

연구논문

MODFLOW를 이용한 도심지역 대형 건축물 신축에 따른 지하수 흐름 및 지하수위 변화예측에 관한 연구

박선환 · 장윤영 · 임형규

광운대학교 환경공학과

(2007년 4월 9일 접수, 2007년 7월 30일 승인)

Simulation of Flow Change and Level of Groundwater using MODFLOW Due to Large-size Building Construction in Metropolitan Area

Sun Hwan Park · Yoon Young Chang · Hyoung Gyu Rim

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University

(Manuscript received 9 April 2007; accepted 30 July 2007)

Abstract

In this study, the influence of the construction of a large sized building on the flow and level of groundwater in a metropolitan area was investigated with simulation model MODFLOW for a selected area located in Gangseo-gu, Seoul, where a large business center was scheduled to be built.

It was simulated that the groundwater level in the study area was suddenly lowered by the construction of a large building and groundwater in the surrounding area fast flowed into the study area. And even after the construction finished, the falling down of groundwater level consistently continued in some degree.

The flow state of groundwater appeared to be the same in both cases where a soil cement wall is applied and where it is not during the construction. But for the case of application of a soil cement wall as the amount of groundwater flowing into the study site became reduced, it was estimated that the time for underground watershed getting far away from the site was also reduced and the influence of a building construction on the surrounding groundwater became reduced.

Thus, it is deemed necessary that recharging the spilled ground water and rainfall into the construction area to lessen the abrupt change in flow and level of ground water should be considered in design of construction of a large sized building in a metropolitan area.

Key words : MODFLOW, groundwater, simulation, soil cement wall, metropolitan

1. 서론

최근 도심지역은 급증하는 대형 건축물 신축에 따른 불투수층의 면적 증가와 지면의 포장으로 인한 지하수 함양량의 감소, 상·하수도와 같은 인위적인 물의 공급과 배수 시스템 보급 및 그 과정에서 누수 등으로 인하여 지하수 및 지표수의 물수지 균형에 있어서 많은 변화가 발생하고 있다(김윤영 등, 1998).

대표적인 도심 집중지역인 서울시는 전체 면적의 70%이상 불투수토양포장도를 가진 지역이 전체면적의 48%를 차지하고 있으며, 2002년 서울시 지하수 자동측정망의 분석결과를 보면 영등포구, 금천구, 양천구, 강서구, 노원구 등이 지하수 수위 변화가 심한 지역으로 이는 지하철 공사, 대단위 아파트 단지 개발 및 스포츠 센터 건립 등이 주요 요인인 것으로 나타났다(조항문·심우배, 2003).

서울시의 연간 건축허가 건수는 1995년 17,688동에서 2005년 7,322동으로 축소되었으나 규모에 있어서는 1995년 1,072m²/동에서 2005년 3,289m²/동(서울특별시, 2006)으로 건축물의 대형화 현상이 진행되고 있음을 알 수 있으며, 이로 인해 지하굴착 심도의 증가에 따른 지하수 유출량 증가와 불투수 면적 증가에 따른 지하 침투유량의 감소로 주변지역의 지하수위 하강과 침투유량 및 총 유출량의 증가가 우려되고 있다.

현행 환경부의 “환경·교통·재해등에관한영향평가법”에서는 대형건축물의 경우 평가대상 사업에서 제외되어 있으나, 제주특별자치도 통합(환경·교통·재해) 영향평가조례(제2581호) 및 서울특별시 환경·교통·재해영향평가조례(제4313호)에서는 일정 규모 이상의 건축물에 대해서 환경영향평가를 실시토록 규정되어 있으며, 특히 서울시(서울특별시, 2005)에서는 지하개발에 따른 지하수위 및 지하수 흐름변화 예측 및 지하수위 유지에 대한 방안 제시를 요구하고 있다.

본 연구에서는 지하수위 변화가 심한 것으로 알려진 서울시 강서구 지역의 대형 건축물 신축에 따른 지하수 유출특성 및 지하수위 변화를 예측함으로써 향후 합리적 평가기법 수립에 도움을 주고자

본 연구를 수행하였다.

II. 연구범위 및 방법

1. 연구대상지 선정

대형 건축물 신축으로 인한 지하수 유출특성 및 주변 지하수위 변화를 정량적으로 파악하기 위하여 지하수위 변화가 심한 강서구 지역의 ○○○비즈니스센터 신축 현장 부지를 연구지역으로 선정하였으며, 연구지역의 건축규모는 표 1과 같이 부지면적 20,415.60m²에 지상 25층, 지하 3층 규모로 아파트형 공장을 건설하는 사업이다.

연구지역 주변은 그림 1과 같이 지하심도가 수십

표 1. 연구지역내 건축계획

구분	내용	비고
면적	- 20,415.60m ²	
건축면적	- 6,458.29m ²	
건축연면적	- 132,410.99m ² • 지상 : 95,223.16m ² • 지하 : 37,187.83m ²	
건축규모	- 지상25층/지하3층	
지하굴착 규모	- 굴착깊이 : GL-13.9m - 굴착면적 : 14,116m ²	



그림 1. 연구지역 주변 현황

m 이상인 대형 건축물들이 산재하고 있으며 남서쪽으로는 지하철 9호선 공사가 진행 중에 있어 선형의 지하수 배수구역(sink)으로 작용할 것으로 보이며, 북동쪽으로는 약 450m 떨어진 거리에 한강이 있어 연구지역 사이에 지하수 분수령이 존재할 것으로 예상된다.

2. 연구지역 주변 지하관정 및 수위 현황

연구지역 주변의 지하관정 및 지하수위 현황을 파악하기 위하여 정부(건설교통부, 2004, 환경부 2003, 2004) 및 민간 보고서(서울대 기초과학연구소, 2002)자료를 조사한 후 2006년 2월 16일 현장 조사를 실시하였으며, 조사방법은 출자에 추가 달려있고 추가 수면에 닿으면 부저가 울리는 방식으로 측정하는 수동수위측정기를 이용하여 지하수위를 조사하였다.

연구지역 주변의 지하관정은 그림 2와 같이 5개의 지하관정과 2개의 토질조사용 시추공이 있으며, 측정된 지하수위는 표 2와 같이 6.80m~30m이상으로 나타났다.

대양가스 충전소, 고려하이믹스, 부림철강공업에서 확인한 관정들은 현재 사용중인 관정으로서 양수에 의해서 지하수위 하강이 발생한 것으로 판단된다. 따라서 이 지역에서 측정한 지하수위 값들은 실제 자연 지하수위보다 더 낮은 것으로 판단된다.

특히 고려하이믹스(가양동 449-21번지)의 관정은 200mm 구경으로 80m 암반까지 굴착한 관정으로 하루 사용량이 177m³/일로 신고 되었고, 지하수를 취수하여 건축용 골재 세척, 선별 및 레미콘 제조 사용하므로 작업시간 동안 지속적으로 지하수



그림 2. 연구지역 주변 지하수관정 현황

를 이용하고 있다. 실제 해당업체의 현장조사시 지하수 사용량은 약 12m³/hr이었다.

