

## 서울지역 지하수 시스템 조사 : 수리적 특성 분석

### Groundwater Systems in Seoul Area : Analysis of Hydraulic Properties

김 윤 영 (Yoon Young Kim)  
이 강 근 (Kang Kun Lee)  
성 익 환 (Ig Hwan Sung)

서울대학교 지질학과  
서울대학교 지질학과  
한국자원연구소 환경지질연구부

#### 요약 / ABSTRACT

대도시 지역의 대수층에 대한 수리지질학적 특성을 파악하기 위해서는 각종 구조물에 의한 천부 지하수 환경의 교란과 가정용, 일반 산업용, 숙박, 목욕 시설 및 지하철공사장, 건설현장 등과 관련된 지하수 이용 및 배수 등에 관한 종합적인 자료 수집과 분석이 필요하다. 본 연구는 서울지역에서 지하수시스템을 종합적으로 파악하기 위해 실시한 조사 중에서 주로 수리적 특성과 관련된 내용이다. 조사된 내용 중에서 지형, 지질, 토지이용, 기상 조건 등 기초 자료와, 지하수 이용 실태 등은 문헌 및 자료 분석을 위주로 연구를 수행하였고, 지하수 관정 중에서 관측정들을 선정하여 기압영향을 조사, 양수 및 순간 수위변화 시험, 장기 수위 모니터링 등을 실시하였다. 또 서울지역 지하수와 큰 관련을 가질 수 밖에 없는 한강의 영향을 파악하기 위해 한강변에서의 지하수위 변동과 한강수위의 변화 특성을 분석하였다. 이러한 조사자료들은 기존 자료 분석의 결과로 얻어진 기본 자료와 함께 지리정보시스템인 ARC/INFO의 데이터 형식으로 입출력될 수 있도록 종합적인 시스템을 구축하였다. 기압영향은 관정의 심도에 크게 상관없는 것으로 조사 되었으며, 따라서 대수층의 피압력이 국지적인 단열대의 발달 상태에 크게 좌우되는 것으로 판단되고 지상 및 천부 지하의 오염물질에 의한 지하수 오염 취약성도 국지적으로 많이 달라지는 상태에 있는 것으로 보인다. 수리전도도는 관정의 심도가 깊어지면서 감소하는 일반적으로 보고된 암반지하수의 특성을 보인다. 한강수위는 조수위 변화의 영향을 받지만 수중보 설치로 인해 특이한 변화 양상을 보이고, 이러한 변화로 인해 주변의 지하수위도 특징적인 변화양상을 보인다. 서울지역 지하수의 수위는 최근 약 2년간 전반적으로 하강하고 있는 것으로 관찰되나 이것은 연간 강수량의 변화 등에도 관련이 있을 수 있으므로 정확한 변화양상을 파악하기 위해 적어도 앞으로 몇 년간의 장기 모니터링 자료가 축적되어야 할 것으로 판단된다.

Hydrogeological systems in a metropolitan area can be understood by analyzing the groundwater disturbing factors such as constructions and land applications, the groundwater usage for domestic and

industrial purposes, and the groundwater pumpage to lower the groundwater level for the structural safety of subway and underground facilities. This study is part of the study performed to understand the groundwater system in the Seoul area and it is focusing on the hydraulic properties. Groundwater well inventory, barometric efficiency measurements, pumping and slug tests, and long-term groundwater monitoring have been performed during the last 2 years. The relations between Han River and the groundwater around the river also have been observed. These observations and test data, together with the information on soil distribution, geology, and logging data are used to construct a database and GIS (Geographic Information System) presentation system using ARC/INFO. Barometric efficiencies appeared to have no special trends associated with well depths, which means that the degree of confinement of the crystalline rock aquifer of the Seoul area is distributed locally depending on the development of fractures. Hydraulic conductivities exponentially decrease with well depth. The stage of Han River fluctuates according to the tidal movement of nearby seawater but the tidal effects attenuate due to the underwater dams. Groundwater levels in the Seoul area seem to have declined for the last two years, but it is not certain that the declination represents the long-term trend.

## 서론

도시지역에서 지하수시스템은 자연적인 요인이 대부분 지배적인 요소로 작용하는 경우와 큰 차이를 보인다. 이는 도시지역에서 지면의 포장으로 인한 지하수 함양량의 감소 요인과 토양에서 증발산의 감소로 인한 토양 습도의 보존 요인, 상수도나 하수도와 같은 도시지역의 인위적인 물의 공급과 배수 및 그 과정에서의 누수 등으로 인한 지하수 물수지 균형의 변화 요인 등으로 인해 지하수 및 지표수의 수리시스템에 많은 변화가 초래되기 때문이다.

각종 지상 및 지하 오염물질의 유입과 분포는 복잡한 수리시스템과 연관되어 있으며, 상수관로 및 하수관로와 지하수간의 물의 유입 및 유출 등의 요인들은 조사지역의 강수량, 증발산량, 지하수개발 이용량, 지하침투량 및 유출 등과 같은 물 수지분석 요소에 더하여 물의 원지 공급량 및 공급과정에서의 누수량 등이 복합적으로 영향을 미치므로 지하수의 함양 및 유출과 지하수 오염의 원인 및 분포를 분석하는데 혼란을 초래하기도 한다. 물의 지하 침투와 관련하여 불투수성 환경을 제공하는 건물, 도로, 포장면 등의 면적이 큰 비중을 차지하는 도심 지역에서는 강우에 의한 유출량의 증가로 강수량에 의한 지하수의 함양량이 감소하여 지하수위

가 하강할 수도 있으나 이 경우에는 불투수성 환경 때문에 증발산량의 감소 요인이 있고 (Foster, 1990; Van de Ven, 1990) 직접유출이 집중되는 저지대, 우수 및 하수관로에서 지하침투가 발생할 수 있으므로 도시화가 지하수위 하강의 직접적인 원인이 되는지는 현장 조사 및 장기관측 자료로 규명할 수 밖에 없을 것이다. 도심지역은 지하수의 이용이 집중되는 지역이 있으며 대도시 전체적으로는 지하수의 물수지균형이 유지되어 있더라도 국지적인 규모의 물수지균형이 크게 파괴될 정도의 지하수 사용은 지하수 자원의 고갈 문제 뿐만 아니라 부차적으로 지상 오염물질 및 하수 유입 등으로 인해 지하수질의 오염문제를 초래할 수 있다. 따라서 국지적인 규모의 물수지균형과 오염문제의 파악이 도시 전체적인 평균적 현황 분석보다 더 중요하고 실제적인 문제일 수 있다.

서울시는 도시의 특성상 인구밀도가 높고 녹지가 적으며 각종 지상 및 지하 구조물이 밀집되어 있으며 뚜렷이 도심과 외곽이 구별되지도 않는다. 서울시와 같은 환경을 가진 도시지역 지하수 수리특성을 파악하기 위해서는 각종 구조물에 의한 천부 지하수 환경의 교란, 가정용, 일반 산업용, 숙박, 목욕 시설 및 지하철과 같은 지하 시설과 관련된 지하수 이용 및 배수 등에 관한 종합적인 자료 수집과 분석이 필요하다. 서울시도 지하수 보전을 위

한 기초 개황을 파악하고 보전대책 수립을 위해 지하수와 관련된 종합적 연구가 필요하다는 인식하에 농어촌진흥공사에 의뢰하여 서울 전역의 지하수 기본조사를 광범위하게 실시하였다(서울특별시, 1996(a)). 본 연구의 목적은 서울지역 지하수 환경의 특성을 파악하기 위해 가장 기본적으로 필요한 자료인 수리 상수의 분포와 지하수위의 변화 및 서울지역 지하수시스템에 큰 영향을 줄 것으로 예상되는 한강의 영향 등에 관한 기초조사를 실시하고 그 결과를 정리하는 것이다. 서울지역에서 지하수 시스템을 종합적으로 파악한다는 것은 수년간의 단기 연구로는 거의 불가능한 실정이며, 서울지역 전체 규모에서의 지하수 단기 조사는 관정 현황 조사 및 수질 분석과 같은 수치자료 생산적 의미를 크게 벗어나기 어렵다. 따라서 서울지역 지하수 환경 특성 분석이라는 큰 목표의 틀 속에서 파악해 나가야 할 요소들을 지속적으로 분석해 나가고 그 자료를 축적해야 한다는 측면에서 이 연구를 진행하게 되었으며, 본 논문은 그런 측면에서 수리전도도, 기압영향률, 한강과 연계된 지하수 수리 특성에 관한 조사 결과를 제시하고 서울지역에서 지하수 수리시스템 분석에 고려해야 할 기타 몇가지 요소들에 대해 토의하고자 한다. 이와 더불어 서울지역 지하수 수리시스템 파악 및 분석에 필연적으로 연계될 수밖에 없는 많은 종류의 방대한 자료를 체계적으로 관리하고 이용하며 효과적으로 표현하기 위해 사용할 수 있는 데이터 베이스와 이의 지리정보시스템과의 연계 부분에 대해서도 간략히 토의하고자 한다.

## 수리지질 기본 배경 자료

### 지질

서울지역의 도심지에서는 각종 건축물에 의한 복토와 포장으로 인해 상세한 지표 지질조사가 어려운 대신에 각종 공사로 인한 굴착으로 지하의 암석 분포상태는 자료의 종합 정리 노력이 수반된다면 많은 정보를 얻을 수 있을 것이다. 본 연구에서는 약 2,000개 시추코어 자료 검토와 공사현장의 노두관찰 및 야외지질조사를 실시하여 수리지질학적 특이점을 찾으려고 하였다. 그러나 이러한 자료들은 아직은 광범위한 서울지역의 지하수 특성을 파악하는데 충분하지 못했다. 서울지역은 선캠브리

아기 경기편마암복합체인 편마암류와 편암이 기반암으로 있고 이를 백악기 화강암이 관입하고 있다(홍승호와 이병주, 1982; Fig. 1). 습곡, 절리, 단층 등의 구조들이 복잡하게 분포하고 편암류에 나타나는 경사는 대부분 남동 또는 북서 방향이 지배적이다. 이를 부정합적으로 제4기 충적층이 각기 다른 두께로 지층의 최상부에 존재한다. 대부분 도시지역에서 행해지는 건물공사로 인하여 이들 충적층이 교란되거나 다져진 곳도 많이 있다.

시추코어를 근거로 도심지역의 심도별 토양 및 암석의 분포상태를 살펴보면 최상부에는 주로 소량의 암편을 포함한 실트질의 매립토가 수미터 정도까지 분포하는데 이러한 상부매립토의 관찰은 도시지역에서 일반적인 특성이다. 이들 하부에 교란된 충적층이 있고 다시 이 충적층 하부에 풍화암이 위치하고 있다. 시추자료를 근거로 얻어진 자료는 수리 특성으로 대수층을 구분하는 근거로 사용한다. 지역에 따라 산지 바로 주변의 풍화암은 얇은 두께로 분포하지만 비교적 평탄한 도심 지역인 마포구 강남구, 영등포구, 동대문구 등에서는 충적층과 풍화암의 깊이가 20m 이상 되는 지역도 볼 수 있다.

