>3</sup>, Tae-Seung Kim<sup>3</sup>, Gi Jong Oh<sup>2</sup>,  
Young Shik Kim<sup>3</sup> and Kyoung Soo Kim<sup>4</sup>

<sup>1-3</sup>National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea

<sup>4</sup>Department of Environmental Engineering, Cheongju University, cheongju 360-764, Korea

(Received May 6, 2008; Accepted May 30, 2008)

**요 약:** 본 연구에서는 PCBs 함유 폐기물의 적정관리방안을 마련하기 위하여 우리나라의 폐기물공정시험방법에서 제시하고 있는 액상폐기물 중 PCBs 분석방법을 토대로 시간 및 비용을 효과적으로 보다 신속하게 분석하는 방법을 제시하고자, 추출 및 전처리방법, 칼럼정제방법, 분석용 칼럼 조건, 기기분석 조건 및 정량방법을 개발하였다. 분석방법을 검토한 결과 분석시간을 폐기물공정시험방법의 분석시간의 2/3 정도로 단축시켰고, 검출한계는 0.5 mg/L이었다. 또한, 제안된 신속분석방법을 PCBs 함유 절연유에 적용하였을 경우 규제기준(2.0 mg/L) 부근인 2.35 mg/L에서 과소평가되는 경향이 나타났으며, 이 시험법을 사용하였을 때 PCBs 함유 폐기물의 부적정하게 평가되는 것을 막기 위해 적용 농도범위를 소수첫째자리에서 반올림하여 최소자리수를 일의자리 즉 1 mg/L 이하인 경우(0.5~1.4 mg/L)로 제한하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

**Abstract:** The study on the development of rapid analytical method of PCBs containing waste was performed by considering the extraction, column cleanup process, analytical condition and so on. In the established method, new sample clean-up procedure, new quantification peaks and temperature program were introduced. Method detection limit of the method was 0.5 mg/L, and the method could save the total run time to 2/3, therefore save the analysis cost, The new rapid analytical method of transformer oil was suggested to the waste official test method.

**Key words :** rapid method, PCBs containing waste, liquid waste, GC/ECD

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)32-560-7370 Fax : +82-(0)32-562-7330

E-mail : shinsun@me.go.kr

1. 서 론

PCBs는 인간 생활에 사용되는 잔류성유기오염물질(POPs)로서 환경오염 및 인체에 대한 유해성이 제기되어 사용이 중지된 대표적인 물질이다. 1929년부터 전 세계에 약 130만톤 이상이 변압기의 절연유, 열교환기의 열매체 등에 사용되어 왔으나, 환경오염 피해가 밝혀지면서 대부분 선진국은 제조 및 사용을 금지하고 있다.<sup>1,5</sup>

미국, 일본, 독일 등 선진국에서는 기존 PCBs 함유 제품에 의한 환경오염을 방지하기 위해 사용실태 파악, 관리 및 폐기대책을 추진하고 있으며, 국제적으로는 2004년 5월 발효된 스톡홀름 협약에서는 POPs의 근절을 위한 이행 사항이 제시되었다. 이에 따라 우리나라는 2007년 1월에 잔류성 유기오염물질 관리법을 제정하고 2008년부터 본격적인 PCBs 근절 대책을 시행 중에 있다.<sup>6-11</sup>

현재 1999년 개정된 폐기물관리법에서 PCBs 함유량이 액상 및 액상이외의 경우로 구분하여 함유량 기준을 정하여 폐기물로 관리하고 있으며, 함유량

기준의 초과여부는 폐기물공정시험방법의 정밀 GC/ECD 분석방법에 따라 판단하도록 되어있는데 이 시험방법은 절차가 복잡하여 많은 분석시간이 소요되고 있으며,<sup>12,13</sup> 건당 분석비용도 15~20만원에 달한다. 국내 변압기 수량은 신고된 것만도 177만대이고 미신고분까지 합하면 330여만 대에 이를 것으로 추정되고 있어 이 모든 변압기에 대해 PCBs 함유량을 폐기물공정시험방법으로 검사하는 경우 막대한 비용이 검사에만 투입되어야 한다. 그러나, 폐기물공정시험방법으로 PCBs 함유 폐기물의 정밀 분석한 결과를 보면 조사대상 변압기의 70~80%는 폐기물관리법상의 규제기준 이하로 나타나 빠르고 간단한 스크리닝 차원의 폐기물 공정시험방법의 개선이 필요한 실정이다.<sup>13</sup>

따라서 본 연구에서는 절연유 중 PCBs를 보다 신속하고 저비용으로 분석하기 위한 GC/ECD 방법을 검토하였다. 이를 위해 미국일본캐나다 등의 선진국의 스크리닝 분석방법과 국내 PCBs 분석전문기관 등이 검토한 신속분석방법을 근거로 하여 본 연구를 수행하였다.<sup>14-19</sup>

