

固化處理物の 埋立에 따른 長期溶出特性 Long Term Leaching Characteristics of the Solidified Landfill Sludge

권기홍*, 정동준**
Gi-Hong Kwon*, Dong-Jun Jeong**

<Abstract>

This study was carried out to investigate the leaching characteristics by the landfill of solidified sludge. pH of leachate was 3.7 - 5.8 and 8.0 - 10.4 in each column using sand as a top-soil layer on filled municipal waste and solidified cake. $\text{NH}_3\text{-N}$ in leachate was increasing in the each column using sand as a top-soil layer on filled dewatered sludge and solidified cake, but decreasing in the each column using sand and solidified cake by top-soil layer on filled municipal waste. Also the concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ was on the way of stabilizing but was difficult to find any tendency until now. Zn and Mn in leachates were the highest in the column filled with the solidified sludge. Cr, Pb and Cd were low concentration at each column.

Keywords: *dewatered sludge, solidified sludge, leachate, top-soil*

1. 서 론

현재의 하수처리공정이나 폐수처리공정에서 발생하는 슬러지는 일반적으로 탈수, 건조, 소각 등의 공정으로 처리되고 있으며, 이러한 처리공정에서 발생한 슬러지를 최종처분장에 매립할 경우 침수의 영향에 의한 재슬러지화와 유기물의 혐기성 분해에 따른 메탄가스, 황화수소 발생등의 2차 오염이 우려된다. 또한 정부의 맑은 물 공급대책에 따라 슬러지의 발생량이 증가일로에 있는 상황에서 최종처분장의 위생적인면과 매립년한의 단축등이 심각한 문제로 대두되고 있으며, 만약 그대로 매립될 경우 매

립지의 작업성이 나쁘고 슬러지에 함유되어 있는 각종 유해 중금속이 토양에 잔류하게 되어 지하수 및 지표수를 오염시키며 침출수량의 증가를 초래하게 된다.¹⁾ 이러한 기술적, 사회적인 분위기에 편승하여 슬러지의 고화개질에 의한 고화시스템인 SSD(Sludge Solidification and Drying)공법이 개발되었다. SSD공법은 상기의 문제를 해결하기 위해 설계되어 상태가 다른 여러가지 슬러지를 안전개량시켜 토양개량제, 특수비료, 흑토재, 잔트제 등으로 재이용을 가능하게 하며, 또한 최종처분장의 환경위생 문제를 회복할 수 있는 시스템으로 판단된다.

개질고화제의 주성분은 활성도를 높인 생석회이며 기타 마그네슘, 규소 등을 갖고 있으며

* 정희원,嶺南專門大學 環境工業科 助教授
崇實大學校 博士科程 修了
705-037, 大邱廣域市 南區 大明7洞 1737
**環境施設管理公社 大邱事業所
嶺南大學校 大學院 修了

Assoc. Prof., Dept. of Environmental Industry,
Yeungnam Junior College.
E-mail : ghkwon@yjnet.yeungnam-c.ac.kr
Environmental Facilities Management Corp.

유기성슬러지, 무기성슬러지를 불문하고 고화효과가 크다. 통상 반응이 어렵다고 할 수 있는 고알카리, 고함수율, 유분혼합물 등에도 고화효과를 발휘하고, 특히 산성물질에 대한 반응도 양호한 특징을 가지고 있다.

고화체의 화학적인 영향인자는 고화재료의 종류와 양생기간에 따라 영향을 미치고 오니류 중 oil이나 grease은 고화체의 강도를 저하시켰으며, 고농도의 NaOH, Na₂SO₄, Zn과 Phenol등도 압축강도를 저하시키는 물질로 나타났다.²⁾ 또한 고화체의 특성중 물리적인 특성으로 겔보기 밀도는 1.25-1.75g/cm³, 압축강도는 50psi 이상, 투수도는 10⁻⁵ - 10⁻⁷cm/sec 그리고 내구성은 15wt% 이내는 되어야 안정한 처리가 되었다고 가정 할 수 있으며¹⁾, 용출특성으로는 온도, 침출제량과 같은 침출계와 침출제의 화학적 조성, pH 및 고화체의 조성, 시편의 크기(부피/표면적의 비), 다공도 및 표면인자와 같은 고화체의 성질에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다.³⁾

고형화에 관한 실험적인 연구로 Alan⁴⁾은 포틀랜드시멘트를 이용하여 하수슬러지를 고화처리하였고, Bishop등⁵⁾은 고화된 유해폐기물로부터 무기성 유해물질의 침출에 관하여 연구하였고, Shin등⁶⁾은 유해폐기물의 고형화를 위하여 필요한 최적 조건을 연구하였으며, Boy등⁷⁾은 시멘트와 용광로 slag를 이용하여 크롬이 포함된 페인트 폐기물의 고형화에 대한 화학적인 mechanism을 규명하였다. 이들 이외에도 많은 연구자들⁸⁻¹⁴⁾이 고형화에 대하여 연구하였으나 고화처리된 오니류가 매립되었을 경우 배출되는 침출수의 특성을 연구평가한 사례는 거의 없는 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 하·폐수종말처리장에서 발생하는 탈수슬러지의 고화cake를 매립할 경우 침출수중에 포함된 오염물질의 농도를 파악하기 위하여 매립 대상물질을 생활폐기물, 생활폐기물과 탈수슬러지의 고화cake를 혼합한 시료, 탈수슬러지, 탈수슬러지를 고화한 고화cake 등으로 한 4개의 용출 column을 사용하여 각각의 실험조건에서 발생하는 침출수의 수질을 비교

검토하였다.

2. 실험 및 분석방법

2.1 대상시료

시료는 생활폐기물, 탈수슬러지 및 고화cake를 대상으로 하였으며 그중 생활폐기물의 조성은 연탄재와 불연성 물질인 금속류, 유리류를 제외한 나머지 성분을 1.5cm이하로 파쇄하여 균일화하고자 하였다. 생활폐기물의 조성은 대구지역에서 발생하는 폐기물의 조성을 참고로 하였으며 그 구성비는 Table 1과 같다. 그리고 탈수슬러지와 고화cake는 K 시의 하·폐수처리장에서 발생하는 슬러지와 고화 cake를 대상으로 하였다.

Table 1 Properties of municipal waste

Components	Food	Paper	Plastic	Textile	Wood	Total
Content(%)	46	29	15	5	5	100
Weight(kg)	5.5	3.5	1.8	0.6	0.6	12

2.2 실험방법

Column실험의 경우는 대상시료에 함유되어 있는 물질이 인공강우에 의하여 침출되는 정도를 조사하기 위하여 시료를 column에 채운후 인공강우를 주입하여 침출되는 물질의 농도를 분석하였다. 실험에 사용한 column은 4개조를 제작하였으며 사양은 높이 1,200mm, 직경 150mm의 원통아크릴 관이다. 제작된 각각의 column에는 생활폐기물, 생활폐기물에 고화한 고화cake를 혼합한 시료, 탈수슬러지, 탈수슬러지를 고화한 고화cake등이 매립되어 있으며 모든 column에는 모래가 혼합되어 있거나 복토재로 사용되었으며 자세한 내용은 Table 2에 나타내었다. 복토재로 모래를 사용한 이유는 탈수슬러지를 매립한 column에서 인공강우를 분사하여 침출수를 얻고자 하여 사전 실험을 통하여 모래를 전체 매립량의 약 70%를 충전하게 되었다. 또한 다른 column의 경우도 모래를 이용하여 복토재로 사용하였으며 충전된 복토재는 장기적으로 모래에 부착하는 미생물에 의한

오염물질의 제거효과를 도모하기 위함이었다.

