



<Short Note>

시피지미터를 이용한 지하수-지표수 상호유동량 측정: 전주시 덕진연못 사례연구

조인환 · 진성욱*

전북대학교 지구환경과학과 & 지구환경시스템 연구소

요 약

지하수와 지표수는 상호 유동적인 관계로 특히 갈수기에는 기저유출의 형태로 지하수가 지표수에 미치는 영향이 커진다. 하지만 지금까지 국내에서 지하수와 지표수의 상호유동량에 대한 정량적인 연구가 많이 부족하였다. 본 연구에서는 지하수-지표수의 상호유동량을 측정하기 위하여 시피지미터를 자체 제작하였고, 전주시 덕진연못을 대상으로 하여 2017년 3월부터 8월까지 지하수 유출입량을 측정하였다. 측정은 대부분의 기간 동안 주 1~2회였으나, 7월 3일부터 10일까지의 장마기간에는 1~2일 간격으로 이루어졌다. 측정된 지하수 유출입량을 덕진연못의 수위 및 측정기간의 평균 강수량과 비교하였으며, 결과는 지하수의 유출입량과 덕진연못의 수위는 상관관계가 있으며, 또한 측정기간 동안의 평균 강수량과도 상관관계가 있음을 보여주었다. 덕진연못 전체 면적에 대한 총 지하수 상호유동량은 $-0.869 \sim +1.043$ L/s로 계산되었다. 본 연구에서의 시피지미터를 이용한 지하수 유출입량 측정은 지표수에 기여하는 기저유출량 결정의 중요한 수단이 되며, 따라서 지하수와 지표수의 상호관계 이해에 기여할 수 있다.

주요어: 지하수, 상호유동량, 기저유출, 시피지미터, 강수량

In-Hwan Jo and Sung-Wook Jeon, 2018, Measurement of groundwater-surface water exchange rates using seepage meters: A case study of Deokjin Pond in Jeonju-si. Journal of the Geological Society of Korea. v. 54, no. 4, p. 433-441

ABSTRACT: Groundwater and surface water are interacting, and particularly during droughty periods the contribution of groundwater to surface water is increased as a base flow. However, there have not been many quantitative studies in Korea for the exchange rates of groundwater and surface water. In this study, seepage meters were manufactured for direct measurements of the exchange rates, which were regularly measured at Deokjin Pond in Jeonju-si from March to August 2017. Measurements were made once or twice a week for most periods of time, but every one or two days during the rainy season between July 3 and 10, 2017. The measured exchange rates were correlated to the lake level of Deokjin Pond and the average precipitation during the measurement period. The results showed that the exchange rate is closely correlated to the lake level of Deokjin Pond, and also correlated to the average precipitation during the measurement period. The total exchange rate in Deokjin Pond was calculated as -0.869 to $+1.043$ L/s. The measurement of the exchange rate using seepage meters in this study can be an important means of measuring groundwater base flow and thus contribute to understanding the interactions between groundwater and surface water.

Key words: groundwater, exchange rate, base flow, seepage meter, precipitation

(In-Hwan Jo and Sung-Wook Jeon, Department of Earth and Environmental Sciences & The Earth and Environmental Science System Research Center, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea)

* Corresponding author: +82-63-270-3429, E-mail: sjeon@jbnu.ac.kr

1. 서 론

지하수와 지표수는 상호 유동적인 관계이며 하천의 경우 지하수면과 지표수면의 상대적인 위치에 따라 이득하천과 손실하천으로 구분된다(Silliman and Booth, 1993). 강수가 지표수의 수위에 영향을 미치는 자연적 요소로는 강수가 지표면을 따라 하천으로 유출되는 지표유출과 강수가 지표에 떨어져 지하로 이동된 후 기존의 지하수에 함유되어 천천히 이동하는 기저유출이 있다(Kang and Jun, 2016). 특히, 비가 오지 않는 갈수기에는 지하수가 기저유출의 형태로 지표수의 수위에 미치는 영향이 커지게 된다(Kang *et al.*, 2015). 갈수기 때는 지표수로 강수가 직접 유입되지 않으므로 지표수의 수위는 지하수의 영향을 크게 받으며 지표수의 수위에 대한 지하수의 기여도가 증가한다(Nam *et al.*, 2013). 또한 기저유출은 지표수의 수질에 영향을 미치는 것으로 나타나지만(Lee *et al.*, 2017), 아직까지 우리나라에서 기저유출이 지표수에 미치는 영향에 대한 정량적인 분석연구가 부족한 상황이다(Kang and Jun, 2016). 이러한 점에서 지하수와 지표수의 상호유동량 측정은 하천의 건천화와 가뭄, 지표수의 수질 등 다양한 연구의 초석이 되는 중요한 부분이 된다(Kim *et al.*, 2015; Han *et al.*, 2016).

