

## 도시지역의 지하수수지

이승현 · 배상근\*

계명대학교 토목공학과

(2011년 8월 24일 접수; 2011년 10월 17일 수정; 2011년 11월 24일 채택)

## Groundwater Balance in Urban Area

Seung Hyun Lee, Sang Keun Bae\*

*Department of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea*

(Manuscript received 24 August, 2011; revised 17 October, 2011; accepted 24 November, 2011)

### Abstract

The study analyzes groundwater balance with regard to the water recharge and discharge which contain urbanization components in Suyeong-gu, Busan. It also verifies the reliability and accuracy improvement on the analysis of the balance. The result of the study is viewed as preliminary data which are useful to develop, utilize and manage groundwater. The average quantity of groundwater recharge is 6,014.1 m<sup>3</sup>/day in the research area during the last ten year period(from 1998 to 2007). The outflow from drainage areas to rivers and coasts is 149.3 m<sup>3</sup>/day, the inflow from rivers and coasts to drainage area is 439.9 m<sup>3</sup>/day. The use of the water is 4,243.0 m<sup>3</sup>/day. The outflow caused by subway in line No.2 and No.3 through Suyeong-gu and the one by building an underground electric complex is 1,500.0 m<sup>3</sup>/day. The leakage of water works is 6514.9 m<sup>3</sup>/day. The inflow and outflow of sewerage is 5082.2 m<sup>3</sup>/day from groundwater to sewer. The amount of groundwater recharge, the inflow from rivers and coasts to drainage area, and the leakage of water works belong to the amount of groundwater inflow and the total amount is 12,968.9 m<sup>3</sup>/day. The amount of outflow from drainage area to rivers and coasts, the use of groundwater, outflow by subway and underground electric complex tunnel and the amount of inflow of the water to sewerage belong to the amount of outflow of groundwater and the sum amount is 13,031.5 m<sup>3</sup>/day. The gap between the amount of inflow and outflow of groundwater is 62.6 m<sup>3</sup>/day, which is considered to reflect the trend that the short term drop in the amount of rainfall results in the amount of groundwater recharge and that the amount of outflow from drainage area to rivers and coasts decreases.

**Key Words** : Groundwater, Recharge, Groundwater balance, Urbanization

### 1. 서론

수자원의 이용이 다양하여 양적/질적 수요가 증가하고 있는 도시지역은 수자원 공급의 문제점이 발생할 경우 타 지역에 비하여 더욱 큰 영향을 미칠 수 있

으며 그로 인한 피해도 심각할 수 있다. 도시지역은 지표수 공급의 한계와 불안정성으로 인하여 지하수의 이용량이 증가하고 있으나 불투수층의 증가에 따라 함양량은 감소하고 있고 지하철 등 대규모 지하시설의 건설 등으로 인하여 지하수의 유동량과 유동방향이 변화하여 지하수량 뿐만 아니라 인근 하천의 유량에도 영향을 미치고 있다. 도시지역은 수문학적 특성이 복잡하기 때문에 지표 유출과 지하수함양이 다른 지역과 차이가 있으며 강우 양상의 변화는 그 폭을 증

\*Corresponding author : Sang Keun Bae, Department of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea  
Phone: +82-53-580-5295  
E-mail: skbae@kmu.ac.kr

대시키고 있다. 특히 해안 도시지역은 지하수 이용의 의존도가 높기 때문에 지하수위 저하, 지하수질의 악화 및 기저 유출량의 감소, 해수침투와 같은 잠재적 지하수오염 가능성이 높다. 이러한 문제점들을 해결하고 대비하기 위해서는 도시지역의 물수지 분석이 필요하다.

지하수수지와 물수지에 관한 연구는 대상지역에 따라 접근 방법이 다양하고 결과의 정확도나 신뢰성이 차이가 날 수 있다. 이는 불확실성을 가지고 있는 함양량, 증발산량, 기저유출량 등의 기여도에 의한 차이이며 지속적으로 작용하는 요소들의 경우 시간적 문제를 고려하지 않아 생길 수도 있는 문제이다. 단기간의 도시화 현상으로 지속적으로 물수지의 요소들이 변화하고 다양해지며 수량 또한 많은 도시지역에서는 물수지를 해석하는데 많은 어려움이 있다.

