도시지역의 지하수 유동 분석

Groundwater Flow Analysis in an Urban Area

배상근*, 이승현**

Sang Keun Bae, Seung Hyun Lee

요 지

도시지역은 수자원 공급의 문제를 해결하기 위해서 많은 노력이 이루어지고 있으나 최근 기상이변과 같은 문제점들로 인하여 용수 공급이 안정적이지 못한 실정이다. 기후적 영향을 적게 받는 지하수의 경우는 비교적 지속적이고 안정적인 수자원으로 많이 이용되고 있으나 이 또한 관리적인 측면의 여러 가지 문제점으로 인하여 어려움을 겪고 있다. 특히 도시지역은 지하수이용량이 많아 지하수개발에 대한 명확한 체계가 이루어지지 않으면 과잉양수로 인한 지하수위 저하로 용수부족, 지하수질 악화 등과 같은 지하수 재해를 일으킬 수 있으며 해안지역일 경우 해수침투로 인하여 그 피해가 광범위하고 장기간으로 확산될 수 있다. 따라서 지하수의 개발 및 관리를 위해서는 지하수 유동에 대한 분석이 이루어져야 효율적인 지하수 이용이 가능하다

도시지역 지하수 유동의 경우 지하수함양과 지하수유출뿐만 아니라 지속적으로 변화하는 요소들인 지하수이용량, 상하수도 누수량, 지하철로 인한 유출량 등과 같은 도시화 요소들도 고려하여야 한다. 그러나 이러한 요소들을 명확하게 규명하는 것은 매우 어렵다. 지하수자원의 개발·이용 및 관리가 가장 절실히 필요한 곳이 도시지역이라는 점을 감안하면 지하수 유동 분석에 관한 연구는 반드시 필요하며 수문계측 기술의 향상과 관련 분야에 대한 지속적인 연구들도 함께 이루어져서 해석의 정확도가 높아져야만 원활한 수자원 공급과 효율적인 체계·관리가 가능할 것이다.

본 연구에서는 도시지역의 지하수유동특성을 살펴보기 위하여 부산광역시 수영구를 대상으로 도시화 요소를 고려한 지하수 모델링을 통하여 지하수 유동을 분석하였다.

정상상태 지하수 유동 모의를 실시한 결과 지하수위는 산지가 분포하고 있는 북서쪽으로 갈수록 높아지고 수영강과 남해쪽으로 갈수록 낮아지며 지하수 유동도 내륙에서 수영강 및 남해로 유출되고 있는 모습을 나타내었다.

도시화 요소를 고려한 비정상상태 지하수 유동 모의 결과 수영강 및 남해에서 내륙으로 지하수가 유입되는 형태를 나타내고 있었다. 지하수위 또한 내륙으로 갈수록 낮아지는 형상을 나타내고 있었으며 대량의 양수량의 관정이 위치하는 수영로타리 일대와 광안동 지역, 지하철유출량이 많은 망미역 부근, 전력구 터널 공사로 인한 지하수 유출량이 있는 일부지역에서는 급격하게 지하수위가 낮아지는 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 지하수, 지하수유동, 지하수모델링

* 정회원·계명대학교 토목공학과 교수·E-mail : skbae@kmu.ac.kr

** 정회원·계명대학교 토목공학과 시간강사·E-mail : sope365@kmu.ac.kr

1. 서 론

도시지역은 수자원 공급의 문제를 해결하기 위해서 많은 노력이 이루어지고 있으나 최근 기상이변과 같은 문제점들로 인하여 용수 공급은 안정적이지 못한 실정이다. 기후적 영향을 적게 받는 지하수의 경우는 비교적 지속적이고 안정적인 수자원으로 많이 이용되고 있으나 이 또한 관리적인 측면의 여러 가지 문제점으로 인하여 어려움을 겪고 있다. 특히 도시지역은 지하수이용량이 많아 지하수개발에 대한 명확한 체계가 이루어지지 않으면 과잉양수로 인한 지하수위 저하로 용수부족, 지하수질 악화 등과 같은 지하수 재해를 일으킬 수 있으며 해안지역일 경우 해수침투로 인하여 그 피해가 광범위하고 장기간으로 확산될 수 있다. 따라서 지하수의 개발 및 관리를 위해서는 지하수 유동에 대한 분석이 이루어져야 효율적인 지하수 이용이 가능하다