지하수의 지표수에 대한 기여도 평가에는 동위원소를 이용한 방법과 지하수 모델링 등이 있다. 동위원소 측정법은 산소 및 수소 동위원소 비율을 이용하여 지하수의 함양비율을 계산하는 방법이다(Choi *et al.*, 2016). 동위원소 측정법은 수계가 단순할 때 비교적 간단하게 계산할 수 있지만 단성분(end member) 선정에 대한 불확실성이 존재한다(Lee, 2017). 모델링 방법은 수계에 대한 지하수의 흐름을 여러 가지 수학적 수식에 기초하여 시뮬레이션 하는 방법이다(Kim and Suh, 2009). 이 방법은 모델 변수들을 변화시키면서 다양한 상황들에 대한 분석이 가능하다(Hyun *et al.*, 2011). 하지만 자연 시스템을 단순화하는 데에 가정이 포함되고 매개변수에 대한 불확실성이 존재한다(Kim and Suh, 2009).

한편 시피지미터(seepage meter)는 Lee and Cherry (1978)에 의해 최초로 고안되었으며, 지하수-지표수 상호유동량을 직접 측정하는데 많이 이용되어 왔다(Rosenberry *et al.*, 2008). 시피지미터는 원통형 드럼을 잘라 한쪽 면이 뚫려있는 형태이며 알고 있는 부

피의 물이 담긴 플라스틱 주머니를 막혀있는 면에 연결한 투수시험 장비이다(Lee and Cherry, 1978). 시피지미터를 이용한 상호유동량 직접측정법은 시피지미터를 호수나 하천의 퇴적층에 설치하고 채수 봉투 내 물의 변화량을 통해 단위 면적당 지하수-지표수 상호 유동량을 측정하는 것이다. 이 방법은 상호 유동량을 직접 측정하기 때문에 실제 현장 값을 반영할 가능성이 크나, 동위원소측정이나 모델링보다 더 많은 시간과 노력이 들어가게 된다.

아직까지 국내에서 지하수와 지표수의 상호유동량을 직접 측정한 사례가 거의 없으며, 안성천 하상 퇴적물의 수리전도도를 측정하는데 시피지미터를 이용한 사례 정도가 보고되고 있다(Lee *et al.*, 2015). 본 연구에서는 시피지미터를 이용하여 지하수-지표수의 상호유동량을 측정하기 위하여 전주시 덕진연못을 연구 대상지역으로 하였으며, 측정한 결과를 덕진연못의 수위와 측정기간 동안의 평균 강수량과 비교하여 지하수-지표수 상호유동량과의 상관관계를 분석하고자 하였다.

2. 연구지역 및 연구방법

2.1 연구지역

연구지역은 전라북도 전주시 덕진구 덕진동 1가에 위치한 덕진연못으로 전북대학교 캠퍼스 내에 위치하고 있다. 과거의 덕진연못은 명지천, 대지천 등 자연하천들의 유입으로 충분한 물갈이가 가능하였고 이로 인해 덕진연못의 수질은 깨끗하게 유지되었다(Choi *et al.*, 2015a). 하지만 현재 덕진연못은 전주의 도시화 과정으로 인해 덕진연못으로 자연적으로 유입되던 하천들이 유실되고, 남아있는 하천인 명지천에는 오수가 혼합되어 흘러 덕진연못으로 유입되지 않고 하수처리장으로 보내어 처리되고 있다(Choi *et al.*, 2016). 이러한 이유로 덕진연못은 자연적인 하천의 유입이 끊기게 되었다. 현재 덕진연못의 수위는 강수와 지하수만으로 유지되며 비가 오지 않는 갈수기 동안의 덕진연못 수위는 거의 지하수만으로 유지되어 수질이 매우 불량한 상태이다(Choi *et al.*, 2015a, 2015b).

덕진연못의 전체 수면적은 99,174 m²이며 평균 수심은 0.89 m이다(Choi *et al.*, 2015b). 덕진연못은 현 수교를 기점으로 크게 연꽃지대와 보트장 두 지역으

로 나누어진다. 이번 연구는 연꽃지대에서 실험하였으며(그림 1), Choi *et al.* (2015b)에 의하면 연꽃지대의 평균 수심은 약 0.5 m로 덕진연못의 평균 수심보다는 상당히 낮은 것으로 파악된다.