### 토지이용

서울시의 토지이용 상태를 1997년 기준으로 보면 서울시 총면적 665.9km<sup>2</sup>의 53%인 352.0km<sup>2</sup>의 면적은 이미 개발된 지역으로 구분할 수 있다(서울특별시, 1996(a)). 주거지는 301.4km<sup>2</sup>, 상업지역은 21.5km<sup>2</sup>, 그리고 공업지역은 29.1km<sup>2</sup>의 면적을 가지며 지하수 함양이 자연상태와 같은 녹지지역으로 분류되는 지역의 면적은 313.9km<sup>2</sup>이다(Fig. 2). 전체 서울시 면적의 49%에 해당하는 부분이 포장되어 빗물의 직접적인 지하침투를 막으므로 지하수 충전에 직접 영향을 미친다.

### 기상

기상청의 자료에 의하면 서울지역의 년 평균기온은 12°C이고 1987년부터 10여년간 평균강수량은 1,275.7mm이다. 평균 풍속은 2.4m/sec, 최대 풍속은 4.1m/sec이고 풍향은 서 또는 남서풍 계열로 나타났다. 천기일수는 92.8일, 평균 상대습도는 67.4%, 평균기압은 1,006.1mb, 월평균 증발량 89.2mm이다(기상청, 1997). 해마다 강수량의 분포가 큰 차이를

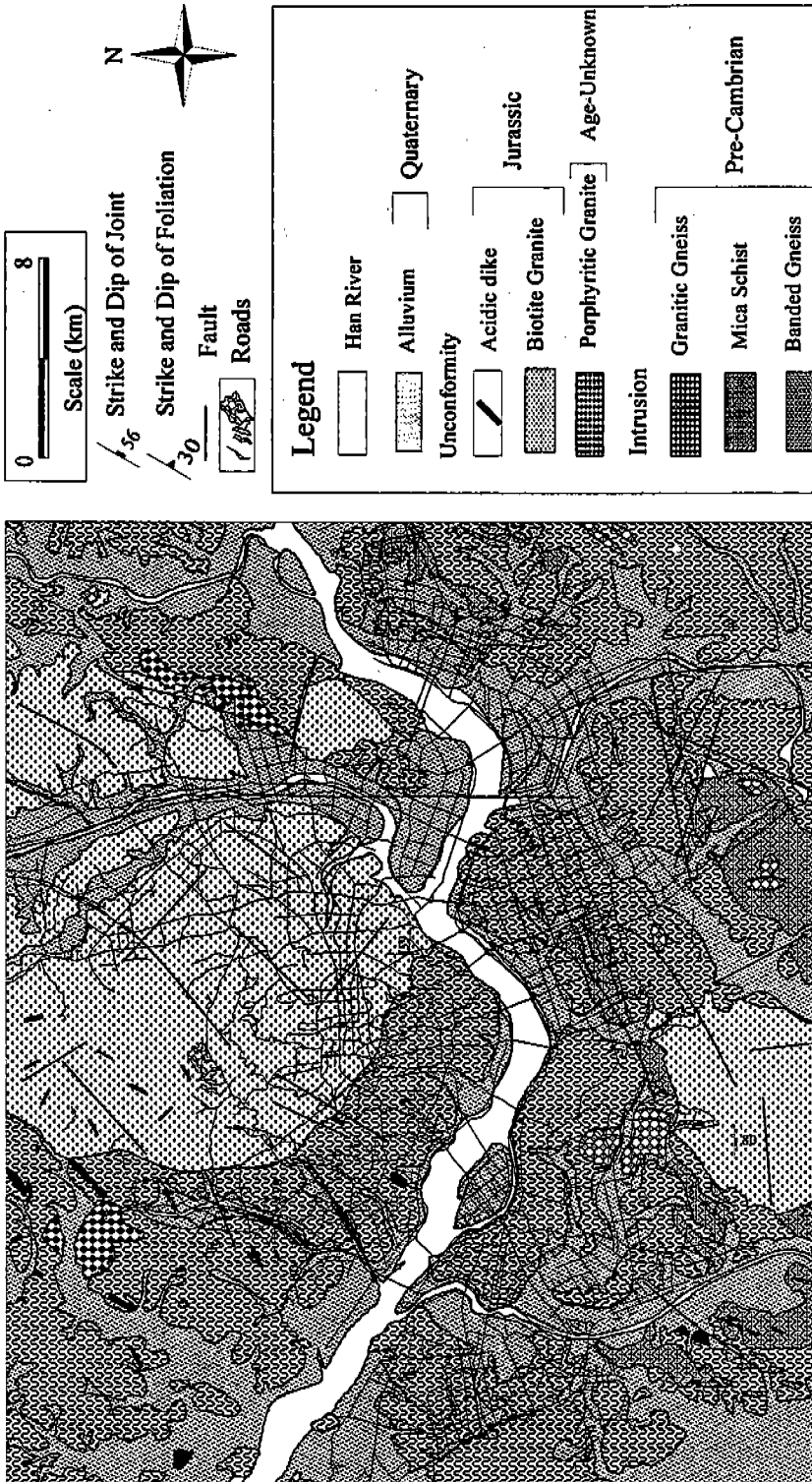


Fig. 1. Geological map of the study area.

서울지역 지하수 시스템 조사 : 수리적 특성 분석

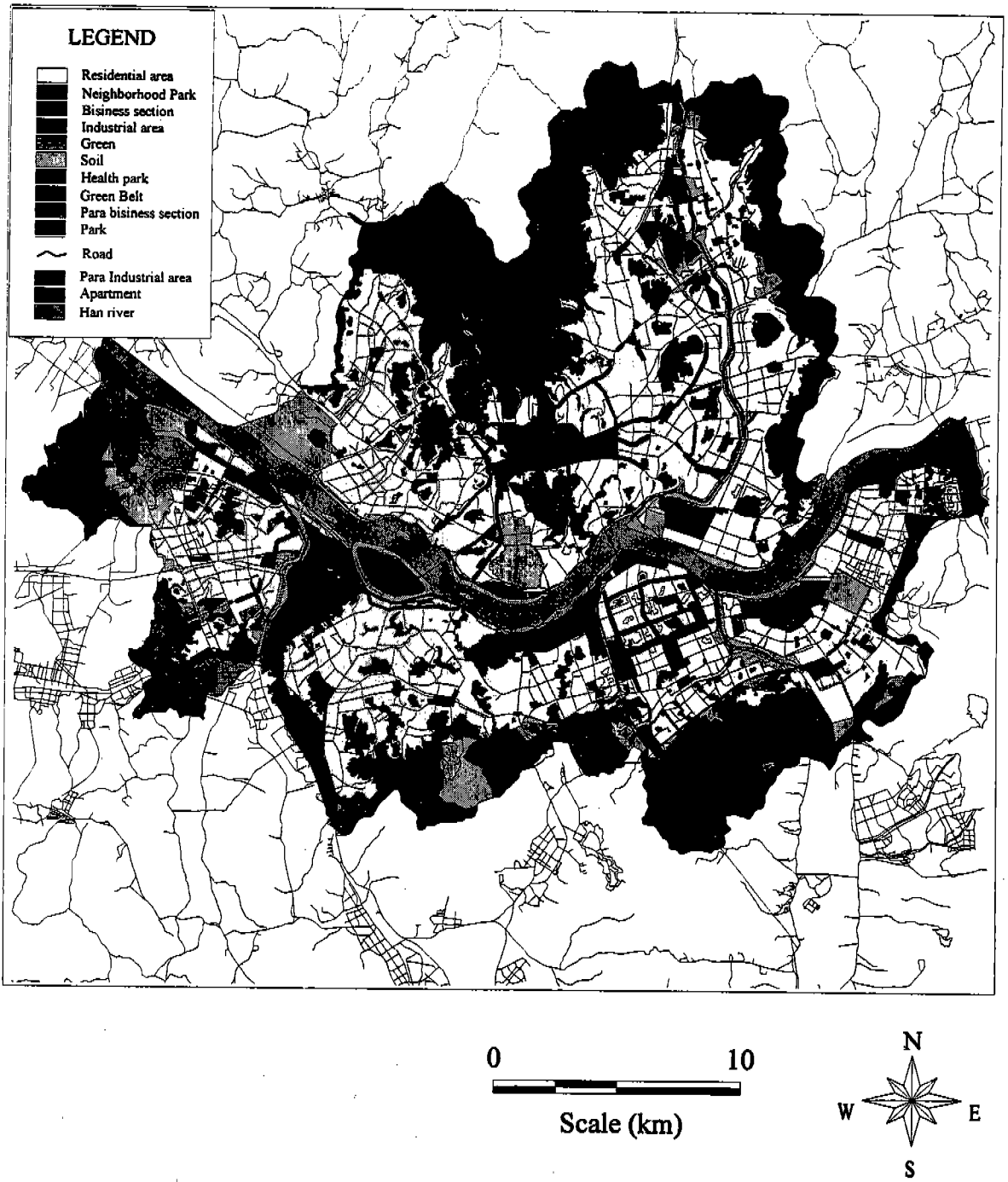


Fig. 2. Generalized land use map of the Seoul area.

보이지만 강수량은 여름에 집중되는 것을 볼 수 있다. 6-8월의 강수량은 750mm 정도로 전체 년 강수량의 59%에 해당한다. 겨울인 12-2월까지는 75mm로 전체의 6%에 해당한다. 이러한 강수량분포는 지하수 사용량의 변동과 함께 서울지역 수리시스템의 계절적 주기적 변동을 일으키는 가장 큰 요소일 것으로 보인다.

### 지하수 이용

서울시에 분포하는 지하수 관정수 중에서 지하수법 및 하수도세 부과 등 행정적인 파악과정에서 인지된 관정수는 1995년 12월 31일까지 19,193개이며, 각기 다른 용도로 사용되고 있다(서울특별시, 1996(b)). 1994년 서울시 전체 신고 관정의 총 지하수 사용량은 30,410,414m<sup>3</sup>/year이며 이 중에서 음용수는 1,241,936m<sup>3</sup>/year이고 생활용수는 25,599,522m<sup>3</sup>/year, 그리고 공업용수는 3,535,400m<sup>3</sup>/year이다. 국지적으로 일부 지역에서 사용하는 농업용수 사용량은 33,556m<sup>3</sup>/year이다.

지하수 채수시설로 1960년대에 굴착한 관정은 대부분 공동 정호 형태이거나 인력으로 우물을 만들어 사용하였다. 1970년대에는 심도가 14m를 넘지 않은 지하수 관정을 많이 굴착하여 사용하였다. 이는 충적층이 잘 발달하는 한강에 인접한 지역과 과거의 논으로 사용된 평지지역은 충적층 등을 중심으로 지하수를 개발 사용했기 때문이다. 노원구와 같이 상수도 시설이 되지 않은 지역을 중심으로 거의 모든 가옥이 공동우물 또는 개인관정에서 지하수를 무동력 또는 단순한 양수 시설로 양수하여 음용과 생활용의 뚜렷한 구분 없이 사용하였다. 1980년대는 산업화의 영향으로 지표수의 음용 불가와 인구밀집 및 오염원의 증가로 충적층 지하수를 생활용수로 사용하기 어렵게 되어서 100m 내외 심도의 심정을 주로 개발하였다. 1990년대에는 지표수 상수원 및 수도 시설에 대한 우려가 커지면서 일부 지역을 중심으로 100m 이상의 깊이까지 관정 시설을 설치하여 지하수를 개발 사용하고 있다.

