

# 주상시험장치를 이용한 해안 폐기물 매립장 지반토의 오염물 흡착능에 관한 연구

A Study on Contaminant Sorption Capacity of Soil Liner  
for Seashore Waste Landfill by Using Column Test Apparatus

장 연 수\*<sup>1</sup>

Jang, Yeon-Soo

한 성 길\*<sup>2</sup>

Han, Sung-Gil

김 수 삼\*<sup>3</sup>

Kim, Soo-Sam

---

## Abstract

In this paper, the retardation capacity of marine clay and weathered soil of seashore waste landfill is analyzed by using a laboratory column apparatus for organic and inorganic components which can represent the components of the leachate of municipal waste landfill. The results show that sorption capacity marine clay for potassium is larger than that of weathered soil. Lead and cadmium are adsorbed completely at concentrations higher than the real concentrations developed in the landfill. The bottom soils of seashore landfill can also retard some non-degradable components of organics although their sorption capacities for organics were less than those for inorganics.

## 요 지

본 논문은 해안 매립장의 해성점토와 그 기반 풍화토가 갖는 침출수 중의 무기물, 중금속 및 유기물에 대한 오염물 이동성 저감능력을 실내 주상시험에 의하여 조사하였다. 그 결과 무기물인 칼륨의 경우 해성점토층의 흡착능이 하부 풍화토에 비하여 큰 것으로 나타났으며 중금속인 납과 카드뮴의 경우는 매립장 실제 배출 농도보다 큰 농도에서도 완전 흡착되는 것으로 나타났다. 유기성 폐기물에 대한 실험결과 그 흡착능이 무기물이나 중금속에 비하여는 떨어지나 침출수 내의 난분해성 유기물질을 기반 점토 및 풍화토가 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다.

Keywords : Sorption capacity, Column test, Waste landfill, Contaminant migration, Marine clay, Weathered soil

---

\*1 정희원, 동국대학교 공과대학 토목공학과 조교수

\*2 정희원, 동국대학교 대학원 토목공학과

\*3 정희원, 중앙대학교 공과대학 토목공학과 교수

## 1. 서론

20세기 후반에 들어 가속되고 있는 산업화 도시화에 수반하여 우리들이 살고 있는 환경도 많은 오염이 되고 있다. 국내의 경우 70년대에 들어 도회지와 공단을 포함한 지역의 대기 및 수질 오염 문제가 발생한 것을 시작으로 80년대 후반에 들어서는 국민 개인 소득 증대와 더불어 쓰레기의 양이 급격히 증대하였다. 다행히 쓰레기의 재활용, 종량제 등에 의한 쓰레기의 감량화를 실시하고 김포 수도권 매립지와 같은 광역 매립지를 전국 여러곳에 조성하여 쓰레기문제를 해결하여 가고 있다.

현재 국내에서 조성되고 있는 매립장 부지를 보면 내륙지역에서는 산간 계곡부를 이용하는 계곡매립장이나 농지의 일부를 이용하는 평지매립장이 사용되고 있고 인구가 밀집되어 있는 대도시 지역의 경우 가까운 해안의 넓은 개펄이나 준설 매립한 지역을 매립장으로 조성 사용하고 있다. 해안매립장은 지반공학자들이 주지하는 바와 같이 연약지반이며 남서해안의 경우 점토층이 10-20미터이상 형성되어 있는 지역이 많으므로 천연 점성토층을 주차수층으로 이용하고 있는 경우가 많다. 이러한 점토 차수층의 오염물 차단 능력을 확인하기 위하여 이제까지 흠차수층의 낮은 투수계수의 확보에만 주로 관심이 주어져 왔으나 실제로는 점토층의 오염물 저감능력에 대한 확인도 이루어져야만 한다.

국내 토양에대한 흡착능력 조사는 주로 회분식 시험에의해서 이루어 졌으며 그 사례를 보면 다음과 같다. 한서 엔지니어링(1993)은 화성 지정 폐기물 매립장의 점토 차폐재(clay liner)와 그 하부의 주 대수층 역할을 하는 풍화대, 그리고 기반암의 분배계수를 구하기 위하여 실내 회분식실험을 페놀과 카드뮴에 대하여 실시 하였다. 그 결과 페놀의 시료별 분배계수(distribution coefficient)가 점토 차폐재, 풍화재, 연암토의 경우 각각 1.5, 1.6, 3.9 ml/g이며, 카드뮴의 경우 각각 297.0, 440.0, 753.0 ml/g으로 나타났으며, 흡착등온식은 Freund-

