

위성 강우자료를 이용한 북한지역 홍수량 추정

김주훈^{1*} · 최윤석¹ · 김경탁¹

Flow Estimation Using Rainfalls Derived from Multiple Satellite Images in North Korea

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

요 약

본 연구는 위성으로부터 유도된 위성강우자료와 글로벌 지형자료를 활용하여 대표적인 비접근 지역인 북한지역의 청천강 상류에 위치한 동신군 지역을 대상으로 홍수량을 추정하는 것을 목적으로 하였다. 북한지역 홍수량 추정을 위한 모형은 IFAS를 이용하였고, 검증이 가능한 국내의 갑천 유역에 대하여 모형에 대한 매개변수를 보정하였다. 모형의 검증을 위하여 낙동강의 병성천 유역을 대상으로 수행하였다. 북한지역에 대한 위성강우를 이용한 분석에서 지상계측 자료를 이용하여 위성강우자료를 수정하였다. 수정된 위성강우를 이용한 유출분석에서는 첨두유출량이 CMORPH가 4,885.8m³/s, GSMaP_NRT가 5,717.5m³/s의 유출이 발생하는 것으로 분석되었다. 향후 더 많은 강우사상을 적용 및 검증을 통해 미계측/비접근 지역에 대한 수문분석에 활용할 계획이다.

주요어 : CMORPH, GSMaP, IFAS, Global Map, 북한, 홍수

ABSTRACT

The objective of this study is to estimate the flood flow of inaccessible regions using satellite-derived rainfall and global geographic data. This study focuses on Dongsingun, an area located upstream of the Cheongcheon River in North Korea. The IFAS model was used to estimate flood flow. The model was calibrated in the Gap Stream watershed in South Korea and verified for the Byeongsung Stream watershed in the Nakdong River basin. Satellite-derived rainfalls for North Korea was revised using ground gauge data. Analysis results using CMORPH and GSMaP_NRT showed 4,886m³/s and 5,718m³/s respectively. In future studies, hydrological analysis in unmeasured and inaccessible regions will be carried out by applying more rainfall events.

2015년 9월 19일 접수 Received on September 19, 2015 / 2015년 11월 9일 수정 Revised on November 9, 2015 / 2015년 12월 2일 심사완료 Accepted on December 2, 2015

¹ 한국건설기술연구원 수자원·하천연구소 Dept. of Hydro Science and Engineering Research, KICT
* Corresponding Author E-mail : jh-kim@kict.re.kr

KEYWORDS : CMORPH, GSMaP, IFAS, Global Map, North Korea, Flood

서 론

북한의 수자원 현황을 분석하고 미래를 전망하는 일은 수자원분야 전문가들의 공통 관심사 중 하나이다(Ahn and Youn, 2010). 북한 수자원 및 용수수급 등에 관한 연구는 2000년대 이전에는 공유하천에서의 홍수발생에 대한 연구(Woo *et al.*, 1996; Lee, 1999)와 금강산 댐 건설의 영향(Sonu, 1986) 등에 대한 연구가 주를 이루었고, 2000년대 이후에는 2000년 남북정상회담 이후 2004년 임진강 남북 공동 현지 조사 등 수해방지 대책 수립에 합의하는 등 활발히 진행되어 오다가 남북관계가 경색되면서 지속적인 연구가 이루어지지 못하고 있는 현실이며, 현재는 북한기상 및 수자원 관련 자료들은 대부분 국제기구 또는 북한의 언론보도를 통해 제시하고 있는 자료를 바탕으로 간접적으로 확인하고 있는 상태이다.

기후변화 및 자연재해와 관련해서 독일의 환경단체인 저먼워치(Germanwatch)에 따르면 2013년도 글로벌 기후 리스크 지수(Global Climate Risk Index 2013)는 태풍, 홍수, 폭염 등 기후 관련 사고가 각국에 미치는 영향을 분석하는데 2011년 및 1992년에서 2011년까지의 최근 데이터에 기반한 분석에서 2012년에 가장 큰 영향을 받는 국가 중 북한이 7위를 차지하고 있으며, 한국은 59위를 차지하는 것으로 보고하고 있다(Harmeling and Eckstein, 2012).

벨기에 루뱅대학 재난역학연구소는 “2005년 이후 북한에서 발생한 대규모 자연재해가 약 542만명에 영향을 미쳐 1,400여명이 목숨을 잃었다”고 밝히고 있으며, 또한 이 연구소의 2012년 재난 통계 분석보고서에 따르면 북한은 자연재해로 인한 사망자가 10만명당 0.6명으로 인구대비 자연재해 피해 규모가 세계에서 10번째로 큰 국가라고 밝히고 있다.

