韓國水資源學會論文集
第41卷 第9號・2008年 9月
pp. 919~927

DOI: 10.3741/JKWRA.2008.41.9.919

도시지역의 지하수와 하천수의 교류량

Interaction between Groundwater and Surface Water in Urban Area

배 상 근* / 이 승 현**
Bae, Sang Keun / Lee, Seung Hyun

Abstract

Flow exchanges between stream and groundwater are assessed on urban streams in Daegu, Korea. Two rivers and 25 streams with the total length of 240 km run through the study area. The interaction between surface water and groundwater was estimated using Darcy's method. The study was conducted by dividing the basin into 16 smaller watersheds, and for comparison purposes. Groundwater level, surface water level, hydraulic conductivity, thickness of aquifer, and the distance between the well and the nearest stream were used for quantifying the interaction. To investigations the groundwater interaction in the watersheds, the amount of effluent seepage from groundwater to the stream, the amount of influent seepage from the stream to groundwater, and the amount of annual interaction between surface water and groundwater were computed. The total amount of effluent seepage from the groundwater to stream in the basin was approximately 72×10^6 m^3/year. The total amount of influent seepage from the stream to groundwater was approximately 35×10^6 m^3/year. It appeared that the total amount of annual interaction between surface water and groundwater was approximately 108×10^6 m^3/year and the total groundwater flow balance was approximately 37×10^6 m^3/year. The annual amount of interaction between the surface water and groundwater was the largest in the Goryung Bridge Basin(29×10^6 m^3/year) and the least in the Dalchang Dam Basin(0.2×10^6 m^3/year). The results show that flow exchanges between stream and groundwater are very active and that there are significant difference among the smaller watersheds. Finally, the results indicate that it is necessary to further investigate to more precisely understand the interaction characteristics between surface water and groundwater in urban areas.

keywords : groundwater, surface water, interaction, seepage, urban area

요 지

도시지역의 하천수와 지하수의 교류를 평가하기 위하여 대구지역을 선정하였다. 연구대상지역에는 낙동강, 금호강 및 25개 하천이 총 유로길이 240 km로 유하하고 있다. 하천수와 지하수의 교류량의 산정은 Darcy식을 이용하였다. 연구대상지역을 16개 소유역으로 나누어서 계산하고 그 결과를 비교하였다. 교류량 산정에는 지하수위, 하천수위, 투수계수, 대수층 두께 및 하천과 가장 근접한 우물과의 거리를 적용하였다. 소유역별 지하수의 하천 유출량, 하천수의 지하수함양량 및 교류량을 산정하였다. 연구 대상지역에서 하천으로 유출하는 지하수량은 약 72×10^6 m^3/year이고 지

* 계명대학교 공과대학 토목공학과 교수
Professor, Dept. of Civil Engineering, Keimyung Univ., 1000 Sindang-Dong, Dalseo-Gu, Daegu, 704-701, Korea
(e-mail: skbae@kmu.ac.kr)
** 계명대학교 공과대학 토목공학과 박사과정
Graduate student, Dept. of Civil Engineering, Keimyung Univ., 1000 Sindang-Dong, Dalseo-Gu, Daegu, 704-701, Korea

하수를 함양하는 하천수량은 약 35×10^6 m^3/year이었다. 하천수와 지하수의 교류량은 약 108×10^6 m^3/year이고 하천수와 지하수의 교류량 수지는 약 37×10^6 m^3/year이었다. 하천수와 지하수의 교류량은 고령교 유역에서 약 29×10^6 m^3/year로 가장 많고 달창댐 유역에서 약 0.2×10^6 m^3/year로 가장 적게 발생하였다. 교류량 산정 결과 연구대상지역에서는 하천수와 지하수의 교류가 대단히 활발하며 소유역간 차이가 큼을 알 수 있었다. 이들 결과로부터 도시지역의 지표수와 지하수의 교류량을 보다 정도 높게 파악하기 위한 연구가 필요한 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 지하수, 지표수, 교류, 침윤, 도시지역

1. 서 론

대부분의 유역에서 지하수는 비가 오지 않는 기간에 하천에 흐르는 물의 주요 원으로 하천의 곡두부 뿐만 아니라 하천의 유로 전 구간에 걸쳐서 지속적으로 유출한다. 지하수가 하천으로 유출하는 반면에 하천수는 지하수를 함양한다(Toth, 1963, Nield *et al*., 1994). 하천수와 지하수는 수문, 지형, 지질 등과 같은 다양한 물리적 인자에 지배를 받으며 교류하고 그 양상은 복잡하다(Winter, 1999; Woessner, 2000; Sophocleous, 2002; Schilling *et al*., 2006; Szilagyi *et al*., 2006). 하천 인근에서 지하수를 개발하면 자연적으로 존재하든 하천수와 지하수의 교류 형태가 변화하여 하천으로부터 지하수의 함양이 발생하게 되며 이를 지하수 개발에 활용하여 물 공급을 하기도 한다(Younger *et al*., 1993). 유역에서의 물수지 연구를 통한 개발 가능한 지하수량에 대한 정보를 얻기 위한 수자원 평가에 하천수와 지하수의 교류량이 사용된다.

