

# 유효확산을 고려한 고화차수층과 해안점성토층을 통한 오염물이동 특성

## Characteristics of Contaminant Migration through Hardened Liner and Seashore Clay Considering Effective Diffusion

장 연 수\* Jang, Yeon-Soo

홍 경 택\*\* Hong, Gyeong-Taek

### Abstract

Contaminant migration characteristics of hardened liner and clayey soil, which are located below a domestic seashore waste landfill, were evaluated through laboratory experiments and the simulation of field conditions. Simulation was performed by using an one-dimensional numerical transport model which was modified for use in heterogeneous layers. The results show that the effective diffusion contributes about 50% of total length of non-reactive solute transport and the need of the artificial liner increases as the hydraulic conductivity of the clayey soil layer increases.

### 요 지

본 논문에서는 서해안 폐기물 매립지 하부의 점성토와 고화차수층을 재료로 수행된 확산시험 결과와 현장 조건을 적용하여 오염물이동성에 대한 수치해석을 수행하였다. 수치해석은 무기화합물이 하부 차수층과 원지반퇴적층으로 이동되는 일차원 이동 특성을 대상으로 하였으며 일차원 용질이동해석 프로그램 CDFD(convection-dispersion finite difference)를 현장의 비균질한 지층에 이용할 수 있도록 수정하여 적용하였다. 그 결과 원지반점성토를 통한 용질이동 메카니즘에 확산이 기여하는 정도가 50%로 매우 큰 영향을 갖고 있음을 보여주며 원지반 투수계수가 클수록 인공차수층의 필요성이 증대됨을 알 수 있었다.

**Keywords** : Contaminant migration, Effective diffusion, Field simulation, Hydraulic conductivity, Liner

### 1. 서 론

강 또는 호수에서의 수질오염문제는 오래전부터 인식되어 왔고 오염물방출을 억제하는 효과적인 방지책들을 시행하여 많은 국가에서 좋은 결실을 얻고 있다. 그러나 지하수오염의 경우는 회복이 어려우며 토양 및 대수층의 이질성과 지반조사에 드는 고비용으로 오염된 곳의 범위를 추적하기도 쉽지 않다. 알려진 대수층 오염사례의 경우 거의가 우물의 오염이 발생한 후라고 보고된 바 있으며(U.S. EPA, 1977) 흔히 지표아래에서의 오염을 알게된 시점이면 이미 치유하기에 늦게 된

다. 육상매립지와 같이 풍화잔류토나 사질토로 구성된 매립지 기초지반에서는 이류에 의한 오염물 이동이 주를 이루나 해안폐기물 매립지와 같이 투수계수가 낮은 점성토층으로 구성된 경우에는 주요 오염물의 이동은 이류현상이 아닌 확산현상에 의하여 일어나게 된다. (Barone 등, 1989). 국내의 해안 매립지의 경우 확산에 의한 오염물이동의 중요성에도 불구하고 현재까지 국내에서는 낮은 투수계수를 갖는 토양에서의 오염물 이동성을 해석할 때 확산효과를 고려하지 아니하고 해석을 수행한 경우가 많아 이에 대한 연구가 필요하다. 사용종료된 매립지나 차폐시설이 갖추어진 경우에도

\* 1 정희원, 동국대학교 공과대학 토목환경공학과 교수

\*\* 2 (주)새길엔지니어링 지반사업본부

여러요인에 의하여 침출수가 누출될 수 있는데 그 때의 오염물의 이동거리와 오염정도가 인근 지반환경에 미치는 영향을 예측하기 위한 오염물이동 해석이 요구되어진다. 외국의 사례를 보면 Garga와 O'Shaughnessy (1994)는 실내시험으로 Champlain Sea clay의 오염물이동특성을 분석하였고 현장조건을 고려한 일차원 해석 모델을 사용하여 오염물의 이동성을 예측하였다.

