

## 지정폐기물 중 미규제 중금속류의 용출 특성

전태완 · 신선경<sup>†\*</sup> · 이정아 · 김형섭<sup>\*\*</sup>

국립환경과학원 환경진단연구부 · \*국립환경과학원 측정기준연구부 · \*\*한국환경자원공사

(2007년 10월 31일 접수, 2008년 1월 25일 채택)

## Leaching Characteristics of Unregulated Heavy Metals in Specified Wastes

Tae Wan Jeon · Sun Kyoung Shin<sup>†\*</sup> · Jeong Ah Lee · Hyoung Seop Kim<sup>\*\*</sup>

National Institute of Environmental Research, Environmental Diagnostics Research Department

\*National Institute of Environmental Research, Environmental Measurement Standards Department

\*\*Korea Environment & Resources Corporation

**ABSTRACT** : The objective of this research is to investigate the leaching characteristics of unregulated heavy metals such as Ni, Zn, Ba, Be, Sb, Se, V in specified waste. 108 waste samples which were taken from the representative facilities emitting hazardous substances, were analyzed. The rate of leaching of heavy metal was measured using an official test method. From the results, wastewater treatment sludge and dust contained much Ni, and Zn was detected in all samples. Dust and waste catalyst produced from petroleum-refining process tended to reveal V in high concentration. Ba, Be, Sb, Se showed low concentration, but require additional analyses of waste generated at different industries.

**Key Words** : Specified Wastes, Unregulated Heavy Metal, Leaching

**요약** : 본 연구는 지정폐기물에 함유된 미규제 중금속 Ni, Zn, Ba, Be, Sb, Se, V의 용출 특성을 조사한 것으로, 이들 항목의 배출 가능성이 높은 표본사업장을 선정하여 시료 108건을 채취·분석하였다. 중금속류의 용출시험은 선행연구과제에서 제시한 시험방법으로 분석하였다. 조사결과, Ni은 폐수처리오니, 분진에서 많이 검출되었으며, Zn은 대부분의 조사대상 시료에서 검출되었다. 석유 정제 공정에서 발생된 분진과 폐촉매에서는 V이 높은 농도로 검출되었다. Ba, Be, Sb, Se은 낮은 농도로 검출되었으나, 다양한 폐기물배출사업장에서 발생하는 폐기물을 추가 선정하여 용출특성을 파악하는 것이 필요하다고 판단되었다.

**주제어** : 지정폐기물, 미규제 중금속, 용출

### 1. 서론

산업이 발달함에 따라 많은 종류의 화학물질이 제품생산에 사용되고, 유해폐기물의 발생량도 상당히 증가하고 있다. 유해폐기물은 일반폐기물과 달리 유해물질을 함유하고 있으므로, 인간 건강을 보호하고 환경오염을 방지하기 위해 이들 폐기물의 체계적인 관리가 필요하다.<sup>1~9)</sup>

우리나라는 폐기물관리법<sup>10)</sup>에서 유해폐기물 관리를 위한 지정폐기물의 종류를 배출원에 의한 것 6종, 유해성분 함유에 의한 것 4종, 부식성 폐기물 2종, 용출시험에 의한 폐기물 8종, 그리고 기타 1종으로 분류하고 있다. 그러나 미국,<sup>11~13)</sup> 독일, 일본 등 선진국에서는 유해폐기물의 분류를 발생원, 유해물질 함유여부, 유해특성 등으로 분류하고 이들 폐기물을 배출 특성, 성상 등에 따라 목록화 및 명명화하여 관리하고 있다. 우리나라 용출시험 대상 유해물질 종류는 Pb, Cu, Cd, As, Cr(VI), CN, 유기인, TCE

등 11항목으로 정하고 있는 반면, 미국 40항목, 일본 26항목, 독일 17항목<sup>14,15)</sup> 등으로 정하고 있어 선진국에 비해 항목수가 적은 편이며, 미국, 독일 등 선진국에서는 유해물질이 인간에 미치는 독성, 위해성 등의 영향을 고려하여 유해폐기물 중 규제대상 유해물질의 항목을 확대하고 규제기준을 강화하고 있는 실정이다.

그러므로 우리나라도 국제적 동향에 맞춰 효율적으로 유해폐기물을 관리하기 위하여 선진국 수준의 유해폐기물 규제 항목 확대 및 규제기준의 마련이 필요하다.

