

## 건기 및 우기 때의 WHAT system과 유량측정에 의한 기저유출량 비교

남경훈<sup>1</sup> · 김규범<sup>2</sup> · 정교철<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>안동대학교 지구환경과학과, <sup>2</sup>한국수자원공사 K-water 연구원

### Baseflow Comparison using the WHAT system and Flow Rate Measurements in the Dry and Rainy Seasons

Koung-Hoon Nam<sup>1</sup>, Gyoo-Bum Kim<sup>2</sup>, and Gyo-Cheol Jeong<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

<sup>2</sup>Geo-Water Research Center, K-water Research Institute

---

강우패턴의 변화에 의한 대하천변 지하수홍수발생은 농·경작지에서 큰 문제로 대두되고 있다. 따라서 대하천변의 지하수홍수 발생 메커니즘을 규명하기 위한 하천의 유량을 결정하는 가장 중요한 요소인 직접유출량과 기저유출량의 정량적인 해석이 필요하다. 이 연구에서는 수변구역에서 WHAT system이라는 Web GIS 기반의 수문분석 방법을 이용하여 산출된 기저유출량과 실제 하천에서 산출된 기저유출량을 정량적으로 비교분석 하였다. 연구지역의 기저유출량은 우기인 2012년 07월 17일에는 0.489 m<sup>3</sup>/s, 2012년 07월 18일에는 0.260 m<sup>3</sup>/s, 2012년 07월 19일에는 0.279 m<sup>3</sup>/s이었고 건기였던 2013년 03월 06일에는 0.006 m<sup>3</sup>/s, 2013년 03월 30일에는 0.009 m<sup>3</sup>/s의 기저유출량이 산출되었다. 분석결과 수변구역 충적층 지역에서 강우 발생 시 기저유출량의 증가가 발생하였으며 건기 시 오차가 다소 적게 나타났다.

**주요어** : WHAT system, 기저유출, 강우, 수변구역

Flooding of riparian groundwater caused by changes in rainfall patterns has become a critical problem in areas of agricultural and arable land. Therefore, quantitative analysis of direct runoff and baseflow, which are the most important factors in determining the flow rate of a river, is required to clarify the flooding mechanisms of riparian groundwater. In this study, baseflow obtained using the WHAT system of hydrograph analysis based on Web GIS, and baseflow measured from direct runoff were quantitatively analyzed. Baseflow during the rainy season was 0.489 m<sup>3</sup>/s on 17 July 2012, 0.260 m<sup>3</sup>/s on 18 July 2012, and 0.279 m<sup>3</sup>/s on 19 July 2012, while that during the dry season was 0.006 m<sup>3</sup>/s on 6 March 2013 and 0.009 m<sup>3</sup>/s on 30 March 2013. The results show that an increase in baseflow occurred during the rainy season in the alluvial area of a riparian zone, and that the measurement error was less during the dry season than during the rainy season.

**Keywords** : WHAT system, baseflow, rainfall, riparian zone

---

---

\*Corresponding author: jeong@andong.ac.kr

© 2013, The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서 론

최근 국지적 집중호우로 인한 홍수피해가 빈발하고 있으며, 그 동안 겪어보지 못했던 대규모 홍수도 발생하고 있다. 또한 향후 기후변화로 인한 강우강도 증가로 홍수위험성이 증대하고 있는 실정이다. 기후변화로 2090년에는 현재보다 1일 100 mm 이상 강우횟수 2.7배, 100년 빈도 홍수량 20% 증가가 예상되고 있다. 우리나라의 연평균 강수량은 1,277 mm로 세계평균(807 mm)의 1.6배이나, 1인당 연 강수총량은 2,629톤으로 세계 평균(16,427톤)의 약 1/6에 해당한다. 지역별·연도별로 강수량의 편차가 심하고 홍수기(6~9월)에 강수량이 편중(강수량의 74%)되어 물이용 및 치수 측면 모두 취약한 편이다(Ministry of Construction & Transportation, 2011).

그동안 수많은 수문 및 수환경 모델들이 개발되어 수계관리에 이용되어 왔다. 대부분의 수문모형은 직접유출과 기저유출을 따로 모의하여 유역 내 유출현상을 모의하는 경우가 많기 때문에, 실측 유량에서 직접유출과 기저유출을 따로 분리하여 모형의 평가에 이용하여야 한다. 강우 시 물은 지표면으로부터 증발하거나 침투하고 또는 지표면을 통한 유출을 통해 하천이나 강으로 이동하게 된다. 이 유출은 다른 흐름 성분과 함께 강우의 일부분으로 영구적 또는 간헐적으로 지표하천을 통해 흐르는 흐름으로 유역출구 지점에서 관측된다.

