

인증표준물질을 이용한 중금속류와 플루오르화물 전처리방법 비교 연구

전태완 · 정다위* · 신선경 · 최훈근 · 정영희

국립환경과학원 환경보건안전부 제품안전성평가과
(2006. 1. 23. 접수, 2006. 2. 17. 승인)

Evaluation of analytical methods for several metals and fluoride by certified reference materials

Tae Wan Jeon, David Chung*, Sun Kyoung Shin, Hun Geun Choi and Young Hee Chung

Products Safety Assessment Division, Environmental Health and Safety Department,
National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea

(Received January 23, 2005, Accepted February 17, 2005)

요 약 : 본 연구는 유해폐기물에 의한 환경오염을 예방하기 위해 폐기물 시험방법과 신규 항목을 설정하기 위해 수행하였다. 국내외 유해폐기물의 규제기준, 시험항목 등을 조사검토하여 유해물질에 대한 우선순위를 선정하였다. 선정한 Ba, Be, Cr(VI), F, Ni, Sb, Se, V 8종의 유해물질을 함유한 오니, 폐유, 소각재 등 폐기물 인증표준물질을 사용하여 전처리방법을 비교분석하였다. 이 결과를 통해 시험방법(안)을 확립하고, 관련 항목 배출 가능성이 있는 표본사업장을 선정하여 시료 37건을 채취분석하였다.

Abstract : This study was performed to establish new methods for hazardous substances and to develop an analytical method in specified wastes for preventing the environmental pollution caused by hazardous wastes. Therefore, the trends of international management, regulatory criteria, and items of hazardous wastes in various countries were investigated. Based on this study, target priority of new hazardous substances in specified wastes was established. An analytical method was developed using the waste standard reference materials of sludge, oil, bottom ash, etc., which contain the new hazardous substances (Ba, Be, Cr(VI), F, Ni, Sb, Se, and V). A total of 37 waste samples from the representative facilities, which are emitting new hazardous substances, were analyzed.

Key words : certified reference material, Ba, Be, Ni, Sb, Se, V, F, Cr(VI), waste, FAAS, ICP-AES, sludge, oil, ash, sediment, analysis

1. 서 론

1995년 5월 발효된 바젤협약¹의 이행을 위한 「폐기물의 국가간 이동 및 그 처리에 관한 법률」에서는 국

가간 수출입을 규제하는 규제대상 폐기물을 118개 품목으로 지정고시하고 있다.² 현행 우리나라 폐기물관리법³의 용출시험항목 11종 이외에 안티모니(Sb), 베릴륨(Be), 셀레늄(Se) 등의 중금속과 PCT, PCN, PBB,

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)32-560-7288 Fax : +82-(0)32-568-2041

E-mail: david426@me.go.kr

지방족화합물의 할로겐화탄화수소 등의 유기화합물을 포함하고 있다. 또한, '05년 1월 발효 예정인 런던협약 '96의정서에 의해 오니의 해양배출 규제기준이 강화되어, 해양생물이 직접 섭취하고 먹이연쇄를 통해 유해물질이 축적되어 인간의 건강에 영향을 끼칠 수 있어 용출시험방법⁴을 해양투기 폐기물에 적용하는 것은 불합리하다는 이유로 폐기물의 해양 투기할 때 총함량법을 채택하고 있다.⁵

이에 본 연구에서는 '폐기물의 국가간의 이동 및 그 처리에 관한 법률'에 의해 수출입이 통제되고 있는 유해폐기물 목록, 슬러지의 해양배출 금지에 따른 해양배출 판정기준을 위한 오염물질 항목, 선진국 및 국제기구의 유해폐기물 규제기준 및 시험항목 등을 종합적으로 검토하여 우선적으로 추가되어야 할 지정폐기물 중 신규 유해물질을 선정하였다. 또한, 이를 근거로 중금속의 함량 시험방법(안)을 마련하였으며, 이 방법으로 표본 사업장에 대한 적용시험 및 배출특성을 파악하여 향후 규제기준을 설정하고 국제적 관리동향에 적극 대처하기 위한 기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

인증표준물질은 환경시료와 같은 매질의 표준물질로서 매질을 통해 발생할 수 있는 여러 영향을 고려할 수 있다. 매질의 표준물질은 표준용액이나 스파이크 시료보다는 좀 더 실제적이고 응용성 있는 자료를

제공할 수 있는 장점이 있으며, 생체시료,^{6,8} 분진,⁹ 먼지¹⁰ 등 다양한 매질분석에 활용해 왔다. 특히, 매질에 따라 산에 대한 용해도가 다소 달라¹¹ 산 종류의 선택도 전처리 과정 중 중요한 인자로 작용한다. 분석 결과 값을 인증물질 농도와 비교할 때 총 농도뿐만 아니라 불산이 아닌 질산과 같은 산에 의한 추출 농도 값¹²과도 비교했다.