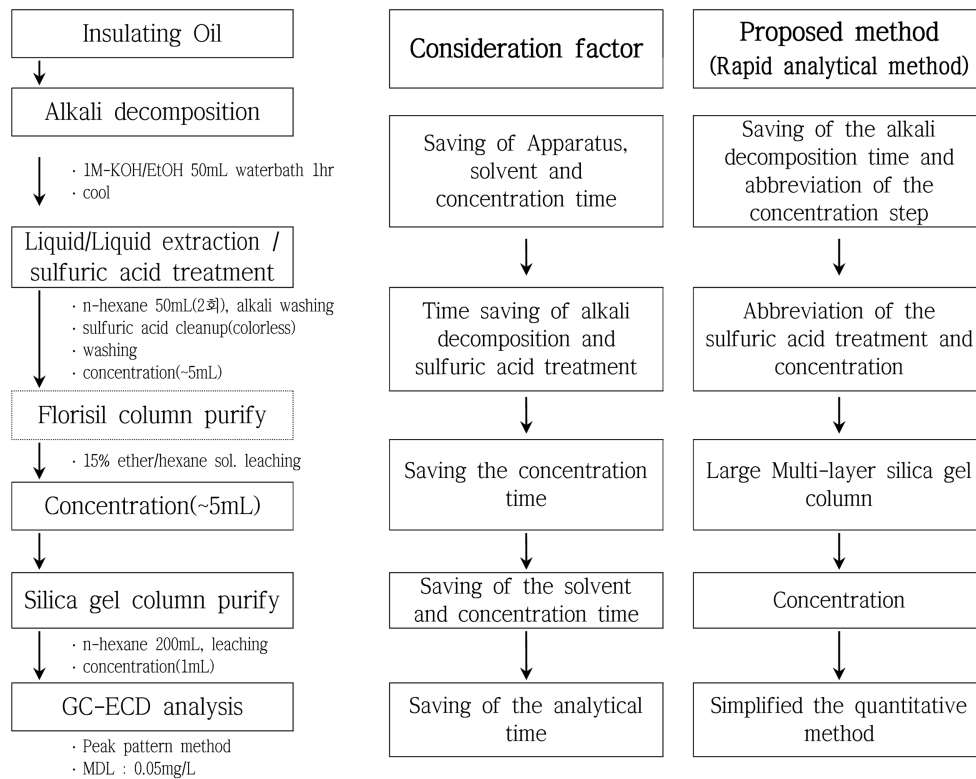


Fig. 1. Considering factors for the development of the rapid analytical method.

## 2. 실험방법

### 2.1. PCBs 신속분석방법 검토

추출 및 전처리방법, 칼럼정제방법, 분석용 칼럼 조건, 기기분석 조건 및 정량방법에 대하여 선정된 검토 대상 방법을 검토하였다. 현행 공정시험방법을 개선하여 신속하고 정확한 분석방법을 개발하기 위해 검토되어야 할 고려인자는 다음 그림과 같다(Fig. 1).

### 2.2. 액상폐기물을 이용한 적용성 검토

#### 2.2.1. 시료 선정

환경부, 과학원 등에서 수행한 연구과제 및 정밀분석 결과를 토대로 농도, 제작년도를 고려하여 기존의 폐기물공정시험방법의 정밀분석방법과 새로 마련한 신속분석방법에 절연유 시료 100건을 적용하여 비교 검토하였다.

#### 2.2.2. 분석방법

절연유 시료 100건은 폐기물공정시험방법의 정밀 GC/ECD법 및 신속 GC/ECD법에 따라 전처리하였고, 전처리가 완료된 시료는 시판되는 Aroclor 표준물질을 이용하여 두 시험방법에서 각각 제시하는 정량방법으로 정량하였다. 다음 Table 1에 기기분석 조건을 나타내었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 PCBs 신속분석방법

#### 3.1.1 전처리 및 정제과정

##### 1) 알칼리 분해 추출

폐기물공정시험방법 제14항 B의 환류냉각 및 분액여두를 이용한 알칼리분해는 사용하는 용매량이 많으며, 알칼리 분해 후 헥산 세정수를 이용하여 알칼리성

Table 1. Analytical conditions of GC/ECD

	Condition
Column	DB-5 (30 m, 0.25 mm I.D., 0.25 µm film thickness)
Carrier Gas	99.999% N <sub>2</sub>
Detector	µECD
Total Flow	60 mL/min
Injector Temp.	250°C
Oven Temp.	100°C → 160°C(15°C/min) → 300°C(5°C/min)
Detector Temp.	320°C

