

# 폐기물 매립지 내에서의 침출수 거동(II)

## - 누적수위 저감을 위한 양수법의 수치해석 -

### Leachate Behavior within the Domestic Seashore Landfill(II) - Numerical Analysis of Pumping Method for Reducing Leachate Level -

장 연 수\*<sup>1</sup>  
Jang, Yeon-Soo

조 용 주\*<sup>2</sup>  
Cho, Yong-Ju

---

#### Abstract

Leachate flow behavior due to intermediate cover soil of low hydraulic conductivity and the applicability of pumping method for reducing the leachate level in the landfill are analyzed with the numerical flow model, MODFLOW. Using the hydraulic conductivity and storativity data obtained from the field pumping and slug tests(Jang and Cho, 1999), the hydraulic condition within the landfill is validated. The optimum rate of pumping, the radius of influence, and the efficiency of horizontal drain are analyzed for reducing the leachate level in the landfill.

From the results of the analyses, the barrier effect that the buried cover soil of low hydraulic conductivity prevents the vertical movement of leachate flow through the cover soil, which is found from the in-situ geotechnical studies(Jang and Cho, 1999), is identified again. Also, the installation of horizontal drains to the pumping well can increase the pumping rate from 120 ton/day per a well to 300 ton/day. The length of horizontal drain did not influence significantly on the drawdown-time curve of leachate in the landfill.

#### 요 지

저투수성 중간복토재로 인한 침출수 흐름 거동과 누적수위 저감을 위해 양수정을 이용한 수직배수공법의 적용 가능성을 흐름 수치해석 프로그램인 MODFLOW를 이용하여 분석하였다. 현장 양수시험과 순간충격시험으로부터 획득한 투수계수와 저류계수를 이용하여(장연수 외, 1999) 현장의 수리상황을 수치적으로 검증한 후, 매립지에서 누적수위를 저감하기 위한 양수정의 최적양수율, 영향반경, 수평드레인의 효율성을 분석하였다. 본 수치해석 결과 대상지역의 지반조사결과(장연수 외, 1999)에서도 나타났던 저투수성의 중간

---

\*1 정희원, 동국대학교 공과대학 토목환경공학과 부교수

\*2 (주)한국해외기술공사

복토재로 인한 매립지내의 수직흐름을 방해하는 차수효과가 다시 확인되었다. 단정 양수시 120 ton/day까지 가능하였던 양수율은 수평드레인 추가후 300 ton/day까지 증가하였으나 드레인 길이가 시간-수위강하 곡선에 큰 영향을 주지는 않았다.

**Keywords** : Landfill, Leachate level, Numerical modelling, Pumping well, Horizontal drainage, Transient flow

## 1. 서론

국내 폐기물 매립장의 경우 강우의 쓰레기층을 통한 침투와 생활 쓰레기의 고함수 특성 등으로 인하여 매립지 내부에 누적침출수위가 발생하는 것으로 알려지고 있다(Kim et al., 1996 ; 김수삼 외, 1996 ; 수도권 매립지, 1995 ; 수도권 매립지, 1997). 장연수 등(1999)은 국내 생활 폐기물 매립지의 현장조사를 통하여 매립층내의 침출수위를 확인하였으며 누적침출수위가 형성되는 다른 원인으로 매립되어진 저투수성 복토층이 침출수의 하부 배수층으로의 흐름을 방해하며 또한 음식물 등 유기성 폐기물이 분해되면서 형성된 이산화탄소, 메탄 등의 매립지 가스가 중간복토층의 존재로 인하여 매립지 상부로의 이동을 저해받고 있다는 사실을 확인하였다.

본 논문에서는 사면의 구조적 안정성을 저해할 뿐만 아니라 하부지반을 통한 침출수의 이동 가능성을 높이는 누적수위를 저감하는 방법의 하나로 양수법(pumping method) 적용성을 확인하고 지반조사에 의하여 밝혀진 매립지내의 침출수 거동을 분석하기 위하여 복토재와 쓰레기가 교호하여 매립된 매립지 내부의 양수법 적용시 흐름거동을 3차원 흐름 수치해석 모델을 이용하여 분석하였다(Guiguer and Franz, 1996).

대상 매립지는 수도권 매립장 1공구 H블록으로서 현장조사에서도 확인된 바와 같이 매립지에

서 양수시험을 실시하여 직접 양수방법 적용에 필요한 최적 양수율, 영향범위, 소요시간을 산출하는 것은 매우 어렵고 비용도 많이 소요되는 것으로 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 현장지반조사의 양수시험(pumping test)으로부터 획득한 시간-수위강하 산출결과(장연수 외, 1999)를 이용하여 현장의 수리상황을 재현하여 검증한 후 매립장내에서 누적수위를 저감하기 위한 양수법의 적용성을 단정 및 균정 양수시와 단정양수에 수평배수관을 추가한 경우로 나누어 검토하였다.