도시지역은 인구증가에 따른 불투수성 면적의 확대로 인하여 직접유출이 증가하고 홍수도달시간이 감소하며 홍수규모가 증대하고 기저유량이 감소하고 있다(최무웅, 1991; 김수원과 배상근, 1996). 도시지역 지하수의 이용량 증가와 토지이용상태의 변화에 따른 강우 침투량의 감소와 지하철 등 대규모 지하시설의 건설 및 하천의 정비 등으로 인하여 도시지역 지하수의 유동량과 유동방향이 변화하여 지하수와 인근 하천수와의 교류량이 변화하고 있다(Ellis *et al*., 2007). 이와 같이 도시화에 따라 수문학적 특성이 변화하기 때문에 하천수와 지하수의 교류 특성이 다른 지역과 차이가 있다. 도시지역은 지하수 이용량이 많고 잠재적 지하수오염 가능성이 높다(어수미 등, 1989; 김형석과 박경선, 1998; 김윤종 등, 2000; Edmunds *et al*. 2002; Foster and Chilton, 2004; Thomas and Tellam, 2006; Navarro and Carbonell, 2007). 도시지역에서 발생하는 지하수위 저하, 지하수질의 악화 및 기저 유출량의 감소 등과 같이 지하수환경의 악화는 교류하는 하천수와 밀접한 관계가 있다. 도시지역 지하수의 체계적인 개발·이용과 보전 및 관리 그리고 건전성확보를 위한 방안을 마련하기 위해서는 대상도시 전 도시지역의 하천수와 지하수의 교류량의 파악이 필요하나 이에 대한 연구가 드물다.

따라서 본 연구에서는 대구광역시 전역을 연구대상지역으로 설정하여 이 지역에서의 지하수와 하천수의 교류량을 파악하였다.

2. 연구대상지역

도시지역의 지표수와 지하수의 교류량을 파악하기 위하여 하천이 잘 발달되어 있고 지하수이용량이 많아 도시지역의 하천수와 지하수의 교류특성을 반영하기에 적절하다고 여겨지는 대구광역시를 연구대상지역으로 선정하였다. 연구대상지역은 Fig. 1과 같으며 한반도 동남부 영남내륙 중심에 입지하여 북쪽에는 팔공산, 남쪽에 대덕산과 비슬산, 동서로는 완만한 구릉지에 시가지가 형성된 분지형 도시이다. 서남쪽으로는 개활지로서 새로운 부도심이 형성되어있고 신천이 도심을 가로 질러 금호강과 합류하여 낙동강에 유입된다. 북쪽과 남쪽이 큰 산지로 둘러싸인 분지로 동쪽은 경산/영천, 서쪽은 달성/성주, 남쪽은 청도/창녕, 북쪽은 칠곡/군위군과 접하고 있다. 연구대상지역의 면적은 885.7 ㎢이며, 총 인구는 2,525,836명(2006년 1월1일 기준)으로 7개구(중, 동, 서, 남, 북, 수성, 달서)와 1개군(달성군)으로 이루어져 있다(대구광역시, 2007).

연구대상지역의 구별 토지이용현황은 경작지 면적이 149.53 ㎢로 16.88%, 임야면적이 485.54 ㎢로 54.82%, 대지면적이 75.20 ㎢로 8.49%, 기타면적 175.43 ㎢로 19.81%이다(대구광역시, 2004).

연구대상지역의 표고 EL. 100 m 이하의 분포비율은 48.68%에 해당하며 지형경사도 대부분이 20° 이하이며 이에 해당하는 면적비율이 총면적의 61.8%에 달한다.