### 지하수 조사 및 수리적 분석

서울시에서 지하수위 변화는 자연적인 변화요인과 함께 다양한 인위적인 변화요인에 지배된다. 지

연적인 변화는 대수층의 수리지질학적인 성질에 따라 강수량, 대기압, 조석 등에 의한 변화이며, 인위적인 변화는 지하수의 이용과 상하수도의 누수 등으로 인한 변화를 말한다. 서울지역 지하수에 관한 수리적 특성을 파악하기 위해 수리시스템에 영향을 줄 수 있는 대표적인 자연적 및 인위적 변화 요인에 대해 관찰하였고, 아울러 수리시험을 실시하여 수리상수값도 결정하였다.

### 지하수 수위분포 및 변화

지하수위 측정이 용이하고 관정 소유주의 허가를 얻은 것들 중에서 지하수위를 측정할 수 있는 곳을 선정하여 지하수위 측정과 수리 시험을 실시하였다. 여러 차례에 걸쳐 현장 수질 및 수위조사를 실시하였고 조사기간 중에 공공관정, 또는 생활용수로 사용하는 가정용 우물, 난지도 매립지의 수리시스템 조사용 관정 등 관측정 289개를 대상으로 지속적인 모니터링을 실시하였다(Fig. 3).

지하수위는 여름의 집중적인 강우로 인하여 지하수 함량양이 증가하므로 대체적으로 여름철의 수위는 겨울보다 높게 형성된다. 지형, 대수층의 특성, 토지이용에 따라 지하수의 유입, 유출이 결정되므로 지하수위를 장기간 관측하면 지하수의 유동과 대수층의 특성을 파악할 수 있다. 대부분 장기관측 결과는 계절에 따른 지하수위의 변화가 지배적인 변화 요인으로 나타났다. 지하철 공사장과 건설현장에 있는 시설들은 공사 편의와 구조적 안정을 위해 지하수를 계속 양수하므로 공사의 형태, 규모 및 진행 기간에 따라 지하수의 흐름의 왜곡 정도가 달라진다. 관측 주기를 약 1달로 정밀 수위 변화를 측정할 대상 관정중에서 그 주변에 지하철 선로가 지나가는 것들로는 도곡2동 시영아파트, 사당아파트에 위치한 관정들이며, 또는 주변에 큰 빌딩 공사를 하면서 지하깊이 굴착하면 이들 지역의 지하수위는 다른 지역에 관측 결과에 비하여 계속 하강하는 것이 관측된다.

1996년 후반부터 매월 Fig. 4에 표시된 위치에서 정기적으로 지하수위를 관측하였다. 토목 공사나 인근지역에서 지하수로 인한 영향을 적게 받는 지역에서 장기 수위관측공을 선택하였다. 이러한 장기적인 지하수위 관측의 결과 서울 지역 지하수계는 강수에 의해 유입이 많은 여름철과 반대인 거

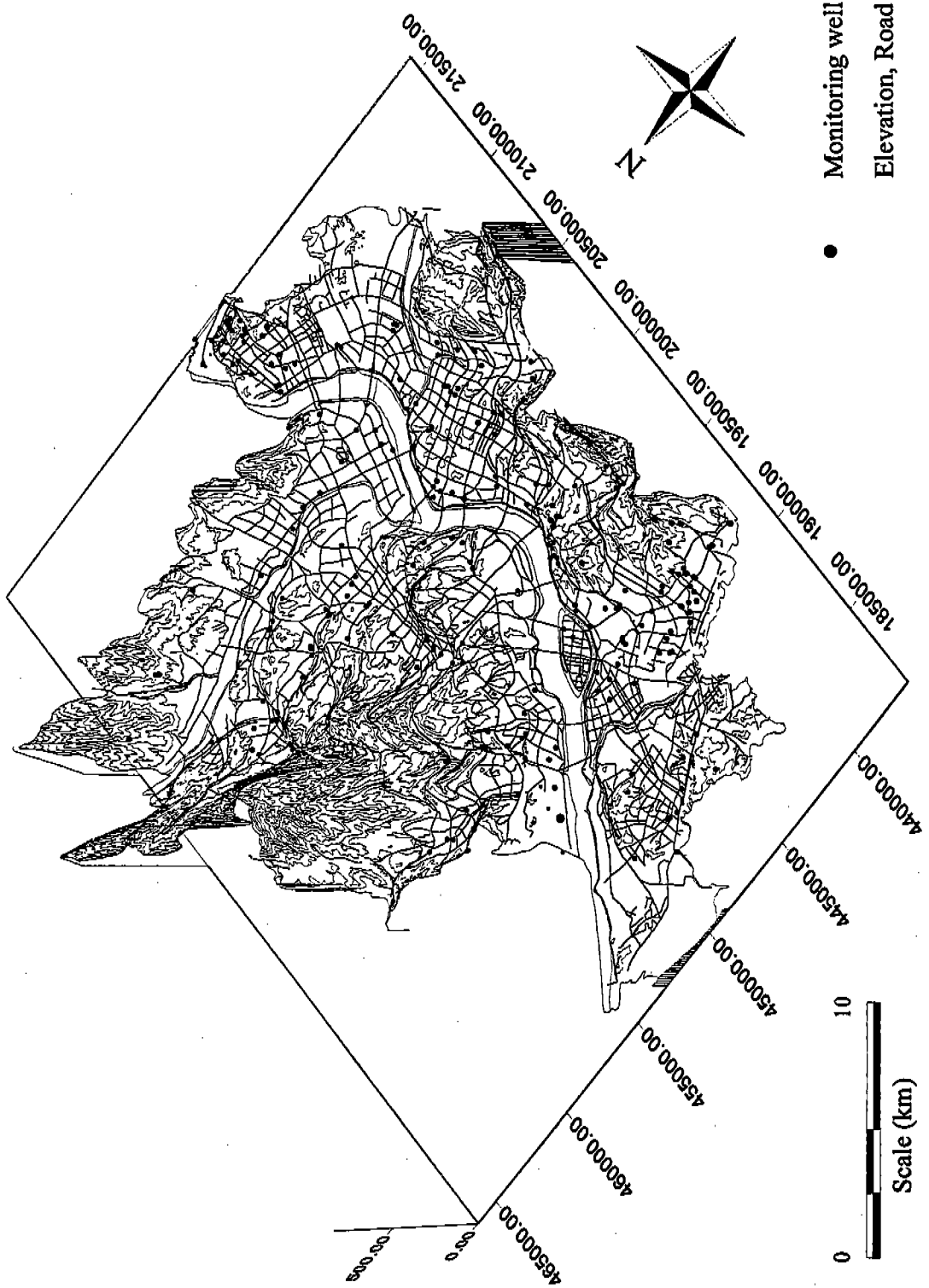


Fig. 3. Site map of the monitoring well distribution.

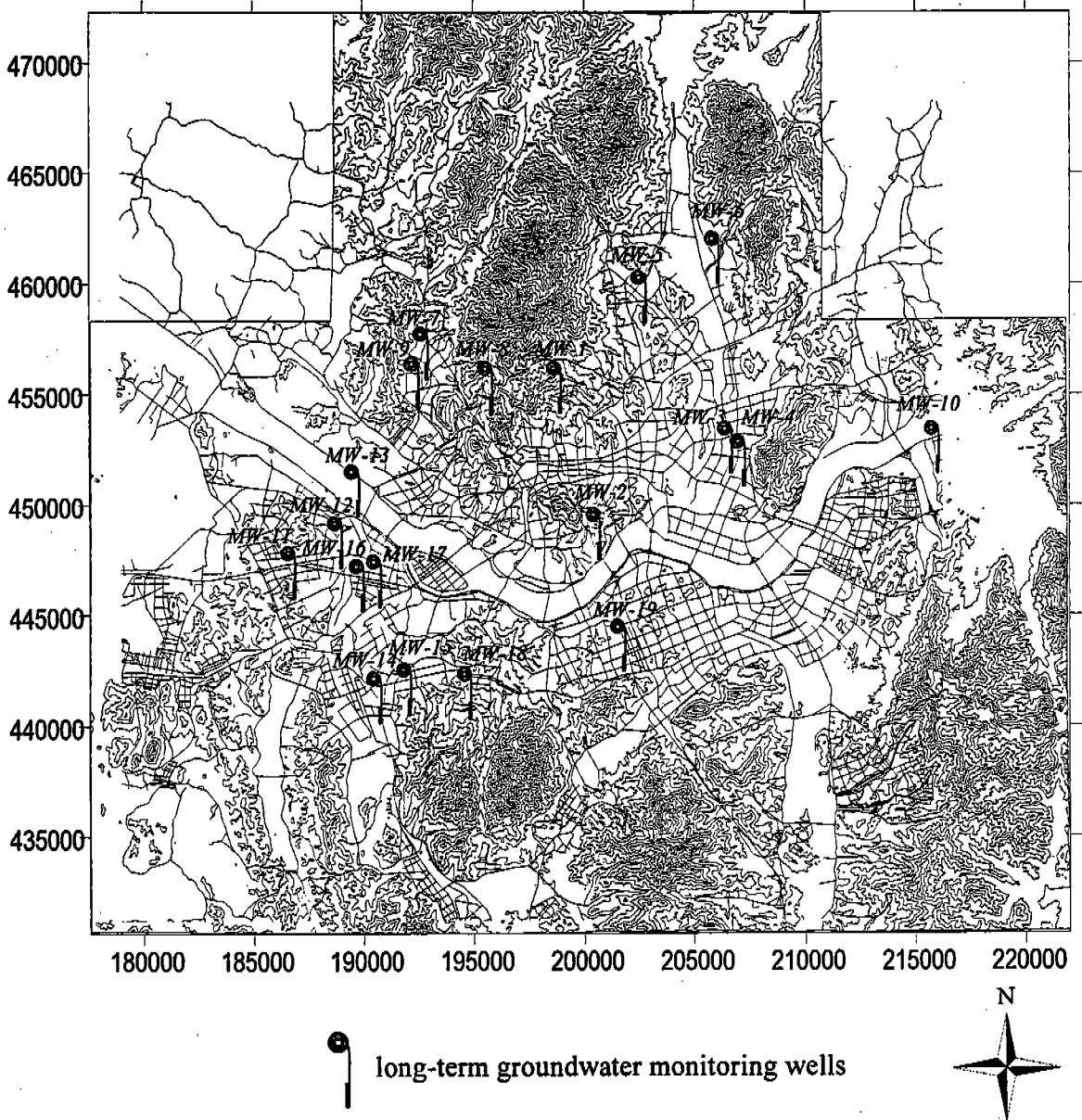


Fig. 4. Monitoring wells where long-term groundwater level changes have been measured.



올에 계절에 따른 강수량 변화나 지하수 이용량 변화의 영향으로 지하수위가 변화함을 많은 지역에서 볼 수 있다. 정기 관측정의 지하수위는 매월 지하수위를 측정하고 이때 수온, 전기전도도, pH 등도 측정하였다(Table 1). 조사 지역은 대부분 인근 관정의 영향을 적게 받는 지역을 선택하여 조사하였음에도 지하수의 변동이 심하게 일어나고 있다. 지하수위의 변동은 예외적인 일부지역을 제외하고 대부분 지역에서는 지하수위가 꾸준히 하강함을 알 수 있다. 종로구 삼청공원의 지하수위는 1년 동안 약 60cm, 옥정초등학교에서 약 1m의 수위 강하 후 다시 회복되고 있다. 양천구 파리공원 관측정의 1년 동안의 수위 강하량은 약 5m 정도에 이른다. 도봉구 창2동 어린이놀이터, 서대문 북가좌2동 어린이놀이터, 양천구 신월6동 신인약수아파트, 염창동 해촌아파트에 위치한 관정에서는 인위적인 양수와 주변의 공사로 지하수위가 계속 하강하는 것으로 보인다. 이러한 현상은 주변의 빌딩공사현장에서 공사의 안정을 위해 장기양수와 1997년 가을의 낮은 강수량으로 인해 발생된 문제인 것으로 사료된다. 이의 확인을 위해서는 앞으로 몇 년 동안은 지속적으로 변화를 관찰하여야 한다.