## 2. 해석 프로그램

본 흐름 해석을 위하여 사용된 수치해석 모델은 3차원 유한차분해석법(FDM: finite difference method)을 이용한 MODFLOW (A Modular Three-Dimensional Ground-Water Flow Model) 컴퓨터 프로그램이다(McDonald and Harbaugh, 1988).

이 프로그램 내에서의 간극이 있는 흡입자를 통한 지하수의 3차원 흐름은 부정류(transient flow)일 때 다음과 같은 2차 편미분방정식(partial-differential equation)으로 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) \pm W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

여기서,  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$  : x, y, z 방향의 투수계수 ( $LT^{-1}$ ),

h : 전수두 (L)

W : 물의 유원(source)과 유입(sink)을 나타내는 단위체적당 체적흐름 ( $T^{-1}$ )

$S_s$  : 간극이 있는 물질의 비저류량 ( $L^{-1}$ ),

t : 시간 (T) 이다.

정류(steady flow)에 대해서는  $\frac{\partial h}{\partial t}$  가 0이거나 비저류계수( $S_s$ )가 0인 것으로 가정하므로 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) \pm W = 0 \quad (2)$$

식 (1)과 (2)는 피압대수층과(confined aquifer)과 자유면대수층(unconfined aquifer)에서 정류와 부정류의 흐름 지배식으로 MODFLOW의 지배방정식이다.

경계조건은 모사하려는 영역의 경계면들에 실제 지하수 유동계의 수리적이거나 물리적인 경계를 이용하여 도출하는데 예를들면, 주변에 분포된 투수성이 매우 낮은 암석분포 구간은 흐름률이 0인 무흐름 경계(no flow boundary)로, 대수층과 수리적으로 연결된 대규모 하천이나 호소는 수위변화가 일어나지 않는 일정수두경계(constant head boundary)로 처리하고, 대수층 주변에 발달되어 있는 소하천으로 지하수가 유출·유입되는 양이나 누수피압대수층에서 압층을 통해 하부로 누수되는 양은 수두종속 유출경계(head dependent flux boundary) 조건을 이용해서 모사한다. 본 모델의 영역에서는 양수의 영향으로부터 충분히 먼거리에 무흐름경계(no flow boundary)를 설정하여 결과해에 미치는 영향이 없도록 하였다(Andersen, 1993). 초기조건은 t=0 일 때의 지정된 수두로 초기수두의 평균수두를 입력하였다.

지하수 흐름모델을 적용할 때 격자가 조밀할수록 보다 정확한 해를 구할 수 있으므로 정확한 해를 구하고자 하는 양수정이 인접한 곳은 조밀한 격자로 설정하고, 세부적인 해답이 필요하지 않은 양수정으로부터 원거리에 위치한 구간은 굵은 격자를 설정하였다(Andersen, 1993). 적절한 모사 시간간격을 선정하기 위해서 양수기간의 초기에는 시간간격을 좁히고 점진적으로 시간간격을 증가시켰다.

### 3. 모델의 검증(Validation)

모델의 검증은 현장의 수리여건을 최대한 반영함으로써 복잡한 흐름이 예상되는 매립장내 흐름 해석을 위한 수치모델의 신뢰성을 확보하기 위한 작업으로써, 모델에 사용된 입력 매개변수와 모델의 수리지질 단위는 양수시험 자료를 이용하여 검증(validation)되었다.

검증은 2가지 경우로 나누어 진행되었는데 첫 번째의 경우 전체 4단 매립지 내부 복토재와 쓰레기의 투수계수를 평균하여 산출한 등가 투수계수와 저류계수를 단정 모델(single well model)에 적용하였으며, 이때 모델로부터 획득된 시간-수위강하 곡선을 현장 시간-수위강하 자료와 비교하였다. 이 경우는 현장 양수시험자료의 표준곡선 fitting을 이용해서 획득된 수리특성자료는 복토재와 쓰레기의 수리특성자료를 구분하지 않고 등가로 보고 수행한 결과이므로 현장투수시험 결과와 본 수리 수치모델에 의한 결과와의 상호 신뢰성을 확보하는데 필요한 과정이다.

