

[기술보고]

굴포천 임시방수로 굴착구간 주변의 지하수 수위 변동 유형 분류

김창훈¹ · 이수곤^{1*} · 한정상² · 김남주³ · 전병추⁴

¹서울시립대학교 토목공학과, ²주식회사 넥스지오, ³(주)지오엔지니어링, ⁴동부엔지니어링

[Technical Report]

Classification of Groundwater Level Variation Types Near the Excavated Area of the Temporary Gulpocheon Discharge Channel

Chang-Hoon Kim¹, Su-Gon Lee^{1*}, Jeong-Sang Hahn², Nam-Ju Kim³, and Byeong-Chu Jeon⁴

¹Department of Civil Engineering, The University of Seoul, ²nexGeo Inc.

³GEO engineering Co., Ltd., ⁴Dongbu Engineering Co., Ltd.

Received 12 November 2014; received in revised form 25 November 2014; accepted 28 November 2014

지하 대수층에 가해진 수문학적 충격에서 나타난 지하수위 변화를 관측하고 분석하여 굴포천 임시방수로구간의 지하수 수위 변동 특성을 규명하였다. 지하수위란 그 지점을 지나가는 등포텐셜 값으로 지하수 압력이 그 위치에서 대기압과 균형을 이루고 있는 것으로, 이는 고정된 것이 아니라 수문학적 충격에 대응해서 변화하게 되는데 관측지점으로부터 지하수면까지의 깊이를 반복적으로 측정함으로써 파악할 수 있다. 김포-김포 국가지하수관측소의 1일 지하수 유출수문곡선의 지하수위 변화식과 변동폭을 평가요소로 하여 18개소의 관측시스템의 지하수 변동 특성을 영향형, 관측요망형, 비영향형 등으로 분류하였다. 그 결과 영향형은 전체의 50%로 수문학적 충격에 의해 수위변화가 민감하게 반영되며 임시방수로로부터 거리가우선적인 요인으로 판단된다. 관측요망형은 27.8%로 2개의 평가요소 중 1개가 기준에 미달한 경우이다. 비영향형은 22.2%로 지하수위 변화가 강우사상에 대해서만 반응함으로써 두 가지의 평가요소를 초과한 것들이다.

주요어: 수문학적 충격, 등포텐셜 값, 유출수문곡선, 국가지하수관측소, 평가요소

Characteristics of water-level changes in the Temporary Gulpocheon Discharge Channel were identified by observing and analyzing changes in the subterranean water level induced by hydrological stresses the underground aquifer. The subterranean water level refers to the level at which the pressure of subterranean water passing through the corresponding position has an equipotential value that is in equilibrium with the atmospheric pressure at that location. This water level is not fixed but changes in response to hydrological stress. It can be identified by repeatedly measuring the distance from the observation point to the surface of the subterranean water. The subterranean water-level change equation and the variance range of the hydrological curve of subterranean water over 24 hours at the Gimpo-Gimpo National Groundwater Monitoring Network (NGMN) were used as assessment factors. The variance characteristics of the subterranean water at the 18 monitoring system locations were classified into three impact, observational wish, and non-impact. The impact type accounted for 50% of the subterranean water of and accurately reflected the water-level changes due to hydrological stress, showing that distance is the major controlling factor. The observational wish type accounted for 27.8% of the subterranean water, and one of the two assessment factors did not meet the assessment factors. The nonimpact type accounted for 22.2% of the subterranean water. This type satisfied the two assessment factors and represents subterranean water-level changes response to precipitation.

Key words: hydrological stress, equipotential value, hydrological curve, national groundwater monitoring network (NGMN), assessment factors

*Corresponding author: sglee@uos.ac.kr

© 2014, The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

우리나라는 지표수 자원에만 편중된 일방적인 수자원 정책을 추진해온 결과 지하수가 담당해야 할 몫을 상당히 축소시켜 왔다. 이와 같은 현실은 1960년대 이후 철저한 경제성장 위주의 정책기조 하에서 짧은 기간 동안에 많은 량의 용수를 신속히 확보해야 하는 지표수자원 개발 정책을 추진한 결과이다. 그러나 경제개발 5개년 계획이 종료되는 1980년대에 들어서면서 고도 경제성장의 시기가 서서히 마감되고 국민생활 수준의 향상과 복리증진에 대한 사회적 욕구에 따라 물수요가 급격히 증가하면서 물에 대한 인식의 대전환을 가져오게 되었다.

수자원으로서 지하수는 지표수에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 년 중 유량의 변화가 적고 수질이 안정적이며 지표수 발달이 빈약한 지역에서는 용수 수요에 안정적으로 대처할 수 있는 취수원 다변화 방안으로 유일한 역할을 담당하고 있다. 우리 세대의 당면한 과제는 기후변화를 포함한 지구온난화 일 것이다. 어떤 지역은 유례없는 폭설이 내리고 또 다른 지역에서는 계절성 폭우가 내리는가 하면 또한, 극심한 가뭄을 겪기도 한다. 기온이 상승하면 지표수는 용존산소량이 감소하고 조류미생물이 증식하거나 빈번하게 녹조 등이 발생하여 이를 잘못 이용하면 수인성 전염병이 발생할 수 있어 수질이 불안해 진다. 이에 비해 지하수는 수량이 안정되고 수질이 양호한 수자원일 뿐만 아니라 연중 일정한 온도를 유지하여 좋은 에너지 자원의 원천이기도 하다.

