

= 총설 =

절연유 중 폴리염화비페닐류 분석법 고찰

신선경\* · 김태승<sup>2</sup> · 김경심<sup>3</sup> · 박진수<sup>4</sup>

\*국립환경연구원 폐기물연구부 폐기물화학과

<sup>2</sup>국립환경연구원 폐기물연구부 토양환경과

<sup>3</sup>수자원공사 중앙분석센터 유기분석팀

<sup>4</sup>환경부 영산강관리청 측정분석과

(2004. 2. 25. 접수, 2004. 3. 26 승인)

Analytical Methods of the Polychlorinated Biphenyls in Waste Transformer Oils

Sun Kyoung Shin\*, Tas Seung Kim<sup>2</sup>, Kyoung Sim Kim<sup>3</sup> and Jin Su Park<sup>4</sup>

\*National Institute of Environmental Research, Department waste research,  
Waste Chemistry Division, Incheon 404-170, Korea

<sup>2</sup>National Institute of Environmental Research, Department waste research,  
Soil Environment Division, Incheon 404-170, Korea

<sup>3</sup>International Drinking Water Center, Korea Water Resource Cooperation, San 6-2,  
Yeonchuk-dong, Daedeok-gu, Daejeon, 306-711, Korea

<sup>4</sup>Ministry of Environment, Yeongsan River Basin Environmental Office 760-2  
Ilgok-Dong Buk-Gu GwangJu 500-727, Korea

(Received Feb. 25, 2004, Accepted Mar. 26, 2004)

1. 서 론

PCBs는 1881년 Schmidt에 의해 최초로 합성되어 1929년 미국에서 상업적으로 생산이 시작된 이래, 사용이 중지될 때까지 Aroclor, Clophen, Phenoclor, Kaneclor 등의 상품명으로 '30~'70년대에 전세계에서 130만톤이 생산되었으며 변압기, 축전기의 절연유, 윤활유, 가소제, 도료, 복사지 등의 여러 용도로 사용되어 왔다.<sup>1~5</sup> 그러나 PCBs는 독성이 강하고 환경 중에서 분해되지 않고 잔류하여 생물농축 되는 것이 밝혀지면서 세계 각국은 '70년대에 PCBs의 생산과 사용을 금지하고 PCBs 사용 현황, 환경오염실태조사 및 PCBs 함유 제품의 처리대책을 강구하기 시작하였다.<sup>1~10</sup>

또한, 스톡홀름 협약, 바젤협약 등의 국제기구에서도

PCBs를 잔류성·생물농축성·장거리이동성의 특성을 가진 환경 잔류성 유기오염물질 (persistent organic pollutants, POPs)로 분류하고 환경오염 및 관리문제를 국제적인 현안으로 다루고 있다. 그러나 2001년 5월 스톡홀름 협약이 당사국 회의에서 채택되고 PCBs를 포함한 POPs 물질에 대한 국제적인 규제 움직임이 활발하게 진행되고 있음에도 불구하고, 우리나라는 PCBs에 대한 배출현황자료가 확보되어 있지 않은 실정이다. 따라서, 이러한 신뢰성 있는 배출자료를 확보하여 효과적으로 국제적인 현안에 대처하기 위해서 분석방법을 포함한 배출조사기법을 확립하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 미국 EPA 8082<sup>11</sup>, ASTM D4059<sup>12</sup> 및 EPA 9079<sup>13</sup>, 일본 산업폐기물분석법<sup>14</sup> 및 후생성고시<sup>15</sup>, 독일 DIN EN 61619<sup>16</sup>, 캐나다 EPS 1/RM/31<sup>17</sup> 등 외국의 절연유 중 PCBs 분석방법과 우리나라 폐기물공정시험방법<sup>18</sup>을 근거로 작성한 절연유 중 PCBs 세부분석지침<sup>19</sup>에 제시된 분석방법을 정리하였다.

★ Corresponding author

Phone : +82+(0)32-560-7532 Fax : +82+(0)32-568-2042

E-mail : shinsun@me.go.kr

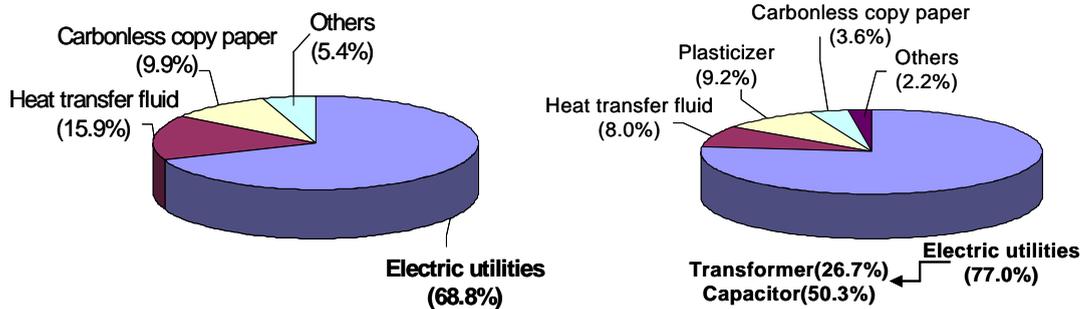


Fig. 1. Usage of the transformer in USA and Japan<sup>20~28</sup>

## 2. PCBs 제품 및 용도

PCBs는 우수한 전기절연물질로 변압기 및 축전기의 절연유에 널리 이용되었고, 또한 열매체 (oxychlorination 법, 염화비닐제조 등 석유화학), 제지, 약품, 플라스틱, 아스팔트공업, 선박 등의 난방, 보일러, 건조기, 열풍 발생기에 200~400 °C 정도의 가열을 필요로 하는 공정에 광범위하게 사용되었으며, 또한 기계유, 가소제, 도료 및 복사지 등에도 이용되어 왔으며, 다음의 Fig. 1의 미국 및 일본 등 국가에서 PCBs 제품의 60% 이상을 변압기 및 축전기 등의 전기기기의 절연유로 사용되었다.

현재 표준물질로 시판되고 있는 PCBs는 제품 중 염소함유량에 따라 몇 가지 종류로 나누어지며, 이들의 주된 성분과 물리적 성상을 Table 1에 나타내었다. 미국 Monsanto사에서 생산되는 Aroclors는 PCBs congener들로 구성되어 있는 일종의 혼합물이며 4자리 숫자로 표현된다. 예를 들면, Aroclor 1242는 di-, tri-, tetra-PCBs 혼합물로, 12는 주요한 구성물질로 PCBs를

가르키는 것이며, 마지막 두 자리는 질량 퍼센트로 대략적인 염소의 함량이 42%임을 의미한다.

