



Evaluation of satellite-based soil moisture retrieval over the Korean peninsula : using AMSR2 LPRM algorithm and ground measurement data

Kim, Seongkyun^a · Kim, Hyunglok^a · Choi, Minha^{a*}

^aDept. of Water Resources, Graduate School of Water Resources, Sungkyunkwan Univ., Suwon 16419, Korea

Paper number: 16-014

Received: 4 February 2016; Revised: 17 March 2016; Accepted: 17 March 2016

Abstract

This study aims at assessing the quality of the Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2) soil moisture products onboard GCOM-W1 satellite based on Land Parameter Retrieval Model (LPRM) soil moisture retrieval algorithm with field measurements in South Korea from March to September, 2014. Results of mean bias and root mean square error between AMSR2 LPRM soil moisture products (X-band) and ground measurements showed reasonable value of 0.03 and 0.16. Also, the maximum of the Pearson correlation coefficients was 0.67, which showed good agreement in terms of temporal variability with ground measurements. By comparing AMSR2 soil moisture with in-situ measurement according to the overpass time and band frequency, X-band products on the ascending time outperformed than those of C1-band and C2-band. Furthermore, this study offers an insight into the applicability of the AMSR2 soil moisture products for monitoring various natural disasters at a large scale such as drought and flood.

Keywords: Soil moisture, Microwave, AMSR2, LPRM

위성기반 토양수분 자료의 한반도 지역 적용성 평가: AMSR2 LPRM 알고리즘과 지점관측 자료를 이용하여

김성균^a · 김형록^a · 최민하^{a*}

^a성균관대학교 수자원전문대학원 수자원학과

요 지

본 연구에서는 GCOM-W1 위성 탑재된 Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2) 센서의 토양수분 자료를 Land Parameter Retrieval Model (LPRM) 알고리즘을 통해 전처리하여 2014년도 한반도 지점관측 자료와의 비교 분석을 수행, 위성 토양수분 자료의 적합성을 평가하였다. 통계 분석 결과 AMSR2 X-band의 토양수분 자료는 38개의 지점관측 자료와 비교해 0.03의 평균 bias, 0.16의 평균 RMSE의 낮은 오차 수준을 보였으며, 최대상관계수는 0.67로 나타났다. 또한 AMSR2 센서의 ascending, descending 시간대별 위성 토양수분 자료 분석과 X, C1, C2-band의 주파수 영역별 위성 토양수분 자료 분석 결과, ascending overpass time 시간대와, X-band 주파수의 토양수분 자료가 지점 관측 자료와 더 좋은 상관관계를 보였다. 본 연구의 분석 결과는 한반도에서 최근 문제가 되고 있는 가뭄을 비롯한 각종 재해 분석 시 토양수분의 공간적 분포를 연구하는데 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 토양수분, 마이크로파, GCOM-W1, AMSR2, LPRM

*Corresponding Author.

E-mail: mhchoi@skku.edu (M. Choi)

1. 서론

수문기상학적으로 토양수분은 대기와 지표 사이의 상호작용을 연계하는 중요한 인자로 인식되어왔다(Jackson *et al.*, 2010; Seneviratne *et al.*, 2010; Choi and Jacobs, 2008; Njoku *et al.*, 2003; Wagner *et al.*, 1999). 또한 위성에서 산출된 토양수분 데이터는 기후변화, 실시간 기상예보 등의 전 지구적 규모에서 필수적인 자료이며, 홍수, 가뭄, 황사발생 등의 각종 재해에 관련된 분석에 활용되고 있다(Kim and Choi, 2015b; Leroux *et al.*, 2013; Bolton *et al.*, 2012). 이러한 배경에는 위성 원격탐사가 광범위한 영역의 토양수분을 지속적으로 관측할 수 있는 장점이 있기 때문이다(Kerr *et al.*, 2010; Jackson *et al.*, 2010). 토양수분 산출 위성은 마이크로파(microwave)를 이용하여 관측을 수행하는데, 마이크로파 원격탐사는 날씨와 밤낮에 관계없이 토양수분 산출에 필요한 밝기온도(Brightness temperature, T_b) 값을 측정할 수 있고 표면 조도에 민감하며(Wigneron, Schmugge, Chanzy, Calvet, & Kerr, 1998), 표층층의(주파수에 따라 3~5cm 표층토양수분) 수분 함량 정보를 제공한다(Njoku & Entekhabi, 1996). 이러한 마이크로파 기반 산출 토양수분 자료는 지난 수십년간 다양한 분야의 지구과학 연구 발전에 크게 기여해왔다(Crow & Ryu, 2009; Choi *et al.*, 2008; Choi *et al.*, 2013).

