

## 부산지역 사업장폐기물 중 미규제 중금속류 배출특성

김미희<sup>†</sup> · 한상민 · 최유정 · 강성원 · 김시영 · 김효진 · 김도훈  
토양폐기물과

### Leaching Characteristics of Non-regulated Heavy Metals from Industrial Wastes in Busan

Kim Mi-hee<sup>†</sup>, Han Sang-min, Choi You-jeung, Kang Seong-won, Kim Si-young,  
Kim Hyo-jin, Kim Do-hoon  
Soil & Waste Division

#### Abstract

This study was performed to investigate the leaching characteristics of industrial wastes in Busan. The samples originated from 110 workplaces in Busan (total 186 samples such as sludge, dust, wasted moulding sand, wasted sand, wasted catalyzer, wasted adsorbent, and other various wastes) were classified under 24 industrial categories. In order to investigate the leaching characteristics of hazardous substances in the samples, the concentrations of 7 non-regulated heavy metals (i.e., Zn, Ni, Sb, Se, Ba, Be, V) and 6 regulated items (i.e., Pb, Cu, Cd, As, Hg, Cr<sup>6+</sup>) were analyzed using inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. Then, each result of the samples was compared with the criteria to determine whether the sample is a specified waste or not. In conclusion, 8 samples (4.3 %) exceeded the non-regulated criteria proposed by NIER (National Institute of Environment Research) and 17 samples (9.1 %) exceeded the criteria specified with Waste Control Act of Korea. Additionally, the samples were evaluated according to the listing of hazardous wastes proposed by NIER, then 18 samples (9.7 %) among the 186 samples were classified as specified wastes. These results can be applied to prevent environmental pollution caused with hazardous wastes and to establish a policy for management of specified wastes of the Ministry of Environment in Korea.

**Key Words** : industrial waste, non-regulated heavy metal, leaching, listing of hazardous wastes

## 서 론

인간의 활동 및 산업활동에 의하여 다양한 폐기물이 발생되고 있으며, 대량생산, 대량소비로 경제규모가 확대됨으로써 폐기물의 발생량이 증가되고 그에 따른 유해폐기물의 발생량도 증가되어<sup>1~13,17)</sup>, 2012년 우리나라 지정폐기물의 발생량은 연간 약 456만톤에 이르렀고 이 중 사업장 지정폐기물 발생량은 약 442만톤에 이르렀다<sup>2)</sup>.

각 국가 및 국제기구들은 유해폐기물에 의한 환경오염

을 방지하고, 체계적으로 관리하기 위하여 폐기물의 분류, 규제기준 및 시험방법 등을 정하고 있으며<sup>1~13)</sup>, 우리나라 또한 폐기물관리법으로 발생원 3종, 유해물질함유폐기물 8종, 감염성 폐기물 6종 등 폐기물의 특성에 따라 총 30종의 지정폐기물로 분류하여 관리하고 있으며, 그 중 오니류, 광재, 분진, 폐주물사 및 폐사, 폐내화물 및 도자기 조각, 소각재, 안정화 또는 고형화 처리물, 폐촉매, 폐흡착제 및 폐흡수제에 대하여는 납 등 11개 항목에 대한 유해물질 함유기준을 두고 이를 초과하는 경우에는

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail : mhkim0915@korea.kr

Tel : +82-51-309-2762, Fax : 82-51-309-2929

지정폐기물로 분류하여 관리하고 있다<sup>14)</sup>.

반면에, 미국 등 선진국 및 국제기구의 규제기준은 우리나라보다 훨씬 더 엄격한 실정으로, 미국은 유해폐기물을 발생원 및 유해성분에 의해 분류하고 코드화하여 유해폐기물을 분류하고, 코드화로 분류되지 않은 폐기물은 반응성, 용출특성 등을 확인하여 추가로 유해성 여부를 판정하고 있으며, EU는 함유된 물질이 인간에 미치는 영향을 고려하여 발생과정, 폐기물 성상, 유해특성 등에 의해 목록화하여 관리하고 있다. 각 나라의 용출기준 항목 또한 미국 40, 캐나다 42, 일본 26, EU 14개 항목으로 우리나라 규제항목 보다 훨씬 많은 규제항목을 두고 있다<sup>3~6,9,11,12,13,17)</sup>.

이와 같은 국제적 동향에 따라 우리나라도 유해폐기물의 효율적인 관리를 위하여 선진국 수준의 규제기준 마련의 필요성이 대두되었다. 이에 환경부는 유해폐기물 관리체계 선진화 계획(2005년 ~ 2010년)<sup>1)</sup>을 수립하고 지정폐기물 관리체계를 선진국 관리체제로 전환시키기 위한 연구사업을 진행하였으며<sup>7~21)</sup>, 지정폐기물 중 미규제 유해물질 규제항목 확대 및 시험방법(안)<sup>7,8)</sup> 및 국내 유해폐

기물 목록화(안)<sup>11,12)</sup>를 마련하였다.

따라서, 본 연구는 부산지역 사업장폐기물에 대하여 환경부의 상기 유해폐기물 관리 선진안을 적용하기 위하여, 배출원·폐기물 종류별로 미규제 중금속류 7항목(Zn, Ni, Sb, Se, Ba, Be, V)과 규제 중금속류 6항목(Pb, Cu, Cd, As, Hg, Cr<sup>6+</sup>)의 용출분석을 실시하고, 배출원 정보와 폐기물 정보로 목록화 및 배출특성을 파악하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 연구대상

부산지역 사업장폐기물 186건에 대하여 배출원(업종)별, 폐기물 종류별로 미규제 중금속류 배출특성을 파악하기 위하여, 배출원은 제9차 한국표준산업분류(KSIC)의 산업분류<sup>23)</sup>에 의해 분류하였고, 폐기물의 종류는 오니류(폐수처리오니, 공정오니, 준설토, 건설오니 등), 광재, 분진, 소각재, 폐내화물, 폐촉매, 폐흡착제, 폐주물사,

Table 1. Numbers of samples classified under industrial categories and kinds

폐기물	배출원(업종) 분류 <sup>a)</sup>								합계(건)
	제조업(C)	건설업(F)	수도사업(D)	폐수및 폐기물처리업(E)	도매업(G)	운수업(H)	컨테이너수리업(S)	기타	
오니류	19	25		4	2		1		52
광재	6				1				7
분진	28	2		1					31
소각재	5	1		2	2				10
폐내화물	6	2							8
폐촉매	1								1
폐흡착제	40		1	1					42
폐주물사	10	2		1					13
폐사	3	1							4
폐토사	4	11		1		1			17
기타								1	1
합계(건)	122	45	1	10	5	1	1	1	186

<sup>a)</sup> Classification according to KSIC-9

폐사, 페토사 등 총 10종으로 분류하였다.(표 1)

**분석방법**

폐기물 시료의 미규제 중금속류 7항목(Zn, Ni, Sb, Ba, Se, Be, V) 및 규제 중금속류 6항목(Pb, Cu, Cd, As, Hg, Cr<sup>6+</sup>)은 표2의 용출방법<sup>7,8,24,25</sup>에 의하여 분석을 수행하였다. 또한 폐기물 시료의 배출원 정보와 폐기물 정보를 분류하고 코드화하여 폐기물 목록을 작성하고 국내 유해폐기물 목록화(안)의 제1안<sup>12)</sup>과 대조하였다.

**결과 및 고찰**

폐기물관리법 상 사업장폐기물에 대한 유해물질 함유 기준은 납, 구리 등 11개 항목에 대한 용출기준만 두고 있어 선진국 및 국제기구의 규제기준보다 엄격하지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 환경부의 유해폐기물 관리 선진안을 부산지역 사업장폐기물에 대하여 적용하기 위하여, 미규제 중금속류 7항목(Zn, Ni, Sb, Ba, Se,

Be, V) 및 규제 중금속류 6항목(Pb, Cu, As, Hg, Cd, Cr<sup>6+</sup>)에 대한 용출 분석을 실시하고, 폐기물 시료의 배출원 정보와 폐기물 정보로서 폐기물 목록화 및 배출특성을 파악하고자 하였다.

