

## 산악지 절토에 따른 지하수 유동분석

### Analysis of Groundwater Flow due to Mountain Cutting

천병식<sup>1)</sup>, Byung-Sik Chun, 김성수<sup>2)</sup>, Sung-Soo Kim, 공진영<sup>3)</sup>, Jin-Young Kong, 김영일<sup>4)</sup>, Young-Il Kim

1) 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engr., Hanyang University

2) (주)성지지반기술 대리, Deputy manager, Sung Ji Geotechnical Engineering Co., Ltd.

3) 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engr., Hanyang Univ.

4) 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정, Graduate student, Dept. of Civil Engr., Hanyang Univ.

**SYNOPSIS** : The purpose of this study was to comparatively analyze the measured values and modelling values when a sample mountain was cut and thereby, assess the fitness of the prediction model. For this purpose, the researcher analyzed the relationship between the groundwater levels measured at 7 monitoring holes set within the area of the underground flow prediction model and the levels of the groundwater monitoring holes before and after mountain cutting. As a result of this analysis, it was found that the MODFLOW program itself was limited and uncertain in terms of calibration of the modelling values. Since the model was based on the assumption that the same amount of rainfalls would permeate into the ground when the sample mountain area was cut up to 50m high, it was deemed inevitable that the result of modelling was different from the actual measurement.

**Key words** : Mountain cutting, Numerical analysis, Groundwater monitoring, MODFLOW

## 1. 서 론

해안가 대수층에서 해수와 담수의 경계면은 과잉채수나 해수면 상승 등의 여러 환경변화에 쉽게 교란되므로, 대수층의 부적절한 관리는 해안과 인접한 다른 대수층의 담수까지 광역적으로 염수화시킬 수 있다. 대수층은 지표수와 달리 한번 염수화되면 이를 복원하는 것이 거의 불가능하기 때문에 보전대책이 중요하다.

해수침투에 대한 연구는 최근 대수층의 염수화가 세계적으로 광역화되면서 활발히 진행되고 있으며, 연구목적에 따라 해수침투 사례에 대한 모델링과 새로운 수치해 개발, 수리지화학적 또는 환경동위원소 연구, 모니터링망 구축 및 지구물리탐사, 염수화방지 및 복원, 지구온난화 및 이상기온에 의한 해수면 변화, 광역적 또는 지역적 규모에서의 사례 연구 등으로 분류할 수 있다.

본 연구의 목적은 산악지 절토 전·후의 지하수 유동을 예측하여 수리동역학적 안정성을 연구하는 것으로, 수치해석적 방법과 계측 결과를 비교·분석 하였고, 산악절토 전·후에 따른 지하수 변동과 해수침투 현상을 수리동역학적인 요소로서 여러 가지 현상이 복합적으로 이루어지는 상호연관성을 고려하여 분석하였다.

장기 모니터링은 산악절토 전·후의 지하수위 변동을 관측하기 위하여 관측하였다. 모니터링 우물은 해수침투 현상을 현장에서 직접 측정하는데 이용될 수 있지만, 모니터링만으로는 해수침투 변화를 파악하기 위한 조건으로는 여러 가지 제약조건이 따른다. 따라서 본 연구에서는 산악 절토에 의한 주변 지하수위 변화를 파악하고, 절토 전·후에 따른 지하수 변동 해석과 해수침투 경로 및 범위를 3차원 유동 모

텔링인 Visual Modflow를 이용하여 분석하는 것을 주요 내용으로 연구를 수행하였다.

지하수 유동을 분석하기 위해서는 지하수위 등고선도(contour map of groundwater level)가 필수적이며, 유선망(flow net)은 지하수의 유동방향, 지하수 유동속도, 지하수 유량 등의 결정에 중요한 역할을 한다. 산악 절토 전·후의 지하수수위 변동은 주변에 발달된 지하수 유동계에 의해 지배되므로 이를 예측하기 위하여 3차원 유한차분 지하수 유동모델인 MODFLOW를 이용하였다. 모델링 결과로부터 산악 절토 전·후에 의한 주변에 발달된 지하수 유동과 이동경로 및 범위를 예측하였다.