이와 같은 장점들로 인해 마이크로파 기반 위성 토양수분 자료는 준 실시간으로 전 지구 영역에 대해 획득이 가능하지만, 확보된 토양수분 자료를 바로 응용하는 것은 여러 한계점이 있다. 1) 상대적으로 낮은 공간 해상도와 시간해상도의 문제, 2) National Aeronautics And Space Administration (NASA), European Space Agency (ESA), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) 등의 위성 토양수분 산출 알고리즘의 지역별 최적화가 완전하게 이루어지지 않은 점, 3) 위성 자료의 한반도 지역 Calibration/Validation 연구가 부족한 점, 4) 라디오전파간섭으로 인한 밝기온도 측정값의 오염이 발생하는 점 등으로 인해 토양수분 자료 사용에 제한이 있음이 지적되어 왔다(Kim & Choi, 2015a; Oliva *et al.*, 2012). 때문에 위성에서 산출된 토양수분 자료의 신뢰성을 판별하고자, 기준지점에서 측정된(*In-situ*) 토양수분을 기준으로 위성 토양수분 자료를 검증하는 많은 연구들이 수행되어왔다(Albergel *et al.*, 2012; Brocca *et al.*, 2011; Draper *et al.*, 2009). 이러한 자료 검증을 통해 위성에서 획득된 토양수분 자료와 지점에서 획득한 실측자료와의 상관성을 평가할 수 있다. 하지만 지점관측 토양수분 자료는 위성 토양수분 자료와 비교하여 공간해상도, 시간해상도,

자료 측정 깊이 등과 같은 특성이 다르기 때문에 자료 간의 차이를 비교 분석하여 위성 자료가 얼마나 실측자료와 유사한 관측 결과를 보일 수 있는지에 대해서는 많은 외부(측정 범위 및 측정 깊이 불일치 등) 및 내부적 요소(알고리즘, 자료 획득시 발생하는 에러 등)를 고려해야 하는 어려움이 있다. (Jackson *et al.*, 2010). 따라서 이번 연구에서는 GCOM-W1 위성의 AMSR2 센서를 이용, 산출된 위성 토양수분 자료를 지점 내부 및 외부적 요소를 통합적으로 고려하여 검증하였으며, 분석을 통해 한반도 지역에서의 AMSR2 LPRM 알고리즘 기반 토양수분 자료의 적용성을 평가할 수 있었다.

2. 위성 및 지점관측자료

2.1 위성자료

AMSR2는 2012년 3월에 발사된 GCOM-W1 위성에 탑재된 수동형 마이크로파 센서이다. AMSR2는 NASA의 Aqua 위성에 탑재된 Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS (AMSR-E) 센서의 후속연구를 위해 개발되었다. AMSR-E 센서는 최초의 수동형 마이크로파 센서로 다양한 분야에서 토양수분 산출에 이용되어왔다(Koike *et al.*, 2004. Njoku *et al.*, 2003). AMSR2 센서는 AMSR-E에 비해 보다 큰 반사판 안테나를 설치하여 개선된 공간 해상도 자료를 제공하고, 기존 6.9, 10.7, 18.7, 23.8, 36.5, 89.0 GHz의 총 6개 주파수에서 7.3 GHz 채널이 추가되어 라디오전파간섭(RFI, Radio Frequency Interference)의 영향에 대한 보정 알고리즘을 강화하였다(Imaoka *et al.*, 2010). 현재 일본 우주항공연구개발기구(JAXA)는 X-Band AMSR2 토양수분 자료를 제공하고 있으며(Fujii *et al.*, 2009) NASA 또한 LPRM 알고리즘을 통한 AMSR2 자료를 C1, C2, X-band의 산출물로 제공하고 있다(Owe, De Jeu & Holmes, 2008). 본 연구에서는 NASA LRRM 기반 알고리즘을 통해 제공되는 토양수분의 ascending (13:30), descending (1:30) overpass time 시간의 자료를 활용하였다. AMSR2 센서의 각 주파수 영역별 산출 특성은 Table 1.에서 볼 수 있다.

