

위성 강우자료를 이용한 해외 유역 홍수량 추정* - 모로코 세부강 유역을 대상으로 -

김주훈^{1*} · 최윤석¹ · 김경탁¹

Estimation of Flood Discharge Using Satellite-Derived Rainfall in Abroad Watersheds* - A Case Study of Sebou Watershed, Morocco -

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

요 약

본 연구는 계측자료가 부족한 유역을 대상으로 위성강우 활용 및 위성강우의 보정방법을 통해 홍수량 추정의 기술적인 방법을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 연구대상유역은 모로코 세부강 유역을 대상으로 하였다. 세부강 유역 홍수량 추정을 위한 모형은 IFAS(Integrated Flood Analysis System)와 GRM(Grid baed Rainfall-Runoff Model)을 이용하였다. 연구 유역에 대한 강우자료는 일일관측의 지상계측 자료와 시간계측 위성강우자료를 이용하였다. 위성강우를 이용한 홍수분석에서 일일 지상계측 강우량과 위성강우의 시간계측 자료를 합성하여 위성강우자료를 수정하였다. 지형자료는 90m 공간해상도의 Shuttle Radar Topographic Mission DEM(SRTM DEM) 과, 1km 공간해상도의 Global map의 토지피복도와 US Food and Agriculture Organization(US FAO)의 Harmonized World Soil Database(HWSD) 토양도를 이용하였다. 과소추정되는 위성강우는 지상계측 자료를 활용하여 보정하였다. 수정된 위성강우를 이용한 유출분석에서는 침투유출량이 IFAS는 5,878~7,434m³/s, GRM은 6,140~7,437m³/s의 유출이 발생하는 것으로 분석되었다. 그러므로 2009~2010년에 발생한 세부강 유역의 침투홍수량은 5,800m³/s에서 7,500m³/s의 범위에서 발생한 것으로 추정되었다. 보정된 위성강우를 활용한 홍수량 추정결과는 두 모형 모두 유사한 홍수량을 나타내었다. 따라서 본 연구에서 제시한 위성강우의 보정기법은 계측자료가 부족한 지역의 적정 홍수량 추정에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

주요어 : 위성강우, IFAS, mWGRM, Global map, 모로코, 홍수

2017년 6월 9일 접수 Received on June 9, 2017 / 2017년 9월 25일 수정 Revised on September 25, 2017 / 2017년 9월 26일 심사완료 Accepted on September 26, 2017

* 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원(17AWMP-B079625-04)의 연구비지원에 의해 수행되었음.

1 한국건설기술연구원 수자원·하천연구소 Department of Hydro Science and Engineering Research, KICT

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

ABSTRACT

This paper presents a technical method for flood estimation based on satellite rainfall and satellite rainfall correction method for watersheds lacking measurement data. The study area was the Sebou Watershed, Morocco. The Integrated Flood Analysis System(IFAS) and Grid-based Rainfall-Runoff Model(GRM) were applied to estimate watershed runoff. Daily rainfall from ground gauges and satellite-derived hourly data were used. In the runoff simulation using satellite rainfall data, the composites of the daily gauge rainfall and the hourly satellite data were applied. The Shuttle Radar Topographic Mission Digital Elevation Model(SRTM DEM) with a 90m spatial resolution and 1km resolution data from Global map land cover and United States Food and Agriculture Organization(US FAO) Harmonized World Soil Database(HWSD) were used. Underestimated satellite rainfall data were calibrated using ground gauge data. The simulation results using the revised satellite rainfall data were 5,878~7,434m³/s and 6,140~7,437m³/s based on the IFAS and GRM, respectively. The peak discharge during flooding of Sebou River Watershed in 2009~2010 was estimated to range from 5,800m³/s to 7,500m³/s. The flood estimations from the two hydrologic models using satellite-derived rainfall data were similar. Therefore, the calibration method using satellite rainfall suggested in this study can be applied to estimate the flood discharge of watersheds lacking observational data.

KEYWORDS : *Satellite Rainfall, IFAS, mwGRM, Global Map, Morocco, Flood*

서론

기후변화 등에 적극 대응하기 위해 세계 물시장은 지속적으로 확대되고 있으나 국내의 물산업은 기술혁신을 통한 해외진출보다는 내수시장에 머물러 있어 글로벌 경쟁력 확보가 시급한 상황이다. 이에 정부에서는 국민들에게 더 좋은 물을 안정적으로 공급하고, 일자리 창출에 기여하기 위해 물기업의 기술경쟁력 제고와 새로운 시장창출 산업 혁신 기반조성을 주요 방향으로 하는 “스마트 물산업 육성전략(2016.11.14.)”의 종합대책을 발표하였다.

