

Original Article

## 위성자료를 이용한 유출해석에 관한 연구

강동호<sup>1</sup> · 정세진<sup>2</sup> · 김병식<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>국립 강원대학교 도시환경&재난관리전공 박사과정, <sup>2</sup>국립 강원대학교 강원종합기술연구원 토양·기후 환경 연구센터 선임연구원,  
<sup>3</sup>국립 강원대학교 도시환경&재난관리전공 교수

## On Study of Runoff Analysis Using Satellite Information

Dong Ho Kang<sup>1</sup>, Se Jin Jeung<sup>2</sup>, and Byung Sik Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Doctor Course, Dept. of Urban Environment & Disaster Prevention School of Disaster Prevention, Kangwon National University

<sup>2</sup>Senior Researcher, Soil and climate Environmental Research Center of the Gangwon Institute of Technology, Kangwon National University

<sup>3</sup>Professor, Dept. of Urban Environment & Disaster Prevention School of Disaster Prevention, Kangwon National University

### 요약

본 연구는 위성영상자료를 이용한 지형자료의 신뢰도를 평가하고자 하였다. 실제 계측자료와 위성영상자료를 이용한 지형자료를 구축하고 강우-유출 모형인 S-RAT에 적용하여 유출 분석을 실시하였으며, 지형자료와 유출량 자료를 비교 분석하였다. 실제 계측자료는 국가수자원관리종합정보시스템(Water Resources Management Information System, WAMIS)의 계측지형자료를 수집하였으며, 위성영상자료는 Terra 위성에 탑재된 MODIS 관측센서의 영상자료를 수집하였다. 분석대상지역은 한강유역에서 산지가 80%이상인 하천 2개 유역과, 도심지가 7%이상인 하천 1개 유역을 대상으로 선정하였다. 분석결과 도심지가 많은 하천에서는 유출량의 차이가 침투홍수량의 경우 최대 50%, 홍수총량의 경우 최대 17%로 계측자료와 위성영상자료의 차이가 크게 나타났으나, 산지가 많은 하천에서는 유출량의 차이가 침투홍수량의 경우 최대 13%, 홍수총량의 경우 최대 4%로 나타났다. 영상자료에서 가장 큰 차이를 보이는 것은 Landuse로 도심 하천에서는 MODIS 위성영상이 WAMIS 계측자료에 비해 최대 60% 이상 도시로 인식하는 경향을 보이고 있으나, 산림지역에서는 MODIS 위성영상이 WAMIS 계측자료의 오차가 5% 이내로 나타나고 있어 산지하천에서의 적용성이 높은 것으로 나타났다.

핵심용어: 위성자료, WAMIS, MODIS, S-RAT

### ABSTRACT

This study intended to assess the reliability of topographic data using satellite imaging data. The topographical data using actual instrumentation data and satellite image data were established and applied to the rainfall-leak model, S-RAT, and the topographical data and outflow data were compared and analyzed. The actual measurement data were collected from the Water Resources Management Information System (WAMIS), and satellite image data were collected from MODIS observation sensors mounted on Terra satellites. The areas subject to analysis were selected for two rivers with more than 80% mountainous areas in the Han River basin and one river basin with more than 7% urban areas. According to the analysis, the difference between instrumentation data and satellite image data was up to 50% for peak floods and up to 17% for flood totals in rivers with high mountains, but up to 13% for peak floods and up to 4% for flood totals. The biggest difference in the video data is Landuse, which shows that MODIS satellite images tend to be recognized as cities up to 60% or more in urban streams compared to WAMIS instrumentation data, but MODIS satellite images are found to be less than 5% error in forest areas.

**Keywords:** Satellite Image, WAMIS, MODIS, S-RAT

\*Corresponding author: Byung Sik Kim, hydrokbs@kangwon.ac.kr

Received: 28 May 2021, Revised: 13 June 2021, Accepted: 15 June 2021



## 1. 서론

대한민국은 세계 유일의 분단국가이다. 1945년 일본의 식민지에서 해방이 되었으나, 1950년 6·25라 불리는 한국전쟁 이후 북위 38° 선을 중심으로 남한과 북한으로 나뉘어져 있으며 현재 휴전중에 있다. 따라서 남한은 북한지역에 어떠한 계측행위(작업)도 할 수 없다. 그러나 앞으로 통일을 대비하여 북한의 수자원을 분석·평가하는 작업은 매우 중요하다고 판단된다. 현재 북한은 오랜 식량난과 에너지난으로 인해 산림생태계가 훼손되어 기후변화와 관련된 자연재해에 매우 취약하다. 이렇게 예상되는 대규모 자연재해를 대비하고 기후변화에 효율적으로 대처하기 위해서는 체계적이고 과학적인 수자원 정보의 활용이 매우 중요하다. 따라서 북한지역의 자연재해를 해석하기 위해서는 실측된 지형 수문자료가 필요하나 북한지역은 미계측 지역으로 지형 수문자료 수집의 한계가 있다. 따라서 미계측지역인 북한의 수자원을 분석 평가하기 위해서는 계측자료가 아닌 위성영상에서 추출할 수 있는 지형자료를 이용할 수밖에 없다.

