

## 금강 수계 지하수 시스템의 연간 물수지 변화 추정

김지은<sup>1</sup> · 김태희<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 지구환경과학부, <sup>2</sup>한국지질자원연구원 지구환경연구본부

### Annual Groundwater System Change in Geum-gang Basin

Ji Eun Kim<sup>1</sup> and Tae-hee Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology, Chungnam National University

<sup>2</sup>Geologic Environment Div., KIGAM

Water budget analysis in the groundwater system was conducted in order to understand water budget distributions in the ground water system in Geum-gang watershed. The annual amounts of precipitation, runoff, evapotranspiration, dam storage change and water supply over the sub-watershed in Geum-gang watershed were evaluated the residual groundwater from 2002 to 2006, based on the water budget considering inflow and outflow. Then we are able to expect residual groundwater of each sub-basin. According to the result of study, the year 2003 and 2006 were recorded the highest and the lowest precipitation value, respectively. Average run-off percentage against precipitation was 60.44%. Annual evapotranspiration in each of years didn't show the remarkable variations but the values were high in the lower reaches of the basin. The residual waters in Geum-gang basin were determined to be 133.36 in 2002, 77.64 in 2003, -19.40 in 2004, -82.25 in 2005 and -128.07 mm in 2006. The residual water in Geum-gang basin was high in the main and up stream such as Maepo. Also the residual water showed low distributions in Nonsan and Seokhwa.

**Key words :** Geum-gang, water budget, groundwater distribution, residual groundwater

금강유역의 지하수계 내 물수지 분포를 파악하기 위하여 지하수 물수지 분석을 수행하였다. 유역의 2002년에서 2006년까지 강수량, 하천 유출량, 증발산량 및 상수도 유입량, 댐 저류변화량을 산출하였고 이 값들을 바탕으로 유역 내 유출입량을 고려하여 금강유역 내 물수지 잔류량을 산정함으로써 년도 및 소 유역별 수자원의 분포 양상을 검토하였다. 분석 결과 2003년에 가장 많은 강수량이 기록되었고, 2006년의 강수량이 가장 적었으며 강수량 대비 유출률은 5개년 평균 60.44%로 산출되었다. 년도 별 증발산량은 큰 편차를 보이지 않았으나, 주로 금강 하류 지역에서 다량의 증발산이 산출되었다. 산정된 값들을 토대로 물수지를 분석한 결과 각 년도 별 유역 내 물수지 잔류량은 2002년 133.36, 2003년 77.64, 2004년 -19.40, 2005년 -82.25, 2006년 -128.07 mm로 시간의 흐름에 따라 유역 내에 잔류되어있는 수자원의 총량이 적어지는 양상을 나타내었다. 또한 금강 유역 물수지 잔류량은 대체로 금강의 상류와 금강 본류인 공주 부근에서 많이 산출되었고, 청주 인근의 미호천 유역과 논산이 위치한 금강 하류 유역으로 갈수록 유역 내 잔류량이 적어지는 것으로 분석되었다.

**주요어 :** 금강, 물수지 분석, 지하수 분포, 물수지 잔류량

## 1. 서 론

물은 인간의 삶에 있어 없어서는 안 될 필수 요소임과 동시에 중요한 자원이다. 지하수 관리 기본 계획에

따르면 우리나라의 연간 수자원 총 유입량 1,240억 m<sup>3</sup> 중 48%에 해당하는 517억 m<sup>3</sup>은 증발산으로 손실되고, 하천으로 유출되는 양은 723억 m<sup>3</sup>로 수자원 총량의 58%에 해당된다. 또한 2005년 현재 염지하수 이용량

\*Corresponding author: katzura@kigam.re.kr

을 제외한 지하수 총 이용량은 47.2억 m<sup>3</sup>으로 수자원 총량의 3%에 해당하고 총 이용되는 용수의 11%를 차지하고 있다 (MOCT, 2007). 이러한 지하수의 이용에 있어, 양질의 지하수를 관리하고 합리적으로 개발하는 것은 매우 중요하다. 하지만 국내에서는 전 국토 면적의 약 30% 정도만이 지하수 기초조사가 완료된 실정으로 지하수 현황을 총체적으로 분석하기 위한 기초정보는 매우 부족한 상황이다. 그리하여 지하수 부존 및 산출 특성 자료 부족으로 지하수 개발에 어려움이 많고 개발 성공률 또한 낮아 개발 실패공이 다수 발생하고 있으며, 유역별 지하수 개발 가능량이 포함된 정확한 지하수 기초정보가 부족한 것이 현실이다 (MOCT, 2007). 또한 최근 도시 쓰레기와 해안 대수층에서의 염수침입 등으로 이용가능한 지하수자원이 줄어들어 따라 적절한 관리방안이 요구되고 있으며, 지표수와 지하수를 연계한 총체적인 접근방식에 많은 연구자들의 관심이 모아지고 있다 (Kim *et al.*, 2005). 따라서 본 연구에서는 지하수 물수지 분석법을 통해 광역적인 규모에서 시공간 특성을 반영하여 금강의 소유역 별 물수지 과부족을 평가하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

