

금강 유역의 지하수위와 WHAT SYSTEM을 통하여 산정된 기저유출과의 상관관계 분석

양정석* · 지동근

국민대학교 건설시스템공학부

Correlation Analysis between Groundwater Level and Baseflow in the Geum River Watershed, Calculated using the WHAT SYSTEM

Jeong-Seok Yang* and Dong-Keun Chi

School of Civil and Environmental Engineering, Kookmin University

금강유역의 수위관측소에서 관측된 유량자료와 국가 지하수 관측망에서 관리하는 관측소 지하수위 자료를, 두 관측소 간의 거리를(10 km 이내) 고려하여, 선정한 후 수집하였다. 관측된 유량자료를 WHAT SYSTEM이라는 Web GIS 기반의 수문분석 프로그램을 이용하여 유량자료에서 기저유출을 분리하였다. 그 후 기저유출 값과 지하수위간의 상관계수를 분석하였다. 2002년부터 2008년까지 조사한 금강유역 내에서 선정된 총 20개 지역 중 지하수위와 기저유출의 상관계수가 0.5 이상인 경우가 발생한 지역은 12개이고 모든 지역의 전체 관측년도에서 상관계수가 0.5~0.6인 경우는 8개, 0.6~0.7인 경우는 5개, 그리고 0.7 이상인 경우는 12개였다. 같은 지역이라도 연도마다 다른 상관관계를 보여주고 있으며 이는 가뭄이나 홍수가 심했던 연도에서 낮은 상관관계를 보여주는 것으로 분석되었다. 결론적으로 상관계수가 높은 지역에서는, 가뭄이나 홍수가 심하지 않는 연도라면, 지하수위 관측만으로도 기저유출을 추정할 수 있다.

주요어 : WHAT SYSTEM, 기저유출, 지하수위, 상관관계

Groundwater level data and flowrate data were collected by considering the distance between the groundwater-level gauge station and flowrate gauge station (< 10 km) in the Geum River watershed. Baseflow was separated from the collected flowrate data using the WHAT SYSTEM, which is a Web- and GIS-based tool developed for hydrological applications. Correlation analysis was performed for the separated baseflow and groundwater-level data collected from a site close to the flowrate gauge station. Twenty regions were selected and data sets were collected from 2002 to 2008. Twelve regions yielded a correlation coefficient of > 0.5. When the data sets were analyzed for each year for all 20 regions, we obtained a correlation coefficient of 0.5-0.6 for 8 cases, 0.6-0.7 for 5 cases, and > 0.7 for 12 cases. For individual regions, the correlation coefficient varied from year to year. There was a tendency toward weak correlation in the case of drought or flood. Therefore, under normal conditions (i.e., neither flood nor severe drought), it is possible to estimate the baseflow from nearby groundwater-level data for regions with a high correlation coefficient.

Key words : WHAT SYSTEM, Baseflow, Groundwater level, Correlation Coefficient

서 론

최근의 지구생태계의 환경이 급작스럽게 변화하면서 세계 곳곳에서 국지적 집중호우나 가뭄, 폭설, 폭염 등의 기후변화에 의한 재난 재해들이 많이 보도되고 또한 일어나고 있다. 우리나라 또한 이러한 변화로 인하여 국지적

집중호우로 인한 홍수나 가뭄으로 인한 하천의 건천화 등의 기후변화를 겪고 있으며, 이로 인하여 수자원의 활용도가 떨어지고 있으며, 수자원의 이용 및 관리 보존 등의 문제가 대두되고 있는 실정이다. 이러한 수자원의 활용도를 높이기 위하여 기존의 강우, 하천뿐만이 아니라 지하수위 연구들도 활발히 이루어지고 있다(양정석과 안

*Corresponding author: jyang@kookmin.ac.kr

태연, 2008). 일반적으로 하천에서의 기저유출은 강우 및 유량, 대수층으로부터 유출입 되는 지하수의 영향을 받는다. 이 모든 것들이 상호 작용을 통하여 물 순환하고 있으며, 이들 중 지하수는 하천 수량을 보충하는 보충원으로 매우 중요한 역할을 하고 있다. 향후 물 부족 문제로 인한 지하수의 개발 및 보전이 더욱 중요한 문제로 예상되는 현 시점에서 지하수위와 기저유출간의 상관관계를 연구해 보았다. 하천에서 기저유출을 분리해 내는 과정을 수문분석이라 하며 주 지하수 감수곡선법, 수평직선 분리법, N-day법, 수정 N-day법, 가변경사법등이 있다. 이러한 방법들에 따라서 나타나게 되는 수문곡선들은 많은 연구의 기초 자료 및 밑바탕으로 쓰인다. 그러나 이러한 방법들로 장기 유출모형을 분석하기에는 그리 효율적이지 못하고, 같은 자료를 이용하여 분석하더라도 분석자에 따라 그 결과에 많은 차이를 보일 수 있다(임경재, 2006). 이에 따른 문제들은 해결하기위한 모색 방법으로 디지털 필터링(digital filtering)방법이 수문분석에 많이 이용되어오고 있다(Lyne and Hollick, 1979; Arnold and Allen, 1999; Eckhardt, 2005; Lim et al., 2005; Lim et al., 2010). WHAT SYSTEM의 Eckhardt 필터는 수문분석 시 대수층별로 특성을 반영할 수 있는 BFI_{max} 변수 값을 이용하는 장점을 지니며, 이 BFI_{max} 변수 값에 의하여 직접유출과 기저유출 분리 값에 많은 차이를 보일 수 있다(임경재, 2006).

