

pH 變化에 따른 産業種類別 汚泥類의 重金屬 溶出特性에 關한 研究

朴鍾煥 · 鄭文植

서울大學校 保健大學院 環境保健學科

A Study on the Elution Characteristics of Heavy Metals from the Industrial Sludges by the Variation of pH

Jong Hwan Park and Moonshik Zong

Department Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University

ABSTRACT

This study was carried out to find out the elution characteristics of 4 kinds of sludges and a dust by the variation of pH. Four kinds of sludges were obtained from the Industrial wastes, and the dust, from the iron-and-steel waste. These samples were analyzed by "Official Method for Waste", and the results were summarized as follows.

1. The amounts of heavy metals

The concentrations of Cu were 1,940 mg/kg in dust and 1,110 mg/kg in sludge from fabricated metal, while those of Pb were 31,000 mg/kg in dust and 1,790 mg/kg in sludge from fabricated metal. The concentrations of Cu and Pb in these two sample were much higher than those in the others. Meanwhile, the concentraion of Cd in dust was 593 mg/kg while those of T-Cr in dust and sludge from fabricated metal were each 1,700 mg/kg.

2. Elution characteristics of heavy metals

2-1. Elution characteristics in sludge from textile industry

The eluted solution at pH=10 contained as the highest concentration as 18.5 mg/kg (4.6% elution rate) of Cu, 28.8 mg/kg (4.5% elution rate) of T-Cr and 0.0097 mg/kg of Hg. And the elution rate at pH=10 was 100 times higher than that at pH=2.

2-2. Elution characteristics in sludge from paper industry

The concentration of Cu, Pb and Cr⁺⁶ at pH=10 were as the highest as 0.226 mg/kg (0.003% elution rate), 0.107 mg/kg (0.23% elution rate) and 0.039 mg/kg, respectively. Hence, the concentration of T-Cr was as the highest as 0.152 mg/kg (0.48% elution rate) at pH=6, while that of Hg was as the highest as 0.0023 mg/kg at pH=4.

2-3. Elution characteristics in sludge from fabricated metal industry

The Cu and Cd were highly eluted at pH=6 as much as 0.436 mg/kg (0.039% elution rate) and 0.015 mg/kg (0.046% elution rate), while Pb, T-Cr and Cr⁺⁶, at pH=10 as 0.571 mg/kg (0.032% elution rate), at pH=2 as 1.06 mg/kg (0.062% elution rate) and pH=2 as 0.101 mg/kg, respectively. But, in case of Hg the eluted was almost similar to 0.0060 mg/kg at pH 2, 3 and 10 each.

2-4. Elution characteristics in sludge from leather industry

The eluted solution at pH=6 contained as the highest concentrations as 0.332 mg/kg of Cu (20.9% elution rate), 0.864 mg/kg of Pb (40.0% elution rate), 0.017 mg/kg of Cd (89.5% elution rate), 35.7 mg/kg of T-Cr (29.0% elution rate) and 0.643 mg/kg of Cr⁺⁶. The elution rate of leather sludge was much higher than those of the other sludges.

2-5. Elution characteristics in dust from iron-and-steel industry

The eluted solution of pH=4 contained as the highest concentration as 2.28 mg/kg of Cu

(0.12% elution rate), 15.0 mg/kg of Cd (0.05% elution rate), 22.0 mg/kg of Pb (3.7% elution rate), 0.115 mg/kg of T-Cr (0.011% elution rate) and 0.112 mg/kg of Cr⁺⁶, while that of pH=10 highly contained 0.074 mg/kg of Hg.

Keywords : Sludges, dust, heavy metal, elution, concentration.

I. 서 론

1960년대부터 시작된 공업화 정책에 따라 대형 공업단지가 건설되고 산업활동이 활발해져 많은 제품을 생산하게 되었으나, 경제개발에만 치중함으로써 상대적으로 환경오염 문제는 소홀히 다루어져 왔다. 그러나 점차 경제가 성장되고 오염이 누적되면서 환경오염 문제의 해결없이 지속적 경제발전이 불가능하다는 국민적 공감대가 형성되고 국민들의 생활수준에 부합되는 쾌적한 환경의 요구가 증대되면서 환경오염방지는 매우 시급히 해결해야 할 국가적 과제 중의 하나로 대두되었다.

