



## 하류 유량자료를 이용한 상류유역의 미계측 유출량 추정

### Estimation of Upstream Ungauged Watershed Streamflow using Downstream Discharge Data

정영훈\* · 정충길\*\* · 정성원\*\*\* · 박종윤\*\*\*\*† · 김성준\*\*\*\*\*

Jung, Young Hun · Jung, Chung Gil · Jung, Sung Won · Park, Jong Yoon · Kim, Seong Joon

#### ABSTRACT

This study describes the estimation of upstream ungauged watershed streamflow using downstream discharge data. For downstream Dongchon (DC) and upstream Kumho (KH) water level stations in Kumho river basin (2,087.9 km<sup>2</sup>), three methods of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) modeling, drainage-area ratio method and regional regression equation were evaluated. The SWAT was calibrated at DC with the determination coefficient ( $R^2$ ) of 0.70 and validated at KH with  $R^2$  of 0.60. The drainage-area ratio method showed  $R^2$  of 0.93. For the regional regression, the watershed area, average slope, and stream length were used as variables. Using the derived equation at DC, the KH could estimate the flow with maximum 41.2 % error for the observed streamflow.

**Keywords:** Ungauged watershed; drainage-area ratio method; regional regression methods; SWAT

#### 1. 서 론

급속한 도시 개발과 인구 증가로 물이용 수요는 급격하게 증가하고 있으나, 강수의 계절적인 편중 등으로 이용 가능한 수자원이 부족함에 따라 환경적인 측면과 지역적인 측면에서 신규 수자원 확보를 위한 구조물적인 대책을 수립하고 실행하는 것은 현실적으로 어려워지고 있다. 가용한 수자원을 보다 효율적으로 이용하기 위한 대책이 필요하며 수자원을 효율적으로 이용하기 위해서는 유역의 가용 수자원량을 파악하고 이에 따른 최적배분이 필요하다.

하천에서의 유량은 단위시간에 어느 횡단면을 통과하는 물의 양을 의미하며 시간에 따라 변하게 된다. 일반적으로 평저수시에는 유량의 변화가 비교적 작게 나타나나 홍수시에는 시간의 변화에 따라 유량의 변화가 크게 나타난다. 수자원계획을 위해서는 장기 유출량의 변화를 알아야 하며, 이수계획을 위해서는 평저수시의 유량자료, 치수계획을 위해서는 홍수시의 유량자료가 필요

하다. 그러나 유량자료는 우량이나 수위와 같이 연속관측이 어렵기 때문에 장기적인 관측자료에 부재 및 품질저하에 따른 이용자료의 제한이 있으며 특정 계측 지점에서만의 측정으로 수많은 미계측 지점에서의 자료확보와 이용이 미흡한 실정이다. 2012년 기준 국내에는 국토해양부에서 운영하는 437개소의 우량관측소와 331개소의 수위관측소 외에도 환경부, 한국수자원공사, 한국농어촌공사, 기상청 및 지자체 등의 여러 기관에서 관리하는 수문관측시설을 통해 매년 계측을 실시하고 있지만 자연하천에서 실시간으로 유량자료를 생산하는 것은 쉽지 않으며 많은 인력과 장비, 경비가 필요하게 된다. 지금까지 연속적인 자료획득이 어렵거나 미계측 유역의 경우 인근유역의 유출량 자료를 면적비를 고려하여 전이시켜 사용하거나, 장기유출모형의 매개변수를 추정하여 매개변수를 전이시키는 방법을 이용하여 유량을 추정해왔다.

미계측 유역에서의 하천유량산정은 비유량법 (Drainage-area ratio method)과 지역회귀방법 (Regional regression method)이 국내에서 적용된 바 있다. 비유량법은 국내 실무에서 가장 많이 사용되는 미계측 유역의 유량 산정방법이다. 국외사례로 미국 Massachusetts주에서는 유역면적비가 0.3에서 1.5사이일 때 이 방법을 사용할 것을 권장하였다 (Ries and Friesz, 2000). 국내에서는 Yang et al. (2005)이 영산강 및 섬진강 지점을 대상으로 비유량법을 이용한 유량측정 및 산정방법에 검토를 실시하였다. 지역회귀기법은 세계적으로 많이 사용되는 방법 (Smakhtin, 2001)이나 홍수량에 비해 갈수량에서는 제한적인 성공을 거두었다 (Vogel and Kroll, 1992). Lee et al. (1999)는 국내에서 유

\* 유량조사사업단 유량조사실 낙동강유량그룹  
 \*\* 건국대학교 사회환경시스템공학과 석사  
 \*\*\* 유량조사사업단장  
 \*\*\*\* 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사수로  
 \*\*\*\*\* 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수  
 † Corresponding author Tel.: +82-2-444-0186  
 Fax: +82-2-444-0186  
 E-mail: bellyon@konkuk.ac.kr

2012년 8월 1일 투고  
 2012년 11월 23일 심사완료  
 2012년 11월 23일 게재확정

역면적, 평균유역경사, 기저유량 감수계수를 이용하여 미세측 산지하천 유역의 평균갈수량과 기준갈수량을 산정하는 회귀식을 제시하였으며, Cho et al. (2007)은 국내 미세측 유역의 갈수량 산정을 위해 비유량법과 지역회귀방법, 기저유량상관기법 (Baseflow correlation method)을 국내에 적용하여 각 방법의 적용시 지침과 국내에 적합한 갈수량 산정방법을 제시하였다.

