

온도, 유동특성 및 지화학분석 자료를 이용한 지표수-지하수 연계특성 평가

전항탁¹ · 김규범^{2*}

¹(주)팬아시아워터, ²한국수자원공사 K-water연구원

Evaluation of Interactions Between Surface Water and Groundwater Based on Temperature, Flow Properties, and Geochemical Data

Hang-Tak Jeon¹ and Gyoobum Kim^{2*}

¹PAN ASIA WATER Co., ²K-water Institute

본 연구에서는 소하천변 충적층을 대상으로 9개 지하수 관측공내 유량 유속 실험과 온도 계측을 통한 시간별, 심도별 온도 변화 추이 평가 및 지화학 분석 등을 통하여 지표수와 지하수간의 상호 작용에 대하여 분석하였다. 하천변에 근접한 2개 지하수 관측공은 타 관측공과 달리 지하수 유량이 하천에서 주변 충적층으로 향하고 있으며, 계절에 따른 온도 변화가 대기 및 하천과 유사하게 나타난다. 또한 이들 지점은 하천수의 영향을 받은 지화학 특성을 보일 뿐 아니라 계절에 따라 지화학 특성이 변화하는 등 지표수의 유입 유출이 활발한 지점에 해당한다. 본 연구에서 사용된 온도 측정 장치인 Thermochron I-button은 저비용의 소규모 장치로서 지표수와 지하수의 상호 작용 평가에 활용도가 높다.

주요어 : 지하수, 지표수, 온도 센서, 지화학 분석, 유량유속 검측

We examined the interactions between surface and groundwater through (1) flowmeter logging, (2) measurements of seasonal and vertical changes in temperature within a well, and (3) geochemical analyses of water samples from nine groundwater-monitoring wells. At two wells adjacent to a stream, subsurface water was found to flow from the stream to a surrounding alluvial fan, and the seasonal change in groundwater temperature is similar to those of surface water and air. Geochemical analyses at two wells indicated hydro-geochemical features affected by streamwater inflow, showing seasonal variations. Accordingly, these two wells are located in an area with active interaction between surface water and groundwater. The Thermochron I-button used in the present study is useful for this type of study of groundwater?surface water interaction because of its low cost and small size.

Key words : groundwater, surface water, temperature sensor, geochemical analysis, flowmeter logging

서 론

지하수 또는 지표수의 온도는 강 주변의 물의 흐름을 평가하는데 있어서 일반적으로 사용되는 추적자로서, 하천수 수온의 온도 변동 특성 분석뿐 아니라 천부 지하수와 하천수의 상호 작용을 평가하는데 이용되며 지하수의 유동상태 및 대수층의 특성을 파악하는데 도움이 된다. 온도 자료를 활용한 연구 사례로서, 박창희 외(2002)는 지하수의 온도 변화 관측 자료를 이용한 지하수 함양량 산정 연구를 하였고, 이정환 외(2009)는 온도 추적자와

시계열 분석을 통한 낙동강 주변의 지하수 유동 특성을 연구하였다. 외국에서는 Yokoyama (1993)는 지하수 유동 연구에 대한 자연적인 지하수 온도 추적자의 유용성과 차후 수치형 열이동 모델 연구의 자료를 제시하였고, Jim (1998)은 알프스 주변에서의 지하수 온도와 하천과 지하수의 변동 특성을 평가하였으며, Bravo et al. (2002)은 습지 지역에서의 지하수와 지표수의 상호작용과 지하수 유동 모형 구축에 지하수 온도 계측 자료를 활용하였다. Christopher et al. (2007)는 습지와 하천 혼합대에서 온도 센서를 이용하여 지하수 유출량의 시간적, 공간적 변

*Corresponding author: gbkim@kwater.or.kr

화 특장을 연구하였으며, Johnson et al. (2005)는 지하수와 하천의 상호작용을 밝히기 위해 온도자료 사용을 위한 온도측정 장비의 검증에 수행하였다. Rosenberg and LaBaugh (2008)는 지표수와 지하수 사이의 지속적인 열 흐름과 온도의 기울기를 측정하여 지하수와 하천의 변화를 연구하였다.

본 연구에서는 북한강 지류 하천 주변의 충적층 선상지에서 온도 관측, 유량유속 검출, 지화학 분석 등을 통하여 지하수와 지표수의 상호 작용을 평가하고자 하였다.

연구지역

연구지역은 강원도 춘천시 00부대와 인근 북한강 지류 하천에 위치하며, 북북서 방향과 동서 방향으로 높은 지형이 발달하는 계곡 형태를 보인다. 연구지역내의 지하수는 지형적 요인에 의하여 광역적으로 북서-남동의 흐름 방향을 보이며, 수계는 부분적으로 수지상으로 나타난다(Fig. 1).

연구지역의 광역 지질은 중생대 쥐라기 대보관입암류에 속하는 화강암류 및 고생대 선 캄브리아기 경기변성암 복합체로 대별되며, 이를 제 4기 충적층이 부정합으로 피복하고 있다(이병주 외, 1999). 연구지역에 나타나는 호상편마암은 석영 및 장석으로 구성된 우백질대의 흑운모로 구성된 우흑질대가 교호하는 호상구조를 가진다. 그러나 간혹 괴상의 형태로 나타나기도 하며, 일부 각섬석편마암 및 각섬석이 협재 한다(Fig. 2).

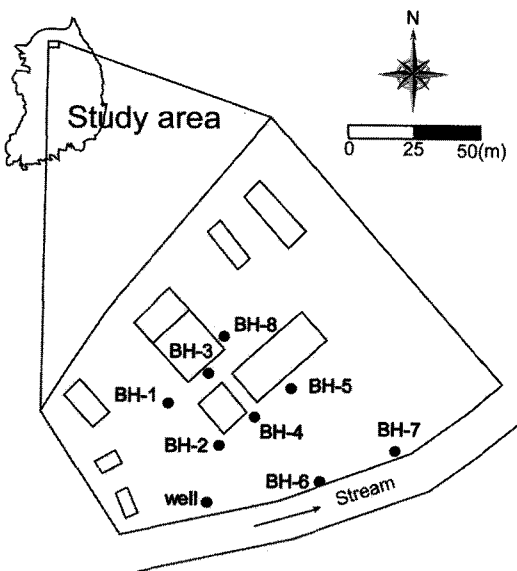


Fig. 1. Location map of the study area.

