통계기법을 활용한 충적층내 지하수-지표수 연계 특성 해석

김규범* · 손영철 · 이승현 · 정안철 · 차은지 · 고민정

K-water연구원

Understanding of Surface Water-Groundwater Connectivity in an Alluvial Plain using Statistical Methods

Gyoo-Bum Kim*, Young-Chul Son, Seung-Hyun Lee, An-Chul Jeong,
Eun-Jee Cha, and Min-Jeong Ko

Geo-Water⁺ Research Center, K-water Research Institute

낙동강 하류지역 주변 충적층 지역내 설치 운영중인 27개의 지하수 관측정의 시계열 자료를 활용하여 지표수와 지하수의 연계 특성 평가를 위한 통계적 분석을 수행하였다. 지하수위의 변화는 하천수위의 변화와 교차상관계수가 0.601로서 연관성이 높은 것으로 분석되었으며, 이는 강우와의 교차상관계수 0.125보다 매우 높다. 지하수위 시계열 자료에 대한 주성분 분석 결과, 연구지역내 지하수위는 2개의 그룹으로 분류된다. 이 중에서 그룹 A에 속하는 하천에 인접한 관측정에서의 수위 변화는 하천수와 유사한 변동을 보이며 호우시의 지하수위 상승량도 상대적으로 크게 나타났다. 홍수 발생에 대한 지하수 기여에 대한 추가적 이해를 위해서는 지하수위 변동 특성을 기반으로 지구화학 분석 및 온도 계측 등이 추가적으로 수행될 필요가 있다.

주요어: 지하수 관측, 지표수-지하수 연계, 주성분 분석, 교차상관계수

A statistical analysis of time series of water level at 27 groundwater monitoring wells was conducted to analyze the surface water-groundwater connectivity in the wide alluvial plains surrounding the Nakdong River, Korea. Change in groundwater level is strongly related to river water level, yielding an average cross-correlation coefficient of 0.601, which is much higher than that between rainfall and groundwater level (0.125). Principal component analysis of groundwater level indicates that wells in the study area can be classified into two groups: wells in Group A are located close to a river, have water levels closely related to river level, and generally show a large increase in groundwater level during heavy rainfall. On the other hand, wells in Group B located far from a river are relatively less related to river level. Including hydrologic and statistical analyses, geochemical analysis and temperature monitoring are additionally required to reveal the relationship between surface water level and groundwater level, and to assess the possibility of groundwater flooding.

Key words : Groundwater monitoring, Surface water-groundwater connectivity, Principal component analysis, Cross-correlation Coefficient

개요

기존의 수자원관리는 지표수 또는 지하수 각각에 대하여 별도의 정책으로 추진되어 왔으나, 두 수자원이 단일 수자원이라는 관점에서 고려되어야 한다. 국내에서는 “수자원 개발이 한계에 도달하거나 시공간적으로 수자

원의 수요, 공급의 불균형이 심한 지역에서 유역 내 지표수와 지하수를 단일 체계로 통합하여 계획적으로 운영함으로써 수자원의 가용량 증대와 용수공급의 안정성을 확보하는 방법”이라고 지하수-지표수 연계 개념을 정의하고 있다(이상일 외, 2004). 즉, 지하수-지표수 연계의 궁극적인 목적은 용수 확보와 수자원 관리에 있으나,

*Corresponding author: gbkim@kwater.or.kr

이를 위해서는 수문학적인 접근이 전제되어야 하고 지하수-지표수 상호간의 관계를 정량적으로 정의하고 해석하는 것이 필요하다.

지하수-지표수 연계 연구는 매우 다양하게 이루어져 왔는데, 김남원 외(2004)는 SWAT과 MODFLOW를 접목한 연동형 결합모형을 개발하였으며, 정일문 외(2011)는 무심천 유역에서의 지하수 개발가능량을 산정하기 위하여 지표수-지하수 통합모형인 SWAT-MODFLOW를 적용한 바 있다. 계측자료에 기반한 연계특성 연구로는 전향탁과 김규범(2011)이 소하천 주변 선상지에서의 기저유출수의 주변 충적층으로의 유출입에 대하여 지하수 위 및 온도 계측자료를 활용하여 규명한 바 있는 등 하천 주변지역에서의 지하수-지표수의 연계 특성은 수위 또는 수질자료를 활용하여 연구되고 있다. 국내의 경우에는 지하수 계측 및 관측 시설수의 한계 등으로 지하수-지표수 연계에 대한 계측 자료 기반의 상호 연계 특성의 공간적 평가는 매우 미미한 수준이며 그 동안의 연구는 수치모형을 중심으로 연구되어 왔다.

지하수와 지표수는 단일 수자원으로서 홍수 및 가뭄 시 상호 보충되거나 연계 평가되어야 하며, 다양한 공학적 분야에서도 두 수자원의 연계 분석이 수행되어야 한다(김규범 외, 2010; 이정환 외, 2010; 최현미 외, 2011). 예를 들면, 가뭄시 지표수는 고갈되어 더 이상의 유량 측정이 어려우나 지하수위는 지속적인 하강 특성을 보이고 측정 가능하기 때문에 가뭄의 특성을 보다 잘 반영해주는 인자가 될 수 있다(이소현과 김규범, 2010). 또한, 지하수위가 깊은 경우보다 얕게 분포하는 경우에 강우의 지하 침투 능력이 감소되므로 호우시 지표 홍수의 범위가 증가할 수 있는 요인으로 작용할 수 있다(Lee et al., 2006; Adams et al., 2008; Upton and Jackson, 2011). 국내의 홍수는 주로 하천의 범람에 의하여 발생되고 있어 이에 대한 연구가 많이 이루어져 왔으나, 일부 지하수위가 높아지고 직접 유출 능력이 한계에 이르면서 유발되는 홍수에 대해서는 조사 연구가 거의 없는 실정이다. 하천변에서의 지하수-지표수 상호작용 및 상관성에 대한 충분한 이해를 바탕으로 지하수 위 변동으로 인한 매질의 홍수 취약성 평가 기술의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 낙동강 하류 주변지역에 설치 운영 중인 지하수 관측정의 지하수위 관측자료와 하천수위 및 강우 자료 등 계측자료에 기반하여 지표수 또는 강우와 연계되는 지하수위 변동의 시공간적 특성을 파악하고자 하였다.

Fig. 1. Locations of groundwater monitoring wells.