두 번째의 경우는 수리특성자료를 복토재와 쓰레기에 다르게 적용하여 비균일한 수리지반으로 보고 현장 투수시험으로부터 획득한 시간-수위강하를 재산출하였다. 이 과정은 매립장내 실제적인 수리상황을 재현하고, 이후 침출수위를 저감하기 위해서 양수법을 이용한 결과 예측의 신뢰성을 확

표 1. 비균질 수치모델에 대한 입력자료

Layer	Property	K (cm/sec)	$S_s$ (1/m)	$S_y$	Porosity	Initial head (m)
Cover soil (1,3,5,7)		$5.3 \times 10^{-6}$	0.003	0.3	0.3	12.2
Waste (2,4,6,8)		$9.0 \times 10^{-4}$	0.009	0.93	0.7	12.2

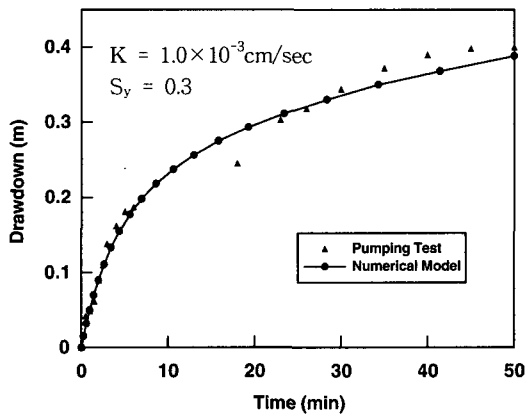


그림 1. 등가 수리특성을 가진 모델과 현장의 시간-수위강하 곡선의 비교

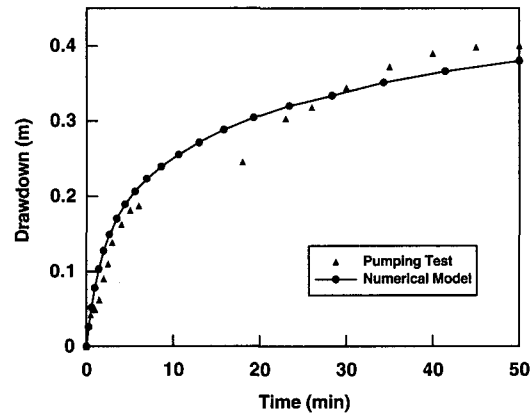


그림 2. 비균질 수리특성을 가진 현장과 모델의 시간-수위강하 곡선의 비교

보하는데 필요한 과정이다.

그림 1은 등가의 수리특성 자료를 적용하여 산출한 시간에 따른 양수정에서의 수위강하곡선을 현장 데이터와 수치해석에 의거하여 구한 경우를 비교하였다. 이 결과는 투수계수(K)  $1.0 \times 10^{-3}$  cm/sec, 비산출율( $S_y$ ) 0.3을 입력하여 계산한 모델과 현장의 시간-수위강하 곡선이 매우 근사한 곡선을 나타내고 있음을 알 수 있다.

수리특성 자료가 복토재와 쓰레기에 다르게 적용될 때에는 침출수위가 있는 층은 자유수면 대수층(unconfined aquifer)이지만, 복토재층 아래의 쓰레기층은 피압대수층(confined aquifer)을 이루게 되므로 저류계수(storativity)와 비산출율(specific yield) 모두를 입력하여야 한다.

표 1은 사용된 입력자료의 개요를 나타내고 있으며, 그림 2는 모델과 현장의 시간-수위강하를 비교 도시하여 나타내었다. 양수시험(pumping test)과 순간충격시험(slug test)을 통해서 구한 쓰레기

의 투수계수 값은  $9.6 \times 10^{-4} \sim 7.06 \times 10^{-3}$  cm/sec의 범위에 있었으며(장연수 외, 1999), 표 1과 같이 쓰레기의 투수계수는  $9.0 \times 10^{-4}$ , 복토재의 투수계수는  $5.3 \times 10^{-6}$  cm/sec로 수리특성치의 현장조건을 고려한 근사 범위내에서 찾아 입력하여 현장과 모델의 수위저하 경과시간 곡선이 상호 근접하도록 하였다.

#### 4. 응축수제거정을 이용한 배수방안 검토

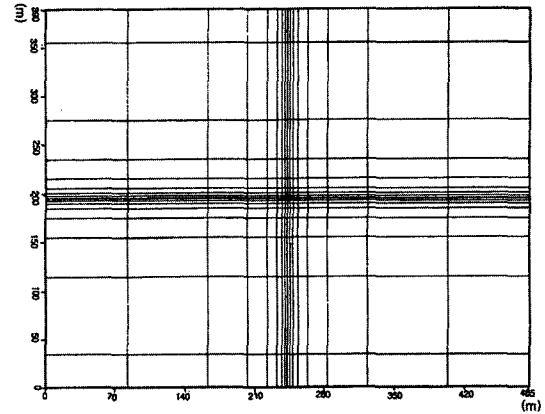
매립장내에서 누적 침출수와 가스(LFG)를 제거하기 위한 목적으로 설치된 직경 60cm의 응축수제거정(RWGL)으로부터 침출수를 양수하여 누적수위를 저감할 수 있는 방안을 수치해석을 통하여 분석하였다. 전절에서 검증된 지하수 수치모델과 입력변수를 이용하여 누적수위 저감에 적합한 최적양수량과 영향반경(radius of influence) 및 수평드레인 추가시의 효용성을 단정(single well), 균정

(group well), 그리고 수평드레인이 추가된 단정 (single well with horizontal drains)의 경우로 나누어 검토하였다.

