

PCBs 함유 고상폐기물의 분석방법 고찰

박진수¹ ★ · 강영렬¹ · 송기봉¹ · 전태완² · 전진원¹ · 신선경¹ · 정광용³

¹국립환경과학원 화학물질거동연구과, ²자원순환연구센터, ³국립농업과학원
(2009. 9. 2. 접수, 2009. 10. 21. 승인)

Analytical method of PCBs-containing solid wastes

Jin Soo Park¹ ★, Young Yeul Kang¹, Ki Bong Song¹, Tea Wan Jeon²,
Jin Won Chun¹, Sun Kyoung Shin¹ and Kwang Yong Jung³

^{1, 2}National Institute of Environmental Reserch of Environmental Research, Incheon 404-170, Korea

³National Academy of Agriculture Science, Suwon 441-857, Korea

(Received September 2, 2009; Accepted October 21, 2009)

요 약: 본 연구에서는 PCBs 함유 고상폐기물의 효율적 관리를 위해 현행 폐기물 공정시험방법의 용출 시험방법을 고상폐기물 종류별 표면채취법, 부채시험방법, 세정시험방법 등의 함량시험방법과 비교검토 하여 PCBs 함유 고상폐기물의 시험방법(안) 및 기준(안)을 마련하였다. 우리나라의 표면채취법에 의한 비함침성 고상폐기물의 규제기준은 미국 및 일본과 같은 수준으로 각 국의 액상폐기물인 절연유 기준과 표면채취법에 의한 처리기준의 수치적 관계를 이용하여 산출하는 것이 타당한 것으로 판단되어진다. 이에 PCBs 함유 고상폐기물 중 규소강판 등 표면채취가 가능한 평면형 비함침성 부채는 표면채취법으로 시료를 채취하여 함량분석법으로 분석하는 경우, 비함침성 고상폐기물의 규제기준(안)을 $0.4 \mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$ 으로 설정하였다. 또한, 표면채취가 어려운 시료를 일정한 크기로 잘라 부채를 채취한 후 함량분석법으로 분석하는 경우에는 규제기준을 0.04 mg/kg 을 제안하였다.

Abstract: This study was performed to improve the analytical methods and re-establish the regulatory standard of PCBs-containing solid wastes for sufficient management in which has been concerned internationally. To do this, the sampling, pre-treatment and quantification methods which were used in USA and Japan were discussed. It was thought properly that new standard of PCBs-containing solid wastes was established through correlation with PCBs concentration of transformer oil. The surface wipe sampling was selected in the non-porous materials and cutting sampling in the porous materials. In the absence of transformer oils, electrical equipment is PCB-contaminated if it has PCBs at $\geq 0.4 \mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$ as measured by a wipe test of a non-porous surface and if it has at 0.04 mg/L as measured by cutting test of a porous material. Also, new analytical methods for PCBs containing solid waste were proposed.

Key words: PCBs, Solid waste, GC/ECD

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)32-560-7188 Fax : +82-(0)32-562-7330

E-mail : jsoo725@korea.kr

1. 서 론

산업과 공업이 발달함에 따라 다양한 종류의 화학 물질들이 인간 생활에 사용되어 왔으나 일부 화합물들은 인체의 위해성 및 환경오염문제 등 사회적 문제가 야기되어 사용이 중단되었으며, 이러한 화학물질 중 대표적인 사례가 폴리염화비페닐류(Polychlorinated biphenyls, PCBs)이다. PCBs는 1929년 미국에서 상업적으로 생산이 시작된 이래, 사용이 중지될 때까지 Aroclor, Clophen, Phenoclor, Kanechlor 등의 상품명으로 '30~70년대에 전세계에서 130만톤이 생산되었으며 변압기, 축전기의 절연유, 윤활유, 가소제, 도료 및 복사지 등 다양한 용도로 사용되었다.¹⁻⁶

그러나 PCBs는 독성이 강하고 환경 중에서 잘 분해되지 않고 잔류하여 생물농축 되는 것이 밝혀지면서 세계 각국은 '70년대에 PCBs의 생산과 사용을 금지하고 PCBs 사용현황, 환경오염실태조사 및 PCBs 함유 제품의 처리 대책을 강구하기 시작하였으며 우리나라에서도 1979년 전기사업법에 의해 PCBs 사용이 제한되기 시작한 이후 1996년 유해화학물질관리법에 의해 제조, 수입, 판매 및 사용이 금지되었다.⁷⁻¹³

