

서울지역 지하수시스템의 수문지질학적 특성 분석을 위한 지리정보시스템의 활용

김윤영*·이강근*

GIS Application to Urban Hydrogeological Analysis of Groundwater System in Seoul Area

Yoon-Young Kim·Kang-Kun Lee

요 약

도시지역에서 지하수 산출특성, 흐름 및 오염현상은 인위적인 양수, 지하구조물, 다양한 오염원, 지면 포장으로 인한 지하수 함양의 국지적 변동 등의 영향을 받는 매우 복잡한 특성을 가진다. 서울지역 지하수시스템을 분석하기 위해 지리정보시스템 환경에서 수문지질학적 데이터베이스를 구축하였다. 지하수 수위변화의 주요인은 한강수계, 지하철, 지형, 강우 등이고 이들을 이용하여 지하수시스템에 대한 영향을 분석하였다. 그리고 그 자료와 분석결과를 ARC/INFO에 데이터 베이스로 저장하고 실세계의 현상과 비교, 분석하였다. 구축된 내용은 지하수 오염원의 분포, 대수층의 수리상수, 한강수위 변화에 대한 지하수 영향권, 지하철 역사의 대규모 양수로 인한 지하수시스템의 변화 등이다. 자료의 특성에 맞는 자료 형태로 저장하고 표현할 수 있도록 하였다.

ABSTRACT : During the last several years, the geographic information system(GIS) technology has emerged as a very effective tool for analyzing complicated groundwater system. Linking GIS to spatially distributed hydrogeological data and groundwater models offers many advantages in the analysis of urban groundwater system. This paper describes the urban hydrogeological application of GIS in Seoul area. This study constructs an urban hydrogeological database via pre- and post-processing of various types of urban hydrogeological data, such as groundwater-level fluctuation, topographic data, water chemistry data, subway pumping station data, tidal effect of the Han River, and hydrogeological parameters. A hydrogeological model has been designed to enable importing data from the database and providing the model output for the repetitive manipulation and display in GIS.

Key Words : GIS, Urban groundwater system, Water level fluctuation, Subway pumping station, Tidal effect.

* 서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부 (san 56-1, Shillim-dong, Kwanak-gu Seoul, 151-742, Korea)

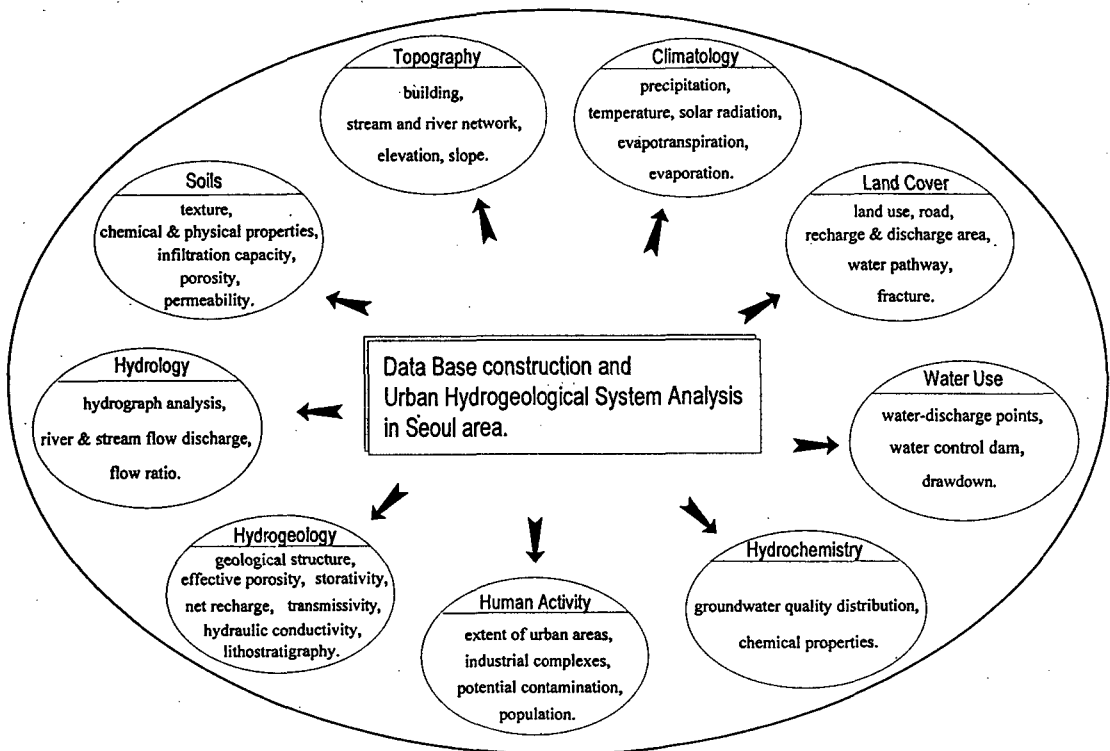
서론

서울시의 지하수는 1970년 이후 급격한 도시의 성장과 더불어 공장입주, 하수관로, 폐기물 매립 등으로 인해 그 양과 질에 있어서 큰 영향을 받기 시작하였다. 이후 지하수 개발이 본격화되었고 그 사용량도 급격히 증가하여, 지하수 폐공도 발생하게 되었다. 특히 1980년대 후반기 이후부터 천부 지하수의 수질저하로 굴착 심도가 깊어지게 되었다.

지리정보시스템은 도시지역의 지하수시스템을 분석함에 있어서 필수적으로 연관되는 복잡한 공간적 변화에 대해 데이터베이스를 구축하고 그 자료들을 분석, 표현하는데 효과적으로 이용될 수 있다 (Bonham-Carter, 1994). 지리정보시스템은 공간적인 분포를 기반으로 하는 대수층의 오염 취약성 분석

에도 효과적이다(Barrocu and Biallo, 1993). 지리정보시스템을 활용하는 오염 취약성 분석 프로그램인 DRASTIC(Aller et al., 1987)은 대수층의 특성과 토지 이용이 뚜렷이 구분될 수 있는 북미에서 지하수 오염에 영향을 줄 수 있는 일곱 개의 요소를 선정하여 각각 취약성에 따라 가중치를 부여하여 오염 취약성을 상대적으로 분석하고 있다.

서울지역의 지하수시스템은 소규모 지하수 흐름 변화에 영향을 적게 받는 광역적 흐름과 이런 영향에 대해 흐름방향이나 현상이 쉽게 바뀌는 국지적인 흐름의 결합으로 구성된다고 볼 수 있다. 이러한 크고 작은 변화의 요인들에는 서울지역의 지질 구조와 대수층 특성이라는 자연적 요인 이외에 다양하고 복잡한 인위적 요인들이 있다. 도시지역에서 지하수의 물수지는 도로포장, 건물신축에 의



〈Fig. 1〉 Potential sources of data needed for the assessment and mapping of groundwater vulnerability in seoul area.

한 지하수 양수와 함양의 변화 및 상하수도 누수 등에 의해 강수의 지하침투와 증발산에 의해 결정되는 자연상태의 물수지로부터 크게 왜곡된 상태로 나타날 수 있다. 또한, 각종 오염원에서 지하수로의 오염물질 유입이 자연적인 경로가 아닌 복잡한 인위적 수리시스템의 경로를 통하여 일어날 수도 있다. 이런 이유로 도시 지하수 거동 특성을 밝히는 데 많은 어려운 점들이 있다.