lich 식을 만족함을 보여주었다. 한국지반공학회(1994)는 매립장의 차수재로 사용되는 국내 시료로서 서해안에서 채취한 점토재와 내륙지방에 많은 시료인 화강토를 선택하여 이들의 흡착능을 결정하기 위하여 표면적 및 간극분포(pore size distribution)를 측정하였고 이들의 오염물에 대한 흡착 및 분산 특성을 회분식실험을 통하여 알아보았다. 실험 대상물질로 페놀을 사용하였으며, 회분식실험결과 화강토와 점토 모두 Freundlich 등온식(분배계수는 화강토 5.07 ml/g, 점토 11.11 ml/g 그리고 기울기는 화강토 0.80, 점토 0.73)을 따르고 점토의 흡착능이 화강토에 비교하여 보다 우수함을 보여주었다. 한편 매립지의 복토재로 사용되는 연탄재와 일반 토양을 대상으로 중금속과 유기탄소, 질소, 인에 대한 흡착능을 비교하기 위한 회분식 실험을 수행한 결과에 의하면 연탄재와 일반토양 모두 Freundlich 등온식을 따르며, 일반 토양의 흡착량이 연탄재보다 조금 나은 것으로 나타났고 두 흙에 대한 중금속의 흡착 선호도는 모두 Pb, Cu, Zn, Cd의 순인 것으로 나타났다(김연규 등, 1994). 이상에서 살펴 본 바와 같이 회분식 시험으로 점토 및 풍화토에 대하여 흡착능을 실험조사한 경우는 있으나 주상시험으로 흡착능을 조사한 경우는 희귀하며 특히 점토와 같은 투수성이 작은 시료에대한 주상시험 연구는 없는 것으로 나타난다.

본 논문에서는 김포 수도권 매립장의 해성점토와 그 기반 풍화토를 이용하여 차폐기능을 수행하는 바다지반의 침출수 중의 중금속과 유기물 등에 대한 흡착능을 실내 주상실험에 의하여 조사하였다. 실험에 사용한 토양은 수도권 매립장 제 1공구와 제 3공구의 상부 점토와 하부 풍화토층 시료를 채취하여 위치별 토성변화에 대한 흡착능의 변화를 알아보았다.

## 2. 컬럼실험의 분석이론

일반적으로 오염물 이동에 대하여는 Advection-Dispersion 모델이 사용되며 비반응성 오염물에 사용되는 1차원 미분방정식은 다음과

같다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} - \bar{V} \frac{\partial C}{\partial X} \quad (1)$$

여기서 C는 비반응성 오염물의 농도, D는 분산계수(dispersion coefficient)( $=\alpha\bar{V}$ ),  $\bar{V}$ 는 컬럼내의 약액의 실제이동속도, 그리고  $\alpha$ 는 분산지수(dispersivity)이다.

또한 오염물이 흡수에서 흡착성이 있는 경우 에 위의 식 (1)은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} - \bar{V} \frac{\partial C}{\partial X} \quad (2)$$

여기서 R은 지연계수(retardation coefficient)라고 부르며 다음과 같이 정의된다.

$$R = 1 + \frac{\rho_b}{n_{eff}} K_d \quad (3)$$

여기서  $\rho_b$ 는 흙의 건조단위밀도,  $n_{eff}$ 는 유효간극률, 그리고  $K_d$ 는 분배계수(ml/g)이다.

본 실험에서는 컬럼(column) 하부에서 침출되어 나오는 반응성 물질과 비반응성 요소의 속도로 부터 지연계수를 산출한 후 분배계수를 역산하여 구하였다. 또한 시험결과로부터 분산성과 흡착성을 추정하기 위해서 Princeton대학에서 만들어진 1차원 유한차분 오염이동 모델인 C.D.F.D(convection-dispersion finite difference) program과 연속오염원의 시간과 장소에 따라 변화하는 오염농도를 추정하는 1차원 해석해인 Ogata and Banks(1961)에 의하여 제안된 공식을 사용하여 실험결과를 best fitting하였다.

### 3. 재료 및 실험방법

사용재료로 매립장의 차수재로 사용되는 점토와 풍화토를 각각 3종류씩 채취하여 이들의 오염물에 대한 흡착 및 분산 특성을 알아보았다. 실험에 사용된 점토와 풍화토는 수도권 매립장 상·하부 층에서 채취한 것으로서 이들의 기본 토성 시험 결과는 표 1, 2와 같다. 그림 1과 2는 점토와 풍화토시료의 입도분포를 나타낸 그림이다.