본 연구는 서해안에 소재하는 폐기물 매립지를 선택하여 그 하부의 점성토와 고화차수재의 확산시험결과(홍, 2000)와 현장의 조건(수도권, 1995)을 참조하여 쓰레기 매립종료후 하부 차수재와 원지반퇴적층으로의 용질이동특성을 분석하였다. 프린스턴대학의 핀더교수에 의하여 제안된 일차원 오염물이동해석 프로그램인 CDFD를 현장의 비균질한 지층의 해석에 이용할 수 있도록 수정하였으며 수정된 수치해석 프로그램은 현장 및 문헌으로부터 구한 자료와 Bear(1972)의 분석해를 수정된 프로그램을 적용하여 구한 용질이동 결과와 비교하여 검증하였다. 매립지 하부지반의 침출수이동에 배경농도의 존재유무에 따른 해석과 확산과 이류가 미치는 영향을 분석하고 원지반퇴적층 투수계수 변화에 따라 고화차수층의 포설유무가 미치는 영향을 검토하였다. 본 오염물이동 해석에는 폐기물매립에 따른 장기 하중증가가 고화층의 투수계수에 미칠 수 있는 영향은 고려되지 않았다.

## 2. 배경 이론

일차원 유한차분 용질이동 프로그램을 식(1)에 나타난 바와 같은 포화된 다공매체에서의 비반응성용질의 이류-분산 이동방정식을 이용하여 비균질 지층의 해석이 가능하도록 수정하여 음이온  $Cl^-$ 의 이동성을 예측하였다.

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

여기서,  $C$ 는 용액의 농도 [ $M/L^3$ ],  $D$ 는 분산계수 [ $L^2/T$ ],  $t$ 는 시간 [ $T$ ],  $\bar{v}$ 는 평균침투속도 [ $L/T$ ]이며 식(1)에서의 분산계수( $D$ )는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$D = \alpha \bar{v} + D^* \quad (2)$$

여기서,  $\alpha$ 는 분산지수 [ $L$ ],  $D^*$ 는 유효확산계수 [ $L^2/T$ ]

이다. 수정된 프로그램을 검증하기 위하여 기존의 프로그램에 삽입된 일차원 이류-분산 분석해(Bear, 1972)를 소개하면 다음과 같다.

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{l - \bar{v}_i t}{2\sqrt{D_i t}} \right) + \exp \left( -\frac{\bar{v}_i l}{D_i} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{l + \bar{v}_i t}{2\sqrt{D_i t}} \right) \right] \quad (3)$$

여기서,  $C_0$ 는 용액의 초기농도,  $l$ 은 이동거리,  $\operatorname{erfc}$ 는 보조오차함수이며 초기조건은 식(4)과 같고 경계조건은 식(5), (6)와 같다.

$$C(l, 0) = 0 \quad l \geq 0 \quad (4)$$

$$C(0, t) = C_0 \quad t \geq 0 \quad (5)$$

$$C(\infty, t) = 0 \quad t \geq 0 \quad (6)$$

식(1)은 프로그램내에서 아래와 같은 유한차분식으로 표현된다.

$$D \left( \frac{c_{i+1}^{n+1} - 2c_i^{n+1} + c_{i-1}^{n+1}}{\Delta x^2} \right) - \bar{v} \left( \frac{c_{i+1}^{n+1} - c_{i-1}^{n+1}}{2\Delta x} \right) = \frac{c_i^{n+1} - c_i^n}{\Delta t} \quad (7)$$

## 3. 현장조건 및 입력계수

### 3.1 현장조건

해석에 적용된 현장하부지층과 누적수위를 포함한 매립시스템을 그림 1에 나타내었다.

그림에 나타난 바와 같이 매립지 하부는 각각의 두께 10m의 상부점성토 퇴적층과 하부 점성토 퇴적층 하부에 대수층이 존재하고 있다. 연약점성토층위에 매립지를 조성하기 위하여 고화차수층과 보조지지층을 포설하였다. 고화차수층은 하부 PA층과 상부 PB층으로 각각 15cm 두께로 포설되었으며 그 하부에는 U-DAST 또는 ESC를 원지반과 혼합하여 형성한 두께 45cm의 보조지지층을 포설하였다(그림 2).