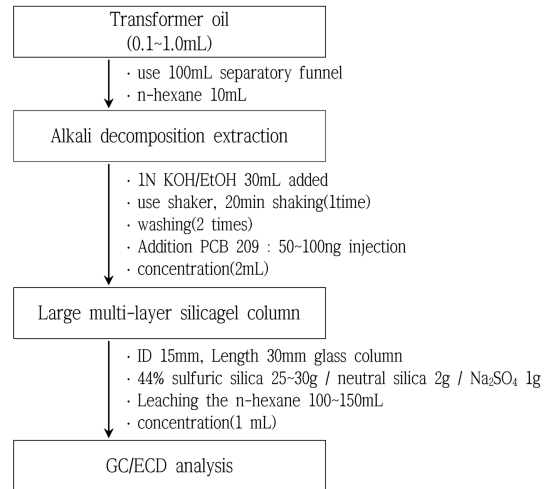


Fig. 2. Rapid analytical method of PCBs.

을 중성화 한 후 헥산을 이용하여 액/액 추출을 하는 방법으로 이에 따른 많은 용매량 및 시간이 소요되었다. 그러므로 알칼리 분해시간 및 분해율을 증가시키기 위해 2 mL의 바이얼에 절연유 시료 0.1 g과 1.5 N KOH/EtOH 용액 0.5 mL를 주입한 후 Vortex mixer를 이용하여 알칼리분해 하는 바이얼 알칼리 분해, 유분 제거에 효과적인 플로리실 흡착을 이용하는 방법 및 진탕기를 이용한 알칼리 분해 방법을 검토하였다.

진탕 알칼리 분해 방법을 이용한 절연유 중 PCBs 분석방법 흐름도를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 진탕 알칼리 분해 방법은 절연유 최소량(0.1 mL)을 분액여두에 헥산 10 mL와 함께 넣은 후 1 N KOH/EtOH 용액 30 mL를 첨가한 후 20분간 수직 진탕기를 이용하여 진탕한 다음 층분리가 될 때까지 충분히 정지시켰다. 알칼리 성분을 제거하기 위해 헥산 세정수 50 mL로 2회 세정한 후 회수율 측정을 위해 209-PCB를 50~100 ng 주입한 후 대용량 다층 실리카겔 컬럼을 이용하여 정제를 수행하였다.

진탕 알칼리 분해에 의한 PCBs 이성질체의 분해여부를 검토하기 위하여 알칼리 용액(KOH/EtOH)의 농도 및 시간별 PCBs의 회수율을 PCBs 표준물질 EC-4977(Wellington lab., 27종의 PCBs 이성질체 포함)을 이용하여 검토한 결과, PCBs 이성체의 회수율은 저염화 이성체를 제외하고 40~80%의 범위로 나타났으며, 진탕에 의한 알칼리분해는 1 N KOH-1hr, 1 N KOH-2hr, 2N KOH-1hr이 최적의 조건으로 나타났다. 또한, 위와 같은 조건에서 PCB free oil 0.1 g, Aroclor 표준물질 2.5 mg/L 및 PCB-209 이성체 60 ng를 첨가하여

알칼리분해 실험을 수행한 결과, Aroclor 표준물질은 각 알칼리 분해조건에서 6~30% 정도 분해되었으며, PCB 209 이성체는 1 N KOH-1hr 이외의 조건에서는 50% 이상이 분해되는 것으로 나타났다. 그러나 Aroclor 표준물질은 알칼리에 의해 거의 분해가 되지 않는 것으로 판단할 수 있으며, PCB 209 이성체도 1N 1hr에서는 분해가 잘되지 않는 것으로 판단된다. 따라서, 분석과정의 정도를 판단하기 위해 첨가하는 PCB-209 이성체는 현행 공정시험방법과 마찬가지로 알칼리분해 후에 첨가하는 것이 바람직하다.

바이얼을 이용한 알칼리 분해방법의 경우 시료의 정제효율이나 회수율에 있어서 문제점은 없는 것으로 나타났으나, 알칼리 분해를 바이얼을 통해 실험하기 때문에 실험방법을 숙지하고 충분한 기술을 갖춘 분석자에게는 적합하지만 일반적인 분석기관에서 사용하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단되었다. 또한, 알칼리분해과정을 유분제거에 효과가 있는 플로리실 을 이용하여 흡착시켜 제거한 후 상등액을 바로 컬럼 정제에 활용하여 알칼리분해에 따른 소요시간을 줄이는 방법으로 절연유 시료에 별도의 전처리 없이 플로

