



지상관측 자료를 이용한 AMSR2 토양수분자료의 편이 보정 Bias Correction of AMSR2 Soil Moisture Data Using Ground Observations

김묘정* · 김광섭**† · 이재응***
Kim, Myojeong · Kim, Gwangseob · Yi, Jaeeung

Abstract

Quantitative variability of AMSR2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer 2) soil moisture data shows that the remotely sensed soil moisture is underestimated during Spring and Winter seasons and is overestimated during Summer and Fall seasons. Therefore the bias correction of the remotely sensed data is essential for the purpose of water resource management. To enhance their applicability, the bias of AMSR2 soil moisture data was corrected using ground observation data at Cheorwon Chuncheon, Suwon, Cheongju, Jeonju, and Jinju sites. Test statistics demonstrated that the correlation coefficient R is improved from 0.107~0.328 to 0.286~0.559 and RMSE is improved from 9.46~14.36 % to 5.38~9.62 %. Bias correction using ground network data improved the applicability of remotely sensed soil moisture data.

Keywords: Soil Moisture; AMSR2; Remote Sensing; Bias Correction

1. 서 론

토양수분은 담수의 0.15 %로 낮은 비율을 차지함에도 불구하고 수문인자 중 증발산, 침투 및 표면유출에 직접적인 영향을 미치므로 수문 순환과 물수지 분석에 있어 매우 중요한 변수이며 광역에서의 토양수분정보는 가뭄과 홍수의 예측력 향상과 기상 및 기후예측에 도움을 준다(Kim et al. 2006). 광역 토양수분정보가 유용함에도 불구하고 현재 우리나라에서는 Time Domain Reflectometry (TDR) 센서나 Frequency Domain Reflectometry (FDR) 센서를 이용한 지점 관측이 주로 이루어지고 있으며(Hur and Choi, 2011), 두 가지 센서 모두 광역에 대한 토양수분 공간 정보를 제공하기에는 한계를 가지고 있다(Choi and Jacobs, 2007).

미국을 비롯한 선진국에서는 광역의 토양수분을 획득하기 위하여 원격탐사 관측관련 연구와 투자가 활발히 이루어져 왔다. 특히, 미국항공우주국(National Aeronautics and Space

Administration, NASA)에서 2002년 5월에 발사된 EOS (Earth Observing System) Aqua 위성에 탑재된 AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System) 센서를 통하여 전구를 대상으로 C-band 토양수분 관측을 수행하였으며, 2011년 10월에 관측기기의 결함으로 토양수분 관측을 중단하였다. AMSR-E 토양수분 관측 센서를 대신하기 위하여 일본 우주항공 연구개발 기구(Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA)에서 2012년 5월에 발사한 GCOM-W1 (Global Change Observation Mission - Water) 위성에 AMSR2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer 2) 센서를 탑재하여 C-band 토양수분 전구관측을 재개하였다. 2009년 SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) 위성관측 임무를 통해 L-band 토양수분 관측이 수행되었음에도 불구하고 우리나라의 경우 동일대역 주파수를 사용하는 통신장비와 관련한 RFI (Radio Frequency Interference)의 영향으로 인하여 위성관측의 결측률이 너무 높고 산정 토양수분의 정도에도 의문이 제기되어 가용성이 매우 낮은 실정이다. 그러므로 C-band 토양수분관측 자료를 얇은 관측심의 한계와 지표면의 거칠기 및 토지피복의 종류에 따라 적용성의 한계가 있음에도 불구하고 공간토양수분자료로서 효용성이 매우 높은 실정이다.

국내외에서 위성 관측 토양수분자료를 활용한 광역 토양수분정보의 특성에 대한 연구가 진행되어 오고 있다. 국내에서는 Park et al. (2002)는 위성에서 관측한 토양수분으로 봄철 가뭄의 민감도를 분석하였다. Kwon et al. (2005)는 NOAA/AVHRR 위성영상을 이용하여 기후학적 물수지 분석을 하였

* Ph. D Course, School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University

** Professor, School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University

*** Professor, Division of Environmental, Civil & Transportation Engineering Ajou University

† Corresponding author

Tel.: +82-53-950-5614 Fax: +82-53-950-6564

E-mail: kimgs@knu.ac.kr

Received: May 8, 2015

Revised: June 26, 2015

Accepted: June 29, 2015

다. Kim and Kim (2011)은 NASA에서 개발한 알고리즘으로 추정된 AMSR-E 토양수분과 VUA-NASA (Vrije Universiteit Amsterdam in collaboration with NASA)의 AMSR-E 토양수분을 지상관측과의 상관성을 비교하였다. Suh et al. (2011)은 위성에서 관측된 휘도온도 자료를 이용하여 지표면 거칠기, 물질의 특성을 나타내는 유전상수를 산출하여 두 변수 사이 관측된 경험적 관계식으로 토양수분을 산출하는 알고리즘을 제안하였다. Sunwoo et al. (2014)은 유역의 선행습윤조건을 분석하기 위하여 위성관측 토양수분과 지점강우량을 활용하여 토양수분상태에 대한 정량적인 지표를 제공함으로써 예측의 불확실성을 개선할 수 있음을 확인하였다. 국외에서는 Draper et al. (2009)는 호주대륙에서 NASA의 AMSR-E 토양수분과 VUA-NASA의 AMSR-E 토양수분을 비교하였다. Pellarin et al. (2013)은 강수량과 토양수분 추정치를 AMSR-E 관측자료를 이용하여 보정하는 방법을 제시하였고, Laiolo et al. (2014)은 위성관측 토양수분이 분포형 수문 모형에 적용할 수 있는지 확인하였다. Ye et al. (2014)은 AMSR2 휘도온도 및 토양수분 자료와 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometers) 지표면온도 자료로 상세화하여 토양수분량을 산정하였다.