연구 지역

연구지역은 경상남도 창녕군, 함안군 및 의령군 일대로서 낙동강 및 남강 주변의 충적 평야지대에 해당하며, 지류 하천으로는 계성천, 영산천, 광려천, 봉곡천, 대산천, 대사천, 함안천, 칠곡천 등이 대표적이다. 연구지역 일대 지질은 남지 도폭(최승오와 여상철, 1972), 영산 도폭(김남장과 이흥규, 1964) 및 의령 도폭(최유규와 김태열, 1963)에 해당하며, 백악기 중기 퇴적암류인 하양층군의 함안층과 진동층 그리고 백악기 후기 유천층군의 화산암류인 주산안산암이 발달하고 있으며, 이들을 불국사 화성암류인 섬록암, 흑운모 화강암, 화강섬록암 및 화강반암, 그리고 여러 암맥들이 관입하고 있다. 함안층은 주로 회색사질세일과 자색사질세일이 호층을 이루며, 진동층은 주로 회색 세일과 사질 세일 그리고 사암으로 구성된다. 유천층군의 화산암인 주산안산암은 함안층의 퇴적암내에 소규모의 관입암 또는 분출암으로 나타난다. 불국사 화강암류에 속하는 섬록암과 화강섬록암은 주로 소규모 암주의 형태로 진동층의 암층을 관입하고 있다.

현장에 설치된 지하수 관측정은 총 23개 지점에 27개 소로서 2011년 5월부터 관측되어 운영 중에 있다(Fig. 1, Table 1). 지하수 관측정은 기본적으로 충적층을 대상으로 굴착되어 있으나, 4개소는 암반지하수의 특성을 파악하기 위하여 충적층을 관통한 후 암반을 약 30 m 추가로 굴착하였다. 지하수 관측정의 평균 심도는 30.5 m 정도로서 대부분이 농경지에 위치하고 있다. 관측정은

Table 1. Geologic characteristics of the groundwater monitoring wells.

Well	Geologic composition (m)						Well depth (m)	Hydraulic conductivity (m/d)	Transmissivity (m ² /d)	Distance to river (m)
	Clay	Sand	Gravel	Weathered rock	Soft rock	Hard rock				
W-2	0~5	5~15	15~20	20~25	25~32	-	32	0.0244	0.4810	571
W-4	0~7	7~15	15~25	25~40	40~45	45~51	51	0.0075	0.2924	330
W-5(R)	0~3	3~5	5~10	10~17	17~30	30~41.5	41.5	0.0085	0.3102	1210
W-5(A)	0~3	3~5	5~10	10~15	15~17.5	-	17.5	0.0375	0.4659	1210
W-7	0~2	2~5	-	5~10	10~12	-	12	0.0626	0.5947	306
W-8	0~5	5~10	10~15	15~21	21~25	-	25	0.0074	0.1765	923
W-10	0~10	10~15	-	15~18	18~20	-	20	0.0260	0.3305	54
W-13	0~5	5~10	-	10~15	15~21	-	21	0.0079	0.1482	21
W-19	0~15	15~20	20~30	30~36	36~38	-	38	0.3378	8.9520	136
W-22	0~5	5~10	10~15	15~20	20~24	-	24	0.0281	0.4629	86
W-38	0~5	5~10	10~15	15~20	20~24	-	24	0.0737	1.2525	1280
W-40	0~5	5~12	12~20	20~30	30~32	32~40	40	0.0361	1.0845	187
W-42	0~5	5~10	10~15	15~23	23~27	-	27	0.0089	0.1654	995
W-43	0~5	5~10	10~22	22~24	24~30	-	30	0.0205	0.4530	404
W-46	0~5	5~15	15~20	20~23	23~24	24~26	26	0.1745	3.1590	121
W-56(R)	0~5	5~15	15~25	25~40	40~60	-	60	0.0029	0.1552	310
W-56(A)	0~5	5~15	15~25	25~35	35~40	-	40	0.0130	0.4416	310
W-57	0~20	-	20~23	23~27	27~40	-	40	0.0160	0.5709	820
W-59	0~10	10~20	-	20~26	26~28	-	28	0.0113	0.2363	600
W-71	0~10	10~20	-	20~24	24~26	-	26	0.2267	4.7600	810
W-72	0~10	10~15	-	15~22	22~24	-	24	0.0109	0.2211	722
W-74(R)	0~10	10~17	-	17~18.5	18.5~28.5	28.5~49	49	0.1052	4.4500	414
W-74(A)	0~8	8~16	-	16~18	18~20	-	20	0.4682	6.1325	414
W-75	0~10	10~15	-	15~18	18~21	-	21	0.0356	0.4729	492
W-81	0~5	5~10	-	10~10.5	10.5~15	15~22	22	0.0290	0.5564	455
W-92(R)	0~10	-	-	10~21	21~25	25~46	46	0.0039	0.1735	1600
W-92(A)	0~10	-	-	10~15.5	15.5~18	-	18	0.0284	0.4733	1600

내경 100 mm, 외경 150 mm로 구성되며, 충적층 관측정은 암반을 1~3 m 정도 관통하도록 하였다. 심도별 지하수 시료 채취가 가능하도록 수 m 간격으로 스크린을 설치하고, 스크린의 슬롯은 0.5 mm 이하로 하여 세립질의 유입을 최소화 하였다.

지하수 관측정 설치 당시의 현장 시추자료로부터 관측 지점 매질의 지질 특성을 정리한 결과, 대부분의 지점에서 상부 지층은 점토와 모래로 구성되어 있고 광려천 유역, 계성천의 입구부, 창녕군 길곡면 오호리 지역 및 남강 하류의 봉곡천 주변 일부 지점에는 하부에 자갈층이 발달하고 있다. 충적층의 평균 심도는 약 16.7 m이며 낙동강 본류 주변은 20~25 m 정도로 깊은 편이다. 충적 대수층의 수리전도도는 평균 0.74 m/d 및 투수량계수는 평균 1.39 m²/d에 해당하며, 암반 관측정의 경우에는 약간 낮은 0.03 m/d 및 1.27 m²/d를 보인다(Table 1).

(a) River water levels

(b) Rainfall

Fig. 2. Rainfall and water level of the Nakdong River in the study area.

Fig. 3. Hydrographs showing groundwater levels in the study area.