이에 인증표준물질을 이용하여 다양한 전처리방법에 의한 회수율을 비교하고 중금속 함량시험방법의 적용 가능성을 검토하였다. 함량시험방법 검토를 위해서 Ba, Be, Cr(VI), F, Ni, Sb, Se, V, Zn이 함유된 인증표준물질을 이용하여 시험방법을 평가하였다. 또한, 오염물질을 배출 가능한 사업장을 선정하여 시료채취하고 적용실험을 수행하였다.

2. 실 험

2.1. 시약 및 기구

정제수는 증류 및 탈이온화한 3차급의 증류수를, 질산과 염산은 Matsuno사의 유해금속측정용급, 과산화수소수는 Wako사의 원자흡광분석용급, 불산은 J.T. Baker사의 ACS 시약급을, 그 외 시약들은 특급이상을 사용하였다. 검량용 표준용액은 미국의 AccuStandard사의 100 mg/L 농도의 제품을 2% HNO₃ 용액으로 희

Table 1. The concentration of reference materials

(Unit : mg/kg)

Substance	Lubricating Oil		Coal fly ash		Domestic Sludge	Industrial Sludge		Sediment		Soil
	NIST 1084a	NIST 1633b	BCR 038	NIST 2781	NIST 2782	MESS3	STSD2	NIST 2711	ERA 921	
Ba		709		(570)	(152)		540	726 (200)		
Be						2.3	5.2			
Ni	99.7	120.6		80.2 (72.3)	154.1 (95.9)	46.9	53	20.6 (16)		
Sb						1.02	4.8	19.4 (ND)		
Se		10.26		16.0	0.44	0.72		1.52 (ND)		
V	95.9	295.7		(81.9)		243	101	81.6 (42)		
Zn				1,273 (1,120)	1,254 (1,167)	159	246	350.4 (310)		
Cr(VI)									76.7	
F			538				940			

*() : Leachable concentration by EPA 3050 method

석해 사용하였다.

부피플라스크와 피펫 등의 유리초자는 A급을 사용하였고 불산 이용을 위해서는 테플론(teflon) 초자를 사용하였다. 모든 초자는 약 10% 질산에서 24시간 이상 담근 후에 증류수로 세척하고 건조하여 사용하였다.

Ba, Be, Sb, Se, V 분석은 Jobin Yvon사의 유도쌍플라스마원자발광분광기(ICP-AES)를, Ni, Zn 항목 분석을 위해서는 Perkin-Elmer사의 불꽃원자흡수분광기(FAAS)를, Cr(VI), F은 Agilent사의 자외선가시광선분자흡수분광기(UV-VIS)를 이용하였다.

2.2 인증표준물질

실험에 사용한 인증표준물질(Certified Reference Material)은 미국의 NIST 1084a(lubricating oil), 2781(domestic sludge), 2782(industrial sludge), 1633b(fly ash), 2711(soil)과 ERA사의 cat #921(soil), 캐나다의 CANMET STSD2(sediment), NRCC MESS2(sediment), 벨기에의 BCR 038(fly ash) 총 9종을 사용하였다. 인증물질의 항목별 농도범위는 Table 1과 같다.

2.3 시료

화합물 및 화학제품제조업, 제1차 철강산업, 하수처리업 등 12개 업종의 폐기물 배출업소에서 폐수처리오니, 공정오니, 하수처리오니 등 37건의 시료를 채취

하였다. 채취한 시료는 조제와 분석 전까지 4°C 냉장 보관하였다. 시료조제는 수분이 많은 오니의 경우 이물질을 제거한 후 혼합하는 균질화 작업을 거쳐 시료로 사용하였다. 그러나 분진 등의 채취시료는 1차적으로 플라스틱 재질의 직경 5 mm 체로 거른 후에 입자 크기가 300 μm 이하로 분쇄하였다¹³.