본 연구에서는 유량자료의 생산에 있어서 시간과 비용의 경제성 등을 고려하고 좀 더 효율적인 방법을 찾기 위하여 낙동강 유역의 제 1지류인 금호강 유역 내에 위치한 동촌 수위관측소의 유량자료를 이용하여 상류에 위치하는 금호 지점을 미세측 유역으로 가정한 후 유량추정 방법 중 유역면적만을 활용하는 비유량법과 유역면적 외에 유출에 영향을 주는 지형인자를 이용하는 지역회귀방법, SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 모형을 이용하여 매개변수 최적화를 모의하여 산정된 연도별 유황자료를 비교분석하여 그 타당성을 비교하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상유역 및 입력자료

본 연구에서는 금호강 유역을 대상유역으로 선정하였다 (Fig. 1). 금호강 유역은 낙동강의 제 1지류로서 유역면적은 2,087.9 km<sup>2</sup>로서 낙동강 전 유역면적의 약 9.0 %이며, 합류되는 유로연장은 116.0 km, 유역 내 대부분이 산지로 이루어져 유역경사 45.8 %로 높은 경사도를 나타냈다. 금호강 유역 내의 하상물질

은 유로연장이 상당히 긴 하천이므로 상류에서는 호박돌 및 자갈, 굵은 모래로 이루어져 있고 중류부는 잔자갈 및 모래로, 하류부는 잔모래 및 실트질로 형성되어 있다. 또한 유역 내의 토지 이용 현황은 전체 면적 2,087.9 km<sup>2</sup> 중 농경지 391.8 km<sup>2</sup>으로 18.8 %, 임야가 1,321.8 km<sup>2</sup>으로 63.3 %, 대지가 76.1 km<sup>2</sup>으로 3.6 %로 나타났으며 유역의 중심부인 금호강 주변과 주요 지류인 고촌천, 신령천, 청통천, 오로천, 신천, 팔거천의 하천연변은 충적층 및 점층풍화대가 발달하고 있어 지하수의 부존 가능성이 클 것으로 판단되며, 하상은 모래 및 자갈층으로 이루어져 있다.

금호강 유역 내에는 국토해양부 수위관측소 12개소가 존재하고 있으며 유역선정은 관측 자료의 축적기간과 자료의 신뢰성이 높고 유역 내의 도달시간이 하루 이내인 유역을 고려하여 선정하였다. 그 결과, 동촌 지점의 하류 유역은 낙동강 배수위의 영향으로 관측 자료가 불안정한 점을 감안하여 유역 내의 홍수예보지점이자 관측 자료의 기간이 제일 오래된 동촌 지점 (유역출구)을 기준유역으로 선정하고 상류에 위치한 금호, 단포교 지점을 미세측 유역으로 가정하였다. 선정된 지점을 대상으로 유량추정 방법에 필요한 유역특성 자료들은 GIS (Geographic Information System)를 이용하여 매개변수를 구축하였다.

기본 지형입력자료 구축을 위하여 NGIS (National Geographic Information System)의 1:5,000 수치지도로부터 격자크기 30 m DEM (Digital Elevation Model)을 제작하고 SWAT 모형의 자동경계추출 (Automatic Delineation)모듈에서 DEM을 입력자료로 하여 지형전처리 과정을 수행하였다. 토지이용도는 수문해석 및 비점오염원 평가에 있어 필수 정보 중에 하나이다. 토지이용