미계측 지역이라 하면, 첫째 사회·정치·비용·기술적인 측면 등 비효율적이거나 관측이 불가능한 이유로 계측하지 못한 지역, 둘째 기후변화로 인해 지형이 변하거나 인간의 수변생태계 개발 및 파괴로 인해 기존 정보가 바뀐 지역을 말한다. 따라서 북한은 미계측 지역으로 분류 된다(Kang, 2015).

이와 같은 계측정보가 없는 미계측 구역에서 수문분석을 하는 것은 불가능한 것이었으나 위성영상과 같은 GIS를 대신할 수 있는 위성영상으로부터 전 세계의 수치표고모형(DEM), 토지피복도(Land Cover), 토양도(Soil) 등의 지형자료 수집이 가능하게 되었으며, 이를 이용하여 미계측 구역의 수문학적 예측이 가능하게 되었다. 그러나 미계측 구역의 데이터 부재 및 결핍에 대한 문제를 적절하게 다루기 위해서는 구역에서의 수리수문 특성을 잘 이해할 필요가 있으며, 구역특성을 반영할 수 있는 모형을 통한 신뢰도 분석이 반드시 필요하다.

Lee et al.(2014)은 원격 탐사(RS)자료를 이용하여 관측값이 부재한 지역에 MODIS 센서의 지표면 온도와 대기 연직 온도 자료를 이용하여 대기 온도를 추정하였으며 증발산량을 산정하고 강수량과 수문학적 가뭄을 평가·감시하는 방법을 검증하였다. Chae et al.(2004)은 미계측 구역과 관련하여 원격탐사 영상의 향후 기능 분야나 제약점 등 수문인자를 생성하는데 이용될 수 있는 다양한 원격탐사 영상에 대하여 소개하였다. Lee et al.(2003)은 위성영상 피복분류항목에 대해 통계적 접근법으로부터 산정된 유출곡선지수(CN)를 이용하여 계산 유효우량과 관측 유효우량을 비교함으로써 그 적용성을 검토하였다. Kim et al.(1999)은 SCS CN값을 산정하기 위한 GIS 공간자료로서 위성영상자료 활용의 적합성을 검토하였다.

본 연구에서는 미계측 지역에서의 위성영상자료의 신뢰성을 평가하고자 계측 지역인 남한 한강 유역의 주요하천에서 3개의 유역을 임의로 선정하여 계측자료와 위성영상자료를 이용한 강우-유출 분석을 실시하였다. 선정된 유역에서 국내의 국가수자원관리종합정보시스템(Water Resources Management Information System, WAMIS)의 계측지형자료를 수집하였으며 위성영상자료는 국제연합식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)와 공간정보협회(Consortium for Spatial Information, CGIAR-CSI)에서 제공하는 MODIS 관측센서의 영상자료를 수집하였다. 수집된 자료를 이용하여 DEM, Landuse, Soil map을 구축하였다. 그리고 구축된 계측지형자료와 위성영상자료의 신뢰도를 분석하기 위하여 강우-유출모형인 S-RAT(Spatial Runoff Assessment Analysis Tool)을 이용하여 유출분석을 실시하였다.

## 2. 적용 및 결과

### 2.1 대상유역의 선정

위성자료를 이용한 유출해석을 위하여 남한의 수계중 Fig. 1과 같이 한강수계의 주요하천에서 대상유역 중 3개의 임의유역으로 선정하였다. 한강유역은 위도 36-28-19~38-30-05, 경도 126-30-59~128-59-56에 걸쳐 한반도의 중앙부에 위치하며 유역면적은 23,292.80 km<sup>2</sup>(임진강 유역 제외), 유로연장은 483.00 km로 유역평균폭은 48.20 km, 유역형상은 1.95인 우리

나라 최대 하천유역으로 휴전선 이남지역의 전체 면적 99,253.80 km<sup>2</sup>(2001년 현재, 통계청)의 약 23%를 차지하고 있다. 또한 유역형상은 수지상(dendritic)과 선상(fanshaped)이 혼합된 복합상(multi type) 유역의 형상을 나타내고 있다. 행정구역으로는 서울특별시, 인천광역시, 경기도, 강원도, 충청남·북도, 경상북도 등 1특별시, 1광역시, 5도를 포함하고 있으며, 한강 유역은 한강, 안양천, 중랑천, 경안천, 섬강, 달천, 북한강, 소양강 등 13개소의 국가하천과, 600여개소의 지방하천으로 구성되어 있다(HSC, 2014).