대양 가스 충전소(가양동 449-13번지)는 굴착심도 100m의 심정을 설치하여 세차 및 일반 잡용수로 약 12m³/일을 연중 사용하고 있는 것으로 조사되었다. 현장에서 측정한 지하수위는 양수가 진행되고 있어 자연 지하수위보다 더 낮은 것으로 판단된다.

염창동 240번지 관정은 20m 층적층 관정으로서 지상펌프를 연결하여 생활용수로 사용된 것으로 현재는 사용하지 않고 있다. 현장에서 측정한 지하수위는 자연 지하수위와 같다.

부림철강공업(염창동 20-85)에 위치한 관정은

표 2. 지하수위 측정결과

위치(번지)	지하수위(m)	굴착심도(m)	지하수 사용량(m ³ /일)	비고
가양동 449-13	>30	100	12	대양가스 충전소
가양동 449-21	29	80	177	고려하이믹스
염창동 240	6.80	20	-	연구지역내
염창동 20-85	17.8	200	청소용으로 소규모사용	부림철강공업
등촌동 632-2	10.7	100	민방위 급수용	태영아파트
시추공 E-1	25.6	-	-	지하철9호선
시추공 E-2	23.9	-	-	지하철9호선

굴착심도 200m의 관정이지만 사용량은 극히 작은 것으로 나타났다. 여름에는 기타 잡용수로 비교적 많이 사용하지만 겨울에는 동파의 위험으로 거의 사용하지 않는다. 현장 방문시 적은 양이지만 장비 세척 및 잡용수로 사용하고 있었다.

태영아파트(등촌동 632-2번지)에 위치한 관정은 굴착심도 100m의 민방위 급수용으로 개발된 관정으로 평소에는 거의 사용하지 않으나 여름에만 간혹 청소용으로 사용하는 것으로 조사되었다.

지하철 9호선 공사장 주변에서 발견된 시추공 E-1, E-2는 관측용 관정으로 여기서 측정된 지하수위는 자연 지하수위로 판단된다.

III. 모델선정 및 입력조건

1. 모델선정

연구지역의 지하수 유동 모의를 위하여 3차원 유한 차분 지하수 유동 모델이 가능한 Visual Modflow Pro (ver. 3.0)을 사용하였다.

2. 모의영역 및 경계조건 설정

연구지역과 같은 도심지의 지하수는 강수량, 대기압, 조석 등에 의한 자연적인 변화요인과 함께 지하수 이용 및 상수도 누수, 각종 구조물 등에 의한 인위적인 변화요인에 지배되고 있어 예측이 매우

어려운 것으로 알려져 있다(김윤영 등, 1998).

따라서 도심지역의 지하수 모델링은 이러한 복잡한 요인 모두를 고려하는 것이 실제로 어려우므로 본 연구에서는 지하수 흐름 방향 및 유량 계산에 초점을 두고 모의영역은 그림 3과 같이 연구지역을 중심으로 남쪽으로 지하철 9호선과 북쪽으로 한강이 위치하도록 정북방향을 오른쪽으로 약 42° 회전시켜 680m×950m로 구성하였으며, 격자망은 5m×5m로 설정한 후 연구지역을 중심으로 2.5m×2.5m로 더욱 세분하였다.

모의 영역 경계조건은 남쪽에 위치한 지하철 노선을 지하수 배수경계(drain boundary)로 설정하고 지하철 노선 바깥쪽은 비활성격자로 지정하여 모델링의 효율성을 높였으며, 북쪽에 위치한 한강은 일정한 수두를 갖는 수체로 가정하여 일정수두 경계(constant head boundary)로 설정하였다.

3. 연구지역의 대수층 구성 및 수리상수

연구지역의 지층은 선캠브리아기(pre-cambrian) 변성암복합체인 호상흑운모편마암(banded biotite gneiss)으로 구성되어 있으며 부분적으로 규장암 및 석영맥 등이 관입되어 있고 지표에는 제4기 충적층이 부정합으로 피복되어 있으며(홍승호 등, 1982), 서울시 수리전도도 분포는 암질과 심도에 따라 $1.462 \times 10^{-3} \sim 2.256 \times 10^{-9} \text{cm/sec}$ 의 분포를 보



그림 3. 모의영역 경계조건 및 격자망 구성도

인다(김윤영 등, 1998).

연구지역의 시추조사 결과((주)하나디앤아이, 2005)를 보면, 상부로부터 매립토층, 퇴적층, 풍화토층, 풍화암층이 분포하고 있고, 지하수위는 퇴적토층과 풍화토층에 위치한다. 모델 구성에서 layer 설정은 그림 4와 같이 연구지역과 지하철이 풍화토층까지 개착되므로 1층을 지표에서 약 25m 심도까지 풍화토로, 2층을 풍화암으로 설정하였으며, 수리전도도는 표 3과 같이 현장투수시험결과와 문헌을 참고하고 모델보정을 통해 각각 입력하였다.



그림 4. 모의영역 내 수리상수 설정 모형

표 3. 모의에 사용된 수리상수

구분	층서 및 암상	수리전도도 (cm/sec) ¹⁾		비저류 계수 ²⁾	공극률 ³⁾
		K _x =K _y	K _z		
layer 1	풍화토	1.0×10 ⁻⁴	1.0×10 ⁻⁵	1.0×10 ⁻⁵	0.3
layer 2	풍화암	5.0×10 ⁻⁵	5.0×10 ⁻⁶	1.0×10 ⁻⁵	0.2

주) 1) Domenico and Schwartz(1990), (주)하나디앤아이(2005)

2) Anderson and Woessner(1992)

3) Domenico and Schwartz(1990)

4. 모델 보정

연구지역의 5개 시추공 지하수위 측정 자료와 주변 기존 지하관정 중 현재 사용되지 않는 E1, E2,

등촌동 632-2번지 태영아파트에서 측정한 지하수위 자료를 토대로 모델 보정을 실시하였다.

이마트 부근의 E-1과 E-2 지점의 거리는 약 1m로 모형의 격자 셀 간격인 2.5m 보다 작으므로 두 지점의 수위를 평균한 -15.825m를 입력하였다. 나머지 조사지점에서 측정된 지하수위는 현재 사용중인 관정이므로 정류상태의 모형보정시 제외하였다. 조사지역의 지하수위 심도는 6.0~25.69m 내외로 지하철 노선에 가까울수록 지하수위는 낮아지는 것으로 보이며 지하철 노선에서 멀어질수록 높게 나타났다. 모의영역의 함양률은 모형보정을 통해 90 mm/year로 입력하였다.

일반적으로 모델링의 보정은 Root Mean Square (RMS)(식 4a)와 Normalized RMS(식 4b)가 최소값이 되도록 하고, 물수지 분석 결과 불일치(discrepancy)가 ±1% 미만인 되도록 해야 한다(한정상, 1999).

$$\text{Root Mean Square (RMS)} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{\text{cal}} - X_{\text{obs}})_i^2} \quad (4a)$$

$$\text{Normalized RMS} = \frac{S}{(X_{\text{obs}})_{\text{max}} - (X_{\text{cal}})_{\text{min}}} \quad (4b)$$

여기서 X_{obs} = 현장 측정 수두값

X_{cal} = 모의 결과 수두값

본 연구에서는 모델보정 수행시 적절한 지하수계 모의를 위해 입력한 수리전도도와 지하철 9호선의 입력 조건인 배수경계(drain boundary)에 대한 민감도 분석을 함께 수행하였다.