AMSR2 토양수분 자료는 결측률이 매우 낮아 가용성이 높음에도 불구하고 전술한 바와 같이 C-band 관측기기의 관측심 한계 등으로 인하여 지상관측자료와 보정과정을 거쳐야 자료의 가용성을 높일 수 있다. 본 연구에서는 JAXA에서 제공하는 AMSR2 공간 토양수분 자료를 획득하여 지상관측 토양수분과의 편이 보정과정을 통하여 자료의 가용성을 높였다. 대상 지역은 기상청 농업관측관서에서 관측하고 있는 관측소 중 AMSR2 토양수분 관측 범위에 포함되는 6개 지점이며, 대상 기간은 AMSR2 토양수분 자료가 제공되는 2012년 7월부터 기상청 농업관측관서 토양수분이 제공되는 2013년 12월까지 자료를 활용하였다.

II. 연구방법 및 대상지점

1. 편이 보정 기법

본 연구에서 사용한 AMSR2 토양수분 자료는 AMSR-E 토양수분 및 SMOS 토양수분 자료에 비하여 지상관측 토양수분과의 상관계수가 높으나 보정 없이 사용가능 할 정도로 상관성이 높지 않을 뿐만 아니라 지상관측에 비하여 상대적으로 과소추정 되는 경향을 보이므로 위성관측 토양수분자료에 대한 정량적 보정이 필요한 실정이다. 국내에서는 토양수분의 편이 보정을 한 연구 논문을 찾기 힘들다, 국외에서는

Jackson et al. (2010)과 Brocca et al. (2011)은 두 개의 위성관측 토양수분을 선행회귀 보정을 이용하여 편이 보정을 진행하였다. 본 연구에서는 위성관측 토양수분과 지상관측 토양수분의 상관성을 개선과 정량적 자료 보정을 위하여 다음과 같이 세 가지방법으로 편이 보정 (Bias Correction)하여 결과를 비교·분석하였다. Eq. (1)은 Leander and Buishand (2007)이 온도에 적용하였던 편이 보정식을 토양수분에 적용하였으며, Eq. (2)와 (3)은 Chen et al. (2011)이 각각 강우와 온도를 편이 보정할 때 사용한 식을 토양수분 편이 보정에 사용하였다.

$$SM^* = \overline{SM}_o + \frac{\sigma(SM_o)}{\sigma(SM_s)}(SM_s - \overline{SM}_o) + (\overline{SM}_o - \overline{SM}_s) \quad (1)$$

$$SM^* = SM_s \times \frac{\overline{SM}_o}{\overline{SM}_s} \quad (2)$$

$$SM^* = SM_s + \overline{SM}_o - \overline{SM}_s \quad (3)$$

여기서, SM^* 는 편이 보정한 토양수분(%), SM_s 는 AMSR2 토양수분(%), \overline{SM}_o 는 n일간의 지상 관측한 토양수분의 평균, $\sigma(SM_o)$ 는 n일간의 지상 관측한 토양수분의 표준편차, \overline{SM}_s 는 n일간의 AMSR2 토양수분의 평균, $\sigma(SM_s)$ 는 n일간의 AMSR2 토양수분의 표준편차이다. n을 3일, 5일, 7일 자료를 사용하여 다양하게 편이 보정하여 결과를 비교하였다.

2. 대상지점 및 AMSR2 자료의 특성

기상청 농업기상관측관서에서 설치한 토양수분 관측망 10개 지점 중에서 AMSR2 자료 가용기간인 2013년 이후 토양수분 자료가 가용한 지점은 Tabel 1에 제시한 6개 지점이다. 기상청 농업기상관측관서의 순천 지점은 2011년에 순천 기상관측소의 이전으로 인하여 대상기간에 관측이 이루어지지 않고 있으며, 안동 및 서귀포지점은 관측이 이루어지고 있으나 관측자료의 신뢰도가 떨어져 분석과정에서 제외하였다. 서산 지점은 위성관측 토양수분 자료의 결측이 많고 해안과 인접한 위치로 관측 격자내의 면적평균 토양수분을 제시하는 상황에서 지점 토양수분자료와 상관분석하기에는 한계가 있어 제외하였다. Table 1은 토양수분 관측지점의 위치 및 고도 정보와 토지피복 정보를 나타낸다.