Table 1. Frequency channels and ground resolution of AMSR2 sensor

Center frequency (GHz)	6.93(C1) / 7.3(C2)	10.65(X)	18.7	23.8	36.5	89.0
Band width(MHz)	350	100	200	400	1000	3000
Polarization	Vertical and Horizontal					
Ground resolution (km)	35x62	24x42	14x22	15x26	7x12	3x5

2.2 LPRM (Land Parameter Retrieval Model)

LPRM 알고리즘은 마이크로파 원격탐사 기반 토양수분 자료와 토질 등의 지상관측 자료를 입력 자료로 하여 지표 조건에 부합하는 모델 토양수분 자료로 도출한 뒤, 이를 다시 입력 자료로 구동하는 반복 수행을 거쳐 최적의 모델 토양수분 정보를 산출하는 시스템이다(Owe, De Jeu & Holmes, 2008). 네덜란드 암스테르담 대학 연구진이 기존 AMSR-E 센서의 토양수분 산정 알고리즘을 개선하기 위해 LPRM 알고리즘을 개발하였으며, AMSR2 센서가 탑재된 GCOM-W1 위성이 활동을 실시한 이후에도 해당 알고리즘을 통한 2012년부터 현재토양수분 자료가 NASA GCMD (Global Change Master Directory) 서비스를 통해 2012년부터 현재까지의 토양수분 자료를 무료로 배포하고 있다(<ftp://hydro1.sci.gsfc.nasa.gov/data/s4pa>). 본 연구에서는 AMSR2 LPRM 토양수분 자료 가운데 지점관측자료와의 비교 검증을 위해 가장 상세화된 10 km 공간 해상도의 토양수분 자료를 채택하였다.

2.3 지점관측자료

전국 농업기상관측 시스템(<http://weather.rda.go.kr>)에서는 전국 150여개 지점관측 토양수분에 대한 정보를 제공하고 있다. 본 연구에서는 이 중 자료의 수집기간이 유효한 113 개 지점의 토양수분 자료(10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm)와 강우 및 지온 데이터를 확보했고, 이 중 표층 토양수분에 인접한 10cm의 자료를 위성 토양수분과의 비교를 위한 실측자료로 활용하였다. 지점 토양수분 관측장비는 Time Domain Reflectometry (TDR) 센서로, 전자기파의 걸보기 유전을 변화를 이용하여 토양수분 함량을 측정하는 방식을 이용한다. 본 연구에서는 1) 지점관측 토양수분과 AMSR2 데이터가 모두 유효한 지점에서 2) 시간에 따라 두 자료가 비교적 연속적으로 분포되어 있으며, 3) 토양수분의 거동이 강우사상을 잘 따라가는지 여부를 기준으로 하는 Data quality control (QC) 를 수행하였으며, 이를 모두 부합하는 38개 지점을 선정하여 위성 토양수분 자료와의 비교 분석을 실시하였다. Fig. 1는 150여개 지역 중 연구에 적용된 데이터를 표시한 지점이다. 수집된 데이터를 1번부터 113번으로 분류하였으며 시각적으로 구분하기 위

해 사용된 데이터 지점만 표시하였다.

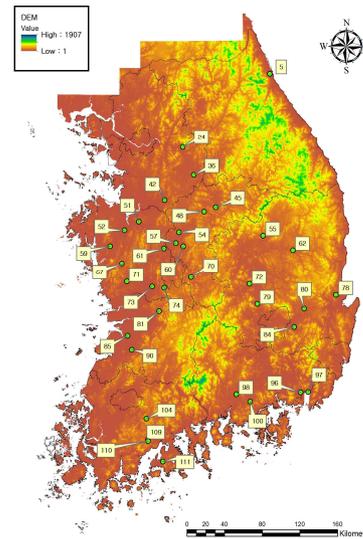


Fig. 1. Locations of sites in south korea

2.4 분석방법

데이터 분석에 앞서 영하 온도의 데이터는 분석에서 제외하였다. 위성 토양수분 자료를 ascending, descending의 두 overpass time에 해당하는 자료로 추출하였고, 이를 세 주파수 영역(C1, C2, X-band) 별로 나누어 분류하였다. 분류된 자료의 전처리리는 [t-2days, t+2days]의 기간으로 이동평균하였으며, 이를 지점관측 토양수분 자료와 비교·검증하기 위해 최근접 접근법(nearest neighbor)을 이용, 지점자료와 가장 가까운 격자의 토양수분 자료를 추출하였다. 전처리된 자료의 검증은 상관계수, 오차(bias)와 평균제곱오차(RMSE)의 통계기법을 이용하였다. 분류 후 전처리를 거친 위성 자료와 지점관측 자료간의 상관계수를 시간대별, 주파수대 별로 비교하여 한반도 지역에서의 AMSR2 LPRM 알고리즘 기반 토양수분 자료의 특성을 분석하였다(Table. 2).

또한 지역적으로 AMSR2 LPRM 알고리즘 기반 토양수분 자료와 지점 토양수분 자료가 유사한 거동을 보이는지 여부를 파악하기 위해 시계열 분포를 이용해 토양수분의 주파수 영역별 특성에 맞는 시간적 변동성을 분석하였다(Fig. 3, Fig. 4).

