

## 피크패턴법을 이용한 절연유 중 PCBs 분석

신선경\* · 김혜진<sup>1</sup> · 정다위 · 전태완 · 김진경 · 박석운 · 정영희 · 정일록

국립환경과학원 환경보건안전부 제품안전성평가과

<sup>1</sup>환경부 낙동강관리청 측정분석과

(2004. 9. 8 접수. 2005. 8. 1 승인)

### Analysis of the polychlorinated biphenyls in transformer oils using peak matching method

Sun Kyoung Shin\*, Hye-Jin Kim, David Chung, Tae Wan Jeon, Jin Kyoung Kim,  
Seok Un Park, Young Hee Chung and Il Rok Chung

National Institute of Environmental Research, Incheon 404-170, Korea

<sup>1</sup>Nakdong River Basin Environmental Office, Monitoring and Analysis division,

104-3 Sinwol-dong Changwon-si Gyeongsangnam-do, Korea

(Received September 8, 2004, Accepted August 1, 2005)

**요약** : PCBs는 뛰어난 물리·화학적, 열적 안전성과 전기 절연성으로 인해 윤활유, 열교환유체, 복사지 등 많은 용도로 사용되어 왔으며, 1930년대에서 1970년대까지 Aroclors, Kaneclors, Clophens, Phenacors 등과 같은 상업적 PCBs 생산품들이 절연유로 사용되었다. 본 연구에서는 PCBs의 주된 배출원인 변압기 절연유를 채취하여 Aroclor 1242, 1248, 1254, 1260의 표준물질을 사용하여 정성분석을 하였다. 제작년도 및 제작사별로 채취·분석한 결과 절연유는 Aroclor 1242, Aroclor 1254, Aroclor 1260의 단일 제품을 함유하거나 이들이 혼합되어 함유되어 있는 것으로 조사되었다. 또한, 시판되는 스크리닝 키트(20 ppm, 50 ppm)를 이용한 절연유 시료 분석방법의 적용성을 검토하였다.

**Abstract** : PCBs had numerous uses such as hydraulic fluid, heat exchange fluid, sealant, lubricant, and carbonless copy paper. They are most likely found in electric utilities, power stations, industrial facilities, electronic manufacturing plants, petrochemical plants, railroad systems, electric equipment repair facilities, mining sites (active or abandoned), and military camps. Due to its outstanding chemical and thermal stabilities and electrical insulation properties, the commercial and industrial products of PCBs, such as Aroclors, Kaneclors, Clophens, Phenacors etc., had been widely used as thermal oil and transformer oil from 1930s until the 1970s. The transformer oils were analyzed as a main source of polychlorinated biphenyls (PCBs) emission into the environment. Qualitative estimation of oil extracts as carried out with Aroclor 1242, 1248, 1254, 1260. The transformer oils contained the pure and mixed of Aroclor 1242, Aroclor 1254, and Aroclor 1260. Also, commercial screening kit of 20 ppm and 50 ppm were applied to the transformer oil samples.

**Key words** : transformer oil, PCBs, korean official testing method

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)32-560-7287 Fax : +82-(0)32-568-2041

E-mail: shinsun@me.go.kr

## 1. 서 론

산업과 공업이 발달함에 따라 다양한 종류의 화학물질들이 인간 생활에 사용되어 왔으나 일부 화학물질들은 인체의 위해성 및 환경오염문제 등 사회적 문제가 야기되어 사용이 중단되었으며, 이러한 화학물질 중 대표적인 사례가 폴리염화비페닐류(Polychlorinated biphenyls, PCBs)이다.<sup>1-4</sup>

PCBs는 1881년 Schmidt에 의해 최초로 합성되어 1929년 미국에서 상업적으로 생산이 시작된 이래, 사용이 중지될 때까지 전 세계에서 130만 톤이 생산되었으며 변압기, 축전기의 절연유, 윤활유, 가스제, 도료, 복사지 등의 여러 용도로 사용되어 왔다.<sup>2-5</sup> 그러나 PCBs는 독성이 강하고 환경 중에서 분해되지 않고 잔류하여 생물농축 되는 것이 밝혀지면서 세계 각 국은 PCBs의 생산과 사용을 금지하고 PCBs 사용현황, 환경오염실태조사 및 PCBs함유 제품의 처리대책을 강구하기 시작하였다.<sup>1-10</sup>

우리나라에서는 POPs 물질의 국제적 관리 동향에 대응하고 '04년 5월에 발효된 스톡홀름 협약 이행을 위해 PCBs 함유 제품 및 폐기물의 국가 이행보고서를 작성 중에 있으며, 이들 물질로 인한 환경 중 오염실태를 조사하기 위해 시험방법 개발 등의 연구를 추진하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 PCBs 함유 폐기물인 절연유를 현행 폐기물공정시험법에 제시된 방법으로 채취·분석하여 년도별 제작사별 PCBs 함유패턴을 파악하였으며, 또한, PCBs 함유 폐기물을 비용 효과적인 관리방안 검토를 위해 미국 EPA의 분석법을 이용한 스크리닝 방법의 적용성 여부를 검토하였다.