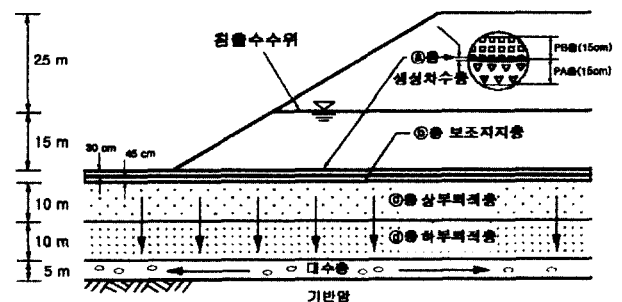


그림 1. 매립지현장층별개략도

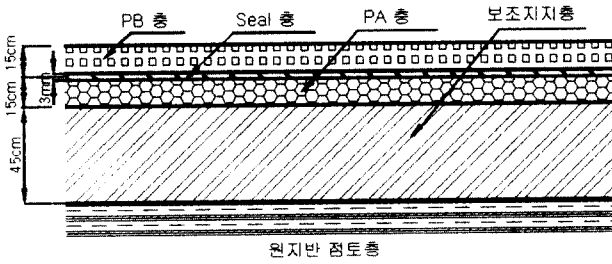


그림 2. 고화차수층 및 보조지지층 종단면도

### 3.2 입력계수 결정

매립지의 원지반 퇴적층을 대상으로 실시한 토질조사 및 시험 결과를 토대로 용질 이동 프로그램의 입력계수를 다음과 같이 결정하였다.

#### 1) 투수계수와 확산계수

상부 및 하부퇴적층의 투수계수는 실내 및 현장시험의 값의 범위(수도권 매립지 운영관리조합, 1995)를 고려하여 2가지 경우  $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ,  $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 를 적용하였다. 고화차수층 중 단일고화층들과 그 경계면에 존재하는 생성차수층의 투수계수값들은 해당차수재에 대한 투수계수 측정결과(동국대, 1999)를 참조하였고 고화차수층 하부에 포설될 보조지지층의 투수계수는 한국건설기술연구원(1998)에서 실내제작 모듈드시료를 대상

표 1. 실내투수시험 결과(한국건설기술연구원, 1998) 단위 : cm/s

구분	No. 1	No. 2	No. 3	평균
A 블록 지지층	$8.31 \times 10^{-8}$	$4.07 \times 10^{-8}$	$6.36 \times 10^{-9}$	$4.31 \times 10^{-8}$
B 블록 지지층	$3.55 \times 10^{-8}$	$4.19 \times 10^{-7}$	$3.74 \times 10^{-7}$	$2.76 \times 10^{-7}$
G 블록 지지층	$4.67 \times 10^{-9}$	$3.08 \times 10^{-9}$	$1.09 \times 10^{-8}$	$6.22 \times 10^{-9}$
H 블록 지지층	$1.27 \times 10^{-9}$	$1.85 \times 10^{-9}$	$1.49 \times 10^{-7}$	$5.07 \times 10^{-8}$
I 블록 지지층	$1.51 \times 10^{-9}$	$1.59 \times 10^{-9}$	$1.11 \times 10^{-8}$	$4.73 \times 10^{-9}$
총 평균				$7.62 \times 10^{-8}$
H 블록 차수층	$2.24 \times 10^{-8}$	$4.31 \times 10^{-8}$	$2.52 \times 10^{-8}$	$3.02 \times 10^{-8}$
I 블록 차수층	$7.06 \times 10^{-8}$	$8.41 \times 10^{-8}$	$4.16 \times 10^{-8}$	$6.51 \times 10^{-8}$
총 평균				$4.77 \times 10^{-8}$

표 2. 비반응성용질 Cl<sup>-</sup>이온의 확산시험 결과요약(홍, 2000)

유효확산계수	재료			보조지지층	원지반퇴적층
	PB	Seal	PA		
$D^*(\times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s})$	1.65	0.12	1.9	0.75	4.05

표 3. 간극율의 범위(Freeze and Cherry, 1979)

types	n(%)
Unconsolidate deposit	
Gravel	25-40
Sand	25-50
Silt	35-50
Clay	40-70
Rocks	
Fractued basalt	5-50
Karst Limestone	5-50
Sandstone	5-30
Limestone dolomite rock	0-20
Shale	0-10
Fractured crystalline rock	0-10
Dense crystalline rock	0-5

으로 실시한 투수시험결과(표 1)를 토대로 평균투수계수는  $7.62 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ 를 적용하였다.

상부 및 하부퇴적층에 적용된 투수계수  $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 와  $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 에 대하여 매립지 하부 지층의 실제침투속도를 투수계수가 다른 이질층에 대한 수직흐름인 것을 고려하여 각 층별 평균유속을 산출하였다. 원지반퇴적층과 고화층에서의 비반응성용질 Cl<sup>-</sup>의 확산계수는 실내확산시험(홍, 2000)결과를 참조하였다(표 2).

