

## 부산지역 사업장폐기물의 중금속 함량 특성에 따른 재활용 가능성 연구

강성희\*, 황진하, 부경민, 유은희, 이희숙, 지화성, 김광환, 구서연, 송경주, 김경아

물환경연구부 토양폐기물팀

### A study on Recyclability according to heavy metal content characteristics from industrial wastes in Busan

Kang Sunghee\*, Hwang Jinha, Poo Kyung-Min, Yoo Eun-hee, Lee Hee-suk, Ji Hwaseong, Kim Kwanghwan, Gu Seo-Yeon, Song Gyeongju, Kim Gyung-ah

*Soil & Waste Division*

#### Abstract

The amount of waste production from industrial business in Korea has been steadily increasing, and about 70% of them were recycled as final disposal methods of waste on 2020. However, for the advanced hazardous waste management, it is expected that the amount of recyclable waste will decrease as the regulated materials for hazardous waste are going to adjusted and expanded.

In this study, the possibility of recycling as a soil cover and fill material was investigated through the leaching and content analysis of 'Sludges' among 34 industrial business wastes in Busan, and confirmed the change in recycling rate when the regulated materials were expanded.

To investigate the leaching and content characteristics in the samples, the concentrations of 7 regulated materials(As, Cd, Cu, Pb, Hg, Cr<sup>6+</sup>, CN), 6 non-regulated materials(Zn, Ni, Cr, Ba, Se, Sb) and 2 ions(Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>) were analyzed.

In the results of the leaching test, the concentration of Zn(5.9785~188.4200 mg/L), Ni(41.6950 mg/L) and Sb(0.3120 mg/L) were detected exceeding the proposed criteria. In the results of the content test, Zn(max concentration, 352656.04 mg/kg), Cu(61342.90 mg/kg), Pb(37271.91 mg/kg) and Sb(9978.02 mg/kg) were higher than the criteria.

According to current criteria, 16 waste samples from region 1, 18 waste samples from region 2 and 24 samples from region 3 of soil can be recycled. If standards for waste and soil are tightened, 13 waste samples can be recycled to region 1 of soil, 14 wastes to region 2 and 24 waste samples to region 3. Therefore, When standards for waste and soil are tightened, the recycling rate will decrease.

## 서론

우리나라의 사업장폐기물 발생량은 2015년 5,669만톤에서 2020년 8,087만톤까지 꾸준히 증가함에 따라 지정폐기물의 발생량 또한 증가하는 추세이다. 2020년 기준 부산지역의 사업장폐기물의 발생량은 총 141만톤으로 조사되었으며, 이 중 재활용되는 사업장폐기물은 98만톤으로 전체의 약 70%를 차지한다. 즉, 소각 5만톤, 매립 21만톤 등 다른 최종 처리에 비해 많은 양의 사업장폐기물이 재활용으로 처리되고 있다<sup>1,2)</sup>.

우리나라의 경우 폐기물 매립지가 부족하고, 광물자원의 95%를 수입에 의존하고 있어<sup>3,4)</sup> 폐기물을 감량화, 재활용하고 폐기물 종류에 따른 효과적 처리를 통해 환경을 보전하는 노력이 필요하다.

우리나라는 사업장폐기물 중 환경을 오염시킬 수 있거나 인체에 위해를 줄 수 있는 해로운 물질을 「폐기물관리법」에서 ‘지정폐기물’로 정의하여 관리하고 있다<sup>5)</sup>. 하지만 우리나라의 사업장폐기물 유해물질 규제항목은 11개 항목(As, Cd, Cu, Pb, Hg, Cr<sup>6+</sup>, CN, 유기인, TCE, PCE, 기름성분)으로 독일, 미국 등 선진국에 비해 매우 부족한 실정이다. 국제적으로도 스톡홀름협약, 바젤협약, 런던협약 등을 맺어 환경오염을 방지하기 위해 규제를 강화함에 따라 우리나라의 유해폐기물 관리 선진화를 위해 유해 폐기물의 규제항목 조정과 단계적 확대 방안 마련의 필요성이 대두되어 국립환경과학원에서 선행연구가 진행되었다<sup>6-10)</sup>. 현재 규제하고 있는 11개 항목 이외에 신규로 규제항목이 추가된다면 재활용할 수 있는 사업장폐기물의 양이 줄어들 것으로 예상된다.

2016년 이전의 「폐기물관리법」에서는 ‘폐기물의 재

활용 용도 또는 방법’에 따라 몇 가지 제한된 용도로만 재활용을 허용하였지만 2016년 7월 21일부터 「폐기물관리법」의 개정에 따라 폐기물의 재활용 확대를 위한 관리체계가 개편되어, 유형별 최소한의 유해성 기준을 준수할 경우 원칙적으로 재활용을 할 수 있게 하였다.

토양 복토재, 성토재 등으로 사용하는 매체 접촉형 재활용의 경우 「폐기물관리법」에 따른 용출기준과 「토양환경보전법」에 따른 토양오염우려기준 등을 고려하여 재활용 가능성 여부를 판단하고, 비매체 접촉형 재활용의 경우 「폐기물관리법 시행규칙」에 따른 재활용 기준, 「비료관리법」, 「사료관리법」 등의 기준을 참고하여 재활용 여부를 판단한다.

본 연구에서는 부산지역 사업장폐기물 오니류의 용출, 함량분석을 통해 「폐기물관리법」과 「토양환경보전법」에 따른 매체 접촉형 재활용 기준에 부합하는지를 판단하고, 사업장폐기물의 유해물질 규제항목이 확대 적용되었을 때 재활용 가능성 여부에 관해 확인하였다. 미규제 항목은 국립환경과학원의 선행연구<sup>6,7)</sup>의 미규제 무기금속류 우선순위를 참고하여 아연, 니켈, 크롬, 바륨, 셀레늄, 안티몬, 염소이온, 불소이온 항목으로 선정하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상

연구대상 시료는 2022년 의뢰된 부산지역 사업장폐기물 중 오니류 34건으로 선정하였다. 수분, 유기물 함량 분석을 통해서 정상별로 무기성오니, 유기성오니로 분류하였고, 제10차 한국표준산업분류(KSIC)<sup>11)</sup>에 따라 업종별로 분류하였다(Table 1). 연구대상 시료 34

Table 1. The number of samples classified under industrial categories and kinds

대분류	배출원(업종) 분류		무기성 오니	유기성 오니
	중분류			
제조업	(10)	식료품 제조업		2
	(24)	1차 금속 제조업	3	
	(30)	자동차 및 트레일러 제조업	4	1
수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업	(38)	폐기물 수집, 운반, 처리 및 원료 재생업	1	
	(39)	환경 정화 및 복원업	4	
건설업	(41)	종합 건설업	17	
	(42)	전문직별 공사업	1	
보건업 및 사회복지 서비스업	(86)	병원업		1
합계			30	4

건 중 무기성오니는 30건, 유기성오니는 4건으로 분류되었다. 업종별로는 크게 제조업 10건, 수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업 5건, 건설업 18건, 보건업 및 사회복지 서비스업 1건으로 분류되었다.