지하수위 변동 특성

지하수위 변동

본 연구기간인 2011년 낙동강의 하천 수위는 Fig. 2와 같이 6월부터 8월까지 호우기 강우(덕남 관측소 자료)의 영향으로 높게 유지되었다. 진동 수위표 지점의 하천수위는 7월초의 약 40 mm의 집중 강우로 10.0EL.m를 초과하는 특징을 보이는 등 호우시 급격한 수위 상승을 보이고 있다. 반면에, 지하수위는 Fig. 3에서 보듯이, 대부분의 지점에서 하천수위 또는 강우의 영향에 의한 변동을 보이고 있으나, 전반적으로 하천수위의 상승량에 비하여 다소 작은 특징을 보이고 있다.

일부 관측정(W-2, W-4, W-5, W-8, W-38, W-42, W-43, W-46, W-57, W-59, W-74, W-75)에서 농번기인 5월과 6월의 특징적인 지하수위 변화가 나타나는데, 농업용수 공급을 위한 지하수 양수로 인하여 지하수위 상승 및 하강이 조밀하게 반복적으로 나타나고 있다. 반면에, 농번기에도 지하수위 강하가 완만하게 변하는 관측정은 W-7, W-10, W-13, W-22, W-40, W-56, W-72, W-81, W-92 등으로서 2개 그룹간의 공간적 차이는 잘 나타나지 않는다(Fig. 1 참조). 즉, 하천에 인접한 지하수 관측정에서도 양수에 의한 영향이 지하수위에 반영되기도 하는데 이는 하천 수위와 지하수위의 반응시차가 하루 이내에 즉시 나타나기 보다는 수 일 정도 소요되기 때문에 하천수위가 인근 지하수에 직접 반영되는 시간 보다는 인접 우물에서의 양수에 의한 영향이 빠르게 반영되기 때문이다.

결측 보완

연구지역 지하수-지표수 연계 특성의 공간적 분포를 파악하기 위해서는 신뢰성 높은 수위 시계열 자료의 확보가 요구되는데, 연구지역 지하수 관측정은 관측 기간이 약 5개월에 불과하여 안정화되지 않은 관계로 일부 관측정에서 오결측이 존재하고 있어 추가적인 분석을 위하여 결측을 보완하였다. 주요 결측이 발생한 관측정은 W-4, W-19, W-71 등으로서 회귀 분석을 통하여 결측

자료를 생성하였다(Table 2). 회귀 분석의 입력 인자로 고려된 것은 하천수위(x_1)와 강우량(x_2)이며 두 개의 인자 중에서 각 관측정별로 유의한 인자를 추출하여 회귀식을 구성하였다. W-4 관측정의 경우는 강우를 제외한 하천 수위에 의한 회귀식이 두 인자를 함께 고려한 것보다 유의성이 높은 것으로 나타났으며, W-19 및 W-71은 강우와 하천 수위에 의한 다중 회귀식이 유의한 것으로 나타났다. 또한, 3개 관측정 공히 하천수위의 영향력이 강우보다 훨씬 큰 것으로 나타났고, 각 관측정에서의 회귀식에 의한 R^2 은 약 0.71~0.95의 범위를 보여 비교적 설명력이 높은 것으로 해석되었다. 본 결측 보완된 지하수위 시계열 자료는 지하수위 상승량 평가 및 지표수-지하수 연계성 평가를 위한 기초자료로 활용되었다.

호우시 수위 상승량 평가

2011년 7월 9일부터 10일까지 2일간의 시간당 10~45 mm(총 308 mm)의 강우에 의하여 하천 및 지하수위 변동이 발생하였는데, 호우기 동안의 지하수위 상승량을 평가하기 위하여 본 강우 이벤트 전후의 지하수위 변화를 파악하였다(Table 3). 낙동강 수위는 강우 이전에 평균 2.79 EL.m를 유지하고 있었으나 강우 발생후 10.65 EL.m까지 약 7.86 m의 상승이 발생하였으며, 지하수위는 강우 이전에 평균 4.45 EL.m에서 강우 이후에 6.55 EL.m까지 약 2.10 m의 상승이 발생하였다. 즉, 호우 이전의 지하수위 심도(평균 5.20 m)의 약 57%에 해당하는 높이 만큼 지하수위 상승이 발생된 것으로 나타났다. 이는 강우 이벤트에 의한 누적강우량의 약 6.8배에 해당하는 지하수위 상승이 발생하였음을 알 수 있으며, 이는 호우 직후에 토양내의 공기압에 의한 Lisse effect 또는 모세관 현상 등의 영향도 있을 것으로 추정된다(Heliotus and DeWitt, 1987; Morel-Seytoux et al., 1996; Weeks, 2002).

지하수위 상승량과 대수층의 포화대내에서의 수리특성을 비교하면 Fig. 4와 같다. 수리전도도 및 투수량계수가 낮은 지점에서의 지하수위 상승 비율이 일반적인

Table 2. Multi-regression models used to estimate missing values of water level at the three monitoring wells.

Wells	Model (y: groundwater levels, x_1 : stream level, x_2 : rainfall)	R^2	Residual statistics	
			Average for residuals	S.D. for residuals
W-4	$y = 0.837 x_1 + 0.872$	0.762	0.000	0.622
W-19	$y = 0.672 x_1 - 0.012 x_2$	0.954	0.001	0.456
W-71	$y = 1.544 x_1 + 0.573 x_2$	0.713	0.000	0.416

Table 3. Change in groundwater levels during a heavy rainfall event.