2.4 실험 방법

2.4.1. 함수율 측정

폐기물공정시험방법 제4장 제2항에 제시된 것과 같이 증발접시를 미리 105~110°C에서 1시간 건조시킨 다음 데시케이터 안에서 방냉하고 항량을 확인한 후 무게를 정밀히 달고 여기에 시료 적당량을 취하여 증발접시와 시료의 무게를 정밀히 측정하였다. 다음에 물증탕에서 수분을 거의 날려 보내고 105~110°C의 건조기안에서 4시간 건조시킨 다음 데시케이터 안에 넣어 방냉하고 항량으로 하여 무게를 정밀히 달아 수분량을 계산하였다. 계산한 함수율을 이용해 시료분석 결과를 건중량으로 나타내었다.

2.4.2. Ba, Be, Ni, Sb, Se, V, Zn 분석방법

함량시험방법 확립을 위해 검토한 산분해 방법은 우리나라, 미국, 일본의 일반적인 산분해 방법으로, I, II, III 세 가지로 분류하여 수행하였다. 산 분해 I과 III은 우리나라 폐기물공정시험방법(KSM)⁴과 일본의

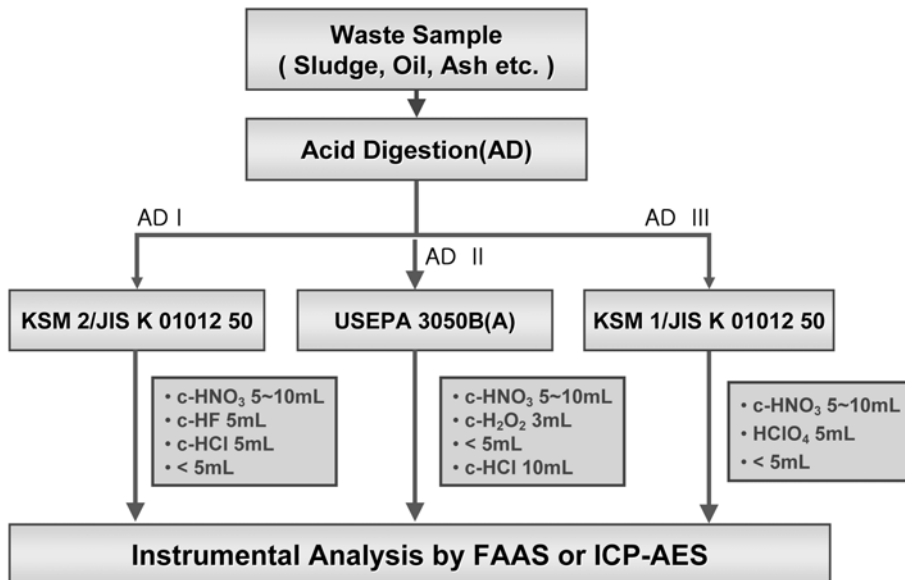


Fig. 1. The methods of acid digestion I, II and III.

Table 2. The analytical method of Cr(VI)

Method		Procedure	Remark
Preparation	Alkali digestion	- Sample : ≤ 2.5 g - Digestion solvent ¹⁾ : 50 mL - Add $MgCl_2$ 400 mg + 1 M phosphate buffer 0.5 mL - Stirring time : 60 min - Temp. : 90~95°C	USEPA 3060A
	Filteration	- 0.45 μm cellulose filter - Adjust pH 7.5 ± 0.5 by 5 M HNO_3	
Instrumental Analysis	Coloring	- Sample : 95 mL - Add Diphenylcarbazide soln. 2.0 mL, - Adjust pH 2 ± 0.5 by 10% H_2SO_4 - Waiting time : 5~10 min	USEPA 7196A
	Wavelength	UV-VIS(540 nm)	

1) Digestion solvent : NaOH 20 g/L + Na_2CO_3 30 g/L

Table 3. The analytical methods of F

Method	Procedure	
	Zirconium-SPANDS (FM I)	Lantan-Alizinin Complexon (FM II)
Preparation	Decomposition	-
Preparation	Digestion	-
	Distillation	-
Instrumental Analysis	Coloring	-
	Wavelength	-

시험방법(JIS)¹⁴을 참고로 하여 Fig. 1에서 보는바와 같이 HNO_3+HF 과 HNO_3+HClO_4 를 사용했으며, 산 분해 II는 미국 EPA 3050B¹⁵에서 제시한 $HNO_3+H_2O_2+HCl$ 을 사용하여 전처리 하였다. 그리고 기기분석은 Ba, Be, Sb, Se, V은 ICP-AES로, Ni, Zn은 FAAS로 측정하였다.