**폐기물 시료의 분류**

부산지역 110개 사업장으로부터 배출된 폐기물 시료 186건을 제9차 한국표준산업분류(KSIC)의 대분류에 의해 배출원(업종)별로 분류한 결과, 그림 1과 같이 제조업(C, 122건)이 가장 많았으며 다음으로 건설업(F, 45건) > 하수·폐기물처리업(E, 11건) > 도매업(G, 5건) 운수업(H, 1건)·기타서비스업(S, 1건)·기타(1건) 순으로 나타났다. 중분류에 의하여 제조업을 세부적으로 분류하면, 기타운송장비제조(36건) > 1차금속제조(24건) > 전자부품제조(21건) > 기타기계장비제조(17건) > 화학제품제조(7건)>금속가공제품(3건)·식품제조(3건) > 플라스틱(2건)·유리(2건) > 섬유·의복·피혁가공·인쇄·정밀기기·전기장비·자동차부품제조업 각 1건 순으로 나타났으며, 건설업은 종합건설(43건) > 냉·난방공사(2건) 순으로 나

**Table 2. Analysis method of leaching for heavy metals in samples**

항 목	대상항목	분석방법	분석기기
미규제 항목	Zn, Ni, Sb, Ba, Se, Be, V	폐기물공정시험기준 ES 06400.2 금속류-유도결합플라즈마 원자발광분광법 신규선정 중금속류(Ni, V, Ba, Zn, Be, Sb, Se)의 용출시험방법(안) (국립환경과학원, 2004)	ICP (720 ICP-OES, US/Agilent)
	Pb	폐기물공정시험기준 ES 06402.2 납-유도결합플라즈마 원자발광분광법	
규제 항목	Cu	폐기물공정시험기준 ES 06401.2 구리-유도결합플라즈마 원자발광분광법	ICP (720 ICP-OES, US/Agilent)
	As	폐기물공정시험기준 ES 06403.2 비소-유도결합플라즈마 원자발광분광법	
	Cd	폐기물공정시험기준 ES 06405.2 카드뮴-유도결합플라즈마 원자발광분광법	
	Cr <sup>6+</sup>	폐기물공정시험기준 ES 06407.3a 6가크롬-자외선/가시선 분광법	UV-VIS Spectrophotometer (UV-2450, Japan/Shimadzu)
	Hg	폐기물공정시험기준 ES 06404.0 토양오염공정시험기준 ES 07405.2 수은-열적분해 아말감 원자흡수분광광도법	Mercury Analyzer (MA-2000, Japan/NIC)

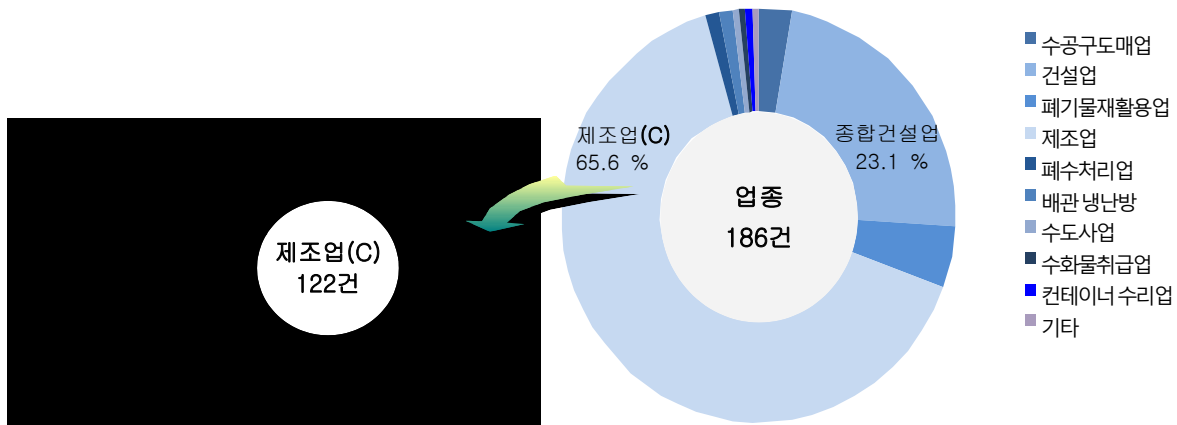


Fig. 1. Samples classified under industrial categories according to the 9th Koera Standard of Industry Classification (KSIC-9).

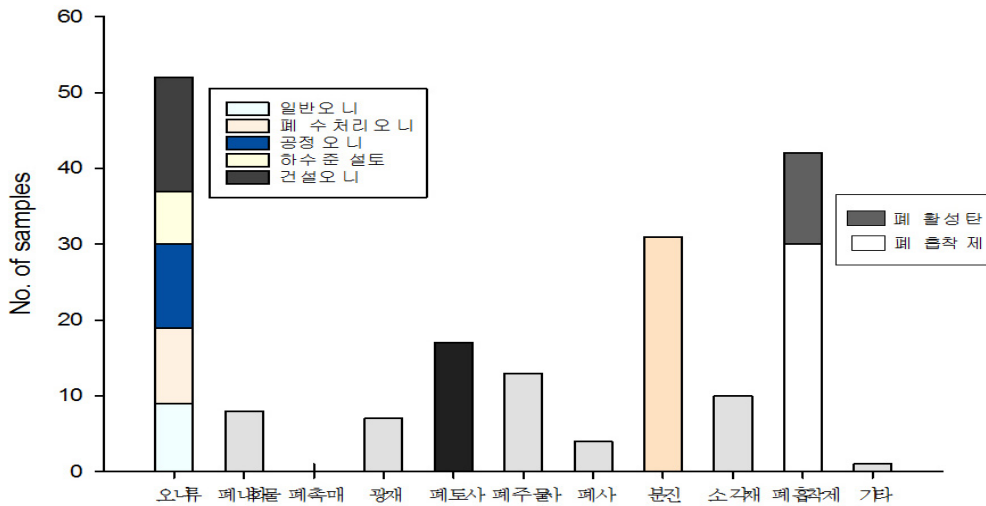


Fig. 2. Numbers on industrial waste-resource used in this study.

타났고, 이외 폐기물처리, 도매, 하·폐수처리, 수도사업, 수상화물취급, 컨테이너수리, 기타 등으로 총 24업종으로 나타났다.

폐기물 종류는 그림 2와 같이 오니류가 총 52건(28.0%)으로 가장 많았으며, 오니류를 세분화하면 건설오니(15), 공정오니(11), 폐수처리오니(10), 일반오니(9), 준설토(7)로 나타났고, 오니류 다음으로 폐흡착제(42) > 분진(31) > 페토사류(17) > 폐주물사(13) > 소각재(10) > 폐내화물(8) > 광재(7) > 폐사(4) > 폐촉매·기타(1) 순으로 나타났으며, 총 10종류의 폐기물로 분류되었다.

미규제 중금속류의 용출특성

부산지역 사업장폐기물 186건을 대상으로 하여, 미규제 중금속류 7항목(Zn, Ni, Sb, Ba, Se, Be, V)에 대한 용출 분석을 수행한 결과는 그림 3 ~ 그림 9 및 표 3에서 보는 바와 같다.

Zn은 폐기물처리업(0.016 mg/L ~ 6,900,000 mg/L), 기타운수장비제조업(ND ~ 2,655,500 mg/L), 전자부품제조업(ND ~ 220,040 mg/L)에서 타업종에 비해 상대적으로 높은 농도를 나타내었으며, 폐기물 종류별로는 오니류(ND ~ 6,900,000 mg/L), 분진 (ND ~ 2,655,500 mg/L)에서 높게 나타났다. Ni은 업종별로는 전자부품제조업(ND ~

13,948,000 mg/L), 기타운수장비제조업(ND ~ 119,640 mg/L)에서, 폐기물 종류별로는 오니류(ND ~ 13,948,000 mg/L), 분진(ND ~ 119,640 mg/L)에서 상대적으로 높게 나타났다. Sb은 기타운수제조업·분진(ND ~ 7.924 mg/L)에서, Ba은 전자부품제조업·분진(ND ~ 119,577 mg/L), V은 기타운수장비제조업·분진(ND ~ 38,868 mg/L)에서 상대

적으로 높게 나타났으나, Se과 Be은 전체 업종이 ND ~ 0.155 mg/L, ND ~ 0.040 mg/L로 다른 항목에 비하여 낮은 값을 나타내었다.

국립환경연구원의 선행연구<sup>7,8)</sup>에서 제안한 미규제 중금속류의 항목별 기준과 비교한 결과, 제안기준을 초과한 경우는 총 8건으로 초과율 4.3 %를 나타내었으며, 항목

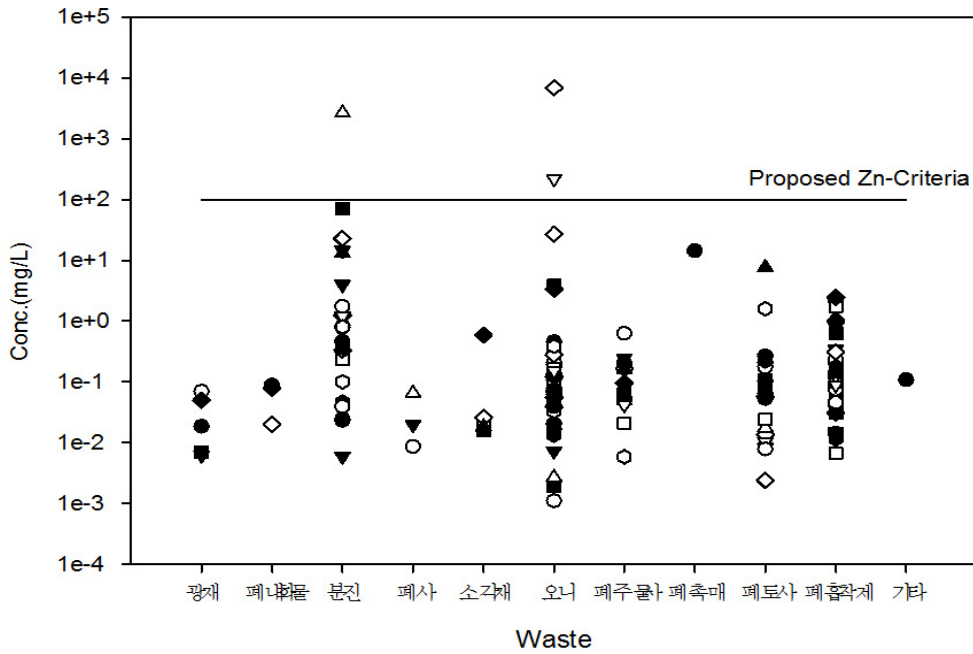


Fig. 3. Leaching characteristics of Zn in industrial wastes.