수문학적 물수지 분석방법은 일정 수역 내의 강우량과 직접유출, 증발산량, 지하수 함양량 간에 수문 평형이 유지되는 것으로 보아 다음 식(1)로 표현된다 (Cho, 2004a).

$$I = P - DR - ET \quad (1)$$

$I$  = 지하수 함양량

$P$  = 강우량

$DR$  = 직접 유출량

$ET$  = 실제 증발산량

물수지 이론을 바탕으로 유역 내 지하수의 유입 및 유출을 고려한 지하수 물수지법은 다음 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P + Q(SW)_{in} + Q(GW)_{in} + WS \\ = R_0 + Q_{br} + D + Q(GW)_{out} + ET + \Delta S \end{aligned} \quad (2)$$

$P$  = 유역 내 강우량

$Q(SW)_{in}$  = 외부 수계로부터의 지표수 유입량

$Q(GW)_{in}$  = 외부 수계로부터의 지하수 유입량

$WS$  = 타 유역으로부터의 상수도 유입량

$R_0$  = 지표유출량

$Q_{br}$  = 기저유출량

$Q(GW)_{out}$  = 외부수계로의 지하수 유출량

$ET$  = 증발산량

$D$  = 댐 저류변화량

$\Delta S$  = 물수지 잔류량

물수지법의 장점은 적용이 용이하다는 것과 시·공간적 (예: cm, sec~km, 100년)으로 넓은 범위에 걸쳐 적용이 가능하다는 것이다 (Cho, 2004b). 지하수 물수지 분석을 위한 매개변수인 소유역 별 강우량, 증발산량, 지표 유출과 기저 유출이 포함된 양인 하천 유출량을 각각 구하면 유역 내 총 유입량 및 총 유출량을 파악할 수 있다. 이 때 최 상부 유역으로의 외부 유입량은 0으로 가정하고 유역 내 총 유입량에서 유출량을 빼면 소유역 별 물수지 잔류량의 산정이 가능하다. 다만, 정확한 수계 내 상호간의 지하수 유출입량을 평가하기 위해서는 유역의 특성이 반영된 수치모델의 적용이 일반적이므로 본 연구에서는 외부수계로의 지하수 유출량과 저류된 양이 합산된 소유역 별 물수지 잔류량을 살펴보았다. 이 때 잔류량 계산에 이용한 모든 변수들은 상류와의 이전관계를 고려하여 누적으로 합산하여 산출하였다. 또한 금강 유역 내에는 0번 호단 소유역내의 용담댐과 4번 매포 소유역내의 대청댐 총 2개의 댐이 존재하고 있는데 이러한 댐 내에 저류되어 있는 수자원은 전체적인 물수지 분석의 결과에 영향을 미치게 되므로 2002년부터 2006년 까지 각 댐의 저류량의 변화를 추정하여 물수지 분석의 요인으로 적용하였다. 이때 댐 저류 변화량의 추정은 1년을 기준으로 하여 해당 년도의 가장 마지막으로 기록된 저류량과 처음의 저류량의 차이를 산출하였으며 상수도의 형태로 구분된 소유역 단위를 넘어서 이동하는 양을 파악하여 유입량의 한 변수로 분석에 적용하였다.

## 3. 연구방법

### 3.1. 연구지역

금강은 우리나라 중부 내륙에서 서해로 흐르고 유로 연장 401 km, 총 유역 면적은 전 국토면적의 약 10%에 해당하는 9,915.07 km<sup>2</sup>로서 우리나라에서 3번째로 큰 유역이다. 유역의 연평균 강우량은 1,208.1 mm로 이용 가능한 수자원 총량은 119.7억 m<sup>3</sup>이다 (MOCT, 2007). 금강 유역의 기후는 우리나라의 일반적인 기후 특성인 여름철에는 고온다습하고 겨울철에는 한랭 건

조한 특성을 잘 반영하고 있으며, 갑천, 미호천, 논산천 유역은 각각 12.2, 11.7, 11.8°C이며 금강 전 유역의 연평균 기온은 11.6°C이다. 또한 전 유역의 평균 상대습도는 73.1%이다 (MOCT, 2002). 금강은 금강, 삽교천, 금강서해, 만경·동진의 대권역으로 이루어져 있는데 이중 연구 적용 지역인 금강 유역은 78개의 표준유역으로 구성되어 있다. 관측기간은 2002년부터

2006년까지 총 5개년으로 설정하였고 효율적인 물수지 분석을 위해 78개의 표준 유역을 분석을 위한 기초 자료의 유무와, 관측소 위치를 고려하여 18개의 소유역으로 분류하였다. 소유역 분류 시 지형을 고려하여 해당 유역의 모든 유출이 유역 하부의 관측소에서 관측되도록 고려하였으며 유역의 상류부터 하류까지 순차적으로 유역 번호를 지정하여 주었고 (Fig. 1), 본 연구에 사용된 관측소는 Table 1과 같다.