사계절이 뚜렷한 우리나라는 여름에는 시원한 지하수가, 겨울에는 따뜻한 지하수가 산출되어 탄소배출이 없는 친환경적인 신생에너지로 각광 받고 있다. 또한 지하수의 수위와 수질을 모니터링 함으로써 지진 발생의 전조현상을 예측하는 방법이 재난의 지시자로 수많은 과학들에 의해 지속적으로 연구되고 있다. 지진이 발생할 즈음에는 지반의 응력과 가스성분이 변하여 지하수위의 급격한 변동과 지하수내 라돈의 농도를 변화시킨다고 보고된 바 있다(Lee et al., 2011). 지하수는 이처럼 유용한 수자원인 것이 분명하지만 타 수자원에 비해 비가시적(invisible)이고, 이방성(anisotropy) 및 불균질(heterogeneity)한 매체 내에 부존되어 있다는 특수성 때문에 철저한 조사와 평가를 통해 확보한 자료를 토대로 체계적이고 과학적인 지하수 관리가 필요하다. 지하수자원은 어느 곳이나 부존되어 있는 것이 아니라 지표수자원이 하도나 저수지 내에만 부존되어 있듯이 지하 저수지인 대수층에만 부존되어 있기 때문에 정확한 산출특성이 먼

지 규명되어야 한다(Hahn, 1994).

연구지역인 굴포천 임시방수로사업 구간은 지하수위면 하부까지 굴착이 진행되면서 굴착구간 주변으로 지하수가 배출되어 대수층의 등수위선이 변형되고 굴착구간 주변으로 지하수 흐름방향이 형성되므로 주변지역에 소재한 지하수 이용시설의 고갈이나 기존 수리권의 침해와 같은 환경재해가 예측된다. 지하수 유동은 포텐셜 에너지가 높은 곳에서 낮은 곳으로 유동한다. 즉, 흐름방향이 수평이거나 수직이든 간에 지형의 고저와 상관없이 포텐셜 에너지 크기에 따라 그 유동이 좌우된다. 이러한 일련의 물리적 과정은 지하수의 흐름 변화를 통하여 지하수계에 가해진 수리적 스트레스를 해소하고 평형상태로 유지하려는 자연현상으로 이해할 수 있다(Kim, 2010).

지하수위 관측자료의 시계열 분석을 통해 변동유형을 분류하는 시도로는 Kim (2012)은 5년이상 관측자료가 축적된 346개 국가지하수관측망 자료를 분석하여 지하수위 변동을 계절형, 경사형, 계단형, 램프형, 정상형, 충동변화형 등 6가지로 분류하였다. 또한, Kim et al. (2013)은 낙동강 하류 지하수위 변동 유형을 주성분 분석으로 분류한 바 있다. Song et al. (2007)는 해수침투 관측망의 45개 관측정 지하수위 자료를 가지고 Montgomery et al. (1990)의 6가지 분류법을 기본으로 하여 정상형, 선형추세형, 경사변화형, 주기형, 충동형 등으로 분류한 바 있다.

본 연구에서는 굴포천 임시방수로 건설사업과 이 지역에 분포한 지하수위 관측시스템에서 측정된 지하수위 변화의 인과관계에 대해 평가하고, 지하수위 변동 유형을 분류하여 그 특성을 살펴보고자 하였다.

연구 지역

굴포천 임시방수로

연구지역인 굴포천 임시방수로 굴착구간은 소위 경기육괴의 최서단에 해당하고, 한강 하류지역에 위치한다(KIGAM, 1995), 소하천으로는 굴포천, 계양천, 시천천 등이 분포하고 행정구역상으로 인천광역시 계양구와 서구 및 김포군 고촌면 등의 일부에 해당 된다(Fig. 1). 굴포천은 인천광역시 남동구 간석동 철마산에서 발원하여 한강하류 행주대교 부근에서 한강과 합류하는 유역면적 143 km², 유로연장이 21 km의 지방2급 하천이다. 또한 굴포천유역은 유역의 40%가 해발 10 m 이하의 저지대로 100년 빈도의 홍수 시 한강본류의 수위가 EL

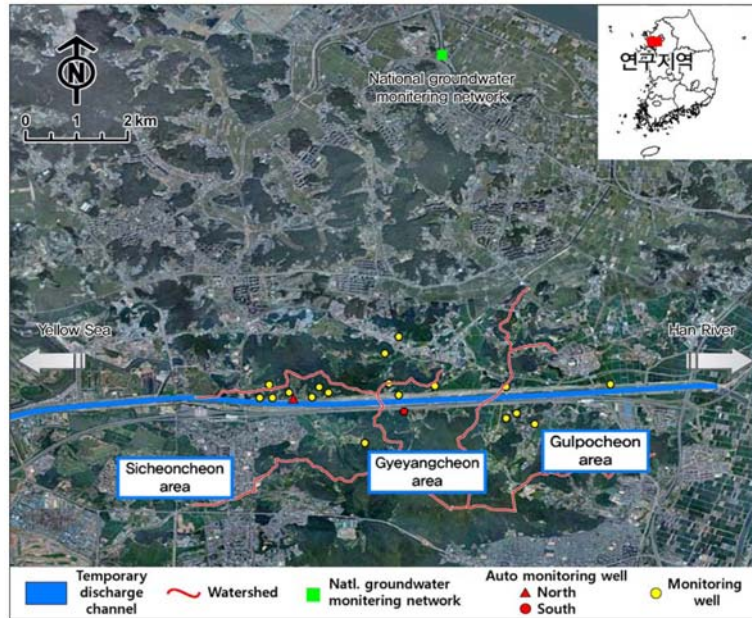


Fig. 1. Location of the study area.

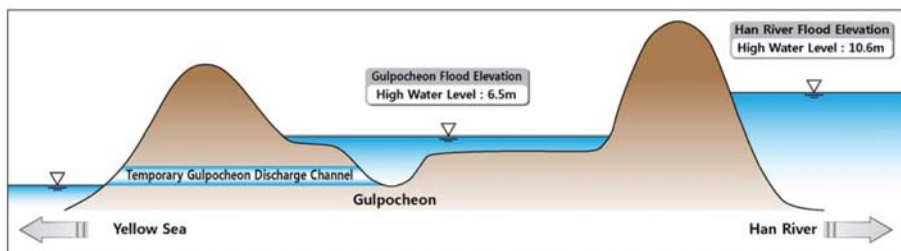


Fig. 2. Water level of the Han river and the temporary Gulpocheon discharge channel at flood elevation (frequency of 100 years).