## 2. 절연유 중 PCBs의 분석

### 2.1. 시료채취

절연유 중 PCBs 함량을 분석하기 위하여 33건의 변압기 절연유를 채취하였다. 시료는 변압기의 밸브를 열어 후 절연유로 3회 정도 용기내부를 완전히 닦아낸 다음 갈색유리용기에 상부공간이 없도록 채취하여 폴리테트라플루오르에틸렌(PTFE)으로 피복된 격막이 내장되어 있는 뚜껑이나 동일 격막의 알루미늄 캡으로 밀봉하여 4°C 이하의 어두운 곳에 보관하였다.<sup>11</sup>

### 2.2. PCBs 분석

우리나라 폐기물공정시험방법 제14항 나의 액상폐기물 중 PCBs 분석방법<sup>12</sup>를 근거로 하여 Fig. 1과 같이 시료를 전처리하여 Table 1의 분석조건으로 GC/ECD로 분석하였다. 우리나라 폐기물관리법에서는 액상폐기물 중

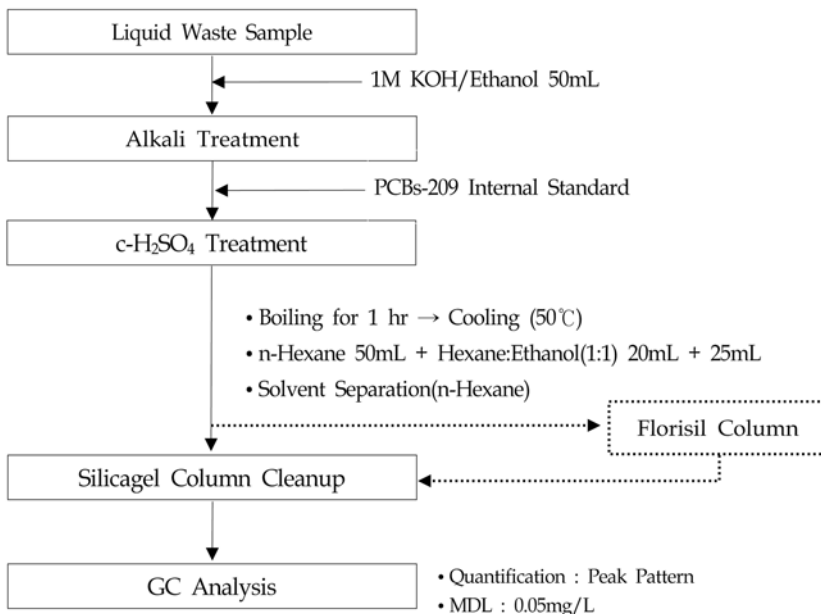


Fig 1. PCBs analytical flowchart in transformer oil.

Table 1. Analytical condition of GC-ECD

Condition	
Column	DB-5 (30 m, 0.32 mm I.D., 0.25 μm film thickness)
Carrier Gas	99.999% N <sub>2</sub>
Detector	ECD
Flow rate	17psi
Injector Temp.	200°C
Oven Temp.	140°C→200°C(2.5°C/min)→220°C(0.5°C/min)→270°C(10°C/min)
Detector Temp.	250→

PCBs를 2 mg/L로 규제하고 있다.

본 분석법에 제시된 방법검출한계는 시료와 동일 매질에 PCBs 표준용액을 본 시험법에서 제시한 유효측정농도 0.05 mg/L의 5~10배 농도를 스파이크하여 시료와 동일한 순서로 전처리하여, 피크/잡음(Signal to Noise, S/N)의 비가 2.5:1이 되는 농도를 계산하여 제시하였으며, 회수율은 절연유 중에 십염화비페닐(IUPAC No 209)이 함유되어 있지 않으므로 실험결과와 신뢰도 확보를 위해 십염화비페닐을 100~200 ng/mL 신유(PCBs를 함유하지 않은 절연유)에 주입하여 회수율이 75~120%를 만족하도록 하고 있다.

2.3. 피크패턴에 의한 정량법<sup>11~15</sup>

분석결과와 정량방법으로는 시료 중에서 검출된 크로마토그램과 표준물질의 크로마토그램을 비교하여 피크패턴의 일치여부를 확인한 후 정량하는 피크패턴법을 이용하여 정량하였다.

피크패턴법은 시료 농축액을 GC에 주입해서 크로마토그램을 구한 다음, PCBs의 표준액을 적절히 혼합해서 같은 방법으로 GC에 주입하여 시료용액의 피크패턴과 유사한 크로마토그램을 비교하여, PCB 표준품의 종류와 혼합비율을 산정한다. 시료용액으로부터 얻은 크로마토그램의 피크패턴에 가장 유사한 패턴을 나타내는 PCBs혼합 표준액을 농도별로 조제하여 각각의 크로마토그램을 구하여, 각 피크의 높이(또는 피크면적)를 구하여 이들의 함으로 검량선을 작성한다. 우리나라는 PCBs로 인정되는 피크는 모두 정량하도록 제시되어 있으나, 전처리 과정 중 방해피크 등이 완전히 제거되지 않아 농도의 과대평가 우려가 있어 절연유 중 PCBs 분석법에서는 표준시료에서 검출된 크로마토그램 중 가장 큰 피크의 25% 이상의 감도를 나타내는 피크 및 IUPAC No. 18, 28, 31, 44,

