

<Short Note>

서울시 송파구의 지하수위 모니터링 현황과 제언

이진용^{1,2}

¹강원대학교 지질학과

²강원대학교 크리티컬존선도연구실

요 약

최근 발생한 송파구 잠실 부근의 도로함몰과 석촌호수의 수위강하에 대해 그 원인을 두고 논란이 많았다. 송파구는 구민을 위한 적극적인 행정행위로 보조지하수관측망의 지하수위를 홈페이지에 공개하고 있다. 본 연구에서는 송파구의 지하수 이용현황을 살펴보고 공개한 지하수위 자료에 대하여 경향분석을 실시하였다. 분석결과 송파구내에는 상당수의 지하수이용시설이 있으며 보조지하수관측망 대부분의 지하수위가 하강경향이 있음을 알 수 있었다. 지하수관련 재난 방지를 위해 보조지하수관측망의 설치 및 운영을 보다 적극적으로 할 뿐만 아니라 비정상적인 수위강하를 보이는 관측정에 대해서는 정밀한 원인조사가 필요하다.

주요어: 지하수위, 지반침하, 한강, 석촌호수, 롯데월드타워, 지하철

Jin-Yong Lee, 2016, Status of groundwater monitoring in Songpa, Seoul and suggestions. Journal of the Geological Society of Korea. v. 52, no. 1, p. 57-66

ABSTRACT: Recently there have been disputes about the causes of road sink and substantial water level decline of Seokchon Lake in Jamsil of Songpa-gu. The Songpa-gu is posting groundwater levels of subsidiary groundwater monitoring wells on the web to mitigate citizens' concerns. This study reviewed status of groundwater use in the district and analyzed the disclosed groundwater level data. The analysis revealed that there are many groundwater using wells in the district and most of the groundwater wells are showing decreasing trends of the water levels. To protect citizens from groundwater related disasters, installation and operation of the subsidiary groundwater monitoring wells should be done more actively and a detailed survey on monitoring wells showing abnormal water level declines is essentially required.

Key words: groundwater level, land subsidence, Han River, Seokchon Lake, Lotte World Tower, subway

(Jin-Yong Lee, Department of Geology, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea & Critical Zone Frontier Research Laboratory, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea)

1. 서 론

서울과 같은 대도시의 지하수 물수지는 다양한 영향요인으로 인해 매우 복잡하고 해석이 어렵다. 각종 건물과 불투수성 지표 및 도로 등으로 인해 자연상태에 비해 지하수함양이 저해를 받지만 다른 한편으로는 도시 외부에서 공급되는 용수의 상수누수나 정원, 공원에 대한 인공관개는 지하수 물수지 측면에서 플러스 요인이 되기도 한다(Lawrence *et al.*, 1998; Kim, 2000; Lee and Koo, 2007). 최근에는 정

부기관의 노력으로 상수도 유수율이 크게 개선되었으나 여전히 누수상수의 지하수 물수지 영향은 무시하기 어렵다. 때로는 하수관 누수에 따라 수위상승 및 지하수오염을 유발하기도 한다. 이런 복잡한 대도시의 물수지는 관련 당국의 지하수 보전노력에 어려움을 더하고 있다. 도시의 발전 초기에는 과다한 지하수 개발이용으로 인한 수위하강 때문에 대형건물의 안전성을 해치거나 지반침하를 발생시키지만 도시의 성숙기에는 각종 산업시설의 도시외곽 이전, 관련 당국의 지하수 규제 등으로 지하수 이용량이

‡ Corresponding author: +82-33-250-8551, E-mail: hydrolee@kangwon.ac.kr

줄면서 오히려 지하수위가 상승하여 도시홍수를 유발하기도 한다(Lawrence *et al.*, 1998; Lee and Koo, 2007; Kreibich and Thielen, 2008).

서울은 인구나 인구밀도 등에서 아시아 최대도시의 하나이다. 각종 산업과 금융, 인적자산 수준 등이 명실공히 세계적 도시이며 성장잠재력도 크다고 볼 수 있다(Kim *et al.*, 2016). 우리나라의 부의 대부분이 집중되어 있고 각종 편의시설 및 인프라가 총망

라되어 있음에도 불구하고 시민의 삶의 질과 자연재난에 대한 대비 등의 환경적 복지는 크게 미흡한 수준이다(Hur, 2009). 2011년 7월 집중호우에 의한 우면산 산사태로 16명의 사망자가 발생하고 168억여원의 재산상 피해를 입은 것을 단순히 자연 탓으로 돌리기엔 우리의 관심과 대비가 부족했다 하지 않을 수 없다. 작년 사회적 초미의 관심사로 대두되었던 송파구의 도로함몰과 지반침하 등도 우리의 대비 부