AMSR2 센서는 GCOM-W1 위성에 탑재되어 있으며, 극궤도 위성인 GCOM-W1 위성은 고도 700 km 상공에서 관측 폭은 1450 km로 지상관측이 이루어지고 있다. 관측센서 안

Table 1 Soil moisture observation site information

Location	Latitude	Longitude	Elevation(m)	Land cover
Cheorwon	38,1479	127,3042	153,7	-
Suwon	37,2723	126,9854	34,1	6 (Forest)
Jinju	35,1638	128,0400	30,2	8 (Farm)
Jeonju	35,8215	127,1550	53,4	2 (Urban Area)
Cheongju	36,6392	127,4407	57,2	8 (Farm)
Chuncheon	37,9026	127,7357	77,7	2 (Urban Area)

Table 2 Comparison between AMSR2 soil moisture data and ground observations

	CW ¹⁾				CC ¹⁾				SW ¹⁾			
	maen		R	RMSE	maen		R	RMSE	maen		R	RMSE
	Obs ²⁾	AM ²⁾			Obs ²⁾	AM ²⁾			Obs ²⁾	AM ²⁾		
MAM	15,4	9,5	0,311	11,2	16,7	8,4	-0,05	11,3	7,0	11,0	0,542	7,6
JJA	15,7	15,6	0,241	10,4	16,4	13,2	0,129	10,5	12,0	24,4	0,239	19,6
SON	15,4	8,9	0,119	9,7	13,8	7,8	0,082	9,5	13,5	12,1	0,130	9,7
DJF	9,7	4,8	0,360	5,9	8,7	4,7	0,454	6,0	8,6	6,7	0,506	4,6
All	14,1	9,9	0,328	9,5	14,3	9,1	0,251	9,7	10,9	14,1	0,280	12,3

	CJ ¹⁾				Jeon ¹⁾				Jin ¹⁾			
	maen		R	RMSE	maen		R	RMSE	maen		R	RMSE
	Obs ²⁾	AM ²⁾			Obs ²⁾	AM ²⁾			Obs ²⁾	AM ²⁾		
MAM	15,4	8,6	-0,06	9,5	17,1	9,9	0,323	10,8	18,0	13,7	0,045	11,8
JJA	17,7	15,8	0,257	11,5	21,4	19,4	0,116	15,0	18,1	27,3	0,130	19,5
SON	16,8	9,4	0,046	12,4	22,2	11,5	-0,06	14,0	16,6	16,9	0,052	13,2
DJF	13,4	5,7	0,388	10,2	17,9	7,5	0,428	12,4	17,4	9,3	0,194	9,6
All	16,0	10,1	0,227	11,2	20,2	12,7	0,189	13,5	17,4	17,4	0,107	14,3

¹⁾ CW: Cheorwon, CC: Chuncheon, SW: Suwon, CJ: Cheongju, Jeon: Jeonju, Jin: Jinju

²⁾ Obs: Observed Soil Moisture, AM: AMSR2 Soil Moisture

테나 사이즈는 2 m로 6.9 GHz ~ 89.0 GHz 사이의 총 7개 대역에 대하여 관측이 이루어지고 있다. 토양수분 관측이 이루어지는 6.9 GHz 대역의 공간 분해능은 62 km x 35 km 이고, 89.0 GHz 대역의 공간 분해능은 5 km x 3 km이다. 관측시간은 매일 현지시간으로 상승경로 (Ascending Path)에 대한 관측이 1:30 P.M.에 이루어지고, 하강경로 (Descending Path)에 대한 관측은 1:30 A.M.에 수행된다.

AMSR2 토양수분자료는 JAXA에서 제공하는 GCOM-W1 Data Providing Service에서 획득하였으며 AMSR2 토양수분 자료의 기본형식은 Hierarchical Data Format (HDF5) 파일형식으로 구성되어 있다. 원자료의 투영법은 원통도법 (Cylindrical Projection)으로 구성되어 있어 TM좌표로 재투영하여 사용하였고, JAXA에서는 최종 토양수분 자료의 공간 해상도를 0.1°와 0.25° 자료로 제공하나 공간 해상도가 높은 0.1° 자료를 분석에 사용하였다. Table 2에서 제시하는 바와

같이 대상 지점에 대한 토양수분자료와 각 지점을 포함하는 면적평균 AMSR2 토양수분자료의 계절별 및 연별 평균값을 비교분석한 결과 AMSR2 토양수분자료는 전반적으로 지점 토양수분자료에 비하여 과소추정되는 것으로 판단된다.

