

다중 위성 강우자료를 이용한 유출 평가

김주훈¹ · 김경탁^{1*} · 최윤석¹

Runoff Estimation Using Rainfalls Derived from Multi-Satellite Images

Joo-Hun KIM¹ · Kyung-Tak KIM^{1*} · Yun-Seok CHOI¹

요 약

본 연구는 전지구 위성 강우자료와 글로벌 지형자료를 이용하여 유출분석을 수행하여 계측자료가 부족한 지역에 대한 강우-유출 관계를 파악할 수 있는 방법을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 사용된 위성 강우자료는 CMORPH와 GSMaP_NRT자료를 사용하였고, 글로벌 지형자료는 GTOPO30 및 GLCC자료를 이용하였다. 유출분석을 위한 도구는 IFAS를 이용하였다. 강우 정확도 평가에서 관측강우자료와의 상관계수는 CMORPH 및 GSMaP_NRT에서 0.37 및 0.30로 분석되었다. IFAS를 이용한 유출분석에서 매개변수를 보정하지 않은 경우에도 위성 강우자료를 이용한 모의 침투유출량이 관측유출량과의 상대오차가 낮았다. 따라서 계측자료가 없는 유역에서의 적용성이 있는 것으로 사료된다. 향후 대표적인 비접근 지역인 북한지역에 대하여 위성강우 및 글로벌 지형자료를 이용하여 유출분석에 활용할 계획이다.

주요어 : CMORPH, GSMaP, IFAS, GTOPO30, GLCC, 물산업

ABSTRACT

The objective of this study is to suggest a method for estimating rainfall-runoff relationship using runoff analysis with satellite rainfall and global geographic data for the region due to lack of observed data. This study uses CMORPH and GSMaP_NRT as satellite rainfall data, and GTOPO30 and GLCC as global geographic data. IFAS is used for runoff modeling. In the evaluation of rainfall data, the correlation coefficients of CMORPH and GSMaP_NRT with observed data are 0.37 and 0.30 respectively. Calculated peak runoffs using IFAS show small relative errors with observed data in case of parameters are not calibrated with satellite rainfall data. Therefore, the

2013년 12월 27일 접수 Received on December 27, 2013 / 2014년 3월 5일 수정 Revised on March 5, 2014 / 2014년 3월 7일 심사완료 Accepted on March 7, 2014

1 한국건설기술연구원 수자원연구실 Water Resources Research Division, Korea Institute of Construction Technology

* Corresponding Author E-mail : ktkim1@kict.re.kr

methods suggested in this study could be applied to ungauged watershed. In the future, this study will analyze runoff for North Korea, a representative inaccessible region, using satellite rainfall and global geographic data.

KEYWORDS : CMORPH, GSMaP, IFAS, GTOPO30, GLCC, Water Industry

서론

전 세계 인구 증가와 개도국의 급속한 경제 발전에 기인한 물 수요의 급증과 기후변화에 따른 수재해(가뭄, 홍수 등)의 빈도 및 강도의 증가로 '21세기 블루골드(Blue Gold)'라 불리는 물과 관련된 산업이 주목받고 있다. GWI(Global Water Intelligence)에 따르면 세계 물 시장은 약 5천억 달러 규모(2010년 기준)로서 2025년 미래 물산업 시장은 2007년 대비 약 2.5배 정도 성장할 것으로 예측하고 있다(GWI, 2010).

기존의 물시장은 상하수도 및 담수화, 재이용 중심의 대체수자원이 물산업의 주를 이루었으나 기후변화에 대응하는 통합 물관리가 요구되고 있으며, 이에 따라 새로운 물산업은 유역 종합개발로의 해외진출 범위가 확대되고 있는 추세이다(Kim, 2011).

미래 성장 동력으로서 시장 잠재력이 큰 물산업의 해외 진출을 위해서는 지역의 수문학적 특성을 미리 이해하는 것이 중요하며, 수문 순환 연구의 기초라 할 수 있는 강수 특성의 파악은 매우 핵심적인 사항이라 할 수 있다.

대부분의 물 산업 진출 대상 국가는 미계측 유역이 많고 지상에서 계측된 수문 자료가 부족한 실정이며 이럴 경우 기상 위성을 이용하여 추정된 강수량 자료가 해당 지역의 강수 특성을 파악하는데 중요한 자료로 이용될 수 있다. 또한, 강수관측 레이더 센서가 탑재될 GPM(Global Precipitation Measurement) 프로그램이 진행되고 있으며, 2014년 GPM Core 위성이 성공적으로 발사가 이루어지면 위성을 이용한 강수량 관측 분야의 발전은 진일보할

것으로 기대되고 있다(Kim and Kim, 2012).

위성영상으로부터 유도된 강수량 자료의 정확도 평가에 관한 연구는 해외 여러 지역에서 시도되고 있으며, 인도네시아 Citarum 유역(2,310 km²)에 대한 적용에서 지상관측자료와 CMORPH자료의 비교에서 시간강우자료 및 일일 강우자료 비교연구에서는 각각 $r^2=0.89$ 와 $r^2=0.84\sim 0.93$ 로 매우 상관성이 높은 것으로 분석되었으나(Takara *et al.*, 2010), 남아메리카의 아마존 유역의 일일강수량자료는 $r^2=0.1$, Iguacu유역의 년강수량자료 비교에서 $r^2=0.72$ (Pevejral Filho *et al.*, 2010), 그리고 아프리카 나일강의 Gilgel Abbay유역의 시간강수량자료의 상관계수는 0.27이하로 매우 낮은 상관관계가 있음을 보여주고 있어(Haile *et al.*, 2013) 대륙별 및 연구자별 큰 차이를 보이는 것으로 보고되고 있다.