도시지역은 일반적으로 지하수수지에 영향을 주는 지하수함양과 지하수유출뿐만 아니라 지하수이용량, 상하수도 누수량, 지하철로 인한 유출량 등과 같은 도시화 요소들도 고려되어야 하지만 이러한 것들을 명확하게 규명하는 것은 매우 어렵다. 따라서 수문계측 기술의 향상과 물수지, 지하수수지, 물순환에 대한 지속적인 연구들이 이루어져 물수지 해석의 정확도가 높아져야만 원활한 지하수의 공급과 효율적이고 체계적인 관리가 가능할 것이다.

도시지역 지하수수지의 정량적 평가에 대한 연구는 국내의 모두 부족하지만 지표수-지하수 연계 평가나 지하수수지 각각의 구성요소들에 대한 연구들은 많이 이루어져 있다. 유 등(2001)은 시험유역인 강원도 양양 남대천 유역을 대상으로 하천의 수위, 유량 변화 그리고 지하수위의 변화의 관측을 통하여 동적 연계 해석을 하였고 김과 정 등(2006)에 의하여 완전연동형 SWAT-MODFLOW(Soil and Water Assessment Tool-MODFLOW) 모형의 개발과 함께 제주도과 여러 시험유역을 대상으로 그 효율성을 입증하였으며 안 등(2009)은 GMS-MODFLOW(Groundwater Modeling System-MODFLOW) 연계 모형을 이용하여 양수기간에 따른 지하수유동분석을 실시하였다. 이외에도 배와 이(2008)는 대구광역시를 대상으로 지하수와 하천수의 교류량을 평가하는 등 지표수-지하수 연계 해석은 수자원 평가의 주요 조건으로 인식되어 가고 있

다. 국외의 경우 국내보다 지하수수지에 관한 많은 연구들이 이루어지고 있는데 Voudouris(2006)는 그리스 Korinthia 북부 해안 지역의 지하수수지를 구성하는 인자들의 수량을 추정하고 분석하여 과도한 지하수이용으로 인하여 해수침투와 지하수오염이 발생되었다고 하였다. Nowel과 Mbue(2009)는 중국의 Zhongmu County를 대상으로 유입량과 유출량에 대한 각각의 인자를 구분하여 지하수수지를 평가하여 용수 사용의 기준을 제시하였다. 하지만 이러한 연구들은 지표수 평가에 대한 연구이거나 자연상태에서의 지하수수지 구성요소들의 적용 기법에 대한 연구와 도시화 요소들을 고려되지 않은 지역들에 대한 연구들이 대부분이다.

이와같이 도시지역에서의 지하수개발 및 관리를 위해서는 지하수수지를 구성하는 모든 인자들에 대한 조사 및 검토를 통하여 지하수수지를 산정하는 것이 필요하나 이에 대한 연구가 부족하다. 본 연구에서는 부산광역시 수영구를 대상으로 도시지역의 지하수수지를 형성하는 인자들인 지하수 함양, 지하수 유출, 그 외 도시적 변화인자들을 파악하여 지하수수지를 산정하고 분석하여 향후 도시지역의 지하수개발 및 관리에 기여할 수 있도록 하였다.

## 2. 자료 및 방법

연구대상지역인 수영구는 부산광역시 동남부의 황령산 남측에 자리 잡고 있으며, 도심으로부터 7.8 km ~ 12.0 km에 위치하고 있다. 주변지역은 동북쪽으로 수영강을 경계로 해운대구와 서남쪽으로는 대남로타리를 경계로 연제구와 남구 등 4개의 자치구와 인접하고 있고 서북쪽으로는 금련산을 경계로 부산진구와, 북쪽으로는 동래구와 접하고 있으며 도심과 외곽지역을 연결하는 통과지역에 입지하여 교통이 혼잡한 편이며, 남쪽은 해안에 접해있는 지역이다. 경·위도 상으로는 동경 129° 05' 37.67" ~ 129° 08' 05.96", 북위 35° 08' 08.91" ~ 35° 10' 59.42"에 위치하고 있다(Fig. 1).

