농경지 불투수면 변화에 따른 유역 수문 영향 분석

Assessment of the Impacts of the Impervious Surface Change in the Farm Region on Watershed Hydrology

김학관* · 이은정**† · 박승우*** · 강문성***

Kim, Hak Kwan* · Lee, Eun Jeong**† · Park, Seung Woo*** · Kang, Moon Seong***

ABSTRACT

The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model was used in this study to evaluate the hydrologic impacts by the impervious surface change in the farm region. The model was calibrated and validated by using four years (1999-2002) of measured data for the Gyeongancheon watershed in Korea. The simulation results agreed well with observed values during the calibration and validation periods. Land use scenarios including various changes of the plastic film house area in the farm region were applied to assess their effects on watershed hydrology. The results indicated that the surface direct (5.6% ~ 14.0%) and total runoff (0.8% ~ 1.5%) increased, but the groundwater discharge (10.7% ~ 27.7%) and evapotranspiration (1.5% ~ 3.3%) decreased as the plastic film house area (5.7% ~ 12.4%) increased.

Keywords: Impervious surface; plastic film house; hydrologic impact; SWAT model; remote sensing technique

1. 서 론

불투수면 (impervious surface, impervious area, or impervious land cover)은 일반적으로 도로 (road), 주차장 (parking lots), 보도 (sidewalk), 지붕 (rooftops) 및 기타 도시경관 (urban landscape)에서 물이 잘 침투하지 않는 공간 면 (Schuler, 1994) 또는 토양으로 물의 침투를 방해하는 면 (Chester et al., 1996) 등으로 정의할 수 있다.

도시의 확장은 도로, 주차장, 건물의 지붕 등과 같은 불투수면의 증가를 수반하게 되며, 동시에 산림지, 농경지, 습지 등과 자연계에서 우수유출의 흡수와 정화기능을 갖는 다른 개방된 공간이 감소하게 된다 (Brabec et. al, 2002).

농촌지역에서도 시설영농 및 도로정비, 멀칭 등으로 인해 불투수면이 크게 증가하고 있다. 경지정리가 완료된 농경지내에 주요 간·지선 농로가 노폭이 좁고 비포장 상태이어서 농업기계화, 농산물 운반, 농업생산성 향상에 장애 요인으로 작용하고 있어 1995년부터 기계화 경작로 확장사업을 시행하여 주요 농로를 대상으로 콘크리트 또는 아스팔트로 포장하고 있다 (Choi and Lee, 2003). 또한 식량 작물의 재배면적이 감소하고 상업적 농업인 원예·특용 작물 등 시설농업이 확대되고 있으며 시설작물 재배 면적은 1991년 52,622 ha에서 2007년에는 94,508 ha로 79% 증가하였다 (MAF, 1996; MIFAFF, 2008).

이러한 불투수면 변화는 도시 성장의 관리 및 유역계획 등에서의 주요 과제로 등장하고 있으며 환경 지표로서 의미를 지닌다 (Brabec et. al, 2002). 이는 불투수면이 직접적으로 오염을 유발하지 않을 수 있으나, 불투수면은 침투를 억제함으로써 토양에 의한 자연적인 오염저감과정을 차단하게 되고, 불투수면은 직접적인 우수유출 경로를 만들어 오염물질을 하천으로 운반하기 때문이다 (Arnold and Gibbons, 1996).