미래 성장 동력으로서 물산업의 해외 진출을 위해서는 해당 국가의 수문기상학적 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 실정이다. Namgung

and Lee(2014)에 의하면 네팔의 수력발전소 건설에 관측된 강우량 자료가 없어 발전소 하류 10km 지점의 유하량 자료를 이용하여 자료의 정확도 검증에 대신하여 적용한 바 있다. 이외에도 필리핀과 인도네시아는 홍수에보시시스템 구축사업, 모잠비크는 수자원 장기종합계획 수립 관련사업, 그리고 모로코는 치수방어 사업 등이 수행되고 있다. 그러나 이와 같은 사업을 수행하는데 있어서 가장 큰 문제점으로 대두되고 있는 것이 지상계측자료가 부족하다는 것이다.

이와 같이 계측자료가 없거나 부족한 지역에 대하여 기상 위성을 이용하여 추정된 강수량 자료가 해당 지역의 강수 특성을 파악하는데 중요한 자료로 이용될 수 있다. 글로벌 위성 기반의 강수량 관측에 대한 역사는 1979년에 Arkin의 의해 제안된 IR(Infra-Red) 방법에 의해 위성으로부터 강우자료를 유도하는 개념이 도입된 이후 1987년 해양에서의 비교적 정확한 강수량 추정이 가능한 다중 채널의 마이크로파(MW) 복사계를 이용한 방법으로 위성강수 추정에 대

한 연구가 활발히 진행되었다. 이후 두 IR과 MW를 혼합한 방법에서, 또다시 1997년 TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission) 위성의 PR(Precipitation Radar)의 레이더를 이용하는 방법, 그리고 2014년 GPM (Global Precipitation Measurement Mission) 핵심 위성 (GPM Core Observatory)에 탑재된 Dual PR에 의한 방법으로 위성강수의 정확도를 매우 높여가고 있다(Kim and Kim, 2013).

위성영상으로부터 유도된 강수자료의 정확도 평가에 관한 연구는 해외 여러 지역에서 시도되고 있으며, 인도네시아 Citarum 유역(2,310km)에 대한 적용에서 지상관측자료와 CMORPH (Noaa Climate Prediction Center Morphing technique) 자료의 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(Apip *et al.*, 2010), 남아메리카의 아마존 유역의 일일강수자료는 $r^2=0.1$, Iguacu유역의 연간 강수자료 비교에서 $r^2=0.72$ (Pereira Filho *et al.*, 2010), 그리고 아프리카 나일강의 Gilgel Abbay 유역의 시간강수자료의 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 위성강우자료의 정확도 평가에 관한 연구에서 AWS (Automatic Weather Stations) 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 위상강우자료를 이용한 연구로는 Kim *et al.* (2013b)이 충주댐 유역을 대상으로 일단위 유출특성 모의 결과 다중위성강우 중 TRMM Multisatellite Precipitation Analysis(TMPA)가 유출모의 활용성이 있음을 제시한 바 있으며, Kim *et al.* (2014)이 금강유역의 갑천 유역에 대한 홍수사상에 대한 유출모의를 수행한 바 있다. 한편,

Kim *et al.* (2015)은 북한지역 2013년에 발생한 홍수사항에 대하여 북한 기상수문국에서 제시한 당시의 총강우량값을 이용하여 과소추정되는 위성강우를 보정하여 북한지역 청천강 상류 지역의 홍수량을 추정하는 연구를 수행한 바 있다.

위성강우의 최대 장점은 계측자료가 부족한 지역 혹은 북한과 같은 비접근 지역에 대한 수문해석을 위해 활용할 수 있다는 것이다. 그러나 위성으로부터 생성되는 강우는 간접측정에 의한 방법이므로 정확도 향상을 위해 위성강우 보정이 필요하다.

본 연구는 위성으로부터 유도된 위성강우자료와 글로벌 지형자료를 활용하여 Korea International Cooperation Agency(KOICA) 사업으로 진행중에 있는 모로코의 세부강(Oued Sebou) 유역에 대하여 2009/2010년도 홍수사상을 대상으로 위성강우 보정방법 제시 및 글로벌 지형자료의 활용함으로써 계측자료가 부족한 지역에서의 홍수량 추정의 기술적인 방법을 제시하는 것을 목적으로 하였다.

연구대상 유역

연구대상지역은 모로코의 세부강 유역을 대상으로 홍수 유출 및 침수지역 분석을 수행하였다. 모로코는 북서아프리카 최서단에 위치하며, 아틀라스 산맥 서쪽과 모로코 북부 및 중서부 대서양 연안지역에 전체 국민의 70% 이상 거주하며, 가용 수자원의 50% 이상이 북서부 지역에 집중되어 있다.