강우로 인한 지하수위의 반응을 직접적으로 관찰할 수 있는 현상으로 Fig. 5에서와 같이 장기양수 시험중의 수위상승 현상을 들 수 있다. Fig. 5는 강남구 개포3동 공무원아파트 8단지에서 14일 동안 계속된 장기 양수 시험기간 중에 내린 강우로 인해 양수중에도 오히려 수위가 상승하는 것이 관측되었으며, 수위 상승 부분과 개략적인 공급률을 감안하면 강우의 영향이 크고 빠르게 나타나므로 강우로 인한 하수관로 및 이와 유사한 곳으로의 물 집중현상과 이런 곳에서 극지적으로 지하수 함양을 많이 시킬 수 있는 어떤 메카니즘에 의해서 이러한 현상이 관측된 것으로 분석된다. 이러한 현상으로부터 서울지역의 지하수는, 특히 얕은 심도의 지하수는, 지상 및 그 부근의 오염물질에 대부분 노출되어 있는 것으로 판단할 수 있다.

**기압영향을**

대기압의 변화에 따른 지하수위 변화는 자유면 대수층보다 피압대수층 환경에서 잘 나타난다. 대수층에서 지하수위는 대수층의 외부, 즉 지면과의

밀폐도에 따라서 대기압의 영향을 지연시간 없이 직접적으로 받거나 거의 받지 않을 수 있다. 그러나 지하수 관정내의 지하수는 지하수 관정이 지상과 연결되어 있으므로 대기압 변화의 영향을 바로 받기 때문에 대기압의 변화에 따라서 대수층내의 지하수의 수위가 달라질 수 있다. 기압영향율은 대기압의 변화폭에 따른 관정에서의 지하수위 변화를 압력단위로 계산하여 그 비율을 나타낸 것이며 (Davis and Dewiest, 1966), 피압조건에 가까울수록 기압영향율이 높아지며, 기압영향율은 또한 대수층의 밀폐도에 대한 정보도 제공한다. Marine (1975)는 조석과 기압의 영향이 양수시험시 수위변화중 최고 약 10cm 정도의 변화를 만들 수 있는 것으로 파악하였다. Nevulis et al. (1989)는 양수시험 결과 해석에서 자연적인 수위변화를 긴 시간으로 측정하여 수리특성을 연구하는데 적용하였으며, Landmeyer (1996)은 기압영향을 결정이 대수층의 피압정도와 지상으로 부터의 밀폐도에 관한 정보를 제공하여 대수층의 수리지질학적 특성 뿐만 아니라 대수층의 오염취약성을 분석하는데 유용한 자료가 됨을 설명하였다.

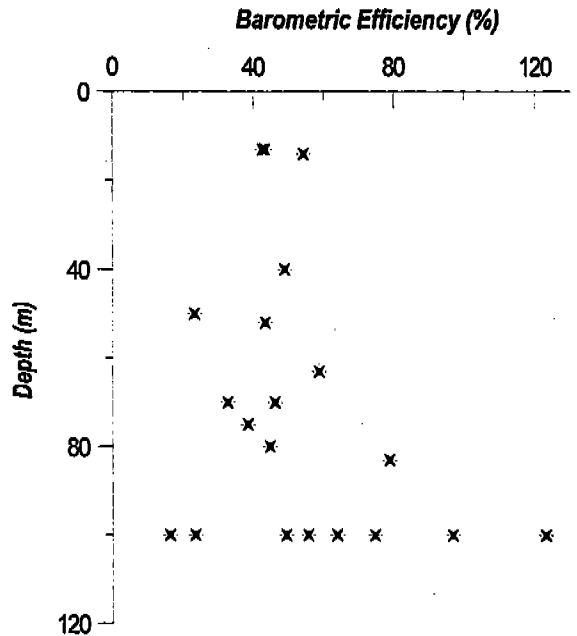


Fig. 6. Correlation between barometric efficiency and well depth.

Table 1. Water level, EC, pH, and temperature monitoring at groundwater wells.

	Date	Depth to water level(m)	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )		Date	Depth to water level(m)	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
삼정공원 (MW-1)	11/07/96	3.94	680	6.84	15.2	신안약수 (MW-11)	08/01/96	1.45	214	6.08	16.3
	12/28/96	4.22	527	7.08	14.8		10/14/96	3.11	148	7.1	15.8
	01/23/97	4.27					01/23/97	3.8			
	02/12/97	4.41					02/13/97	3.84	148	6.65	15.4
	04/01/97	4.23	465	7.41	13.9		04/01/97	1.79	125	6.72	
	04/30/97	4.73	551	6.35	14.1		04/30/97	3.24			
	05/22/97	3.78	317	6.21	14.7		05/19/97	2.1	202	6.81	15.1
	08/06/97	4.19	429	6.25	15.3		08/06/97	1.76	179	6.6	16.3
	09/03/97	4.54	522	6.95			09/02/97	2.98	158	6.88	
	09/26/97	6.58					10/03/97	3.36	181	6.85	
옥정초등학교 (MW-2)	10/03/97	4.55	430	6.64		파리공원 (MW-12)	08/01/96	3.79	222	6.3	14.3
	10/17/96		458	6.45	16.2		10/14/96	5.34	291	7.2	13.6
	01/23/97	2.7					12/26/96	6.29	276	7.02	13.9
	02/12/97	2.68					01/23/97	6.52			
	04/30/97	2.66					02/13/97	6.89			
	06/05/97	3.03	443	6.65	16.9		04/01/97	7.39	335	6.3	13
장안근리 (MW-3)	08/06/97	2.11				04/30/97	7.74	330	6.37	13.6	
	09/01/97	3.84	560	6.7	17.3	05/19/97	7.62	273	6.95	13.2	
	09/13/96	5.82	720	6.58	15	06/10/97	7.94				
	10/17/96	5.4	726	6.74	14.4	08/06/97	8.39	394	6.13	14.9	
	12/28/96	5.59	788	6.56	15	09/02/97	8.89				
	01/23/97	5.65									
중랑시영 (MW-4)	02/12/97	5.7				강서해촌 (MW-13)	10/14/96	3.12	362	7.3	14.5
	04/30/97	5.76	735	6.27	14.1		12/26/96	3.77			
	06/04/97	5.62	546	6.05	14.9		01/23/97	4.4			
	09/02/97	5.56					02/13/97	4.94			
	08/12/96	4.87	567	6.12	17		04/03/97	7.38			

Table 1.(Continued)

도봉장2 (MW-5)	10/30/96	6.04	561	6.1	16.5	구로독산 (MW-14)	04/30/97	7.4			
	12/28/96	6.38	576	6.35	16.5		05/19/97	6.33	338	6.41	14.4
	01/23/97	6.53					06/09/97	6.4			
	02/12/97	6.61					08/06/97	5.78			
	04/01/97	6.06	577	6.26	18		09/02/97	4.23			
	04/30/97	5.95	578	6.22	15.3		08/01/96	3.7			
	06/03/97	5.46	472	6.17	16.5		11/10/96	3.58			
	08/06/97	5.28					12/28/96	3.68			
	09/04/97	5.59					01/23/97	3.73			
	08/12/96	8.21	353	6.91	16.6		02/13/97	3.93			
노원하신 (MW-6)	11/04/96	8.21	353	6.91	16.6	04/01/97	4.06				
	12/27/96	6.3	354	6.89		04/30/97	3.91	792	6.3	14.5	
	01/23/97	6.33				05/19/97		769	6.46	14.3	
	02/13/97	6.53	353	6.57	16	08/06/97	3.1				
	04/01/97	5.54				10/03/97		838	6.35		
	04/30/97	5.91	363	6.55	15.6	08/01/96	5.3	641	7.17	14.8	
	06/03/97	5.62	320	6.84	18	10/29/96	13.1	479	7.77	15.1	
	08/06/97	5.38				11/10/96		469	7.47	14.8	
	09/02/97	5.7				12/28/96	12.01	495	8.03		
	08/12/96	6.3	420	6.95	17.2	01/23/97	12.1				
은평대조 (MW-7)	11/04/96	7.45	420	6.95	17.2	02/13/97	12.22				
	12/26/96	7.26	414	6.97	16.1	04/01/97		534	7.91		
	01/23/97	7.55				04/30/97		5.19	6.63		
	02/13/97	7.74	435	6.83		05/19/97		687	7.4	14.1	
	04/01/97	7.91	425	6.8	16.5	08/06/97		542	7.58		
	04/30/97	7.87	383	6.72	16.4	10/03/97		580	7.73		
	06/03/97	6.82	398	7.05	17.5	11/04/96		1940	6.4	15.8	
	08/06/97	5.83	453	7.02	17.6	12/28/96	35	1265	6.63	16	
	10/03/97	5.2	435	7.05		04/01/97		1084	6.51	14.5	
	08/13/96	1.9	479	6.32	15.6	04/30/97	14.83	1848	6.42	14.8	
					08/06/97		1646	6.61	16.4		

Table 1. (Continued)

인왕초동 (MW-8)	10/29/96	485	6.48	15.6	영남중 (MW-17)	11/02/96	5.97	700	6.89	15.8
	12/26/96	483	6.55	15.3		12/26/96	6.31	702	7.1	15.3
	01/23/97					01/23/97	6.53			
	02/13/97	484	6.44	14.6		02/13/97	6.69			
	04/01/97					04/01/97	6.84	724	7.24	14.3
	04/30/97	484	6.31	14.4		04/30/97	6.9			
	05/21/97	408	6.51	15.4		05/23/97	6.81	699	6.86	16.1
	08/06/97	480	6.46	15.7		08/06/97	6.24	744	7.3	15.9
	08/13/96	789	6.2	19.2		10/03/97	6.34	888	7.16	15.5
	12/26/96	4.35				08/01/96	6.1	582	6.56	14.9
북기좌2 (MW-9)	01/23/97	4.64			10/29/96	6.37	600	6.74	15.2	
	02/13/97	4.82			11/10/96	6.73	593	6.14	15.1	
	04/30/97	4.32	6.43	15.2	12/26/96	6.95	600	6.8	14.8	
	08/06/97	2.96	6.45	19.7	01/23/97	7.13	600	6.8	14.8	
	09/04/97	3.26	6.43		02/13/97	7.24				
	08/13/96	4.1	6.47	17.2	04/01/97	7.45	685	6.65	13.8	
	10/26/96	5.21	7.03	20	04/30/97	7.33	598	5.83	13.9	
	12/26/96	5.66	6.81	17.3	05/19/97	6.94	615	6.29	13.8	
	01/23/97	5.87			08/06/97	6.03	649	6.23	15.4	
	02/13/97	6.09			09/01/97	6.22	608	6.6	16	
강동하1 (MW-10)	04/01/97	6.2			10/03/97	6.68	678	6.72		
	04/30/97	6.14	6.39	15.5	09/23/96	9.21	253	7.25	15	
	08/06/97		6.5	17	10/18/96	9.21	311	7	14.8	
	09/04/96	8.56	6.72	15.1	12/26/96		312	7.27	15.3	
	10/29/96	8.4	6.31		01/23/97					
	01/23/97	9.67	6.25		02/13/97		323	7.24	20.5	
	02/13/97				04/01/97	9.92	310	7.18	17.4	
	08/06/97	8.72	6.14	16	05/22/97	9.98	312	6.93	14.9	
	09/03/97	8.63	6.06		08/06/97		309	7	15.9	
	10/03/97	8.53	6.21		09/01/97	9.22	338	7.22	15.8	