각각의 PCBs congener와 달리, 상업적으로 이용되는 PCBs 혼합물은 다른 물리적 특징을 가진다. Aroclors 1221, 1232, 1242, 1248은 그들 구성원의 녹는점의 상호 감소에 의해 무색이나, 거의 무색의 유체이다 (mobile oil). 그러나 염소가 더 많이 치환된 Aroclor 1254는 밝은 노란색의 유동성액체인 반면에, Aroclor 1260과 1262는 점성액체이다. 또한, 이들 혼합물의 밀도는 염소 치환된 정도가 증가할수록 1 g/cm<sup>3</sup> 보다 항상 더 크다. PCBs는 물 아래쪽에 가라앉는다는 것과 순수한 탄화수소인 광유처럼 뜨지 않는다는 사실에 의해서 일반적으로 저밀도의 광유와 구분될 수 있다. 또한 산소가 존재할 때 PCBs 혼합물의 연소는 비교적 낮은 온도 (700 °C)에서 폴리염화디벤조퓨란류 (Polychlorinated dibenzofurans, PCDFs)을 형성할 수 있다.

또한, Table 2에 국가별 PCBs 제품명을 나타내었으며, 일반적으로 총 209개의 PCBs 화합물 중 약 130개의 이성체가 상업적 혼합물에서 발견되고 있다.

Table 1. Physical and chemical properties of PCBs

	Aroclor1242(KC-300)	Aroclor1248(KC-400)	Aroclor1254(KC-500)	Aroclor1260(KC-600)
Cl contents(%)	42	48	54	60
M.W	261-266.5	288-299.5	327-328.4	372-375.5
Physical type	Fluidity	Fluidity	Viscous liquid	Viscous liquid
Boiling point(°C)	325-366	340-375	365-390	385-420
Gravity(g/cm <sup>3</sup> )	1.3-1.4	1.40-1.41	1.50-1.54	1.58-1.62
H <sub>2</sub> O solubility(25 °C)(mg/L)	0.045-0.75	0.043-0.32	0.0001-0.30	0.0027-0.08
Vapor Pressure(25 °C)(P)	0.013-0.12	0.004-0.11	0.00048-0.043	0.0016-0.012
Henry constant(Pam <sup>3</sup> )	20.3-768	44.58-372	0.007-284	17.23-722.4
Kow(log)	0.703-5.8	5.75-6.11	4.08-6.72	4.34-7.14
Bioaccumulation factor(log)	3.2-4.69	3.86-5.08	4.41-5.52	4.38-6.20

Table 2. Products of PCBs<sup>8,29</sup>

Country	Producer	Products Name
USA	Monsanto	· Aroclor (Aro) : Aro-1016, Aro-1221, Aro-1232, Aro-1242, Aro-1254, Aro-1260, Aro-1262, Aro-1268
	American Corp.	· Asbestol
	Allis Chalmers	· Chlorextol
	Sangamo Electric	· Diaclor
	Cornell Dubilier	· Dykanol
	McGraw Edison	· Elemex
	Aerovox	· Hyvol
	Westinghouse Electric	· Inerteen
	Wagner Electric	· No-Flamol
	General Electric	· Pyronol
	Kuhlman Electric	· Saf-T-Kuhl
Germany	Bayer	· Clophen : Clophen-A30, Clophen-A50, Clophen-60 · Clophen Apirorio
Italy	Caffaro	· Apirolio, DK, Fenclor
France	Prodelec	· Phenoclor, Pyralene
Belgium	ACEC	· Aceclor
UK	Montanto	· Pyroclor
Japan	Mitsubishi	· Kanechlor (KC) : KC-200, KC-300, KC-400, KC-500, KC-600, KC-1000, KC-1300, KC-C · Keneclor, Kennechlor, Santotherm, · Santotherm FR
RSSR	Orgsteklo, Orgsintez	· Hexol, Sovol, Sovtol, Sovtol-10, TCB
Czech		· Delor

### 3. 절연유 중 PCBs 분석방법조사

미국 EPA 8082<sup>11</sup>, ASTM D4059<sup>12</sup> 및 EPA 9079<sup>13</sup>, 일본 산업폐기물분석법<sup>14</sup> 및 후생성 고시<sup>15</sup>, 독일 DIN EN 61619<sup>16</sup>, 캐나다 EPS 1/RM/31<sup>17</sup> 등 외국의 절연유 중 PCBs 분석방법과 우리나라 폐기물공정시험방법<sup>18</sup>을 근거로 작성한 절연유 중 PCBs 세부분석지침<sup>19</sup>에 제시된 분석방법을 전처리 방법 및 정량방법으로 구분하여 정리하였으며, 현장에서 적용 가능한 미국의 스크리닝 방법을 소개하였다.

#### 3.1. 각국의 PCBs 분석방법 개요

미국 EPA의 8082 및 ASTM D4059, 독일 DIN EN 61619, 일본 산업폐기물 분석법 및 후생성 고시<sup>42</sup>, 캐나다 EPS 1/RM/31 및 우리나라 폐기물공정시험방법 등의 분석방법을 조사하여 다음의 Table 3과 같이 정리하였다. Table 3에서 보는 바와 같이 절연유 중 PCBs를 분석하기 위해 알칼리처리, 황산처리 등의 산/

염기처리 과정과 실리카겔 및 플로리실 컬럼 정제 과정 등을 포함하고 있으며, 일본을 제외한 미국, 캐나다, 독일 및 우리나라는 GC/ECD로 분석하는 것으로 조사되었다. 다음 Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 6에 미국, 일본, 독일, 캐나다 및 우리나라의 절연유 중 PCBs 분석 흐름도를 나타내었다.

#### 3.2. 우리나라 절연유 중 PCBs 분석방법

우리나라는 액상폐기물 중 PCBs의 규제 농도를 2 mg/L로 규제하고 있으며, 앞에서 언급한 바와 같이 폐기물 공정시험방법 (Fig. 6참조)에서 제시하고 있으며, 2003년 국립환경연구원에서는 폐기물공정시험방법 제14항의 나에서 제시하고 있는 액상 폐기물 중 PCBs 분석방법과 외국의 자료조사 결과를 근거로 하여, 절연유 중 PCBs 분석방법을 검토한 후 절연유 중 PCBs 세부분석지침 (안)을 마련하여 제시하였다 (Table 4 및 Fig. 7 참조).