Table 2. Statistical analysis of AMSR2 soil moisture with 38 In-situ measurements

frequency band	overpass time	mean correlation coefficient	mean bias	mean RMSE	max. correlation coefficient
X-band	ascending	0.257	0.029	0.162	0.658
	descending	0.140	0.177	0.231	0.635
C1-band	ascending	0.219	0.163	0.212	0.523
	descending	0.220	0.140	0.198	0.577
C2-band	ascending	0.171	0.030	0.158	0.378
	descending	0.186	0.025	0.154	0.524

3. 연구 결과 및 토의

AMSR2 LPRM 알고리즘 기반 토양수분 자료를 지점관측 토양수분 자료와 비교 및 분석한 결과 위성의 *overpass time*의 변화와 주파수 영역별(C1-band, C2-band, 그리고 X-band) 토양수분 산출에 따라 지점 토양수분과 연계되는 특성에 차이가 발생함을 알 수 있었다. Table. 2는 38개 지점의 토양수분 관측 지점과 AMSR2 센서의 세 주파수영역 토양수분 자료와의 상관관계가 *overpass time* (ascending, descending)에 따라 어떻게 변화하는지 비교 분석한 결과이다. X-band에서는 38개 지점 중 ascending 시간대(13:30)가 descending 시간대(1:30)보다 더 높은 상관성과 낮은 Bias 및 RMSE를 보이는 지점이 많은 반면, C1-band, C2-band에서는 descending 시간대가 ascending 시간대보다 더 높은 상관관계를 보여주었다. 이러한 결과는 다음과 같은 영향들로 분석 될 수 있다.

1) C1-band, C2-band에서의 산출 토양수분이 시간대에 따라 지점관측자료와의 상관성에 차이가 발생하는 것은 RFI에 대한 영향으로 설명 될 수 있다. 현재 한반도는 토양수분 산출에 이용되는 마이크로파가 RFI로 인해 크게 간섭을 받고 있으며(Kim and Choi 2015b), 주파수 영역대가 낮을수록 밝기온도가 받는 RFI에 대한 오염도가 커지게 된다(Oliva *et al.*, 2012). 따라서 상대적으로 낮은 주파수 영역대의 C1-band (6.9GHz) 및 C2-band (7.3GHz)는 더 높은 주파수 영역대인 X-band (10.7GHz)보다 RFI에 대한 밝기온도의 오염 정도가 높기 때문에 오염된 밝기온도 값이 토양수분 산출에 영향을 미친 것으로 사료된다. 앞서 언급하였듯이 C1-band와 C2-band는 X-band에 비해 RFI에 대한 간섭이 상대적으로 높기 때문에 RFI가 높은 시간대인 오후 시간대에서 밝기온도의 오염이 더 많이 일어날 것이다. 왜냐하면 한반도에서 전체적인 전파활용은 새벽 시간대인 1시 30분 보다 사회활동 시간인 13시 30분에 더 집중되어 나타나기 때문이다.

2) 반면에 X-band는 오후 시간대에 지점관측 자료와의 상관성이 더 좋은 결과를 보여주고 있는데 이는 RFI에 상대적으로 적은 영향을 받는 X-band의 경우 RFI에 대한 영향보다, 일사량에 따른 지표 온도에 의한 결과로 해석 할 수 있을 것이다. 왜냐하면 LPRM 알고리즘은 온도에 특히 민감하기 때문이다 (Parinussa, Meesters, *et al.*, 2011). 즉 새벽 시간대에는 지표와 식생의 온도차이가 많이 나지 않기 때문에 관측되는 지표와 식생의 온도 차이 구분에 한계점이 있지만, 낮에는 식생과 지표의 온도차이가 뚜렷하기 때문에 온도에 민감한 LPRM이 데이터 산출에 더 높은 상관관계를 보이는 것으로 사료된다. 이는 C1-band, C2-band의 경우와 상반되는 결과인데, RFI에 의해 오염된 밝기온도가 미치는 영향이, LPRM 알고리즘에

서 온도에 대한 영향보다 더 크기 때문일 것이라 추측 할 수 있다. 왜냐하면 오염된 밝기온도 값은 토양수분 데이터 산출에 막대한 영향을 미치기 때문이다(Soldo *et al.*, 2015).