2.4.3 Cr(VI) 분석방법

Cr(VI) 분석은 미국 3060A 알칼리 분해방법과 7196A 발색 시험방법을 검토하였다. Table 2에 나타낸 것과 같이 시료를 NaOH 알칼리용액으로 분해하여 Cr(VI)를 추출하는 방법으로 추출액을 디페닐카르바지드와 발색시켜 UV-VIS로 측정하는 방법이다.

2.4.4 F 분석방법

F는 우리나라 토양공정시험방법인 지르코늄-스판드스법(FM I)과 일본 하수오니시험방법인 란탄-알리자닌-알리자닌-알리자닌(FM II)을 비교 검토하여 Table 3에 정리 하였다. 미국 EPA 5050 방법도 검토하였으나 일반 실험실에서 사용하기에는 장비나 초자가 적합하지 않았다. 그러나 이 방법은 FM I방법과 비슷한 방법이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 인증표준물질

3.1.1 Ba, Be, Ni, Sb, Se, V, Zn 분석결과

Ba, Be, Ni, Sb, Se, V, Zn의 분석방법 확립을 위해 인증표준물질을 산분해 I, II, III 방법으로 전처리하여

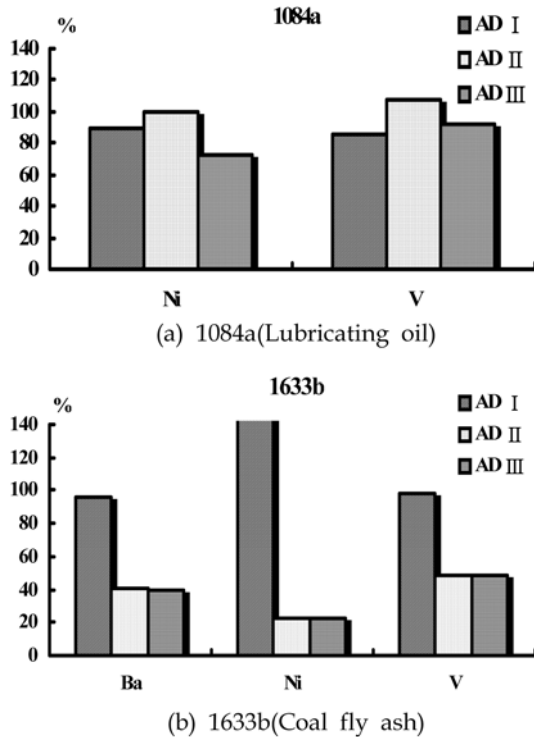


Fig. 2. The recovery of metals in NIST 1084a and 1633b.

분석하였다. Fig. 2는 윤활유(lubricating oil)와 석탄비산재(coal fly ash) 인증표준물질을 이용한 분석결과를 정리한 것이다. Fig. 2의 (a)에서 보느냐와 같이 Ni, V 회수율 범위가 각각 72.3~99.4%, 85.1~108%로 나타났고, 질산, 과산화수소수, 염산을 사용한 AD II이 비교적 높은 회수율을 보여 주었다. Fig. 2(b)의 석탄재(coal fly ash)의 경우에는 질산, 불산, 염산을 사용한 AD I이 다른 AD II와 III에 비해 Ba, Ni, V 농도가 2배 이상의 높은 회수율을 나타내어, 소각재 중의 규소화합물로 인한 결과로 판단되었다. Se은 함량농도가 낮고 매질 특성상 회수율이 700% 이상으로 다소 과대 평가되는 경향이 있었고, 시료 중 10 mg/kg 이하의 정량은 어려웠다.

