

## Column장치를 이용한 도시쓰레기 침출수의 처리효과

한문규 · 조주식 · 이홍재 · 허종수

### The Effect of Column Process on the Treatment of Municipal Solid Waste Leachate

Mun-Gyu Han, Ju-Sik Cho, Hong-Jae Lee, Jong-Soo Heo

#### Abstract

Municipal landfill leachate, a major source of soil contamination and ground water pollution, causes serious environmental problems. To investigate the removal efficiency of pollutants in the leachate by sand, briquet ash, fly ash, and activated carbon columns, COD and some pollutants in the leachate passed through each column for 8 weeks were examined.

Average COD removal efficiency for 8 weeks was 83%, 45%, and 43% by activated carbon, briquet ash and fly ash columns, respectively. COD was not effectively reduced by sand column. Average  $\text{NH}_4^+$  removal efficiency for 8 weeks was more than 60% by all columns. Hardness was effectively removed for 8 weeks by fly ash and activated carbon columns. Anions including  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  were not removed by all columns.

#### 緒 論

도시 쓰레기의 배출량이 날로 급증하고 있음은 주지의 사실이며 현행 쓰레기의 처리방법은 주로 단순매립방법이므로 매립지에서 발생하는 침출수의 처리는 큰 문제가 아닐 수 없다<sup>1)</sup>. 쓰레기 매립장의 침출수는 COD,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  등이 매우 높고 각종 중금속을 함유하고 있어 2차 오염물질로서 지하로 이

동, 인근지역의 지하수를 오염시킬 뿐만 아니라 강이나 하천으로 유입되어 수질의 부영양화현상을 일으키는 큰 원인이 되는 것으로 알려져 있다<sup>2,3)</sup>. 예컨대 독일 Bavaria 지역의 쓰레기 매립장의 침출수에 의하여 그 인근 지역 2mile 이상의 지하수가 25년간 오염되었다는 보고가 있으며, 미국 California 인근의 산업 폐기물 침출수가 인근 지하수질을 심히 오염시켰다는 보고가 있다<sup>4,5)</sup>.

쓰레기 매립장의 침출수중 중금속을 제거하기 위

하여 Vagn<sup>9)</sup>등은 보리짚에 CaCO<sub>3</sub>를 처리하여 제거 실험을 한 결과 상당량의 중금속이 흡착되었다고 하였으며, 임<sup>7,8)</sup>, 이<sup>9)</sup>등은 Zeolite를 이용하여 폐수 중 중금속 흡착특성에 관하여 연구한 결과 중금속 이온들의 흡착선택도는 Pb(II) > Cd(II) > Cu(II) > Zn(II) 순이라고 하였다. 또한 침출수중 유기물을 제거하기 위하여 토양을 column에 충전시켜 침출수를 통과시킨 결과 약 90%의 TOC를 제거하였다는 보고가 있다<sup>2)</sup>.

국내 화력발전소에서 석탄연소시 발생하는 fly ash가 현재 연간 200만톤인 것으로 알려져 있으며 향후 2000년대에는 500만톤으로 증가될 전망이다. 이 폐기물의 처리 또한 문제가 아닐 수 없다<sup>10)</sup>. Fly ash의 주성분이 zeolite의 주성분인 SiO<sub>2</sub> 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>인 점을 감안하여, fly ash를 sodium hydroxide로 처리, 합성하여 CEC를 증가시켜 토양개량제 또는 폐수처리제로서 이용가능성이 있을 것으로 보고되고 있다<sup>11,12)</sup>.

따라서 본 실험은 fly ash 및 연탄재의 쓰레기 매립장 침출수처리에 대한 이용가능성을 제시하기 위하여 쓰레기 매립장 침출수를 모래, 연탄재, fly ash 및 활성탄을 각각 충전시킨 column에 통과시켜 각 오염물질 성분별 제거량과 각 column별 오염물질 흡착량을 환산하여 각 흡착성분간 상관관계를 검토한 결과를 보고하는 바이다.