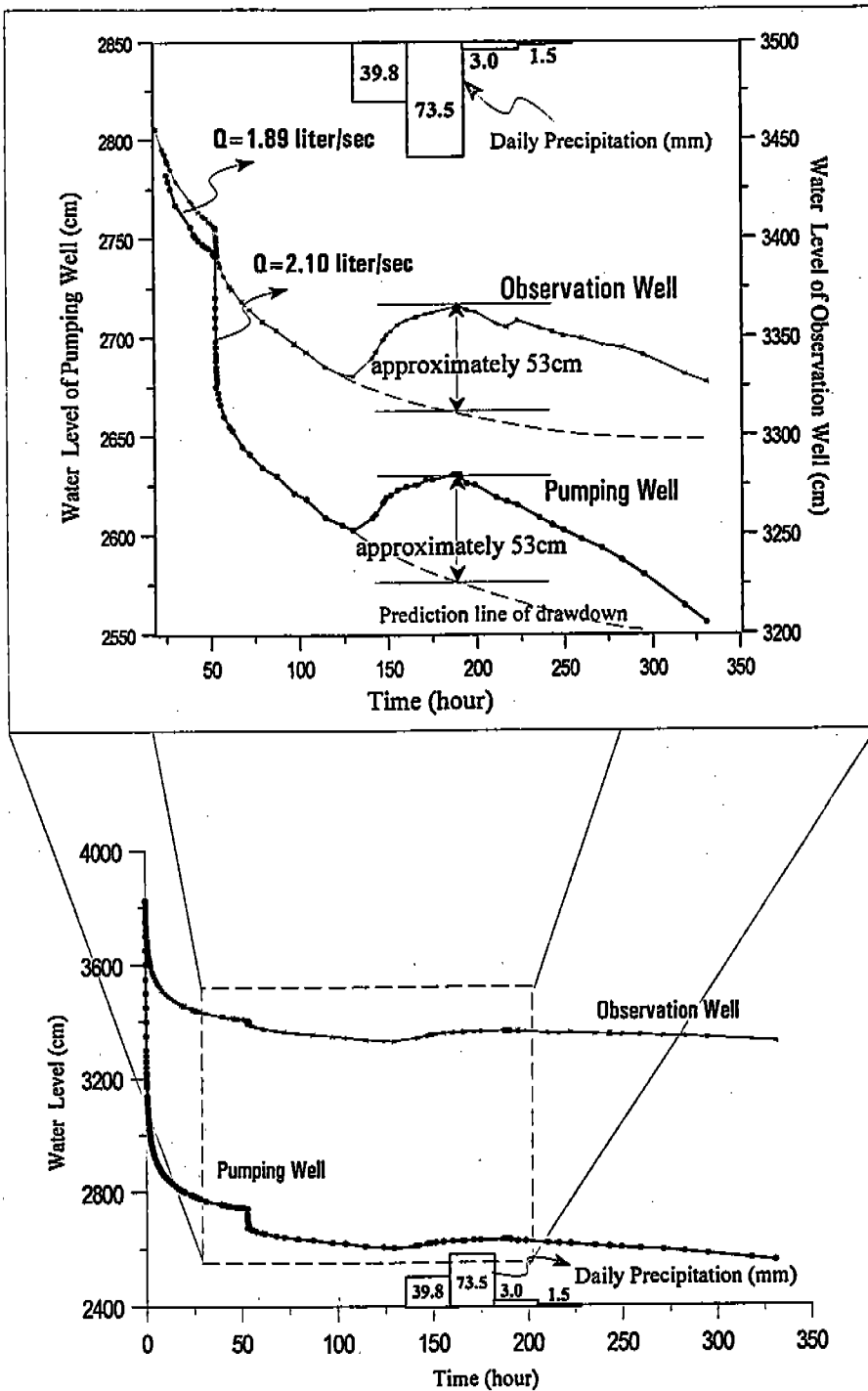


Fig. 5. Drawdown data of a well in Kaepo-Dong, Kangnam-Gu during pumping test from May 6, 1997 to May 21, 1997.

Table 2. Barometric efficiency calculated from measurements of water levels and atmospheric pressures.

Well sites	Elevation (m)	Depth to water level (m)	Well depth (m)	Barometric efficiency (%)	Remark
장안 3 동 근린공원	20.0	5.76	40	48.8	
장안 3 동 시영아파트 19 동	19.5	5.16	14	70.6	
장안 3 동 시영아파트사무소	20.0	5.19	14	54.2	
장안 2 동 시영아파트	20.0	5.87	74	295	May be pumping
장안 3 동 시영아파트 31 동	20.0	5.01	13	42.5	
면목 5 동 어린이 공원	25.0	4.32	13	43.2	
면목 4 동 시영아파트	23.0	6.38	52	43.2	
구리시 교문동	30.0	22.04	70	123.0	
구리시 교문동 한화에너지	21.0	5.66	50	23.0	
강남개포동 공원	20.0	2.70	100	74.6	
강남개포현대아파트	19.5	4.28	100	49.2	
강남공무원 8 단지 아파트	21.0	2.04	100	96.7	
강남공무원 9 단지 아파트	26.0	4.95	100	23.2	
수도전기공고	21.0	2.35	100	16.1	
신월 4 등사무소 안	21.0	3.84	70	115.3	May be pumping
화곡동대림아파트	24.0	3.67	100	63.7	
트럭터미널	40.0	4.36	70	46.03	
왕실아파트	24.5	5.85	80	44.6	
독수리아파트	24.0	3.32	70	32.6	
한성아파트	35.0	1.02	61	148	May be pumping
옥수동 옥정초등학교	20.0	2.68	75	38.4	
광희중학교	15.0	8.62	14	96.2	May be pumping
갈현초등학교	32.0	4.77	83	78.8	
서울대학교 교수아파트	75.0	0.55	63	498	May be pumping
낙성대공원	63.0	1.34	150	55.5	

자연적인 지하수위의 변화폭을 측정하기 위해 24 시간 이상동안 매 시각마다 대기압과 지하수위 변화를 측정하였다. 27곳의 관정에서 지하수위를 매 1 시간 또는 30분 간격으로 24시간 이상 수동 수위관측기로 측정하였으며, 대기압도 현장에서 직접 아날로그 방식의 기압계로 측정하였고 이런 측정한 관정에서 지하수위를 두 달 정도에 걸쳐 그 변화를 측정하여 일일 변동량이 기압의 영향인지를 파악하였다. 관측결과를 이용하여 기압영향율을 계

산하였다(Table 2). 기압영향율은 얇은 심도의 자유면대수층 환경이 확실히 되는 곳에서 40% 미만으로 나타났으며, 이에 비해 심도가 깊은 우물의 기압영향율은 자유면대수층보다 대체적으로 크게 나타난다. 어떤 경우에는 주변 관정이나 시설로 인한 지하수위 간섭 효과때문에 기압영향율을 구할 수가 없었다.

큰 간섭 효과 없이 구해진 다양한 분포의 기압영향율은 지하수 관정의 깊이와 대수층의 암질과

수리성, 대수층의 피압정도 등의 수리지질학적 특성을 반영한다. 기압영향률과 대수층의 피압정도 또는 지상 환경으로 부터의 밀폐도에 관한 경향성을 파악하기 위해 관정의 깊이와 기압영향률을 검토한 결과 뚜렷한 상관관계를 찾아볼 수 없다 (Fig. 6). 이는 대수층의 피압정도가 심도가 증가하면서 증가하는 현상보다는 단열대의 수평적인 발달 상태가 비균질적인 국지성을 나타내므로 수평적인 변화의 폭이 심도에 따른 변화의 폭을 무시할 수 있을 정도로 크다는 것을 의미한다.

**수리전도도**

수리전도도는 순간수위변화시험과 양수시험을 통해 측정하였다. 서울시내 대부분의 가정용 및 산업용 관정은 시설 여건상 수위변화를 측정하기 어려운 곳이 대부분이다. 따라서 수리시험을 실시할 수 있는 비상급수용 시설 관정에서 주로 수리시험을 실시하였다. 수리전도도의 분포는 암질과 심도에 따라  $1.462 \times 10^{-3}$ 에서  $2.256 \times 10^{-9}$  m/sec의 분포를 보인다. 수리시험 실시 지점의 분포가 제한적인 관제로 서울지역에서 수리상수의 지역적인 분포 특성을 파악하기는 어려웠다. 수리상수의 관정심도별 분포를 살펴보면 Fig. 7와 같으며 관정의 심도가

깊어질 수록 대체적으로 수리상수값도 감소하는 경향을 보인다. 감소 경향은 지수감소 모형에 적합한 형태로 감소하는 경향을 보여서 암반대수층에서 심도에 따른 수리상수가 감소하는 일반적인 양상과 일치하는 상태를 보인다. 다만 이 경향과 위의 기압영향률은 심도에 거의 상관없다는 것으로 볼 때 서울지역 전체를 놓고 볼 때 대수층의 수평적 분포 상태는 국지적인 절리 발달 상태에 크게 의존하는 것으로 해석할 수 있다.

**지하철과 관련된 지하수 배수 및 수리적 변화**

서울시의 지하철은 지금 운행 중인 1기 (1-4호선)와 2기 지하철 (5-8호선) 총연장 160km 구간 중 5호선 도심 구간 등 모두 98.5km구간이 개통되어 운행 중이며 3기 지하철(9-12호선) 건설도 계획 중이다. 1-5호선까지 지하철역에서 하루에 뽑아올리는 지하수는 총 78,417m<sup>3</sup>에 달한다(Table 3). 이 양수량으로 1년 동안 지하수를 뽑아내면 28,622,204m<sup>3</sup>이다. 또한 6-8호선 공사 구간을 계산하면 이보다는 훨씬 많을 것이다. 2기 지하철역도 거의 마무리 단계이고 지하철 공사가 계속 진행 중이므로 실제 서울시 전역의 양수량은 1기 지하철과 비슷할 것으로 판단된다. 그러면 하루에 약 100,000m<sup>3</sup>정도가 양수된다고 볼 수 있다.

