

위성강수 GPM IMERG, GSMaP, CMORPH 정확도 비교*

김주훈¹ · 최윤석² · 김경탁^{1*}

Comparison of Accuracy for GPM IMERG, GSMaP and CMORPH Satellite Precipitation Products over Korea*

Joo-Hun KIM¹ · Yun-Seok CHOI² · Kyung-Tak KIM^{1*}

요 약

본 연구는 위성강수에 대한 정확도를 비교함으로써 미계측 혹은 비접근 지역에 대한 적용성을 판단하는 것을 목적으로 하고 있다. 정확도 평가 결과 전체적인 강수의 공간분포는 세 개의 이벤트 모두 지상계측강수와 위성강수가 유사한 것으로 분석되었다. 1개월간의 강수의 경우 지상계측 강수(ASOS)와 위성강수의 1시간의 시간해상도에서 상관계수는 0.42~0.46정도로 분석되었다. 강수가 집중된 기간에 대한 평가에서 1시간의 시간해상도에 대한 상관계수가 IMERG는 0.55~0.66, GSMaP는 0.56~0.67로 분석되었다. 세 개의 이벤트에 대한 관측소별 총강우의 분석결과 상관계수는 IMERG와 GSMaP이 CMORPH 보다 상대적으로 우수한 것으로 분석되었고, 바이어스는 상대적으로 CMORPH가 우수한 것으로 분석되었다. 그러나 3개 위성강수 모두 지상계측강수와 비교하여 과소하게 추정되고 있는 것으로 분석되었다. 향후에는 본 연구를 통해 얻어진 결과를 반영하여 북한을 포함한 한반도 전체에 대한 강수량을 추정하는 연구를 수행할 계획이다.

주요어 : 위성강수, IMERG, GSMaP, CMORPH, 정확도

ABSTRACT

This study aims to determine the applicability of satellite precipitation to the ungauged or inaccessible areas by comparing the accuracy of satellite precipitation. The accuracy assessment showed that the overall spatial distributions of ground-based rainfall and satellite precipitation were similar in all three events. For one-month precipitation with one-hour temporal resolution, the correlations between ground-based precipitation

2020년 06월 08일 접수 Received on June 08, 2020 / 2020년 09월 06일 수정 Revised on September 06, 2020 / 2020년 09월 07일 심사완료 Accepted on September 07, 2020

* 본 연구는 환경부 물관리연구사업(과제번호:796127)의 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다.

1 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 연구위원 Dept. of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Researcher Fellow

2 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 수석연구원 Dept. of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Senior Researcher

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

(ASOS) and satellite precipitation were analyzed to be between 0.42 and 0.46. In the evaluation during the period in which precipitation was concentrated, the correlation coefficients for one-hour temporal resolution data were analyzed as 0.55 to 0.66 for IMERG and 0.56 to 0.67 for GSMaP. According to the total rainfall analysis of each rainfall station for the three events, the correlation coefficients of IMERG and GSMaP were relatively better than CMORPH, and the bias of CMORPH data was relatively better than IMERG and GSMaP. However, all the three satellite precipitation were underestimated compared to the ground-based precipitation. In the future, a study will be carried out to estimate precipitation across the Korean Peninsula, including North Korea, reflecting the results from this study.

KEYWORDS : Satellite Precipitation, IMERG, GSMaP, CMORPH, accuracy

서론

수문학적, 기상학적 특성이 강조되는 수문/수자원 분야의 기술을 해외에 수출하기 위해서는 해당 국가의 수문기상학적 특성을 미리 이해하는 것이 중요하며, 수문순환의 기초라 할 수 있는 강수 특성 파악이 매우 필수적이다. 그러나 대부분의 물산업 진출 대상국가는 미계측 유역이 많고 지상에서 계측된 수문자료가 부족한 실정이다. 이에 대한 대안으로 위성으로부터 추정된 강수량 자료가 해당지역의 강수 특성을 파악하는데 중요한 자료가 될 수 있다.

원격탐사 기술은 지구 강수를 관찰하는데 많은 도움을 주는 기술로 인식되고 있다. 위성자료를 이용한 강수 추정에는 지상관측소 및 기상레이더와 비교하여 광역적 공간범위를 대상으로 하며, 지속적이고 균일한 강수를 생산한다는 장점을 갖고 있다(Hong *et al.*, 2016).

위성강수 자료(Satellite precipitation products, SPPs)는 최근 수십 년 동안 주요 강수량 측정 방법으로 등장했다(Tan *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2017). 위성에 의한 강수 관측 기술은 1997년 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission) 위성이 발사된 이래로 TMPA(Multi-satellite Precipitation Analysis), 미국 NOAA의 기후예측 센터의 CMORPH(NOAA CPC Morphing), 일본 JAXA의 GSMaP(Global Satellite Mapping of Precipitation) 등 다수의 다중위

성강수가 생산되고 있다(Kim *et al.*, 2015).

2014년 GPM Core 위성은 2015년 4월 8일 공식적으로 17년 간 서비스를 제공한 TRMM 위성을 대체하기 위한 것이다. GPM 미션으로 생산되는 IMERG 위성강수는 시·공간 해상도가 크게 향상되어 60N-60S의 공간적 범위에 대하여 시간해상도 30분, 공간해상도 0.1도의 위성강수 자료를 생산하고 있다. 이러한 위성강수 자료는 일반적으로 전 세계 강수량에 대한 지식과 글로벌 생태-수문학적 모델의 개발을 촉진하고 있으며, 광역적 혹은 지역적 홍수를 예측하기 위한 수문학적 연구에 다양하게 적용되고 있다(Hong *et al.*, 2019). 특히, 동아시아, 동남아시아, 아프리카 등지에는 수문학적 미계측 지역이 많기 때문에 위성강수 자료를 이용한 강수량 평가에 대한 연구가 다수 진행되고 있다(Hoscilo *et al.*, 2015; Dembélé *et al.*, 2016; Dandridge *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2019; Yuan *et al.*, 2019).

