



고온소각에 의한 PCBs 함유 폐기물처리에 관한 연구

김성중[†], 김동혁

인천대학교 안전공학과

(2009년 3월 19일 접수, 2009년 3월 28일 채택)

A Study on the PCBs-containing Waste Treatment by High Temperature Incineration

Seong- Jung Kim, Dong-Hyuk Kim

Dept. of Safety Engineering, University of Incheon

ABSTRACT

This study is for understanding the domestic possibilities of the high temperature incineration of waste containing Polychlorinated Biphenyls (PCBs) with the analysis of normal operation case and waste gas, fly ash, dioxin about bottom ash, Total-PCBs, Co-PCBs, and the for analysis the heavy metal leaching feature included by bottom ash and fly ash, heavy metal leaching experiment was implemented. The result shows the dioxin density of the waste gas from waste containing PCBs was 0.00699~0.00763ng-TEQ/Nm³, which is lower than 0.0192ng-TEQ/Nm³ from the normal operation case. And each Co-PCBs and total PCBs shows 0.00043~.00112ng-TEQ/Nm³ and 3.06~3.87ng/m³ respectively. The bottom ash test result shows Dioxin 0.00225~0.00630ng-TEQ/g, Co-PCBs 0.00027~0.00082ng-TEQ/g, Total PCBs 0.9~2.6ng/g, and the fly ash shows Dioxin 0.00164~0.00344ng-TEQ/g, Co-PCBs 0.00053~0.00054ng-TEQ/g, Total PCBs 0.64~0.84ng/g. The bottom ash and fly ash experiments for heavy metal leaching did not show any leaching but when it comes to the ingredients of the fly ash, Pb elements shows 31.01~237.7ppm, higher than leaching criterion. The analysis of the density of all air pollution material from the waste gas shows the lower value than permissible criterion.

Keywords : High temperature incineration, PCBs, Dioxin, Heavy metal

[†]Corresponding author : seongkim@incheon.ac.kr

초 록

본 연구는 국내 유해폐기물 고온소각설비를 이용한 PCBs 함유 폐기물의 소각처리 가능성을 알아보기 위해 정상조업시와 PCBs 절연유 투입시의 배가스, 비산재, 바닥재에 대한 다이옥신, Total-PCBs, Co-PCBs 분석을 실시하였으며, 바닥재 및 비산재에 함유된 중금속 성분의 용출 특성을 파악하기 위하여 중금속 용출시험을 실시하였다. 그 결과 PCBs 함유폐기물의 배기가스 중의 Dioxin 농도는 0.00699~0.00763ng-TEQ/Nm³으로 정상조업시 0.0192ng-TEQ/Nm³보다 낮은 것으로 나타났으며 Co-PCBs 0.00043~0.00112ng-TEQ/Nm³, Total PCBs 3.06~3.87ng/m³으로 분석되었다. 바닥재의 경우에는 Dioxin 0.00225~0.00630ng-TEQ/g, Co-PCBs 0.00027~0.00082ng-TEQ/g, Total PCBs 0.9~2.6ng/g, 비산재의 경우 Dioxin 0.00164~0.00344ng-TEQ/g, Co-PCBs 0.00053~0.00054ng-TEQ/g, Total PCBs 0.64~0.84ng/g로 나타났다. 바닥재와 비산재의 중금속용출 시험결과 바닥재에서는 모두 용출되지 않았으나, 비산재의 경우 Pb성분이 31.01~237.7ppm으로 용출기준을 초과하는 것으로 나타났으며 대기오염물질의 농도는 모두 배출허용기준치 이하로 나타났다.