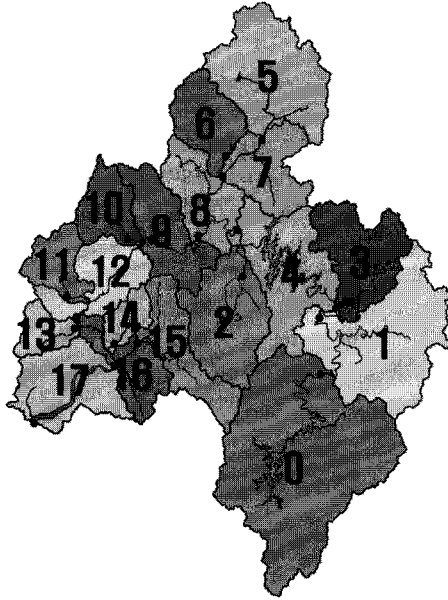


Fig. 1. Sub-basins in Geum-gang.

Table 1. Name and areas of sub-basins (m<sup>2</sup>)

No.	Name	Areas	Cumulative areas
0	Hotan	1,980,553,868.31	1,980,553,868.31
1	Okcheon	1,032,139,962.10	3,012,693,830.41
2	Hoedeok	648,979,169.40	648,979,169.40
3	Cheongseong	553,558,514.32	553,558,514.32
4	Maepo	726,258,356.73	4,941,489,870.86
5	Bugil	816,893,785.33	816,893,785.33
6	Oksan	366,192,353.76	366,192,353.76
7	Seokhwa	410,878,026.89	1,593,964,165.98
8	Geumnam	419,045,057.40	6,954,499,094.24
9	Gongju	457,458,700.16	7,411,957,794.40
10	Useong	282,619,638.87	282,619,638.87
11	Guryong	246,398,851.25	246,398,851.25
12	Gyuam	389,030,551.97	8,330,006,836.49
13	Seokdong	165,164,739.88	165,164,739.88
14	Ugon	152,177,342.55	152,177,342.55
15	Nonsan	421,888,044.48	421,888,044.48
16	Ganggyeong	309,253,879.42	9,378,490,842.82
17	Estu.dam	536,575,976.10	9,915,066,818.92

### 3.2. 강우량 산정

#### 3.2.1. 면적당 총 강우량

지하수 물수지 분석을 위해서는 분석 시 주요 유입원이 되는 강우량을 산정하는 과정이 매우 중요하다. 해당 소유역의 총 유입량이 되는 면적당 총 강우량은, 금강홍수 통제소와 기상청에서 측정된 2002년부터 2006년까지의 일 강우량을 수집하여 정리하였다. 이 때 관측소 우량계의 불균일 분포를 보정하기 위하여 각 관측소에서 관측된 강우량에 유역내의 관측소 주위로 작도한 티센 다각형의 면적 비를 가중치로 부여하는 티센 다각형법 (Thiessen, 1911)에 의해 관측소별 평균 강우량을 산정하였으며 각 유역의 면적을 곱해 면적당 총 강우량을 산출하였다.

#### 3.2.2. 누적 강우량

실제 하천 유출량은 해당 유역 내에서의 강우에 의해 발생한 지표유출과 상류 수계로부터 이전되어 온 하천유출량, 그리고 지하수의 기저유출량 등에 의해 규정되므로 하천 유출량에 대한 정량적 비교를 위해서는 해당 소유역내 강우량뿐만 아니라 상류부의 강우량을 함께 고려하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 상위 유

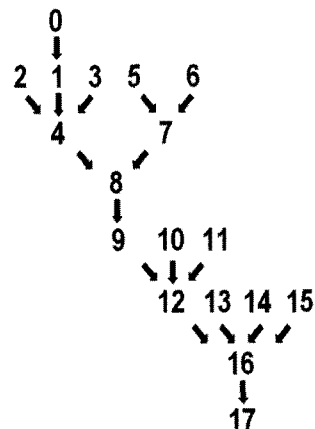


Fig. 2. Calculating process of cumulative parameters.

역으로부터 이전된 양을 포함한 강우량을 누적 강우량으로 정의하고 누적 강우량 산출 과정을 그림으로 나타내었다 (Fig. 2). 상부로부터의 유입이 없는 최 상류부 유역을 제외한 나머지 옥천, 매포, 석화, 금남, 공주, 규암, 강경, 하구연 관측소는 상부 유역의 총 강우량을 누적적으로 합산해주어 누적 강우량을 산정하였다 (Table 2).