수리전도도는 현장에서 측정된 수리전도도 범위 내에서 모형보정을 실시하기 위하여 연구지역 및 지하철 9호선이 위치한 풍화토의 수리전도도 1.0×10⁻⁴cm/sec를 25% 작게 입력한 경우와 25% 크게 입력한 경우에 대해 각각 민감도를 분석하였다.

모의 결과 표 5와 같이 수리전도도 7.5×10⁻⁵ cm/sec인 경우 Root Mean Square (RMS)와

표 4. 시추공 및 미사용 관정의 지하수위

시추공	BH1	BH2	BH3	BH4	BH5	E1	E2	등촌동 632-2
지하수위(m BGL ^{a)})	10.3	7.7	6.6	6.1	6.0	25.6	23.9	10.7
지하수위(m MSL ^{b)})	-1.3	1.3	2.4	2.9	3.0	-16.6	-14.9	-1.70

a) Below Ground Level

b) Mean Sea Level

Normalized RMS가 1.0×10^{-4} cm/sec인 경우보다 작게 분석되었지만 전반적인 물수지의 불일치가 매우 커졌으며 연구지역내의 전반적인 수두구배도 크게 나타났고, 수리전도도가 1.25×10^{-4} cm/sec인 경우는 물수지의 불일치뿐만 아니라 수위 분포도 현장 관측수위보다 현저히 낮게 예측되어 모형 보정 결과 연구지역의 수리전도도로 1.0×10^{-4} cm/sec가 적절한 것으로 판단된다

또한 본 모형은 수리전도도의 민감도가 매우 크게 분석되어 수리전도도가 클수록 지하철구간으로 유출되는 유출수량은 커지고, 지하철에 의한 영향권이 한강까지 확대되는 것으로 나타났다. 수리전도도가 작을수록 지하철에 의한 지하수계 영향권은 지하철 구간으로 국한되나 조사부지내의 수두구배차가 매우 크게 나타나 현재의 지하수계를 적절히 반영하지 못하였다.

또한 지하철 노선에 설정된 배수경계 전도도 (conductance)에 따른 민감도 분석결과 표 6과 같이 $0.1 \text{ m}^2/\text{day}$ 를 제외한 나머지 1, 10, 100, $1000 \text{ m}^2/\text{day}$ 의 경우에 지하철 구간으로 배출되는 지하수 유출수량이 약 $85 \text{ m}^3/\text{day}$ 로 유사하게 나타났으

나, 배수경계의 전도도가 $10 \text{ m}^2/\text{day}$ 인 경우에 RMS와 Normalized RMS가 최소값을 나타냈고 물수지 분석 결과 불일치(discrepancy)도 $\pm 1\%$ 미만인 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 지하철 9호선의 배수경계 전도도를 $10 \text{ m}^2/\text{day}$ 로 설정하여 모의를 수행하였다.

모형보정 후 계산된 지하수위와 물수지 분석결과와 실제 값의 비교결과는 그림 5와 같다.

정류상태의 물수지 분석결과 표 7과 같이 연구지역 북측의 증산을 중심으로 지하수 함양이 이루어져 총 유입되는 지하수 함양량은 $116.10 \text{ m}^3/\text{day}$ 이고, 유입된 지하수는 지하철 9호선과 한강으로 유출되며 이 때 총 유출량은 $116.93 \text{ m}^3/\text{day}$ 이다. 전체 물수지 차이는 -0.72% 로 나타났다.

III. 예측결과 및 고찰

1. 지하수 유동현황분석

1) 현재 상태의 지하수 유동 모의 결과

모형 보정을 통해 지하수 정류 상태를 모의한 결과,

표 5. 수리전도도의 민감도 분석 결과

풍화토의 수리전도도 $K_x=K_y$ (cm/sec)		7.5×10^{-5}	1.0×10^{-4}	1.25×10^{-4}
지하철 노선으로 유출량(m^3/day)		82.9	89.4	117
불일치 (%)		1.12	-0.72	-3.08
RMS (m)		1.80	1.87	3.51
Normalized RMS (%)		9.57	9.95	18.6
모의계산수위(m)	BH-1 (현장: -1.3 m)	-1.61	-2.49	-4.91
	BH-3 (현장: 2.4 m)	2.34	1.38	-1.31
	BH-5 (현장: 3.0 m)	4.25	3.31	0.67

표 6. 배수경계 전도도의 민감도 분석 결과

배수경계 전도도 (m^2/day)		0.1	1	10	100
지하철 노선으로 유출량 (m^3/day)		83.7	89.1	89.4	89.6
불일치(%)		0.73	-1.04	-0.72	-1.18
RMS(m)		2.64	1.85	1.87	1.87
Normalized RMS(%)		14.0	9.80	9.95	9.91
모의계산수위(m)	BH-1 (현장: -1.3 m)	-1.44	-2.39	-2.49	-2.48
	BH-3(현장: 2.4 m)	2.22	1.50	1.38	1.42
	BH-5(현장: 3.0 m)	4.01	3.41	3.31	3.35

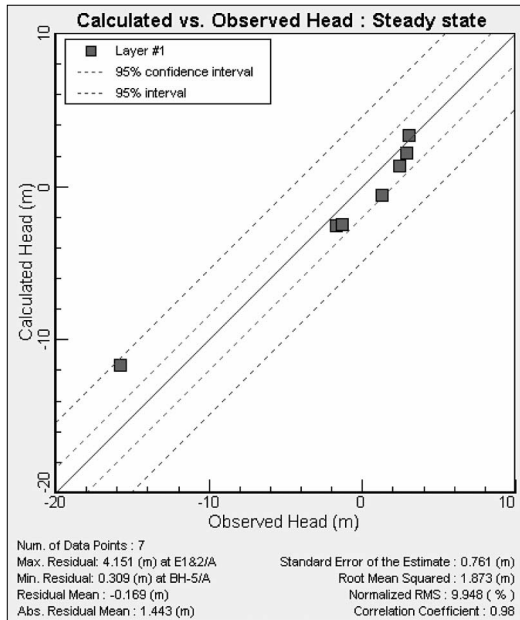


그림 5. 모델 보정 후 지하수위의 측정값과 모의 계산값의 비교

표 7. 정류상태의 물수지 분석 결과

구 분	유입량	유출량
함양량(m ³ /d)	116.0	0.00
일정수두경계(m ³ /d)	0.00	27.4
배수경계(m ³ /d)	0.00	89.4
합 계(m ³ /d)	116.0	116.8
유입 - 유출량(m ³ /d)	-0.84	
불일치(discrepancy)(%)	-0.72	

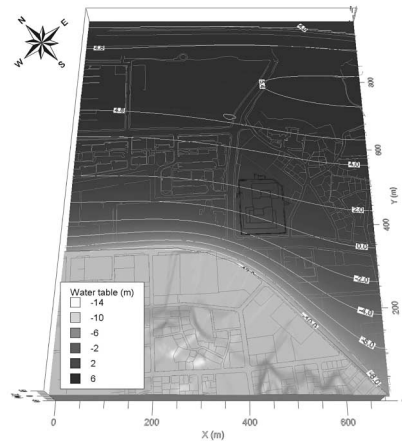
그림 6과 같이 연구지역으로부터 북동쪽으로 약 250m 떨어진 증산에서 지하수 분수령이 형성되어 지하수 흐름은 분수령 아래로는 지하철 9호선으로, 분수령 위로는 한강을 향해 흐르는 것으로 모의되었다

지하철 노선에 가까워질수록 지하수위의 수두구배차가 커져 지하수 유속 역시 빠르게 분석되었다.