材料 및 方法

Column 장치는 Fig. 1과 같이 내경 5.7cm인 PVC pipe를 길이가 100cm되게 절단하여 column 하부에 유리관을 끼운 고무마개로 막았으며 그 위에 glass wool을 5cm 두께로 채우고 그 상층에 충전물질을 충전시킨 다음, 다시 glass wool을 약

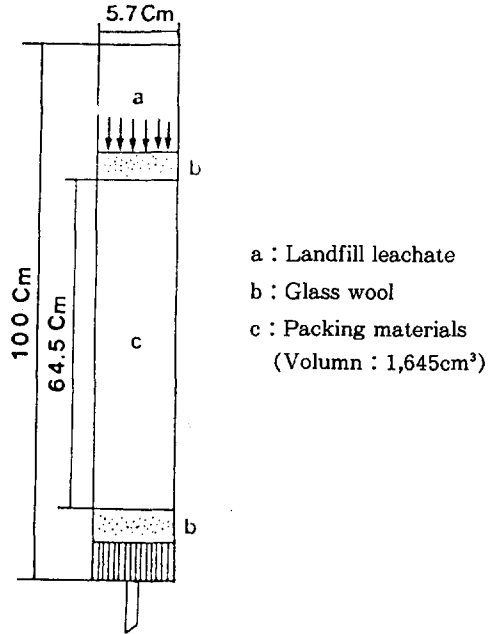


Fig. 1. The column(φ57mm PVC) used in the experiment.

5cm정도 되게 채웠다.

Column 맨 위층으로부터 경남 진주시 초전동 소재 쓰레기 매립장의 침출수를 8주간(1991. 8~1991. 10.) 매주 채취하여 1주에 2ℓ씩 주입시켜, 매주 column을 통하여 통과된 침출수를 분석하였다. 침출수의 분석은 표준수질분석법<sup>13)</sup>에 준하였다.

Column 내의 충전재료는 모래, 연탄재, fly ash 및 활성탄을 사용하였으며, 각 충전재료의 입도분포는 Table 1과 같고 그 이화학적 성질은 Table 2와 같다.

Table 1. Particle size distributions of the column packing materials.

	Particle size distribution (%)				
	<0.05*	0.05~0.1	0.1~0.25	0.25~0.5	0.5~0.8
Sand	1.0	4.1	26.0	38.1	30.8
Briquet ash	5.4	14.4	23.9	29.6	26.8
Fly ash	38.0	50.6	10.1	1.2	—
Activated carbon	—	3.4	7.5	20.0	69.0

\* Diameter in mm

Table 2. Physicochemical characteristics of the column packing materials.

	Filling mass (g/column)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	pH (1 : 5)	O.M (%)	C E C (me/100g)
Sand	2500	1.52	7.3	0.1	21.3
Briquet ash	1400	0.85	8.7	3.4	32.0
Fly ash	1500	0.91	8.0	6.4	22.6
Activated carbon	1000	0.61	7.5	24.4	19.8

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (ppm)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	Ca	Mg ———— me/100g ————	K	Na
3.4	26.2	85.1	71.4	4.6	0.3	0.15	0.16
4.0	223.1	85.1	2710.2	11.8	1.5	0.75	0.59
10.2	1070.4	63.8	1061.4	5.2	1.3	0.17	0.11
2.4	84.4	127.6	623.0	1.2	0.1	0.52	0.34

Table 3. Chemical characteristics of landfill leachate.

	Average	(range)
pH	8.3	(8.2 — 8.5)
COD (mg/ℓ)	343	(138 — 500)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/ℓ)	377.8	(215.5 — 943.0)
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/ℓ)	4.7	(1.21 — 12.86)
Cl <sup>-</sup> (mg/ℓ)	981.6	(702.1 — 1923.7)
Hardness (mg/ℓ)	2005.4	(1060 — 4323)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/ℓ)	227.6	(86.6 — 916.3)

## 結果 및 考察

본 실험에 사용한 쓰레기 매립장 침출수의 8주간의 이화학적 특성은 Table 3과 같다.