수많은 수문/수자원 관련 분석 툴들과 모델들이 이용되고 있는 현실에서 수문분석 툴들의 모의 결과의 정확성과 신뢰성의 중요성은 매우 중요하다. 수문분석 툴의 신뢰성이 높다 한다면, 이는 기저유출량과 지하수위 변동의 상관관계를 비교 분석하여 상관관계가 좋은 지역과 좋지 않은 지역을 분리 할 수 있다. 그리고 이를 바탕으로 하여 좋은 지역의 경우 지하수위만 보아도 기저유출량의 트렌드와 회귀분석 식을 알고 이용할 수 있으며, 또한 지역적 수자원 활용, 개발 연구 및 향후 우리나라의 하천과 지하수위 증감 예측과 관리 보존에 많은 도움이 될 것이다. 본 연구에서는 WHAT SYSTEM을 이용하여 하천의 유량을 수문분석하여 기저유출을 분리시킨 후 이 기저유출량과 근처 지하수위 관측소의 지하수위의 변화량을 회귀 분석을 통하여 상관관계를 알아보고자 하였다.

연구배경 및 연구방법

수문곡선 및 기저유출

어떤 지점에서의 유량, 수위 등을 시간에 따른 변화를

나타낸 그림을 수문곡선이라 하며, 유량을 시간에 따라 나타낸 곡선을 유량수문곡선(discharge hydrograph), 수위를 시간에 따라 나타낸 곡선을 수위수문곡선(stage hydrograph)이라 한다.

수문곡선은 강우의 형태, 진행 방향 등 기후 특성과 유역의 경사, 흙의 피복 상태, 지질 상황 등 유역의 지형학적 특성을 포함하는 결과를 대표하는 곡선으로 강우에 대한 유역의 종합적 반응을 나타내는 곡선으로 매우 중요하게 여기어 진다.

수문곡선의 유량은 직접유출과 기저유출을 합한 것이므로 유출 해석을 위하여 직접유출과 기저유출을 분리하며, 기저유출[基底流出, base flow, base discharge]은 중간유출과 지하수유출을 합친 것으로 하천 수로를 통한 총 유출을 구성하는 요소를 말하며, 일정기간의 무강우가 어느 정도 지속된 하천유량은 기저유출량으로만 이루어진다. 수문곡선(hydrograph) 상에서 직접유출과 기저유출을 분리하는 일은 수문곡선의 해석의 중요한 단계이며 직접유출과 지하수유출의 정확한 분리가 필요하기 때문에 어려운 경우가 많다. 이를 위해서 유역의 정확한 범위, 지하 대수층의 지질, 투수능, 통수능력 등 유역의 특성을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 수문곡선의 요소들은 첨두유량(Peak Flow): 유량이 최대인 지점, (첨두시간, Peak Time): 수문곡선의 상승기점으로부터 첨두유량에 도달할 때까지의 시간, (지체시간, Lag Time): 우량주상도의 질량 중심에서 수문곡선의 질량 중심까지의 시간, (도달시간, Concentration Time): 우량주상의 끝나는 시점에서 변곡점까지의 시간, (기저시간, Base Time): 직접유출이 시작되는 시간에서 끝 날 때까지의 시간, 변곡점 (Inflection Point): 지표면 유출이 끝나는 점, 감수곡선의 변곡점(Inflection Point of Recession Curve): 직접유출이 끝나는 점 등으로 나타낼 수 있다.

기저유출분리를 위한 기존의 방법

주 지하수 감수곡선법

과거의 수문곡선으로부터 수문곡선의 감수곡선들을 중첩시켜 얻는 방법으로 감수곡선은 지하토층 또는 대수층의 특성에 의해 좌우되는 특성으로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다(윤용남, 2007).

$$Q_t = Q_0 K_r^t = Q_0 3^{-at}$$

$$K_r = e^{-at}$$

Q_0 : 임의의 시간의 유량

$Q_t: Q_p$ 보다 t 단위시간 이후의 유량의 크기
 K_r : 감수상수(Recession Constant), $K_r < 1$
 a : 토양 및 대수층의 특성을 표시하는 계수

이를 양변에 상용로그를 취한 뒤, 나타내면 다음과 같고 이 식에 의하여 감수곡선을 나타낸다.

$$\log_{10} = \log_{10} Q_0 - 2.3at$$

수평직선 분리법

지표면유출이 발생하는 지점(상승부 기점)과 수평선을 그어 감수곡선과 만나는 선에 의해 직접유출과 기저유출을 분리하는 방법으로 실무에서 많이 사용된다(이재수, 2006).

N-day법

수문곡선의 상승부 기점으로부터 침투유량이 발생하는 시간으로부터 N일 후의 유량을 표시하는 점을 기준으로 직접유출과 기저유출을 분리하는 방법으로 N값은 다음 식에 의해서 결정한다(윤용남, 2007).

$$N = A_1^{0.2} = 0.824A_2^{0.2}$$

여기서, N: 일(day)

A_1 : 유역면적($mile^2$)

A_2 : 유역면적(km^2)

수정 N-day법

강우로 인한 지하수위의 상승은 지표면 유출에 비하여 그 상승속도가 완만하여 특정 강우의 발생 바로 전의 지하수 감수곡선은 강우가 지속되더라도 어느 정도 기간 동안은 감소하게 되는 효과를 고려하기 위한 방법으로 강우발생 이전의 감수곡선을 침투유량의 발생하는 시간의 점까지 연장한 점과 침투유량이 발생하는 시간으로부터 N일 후의 유량을 표시하는 점에 직선을 그어 직접유출과 기저유출을 분리하는 방법이다(윤용남, 2007).

가변경사법

수정 N-day법과 같이 침투발생 시간까지는 기저유출이 지속적으로 감소하고, 감수곡선에서 경사가 급변하는 지점을 결정하여 이곳에서부터 하강부 곡선의 변곡점발생 시간까지 거꾸로 보간하여 침투발생 시의 기저유출과 직선으로 연결하여 직접유출과 기저유출을 분리하는 방법이다(이재수, 2006).

WHAT SYSTEM

WHAT SYSTEM이란 Web GIS-based Hydrograph

Analysis Tool이며 다시 말하면 Web GIS 기반의 수문 분석 툴이다. WHAT SYSTEM은 하천에서 기저유출을 분리해 내는 수문분석과정 방법인 주 지하수 감수곡선법, 수평직선 분리법, N-day법, 수정 N-day법, 가변경사법등의 단점인 장기 유출모형을 분석 시 그리 효율적이지 못하고, 같은 자료를 이용하여 분석하더라도 분석자에 따라 그 결과에 많은 차이를 보일 수 있는 문제점들을 해결하기 위해서 디지털 필터링(Digital filtering) 방법을 이용하였다(임경재, 2006). 디지털 필터 방식은 물리적인 의미를 가지고 있지 않지만 수동 분리로부터 주관적인 측면을 제거하며, 빠르고 일관성있고, 재현가능성이 있다(Arnold and Allen, 1999).

