

금호강 유역의 수문환경에 대한 도시화의 영향: 모형 연구

김재철 · 이지호* · 유철상* · 김상단†

부경대학교 환경시스템공학부

*고려대학교 건축사회환경시스템공학부

Impact of Urbanization on Hydrology of Geumho River Watershed : A Model Study

Jae-Chul Kim · Jiho Lee* · Chulsang Yoo* · Sangdan Kim†

Department of Environmental System Engineering, Pukyong National University

*Department of Civil and Environmental Engineering, Korea University

(Received 7 May 2007, Accepted 9 July 2007)

Abstract

The Geumho river watershed located in the middle of the Nakdong river has been threatened by high population growth and urbanization. Of concern specifically is the potential impact of future developments in the watershed on the reduction of base flow and the consequent risk of degradation of ecological habitats in Geumho river. Anticipated increase in imperviousness, on the other hand, is expected to elevate flood risk and the associated environmental damage. A watershed hydrology based modeling study is initiated in this study to assist in planning for sustainable future development in the Geumho river watershed. The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) is selected to model the impact of urbanization in the Geumho river watershed on the hydrologic response thereof. The modeling results show that in general the likelihood that the watershed will experience high and low stream flows will increase in view of the urbanization so far achieved.

keywords : Geumho river, Hydrologic modeling, Land use change, Soil and water assessment tool (SWAT), Urbanization, Watershed

1. 서론

도시 및 주거지의 개발로 인한 도시적 토지이용면적의 증가는 직접 유출을 증가시키고, 증발산과 침투 및 지하수의 충진을 감소시키게 된다(Dow et al., 2000). 또한 도시화에 따른 불투수율의 예측된 증가는 홍수량을 증가시켜 보다 많은 토사유출의 원인이 될 수 있으며, 그 결과 하류의 수질을 저하시키는 등 관련된 환경적 피해 또한 유발시키게 된다(Bledsoe et al., 2001; Trimble, 1997). 이러한 여러 가지 영향으로 보았을 때 도시적 토지이용에 따른 환경적 영향은 긍정적이지 못한 것이 틀림없으며, 미래의 개발에 대한 환경적 측면에서의 잠재적 영향을 충분히 검토할 필요성이 있다(박 등, 2005).

인간 활동에 의한 토지이용의 변화로 나타나는 도시화에 따른 수문 특성의 변화를 가장 직접적으로 체감할 수 있는 수문변수는 아마도 하천에 흐르는 물의 양일 것이며, 이에 대한 변화정도를 파악하기 위해서는 장기적인 모니터링 결과가 뒷받침되어야 하며, 그와 더불어 복잡한 수문현상과 토지이용상태의 변화 사이의 관계를 보다 구체적으로 살펴 보기 위해서는 수학적 수문모형을 통한 분석이 필수적이다

(김 등, 2006). 따라서 국내외적으로 주로 수학적 수문모형을 이용하여 수문환경에 대한 도시화의 영향을 분석하는 추세에 있다. 국내의 경우 김 등(2004)은 국내의 대표적인 도시유역인 청계천 유역에 대하여 SWAT 및 WEP 모형을 이용하여 수문 순환 특성을 분석하였고, 이 등(2005)은 WEP 모형을 이용하여 도립천 유역의 물 순환을 모의한 후, 1975년과 2000년 토지 이용도를 이용한 모의를 통하여 도시화에 따른 불투수율의 증가가 유출 특성에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 박 등(2005)은 HSPF 모형을 이용하여 도시화에 대한 영향을 평가하여 도심지의 증가와 산림의 감소에 따라 총 유출량은 증가하고, 특히 강우 강도가 높은 해가 침투 유량의 증가율이 매우 높아짐을 보고한 바 있으며, 김 등(2006)은 SWAT 모형을 이용하여 갑천 유역의 도시화에 대한 영향을 분석한 바 있다. 국외의 경우 Mroczkowski 등(1997)은 CATPRO 모형을 산림의 제거의 변화를 겪은 Wight 유역과 급격한 토지 이용도 변화가 없는 Salmon 유역에 적용하여 결과를 비교 분석하였으며, Kang 등(1998)은 비교적 간단한 선형저수지 모형을 이용하여 도시화로 인한 침투 유량 증가와 침투 시간 감소효과를 모의하였다. Brun 등(2000)은 HSPF 모형을 이용하여 기저 유량과 총 유출량의 불투수면적과의 관계를 설명하는 관계식을 도출하였고, Wicklein 등(2002)은 HSPF 모형을 이용

† To whom correspondence should be addressed.
skim@pknu.ac.kr

하여 토지이용 변화가 유출에 미치는 영향을 평가한 바 있다. Bouraouri 등(2005)은 SWAT 모형을 이용하여 산림이 주로 농경지로 변화된 유역에 대한 수문환경변화를 분석하였다.