Ning *et al.*(2016)은 2014년 4월부터 2015년 11월까지 IMERG 외에 GSMaP를 일일/월별 해상도로 사용했으며, 통계적으로 GSMaP이 IMERG보다 강수를 더 잘 추정한다고 제시하였다. Sharifi *et al.*(2016)은 이란의 4개 지역에서 IMERG와 TRMM을 일일강수자료 비교 결과 IMERG의 성능이 전반적으로 우수하다고 제시하였다. Prakash *et al.*(2016)은 TMPA, IMERG 및 GSMaP 위성강수자료를 인도의 게이지 기반 관측치와 일일 규모(2014년 6월~9

월)를 비교한 결과 IMERG의 변동성이 TMPA 및 GSMaP 데이터보다 더 현실적이라고 제시한 바 있다.

국내에서도 위성강수 정확도에 관한 연구로서 CMORPH 위성강수 자료의 정확도 평가에서 시간해상도 및 공간 규모별에 따른 정확도 평가 (Kim *et al.*, 2013)와 시간해상도 변화에 따른 IMERG 정확도 평가를 수행한 바 있다(Kim *et al.*, 2017a).

위성강수를 유역 유출 분석에 이용한 연구로 Kim *et al.*(2015)은 다양한 위성강수 자료와 각 자료를 이용한 유출 특성을 국내의 계측지역 자료와 비교 평가한 후 이를 이용하여 북한 청천강 유역의 홍수량을 추정하는 바 있고, Kim *et al.*(2017b)은 위성강수와 글로벌 지형자료를 이용해서 모로코 지역에서의 홍수를 분석함으로써 각 자료의 적용성을 평가하였다. 또한 Choi *et al.*(2020)은 2016년 태풍 라이언록에 의해 홍수피해를 입은 두만강 유역의 도문/남양 지역 홍수/침수모의를 위해 IMERG 자료를 이용하여 홍수량을 분석하는 연구를 수행한 바 있다.

본 연구의 목적은 이용 가능한 위성강수에 대하여 고찰하고 이들 위성의 정확도를 평가함으로써 향후 물산업 해외 진출시 위성강수의 이용에 도움이 되고자 미국의 NASA와 NOAA, 일본의 JAXA에서 제공하고 있는 위성강수들에 대한 정확도를 비교하는 연구를 수행하는 것이다.

위성강수

위성자료를 이용한 강수추정 방법은 가시광선(VIS) 및 적외선 영상(IR)을 이용하는 방법과 마이크로파가 강수층을 통과하면서 강수입자에 의해 산란되거나 또는 강수층에서 마이크로파가 방출되는 성질을 이용하는 방법, 그리고 이 두 방법을 융합하여 강수량을 추정하는 혼합 강수추정 방법(combined precipitation estimation techniques), 그리고 위성에 탑재된 레이더 장비를 이용하여 강수량을 추정하는 방법 등이 있다.

상기와 같은 방법으로 위성으로부터 유도된 강수자료는 미국 NASA와 일본 JAXA가 공동

으로 개발한 GPM 위성군으로부터 생산되는 IMERG, 일본 JAXA에서 제공하고 있는 GSMaP, 그리고 미국 NOAA CPC(National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Prediction Center)에서 제공하고 있는 CMORPH 위성강수 자료가 있다.

위성으로부터 유도된 강수자료가 본격적으로 생산되기 시작한 것은 1997년 TRMM 위성이 발사된 이후이며, TRMM의 글로벌 강수 관측 임무를 대체하기 위한 위성인 GPM Core 위성이 2014년에 발사되었다.

GPM의 위성강수 산출 알고리즘 최신버전은 2019년 기준으로 버전 6B가 최신자료로 알고리즘 개선에 따라 기존의 모든 데이터가 업데이트되어 제공되고 있다. 강수구현은 0.2~110.0 mm/hr 구현을 목표로 하고 있으며, GMI(GPM Microwave Imager)와 DPR(Dual-frequency Precipitation Radar) 모두 50km 공간해상도에서 10mm/hr 강수에 대해 bias/random error가 25%를 초과하지 않도록 정확도 향상을 목표로 하고 있다. IMERG는 GMI와 DPR을 합성하여 생산하고 있는 강수량 자료이다.

TRMM과 비교할 때, GPM Core 위성의 강수 탐지 기능은 다중 채널 GMI 및 다중 강수레이더 장비(DPR, Ku/Ka-band)가 탑재되어 강수를 관측하고 있다. TRMM에 의해 생산되는 TMPA 위성강수는 3시간의 시간해상도를 가지면 관측범위도 남북위 35도 범위에 대하여 위성강수를 생산하였으나, GPM의 IMERG 자료는 30분의 시간해상도와 0.1deg.의 공간해상도, 그리고 남북위 60도의 범위에 대하여 위성강수를 생산하여 제공하고 있다.

GPM이 등장하기 전에 TMPA 3B42 제품은 수많은 SPP(Satellite Precipitation Product) 중에서 최고의 성능으로 인해 가장 널리 사용되고 신뢰할 수 있는 SPP로 간주되었다(Tong *et al.*, 2014; Sun *et al.*, 2016).

GSMaP 위성강수는 GPM 위성에 탑재된 GMI의 수동 마이크로파 정보를 사용하여 JAXA에 의해 생산되고 있으며, 공간 및 시간 해상도는 각각 0.10° × 0.10° 및 1시간의 시간해상도를

갖는다. GSMaP 알고리즘은 다음 단계들로 구성된다 : 1) 수동 마이크로파 센서들로부터 강수량을 계산하는 단계; 2) Morphing 기술을 사용하여 강수량 영향 지역 전파; 그리고 3) 칼만 필터 접근법을 사용하여 추정된 데이터를 보완한다(Aonashi *et al.*, 2009).