쓰레기 매립장 침출수를 원수로서하여 각 column에 통과시킨 침출수의 외형상 특성은 photo. 1에서 보는 바와 같다. 각 column을 통과한 침출수의 외관상 색도로 미루어 볼 때 오염물질 제거효율은 활성탄 > fly ash > 연탄재 > 모래순인 것으로 판단되었다.

각 column에 8주동안 쓰레기 매립장 침출수를 통과시켜 각 column을 통과한 침출수의 화학적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

Column을 통과한 침출수의 시기별 COD의 변화는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 처음 1주째 column에 유입된 침출수의 COD는 500mg/ℓ였으며, 모래 column을 제외한 모든 column에서 90% 이상 제

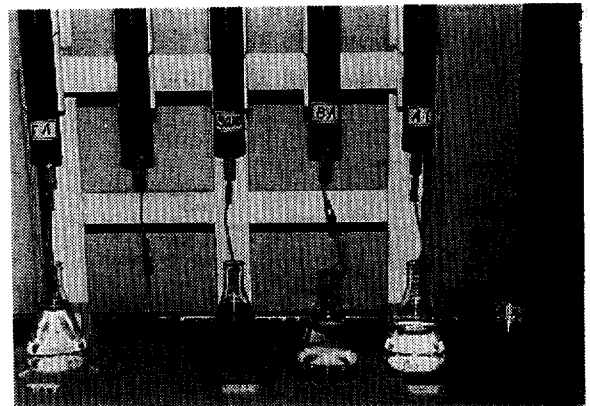


Photo. 1. The aspect of percolated landfill leachate passed through each column.

AC : Activated Carbon  
BA : Briquet Ash  
FA : Fly Ash

거되었다. 활성탄 column은 실험이 진행되는 8주간 지속적으로 COD가 80% 이상 제거되었으며, 연탄재 및 fly ash column에서는 서로 유사한 경향으로 시간이 경과함에 따라 제거율이 점차 낮아졌으나 평균 45% 이상 제거되었다. 그러나 모래 column의 경우에는 COD가 거의 제거되지 않았다.

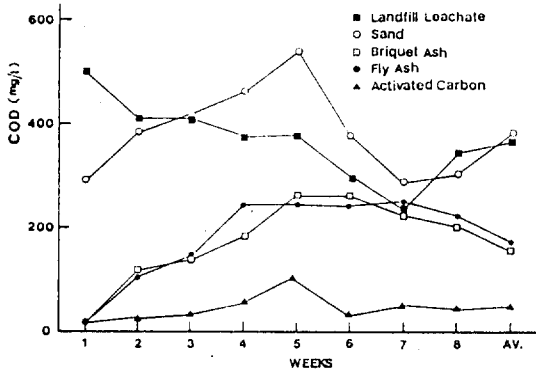


Fig. 2. COD values of column leachate at weeks after treatment.

$\text{NH}_4^+-\text{N}$ 의 변화는 Fig. 3과 같이 1주째 쓰레기 침출수의  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 의 농도는  $940\text{mg}/\ell$  였고, 각 column에서 90% 이상 제거되었다. 활성탄 column의 경우 8주간 85% 이상 제거되었고, 평균적으로 fly ash column에서 가장 적게 제거되었으나 대부분의 column에서 평균 60% 이상 제거되었으며, 이는 일반 토양 column에서 폐기를 침출수를 통과시켜 T-N 제거율과 유사한 경향이었다<sup>17)</sup>.

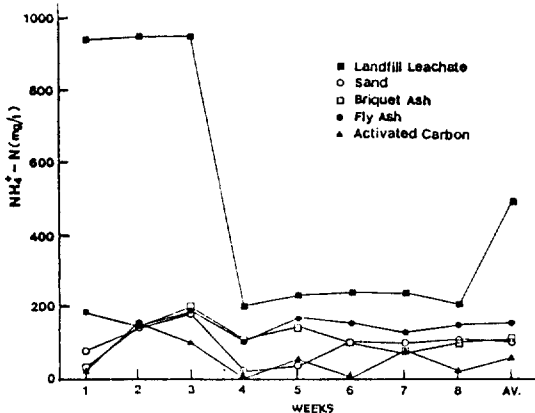


Fig. 3.  $\text{NH}_4^+$  values of column leachate at weeks after treatment.