이에 본 연구에서는 금호강 유역의 지속가능한 미래 개발을 위한 계획에 기여하고자 하는 목적으로 모형 연구에 기초한 유역 수문환경변화를 분석하였다. SWAT 모형 (Neitsch et al., 2002)이 도시화에 따른 유역의 수문학적 반응을 살펴보는 데 사용되었다. 낙동강 중류부에 위치한 금호강 유역은 급격한 인구증가와 도시화에 의해 많은 환경변화를 겪어온 지역이다. 따라서 기저유출의 감소와 그에 따른 생태계 서식처의 파괴 등 유역 개발에 따른 잠재적 충격에 특별한 관심이 필요한 지역이기도 하다. 또한 금호강 유역은 1985년과 2000년의 토지 이용도를 비교해 볼 때 산림면적은 오히려 증가하였지만 주로 농경지 감소가 유역 내 투수 면적의 감소를 주도한 유역으로, 따라서 농경지가 도시화로 전환됨에 따른 수문 특성의 변화를 살펴볼 수 있는 유역이기도 하다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상유역의 특성

대상 유역인 금호강 유역은 Fig. 1에서 알 수 있듯이 낙동강 중류 부분에 위치한 하천으로써 유역 면적은 2078.42 km², 유로연장 118.99 km로 상류와 중류에는 경산시, 영천시 등의 소도시가 위치하고, 하류 부분에는 대도시인 대구광역시 위치해 있다. 따라서 1985년과 2000년의 토지이용

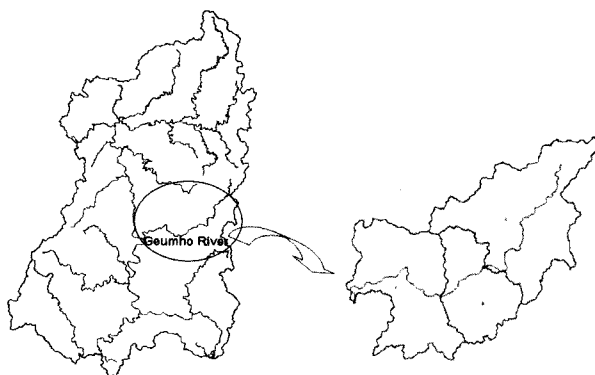


Fig. 1. Location of Geumho river watershed.

Table 1. Land use change from 1985 to 2000 in the Geumho river watershed

Land use	1985		2000	
	km ²	%	km ²	%
WATR	22.86	1.10	24.94	1.20
URLD	39.91	1.92	76.07	3.68
PAST	2.49	0.12	0.83	0.04
FRST	1322.50	63.63	1376.95	66.30
RICE	398.02	19.15	379.94	18.36
AGRR	292.64	14.08	219.69	10.60
SUM	2078.42	100.00	2078.42	100.00

도를 비교해 볼 때 도시적 토지이용면적은 매우 증가한 반면, 농경지의 면적은 크게 감소한 유역이다(Table 1 참조). 특히 상류와 중류에서도 도시화가 지난 30년간 진행되었지만, 특히 하류 유역의 도시화가 매우 급격하게 진행되었음을 알 수 있다. Table 1을 통하여 이를 보다 구체적으로 살펴보면, 도시적 토지이용면적은 15년 동안 39.91 km²에서 76.07 km²로 두 배가량 증가하였으며, 초지와 논, 밭의 면적은 약 100 km² 정도 감소하였음을 알 수 있다. 하지만 산림 면적은 오히려 약간 증가하였음을 알 수 있다.

2.2. 사용된 자료

토지 이용도는 래스터형 자료로써 국가수자원관리 종합정보시스템(WAMIS, www.wamis.go.kr)에서 제공하고 있는 Landsat 영상을 이용하여 분석된 자료를 이용하였다. 본 연구에서는 1985년과 2000년의 피복 분류기준년의 토지 이용도를 이용하였는데, 두 자료 모두 공간해상도는 30 m×30 m이다. 사용된 토지 이용도는 수역, 시가화 지역, 나지, 습지, 초지, 산림, 논, 밭 등 총 8개 지목으로 분류되어 있다. Fig. 2는 금호강 유역의 1985년, 2000년별 토지 이용도의 변화를 보여주고 있다. Fig. 2에서 AGRR은 밭, FRST는 산림, PAST는 초지, RICE는 논, URLD는 시가화 지역, WATR는 수역을 각각 나타낸다. 토양도는 또한 WAMIS에서 제공하는 자료를 사용하였다.

기상자료는 기상청에서 제공하는 자료를 사용하였다. 금호강 유역에 위치하고 있는 대구 기상청과 영천 기상청의 자료를 티센 면적 가중을 고려하여 강우자료를 비롯한 최고기온, 최저기온, 상대습도, 평균 풍속 등의 기상자료들을 구축하였다. 일사량의 경우 대구와 영천의 정확한 자료가 없기 때문에 안동의 일사량 자료를 사용하였다. 자료기간은 1994년부터 2006년까지이다. 유역 내 환경기초시설로부터 배출되는 방류량과 각종 취수장에서 취수되는 취수량은 대구광역시와 경상북도의 오염총량관리 기본계획에 수록되어 있는 자료를 전용하여 사용하였으며, 금호A는 경상북도의 오염총량관리 기본계획의 자료를 사용하였고, 금호B는 경상북도와 대구광역시의 오염총량관리 기본계획 자료를 사용하였으며, 금호C는 대구광역시의 오염총량관리 기본계획 자료를 사용하였다(경상북도, 2005; 대구광역시, 2005).

