

SWAT Auto-Calibration을 이용한 강우크기에 따른 유출 특성 분석

홍수정¹, 전진영¹, 우수인¹, 유상배¹, 강현우¹, 금동혁¹, 장춘화¹, 임경재^{1*}

¹강원대학교 지역건설공학과

(2012년 8월 14일 접수, 2012년 9월 14일 수리)

Analysis of Flow under Various Rainfall Conditions using SWAT Auto-calibration

Hong, S. J¹, J. Y. Jeon¹, S. I. Woo¹, S. B. Yoo¹, H. W. Kang¹, D. H. Kum¹, C. H. Jang¹ and K. J. Lim^{1*}

¹Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Abstract

Recently the rainfall intensity has been increased due to torrential rainfall events at local areas. Unexpected torrential rainfall has led to enormous damages. In order to reduce this damage, it is necessary to estimate flow out to the watershed. Thus, the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model and its auto-calibration tool were used to analyze flow at the Soyang river. The auto-calibration tool in the SWAT could be used to estimate parameters automatically with less efforts and greater accuracies compared with those obtained with manual calibration processes. In the studies by others using SWAT auto-calibration, the effects of calibration period was not considered properly. Thus greater rainfall events occurred during calibration period could affect calibrated parameters for validation period. Thus, the effects of rainfall events occurred during calibration period were analyzed in this study. It was found that validation result was improved when the rainfall conditions, in terms of magnitude of rainfall, were similar during calibration and validation periods. Therefore, the SWAT auto-calibration should be applied after investigation of rainfall patterns during calibration and validation periods.

Key words: Auto-Calibration, Rainfall magnitude, Runoff, SWAT.

서 론

은대기후로서 사계절이 뚜렷한 우리나라는 2001년부터 2010년까지 10년 동안 연평균 강수량이 평균적으로 6월 부터 9월 사이에 약 74% 차지할 정도로 강우의 집중 현상이 심각하다(기상청, 2011). 전국적으로 호우일수를 비교하여 볼 때 1970년대에 비해 2010년의 호우일수가 약 1.4~1.6배, 서울의 경우에는 약 2~3배가 증가하였다. 변화하고 있는 우리나라의 강우형태를 보면 짧은 시간동안 집중적으로 많은 강우가 내리는 ‘국지성 호우’로 변화하고 있다. 2011년 7월 27일 서울지역에 일 강수량이 301.5 mm 이었으며, 강남역 일대가 침수되고, 산사태가 일어나는 등 국지성호우에 의한 피해가 빈번하게 발생되고 있다. 국지성 호우는 예측이 어려워 강우 유입, 유출의 측정이 어렵다. 따라서 강우와 홍수의 피해가 급증하고, 많은

환경적인 문제를 야기한다. 이는 강우에 의한 유출량을 모의하지 못한 것에 원인이 있다. 따라서 피해정도를 줄이기 위해서는 강우에 의한 유출량 모의가 필요하다.

유출량을 정확하게 모의하기 위하여 지난 수십년간 WASMOD(Water And Snow MODELing system)(Xu, 1998), HSPF(Hydrological Simulation Program - Fortran)(US EPA, 2001), SWAT(Soil and Water Assessment Tool)(Arnold, 1992; Arnold et al., 1998) 등의 다양한 모형들이 사용되어 왔다. SWAT모형은 미국 농무성 농업연구소(USDA/ARS)의 Dr. Jeff Arnold (Arnold, 1992; Arnold et al., 1998)등에 의해 개발된 유역단위의 (Watershed Scale)모형으로 복잡한 유역에서 장기간에 걸쳐 토지관리의 상태, 토지-토양 의 이용에 따른 수질과 유사 및 농업화학물질의 거동에 대한 토지 관리 방법 등을 비롯한 유역에서의 수문물 거동을 모의하기 위해 개발되었다(Neitsch et al., 2005a:

*Corresponding Author: Lim, K. J. (E-mail: kjlim@kangwon.ac.kr)

Neitsch et al., 2005b).

SWAT 모형은 대상유역의 강우유출 현상해석에 있어서 일 기상자료를 이용하여 지역의 기상변화와 수문 및 수질현상의 모의가 가능하며, 대상유역의 지형과 강우의 특성, 기상자료에 따라 유출의 특성을 모의가 가능하다. 이를 모의하는 과정에서 유출특성에 영향을 끼치는 매개변수들이 필요하며, SWAT모형이 많은 연산을 통하여 각각의 변수들을 변화시켜 실측 유출량과 비교 후 모형을 보정한다(Lee, 2011). SWAT 모형에서 매개변수를 추정하는 방법에는 수동적인 방법과 자동적인 방법이 존재하며, 적절한 매개변수의 추정은 SWAT 모형의 신뢰도를 높이는 데 반드시 필요하다. 대상유역의 매개변수들을 수동적으로 추정할 경우 많은 시간과 인력이 필요하며, 전문적인 지식과 모형에 대한 경험이 요구된다. 또한 수동적으로 매개변수를 추정하는 과정에서 SWAT 모형을 이용하는 사람들에 따라 개인의 주관성이 개입되는 문제도 발생할 수 있다(Lee, 2006).