연구대상지역의 면적은 부산광역시 총면적 765.10 km<sup>2</sup>(2006년 12월 31일 기준)의 약 1.33 %에 해당하고 10.21 km<sup>2</sup>이고, 세부적으로는 광안동이 3.71 km<sup>2</sup>(구성비

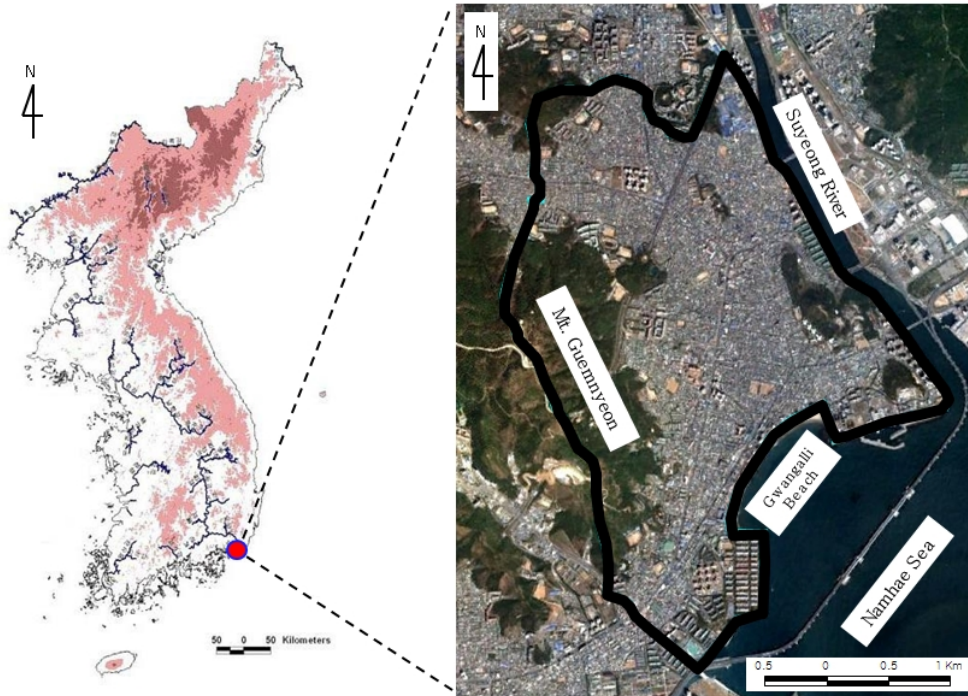


Fig. 1. Study area.

36.34 %)로 가장 넓고, 수영동이 0.72 km<sup>2</sup>(구성비 7.05 %)로 가장 적다(부산광역시 수영구, 2008).

연구대상지역으로 선정된 부산광역시 수영구 일대는 도시화가 진행되어 포장지역이 넓게 분포하고 있고 수영구 내에는 수백공의 우물과 온천공을 개발하여 지하수를 이용하고 있으며 지하철과 전력구를 통하여 지하수가 유출되고 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 도시지역의 지하수수지 구성 요소

도시지역의 지하수수지는 일반적인 지하수수지를 구성하는 요소 이외에 지하철과 상하수도누수량과 같은 도시화 요소들을 포함하고 있다. 도시지역의 지하수유입량은 지하수함양량, 하천수 및 해양수 유입량, 상하수도 누수량, 유역경계 외부로부터의 지하수 유입량 등으로 구성되며 지하수유출량은 지하수의 하천 및 해양 유출량, 지하철 유출량, 지하수이용량, 유역경계 외부로의 지하수유출량 등으로 구성된다. 따라서

도시지역의 지하수수지를 분석하기 위해서는 그 지역의 특성을 파악하고 신뢰성 있는 자료를 구축하여 도시화 요소들을 포함하는 지하수수지 요소들의 파악이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 지하수 유입수지량의 산정을 위하여 지하수함양량, 하천수 및 해양수의 내륙으로의 이동량 및 상하수도 누수량을 산정한다. 또한 지하수 유출수지량의 산정을 위하여 지하수의 하천 및 해양으로의 이동량, 지하철유출량 및 지하수이용량을 산정한다. 단 수영구의 유역경계와 지형의 특성상 유역경계 외부의 유출입량은 미미할 것으로 판단되어 지하수수지 산정에서 제외하였다.

#### 3.2. 지하수함양량

지하수함양량 산정 기법 중 하나인 NRCS-CN (Natural Resources Conservation Service - Curve Number) 방법은 지하수함양에 많은 영향을 미치는 토지피복상태의 변화를 고려할 수 있으며 지속적인 연구가 이루어지고 있다. 위의 기법을 적용한 연구로는 하 등(2009)에

의해 이루어진 제주도의 토지이용변화에 따른 직접유출량 변화 추정에 대한 연구, 이와 배(2010a)의 도시지역인 부산광역시 수영구에 대하여 토지피복변화를 고려한 장기지하수함양량을 산정하고 분석한 연구등이 있다.

