

# 지하수 순환을 고려한 장기유출모형의 개발

이도훈<sup>1)</sup> · ○ 허준<sup>2)</sup>

## 1. 서론

유역면적이 중규모 이상의 유역에서 인위적인 물 사용이 지표수 및 지하수 순환에 미치는 영향을 파악하고 예측하기 위해서는 신뢰성 있는 수문 성분 해석모형이 구축되어야 한다. 국내, 외적으로 현재까지의 수문 모형은 지표수 해석 모형과 지하수 해석모형이 각각 별도로 구축되어 지표수와 지하수 수문 성분을 별개로 해석하였다. 그러나 지표수와 지하수의 수문 성분은 서로 연계되어 흐름의 교환이 발생하므로 지표수와 지하수를 적절히 연계 할 수 있는 장기유출모형의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 미국 농무성 산하 Agricultural Research Service(ARS) 에서 개발된 준 분포형 장기 강우-유출 해석 모형인 SWAT 모형과 1983년 미국 지질조사소의 Michael McDonald와 Arlen Harbough(1998, 1991)에 의하여 개발된 분포형 지하수 유동 해석 모델인 ModFlow 모형과의 연계를 기초로하여, Darcy 법칙과 연속방정식에 기초하여 구조가 비교적 단순한 개념적, 해석적 방법을 선택하여 지하수 유출을 산정하는 SWAT모형의 단점을 보완하여, 지하수 순환을 고려한 신뢰성 있는 장기 유출모형을 개발하는데 그 목적을 두고 있다. 이 중 본 논문에서는 SWAT모형을 이용하여 장기유출량을 모의하고, 개개의 유출성분을 분리 한 후, 각 성분별 정량치를 규정하여 Modflow모형의 입력 자료를 구축하는 과정까지를 다루고 있다.

## 2. 유역개황

본 연구에서는 중규모 이상의 유역으로써 SWAT 모형의 방대한 DATABASE를 구축하기 위한 자료를 충분히 보유하고 있는 IHP 시험유역인 보청천 유역을 대상으로 하였다. 금강의 제 1 지류인 보청천 유역의 배수면적은 559.38km<sup>2</sup> 이고, 유로연장은 67.0km 이며, 연평균 강우량은 1164.6mm 이다.