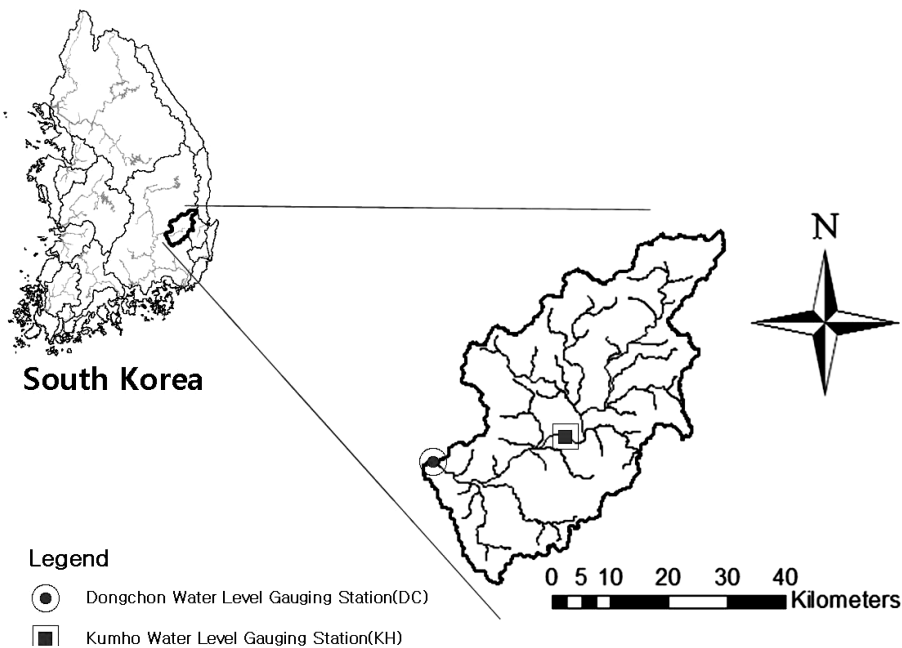


Fig. 1 The location of study watershed

정보는 증발산, 침투, 지표유출 등의 수문학적 구성 요소들에 영향을 미치며 이러한 토지이용의 영향은 유출량의 변화에 직접적인 영향을 미친다. 따라서, 수문해석 평가에 있어 필수 정보 중에 하나인 토지이용도는 환경부 1:25,000 토지이용도를 구축하였다. SWAT 모형은 토양층을 중심으로 물수지를 파악하는 모형이므로 토양층 자료를 구축하는 것이 핵심이다 (Kim et al., 2006). 이를 위해 토양도는 농촌진흥청에서 제공하는 1:25,000 정밀토양도를 기준으로 분류하였다. 모형의 입력자료가 되는 기상자료는 금호강 유역 내 대구, 영천 2개의 기상관측소로부터 2004년부터 2010년까지 7개년도의 일별 강수량, 기온, 태양복사량, 풍속, 상대습도 자료를 제공받아 모형의 입력자료를 구축하였다.

## 2. 기본이론

본 연구에서 사용된 미계측 유역의 유량추정 방법으로는 실무에서 일반적으로 사용되는 비유량법과 지역회귀방법 및 강우-유출 (SWAT) 모형을 이용한 유량추정 방법을 적용하였다. 비유량법은 유역의 면적만을 중요 변수로 간주하여 인근 유역이나 특정 지점에서 계측 또는 추정된 유량 값을 면적비로 대상 유역으로 전이시키는 방법이다. 지역회귀방법은 비유량법에서 하나의 인자를 이용한 방법이 아닌 유량에 영향을 미치는 유역특성들을 회귀분석을 통해 경험식을 만들어 유량추정을 하는 방법이다. 강우-유출 모형은 강우량을 입력 자료로 하는 수문모형을 사용하여 매개변수 추정을 통해 자연유출량을 계산해 내는 방법이다. 위와 같은 유량추정 방법들은 대상유역의 유량을 직접적으로 측정하지 않고 간접 추정하는 방식이므로 정확한 값을 산정하기에는 한계가 있다고 판단된다.

### 가. 비유량법 (Drainage-area ratio method)

하천유량은 단위 시간에 특정 지점의 횡단면을 통과하는 물의 양을 말하는 것으로 시간에 따라 크게 변하므로 연속적인 자료 획득이 용이하지 않다 (Chow, 1964). 이에 따라 직접 유량을 측정할 수 없을 경우 비유량법 (Hirsch, 1979)과 같은 간접적인 방법으로 유량을 산정할 수 있다. 정확한 유출분석을 위해서는 저수위에서 고수위를 망라한 다년간의 유량추정을 통하여 수위-유량관계곡선 (Rating Curve)을 작성하고 동일 지점에서 다년간의 수위관측기록을 축적하여야 하나, 이러한 조건을 만족시키지 못할 경우 실무에서는 유역 내의 대표 지점을 대상으로 면적비만을 이용하여 유량추정을 실시하고 있다. 비유량법은 대상 지역의 유출량 기록이 없거나 유역 내 유출량 측정 기록이 있으나 자료기간이 짧고 유역 특성을 대표할 수 없을 경우 인근 유역의 유출량 측정성과를 이용하여 면적비에 의해 추정하는 방법이다. 본

연구에서는 금호강 유역의 홍수예보 지점인 동촌 수위관측소의 유역면적을 이용하여 상류에 위치한 금호 수위관측소에 적용하였다. 위와 같은 비유량 공식의 적용을 위해 식 (1)에서 비유량법을 나타냈다.

$$Q^1 = \frac{A^1}{A^2} \times (Q^2) \quad (1)$$

여기서,  $A^1$ 는 산정 지점의 유역면적,  $A^2$ 는 기준 지점의 유역면적,  $Q^1$ 은 산정 지점의 유량 ( $m^3/s$ ),  $Q^2$ 는 기준 지점의 유량 ( $m^3/s$ )을 나타낸다.

### 나. 지역회귀방법 (Regional regression method)

지역회귀방법 (Abdulla and Lettenmaier, 1997)은 비유량법 처럼 하나의 인자 (유역면적)에 비례하여 유량을 추정하는 것이 아니고 유량에 영향을 미치는 유역특성들을 다수 감안하여 회귀 분석을 통해 경험식 (Empirical equation)을 만들어 유량을 추정하는 방법이다. 세계적으로 가장 널리 사용되는 미계측 유역의 유량산정 방법으로 가용한 하천, 지질, 기상, 수문학적 인자들을 이용하는 방법이다. 가장 일반적으로 사용되는 회귀식의 형태는 식 (2)와 같다.