본 연구에서는 대상지역에 대한 47년간(1961년~2007년)의 지하수함양량 산정 자료를 이용하였다. Fig. 2는 연구대상지역의 강우량을 나타낸 것이다. 연구대상지역의 평균 강우량은 1509.3 mm로 나타났다. Fig. 3은 연도별 지하수함양량과 추세선을 나타낸 것이다. 본 그림에서, 연평균 지하수함양량은 216.0 mm이며 연평균 지하수함양률은 14.3 %로 나타났다. 연최대 함양량은 강우량이 2138.1 mm인 1970년에 408.9 mm이며 연최대 함양률은 강우량이 1492.6 mm인 1984년에 19.8 %이다. 연최소 함양량은 강우량이 901.5 mm인 1988년에 71.9 mm이며 연최소 함양률은 같은 해에 8.0 %로 나타났다. 연도의 증가에 따라 강우량은 증가하였으나 지하수함양량은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 강우사상 별 특성과 도시화 현상으로 인한 불투수지역의 증가가 가장 큰 영향으로 판단된다(이와 배, 2010a).

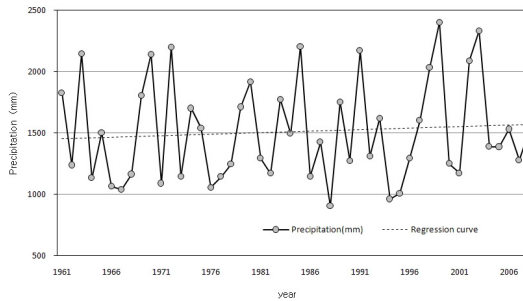


Fig. 2. Precipitation in the study area.

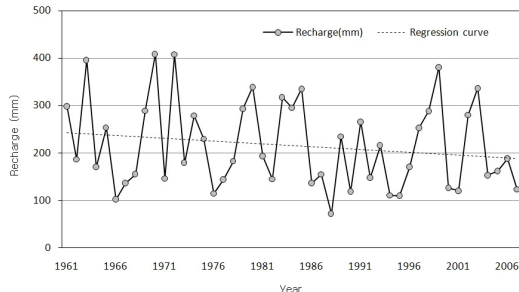


Fig. 3. Groundwater recharge in the study area.

### 3.3. 하천 및 해안으로의 지하수유출입량

지하수유출입량 산정에 관한 연구는 주로 해수침투에 대한 우려가 높은 해안지역에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며 해당지역에서의 동수경사, 대수층의 투수계수, 그리고 하천 및 해안으로 지하수가 유출되는 단면적을 이용하여 산정하는 Darcy의 법칙을 이용한 방법이 대표적이다. 대표적인 연구로는 김과 배(2005)의 지하수기초조사가 수립되어진 지역을 대상으로 지하수해안유출량을 정밀 평가한 연구, 김과 배 등(2006)의 우리나라 주요하천권역별 지하수해안유출량을 평가한 연구, 배 등(2006)의 대상지역의 지하수해안유출량을 정밀 평가하고 여기에 적용된 기초자료와 산정된 유출량의 변화특성과 불확실성을 분석한 연구가 있다.

본 연구에서는 연구대상지역에 Darcy의 법칙을 적용하여 해안으로의 지하수유출입량을 산정한 이와 배(2010b)의 연구결과를 활용하였다. 그들은 Darcy의 법칙을 적용하기 위한 변수 중 투수계수와 대수층의 두께는 부산지역 지하수기초조사(2003)와 문헌조사를 통하여 조사된 자료를 사용하였고 지하수위는 부산광역시 수영구에 대하여 2007년 12월과 2008년 7월에 일제 지하수위 관측을 통해 측정된 자료(정 등,

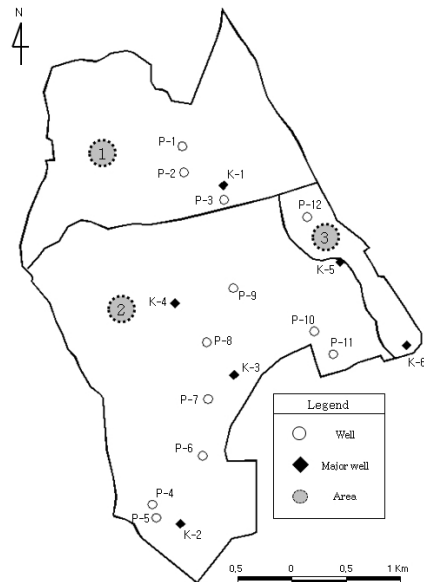


Fig. 4. Partition of small area and location of well.