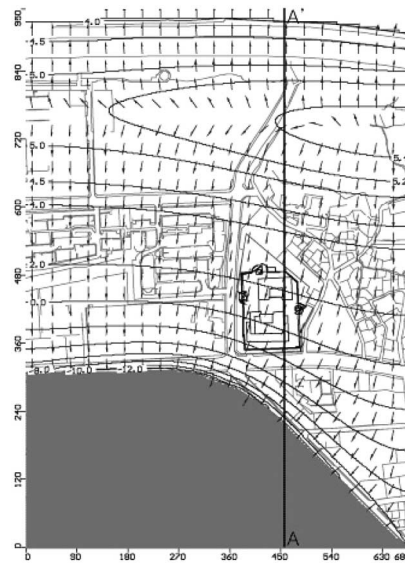
연구지역내의 지하수 흐름은 북동에서 남서 방향으로 나타났으며, 지하수 유속 역시 지하철 구간에서 가까울수록 빠르게 나타났다.

2) 연중 지하수위 변화 예측

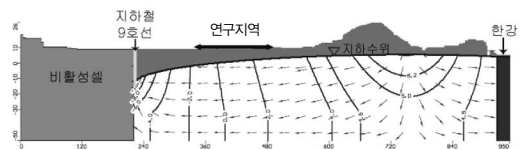
모의 기간을 기준으로 서울시의 연평균 강수량은 1,344.3mm (<http://www.kma.go.kr/intro.html>)로 모델보정시 연평균강수량의 약 6.7%인 90mm/



지하수위 분포



지하수 흐름 방향



AA' 단면에서 지하수위 분포 및 지하수 흐름 방향

그림 6. 정류 상태의 지하수위 분포 및 지하수 흐름 방향

yr를 함양율로 입력하였다.

서울시의 연중 지하수위 변화는 전반적으로 집중 강수기간(7월~8월) 이후 약 한달 정도 경과하여 지하수위가 상승하나, 주변의 인위적 활동(상하수도 누수, 양수, 굴착 및 기타 건설 활동 등)에 의한 영향

을 받는 지역에서는 지하수위가 연중 감소하거나 증가하는 것으로 알려져 있어(서울대 기초과학연구소, 2002) 본 모의에서는 이러한 인위적 활동을 모두 반영할 수 없는 관계로 자연적인 조건인 지하수 함양율(강수량)만을 고려한 부정류 모의를 수행하였다.

본 모의에서는 우기인 7~8월에는 지하수위가 상승하고 우기가 시작되기 전인 5월까지 지하수위가 계속 하강하며 이러한 패턴이 매년 일정하게 유지되도록 모의하기 위하여 모델의 지하수 함양율을 건기1, 우기, 건기 2로 나누어 입력하였고, 현장 지하수 조사 기간이 8월인 점을 감안하여 우기를 초기 수두로 설정하여 부정류 모의를 수행하였다.

함양량 변화에 따른 지하수위 변화는 일반적으로 수리전도도에 민감하여, 수리전도도가 클수록 함양량 변화에 의한 지하수위 변화는 크게 나타나지 않는다. 연구지역 역시 최상부층인 풍화토의 수리전도도가 $1 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 로 비교적 큰 값을 나타내어 함양량 변화만을 고려한 부정류 해석시 연중 지하수위 변화는 크게 나타나지 않았다. 부정류 모의 결과 그림 7과 같이 연구지역내의 연중 지하수위 변화량은 약 0.5m 이내로 나타났다.

2. 대형건축물 공사시 지하수 유동 변화 예측

1) 건축공사시 지하수 유동 모의

연구지역의 대형건축물 건축시 지하수 유동을 모의하기 위하여 흙막이 공법을 시행하지 않았을 경

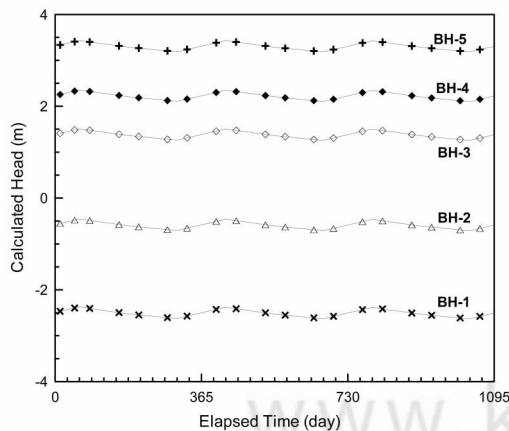


그림 7. 연구지역내 연중 지하수위 변화

우와 흙막이공법인 S.C.W(Soil Cement Wall)을 시행했을 경우에 대해 연구지역 일대의 지하수 유동을 모의하였다.

지하굴착 규모는 지표에서 약 13.9m를 개착하게 되므로 흙막이 공법전에는 그림 8과 같이 건물 위치에 배수경계(drain boundary)를 설정하고 배수경계의 전도도는 $10 \text{m}^2/\text{day}$ 로 가정하여 입력하였으며, 흙막이 공법 후에는 배수경계 가장자리를 따라 벽체경계(wall boundary)를 풍화암 깊이까지 설치한다고 가정한 후 흙막이 공사로 인한 벽체경계의 수리전도도는 $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 로 입력하고 배수경계의 전도도는 흙막이 공법 적용전과 동일하게 입력하였다.

연구지역의 대형 건축물 건축시 지하수 유동 모의를 수행한 결과, 지하수 흐름 및 방향은 그림 9와 10과 같이 개착 공사시 건축물 자리의 지하수위가 급격히 감소하며, 개착 부지내로 지하수가 빠르게 유입되는 것으로 나타났으며, 연구지역이 지하수 배수구역이 되면서 연구지역과 지하철 9호선 사이에 지하수 흐름방향이 양분되는 지하수분수령이 형성되고 있다.

개착완료후 건축물의 안정성을 위해 부지 내로 유입되는 지하수 유출량을 모두 배수할 경우 시간에 따른 지하수 흐름을 살펴보면 그림 11과 같이 시간이 경과할수록 지하수위는 지속적으로 하강할 것이며, 지하철 9호선 개착 깊이가 부지의 개착 깊이 보다 높은 곳에서는 지하철 노선에서 부지내로의 지하수 흐름이 발생할 수도 있다. 또한 연구지역과 한강 사이에 형성되는 지하수 분수령도 시간이 경과함에 따라 지하굴착에 의한 지하수위 강하구역이 확대되면서 점차 북동쪽(한강방향)으로 이동하는 것으로 나타났다.