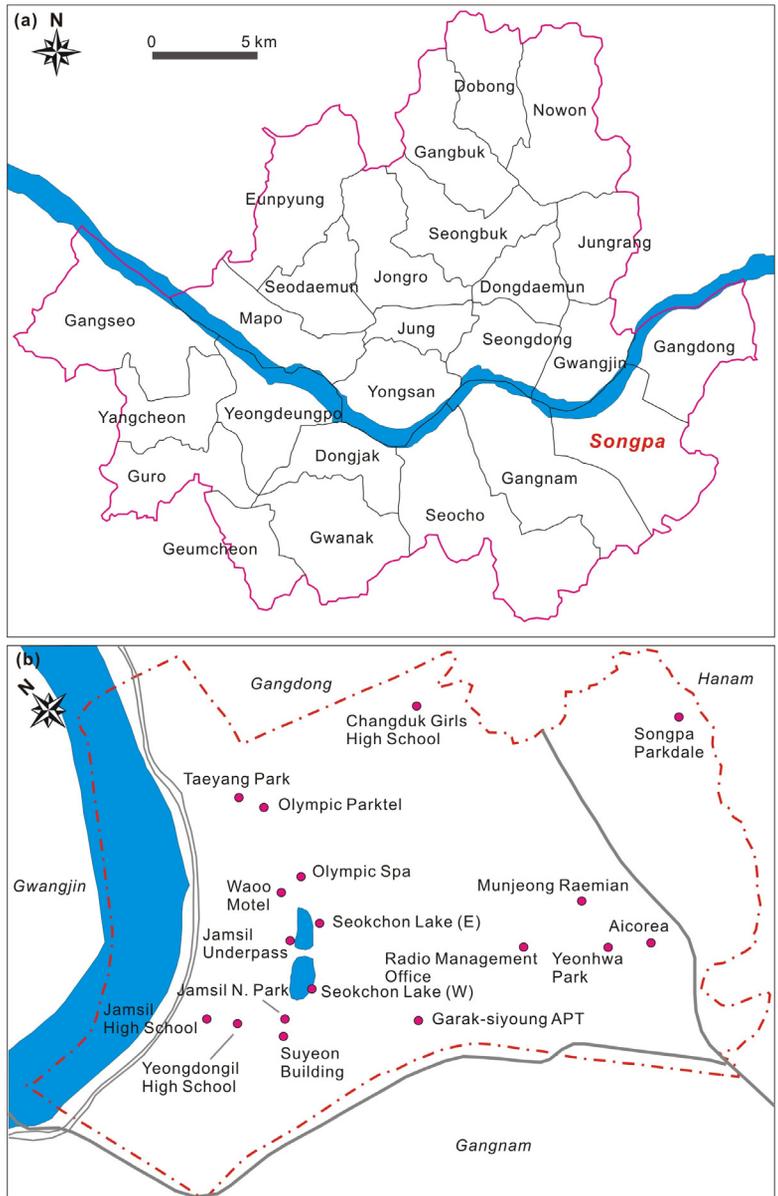


Fig. 1. Locations of (a) Songpa-gu and (b) the groundwater monitoring wells.

족이 만들어 낸 것이다(Lee, 2016).

정부당국, 서울시 및 전문가들의 노력으로 잠실 부근의 도로함몰과 석촌호수의 수위저하가 제2롯데월드와 인근 지하철 공사의 복합적 영향에 의한 결과로 추정하였지만 여전히 논란은 있다. 하나 긍정적인 효과를 찾자면 이로 인해 도시 안전성에 미치는 지하수의 영향을 인식하고 이에 대한 관심과 연구개발 노력을 제고시켰다는 점이다. 특히 문제지역이 위치한 송파구는 주민들의 걱정과 우려를 불식시키기 위해 관할지역내 지하수관측망의 수위측정 자료를 인터넷에 공개하는 등의 적극적인 행정을 펼치고 있다.

본 논문에서는 서울 송파구의 지하수 이용현황 및 지하수 관측망 현황을 살펴보고 송파구가 인터넷에 공개한 지하수 자료를 토대로 지하수 변동경향성 분석 등을 실시하였다. 이를 통해 송파구의 지하수관측 업무가 보다 개선될 수 있는 기술적 제안을 제시하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구지역

송파구는 서울의 남동부에 위치하며 면적은 33.88 km², 26개 행정동을 포함하며 2013년 기준 인구는 약 67만명에 이른다(그림 1a). 북동에서 남서로 유하하는 한강과 인접해 있으며 남서쪽에 탄천이 한강으로 흐르고 있다. 송파구에는 서울시민뿐만 아니라 일반국민들에게도 잘 알려진 잠실롯데월드와 올림픽공원 등의 명소가 있으며 또 총면적 22만여 m²의 인공호수인 석촌호수도 자리잡고 있다(그림 1b). 최근에 소위

제2롯데월드(롯데월드몰과 월드타워)가 건설되고 개장함으로써 건설, 운영에 따른 여러 안전상의 문제와 교통혼잡 악화 등의 여러 문제점을 노출하고 있다.

한편 송파구를 포함한 서울시의 강수량은 2008년 이후 매우 큰 변동을 보이고 있다(그림 2). 2008년(1,356.3 mm)과 비교하여 이후 연강수량이 크게 증가하여 2010년에는 2,043.5 mm, 2011년에는 2,039.3 mm에 이르렀다. 그러나 이후에는 지속적으로 강수량이 감소하여 2014년 808.9 mm 그리고 2015년에는 2010년의 38.8%에 불과한 792.1 mm에 불과하였다. 이런 강수량의 큰 감소는 지하수 함양 감소에 일정 영향을 미칠 것으로 사료되나 평균 92.2%에 이르는 송파구의 불투수율 고려할 때(Park *et al.*, 2013) 직접적인 강우침투는 적을 것으로 사료된다. 평균기온의 경우 장기적으로 점진적으로 증가하는 양상이나(Kim *et al.*, 2016), 2010-2013년에 12°C 초반으로 감소하였다가 이후 13°C 이상으로 크게 증가하였다.

서울시 지반정보통합관리시스템(그림 3a)의 정보에 따르면 잠실7동 아시아선수촌아파트 부근(그림 3b)은 깊이 약 17 m까지는 충적층 모래로 되어있고 그 아래에 풍화암이 나오는 것으로 나타났다. 이 지역 지하수위는 지표아래 약 7.4~8.5 m이다. 잠실2동 잠실주공아파트 부근(그림 3c)은 약 18 m 아래에 풍화암층이 나타나며 그 상부는 충적 모래층으로 되어 있다. 이 지역의 지하수위는 지표아래 약 7.0~9.4 m로 나타났다. 롯데월드타워 부지의 경우(그림 3d) 깊이 16 m까지는 충적 모래층이, 그 아래는 풍화암층이 그리고 20 m 부근에서 연암층이 나타난다. 지하