핵심용어 : 고온소각, PCBs, 다이옥신, 중금속

1. 서론

폴리염화비페닐류(Polychlorinated Biphenyls, PCBs)는 열안정성과 열용량이 크고 절연성이 우수한 공업적 특성으로 변압기 절연유에 많이 사용되었다. 그러나 PCBs의 독성과 잔류성의 문제가 알려진 이후에 대부분의 국가에서는 1970년대 PCBs 사용이 금지되었으며 2004년 5월 발효된 스톡홀름 협약에서는 관리대상 물질인 12종의 잔류성유기오염물질(POPs) 중 산업용 화학물질로 분류되어 환경오염 및 인체 유해성 등으로 인하여 사용이 중지된 물질이다¹⁻³⁾. 국내 폐기물관리법에 규정하고 있는 PCBs 2ppm이상 함유폐기물은 지정폐기물로 분류되어 있으며 화학적처리, 고온용융, 고온소각 및 세정처리의 방식을 통한 절차에 따라 안전하게 처리하도록 규정되어 있다. 그러나 PCBs를 소각처리할 경우 다이옥신 및 다환방향족탄화수소 등이 생성된다는 보고가 있었으며⁴⁾, 1994년까지 환경관리공단 화성사업소에서 고농도 PCBs 함유폐기물을 소각처리 하였으나, PCBs 함유 폐기물을 소각처리시 다이옥신 발생에 따른 문제로 소각처리가 중단된 상태이며, 현재 국내에서 고온 소각 또는 용융처리 허가를 가진 폐기물처리

업체 역시 PCBs 함유 폐기물을 처리하지 못하고 전량 해외로 이전하여 처리하고 있는 것이 실정이다⁵⁻⁷⁾. 또한 스톡홀름협약에 따라 2015년을 기준으로 국내 PCBs 함유폐기물 근절을 위한 국내 자체적 처리에 대한 대책이 시급하다. 따라서 본 연구는 국내 기존 유해폐기물 고온소각설비를 이용하여 PCBs 함유 폐기물의 소각처리 가능성을 알아보기 위하여 정상조업시와 PCBs 절연유 투입시의 배기가스, 바닥재, 비산재에 대한 다이옥신 분석과 PCBs 분석을 실시하였으며 바닥재 및 비산재에 함유된 중금속 성분을 알아보기 위하여 중금속 용출에 대한 분석을 실시하였다.

2. 실험설비 및 방법

2.1 실험설비의 구성

본 연구를 위한 실험설비는 [Fig. 1]에 나타난 바와 같이 Rotary Kiln과 Stoker로 구성된 상용 유해폐기물 고온소각설비로 본 설비에서는 액상 PCBs 절연유를 Stoker 하부에서 노즐을 이용하여 일정하게 분무할 수 있도록 구성하였다. 고온소각로에서의 액상 PCBs 분무는 1차 rotary kiln에서 투입하지 않고 보다 고온 영역인 stoker의

상부 측면에서 분무를 실시하여 미연소된 부분은 stoker 상부에서 완전연소가 되도록 구성하였다 [Fig. 2].

2.2 실험조건

유해폐기물 투입량은 4.7ton/hr로 일정하게 조정하고 Rotary Kiln의 온도는 900~1,100°C로 유지, Stoker 하부는 1,000~1,100°C, 상부는 1,150~1,200°C 범위로 설정하여 실험을 실시하였다. 액상 PCBs 절연유는 투입방법은 스토커 하부에 노즐과 유량계를 설치하여 190L/hr로 일정하게 분사되도록 하였다. 고상폐기물의 로내 체류시간은 1시간 20분으로 조정하였으며, 배기가스의 체류시간은 PCBs 절연유를 분사 후 충분한 완전연소가 이루어지도록 2초 이상으로 조정하여 본 실험을 실시하였다[Table 1].

2.3 분석항목

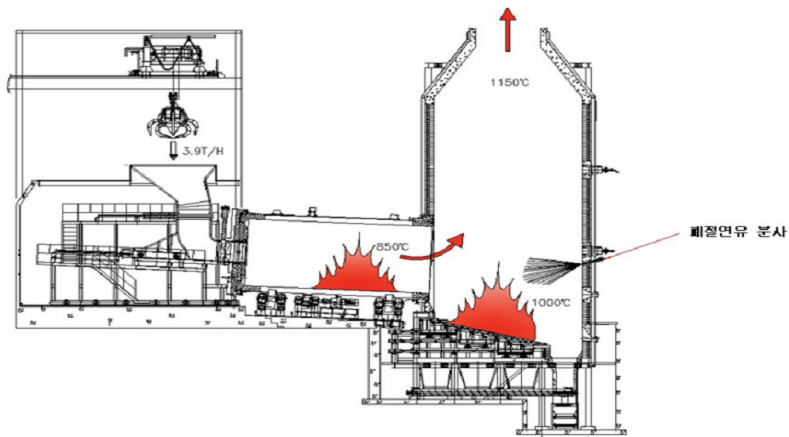
고온 소각설비를 이용한 PCBs 함유폐기물 처리 시 오염물질에 대한 분석항목 및 sampling 위치로는 [Table 2]에 나타난 바와 같이 stack, 바닥재, 비산재를 sampling하여 Dioxin, Total PCBs, Co-PCBs, 중금속 용출, 대기오염물질에 대한 분석을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