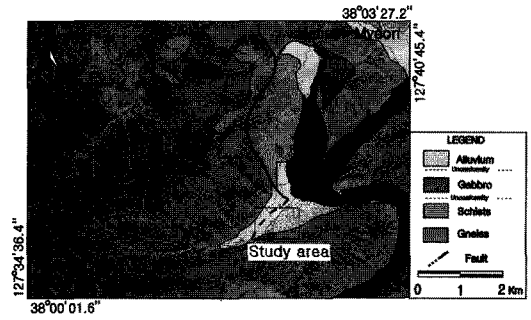


Fig. 2. Geological map of the study area (after Lee et al., 1999).

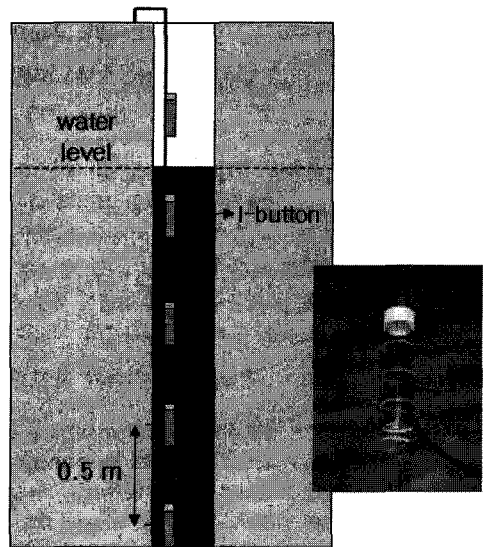


Fig. 3. Installation of temperature-measurement equipment (I-button).

연구방법

8개 시추공(BH-1~8)을 굴착하여 연구지역의 지층 분포 상태를 파악하고 관측정을 설치하였다 (Fig. 1 참조). 시추에 공의 직경은 NX size(φ76 mm)이며, 시추공 전구간 스크린을 설치하였다.

설치된 8개소 관측정 및 기존 우물 1개소에 DALLAS사의 thermochron I-button의 온도 센서를 심도 50 cm 간격으로 설치하고, Diver를 설치하여 지하수위를 측정하였다(Fig. 3). 온도와 수위 변화는 5개월 이상(2010년 2월 24일~2010년 7월 28일) 1시간 간격으로 측정하였다. 또한, 각 관측정 및 기존 우물에서의 심도별 지하수 흐름을 파악하기 위하여 갈수기(3월)에 일본 알렉사의 GEOFLOW를 사용하여 2차원 유량유속 검출을 수행하였으며, 지층

의 수리특성을 파악하기 위한 순간충격시험을 실시하였다. 상기 물리적 조사 방법에 병행하여 지표수와 지하수의 상호작용을 파악하기 위하여 심도별 지하수 및 지표수 시료를 채취하여 지화학 분석을 실시하였다.

연구 결과 및 토론

시추조사

8개소 시추공의 지질은 상부로부터 모래질자갈층-풍화토층-풍화암층 순으로 나타난다. 모래질자갈층은 최상부로부터 5.2~8.4m의 두께로 분포하며 담갈색, 황갈색 및

담녹색을 띤 중립질과 세립질 모래와 자갈 및 부분적인 모래질 점토가 함유되어 있다. 풍화토층은 풍화 정도에 따라 토사와 암석의 비율이 다르게 나타났다. 풍화토층은 BH-1, BH-2를 제외한 곳에서 최대 1.4m의 두께로 퇴적층 하부에 분포하며, 구성 성분은 중립질, 세립질 모래와 풍화도가 큰 암편으로 구성된다. 풍화암층은 모든 관측공의 하부에서 0.8~1.8m의 두께로 나타나며, 중세립질 입자로 된 풍화도가 약한 암편으로 구성된다(Fig. 4)

순간충격 시험

기존 우물을 제외한 8개 지하수 관측공의 순간충격시험

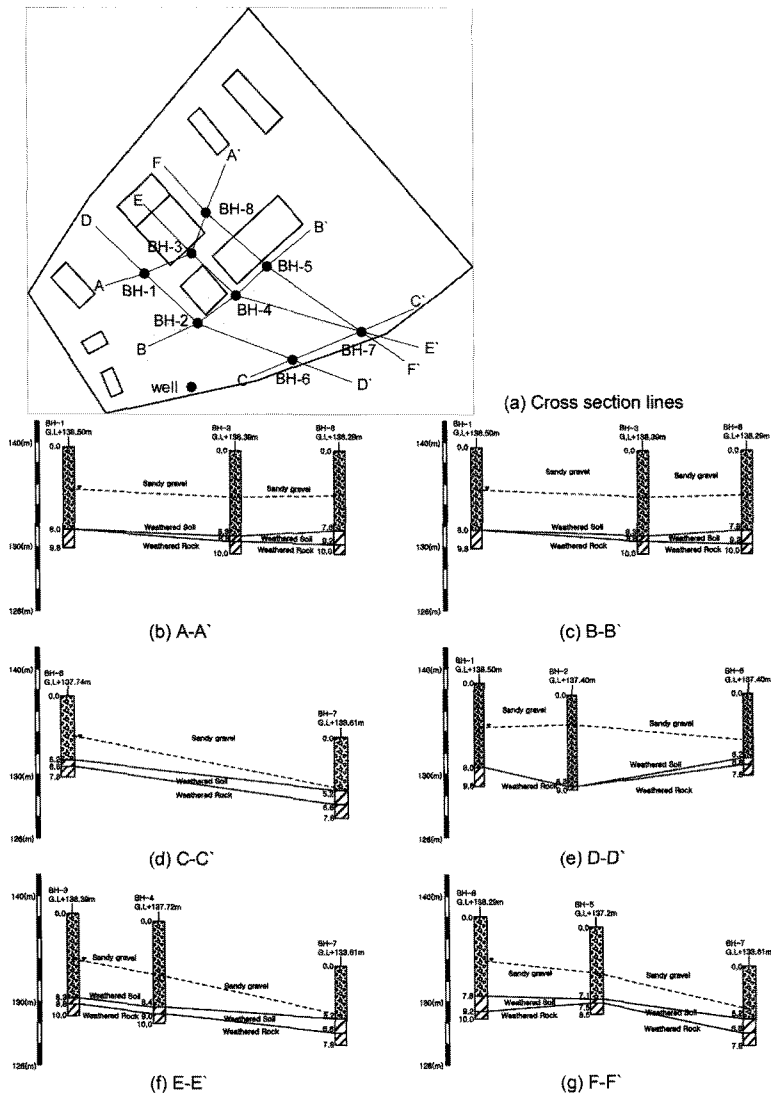


Fig. 4. Geological cross-sections of the study area.