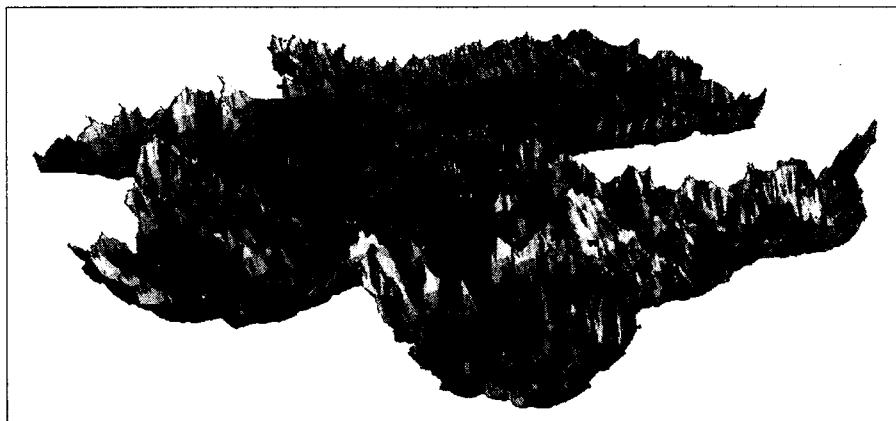


그림 1. 보청천 유역도

- 1) 경희대학교 토목·건축공학부 부교수
- 2) 경희대학교 토목·건축공학부 석사과정

### 3. SWAT 모형의 입력자료 구축

#### 3.1 수문자료 수집 및 분석

SWAT모형의 Input Data 구축 및 모형의 보정, 검증을 위해서는 수문 자료의 수집 및 정리가 선행되어야 한다. 수문자료는 크게 기상자료의 수집과 유출량 자료의 수집으로 분류되며, 기상자료의 수집을 위해 수문연보(90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98)와 기상청 전산자료(<http://www.kma.go.kr>)를 이용하였고, 이를 통해 대상유역의 일 평균 강수량, 일 최고·최저기온, 일 평균 풍속, 일 상대습도, 일 수평면 일사량등을 수집 정리하였으며, 유출량 자료의 수집을 위해 국제수문개발계획(IHP) 보고서 (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98)를 이용하여 대상 자료를 수집, 정리 하였다.

표 1. 보청천 유역 우량관측소 현황

관측소명	좌 표(Transverse Mercator)		해발고(EL.m)
	X	Y	
보은	265706.6	331944.7	170
안내	259477.1	340191.4	80
묘금	266008.1	308675.8	140
청산	271434.1	316578.6	120
중늘	278786.5	322437.2	180
관기	273818.7	326431.3	160
평온	280804.5	327849.3	200
삼가	277249.8	332687.8	380
송죽	266070.9	326646.2	130
삼산	264388.2	331873.4	150
동정	259742.9	330545.5	210
이원	260858.4	338259.2	220

#### 3.2 지형자료 수집 및 분석

SWAT모형의 Watershed Delineation의 기초가 되는 수치고도 자료의 구축을 위해 국립지리원에서 제작되어 판매되는 1:25000수치지도를 이용하였다. 수치에 의하여 지형의 상태를 나타낸 자료를 통칭하여 수치표고 자료라 한다. 수치 표고 자료의 유형으로는 여러 가지가 있으며 지형을 일정 크기의 격자로 나누어 높이 값을 기록한 것을 DEM이라고 한다. DEM은 표고값을 중심으로 지형을 표현한 모델로서 일정 크기의 격자를 기반으로 이루어진 매트릭스 형태에 표고값을 저장한 것이다. DEM은 기존의 등고선 지도에서 수치사진측량기법을 이용하여 작성되거나 SPOT과 같은 인공위성 자료를 이용하여 작성되기도 한다.

이와 더불어 대상 유역의 CN값 및 토양 특성을 정의하기 위해 토양도 및 토지이용현황도가 사용되며, 본 연구에서는 토양 및 토지이용현황 자료의 구축을 위해 농촌진흥청 산하 농업과학기술원에서 제공되는 1:25000과 1:50000 개략 및 정밀 토양도를 이용하였으며, 국립지리원에서 제작하여 판매되는 토지이용현황도를 이용하였다.

### 4 장기유출 모의 결과 및 수문성분의 분리

그림 2는 강우량에 따른 유출량의 실측치와 모의치의 차이를 나타내고 있다. 실측 유출율의 평균치가 0.83인 것을 감안할 때 평균 유출율 보다 확연히 큰 값인 1.87을 나타내는 1991년 자료와 확연히 작은 값인 0.27을 나타내는 1992년 자료를 제외하고 결측치를 제외하여 통계적인 변량을 나타낸 결과는 표 2로써 확인할 수 있다.