## 2. 분석방법

### 2-1. 용출시험

용출시험은 폐기물공정시험기준<sup>12)</sup>에 준하여 분석하였다. 규제항목 중 비소, 카드뮴, 구리, 납과 미규제항목 중 아연, 니켈, 크롬, 바륨, 셀레늄, 안티몬은 폐기물 공정시험기준에 따라 용출한 용출액을 산처리 후 유도결합플라즈마-원자발광광도계(ICP-OES, Agilent 720-ES)로 분석하였으며, 염소이온, 불소이온은 용출액을 수질오염공정시험기준에 따라 이온크로마토그래피(IC, Metrohm 940 Professional IC Vario)를 이용하여 분석하였다. 각 항목의 분석방법과 파장 등은 표 2와 같다.

### 2-2. 함량시험

함량시험은 토양오염공정시험기준<sup>14)</sup>에 준하여 표

3과 같이 분석하였다. 규제항목인 비소, 카드뮴, 구리, 납과 미규제항목인 아연, 니켈, 크롬, 바륨, 셀레늄, 안티몬은 염산-질산 분해 후 유도결합플라즈마-원자발광광도계(ICP-OES, Agilent 720-ES)를 사용하여 분석하였고, 수은은 열적 분해 아말감 원자흡수분광광도법을 통하여 수은분석기(Milestone DMA-80evo)로 분석하였다. 6가크롬은 자외선/가시선 분광법을 통하여 자외선/가시선 분광광도계(UV-VIS, Agilent 8453, 540 nm)로 분석하였고, 시안은 시안증류장치로 전처리한 후 자외선/가시선 분광광도계(UV-VIS, Agilent 8453, 620 nm)로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

우리나라의 사업장폐기물 관리는 비소, 카드뮴 등 11개 항목에 대한 용출기준만 적용하고 있어 선진국 및 국제기구의 규제보다 엄격하지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 부산지역 사업장폐기물 중 오니류의 규제 및 미규제항목에 대한 용출, 함량분석을 실시하여 매체 접촉형 재활용 기준에 부합하는지 확인하

Table 2. Analyte and analysis method of leaching test

	Analyte	Analysis method	Wavelength (nm)
규제 항목	비소(As)	폐기물공정시험기준 ES 06403.2 비소-유도결합플라즈마-원자발광분광법	193.696
	카드뮴(Cd)	폐기물공정시험기준 ES 06405.2 카드뮴-유도결합플라즈마-원자발광분광법	226.502
	구리(Cu)	폐기물공정시험기준 ES 06401.2 구리-유도결합플라즈마-원자발광분광법	324.754
	납(Pb)	폐기물공정시험기준 ES 06402.2 납-유도결합플라즈마-원자발광분광법	220.353
미규제 항목	아연(Zn)		213.857
	니켈(Ni)	신규선정 중금속류의 용출시험방법(안) <sup>13)</sup>	231.604
	크롬(Cr)		267.716
	바륨(Ba)	폐기물공정시험기준 ES 06400.2	455.403
	셀레늄(Se)	금속류-유도결합플라즈마-원자발광분광법	196.026
	안티몬(Sb)		217.582
규제 항목	수은(Hg)	폐기물공정시험기준 ES 06404.0	-
	6가크롬(Cr <sup>6+</sup> )	폐기물공정시험기준 ES 06407.3 6가크롬-자외선/가시선 분광법	540
	시안(CN)	폐기물공정시험기준 ES06351.3 시안-연속흐름법	-
미규제 항목	염소이온(Cl <sup>-</sup> )	수질오염공정시험기준	-
	불소이온(F <sup>-</sup> )	- ES 04350.1b 음이온류-이온크로마토그래피	-

고, 사업장폐기물의 규제가 강화되었을 때의 재활용 가능성 여부를 판단하고자 하였다.

**1. 시료의 분류**

2022년 부산지역 사업장에서 의뢰된 오니류 34건을 대상 시료로 선정하여 유기물 함량에 따라 무기성오니, 유기성오니로 분류한 결과, 무기성오니 30건(88.2%), 유기성오니 4건(11.8%)으로 분류되었다. 이를 제10차 한국표준산업분류(KSIC)의 중분류에 의해 분류한 결과, 건설업(18건)>제조업(10건)>수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업(5건)>보건업 및 사회복지서비스업(1건) 순으로 분류되었다.

**2. 용출 및 함량기준**

매체 접촉형 유형으로의 재활용 가능성 여부를 판단하기 위해서 규제항목에 대한 기준은 「폐기물관리법」

에 따른 용출기준과 「토양환경보전법」에 따른 토양오염우려기준(함량기준)을 적용하였다. 미규제항목의 용출기준은 폐기물 규제 강화에 관한 선행연구8)에서 제안된 기준을 적용하였고, 함량기준은 새로운 토양오염물질에 관한 선행연구15)에서 제안된 기준을 참고하여 적용하였다. 각 항목에 대한 기준은 표 4에 나타내었다.