특히, 고도 산업사회의 필연적 부산물로 발생하는 산업폐기물은 인구증가, 도시의 산업화 및 비대화에 따른 생활수준의 향상과 소비구조의 변화 등으로 그 발생량이 계속적인 증가 일로에 있으며, 이들 산업폐기물로 인한 환경 및 생태계 파괴와 인간에 대한 직·간접적 악영향을 방지하기 위하여 그의 적절한 처리 처분은 큰 사회문제화 되기에 이르렀다.

생활활동을 수행하는 대부분의 사업장에서 발생하는 산업폐기물은 '폐기물공정시험방법'의 용출시험에 의해 기준치를 초과하는 특정폐기물과 기준치 이내의 일반폐기물로 분류되며 '폐기물관리법'에 따라 적정 처분되어야 한다. 특히 오니류 및 분진 등의 다량배출 일반폐기물은 대부분 매립 처분에 의존하고 있으며, 오니류 및 분진 안정화 처리물의 대부분이 중금속을 함유하고 있어서 관계 법규에 의거하여 적법하게 매립처분되었다고 해도 실제의 매립장에서는 법규에 의한 유해성 시험과 다른 조건의 산성우, 혐기성 상태에서 발생하는 유기산 등과 접촉하게 됨에 따라 폐기물 중에 함유된 유해물질이 용출될 가능성이 많다. 또한 국내 산업체에서 배출되는 폐기물은 여타 국가의 동종 폐기물과 성상 등이 다를 수 있고, 매립지의 제반 여건도 달라 상대적 비교가 어려우므로 폐기물 매립에 의한 2차 오염 및 장치의 침출수 처리문제 등에 대처하고 매립방법 결정 및 차기 매립상 설계시 참고자료로 활용하기 위해서 매립대상 폐기물의 유해물질 함량 및 용출 특성 등에 대한 많은 연구가 진행되어야 한다.

그동안 진행되어온 폐기물 용출특성에 관련된 연

구를 살펴보면 중금속을 첨가한 제조폐기물¹⁻⁵⁾이나 특정폐기물의 고정화물⁶⁻¹⁰⁾에 대한 용출특성을 연구한 것이 주종을 이루며, 1988년 박 등¹¹⁾은 특정폐기물에 함유된 중금속에 대하여 pH 변화에 따른 용출특성을 연구하는 등, 특정폐기물이나 일부 특정사업장의 폐기물에 대한 연구가 대부분으로, 일반적으로 유해성이 적다고 생각되는 다량 배출 일반폐기물에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 업종별 반입 비율에 따라 혼합한 폐기물에 대해 유해 중금속 함량을 조사 분석하였으며, 또한 pH를 변화시킨 완충용액을 사용하여 업종별로 폐기물 중의 유해 중금속에 대한 용출특성을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료 및 기기

섬유, 종이, 조립금속 및 가죽모피 업종의 4종류 오니와 제철제강 업종 분진 1종 등 총 5개 폐기물에 대하여 1992년 9월 1일부터 1993년 8월 31일까지 수도권 매립지에 반입된 업소들의 폐기물을 폐기물공정시험방법¹²⁾에 따라 채취한 후 각각 반입량 비율로 혼합하여 폐기물 시료로 사용하였다.

본 연구에서 사용한 금속표준액은 일본의 Wako 사제 1,000 µg/ml 시약을 필요에 따라 적당히 희석하여 사용했으며, pH 조절용의 염은 분석용 특급 시약을 정제하지 않고 그대로 사용하였고, 기타 시료의 전처리 등에 사용한 산 및 염은 중금속 측정용 특급시약을 사용하였다.

Cu, Cd, Pb, Total-Cr 및 Cr⁺⁶의 정량분석에 사용한 기기는 Thermo Jarrell Ash사제 모델 Poly Scan 61E의 ICP AES(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer)이며, Hg의 정량분석에 사용한 기기는 Thermo Jarrell Ash사제 모델 Smith-Hieftje 4000의 AAS(Atomic Absorption Spectrometer)로서 모델 AVA 880의 환원기화장치기 부착된 것을 사용하였다. 함량실험에 사용한 건조기는 제일과학사제 C-DM3형이며, 그 밖에 제일과학사제 C-ST5형 진탕기 및 Elga사제 탈이온수 제조장치 등을 사용하였다.