북한의 조선중앙통신 보도에 의하면 2013년

7월 12일과 17일의 두 차례 홍수로 7명이 사망 실종되었으며, 2012년 8월 황해도 지역 홍수로 6명이 사망했다고 보도하고 있다.

이와 같이 북한의 홍수로 인한 피해는 매우 심각한 상태임에도 불구하고 북한의 폐쇄적인 정책으로 인해 수문학적 규모 등 정보획득이 매우 어려운 것이 현실이다. 이에 대한 대안으로 위성으로부터 획득한 정보와 글로벌 지형정보를 이용하면 개략적으로나마 북한의 수자원 또는 홍수로 인한 재해에 대해 확인할 수 있다.

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

국내의 경우 이에 대한 연구는 매우 미진한 상태로 위성강수량자료의 정확도 평가에 관한 연구에서 AWS 강수량자료를 활용한 위성관측치의 검증과 강우의 일변화 연구(Sohn, *et al.*, 2010)와 Kim *et al.*(2013b)이 CMORPH 위성 강수량자료의 정확도 평가에서 시간해상도 및 공간 규모별에 따른 정확도를 평가한 바 있다. 유출분석에서 위상강수량자료를 이용한 연구로는 Kim *et al.*(2013a)이 충주댐 유역을 대상으로 일단위 유출특성 모의결과 다중위성강우 중 TMPA가 유출모의 활용성이 있음을 제시한 바 있으며, Kim *et al.*(2014)이 금강유역의 갑천 유역에 대한 홍수사상에 대한 유출모의를 수행한 바 있다.

본 연구는 위성으로부터 유도된 위성강우자료와 글로벌 지형자료를 활용하여 대표적인 비접근 지역인 북한지역에 대하여 북한 조선중앙통신이 보도한 2013년도 홍수사상을 대상으로 청천강 상류에 위치한 동신군 지역의 홍수량을 추정하는 것을 목적으로 하였다.

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 위성강우 자료는 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 관측 자료라 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, 수치모형의 초기입력자료 및 수치모형의 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 방사계 자료를 이용한 고해상도 전지구 강수지도 생산하고, 다가오는 GPM시대를 위하여 다중 위성 자료를 이용한 전지구 강수지도 개발 기술을 준비하고자 하는데 있다(Ushio and Kachi, 2010).

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

료를 생산하고 있다.

한편, 마이크로파 강수자료에 이동벡터장(Motion Vector)만 적용한 자료를 GSMaP_MV라고 하고, Kalman filter 모형의 forward propagation process만 적용한 준실시간 강수 자료는 GSMaP_MVK_RT라 한다. 최근에는 JAXA EORC(Earth Observation Research Center)에서는 기존 GSMaP 표준시스템에 비해 추가적인 보조 자료를 이용하여 관측 후 4시간 안에 1시간 강수자료를 생산하여 제공하는 개선된 GSMaP_NRT(Global Rainfall Map in Near Real Time)을 개발하였고, GSMaP_NRT(<http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index.htm>)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 위

해 북한의 2013년도 홍수사상에 대하여 분석을 수행하였다. 2013년도 7월의 홍수에 대하여 북한 조선중앙통신은 “(북한의) 기상수문국 통보에 의하면 올해 장마 시작 이후 20일 동안 평균 강우량의 2배 가까운 비가 내렸으며, 특히 19일 오후 9시부터 21일 오후 3시 사이 자강도 동진군에 413mm, 송원군에 383mm, 희천시에 322mm, 평안북도 태천군에 380mm, 향산군에 312mm, 동창군에 304mm의 폭우가 쏟아졌다”고 보도하였다. 이들 지역은 그림 1과 같이 북한의 중부지방에 해당하는 지역이다.

유출부하특성 분석

1. 모형 검정

북한의 청천강 상류 지역인 동진군 지역(유역면적 약 1,114km²)에 대한 유출분석을 수행하기 위하여 우선 국내의 관측자료로부터 검증 가능한 금강의 갑천유역을 대상으로 유출분석을 수행하였다. 이 유역의 상류지역은 산림지역 및 농경지 지역이고 중하류로 내려오면서 대규모의 도시지역이 형성되어 있는 지역이다.