WHAT SYSTEM에서는 유역내 대수층의 특성을 고려할 수 있는 Ekhardt 필터(Ekhardt, 2005)를 사용하였다. WHAT SYSTEM은 그러한 디지털 필터링을 이용한 수문분석 툴의 하나로 Local Minimum Method, BFLOW 필터, Eckhardt 필터 이렇게 세 개의 기저유출 분리 모듈을 이용하여 기저유출을 분리할 수 있다. Local Minimum Method모듈은 수문곡선이 감소하였다가 다시 증가되는 지역적인 최소값을 연결하여 수문곡선을 분석하는 방법으로, 기저유출 분리시 실제보다 기저유출을 많이 산정하는 단점이 있다. Eckhardt 필터는 BFLOW 필터를 수정하여 대수층의 특성을 고려할 수 있는 방법이지만, BFI_{max} 변수값에 따른 유출량의 차이가 많이 나기 때문에 해당 유역의 대수층의 특성을 잘 반영할 수 있는 BFI_{max} 변수 값의 결정에 많은 주의가 필요하다(임경재, 2006).

Ekhardt (2005)는 기저유출 분리를 다음과 같은 총 유량에서 기저유출의 장기적인 비율의 최대값을 고려한 일반적인 양식을 제안하였으며, 식은 다음과 같다.

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

여기서, b_t 는 t시간단계에서 필터링 된 기저유출, b_{t-1} 는 t-1시간단계에서 필터링 된 기저유출, BFI_{max} 는 총 유량에서 기저유출의 장기 비율 값, α 는 필터의 매개변수 값, Q_t 는 t시간단계에서의 총 유량이다(Lim et al., 2005).

위에서 언급한 바와 같이 Ekhardt 필터의 경우 BFI_{max} 값에 따라 분리된 직접유출과 기저유출의 양이 차이가 많이 날 수 있기 때문에 대수층의 특성을 적절하게 반영할 수 있는 BFI_{max} 값 산정이 매우 중요 하며, 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). 그러나 연구지역과 가장 적합한 BFI_{max} 값을 선정 시에는 연구대상의 유역내의 대수층의 특성을 아주 잘 파악하여 구해야 하는데 이는 일반 사용자가 구하기는 매우 어렵기 때문에 본 연구에서는 WHAT SYSTEM에 연계되어 있는 감수곡선 분석방법과 최적화 기법을 이용한 BFI_{max} 변수값을 결정해 주는 GA-Analyzer를 이용하여 BFI_{max} 값을 산정하였다.

이러한 WHAT SYSTEM과 기존의 기저유출 방법들 간의 결과를 비교하기 위하여 기존 방법 중의 하나인 N-Day법을 선정하여 일부지역을 비교분석하여 보았다. 다음 Fig. 1과 Fig. 2는 논산-논산상월과 회덕-대전태평지역의 지하수위와 WHAT SYSTEM을 이용하여 분리한 기저유출과 N-Day법을 이용하여 산정한 기저유출을 보여주는 차트이다. 논산-논산상월의 경우 지하수위와 WHAT SYSTEM의 기저유출과의 값이 0.5678이 나왔으며 N-Day법의 기저유출과의 값이 0.2936로 상관관계를 나타내었으며, 회덕-대전태평의 경우 WHAT SYSTEM의 기저유출과의 값이 0.8062이 나왔으며 N-Day법의 기저유출과의 값이 0.0038로 두 지역 모두 WHAT SYSTEM의 기저유출의 경우 좋은 상관관계를 볼 수 있고 N-Day법의

경우 낮게 나왔다. 이를 바탕으로 위에서 언급하였던 바와 같이 장기 유출모형에 대한 작업 수행 시 디지털 필터링을 이용한 WHAT SYSTEM이 보다 효율적이고 더 나은 기저유출 값을 계산하는 것을 알 수 있었다.

지하수위와 기저유출의 상관관계 분석

본 연구에서는 WHAT SYSTEM을 이용하여 산정된 기저유출량과 지하수위를 비교하고 이에 따른 상관관계를 분석하였다. 그런데 기저유출량(m^3)과 지하수위(m)의 경우 m^3 이라는 차원의 차이가 난다. 이러한 차원의 차이를 맞추기 위해서는 지하수(m)라는 차원을 m^3 이라는 차원으로 바꾸기 위하여 지하수 함양 또는 지하수 개발 가능량 산정이라는 방법을 이용하여 바꾸어 주는 것이 바람직할 수 있다. 여기서 지하수 개발가능량이란 물 순환체계가 파괴되지 않고 지하수 장애를 일으키지 않는 범위 내에서 지속적으로 대수층으로부터 양수할 수 있는 지하 수량을 의미한다(국토해양부, 2007b). 그러나 이는 의미상 실질적인 지하수의 총량을 의미하지 않을뿐더러 지하수 개발가능량을 산정하는 추정법들 또한 어떠한 방법이 합리적인인가를 판단하기란 매우 어렵다. 본 연구의 목적은 유량에 따른 기저유출량의 분리와 그 분리된 기저유출량이 지하수위의 변화와 얼마나 관계가 있는지 알아보기 위함이므로 지하수위의 차원을 굳이 지하수 개발가능량으로 환원하지 않고 기저유출량(m^3)과 지하수위(m)의 전체적인 경향성을 관찰하고 그에 따른 상관관계를 분석하였다. 또한 지표수와 지하수의 직접적인 관계에 대한 전제조건은 지표수와 지하수의 상호작용이 원활하게 일어날 수 있는 지질구조로 가정하고 상부지하수와 하천수와의 상호작용을 다루는 연구로 가정하였다.