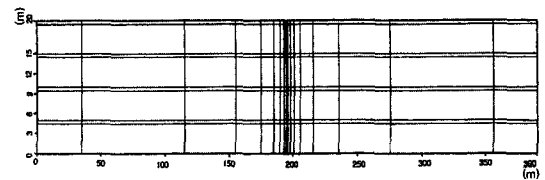
#### 4.1 단정에서의 양수 효과 검토

그림 3은 이 해석을 위해 작성된 평면 및 수직단면의 격자망을 나타내고 있다. 20~120 ton/day 까지 양수율을 변화시켜본 결과 양수정에서 시간-수위강하 곡선은 그림 4와 같이 나타났으며 양수율을 20 ton/day씩 증가함에 따라 수위강하량이 약 1m씩 증가되었고, 양수시작 후 1일 또는 2일에 일정한 값에 수렴하는 것으로 나타났다. 양수율이 120 ton/day 이상일 때는 양수정은 말라버리고 양수는 지속될 수 없었으며, 시간경과에 따라, 그리고 양수율이 증가함에 따라 응축수제거정에서의 수위 저하와 영향반경이 증가되는 것으로 나타났다.

그림 5는 응축수제거정의 적정양수율로 시사되는 100 ton/day로 하루동안 양수하였을 경우 각 단별 침출수위 및 수두포텐셜 contour를 나타내었다. 양수정 부근의 실제 수위강하량은 수위면 (12.2m)로부터 6m 정도이며 하루 4개 layer들의 수두포텐셜 변화범위를 나타내는 영향반경은 13.5m에서 21m사이의 범위를 나타내고 있었다. 가장 상부의 쓰레기층(5th layer)은 침출수위면이 형성된 곳으로 자유수면 상태이므로 쓰레기로부터 직접 침출수가 흘러나오게 되므로 수두저하가 크지 않았다. 하부로부터 두 번째 쓰레기층 (3rd layer)의 양수량이 커짐에 따라 피압상태에서 비피압상태로 변화하여 양수정 부근의 실제 수위변화량이 0.7m가 되는 것으로 나타났으며 하부로부터 2번째 복토층(4th layer)은 투수성이 낮은 관계로 피압상태가 이루어지고 있어 수위저하시 양수정 부근의 복토재와 쓰레기의 현저히 다른 투수성의 차이와 피압 비피압상태에서 현저히 달라지는 저류계수의 영향등으로 수두포텐셜



(a) 수평단면



(b) 수직단면

그림 3. 수평드레인이 없는 단정일 경우 평면 및 수직단면의 격자망

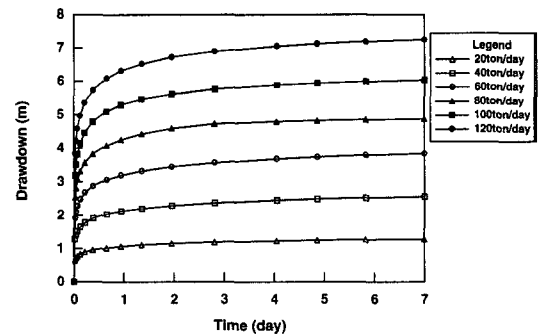
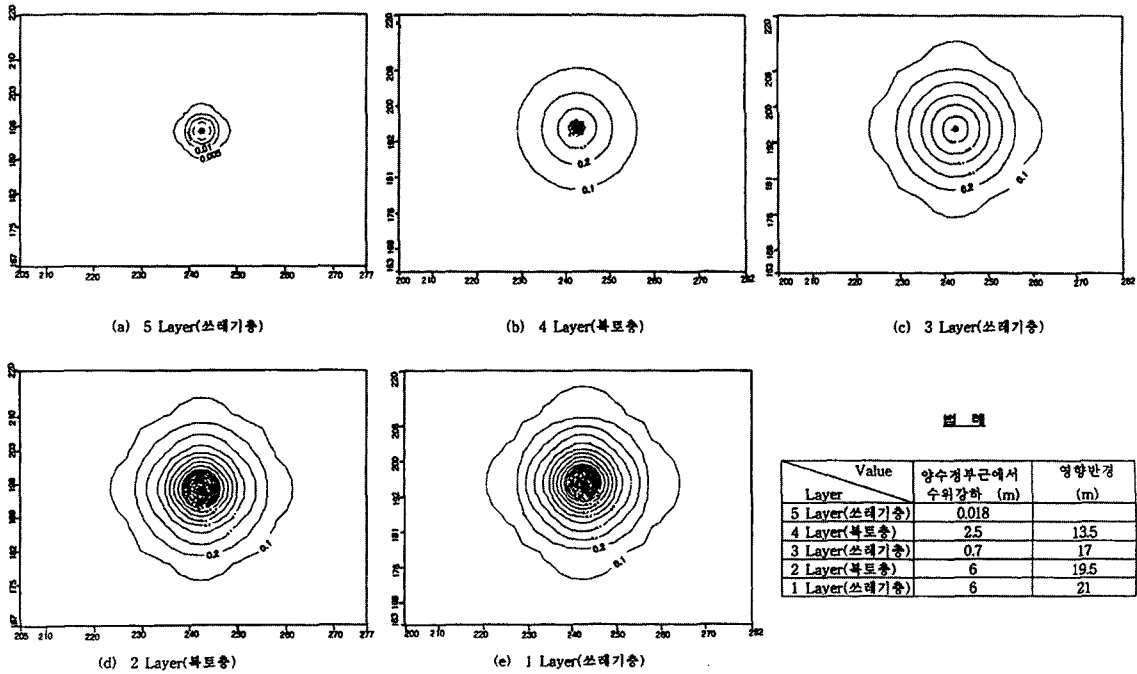