최근 SWAT 모형을 이용하는 모든 사람들이 공감할 수 있는 객관적인 매개변수 추정을 위해서 SWAT 모형의 자동 보정 방법을 이용하여 최적의 매개변수를 분석 한다(Jung et al., 2011). 그러나 SWAT 모형의 자동보정기능을 이용하여 유출특성 분석 시 검, 보정 기간의 강우크기를 고려하지 않은 연구가 대부분이었다(Ye et al., 2007; Kim, 2009). SWAT 모형의 자동보정 기능은 보정기간의 강우크기에 맞추어 대상유역의 매개변수들을 보정하여 유출특성을 분석한다. 따라서 유출특성분석 시 검, 보정의 강우크기를 고려하지 않고 자동보정을 실시하여 유출특성을 분석 하였을 때 SWAT모형의 예측치와 실측치의 오차가 발생할 수 있다.

본 연구의 목적은 소양강댐 유역을 대상으로 강우크기를 고려한 SWAT 모형의 자동보정 방법을 제시하고자 한다. SWAT 모형의 자동보정에서 큰 영향을 끼치는 기간별 강우강도를 고려하여 유출특성을 분석하고, 강우크기를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 유출 특성을 서로 비교하였다. 특히, 여름철 집중 호우가 발생하는 우리나라의 강우특성을 고려하여 6월~8월 사이의 최고 유출량과 자동보정에서 얻은 최고 유출량을 서로 비교하여 SWAT 모형의 자동보정 기능에서 강우강도가 끼치는 영향을 알아보하고자 하였다.

재료 및 방법

연구대상지역과 특성

본 연구의 대상지역은 강원도 인제군 서화면에서 발원한 소양강을 따라 설악산의 북천, 방대천 및 내린천 등의 지류와 합류하여 소양강댐에 유입된다(Fig. 1). 소양강 유역의 면적은 1,832.25 km², 유로연장 156.46 km, 평균경사 45.66% 이며 연평균 강수량은 1,179 mm으로 1,274 mm인 우리나라의 연평균 강수량에 조금 못 미치는 수치이다(Choi et al., 2010). 소양강댐의 2000년 6~8월 월 평균 강수량은 229 mm이며 2000년~2004년 6월부터 8월사이의 월 평균 강수량은 258 mm이다. 전국적으로 2002년에는 태풍 루사, 2003년 태풍 매미가 영향을 주어 월 평균 강수량에 많은 영향을 끼쳤다. 2002년의 6월~8월의 월 평균 강수량은 265.7 mm이었으며 이중 8월의 강수량이 507.5 mm 최고치를 나타냈다. 또한 2003년에는 610.5 mm의 비가 내린 8월로 나타났으며, 6월부터 8월의 월 평균 강수량은 327 mm로 나타났다(Table 1). 토지이용은 대부분 산림으로 89.48%의 비율을 차지하며 농경지 5.43%, 수역이 3.75%, 주거 및 상업지역, 초지를 포함한 기타 토지 이용이 1.34% 이다(환경부, 2007).

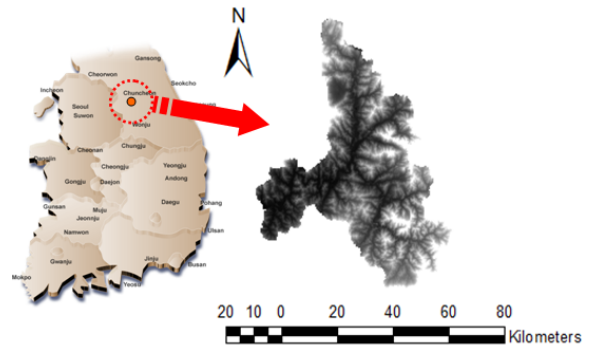


Fig. 1. Location of the study sites.

Table 1. Comparing the average annual rainfall in Soyang River watershed

Rainfall measuring site	Average annual rainfall (mm)	Total rainfall from June to September the ratio of precipitation (%)
Gwidun	1,359	72
Bangdong	1,502	72
Sangnam	1,465	75
Simpung	1,379	75
Inje	1,261	74
Changchon	1,590	74
Chuyang	1,464	76
Hyeon-ri	1,306	76
Gullyang	1,298	74
Yongdae	1,544	69
Wontong	1,283	74
Seohwa	1,154	73