최근 PCBs 등 환경잔류성유기오염물질(POPs)의 규제 및 관리를 위한 스톡홀름협약이 발효되면서 POPs에 대한 관심이 집중되고 있고 있으며,¹⁴ 미국, 일본, 독일 등 선진국에서는 기존 PCBs 함유 제품에 의한 환경오염을 방지하기 위해 사용실태 파악, 관리 및 폐기대책을 추진하고 있다. 또한 국제적으로는 2004년 5월 발효된 스톡홀름 협약에서는 POPs의 근절을 위한 이행 사항을 제시하였다. 이에 따라 우리나라는 2007년 1월에 잔류성 유기오염물질 관리법을 제정하고 2008년부터 본격적인 PCBs 근절 대책을 시행하고 있다.¹⁵ 그러나, 현행 잔류성유기오염물질 관리법에서는 PCBs 함유 고상폐기물을 비함침성 및 함침성 폐기물로 구분하고 있으며, 비함침성폐기물에 대해서는 세정액을 대상으로 처리기준을 정하고 있어, 처리대상 폐기물의 처리여부를 간접적으로 평가하는 방법을 적용하고 있다. 따라서 처리시설의 공정 및 사용되는 세정 용매에 따라 처리대상폐기물의 처리여부와 관계없이 처리기준이 적용되는 문제점을 가지고 있다.

이에, 본 연구에서는 PCBs 함유 고상폐기물의 효율적 관리를 위해 현행 폐기물 공정시험방법을 고상폐기물 종류별 표면채취법, 부재시험방법 등의 함유량 시험방법과 비교검토하여 PCBs 함유 고상폐기물

의 시험방법(안)을 마련하고, PCBs 함유 액상폐기물의 기준과 비교검토하여 고상폐기물의 처리기준(안)도 제시하고자 한다.

2. 실험방법

2.1. 시료채취

PCBs 함유 고상폐기물의 시료채취는 가로×세로 10×10 cm로 잘라 핵산으로 표면을 닦아낸 100 cm² 당 PCBs 함유량으로 제시하는 표면채취방법과 1 cm²로 잘라 kg당 PCBs 함유량으로 제시하는 부재채취법 및 기존의 폐기물공정시험방법에 제시된 시료 100 g당 용출액 등의 방법을 적용하여 분석결과를 검토하였다.

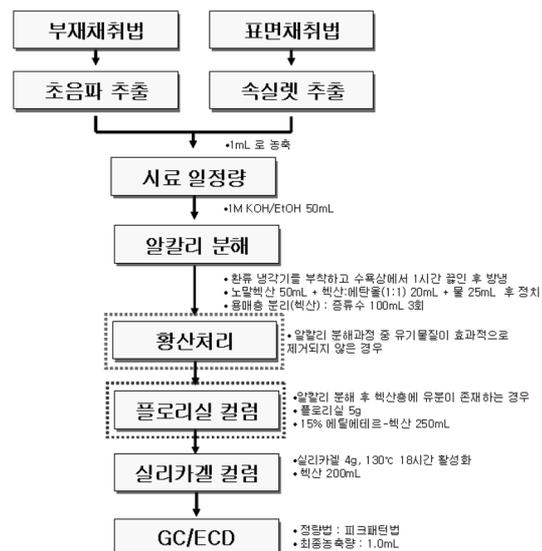


Fig. 1. Analytical procedure of PCBs in transformer samples.

Table 1. Analytical conditions of GC/ECD for determination of PCBs

Condition	
Column	DB-5 (30 m, 0.25 mm, 0.25 μm film thickness)
Carrier Gas	99.9999% N ₂
Detector	μECD
GC/ECD 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

2.2. 분석방법

우리나라의 폐기물공정시험방법 제14항에서 제시하고 있는 액상폐기물 중 PCBs 분석방법을 이용한 피크패턴법으로 분석방법의 적정성 여부를 검토하였다.¹⁶⁻¹⁹ 다음 Fig. 1 및 Table 1에 분석흐름도 및 기기 분석 조건을 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

고상폐기물의 종류에 따라 표면채취법-함량시험방법, 부채채취법-함량시험방법 및 부채채취법-용출시험방법을 적용하였다. 표면채취법-함량시험방법은 시료의 표면을 닦아서 속실렛 추출 후 분석하는 방법이

며, 부채채취법은 시료를 1 cm 이하의 크기로 자른 후 헥산 등 유기용매를 사용하여 초음파 추출 또는 속실렛 추출하여 분석한 함량시험방법과 pH 5.8-6.3로 조절된 증류수로 추출하는 용출시험방법으로 분석하였다.^{20,21}

변압기의 비함침성부재 중 규소강판, 굵은 구리선 등 표면채취가 가능한 시료의 기준 및 시험방법을 제시하기 위해 미국, 일본 등 외국의 규제기준 및 시험방법과 본 연구결과를 토대로 적용범위를 검토하였다. 연구 결과 단위 면적계산이 용이한 변압기의 외관, 규소강판 등의 평면형 부재는 표면채취방법으로 시료를 채취하여 분석하는 것이 적합한 방법으로 판단되었다. 구리선 등의 표면적 계산이 어렵고 비정형

Table 2. Sampling status of PCBs containing solid wastes

Wastes type (ppm)	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Sample 8	Sample 9	Sample 10
	15.43	29.83	93.39	15.23	8.23	2.11 ^(c)	2.32 ^(c)	3.83 ^(c)	4.54 ^(c)	3.60 ^(c)
Transformer oil	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-
Wood	2	- ^{a)}	2	- ^{a)}	-	-	-	-	-	-
Iron sheet	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Paper	3	3	3	1 ^{b)}	1 ^{b)}	1	1	1	1	1
Copper	3	3	3	1 ^{b)}	1 ^{b)}	-	-	-	-	-
n	10	8	10	3	3	2	2	2	2	2

- a) the sample which didn't contain wood
- b) paper and copper were collected with mixed
- c) this result was from certified lab.