2009)를 사용하였다. 일제 수위관측이 이루어진 총 377개의 관정 중 지리적 위치와 지하수이용 유·무, 적용 범위의 효율성 등을 고려하여 총 12개 관정을 지하수위 적용관정으로 선정하였으며 관련 문헌과 시추 주상도를 통한 대수층두께 및 투수계수 등의 자료를 확보할 수 있는 총 6개의 대표관정을 선정하였다. 그리고 하천의 길이와 관정으로부터 하천까지의 거리는 수치지형도를 통한 측정값을 사용하였다. 각 소구역의 구분은 지형도를 통해서 실시하였으며 결과의 신뢰성을 높이기 위해 지하수의 유동방향, 지표수의 분수계 등을 고려하였다(Fig. 4).

Table 1에 소지역별 평균 대수층두께 및 평균 투수계수가 나타나있다. 본 표에 의하면 평균 투수계수는 0.009995 m/day이며 대수층의 평균 두께는 223.7 m로 나타났다.

**Table 1.** Groundwater parameter in the small area

Area	Well	Hydraulic conductivity (m/day)	Aquifer thickness (m)
1	K-1	0.004398	236.0
	K-2	0.008800	172.9
2	K-3	0.001164	200.0
	K-4	0.001280	358.2
3	K-5	0.001470	283.0
	K-6	0.042860	92.0
Average		0.009995	223.7

**Table 2.** Groundwater interaction in the small area

Area	Groundwater interaction (m <sup>3</sup> /day)
1	-30.09
2	-281.32
3	20.82
Total	-290.59

Table 2는 소지역별로 수리상수를 Darcy의 법칙에 적용하여 지하수유출입량을 산정한 결과이다. 위의 표에서 연구대상지역의 지하수유출입량을 살펴보면 소구역1에서는 수영강으로부터 연구대상지역으로 총 30.09 m<sup>3</sup>/day의 하천수가 유입되고 있고 소구역2에서는 남해로부터 연구대상지역으로 총 281.32 m<sup>3</sup>/day의 해양수가 유입되고 있으며 소구역3에서는 연구대상지역에서 수영강 및 남해로 총 20.82 m<sup>3</sup>/day의 지하수가 유출되고 있음을 알 수 있다. 이로부터 연구대상지역에서는 총 290.59 m<sup>3</sup>/day의 하천수 및 해양수가 내륙으로 유입되고 있는 것으로 나타났다.

**3.4. 지하수이용량**

본 연구에서는 지하수 개발·이용 현황을 조사하기 위해 수영구청에서 관리를 하고 있는 지하수이용량의 자료(지하수 이용부담금 부과 관정)와 현장 방문을 통해 수집된 자료를 이용하였다(정 등, 2008).

총 377개소 중 폐공/방치공, 측정거부 및 현장에서

**Table 3.** Groundwater use in the study area

(m<sup>3</sup>/year)

Name of Dong (No. of wells)	Residential		Industrial		Agriculture Fishery		The others		Total		Missing data Wells
	Wells	Pumping amount	Wells	Pumping amount	Wells	Pumping amount	Wells	Pumping amount	Wells	Pumping amount	
Gwangan (177)	150	761,220	4	3,612	2	1,860	1	72,000	157	838,692	20
Namcheon (82)	53	218,844	2	3,552	1	19,596	0	0	56	241,992	26
Mangmi (64)	47	196,404	3	8,868	0	0	1	24,156	51	229,428	13
Millak (32)	21	98,652	1	48	1	360	0	0	23	99,060	9
Suyeong (22)	18	81,564	0	0	0	0	1	40,224	19	121,788	3
Total (377)	289	1,356,684	10	16,080	4	21,816	3	136,380	306	1,530,960	71