각 column에서 주입된 인공강우의량은 대구 지역의 년 평균 강우량을 조사한 결과 약 1000mm를 기준으로하여 1주에 340ml씩 column의 상부에서 고르게 분무될수 있도록 장치하였다. 실험에서 사용된 인공강우는 pH를 7로 조정된 증류수를 사용하였다. 여기서 고화 cake는 일반적인 고형화실험에서 많이 이용하고 있는 시멘트는 사용하지 않았으며, 단지 CaO를 무게비로 18%의 양으로 주입하여 고화시킨 후 2일간의 양생기간을 거친다.

2.3 분석항목 및 방법

실험대상 column에 충전된 시료는 고형물의 함량을 조사하기 위하여 폐기물공정시험방법¹⁵⁾에 따라 대표시료를 채취한 후 삼성분분석을 실시하였으며 침출수는 pH, NH₃-N, NO₃-N, Cu, Cd, Mn, Pb, Cr, Zn 등을 분석하였으며 모든 항목은 Standard method¹⁶⁾에 따라 분석하였다.

3. 고화과정

슬러지에 생석회를 주성분으로 한 개질고화제를 교반시키면 석회 자체의 수화반응이 발열에 의해 수분을 증발시키는 작용을 한다. 석회는 황산염 환원균의 증식을 저해하여 황화수소,

메틸머크캡탄 등의 취기생성을 방지 한다. 처리 직후의 pH는 시멘트와 똑같이 pH 12이상이 된다.

◎. 이온교환 반응

석회의 Calcium ion은 미립자 흡과의 이온교환 반응에 따라 흡입자가 전기적으로 응집하여 흡의 역성이 저하된다.

◎. 포졸란 반응

석회의 칼슘이온을 흡수한 흡입자가 석회와 반응해서 안정적인 결정광물을 형성하면서 경화한다. 장기적으로 토양지지력을 높이며, pH는 석회가 용출되면 혼합슬러지중의 유기물과 반응하여 미량의 암모니아등 질소화합물이 발생하여 상승하게 된다. 암모니아는 CO₂와 반응하여 고에너지 화합물인 카바민산을 형성하여 처리 후 pH 12의 슬러지가 산화되어 중성으로 변화한다.

◎. 탄산화반응

장기적으로 석회가 흡층의 탄산과 이산화탄소와 반응하여 효과가 지속된다. 석회는 이산화탄소를 석회석으로서 고정하는 성질이 있으며 탄산칼슘화가 진행됨에 따라 교결화가 촉진되며 슬러지가 안정·개질된다. pH변화는 고화제와 슬러지가 상기에서 설명된 반응의 영향에 의해 중성으로 변화하면서 안정이 계속 된다.

Table 2 Properties of filled waste in each column

Sample		1st filled waste	1st top-soil	2nd filled waste	2nd top-soil
Column 1 (C-1)	Component	Municipal waste	Sand	Municipal waste	Sand
	Weight(kg)	3	0.75	3	0.75
	Height(cm)	38	5	30	5
Column 2 (C-2)	Component	Municipal waste	Solidified cake	Municipal waste	Solidified cake
	Weight(kg)	3	0.75	3	0.75
	Height(cm)	32	5	45	5
Column 3 (C-3)	Component	Dewatered sludge(30%) + sand(70%)			
	Weight(kg)	4.5 + 11.5			
	Height(cm)	71			
Column 4 (C-4)	Component	Solidified cake	Sand	Solidified cake	Sand
	Weight(kg)	4.5	1.5	4.5	0.75
	Height(cm)	38	6	42	5

반응은 다음과 같다.



이 반응으로 발생하는 고화cake의 함수율은 약 60%로 탈수슬러지의 함수율 약 80%보다 아주 감소하여 운반 및 관리가 용이하고, 오히려 고형물을 결정화 시키기 위해 CaCO₃층이 소수성을 갖는 피막으로 작용하여 용출을 방지할 수 있다.

4. 결과 및 고찰

4.1 pH의 변화

(1) 고화과정

고화과정동안의 pH변화를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 나타낸 바와 같이 고화처리직후의 pH는 생석회와 슬러지중의 수분이 반응하여 약 12이상의 강알칼리를 나타내었으나 그 후부터는 소석회가 생성되어 고화슬러지 표면은 딱딱하지만 내부는 약간 무른 상태로 되면서 pH도 하강하는 추세를 나타내었다. 이러한 pH의 감소추세는 고화 후 약 3일 동안 지속된 후 생석회와 공기중의 탄산가스의 반응으로 고화슬러지 내부와 표면이 모두 굳은 상태의 cake가 되었고 pH도 일정하게 유지되었다.