### 3.3. 하천 유출량

하천 유량에 대한 정확한 정보는 모든 수자원 분석의 기본조건이며 유역에 대한 물의 순환 과정에서 강우를 입력으로 본다면 유량은 여러 가지 과정을 거쳐서 최종적으로 유역 출구지점으로 빠져나오는 출력이라 할 수 있다 (Lee, 2006). 하천의 유량을 알기 위해

**Table 2.** Cumulative annual precipitation of each sub-basin in Geum-gang (mm)

No.	Name	2002	2003	2004	2005	2006
0	Hotan	1560.37	1889.84	1394.42	1321.20	1346.04
1	Okcheon	1493.04	1810.84	1372.88	1251.80	1323.91
2	Hoedeok	1334.03	1860.97	1472.91	1455.25	1241.75
3	Cheongseong	1180.68	1777.90	1270.32	1239.17	1199.67
4	Maepo	1401.23	1805.50	1360.23	1294.98	1282.03
5	Bugil	1286.76	1649.40	1447.11	1510.18	1094.47
6	Oksan	1300.92	1527.49	1404.93	1388.58	1060.13
7	Seokhwa	1272.59	1606.49	1430.43	1452.09	1084.25
8	Geumnam	1363.05	1748.93	1383.35	1341.93	1225.83
9	Gongju	1359.45	1744.68	1389.26	1357.04	1220.68
10	Useong	1287.19	1543.76	1424.19	1469.10	1058.86
11	Guryong	1238.92	1577.50	1287.20	1273.57	1076.50
12	Gyuam	1347.15	1728.09	1391.10	1365.22	1204.23
13	Seokdong	1157.63	1650.11	1367.20	1611.73	1077.72
14	Ugon	1186.85	1690.28	1371.14	1541.38	1076.50
15	Nonsan	1363.16	1687.79	1370.68	1431.32	1236.27
16	Ganggyeong	1337.18	1723.09	1388.44	1379.26	1197.36
17	Estu.dam	1327.70	1720.28	1389.54	1385.17	1193.30

**Table 3.** Annual runoff of each sub-basin in Geum-gang (mm)

No.	Name	2002	2003	2004	2005	2006
0	Hotan	619.82	910.18	629.10	601.24	689.73
1	Okcheon	637.78	1,394.70	639.35	491.79	586.89
2	Hoedeok	900.35	1,465.73	946.14	740.28	742.88
3	Cheongseong	523.88	1,237.98	854.70	600.49	802.64
4	Maepo	411.33	1,186.79	390.52	358.09	330.30
5	Bugil	813.52	952.43	889.50	836.57	731.54
6	Oksan	562.95	835.22	709.01	738.45	628.05
7	Seokhwa	1,174.29	1,091.31	826.52	927.03	742.39
8	Geumnam	730.04	521.52	700.28	833.01	820.07
9	Gongju	520.45	964.72	576.83	608.58	721.90
10	Useong	571.27	910.58	545.35	835.88	377.17
11	Guryong	604.35	431.85	894.67	371.56	468.67
12	Gyuam	892.52	1,214.93	892.02	776.21	695.40
13	Seokdong	590.34	917.17	606.33	893.74	996.39
14	Ugon	654.07	1,053.58	809.02	686.84	688.07
15	Nonsan	781.71	1,779.42	1,096.74	964.13	773.09
16	Ganggyeong	2,385.52	2,471.80	2,655.96	1,676.75	1,622.56
17	Estu.dam	430.13	959.22	719.05	788.90	659.27

서는 유량을 직접 계측하는 방법이 있으나, 이는 한 지점의 하나의 유량을 구하는 것으로서 대체로 많은 비용이 필요하며, 특히 홍수 시에는 계측자체가 불가능한 경우도 있어 이를 연속적으로 계측하는 것은 어렵다 (Chang and Lee, 2005). 하천 유량 산정 방법 중 수위 유량 관계 곡선식을 이용하는 방법은 지속적이고 정확한 수위계측, 유량측정과 더불어 수문자료 신뢰도 제고에 중요한 핵심 요소이다 (Chang and Lee, 2005). 따라서 본 연구에서는 국가 수자원관리 종합정보 시스템 (WAMIS)에서 제공되는 시간별 관측 수위와 수위 유량 관계 곡선식을 이용하여 하천 유출량을 산출하였다 (Table 3).

### 3.4. 증발산량

액체의 물이 기화하는 현상을 증발이라 하며 식물체를 통해서 이루어지는 증산을 합하여 증발산 (evapotranspiration)이라 부르고 있다. 이러한 증발산 현상은 일종의 에너지 교환과정으로 증발산량을 산정하기 위한 여러 가지 방법들이 제안되어 왔으나 지상의 지형 조건 및 토지이용 등의 복잡한 상황을 고려하여 유역 차원의 증발산량을 산정한다는 것은 대단히 어려운 일이다 (Shin *et al.*, 2006). 따라서 본 연구에서는 물리적 근거를 기초로 하는 FAO penman-monteith 식을 이용하여 잠재 증발산량을 산정하였고, 이 잠재 증발산을 바탕으로 Pike (1964)의 경험식으로 실제 증발산

량을 산출하였다 (Table 5).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)} \quad (3)$$

$ET_0$  = 기준 잠재 증발산량 (mm/day)