10.6 m 인데 반해 굴포천 수위는 El. 6.5 m로 구조적으로 내수 배제가 불량하여 상습적으로 홍수피해가 발생하는 지역이다(Fig. 2). 이에 따라 굴포천 유역의 만성적인 홍수피해 대책의 일환으로 홍수전량을 서해로 일괄 배제하기 위해 굴포천, 계양천, 시천천 등을 굴착하여 이 지역을 관통하는 연장 14.1 km 굴포천 임시방수로 굴착 사업이 2001년 8월부터 2003년 8월까지 시행되었다(K-water, 2013).

지표지질

연구지역의 지질은 선캠브리아기 경기편마암복합체가 최고기 암을 이루고, 이들을 관입한 주라기 화강암류, 그리고 백악기에 분출 및 관입한 화성암류와 제4기의 충적층 및 매립지가 이들을 부정합으로 피복하고 있다(Fig.

3). 경기편마암복합체는 흑운모편마암과 운모편암으로 구성되어 있고, 변성 염기성암류들이 국지적으로 협재되어 있으며 북동부에서는 화강편마암이 소규모로 분포하고 있다. 이를 주라기의 화강암이 관입하였으며 화강암은 서울 개화산과 인천광역시 굴현동 일대에 발달하였다. 계양천 유역의 남측부분은 김포분지 생성 시 발생한 단층작용 시기에 발생한 화산활동과 화성암류의 관입이 활발하게 일어났던 지역으로 계양산(El. 395 m)을 중심으로 발달한 응회암이 높은 산정을 이루고 있다. 화산작용과 연계하여 반심성암류의 관입활동도 이 지역에서 활발히 일어나 계양구 목상동 일대에서 관찰되는 흑운모편마암을 관입한 암맥상의 화강반암(Fig. 4, 2002. 05월영)은 주향이동단층 형성 시 마그마 관입의 결과로 추정된다.

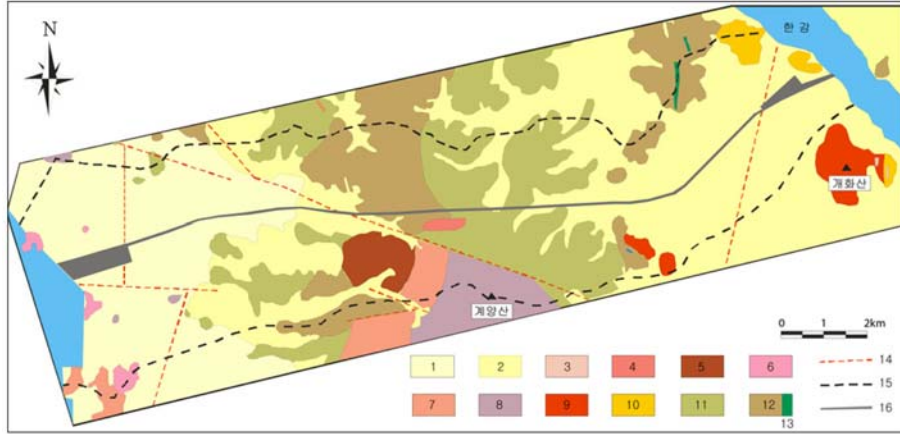
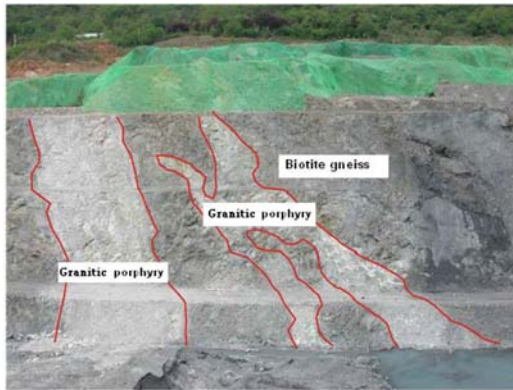


Fig. 3. Geological map of the study area.



(2002. 05, photographing)

Fig. 4. Biotite gneiss intruded by granitic porphyry dikes.



(2002 .01, photographing)

Fig. 5. Groundwater flow vestige at the Gyeongyangcheon cross-section.

지하수 유출 흔적

방수로 구간의 굴착과 함께 노출된 암반사면에서 지하수의 유출로 인한 계양천 유역의 남측 굴착사면에서 고드름이 관찰되었다(Fig. 5, 2002. 01 촬영). 이는 지하수체에서의 침윤(effluent seepage) 현상에 의한 젖음전선(wetting front)이 항상 포화되어 동절기에 차가운 대기와 접촉하게 되므로 암반사면에서 고드름으로 나타났다. 이 지역 같이 지하수면 하부까지 굴착이 진행된다면 지하의 상당한 압력 하에 놓인 지하수가 대기압과 같은 환경에 놓이게 되므로 지하수 유동의 변화가 일어나 압력이 낮은 굴착주변으로 중력배수 되어 지하수 흐름이 발생하게 된다.

이 지점은 하천연장이 3.6 km이고, 남북방향으로 흐르는 지방2급 하천인 계양천(MOCT, 2000)이 동서방향의 굴착으로 인해 절단됨에 따라 지하수 유출(ground-

water runoff)이 발생하여 암반사면에 고드름이 생성하였다. 굴착공사로 인한 이러한 지하수 유출은 주변 지하수 이용시설의 지하수위를 변화시키거나 하천유량을 왜곡시킬 수 있으므로(Chiu and Chia, 2012) 유의하여 관찰하고 평가할 필요가 있다.

현장 구축

지하수위 관측시스템

본 연구를 위하여 굴포천 방수로 주변을 따라 지하수 관측시스템을 구축하였다. 지하수 관측시스템은 수동관측 시스템 18개소와 자동관측 시스템 2개소로 구성하였으며 수동관측 시스템은 1개월에 1회 측정하였으며 자동관측시스템은 매시간 마다 자료를 취득하였다 (Fig. 1;

Table 1. Monitoring system of groundwater level in the study area.