본 연구에서는 서울시 전역 지하수계를 대상으로 수문지질학적인 특성을 분석하기 위해 ARC/INFO를 이용하여 관련자료를 입력, 저장, 분석, 갱신, 그리고 출력하였다<Fig. 1>. 구축된 자료는 수문지질학적 특성을 분석하는데 입력자료로 사용되며 분석된 결과는 다시 저장되어 사용되도록 하였다. 최종적으로는 다양한 도시 지하수계의 변화 요인들을 지리정보시스템을 이용하여 형상화하고 이를 기반으로 대수층의 특성과 지하수시스템의 특성을 분석하였다.

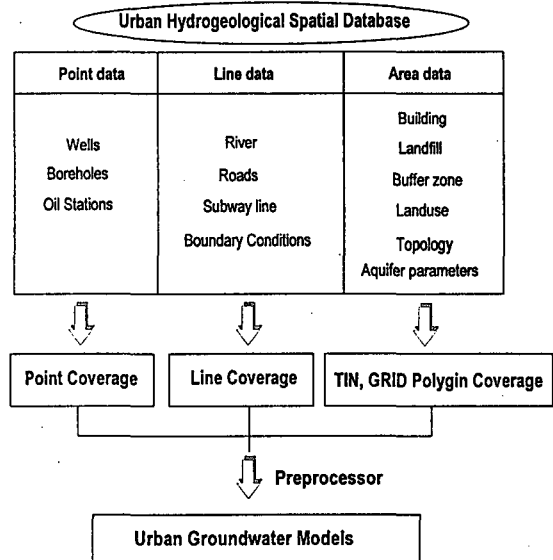
도시지역의 대수층 특성

서울시 지하수는 매우 다양한 요소들에 의해 영향을 받는다. 다음은 이런 요소들을 체계적으로 이해하기 위한 기본 조사 내용들이다. 첫째, 토양과 지질을 근거로 하여 대수층을 분류하기 위하여 각 지역의 지질, 암질의 풍화정도, 토양두께 등의 지질 특성에 따라 대수층을 분류한다. 둘째, 토지이용에 따라 공원, 공단지역, 그리고 주택가 등으로 분류하고 수문지질학적 특성을 파악한다. 셋째, 양수시험, 조석영향, 기압영향을 분석 등을 통하여 대수층의 수리특성을 파악하여 그 값에 따라 공간적으로 영역화 한다. 넷째, 시간에 따른 수위 변화를 측정하고 기압, 양수량, 조석의 영향 등을 분류 및 체계화 한다. 다섯째, 측정된 수위 및 수질 변화의 경향을 분석하고 수위 및 수질 변화의 원인 분석에 주요한 정보를 제공할 수 있는 내용에 대해서도 체계적으로 분류 및 분석한다. 예를 들어, 1) 각종 오염원에

의한 지하수에의 영향은 시간에 따라 어떻게 변화하는가? 2) 수위상승 및 강하가 시간에 대해 규칙적인가? 3) 인접한 지역에 터파기가 수반되는 대형 건축물 공사가 있는가? 혹은 지하철 공사가 진행중인가? 4) 과거 매립장 지역인가? 여섯째, 오염정도를 분석하여 실제 오염이 많이 진행될 수 있는 위치를 집중조사 한다. 일곱째, 도심지역 지하수의 오염 저감과 정화에 대한 방법을 검토한다.

자료 분류

지하수 흐름에 중요한 영향을 미치는 관정, 양수량, 지형, 지하철, 한강, 그리고 상하수도관로 등에 관한 정보를 ARC/INFO의 점, 선, 면, TIN, 그리고 GRID 형태로 저장하였다<Fig. 2>. 지하수시스템에 영향을 주는 수문지질학적 자료의 특성은 시간에 따라 변화하는 공간자료와 영향을 적게 받는 속성 자료로 크게 나눌 수 있다. 시간에 영향을 받는 자료는 지하수위, 강수량, 양수량, 한강수위, 지하철 인근의 지하수위 그리고 기압변화 등이다. 대부분의 야외실험과 조사를 통한 관측자료는 시간에 관



<Fig. 2> Schematic representation for the spatial database in ARC/INFO.

련된 자료이다. 속성자료는 항공사진, 지질분포, 토지이용, 시추공 자료, 지형분포, 수리전도도, 투수량 계수, 그리고 토양도 등으로 공간적인 영역의 값 등이 여기에 속한다. 도시의 급격한 팽창은 시간에 따른 토지이용을 바꾸었으나 과거의 상세한 토지이용 자료가 부재한 관계로 이런 사항은 고려하지 않았다.

기후

강수는 지하수 시스템을 분석하는데 가장 중요하게 고려하는 요소 중의 하나이다. 1988년부터 10여년간 서울지역 평균 강수량은 약 1,300mm이지만 1998년에는 여름의 집중호우로 인하여 2,000mm이상 내렸다. 서울은 계절에 따라 온도 변화가 심한 편으로 여름(8월 평균)은 29.5℃, 월 평균 최저기온은 -6.6℃(1월)이다.

지질 분포

서울지역의 지표 지질조사는 복토, 지면포장 등으로 인하여 많은 어려움이 수반된다. 지하수 시스템 분석의 주요 대상지역이 상대적으로 고도가 낮은 도시지역으로 지표지질 조사가 가능한 노두가 거의 존재하지 않는다. 구축된 대부분의 자료는 약 300개 지점의 시추자료, 지하철 2·9호선 구간의 시추자료(서울특별시지하철건설본부, 1998), 그리고 야외조사를 통하여 수집하였다. 서울지역 기반암은 경기편마암 복합체인 편마암류로 오랜 지질시대를 거치는 동안 몇 번의 변성작용을 겪었다(홍승호와 이병주, 1982). 습곡, 절리, 단층 등 구조선이 곳곳에 분포하고, 편암류에 나타나는 경사는 북서와 동남 방향이 지배적이다. 중생대 백악기에는 화강암이 모암인 편마암류를 관입하였다<Fig. 3>. 한강주변에는 편마암과 화강암 상부에 부정합적으로 하상 퇴적층이 다양한 두께로 존재하여 지하수 흐름을 쉽게 한다.