Fig. 3은 하수처리오니(domestic sludge)와 폐수처리오니(industrial sludge) 폐기물 인증표준물질을 이용한 분석결과를 정리한 것이다. Fig. 3의 (a)에서 보느냐와 같이 Ni, Se, Zn 회수율 범위가 각각 73.2~126.5%, 263~265%, 85.0~140%로 나타났다. 또한, Se의 경우는 표준물질 함량농도가 너무 낮아 과대평가되어 나타났고 불산을 사용한 결과가 전반적으로 높게 나타나 불산의 영향으로 판단되었다. Ni의 경우 AD II 전

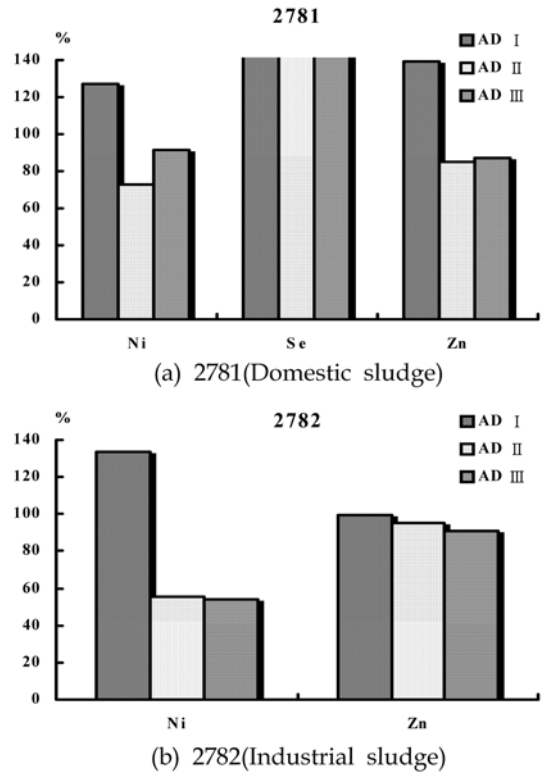
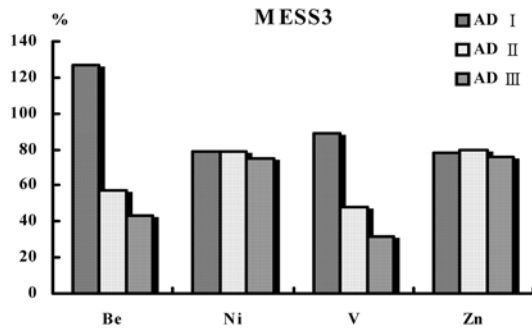


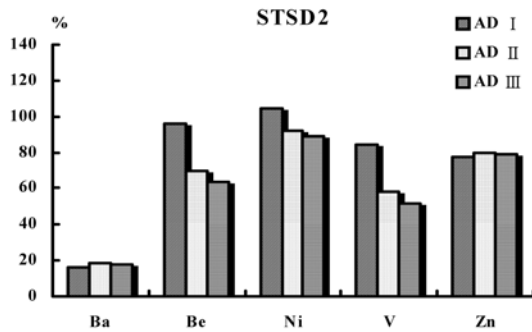
Fig. 3. The recovery of metals in NIST 2781 and 2782.

처리 결과가 다소 낮지만 추출농도 72.3 mg/kg과 비교할 때는 80% 이상의 회수율을 나타냈다. Fig. 3(b)의 경우에는 Ni 분석이 불산을 이용한 AD I 전처리 방법이 다소 과대 평가되는 결과를 나타냈고 AD II, III의 회수율이 50% 전후로 나타났는데 시료 속에 있는 규소화합물에 의한 것으로 판단되고¹² 불산이 아닌 일반 산에 의한 추출농도 95.9 mg/kg과 비교하면 80% 이상의 회수율을 나타냈다. Zn의 회수율은 91.3~99.7% 결과를 나타냈고 Se은 함량 농도가 낮아 검출되지 않았다.

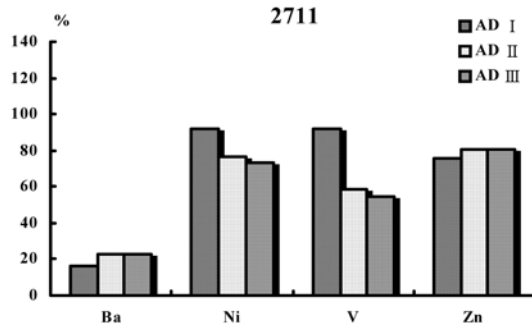
Fig. 4는 저질(sediment)과 토양(soil) 인증표준물질을 이용한 분석결과를 정리한 것이다. Fig. 4의 (a)에서 보느냐와 같이 Ni, Zn 각각 75.0~78.8%, 75.8~79.4%로 나타났다. Be와 V은 AD II, III 전처리 결과가 인증농도보다 50% 이하의 낮은 결과를 나타냈는데 이는 NIST 2782와 같이 질산이나 염산에는 녹지 않는 화합물이 있음으로 판단된다. Se은 함량농도가 낮아 과대평가되는 경향을 보여 주었다. Fig. 3(b)의 Ni와 Zn이 각각 89.1~105%, 77.2~79.4%의 회수율을 나타내어 적절한 전처리 방법으로 평가되었다. Be, V