SWAT 모형의 개요

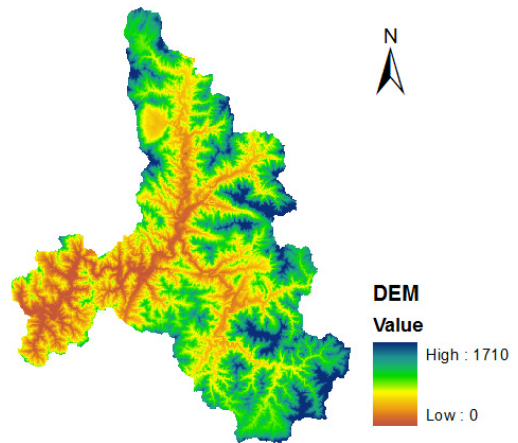
SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 모형은 유역모 델로서 토지의 이용 상태와 특성을 바탕으로 유역의 유출량과 유사량을 예측하기 위해 개발된 모형이다. 이는 USDA Agriculture Research Service(ARS)에서 개발하였으며 (Arnold et al., 1992)이 미국의 텍사스 6개의 유역에 유사량의 적정성을 검토 하는데 사용되었다. SWAT 모형의 타당성을 인정받아 국내·외에서 다양한 사례로 적용 되고 있다(Kim, 2009; Lee, 2006; Lee, 2010). SWAT 모형은 부모 모형 (sub-model)과 수문응답단위 (hydrological response unit, HRU)로 구분된다. 부모형은 수문, 토양유실, 영양물질, 하도추적의 네가지 형태로 구분할 수 있으며 수문응답단위는 수문반응의 최소단위로 토지의 이용과 특성 및 소유역을 기준으로 생성된다(Kim, 2009). 본 연구에서는 토지의 이용과 특성, 소유역을 기준으로 SWAT모형에 대상유역을 적용하여 유출량에 관여하는 26개의 매개변수를 바탕으로 자동보정을 실시하고자 한다.

모형의 입력자료 구성

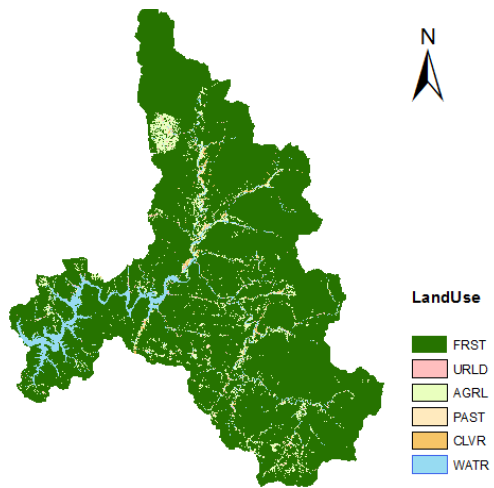
SWAT 모형은 기상 및 수문자료와 분석하고자 하는 위치 정보의 입력이 필요하며(Kim et al., 2006), 입력자료의 많은 부분은 자동공간분석을 통하여 생성된다(Arnold et al., 1993). 본 연구에서는 기상청(<http://www.kma.go.k>)과 국가수자원관리종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr>)을 통하여 1998년 1월 1일~2006년 까지 9년 동안 관측된 인제 기상자료를 12월 31일까지의 9년에 대한 인제관측소의 기상자료와 소양강댐 유역 12곳의 강우자료를 획득하였다. 기상자료는 일 강수(mm), 일 평균풍속(m/sec), 일평균 상대습도(%), 일 최고·최저기온(°C), 일 수평면 일사량(MJ/m2)과 같은 기상자료를 이용하여 유출을 평가한다. Figure 2 대상유역에 대한 지형정보를 담고 있는 수치표고모형(Digital Elevation Model, DEM), 공간적으로 분포하는 토지이용 현황 자료(Landuse)와 토양속성(Soil) 특성을 나타낸 것이다.

SWAT Auto-Calibration 이용한 유량 보정

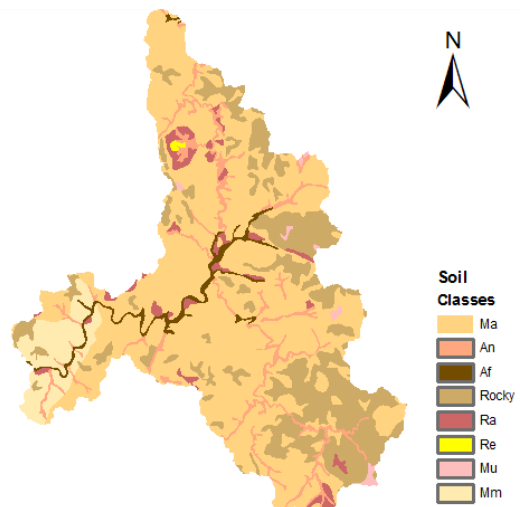
SWAT 모형은 대상 유역의 수문 및 수질을 모의하는데 있어서 많은 매개변수들이 필요하다. 또한 모형의 정확한 분석을 위해서는 매개변수를 합리적으로 추정할 필요가 있다. 과거 매개변수들을 추정하는데 수동 보정이 가장 일반적으로 사용되는 방법이었다. 이는 유역 및 모형에 풍부한 사전 지식과 전문성에 따라 달라지며, 매개변수를 추정하는 과정에서 수동적으로 매개변수를 추정하는 방



(a) Digital Elevation Model of study watershed



(b) Land uses of study watershed



(c) Soil of study watershed

Fig. 2. SWAT model for study watershed, utilizing the input data in the GIS.