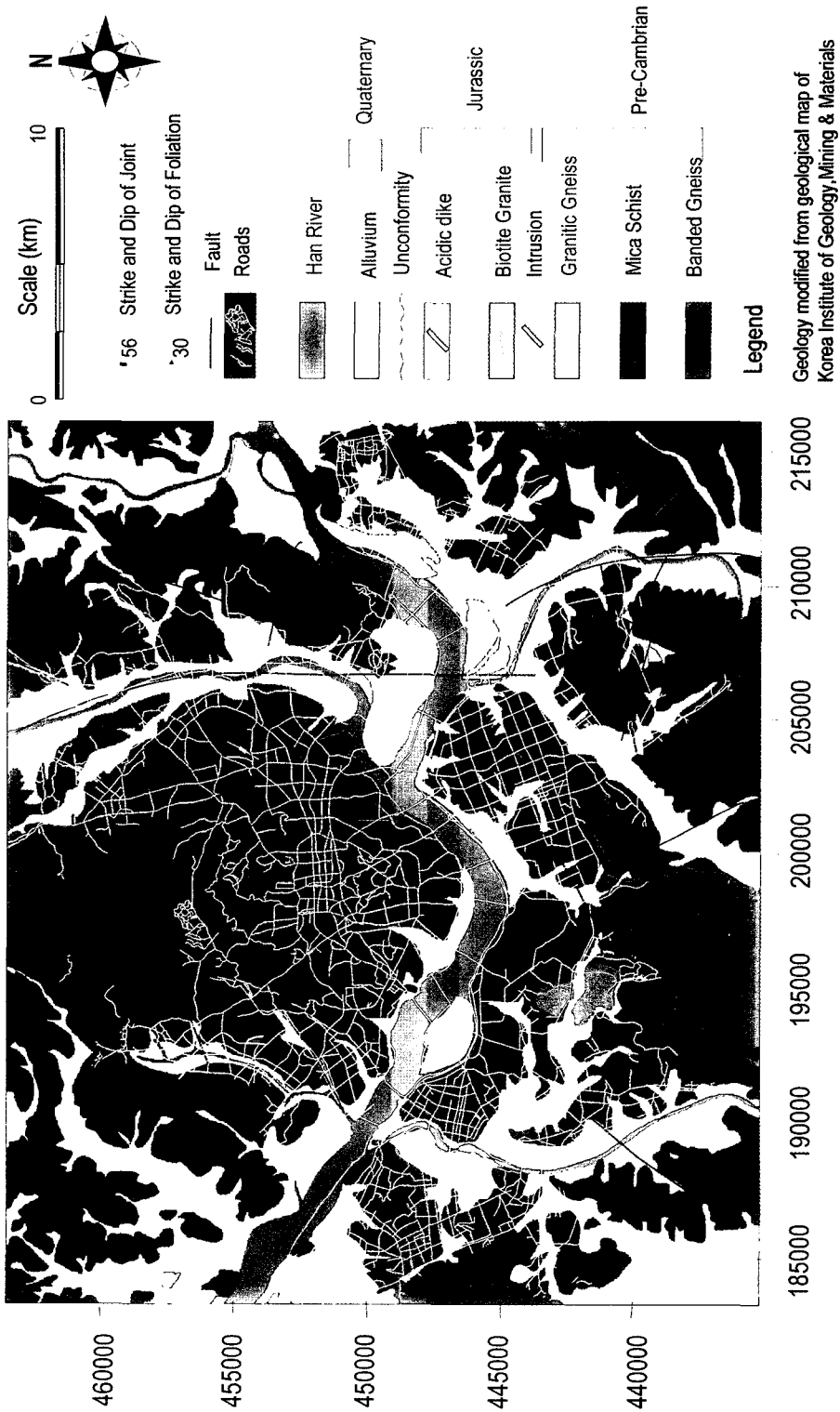
토지이용

개발이 안된 지역(그린벨트, 자연녹지, 공원)의 면적은 313.9km²으로 강수에 의한 지하수 함양이 용이한 지역이고, 시가지화 된 지역(상업지역(21.5km²), 공단지역(29.1km²), 주택가(301.4km²))는 강수의 지하 침투가 어려운 지역이다<Fig. 4>. 시가화된 지역은 또한 증발산량도 어려운 지역이며 강수가 지면 유출을 통해 수로로 집중되어 지점별로 집중적으로 지하수 함양이 일어날 수 있다. 따라서 도심지역의 지하수시스템을 해석함에 있어서 각종 토지이용에 따라 함양량이 불규칙하고 그 변화의 폭이 큰 것이 지하수 시스템 분석에서 불확실성을 수반하게 된다. 그리고 상하수도관의 누수로 인한 상하수도와 지하수의 유출입도 큰 변수이다.

서울지역 지하수 관련자료 수집

서울시 각 구청 하수과의 관정신고 내용은 집주소, 소유주, 굴착 깊이, 날짜, 그리고 양수기 성능 등 일반적인 사항만 포함하고 있고 개발 당시의 수리특성에 대한 기록은 거의 없다. 굴착단계부터 깊이별 암질 및 수량, 수질, 양수량, 수위변화 등을 지리정보시스템에서 데이터베이스로 구축해야 할 필요성이 있다. 지하수 관정에 따른 양수량과 유역에서의 지하수 충전 관계는 매우 중요하다. 서울시에 신고된 관정의 사용량 실태를 전체적으로 보면 1996년 일년간 서울시내 16,169개 관정에서 약 40,675,112m³의 지하수를 양수한 것으로 파악되었다.

서울지역에는 수미터에서 수백미터까지의 다양한 심도의 관정이 존재하므로 지표나 얕은 심도의 오염물질이 깊은 심도의 지하수계로 유입될 수 있는 가능성에 노출되어 있다. 도시지역의 오염 과정과 현상은 오염원의 분포 및 지형, 토지이용, 강수량, 지질, 지하수의 사용량 등의 영향을 총체적으로 받는다. 지하수시스템의 오염취약성은 위치에 따라



<Fig. 3> The geological map of the study area.



<Fig. 4> Generalized land use map of the Seoul area.

오염원, 양수량, 흐름방향, 오염노출시간 등의 특성을 고려하여 평가할 수 있다(Anderson and Gosk, 1987; Bachmat and Collin, 1987). 다음은 지하수의 주요 오염원이나 오염경로에 대한 조사내용이다.

분뇨처리 및 제조업

1993년 서울시의 분뇨 발생량은 5,516kl/day이고 이들 중에 수거식에 의한 양은 489kl/day, 정화조에 의한 수거량은 5,027kl/day이다(이상호, 1995). 정화조는 1992년 470,898개로 모두 난지 정화조오니 처리장에서 처리한다. 1994년 서울시내 제조업체수는 9,631개이고 공단지역인 구로, 금천, 영등포, 성동구 일대에 밀집되어 있다.

매립지 분포

1978년 이전 서울시의 일반폐기물은 지역별로 소규모로 매립되었고 매립 후 매립장은 복토 되어 대부분 아파트 단지, 버스정류장, 그리고 공원으로 이용되고 있다<Fig. 5(a)>. 1978년 이전 매립장은 각 지역에서 강 주변이나 넓은 공터에 자연스럽게 조성되었다. 그 이후 인구의 급격한 증가와 도시화로 인한 엄청난 쓰레기 방출로 인하여 난지도에 큰 매립지를 조성하였다. 난지도 매립지에 1978년부터 1992년까지 서울시 전역의 쓰레기를 매립하였다. 서울시에서 가장 대표적인 지하수 오염원 중의 하나인 난지도 매립지에 대해서 그 주변의 지하수 흐름과 오염물질의 이동에 관한 연구가 매립 종료 후 실시되었다(Kim et al., 1996; Lee et al., 1997). 이에 따르면 난지도 매립지는 인근 지하수 순환계와 수질에 많은 영향을 주고 있다. 강 주변에 위치하는 매립지는 인접한 지하수계 뿐만 아니라 한강의 수질에도 영향을 미칠 수 있는 것으로 분석된다.