흙막이 공법을 적용하지 않았을 경우와 적용할 경우의 지하수 흐름은 동일한것으로 나타났으나, 흙막이 공법을 적용할 경우 부지내로 유입되는 지하수량이 줄어들게 되므로 지하수 분수령이 부지에서 양방향으로 멀어지는 시간이 줄어들 것으로 예측되었다. 모의 결과 연구지역 건축물 개착 공사 완



그림 8. 모의 영역내 연구지역 경계조건 설정

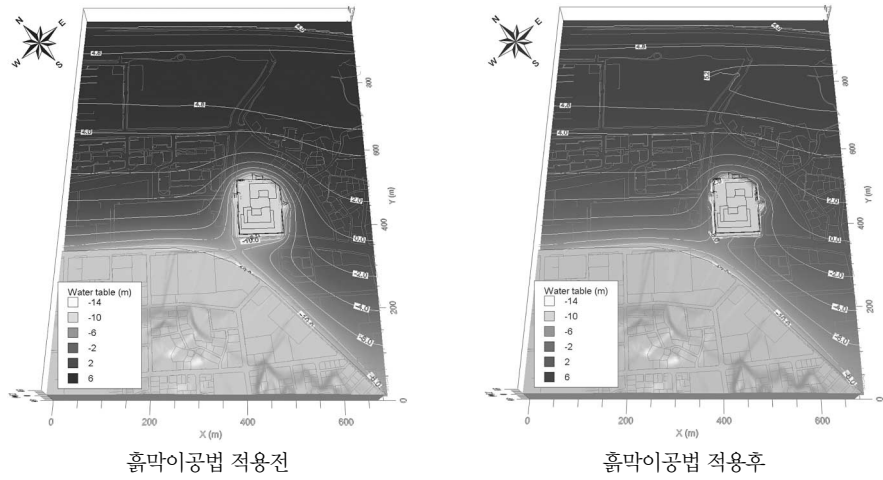


그림 9. 개착완료시 지하수위 분포

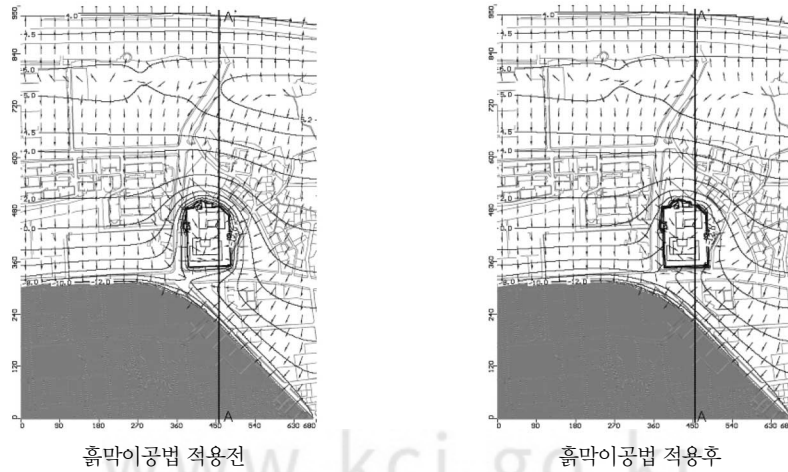


그림 10. 개착완료시 지하수 흐름방향

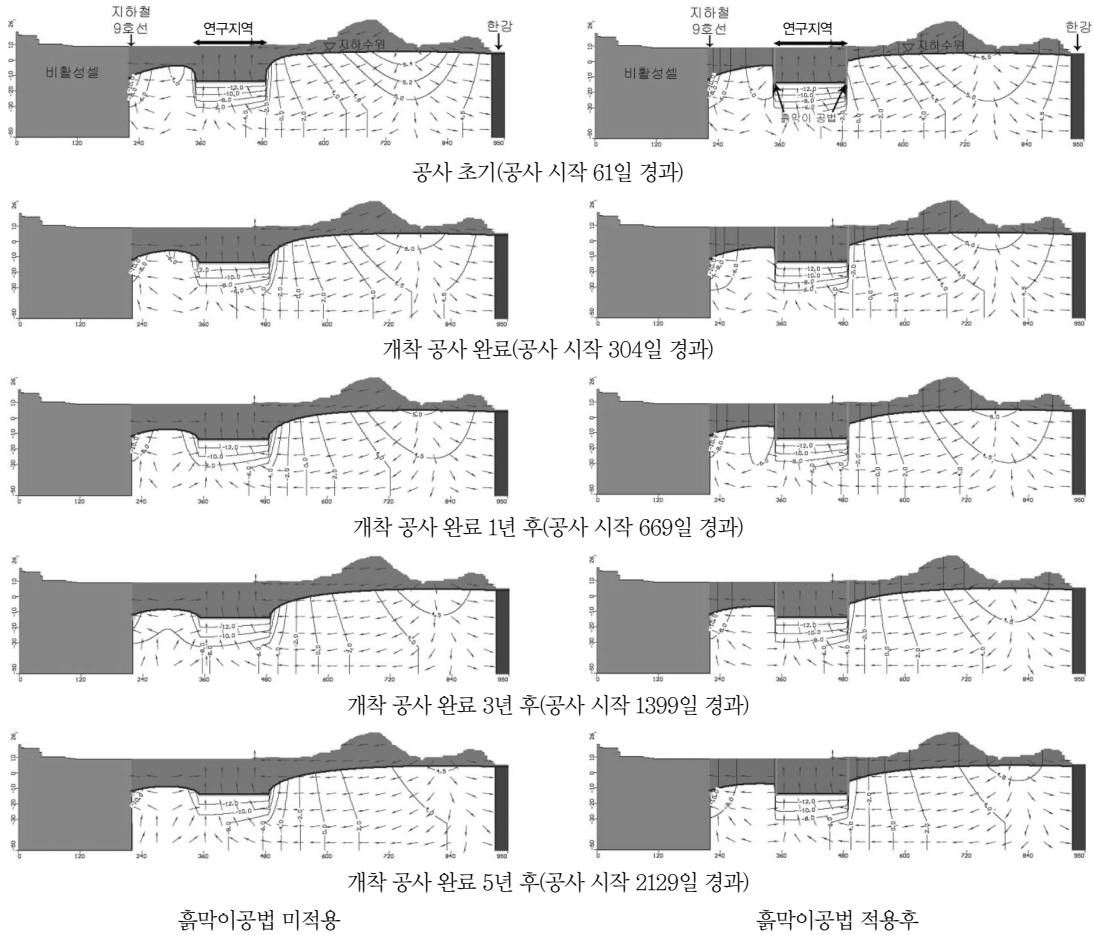


그림 11. AA' 단면에서 지하수위 분포 및 지하수 흐름 방향

로 5년 후에 지하철 방향으로의 분수령은 흠막이 공법을 수행하지 않은 경우 부지에서 약 60m까지 이동하나 흠막이 공법을 수행한 경우 부지에서 약 30m로 나타났다. 또한, 한강방향으로의 분수령은 개착 공사 이전에는 부지에서 약 250m, 흠막이 공법을 수행하지 않은 경우에 약 320m, 흠막이 공법을 수행한 경우 약 290m로 예측되어 흠막이 공법을 수행한 후 개착 공사를 진행하는 것이 주변 지하수계에 영향을 덜 미치는 것으로 판단된다.