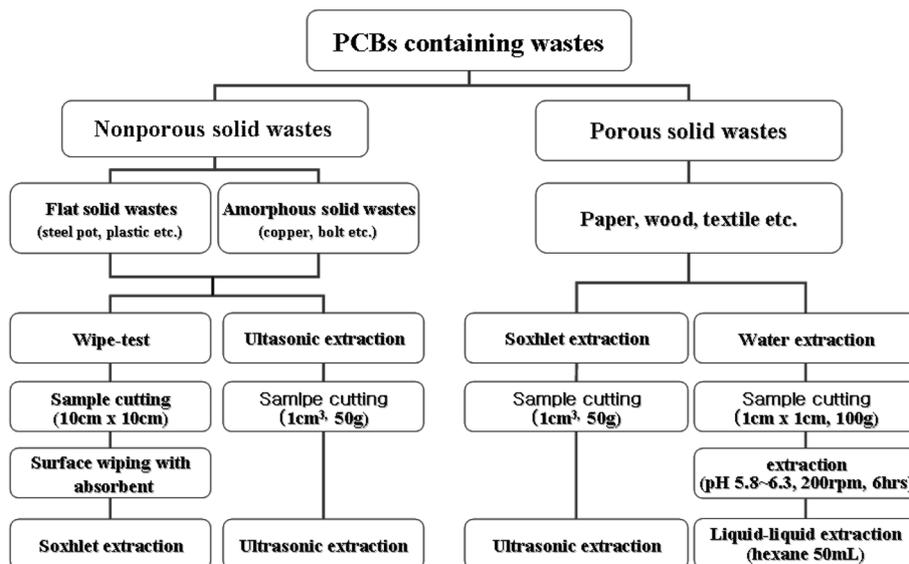


Fig. 2. PCBs analytical methods which were applied to each solid wastes type.

의 비평면형 부재의 경우 미국 등 일부 국가에서 표면채취법을 적용하고 있으나, 국내 PCBs 함유 폐기물의 처리현황(처리종료 구리선의 경우 비정형의 작은 크기로 배출)을 고려하여 1 cm 이하의 크기로 잘라 시료를 채취하는 부재채취법을 적용하는 것이 보다 타당한 것으로 판단되었다.

3.1. 변압기 부재 중 PCBs 함유 고상폐기물 농도 분포

변압기 부재에서 발생하는 규소강판과 구리선을 표면(뒹아내는법) 및 부재채취법으로 시료 10건을 채취분석하여 Table 2에 정리하였다. 표면채취된 규소강판은 속실크추출하였으며, 일정크기로 잘라서 부재채취된 시료는 헥산 및 용출방법으로 분석하였다.

Table 3에 나타낸 바와 같이 표면채취법으로 채취한 시료의 경우 변압기 중의 절연유 농도에 따라 0.0374~1.4154 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$ 의 농도범위로 검출되었으며, 현재 표면채취법 규제기준을 운영하고 있는 일본의 기준(0.1 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$)과 비교해보면 절연유 중 PCBs의 농도가 2 ppm 부근의 시료를 제외하고는 모

두 기준을 초과한 것으로 나타났다.²²

부재채취법을 적용하는 경우에는 모든 시료가 일본의 규제기준인 0.01 mg/kg을 초과하는 것으로 나타났다. 용출시험방법을 적용한 경우에는 모든 시료가 규제기준 0.003 mg/L이하로 나타나 폐기물 시료별 적용 방법에 따라 상반된 결과를 나타내고 있다. 따라서 보다 구체적이고 세분화된 폐기물 분류와 이에 따른 시험방법의 적용이 필요한 것으로 판단된다. 다음 Fig. 3에 시료분석 크로마토그램을 나타내었다.

3.2. 표면채취법을 이용한 고상폐기물 분석결과

표면채취법은 비함침성 고상폐기물에 대하여 그 표면을 유리솜(킴와이프 등)으로 일정 면적에 뒹아 속실크 추출하여 분석하는 방법으로 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$ 의 단위로 결과를 나타낸다.²³ 본 연구에서는 변압기 절연유 중 PCBs 농도가 약 2~95 mg/L에 해당하는 변압기 중 면적계산이 용이한 주석강판을 시료로 총 10건을 분석하였다.