Hardness의 시기별 변화는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 활성탄 column의 경우 94% 제거되었으며 실험이 진행되는 8주간 점차적으로 그 제거율이 감소되었으나 평균 70% 이상 제거되었으며, 연탄재와 fly ash column에서는 2주 이후부터 서로 유사한 경향을 나타내었으며, 8주 평균 제거율로 볼때 활성탄 > fly ash > 연탄재 > 모래 column 순으로 제거되었다.

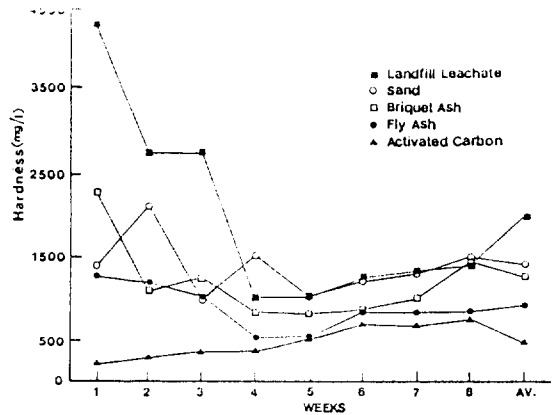


Fig. 4. Hardness values of column leachate at weeks after treatment.

$\text{PO}_4^{3-}$ 의 경우 시기별 각 column을 통과한 침출수의 변화를 보면 Fig. 5와 같이 첫째주에는 활성탄 > 연탄재 > fly ash > 모래 column 순으로 제거되었으며 모두 70% 이상 제거되었으나 2주 이후 모든 column에서 불규칙적이었다. 특히 fly ash col-

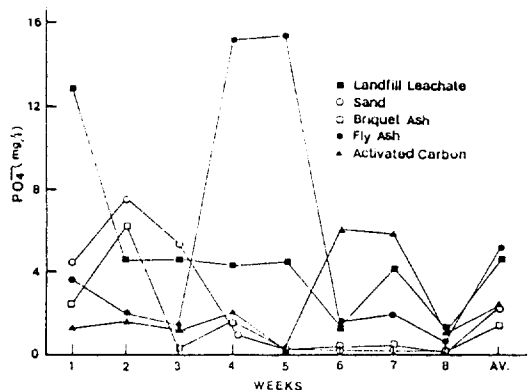


Fig. 5.  $\text{PO}_4^{3-}$  values of column leachate at weeks after treatment.

umn에서는 인이 4, 5주째에 쓰레기 매립장 침출수 원액에 비하여 오히려 4배 이상 높게 나타났으며, 이는 fly ash 자체의 인이 용출되었기 때문인 것으로 생각되었다. 일반적으로 토양중 음이온의 흡착조건은 점토광물중 Al, Fe등의 산화물 및 수산화물과 pH 7이하일 때 이들 산화물중 과잉의 전자쌍에 H<sup>+</sup>이온의 배위적 결합에 의해서 Al, Fe표면에 양전자를 띠어 음이온의 흡착이 가능해지는 것으로 보고되고 있으나<sup>14,15)</sup>, 본 실험에서는 충전재료와 폐기물 침출수의 pH가 높았기 때문인지 음이온이 거의 제거되지 않은 것으로 나타났다. 폐수중의 음이온을 효과적으로 제거하기 위하여 昔月<sup>16)</sup>는 점토광물에 Fe를 첨가하여 Fe<sup>2+</sup>이온으로 산화시켜 폐수내에 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>을 90% 이상 제거한 바 있다고 하였다.

Cl<sup>-</sup> 및 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 시기별 변화는 각각 Fig. 6 및 Fig. 7에서 보는 바와 같이 1주째를 제외하면 전 시기 및 전 column에서 거의 흡착이 이루어지지 않았으며, 이는 쓰레기 매립장 침출수 및 충전물질의 pH가 높았기 때문인 것으로 생각되었다.