모로코는 Northern Rif Region 등 총 5개 지역으로 구분할 수 있다. 특히, Northern Rif Region은 서쪽에 위치한 지중해성 기후로 습윤하며, 습기(9월~4월)와 건기(5월~8월)로 구분된다. 연평균 강수량은 700~800mm로 모로코에서 물이 가장 풍부하며 모로코 전체 수자원의 20%를 보유하고 있고, 공업과 농업에서 국가적으로 매우 중요한 지역이다.

Northern Rif Region 세부강(Oued Sebou)의 유역면적은 한강유역과 유사한 38,380km²이고 하천연장은 450km로 모로코 국토면적의 약

문제를 해결하는데 필요한 기본 지형정보를 제공하기 위해 국제 지도 운영 위원회(ISCGM, International Steering Committee for Global Mapping)를 중심으로 개발되었다. 본 연구에서 사용한 Landcover는 MODIS Aqua 및 Terra 자료를 이용하여 2012년에 제작된 것이다.

이 토지피복도는 20개 항목으로 분류된 1km

해상도를 갖는 글로벌 토지 피복 특성 데이터베이스로 본 연구 유역인 모로코의 세부강 유역에 대하여 그림 4와 같이 추출하여 분석한 결과 토지피복도 비율은 표 1과 같이 잡목 및 초지로 덮여있는 지역이 전체 면적의 약 43.3%정도를 차지하고 있는 것으로 분석되었으며, 농경지가 약 37.94%, 도시 주거지역은 약 0.39%로 분석되었다.

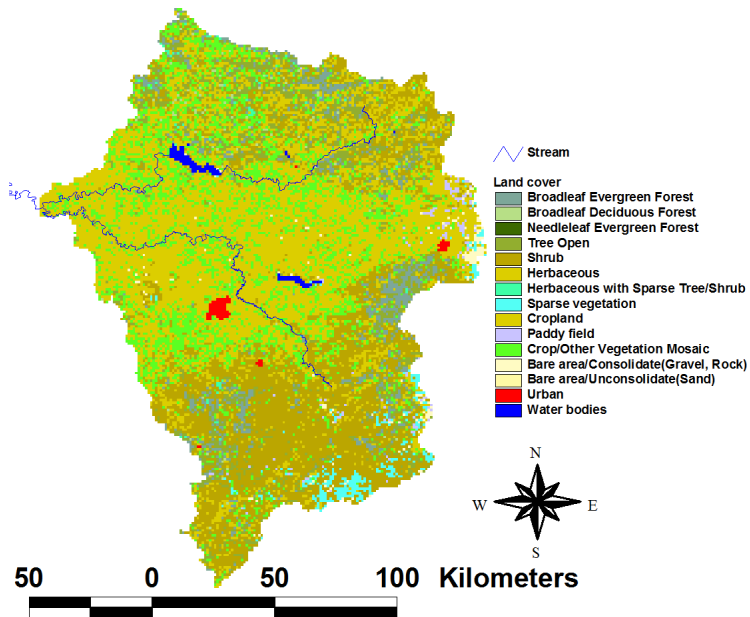


FIGURE 4. Global map(landcover)

TABLE 1. Proportion of global map(landcover) in Sebou Watershed

No.	Label	Area (km ²)	Proportion (%)	No.	Label	Area (km ²)	Proportion (%)
1	Broadleaf Evergreen Forest	1,087	4.55	11	Cropland	8,913	37.31
2	Broadleaf Deciduous Forest	95	0.40	12	Paddy field	150	0.63
6	Tree open	2,169	9.08	13	Cropland / other vegetation mosaic	4,088	17.11
7	Shrub	5,949	24.90	16	Bare area, consolidated (gravel, rock)	177	0.74
8	Herbaceous	620	2.60	17	Bare area, unconsolidated (sand)	1	0.00
9	Herbaceous with sparse Tree/shrub	76	0.32	18	Urban	92	0.39
10	Sparse vegetation	347	1.45	20	Water bodies	123	0.51

2) DEM

세부강 유역의 지형학적 특성을 분석하기 위해 SRTM 자료를 이용하였다. SRTM 데이터셋은 미국 NASA(National Aeronautics and Space Administration)와 미국 NGA(National Geo-spatial-Intelligence Agency) 및 독일과 이탈리아 우주국의 협력에 의한 결과물이다. SRTM 버전 1은 2000년 2월에 STS-99임무에 의한 데이터로 SRTM 프로젝트에서 생성된 원시의 DEM으로 구성되어 있다. 버전 2는 NGA에서 수정하여 해안선 등 수체영역의 백터화된 마스크가 포함되어 있다. 버전 2.1은 버전 2의 수직 줄무늬 등 일부 오류를 수정한 데이터이다.