연구지역내 대형 건축물 건축시 부지내의 지하수위 변화를 살펴보면 표 8, 그림 12와 같이 개착 구간에 위치한 시추공 BH-3은 공사 시작함과 동시에 개착 심도인 -13.9m로 강하하여 지속적으로 유지되며, 개착 부지 주변에 위치하는 시추공 BH-1,

BH-2, BH-4, BH-5는 공사가 진행되면서 지하수위는 급격히 강하하며 개착 공사 완료 후에는 지하수위 강하도 점차 둔화될 것으로 예측되었다

부지내의 지하수위 강하량은 개착부지에 가까울수록 지하수위 강하가 크게 나타났으며, 지하철 노선과 가장 가까운 시추공 BH-1과 BH-2 지점은 지하철 구간의 영향을 받아 시추공 BH-4와 BH-5 지점보다도 지하수위 강하가 더욱 둔화되는 것으로 나타났으며, 흠막이공법 미적용시와 적용시를 비교하면 흠막이 공법을 적용할 경우 지하수위 강하량이 약 1.20~3.65m 줄어드는 것으로 나타났다

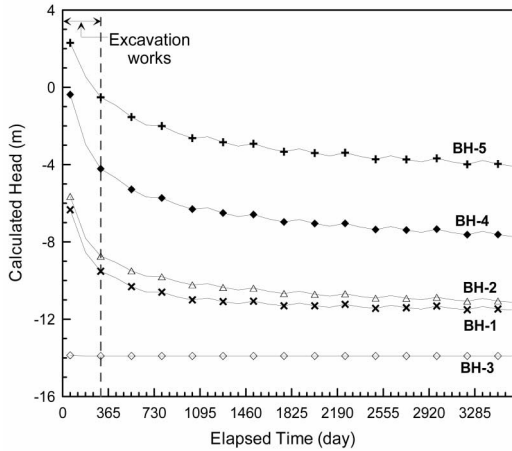
2) 건축공사시 지하수 영향범위

연구지역내 대형건축물의 개착 공사로 인하여 지하

표 8. 흠막이 공사 시행 전 후 개착 공사에 따른 부지내 지하수위 강하량

개착 공사		구 분	BH-1(m)	BH-2(m)	BH-3(m)	BH-4(m)	BH-5(m)
진 행 도	경과시간						
완 료	304일	적용전	7.02	8.16	15.28	6.44	3.83
		적용후	3.38	4.51	15.28	4.28	2.63
완료 1년 후	669일	적용전	8.11	9.20	15.28	7.91	5.27
		적용후	4.53	5.53	15.28	5.64	3.82
완료 3년 후	1,399일	적용전	8.70	9.90	15.28	8.92	6.35
		적용후	5.44	6.45	15.28	6.69	4.83
완료 5년 후	2,129일	적용전	8.89	10.22	15.28	9.42	6.86
		적용후	5.80	6.93	15.28	7.24	5.33

(a) 흠막이공법 적용전



(b) 흠막이공법 적용후

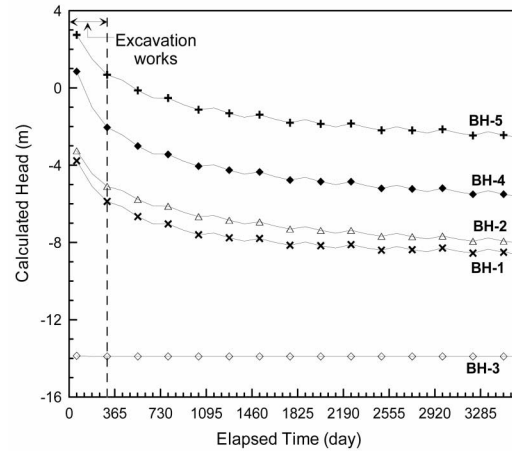


그림 12. 개착에 따른 연구지역내 지하수위 변화

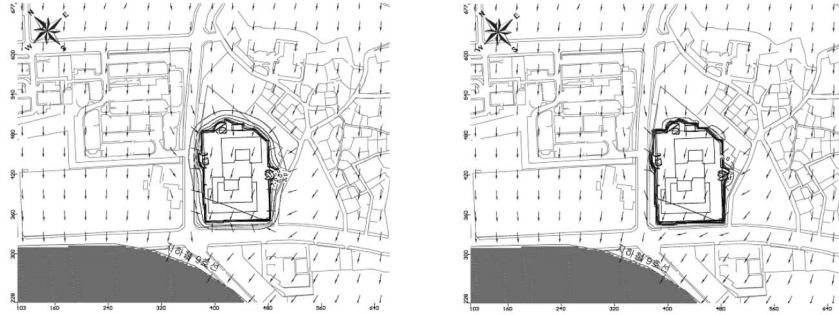
수위 강하량이 3m 이상 일어날 것으로 예측되는 지하수 영향범위를 흠막이 공법 미적용시와 적용시로 나누어 예측하면 그림 13과 같이 개착초기에 약 15m와 벽면 주변에 한정되며, 개착 공사가 완료된 시점에는 약 42m와 약 30m, 공사 완료 3년 후에는 최대 약 100m와 75m로 나타나 흠막이 공법 적용후 영향범위가 약 12~25m 축소되는 것으로 나타났다.

대체로 지하철 구간 영향으로 연구지역 남쪽의 지하철 구간 방향보다는 북쪽의 한강방향으로 지하수 영향범위 구간이 더 크게 예측되었다. 개착 공사 완료 5년 후에는 지하수 영향범위가 남서방향으로 크게 확대되는 것처럼 모의되었으나 이는 모델 구성시 경계 설정에 의한 영향으로 실제 영향범위 보다 과대평가(over estimation)된 것으로 판단되며, 5년 후 지하수 영향범위는 개착 공사 벽면에서 약

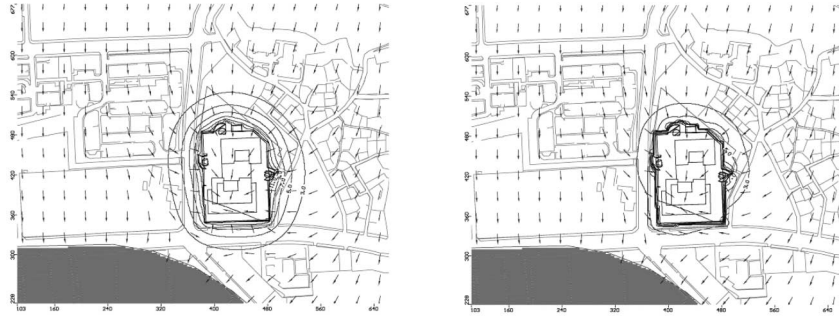
100~120m로 예측되었다.

