

# SWAT모형과 고해상도 위성영상을 이용한 하천유역 관리기법연구

## A Study on Watershed Management Technique using SWAT Model and High Spatial Resolution Satellite Imagery

이지완\*, 이미선\*\*, 신형진\*\*\*, 박근애\*\*\*\*, 김성준\*\*\*\*\*

Ji Wan Lee, Mi Seon Lee, Hyung Jin Shin, Geun Ae Park, Seong Joon Kim

### 요 지

본 연구는 고해상도 위성영상의 자료를 비점오염원 분석에 적합한 SWAT모형에 적용할 수 있는 정밀토지이용도의 분류항목으로 설정하고 영상에서 추출 할 수 있는 정보를 효율적으로 이용하여 고해상도 위성영상의 활용성을 높이고자 하였다. 본 연구의 대상지역은 경안천 유역(260.54km<sup>2</sup>)으로 기상자료는 1998년부터 2008년 동안의 경안천유역 6개의 강우관측소 자료와 3개의 기상관측소 자료를 수집하여 구축하였다. 수질자료는 환경부 물환경정보시스템에서 제공하는 자료를 1999~2008년까지 구축하여 사용하였다. 점오염원자료는 경안, 오폐, 매산 하수처리장의 1990~2007년까지의 일자료를 사용하였다. 또한 고해상도 위성영상(KOMPSAT-2)을 환경부의 토지피복분류체계와 현장조사를 통하여 토지이용분류 항목을 설정하고 스크린 디지털라이징 방법을 통해 제작한 정밀토지이용도를 사용하였다. 정밀토지이용도를 SWAT 모형에 적용하여 분석 시 활용성을 평가하기 위해 30m 중해상도의 환경부 토지이용도와와의 모형 결과를 비교하였다.

**핵심용어** : SWAT, 토지이용도, 비점오염원, KOMPSAT-2,

### 1. 서 론

비점오염원은 점오염원 외의 오염원으로 주로 강우 시에 유출되며 배출 장소와 경로가 불분명하고 다양하다. 비점오염은 특정지점에 국한되지 않고 광범위하게 발생하므로 수질개선을 위해서는 비점오염원의 평가 및 효율적인 관리가 필요하다(Park et al., 2007). 이러한 비점오염원의 관리를 위해 토양유실 및 수질 분석에 적합한 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)모형을 이용한 연구가 많이 이루어지고 있다. 그러나 SWAT 모형의 입력자료 중 토지이용도는 환경부에서 제공하는 중해상도 토지이용도를 주로 사용하지만 비점오염원 분석에 영향을 주는 토지이용상태를 정확히 구분하는데 한계가 있다. 본 연구에서는 고해상도 위성영상으로 제작한 토지이용도를 이용한 수문-수질 모의를 통해 고해상도 위성영상의 활용성을 높이고 효율적인 하천유역 관리기법을 연구하고자 하였다.

\* 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : closer01@konkuk.ac.kr  
\*\* 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사후과정 · E-mail : misun03@konkuk.ac.kr  
\*\*\* 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : shjin@konkuk.ac.kr  
\*\*\*\* 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사후과정 · E-mail : dolphin2000@konkuk.ac.kr  
\*\*\*\*\* 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 연구대상지역

본 연구의 대상지역은 경안천 상류로 경안수위관측소를 유출구로 유역면적은 약260.54km<sup>2</sup>이며, 연평균 강우량은 1,200.5mm 이고 연 평균기온은 10.9℃이다. 주 하천의 유로연장은 26.8km, 유역 평균둘레는 116.3km, 유역 평균표고는 EL. 160.01m, 유역 평균경사는 10.6%이다. 행정구역은 상류부에는 경기도 용인시(8.7%)가 하류부에는 광주시(1.0%)가 위치하고 있다. 경안천 유역은 최근 도시화에 따른 유역의 수문·수질변화에 대한 연구가 많이 이루어지고 있는 지역이다.