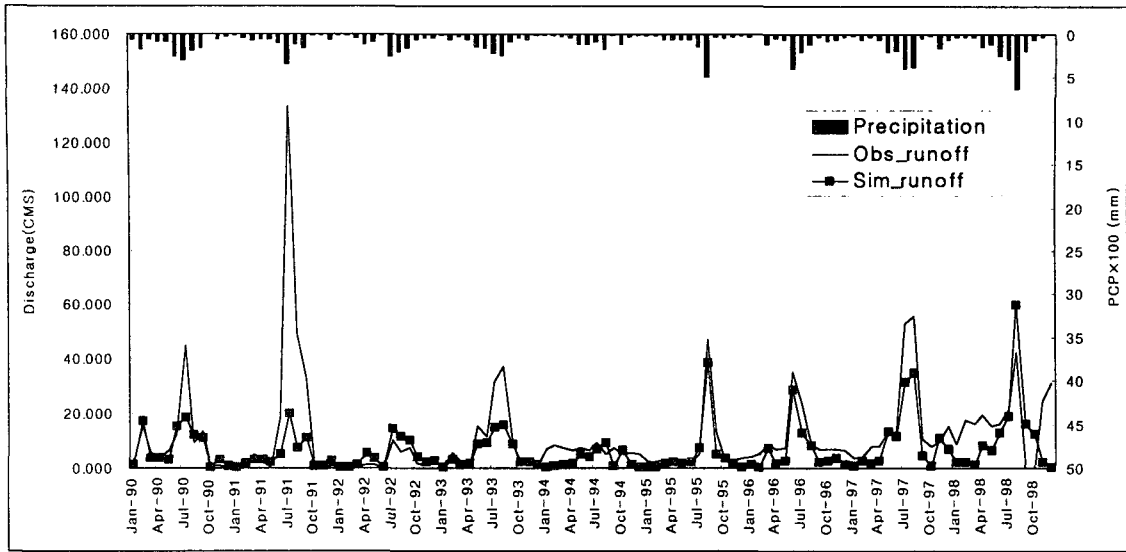


그림 2. 유출량에 대한 실측치와 모의치의 비교 결과 (1990~1998)

표 2. 유출량의 실측치와 모의치에 대한 통계변량

Year	Runoff Ratio		Efficiency Index(EI)	$R^2$
	Observation	Simulation		
1990	0.58	0.45	0.52	0.66
1993	0.68	0.44		
1994	0.80	0.38		
1995	0.70	0.50		
1996	0.85	0.48		
1997	0.94	0.58		
1998	0.78	0.60		