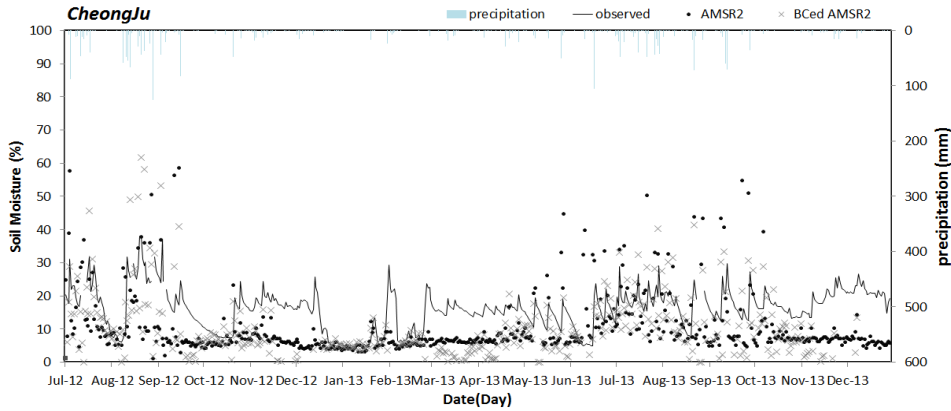
지상에서 토양수분을 관측하는 6개 지점의 지상관측 토양수분과 AMSR2 토양수분의 2012년 7월부터 2013년 12월까지의 평균, 상관계수 (R), 평균제곱근오차 (Root Mean Square Error, RMSE) 등의 통계치를 Table 2에 비교분석하였다. 지상 관측 중인 6개 지점 중 철원 관측소에서 지상관측 토양수분과 AMSR2 토양수분의 상관관계가 상관계수 0.328, 평균제곱근오차 9.5%로 가장 높게 나타났다. 진주 관측소는 상관관계가 0.107, 평균제곱근오차 14.3%로 가장 낮게 나타났다. 계절별로 비교하였을 때 겨울철에 위성관측 토양수분과 지상관측 토양수분의 상관관계가 높으며, 다른 계절에 비하여 여름철이 비교적 낮게 나타났다.

III. 결과 및 고찰

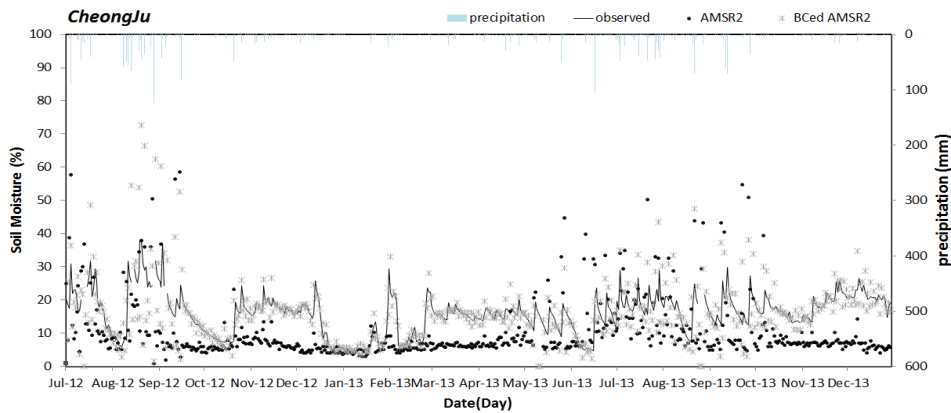
1. 지점 편이 보정

편이 보정 Eq. (1) ~ (3)의 평균, 표준편차에 3일, 5일, 7일의 평균, 표준편차를 적용하여 지상관측 토양수분과의 상관

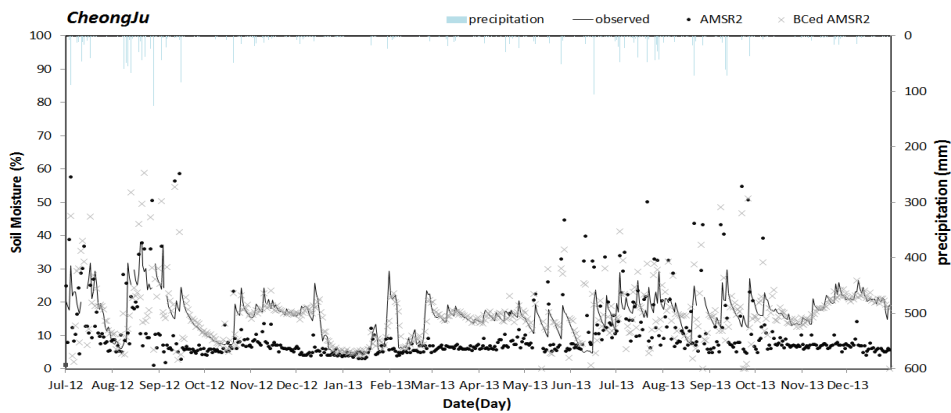
성 개선정도를 비교분석하였다. Fig. 1은 각각의 식에 3일의 평균, 표준편차를 사용하였을 때, 청주 관측소에서 지상 관측한 토양수분과 AMSR2 토양수분, 편이 보정된 AMSR2 토양수분을 비교한 샘플이다. AMSR2 토양수분은 기상청 농업기상관측관서에서 관측한 토양수분과 비교하였을 때 강수량이