주석강판 500 cm^2 에 해당하는 면적을 용매로 미리 세척한 유리솜으로 뒹아내어 분석하였으며, 그 결과

Table 3. PCBs concentration of iron sheet and copper in non-porous solid wastes

Sample	Wipe test		Cutting sampling			
	Soxhlet extraction ($\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$)	Ultrasonic extraction (mg/kg)			Water extraction (mg/L)	
	Iron sheet	Iron sheet	Copper	Iron sheet	Copper	
Transformer 1 (15.43 ppm)	0.6451	0.6460	0.4818	ND ^{a)} (0.0000495)	ND (0.0001)	
Transformer 2 (29.83 ppm)	1.0279	1.6906	0.6026	ND (0.0000116)	0.0007268	
Transformer 3 (93.39 ppm)	1.4154	4.0240	2.2405	ND (0.0000179)	0.0013341	
Transformer 4 (15.23 ppm)	0.4963	0.6425	0.1479	ND (0.0000202)	ND (0.0003098)	
Transformer 5 (8.23 ppm)	0.5487	0.3535	0.2622	ND (0.0000105)	0.0005254	
Transformer 6 (2.11 ppm)	0.1468	0.0964	0.0515	ND	ND	
Transformer 7 (2.32 ppm)	0.0393	0.1060	0.0566	ND	ND	
Transformer 8 (3.83 ppm)	0.3513	0.1750	0.0936	ND	ND	
Transformer 9 (4.54 ppm)	0.1842	0.2074	0.1107	ND	ND	
Transformer 10 (3.60 ppm)	0.0374	0.0946	0.0505	ND	ND	

a) ND(not detected) : the value was less than 0.0005 mg/L

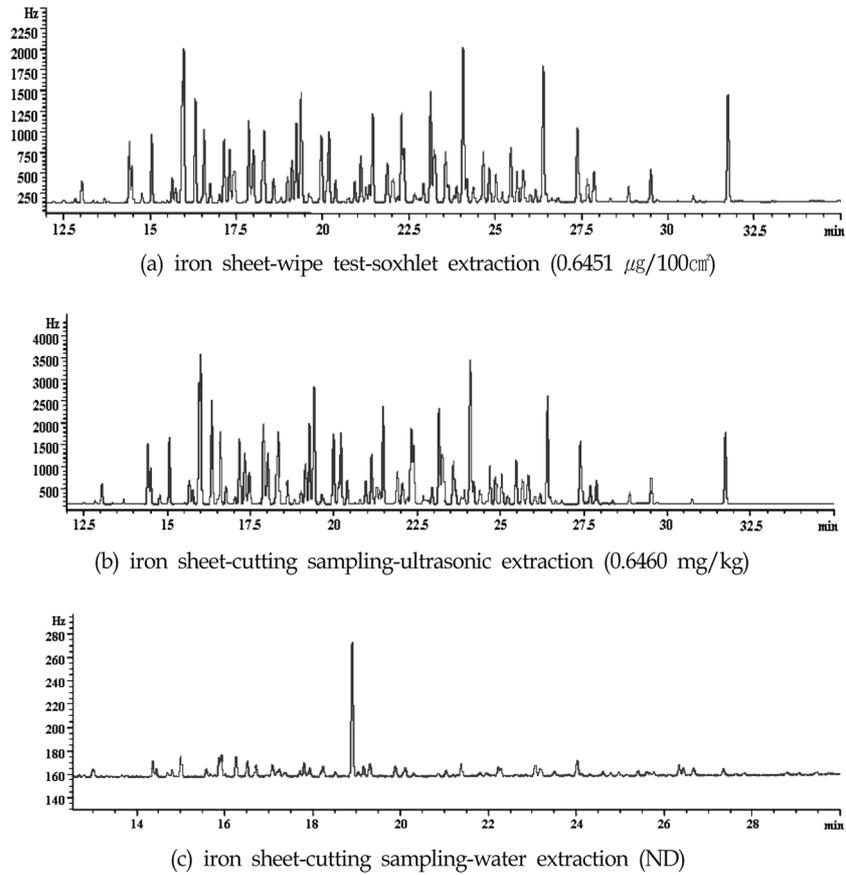


Fig. 3. PCBs chromatograms of iron sheet from transformer 1 (15.43 ppm).

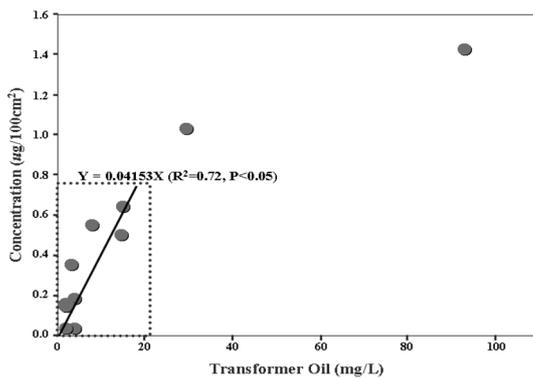


Fig. 4. Correlation and regression analysis between PCBs concentrations in iron sheet through wipe test and in transformer oil.