2.3. 연구절차

본 연구에서는 금호강 유역을 대상유역으로 하여 SWAT 모형 연구에 기초한 유역 수문환경변화를 분석하였다. 이를 위하여 먼저 SWAT 모형을 2000년 토지 이용도를 이용하여 구축하고 모형 매개변수의 보정과 검정을 실시하였다. 그 후 1985년 토지이용도를 이용한 SWAT 모형의 모의 값과 비교하여 도시화에 따른 유역 수문환경변화를 살펴보는 과정을 취하였다. SWAT 모형의 적용 절차를 Fig. 3에 도시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. SWAT-금호강 모형

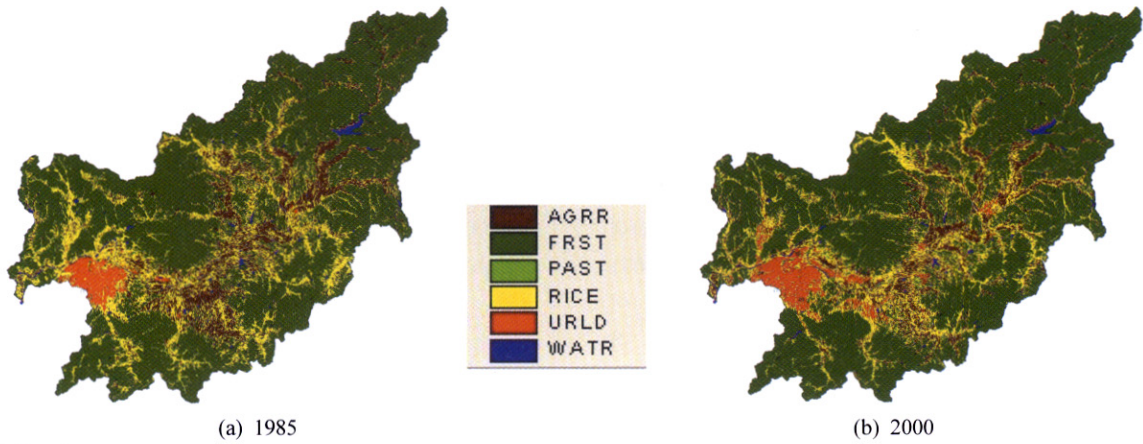


Fig. 2. Land use map.

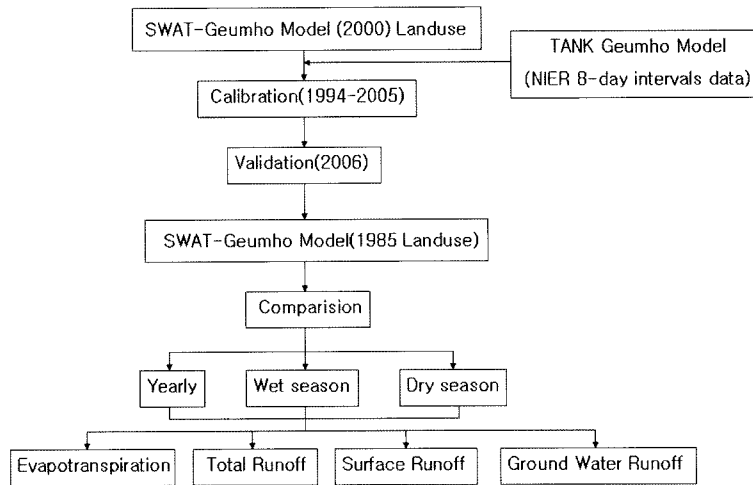


Fig. 3. Application procedure.



Fig. 4. DEM.

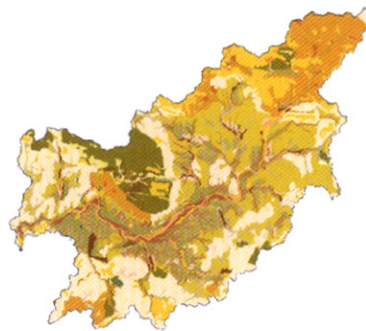


Fig. 5. Soil map.



Fig. 6. Watershed delineation.

3.1.1. 모형의 구축 및 분석 절차

SWAT-금호강 모형의 구축 및 분석절차는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 1) DEM(수치표고모델)을 형성한 후, 소유역 분할
이때, 유역 분할 시 우선 SWAT 모형의 기본(default) 임계값을 사용하여 소유역을 분할한 후, 수질오염총량 단위유역인 금호A, 금호B, 금호C의 세 지점을 추가하여 33개의 소유역으로 분할하였다. 추가된 세 지점은 추후 모형의 보정 및 검정을 위한 지점으로 사용된다.
- 2) 기상자료 및 토지 이용도(2000년), 토양도 입력 후, HRU(수문학적 반응단위) 생성

- 3) 1994년부터 2006년까지 13년 동안 모의를 실시하여 2000년 토지 이용도에 기초한 수문량 모의
- 4) 1985년 토지 이용도를 이용하여 SWAT 모형 구축
- 5) 1985년과 2000년 토지 이용도 분석을 통하여 토지이용변화가 특히 극심하였던 소유역 식별(소유역 번호 19, 20, 24)

SWAT-금호강 모형의 구축을 위한 기본 사항을 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6에 각각 나타내었다.