Lazaro (1979)는 유역에서의 불투수면적의 증가 혹은 그 반대로 산림면적의 감소는 증발과 침투량을 감소시키며 식생 저

* 서울대학교 농업생명과학연구원

** 서울대학교 대학원

*** 서울대학교 조경·지역시스템공학부·농업생명과학연구원 겸임 연구원

† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4591

Fax: +82-2-873-2087

E-mail address: tweety45@snu.ac.kr

2009년 8월 28일 투고

2009년 10월 1일 심사완료

2009년 11월 1일 게재확정

류 감소와 감소된 증산량과 관계가 있다고 보고하였으며, Dow and Dewalle (2000)는 도시 및 주거지의 개발로 인한 불투수면 지역의 증가는 지표 유출의 증가를 초래하며 증발량, 침투량, 지하수 함량의 감소를 야기한다고 하였다. 일본의 규슈 구마모터 지역의 경우 개발로 인하여 불투수 지역으로 변화될 때에는 우수침투 시설을 설치하여 지하수 함양능력을 확보하는 조치를 취하고 있으며 비닐하우스 지역의 50%에 우수가 침투할 수 있는 시설을 설치할 경우 모델 시뮬레이션 결과 지하수위가 제1대수층은 1.6m, 제2대수층은 1.4m 상승하는 것으로 추정되었다 (Jung, 2004).

국내의 경우 Lee et al. (2005)은 WEP (Water and Energy transfer Processes) 모형을 이용하여 도립천 유역의 물순환을 모의하고, 과거와 현재 토지이용도를 이용한 모의를 통해서 도시화에 따른 불투수층의 증가가 유출 특성에 미치는 영향에 대해 분석하였으며, Heo (2003), Park et al. (2005), Kim et al. (2006) 등에 의해 도시화에 따른 수문 영향에 관한 연구들이 이루어지고 있다.

이처럼 도시화에 따른 불투수면 증가가 유출 특성에 미치는 영향에 관한 연구는 많이 이루어지고 있으나 시설재배지와 같은 농경지에서의 불투수면 변화에 따른 유출 특성을 정량적으로 분석하는 연구는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 SWAT 모형을 이용하여 농경지 불투수면 변화에 따른 유역 수문 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 대상유역을 선정하여 모형의 보정 및 검정을 수행하고 시설재배지 증가 시나리오에 따른 수문 영향을 분석하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. SWAT 모형

SWAT 모형은 미국 농무성에 의해 개발된 모형으로 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 물과 유사 및 농업화학물질의 거동을 모의할 수 있도록 개발되었다 (Arnold et al., 1998). SWAT 모형은 수문반응의 최소단위로 토지이용과 토양 특성 및 소유역을 기준으로 생성되는 수문응답단위 (Hydrologic Response Unit, HRU)를 사용한다. 각 수문응답단위에 대해 모의가 되며 전체 유역에 대한 유출을 모의하기 위해 하도추적 과정을 거치게 된다. SWAT 모형은 최근까지도 기능이 추가되고 보완되고 있으며 가장 최근 개발된 것은 SWAT2005 (Neitsch et al., 2005)이다. 본 연구에서는 SWAT2005를 적용하였으며, SWAT 모형을 위한 사용자 편의시스템을 제공하며

GIS (Geographical Information System)와 유역, 기상자료, 모델링 도구를 하나의 통합시스템으로 구축할 수 있는 ArcSWAT (Winchell et al., 2008)을 이용하였다.

2. 시설재배지에서의 흐름 모의

SWAT 모형에서는 지표면 유출 (surface runoff)을 계산하기 위해 NRCS 유출곡선법 (NRCS, 2004)과 Green & Ampt 침투법 (Green and Ampt, 1911)의 두 가지 방법을 제공하고 있다. 본 연구에서는 NRCS 유출곡선법을 이용하였으며 NRCS 유출곡선식은 식 (1)과 같다.

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} - 0.8S)} \quad (1)$$

여기서, Q_{surf} 는 누가 유출량 또는 초과 강우량 (mm H₂O), R_{day} 는 일 강우량 (mm H₂O), S 는 토양수분 저류계수 (mm H₂O)이다. 저류계수는 식 (2)로 정의된다.

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2)$$

여기서, CN 은 일 유출곡선지수 (curve number)이며, 토양의 투수성, 토지이용, 선행토양함수조건의 함수이다.