법에 주관성이 포함 될 수 있어 많은 시행착오가 발생할 수 있다(Kim et al., 2009). 최근 이러한 수동 보정과 다르게 시간 절약과 매개변수 상관성을 고려하여 다양한 최적화 알고리즘 개발을 통한 자동보정 방법이 개발되고 성공적인 수문 모델링 분야에 사용된다. 자동보정 방법은 수천 번 이상의 모형의 연산을 통해 최적의 매개변수를 자동으로 추정하여 수동보정 방법과 달리 모형사용자가 다르더라도 매개변수의 추정 값이 동일하고 객관적이다(Lee, 2006). 그러나 SWAT 자동보정을 이용하여 유출특성 분석 시 검, 보정 기간의 강우크기를 고려하지 않은 연구가 대부분이었다(Jung et al., 2011; Ye, 2007; Kim, 2009). SWAT 모형의 자동보정 기능은 대상유역의 유출에 기여하는 매개변수들을 산정할 때 보정기간의 강우크기가 고려된다. 따라서 유출특성분석 시 검, 보정의 강우크기를 고려하지 않고 자동보정을 실시하여 유출특성을 분석 하였을 때 SWAT모형의 예측치와 실측치의 오차가 발생할

수 있다. 본 연구에서는SWAT 자동보정을 이용한 수문 분석 시 강우크기를 고려하였을 때의 적용효과를 알아보기 위하여 집중호우를 잘 나타내주는 검정기간(2006년)을 기준으로 강우크기가 비슷한 보정기간(2000년~2004년)을 적용한 시나리오2와 검정기간과 보정기간(2000년)의 강우크기가 비슷하지 않은 시나리오1을 비교하였다.

보정 매개변수

SWAT 자동보정으로 매개변수를 추정 할 때, 보정에 사용되는 변수를 사용자 임의로 선택 할 수 있다. 본 연구에서는 정확한 분석을 위하여 유량과 관련된 27개의 매개변수를 자동보정에 이용하였다. SWAT 자동보정을 이용하여 매개변수를 추정할 때, 사용자가 임의로 보정에 사용되는 변수를 선택할 수 있다. 본 연구에서는 Table 2 와 같이 모형의 검-보정에 필요한 유출에 기여하는 주요

Table 2. Major parameters estimated In SWAT model

Parameter5	Description	Variation Method	Lower Bound	Upper Bound
ALPHA_BF	Baseflow alpha factor	Replace by value	0	1
BIOMIX	Biological mixing efficiency	Replace by value	0	1
BLAI	Maximum potential leafarea index	Replace by value	0	1
CANMX	Maximum canopy storage	Replace by value	0	10
CH_K2	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium	Replace by value	0	150
CH_N2	Mannings' "n" value for the main channel	Replace by value	0	1
CN2	SCS runoff curve number for moisture condition II	Multiply by value (%)	-25	+25
EPCO	Plant evaporation compensation factor	Replace by value	0	1
ESCO	Soil evaporation compensation factor	Replace by value	0	1
GW_DELAY	Groundwater delay	Add to value	-10	+10
GW_REVAP	Grondwater "revap" coefficient	Add to value	-0.036	+0.036
GWQMN	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur	Add to value	-1000	+1000
REVAPMN	Threshold depth of water in the shallow aquifer for "revap" to occur (mm)	Add to value	-100	+100
SFTMP	Snow melt base temperature (°C)	Replace by value	0	-5
SLOPE	Increase the lateral flow	Multiply by value (%)	-25	+25
SLSUBBSN	Average slope length	Multiply by value (%)	-25	+25
SMFMN	Minimum melt rate for snow (mm/°C/day)	Replace by value	0	10
SMFMX	Maximum melt rate for snow (mm/°C/day)	Replace by value	0	10
SMTMP	Snow melt base temperature (°C)	Multiply by vale (%)	-25	+25
SOL_A1B	Moist soil albedo	Multiply by vale (%)	-25	+25
SOL_AWC	Available water capacity of the soil layer	Multiply by vale (%)	-25	+25
SOL_K	Saturated hydraulic conductivity (mm/hr)	Multiply by vale (%)	-25	+25
SOL_Z	Soil depth (%)	Multiply by vale (%)	-25	+25
SURLAG	Surface runoff lag time	Replace by value	0	10
TIMP	Snow pack temperature lag factor	Replace by value	0	1
TLAPS	Temperature laps rate (°C/km)	Replace by value	0	50

매개변수 26개와 각 변수들의 자동보정 방법, 범위를 제시하였다. 각 변수들의 보정방법을 이용하여 자동보정을 실시한다. 적정 범위 안에서 자동적으로 최적의 매개변수를 추정하며, ‘Replace by value’, ‘Add to value’, ‘Multiply by value’ 총 3가지의 방법을 이용하여 최적의 매개변수를 추정한다. ‘Replace by value’ 방법은 각 연산마다 주어진 범위 내 매개변수 값을 직접 바꾸는 방법이고, ‘Add to value’ 방법은 매개변수의 기본 값에 주어진 범위만큼 더하거나 빼는 방법이며, 마지막 ‘Multiply by value’는 매개변수의 기본 값에 주어진 범위만큼의 비율을 곱한 다음 곱한 값을 기본 값에 더하거나 빼는 방법이다. 본 연구에서는 3가지의 방법을 통해 2000년도와 2000~2004년의 강우강도를 고려한 자동 보정을 실시하여 최적의 매개변수를 비교하고, 자동보정을 통해 얻은 최적의 매개변수를 바탕으로 유출특성을 분석한다.