표 1. 점토의 토질실험 결과치

시료 종류	BH 28	BH 69	BH 77
자연함수비( $\omega_n$ , %)	34.5	36.1	39.2
비중, $G_s$	2.65	2.66	2.69
간극비, e	0.91	0.96	1.05
간극률, n	0.48	0.49	0.51
채취깊이(m)	1.0-1.8	1.0-1.8	1.0-1.8
습윤단위중량( $\gamma_t$ , t/m <sup>3</sup> )	1.92	1.92	1.87
건조단위중량( $\gamma_s$ , t/m <sup>3</sup> )	1.43	1.41	1.34

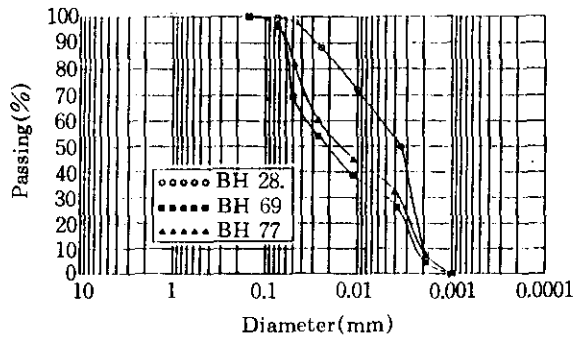


그림 1. 시험에 사용된 점토의 입도분포

표 2. 풍화토의 토질실험 결과치

시료 종류	화산암 풍화토	편마암 풍화토	화강암 풍화토
자연함수비( $\omega_n$ , %)	24.6	37.5	36.6
습윤단위중량( $\gamma_t$ , t/m <sup>3</sup> )	1.93	1.86	1.86
건조단위중량( $\gamma_s$ , t/m <sup>3</sup> )	1.55	1.32	1.36

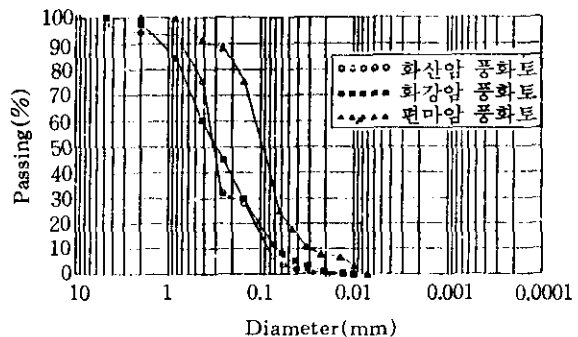


그림 2. 시험에 사용된 풍화토의 입도분포

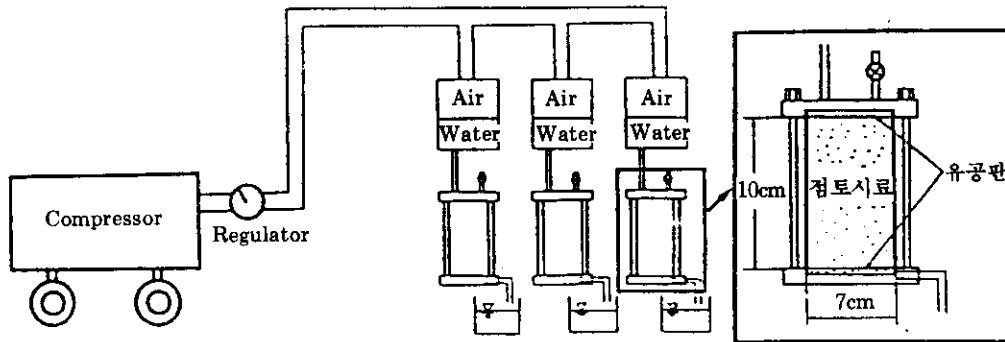


그림 3. 가압 column 실험장치 모형

실험장비는 변수두 투수시험기와 가압 컬럼 시험기 두 가지를 이용하였다. 기반토의 경우 투수성이 크기 때문에 변수두 투수시험기로 흡착시험이 가능하지만 점토의 경우 투수계수가 매우 낮기 때문에 높은 압력을 가할 수 있는 가압장치가 부착되어 있지 않으면 흡착특성 측정이 매우 어려우므로 점토는  $8\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 압력을 가할 수 있는 그림 3과 같은 가압 컬럼 시험기를 이용하였다.

투수물드의 직경은 변수두 투수시험기의 경우 내경이 9.9cm, 높이 12.7cm 이었고 가압 컬럼시험기의 경우 직경이 7.0cm, 높이 10.0cm 이었다. 화학 약액 주입시 모듈드로부터 흡입자가 빠져나가는 것을 방지하기 위하여 시료 상하부에 여과지와 철망을 설치하였으며 시료의 길이는 두 시료 모두 5.0cm로 하였다. 모듈드 내에 만들어진 시료의 건조단위중량은 현장의 건조단위중량과 동일하게 하였으며 5층으로 나누어 층별로 다져서 성형을 하였다. 모듈드 내의 시료가 없는 부분은 자갈을 채워 넣고 컬럼실험을 시작하기 전에 시료를 증류수로 포화시킨 후 시험을 수행하였다.