### 2.2 입력자료 구축

본 연구에서는 고해상도 위성영상을 이용하여 구축한 토지이용도의 활용성을 평가하고자 하였다. 공간입력자료중에서 DEM은 30m와 2m를 구축하였다. 2m급 토지이용도는 IKONOS-2, KOMPSAT-2와 QuicikBird-2 영상을 이용하여 기존 환경부, 건교부, USGS(United State Geological Survey, 미지질조사국)의 토지피복분류체계 IV 및 현장조사를 통하여 영상으로부터 추출 가능한 항목을 결정하여 총 26개 항목을 가지는 정밀토지이용도를 제작하여 사용하였으며, 분류 항목을 속성부호를 SWAT에서 제시한 Crop와 Urban database에 따라 정밀토지이용도를 SWAT Land Use Class로 변환하였다(이미션, 2010). SWAT 모형의 입력자료인 기상자료는 수원, 양평, 이천 3개의 기상관측자료와 경안, 모현, 포곡, 용인, 운학, 남곡 6개의 강우관측소 자료를 구축하였다. 모형의 보정을 위해 필요한 유량자료는 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공하는 경안수위관측지점의 수위자료와 수위-유량관계곡선식을 이용하였다. 수질자료는 물환경정보시스템에서 부유물질(Suspended Soilds, SS), 총 질소(Total Nitrogen, T-N) 총 인(Total Phosphorus, T-P)를 제공받아 구축하였다. 점오염원 자료는 경안, 오폐, 매산 3개의 하수처리장 자료를 제공받았다.

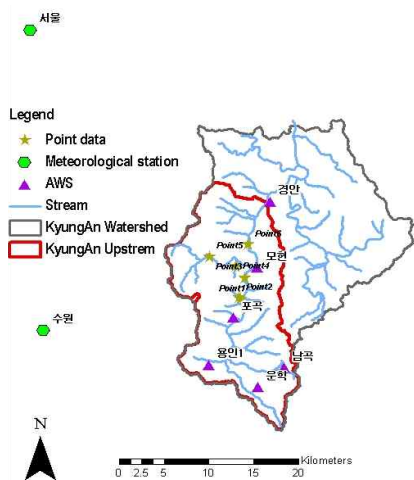


그림 1 경안천유역

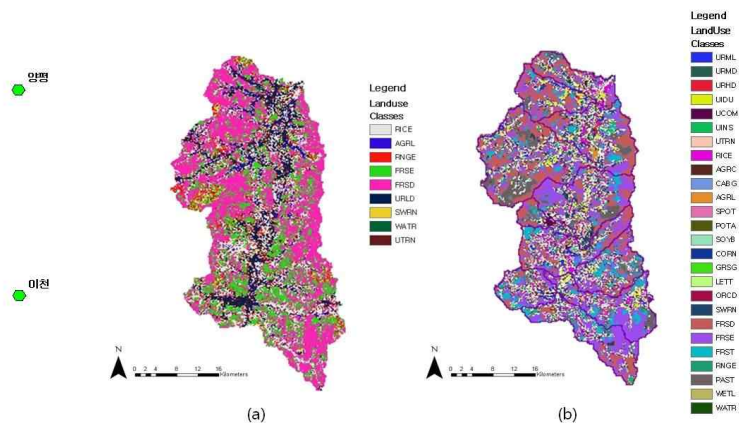


그림 2 토지이용도 (a) 30m (b) 2m

### 3. 결과 및 고찰

장기유출모형은 특성상 구동초기를 모형의 안정화기간으로 보고, 분석에는 그 결과값을 사용하지 않는다(정재운, 2005). 모형의 안정화 기간은 1995-1998년으로 설정하였고 보정기간은 1999-2000으로 선정하였다. 검증은 2001-2007년 자료를 사용하였다. 또한 지표유출은 SCS 유출곡선법, 증발산량 산정은 Penman-Monteith 방법, 하도추적은 Muskingum 방법을 적용하였다.