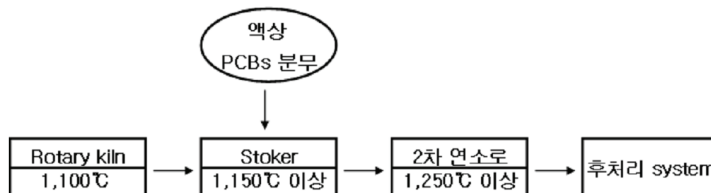
3.1 Dioxin, Total PCBs, Co-PCBs 분석결과

PCBs 함유폐기물 고온소각 처리시 발생하는 배기가스, 바닥재, 비산재의 Dioxin, Co-PCBs, Total PCBs 농도에 대한 분석결과를⁸⁻¹⁰⁾ [Table 3]에 나타내었다.

배기가스중 Dioxin농도는 PCBs 투입시 0.00699~



[Fig. 1] Composition of facilities for high temperature incineration.



[Fig. 2] Process of high temperature incineration.

[Table 1] Experimental Condition

구분		실험조건
PCBs 함유 절연유 투입량 유해폐기물 투입량		190 L/h 4.7 ton/h
PCBs 함유 농도		10.71 mg/L
소각로 열원		폐기물 연소열
처리 온도(°C)	rotary kiln	900 ~ 1,000
	stoker 하부	1,000 ~ 1,100
	stoker 상부	1,150 ~ 1,200
	boiler	1,200 → 250
	SDR	250 → 165
	B. F.	165 → 155
공기비 (α)		1.8 ~ 2.0
폐기물 로내 체류시간		1시간 20분
PCBs 투입방법		4hr 연속 / 3회 (2회 : PCBs 투입, 1회 : PCBs 미투입)
배기가스 체류시간		2초 이상
배기가스처리	Dioxin	활성탄 (25kg/hr)
	HCl, SO ₂	분말 소석회 (50kg/hr)
	NOx	요소수 (0.075m ³ /hr)

[Table 2] Analysis Items and Sampling Point

분석항목	내역	sampling 위치
Dioxin	이성질체 17개 항목	stack, 바닥재, 비산재
T-PCBs	1~10 염화CB	stack, 바닥재, 비산재
Co-PCBs	이성질체 12개 항목	stack, 바닥재, 비산재
중금속 용출	Cd, Pb, As, Cr ⁶⁺ , Hg	바닥재, 비산재
대기오염물질	CO, NOx, SOx, HCl	stack

[Table 3] The Analysis of Dioxin, Total PCBs, Co-PCBs

구분		1차 (PCBs 투입시)	2차 (PCBs 투입시)	3차 (정상조업시)
PCBs 투입량		190 L/h	190 L/h	-
PCBs 투입위치 / 온도		1차 연소실 / 1,100°C	1차 연소실 / 1,082°C	1차 연소실 / 1,049°C
배기가스	Dioxin (ng-TEQ/Nm ³)	0.00763	0.00699	0.0192
	Co-PCBs (ng-TEQ/Nm ³)	0.00112	0.00043	0.00126
	Total PCBs (ng/m ³)	3.06	3.87	2.41
바닥재	Dioxin (ng-TEQ/g)	0.00630	0.00225	0.00725
	Co-PCBs (ng-TEQ/g)	0.00082	0.00027	0.00151
	Total PCBs (ng/g)	2.6	0.9	2.28
비산재	Dioxin (ng-TEQ/g)	0.00164	0.00344	0.03212
	Co-PCBs (ng-TEQ/g)	0.00053	0.00054	0.00079
	Total PCBs (ng/g)	0.84	0.64	0.38

0.00763ng-TEQ/Nm³으로 PCBs를 투입하지 아니한 정상조업시 0.0192ng-TEQ/Nm³에 비하여 약 7배 낮은 결과를 나타냈다. 또한 Co-PCBs 분석결과 PCBs 투입시 0.00043~0.00112ng-TEQ/Nm³으로 정상조업시의 0.00126ng-TEQ/Nm³과 비슷한 수준으로 나타났으며 Total-PCBs는 PCBs 투입시 3.06~3.87ng/m³으로 정상조업시 2.41ng/m³보다 다소 높게 나타났다.