그림 4. 수평드레인이 없는 단정에 대한 양수율변화에 따른 시간-수위강하 곡선

저하가 실제 수위저하로 바뀔 때 불연속된 변화부위가 생기는 등 복잡한 양상을 보였다. 응축수제거정의 적정양수율로 시사되는 100 ton/day로 일주일 동안 양수하였을 경우 영향반경은 21m~49m에 달하였으며 층이 더 낮아질수록 영향반경은 더 크게 나타났다.



**표 5**

Layer	Value	양수정 부근에서 수위강하 (m)	영향반경 (m)
5 Layer(쓰레기층)	0.018		
4 Layer(복토층)	2.5	13.5	
3 Layer(쓰레기층)	0.7	17	
2 Layer(복토층)	6	19.5	
1 Layer(쓰레기층)	6	21	

그림 5. 각 단별 침출수위 및 수두포텐셜 contour(양수율 100 ton/day)

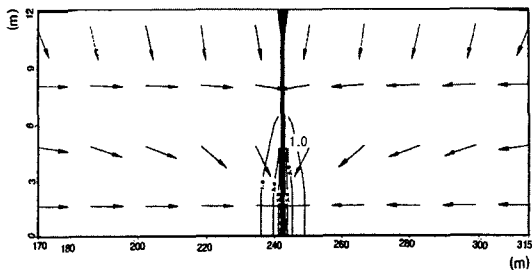
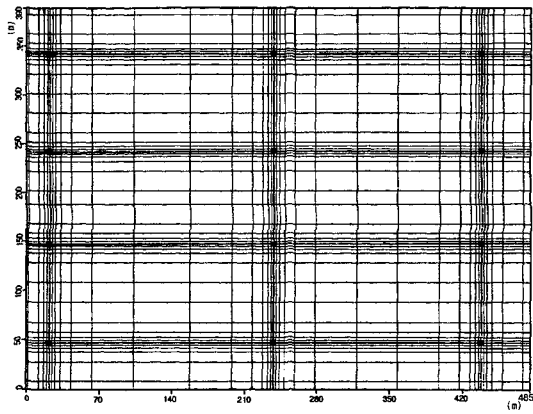


그림 6. 양수정 부근에서 흐름벡터의 수직단면

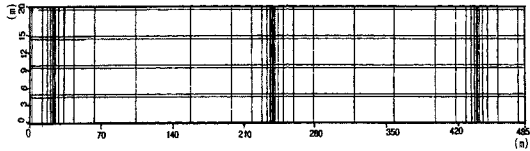
그림 6에는 흐름벡터의 수직단면을 나타내었는데 최상부에서는 저투수성의 복토재를 통한 수직흐름이 형성되고 그 하부에서는 쓰레기층을 통한 수평흐름과 복토재 부근의 수평 및 수직의 복합흐름이 형성되고 있다. 이러한 복합흐름은 투수성이 낮은 복토재와 투수성이 큰 쓰레기 그리고 매립지내에 양수가 진행됨에 따른 피압상태에서 비피압상태로의 전환에 따라 현저히 달라지는 저류계수의 영향이 원인인 것으로 사료된다.