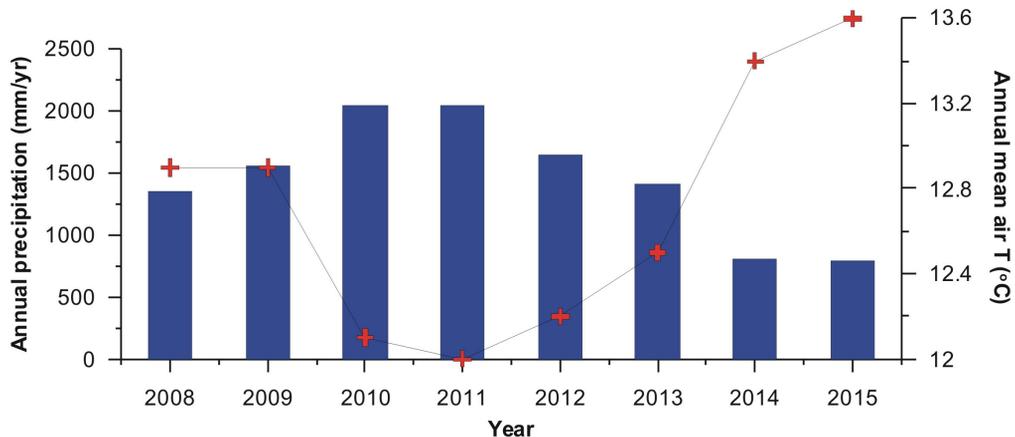


Fig. 2. Annual precipitation and mean air temperature in Seoul. Data are from Korea Meteorological Administration.

수위는 지하 8.6~9.3 m 정도에서 나타난다. 한편 다른 지점에 비해 한강에서 상대적으로 원거리인 석촌역 근처(그림 3e)는 조금 다른 지질을 보이는데 상부 4 m 정도의 실트층이 보이고, 깊이 15 m까지는 충적 모래층, 그리고 20 m까지는 연암, 그 아래 보통암

혹은 경암이 나타난다. 이 지역의 지하수위는 약 6.9~8.0 m 지표아래에 나타난다.

종합해보면 송파구 잠실 부근은 한강 영향으로 15~20 m 두께의 충적 모래층과 그 하부의 풍화암, 연암 등이 나타나며 지하수위는 대체로 지표 아래 10 m 이내

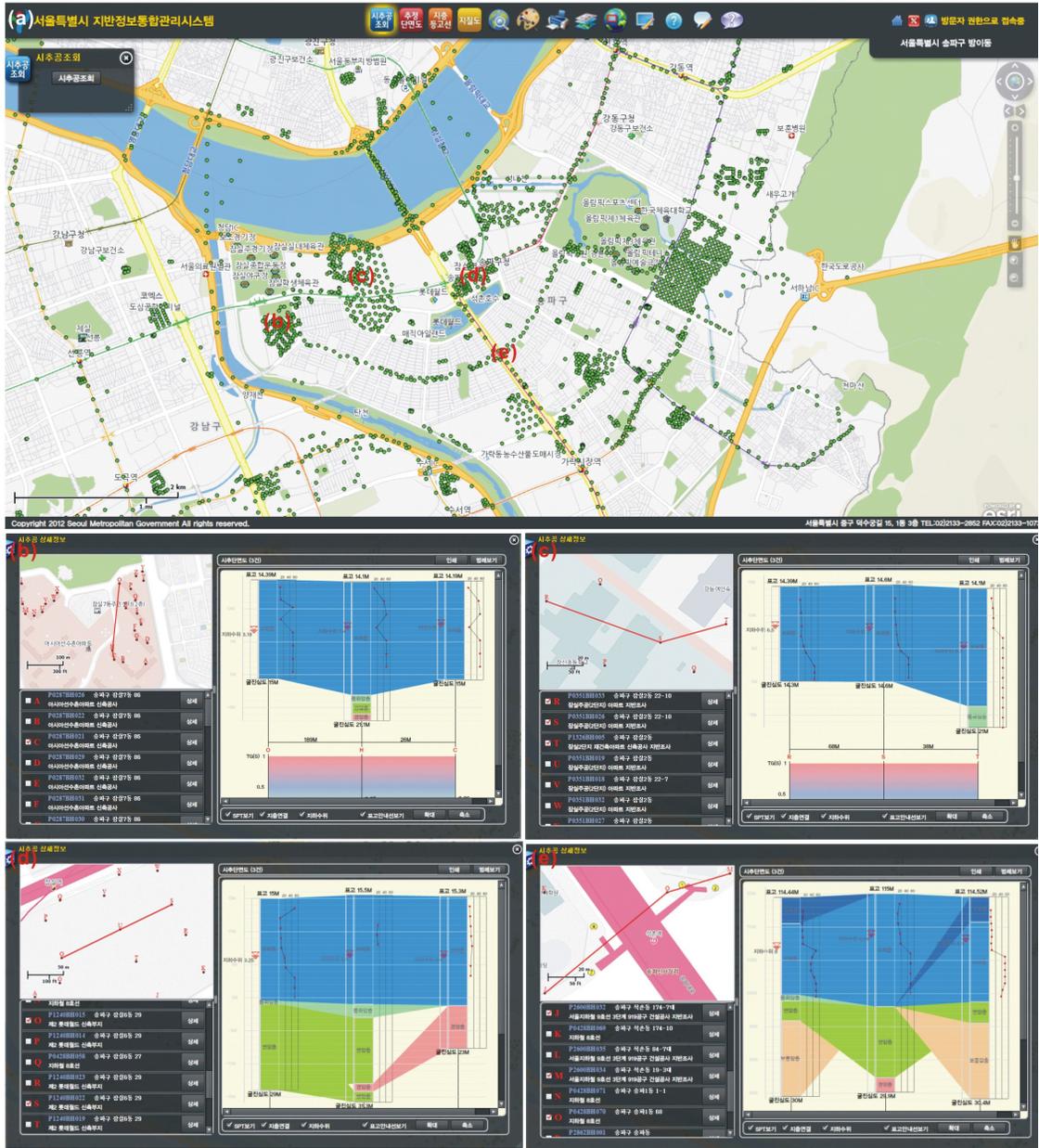


Fig. 3. Subsurface geology in the Songpa-gu obtained from (a) Geotechnical Information DB System (<http://surveycp.seoul.go.kr:8080/Soil/main.do>) of the Seoul Metropolitan city, (b) around Asia Players' APT, (c) around Jamsil Jukong APT, (d) Lotte World Tower site and (e) Seokchon subway station.