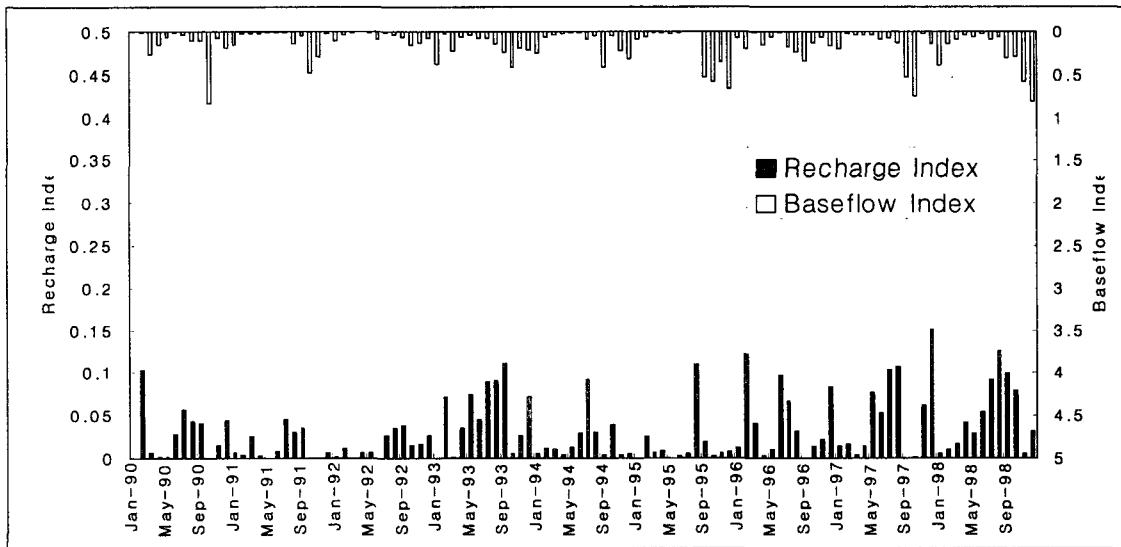


그림 3. 함양지수와 기저유출지수

표 2의 EI는 모형의 효율을 평가하기 위한 효율지수로서 추정치와 실측치가 일치하면 1.0이며, 그 값이 0과 1.0 사이에 있으면 추정치를 사용하는 것이 실측치의 평균을 이용하는 것보다 좋은 결과를 얻을 수 있으며, 계산된 EI가 0보다 작으면 모형의 추정결과가 나쁘거나 실측 자료가 일관성이 없음을 의미한다.(Nash et al., 1970; Singh et al., 1995). 본 연구에서 산출된 EI와  $R^2$ 값이 각각 0.52와 0.66을 나타내는 것으로 보아 모형이 실재를 잘 반영하고 있음을 판단할 수 있고, 모형의 보정과 검정의 과정을 거친다면 더욱 만족스러운 결과를 얻을 수 있을 것으로 분석되었다.

또한, 모의된 유출량으로부터 기저유출과 함양량을 분리해낸 결과를 그림 3에서 확인 할 수 있다. 산출된 평균 기저유출지수(기저유출량/총유출량) 값과 평균 함양지수(함양량/강우량) 값은 각각 15%와 3.17%로 추정된 기저유출 값과 함양량 값은 실제에 부합하는 합리적인 값을 나타내는 것으로 분석되었다.

## 5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 SWAT모형을 이용하여 대상유역의 장기 유출성분을 모의하고 모의된 유출 성분으로부터 각각 기저유출과 함양량을 분리해 내었으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

① 모의된 장기유출성분의 효율지수와  $R^2$ 는 각각 0.52와 0.66 으로서 모형이 실제 현상을 비교적 잘 반영하고 있는 것으로 분석되었다.

② 모의된 유출량으로부터의 기저유출지수와 함양지수의 평균값은 각각 15% 와 3.17%로 합리적인 결과를 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

본 연구의 최종단계는 산정된 함양량값을 Modflow모형의 입력자료로써 사용하여 지하수 흐름에 관한 편미분 방정식을 유한 차분법을 이용하여 지하수 유동을 해석하고, 지하수 유동을 해석한 결과물인 기저유출량을 SWAT모형의 지표유출량과 결합하여 장기 유출량의 변화 양상을 해석하고 장기 유출 성분에 대한 정량적인 특성치를 결정하는데 있다. 이에 향후의 연구방향은 HRU기반의 SWAT모형과 Cell 기반의 Modflow모형을 적절히 연계하여 두 모형간의 구조적 차이를 좁혀나가는 데 집중될 것이며, 이러한 결과로써 개발될 장기유출 모형은 장래의 가용 수자원량의 평가, 효율적인 물관리 및 최적의 수자원 계획에 공헌할 것으로 기대된다.

## 사사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호:2-2-1)에 의해 수행되었습니다.

## 6. 참고문헌

1. 김현준 (2002) “장기 강우-유출모형 구조비교” 수자원의 지속적 확보기술개발 사업 보고서.
2. 정광욱 (2002) “분당 신도시 개발에 따른 탄천유역의 기저유출량 변화” 서울대학교 석사학위논문.
3. 강문성 외 1인 (2003) “비점원오염모형을 이용한 오염총량모의시스템의 개발 및 적용” 한국수자원학회논문집 제36권 제1호 pp. 117~128
4. Neitsch, S. L 외 4인 (2001) “Soil and Water Assessment tool, Theoretical Documentation Version 2000” USDA ARS, Temple, Texas
5. Eckhardt, K. 외 1인 (2001) “Automatic Calibration of a Distributed Catchment Model” Journal of Hydrology 251, pp. 103~109
6. Ranjan S. Mutthiah 외 1인(2002) “Scale-Dependent Soil and Climate Variability Effects on Watershed Water Balance of the SWAT model” Journal of Hydrology 256, pp. 264~285