Monitoring wells	E.L. (El.m)	Water levels before			Water levels after			Difference	
		River (El.m)	Ground water (El.m)	DTW (m)	River (El.m)	Ground water (El.m)	DTW (m)	Rise (m)	Rising ratio
W-2	11.63	2.83	0.36	11.27	10.50	2.77	8.86	2.41	0.21
W-4	13.49	2.83	3.48	10.01	10.50	10.11	3.38	6.63	0.66
W-5(R)	10.14	2.83	6.01	4.13	10.50	7.44	2.70	1.43	0.35
W-5(A)	9.75	2.83	6.01	3.74	10.50	7.26	2.49	1.25	0.33
W-7	10.59	2.83	9.36	1.23	10.50	9.94	0.65	0.58	0.47
W-8	6.06	2.83	-	-	10.50	-	-	-	-
W-10	9.60	2.83	2.94	6.66	10.50	3.84	5.76	0.90	0.14
W-13	9.88	2.83	8.13	1.75	10.50	8.64	1.24	0.51	0.29
W-19	11.95	2.83	1.94	10.01	10.50	6.98	4.97	5.04	0.50
W-22	10.63	2.83	3.17	7.46	10.50	3.83	6.80	0.66	0.09
W-38	12.27	2.86	5.40	6.87	10.24	6.60	5.67	1.20	0.17
W-40	8.45	2.86	0.82	7.63	10.24	4.80	3.65	3.98	0.52
W-42	8.54	2.86	-	-	10.24	-	-	-	-
W-43	5.76	2.86	2.79	2.97	10.24	3.65	2.11	0.86	0.29
W-46	7.37	2.86	1.79	5.58	10.24	2.92	4.45	1.13	0.20
W-56(R)	13.17	2.71	5.46	7.71	11.03	9.87	3.30	4.41	0.57
W-56(A)	13.20	2.71	5.46	7.74	11.03	10.09	3.11	4.63	0.60
W-57	11.50	2.71	6.88	4.62	11.03	7.98	3.52	1.10	0.24
W-59	9.45	2.71	-	-	11.03	-	-	-	-
W-71	8.78	2.71	5.25	3.53	11.03	9.64	-0.86	4.39	1.24
W-72	9.60	2.71	6.63	2.97	11.03	9.77	-0.17	3.14	1.06
W-74(R)	8.33	2.71	3.63	4.71	11.03	5.04	3.30	1.41	0.30
W-74(A)	8.35	2.71	3.53	4.82	11.03	4.58	3.77	1.05	0.22
W-75	9.28	2.71	3.24	6.05	11.03	4.19	5.09	0.95	0.16
W-81	4.96	2.71	3.12	1.84	11.03	4.85	0.11	1.73	0.94
W-92(R)	6.09	2.83	6.01	0.08	10.50	6.29	-0.20	0.28	3.50
W-92(A)	6.78	2.83	5.41	1.37	10.50	6.12	0.66	0.71	0.52
Average	-	2.79	4.45	5.20	10.65	6.55	3.10	2.10	0.57

(a) Groundwater levels' and hydraulic conductivity

(b) Groundwater levels' rise and transmissivity

Fig. 4. Relationship between the ratio of groundwater level rise and hydraulic conductivity/transmissivity at each monitoring site.

로 높게 나타나고 있는데 이는 투수성이 불량한 지층에
서의 상대적인 지하수위 상승이 크게 나타나고 있음을

보여준다.

호우 직전의 지하수위 심도는 지표하 평균 5.2 m로서

일부 관측정(W-7, W-92r, W-92s)에서만 1 m 전후의 얕은 심도를 보이고 있으나, 호우 직후에는 평균 3.1m로 얕아졌고 3개 관측정(W-7, W-13, W-81)에서는 지표 부근까지 지하수위가 상승하였으며, 특히 4개 관측정(W-71, W-72, W-92r, W-92s)에서는 지표면 상부로 지하수위가 유출되는 특징을 보였다. W-7은 낙동강에 최인접한 관측정으로서 하천 수위의 영향을 직접 받는 경우이며, W-13은 영산천 중류에 위치하나 지형이 낮아 지표수의 배출이 불량한 지역에 해당하는 특징을 보인다. 지표로 유출되는 W-71, W-72 및 W-81은 함안천 유역에 위치하며 호우시의 지하수위 상승률이 0.94~1.24 정도로 타 지역에 비하여 높은 특징을 갖고 있다. 이와 같이, 함안천 유역에서의 수위 상승이 큰 것은 타 지류에 비하여 동측 경계부인 함안천의 하천 바닥 표고 (4.6~6.5 El.m)가 주변 농경지의 표고 (6.0~8.0 El.m)와 유사하거나 약간 낮아 배출이 불량할 뿐 아니라, 낮은

지형의 유역 분지를 북측의 남강과 동측의 함안천이 싸고 있어 지하수 배출 불량에 지형적 요인이 영향을 미치는 것으로 추정된다.

지하수-지표수의 연계성

교차상관분석

Table 2의 회귀식에서 알 수 있듯이 호우시 지하수위 상승은 강우와 지표 유출(하천수위)의 증가에 의하여 영향을 받게 된다. 연구지역내 지하수위 상승과 두 인자간의 상관성을 파악하기 위하여 교차상관 분석을 실시한 결과, 하천 수위와 지하수위의 관계는 교차상관계수가 평균 0.601, 반응 시차는 평균 3.1일 정도로 분석되었으며 강우와의 관계는 교차상관계수가 평균 0.125, 반응 시차는 평균 4.7일로 나타났다(Table 4). 이와 같은 현상은 지하수위 변동이 하천 수위의 영향에 더 민감하고

Table 4. Cross-correlations between river level or rainfall amount and groundwater level.

Monitoring wells	Cross correlations to river water level			Cross correlations to rainfall	
	Water level gaging station	C.C. coefficient	Lag time (day)	C.C. coefficient	Lag time (day)
W-2	Jindong	0.716	2.3	0.163	4.2
W-4	Jindong	0.869	0.2	0.278	1.8
W-5(R)	Jindong	0.507	2.6	0.083	4.0
W-5(A)	Jindong	0.504	2.6	0.082	3.7
W-7	Jindong	0.577	0.4	0.109	6.0
W-8	Jindong	0.553	0.6	0.121	0
W-10	Jindong	0.421	4.0	0.063	4.8
W-13	Jindong	0.760	0	0.167	1.2
W-19	Jindong	0.875	0.04	0.113	1.8
W-22	Jindong	0.421	8.4	0.092	10.1
W-38	Deoknam	0.560	5.0	0.088	6.2
W-40	Deoknam	0.910	0.4	0.224	1.8
W-42	Deoknam	0.471	0.5	0.093	2.3
W-43	Deoknam	0.587	1.3	0.106	4.0
W-46	Deoknam	0.575	0.6	0.096	3.0
W-56(R)	Georyonggang	0.896	0.2	0.251	1.5
W-56(A)	Georyonggang	0.896	0.2	0.251	1.5
W-57	Georyonggang	0.410	7.7	0.072	9.0
W-59	Georyonggang	0.446	1.4	0.093	6.9
W-71	Georyonggang	0.767	0.8	0.117	2.0
W-72	Georyonggang	0.874	1.1	0.225	2.4
W-74(R)	Georyonggang	0.357	8.9	0.065	10.0
W-74(A)	Georyonggang	0.360	8.9	0.065	10.0
W-75	Georyonggang	0.360	9.1	0.057	10.3
W-81	Georyonggang	0.594	0	0.139	0.8
W-92(R)	Jindong	0.482	8.0	0.086	8.9
W-92(A)	Jindong	0.477	8.0	0.075	9.5
Average	-	0.601	3.1	0.125	4.7

잘 반응함을 보여준다. 연구지역내 지하수 관측정은 대부분이 대하천변의 투수성이 양호한 두께 20~40 m의 충적층내에 설치되어 있어 하천 수위 변화에 영향을 받기 쉽다. 특히 상부 지층은 점토 또는 실트가 약 5~10여 m 정도 분포하고 있어 강우의 직접 침투가 용이하지 않아 하천 수위의 압력 영향이 강우의 자연 침투에 비하여 상대적으로 지하수위에 잘 반영되는 것으로 보인다.