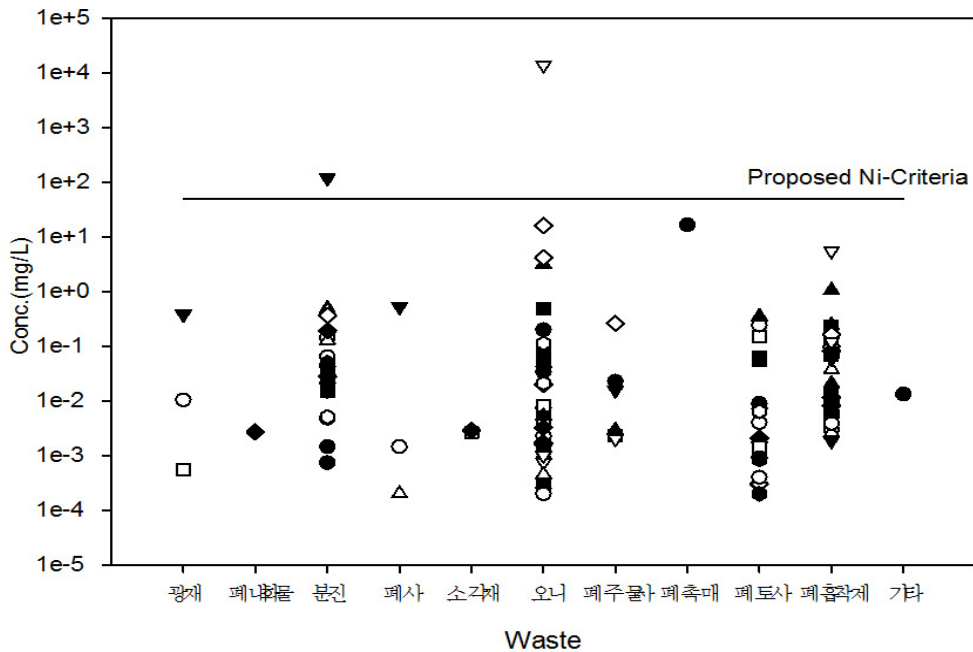


Fig. 4. Leaching characteristics of Ni in industrial wastes.

별 초과 건수는 ZnSb 3(1,6 %) > Ni 2(1,1 %) > Ba-V 1(0,5 %)순으로 나타났다. 배출원별로 살펴보면, Zn 초과는 운수장비제조업의 분진 2건, 폐기물처리업 오토류 1건이고, Sb 초과는 운수장비제조업 분진 3건, Ni 초과는 운수장비제조업 분진 2건, Ba 초과는 전자부품제조업 분진 1건, V 초과는 운수장비제조업 분진 1건으로 나타났

다. 초과율이 높은 업종은 운수장비제조업과 전자부품제조업이고 초과율이 높은 폐기물은 분진이었으며 특히 운수장비제조업 분진에서는 Zn, Sb, Ni, V 총 4항목이 기준을 초과하여 타 업종에 비해 상대적으로 높은 초과율을 나타내었다. 환경부에 따르면, 2012년 우리나라 지정폐기물 발생량은 업종별로 1차금속제조업, 전자부품제조업

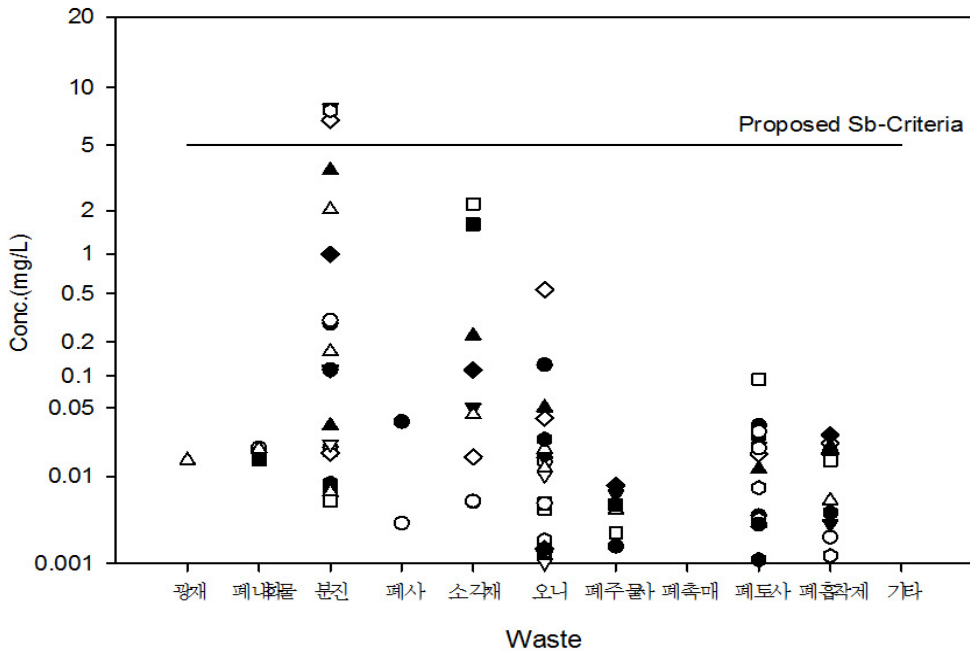


Fig. 5. Leaching characteristics of Sb in industrial wastes.

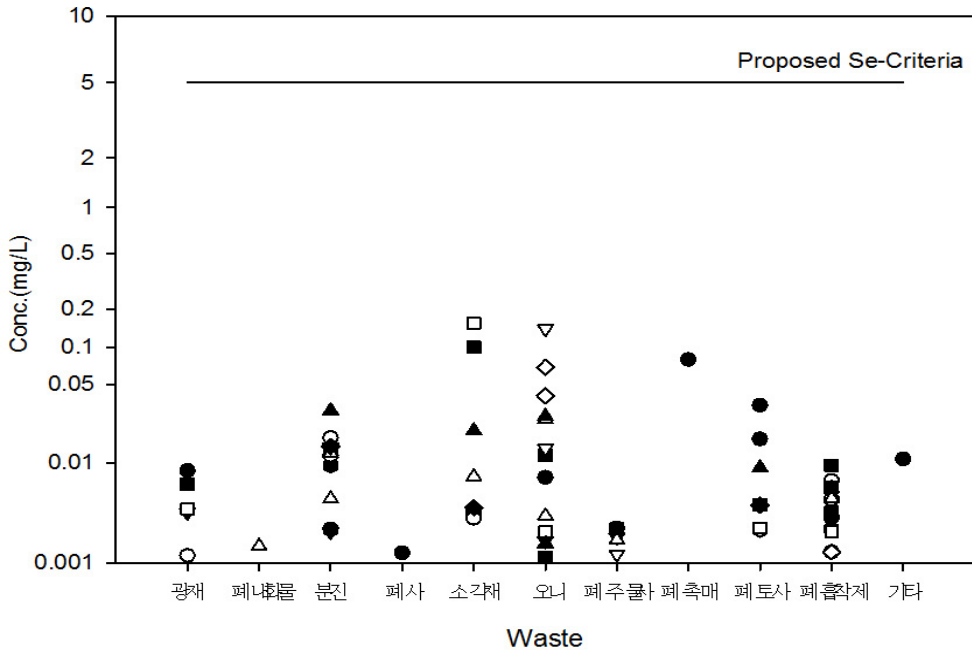


Fig. 6. Leaching characteristics of Se in industrial wastes.

등 제조업(C)이 차지하는 비율이 74 %로 매우 높고 폐기물 종류별로는 분진(12.4 %)과 오탁류(8.0 %)가 높은 것으로 나타나, 운수장비제조업의 분진에서 초과율이 매우 높은 연구결과와 유사하였다<sup>2)</sup>. 또한 김 등<sup>8)</sup>의 펄프 및 종이제품제조업종의 분진에서 Ni, V, Be이, 비금속광물제품제조업종의 분진에서 Zn, Se의 농도가 높다고 한 보고

와, 전 등<sup>19)</sup>의 Ni은 폐수처리오니, 분진에서, V은 석유정제공정의 분진과 폐촉매에서 높은 농도를 나타낸다는 보고와도 유사한 결과를 보였고, 전 등<sup>20)</sup>의 Ni이 섬유제조업의 폐수처리오니에서, 가죽제조업의 소각재 1차금속제조업의 분진 폐수처리오니에서 Zn, V이 높다는 보고와도 유사하였다. 그러나 조 등<sup>15,16)</sup>의 Se이 비금속광물제조업