Table 1. Buffer solution by Clark & Lubs method

Classif.	pH	Description		
Sol. I	2	0.2 N HCl	1,060 ml + 0.2 N KCl	5 l → 20 l Mark
Sol. II	4	0.1 N NaOH	80 ml + 0.1 M KHC ₈ H ₄ O ₄	10 l → 20 l Mark
Sol. III	6	0.1 N NaOH	1,140 ml + 0.1 M KH ₂ PO ₄	10 l → 20 l Mark
Sol. IV	8	0.1 N NaOH	9,360 ml + 0.1 M KH ₂ PO ₄	10 l → 20 l Mark
Sol. V	10	0.1 N NaOH	8,780 ml + 0.1 M HBO ₃	10 l → 20 l Mark

Table 2. 업종별 폐수오니 및 분진의 중금속 함유량 분석결과

(Unit : mg/kg dry base)

구 분	pH	Cu	Pb	Cd	Total-Cr
섬유 업종 오니	8.0	404	ND	ND	644
종이 업종 오니	7.1	63.0	46.1	ND	31.9
조립금속 업종 오니	8.1	1,110	1,790	32.4	1,700
가죽모피 업종 오니	7.7	1.59	2.16	0.019	123
제철제강 업종 분진	8.6	1,940	31,000	593	1,060

ND : Not determined. These data are the average value of five runs.

2. 실험방법

5개 업종의 표준폐기물 시료에 대하여 105°C의 건조기에서 4시간 동안 건조시켜 함수율을 측정하고 후 건조된 폐기물을 파쇄하여 체분리하였다. 체분리된 폐기물 중 직경 2mm이하의 건조폐기물 약 1g을 정확히 취하여 질산-과염소산 처리하여 완전히 용해시킨 다음 탈이온수를 이용하여 희석한 후 ICP AES로 분광학적 방해영향이 가장 적은 파장에서 Cu(324.754 nm), Pb(220.353 nm), Cd(228.802 nm), Total-Cr(267.716 nm)의 4개 항목을 측정하였다.

5개 업종의 표준폐기물 시료에 대하여 Table 1과 같이 Clark 및 Lubs법에 의해 제조된 pH가 다른 5종의 완충용액으로 '폐기물공정시험방법'에 따라 각각 용출한 후 용출액을 전처리하여 Cu, Cd, Pb, Total-Cr 및 Cr⁺⁶의 5개 항목을 ICP AES로 측정하였고, Hg는 환원기화장치를 이용한 비불꽃 AAS로 253.7 nm에서 측정하였다.

III. 성적 및 고찰

1. 중금속 함유량

5개 업종의 폐수오니 및 분진에 대해 Cu, Pb, Cd 및 총크롬의 4개 유해 중금속 함유량을 측정하고 결과를 Table 2에 나타냈다. 또한 pH는 표준폐기물과 탈이온수를 1:10의 질량비로 혼합하여 2시간 동안

진탕한 후 측정하였다.

Table 2에 나타난 바와 같이 섬유 업종 폐수오니의 경우 pH 8.0으로 약 알칼리성을 띠었으며, Cu 및 총크롬의 함유량은 각각 404, 644 mg/kg이었고, Pb 및 Cd는 검출되지 않은 것으로 나타나 장래 이들 폐기물을 매립 처분하고자 할 때에는 Cu 및 Pb가 크롬을 중점 관리할 필요가 있는 것으로 나타났다. 종이 업종 폐수오니의 경우에는 pH 7.1의 중성으로 Cu, Pb 및 총크롬이 각각 63.0, 46.1 및 31.9 mg/kg이었고, Cd는 검출되지 않았으며 전반적으로 모든 중금속이 100 mg/kg 이하의 미량이 함유되어 있는 것으로 나타났다. 조립금속 업종 폐수오니의 경우에는 pH 8.1의 약알칼리성으로 Cu 1,100, Pb 1,790, Cd 32.4 및 총크롬 1,700 mg/kg 등 유해 중금속을 다량 함유한 것으로 나타났으며, 가죽모피 업종 폐수오니는 pH 7.7로서 거의 중성이었으며, 총크롬만 123 mg/kg으로 높게 검출되었고, 나머지 항목은 미량이 검출되었다. 또한 제철제강 업종의 분진은 pH 8.6의 약알칼리성으로 Cu 1,940, Pb 31,000, Cd 593 및 총크롬 1,060 mg/kg 등 중금속 함유량이 가장 높은 것으로 나타났다.