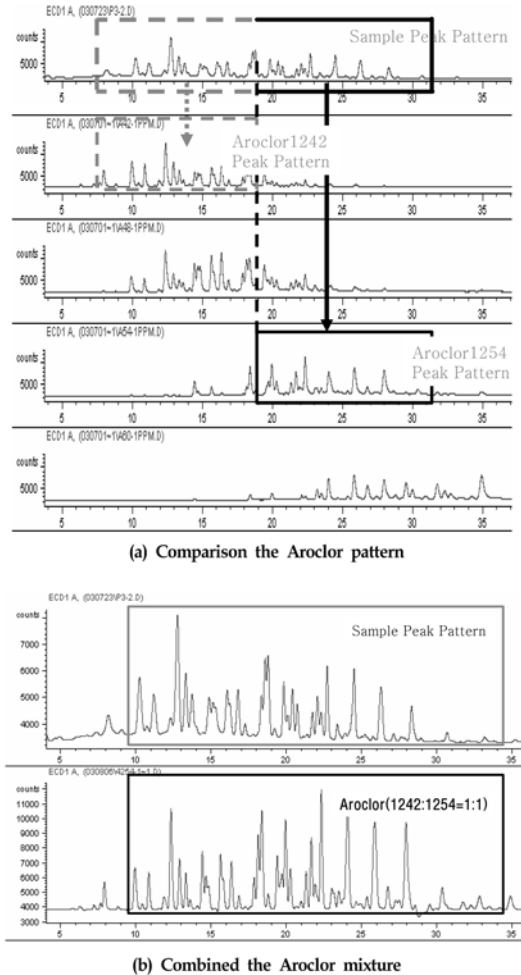


Fig 2. PCBs Quantification of Korean waste official method.

52, 101, 118, 138, 149, 153, 170, 180, 194인 피크를 정량하도록 하고 있으며, 다음 Fig. 2에 정량방법을 크로마토그램을 나타내었다.

2.4. 스크리닝 방법<sup>13</sup>

미국 EPA 9079 분석법 및 L 2000 analyzer DX을 이용하여 GC/ECD로 분석한 절연유 시료를 정량하여 결과를 비교하여 적용성 여부를 검토하였다. 미국 EPA 9079 분석법은 절연유 시료를 발색시커 키트의 색과 비교하여 농도를 측정하는 스크리닝 방법과, L 2000 analyzer DX을 이용하여 발색된 시료 중의 염소 함량을 측정하여 절연유 중 PCBs 함량을 측정하는 분석법으로서 이 기기는 PCBs 함량이 99%인 Askarel의 함량으로 결과를 나타낸다.

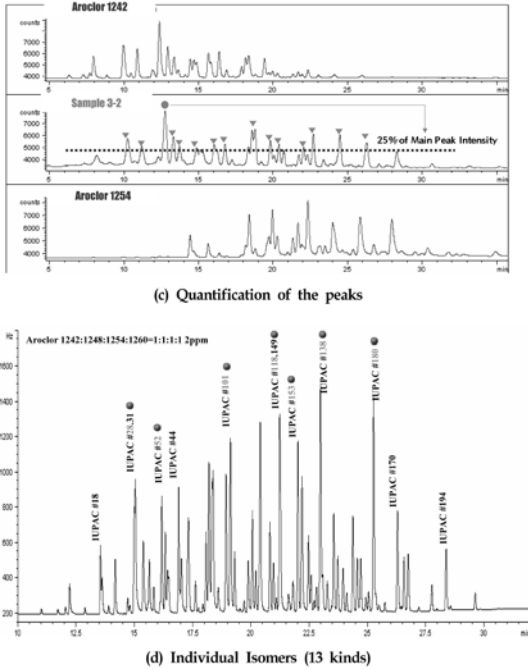


Fig. 2. Continued.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 변압기 절연유 중 PCBs 분석결과

1960년, 1970년대, 1980년대 및 1990년대 이후로 구분하여, 절연유 시료 33건을 채취·분석한 결과를 다음의 Table 2에 정리하였다. 변압기 내부의 절연유의 경우 주기적으로 전기적 성질을 측정하여 그 성질이 변성된 경우에는 새로운 절연유로 교체하고, 그렇지 않은 경우에는 일부 부족한 양의 신유만을 채워 사용한다. 그러므로 동일 제작사 및 동일 연대의 변압기일지라도 절연유의 교체 횟수가 달라 함유한 PCBs의 농도에서도 다소 차이를 나타내고 있는 것으로 조사되었다.

우리나라의 PCBs 관련 규정에서는 1979년 전기설비 기술기준령에서 신설 변압기에는 PCBs를 포함하는 절연유를 사용한 기계기구는 전로에 시설하지 않도록 하였으며, 1996년 유해화학물질 관리법에서는 PCBs의 제조·수입·판매 또는 사용을 금지하였으며, 1999년 개정시 50 ppm 이상 함유한 혼합물질을 적용대상에 포함시켰다. 따라서, 본 연구의 변압기 분석결과를 PCBs에 대한 규제가 전혀 없었던 1979년까지의 시기, 전기설비 설치기준령에 의해 전기기기의 PCBs 사용을 금지한('79. 8월) '80년 이후부터 '96년까지의 시기와 1997년 이후에서 2002년까지 기간으로 구분하여 비교·검토하였다.