위치확인이 불가한 71개소를 제외한 306개소를 대상으로 조사한 결과, 연평균 지하수이용량은 1,530,960 m<sup>3</sup>이고, 일평균 지하수이용량은 4,243 m<sup>3</sup>으로 조사되었다. 용도별로는 생활용이 289개소에서 연평균 1,356,684 m<sup>3</sup>(일평균 지하수이용량은 3,760 m<sup>3</sup>)로 가장 많이 이용하는 것으로 나타났고, 세부적으로는 일반용 지하수의 이용이 많은 것으로 조사되었다. 동별로는 광안동이 177개소에서 연평균 838,692 m<sup>3</sup>(일평균 지하수이용량은 2,321 m<sup>3</sup>)로 가장 많고, 민락동이 32개소에서 연평균 99,060 m<sup>3</sup>(일평균 지하수이용량은 275 m<sup>3</sup>)로 가장 적게 이용하는 것으로 나타났다.

### 3.5. 지하철 지하수유출량

#### 3.5.1. 지하철 지하수유출량

수영구 내 지하철의 지하수유출량은 6개 역사에서 일일 발생량이 총 2,057 m<sup>3</sup>으로 망미역사 1,000 m<sup>3</sup>, 민락역사 551 m<sup>3</sup>, 금련산역사 281 m<sup>3</sup>, 광안역사 175 m<sup>3</sup>, 수영역사 50 m<sup>3</sup>으로 나타났으며 남천 역사에서는 지하수 유출량이 발생하고 있지 않았다(부산교통공사, 2008).

#### 3.5.2. 지하철 전력구 터널 지하수유출량

연구대상지역 내의 신양산-동부산 전력구 공사위치에 유출지하수 일일 발생량이 1,500 m<sup>3</sup> 발생(2008년 기준)하고 있다.

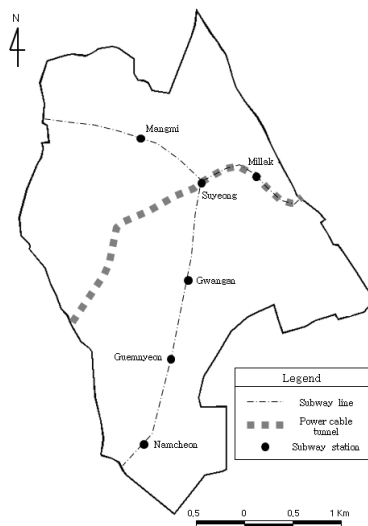


Fig. 5. Locations of subway line and power cable tunnel.

### 3.6. 상수도 누수량

부산광역시 수영구의 일평균 상수도 생산량은 2007년 기준 53,401 m<sup>3</sup>/day이며 이를 기준으로 부산광역시 전체의 누수율인 12.2%(환경부, 2008a)를 적용하여 상수도 누수량을 산정하면 6514.9 m<sup>3</sup>/day가 된다.

### 3.7. 하수도 유출입량

상수의 경우 총 생산량과 실사용량이 요금부과를 통하여 명확하게 구분이 되어 누수량의 추정이 가능하지만 하수의 경우 수량의 추적이 매우 어렵다. 또한 하수도의 설치 위치 및 노화에 따라 지하수로의 누수 혹은 유입이 될 수 있지만 이를 구분하는 것도 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 하수도통계 자료(환경부, 2008b)를 토대로 수영구의 하수 발생량과 수영구의 하수를 처리하는 공공하수처리 시설의 처리량을 분석한 후 하수의 유출입량을 산정하는 것이 현실적으로 가장 바람직한 방법이라 판단하였다.

부산광역시 전체 하수 발생량은 882,879 m<sup>3</sup>/day 이고 이중 수영구에서는 44,956 m<sup>3</sup>/day의 하수가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 수영구에서 발생한 하수의 처리는 동래구에 위치하는 수영하수처리시설과 남구에 위치하는 남부하수처리시설에서 하고 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 하수처리시설의 처리구역이 여러 구에 속해 있어 수영구의 가장 신뢰성 있는 처리량의 산정을 위해 4개(중앙, 수영, 남부, 기장)의 공공처리 시설의 자료를 활용하였다. 4개(중앙, 수영, 남부, 기장)의 공공처리시설에서 처리하고 있는 지역은 중앙하수처리시설에서 중구, 서구, 동구일부의 하수를 처리하고 수영하수처리시설에서 동래구, 연제구, 금정구, 부산진·해운대·수영구일부의 하수를 처리하고 남부하수처리시설에서 남구, 부산진·수영구·동구일부의 하수를 처리하고 기장하수처리시설에서 기장군, 해운대구일부의 하수를 처리하고 있다.