SRTM 90m DEM은 적도에서 90m의 해상도를 가지고 있고, 쉽게 다운로드 및 사용을 위해 5deg.×5deg.의 타일형태로 제공하고 있으며, GIS의 다양한 용도에 사용 용이성을 촉진하기에 GeoTiff 포맷으로 제공하고 있다.

본 연구에서는 SRTM_35_05, SRTM_35_06, SRTM_36_05, SRTM_36_06의 4개의 파일을 수집하였고, 이 자료에 대하여 Merging, 좌표변

환(경위도 => UTM) 및 sink 처리 등의 과정을 거쳐 하천망도를 생성하였다.

3) 토양도

토양도는 HWSD를 이용하였다. HWSD는 UN FAO의 토지이용변경 프로그램에 따른 지도와 지역 및 국가 토양데이터베이스를 조합해서 만들어졌으며, 농업생태지역, 식품안전, 기후변화 영향(기타)의 전망연구에 대한 활용과 모델러의 실용화를 위한 목표를 가지며, 대략 1 km(30 아크초×30 아크초)의 해상도를 가진다.

래스터 데이터베이스는 전세계를 커버하는 21백만 그리드셀의 21,600×43,200행렬로 구성되었고, 16,000개의 토양도 단위는 속성 데이터에 연결되어 있다.

HWSD는 유럽 토양데이터베이스(ESDB, the European Soil Database), 1:1,000,000 중국 토양도, SOTER 데이터베이스(SOTWIS Database) 등을 기초로 만들어졌으며, 모로코 세부강 유역의 HWSD는 그림 5와 같다.

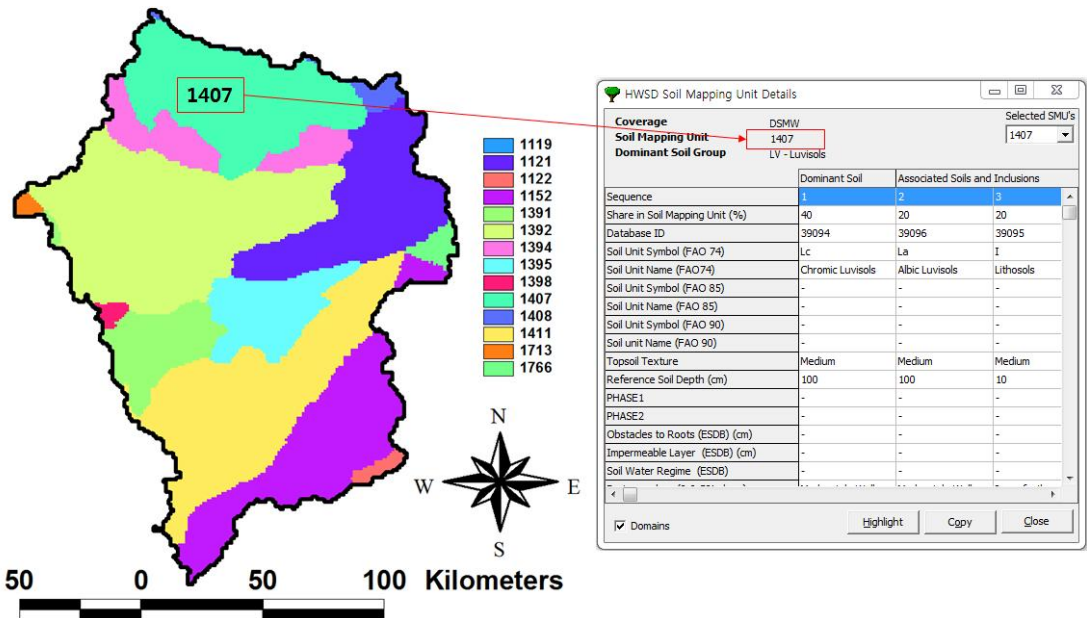


FIGURE 5. Harmonized World Soil Database (HWSD) in Morocco

유출부하특성 분석

1. 강우특성

위성강우를 이용한 미계측/비접근 유역의 홍수량을 추정하기 위해 위성강우 자료를 이용하였다. 위성강우는 Global Satellite Mapping of Precipitation의 Near Real Time (GSMaP_NRT) 자료를 이용하였다. 이 자료는 0.1°의 공간해상도와 1시간의 시간해상도를 갖는다.

모로코 세부강 유역은 2009/2010년에 큰 강우가 내렸고 하류지역이 침수가 발생하여 KOICA 사업으로 모로코 세부강 유역 홍수방지 마스터 플랜사업이 진행 중에 있다.