유역에 강수가 발생한 후 여러 경로를 통해 최종적으로 유역출구에서 유출로 나타나며 강수와 유출간의 관계를 규명하여 수문설계에서 다양하게 활용하기 때문에 강수와 함께 유출은 가장 중요한 부분이라 할 수 있다. 강수로 내린 물이 유역 출구지점까지 흘러가는 과정은 크게 지표면유출(surface runoff), 지표하유출 또는 중간유출(subsurface runoff), 그리고 지하수유출(groundwater runoff)로 구성되지만 실무적인 목적으로 유출해석을 할 경우에 하천을 통한 총 유출은 일반적으로 직접유출(direct runoff)과 기저유출(baseflow)로 분류하게 된다. 직접유출은 강수나 눈이 녹은 직후 하천으로 비교적 단 시간에 흘러 들어가는 유출의 한 부분을 말하며 지표면 유출, 지표하 유출 중 단기간에 유출되는 조기 지표하 유출 그리고 하천 수로 위로 직접 떨어지는 수로상 강수의 합으로 구성된다. 수로상 강수는 비교적 양이 적기 때문에 일반적으로 지표면 유출에 포함시키게 되며, 직접유출은 경우에 따라서는 지표하 유출의 일부만 고려하지 않고 전체를 포함하거나 또는 제외시키고 분석을 하게 된다. 기저유출은 맑은 날씨에서의 유출로, 비가오

지 않을 때 이전에 내린 비의 영향으로 하천을 통해 빠져 나오는 유출의 일부분이라 할 수 있다. 기저유출은 지하수유출과 지체지표하유출로 구성된다. 이러한 유출 중 기저유출은 하천의 형성에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Joo et al., 2007).

따라서 수변구역 총적층 지역에서 대수층의 특성을 정량화하는 것이 농·경작지에서 지속적인 지하수 및 지표수 활용에 도움을 주리라 사료된다. 또한, 대하천변의 하천수위가 상승한 지역의 지하수위 상승으로 인한 농작물의 피해 및 지하수 홍수와 같은 지하수 재해가 발생하는 지역의 지하수 관리를 위한 지하수 활용 및 관리 방안 수립에 기초 자료를 제공할 것이라 판단된다. 이 연구에서는 WHAT system이라는 수문분석 방법을 사용하여 낙동강 유역의 소하천을 중심으로 건기 및 우기 시 하천의 유량을 직접유출과 기저유출로 분리한 후 상관관계를 비교하였다.

## 기저유출 분리 방법

### 수문곡선의 성분

국지적 집중호우로 인한 강우강도 증가로 홍수위험성이 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 이상홍수는 침투유량의 급증과 도달시간이 단축됨에 따라 피해를 증가시킬 수 있는 위험을 가지고 있다. 따라서 수문곡선은 유출해석에 있어서 매우 중요한 역할을 차지하며, 이러한 수문곡선의 의미를 잘 파악하기 위해서는 곡선의 각각의 성분이 의미하는 바를 파악하고 이해하는 일이 매우 중요하다.

### 기존의 기저유출 분리방법

과거의 수문곡선으로부터 수문곡선의 감수곡선들을 중첩시켜 얻는 방법을 주 지하수 감수곡선법이라 하며 감수곡선은 지하토층 또는 대수층의 특성에 의해 좌우되는 특성을 가지고 있다. 수평직선 분리법은 지표면유출이 발생하는 지점(상승부 기점)과 수평선을 그어 감수곡선과 만나는 선에 의해 직접유출과 기저유출을 분리하는 방법으로 실무에서 많이 사용된다. N-day법은 수문곡선의 상승부 기점으로부터 침투유량이 발생하는 시간으로부터 N일 후의 유량을 표시하는 점을 기준으로 직접유출과 기저유출을 분리하는 방법이며 이를 보완한 수정 N-day법은 강우로 인한 지하수위의 상승은 지표면 유출에 비하여 그 상승속도가 완만하여 특정 강우의 발생 바로 전의 지하수 감수곡선은 강우가 지속되더라도

어느 정도 기간동안은 감소하게 되는 효과를 고려하기 위한 방법으로 강우발생 이전의 감수곡선을 침투유량의 발생하는 시간으로부터 N일 후의 유량을 표시하는 점에 직선을 그어 직접유출과 기저유출을 분리하는 방법이다. 가변 경사법은 수정 N-day법과 같이 침투발생 시간까지는 기저유량이 지속적으로 감소하고, 감수곡선에서 경사가 급변하는 지점을 결정하여 이곳에서부터 하강부 곡선의 변곡점발생 시간까지 거꾸로 보간하여 침투발생 시의 기저유량과 직선으로 연결하여 직접유출과 기저유출을 분리하는 방법이다(Ryu et al., 2012).