3) 인근지역에 미치는 영향

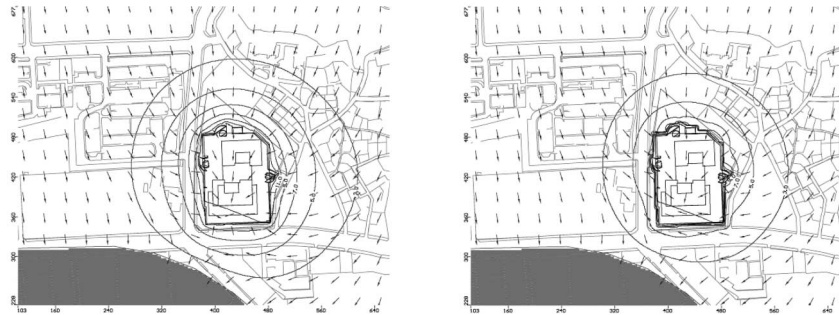
흠막이공법 적용전과 후에 대해 주변 지하관정에 미치는 영향을 살펴보면 그림 14, 그림 15와 같이 흠막이 공법 적용전 연구지역에서 북동쪽으로 약 50m 떨어진 지점에 위치한 염창동 240번지의 관정은 개착 공사 완료시, 연구지역에서 동쪽으로 약 50m 떨어진 지점에 위치한 염창동 20-9번지 관정은 개착 공사 완료 1년 이내에 약 3m까지 지하수위가 강하하고, 흠막이 공법을 적용한 후에는 지하수위 강하구역이 더 좁고, 주변 관정에서의 지하수위 강하량도 더 작게 나타나 염창동 240번지와 염창동 20-9번지 관정(현재 폐공 추정)에서 지하개착 초기에 지하수위가 급격히 하강하는 것으로 나타났



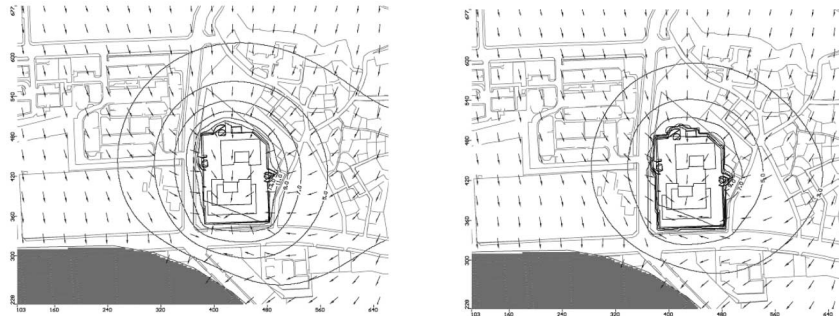
공사 초기(공사 시작 61일 경과)



개착 공사 완료(공사 시작 304일 경과)



개착 공사 완료 3년 후(공사 시작 1399일 경과)

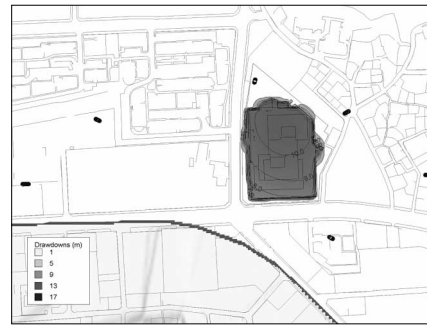
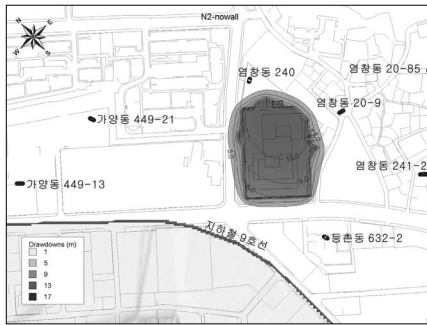


개착 공사 완료 5년 후(공사 시작 2129일 경과)

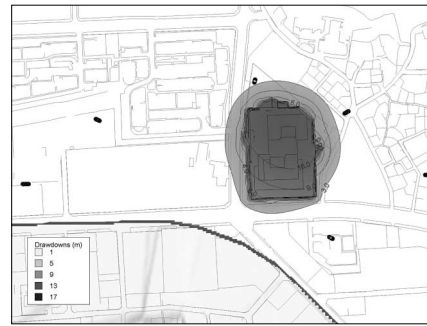
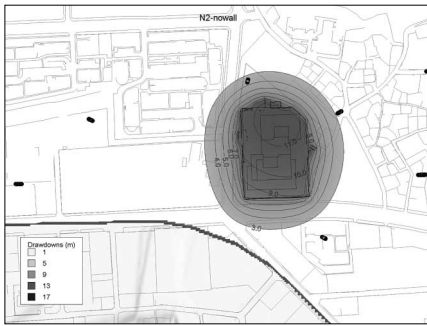
흙막이공법 적용전

흙막이공법 적용후

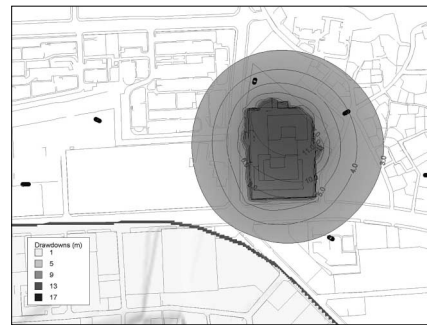
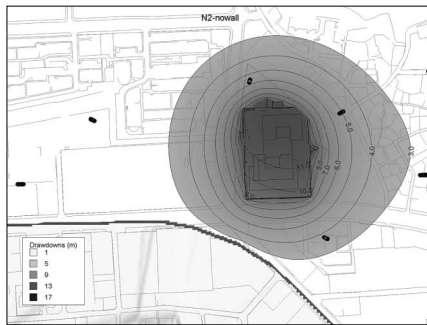
그림 13. 연구지역 건물 신축에 따른 지하수 영향범위



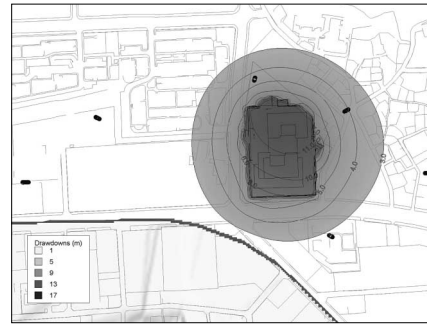
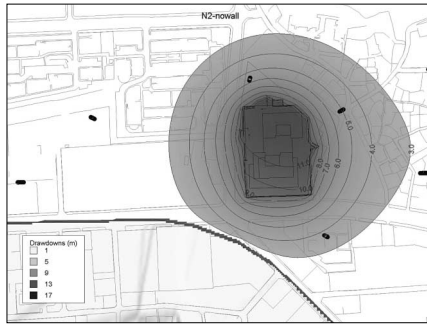
공사 초기 (공사 시작 61일 경과)