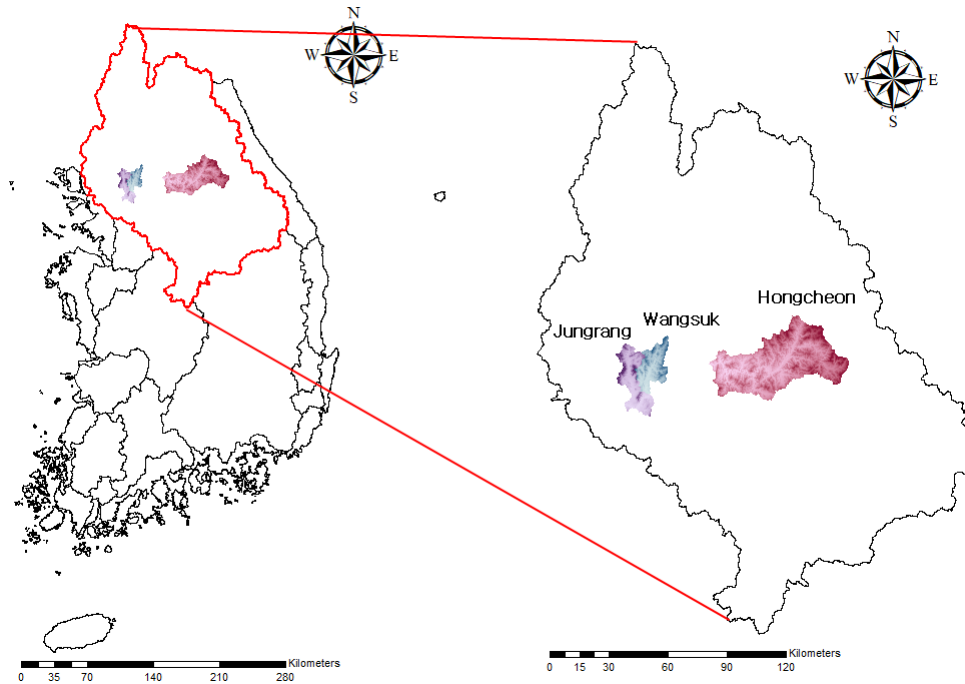


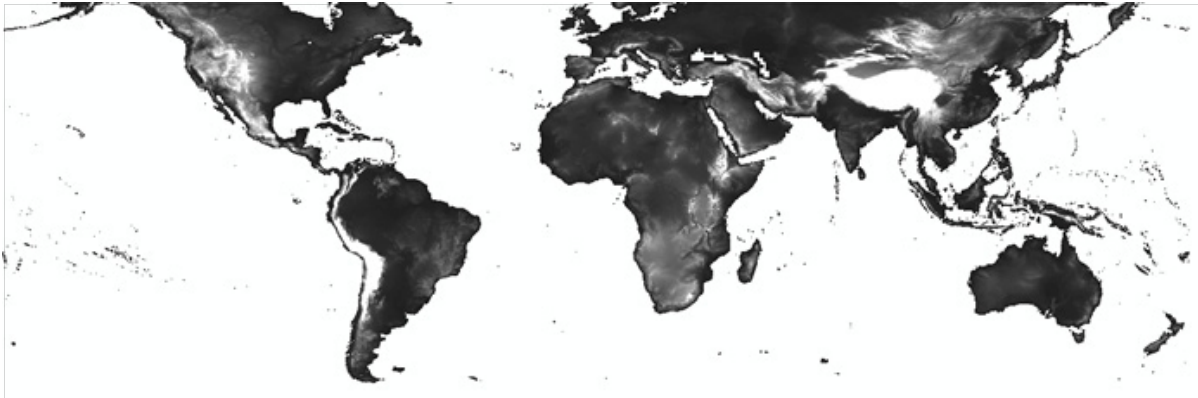
Fig. 1. Location of Study Basins

## 2.2 입력자료 구축

강우-유출모형에서 필요로 하는 지형자료는 DEM, Landuse, Soil map이다. 따라서 위성영상자료를 raster 형식으로 받아 우리나라의 분류체계에 맞게 재분류과정을 거치게 되며, 재분류된 지형자료를 유역규모에 맞게 Masking하여 최종 지형자료인 DEM, Landcover, Soil map을 구축하게 된다.

### 2.2.1 수치표고모형(DEM) 구축

DEM의 경우 MODIS 영상자료를 CGIAR-CSI에서 1 km 해상도의 전지구 자료를 raster 형식으로 제공받았다. 좌표체계는 WGS 1984 좌표계로, 이것을 우리나라 좌표체계인 TM(Tokyo\_Transverse\_Mercator)좌표계로 변환하였으며 대상지역의 하천유역형태로 Masking 처리 후 지형자료로 사용하였다. 위성영상자료를 이용한 GIS 기반의 1 km 전 지구적 DEM 자료는 Fig. 2와 같다.



**Fig. 2.** Global-Scale DEM Using Satellite Image Information

### 2.2.2 토지이용도(Landuse) 구축

위성영상으로부터 추출하며 제공받은 토지피복도는 18분류로 구성되어 있다(Table 1). DEM과 같이 TM좌표계로 변환하였으며, 국내 지형에 맞게 수역, 시가화, 나지, 습지, 초지, 산림지, 논, 밭의 8분류체계로 재분류하였다(Table 2). Fig. 3은 분류된 토지이용도를 나타낸 그림이다.

**Table 1.** Land Cover Types of MODIS land use/cover data (Han, 2010)

Class	Contents	Class	Contents
0	Water	9	Savannas
1	Evergreen needleleaf forest	10	Grasslands
2	Evergreen broadleaf forest	11	Permanent wetlands
3	Deciduous needleleaf forest	12	Croplands
4	Deciduous broadleaf forest	13	Urban and built-up
5	Mixed forests	14	Cropland/natural vegetation mosaic
6	Closed shrublands	15	Permanent snow and ice
7	Open shrublands	16	Barren or sparsely vegetated
8	Woody savannas	17	Unclassified

**Table 2.** Land Cover Classification on Korean Standard

Class	Contents	MODIS Land cover Reclassify
1	Water	0, 15
2	urbanization	13
3	Bare ground	16
4	Wet ground	11
5	grassland	8, 9, 10
6	forest	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
7	paddy	12
8	field	14

