



Assessment and merging technique for GPM satellite precipitation product using ground based measurement

Baik, Jongjin^a · Park, Jongmin^b · Kim, Kiyoung^c · Choi, Minha^{d*}

^aCenter for Built Environment, Sungkyunkwan University

^bDepartment of Civil and Environmental Engineering, University of Maryland

^cHydrological Survey Department, Korea Institute of Hydrological Survey

^dDepartment of Water Resources, Graduate School of Water Resources, Sungkyunkwan University

Paper number: 17-094

Received: 30 October 2017; Revised: 27 November 2017; Accepted: 27 November 2017

Abstract

Precipitation is a key variable to enhance the understanding of water cycle system and secure and manage the water resources efficiently. In this study, we evaluated the feasibility of GPM precipitation datasets through comparison with the 92 ASOS sites in South Korea during 2015. Additionally, three merging techniques (i.e., Geographical Differential Analysis, Geographical Ratio Analysis, Conditional Merging) were applied to improve accuracy of precipitation by fusing the advantages from point and satellite-based datasets. The results of this study are as follows. 1) GPM dataset indicated slightly overestimation with compared ASOS dataset, especially high uncertainties in summer season. 2) Validation of three merging techniques through jackknife cross-validation showed that uncertainty were decreased as the spatial resolution increased. Especially, conditional merging showed the best performance among three methods.

Keywords: GPM, GDA, GRA, CM, Merging

GPM 위성 강우자료의 검증과 지상관측 자료를 통한 강우 보정 기법

백종진^a · 박종민^b · 김기영^c · 최민하^{d*}

^a성균관대학교 건설환경연구소, ^b메릴랜드 건설환경공학과, ^c한국수자원조사기술원 하천조사실, ^d성균관대학교 수자원전문대학원

요 지

강우는 물순환 시스템을 이해를 증가 시킬 뿐만 아니라, 효율적인 수자원 확보 및 관리에 있어서 가장 핵심적인 인자이다. 본 연구는 2015년을 대상으로 한반도에서의 92개의 ASOS 지점자료와 최근에 발사된 GPM 위성강우 자료의 비교를 통하여 활용가능성을 평가하였다. 또한 지점 자료의 장점과 인공위성 자료의 장점을 융합함으로써 보다 개선된 강우자료를 산출하기 위해 3가지의 상세화 방법(Geographical Differential Analysis, Geographical Ratio Analysis, Conditional Merging)들을 적용하였다. 이 연구에서 도출된 결과는 다음과 같다. 1) ASOS 자료와의 검증을 통해 GPM 강우자료가 약간 과대산정되는 편향을 가지고 있는 것을 확인하였으며, 특히 여름 기간에 오차가 높게 발생하는 것으로 나타났다. 2) Jackknife 방법을 통하여 각 합성방법에 대해서 검증하였을 때, 공간해상도가 높아짐에 따라서 오차가 줄어드는 것을 확인하였으며, 상세화 방법 중 conditional merging 방법이 가장 좋은 성능을 나타내었다.

핵심용어: GPM, GDA, GRA, CM, 융합

*Corresponding Author. Tel: +82-31-290-7539
E-mail: mhchoi@skku.edu (M. Choi)

1. 서론

기후변화로 인한 이상기후의 변동성이 점차 심각해짐에 따라서 이로인해 발생하는 다양한 문제(자연재해)는 인간의 삶에 많은 영향을 미치고 있다. 그 중 강우는 모든 규모(지역적, 전지구적)에서 수문기상에서 대표가 되는 중요한 인자이다(Kim *et al.*, 1999). 홍수와 가뭄과 같은 자연재해에 직접적인 영향을 주는 강우는 공간적인 변동성과 한해에 내리는 양이 정해져 있어 적절한 수자원 관리가 이뤄져야 한다. 특히, 이는 동식물, 인간의 생존에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 수자원 분야에서 끊임없는 연구가 이뤄지고 있다.

예로부터 전세계뿐만 아니라 우리나라에서도 강우의 정량적인 양을 관측하기 위하여 지점 기반을 이용한 연속적인 모니터링을 실시하여 왔다(Kim *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2014a). 그러나, 수자원 계획 및 돌발홍수예보, 농업, 공업 등에서 공간적인 데이터의 요구가 증가함에 따라서 기존의 강우관측소를 공간자료로 산정하는 방법들(arithmetic average method, thissen polygon, isohyetal method, Inverse distance weighting, kriging, etc.)에 대한 연구들이 진행되어 왔었다(Hwang *et al.*, 2006). 이러한 방법들은 계절적인 강우의 특성, 강우관측소의 설치 밀도 및 간격, 설치 지형적 조건 등으로 인한 공간적 강우량을 측정하기에는 어려움이 따랐다(Baik *et al.*, 2016). 따라서, 시간/공간적 이점들이 있는 레이더, 인공위성 등과 같은 방법들이 발달 되었으며, 강우의 특성을 공간적이고 정량적으로 관측하기 위한 연구가 진행되어왔다(Jang *et al.*, 2003). 레이더와 같은 경우는 기술력을 요구하기 때문에 선진국에 국한된 특정 지역에서 단기예측 및 기상예보와 관련된 연구들에 사용되고 있다(Kim *et al.*, 1999). 인공위성의 경우에는 레이더와 같이 한정적인 계층 지역을 벗어나 미세계층지역을 관측할 수 있기 때문에, 광범위한 범위에서의 기상, 지표변화에 대해서 관측할 수 있어 점차 사용되어 연구가 급격하게 진행되고 있다(Kim *et al.*, 2014).

인공위성을 통하여 강우를 관측하기 위하여, National Aeronautics and Space Administration (NASA)의 열대 강우 측정 임무를 가지고 발사된 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)은 육지와 해양에서의 강수 관측을 목적으로 발사되었으며, 1997년 10월부터 기기의 노후화로 인한 문제가 발생한 2015년 6월까지 강수 유무, 강수형태, 강수량 측정, 강수 입자의 분포 등 여러 자료들을 산출하여 다양한 연구 분야에서 활용되어왔다(Seo, 2012; Cho *et al.*, 2013; Worqlul *et al.*, 2014; Li, 2015; Baik *et al.*, 2015; Milewski *et al.*, 2015; Baik *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2017). 차기 위성으로 2014년

2월에 Global Precipitation Measurement (GPM)이 발사되어 전 지구적으로 광범위한 영역에서의 강우를 관측하고 있으며, 여러 지역에서의 정확도 검증 및 보정을 위해 많은 연구가 진행되고 있다(Wang and Lu, 2016; Sharifi *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2017). Sharifi *et al.* (2016)은 GPM 위성의 활용가능성에 대해서 파악하기 위하여, 연구지역인 이란의 4지역(kermanshah, tehran, bushehr and guilan areas)에서 2014년 3월부터 2015년 2월까지 기간 동안의 TRMM 3B42, ERA-INTERIM, GPM-IMERG 자료들을 일/월단위로 자료로 검증하였다.

