

## 건설부산물과 산업부산물을 이용한 중금속 제거

현재혁, 나진성, 조재범, 김자영

충남대학교 환경공학과

### I 서론

현재 국내에서는 년간 약 4,000 만톤의 건설폐기물과 150 만톤의 폐석고가 발생하고 있다. 전에는 이들 폐기물의 처리에 있어서 단순매립방법을 채택하여 처리하였으나, 현재는 폐기물 발생량의 증가에 따른 매립용지 면적 부족과 NIMBY 현상에 의한 매립장 건설의 어려움으로 인해 산업부산물의 재활용 방안이 다각도에서 모색되고 있다. 건설폐기물의 대부분을 차지하고 있는 폐콘크리트의 경우 약 71.4 %정도가 폐콘재 등으로 재활용되고 있으며 폐석고의 경우에는 약 80 %가 석고보드나 시멘트 첨가제 등으로 재활용되고 있다. 하지만 많은 양의 폐콘크리트와 폐석고가 재활용되지 못하고 적치되고 있는 실정이다. 또한, 이들 두 폐기물은 재활용에 있어서 매우 높은 pH와 매우 낮은 pH로 인하여 그 적용성이 떨어지고 있는 바 본 실험에서는 이들 두 폐기물의 혼합으로 인해 pH의 중화방안을 모색하여 차수제나 복토제, 매움재로써의 그 적용 가능성을 검토하였다.

### II 실험

#### 1. 실험재료

본 연구에서 사용한 폐석고는 남해화학에서 인산제조공정에서 발생하는 부산석고를 햇볕이 비치는 않는 곳에서 풍건시킨 후 40 mesh와 60 mesh사이의 것을 사용하였고, 폐콘크리트는 건조 후 파쇄하여 40 mesh와 60 mesh사이의 것을 사용하였으며, 사용된 중금속 시료는 Junsei chemical stock solution을 사용하였다.

#### 2. 실험 방법

##### 1) 화학적 조성(XRF)

폐콘크리트와 폐석고의 화학적 조성은 pH의 원인물질에 대한 정보와 차수제나 복토로 매움재로써의 사용가능성을 판단해 볼 수 있다.

##### 2) C.E.C 분석

CEC는 광물의 양이온 흡착정도를 나타내는 지표로써 사용될 수 있으므로 본 실험에서는 폐콘크리트와 폐석고 또한 그들의 혼합시료에 대하여 pH 7 Ammonium Acetate법을 이용하여 CEC를 측정하였다.

##### 3) 혼합시료 pH결정시험

혼합비별 pH측정은 폐콘크리트의 강 염기성과 폐석고의 강산성을 중화시킬수 있는 최적의 배합비를 결정하여 차수제나 복토제 또는 일반 매움재로 사용시 인근 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 적절 pH의 결정을 위해 실시하였다. 시료의 pH는 공해공정시험법 폐기물 편 폐기물 pH측정 방법에 의거하여 실시하였으며, 폐콘크리트 : 폐석고비를 95 : 5에서 5 %씩 변화시키면서 시행하였다.

연락주소 : 대전광역시 유성구 궁동 220번지 충남대학교 환경공학과  
전화번호 : 042-821-7752, Fax : 042-822-5610, E-mail : jayhh@cnu.ac.kr

4) 용출 시험

용출시험은 페콘크리트와 폐석고를 혼합하여 차수재나 복토재 또는 메움재로 사용시 지하수계나 침출수에 노출되었을 경우 주변환경에 미칠수 있는 영향성을 판단해 보고자 실시하였다.

5) 평형도달 실험

각 중금속 시료와 혼합시료의 제거능 평가와 흡착평형실험을 위한 예비실험으로 실시하였으며, pH 결정 실험에서 구한 3가지 혼합비 pH 10.20 pH 6.82 pH 3.24 에 대해 5 g의 혼합시료에 300ml의 중금속 시료를 첨가하여 항온진탕기에서 진탕시킨 후 상등액을 취해 AA로 분석하였다.

6) Freundlich isotherm test( 회분식 흡착실험 )

토양에 대한 단위 질량당 제거될 수 있는 오염물질의 양을 판단해 볼 수 있는 지표로서 차수재로 사용될 경우, 성능과 지속성을 판단해 볼 수 있다.

7) 회분식 탈착실험

흡착된 중금속의 재용출 특성을 알아보기 위해 실시하였다.