본 세부분석지침서에 제시된 방법검출한계는 시료

Table 3. Comparison the PCBs analytical methods

	Analytical Method	Cleanup Process	Internal Std.	Instrument	Quantification
Korea	Official Waste Test Method	· Alkali Treatment	-	· GC(ECD) · Capillary	· Peak pattern · Total Isomer peak
		· Silicagel column · Florisil column			
USA	EPA Method 8082	· c-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Treatment · KMnO <sub>4</sub> Treatment	· C-209 · TCMX	· GC(ECD) · Capillary	· Peak pattern · Index peak
	ASTM D4059	· 50:1 Dilution · c-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Treatment	-	· GC(ECD) · Packed	· Coefficient comparison · Total Isomer peak
		· Adsorption Treatment			
Japan	Industrial Waste analytical method	· Alkali Treatment · Silicagel column · Florisil column	-	· GC(ECD) · Packed	· Coefficient comparison · Total Isomer peak
		· DMSO Treatment			
	MHLW* analytical method	· Alkali Treatment · Silicagel column · Florisil column · 100:1 dilution	· More than 10 kinds of C <sup>13</sup> -compounds	· HRGC/MS · Capillary	· Total Isomer peak · Specific Isomer
Germany	DIN EN 61619	· Acid column · Silicagel column	· C-209 · C-30	· GC(ECD) · Capillary	· Peak pattern · Index peak
		· c-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Treatment			
Canada	EPS 1/RM/31	· Multilayer silicagel · Alumina column	· C-209 · TCMX	· GC(ECD) · Capillary	· Peak pattern · Index peak

\* MHLW : Ministry of Health Labor Welfare

와 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 제시하도록 하였으며, 회수율은 절연유 중에 침염화비페닐(IUPAC No 209)이 함유되어 있지 않으므로 실험결과와 신뢰도 확보를 위해 침염화비페닐을 100~200 ng/mL 신유(PCBs를 함유하지 않은 절연유)에 주입하여 회수율이 75~120%를 만족하도록 회수율을 제시하도록 하고 있다.

### 3.3. 정량법

분석결과와 정량방법으로는 시료 중에서 검출된 크로마토그램과 표준물질의 크로마토그램을 비교하여 피크패턴의 일치여부를 확인한 후 정량하는 피크패턴법과 표준시료에서 검출된 피크들의 비율을 결정하여 정량하는 계수법 등이 일반적으로 사용되고 있다.

#### 3.3.1. 계수법에 의한 정량<sup>12~14</sup>

실제 시료에 함유되어 있는 PCBs 중 가장 많이 사용된 것으로 알려진 삼염화, 사염화, 오염화 및 육염화 비페닐을 주로 함유하고 있는 PCBs 제품<sup>2,6-12</sup>의 혼

합표준액을 제조하여 가스크로마토그램을 구하면, 분석조건에 따라 다소 차이가 있으나 대략 60~90여개 정도의 피크를 가진 복잡한 크로마토그램을 얻는다. 피크높이는 분석할 때마다 다르더라도 이들 피크간 높이의 비율은 일정하기 때문에, 표준혼합물에 대해서 표준 가스크로마토그램을 구하여 모든 피크의 높이의 총합을 100으로 해서 이것에 대한 개개 피크의 비율을 미리 구해 놓은 후 같은 조건에서 표준액 및 시료의 가스크로마토그램을 구하면 기존에 구해둔 가스크로마토그램과 같은 피크의 높이를 나타내지 않아도 용이하게 피크 총합의 비율을 산출할 수 있다. 다음 Fig. 7은 계수법에 의한 정량방법을 정리하여 나타내었다.

#### 3.3.2. 피크패턴법에 의한 정량법<sup>11,16~19</sup>

시료 농축액을 GC에 주입해서 크로마토그램을 구한 다음, PCBs의 표준액을 적절히 혼합해서 같은 방법으로 GC에 주입하여 시료용액의 피크패턴과 유사한 크로마토그램을 비교하여, PCB 표준품의 종류와 혼합 비율을 산정한다. 시료용액으로부터 얻은 크로마토그램의 피크패턴에 가장 유사한 패턴을 나타내는 PCBs 혼합 표준액을 농도별로 조제하여 각각의 크로마토그램을 구하여, 각 피크의 높이(또는 피크면적)를 구하