서로 상관성이 있는 것으로 판단되었으며, 이 방법은 용출시험방법에서 제한점으로 제시되었던 PCBs를 물로 용출하는 방법의 한계와 부채취법에서 각 변압기의 종류에 따른 부채의 밀도 등 특성변화로 인한 농도 변화를 해결할 수 있는 시험방법인 것으로 판단되었다.

총 10건의 평면형 고상폐기물의 시료를 표면채취법으로 분석한 결과, 검출농도 범위는 $0.0374\text{--}1.4154 \mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$ 로 나타났으며, 이 중 고농도시료를 제외한 8개 시료에 대하여 액상폐기물인 절연유 중 PCBs 농도와 고상폐기물의 농도와는 서로 상관성을 나타내는 것으로 나타났다. 두 결과의 상관성을 분석한 결과 결정계수가 0.72로 상관성이 있는 것으로 조사되었으며, 통계적으로 95%신뢰수준에서 유의한 결과를 나타내었다. 본 연구의 결과로 나타난 회귀선을 이용하여 각국의 절연유 중 PCBs 농도 규제기준치에 해당하는 폐기물 농도를 산출한 결과 미국 2.08, 일

를 다음의 Fig. 4에 나타내었다. 그림에 나타난 것과 같이 절연유 중 PCBs 농도와 폐기물의 PCBs 농도가

Table 4. PCBs regulatory standards of solid wastes in USA, Japan and Korea as PCBs concentrations were determined by wipe test method

Country	Liquid wastes		Solid wastes	
	Insulating oil (mg/L)	Wipe test method ($\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$)	Calculated con. ^{a)} ($\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$)	
USA	50	10	2.08	
Japan	0.5	0.1	0.02	
Korea	2	0.4(draft)	0.08	

a) the concentrations was calculated through regression equation shown in the Fig. 4

본 0.02, 우리나라 0.08 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$ 로 조사되었으며, 미국 및 일본은 이 결과 값과 규제기준이 5배의 차이를 보였다.

그러므로 우리나라의 표면채취법에 의한 평면형 비함침성 고상폐기물의 규제기준은 미국 및 일본과 같은 수준으로 각국의 액상폐기물인 절연유 기준과 표면채취법에 의한 처리기준의 수치적 관계를 이용하여 산출하는 것이 타당한 것으로 판단되어지며, 이에 따라 우리나라의 표면채취법에 의한 고상폐기물의 규제기준(안)은 0.4 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$ 으로 설정하였으며 다음의 Table 4에 나타내었다.

3.3. 부채취법을 이용한 고상폐기물 분석결과

3.3.1. 함량시험방법

표면채취법은 표면적 산정이 용이한 평면형 부채(용기, 규소강판, 굵은 동선 등)에 대해 처리기준 여부를 판정하기에 적합한 방법이나, 가는 동선과 같이 PCBs 처리공정에 따라 최종 처리된 폐기물의 형태가 잘게 잘려지거나 가루 등의 처리 전 형태를 유지하지 못하는 부채는 표면적 산정에 어려움이 있어 적용이 곤란하다. 그러나 부채취법은 각 변압기 또는 동일 변압기 내의 부채 밀도에 따라 부채의 농도가 달라질 수 있으나, 표면채취법으로 분석이 곤란한 구리선 및 비정형 부채에 적용할 수 있는 가장 적합한 방법이다. 본 연구에서는 표면채취법으로 분석이 곤란한 비함침성폐기물의 시료채취 및 분석방법을 검토하기 위해 가는 동선을 표본시료로 하여 검토하였다.

부채취법은 변압기 부채 폐기물을 가로×세로 1 cm이하로 잘게 나눈 다음 속실편 추출 또는 초음파 추출을 하여 각 부채의 무게당 PCBs의 함유량을 측정하는 방법이다. 부채취법으로 10건의 서로 다른 농도의 절연유를 함유한 변압기 부채로 실험하였으

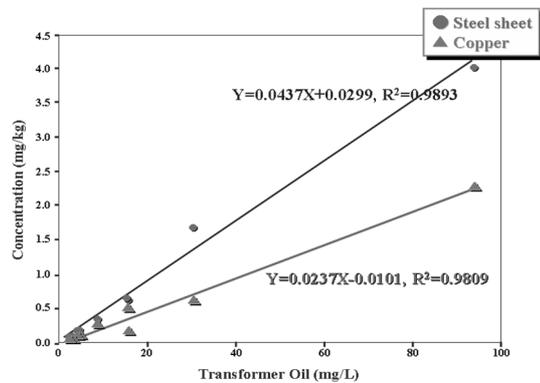


Fig. 5. Correlation and regression analysis between PCBs concentrations in copper material and in transformer oil.