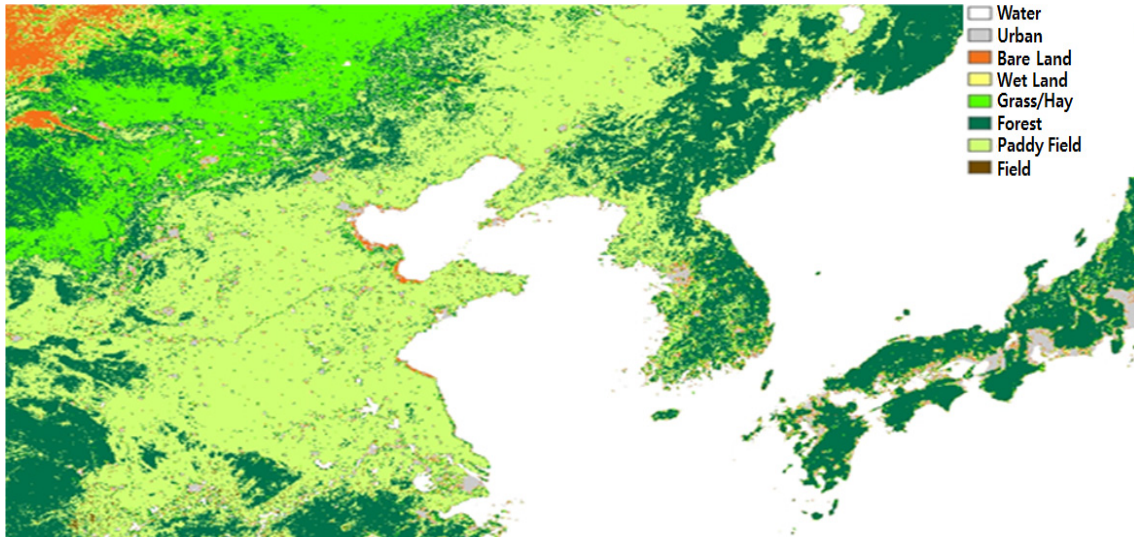


Fig. 3. Conversion of Satellite Image Information into 8-Classification Land Cover

### 2.2.3 토양도(Soil) 구축

수문학적 토양 그룹(Hydrological soil group, HSG)은 토양특성과 투수율에 따라 A, B, C, D의 4그룹으로 분류된다 (Table 3). 위성영상에서 추출한 토양도는 16분류로 되어 있으며 각 토양특성에 따라 수문학적 토양 그룹인 4분류로 재분류 과정을 거친다(Table 4). 4분류로 재분류된 토양도는 Fig. 4와 같다. 재분류된 토지이용 및 토양도를 이용하여 유출계수인 SCS-CN 값을 산정하게 된다.

Table 3. Characteristics of Soils Assigned to Soil Groups (McCuen, 1998)

Characteristics of Soils	Minimum Infiltration Rate (mm/hr)	HSG (Hydrological soil group)
Deep sand, deep loess, aggregated silts	7.62 - 11.43	A
Shallow loess, sandy loam	3.81 - 7.62	B
Clay loams, shallow sandy loam, soils low in organic content, soils usually high in clay	1.27 - 3.81	C
Soils that swell significantly when wet, heavy plastic clays, certain saline soils	0 - 1.27	D

Table 4. Reclassified soil groups from TERRASTAT database to Hydrological soilgroup (HSG) (Han, 2010)

ID	Soil Description	HSG	ID	Soil Description	HSG
10	Coarse textured soils (loamy)	C	31	Organic soils	C
12	Coarse textured soils (sandy clay)	C	32	Coarse textured soils (sandy)	A
13	Medium textured soils (loamy)	C	34	Fine textured soils (clay)	D
14	Fine textured soils (clay)	D	40	Fine texture soil (silt)	D
20	Coarse texture soils (sand)	A	41	Organic soils	D
21	Organic soils	C	42	Coarse textured soils (sandy)	D
23	Medium textured soils (loamy)	A	43	Medium textured soils (loamy)	D
24	Fine textured soils (clay)	D	99	Glaciers, Rocks, Shifting Sand, No Data	
30	Silt loam	B	97	Water	

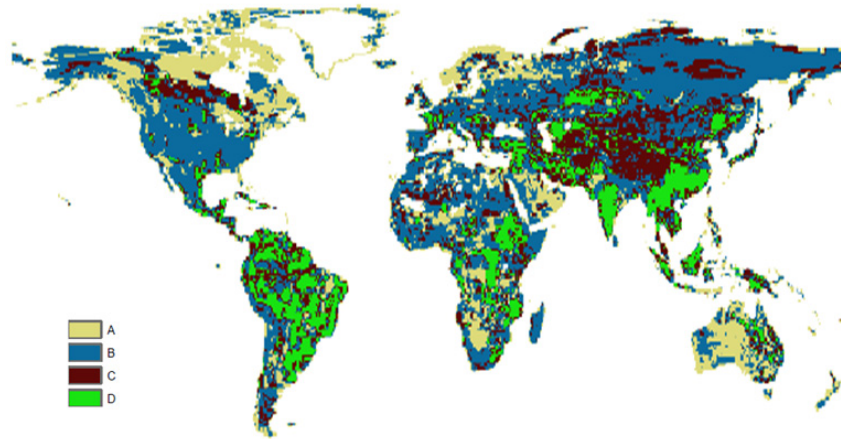


Fig. 4. Reclassified Soil Data

### 2.3 모형의 적용

WAMIS에서 제공받은 지형자료와 MODIS 영상으로부터 추출한 영상자료를 GIS기반의 지형자료로 구축하고, 두 가지 Type의 지형자료를 이용하여 홍수유출모의를 실시하였다. 지형자료외의 입력자료는 동일하게 적용하였으며, 따라서 강우유출모형의 추가적인 매개변수 보정은 생략하였다.