그렇지만, 원격탐사 시스템(레이더, 인공위성)들을 통한 관측은 지상관측의 정량적인 개념이 아닌 간접적인 추정이기 때문에 불확실성이 높은 단점을 내포하고 있다(Kang *et al.*, 2017). 인공위성 자료를 사용 및 활용하기 위해서는 인공위성 자료의 비교 및 검증이 선행적으로 실시하여 활용가능성을 판별하는 것이 필수적이다. 인공위성 자료의 시공간적인 분포성이 높다는 사실은 잘 알려져 있으나, 직접적인 관측이 아니기 때문에 정확도에 대한 문제를 가지고 있는 것이 현실이다(Kim *et al.*, 2017). 수문기상자료에 대한 정확도 개선의 필요성이 증가하면서 선행연구들에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 인공위성과 지점 자료를 활용하여 자료의 보정 및 상세화하는 것에 대한 연구들이 진행되었다(Miralles *et al.*, 2010; Crow *et al.*, 2010; Berndt *et al.*, 2014; Baik *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2016).

본 연구에서는 사계절이 뚜렷하며, 특히 몬순의 영향으로 국지성 집중호우의 빈도가 높은 남한 지역을 연구 범위로 선정하였으며, 종관기상관측장비(Automatic Synoptic Observation System, ASOS)자료와 GPM-IMERG 자료의 비교 및 검증을 통하여 사용 및 활용가능성에 대해서 실시하였다. 인공위성과 지점 자료를 이용하여 보다 개선된 인공위성 강우자료를 산출하기 위해서 보정 방법을 이용하여 강우자료의 정확성을 높이고자 하였다.

2. 연구지역 및 방법론

2.1 연구지역

본 논문에서는 강우관측 인공위성 자료인 GPM-IMERG의 검증 및 활용하기 위해, 대한민국을 연구지역(면적: 99,461 km²)으로 선정하였으며, 연구 지역 내에서 기상청(<http://kma.go.kr/>)에서 관리하는 종관기상관측장비(ASOS)로부터 지점 강우자료를 이용하였다. GPM 자료의 검증을 위해 2015년

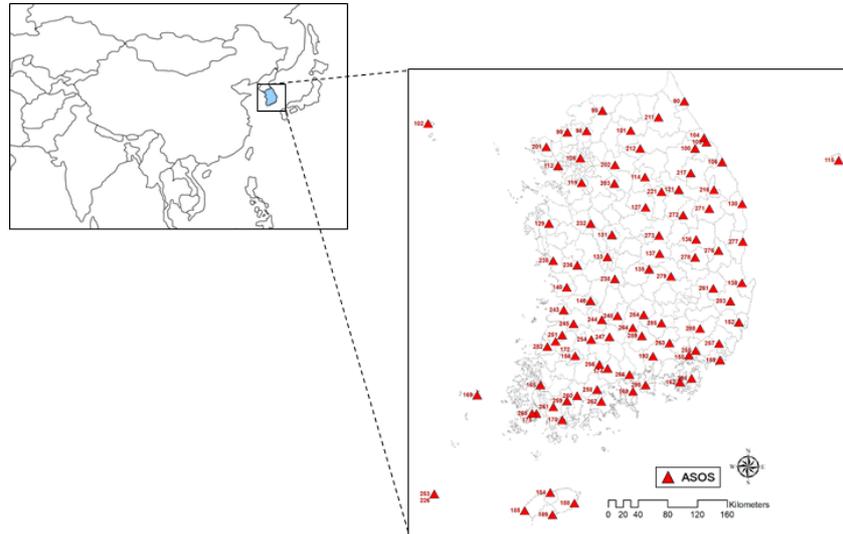


Fig. 1. Study area and sites using this study

1월 1일부터 12월 31일까지에 대한 자료를 활용하였으며, 기상자료개발포털(<https://data.kma.go.kr/>)에서 이용 가능한 93개의 지점 자료 중 연구기간 동안 활용 가능한 자료는 92개 지점의 자료를 선별하여 관측 자료로써 사용하였다(Fig. 1).

2.2 전구강수관측위성(Global Precipitation Mission, GPM)

전 지구 강수 관측 위성(GPM)은 TRMM의 후속위성으로써, 기상예측 정확도 개선, 홍수 경보 등과 함께 이상기후의 해명 등을 목표를 가지고, 2014년 2월 27일에 미국 항공우주국(NASA)와 일본 우주항공연구개발기구(Japanese Aerospace Exploration Agency, JAXA)의 협력을 통해 발사되었다. GPM 위성의 핵심 센서는 NASA에서 개발한 마이크로파방사계측기(GPM Microwave Imager, GMI)와 JAXA가 일본의 정보통신 연구기구(National Institute of Information and Communications Technology, NICT)에서 제작된 이중파장 강우 레이더(Dual-frequency Precipitation Radar, DPR) 센서를 탑재하고 있다(Jin, 2015; Sharifi *et al.*, 2016). 이 인공위성의 특징은 기존의 TRMM 위성자료보다 더 높은 관측 주기를 가지고 있으며, 특히, 10개의 위성군집(constellation satellites) 위성들과 함께 전 지구 규모의 강수 관측 시스템을 구축하고 있다(Sohn *et al.*, 2005; Jin, 2015). 재원으로는 약 407 km에서 65°의 궤도 경사각을 가지고 있어 TRMM보다 더 넓은 범위(65°S-65°N 영역)를 관측을 할 수 있고, GMI(10~183 GHz)는 기존의 TMI(10~85.5 GHz)에 비해 4개의 고주파수 채널을 4개 늘려 약한 강수 및 강설을 관측할 수 있도록 개선하였다. DPR 또한 기존의 PR(13.8 GHz)과 비슷한

채널인 Ku band(13.6 GHz)뿐만 아니라, Ka band(35.5 GHz)를 추가하여 정확한 강수, 강설 등의 향상된 수문 기상정보를 제공할 수 있다(Kim *et al.*, 2016). 본 연구에서는 활용된 인공 위성 강우자료는 Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) product day 1 Final Run (V03D)를 사용하였다(Gaona *et al.*, 2016). 이 자료는 시간해상도 3시간 단위로 생산하는 GPM 및 다양한 보조 위성의 수동마이크로파 센서들로부터 상호 검정을 통하여 산출되며(Table 1), 본 연구에

Table 1. Characteristics of GPM-IMERG product

Global Precipitation Measurement (GPM)	
Product	GPM-Integrated Multisatellite Retrievals for GPM (IMERG) product Day 1 Final Run (V03D)
Temporal resolution	0.5 hr
Spatial resolution	0.1 degree
Spatial coverage	90°N-90°S 60°N-60°S
Data source	Gauges (GPCC) and Satellites (TMI, AMSR-E, SSM/I, SSMIS, AMSU, MHS, GMI, etc)

GPCC: Global Precipitation Climatology Centre
 TMI: TRMM Microwave Instrument
 AMSR-E: Advanced Microwave Scanning Radiometer - Earth Observing System
 SSM/I: Special Sensor Microwave Imager
 SSMIS: Special Sensor Microwave Imager/Sounder
 AMSU: Advanced Microwave Sounding Unit
 MHS: Microwave Humidity Sounder
 GMI: GPM Microwave Imager

서 활용된 GPM 자료는 협정 세계시(Coordinated Universal Time, UTC)을 기준으로 되어있기 때문에, 인공위성 자료를 한국 표준시(Korea Standard Time, KST)에 맞춰서 연구를 실시하였으며, 또한, 30분 간격의 자료를 일단위로 변환하여 사용하였다.