**3. 용출, 함량기준에 따른 재활용 가능성 검토**

**3-1. 무기성 오니의 재활용 가능성 검토**

연구대상 시료 중 무기성오니 30건에 대한 용출분석 결과는 표 5와 그림 1에 나타내었다. 규제되고 있는 7개 항목은 용출기준을 모두 만족하였다. 미규제항목 기준을 초과한 시료는 총 5건이었으며, 이 중 아연 4건, 니켈 1건, 안티몬 1건, 불소이온 1건이 기준을 초과하였다. 그 중 아연은 기준을 30배 이상 초과한

Table 3. Analyte and analysis method of content test

	Analyte	Analysis method	Wavelength (nm)
규제 항목	비소(As)	토양오염공정시험기준 ES 07404.2 비소-유도결합플라즈마-원자발광분광법	193.696
	카드뮴(Cd)	토양오염공정시험기준 ES 07407.2 카드뮴-유도결합플라즈마-원자발광분광법	226.502
	구리(Cu)	토양오염공정시험기준 ES 07401.2 구리-유도결합플라즈마-원자발광분광법	324.754
	납(Pb)	토양오염공정시험기준 ES 07402.2 납-유도결합플라즈마-원자발광분광법	220.353
	아연(Zn)	토양오염공정시험기준 ES 07406.2 아연-유도결합플라즈마-원자발광분광법	213.857
	니켈(Ni)	토양오염공정시험기준 ES 07403.2 니켈-유도결합플라즈마-원자발광분광법	231.604
	미규제 항목	크롬(Cr)	
바륨(Ba)		토양오염공정시험기준 ES 07400.2	455.403
셀레늄(Se)		금속류-유도결합플라즈마-원자발광분광법	196.026
안티몬(Sb)			217.582
규제 항목	수은(Hg)	토양오염공정시험기준 ES 07405.2 수은-열적 분해 아말감 원자흡수분광광도법	-
	6가크롬(Cr <sup>6+</sup> )	토양오염공정시험기준 ES 07408.1 6가크롬-자외선/가시선 분광법	540
	시안(CN)	토양오염공정시험기준 ES 07352.1 시안-자외선/가시선 분광법	620

188.4200 mg/L까지 검출되었으며, 니켈은 기준을 40 배 이상 초과한 41.6950 mg/L까지 검출되었다.

무기성오니의 함량분석 결과는 표 6과 그림 2에 나타내었다. 현재 함량기준이 있는 항목만 살펴보면, 1 지역 기준을 초과하는 시료는 15건, 2지역 기준을 초

Table 4. Leaching and content criteria of industrial waste

항목	용출기준 [mg/L]	함량기준 [mg/kg]			
		1지역	2지역	3지역	
규제 항목	비소(As)	1.5	25	50	200
	카드뮴(Cd)	0.3	4	10	60
	구리(Cu)	3	150	500	2000
	납(Pb)	3	200	400	700
미규제 항목	아연(Zn)	5	300	600	2000
	니켈(Ni)	1	100	200	500
	크롬(Cr)	-	-	-	-
	바륨(Ba)	10	-	-	-
	셀레늄(Se)	0.05	35	70	280
	안티몬(Sb)	0.07	7	7	70
	수은(Hg)	0.005	4	10	20
규제 항목	6가크롬(Cr <sup>6+</sup> )	1.5	5	15	40
	시안(CN)	1	2	2	120
미규제 항목	염소이온(Cl <sup>-</sup> )	-	-	-	-
	불소이온(F <sup>-</sup> )	15	-	-	-

Table 5. Results of leaching analysis of inorganic sludges

항목	용출기준	농도 [mg/L]		검출수	
		평균값 <sup>a)</sup>	범위		
규제 항목	비소(As)	1.5	0.0027	ND <sup>b)</sup> ~0.0800	1
	카드뮴(Cd)	0.3	0.0001	ND~0.0041	1
	구리(Cu)	3	0.0495	ND~0.5985	22
	납(Pb)	3	0.1868	ND~2.7385	3
미규제 항목	아연(Zn)	5	7.3933	0.0432~188.4200	30
	니켈(Ni)	1	1.4259	ND~41.6950	21
	크롬(Cr)	-	0.0417	ND~0.6022	14
	바륨(Ba)	10	1.2419	0.0848~2.8946	30
	셀레늄(Se)	0.05	0.0025	ND~0.0265	9
	안티몬(Sb)	0.07	0.0170	ND~0.3120	5
	수은(Hg)	0.005	0.0002	ND~0.0025	3
규제 항목	6가크롬(Cr <sup>6+</sup> )	1.5	0.0035	ND~0.1050	1
	시안(CN)	1	0.0117	ND~0.1900	5
미규제 항목	염소이온(Cl <sup>-</sup> )	-	104.141	3.333~1393.905	30
	불소이온(F <sup>-</sup> )	15	9.311	ND~251.849	20

a) Arithmetic mean

b) ND, Not Detected

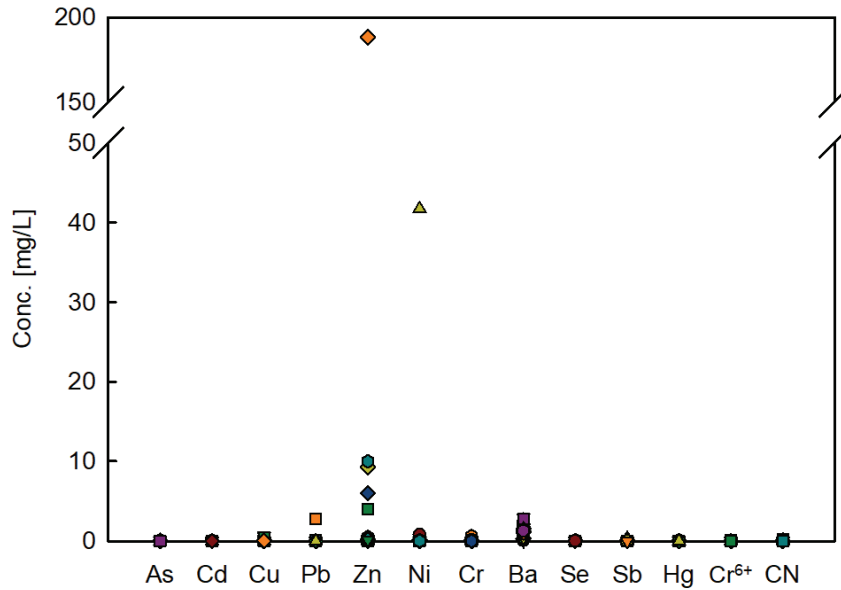


Fig. 1. Results of leaching analysis of inorganic sludges

과하는 시료는 13건, 3지역 기준까지 초과한 시료는 9건으로 분석되었다. 그 중 가장 많이 검출된 항목은 아연으로 가장 높게 검출된 시료의 경우 1지역 기준을 100배 이상 초과하여 검출되었다.