국내의 경우 이에 대한 연구는 매우 미진한 상태로 위성강우자료의 정확도 평가에 관한 연구에서 AWS 강우자료를 활용한 위성관측치의 검증과 강우의 일변화 연구(Sohn, *et al.*, 2010)와 Kim *et al.*(2013a)이 CMORPH 위성 강우자료의 정확도 평가에서 시간해상도 및 공간 규모별에 따른 정확도를 평가한 바 있다. 유출분석에서 위성강우자료를 이용한 연구로는 Kim *et al.*(2013b)이 충주댐 유역을 대상으로 일단위 유출특성 모의결과 다중위성강우 중 TMPA가 유출모의 활용성이 있음을 제시한 바 있다.

본 연구에서는 계측수문자료가 부족하거나 혹은 접근 불가능한 유역의 유출분석을 위해 USGS, UNEP 등에서 제공하고 있는 광역적 지형자료와 위성으로부터 유도된 강수량 자료를

이용하여 검증 가능한 국내의 유역을 대상으로 유출분석을 수행하여 미계측/비접근 지역에 대한 유출분석의 적용성을 평가하는 것을 목적으로 하고 있다.

위성강우자료

위성자료를 이용한 강수량 추정 방법은 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째로 적외선 영상(IR)을 이용하는 방법이다. 이는 간접적인 강수량 추정 방법으로 적외선 영상은 구름 상부의 열적 정보를 갖고 있기 때문에 운정 온도(Cloud Top Temperature)나 구름의 형태 등을 강수와 연관시키는 방법이다. 대표적인 방법으로 국내의 COMS(Communication, Ocean, and Meteorological Satellite)위성의 산출 알고리즘 등이 있다. 두 번째로 마이크로파를 이용하는 방법은 마이크로파(Microwave)가 강수층을 통과하면서 강수 입자에 의해 산란되거나, 또는 강수층에서 마이크로파가 방출되는 성질을 이용한다. 적외선 영상을 이용하는 방법보다는 직접적이고 물리적인 강수량 추정 방법이라 할 수 있다. 대표적인 산출 알고리즘은 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)의 Microwave Imager(TMI) 등이 있다. 세 번째로 적외기반 및 마이크로파 알고리즘을 합성한 위성강우 추정하는 방법이 있으며 대표적인 위성강우자료는 GSMaP(Global Satellite Mapping of Precipitation), CMORPH(CPC MORPHing technique), TRMM HQ/VAR(3B42) 등이 있다.

1. CMORPH

CMORPH란 NOAA CPC에서 개발한 것으로 강수량 추정을 위하여 애니메이션에서 주로 사용되는 모핑(Morphing)기술을 이용하는 것이다. CMORPH는 저궤도 위성(약 850km)에서 관측되는 마이크로파 관측 값과 정지 위성(약 34,000km)에서 관측되는 IR 영상에서 유도되

는 이동장 정보를 이용하여 시·공간적으로 매우 고해상도로 생산되는 전지구 강수량 관측자료라 할 수 있다.

현재 DMSP(Defence Meteorological Satellite Program) 13, 14, & 15 위성의 SSM/I(Special Sensor Microwave Imager), 그리고 NOAA-15, 16, 17& 18 위성의 AMSU-B(Advanced Microwave Sounding Unit), NASA Aqua 위성의 AMSR-E(Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS), TRMM spacecraft의 TMI에서 각각 제공되는 마이크로파 관측 값을 이용하여 강수량을 추정하고 있다. CMORPH의 지역적 제공범위는 60°N-60°S이고 2002년 12월부터 제공되고 있으며 30분 간격으로 전지구 강수량 추정 값을 생산하여 제공하고 있으며, 글로벌 재난감시, 강수일변화 관측, 수치모델의 초기입력자료 및 수치모델의 강수예측 검증 등에 활용되고 있다.

2. GSMaP

GSMaP 프로젝트는 2002년 일본 과학기술청(JST: the Japan Science and Technology Agency)의 지원으로 시작되었다. GSMaP은 신뢰성 있는 마이크로파 방사계 알고리즘(microwave radiometer algorithms)을 개발하여 위성에서 관측되는 마이크로파 방사방계 자료를 이용한 고해상도 전지구 강수지도 생산하고, 다가오는 GPM시대를 위하여 다중 위성자료를 이용한 전지구 강수지도 개발 기술을 준비하고자 하는데 있다(Tomoo Ushio and Misako Kachi, 2010).

GSMaP_MVK 자료는 전지구를 대상으로 1시간과 0.1°의 시공간해상도로 강우추정자료를 생산하기 위해 Kalman filter 모형을 이용하고 있다. 마이크로파 강수량자료와 이동벡터장을 계산하기 위해 연속적인 적외선 영상(IR)자료를 이용하고 있으며, 적외선의 밝기온도와 지표면 강수량 사이의 관계를 Kalman filter 모형을 이용하여 재정립하여 최종적인 강수량자료를 생

산하고 있다.

한편, 마이크로파 강수자료에 이동벡터장(Motion Vector)만 적용한 자료를 GSMaP_MV라고 하고, Kalman filter 모형의 forward propagation process만 적용한 준실시간 강수자료는 GSMaP_MVK_RT라 한다. 최근에는 JAXA EORC(Earth Observation Research Center)에서는 기존 GSMaP 표준시스템에 비해 추가적인 보조 자료를 이용하여 관측 후 4시간안에 1시간 강수자료를 생산하여 제공하는 개선된 GSMaP_NRT(Global Rainfall Map in Near Real Time)을 개발하였고, GSMaP_NRT¹⁾는 인터넷을 통해 무료로 제공되고 있으며, 개발도상국에 저궤도/정지궤도 기상위성으로부터 생성한 홍수, 가뭄 등 자연재해 감시 자료 지원 및 무상 사용자 교육 등을 실시하고 있다.