$$Q = b_0 X_1^{b_1} X_2^{b_2} X_3^{b_3} \quad (2)$$

여기서,  $Q$ 는 유역의 평균갈수량,  $X_i$ 는 유역특성인자,  $b_i$ 는 매개변수로 여러 계측유역의 평균갈수량과 유역특성인자를 이용하여 추정한다. Vogel and Kroll (1992)은 기존의 다중회귀방법이 미계측 유역의 유량추정에서 한계가 있음을 지적하고 그 대안으로 간단한 Dupuit-Boussinesq stream-aquifer 모형을 이용하여 식 (3)과 같은 지역회귀식을 제안하였다.

$$Q = b_0 A^{b_1} S^{b_2} K_b^{b_3} \quad (3)$$

여기서,  $A$ 는 유역면적,  $S$ 는 유역평균경사,  $K_b$ 는 기저유량 감수상수이다. 일반적으로 지역회귀방법은 고유량 보다는 주로 갈수량 추정에 자주 사용되어 왔고 그 오차도 작다고 알려져 있다 (Vogel and Kroll, 1992). Cho et al. (2007)은 국내 미계측 유역의 갈수량 산정방법의 개선을 위해 전국의 댐 및 수위관측소 유역을 조사하여 지역회귀기법을 적용한 결과 유역면적, 유역평균경사, 하천밀도가 가장 우수한 변수로 선택되었다. 본 연구에서는 지역회귀 모형인자의 채택을 위해 Cho et al. (2007)에서 제안한 다음의 식 (4)를 바탕으로 유역의 풍수량, 평수량, 저수

량, 갈수량 자료를 산정하여 산정기간별 적합한 자료를 비교하였다.

$$Q_{275} = aA^b \times S^c \times D^d \quad (4)$$

여기서,  $Q_{275}$ 는 저수량 ( $m^3/s$ ),  $A$ 는 유역의 면적 ( $km^2$ ),  $S$ 는 유역의 평균 경사 (%),  $D$ 는 유역의 밀도, 즉 유역면적대비 유역연장 ( $km/km^2$ ),  $a, b, c, d$ 는 회귀계수이며 회귀계수를 결정하기 위해서 관측 자료들은 금호강 유역 내에 위치한 동촌 수위관측소 상류로 위치한 단포교, 금호, 압량, 대평 지점을 이용하였으며 각 유역별 정보는 DEM을 사용하여 도출하였다. 회귀식은 2007년 ~ 2010년도에 계속된 6개 유역의 자료를 기반으로 개발하였다. 자연적인 유출현상은 복잡한 과정으로서 기상인자와 지형인자 등의 상호작용으로 발생된다. 단일유역특성인자를 사용하는 비유량법과 강우 및 다수의 지형인자를 입력 자료로 하는 강우-유출 모형·지역회귀방법과의 비교를 통해 적합성을 고려하고자 하였다.

#### 다. SWAT 모형

본 연구에서는 강우-유출 모형을 이용한 미세측 유역의 유량추정을 위해 미국 농무성 (United States Department of Agriculture, USDA) 농업연구소 (Agricultural Research Service, ARS)에서 개발한 SWAT 모형을 선정하였다. SWAT 모형은 물리적 기반의 준분포형 장기 강우-유출 모형으로 대규모의 복잡한 미세측 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 유출과 유사 및 농업화학물질의 거동에 대한 토지관리 방법의 영향을 예측하기 위해 개발된 모형으로 수문, 토양유실, 영양물질, 하도추적의 4가지 부모형으로 구성되어 있다 (Arnold et al., 1998). 이 중 수문 부모형에서는 토양과 토지이용조건에 의해 결정되는 수문반응단위 (Hydrologic Response Unit, HRU)로 SCS (Soil Conservation Service) 유출곡선법과 Green & Ampt 침투법을 이용하여 지표유출량을 산정하며, 측방유출량은 동역학적 저류모형 (Kinematic Storage Model)을 이용한다. 침투는 토층을 최대 10개 층까지 세분화하여 선형저수량 추적기법을 사용하여 계산한다. 잠재증발산량의 산정은 Hargreaves 방법, Priestley-Taylor 방법과 Penman-Monteith 방법을 이용하며, 작물과 토양의 증발산을 분리하여 모의하기 위해 Ritchie 방법을 이용한다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. SWAT 모형 검토

SWAT 모형의 적용을 위해 동촌수위관측소 (DC) 2007 ~ 2010

년 동안 일유량 자료를 이용하여 검토를 실시한 후, 보정된 매개변수를 토대로 동촌 수위관측소 상류에 위치한 금호관측소 (KH)의 유량을 추정하였다. 보정과 검증기간은 실측자료의 양과 질이 높은 2007 ~ 2008년, 2009 ~ 2010년 각각 2개년을 선정하고, 2004 ~ 2006년을 모형의 안정화 기간 (Warm-up)으로 고려하여 보정을 실시하였다. 보정에 사용된 주요 매개변수는 GW\_Revap (groundwater revap coefficient), ALPHA\_BF (baseflow alpha factor), RCHRG\_DP (deep aquifer percolation fraction), GW\_DELAY (groundwater delay time), CH\_N2 (Manning's "n" value for the main channel)가 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 결과의 적합성과 상관성을 판단하기 위해서 결정계수 ( $R^2$ )와 모형의 효율성 검증은 Nash and Sutcliffe (1970)가 제안한 모형효율성계수 (NSE)를 사용하였다.