반면에, 국가지하수관측정의 경우는 강우와 지하수위의 교차상관계수가 대표 군집인 군집 3(전체 국가지하수관측정의 약 90%를 차지)에서 평균 0.41, 군집 1과 2에서는 약 0.3 이하로 나타나 본 연구의 0.125보다 높은 특성을 보이고 있다(김규범과 염병우, 2007; 김규범, 2010). 국가지하수관측정의 경우는 대하천변이 아닌 구릉지, 주저지 등에 설치되어 충적층 두께가 상대적으로 얇거나 주변 하천의 영향이 적은 지역에 위치하여 강우의 영향이 보다 크게 작용한다(건설교통부와 한국수자원공사, 2005).

지하수 변동 유형의 평가

대하천 주변 충적층내에서의 지하수위 시계열의 공간적 분포 특성을 파악하기 위하여 주성분 분석을 통한 시계열 자료의 분류를 수행하였다. 주성분 분석은 변수들의 상관행렬 또는 공분산 행렬의 고유값과 고유벡터를 이용한 스펙트럴 분해(Spectral decomposition)를 이용하여 주성분이라는 새로운 변수를 생성하는 방법이다. 이 방법을 이용하여 다수의 관측정에 대하여 서로 상관관계가 없는 몇 가지의 핵심 변수를 도출함으로써 관측정을 그룹으로 분류하고 지하수위 변동 패턴을 정의할 수 있다(Hannah et al., 2000; Winter et al., 2000; 김

규범 외, 2011).

27개소 지하수위 관측 자료를 대상으로 주성분 분석을 실시한 결과 2개의 주성분이 전체 자료의 약 87.4%를 설명하는 대표 성분으로 나타났다(Table 5). 주성분 1에 의하여 전체 자료의 약 71.5% 및 주성분 2에 의하여 약 15.8%가 설명된다. 지하수위로부터 추출된 2개 주성분의 시계열도는 Fig. 5와 같다. 주성분 1과 주성분 2는 공히 강우시 지하수위의 급상승이 발생하고 있으나, 지하수위의 강하 유형은 차이가 있는 것으로 나타났다. 주성분 1은 주성분 2에 비하여 지하수위 상승이 작으며 강하 속도가 느리고 완만하여 상승된 지하수위가 일정 기간 동안 유지되는 것이 특징이며, 주성분 2는 이에 비하여 지하수위의 상승 및 하강이 빠르게 진행되는 것이 특징이다.

이상 2개의 주성분은 27개 관측정에서의 지하수위 변화를 설명하는 서로 독립된 성분으로서 이들 성분의 기여도를 축으로 각 관측정의 소속 범위를 도식화하면 Fig. 6과 같다. 즉, 2개의 성분에 근거하여 27개의 관측

Fig. 5. Two representative hydrographs showing groundwater levels by PCA.

Table 5. Total variance explained from principal component analysis for time series of groundwater level.

Component	Initial eigenvalues			Extraction sums of squared loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	20.033	71.545	71.545	20.033	71.545	71.545
2	4.431	15.825	87.370	4.431	15.825	87.370
3	0.977	3.488	90.858			
4	0.634	2.265	93.123			
5	0.478	1.707	94.830			
6	0.347	1.239	96.068			
7	0.256	0.915	96.983			
8	0.154	0.552	97.535			
9	0.124	0.443	97.978			
10	0.105	0.374	98.352			
11~27						
28	0.000	0.000	100.000

Fig. 6. Classification of time series of groundwater level using principal component analysis.

Fig. 7. Spatial distribution for two types of time series of groundwater level (open symbols: Group A; closed symbols: Group B).

정을 2개의 그룹으로 분류할 수 있는데, A 그룹은 낙동강 수위, W-4, W-56r(a), W-72, W-71, W-19, W-40, W-2, W-13 및 W-8 등 10개 지점이 포함되며, B 그룹에는 W-42, W-81, W-7, W-43, W-46, W-59, W-38, W-5r(a), W-92r(a), W-74r(a), W-10, W-57, W-75 및 W-22 등 17개 지점이 해당된다. 각 그룹의 공간적 분포를 파악하기 위하여 지형도에 그룹별 위치를 표기한 결과, A 그룹은 낙동강 및 남강에 인접한 관측정이 많이

포함되고 있으며 B 그룹은 상대적으로 이들 하천에서 떨어진 지점에 위치한 관측정이 대부분 포함되고 있다 (Fig. 7). Fig. 6에서 보듯이 주성분 1은 두 그룹 공히 높게 나타나고 있어 그룹을 분류하는데 핵심 요인으로 볼 수 없으며 주성분 2는 양과 음의 기여도에 차이가 있어 두 그룹을 분류하는 핵심 요인이 된다. 즉, 주성분 2가 양의 기여를 하는 경우에는 주성분 2의 변동 특성이 지하수위에 잘 나타나는 경우에 해당되며, 이는 하천수와 유사한 변동을 갖는 A 그룹을 의미하고 그 반대인 경우는 B 그룹을 의미한다. 즉, A 그룹은 낙동강 및 남강에 인접한 관측정이 많이 포함되어 하천수의 영향을 잘 받는 관측정이 된다.