시설재배지에서의 강우시 유출은 강우가 시설재배지로부터 흘러내려 시설사이에 설치된 배수로로 통하여 흐르게 된다. 시설사이에 설치된 배수로는 흙수로 형태로 시설재배지와는 다르게 투수면 형태로 이루어져 있다. Fig. 1은 시설재배지에서의 강우시 유출 흐름 모식도를 보여주고 있다.

Fig. 1 Schematic of surface runoff at the plastic film house field

본 연구에서는 이러한 시설재배지에서의 지표면 유출 모의를 위하여 도시 지역 지표면 유출 산정 방법을 이용하였다. SWAT 모형에서 도시 지역의 지표면 유출은 직접 연결된 불투수지역과 연결되지 않은 불투수/투수지역으로 구분하여 산정한다. 직접 연결된 불투수지역에 대해, CN값은 항상 98을 사용한다. 연결되지 않은 불투수/투수지역에 대해서는, 합성 CN이 계산되고, 지표 유출 계산에 이용된다. 연결되지 않은 불투수/투수지역에 대한 합성 CN은 다음 식 (3)과 (4)를 이용하여 계산된다 (Neithsch et al., 2005).

$$CN_c = CN_p + imp_{tot} (CN_{imp} - CN_p) \left(1 - \frac{imp_{down}}{2} \right) \quad (3)$$

$$imp_{tot} \leq 0.30$$

$$CN_c = CN_p + imp_{tot} (CN_{imp} - CN_p) \quad imp_{tot} > 0.30 \quad (4)$$

여기서, CN_c 는 선행토양함수조건 II에 대한 CN, CN_p 는 투수 지역의 II 조건에 대한 CN, imp_{tot} 는 직접 연결과 연결되지 않은 지역 모두를 포함한 HRU의 불투수 면적 비율, imp_{down} 는 불투수이고, 배수시스템에 연결되어 있지 않은 HRU의 면적 비율이다.

본 연구에서는 시설재배지에서의 유출은 연결되지 않은 도시 지역의 불투수/투수지역의 유출 형태와 동일한 것으로 간주하여 합성 CN에 의해 계산되고, 지표 유출 계산에 이용되도록 하였다. 이 때 시설재배지의 CN은 98로 고정되며, 수로의 경우 토양수분량에 따라 일별 합성 CN값이 계산된다. 시설재배지의 경우 시설재배지가 차지하는 불투수 면적 비율은 현장 조사 결과 평균 0.9의 값을 보였으며, 수로가 차지하는 투수 면적 비율은 평균 0.1의 값을 나타냈다. 본 연구에서는 이를 적용하였다. 시설재배지를 주거지역 지붕으로 간주하여 유출량을 계산하도록 하였으며, 시설재배지 내부는 간혀진 공간으로 간주하여 관개량 및 관개량에 의한 침투량, 식물 생장 등은 고려하지 않았다. 수로의 경우는 SWAT 모형의 투수지역에서의 흐름 모의가 이루어지도록 하였다.

3. 대상 유역 및 자료구축

본 연구에서는 SWAT 모형의 적용성을 검토하고 농경지 불투수면변화에 따른 유역 수문 영향을 분석하기 위하여 경안천 유역 중 경안 수위관측소가 위치한 경기도 광주시 경안동 경안교를 유출구로 하는 상류유역을 선정하였다. 대상유역의 면적은 262.32 km², 유로장은 30.0 km, 유역 경사는 24.5%이며, 동경 127° 14' 40" ~ 127° 16' 47", 북위 37° 1

Fig. 2 Location of the Gyeongangcheon watershed with the monitoring network

1' 08" ~ 37° 21' 01" 사이에 위치하고 있다. 경안천 유역은 내륙성기후로 여름에 고온다습하고 겨울에 한랭건조한 특징을 지니고 있다. 평균기온은 11.2 °C이며, 연평균 강수량은 약 1,300 mm이다. 대상 유역에는 강우측점 7개소가 있으며 경안 수위관측소에서 수위를 관측하고 있다. Fig. 2는 대상유역의 위치 및 수문관측 지점을 보여주고 있다.