본 연구에서는 선진국 및 국제기구의 유해폐기물 규제항목을 비교·검토하여 우리나라에서는 미규제 하고 있는 중금속을 선정하고 표본사업장의 지정폐기물 중 중금속의 용출 특성을 조사하였다.

### 2. 실험

#### 2.1. 미규제 중금속 항목 선정

우리나라, 미국, 독일, 일본 등 선진국 및 국제기구의 유해폐기물 규제항목과 비교·검토하고, 지정폐기물에 함유

<sup>†</sup> Corresponding author

E-mail: shinsun@me.go.kr

Tel: 032-560-7370

Fax: 032-562-7330

된 유해물질의 배출량, 사용량, 독성 등의 현황자료를 검토하여, 환경부의 화학물질우선순위선정시스템(CRS, Chemical Ranking and Scoring System)을 적용하여 관리가 필요한 지정폐기물 중 미규제 유해물질 항목을 제시하였다. 미규제 유해물질 항목 설정시 고려사항으로 선진국 및 국제기구의 우선 규제물질로 우리나라 폐기물 관리상 문제제기 가능성이 높은 물질, 분석법 등 관련 연구 및 자료가 확보되어 있지 않은 물질, 폐기물 시료에 대한 적용성 및 배출원 파악 등의 조사가 필요한 물질, 유럽연합 등 국제기구에서 규제대상물질로 선정된 물질로 규제가 초기 단계에 있는 물질 등을 조사하여 우선 관리대상물질 7종을 선정하였다. 적용된 통계기법 CRS는 위해성 평가체계의 틀을 유지, 인체 및 생태위해성 모두 독성과 노출의 곱의 관계를 기본구조로 하며, 인체위해성과 생태위해성의 비중을 동일한 것으로 하여 각각의 점수를 합쳐서 최종점수를 산정하여 순위를 결정하도록 구성된 시스템이다.

2.2. 용출실험

우선 관리대상 미규제 중금속으로 Ni, Zn, Ba, Be, Sb, Se, V(7항목)을 선정하여 용출특성을 조사하였다.<sup>14,15)</sup>

시료 채취업소는 Fig. 1의 폐기물 종류별 발생량 및 우리나라 산업분류코드를 참고하여 섬유제품 제조업; 봉제의

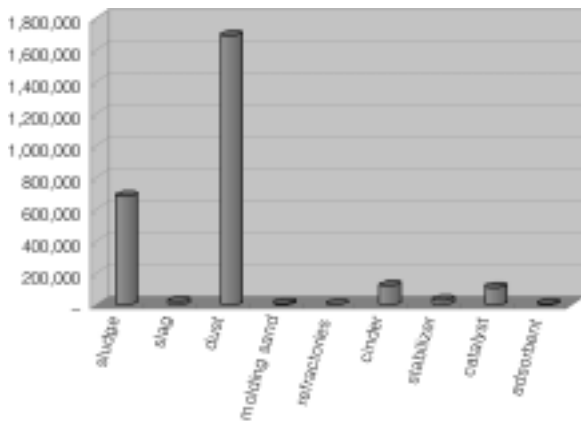


Fig. 1. Generation of the waste types(ton).

Table 1. Status of sample in wastes

Waste type	Number of Sample
Waste water treatment sludge	46
Process sludge	17
Dust	18
Catalyst	5
Wood	5
Cinder	9
Molding sand	3
Adsorbent	3
Sand	1
Fiber	1
Total	108

복 제외(17), 봉제의복 및 모피제품 제조업(18), 가죽·가방 및 신발 제조업(19), 코크스·석유정제품 및 핵 원료 제조업(23), 화합물 및 화학제품 제조업(24), 1차 금속산업(27), 전자부품, 영상·음향 및 통신장비 제조업(32), 목재 및 가구(20/36), 기타 기기 관련(33/34/35) 산업으로 분류된 9개 업종의 사업장에서 폐수처리오니, 공정오니, 소각재, 분진 등 10종, 총 108개 시료를 채취하여 분석하였다(Table 1).