#### 2) 기타 입력계수

간극율은 퇴적층에 대해서는 현장값 0.47를 적용하였고 고화차수층과 보조지지층의 경우 실트질성분인 고화제가 약 15-20%를 차지하므로 간극율의 범위(Freeze and Cherry, 1979)를 참조하여 원지반점토 경우의 최소값인 0.4를 적용하였다(표 3).

규모종속 파라메타인 분산지수  $\alpha$ 의 경우 Gelhar(1986)의 도표를 참조하여 생성차수층과 보조지지층의 경우 약 0.1cm 원지반토에서는 10cm를 적용하였다(그림 3).

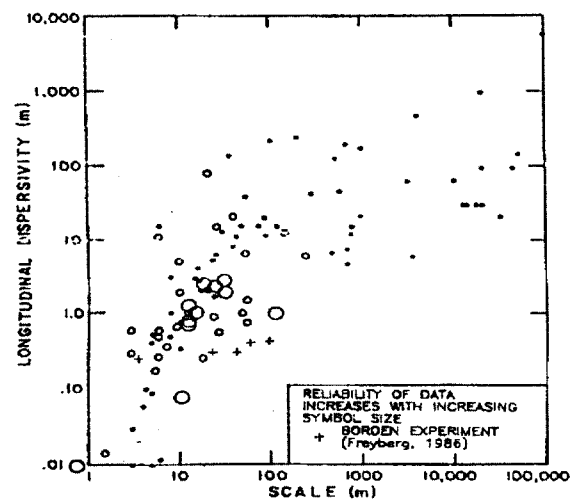


그림 3. 실제규모에 따른 종분산지수 데이터(Gelhar 등, 1986)

표 4. 폐기물 단별 매립고 및 침출수 누적수위 (선진엔지니어링, 1995)

매립 단계	1	2	3	4	5	6	7	8
매립고(GL+m)	8.5	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0
침출수 위(m)	2.0	4.0	6.0	8.5	10.5	12.5	15.0	15.0

매립지의 단별매립고는 5m를 기준으로 누적수위는 Help Model에 의한 침출수 물수지 분석 및 SEEP/W에 의한 침투해석 결과(선진엔지니어링, 1995)를 토대로 8 단 매립시 매립 2단 상부에 형성되는 것으로 보아 본 해석 침출수의 수두를 15m로 적용하였다(표 4).

위와 같은 입력계수의 산정 및 가정과정을 거쳐 수치 해석시 사용할 해석층별 파라메타를 표 5에 요약 정리 하였다.

#### 4. 해석결과 및 고찰

##### 4.1 해석프로그램의 검증

용질 이동해석을 수행하기 이전에 비균질층에 적용토록 수정된 용질이동해석 프로그램의 정확성을 검증하는 작업을 배경농도가 없는 경우로 비반응성 염소이온이 본 해석대상의 비균질 원지반퇴적층을 통하여 이동되는 경우를 적용하여 수행하였다.

수정된 수치해석의 입력계수로 비반응성 염소이온의 확산계수  $3.5 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ , 퇴적층의 투수계수값  $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ , 원지반퇴적층의 간극율 0.47 그리고 분산지수 8cm, 30년의 이동시간을 적용하였다. 수치해석해를 검증하기 위하여 기존의 프로그램에 삽입된 균질한 지층에 적용 가능한 1차원 용질이동 분석해(Bear, 1972)의 결과와 비교하여 그림 4에 나타내었는데 나타난 바와 같이 수정

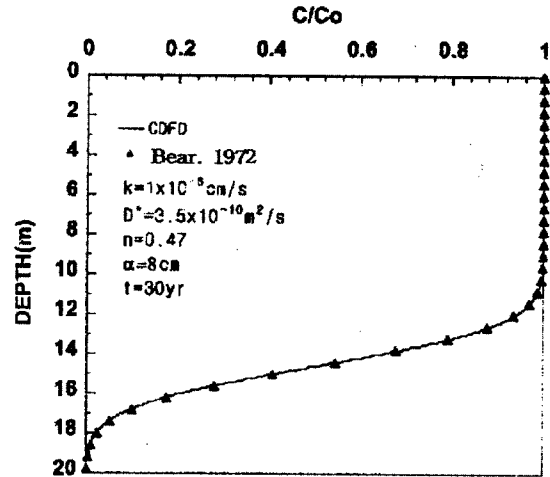


그림 4. 수치해석해와 분석해의 비교

된 수치해석결과가 Bear(1972)의 분석해와 잘 일치되는 것을 알 수 있었다.