도시지역 지하수 유동의 경우 지하수함양과 지하수유출뿐만 아니라 지속적으로 변화하는 요소들인 지하수이용량, 상하수도 누수량, 지하철로 인한 유출량 등과 같은 도시화 요소들도 고려하여야 한다. 그러나 이러한 요소들을 명확하게 규명하는 것은 매우 어렵다. 지하수자원의 개발·이용 및 관리가 가장 절실히 필요한 곳이 도시지역이라는 점을 감안하면 지하수 유동 분석에 관한 연구는 반드시 필요하며 수문계측 기술의 향상과 관련 분야에 대한 지속적인 연구들도 함께 이루어져서 해석의 정확도가 높아져야만 원활한 수자원 공급과 효율적인 체계·관리가 가능할 것이다.

본 연구에서는 도시지역의 지하수유동특성을 살펴보기 위하여 부산광역시 수영구를 대상으로 도시화 요소를 고려한 지하수 모델링을 통하여 지하수 유동을 분석하였다.

2. 지하수 모델링 구축

그림 1. 연구대상지역 모델링 경계

본 연구에서는 연구지역의 지하수유동모의를 위하여 3차원 유한차분 지하수 유동모델이 가능한 Visual Modflow 패키지를 사용하였다. 지하수 모델링은 그림 1의 경계 구역 내를 대상으로 3차원으로 구축하였다.

연구대상지역의 지형분포에 따라 모의 영역을 5.0 km × 6.0 km로 하였고 격자망을 50 m × 50 m로 설정하였다. 모의 영역 경계조건은 부산광역시 수영구 행정구역을 바탕으로 동쪽은 수영강, 남쪽은 남해와 접하며 서쪽은 금련산 지형분수령을 기준으로 하였으며 북쪽은 행정구역을 포함하는 확장 경계로 작성하여 경계바깥쪽은 비활성격자로 구분하여 모델링의 효율성을 높였다. 그리고 모델링 동쪽과 서쪽 경계인 수영강과 남해는 일정한 수두를 갖는 수체로 판단하여 일정수두경계로 설정하였다. 부산 지하철 지질조사보고서(부산교통공단, 1991, 1997, 2004), 건설교통부(2003), 성진엔지니어링(2008), 함세영, 차용훈, 정재열(2005)의 관련 문헌과 지하철 등과 같은 지하구조물을 고려하여 총 4개의 Layer로 대수층을 구분하였으며 각각의 Layer에 대수층조건과 수리상수는 지형 및 지질을 고려하여 적용하였다. 지하수침투량 자료는 이승현, 배상근(2010)의 연

구결과를 참조하여 설정하였고 부산광역시 수영구를 지나는 지하철 노선은 지표표고를 기준으로 -30m에 위치한다고 가정하고 불투수층으로 설정하였다. 일정수두경계로 설정된 수영강 하류와 남해는 부산지역 지하수기초조사(2003)에 제시된 대조평균만조위 0.475 m로 설정하였다(표 1).

표 1. 모델링 입력자료

입 력 자 료		
투수계수(m/s)	충적층	3.39×10^{-5}
	암반층	4.50×10^{-6} ~ 9.66×10^{-7}
지하수침투량(mm/year) (47년 평균강우량 기준)	산지지역	357
	도시지역	87
일정수두경계(CHB)	대조평균만조위 : 0.475 m	

3. 도시화 요소를 고려한 지하수 모델링

도시화 요소를 고려한 지하수 모델링을 위해 정상상태 지하수 모델링 결과를 토대로 우물을 통한 지하수 양수를 추가하고 상하수도 유출입량, 지하철 유출량, 지하철 전력구 터널 유출량 등의 도시화 요소를 고려하여 비정상상태 지하수 유동 모델링을 실시하였다.

도시화 요소로 추가된 우물은 2007년 12월과 2008년 7월에 일제 지하수위 관측을 통해 측정된 자료(정상용, 김태형, 박남식, 양성일 등, 2009)의 평균값을 사용하였다. 이 중 모델링 격자 구성과 실 양수량 관정에 대한 보정을 통하여 실제 지하수이용량(4,243 ㎥/day)과 거의 동일한 4,193.2 ㎥/day의 총 300개의 관정을 적용하였다.