2. 중금속 용출

중금속 용출실험은 업종별 표준폐기물 시료 일정량을 달아 Table 1에 따라 제조된 각각의 완충용

Table 3. 섬유 업종 폐수오니의 중금속 용출량 분석결과

(용출량 Unit : mg/kg dry base)

pH I	pH II	구 분	Cu	Pb	Cd	Total-Cr	Cr(6+)	Hg
2	6.5	용출량	0.122	—	—	0.273	0.166	ND
		용출율 %	0.030	—	—	0.042	—	—
4	5.9	용출량	0.161	—	—	0.649	0.283	ND
		용출율 %	0.040	—	—	0.101	—	—
6	6.8	용출량	1.36	—	—	1.68	0.215	ND
		용출율 %	0.337	—	—	0.261	—	—
8	7.9	용출량	15.8	—	—	26.3	0.180	0.0083
		용출율 %	3.911	—	—	4.084	—	—
10	9.6	용출량	18.5	—	—	28.8	0.488	0.0097
		용출율 %	4.579	—	—	4.472	—	—

pH I : 용매의 pH, pH II : 용출액의 pH, ND : Not determined. These data are the average value of five runs.

액을 1 : 10(W : V)의 비율로 500 ml 용량의 삼각플라스크에 넣고 진폭 40 mm, 25°C에서 6시간 동안 진탕한 다음, 즉시 상온 상압에서 Whatmann 41 여과지로 여과한 용출액을 분석 항목별로 '폐기물 공정시험방법'에 따라 전처리한 후 Cu, Cd 등 6개 항목을 측정하였으며, Table 3~7에 나타난 분석결과는 각 표준폐기물 시료의 함유율을 보정한 건조 폐기물에 대하여 중금속 함유량으로 나타냈다.

일반적으로 중금속의 용출율은 pH가 낮은 강산성 용매나 또는 pH가 높은 강알칼리성 용매에서 크게 나타나지만, 황화물, 산화물 및 수산화물 등의 불용성 및 난용성 중금속 화합물은 특정 pH 및 특정 산 또는 염기용매에서 잘 용해되는 경우도 있으며, 이들 화합물의 특정 용액에 대한 용해 관계는 앞으로 좀더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

1) 섬유 업종 폐수오니의 중금속 용출

섬유 업종의 폐수오니는 Pb 및 Cd를 함유하지 않은 것으로 나타나(Table 2 참조) pH 및 Cu, 총크롬, 6가 크롬, Hg의 4개 중금속 항목만을 측정하여 건조폐기물의 중금속 함유량에 대한 용출량 비율을 나타낸 용출율과 함께 Table 3에 나타냈다.

먼저 용출 후의 pH를 보면 용출 전의 pH 2, 4, 6, 8 및 10의 완충용액에 대하여 각각 pH 6.5, 5.9, 6.8, 7.9 및 9.6으로서, pH 8.0 약알칼리성 오니(Table 2 참조)와의 상호작용으로 인하여 용출액의 pH는 중성쪽으로 진행되고, 또한 Clark 및 Lubs법에 따라 pH별로 완충용액을 조절할 때 사용한 산 또는 염기와 염의 종류가 달라 용출 전후의 pH 변화가 일치하지는 않았다.

Cu, 총크롬 및 Hg의 용출량을 보면 용매로 사용된 완충용액의 pH가 높을수록 훨씬 많은 양이 용해되어 pH 2의 용매보다 pH 10의 용매에서 Cu는 약 150배, 총크롬은 약 105배 정도 높게 검출되었고, Hg는 pH 2에서는 검출되지 않았으나, pH 10에서 0.0097 mg/kg으로 높게 검출되었다. 용출율은 Cu가 0.030~4.579%, 총크롬이 0.042~4.472%로서 pH가 높은 용매순으로 용출율이 높았다.

2) 종이 업종 폐수오니의 중금속 용출

종이 업종의 폐수오니는 Cd를 함유하지 않는 것으로 나타나(Table 2 참조) pH 및 Cu, Pb, 총크롬, 6가 크롬, Hg의 5개 중금속 항목을 측정하여 Table 4에 나타냈으며, 용출 후의 pH는 섬유 업종의 오니와 마찬가지로 pH 7.1인 중성오니(Table 2 참조)의 영향으로 용출 전 용매의 pH 2, 4, 6, 8 및 10이었던 것이 용출 후 pH가 각각 6.2, 6.7, 5.7, 7.1 및 9.5로 나타났다.