미규제항목인 셀레늄은 함량기준을 모두 만족하였으며, 안티몬은 10건이 1지역, 2지역 기준인 7 mg/kg을 초과하였고, 1건이 3지역 기준인 70 mg/kg까지 초과하여 검출되었다.

Table 6. Results of content analysis of inorganic sludges

항목	함량기준			농도 [mg/kg]	검출수		
	1지역	2지역	3지역				
규제 항목	비소(As)	25	50	200	15.58	1.52~119.48	30
	카드뮴(Cd)	4	10	60	3.12	0.42~13.22	30
	구리(Cu)	150	500	2000	2307.72	7.17~61342.90	30
	납(Pb)	200	400	700	1419.84	2.51~37271.91	30
미규제 항목	아연(Zn)	300	600	2000	15926.51	12.79~352656.04	30
	니켈(Ni)	100	200	500	136.37	3.30~2321.76	30
	크롬(Cr)	-	-	-	1907.94	3.02~35836.67	30
	바륨(Ba)	-	-	-	193.33	3.40~2938.21	30
	셀레늄(Se)	35	70	280	1.03	ND <sup>b)</sup> ~6.68	25
	안티몬(Sb)	7	7	70	339.94	ND~9978.02	29
규제 항목	수은(Hg)	4	10	20	0.04	ND~0.21	24
	6가크롬(Cr <sup>6+</sup> )	5	15	40	0.22	ND~4.81	2
	시안(CN)	2	2	120	57.63	ND~1356.10	7

a) Arithmetic mean  
b) ND, Not Detected

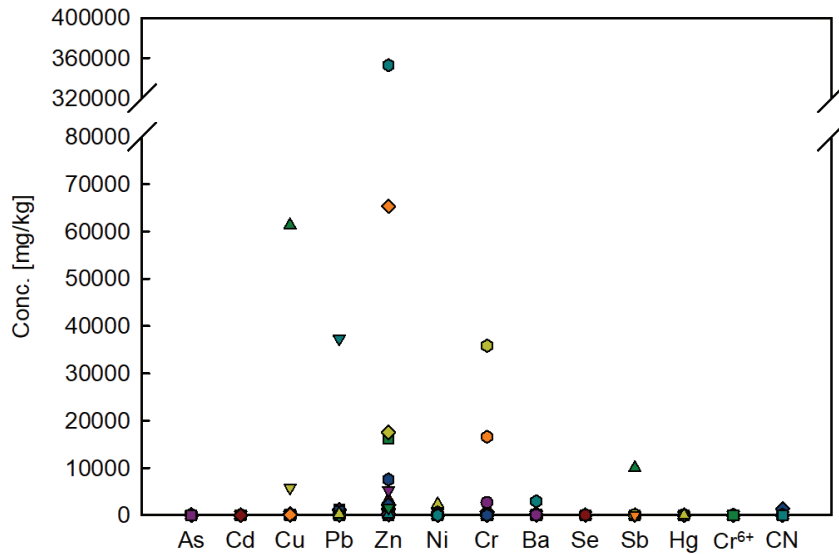


Fig. 2. Results of content analysis of inorganic sludges

현재 재활용 기준을 적용하였을 경우, 용출기준을 초과하는 시료가 없어 모든 시료가 재활용이 가능할 것으로 판단된다. 함량기준을 만족하여 매체 접촉형으로 재활용할 수 있는 시료는 1지역 15건(50%), 2지역 17건(56.7%), 3지역 21건(70%)이었다.

폐기물과 토양의 기준이 강화되어 규제항목이 추가

된다면, 용출기준을 초과하여 재활용이 불가능한 시료는 5건(16.7%)이고 함량기준을 만족하여 매체 접촉형으로 재활용할 수 있는 시료는 1지역 12건(40%), 2지역 13건(43.3%), 3지역 21건(70%)이었다.

### 3-2. 유기성 오니의 재활용 가능성 검토

Table 7. Results of leaching analysis of organic sludges

항목	용출기준	농도 [mg/L]		검출수	
		평균값 <sup>a)</sup>	범위		
규제 항목	비소(As)	1.5	ND <sup>b)</sup>	ND	-
	카드뮴(Cd)	0.3	ND	ND	-
	구리(Cu)	3	0.0072	ND~0.0286	1
	납(Pb)	3	ND	ND	-
미규제 항목	아연(Zn)	5	0.4672	0.3077~0.8054	4
	니켈(Ni)	1	0.2277	0.0018~0.8494	4
	크롬(Cr)	-	0.0043	ND~0.0171	1
	바륨(Ba)	10	1.4532	0.2574~2.2904	4
	셀레늄(Se)	0.05	0.0016	ND~0.0064	1
	안티몬(Sb)	0.07	ND	ND	-
	수은(Hg)	0.005	ND	ND	-
규제 항목	6가크롬(Cr <sup>6+</sup> )	1.5	ND	ND	-
	시아니드(CN)	1	ND	ND	-
미규제 항목	염소이온(Cl <sup>-</sup> )	-	20.525	8.751~40.843	4
	불소이온(F <sup>-</sup> )	15	6.743	ND~25.777	3