결과 및 고찰

유출 보정 결과

1998년 1월부터 2006년 12월 까지 소양강 댐에서 조사된 실측 일 유량을 이용하여 유출에 영향을 주는 26가지 매개변수들을 바탕으로 자동보정을 실시하였다. SWAT 모형의 자동보정을 실시하여 scenario 1과 scenario 2에서 얻은 최적의 매개변수(Best Parameter)의 비교는 Table 4와 같다. 소양강 유역에서 유출과 관련된 26개의 매개변수 중 민감도 분석(Sensitive Analysis)을 통해 시나리오 1과, 시나리오 2에 공통적으로 가장 큰 영향을 미치는 매개변수는 GWQMN, ALPHA_BF 으로 유출 모의 결과에 영향을 크게 주었다. 본 연구에서는 SWAT모형의 자동보정을 위하여 유출량과 관련된 매개변수들을 조정하고, 자동보정의 적응성을 평가 하기위해 유효 지수(NSE : Nash and Sutcliffe Efficiency) 와 결정계수(R^2)를 이용하였다. NSE 산정식은 식 (1)에서 보이는 바와 같다. (Nash and Sutcliffe, 1970)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (1)$$

식(1)의 분자 부분은 목적함수라 하며, 여기에서 O_i 는 년도 별 강우시 실제로 측정된 값이고, S_i 는 SWAT 모형에서 자동보정을 통해 예측된 강우의 모의 값이다. \bar{O}_i 는

모든 강우시 실측값의 평균치이다. NSE는 SWAT 모형의 점보정에 사용되는 대표적인 지수 값이며 이 값이 1에 가까울수록 모형의 예측치와 실측치가 일치한다는 것을 의미한다. R^2 값이 0.5 이상이고, NSE의 값이 0.4 이상일 때 SWAT 모형이 자연현상을 잘 예측 한 것으로 (Ramanarayanan et al., 1997)은 제안하였다. (Donigian and Love, 2003)은 일반적 모델 효율의 범위를 아래의 Table 3 와 같이 제시하였다. (Lee, 2010)

Table 3. Criteria for evaluating model performance (Donigian and Love, 2003)

Evaluation	Poor	Fair	Good	Very good
NSE for	<	0.60	0.70	> 0.80
Daily Simulation	0.6	0.70	0.80	

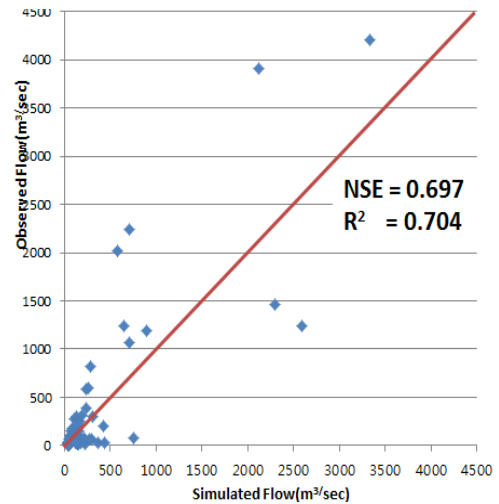


Fig. 3. Calibration period (2000).

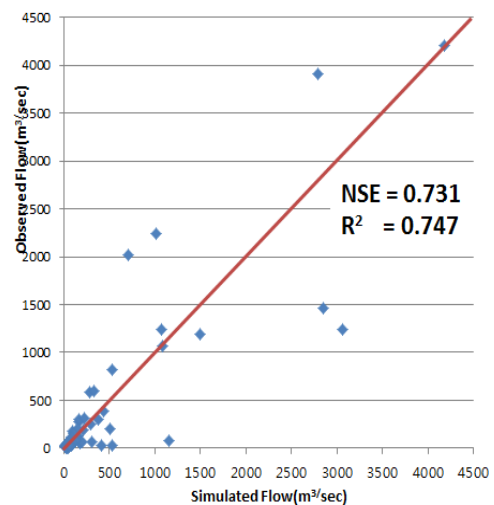
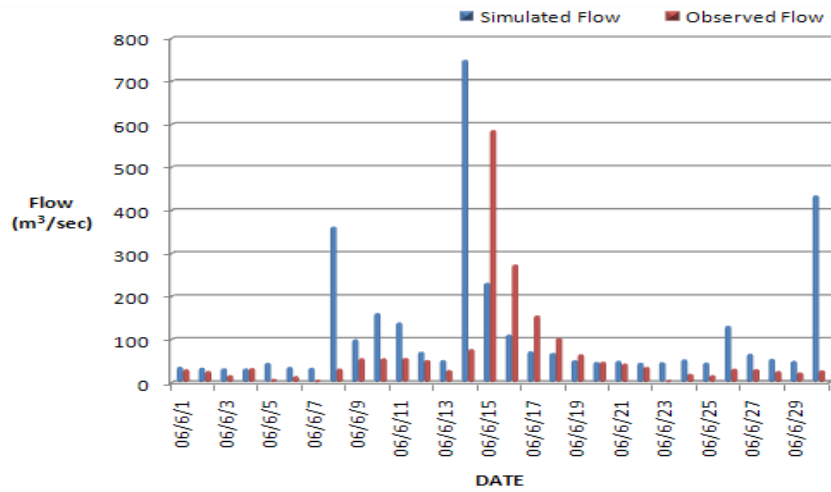
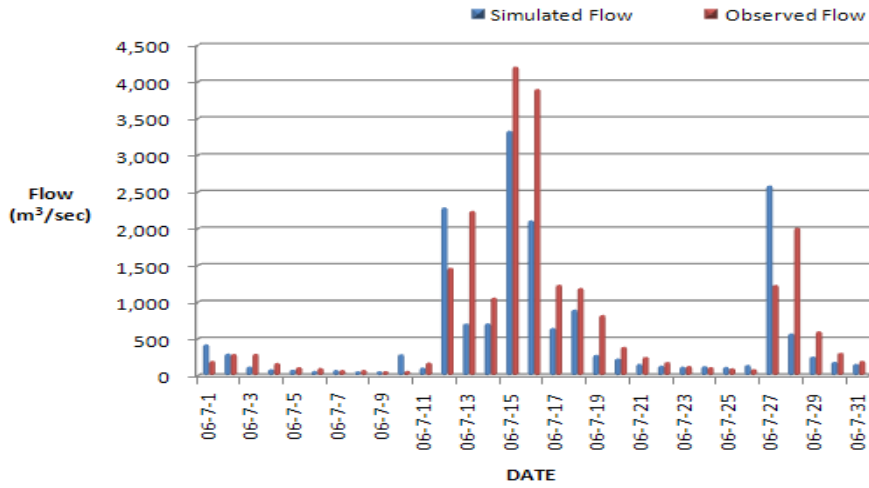