Well No.	Elevation (EL-m)	Groundwater level (BGL-m)	Depth (m)	Based on temporary discharge channel		Aquifer type
				Distance (m)	Azimuth	
OB-06	19.9	0.93	6.50	510	S	Alluvial
OB-37	28.5	1.45	2.25	754	S	
OB-22	12.1	0.53	1.82	150	N	
OB-25	27.4	0.84	1.90	420	N	
OB-09	23.6	1.90	7.40	365	S	
OB-20	30.8	1.61	3.20	430	N	
OB-30	27.7	2.24	5.35	1,330	N	
OB-28	26.5	2.45	15.00	910	N	
OB-10	33.9	9.49	14.40	600	S	
OB-17	28.9	2.25	4.90	200	N	
OB-23	17.4	3.06	4.70	170	N	
OB-34	30.2	3.72	6.50	75	N	
OB-16	21.2	5.80	6.46	160	N	
OB-21	14.7	4.02	5.70	235	N	
OB-31	25.7	5.37	125	225	N	Rock (fissure type)
OB-29	25.7	4.67	15.6	295	N	
OB-41	44.4	6.61	104	73	N	
OB-44	8.3	2.52	9.5	45	N	
Average	24.8	3.30	18.89	South: 557 m North: 337 m		

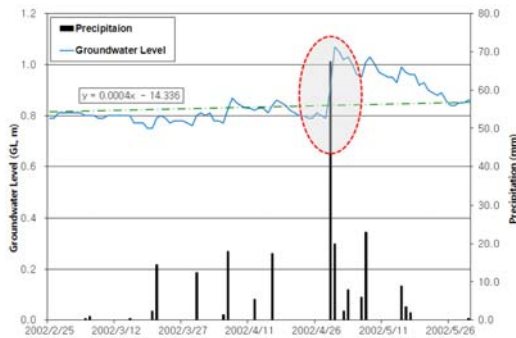


Fig. 6. Daily hydrograph of groundwater level's change at the northern observation well.

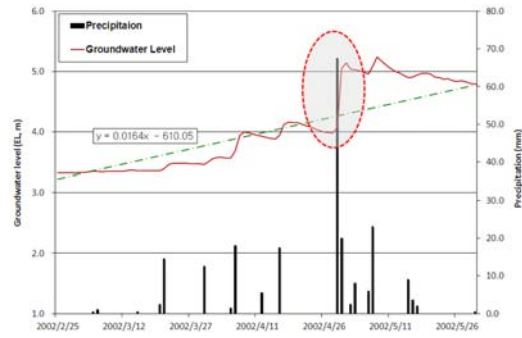


Fig. 7. Daily hydrograph of groundwater level's change at the southern observation well.

Table 1).

관측정에서 지하수면은 그 지점을 지나는 등포텐셜의 값으로 지하수의 압력이 그 위치에서 대기압과 균형을 이루고 있는 것을 나타낸다. 지하수위의 변화는 지하 저수지 내에 부존된 지하수 저류량의 변화를 의미하는 것으로, 이는 관측정의 관측지점으로부터 지하수면까지의 깊이를 반복적으로 측정함으로써 파악할 수 있다. 지하수면은 고정된 것이 아니라 주기적으로 변화되는데, 함

양량이 배출량보다 클 때는 상승하는 반면, 이에 비해 반대인 경우는 하강하게 된다.

특히, 자동지하수 관측정은 강우 및 굴포천 임시방수로 굴착사업이 지하수위 변화에 미치는 영향을 규명하기 위해 굴착구간 남북 측에 각각 설치하였다. 자동관측정에서 측정된 1일 지하수위 자료와 김포공항 기상대의 강우자료를 중첩하여 수문곡선도를 작성하여 강우에 따른 특성을 분석하였다(Figs. 6, 7).

Table 2. Data of Gimpo-Gimpo national groundwater monitoring network.

Monitoring network	Location	Aquifer	Coordinates		Elevation (EL-m)	Depth (m)	Groundwater level(m)		Installation date
			Longitude	Latitude			BGL	EL	
Gimpo-Gimpo	Gimpo Gulpodong 1550-10	Rock	126°42'40"	37°37'53"	6.79	80	5.4	1.39	1996.4
		Alluvial				15.9	5.65	1.14	

국가지하수관측소(김포-김포)

국가지하수관측망은 지하수의 변동을 감시, 관측함으로써 지하수의 수위와 수질 등의 변동상태를 파악하여 과학적인 지하수관리를 위한 기초 수문자료를 제공하기 위해 1995년부터 국토해양부에서 구축하여 운영하고 있다. 여기에서 관측소에서 측정된 자료들은 전용 통신망을 통해 매일 국가지하수정보센터 내 국가지하수관측망 자료관리 서버로 전송되어, 1시간 간격으로 자동 측정된 수위자료들은 일평균으로 환산하여 1년간 자료를 취합한 지하수관측연보로 발간된다(Kim, 2012).

김포-김포 국가지하수관측소는 1996년에 설치하여 현재까지 지속적으로 운영하고 있으며 연구지역과는 북쪽으로 약 6.8 km 지점에 위치하고 있다. 이 관측소에는 충적층과 기반암에 관측정이 각각 설치되어 있으며(Table 2) 충적 관측정의 심도는 15.9 m이고 지하수위는 1.14 m이다. 이에 비해 암반관측정은 심도 80.0 m, 지하수위는 1.39 m이다. 여기에서 두 대수층 간에 수위차이가 0.25 m 발생하였는데 이는 갈수기에 고지대에서 지하수 함양이 발생하여 암반대수층의 지하수위가 높고, 풍수기에 충적대수층은 인근에서 수직적인 유입으로 지하수위가 높기 때문이다. 이렇게 동일지점에서 두 대수층간의 potential head 차이에 기인한 수위 차이는 암반대수층의 피압상태에 대한 정보를 제공한다.