a) Arithmetic mean  
b) ND, Not Detected

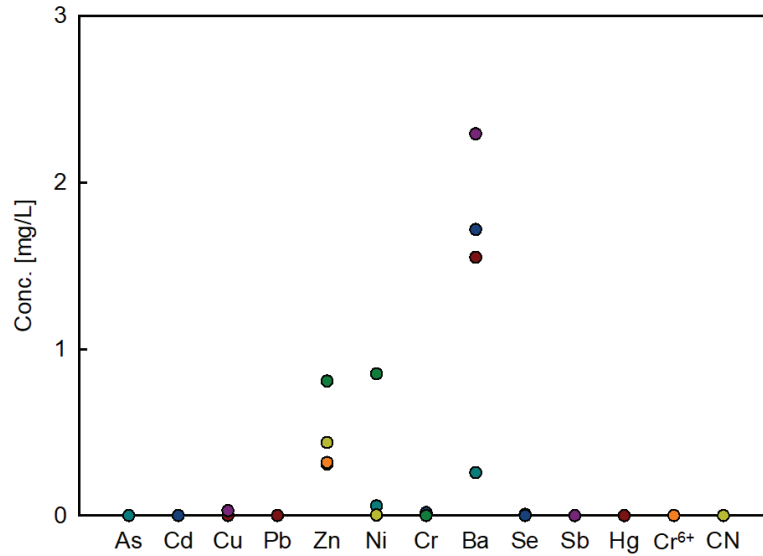


Fig. 3. Results of leaching analysis of organic sludges

연구대상 시료 중 유기성오니 4건에 대한 용출분석 결과는 표 7과 그림 3과 같다. 규제항목 7개 항목은 용출기준을 만족하였으며, 미규제항목 중에서는 1건이 불소이온 기준을 초과하여 검출되었다.

유기성오니의 함량분석 결과는 표 8과 그림 4에 나타내었다. 현재 토양오염우려기준이 있는 항목만 보면, 아연, 니켈 등이 기준을 초과하여 1지역, 2지역 기

준을 초과하는 시료는 3건(75%), 3지역 기준을 초과하는 시료는 1건(25%)이었다. 셀레늄과 안티몬은 모두 기준을 만족하였다.

유기성오니 4건에 대해서 현재 재활용 기준을 적용하였을 경우에는, 용출기준을 초과하는 시료가 없어 모든 시료가 재활용이 가능할 것으로 보인다. 이 중 함량기준을 만족하여 토양 1지역, 2지역에 매체 접촉형

Table 8. Results of content analysis of organic sludges

항목	함량기준			농도 [mg/kg]		검출수	
	1지역	2지역	3지역	평균값 <sup>a)</sup>	범위		
규제 항목	비소(As)	25	50	200	1.41	ND <sup>b)</sup> ~2.85	2
	카드뮴(Cd)	4	10	60	0.62	0.16~1.47	4
	구리(Cu)	150	500	2000	168.68	33.26~477.91	4
	납(Pb)	200	400	700	36.99	4.95~89.23	4
미규제 항목	아연(Zn)	300	600	2000	2522.38	158.81~8158.75	4
	니켈(Ni)	100	200	500	435.80	6.84~1704.10	4
	크롬(Cr)	-	-	-	26.77	3.80~41.92	4
	바륨(Ba)	-	-	-	169.64	13.51~573.38	4
	셀레늄(Se)	35	70	280	1.31	0.78~2.30	4
	안티몬(Sb)	7	7	70	1.50	0.42~3.40	4
규제 항목	수은(Hg)	4	10	20	0.37	0.02~1.41	4
	6가크롬(Cr <sup>6+</sup> )	5	15	40	ND	ND	-
	시안(CN)	2	2	120	1.55	0.88~3.04	4

a) Arithmetic mean  
b) ND, Not Detected



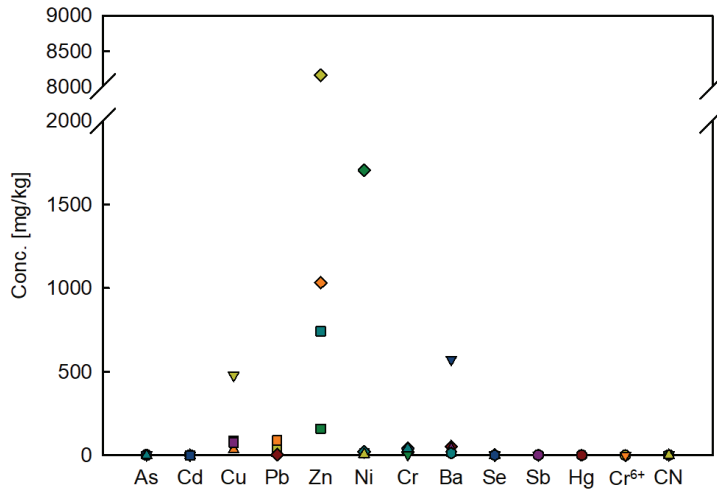


Fig. 4. Results of content analysis of organic sludges

Table 9. Results of leaching analysis by type of business [mg/L]

항목	용출 기준	업종			
		제조업 n=10	수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업 n=5	건설업 n=18	보건업 및 사회복지 서비스업 n=1
규제 항목	비소	1.5 0.0080 <sup>b)</sup> (ND <sup>a)</sup> ~0.0800)	ND (ND)	ND (ND)	ND
	카드뮴	0.3 0.0004 (ND~0.0041)	ND (ND)	ND (ND)	ND
	구리	3 0.0247 (ND~0.1106)	0.1197 (ND~0.5985)	0.0356 (ND~0.4152)	0.0286
	납	3 0.5465 (ND~2.7385)	ND (ND)	0.0078 (ND~0.1398)	ND
미규제 항목	아연	5 20.3726 (0.0594~188.4200)	2.0845 (0.0571~9.9880)	0.5113 (0.0432~5.9785)	0.3179
	니켈	1 4.2832 (ND~41.6950)	0.0049 (ND~0.0223)	0.0460 (ND~0.7696)	0.0028
	크롬	- 0.1011 (ND~0.6022)	0.0151 (ND~0.0755)	0.0101 (ND~0.0957)	ND
	바륨	10 1.5056 (0.0848~2.8946)	0.8924 (0.2808~1.6213)	1.2941 (0.4484~2.7995)	0.2574
	셀레늄	0.05 0.0033 (ND~0.0265)	0.0020 (ND~0.0077)	0.0021 (ND~0.0107)	ND
	안티몬	0.07 0.0312 (ND~0.3120)	0.0099 (ND~0.0496)	0.0083 (ND~0.0561)	ND
규제 항목	수은	0.005 ND (ND)	ND (ND)	0.0003 (ND~0.0025)	ND
	6가크롬	1.5 0.0105 (ND~0.1050)	ND (ND)	ND (ND)	ND
	시안	1 0.0250 (ND~0.1900)	0.0040 (ND~0.0200)	0.0044 (ND~0.0800)	ND
미규제 항목	염소이온	- 90.711 (3.333~380.819)	114.006 (11.704~489.135)	95.367 (3.689~1393.905)	12.588
	불소이온	15 27.959 (ND~251.849)	1.731 (0.137~5.510)	0.991 (ND~7.967)	0.218

a) ND, Not Detected  
b) Arithmetic mean

재활용 유형으로 사용 가능한 시료는 1건(25%), 3지역에 사용 가능한 시료는 3건(75%)이었다.