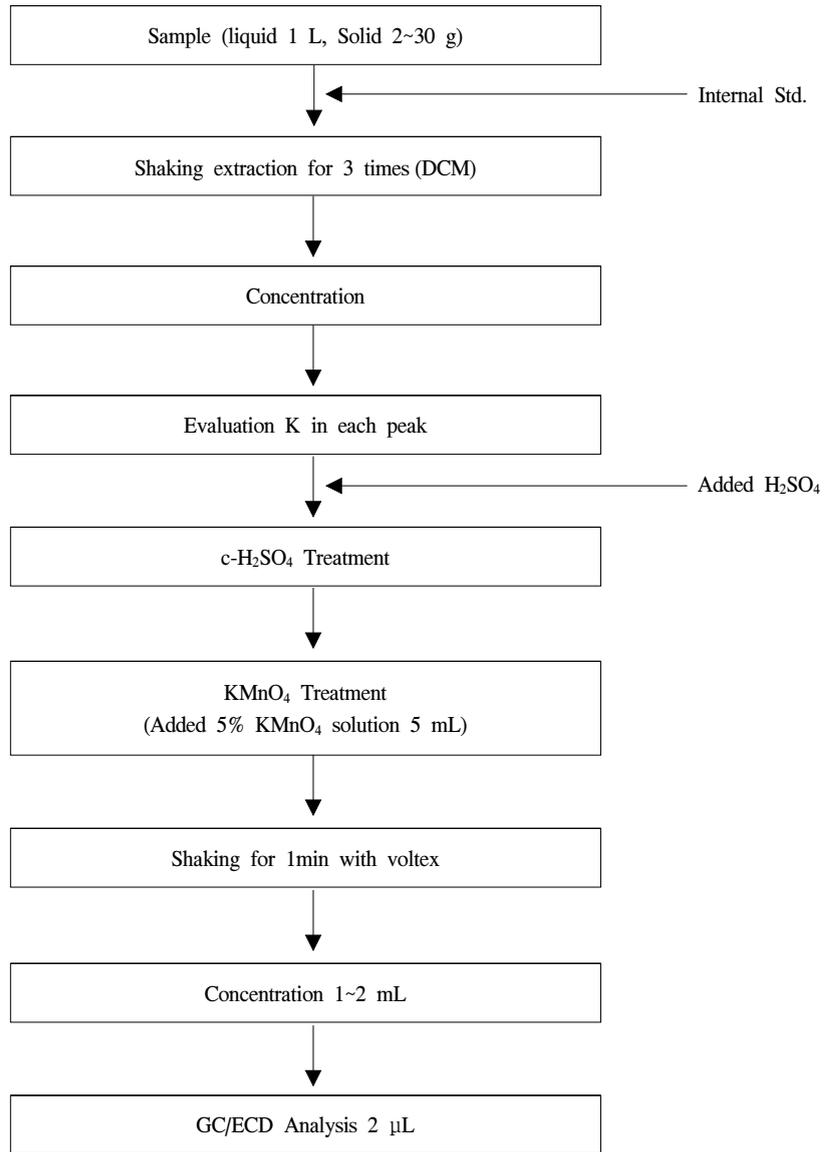


Fig. 2. PCBs analytical method in USA EPA Method 8082<sup>11</sup>

Comments : 1. Quantification limit : water (0.054~0.90  $\mu\text{g/L}$ ), soil (57~70  $\mu\text{g/kg}$ )

2. Analytical condition : Injector (225  $^{\circ}\text{C}$ ), Detector (300  $^{\circ}\text{C}$ ),

100  $^{\circ}\text{C}$  (2 min, 15  $^{\circ}\text{C/min}$ )  $\rightarrow$  160  $^{\circ}\text{C}$  (5  $^{\circ}\text{C/min}$ )  $\rightarrow$  270  $^{\circ}\text{C}$

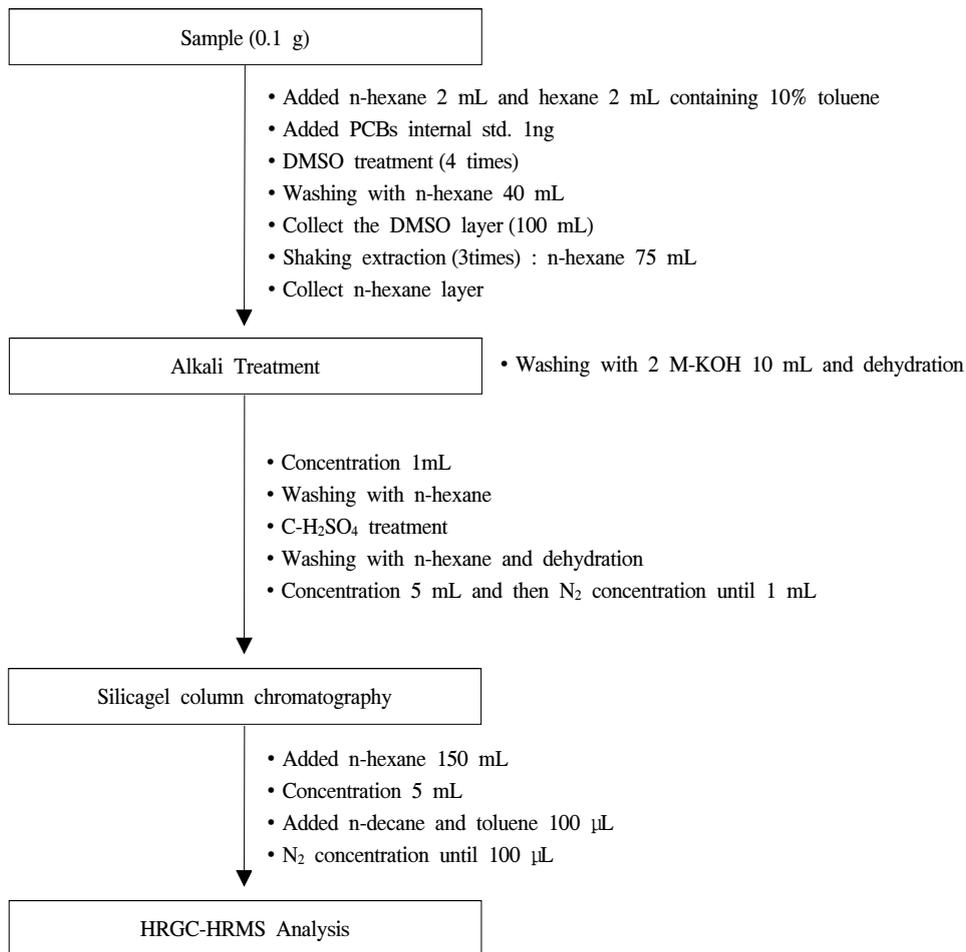


Fig. 3. PCBs analytical method in Japan<sup>15</sup>

- Comments : 1. Industrial Waste analytical Method(MHLW Act, No. 192)  
 2. Criteria : PCBs concentration is less than 0.5 mg/kg