*Overpass time*에 따른 상관성 분석과 마찬가지로, AMSR2 토양수분 자료와 38개 지점관측 자료와의 상관계수를 주파수 영역에 따라 분류하여 비교한 결과를 확인 할 수 있다. Table. 2에서 ascending과 descending 시간대 모두 X-band가 가장 높은 상관성을 보여주었으며, C1-band, C2-band 순으로 지점 데이터와의 상관성이 높게 나오는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 1) X-band 토양수분이 지점관측 토양수분과 관측 깊이의 차이가 크에도 불구하고 C1-band, C2-band의 RFI에 대한 영향으로 인한 상관성 하락이 더 크게 작용한 것으로 분석된다. 즉 주파수대에 따른 RFI의 간섭 정도의 차이가 토양수분 산출 결과에 크게 작용했다고 볼 수 있다. 2) C1-band, C2-band (약 5cm)보다 상대적으로 얇은 파장대를 갖는 X-band (약 3cm)는 식생환경에 대해 더 높은 투과율을 갖고 있다. 즉 X-band가 산림지역의 비중이 높은 한반도 식생 환경을 더 잘 반영한다는 것을 시사하며, 추가적으로 복잡한 지형에서도 X-band는 C1-band, C2-band보다 지형적인 조건을 잘 설명 할 수 있다고 알려져 있다(Crosson *et al.*, 2005). 다양한 지형, 고도를 보이는 한반도에서는 X-band가 토양수분 데이터 산출에 이점이 있다는 것을 보여주는 것이다. 이러한 결과는(Kim *et al.*, 2015; Griesfeller *et al.*, 2015)의 마이크로파 토양수분 데이터의 전 지구적 분석결과와 일치한다. Table. 2을 통해 분석한 AMSR2 LPRM 토양수분 자료와 지점관측 토양수분 자료 간의 전체적인 상관성 분포는 38개 지점 상관계수의 box-plot (Fig. 2)을 통해 종합적으로 비교가 가능하다.

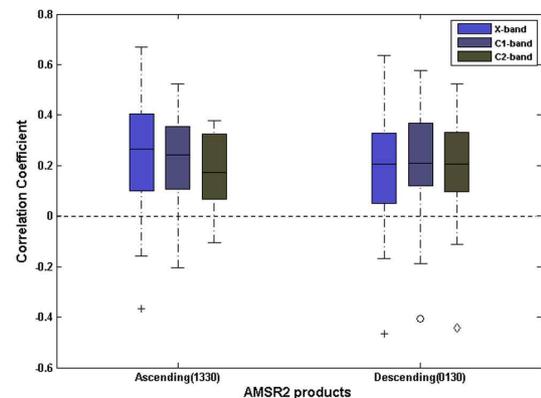


Fig. 2. Box-plot of AMSR2 products

Fig. 3.와 Fig. 4.은 세 관측 지점에 대해서 각각 ascending과 descending 시간대의 주파수 영역별 AMSR2 토양수분과 지

점토양수분의 시계열 분포를 나타낸 것이다. 두 그림에서 (a)는 X-band, C1-band, C2-band와 지점데이터 R값이 모두 0.3 이상인 지점(38개 지점중 10개), (b)는 X-band와 지점관측자료와의 R값만 0.6 이상이며 C1-band와 C2-band의 결과가 저조한 지점(38개 지점중 12개), (c)는 C1-band와 C2-band와 지점관측자료와의 R값만 0.6 이상이며 X-band의 결과가 저조한 지점(38개 지점 중 8개)의 분류 기준에 부합하는 지점들이다. Table. 3는 각 분류로부터 대표되는 지점들의 통계분석도표이며, 세 주파수 모두 R값이 저조한 지점(38개 지점중 8개)은 시계열 분포 대상에서 제외했다. 주목할 부분은 ascending과 descending overpass time 모두 Table. 3에서 보여준 상관계수의 경향과 일치하지만, 시계열 분포에서의 주파수 영역별 거동에는 차이가 있다는 점이다. Ascending 시간대에서는 전반적으로 X-band 토양수분 값이 지점관측자료

보다 과소 추정 된 반면 C1-band와 C2-band 토양수분 값은 과대 추정 되어있다. 이와는 반대로 descending 시간대에서는 X-band 토양수분 값의 과대 추정이, C1-band와 C2-band 토양수분 값은 과소 추정이 되어있는 값이 더 많은 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 ascending의 경우 7월에서 9월 사이에, descending의 경우 3월에서 6월 사이에 두드러진다. 이러한 결과는 시간대별에 따른 마이크로파의 RFI의 영향, LPRM 알고리즘의 온도 민감성, 계절별 식생활동의 차이, 주파수 영역별 식생에 의한 영향 및 관측 깊이의 차이 등 복합적 원인에 기인한 것으로 판단된다. 자료 외적으로도 짧은 검증기간, 지점관측 토양수분 데이터의 자료의 결측값이 빈번하게 관측된다는 점, 센서 자체의 기계적 오차, 해상도 불일치 등 매우 다양한 오차도 고려되어야 할 것이다.