#### 2.3.1 지형자료 분석결과

Fig. 5는 WAMIS와 MODIS의 DEM을 기준으로 평균고도를 비교한 결과이다. DEM의 경우 두 가지 지형자료가 평균고도값이 크게 차이가 없는 것을 알 수 있다. Table 5는 WAMIS 와 MODIS의 Landuse 분포를 나타낸 표이다. 비도심 지역인 홍천강의 경우 도시 지역과 논 지역과의 차이가 10% 내외로 나타나고 있으며 산림지역의 차이는 크지 않다. 그러나 도심지역 하천인 왕숙, 중랑 MODIS 영상자료에서 불투수층인 urban과 paddy field 지역이 크게 산정되는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 Table 6에서와 같이 수문학적 토양그룹에서 더 정확히 나타나고 있다. 왕숙, 중랑천의 경우 MODIS 영상자료에서 추출한 수문학적 토양그룹은 거의 대부분 D 그룹으로 나타나고 있다. 따라서 불투수층의 증가로 인한 유출 증가원인이 된다.

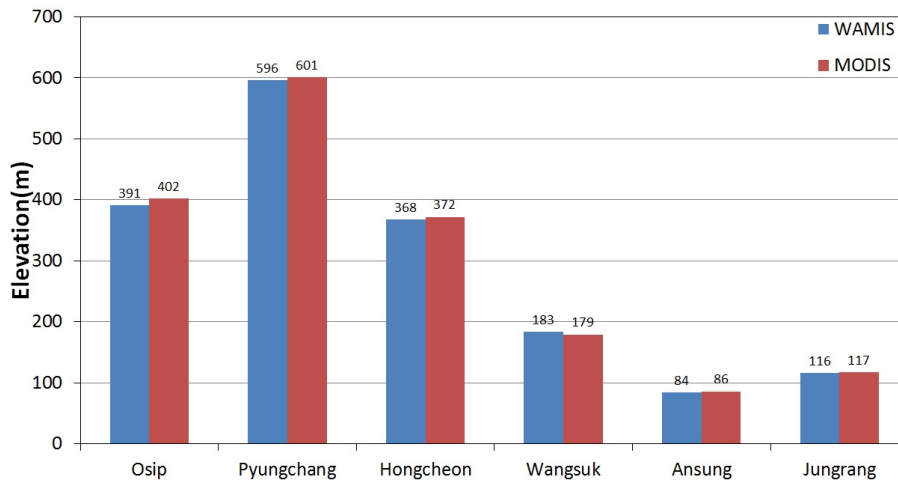
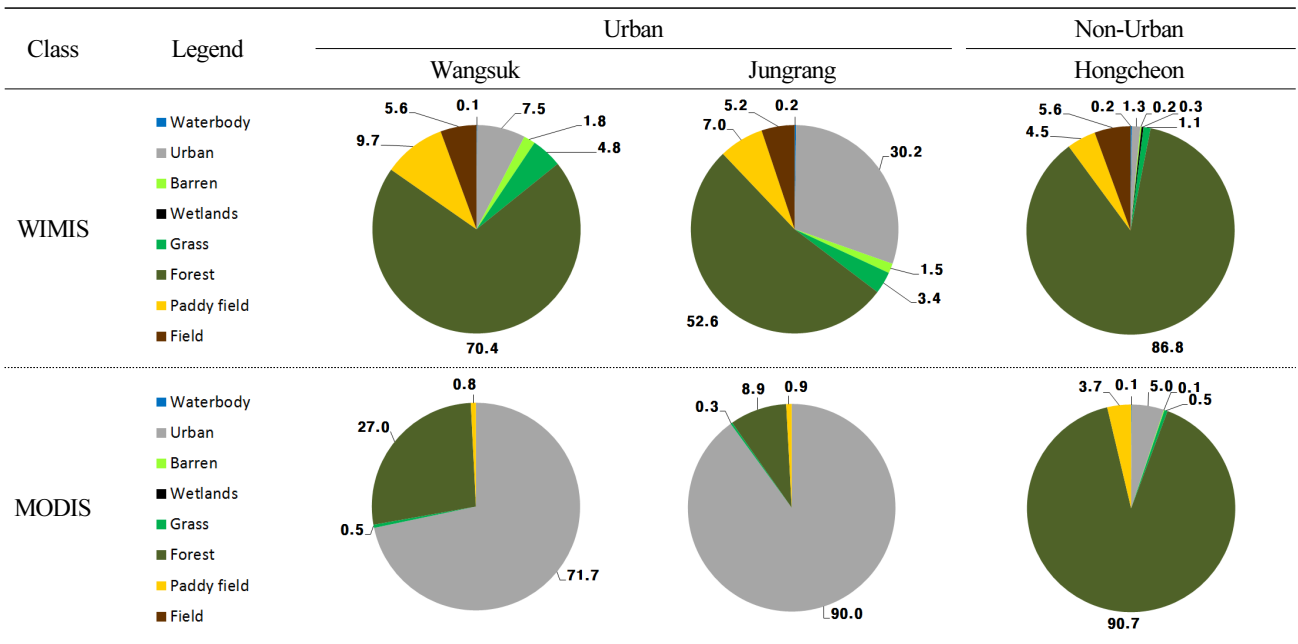
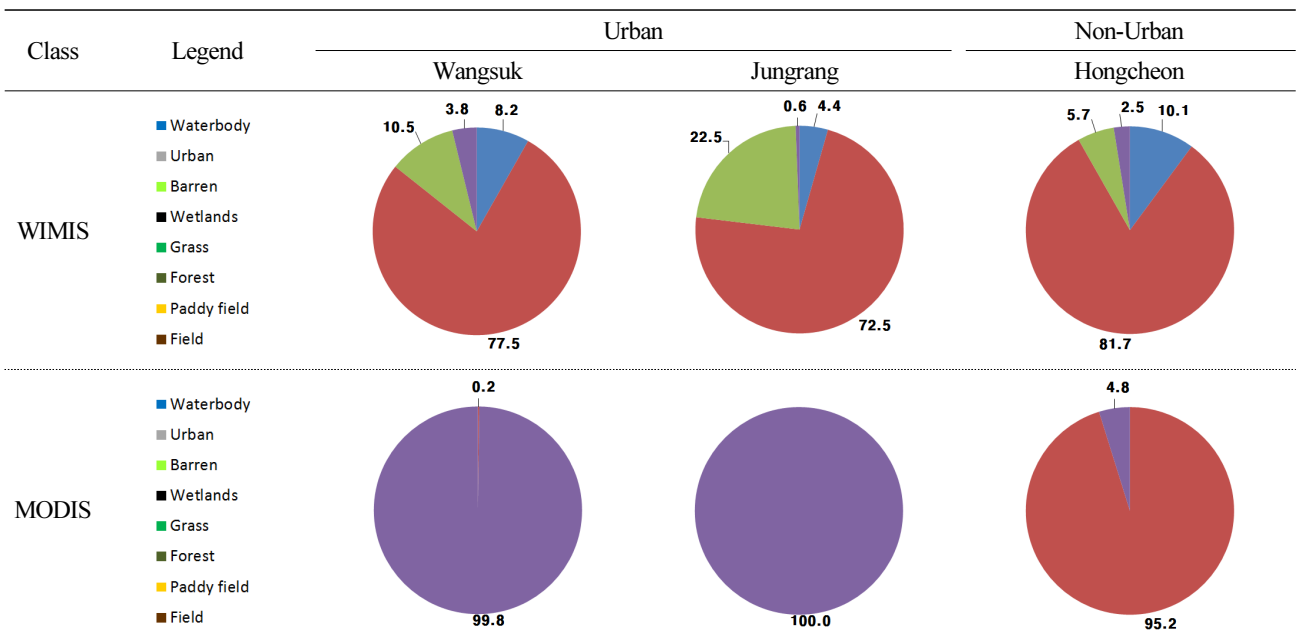