CMOPRH는 NOAA CPC에서 생산하여 제공되는 것으로 정지궤도위성의 적외선 자료로부터 유도되는 모션 벡터(motion vector)와 수동 마이크로파(passive microwave) 위성 자료로부터 유도된 30분 전지구 강수 추정치를 제시하는 기법을 이용하고 있다. 즉, CMORPH는 수동 마이크로파 자료로부터 유도되는 상대적으로 높은 정량적 강수추정치를 전달하기 위해 30분 간격으로 정지궤도위성의 IR 영상으로부터 유도된 모션벡터(motion vectors)를 이용한다. 시간가중 선형 보간법(time-weighted linear interpolation)에 의해 마이크로파 센서의 관측 시간 사이의 강수특성의 형태와 강도를 수정(morphing)하는 기법을 이용하는 것이다(Kim *et al.*, 2013).

대상자료 및 평가방법

1. 대상지역 및 강수자료

위성으로부터 유도된 강수의 정확도 평가를 위한 적용 대상지역은 한반도 남한지역을 대상으로 하였으며, 지상계측 강수량 자료는 WAMIS의 기상청에서 관리하는 기상관측소의 1hr 시간 해상도를 갖는 데이터를 수집하였고, 위성강수는 NASA Goddard의 강수처리시스템(The Precipitation Processing System at NASA Goddard, <http://pps.gsfc.nasa.gov>)을 통해 제공하는 IMERG, NOAA CPC(<ftp.cpc.ncep>.

noaa.gov/precip/CMORPH_V1.0)의 CMORPH (V1.0), 일본 JAXA의 GSMaP(Standard 버전 6, <ftp://hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/hourly/>)의 자료를 수집하였다. CMORPH는 2018년까지 자료를 제공하고 있어 표 1의 두 개 이벤트에 대하여 적용하였다.

자료분석은 표 1에 언급된 바와 같이 2017년~2019년 3개년 여름철의 강수자료를 대상으로 수행하였다. 각 이벤트의 강수특성은 기상청의 보도자료를 참고하였다. 3개년의 강수특성을 요약하면 2017년은 장마의 영향으로 2018년 및 2019년에는 태풍의 영향으로 많은 비가 내렸다.

본 연구에서는 표 1과 같이 2017년 7월 1일부터 7월 31일까지 1개월간의 전체 기간에 대한 정확도 평가와 2018년, 2019년의 강수이벤트 기간에 대한 위성강수의 정확도를 평가하였다. 그림 1은 표 1에서 언급한 기간 동안의 총 강수에 대한 공간분포를 나타낸 것이다.

그림 1에서 보는 바와 같이 대체적은 공간분포는 지상계측강수와 위성강수량 자료가 유사하게 나타나는 것으로 분석되었다.

2017년의 경우 지상계측강수의 경우 천안 및 충주지방에 많은 비가 관측된 것으로 분석되었으며, 세 개의 위성강수 자료의 경우에도 많은 비가 내린 것으로 나타났고, 남부지방 특히 낙동강 권역에 가장 적은 비가 내린 것으로 분석되었다. 2017년의 경우 앞서 언급한 바와 같이 지상계측 자료(ASOS)와 세 개의 위성강수자료 모두 중부지방에 많은 강수가 발생한 것을 알 수 있다. 그러나 ASOS 자료의 경우 이를 확인할 수 없으나, 세 개의 위성강수자료의 경우 전라북도 서해쪽에 많은 강수자료가 관측되어 있어 위성강수자료의 공간분포가 계측되지 않은

TABLE 1. Summary of the events

Event	Period	Note
Event-1	2017.07.01.~07.31	Heavy rain in central regions in early July Heavy rain in Chungcheong regions in mid-July
Event-2	2018.08.20.~09.02	Typhoon Solik
Event-3	2019.09.28.~10.03	Typhoon Mitak

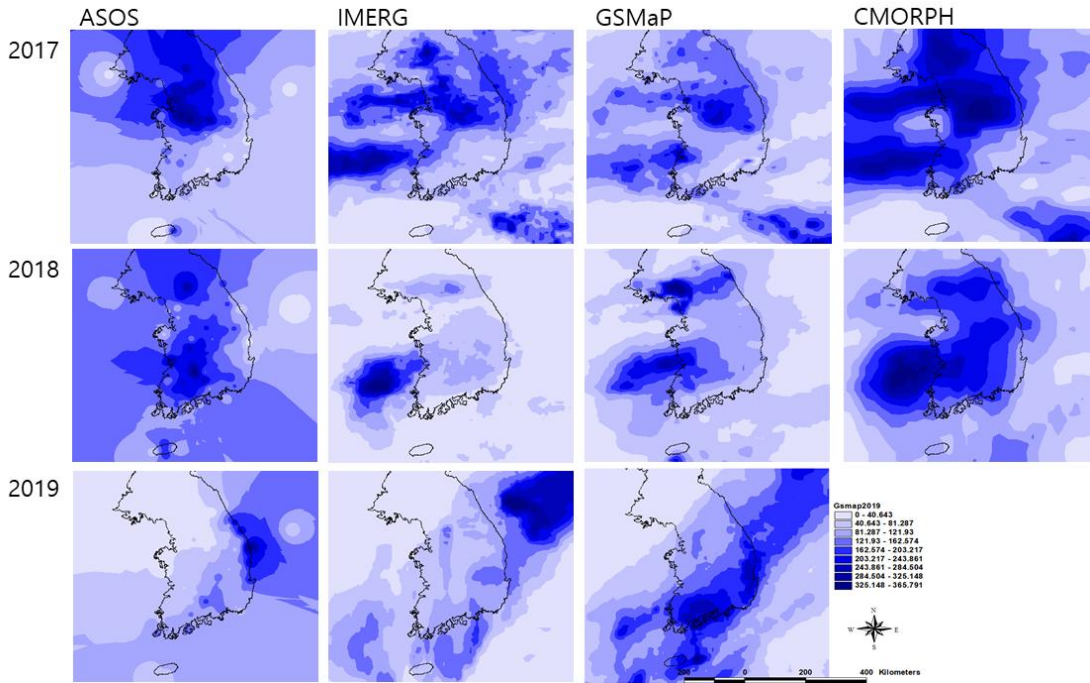


FIGURE 1. Spatial distributions of the precipitations

바다의 강수분포 및 강수량 자료도 확인할 수 있는 장점을 갖고 있다.