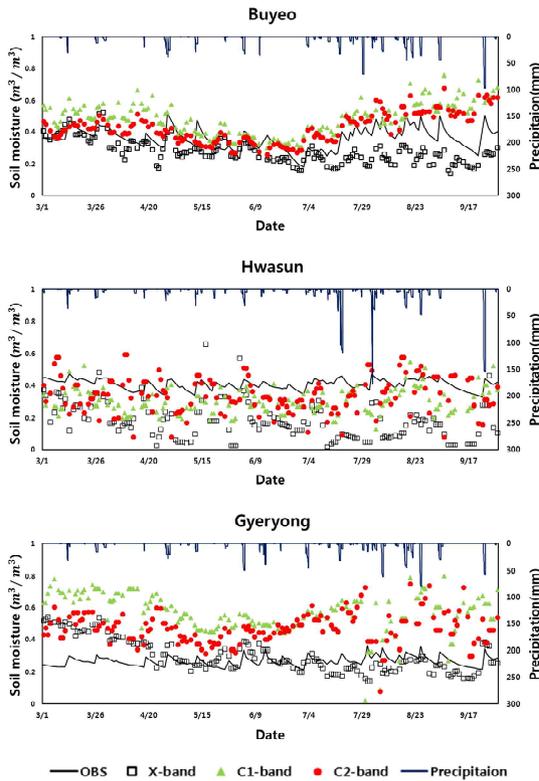


Fig. 3. Time series of AMSR2 soil moisture on the ascending time

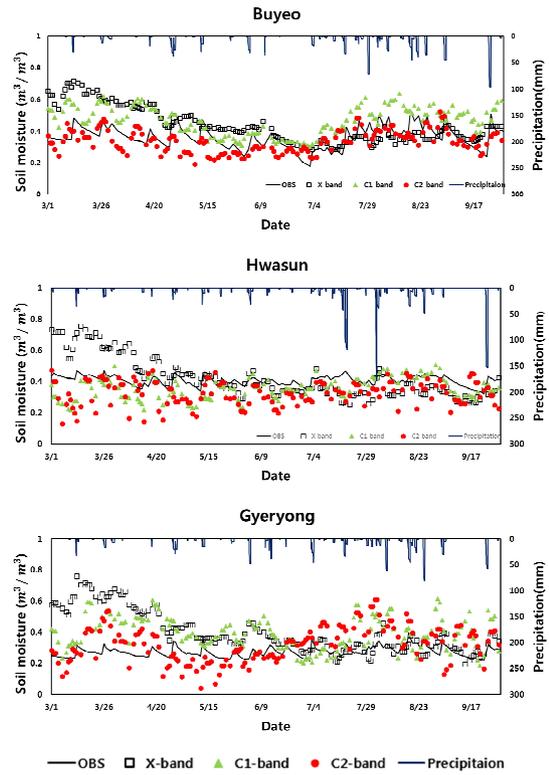


Fig. 4. Time series of AMSR2 soil moisture on the descending time

Table 3. Statistical performances of AMSR2 soil moisture with in-situ measurement

Station	Land cover	Overpass time	R			Bias			RMSE		
			X	C1	C2	X	C1	C2	X	C1	C2
Buyeo	Crop land	Ascending	0.513	0.327	0.379	-0.039	0.109	0.045	0.186	0.141	0.091
		Descending	0.360	0.518	0.451	-0.039	0.108	-0.031	0.186	0.130	0.076
Hwasun	Crop land	Ascending	0.533	0.195	0.069	-0.180	-0.125	-0.061	0.221	0.146	0.127
		Descending	0.503	0.125	0.017	0.081	-0.083	-0.090	0.160	0.108	0.124
Gyeryong	Mixed forest	Ascending	0.018	0.278	0.122	0.032	0.144	0.091	0.149	0.162	0.129
		Descending	0.051	0.308	0.369	0.195	0.113	0.036	0.251	0.151	0.118