2.2 연구방법

지하수-지표수 상호유동량을 측정하기 위하여 시피지미터를 이용하였다. 본 연구에서 사용된 시피지미터는 페드럼통을 이용하여 직접 제작하였으며(그림 2), 시피지미터의 제원은 높이 0.25 m, 지름 0.58 m로 0.284 m²의 단면적을 가진다. 시피지미터를 퇴적층에 설치하기 위해 한쪽 면은 뚫려 있으며, 막혀있는 면에는 시피지미터를 들 수 있는 손잡이와 가운데에 플라스틱 주머니를 연결하기 위한 지름 5 cm의 구멍이 있다. 지름 5 cm의 구멍에는 하직경 50 mm, 상직경 55 mm의 고무마개를 끼워 넣었다. 그 후 고무마개 중앙에 구멍을 뚫은 뒤 물이 이동할 수 있도록 외경 10 mm, 내경 8 mm의 테프론 튜브(PTFE)

를 구멍에 끼워 넣고 마지막으로 플라스틱 주머니를 연결하였다.

제작된 시피지미터를 연구지역 퇴적층에 설치하면 시피지미터의 내부는 외부와 차단되어 시피지미터 안에서 지하수가 유입되거나 지표수가 유출된다. 그 후, 유입되거나 유출되는 지하수와 지표수의 양을 측정할 때는 플라스틱 주머니 내 물의 변화량을 측정하였다. 플라스틱 주머니에는 유입되는 양과 유출되는 양을 모두 파악하기 위해 일정한 양(2 L)의 물을 채워 넣었으며, 측정기간 동안의 주머니 속의 물의 변화량을 측정하였다. 이때 물의 양이 증가할 경우에는 지하수가 지표수로 들어오는 유입량(+), 물의 양이 감소할 경우에는 지표수가 지하수로 나가는 유출량(-)으로 표시하였다. 측정기간 동안의 평균 유입유출량은 시피지미터의 단면적으로 나누어 단위면적당 유입유출량으로 계산하였다.

측정기간은 2017년 3월부터 8월까지 총 6개월 동안이었으며, 측정은 대부분의 기간 동안 주 1~2회 간



Fig. 1. Satellite photograph of Deokjin pond and location of the installed seepage meters.

격으로 이루어졌으나, 강수량이 급격히 많아지는 장마기간인 2017년 7월 3일부터 10일까지는 1~2일 간격으로 이루어 졌다. 상호유동량 측정에 사용한 시피지미터는 총 4개로 3월에서 4월 기간에는 2개를 설치하였고, 5월에서 8월은 기존 2개에 추가로 2개를 설치하였다.

측정한 상호유동량을 연구지역의 강수량과 연못 수위에 대해 각각 비교하였다. 강수량은 전주기상청 자료를 사용하였고, 덕진연못의 수위는 덕진연못과 하류의 하천에 대해 일종의 보의 역할을 하는 물넘이 시설을 기준으로 상대적인 수위변화를 기록하였다. 연못의 수위는 물넘이 시설의 최상단보다 아래일 경우 (-)로 표시하였고 그 기준면보다 높을 경우 (+)로 표시하였다. 덕진연못 전체 면적에 유출입되는 양을 추정하기 위해서는 시피지미터를 이용하여 측정한 단

위 면적 당 유동량에 전체 수면적을 곱하여 덕진연못의 총 상호유동량을 계산하였고, 이를 이전 모델링 연구(Choi *et al.*, 2015a)에서 제시된 덕진연못의 유입량과 비교 분석하였다.

3. 연구결과

3.1 지하수-지표수 상호유동량 측정결과

3월에서 4월까지의 지하수-지표수 상호유동량 측정은 자체 제작한 시피지미터를 현장에 적용가능한 지를 평가하기 위한 목적이었으며, 2개의 시피지미터 (Site 1, Site 2)를 설치한 후(그림 1) 주 1회 측정하였다. 그림 3과 그림 4는 3월에서 4월까지 측정한 지하수-지표수 상호유동량 측정값을 덕진연못의 수위와 전주 기상청을 통해 얻은 전주지역의 일일 강수량과

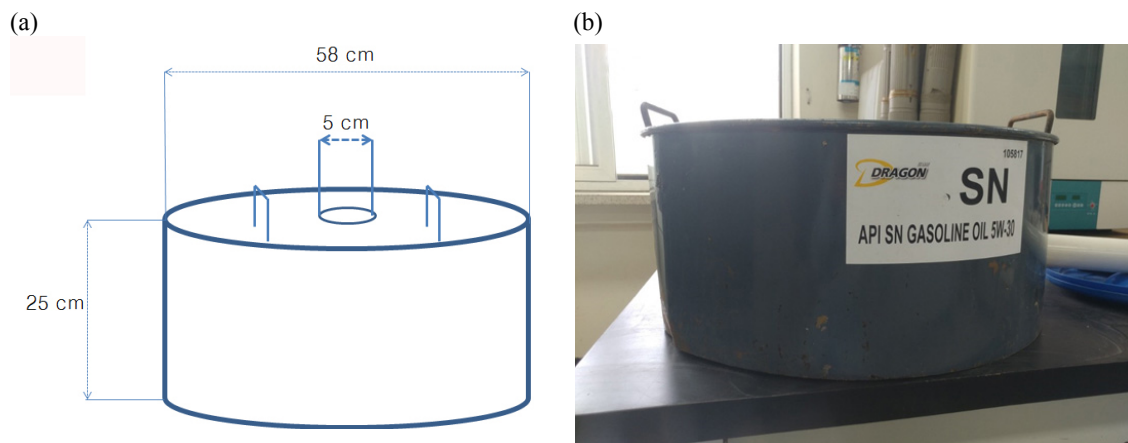


Fig. 2. Schematics (a) and a real picture (b) of the seepage meter.