결과로부터 수리전도도를 산정한 결과, Bouwer & Rice 해석해(Bouwer and Rice, 1976)는 $6.932 \times 10^{-6} \sim 9.055 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$ 의 범위에 $1.924 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$ 의 평균값을 보이며, Hvorslev 해석해(Hvorslev, 1951)는 $1.277 \times 10^{-5} \sim 1.259 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$ 의 범위에 $2.827 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$ 의 평균값을 보인다.

지하수위 분포

관측기간 동안 측정된 지하수위는 관측기간 평균 약 3.96m의 수심을 보이며, 2월에서 7월로 가면서 증가하는 경향을 보이는데, 2월에는 평균 4.11m, 7월에는 평균 3.93m의 수심을 보이고 있어 약 0.18m의 수위 상승이 나타났다. 기존 우물(Well)에서의 지하수위는 7월이 되면서 10cm 정도의 약한 수위 강하를 보이고 있다(Table 1).

Table 1. Monthly averaged groundwater levels at each well. (unit: m, depth to water)

Wells	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Avg.
BH-1	4.23	4.22	3.51	3.49	3.52	3.51	3.75
BH-2	3.37	3.39	3.42	3.44	3.64	3.36	3.44
BH-3	4.35	4.27	3.92	3.96	4.26	3.93	4.12
BH-4	4.47	4.40	4.11	4.02	4.13	4.09	4.20
BH-5	3.93	3.96	4.03	4.06	1.65	4.90	3.75
BH-6	3.97	3.89	4.07	4.01	3.99	3.98	3.99
BH-7	4.38	4.30	4.55	4.39	4.36	3.98	4.33
BH-8	4.37	4.29	4.11	4.15	4.00	3.64	4.10
Well	3.89	3.92	3.91	3.92	3.96	3.99	3.93
Ave.	4.11	4.07	3.96	3.94	3.72	3.93	3.96

유향유속 실험

충적층내 지하수의 흐름을 파악하기 위하여 각 관측 공내에서 심도별 유향유속 검층을 실시하였다. 하천과 떨어진 관측공 BH-1, BH-3, BH-8호공은 지표하 5~9m까지의 평균 지하수 유향은 각각 174.6°, 127°, 129.9°로서 남쪽 및 남동쪽을 향하고 있다. BH-2, BH-4, BH-5호공은 BH-1, BH-3, BH-8호공보다 하천에 근접하며 지표하 4-8m까지의 평균 지하수 유향은 각각 159°, 151.2°, 149.5°으로 남남동으로 향하고 있다. 하천과 근접한 관측공 BH-6, BH-7호공은 지표하 4-7m까지의 평균 지하수 유향이 각각 220.8°, 279.6°로 남서방향과 서쪽방향을 향하고 있어 차이를 보인다(Fig. 5, Table 2). 한편, BH-6, BH-7호공은 심도 6m 부근까지는 하천에서 주변 충적층으로의

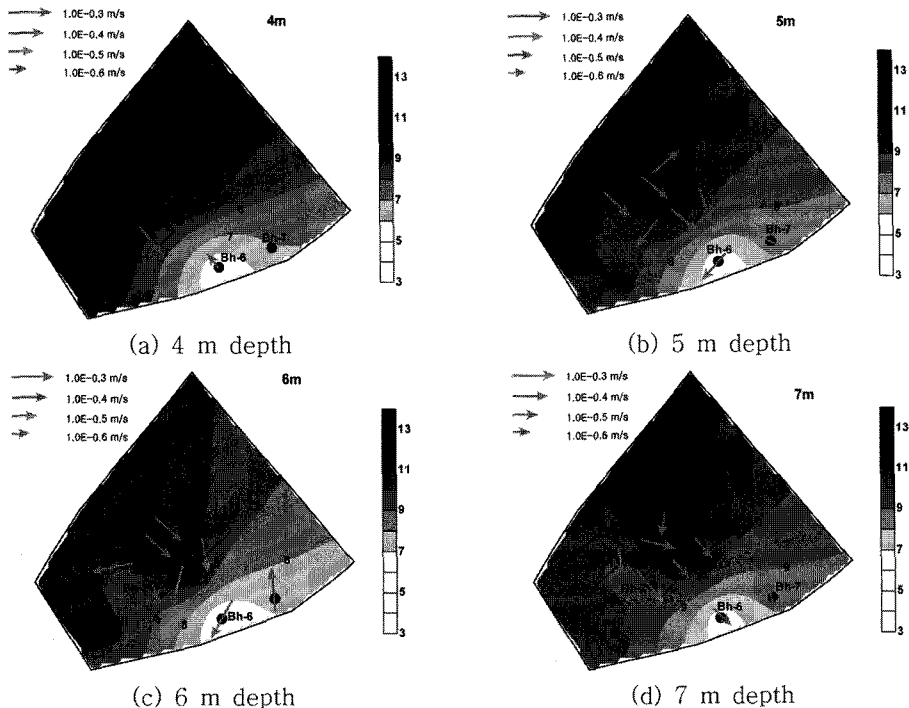


Fig. 5. Groundwater flow direction and velocity at each depth.

Table 2. Groundwater flow direction and velocity at each monitoring well.