**연구지역에서 사용한 WHAT system**

WHAT system이란 Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool이며, 즉 Web GIS 기반의 수문분석 툴이다. WHAT system은 하천에서 기저유출을 분리해 내는 수문분석과정 방법인 주 지하수 감수곡선법, 수평직선 분리법, N-day법, 수정 N-day법, 가변경사법등의 단점인 분석자에 따라 그 결과에 많은 차이를 보일 수 있는 문제점들을 해결하기 위해서 디지털 필터링(digital filtering) 방법을 이용하였다(Lim, 2006). 디지털 필터 방식은 물리적인 의미를 가지고 있지 않지만 수동 분리로부터 주관적인 측면을 제거하며, 빠르고 일관성 있고, 재현가능성이 있다(Arnold and Allen, 1999). 그러나 이러한 디지털 필터 방식은 경험이 풍부한 수문분석가들의 주관적인 평가가 권장되어진다(Lim et al., 2005). WHAT system은 위와 같은 디지털 필터링을 이용한 수문분석 방법으로 Local Minimum Method, BFlow 필터, Eckhardt 필터 이렇게 세 개의 기저유출 분리 모듈을 가지고 있다. 특히 WHAT system에서는 유역 내 대수층의 특성을 고려할 수 있는 Ekhardt 필터(Ekhardt, 2005)를 이용하여 수문 분석 시 대수층별 특성을 반영하였다(Lim, 2006). Local Minimum Method 모듈은 수문곡선이 감소하였다가 다시 증가되는 지역적인 최소값을 연결하여 수문곡선을 분석하는 방법이다. 그러나 기저유출 분리 시 실제보다 기저유출을 많이 산정하는 단점을 가지고 있다(Lim, 2006). Eckhardt 필터의 경우에는 BFlow 필터를 수정한 대수층의 특성을 잘 반영하지만,  $BFI_{max}$  변수 값에 따라서 분리되어진 직접유출량과 기저유출량이 많은 차이를 보일 수 있기 때문에 해당 유역의 대수층의 특성을 잘 반영할 수 있는  $BFI_{max}$  변수 값에 따라서 분리되어진 직접유출량과 기저유출량이 많은 차이를 보일 수 있기 때문에 해당 유역의 대수층의 특성을 잘 반영할 수 있는  $BFI_{max}$  변수

값의 결정에 많은 주의가 필요하다(Lim et al., 2006). Eckhardt(2005)는  $BFI_{max}$ 값을 고려한 기저유출 분리를 다음과 같은 총 유량에서 기저유출의 장기적인 비율의 최대값을 고려하여 제안하였으며, 식은 다음과 같다(Lim, 2005).

$$b_t = \frac{(1 - BFI_{max}) \times \alpha + b_{t-1} + (1 - \alpha) \times BFI_{max} \times Q_t}{1 - \alpha \times BFI_{max}}$$

- $b_t$ : t 시간단계에서 필터링 된 기저유출
- $b_{t-1}$ : t-1 시간단계에서 필터링 된 기저유출
- $BFI_{max}$ : 총 유량에서 기저유출의 장기 비율 값
- $\alpha$ : 필터의 매개변수 값
- $Q_t$ : t 시간단계에서의 총 유량

Ekhardt 필터의 경우 위에서 언급한 바와 같이  $BFI_{max}$  변수 값에 따라 직접유출량과 기저유출량의 차이가 많이 날 수 있기 때문에 대수층의 특성을 적절하게 반영할 수 있는  $BFI_{max}$  값 산정이 매우 중요하다. 항시 흐름이 있는 다공성 대수층의 하천일 경우 수문분석 시  $BFI_{max} = 0.80$ , 순간 흐름이 있는 다공성 대수층의 하천일 경우  $BFI_{max} = 0.5$ , 항시 흐름이 있는 암반 대수층의 경우  $BFI_{max} = 0.25$  값을 이용할 것을 권장하고 있다(Ekhardt, 2005).