(a) MESS3(sediment)



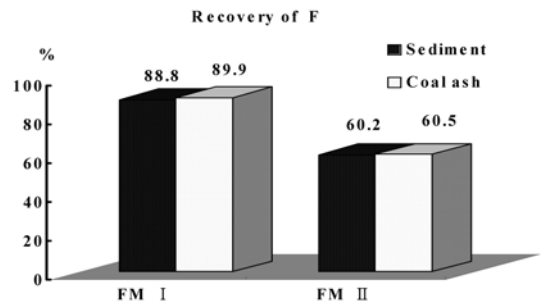
(b) STSD2(sediment)



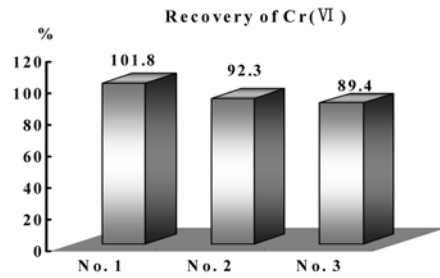
(c) 2711(soil)

Fig. 4. The recovery of metals in MESS3, STSD2 and NIST 2711.

은 MESS3와 같이 비슷한 경향을 나타냈고 Ba의 경우는 20% 미만의 회수율을 나타내었다. Fig. 3(c)의 토양 매질에서는 Ni, Zn의 회수율이 각각 73.5~92.0%, 75.3~80.8%로 나타났고 V은 60% 미만의 회수율을 나타냈다. Ba은 30% 미만의 회수율을 나타냈으나 추출농도 200 mg/kg과 비교할 때는 80% 이상의 회수율을 나타냈다. 그러나 불산을 이용한 전처리 방법은 이 경우에는 적당하지 않은 것으로 나타났다.



(a) STSD2 and BCR 038



(b) ERA 921

Fig. 5. The recovery of F and Cr(VI) in CRM.

3.1.2. F과 Cr(VI)

Fig. 5(a)에 나타낸바와 같이 FM I과 FM II 방법을 비교 검토한 결과, 유기물을 완전히 분해하는 전처리 과정을 포함하고 있는 지르코늄-스펜드스 방법이 평균회수율 88.8%와 89.8%로 일본의 하수오니 방법의 평균회수율 60.2%와 60.5%로 비해 인증표준물질 분석결과 높은 회수율을 나타내었다. 그러나 규제기준, 폐기물 종류 등을 고려할 때 제시된 두 분석방법이 모두 F의 함량을 분석하기에는 적합한 것으로 판단되었다.

Cr(VI)은 미국 3060A 알칼리 분해방법과 7196A 발색시험방법을 검토하였다. 그 결과, CRM에서 높은 회수율을 얻었고 시료 적용성에 있어 큰 문제점이 없었다. 그러나 여과 후 pH 조절과정에서 급하게 진행해서는 안 되고 과정마다 부피를 맞추는 숙련된 기술이 필요했다. Fig. 5(b)에 인증표준물질 분석결과를 보는바와 같이 Cr(VI)의 분석결과 3회 반복 실험한 평균 회수율이 94.5%로 만족할 만한 결과를 얻었다. Cr(VI)의 인증표준물질이 매질별로 다양하지 않아 토양에 대한 검토가 주로 이루어졌지만 향후 스파이크 기술을 이용한 적용성 검토가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

Table 4. The results of metal contents

(Unit : mg/kg)