그 결과, 유량의 보정 전과 보정 후의  $R^2$ 는 0.22에서 0.67로 상당히 개선된 결과로 산정되었다. 그러나 '2008년 낙동강 유량 측정보고서'에서 동촌 지점의 유출량이 29.4 % 과소산정된 결과에서 알 수 있듯이 동촌 수위관측소는 상류 약 350 m에 위치한 가동보 (고무보)의 영향과 2008년 가뭄으로 인한 금호강 유역의 강수량이 평균보다 약 300 mm 적은 강수량을 기록함으로써 유출량이 전반적으로 감소하고 지하수위 감소와 하천용수 이용량의 증가 영향으로 모의치가 과대평가된 것으로 나타났다.

Fig. 2는 각각 동촌 지점에 대해 보정된 SWAT 모의결과와 이로부터 추정된 금호 지점에서의 유량추정결과를 실측값과 모의값을 비교한 그래프이다. 동촌 지점에 대한 검·보정 결과로 Table 1에서와 같이 2007, 2008년도의 결정계수는 0.80, 0.82로 높은 상관성을 보였으며 NSE는 2007년은 0.80의 높은 적합도를 보였으나 2008년은 가뭄 및 수위관측소 상류에 위치한 수리구조물 등의 영향으로 인하여 실측유량보다 모의유량이 높게 산정되어 0.41로 낮게 나타내었다. 2008년도의 가뭄은 2009년까지 이어지면서 결정계수 0.56, 모형 효율성계수는 0.39로 평균보다 낮은 상관성을 나타냈다. 2010년에는 평년과 같은 강수량은 회복되었으나 국지성 호우와 같은 강우의 공간분포 차이로 인하여  $R^2$ 는 0.63, 모형 NSE는 0.60으로 가뭄이 이어진 2008, 2009년 보다 안정된 결과로 산정되었다. 이에 따라 동촌관측소에서 2007 ~ 2010년 동안에 평균  $R^2$ 와 NSE는 각각 0.70 및 0.55로 분석되었다. 하지만 이러한 동촌 수위관측소의 최적화된 매개변수를 사용한 상류 금호 지점에서의 결과는 동촌과는 상대적으로 많은 차이를 나타내었다. 금호 지점은 실측유량의 연도별 유량비교에서 특별한 반전 유량을 보이지 않았지만 저수량, 평수량에서 각 지점별로 모의치가 일치하지 못하는 경향을 보였다. 이는 동촌 지점의 상류 약 350 m에 위치하는 가동보와 지점들 사이로 위치하는 보의 영향으로 인하여 나타난 결과로 판단되며, 금호 지점의 안정된 모의유량 산정을 위해서는 각 지점의 유역특성을