(a) Eq. (1), n = 3day



(b) Eq. (2), n = 3day



(c) Eq. (3), n = 3day

Fig. 1 AMSR2, bias corrected AMSR2, and site observed soil moisture sample

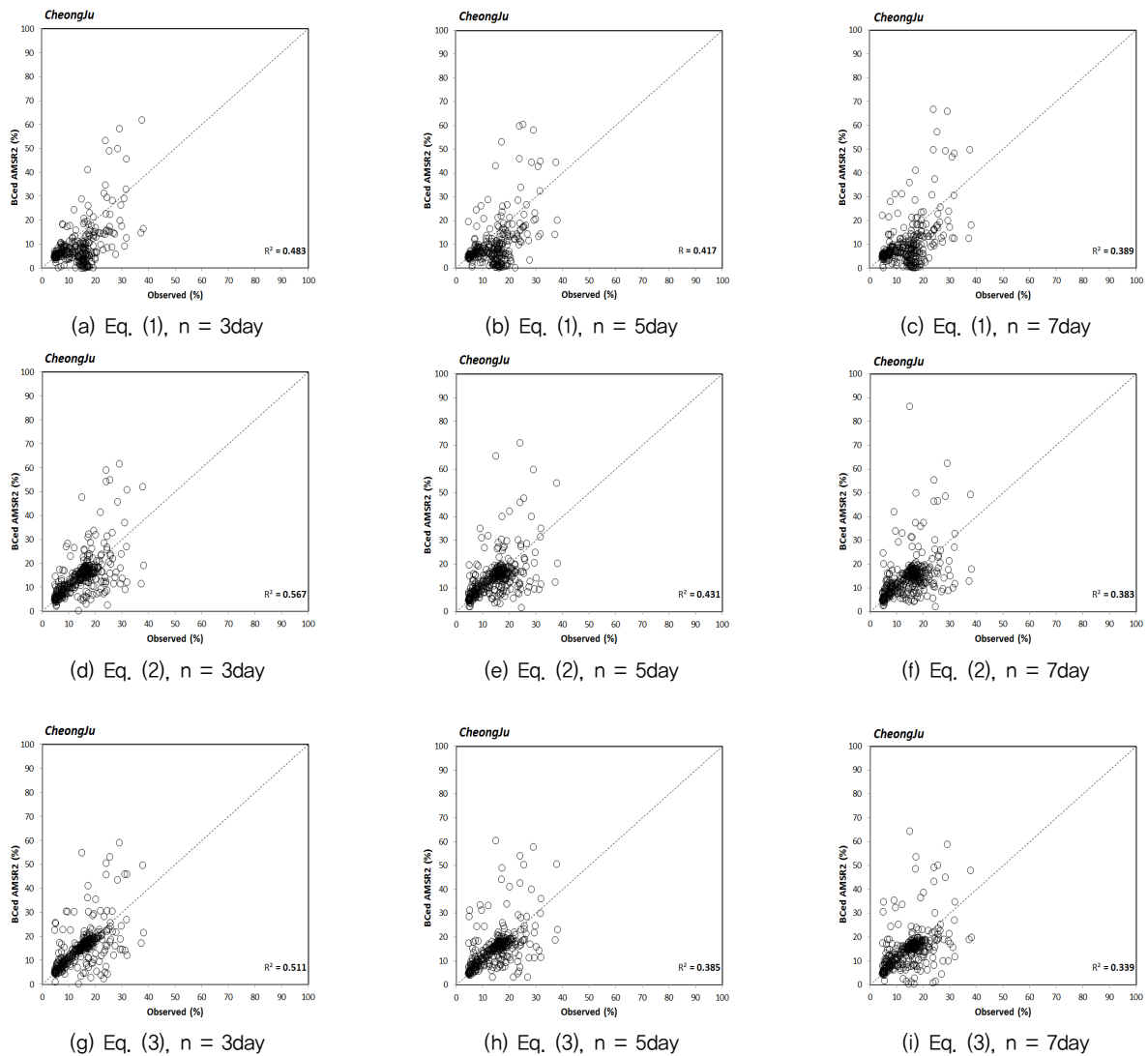


Fig. 2 Scatter plots of bias corrected AMSR2, and site observed soil moisture sample

많은 5월~9월에 5~60%로 변동성이 크게 나타나고 강수량이 적은 10월~4월에는 강수량에 따른 변동성이 나타나지 않으며 일정한 값을 보였다. Eq. (1)으로 편이 보정을 하였을 때는 강수량이 많을 때는 상관관계가 개선이 되지만 강수량이 적을 때에는 편이 보정된 AMSR2 토양수분이 AMSR2 토양수분보다 적게 나타나는 경우가 발생하는 등 상관관계가 개선되지 않음을 보였다. Eq. (2)와 (3)으로 편이 보정하였을 때는 Eq. (1)에서는 상관관계가 개선되지 않던 강수량이 적은 달에 상관관계가 개선됨을 보인다. 강수량이 많은 달은 Eq. (2)로 편이 보정하였을 때가 Eq. (3)으로 편이 보정하였을 때보다 상관관계가 더 많이 개선됨을 알 수 있다.