중금속 용출량은 Cu, Pb, 총크롬 및 6가 크롬의 경우 대체적으로 용출액의 pH가 낮거나(pH 5.7) 또는 높을 때(pH 9.5) 높은 농도로 용출되었으며, Hg는 용매 pH 4 및 2의 산성 용매에서 각각 0.0023 및 0.0015 mg/kg이 용출되었고, pH 6, 8 및 10에서는 검출되지 않은 것으로 나타났다.

또한 Cu, Pb 및 총크롬의 용출율은 각각 0~0.270%, 0.059~0.232% 및 0~0.476%이었으며, Cu 및 총크롬은 pH 6의 용매에서, Pb는 pH 10의 용매에서 가장 높은 용출율을 나타냈다.

3) 조립금속 업종 폐수오니의 중금속 용출

조립금속 업종의 폐수오니는 pH 8.1의 약알칼리성

Table 4. 종이 업종 폐수오니의 중금속 용출량 분석결과 (용출량 Unit : mg/kg dry base)

pH I	pH II	구 분	Cu	Pb	Cd	Total-Cr	Cr(6+)	Hg
2	6.2	용출량	ND	0.027	—	0.030	ND	0.0015
		용출율 %	—	0.059	—	0.094	—	—
4	6.7	용출량	ND	0.033	—	ND	ND	0.0023
		용출율 %	—	0.072	—	—	—	—
6	5.7	용출량	0.170	0.095	—	0.152	0.032	ND
		용출율 %	0.270	0.206	—	0.476	—	—
8	7.1	용출량	0.119	0.080	—	0.054	0.003	ND
		용출율 %	0.189	0.174	—	0.169	—	—
10	9.5	용출량	0.226	0.107	—	0.057	0.039	ND
		용출율 %	0.003	0.232	—	0.179	—	—

pH I : 용매의 pH, pH II : 용출액의 pH, ND : Not determined. These data are the average value of five runs.

Table 5. 조립금속 업종 폐수오니의 중금속 용출량 분석결과 (용출량 Unit : mg/kg dry base)

pH I	pH II	구 분	Cu	Pb	Cd	Total-Cr	Cr(6+)	Hg
2	8.2	용출량	0.079	0.068	0.011	1.06	0.101	0.0060
		용출율 %	0.007	0.004	0.034	0.062	—	—
4	6.9	용출량	0.163	0.207	ND	0.199	0.056	0.0037
		용출율 %	0.015	0.012	—	0.012	—	—
6	7.5	용출량	0.436	0.526	0.015	0.278	0.034	0.0037
		용출율 %	0.039	0.029	0.046	0.016	—	—
8	7.6	용출량	0.128	0.267	ND	0.105	0.053	0.0060
		용출율 %	0.012	0.015	—	9.350	—	—
10	8.4	용출량	0.417	0.571	ND	0.271	0.038	0.0019
		용출율 %	0.038	0.032	—	0.016	—	—

pH I : 용매의 pH, pH II : 용출액의 pH, ND : Not determined. These data are the average value of five runs.

(Table 2 참조)으로서 Table 5에 나타낸 바와 같이 섬유 및 종이 업종의 오니와 마찬가지로 용출용매의 pH에 영향을 주어 용출전 pH 2, 4, 6, 8 및 10의 용매에 대하여 용출액은 pH 8.2, 6.9, 7.5, 7.6 및 8.4의 중성 및 약알칼리성 용매로 변화되었다.

중금속 용출량을 보면 Cu 및 Pb는 용출 전 pH 6 및 10의 용매에서 각각 0.436 및 0.417 mg/kg과 0.526 및 0.571 mg/kg, Cd는 pH 2 및 6의 용매에서 0.011 및 0.015, 총크롬 및 6가 크롬은 pH 2의 강산성 용매에서 각각 1.06 및 0.101 mg/kg으로 많은 양이 용출되었으며, Hg는 pH 2의 강산성 및 pH 8의 약

알칼리성 완충용액에서 가장 많이 용출되어 0.0060 mg/kg을 나타냈다.

중금속의 용출비율을 살펴보면 Cu 및 Pb는 pH 6 및 10의 완충용액에서 각각 0.039% 및 0.038%와 0.029% 및 0.032%으로, Cd는 pH 2 및 6의 완충용액에서 0.034% 및 0.046%로, 총크롬은 pH 2의 완충용액에서 0.062%로 가장 높은 용출율을 보였다.