분석기간은 2009년 12월 19일~12월 26일까지의 위성강우 및 지상계측 일일강우량 자료 분석 결과 상관계수가 0.645로 분석되었으며, 지상계측 자료의 평균강우량은 179.3mm, 최대강우량은 455.3mm로 분석되었고, GSMaP_NRT의 평균강우량은 72.9mm, 최대강우량은 178.0mm로 분석되었다.

위성 및 지상계측 자료의 공간적 특성은 그림 6과 같이 매우 유사하게 분포된 것으로 나타났다. 강우의 공간분포의 유사성은 북쪽에 나타난 짙은 색이 큰 강우가 내린 지역으로 이 지역이 지중해성 기후 특성으로 많은 비가 내리는 지역이고 남쪽은 상대적으로 적은 비가 내리는 지역으로 위성강우가 저평가되는 것에 대하여 위성강우의 보정을 통해 총강우량을 보정하였다.

2. 위성 보정강우 생성

위성강우는 일반적으로 적도지역을 중심으로 과다하게 나타나고 위도가 높아질수록 과소하게 나타나고 있다. Xie *et al.*(2011)과 Sohn *et al.*(2010)의 연구결과에 의하면 여름철 평균 분포는 명백하게 상당히 과소평가된다고 언급하고 있으며, 이는 본 연구와 같은 결론으로 나타나고 있다. 이에 따라 위성강우자료에 대한 보정이 필요하다.

위성강우의 보정을 위한 방법으로 위성강우와 지상계측강우의 평균 및 표준편차 비율을 이용하여 보정하는 Immerzeel(2010) 방법이 있고, 유역 내 관측소간 편이가 큰 경우 중앙값을 고려하여 보정하는 방법, 그리고 유역 내 관측소의 순위를 고려하여 상관관계를 분석하는 Spearman의 순위상관분석(Rank correlation coefficient)을 통한 보정방법 등이 있다. 본 연구에서는 지상계측 일일강우자료의 중앙값 및 순위상관관계 분석을 통해 지상계측 일일강우자료와 위성강우의 편이를 분석하여 보정에 활용하였다.

1) 중앙값에 의한 보정

유역 내 43개 지상 관측소의 분석기간 내 총강우량이 최대 455.3mm, 평균 179.3mm, 최소 21.7mm, 그리고 중앙값이 165.8mm를 기록하고 있다. 또한 본 연구에서 사용한 위성강우 GSMaP_NRT는 최대 178mm, 평균 72.9mm, 최소 6mm, 중앙값 76mm를 기록하고 있다. 이와 같이 최대 및 최소의 편차가 크게 나타나고 있다. 이에 따라 본 연구에서

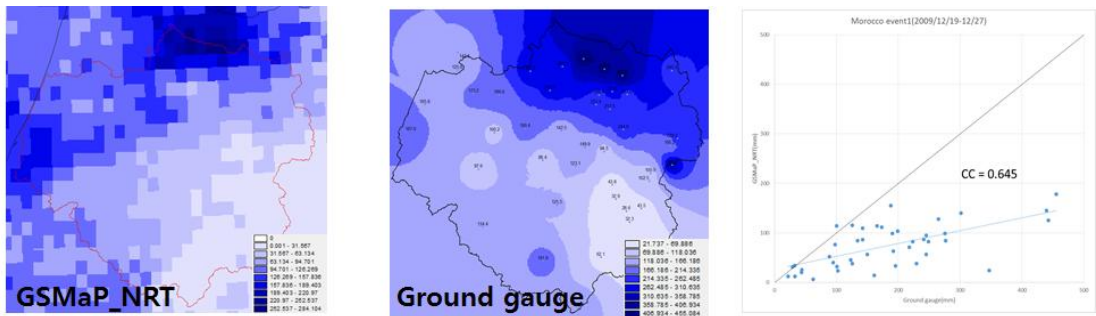


FIGURE 6. Spatial distribution of rainfall(Oued Sebou)

