

## 집중호우시 발생하는 난지도 매립지내의 지하수 거동

구태훈·조원철

중앙대학교 건설환경공학과

### Estimation of the Groundwater Movement Under the Heavyrainfall at Nanji Waste Landfill

Tae Hoon Koo, Won Chul Cho

*Dept. of Civil and environmental engineering, Chung-ang University*

### ABSTRACT

The characteristics of groundwater movement under the heavy rainfall at Nan-ji waste landfill site are studied using HELP(Hydraulic Evaluation of Landfill Performance) program, which calculates the daily leachate in the Nan-ji waste landfill site. In this study, instead of the average recharge value, which is used in the past study, the real recharge value is used to calculate the daily leachate. It is found about 70 times greater than the average recharge value under the condition of heavy rainfall in the rainy season. The flow characteristics of groundwater for water level fluctuation is simulated using the ground water flow model MODFLOW(A Modular 3-D Finite Difference Groundwater Flow Model) program, and the slurry layer is newly added.

The result of the study is different from that of the ordinary simulation, which shows much higher ground water level than from the ordinary simulation.

**Key words :**Ground water movement, Heavy rainfall, HELP, MODFLOW

## 요약문

집중호우시 난지매립장내의 지하수 거동의 특징은 HELP 프로그램을 사용하여 침출수를 계산하였다. 본 연구에서는 기존연구에서 사용한 평균 침출수량 대신 집중호우기간동안 평균보다 70배정도 많은 양을 나타내는 실제 일별 침출수양을 입력하여 계산하였다. 이때의 지하수 거동특성은 MODFLOW를 사용하여 모사하였다. 그리고 난지도 매립장에 슬러지층의 새로운 층을 입력하였다. 이번연구의 결과는 기존의 연구결과와 다르게 지하수위가 훨씬 높게 나타난다.

**주제어 :**지하수거동, 집중호우, HELP, MODFLOW

## 제 1 장 서 론

### 1.1 연구배경 및 동향

현재 불량 매립장은 여러 환경문제 및 개발문제로 인하여 많은 관심이 집중되고 있다. 매립장에서 발생하는 대표적인 오염물질은 폐기물 매립지내에서 발생하는 침출수이다. 폐기물 매립지에서 발생하는 침출수의 양은 지역 특성에 따라 크게 달라질수 있으므로 이러한 침출수의 발생량을 정확히 파악하여 수집 및 처리 시스템을 설계하는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 침출수의 발생량은 그 지역의 강우량에 의하여 좌우되고 우리나라와 같이 계절별로 강우량의 편차가 심한 지역의 경우 발생량 예측이 매우 곤란하다. 기존의 지하수 거동에 관한 연구들은 연간 평균 기후데이터를 토대로 한 수치해석이 이루어져 왔다. 그러나 최근의 기상이변에 의한 집중호우등을 고려한 지하수의 거동 연구는 수행되어 있지 못하고 있는 실정이다. 실제로 우리 나라에서 발생하는 강우량은 하절기 즉 장마철에 2/3이상이 집중되고 있고 이에 따른 침출수의 양 또한 일시적이지만 일상적인 기상조건의 경우보다 수십배이상 증가하여 발생한다. 이에 최근의 집중호우 발생시에 나타나는 여러현상을 그리고 급격히 불어난 침출수의 양은 기존의 진행방향과 달리하는 방향으로 나아갈 수도 있고 또한 급격히 불어난 침출수에 기존의 매립지 등에 설치된 여러 오염물질의 방지대책이 무용해질 수 있다. 본연구에서는 난지도 매립장을 대상으로 최

근의 기후 조건을 반영하여 기존에 침출수 거동에 상용된 모델과 여러 모델들을 비교 분석하여, 새로운 대안을 제시하고 나아가서 오염물질의 확산을 막지하는 방안을 모색하고자 한다.

최근의 연구를 보면 지하수 흐름과 오염물질 거동을 예측하고 해석하기 위하여 수학적 모형에 대한 수치해석기법이 사용되고있다. 매립장에서의 침출수 발생과 지하수 흐름에 관한 연구는 Benneth등(1982)이 3차원 유한 차분법을 이용한 지하수 흐름모형의 문제점에 관한 연구를 발표하는 등 80년대에 이르러 많은 발전했다.

매립장내의 누적수위를 산출하기 위한 간편식도 제안되어 있고 (U.S EPA, 1983) 간편법의 경우 물수자의 여러 인자를 대부분 생략하고 투수계수와 강우강도 등 가정 기본적인 수리상수만을 고려한 것으로 생성된 침출수의 양과 누적수위를 평가하는데 항상 신뢰성을 주는 것은 아니다. 따라서 현장에서 관측된 자료가 충분할 경우 HELP(Hydraulical Evaluation of Landfill Performance) 모델과 같은 컴퓨터 프로그램이 침출수 발생량 예측과 평가에 이용되고 있다 (Schroeder등, 1984). 지하수 거동에 대한 거동은 1971년 Prickett와 Lonnquist가 개발한 2차원 유한 차분 모형인 PLASM에서 총상대수층을 모의할 수 있는 3차원 유한 차분 모형인 MODFLOW(1988)에 이르기까지 많은 종류의 모형이 개발되었다.

## 제 2 장 난지도매립지 일반현황

### 2.1 매립장의 개요

매립 이전인 1978년에는 고도 2~8m의 평탄한 지역이던 난지도에 1993년 3월 말 매립이 종료되면서 고도 94~98m의 거대한 매립장이 형성되었다. 현재 면적 1,094,000m<sup>2</sup>의 제1매립장과 707,000m<sup>2</sup>의 제2매립장으로 분할되어 있으며 두 매립장 중간에 105,435m<sup>2</sup> 넓이의 곡간부가 위치하고 있다. 서울시 청소사업본부에서 공식적으로 사용하는 난지도 매립장의 총 매립량은 부피로 97,707,000m<sup>3</sup>에 이른다.