1960년대에 제작된 변압기 절연유는 시판되는 PCBs 제품 중 단품으로는 Aroclor 1242 및 1254가 사용되었으며, 혼합제품으로는 Aroclor 1242 : 1254(1:1), 1254 : 1260(1:1) 및 1242 : 1260(3:2)의 비율로 섞여 있는 것으로 조사되었다. 1960년대 중반에 설치된 FU사의 변압기는 Aroclor 1254를 사용한 것으로 나타났으며, 검출된 PCBs의 농도가 우리나라의 규제기준인 2 ppm 이하로 함유된 것으로 조사되었다. 그러나, 1968년도 제작된 GL 사의 변압기의 경우에는 변압기에 일반적으로 많이 사용되는 Aroclor 1242, 1254 및 1260의 세 종류의 PCBs 제품을 모두 포함하는 것으로 나타났으며, 검출된 농도도 변압기의 절연유가 교체된 경우(A-60S-03)를 제외하고는 모두 규제기준 이상의 고농도 PCBs를 함유하는 것으로 조사되었다.

또한, AS 사의 변압기에서는 PCBs가 검출되지 않았으나, 동일년도 HI사 및 TO사에서 제작된 변압기에서는 우리나라의 규제기준 이상의 PCBs가 검출되었으며, 함유하고 있는 PCBs의 종류는 제작사마다 약간의 차이를 나타내고 있는 것으로 조사되었다.

1970년대 제작된 변압기의 경우에는 조사대상 변압기 제작사 중 GC 및 ALS사의 제품에서 우리나라 규제기준인 2 ppm 이상의 PCBs를 함유하고 있는 것으로 나타났으며, 주로 Aroclor 1254 및 1260의 제품을 함유하고 있는 것으로 조사되었다.

1980년 제작된 변압기 중 PCBs 함유 농도를 살펴보면, 일부 제품이 우리나라 규제기준을 넘고 있으나, 그 농도의 범위는 '60년대 및 '70년대 검출되었던 농도보다는 매우 낮게 나타났다. 또한, 1990년대 제작된 변압기의 경우에는 일부 PCBs가 포함된 변압기가 있는 것으로 조사되었으나, 모두 우리나라의 규제농도 범위 이하로 검출되었다.

#### 3.2. 변압기 절연유 중 PCBs 함유실태

변압기 절연유에서 사용된 PCBs 제품은 Aroclor 표준물질로 비교해 본 결과 Table 2에 나타난 바와 같이 주로 Aroclor 1242, 1254 및 1260이 사용된 것으로 조사되었다. 다음 Fig. 3~8을 절연유 시료 중 PCBs의 배출패턴을 나타낸 것이다. Fig. 3은 Aroclor 1242, Aroclor 1248 그리고 Aroclor 1260의 단일 제품 PCBs 혼합표준액을 함유하고 있는 시료의 크로마토그램이다. 또한, Fig. 4는 두 종류 이상의 혼합표준액을 함유하고 있는 시료의 분석결과를 제시한 것으로, (a)는 Aroclor 1242 : 1254가 대략 1:1의 비율로 함유되어 있는 것이며, (b)는 Aroclor 1242 : 1260이 대략 3:2의 비율로, 그리고

Table 2. Analytical results of transformer oil

Year	No	Manufacture Year	Company	Sample List	Patterns	Recovery* (%)	Concentration
1960	1	1966	FU	A-60S-01	Aro1254	81	<2ppm
	2	1966	FU	A-60S-02	Aro1254	83	<2ppm
	3	1968	GL	A-60S-03	Aro1254:1260=1:1	83	<2ppm
	4	1968	GL	A-60S-04	Aro1254	84	>2ppm
	5	1968	GL	A-60S-05	Aro1242	95	>2ppm
	6	1969	AS	A-60S-06	Aro1260	80	>2ppm
	7	1969	HI	A-60S-07	Aro1242:1254=1:1	85	>2ppm
	8	1969	TO	A-60S-08	Aro1242:1260=3:2	87	>2ppm
1970	1	1970	ASA	B-70S-01	Aro1260	95	<2ppm
	2	1971	GC	B-70S-02	Aro1254	89	>2ppm
	3	1975	ALS	B-70S-03	Aro1260	89	>2ppm
	4	1976	GC	B-70S-04	Aro1242:1254:60=1:1:1	77	<2ppm
	5	1977	GL	B-70S-05	N.D.	86	N.D.
	6	1978	HI	B-70S-06	Aro1260	84	<2ppm
	7	1978	FU	B-70S-07	Aro1254	91	<2ppm
	8	1978	FU	B-70S-08	Aro1242:1254=1:1	93	<2ppm
1980	1	1981	-	C-80S-01	Aro1242:1254:60=1:1:1	82	<2ppm
	2	1981	ETI	C-80S-02	Aro1260	97	<2ppm
	3	1983	HS	C-80S-03	Aro1242:1254=5:1	96	<2ppm
	4	1983	HS	C-80S-04	Aro1242:1254=5:1	96	>2ppm
	5	1985	HS	C-80S-05	Aro1242:1254=5:1	73	<2ppm
	6	1985	HS	C-80S-06	Aro1242:1254=5:1	92	<2ppm
1990	1	1991	HS	D-90S-01	N.D.	92	N.D.
	2	1991	HD	D-90S-02	N.D.	95	N.D.
	3	1991	HD	D-90S-03	Aro1260	93	<2ppm
	4	1994	EE	D-90S-04	Aro1260	87	<2ppm
	5	1994	KCO	D-90S-05	Aro1254	91	<2ppm
	6	1998	HD	D-90S-06	Aro1254:1260=2:1	86	<2ppm
	7	1998	HS	D-90S-07	Aro1242:1254=2:1	85	<2ppm
	8	1998	HS	D-90S-08	Aro1260	85	<2ppm
	9	1998	HS	D-90S-09	Aro1242:1254=2:1	82	<2ppm
	10	1999	HD	D-90S-10	N.D.	85	N.D.
	11	1999	EE	D-90S-11	Aro1242:1254:60=1:1:1	81	>2ppm