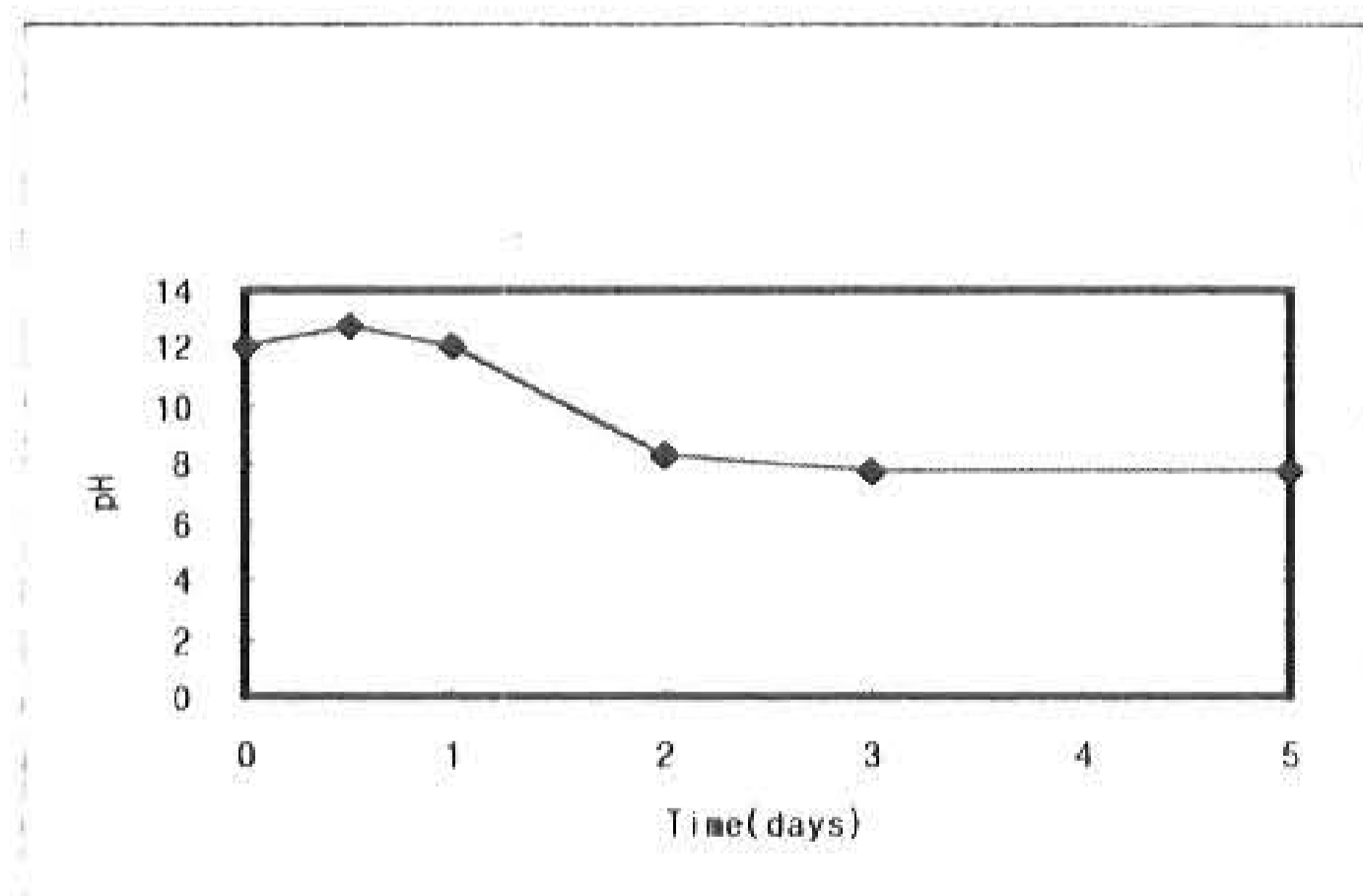


Fig. 1 pH variation of solidified sludge during curing time

(2) 침출수

침출수에 대한 시간적인 pH 변화를 Fig. 2

에 나타내었다. 일반적으로 매립지와 같은 혐기성 시스템에서의 유기산, 알칼리도, 이산화탄소의 부분압 등에 크게 의존한다. 생활폐기물이 대부분인 C1의 경우는 다른 매립조에 비하여 실험의 초기부터 계속 낮은 값을 나타내고 있으며 이러한 원인은 생활폐기물은 다른 폐기물에 비하여 유기물의 함량이 높아 혐기성 상태에서 활발한 분해가 이루어져 유기산의 생성이 계속되고 있음을 알 수 있다. 실험기간 동안 C1 매립조의 pH 범위는 3.7 - 5.8로 약산성을 유지하였다.

고화cake가 매립된 C4의 경우는 실험초기에는 pH가 약 10이상으로 나타났으나 전반적인 실험기간동안에 8 - 10사이를 유지하여 다른 매립조에 비하여 높은 pH를 나타내었다. 이러한 이유는 고화재료를 알칼리성인 CaO를 사용하였기 때문으로 판단된다.

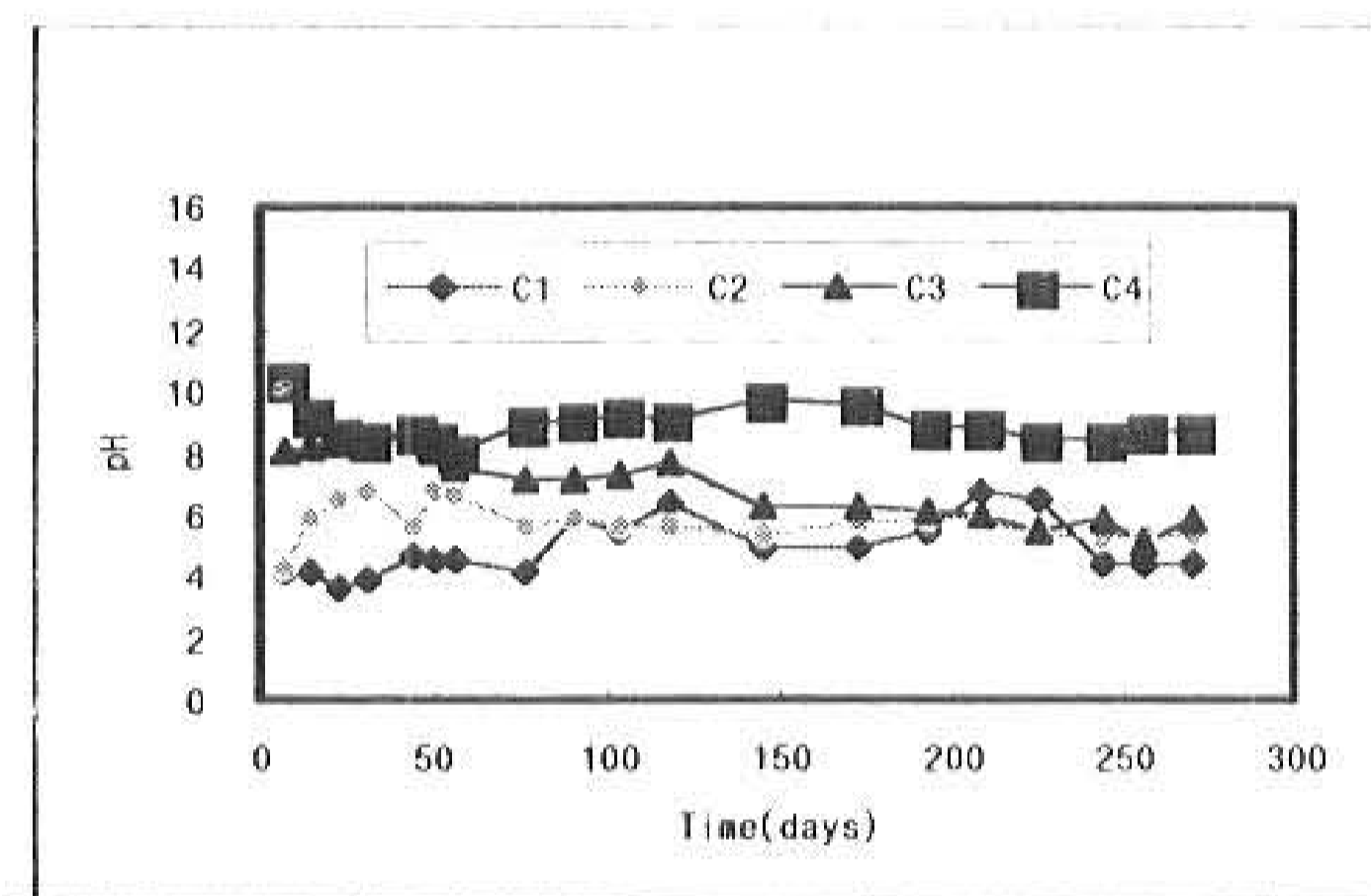


Fig. 2 pH variation of leachate in each column

4.2 오염물질의 농도변화

(1) 질소화합물

침출수중의 NH₃-N과 NO₃-N의 농도를 Fig. 3 - 4에 나타내었다. 생활폐기물을 매립하고 모래를 복토한 경우인 C1과 고화cake를 복토한 C2에서 발생하는 침출수에서 NH₃-N은 매립초기 각각 156.9ppm과 70.9ppm에서 50여일째까지 증가하였으나 약 70여일부터 270여일까지 거의 안정화된 경향을 보여주고 있다.