분석 결과

지하수위 변화분석

북측 관측정(Fig. 1; Auto monitoring well-North)에서는 2002년 2월 25일 지하수위 자동관측 개시 이후 2002년 5월 31일까지 측정된 지하수위는 최고 1.07 m (4월 30일)이고, 최저 수위는 0.75 m (3월 19일)이었다(Fig. 6). 수문곡선에서 최고 수위는 강우발생이 집중되었던 4월 29~30일(3일간 강우량: 87.5 mm)에 관측되었고 이후에는 지하수위 상승추세가 둔화되어 하향추세가 우세하다. 이는 계절적인 지하수위 변화와 굴포천 임시방수로 건설사업의 굴착 효과가 혼합되어 지하수위가 변

화되었음을 보여준다. 더욱이 2002년 4월 이후에는 임시방수로의 바닥면(EL. -1.0 m)까지 굴착공사가 마무리 되어가는 시기로 발파공 굴착장비의 작업을 위해 방수로에 유출된 지하수를 집수시켜 강제배수 시킴으로 지하수 유출이 촉진되었고, 4월 30일 이후 잦은 강우발생에도 상승추세를 유지하지 못하고 하강추세가 우세한 것으로 분석된다. 이는 지하수위 유형분류중 충동변화형(impulse)에 해당한다(Kim, 2012).

남측 관측정(Fig. 1; Auto monitoring well-South)의 수문곡선에서는 최고 5.25 m (5월 8일), 최저 3.32 m로 관측되었고, 변동폭은 1.93 m이다(Fig. 7). 강우빈도가 집중되었던 시기에 지하수위는 급격히 상승한 것으로 보아서는 강우이벤트에 대한 지하수위 변화가 예민한 반응을 보인다. 이후에도 강우발생에 따른 지하수위는 상승추세를 유지하고 있다. 이는 계절적인 지하수위 변화만을 나타내고 임시방수로 굴착에 의한 영향을 받지 않았기 때문이다. 이는 지하수위 변화유형 중 계절형(seasonal)에 해당한다(Kim, 2012). 수문곡선 상에서 임시방수로 굴착구간과 거리가 가깝고 표고가 낮을수록 지하수위 변화는 민감하게 반영되는 것으로 분석되었다.

연구기간 동안 경과시간별 일주기 지하수위 변화와 인근 김포공항 기상대의 강우량 대한 시계열도에서는 2001년 12월 27일부터 2002년 3월까지의 강우 발생량에 따라 하강과 상승을 반복하다가 3일간 강우량이 87.5 mm 발생할 즈음부터는 상승 경향이 우세하게 분석된다(Fig. 8). 두 대수층별 지하수위 변화 경향은 강우발생에 의한 수위변화는 계절형이며 상승과 하강이 매우 유사한 경향을 보인다. 이들 관측정의 수위는 서로 간의 수리적인 연결 상태가 양호하여 강우발생 직후에는 충적대수층이, 시일 경과 후에는 암반대수층의 수위가 높게 관측되었다.

지하수위 변화유형 분류

아외에서 계측하고 측정된 현상을 수집·정리하여 이들을 정량적으로 비교 분석 및 분류하는 것은 과학자들의 일반적인 성향(natural inclination)이다. 이러한 측면

에서 수리지질학자 들도 강우발생과 지하대수층에서 지하수위 변화관계를 규명하기 위한 많은 시도를 해왔다 (Fetter, 1988).

Table 3에서 보는 바와 같이, 국가지하수관측소의 2개



Fig. 8. Daily hydrograph of groundwater level's change at the national groundwater monitoring well.

대수층(암반 및 충적층)에서 확보된 지하수위의 변동 특성(지하수위 변화식의 기울기 및 지하수위 변동폭)과 18개 지하수위 관측시스템의 자료 특성과의 비교를 통하여 지하수위 변화유형을 분류하였다. 국가지하수관측소 2개 대수층에서 지하수위 변화식의 기울기를 기준으로 18개 관측 자료 특성이 작으면 ①등급, 크면 ②등급으로 분류하였고, 지하수위 변동폭 또한 작으면 ①등급, 크면 ②등급으로 분류하였다(Figs. 9, 10).

분석 대상 관측정이 상기 두 개의 지하수위 변동 특성이 모두 ①등급으로 평가된 경우는 영향형(Impact type, I type), 모두 ②등급인 경우는 비영향형(Non-impact type, N type), 그리고 ①, ②등급이 혼합된 경우에는 관측요망형(Observation wish type, O type)으로 분류하였다. 이로부터 분류된 관측시스템의 영향형, 관측요망형 및 비영향형의 공간적인 분포를 Fig. 11에 나타내었다.

Table 3. Classification of groundwater-level-change types.

Observation well	Equation	Std. deviation	Index				Verdict
			Inclination	Class	Fluctuation (m)	Class	
NGMN-A	$y=0.0086x-318.6$	0.548	0.0086	-	1.28	-	B
OB-6	$y=0.0042x+158.09$	0.284	0.0042	①	0.59	①	I
OB-37	$y=0.009x-308.44$	0.571	0.009	②	1.36	②	N
OB-22	$y=0.005x-175.5$	0.338	0.005	①	0.67	①	I
OB-25	$y=0.0078x-267.62$	0.495	0.0078	①	1.30	②	O
OB-9	$y=0.0046x-150.39$	0.317	0.0046	①	0.61	①	I
OB-20	$y=0.0088x-300.3$	0.559	0.0088	②	1.32	②	N
OB-30	$y=0.0092x-317.65$	0.580	0.0092	②	1.36	②	N
OB-28	$y=0.0088x-306.42$	0.530	0.0088	②	1.34	②	N
OB-10	$y=0.0080x-272.51$	0.531	0.0080	①	1.29	②	O
OB-17	$y=0.0085x-290.25$	0.553	0.0085	①	1.28	②	O
OB-23	$y=0.0017x-50.425$	0.166	0.0071	①	0.24	①	I
OB-34	$y=0.0037x-112.72$	0.284	0.0037	①	0.44	①	I
OB-16	$y=0.0058x-201.02$	0.404	0.0058	①	0.73	①	I
OB-21	$y=0.002x-64.885$	0.144	0.0020	①	0.39	①	I
NGMN-R	$y=0.0088x-326.9$	0.548	0.0088	-	1.15	-	B
OB-31	$y=0.0078x-270.66$	0.543	0.0078	①	1.19	②	O
OB-29	$y=0.0077x-267.09$	0.498	0.0077	①	1.22	②	O
OB-41	$y=0.0014x-12.961$	0.176	0.0014	①	0.25	①	I
OB-44	$y=0.0029x-105.66$	0.224	0.0029	①	0.39	①	I
Average	-	0.414	0.00648		0.92	-	-

※ Note : I; Impact type, N; Non impact type, O; Observation wish type, B; Based
 NGMN-A : National Groundwater Monitoring Network-Alluvial
 NGMN-R : National Groundwater Monitoring Network-Rock

Table 4. Groundwater-level change types of the auto monitoring wells.