미국 EPA SW-846<sup>17~19)</sup>의 중금속 전처리 방법은 산 분해,<sup>18)</sup> 마이크로파 분해,<sup>19)</sup> 용매분해 등 여러 가지가 있으나 일반적으로 산에 의한 분해가 가장 많이 사용되며, 또한 우리나라 현행 폐기물공정시험방법에도 다양한 산 분해 방법이 제시되어 있다. 가장 오랫동안 사용되어온 전처리 방법인 산 분해 방법은 저렴하며 간단한 방법으로 다량의 시료를 분해할 수 있으며 분해과정을 직접 확인할 수 있는 장점이 있으나 분해시간이 오래 걸리는 단점이 있다.<sup>20)</sup> 산 분해시 사용되는 용액으로는 질산(HNO<sub>3</sub>), 염산(HCl), 과염소산(HClO<sub>4</sub>), 과산화수소산(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 등이 적합한 시료의 유기물질 분해에 사용되고 있다. 본 연구에서는 EPA 3050B<sup>18)</sup>의 산분해 방법을 참고하였으며, 시료를 폐기물공정시험방법<sup>21)</sup>의 제2장 제5항 용출방법으로 시험하여 Fig. 2에서 제시한 산 분해 방법으로 전처리하였다.

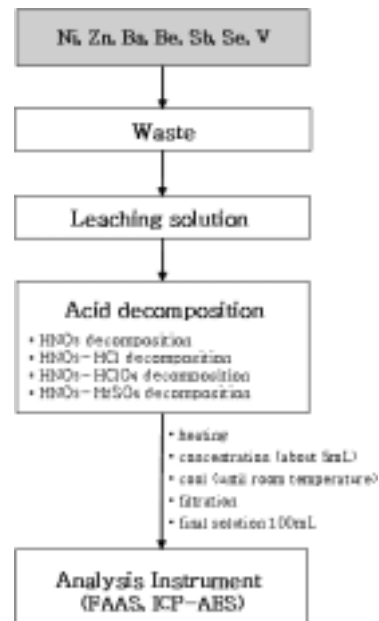


Fig. 2. Flow chart of test method procedure.

Table 2. Measurement condition of instrument

Element	Analysis Instrument	Wavelength(nm)
Nickel(Ni)	FAAS	232.0
Zinc(Zn)	FAAS	213.9
Barium(Ba)	ICP-AES	455.403
Beryllium(Be)	ICP-AES	313.042
Antimony(Sb)	ICP-AES	206.833
Selenium(Se)	ICP-AES	196.026
Vanadium(V)	ICP-AES	292.402

분석기기로는 불꽃원자흡광도계(FAAS)와 유도결합플라즈마발광도계(ICP-AES)로 분석하였으며, 항목별 분석 조건은 Table 2와 같다.

### 3. 결과 및 고찰

아래의 Table 3에 제시한 미국, 캐나다 등 선진국의 TCLP(Toxic Characteristic Leaching Procedure)<sup>22)</sup> 기준과 우리나라에서 미규제 하고 있는 중금속들을 분석하여 비교·검토하였다.

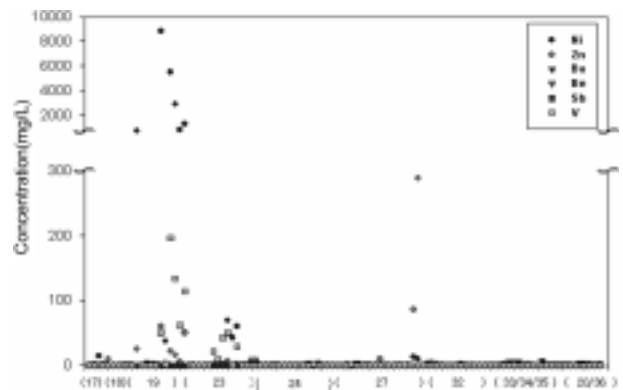
Table 4에서는 9개업종 108건의 폐기물 종류별 미규제 중금속에 대한 분석결과를 나타내었다. Fig. 3은 조사대상 업종의 폐수처리오니, 분진, 폐촉매 등의 검출농도를 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 미규제 중금속의 경우 폐수처리오니에서 Ni, Zn 등의 중금속이 일부 미국, 오스트리아 규제기준을 초과하는 것으로 나타났으며, 일부 분진 및 소각재에서도 Ni, Zn 및 V이 높게 검출되는