에서 형성된다. 수리전도도 자료는 없으나 통상적인 층적 모래층의 투수계수로 볼 때(예를 들어, Heath, 1983; Yager, 1993; Kang *et al.*, 2007), 이 지역의 지하수 유동은 매우 원활할 것으로 보인다. 아울러 두터운 층적층이 분포하므로 지반안전성 측면에서 빌딩 건설 시 깊은 기초를 필요로 하며 유출지하수의 저감 및 배제 등이 매우 중요한 요인으로 작용한다.

2.2 지하수 자료와 경향성 분석

본 연구에 사용된 주요 지하수 자료는 두 가지로 구성된다. 첫째는 송파구청에서 운영하는 보조지하수관측망 자료이다. 보조지하수관측망은 국가 기관

망인 국가지하수관측망의 자료를 보완하는 의미로 운영되며 각 지방자치단체에서 설치·운영하는 것이다(Kim *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2007). 송파구에는 2016년 1월 현재 18개소의 보조지하수관측정을 운영하고 있다(그림 1b). 보조지하수관측망은 지하수법 제17조에 의거 설치, 운영되며 시행령 제27조 제2항에 의해 매월 1회 이상의 지하수위를 측정하여(자동 혹은 수동) 시·군·구·특별자치시장은 그 결과를 국토교통부장관에게 보고하도록 되어 있다. 한편 송파구청은 2014-2015년 많은 국민적 관심과 우려를 일으켰던 석촌호수 수위저하 및 잠실 부근의 도로함몰/지반침하 사건을 계기로 이들 관측망의 월수위자

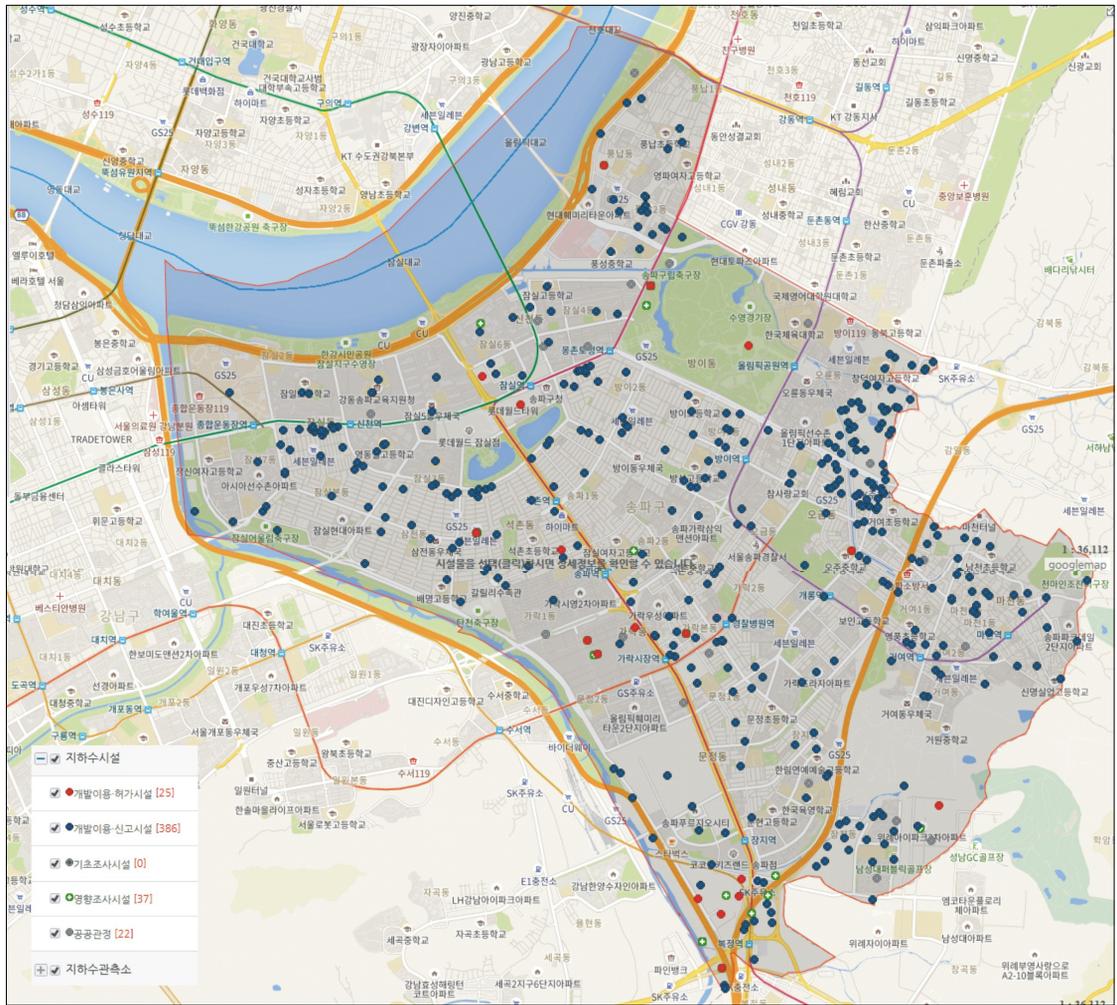


Fig. 4. Groundwater facilities in the Songpa-gu. The figure was extracted from My Water (www.water.or.kr) on January 10, 2016.