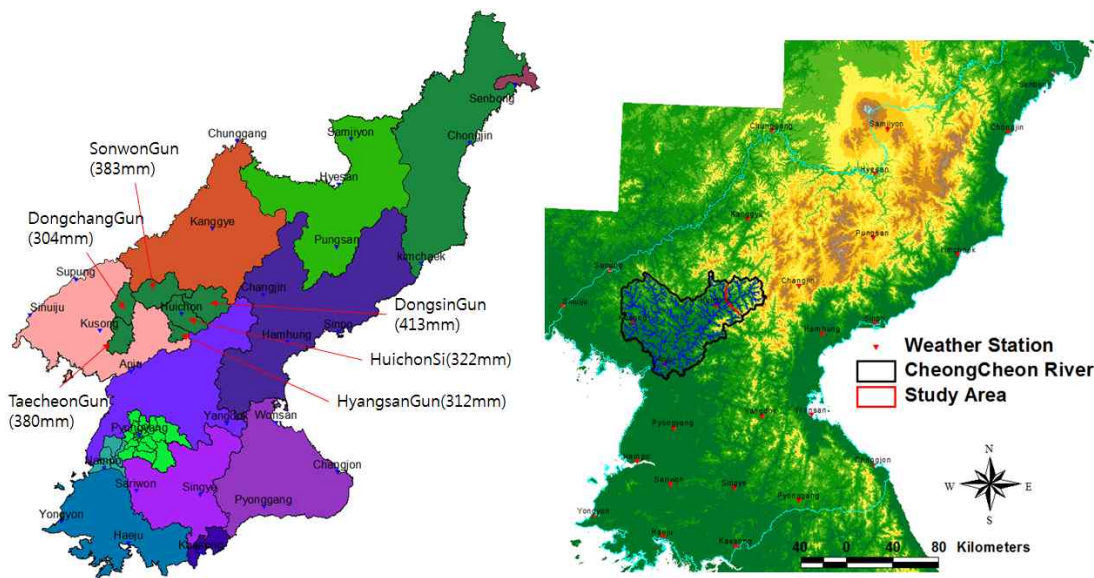


FIGURE 1. Study area(upstream of the Cheongcheon river)

TABLE 1. Surface model parameters

No	SKF	HFMXD	HFMND	HFOD	SNF	FALFX	HIFD
1	0.0005	0.1	0.01	0.005	0.7	0.8	0
2	0.00002	0.05	0.01	0.005	2	0.6	0
3	0.00001	0.05	0.01	0.005	2	0.5	0
4	0.000001	0.001	0.0005	0.0001	0.1	0.9	0
5	0.00001	0.05	0.01	0.005	2	0.5	0

유출분석을 위한 강우량 자료는 NOAA의 CMORPH, JAXA의 GSMaP_NRT의 위성으로부터 유도된 강우자료를 이용하였다. 지상계측 자료는 국토교통부 금강홍수통제소에서 관리하는 갑천유역의 회덕 유량관측소의 유출량 자료와 인동, 신대, 방동, 유성, 회덕의 강우관측소의 자료로 2012년 7월 4일부터 7월 8일까지의 자료를 이용하였다.

IFAS의 지표면 유출 매개변수는 시행착오법에 의해 조정하는 최종침투능(SKF), 최대저류깊이(HFMXD), 조기 중간유출이 발생하는 곳의 깊이(HFMND), 지하수 침투가 발생하는 깊이(HFOD), 조기 중간유출 조절계수(FALFX)

등이 있으며, 토지피복특성에 따른 표면조도계수(SNF) 등이 있다. 본 연구에서 사용한 매개변수 값은 표 1과 같다.

표 1과 같이 보정된 매개변수를 이용하여 위성강우자료인 GSMaP_NRT와 그림 2와 같이 적용하였다. 두 위성강우의 총강우량 및 최대강우강도는 표 2에 나타내었다. 표 2에서 보는 바와 같이 GSMaP_NRT 강우는 지상계측 강우자료보다 과소하게 추정되었고, CMORPH는 과다하게 추정되었다. 두 강우자료를 적용한 결과 GSMaP_NRT 및 CMORPH의 침투유출량은 각각 110.2m³/s, 741.1m³/s로 나타났다. 위성강우를 지상계측강우자료 총강우인 123.6mm로

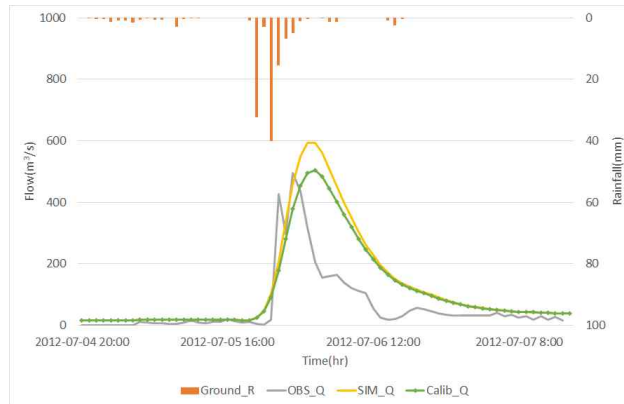


FIGURE 2. Calibration of flow in Gap stream

TABLE 2. Revision of satellite-derived rainfall in the gap stream

Item	Total rainfall(mm)		Max rainfall(mm/hr)		Max rain Relative Err.(%)	
	Original	Revison	Original	Revison	Original	Revison
Rain Gauge	123.6		40.1			
GSMaP_NRT	78.0	123.6	20.7	32.8	48.4	18.3
CMORPH	199.3	123.6	47.6	29.5	18.8	26.4