##### 4.2 해안매립지 하부의 퇴적점토층을 통한 용질이동 예측

배경농도의 유무가 오염물이동에 미치는 영향을 알아본 후 고화재층의 유무, 확산과 이류 현상의 유무, 하부지반의 투수계수 범위 등을 고려하여 비반응성 용질  $\text{Cl}^-$  이온의 이동성을 분석하여 보았다.

##### 1) 배경농도 존재 유무가 오염물이동에 미치는 영향 검토

배경농도가 있고 없음에 따라 프로그램상 수치해석해의 차이를 알고자 배경농도 존재 유무에 따른 비반응성 용질  $\text{Cl}^-$  이동성을 알아보았다. 원지반 퇴적점토층에 대한 확산시험(홍, 2000) 수행시 추적자  $\text{Cl}^-$  이온의 경우

표 5. 해석층별 파라메타결정

층	파라메타	두께(m)	확산계수 $D(\times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s})$	간극율 n	분산지수 $\alpha(\text{cm})$	투수계수 $K(\times 10^{-7} \text{cm/s})$	실제침투속도 $\bar{v}(\times 10^{-7} \text{cm/s})$	
							(1)	(2)
㉠차수층	PB층	0.145	1.65	0.40	0.1	1.5	1.80	13.38
	Seal층	0.010	0.12	0.40	0.1	0.07		
	PA층	0.145	1.90	0.40	0.1	1.5		
㉡보조지층		0.45	0.75	0.40	0.1	0.76		
㉢상부퇴적층		10	4.05	0.47	10	1	1.53	11.38
						10		
㉣하부퇴적층		10	4.05	0.47	10	1		
						10		

Note: (1)퇴적층 투수계수  $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$  (2)퇴적층 투수계수  $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$

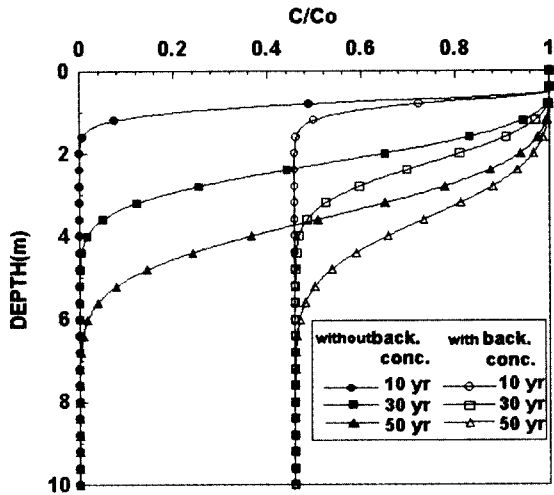


그림 5. 배경농도유무에 따른 이동해석

에 대한 화학적 성분분석을 참조하면 5,500mg/L의 배경농도(background concentration)를 가지고 있었고 침출수의 초기농도(Co)는 12,000mg/L이었다.

퇴적층에서의 투수계수는  $1 \times 10^{-7}$ cm/s를 적용하여 매립지 수명 30년을 감안하여 매립지 완공후 10, 30, 50년 후의 용질이동을 예측하였다(그림 5). 그 결과 배경농도 유무에 따라 염소이온의 이동시간에 따른 이동거리가 해석상 거의 차이가 없어 이 후의 용질 이동해석에 있어서 배경농도를 고려하지 않고 이동해석을 수행하였다.

2) 확산과 이류현상으로 인한 이동성의 비교 분석  
비반응성 용질 Cl<sup>-</sup>이온에 대하여 순수확산으로만 이동할 수 있는 깊이와 확산과 함께 이류현상 모두에 의하여 이동할 수 있는 깊이를 10%의 오염도(C/Co = 0.1)의 이동거리를 예측하여 분석하였다. 이 경우 사용한 오염원은 시간 경과에 상관없이 일정한 농도를 가지는 연속 오염원을 사용하였고 하부지반은 원지반점성토만 있는 경우와 상부에 고화차수층이 포설되어 있는 2가지 경우에 대하여 비교하였다.