Observation well	Inclination			Fluctuation (m)			Verdict
	Sta. deviation	Value	Class	Sta. deviation	Value	Class	
North	0.0088	0.004	①	1.15	0.33	①	I
South	0.0086	0.0164	②	1.28	1.92	②	N

Table 4는 2개의 자동관측시스템에서 지하수위 변화 유형을 분류한 결과이다. 북측관측정은 임시방수로와의 거리가 89 m, 표고 El. 13.7 m인 충적층 관측정이다. 지

하수위 변화식의 기울기와 지하수위 변동폭을 기준값과 비교하면 두 값 모두 ①등급으로 평가되어 영향형(I: Impact type)에 해당한다. 이는 임시방수로와 지하수위

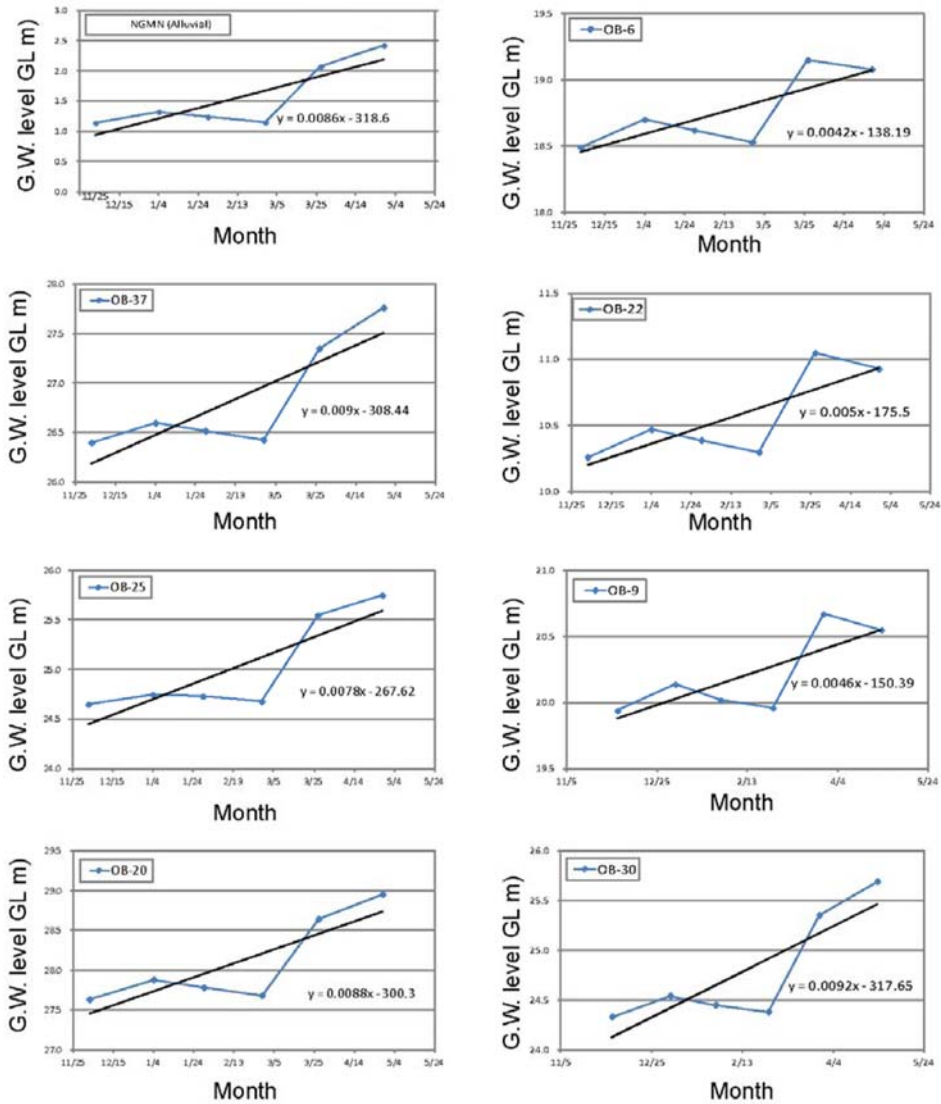


Fig. 9. Time series of groundwater-level in alluvial aquifers.