\*average of 2~3 times duplicate analytical results

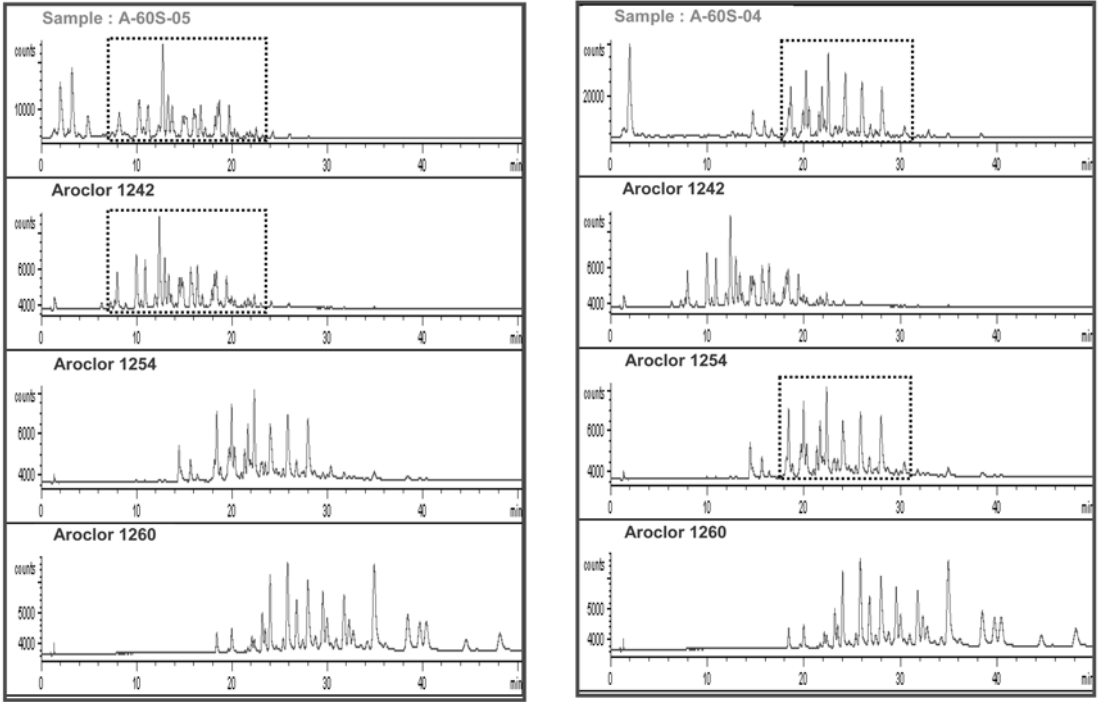
(c)는 1254:1260이 대략 1:1의 비율로 혼합된 시료의 크로마토그램을 예로 나타내었다.

두 종류 이상의 PCBs 제품을 함유하고 있는 변압기 절연유의 정량방법을 간단히 설명하면, Fig. 4에서 보는 바와 같이 일부 중복 피크를 제외한 피크를 이용하여 개별 PCBs 표준제품의 농도를 결정하고, 두 농도의 비로 혼합된 비를 결정한 다음 구해진 함량 비율의 혼합 표준용액을 제조한 후 세가지 이상의 농도(0.5, 1, 2, 5, 10 ppm)를 사용한 검량선을 작성하여 정량하였으며, 검

량선의 직선성은 0.9998~0.9999의 범위로 나타났으며, 분석시료에 주입한 내부표준물질의 회수율은 Table 2에 나타난 바와 같이 77~97%로 나타나 폐기물 공정시험법에서 제시하는 회수율 75~120%를 만족하였다.