통일 분류법에 의하면 SW에 속하며 투수성이 상부 점토에 비하여 큰 기반 풍화토에 대해서는 변수두 투수시험기를 이용하여 폐놀, 납, 카드뮴 등의 중금속 분산성과 흡착능을 알아보

았고 COD의 저감능 또한 조사하였다.

가압장비가 갖추어진 컬럼시험기를 사용한 상부 점토시료는 시료에 높은 압력을 가했을 경우 시료가 벽면이나 취약부를 통해 파괴되기 쉽고 중금속 수용액이 높은 압력을 받으면 용액내에서 중금속의 농도차가 발생하는 이유 등으로 중금속에 대한 흡착특성을 알아볼 수 없었다. 따라서 점토시료에 대해서는 압력의 영향이 없는 칼륨과 COD 저감능만을 조사하였다.

점토시료의 경우 가압 컬럼장치를 이용할 때 최대  $1.0\sim 2.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력을 가하였다. 그 이상의 압력에서는 시료의 파괴나 취약부를 통한 침투가 생겨 시험이 불가능하였다. 시료가 수압할렬이나 파이핑과 같은 현상으로 인해 파괴되는 것을 점검하기 위해 시험시작부터 종료시까지 투수계수를 계산하였으며 이 값이 갑자기 증가할 때를 시료의 파괴시점으로 보았다.

추적자로 통상 사용되는 염소는 김포지반이 해수의 영향을 이미 받은 적이 있는 지역이기 때문에 지반내에 그 농도가  $15,000\sim 20,000\text{ppm}$  정도로 매우 높으므로  $100\pm 10\text{ppm}$  농도로 비반응성 물질인 요오드를 추적자로 선택하여 사용하였다. 컬럼 하단의 배출구를 통해 흘러나오는 요오드이온 추적자와 중금속 이온의 시간별 농도변화를 측정하기 위해 Orion사의 ion sel-

ection electrode를 사용하였으며, 페놀의 농도는 Hewlett Packard사에서 제작된 GC(5890 series II)의 FID(flame ionization detector) 검출기를 이용하여 측정하였다.

#### 4. 실험 및 분석

##### 4.1 요오드와 염소의 이동특성

일반적으로 염소는 비흡착성 물질이므로 컬럼 시험에서 지하수의 이동 속도를 알아보는 추적자로 사용된다. 그러나 해성 점토에는 해수내 염분의 영향으로 염소가 다량 포함되어 있는 관계로 컬럼 시험에 추적자로 사용하였을 경우 첨가된 염소와 배경 염소의 구분이 어려워 그 효용성이 떨어지게 된다. 그러므로 본 시험에서는 염소대신 다른 비반응성 원소인 요오드를 추적자로 사용하기 위하여 요오드와 염소를 동시에 컬럼내 흡시료 상부에 넣은 후 두 성분의 컬럼을 통한 이동 특성을 알아보았다.

실험에 사용된 시료는 염소의 영향이 전혀 없는 용인지역의 화강암 풍화토를 이용하였으며, 사용한 요오드와 염소는 각각  $100 \pm 10\text{ppm}$ ,  $1000 \pm 20\text{ppm}$ 의 농도로 조성하여 실험에 사용하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 컬럼을 통한 염소와 요오드의 이동특성은 거의 일치하여 염소대신 요오드의 해성 토양내의 침출수의 흐름 속도 추적에 사용할 수 있음을 알 수 있다.

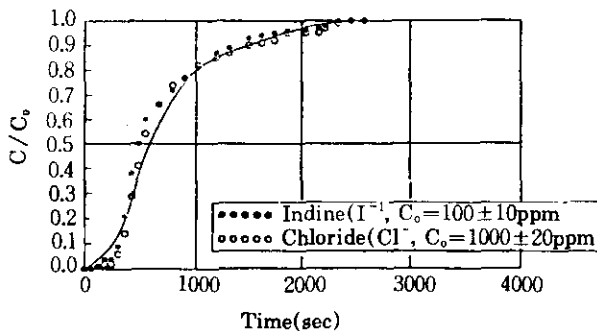


그림 4. 요오드(Iodine)와 염소(chloride)의 컬럼실험 결과

##### 4.2 중금속(Pb, Cd)의 이동 특성

중금속은 가압하였을 경우 깊이에 따라 밀도가 균일하지 않아 기반토에 대해서만 실험을 실시하였다. 중금속으로는 납과 카드뮴을 사용하였으며, 이때 사용한 중금속의 농도는 100ppm과 1000ppm이었다. 농도 100ppm의 중금속 용액을 사용하여 실험한 결과에 의하면 납의 경우 간극부피(pore volume)의 약 2배 부피의 용액이 투과되어도 컬럼하부에서 납성분의 증가가 발견되지 않았으며, 카드뮴의 경우도 간극부피의 약 21배 정도 용액이 투과되어도 컬럼하부에서 농도 증가가 발견되지 않았다.