**연구지역**

연구지역은 경상남도 창녕군 영산면 일대로 영산천은 낙동강의 제 1 지류인 준용하천으로 남북의 길이가 약 10 km, 동서의 길이가 약 5.5 km로 대체적으로 북에서 남으로 형성된 유역의 형상이 평행상을 띄고 있는 유역을 형성하고 있다(Fig. 1). 창녕 · 함안보에서는 북서쪽 방향으로 약 8 km 정도 떨어진 곳에 위치하고 있으며 낙동강유역으로 흐르고 있다. 영산천은 연간 마르지 않는 영구하천으로써 일정량의 기저유출이 계속적으로 발생하고 있다고 판단되어, 이 연구지역의 소하천 4지점을 지정하여 기저유출량을 산출하였다. 연구지역의 토지 이용현황은 환경부에서 제공하는 중분류 토지 피복도를 기본으로 현황조사, 현지 인터뷰와 병행해서 조사하였다. 연구지역의 표토의 토성은 미사질 양토(silt loam)가 대부분을 차지하며 양토(loamy soil)와 사양토(sandy loam) 순으로 구성되어 있다(Fig. 2). 논토양의 유형으로 대부분이 토지생산력이 매우 높은 보통논으로 구성되어 있으며 Site 1 하부지역의 일부구간은 지하수위의 상승

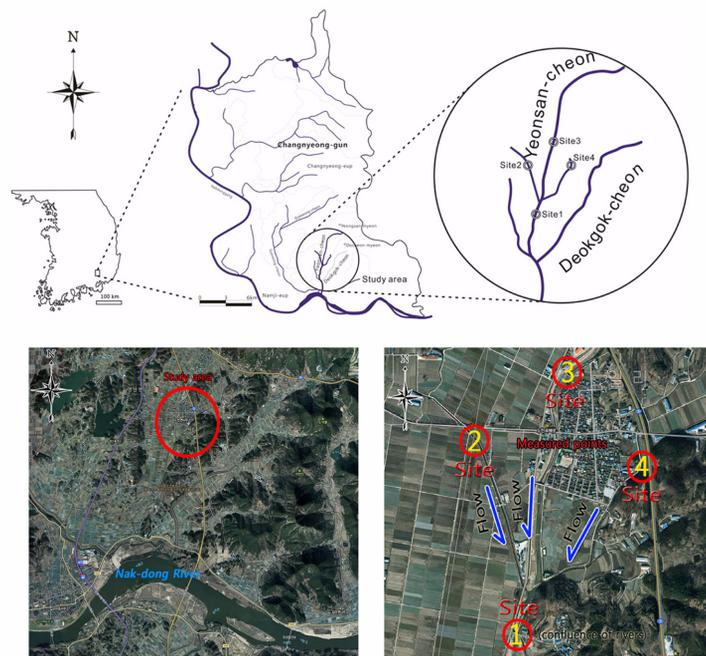


Fig. 1. Water system and sites measured in the study area.

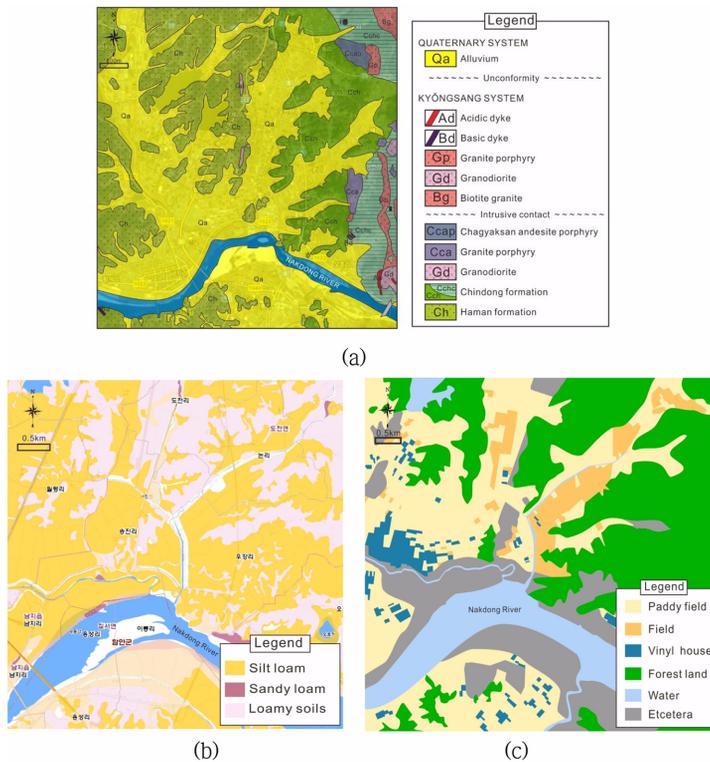


Fig. 2. Geological map (a), soil map (b), and ground coverage (c) of the study area.