#### 3.1 유출 비교

유출에 영향을 주는 매개변수 추정을 위하여 민감도분석을 실시하였다. 민감도분석은 30m 토지이용도를 이용하여 실시하였고 그 결과 지표유출은 CN2, SOL\_AWC, ESCO, 지하수흐름은 GWQMN 이 민감하였다. 다음 표 1은 유출보정에 사용한 매개변수와 보정값을 정리한 것이다. 30m 해상도를 이용한 보정을 먼저 실시한 후에 보정한 매개변수를 2m 해상도에도 적용하여 보정하였다. 보정에 사용한 매개변수를 같은 것으로 선정하여 해상도에 따른 유출의 비료를 분석하고자 하였다. 매개변수의 보정값을 살펴보면 2m 해상도에서의 CN2의 보정값은 30m 해상도의 값보다 높은 것으로 분석되었다. Kim et al.(2007)은 HEC-HMS 모형을 이용하여 각 강우사상에 따른 토지이용 해상도별 총우출량과 첨두유출량을 비교한 결과와 마찬가지로, 고해상도의 공간입력자료에 의한 CN값의 증가로 분석된다.

유출의 보정결과는 결정계수( $R^2$ ) 와 평균제곱근오차(Root Square Error, RMSE)을 이용하여 나타내었고 모형의 효율성은 모형효율성계수(Model Efficient, ME)를 사용하였다. 표2는 보정 및 검증 결과를 정리한 것이다. 총 모의기간동안의 30m 해상도의 보정결과는 RMSE가 2.63 mm/day,  $R^2$ 는 0.75 ME는 0.68로 분석되었으며 2m 해상도는 RMSE가 3.09mm/day,  $R^2$ 는 0.74, ME는 0.63으로 분석되었다.

표 1. 유출관련 매개변수 및 보정값

Parameter	min.	max.	Default	Calibration	
				30m	2m
CN2				-13	-8
SOL_AWC	0	1	0	1	1
GWQMN	0	5000	0	250	250
GW_DELAY	0	500	31	100	100
ALPHA_BF	0	1	0.05	1	1
ESCO	0	1	0.95	0.7	0.7
REVAPMN	0	500	0	500	500
CH_K2	-0.01	500	0	150	150

표 2. 유출 모의 보정 및 검증결과

Year	Rainfall	Runoff (mm)			Runoff Ratio (%)			R <sup>2</sup>		RMSE(mm/day)		ME	
		Obs.	30m	2m	Obs.	30m	2m	30m	2m	30m	2m	30m	2m
1999	698.1	698.1	686.6	796.3	53.3	52.4	60.8	0.7	0.8	3.3	2.9	0.6	0.7
2000	630.4	630.4	556.6	614.6	58.7	51.9	57.3	0.6	0.6	3.3	3.3	0.6	0.6
2001	468.6	468.6	55.9	605.9	45.2	53.7	58.5	0.7	0.9	2.5	1.8	0.7	0.8
2002	932.5	932.5	805.9	858.8	70.5	60.9	64.9	1.0	0.7	2.6	6.0	0.9	0.6
2003	1342.0	1342.0	911.9	902.0	84.0	57.1	56.5	0.8	0.9	2.5	2.1	0.7	0.8
2004	839.7	839.7	768.9	785.6	73.9	67.7	69.2	0.8	0.9	1.8	1.7	0.8	0.8
2005	875.5	875.5	948.5	980.4	53.7	58.2	60.2	0.9	0.8	1.8	2.4	0.8	0.7
2006	1078.5	1078.5	903.0	923.9	72.3	60.6	62.0	0.8	0.6	3.6	5.1	0.8	0.6
2007	742.3	742.3	718.6	719.6	71.3	69.0	69.1	0.5	0.5	2.3	2.6	0.4	0.2

### 3.2 유사량 비교

SWAT 모형에서의 유사량은 MUSLE식에 의해 산정된다. Miller et al.(1999)은 작은 소유역에서의 DEM의 해상도는 모의 결과에 더욱 민감하다는 분석을 하였고 또한 박종윤 등(2008)은 유사량 산정에 있어 공간입력자료에 의한 LS값의 영향이 크다고 밝힌바 있다.