Fig. 5. Average Elevation of Study Basins (WAMIS vs MODIS)

**Table 5.** Ratio of Landuse in Study Basins (WAMIS vs MODIS)



**Table 6.** Hydrologic Soil Group of Study Basins (WAMIS vs MODIS)



### 2.3.2 강우-유출모형(S-RAT)

S-RAT(Spatial Runoff Assessment Tool)모형은 Kim et al.(2010)이 개발한 분포형 강우-유출모형으로 GIS자료를 이용하여 대상유역을 일정한 크기의 격자로 구성하고 격자마다 시간 간격별 개념적 물수지를 계산함으로써 유역의 시·공간적 유출량 변화를 모의하도록 설계되었다. S-RAT은 자체적으로 매개변수를 추출하여 입력 자료가 간소화 되어 있다. S-RAT 모형은 각 격자별 침투 및 직접 유출을 산정하기 위해 SCS Curve Number(이하 CN) 방법을 사용하였다. 이를 위해 토양도 및 토지이용도를 입력 받아 CN 값 격자자료를 생성하여 계산하게 된다.

$$S(i, j) = 254 \left( \frac{100}{CN(i, j)} - 1 \right) \quad (1)$$

여기서,  $S(i, j)$ 는 잠재보유수량;  $CN(i, j)$ 는 격자별 CN 값

$$\frac{P_n[t, (i, j)]}{P[t, (i, j)]} = \frac{F[t, (i, j)]}{HS(i, j)} \quad (2)$$

여기서,  $F[t, (i, j)]$ 는 침투저류조의 침투능(water content) (mm);  $HS(i, j)$ 는 침투 저류조의 용량

$$I[t, (i, j)] = P[t, (i, j)] - P_n[t, (i, j)] \quad (3)$$

$$W[t, (i, j)] = \frac{F[t, (i, j)]}{H_s} \quad (4)$$

$$I[t, (i, j)] - W[t, (i, j)] = \frac{dF[t, (i, j)]}{dt} \quad (5)$$

여기서,  $W[t, (i, j)]$ 은 지표하 유출;  $P_n[t, (i, j)]$ (mm)는 직접유출;  $H_s$ 는 무차원 상수로서 개념적 매개변수이다. Eqs. (3)-(5)을 이용하여 침투저류조의 질량보존 지배방정식을 산정하면 다음과 같다. Eq. (6)은 4차 Runge-Kutta 방법을 이용하여 해석 할 수 있다.