지하수-지표수 연계 특성의 공간적 분포

현재 운영 중인 국가지하수관측정 중에서 낙동강 유역 충적층에 설치된 49개 관측정의 2010년 지하수위 변동 폭을 보면, 평균 2.53 m 정도를 보이고 있어 본 연구지역의 변동 폭인 4.22 m 보다 다소 작은 값을 보인다(국토해양부와 한국수자원공사, 2011). 이와 같은 현상은, 국가지하수관측정은 하천 인근 뿐 아니라 구릉지, 산지 등 경사지에 설치되어 충적층이 얇고 배출이 잘 이루어지는 경우가 많으며 하천으로부터 거리가 멀어 하천 수위의 영향이 상대적으로 작은 경우가 많은 것과 관련이 있다. 한편, 연구지역내 지하수 관측정의 위치를 보면, 하천에서부터 1.5 km 정도 떨어진 경우에도 하천

(a) Relationship between distance from river to monitoring site and land surface or water levels' difference

(b) Relationship between distance from river to monitoring site and cross correlations to river

(c) Relationship between distance from river to monitoring site and cross correlations to rainfall

Fig. 8. Relationships between river level or rainfall amount and groundwater level according to distance from the nearest river to the monitoring site.

변 관측정과 비교하여 수 m 정도의 지표 표고 증가가 나타나고 있어 고도 편차가 크지 않은 평탄 지형에 의한 영향임을 알 수 있으며, 이로 인하여 하천으로부터 거리가 증가하더라도 지하수의 변동 폭이 급격히 줄어들지 않고 유사한 것으로 나타난다(Fig. 8(a)).

반면에, 지하수 관측지점이 하천으로부터 멀어질수록 하천수위와 지하수위의 교차상관계수는 점점 작아지는

것으로 나타났으며, 반응에 소요되는 시차도 점차 증가하고 있다(Fig. 8(b), Fig. 9(a) 및 Fig. 9(b)). 여기에서 Fig. 9는 하천수위 및 강우와 지하수위의 교차상관계수 및 반응 시차를 공간적으로 도시한 것으로서, 원자료에 자연로그를 취하여 정규화한 후 상대적인 크기를 나타낸 것이다. 이와 같은 상관관계는 각 관측정이 위치한 소유역의 형상과 지형 경사 등의 차이로 인하여 뚜렷하

Fig. 9. Spatial distribution of cross-correlation and hydraulic coefficients calculated at monitoring sites.

지는 않으나, 하천으로부터 거리(x)에 따른 반응시차(y : hr)는 $y = -0.05 \cdot x - 42.58$ 로 표현되어, 대하천으로부터 약 580 m 정도 떨어진 경우 하천과의 반응시차는 약 3 일로 나타났다.

지하수위와 강우와의 관계에서도 하천으로부터 멀어 질수록 강우와 지하수위의 교차상관계수 및 반응시차도 점점 작아지는 것으로 나타났다(Fig. 8(c), Fig. 9(c) 및 Fig. 9(d)). 하천으로부터 거리(x)에 따른 반응시차(y : hr)는 $y = -0.042 \cdot x - 88.07$ 로 표현된다. 즉, 대하천으로부터 약 380 m 정도 떨어진 경우 강우와의 반응시차는

약 3일인 것으로 평가된다.

이상 두 상관관계도를 비교해 보면, 하천에 가까울수록 하천수위와 지하수위의 반응시차가 강우와 지하수위의 반응시차에 비하여 빠른 경우가 대부분이다. 즉, 하천에 최인접한 관측정에서는 지하수위가 강우보다는 하천수위의 직접 영향권에 포함되기 때문에 하천수위에 대한 반응시차가 상대적으로 더욱 빠르게 나타난다. 하천으로부터 거리가 약 1 km 이상 멀어지게 되면 두 경우의 반응 시차의 차이가 줄어들음을 알 수 있다.

Table 6. Classification of groundwater monitoring wells based on the relationships between river level or rainfall amount and groundwater level.

Group	Cross correlation between river and groundwater level		Cross correlation between rainfall and groundwater level		k (m/d)	T (m ² /d)	Distance to river (m)	Max-min difference (m)	Water levels' rise during heavy rainfall (m)
	Average cross-correl. coefficient	Average lag time (hr)	Average cross-correl. coefficient	Average lag time (hr)					
A	0.81	-14.1	0.19	-43.2	0.07	1.67	432.0	5.49	3.20
B	0.48	-107.8	0.09	-154.4	0.07	1.19	709.5	3.47	1.44

Fig. 10. Two representative types of groundwater flooding (from Marsh and Dale, 2002).

토 론

2011년 7월의 집중 호우에서 보듯이 대하천변에서의 집중 호우는 하천수위 및 지하수위의 급격한 상승을 초래하게 된다. 특히, 연구지역내 일부 지점에서는 지하수의 지표 유출이 나타나기도 하였는데 이는 곧 지하수위 상승으로 인한 홍수 취약성을 의미한다. 본 연구를 통하여 분석된 각종 인자와 지하수위 변동간의 상관관계 및 주성분 분석 결과를 종합하면, 대하천변 지하수위 변동은 하천수의 영향을 많이 받게 되는데 연구지역의 경우는 주성분 분석 결과에 따라 크게 2개의 그룹으로 분류되며 각종 인자의 분석 결과를 요약하여 Table 6에 수록하였다.

A 그룹에 속하는 관측정은 대하천변에 비교적 가까이 있는 것들로서 낙동강 및 남강 인접에 도시되어 있다. A 그룹에 속하는 관측정의 지하수위 변동을 보면, 교차상관계수 및 반응시차, T, 하천까지의 거리 및 지하수위 변동 폭 등에서 B 그룹과 현저한 차이를 보이고 있어 두 그룹간의 수위 변동 특성에는 뚜렷한 차이가 존재한다.

한편, A 그룹에 속하긴 하지만 하천에서 비교적 떨어진

진 지점에 위치한 것은 W-8 및 W-13 등이 있다. W-8은 지형 표고가 낮은 저지대에 위치하여 낙동강으로의 배출이 잘 이루어지지 않는 곳에 위치한 것이다. W-13의 경우는 영산천 중류에 위치하므로 낙동강 수위의 영향이 직접 반영되는 곳은 아니나 낙동강으로의 하천 배출이 잘 이루어지지 않는 소하천이 인접하고 있다. 즉, 이와 같이 낙동강의 수위 영향이 직접 반영되기 보다는 지표 배출이 용이하지 않은 소하천이나 저지대에 위치한 관측정들이 존재하는데 지하수-지표수 연계성 평가 시 유의할 필요가 있다.