풍속, 일 최고온도, 일 최저온도, 일사량, 상대습도 등의 기상자료는 수원, 양평, 이천 기상관측소 자료를 이용하였으며, 수위자료는 국토해양부 한강홍수통제소가 운영하고 있는 경안 수위관측소 자료를 이용하였다. 유량자료는 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공하는 수위-유량 관계곡선식을 이용하여 수위자료를 유량자료로 환산하여 사용하였다.

시험유역의 기본도는 1/5,000 NGIS (National Geographical Information System) 수치지도와 농촌진흥청의 1/25,000 정밀도양도를 이용하였다. 소유역은 55개로 구분하였으며, SWAT 모형에서 필요로 하는 토양특성 값들은 농업과학기술원에서 구축한 농업토양정보시스템과 Saxton et al. (1986)의 결과를 이용하여 구축하였다.

토지피복 분류를 위해서는 2002년 9월 10일에 촬영된 Path 116/Row 34 Landsat-7 ETM+ 영상 및 2003년에 촬영된 항공사진을 이용하였다. 위성영상은 토양명도지수 (soil brightness index), 녹색식생지수 (green vegetation index), 그리고 토양 수분지수 (soil moisture index) 등의 식생지수를 사용하여 최대우도법에 의한 토지피복분류를 수행한 결과를 이용하였다. 시설재배지는 영상 반사값이 높아 도시지역과 유사하게 나오기 때문에 Landsat 위성영상으로 분류하는데 한계가 있다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위하여 Landsat 위성영상과 가장 가까

운 시기의 2003년 항공사진을 이용하였다. 항공사진을 기하보정을 실시하였으며 육안판독을 통해 벡터라이징 (vectorizing)을 실시하였다. 벡터라이징을 실시한 결과를 이용하여 시설재배지의 위치 및 면적을 추출하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토지피복 분류

Table 1은 2002년 Landsat 위성영상과 2003년 항공사진을 이용하여 토지피복 분류를 수행한 결과를 보여주고 있다. 대상 유역 전체 유역 면적에 대해 산림이 64%를 차지하고 있으며, 시가지가 14%, 논이 11%, 밭이 7%인 것으로 나타났다. 시설재배지는 3.2 km²으로 전체 유역 면적의 1%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다. Fig. 3은 구축된 토지피복도를 보여주고 있으며, 시설재배지는 경안천 본류 주변에 위치하고 있는 것으로 나타났다.

2. 모형의 보정 및 검증

모형의 보정을 위해 단순시행착오법을 이용하였으며, 매개변수의 보정에 대한 평가를 위해 평균제곱근오차 (Root Mean Square Error, RMSE), 상대평균절대오차 (Relative Mean Absolute Error, RMAE), Nash-Sutcliffe 효율지수 (Efficiency Index, EI) (Nash와 Sutcliffe, 1970), 결정계수 (R^2) 등의 통

Table 1 Land use classification of the study watershed

Land use	Area (km ²)	Percentage (%)
Water	0.624	0.24
Forest	167.745	63.95
Grass	7.286	2.78
Paddy	29.311	11.17
Upland	17.533	6.68
Built-up	36.625	13.96
Plastic film house	3.199	1.22
Total	262.323	100.00

계적인 변량을 사용하였다 (David and Gregory, 1999).

유출량에 대한 보정은 총유출량과 침투유출에 대하여 변위가 큰 매개변수부터 수정하였다. 모형의 보정을 위해 대상유역인 경안천 유역을 대상으로 2001년과 2002년의 수문자료를 이용하였으며, 검정을 위해 1999년과 2000년 자료를 이용하였다.

모형의 유출에 비교적 큰 영향을 주는 매개변수는 CN2, SOL_AWC, ALPHA_BF, GWQMN, REVAPMN 등으로 분석되었으며, Table 2는 대상유역에서의 유출에 대한 매개변수의 보정결과를 보여주고 있다.

