

PE4) 수치모형을 이용한 강우 함양량의 특성 분석

손병철, 최윤영^{1*}, 안승섭²

경북대학교 대학원 도시환경공학과, ¹경북대학교 도시환경공학과,
²경일대학교 건설정보공학과

1. 서 론

얕은 대수층으로의 지하수 함양 및 유출특성은 효율적인 지하수자원개발 뿐만 아니라 대수층과 연결된 하천으로의 오염에 대한 위험성을 최소화시키기 위한 지하수 관리에도 중요한 변수가 된다. 대수층으로의 지하수 함양은 매우 복잡한 과정으로서, 강우의 빈도, 강도, 지속시간 뿐 아니라 온도 및 습도와 지하수위 상부에 존재하는 토양 및 암반층의 특성과 깊이, 지표의 지형과 식생분포 및 토지이용등과도 관련(Memon, 1995)이 있으며, 강수로부터 발생하는 함양량의 파악은 수자원의 체계적인 개발 및 이용을 도모하고 수자원을 최적으로 관리하기 위해서 반드시 필요하다.

본 연구에서는 지하수함양량에 직접적인 영향을 미치고 있는 토지이용 및 지질특성은 강우의 시간적 변동특성을 고려할 경우 더욱 정확한 결과를 유추할 수 있을 것으로 판단하고 이를 위해 강우특성과 토양특성을 잘 반영하여 수문순환 체계를 해석할 수 있는 SWAT모형과 SCS모형을 이용하여 개운천유역의 토양 및 토지이용 특성에 따른 지하수 함양량을 비교 분석하였다.

2. 적용 및 분석

2.1. 대상유역의 현황

본 연구대상유역인 개운천유역(Fig. 1)은 경상북도 상주시 개운동 일대에 위치하고 있으며, 위도상으로는 동경 127° 51' 04" ~128° 13' 20", 북위 36° 25' 42" ~36° 50' 02" 에 위치하고 있다. 유역면적은 4.22km²이고, 유역의 형상은 동서폭이 넓은 반면에 남북방향으로 좁게 이어지고 있다. 상류는 급한 산지이고 하류는 완만한 경사를 이루고 있으며 인

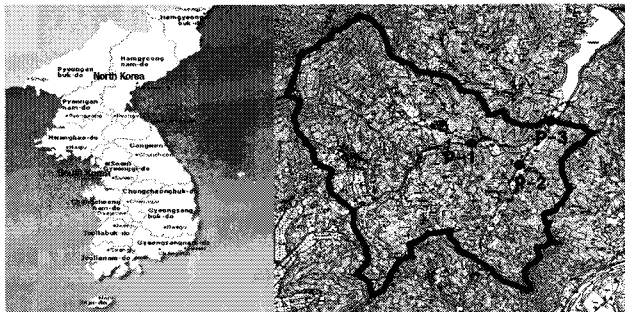


Fig. 1. Study Area.

근에 북천과 만나 병성천으로 유하하고 있다. 본 연구에 이용된 호우자료는 2002~2005년의 4개 호우사상이며 2002~2003년은 강우-함양량 연구의 매개변수 추정에 사용되었고, 2004~2005년도는 적용 및 분석에 이용되었다.

2.2. 지형자료 구축

SWAT모형은 유역의 형상을 나타내는 수치표고모델(DEM), 유역내 토지이용 상태를 나타내는 토지이용도 및 토양특성을 나타내는 토양도 등의 GIS 데이터가 요구된다. 본 연구에서는 이 중 수문 모의시에 다양한 토지이용상태를 반영할 수 있는 1/5,000의 세분류 수치 토지이용도 자료를 이용하였다. 본 연구에서 토지이용도(Fig. 2)는 토양형 분류도와 더불어 SCS의 CN값에 의한 유출량 산정을 위한 자료로 이용하였다.