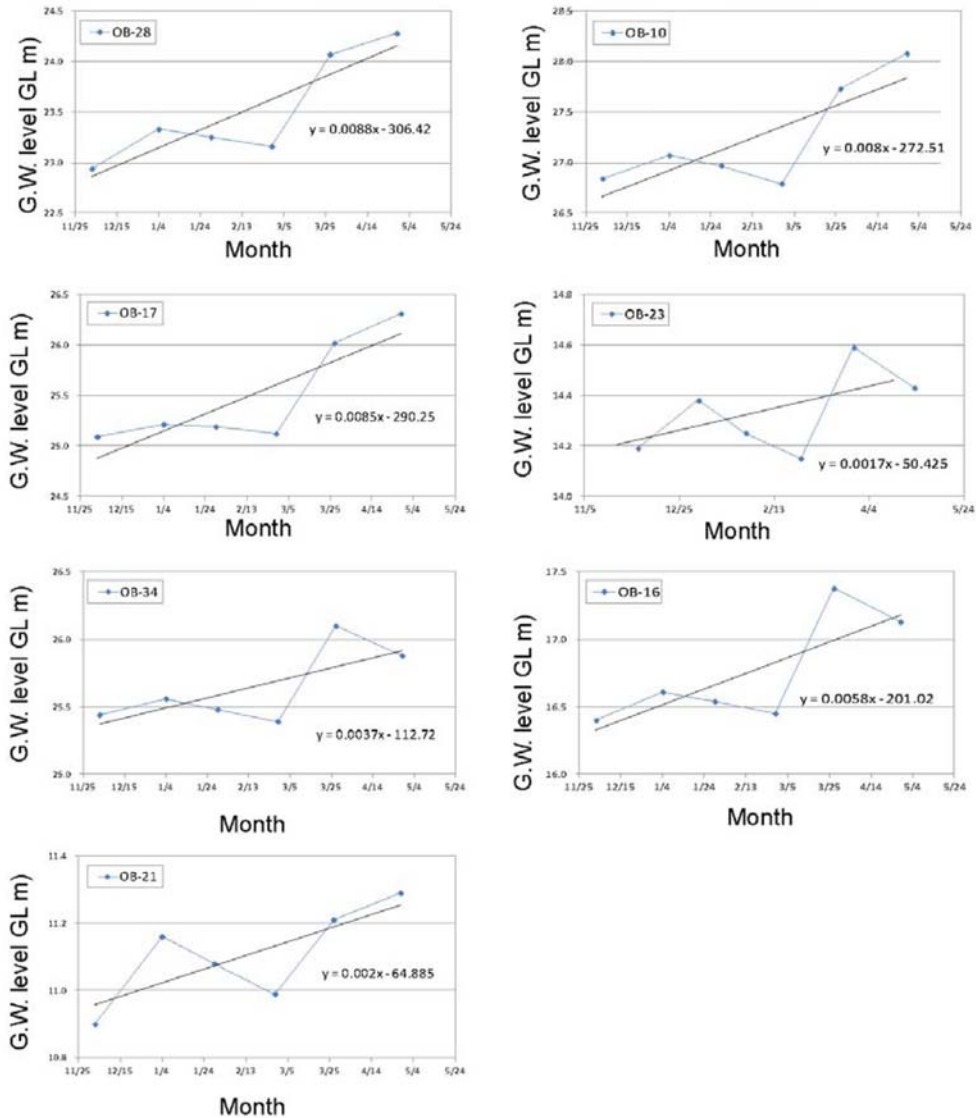


Fig. 9. Continued.

관측시스템과의 평균거리 198.1 m보다는 가깝고, 평균고도 El. 25.5 m보다는 낮은 El. 13.7 m이다. 남측관측정은 임시방수로와의 거리는 El. 212.0 m, 표고 El. 41.7 m인 암반관측정이다. 지하수위 변화식의 기울기와 변동폭은 기준값보다 높아서 ②등급으로 평가되어 비영향형(N: Non-impact type)으로 판단하였다.

굴포천 임시방수로 굴착공사가 주변 지하수관측시스템의 지하수위 변화에 미치는 영향에 대한 분석결과, 영향형은 9개소로 전체의 50%를 차지하고 임시방수로의

거리는 45~510 m 범위이며, 평균거리는 198.1 m이다. 이들의 표고는 El. 3.3~44.4 m의 범위이며 평균 El. 21.3 m이다. OB-41은 표고가 El. 44.4 m이고 거리는 73 m로서 표고 보다는 임시방수로 굴착 구간과의 거리가 우선적으로 지하수 수위 변화에 영향을 미친 것으로 분석되었다. 관측요망형은 5개소로 27.8%로 해당하고 거리의 범위는 200~600 m, 평균값은 348 m이며, 표고의 범위는 El. 25.7~33.9 m, 평균 고도는 El. 28.3 m이다. 비영향형은 4개소로 22.2%이며 거리의 범위는 430~

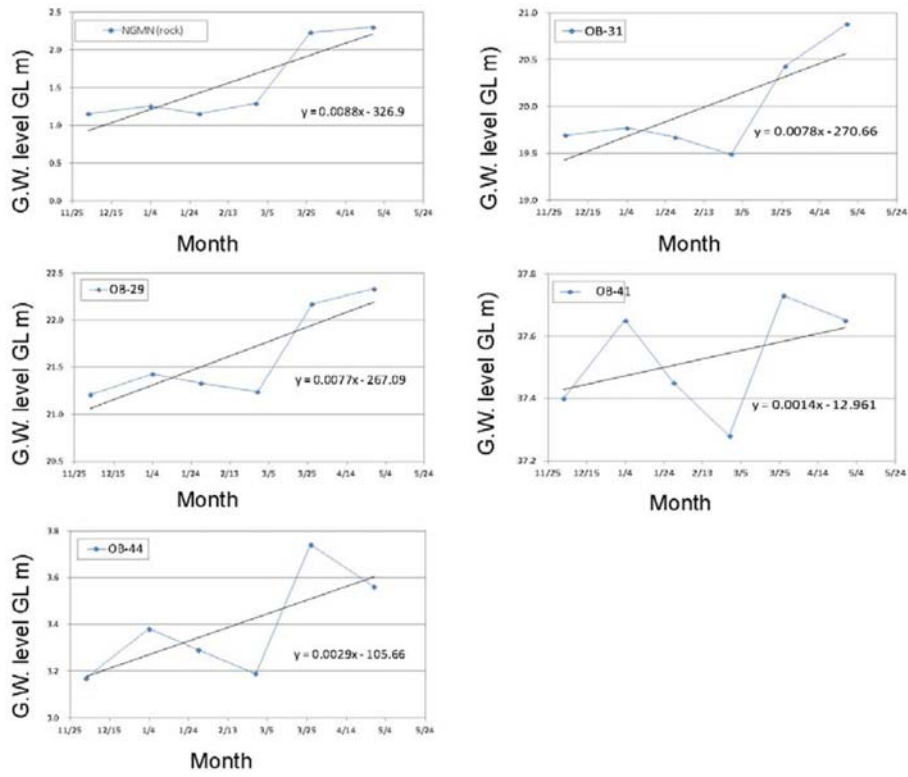


Fig. 10. Time series of groundwater-level in rock aquifers.