Well no.	Depth (m)	Direction (degree)	Velocity (m/sec)
BH-1	5	145.5	1.066×10^{-4}
	6	259.5	2.395×10^{-3}
	7	163.8	5.802×10^{-5}
	8	166.6	8.863×10^{-4}
	9	137.5	4.450×10^{-5}
	avg.	174.6	6.981×10^{-4}
BH-2	4	131.5	6.465×10^{-4}
	5	225.7	8.254×10^{-4}
	6	159.6	8.880×10^{-5}
	7	135.7	1.812×10^{-3}
	8	144.1	4.910×10^{-5}
avg.	159.3	6.844×10^{-4}	
BH-3	5	130.0	3.821×10^{-4}
	6	128.6	1.596×10^{-4}
	7	123.0	3.102×10^{-4}
	8	118.8	4.125×10^{-4}
	9	138.5	3.670×10^{-5}
avg.	127.8	2.602×10^{-4}	
BH-4	5	135.7	6.448×10^{-4}
	6	193.4	1.439×10^{-3}
	7	144.1	7.472×10^{-5}
	8	131.5	1.915×10^{-5}
avg.	151.2	5.444×10^{-4}	
BH-5	5	156.8	3.065×10^{-3}
	6	168.0	1.668×10^{-4}
	7	134.0	7.157×10^{-5}
	8	139.0	2.990×10^{-5}
avg.	149.5	8.333×10^{-4}	
BH-6	4	318.5	9.083×10^{-6}
	5	220.1	1.989×10^{-3}
	6	210.2	1.087×10^{-3}
	7	134.3	7.913×10^{-5}
avg.	220.8	7.911×10^{-4}	
BH-7	5	291.8	1.478×10^{-5}
	6	353.7	5.213×10^{-3}
	7	193.4	1.275×10^{-5}
	avg.	279.6	1.747×10^{-3}

Table 2. Continued.

Well no.	Depth (m)	Direction (degree)	Velocity (m/sec)
BH-6	4	318.5	9.083×10^{-6}
	5	220.1	1.989×10^{-3}
	6	210.2	1.087×10^{-3}
	7	134.3	7.913×10^{-5}
avg.	220.8	7.911×10^{-4}	
BH-7	5	291.8	1.478×10^{-5}
	6	353.7	5.213×10^{-3}
	7	193.4	1.275×10^{-5}
avg.	279.6	1.747×10^{-3}	
BH-8	5	55.5	2.467×10^{-4}
	6	123	2.500×10^{-4}
	7	185	1.700×10^{-5}
	8	141	1.617×10^{-4}
	9	145	5.500×10^{-5}
avg.	129.9	1.461×10^{-4}	

흐름을 보이다가 7m 심도에서는 다시 하천 방향으로 변환되는 특성을 보인다. 하천에 근접한 관측공에서 지하수 유향이 차이를 보이는 것은 연구지역 맞은 편의 산악지형에 의한 지형적 영향과 하천 바다 기저유출의 유향 변화에 의한 것으로 추정된다.

유속 검층 결과를 토대로 심도별 유속을 도시한 결과, 하천 부근의 BH-6 및 BH-7호정의 심도 6m 부근에서의 유속이 약 10^{-3} m/sec로서 상하의 지층보다 빠른 것으로 나타났다(Fig. 6).

온도 분포 특성

지층내 온도 변화를 이용한 지표수-지하수 연계 특성을 파악하기 위하여 건기 및 우기의 지층 심도에 따른 온도 변화를 분석하였다. 건기의 지하수 관정(Well)에서는 지하수면 상부에서는 저온을 보이지만 심도가 깊어짐에 따라 12°C 전후를 보이며, BH-6, BH-2, BH-7호공은 6~10°C의 범위로 상대적으로 낮은 값을 보인다(Fig. 7(a)). 우기의 지하수 관정(Well)에서 심도에 따른 온도변화를 보면 지하수면보다 높은 위치에서는 대기영향을 받아 고온을 보이지만 심도가 깊어짐에 따라 낮아지다가 12°C 전후로 안정되어 보이고, 하천에 인접한 BH-6, BH-7호공은 14~17°C로 다소 높다(Fig. 7(b)). 참고로, 본 지역의 월 평균 대기 온도는 기상청 자료에 의하면 3월 5.5°C, 4월 9.2°C, 5월 17.2°C, 6월 22.9°C 및 7월 25.5°C를 보인다.

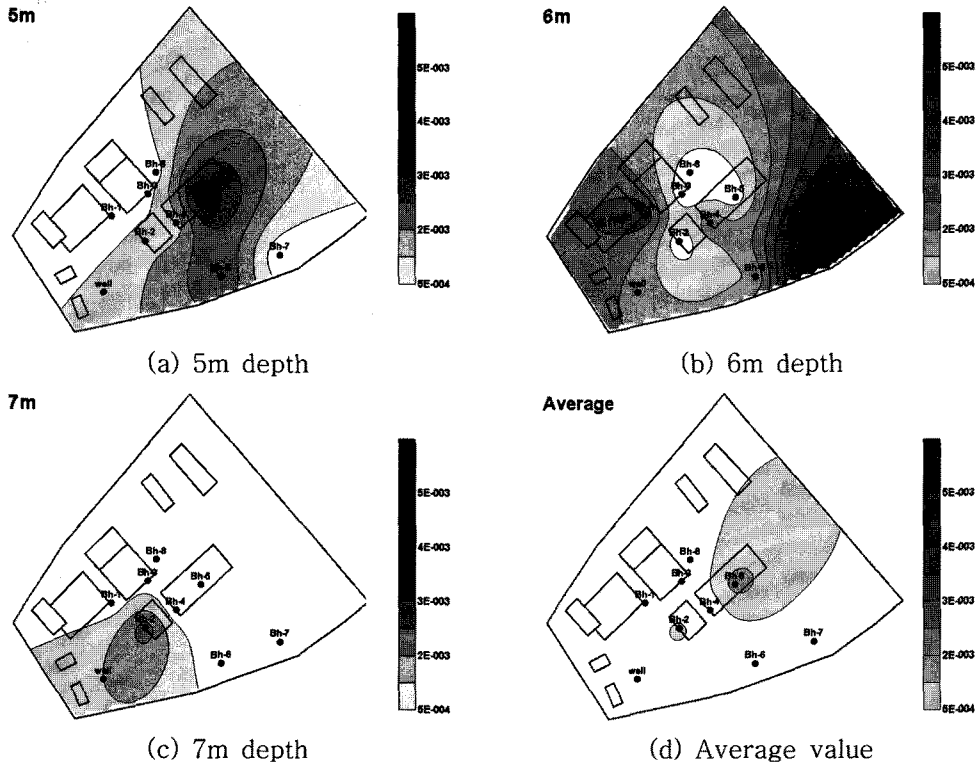


Fig. 6. Distribution of flow velocity throughout the study area (unit: m/sec).