연구대상지역의 지표층은 비고결 충적층, 붕적층, 결정암질이 풍화된 풍화암질로 구성되며 충적층이 가장 넓게 분포하고 있다. 기반암층은 화강암과 안산암이 분포하며 일련의 퇴적암, 화산암 등 경상계통이다. 이들의

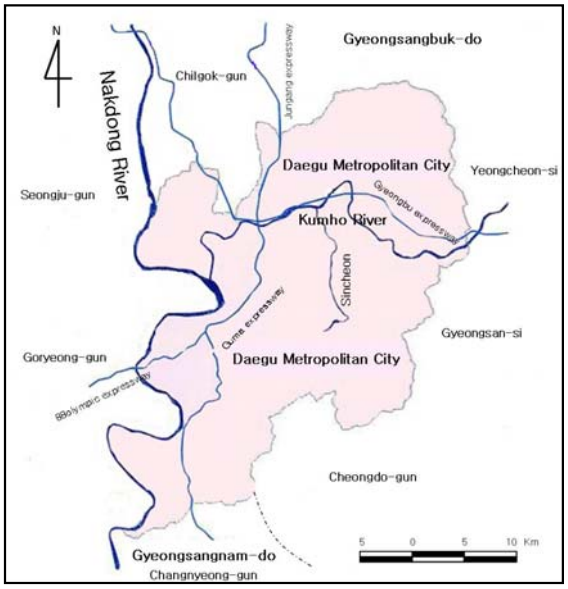

Fig. 1. Study Area

충적층 두께는 7~10 m 내외이나 퇴적암 두께는 수 m에서 수천 m에 이르는 지층을 형성하고 있다. 지질구조는 주로 중생대 백악기 신라통과 낙동계통으로 퇴적암류인 세일과 세립질로서 회색이나 검정색을 띠고 있다. 주요 기반암은 혈석, 사암, 역암, 응회암, 분암 등 화강암이 분포하고 기반암은 5 m 이내에 분포하며, 기반암을 피복하고 있는 퇴적토층은 매우 조밀하고 자갈 및 연석이 불규칙하게 산재하여 있으며, 하천 내 기반암이 노출되어 있다. 특히 비슬산맥 원사면과 구릉산간지를 형성하고 있는 평야지는 협장한 충적퇴적토층으로 건조하며, 투수성이 강하고, 퇴적층 발달이 매우 미약하며, 토양층은 퇴적토층, 잔류토층, 풍화암층, 연암층, 경암층으로 구성되어 있다(건설교통부와 한국수자원공사, 2004).

1996년부터 10년간의 전국 평균강우량은 1450.54 mm이며, 연구대상지역의 연평균강우량은 1183.34 mm로 전국평균 보다 다소 적다(기상청, 2006). 연구대상지역에서는 5,109개의 우물에서 30,469,389 m^3/year의 지하수를 이용하고 있다(건설교통부와 한국수자원공사, 2006).

연구대상지역의 지방2급 이상 하천의 현황은 국가하천 2개소, 지방1급 1개소, 지방2급 24개소이다(건설교통부, 2004). 연구대상지역의 각 하천별 유역도는 Fig. 2에 나타나 있다.

3. 지하수 교류량의 산정

지하수교류량을 평가하는 방법은 여러 가지가 있으며, 지하수 유출량을 평가하는데 Darcy의 법칙, 침윤계

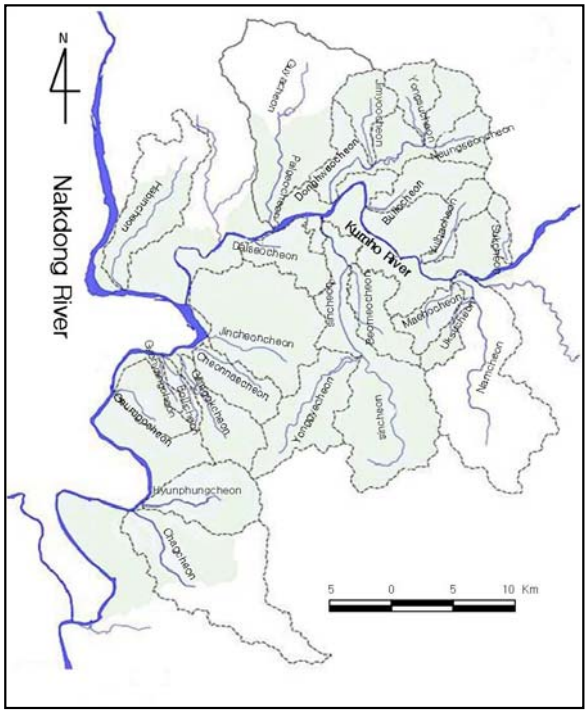

Fig. 2. Streams and Watersheds in the Study Area

를 이용한 직접측정법, 추적자법 등 세 가지 방법이 주로 사용된다(Corbett *et al.*, 2000).