$$\frac{dF[t, (i, j)]}{dt} = - \frac{F[t, (i, j)]}{H_s} - E[t, (i, j)] + P[t, (i, j)] \left\{ 1 - \frac{F[t, (i, j)]}{HS(i, j)} \right\} \quad (6)$$



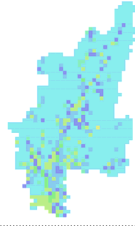





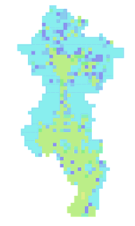





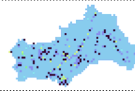

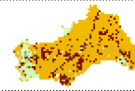
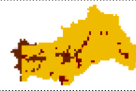
### 2.3.3 강우-유출모형의 적용

Table 7은 WAMIS와 MODIS의 지형자료인 DEM, Landuse, Soilmap을 이용한 추가 입력자료 구축 결과이다. 강우-유출 모형인 S-RAT에 DEM, Landuse, Soilmap 자료를 입력하면 Stream Network, roughness, Curve Number 자료를 자동 구축 하게 된다.

WAMIS에서 제공받은 지형자료와 인공위성의 관측센서로부터 추출한 영상자료를 GIS기반의 지형자료로 변환하여 구축하고 분포형 수문모형인 S-RAT을 이용하여 한강유역의 3개의 하천에 대하여 홍수유출 모의를 실시하고 그 결과를 비교 분석 하였다. 홍수량 산정결과는 Tables 8~9과 같다. 산지하천인 홍천강의 WAMIS와 MODIS 지형자료로 산정된 결과의 비율이 CN 1.03~1.05, 침투홍수량 0.87~1.04, 총홍수량 0.96~1.01로 그 값이 매우 비슷하게 나타났다. 그러나 도심하천인 왕숙, 중랑천의 경우 CN 1.12~1.28, 침투홍수량 1.10~1.50, 총홍수량 1.14~1.17로 크게 50% 이상 차이가 나는 곳도 있었다.



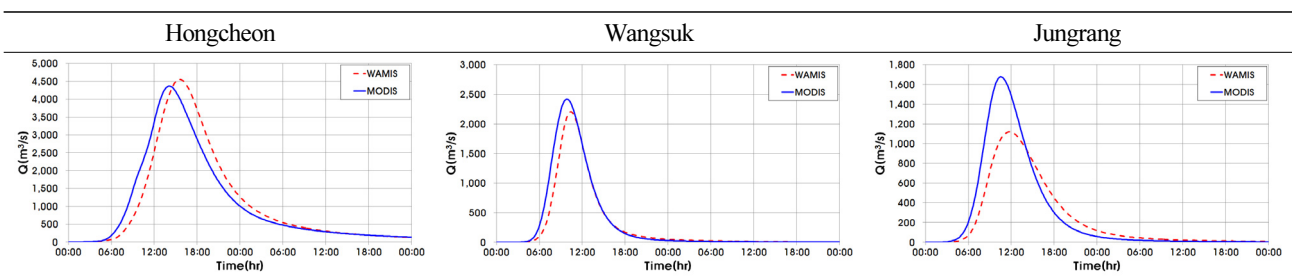
**Table 7.** Construction of S-RAT Input Data

River	Stream Network		Roughness		Curve Number	
Wang suk						
	WAMIS	MODIS	WAMIS	MODIS	WAMIS	MODIS
Jung rang						
	WAMIS	MODIS	WAMIS	MODIS	WAMIS	MODIS
Hong cheon						
	WAMIS	MODIS	WAMIS	MODIS	WAMIS	MODIS

**Table 8.** Calculation Result of Discharge in Study Basins

Class	CN (average)			Q (peak, m <sup>3</sup> /s)			Q (sum, m <sup>3</sup> )		
	WAMIS	MODIS	Ratio	WAMIS	MODIS	Ratio	WAMIS	MODIS	Ratio
Wangsuk	71	90	1.28	2,207	2,419	1.10	78,032	89,907	1.15
Jungrang	75	91	1.21	1,119	1,678	1.50	67,963	79,185	1.17
Hongcheon	68	70	1.03	4,550	4,365	0.96	327,956	322,087	0.98

**Table 9.** Result of Discharge Estimation in Study Basins



가장 큰 요인으로 판단되는 것은 토지이용이다. Table 10에서 보는 바와 같이 산지하천인 홍천강의 경우 도심비율이 최대 1.3%로 작게 나타나고 있으나, 도심하천인 왕숙, 중랑천의 경우 최소 7.5%, 크게 30%까지 도시비율이 높게 나타나고 있다. 또한 더 큰 차이는 위성영상자료에나 나타난다. 도심하천에서의 산림지역을 크게 50% 가까이 도심으로 인식하고 있기 때문에 불투수층이 많은 도심으로 인하여 유출량이 증가되는 것을 알 수 있다. WAMIS와 MODIS의 유출량 상관성을 비교하기 위하여 효율계수를 산정하였다. 효율계수 산정결과도 마찬가지로 산지하천인 홍천강의 경우 0.929로 나타났으며, 왕숙, 중랑천의 경우는 0.922, 0.715로 도심하천의 경우가 더 낮게 나오는 것을 확인할 수 있다.