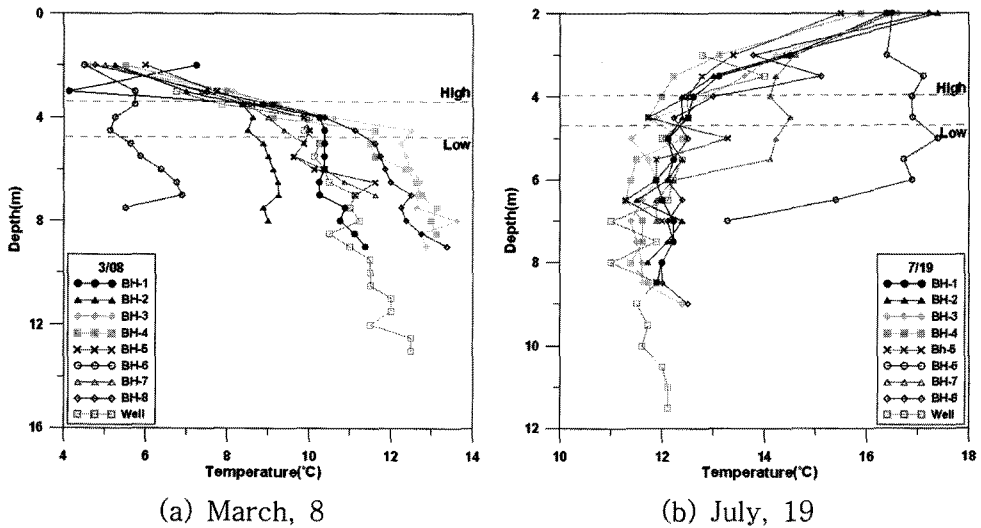


Fig. 7. Seasonal and vertical distributions of temperature at each monitoring well (high: high groundwater levels; low: low groundwater levels) measured on (a) 8 March and (b) 19 July in 2010.

각 공에서의 시간에 따른 온도변화를 보면, BH-1~5, 8호공은 5월을 전후하여 심도에 따른 온도의 역전이 발

생하고 심부 6~8m 정도에서의 온도 변화가 거의 없다. 그러나, 하천변에 위치한 BH-6, BH-7호공은 심도별 온

도의 역전 현상이 상대적으로 약하며 심부에서도 온도 상승이 잘 나타나고 상승폭도 상대적으로 큰 특징이 나타난다(Fig. 8). 이는 BH-6, BH-7호공이 하천수 유입의 영향을 받는 지점으로서 동절기 지층내 온도가 타 지점보다 상대적으로 낮기 때문이며, 이는 유향분석 결과와 일치한다. 특히 Fig. 8(g)에서 보듯이 BH-7의 경우는 지표수와 지하수의 온도 변화는 유사하게 나타나는 반면, 지중 공기 온도인 심도 2m에서의 온도 변화는 이들과 상이한 변동 양상을 보이고 있어 본 지점에서의 지하수는 지표수 유입과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

이상을 종합하면, 하천변에 위치한 BH-6, BH-7호공

지점은 심도에 따라 지하수 유동 방향이 역전되고 있으며 하천수의 영향을 받는 심도별 온도변화가 나타나고 있다. 이들 지점의 지하수 유향 유속, 심도에 따른 온도 변화 등을 종합할 때 하천의 기저유출이 BH-7호공의 얇은 심도로 들어와 BH-6호공의 깊은 곳을 거쳐 순환하면서 지하수와 혼합되어 나가는 것을 지시한다. 또한 Fig. 7(a)에서 갈수기 BH-6호공의 수직적인 온도 변화를 보면 5-7m 사이에 큰 폭을 보이는데, 이는 유향 유속 실험에서 BH-6 및 7호공내 5~6m 심도에서의 상대적으로 큰 유동 속도와 관련이 있으며 기저유출의 빠른 유입 유출에 의한 온도 변화로 판단된다.