료를 홈페이지(www.songpa.go.kr)에 공개하고 있다.

송파구의 지하수관측망은 주로 기존관정을 이용하여 심도는 40-150 m(대부분 100 m)이며 구경은 150-200 mm, 한강으로부터의 거리는 대략 0.5-6 km 내에 위치한다. 모두 암반관정이며 비음용 생활용이며 관정의 설치년도는 1998-2012년도이다. 현재 구청 홈페이지에 공개된 자료는 2009년 1월부터 2015년 11월 까지 월수위 자료이며 일부 결측이 발견된다. 이들 측정이 자동관측인지 수동측정인지, 관정(측정지점)의 고도 혹은 스크린 구간 등에 대한 정보는 없다. 본 연구에서는 이들 수위자료에 대한 분석을 주요하게 다루었다. 두 번째 지하수자료는 송파구의 지하수 이용에 대한 자료이다. 이들 자료는 국가지하수정보센터(www.gims.go.kr)와 물정보포털(My Water, www.water.or.kr)에서 취득하였다. 송파구내의 모든 지하수이용관정에 대한 정보는 물정보포털을 통해 취득하였으며 지하수이용량은 국가지하수정보센터의 자료를 이용하였다. 주지하다시피 지하수이용량은 그동안 국가기관의 개선 노력에도 불구하고 실제 사용량을 산정하는데 어려움이 있다는 사실을 유념할 필요가 있다.

송파구의 지하수위 자료에 대하여 두 가지 경향 분석을 수행하였다. 하나는 월수위에 대한 단순 회귀분석식을 이용하여 분석한 것이다. 회귀분석은 기울기를 통해 변동의 경향성을 파악할 수 있지만 경향성의 유의성 혹은 신뢰성을 파악하기 어렵다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 결측(missing value)과 통계적 이상값(outliers)의 영향을 극복할 수 있는 비모수 경향분석 방법인 Mann-Kendall 경향 분석법을 함께 적용하였다(Salmi *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2006). 본 비모수 분석의 경향유무 판단은 신뢰 수준 95%로 설정하였다.

3. 결과 및 토론

3.1 송파구 지하수이용

그림 4는 물정보포털(My Water)에 나타난 송파구의 지하수시설 현황이다. 포털정보에 따르면 송파구에는 2016년 1월 현재 개발·이용 허가시설 25개소, 개발·이용 신고시설 386개소, 영향조사시설 37개소, 공공관정 22개소 등 총 470개의 지하수시설이 있으며 국가지하수관측망은 없는 것으로 나타났다.

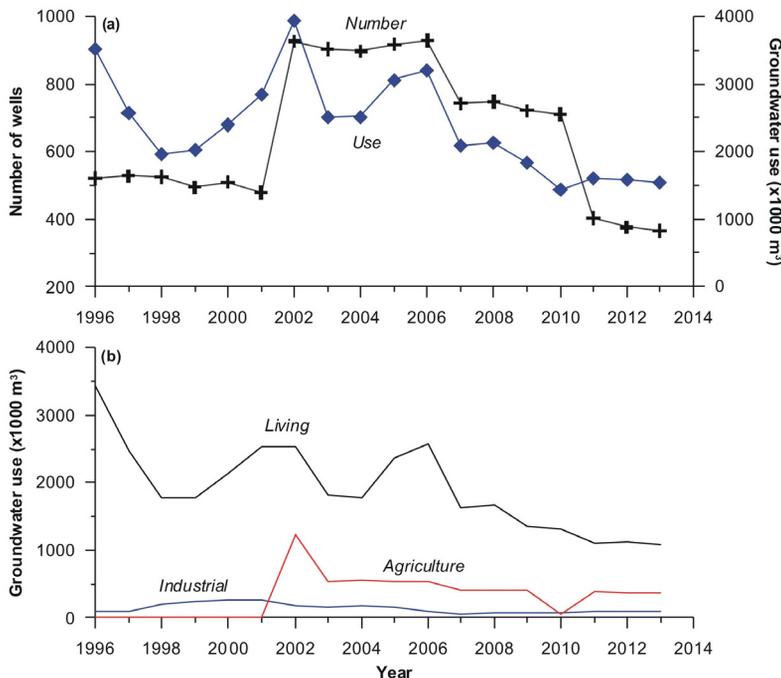


Fig. 5. (a) Number of groundwater wells and groundwater use and (b) annual amount of groundwater use by usage in Songpa-gu. The data are from the National Groundwater Information Center (www.gims.go.kr).

특별히 소규모 신고시설은 방이동, 오금동쪽에 집중되어 나타났고 이들 관정은 농업용(원예용) 5 m 관정부터 200 m 생활용 관정까지 매우 다양하게 나타났다(전체관정에 대한 통계분석 등은 수행하지 않음). 비교적 대규모 허가시설은 가락농산물시장의 생활용 200 m 관정(취수계획량 170 m³/day), 롯데타워부지 생활용 150 m 관정(취수계획량 80 m³/day) 등 25개소이다.

한편 국가지하수정보센터의 정보(지하수조사연보)에 따르면 송파구의 지하수관정(이용시설)의 수는 1996년 521개소에서 감소하다 다시 증가하여 2002년 926개소에 달하였으며 이후에는 감소하여 2013년 366개소에 이르렀다(그림 5a). 이와 같은 지하수이용시설수의 변화와 연동하여 지하수의 연간 이용량도 2002년 최고 연간 3,944,000 m³에 달하였다가 크게 감소하여 2013년에는 그의 39.3%인 1,549,000 m³에 이르렀다. 송파구의 지하수 이용은 거의 대부분 생활용으로 신고되어 있다(그림 5b). 1996년에는 97%가 생활용으로 신고되었으나 2013년 현재에는 약 70%가 생활용이며 일부가 농업용(약 24%)으로 이용되는 것으로 파악되었다(이들 정보의 정확성에 대한

논의는 본 논문의 대상이 아님).