### 2.3 기상

연구 대상지역의 계절적 기상특징은 겨울철에는 대륙성 고기압의 영향으로 한랭건조하고 여름철에는 해양성 고기압의 영향을 받아 고온다습하고 한서의 차가 심한 특징을 나타내고 있다.

기상청의 과거 10년간(1990년~1999년)의 관측자료를 기초로 기온, 강수량, 상대습도, 풍속 등의 기상 요소를 조사한 결과는 년평균 기온은 12°C으로 전국 평균치인 12.6°C 보다 다소 낮으며, 강수량은 1,275.7mm로 전국평균 1,267mm와 유사하게 조사되고 있다. 또한 평균풍속은 2.4m/sec, 최대 풍속 4.1m/sec<sup>o</sup>이고 평균 상대습도는 65% 등으로 조사되었다.

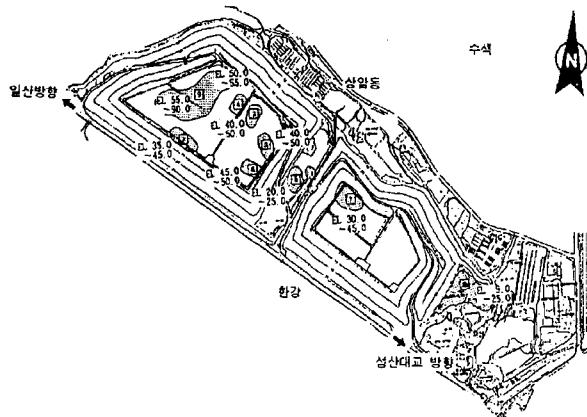
### 2.3 식생

사면은 식생이 계속 교란을 받아가면서 오늘에 이르고 있는데 고위 평탄면과 비교하여 식생이 형성될 수 있는 기간이 비교적 길어 상당수의 목본식물이 생육하고 있으며 피도는 약 80% 정도이다.

### 2.4 매립장 지반조사

#### 2.4.1 하수슬러지 매립

서울시는 하수슬러지는 87년 1월부터 난지도로 반입이 시작되어 수도권매립지로의 슬러지 반입시기인



**Fig. 2.1 하수슬러지 혼합 및 별도 매립구역 위치도**

'92.8월까지 별도 매립구역을 포함한 난지도내 9개 구역에 분산 매립되어 왔으며 매립량은 서울시 자료에 의한 방법, 시추조사 결과에 의한 방법으로 매립량을 비교·산정하였다.

### 2.5 지반상태

본 지역에는 편마암이 기반암으로 발달, 분포하고 있으며 지층상태는 쓰레기 매립층 하부로 상부충적층, 하부충적층, 풍화대층, 기반암층의 층서를 보인다. 각 층별 지층특성은 다음과 같다.

#### 1) 쓰레기 매립층

제1매립지와 제2매립지로 나뉘어 인위적으로 매립된 본 층은 매립지 정상에서의 평균층후가 90m 이상으로써 내재된 쓰레기의 분포형태가 불규칙적이기는 하나 주로 상층부에는 건축폐자재가 하층부에는 일반쓰레기가 매립되었고 부분적으로는 산업쓰레기도 매립된 것으로 조사되었다. 투수계수는 위치별로 변화폭이 매우 클 것으로 판단되나 평균적으로 2.96 times 10<sup>-4</sup>cm/sec를 나타내었다.

#### 2) 상부충적층

매립지 전지역에 걸쳐 분포하고 있는 상부충적층은 2.7~17.3m의 층후를 보이며 주로 실트질 모래로 구

성되어 있다. 투수계수는 평균  $1.29 \text{ times } 10^3 \text{ cm/sec}$ 로 나타났다.

### 3) 하부충적층

상암동측에서 한강변측으로 내려가면서 층후가 더 두꺼워지는 경향을 보이는 하부충적층은 위치별로 평균 층후  $2.7 \sim 14.0 \text{ m}$ 의 변화를 보이고 있고 주로 모래질 자갈로 구성되어 있다. 투수계수는 평균  $2.78 \text{ times } 10^3 \text{ cm/sec}$ 로 나타났다.

### 4) 풍화대층

기반암인 편마암이 풍화된 층으로  $0 \sim 8.1 \text{ m}$ 의 평균 층후를 보이며 변형계수는 모암의 암편존재 여부에 따라  $102.4 \sim 2681.3 \text{ kg/cm}^2$  내외로 다양하게 측정되었다. 주요 구성성분은 실트질 모래이며 투수계수는 평균  $6.9 \text{ times } 10^5 \text{ cm/sec}$ 로 나타났다.

### 5) 기반암층

기반암층은 풍화정도, 균일상태, 강도 등에 따라 연암과 경암으로 구분된다.

## 2.6 지하 수위

현재상태의 난지도 매립지의 매립상태를 보면 전체적으로 폐기물 매립고가  $80 \sim 90 \text{ m}$ 를 이루고 있고 제1매립지의 경우 액상 산업폐기물이 존재하고 있다. 그에 따른 유기물 분해에 따른 침출수의 생성과 차수막 및 차수층의 설치로 인한 고립 침출수가 고수위를 기록하고 있다. 94년이후 현재까지 폐기물의 분해가 계속 진행되어 왔으며, 외부 지하수위나 강수에 의한 매립지내 유입을 고려할 때, 기존의 자료를 이용하여 지반안정 및 현재의 수위 및 지하수 거동상황을 판단하는데는 무리가 있다고 판단되므로 제1매립지와 제2매립지 전체 상부 및 사면에 대하여 지하수위를 측정하였다. 본연구에서는 매립지 상부, 사면에 존재하는 가스 포집공에 지하수위계를 넣어서 측정하였다 다음은 2000년 8월 현재 본연구의 주된 시점인 집중호우 후에 측정된 지하수위 측정결과이다.