$R_n$  = 지구 표면에서 순수하게 축적되는 에너지 ( $MJm^{-2}day^{-1}$ )

$G$  = 토양 열 유속 밀도 (soil heat flux density,  $MJm^{-2}day^{-1}$ )

$T$  = 2 m 높이에서 일평균기온 ( $^{\circ}C$ )

$U_2$  = 2 m 높이에서 풍속 (m/s)

$e_s$  = 포화증기압 (kPa)

$e_a$  = 실제증기압 (kPa)

$e_s - e_a$  = 포화증기압 결손량 (kPa)

$\Delta$  = 증기압 곡선의 기울기 ( $kPa/^{\circ}C$ )

$\gamma$  = 건습계 상수 ( $kPa/^{\circ}C$ )

$$E = \frac{P}{\left\{ 1 + \left( \frac{P}{E_0} \right)^2 \right\}^{0.5}} \quad (4)$$

$E$  = 연간 증발산량

$P$  = 연평균 강우량

$E_0$  = 연간 잠재증발량

**Table 4.** Annual rate of runoff against precipitation of each sub-basin (%)

No.	Name	2002	2003	2004	2005	2006
0	Hotan	39.72	48.16	45.12	45.51	51.24
1	Okcheon	42.72	77.02	46.57	39.29	44.33
2	Hoedeok	67.49	78.76	64.24	50.87	59.83
3	Cheongseong	44.37	69.63	67.28	48.46	66.91
4	Maepo	29.35	65.73	28.71	27.65	25.76
5	Bugil	63.22	57.74	61.47	55.40	66.84
6	Oksan	43.27	54.68	50.47	53.18	59.24
7	Seokhwa	92.28	67.93	57.78	63.84	68.47
8	Geumnam	53.56	29.82	50.62	62.08	66.90
9	Gongju	38.28	55.29	41.52	44.85	59.14
10	Useong	44.38	58.98	38.29	56.90	35.62
11	Guryong	48.78	27.38	69.51	29.17	43.54
12	Gyuam	66.25	70.30	64.12	56.86	57.75
13	Seokdong	51.00	55.58	44.35	55.45	92.45
14	Ugon	55.11	62.33	59.00	44.56	63.92
15	Nonsan	57.35	105.43	80.01	67.36	62.53
16	Ganggyeong	178.40	143.45	191.29	121.57	135.51
17	Estu.dam	32.40	55.76	51.75	56.95	55.25

**Table 5.** Annual evapotranspiration of each sub-basin in Geum-gang (mm)

No.	Name	2002	2003	2004	2005	2006
0	Hotan	726.10	710.91	689.31	668.05	656.21
1	Okcheon	720.01	701.39	690.51	665.27	657.58
2	Hoedeok	693.06	705.20	701.00	683.15	649.25
3	Cheongseong	659.67	697.31	684.25	683.89	662.97
4	Maepo	704.28	700.37	689.87	673.41	656.81
5	Bugil	682.53	650.43	728.66	682.67	620.44
6	Oksan	704.46	634.24	675.36	666.98	610.55
7	Seokhwa	684.07	648.49	706.43	678.23	619.21
8	Geumnam	698.64	685.87	693.89	675.85	647.09
9	Gongju	698.15	684.51	693.79	677.09	646.07
10	Useong	707.91	654.55	696.34	697.68	630.77
11	Guryong	685.99	693.59	706.97	702.57	663.61
12	Gyuam	697.66	684.58	696.19	681.38	647.80
13	Seokdong	671.20	699.33	719.14	746.20	663.69
14	Ugon	676.75	702.40	719.98	739.17	663.61
15	Nonsan	710.52	707.58	699.72	693.22	660.66
16	Ganggyeong	697.11	686.84	697.93	685.70	649.98
17	Estu.dam	695.99	687.41	698.86	687.64	651.01

#### 4. 결 과

나열된 방법들을 토대로 금강 유역에 2002년부터 2006년까지 5개년간의 강우량, 증발산량, 하천 유출량 및 기저유출량을 산정하였다. 연구에 사용되는 물수지의 변수들은 모두 소 유역별 면적 (Table 1)으로 나누어 mm단위로 나타내었다. 2002년부터 2006년까지 강우량 분포 (Table 2)를 살펴보면 다른 년도에 비해 2003년의 강우량이 특히 많고 2006년이 가장 적음을 알 수 있다. 연구 적용 지역의 최 하부 유역인 금강 하구인에서 산출된 누적 강우량은 2002년 약 132억, 2003년 약 172억, 2004년 약 138억, 2004년 약 138억, 2006년 약 119억 m<sup>3</sup> 가량으로 산출되었으며 이는 금강 수계 전체 유역에 유입된 수자원 총량을 의미한다. 금강 수계 강우량의 공간 분포를 살펴보면 상류인 호탄 유역에서 가장 많은 강우량을 보였고, 하류의 구룡 관측소가 위치하고 있는 부여군 부근의 강우량이 적은 편이었다. 수자원 장기 종합 계획 (MOCT, 2001)에 따르면, 우리나라는 수자원 총량의 55%가 하천으로 유출되는 것으로 보고되어 있다. 그리하여 금강 각 유역의 수자원 총량이 되는 누적 강우량에 대비되는 하천 유출량 (Table 3)의 비를 산출하였다 (Table 4). 각 년도 별로 평균값을 산출해 보면, 2002년도 평균 유출량 비는 58.22, 2003년 65.78, 2004년 61.78, 2005년 54.44, 2006년 61.96%로 나타났다. 특히 강우량이 많았던 2003년 하천 유출량이 높게 나타났으며, 상대적으로 강우량