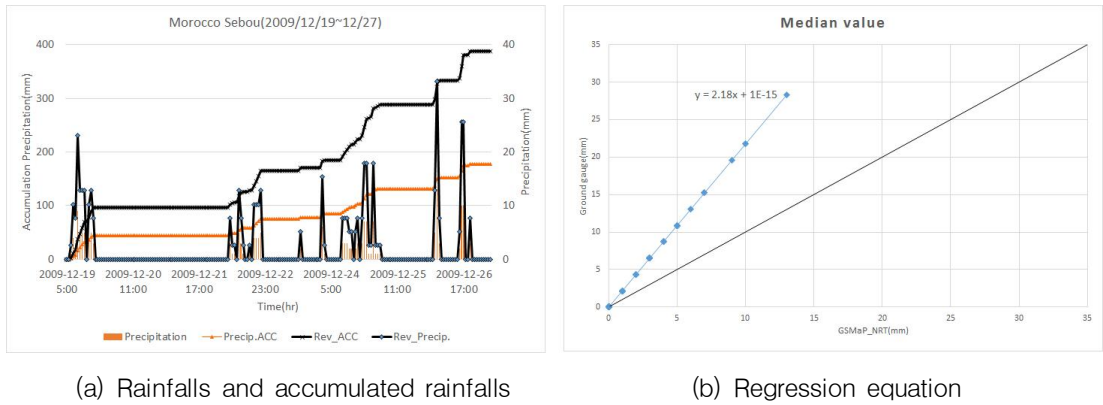


FIGURE 7. Revised satellite rainfall for median value

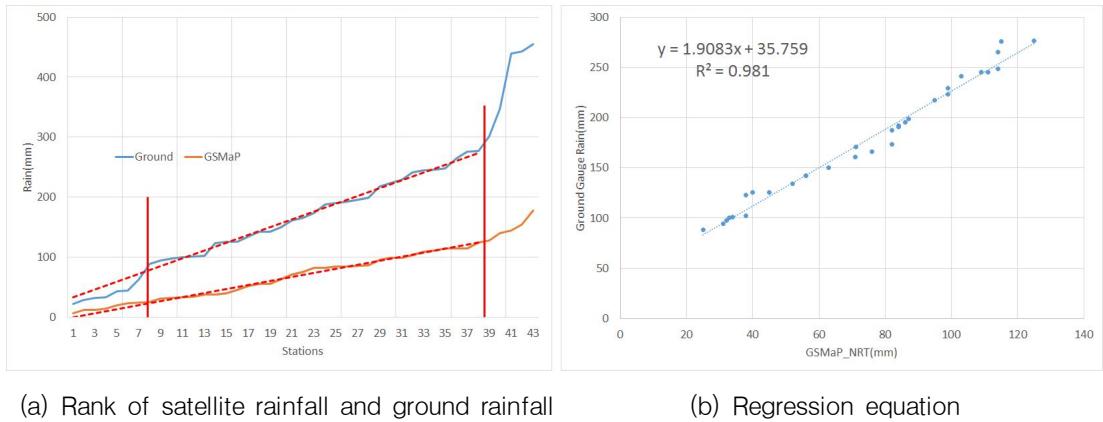


FIGURE 8. Revised satellite rainfall for rank correlation coefficient

는 지상계측 총강우량의 중앙값을 기준으로 위성강우를 보정하였다. 보정 방법은 시간별 위성강우량으로부터 누가강우량을 산정한 후 이를 무차원화한다. 이 위성 누가 강우량에 대하여 지점 총우량을 이용하여 단위시간당 강우량 산정한 후 산정된 강우량의 회귀식을 구하여 단위 시간당의 위성보정 강우를 산정한다.

상기의 방법으로 구한 회귀식은 그림 7(a)와 같으며, 회귀식을 이용한 강우 및 누가강우량은 그림 7(b)와 같다.

2) 순위상관 분석에 의한 보정

일반적으로 두 변수간의 등간척도일 때 Pearson의 상관계수를 사용하며, 두 변수간 측정 수

준이 서열척도가 있는 경우 적절한 상관관계 분석이 Spearman의 순위상관분석이다. 본 연구에서는 위성강우 보정을 위해 순위상관 분석을 수행하였으며, 그림 8(a)는 순위상관에서 선형관계를 벗어난 부분을 제외하고 상관관계 분석을 수행한 후 그림 8(b)와 같은 회귀식을 산정하였다.

3. 홍수량 추정

보정된 위성강우자료를 이용하여 International Centre for Water Hazard and Risk Management under the auspices of UNESCO(ICH ARM)에서 개발한 IFAS와 한국건설기술연구원 에서 개발한 대표적인 OpenGIS인 MapWindow

에 Plug-in 형태로 개발한 GRM(mwGRM) 모형을 이용하였다(그림 9).