3.1.2. 모형의 보정 및 검정

본 연구에서는 SWAT 모형의 매개변수를 추정하기 위해

서는 장기간에 걸쳐 연속적으로 관측된 일 유량 자료가 요구된다. 금호강 유역의 경우 장기간에 걸쳐 연속적으로 관측된 일 유량 자료는 존재하지 않으나, 2004년부터 오염총량관리 지원목적으로 단위유역(금호 A, B, C) 말단부에서 8일 간격으로 관측된 유량자료가 있다. 또한 이들 자료를 이용하여 최근 낙동강 환경기초조사사업의 일환으로 수행된 “낙동강 물 순환 특성조사 및 모의예측기법개발”을 통하여 일 유량자료가 생성된 바 있다(낙동강수계관리위원회, 2007). 상기 연구에서는 TANK 모형(Sugawara, 1995)을 이용하여 일 유출량을 모의하였는데, 상류 댐 방류량의 영향 및 각 단위유역별 물 이용량 자료 등이 모형의 구조에 포함되어 낙동강 오염총량관리 단위유역의 유황을 비교적 우수하게 모의하고 있는 것으로 보고되어 있다. 김 등(2007)의 연구에서 보면 낙동강 유역에 대한 TANK 모형의 보정과 검증 결과가 평균적으로 결정계수 R^2 은 0.82, NSC는 0.73 정도로 우수하게 관측유량자료를 재현하고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 상기 연구에서 확장된 일 유량자료를 관측 자료로 간주하여 SWAT 모형의 매개변수 보정을 실시하였다.

SWAT에서 유출에 관련된 중요한 매개변수는 김(2006)의 결과를 바탕으로 SOL_AWC(available water capacity of the soil layer), ESCO(soil evaporation compensation factor), CH_N2(Manning's “n” value for the main channel), SLSUBBSN(average slope length) 등이 가장 민감한 것으로 나타난 바, 본 연구에서는 이들 매개변수에 대한 집중적인 보정을 실시하였다(Fig. 7 참조). 금호강 유역의 경우 SOL_AWC의 경우는 SWAT 모형의 기본 값을 그대로 적용하여도 관측 유출량을 재현하는데 큰 문제가 없는 것으로 분석되었다. 오히려 관측 유출량에 적합을 목적으로 과도하게 SOL_AWC의 값을 조정할 경우, 관측 유출량은 잘 재현할 수 있으나 지하수 유출량이 전혀 발생하지 않는 등 수문 성분별로는 타당성이 없는 결과를 주는 것으로 나타났다. 전체적으로 ESCO를 조정하여 연 유출과 월 유출에 대한 적합을 실시한 후, CH_N2와 SLSUBBSN을 조정하여 일 유출에 대한 적합을 실시하였다. 또한 CH_N2와 SLSUBBSN의 경우 연 유출 및 월 유출에는 크게 민감하지 않은 것으로 조사되었다.

보정의 정확도는 결정계수 R^2 와 NSC 계수를 이용하여

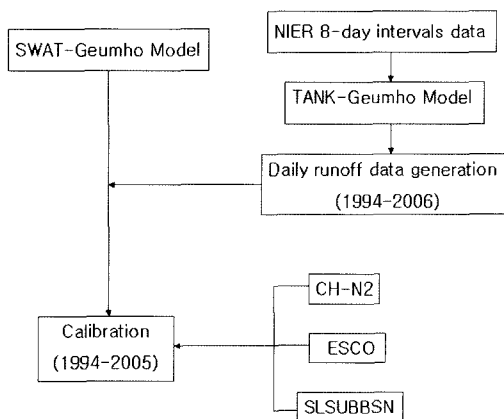


Fig. 7. Calibration procedure.

파악하였는데, 여기서 R^2 는 관측 자료와 모의 자료 사이의 회귀분석 결과 도출된 결정계수이며, NSC는 Nash 등 (1970)에 의해 제안된 계수로서 아래 식과 같다.

$$NSC = \frac{F_o - F}{F_o} \tag{1}$$

여기서,

$$F_o = \sum_{i=1}^n (q_{oi} - \bar{q}_o) \tag{2}$$

$$F = \sum_{i=1}^n (q_{oi} - \bar{q}_{si}) \tag{3}$$

위 식들에서 i 는 계산시간, n 은 총 자료의 수, q_{oi} 는 시간 i 에서의 관측유량, q_{si} 는 시간 i 에서의 모의유량, \bar{q}_o 는 모의기간 내 관측유량의 평균값, \bar{q}_{si} 는 모의기간 내 모의유량의 평균값이다. NSC 계수의 값이 1로 갈수록 모형의 효율성이 높아지는 것을 의미한다. 보정 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 모형의 검정을 목적으로 2006년 기상자료를 이용하여 유출을 모의한 결과 또한 전반적으로 R^2 는 0.7이상, NSC 계수는 0.6이상으로 비교적 만족스러운 결과를 보여주는 것으로 분석되었다(Table 2 참조).

3.2. 도시화의 영향 분석

금호강 유역의 도시화는 지난 30여 년간 도시화가 꾸준히 이루어졌는데, 전술한 바와 같이 주로 농경지의 시가화 지역으로의 전환이 주를 이루며 진행되었다. Table 1에서 알 수 있듯이 1985년에 1.92% 정도인 도시화율이 2000년에는 3.68%까지 거의 두 배 가까이 증가한 상태이다. 특히 20번 소유역의 경우 78.5%의 도시화율을 보이고 있는 등, 일반적으로 유역 하류지역에서 높은 도시화율을 보이고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 금호강 유역의 경우 비록 상류와 중류에 경산시와 영천시 등의 소규모 도시가 위치해 있기는 하지만, 하류에 위치한 대구광역시도 도시화를 주도하였기 때문인 것으로 보인다. 각 소유역별로 도시화로 인한 토지이용상태의 변화 정도를 살펴보면(Table 3 참조), 19번 소유역의 경우 주로 논이 시가화 지역으로 전환되면서 도시적 토지이용면적이 1985년 대비 2000년에는 6배 정도 증가하였고, 20번 소유역의 경우는 1985년에 산림지역이었던 곳은 모두 시가화 지역으로 전환되었으며 논과 밭이었던 지역도 상당지역이 시가화 지역으로 변화를 겪는 등 1985년에 14.84 km^2 정도였던 도시적 토지이용면적이 2000년에는 41.43 km^2 로 급격히 증가한 양상을 보여주고 있다. 24번 소유역 또한 1985년 대비 2000년의 토지이용상태는 큰 차이를 보이고 있지 않지만 1985년에 이미 50%에 가까운 도시화율을 보이고 있었으며, 2000년에 이르러서도 도시화율은 증가하는 추세에 있는 것으로 파악되었다.