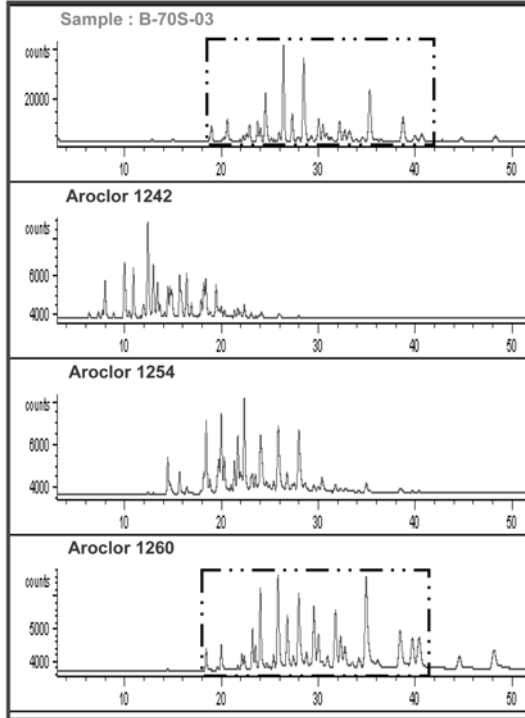
### 3.3. 절연유 중 PCBs 스크리닝 분석법 검토

채취·분석된 절연유 시료를 미국 EPA 9079 분석법에서 제시하고 있는 스크리닝 키트 및 L2000 Analyzer DX을 이용하여 재분석하여, 스크리닝법의 적용성 여부



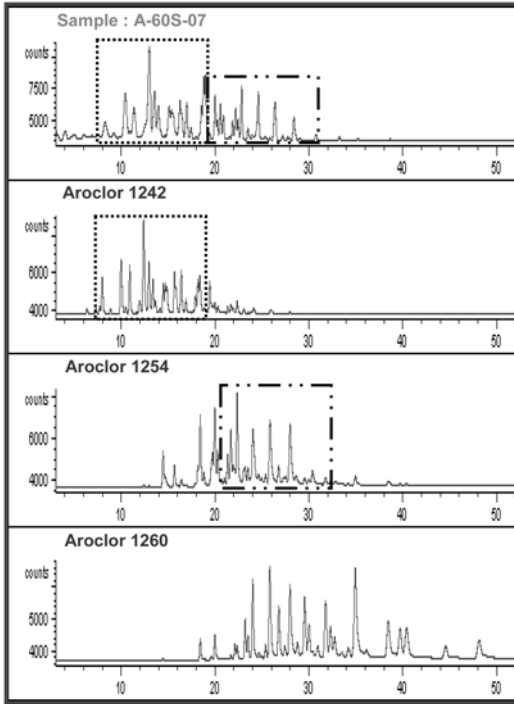
(a) Aroclor 1242 containing sample.

(b) Aroclor 1254 containing sample.

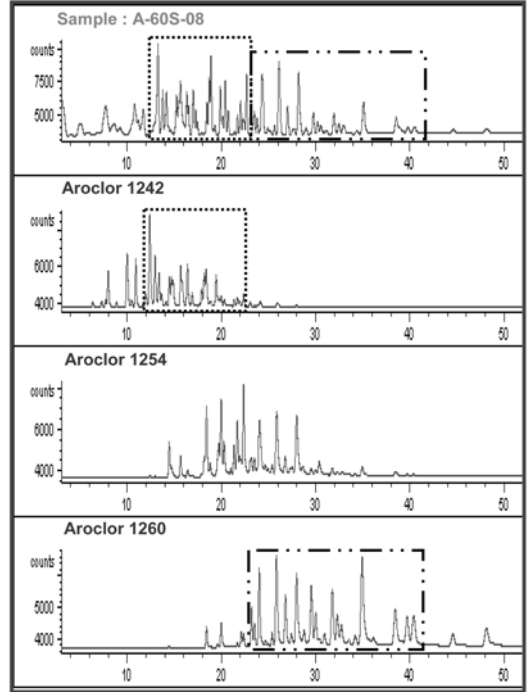


(c) Aroclor 1260 containing sample

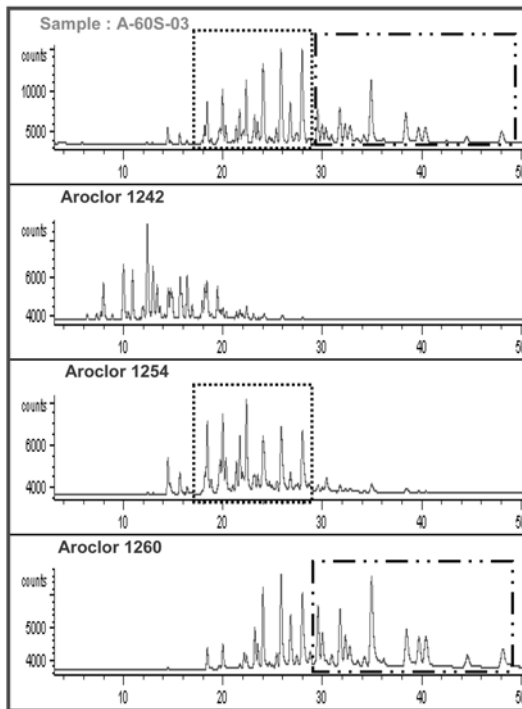
Fig 3. Chromatograms of samples.