그리고 C3과 C4는 탈수슬러지에 모래를 복토한 경우와 고화cake에 모래를 복토한 경우로서 매립시간의 경과에 따라 점차 침출수중의

NH₃-N의 농도는 초기에는 증가하는 추세에 있었으나 약 100여일부터는 감소하는 경향을 보여 점차 안정화단계에 접어들고 있음을 알 수 있다. C3과 C4에서는 C1과 C2에서 보다 높은 NH₃-N의 농도를 나타내었으며 이러한 원인은 슬러지의 탈수과정이나 고화과정에서 석회와 같은 물질을 사용하였기 때문에 column내의 조건이 강알카리상태이기 때문일 것으로 판단된다. 또한 NO₃-N의 침출수중의 농도는 매립 초기인 약 80여일까지는 변화폭이 컸지만 그 이후부터는 안정된 농도를 나타내었다. 이러한 NH₃-N의 농도는 일반적인 생활쓰레기 매립지의 초기 농도인 약 500 - 1,000ppm보다 낮은 값을 보여주고 있으며 그 원인은 제한된 공간에서 적은 량의 쓰레기를 투입하였기 때문으로 판단된다.

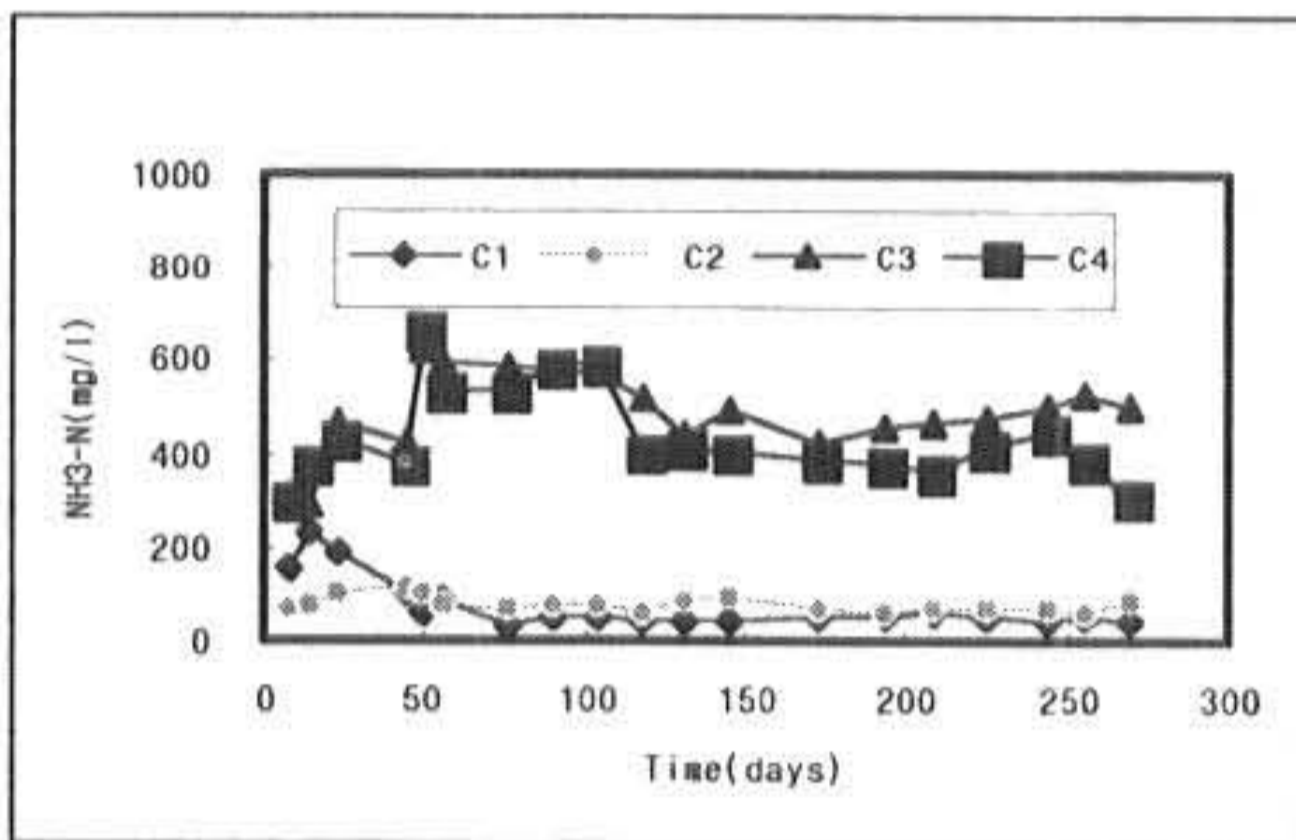


Fig.3 NH₃-N variation of leachate in each column

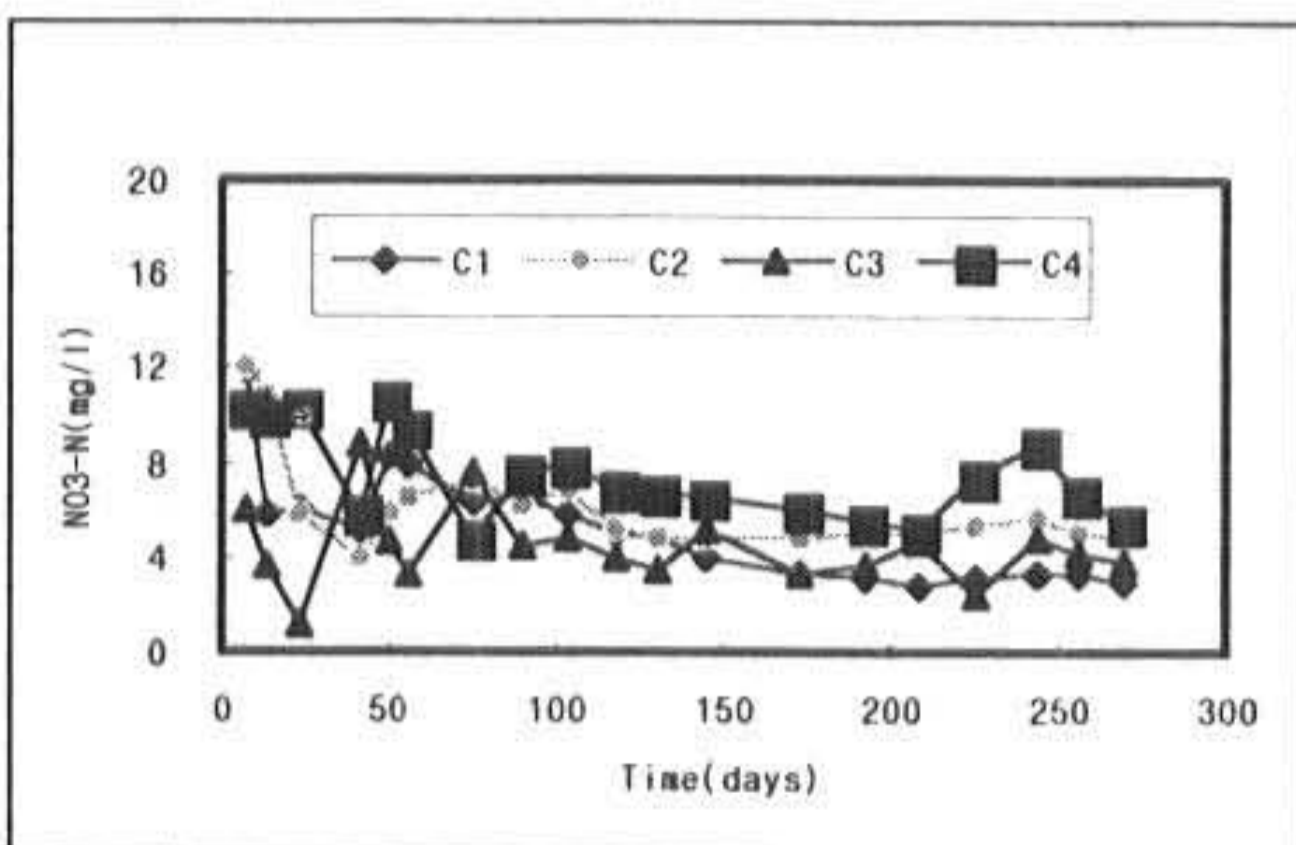


Fig.4 NO₃-N variation of leachate in each column

(2) 중금속류

각각의 column에서 침출된 시료에 대한 실험 기간 동안의 중금속 농도 변화를 Fig. 5 - 9 에 나타내었다.