으로 인하여 습해가 우려되는 습답논으로 구성되어 있다. 또한 밭토양의 유형으로는 토지생산력이 매우 높으며, 발작물재배에 지해인자가 없는 보통 밭과 점토함량이 많아 불투수층 형성으로 물과 공기의 이동이 느린 중점밭으로 구성되어 있다(Yeongnam crops experiment station & institute of agricultural sciences office of rural development, 1981). 지질은 경상남북도에 걸쳐 널리 분포하는 중생대 지층 중 백악기에 속하는 상부경상계이후 암층으로 구성된다. 즉 신라통의 퇴적암류, 안산암질암류 및 불국사통의 화강암류로 크게 구분된다. 지질도상에서 분포는 크게 보아 동부가 안산암질류이고 서부가 퇴적암 및 화강암류로 되며, 동남부에 응회암이 분포한다. 퇴적암류는 하부로부터 함안층, 진동층, 팔용산응회암으로 구성되어 있다. 이들의 상호관계는 함안층과 진동층은 정합이나 진동층과 팔용산 응회암층과의 접촉관계는 안산암질암이 관입되어 있다(Kim and Lee, 1964).

**유량측정과 기저유출량 산출**

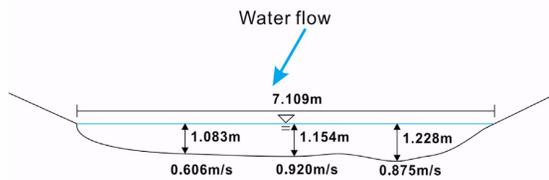
**유량측정 및 기저유출량 산출**

유속은 하천의 깊이에 따라 다르므로 하천의 유속을 대표 할 수 있는 평균값을 선정하여야 한다. 우기 시에는 2점법으로 수면으로부터 측정수심까지의 비가 0.2, 0.8인 지점의 평균 유속을 구하였고 건기 시에는 1점법

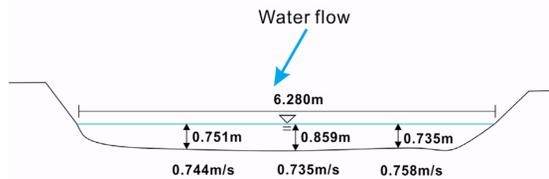
으로 수면아래 수심의 60% 지점 유속으로 측정하였다. 또한 소하천의 수심측선과 유속측선 간격은 하천 폭의 3등분지점에서 측정하였다(Fig. 3). 연구지역은 본류인 Site 1, 3과 지류인 Site 2, 4 지점에서 유량을 측정하였다(Table 1). 그리고 3개의 하천이 합류되어 만들어지는 Site 1 지점의 유량에서 기저유출량을 정량적으로 산출하였다(Table 2). 합류되기 전 Site 2, 3, 4에서 측정 한 하천유량의 합보다 합류되어 만들어지는 Site 1의 하천유량이 증가했다면 증가한량만큼 기저유출량이 발생되었다는 가정 하에 분석하였다. 유량측정하기 2일 전 일강수량은 7월 14일은 26.5 mm/day, 7월 15일은 54.5 mm/day이었고 2일 후 측정 당시 일강수량은 2012년 7월 17일은 6.5 mm/day, 7월 18일은 8.0 mm/day, 7월 19일은 9.5 mm/day로 태풍 카눈(KHANUN)으로 인한 집중호우기간동안 측정하였다.