따라서 4개(중앙, 수영, 남부, 기장)의 하수처리시설에서 처리하는 11개 구의 하수 발생량은 598,823 m<sup>3</sup>/day 이고 4개(중앙, 수영, 남부, 기장)의 하수처리시설의 하수 처리량은 826,101 m<sup>3</sup>/day 이며 그 차는 227,278 m<sup>3</sup>/day 이다. 이 양은 수영구를 포함한 11개 구의 양이므로 수영구의 면적 대비를 고려한 추가 하

수 처리량은 5082.2 m<sup>3</sup>/day이 된다. 본 연구에서는 이 추가 하수 처리량을 지하수의 하수관로 유입으로 판단하고 지하수수지에 반영하였다.

3.8. 지하수수지 분석

지하수수지 요소들인 지하수함양량, 하천수 및 해양수 유입량, 지하수이용량, 상수도 누수량, 하수관 유출입량, 지하철유출량, 지하철 전력구 터널 지하수유출량을 정리하면 Table 4와 같다.

지하수함양량은 최근 10년(1998년 ~ 2007년)간의 평균값인 6,014.1 m<sup>3</sup>/day를 적용하였다. 유역내에서 하천 및 해안으로의 유출량은 149.3 m<sup>3</sup>/day이며 하천 및 해안에서 유역으로의 유입량은 439.9 m<sup>3</sup>/day이다. 지하수이용량은 4,243.0 m<sup>3</sup>/day를 적용하였으며 수영구 내를 통과하는 지하철 2호선과 3호선에서의 지하철 유출량은 2,057.0 m<sup>3</sup>/day, 지하철 전력구 공사에서 발생하는 지하수유출량은 1,500.0 m<sup>3</sup>/day를 적용하였다. 상수도 누수량은 6514.9 m<sup>3</sup>/day를 적용하였으며 하수도 유출입량은 11개 구의 하수 발생량과 4개의 하수처리장의 처리량을 이용하여 지하수에서 하수도로 유입되는 5082.2 m<sup>3</sup>/day를 적용하였다.

지하수함양량, 하천 및 해안에서 유역으로의 유입량, 상수도누수량은 지하수유입량에서 속하며 총 수량은 12,968.9 m<sup>3</sup>/day이고, 유역에서 하천 및 해안으로의 유출량, 지하수이용량, 지하철유출량, 지하철 전력구 터널 지하수유출량, 하수도로의 지하수유입량은 지하수유출량에 속하며 총 수량은 13,031.5 m<sup>3</sup>/day이

다. 지하수유입량과 지하수유출량의 차는 62.6 m<sup>3</sup>/day이다.

4. 결론

부산광역시 수영구를 대상으로 도시지역의 지하수수지에 영향을 주는 인자들을 분석하고 지하수수지를 산정하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 지하수함양량은 6,014.1 m<sup>3</sup>/day, 유역내에서 하천 및 해안으로의 유출량은 149.3 m<sup>3</sup>/day, 하천 및 해안에서 유역으로의 유입량은 439.9 m<sup>3</sup>/day, 지하수이용량은 4,243.0 m<sup>3</sup>/day, 지하철 전력구 공사에서 발생하는 지하수유출량은 1,500.0 m<sup>3</sup>/day, 상수도 누수량은 6514.9 m<sup>3</sup>/day, 하수도 유출입량은 지하수에서 하수도로 유입되는 5082.2 m<sup>3</sup>/day이었다.
- ② 지하수체로 유입하는 지하수유입량은 지하수함양량, 하천 및 해안에서 유역으로의 유입량, 상수도 누수량으로 총 수량은 12,968.9 m<sup>3</sup>/day이었고, 지하수체로 부터 유출하는 지하수유출량은 유역에서 하천 및 해안으로의 유출량, 지하수이용량, 지하철 유출량, 지하철 전력구 터널 지하수유출량, 하수도로의 지하수유입량으로 총 수량은 13,031.5 m<sup>3</sup>/day이었다.
- ③ 연구대상지역의 지하수유입량과 유출량의 차는 62.6 m<sup>3</sup>/day이며 이는 단기간의 강우량 감소로 지

Table 4. Groundwater balance in the study area.