것으로 나타났다. 또한 폐촉매는 Ni 및 V이 미국, 오스트리아의 규제 기준을 초과하는 것으로 나타나 향후 이에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 4에서 보듯이 Ni의 경우 폐기물 용출분석결과, 미국의 TCLP 기준인 11 mg/L을 초과하는 시료는 섬유제품 제조업(17), 가죽·가방 및 신발 제조업(19), 코크스·석유정제품 및 핵 원료 제조업(23)으로 나타났다. 이중 섬유제조업종에서는 정련·표백·중화·염색·후처리 공정 수세시 발생되는 폐수처리오니에서 기준을 초과하였으며, 이는 원사를 가공 처리하는 섬유제조업소에서 폐수처리시 오히려 반응조에서 탈수 전 무기 응집제로서 25% FeCl<sub>3</sub>를 사용하는데 FeCl<sub>3</sub> 원료 가공시 Ni이 첨가되어 폐수처리오니 중 Ni이 검출되는 것으로 판단된다. 또한 코크스·석유 업종

**Table 3.** Regulation standard limit of other country<sup>14,15)</sup>

Element	Limit(mg/L)	Reference
Ni	11/10	USA/Austria
Zn	100	Austria
Ba	100	USA · Canada
Be	1.22	USA
Sb	5	Austria
Se	1	USA · Japan · Canada
V	20	Austria



**Fig. 3.** Leaching results of unregulated heavy metals (Exempted Se due to undetected on all samples)\*.

**Table 4.** Average concentration of heavy metals in wastes(unit; mg/L)

Heavy metal / Waste type	Ni	Zn	Ba	Be	Sb	Se	V
Wastewater treatment sludge	1.02 (ND ~ 13.43)	8.888 (ND ~ 288.530)	1.083 (0.084 ~ 6.716)	ND (ND)	0.003 (ND ~ 0.135)	ND (ND)	0.055 (ND ~ 1.667)
Process sludge	0.02 (ND ~ 0.14)	0.988 (0.065 ~ 9.146)	0.961 (0.071 ~ 5.327)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)	0.004 (ND ~ 0.055)
Dust	1121.26 (ND ~ 8824.20)	33.189 (ND ~ 398.960)	1.338 (ND ~ 5.886)	0.088 (ND ~ 0.427)	0.040 (ND ~ 0.628)	ND (ND)	53.510 (ND ~ 401.019)
Catalyst	35.97 (2.30 ~ 69.42)	1.879 (0.137 ~ 6.614)	0.537 (ND ~ 1.008)	ND (ND)	0.079 (ND ~ 0.397)	ND (ND)	20.010 (0.037 ~ 42.149)
Wood	0.03 (ND ~ 0.08)	1.267 (0.471 ~ 1.555)	2.332 (1.232 ~ 2.890)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
Cinder	0.27 (ND ~ 2.40)	48.285 (ND ~ 433.630)	0.389 (0.020 ~ 1.172)	ND (ND)	0.144 (ND ~ 1.071)	ND (ND)	0.042 (ND ~ 0.253)
Molding sand	0.01 (ND ~ 0.02)	0.440 (0.166 ~ 0.883)	1.278 (0.589 ~ 2.381)	0.002 (ND ~ 0.005)	ND (ND)	ND (ND)	0.043 (ND ~ 0.126)
Adsorbent	0.06 (ND ~ 0.02)	0.359 (0.133 ~ 0.605)	1.257 (0.465 ~ 2.642)	ND (ND)	0.011 (ND ~ 0.034)	ND (ND)	6.8 (0.001 ~ 20.549)
Sand	ND(ND)	0.165 (0.165)	0.872 (0.872)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
Fiber	0.01(0.01)	0.100 (0.100)	0.402 (0.042)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)

\* ND : Not Detective

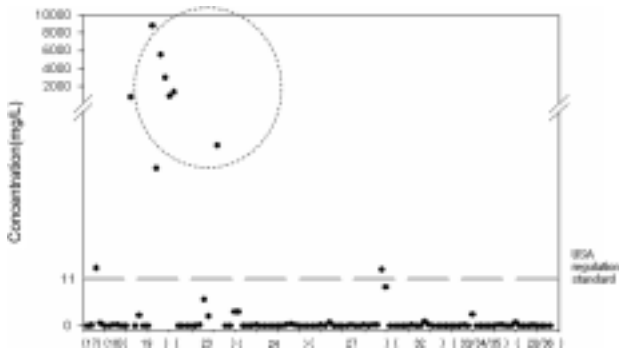


Fig. 4. Leaching results of Ni in wastes.