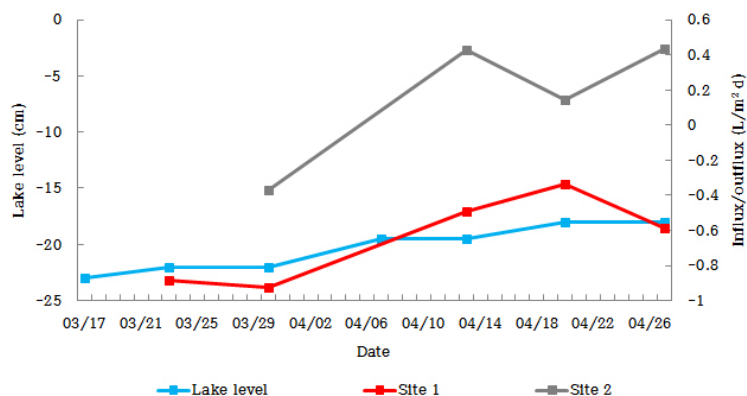


Fig. 3. Groundwater influx/outflux and lake level in March~April, 2017.

비교한 것이다. 측정된 지하수-지표수 상호유동량의 변화는 연못수위의 변화 및 강수량의 변화와 비슷한 경향성을 보였다. 하지만 Site 1과 Site 2의 개별 측정값은 한 곳이 유출을 지시할 때 한 곳은 유입을 지시하는 상반된 결과를 보여 주었다. 이는 지하수-지표수가 좁은 지역에서도 불균질하게 상호작용한다고 볼 수도 있으나 설치된 시피지미터가 다른 요인(예를 들면 연못바닥과 완벽하게 밀착이 되지 않았을 가능성) 등에 의해 정확한 유동량을 반영하지 않았을 가능성도 있다. 따라서 이어진 측정에서는(5~8월) 2개의 시피지미터를 추가로(Site 3, Site 4; 그림 1) 설치함과 동시에 기존의 시피지미터(Site 1, Site 2)의 바닥에 존재하는 진흙층을 제거하여 바닥면을 균질하게 한 후 재설치하여 바닥면과 보다 밀착하게 함으로써 측정값의 재현성과 신뢰성을 증대하고자 하였다. 그림 5와 6은 5월에서 8월까지 측정한 상호유동량을

덕진연못의 수위와 일일 강수량에 각각 비교한 것으로 4개의 시피지미터에서 측정한 상호유동량의 상승, 하강 패턴이 유사하게 나타난다. 이는 시피지미터를 통한 측정결과가 재현성이 있음을 보여주며, 시피지미터 설치 시에 바닥면과의 고른 접촉이 매우 중요한 요소임을 지시한다.

측정한 상호유동량과 덕진연못 수위 변화와의 관계를 보면, 6월 초부터 중순까지의 갈수기 기간 동안 덕진연못의 수위가 계속 내려갔고 측정한 상호유동량도 계속 유출량을 나타내며 유출량이 점차 증가하는 것을 보여준다. 반대로, 장마기간인 6월 말부터 7월 초까지의 기간에는 수위 상승과 함께 비교적 높은 유입량을 보였다. 측정한 상호유동량을 일일 강수량과 비교했을 때는(그림 6), 5월 중순과 7월 초의 매우 높은 유입량과 많은 강수량이 비슷한 시기인 것을 보여준다. 또한 강수가 거의 없는 6월 초 중순에는

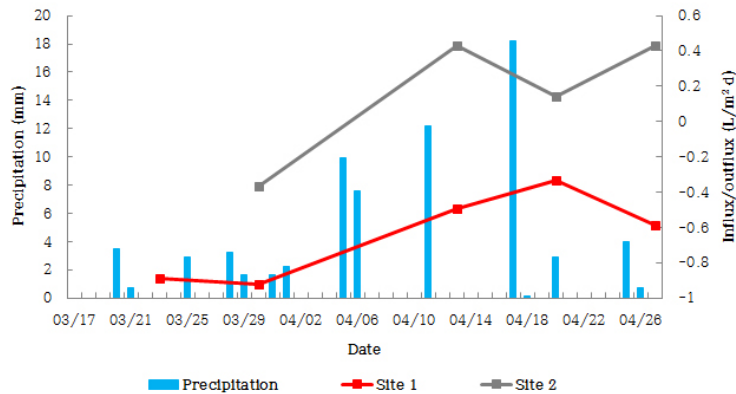


Fig. 4. Groundwater influx/outflux and precipitation in March~April, 2017.