2018년의 경우에는 전라도 지방에 많은 비가 내린 것으로 분석되었고, 2019년의 경우에는 낙동강 동해권역과 남부지방에 많은 비가 내린 것으로 분석되었다.

2. 통계분석

총강수에 대한 통계분석을 다음과 같이 수행하였다. 편차(Bias)는 식 1과 같이 지상계측 강수와 위성으로부터 유도된 강수자료 차이의 평균으로 표시되며, 편차는 일반적으로 기준값을 갖는 샘플에 의한 다수의 반복 측정으로부터 얻어진 평균 간의 차이로 결정된다.

$$B = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{s,i} - P_{o,i})}{N} \quad (1)$$

곱셈 편차(Multiplicative Bias, B_m)는 식 2와 같이 위성값과 관측값의 비율로 정의하며, B_m 이 1보다 작으면 과소평가되고, 1보다 크면 과대평가가 된 것이다.

$$B_m = \frac{\sum_{i=1}^N P_{s,i}}{\sum_{i=1}^N P_{o,i}} \quad (2)$$

상대 편차(Relative Bias, B_r)는 식 3과 같이 지상계측 강수와 위성으로부터 유도된 강수자료 차이의 합을 지상계측 총강수로 나눈 백분율로 표시된다.

$$B_r (\%) = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{s,i} - P_{o,i})}{\sum_{i=1}^N P_{o,i}} \times 100 \quad (3)$$

평균 절대오차(Mean Absolute Error, MAE)는 오류의 평균 크기를 나타내며, 평균제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 MAE와 유사하지만 전체 오차 크기를 표시하여 더 큰 오차에 더 큰 가중치를 부여한다.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |P_{s,i} - P_{o,i}|}{N} \quad (4)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_{s,i} - P_{o,i})^2}{N} \right]^{1/2} \quad (5)$$

상관계수(CC)는 -1~ +1 범위에서 두 개의 데이터 세트 사이의 일치 정도를 나타내며 각각 음과 양의 맞춤을 나타낸다. 상관계수는 선형관계가 없거나 선형 상관관계가 작으면 0에 가까워진다. (Moazami *et al.*, 2013).

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{s,i} - \bar{P}_s)(P_{o,i} - \bar{P}_o)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_{s,i} - \bar{P}_s)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_{o,i} - \bar{P}_o)^2}} \quad (6)$$

정확도 평가 및 고찰

1. Event-1 정확도 평가

표 1에서 제시된 Event-1의 2017년 장마는 6월 24일에 제주도에서 시작되어 7월 29일에 남부와 중부지방에 비가 내린 후 종료되었다. 2017년 장마는 7월 초순에 중부지방에 그리고 7월 중순에 충청지방에 집중되어 천안 및 청주 지방에 많은 비가 관측되었다.

2017년 7월의 경우 ASOS 관측 강수를 기준으로 300.0mm/mon 이상인 관측소만을 대상으로 분석을 수행한 결과 지상계측자료 평균 약 470.4mm/mon로 기록하였고, IMERG, GSMaP, CMORPH는 각각 302.4mm/mon, 374.0mm/mon, 387.0mm/mon로 위성강수 중에서 NASA의

IMERG 위성강수가 가장 적고 NOAA의 CMORPH 위성강수가 가장 많은 값을 나타내고 있으나 지상계측 강수량보다는 과소하게 추정되고 있음을 확인할 수 있다.

지상계측강수(ASOS)와 위성강수의 1시간의 시간해상도에서 상관계수는 IMERG가 0.46, GSMaP가 0.42로 IMERG가 상관관계가 상대적으로 더 좋은 것으로 분석되었으나 3시간의 시간해상도에서는 GSMaP가 IMERG보다 더 상관관계가 좋은 것으로 분석되었다.

2. Event-2 정확도 평가

표 1에서 제시된 Event-2는 2018년 태풍 솔릭(Solik)의 영향으로 8월 말에 전라도 및 지리산 부근을 중심으로 많은 비가 내렸으며, 태풍 솔릭이 통과한 후 정체전선의 영향으로 강한 국지성 호우가 전국에 영향을 미쳤다.

2018년 8월 20일부터 9월 2일까지의 ASOS 관측소 관측 자료 중 300.0mm 이상인 관측소는 표 3에서 보는바와 같이 24개 관측소이며, 이들 관측소의 평균 강수량은 373.4mm이었다. 위성강수는 IMERG가 159.5mm, GSMaP이 261.4mm, CMORPH가 311.8mm로 Event-1과 마찬가지로 위성강수자료 모두가 과소추정되고 있으나 NOAA의 CMORPH가 가장 작은 편차를 보이는 것으로 분석되었다.