2.3 상세화 기법

2.3.1 GDA and GRA 방법

Fig. 2에 간략하게 도식한 Geographical Differential Analysis (GDA; Cheema and Bastiaanssen, 2012)와 Geographical Ratio Analysis (GRA; Jia *et al.*, 2011; Duan and Bastiaanssen, 2013)는 인공위성 자료의 품질 개선을 위해서 사용되는 보편적인 방법이다.

$$\Delta R_{d(i,j)} = R_{s(i,j)} - R_{o(i,j)} \quad (1)$$

$$R_{GDA(i,j)} = R_{s(i,j)} - \Delta R_{d(i,j)} \quad (2)$$

$$\Delta R_{r(i,j)} = \frac{R_{o(i,j)}}{R_{s(i,j)}} \quad (3)$$

$$R_{GRA(i,j)} = R_{s(i,j)} \times \Delta R_{r(i,j)} \quad (4)$$

여기서, R_s 와 R_o 는 인공위성 자료와 지점자료를 나타내며, $\Delta R_{d(i,j)}$ 와 $\Delta R_{r(i,j)}$ 는 두 자료의 차이와 비율에 대한 공간분포

를 나타내고, $R_{GDA(i,j)}$ 와 $R_{GRA(i,j)}$ 는 최종적인 개선된 공간분포를 나타낸다(Cheema and Bastiaanssen, 2012; Cho *et al.*, 2013; Baik *et al.*, 2016). GRA (Fig. 2(a))는 인공위성의 자료를 지상 기반의 관측소에서 측정된 강우량과의 차이(Eqs. (1) and (2))를 파악하여 이를 보정하는 방법이고(Cho *et al.*, 2013; Baik and Choi, 2016), GRA (Fig. 2(b))는 인공위성 자료와 강우관측소 자료간의 오차 비율을 보정하는 방법이다(Eqs. (3) and (4)). 이러한 방법들은 방법은 인공위성 강우자료의 불확실성을 정량적으로 관측되는 지점자료와의 융합을 통하여 줄이기 위해서 주로 사용된다(Laurent *et al.*, 2013). 자세한 설명은 Cho *et al.* (2013)에서 확인할 수 있다.

2.3.2 조건부 합성 기법(Conditional Merging, CM)

Ehret (2002)와 Pegram (2002)에 의해 제안된 조건부 합성 기법(CM)은 레이더 강우 자료의 보정을 위해 제안되었으며, 국내외에서 레이더를 이용한 선행 연구들에 활용되었다(Lee *et al.*, 2016; Goudenhoofdt *et al.*, 2009; Berndt *et al.*, 2014). 이 CM 방법은 공간적인 구조를 가지는 원격탐사 기법의 자료와 정량적인 값을 가지는 지점 강우를 합성하게 된다. 즉, 보다 공간적인 변동성을 가지고 있는 원격탐사 자료를 활용하여 공간적인 변동성의 차이를 산정하고(Figs. 3(a)~3(c)), 공간적인 대표성이 부족하지만 한 지점의 정량적인 값을 대표하는 지점 자료와의 편차(Figs. 3(d) and 3(e))를 고려하기 때문에 두 자료의 장점을 이용할 수 있는 방법이다(Baik and Choi, 2016; Lee *et al.*, 2016; Hong *et al.*, 2010).

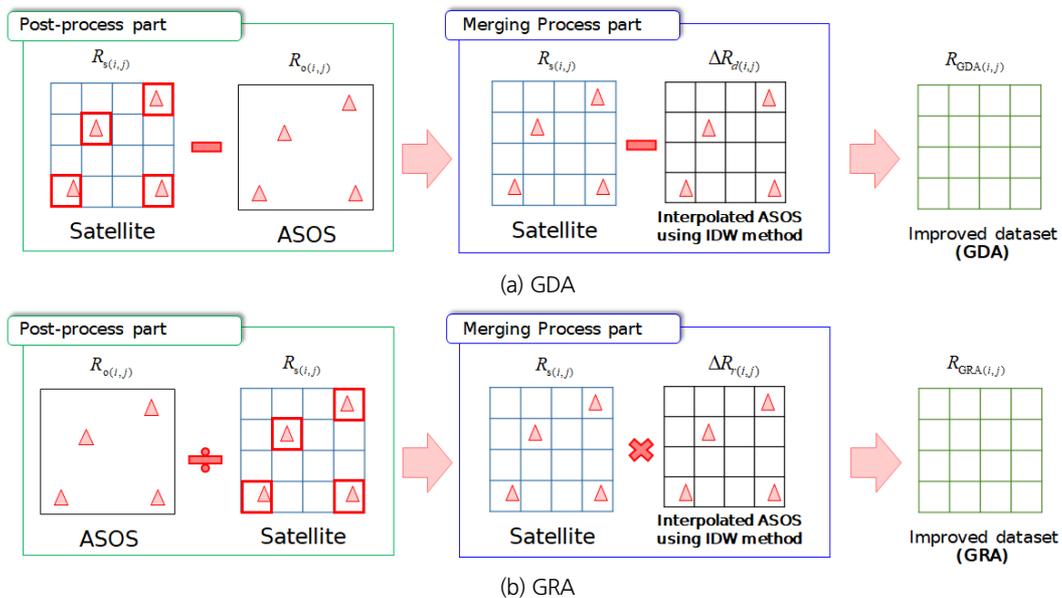


Fig. 2. Process of Geographical Differential Analysis (GDA) and Geographical Ratio Analysis (GRA)