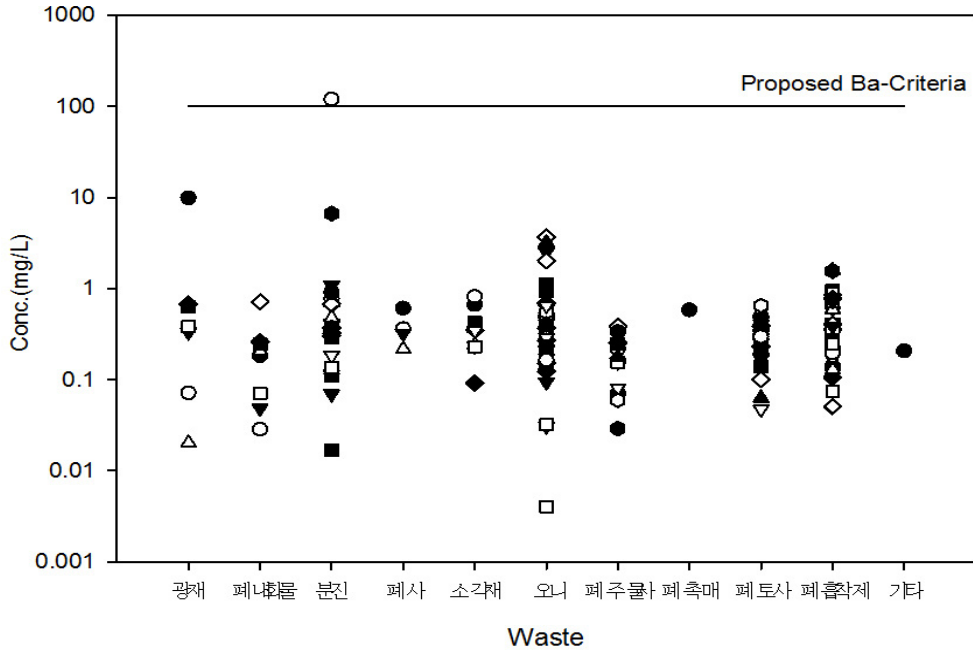


Fig. 7. Leaching characteristics of Ba in industrial wastes.

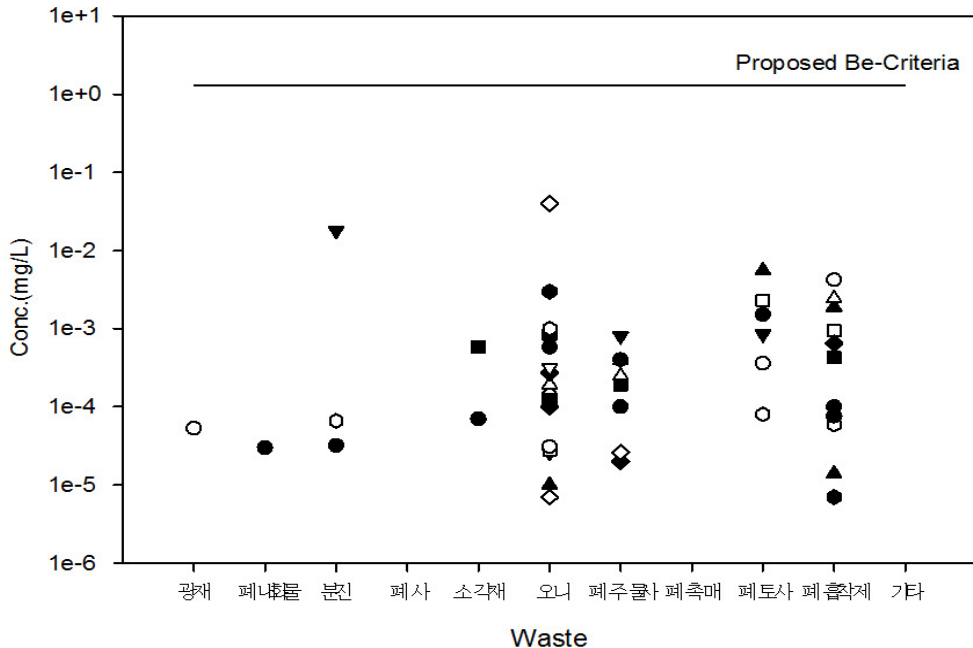


Fig. 8. Leaching characteristics of Be in industrial wastes.

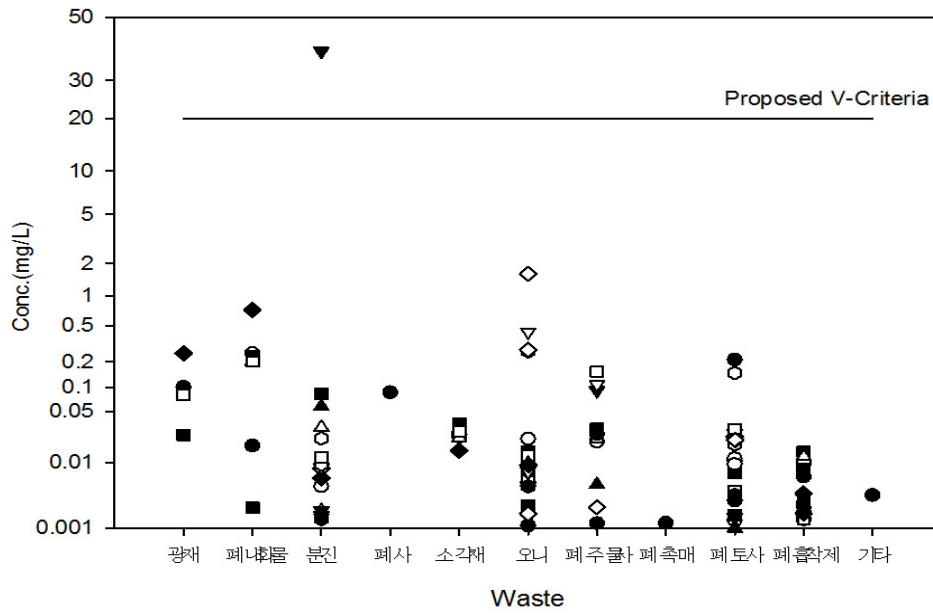


Fig. 9. Leaching characteristics of V in industrial wastes.

Table 3. Leaching characteristics of non-regulated heavy metals from industrial wastes in Busan (mg/L)

업종	시료수	Zn	Ni	Sb	Ba	Se	Be	V
총계	186	25,122 <sup>a)</sup> (ND <sup>b)</sup> ~6900,000)	116,388 (ND~13948,000)	0,254 (ND~7,924)	1,493 (ND~119,577)	0,004 (ND~0,140)	ND (ND~0,018)	0,350 (ND~38,868)
31 <sup>c)</sup> 기타운수 장비제조	36	76,877 (ND~2655,500)	3,389 (ND~119,640)	0,839 (ND~7,924)	0,361 (0,017~1,086)	0,004 (ND~0,030)	0,001 (ND~0,018)	1,085 (ND~38,868)
24 1차금속제조	24	0,277 (ND~3,345)	0,014 (ND~0,260)	0,005 (ND~0,034)	0,265 (ND~0,776)	ND (ND~0,006)	ND (ND~0,001)	0,027 (ND~0,251)
26 전자부품제조	21	11,268 (ND~220,040)	664,730 (ND~13948,000)	0,001 (ND~0,022)	6,258 (ND~119,577)	0,009 (ND~0,140)	0,000 (ND~0,006)	0,022 (ND~0,430)
29 기타 기계 및 장비제조	17	0,040 (ND~4,165)	0,004 (ND~0,036)	0,009 (ND~0,050)	0,857 (0,028~9,920)	0,003 (ND~0,014)	ND (ND)	0,105 (ND~0,733)
20 화학제조	7	3,867 (ND~22,823)	0,069 (ND~0,365)	0,010 (ND~0,019)	1,542 (ND~6,657)	0,002 (ND~0,012)	ND (ND~0,001)	0,003 (ND~0,012)
41 종합건설	43	0,167 (ND~3,997)	0,017 (ND~0,241)	0,017 (ND~0,027)	0,404 (0,029~2,514)	0,003 (ND~0,033)	ND (ND~0,003)	0,027 (ND~0,265)
38 폐기물처리	8	768,302 (0,016~6900,000)	3,639 (ND~16,596)	0,429 (ND~2,208)	0,706 (0,070~3,680)	0,044 (ND~0,155)	0,005 (ND~0,040)	0,187 (ND~1,610)
37 하수, 폐수처리	2	13,462 (0,007~26,918)	2,065 (ND~4,130)	0,276 (0,015~0,538)	1,152 (0,274~2,030)	ND (ND)	ND (ND)	0,001 (ND~0,002)
기타	28	0,232 (ND~1,593)	0,048 (ND~0,385)	0,018 (ND~0,125)	0,349 (0,192~0,676)	0,003 (ND~0,011)	ND (ND~0,001)	0,014 (0,000~0,149)
Detection limit(mg/L)	-	0,0004	0,001	0,006	0,0004	0,0016	0,0003	0,0006
proposed criteria <sup>d)</sup> (mg/L)	-	100	50	5	100	5	1,3	20

a) Arithmetic mean

b) Not detected

c) Number means Classifying catalogue according to KSIC-9

d) Criteria that are proposed by NIER(National Institute of Environment Research)



및 유리제품제조시설의 공정오니에서 상대적으로 높게 나타난다고 보고하였는데 본 연구에서는 Se이 낮은 농도를 나타내어 차이를 보였다.

**규제 중금속류의 용출특성**

부산지역 사업장폐기물 186건에 대하여 미규제 중금속류뿐만 아니라, 폐기물관리법 시행규칙 제2조 별표1의 규제 중금속류 6항목(Pb, Cu, As, Hg, Cd, Cr<sup>6+</sup>)에 대한 용출 분석을 수행한 결과는 표 4 및 그림 10 ~ 그림 15와 같다.