바닥재 경우 Dioxin 농도는 PCBs 투입시 0.00225~0.00630ng-TEQ/g으로 정상조업시 0.00725ng-TEQ/g보다 다소 낮은 수준이었으며 Co-PCBs 분석결과도 PCBs 투입시 0.00027~0.00082ng-TEQ/g으로 정상조업시 0.00151ng-TEQ/g으로 다소 낮았고 Total-PCBs는 PCBs 투입시 0.9~2.6ng/g으로 정상조업시 2.28ng/g과 비슷한 결과를 나타냈다.

비산재 Dioxin 농도는 PCBs 투입시 0.00164~0.00344ng-TEQ/g으로 정상조업시의 0.03212ng-TEQ/g보다 다소 낮은 수준이었으며 Co-PCBs 분석결과도 PCBs 투입시 0.00053~0.00054ng-TEQ/g으로 정상조업시 0.00079ng-TEQ/g보다 낮았으나 Total-PCBs는 PCBs 투입시 0.64~0.84ng/g으로 정상조업시 0.38ng/g보다 다소 높게 나타났다.

3.2 중금속 용출 분석결과

PCBs 함유폐기물의 고온소각시 발생하는 바닥

재와 비산재에 함유된 중금속 성분을 알아보기 위하여 중금속 용출시험¹¹⁾을 실시하였다. 그 결과는 [Table 4]에 나타난 바와 같이 PCBs 투입시 바닥재에서는 모든 중금속이 검출되지 않았으나 비산재의 경우 Pb 성분이 정상조업시의 0.60mg/L보다 많은 31.01~237.7mg/L로서 규제치를 초과하여 용출되는 것으로 나타났다. Pb 성분은 바닥재에서는 검출되어서는 안되며 현재 비산재의 경우 유해폐기물로 분리되어 특정 고화처리를 통한 관리형태로 관리되고 있어, 결과적으로 PCBs 함유폐기물 고온소각처리시 중금속 용출에 대한 영향은 거의 없는 것으로 사료된다.

3.3 대기오염물질 분석결과

PCBs 함유폐기물 고온소각시 발생하는 대기오염물질의 분석결과를 [Table 5]에 나타내었다. 1차, 2차의 PCBs 투입시 및 정상조업시의 대기오염물질 분석결과를 나타내고 있다. 그 결과 CO와 SOx의 경우 정상조업시와 비슷한 0.1ppm으로 나타났고, NOx의 경우 PCBs 투입시 44.8~53.2ppm으로 정상조업시 25.6ppm 보다 높게 나타났다. HCl의 경우에는 PCBs 투입시 3.7~5.5ppm으로 정상조업시 7.3ppm 보다 낮은 분석결과를 보여주고 있다.

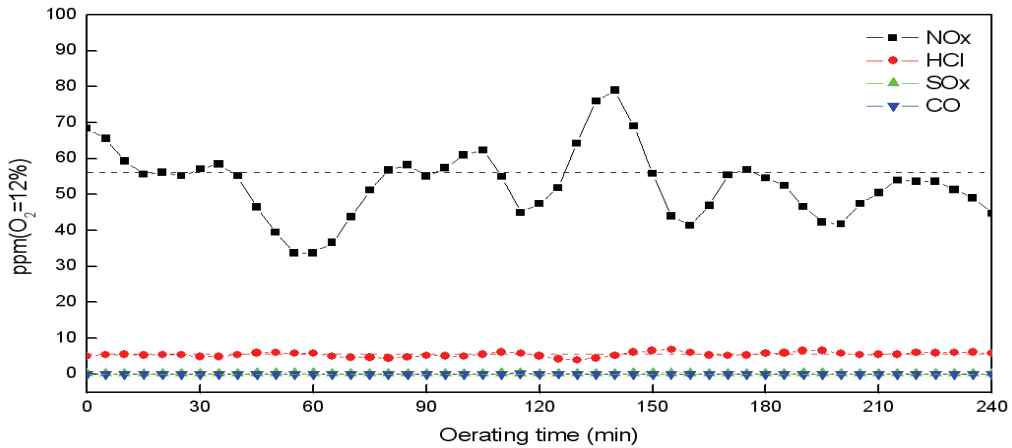
[Fig. 3]과 [Fig. 4]에는 PCBs 투입시 배기가스 중 대기오염물질의 농도변화를 분석한 결과를 나타내었으며, [Fig. 5]에서는 정상조업시 대기오