## 2. 이론적 배경

다공질 포화매체내에서 밀도가 일정한 지하수의 3차원 흐름 지배방정식은 식 (1)과 같다(최윤영, 2000).

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

여기서  $K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$ 는 직교좌표계의 주축과 투수계수의 주텐션방향이 동일한 경우 x,y,z 방향에서 투수계수이고 h는 지하수의 수두, W는 지하수의 공급원과 배출원,  $S_s$ 는 다공질포화매체의 비저류율계수, t는 경과시간이다.

식(1)은 대수층 시스템의 경계에서의 흐름이나 수두조건에 대한 설명, 그리고 초기수두조건에 대한 설명 외에도 지하수 유동시스템의 수학적 표현 등으로 구성되어진다. 정류상태의 수학적인 지하수모델은 특정 문제영역내에서 지하수유동을 묘사하는 지배식과 경계조건으로 이루어져 있으며, 모델의 해를 구하기 위해서는 해당계의 각 지점에서의 수두값을 계산해야 한다. 이 경우에 간단한 계산기법을 사용해서 간혹 수두를 공간좌표의 함수로 표현할 수도 있다. 이런 경우를 해석학적인 해라 한다.

그러나 식(1)의 해석적 해는 거의 불가능하므로 근사해를 얻기 위해서는 매우 다양한 수치적 기법들이 적용되어야만 한다. 그러한 기법 중의 하나가 유한차분법으로서, 식(1)로 묘사되는 연속시스템은 공간과 시간에서의 불연속 점들의 유한집합에 의해 교체되고 부분 도함수들은 이러한 점들의 수두값차로부터 계산된 항들로 교체된다. 이렇게 연속되게 표현된 선형 대수 차분방정식의 해는 특정 시간과 점에서의 수두값을 제공한다.

유한차분형식의 지하수 유동지배식은 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(2)와 같다.

$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta V \quad (2)$$

여기에서,  $Q_i$ 는 셀을 통한 유동률( $L^3 T^{-1}$ ),  $S_s$ 는 비저류계수,  $\Delta V$ 는 셀의 체적( $L^3$ ),  $\Delta h$ 는 시간간격의 길이가  $\Delta t$ 인 동안의 수두변화( $L^{-1}$ )이다.

## 3. 수치해석

현재 전 세계적으로 이용되고 있는 3차원 지하수 유동 수치 모델은 FEFLOW, PM, MS-VMS, GMS, GW-VISTAS 및 Visual MODFLOW와 같은 여러 가지 모델이 있으나, 현재 가장 범용되는 프로그램은 1983년 미국지질조사소의 Michael G. McDonald와 Arlen W. Harbough가 개발한 MODFLOW(Mcdonald와 Harboug, 1988)이다(한정상 등, 1999).

### 3.1 수치해석개요

#### 3.1.1 현장개요

시추조사를 통해 조사지역의 지층상태를 파악하고, 수위변화 및 수리 상수를 구하기 위한 대수층 시험공으로 이용하고자 실시하였다. 시추조사 결과, 조사지역의 지층분포 상태는 현 지표면으로부터 매립층, 퇴적층, 풍화대, 기반암 순으로 분포되어 있으며 이를 요약하면 표 1과 같다.

표 1. 시추조사 결과

항목 공번	표토(m)	퇴적층		풍화도	풍화암	기반암	계(m)
		실트	모래·자갈				
TB-1	2.0	-	-	1.1	6.4	1.5	11.0
TB-2	4.4	-	-	4.6	4.0	1.0	14.0
TB-3	2.8	11.0	3.4	1.3	-	1.0	19.5
TB-4	0.7	3.5	-	6.0	-	1.0	11.2
TB-5	0.6	2.8	-	4.0	-	6.6	14.0
TB-6	0.3	4.4	-	10.3	-	2.5	17.5
TB-7	0.8	1.0	3.4	10.6	-	1.4	17.2

#### 3.1.2 지하수위 관측

연구지역은 인천광역시 중구 덕교동과 남북동 일대로 연구지역의 위치와 연구 지역내에서 7개의 관측 정에서 지하수위를 계측하였다. 지하수위를 분기별로 조사결과가 표 2이며, 절토 전후의 지하수위 계측 결과는 표 3과 같다. 얻어진 오성산 절토전의 지하수위의 범위는 해수면 기준으로 5.15~16.6m로, 절토후는 5.05~16.47m로 나타났다. 관측정의 굴착깊이는 11.0m~19.5m로 굴착하였다.