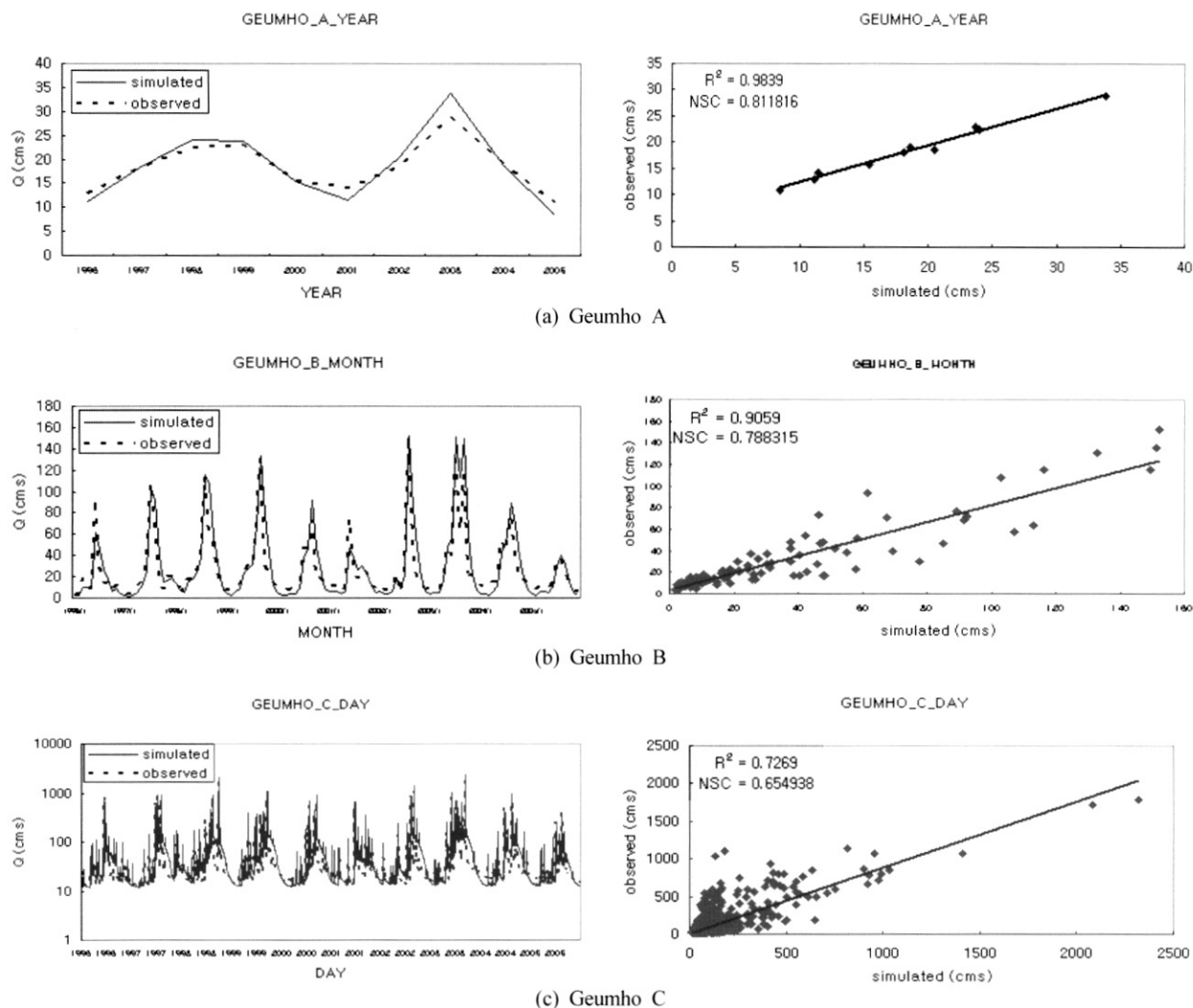


Fig. 8. Calibration result.