3.2 지하수위 변동

그림 6은 송파구 보조지하수관측망의 지하수위(depth to water)를 보여준다. 대체로 지하수위는 지표하 10 여m 내외에 위치하며 여름 우기에 수위가 상승하고 건기에 하강하는 양상을 보인다. 2015년 8월 가락시영아파트(Garak-siyoung APT) 관측정의 수위가 급격히 상승한 것은 지하수관정으로 강우 혹은 주변 우수가 직접적으로 유입된 것으로 추정된다. 잠실근린공원(Jamsil N. Park)의 경우 2015년 5월과 6월에 직전 수위보다 각각 약 13 m, 27 m 정도의 급격한 지하수위 강하를 보였는데 7월에 다시 원래의 수위를 회복한 것으로 보아 그 기간 동안 어떤 목적의 양수행위가 있었던 것으로 추정된다. 한편 올림픽한증막(Olympic Spa)의 지하수위는 매우 우려할 만한 수준이다. 2013년 10월부터는 수위변동이 매우 작으며 정상적이었던 것으로 보이나 2013년 12월부터 이듬해 3월까지 약 45 m 정도의 급격한 수위 강하를 보였고 이후 회복되었다가 2015년 4월부터 다시 급격한 수위강하가 시작되더니 2015년 11월 현

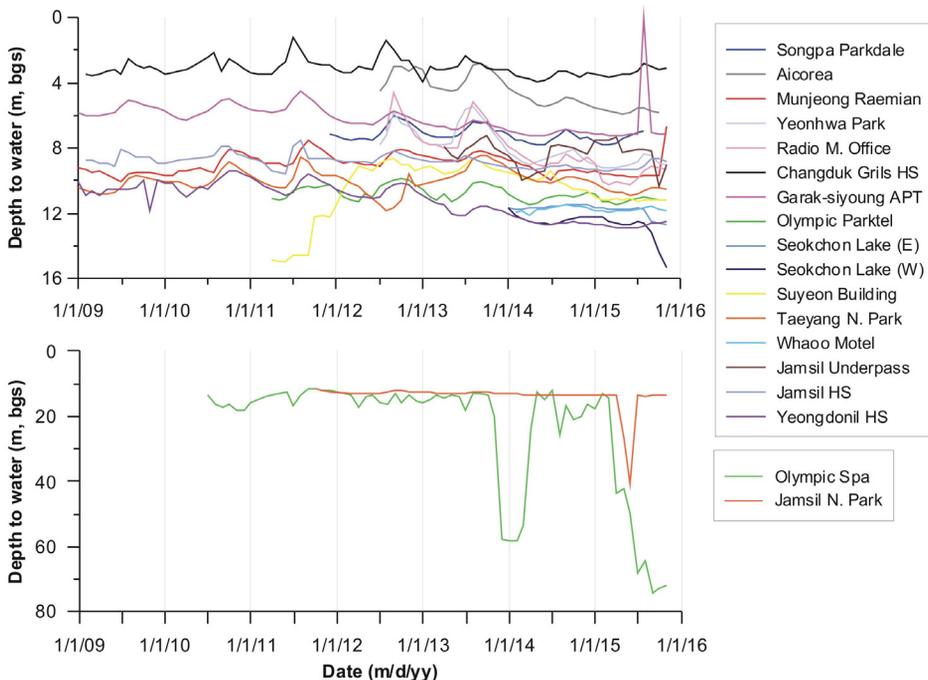


Fig. 6. Monthly groundwater levels at 18 groundwater monitoring wells in Songpa-gu. The data are from Songpa-gu (<http://www.songpa.go.kr/>).

재 정상수준대비 60 m 이상으로 수위가 내려간 상태에서 회복이 되지 않고 있다. 찹질방(혹은 사우나) 특성상 지하수를 이용하여 용수를 공급하는 것으로 추정되나 과다한 지속양수는 주변 지반 및 건물 안전을 위협하고 그리고 오염물질 유입을 촉진할 수 있다.

그림 7은 한강으로부터의 이격거리에 따른 지하수위의 중앙값(median)을 보여준다. 측정자료의 기간이 달라 일관된 비교를 위해 2014년 1월부터 2015년 11월 자료만을 이용하였다. 아울러 그 기간 중이라도 결측이 있고 또 통계적 이상값이 있어 이의 영향을 배제하기 위하여 평균값(mean)이 아닌 중앙값을 계산하였다. 통상적으로 기대하는 바와 같이 한강에서 멀어질수록 수위가 높아 주변에서 한강으로 암반지하수가 수렴하는 양상을 보여준다(각 관측점의 고도자료가 없어 절대수위는 알 수 없고 해석은 일부 달라질 수 있음). 그러나 한강 인근에서 살펴보면 잠실고등학교 관측점(Jamsil HS)의 수위와 비교하였을 때 잠실, 석촌호수 부근의 수위가 상대적으로 낮아 오히려 한강물이 이쪽으로 들어오는 양상을 보일 수 있다. 즉 이 부근은 양쪽 지하수의 싱크(sink)로 작용하고 있다.

그림 8은 관측점 지하수위의 경향성 평가결과이다.

단순 회귀분석결과(그림 8a) 수위의 변동기울기가 +1.28~-22.49 cm/yr로 나타났고 중앙값은 -0.59 cm/yr, 평균값은 -2.36 cm/yr이다. 유의할 것은 18개 관측 정중 수연빌딩(+1.28 cm/yr), 와우모텔(+0.10 cm/yr) 과 문정래미안(+0.03 cm/yr)를 제외하고는 모두 음의 기울기를 보였다는 것이다. 물론 기울기의 크기를 생각하면 그렇게 우려할만한 수준으로 모두 보기는 어렵다. 특히 2011년부터 서울지역 연강수량이 지속적으로 감소하고 있으며 2014-2015년의 경우 30년(1981-2010) 평년값(1,024.2 mm)의 약 77-79%에 불과한 강수량을 고려할 때(그림 2 참조) 이 정도의 수위강하는 자연적 변동으로 볼 수도 있다. 다만 앞서 언급한 올림픽한중막(-22.49 cm/yr)은 매우 유의할 수준이며 그리고 잠실근린공원(-4.19 cm/yr), 전파관리소(-3.91 cm/yr) 등도 상세 관찰이 필요하다.