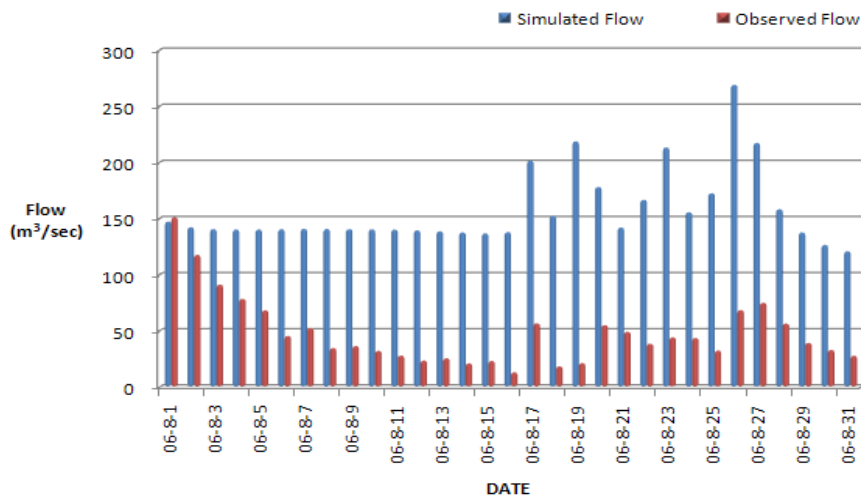
Fig. 4. Calibration period (2000~2004).