**Table 2.1** 지하수위 측정표

구 분	제1공구		제2공구	
	측정지점	지하수위 (m)	측정지점	지하수위 (m)
상 부	W-165	54.8	W-272	30
	W-166	60.9	W-255	54
	W-158	51.9	W-256	56.8
	W-181	74.5	W-257	55.7
	W-180	68.9	W-258	40.2
	W-179	58.7	W-263	40.8
	W-171	71		
	W-172	69		
	W-182	66.3		
사면부	W-104	24.5		
	W-110	24.9		
	W-114	36		
	W-118	31.1		
	W-125	25.4		
저 부	I-WT-02	34.1	I-WT-029	4.90
	I-WT-089	6.3	O-WT-029	4.87
	O-WT-089	6.5		

## 제3장 이론적 배경

### 3.1 Darcy 법칙

Darcy는 여러번의 실험을 통해 유출량(체적배출량) $Q$ 는 여과모래의 두지점에서 수두차( $h_2 - h_1$ )와 칼럼(column)의 단면적  $A$ 에 비례하며, 두 개 지점 사이의 거리( $l_2 - l_1$ )에 반비례함을 알아내고 비례상수  $K$ 를 사용해서 식(1)을 유도하였다.

$$Q = -KA \frac{h_2 - h_1}{l_2 - l_1} \quad (1)$$

여기서  $K$  : 수리전도도, 투수계수 (hydraulic conductivity)

### 3.2 3차원 유한차분식의 수학적 모델

#### 3.2.1 3 차원 지하수 흐름의 지배식

다공질 포화매체내에서 밀도가 일정한 지하수의 3차원 흐름 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

여기서,

$K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$  : 직교좌표계의 주축과 수리전 도도의 주텐션방향이 동일한 경우에 x, y, z 방향에서 수리 전도도 ( $L^{-1}$ )

$h$  : 지하수의 수두 (L)

$W$  : 지하수의 공급원과 배출원 ( $T^{-1}$ )

$S_s$  : 다공질포화매체의 비저유계수  $\rho g (\alpha + n\beta)$  ( $L^{-1}$ )

$t$  : 경과시간 (T)이다.

### 3.2.2 3-D 유한차분식

유한차분형식의 지하수유동지배식은 연속방정식을 이용해서 표현할 수 있다. 즉 1개 셀내에 유입·유출되는 양은 셀내에 저유되어 있던 초기지하수의 변화량과 같다. 지하수의 밀도가 일정한 경우에 1개 셀을 통해 유입, 유출되는 지하수유동량에 대한 연속방정식은 식(3)와 같다.

$$\Sigma Q_i = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta V \quad (3)$$

여기서,

$Q_i$  : 셀을 통한 유동률 ( $L^3 T^{-1}$ )

$S_s$  : 비저유계수

$\Delta V$  : 셀의 체적 ( $L^3$ )

$\Delta h$ 는 : 시간간격의 길이가  $\Delta t$ 인 동안의 수 두변화 ( $L^{-1}$ )이다.

## 제 4 장 침출수량 산정

### 4.1 HELP모델의 입력자료

#### 4.1.1 토양자료

매립지를 구성하고 있는 각 층의 토양특성은 증발산량 및 강우의 매립지내의 침투량에 영향을 미친다. 침출수량 산정에 필요한 토양특성값은 매립지 각 층의 토양을 USDA 및 USCS 기준에 의해 분류하여 HELP 모델에서 제안하고 있는 Default 값을 사용하였다.

#### 4.1.2 SCS Curve Number (유출곡선지수)

강우의 표면유출, 증발산, 매립지내로의 침투량에 직, 간접적인 영향을 미치는 SCS Curve Number(CN값)은 미국 토양보존국의 분류를 기준으로 매립지의 지형특성에 따라 이를 보완하여 사용하였다. Fig. 4.1은 CN값을 산정하는데 필요한 토양과 CN값과의 상관관계를 나타낸 그래프며, 이 그래프에서부터 토양상태에 따른 CN값을 도출한다. 여기에서 산정한 CN값은 상부 사면 저부 각각의 토양상태에 따라 다른값을 사용하였다.

#### 4.1.3 Leaf index

수치해석 구역의 식생상태를 나타내는 지수로서 0에서 5까지의 범위를 가진다. Leaf index값은 표면에 자란 풀들의 상태를 가지고 판단하고 자란 풀들이 거의 없을 때 0이고 최고로 좋을때가 5이다.

Fig. 4.2는 HELP 모델에 사용되는 매립지의 단면을 개략적으로 나타낸 것이다. Fig. 4.2에서 단면 중

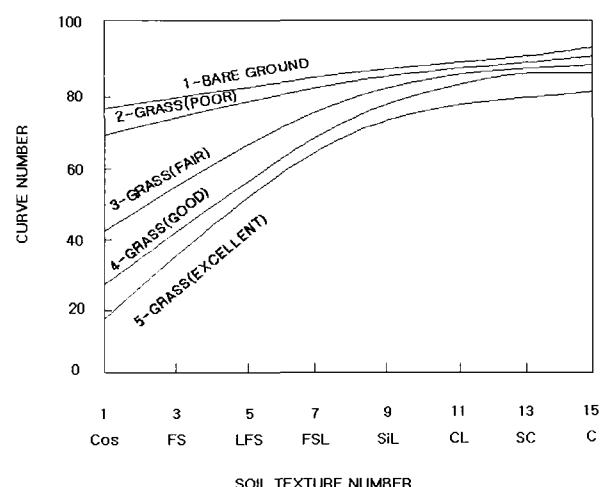


Fig. 4.1 CN 값과 토양상태와의 관계곡선

간 부분의 11m는 사면이 약 55%정도 경사지어 있기 때문에 수직적인 깊이를 넣지않고 실제 높이 약84m의 반인 44m를 넣기 위하여 하부 32m와 상부 11m로 구분한 것이다.