2011년 7월초 집중 강우에 의한 각 그룹별 평균 지하수위 상승량은 A 그룹이 약 3.2m, B 그룹이 약 1.44m 정도로서 현저한 차이가 존재한다. 즉, A 그룹에 속하는 관측정은 집중 강우에 의한 지하수 상승이 B 그룹보다 훨씬 높으므로 홍수 발생에 대비한 우선 관리 지역으로 고려될 필요가 있다.

한편, 지하수 홍수란 강우의 유출에 의한 지표수 홍수와 구분되는 개념으로서 하천의 범람이 아닌 지하수위의 상승으로 인하여 발생하는 홍수로 정의된다. 영국 지질조사소에서는 지하수 홍수의 유형을 Alluvial flooding과 Clearwater flooding으로 구분하고 있다 (Marsh and Dale, 2002). Alluvial flooding은 하천과 연결된 주변 저지대에서 불투수성 지반을 피복하고 있는 투수성 충적층에서 발생되는데 하천의 물이 투수성 지반을 통하여 주변 충적층으로 이동하여 지표로 노출되는 현상을 의미한다(Fig. 10(a)). Clearwater flooding은 계곡에서 지하수 공급원을 갖는 하천과 연결된 주변의 투수성 대수층에서 나타나는 현상으로서 광역적인 지하수위 상승시 지하수가 하천변에서 지표로 노출되는 경우를 의미하며, 영국의 초크층에서의 지하수 홍수가 대표적이다(Fig. 10(b)).

대표적인 외국의 지하수 홍수 사례로서 영국 남부, 프랑스 북부 및 독일 일부 지방이 언급되고 있다. 영국은 남부지역에 광범위하게 분포하는 초크(Chalk)층에서 주

로 연구가 되었으며, 초크층의 매질 자체는 좁은 공극으로 인하여 물의 배출을 어렵게 하나 호우시 비포화 구간내의 균열에 갇혀 있는 물은 급격히 배출되는 특성이 있어 지하수에 의한 홍수를 유발한다고 한다(Bloomfield et al., 2007; Bradford and Croker, 2007; Morris et al., 2007). 프랑스 북부의 초크층이 발달한 Somme 지역에 2000년 겨울 호우 발생시 지하수에 의한 홍수가 나타났는데, 이에 대한 원인으로 강우, 유출, 충전, 지하수 유동, 유입-유출량 등이 복합적으로 연계되어 있음을 연구한 바 있다(Habet et al., 2010). 미국 Washington 주의 Puget Sound 남부지역은 자갈을 포함하는 빙하퇴적물 지역에서의 지표 가까운 지하수위로 인한 홍수의 특성을 평가한 바 있는데, 지하수 홍수와 관련 있는 요인으로서 과다 강우, 습한 기후, 중발산 감소 및 인간에 의한 토지 개발 등을 언급하고 있다(U.S. Army Corps of Engineers, 1997).

이상 본 연구에서 도출된 지하수-지표수의 연계성 평가는 수위를 중심으로 수행되었는데, 충적층내에서도 지질 매질의 특성에 의한 이방성이 존재하여 지하수위의 공간적 분포에 차이가 있을 뿐 아니라 지하수위 반응이 선행 강우 등에 의해서도 영향을 받을 수 있기 때문에 분석에 한계가 존재할 수 있으며, 추후 이에 대한 보완 연구도 필요할 것이다. 그동안 우리나라는 수변지역에서의 여름 호우시 주로 발생하는 홍수에 대한 개념을 하천 범람 차원으로 접근해 왔으나, 지표수와 지하수는 단일 수자원인 점을 감안하고 호우시 지하수의 지표 방출이 발생할 수 있다는 점을 고려할 때 보다 정확한 홍수 예측 및 평가를 위해서는 호우시 지하수위 상승과 그 기여도에 대한 검토가 요구된다.

결 언

본 연구에서는 지하수-지표수 상호 관계에 대한 통계적 분석을 통하여 공간적인 특성을 평가하였으며, 이로부터 호우시의 지하수위 상승과 홍수에 대한 새로운 접근을 시도하고자 하였다. 그 동안 지하수위 관측은 국가지하수관측망 등이 전국을 대상으로 광역적으로 설치 운영되어 왔으나, 본 연구에서는 단일 소구역내 충적층에 다수의 지하수 관측정을 설치하여 지하수위의 시공간적 특성을 분석하고자 하였다. 낙동강 중하류 주변에 넓게 발달한 충적층에서의 지하수위 변동은 강우보다는 하천수위의 변화와 상관성이 높은 것으로 분석되었으며, 7월 집중 호우기간 동안에는 일부 지점에서 지하수위가

지표 부근 또는 지표상으로 유출되는 것으로 나타났다. 또한, 지하수위 시계열 자료에 대한 주성분분석 결과 2개의 그룹으로 대분되었으며, 하천 인근에 위치한 관측정들이 하나의 그룹을 형성하는 것으로 나타나 하천수위의 영향이 지하수위 변동에 부분적인 영향을 미치는 것으로 파악되었다.

본 연구는 지하수-지표수 연계 평가와 지하수 홍수 취약성 연구를 위한 기초 분석 결과로서, 향후 지화학 분석, 온도 계측 및 동위원소 분석 등을 통한 지하수-지표수 상호작용 평가가 필요할 것이다. 또한, 지점별 지하수의 지표 유출 특성 및 매질 특성 등을 고려하여 홍수에 대한 정확한 정의와 평가가 수행되어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(11기술혁신 C05)에 의한 ‘수변지하수 활용 고도화’ 연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 건설교통부, 한국수자원공사, 2005, 국가지하수관측망 주변 현황조사 및 변동특성 분석 부록(1편~5편), 서울.
- 국토해양부, 한국수자원공사, 2011, 2011 지하수 관측연보, 서울, 37-40.
- 김규범, 엄병우, 2007, 국가지하수관측소 충적관측정의 수위 변동 유형 분류 및 특성 비교, 한국지하수토양환경학회지, 12(5), 86-97.
- 김규범, 2010, 충적층 지하수 관측지점의 강우량 대비 지하수위 변동 자료를 활용한 비산출을 추정, 한국지반환경공학회 논문집, 11(6), 57-67.
- 김규범, 최두형, 신선호, 2011, 낙동강 하중도 탄성의 지하수위 변동 및 수질 특성, 한국지반환경공학회 논문집, 2011, 12(2), 35-43.
- 김규범, 최두형, 정재훈, 2010, 강우 대비 지하수위 변동량을 이용한 비산출을 추정 기법의 적용성 고찰, 지질공학, 20(1), 61-70.
- 김남원, 정일문, 원유승, 2004, 완전 연동형 SWAT-Modflow 결합모형 (1)모형의 개발, 한국수자원학회 논문집, 37(6), 499-507.
- 김남장, 이흥규, 1964, 지질도폭 설명서-영산, 상공부, 국립지질조사소, 52p.
- 이상일, 김병찬, 김수민, 2004, 지표수-지하수를 연계한 수자원의 효율적 이용-(I)방법론, 한국수자원학회 논문집, 37(10), 789-798.
- 이소현, 김규범, 2010, 로지스틱 회귀분석을 이용한 가뭄 예측, 대한지질공학회 춘계학술발표회 논문집, 327-330.
- 이정환, 함세영, 정재열, 정재형, 박삼규, 김남훈, 김규범, 2010, 기흥터널 건설에 따른 지하수 변화 수치모델링,