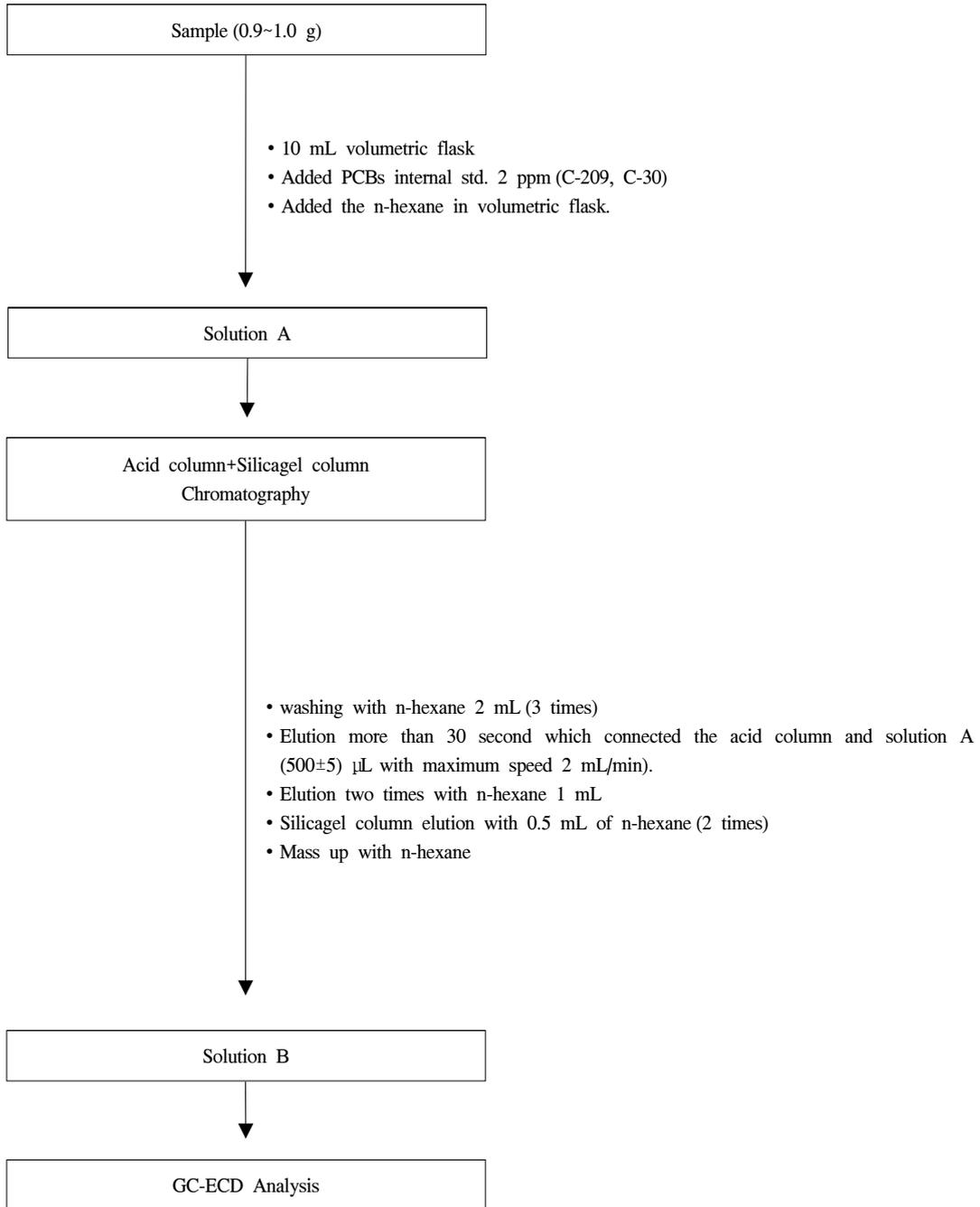


Fig. 4. PCBs analytical method in Germany DIN EN 61619<sup>16</sup>