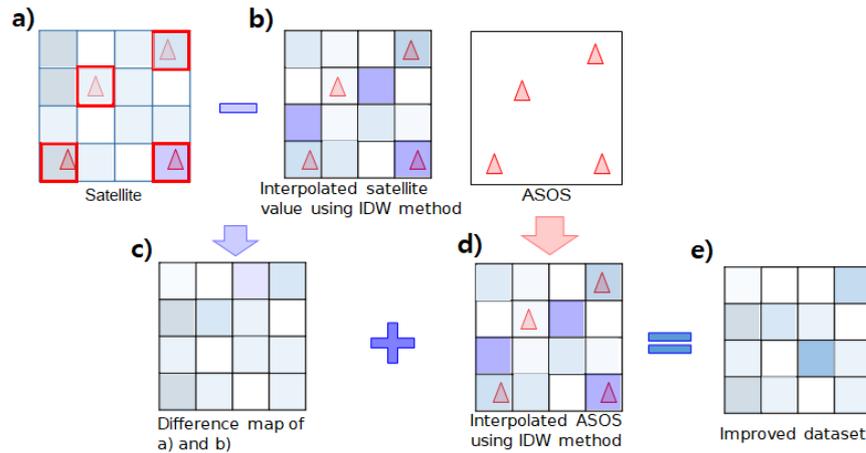


Fig. 3. Process of Conditional Merging (CM) method

2.4 통계학적 분석

본 연구에서는 상세화 방법을 통해서 모의된 강우의 검증 을 위하여 잭나이프(Jackknife) 방법을 이용하였다. 이 방법은 분석 지점 중 단 하나의 관측지점을 결측으로 가정하여 일련의 과정을 동일하게 계산하는 작업을 반복함으로써 총 관측 소의 개수만큼 반복하여, 결측으로 가정한 분석 지점과 실제 관측치를 비교하여 모의된 결과의 검증을 하는 방법이다 (Kim *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2014a; Lee *et al.*, 2016). 그렇기 때문에, 관측 지점의 수가 증가할수록 이를 분석하는 분석 시간이 증가하게 된다(Kim *et al.*, 2014a).

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i) \tag{3}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \tag{4}$$

여기서, n 은 관측된 자료의 개수를 의미하며, S_i 는 모의된 결과인 인공위성 자료를 나타내며, O_i 는 검증의 기준이 되는 자료인 지점 관측 자료를 의미한다.

3. 결 과

3.1 인공위성 강우 자료의 검증

본 연구에서 먼저 GPM 자료에 대해서 평가하기 위해 지점 자료인 ASOS와의 비교를 통하여 검증을 실시하였다(Table 2). GPM자료와 지점자료의 평균 Bias는 3.20 mm/day으로 약간 양측 편향되었으며, 평균 RMSE는 24.44 mm/day 정도로

나타났다. 각 계절을 각 3개월 간격으로 구분하였을 때, 7~9월 이 가장 높은 RMSE (34.82 mm/day)의 결과를 나타내었으며, 1월부터 3월까지가 가장 적은 RMSE (9.05 mm/day)의 결과를 나타내었다. 본 연구결과에 대해서 선행연구와 비교하여 보았을 때 정량적으로 비슷한 결과를 나타내었다(Gaona *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2017). Kim *et al.* (2017)에서는 GPM과 TRMM 자료의 검증을 위해, 2014년 3월부터 8월까지에 대해서 한반도의 중부와 남부 그리고 일본의 중부 지방의 지점 자료들과 비교하였다. 특히, 한반도에서의 검증 결과를 확인하면 중부와 남부 지방에서 대해서 pre-monsoon과 monsoon 기간으로 구분하였으며, 중부에서는 평균적으로 Bias가 2.45 mm/day (1.28 mm/day; pre-monsoon, 3.61 mm/day, monsoon), RMSE가 9.26 mm/day (6.68 mm/day; pre-monsoon, 11.84 mm/day, monsoon), 남부에서는 평균적으로 Bias가 4.64 mm/day (2.47 mm/day; pre-monsoon, 6.80 mm/day, monsoon), RMSE가 17.63 mm/day (13.72 mm/day; pre-monsoon, 21.54 mm/day, monsoon)로 나타났다. 또한, 이 논문에서는 GPM의 결과가 기존의 TRMM의 결과에 비하여 개선된 결과를 나

Table 2. Statistics of measured and estimated precipitation from GPM product for 92 sites during 2015

	Whole period	Seasonal period			
		JFM	AMJ	JAS	OND
Bias (mm/day)	3.20	4.39	2.31	5.4	1.32
RMSE (mm/day)	24.44	9.05	21.35	34.82	14.6

JFM: January-February-March
 AMJ: April-May-June
 JAS: July-August-September
 OND: October-November-December

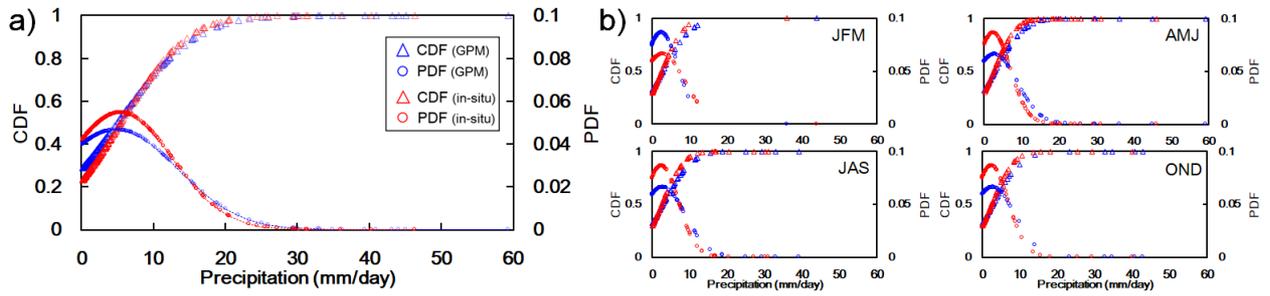


Fig. 4. CDF and PDF between GPM and in-situ; (a) whole period and (b) seasonal (JFM, AMJ, JAS, and OND) during 2015

타내고 있다고 언급하였다. 이러한 결과들을 종합해 보자면, 전반적으로 GPM 인공위성 자료가 여름 기간동안의 편향이 높은 것을 의미하며, 여름기간에 많은 오차가 발생한다는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 4는 인공위성 자료(GPM)와 지점자료(ASOS)에 대한 연구기간 동안의 전 지점에 대한 평균 확률밀도함수(probability density function, PDF)와 누적분포함수(cumulative distribution function, CDF)의 변화를 나타내었다. Figs. 4(a) and 4(b)에서 나타났듯이, 15 mm/day 이상의 강수에서는 GPM의 결과가 상대적으로 높은 발생확률을 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 특히, 4월부터 9월까지에 이러한 패턴이 뚜렷하게 나타나는데 이러한 이유는 한반도의 몬순 기후의 영향으로 인한 것으로 파악할 수 있다. 이와는 반대로, 상대적으로 약~15 mm/day 미만에서는 GPM의 강수가 낮은 발생확률을 나타내고 있다. 기존의 GPM에 대하여 여러 지역에서 검증한 논문들의 결과를 확인하면, 기존의 TRMM 자료와 비교 하였을 때, 적은 강수에 대해서도 개선된 결과를 나타내었다는 결과를 나타낸다고 언급되어있다. 그러지만, 직접적인 관

측이 아닌 간접적인 관측으로 산정된 인공위성 강우는 낮은 강수에 대해서 관측하기 어렵다는 것을 의미한다.