이 적었던 해인 2006년 역시 강우량에 비해 높은 유출률을 보였다. 총 5개년간의 하천 유출량 비의 평균값은 60.44%로 나타났으며 이 값에 대한 지역적인 분포를 살펴보면, 주로 석화, 논산 유역에서 70% 이상의 높은 비율을 보였다. 특히 강경 관측소의 경우 2002년 178.40, 2003년 143.45, 2004년 191.29, 2005년 121.57, 2006년 135.51%로 유역에 내린 강우량의 100%가 넘는 값이 하천으로 유출된 것으로 산정되었다.

Pike식에 의해 산정된 실제 증발산량 (Table 5)은 강우량과, 잠재 증발산량을 통해 계산되었다. 실제 증발산량은 예년에 비해 강우량이 현저히 적었던 2006년에 가장 적게 나타났고, 2002~2005년의 실제 증발산량에는 큰 편차가 없이 고른 분포를 보였다. 유역 별 증발산량은 우곤 유역의 증발산량이 5개년 평균 700.38 mm로 가장 많았고, 옥산 유역의 실제 증발산이 658.32 mm로 가장 적었다.

또한 유출량의 한 변수인 용담댐의 연간 저류량 변화를 살펴본 결과 (Table 6), 2002년 163.03, 2003년 -10.09, 2004년 9.16, 2005년 -66.04, 2006년 33.76 mm로 산출되었고 대청댐의 연간 저류량 변화는 2002년 136.86, 2003년 -7.99, 2004년 -18.00, 2005년 -17.08,

**Table 6.** Annual Dam storage change in Geum-gang (mm)

No.	Name	2002	2003	2004	2005	2006
0	Hotan	163.03	-10.09	9.16	-66.04	33.76
4	Maepo	136.86	-7.99	-18.00	-17.08	22.26

**Table 7.** Annual water supply over sub-basin in Geum-gang (mm)

Name	Year	Water supply	Intake dam
Hoedeok	2002	303.17	Daecheong
	2003	299.55	
	2004	301.50	
	2005	298.53	
	2006	293.06	
Maepo	2002	-11.49	
	2003	-13.12	
	2004	-1.46	
	2005	-1.52	
	2006	-6.67	
Geumnam	2002	33.81	Daecheong
	2003	35.28	
	2004	4.54	
	2005		
	2006	20.69	

2006년 22.26 mm로 산출되었다.

상수도의 형태로 유역을 넘어서 이전하는 수자원의 양을 파악하여 Table 7에 나타내었다. 4번 매포 유역의 대청댐에서 대전 지역인 회덕 유역으로 공급되는 상수도의 양은 2002년 303.17, 2003년 299.55, 2004년 301.50, 2005년 298.53, 2006년 293.06 mm로 산출되었으나, 이는 수계 모양에 따라 다시 매포 유역에서 합류하게 되므로 매포의 유출량에는 포함되지 않았다.

또한 대청댐에서 석화 유역으로 이전되는 양이 2002년 33.81, 2003년 35.28, 2004년 4.54, 2006년 20.69로 나타나 대청댐에서 빠져나가는 총 수자원 양은 2002년 -11.49, 2003년 -13.12, 2004년 -1.46, 2005년 -1.52, 2006년 -6.67 mm 로 분석되었다.

앞서 산정된 값들을 바탕으로 지하수 물수지 분석을 시행하였다. 유출량의 성분은 기저 유출 성분이 포함된 하천 유출량 및 증발산량과 댐 저류변화량이고 총 유입량의 성분은 강우량, 상부 유역으로부터의 유입량 및 상수도를 통한 유입량으로 이 유입량과 유출량들에 의해 유역 내에 잔류되어 있는 양이 변화한다. 관측소 별 총 유입량과 총 유출량을 산출한 뒤 총 유입량에서 유출량을 감산하여 물수지 잔류량을 계산하였다 (Table 8). 이 때 강경 유역의 경우 금강 하구둑에 의하여 유량이 과대평가되고 이는 물수지 분석의 변수로써 타당하지 않다고 보여 지므로 강경 소유역을 잔류량 산출 과정에서 제외시켰다. 최 하부 유역인 금강하구연의 물수지 잔류량은 각 소유역 별 수자원 이전 관계를 고려해 누적으로 산출된 값이므로 금강유역 전체의 물수지 잔류량 이라고 볼 수 있다 (Table 8). 산정된 시간별 물수지 잔류량은 -128.07~133.36 mm로써 연 강수량의 -10.87~10.09%에 해당하고 2002년부터 2006년까지 시간의 흐름에 따라 차츰 감소하는 경향을 보였다. 금강 유역의 물수지 잔류량의 공간적인 분포를 살펴보면, 분석 기간 동안 함양이 우세한 지역은 호탄, 옥천, 회