#### 4.2 수치계산 결과 및 분석

Table 4.1과 Table 4.2는 각각의 CN값과 Leaf index에 따른 사면과 저부의 침출수량을 일별로 계산하여 나타낸 표이다.

CN값은 상부의 경우 복토후에는 HDPE 차단층으로 인하여 상부로의 유입이 없다고 가정하므로 본 연구에서는 복토전 상황만 고려하여 적용하였다.

사면은 식생상태 조사결과에 따라 CN값은 60에서 80까지의 값을 주었고 Leaf index 값 또한 0에서 2까지의 값을 주었다. 그리고 또한 사면의 경우 경사를 고려하고, 그에 따른 매립지의 계산 깊이 또한 달리하였다. 이는 Fig. 4.2에 나타나있다.

Table 4.1과 Table 4.2에 대한 본연구에서 사용된 자료를 그린 것이 Fig. 4.3~4.5까지이다. 여기에서 그래프의 제목란에 있는 T, N, B는 상부, 사면, 저부를 뜻하며 또한 500, 600등에서 앞부분의 두자리 50

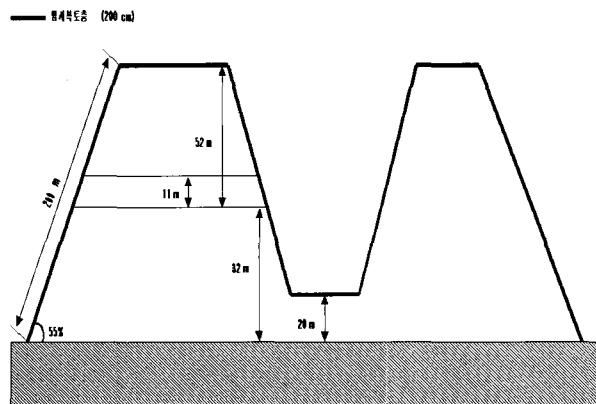


Fig. 4.2 HELP 모델에 사용된 난지도 간략단면

은 CN Number를 의미하며 뒷자리 0은 Leaf index를 나타낸다.

Fig. 4.3 상부는 CN값50과 Leaf index 0을 적용하였다. 이는 상부함몰로 인하여 침출수량의 증가시키는 한 요인으로 되기 때문에 이러한 값을 적용시켰다.

이때 최고 침출수량은 167.5mm가 되는 것을 알수 있고, 이는 복토전의 상황만을 고려한 것이다. 복토후에는 상부를 통한 침출수량이 없다고 가정하므로 복토후는 계산하지 않았다.

그럼에서 나타나 있는 것과 같이 집중호우가 발생하는 장마철 즉 220~260일 사이에는 평균의 수십배를 초과하는 침출수량을 보인다. 이는 주어진 CN 값과 Leaf Index값들에 의하여 변화된다. 그럼에서와 같이

Table 4.1 매립지 사면 침출수량 발생표

(mm/day)

CN Number	50 복토전 상부	60	70	80
Leaf index				
0	2.49	2.39	2.3	2.09
1	.	0.95	0.86	0.67
2	.	0.92	0.81	0.62

Table 4.2 매립지 저부 침출수량 발생표

(mm/day)

CN Number	60	75	85	90
Leaf index				
0	.	2.24	2.03	1.78
1	0.97	0.81	0.56	0.4
2	.	0.74	0.48	0.31

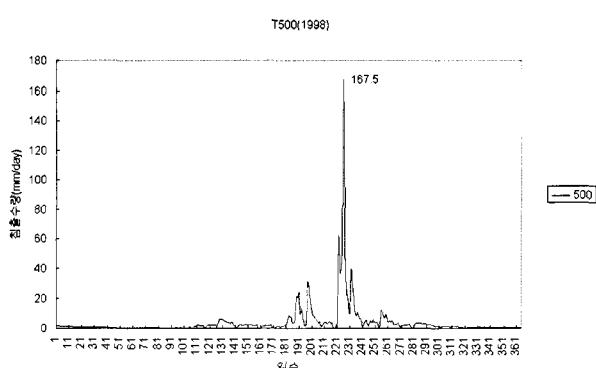
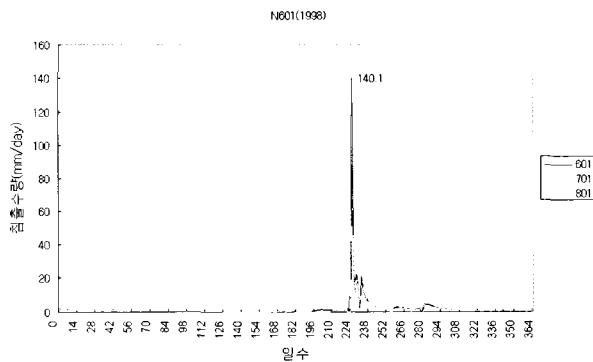
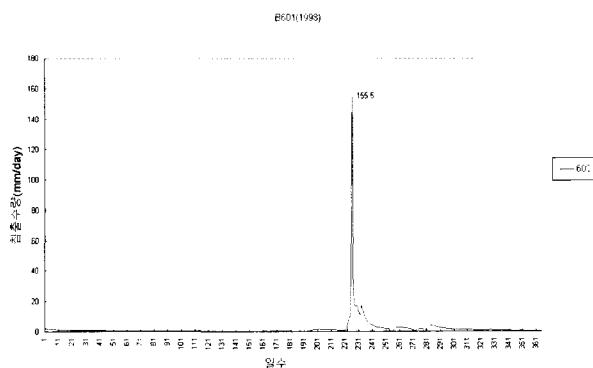