그림 8b는 앞서 회귀분석의 기울기만으로는 경향 변동성의 신뢰수준을 평가할 수 없어 비모수 Mann-Kendall 분석한 결과를 보여준다. 놀라운 것은 태양근린공원, 와우모텔, 잠실지하차도, 수연빌딩, 문정래미안을 제외한 13개 관측점의 지하수위 모두가 95% 신뢰수준에서 하강하는 경향을 보인다는 것이다. 이는 송파구 일대의 지하수위가 거의 대부분 하강한다는 것으로 매우 유의할 수준이다.

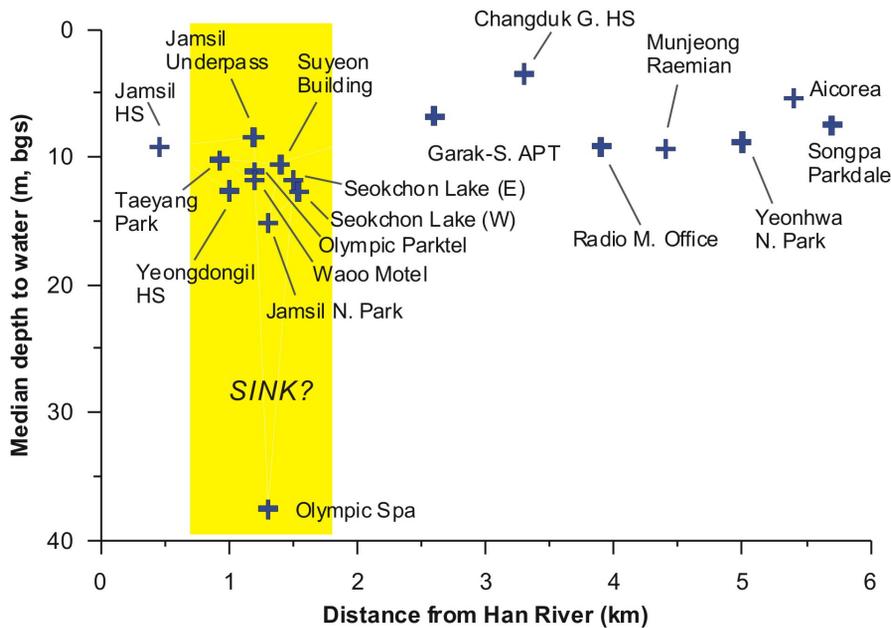


Fig. 7. Median of monthly groundwater levels for 2014 to 2015 in Songpa-gu.

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 송파구의 지하수 이용현황을 살펴보고 송파구에서 운영중인 보조관측망의 지하수위에 대한 경향성 분석을 수행하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 주요한 사항을 파악하였고 송파구의 개선된 지하수업무를 위해 몇 가지 제안을 하고자 한다.

- 1) 본 연구를 위해 사용한 각종 자료들을 보면 다양한 정보소스가 있다는 것을 알 수 있다. 서울시 지반정보통합관리시스템, 국가지하수정보센터

및 물정보포털 등 관심대상 지역에 대한 지하수 분석을 위해 매우 유용한 정보처로 일반인과 전문가들에게 크게 활용될 것으로 기대된다.

- 2) 송파구청의 지하수위 자료 공개는 구민을 위한 매우 적극적이고 고무적인 행정이다. 그러나 이왕 자료를 공개하는 것이라면 관측정의 관련 정보(심도, 고도, 스크린구간 등)도 모두 공개하여 오히려 잘못된 해석을 하는 경우가 없도록 하는 것이 중요하다. 또한 지하수위의 의미가 무엇인지(여기서는 지표아래 심도) 명확히 표시하