Fig. 9 및 Fig. 10은 3월 및 7월의 심도별 온도 분포를

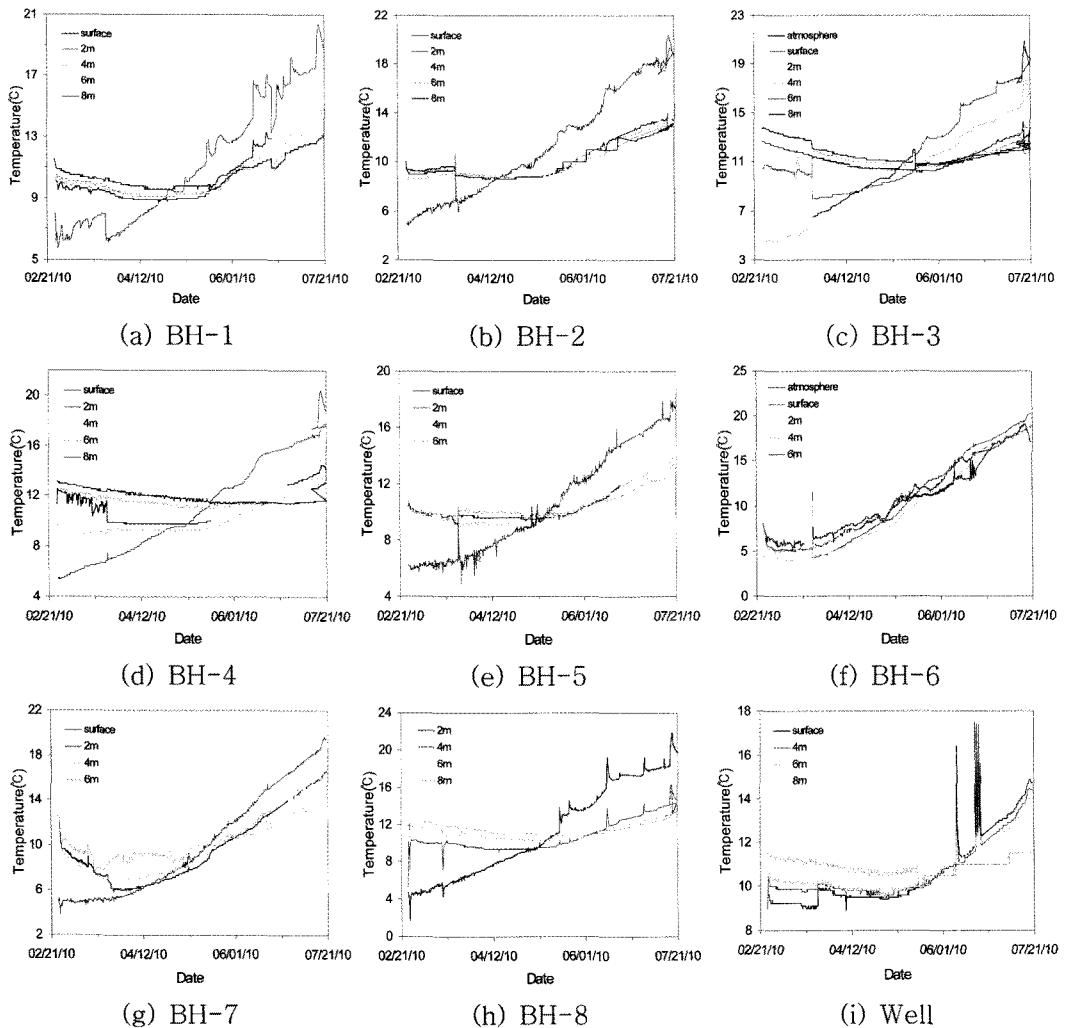


Fig. 8. Temperature variations at each depth in the monitoring wells.

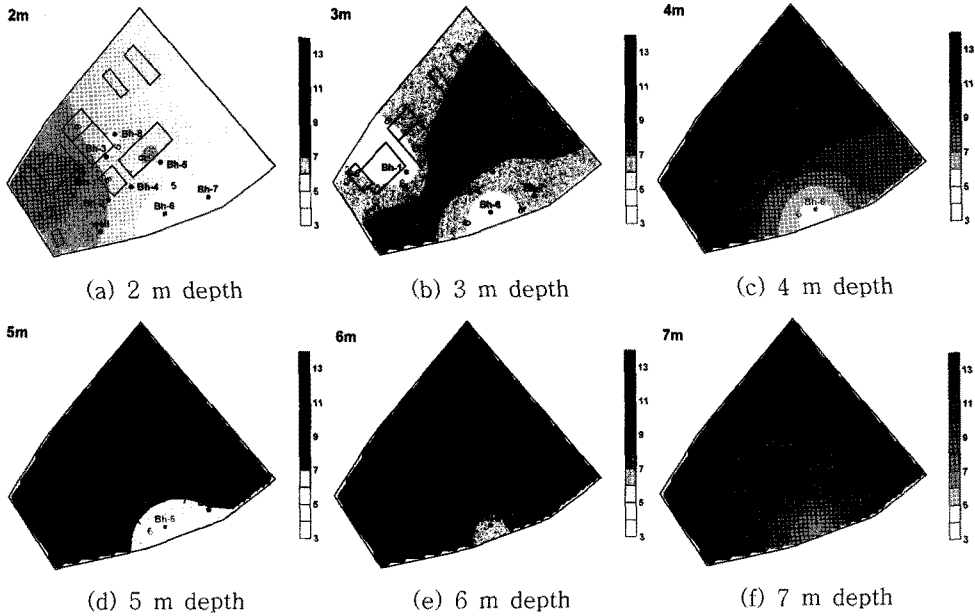


Fig. 9. Temperature distribution on 8 March at depths of (a) 2 m, (b) 3 m, (c) 4 m, (d) 5 m, (e) 6 m, and (f) 7 m.

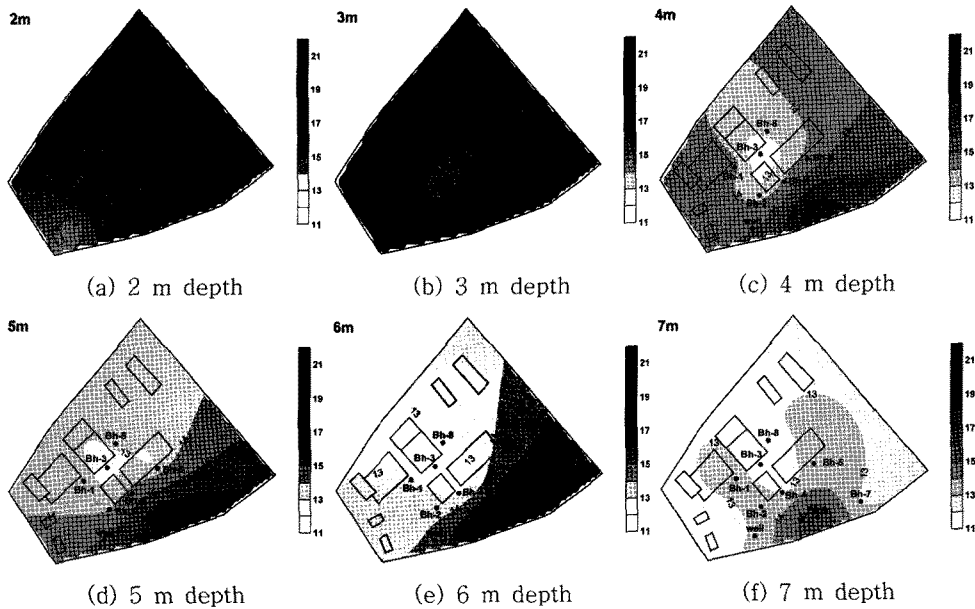


Fig. 10. Temperature distribution on 19 June at depths of (a) 2 m, (b) 3 m, (c) 4 m, (d) 5 m, (e) 6 m, and (f) 7 m.

도시한 것으로서, 연구지역내에서의 지점별 온도 분포를 보면 얇은 심도에서는 3월에 온도 편차가 적으며, 깊은 심도에서는 7월에 온도 편차가 작은 것으로 나타난다. 즉, 3월에는 얇은 심도에서의 등온선의 간격이 넓게 나

타나고 깊은 심도에서는 좁게 나타나는 반면, 7월에는 반대 현상을 보인다. 또한, 하천과의 거리에 따라 온도 차이가 있으며, 하천수의 유입 유출이 발생할 것으로 예상되는 심도에서는 하천과 평행하게 등온선이 분포하고

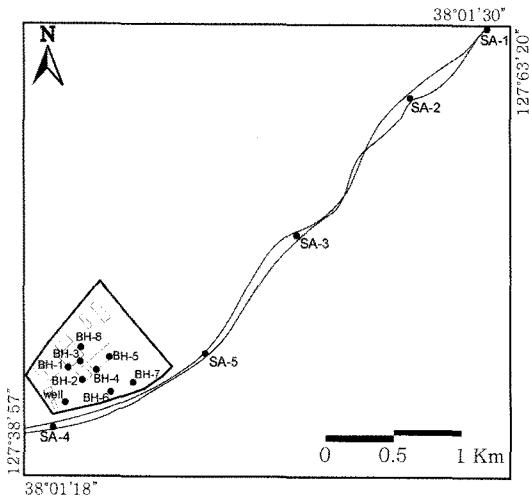


Fig. 11. Locations of surface-water samples.