반면에 농도 1000ppm의 중금속 용액을 사용했을 경우에는 요오드의 이동속도와 중금속의

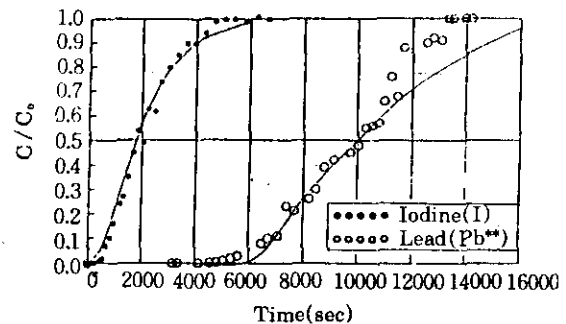


그림 5. Column 하부에서 채취한 요오드(I)와 납(Pb)의 시간에 따른 농도분포와 오염이동모델 계산치와의 비교(화산암 풍화토)

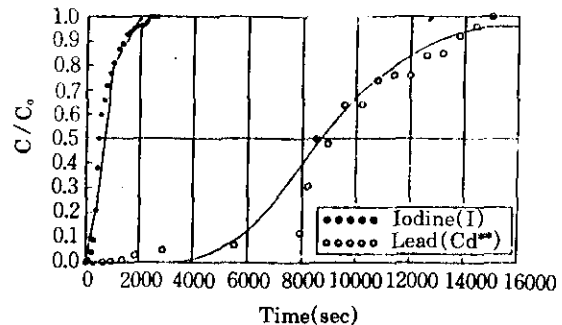


그림 6. Column 하부에서 채취한 요오드(I)와 카드뮴(Cd)의 시간에 따른 농도분포와 오염이동모델 계산치와의 비교(화산암 풍화토, K Block)

이동속도로 부터 구한 납의 지연계수는 4.75로 나타났다. 분산지수(dispersivity)는 0.2cm로 요오드의 경우 0.61~0.79cm인데 비하여 1/3 ~1/4 정도의 작은 값을 보였다(그림 5 참조). 동일 농도의 카드뮴의 경우 그림 6에서 보는 바와 같이 지연계수는 8.44로 매우 큰 값을 나타냈으며, 분산지수는 요오드가 0.53cm인 것에 비하여 0.18cm로 1/3 정도의 작은 값을 보였다.

### 4.3 칼륨(K)의 이동특성

무기화합성분인 칼륨(potassium)의 지반내 이동특성을 알아보기 위하여 점토 시료에 대해서는 가압컬럼시험기를, 풍화토 시료에 대해서는 변수두투수시험기를 각각 이용하여 컬럼실험을 하였다. 점토 시료에 대한 실험에서는 압력을 2.0kg/cm<sup>2</sup>로 유지시키면서 컬럼을 통과하는 용액을 채취하여 시간에 따른 농도를 측정하였다.

점토의 경우 상층과 중간층의 흡착거동 특성이 거의 동일한 양상을 보였다. 지연계수는 점토가 13.8로 측정되었고 하층의 풍화토는 이 값의 1/2 정도인 7.6으로 나타나 점토의 칼륨에 대한 흡착능이 하부 풍화토에 비교하여 우수한 것으로 나타났다. 그림 7과 8에서 볼 수 있는 바와 같이 점토와 풍화토에 대한 요오드의 분산지수가 각각 0.91, 0.53인 것에 반하여 칼륨의 경우 분산지수는 각각 0.2, 0.58로 나타났다.