모형의 보정에 사용된 자료기간에 대하여 RMSE는 5.25 mm/day, RMAE는 0.31 mm/day, R^2 는 0.86, EI는 0.82의 값을 보였다. 검정기간에 대해서는 RMSE는 4.50 mm/day, RMAE는 0.62 mm/day, R^2 는 0.82, EI는 0.80의 값을 보였다. Table

Fig. 3 Land use map of the study watershed

Table 2 Parameter values for runoff simulation

Parameters	Definition	Unit	Initial value	Final value	Range
CN2	Initial SCS runoff curve number for moisture condition II	-	-	▽ 6	0 - 98
SOL_AWC	Available water capacity of the soil later	mm/mm	-	▽ 0.08	0 - 1
ALPHA_BF	Baseflow alpha factors	days	0.048	0.048	0.0 - 1.0
GWQMN	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur	mm	0	100	0 - 5000
REVAPMN	Threshold depth of water in the shallow aquifer for "revap" or percolation to the deep aquifer to occur	mm	0	500	0 - 500

Table 3 Statical summary of calibration and verification results for daily runoff in the study watershed

Statistical criteria	Calibration period	Validation period
Mean daily runoff		
Observed (mm/day)	2.40	2.52
Simulated (mm/day)	2.48	2.49
Root mean square error (mm/day)	5.25	4.50
Relative mean absolute error (mm/day)	0.31	0.62
Determination coefficient	0.86	0.82
Nash-Sutcliffe efficiency index	0.82	0.80

Fig. 4 Observed and simulated daily runoff over the calibration and validation periods for the study watershed

2은 모형의 보정 및 검정결과를 보여주고 있으며, Fig. 4는 보정 및 검정기간동안 강우량에 따른 유출량의 실측치와 모의치의 변화를 보여주고 있다.

3. 시설재배지 면적 변화에 따른 수문 영향 분석

본 연구에서는 농경지 불투수면 변화에 따른 수문 영향을 예측하기 위하여 시설재배지 면적을 변화시켜 시나리오를 구성하였다. 대상구역의 시설재배지는 경안천 본류 주변에 집중적으로 분포하고 있고 평탄한 논이 주로 시설재배지로 변경되는 것을 고려하여 경안천 본류를 포함하고 있는 소유역의 논이 시설재배지로 변경되는 경우 (시나리오 A)와 대상구역내의 논이 모두 시설재배지로 변경되는 경우 (시나리오 B)를 시나리오로 구성하였다. Fig. 5는 경안천 본류를 포함하고 있는 소유역을 보여주고 있다. 55개의 소유역 중에서 경안천 본류를 포함하고 있는 소유역은 19개로 나타났으며 논면적은 총면적의 16.8%인 11.615 km²로 분석되었다. Table 4는 시나리오에 따른 토지이용별 면적 변화를 보여주고 있다. 시나리오 A의 경우는 총유역 면적에 대한 시설재배지 면적비율이 1.2%에서 5.7%로

Fig. 5 Subwatershed boundary map of the study watershed

Table 4 Land use scenarios including the change of the plastic film house area

Item	2002		Scenario A		Scenario B	
	Area (km ²)	Percentage (%)	Area (km ²)	Percentage (%)	Area (km ²)	Percentage (%)
Water	0.624	0.24	0.624	0.24	0.624	0.24
Forest	167.745	63.95	167.745	63.95	167.745	63.95
Grass	7.286	2.78	7.286	2.78	7.286	2.78
Paddy	29.311	11.17	17.676	6.74	0.000	0.00
Upland	17.533	6.68	17.533	6.68	17.533	6.68
Built-up	36.625	13.96	36.625	13.96	36.625	13.96
Green house	3.199	1.22	14.834	5.65	32.510	12.39
Total	262.323	100.00	262.323	100.00	262.323	100.00

증가하였으며, 시나리오 B의 경우는 12.4%로 증가하였다.