중 발생한 분진과 폐촉매, 1차 금속산업으로 분류된 비철 금속, 제2차 제련, 재활용품재생 등의 업소는 주로 Au, Pt, In 등 유가금속을 회수하는 공정 중 발생한 폐수처리오니 중에서 Ni이 고농도로 검출되었다. 일반적으로 Ni의 위해성은 피하·근육 및 호흡을 통한 노출시 발암 가능성이 있고, 만성중독으로 신경계, 호흡계 및 피부에 대하여 독성이 있는 것으로 추정되며, 우리나라의 토양과 대기 매질에서는 규제하고 있으나 폐기물에서는 미규제 되어 있어 향후 Ni의 관리가 필요하다고 판단된다.

Zn와 V는 오스트리아에서 각각 100 mg/L와 20 mg/L로 규제하고 있는데 이들 기준을 초과하는 폐기물을 Fig. 5와 6에서 나타내었다. Zn는 오스트리아 규제기준을 초과하는 시료는 소수이지만 전체적으로 검출되는 경향을 보였으며, 가죽·가방 및 신발 제조업(19)의 소각재, 1차 금속산업(27)의 분진, 폐수처리오니에서 수백 mg/L의 농도로 검출되어 규제기준을 초과했고 9개 업종의 모든 시료에서 Zn이 검출되는 것으로 나타났다.

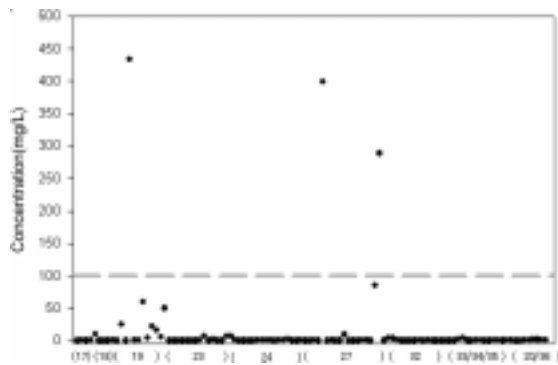


Fig. 5. Leaching results of Zn in wastes.

- \* (17); Textile goods production
- (18); Sewing clothes and Fur goods production
- (19); Leather·Bag and Shoes production
- (23); Cokes·Petroleum refining goods and nuclear raw material production
- (24); Chemical compound and Chemical goods production
- (27); Primary metalworking industry
- (32); Electron parts·Images·Sound·Communication equipment production
- (33/34/35); Other instrument
- (20/36); Wood and Furniture

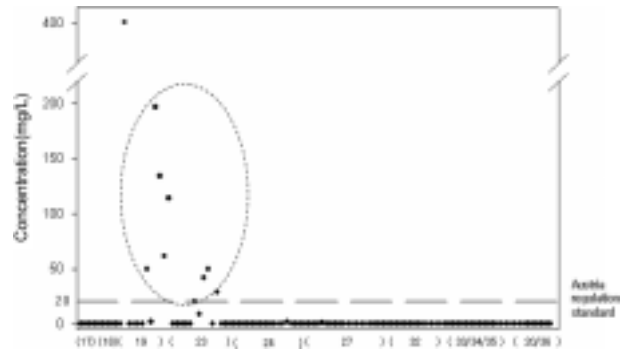


Fig. 6. Leaching results of V in wastes.

V는 합금제조, 사진현상, 염색, 세라믹, 잉크 및 촉매를 생산하는 산업에서 주로 사용된다고 알려져 있으며, 주요 발생원으로 강철 합금제조 공정시, 석탄 및 석유 등 화석 연료 연소시 바나듐이 배출될 가능성이 높은 금속이다. 실제로 코크스·석유정제품 및 핵 원료 제조업(23)에서 채취 해온 시료 중 석유 제조시 발생하는 폐기물로 분진과 폐촉매에서 높은 농도로 검출되는 것으로 조사되었다.

미규제 중금속 Ba, Be, Sb, Se은 비교적 낮은 농도로 미국, 캐나다, 오스트리아의 규제기준과 많은 차이를 보이는 것으로 나타났다.