주유소 현황

1996년 발간 된 서울시 정밀도로지도(1:10,000)에 표시된 주유소는 775개에 이른다<Fig. 5(b)>. 특

히, 1991년부터 주유소간의 거리제한이 없어짐에 따라 매년 주유소 증가율이 30%를 보인다. 업체간의 치열한 경쟁으로 1997년부터 폐업하는 업체도 증가하고 있다. 이들 폐업 주유소가 유류 저장탱크를 방치하거나 뒷처리를 완전히 못할 경우 그 주변의 지하수가 심각한 오염상태를 맞을 것으로 예상된다.

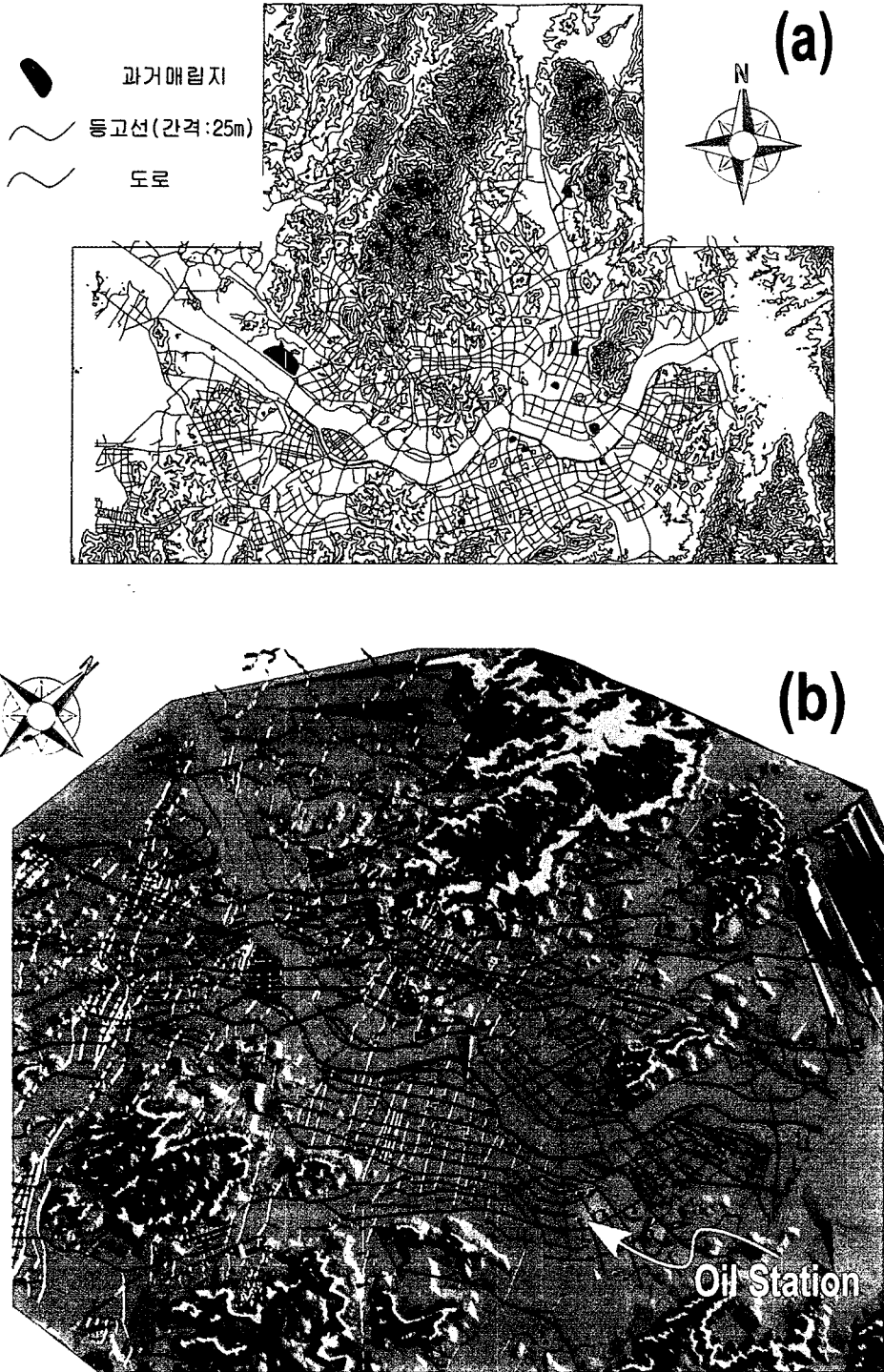
지하수 폐공 현황

도심 지하수는 지하철, 지하 구조물 및 빌딩기초공사와 관련된 양수로 인하여 특정지역에서 일정한 경향으로 수위강하가 일어나고 있다. 이러한 이유로 천부 지하수 관정이 고갈되는 경우도 발생하고 있다. 지하수 폐공 현황 조사를 위해서는 지하수 시공자료수집, 폐공 실태, 보조 지하수 관측망 설치 및 운영계획의 자료를 체계적으로 수집하여야 한다. 1995년 말 기준으로 폐공 대상 관정은 8,653개이고, 도봉구와 중구에 가장 많은 폐공이 분포한다.

상수도 및 하수도

서울시가 보유하고 있는 상수도 취수량은 6,190,000m³/day이고, 급수량은 5,137,229m³/day이다. 상수도 관의 부식과 연결부의 누수 등의 이유로 실제 사용량은 급수량의 80%정도에 지나지 않으며 상당량이 누수 또는 기타 원인에 의하여 손실되고 있다. 누수가 발생하는 주요 원인은 전역에 퍼져있는 노후 관의 균열 때문이다. 매설한지 15년 이상 된 노후 관은 전체 18,010km 가운데 28%인 4,990km에 달한다(조임곤, 1997).

동대문구의 천부 관정 중의 하나는 지하수에서 하수냄새, 생활하수의 부유물 등이 양수되는 곳도 있다. 이는 하수구의 누수로 인한 천부 지하수의 심각한 오염상태를 보여준다. 중랑과 난지 등 시내 하수처리장 두 곳에 대한 조사 결과, 난지 처리장으로의 경우 하수관이 평균 5.2m에 한곳, 중랑 처리장의 경우 4.5m에 한곳이 불량한 것으로 나타났다. 탄천과 안양 처리장의 경우도 비슷한 상태이다.



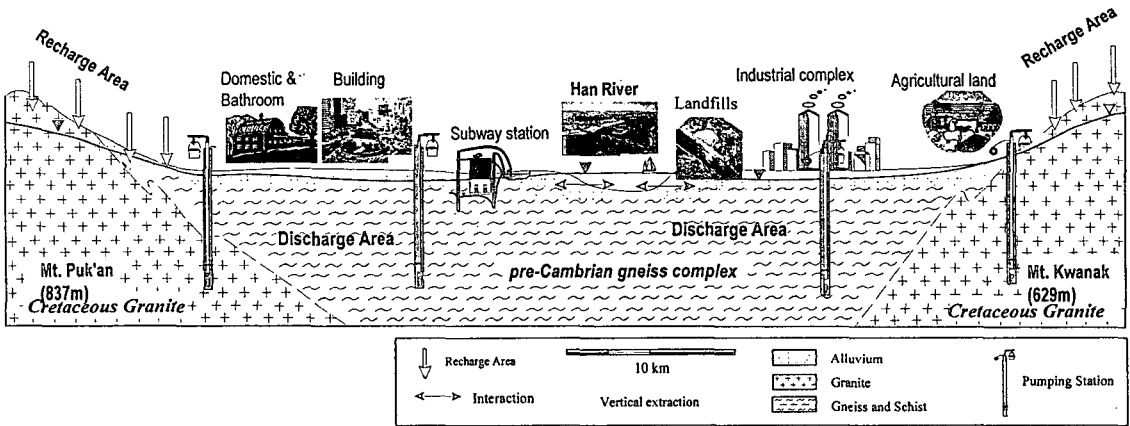
〈Fig. 5〉 Landfills and gas station of study area.