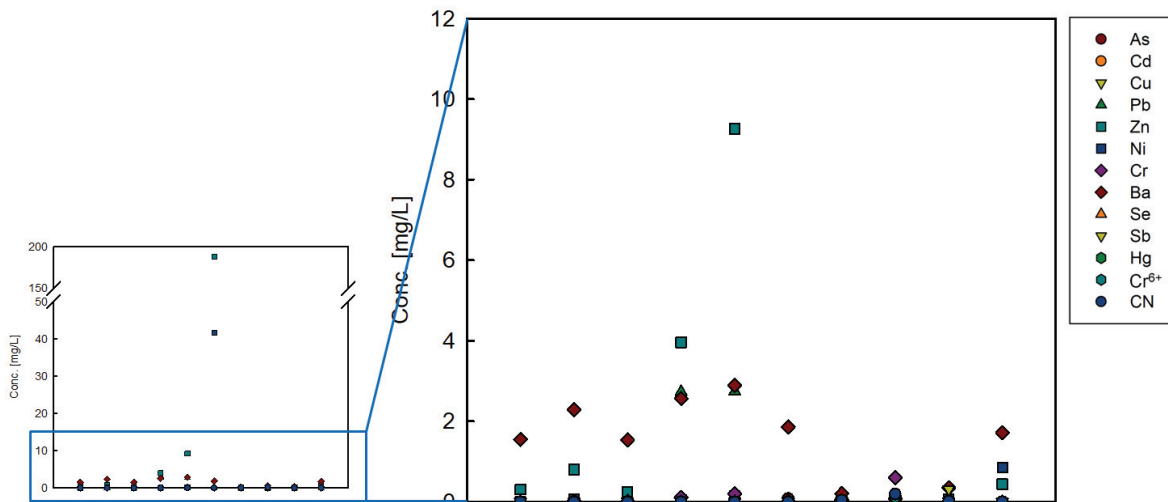
폐기물과 토양의 기준이 강화되면, 용출기준을 초과하여 재활용이 불가능한 시료가 1건(25%)이고, 함량 기준을 만족하여 매체 접촉형으로 재활용이 가능한 시료는 1지역, 2지역에서 1건(25%), 3지역에서 3건(75%)이었다.

### 3-3. 업종별 재활용 가능성 검토

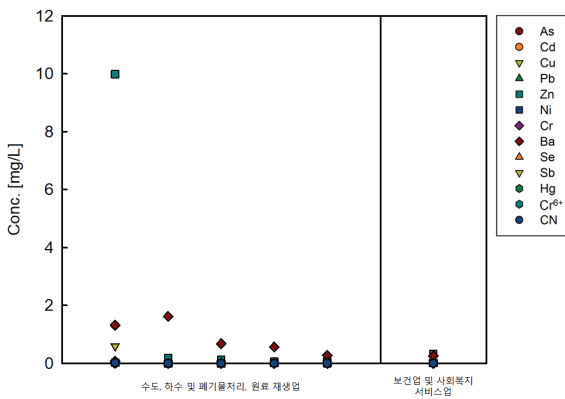
업종별로 분류하여 용출분석 결과를 표 9와 그림 5에 나타내었다. 규제항목은 전업종에서 모두 기준을 만족하였다. 미규제항목은 제조업으로 분류된 10건에서 4건(40%), 수도, 하수 및 폐기물 처리 원료 재생업 5건 중 1건(20%), 건설업 18건 중 1건(5.6%)이 기준을

초과하여 검출되었고, 보건업 및 사회복지 서비스업으로 분류된 시료 1건은 기준을 초과하지 않았다.

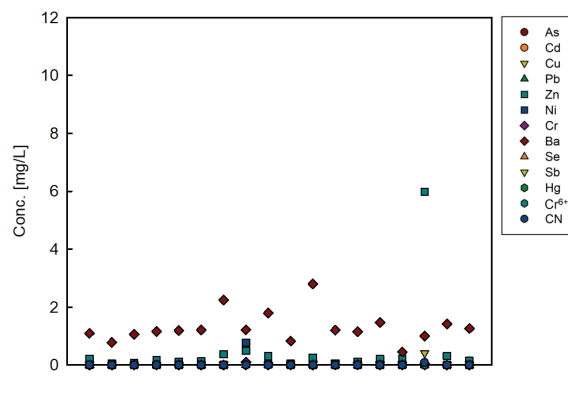
업종별 함량분석 결과는 표 10와 그림 7에 나타내었다. 제조업으로 분류된 10건의 시료 중 1지역과 2지역 기준을 초과하는 시료는 8건, 3지역 기준을 초과하는 시료는 7건으로 분석되었다. 수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업으로 분류된 5개의 시료 중 1지역 기준을 초과하는 시료는 2건이었고, 그 중 1건의 시료는 3지역 기준까지 초과하였다. 건설업 시료 18건 중 지역별로 기준을 초과한 시료는 1지역 7건, 2지역 6건, 3지역 2건이었다. 보건업 및 사회복지 서비스업으로 분류된 시료 1건은 1지역, 2지역 기준은 초과하였고, 3지역 기준만 초과하지 않았다.



(a) 제조업



(b) 수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업 / 보건업 및 사회복지 서비스업



(c) 건설업

Fig. 5. Results of leaching analysis by type of business

현재 규제되고 있지 않은 셀레늄과 안티몬의 기준도 함께 적용하면 건설업에서 추가로 3건이 1지역 기준을 초과하였고, 2지역 기준을 초과하는 시료는 4건이 추가되며, 3지역에서 추가로 기준을 초과하는 시료는 1건도 발생하지 않았다.