일반적으로 지형의 고도와 지하수위 관계는 선형적인 비례관계로 나타난다(Hoeksema and Clapp, 1989; 정상용 등, 1999). 본 연구에서도 이러한 사실을 재확인 할 수 있었다(그림 1 참조).

장기관측결과 7개의 지하수위에서 관측된 절토전과 절토후의 지하수위는 전체적으로 하강하였으며, 절토전과 절토후의 지하수위는 EL.-0.10~-1.14m까지 강하하였다. 특히 오성산 절토에 따른 지하수위 변화가 큰 지점은 TB-2, 4, 6, 7호공으로 나타났다. 관측결과 오성산 절토에 의한 지하수위 변화는 고도가 높은 지하수 수위일수록 그 영향성은 적은 것으로 나타났다.

표 2. 지하수위 측정결과

구 분	공 번		TB-1	TB-2	TB-3	TB-4	TB-5	TB-6	TB-7
	지반고(m)		14.2	6.9	7.0	10.2	20.1	12.2	8.6
2003년	1차 (6.25)	(EL.+)	11.1	5.6	4.8	5.9	16.8	5.7	6.3
		(GL.-)	3.1	1.3	2.2	4.3	3.3	6.5	2.3
	2차 (8.29)	(EL.+)	11.5	5.9	5.5	7.1	16.8	7.2	6.9
		(GL.-)	2.7	1.0	1.5	3.1	3.3	4.9	1.7
	3차 (10.25)	(EL.+)	11.3	5.6	5.3	6.9	16.6	7.0	6.7
		(GL.-)	2.9	1.3	1.8	3.3	3.5	5.2	1.9
2004년	1차 (5.31)	(EL.+)	11.4	5.3	4.6	6.8	17.0	7.7	6.6
		(GL.-)	2.8	1.6	2.4	3.4	3.1	4.5	2.0
	2차 (10.28)	(EL.+)	11.5	5.5	5.3	6.6	16.3	6.6	6.4
		(GL.-)	2.7	1.4	1.7	3.6	3.7	5.6	2.2
2005년	1차	(GL.-)	11.0	5.5	5.3	4.3	16.5	6.1	6.2

	(2.23)	(EL.+)	3.3	1.4	1.7	5.9	3.6	6.1	2.4
	2차	(GL.-)	11.3	4.6	4.9	5.7	16.9	7.2	6.5
	(5.19)	(EL.+)	2.9	2.3	2.2	4.5	3.2	5.0	2.1
	3차	(GL.-)	11.6	5.6	5.3	6.2	16.9	6.5	6.7
	(8.3)	(EL.+)	2.6	1.3	1.7	4.0	3.3	5.8	2.0
	4차	(GL.-)	11.6	5.5	5.4	6.0	16.5	6.6	6.6
2006년	(11.3)	(EL.+)	2.6	1.4	1.7	4.2	3.6	5.7	2.1
	1차	(EL.+)	10.9	5.0	5.1	4.8	16.3	5.7	6.4
	(2.23)	(GL.-)	3.3	1.9	1.9	5.4	3.8	6.5	2.2
	2차	(EL.+)	11.7	4.8	5.0	6.2	16.9	6.1	6.5
	(5.11)	(GL.-)	2.5	2.1	2.0	4.0	3.2	6.1	2.1
	3차	(EL.+)	11.8	5.1	5.3	6.8	16.5	6.6	6.4
2007년 (절토 완료후)	(8.16)	(GL.-)	2.4	1.8	1.7	3.4	3.6	5.6	2.2
	4차	(EL.+)	10.6	4.9	5.2	5.6	16.0	5.8	6.0
	(10.31)	(GL.-)	3.2	2.0	1.8	4.6	4.1	6.4	2.6
	1차	(EL.+)	10.7	5.1	5.1	4.9	16.1	5.3	6.1
	(2.23)	(GL.-)	3.5	1.8	1.9	5.6	4.0	7.0	2.5
	2차	(EL.+)	11.1	5.3	4.6	4.4	16.5	6.5	5.4
	(5.21)	(GL.-)	3.1	1.6	2.5	5.8	3.6	7.5	3.2
	3차	(EL.+)	11.6	5.4	5.3	6	16.9	5.5	6.5
	(8.23)	(GL.-)	2.6	1.5	16.7	4.2	3.2	6.7	2.1
	4차	(EL.+)	11.2	5.1	5.2	5.2	16.4	6.1	6.3
	(11.15)	(GL.-)	3.0	1.8	1.8	5.0	3.7	6.1	2.3