ASOS 관측소 83개소의 상관관계 분석에서 ASOS 관측 강수를 기준으로 300mm 이상, 200mm 이상, 100mm 이상, 100mm 이하 IMERG의 경우 상관계수는 각각 0.55, 0.55, 0.56, 0.51, GSMaP는 0.67, 0.66, 0.67, 0.64로 대체로 유사한 경향을 나타내고 있으며 전체적으로 IMERG는 0.55, GSMaP는 0.66의 상관계수를 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

3. Event-3 정확도 평가

표 1에서 제시된 Event-3의 2019년 제18호 태풍 미탁(Mitak)은 한강권역을 제외한 전국에 많은 비가 내렸으며, 특히 낙동강 동해권역과 한강 동해권역에 많은 비가 내렸고, 시간

TABLE 2. Summary of the rainfall event-1(2017)

Station	Items Precipitation	Total precipitation(mm)				Correlation(1hr)		Correlation(3hr)		
		ASOS	IMERG	GSMaP	CMORPH	IMERG	GSMaP	IMERG	GSMaP	CMORPH
Cheongju	789.1	312	515.0	500.8	0.48	0.48	0.58	0.66	0.57	
Cheonan	765.5	252	360.7	402.3	0.39	0.40	0.47	0.54	0.43	
Suwon	684.5	385	454.0	502.7	0.45	0.45	0.57	0.66	0.00	
Mungyeong	678.7	347	473.5	292.3	0.48	0.45	0.50	0.68	0.25	
Seoul	621	360	402.7	403.2	0.46	0.55	0.63	0.74	0.57	
Hongcheon	578.4	336.5	342.7	417.3	0.39	0.28	0.59	0.47	0.00	
Cheorwon	575.2	344	305.7	398.9	0.59	0.42	0.71	0.62	0.00	
Boeun	572	277	476.3	444.9	0.36	0.35	0.45	0.56	0.65	
Yangpyeong	567.2	363.5	346.0	328.1	0.45	0.34	0.55	0.44	0.41	
Chuncheon	530.4	365	279.2	473.1	0.60	0.29	0.73	0.57	0.53	
Inje	523.7	278	355.7	420.7	0.53	0.35	0.69	0.58	0.49	
Wonju	505.6	340.5	435.6	494.8	0.45	0.44	0.47	0.55	0.50	
Incheon	478.2	364.5	347.4	290.8	0.38	0.34	0.67	0.65	0.66	
Jecheon	464.8	431.5	470.2	487.9	0.50	0.46	0.56	0.59	0.60	
Chungju	464.3	492.5	561.7	456.4	0.30	0.48	0.36	0.65	0.58	
Icheon	454.9	366.5	431.0	388.3	0.52	0.40	0.59	0.55	0.70	
Andong	454.4	222	441.7	519.1	0.38	0.51	0.43	0.55	0.60	
Daejeon	434.5	215	298.1	442.8	0.51	0.44	0.63	0.61	0.74	
Seongsan	427.5	54.5	165.2	90.1	0.37	0.62	0.46	0.77	0.21	
Sangju	404.8	246.5	365.7	241.9	0.31	0.29	0.33	0.47	0.59	
Yeongwol	402.1	392	466.8	594.3	0.32	0.47	0.36	0.62	0.65	
Dongducheon	376.3	352	283.2	476.2	0.42	0.30	0.54	0.57	0.66	
Paju	364.3	329.5	264.8	201.3	0.52	0.24	0.66	0.44	0.58	
Daegwallyeong	355.4	364.5	375.8	512.7	0.55	0.42	0.74	0.62	0.50	
Sunchang-Gun	343.1	133.5	290.0	395.8	0.52	0.27	0.77	0.71	0.75	
Yeongju	337.9	361.5	453.3	362.6	0.52	0.40	0.63	0.67	0.41	
Seosan	327.8	177	212.4	213.2	0.34	0.56	0.41	0.70	0.53	
Buyeo	326.7	187	234.6	255.7	0.54	0.67	0.67	0.77	0.76	
Buan	320.1	276	468.6	358.7	0.77	0.60	0.89	0.71	0.90	
Taebaek	313.6	301.5	351.8	313.7	0.43	0.44	0.63	0.65	0.43	
Geumsan	305.5	184.5	233.8	347.0	0.35	0.35	0.47	0.51	0.64	
Gochang-Gun	305.5	264.0	505.0	357.1	0.50	0.28	0.66	0.56	0.83	
Average	470.4	302.4	374.0	387.0	0.46	0.42	0.58	0.61	0.52	

당 129mm의 강우를 기록한 삼척과 2019년 10월 2일 일강수량이 332.9mm를 기록한 울진군이 10월 역대 최다 강수량을 기록하였다.

표 4에서 보는바와 같이 Event-3의 경우에도 위성강수와 지상계측강수와의 상관계수는 1시간 시간해상도에서는 IMERG, GSMaP 위성강수 각각 0.66, 0.56으로 분석되었고, 3시간의 시간해상도에서는 0.75 및 0.67로 IMERG 위성강수가 GSMaP보다 상관관계가 더 높은 것

로 분석되었다.

4. 총강우 정확도 평가

표 5는 상기의 통계분석 자료를 이용하여 3개년의 이벤트에 대하여 총강우에 대한 지상계측 관측값과 위성강수 자료에 대한 통계값을 정리하여 나타낸 것이다.

표 5에서 보는 바와 같이 상관계수는 이벤트에 따라 IMERG와 GSMaP이 우수한 것으로 분

TABLE 3. Summary of the rainfall event-2(2018)