Fig. 4.3 난지도 매립지 상부 침출수량 곡선  
(CN 50, Leaf index 0)



**Fig. 4.4** 난지도 사면 침출수량 곡선  
(CN 60, 70, 80 Leaf index 1)



**Fig. 4.5** 난지도 저부 침출수량 곡선  
(CN 60, Leaf index 1)

각각의 변화된 값들에 따라서 Peak 값과 그 변화량 또한 많은 차이를 보인다.

Fig. 4.4는 사면으로 CN 값 60, 70, 80과 Leaf Index 1을 준 상태로서 Peak값은 140.1mm가 나오고 있다.

Fig. 4.5는 저부에 대한 곡선으로 CN값 60과 Leaf Index 1로서 집중호우가 시작될 때의 영향을 직접적으로 나타내고 있다. 이때의 최고침출수량은 155.5mm이다.

각각의 수치계산 결과에서 보이는 바와 같이 CN값과 Leaf index 값은 HELP 모델에서 침출수량을 산정하는데 아주 중요한 요소이다. 이 값들이 변화함에 따라 각각의 경우에 대한 침출수량이 아주 많이 차이

나는 것을 볼 수 있다. 현재 난지도 매립장의 식생상태를 고려할 때 CN 60과 Leaf index 1을 적용시키는 것이 타당하다고 판단되어 이 값들에 대한 HELP 모델결과를 MODFLOW모델의 입력자료로 사용하여 수치계산을 수행하기로 한다.

## 제 5 장 MODFLOW 모델

### 5.1 모델의 격자망 구성

난지도 매립지 일대의 지하수 흐름을 해석하기 위해 격자망은(153) TIMES (67)으로 구성하였다. 격자망의 간격은 실제 계산에 필요한 매립지층의 부분은 간격 20m로 계산하고 그외 부분들은 최대 80m이다. 또한 지층조건은 지질조사 결과에 따라 매립층, 상부층적층, 하부 층적층, 풍화대 및 기반암 층 5층으로 구성하였다.

### 5.2 모델의 경계 조건

경계조건은 한강을 비롯하여 난지도 매립지 주변에 흐르는 불광천, 홍제천, 난지천, 항동천으로 둘러싸여 있으며, 이들 수위는 연중 일정한 수위를 보인다고 가정하여 등수위 경계조건을 적용하였다. 그리고 일부 계산에 포함되지만 영향이 미치지 않는다고 판단되는 부분들은 비활성셀로서 지정하여 계산하도록 하였다.

### 5.3 모델의 입력자료

수치계산을 위한 기본 입력자료는 수평 및 수직수리전도도와 비산출율이며 이러한 입력자료는 여러시험 결과에서 얻은 실측자료(난지도 안정화공사 실시설계 보고서, 1994)로부터 평균값을 기준으로 하여 범위를 벗어나지 않는 값을 입력하였다. 수직방향 수리전도도는 불량 매립지 임을 감안하여 일반적으로 사용하는 수평방향 수리전도도의 1/10 뿐만 아니라 다양한 수치를 적용시켜서 비교 선정하였다. 매립지 내의 슬러지 매립부분은 슬러지는 불투수층이지만 슬러지로만 구성되어있지 않고 건축폐자재등 다른 매립물등과 혼합되어있음을 감안하여 불투수층이 아닌  $10^{-6}$ m/day 범위

에서 선정하였다. 모델에 입력되는 초기 수위는 기본 설계 및 실시설계의 결과 자료를 근거로 해서 입력하였다. 이는 실시설계시의 연도를 구분하여 복토가 진행되지 않고 well과 차수벽이 없는 상황을 3년간 고려하여 수치계산을 선행하고 이에 나온 수두 결과를 다시 현재 복토후의 조건을 입력한 모델의 초기수두조건으로 다시 입력하여 이를 수치계산 시킨 결과이다. 이를 현재의 실제관측 수두와 비교 한 것이다. 그리고 침출수 발생량은 HELP 모델링에서 산출된 수량을 복토전과 복토후에 대하여 입력하였다. 복토후 상부는 HDPE 차단층으로 상부가 피복됨에 따라 상부의 유입율을 0으로 하고 나머지들은 수치계산결과 산출된 발생량을 입력하였다.

#### 5.4 수치계산 결과 및 분석

여기에서 사용된 침출수량은 수치해석결과 수치해석 영역내에서 집중강우가 시작될 때 침출수량은 일 평균 약  $1000\text{m}^3/\text{day}$ 에서 차츰 증가하다 집중강우 발생시 약  $220000\text{m}^3/\text{day}$ 정도까지 증가한다.

이에영향을 받아 영역내의 수두도 증가하는 것이다. 그림은 1매립지와 2매립지의 최고 수위를 기준으로 모사 시켰다. Fig. 5.1은 수직 수리전도도를 수평수리전도도의 1/10으로 계산한 결과이고 1매립지의 최고 수두가 약 4m 정도 차이가 있으나 그외 나머지 실측된 상부의 자료의 대부분에 가장 잘 맞고, 2매립지의 수두도 슬러지 부분의 특이점을 빼 나머지 부분들은 대부분 관측범위에 들고 있다.