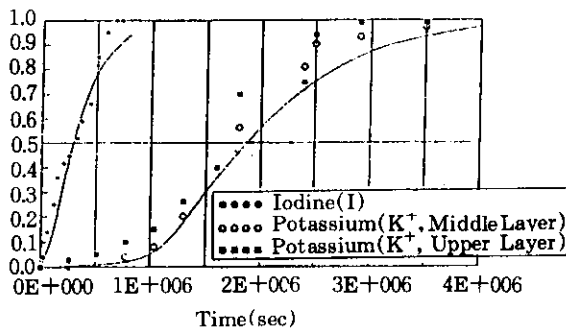


그림 7. 점토에서의 칼륨(K)의 이동특성

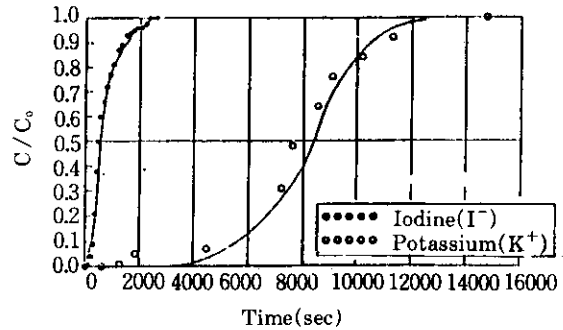


그림 8. 풍화토에서의 칼륨(K)의 이동특성

### 4.4 페놀의 이동 특성 및 COD 저감능 측정

페놀의 기반토에 대한 이동특성을 알아보기 위하여 편마암, 화강암, 분출화산암 풍화토에 대해 각각 실험을 실시하였다. 세 가지 시료에 대하여 Darcy 속도  $2.37 \times 10^{-4} \sim 3.58 \times 10^{-4}$  cm/sec의 범위에서 실험하였으며 추적자로 사용된 요오드와 페놀의 원용액이 컬럼하부에서 검출하는 데 소요되는 시간은 두 경우 모두 약 100분 내외가 소요되었다. 컬럼하부에서 측정된 페놀의 시간 경과별 농도변화곡선을 그림 9~11에 각각 나타내었다. 위의 결과들에 의하면 길이 5cm의 시료를 통과하는 요오드와 페놀의 실제속도는 각각  $\bar{V}_{\text{Iodine}} = 0.0018 \sim 0.0023$  cm/sec,  $\bar{V}_{\text{phenol}} = 0.0015 \sim 0.0017$  cm/sec로서 페놀의 지연현상이 감지되었고 계산된 페놀의 지

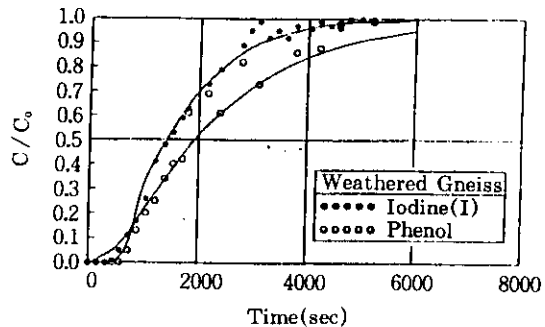


그림 9. Column 하부에서 채취한 요오드(iodine)와 페놀(Phenol)의 시간에 따른 농도분포와 오염이동모델 계산치와의 비교(편마암 풍화토)

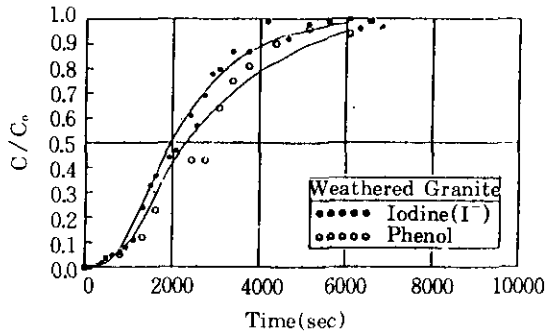


그림 10. Column 하부에서 채취한 요오드(iodine)와 페놀(phenol) 시간에 따른 농도분포와 오염 이동모델 계산치와의 비교(화강암 풍화토)

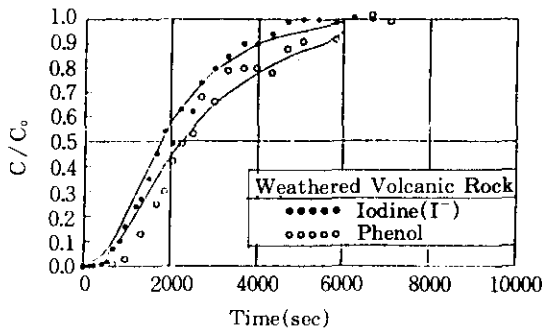


그림 11. Column 하부에서 채취한 요오드(iodine)와 페놀(phenol) 시간에 따른 농도분포와 오염 이동모델 계산치와의 비교(화산암 풍화토)

연계수 R은 1.2~1.35 정도로 나타났다. 1차원 오염이동 모델에 의한 농도분포와의 fitting에 의해 구해진 페놀의 분산지수는 0.93~1.07cm 이었다.