서울시의 지하수위가 대부분 지면으로부터 평균 4-8m 깊이에서 지하수위가 형성되는 것을 감안하면, 이보다 더 깊은 지하철 터널과 이에서의 배수는 지하철 노선을 따라 지하수의 선상 sink를 만든다는 것을 의미한다. 이러한 선상 sink의 주변 지하수에의 영향은 영향 범위를 과학적으로 어떤 근거로 잡느냐에 따라 달라지지만, sink지점에서의 양수로 인한 변화가 측정 오차나 여타 기압변화나 자연변화폭 보다 크고 또한 그 변화가 줄자형 수동 수위 관측기로 수위 변화를 확인할 수 있을 정도이거나 sink점에서의 양수량을 조달할 수 있는 ZOC (Zone Of Contribution)을 그 영향을 받는 범위로 잡을 수 있다. 지하철 역사 각 지점의 정확한 양수량이 파악된 구간과 그렇지 못한 구간이 있으므로 여기서는 국지적인 자료보다는 모든 지하철 역사에서의 배수량과 배수의 효과를 일정하게 받는다고 가정된 지하철 배수구간 (지상 구간에서 배수가 없는 현상은 별도로 고려하지 않음) 총 연장길이를

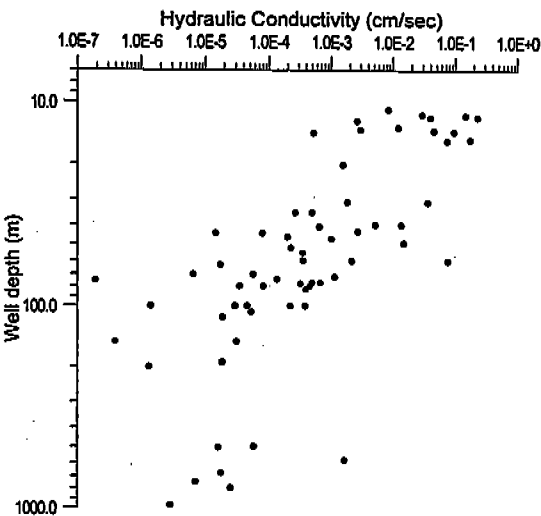


Fig. 7. Correlation between well depth and hydraulic conductivity.

Table 3. Daily pumping rates of subway pumping stations.

호선 역사 이름	Q (cmd)	Depth (m)	호선 역사 이름	Q (cmd)	Depth (m)
1 호선 서울역	53.2	11.65	3 호선 양재본선	97.9	15
1 호선 시청	106.5	10.6	3 호선 매통	1872	15.5
1 호선 종각	59	11.2	3 호선 도곡	1152	24
1 호선 종로 3 가	14.4	11.25	3 호선 대치	3312	23
1 호선 종로 5 가	122.4	11.15	3 호선 학여울	144	22.85
1 호선 동대문	71.5	11.25	3 호선 대청	490	15.1
1 호선 신설동	205.9	10.4	3 호선 일원	144	18.1
1 호선 신설동본선	116.69	15	3 호선 수서	360	14
1 호선 제기동	12.9	11.4	3 호선 수서본선	288	26
1 호선 청량리 중부	17.2	14.52	4 호선 쌍문	2.2	14
1 호선 청량리 서부	18.7	14.52	4 호선 쌍문본선	374	13.7
1 호선 청량리 제기	92.1	14.52	4 호선 수유	3312	13.5
1 호선 청량리 성북	46.1	14.52	4 호선 수유본선	86.4	13.5
2 호선 신설동	1586	13	4 호선 미아	4.2	14.1
2 호선 신설동 본선 1	401.7	17	4 호선 미아삼거리	1094	13.5
2 호선 신설동 본선 2	266.4	10	4 호선 길음	3024	13.5
2 호선 시청	206	19.83	4 호선 성신여대	547	14.5
2 호선 시청본선	41.7	12.55	4 호선 한성대	201	13.6
2 호선 을지입구	106.7	15.83	4 호선 혜화	979	13.5
2 호선 을지 4 가	3.1	15.4	4 호선 동대문	1728	21
2 호선 동대문운동장	131	12.97	4 호선 충무로	360	24.5
2 호선 신당 A	765	12.35	4 호선 충무로 본선	43.2	15
2 호선 신당 B	508	12.35	4 호선 명동	576	22
2 호선 왕십리	194	13	4 호선 회현	351	22.5
2 호선 잠실	216	16	4 호선 서울역	648	20
2 호선 신천	113	13	4 호선 숙대입구	28.8	15
2 호선 종합운동장	230	12.4	4 호선 삼각지	460	13
2 호선 종합운동본선	43.2	18	4 호선 신용산	43.2	12.5
2 호선 삼성	216	12	4 호선 이촌	11.5	13
2 호선 선릉	28.8	12	4 호선 충신대	403	13.5
2 호선 역삼	14.4	17.7	4 호선 사당	388	21
2 호선 강남	72	12.5	4 호선 남태령본선	1828.8	35
2 호선 강남본선	72	12.5	4 호선 남태령본선 2	849.6	35
2 호선 서초	28.8	12.6	5 호선 방화	43	
2 호선 방배	1152	12.7	5 호선 개화산	72	
2 호선 방배본선	216	13.7	5 호선 송정	245	
2 호선 사당내선	763	13	5 호선 마곡본선	749	
2 호선 사당외선	705	13	5 호선 마곡	0.15	



서울지역 지하수 시스템 조사 : 수리적 특성 분석

Table 3. (Continued)

2 호선 낙성대	7.2	18	5 호선 화곡	2.88
2 호선 서울대입구	72	13.5	5 호선 까치산	1,958
2 호선 불천	302	11.9	5 호선 목동	0.15
2 호선 신림	432	13.46	5 호선 오목교	0.15
2 호선 신도림	28.8	18	5 호선 양평	10,022
2 호선 신도림본선	72	18	5 호선 영등포시장	3,830
2 호선 신도림기지측	28.8	20	5 호선 여의도	3,686
2 호선 도림천	144	18	5 호선 마장본선	965
2 호선 도림천본선	374.4	18.5	5 호선 마장	0.15
2 호선 양천구청	54.7	17.8	5 호선 답십리	1,613
2 호선 양천구본선	55.3	12	5 호선 장안평본선	4,666
2 호선 문래	28.8	11.95	5 호선 장안평본선	1,397
2 호선 영등포구청	43.2	12.95	5 호선 군자본선	2,923
2 호선 합정	57.6	20	5 호선 군자	115
2 호선 흥대입구	144	23	5 호선 아차산	0.15
2 호선 신촌	115.2	15	5 호선 광나루	288
2 호선 신촌본선	705.6	16	5 호선 천호본선	5,760
2 호선 아현	1468	16	5 호선 천호본선	3,168
2 호선 총정로	15.8	16.55	5 호선 천호	1.44
3 호선 구파발	576	14.1	5 호선 강동	19
3 호선 구파발본선	57	14.1	5 호선 길동본선	65
3 호선 연신내	1296	13.4	5 호선 길동	950
3 호선 불광	100	13.1	5 호선 굽은다리	662
3 호선 북변	72	13.5	5 호선 명일	58
3 호선 홍제	28	15.49	5 호선 고덕	202
3 호선 홍제본선	1815	14.4	5 호선 상일	40
3 호선 무악제	14	16	5 호선 둔촌본선	1,195
3 호선 독립문	1296	16	5 호선 둔촌	173
3 호선 경복궁	2736	18.69	5 호선 올림픽본선	86
3 호선 안국	993	17.15	5 호선 올림픽공원	14
3 호선 종로 3 가	2030	20	5 호선 방이	14
3 호선 을지 3 가	777	18.3	5 호선 오금본선	576
3 호선 충무로	697	22	5 호선 개농본선	648
3 호선 동대입구	792	16.7	5 호선 개농	14
3 호선 약수	276	12.9	5 호선 거여본선	1,440
3 호선 금호	11.8	12.39	5 호선 거여	86
3 호선 고속터미널	720	15.65	5 호선 마천본선	878
3 호선 교대	288	18.45	5 호선 마천	619
3 호선 양재	69.1	14.1	총양수량( $m^3/day$ )	78,417 $m^3$

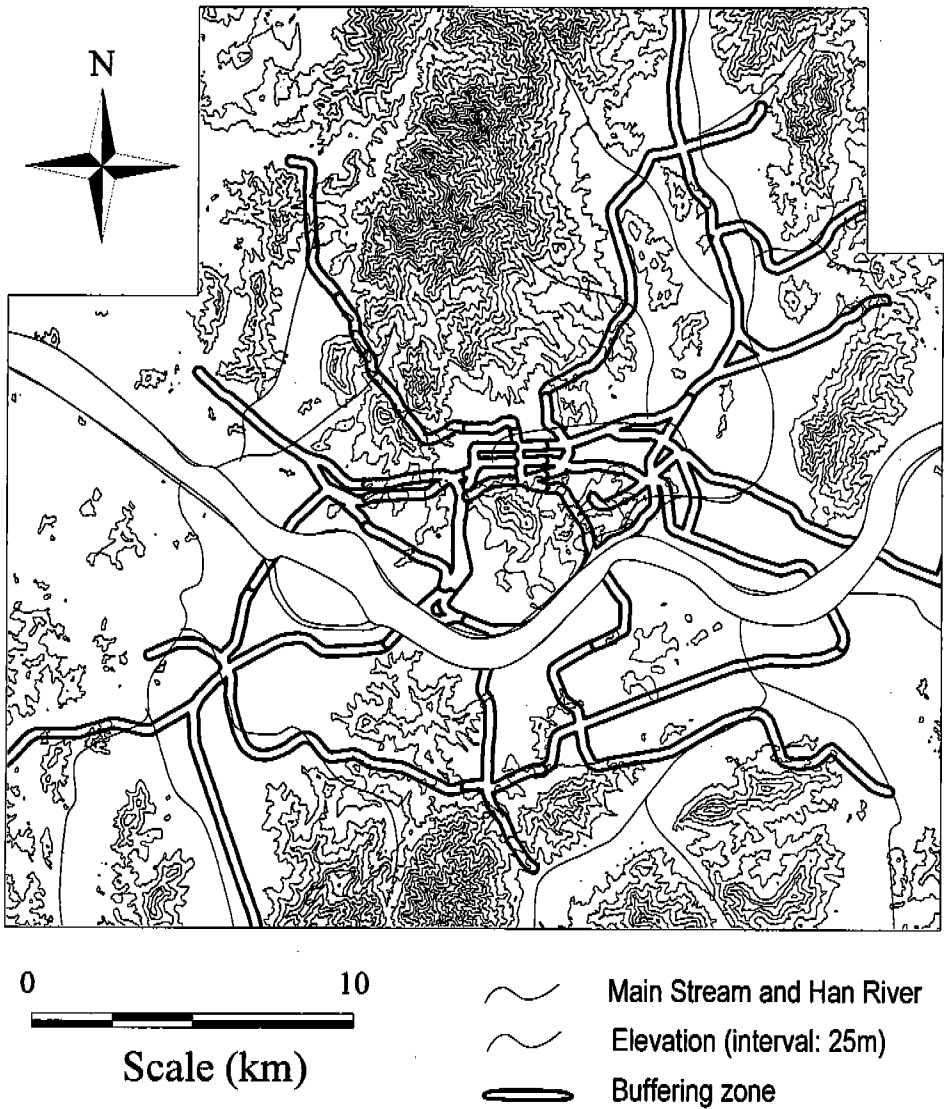


Fig. 8. Pumping stations along subway lines act as groundwater line sinks. The 150m radial distance buffered by ARC/INFO function.