그리고 난지도 매립지에 유입되는 침출수량은 본 논문의 HELP 모델에서 도출된 침출수량이고 집중호우시의 특성을 직접적으로 표현하기 위하여 일별 강우자료를 사용하였다.

이 일별 강우자료는 일년중의 집중호우가 나타나는 시기인 제201일에서 제280일 사이의 자료를 직접 사용하고 나머지 날들은 년중 제1일에서 제200일까지의 평균과 제280일에서 제365일 사이의 평균치를 사용하여 계산하였다.

이는 또한 상부 사면 저부 각각의 조건에 맞추어서 각기 다른 값을 입력하였고 상부는 현재 실측시점에는

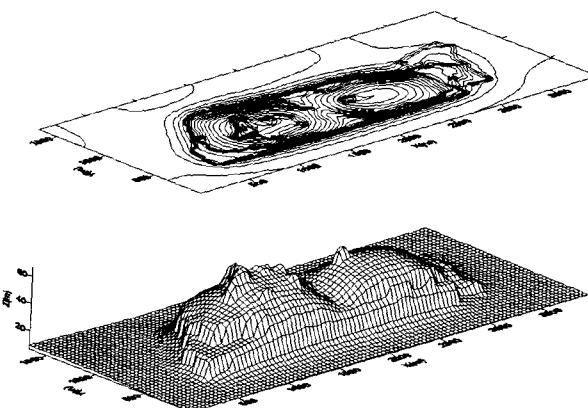


Fig. 5.1 지하수위 모사결과

(매립총 투수계수  $K_x/K_z 0.04/0.004$ ,  
슬러지총 투수계수  $K_x/K_z 0.003/0.0003$ )

Table 5.1 실제 입력 침출수량

위치 (침출수량)	날짜(일)		
	1~ 200일	201~ 280일	280~ 365일
상부(mm/day)	2.03	일별입력	0.9(1.55)
사면(mm/day)	0.44	일별입력	1.26
저부(mm/day)	0.44	일별입력	1.26

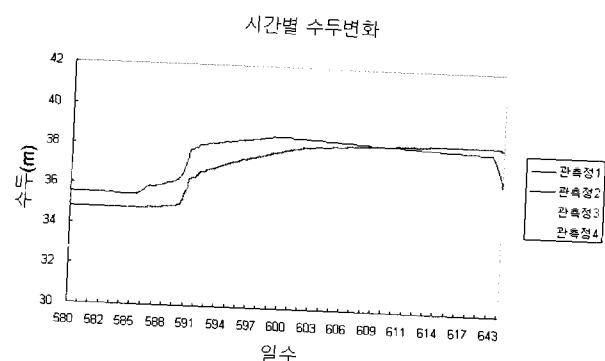


Fig. 5.2 시간별 수두변화

상부의 피복이 거의 진행되지 않은 상태였기 때문에 현 수치계산을 수행할 때에는 상부의 유입률을 감안하여 모사하였다.

Fig. 5.2에서 보이듯이 집중호우가 시작되는 590일

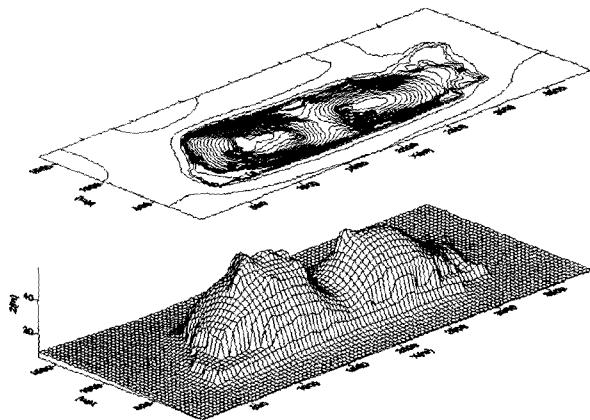


Fig. 5.3 년평균값을 입력한 수두모사결과

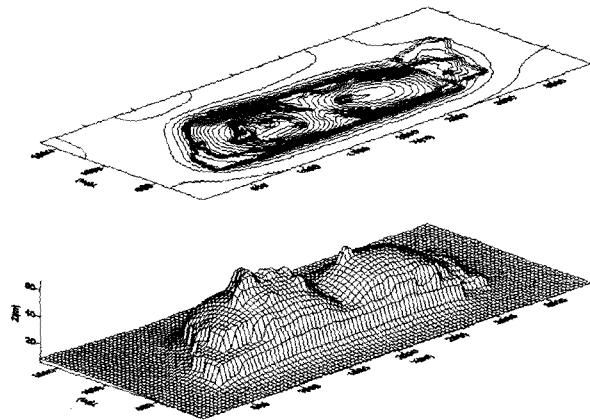


Fig. 5.4 집중호우별 일일자료입력치 수두모사 결과

시점에서 수두는 급격한 상승을 보인다. 이는 침출수량의 급격한 증가로 인하여 수두의 증가가 발생하고 있다. 이때는 약 5일동안 5m이상의 수두상승을 보이고 있다. 이는 각관측정별로 그 차이는 다르지만 수두가 급상승하는 면에서는 동일한 양상을 보이고 있다. 그림의 끝부분의 하강 곡선은 집중호우가 끝나고 다시 수두가 내려가는 모습이다. 이를 토대로 하여 나온 것이 Fig. 5.4이다. 침출수량을 HELP모델에서 일별로 출력하여 이를 직접 MODFLOW모델에 입력하여 출력한 결과이다 여기에는 1매립지의 경우 실제 측정치의 최고치 74m와는 수두차가 있다. 그러나 측정치

의 대부분의 값이 존재하는 63~54m 구간으로 이루어져 있고, 2매립지의 경우에도 실제보다 최대 수위는 슬러지 매립지 부분에서 2~3m 정도 높게 나왔으나 전체의 값은 실측치와 유사한 값을 보이고 있다. Fig. 5.3이다. 이는 현장에서 실측하였을 때 평균적인 값으로 수치해석한 결과는 갈수기때 측정한 것과 비슷한 모습을 보이지만 집중호우가 있고 난후의 모습에서는 일별로 입력한 값에 따른 모습을 보인다. Fig. 5.3은 침출수량을 평균값으로 계산한 것이다.