있고 7월의 얇은 심도에서는 하천수 온도의 영향을 받지 않으므로 하천과 평행한 등온선을 보이지 않는다.

지하수 및 지표수 수질 특성

연구지역 상하류 지표수 5개 지점(300~800m 간격) 및 9개 지하수 관측정에서 2회(7월 및 9월) 수질 분석을 실시하여 지화학 특성에 있어서의 지표수와 지하수 연계성을 파악하였다. 1차 조사에는 지하수 관측정과 하천수에 대하여 베일러를 이용하여 심도 구분 없이 시료 채취하였으며, 2차 조사에서는 하천과 인접한 BH-6, 7호공 및 연구지역 중앙부에 있는 BH-3, 4호공 등 총 4곳의 관측정에서는 저속정량펌프를 이용하여 심도별로 수질 시료를 채취하였다(Fig. 11, Table 3).

수질분석 결과를 토대로 삼각 다이어그램을 도시하여 지표수와 지하수의 상관관계를 알아보고 심도에 따른 지하수질의 변화 경향을 알아보았다. Fig. 12(a)를 보면 7월에는 지표수의 영향이 적은 BH-1, 2, 3, 4, 8호공은 총적층 지하수의 일반적인 유형인 Ca-HCO₃를 보이는 반면, 하천에 가까이 위치한 BH-6, 7호공은 지표수와 비슷한 위치에 도시되고 있어 하천수의 영향을 받은 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 위에서 분석한 수온 및 유황유속 분석 결과와 동일한 특성을 보였다. 반면에 Fig. 12(b)를 보면, BH-6, 7호공이 9월에는 7월에 비하여 전반적으로 지하수 특성인 Ca-HCO₃의 유형으로 도시되는데, 이는 하절기 동안 상승된 지하수위로 인하여 지하수 흐름이 하천 방향으로 형성된 것이 기인하며, 계절에 따라 총적층에서의 지표수의 유입 유출이 변화하고 있음을 보여

Table 3. Results of surface and groundwater quality analysis for (a) July 2010 and (b) September 2010. For well BH3-6, for example, “BH3” is the well number and “6” is the depth (m).

(a) July 2010

Wells	Si	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃	F
BH-1	4.81	7.46	1.73	4.04	1.87	4.5	7.2	17.7	29.37	0.5
BH-2	4.69	1.95	0.4	2.14	0.68	1.3	4.0	3.2	34.58	0.1
BH-3	4.08	4.57	0.9	2.41	1.26	1.9	5.7	7.5	28.98	0.9
BH-4	4.84	4.73	0.79	2.47	0.92	1.3	4.2	8.5	40.17	0.3
BH-5	4.73	2.07	0.41	2.18	0.61	1.3	3.9	3.4	27.29	0.1
BH-6	4.71	2.19	0.43	2.31	0.86	1.5	4.1	3.5	18.31	0.1
BH-7	4.68	2	0.41	2.16	0.65	1.4	3.9	3.1	30.51	0.1
BH-8	4.09	4.72	0.97	2.48	1.29	1.9	5.6	8.0	29.75	0.9
Well	3.92	4.4	0.96	2.72	1.24	2.1	5.2	6.6	28.55	0.9
SA-1	3.91	4.11	0.9	2.55	1.11	1.8	5.1	6.0	15.26	0.9
SA-2	3.96	4.22	0.89	2.56	1.32	1.8	5.5	6.5	12.21	1.0
SA-3	3.94	4.19	0.89	2.23	1.04	1.6	5.3	5.5	10.68	1.0
SA-4	3.98	4.22	0.92	2.31	1.08	0.1	0.4	0.4	15.26	0.1
SA-5	3.63	7.78	1.92	3.61	1.81	4.2	8.7	12.4	9.16	0.8

(b) September 2010

Wells	Si	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃	F
BH3-6	4.76	9.84	2.19	3.83	1.78	3.59	6.66	N.D.	27.46	0.30
BH3-7	4.71	9.51	2.12	3.76	1.71	3.31	5.34	N.D.	30.51	0.25
BH3-8	4.79	9.49	2.12	3.76	1.74	3.67	6.32	N.D.	28.98	0.33
BH3-9	5.22	9.15	2.12	4.17	1.64	2.95	4.56	N.D.	28.98	0.22
BH4-6	5.3	8.83	2.29	4.56	1.60	3.24	5.79	N.D.	35.09	0.41
BH4-7	5.81	8.39	2.48	5.18	1.32	3.32	5.22	N.D.	42.71	0.27
BH4-8	6.14	8.33	2.62	5.40	1.20	3.05	4.97	N.D.	42.71	0.33
BH6-6	3.81	5.29	1.01	1.96	1.08	1.45	4.16	N.D.	22.88	0.81
BH6-7	3.85	5.33	1.02	2.08	1.10	1.36	4.04	N.D.	15.26	0.83
BH6-8	3.84	5.35	1.02	2.03	1.09	1.39	4.08	N.D.	16.78	0.76
BH7-6	4.3	7.36	1.86	2.56	1.11	1.40	4.29	N.D.	30.51	0.75
BH7-7	4.42	7.93	2.14	3.01	1.08	1.42	4.06	N.D.	33.56	0.66
BH7-8	4.25	6.57	1.51	2.35	1.15	1.25	3.46	N.D.	27.46	0.63

Remark) In a well number BH3-6, BH3 means a well number and 6 does a depth.