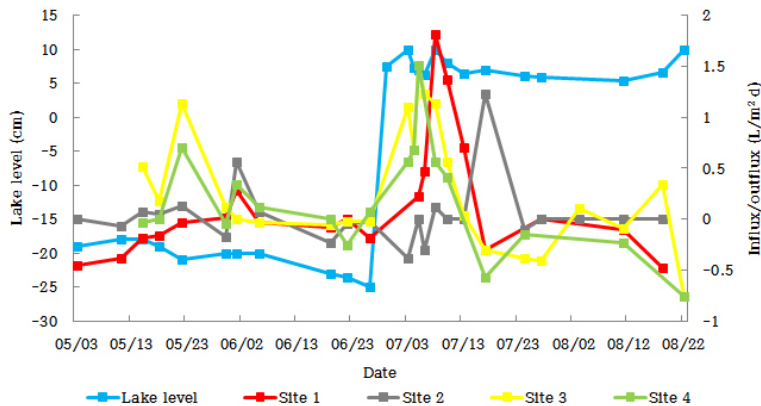


Fig. 5. Groundwater influx/outflux and lake level in May~August, 2017.

유출량이 점점 증가하였다. 5월에서 8월까지의 측정 결과를 통해 지하수의 상호유동량은 강수량에 직접 영향을 받으며, 덕진연못의 수위에 영향을 줄을 보여준다. 이러한 경향성은 지하수의 유출입량이 연못 수위와 측정기간의 강수량과 매우 밀접한 관련이 있음을 나타낸다. 이 연구에서는 덕진연못의 물수지에 영향을 주는 인자 중 증발산량에 대한 고려는 하지 않았는데, 물순환에서 강수량-증발산량이 수계에 영향을 주기 때문에(Lee *et al.*, 2015), 향후 이에 대한 고려도 있어야 할 것으로 생각된다.

3.2 장마기간의 일변화

주 1~2회 간격으로 측정된 지하수 유출입량이 강수량과 밀접한 상관관계가 있음을 지시함에 따라 강수가 얼마나 즉각적으로 지하수 상호유동량에 관여하는지 알아보고자 높은 강수량을 가지는 장마기간인 7월 3일부터 10일까지 측정간격을 1~2일 간격으

로 줄여 지하수 유동량을 측정하였다. 그림 7과 8은 장마기간에 측정된 상호유동량을 덕진연못의 수위와 일일 강수량과 각각 비교한 것이다. 그림 7을 보면 측정기간 높아진 유입량과 함께 덕진연못의 수위 또한 0보다 높게 유지되었다. 또한 그림 8에서 가장 많은 강수가 기록된 7월 8일에는 가장 높은 유입량을 가졌으며, Site 2를 제외한 Site 1, 3, 4 모두 높은 유입량을 가졌다. 이는 지하수의 유출량이 강수에 매우 즉각적으로 반응한다는 것을 나타내는데, 내린 강수가 지하수를 거쳐 지표수로 바로 유출된다기보다는 강수가 대수층으로 침투하면 기존에 대수층에 있던 지하수가 침투한 강수에 영향을 받아 유동된 것으로 생각된다(Kim *et al.*, 2017).

3.3 지하수 유입량과 강수량의 상관관계

지하수의 유입량과 강수량이 어느 정도 상관관계가 있는지 알아보기 위하여 시피지미터를 이용하여

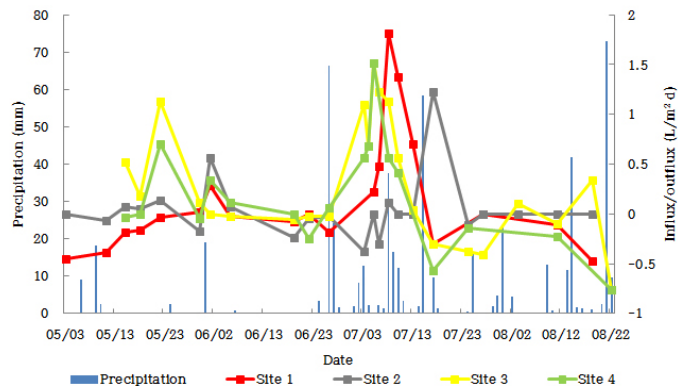


Fig. 6. Groundwater influx/outflux and precipitation in May~August, 2017.