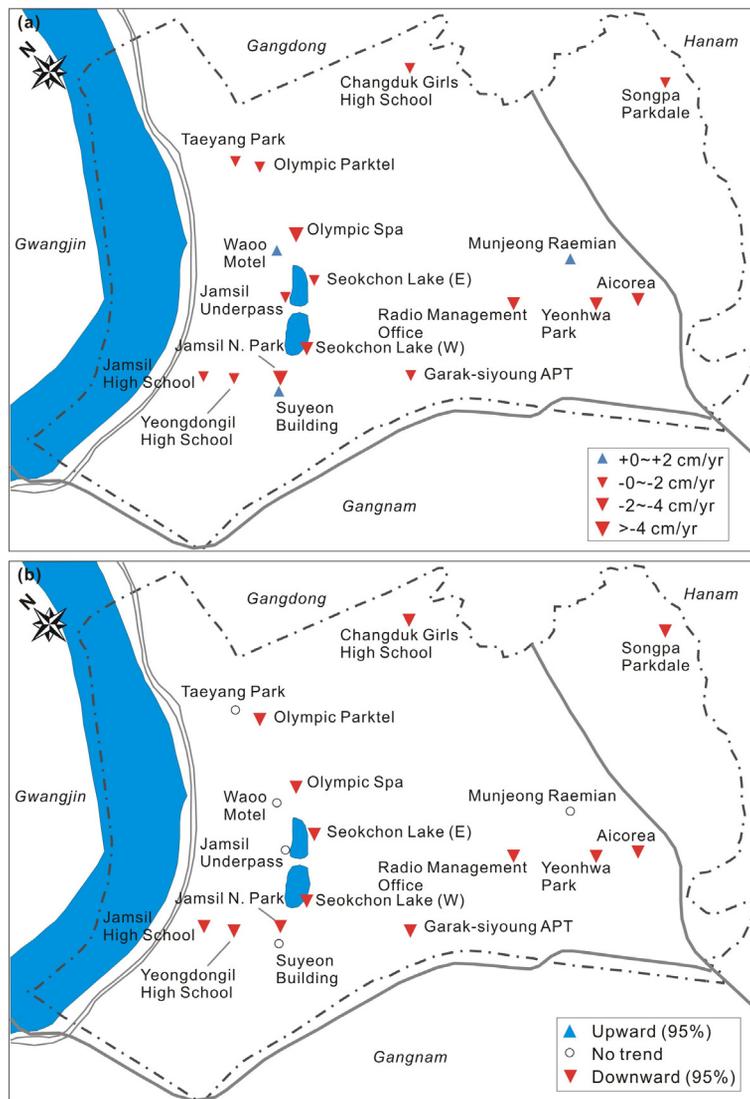


Fig. 8. (a) Linear regression results of monthly groundwater levels and (b) variation trends determined using Mann-Kendall trend test with a confidence level of 95%.

는 것도 필요하다. 반드시 지하수위가 심도를 의미하지는 않음을 주지하고 적어도 자료 공개 전에는 전문가의 검토를 받는 것도 필요하다.

- 3) 보조지하수관측망은 해당 시군구청의 지하수 변동을 파악하는 훌륭한 도구가 될 수 있다. 본 사례에서 보듯 일찍부터 보조지하수관측망을 설치운영하고 적절한 자료가 축적되어 있다면 분쟁이 생겼을 경우 판단의 주요 근거로 매우 유용하게 활용될 수 있다.
- 4) 송파구청은 도로함몰, 지반침하 그리고 석촌호 수위강하에서 비롯되어 지하수위 자료를 공개하기로 하였지만 수위의 단순수집과 공개에 그치는 것이 아니라 정기적인 자료해석을 통해 필요한 행정조치를 취하는 것이 중요하다. 특히 비정상적인 수위강하를 보이는 관측정에 대해서는 담당공무원이 방문하여 실제 어떤 문제가 있는지를 살피고 필요한 개선조치를 취하는 것이 당연하다. 이것이 지하수관련 재난을 예방하는 보다 적극적인 행정의 전형이 될 것이다.

사 사

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2015R1A4A1041105). 건설적이고 유익한 수정의견을 주신 윤희성 박사님과 양재하 박사님께 감사드립니다.

REFERENCES

- Heath, R.C., 1983, Basic Ground-Water Hydrology. USGS Water-Supply Paper 2220, Denver, 86 p.
- Hur, J., 2009, Global competition and role of the Seoul metropolitan area. Seoul City Research, 10, 3-14 (in Korean).
- Kang, D.H., Shim, B.O., Kwon, B.H. and Kim, I.K., 2007, The scale-dependent dispersion through convergent flow tracer tests in alluvial aquifer with high permeability at the Ttaan isle, Gimhae city. Journal of KoSSGE, 12, 17-25 (in Korean with English abstract).
- Kim, H., Lee, J.Y., Jeon, W.H. and Lee, K.K., 2016, Groundwater environment in Seoul, Republic of Korea. In: Shrestha, S., Pandey, V.P., Thatikonda, S. and Shivakoti, B.R. (eds.), Groundwater Environment in Asian Cities. Elsevier, Woburn, USA, 411-447.
- Kim, J.W., Lee, J.Y., Yi, M.J., Kim, G.B., Won, J.H. and Lee, K.K., 2007, Allocating local groundwater monitoring stations for South Korea using an analytic hierarchy process. Hydrogeology Journal, 15, 615-632.
- Kim, Y.Y., 2000, Analysis of hydraulic properties of an urban groundwater system: groundwater system in Seoul area, Korea. Ph.D. thesis, Seoul National University, Korea, 320 p.
- Kreibich, H. and Thieken, A.H., 2008, Assessment of damage caused by high groundwater inundation. Water Resources Research, 44, W09409, doi:10.1029/2007WR006621.
- Lawrence, A.R., Morris, B.L. and Foster, S.S.D., 1998, Hazards induced by groundwater under rapid urbanization. Geohazards in Engineering Geology, Engineering Geology Special Publication, Geological Society, London, 15, 319-328.
- Lee, J.Y., 2016, Lessons learned from three groundwater disputes in Korea: Lack of comprehensive and integrated investigation. International Journal of Water (in press).
- Lee, J.Y. and Koo, M.H., 2007, A review of effects of land development and urbanization on groundwater environment. Journal of the Geological Society of Korea, 43, 517-528 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.Y., Yi, M.J., Lee, J.M., Ahn, K.H., Won, J.H., Moon, S.H. and Cho, M., 2006, Parametric and non-parametric trend analysis of groundwater data obtained from national groundwater monitoring stations. Journal of KoSSGE, 11, 56-67 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.Y., Yi, M.J., Yoo, Y.K., Ahn, K.H., Kim, G.B. and Won, J.H., 2007, A review of national groundwater monitoring network (NGMN) in Korea. Hydrological Processes, 21, 907-919.
- Park, C., Shin, S.Y. and Son, E.J., 2013, Classifying flood prone areas in Seoul using multivariate analysis. Journal of KOSHAM, 13(2), 245-255 (in Korean with English abstract).
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T. and Amnell, T., 2002, Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-The excel template application Makesens. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 35 p.
- Yager, R.M., 1993, Estimation of Hydraulic Conductivity of a Riverbed and Aquifer System on the Susquehanna River in Broome County, New York. USGS Water-Supply Paper 2387, Denver, 57 p.

Received : January 14, 2016

Revised : February 3, 2016

Accepted : February 4, 2016