Facility	No.	Hazardous substances						
		Sb	Ni	V	Ba	Zn	Be	Se
Battery and cell	FC-S-1	ND	3.0	ND	320	ND	ND	20.1
	FC-S-2	14.6	2.7	ND	ND	ND	ND	16.9
	FC-S-3	30.6	ND	ND	0.14%	19.4	ND	13.5
Chemicals	CM-S-1	134	ND	6.1	2.4	ND	ND	ND
	CM-S-2	64.9	3.91%	21.0	121	624	ND	80.2
Cable	Y5-01	433	-	-	4.86	-	ND	403
	Y5-08	ND	-	-	0.34%	-	ND	347
Domestic treatment	WT-S-1	63.1	28.5	24.8	462	981	ND	66.0
	WT-S-2	137	984	45.7	588	0.20%	ND	81.7
	WT-S-3	50.7	59.3	14.4	677	0.14%	ND	53.5
	WT-S-4	152	238	34.5	0.16%	860	ND	ND
	WT-S-5	50.3	109	15.7	614	0.13%	ND	ND
Electronics	Y5-09	ND	-	-	0.62%	-	ND	ND
Electric Power	Y5-10	126	-	-	0.11%	-	ND	ND
Glass	GP-F-1	572	3.7	52.8	198	33.6	1.0	80.0
Metal	MM-S-1	ND	28.5	18.9	33.1	48.8	ND	137
	Y5-05	364	-	-	48.0	-	ND	125
Non-metal	FN-S-1	ND	89.4	ND	42.8	27.3%	ND	ND
	FN-S-2	ND	0.52%	ND	1.4	3.9%	ND	30.8
Steel	FS-S-1	58.9	64.5	127	13.7	0.31%	ND	ND
	FS-S-2	73.0	109	77.4	3.8	3.8%	ND	341
	FS-F-1	138	235	45.8	91.7	16.6%	ND	175
	FS-S-3	269	0.45%	30.4	30.4	1.8%	ND	265
	FS-S-4	48.9	11.7	ND	ND	8.9%	ND	ND
	FS-S-5	848	4.4	3.0	161	1.1%	ND	0.80%
Limit of Detection		5	2	1	0.6	10	0.1	10

* ND : Not Detected

3.2 현장시료 분석결과

3.2.1 Ba, Be, Ni, Sb, Se, V, Zn

Table 4에 나타낸 바와 같이, Sb는 불연소재로 사용하는 철강, 케이블, 금속제조업에서 채취한 시료가 높은 농도를 나타내었으며, 검출농도 범위는 14.6~848 mg/kg로 나타났다. Ni은 주로 철강, 비철금속, 화학물질 제조업에서 높은 농도로 나타났고 검출된 농도범위 2.7 mg/kg~ 3.91%로 나타났다. V은 하수처리, 철강제조업 시설에서 다소 높은 농도가 나타났고 대부분 낮은 농도 범위를 보였다. 검출된 농도범위는 3.0~345 mg/kg 이었다. Ba의 검출된 농도범위는 1.40 mg/kg~0.62%이었으며, 반도체, 배터리, 하수처리, 전선 제조업 시설에서 비교적 높은 농도를 나타내었다. Zn의 경우 철강제조시설에서 0.31%~ 16.6% 단위의 농도를

나타냈고 비철금속제조, 하수처리 시설에서도 비교적 높은 농도를 나타내었다. 검출된 농도 범위는 4.8 mg/kg~27.3% 이었다. Zn의 경우 기기 검출감도가 좋은 원소이지만 시료 분석할 때 실험실 환경에 의한 바탕시료가 오염되는 경우가 많아 실제적으로 10 mg/kg 이하의 분석이 어려울 것으로 판단한다. Be은 유리제조 시설을 제외하고 조사대상 시료에서 모두 불검출로 나타났다. Be은 우리나라에서 사용량이 적고 대기분야에서도 특정유해물질로 언급하고 있으나 기준이 설정되어 있지 않다. Se의 경우도 전반적으로 낮은 농도를 나타내고 있었으며 철강제조시설에서 265 mg/kg~0.80%, 전기제품제조시설에서 347~403 mg/kg의 비교적 높은 농도를 나타냈고 시료 중 검출된 농도범위는 13.5 mg/kg~0.8%로 나타났다.