(a) Aroclor 1242:1254 containing sample.



(b) Aroclor 1242:1260 containing sample.



(c) Aroclor 1254:1260 containing sample

Fig 4. Chromatograms of Aroclor 1254:1260 containing sample.

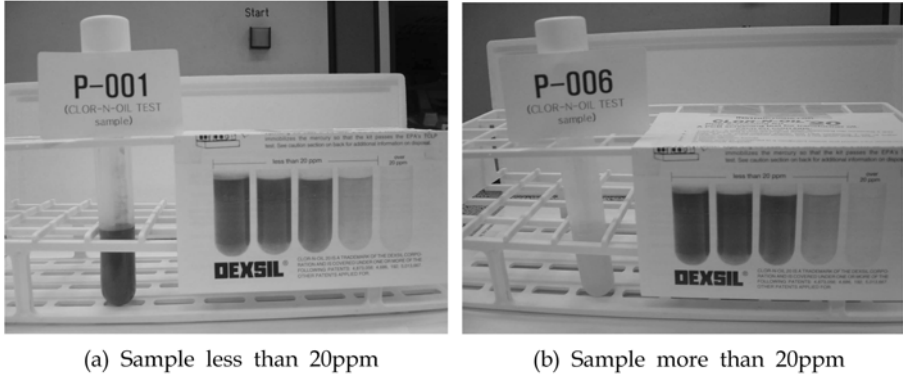


Fig 5. Screening Test Result.

Table 3. PCBs screening test result in transformer oil

No	Sample	CLOR-N-OIL 20		L2000 analyzer		Aroclor Conversion Conc.(ppm) <sup>5)</sup>		
		20ppm Kit (Cl)	Cl Contents	Askarel A Conc.	Aro1242	Aro1254	Aro1260	
1	New Oil <sup>1)</sup>	< 20	0.77	0.97 ppm	2.30	1.79	1.61	
2	New Oi <sup>1,2)</sup>	< 20	6.65	8.42 ppm	19.86	15.45	13.90	
3	New Oi <sup>1,3)</sup>	> 20	18.10	18.10 ppm	54.05	42.04	37.84	
4	P-001 <sup>1)</sup>	< 20	2.24	2.87 ppm	6.69	5.20	4.68	
5	P-002 <sup>1)</sup>	< 20	2.99	3.78 ppm	8.93	6.95	6.25	
6	P-003 <sup>1)</sup>	< 20	7.62	9.66 ppm	22.76	17.70	15.93	
7	P-004 <sup>1)</sup>	< 20	5.52	7.00 ppm	16.49	12.82	11.54	
8	P-005 <sup>1)</sup>	> 20	69.00	87.40 ppm	206.06	160.27	144.24	
9	P-006 <sup>1)</sup>	> 20	57.80	73.30 ppm	172.62	134.26	120.83	
10	P-007 <sup>1)</sup>	< 20	0.62	0.78 ppm	1.85	1.44	1.30	
11	P-008 <sup>1)</sup>	> 20	6.10	7.73 ppm	18.22	14.17	12.75	
12	P-009 <sup>1)</sup>	< 20	1.07	1.35 ppm	3.20	2.49	2.24	
13	P-010 <sup>1)</sup>	< 20	1.01	1.28 ppm	3.02	2.35	2.11	
14	P-011 <sup>1)</sup>	< 20	2.30	2.90 ppm	6.87	5.34	4.81	
15	P-012 <sup>1)</sup>	> 20	19.40	24.60 ppm	57.94	45.06	40.56	
16	P-013 <sup>1)</sup>	> 20	124.00	167.00 ppm	370.32	288.02	259.22	
17	P-014 <sup>1)</sup>	< 20	1.81	2.29 ppm	5.41	4.20	3.78	
18	P-015 <sup>1)</sup>	> 20	156.00	198.00 ppm	465.88	362.35	326.12	
19	P-016 <sup>4)</sup>	> 50	51.2	64.9 ppm	152.91	118.93	107.03	
20	New Oi <sup>4)</sup>	< 50	0.76	0.96 ppm	2.27	1.77	1.59	

<sup>1)</sup>New oil analyzed using the 20 ppm kit

<sup>2)</sup>20 ppm standard injected in new oil

<sup>3)</sup>50 ppm standard injected in new oil

<sup>4)</sup>New oil analyzed using the 50 ppm kit

<sup>5)</sup>Calculated concentration using the given equation in L2000 analyzer

를 검토하였다. 스크리닝 키트는 20 ppm, 50 ppm 및 100 ppm의 세 종류 농도로 시판되고 있어, 표준물질을 20 ppm 및 50 ppm으로 조제하여 확인 실험 수행하였으며 (Fig. 5), GC/ECD로 분석한 시료를 스크리닝 분석법으로 재분석하여 분석결과를 비교하여 다음의 Table 3과

같이 나타내었다.