Table 5. PCBs regulatory standards of solid wastes in USA, Japan and Korea as PCBs concentrations were determined by cutting sampling method

Country	Liquid wastes		Solid wastes	
	Insulating oil (mg/L)	Cutting sampling method (mg/kg)	Calculated con. ^{a)} (mg/kg)	
USA	50	-	1.22	
Japan	0.5	0.01	0.012	
Korea	2	0.04(draft)	0.049	

a) the concentrations was calculated through regression equation shown in the Fig. 5

며, 그 결과를 다음의 그림 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 변압기내의 액상폐기물인 절연유의 농도와 규소강판 및 구리선의 함량시험방법에 의한 분석결과는 상관성이 있는 것으로 판단되었다. 규소강판의 경우 결정계수가 0.98로 조사되었으며, 구리선의 경우 결정계수가 0.97로 통계적으로 조사되어 95%신뢰수준에서 유의한 결과를 나타내었다. 구리선과 절연유 중 PCBs 농도사이의 회귀식은 실험 결과 $Y=0.02435X$ 로 우리나라 절연유 중 PCBs 처리기준인 2 mg/L에 해당하는 구리선의 PCBs 농도는 0.0487 mg/kg으로 나타났다. 이는 일본의 부채취법을 이용한 처리기준 0.01 mg/kg에 4.8배에 해당하는 값으로 우리나라와 일본의 절연유 처리기준이 2 mg/L와 0.5 mg/L로 4배의 차이가 있는 것을 고려하면 상당히 합리적인 농도로 판단된다(Table 5).

3.3.2. 용출시험방법

용출시험은 종이, 규소강판, 구리선 등의 부채에

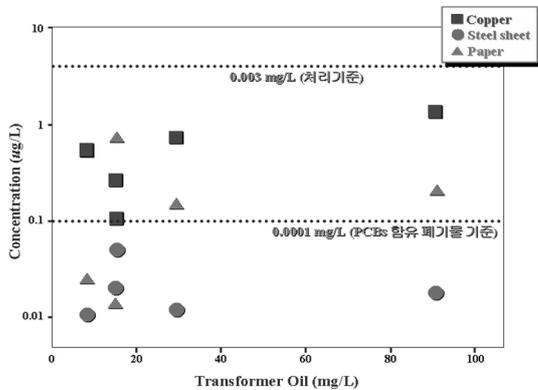


Fig. 6. PCBs concentrations for copper, iron sheet and paper as determined by water extraction method.

적용한 결과 다음의 Fig. 6에 나타난 바와 같이 분석대상 모든 부재에서 변압기 내의 오염된 절연유의 PCBs 농도와는 상관이 없이 불규칙한 농도를 나타내었다. 폐기물 용출시험방법의 근본 취지는 매립되는 폐기물에 포함된 유해물질이 환경 수중에 어느 정도 용출되는지의 여부를 판단하는데 기본적인 의미를 두고 있다.

현재 운영되고 있는 잔류성유기오염물질관리법에서 정하고 있는 잔류성유기오염물질 함유량 기준은 0.0001 mg/L이며, 처리기준은 함침성 폐기물(종이류)의 경우 0.003 mg/L로 규정하고 있다. 본 조사결과, 변압기 절연유 약 10~95 mg/L를 함유한 함침성 부재의 경우 모두 처리기준 미만으로 나타났으며, 구리

선을 제외한 일부 종이류와 규소강판은 잔류성유기오염물질 함유 폐기물 기준인 0.0001 mg/L에도 미달되는 것으로 나타났다. 이는 변압기의 생산 및 사용년도에 따라 부재가 절연유를 함유하고 있는 정도, 용출시험방법에서 절연유 중 PCBs를 물로 용해시켜 용출하는 방법의 한계로 인한 것으로 판단된다.

그러나, 현행 폐기물관리법 및 잔류성유기오염물질(POPs) 관리법에 제시된 PCBs 함유 함침성 부재의 경우, 함량시험결과와 절연유 중 PCBs 농도가 서로 밀접한 관련을 나타내고 있으나, 재활용 가능 여부, 외국의 규제기준 및 전문가 자문의견 등을 종합적으로 검토한 결과를 토대로 현행법에서 운영하고 있는 기준 및 시험방법을 준용하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

3.4. PCBs함유 폐기물 분석방법 개선(안) 및 기준(안) 제시

3.4.1. PCBs 함유 고상폐기물 분석방법 개선(안)

PCBs의 사용으로 인해 발생된 의도적 PCBs 함유 폐기물은 비함침성 및 함침성 폐기물로 분류하였다. 변압기 등 PCBs 함유 제품에서 발생된 폐기물을 금속속용기 등 넓은 평면형 폐기물, 비정형 금속 폐기물 등 비함침성 폐기물과 종이, 목재 등 함침성 폐기물로 구분하여 PCBs 함유 고상폐기물 시험방법(안) 마련하였다. 또한, 비산재, 소각재 등 비의도적으로 생성된 폐기물 중 PCBs 함유 고상폐기물의 분석방법을