연구대상 유역

위성으로부터 유도된 강수자료와 광역 지형 자료를 이용한 미세측/비접근 지역의 적용을 위해 우선 국내의 관측자료로부터 검증 가능한 금강의 갑천유역을 대상으로 유출분석을 수행하였다. 이 유역의 상류지역은 산림지역 및 농경지 지역이고 중하류로 내려오면서 대규모의 도시지역이 형성되어 있는 지역이다.

유역의 최남단 지점인 충청남도와 전라북도의 도경계에 있는 대둔산(EL. 877.7m)에서 발원하여 북서쪽으로 유하하다가 두계천, 금곡천, 매노천과 차례로 합류한다. 이후 대전광역시 부근에서부터는 북향으로 유향을 바꾸어 대전광역시를 관통하여 흐르며, 유성천과 합류하고, 갑천의 제1지류인 유등천과 합류한 후 대전광역시의 경계를 벗어나면서 금강으로 유입된다. 갑천 유역의 경우에도 금강홍수통제소의 회덕 관측소를 기준으로 약 609km²의 유역면적을 가지며, 산림지역이 59.8%, 농업지역이 15.8%, 그리고 도시지역이 15.6%를 차지하고 있다(KICT, 2010).

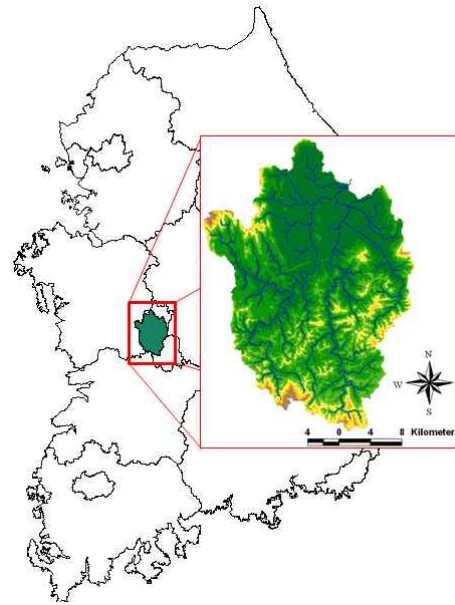


FIGURE 1. Overview of the study area

1. 강우자료 분석

위성 강우자료로는 2012년 6월 1일부터 7월 31일까지의 CMORPH 및 GSMaP_NRT 시간 강우자료를 활용하였다. 위성강우자료의 정확도 평가를 위해 기상청의 시간강우자료를 활용하였다. 평가결과 표 1에서 보는바와 같이 각 강우 사상별 총우량의 경우 대체적으로 지상관측자료(평균 59.7mm)보다 CMORPH강우자료(평균 89.7mm)가 과대 추정되었고, GSMaP_NRT자료의 평균강우는 44.7mm로 과소하게 추정되었다. 위성관측자료와 지상관측자료와의 상관계수 분석결과는 CMORPH의 경우 0.17에서 0.51정도(평균 0.40)로 평가되었고, GSMaP_NRT의 경우 0.14~0.67(평균 0.35)로 CMORPH 위성강우자료가 상관계수가 좀 더 높게 나왔으나 두 위성강우자료 모두 평균적으로 “보통의 양의 상관관계(Rea와 Parker, 2005)”를 갖는 것으로 분석되었다.

TABLE 1. Summery statistics for hourly precipitation(unit : mm)

event	duration	CMORPH	Weather Station	GSMaP_NRT	Correlation Coef.	
					CMORPH	NRT
#01	6/29 20:00 - 6/30 19:00	54.2	39.9	62.5	0.47	0.51
#02	7/05 05:00 - 7/06 16:00	173.5	119.5	71.1	0.53	0.68
#03	7/10 14:00 - 7/11 12:00	32.4	28.7	23.1	0.17	0.14
#04	7/14 09:00 - 7/16 19:00	61.1	73.0	30.4	0.56	0.37
#05	7/17 04:00 - 7/19 10:00	127.5	37.6	36.4	0.27	0.04

2. 공간자료

광역의 공간자료는 Elevation data의 경우 GTOPO30, Hydro1K, Global Map 등이 있으며, Landuse/Landcover 자료는 GLCC, Global Map, 토양 및 지질자료는 Soil Classification, Soil depth, Soil water holding capacity, Geological classification 자료 등이 있다.

GTOPO30는 글로벌 고도 데이터베이스이며, NASA(National Aeronautics and Space Administration)를 포함한 UNEP/GRID (United Nations Environment Programme/Global Resource Information Database), NIMA(National Imagery and Mapping Agency), USAID(U.S. Agency for International Development), INEGI(Instituto Nacional de Estadística y Geografía of

Mexico), GSI(Geographical Survey Institute of Japan), 그리고 SCAR(Scientific Committee on Antarctic Research) 등 8 개의 기관에 의해 제공되는 데이터로부터 처음 만들어졌다. 수평 좌표 시스템은 WGS84 기준으로 위경도로 되어 있으며, 수평 그리드 1km 간격으로 21,600 행과 43,200 열의 크기를 갖는다. 그림 2는 GTOPO30의 자료를 이용하여 금강의 갑천유역을 추출하여 나타낸 것이다.