Fig. 5에는 침출수중 Zn의 농도 변화를 나타내었으며, 그림에서 보는바와 같이 각 column에서의 침출수 농도를 보면 생활폐기물을 매립한 C1의 경우와 생활폐기물과 고화cake를 매립한 C2에서는 실험기간 약 270일 동안 특별한 경향을 나타내지 않았으나 탈수슬러지를 모래와 혼합하여 매립한 C3의 경우에는 시료 충전 후 약 44일 부터 침출수중의 Zn의 농도가 증가하여 약 200여일에서는 최고농도인 65.232mg/l에 이르렀으며 그 이후부터는 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 앞에서 설명된 바와 같이 탈수cake 내에는 Zn이 포함되어 있으나 용출실험조건으로는 용출되지 않고 실제 매립조건과 비슷한 column실험에서는 많은량이 용출됨을 알 수 있다.

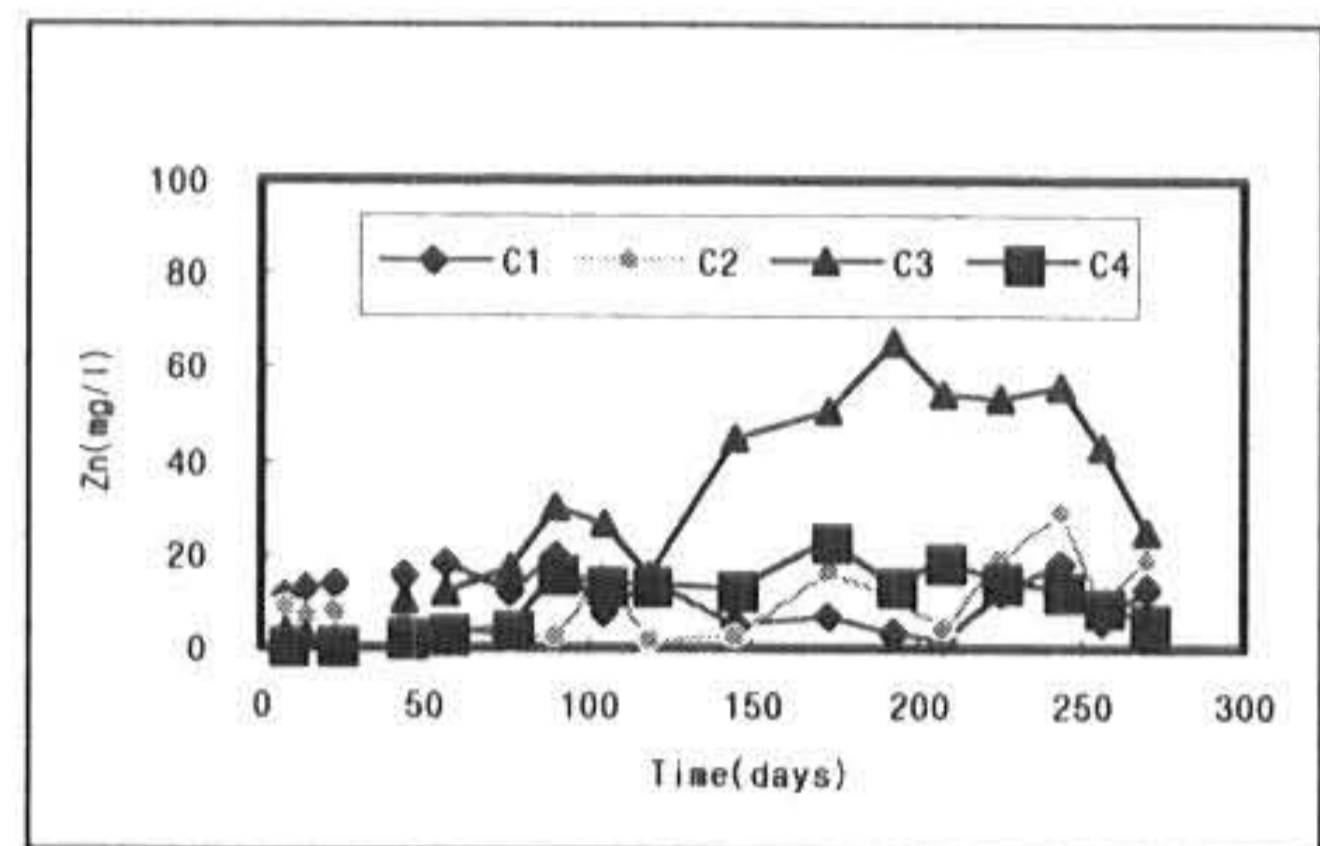


Fig.5 Zn concentration variation of leachate in each column

또한 고화cake를 매립한 C4의 경우도 전반적인 경향은 C1, C2와 비슷하며, 시료 충전후 약 70여일부터 증가하여 170여일에는 최대 농도인 22.920mg/l까지 증가하였으나 그후부터는 점차 감소하는 추세를 보이고 있다.

Fig. 6에는 침출수중 Cu의 농도 변화를 나타내었으며, 그림에서 보는바와 같이 각 column에서의 침출수 농도를 보면 생활폐기물을 매립한 C1의 경우와 생활폐기물과 고화cake를 매립한 C2 그리고 탈수슬러지를 모래와 혼합하여 매립한 C3의 경우에는 실험기간 약 270일 동안 특별한 경향을 나타내지 않았으나 고화cake

를 매립한 C4의 경우는 시료를 충전한 초기부터 약 170여일까지는 약 78.569 - 43.201mg/l로 유지되었다가 그 이후부터 약 200여일까지는 최고농도인 91.231mg/l까지 도달하였으며 그 이후부터는 점차 감소하고 있음을 알 수 있다. 이것은 탈수슬러지의 용출실험에 Cu가 거의 검출되지 않았으나 고화한 cake의 column실험에서는 Cu가 농축되어 많은 양이 검출된 것으로 판단된다.