Table 5. The results of F and Cr(VI) contents

(Unit : mg/kg)

Facility	No.	Type	Compounds	
			F	Cr(VI)
Cable	Y5-01	Treatment sludge	-	10.2
Electronics	Y5-03	Treatment sludge	16.0	10.6
	Y5-07	Treatment sludge	84.0	29.4
Metal	Y5-05	Treatment sludge		31.4
	Y5-18	Waste sand	440	-
Non-metal	PC-A1	mineral	-	40.5
	PC-A3	mineral	-	38.5
	PC-A4	mineral	-	27.6
Glass	Y5-06	Treatment sludge	-	4.9
	Y5-19	Dust	553	-
	Y5-20	Dust	562	-
Hospital	Y5-13	bottom ash	ND	-
Incinerator	Y5-11	fly ash	ND	-
	Y5-14	fly ash	450	-
Limit of Detection			0.2	0.2

*ND : Not Detected

3.2.2. F, Cr(VI)

불소는 소각시설의 비산재와 유리제조시설의 분진 등에서 비교적 높은 농도가 나타났고 검출된 농도 범위는 Table 5와 같이 16.0~553 mg/kg으로 나타났다. Cr(VI)는 검출된 농도범위가 4.9~40.5 mg/kg으로 광석이나 금속처리시설에서 발생하는 오니에서 비교적 높은 농도로 나타났다. 분석할 때 시료에 따라 여과과정에서 시간이 많이 걸리고 일정한 부피 조절에 어려움이 있었지만 시료 적용성에 있어 큰 문제점이 없었다.

4. 결 론

유해물질 항목을 Ba, Be, Cr(VI), Ni, Sb, Se, V, Zn 8종으로 선정하고 이들 유해물질을 함유한 오니, 폐유, 소각재 등 폐기물 인증표준물질을 사용하여, 전처리 시험방법을 비교하고 선정된 유해물질을 배출하는 표본사업장에서 시료를 채취분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 산 분해 I, II, III 방법이 폐기물 전처리에 있어 적용 가능한 기술임을 확인할 수 있었지만 불산 처리방법이 다소 과대 평가되는 경향이 있었다.

둘째, 석탄재의 경우에는 불산(HF)을 사용한 산 분해 I이 다른 산 분해법보다 2배 정도의 높은 회수율을 나타냈고 일부 오니와 토양에서도 불산을 이용해야

높은 회수율을 나타내는 경우가 있었다.

셋째, 불소의 함량시험방법은 유기물의 완전분해 과정을 포함하고 있는 지르코늄-스펜드스 방법이 일본의 하수오니 방법에 비해 인증표준물질 분석결과 높은 회수율을 나타내었다.

넷째, Cr(VI) 분석을 위해 사용한 알칼리분해 방법이 94.5% 회수율을 얻었지만 향후 다양한 매질에 대한 적용성 검토가 수행되어야 할 것이다.

다섯째, 채취한 시료분석결과, Sb은 철강제조시설에서 848 mg/kg, Ni은 화학물질제조시설에서 3.91%, V은 하수처리시설에서 345 mg/kg, Ba은 반도체제조시설에서 0.62%, Zn은 비철금속제조시설에서 27.3%, Se은 철강제조시설에서 0.80%로 가장 높은 농도를 나타냈다. 그러나 Be은 조사한 시설에서 거의 검출되지 않았다.

참고문헌

1. Basel Convention, "Technical guidelines on hazardous wastes", 2000.
2. 환경부, "폐기물의 국가간 이동 및 그 처리에 관한 법률", 1999.
3. 환경부, "폐기물관리법", 2004.
4. 환경부, "폐기물공정시험방법", 2004.

5. 해양수산부, “하수오니 해양배출 평가체제 개발연구”, 2004.
6. Michael Raessler, J. Rothe and I. Hilke, *Science of the Total Environment*, **337**, 83-90 (2005).
7. P. Rajendra K. Reddy and S.J. Reddy, *Chemosphere*, **34**(9/10), 2193-2212 (1997).
8. M. Kan, S.N. Willie, C. Scriver and R.E. Sturgeon, *Talanta*, **68**, 1259-1263 (2006).
9. J. Sysalova and J. Szakova, *Environmental Research*, article in press (2006).
10. A. Profumo, G. Spini, L. Cucca and M. Pesavento, *Talanta*, **57**, 929-934 (2002).
11. R.A. Sutherland and F.M.G. Tack, *Advances in Environmental Research*, **8**, 37-50 (2003).
12. S.J. Nagourney, N.J. Tummillo Jr., J. Birri, K. Peist, B. MacDonald and J.S. Kane, *Talanta*, **50**, 25-34 (1999).
13. EPA, “CRA waste sampling technical guidance”, p199, SWER, USA, 2002.
14. 국립환경연구원, “일본의 하수오니 시험방법”, 2003.
15. EPA, “SW 846”, USA, 2004.