유사량의 보정은 물환경정보센터에서 제공하는 수질측정망 경안천4 지점의 자료를 이용하였다. 제공하는 자료는 농도의 자료로 채수일자의 유량자료를 이용하여 일 부하량으로 환산하였다. 다음의 표 3은 유사량보정에 사용한 매개변수와 보정값을 정리한 것이다. 유사량도 유출과 마찬가지로 30m 해상도를 먼저 보정하고 2m 해상도를 보정하였다. 보정 매개변수 중에서 CH\_EROD는 하도 침식인자로 30m 해상도와 2m 해상도에서 각각 보정한 값이 0.03 과 0.008로 서로 다르게 보정되었는데 이것은 해상도의 차이로 인한 것으로 2m 해상도에서의 값이 실제 하폭을 잘 반영하는 것으로 분석된다.

표 4는 유사량 분석결과를 나타낸 것으로 총 모의기간동안의 R<sup>2</sup>는 30m 토지이용도의 경우 0.68, 2m 토지이용도는 0.72로 분석되었다.

표 3. 유사량 관련 매개변수 및 보정값

Parameter	min.	max.	Default	Calibration	
				30m	2m
USLE_P	0	1	1	0.0001	0.0001
Spocon	0	0.01	0	0.0005	0.0005
Spexp	1	1.5	1	1.1	1.1
Ch_cov	0	1	0	1	1
Ch_K2	-0.02	500	0	100	100
Ch_Erod	-0.05	0.6	0	0.03	0.008
PRF	0	2	1	0	0

표 4. 유사량 모의 보정 및 검증결과

Year	FLOW (CMS)	Sediment (ton/year)			R <sup>2</sup>	
		Obs.	30m	2m	30m	2m
2001	468.6	61.3	52.5	58.9	0.1	0.5
2002	932.5	312.8	374.9	427.4	1.0	1.0
2003	1342.0	287.0	313.7	310.6	1.0	0.9
2004	839.7	286.9	118.9	120.1	0.8	1.0
2005	875.5	84.5	124.4	124.1	0.7	0.7
2006	1078.5	163.3	205.4	193.7	0.7	0.5
2007	742.3	171.4	184.9	190.7	0.5	0.5

#### 4. 결론

본 연구에서는 고해상도 위성영상으로 제작한 토지이용도를 이용한 수문-수질 모의를 통해 고해상도위성영상의 활용성을 높이고 효율적인 하천유역 관리기법을 연구하고자 경안천 상류 (260.54 km<sup>2</sup>)를 대상지역으로 2m 해상도의 공간입력자료와 30m 해상도의 공간입력자료를 통해 비교, 분석하였다. 그 결과 유출분석에서는 결정계수(R<sup>2</sup>)가 각각 0.75, 0.74로 두 해상도의 효율이 비슷하게 나타났고, 유사량 분석에서의 결정계수(R<sup>2</sup>)는 각각 0.68, 0.72로 2m 해상도의 효율이 30m 해상도의 효율보다 높은 것으로 분석되었다. 본 연구는 2m 해상도와 30m 해상도의 보정매개변수와 보정값을 비슷하게 적용하여 분석하였는데 향후 고해상도 위성영상의 정밀정보를 활용하여 매개변수의 선정 및 보정을 수행한다면 보다 정밀한 하천유역관리에 활용 가능할 것으로 판단된다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 교육과학기술부에서 시행한 우주개발사업의 세부과제 “정밀 농업 정보추출 및 분석 기술 개발(2009K000324, 50%)” 및 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2009-0080745, 50%)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 박종윤, 이미선, 이용준, 김성준(2008). SWAT 모형을 이용한 미래 토지이용변화가 수문-수질에 미치는 영향분석, 대한토목학회논문집, 제28권 제2B호, pp. 187-197.
2. 이미선(2010). 하천유역 관리를 위한 고해상도 위성영상활용, 박사학위논문, 건국대학교.
3. 김철겸, 김현준(2003). SWAT 모형을 이용한 경안천 유역의 유출 및 유사량 추정, 한국농공학회, 학술발표회 논문집.
4. 박종윤, 이미선, 박근애, 김성준(2008). SWAT모형에서 공간 입력자료의 다양한 해상도에 따른 수문-수질 모의결과의 비교분석, 한국수자원학회논문집, 제41권 제11호, pp. 1079-1094.