- 지질공학, 20(4), 449-459.
- 전향탁, 김규범, 2011, 온도, 유동특성 및 지화학분석 자료를 이용한 지표수-지하수 연계특성 평가, 지질공학, 21(1), 45-55.
- 정일문, 이정우, 김남원, 2011, 지표수-지하수 통합모형을 이용한 무심천 유역의 지하수 개발가능량 산정, 자원환경지질, 44(5), 433-442.
- 최승오, 여상철, 1972, 지질도폭 설명서-남지, 과학기술처, 국립지질조사소, 27p.
- 최유구, 김태열, 1963, 지질도폭 설명서-의령, 상공부, 국립지질조사소, 29p.
- 최현미, 이진용, 하규철, 김기표, 2011, 제주도 수리자료에 대한 시계열 분석 및 지하수 함양률 추정 연구, 지질공학, 21(4), 337-348.
- Adams, B., Bloomfield, J., Gallagher, A., Jackson, C., Rutter, H., and Williams, A., 2008, FLOOD 1 Final Report, Groundwater Resources Programme, Open Report OR/08/055, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, 65p.
- Bloomfield, J.P., McKenzie, A.A., Rutter, H.K., and Hulbert, A., 2007, Methodology for Mapping Geological Controls on Susceptibility to Groundwater Flooding. British Geological Survey Internal Report, IR/07/072, 55p.
- Bradford, R.B. and Croker, K.M., 2007, Application of head-flow responses to groundwater floods in Chalk catchments, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 40, 67-74.
- Habets, F., Gascoin, S., Korkmaz, S., Thiry, D., Zribi, M., Amraoui, N., Carli, M., Ducharme, A., Leblois, E., Ledoux, E., Martin, E., Noilhan, J., Ottl, C., and Viennot, P., 2010, Multi-model comparison of a major flood in the groundwater-fed basin of the Somme River (France), Hydrology and Earth System Sciences, 14, 99-117.
- Hannah, D.M., Smith, B.P.G., Gurnell, A.M., and McGregor, G.R., 2000, An approach to hydrograph classification, Hydrological Processes, 14(2), 317-338.
- Heliotus, F.D. and DeWitt, C.B., 1987, Rapid water table responses to rainfall in a northern peatland ecosystem, Water Resources Bulletin, 23, 1011-1016.
- Lee, L.J.E., Lawrence, D.S.L., and Price, M., 2006, Analysis of water level response to rainfall and implications for recharge pathways in the chalk aquifer, SE England, Journal of Hydrology, 330(3-4), 604-620.
- Marsh, T.J. and Dale, M., 2002, The UK floods of 2000-2001: A hydrometeorological appraisal, The CIWEM Journal, 16, 180-188.
- Morel-Seytoux, H.J., Meyer, P.D., Nachabe, M., Touma, J., van Genuchten, M.T., and Lenhard, R.J., 1996, Parameter equivalence for Brooks-Corey and van Genuchten soil characteristics: Preserving the effective capillary drive, Water Resources Research, 32(5), 1251-1258.
- Morris, S.E., Cobby, D., and Parkes, A., 2007, Towards groundwater flood risk mapping, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 40, 203-211.
- Upton, K.A. and Jackson, C.R., 2011, Simulation of the spatio-temporal extent of groundwater flooding using statistical methods of hydrograph classification and lumped parameter models, Hydrological Processes, 25, 1949-1963, DOI: 10.1002/hyp.7951.
- U.S. Army Corps of Engineers, 1997, Post Event Report - Winter storm of 1996-97, Federal Disaster DR1159, Western Washington Summary: Seattle, Wash., Federal Emergency Management Agency, final document May 16, 1997, 38p.
- Weeks, E.P., 2002, The Lisse effect revisited, Ground Water, 40, 652-656.
- Winter, T.C., Mallory, S.E., Allen, T.R., and Rosenberry, D.O., 2000, The use of principal component analysis for interpreting ground-water hydrographs, Ground Water, 38, 234-246.

원고접수일 : 2012년 3월 30일

수정본채택 : 2012년 4월 24일(1차)

2012년 4월 30일(2차)

게재확정일 : 2012년 5월 2일

김규범

한국수자원공사 K-water연구원 수변지하수활용고도
화연구단

305-730 대전광역시 유성구 왕골고갯길 49

Tel: 042-870-7640

E-mail: gbkim@kwater.or.kr

손영철

한국수자원공사 K-water연구원 수변지하수활용고도
화연구단

305-730 대전광역시 유성구 왕골고갯길 49

Tel: 042-870-7641

E-mail: hydroson@kwater.or.kr

이승현

한국수자원공사 K-water연구원 수변지하수활용고도
화연구단

305-730 대전광역시 유성구 왕골고갯길 49

Tel: 042-870-7645

E-mail: sope365@kwater.or.kr

정안철

한국수자원공사 K-water연구원 수변지하수활용고도
화연구단

305-730 대전광역시 유성구 왕골고갯길 49

Tel: 042-870-7646

E-mail: 175cm275mm@kwater.or.kr

차은지

한국수자원공사 K-water연구원 수변지하수활용고도
화연구단

305-730 대전광역시 유성구 왕골고갯길 49

Tel: 042-870-7643

E-mail: cej@kwater.or.kr

고민정

한국수자원공사 K-water연구원 수변지하수활용고도
화연구단

305-730 대전광역시 유성구 왕골고갯길 49

Tel: 042-870-7648

E-mail: 2rhalswjd@kwater.or.kr