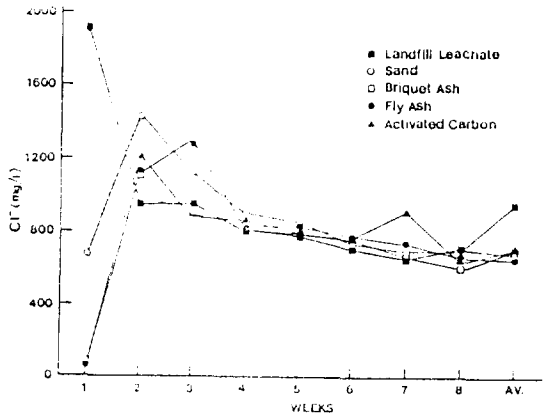


Fig. 6. Cl<sup>-</sup> values of column leachate at weeks after treatment.

이상의 결과를 토대로 각 column별 오염물질의 흡착량을 환산하여 각 흡착성분간 상관관계를 검토한 결과는 Table 4, 5, 6 및 7과 같다.

Table 4. Regression equations and correlation coefficients among different components of adsorption amount in activated carbon column.

X	Y	COD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Hardness	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
COD							
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		0.229X+451 (r=0.870**)					
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		15.3X+578 (r=0.821*)	48.2X+640 (r=0.680 <sup>NS</sup> )				
Cl <sup>-</sup>		0.0961X+618 (r=0.717*)	0.276X+775 (r=0.542 <sup>NS</sup> )	0.00551X+2.86 (r=0.767*)			
Hardness		0.0598X+469 (r=0.890**)	0.244X+128 (r=0.957**)	0.00283X-3.90 (r=0.787*)	0.371X-796 (r=0.741*)		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		0.091X+638 (r=0.243 <sup>NS</sup> )	0.031X+860 (r=0.022 <sup>NS</sup> )	0.00858X+3.55 (r=0.428 <sup>NS</sup> )	2.33X+26 (r=0.834**)	1.52X+2822 (r=0.273 <sup>NS</sup> )	

\*, \*\*: Significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

NS : None Significance.

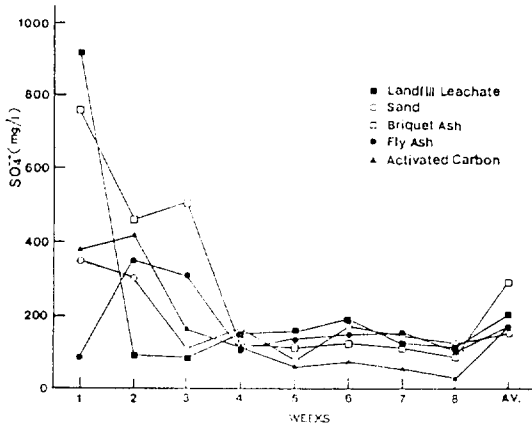


Fig. 7.  $SO_4^{2-}$  values of column leachate at weeks after treatment.

Fly ash 및 활성탄 column에서는 공히 양이온 서로간 및 음이온 서로간에 각각 유의적인 정의 상관성이 있었으며, 이는 양이온들은 흡착이 잘 되었으며 음이온들은 흡착이 잘 되지 않았기 때문인 것으로 판단되었다. 그리고 연탄재 column에서는 양이온간에 서로 유의적인 정의 상관성이 있었으나 음이온간에는 상관성이 없었으며, 모래 column에서는 음이온간에 서로 상관성이 불규칙적으로 나타났다.

이상의 결과를 미루어 볼때 fly ash와 연탄재는 활성탄에 비하여 처리효율은 낮았으나 쓰레기 침출수중의 유기성오염물질 및 양이온 오염물질을 상당히 제거하는 것으로 나타났다. 따라서 이들 fly ash와 연탄재를 쓰레기 매립장 조성시 그 지반층으로 이용하거나 매립지에서의 쓰레기 매립시 복토재로서의 활용가능성이 있을 것으로 생각되었다.

Table 5. Regression equations and correlation coefficients among different components of adsorption amount in fly ash column.