**WHAT system을 활용한 기저유출량 산출**

본 연구지역은 항시 하천이 흐르고 공극이 많은 대수층으로  $BFI_{max}$  값을 0.80의 입력인자로 WHAT system을 이용하여 기저유출량을 분석하였다. 3개 하천의 합류지점인 Site 1 하천지역의 전체 유역의 기저유출량을 날짜별로 분석해 본 결과 집중호우 기간이었던 2012년 07월 17일에는 3.290 m<sup>3</sup>/s, 2012년 07월 18일에는 1.750 m<sup>3</sup>/s, 2012년 07월 19일에는 1.875 m<sup>3</sup>/s으로 나타났고 건기였던 2013년 03월 06일에는 0.038 m<sup>3</sup>/s,



(a) Site 1



(b) Site 3

**Fig. 3.** Measurements of cross-section area and velocity at sites 1 and 3.

**Table 1.** Flow rate of streams at each site in the study area.

Date	Site	Cross-section area (m <sup>2</sup> )	Velocity (m/s)	Flow rate (m <sup>3</sup> /s)
2012.07.17.	Site 1	8.211	0.800	6.569
	Site 2	3.184	0.365	1.163
	Site 3	4.908	0.746	3.663
	Site 4	2.293	0.519	1.191
2012.07.18.	Site 1	3.563	0.490	1.746
	Site 2	1.879	0.101	0.190
	Site 3	2.967	0.332	0.986
	Site 4	1.061	0.238	0.252
2012.07.19.	Site 1	5.626	0.698	3.927
	Site 2	2.853	0.240	0.684
	Site 3	3.861	0.548	2.116
	Site 4	1.971	0.448	0.883
2013.03.06.	Site 1	0.720	0.107	0.077
	Site 2	0.845	0.024	0.020
	Site 3	1.018	0.028	0.029
	Site 4	0.723	0.028	0.020
2013.03.30.	Site 1	0.865	0.144	0.125
	Site 2	0.362	0.092	0.033
	Site 3	0.246	0.144	0.035
	Site 4	0.704	0.065	0.046

**Table 2.** Baseflow as measured by stream flow rate.

Date	Site	Stream flow rate (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow of study area (m <sup>3</sup> /s)
2012.07.17.	Site 1	6.569	0.552
	Site 2	1.163	
	Site 3	3.663	
	Site 4	1.191	
2012.07.18.	Site 1	1.746	0.318
	Site 2	0.190	
	Site 3	0.986	
	Site 4	0.252	
2012.07.19.	Site 1	3.927	0.244
	Site 2	0.684	
	Site 3	2.116	
	Site 4	0.883	
2013.03.06.	Site 1	0.077	0.008
	Site 2	0.020	
	Site 3	0.029	
	Site 4	0.020	
2013.03.30.	Site 1	0.125	0.011
	Site 2	0.033	
	Site 3	0.035	
	Site 4	0.046	

**Table 3.** Baseflow calculated by the WHAT system in the drainage and the study area.

Season	Date	Baseflow of drainage area (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow of study area (m <sup>3</sup> /s)
Rainy season	2012.07.17.	3.290	0.489
	2012.07.18.	1.750	0.260
	2012.07.19.	1.875	0.279
Dry season	2013.03.06.	0.038	0.006
	2013.03.30.	0.062	0.009

**Table 4.** Comparison of baseflow calculations between stream flow and the WHAT system.

Season	Date	Baseflow from stream flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow by WHAT system (m <sup>3</sup> /s)	Difference (m <sup>3</sup> /s)	Precipitation (mm/d)
Rainy	2012.07.17.	0.552	0.489	0.063	37.0
	2012.07.18.	0.318	0.260	0.058	16.5
	2012.07.19.	0.244	0.279	0.035	8.5
Dry	2013.03.06.	0.008	0.006	0.002	0.0
	2013.03.30.	0.011	0.009	0.002	0.0

2013년 03월 30일에는 0.062 m<sup>3</sup>/s의 기저유출량이 산출되었다(Table 3). 이는 우기 때의 기저유출량이 건기보다 약 46배 많이 나타난다.

### 기저유출량 비교

우기 및 건기 때의 현장에서 측정된 유량에서 분리해낸 기저유출량과 WHAT system을 활용하여 분리해낸 기저유출량을 비교하였다. WHAT system은 프로그램 특성 상 유역 전체면적에 대한 기저유출량을 산출하므로 우선 연구지역의 유역면적을 구하는 것이 선행되어야 한다. 이 연구지역의 유역면적은 29.817 km<sup>2</sup>이며, 유량측정지역의 유역면적은 4.433 km<sup>2</sup>으로 하천 전체유역면적의 약 1/6.726 배에 해당하므로 연구지역에서의 기저유출량 또한 WHAT system에서 산출된 유역 전체의 기저유출량에 1/6.726배 정도에 해당된다. 따라서 연구지역의 기저유출량은 우기인 2012년 07월 17일에는 0.489 m<sup>3</sup>/s, 2012년 07월 18일에는 0.260 m<sup>3</sup>/s, 2012년 07월 19일에는 0.279 m<sup>3</sup>/s이었고 건기였던 2013년 03월 06일에는 0.006 m<sup>3</sup>/s, 2013년 03월 30일에는 0.009 m<sup>3</sup>/s의 기저유출량이 산출되었다(Table 4). WHAT system을 활용한 기저유출량이 현장에서 직접 측정된 기저유출량에 비해 우기와 건기 모두 다소 적게 나타났으며 건기 시 오차가 상대적으로 적게 나타났다.