(a) Determine the period of June rainfall

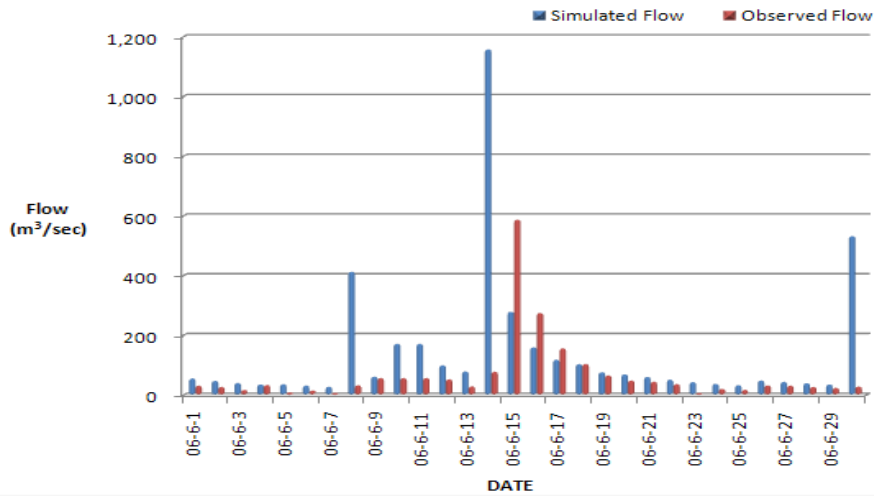


(b) Determine the period of July rainfall

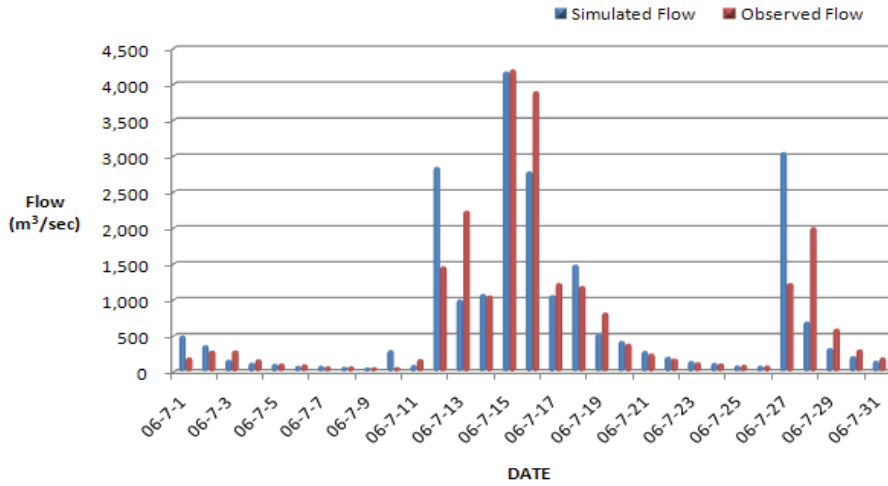


(c) Determine the period of August rainfall

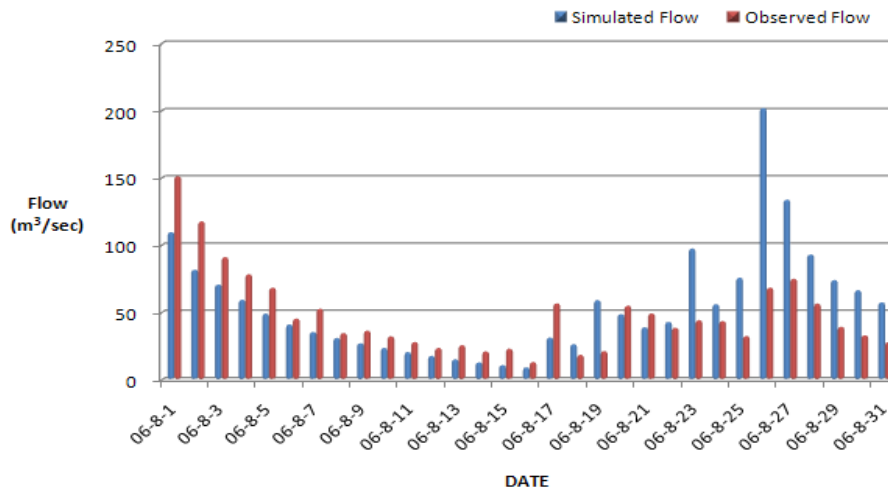
Fig. 5. Results of calibration using modified SWAT (2000).



(a) Determine the period of June rainfall



(b) Determine the period of July rainfall



(c) Determine the period of August rainfall

Fig. 6. Results of calibration using modified SWAT (2000~2004).

Table 4. Best parameters of auto-calibration for flow estimation

	Scenario 1	Scenario 2
Alpha_Bf	0.6042	0.7911
Biomix	0.4048	0.1216
Blai	0.6192	0.3230
Canmx	7.0924	6.0069
Ch_K2	52.0390	33.2150
Ch_N2	0.0089	0.1889
Cn2	13.3730	18.1590
Epc0	0.7589	0.3781
Esco	0.7711	0.9464
Gw_Delay	-0.9179	9.5764
Gw_Revap	0.0027	0.0195
Gwqmn	48.4990	855.9400
Revapmn	-92.5820	-33.4150
Sftmp	3.1958	1.3535
Slope	2.6893	21.7140
Slsubbsn	6.5706	-5.4667
Smfmn	9.7113	3.1559
SmfmX	4.7600	6.9838
Smtmp	1.6651	-2.0693
Sol_Alb	-5.0625	11.0620
Sol_Awc	-6.6041	22.6740
Sol_K	4.2316	18.4700
Sol_Z	21.6400	10.5120
Surlag	9.0564	1.3729
Timp	0.8046	0.3790
Tlaps	8.6030	11.5420

1998~1999년을 워밍업 기간으로 두고 2000년을 자동 보정한 시나리오 1을 보정기간인 2006년에 적용시킨 경우 $R^2=0.70$, $NSE=0.695$ 이며, 2000년~2004년을 자동 보정한 시나리오 2를 검증기간에 적용시킨 경우 $R^2=0.73$, $NSE=0.692$ 로 (Ramanarayanan et al., 1997)은 R^2 가 0.5 이상이고 NSE 가 0.4 이상이면 모형이 자연현상을 잘 모의한 것으로 제안 하였기에 시나리오1과 시나리오2는 성공적인 모형이 이루어 졌다고 할 수 있다. (Lee, 2011) 우리나라 특성상 강우가 집중되는 6,7,8월을 집중분석 할 필요가 있기 때문에, 각 시나리오의 강우강도를 고려하여 강우가 집중되는 2006년 6,7,8월에 적용하였다. 시나리오 1의 $R^2=0.704$, $NSE=0.697$ 이며(Fig. 3), 시나리오2의 $R^2=0.747$, $NSE=0.731$ 의 결과를 얻을 수 있었으며(Fig. 4), 보

정기간의 강우 형태가 포함된 시나리오2에서 좀 더 성공적인 결과를 얻을 수 있었다(Fig. 5, Fig. 6). 이것으로 보아 강우강도를 고려한 자동보정 및 검증의 결과는 만족시키는 것으로 나타났다.