GLCC(Global Land Cover Characteristics)는 AVHRR자료를 바탕으로 미국 지질 조사국(USGS), 네브래스카-링컨(UNL, University of Nebraska-Lincoln) 대학, 그리고 유럽위원회(Commission of the European Communities)의 공동 연구 센터(European Commission's Joint Research Centre)에 의해 만들어진 데이터로 1 km 해상도를 갖는 글로벌 토지 피복 특성 데이터베이스이다 토지 이용 특성은 24개

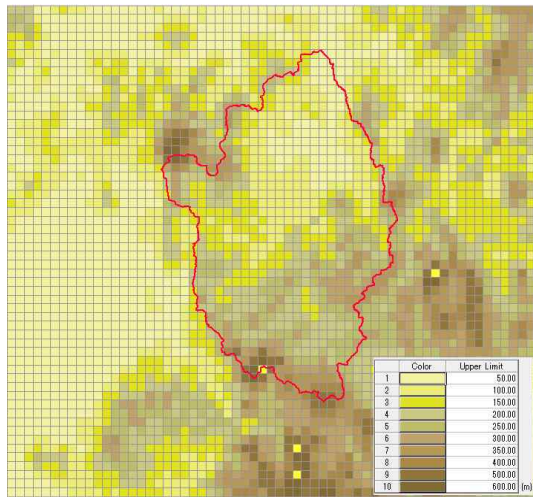


FIGURE 2. Elevation data(GTOPO30)

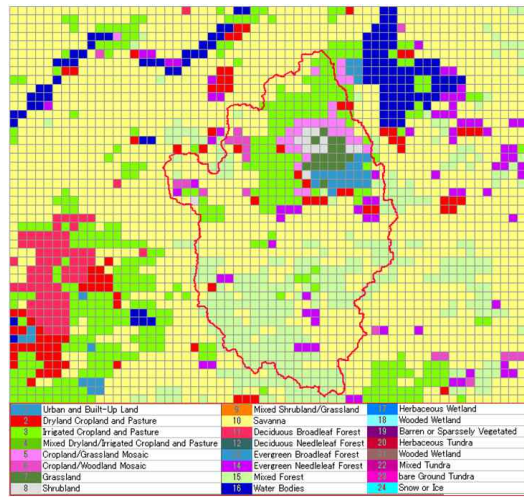


FIGURE 3. Land use(GLCC)

항목으로 분류되어 있다(ICHARM, 2009). 그림 3은 GLCC데이터로부터 금강의 갑천유역을 추출한 토지피복도이다.

3. 분석엔진

ICHARM(the International Centre for Water Hazard)에서는 개발도상국의 보다 효과적이고 효율적인 홍수예보를 위한 도구로서 전 지구 위성 강우자료를 이용한 간단한 홍수-유출해석 시스템인 IFAS (Integrated Flood Analysis System)을 개발하여 보급하고 있다.

IFAS는 유출 모의 엔진인 PWRI(Public Works Research Institute, Japan) 분포형 모델(ver2)을 이용하며, 아래와 같은 특징을 갖는다.

- ① 각 격자의 유출은 비선형 탱크 모델에 의해 추정된다.
- ② 모델은 지형, 토양, 지질, 그리고 토지이용 정보를 이용하고, 단순하게 매개변수를 추정할 수 있다.
- ③ 저류계수에 대해 포화강우량은 홍수의 적합성을 향상시킬 수 있도록 각 홍수에 따라 변경될 수 있다.
- ④ 일반적으로 저류계수 방법을 이용한 홍수 모의의 증소형 홍수에 대한 적합성은 낮으나

증소형 홍수의 적합성을 강화하기 위해 2단 비선형 탱크로 구성된 것을 이용하고 있다.

⑤ 하도 추적에 대해 IFAS는 지체시간 계산을 위해 Kinematic wave 모델을 이용한다.

수직방향의 2단 탱크로 구성된 PWRI분포형 모델(ver 2)은 다음과 같이 구분한다. 지하침투, 지표면의 유출, 저류, 증발량 및 조기 중간 유출을 계산하는 지표면 모델과 지하수 유출을 계산하는 지하수 모델, 그리고 하도 흐름을 계산하는 하도모델의 3개의 모델로 구성되어 있으며, 이들 모델 각각에 대해 매개변수 조정을 통해 강우에 의한 유출현상을 모의한다.

PWRI 모델의 매개변수는 지표면 모델 매개변수는 최종침투능, 최고 저류깊이 등을 포함하여 8개의 매개변수가 있으며, 지하수 모델은 초기저류깊이, 기조유출 계수, 자연 중간유출 조절계수 매개변수를 그리고 하도폭, 하도 형상 등과 관련하여 9개의 하도모델 매개변수의 조정을 통해 강우에 의한 유출현상을 모의한다.

유역의 데이터 유무에 따른 매개변수 설정은 다음 표 2와 같이 관측 수문데이터 및 하도데이터가 존재 유무에 따라 4가지의 경우로 매개변수를 설정할 수 있다. 즉, 하도데이터와 관측 데이터 모두가 존재할 경우에는 PWRI의 지표

TABLE 2. Setting parameters with or without the river basin data

		Observed hydrological data	
		with	without
River channel data	with	<ul style="list-style-type: none"> • Verification and calculation on parameters of surface and groundwater models • Setting parameters of river channel 	<ul style="list-style-type: none"> • Setting parameters of river channel • Using standard value for surface and groundwatermodels
	without	<ul style="list-style-type: none"> • Verification and calculation on parameters of surface and groundwater models • Using standard value for parameters of river channel 	<ul style="list-style-type: none"> • Using standard value for all models

• Observed hydrological observation data: temporal flow data at flow calculated location. Including H-Q equation, using temporal data of water table data to calculate flow.

• River channel data: investigating figure of cross-section, plane map, local photos etc.. Data that can distinguish the river width, situation inner river channel (for setting roughness coefficient use).