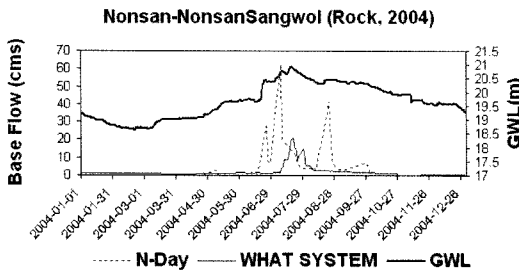


Fig. 1. Comparison of the separated baseflow using the WHAT SYSTEM with those of the N-Day method (Nonsan-NonsanSangwol).

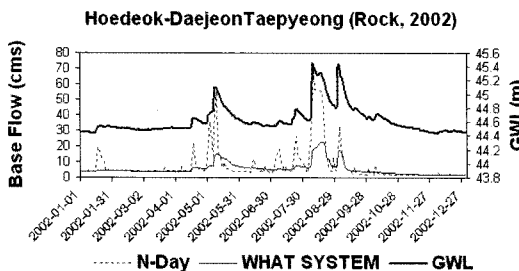


Fig. 2. Comparison of the separated baseflow using the WHAT SYSTEM with those of the N-Day method (Hoedeok-DaejeonTaepyeong).

연구유역

금강유역의 유량관측소 중 20개 지역을 선정하여 유량은 국가 수자원관리 종합 정보 시스템(Water Management Information System, WAMIS)에서 수집, 지하수위의 경우 국가지하수정보센터에서 수집하여, 결측된 해를 제외한 2002년도부터 2008년까지의 유량을 Web GIS기반의 수문분석 툴인 WHAT SYSTEM을 이용하여 수문분석을 실시하여 직접유출과 기저유출을 분리해낸 뒤, 수문학적 동질성을 고려하여, 근처 10 km 이내 중 가장 가까운 지하수위 관측소의 지하수위 자료와 선형회귀분석을 실시하여 상관관계를 비교 분석해 보았다. 다음에 나오는 Fig. 3은

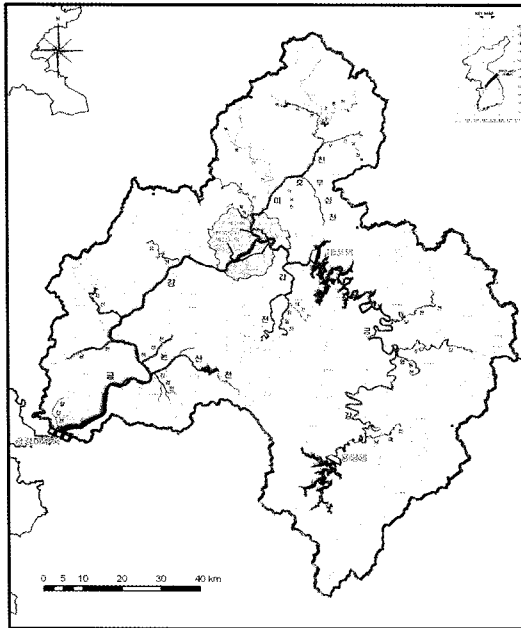


Fig. 3. Geum River watershed.

금강 유역의 유역도(국토해양부, 2009)를 Table 1은 유량관측소(국토해양부, 2007a)를 나타낸다.

Table 1. Gauge station table.

Station	Location			Tidal effect	Gauge datum (EL.m)
	Area	Longitude	Latitude		
Gangcheong	Chungcheongnam-do.Nonsan.	127-00-30	36-09-12	No	-0.930
Gongju	Chungcheongnam-do.Gongju.	127-07-38	36-27-52	No	5.662
Guryong	Chungcheongnam-do.Buyeo.	126-51-39	36-19-25	No	6.698
Gyuam	Chungcheongnam-do.Buyeo.	126-53-37	36-16-23	No	0.760
Geumnam	Chungcheongnam-do.Yeongi.	127-16-23	36-38-29	No	10.597
Nonsan	Chungcheongnam-do.Nonsan.	127-04-55	36-12-23	No	1.837
Seokdong	Chungcheongnam-do.Buyeo.	127-53-12	36-14-39	No	1.542
Sinda	Chungcheongnam-do.Geumsan.	127-22-48	36-12-39	No	96.410
Simcheon	Chungcheongbuk-do.Yeongdong.	127-43-25	36-13-40	No	96.202
YanggangBridge	Chungcheongbuk-do.Yeongdong.	127-42-35	36-12-38	No	95.236
Ochang	Chungcheongbuk-do.Cheongwon.	127-30-41	36-45-57	No	37.349
Wonpyeong	Chungcheongbuk-do.Yesan.	126-49-25	36-43-46	No	5.650
Jeungpyeong	Chungcheongbuk-do.goesan.	127-34-52	36-47-06	No	49.855
Cheongju	Chungcheongbuk-do.Cheongju.	127-29-06	36-38-35	No	36.428
Hapgang	Chungcheongnam-do.Yeongi.	127-19-12	36-31-20	No	15.499
Hoedeok	Chungcheongnam-do.Daejeon.	127-24-43	36-22-30	No	31.191

연구유역의 특성

한반도 중서부에 위치한 금강유역은 동경 126°40'25"~128°03'53", 북위 35°34'47"~37°03'03" 사이에 위치하며, 유역면적은 9,912.15 km²이고, 유로연장은 397.7 km로 우리나라 제 3의 유역으로서 충청남·북도의 약 절반과 전라북도의 대략 1/4정도를 차지하며, 경상남·북도 일부와 경기도 일부를 포함하고 있다.

금강의 발원지는 소백산맥 고봉중의 하나인 전라북도 장수군 장수읍 수분리 신무사(EL. 896.8 m)에서 발원하며, 금강유역의 동서장은 약 120 km 정도이고 남북장은 약 160 km 남북장이 긴 편으로 유역의 북쪽은 차령산맥을 끼며, 우리나라에서 제일 큰 한강유역과 접해 있으며, 동쪽으로 소백산맥을 경계로 낙동강유역과 접하고, 남쪽으로 섬진강과 만경강 유역, 서쪽으로는 서해와 접하고 있다. Fig. 3은 금강의 유역을 나타낸 유역도이다(국토해양부, 2009).