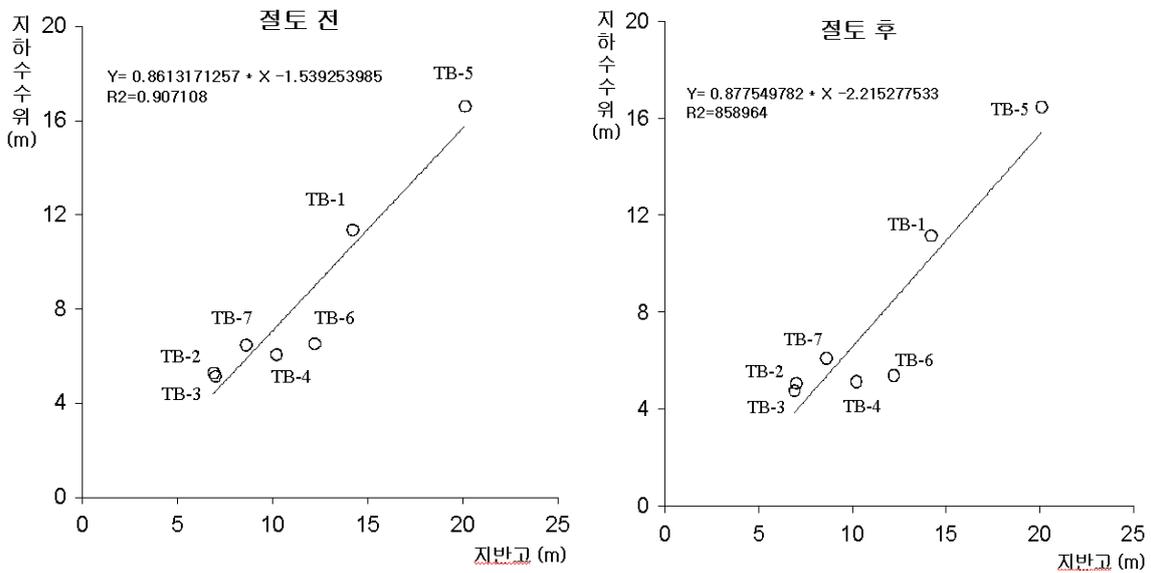


그림 1. 관측공의 해발고도와 지하수위의 관계

표 3. 연구지역 절토 전·후 지하수수위 변화

	TB-1	TB-2	TB-3	TB-4	TB-5	TB-6	TB-7
표고	14.2	6.9	7	10.2	20.1	12.2	8.6
절토전	11.36	5.29	5.15	6.06	16.60	6.52	6.47
절토후	11.16	4.74	5.05	5.12	16.47	5.38	6.08
수위차이	-0.20	-0.55	-0.10	-0.94	-0.13	-1.14	-0.39

### 3.1.3 양수시험과 순간충격시험을 통한 투수계수산정

지하수의 유동정도는 대수층의 투수성 즉, 투수계수(투수계수)에 의해 정량화될 수 있다. 연구대상지역 대수층의 투수계수를 구하기 위해 순간충격시험(slug test)와 양수시험(pumping test)방법으로 현장 시험이 수행되었다. 단일관정으로 실시되는 순간충격시험은 7개의 관측공에서 실시되었으며, 양수정과 관측공의 셋트로 수행되는 양수시험은 TB1 지점에서 실시되었다.