앞에서 기술한 바와 같이 WHAT system은 대수층의 특성을 잘 반영하므로 유출 모의를 하기 위해서 토양도

를 파악하는 것이 중요하다. Site 1, 2, 3의 경우 미속답이고 토양의 종류는 양토로써 배수등급이 양호한 편이며 Site 4의 경우 보통답이고 토양의 종류는 미사질 양토로써 배수등급이 약간 불량한 상태지만 연구지역은 대체로 투수율이 좋으며, 배수가 양호한 편이다. Site 1과 Site 2의 직선상의 거리 사이에 있는 지하수 자동관측망에서 측정된 평균수위는 우기(2012년 07월 17일~19일) 시 8.74 m이었고, 건기(2013년 02월 22일~24일) 시 7.72 m로 차이가 약 1.02 m로 나타났다. Yang and Chi (2011)에 의하면 지하수위와 기저유출의 상관관계가 같은 지역이라도 상관계수가 좋은 해가 있는 반면, 좋지 못한 해가 나오는 등 결과가 상이하게 나오는 지역의 경우는 몇 가지의 이유로 분석하였다. 첫째, 하천의 유량이 거의 없어서 하천의 건천화가 일어나는 지역이다. 이는 하천에 유량이 풍부한 경우 수두차로 인해서 하천에서 지하대수층으로의 물의 이동이 일어나게 되는데 가뭄 등으로 인하여 하천이 건천화 되거나 하천의 유량이 부족 할 경우 하천의 보충원 역할을 하는 지하수의 지하수위가 하천수위와 역전이 되어서 거꾸로 지하수에서 하천으로의 물의 이동이 생기며 이로 인하여 기저유출과 지하수위의 상관관계 분석에 영향을 끼쳤을 가능성이 있는 지역이다. 둘째, 국지적인 폭우나 집중호우로 인해서 급격히 증가한 유량으로 인하여 기저유출 또한 갑자기 증가한 것으로 산정된 것 또한 주요한 원인으로 분석하였다. 갑작스러운 집중호우의 경우 강우가 지표를 통해서 침투할 시간이 짧기 때문에 기저유출에 비해 직

접유출의 비율이 현저하게 높으나 기저유출 분리과정에서 집중호우에 의한 기저유출을 제대로 분리하지 못하여 기저유출이 과도하게 산정되어 지하수위의 변동보다 훨씬 큰 기저유출의 변동결과를 볼 수 있다. 이것은 기저유출과 지하수위의 상관관계 분석에 좋지 않은 영향을 끼친다고 하였다(Yang and Chi, 2011). 우기 때의 기저유출량이 건기보다 약 46배 많이 나타난 원인은 우기 시 상대적으로 많은 유량과 지하수위의 상승으로 기저유출량이 높게 나타난 것으로 보인다. 기존의 연구들은 장기 수문 분석 및 WAMIS(국가수자원관리종합정보시스템)에서 제공하는 4대강의 자동유량측정관측소에서 측정된 자료들을 바탕으로 WHAT system을 활용하였지만 본 연구결과 소하천에서도 적용할 수 있을 것이라 사료된다. 또한 지하수위와 WHAT system을 이용하여 분리한 기저유출량과의 상관관계를 분석해 본다면 지하수위의 변화와 기저유출량의 변화 특성으로 지하수위 변동을 예측하는데 효과적일 것으로 판단된다. 위의 결과들을 볼 때에 상대적으로 자료의 축적된 기간이나 자료의 결측을 보완하여 장기적인 분석이 이루어진다면 정확도가 더 향상될 수 있을 것으로 기대된다.