나머지 2곳도 마찬가지다. 난지 처리장의 경우 조사 구간 447km 중 연결관이 불량한 하수관이 30,734곳, 이음부 불량 19,847곳, 관침하 및 파손 14,426곳 등 하수관 85,513곳이 불량한 것으로 나타났다(서울특별시, 1995). 중량처리장도 585 구간 중 연결관 불량 44,712곳, 이음부 불량 46,635곳, 관침하 및 파손 15,228곳 등 하수관 131,450곳에서 파손되었다. 특히 하수의 누수로 인한 오염은 지하수 위와 가까워 주변 지하수계를 심하게 오염시킨다.

리고 지하철 등에 대한 데이터베이스를 구축하였다. 수문지질학적 자료는 문헌조사, 수리시험, 그리고 수질분석 등의 다양한 방법으로 획득하였다. 지하수시스템을 분석하기 위해 기압영향을 측정, 수질분석, 양수시험, 장기수위 관측, 지하철과 한강에 인접한 관정의 지하수위 관측 등을 실시하였다. 예를 들어, 한강수위에 의한 인접한 대수층의 수위변화, 지하철과 관련된 양수로 인한 지하수위 하강, 각종 공사현장에서 양수로 인한 수위변화, 상하수도 누수 또는 과거 매립지로 인한 지하수 오염 등의 도시수문지질학적 현상을 분석하였다(Fig. 6).

지하수시스템 분석 및 데이터베이스 구축

서울지역 지하수시스템의 종합적 분석을 위해 지형, 기후, 지질, 토지이용, 수계, 도시화, 한강 그



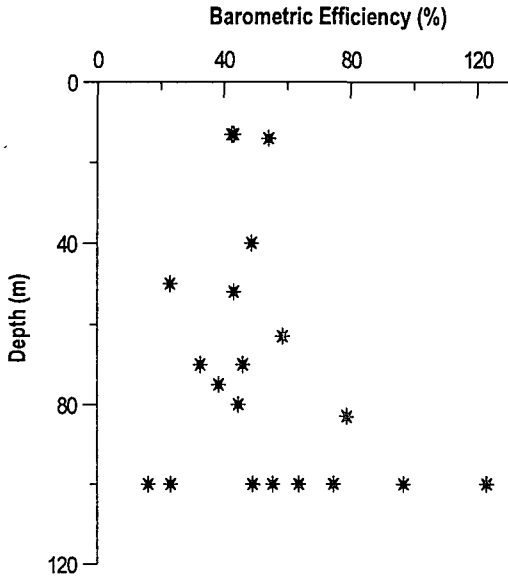
(Fig. 6) Schematic section of the hydrogeological in Seoul area.

기압영향을

구해진 다양한 기압영향은 지하수 관정의 깊이, 대수층의 암질, 수리특성, 그리고 대수층의 피압정도 등의 수문지질학적 특성을 보여준다. 대수층의 피압정도를 파악하기 위해 측정한 기압영향은 얇은 심도의 자유면대수층에서 40% 미만으로 나타났으며, 이에 비해 심도가 깊은 우물의 기압영

향은 자유면대수층보다 크게 나타났다(Fig. 7). 서울지역은 피압정도가 심도에 따라 증가하는 경향성을 나타내긴 하지만, 이러한 경향성보다는 수평적인 변화의 정도가 심도에 따른 변화의 정도를 무시할 수 있을 정도로 크게 나타난다. 이는 서울지역 지하수의 산출상태가 암반의 절리대 분포와 밀접히 관련되며, 단열대의 분포가 비균질적인 국지

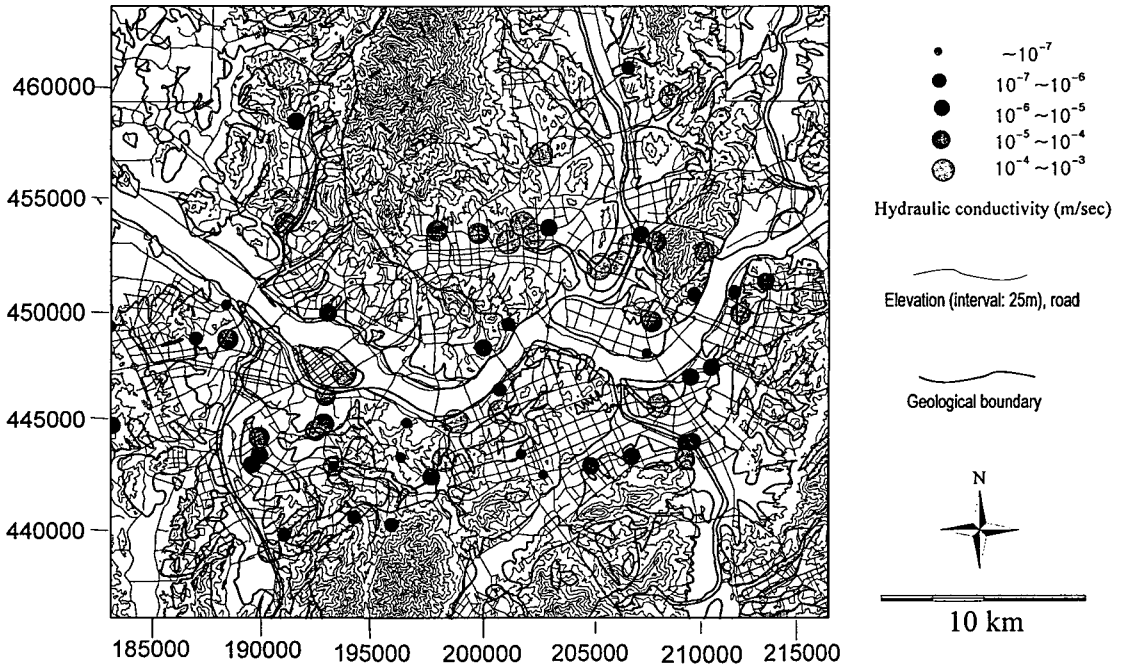
성을 갖는 것에 그 이유가 있는 것으로 분석된다.



<Fig. 7> Correlation between barometric efficiency and well depth.