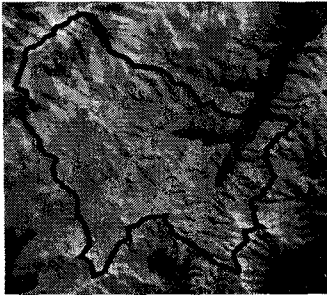


Fig. 2. Land use of the Gaeun basin

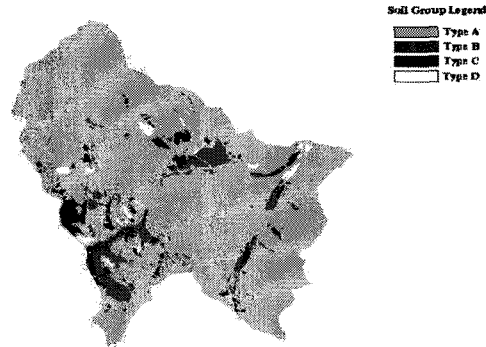


Fig. 3. Soil type distribution of Gaeun basin

본 연구에서는 국립방재연구소에서 구축한 정밀토양도(1:25,000)와 한국동력자원연구소의 한국지질도(50,000)를 분석에 적용하였으며 다음의 Fig. 3은 개운유역에 대한 토양 분류도를 도시한 것이다. 여기서, H.M.은 구릉지 및 산악지에 분포된 토양, G.는 암쇄토, H.S.는 산성암, S.S.는 사양질 내지 식양질, M.S.는 산악산성암, S.H. & P.는 구릉지 및 산록지에 분포된 토양, T.G.는 구릉 변성퇴적암 및 편암, R.T.는 산악, 퇴적암 및 편암, R.G.는 적황색토 및 암쇄토, T.R.는 퇴적토 및 적화색토, RO.G.는 돌 및 자갈이 있는 식양질 내지 사양질, U.S.는 산악 및 곡간에 분포된 토양 및 F.D.는 충적토 및 회색토를 나타낸다.

3. 모형의 적용결과 및 고찰

3.1. 모형의 보정

SWAT모형은 지표면 유출보정을 위해 유출지수(CN)와 유역경사(SLOPE)를 보정하고 토양수분 저류능(SOL-AWC)과 평균경사길이(SLSUBBSN)를 조정하였다. 또한 지하수 유출에 대한 보정을 위하여 개운지점의 2002~2003년의 일별 유출량을 가지고 보정을 실시하였으며 BASEFLOW 프로그램에 의하여 개운지점에 대한 기저일수 및 감수곡선계수를 결정하였다. 그리고 SWAT에서 산정한 일별 유출량과 실측 유출량을 보정하고 최적

매개변수를 결정하였다. 보정기간(2002~2003)동안의 개운지점의 실측 유출량과 SWAT 추정 일별, 월별, 총유출량을 비교하여 최대한 실측치에 가깝도록 보정을 하였으며, 결정된 최적 매개변수를 모형의 검정과 지하수 함양량 산정에 사용하였다. 일별 유출량에 대한 COE 지수는 0.63에서 0.83까지의 값을 보였으며 결정계수(R^2)는 0.87에서 0.91의 값을 나타내었다. 월별 유출량에 대한 평가결과 COE지수는 0.68에서 0.91의 값을 보였으며 결정계수(R^2)가 0.88에서 0.93의 값을 보였다. 일별 및 월별 유출량, 총유출량에 대한 평가결과는 비교적 우수하여 SWAT모형을 이용한 일단위 이상의 유출량 산정에는 우수한 결과를 나타내는 것으로 분석되었다.

3.2. 유출량의 평가

SWAT 모형에 의해 계산된 물수지의 적정성을 평가하기 위해서 최종 매개변수를 이용하여 개운(P-3)지점에서의 일유출량을 비교하였다. 이에 따라 2004-2005년을 모의기간으로 설정하였다. 모형의 시뮬레이션을 수행하여 얻은 2004-2005년의 유출량 결과(Fig. 4)를 살펴보면 모의기간 동안 일부구간을 제외하면 비교적 관측값과 거의 유사한 것으로 나타났다.