Station	Items Precipitation	Total precipitation(mm)				Correlation(1hr)		Correlation(3hr)		
		ASOS	IMERG	GSMaP	CMORPH	IMERG	GSMaP	IMERG	GSMaP	CMORPH
Jangsu		556.5	195.3	315.7	333.8	0.47	0.59	0.52	0.65	0.65
Gunsan		486.6	284.3	426.4	376.3	0.74	0.83	0.73	0.89	0.56
Cheorwon		450.4	263.0	335.5	302.0	0.70	0.77	0.71	0.84	0.81
Sancheong		418.9	190.5	246.0	340.5	0.53	0.65	0.55	0.63	0.59
Daejeon		408.5	176.8	272.4	352.9	0.36	0.48	0.56	0.57	0.64
Sunchang-Gun		403.4	176.6	297.9	340.2	0.66	0.75	0.53	0.63	0.37
Geumsan		385.5	194.4	272.5	358.9	0.66	0.74	0.76	0.83	0.72
Suncheon		384.1	106.0	157.1	270.7	0.58	0.66	0.18	0.37	0.21
Dongducheon		383.6	178.9	339.4	290.5	0.51	0.64	0.72	0.80	0.53
Boeun		383.5	150.4	258.6	353.6	0.43	0.56	0.55	0.67	0.57
Imsil		382.5	175.3	337.4	369.8	0.65	0.79	0.44	0.53	0.50
Gwangju		379.3	137.2	310.8	295.8	0.71	0.86	0.48	0.57	0.44
Jeonju		361.6	169.7	334.1	401.9	0.42	0.59	0.45	0.65	0.66
Namwon		345.1	183.8	260.7	341.9	0.69	0.81	0.61	0.81	0.49
Chungju		343.0	129.6	206.1	342.6	0.16	0.60	0.33	0.69	0.55
Chupungyeong		332.9	158.1	233.6	343.6	0.58	0.64	0.63	0.72	0.65
Sangju		331.2	154.9	220.6	331.3	0.53	0.63	0.66	0.79	0.67
Chuncheon		324.0	143.2	286.7	317.1	0.55	0.60	0.65	0.79	0.84
Jeju		322.8	79.6	124.1	128.9	0.39	0.47	0.62	0.68	0.67
Seogwipo		319.1	65.0	264.8	132.0	0.46	0.52	0.64	0.96	0.25
Jecheon		318.5	138.2	197.3	304.4	0.60	0.65	0.65	0.77	0.58
Miryang		316.8	160.4	200.1	256.7	0.82	0.94	0.84	0.94	0.90
Yeongju		313.1	139.6	223.6	346.6	0.62	0.79	0.60	0.77	0.66
Daegwallyeong		311.3	78.2	151.2	252.1	0.44	0.49	0.40	0.50	0.41
Average		373.4	159.5	261.4	311.8	0.55	0.67	0.58	0.71	0.58

석되었으나, B_m , B_r , MAE, RMSE 등은 CMORPH가 가장 좋은 결과를 제시하고 있다. 또한 그림 2에 나타낸 바와 같이 편차는 상대적으로 CMORPH가 우수한 것으로 분석되었으나, 분산특성에서는 상관계수가 상대적으로 좋은 IMERG 및 GSMaP가 분산도가 낮은 것으로 분석되었다.

결 론

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 해당국의 수문기상학적 특성을 파악할 수 있는 강수량 자료와 같은 기초적인 자료 획득이 매우

어렵다는 것이다.

본 연구에서는 위성으로부터 유도된 위성강수 자료 중 가장 최근(2014년)에 발사된 GPM Core 위성 등으로부터 생산되어 제공하고 있는 GPM IMERG, 미국 NOAA의 CMORPH, 일본 JAXA의 GSMaP 위성강수에 대한 정확도를 비교함으로써 향후 미세측 혹은 비접근 지역에 적용 여부를 판단하고자 하는 것을 목적으로 하고 있다.

정확도 평가 결과 전체적인 강수의 공간분포는 세 개의 이벤트 모두 지상계측강우와 위성강수가 유사한 공간분포를 갖는 것으로 분석되었다.

상관계수 해석은 Rea & Parker(2005)의 해석을 따랐다. 즉, 0.4~0.6은 비교적 강한 양의 상관관계, 0.6~0.8의 경우에는 강한 양의 상관관계, 0.8~1.0의 경우에는 매우 강한 양의 상

TABLE 4. Summary of the rainfall event3(2019)

Station	Items Precipitation	Total precipitation(mm)			Correlation(1hr)		Correlation(3hr)	
		ASOS	IMERG	GSMaP	IMERG	GSMaP	IMERG	GSMaP
Uijin		556.3	63.7	202.5	0.65	0.49	0.70	0.53
Yeongdeok		382.5	70.4	233.9	0.54	0.49	0.85	0.71
Gangneung		371.0	45.1	139.9	0.45	0.08	0.52	0.13
Donghae		368.6	46.0	191.5	0.42	0.30	0.49	0.43
Pohang		322.3	62.3	237.0	0.49	0.44	0.79	0.73
N.Gangneun		309.7	43.5	135.2	0.64	0.18	0.62	0.18
Sancheong		293.0	39.8	165.4	0.65	0.60	0.79	0.68
Hapcheon		241.0	53.2	175.6	0.68	0.60	0.69	0.63
UiRyung-Gun		239.0	73.4	157.8	0.75	0.60	0.81	0.67
Goheung		225.6	53.7	141.3	0.79	0.71	0.88	0.80
Gumi		217.6	63.1	169.9	0.62	0.52	0.62	0.63
Changwon		217.4	56.9	140.7	0.64	0.75	0.68	0.79
Hamyang-Gun		205.0	35.0	156.6	0.80	0.68	0.87	0.77
Jindo		203.5	28.8	99.9	0.48	0.44	0.64	0.51
Gyeongju-Si		198.5	55.1	239.5	0.68	0.62	0.78	0.81
Suncheon		198.0	53.4	165.1	0.69	0.64	0.85	0.69
Haenam		188.2	37.9	113.5	0.67	0.52	0.69	0.56
Jangheung		181.9	48.3	129.0	0.47	0.53	0.58	0.56
Namhae		179.5	41.7	138.1	0.72	0.79	0.77	0.85
Geoje		175.0	62.5	113.8	0.77	0.83	0.74	0.88
Ulsan		171.1	55.6	203.7	0.82	0.74	0.93	0.86
Tongyeong		170.7	93.2	126.6	0.94	0.82	0.94	0.89
Sangju		169.8	40.1	145.2	0.79	0.61	0.79	0.73
Chupungyeong		169.8	31.9	147.8	0.64	0.58	0.70	0.63
Cheongsong-Gun		168.0	61.4	244.5	0.81	0.51	0.90	0.83
Boseong-Gun		162.8	58.4	155.2	0.34	0.37	0.60	0.57
Wando		156.7	49.5	105.8	0.88	0.55	0.88	0.70
Gwangyang-Si		156.0	44.4	145.4	0.70	0.65	0.81	0.68
N.Changwon		151.0	49.9	132.5	0.48	0.70	0.71	0.86
Average		232.7	52.4	160.4	0.66	0.56	0.75	0.67

TABLE 5. Statistical evaluation results.