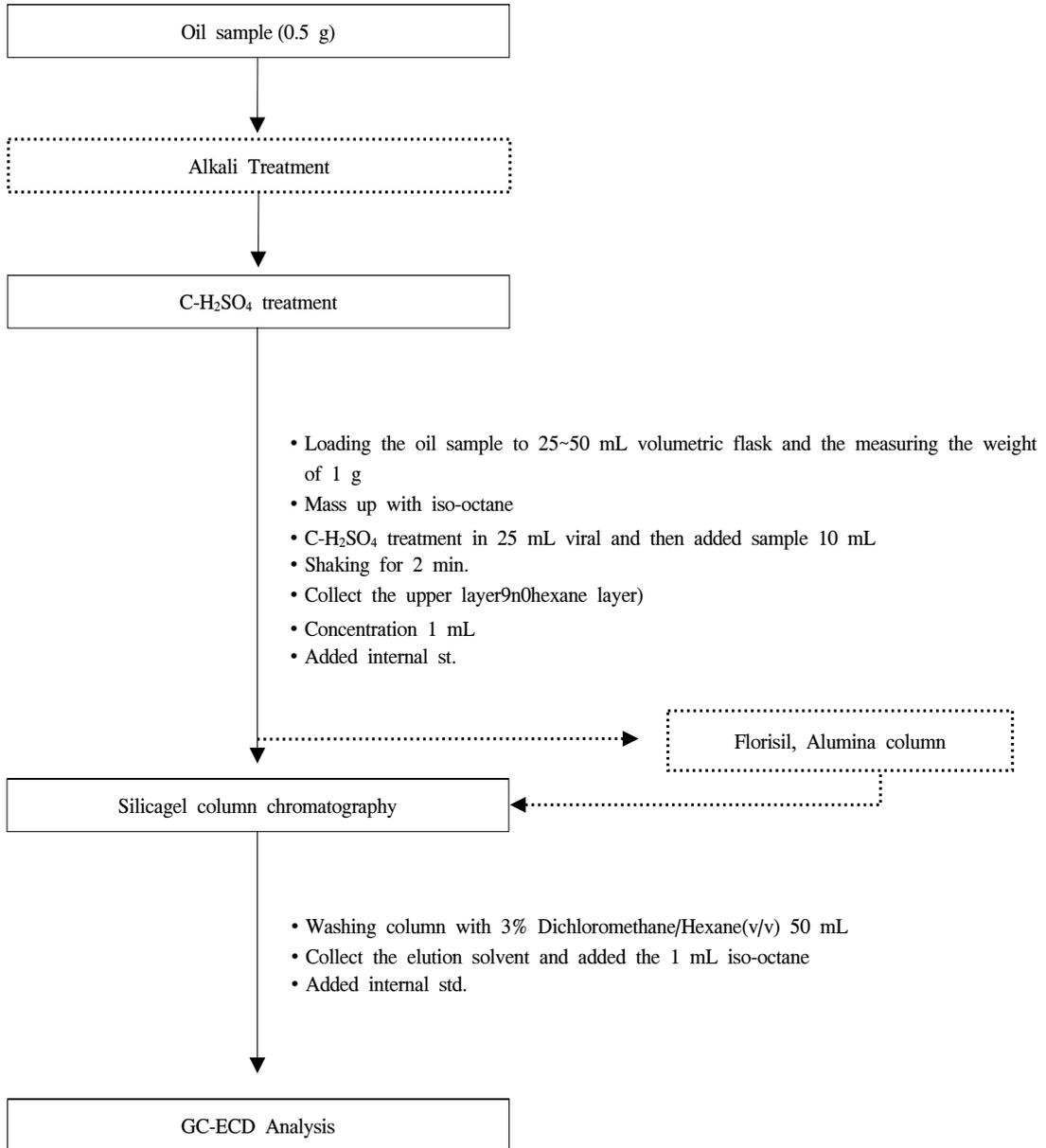
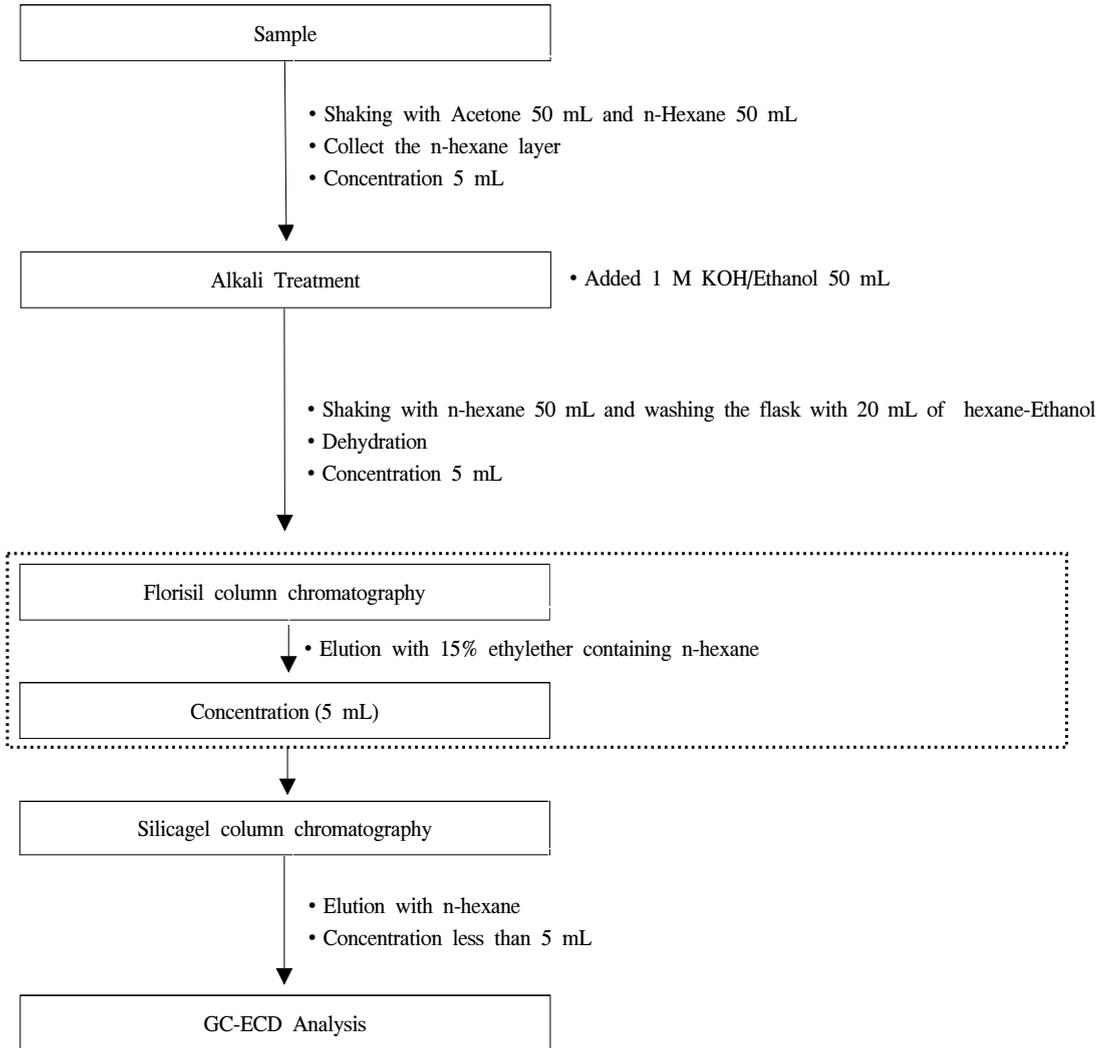