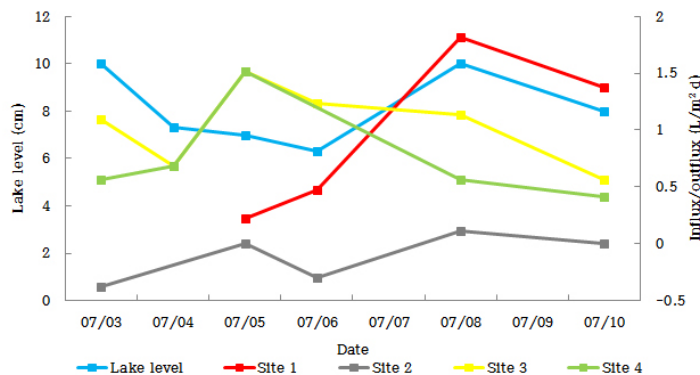


Fig. 7. Groundwater influx/outflux and lake level in rainy season (July 3~10), 2017.

5월에서 8월까지 측정한 지하수 유입량과 각 측정기간의 평균 강수량을 비교하였다. 그림 9는 이러한 유입량과 평균 강수량의 관계를 대비한 것이다. 선형적인 관계식으로 대비시켰을 때 R^2 값은 약 0.499로 약한 양의 상관관계를 보였다. 불균질한 연못 바닥면 등 현장 측정값에 영향을 미칠 수 있는 다양한 요인들을 감안하면 유입량과 강수량의 약하지만 양의 상관관계는 지하수 유입량을 증가시키는 직접적인 요인으로서 강수량이 기여한다는 것을 보여준다.

3.4 덕진연못 전체 상호유동량

5월에서 8월까지 시피지미터를 이용하여 측정한 결과를 토대로 덕진연못의 전체 상호유동량을 계산하였다. 시피지미터의 단위 면적당 상호유동량(V_A)은 다음과 같이 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$V_A = \frac{V}{At} \quad (1)$$

V 는 측정기간 중 플라스틱 주머니 내 물의 변화량(L), A 는 시피지미터의 단면적(m^2), t 는 측정시간(d)이다. 시피지미터의 단면적(A)은 $0.264 m^2$ 이며, 식 (1)을 이용하여 계산한 연구기간 동안의 시피지미터의 단위 면적당 상호유동량은 $-0.757 \sim +0.909 L/m^2 d$ 이었다.

식 (1)을 이용하여 구한 단위 면적당 상호유동량(V_A)에 덕진연못의 전체 수면적(A_D)을 곱하여 덕진연못 전체 상호유동량(V_T)을 계산할 수 있다(식 (2)).

$$V_t = V_a \times A_D \quad (2)$$

덕진연못의 전체 수면적(A_D)은 $99.174 m^2$ 이며 (Choi *et al.*, 2015a), 식 (2)를 이용하여 계산한 덕진연못의 전체 상호유동량은 $-0.869 \sim +1.043 L/s$ 이었다. 표 1은 계산한 단위 면적당 상호유동량과 덕진연못 전체 상호유동량을 정리한 것이다.

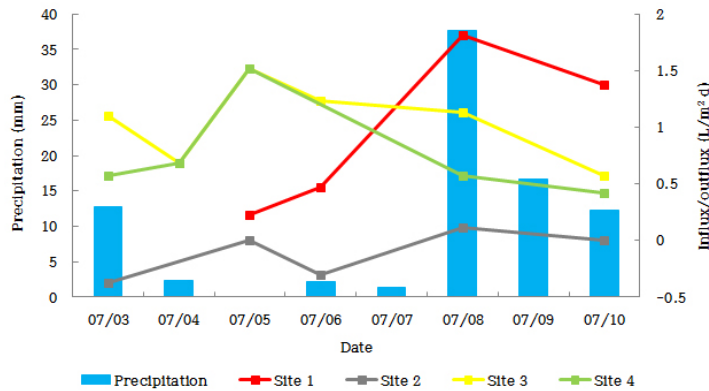


Fig. 8. Groundwater influx/outflux and precipitation in rainy season (July 3~10), 2017.

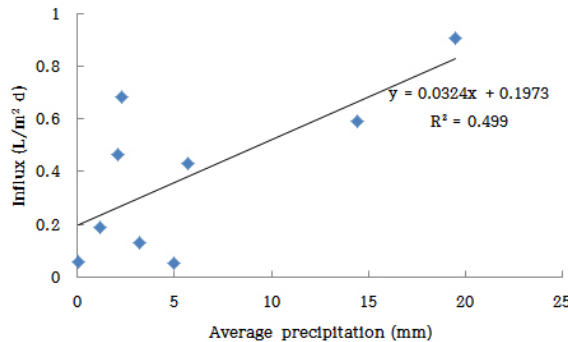


Fig. 9. Correlation between the groundwater influx and the average precipitation during the measurement period.

Table 1. The influx/outflux per unit area and total influx/outflux of Deokjin Pond and comparison with the modeling result of Choi *et al.* (2015).