Darcy의 법칙을 이용한 지하수교류량 산정은 대수층 조건의 불균질성을 반영하기 어렵고 지하수위 측정이 쉽지 않으나 이에 대한 문제점을 극복할 수 있는 자료의 확보가 가능하면 경제성 및 정확성이 있다. 침윤계를 사용한 지하수유출량의 직접 측정법은 가장 확실한 방법으로 생각할 수 있으나 측정법위가 매우 지엽적이므로 자료의 대표성이 결여될 수 있다. 또한 침윤계는 기기 자체는 단순하지만 이의 설치 및 자료수집에 많은 노동력이 필요하고 최근에는 자동화된 계측 방법이 고안되고 있으나 지하수유출량 산정의 정확도를 높이는 획기적인 방법은 아니며 측정에 많은 경비가 소요된다. 추적자 방법은 사용되는 추적자에 따라 그 결과가 상이하여 신뢰성 확보가 어려우며 경비가 많이 소요된다. 이와 같이 지하수유출량을 평가하는 방법들이 장단점을 가지고 있어 대상지역의 상황에 따라 적용성이 다르다. 홍성훈 등(2003)은 지하수 해안유출량 평가를 위한 평가방법들을 검토한 후 Darcy의 법칙을 유출량 산정에 적용하였다.

연구 대상지역은 지하수 기초조사(건설교통부와 한국수자원공사, 2004)가 이루어져 지하수관련 자료의 확보가 가능하여 하천수와 지하수의 교류량 산정에 Darcy의 법칙을 이용하였다.

Darcy의 법칙은 아래식과 같이 나타내어진다.

$$Q = K\,i\,A \tag{1}$$

여기서, Q는 유량(지하수 침윤량)[L^3T^{-1}], K는 투수계수[LT^{-1}], I(= dh/dl)는 동수경사, A는 유출단면적[L^2]으로 하천의 길이와 대수층 두께의 곱이다. 위의 식은 다음과 같이 나타내어진다.

$$Q = -K\frac{dh}{dl}A \tag{2}$$

동수경사는 하천에서 가까운 관정의 수위로부터 추정할 수 있으며 다음식과 같다.

$$\frac{dh}{dl} \approx \frac{H}{L} \tag{3}$$

여기서, H는 수두차[L], L은 우물과 하천과의 거리[L].

Fig. 3에 지하수와 하천수의 교류관계 모식도가 나타나 있다. 본 그림에서와 같이 하천수위 보다 지하수위가 높을 경우 하천인근의 지하수는 하천으로 침출침윤을 통하여 유출하게 되며 하천수위 보다 지하수위가 낮을 경우 하천수가 침입침윤을 통하여 지하수를 함양하게 된다.

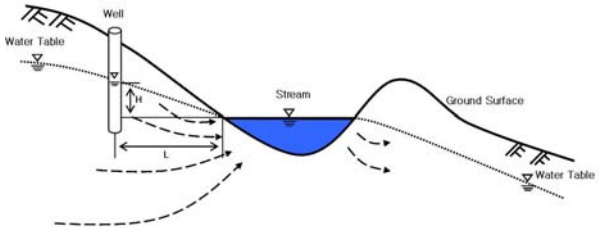

Fig. 3. Schematic Diagram for the Interaction between Stream and Groundwater

연구대상지역에 Darcy의 법칙을 적용하여 하천수와 지하수의 교류량을 산정하는데 필요한 지하수위 및 대수층 자료를 수집하였다. 자료 중 투수계수는 변화폭이 커서 결과에 많은 영향을 미침으로 Grubbs and Beck test(윤용남, 2007)를 이용하여 이상치 검정을 수행하였으며 검정을 통과하지 못한 자료는 제외하였다. 하천과 하천에 가장 근접한 우물과의 거리 및 연 평균 수위차를 구하였다. 이들 자료로부터 Darcy의 법칙을 이용하여 소유역별 하천수와 지하수의 교류량을 산정하였다. 지하수와 하천수의 교류량을 산정하기 위하여 수자원 단위지도를 기초로 16개소의 소유역을 설정하였으며 소유역도는 Fig. 4와 같다. 달창댐 유역이 유역면적 12.26 km^2로 가장 작으며 신천상류 유역이 유역면적 110.03 km^2로 가장 크다. 유로길이는 달창댐 유역이 0.93 km로 가장 짧으며 고령교 유역이 31.08 km로 가장 길다. 연구대상지역의 유역면적은 885.7 km^2이고 유로길이는 239.27 km이다. 소유역별 투수계수는 고령교 유역이 평균 3.9364 m/day로 가장 크며 신천상류 유역이 평균 0.0864 m/day로 가장 작으며 전 유역의 평균 투수계수는 0.6393 m/day였다. 지하수의 하천유출시의 동수경사는 현풍수위표 유역이 평균 0.0866943으로 가장 크며 차천 유역이 평균 0.0074170으로 가장 작으며 전 유역의 평균 동수경사는 0.0275021이었다. 하천수의 지하수 함양시의 동수경사는 고령교 유역에서 평균 0.0868228로 가장 크고 동촌수위표와 달창댐 유역에서는 지하수의 하천유출이 발생하지 않으며 전 유역의 평균동수경사는 0.0298985이었다.