4) 가죽모피 업종 폐수오니의 중금속 용출

가죽모피 업종의 폐수오니는 Table 6에 나타낸 바와 같이 용출 전 pH 6의 약산성 완충용액에서 Cu, Pb, Cd, 총크롬 및 6가 크롬이 각각 0.332, 0.864,

Table 6. 가죽모피 업종 폐수오니의 중금속 용출량 분석결과 (용출량 Unit : mg/kg dry base)

pH I	pH II	구 분	Cu	Pb	Cd	Total-Cr	Cr(6+)	Hg
2	6.5	용출량	0.077	0.269	0.007	5.92	0.112	ND
		용출율 %	4.483	12.454	36.842	4.813	-	-
4	6.2	용출량	0.112	0.332	0.010	12.7	0.259	ND
		용출율 %	7.044	15.370	52.632	10.325	-	-
6	6.2	용출량	0.332	0.864	0.017	35.7	0.643	ND
		용출율 %	20.881	40.000	89.474	29.024	-	-
8	7.7	용출량	0.136	0.298	0.007	11.5	0.119	ND
		용출율 %	8.553	13.796	36.842	9.350	-	-
10	9.3	용출량	0.241	0.489	0.009	24.7	0.199	ND
		용출율 %	15.157	22.639	47.368	20.881	-	-

pH I : 용매의 pH, pH II : 용출액의 pH, ND : Not determined. These data are the average value of five runs.

Table 7. 제철제강 업종 분진 안정화처리물의 중금속 용출량 분석결과 (용출량 Unit : mg/kg dry base)

pH I	pH II	구 분	Cu	Pb	Cd	Total-Cr	Cr(6+)	Hg
2	6.1	용출량	0.203	0.829	0.165	0.028	0.100	0.051
		용출율 %	0.010	0.003	0.028	0.003	-	-
4	4.7	용출량	2.28	15.0	22.0	0.115	0.112	0.040
		용출율 %	0.118	0.048	3.710	0.011	-	-
6	5.8	용출량	0.187	0.260	0.025	0.102	0.044	0.037
		용출율 %	0.096	0.001	0.004	0.010	-	-
8	7.8	용출량	0.333	1.60	2.12	0.020	0.032	0.063
		용출율 %	0.017	0.005	0.358	0.002	-	-
10	9.5	용출량	0.292	1.99	0.074	0.024	0.023	0.074
		용출율 %	0.015	0.006	0.012	0.002	-	-

pH I : 용매의 pH, pH II : 용출액의 pH, ND : Not determined. These data are the average value of five runs.

0.017, 35.7 및 0.643 mg/kg으로 가장 많이 용출되었으며, pH 10의 알칼리성 용매, pH 4의 산성용매, pH 8의 약알칼리성 용매 및 pH 2의 강산성 용매 순으로 용출량이 많았고, 또한 Hg는 5종의 모든 용매에서 검출되지 않았다.

특히, 중금속의 용출율은 다른 업종의 오니에 비해 월등히 높은 비율로 용출되어 Cu는 4.483~20.881%, Pb는 12.454~40.000%, Cd는 36.842~89.474%, 총 크롬은 4.813~29.024%로 나타났으며, 모두 pH 6의 용매에서 가장 높은 용출율을 나타냈다.

5) 제철제강 업종 분진 안정화 처리물의 유해

중금속 용출

제철제강 업종의 분진은 Table 7에 나타난 바와 같이 용매 pH 4의 산성 용매에서 Cu, Pb, Cd, 총크롬 및 6가 크롬이 각각 2.28, 15.0, 22.0, 0.115 및 0.112 mg/kg으로 나타났고, Hg는 pH 10의 알칼리성 용매에서 0.074 mg/kg으로 가장 높게 용출되었으며, 특히 Cu, Pb 및 Cd는 pH 4에서 다른 pH의 용매보다 약 10배 정도의 높은 용출량을 나타냈다.

또한 용출율은 pH 4의 완충용액에서 Cd만 3.710 %로 다소 높고, 그 다음으로 Cu가 pH 4의 용매에서 0.118%로 나타나는 등 매우 낮은 비율로 용출되었다.