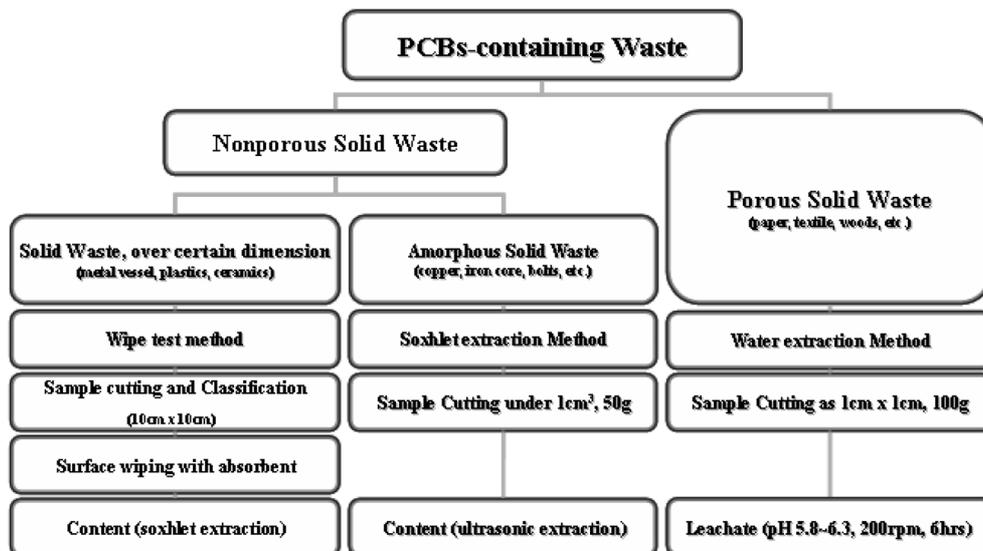


Fig. 7. Recommended PCBs analytical procedure for solid wastes.

Table 6. PCBs analytical method(draft) and regulatory standard(draft) for PCBs containing solid wastes

Solid wastes	Analytical method	Standard(draft)	Description
Porous material (wood, paper etc.)	Cutting sampling-water extraction	0.003 mg/L	USA : insulating oil 50 ppm Japan : insulating oil 0.5 ppm
Non-porous material (iron sheet, copper etc.)	Wipe test-soxhlet extraction	0.4 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$	USA : 10 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$ Japan : 0.1 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$
	Cutting sampling-ultrasonic extraction	0.04 mg/kg	USA : - Japan : 0.01 mg/kg

현행 POPs 공정시험방법을 토대로 보완·검토하였다.

비합침성 부재 중 금속용기 등 평면형 고상폐기물은 500 cm^2 에 해당하는 면적을 용매로 미리 세척한 유리솜 등으로 닦아내는 표면채취법으로 시료를 채취하였으며, 속실팩 추출하여 폐기물공정시험방법에 제시된 절연유 중 PCBs 시험방법으로 분석하여 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$ 의 단위로 결과를 제시하였다. 또한, 동선 등 비정형 고상폐기물은 가로×세로 1 cm이하로 잘게 나눈 부재채취법으로 시료를 채취한 후 속실팩 추출 또는 초음파 추출을 하여 각 부재의 무게당 PCBs의 함유량을 측정하는 방법으로 다음 Fig. 7에 나타내었다. 그러나 종이, 나무 등 합침성 고상폐기물은 현행 폐기물관리법에서 제시한 용출시험방법을 준용하도록 하였다.

3.4.2. PCBs 함유 고상폐기물의 종류별 기준(안)

PCBs 함유 고상폐기물 중 규소강판 등 표면채취가 가능한 평면형 비합침성 부재는 표면채취법으로 시료를 채취하여 함량분석법으로 분석하는 경우, 비합침성 고상폐기물의 규제기준(안)은 0.4 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$ 으로 설정하였다(Table 6 참조). 또한, 표면채취가 어려운 시료를 일정한 크기로 잘라 부재를 채취한 후 함량분석법으로 분석하는 경우에는 규제기준을 0.04 mg/kg을 제안하였다. 그러나 합침성부재의 시험방법은 현행 폐기물공정시험방법을 준용하도록 하였으며, 향후 다양한 농도범위의 종이, 목재 등 합침성 부재를 검토한 후에 분석방법 및 규제기준(안)을 제시하는 것이 보다 바람직할 것으로 판단된다.