Table 2. Verification result

Site	Monthly data		Daily data	
	R^2	NSC	R^2	NSC
Geumho A	0.82	0.68	0.72	0.62
Geumho B	0.86	0.76	0.78	0.70
Geumho C	0.85	0.73	0.78	0.69

본 연구에서는 금호강 유역의 도시화에 따른 수문변동의 영향을 분석할 목적으로, 토지 이용도(1985년 및 2000년)외에는 모든 조건이 동일한 조건에서 1997년부터 2006년까지

지 10년간 모의를 실시한 후, 대표적인 세 개 소유역(19번, 20번, 24번)을 선별하여 정밀분석을 실시하였다. 1985년의 토지 이용도를 적용하여 모의한 결과 값과 2000년 토지 이용도를 적용하여 모의한 결과 값을 Table 4에 나타내었다. 연 평균적으로 볼 때, 세 개 소유역 모두 연 평균적으로 증발산량과 유출 총량에는 1985년과 2000년 토지 이용도로부터의 결과가 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 수문 성분별로 살펴볼 경우, 지표면 유출량은 증가하였으며 지하수 유출량은 감소하였음을 파악할 수 있었다. 이러한 패턴은 건기(12월, 1월, 2월)와 우기(7월, 8월, 9월)로 기간을 나

Table 3. Land use change from 1985 to 2000 in each subbasin

Land use	Subbasin_19 (km ²)		Subbasin_20 (km ²)		Subbasin_24 (km ²)	
	1985	2000	1985	2000	1985	2000
WATR	0.14	0.25	0.00	0.00	0.44	0.65
URLD	0.20	1.23	14.84	41.43	16.48	17.55
FRST	0.20	0.23	20.26	0.00	8.22	7.78
RICE	3.01	1.70	13.89	9.94	6.90	7.23
AGRR	0.77	0.91	3.82	1.44	3.08	1.91
SUM	4.32		52.81		35.12	

Table 4. Analysis results of hydrological characteristics

	SUBBASIN_19											
	Evapotranspiration			Surface runoff			Groundwater			Total runoff		
	1985	2000	%	1985	2000	%	1985	2000	%	1985	2000	%
Year (mm/yr)	446.0	449.7	+0.8	399.0	490.6	+23.0	189.2	123.2	-34.9	704.4	703.8	-0.1
Rainy season (mm/3ms)	160.9	165.9	+3.1	262.1	309.6	+18.1	97.4	63.7	-34.6	425.6	424.3	-0.3
Dry season (mm/3ms)	45.6	45.1	-1.1	8.6	13.5	+57.0	14.7	9.5	-35.4	29.0	27.4	-5.5

	SUBBASIN_20											
	Evapotranspiration			Surface runoff			Groundwater			Total runoff		
	1985	2000	%	1985	2000	%	1985	2000	%	1985	2000	%
Year (mm/yr)	465.0	460.8	-0.9	335.0	405.7	+20.0	226.5	181.9	-19.7	690.0	699.3	+1.3
Rainy season (mm/3ms)	171.9	172.5	+3.0	218.9	254.3	+16.2	122.8	100.3	-18.3	420.0	423.5	+0.8
Dry season (mm/3ms)	47.4	46.2	-2.5	8.0	12.1	+51.2	15.7	12.1	-22.9	29.5	29.0	-1.7

	SUBBASIN_24											
	Evapotranspiration			Surface runoff			Groundwater			Total runoff		
	1985	2000	%	1985	2000	%	1985	2000	%	1985	2000	%
Year (mm/yr)	422.0	417.3	-1.1	420.7	517.6	+23.0	197.3	136.7	-30.7	731.8	742.6	+1.5
Rainy season (mm/3ms)	158.0	156.9	-0.7	269.1	318.0	+18.1	103.7	73.5	-29.1	440.5	444.7	+1.0
Dry season (mm/3ms)	42.3	41.6	-1.7	10.9	16.4	+50.5	15.0	9.8	-34.7	31.2	30.3	-2.9

누어 분석하였을 때에도 같은 결과를 보이고 있다. 이러한 결과들은 도시화를 겪은 소유역의 수문 순환에 큰 변화가 있었음을 말해주는 것이며, 도시화의 영향으로 큰 소유역으로부터 배수되는 지표 하천의 유황에도 큰 변화가 있어왔음을 알 수 있다. 특히, 건기 동안의 지하수 유출량의 큰 감소는 해당 소유역내 하천의 건천화가 진행되고 있음을 시사하는 것으로 해석될 수 있다.

또한 Table 3에서 소유역 20번이 1985년에 비해 2000년에 가장 많이 도시화가 진행되었으나, Table 4의 지표수 유출이나 지하수 유출 특성의 변화는 다른 소유역에 비해 적게 모의되었다. 이는 각 소유역의 면적을 살펴봄으로써 그 원인을 찾을 수 있다. 각 소유역의 면적은 19번 소유역이 4.32 km², 20번 소유역이 52.81 km², 24번 소유역이 35.12 km²이다. 이는 Table 4의 수문성분에 있어서 가장 많이 변화한 소유역의 순서와 일치한다. 따라서 다른 원인도 있겠으나, 큰 유역 면적으로 인해 도시화에 대한 영향이 반감되어 이와 같은 현상이 나타난 것으로 해석할 수 있다. Fig. 9는 도시화율에 따른 지표수유출량과 지하수유출량의 변화를 도시하고 있다. Fig. 9(a), (c), (e)는 지표수 유출에 관한 것으로, y축의 Sur_Q Rate는 대상 소유역의 총 유출량에서 지표 유출량이 차지하는 비율을 의미한다. Fig. 9(b), (d), (f)는 지하수 유출에 관한 것으로, y축의 GW_Q Rate는 대상 소유역의 총 유출량에서 지하수유출량이 차지하는 비율을 의미한다. Fig. 9에서 x축의 Urbanization Rate은 대