이용하여 개략적인 범위를 구하였다(Fig. 8). 이러한 범위는 지하수 함양량과 수리전도도 및 정확한 배수지점과 배수량을 이용하여 각 지점에서 구한 범위를 중첩 시켜 나가야 하지만 여기서는 서울 지역 전체에서 지하철과 관련된 배수의 영향이 어느 정도인지를 개략적으로 보기 위해 여러 가지 요소들을 평균하여 나타내 보았다. 즉, 단위구간 당 배수량에 대해 단위구간에 해당하는 버퍼 구간의

강우에 의한 지하수 함양율과 상하수도 누수에 의한 함양율 및 수위강하로 인한 누수추진 효과 등을 합하여 총 함양율이  $0.5 \sim 1.0 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{year}$ 의 범위라고 한다면 버퍼링의 구간 반경 (Radial) 평균 150m 정도가 배수량과 함양량이 균형을 맞추는 구간으로 추정된다. 다만 함양량과 국지적인 변화폭에 대한 분석은 향후 개선의 여지가 많으며, 이에 대한 연구를 계속 진행시켜 나갈 것이다. Fig. 9는 지하

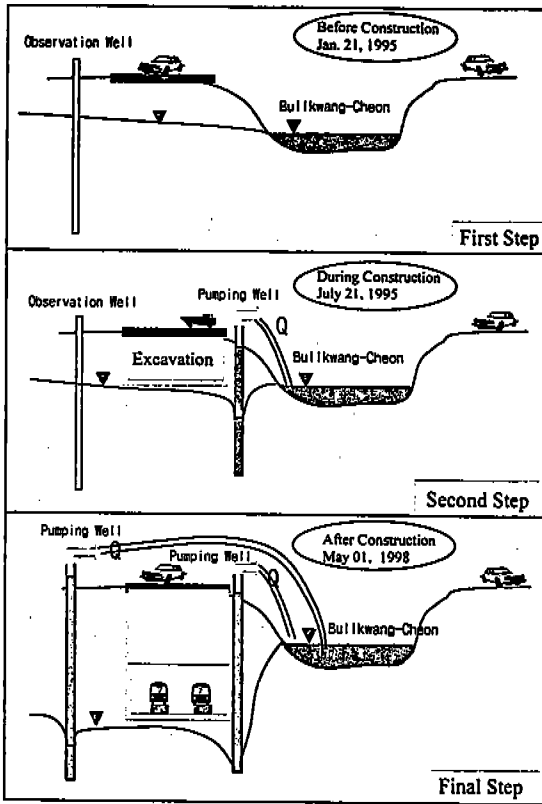


Fig. 9. Sketch of groundwater level change at a subway construction site near Bullkwang-Cheon before and after the construction.

철 공사현장과 각종 건물에서의 지하수 양수가 지하수계에 어떤 영향을 미치는가를 단편적으로 확인할 수 있는 자료이다. 지하철 공사현장에서 시공 후 굴착단계에 공사가 진행되고 있는 과정에서 주변 지하수위의 반응을 보여주고 있다. 굴착 깊이와 지하수위는 같이 떨어지는 것을 볼 수 있다.

#### 한강의 영향

서울을 남북으로 가로지르는 한강은 서울시민의 상수도 공급원이며 또한 강 주변의 지하수와 수리적으로 직접적으로 연결되어 큰 영향을 주고 받을 것으로 예상된다. 한강수위와 주변 지하수 수위의 분포를 보면 주변 지하수위가 평균적으로 약간 높은 상태를 유지하므로 기본적으로 한강은 이득하천의 형태일 것으로 분석된다. 그러나, 신곡 수중보에

의해 한강 수위가 자연상태의 수위보다는 높게 관측되므로 해발 고도가 3m정도이고 한강에 가까운 고양시 일부지역과 강서구 그리고 잠실 수중보 상류의 수위는 항상 6.2m 이상으로 한강 수위가 유지되고 있으므로 해발 고도가 한강보다 낮은 강동구의 일부지역과 같이 한강 주변의 일부 지역은 지하수의 사용으로 인하여 인위적으로 지하수위가 한강 수위보다 하강된 곳도 있으므로 부분적으로 한강물이 지하수로도 유입되는 것으로 보인다. 한강의 주변 지하수에 대한 영향을 조사하기 위해 우선 한강 수위의 변화 특성을 분석하였다. 강화도 월곶에서 서울쪽으로 37.46km 떨어진 신곡 수중보가 있고 잠실 수중보는 68.96km 떨어진 곳에 있으며 여기서 잠실수중보 하류까지는 해수의 조수위 변화의 영향을 받는다. 그러나 서울지역의 신곡과 잠실에 수중보가 설치되어 있어서 조수위 변화의 영향을 감쇄시키는 역할을 한다. 수중보가 설치된 신곡 수중보에서는 하루 중 한강물의 흐름 역전이 발생하며 수위의 변화양상은 Fig. 10과 같다. 행주산성과 난지도 사이의 자유로를 기준으로 한강쪽의 위치에서 한강수위가 변화할 때 지하수의 변화를 측정하였다 (Fig. 11). 한강변에서 83m 지점에 위치한 관정 HJ-04에서 한강수위가 최하점에서 지하수위 최하점까지 시간지연은 11분이며 최고수위점간의 시간지연은 26분으로 서로 차이를 나타낸다. 자유면대 수층에서 비산출량(specific yield,  $S_y$ )의 일반적인 범위는 0.01-0.30의 값을 보인다(Freeze and Cherry, 1979). 주변지하수위가 한강수위보다 약간 높은 점과 이로 인한 지하수 유동방향을 고려할 때 순방향의 변화인 최고수위점간의 시간지연을 이용하여 (김윤영외, 1996) 투수량계수를 구하면  $1.34 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{day}$ 에서  $4.02 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{day}$  정도의 범위를 보인다. 이 값은 비교적 투수성이 양호한 층적층에서 얻을 수 있는 값으로 한강은 비록 수중보의 영향으로 조수위 변화의 영향을 그대로 다 받지 않는지만 감쇄된 상태라라도 일정 부분 그 영향을 받아서 다른 강수 및 상류 댐 방류와 같은 요인이 아니더라도 반복적인 변화를 보인다. 이런 반복적인 변화는 한강에 인접한 지하수위에도 그 변화를 전파하며 이것은 한강 주변의 지하수에 대한 소위 흡입-배출 효과를 주기적으로 반복해 주는 것과 같으며, 한강이나 강 주변 지하수의 오염물질이 서로 교환하는

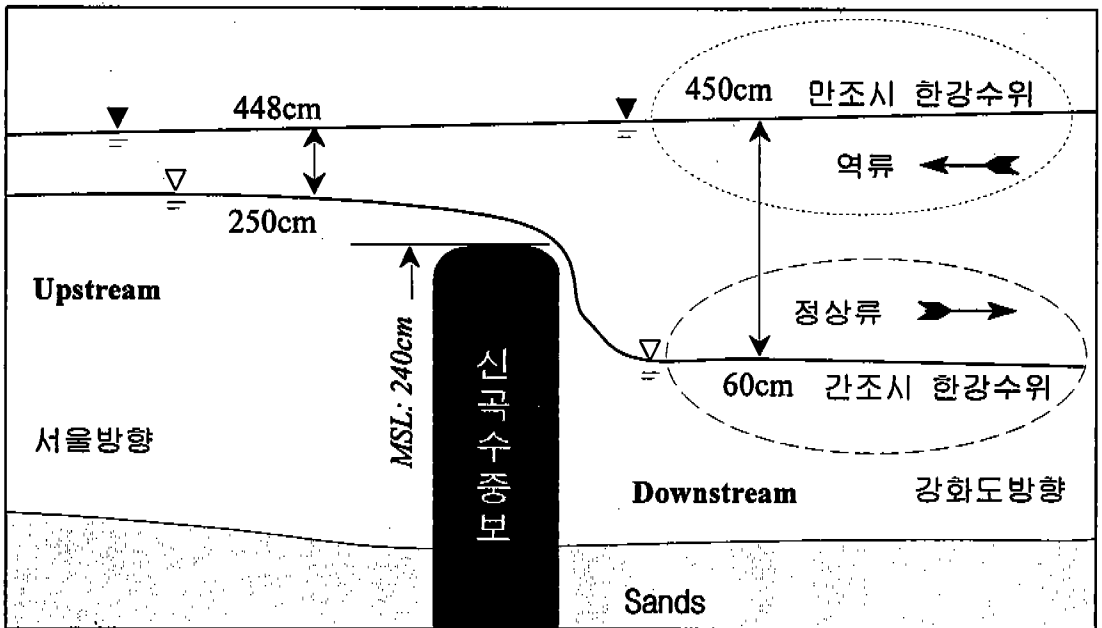
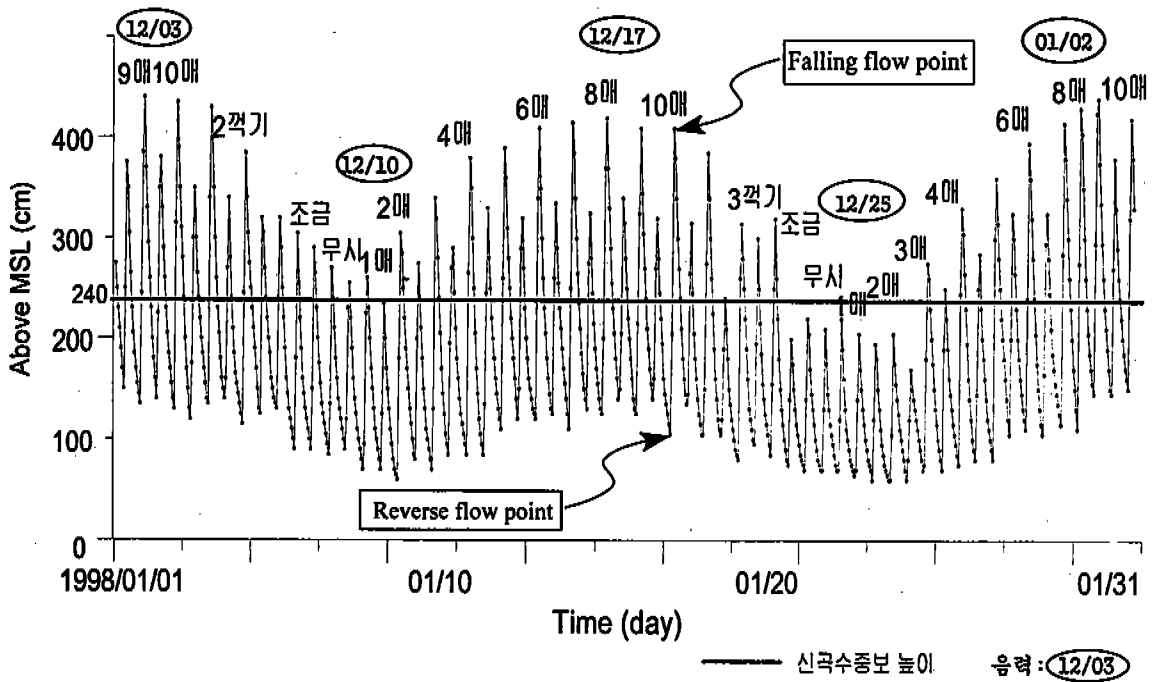


Fig. 10. Hourly change of Han River stage measured at the Shingok Subdam from Jan. 01, 1998 to Jan. 31, 1998.