Fig. 4. 16 Watersheds for Quantifying the Interaction

4. 결과 및 고찰

소유역별 하천수와 지하수의 교류량 산정결과는 Table 1과 같다. 본 표에서 하천으로 유출하는 지하수량은 소유역별로 147,000~ 19,500,000 m^3/year의 범위를 가짐을 나타내고 있다. 하천으로 유출하는 지하수량이 가장 적은 남천의 경우 평균 동수경사가 0.0095492로 적으며 지하수 이용량이 856,000 m^3/year로 지하수 양수에 의해 지하수의 하천 유출이 영향을 받기 때문인 것으로 여겨진다. 하천으로 유출하는 지하수량이 가장 많은 공산댐 유역의 경우 평균동수경사가 0.0603239로 크기 때

문으로 판단된다. 지하수로 유입되는 하천수량은 소유역별로 0 ~ 21,302,000 m^3/year의 범위를 가진다. 특히 동촌수위표 유역과 달창댐 유역에서는 하천수의 지하수함양이 발생하고 있지 않음을 나타내고 있다. 동촌수위표 유역은 금호강이 유하하고 있어 하천의 수량은 많으나 인근 지하수위가 하천수위 보다 높으며 달창댐 유역의 경우 하천의 수량이 적고 하천수위가 낮아 하천수의 지하수함양이 발생하지 않는 것으로 판단된다. 지하수로 유입되는 하천수량이 가장 많은 고령교 유역은 지하수 이용량이 964,000 m^3/year로 많지 않으나 하천의 표고가 인근 지역 보다 높기 때문으로 판단된다. 하천수와 지하수의 교류량은 소유역별로 216,000 ~ 29,136,000 m^3/year의 범위를 나타내고 있다. 공산댐, 진천천 및 고령교 유역에서 하천수와 지하수의 교류량이 10,000,000 m^3/year 이상으로 지하수와 하천수의 교류가 활발함을 나타내고 있다. 이들 유역에서는 지하수와 하천수의 수질이 서로 영향을 크게 미치기 때문에 하천수와 지하수의 수질관리 시에 교류관계를 고려해야 함을 알 수 있다. 연 지하수 유출량 수지는 소유역별로 -13,468,000 ~ 17,453,000 m^3/year의 범위를 가지며 대부분의 유역에서 지하수의 하천 유출량이 하천수의 지하수 함양량 보다 많음을 나타내고 있다. 그러나 남천, 신천하류 및 고령교 유역에서 하천수의 지하수 함양량이 지하수의 하천 유출량 보다 많음을 나타내고 있다. 이들 유역에서는 남천(856,000 m^3/year), 신천하류(8,300,000 m^3/year) 및 고령교(964,000 m^3/year)에서 지하수 이용량이 많아 하천으로부터의 유발함양이 발생되기 때문으로 여겨진다. 이들 유역에서는 하천수의 수질이 지하수수질에 영향을 미치기 때문에 지하수의 수질 보존을 위해서 하천수의 수질관리가 필요함을 알 수 있다.

대구지역의 지하수의 하천유출량은 72,425,000 m^3/year이고 하천수의 지하수 함양량은 35,295,000 m^3/year로 하천수와 지하수의 교류량은 107,720,000 m^3/year이며 지하수의 하천 유출량이 하천수의 지하수 함양량 보다 37,130,000 m^3/year 많음을 알 수 있다.

Table 2에 대구지역의 소유역별 단위면적 및 하천의 단위길이 당 지하수의 하천유출량이 나타나있다. 본 표에 의하면 단위면적당 연 지하수 평균 유출량은 82,000 m^3/year/km^2이고 하천의 단위길이 당 연 지하수 평균 유출량은 267,000 m^3/year/km임을 알 수 있다. 단위면적당 지하수 유출량이 가장 많은 소유역은 공산댐으로 330,000 m^3/year/km^2이고 가장 적은 소유역은 남천과 현풍수위표로 6,000 m^3/year/km^2임을 나타내었다. 하천의 단위길이 당 지하수 유출량이 가장 많은 소유역은 공산댐으로 1,270,000 m^3/year/km이고 가장 적은 소유역은 남천으로 9,000 m^3/year/km임을 알 수 있다. 공산댐 유역에서는 지하수의 하천 유출량이 풍부함으로 하천으로 유출하는 지하수의 이용과 보존 방안의 마련이 필요하고 남천과 현풍수위표 유역에서는 기저유출량 확보대책의 수립이 필요하다고 판단된다.