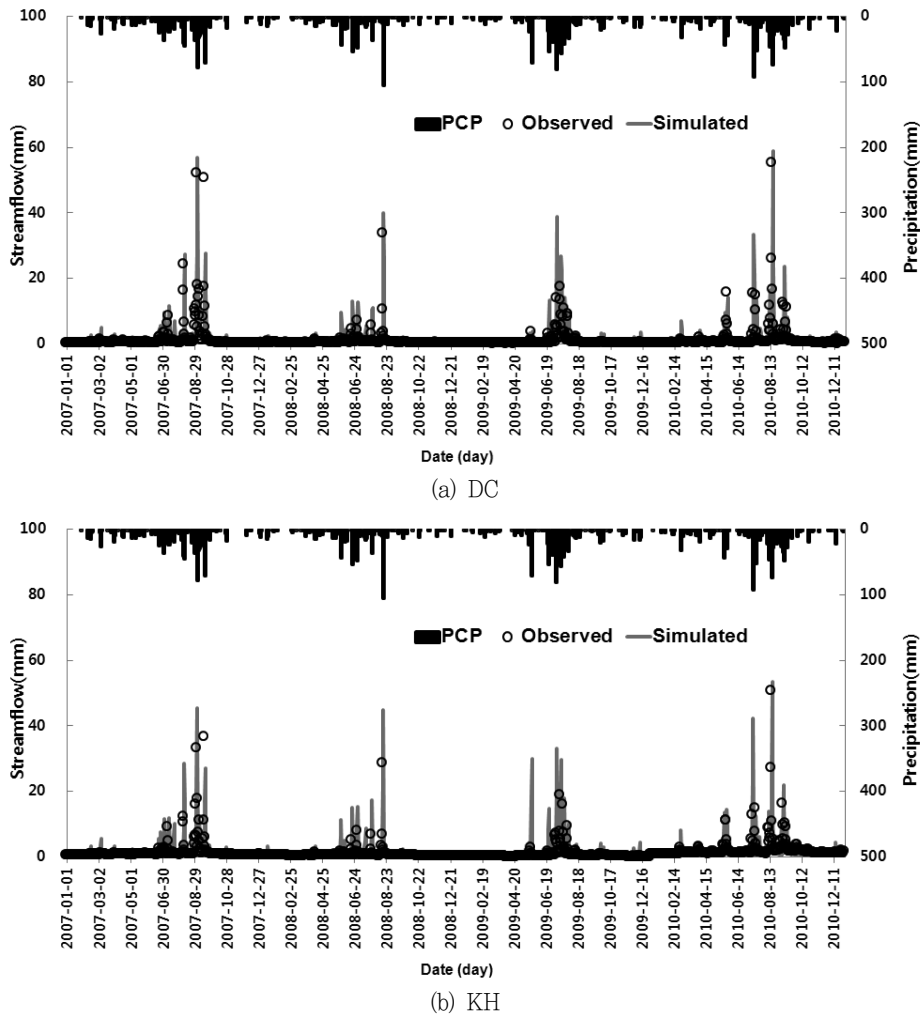


Fig. 2 Comparison of observed and SWAT simulated daily streamflow at DC and KH

반영한 매개변수 최적화가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

## 2. 비유량법을 이용한 미계측 유역의 유량 추정

비유량법 적용을 위하여, 기준유역인 금호강 중하류부에 위치한 동촌 수위관측소를 이용하여 상류부에 위치한 금호 수위관측소를 미계측 유역으로 가정한 후, 비유량법을 이용한 유량추정 결과를 Fig. 3, Table 2와 같이 유향분석을 이용해 비교하였다. 기준유역으로 선정한 동촌 지점은 SWAT 모형의 검·보정에서 가뭄해인 2008, 2009년을 제외하면 결정계수 0.72 이상, 모형 효율성 계수 0.71로 높은 상관성을 나타냈다. 하지만 상류에 위치한 금호와 단포교 지점의 SWAT 모형과 비유량법의 결과 비교에서 금호 지점은 SWAT 모형이 결정계수 0.60, 비유량법이 0.90으로 비유량법이 좀 더 높은 상관성을 보였다. 비유량법이 비용이나 시간적인 부분에서 SWAT 모형보다는 간단하다는 장

Table 1 Statistical summary of annual streamflow for SWAT model

Location	Year	PCP (mm)	Streamflow (mm)		Runoff Ratio (%)		R <sup>2</sup>	RMSE (mm/day)	NSE
			Obs.	Sim.	Obs.	Sim.			
DC	2007	1058.0	502.8	553.7	47.5	52.3	0.80	2.03	0.80
	2008	767.9	238.4	368.4	31.1	48.0	0.82	1.49	0.41
	2009	849.6	245.2	422.4	28.9	49.7	0.56	2.17	0.39
	2010	1117.3	469.3	537.7	42.0	48.1	0.63	2.41	0.60
	Mean	948.2	363.9	470.5	37.4	49.5	0.70	2.03	0.55
KH	2007	1058.0	504.2	579.3	47.7	54.8	0.69	2.38	0.51
	2008	767.9	255.8	374.6	33.3	48.8	0.76	1.91	0.40
	2009	849.6	236.4	438.6	27.8	51.6	0.44	2.83	0.28
	2010	1117.3	753.3	528.4	67.4	47.3	0.50	2.83	0.36
	Mean	948.2	437.4	480.2	44.1	50.6	0.60	2.49	0.40

R<sup>2</sup> : Determination coefficient, RMSE : Root Mean Square Error, NSE : Nash-Sutcliffe model efficiency

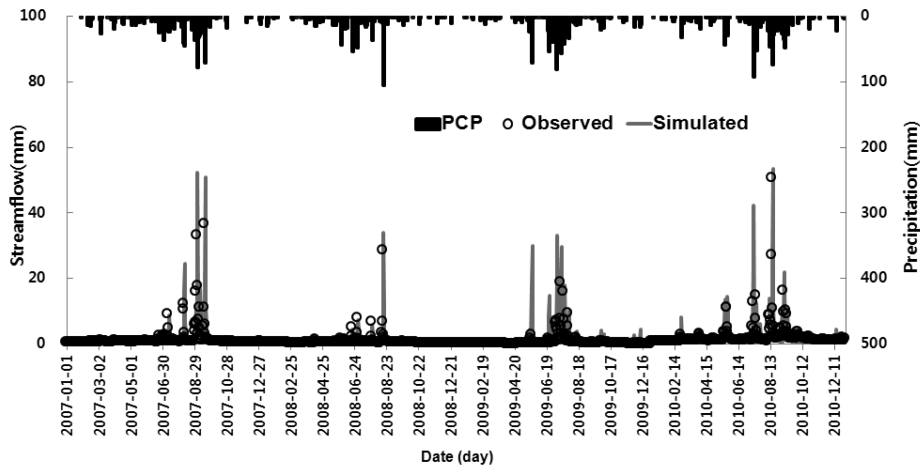


Fig. 3 Comparison of observed and simulated daily streamflow at KH using drainage-area ratio method

Table 2 Statistical summary of KH ungauged annual streamflow for drainage-area ratio method

Year	PCP (mm)	Streamflow (mm)		Runoff Ratio (%)		R <sup>2</sup>	RMSE (mm/day)	NSE
		Obs.	Sim.	Obs.	Sim.			
2007	1058.0	504.2	505.9	47.7	47.8	0.94	1.74	0.68
2008	767.9	255.5	239.7	33.3	31.2	0.98	0.39	0.95
2009	849.6	236.4	246.7	27.8	29.0	0.83	0.74	0.83
2010	1117.3	753.3	472.1	67.4	42.3	0.96	1.13	0.90
Mean	948.2	437.4	366.1	44.1	37.58	0.93	1.00	0.84