연직단면은 수영로타리의 50 m 간격 과 광안동 지역의 50 m 간격에 대하여 분석하였다. 수영로타리는 수영구의 중심에 위치하고 지하수위 자동관측 관정이 있어서 모델링 보정과 결과 비교에 유리한 지점이며 광안동은 해안가에 위치하며 지하수 이용량이 가장 많은 지역이다.

정상상태에서의 수평단면 지하수 유동 및 수두 변화를 살펴보면 Layer 1 ~ 4까지의 전층에 걸쳐 모델링 구역 전체에서 수영강 및 남해로 지하수가 유출하는 모습을 나타내고 있으며 지하수 유동량은 Layer 1에서 가장 많은 양이 유출되고 있고 하부 Layer로 갈수록 적어지고 있는 것으로 나타났다(그림 2).

정상상태에서의 수영로타리와 광안동 인근에 대한 Column단면에서의 지하수 유동은 내륙에서 수영강 및 남해로 갈수록 지하수위가 낮아지는 모습을 나타내고 있고 수영로타리 남쪽 부근에서 가장 높은 지하수위를 형성하고 있으며 북쪽과 남쪽으로 지하수 유동이 있음을 알 수 있다. 수영로타리 주변의 Row 단면에서의 지하수 유동은 서쪽의 산지로 갈수록 높은 수위를 형성하고 있으며 내륙에서 수영강으로 지하수가 유출되는 것으로 나타났다. 광안동 주변의 Row 단면에서의 지하수 유동은 서쪽의 산지로 갈수록 높은 수위를 형성하고 있으며 내륙에서 남해로 지하수가 유출되는 것으로 나타났다.

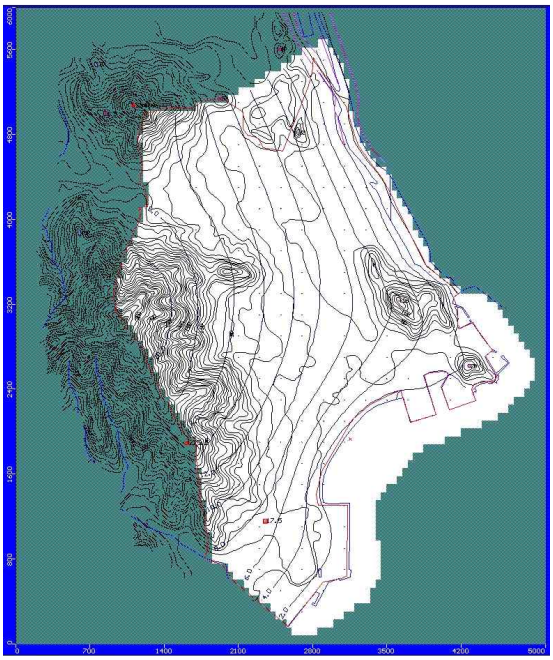

그림 2. 등수두분포선 및 유동방향 벡터 (정상상태 : layer 2)

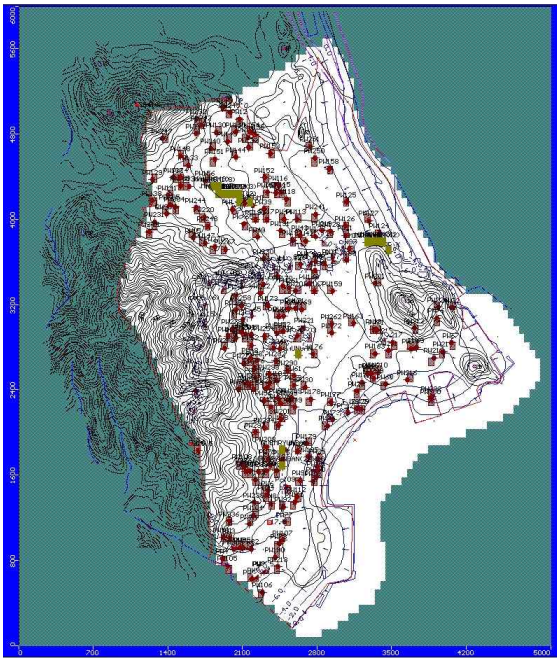

그림 3. 등수두분포선 및 유동방향 벡터 (비정상상태 : layer 2)

비정상상태(지하수 양수 시 - Time Step : 365 day)에서의 지하수 유동 및 수두 변화를 살펴보면 Layer 1에서는 일정수두경계 지역을 제외한 모델링 구역 전 지역에서 Dry Cell이 발생하였고 Layer 2에서는 수영강 및 남해에서 내륙으로 지하수가 유입되는 형태를 나타내었다. 지하수위 또한 내륙으로 갈수록 낮아지는 형상을 나타내고 있으나 대량의 양수량의 관정이 위치하는 수영로타리 일대와 광안동 지역, 지하철유출량이 많은 망미역 부근, 전력구 터널 공사로 인한 지하수 유출량이 있는 일부지역에서는 급격하게 지하수위가 낮아지는 것을 알 수 있다. Layer 3과 4에서도 Layer 2와 유사한 형태를 나타내고 있다(그림 3).