Factor	Influent (m <sup>3</sup> /day)	Effluent (m <sup>3</sup> /day)
Groundwater recharge	6,014.1	
Outflow from drainage areas to rivers and coasts		149.3
Inflow from rivers and coasts to drainage area	439.9	
Pumping wells		4,243.0
Leakage of waterworks	6,514.9	
Inflow from drainage area to sewerage		5082.2
Outflow from drainage areas to subway		2,057.0
Outflow from drainage areas to power cable tunnel		1,500.0
Total	12,968.9	13,031.5
Groundwater balance		62.6

하수함양량의 줄어든 것과 유역내에서 하천 및 해양수로의 유출량의 감소 추세를 반영한 결과로 볼 수 있다.

- ④ 주된 지하수체로의 유입은 강우로 부터의 지하수 함양량과 상수도 누수수가 차지하고 있으며 주된 지하수체에서의 유출은 하수도로의 유출과 양수로 부터 발생하며 바다와 하천으로 부터의 유출입은 전체 지하수지에서 차지하는 비중이 크지 않음을 알 수 있었다.
- ⑤ 본 연구결과는 도시지역의 지하수 개발 및 이용을 체계적으로 관리하는데 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- 건설교통부, 2003, 부산지역 지하수 기초조사 보고서, 한국수자원공사, 서울: 한국수자원공사 조사기획처 지하수조사부.
- 김남원, 정일문, 원유승, 2006, 완전연동형 SWAT-MODFLOW 모형을 이용한 지표수-지하수 통합 유출모의, 대한토목학회논문집, 26(5B), 481-488.
- 김용호, 배상근, 2005, 지하수위관측자료를 이용한 지하수해안유출량의 산정, 추계학술발표회논문집, 한국환경과학회, 14(2), 422-423.
- 김용호, 배상근, 박남식, 2006, 지하수해안유출량의 권역 별평가 및 변화특성분석, 춘계학술발표회논문집, 한국환경과학회, 15(1), 180-182.
- 배상근, 김용호, 최윤영, 2006, 해안지역 지하수유출량의 평가; II. 신뢰성 분석, 학술발표회초록집, 한국수자원학회, 421.
- 배상근, 이승현, 2008, 도시지역의 지하수와 하천수의 교류량, 한국수자원학회논문집, 41(9), 919-927.
- 부산광역시 수영구, 2008, 수영구 통계연보, 부산: 부산광역시 수영구.
- 부산교통공사, 2008, 부산지하철 지하수 유출량 자료, 미출판자료.
- 안승섭, 이병철, 최윤영, 박동일, 2009, 지표수와 지하수 연계를 이용한 양수기간에 따른 지하수 유동특성분석, 한국수처리학회지, 17(3), 127-139.
- 유동근, 오윤창, 박창근, 2001, 지표수-지하수의 연계 수치모형, 대한토목학회논문집, 21(4B), 327-334.
- 이승현, 배상근, 2010a, 도시화에 의한 장기 지하수함양량 변화, 한국환경과학회지, 19(6), 779-785.
- 이승현, 배상근, 2010b, 해안 도시지역의 지하수교류량, 정기학술발표회논문집, 한국환경과학회, 333-335.
- 정상용, 김태형, 김태영, 조효정, 김영미, 2008, 지구통계 기법을 이용한 수영지역 지하수의 수질 특성 연구, 추계학술발표회, 한국지하수토양환경학회, 253-254.
- 정상용, 김태형, 박남식, 양성일, 김동수, 2009, 부산 해안 지역에서 지하수 수위 하강에 의한 지하수 수질 오염, 추계학술발표회, 한국지하수토양환경학회, 233.
- 하규철, 박원배, 문덕철, 2009, 제주도 토지이용변화에 따른 직접유출량 변화 추정, 대한자원환경지질학회지, 42(4), 343-356.
- 환경부, 2008a, 2007 상수도 통계, 과천: 환경부.
- 환경부, 2008b, 2007 하수도 통계, 과천: 환경부.
- Nowel, N. Y., Mbue, I. N., 2009, Estimation for Groundwater Balance Based on Recharge and Discharge : a Tool for Sustainable Groundwater Management, Zhongmu County Alluvial Plain Aquifer, Henan Province, China, Journal of American Science, 5(2), 83-90.
- Voudouris, K. S., 2006, Groundwater Balance and Safe Yield of the coastal aquifer system in NEastern Korinthia, Greece, Applied Geography, 26(3-4), 291-311.