이류를 고려하지 않고 순수확산만으로 일어나는 Cl<sup>-</sup>

표 6. 확산 및 이류 이동 메커니즘과 고화 차수층 유무를 고려한 Cl<sup>-</sup>이온에 대한 C/Co=0.1 지점의 이동거리 비교 (단위 : m)

조건 \ 시간	고화차수층처리시		원지반이용시		차이	
	순수 확산	이류-확산	순수 확산	이류-확산	순수 확산	이류-확산
10년	0.15	0.7	0.75	1.3	0.6	0.6
30년	0.3	2.4	1.35	2.8	1.05	0.4
50년	0.4	3.7	1.75	4.2	1.35	0.5

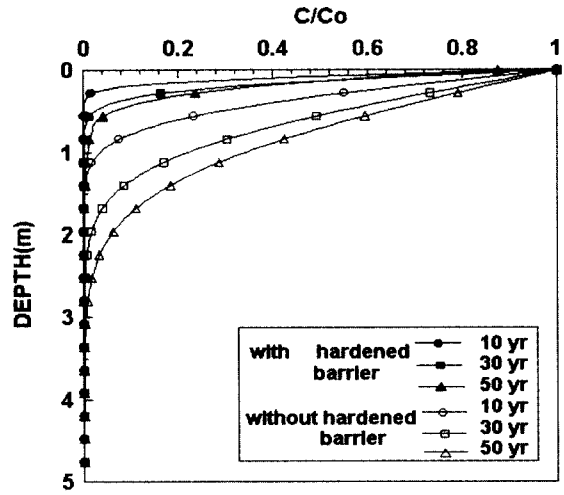


그림 6. 순수확산만으로서의 10, 30, 50년후 이동예측

이온의 이동예측을 그림 6에, 이류와 확산을 모두 고려하여 투수계수  $1 \times 10^{-7}$ cm/s인 하부지반을 이동하는 경우를 그림 7에 나타내었다. 표 6에는 고화차수층 유무와 확산, 이류 용질이동 메커니즘을 고려한 C/Co = 0.1 지점의 이동정도를 나타내었다(표 6).

순수확산에 의한 용질이동의 경우(그림 6와 표 6참조) C/Co=0.1 지점의 이동성은 50년이 경과한 후에도 고화층이 있는 경우 0.4m, 고화차수층이 없는 경우는 1.75m로 큰 이동을 보이지 않았으며 고화층이 없는 원지반점성토만이 있는 경우보다 고화차수층을 포설한 경우가 확산에 의한 용질이동이 약 25%정도로 감소되고 있는 것을 알 수 있었다.

이류와 확산현상이 모두 있을 경우에는 용질 이동성이 고화차수층처리를 한 경우 초기10년은 순수확산의

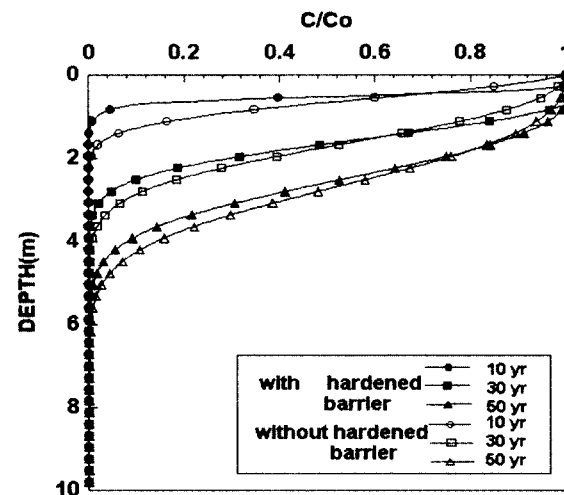


그림 7. 원지반 투수계수  $1 \times 10^{-7}$ cm/s일 경우 Cl<sup>-</sup>이온의 10, 30, 50년후 이동예측

표 7. 원지반 투수계수  $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 를 적용하였을 때  $\text{Cl}^-$ 이온의 고화층유무에 따른  $\text{C}/\text{Co}=0.1$  지점 이동거리 비교 (단위 : m)

시간	조건	고화층처리시	원지반층이용시	차이
10년		4.3	6.2	1.9
30년		11.5	16.7	5.3
50년		18.2	20.0	1.8

경우에 비교하여 2배정도의 큰 이동을 보였으며 이후는 8-9배로 이동거리가 증가하고 있음을 보여주고 있다(그림 7). 고화차수층처리를 하지 않은 경우는 이류 확산에 의한 이동시 순수확산에 의한 이동의 경우보다 약 2배 정도 큰 이동성을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 고화차수층이 없는 경우 원지반점성토를 통한 용질이동 메카니즘에 확산이 기여하는 정도가 50%로 매우 큰 영향을 갖고 있음을 보여주며 고화차수층의 포설은 확산에 의한 용질 이동가능성도 크게 저감시켜줌을 나타내고 있다.