## 결 론

연구지역에서 Site 2, Site 3 및 Site 4 등의 3개의 하천 합류지점인 Site 1에서 우기 및 건기 시의 기저유출량을 현장에서 측정된 유량에서 분리해낸 기저유출량과 WHAT system을 활용하여 분리해낸 기저유출량을 비교, 분석하였다. 그 결과 WHAT system을 활용한 기저유출량이 현장에서 측정된 기저유출량에 비해 우기와 건기 모두 다소 작게 평가되긴 했으나, 우기 즉, 강우 발생 시의 기저유출량에서 차이가 크게 나타났고 건기 시 차이가 다소 작게 나타났다. 이는 건기 시 유량 자체가 낮아 기저유출량 또한 상대적으로 적게 나타난 것이라 판단된다. 또한 연구지역에서 우기 시의 기저유출량이 건기 시의 기저유출량에 비해 46배 정도 크게 나타나는 것은 우기 시의 지하수위가 건기 시 보다 1.02 m 정도 높게 나타난 것에 원인이 있는 것으로 판단되나 이를 보다 정확하게 판단하기 위해서는 강우 시수로 변경에 의한 유입 및 있을 수 있는 다른 외적 영향을 모두 고려한 장기간의 측정이 필요할 것으로 생각된다. 따라서 장기간 분석을 통해 강우량 및 지하수위 분석과 하천유량의 유출 유형을 분석한다면, 향후 국지적 호우기간동안 발생 할 수 있는 지하수 홍수 및 강우

로 인한 재해 예방에 양질의 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원에서 위탁시행한 물관리연구사업(11기술혁신C05)에 의한 ‘수변지하수활용고도화’연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- Arnold, J. G. and P. M. Allen, 1999, Validation of Automated Methods for Estimation Baseflow and Groundwater Recharge from Stream Flow Records, *Journal of American Water Resources Association*, 35(2), 411-424.
- Eckhardt, K., 2005, How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Separation, *Hydrological Processes*, 19(2), 507-515.
- Joo, S. W., Park, Y. S., Kim, J. G., Heo, S. G., Kim, K. S., Choi, J. D. and Lim, K. J., 2007, Estimation of BFI-max value for Accurate Baseflow Separation using WHAT system, *Inst. Agr. Sci., Kangwon Nat'l Univ., J. Agr. Sci.*, 18, 155-162 (in Korean).
- Kim, N. J. and Lee, H. K., 1964, Explanatory text of the geological map of Yongsan sheet (1:50,000), *Geological Survey of Korea*, 31p (in Korean).
- Lim, K. J., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J., Kim, K., Muthukrishnan, S., and Tripathy, D., 2005, Automated Web Gis-based Hydrograph Analysis Tool, WHAT, *Journal of the American Water Resource Association*, 41(6), 1407-1416.
- Lim, K. J., 2006, Introduction of the Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool for Evaluation of Hydrological Model Accuracy, *Korean National Committee on Irrigation and Drainage*, 13(2), 303-309 (in Korean).
- Ministry of Construction & Transportation, 2011, *Water Vision 2020*, 11p (in Korean).
- Ryu, J. C., Kang, H. W., and Lim, K. J., 2012, Introduction of Web GIS based baseflow separation program, *Korea Water Resources Association*, 45(2), 93-102 (in Korean).
- Yang, J. S. and Chi, D. K., 2011, Correlation Analysis between Groundwater Level and Baseflow in the Geum River Watershed, Calculated using the WHAT SYSTEM, *The Journal of Engineering Geology*, 21(4), 107-116.
- Yeongnam Crops Experiment Station & Institute of Agricultural Sciences Office of Rural Development, 1981, *Detailed soil map (1:25,000)*, Changnyeong-gun, 10p (in Korean).

---

원고접수일 : 2013년 4월 16일  
수정본채택 : 2013년 5월 14일(1차)  
2013년 6월 12일(2차)  
게재확정일 : 2013년 6월 14일

**남경훈**

안동대학교 지구환경과학과  
760-749 경북 안동시 경동로 1375(송천동)  
Tel: 054-820-7735  
Fax: 054-822-5467  
E-mail: namsoil@naver.com

**김규범**

한국수자원공사 K-water연구원  
305-730 대전광역시 유성구 전민동 462-1번지  
Tel: 042-870-7640  
E-mail: gbkim@kwater.or.kr

**정교철**

안동대학교 지구환경과학과  
760-749 경북 안동시 경동로 1375(송천동)  
Tel: 054-820-5753  
Fax: 054-822-5467  
E-mail: jeong@andong.ac.kr