[Table 4] Leaching Results of Heavy Metals (mg/L)

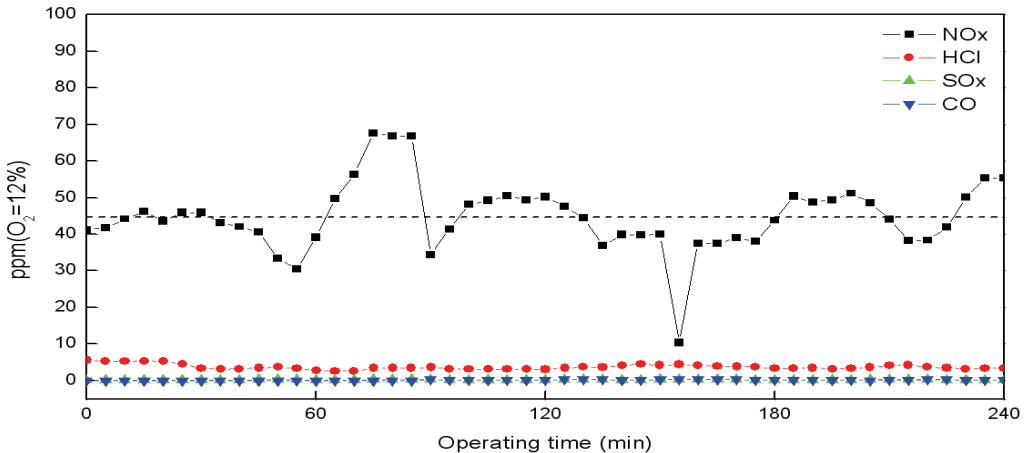
구분		As	Cd	Cr	Hg	Pb	
규제치		1.5	0.3	1.5	0.005	3.0	
정상조업시	바닥재	ND	ND	ND	ND	ND	
	비산재	ND	ND	ND	ND	0.60	
PCBs 투입시	바닥재	1차	ND	ND	ND	ND	
		2차	ND	ND	ND	ND	
		3차	ND	ND	ND	ND	ND
	비산재	1차	ND	ND	ND	ND	99.36
		2차	ND	ND	ND	ND	31.01
		3차	ND	ND	ND	ND	237.7

[Table 5] The Result of the Air Pollution Analysis

구분	1차 (PCBs 투입시)	2차 (PCBs 투입시)	3차 (정상조업시)
CO (ppm)	0	0.1	0.1
NOx (ppm)	53.2	44.8	25.6
SOx (ppm)	0.2	0.2	0.3
HCl (ppm)	5.5	3.7	7.3



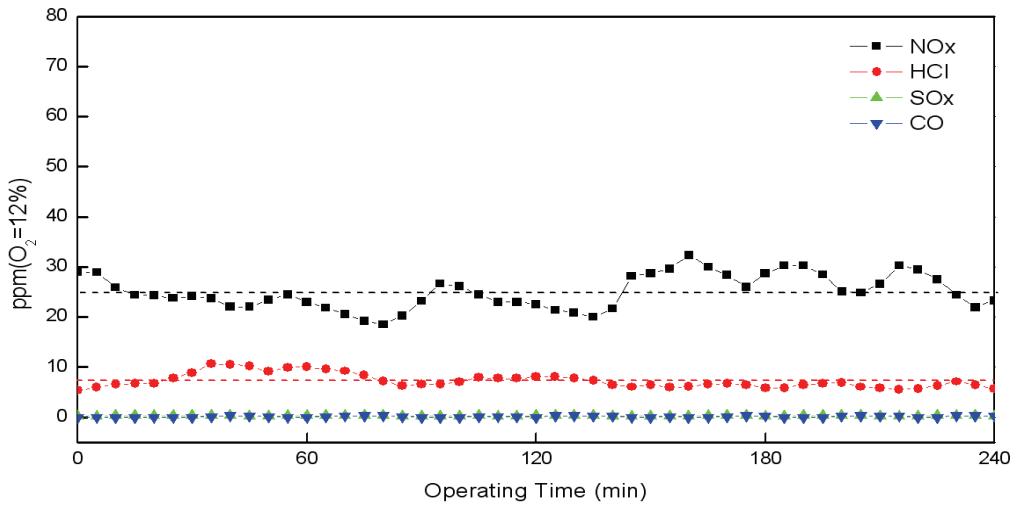
[Fig. 3] The result of the air pollution analysis(with inputs of PCBs #1).