8) 제거능 평가실험

페콘크리트와 폐석고 혼합시료의 제거능을 평가하기 위해 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 화학적 조성(XRF)

폐석고, 페콘크리트 및 화강토의 XRF분석결과를 Table 1에 나타내었다. 폐석고의 경우에서 살펴보면 CaO의 Weight %가 29.44 %, SO<sub>3</sub>가 41.79 %로 CaO : SO<sub>3</sub>가 1.43의 비율로 존재하므로 CaSO<sub>4</sub>의 경우에 발생할 수 있는 CaO : SO<sub>3</sub> 1.42와 거의 비슷한 값을 보이고 있다. 또한 석고를 CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O로 볼 경우 L.O.I가 21.06 %로 CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O에서 연소시 소실될 수 있는 고착수인 H<sub>2</sub>O의 21 %와 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서 사용된 폐석고는 CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O인 이수석고이며 반수석고인 CaSO<sub>4</sub>·½H<sub>2</sub>O가 갖는 팽윤성이나 경화특성은 없을 것으로 사료된다. 또한 폐석고의 낮은 pH는 인산비료제조 과정 중에서 섞인 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(1.24%)의 영향에 의해 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>가 발생하여 pH를 낮추는 것으로 사료된다.

페콘크리트의 화학적 조성을 살펴보면 SiO<sub>2</sub>가 66.95%로 가장 높은 비율을 차지하며 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 9.83%, CaO 8.34%의 순으로 함유하고 있는 것을 볼 수 있다. 위의 분석 결과에서 판단해보면 CaO나 MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O에 의해 OH<sup>-</sup>기가 발생하여 pH를 상승시키는 것으로 사료된다.

Table 1. 폐석고, 페콘크리트, 화강토의 XRF 분석결과( 단위 : % )

합량	구성	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	L.O.I	합계
페콘크리트		66.95	2.17	9.83	0.22	0.05	8.34	1.03	2.96	1.45	0.07	-	6.63	99.7
폐 석 고		4.42	0.95	0.17	-	-	29.44	0.60	0.14	0.18	1.24	41.79	21.06	99.99
화 강 토		61.51	19.38	7.48	0.99	0.08	0.21	0.97	3.95	0.24	0.13	-	5.06	100

Table 2. 배합비별 CEC 결과

시	료	CEC
혼	배	( meq/100g )
합	합	
성	비	
분		
페콘크리트	30 : 70	3.15
+	60 : 40	3.83
폐 석 고	10 : 90	5.44
폐 석 고	원 시료	6.88
페콘크리트	원 시료	2.70

2. CEC

Table 3에 석고와 콘크리트 및 혼합시료의 CEC 결과를 수록하였다. Table에서 볼 수 있듯이 석고의 CEC가 6.88 meq/100g, 콘크리트의 CEC가 2.80meq/100g을 나타내고 있으며, 혼합시료의 CEC는 원시료와 비슷하

게 나타나고 있다. 따라서 두 시료의 혼합에 의해 CEC의 증가 및 감소에 미치는 영향은 없을 것으로 판단되며 Kaolinite계 광물과 비슷한 범위를 보이고 있다.

### 3. 혼합시료 pH 결정

Table 2에 각 시료별 혼합비와 혼합비별 pH 결과를 나타내었다.

콘크리트 : 폐석고의 비율이 40 : 60일 경우 pH 10.20, 30 : 70일 경우 6.82, 10 : 90인 경우 3.94임을 알 수 있다. 따라서 폐석고보다는 폐콘크리트가 더 강한 염기인 것으로 판단되며 중화에 있어서 70kg의 석고가 30kg의 콘크리트에 의해 중화될 수 있을 것으로 사료된다.

### 4. 용출실험

폐석고 및 폐콘크리트의 용출실험 결과를 Table 4에 나타내었다. 용출실험결과 폐기물법과 TCLP법에 대해서 모두 기준치보다 낮게 나타났으며, 화강토와 비교시 약간 높거나 비슷한 값으로 차수제나 복토제 또는 해안 매움재로 사용시 인근 환경에 대한 영향은 없을 것으로 사료된다.

Table 3. 배합비별 pH측정 결과

배합비	pH	배합비	pH
95 : 5	12.15	45 : 55	10.70
90 : 10	12.10	40 : 60	10.20
85 : 15	12.08	35 : 65	6.94
80 : 20	12.07	30 : 70	6.82
75 : 25	12.00	25 : 85	6.22
70 : 30	11.95	20 : 80	5.79
65 : 35	11.92	15 : 85	5.20
60 : 40	11.78	10 : 90	3.94
55 : 45	11.59	5 : 95	3.35
50 : 50	11.40		

Table 4. 폐석고, 폐콘크리트 용출실험 결과

구 분	국내용출시험법(mg/kg)		미국 TCLP법(mg/kg)		KMS 기준
	폐석고	폐콘크리트	폐석고	폐콘크리트	
As	0.654	0.877	0.734	0.437	1.5
Cd	0.014	0.271	0.129	0.006	0.3
Cu	0.110	1.399	0.116	0.019	3.0
Pb	0.134	0.884	0.371	0.049	3.0
Cr <sup>6+</sup>	0.581	0.231	0.287	0.117	1.5
Hg	ND	ND	ND	ND	0.005
유기인	ND	ND	ND	ND	1.0
시안	ND	0.028	ND	ND	1.0
PCE	ND	ND	ND	ND	0.1
TCE	ND	ND	ND	ND	0.3

### 5. 평형도달 실험

본 실험에서는 중성 근치를 갖는 최적혼합비 3 : 7에 대하여 중금속 제거능을 평가해보고자 하였으나 폐콘크리트의 느린 용출특성에 의해 폐기물법에 의한 pH 적용은 한계가 있었다. 따라서 시료의 pH 결정에 대한 shaking 시간을 24시간으로 결정하여 이후에 고려하기로 하였다.