스크리닝 키트는 PCBs의 함유 농도에 따라 색이 변 화함으로써 20 ppm 이상의 고농도 PCBs를 함유한 경 우 또는 시료 전처리 전 대략적인 PCBs 함유 농도를 확인하는데 적용이 가능하나, 우리나라와 같이 규제기



준 농도가 2 mg/L의 저농도의 PCBs 함유 농도를 확인하기에는 어려운 것으로 조사되었다. 그러나, 시료를 전처리하기 전에 1차적으로 스크리닝하여 절연유 중의 PCBs 함유농도를 대략적으로 측정하고, 시료량 및 농축량 등의 기초자료를 확보하는데 적용하기에는 적합한 것으로 판단된다.

변압기 절연유를 L2000 Analyzer DX를 이용하여 모니터링하는 경우는 절연유 중 함유된 염소의 절대함량을 측정된 후 PCBs 제품의 염소함량으로 환산하여 시료 중 PCBs 함유 농도를 대략적으로 측정하는 것이므로, 현장에서 간편한 방법으로 대략적인 PCBs 함유 농도를 스크리닝하는 방법으로는 적합한 것으로 판단되어진다.

또한, GC/ECD의 분석 결과와 발색법을 이용한 스크리닝 키트를 이용한 분석 결과를 비교하기 위해 Aroclor 1242 20 ppm 및 Aroclor 1260 50 ppm을 신유에 표준물질로 주입하여 확인하였다. 그 결과, 20 ppm의 Aroclor 1242는 19.86 ppm으로 측정되었으며, 50 ppm의 Aroclor 1260은 37.84 ppm으로 측정되었다. 그러나, 본 연구에서는 표준물질과 신유를 이용한 표준물질 종류에 따른 다양한 농도범위의 시료를 조제하여 실험이 수행되지 않아, 보다 다양한 농도 범위 및 반복실험을 수행한 후 시료에의 적용성 여부가 추가로 검토되어야 할 것으로 판단되어진다. 아울러, 50 ppm 이상의 고농도 PCBs로 오염된 물질의 사용을 금하는 유해화학물질관리법과 국제협약의 이행사항 등을 고려해 볼 때, 간이분석기나 분석키트 등을 이용하여 PCBs의 함유 여부를 현장에서 1차 스크리닝하는 방법이 효율적인 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

절연유 중 PCBs함유 폐기물의 배출특성을 파악하기 변압기 제작년도 및 제작사 등을 고려하여 절연유 시료를 채취하였으며, 우리나라 공정시험방법 상에 제시된 분석법에 준하여 시료를 분석하였다.

제작년도 및 제작사별로 채취·분석한 결과, 절연유 제조에 사용된 PCBs 제품은 Aroclor 1242, 1254 및 1260으로 조사되었으며, 몇몇 절연유는 Aroclor 1242 : 1260, Aroclor 1254 : 1260 및 Aroclor 1242 : 1254의 제품을 혼합하여 사용한 것으로 나타났다.

채취·분석된 절연유 시료를 스크리닝 키트 및 L2000DX를 이용하여 재분석하여, GC/ECD 분석결과와 비교·검토하였다. 스크리닝 키트는 절연유 중 PCBs 함유 농도에 따라 색이 변화함으로써 PCBs의 함유정도를

를 파악하는 것으로, 시판되고 있는 20 ppm 및 50 ppm 키트를 적용한 결과, 고농도의 PCBs을 함유한 경우 또는 시료 전처리 전 대략적인 PCBs 함유 농도를 확인하는데 유용한 것으로 판단되었다.

#### 참고문헌

1. Toxic Substance Control Act Inventory, USA, 1991
2. Environmental Health Criteria 140, PCBs, WHO, 1993.
3. M. D. Erickson, Analytical Chemistry of PCBs, Lewis Publishers, New York, 1997.
4. V. den Berg, M. Birnbaum and A. Bosabel, Toxic equivalent factors(TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for humans and wildlife, *Environmental Health Perspectives*, **106**(12), 775-792(1998).
5. G. M. Frame, J. W. Cochran and S. S. Boewadt, Complete PCB congener distribution for 17 Aroclor mixtures determined by 3HRGC systems optimized for comprehensive, quantitative, congener-specific analysis, *Journal of High Resolution Chromatography*, **19**, 657-668(1996).
6. UNEP Chemical, 2002, PCB Transformers and Capacitors, From Management to Reclassification and Disposal, UNEP Chemicals.
7. UNEP Chemical, 2002, Regionally based assessment of persistent toxic substances. Regional Report (<http://www.chem.unep.ch/pts/>).
8. UNEP Chemicals, 1999, Guidelines for the identification of PCBs and materials Containing PCBs, First Issue, UNEP.
9. UNEP Chemicals, 2000, Survey of Currently Available Non-Incineration PCB Destruction Technologies, UNEP.
10. Basel Convention, "Preparation of a National Environmentally Sound Management Plan for PCBs and PCB-Contaminated Equipment", UNEP (2003).
11. 국립환경연구원, PCBs 함유폐기물의 적정관리 방안에 관한 연구 (2003).
12. 환경부, 폐기물공정시험방법 (2004).
13. US EPA Method 8082A, Polychlorinated biphenyls (PCBs) by GC, November 2000.
14. ASTM D4059, Analysis of PCBs in Insulating Liquids by GC (2003).
15. USEPA Method 9079, Screening Test method for Polychlorinated Biphenyls in Transformer Oil (1996).