수위 관측소 제원

금강유역의 토양도

Fig. 4는 금강 유역의 토양도를 나타내고 있으며 토양 종류별 분포를 확인 할 수 있다(국토해양부, 2009). 금

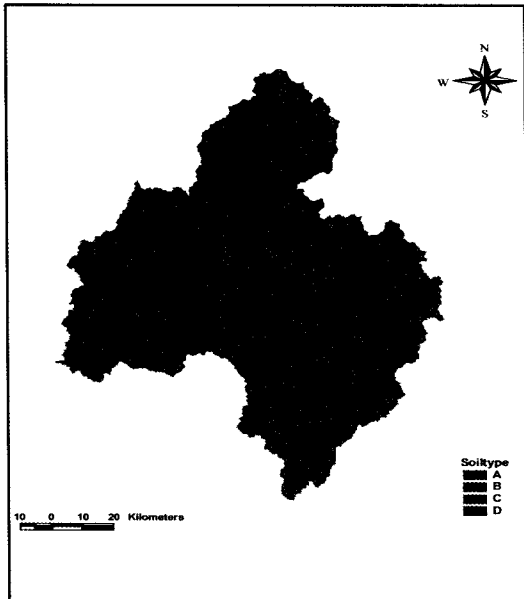


Table 2. Soil types in the Geum River watershed.

River name	Type area(km ²)				Total
	TYPE A	TYPE B	TYPE C	TYPE D	
Geum river	4,583 (46.24%)	3,161 (31.89%)	1,184 (11.94%)	984 (9.93%)	9,912

Table 3. Properties of SCS (Soil Conservation Service) soil types.

Hydrologic group	Soil Properties
TYPE A	Deep sand, deep loess, sandy loam (Low runoff potential, High infiltration rate)
TYPE B	Shallow loess, sandy loam (Moderate infiltration rate)
TYPE C	Clay loams, shallow sandy loam, soils low in organic content, and soils usually high in clay
TYPE D	Soils that swell significantly when wet, heavy plastic clays, and certain saline soils (High runoff potential, Low infiltration rate)

강 유역의 토양종류별 구성 현황은 Table 2와 Table 3에서 보는데와 같이, 낮은 유출률(Low Runoff Potential), 침투율이 대단히 크며 자갈이 있는 부양질, 배수 매우 양호(High Infiltration)한 ‘TYPE-A’군 토양이 4,853.41 km²으로 전체 유역면적의 약 46%를 차지하고 있으며, 다음으로 침투율이 대체로 크고(Moderate infiltration rate), 돌 및 자

갈이 섞인 사질토, 배수 대체로 양호한 ‘TYPE-B’군이 약 3,161.32 km²(31.89%), ‘TYPE-C’군과 ‘TYPE-D’군이 각각 1,183.78 km², 984.19 km²을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 금강유역의 경우 배수가 양호한 ‘TYPE-A’군 및 ‘TYPE-B’군이 전체 유역면적이 약 78%를 차지하고 있는 것으로 나타나 유출률은 적고 침투율은 클 것으로 판단된다(국토해양부, 2009).

연구결과

다음 Table 4는 금강 유역 20개 지역의 2002년부터 2008년까지의 유량에서 분리한 기저유출량과 지하수위와의 회귀분석에 의한 상관관계수 표이며, (-)로 표시한 경우는 유량 또는 지하수위 자료의 결측으로 인하여 분석을 실시하지 않았다. 굵은 글씨체로 나타나 있는 부분이 바로 상관관계가 0.5이상인 지역이고 해당되는 값을 보여주고 있다. Fig. 5~Fig. 21은 Table 4에서 굵은 글씨체로 표시되어 있는 것들 중 상관관계가 0.6이상인 지역의 자료를 도시한 차트이며 지하수위의 변동과 기저유출량의 변동성을 잘 보여주고 있다.

논의 및 결론

금강유역의 선정된 총 20개 지역 중 지하수위와 기저유출의 상관관계가 0.5이상 경우가 발생한 지역은 12개 지역이고 모든 지역의 전체 관측년도에서 상관관계수가 0.5~0.6인 경우는 8개, 0.6~0.7인 경우는 5개, 그리고 0.7이상인 경우는 12개였다. 전체적으로 보았을 때 특별히 상관관계가 좋은 지역도 있으나 그렇지 않은 지역이 많았다. 같은 지역이라 하더라도 상관관계수가 좋은 해가 있는 반면, 좋지 못한 해가 나오는 등 결과가 상이하게 왔으며, 상관관계수가 높은 값이 0.6이상인 경우는 지역과 연도별로 위의 Fig. 5~Fig. 21까지 자료를 도시하였다. 지역적으로는 구룡, 청주, 회덕 지역에서 높은 상관관계수가 나왔으며 연도별로는 2003년과 2007년에 전체적으로 모든 지역에서 높은 상관관계수를 얻을 수 있었다.

Fig. 5~Fig. 21까지의 상관관계수가 비교적 큰 지역의 차트를 관찰하면 상관관계가 높은 지역과 연도일수록 기저유출과 지하수위의 움직임이 거의 흡사하다는 것을 눈으로 확인 할 수 있었다.

상관관계수가 낮게 나온 지역의 경우는 몇 가지의 이유로 분석할 수 있는데 첫째, 하천의 유량이 거의 없어서 하천의 건천화가 일어나는 지역이다. 이는 하천에 유량이

Table 4. Correlation coefficients between baseflow and groundwater level.