Fig. 2는 3개의 편이 보정 식으로 3일, 5일, 7일 평균, 표준편차를 사용하여 청주 관측소에서 지상관측 토양수분과의 상

관관계를 분석한 샘플이다. 편이 보정하기 전 청주의 상관계수 R 은 0.227이었으나, Eq. (1)을 이용하여 편이 보정하였을 때 R 은 0.483, 0.417, 0.389이고 Eq. (2)으로 편이 보정하였을 때는 0.567, 0.431, 0.383, Eq. (3)일 때에는 0.511, 0.385, 0.339로 편이 보정을 함으로써 상관관계가 개선됨을 알 수 있다. 각각의 식에 대해 3일의 평균, 표준편차를 사용할 때 다른 조건에 비하여 상관성이 더 개선되며, 그 중 Eq. (2)를 사용하여 편이 보정하였을 때가 가장 많이 개선됨을 알 수 있다. Table 3은 기상청 농업관측관서 6개 관측소에서 Eq. (1)~(3)을 이용하여 편이 보정한 AMSR2 토양수분 자료와 지상관측 토양수분 자료를 상관성 분석한 상관 계수 R 을 비교한 표이다. Fig. 2에서 청주 관측소에서 비교분석을 통해 3일 평균, 표준편차를 사용한 Eq. (2)으로 편이 보정하였을 때 다른 조건

Table 3 Comparison the correlation coefficients of before and after bias correction according to different cases

		CW ¹⁾	CC ¹⁾	SW ¹⁾	CJ ¹⁾	Jeon ¹⁾	Jin ¹⁾
Before, <i>R</i>		0.328	0.251	0.280	0.227	0.189	0.107
After n=3day, <i>R</i>	Eq. (1)	0.477	0.402	0.554	0.483	0.326	0.298
	Eq. (2)	0.517	0.537	0.586	0.567	0.460	0.310
	Eq. (3)	0.492	0.468	0.517	0.511	0.452	0.300
After n=5day, <i>R</i>	Eq. (1)	0.447	0.401	0.464	0.417	0.286	0.230
	Eq. (2)	0.443	0.412	0.466	0.431	0.332	0.228
	Eq. (3)	0.422	0.365	0.414	0.385	0.315	0.221
After n=7day, <i>R</i>	Eq. (1)	0.428	0.379	0.429	0.389	0.276	0.200
	Eq. (2)	0.416	0.365	0.421	0.383	0.292	0.195
	Eq. (3)	0.397	0.327	0.375	0.339	0.270	0.190

¹⁾ CW: Cheorwon, CC: Chuncheon, SW: Suwon, CJ: Cheongju, Jeon: Jeonju, Jin: Jinju

보다 상관성이 좋음을 알 수 있듯이 청주 관측소 이외의 다른 관측소 또한 3일 평균, 표준편차를 사용하여 Eq. (2)에 적용한 조건일 때 상관관계가 가장 높게 나타났다.

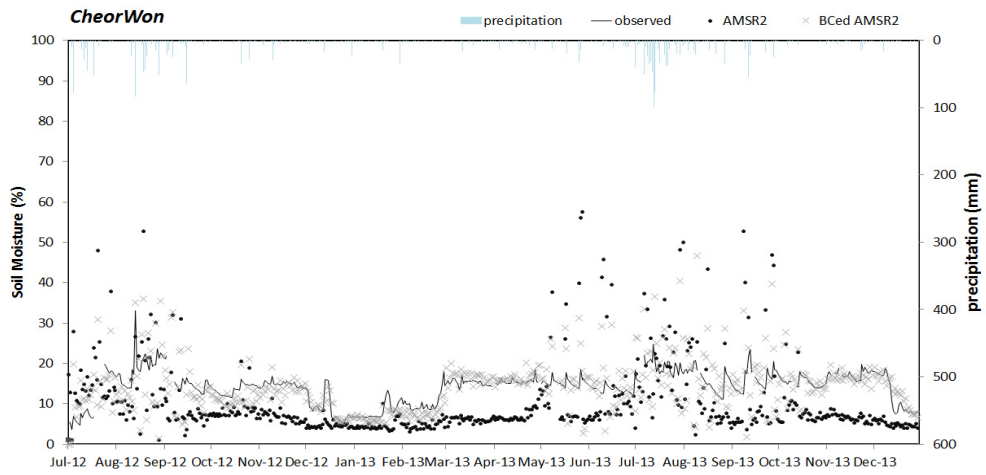
Fig. 3은 Eq. (2)에 3일 평균을 사용하여 편이 보정한 AMSR2 토양수분을 AMSR2 토양수분과 지상관측 토양수분을 시계열로 기상청 농업기상관측관서 6개 관측소에 대해 비교한 그래프이다. AMSR2 토양수분이 지상관측에 비해 강수량이 적은 달(10월~4월)에 낮게 산정되었던 점이 편이 보정 후 지상 관측 토양수분과 비슷하게 산정되었다. 강수량이 많은 달(5월~9월)에 지상 관측 토양수분에 비해 과도하게 많이 산정되는 날은 편이 보정하기 전보다 낮게 산정되는 경향을 나타내나 편이 보정으로 완전히 개선되지 않음을 알 수 있다. Fig. 4는 지상관측 토양수분 값과 Fig. 3과 같은 조건으로 편이보정 된 AMSR2 토양수분 값의 상관성을 6개 관측소에 대해 분석한 그래프이다. 편이 보정으로 개선된 상관계수는 철원은 0.517, 춘천은 0.537, 수원은 0.586, 청주는 0.567, 전주는 0.460, 진주는 0.310이다. 편이 보정을 함으로 인하여 지상관측과의 상관관계가 개선되는 것으로 보아 AMSR2 토양수분은 원자료를 사용하기 보다는 편이 보정 후 모형에 적용하는 것이 타당하다고 판단된다.