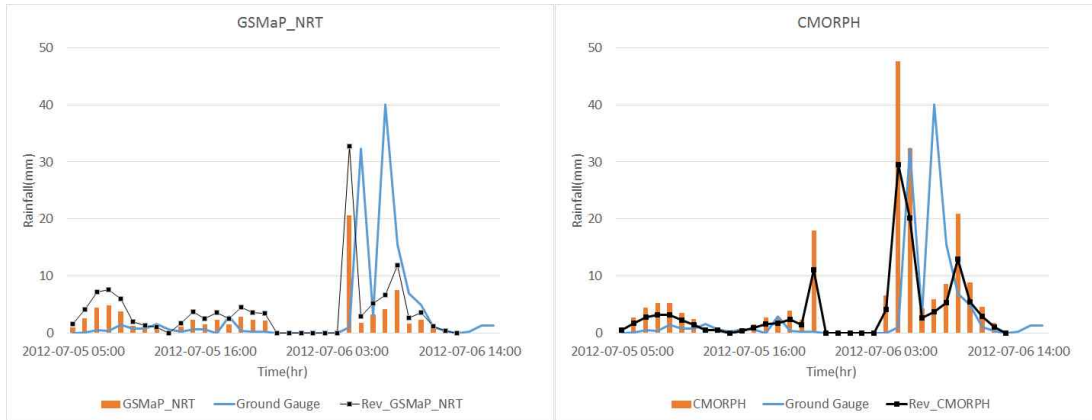


FIGURE 3. Revised satellites rainfall

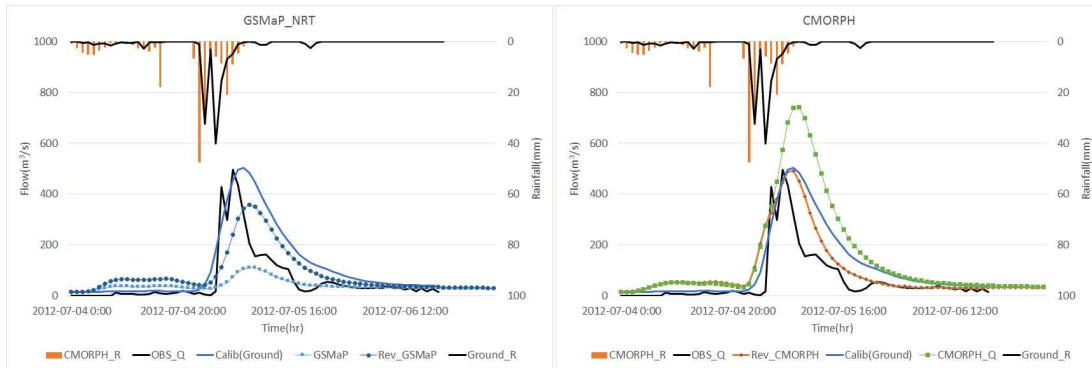


FIGURE 4. Flow estimation using revised satellites rainfall in Gap stream

두 위성강우자료를 그림 3과 같이 보정한 결과 첨두유출량은 각각 357.4m³/s, 490.1m³/s로 나타났고, 관측 첨두유출량 495.2m³/s에 대한 상대오차는 각각 1.0% 및 27.8%로 나타났다. 위성강우의 수정 전 강우량 및 수정 후 강우량에 대한 유출분석 결과는 그림 4에 나타내었다.

갑천유역의 보정된 위성강우와 관측우량을 이용한 모의 결과 CMORPH 보정강우 및

GSMaP_NRT 보정 강우의 결정계수(r^2)는 각각 0.895 및 0.90이었고, Nash-Sutcliffe의 효율계수는 각각 0.899 및 0.785를 나타내었다.