**Table 8.** Residual groundwater of each sub-basin in Geum-gang (mm)

No.	Name	2002	2003	2004	2005	2006
0	Hotan	51.42	278.85	66.85	117.96	-33.66
1	Okcheon	135.25	-285.25	43.01	94.74	79.44
2	Hoedeok	43.79	-10.41	127.28	330.35	142.68
3	Cheongseong	-2.88	-157.39	-268.63	-45.21	-265.95
4	Maepo	137.27	-86.79	296.37	279.05	265.98
5	Bugil	-209.29	46.55	-171.05	-9.06	-257.51
6	Oksan	33.51	58.02	20.56	-16.85	-178.47
7	Seokhwa	-551.96	-98.03	-97.98	-153.17	-256.67
8	Geumnam	-162.87	547.22	1.97	-154.78	-257.15
9	Gongju	49.61	100.78	130.64	82.76	-162.13
10	Useong	8.01	-21.37	182.50	-64.46	50.92
11	Guryong	-51.42	452.06	-314.44	199.44	-55.79
12	Gyuam	-324.23	-166.68	-186.44	-82.24	-152.18
13	Seokdong	-103.91	33.62	41.72	-28.21	-582.36
14	Ugon	-143.97	-65.70	-157.86	115.37	-275.18
15	Nonsan	-129.07	-799.21	-425.78	-226.03	-197.47
16	Ganggyeong					
17	Estu.dam	133.36	77.64	-19.40	-82.85	-128.07

덕, 매포, 공주, 우성, 구룡 유역으로 주로 금강유역의 상류와 공주 부근의 금강 본류에서 크게 산출되었으며 5개년간의 물수지 잔류량을 기준으로 가장 많은 값을 보인 곳은 매포 유역이었다. 가장 적은 양의 수자원이 잔류되어있는 유역은 논산이었으며 이 밖에 주로 미호천 유역과 하구언 근처의 하류에서 잔류량이 음의 값을 가지는 것으로 분석되었다.

## 5. 토 의

강경 유역의 하천 유출량을 살펴보면, 2002년 178.40, 2003년 143.45, 2004년 191.29, 2005년 121.57, 2006년 135.51%로 유역에 내린 강우량의 100%가 넘는 값이 하천으로 유출된 것으로 드러났는데 이렇게 하천 유출량이 과도하게 산출되는 경우는 외부수계로부터의 유입 가능성, 추정상의 오차, 수위 관측상의 오차 등의 원인으로 추정될 수 있다. 강경 관측소의 하천 유량은 하구둑 방류 자료와 비교해본 결과 금강 하구둑의 방류와 관계된 것으로 확인되었다. 강경은 금강수계의 최하부에 위치하는 소 유역으로 금강 하구둑의 수문이 열리기 전까지 강경 관측소의 수위는 꾸준히 상승한다. 상승된 수위는 과도한 유량으로 나타나고 수문이 열리고 나면 수위가 급격히 하강하는 양상을 보였다. 또 규암 소 유역 역시 금강 하구둑의 영향을 받아 하구둑 방류시간을 기준으로 일정하게 수위 상승과 하강이 반복됨이 확인되었다. 이렇게 금강 하구둑과 근접하고 있는 하부의 유역들은 하구둑에 의해 수위가 달라지므로 일반적인 수위 유량 관계 곡선식의 적용이 어렵다.

석동, 우곤 관측소 역시 2006년의 강우량 대비 유량의 비율이 석동 149.61, 우곤 147.61%로 과도하게 산출되어서 석동 유역의 5개년 수위 변화추이를 살펴본 결과 2006년에 특별한 수위의 변화는 발견되지 않았다. 그러므로 이는 수위 유량 곡선식의 적용에 따른 오차로 판단된다. 석동 유역은 국토 해양부에서 관리하는 관측소로, 현재 WAMIS에 명시 되어 있는 수위 유량 곡선식은 1995, 1995~1996, 2000, 2006년의 수위 유량 측정 성과를 바탕으로 산출된 네 개의 식이다. 이때 2006년도에 측정된 수위를 2006년도 수위 유량 관계 곡선식에 대입할 경우 하천 유량은 1,612.37 mm로 강우량 대비 149.61% 정도로 이 식을 나머지 년도에 적용시켜 보았더니 강우량 대비 하천 유출량 2002년 184.34, 2003년 216.00, 2004년 152.81, 2005년 110.73% 으로 모든 유량이 과대평가 되는 경향을 보였다. 이러한 결과로 보아 이는 수위 유량 관계 곡선