## 4.2 복수 양수정을 이용시 효과 검토

매립지의 H블록내에 기설치되어 있는 여러개의 응축수제거정을 이용하여 양수할 경우의 효과를 알아보았다. 그림 7 (a), (b)에는 본 해석에 사용된 평면 및 수직단면의 격자를 나타낸 것이다. 양수정에서의 수위변화와 영향원 범위는 단정에서의 경우와 큰 차이를 나타내지 않았으며, 외부, 중앙부, 내부의 양수정 위치에 따라서도 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 경향이 나타나는 이유는 양수의 영향이 큰 것으로 나타나는 둘째 쓰레기층에서의 균정간의 영향원이 겹치지 않고 있기 때문이다. 일정양수율 100 ton/day로 하루 양수한 경우 양수정 부근의 수위강하량은 5m, 최대 영향원의 반경은 20~22 m에 달하였고, 일수일 양수의 경우 양수정 부근의 수위강하량은 6m, 최대 영향원의 반경은 52~56 m에 달하였으며 모든 층에서 양수율에 관계없이 0.1 m의 수위강하 contour



(a) 수평단면



(b) 수직단면

그림 7. 균정해석을 위한 수평 및 수직단면의 격자망  
가 겹쳐져 균정 영향원간의 상호간섭을 나타내었다(그림 8).

### 4.3 수평 드레인 추가시 단정양수 효과

수평 드레인 추가시 단정 양수효과 해석에서는 드레인의 거리와 양수율의 변화가 영향원과 배수정의 수위강하에 미치는 영향을 규명하였다. 그림 9는 이 해석을 위해 작성된 평면 및 수직단면의 격자망을 나타내었는데 이 격자망은 한정상(1986)

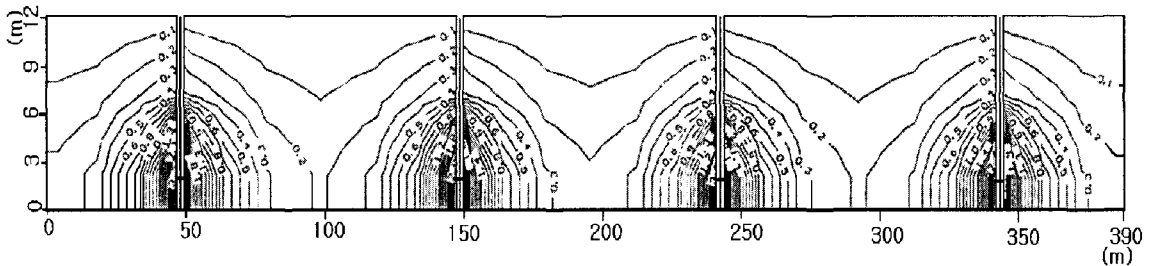
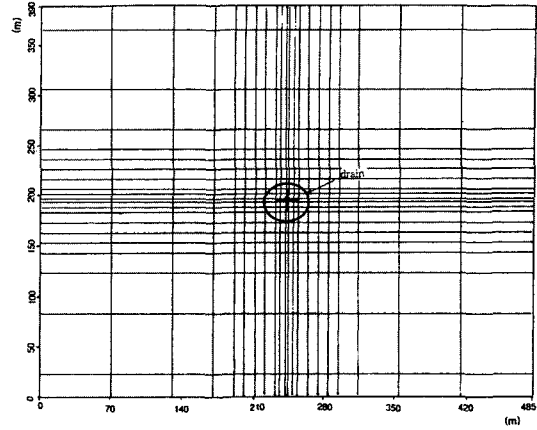
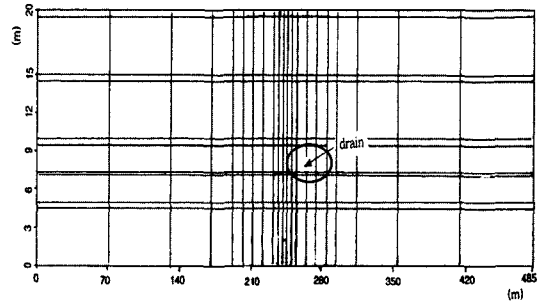


그림 8. 일주일 동안 양수시 외측제체의 남북방향 수직단면 수두저하 contour(양수율 100 ton/day)

(양수율 100 ton/day)



(a) 수평단면



(b) 수직단면

그림 9. 수평드레인이 있는 단정일 경우 평면 및 수직 단면의 격자망

에 의하여 제안된 수도권 매립지내의 집수장치 모델을 기초로하여 10m~50m 길이의 수평드레인을 2단 쓰레기층 중앙부에 추가한 것이다.

양수율 100 ton/day로 드레인 길이를 변화시

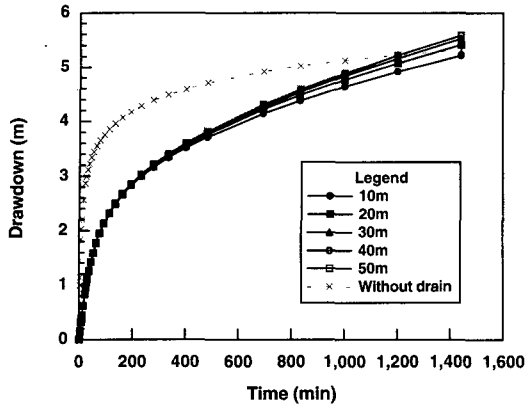


그림 10. 수평드레인의 길이변화에 따른 시간-수위강하곡선

킴에 따라 양수정에서 시간-수위강하 곡선을 그림 10에 나타내었는데 드레인 길이가 시간-수위강하 곡선에 큰 영향을 주지는 않지만, 드레인이 없는 경우에 비하여 양수정에서 수위강하가 더 느리게 발생되고 있음을 알 수 있었다.