Source : ICHARM(2009) IFAS Manual

면 및 지하수모델에 대한 매개변수 계산 및 검증이 가능하고 하도매개변수 설정할 수 있다. 그러나 하도데이터는 존재하나 관측 수문데이터가 없는 경우에는 존재하는 하도데이터를 이용하여 하도 매개변수를 설정하고 각 모델에 대한 매개변수값은 표준값을 이용한다. 그리고 관측 수문데이터는 존재하는데 하도에 대한 데이터가 부재할 경우에는 하도 매개변수는 표준값을 적용하고 PWRI 모델의 매개변수들은 계산 및 검증을 통해 매개변수를 설정한다. 미계측/비접근 유역과 같이 홍수 관측데이터가 없는 경우에 계산 및 매개변수 검증의 초기값으로 이용된다.

유출부하특성 분석

유출분석을 위해 앞서 언급한 바와 같이 NOAA의 CMORPH, JAXA의 GSMaP_NRT 자료를 이용하였다. 그림 4는 2012년 6월 1일부터 7월 31일까지의 국토교통부 금강홍수통제소에서 관리하는 갑천유역의 회덕 유량관측소의 유출량 자료와 기상청의 대전기상관측소의 자료를 나타낸 것으로 이 기간 동안의 위성강우와 지상관측강우에 대하여 정확도를 평가하였다. 그리고 이 중에서 규모가 큰 2번 및 4번 사상에 대하여 유출분석을 수행하였다. 또한 광

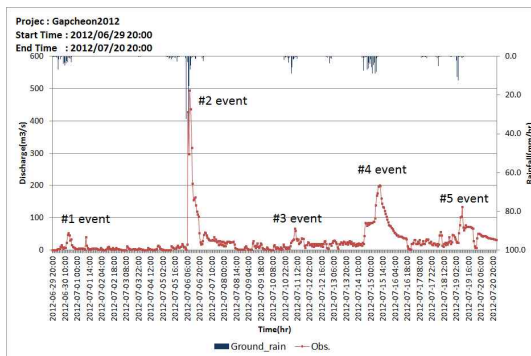


FIGURE 4. Observed stream flow

역지형자료는 Elevation data의 경우 UGSG의 GTOPO30를 이용하였고, 토지피복도 자료는 GLCC자료를 이용하였다.

유출분석을 위해 사용한 강우 및 광역 지형 자료의 처리 및 유출분석은 아래의 IFAS 구동 절차에 의해 진행되며, 그림 5는 IFAS를 이용한 유출분석의 한 예를 제시한 것이다.

IFAS의 세부적인 위성강우자료 및 광역 지형자료를 활용한 유출분석 처리절차는 다음과 같다.

첫째, Project Information에서는 분석하고자 하는 유역의 경위도 범위 입력 및 분석기간 입력한다.

둘째, Import GIS Data에서는 사용하고자 하는 광역 지형자료를 Import한다.

셋째, Basin Data Manager 모듈에서는 Import한 Elevation data를 이용하여 출구점을 선택하면 하천망도와 유역경계도가 생성된다.

넷째, Rainfall Data Manager 모듈에서는 Project Information에서 입력한 경위도 범위 및 분석기간에 대한 강우자료가 ASCII파일 형태로 저장되며, 여러 개의 위성강우자료와 지점 강우자료를 모두 입력자료로 활용할 수 있다.

다섯째, Parameter Manager 모듈에서는 3개의 매개변수 자료를 생성하며, 앞의 Basin Data Manager 모듈에서 생성한 유역경계도 및 하천

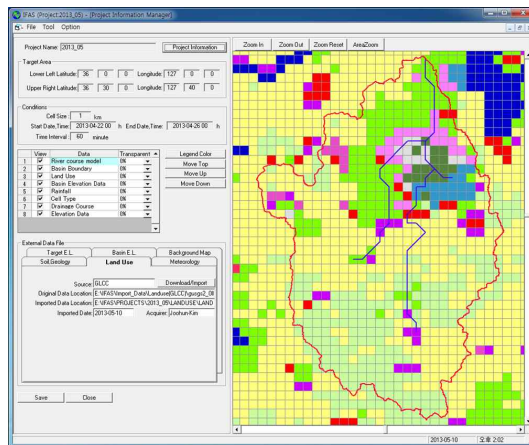


FIGURE 5. IFAS simulation

망도에 따라 기본값으로 입력되어 있고, 사용자가 필요에 의해 매개변수를 조정하게 되며, Surface, Aquifer, River Course 각각에 대해서 매개변수를 셋팅한다. Surface, Aquifer, River Course 각각에 대해서 매개변수를 셋팅하며, 여러 개의 매개변수 세트를 저장할 수 있다.

여섯째, Simulation Manager 모듈에서는 입력된 위성강우자료(1개 혹은 2개 이상도 가능)와 여러 개의 매개변수 세트 중에서 각각 한 개의 강우자료와 매개변수 세트를 선택하여 이상유무를 평가한다. 이상 유무 평가 후 이상이 없다면 조합된 강우와 매개변수 세트를 저장한 후 분석을 실행한다.

일곱째, Result Viewer에서는 분석된 결과에 대하여 유출분석 결과를 평가한다.

사상 2의 경우 강우량 분석에서 그림 6 및 그림 11은 CMORPH 위성강우자료의 누가강우량 자료의 공간분포를 나타낸 것이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 유역내 강우의 공간분포가 다르게 나타나고 있어 강우의 공간분포에 대한 유출분석은 분포형 모형의 활용이 필요함을 알 수 있다.