Fig. 5.3은 침출수량을 년평균값을 사용하여 수치계산한 결과로서 최고수두 약 59m 정도를 나타내고 있으며 이는 실제와는 약 10 여미터 이상의 차이를 보이고 있고 대부분의 값 또한 40~50m 사이를 유지하고 있다. 이결과는 보편적으로 지하수 유동 수치해석에서 사용하는 결과이다.

### 5.5.3 배수시 수위비교

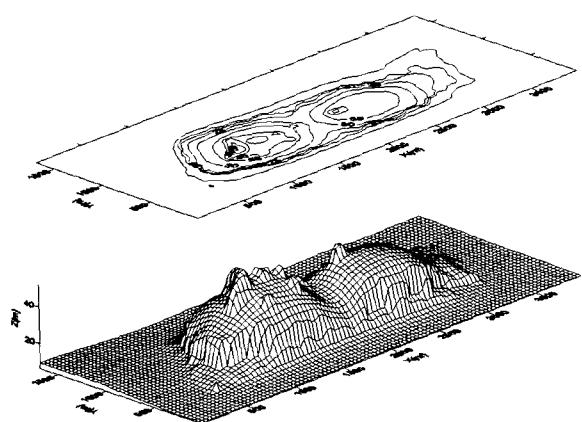
Fig. 5.5와 Fig. 5.6은 펌핑을 시작하였을 때의 임의의 날이 경과하였을 때의 수위를 비교한 그림이다. 배수를 시작하여 우물에서 일 60톤 씩 배수할때가 배수를 하지 않는 상황보다는 심한 수두의 변화는 생기지 않지만 이 또한 수두의 변화량은 Fig. 5.3처럼 일반적으로 행하여지는 수치계산과는 다르게 집중호우의 영향을 받아 수두의 변화가 있음을 보인다.

### 5.5.4 배수량 조절을 통한 비교

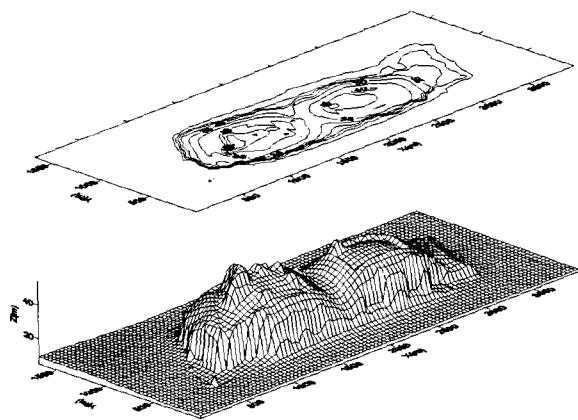
Fig. 5.7와 Fig. 5.8은 집중호우시에 배수의 양을 조절하였을 때에 발생하는 변화를 나타낸 그림이다. Fig. 5.7은 배수량의 변화없이 일 60 톤 씩 계속 배수한 것이고 Fig. 5.8은 장마철이 시작되어 집중호우가 발생하고 침출수량이 증가하는 약 3달간 배수량을 일 100 톤으로 증가하였을 때를 나타낸 그림이다. 수치계산의 결과로 볼때 일 100톤씩 배수하였을 때 가 배수량의 변화없이 배수한 것보다 차수벽에 작용하는 압력수두가 훨씬 작다는 것을 볼 수 있다.

### 5.5.5 시공오차를 고려한 비교

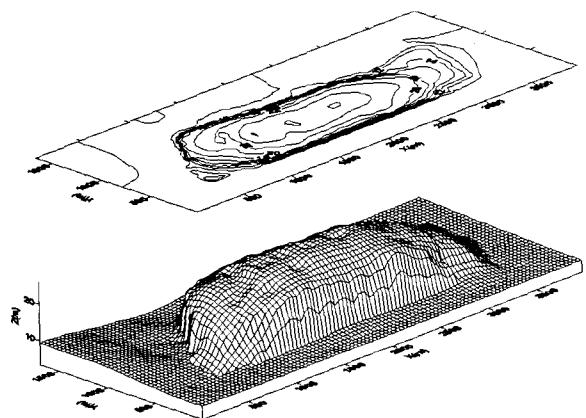
Fig. 5.9, Fig. 5.10는 차수벽의 시공이 100%완



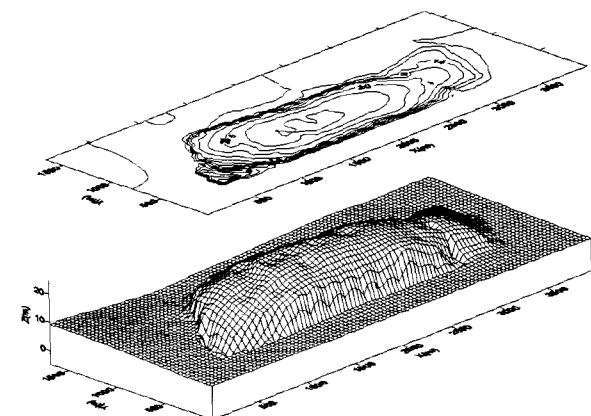
**Fig. 5.5** 年평균 침출수량 입력시 (60t/day) 수두  
모사결과