시설재배지의 면적 변화에 따른 각 토지이용 시나리오를 구축된 모형에 적용하여 대상구역의 수문학적 요소들의 변화를 분석하였다. Table 5는 대상구역의 수문학적 요소들의 변화를 분석한 결과를 보여주고 있다. 총 유역 면적에 대한 시설재배지 면적 비율이 5.7%인 시나리오 A의 경우 1.2%인 2002년 토지이용도를 이용한 모형의 모의 결과에 비해 평균 유출량이 913

Table 5 Results of hydrologic simulation using land use scenarios

Item	2002	Scenario A	Scenario B
Evapotranspiration (mm)	390	384	377
Surface runoff (mm)	357	377	407
Lateral subsurface flow (mm)	437	436	432
Groundwater flow (mm)	112	100	81
Total runoff (mm)	906	913	920
Percolation out of soil layer (mm)	117	104	85

mm로 0.8% 증가하였으며, 지표 유출량은 377 mm로 5.6% 증가하였다. 측방 유출량은 0.2% 감소한 436 mm, 토양층으로부터의 침투량은 11.1% 감소한 104 mm, 지하수 유출은 10.7% 감소한 100 mm, 증발산량은 1.5% 감소한 384 mm로 나타났다. 지표 유출량과 측방 유출량을 포함한 직접 유출량은 813 mm로 2.4% 증가하였다. 총 유역 면적에 대한 시설재배지 면적 비율이 12.4%인 시나리오 B의 경우는 평균 유출량이 920 mm로 1.5% 증가하였으며, 지표 유출량은 407 mm로 14.0% 증가하였다. 측방 유출량은 1.1% 감소한 432 mm, 토양층으로부터의 침투량은 27.4% 감소한 85 mm, 지하수 유출량은 27.7% 감소한 81 mm, 증발산량은 3.3% 감소한 377 mm로 나타났다. 직접 유출량은 839 mm로 5.7% 증가하였다.

시나리오 A와 B 모두의 경우에서 시설재배지의 면적이 증가함에 따라 지표 유출량 및 직접 유출량은 증가하고, 측방 유출량, 토양층으로부터의 침투량, 지하수 유출량, 증발산량은 감소하는 것으로 나타났다. 이처럼 농경지에서 불투수면을 형성하는 시설재배지의 면적의 변화는 유역 물순환의 변화를 야기할 수 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 SWAT 모형을 이용하여 농경지 불투수면 변화에 따른 유역 수문 영향을 분석하였다. 경안천유역의 경안 수위표 상류유역을 대상유역으로 선정하여 유역의 수문 자료를 수집하였으며, 대상유역의 위성영상 및 항공사진을 이용하여 농경지 불투수면을 고려한 토지피복도 및 수치지형자료 등을 구축하여 SWAT 모형의 적용성을 평가하였다. 그 결과 모형이 적용성이 있는 것으로 평가되었다.

농경지 불투수면인 시설재배지의 면적 변화 시나리오를 작성하고 구축된 모형을 이용하여 시나리오에 따른 유역 수문 영향을 분석하였다. 총 유역 면적에 대한 시설재배지 면적 비율이 5.7% ~ 12.4%로 변화함에 따라 1.2%인 2002년 토지이용도를 이용한 모형의 모의 결과에 비해 평균 유출량은 0.8% ~

1.5% 증가하였으며, 지표 유출량과 측방 유출량을 포함한 직접유출량은 2.4% ~ 5.7% 증가하였으며, 이 중 지표 유출량은 5.6% ~ 14.0% 증가하는 것으로 나타났다. 토양층으로부터의 침투량은 11.1 ~ 27.4%, 지하수 유출량은 10.7% ~ 27.7%, 증발산량은 1.5% ~ 3.3% 감소하는 것으로 분석되었다.

이처럼 시설재배지의 증가는 불투수면을 형성하여 강우가 지하로 스며들지 못하고 농수로로 통해 하천으로 유입됨에 따라 직접 유출량의 증가를 초래할 수 있으며, 지하수 유출량 및 증발산량의 감소를 가져오는 등 물순환의 변화를 야기하고 있다.