Table 1. Groundwater Interaction in the Small Basin (Unit: 1000 m^3/year)

Basin	Effluent seepage	Influent seepage	Interaction	Groundwater flow balance
Geumhogang Junction(201108)	774	264	1,038	510
Namcheon(201210)	147	1,696	1,843	-1,549
Dongchon Point(201211)	7,857	0	7,857	7,857
Gongsan Dam(201212)	19,500	2,047	21,547	17,453
Donghwacheon(201213)	8,015	1,486	9,501	6,529
Middle Geumhogang(201214)	5,405	384	5,789	5,021
Upper Sincheon(201215)	6,674	350	7,024	6,324
Lower Sincheon(201216)	1,630	5,410	7,040	-3,780
Palgecheon(201217)	1,444	187	1,631	1,257
Lower Geumhogang(201219)	1,379	462	1,841	917
Jincheoncheon(201401)	10,323	886	11,209	9,437
Goryung Bridge(201402)	7,834	21,302	29,136	-13,468
Hyunphung Point(201403)	369	51	420	318
Dalchang Dam(201404)	216	0	216	216
Chacheon(201405)	252	205	457	47
Whecheon Junction(201406)	606	565	1,171	41
Total	72,425	35,295	107,720	37,130

Table 2. Effluent Seepage to the Stream per Unit Area and Unit Length

Basin	Effluent seepage (1000 m^3/year)	Unit area (1000 m^3/year/km^2)	Unit length (1000 m^3/year/km)
Geumhogang Junction(201108)	774	15	39
Namcheon(201210)	147	6	9
Dongchon Point(201211)	7,857	127	391
Gongsan Dam(201212)	19,500	330	1,270
Donghwacheon(201213)	8,015	196	419
Middle Geumhogang(201214)	5,405	85	425
Upper Sincheon(201215)	6,674	61	329
Lower Sincheon(201216)	1,630	30	127
Palgecheon(201217)	1,444	37	95
Lower Geumhogang(201219)	1,379	21	62
Jincheoncheon(201401)	10,323	141	752
Goryung Bridge(201402)	7,834	82	217
Hyunphung Point(201403)	369	6	22
Dalchang Dam(201404)	216	18	117
Chacheon(201405)	252	9	31
Whecheon Junction(201406)	606	15	30
Total	72,425		
Average		82	267

Table 3. Influent Seepage from the Stream per Unit Area and Unit Length

Basin	Influent seepage (1000 m^3/year)	Unit area (1000 m^3/year/km^2)	Unit length (1000 m^3/year/km)
Geumhogang Junction(201108)	264	5	13
Namcheon(201210)	1,696	68	103
Dongchon Point(201211)	0	0	0
Gongsan Dam(201212)	2,047	35	133
Donghwacheon(201213)	1,486	36	78
Middle Geumhogang(201214)	384	6	30
Upper Sincheon(201215)	350	3	17
Lower Sincheon(201216)	5,410	100	423
Palgecheon(201217)	187	5	12
Lower Geumhogang(201219)	462	7	21
Jincheoncheon(201401)	886	12	65
Goryung Bridge(201402)	21,302	222	589
Hyunphung Point(201403)	51	1	3
Dalchang Dam(201404)	0	0	0
Chacheon(201405)	205	7	25
Whecheon Junction(201406)	565	14	28
Total	35,295		
Average		40	130

Table 4. Interaction between Surface Water and Groundwater per Unit Area and Unit Length

Basin	Interaction (1000 m^3/year)	Unit area (1000 m^3/year/km^2)	Unit length (1000 m^3/year/km)
Geumhogang Junction(201108)	1,038	20	52
Namcheon(201210)	1,843	74	112
Dongchon Point(201211)	7,857	127	391
Gongsan Dam(201212)	21,547	364	1,403
Donghwacheon(201213)	9,502	233	497
Middle Geumhogang(201214)	5,790	91	455
Upper Sincheon(201215)	7,023	64	347
Lower Sincheon(201216)	7,040	131	550
Palgecheon(201217)	1,631	42	107
Lower Geumhogang(201219)	1,841	28	83
Jincheoncheon(201401)	11,209	153	817
Goryung Bridge(201402)	29,136	303	806
Hyunphung Point(201403)	419	7	25
Dalchang Dam(201404)	216	18	117
Chacheon(201405)	457	16	55
Whecheon Junction(201406)	1,171	29	57
Total	107,720		
Average		122	396

Table 3에 소유역별 단위면적 및 하천의 단위길이 당 하천수의 지하수 함양량이 나타나있다. 본 표에 의하면 단위면적당 연 평균 하천수의 지하수 함양량은 40,000 m^3/year/km^2이고 하천의 단위길이 당 연 평균 하천수의 지하수 함양량은 130,000 m^3/year/km임을 알 수 있다. 단위면적당 하천수의 지하수 함양량이 가장 많은 소유역은 고령교 유역으로 222,000 m^3/year/km^2이고 가장 적은 소유역은 동촌수위표와 달창댐 유역으로 하천수의 지하수 함양량이 없음을 나타내었다. 하천의 단위길이 당 하천수의 지하수 함양량이 가장 많은 소유역은 고령교 유역으로 589,000 m^3/year/km이고 가장 적은 소유역은 동촌수위표와 달창댐유역으로 단위길이 당 하천수의 지하수 함양량이 없음을 알 수 있다.