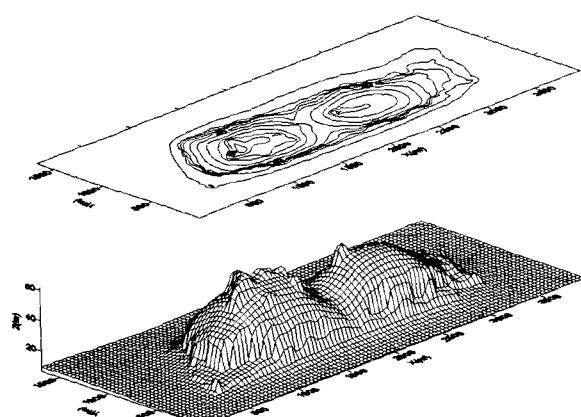
**Fig. 5.6** 집중호우시 일일자료 입력시  
(60t/day) 수두모사결과



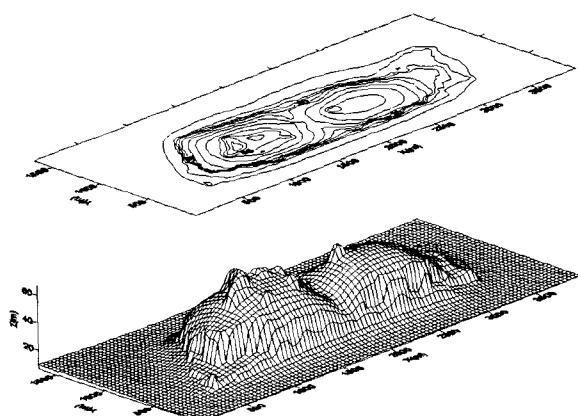
**Fig. 5.7** 년중 60t/day 배수시 수두모사결과



**Fig. 5.8** 집중호우기간 100t/day 배수시 수두모  
사결과



**Fig. 5.9** 10%시 공오차시 수치계산결과  
(집중호우시, 배수량 60t/day)



**Fig. 5.10** 20%시 공오차시 수치계산결과  
(집중호우시, 배수량 60t/day)

전하지 않다는 가정하에 수치계산을 한 결과이다. Fig. 5.9는 차수벽시공에서 10%의 시공 오차가 있다고 가정하여서 한것이고, Fig. 5.10은 20%의 시공오차가 있다고 가정하였을 때의 수치계산결과이다 그림에서 알수 있듯이 시공 오차로 인하여 침출수량의 누출로 인한 수두의 감소가 보이고 있고 이는 오염물질의 누출 가능성을 높이는 하나의 요인이라고 볼 수 있다.

## 제 6 장 결 론

본연구는 현재 빈번이 일어나고 있는 집중호우에 따른 여러 재해와 더불어 이를 불량매립지의 대표적인 난지도 매립장의 현재 실측된 지하수위로서 이를 지금 까지 일반적으로 시행되어왔던 년평균값을 통한 것이 아닌 실제 일별자료를 입력하여 시행해하여 기존결과와 비교 분석하였다.

본연구를 통하여 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 본연구에서 사용하는 침출수량은 HELP프로그램을 사용하여 얻어진 결과를 가지고 하는 것이다. 이에 판단하면 복토후에는 식생과 주변 여건의 변화로 CN값과 Leaf index값을 사면과 저부 각각 60과 1을 주었다. 이에 대한 결과로서 침출수량은 사면 0.95mm/day 저부 0.97mm/day 결과를 도출하였다.
2. 실제 관측된 범위내의 다양한 투수계수값들을 대입하여서 가장 적절하다고 판단되는 투수계수값을 선정하였고 이값은 과거 조사된 바와도 거의 같고 과거 연구결과에서 사용한 MODFLOW 입력자료를 세분화하여 매립지 층 상부에 슬러지층 ( $K=0.003\text{m/day}$ )을 넣음으로서 실제 수위와 근접한 결과를 얻었다.
3. 집중호우를 고려한 매립지내의 배수정의 효과를 모사해본결과 실제 집중호우가 시작되는 장마철

엔 배수량을 조절하여 인위적으로 막은 차수벽에 걸리는 부하를 줄이고 이에 파생하는 여러 일들을 미연에 방지하여야 할것이다.

4. 시공의 정확도에 따른 수위 가감을 모사했을 때 집중호우의 영향을 받아 그 정도에 따라 수위의 차가 나는 것은 그만큼 많은 양의 오염물이 배수정으로 배수되는 것이 아니고 한강이나 다른 주변으로 직접 유출됨을 알수가 있다.

기존의 다른 연구들에서 예측하지 못했던 집중 강우에 따른 수위의 상승에 따른 여러 현상들을 수치계산하였고 수치계산결과와 일반적인 수치계산결과와 다른 결과를 도출하였고, 설계시 이를 반영하여야 하겠다.

## 참 고 문 헌

1. 난지도 매립지 안정화공사 실시설계 보고서, 대우 엔지니어링(1994).
2. 난지도 매립지 지반 안정성 평가연구, 서울시립대학교 부설 도시과학 연구원, pp.4-60(2000.12).
3. 주완호, 매립장내 침출수 저감을 위한 대체복토재 활용에 관한 연구, 동국대학교 대학원 석사학위논문(1995).
4. Herbert F. Wang, Mary P. Anderson, Introduction to Groundwater Modeling, W. H .Freeman and Company (1982).
5. Peter F. Andersen, A manual of instructional problems for the U.S.G.S. MODFLOW model. EPA/600/R-93/010(1993).
6. The Hydraulic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model, Engineering documentation for version 3, U.S Environmental Protection Agency Office of Research and Development(1994).
7. R.Allan Freeze, John A. Cherry, Groundwater, Prentice hall, pp.58-69(1979).