순간충격시험을 위해서 총길이 3m, 직경이 4cm인 stainless steel재질의 dummy를 제작하였으며, CTD-Diver를 이용하여 1초 단위로 수위 변화를 측정하였다. 관측된 수위변화 자료는 부분 관통 및 자유면 상태의 암반 대수층에서 적용가능한 Bouwer-Rice 의 해석식을 적용하여 투수계수를 계산하였다. 순간충격시험과 양수시험분석 결과 관측공에서 산출된 투수계수(K)값을 정리하면  $3.31 \times 10^{-4} \sim 3.30 \times 10^{-6}$  cm/s의 값을 나타낸다(표 4참조).

표 4. 순간충격시험과 양수시험을 통해 측정된 대수층의 투수계수

관측공 번호	투수계수(K) (단위 : cm/sec)	해석방법	대수층 암상
TB1	$3.31 \times 10^{-4}$	Pumping test(Theis)	미고결층
TB3	$3.28 \times 10^{-5}$	Slug test(Bouwer-Rice)	미고결층
2SM03	$1.90 \times 10^{-5}$	Slug test(Bouwer-Rice)	기반암
2SM07	$7.11 \times 10^{-6}$	Slug test(Bouwer-Rice)	기반암
2SM08	$2.95 \times 10^{-5}$	Slug test(Bouwer-Rice)	기반암
2SM11	$1.39 \times 10^{-5}$	Slug test(Bouwer-Rice)	기반암
2SM12-1	$1.70 \times 10^{-5}$	Slug test(Bouwer-Rice)	기반암
2SM12	$3.30 \times 10^{-6}$	Slug test(Bouwer-Rice)	기반암

### 3.2 해석 모델링

본 모델링은 유한차분방식으로 해를 구하는데 본 연구 지역에 사용된 격자의 수는 60×60(가로수×세로수)으로 구성되었으며 각 격자의 크기는 가로 49m, 세로 40m 이다(그림 2 참조).

연구지역은 수리지질학적으로 크게 충적층과 암반층으로 구성되어 있다. 충적층 지대는 대개 논밭으로 이용되고 있었으며, 주변을 오성산을 정상으로 하는 산악지대가 두르고 있었다. 따라서 1층은 충적층 지대와 암반 지대로 구분하였고, 충적층의 두께는 우리나라에서 보통 50 m를 넘지 못하므로 전체적인 대수층의 두께를 충분히 만들기 위하여 충적층 밑에 2층 암반층을 설정하였다. 그림에서와 같이 2층 기반암의 투수계수는 1층보다 100배 정도 낮게 설정되므로써 수리지질학적인 불투수층의 경계로 이용되었다.

모델링 영역의 좌우측 사면에는 수두종속경계(GHB)를 설치하여 산 정상 부분에서 함양된 지하수가 모델링 영역의 외부로 배출되게 하였다. 이 때 사용된 일차수두(General Head)는 표 6과 같은 표고값을 이용하였으며, 경계격자에서의 Conductance는 격자의 크기를 고려하여 입력하였는데 식(3)에 의해서 계산된다.

$$C = \frac{K \cdot A}{L} = \frac{K \cdot (w \cdot b)}{L} \quad (3)$$

- 여기서, C : Conductance
- K : 주변 대수층의 투수계수
- A : 한 격자의 면적
- L : 유동 방향의 격자 길이
- w : 유동 방향에 수직인 격자 너비
- b : 바닥층의 깊이

표 5. 입력변수와 적용된 값

입력변수	입력값	
투수계수 (Hydraulic conductivity)	1층 충적층	$1.8 \times 10^{-3}$ cm/sec
	1층 암반	$1.5 \times 10^{-5}$ cm/sec
	2층 충적층 밑 기반암	$9.0 \times 10^{-5}$ cm/sec
	2층 암반 밑 기반암	$1.0 \times 10^{-7}$ cm/sec
함양률	116 mm/year	
초기수두	5 m	