그림 7에 의하면 고화재를 포설하지 않은 원지반점성토에서는 확산과 분산에 의한 퍼짐 현상이 뚜렷하였으나 고화재를 포설한 경우는 고화차수층에서의 확산보다 이류에 의한 용질이동현상이 뚜렷하게 나타나고 있고 고화차수층이 없는 경우보다 용질이동이 0.5m 저감된 것으로 나타났다.

2) 원지반점성토의 투수계수변화에 따른 이동 특성  
비반응성 용질  $\text{Cl}^-$ 의 이동에 대하여 고화차수층을 포설한 경우와 그렇지 않은 경우로 구분하고 원지반 퇴적층의 투수계수를 현장의 비균질성을 고려하여  $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 를 적용하여(그림 8)  $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 를 적용한 그림 7의 경우와 비교하였고 고화차수층의 차수에 대한 효율성을 이동정도를 분석하여 검토하였다(표 7 참조).

그림 8과 표 6, 7에 의하면 투수계수가  $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 인 경우에는 용질 이동이 이류에 크게 지배되고 이동거리도 원지반 투수계수  $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 에는 용질이동 개시 후 50년이 경과한 후에도 상부 5m 깊이에 머무른 반면 원지반 투수계수  $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 의 경우에는 원지반점성토만을 투과하는 경우 10년 후 6.2m, 30년이 경과하면 17m로 하부 대수층에 거의 도달하였음을 알 수 있었다.

고화차수층을 포설한 경우 이동개시 10년후 4.3m, 30년 후 11.5m 만큼 이동하였으며 원지반층만을 이용할 경우보다 그차이는 1.9m, 5.3m로 증가하고 있어 시간이 경과할수록 고화차수층의 차단효과가 커지며 원지반

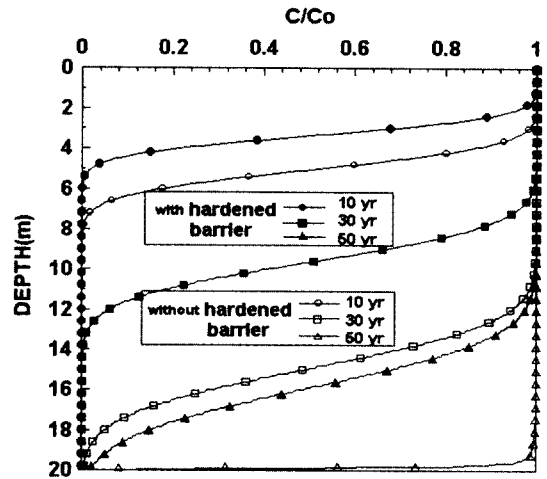


그림 8. 원지반 투수계수  $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 일 경우  $\text{Cl}^-$ 이온의 10, 30, 50년후 이동예측

투수계수가 클수록 고화차수층의 필요성은 증가함을 알 수 있었다. 용질이동 개시후 50년이 경과한 후에는  $\text{C}/\text{Co}=0.1$  부분이 18.2m까지 도달하였으나 고화차수층을 포설하지 않은 경우에 이미 염소이온이 대수층에 도달하여 대수층의 지하수흐름을 따라 이동을 시작하였음을 알 수 있다.

이러한 결과는 고화차수층이 쓰레기 매립하중에 의하여 균열이 발생하는 경우를 고려하지 않은 경우이므로 만일 균열이 발생하는 경우를 고려한다면 고화차수층의 효과는 어느정도 줄어들 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 최근 수도권매립지 고화재층에 대하여 일축압축시험 및 휨강도 시험을 실시한 결과 쓰레기하중에 의하여 발생할 수 있는 인장응력에 대하여 2.0에 가까운 안전율을 가지고 있는 것으로 나타나고 있다.