3.2 융합 및 보정 방법의 성능 평가

모형의 적용성을 확인하기 위해 위에 언급한 것과 같이 총 92개의 자료중 비교하는 지점을 하나씩 결측하여 모의를 수행하는 Jackknife 방법을 통하여 2015년에 대하여 결과를 나타내었다(Fig. 5). 전체기간동안에 대해서 모의한 Fig. 5(a)에서 확인하면, IDW의 경우에 공간해상도가 감소함에도 큰 차이를 나타내고 있지 않는 것을 확인할 수 있으나, 다른 상세화 방법들을 확인하면 전반적으로 공간해상도가 높아짐에 따라, RMSE 차이가 점차 감소하는 것을 확인할 수 있다. 특히, 여러 방법 중에서 CM 방법이 가장 RMSE가 가장 적은 것으로 나타나고 있다(Fig. 5(b)). Fig. 5(b)에 각 계절별로 나타낸 것을 확인하면 알 수 있듯이, GRA의 여름 시즌의 경향을 제외하면 전반적으로 과소산정되는 편향을 가지고 있다. RMSE의 경우, 보정 방법이 공간해상도가 높아짐에 따라서 감소하는 것을 확인할 수 있다.

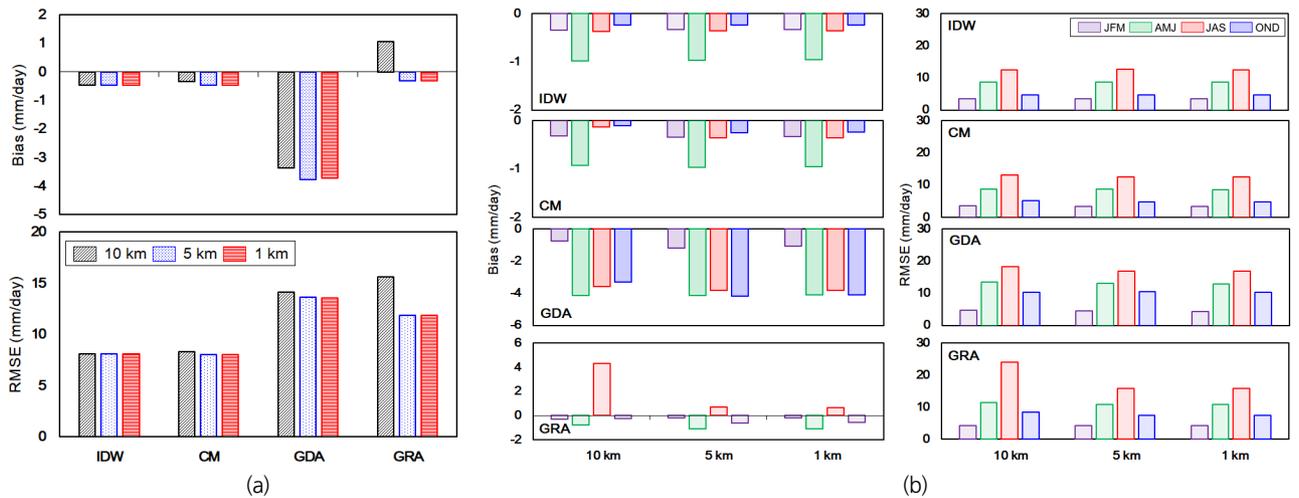


Fig. 5. Jackknife analysis of IDW, CM, GDA, and GRA; (a) whole period and (b) each season on daily scale during 2015