수리전도도

대부분의 가정용 및 산업용 관정은 시설 여건상 수리시험을 실시하기 어려울 뿐만 아니라 소유주의 동의를 얻어야 하는 문제가 있다. 본 연구에서는 양수시험이 가능한 관정을 제한적으로 설정하여 실시하였다. 수리전도도는 암질과 심도에 따라 1.462×10^{-3} 에서 $2.256 \times 10^{-9} m/sec$ 의 분포를 보인다<Fig. 8>. 제한적인 수리시험으로는 서울 지역의 수리상수 분포 특성을 파악하기는 어려웠다. 수리상수의 관정심도별 분포를 살펴보면 심도가 깊을수록 수리상수 값이 감소하는 경향을 보인다. 감소 경향은 지수감소 모형에 적합한 형태로서 암반대수층에서 심도에 따른 수리상수가 감소하는 일반적인 양상과 일치한다. 다만, 기압영향율이 심도에 크게 상관없다는 것으로 볼 때 서울지역 전체의 대수층의 수평적 분포상태는 국지적인 절리 발달 상태에 크게 의존하는 것으로 해석할 수 있다.

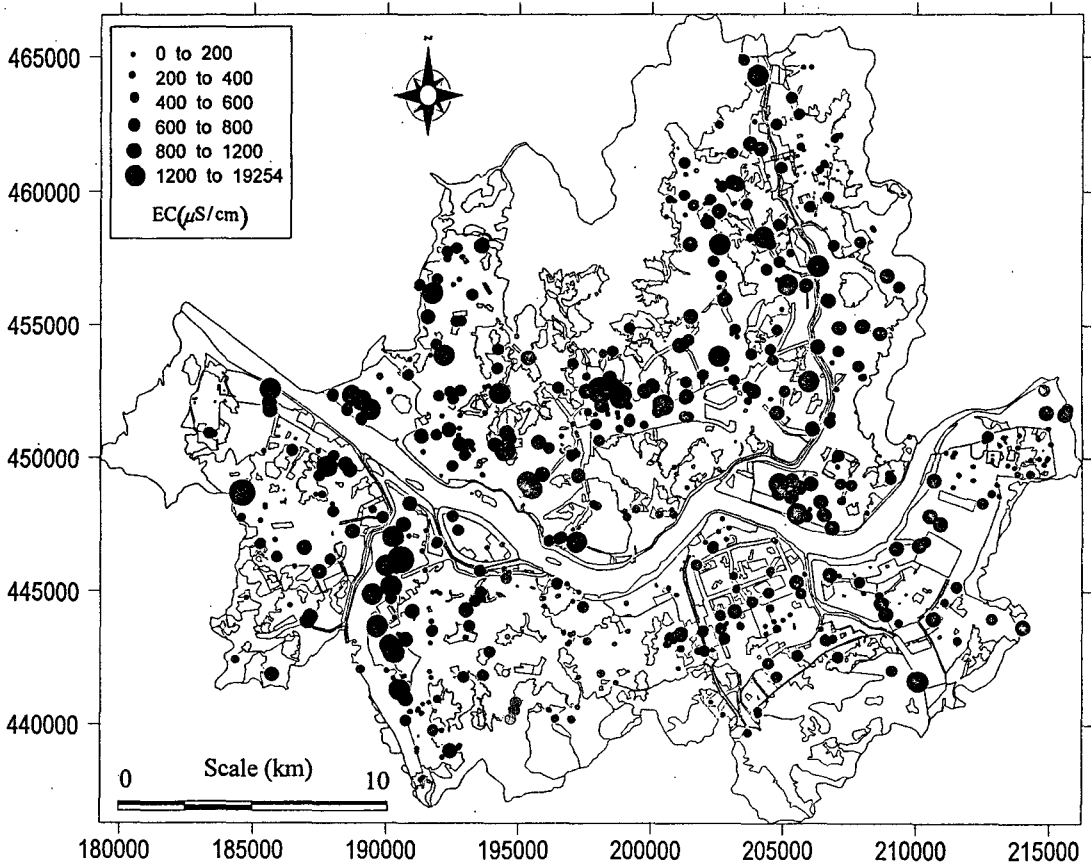


<Fig. 8> Hydraulic conductivity distribution.

전기전도도

전기전도도는 용액이 전기를 전달할 수 있는 능력을 말하며 물속에 용해되어 있는 전해질에 의해 결정된다. 양천구와 도봉구의 지하수가 비교적 낮은 전기전도도를 보이고 영등포구, 은평구, 동대문구, 금천구, 구로구, 그리고 마포구 등에서는 높게 나왔다. 특히 난지도 인근의 지하수에서는 매우 높

은 전기전도도를 관찰할 수 있었다. 이들을 종합하면 전기전도도는 공단과 중랑천 주변과 탄천 주변 과거 매립지에서 높은 값을 보인다<Fig. 9>. 전기전도도의 차이는 지하수의 진화과정, 모암의 종류 및 지하수 오염물질 유입등이 복합되어 나타날 수 있는데 본 연구에서는 각 요인들의 비중을 분석하지는 못했다.



<Fig. 9> Distribution of electrical conductivity of groundwater in Seoul area.

지하철 인근 지하수 시스템

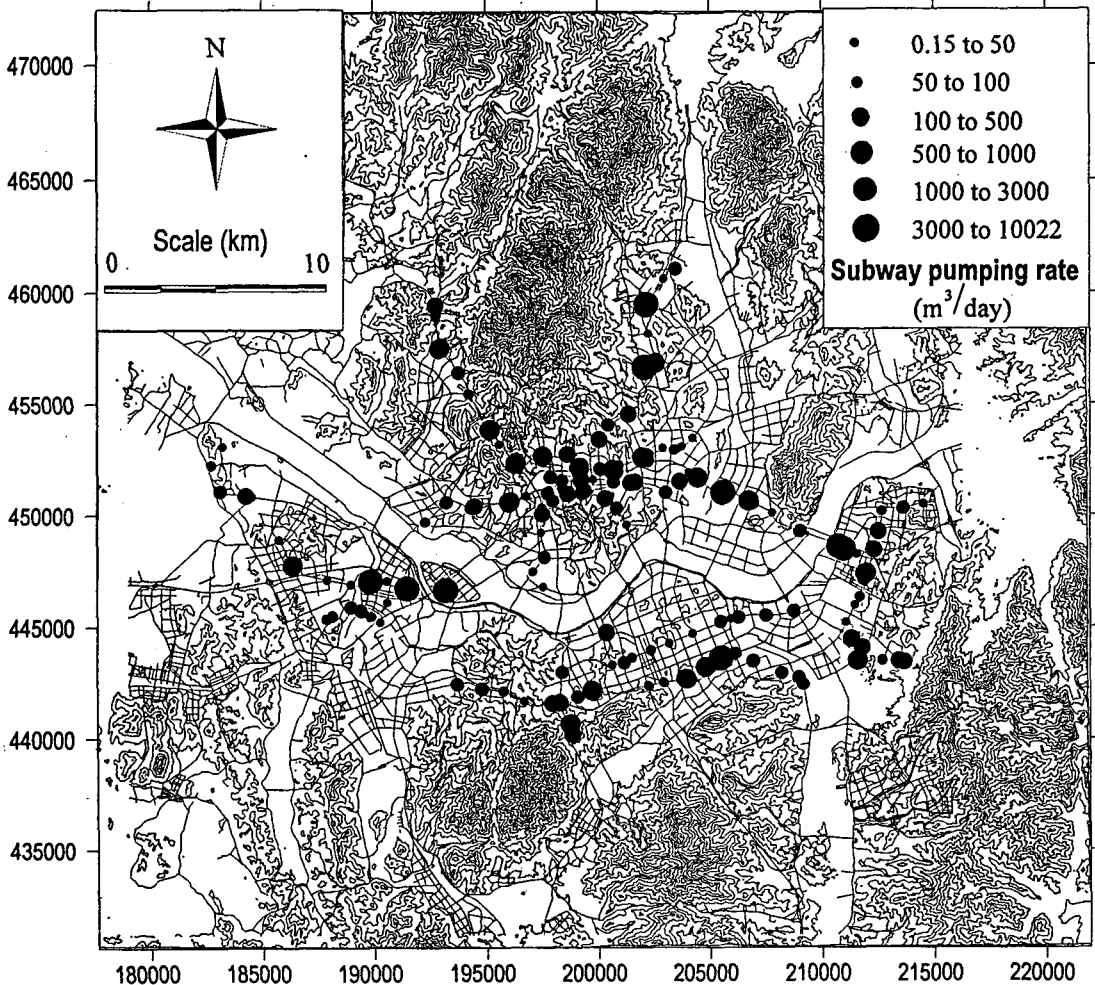
지하철 공사현장과 각종 대형건물 공사현장은 많은 양의 지하수를 집중적으로 양수하여 지하수위를 하강시키며 공사가 끝난 후에도 양수기를 계속