상 소유역에서 시가화 지역이 차지하는 비율을 나타낸다. Fig. 9(a)와 (b)에서 알 수 있듯이, 연 평균적으로는 도시화가 진행됨에 따른 지표수 유출율과 지하수 유출을 변화의 패턴을 확인할 수 없었다. 그러나 건기(Fig. 9(c)와 (d))와 우기(Fig. 9(e)와 (f))로 세분하여 살펴볼 경우, 도시화율이 20% 이하인 소유역에서는 어떤 패턴을 찾아 볼 수 없었으나, 도시화율이 20%이상인 소유역의 경우 지표수 유출율과 지하수 유출율의 값들이 다른 소유역과는 뚜렷한 차이가 있음을 알 수 있다. 그러나 Fig. 9의 (c)에 비하여 Fig. 9의 (d), (e), (f)의 변화가 적으며 변화가 거의 없는 유역도 있다. 하지만 전체적으로 도시화가 진행될수록 지하수 유출은 유량이 적은 쪽으로, 지표수 유출은 유량이 큰 쪽으로 이동되는 현상은 분명하게 나타나고 있다. 또한 도시화에 따른 변화가 우기보다는 건기가 더 많은 영향을 받고 있으며, 건기에는 지표수 유출의 변화가 더 많으며, 우기에는 지하수 유출의 변화가 더 많음을 살펴 볼 수 있다. 이러한 결과로부터 도시화율이 어느 정도까지는 수문 메커니즘에 영향을 많이 미치지 않지만 어느 한계 값을 넘어서면 수문 메커니즘에 영향을 미쳐 매우 왜곡된 수문 순환구조를 가질 수 있는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 금호강 유역을 대상으로 모형 연구에 기

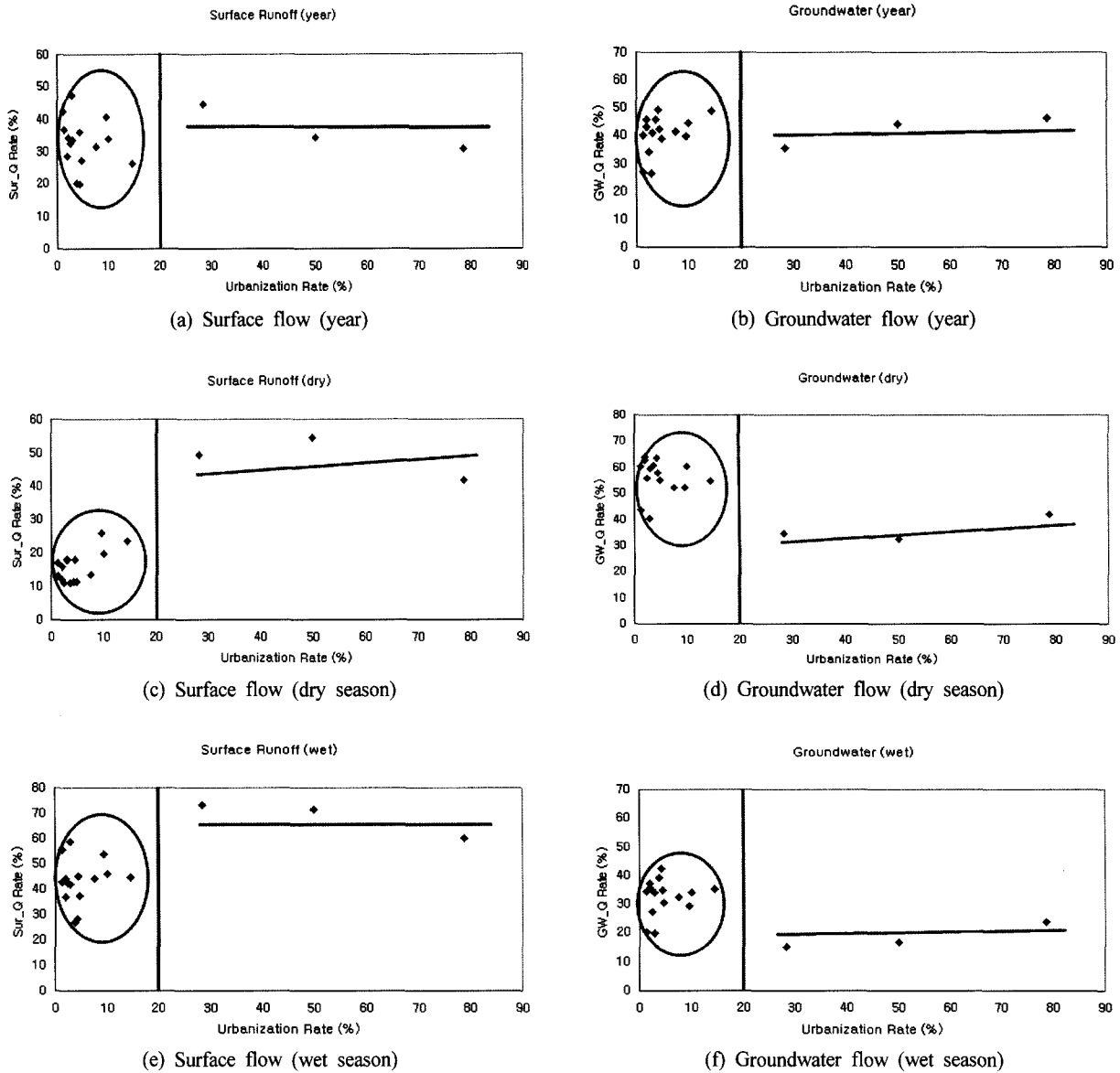


Fig. 9. Hydrologic change in the proportion of urbanization rate.