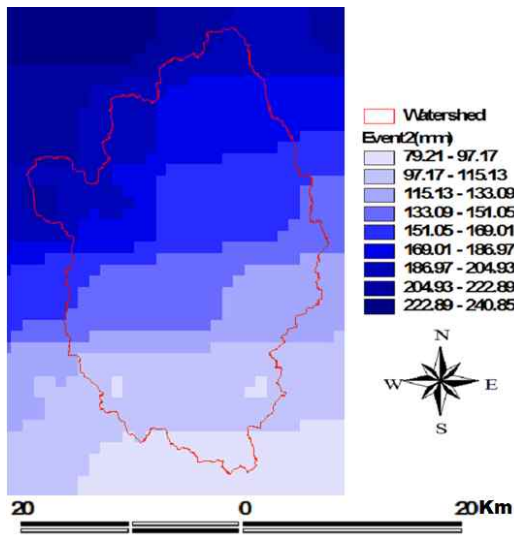


FIGURE 6. Spatial distribution of precipitation(#2)

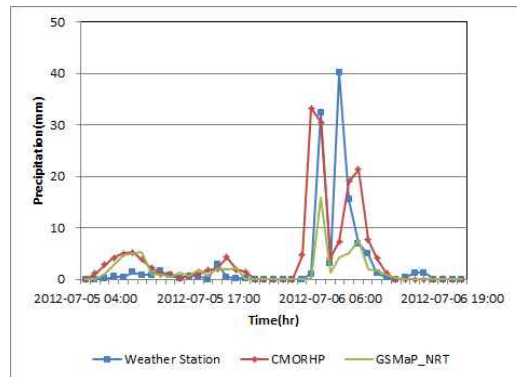


FIGURE 7. Time series of precipitation(#2)

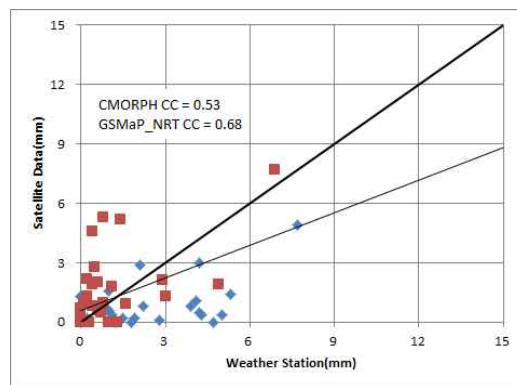


FIGURE 8. Scatter plots of comparison between satellite precipitation and ground measurement(#2)

시계열 강우자료는 그림 7과 같이 두 개의 위성강우자료가 지상 관측 자료와 유사한 경향을 나타내고 있으며, 두 위성강우의 상관계수(그림 8)는 CMORPH의 경우 0.53, GSMaP_NRT는 0.68로 분석되었다. 총우량은 표 1에서 언급한 바와 같이 기상관측소 자료는 119.5mm, CMORPH는 173.5mm, GSMaP_NRT는 71.1mm로 CMORPH는 과대하고, GSMaP_NRT 위성강우는 과소하게 평가되었다. 이들 세 개의 강우량 시계열 자료를 이용하여 유출분석한 결과는 그림 9 및 표 3과 같다.

표 3에서 보이는 바와 같이 갑천의 회덕관측소 관측 침투유출량은 478.6m³/s로 관측되었으

TABLE 3. Simulate result(#02)

Item	Total rain (mm)	Max rain (mm/hr)	Correlation coefficient	Peak flow(m ³ /s)		Relative err.(%)	
				Before calb.	After calb.	Before calb.	After calb.
Runoff				478.6			
Rain Gauge	117.2	33.3		389.9	415.9	18.5	13.1
CMORPH	147.0	32.9	0.53	492.7	454.7	2.9	5.0

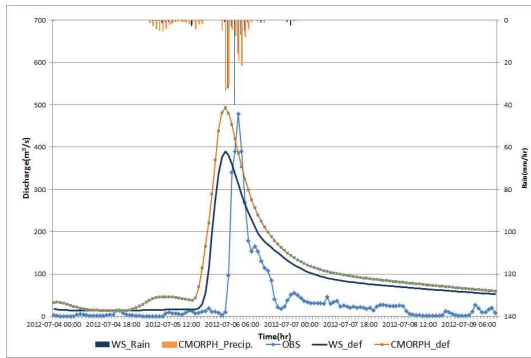


FIGURE 9. Simulation result (#2 before calib.)

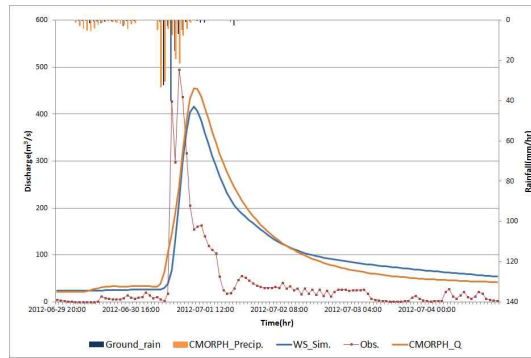


FIGURE 10. Simulation result (#2 after calib.)

며, 지상 관측소 강우량 자료를 이용한 유출분석에서 침투유출은 389.9m³/s로 분석되었고, CMORPH 위성강우자료를 이용한 유출분석에서는 492.7m³/s로 분석되어 관측자료와의 상대 오차는 각각 18.5%와 2.9%로 오히려 CMORPH의 위성강우자료가 더 정확한 유출분석을 나타내는 것으로 분석되었다. 일부 매개변수를 조정한 후 CMORPH 및 지상관측자료를 이용한 유출분석 결과는 그림 10과 같다.