IV. 총괄 및 결론

폐기물관리법에 의한 폐기물의 구분 및 폐기물 처리·처분의 기준에 대한 적합 여부는 '폐기물공정 시험방법'에 준하여 용출실험을 거쳐 용출액 중의 유해물질 농도로써 시험 판정되므로, 용출실험 방법에 따른 결과가 중요시 된다. 그러나 실제 매립장에서의 용출조건은 산성우나 혐기성상태에서 발생하는 유기산 등과 접촉될 가능성이 많기 때문에 '폐기물공정시험방법'에 따른 용출조건과 다를 수 있으며, 이러한 다른 조건을 적용하여 유해물질의 용출특성을 연구하고자 매립지에 처분되는 다량 배출 일반폐기물 중 업종별 4종의 오니 및 분진을 대상으로 중금속 함량과 용매의 pH 변화에 따른 중금속의 용출특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 중금속 함유량

5개 업종의 폐수오니 및 분진에 대해 pH 및 Cu, Pb, Cd, 총크롬의 4개 중금속 함유량을 분석한 결과 pH는 7.1~8.6으로서 대체적으로 약염기성을 나타냈다. 중금속 함유량은 Cu의 경우 제철제강 분진 1,940 mg/kg, 조립금속 오니 1,110 mg/kg, 섬유 오니 404 mg/kg이었고, Pb의 경우 제철제강 분진 31,000 mg/kg, 조립금속 오니 1,790 mg/kg으로서 타업종의 폐기물에 비해 다량 함유하고 있는 것으로 나타났다. 또한 Cd의 경우 제철제강 분진에서는 593 mg/kg이 검출되었으나 섬유와 종이업종의 오니에서는 검출되지 않았고, 총크롬은 조립금속 오니 1,700 mg/kg, 제철제강 분진 1,060 mg/kg, 섬유 오니 644 mg/kg으로서, 전체적으로 조사된 5개 업종 폐기물에 대해서 제철제강 분진 및 조립금속 오니에 중금속 함유량이 많은 것으로 나타났다.

2. 중금속 용출량

5개 업종의 폐수오니 및 분진 안정화처리물에 대해 Cu, Pb, Cd, 총크롬, 6가 크롬 및 Hg의 6개 항목을 용출실험한 결과, 이들 중금속의 용출량은 용출용매로 사용된 완충용액의 pH에 따라 업종별로 각각 다른 용출경향을 나타냈다.

1) 섬유 업종 폐수오니의 중금속 용출량

섬유 업종의 오니는 pH 8.0의 약알칼리성 폐기물로서 용출용매의 pH가 10일 때 용출액 중에 함유된 중금속은 Cu 18.5 mg/kg(약 4.6% 용출율), 총크롬 28.8 mg/kg(약 4.5% 용출율) 및 Hg 0.0097 mg/kg이었으며, pH가 2일 때보다 100배 이상의 용출율을

나타냈다.

2) 종이 업종 폐수오니의 중금속 용출량

종이 업종의 폐수오니는 Cu, Pb 및 6가 크롬의 경우 pH가 10일 때 각각 0.226(약 0.003% 용출율), 0.107(약 0.23% 용출율) 및 0.039 mg/kg으로, 총크롬의 경우 pH가 6일 때 0.152 mg/kg(약 0.48% 용출율)으로, Hg의 경우 pH가 4일 때 0.0023 mg/kg으로 가장 높은 용출율을 나타냈다.

3) 조립금속 업종 폐수오니의 중금속 용출량

조립금속 업종의 폐수오니는 pH 8.1의 약알칼리성 폐기물로서 Cu 및 Cd는 용출용매의 pH가 6일 때, 각각 0.436 mg/kg(용출율 0.039%) 및 0.015 mg/kg(용출율 0.046%), Pb는 pH 10일 때 0.571 mg/kg(용출율 0.032%), 총크롬 및 6가 크롬은 pH 2일 때 각각 1.06(용출율 0.062%) 및 0.101 mg/kg으로 가장 많이 용출되었으며, Hg의 경우에는 pH 2, 8 및 10에서 모두 0.0060 mg/kg으로 비슷한 용출율을 나타냈으며, 특히 중금속 함유량에 비해 낮은 용출율을 나타냈다.

4) 가죽모피 업종 폐수오니의 중금속 용출량

가죽모피 업종의 오니는 용출용매의 pH가 6일 때 용출액 중에 함유된 중금속의 양은 Cu 0.332 mg/kg(약 20.9% 용출율), Pb 0.864 mg/kg(용출율 약 40.0%), Cd 0.017 mg/kg(용출율 89.5%), 총크롬 35.7 mg/kg(약 29.0% 용출율) 및 6가 크롬 0.643 mg/kg 정도 검출되었다. 특히 중금속 함유량 및 타 업종의 오니에 비해 월등히 높은 용출율을 보였다.