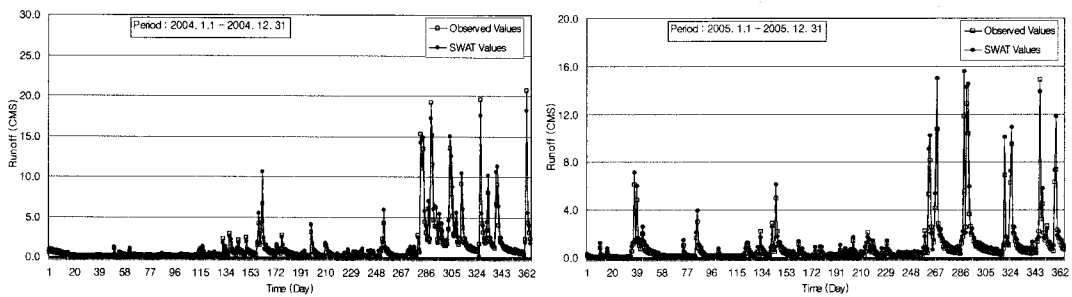


Fig. 4. Observed and estimated runoff for the Gaeun basin during 2004-2005.

모형의 효율성을 평가할 수 있는 계산 결과치와 관측치의 상관성도 결정계수가 약 94.8% 정도로 분석결과는 매우 적정한 것으로 나타났다. 한편, 총유출량의 경향과 경사 등을 이용한 유역 전반의 물수지 상태를 Fig. 5의 누가우량으로 살펴보면 2004~2005년에 약 100~120CMS의 누적차이를 나타내었다.

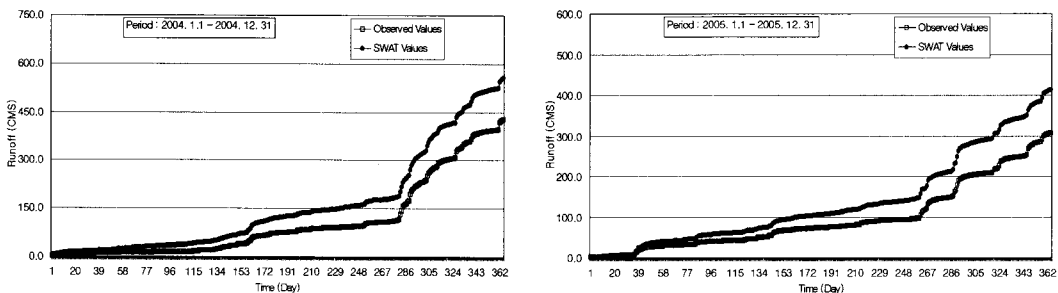


Fig. 5. Observed and estimated cumulative runoff for the Gaeun basin during 2004-2005.

3.3. 결과분석을 통한 현장적용성 검토

실험지점 1의 경우 CASE I과 CASE II의 S값이 각각 32.5cm와 27.9cm로 거의 유사한 결과를 나타내고 있고 실험지점 2의 경우에도 S값이 8.6 및 10.5cm로서 실험지점 1과 유사한 결과를 나타내었다. 하지만, 인접하여 위치하고 정밀토양도에는 동일한 토양군으로 분류된 지역임에도 실험지점 2는 표토층이 거의 없는 암반이 드러난 지점이다. 따라서, 평이한 지점이라 할 수 있는 실험지점 1과는 많은 차이의 S값을 나타내었다. 실험지점 3, 4의 경우 CASE I과 II의 차이가 4.9 및 5.8로서 비교적 근사한 S값으로 나타났다. 이러한 결과의 원인도 실험지점의 지반특성을 통해 찾아 볼 수 있다. 이는 실험지점 3 및 4의 경우 정밀 토양도상에서 수문학적 토양군이 동일 토양군에 속하는 곳이기 때문인 것으로 판단된다. 정밀토양도 토양통의 수문학적 분류에 위한 지하수함양량 분석기법과 강우 침투 실험값을 비교하기 위하여, 각각의 경우에 대한 최대잠재보유수량을 산정하여 비교한 결과 실험지점의 특성에 따라 양상을 달리함을 알 수 있었다. 실험지점이 전체 토양군의 특성을 반영할 수 없는 곳인 경우에는 상이한 결과를 나타내었다. 이러한 문제는 침투에 영향을 크게 미치는 표토층의 조건이나 침투가 일어나지 않는 암반과 절개지의 노출, 다소 식생이 불량한 지역 등의 국소적인 특성을 반영하는 것으로 볼 수 있다. 전체적인 특성을 반영할 수 있는 지점의 실험결과를 이용하여 비교한 경우에는 정밀토양도 토양통의 수문학적분류에 의한 계산과 유사한 결과를 나타내므로 두 방법은 현장적용에 적합한 것으로 판단된다.