Table 3 Statistical summary of streamflows for regional regression method

Periods	Dongchon (DC)			Kumho (KH)		
	Streamflow (m <sup>3</sup> /s)		Error (%)	Streamflow (m <sup>3</sup> /s)		Error (%)
	Obs.	Sim.		Obs.	Sim.	
Three month flow	11.3	10.8	4.9	11.3	10.8	4.6
Six month flow	7.2	6.8	6.5	6.5	8.9	27.2
Nine month flow	5.3	5.7	6.2	4.5	7.6	41.2
Drought flow	3.5	2.9	20.9	3.5	3.0	18.9

점을 가지고 있지만 SWAT 모형에서 일시적인 2008, 2009년의 가뭄과 일유량의 반응에 대한 강우의 편차를 줄인다면 비유량법에 근접한 유량을 산정할 수 있을 것이라고 판단된다.

### 3. 지역회귀방법을 이용한 미계측 유역의 유량 추정

금호강 유역을 포함한 동촌 수위관측소 상류에 위치한 2007년 ~ 2010년 사이의 6개 유역의 유량자료를 이용하여 Cho et al. (2007)이 국내 미계측 유역의 갈수량 산정 방법에서 제안한 유역면적, 유역평균경사, 하천밀도와 유로연장을 포함시켜 가장 좋은 추정 정확도를 가지는 유역특성인자를 선택하여 다중회귀분석을 통해 회귀식을 산정한 후 기존의 유량자료와 비교하였다. 이와 같은 유역특성인자들은 국가수자원종합관리시스템 내의 자료와 지형자료를 이용하였다. 우선 동촌 지점의 상류로 위치하는 6개의 수위관측소를 기준으로 분석된 유량자료와 각각의 지형인자들 간의 단순회귀분석으로 상관도를 분석한 결과, 유역면적과 유역평균경사, 유로연장이 가장 좋은 상관성을 보여주었다. 하지만 압량과 대평 지점과 같은 경우에는 관측년도가 적어 자료 분석에서는 선택적으로 사용하였으며, 나머지 지점들 또한 2008, 2009년도의 가뭄과 2010년도의 ‘금호강생태환경조성공사’로 인

해 지형인자와의 높은 상관성을 보여주지는 못하였다. 결과적으로 본 연구에서 금호강 유역의 동촌 외 6개소의 유량자료와 유역특성인자를 통해 구한 회귀식은 다음과 같다.

$$Q_{95} = 7.241 + (A \times -0.048) + (S \times -0.134) + (L \times 0.195) \quad (5)$$

$$Q_{185} = 4.635 + (A \times -0.059) + (S \times -0.073) + (L \times 0.228) \quad (6)$$

$$Q_{275} = 3.663 + (A \times -0.052) + (S \times -0.061) + (L \times 0.201) \quad (7)$$

$$Q_{355} = 1.527 + (A \times -0.016) + (S \times -0.037) + (L \times 0.065) \quad (8)$$

여기서,  $Q_{95}$ ,  $Q_{185}$ ,  $Q_{275}$ ,  $Q_{355}$ 는 풍수량 (Three month flow) · 평수량 (six month flow) · 저수량 (Nine month flow) · 갈수량 (Drought flow)이고,  $A$ 는 유역면적 (km<sup>2</sup>),  $S$ 는 유역경사 (%),  $L$ 는 유로연장 (km)이다. 2007년과 2010년 사이의 유량자료의 선정에서 지점별로 매년 측정된 자료가 부족하고 강우의 지역적 편차와 금호강 유역 내의 수리구조물 등의 영향으로 인하여 갈수량의 회귀식은 실측유량과의 비교에서 차이가 발생하였다. 이

에 따라 식 (5)~(8)을 사용하여 지역회귀방법의 적용을 실시하여 실측값과 비교하여 오차율 (Error)을 Table 3에서 나타냈다.

#### IV. 요약 및 결론

수자원의 지속적인 발전과 효율적인 이용을 위해서는 유역의 장기유출량 자료가 필수적이지만 인력 및 경비 등과 같은 제한 사항으로 인하여 자료 구축이 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 금호강 유역의 홍수예보 지점인 동촌 수위관측소를 대상으로 상류 유역인 금호 지점을 미계측 유역으로 가정하여 미계측 유역의 유량추정 방법인 비유량법, 지역회귀방법, 강우-유출 모형인 SWAT을 적용하여 유량추정 방법의 적용성을 검토하고자 하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 본 연구에서는 일반적인 유량추정 방법인 유역면적만을 특성인자로 하는 비유량법과 유량에 영향을 미치는 유역특성인자들과 유역평균유출량과의 회귀식을 산정하는 지역회귀방법과 강우를 입력 자료로 하는 강우-유출모형을 적용하여 미계측 유역의 유량을 간접적으로 산정하였다.

2. 낙동강의 제 1지류인 금호강 유역내의 홍수예보 지점이자 자료의 축적기간이 가장 높은 동촌 수위관측소를 선정하여 상류 유역인 금호 수위관측소를 미계측 유역으로 가정하여 강우-유출 모형의 매개변수를 전이하고 이외의 유량추정 방법들을 적용하여 결과를 분석하였다.