본 연구는 한강수계관리위원회의 환경기초조사사업 연구비지원으로 수행되었습니다.

REFERENCE

1. Arnold, C. L., Jr., and C. J. Gibbons, 1996. Impervious surface coverage: Emergence of a key environmental factor. *Journal of the American Planning Association* 62(2): 243-258.
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. Brabec, E., S. Schulte, and P. L. Richards, 2002. Impervious surface and water quality: A review of current literature and its implications for watershed planning. *Journal of Planning Literature* 16(4): 499-514.
4. Chester, L., Jr. Arnold, and C. J. Gibbons, 1996. Impervious surface coverage: The emergence of a key environmental indicator. *Journal of the American Planning Association* 62(2): 243-258.
5. Choi, S. M., and H. W. Lee, 2003. Analysis on the improvement level of minor rural roads - A cast study on the country areas of Chonnam province -. *Journal of Korean Society of Rural Planning* 9(3): 25-34 (in Korean).
6. David, R. L., and M. J. Gregory, 1999. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research* 35(1): 233-241.
7. Dow, C. L. and D. R. DeWalle, 2000. Trends in

- evaporation and Bowen ration on urbanizing watersheds in Eastern United States. *Water Resources Research* 36(7): 1835-1843.
8. Green, W. H., and G. A. Ampt, 1911. Studies on soil physics, 1. The flow of air and water through soils. *Journal of Agricultural Sciences* 4: 11-24.
9. Heo, C. H., 2003. Characteristics of runoff variation due to watershed urbanization. *Korea Water Resources Association* 36(5): 725-740 (in Korean).
10. Jung, S. O., 2004. Groundwater management in the Kumamoto region, Jyushu, Japan. *Magazine of Korea Water Resources Association* 37(2): 74-81 (in Korean).
11. Kim, J. K., K. H. Son, J. W. Noh, C. L. Jang, and I. H. Ko, 2006. Evaluation of urbanization effect and analysis of hydrological characteristics in the Gap River catchment using SWAT. *Korea Water Resources Association* 39(10): 881-890 (in Korean).
12. Lazaro, T. R., 1979. Urban hydrology: A multidisciplinary perspective, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, Michigan, USA.
13. Lee, S. J., Y. Kim, S. H. Lee, and K. S. Lee, 2005. Water cycle simulation for the Dorimcheon catchment using WEP model. *Korea Water Resources Association* 38(6): 449-460 (in Korean).
14. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF), 2008. Food, agricultural, forestry and fisheries statistical yearbook. Gwacheon, Korea (in Korean).
15. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF), 1996. Statistical yearbook of agriculture forestry and fisheries, Gwacheon, Korea (in Korean).
16. Nash J. E., and J. V. Sutcliffe, 1970. River flow forecasting through conceptual models par I -A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10: 282-290.
17. National Resources Conservation Service (NRCS), 2004. National engineering handbook, Part 630-Hydrology. United States Department of Agriculture, Washington, D. C., USA.
18. Neitsch, S. G., J. G. Arnold, J. R. Kiniry, and J. R. Williams, 2005. Soil and water assessment tool theoretical documentation. Version 2005, United States Department of Agriculture Agricultural Research Service, Temple, Texas, USA.
19. Park, M. J., H. J. Kwon, and S. J. Kim, 2005. Analysis of impacts of land cover change on runoff using HSPF model. *Korea Water Resources Association* 38(6): 495-504 (in Korean).
20. Saxton, K. E., W. J. Rawls, J. S. Romberger, and R. I. Papendick, 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society of America Journal* 50(4): 1031-1036.
21. Schueler, R. R., 1994. The importance of imperviousness. *Watershed Protection Techniques* 1(3): 100-111.
22. Winchell B., R. Srinivasan, M. Di Luzio, and J. Arnold, 2008. ArcSWAT 2.0 interface for SWAT2005 user's guide, United States Department of Agriculture Agricultural Research Service, Temple, Texas, USA.