4. 결론

최근 AMSR2 토양수분 데이터에 대한 검증연구들이 활발히 진행되고 있다. Kim *et al.*, 2015는 전지구적으로 AMSR2 JAXA와 LPRM기반 토양수분 데이터를 서로 비교하여 두 데이터의 상관성이 지 역에 따라 양과 음의 값을 가짐을 보였다. Cho *et al.*, 2015는 한반도 지역에 있어서 AMSR2 (JAXA) 토양수분 데이터를 지점관측 토양수분 데이터를 통해 비교 검증하여 데이터 수득의 시간적 제한에도 만족할 만한 상관성이 있음을 보였다. Kim and Choi, 2015a는 AMSR2 (JAXA) 토양수분 데이터와 모델 토양수분 데이터를 비교하여, 한반도 지점에서의 AMSR2 토양수분 위성 활용 가능성을 제시하였다. 이와 같이 최근 동아시아 및 한반도 지역을 대상으로 한 마이크로파 위성의 토양수분 산출물에 대한 비교검증 연구들이 진행되었으나, AMSR2 LPRM기반 토양수분의 한반도 비교연구는 전무했다. 따라서 이번 연구에서는 두 알고리즘의 비교에 앞서 선행되어야 할 AMSR2 LPRM 알고리즘 기반 토양수분자료와 지상관측자료의 상관성 분석을 진행하였다. 그 결과 X-band 토양수분은 ascending 시간대에서, C1-band와 C2-band의 토양수분은 descending 시간대에서 지점관측자료와 더 좋은 상관성을 보였고, 주파수 영역별 비교에서는 overpass time에 관계없이 X-band 토양수분 값이 C1-band와 C2-band의 토양수분보다 지점관측자료와 더 높은 상관관계를 보였다. 따라서 AMSR2 LPRM 토양수분 자료는 ascending 시간대의 X-band 토양수분 값이 한반도 지역에 가장 우수한 적용성을 보인다는 결론을 얻을 수 있었다. 또한 위성 토양수분과 지점관측 토양수분의 시계열분석을 통해 AMSR2 LPRM 토양수분 자료가 강우사상과 지점관측자료의 시간 변동성을 잘 반영하고 있음을 판별하였다. 이러한 결과는 한반도 지역에 맞는 AMSR2 LPRM 토양수분 자료의 최적 산출물과 주효 영향 인자를 파악하였다는 데 의의를 두며, 이를 바탕으로 향후 AMSR2 JAXA와 LPRM 알고리즘 토양수분의 비교 분석을 통해 한반도 지역 최적 AMSR2 토양수분 산정 알고리즘을 판별한다면 한반도 수문기상분석 및 기상예보 입력 인자 활용에 기준이 될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 지역적 규모로 나타나는 대규모 자연재해(가뭄, 홍수)의 피해 분석 및 예측에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(16AWMP-B079625-03)에 의해 수행되었습니다.

References

- Albergel C., de Rosnay P., Gruhier C., Muñoz-Sabater J., Hasenauer S., Isaksen L., Kerr Y., Wagner W. (2012). "Evaluation of remotely sensed and modelled soil moisture products using global ground-based in situ observations." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 118, pp. 215-226.
- Bolten, J.D., Crow, W.T. (2012). "Improved prediction of quasi-global vegetation conditions using remotely-sensed surface soil moisture." *Geophys. Res. Lett.* Vol. 39, No. 19.
- Brocca L., Hasenauer S., Lacava T., Melone F., Moramarco T., Wagner W., Dorigo W., Matgen P., Martínez-Fernández J., Llorens P., Latron J., Martin C., Bittelli M. (2011). "Soil moisture estimation through ASCAT and AMSR-E sensors: an intercomparison and validation study across Europe." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 115, pp. 3390-3408.
- Cho, E., Moon, H., Choi, M. (2015). "First Assessment of the Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2) Soil Moisture Contents in Northeast Asia." *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 93, No. 1, pp. 117-129.
- Choi M., Jacobs JM. (2008). "Temporal variability corrections for advanced microwave radiometer E (AMSR-E) surface soil moisture: case study in Little River Region, Georgia, U.S." *Sensors*. Vol. 8, pp. 2617 - 2627.
- Choi, M., Jacobs, J.M., Anderson, M.C., Bosch, D.D. (2013). "Evaluation of drought indices via remotely sensed data with hydrological variables." *Journal of Hydrology*, Vol. 476, pp. 265 - 273.
- Crosson, W. L., Limaye, A. S., and Laymon, C. A. (2005). "Paramater sensitivity of soil moisture retrievals from airborne C- and X-band radiometer measurements in SMEX02." *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 43, pp. 2842 - 2853.
- Crow, W.T. and Ryu, D. (2009). "A new data assimilation approach for improving runoff prediction using remotely-sensed soil moisture retrievals." *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Vol. 13, pp. 1 - 16.
- Draper, C.S., Walker, J.P., Steinle, P.J., De Jeu, R.A.M., & Holmes, T.R.H. (2009). "An evaluation of AMSR-E derived soil moisture over Australia." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 113, No. 4, pp. 703 - 710.
- Fujii, H., Koike, T., & Imaoka, K. (2009). "Improvement of the AMSR-E algorithm for soil moisture estimation by introducing a fractional vegetation coverage dataset derived from MODIS data." *Journal of the Remote Sensing Society of Japan*, Vol. 29, No. 1, pp. 282 - 292.
- Griesfeller, A., Lahoz, W.A., De Jeu, R.A.M., Dorigo, W., Haugen, L.E., Svendby, T.M., Wagner W. (2016). "Evaluation of satellite soil moisture products over Norway using ground-based observations." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 45, pp.