X	Y	COD	$NH_4^+$	$PO_4^{3-}$	$Cl^-$	Hardness	$SO_4^{2-}$
COD							
$NH_4^+$		$0.374X + 105$ ( $r=0.871^{**}$ )					
$PO_4^{3-}$		$11.5X + 376$ ( $r=0.510^{NS}$ )	$35.1X + 728$ ( $r=0.670^{NS}$ )				
$Cl^-$		$0.152X + 318$ ( $r=0.668^{NS}$ )	$0.198X + 832$ ( $r=0.373^{NS}$ )	$0.00472X - 2.43$ ( $r=0.446^{NS}$ )			
Hardness		$0.158X + 17.1$ ( $r=0.932^{**}$ )	$0.355X - 85$ ( $r=0.896^{**}$ )	$0.00565X - 13.4$ ( $r=0.747^*$ )	$0.546X - 888$ ( $r=0.733^*$ )		
$SO_4^{2-}$		$0.240X + 335$ ( $r=0.545^{NS}$ )	$0.217X + 667$ ( $r=0.211^{NS}$ )	$0.00705X - 1.84$ ( $r=0.360^{NS}$ )	$1.89X + 83$ ( $r=0.943^{**}$ )	$1.59X + 1999$ ( $r=0.613^{NS}$ )	

\*, \*\*: Significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively.  
NS : None Significance.

Table 6. Regression equations and correlation coefficients among different components of adsorption amount in briquet ash column.

X	Y	COD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Hardness	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
COD							
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		0.371X+110 (r=0.844**)					
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		21.6X+244 (r=0.505*)	28.5X+555 (r=0.292 <sup>NS</sup> )				
Cl <sup>-</sup>		0.146X+336 (r=0.652 <sup>NS</sup> )	0.202X+675 (r=0.397 <sup>NS</sup> )	0.00413X+5.16 (r=0.790*)			
Hardness		0.166X+119 (r=0.826*)	0.449X+20.1 (r=0.982**)	0.00172X+373 (r=0.366 <sup>NS</sup> )	0.423X-356 (r=0.470 <sup>NS</sup> )		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		-0.136X+386 (r=0.188 <sup>NS</sup> )	-0.895X+632 (r=-0.542 <sup>NS</sup> )	0.00739X+7.39 (r=0.436 <sup>NS</sup> )	1.79X+539 (r=0.551 <sup>NS</sup> )	-1.62X+1409 (r=-0.448 <sup>NS</sup> )	

\*, \*\* : Significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

NS : None Significance.

Table 7. Regression equations and correlation coefficients among different components of adsorption amount in sand column.

X	Y	COD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Hardness	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
COD							
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		0.222X-206 (r=0.683 <sup>NS</sup> )					
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		8.5X-69 (r=0.269 <sup>NS</sup> )	-8.4X+833 (r=-0.086 <sup>NS</sup> )				
Cl <sup>-</sup>		0.153X-48.1 (r=0.690 <sup>NS</sup> )	0.202X+770 (r=0.295 <sup>NS</sup> )	0.00592X+3.86 (r=0.844**)			
Hardness		0.0789X-121 (r=0.774*)	0.270X+482 (r=0.861**)	0.00093X+3.49 (r=0.289 <sup>NS</sup> )	0.302X-230 (r=0.658 <sup>NS</sup> )		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		0.242X-67.7 (r=0.243 <sup>NS</sup> )	0.418X+729 (r=0.380 <sup>NS</sup> )	0.00938X+3.10 (r=0.831*)	1.59X-130 (r=0.989**)	2.50X+766 (r=0.712*)	

\*, \*\* : Significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

NS : None Significance.

摘 要

쓰레기 매립장 침출수를 모래, 연탄재, fly ash 및 활성탄을 각각 충전시킨 column에 8주간 매주 통과시켜 오염물질 제거율을 조사한 결과 COD는 활성탄 column에서 8주동안 평균 83% 이상 제거되었으며, 연탄재와 fly ash column에서는 시간이 경과함에 따라 제거되는 비율이 낮아지는 경향이었으나 8주 평균 각각 45% 및 43% 제거되었고, 모래 column에서는 거의 제거되지 않았다.