그림 11은 양수율 변화와 드레인 길이에 따른 시간-수위강하 곡선을 나타내고 있다. 양수율은 수평 배수관로가 없을 경우 120 ton/day까지만 양수가 가능하였던 것에 비하여 수평드레인이 설치된 경우에는 300 ton/day까지 증가되었다. 이 결과는 수평드레인이 설치될 경우 매립지에서 배수면적을 넓히는게 가능하여 양수량을 증가하였을 경우에도 양수정내의 침출수가 마르지 않고 계속 채워질 수 있음을 의미한다.

그림 12는 흐름벡터의 수직단면을 나타낸 것인데 이 경우에는 상향 침출수 흐름이 발생하여 저투수성의 복토재와 수평드레인 부근에서 동수경사가 급하게 됨을 알 수 있다. 이 결과는 저투수성의 중간복토재가 침출수의 상향 수직흐름을 방해하고 있음을 나타내는 것으로 수평드레인을 1개단의 쓰레기 매립층내만 설치할 경우에는 중간복토재가 수평드레인의 집수효율을 떨어뜨릴 수도 있음을 시사하고 있다. 중간복토재의 침출수 흐름 방해는 장연수 등(1999)에서도 나타난 현장에서 채취

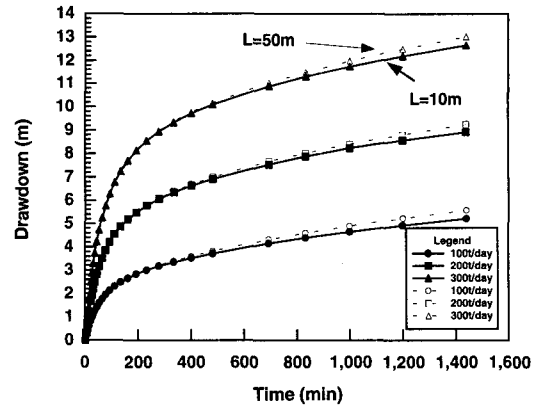


그림 11. 수평드레인 길이 10m 와 50m에서 양수율 변화에 따른 시간-수위강하 곡선

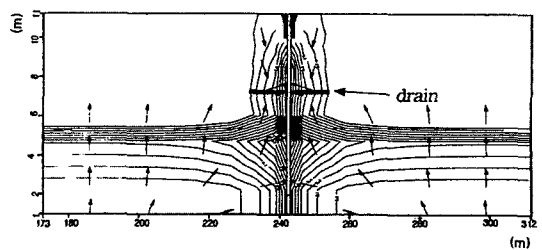


그림 12. 수평드레인을 가진 양수정 부근에서 흐름벡터의 수직단면

된 복토재와 쓰레기의 심도에 따른 함수비 분포, 시추공에서의 시간경과에 따른 침출수위분포의 변화 경향과도 일치하는 것이다. 따라서 저투수성의 중간복토재가 하부 수평배수관로로의 침출수 수직흐름을 방해하므로 중간복토재 상부에 새로운 쓰레기층에 묻히기 전에 수직흐름의 원활을 위한 배수통로를 확보하여야 할 것으로 판단된다.

표 2에는 양수율 100 ton/day로 단정, 균정, 수평드레인 추가시 단정양수의 경우에 대해서 매립지내에서 침출수의 수평 및 수직흐름속도를 요약하여 나타내었다.

수평드레인이 없는 단정과 균정의 경우는 수평흐름 속도가 복토층보다 쓰레기층에서 더 크고 수직흐름 속도가 수평 흐름속도보다 더 크게 나타났다. 수평드레인이 추가된 단정의 경우는 수평드레



표 2. 검토된\* 세 경우에 대한 매립지에서 침출수 흐름의 최대속도

Case	Layer	Horizontal maximum velocity(cm/sec)	Vertical maximum velocity(cm/sec)	
			NW direction	NE direction
Single well without horizontal drains	5 (waste)	$4.2 \times 10^{-7}$	$1.6 \times 10^{-4}$	
	4 (cover)	$1.1 \times 10^{-6}$		
	3 (waste)	$4.2 \times 10^{-5}$		
	2 (cover)	$1.2 \times 10^{-6}$		
	1 (waste)	$8.8 \times 10^{-5}$		
Group well	5 (waste)	$2.7 \times 10^{-6}$	$1.4 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3}$
	4 (cover)	$2.8 \times 10^{-6}$		
	3 (waste)	$9.7 \times 10^{-5}$		
	2 (cover)	$3.1 \times 10^{-6}$		
	1 (waste)	$2.7 \times 10^{-4}$		
Single well with horizontal drains (Length =10m)	5 (waste)	$2.5 \times 10^{-6}$	$8.7 \times 10^{-4}$	$1.1 \times 10^{-3}$
	4 (cover)	$1.5 \times 10^{-5}$		
	3 (waste)	$6.1 \times 10^{-4}$		
		$6.8 \times 10^{-4}$		
		$6.3 \times 10^{-4}$		
	2 (cover)	$3.3 \times 10^{-5}$		
	1 (waste)	$1 \times 10^{-4}$		