2. 모형 검증

모형 검증을 위해 낙동강 유역의 병성천 유역을 대상으로 분석을 수행하였다. 강우자료는 낙동강 홍수통제소의 상주, 화서, 이안, 외서,

TABLE 3. Revision of satellite derived rainfall in Beongseong stream

Item	Total rainfall(mm)	Max rainfall(mm/hr)	Relative error(%)	
			Total rainfall	Max rainfall
Ground gauge	168.6	22.5		
GSMaP_NRT	105.5	12.5	37.4	44.4
CMORPH	223.2	25.9	32.4	15.2

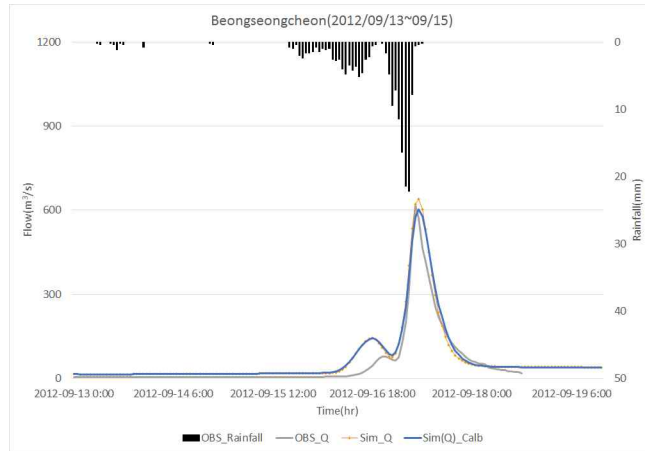


FIGURE 5. Flow simulation in Beongseong stream

구미강우관측소 자료와 병성수위관측소 자료를 이용하였다. 강우 이벤트 기간은 2012년 9월 13일부터 9월 20일까지를 모의하였다.

표 3과 같이 병성천 수위관측소에서 관측된 침투유출량은 616.06m³/s였고, 매개변수 보정 전 침투유출량은 640.05m³/s였고, 갑천유역에서 보정한 매개변수를 이용한 침투유출량은 602.3m³/s로 보정 전과 보정 후의 침투유출량에 대한 상대오차는 각각 3.89%, 2.23%로 분석되었다(그림 5).

지상계측 총강우량 168.6mm으로 위성으로부터 유도된 강우량 자료를 그림 6과 같이 수정하여 유출분석을 수행한 결과 그림 7과 같은

유출 결과를 얻었다.

그림 7과 같이 수정된 위성강우량 자료를 이용한 유출분석 결과 CMORPH 자료의 경우 수정 전 및 수정 후의 침투유출은 각각 764.6m³/s, 545.5m³/s로 관측 침투유출량과의 상대오차는 24.1% 및 11.4%로 나타났다. GSMaP_NRT 위성자료의 경우 수정 전 및 수정 후의 침투유출은 각각 319.0m³/s, 588.7m³/s로 관측 침투유출량과의 상대오차는 48.2% 및 4.4%로 나타났다. 두 위성 강우자료 모두 수정 후 상대오차가 11.4% 및 4.4%로 침투유출량의 상대오차가 작아짐을 확인할 수 있다.