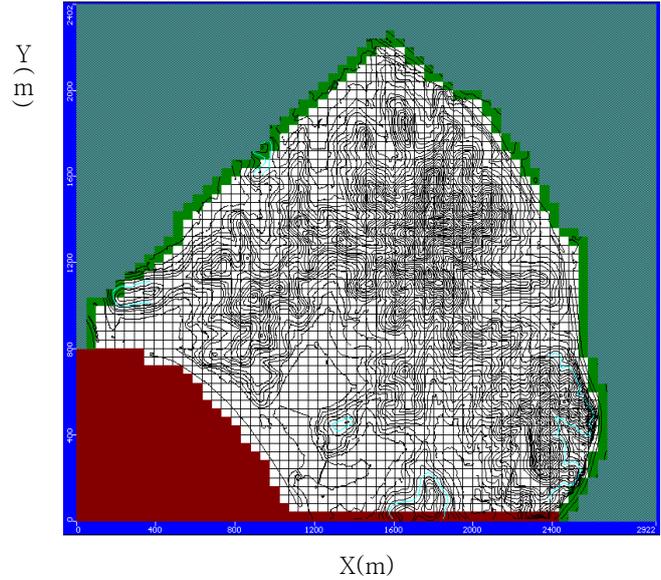


그림 2. 격자망 설정 및 경계조건

모델 영역의 좌측 하단부는 서해 바다와 접하여 있으므로 수위값을 0m으로 설정하였다. 바다, 호수 및 대하천 등은 지하수의 유입, 유출로 인해 수위가 변화하지 않는다는 전제 하에서 일정한 수두를 갖는 경계로 설정한다.

모사지역에 대한 보정은 총 14개 지점에서 관측된 지하수위를 이용하였다. 보정된 투수계수값은 표 7로 정리하였다.

표 6. 수두종속경계 설정자료

수두종속경계	일차수두(general head)	Conductance
좌측 GHB	2m ~ 10m	6.347756 m <sup>2</sup> /day
우측 GHB	1m ~ 5m	0.528768 m <sup>2</sup> /day

표 7. 보정 후 대수층의 투수계수(cm/sec)

압 상	$K_x$	$K_y$	$K_z$
1층 충적층	$1.8 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^{-5}$
1층 암반	$1.5 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-5}$
2층 충적층 밑 암반	$9.0 \times 10^{-5}$	$9.0 \times 10^{-5}$	$9.0 \times 10^{-5}$
2층 암반 밑 암반	$1.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-7}$

### 3.3 해석 결과

#### 3.3.1 지하수위도(potentiometric surface map)

현재 지하수위를 모사한 상태에서 나타난 지하수의 유동 방향은 그림 3에서 화살표로 표시된 부분과 같이 오성산 고지대로부터 함양되어 주변지역으로 방사상으로 확산되어 나가는 형상을 보인다.

현재 지하수위를 모사한 지하수 유동모델을 이용하여, 오성산을 50m 고도까지 절토한 후에 예상되는 지하수위의 분포는 다음 그림 3과 같다. 지하수위는 인위적으로 해발고도 50m 이상의 지형을 모두 제거하여 평평한 지형으로 변화시킨 후에 생성되는 지하수위이다.

또한 지하수위의 변화를 정량적으로 비교하기 위하여 7개의 관측점에서 관측한 자료와 이를 모사한 모델링 자료, 그리고 이 모델을 근거로 한 50m 절토 후의 지하수위 변화 예상값을 분석하였다(그림 4, 표 8 참조).

### 3.3.2 지하수 수위 변동 결과

관측된 절토 전과 후의 지하수위와 Modflow에 의한 수치해석값을 비교하여 표 8로 나타내었다. 수치해석결과와 보정값을 비교해보면 알 수 있듯이, OO산을 해발고도 50m까지 절토한 후에도 대부분의 마을 지역에서는 지하수위 변화는 크지 않을 것으로 예상되었다.

TB5 관측점이 위치하는 모사지역의 동북부 지역에서는 3.3 m정도의 지하수위 하강이 예상되었다. 그러나, 실제 절토완료 후 지하수위 관측결과 수위는 수치해석결과치보다 2.8m 상승되는 것으로 계측되었다. 이는 OO산 일대를 50m 고도까지 절토한 후에도 절토전과 동일한 상태의 강우가 지하로 함양된다는 조건이 내재되어 있으므로 이러한 결과가 도출된 것으로 검토되었다. 실제 관측정을 운용하여 조사한 결과 모든 공에서 2003년 6월 초기 관측시 보다 2007년 5월 관측시에 수위가 0.13~1.63m 수위가 강하된 것으로 관찰되었고 TB4에서 1.63m로 가장 많은 수위강하가 일어났다.