## 5. 결론

국내 시공중인 해안 매립지의 하부점성토와 고화차수층을 재료로 수행한 확산시험결과와 대상현장의 조건을 고려하여 비반응성 용질  $\text{Cl}^-$ 이온이 고화차수층과 원지반퇴적층으로의 일차원 비반응성 용질이동특성을 분석하였으며 오염물이동 해석에는 폐기물매립에 따른 장기 하중증가가 고화층의 투수계수에 미칠 수 있는 영향은 고려되지 않았다. 해석에서 나타난 결과는 다음과 같다.

- (1) 퇴적층의 투수계수  $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 인 경우에 대한 순수 확산 그리고 확산과 이류 복합현상으로 인한 이동성

을 비교한 결과 순수확산으로 인한 용질이동은 이동 개시 후 50년이 경과하여도 원지반만의 경우 1.75m, 고화차수층포설시 0.4m로 나타났다. 원지반점 성토만 있는 경우보다 고화차수층 포설시에는 그 이동성이 약 25%로 감소하였다.

- (2) 확산과 이류에 의한 이동을 감안한 해석시 고화차수층처리를 한 경우는 초기10년은 순수확산의 경우에 비교하여 2배정도의 큰 이동거리를 보였으며 이후는 8-9배로 이동거리가 증가하였다. 고화차수층이 없는 경우 원지반점성토를 통한 용질이동 메카니즘에 확산이 기여하는 정도가 50%로 매우 큰 영향을 갖고 있음을 보여주며 고화차수층의 포설은 확산에 의한 용질 이동가능성도 크게 저감시켜줌을 나타내고 있다.
- (3) 퇴적층 투수계수  $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 의 경우 고화차수층을 포설하지 않은 원지반토에서는 확산과 분산에 의한 퍼짐 현상이 뚜렷하였으나 고화차수층을 포설한 경우 고화차수층에서 확산보다 이류에 의한 용질이동 현상이 뚜렷하게 나타나고 있고 고화차수층이 없는 경우보다 용질이동이 0.5m 저감된 것으로 나타났다. 투수계수  $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 일 때는 시간이 흐름에 따라 이류에 의한 영향이 매우 크게 나타났다.
- (4) 고화차수층을 포설하지 않은 경우 원지반 퇴적층 투수계수  $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 에는 용질이동 개시후 50년이 경과한 후에도 상부 5m 깊이에 머무른 반면 원지반 투수계수  $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 의 경우에는 30년을 경과하여도 이동거리가 17m로 하부 대수층에 거의 도달하게 되었다. 원지반 투수계수가 클수록 고화차수층을 포설한 경우의 차수효과는 포설하지 않은 경우 보다 오염물이동에 소요된 시간이 경과할수록 커져 고화차수층의 필요성이 증대됨을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 동국대학교(1999). 연약지반위에 시공된 SSSH 차수재의 내구성과 고화재의 변형특성에 관한 연구보고서.
2. 선진엔지니어링(1995). 수도권 매립지 3공구 실시설계 보고서.
3. 수도권 매립지 운영관리조합(1995). 수도권매립지(3공구)기반시설 조성사업 실시설계 보고서.
4. 한국건설기술원(1998). 수도권매립지에 포설된 보조지지층의 투수시험결과 보고서.
5. 홍경택(2000). 고화차수재와 점성토의 확산특성에 관한 연구, 석사학위논문, 동국대학교.
6. Barone, F. S., Yanful, E. K., Quigley, R. M., and Rowe, R. K. (1989). "Effect of multiple contaminant migration on diffusion and adsorption of some domestic waste contaminants in a natural clayey soil," *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.26, No.2, pp. 189-198.
7. Bear, J.(1972). *Dynamics of Fluids in Porous Media*, American Elsevier, New York.
8. Freeze, R. A. and Cherry, J. A.(1979). *Groundwater*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
9. Garga, V. K. and O' Shaughnessy, V.(1994). "The hydrogeological and contaminant transport of fractured Champlain Sea clay in Eastern Ontario. Part 2. contaminant transport," *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.31, No.6, pp.902-915.
10. Gelhar, L. W.(1986). "Stochastic subsurface hydrology from theory to applications," *Water Resource Research.*, Vol.22, No.6, pp. 135-145.
11. U.S. Environmental Protection Agency(1977). "Waste disposal practices and their effects on ground water", *The Report to Congress*, pp.81-107.

(접수일자 2000. 11. 22)