가동하고 있는 경우가 많다. 서울시 지하철은 1998년 말 현재 운행 중인 1기(1-4호선)와 2기(5-8호선)로 구성되어 있으며 총연장 160km에 달한다. 이 중에서 1기와 2기의 5호선 도심 구간 등 모두

98.5km구간이 개통되었고 3기 지하철(9-12호선) 건설도 계획 중에 있다. 서울시에 따르면 1-5호선까지 지하철역에서 하루에 양수하는 지하수는 총 78,417m³이며, 이 양은 연간 28,622,204m³에 달한다 <Fig. 10>. 뿐만 아니라, 실제 2기 지하철은 1기 지하철보다 깊은 심도로 굴착하기 때문에 보다 많은 양의 지하수가 양수되고 있다고 판단된다. 3호선 대치역과 4호선 수유역에서는 하루 평균 3,300m³, 4호선 길음역에서는 3,000m³, 3호선 경복궁역에서는 2,700m³, 그리고 3호선 종로3가역에서는 약

2,000m³의 지하수가 양수되고 있다. 서울시 지하철 구간의 노선을 따라 누수 되는 지하수는 지하철 역사의 양수시설에 의해 강제 양수되므로 수위강하가 선적인 형태로 발생한다.

서울시의 지하수위가 대부분 지면으로부터 평균 3-7m 깊이에서 형성되는 것을 감안하면, 이보다 더 깊은 곳에 위치한 지하철 터널에서의 지하수 배수와 양수는 지하철 노선을 따라 지하수위의 선상함몰(line sink) 형태를 만든다. 영향반경은 대수층의 투수성, 관정수위 하강범위, 지하수의 함양상태, 양



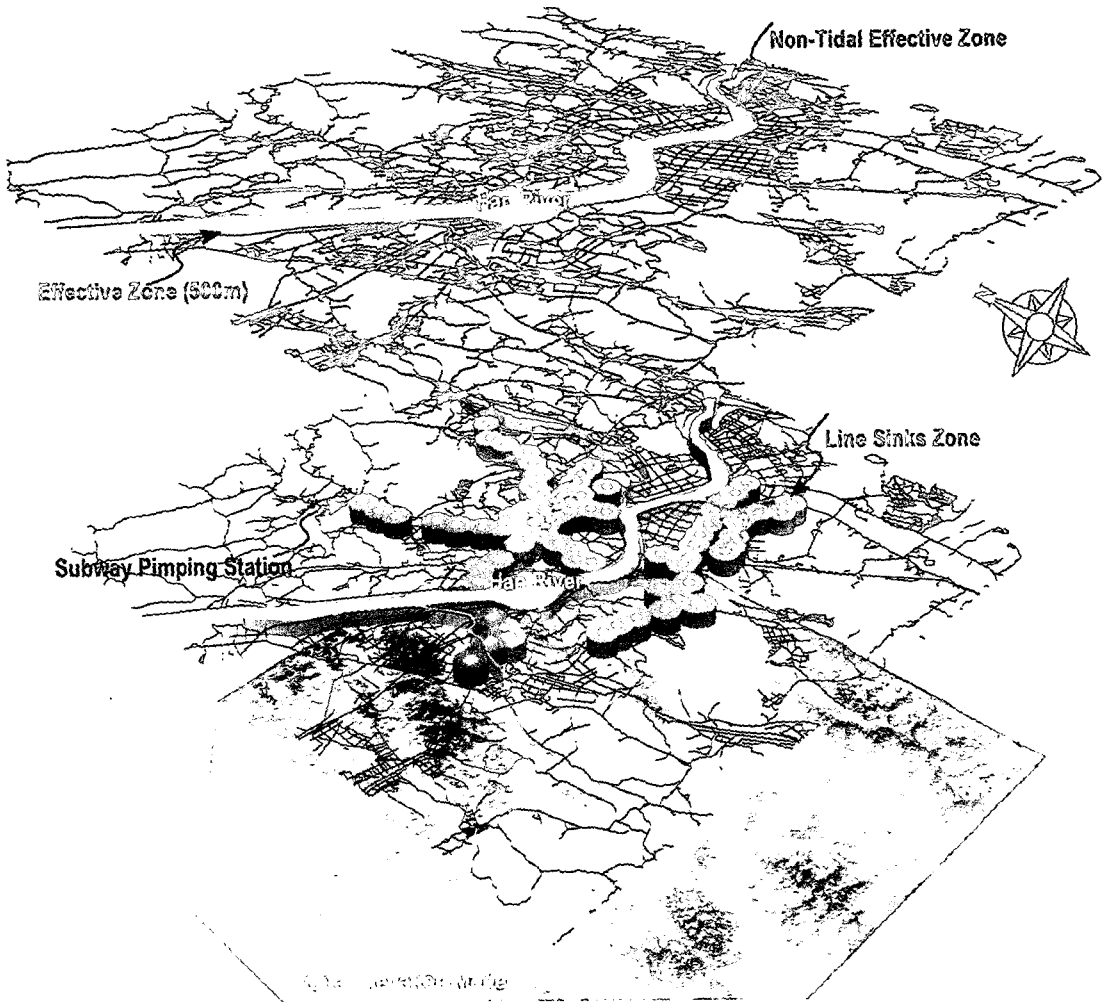
<Fig. 10> Locations and pumping rates associated subway dewatering

수시간 등의 다양한 요인들에 의해 결정된다.