5) 제철제강 업종 분진 안정화처리물의 중금속 용출량

제철제강 업종의 분진 안정화처리물은 pH 8.6의 알칼리성 폐기물로서 Cu, Cd, Pb, 총크롬 및 6가 크롬은 용출용매의 pH가 4일 때 용출율이 가장 높아 각각 2.28 mg/kg(용출율 약 0.12%), 15.0 mg/kg(용출율 약 0.05%), 22.0 mg/kg(용출율 약 3.7%), 0.115 mg/kg(용출율 약 0.011%) 및 0.112 mg/kg을 나타냈으며, Hg는 pH 10에서 0.074 mg/kg으로 가장 높은 용출율을 나타냈다.

조립금속 오니와 마찬가지로 중금속 함유량에 비해 낮은 용출율을 보였다.

전체적으로 실험에 사용된 pH 2, 4, 6, 8 및 10의 5개 용출용매에 대하여 섬유 폐수오니는 pH 8 및 10의 약알칼리성 및 알칼리성 용매에서 종이, 조립금속 및 가죽모피 업종 폐수오니는 pH 6 및 10의 약산성 및 알칼리성 용매에서, 제철제강 업종 분진 안정화처리물은 pH 4의 산성 용매에서 가장 높은 용출율을 나타냈다.

참고문헌

- 1) 기문봉, 이성호, 김수생 : “도시하수 슬러지의 시멘트 고형화에 관한 연구”. 한국폐기물학회지, **4**(1), 37-51, 1987.
- 2) 신항식, 수지와타나 : “유해성 폐기물 고형화의 영향인자에 관한 연구”. 한국폐기물학회지, **5**(1), 21-26, 1988.
- 3) 신항식, 구자공, 김종오, 윤석표 : “고형화된 중금속 슬러지의 해수에 의한 용출특성”. 한국폐기물학회지, **6**(2), 87-95, 1989.
- 4) 이승무 : “유해 중금속 함유 슬러지의 고화처리에 관한 연구”. 한국폐기물학회지, **6**(2), 143-151, 1989.
- 5) 김종오 : “중금속 슬러지의 고형화 및 최종처분방안 연구”. 1990.
- 6) 신항식 : “도금공장 유해 폐기물의 고형화에 관한 연구”. 대한토목학회논문집, **8**(2), 89-98, 1988.
- 7) Bridle, T. R., Cote, P. L., Constable, T. W. and Fraser, J. L. : “Evaluation of Heavy Metal Leachability from Solid Waste”. *Wat. Sci. Tech.*, **19**, Rio. 1029-1036, 1987.
- 8) Cote, P. L. and Constable, T. W. : “Evaluation of Experimental Conditions in Batch Leaching Procedures”. *Resources and Conservation*, No. 9, 59-73, 1982.
- 9) Bishop, P. L. : “Leaching of Inorganic Constituents from Stabilized Hazardous Wastes”. *Hazardous Wastes & Hazardous Materials*, **5**(2), 129-143, 1988.
- 10) 최용수, 김현철, 김동하 : “폐수은전지의 고형화 처리에 관한 연구”. KIST Rep., 1990.
- 11) 박주홍 : “pH 변화에 따른 Sludge 중 중금속 용출특성에 관한 실험적 연구”. 1988.
- 12) “폐기물공정시험방법” 환경처 고시 제 91-97 호 ('91. 12. 30).
- 13) 환경처 : “산업폐기물 발생공정 및 발생량 표준화”. 1990.
- 14) 김종원 : “수도권 특정유해산업폐기물 처리현황과 매립지 침출수 적정관리 방안에 관한 연구”. 1989.
- 15) 김정대 : “용출시험방법이 폐기물 용출특성에 미치는 영향”. 1992.
- 16) 남궁 완 : “폐기물 매립지 입지선정 기준”. 환경과학연구협의회, 1992.
- 17) Conner, J. R. : “Chemical Fixation and Solidification of Harzardous Wastes”. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- 18) Maardle, J. L., Arozarena, M. M. and Gallagher, W. E. : “Treatment of Hazardous Waste Leachate, Unit Operations and Costs”. Noyes Data Corporation, New Jersey, U.S.A., 1988.