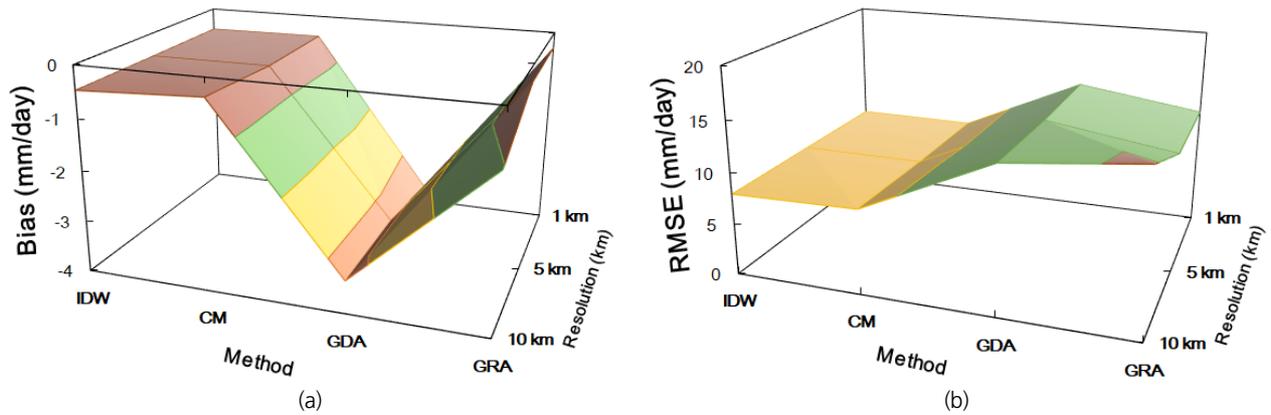


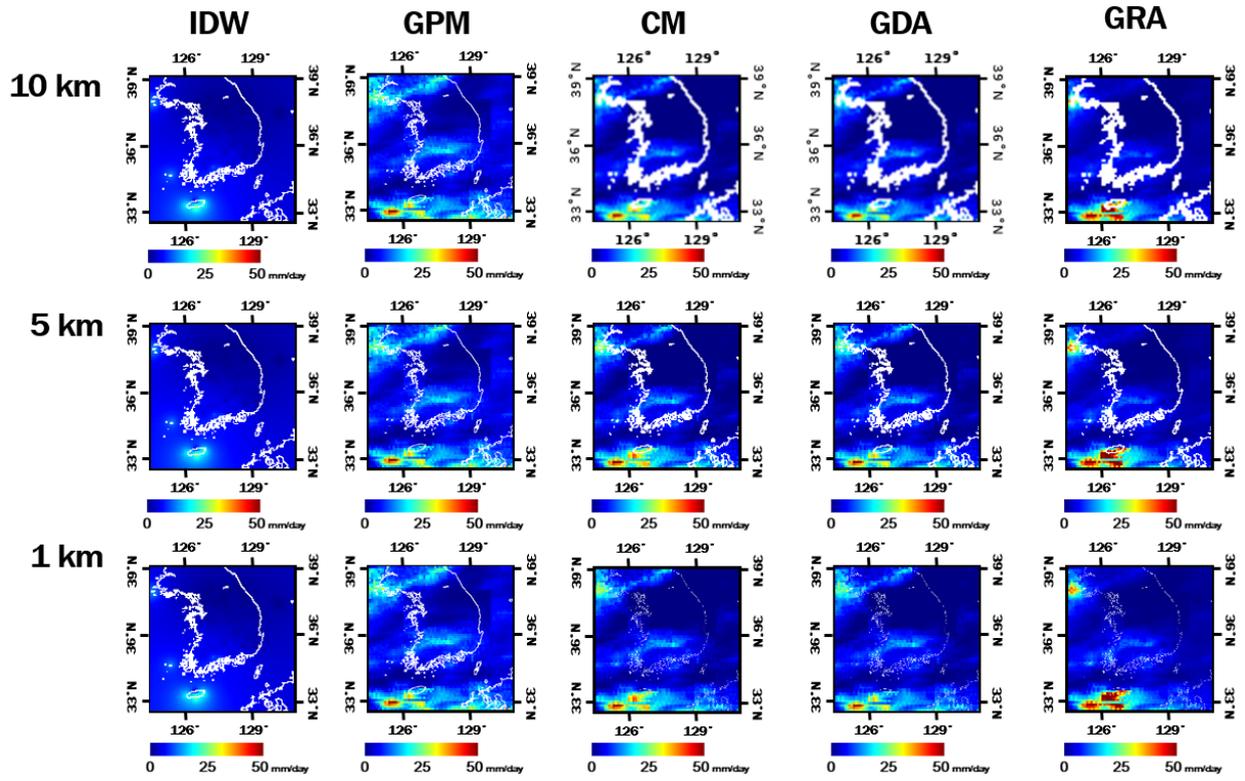
Fig. 6. Comparisons of statistical results of IDW, CM, GDA, and GRA during 2015

Fig. 6은 상세화 방법들의 관련성과 공간해상도의 차이에 따른 변화를 파악하기 위하여 나타내었다. Fig. 6에서 보는바와 같이 전체기간동안 IDW의 경우에는 각 공간해상도에 따라 평균적으로 Bias는 -0.46 mm/day, RMSE는 7.99 mm/day, CM의 경우에는 평균적으로 Bias는 -0.42 mm/day, RMSE는 8.0 mm/day, GDA의 경우에는 평균적으로 Bias는 -3.48 mm/day, RMSE는 13.71 mm/day, 마지막으로 GDA의 경우에는 평균적으로 Bias는 -0.56 mm/day, RMSE는 12.98 mm/day의 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 Baik *et al.* (2016)의 결과와 비교해 볼 때, 비슷한 경향을 나타내는 것을 볼 수 있다. 모의된 결과를 통해 확인하면, CM 방법이 다른 방법들에 비해 약간 좋은 결과를 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 본 결과를 종합하면, Figs. 5 and 6에서 보이는 바와 같이 한반도에서는 몬순의 영향을 가장 많이 받는 여름시즌에 가장 높은 RMSE가 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 전반적으로 상세화 방법을 모의하기 위해서 사용되는 interpolation 방법의 한계로 판단된다. 예를 들어, 돌발성 강우가 발생한 지역에 지점 관측소가 존재하지 않고, 돌발성 강우가 발생하지 않은 다른 지점 관측소 자료를 이용하여 interpolation을 실시한다고 할 경우에, interpolation 방법으로 산정된 강우 분포 자료는 돌발성 강우에 대해서 제대로 모의하기가 어렵기 때문에 불확실성이 증가하게 된다. 즉, 탐색 영역에서 존재하지 않는 값을 주변 자료의 값으로 내삽하기에는 큰 어려움이 있고, 이는 실제값과의 차이를 나타내게 된다(Baik *et al.*, 2016).

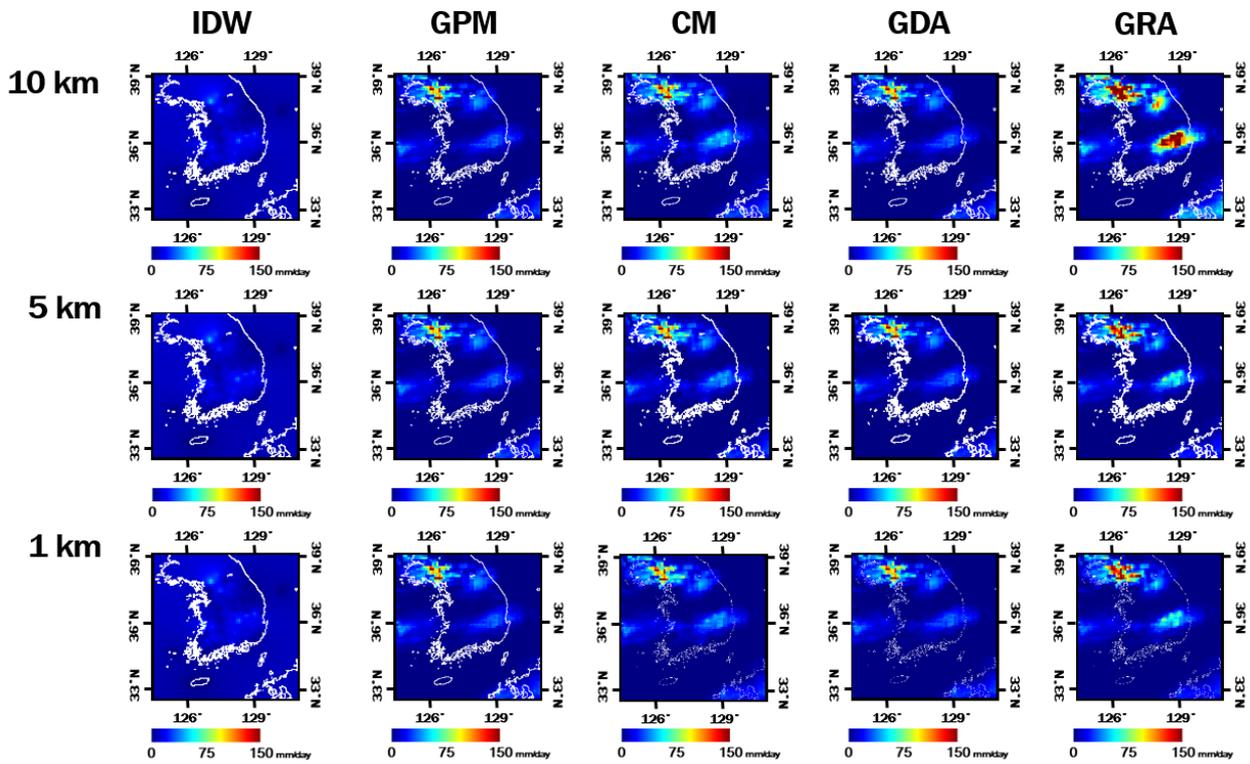
3.3 Spatial distribution of precipitation