표 2 및 그림 10과 같이 IFAS 적용결과 첨두유출은 중앙값에 의한 보정강우 이용시 7,43

4.2m³/sec로 분석되었고, 순위상관분석에 의한 보정강우 이용시 5,878.1m³/sec로 분석되었다.

mwGRM 모형에 의한 분석결과는 그림 11과 같이 첨두유출은 중앙값에 의한 보정강우 이용시

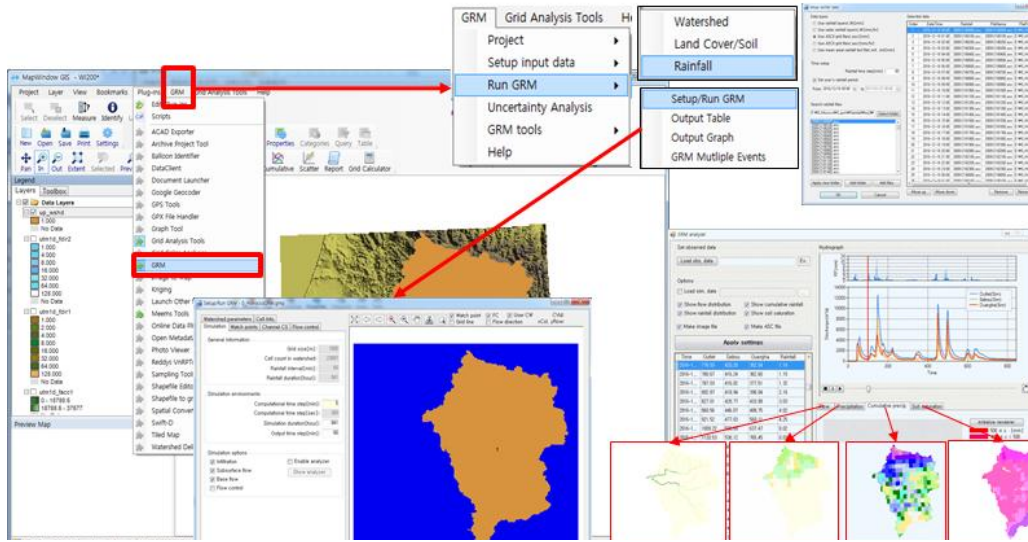


FIGURE 9. Simulation of mwGRM

TABLE 2. Results of peak flow

(unit : m³/sec)

Revised method	Model	IFAS	mwGRM
Median		7,434.2	7,437.0
Rank correlation coefficient		5,878.1	6,140.7

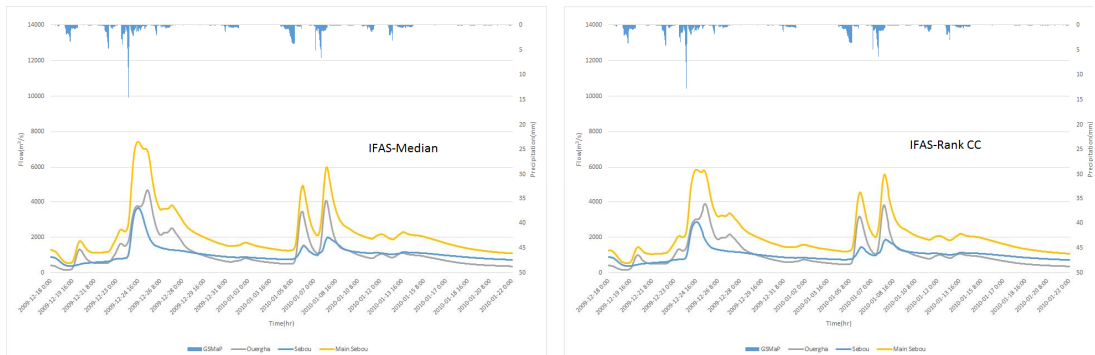


FIGURE 10. Results of IFAS

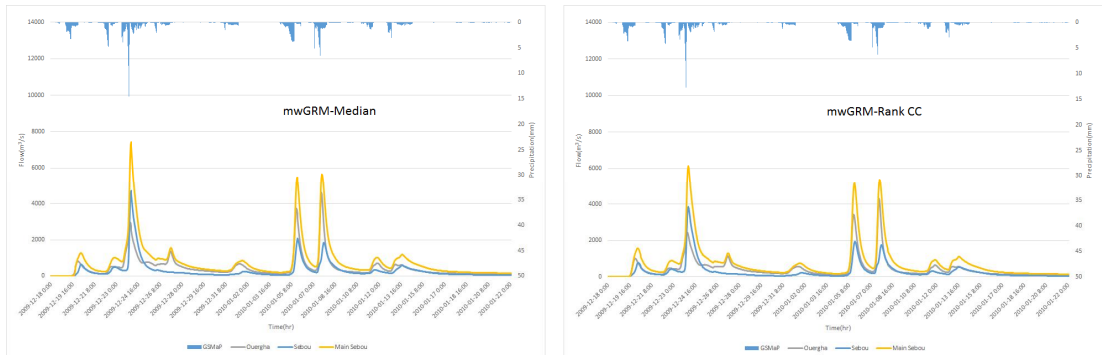


FIGURE 11. Results of mwGRM

7,437m³/sec로 분석되었고, 순위상관분석에 의한 보정강우 이용시 6,140.7m³/sec로 분석되었다.