Pb은 폐기물처리업(ND ~ 27.35 mg/L), 기타운수장비제조업(ND ~ 9.02 mg/L), 전자부품제조업(ND ~ 3.52 mg/L)에서 타 업종에 비해 상대적으로 높은 농도를

나타내었으며, 폐기물 종류별로는 오니류(ND ~ 27.35 mg/L), 분진(ND ~ 9.02 mg/L)에서 높게 나타났다. Cu는 업종별로 전자부품제조업(ND ~ 349.944 mg/L), 화학제품제조업(ND ~ 32,562 mg/L), 폐기물처리업(ND ~ 9,346 mg/L), 하·폐수처리업(ND ~ 3,546 mg/L)에서 높은 농도를 나타내었고, 폐기물 종류별로는 폐흡착제(ND ~ 349,944 mg/L), 분진(ND ~ 32,562 mg/L), 폐토사(ND ~ 10,078 mg/L), 오니류(ND ~ 9,346 mg/L), 폐촉매(3,658 mg/L)에서 높은 농도를 나타내었다. As는 전업종(ND ~ 1,479 mg/L)이 기준 이내로 나타났고, Hg은 하·폐수처리업(ND ~ 0.0079 mg/L)의 폐수처리오니에서 높은 농도를 나타내었다. Cd은 기타운수장비제조업 분진(ND ~ 335,980 mg/L)에서 상대적으로 높은 농도를 나타

**Table 4. Leaching characteristics of regulated heavy metals from industrial wastes in Busan** (mg/L)

업종	시료수	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr <sup>6+</sup>
총계	186	0.23 <sup>a)</sup> (ND <sup>b)</sup> ~ 27.35)	2,602 (ND~ 349,944)	0.018 (ND~ 1,479)	ND (ND~ 0.0079)	1,989 (ND~ 335,980)	0.36 (ND~ 36,32)
31 <sup>c)</sup> 기타운수 장비제조	36	0.23 (ND~ 9.02)	0.085 (ND~ 0.736)	0.012 (ND~ 0.318)	ND (ND)	10,262 (ND~ 335,980)	1.72 (ND~ 36,32)
24 1차금속제조	24	ND (ND~ 0.126)	0.050 (ND~ 0.766)	0.015 (ND~ 0.125)	ND (ND)	ND (ND~ 0.006)	0.09 (ND~ 2.10)
26 전자부품제조	21	0.17 (ND~ 3.52)	20,328 (ND~ 349,944)	0.017 (ND~ 0.328)	ND (ND)	0.003 (ND~ 0.052)	ND (ND~ 0.08)
29 기타 기계 및 장비제조	17	ND (ND)	ND (ND~ 0.023)	0.004 (ND~ 0.022)	ND (ND~ 0.0009)	ND (ND~ 0.015)	ND (ND)
20 화학제조	7	ND (ND)	4,659 (ND~ 32,562)	0.004 (ND~ 0.014)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
41 종합건설	43	ND (ND~ 0.09)	0.009 (0,000~ 0.109)	0.008 (0,000~ 0.168)	ND (ND~ 0.0007)	ND (ND~ 0.009)	0.03 (0,000~ 1.10)
38 폐기물처리	8	3,05 (ND~ 27,35)	1,483 (ND~ 9,346)	0.174 (ND~ 1,479)	ND (ND~ 0.0013)	0.036 (ND~ 0.317)	0.04 (ND~ 0.21)
37 하수, 폐수처리	2	0.24 (ND~ 0.47)	1,775 (ND~ 3,546)	0.007 (0,004~ 0.009)	0.265 (ND~ 0.0079)	0.003 (ND~ 0.005)	ND (ND)
기타	28	ND (ND~ 0.07)	0.036 (ND~ 0.342)	ND (ND~ 0.015)	ND (ND~ 0.0008)	ND (ND)	ND (ND)
결과표시한계	-	0.04	0.008	0.004	0.002	0.01	0.01
Criteria <sup>d)</sup> (mg/L)	-	3	3	1.5	0.005	0.3	1.5

a) Arithmetic mean

b) ND, Not Detected

c) Number means classifying catalogue according to KSIC(the 9th)

d) Criteria which are regulated by the Waste Control Act

내었고 폐기물처리업의 폐수처리오니(ND ~ 0,317 mg/L) 또한 높은 농도를 나타내었다. Cr<sup>6+</sup>은 기타운수장 비제조업 분진(ND ~ 36,32 mg/L)에서 높은 농도를 나타내었고, 1차금속제조업 폐활성탄(ND ~ 2,10 mg/L)에서 상대적으로 높은 농도를 보였다.

폐기물관리법 시행규칙 제2조 별표1의 지정폐기물의 유해물질 함유기준과 비교한 결과, 지정폐기물로 분류된 경우는 총 17건으로 초과율 9.1 %를 나타내었으며, 항목별 초과건수를 살펴보면, Cu(11건), 5.9 % > Pb(3건)·Cd(3건)·Cr<sup>6+</sup>(3건), 각 1.6 % > Hg(1건), 0.5 % 순으로 나

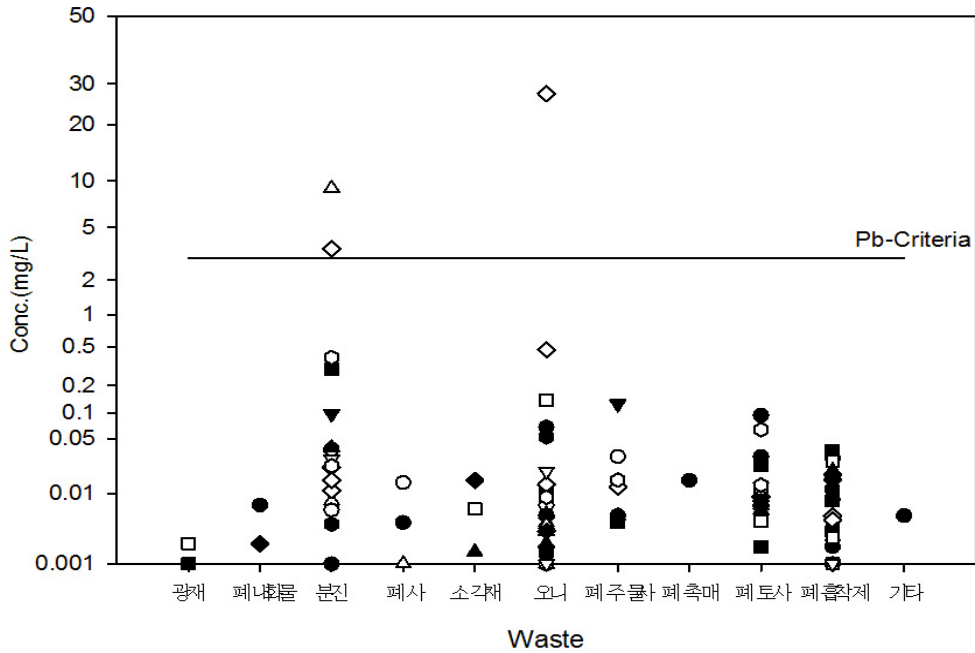


Fig. 10. Leaching characteristics of Pb in industrial wastes.

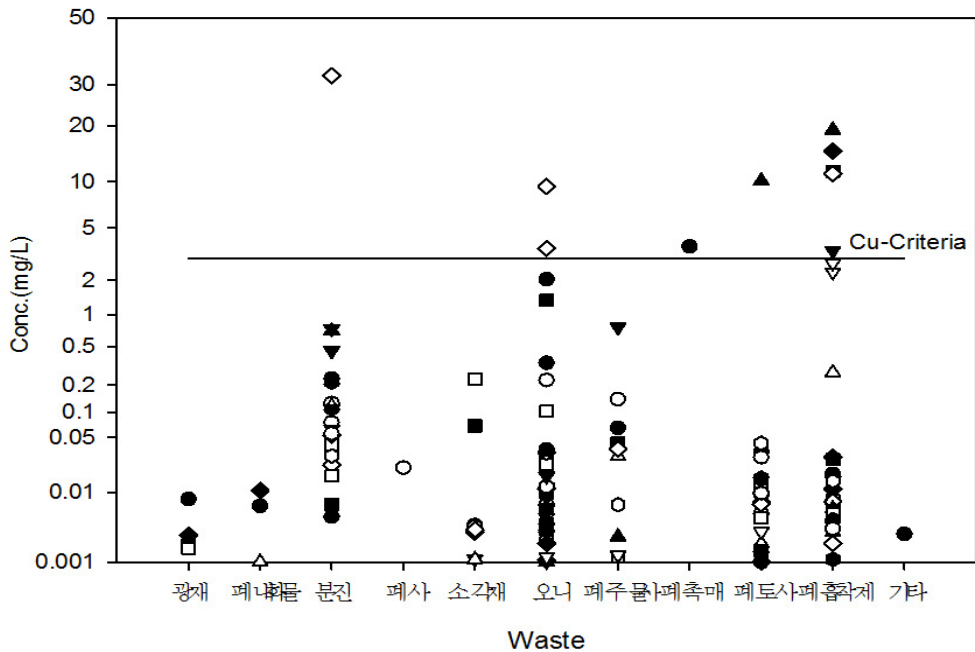


Fig. 11. Leaching characteristics of Cu in industrial wastes.