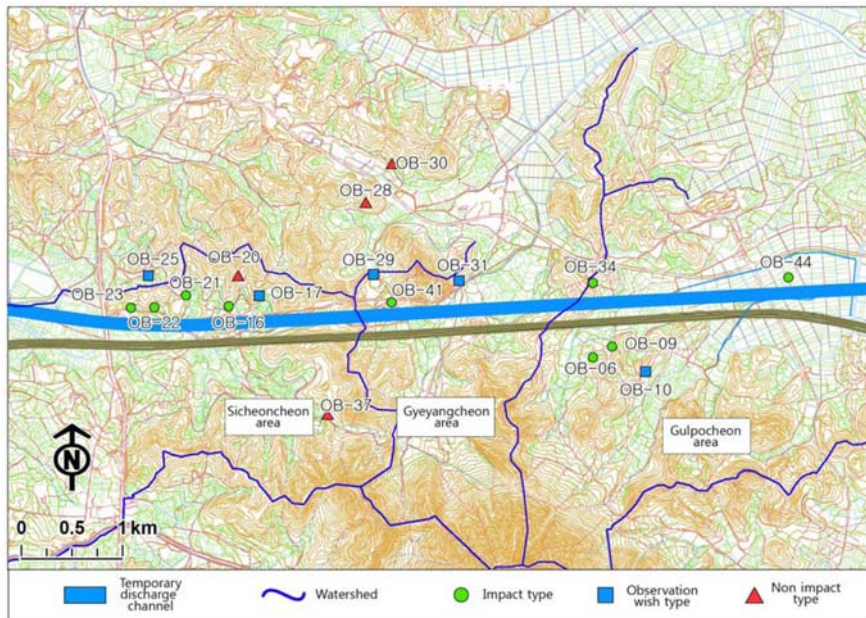


Fig. 11. Spatial distribution of groundwater-level change in the study area.

1,330 m, 평균 856 m, 표고의 범위는 El. 26.5~30.8 m, 평균 고도는 El. 28.4 m이다.

결 언

굴포천 임시방수로 굴착공사로 인한 주변지역의 지하수위 강하량은 임시방수로에서 거리가 멀어질수록 감소하지만 그 분포는 구간에 따라 차이를 나타내었다. 또한 시간 경과에 따라 전체적인 영향범위도 확대될 것이다. 따라서 지하수위면 하부까지 각종 개발계획을 수립 수행함에 있어 지하수위 변동 경향성을 분석한 연구와 지속적인 지하수위 관측자료의 확보가 선행되어 기존 수리권에 미치는 영향을 미리 예측분석하여 환경적으로 건전하고 지속 가능한 지하수 개발(Environmentally sound sustainable groundwater development)이 유지조성되도록 하여야 할 것이다.

References

Chiu, Y. C. and Chia, Y., 2012, The impact of groundwater discharge to the Hsueh-Shan tunnel on the water resources in northern Taiwan, *Hydrogeology Journal*, 10(2), 1599-1601.

Fetter, C. W., 1988, *Applied Hydrogeology* (Second ed.), Merrill Publishing Company, NewYork, 576p.

Hahn, J. S., 1994, The best management practice and protection strategies of groundwater resources of USA, *The Journal of Engineering Geology*, 4(1), 74-75 (in Korean with English abstract).

Kim, C. H., 2010, A study on delineation of the influential range in groundwater system near construction sites along cutting faces, MSc Thesis, University of Seoul, 1-2 (in Korean with English abstract).

Kim, G. B., Cha, E. J., Jeong, H. G., and Shin, K. H., 2013, Comparison of time series of alluvial groundwater levels before and after barrage construction on the lower Nakdong river, *The Journal of Engineering Geology*, 23(2), 1-11 (in Korean with English abstract).

Kim, J. W., 2012, Characteristics of water level change and hydrogeochemistry of groundwater from National Groundwater Monitoring Network, Korea; Geostatistical interpretation and the implications for groundwater management, PhD Thesis, Korea University, 7-17 (in Korean with English abstract).

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 1995, Geological Report of the Kimpoincheon Sheets, 3-4 (in Korean).

K-water, 2013, Construction Report of Gulpo-Cheon Discharge Channel, Vol 1, 33-34 (in Korean).

Lee, H. A., Kim, M. H., Hong, T. K., and Woo, N. C., 2011, Earthquake observation through groundwater monitoring: A case of M 4.9 Odaesan earthquake,

Journal of Soil and Groundwater Environment, 16(3), 38-47 (in Korean with English abstract).

Ministry of Construction and Transportation (MOCT), 2000, *Korean River List*, 282-283 (in Korean).

Montgomery, D. C., Johnson, L. A., and Gardiner, J. S., 1990, *Forecasting and Time Series*, McGraw Hill, 381p.

Song, S. H., Lee, J. Y., and Lee, M. J., 2007, Evaluation of long-term data obtained from seawater intrusion monitoring network using variation type analysis, *Journal of Korean Earth Science Society*, 28(4), 478-479 (in Korean).

김창훈

서울시립대학교 토목공학과
130-743 서울특별시 동대문구 서울시립대로 163
Tel: 02-6490-5554
E-mail: hoon2950@naver.com

이수곤

서울시립대학교 토목공학과
130-743 서울특별시 동대문구 서울시립대로 163
Tel: 02-6490-5554
E-mail: sglee@uos.ac.kr

한정상

주식회사 넥스지오
138-800 서울특별시 송파구 양재대로 66길 39 정화빌딩 601호
Tel: 02-448-6966
E-mail: jshahn@nexgeo.com

김남주

(주) 지오엔지니어링
472-140 경기도 남양주시 의안로 129-24 씨티프라자 205호
Tel: 031-559-0883
E-mail: deposits@chol.com

전병추

동부엔지니어링 수자원환경부
140-790 서울특별시 용산구 한강대로 372(동자동) 쉐트레빌아스테리움 서울 디동 24층
Tel: 02-2122-6891
E-mail: bcjeon@dbeng.co.kr