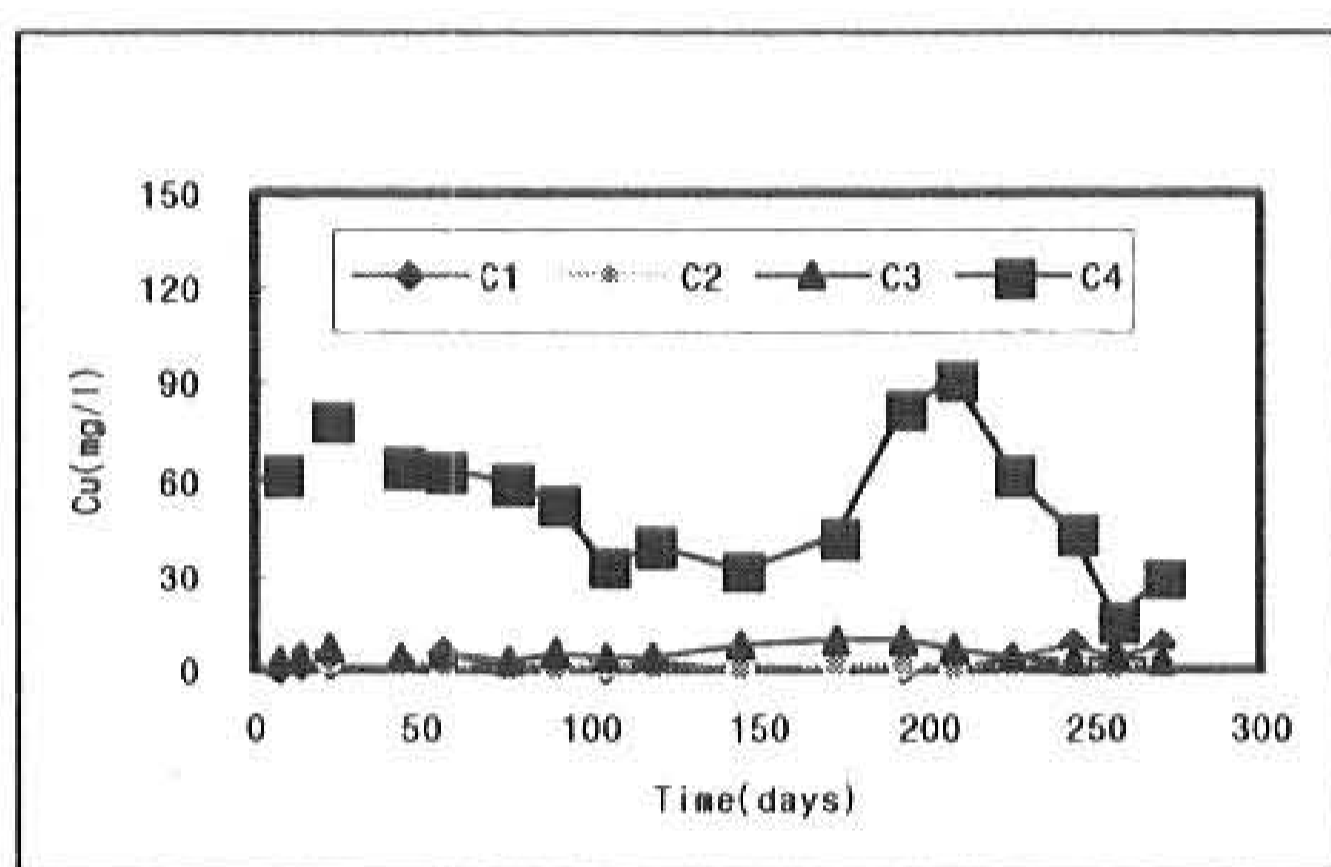


Fig.6 Cu concentration variation of leachate in each column

침출수중 Cr의 농도 변화를 나타낸 Fig. 7을 보면, 생활폐기물을 매립한 C1의 경우는 시료의 충전 초기부터 점차 침출수중의 Cr농도가 증가하여 23일째는 1.215mg/l에 이르렀으며 그 이후부터 점차 감소하여 270일에는 0.017mg/l로 되었다. 생활폐기물과 고화cake를 매립한 C2에서도 전반적으로 C1과 비슷하여 충전후 44일째에 1.687mg/l로 나타났으나 그 이후부터는 점차 감소하는 추세에 있으며 270일에는 0.019mg/l를 나타내었다. 탈수슬러지를 모래와 혼합하여 매립한 C3의 경우와 고화cake를 매립한 C4의 경우는 시료의 충전 초기부터 270일까지 침출수 중의 Cr의 농도가 0.1mg/l이하의 값을 나타내어 탈수슬러지와 고화cake에는 Cr은 거의 존재하지 않는 것으로 판단된다.

침출수중 Pb의 농도 변화는 Fig. 8에 나타내었으며, 생활폐기물을 매립한 C1의 경우는 시료의 충전 초기부터 118일에 1.937mg/l로 나타났으나 그 이후부터는 점차 낮아져 270일에서는 0.173mg/l를 나타내었다. 생활폐기물과 고화