개착 공사 완료



공사 완료 1년 후



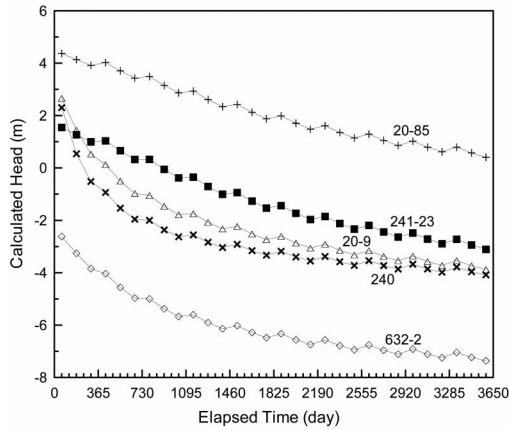
공사 완료 3년 후

흙막이 공법 미적용시

흙막이 공법 적용시

그림 14. 연구지역 건축에 따른 지하수 영향범위

(a) 흠막이공법 적용전



(b) 흠막이공법 적용후

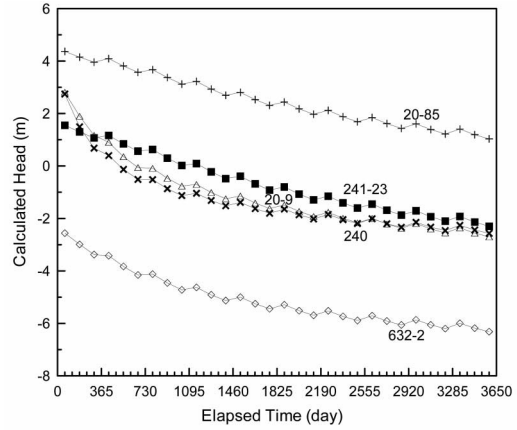


그림 15. 연구지역 주변 사용관정에서의 지하수위 변화

며, 그 외 관정에서는 공사가 진행됨에 따라 지하수위 강하가 서서히 일어날 것으로 예측되어 건축물 설계시 우수 및 지하 유출수를 지반으로 함양할 수 있는 설계기법 도입이 필요한 것으로 사료된다.

IV. 토의 및 결론

본 연구는 최근 지하철공사, 대단위 아파트단지 개발 및 스포츠센터 건립 등에 의해 지하수 수위 변화가 심한 서울시 강서구의 대형 건축물 신축지역을 연구지역을 설정하고 MODFLOW 모델을 이용하여 대형 건축물 신축에 따른 지하수 흐름 및 지하수위 변화에 대한 영향을 예측한 결과 다음과 같은 결론과 향후 연구가 필요한 것으로 나타났다.

1. 본 연구지역 대형 건축물 개착 공사시 건축 지점의 지하수위가 급격히 감소함과 동시에 개착 부지내로 지하수가 빠르게 유입되었으며, 개착 공사가 완료된 후에도 부지 내로 유입되는 지하수를 모두 배수하는 과정에서 지하수위는 지속적으로 하강하는 것으로 분석되었다.

2. 건축물 신축과정에서 흠막이 공법을 적용하지 않았을 경우와 적용할 경우의 지하수 흐름은 동일하게 나타났으나, 흠막이 공법을 적용할 경우 부지내로 유입되는 지하수량이 줄어드는 것으로 나타났으며 이에 따라 지하수 분수량이 부지에서 멀어지

는 시간도 줄어들어 주변 지하수계에 미치는 영향이 적게 나타남을 알 수 있었다.

3. 흠막이공법 적용전과 후에 대해 주변 지하관정에 미치는 영향을 검토한 결과 연구지역에서 북동쪽으로 약 50m 떨어진 지점의 관정은 개착공사 완료시, 연구지역 동쪽으로 약 50m 떨어진 지점의 관정은 개착공사 완료 1년 이내에 약 3m까지 지하수위가 하강하고, 흠막이 공법을 적용한 후에는 지하수위 강하구역이 더 좁고, 주변 관정에서의 지하수위 강하량도 더 작게 나타나 지하수 유입을 최소화 할수 있는 흠막이 공법의 개발과 아울러 설계시 우수 및 지하 유출수를 지반으로 함양할 수 있는 기법 도입이 필요한 것으로 사료된다.

4. MODFLOW 모델의 모의 경계조건시 연구지역을 중심으로 남쪽의 지하철 9호선 노선을 배수경계로 설정하고 지하철 노선 바깥쪽은 비활성격자로 지정하였으며, 북쪽에 위치한 한강은 일정한 수두를 갖는 수체로 가정하여 일정수두경계로 설정하였으나, 도심지역의 투수 및 불투수성 지표에 따른 지하수 함양과 한강의 수위 변화 등에 따른 지하수 흐름 변화를 감안하지 못해 향후 이에 대한 연구가 필요하다.

5. MODFLOW 모델 입력변수중 수리전도도를 제외한 비저류계수, 공극률에 대해 문헌조사를 이용하였으나, 토질조사 및 환경영향평가 과정에서 이들

변수에 대한 실측조사가 반드시 추가되어야 하며, 다양한 흠막이 공법의 벽체에 대한 수리전도도에 대한 연구가 진행될 경우 지하수 흐름 및 수위변화에 대한 정확도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 환경부의 환경기술인력양성 지원사업으로 지원되었으며, 논문 작성에 도움을 주신 (주)지오그린21의 최미정과장님과 (주)하나디앤아이에 감사드립니다.

참고문헌

건설교통부, 2004, 지하수 개발·이용 실태조사.
 김윤영, 이강근, 성익환, 1998, 서울지역 지하수 시스템 조사: 수리적 특성 분석, 지질공학회지, 8(1), 73-58.
 서울특별시, 2006, 서울시 통계연보.
 서울특별시, 2005, 건축물 환경영향평가 항목 및 심의기준(건축물 환경영향평가서 초안 작성 지침)고시.

서울대 기초과학연구소, 2002, 서울특별시 지하수 관측망 설치 및 운영.
 조항문, 심우배, 2003, 서울시 도시하천의 비홍수기 수리·수문특성 기초조사연구 : 정릉천 사례로, 서울시정개발연구원.
 (주)하나디앤아이, 2005, 염창동 비즈니스센터 신축 사업 토질조사보고서.
 홍승호, 이병주, 황상기, 1982, 한국지질도, 서울도폭, 1:50,000, 한국동력자원연구소.
 한정상, 1999, 3차원 지하수모델과 응용, 1390p.
 환경부, 2003, 지하수 수질측정망 운영결과.
 환경부, 2004, 지하수 수질측정망 운영결과.
 Anderson, M. P. and Woessner, W. W., 1992, Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport, Academic Press Inc., UK, 381p.
 Domenico, P. A. and Schwartz, F. W., 1990, Physical and Chemical Hydrogeology, John Wiley and Sons Ltd., NY, 824p.
<http://www.kma.go.kr/intro.html>

최종원고채택 07. 08. 06