Fig. 5. PCBs analytical method in Canada ESP 1/RM/31<sup>17</sup>



..... : Performed that oil was not removed perfectly

Fig. 6. PCBs analytical method in Korea<sup>18</sup>

- Comments :
1. Official Waste Test method
  2. Method detection limit : 0.05 mg/L

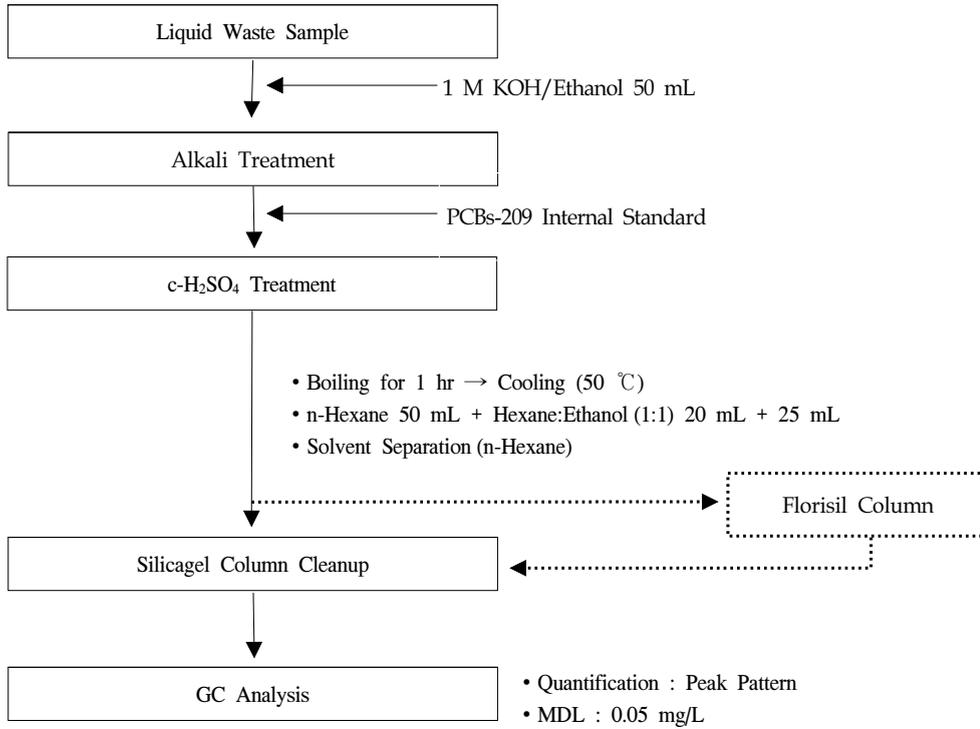


Fig. 7. PCBs analytical flow chart in transformer oil<sup>19</sup>

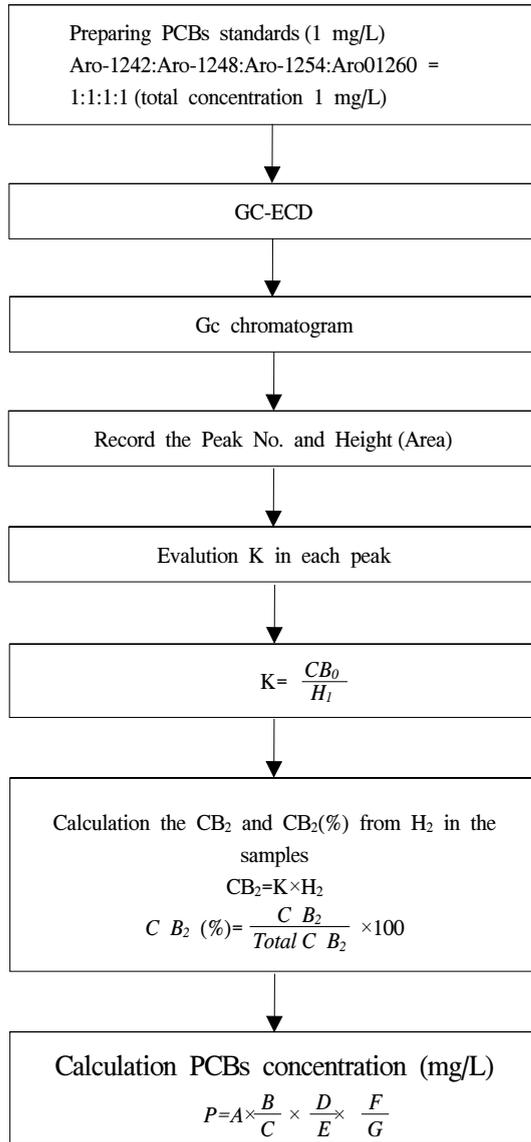


Fig 8. Coefficient method<sup>12~14</sup>

Table 4. Guideline for PCBs analytical method in transformer oil<sup>19</sup>

Contents	
1. Pretreatment	o Alkali treatment, acid treatment and column cleanup etc.
2. Sample storage and Waste treatment	o Sample storage and analysis : four weeks after sampling the sample o Waste treatment : send to the sampling site after analysing the sample
3. Method detection limit	o MDL have evaluated with signal to noise ratio 2.5 by injecting the standard 0.05 mg/L to same kind of sample matric which did not contained the PCBs
4. Calibration and Quantification method	o Calibration and quantification ranges - Correlation coefficient ( $R^2$ ) : more than 0.98 - The calibration have to satisfied the $\pm 15\%$ limit o Quantification - Choose total peaks in each aroclor standards that are at least 25% of the height of the largest peak, and - IUPAC No. 18, 28, 31, 44, 52, 101, 118, 138, 149, 153, 170, 180, 194
5. Analytical result and recovery	o Result present the mg/L with density (0.00) o Surrogate injected amount : The decachlorobiphenyl (IUPAC No. 209) 200 ng/mL injected after alkali treatment o Recover ranges : Sample analytical result have to satisfy the 75~120% recoveries, and 1 duplicate sample have to analyse the 20 samples

여 이들의 합으로 검량선을 작성한다. 이 정량방법은 계수법보다 시간이 걸리고, 크로마토그램의 유사성 판단에 분석자의 주관이 반영될 가능성이 있다. 또한, PCBs 제품 종류에 따라 PCBs 개별이성체의 종류 및 함유량이 다르므로, PCBs 제품의 표준물질 크로마토그램과 시료 크로마토그램을 비교하여 시료 중에 함유된 PCBs 제품을 확인 할 수 있으며, 이를 근거로 하여 검량선을 작성하여 정량한다. 또한 제품별로 포함된 PCBs 이성체가 다른 것으로 특정 제품에만 함유되어 있는 이성체로 어떠한 제품이 시료 중에 포함되어 있는지의 여부도 확인이 가능하다.

미국, 캐나다, 독일 및 우리나라는 다음 Table 5에 각 국가별 정량방법을 나타내었다. 미국은 표준시료에서 검출된 크로마토그램 중 가장 큰 피크의 25% 이상의 감도를 나타내는 피크 4~5개를 Index 피크로 선정하여 정량하였으며, 캐나다는 PCBs 제품별로 Index 피크를 정하여 정량하고 있다 (Fig. 8 참조). 또한 독일은 PCBs IUPAC No. 18, 28, 31, 44, 52, 101, 118, 138, 149, 153, 170, 180, 194, 209 등의 피크를 정량하고 있다. 우리나라는 PCBs로 인정되는 피크는 모두 정량하도록 제시되어 있으나, 전처리 과정 중 방해피크등이 완전히 제거되지 않아 농도의 과대평가가 우려가 있

Table 5. Quantification methods in various countries<sup>11,16-19</sup>

Country	Method	Quantification Method
U.S.A	EPA	· Choose 3 to 5 peaks in each Aroclor standards that are at least 25% of the height of the largest peak
	Method 8082	· The set of 3 to 5 peaks should include at least one peak that is unique to that Aroclor
Canada	EPS 1/RM/31	· Major domain numbers peaks and minor peaks in Aroclor products
Germany	DIN EN 61619	· IUPAC No. 18, 28, 31, 44, 52, 101, 118, 138, 149, 153, 170, 180, 194, 209 peaks
	Official Waste Test Method Guideline	· Total PCBs peaks
Korea	for PCBs analytical method in transformer oil	· Choose total peaks in each Aroclor standards that are at least 25% of the height of the largest peak, and · IUPAC No. 18, 28, 31, 44, 52, 101, 118, 138, 149, 153, 170, 180, 194 peaks

어 절연유 중 PCBs 세부분석지침에서는 표준시료에서 검출된 크로마토그램 중 가장 큰 피크의 25% 이상의 감도를 나타내는 피크 및 IUPAC No. 18, 28, 31, 44, 52, 101, 118, 138, 149, 153, 170, 180, 194인 피크를 정량하도록 하고 있다.