Table 4에 연구대상지역의 단위면적 및 하천의 단위길이 당 하천수와 지하수의 교류량이 나타나있다. 본 표에 의하면 단위면적당 연 평균 하천수와 지하수의 교류량은 122,000 m^3/year/km^2이고 하천의 단위길이 당 연 평균 하천수와 지하수의 교류량은 396,000 m^3/year/km임을 알 수 있다. 단위면적당 하천수와 지하수의 교류량이 가장 많은 소유역은 공산댐 유역으로 364,000 m^3/year/km^2이고 가장 적은 소유역은 현풍수위표 유역으로 7,000 m^3/year/km^2 임을 나타내었다. 하천의 단위길이 당 하천수와 지하수의 교류량이 가장 많은 소유역은 공산댐 유역으로 1,403,000 m^3/year/km이고 가장 적은 소유역은 현풍수위표 유역으로 25,000 m^3/year/km임을 알 수 있다.

이들 결과로부터 연구대상지역에서 하천수와 지하수의 교류가 대단히 활발하고 교류량과 교류양상이 지역에 따라 차이가 큼을 알 수 있다. 본 연구는 제한된 자료를 이용하여 대상지역의 하천수와 지하수의 교류량을 산정하였음으로 보다 많은 자료의 확보를 통하여 보다 정도 높은 교류량의 파악이 이루어질 수 있을 것이다. 도시지역의 하천수와 지하수의 교류량 산정은 지하수의 개발, 이용 그리고 수자원의 관리 및 하천수와 지하수 상호간의 수질에 미치는 영향 파악에 기여하리라 여겨진다.

5. 결 론

대구지역을 대상으로 16개 소유역으로 구분하여 Darcy식을 이용하여 지표수와 지하수의 교류량을 산정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연구대상지역의 지하수의 하천유출량은 72,425,000 m^3/year이고 하천수의 지하수 함양량은

35,295,000 m^3/year로 지하수의 하천 유출량이 하천수의 지하수 함양량 보다 37,130,000 m^3/year 많으며 하천수와 지하수의 교류량은 107,720,000 m^3/year이다.

2) 연구대상지역의 단위면적당 연평균 지하수의 하천 유출량은 82,000 m^3/year/km^2이고 하천의 단위길이 당 연 평균지하수 하천유출량은 267,000 m^3/year/km이다. 소유역의 단위면적당 지하수 유출량은 6,000 m^3/year/km^2(남천과 현풍수위표)~ 330,000 m^3/year/km^2(공산댐)의 범위를 가진다. 소유역의 하천의 단위길이 당 지하수 유출량은 9,000 m^3/year/km(남천)~ 1,270,000 m^3/year/km (공산댐)의 범위를 가진다.

3) 연구대상지역의 단위면적당 연 평균 하천수의 지하수 함양량은 40,000 m^3/year/km^2이고 하천의 단위길이 당 연 평균 하천수의 지하수 함양량은 130,000 m^3/year/km이다. 소유역의 단위면적당 하천수의 지하수 함양량은 0 m^3/year/km^2(동촌수위표와 달창댐)~ 222,000 m^3/year/km^2(고령교)의 범위를 가진다. 소유역의 하천의 단위길이 당 하천수의 지하수 함양량은 0 m^3/year/km(동촌수위표와 달창댐)~589,000 m^3/year/km(고령교)의 범위를 가진다.

4) 연구대상지역의 단위면적당 연 평균 하천수와 지하수의 교류량은 122,000 m^3/year/km^2이고 하천의 단위길이 당 연 평균 하천수와 지하수의 교류량은 396,000 m^3/year/km이다. 소유역의 단위면적당 하천수와 지하수의 교류량은 7,000 m^3/year /km^2(현풍수위표)~364,000 m^3/year/km^2(공산댐)의 범위를 가진다. 소유역의 하천의 단위길이 당 하천수와 지하수의 교류량은 25,000 m^3/year/km (현풍수위표)~1,403,000 m^3/year/km(공산댐)의 범위를 가진다.