비정상상태(지하수 양수 시 - Time Step : 365 day)에서의 수영로타리와 광안동 지역 연직단면의 지하수 유동은 유동의 변화는 크기 않지만 각 관정의 위치하는 곳으로 지하수가 유입되고 있으며 대부분 하천 및 해양에서 유입되고 있는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

부산광역시 수영구를 대상으로 지하수 모델링을 통하여 도시화 요소를 고려한 지하수 유동을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 정상상태에서의 수평단면 지하수 유동 및 수두 변화는 Layer 1 ~ 4까지의 전층에 걸쳐 모델링 구역 전체에서 수영강 및 남해로 지하수가 유출하는 모습을 나타내었고 지하수 유동량은 Layer 1에서 가장 많은 양이 유출되고 있었으며 하부 Layer로 갈수록 적어지고 있는 것으로 나타났다.

② 정상상태에서의 연직단면 지하수 유동 및 수두 변화는 내륙쪽에서 수영강 및 남해쪽으로 갈수록 지하수위가 낮아지는 모습을 나타내었고 수영로타리 남쪽 부근에서 가장 높은 지하수위를 형

성하고 있었으며 수영강과 남해로 지하수 유동이 있음을 알 수 있었다.
③ 비정상상태에서의 지하수 유동 및 수두 변화는 Layer 1에서 일정수두경계지역을 제외한 모델링 구역 전 지역에서 Dry Cell이 발생하였고 Layer 2에서는 수영강 및 남해에서 내륙으로 지하수가 유입되는 형태를 나타내었다. 지하수위 또한 내륙으로 갈수록 낮아지는 형상을 나타내고 있었으나 대량의 양수량의 관정이 위치하는 수영로타리 일대와 광안동 지역, 지하철유출량이 많은 망미역 부근, 전력구 터널 공사로 인한 지하수 유출량이 있는 일부지역에서는 급격하게 지하수위가 낮아졌다. Layer 3과 4에서도 Layer 2와 유사한 형태를 나타내었다.
④ 비정상상태에서의 수영로타리와 광안동 지역 연직단면의 지하수 유동은 유동의 변화는 크기 않지만 각 관정이 위치하는 곳으로 지하수가 유입되고 있었으며 대부분 하천 및 해양에서 유입되고 있는 것을 알 수 있었다.
⑤ 본 연구결과를 향후 연구대상지역의 지하수 개발 및 이용에 활용한다면 보다 효율적인 지하수 관리가 이루어 질 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비지원에(3-3-3) 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 한국수자원공사. (2003). 부산지역 지하수 기초조사 보고서. 서울: 한국수자원공사 조사기획처 지하수조사부.
2. 부산교통공단. (1991). 부산지하철 2호선 기본설계 시설분야(제3구간) 지질조사보고서. 부산: 부산교통공단.
3. 부산교통공단. (1997). 부산지하철 3호선 시설분야 기본설계(미남~수영) 지질조사보고서. 부산: 부산교통공단.
4. 부산교통공단. (2004). 부산지하철 3호선 2단계 323공구 토목공사 지반조사보고서. 부산: 부산교통공단.
5. 성진엔지니어링. (2008). 수영구 일원 지하수 관측공 설치 시추조사보고서.
6. 이승현, 배상근. (2010). 도시화에 의한 장기 지하수 함양량 변화. 한국환경과학회지, 19(6), pp. 779-785.
7. 정상용, 김태형, 박남식, 양성일, 김동수. (2009). 부산 해안지역에서 지하수 수위 하강에 의한 지하수 수질 오염. 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회, pp. 233.
8. 함세영, 차용훈, 정재열. (2005). 부산 도심지역 미고결층과 기반암의 수리지질 특성. 지질공학, 15(4), pp. 407-421.