지하철 수위강하로 인한 영향범위는 터널의 구배에 따라 누수되는 지하수를 모두 양수하므로 선적인 형태로 형성된다고 할 수 있다. 본 조사에서는 강남구 개포3동 지역의 노선을 선정하여 수위강하 및 수리상수 값을 측정하여 영향범위를 개념적으로 모사하였다. 공사 중에 누수되는 양수량을 알지 못하는 관계로 시간에 따른 수위 강하 자료로 수리 상수를 추정할 수 있는 다양한 경험식 중에서 Sager에 의해 제안된 식을 사용하였다(Sager, 1985).

$$R = 3000s\sqrt{kf} \quad (1)$$

여기서, R은 영향범위(m), 3000은 자유면대수층에서의 상수, s는 초기수위와 강하수위의 차이(m), kf는 수리전도도(m/sec)이다. 개념적인 수위강하의 경향을 모사하기 위해 실제 관정에서 관측된 수위 강하 값(초기수위(35.4) - 안정수위(2.3) = 33.1m)과 양수시험으로 계산된 투수계수 값(3.11×10^{-5} m/sec)을 대입하면 R은 553.7m로 계산된다. 이



<Fig. 11> A three-dimensional view of the groundwater fluctuation zone and depression zone associated with Han River and subway Pumping

값을 참고로 하여 1기 지하철 노선을 따른 누수로 인한 수위강하의 경향을 선형함물의 형태로 나타내 보았다<Fig. 11>.

한강수위와 인접 지하수체

한강수위는 시간에 따라 주기적인 변화를 하므로 이 자료를 이용하면 한강주변 대수층의 수리상수를 구할 수 있다. 강화도 월곶에서 서울쪽으로 37km 상류에 신희수중보가 있고 잠실수중보는 69km 상류에 있으며 여기까지 조수위 변화의 영향을 받는 것으로 분석된다. 조석에 의한 한강의 수위변화로 유발되는 수위변화를 측정하고, 그 측정값을 모의하였다. 한강주변 지하수의 흐름특성을 규명하기 위해 3차원 유한차분 모델인 MODFLOW (McDonald and Harbaugh, 1996)를 이용하여 분석한 결과 반경 500m정도가 영향을 받는다(Kim and Lee, 1999). 한강수위 변화로 인한 지하수시스템의 영향을 ARC/INFO의 기능 중에서 버퍼링으로 처리하여 출력하였다 <Fig. 11>.

도시 지하수 유역의 수문지질학적 요인들의 공간적인 분포 및 수문지질학적 현상들을 모델화하여 얻어진 결과는 다시 도시지하수시스템(Urban Groundwater System)의 데이터베이스로 저장하였다. 서울지역 지하수는 다양한 요인에 의해 영향을 받는데 지리정보시스템을 이용한 자료의 입력, 저장, 분석으로 복잡한 시스템을 효과적으로 개념화할 수 있었다.

결 론

도시의 지하수 조사는 많은 어려움이 있으므로 복잡한 지하수 흐름을 하나의 시스템(ARC/INFO)에서 관리 분석하면 많은 잇점이 있다. 자료구축 내용은 지하수위 조사를 위한 장기관측 시스템, 양수량 조사, 수질 검사, 비상용수 관정, 지하철 시추조사 등이다. 실제 수위의 변화 양상을 근거로 등

수위선도를 작성하고 소규모 유동 영역에서 지하수의 흐름을 분석하였다.

서울지역 지하수계의 분석 결과는 자연적이고 인공적인 영향을 모두 받는 특성을 보이고 각각의 수위흐름은 아래와 같다.

첫째, 지금 운행 및 공사 중인 1기와 2기 지하철 총 연장 160km구간 중에 지하구간 선로를 따라 누수 되는 지하수를 모두 양수하고 있다. 그러므로, 지하철의 지하수위는 선형함물 형태로 나타난다. 지하터널 굴착과 동시에 누수된 지하수는 모두 양수하며, 공사 종료 후에도 지하구조물의 안전문제로 계속 양수하므로 굴착깊이와 지하수위는 비례하여 하강한다.

둘째, 조석의 영향으로 한강수위가 상승함에 따라 인접한 대수층 지하수의 흐름특성을 규명하기 위해 3차원 유한차분 모델인 MODFLOW를 이용하여 모사하였다. 이들의 분석결과는 다시 ARC/INFO로 입력하고 3차원 중첩, 버퍼링, 면적 및 체적계산 등을 실행하였다.

이러한 일련의 과정은 지리정보시스템의 기법이 도시지역의 지하수와 관련된 자료 및 분석 결과를 체계화하고 표현하는데 유용하게 파악할 수 있게 하였다. 대수층의 기압영향을 분포, 수리전도도 분포 등을 조사하여 데이터베이스화하였다. 주요 오염원의 분포를 조사, 분석하여 오염 취약성을 시각적으로 추정할 수 있게 하였다. 구축된 데이터 베이스 자료를 일부 이용하여 수리 모델링을 수행하고 그 결과를 버퍼링 기법으로 나타내 보았다.

참 고 문 헌

- 서울특별시, 1995, 하수관로조사 및 하수도정비 기본설계 보고서 (청개천우안), 330p.
- 서울특별시지하철건설본부, 1998, 서울지하철 9호선 기본설계보고서 (지반조사), 570p.
- 이상호, 1995, 서울시 지하수 오염방지 및 관리방안

- 연구, 서울시정개발연구원, 295p.
- 조임곤, 1997, 서울시 상수도 사업의 효율화 방안 (수도시설 보수자회사 설립타당성 검토), 서울 시정개발연구원, 133p.
- 홍승호, 이병주, 1982, 한국지질도 : 둔전도폭 (1 : 50,000), 한국동력자원연구소
- Aller, L., Bernert, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., and Hacket, G., 1987, DRASTIC : a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting, NWWA/EPA, p287.
- Anderson, L. J., and Gosk, E., 1987, Applicability of vulnerability maps, Proc. Int. Conf., Committee on Hydr. Research, vol. 38, pp. 321-332.
- Bachmat, Y. and Collin, A., 1987, Mapping to assess groundwater vulnerability to pollution, Proc. Int. Conf., Committee on Hydr. Research, vol. 38, pp. 297-307.
- Barrocu, G., and Biallo, G., 1993, Application of GIS for aquifer vulnerability evaluation, HydroGIS 93 : Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources, IAHS Publ. No. 211, pp. 571-580.
- Bonham-Carter, G.F., 1994, Geographic information systems for geoscientists : Modelling with GIS, Elsevier Science Publications, p398.
- Kim, Y. Y., and Lee, K. K., 1999, Estimation of hydrogeological properties around Han River from river stage data, Submitted to Journal of the Korean Society of Groundwater Environment.
- Kim, Y. Y., Lee, K. K., Chung, S. Y., and Lee, C. H., 1996, Construction and interpretation of a hydrogeologic data base for the Narjido Landfill, Journal of the Korean Society of Groundwater Environment, vol. 3, pp. 80-94.
- Lee, K. K., Kim, Y. Y., Chang, H. W., and Chung, S. Y., 1997, Hydrogeological studies on the mechanical behavior of landfill gases and leachate of the Narjido Landfill in Seoul, Korea, Environmental Geology, vol. 31, pp. 185-198.
- McDonald, M. G. and Harbaugh, A. W., 1996, A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model, U.S. Geol. Surv., p750.
- Sager, H., 1985, Hydrogeologische und hydraulische Voruntersuchungen zur Bemessung von Trinkwasserschutzgebieten. Information-berichte Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 5/85, pp. 21-50.