Flowrate - Groundwater Level	Aquifer type	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Ganggyeong - IksanYongdong	Rock	-	0.0039	0.0024	0.0576	0.0354	0.0197	0.1566
	alluvium	-	-	-	-	-	-	-
Gangcheong - YeosuJeomdong	Rock	-	-	-	0.2461	0.0096	0.0855	0.0006
	alluvium	-	-	-	0.258	0.0137	0.091	0.0029
Gongju - GongjuJeongan	Rock	-	-	0.3755	0.2774	0.3969	0.4483	0.0926
	alluvium	-	-	0.2879	0.1018	0.3507	0.4734	0.0947
Guryong - BuyeoEusan	Rock	-	-	-	-	0.8068	0.6334	0.4999
	alluvium	-	-	-	-	-	-	-
Guman - YesanOga	Rock	-	-	-	-	-	0.7615	0.3015
	alluvium	-	-	-	-	-	0.7854	0.4295
Gyuam - BuyeoGyuam	Rock	0.4293	0.5932	0.1451	0.3093	0.4293	0.1998	0.003
	alluvium	-	-	-	-	-	-	-
Geumnam - GongjuBanpo	Rock	-	-	0.3849	0.4763	0.2849	0.8266	0.3757
	alluvium	-	-	-	-	-	-	-
Gidaebidge - BocunMaro	Rock	-	-	-	0.0041	-	-	0.2983
	alluvium	-	-	-	0.0083	-	-	0.4003
Nonsan - NonsanSangwol	Rock	0.0004	0.6218	0.5678	0.0561	0.363	0.6204	0.4818
	alluvium	-	-	-	-	-	-	-
Seokdong - BuyeoGyuam	Rock	0.0717	0.4383	0.0827	0.2027	0.1587	0.6543	0.3713
	alluvium	-	-	-	-	-	-	-
Sucheon - YesanOga	Rock	-	0.6899	0.3952	-	0.1503	0.1005	0.0182
	alluvium	-	0.5011	-	-	0.1689	0.1461	0.0152
Sindae - GeumsanBoksu	Rock	-	-	-	0.0178	0.1937	0.0173	0.103
	alluvium	-	-	-	-	0.1674	0.0468	0.1018
Simcheon - YeongdongSimcheon	Rock	-	-	-	-	0.3824	0.7022	0.0645
	alluvium	-	-	-	-	-	-	-
Yanggangbridge - YeongdongSimcheon	Rock	-	-	-	-	0.001	0.252	0.5921
	alluvium	-	-	-	-	-	-	-
Ochang - CheongwonBugil	Rock	-	0.2075	0.3664	0.0727	0.3824	0.1132	0.037
	alluvium	-	-	-	-	-	-	-
Wonpyeong - YesanYesan	Rock	0.4598	0.4238	-	0.3367	0.2599	0.3739	0.117
	alluvium	0.265	0.265	-	-	0.265	0.3618	0.117
Jeungpyeong - CheongwonBugil	Rock	-	0.0083	0.1957	0.038	0.4848	0.4065	0.0303
	alluvium	-	-	-	-	-	-	-
Cheongju - CheongjuNaedeok	Rock	0.4356	0.8274	0.5419	0.5215	0.2023	0.7549	0.1423
	alluvium	-	0.378	0.6274	0.143	0.17	0.702	0.179
Hapgang - CheongwonBuyong	Rock	-	-	-	0.8376	0.4453	0.2934	0.2952
	alluvium	-	-	-	-	0.5748	0.2906	0.3171
Hoedeok - DaejeonTaepyong	Rock	0.8062	0.8467	0.7929	0.387	0.1555	0.761	0.0973
	alluvium	-	-	-	-	-	-	-

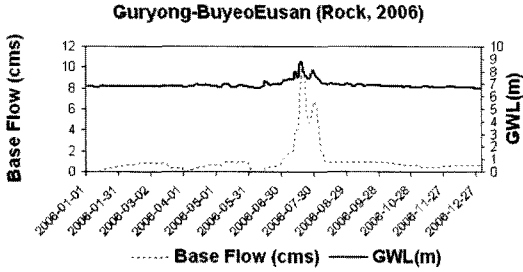


Fig. 5. Guryong-BuyeoEusan (Rock, 2006).

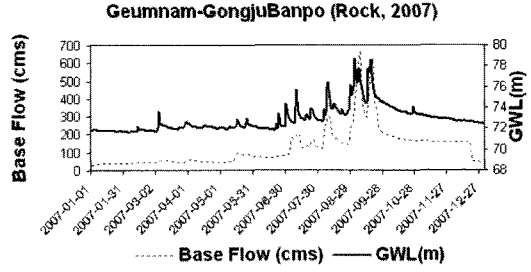


Fig. 9. Geumnam-GongjuBanpo (Rock, 2007).

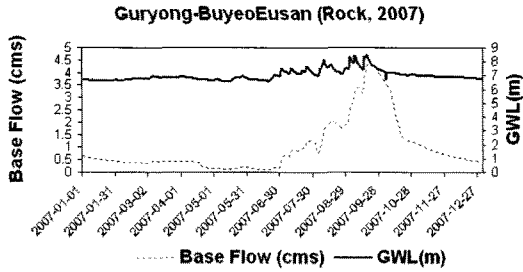


Fig. 6. Guryong-BuyeoEusan (Rock, 2007).

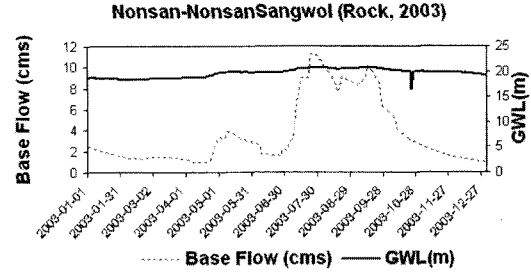


Fig. 10. Nonsan-NonsanSangwol (Rock, 2003).

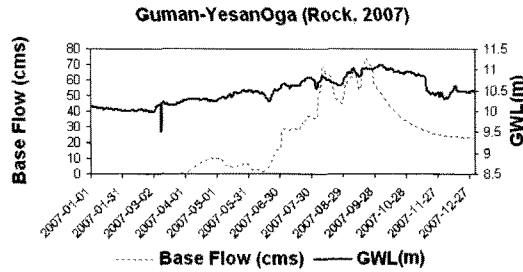


Fig. 7. Guman-YesanOga (Rock, 2007).