식의 신뢰성이 부족하다고 판단되어 2000년도의 식을 통해 유량을 산출하였고, 그 결과 2006년의 하천 유량이 996.39 mm로 강우량 대비 92.45%로 계산되었다. 이는 우곤 관측소에서도 동일한 양상을 보였다. 우곤 관측소 역시 1995, 1995~1996, 2000, 2006년도의 네 개의 식이 존재하고, 2006년 식의 적용에 있어 문제가 있음을 확인하였다. 2000년도의 수위 유량 관계 곡선식을 적용하였더니 2006년의 수위 유량 관계 곡선식을 적용했을 때 1,589.00 mm의 유량이 산출된 것에 비해 688.07 mm로 강우량 대비 약 63.92%로 감소됨을 보였다. 이렇듯 하천 유량을 산출할 때에 수위 유량 관계 곡선식의 적용이 매우 중요한데, WAMIS에서 제공되는 유량 측정 성과만으로는 자료의 부정확성으로 인해 산출된 유량의 신뢰도가 낮아질 수 있다. 따라서 수위 유량 관계 곡선식 이외의 방법을 이용하거나, 새로운 곡선식의 개발이 필요할 것으로 보인다.

또한 2002년의 경우 2003년에 비해 강우량이 현저히 적음에도 불구하고, 더 많은 양의 지하수가 유역 내에 잔류된 것으로 산출되었다. 이것을 연 강우량 분포와 관련하여 생각하면 분석기간 동안의 강우량 평균은 1403.20 mm인데 반해 2001년의 강우량은 900 mm 정도로 매우 적었던 해이므로 이로 인해 2002년 금강수계에 유입된 수자원은 유출보다는 함양이 우세해 다량의 지하수가 잔류되었을 것으로 추정할 수 있다.

## 6. 결 론

2002년부터 2006년까지 금강유역의 강우량, 증발산량, 하천 유출량, 댐 저류변화량 및 상수도 유입량 등의 변수를 통해 물수지 분석을 실시하였다. 그 결과 각 년도 별 물수지 잔류량은 2002년 133.36, 2003년 77.64, 2004년 -19.40, 2005년 -82.85, 2006년 -128.07 mm로 산출되었으며 유역별 분포로는 대청댐이 위치하고 있는 매포 유역이 891.88 mm로 가장 많은 양의 수자원이 유역 내에 잔류하고 있는 것으로 산출되었고, 논산 유역의 잔류량이 -1777.57 mm로 가장 많은 배출이 일어난 것으로 분석되었다. 금강 유역의 상류는 주로 함양이 우세한 지역이며 미호천 유역은 배출이 우세한 성격을 보였다. 또한 금강 본류를 따라 내려오면서 하류로 갈수록 많은 양의 유출이 발생하는 것으로 분석되었다.

본 연구의 결과는 연 기반으로 계산된 것이어서 그 이하의 계절적, 월별 특성을 해석하기에는 부족하나 지 금까지의 연구 결과를 통해 금강 유역에 대한 거시적



인 물 순환에 대해 파악할 수 있었으며 이는 유역 내 지하수 자원의 개발 및 관리에 필요한 기초 정보로 이용될 수 있을 것으로 기대한다.

### 참고문헌

- Chang, K.H. and Lee, J.H. (2005) Stage-Discharge Rating Curve Model Development and Modification. Jour. Korea Water Resources Association, v.38, p.271-280.
- Cho, J.K. (2004a) Research for estimation of groundwater recharge. Jour. Rural Research Institute, v.83, p.80-92.
- Cho, J.K. (2004b) Consideration of Korean-type method for groundwater recharge calculation. Jour. Rural Research Institute, v.85, p.68-81.
- Kim, N.W. and Chung, I.M. and Won, Y.S. (2005) Method of Estimating Groundwater Recharge with Spatial-Temporal Variability. Jour. Korea Water Resources Association, v.38, p.517-526.
- Lee, J.S. (2006) Hydrology. Goomibook, Seoul, 267p.
- Ministry of Construction & Transportation (MOCT). (2001) New comprehensive water resources plan. 892p.
- Ministry of Construction & Transportation (MOCT). (2002) Basic improvement project for Geum-river. 697p.
- Ministry of Construction & Transportation (MOCT). (2007) Master plan for groundwater management. 153p.
- Pike, J.G. 1964, The estimation of annual runoff from meteorological data in tropical climate, Journal of Hydrology, v.2, p.116-123.
- Shin, S.C. and Hwang, M.H. and Ko, I.H. and Lee, S.J. (2006) Suggestion of Simple Method to Estimate Evapotranspiration Using Vegetation and Temperature Information. Jour. Korea Water Resources Association, v.39, p.363-372.
- Thiessen, A.H. (1911) Precipitation averages for large areas. Monthly Weather Review, v.39, p.1082-1084.

---

2010년 10월 22일 원고접수, 2011년 1월 12일 게재승인