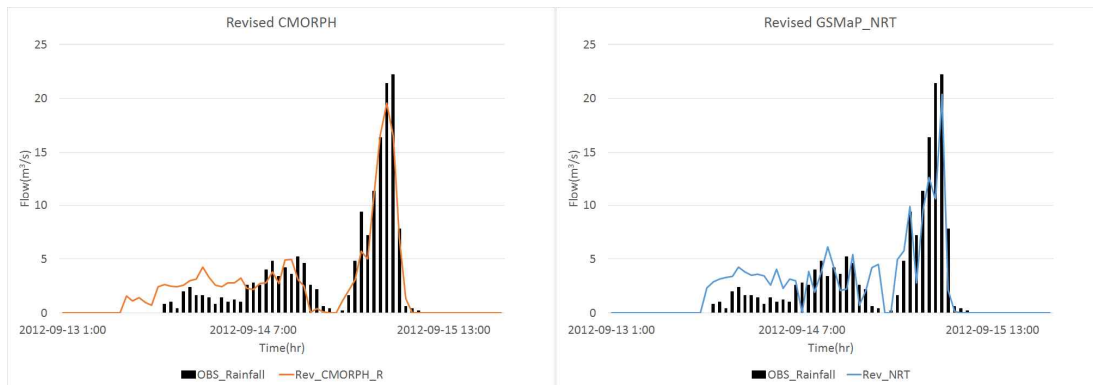


FIGURE 6. Revised satellites rainfall data in Beongseong stream

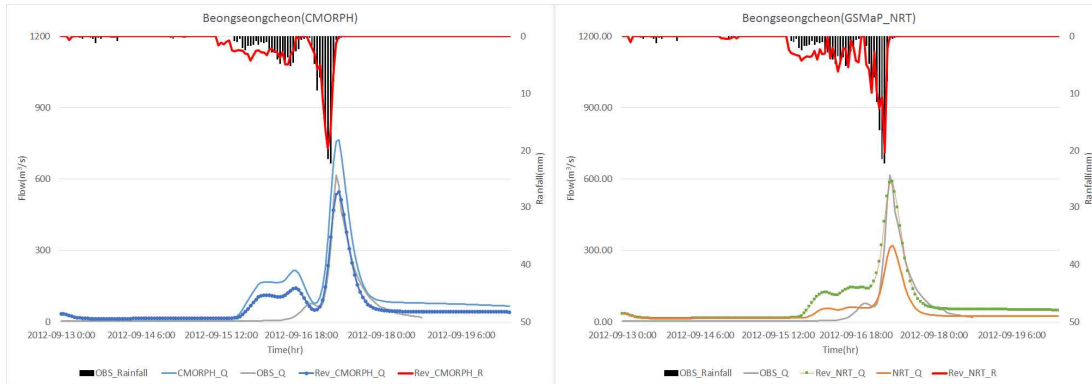


FIGURE 7. Flow simulation using satellite derived revision rainfall in Beongseong stream

3. 유출분석

북한 기상수문국이 발표한 지역들에 대한 총 강우량 자료와 활용 가능한 위성강우자료인 CMORPH 및 GSMaP_NRT자료를 통한 공간분포 특성은 그림 8과 같다. 그림 8에서 보는 바와 같이 위성으로부터 유도된 두 강우자료 모두 자강도 동신군 지역이 많은 강우가 발생한 것으로 파악되고 있다.

북한 수문기상국에서 발표한 자강도 동신군 지역의 2013년 7월 19일 오후 9시부터 21일 오후 3시 사이 총강우량은 413mm로 발표하였으나 같은 시기의 위성강우 GSMaP_NRT는 누

가강우량이 180.2mm, 최대강우강도 9.04mm/hr를 나타내었으며, CMORPH의 누가강우량은 360mm, 최대강우강도는 15.0mm/hr를 나타내었다.

지점강우 vs. 위성강우 상대오차 56.4% (GSMaP_NRT), 12.8%(CMORPH)이고, 지점강우와 위성강우의 비교에서 위성강우가 과소 평가되고 있다. 이는 Xie *et al.*(2011)의 연구결과 열대 및 아열대 지역에서는 과대산정되고 중간 및 고위도 지역에서는 과소하게 산정된다는 연구결과와도 일치하는 결과가 도출되었다.