**Table 10.** Themophysical Properties of Soil

Class	Urban		Forest		Paddy Field	
	WAMIS	MODIS	WAMIS	MODIS	WAMIS	MODIS
Hongcheon	1.3	5.0	86.8	90.7	4.5	3.7
Wangsuk	7.5	71.7	70.4	27.0	9.7	0.8
Jungrang	30.2	90.0	52.6	8.9	7.0	0.9

### 3. 결론

본 연구는 미계측 지역에서의 위성영상자료를 이용한 지형자료의 신뢰도를 평가하고자 하였으며 실제 계측자료와 위성영상자료를 이용한 지형자료를 구축하고 강우-유출 모형인 S-RAT에 적용하여 유출 분석을 실시하였다. 분석대상지역은 한강유역에서 산지가 80% 이상인 하천 1개 유역과, 도심이 7% 이상인 하천 2개 유역을 대상으로 선정하였다. 분석결과 도심이 많은 하천에서는 유출량의 차이가 침투홍수량의 경우 최대 50%, 홍수총량의 경우 최대 17%로 계측자료와 위성영상자료의 차이가 크게 나타났으나, 산지가 많은 하천에서는 유출량의 차이가 침투홍수량의 경우 최대 13%, 홍수총량의 경우 최대 4%로 나타났다. 영상자료에서 가장 큰 차이를 보이는 것은 Landuse로 도심하천에서는 MODIS 위성영상이 WAMIS 계측 자료에 비해 최대 60% 이상 도시로 인식하는 경향을 보이고 있으나, 산림지역에서는 MODIS 위성영상이 WAMIS 계측자료의 오차가 5% 이내로 나타나고 있어 산지 하천에서의 적용성이 높은 것으로 나타났다.

북한지역은 남한과 마찬가지로 산지 지역이 많은 비중을 차지하고 있다. 또한 남한에 비해 개발 정도가 현저하게 낮게 나타나고 있다. 위성영상을 이용한 수문분석은 추가적인 유역에서 비교 검증이 되어야 할 것으로 판단되나 산지 하천인 미계측된 미계측 지역에서의 활용성이 높을 것으로 판단된다.

### Acknowledgment

This work was funded by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI [2021-00312].

### References

- Chae, H. S., Kim, S. J., and Ko, D. G. (2004). Estimation of Hydrological Information in Ungauged Basins Using Remote Sensing Data. Korea Water Resources Association. KWRA Journal. 37: 44-49.
- Han, W. S. (2010). Analysis of Satellite Rainfall Data and Global Runoff Process to Improve Global Runoff Modeling. The University of Utah. Department of Civil and Environmental Engineering. A PhD Thesis.
- Kang, G. G. (2014). Construction of Geographic Data in Ungauged Basin and Analysis of Flood Runoff Simulation Using MODIS Satellite Image Information. Graduate School of Kangwon National University. Department of Urban and Environmental Disaster Prevention Engineering. A master's course thesis.
- Kim, B. S., Yoon, S. G., Yang, D. M., and Kwon, H. H. (2010). Development of Grid-based Conceptual Hydrological Model. Korea Water Resources Association Journal. 216: 667-679.
- Kim, G. T., Shim, M. P., and Sunwoo, J. H. (1999). Application of Geographic Information System for Runoff Simulation of Ungauged Basins (1): Selection of Soil Map and Landuse. Korea Water Resources Association Journal. 32: 163-176.
- Lee, B. J., Bae, D. H., and Chung, C. S. (2003). Calculation of CN Value for Satellite Image Land Cover Classification (2) - Application and Verification -. Korea Water Resources Association Journal. 36: 999-1012.

- Lee, J. Y., Lim, J. H., and Kim, J. P. (2014). Use of Remote Sensing for Hydrological Drought Assessment and Monitoring in Ungauged Basins. *The Korean Society of Remote Sensing*, 30: 525-536.
- McCuen, R. H. (1998). *Hydrologic Analysis and Design*. Prentice Hall. New Jersey.

#### **Korean References Translated from the English**

- 강건국 (2014). MODIS 위성영상자료를 이용한 미계측 유역의 지형자료 구축 및 홍수유출모의 분석. 강원대학교. 도시환경방재 전공. 석사학위논문.
- 김경탁, 심명필, 선우중호 (1999). 미계측 유역의 유출모의를 위한 지리정보시스템의 응용(1) : 토양도 및 토지이용도의 선정. *한국수자원학회논문집*, 32: 163-176.
- 김병식, 윤선규, 양동민, 권현한 (2010). 격자기반의 개념적 수문모형의 개발. *한국수자원학회논문집*, 216: 667-679.
- 이병주, 배덕효, 정창삼 (2003). 위성영상 피복분류에 대한 CN값 산정(2): -적용 및 검증-. *한국수자원학회논문집*, 36: 999-1012.
- 이진영, 임정호, 김종필 (2014). 미계측 유역의 수문학적 가뭄 평가 및 감시를 위한 원격탐사의 활용. *대한원격탐사학회지*, 30: 525-536.
- 채효석, 김성준, 고덕구 (2004). 원격탐사 자료를 이용한 미계측 유역의 수문정보 추출. *한국수자원학회지*, 37: 44-49.