타났다.

Cu가 11건으로 가장 많이 초과되었는데 특히 전자부품 제조업이 폐흡착제 6건, 폐토사 1건으로 타업종에 비해 가장 많으며 또한 높은 농도를 보였고, 폐기물처리업의 폐수처리오니 각 1건, 화학제품제조업 분진 1건과 1차금속제조업 폐촉매 1건에서 지정폐기물로 판정되었다. Pb

은 폐기물처리업 폐수처리오니 1건, 전자부품제조업 및 기타운수장비제조업의 분진에서 각 1건, Cd은 폐기물처리업 폐수처리오니 1건, 기타운수장비제조업의 분진 2건, Cr<sup>6+</sup>은 기타운수장비제조업 분진 2건, 1차금속제조업 폐활성탄 1건, Hg은 하·폐수처리업 폐수처리오니 1건이 지정폐기물로 판정되었다. 업종별로는 전자부품제조업이

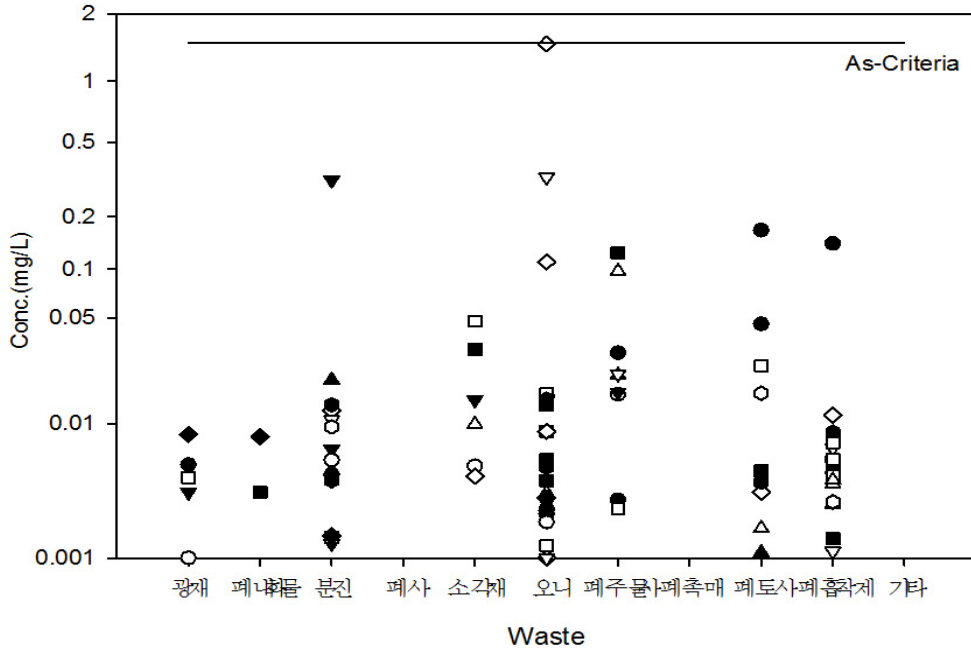


Fig. 12. Leaching characteristics of As in industrial wastes.

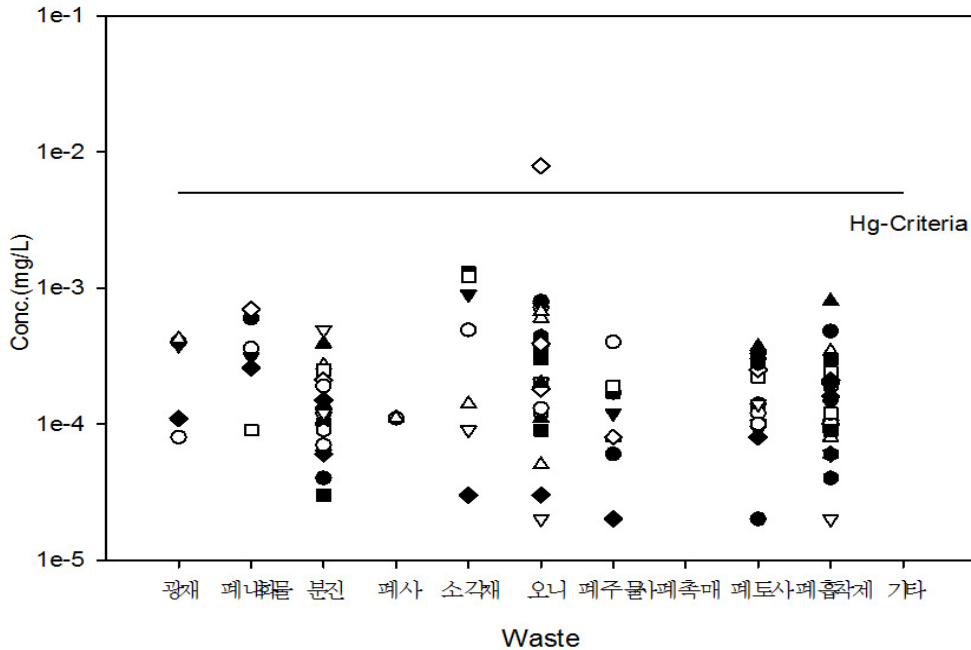


Fig. 13. Leaching characteristics of Hg in industrial wastes.

8건으로 가장 많았으며 다음으로 기타운수장비제조업이 4건 > 1차금속제조업 2건 > 화학제품제조업·폐기물처리업·하폐수처리업 각 1건 순으로 나타났으며, 지정폐기물 중 전자부품제조업과 기타운수장비제조업, 1차금속제조업이 차지하는 비율은 47.1 %, 23.5 %, 11.8 %로 나타나, 지정폐기물에서 제조업(C)이 차지하는 비율이 총

82.4 %로 절대적으로 높게 나타났다. 지정폐기물의 종류는 폐흡착제 41.2 % > 분진 35.3 % > 폐수처리오니 11.8 % > 폐토사·폐촉매(5.9 %) 순으로 폐흡착제와 분진이 차지하는 비중이 매우 높게 나타났다. 환경부에 따르면<sup>2)</sup>, 2012년 우리나라 지정폐기물 발생량은 업종별로 1차금속제조업, 전자부품제조업 등 제조업(C)이 차지하는 비율이

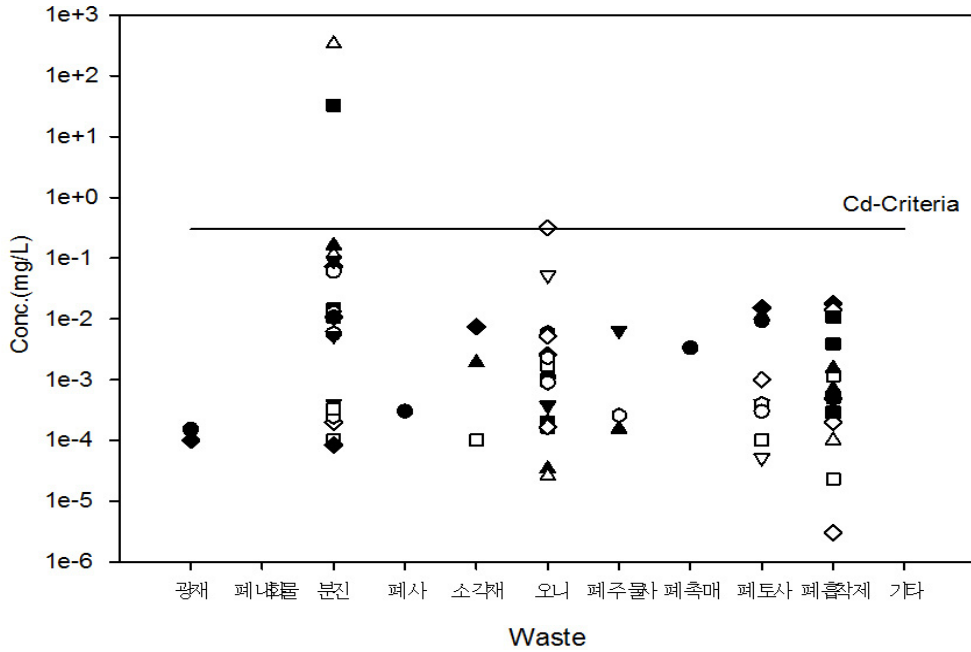


Fig. 14. Leaching characteristics of Cd in industrial wastes.