초한 유역의 수문환경변화를 분석하였다. SWAT 모형이 도시화에 따른 유역의 수문학적 반응을 살펴보는 데 사용되었다. 1985년 토지 이용도와 2000년 토지 이용도를 분석한 결과, 금호강 유역의 도시화는 주로 농경지의 시가지 지역으로의 전환이 주를 이루며 진행되었음을 파악하였다. 금호강 유역의 도시화에 따른 수문변동의 영향을 분석할 목적으로, 토지 이용도(1985년 및 2000년)외에는 모든 조건이 동일한 조건에서 1997년부터 2006년까지 10년간 모의를 실시한 후, 대표적인 세 개 소유역을 선별하여 정밀분석을 실시하였다. 분석 결과, 도시화를 겪은 소유역의 수문 순환에 큰 변화가 있었음을 확인할 수 있었으며, 특히 전기 동안의 지하수 유출량의 큰 감소는 해당 소유역내 하천의 건천화 문제가 나타날 수 있는 것으로 파악되었다. 그리고 Table 3과 Table 4에서 살펴 볼 수 있듯이 소유역의 면적 또한 모의 시 중요하게 고려해야 할 항목인 것으로 판단된다. 또한 도시화에 따른 지표유출량과 지하수유출량의 변화를 분석한 결과, 도시화율이 20%이상인 소유역의 경우

다른 소유역과는 수문 성분의 거동에 뚜렷한 차이가 있음을 알 수 있었으며, 이러한 결과로부터 도시화율이 어느 정도 까지는 수문 메커니즘에 영향을 많이 미치지 않지만 어느 한계 값을 넘어서면 수문 메커니즘에 영향을 미쳐 매우 왜곡된 수문 순환구조를 가질 수 있음을 파악하였다.

사 사

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(NEMA-06-NH-03-03) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

경상북도, 경상북도 낙동강 오염총량관리 기본계획 (2005). 국가수자원관리 종합정보시스템 (WAMIS), www.wamis.go.kr (accessed Jan. 2007).

- 김보경, SWAT 모형 매개변수의 불확실성을 고려한 임하호의 부유사량 추정, 인하대학교 석사학위논문 (2006).
- 김재철, 김상단, 오염총량관리 유량측정자료를 이용한 낙동강 유역 유황분석, *한국물환경학회지*, **23**(3), pp. 332-338 (2007).
- 김정곤, 손경호, 노준우, 장창래, 고익환, SWAT 모형을 이용한 감천 유역에 대한 수문 특성분석 및 도시화 영향평가, *한국수자원학회논문집*, **39**, pp. 881-890 (2006).
- 김현준, 장철희, 노성진, 김동필, 정일문, 홍일표, *청계천 유역의 수문 모니터링 및 물순환 해석*, 청계천 유역 물순환 해석 국제 심포지엄 (2004).
- 낙동강수계관리위원회, 낙동강 물순환 특성조사 및 모의예측기법개발, 낙동강물환경연구소 (2007).
- 대구광역시, 대구광역시 낙동강 오염총량관리 기본계획 (2005).
- 박민지, 권형중, 김성준, HSPF 모형을 이용한 토지피복변화에 따른 유출 변화 분석, *한국수자원학회논문집*, **38**, pp. 495-504 (2005).
- 이승종, 김영오, 이상호, 이길성, WEP 모형을 이용한 도림천 유역 물순환 모의, *한국수자원학회논문집*, **38**, pp. 449-460 (2005).
- Bledsoe, B. P. and Watson, C. C., Effects of urbanization on channel instability, *Journal of the American Water Resources Association*, **37**, pp. 255-270 (2001).
- Bouraouri, F., Benabdallah, S., Jrad, A. and Bidoglio, G., Application of the SWAT model on the Medjerda river basin (Tunisia), *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, **30**, pp. 497-507 (2005).
- Brun, S. E. and Band, L. E., Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed, *Computers, Environment and Urban Systems*, **24**, pp. 5-22 (2000).
- Dow, C. L. and DeWalle, D. R., Trends in evaporation and bowen ratio on urbanizing watersheds in Eastern United States, *Water Resources Research*, **36**, pp. 1835-1843 (2000).
- Kang, S., Park, J. I. and Singh, V., Effect of urbanization on runoff characteristics of On-Cheon Stream watershed in Busan, Korea, *Hydrological Processes*, **25**, pp. 351-363 (1998).
- Mroczkowski, M., Raper, G. P. and Kuczera, G., The quest for more powerful validation of conceptual catchment model, *Water Resources Research*, **33**, pp. 2325-2335 (1997).
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V., River flow forecasting through conceptual models, Part I. A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, **10**, pp. 282-290 (1970).
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R. and King, K. W., Soil and water assessment tool: Use's manual, version 2000, TWRI report TR-192, Texas Water Resources Institute, College Station, Texas (2002).
- Sugawara, M., *Tank model, in computer models of watershed hydrology*, Water Resources Publications (1995).
- Trimble, S. W., Contribution of stream channel erosion to sediment yield from an urbanizing watershed, *Science*, **278**, pp. 1442-1444 (1997).
- Wicklein, S. M. and Schiffer, D. M., Simulation of runoff and water quality for 1990 and 2008 land-use conditions in the Reedy Creek watershed, East-Central Florida U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 02-4018, Allahassee, Florida (2002).