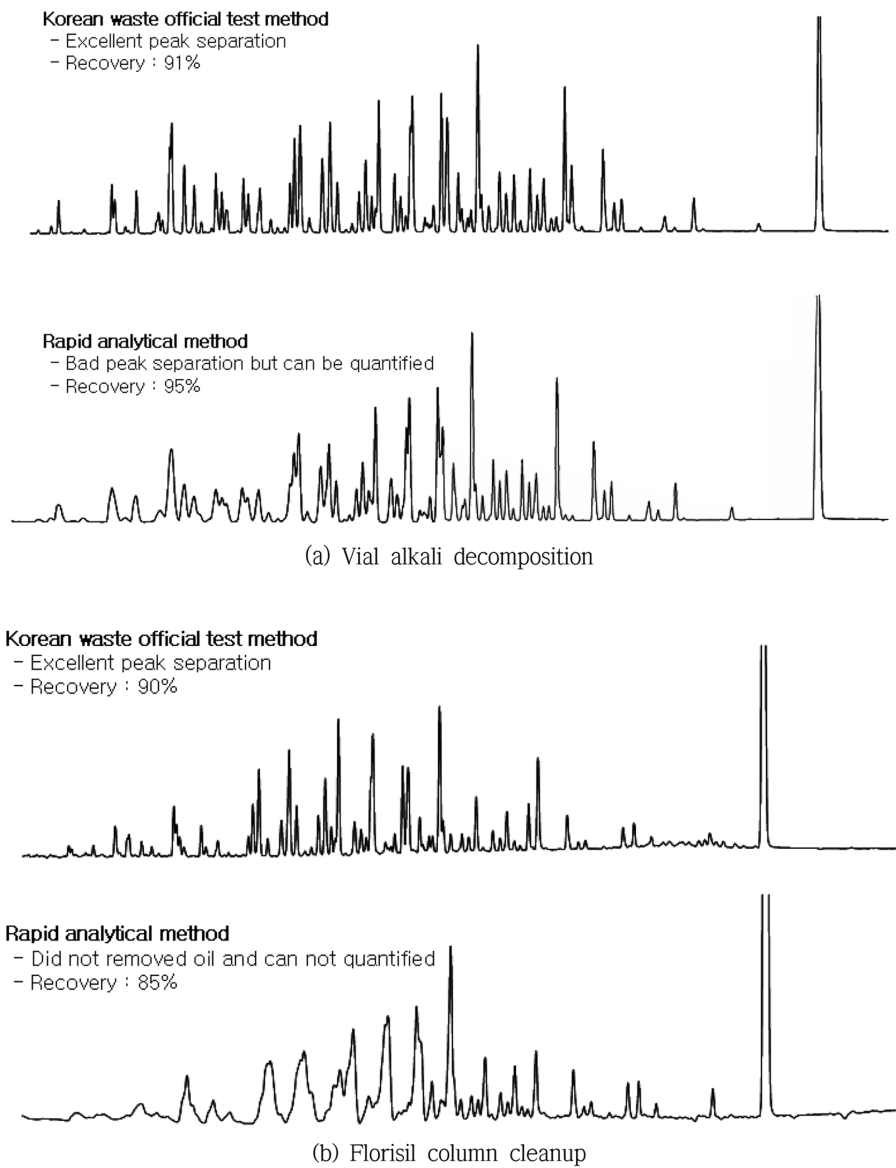


Fig. 3. Comparison of the PCBs chromatogram according to oil removal steps.

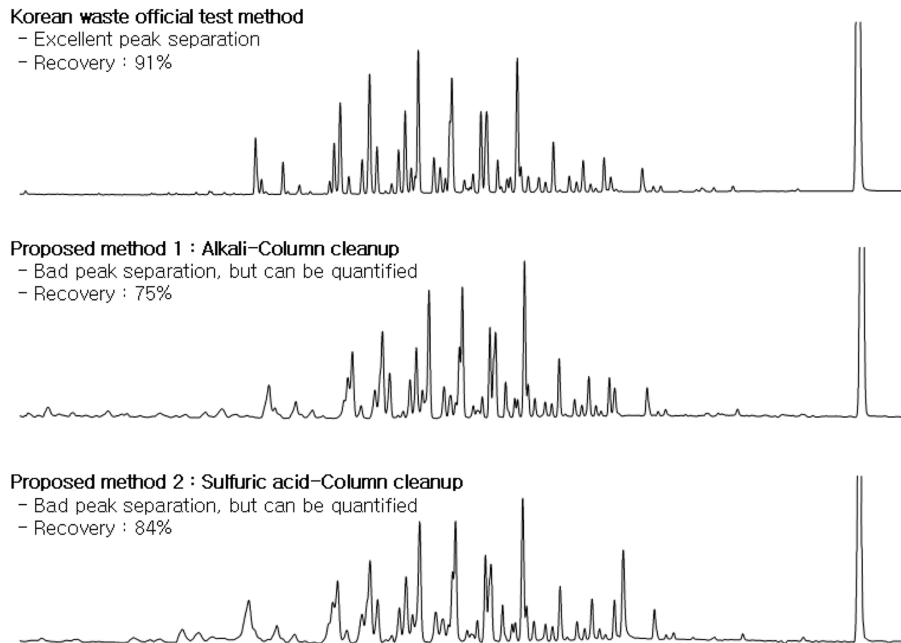


Fig. 4. Comparison of the PCBs chromatogram by both Korean waste official method and proposed method.