기반풍화토와 점토의 난분해성 유기물 저감 능력을 평가하기 위해 침출수 원액과 요오드 100ppm 을 반반씩 섞어 컬럼 하부로 침출되는 용액의 요오드 농도가 컬럼 상부 원액의 요오드 농도와 같게 되었을 때의 시료를 채취하여 COD 저감능을 평가하였다.

그림 12는 점토시료의 COD 저감능 평가를 위해 행한 가압 컬럼장치를 이용하여 구한 요오드의 시간별 농도변화를 나타낸 곡선으로 그림에 표시한 바와 같이 요오드가 컬럼 하부에서 상부 원액과 같은 농도로 검출되는 시점

로부터 48시간 동안 채취한 시료를 이용하였다. 가압 컬럼의 압력을 2kg/cm<sup>2</sup>으로 유지한 상태에서 실험을 수행한 결과 점토시료의 요오드에 대한 실제침투속도  $\bar{V}$ 는  $1.1 \times 10^{-5}$ cm/sec, 분산계수 D는  $1.0 \times 10^{-5}$ cm<sup>2</sup>/sec, 분산지수는 0.91cm로 산정되었다.

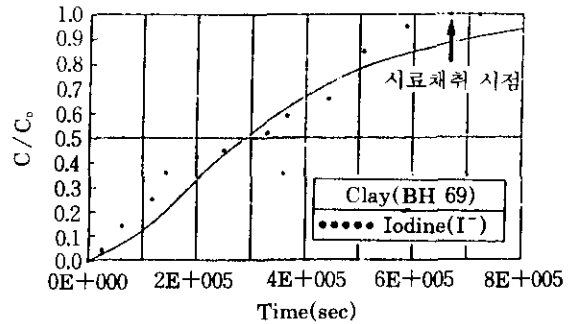


그림 12. 점토시료의 COD저감능 평가를 위하여 측정된 요오드(iodine)의 시간별 농도변화

COD 농도는 기반풍화토의 경우 편마암은 72.1%, 화산암은 80.3%, 화강암은 73.8% 정도로 감소하는 것으로 나타났으며, 반면에 점토시료는 82.0%로 감소하는 것으로 나타나 하부 풍화토의 유기물에 대한 저감능이 다소 우수한 것으로 나타났다. 망간(Mn)법에 의한 COD 저감능 측정결과는 표 3에 나타내었다.

표 3. 망간법에 의한 COD 저감능 평가

시료	구분	원액농도 (mg/l)	검출농도 (mg/l)	저감률(%)
편마암	원액	122	88	72.1
	침출수	122	98	80.3
	화강암	122	90	73.8
점토(BH 69)	원액	122	100	82.0

이러한 제 3 공구 지반의 COD 저감능 평가는 김포매립장의 침출수 성분 중 난분해성 물질의 많은 부분은 점토차폐재 및 기반토가 저감시킬 수 있음을 보여준다.

본 주상실험의 결과로부터 구한 페놀과 중금속의 투수계수, 실제이동속도, 분산계수, 지연

계수를 요약하면 표 4, 5와 같다. 표 중의 요오드, 페놀, 납에 관한 분산지수를 비교해 보면 각각 0.61~0.79cm, 0.93~1.07cm, 0.2cm인 것을 알 수 있었으며 지연계수로 부터 식(3)을

이용하여 구한 분배계수는 페놀 0.02~0.04 ml/g, 납 0.52ml/g, 카드뮴 0.68mg/1 인 것을 알 수 있었다.

표 4. 컬럼시험으로부터 구한 생성지질이 다른 시료에 대한 페놀의 분산계수와 흡착성

특성치	시료	편마암 풍화토	화강암 풍화토	화산암 풍화토
투수계수(k, cm/sec)		$2.65 \times 10^{-4}$	$2.37 \times 10^{-4}$	$3.58 \times 10^{-4}$
침투속도 ( $\bar{v} = v/n$ , cm/sec)	Iodine	$2.30 \times 10^{-3}$	$1.80 \times 10^{-3}$	$1.90 \times 10^{-3}$
	Phenol	$1.70 \times 10^{-3}$	$1.50 \times 10^{-3}$	$1.50 \times 10^{-3}$
분산계수 (D, cm <sup>2</sup> /sec)	Iodine	$1.50 \times 10^{-3}$	$1.10 \times 10^{-3}$	$1.50 \times 10^{-3}$
	Phenol	$1.80 \times 10^{-3}$	$1.40 \times 10^{-3}$	$1.60 \times 10^{-3}$
분산지수 ( $\alpha$ , cm)	Iodine	0.65	0.61	0.79
	Phenol	1.06	0.93	1.07
분배계수 (K <sub>d</sub> , ml/g)	Iodine	0	0	0
	Phenol	0.03	0.02	0.04
지연계수 (R, V <sub>Iodine</sub> /V <sub>Phenol</sub> )	Iodine	1	1	1
	Phenol	1.35	1.2	1.3