각각 다른 인공위성과 보정방법을 통해서 산정된 모의된 공간 강우의 분포를 확인하기 위해 연구기간 중 임의의 두 기간(2015년 5월 30일, 2015년 9월 20일)을 선정하여, Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7(a)에서 보이는 것과 같이, pre-monsoon기

간에 남부지역과 제주도, 태안군 부근에서 약한 강수가 발생하였으며, 이는 GPM의 강우자료에서도 흡사한 강우패턴을 잘 관측하는 것을 확인 할 수 있다. Monsoon기간(Fig. 7(b))에서도 중부와 남부 부근에 강한 강수가 발생하였고, 이 또한 GPM의 강우 자료에서도 이 부근의 강한 강수 패턴을 잘 반영하고 있다. 이를 통해 GPM의 강우자료가 지점 강우와 흡사한 강우패턴을 잘 모의하는 것을 단편적으로 확인 할 수 있다. 공간해상도에 따른 강우자료의 분포는 해상도가 높아짐에 따라 세부적인 모의가 잘 반영하고 있는 것으로 나타났으며, 위에서 언급된 것처럼 보정 방법을 적용하였을 때, 해상도가 높아짐에 따라 오차가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 보정 방법에서는 CM과 GDA는 두 자료의 특성을 반영한 편차 보정을 통하여 강수의 변화 특성을 잘 따르는 것을 확인 할 수 있으나, GRA의 경우 다른 방법에 비해서 과소 또는 과대모의되는 분포를 나타내었다(Fig. 7). 즉, GRA의 경우에 두 자료의 비율 차이를 원자료(인공위성)에 적용하기 때문에, 만약에 인공위성 자료 또는 강수지점 자료의 둘 중 하나라도 관측이 없을 시에는 강수자료에 대한 값을 보정할 수 없는 현상이 발생할 수 있기 때문에 오차가 발생하게 된다(Baik *et al.*, 2016). 또한, GPM의 강수 자료의 공간 분포를 확인하였을 때, 약한 강수에 대해서도 적절하게 관측하는 것을 볼 수 있는데, 이는 Battaglia *et al.* (2014)과 Draper *et al.* (2015)에서 언급되었듯이 기존에 TRMM에 탑재된 TMI보다 개선된 센서인 GPM GMI 센서가 약한 강수를 더 잘 관측할 수 있으며, 또한, GPM 코어 센서인 DPR에서 Ku band와 Ka band를 탑재하고 있어 기존에 TRMM PR에서 Ku band 보다 많은 영역대를 관측할 수 있어 보다 정확한 강수 결과를 산정할 수 있다는 것을 뒷받침하고 있다. 또한, Kim *et al.* (2016)의 연구를 근거로 판단할 때 pre-monsoon기간에 GPM 자료가 약한 강수를 잘 관측하는 결과를 보여줌에 따라 어느 정도 신뢰할 만한 결과라고 생각된다.



(a) 2015.05.30



(b) 2015.09.02

Fig. 7. Spatial distribution of IDW, GPM, and merging techniques (CM, GDA, and GRA) for each spatial resolution (10, 5, and 1 km) on March 30 and September 02, 2015

4. 결론

지점 기반의 강우는 특정지역에 대해서는 강수의 정확도가 우수하지만 분포된 강수를 모의하기에는 부정확성을 내포하고 있으며, 원격탐사기법을 통한 방법은 반대로 특정 지점에 대한 정확성은 부족하나 공간적인 분포를 잘 모의하는 것으로 알려져 있다. 그렇기 때문에 각 자료의 강점만을 혼용한 방법을 통해 최적의 강수자료를 산출할 수 있다. 본 연구에서는 GPM 위성 강우자료에 대한 남한지역에 대한 검증은 실시하였으며, 보다 개선된 강우자료를 산정하기 위하여, 보정 방법들(CM, GDA, GRA)에 대한 검증은 실시하였고, 각각 10 km, 5 km, 1 km에 대한 상세화 결과에 대해서도 검증을 실시하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 나타낼 수 있다.

- 1) GPM의 강우자료에 대하여 남한지역에서의 사용가능한 92개의 ASOS와의 결과와 비교하였다. 전 지점에 대해서 검증한 결과 GPM 자료는 평균적으로 약간 과대산정되는 결과를 나타내었고, 평균 RMSE가 24.44 mm/day의 결과를 나타내었다. 특히, 강수가 많이 발생하는 여름 기간에 높은 오차를 발생하는 것을 확인 할 수 있었다.
- 2) 각각 상세화 방법들에 대한 성능 평가를 실시하기 위해 Jackknife 방법을 통하여 검증하였다. 그 결과 공간해상도가 증가할수록, 오차가 감소하는 것을 확인 할 수 있었으며, 3가지 방법 중 CM 방법이 다른 방법들에 비해 가장 적은 오차를 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.
- 3) 각 방법들의 대한 공간적인 특성을 분석하기 위하여 특정 기간에 대해서 강수의 공간 분포를 나타내었다. 지점 자료를 이용하여 강수를 나타낸 패턴(IDW)과 GPM의 강수 패턴을 비교하였을 때 전반적으로 유사한 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 상세화 방법에 대한 공간적 분포 특성을 확인 하였을 때도 IDW와 유사한 분포를 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.

본 연구에서 제시한 결론을 종합하자면, 공간해상도가 증가할수록, 상세화 방법의 오차가 줄어드는 것을 확인 할 수 있으며, 특히 강수가 집중되는 여름기간에 다른 방법에 비해 CM 방법의 오차가 가장 적게 추정되는 것으로 나타났다. 공간적인 분포 경향에서도 해상도가 증가함에 따라서 저해상도의 자료보다 세밀하게 모의되는 것을 확인 할 수 있었다. 본 방법들의 비교를 통해서 원격탐사 자료를 활용하여 고해상도 강수자료의 산정에 대한 활용가능성을 확인 할 수 있었다. 고해상도의 강수자료를 산정함에 따라 미세측 지역에서의 정확

도 있는 강수자료를 생성할 수 있으며, 또한, 고해상도의 강수 자료를 활용함에 따라 보다 정확도 있는 홍수 및 범람해석에 활용 될수 있을 것으로 기대된다. 추후연구에서는 보다 조밀한 지역에서의 검증 및 레이더를 이용하여 고해상도의 자료를 연속적으로 산출할 수 있다면 보다 공간특성을 잘 반영한 강수자료를 산정 할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(17AWMP-B079625-04)에 의해 수행되었습니다. 본 연구에서 활용된 강우자료를 제공해 주신 WAMIS 관계자분들께 감사를 전합니다.