3.4. 지하수함양량 산정

각 강우사상별 침투량은 지하수 함양량으로 볼 수 있으므로 장기간의 침투량을 누계하여 같은 기간의 강우량과 비교하면 지하수 함양율을 산정할 수 있으며, 이를 이용한 연구 지역의 함양량에 대한 SCS법과 SWAT모델의 산정결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Groundwater recharge on the each method

Model	Gaeun basin (Sub3)			
	Year	Rainfall (mm)	Recharge (mm)	Recharge ratio (%)
SCS	2004	1287	296.0	23.0
	2005	1011	208.3	20.6
SWAT Model	2004	1287	254.0	19.8
	2005	1011	220.4	21.8

분석결과에 따른 지하수함양률은 2004년에 있어 SCS법 및 SWAT모델의 경우, 296.0 및 254.2mm로서 함양률이 23.0 및 19.8%로 나타났다. 그리고, 2005년에 있어 SCS법 및 SWAT모델의 경우에는 208.3 및 220.4mm로서 함양률이 20.6 및 21.8%로 나타났다. 본 분석에서 강우량에 따른 지하수 함양률의 차이가 약 2-3% 발생하는 이유는, 2004년의 경우 집중호우가 적고 강우 분포가 년 중 고르게 내렸기 때문인 것으로 판단된다. 본 연구결과에서 SCS-CN법에 의해 산정된 지하수 함양량과 SWAT모델에 의한 결과 값은 거의 유

사한 것으로 분석되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 SWAT모형을 이용하여 상주시 개운유역의 강우에 따른 지하수 함양량 변동특성을 분석 검토하기 위하여, 매개변수를 추정하고 실제 유역에 적용하여 지하수 함양량을 추정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

먼저, 지하수 함양량을 추정하기 위해서는 분석유역 내에서도 토지상태 등은 많은 공간적인 변동이 크고 불확실성이 존재함으로서 기왕의 개념적 모형이나 집중형 모형으로서는 그 한계성이 있어, 분포형 모형으로 분석하는 것이 타당한 것으로 판단된다. 지하수 함양량 추정을 위한 토지이용 상태분석에서 실험지점 1, 2, 3 및 4에서의 측정치와 정밀토양도 토양통의 수문학적 분류에 의한 계산치가 거의 유사한 결과를 나타내므로서 두 방법은 모두 현장적용에 적합한 것으로 분석되었다.

다음으로, 일별 및 월별 유출량, 총유출량에 대한 평과결과는 비교적 우수하여 SWAT모형을 이용한 일단위 이상의 유출량 산정에는 우수한 결과를 나타내는 것으로 분석되었다.

마지막으로, 분석결과에 따른 지하수함양률은 2004년에 있어 SCS법 및 SWAT모형의 경우, 296.0 및 254.2mm로서 함양률이 23.0 및 19.8%, 2005년에 있어 208.3 및 220.4mm로서 함양률이 20.6 및 21.8%로 나타났다.

참 고 문 헌

- Memon, B.A., 1995, Quantitative analysis of springs, Environ. Geol., Vol. 26, pp. 111-120.
- Meyboom, P., 1961, Estimating groundwater recharge from stream hydrology, J.Geophys. Res., Vol. 66(4), pp. 1203-1214.
- Barnes, B.S., 1939, The structure of discharge recession curves, Transac. Amer. Geophys. Union Vol. 20, pp. 721-725.
- Fetter, C.W., 1994, Applied Hydrogeology, Prentice Hall. Vol. 20, pp. 693-711.
- Rutledge, A.T., 1998, Computer programs for describing the recession of groundwater recharge and for estimating mean groundwater recharge and discharge from stream records Update, U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report 98-4148, pp. 44.