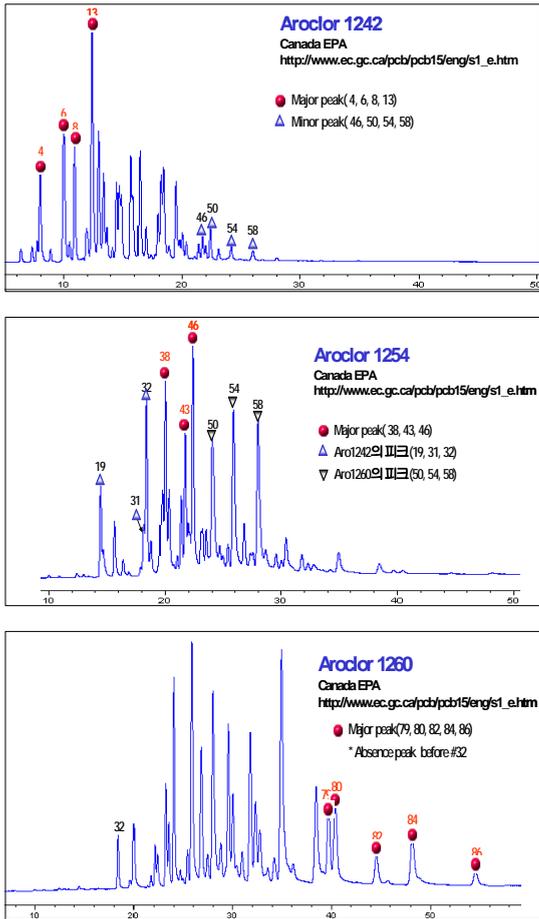


Fig. 9. Quantification method of Canada<sup>17</sup>

### 3.4 스크리닝 방법

미국 EPA 9079 분석법은 절연유 시료를 발색시켜 키트의 색과 비교하여 농도를 측정하는 스크리닝 방법과, L 2000 analyzer DX을 이용하여 발색된 시료 중의 염소 함량을 측정하여 절연유 중 PCBs 함량을 측정하는 분석법이다. 다음 Fig. 10에 두 종류의 스크리닝 방법을 나타내었다. Fig. 10의 (a)는 20 ppm, 50 ppm 및 100 ppm 농도의 키트가 시판되고 있으며, 시료 중의

농도가 사용한 키트의 농도보다 클 경우에는 색을 띠지 않으나 농도가 낮을 경우에는 색을 띤다. Fig. 9의 (b)의 L 2000 analyzer DX는 발색된 시료의 총 염소함량을 측정한 후 제품의 종류에 따른 염소함량으로 나누어 PCBs의 농도를 측정하는 방법으로서 이 기기는 PCBs 함량이 99%인 Askarel의 함량으로 결과를 나타낸다.



(a) Screening Kit(20 ppm) (b) L 2000 analyzer DX

Fig. 10. Screening method<sup>13</sup>

## 4. 결 론

환경오염물질의 시험방법은 규제 및 관리 목적에 따라 다양한 분석법이 적용될 수 있으며, 분석기법의 발달과 함께 새로운 방법이 도입되기도 한다. 액상 폐기물인 변압기 및 축전기의 절연유 중 PCBs 분석방법은 각 나라에 따라 전처리 방법 등이 상이하며, 절연유 중에 포함된 PCBs의 환경 중 독성 등을 파악하기 위해 스크리닝방법 등 다양한 분석방법이 개발되고 있다. 현재 우리나라 폐기물 공정시험방법에서는 피크일치법이 일반적인 관리를 위해 사용되고 있다. 일본 환경성은 다이옥신과 같이 절연유에 포함된 PCBs의 개별이성체를 모두 분석할 수 있는 방법을 제시하고 있으나, 본 논문에서는 간단하게 소개만 하였다. 또한, 최근에는 이들 PCBs 중 독성이 높은 몇몇 물질에 대한 관심이 집중되면서 개별적인 congener의 분석 요구가 점차적으로 증대되고 있으므로, PCBs와 같이 제품 중에 함유된 유해유기오염물질의 분석분야에 대한 더 많은 연구가 이루어 질것으로 기대된다.

## 참고 문헌

1. Toxic Substance Control Act Inventory, USA, 1991
2. Environmental Health Criteria 140, PCBs, WHO, 1993.

3. M. D. Erickon, 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 urrently Available Non-Incineration PCB Destruction Technologies, UNEP.
10. Basel Convention, 2003, "Preparation of a National Environmentally Sound Management Plan for PCBs and PCB-Comtaminated Equipement", UNEP.
11. US EPA Method 8082A, Polychlorinated biphenyls (PCBs) by GC, November 2000.
12. ASTM D4059, Analysis of PCBs in Insulating Liquids by GC, 2003.
13. USEPA Method 9079, Screening Test method for Polychlorinated Biphenyls in Transformer Oil, 1996.
14. 日本環境測定分析協會、産業廢棄物分析マニュアル、1997.
15. 일본 후생성, 배출가스 중의 다이옥신류 및 coplanar PCBs 분석방법, 2001.
16. 독일 DIN EN 61619 (VDE 0371 Teil 8), Verunreinigung durch PCBs, 1998.
17. 캐나다 EPS1/RM/31, Reference Method for the Analysis of PCBs, 1998.
18. 환경부, 폐기물공정시험방법, 2000.
19. 국립환경연구원, PCBs 함유폐기물의 적정관리 방안에 관한 연구, 2003.
20. US EPA, 1998, 1990 Emissions Inventory of Section 112 (c)(6) Pollutants: Final Report (<http://www.epa.gov/ttn/atw/112c6/112c6fac.html>)
21. US EPA, 1999, Binational Toxic Strategy PCB Source & Regulations Background Report, US EPA
22. US EPA, 2002, Emergency Planning And Community Right-To-Know Act Section 313, EPCRA/TRI Training Materials, Reporting year 2001, Office of Information Analysis and Access
23. USEPA, Source Category Listing for Section 112(d) (2) Rulemaking Pursuant to Section 112 (c) (6) Requirements, Docket No. A-97-05. pp.49-60
24. Willis J., 2001, PCB Inventories: Approaches to Compiling Inventories of PCBs, PCB-Containing Equipment, UNEP Chemicals Workshop on the Identification and Management of PCBs and Dioxines/Furans, Havana, Cuba, 23-26 April 2001, UNEP
25. Code of Federal Regulations. Part 40, Subpart H, Section 266.104. Government Printing Office. Washington, DC. July 1994.
26. Environment Canada, 2000, Supplementary Guide for Reporting to the National Pollutant Release Inventory - Alternate Thresholds - 2000
27. 産業廢棄物處理事業振興財団、PCB處理技術ガイドブック、1999.
28. Breivik K. et al., 2002, Toward a global historical emission inventory for selected PCB congeners - a mass balance approach 1. Global production and consumption. *The Science of the Total Environment* 2002;290:181-198.
29. 환경부, 2003, 잔류성 유기오염물질 조사기법 개발에 관한 연구, 차세대핵심연구과제.