리실 흡착을 이용하는 방법은 PCB-209 이성질체의 회수율은 양호하였으나 확실하게 유분이 제거되지 않아 Aroclor 1242 부분이 검출되는 앞부분의 피크 분리가 양호하지 못한 단점이 있었다(Fig. 3).

#### 2) 유분제거방법

절연유 중 유분을 제거하기 위해 사용되는 알칼리분해와 황산처리 방법에 따른 절연유 중 유분의 제거 효율에 대해 검토하였다. 절연유 시료를 이용하여 제안된 알칼리분해 및 황산처리과정 중 제거 효율을 비교하여 Fig. 4에 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 제안된 알칼리분해와 황산처리 방법의 효율은 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, Aroclor 1242가 검출되는 앞부분의 피크분리는 현행 공정시험방법에 비해 미비하였으나 컬럼 정제과정 중 사용되는 충전제 양의 증가 등의 추가적인 보완을 실시한다면 신속 GC/ECD법으로서 사용이 가능할 것으로 판단되었다.

#### 3) 컬럼정제

현행 공정시험방법상 컬럼 정제는 환류냉각을 이용한 알칼리분해에서 충분히 유분이 제거가 되기 때문에 4 g의 실리카겔을 이용한 실리카겔 컬럼 정제를 행한다. 반면 신속 GC/ECD 방법의 경우, 제안된 알칼리분해 또는 황산처리에 의해 공정시험방법과 동일한 유분 제거 효과를 기대할 수 없기 때문에 컬럼 정제과정에

서 다량의 황산실리카겔(25~30 g)과 실리카겔(5 g)을 병행하여 컬럼 정제를 행한 경우 제안된 알칼리분해의 단점을 어느 정도 보완할 수 있는 것으로 조사되었다.

#### 3.1.2. 정량과정

절연유 중 PCBs가 단품으로 혼합된 경우 현행 공정 시험방법과 동일한 방법으로 시료에서 검출된 PCBs 피크의 형태에 따라 표준물질을 제조하여 3점 검량의 방법으로 검량선을 작성하여 농도를 산출한다. 다만, 정량용 피크의 경우 현행 공정시험방법에서는 13종의 지정된 이성질체(PCB-18, 28, 31, 44, 52, 101, 118, 138, 149, 153, 170, 180, 194) 및 최대 피크의 25% 이상의 감도를 나타내는 피크를 정량에 이용하였으나, 정량시 소요되는 시간을 줄이기 위해 정량에 사용되는 피크의 수를 줄이는 방법에 대해 검토하였다.

Aroclor 제품이 혼합되어 존재하는 절연유 시료의 경우, 혼합비에 맞는 표준물질의 검량선을 각각 작성한 후 13종의 피크+최대 피크의 25% 이상 피크를 대상으로 정량을 수행하는 현행 공정시험방법에서는 혼합비에 맞는 검량선을 작성하는데 많은 시간이 소요된다는 어려움이 있었다. 이에 본 연구에서는 절연유에 주로 사용된 Aroclor 1242, 1254 및 1260을 이용한 Aroclor 1242:1254:1260=1:1:1 혼합품을 검량선 작성에 이용하고 정량용 피크의 수를 줄이는 방법에 대해 검토하였