Items.	event Precipitation	2017			2018			2019	
		IMERG	GSMaP	CMORPH	IMERG	GSMaP	CMORPH	IMERG	GSMaP
B		-168.0	-96.4	-83.4	-214.0	-112.2	-61.8	-180.4	-72.3
B_m		0.64	0.80	0.82	0.43	0.70	0.83	0.22	0.67
B_r		-0.36	-0.20	-0.18	-0.57	-0.30	-0.17	-0.80	-0.33
MAE		168.0	96.4	83.4	214.0	112.2	61.8	185.4	77.3
RMSE		950.4	545.3	471.7	1048.6	549.8	302.6	998.3	416.2
CC		0.58	0.61	0.52	0.56	0.54	0.58	0.66	0.75

B=Bias, B_m =Multiplicative Bias, B_r =Relative Bias, MAE = Mean Absolute Error

RMSE = Root Mean Square Error, CC=Correlation Coefficient

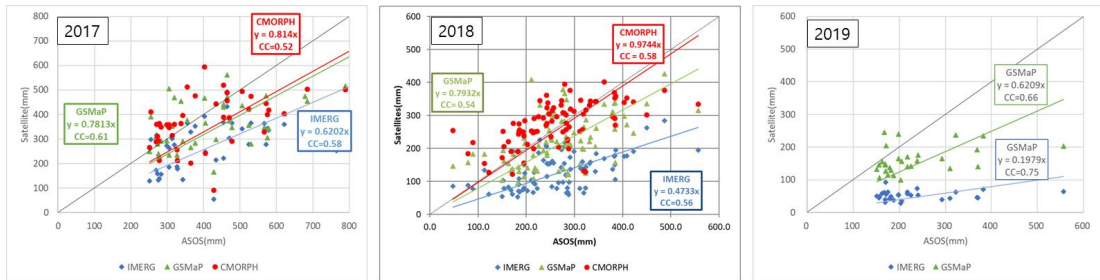


FIGURE 2. Scatter plots for precipitation products.

관관계로 제시하였다.

Event-1 과 같이 1개월간의 강수의 경우 지상계측강수(ASOS)와 위성강수의 1시간의 시간 해상도에서 상관계수는 IMERG가 0.46, GSMaP가 0.42, 3시간의 시간해상도에서는 각각 0.58, 0.61로 분석되었다. Event-2 및 Event-3 과 같이 강수가 집중된 기간에 대한 평가에서 1시간의 시간해상도에 대한 상관계수가 IMERG는 0.55~0.66, GSMaP는 0.56~0.67로 분석되었다. Event-1 의 경우에는 2017년 7월의 1개월간의 자료에 대하여 분석을 수행한 것이고, 2018년 및 2019년도 분석은 강수가 집중된 기간에 대하여 분석을 수행한 결과 Event-1 과 같이 7월의 전기간에 대한 상관계수는 1시간의 시간해상도에서 약 0.45정도를 분석되었으나 Event-2 및 Event-3 과 같이 강수가 집중된 기간의 1시간 시간해상도에서는 0.6정도로 상관계수가 높은 것을 확인할 수 있다.

세 개의 이벤트에 대한 관측소별 총강우의 분석결과 상관계수는 IMERG와 GSMaP이 우수한 것으로 분석되었고, 편차는 상대적으로 CMORPH가 우수한 것으로 분석되었다. 위성강수 중 IMERG와 GSMaP 위성강수는 시공간해상도가 매우 우수한 자료로서 홍수분석 수행을 위한 시간해상도가 높은 1hr의 경우 강우가 집중된 기간에 대한 상관계수가 0.55~0.67정도로 나타났으나 총강우량이 과소하게 추정되는 단점이 있다.

Xie *et al.*(2011)에 의하면 2000-2009년의 10년간의 연평균 강수량에 대하여 CMORPH자료를 분석한 결과 공간분포 패턴은 매우 잘 반영하고 있으나, 열대 및 아열대 지역에서는 과

대 산정되고 중간 및 고위도 지역에서는 과소하게 산정되는 것으로 발표한 바 있으며, Sohn *et al.*(2010)에 의하면 CMORPH, PERSIANN, NRL-blended의 세 개의 위성강수자료에 대하여 520개의 AWS 자료의 공간분포자료와 그리드별 격자비교를 통해 여름철 평균 분포는 명백하게 상당히 과소평가된다고 언급하고 있으며, 이는 한국지역의 PMW(Passive MicroWave) 기반의 강수자료 부족에 기인한 것으로 평가하였다(Kim *et al.*, 2017a).

위성강수의 정확도에 대한 평가는 현재 진행형이며 지속적으로 발전하고 있다. 또한, 위성강수자료는 강수의 지상 관측 자료가 없거나 지상 관측에 대한 공간 및 시간적 범위가 열악한 지역의 지상관측 자료를 대체할 수 있으며, 공간 확대에 대한 통일된 정보를 제공해 주는 장점이 있다.