References

- Baik, J. J., and Choi, M. (2015). "Spatio-temporal variability of remotely sensed precipitation data from COMS and TRMM: case study of Korean peninsula in East Asia." *Advances in Space Research*, Vol. 56, No. 6, pp. 1125-1138.
- Baik, J. J., and Choi, M. (2016). "Geospatial blending to improve spatial mapping of precipitation with high spatial resolution by merging satellite based and ground-based data." *Hydrological Processes*, Vol. 30, No. 16, pp. 2789-2803.
- Berndt, C., Rabiei, E., and Haberlandt, U. (2014). "Geostatistical merging of rain gauge and radar data for high temporal resolutions and various station density scenarios." *Journal of Hydrology*, Vol. 508, pp. 88-101.
- Duan, Z., and Bastiaanssen, W. G. M. (2013). "First results from Version 7 TRMM 3B43 precipitation product in combination with a new downscaling-calibration procedure." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 131, pp. 1-13.
- Gaona, M. R., Overeem, A., Leijnse, H., and Uijlenhoet, R. (2016). "First-year evaluation of GPM rainfall over the Netherlands: IMERG day 1 final run (V03D)." *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 17, No. 11, pp. 2799-2814.
- Goudenhoofd, E., and Delobbe, L. (2009). "Evaluation of radar gauge merging methods for quantitative precipitation estimates." *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 13, No. 2, pp. 195-203.
- Hong, S. J., Kim, B. S., and Hahm, C. H. (2010). "Spatial-temporal interpolation of rainfall using rain gauge and radar." *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 18, No. 3, pp. 37-48.
- Hwang, S. W., Park, S. W., Jang, M. W., and Cho, Y. K. (2006). "Spatial distribution modeling of daily rainfall using co-kriging

- method” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 39, No. 8, pp. 669-676.
- Hwang, Y. S., Jung, Y. H., Lim, K. S., and Heo, J. H. (2010). “Comparison of daily rainfall interpolation techniques and development of two step technique for rainfall-runoff modeling.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43, No. 12, pp. 1083-1091.
- Jang, C.-H., Kwon, H.-J., Koh, D.-K., and Kim, S.-J. (2003). “Adjustment of TRM/PR data by ground observed rainfall data and SCS runoff estimation: Yongdam-dam watershed.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 36, No. 4, pp. 647-659.
- Jia, S., Zhu, W., Lü, A., and Yan, T. (2011). “A statistical spatial downscaling algorithm of TRMM precipitation based on NDVI and DEM in the Qaidam basin of China.” *Remote Sensing of Environment*, Vol. 115, No. 12, pp. 3069-3079.
- Jin, K. W. (2015). “NASA’s space-borne microwave remote sensing missions of GPM and SMAP for a global water cycle research.” *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, Vol. 13, No. 1, pp. 96-106.
- Kang, N., Joo, H., Lee, M., and Kim, H. S. (2017). “Generation of radar rainfall ensemble using probabilistic approach.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 50, No. 3, pp. 115-167.
- Kim, J. P., Kim, G., and Lee, W. S. (2012). “Estimation of monthly areal precipitation using daymet and PRISM.” *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 5, pp. 83-90.
- Kim, J. P., Lee, W. S., Cho, H., and Kim, G. (2014a). “Estimation of high resolution daily precipitation using a modified PRISM model.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 34, No. 4, pp. 1139-1150.
- Kim, S. H., Kim, K. T., and Choi, Y. S. (2014). “Runoff estimation using rainfalls derived from multi-satellite images.” *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 17, No. 1, pp. 107-118.
- Kim, S. J., Shin, S. C., and Suh, A. S. (1999). “Satellite rainfall monitoring: recent progress and its potential applicability.” *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 1, No. 2, pp. 142-150.
- Kim, S. S., Jung, C. G., Park, J. Y., Jung, S. W., and Kim, S. J. (2013). “Parameter estimation of Vflo TM distributed rainfall-runoff model by areal rainfall calculation methods-for Dongchon watershed of Geumho river.” *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 55, No. 1, pp. 9-15.
- Laurent, L., Audois, P., Marie-Joseph, I., Becker, M., and Seyler, F. (2013). “Calibration of TRMM 3B42 with geographical differential analysis over North Amazonia.” *Proceedings Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2013 IEEE International*, pp. 2234-2237.
- Lee, J., Choi, M., and Kim, D. (2016). “Spatial merging of satellite based soil moisture and in-situ soil moisture using conditional merging technique.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 49, No. 3, pp. 263-273, doi: 10.3741/JKWRA.2016.49.3.263.
- Liu, Z. (2015). “Comparison of precipitation estimates between Version 7 3-hourly TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA) near-real-time and research products.” *Atmospheric Research*, Vol. 153, pp. 119-133.
- Milewski, A., Elkadiri, R., and Durham, M. (2015). “Assessment and comparison of TMPA satellite precipitation products in varying climatic and topographic regimes in Morocco.” *Remote Sensing*, Vol. 7, No. 5, pp. 5697-5717.
- Park, M., Park, C., Shin, K. I., and Yoo, C. (2010). “On proper variograms of daily rainfall data.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 30, No. 6, pp. 525-532.
- Seo, E. K. (2012). “Rainfall characteristics in the tropical oceans: observations using TRMM TMI and PR.” *Journal of Korean Earth Science Society*, Vol. 33, No. 2, pp. 113-125.
- Sharifi, E., Steinacker, R., and Saghaifan, 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*, Vol. 8, No. 2, p. 135, doi:10.3390/rs8020135.
- Sohn, B. J., Nam, J. C., Park, S. K., Ahn, M. H., Yoo, J. M., Lee, H. S., Chang, D. E., Ho, C. H., Bae, B. H., Kim, S. J., Oh, H. J., Park, S. C., and Kim, J. H. (2005). “Proposing research and development activities for utilizing the Global Precipitation Measurement (GPM).” *Atmosphere*, Vol. 15, No. 1, pp. 47-57.
- Wang, W., and Lu, H. (2016) “Evaluation and comparison of newest GPM and TRMM products over Mekong river basin at daily scale.” *Proceedings Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International*, pp. 613-616.
- Worqlul, A. W., Maathuis, B., Adem, A. A., Demissie, S. S., Langan, S., and Steenhuis, T. S. (2014). “Comparison of rainfall estimations by TRMM 3B42, MPEG and CFSR with ground-observed data for the Lake Tana basin in Ethiopia.” *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 18, No. 12, pp. 4871-4881.