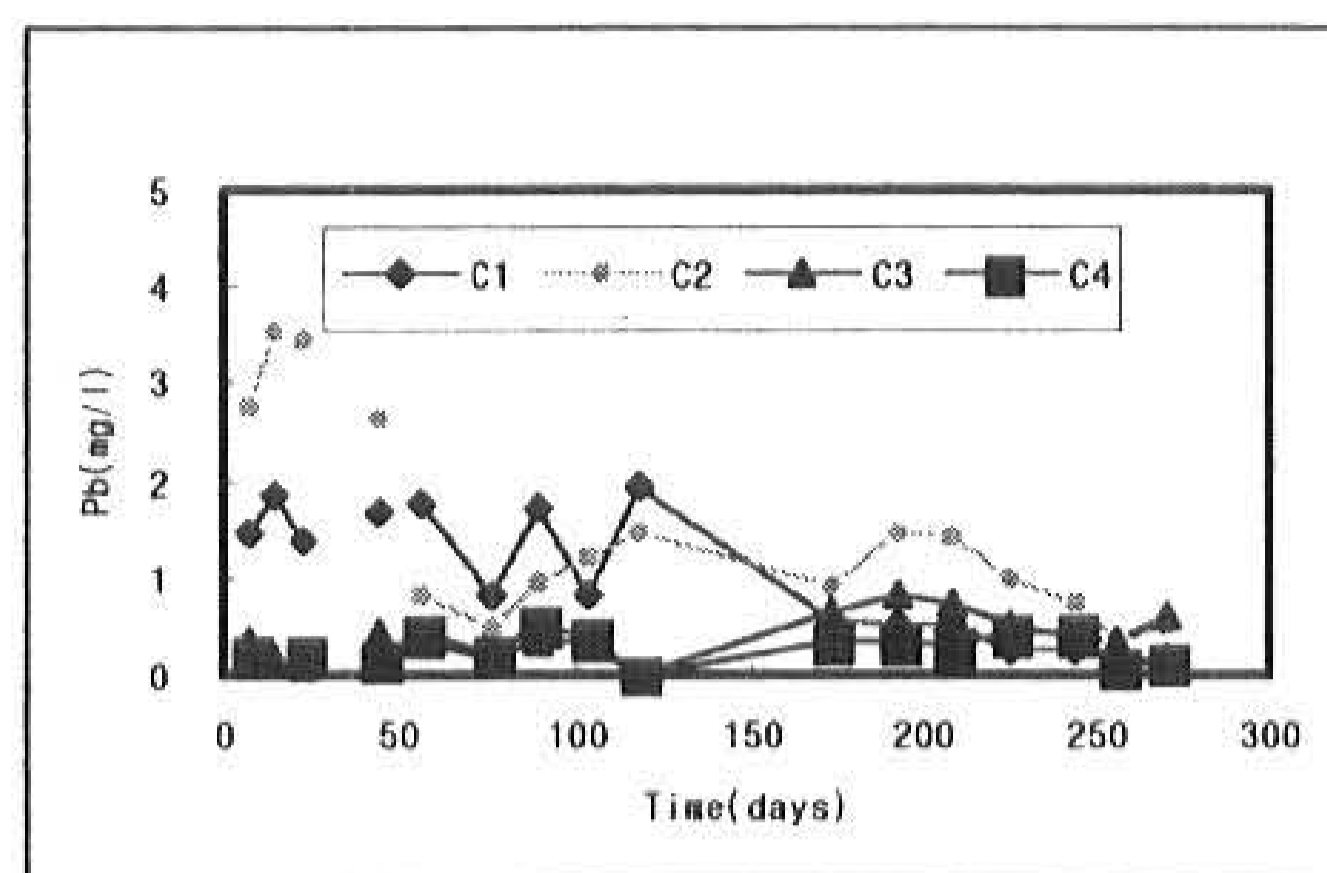


Fig.7 Cr concentration variation of leachate in each column

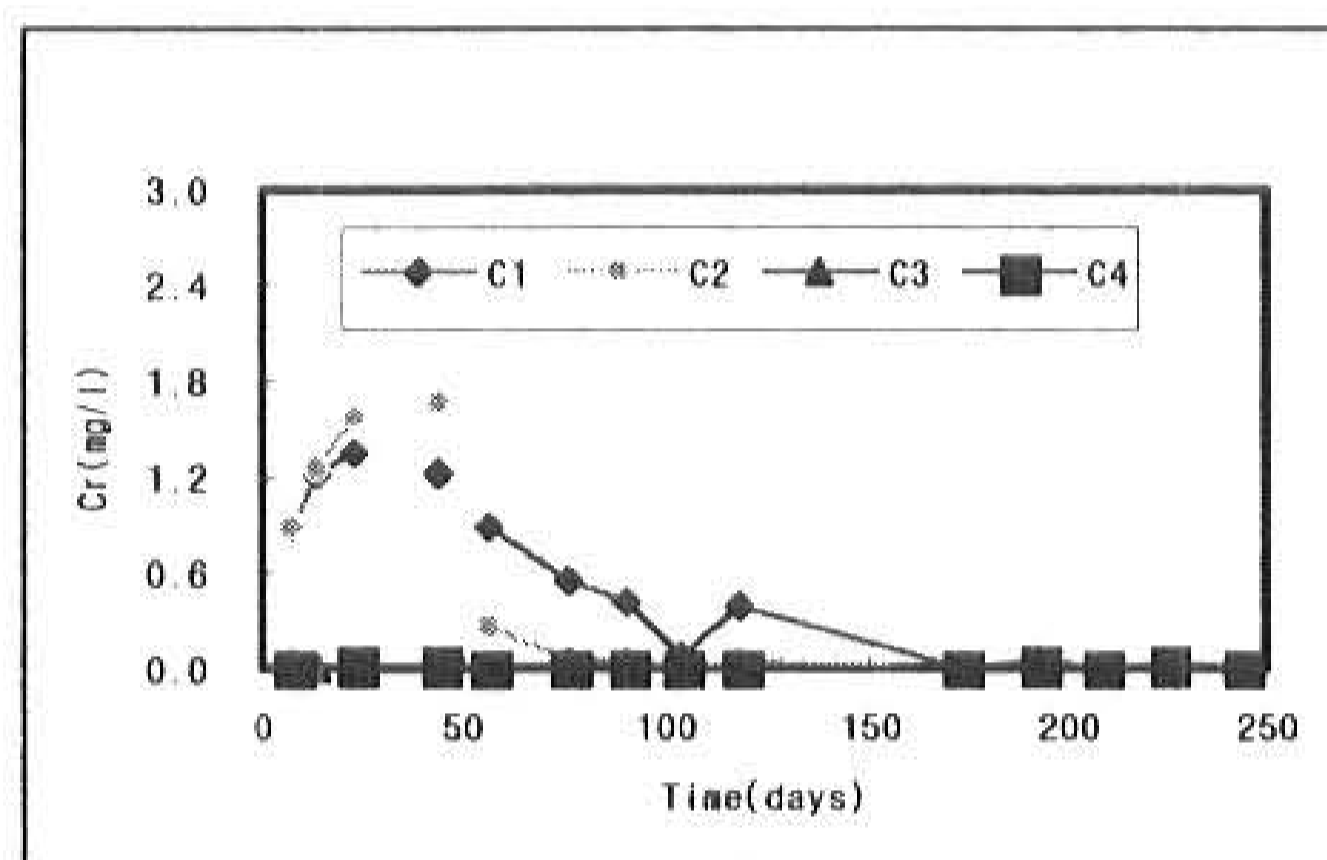


Fig.8 Pb concentration variation of leachate in each column

cake를 매립한 C2에서는 충전 초기인 14일째에는 3.513mg/l이었으나 그 후부터는 C1과 같이 점차 감소하고 있으며, 그외의 column에서는 실험 초기부터 270일까지 거의 일정하게 낮은 값의 농도를 나타내어 탈수슬러지와 고화cake에서는 Pb가 거의 없는 것으로 판단된다.