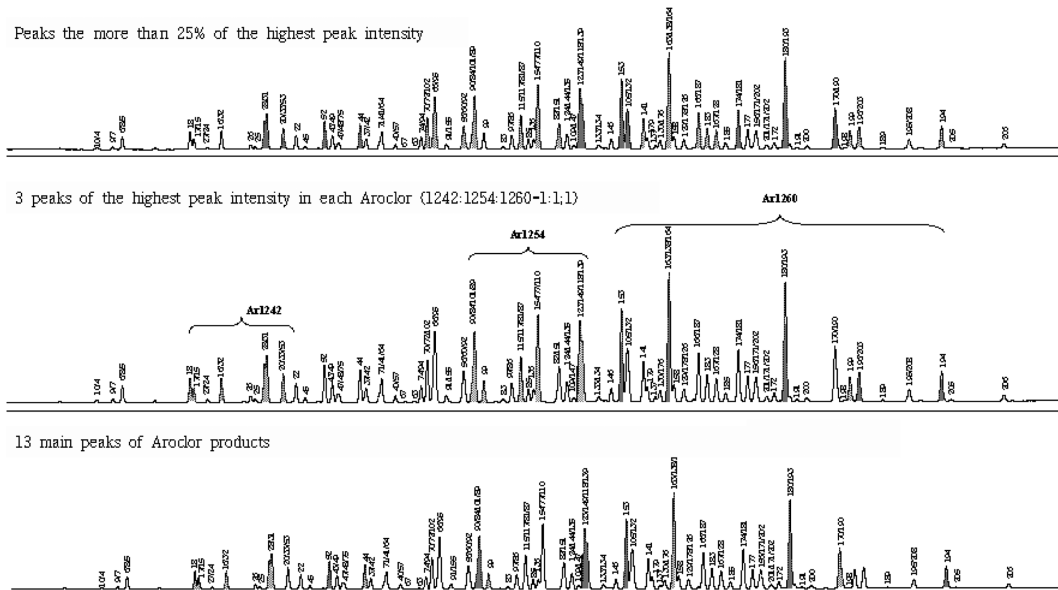


Fig. 5. Quantification peaks of PCBs.

다. 다음 Fig. 5에 현행 공정시험방법 상의 13개 피크 및 각 Aroclor의 특징을 나타내는 피크를 나타내었다.

현행 공정시험방법으로 분석하여 Aroclor 단품과 혼합물이 존재하는 실제 절연유 시료 6개를 대상으로 상기에 설명한 단품 검량선 및 Aroclor 1242:1254:1260=1:1:1의 검량선을 작성하여 13개 피크를 이용하여 정량한 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2에서 보는 바와 같이 Aroclor 단품 검량선 및 Aroclor 1242:1254:1260=1:1:1의 3점 검량선을 작성하여 현행 공정시험방법상의 25% 이상 피크를 정량에 사용한 결과, 5 mg/L 이하의 저농도 영역에서는 신속분석방법이 과대평가되는 경향을 나타내었으며 그 이상의 농도에서는 과소평가되는 경향을 보였다.

3.1.3. 검출한계

PCBs를 함유하지 않으면서 시료와 동일한 매질(예,

PCB-free transformer-oil)에 PCBs 표준용액을 0.5 mg/L가 되도록 주입하여 시료와 동일한 순서로 전처리하여 피크/잡음(Signal to Noise, S/N)의 비가 2.5:1이 되는 농도로 3회 반복한 실험 결과의 평균값으로 산정한 결과를 다음 Table 3에 정리하였다. PCBs 함유 절연유로 오염된 토양은 십염화비페닐(IUPAC No 209)이 함유되어 있지 않으므로 실험결과의 신뢰도 확보를 위해 십염화비페닐을 50~100 ng/mL 주입하여 회수율이 75~120%를 만족하도록 회수율을 제시하였으며, 그 결과 본 연구의 분석 대상시료의 십염화비페닐의 회수율은 87~107% 범위로 나타났다.

3.2. 액상폐기물을 이용한 적용성 검토

3.2.1. 신속 GC/ECD법

1) 시료의 선정

PCBs는 1970년대 초 선진 각국에서 그 제조 및 사

Table 2. Comparison the analytical results

Sample	Peak pattern (42:54:60)	Korean Waste Official Method		Rapid analytical method	
		Conc.(ppm)	recovery(%)	Conc.(ppm)	recovery(%)
Sample A	1:0:0	1.36	88	1.48	85
Sample B	0:1:0	14.67	100	12.55	87
Sample C	0:0:1	0.81	93	0.97	90
Sample D	1:2:0	2.59	101	3.15	94
Sample E	0:6:1	21.86	85	15.74	89
Sample F	1:3:1	5.16	85	4.40	86

Table 3. Method detection limits of rapid analytical method

Aroclor Type	Aro1242			Aro1254			Aro1260		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Reiteration no.									
Conc.(ppm)	0.407	0.483	0.470	0.419	0.402	0.392	0.411	0.352	0.340
	0.394	0.453	0.454	0.429	0.376	0.370	0.423	0.346	0.350
	0.401	0.449	0.469	0.437	0.384	0.384	0.417	0.359	0.354
SD	0.007	0.019	0.009	0.009	0.013	0.011	0.006	0.007	0.007
RSD(%)	1.62	4.03	1.93	2.11	3.44	2.92	1.44	1.85	2.07
MDL	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3

용이 금지되었음에도 불구하고 1996년 이후 제작된 변압기 절연유에서 PCBs 농도 기준치를 초과하는 사례가 발생하고 있다. 일본에서도 이와 유사한 사례가 발생하여 원인을 조사한 결과, PCBs 미 함유의 증명이 없는 재생절연유의 사용으로 미량의 PCBs 혼입 가능성이 제기된 바가 있었다. 또한 미국, 유럽연합 등에서도 미량의 PCBs가 변압기에서 검출되어 원인을 조사한 결과, PCBs를 함유한 절연유가 신규 또는 사용 중인 변압기에 재활용되거나 사용금지 이전에 PCBs 함유 절연유를 사용했던 변압기의 재활용 과정에서 케이스 등 부품에 의한 오염으로 밝혀졌다.