그림 9는 Aster GDEM자료를 이용하여 청천강 유역의 하천망도를 추출하고 이를 Google

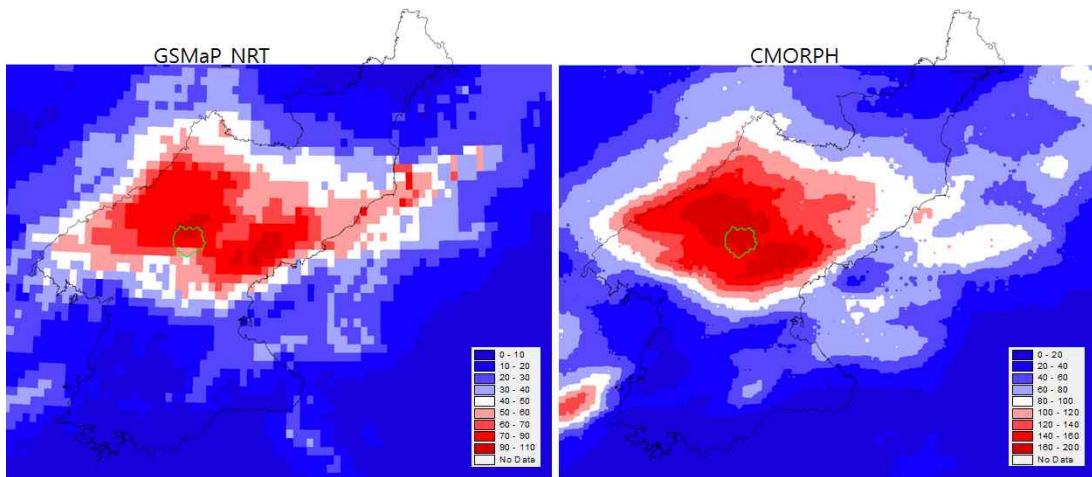


FIGURE 8. Accumulation rainfall data for satellite derived rainfall data



FIGURE 9. Study area and stream line

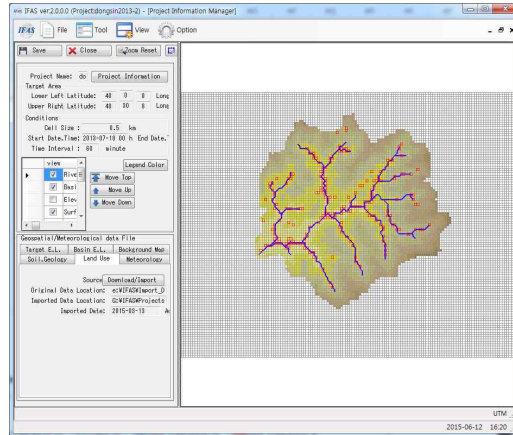


FIGURE 10. IFAS simulation

Earth와 중첩하여 정성적 정확도를 평가한 것이다. 그림 9에서 보는바와 같이 Google Earth에 나타난 하천지형과 Aster GDEM으로부터 추출한 하천망이 매우 유사한 형태를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그림 10은 청천강 유역 상류 지역인 동진군 지역에 대한 IFAS를 구동한 것이다.

IFAS는 ICHARM(the International Centre for Water Hazard)에서 개발한 시스템으로 개발도상국의 보다 효과적이고 효율적인 홍수에 보를 위한 도구로서 전지구 위성 강우자료를 이용한 간단한 홍수-유출해석 시스템이다. IFAS의 유출 모의 엔진은 PWRI(Public Works Research Institute, Japan) 분포형 모형

(ver2)로 각 격자의 유출은 비선형 탱크 모형에 의해 추정되며, 하도추적은 Kinematic wave방법을 이용한다(kim *et al.*, 2014).

위성강우 및 글로벌 지형정보를 활용한 북한 지역 유출분석 결과 CMORPH 위성강우자료를 이용한 유출분석에서 첨두유출량은 약 2,333.7m³/s로 분석되었다. 이 때의 위성강우의 총강우량은 앞서 언급한 바와 같이 360mm로 북한 기상수문국이 발표한 413mm보다 과소한 강우량이었다. 두 위성강우자료를 지점관측 총강우량과 같게 수정한 유출분석에서 CMORPH 및 GSMaP_NRT의 첨두유출량은 각각 5,717.5m³/s 및 4,784.5m³/s로 분석되었다. 따라서 2013년 7월 북한의 자강도 동진군 지역에서 발생한 홍

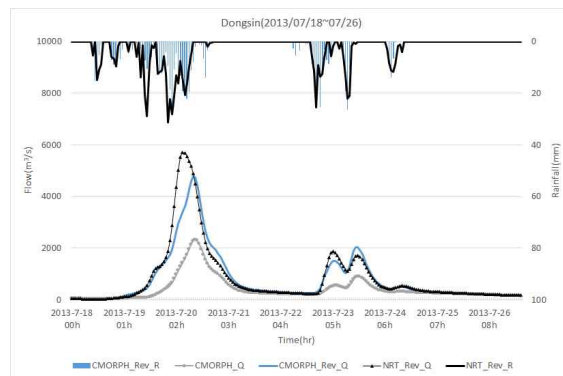


FIGURE 11. Estimation of stream flow

수사상의 침투유출량은 최소 2,333m³/s 이상일 것으로 추측되며, 수정된 위성강우자료로부터 분석한 4,785m³/s에서 5,718m³/s 정도의 홍수량을 나타낸 것으로 추측된다(그림 11).

결론

북한의 홍수로 인한 피해는 매우 심각한 상태임에도 불구하고 북한의 폐쇄적인 정책으로 인해 수문학적 규모 등 정보획득이 매우 어려운 것이 현실이다. 이에 대한 대안으로 위성으로부터 획득한 정보와 글로벌 지형정보를 이용하면 개략적으로나마 북한의 수자원 또는 홍수로 인한 재해에 대해 확인할 수 있다.

본 연구는 위성으로부터 유도된 위성강우자료와 글로벌 지형자료를 활용하여 대표적인 비접근 지역인 북한지역의 청천강 상류에 위치한 동신군 지역을 대상으로 유출분석을 수행하는 것을 목적으로 하였고, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

유출 분석에서 검증이 가능한 국내의 갑천유역에 대하여 모형에 대한 매개변수를 보정하였다.

모형의 검증은 낙동강의 병성천 유역을 대상으로 수행하였다. 홍수량 유출 분석을 위해 위성강우자료를 지상계측 강우자료로 수정하였으며, 수정 후 홍수유출량은 관측 침투유출량에 대한 상대오차가 CMORPH의 경우 24%에서 11%로 감소하였고, GSMaP_NRT의 경우에도 48%에서 4%로 상대오차가 감소하여 지상계측 강우자료를 이용한 수정 위성강우자료의 정확도가 있음을 확인하였다.