155-164.

- Imaoka, K., Kachi, M., Kasahara, M., Ito, N., Nakagawa, K., & Oki, T. (2010). "Instrument performance and calibration of AMSR-E and AMSR2." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 38, No. 8, pp. 13-18.
- Jackson, T.J., Cosh, M.H., Bindlish, R., Starks, P.J., Bosch, D.D., Seyfried, M., Goodrich, D.C., Moran, M.S., Jinyang, D. (2010). "Validation of advanced microwave scanning radiometer soil moisture products." *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 48, No. 12, pp. 4256 - 4272.
- Kerr, Y. H., Waldteufel, P., Wigneron, J. -P., Delwart, S., Cabot, F., Boutin, J. (2010). "The SMOS mission: New tool for monitoring key elements of the global water cycle." *Proceedings of the IEEE*, Vol. 98, No. 5, pp. 666 - 687.
- Kim, H., & Choi, M. (2015a). "An inter-comparison of active and passive satellite soil moisture products in East Asia for dust-outbreak prediction." *J.Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 4, pp.53-58.
- Kim, H., & Choi, M. (2015b). "Impact of soil moisture on dust outbreaks in East Asia: Using satellite and assimilation data." *Geophysical Research Letters*, Vol. 42, pp. 2789-2796.
- Kim, S., Liu, Y.Y., Johnson, F.M., Parinussa, R.M., Sharma, A. (2015). "A global comparison of alternate AMSR2 soil moisture products: Why do they differ?" *Remote Sensing of Environment*, Vol. 163, pp. 43 - 62.
- Koike, T., Nakamura, Y., Kaihotsu, I., Davva, G., Matsuura, N., Tamagawa, K. (2004). "Development of an advanced microwave scanning radiometer (AMSR-E) algorithm of soil moisture and vegetation water content." *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol. 48, No. 2, pp. 217-222.
- Leroux D.J., Kerr Y.H., Al Bitar A., Bindlish R., Jackson T.J., Berthelot B., Portet G. (2013) "Comparison between SMOS, VUA, ASCAT, and ECMWF Soil Moisture Products Over Four Watersheds in U.S." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 52, No. 3.
- Njoku, E.G., and Entekhabi, D. (1996). "Passive microwave remote sensing of soil moisture." *J. Hydrol.*, vol. 184, pp. 101 - 129.
- Njoku, E.G., Jackson, T.J., Lakshmi, V., Chan, T.K., Nghiem, S.V. (2003). "Soil moisture retrieval from AMSR- E." *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* Vol. 41, No. 2, pp. 215 - 229.
- Oliva, R., Daganzo, E., Kerr, Y., Mecklenburg, S., Nieto, S., Richaume, P., and Gruhier, C. (2012). "SMOS radio frequency interference scenario: status and actions taken to improve the RFI environment in the 1400 - 1427 MHz passive band." *IEEE T. Geosci. Remote.*, Vol. 50, pp. 1427 - 1439.
- Owe, M., De Jeu, R.A.M., & Holmes, T. (2008). "Multisensor historical climatology of satellite-derived global land surface moisture." *Journal of Geophysical Research, Earth Surface*, Vol. 113, Issue. F1.
- Parinussa, R.M., Meesters, A.G.C.A., Liu, Y., Dorigo, W., Wagner, W., & De Jeu, R.A.M. (2011). "Error estimates for near-real-time satellite soil moisture as derived from the land parameter retrieval model." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 8, No. 4, pp. 779 - 783.
- Soldo, Y., Khazaal, A., Cabot, F., Kerr, Y. H. (2015). "An RFI Index to Quantify the Contamination of SMOS Data by Radio-Frequency Interference." *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 9, pp. 1577-1589.
- Wagner W, Lemoine G, Rott H. (1999). "A method for estimating soil moisture from ERS scatterometer and soil data." *Remote Sens Environ.* Vol. 70, pp. 191 - 207.
- Wigneron, J., Schmugge, T.J., Chanzy, A., Calvet, J., & Kerr, Y. (1998). "Use of passive microwave remote sensing to monitor soil moisture." *Agronomie*, Vol. 18, No. 1, pp. 27 - 43.