3. 유역특성인자의 추정시 합리적이고 객관적인 매개변수 산정을 위해 DEM, 토지피복도, 토양도 등의 GIS 자료를 활용하여 지역회귀방법의 유량추정식을 산정하였다.

4. 동촌·금호·수위관측소의 연간 상하류 관계의 비교에서 특별한 반전유량은 존재하지 않아 비유량법의 추정유량은 상관성이 높았지만 2008년에서 2009년까지 이어진 가뭄으로 인하여 강우-유출모형에서 검·보정 지점인 동촌 지점의 적합도가 낮게 산정되었으며, 상류 지점의 매개변수 전이에 의한 유량추정에서도 낮은 상관성을 나타냈다.

5. 지역회귀방법에서는 수위관측소별 유황자료를 종속변수로 유역면적, 유역평균경사, 하천밀도, 유로연장을 독립변수로 하는 회귀식을 산정하였다. 이중 회귀식에 가장 적합한 유역특성인자는 유역면적, 유역평균경사, 유로연장으로 나타났으나, 본 연구에서 사용된 자료수가 적고 하천에 설치된 수리구조물을 이용한 회귀수량 등으로 인하여 갈수량이 실측유량과 차이가 많이 발생하였다.

6. 본 연구에서는 자료 및 기간의 제한성으로 인해 동촌 수위관측소의 상류에 위치한 금호 지점을 미계측 유역이라 가정하였다. 따라서 이러한 미계측 유역은 인근유역 (동촌 수위관측소)의 유량자료를 전이하거나, 강우-유출모형을 사용해 매개변수 검·

보정을 통한 자연유출량을 산정하는 방식을 검토해 보았다. 비유량법의 경우 동일유역에서 상하류의 유량관계가 일정한 지점은 추정된 유량에서 높은 상관성을 보였지만, 장기간의 신뢰성 높은 유량자료의 구축이 선행되어야 신뢰성 있는 비유량 산정이 가능할 것이다. 강우-유출모형을 이용한 동촌 수위관측소의 2007년~2010년까지의 유량추정결과는 결정계수 0.80 이상의 높은 상관성을 보였지만 가뭄과 강우량의 지역적 편차로 인하여 상류 유역의 적용에서는 신뢰도가 낮고 불확실성이 커진다는 문제점이 있다고 판단된다.

미계측 유역의 유량추정시 자료의 축적기간과 연도별로 안정된 호우사상, 유역의 적절한 배분에 따라 결과치가 좌우된다. 본 연구에서 적용한 미계측 유역의 유량산정방법인 비유량법, 지역회귀방법, 강우-유출모형은 관측 자료를 통한 간접적인 유량추정 방법이다. 이들 방법들은 대상유역의 유량자료를 직접적으로 측정하지 않고 간접 추정하는 방식이므로 정확한 값을 산정하기에는 일정정도의 한계가 있었다. 결과적으로 금호강 유역의 동촌 지점을 이용하여 유량추정 방법들을 적용해본 결과 비유량법과 강우-유출 모형을 사용하여 산정함이 타당하다고 판단되었다. 각 방법별로 미미한 차이를 보였지만 기존자료의 축적기간이 길고 상하류 간의 유량이 안정된 유역의 경우 지역회귀방법의 적용도 안정적일 것이라고 사료된다.

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원 (11 기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

#### REFERENCES

1. Abdulla, A. F., and D. P. Lettenmaier, 1997. Development of regional parameter estimation equations for macroscale hydrologic model. *Journal of Hydrology* 197: 230-257.
2. Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. R. Williams, 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of American Water Resources Association* 34(1): 73-89.
3. Cho, T. G., Y. O. Kim, and K. S. Lee, 2007. Improving low flow estimation for ungauged basins in Korea. *Journal of the Korea Water Resources Association* 40(2): 113-124 (in Korean).
4. Chow, V. T., 1964. *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill.

5. Hirsch, R. M., 1979. An evaluation of some record reconstruction techniques. *Water Resources Research* 15(6): 1781-1790.
6. Kim, N. W., I. M. Chung, and Y. S. Won, 2006. An integrated surface water-groundwater modeling by using fully combined SWAT-MODFLOW model. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 26(5B): 481-488 (in Korean).
7. Lee, J. H., and G. T. Cho, 1999. The development of design low-flow estimation model at the ungaged mountainous watershed. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 19(II-2): 169-181 (in Korean).
8. Nash, J. E., and J. V. Sutcliffe, 1970. River flow forecasting through conceptual models Part I: A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10(3): 282-290.
9. Ries, K. G., and P. J. Friesz, 2000. Methods for estimating low-flow statistics for Massachusetts streams. Water Resources investigations Report, U.S. Geological Survey, Northborough, Massachusetts.
10. Smakhtin, V. U., 2001. Low flow hydrology: A review. *Journal of Hydrology* 240: 147-186.
11. Vogel, R. M., and C. N. Kroll, 1992. Regional geohydrologic-geomorphic relations for the estimation of low-flow statistics. *Water Resources Research* 28(9): 2451-2458.
12. Yang, H. K., H. C. Choi, and J. H. Kim, 2005. River discharge estimation by specific discharge measurement. *Journal of the Korean Geographical Society* 40(3): 274-284 (in Korean).