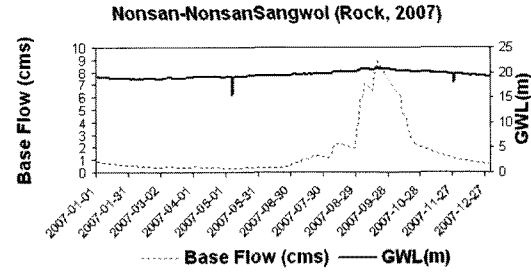


Fig. 11. Nonsan-NonsanSangwol (Rock, 2007).

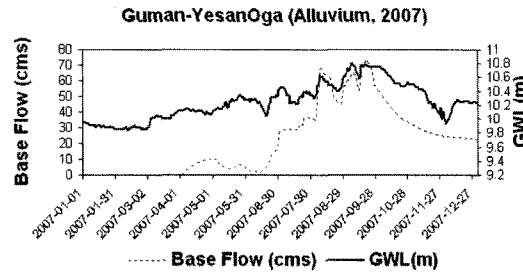


Fig. 8. Guman-YesanOga (Alluvium, 2007).

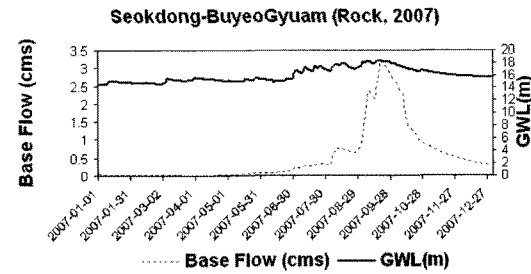


Fig. 12. Seokdong-BuyeoGyuum (Rock, 2007).

풍부한 경우 수두차로 인해서 하천에서 지하대수층으로의 물의 이동이 일어나게 되는데 가뭄 등으로 인하여 하천이 건천화 되거나 하천의 유량의 부족 할 경우 하천의 보충원 역할을 하는 지하수의 지하수위가 하천수위와 역전이 되어서 거꾸로 지하수에서 하천으로의 물의 이동이 생기며 이로 인하여 기저유출과 지하수위의 상관관계 분

석에 영향을 끼쳤을 가능성이 있는 지역이 있었으며, 둘째, 국지적인 폭우나 집중호우로 인해서 급격히 증가한 유량으로 인하여 기저유출 또한 갑자기 증가한 것으로 산정된 것 또한 주요한 원인으로 분석된다. 갑작스러운 집중호우의 경우 강우가 지표를 통해서 침투할 시간이 짧기 때문에 기저유출에 비해 직접유출의 비율이 현저하게 높

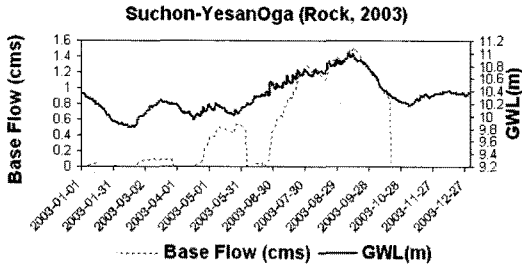


Fig. 13. Suchon-YesanOga (Rock, 2003).

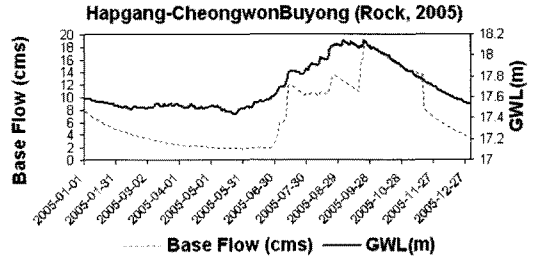


Fig. 17. Hapgang-CheongwonBuyong (Rock, 2005).

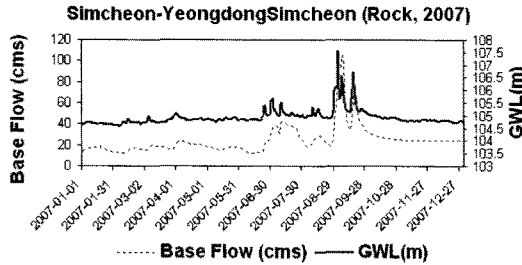


Fig. 14. Simcheon-YeongdongSimcheon (Rock, 2007).

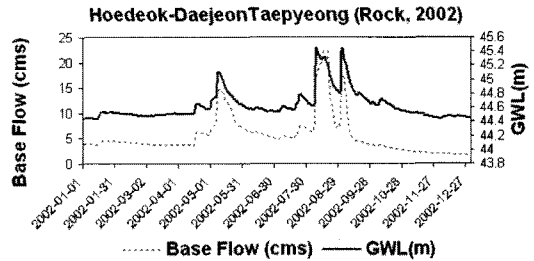


Fig. 18. Hoedeok-DaejeonTaepyeong (Rock, 2002).

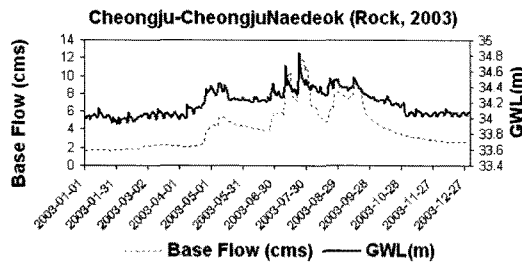


Fig. 15. Cheongju-CheongjuNaedeok (Rock, 2003).

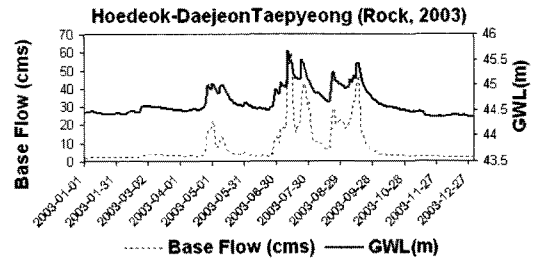


Fig. 19. Hoedeok-DaejeonTaepyeong (Rock, 2003).