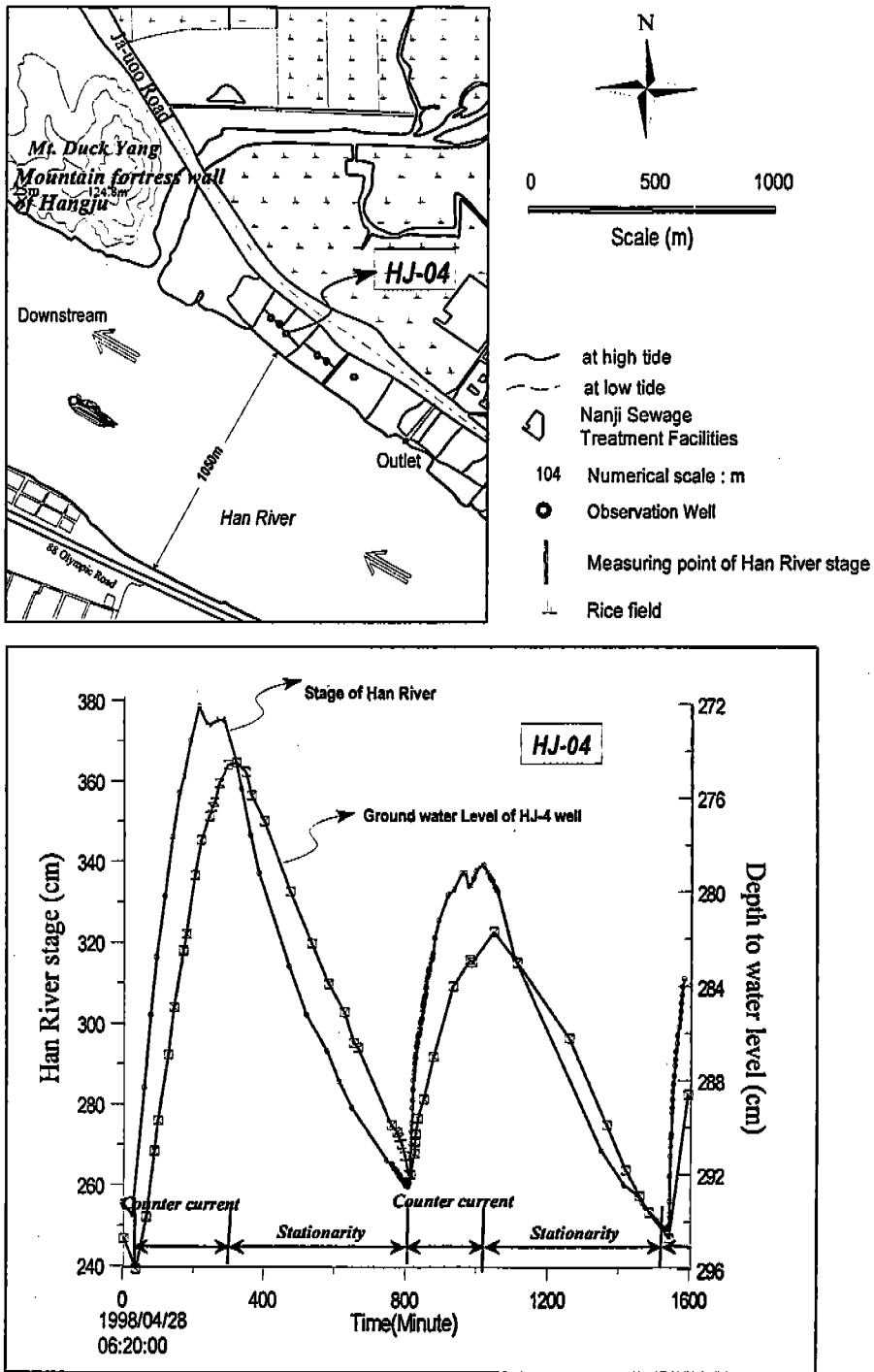


Fig. 11. Monitoring wells near Han River and groundwater level fluctuations at HJ-04 well due to the change of river stage.

속도가 빨라지게 됨을 의미한다.

## 지하수 정보 종합 체계화 및 물수지 균형 예비 분석

도시지역과 같은 복잡한 수리시스템을 분석하려면 각종 수리관련 자료들을 하나의 정보시스템에서 관리하는 체계가 필요하다. 지리정보시스템 도구의 하나인 ESRI의 ARC/INFO NT를 (ESRI, 1997) 사용하여 데이터 베이스를 구축하였다. 자연계의 각종 수리지질 정보를 ARC/INFO의 포맷으로 구축하였다. 앞으로 조사하는 내용들은 계속 자료가 축적될 수 있도록 구현하였다. 현재까지의 자료만으로 서울시 지하수의 물수지균형을 파악하기는 곤란하므로 여기서는 파악할 수 있는 자료 및 추정값을 이용하여 그 예비 분석을 해 보았다. 고려하는 요소로 강수량에 따른 지하수 함양량, 상하수도 누수 등은 (+)의 영향이고, 생활용수로 이용, 지하수의 지하 관로 및 배수로 방향으로의 유입, Sink 형태의 지하철역 및 각종 공사장에서 양수 등은 지하수 물 수지에 (-) 영향을 미친다. 예비분석에 고려된 항목과 추정 값만을 놓고 보면 서울지역 지하수는 전체적으로 (-) 수지균형으로 계산된다. 그러나 이 정도의 값은 위에서 고려한 각 요소의 오차범위 이내의 값이며 여기서 전혀 고려하지 못한 요소들도 많이 있으므로 현재까지의 조사 결과판으로 보면 서울지역의 전체적인 물 수지균형은 오차범위내에서 대체적 균형을, 국지적으로 보면 일부 지역에서 파다사용으로 인한 지하수위 하강 및 오염 현상이 관찰된다고 할 수 있겠다.

## 결론 및 토의

서울지역에서 지하수 시스템을 종합적으로 파악한다는 것은 수년간의 단기 연구로는 거의 불가능한 실정이지만 단편적인 자료들이라도 계속 축적되어 나가야 한다는 생각에서 이 연구를 진행하게 되었다. 본 연구는 그런 측면에서 수리전도도, 기압영향률, 한강과 연계된 지하수 수리 특성에 관한 조사 결과를 제시하고 서울지역에서 지하수 수리시스템 분석에 고려해야 할 기타 몇가지 요소들에 대해

토의 하였다.

기압영향효율은 관정의 심도에 크게 상관없는 것으로 조사되었으며, 대수층의 피압율이 국지적인 단열대의 발달 상태에 크게 좌우되는 것으로 판단되고 지상 및 천부 지하의 오염물질에 의한 지하수 오염 취약성도 국지적으로 많이 달라지는 상태에 있는 것으로 보이지만 대체적으로 심도 수십 미터 이하의 얕은 심도의 관정은 지상 및 지표 부근의 오염물질에 취약성을 갖고 있는 것으로 보인다. 수리전도도는 관정의 심도가 깊어지면서 감소하는 일반적으로 보고된 암반지하수의 특성을 보이며 기압영향률과 같이 수평적 분포의 광범위성을 보이지 않는 것으로 보아 이 지역 대수층은 전반적으로 단열이 비교적 잘 발달되고 투수성이 높은 환경을 가지고 있다고 판단된다. 한강수위는 조수위 변화의 영향을 받지만 수중보 설치로 인해 그 영향이 감쇄되어 전달되고 주변 지하수에 흡입-배출 효과를 주면서 한강과 그 주변 지하수간에 오염물질의 신속한 교환이 일어나게 할 것으로 예측된다. 서울지역 지하수의 수위는 최근 약 2년간 전반적으로 하강하고 있는 것으로 관찰되나 이것은 연간 강수량의 변화 등에도 관련이 있을 수 있으므로 정확한 변화양상을 파악하기 위해 적어도 앞으로 몇년간의 장기 모니터링 자료가 축적되어야 할 것으로 판단된다.

서울시 지하철 1-5호선에서 지하수위를 하강한 상태로 유지시키기 위해 하루에 뽑아올리는 지하수는 총 78,417m<sup>3</sup>에 달한다. 이 양수량으로 1년 동안 지하수를 뽑아내면 28,622,204m<sup>3</sup>이다. 그러나, 6-8호선 공사 구간을 포함하여 계산하면 이보다는 훨씬 많을 것이다. 2기 지하철역도 거의 마무리 단계이고 지하철 공사가 계속 진행 중이므로 실제 서울시 전역의 양수량은 1기 지하철과 비슷할 것으로 판단된다. 그러면 하루에 약 100,000m<sup>3</sup>정도가 양수된다고 볼 수 있다.

서울시 지하수의 물 수지 균형을 검토한 결과 오차범위 이내에서 (-)균형, 즉 지하수위가 약간씩 서서히 하강한다는 분석을 할 수 있는데, 이는 본 수지 균형 분석에 포함될 수 없었던 여러 중요한 요인들과 포함되었지만 더 정확한 정량적 평가가 필요한 부분을 고려하면 예비 분석된 수지 균형의 균형추가 역전될 수 있을 정도의 작은 값이다. 따라서 현 시점에서 서울 지역 지하수의 평균적인 지

하수위 변동에 관한 장기적인 예측이 가능하지 못하다. 다만 국지적으로 몇 지역에서 지하수위 하강이 관측되고 있으며, 지상 오염물질이 비교적 쉽게 천부지하수로 유입될 수 있는 특성상 지하수 수질의 저하가 지속적으로 나타나며 수질의 저하가 더 깊은 지하수층 쪽으로 진행될 우려가 있다.

## 사 사

이 연구는 한국자원연구소가 수행한 과학기술부 지원 연구과제 "지하수 오염방지 및 음용화 기술연구 (서울지역)"의 일환으로 수행되었다. 본 연구를 수행하는데 기술적, 행정적 지원을 해준 서울대학교 기초과학연구원 지질환경연구소에 감사 드린다.

## 참 고 문 헌

- 기상청, 1997, 기상연보.  
김윤영, 강동근, 이강근, 1996, 포항 지역 해안 투기 매립장의 수리 특성에 관한 연구, 대한지하수 환경학회, 3, 1-8.  
서울시정개발연구원, 1995, 우수유출률 저감 대책, 327p.  
서울특별시, 1996(a), 서울특별시 지하수 관리계획, 기본조사보고서 1751p.  
서울특별시, 1996(b), 지하수 관련 질의(회신 사례 및 업무지침 183p.  
홍승호, 이병주, 1982, 한국지질도 : 둔전도폭 (1 : 50,000), 한국동력자원연구소  
Davis, S.N., and DeWiest, R.J.M., 1966, Hydrogeology. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY. 463p.  
ESRI, 1997, ARC/INFO data management, 290p.  
Foster, S.S.D., 1990, Impact of Urbanization on Groundwater, IAHS Publ. No. 198, 187-207.  
Freeze, R.A., and Cherry J. A., 1979, Groundwater, 604p.  
Landmeyer, J.E., 1996, Aquifer response to record low barometric pressure in the southeastern United States, Ground Water, vol.34, 917-924.  
Marine, I. W., 1975, Water level fluctuations due

to earth tides in a well pumping from slightly fractured crystalline rock, Water Resour. Res., vol. 11, 165-173.

Nevulis, R. H., Davis, D. R., and Sorooshian, S., 1989, Analysis of natural groundwater level variations for hydrogeologic conceptualization, Hanford, Washington, Water Resour. Res., vol. 25, 1519-1529.

Van de Ven, F.H.M., 1990, Water balances of urban areas, IAHS Publ. No. 198, 21-32.

---

김윤영, 이강근

서울대학교 지질학과

151-742 서울특별시 관악구 신림동 산56의 1

TEL : 873-3647

FAX : 874-7227

e-mail : yykim@aqu.snu.ac.kr(김윤영),

kklee@aqu.snu.ac.kr(이강근).

성익환

한국자원연구소 환경지질연구부

305-350 대전광역시 유성구 가정동 30

TEL : 042) 868-3082

FAX : 042) 861-9719

e-mail : sih@rock25t.kigam.re.kr