2. 광역 적용 편이 보정

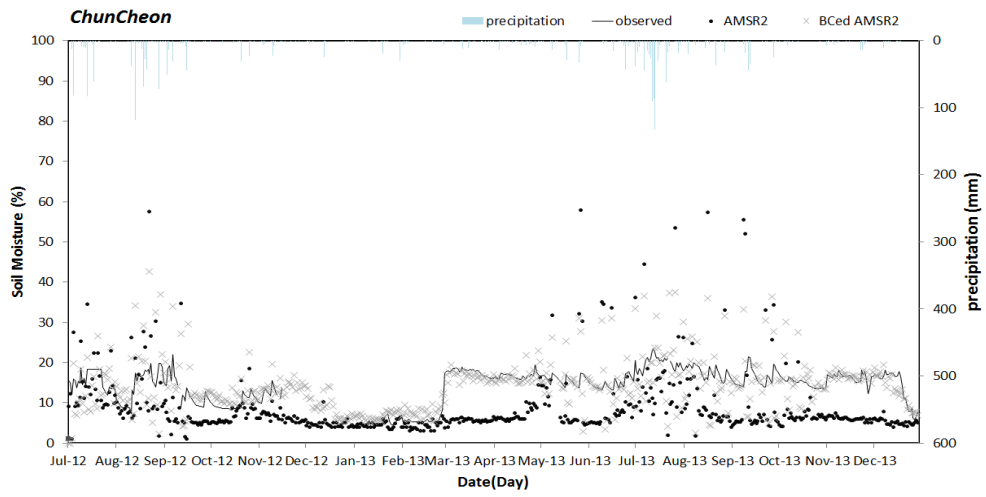
토양수분을 지상 관측하는 6개 지점은 3일 평균을 Eq. (2)에 적용하여 AMSR2 토양수분을 편이 보정 할 수 있지만 광역으로 적용하기 힘든 점이 있다. 편이 보정을 광역으로 적용하기 위한 방법으로 토양도를 이용하는 방법을 선택하였다. 토양수분은 토양의 종류에 따라 배수 등의 영향으로 특성이 달라지며 비슷한 토양 종류는 비슷한 토양 특성을 가지므로 토양 종류별 토양도를 이용하여 편이 보정을 시도하였다

(Lee et al., 2005). WAMIS에서 제공하는 토양 종류별로 토양도는 18개로 분류되어 있으므로 비슷한 토양군으로 재분류하였다. 철원의 토양도는 자갈이 있는 사양질이고 (Type = 3), 춘천의 토양도는 사양질 내지 사질 (Type = 1)로 사질 (Sand)로 구분하고, 수원의 토양도는 식양질 내지 식질 (Type = 7)이고, 전주의 토양도는 미사식양질 내지 식질 (Type = 6)으로 식질 (Clay)로 구분한다. 청주와 진주의 토양도는 사양질 내지 식양질 (Type = 14)로 혼합질 (Mix)로 분류하였다 (Table 4).

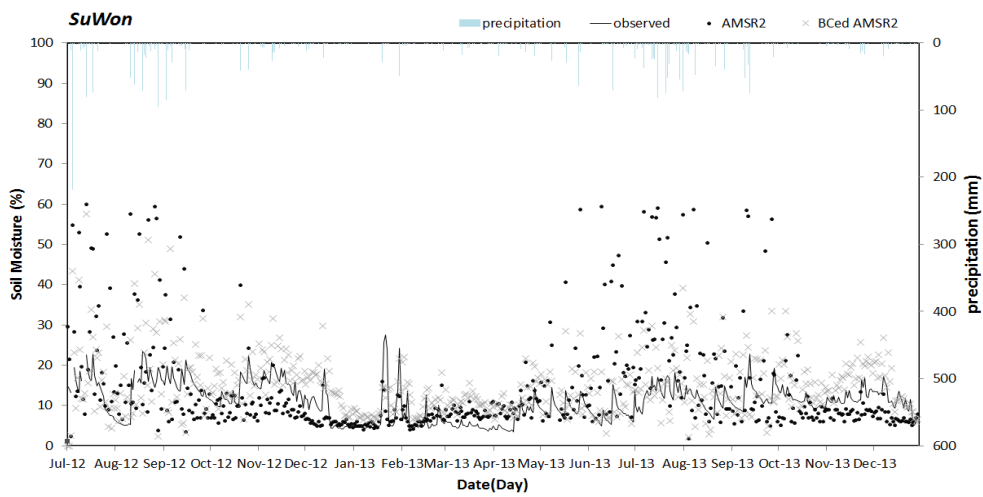
재분류한 토양군에 따라 지상관측 자료를 활용하여 미관측 지점에서 편이 보정으로 상관관계가 개선여부를 Table 5에서 상관계수 *R*과 평균제곱근오차 *RMSE*를 통하여 분석하였다. 토양군에 따라 편이 보정하였을 때 기존의 방법으로 편이 보정하였을 때보다 덜 개선됨을 보이지만 편이 보정을 하지 않는 것에 비하여 상관계수는 최대 2.5배에서 최소 1.5배 정도 개선되며 평균제곱근오차는 4~5% 정도 개선됨을 알 수 있다. Fig. 5는 편이 보정한 AMSR2 토양수분 지도와 편이 보정하기 전 AMSR2 토양수분 지도와 비교한 샘플이다. Fig. 5(a)에서 확인할 수 있듯이 AMSR2 토양수분 지도에서 해안가에서는 관측 격자내 토양수분의 면적평균값을 제시하므로 토양수분이 45% 이상으로 과도하게 추정되는 한계를 가지며, 이러한 한계를 반영하여 새롭게 제시된 AMSR2 토양수분 산정 알고리즘에서는 해안가와 접하는 토양수분의 물리적 한계를 크게 벗어나는 지역에 대한 토양수분 관측 정보를 제공하지 않는다. 그러므로 AMSR2 토양수분을 편이 보정함으로 인하여 과도하게 추정되었던 토양수분이 보정되나 관측이 이루어지지 않은 곳은 본 연구를 통해서 토양수분 관측값을 제공하지 않은 부분에 대하여는 편이 보정을 수행하지 않았다.