\* The rate of pumping : 100 ton/day

인이 설치되지 않은 단정의 경우와 비교해 볼 때 드레인이 설치된 곳에서 수평흐름속도가 다른 층보다 훨씬 더 크고 수직흐름속도는 수평흐름속도와 같은 차수(order) 범위를 나타내었다.

### 5. 결론

매립장내 누적수위 저감을 위한 수직 양수배제 시 침출수흐름의 수치모델링으로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

- 1) MODFLOW 프로그램을 이용하여 누적수위와 쓰레기, 복토재의 투수계수 및 저투수성을 평가하

기 위하여 현장 양수시험자료를 본 흐름 수치해석 모델에서 재현하였으며, 그 결과 이때 사용된 쓰레기의 투수계수는  $9.0 \times 10^{-4}$  cm/sec, 복토재의 투수계수는  $5.3 \times 10^{-6}$  cm/sec로 현장에서 구한 수리특성 범위 값을 가지면서 현장의 시간-수위강하 자료를 묘사해 낼 수 있었다.

- 2) 수평드레인이 없는 단정 양수의 경우 응축수제 거정에 적합할 것으로 판명되는 최적양수율은 100 ton/day로 나타났으며, 최대양수율은 120 ton/day까지 가능하였고 최대 영향반경은 50 m까지 달하였다. 최상부에서 저투수성의 복토재를 통한 수직흐름이 형성되고 그 하부에서는 쓰레기층을 통한 수평흐름과 복토재 부

근의 수평 및 수직의 복합흐름이 형성되었다.

- 3) 수평드레인 추가시 단정 양수의 경우에는 양수율이 300 ton/day까지 증가되었다. 드레인이 없는 경우에 비하여 좀더 넓은 범위에서 집수를 할 수 있는 관계로 양수정 부근에서 수위강하가 더 느리게 발생되고 있음을 알 수 있었으나 드레인 길이는 시간-수위강하 곡선에 큰 영향을 주지 않았다.
- 4) 수평드레인이 추가된 단정양수 모델의 수직흐름벡터 단면으로 부터 저투수성의 중간복토재는 수평드레인의 집수효과를 저하시킬수도 있음을 알 수 있었으며 이는 현장 지반조사로부터 나타난 중간복토재의 불투수층 효과를 검증하는 분석결과이다. 따라서 저투수성의 중간복토재가 하부 수평배수관로로의 침출수 수직흐름을 방해하므로 중간복토재 상부에 새로운 쓰레기층에 묻히기 전에 수직흐름의 원활을 위한 배수통로를 확보하여야 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 김수삼, 장연수, 강기민, 강민수(1996), "자연 해성점

- 토 위에 건설한 폐기물매립장 기초지반의 침하와 활동 가능성", 한국지반공학회지, 제 12권, 5호, pp. 41-53.
2. 수도권 매립지 운영관리조합(1995), 수도권 매립지(1공구) 기반시설 보완 (지반 안정성 및 지하수 오염 (중급속 평가분야)) 연구보고서.
3. 수도권 매립지 운영관리조합(1997), 누적수위 저감 및 우수의 최소 침출수화 방안 연구보고서.
4. 장연수, 조용주(1999), "폐기물 매립장 내에서의 침출수 거동 (I)-현장조사를 통한 수리지반특성", 한국지반공학지(논문심사중).
5. 한정상(1986), 지하수학개론, 박영사.
6. Andersen, P. F.(1993), *A Manual of Instructional Problems for the U.S.G.S. MODFLOW Model*, GeoTrans, Inc..
6. Guiguer, N. and Franz, T.(1996), *Users Manual for Visual Modflow*, Waterloo Hydrogeologic, Inc..
7. Kim, S. S., Kang, K. M., Kang M. S., and Jang, Y. S.(1996), "Stability Analysis of the Landfill on Marine Clay with Consolidation Effects," *Proceedings of the 2nd Int. Cong. on Environmental Geotechnics*, Osaka, Japan, November, pp. 233-238.
8. McDonald, M. G. and Harbaugh, A. W.(1988), *A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model*, U.S. Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations, Book 6, Chapter A1.

(접수일자 1999. 7. 5)