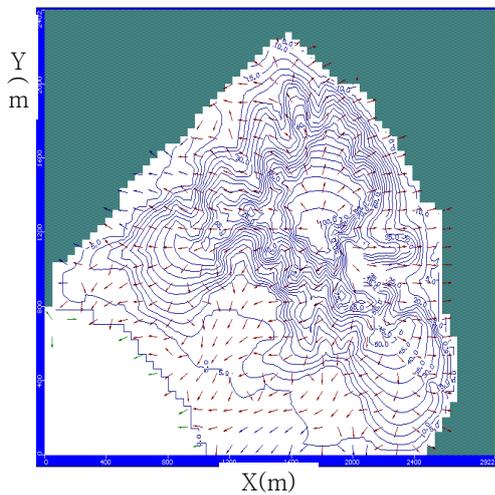


그림 3. 지하수 흐름도

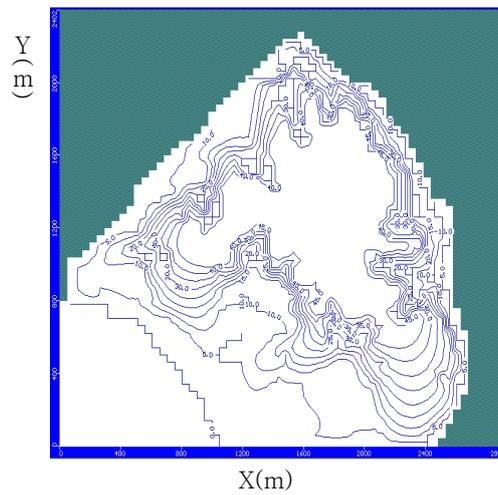


그림 4. 50m 고도까지 절토한 후의 지하수위 분포 예상

표 8. 절토전 지하수위와 절토 후의 지하수위 비교(m)

관측공	관측공 해발고도	지하수위 (m)	Stick-Up	관측값 (2006. 6)	보정값	수치해석결과	절토완료후 (2007. 5)
TB1	14.2	3.06	0.11	11.1	11.34	11.37	11.1
TB2	6.9	1.34	0.13	5.6	8.13	8.16	5.3
TB3	7	2.23	0.11	4.8	3.34	3.34	4.6
TB4	10.2	4.3	0.13	5.9	6.87	6.86	4.4
TB5	20.1	3.32	0.18	16.8	16.95	13.62	16.5
TB6	12.2	6.5	0.10	5.7	4.91	4.89	6.5
TB7	8.6	2.29	0.22	6.3	5.90	5.87	5.4

### 3.3.3 지하수 물수지 분석 결과

지하수 유동모델링의 결과로 나타난 모사지역의 물수지는 아래의 표와 같다. 물수지 분석 결과, 유입

량과 유출량의 오차는 0% 이므로 본 모델의 물수지는 평형을 이루고 있다. 그러나, 이는 모델링을 수행하는 과정에서 물수지가 평형을 이루는 시기를 steady-state condition 으로 설정하여 나타나는 결과이므로, 자연적으로 나타나는 지하수의 유입-유출 관계로 해석하면 정확하지 않을 수도 있다. 이 물수지 분석결과는 다만 오성산 절토 후 모든 수리지질학적 조건이 안정된 후의 1일 지하수의 유입과 유출을 지시하는 것이다. 따라서 절토가 진행되고 있는 시기나 또는 오성산 절토 후 지하수위가 안정화되는 시기에서는 이러한 물수지가 균형을 이루지 않을 수도 있다.

평형상태에서 이 모델이 지시하는 내용은 표 4.2와 같다. 연구대상지역 전체에서 지하수로 유입되는 물의 양은 1280.95 m<sup>3</sup>/day 이며 이 중 대부분은 강수에 의한 빗물이 함양되는 것으로서 1191.3573 m<sup>3</sup>/day (약 93%)이고, 그 다음은 수두종속경계(Head Dependent Boundary)를 통해서 유입되는 양으로 88.92 m<sup>3</sup>/day (약 7%)이다. 또한 본 모델 영역에 들어온 지하수는 다시 주변 수계로 739.8817 m<sup>3</sup>/day (약 58%) 의 양으로 빠져나가고, 바다로는 541.06 m<sup>3</sup>/day (약 42%)만큼 빠져나가는 것으로 나타났다.