Fig 2.에 나타난 바와 같이 48시간을 평형도달시간으로 결정하여 제거능 평가실험과 흡착제거능 실험을 실시하였다.

### 6. Freundlich isotherm

본 실험은 Pb, Cu, Cd와 혼합시료 100ml, 5mg/l을 흡착제 질량을 2, 3, 4 g으로 변화시키면서 실험을 실시하였다. Fig1.에서 볼 수 있듯이 본 실험에서 단위 흡착제당 피흡착물질의 선택성은  $Cu^{2+} > Cd^{2+} > Pb^{2+}$ 의 순으로 나타났다.

Table 5. Freundlich isotherm parameter

시료명	1/n	log( k )	r <sup>2</sup>
구리	0.5739	0.3705	0.9999
카드뮴	0.7447	0.1316	0.9991
납	0.6090	-0.1802	0.9174
구리 3:7 혼합시료	0.5739	0.3705	0.9999
카드뮴 3:7 혼합시료	0.6429	0.0573	0.8918
납 3:7 혼합시료	0.8172	0.0331	0.9997
구리 1:9 혼합시료	0.5739	0.3705	0.9999
카드뮴 1:9 혼합시료	0.6005	0.0999	0.9393
납 1:9 혼합시료	0.9731	0.1069	1.0000

### 8. 제거능 평가실험

폐석고와 폐콘크리트를 흡착제로 사용하여 시간에 따른 중금속 제거능 그래프를 Fig 2.에 나타내었다. 그림에서 보듯이 단성분에 대한 중금속 흡착선택성은 36시간까지는  $Cu^{2+} > Pb^{2+} > Cd^{2+}$ 의 순으로 나타났으나, 48시간 경과 후부터는  $Cu^{2+} > Cd^{2+} > Pb^{2+}$ 의 순으로 나타났다. 흡착제의 중금속에 대한 제거능은 그림에 나타난 바와 같이 48시간 근처에서 중금속의 대부분이 침전 제거되었다.

Fig 1. 흡착평형시험 결과( Ce, x : mg단위 )

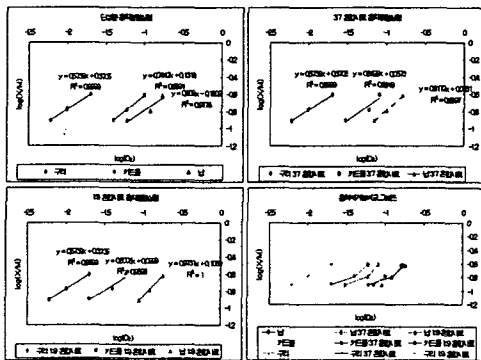
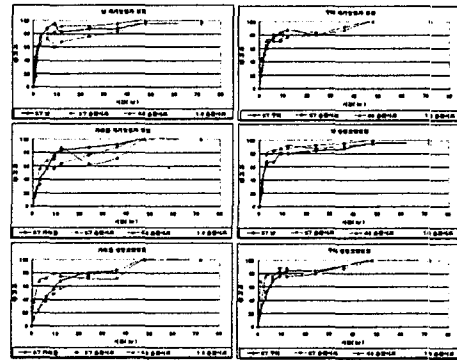


Fig 2. 평형도달실험 및 제거능 평가실험 그래프



### 9 결론

폐석고와 폐콘크리트를 혼합하여 중금속 제거능에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전 혼합비에 대하여 pH가 매우 높은 경향을 보이고 있으나 역학적 특성을 고려하여 적절한 혼합비로써 해안 매움제나 복토제, 차수제 등으로 사용 가능성은 있을 것으로 사료된다.
- (2) 차수제나 복토제 등으로 사용시 중금속 제거능은 높은 pH에 의해 매우 좋으며 자연수에 노출되었을 경우 외부로의 용출은 미비할 것으로 사료된다.

### IV 참고문헌

1. Catherine D. chambers, Teffry Wills, " In Situ Treatment og Hazardous Waste-Contaminated Soil", Second Edition, 1990, p 80~143, NOYES DATA Corporation.
2. R. Allan Freeze, John A. Cherry, " Ground Water", 1979, p239~273, Prentice-Hall. Inc.
3. Hinrich L. Bohn, Brian L. McNeal, " Soil Chemistry", 1979, p70~168, John Wile & Sons