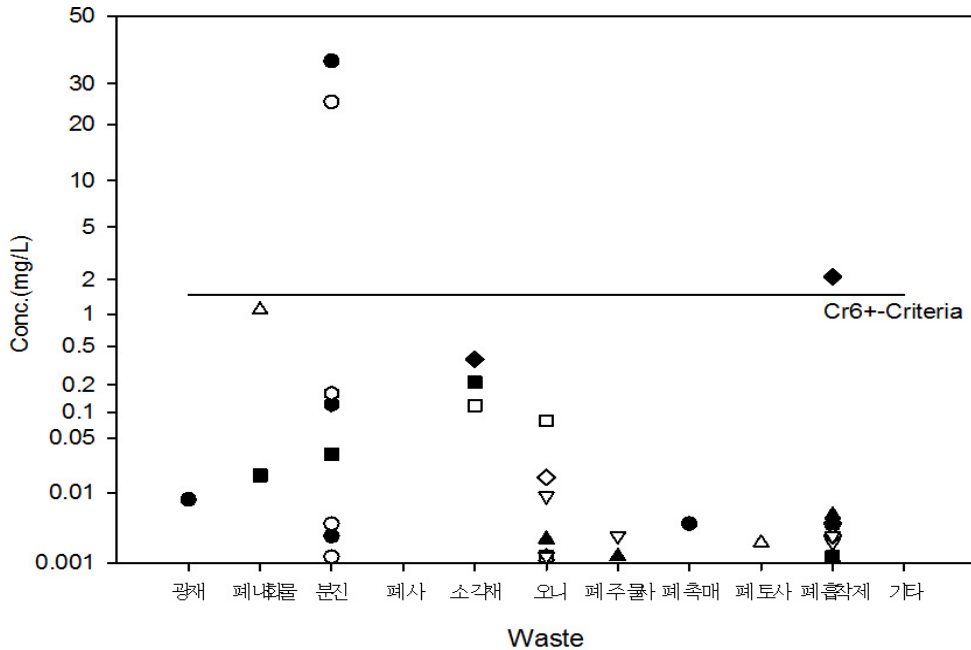


Fig. 15. Leaching characteristics of Cr<sup>6+</sup> in industrial wastes.

74 %로 매우 높고 폐기물 종류별로는 분진(12.4 %)과 오니류(8.0 %)가 높은 것으로 나타나, 미규제 중금속류와 마찬가지로 규제 중금속류 또한 매우 유사한 결과를 보였다. 그렇지만 조 등<sup>15,16)</sup>의 폐수처리오니 11.6 %, 공정오니 33.3 %가 높은 지정폐기물 분류율을 보인다는 결과와는 약간의 차이를 보였다.

**유해폐기물 목록화**

부산지역 사업장폐기물 186건에 대하여, 배출원 정보와 폐기물 정보를 분류·코드화하여 목록을 작성하고 국립환경과학원 유해폐기물 목록화를 위한 배출실태조사[Ⅱ]에서 제시한 우리나라 실정에 맞는 국내 유해폐기물 목록(Korean Waste Catalogue, KWC) 제1방안<sup>12)</sup>을 적용하고자 하였다. KWC에 의한 유해폐기물 목록의 코드는 총 6자리로 앞 2자리는 배출원 정보를 나타내고, 뒤 4자리는 폐기물 정보를 나타낸다. 앞 2자리 배출원 정보는 제9차

한국표준산업분류(KSIC)<sup>23)</sup>의 중분류 2자리를 그대로 활용하였고, 뒤 4자리의 폐기물 정보는 위 국립환경과학원 선형연구에서 제시한 폐기물 정보 4자리(가연성, 물리·화학적 성분, 폐기물 소분류 항목, 폐기물 세분류 항목)를 적용하여 총 6자리로 코드화하여 목록을 작성하였다.

표 5에서 보는 바와 같이, KSIC의 중분류에 의해 24개 업종에 대한 분류번호가 앞 2자리에 코드화되었고, 폐기물 종류에 따라 15개 분류번호가 뒤 4자리에 코드화되어, 총 72개의 분류목록이 작성되었다. 먼저 목록을 KWC와 대조하여 지정폐기물 여부를 분류하고, 추가적으로 목록에 포함되지 않은 폐기물은 용출특성 결과로서 지정폐기물 기준을 초과하는지 여부를 판단하였다.

부산지역 사업장 폐기물 186건에 대하여 작성된 총 72개의 목록을 국내 유해폐기물 목록(KWC) 제1방안과 대조한 결과, 일반폐기물 68건과 지정폐기물 18건으로 분류되었고, 그 외 목록대조에 의해 분류되지 않은 나머지

**Table 5. Comparison with the listing of samples and Korean Waste Catalogue (KWC)**

폐기물 분류목록		지정폐기물 분류목록
배출원 분류번호	폐기물 분류번호	
제조업(C)		
10 수산물가공		10 1210
13 섬유제조		13 1210
14 스포츠용품제조		
15 피혁가공제조	1200 오니류	
18 인쇄	1210 폐수처리오니	20 1210
20 화학제조	1220 공정오니	24 1210
22 플라스틱제조	1271 하수준설토	24 1220
23 유리제조	1272 건설오니	26 1210
24 1차금속제조	3131 폐내화물	26 1220
25 금속가공·자동차부품	3231 폐촉매	29 1220
26 전자부품제조	3240 광채류	
27 의료·정밀제조	3310 폐토사	
28 전기도금제조	3321 폐주물사	
29 기타기계·장비제조	3322 폐사	37 1210
30 자동차제조	3510 분진	38 1220
31 기타운송장비제조	3600 소각재	
하수·폐기물 처리업(E)	4221 폐흙착제	
36 수도사업	4222 폐활성탄	
37 하수·폐수처리		
38 폐기물처리		
건설업(F)		
41 종합건설		41 1210
42 전문직별공사		
도매업(G)		
46 도매		46 1210
운수업(H)		
52 운송관련서비스		-
서비스업(S)		
95 수리업		95 1210
총 186건		18건

100건은 용출특성 결과에 의하여 지정폐기물 여부를 추가적으로 판단해야 하는 것으로 나타났다. 상기 100건에 대한 용출특성으로 지정폐기물 여부를 추가적으로 분류한 결과, 현행 폐기물관리법의 규제항목 기준 초과 15건, 미규제 중금속류에서 제안기준(안)을 초과 5건으로 나타나, 지정폐기물은 총 38건(20.4 %)으로 확대 분류되었다.

지정폐기물로 분류된 유해폐기물 분류목록은 101210, 131210, 201210, 241210, 241220, 261210, 261220, 291220, 371210, 381220, 411210, 461210, 951210으로 총 13 목록, 18건(9.7 %)으로 나타났으며(표 5), 폐기물 종류별로 보면 모두 폐수처리오니와 공정오니가 해당되었다. 현행 폐기물관리법의 오니류는 용출기준을 초과한 경우에만 지정폐기물로 분류되는 반면, 유해폐기물 목록 상 폐수처리오니와 공정오니는 대부분의 제조업에서 지정폐기물로 분류되고 있어, 환경부의 유해물질 관리 선진안인 국내 유해물질 목록(안)은 현행 폐기물관리법보다 더 엄격한 폐기물 관리 방안인 것으로 판단된다.

**유해폐기물 관리 선진(안) 적용**

환경부는 폐기물 관리를 선진국 수준으로 올리기 위하여 유해폐기물 관리체계 선진화 계획(2006~2010)을 수립하고 많은 연구를 수행하였으며<sup>7~14,17~22)</sup> 그 결과로서 우리나라 유해폐기물 관리 선진안을 제안하였다<sup>7~13)</sup>. 이에 본 연구결과를 현행 폐기물관리법 상 규제기준 외에 환경부가 제안한 우선선정 미규제 중금속류 제안기준(안) 및 우리나라 실정에 맞는 유해폐기물 목록화(안)에 대하여 확대 적용하여 보았다.

위에서 살펴 본 바와 같이 환경부의 상기 유해폐기물

관리 선진안을 적용한 결과, 현행 폐기물관리법 상 지정폐기물은 17건(9.1 %)이었는데 반해, 미규제 중금속류 제안기준(안) 적용에 의해 총 22건(11.8 %)으로 확대되었고, 유해물질 목록화(안) 적용에 의해 총 38건(20.4 %)으로 확대되었다(그림 16). 또한 현행 폐기물 관리법상 오니류는 용출분석 결과로서 지정폐기물 여부를 분류하는데 반해, 유해폐기물 목록(안)의 폐수처리오니 및 공정오니는 지정폐기물로 분류되고 있으므로 더욱 엄격한 관리 방안인 것으로 판단된다.

반면, 본 연구에서 용출특성에 의해 지정폐기물로 분류된 총 22건 중 배출원별로는 전자부품제조업(9건, 40.9%), 기타운수장비제조업(8건, 36.4%)이 대부분을 차지하였고, 폐기물 종류별로는 폐수처리오니가 2건(9.1%)으로 분진(11건, 50.0%)과 폐흡착제(7건, 31.8%)보다 낮게 분류되어 유해물질 목록화(안)와 차이를 보이고 있다. 그러므로 새로운 유해폐기물 목록 작성 시 업종 분류 및 폐기물 종류를 좀 더 세분화하여 작성할 필요성이 있는 것으로 사료된다.