사상 4의 경우 강우량 분석에서 그림 12는 CMORPH 위성강우자료와 지상 관측 자료의 시계열 자료를 나타낸 것이다. 사상 #2의 경우 지상 및 위성강우의 시계열 자료가 유사한 경향을 나타낸 반면, 사상 #4의 경우에 두 위성강우는 유사한 경향을 나타내고 있으나 지상계측 강우 자료는 두 위성자료와 다소 차이가 있는 것으로 분석되었다. 두 위성강우의 상관계수(그림 13)는 CMORPH의 경우 0.56, GSMaP_NRT는 0.37로 분석되었고, 총우량의 경우에는 기상관측소 자료, CMORPH 및 GSMaP_NRT의 순으

로 총우량이 각각 73.0mm, 61.1mm 및 30.4mm로 평가되었고, 이들 세 개의 강우량 시계열 자료를 이용하여 유출분석한 결과는 그림 14와 같다.

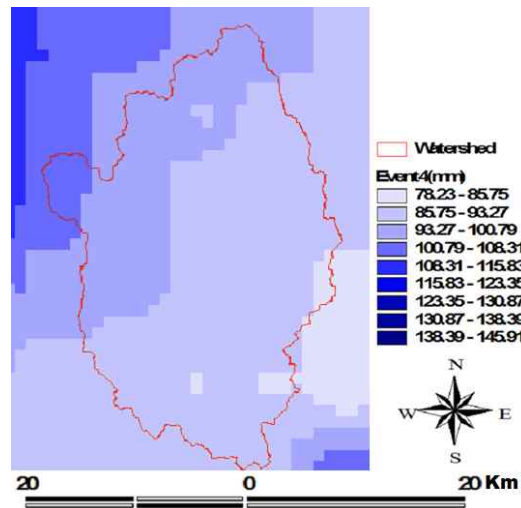


FIGURE 11. Spatial distribution of precipitation(#4)

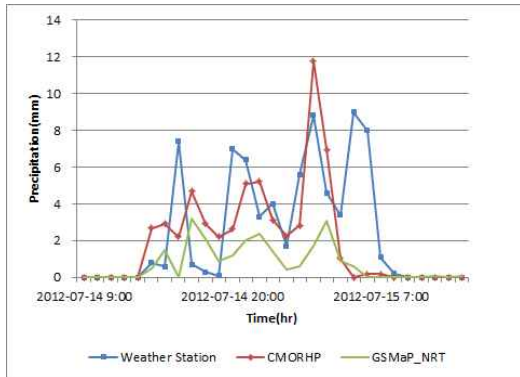


FIGURE 12. Time series of precipitation(#4)

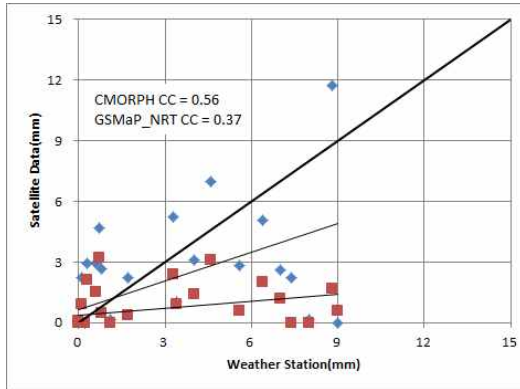


FIGURE 13. Scatter plots of comparison between satellite precipitation and ground measurement (#4)

표 4에서 보이는 바와 같이 지상관측자료 및 CMORPH 위성강우자료를 이용한 유출분석에서 첨두유출에 대한 관측자료와의 상대오차는 각각 13.0%와 25.5%로 분석되었다. 위성강우자료인 CMORPH의 유출분석에서 일부 매개변

수를 조정한 결과는 그림 15와 같다. CMORPH시계열 강우자료에 대한 매개변수 조정 후 도달시간은 1시간 더 지체되고 있으나 첨두유출량은 201.1m³/s로 상대오차는 0.5%로 분석되어 매개변수 조정에 의해 유출분석의 정확도를 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

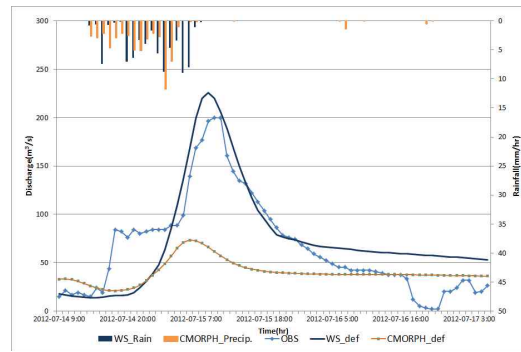


FIGURE 14. Simulation result (#4 before Calb.)

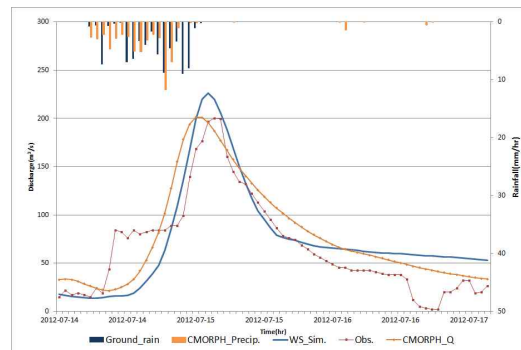


FIGURE 15. Simulation result (#4 after Calb.)

TABLE 4. Simulate result(#04)

Item	Total rain (mm)	Max rain (mm/hr)	Correlation coefficient	Peak flow(m ³ /s)		Relative err.(%)	
				Before calb.	After calb.	Before calb.	After calb.
Runoff				200.0			
Rain gauge	73.0	9.0		225.9	225.9	13.0	13.0
CMORPH	58.9	11.8	0.56	73.5	201.1	63.3	0.5

결 론

본 연구는 미래 성장 동력으로서 물산업의 해외 진출시 해당 국가에 대하여 위성으로부터 유도된 강우자료와 글로벌 지형자료를 이용하여 기본적인 강우-유출 관계를 파악함으로써 미계측/비접근 유역 또는 계측 수문자료가 부족한 지역에 적용할 수 있는 방법을 제시하는 것을 목적으로 하고 있다.