현재까지 조사된 국내 변압기 절연유 중 PCBs 농도는 외국과 달리 70~80%가 폐기물관리법 규제기준인 2.0 mg/L 이하인 것으로 나타났다. 그러므로, 국내 PCBs 함유폐기물 판정기준이 2.0 mg/L임을 고려하여, 2.0 mg/L 이상의 농도와 이하의 농도로 나누어 선정하였으며, 우리나라의 경우에는 실제 PCBs를 제조한 국가가 아니기 때문에 10 mg/L을 초과하는 시료의 비율은 약 10% 내외였다. 또한 현행 공정시험방법의 검출한계가 0.05 mg/L이며, 신속 GC/ECD법의 목표 검출한계가 0.5 mg/L이므로 시료 선정의 농도범위는 저농도 영역에서는 불검출~0.5 mg/L, 0.5~2.0 mg/L으로, 중간농도 영역에서는 2.0~5.0 mg/L, 고농도 영역에서는 5.0 mg/L 이상으로 구분하여 선정하였으며, 이 중 0.5~2.0 mg/L 사이의 시료를 약 50% 정도로 선정하여 총 100개 시료를 현장 적용성 검토대상 시료로 선정하였다(Fig. 6).

## 2) 신속 GC/ECD법에 의한 분석

절연유 시료 100건을 폐기물공정시험방법의 제14항 B의 시험방법과 제안한 신속분석방법으로 전처리하여 GC/ECD로 분석하였다. 다음 Fig. 7에 두 분석방법의 분석흐름도를 나타내었다. 선정된 시료 100건의 분석 결과를 다음 Fig. 8에 정리하여 나타내었다.

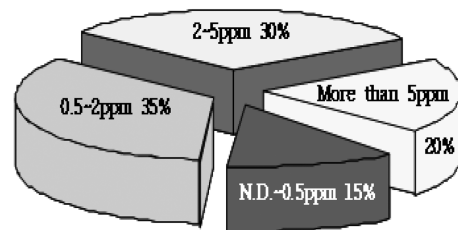


Fig. 6. Selected samples in this study.

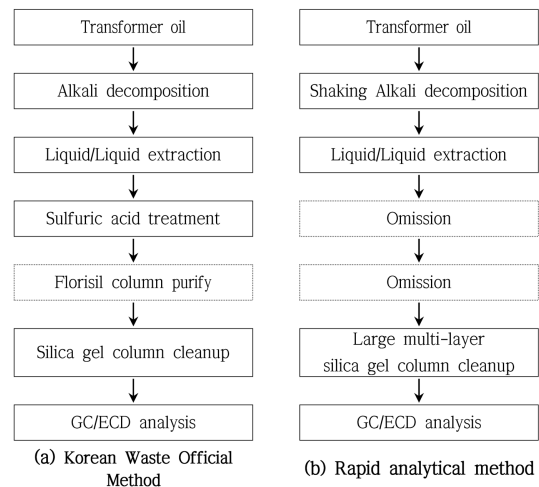


Fig. 7. Comparison of the PCBs analytical methods.

Fig. 8과 같이 두개 기관의 신속 GC/ECD 분석방법으로 분석한 결과, 오차는 큰 차이를 보이지 않았으나, 정밀분석결과 5 ppm 이상 검출된 시료의 경우에는 신속 GC/ECD 방법에 의한 결과와 오차가 크게 발생하는 것으로 나타났다. 그러나, 현행 폐기물 관리법의 규제기준이 2 ppm인 점을 고려 할때 PCBs 함유 폐기물의 초과 여부를 판단하는데는 문제가 없을 것으로 판단되었다. 현행 공정시험방법의 정밀분석 결과와 비교할 때 정밀분석법에 비해 농도가 과소평가되는 시

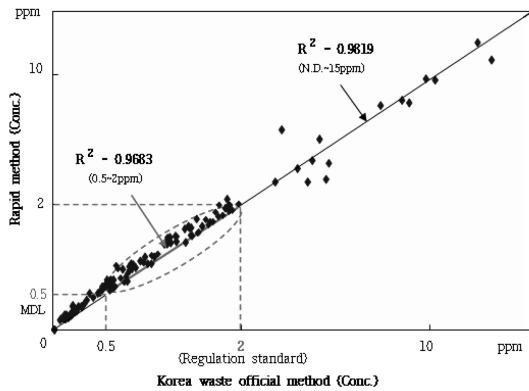


Fig. 8. Relationship between analytical results by two methods.