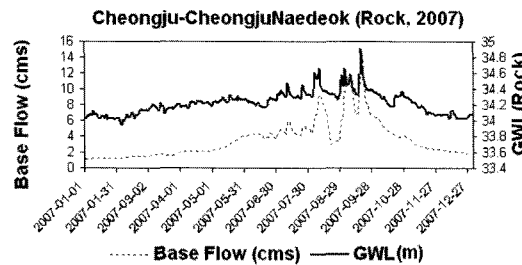


Fig. 16. Cheongju-CheongjuNaedeok (Rock, 2007).

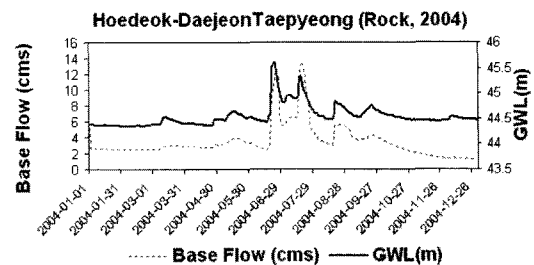


Fig. 20. Hoedeok-DaejeonTaepyeong (Rock, 2004).

으나 기저유출 분리과정에서 집중호우에 의한 기저유량을 제대로 분리하지 못하여 기저유출이 과도하게 산정되어 지하수위의 변동보다 훨씬 큰 기저유출의 변동결과를 볼 수 있으며 이것은 기저유출과 지하수위의 상관관계 분석에 좋지 않은 영향을 끼쳤을 것이라고 사료된다. 그 외에도 완만한 변화를 보여주는 지하수위와 달리 분석된 기저유출의 변동이 심하게 나타나면서 상관관계가 좋지 않

게 분석되고 있는 경우가 있다. 이는 WHAT SYSTEM을 이용하여 기저유출을 분석하는 과정에서 BFI_{max} 변수값을 산정하기 위하여 사용하는 WHAT SYSTEM에 연계되어 있는 BFI_{max} Analyzer를 사용하게 되는데 이 때 감수곡선이 부드럽게 잘 나오는 경우에는 변수값을 찾는데 용이하지만 유량이 거의 없이 건천화가 진행된 지역일 경우 변수 값을 잘 못 찾는 경우가 있었으며, 이 경우에

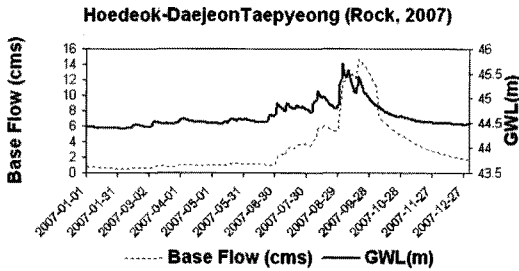


Fig. 21. Hoedeok-DaejeonTaepyeong (Rock, 2007).

잘못된 변수값의 산정으로 인한 오류라고 사료되어진다.

위의 결과들을 볼 때에 금강 유역의 여러 지역을 분석하였으나 상대적으로 자료가 축적된 기간이나 자료의 결측으로 인하여 장기적인 분석이 이루어지지 못한 점이 아쉬운 점으로 남았다. 그러나 상관계수가 높은 지역에서 가뭄이나 홍수가 심하지 않다면 기저유량의 산정으로 지하수위를 예측할 수 있거나 지하수위로 기저유량을 어느 정도 예측할 수 있는 방법이 개발되었다. 해가 지날 수록 자료의 질이 좋아지고 있는 점을 감안할 때, 향후 축적된 양질의 자료를 이용한 장기적인 분석이 이루어진다면, 한 지역의 지하수위 변동과 그에 따른 기저유출을 변동을 파악하여 수자원 활용도를 높일 수 있다고 생각하며, 또한 물 부족이 심해지는 현 시점에서 볼 때 지하수위 관리, 보존, 개발에 많은 도움이 될 것이라고 사료된다.

사 사

본 연구는 2010년 국민대학교 교내연구비를 지원받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

- 국가 수자원관리 종합 정보 시스템 (<http://www.wamis.go.kr/>).
- 국가지하수정보센터 (<http://www.gims.go.kr/>).
- 국토해양부, 2007a, 수문조사연보, 5-152.
- 국토해양부, 2007b, 지하수관리 기본계획보고서, 2장, 1-38.
- 국토해양부, 2009, 금강수계하천기본계획, 2장, 1-224.
- 양정석, 안태연, 2008, 금강유역에서의 지하수위와 강수량 이동평균의 상관관계 분석, 지질공학회논문집, 대한지

질공학회, 18(1), 1-6.

윤용남, 2007, 수문학 기초와 응용, 청문각, 413-436.

이재수, 2006, 수문학, 구미서관, 321-329.

임경재, 2006, 수문모델의 정확성 평가를 위한 Web GIS 기반의 수문분석 툴, WHAT의 소개, 한국관개배수, 한국관개배수위원회, 13(2), 303-309.

Arnold, J. G., and Allen, P. M., 1999, Validation of Automated Methods for Estimating 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.

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 Recourse Association, 41(6), 1407-1416.

Lim, K. J., Park, Y. S., Kim, J., Shin, Y. C., Kim, N. W., Kim, S. J., Jeon, J. H., and Engel, B. A., 2010, Development of genetic algorithm-based optimization module in WHAT system for hydrograph analysis and model application, Computers & Geosciences, 36, 936-944.

Lyne, Y. D. and Hollick, M., 1979, Stochastic Time-Variable Rainfall-Runoff modeling, In: Hydro. and Water Resour. Symp. Institution of Engineers Australia, Perth, Australia, 89-92.

2010년 4월 17일 원고접수, 2011년 6월 15일 게재승인

양정석

국민대학교 건설시스템공학부

136-702 서울시 성북구 정릉동 861-1

Tel: 02-910-4289

Fax: 02-910-4939

Email: jyang@kookmin.ac.kr

지동근

국민대학교 건설시스템공학부

136-702 서울시 성북구 정릉동 861-1

Tel: 02-910-5062

Fax: 02-910-4939

Email: mywormz@naver.com