현지조사를 수행하였다. 또한, PCBs 함유 고상폐기물 종류별 표면채취시험방법, 부재시험방법, 세정시험방법 등의 함량시험방법과 기존의 폐기물공정시험방법의 부재채취법에 의한 용출시험방법과 비교·검토하여 PCBs 함유 고상폐기물의 시험방법(안)을 마련하였다.

변압기 부재 중 PCBs 오염 여부를 판단하기 위해 2 ppm~90 ppm 부근의 PCBs 함유 폐기물 시료를 채취하여, 표면채취 및 부재채취방법을 이용한 함량시험방법 및 용출시험방법을 적용한 결과, 표면채취법으로 채취한 시료의 경우 변압기 중의 절연유 농도에 따라 0.0373~1.4154 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$ 의 농도범위로 검출되었으며, 현재 표면채취법 규제기준을 운영하고 있는 일본의 기준(0.1 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$)과 비교해보면 절연유 중 PCBs의 농도가 2 ppm 부근의 시료를 제외하고는 모두 기준을 초과한 것으로 나타났다. 우리나라의 표면채취법에 의한 비합침성 고상폐기물의 규제기준은 미국 및 일본과 같은 수준으로 각국의 역상폐기물인 절연유 기준과 표면채취법에 의한 처리기준의 수치적 관계를 이용하여 산출하는 것이 타당한 것으로 판단되어진다. 따라서 PCBs 함유 고상폐기물 중 규소강판 등 표면채취가 가능한 평면형 비합침성 부재는 표면채취법으로 시료를 채취하여 함량분석법으로 분석하는 경우, 비합침성 고상폐기물의 규제기준(안)을 0.4 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$ 으로 설정하였다. 또한 표면채취가 어려운 시료를 일정한 크기로 잘라 부재를 채취한 후 함량분석법으로 분석하는 경우에는 규제기준을 0.04 mg/kg을 제안하였다.

4. 결 론

국제적으로 관심의 대상이 되고 있는 PCBs 함유 폐기물의 효율적인 관리를 위해 미국, 일본 등 선진국의 PCBs 함유 고상폐기물의 규제기준, 판정방법 등 관리현황을 파악하고, 조사대상 폐기물 선정 및

참고문헌

1. UNEP, 'Regionally based assessment of persistent toxic substances', Global Report 2003, 220, UNEP-Chemicals Geneva Switzerland, 2003.
2. T. Takasuga, K. Senthikumar, K. Shiozaki and S.I. Sakai,

- Chemosphere*, **62**, 469-484(2006).
3. Y. Masuda, The Yusho rice oil poisoning incident. In: A. Schechter, Editor, *Dioxins and health*, Plenum Press, New York, USA, pp. 633-659(1994).
 4. Y. Yao, T. Takasuga, S. Masunaga and J. Nakanishi, *Chemosphere*, **46**, 1461-1469(2002).
 5. R. J. Fensterheim, *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, **18**, 181-201(1993).
 6. F. Wania and D. Mackay, *Environ Sci Technol.*, **30**(9), 390A-396A(1996).
 7. M. Weintraub and L. S. Birnbaum, *Environmental Research*, **107**, 412-417(2008).
 8. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 'Toxicological profile for polychlorinated biphenyls (PCBs)'. Department of Health and Human Services, Public Health Service, U.S., 2000.
 9. K. Breivik, R. Alcock, Y. F. Li, R. E. Bailey, H. Fiedler and J. M. Pacyna, *Environ Pollut*, **128**, 3-16(2004).
 10. T. W. Duke, J. I. Lowe and A. J. Wilson, *Bull Environ Contam Toxicol*, **5**, 3171-3180(1970).
 11. H. Crine and J. Jean Pierre, Hazard, *Environmental science research*, **37**, 1-12(1986).
 12. T. J. Belton, P. Huage, D. Lockwod and B. E. Ruppel, *Rev Aquat Sci*, **6**, 275-293(1992).
 13. R. P. Pohanish. 'Rapid guide to hazardous chemicals in the environment', Van Nostrand-Reinhold, New York, (1997).
 14. United Nations Environment Programme, Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) (<http://www.pops.int>)
 15. 환경부, '잔류성유기오염물질관리법', 2008.
 16. 국립환경과학원, '폴리염화비페닐류(PCBs)함유 폐기물의 적정관리방안에 관한 연구', 2003.
 17. 환경부, '변압기 절연유 중 PCBs 오염원 추적 연구', 2007.
 18. 환경부, '폐변압기 및 콘덴서 안전관리 체계 연구', 2007.
 19. 환경부, '유해화학물질관리법', 2008.
 20. 환경부, '폐기물관리법', 2008.
 21. 환경부, '폐기물공정시험방법', 2007.
 22. 'PCB 處理技術 ガイドブック', 産業廢棄物處理事業 振興財團, 日本, 2005.
 23. US EPA, 'Code of Federal Regulations. 40 CFR 707.60.', Washington, DC, US Environmental Protection Agency, 1980.