절토 후 물수지에 의하면, 일일 함양량이 약 1,311 m<sup>3</sup>/day 으로 절토 전보다 약 30 m<sup>3</sup>/day 증가했다. 그 차이는 절토 전의 수두가 절토로 인해 내려가므로 주변 수계(Head Dependent Boundary)에서 모델 영역으로 들어오는 양이 증가하였기 때문에 발생한 것이다(89 m<sup>3</sup>/day에서 119 m<sup>3</sup>/day으로 증가).

표 9. 물수지 분석결과

	유입량 :	유출량 :
절 토 전	CONSTANT HEAD = 0.6735 HEAD DEP BOUNDS = 88.9153 RECHARGE = 1191.3573 TOTAL IN =1280.9460	CONSTANT HEAD = 541.0625 HEAD DEP BOUNDS = 739.8817 RECHARGE = 0.0000 TOTAL OUT = 1280.9441
		IN - OUT = 1.9531E-03 PERCENT DISCREPANCY = 0.00
절 토 후	CONSTANT HEAD = 0.6824 HEAD DEP BOUNDS = 118.5386 RECHARGE = 1191.3573 TOTAL IN = 1310.5782	CONSTANT HEAD = 540.7143 HEAD DEP BOUNDS = 769.8543 RECHARGE = 0.0000 TOTAL OUT = 1310.5686
		IN - OUT = 9.6436E-03 PERCENT DISCREPANCY = 0.00

#### 4. 결론

본 연구에서는 OO산 절토에 따른 OO산 및 주변지역의 지하수 변동을 모사하여 그 영향을 예측하고, 절토 완료후 계측값과 비교 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 지하수위를 2003~2007년에 분기별 동일시기에 관측하였고 각 관측공의 해발고도와 지하수위는 일반적으로 알려진 데로 선형관계가 있는 것으로 분석되었다. 즉, 지하수위가 등고선에 따라 비교적 일정하게 나타남을 보이고 있었으며 이로부터 모사지역에 대한 전반적인 지하수위 분포를 유추 해석할 수 있고 이러한 실제 지하수위 분포는 모델링 결과에서도 유사하게 나타났다.
- 2) OO산을 해발고도 50m까지 절토한 후에도 대부분의 관측공에서 지하수위 변화가 크지 않을것으로 예측되었다. 하지만 TB-5 관측정이 위치하는 모사지역의 동북부 지역에서는 3.3m 정도의 수위 강하가 예측되었다. 하지만, 실제 절토완료후의 수위는 모사값의 수위강하보다는 수위가 2.8m 상승되는 것으로 계측되었다. 이와 같은 모델링 결과는 MODFLOW Program 자체가 가지고 있는 제한성, 모사 결과를 보정하는 과정에서의 불확실성이 내재되어 있는 것으로 사료되며, 또한 OO산

일대를 50m 고도까지 절토한 후에도 절토전과 동일한 상태의 강우가 지하로 함양된다는 조건이 내재되어 있으므로 계측값과 다른 결과가 도출된 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 구태훈(2001), “집중호우시 발생하는 난지도 매립지내의 지하수 거동” 중앙대학교대학원 석사학위논문
2. 정상용, 유인걸, 윤명재, 권해우, 허선희 (1999), “불균질 이방성 대수층의 지하수 유동분석에 지구통계 기법의 응용” 지질공학회지, 9, 147-159
3. 한정상, 한찬 (1999), “3차원 지하수 모델과 응용”, 박영사
4. Hoeksema, R.J, Clapp, R.B., Thomas, A.L., Hunley, A.E., Farrow, N.D., and Dearstone, K.C. (1989), "Cokriging Model for Estimation of Water Table Elevation", *Water Resources Research*
5. McDonald, M, G. and Harbough, A, W. (1988a), *A modular three-dimensional finite difference flow model*, Techniques in Water Resource Investigations of the U. S. Geological Survey, Book 6.