우리나라의 기상재해 중 약 30%가 호우로 인하여 발생하고 있다. 이런 강우피해는 주로 강우가 집중되는 시기인 7월과 8월에 많이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 특정기간에 집중되는 우리나라의 강우 형태에 따른 강우피해에 대비하고자 SWAT 모형의 자동보정을 이용하여 소양강 유역에 적용하였으며, 강우크기에 따른 유출 특성을 연구 하였다. 우선 SWAT 모형의 자동보정 기능의 적용성을 평가하기 위해 보정기간을 Scenario 1(2000년), Scenario 2(2000~2004년)으로 나누어 자동보정을 실시하였으며 검증기간(2006년)에 적용한 결과 Scenario 1의 $NSE=0.659$, Scenario 2의 $NSE=0.692$ 로 성공적인 모의 결과를 얻을 수 있었다.

이것을 바탕으로 강우가 집중되는 6~8월에 적용하여 비교하였으며. Scenario 1의 $NSE=0.697$, Scenario 2의 $NSE=0.731$ 의 결과를 얻을 수 있었다. 이는 보정기간과 검증기간의 강우 형태에 따른 결과라 사료된다.

2002년의 태풍 ‘루사’, 2003년 태풍 ‘매미’의 영향을 받은 Scenario 2의 강우 형태와 2006년 태풍 ‘애위니아’의 영향을 받아 연평균 강수량이 높았던 강우 형태가 비슷하여 강우가 집중되는 6월~8월에 SWAT 모형의 자동보정 기능이 높은 적용성을 나타낸 것이라 판단된다. 이는 보정기간의 강우크기가 검증기간의 강우크기와 비슷한 경우를 모의한 결과 최대 유량의 모의치와 실측치가 거의 일치한 결과를 얻을 수 있다는 것을 보여 주었다. 따라서 향후 SWAT 모형의 자동보정 방법을 이용하여 유출특성을 분석 할 때에 보정기간과 검증기간의 강우크기를 고려하여 모의하는 것이 SWAT 모형의 적용성을 높이는데 필요하다고 판단된다.

참고문헌

Arnold, J. G., Sruvvasan, R., Muttiah, R. S. Williams, J. R. (1998) Large area hydrologic modeling and assessment: part I: model development. Journal of American Water Resources Association, 34(1):73-89.

Arnold, J. G. (1992) Spatial scale variability in model development and parameterization. Ph.D. Dissertation, Purdue University, West Lafayette, IN.

Arnold, J. G., Allen, P. M., Bernhardt, G. (1993) "A comprehensive surface-groundwater flow model." Journal of Hydrology, ELSEVIER, 142, pp.47-69.

- Arnold, J. G., Muttiah, R. S., Srinivasan, R., Allen, P. M. (2000). "Regional stimulation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin." *Journal of Hydrology, ELSEVIER*, 227, pp. 21-40.
- Choi, H. (2010) Change of Vegetation Due to Soyanggang Dam Construction. Seoul Univ. pp.2-3
- Jung, J. W., Jang, J. R., Lim, B. J., Lee, Y. J., Kim, K. S., Kang, J. H., Park, H. L., Cho, S. H., Yoon, K. S. (2011) Simulation of Stream flow using SWAT Auto Calibration Tool over the Saemangeum Watershed.
- Kim, B. K., Kim, S. D., Kyeong, M. S., Kim, H. S. (2006) Predictions of Inflow and Suspended Sediment of An Imha Reservoir by SWAT Model.
- Kim, H. K. (2009) Auto-Calibration for the SWAT Model Hydrological Parameters Using Multi-objective Optimization Method. Seoul Univ.
- Lee, D. H. (2006) Automatic Calibration of SWAT Model Using LH-OAT Sensitivity Analysis and SCE-UA Optimization Method. Associate Prof. Dept. of Civil Engr. Kyung Hee Univ., #1, Seocheon-Dong, Giheung-Gu, Yongin-Si, Gyeonggi-do, 446-701, Korea.
- Lee D. H. (2006) Automatic Calibration of SWAT Model Using LH-OAT Sensitivity Analysis and SCE-UA Optimization Method. *Journal of Korea Water Resources Association* 39:677-690 (in Korean).
- Lee, D. H. (2010) Comparison of Groundwater Recharge between HELP Model and SWAT Model. p.387
- Lee, J. W. (2011) Water Quality Prediction at Manda Watershed using SWAT and Water Quality Improvement Vegetated Filter Strip. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 53(1):6.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V. (1970) River flow forecasting through conceptual model; Part1 - Adiscussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3):398-409.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Srinivasan, R., Williams, J. R. (2005a) Soil and Water Assessment Tool, SWAT : User's Manual-version 2005, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Texas.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R. (2005b). Soil and Water Assessment Tool User's Manual Version 2005. USDA, ARS, Temple, Texas.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V. (1970) River flow forecasting through conceptual models: Part I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10:282-290
- USEPA (2001) Better Assessment Science Integration point and Nonpoint Sources (BASINS) v. 3.0 User's Manual, EPA-823-B01-001, Washington, D.C, Office of Water, USEPA
- Xu, C-Y, Singh, V. P. (1998) "A review on monthly water balance models for water resources investigation and climatic impact assessment." *Water Resources Management*, 12:31-50.
- Ye, L., Lee, H. S., Jung, Y. R., Chung, S. W. (2007) Parameter Sensitivity Analysis of SWAT Model for Water Balance Analysis in Bocheong Stream Basin. pp.661-663.
- 기상청 기후자료 http://www.kma.go.kr/weather/climate/average_south.jsp.
- 환경부 (2007) 중권역 물환경관리계획(소양강).