	Influx/outflux per unit area (L/m ² d)	Total influx/outflux of Deokjin Pond (L/s)
May to August, 2017	-0.757 ~ +0.909	-0.869 ~ +1.043
Rainy season (July 3 to 10, 2017)	+0.429 ~ +0.909	+0.492 ~ +1.043
Modeling result (Choi <i>et al.</i> , 2015)	NA	2.6

NA: Not available

본 연구에서 계산한 덕진연못의 전체 상호유동량을 Choi *et al.* (2015a)에서 모델링을 통해 계산한 덕진연못의 유입량과 비교 분석하였다. Choi *et al.* (2015a)에서는 덕진연못의 지하수 함양량을 전주시 평균함양량보다 17% 적은 185mm/y로 가정하였고 4가지 가정을 하여 모델(MODEL 1~4)을 설정하였다. MODEL 1에서 4는 현재 덕진연못의 상태 모사, 대지천 복구, 집수구역에서 지하수 함양량 증가 등의 다른 설정을 가졌으며, 본 연구에서는 4가지의 MODEL 중 현재 덕진연못의 함양조건을 모사한 MODEL 1과 비교하였다. MODEL 1의 조건에서 MODFLOW (McDonald and Harbaugh, 1984)를 통해 구한 덕진연못 유입량은 2.6 L/s로 시피지미터를 이용하여 구한 전체 상호유동량인 -0.869~+1.043 L/s와 유입량 기준 약 2~3배 정도의 차이를 보였다. 모델링에서는 대수층과 경계 조건에 대한 몇 가지 가정이 포함되며 지하수-지표수의 상호유동량을 연 평균값으로 나타낸 반면, 시피지미터로 측정된 상호유동량값은 시간별 상호유동량을 거의 실시간으로 직접 측정된 값에 가깝다. 한편, 지하수-지표수 상호유동량이 덕진연못의 모든 수면적에서 균일하지 않아 공간적인 분포의 차이가 나타날 수 있으나, 본 연구에서는 단위 면적당 측정된 상호유동량이 전체 수면적에 동일하다고 가정하였다. 향후 지하수 유출입량을 측정하는 각기 다른 방법 간의 상호 검증과 유출입량의 공간적 시간적 변화 양상에 대한 보다 많은 측정값이 필요하다고 생각된다.

4. 결론 및 고찰

지금까지 우리나라에서는 지하수-지표수 상호유동량에 대한 연구가 많이 이루어지지 않았고 특히 지하수-지표수 상호유동량을 직접 측정된 연구는 거의

없었다. 본 연구에서는 지하수-지표수 상호유동량을 측정하기 위해 시피지미터를 제작하였으며 전주시 덕진연못을 사례로 상호 유동량을 직접 측정하였다.

시피지미터를 사용하여 측정된 덕진연못 전체 지하수-지표수 상호 유동량은 -0.869~+1.043 L/s이었으며, 지하수-지표수의 상호작용이 시간이나 공간에 따라 매우 역동적일 수 있다는 것을 보여주었다. 또한 덕진연못의 수위와 강수량과 비교한 결과, 강수량의 변화량과 지하수 상호유동량의 변화량이 직접적인 관련성이 있으며, 또한 강수량과 지하수 상호유동량의 변화량은 덕진연못의 수위에 영향을 주는 것을 보여주었다. 측정된 상호유동량을 이전에 실시된 모델링 결과와 비교하였을 때 덕진연못 전체 지하수 유입량 기준 약 2~3배 정도의 차이를 보여주었다. 두 방법에서의 여러 가지 가정과 변수들의 불확실성을 감안하면 각각의 방법이 상호 보완적으로 이용될 수 있음을 나타낸다.