[Fig. 4] The result of the air pollution analysis(with inputs of PCBs #2).

염물질의 농도변화 분석결과를 나타내었다. 그 결과 배기가스 중 CO, HCl, SOx에 대한 농도 변화는

PCBs 투입시와 큰 차이를 보이지 않았으나 NOx의 경우 고온 운전을 실시하였기 때문에 상대적으로



[Fig. 5] The result of the air pollution analysis(Non PCBs #3).

로 PCBs 투입시 더 높게 나타난 것으로 판단된다.

4. 결론

기존 유해폐기물 고온소각시설을 이용한 PCBs 함유폐기물의 고온소각실험을 실시하여 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. PCBs 함유폐기물 소각처리시 발생하는 배기가스 중 Dioxin 농도는 0.00699~0.00763ng-TEQ/Nm³, Co-PCBs 0.00043~0.00112ng-TEQ/Nm³, Total-PCBs 3.06~3.87ng/m³로 나타났다.
2. PCBs 함유폐기물 소각처리시 발생하는 바닥재 중 Dioxin 농도는 0.00225~0.00630ng-TEQ/g, Co-PCBs 0.00027~0.00082ng-TEQ/g, Total-PCBs 0.9~2.6ng/g로 나타났다.
3. PCBs 함유폐기물 소각처리시 발생하는 비산재 중 Dioxin 농도는 0.00164~0.00344ng-TEQ/g, Co-PCBs 0.00053~0.00054ng-TEQ/g, Total-PCBs 0.64~0.84ng/g로 나타났다.
4. PCBs 함유폐기물 소각처리시 발생하는 바닥

재와 비산재의 중금속 용출시험을 실시한 결과 비산재의 경우 Pb 성분이 31.01~237.7mg/L로서 규제치를 초과하여 용출되는 것으로 나타났다. 비산재의 경우 유해폐기물로 분리되어 특정 고화처리를 통한 관리형태로 관리되고 있어, PCBs 함유폐기물 고온소각처리시 중금속 용출에 대한 영향은 거의 없는 것으로 사료된다.

5. PCBs 함유폐기물 소각처리시 발생하는 배기가스 중 대기오염물질 중 CO, SOx, NOx, HCl의 분석결과 모두 배출허용기준치 이하로 나타났다. NOx의 경우 고온 운전을 실시하였기 때문에 상대적으로 정상조업시 보다 PCBs 투입시가 더 높게 나타난 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 2007년도 인천대학교 자체연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. US EPA, "Toxic Substance Control Act

- Inventory, www.epa.gov/oppt/newchemicals/pubs/inventory.htm.
2. V. den Berg, M. Birnbaum and A. Bosabel, Environmental Health perspectives, 106, pp. 775~792 (1998).
 3. UNEP Chemicals, "Guidelines for the identification of PCBs and materials Containing PCBs" First Issue, UNEP, pp.1~19 (1999).
 4. UNEP Chemicals, "Survey of currently Available Non-Incineration PCB Destruction Technologies, UNEP, pp. 1~18 (2000).
 5. 정일록, 오길중, 신선경, "폴리염화비페닐류 (PCBs) 함유 폐기물의 관리 동향", 대한 환경공학회 2006 추계학술연구발표회, pp. 779~781 (2006).
 6. 신선경, "국내·외 PCBs 처리기술현황", 한국 화학공학회, 23(6), pp. 658~661 (2005).
 7. 신선경, 박진수, 강영렬, 황승률, 김영식, "PCBs 함유 절연유의 처리 후 부산물 배출특성 연구", 한국분석과학회, 19(3), pp. 263~271 (2006).
 8. 김진경, 박석운, 신선경, 전태완, "액상폐기물 중 폴리염화비페닐류(PCBs) 분석방법 고찰", 한국폐기물학회 2005 춘계학술연구회발표회, pp. 464~467 (2005).
 9. 국립환경연구원 "절연유 중 PCBs 세부분석지침", pp. 2~36 (2004).
 10. 김종국, 윤길도, 박종은, 김경심, "환경 중 PCBs 오염 현황 및 분석 정도 관리", 한국환경농학회 2008 추계워크샵, pp. 31~35 (2008).
 11. 환경부, "폐기물 공정시험방법" pp. 44~66. (2004).