또한 부산지역 사업장폐기물 186건에 대한 총 72개의 목록을 국내 유해폐기물 목록화(안)와 대조한 결과, 앞서 언급한 바와 같이 일반폐기물 68건 및 폐수처리오니·공정오니 18건이 지정폐기물로 분류되었다. 이러한 목록대조로 지정과 일반폐기물로 분류된 총 86건(46.2%)에 대한 검사를 생략할 수 있게 되며, 이에 국립환경과학원시험의 퇴규칙<sup>26)</sup>에 따른 검사 수수료 15,643,400원을 절감할 수 있게 되고 또한 검사에 따른 시간을 절약할 수 있을 것으로 나타났다. 절감된 검사비용을 규제기준 확대에 따른 지정폐기물 처리비용으로 운용 가능하여 현행보다 효율적

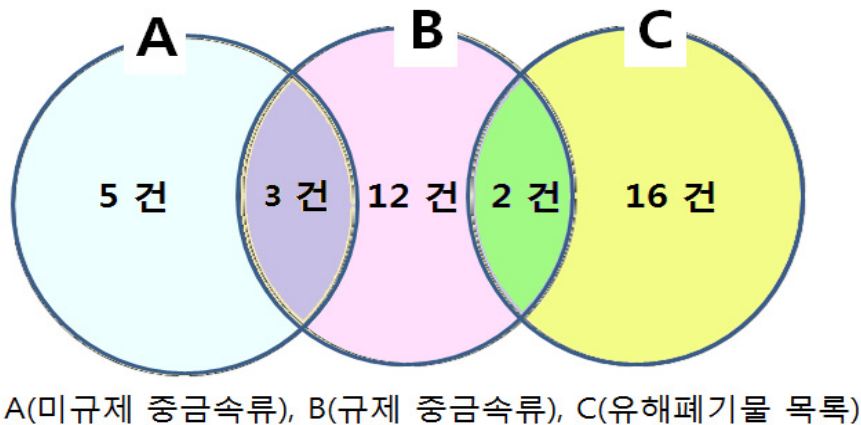


Fig. 16. Application on advanced policy plan for hazardous waste management suggested by the Ministry of Environment in Korea.

인 폐기물 관리체계라고 사료된다.

## 결 론

부산지역 사업장 폐기물 186건에 대하여, 배출원·폐기물 종류별 미규제 중금속류 7항목(Zn, Ni, Sb, Ba, Se, Be, V)과 규제 중금속류 6항목(Pb, Cu, As, Hg, Cd, Cr<sup>6+</sup>)에 대한 용출분석 및 폐기물 목록을 작성하고 환경부 유해물질 관리체계 선진안을 적용한 결과,

1. 부산지역 110개 사업장으로부터 배출된 폐기물 시료 186건을 제9차 한국표준산업분류(KSIC)의 산업중분류에 의해 분류한 결과, 종합건설업(43건) > 기타운송장비제조(36건) > 1차금속제조(24건) > 전자부품제조(21건) > 기타기계장비제조(17건) 등 총 24업종으로 나타났고, 폐기물 종류는 오니류(52건) > 폐흡착제(42) > 분진(31) > 폐토사류(17) > 폐주물사(13) 등 총 10종으로 나타났다.
2. 미규제 중금속류 7항목(Zn, Ni, Sb, Ba, Se, Be, V)에 대한 용출 분석을 수행한 결과, Zn은 폐기물처리업(0.016 mg/L ~ 6,900,000 mg/L), 기타운수장비제조업(ND ~ 2,655,500 mg/L), 전자부품제조업(ND ~ 220,040 mg/L), Ni은 전자부품제조업(ND ~ 13,948,000 mg/L), 기타운수장비제조업(ND ~ 119,640 mg/L), Sb은 기타운수장비제조업(ND ~ 7.924 mg/L), Ba은 전자부품제조업(ND ~ 119,577 mg/L), V은 기타운수장비제조업(ND ~ 38,868 mg/L)에서 상대적으로 높게 나타났으며, Se과 Be은 전체 업종이 ND ~ 0.155 mg/L, ND ~ 0.040 mg/L로 다른 항목에 비하여 낮은 값을 나타내었다.
3. 규제 중금속류 6항목(Pb, Cu, As, Hg, Cd, Cr<sup>6+</sup>)에 대한 용출 분석을 수행한 결과, Pb은 폐기물처리업(ND ~ 27.35 mg/L), 기타운수장비제조업(ND ~ 9.02 mg/L), 전자부품제조업(ND ~ 3.52 mg/L), Cu는 전자부품제조업(ND ~ 349.944 mg/L), 화학제조업(ND ~ 32.562 mg/L), 폐기물처리업(ND ~ 9.346 mg/L), 하폐수처리업(ND ~ 3.546 mg/L), Hg은 하폐수처리업(ND ~ 0.0079 mg/L), Cd은 기타운수장비제조업(ND ~ 335.980 mg/L), 폐기물처리업(ND ~ 0.317 mg/L), Cr<sup>6+</sup>은 기타운수장비제조업(ND ~ 36.32 mg/L), 1차금속제조업(ND ~ 2.10 mg/L)으로 나타났으며, As는 전 업종(ND ~ 1.479 mg/L)이 기준 이내로 나타났다.
4. 배출원(업종) 정보와 폐기물 정보를 분류·코드화하여 총 72 목록을 작성하고, 유해폐기물 목록(안, Korean Waste Catalogue)과 대조한 결과, 일반폐기물 68건과 지정폐기물 18건으로 분류되었고, 용출특성 결과에 의하여 추가적으로 지정폐기물 20건이 분류되어 지정폐기물은 총 38건(20.4 %)으로 분류되었다. 따라서, 이상의 연구결과와 같이 환경부의 유해폐기물 관리 선진안을 부산지역 사업장폐기물에 적용한 결과, 지정폐기물은 현행 폐기물관리법 상 17건(9.1 %)이었는데 반해, 미규제 중금속류 제안기준(안) 적용에 의해 총 22건(11.8 %)으로, 유해물질 목록화(안)에 의해 총 38건(20.4 %)으로 확대되었다. 유해폐기물 목록 대조에 의하여 일반폐기물 68건과 지정폐기물 18건으로 분류됨으로써 총 86건(46.2 %)의 검사를 생략할 수 있고, 그에 따른 검사 수수료 15,643,400원을 절감할 수 있게 되며 또한 검사에 따른 시간을 절약할 수 있을 것으로 나타났다. 이와 같이 환경부의 유해폐기물 관리 선진안은 규제는 확대되었으나 절감된 검사 비용을 확대된 지정폐기물에 대한 처리비용으로 운용 가능하므로 현행보다 효율적인 폐기물 관리체계라고 사료된다.

## 참고문헌

1. 환경부, <http://www.me.go.kr/>
2. 올바로 시스템, <http://www.allbaro.or.kr>
3. U.S Environment Protection Agency, orientation manual(2011).
4. U.S Environment Protection Agency, <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/>
5. U.S Environment Protection Agency, <http://www.epa.gov/osw/laws-regs/regs-haz.htm>
6. U.S Government publishing office, <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2012-title40-vol27/xml/CFR-2012-title40-vol27-part261-subpartC.xml>
7. 국립환경과학원, “지정폐기물 중 신규 유해물질의 항목설정 및 시험방법 확립에 관한 연구[I]”, (2004).
8. 국립환경과학원, “지정폐기물 중 신규 유해물질의 항목설정 및 시험방법 확립에 관한 연구[II]”, (2005).
9. 국립환경과학원, 지정폐기물의 처리기준 선진화 방안 연구, (2007).

10. 국립환경과학원, “국내 유해폐기물의 적정관리 방안 연구”, (2007).
11. 국립환경과학원, “유해폐기물 목록화를 위한 배출실태조사[ I ]”, (2009).
12. 국립환경과학원, “유해폐기물 목록화를 위한 배출실태조사[ II ]”, (2010).
13. 국립환경과학원, “폐기물의 신규관리기준 도입을 시험방법 적정성 평가[ I ]”, (2012).
14. 환경부, 폐기물관리법, 동법 시행령, 동법 시행규칙, (2014).
15. 국립환경과학원, “폐수처리오니 및 공정오니의 적정 분류체계에 관한 연구[ I ]”, (1997).
16. 국립환경과학원, “폐수처리오니 및 공정오니의 적정 분류체계에 관한 연구[ II ]”, (1998).
17. 한국관세무역개발원, “수출·입 폐기물의 통관관리체계 선진화 방안을 위한 연구”, (2007).
18. 전태완, 신선경, 이정아, 김형섭, 박종현, 김영식, “폐기물 용출 및 TCLP 시험방법의 상관성 고찰”, *한국공동기술대회*, 17, pp.1233~1236(2007).
19. 전태완, 신선경, 이정아, 김형섭, 박종현, 김영식, “사업장 폐기물의 중금속류 배출특성”, *한국공동기술대회*, 16, pp.1229~1232(2007).
20. 전태완, 신선경, 이정아, 김형섭, “지정폐기물 중 미규제 중금속류 배출특성”, *대한환경공학회지*, pp.213~ 217(2008).
21. 전태완, 이동진, 윤정인, 오길중, 황동진, “산업공정 폐기물 중 규제대상 중금속류의 함량특성”, *대한환경공학회지*, pp.449~453(2009).
22. 정성경, 김우일, 강영렬, 김동운, 조운아, 신선경, 오길중, “국내 도로공정 발생 폐기물 중 미규제 중금속류의 배출특성”, *Analytical Science & Technology*, 24(5), pp.387~394(2011).
23. 통계청, [http://kssc.kostat.go.kr/ksscNew\\_web/index.jsp](http://kssc.kostat.go.kr/ksscNew_web/index.jsp)
24. 환경부, 폐기물공정시험기준, (2011, 2014).
25. 환경부, 토양오염공정시험기준, (2013).
26. 국가법령정보센터, <http://www.law.go.kr>(국립환경과학원 시험의뢰 규칙)