본 연구에서는 시피지미터를 이용하여 지하수-지표수 상호유동량을 직접 측정함으로써 측정된 상호유동량이 지하수-지표수의 상호작용 이해에 기여할 수 있음을 보여주었다. 지하수-지표수간의 상호작용에 대한 관심이 증대되고 있는 상황에서 사례 연구를 통해 실제 측정값을 제시하였다는 데에서 의미가 있다고 생각되며, 극지 활동층에서의 지하수 유출입량 등 다양한 환경에서의 지하수-지표수 상호작용 해석에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후 시피지미터를 통해 측정된 상호유동량의 신뢰성을 증대시키기 위해서 실내실험 등을 통한 자체 검증과 지속적으로 공간적 시간적 변화에 대한 관측이 필요할 것으로 생각된다. 또한 동위원소와 모델링 등 다른 지하수 기여도 평가 방법 간의 상호 비교를 통한 검증도 지하수-지표수 상호유동량 측정의 신뢰도를 향상시키기 위해 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2016R1D1A1A02937479)의 지원을 받아 수행되었습니다. 또한 이 연구는 극지연구소 국내 학·연 극지연구진흥프로그램 사업(PE18900)의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Choi, S.H., Kim, K.J. and Moon, S.H., 2016, Calculation of rainwater and groundwater fraction in sewerage: A case study in Deokjin Park, Jeonju. *Economic and Environmental Geology*, 49, 361-370 (in Korean with English abstract).
- Choi, S.H., Kim, S.H. and Kim, K.J., 2015a, Assessment for the possibility of water-ecosystem restoration applying LID techniques in the Deokjin Park Area, Jeonju City. *Economic and Environmental Geology*, 48, 470-499 (in Korean with English abstract).
- Choi, S.H., Kim, S.H., Lee, J.W., Kim, K.J. and Oh, C.W., 2015b, A study on obtaining waters to restore the water-ecosystem of Deokjin Pond in Jeonju: New paradigm for restoration of urban reservoirs. *Economic and Environmental Geology*, 48, 467-475 (in Korean with English abstract).
- Han, J.H., Lim, K.J. and Jung, Y.H., 2016, A Study on relationship between streamflow variability and baseflow contribution in Nakdong River Basin. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 58, 27-38 (in Korean with English abstract).
- Hyun, Y.J., Lee, K.K., Kaown, D.I. and Lee, S.S., 2011, Modeling groundwater flow and contaminant transport in groundwater dependent ecosystems. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 309-321 (in Korean with English abstract).
- Kang, H.S., Hyun, Y.J. and Jun, S.M., 2015, Study on the Development and Implementation of Baseflow Index for the Management of Groundwater Dependent Ecosystems. *Korea Environment Institute*, 2015-12, 153 p (in Korean).
- Kang, H.S. and Jun, S.M., 2016, Impact analysis of baseflow on river and ecosystem. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Annual Conference*, 584-588 (in Korean).
- Kim, G.H., Yoon, J.Y., Park, K.J., Baek, J.R. and Kim, Y.J., 2015, Quantification of baseflow contribution to nutrient export from a agricultural watershed. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, 29, 347-357 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.R., Cho, S.H., Lee, D.G., Jung, Y.Y., Kim, Y.H., Koh, D.C. and Lee, J.G., 2017, Influence of pre-event water on streamflow in a granitic watershed using hydrograph separation. *Environmental Earth Sciences*, 76:82. DOI 10.1007/s12665-017-6402-6.
- Kim, K.C. and Suh, K.S., 2009, Analysis of ModelCARE and intercomparison study for application of models at repository. *Journal of Radiation Industry*, 3, 247-254 (in Korean with English abstract).
- Lee, D.R. and Cherry, J.A., 1978, A field exercise on groundwater flow using seepage meters and minipiezometers. *Journal of Geological Education*, 27, 6-10.
- Lee, J.H., 2017, A review on hydrograph separation using isotopic tracers. *Journal of the Geological Society of Korea*, 53, 339-346 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.H., Han, Y.C., Koh, D.C., Kim, S.Y. and Na, U.S., 2015, A review on the application of stable water vapor isotope data to the water cycle interpretation. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 20, 34-40 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.W., Chun, S.G., Yi, M.J., Kim, N.W., Chung, I.M. and Lee, M.H., 2015, Measurements of streambed hydraulic conductivity using drive-point piezometers and seepage meters in the upper reaches of Anseongstream. *The Journal of Engineering Geology*, 25, 413-420 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.C., Kim, H.Y., Kim, H.J., Han, J.H., Kim, S.J., Kim, J.G. and Lim, K.J., 2017, Analysis of baseflow contribution based on time-scales using various baseflow separation methods. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 59, 1-11 (in Korean with English abstract).
- McDonald, M.G. and Harbaugh, A.W., 1984, A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model. U.S. Geological Survey Open-File Report 83-875, 528 p.
- Nam, J.J., Kim, J.K., Kim, J.S. and Park, J.E., 2013, Analysis of variation characteristics of seasonal rainfall change in the river-groundwater level. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Annual Conference*, 413-417 (in Korean).
- Rosenberry, D.O., LaBaugh, J.W. and Hunt, R.J., 2008, Use of monitoring wells, portable piezometers, and seepage meters to quantify flow between surface water and ground water. In: Rosenberry, D.O. and LaBaugh, J.W. (eds.), *Field Techniques for Estimating Water Fluxes Between Surface Water and Ground Water*. United States Geological Survey Techniques and Methods, Chapter 4-D2, pp. 39-70, <https://pubs.usgs.gov/tm/04d02>.
- Silliman, S.E. and Booth, D.F., 1993, Analysis of time-series measurements of sediment temperature for identification of gaining vs. losing portions of Juday Creek, Indiana. *Journal of Hydrology*, 146, 131-148.

Received : July 10, 2018

Revised : August 5, 2018

Accepted : August 8, 2018