표 5. 컬럼시험으로부터 구한 중금속(Pb, Cd)의 분산계수와 흡착성

특성치	시료	화산암 풍화토	화강암 풍화토
투수계수(K, cm/sec)		$3.58 \times 10^{-4}$	$4.68 \times 10^{-4}$
침투속도 ( $\bar{v}$ , cm/sec)	Iodine	$1.90 \times 10^{-3}$	$3.80 \times 10^{-3}$
	납(Pb)	$4.00 \times 10^{-4}$	-
	카드뮴(Cd)	-	$4.50 \times 10^{-4}$
분산계수 (D, cm <sup>2</sup> /sec)	Iodine	$1.50 \times 10^{-3}$	$2.00 \times 10^{-3}$
	납(Pb)	$8.00 \times 10^{-5}$	-
	카드뮴(Cd)	-	$8.00 \times 10^{-5}$
분산지수 ( $\alpha$ , cm)	Iodine	0.79	0.53
	납(Pb)	0.20	-
	카드뮴(Cd)	-	0.18
분배계수 (K <sub>d</sub> , ml/g)	Iodine	0	0
	납(Pb)	0.52	-
	카드뮴(Cd)	-	0.68
지연계수 (R, V <sub>Iodine</sub> /V <sub>Pb</sub> or V <sub>Cd</sub> )	Iodine	1.0	1.0
	납(Pb)	4.75	-
	카드뮴(Cd)	-	8.44

## 5. 결론

김포 수도권 매립지 제 1공구와 3공구 지반의 침출수에 대한 흡착성 분석을 위한 주상실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 주상실험에서는 요오드와 염소를 통과시켜 두 비반응성 물질의 풍화토내에서의 이동현상을 알아본 결과 이들은 거의 동일한 거동특성을 보이는 것으로 나타나 통상 사용되는 염소 추적자 대신 요오드 추적자를 사용해도 좋을 것을 알 수 있었다.
- 2) 칼륨의 컬럼 통과시간은 비반응성인 요오드의 통과시간에 비교하여 상층 및 중간층 집토층의 경우 13.8배, 하층 풍화토의 경우 7.6배 더 소요되는 것으로 나타나 상부 집토가 하부 풍화토보다 칼륨에 대한 저감능이 우수한 것으로 나타났다.
- 3) 납과 카드뮴은 매립지의 침출수 함유농도와 비교하여 100배 이상의 농도인 100ppm을 원수로 사용하여도 컬럼을 통



과하는 동안 모두 흡착이 되어서 침출 용액이 컬럼 하부로 흘러나온 후에도 농도 증가가 나타나지 않은 것을 알 수 있었다. 또한 1000ppm 농도의 납과 카드뮴이 컬럼을 통과하는데 걸리는 시간은 비반응성인 요오드에 비하여 납은 4.75배, 카드뮴은 8.44배 더 소요되는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 실제 매립장에서의 납과 카드뮴의 검출농도가 1ppm 이하인 것을 감안할 경우 실제 매립장에서의 1ppm 이하의 낮은 농도 조건에서 이들 중금속 물질의 매립지반 하부로의 이동성은 극히 적을 것으로 예상된다.

- 4) 페놀의 경우 기반풍화토에 대해서는 컬럼 하부로 침출되어 나오는 시간이 흡착성이 전혀 없는 요오드의 경우보다 1.2~1.35배 더 소요되는 것으로 나타났으며, 난분해성 물질에 대한 제 3공구 지반의 COD 저감능 평가에서 기반풍화토는 원수 농도에

비교하여 72~80%, 점토는 82%로 줄어든 것으로 나타나 수도권 매립장의 침출수 성분 중 난분해성 물질의 일부를 점토차폐재 및 기반토가 저감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 한서엔지니어링(1993), 화성사업소 기존매립장 안전성 조사용역 보고서.
2. 한국지반공학회(1994), 폐기물 매립시설 세부 설치기준 연구보고서.
3. 김연규, 이동훈, 김동민(1994), "복토재로서 연탄재와 토양의 중금속 흡착능에 관한 기초연구", 대한환경공학회지, Vol. 16, No. 2, pp. 207-212.
4. Ogata, A. and Banks, R.B.(1961), "A Solution of the Differential Equation of Longitudinal Dispersion in Porous Media", U.S. Geological Survey Professional Paper, 411-A.

(접수일자 1997. 2. 12)