$\text{NH}_4^+-\text{N}$ 는 모든 column에서 8주 평균 60% 이상 제거되었으며, Hardness는 활성탄과 fly ash column에서는 8주간 지속적으로 제거된 반면 연탄재 및 모래 column에서는 불규칙적이었고 특히 8주째에는 거의 제거되지 않았다.

$\text{PO}_4^{3-}$ 는 1주 이후부터 모든 column에서 불규칙적으로 제거되었으며, 특히 fly ash column에서는 4, 5주째 폐기물 침출수 원액에 비해  $\text{PO}_4^{3-}$ 가 4배 높게 나타났으며,  $\text{Cl}^-$  및  $\text{SO}_4^{2-}$  등의 음이온은 1주 이후부터 모든 column에서 제거되지 않았으며, 이는 충전 물질과 침출수의 pH가 높았기 때문인 것으로 사료되었다.

각 column내 각 오염물질 흡착량을 토대로 각 흡착성분간 상관관계를 검토한 결과 활성탄, fly ash 및 연탄재 column에서는 양이온간에 서로 유의적인 정의 상관이 있었으며 모래 column에서는 유의적인 상관이 없었고, 활성탄과 fly ash column에서는 음이온간에 유의적인 상관이 있었다. 그리고 모든 column에서 양이온과 음이온간에는 대부분 유의적인 상관이 없었다.

參考文獻

1. 이정전, 정일현, 이우범, 김명호(1988) : 도시폐기물 침출수의 발생에 관한 시험적 연구, 한국폐기물학회지, 5(1), 53-60.
2. Sheu Jenn-Hung and Kazuo Yamamoto(1988) : *Treatment of municipal solid waste leachate using soil colum process*. Water Pollution Control in Asia, 639-645.
3. David E. Lindoff(1979) : Ground-Water pollution-A Status Report, *Groundwater*, 17(1),

- 11-17.
4. Wayne A. Pettyjohn(1979) : Ground-Water Pollution-An Imminent Disaster, *Groundwater*. 17(1), 18-23.
5. Douglas M. Mackay, Paul V. Roberts and John A. Cherry(1985) : Transport of organic contaminants in groundwater, *Environ, Sci. Technol.*, 19(5), 384-392.
6. Vagn Jahl Larsen and Hans-Henrik Schierup, (1981): The use of straw for removal of heavy metals from waste water, *J. Environ. Qual.*, 10 (2), 188-192.
7. 임 광, 김용욱(1989) : 중금속 폐수처리에 관한 zeolite의 흡착효과( I ), 한국수질보전학회지, 5 (2), 15-22.
8. 임 광(1990) : 중금속 폐수처리에 관한 zeolite의 흡착효과( II ), 한국수질보전학회지, 6(2), 19-27.
9. 이진식, 이정재, 최 정(1987) : 폐수처리제로서의 zeolite의 이용, 한국환경농학회지, 6(2), 46-52.
10. 한국전력공사기술연구원(1990) : 석탄회의 농업적 활용 기초연구, 3-6.
11. 박 만, 허남호, 최 정(1991) : Fly ash가 토양의 물리, 화학성에 미치는 영향, 한국환경농학회지, 10(2), 133-137.
12. Teruo Henmi(1987): Synthesis of Hydroxy-Sodalite("Zeolite") from waste coal ash, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 33(3), 517-521.
13. APHA-AWWA-WPCF(1989) : *Standard methods for the examination of water and waste water*. 17th, Washington, DC.
14. Galindo, G. G. and F. T. Bingham (1977) : Homovalent and heterovalent cation exchange equilibria in soils with variable surface charge. *J. Soil Sci. Soc. Amer.*, 41, 883-886.
15. Parker, J. C., L. W. Zelazny, S. Sampath, and W. G. Harris(1979) : A critical evaluation of the extention of zero point of charge(ZPC) theory to soil systems. *J. Soil Sci. Soc. amer.*, 43, 668-673.
16. 苦月利之, 江角比出郎, 小村修一(1991) : 多段土壤層法による脱窒脱リン合併排水處理装置, 水質汚濁研究, 14(10), 709-719.