이를 위하여 유출 분석에서 검증이 가능한 국내의 갑천유역에 적용함으로써 미계측/비접근 지역에서의 강우-유출 분석의 적용성을 입증하고자 하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 수문자료가 부족하거나 미계측된 지역 혹은 접근이 불가능한 지역에서의 수문기상학적 특성을 파악할 수 있는 위성강우자료의 활용성을 평가하기 위하여 NOAA의 CMORPH 및 JAXA의 GSMaP_NRT 자료의 정확도를 평가하였다. 지상관측자료와의 상관계수 분석결과 CMORPH가 GSMaP_NRT 보다 상관관계수가 더 큰 것으로 분석되었다.

둘째, 전지구 위성강우자료와 글로벌 지형자료를 이용하여 유출분석을 수행하였다. 유출분석 결과 관측된 유출결과와 유사한 형태의 유출양상을 나타내고 있으며, 첨두유출의 경우에서 #2사상의 경우 매개변수를 조정하지 않은 상태에서의 유출분석 결과 관측유출량과의 상대오차가 2.9%로 나타났고, #4사상의 경우에 매개변수 조정 전에는 63.3%의 상대오차를 보였으나 매개변수 조정 후 첨두유출량에 대한 상대오차가 매우 작아지는 것으로 평가되었다.

본 연구결과는 국내 유역에서 위성강우자료의 수문학적 활용 가능성을 평가하였고, 결론적으로 계측자료가 없는 유역에서의 적용성이 있음을 확인하였다. 향후 대표적인 비접근 지역인 북한지역의 홍수사례에 대하여 분석함으로써 미계측/비접근 유역에 대한 위성강우자료를 이용한 유출분석에 활용하고자 한다.

주

1. <http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index.htm>.

감사의 글

본 연구는 한국항공우주연구원의 주요사업(사업명: 위성정보 공공활용 사업, 과제명: 위성영상을 활용한 하천정보생산 및 활용에 관한 연구)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다. **KAGIS**

REFERENCES

- GWI. 2010. Global Water Market 2011.
- Haile, A.T., E. Habib and T. Rientjes. 2013. Evaluation of the climate prediction center(CPC) morphing technique(CMORPH) rainfall product on hourly time scales over the source of the Blue Nile river. Hydrological Processes 27(12):1829-1839.
- ICHARM. 2009. Integrated Flood Analysis System(IFAS v1.2) User's Manual.
- KICT. 2010. Satellite information public application project- a study on river information production and application using satellite images. Research Report (한국건설기술연구원. 2010. 위성정보활용 지원운영-위성영상을 활용한 하천정보 생산 및 활용에 관한 연구. 연구보고서).
- Kim, D.H. 2011. A study on the export strategies of the water industry. Proceedings of Water Industry Export Strategies (김동환. 2011. 물산업 해외진출 활성화 방안. 물산업 해외진출 전략 세미나 자료집).
- Kim, J.H., K.T. Kim and Y.S. Choi. 2013a. Fitness evaluation of CMORPH

- satellite-derived precipitation data in Korea. *Journal of Wetlands Research* 15(3):339-346 (김주훈, 김경탁, 최윤석. 2013a. 한반도의 CMORPH 위성강수자료 정확도 평가. *한국습지학회논문집* 15(3):339-346).
- Kim, J.P., K.W. Park, L.W. Joung and G.S. Kim. 2013b. Application of high resolution multi-satellite precipitation products and a distributed hydrological modeling for daily runoff simulation. *Korea Journal of Remote Sensing* 29(2):263-274 (김종필, 박경원, 정일원, 한경수, 김광섭. 2013b. 고해상도 다중위성 강수자료와 분포형 수문모형의 유출모의 적용. *대한원격탐사학회 논문집* 29(2):263-274).
- Kim, K.T. and J.H. Kim. 2013. Introduce for case study of rainfall observations and application using satellite. *Magazine of Korea Water Resources Association (Water for future)* 46(4):66-75 (김경탁, 김주훈. 2013. 인공위성을 이용한 강우 관측자료 및 활용 사례 소개. *한국수자원학회지* 46(4):66-75).
- Pereira Filho, A.J., R.E. Carbone, J.E. Janowiak, P. Arkin, R. Joyce, R. Hallak and C.G.M. Ramos. 2010. Satellite rainfall estimates over South America - possible applicability to the water management of large watersheds. *Journal of the American Water Resources Association* 46(2):344-360.
- Rea, L.M. and R.A. Parker. 2005. *Designing & Conducting Survey Research: A Comprehensive Guide* (3rd Edition). Jossey-Bass, San Francisco, CA.
- Sohn, B.J., H.J. Han and E.K. Seo. 2010. Validation of satellite-based high-resolution rainfall products over the Korean peninsula using data from a dense rain gauge network. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 49(4):701-714.
- Takara, A.K., Y. Yamashiki, K. Sassa, A.B. Ibrahim and H. Fukuoka. 2010. A distributed hydrological-geotechnical model using satellite-derived rainfall estimates for shallow landslide prediction system at a catchment scale. *Landslides* 7(3):237-258.
- Tomoo Ushio and Misako Kachi. 2010. Kalman filtering applications for global satellite mapping of precipitation (GSMaP). In: G. Mekonnen and H. Faisal(ed). *Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology*. Springer, pp.105-123. **KAGIS**