북한지역에 대한 위성강우를 이용한 분석결과 CMORPH를 이용한 유출분석에서 침투유출량이 약 2,334m³/sec이 발생하는 것으로 분석되었고, 수정된 위성강우를 이용한 유출분석에서는 침투유출량이 CMORPH가 4,885.8m³/s, GSMaP_NRT가 5,717.5m³/s의 유출이 발생하는 것으로 분석되었다.

한편 유출분석의 상승시점의 최소유량을 기저유량으로 가정하고 분석한 유출률 분석에서 CMORPH는 0.835, GSMaP_NRT는 약 0.92

정도로 분석되었다. GSMaP_NRT 위성강우자료의 경우 총강우는 CMORPH보다 작으나 시간당 강우량이 매우 커 유출률에 영향을 미친 것으로 판단된다.

본 연구는 관측자료가 부재한 미계측/비접근 지역에 대한 홍수량을 추정하기 위한 연구로 강우-유출에 대한 수문자료뿐만 아니라 지형자료의 부재에서도 광역의 위성강우 및 지형자료를 활용하여 유출분석이 가능함을 제시하였다. 향후 더 많은 강우사상을 적용 및 검증을 통해 미계측/비접근 지역에 대한 수문분석에 활용할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원(15AWMP-B079625-02)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. [KACIS](#)

REFERENCES

- Ahn, J.H. and Y.N. Yoon. 2010. Water resources situation and water supply outlook in North Korea(1). Water for Future 43(4):17-26 (안재현, 윤용남. 2010. 북한 수자원 현황과 용수수급 전망 (1). 물과 미래 43(4):17-26).
- Alemseged, T.H., 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 Process 27(2):1829-1839. [DOI]: 10.1002/hyp.9330.
- Apip, K.T., 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* 7:237-258. [DOI]: 10.1007/s10346-010-0214-z.
- Harmeling, S. and D. Eckstein. 2012. *Global Climate Risk Index* 2013. Germanwatch.
- Kim, J.H., K.T. Kim and Y.S. Choi. 2013b. Fitness evaluation of CMORPH satellite-derived precipitation data in Korea. *Journal of Wetlands Research* 15(3):339-346 (김주훈, 김경탁, 최윤석. 2013b. 한반도의 CMORPH 위성강수자료 정확도 평가. *한국습지학회논문집* 15(3):339-346).
- Kim, J.H., K.T. Kim and Y.S. Choi. 2014. Runoff estimation using rainfalls derived from multi-satellite images. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 17(1):107-118 (김주훈, 김경탁, 최윤석. 2014. 다중 위성 강우자료를 이용한 유출 평가. *한국지리정보학회지* 17(1):107-118).
- Kim, J.P., K.W. Park, L.W. Joung and G.S. Kim. 2013a. 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. 2013a. 고해상도 다중위성 강수자료와 분포형 수문모형의 유출모의 적용. *대한원격탐사학회논문집* 29(2):263-274).
- Kim, K.T. and J.H. Kim. 2013. Introduction for case study of rainfall observations and application using satellite. *Water for Future* 46(4):66-75 (김경탁, 김주훈. 2013. 인공위성을 이용한 강우관측자료 및 활용 사례 소개. *물과미래* 46(4):66-75).
- Lee, S. 1999. Imjin river basin flood and permanent measures. *Journal of Korea Water Resources Association* 32(6):8-15 (이상태. 1999. 임진강 유역의 수해와 항구 대책. *한국수자원학회논문집* 32(6):8-15).
- Pereira, 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. [DOI]: 10.1111/j.1752-1688.2009.00406.x.
- Rea, L.M. and R.A. Parker. 2005. *Designing and conducting survey research: a comprehensive guide*, 3rd Ed., San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- 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.
- Sonu, J.H. 1986. Technical review of the impact Geumgangsan dam construction. *Land and Construction* 29:40-44 (선우중호. 1986. 금강산댐 건설 영향에 대한 기술적 검토. *국토와 건설* 29:40-44).
- Ushio, T and M. Kachi. 2010. Kalman filtering applications for global satellite mapping of precipitation (GSMaP). In: Gebremichael, M. and Hossain, F.(Eds.), *Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology*, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, pp. 105-123. [DOI]: 10.1007/978-90-481-2915-7_7.

Woo, H.S. 1996. July 1996 Imjin great flood. Korean Society of Civil Engineering 44(8):78-84 (우효섭. 1996. 1996년 7월 임진강 대홍수. 대한토목학회지 44(8):78-84).

Xie, P, S.H. Yoo, R. Joyce and Y. Yarosh.

2011. Bias-corrected CMORPH: a 13-year analysis of high-resolution global precipitation. NOAA's climate prediction center (presentation) (http://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/CMORPH_V1.0/REF/EGU_1104_Xie_bias-CMORPH.pdf). 