현재 「폐기물관리법」 상의 재활용 기준을 적용하였을 경우, 제조업으로 분류된 시료 10건 중 1지역과 2지역에 재활용이 가능한 시료는 2건(20%), 3지역에 재활용이 가능한 시료는 3건(30%)이었다. 수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업 시료 5건은 각각 1지역 3건(60%), 2지역과 3지역 4건(80%)이 재활용 가능한 것으로 판단된다. 건설업으로 분류된 18건의 시료는 1지역에 11건(61.1%), 2지역에 12건(66.7%), 3지역에 16건(88.9%) 재활용이 가능하였다. 보건업 및 사회복지

서비스업으로 분류된 시료 1건은 1지역과 2지역 기준을 초과하여 3지역에만 재활용이 가능하다.

폐기물과 토양의 기준이 강화되어 규제항목이 추가 되면 제조업 시료 10건 중 4건이 용출기준을 초과하여 6건만 재활용이 가능하고, 그 중 1지역과 2지역에 재활용할 수 있는 시료는 2건(20%), 3지역에 재활용 가능한 시료는 3건(30%)이었다. 수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업은 시료 5건 중 1건이 용출기준을 초과하였고, 용출기준을 만족하는 4건의 시료 중 1지역에 재활용 가능한 시료는 3건(60%), 2지역과 3지역에는 4건(80%) 모두 매체 접촉형으로 재활용이 가능한 것으로 나타났다. 건설업 18개 시료 중에서는 1건이 용출기준을 초과하였고, 1지역과 2지역에 8건(44.4%), 3지역에 16건(88.9%)이 재활용 가능할 것으로 보인다.

Table 10. Results of content analysis by type of business [mg/kg]

항목	함량기준			업종				
	1지역	2지역	3지역	제조업 n=10	수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업 n=5	건설업 n=18	보건업 및 사회복지 서비스업 n=1	
규제 항목	비소	25	50	200	28.26 <sup>b)</sup> (ND <sup>a)</sup> ~119.48)	7.10 (3.04~10.95)	8.60 (1.52~19.27)	ND
	카드뮴	4	10	60	3.88 (0.16~13.22)	2.03 (1.37~2.63)	2.60 (0.83~6.15)	0.31
	구리	150	500	2000	6287.33 (12.17~61342.90)	1193.29 (23.78~5800.30)	55.00 (7.17~105.26)	76.68
	납	200	400	700	4061.35 (2.51~37271.91)	92.41 (26.59~141.59)	92.37 (6.76~766.49)	4.95
미 규제 항목	아연	300	600	2000	12412.26 (12.79~65328.20)	70704.92 (144.81~352656.04)	511.45 (60.89~2178.28)	1031.35
	니켈	100	200	500	531.33 (3.30~2321.76)	64.84 (7.75~275.63)	10.55 (3.46~20.82)	6.84
	크롬	-	-	-	5414.66 (3.02~35836.67)	552.98 (13.15~2656.54)	23.88 (6.08~47.72)	3.80
	바륨	-	-	-	376.45 (3.40~2938.21)	87.33 (30.43~120.25)	125.77 (53.62~255.71)	13.51
	셀레늄	35	70	280	1.81 (ND~6.68)	0.37 (ND~0.53)	0.92 (ND~5.96)	1.30
	안티몬	7	7	70	1006.36 (ND~9978.02)	3.03 (1.44~5.64)	6.92 (0.64~33.41)	0.92
규제 항목	수은	4	10	20	0.17 (ND~1.41)	0.10 (0.05~0.18)	0.02 (ND~0.12)	0.02
	6가크롬	5	15	40	0.67 (ND~4.81)	ND (ND)	ND (ND)	ND
	시안	2	2	120	37.78 (ND~271.67)	271.22 (ND~1356.10)	ND (ND)	1.32