따라서 기존 항목(Cu, Pb, Cd, Cr(VI), As, Hg, CN)이 규제기준 이내로 검출되어 일반폐기물로 관리되고 있어 도 Ni, Zn, V의 미규제 항목의 배출특성을 고려하면 지정폐기물로 관리되어야 할 폐기물의 양은 증가될 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 낮은 농도로 검출되는 Ba, Be, Sb, Se의 미규제 중금속은 현재 선진국 및 우리나라 대기, 먹는 물 규제항목으로 선정되어 관리되고 있어, 향후 이들 항목에 대한 폐기물 배출 가능업종의 배출특성 조사가 필요한 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 봉제의복 및 모피제품 제조업, 코크스·석유정제품 및 핵 원료 제조업, 화합물 및 화학제품 제조업, 1차 금속산업 등 9개 업종에서 채취한 10종의 폐기물을 대상으로 미규제 중금속류 7종(Ni, Zn, Ba, Be, Sb, Se, V)의 용출 특성을 파악한 결과는 다음과 같다.

- 1) Ni은 섬유제품 제조업(17)의 폐수처리오니에서 ND~13.4 mg/L로 검출되었으며, 가죽·가방 및 신발 제조업(19), 코크스·석유정제품 및 핵 원료 제조업(23)의 분진에서 수백~수천 mg/L까지 상대적으로 높게 검출되었다.
- 2) Zn는 가죽·가방 및 신발 제조업(19)의 소각재와 1차 금속산업(27)의 분진, 폐수처리오니에서 수백 mg/L의 농도로 검출되었고 9개 업종의 모든 시료에서 Zn이 검출되는 것으로 나타났다.
- 3) 코크스·석유정제품 및 핵 원료 제조업(23)에서 채취 해온 시료 중 석유 제조시 발생하는 분진과 폐촉매에서 V

이 수백 mg/L 농도로 검출되는 경향을 보였다.

4) Ba, Be, Sb, Se의 미규제 중금속은 낮은 농도로 검출되었으나, 폐기물 배출가능업종의 용출특성 조사가 필요한 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. USA, Toxic Substance Control Act Inventory(1991).
2. 남궁완, 이동훈, 폐기물처리공학, 동화기술(2001).
3. 박정균, 이병수, 김혜옥, 전광식, 최철호, 최신 유해물질 관리, 동화기술(1998).
4. 박형숙, 환경독성학, 동화기술(2006).
5. 환경부, 유해화학물질 함유제품 관리현황 및 향후과제 (2005).
6. Babara F. Bass, Toxic Watch, Inform, Inc.(1995).
7. George Tchobanoglous and Hilary Theisen, Integrated Solid Waste Management, McGraw-Hill, Inc.(1993).
8. Travis P. Wagner, Hazardous Waste Regulations, John Wiley & Son Inc.(1999).
9. D. Kofi Asante-Duah, Hazardous Waste Risk Assessment, Lewis Publishers(1993).
10. 환경부, 폐기물관리법(2004).
11. U.S Environmental Protection Agency Home Page, <http://www.epa.gov/epaoswer/osw/laws-reg.htm>, 40CFR Part 261.
12. EPA, RCRA Orientation Manual(2006).
13. U.S Environmental Protection Agency Home Page, <http://www.epa.gov/epadswer/hazwaste>.
14. 국립환경과학원, 지정폐기물 중 신규 유해물질의 항목설정 및 시험방법 확립에 관한 연구(I), (2004).
15. 국립환경과학원, 지정폐기물 중 신규 유해물질의 항목설정 및 시험방법 확립에 관한 연구(II), (2005).
16. 한국환경자원공사, 폐기물적법처리시스템(2005).
17. U.S Environmental Protection Agency Home Page, <http://www.eap.gov/sw-846/main.htm>.
18. U.S Environmental Protection Agency Home Page, [http://www.eap.gov/sw-846/3\\_series.htm](http://www.eap.gov/sw-846/3_series.htm).
19. U.S Environmental Protection Agency Home Page, [http://www.eap.gov/sw-846/3\\_series.htm](http://www.eap.gov/sw-846/3_series.htm).
20. 국립환경과학원, 내분비계장애물질 측정분석방법(2002).
21. 환경부, 폐기물공정시험방법(2004).
22. U.S Environmental Protection Agency Home Page, <http://www.eap.gov/sw-846/pdfs/1311>.