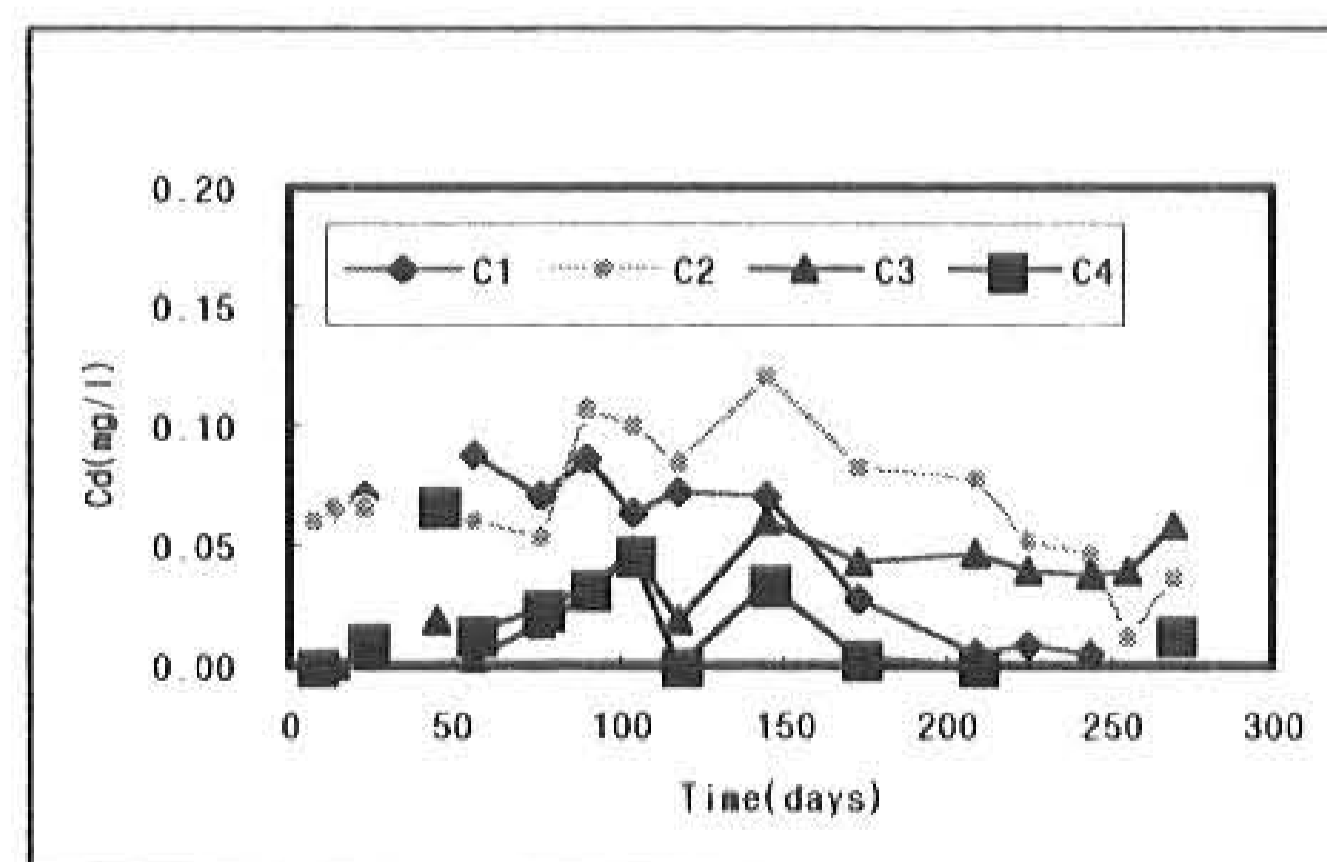


Fig.9 Cd concentration variation of leachate in each column

침출수중 Cd의 농도 변화는 Fig. 9에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 생활폐기물을 매립한 C1의 경우, 생활폐기물과 고화cake를 매립한 C2의 경우, 탈수슬러지를 모래와 혼합하여 매립한 C3의 경우 및 고화cake를 매립한 C4의 경우 모두 시료의 충전 초기부터 270일까지 0.2mg/l이하의 낮은 Cd농도 나타내고 있다. 이러한 의미는 생활폐기물, 탈수슬러지, 고화cake 등에 Cd가 거의 포함되어 있지 않음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 하·폐수종말처리장에서 발생하는 탈수슬러지의 고화cake를 매립할 경우 침출수중에 포함된 오염물질의 농도를 파악하기 위하여 매립 대상물질을 생활폐기물, 생활폐기물과 탈수슬러지의 고화cake를 혼합한 시료, 탈수슬러지, 탈수슬러지를 고화한 고화cake 등으로 한 4개의 용출 column을 사용하여 각각의 실험조건에서 발생하는 침출수의 수질을 비교검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 고화처리 직후의 pH는 생석회와 슬러지중의 수분이 반응하여 약 12이상의 강알칼리를 나타내었으나 그후부터 약 3일 동안 감소추세가 지속된 후 생석회와 공기중의 탄산가스의 반응으로 고화슬러지 내부와 표면이 모두 굳은 상태의 cake가 되면서 pH도 일정하게 유지되었다.

2. 매립조의 pH는 생활폐기물에 모래를 복토한 column에서 가장 낮은 3.7 - 5.8의 범위였고, 고화cake에 모래를 복토한 column에서는 8.0 - 10.4의 범위로 다른 column에서 보다 높은 값을 나타내어 매립물질의 종류에 따라 많은 차이를 보였다.

3. 질소화합물의 경우 NH₃-N의 농도는 탈수슬러지에 모래를 복토한 column과 고화cake에 모래를 복토한 column에서는 점차 증가하였고, 생활폐기물에 모래를 복토한 column과 고화

cake를 복토한 column에서는 점차 감소하는 추세를 보였다. 또한 침출수중의 NO₃-N의 농도는 시간의 경과에 따라 점차 안정되어 가고 있으나 뚜렷한 경향을 찾기는 어려웠다.

4. 탈수슬러지를 모래와 혼합하여 매립한 경우 침출수중 Zn의 농도는 시료 충전후 약 44일부터 증가하여 약 200여일에서는 최대농도에 이르렀으며 그 이후부터는 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 고화cake를 매립한 경우의 Cu도 시료를 충전한 초기부터 약 200여일까지는 최대농도에 도달하였으며 그 이후부터는 점차 감소하여 안정화되어 가고 있음을 알 수 있다. 그 외의 중금속들은 4개의 column에서 낮은 농도를 나타내었다

이상에서와 같이 하·폐수를 병합하여 처리하는 하·폐수종말처리장에서 발생하는 탈수슬러지와 고화cake는 column을 이용한 장기적인 용출실험을 한 결과에서 소량이지만 질소화합물과 중금속류가 검출될 수 있음을 알았다. 따라서 실제 매립지에서도 오랫동안 침출수의 질과 양을 주의 깊게 관리하여 주위환경이나 사람 및 동식물에게 미칠수 있는 악영향을 최소화하도록 해야겠다.

참고문헌

- 1) 정동준, 신강봉, 김형석, 권기홍, 도갑수, 매립된 고화처리물의 중금속 용출특성, *한국폐기물학회지*, Vol.15, No.1, pp.32-39 (1998)
- 2) 도갑수, 폐기물관리입문, 형설출판사(1997)
- 3) 이재원, 이근우, 손영준, 부산 함유 시멘트 고화체의 침출성에 미치는 영향인자 평가, *한국폐기물학회지*, Vol.12, No.4, pp. 400 - 409(1995)
- 4) Alan, C. E., Solidification of Sludge with Portland Cement., *J. Sanitary Eng. Division*, February, pp. 15-26(1970)
- 5) Bishop, P., Leaching of inorganic hazardous constituents from stadilized/solidified Hazardous Wastes, *Hazardous*

Waste & Hazardous Materials, Vol. 5
No. 2, pp.129-143(1988)

(1995), 동법시행규칙(1995)

- 6) Shin, H. S., Her, N. R., Koo, J. K.,
Design Optimization for Solidification of
Hazardous Wastes, *Hazardous Waste &
Hazardous Materials*, Vol. 5, No. 3, pp.
239-250(1988)
- 7) Boy, J.H., etal., Chromium Stabilization
Chemistry of Paint Removal Wastes in
Portland Cement and Blast Furnace Slag,
*Hazardous Waste & Hazardous Mater-
ials*, Vol. 12, No.1, pp.83-95(1995)
- 8) 이승무, 김창은, 박주량, D회사 슬러지의 고
화처리에 의한 활용연구, *한국폐기물학회
지*, Vol.4, No. 2., pp.131 - 149(1987)
- 9) 김창은, 이승규, 방왕근, 시멘트를 이용한
중금속 이온의 고정화에 관한 연구, *한국
폐기물학회지*, Vol. 8, No. 1., pp.53 - 64
(1991)
- 10) Morgan, D.S., etal., Oil Sludge Solidifi-
cation using Cement Kiln Dust., Vol.
110, No. 5,pp.935-948(1984)
- 11) 大森志良, 惹井怜., 下水汚泥焼却灰かちの
人工輕量骨材の製造., *窒業協會誌*, Vol. 88,
No. 1,pp. 96-104(1980)
- 12) 기문봉, 이성호, 김수생., 유해슬러지 고형
화에 카바민산의 영향, *한국폐기물학회지*
Vol. 10, No. 3, pp.423-431(1993)
- 13) 김종오, 전관수, 신향식, 점토와 포졸란을
이용한 유기물/중금속 슬러시 시멘트 고
화체의 미세구조 분석, *한국폐기물학회지*,
Vol. 13, No. 6, pp. 699-707(1996)
- 14) 배해룡, 조순행., 점토를 이용한 중금속 함
유 폐기물의 고형화, *대한환경공학회지*,
Vol. 14, No. 3, pp.233-242(1992)
- 15) 환경처, 수질오염·폐기물 공정시험방법,
동화기술(1993)
- 16) APHA, AWWA, WPCF, : Standard Me-
thod for the Examination of water and
Wastewater, 18th Edition(1992)
- 17) 환경청, 폐기물관리법(1995), 동법시행령

(1998년 2월25일 접수, 3월 28일 채택)