a) ND, Not Detected  
b) Arithmetic mean

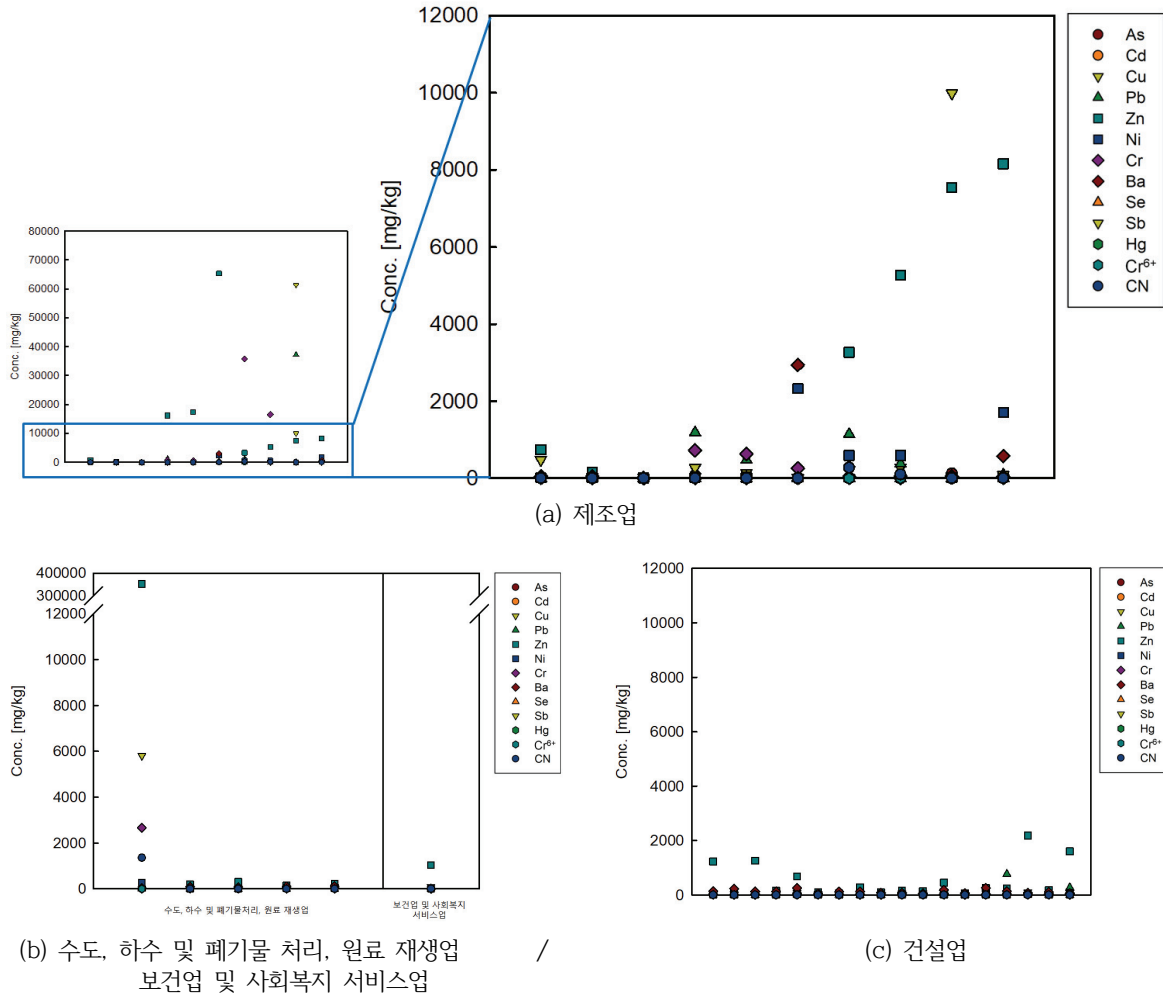


Fig. 7. Results of content analysis by type of business

### 결론

본 연구는 부산지역 사업장폐기물 중 오니류의 용출, 함량 분석을 통하여 현재 재활용 기준과 사업장폐기물의 유해물질 규제가 강화되었을 때의 재활용 가능성 여부를 판단하기 위해서 실시하였다. 2022년 의뢰된 오니류 34건에 대하여 분석, 연구한 결과는 다음과 같다.

부산지역 사업장폐기물 중 오니류 34건은 유기물 함량에 따라 무기성오니 30건(88.2%), 유기성오니 4건(11.8%)으로 분류되었다. 제10차 한국표준산업분류(KSCI)에 의해서 제조업 10건(29.4%), 수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업 5건(14.7%), 건설업 18건(52.9%), 보건의업 및 사회복지 서비스업 1건(2.9%)으로 분류할 수 있었다.

2. 현재 재활용 기준에 따르면 무기성오니는 30건 모두 「폐기물관리법」에 따른 용출기준을 만족하여 재활용이 가능한 것으로 판단된다. 그 중 토양오염우려기준인 함량기준을 만족하여 매체 접촉형으로 재활용할 수 있는 시료는 지역별로 1지역 15건, 2지역 17건, 3지역 21건이었고 재활용이 힘든 시료에서는 아연, 니켈, 납의 검출 빈도수가 높았다. 폐기물 유해물질 규제 항목이 확대되면 5건의 시료에서 아연, 니켈, 안티몬, 불소이온이 용출기준을 초과하여 지정폐기물이 될 것으로 판단된다. 함량분석에서는 안티몬이 기준을 초과하여 3건의 시료가 추가로 1지역에서 재활용이 불가능한 것으로 판단된다.

3. 유기성오니는 용출 분석 결과, 모든 항목이 기준을

만족하였다. 함량분석에서는 아연, 니켈 등이 기준을 초과하여 1지역과 2지역에서 재활용이 가능한 시료는 1건, 3지역은 3건으로 나타났다. 셀레늄과 안티몬은 기준을 만족하여 폐기물 유해물질 규제항목이 확대되어도 재활용 건수는 현재와 같을 것으로 판단된다.

4. 업종별로 살펴보면, 현재 34건의 모든 시료가 용출 기준을 만족하나, 폐기물 유해물질 규제항목이 확대되면 제조업 3건, 수도, 하수 및 폐기물 처리 원료 재생업 1건, 건설업 1건의 시료가 기준을 초과하여 지정폐기물이 될 것으로 보인다. 현재 함량기준을 적용하였을 때, 3지역까지 재활용이 불가능한 시료는 제조업 7건, 수도, 하수 및 폐기물 처리 원료 재생업 1건, 건설업 2건이었고 가장 많이 검출된 항목은 아연으로 나타났다. 규제항목이 확대되면, 건설업에서 추가로 3건이 1지역 기준을 초과하고, 2지역 기준을 초과하는 시료는 4건으로 매체 접촉형 재활용 유형으로는 재활용이 불가능할 것으로 판단된다.

따라서, 규제가 강화되면 매체 접촉형으로 재활용이 가능한 시료가 1지역 16건에서 13건, 2지역 18건에서 14건으로 감소하고 3지역은 24건으로 동일한 것으로 나타났다. 함량분석에서 검출 빈도수가 높은 아연, 니켈, 납을 제거할 수 있는 공정을 추가하면 규제가 강화되어도 재활용률을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 함량분석에서 구리, 납, 아연, 니켈, 안티몬 등이 높은 농도로 검출된 폐기물은 비매체 접촉형 재활용 유형인 물질 회수 유형 등으로 재활용하는 것이 효율적이라고 판단된다.

## 참고문헌

1. 환경부, 전국 폐기물 발생 및 처리현황(2020년도), (2021)
2. 환경부, 2021환경백서, (2022)
3. 한국지질자원연구원, 2021/2022 광산물 수급분석, (2022)
4. 김대형, 김유정, 제6차 해외자원개발 기본계획의 주요 내용과 시사점. (2020)
5. 폐기물관리법
6. 국립환경과학원, 지정폐기물 중 미규제 유해물질 규제항목 확대에 관한 연구 (I), (2006)
7. 국립환경과학원, 지정폐기물 중 미규제 유해물질 규제항목 확대에 관한 연구 (II), (2007)
8. 국립환경과학원, 유해폐기물 목록화 및 확인시험 연구 (I), (2014)
9. 국립환경과학원, 유해폐기물 목록화 및 확인시험 연구 (II), (2015)
10. 국립환경과학원, 유해폐기물 목록화 및 확인시험 연구(III), (2016)
11. 제10차 한국표준산업분류
12. 국립환경과학원, 폐기물공정시험기준, (2022)
13. 국립환경과학원, 지정폐기물 중 신규 유해물질의 항목설정 및 시험방법 확립에 관한 연구 (I), (2004)
14. 국립환경과학원, 토양오염공정시험기준, (2022)
15. 국립환경과학원, 새로운 토양오염물질의 기준 설정에 관한 연구 (II), (2009)