료는 총 100개 시료 중 16건으로, 2.35 ppm 이상의 농도에서 신속 GC/ECD 분석방법이 과소평가가 되는 불확실성을 내포하고 있는 것으로 확인되었다. 따라서, 신속 GC/ECD 분석방법을 이용하여 PCBs 함유 폐기물에 적용할 경우에는 기준치인 2 ppm 부근에서 과소평가되는 것을 고려하여, 이로 인해 PCBs 함유 폐기물이 부적정하게 처리되는 것을 막을 수 있는 농도 범위에서 적용 할 수 있도록 신속 GC/ECD 분석방법을 0.5~1.4 ppm의 제한된 범위에서 적용하여야 할 것으로 판단되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 PCBs 함유 폐기물의 적정관리방안을 마련하기 위하여 우리나라의 폐기물공정시험방법에서 제시하고 있는 액상폐기물 중 PCBs 분석방법을 토대로 보다 시간 및 비용 효과적으로 신속하게 분석하는 방법을 제시하고자, 추출 및 전처리방법, 칼럼정제방법, 분석용 칼럼 조건, 기기분석 조건 및 정량방법을 검토하였다.

분석방법을 검토한 결과 분석시간의 2/3정도 단축 가능 하고, 검출한계가 0.5 ppm인 새로운 정량방법의 시험방법을 확립하였다. 또한, 제안된 신속분석방법을 PCBs 함유 절연유에 적용하였을 경우 규제기준(2 ppm) 부근인 2.35 ppm에서 과소평가되는 경향이 나타나, PCBs 함유 폐기물이 부적정하게 처리되는 것을 막을 수 있는 농도범위에서 적용 할 수 있도록 적용 범위를 소수첫째자리에서 반올림하여 최소자리수를 일의자리 즉 1 ppm 이하인 경우(0.5~1.4 ppm)로 제한하여 제시하였다.

#### 감사의 글

본 과제는 한국전력연구원의 PCBs 함유 폐기물의 선별검사를 이용한 관리방안 연구에 의해 지원되었습니다.

#### 참고문헌

1. "Toxic Substance Control Act Inventory", USA, 1991.
2. WHO, "Environmental Health Criteria 140, PCBs", 1993.
3. M. D. Erickon, "Analytical Chemistry of PCBs", Lewis Publishers, New York, 1997.
4. V. den Berg, M. Birnbaum and A. Bosabel, *Environmental Health Perspectives*, **106**(12), 775-792(1998).
5. G. M. Frame, J. W. Cochran and S. S. Boewadt, *Journal of High Resolution Chromatography*, **19**, 657-668(1996).
6. UNEP Chemical, "PCB Transformers and Capacitors, From Management to Reclassification and Disposal", 2002.
7. UNEP Chemical, "Regionally based assessment of persistent toxic substances" Regional Report (<http://www.chem.unep.ch/pts/>), 2002.
8. UNEP Chemicals, "Guidelines for the identification of PCBs and materials Containing PCBs", First Issue, UNEP, 1999.
9. UNEP Chemicals, "Survey of urrently Available Non-Incineration PCB Destruction Technologies", UNEP, 2000.
10. Basel Convention, "Preparation of a National Environmentally Sound Management Plan for PCBs and PCB-Contaminated Equipment", UNEP, 2003.
11. Basel Convention, "Destruction and Decontamination Technologies for PCBs and Other POPs Wastes Under the Basel Convention", Volumn A, UNEP, 2001.
12. 환경부, 폐기물공정시험방법, 2004.
13. 국립환경연구원, "폴리염화비페닐류(PCBs) 함유 폐기물의 적정관리방안에 관한 연구", 2003.
14. 국립환경연구원, "절연유 중 PCBs 세부분석지침", 2004.
15. 産業廢棄物處理事業振興財, "PCB處理技術ガイドブック", 1999.
16. DIN EN 61619, "Insulation liquids-Contamination by polychlorinated biphenyls (PCBs)-Method determina-

- tion by capillary column gas chromatography”, 1997.
17. Canada EPS1/RM/31, “Reference Method for the Analysis of PCBs”, 1998.
  18. Alvia Gaskill, Jr., “Effect of Transformer Oil And Petroleum Hydrocarbons As Interferences In Field Screening for PCB Contamination In Soil”.
  19. “L2000DX User's Manual”, Version 1.24 Rev 4, (<http://www.dexsil.com>) 2006.