향후 본 연구를 통해 얻어진 결과를 반영하여 북한을 포함한 한반도 전체에 대한 강수량을 추정하는 연구를 수행할 계획이다. **KAGIS**

REFERENCES

Aonashi, K., J. Awaka, M. Hirose, T. Koizu, T. Kubota, G. Liu, S. Shige, S. Kida, S. Seto, N. Takahashi and Y.N. Takayabu. 2009. Gsmap passive microwave precipitation retrieval algorithm: Algorithm description and validation. Journal of the Meteorological Society of Japan 87:

- 119-136. doi:10. 2151/jmsj.87A.119.
- Choi Y.S., J.H. Kim and J.S. Kim. 2020. Inundation analysis on the flood plain in ungauged area using satellite rainfall and global geographic data: In the case of Tumen/Namyang area in Duman-gang (Riv.). *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 23 (1):51-64 (최윤석, 김주훈, 김지성. 2020. 위성강우와 글로벌 지형 자료를 이용한 미계 측 지역 홍수터 침수모의-두만강 도문/남양 지역을 중심으로. *한국지리정보학회 논문집* 23(1):51-64).
- Dandridge, C., V. Lakshmi, J. Bolten and R. Srinivasan. 2019. Evaluation of satellite based satellite based rainfall estimates in the Lower Mekong River Basin(Southeast Asia). *Remote Sensing* 11:2709.
- Dembélé, M. and S.J. Zwart. 2016. Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso, West Africa. *International Journal of Remote Sensing* 37(17):3995-4014.
- Hong Y, Zhang Y., Khan S. 2016. Hydrologic remote sensing: Capacity building for sustainability and resilience CRC Press(2016). 395pp.
- Hong Y, G. Tang, Y. Ma, Q. Huang, Z. Han, Z. Zeng, Y. Yang, C. Wang and X. Guo. 2019. Remote sensing precipitation: sensors, retrievals, validations, and applications. In: Li X., Vereecken H.(eds) *Observation and measurement of ecohydrological processes*. *Ecohydrology*, vol.2. Springer, Berlin, Heidelberg p.107-128.
- Hoscilo, A., H. Balzter, E. Bartholomé, M. Boschetti, P.A. Brivio, A. Brink, M. Clericic and J.F. Pekelc. 2015. A conceptual model for assessing rainfall and vegetation trends in Sub-Saharan Africa from satellite data. *International Journal of Climatology*. 35:3582-3592.
- Kim, J.H., K.T. Kim and Y.S. Choi 2013. Fitness evaluation of CMORPH satellite-derived precipitation data in Korea. *Journal of Wetlands Research* 15(3):339-346 (김주훈, 김경탁, 최윤석. 2013. 한반도의 CMORPH 위성강우자료 정확도 평가. *한국습지학회 논문집* 15(3):339-346).
- Kim, J.H., Y.S. Choi and K.T. Kim. 2015. Flow estimation using rainfalls derived from multiple satellite images in North Korea. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 18(4): 31-42 (김주훈, 최윤석, 김경탁. 2015. 위성 강우자료를 이용한 북한지역 홍수량 추정. *한국지리정보학회 논문집* 18(4):31-42).
- Kim, J.H., Y.S. Choi and K.T. Kim. 2017a. Evaluation for accuracy of IMERG at multiple temporal scales. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 20(4):12-26 (김주훈, 최윤석, 김경탁. 2017. 시간 해상도 변화에 따른 IMERG 정확도 평가. *한국지리정보학회 논문집* 20(4):12-26).
- Kim, J.H., Y.S. Choi and K.T. Kim. 2017b. Estimation of flood discharge using satellite-derived rainfall in abroad watersheds-A case study of Sebou watershed, Morocco. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 20(3):141-152 (김주훈, 최윤석, 김경탁. 2017. 위성 강우자료를 이용한 해외 유역 홍수량 추정-모로코 세부강 유역을 대상으로. *한국지리정보학회 논문집* 20(3):141-152).
- Kim, I.W., J. Oh, S. Woo and R.H. Kripalani.

2019. Evaluation of precipitation extremes over the Asian domain: observation and modelling studies. *Climate Dynamics*. 52: 1317–1342.
- Ning, S.W., Wang, J., Jin, J.L., Ishidaira, H., 2016. Assessment of the latest GPM-era high resolution satellite precipitation products by comparison with observation gauge data over the Chinese mainland. *Water* 8,(11), 481:1–7.
- NOAA Climate Prediction Center. 2011. Bias-corrected CMORPH: A 13-year analysis of high-resolution global precipitation. http://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/CMORPH_V1.0/REF/EGU_1104_Xie_bias-CMORPH.pdf (Accessed April 10, 2020)
- Prakash, S. Mitra, A.K. Pai, D.S. and AghaKouchak, A. 2016. From TRMM to GPM: How well can heavy rainfall be detected from space? *Adv. Water Resour* 88:1–7.
- Sharifi, E., Steinacker, R. and Saghafian, B., 2016. Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: preliminary results. *Remote Sens*. 8, 24.
- 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.
- Sun, R., Yuan, H., Liu, X. and Jiang, X., 2016. Evaluation of the latest satellite-gauge precipitation products and their hydrologic applications over the Huaihe River basin. *J.Hydrol* 536:302–319.
- Tan, M.L., Ibrahim, A.L., Duan, Z., Cracknell, A.P. and Chaplot, V. 2015. Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia. *Remote Sens* 7:1504–1528.
- Tong, K., Su, F., Yang, D. and Hao, Z. 2014. Evaluation of satellite precipitation retrievals and their potential utilities in hydrologic modeling over the Tibetan Plateau. *J.Hydrol* 519, 423–437.
- Xu, R., Tian, F., Yang, L., Hu, H., Lu, H. and Hou, A. 2017. Ground validation of GPM IMERG and TRMM 3B42V7 rainfall products over Southern Tibetan Plateau based on a high density rain gauge network. *J. Geophys. Res. -Atmos.* 122:910–924.
- Yuan, F., L. Zhang, K. Soe and Y. Liu. 2019. Applications of TRMM- and GPM -Era Multiple-satellite Precipitation Products for Flood Simulations at Sub-daily Scales in a Sparsely Gauged Watershed in Myanmar. *Remote Sensing*.11(2):140.