준다. 한편, SA-4 지점은 EC값이 낮아 계곡수의 특성을 보이며, SA-5 지점은 연구지역을 지나면서 연구지역으로부터 배출되는 오염원에 의한 영향으로 질산염이 급

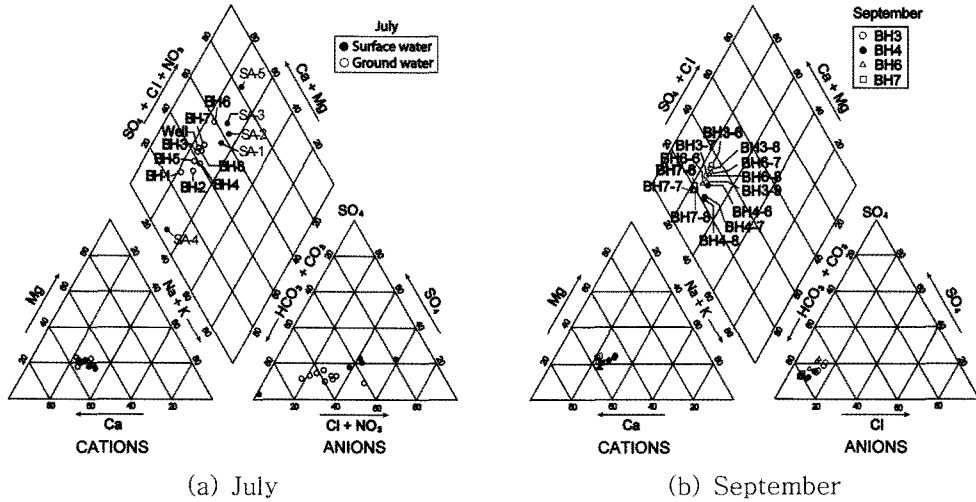


Fig. 12. Results of hydro-geochemical analysis at each sampling site.

격하게 증가하는 특성을 보이고 있으나, 이와 같은 수질 특성도 하류 원거리까지는 큰 영향이 나타나지 않았다.

결 론

본 연구에서는 OO지역을 대상으로 심도별로 측정된 온도 관측 자료, 유향유속 실험 결과 및 수질 분석 자료를 활용하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 9개 지하수 관측공내에서 심도별 지하수 유향유속 검출 결과, 하천 인근에 위치한 BH-6 및 7호공의 지표하 4-7 m 심도의 평균 지하수 유향이 220.8° 및 279.6°로 남서 및 서쪽 방향을 향하고 있어 남동 방향을 보이는 나머지 관측정과는 차이를 보이는데, 맞은 편 산지지형에 의한 수두가 기저유출 유형에 영향을 미치는 것으로 파악된다.
- 2) 동절기에서 하절기로 오면서 BH-6, 7호공은 심도별 온도의 역전 현상이 약하며 층적층 지하수의 온도 상승이 하천수나 대기의 온도 변화와 유사하게 나타나고 있어 하천수의 영향을 받고 있음을 보여준다.
- 3) 7월의 지표수와 지하수 시료에 대한 지화학 분석 결과, BH-6 및 7호공이 지표수와 유사한 지화학 특성을 보이나 기타 관측공은 일반적인 지하수 유형인 Ca-HCO₃를 보여 하천변 층적층에 지표수 영향이 있음을 알 수 있다. 그러나, 계절에 따라 지화학 특성이 변화하고 있어 층적층에서의 지표수의 유입 유출이 변화하고 있음을 보여준다.

이상과 같이, 지류 하천변의 층적층 분포 지역인 본 연구지역에서는 지하수와 지표수의 상호 작용이 활발히 이루어지고 있으며, 계절에 따라 상호 작용이 변화하고 있음을 알 수 있다. 아울러, 본 연구에서 사용된 thermochron I-button의 사용은 저비용의 온도 계측이 가능한 기술로서 향후 지표수 지하수 연계특성 평가에 활용되길 기대한다.

사 사

본 연구는 환경부 GAIA Project의 연구비 지원(과제명 : 군사지역내 토양 지하수 오염과 상수원 수질에 미치는 영향 연구)에 의하여 수행되었습니다. 연구비 지원 기관 및 세심한 의견을 주신 이진용 교수님, 문상호 박사님 및 익명의 심사위원님께 감사드립니다.

참고문헌

박창희, 구민호, 이대하, 김형수, 2002, 국가 지하수 관측망의 수위 및 온도 자료를 이용한 함양량 산정, 한국지하수토양환경학회 춘계학술대회, 351-354.
 이병주, 김유봉, 이승렬, 김정찬, 강필중, 최현일, 진명식, 1999, 서울-남천점 지질도폭 설명서(1:250,000), 한국자원연구소, 64p.
 이정환, 함세영, 정계열, 이수형, 전향타, 김득호, 김현지, 김형수, 2009, 온도 추적자를 이용한 낙동강 주변의 지하수 유동 특성, 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회, 99-100.
 Bouwer, H. and Rice, R.C., 1976, A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells, Water Resources

- Research, 12(3), 423-428.
- Bravo, H.R., Jiang, F. and Hunt, R.J., 2002, Using groundwater temperature data to constrain parameter estimation in a groundwater flow model of a wetland system, *Water Resources Research*, 38(8), 28-1-14.
- Christopher, S.L., John, F.W., Randall, J.H. and Mary, P.A., 2007, Identifying spatial variability of groundwater discharge in a wetland stream using a distributed temperature sensor, *Water Resources Research*, 43, 1-9.
- Hvorslev, M.J., 1951, Time Lag and Soil Permeability in Groundwater Observations, U.S. Army Corps of Eng., MS. Bull. 36, 56p.
- Jim, C., 1998, Interaction between stream temperature, streamflow, and groundwater exchanges in alpine streams, *Water Resources Research*, 34(7), 1609-1615.
- Johnson, A.N., Boer, B.R., Woessner, W.W., Stanford, J.A., Poole, G.C., Thomas, S.A. and O'Daniel, S.J., 2005, Evaluation of an inexpensive small-diameter temperature logger for documenting ground water-river interactions, *Ground Water Monitoring & Remediation*, 25(4), 68-74.
- Rosenberry, D.O. and LaBaugh J.W., 2008, Field Techniques for Estimating Water Fluxes between Surface Water and Groundwater, U.S. Geological Survey Techniques and Methods, 128p.
- Yokoyama, T., 1993, A temperature analysis of groundwater flow system in the upper part of the Ashigara plain, *Tracers in Hydrology*, 215, 187-194.

전항탁

(주) 팬아시아워터

137-130 서울시 서초구 양재동 275-2 Windstone B/
D 1717

Tel: 02-577-3942

Fax: 02-577-3944

E-mail: jeonhangtak@gmail.com

김규범

한국수자원공사 K-water연구원 지질지하수연구팀

305-730 대전광역시 유성구 전민동 462-1

Tel: 042-870-7640

Fax: 042-870-7629

E-mail: gbkim@kwater.or.kr