5) 도시지역에 대한 하천수와 지하수의 교류량 산정은 합리적인 도시지역의 수자원의 종합관리 그리고 지하수개발, 이용 및 관리를 위하여 필요함으로 보다 정도 높은 결과를 얻기 위한 연구가 지속적으로 이루어지는 것이 바람직하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-3-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

건설교통부 (2004). **전국하천일람**.

건설교통부, 한국수자원공사 (2004). **대구지하수 기초조사 보고서.**

건설교통부, 한국수자원공사 (2006). **지하수 조사 연보.**

기상청 (2006). **강우량관측자료** http://www.kma.go.kr

김수원, 배상근 (1996). "도시화에 의한 지하수 환경의 변화." **상하수도학회지**, 상하수도학회, 제10권, 제1호, pp. 69-77.

김윤종, 원종석, 이석민 (2000). "GIS를 이용한 서울시 지하수 오염분석 연구." **The Journal of GIS Association of Korea**, 제8권, 제2호, pp. 317-328.

김형석, 박경선 (1998). "서울 일부지역 지하수 중 중금속함량에 관한 연구." **한국환경 분석학회지**, 한국환경 분석학회, 제1권, 제2호, pp. 159-163.

대구광역시 (2004). **대구광역시 통계연보.**

대구광역시 (2007). **대구광역시 통계자료실** http://www.daegu. go.kr

어수미, 오수경, 박성배 (1989). "서울지역 지하수의 오염도와 성분별 상관성 검토." **한국환경위생학회지**, 한국환경위생학회, 제15권, 제1호, pp. 51-62.

윤용남 (2007). **수문학**, 청문각.

최무웅 (1991). "도시환경과 지하수", **지하수**. Vol. 1, pp. 52-57.

홍성훈, 한수영, 박남식 (2003). "해안지역의 지하수 개발가능량 평가", **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제3B호, pp. 201-207.

Corbett, D.R., Burnett, W.C., and Chanton, J.P. (2000). "Submarine groundwater discharge, an unseen yet potentially important coastal phenomenon." SGEB-54.

Edmunds, W.M, Carrillo-Rivera, J.J., and Cardona, A. (2002). "Geochemical evolution of groundwater beneath Mexico City." *Journal of Hydrology*, Vol. 258, pp. 1-24.

Ellis, P.A., Mackay, R., and Rivett, M.O. (2007). "Quantifying urban river-aquifer fluid

exchange processes: A multi-scale problem." *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 91, pp. 58-80.

Foster, S.S.D. and Chilton, P.J. (2004). "Downstream of downtown: urban wastewater as groundwater recharge." *Hydrogeology Journal*, Vol. 12, pp. 115-120.

Navarro, A. and Carbonell, M. (2007). "Evaluation of groundwater contamination beneath an urban enviroment: The Besos river basin(Barcelona, Spain)." *Journal of Environmental Management*, Vol. 85, No. 2, pp. 259-269.

Nield, S.P., Townley, L.R., and Barr, A.D. (1994). "A framework for quantitative analysis of surface water- groundwater interaction: flow geometry in a vertical section." *Water Resources Research*, Vol. 30. pp. 2461-2474.

Schilling, K.E., Li, Z., and Zhang, Y. (2006). "Groundwater-surface water interaction in the riparian zone of an incised channel, Walnut Creek, Iowa." *Journal of Hydrology*, Vol., 327, pp. 140-150.

Sophocleous, M. (2002). "Interactions between groundwater and surface water: the state of the science." *Hydrogeology Journal*, Vol. 10. pp. 52-67.

Szilagyi, J., Parlange, M.B., and Balint, G. (2006). "Assessing stream-aquifer interactions through inverse modeling of flow routing." *Journal of Hydrology*, Vol. 327, pp. 208-218.

Thomas, A. and Tellam, J. (2006). "Modeling of recharge and pollutant fluxes to urban groundwaters." *Science of The Total Environment*, Vol. 360, pp. 158-179.

Toth, J. (1963). "A theoretical analysis of flow in small drainage basins." *Proceedings of Hydrology Symposium*, No. 3, Groundwater, pp. 75-96.

Younger, P.L., Mackay, R.J., and Connoton, B.J. (1993). "Streambed sediment as a barrier to groundwater pollution: insights from field-work and modelling in the River Tames basin." *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*, Vol. 7, pp. 577-585.

Winter, T.C. (1999). "Relation of streams, lakes and wetlands to groundwater flow systems." *Hydrogeology Journal*, Vol. 7, pp. 28-45.

Woessner, W.W. (2000). "Stream and fluvial plain ground water interactions: rescaling hydrologic thought." *Ground Water*, Vol. 38, pp. 423-429.

(논문번호:08-06/접수:2008.01.11/심사완료:2008.07.09)