따라서 세부강 유역의 2009/2010년에 발생한 홍수는 최소 5,800m³/sec에서 7,500m³/sec 정도의 침투유출에 의해 홍수가 발생한 것으로 추정된다.

결론

미래 성장 동력으로서 물산업의 해외 진출을 위한 다양한 노력들이 정부부처, 건설업체, 물관련 기관 등에서 다양하게 진행되고 있다. 그러나 물산업 진출의 가장 큰 어려움 중 하나가 해당국가의 수문기상학적 특성을 파악할 수 있는 강우량 자료와 같은 기초적인 자료 획득이 매우 어렵다는 것이다.

본 연구는 이에 대한 대안으로 위성으로부터 유도된 강우량 자료와 글로벌 지형자료를 활용하여 KOICA 사업으로 진행중에 있는 모로코의 세부강(Oued Sebou) 유역에 대하여 2009년 12월부터 2010년 1월 사이에 발생한 홍수사상을 위성강우 보정방법 제시 및 글로벌 지형자료의 활용함으로써 계측자료가 부족한 지역에서의 홍수량 추정의 기술적인 방법을 제시하는 것을 목적으로 하였다.

한편, 기존의 문헌연구에서 언급한 바와 같이 위성강우는 지상계측 강우량 자료와 타당한 상관관계를 갖고 있으나 Xie *et al.*(2011)과 Sohn

et al.(2010)의 연구결과와 같이 상당히 과소평가 되는 특징을 갖고 있다. 이와 같이 과소추정되는 위성강우에 대하여 지상계측 자료를 활용하여 위성강우를 보정함으로써 위성강우를 보완할 수 있으며, 보정된 위성강우를 이용한 홍수량 분석에서 침투유출 결과에 대한 정확도를 높일 수 있다. 그러나 본 유역에 대한 실측 유출량 값을 구할 수 없어서 유출 정확도를 정량적으로 판단하기에는 다소 무리가 있으나 위성강우 및 글로벌 지형자료를 이용하고 또 가용한 지상계측자료를 활용하여 위성 강우를 보정함으로써 보다 더 유출의 정확도를 높이고자 하였다. 이는 기존의 남한 지역에 대한 보정 및 유출해석에서 보정된 위성강우가 더 유출 정확도가 높게 나타난 연구사례를 바탕으로 추론한 결과이다.

연구결과 보정된 위성강우를 활용한 모로코 세부강 유역의 2009년/2010년의 홍수량 추정은 ICHARM에서 제공하고 있는 IFAS와 한국 건설기술연구원에서 개발한 mwGRM 두 모형 모두 유사한 홍수량을 제시하고 있어 적절한 연구 결과로 판단된다.

향후 연구에서는 분석된 홍수량 자료에 대하여 세부강 하류에 범람이 발생한 지역에 대한 침수 모델링을 수행하고 모델링 결과에 따른 침수범위 결과와 위성자료를 이용한 침수분석 범위로부터 위성강우를 활용한 홍수분석 및 침수해석에 대한 검증을 수행할 계획이다. **KAGIS**

REFERENCES

- 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.
- 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(3):237-258.
- Immerzeel, W.W. 2010. Bias correction for satellite precipitation estimation used by the MRC Mekong flood forecasting system. Mekong River Commission Mission report. Available at: <http://www.futurewater.nl/projects/bias-correction-precipitation/> (Accessed April 5, 2017).
- 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 강우관측 자료 및 활용 사례 소개. *한국수자원학회지* 46(4):66-75).
- 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. *한국습지학회 논문집* 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.H., K.T. Kim, and Y.S. Choi. 2015. Flow estimation using rainfalls derived from multi-satellite images in North Korea. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 18(4):31-42 (김주훈, 김경탁, 최윤석. 2015. 위성 강우자료를 이용한 북한지역 홍수량 추정. *한국지리정보학회지* 18(4):31-42).
- Kim, J.P., K.W. Park, I.W. Joung, K.S. Han, 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).
- Namgung, D. and S.H. Lee. 2014. Introduction of upper Trishuli 1 hydropower project in Nepal. *The Magazine of the Korea Society of Civil Engineers* 62(6):57-60 (남궁돈, 이상화. 2014. 네팔 수력발전 사업 소개. *대한토목학회* 62(6):57-60).
- 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.
- Sohn, B.J., H.J. Han, and E.K. Seo. 2010.

Validation of satellite – based high–res– olution rainfall products over the Korean Peninsula using data from a dense rain gauge network. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 49(4):701-714.

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). Available at: http://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/CMORPH_V1.0/REF/EGU_1104_Xie_bias–CMORPH.pdf (Accessed May 3, 2016). **KAGIS**