(a) Cheorwon



(b) Chuncheon



(c) Suwon

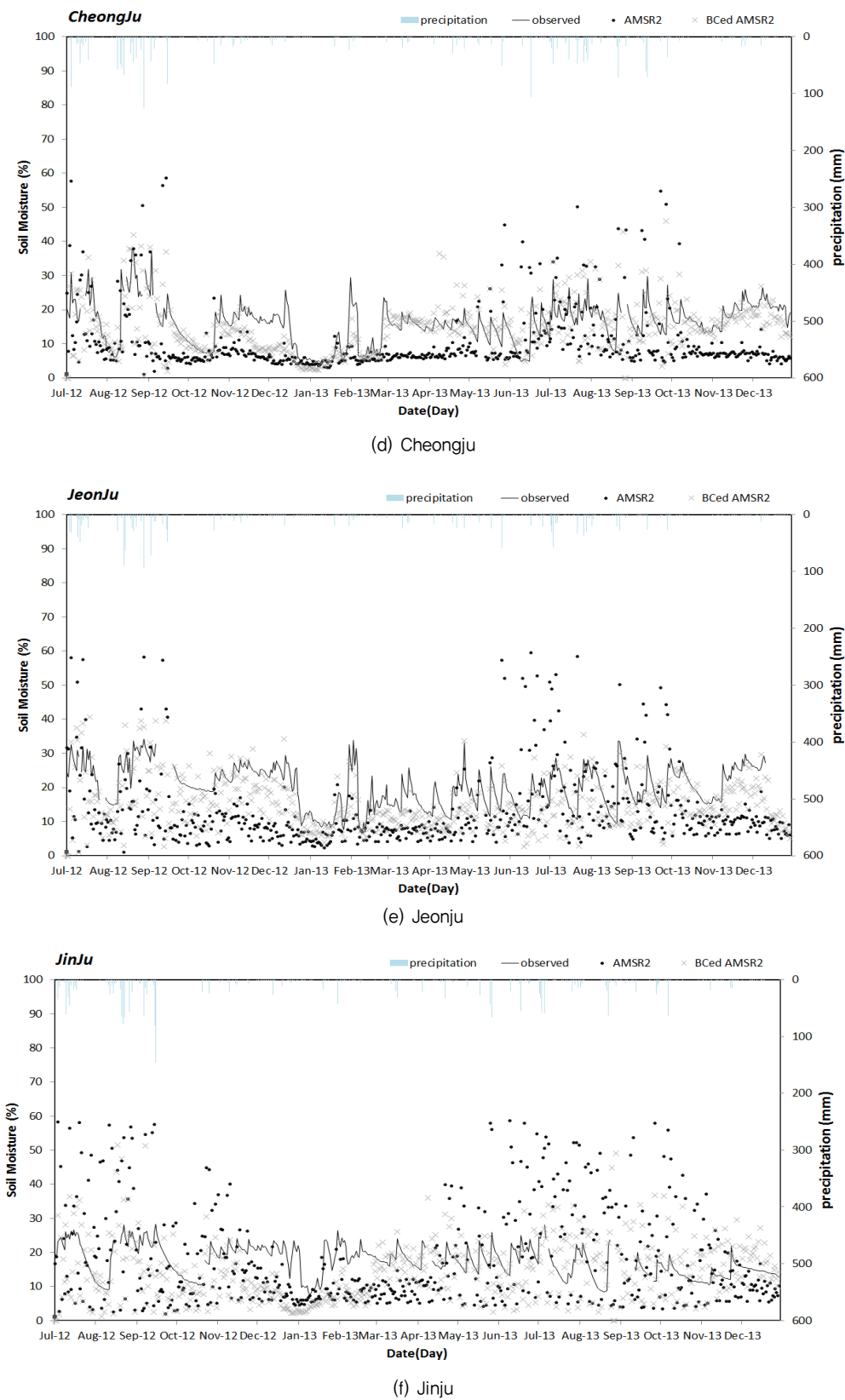


Fig. 3 AMSR2, BCed AMSR2, Observed Soil Moisture

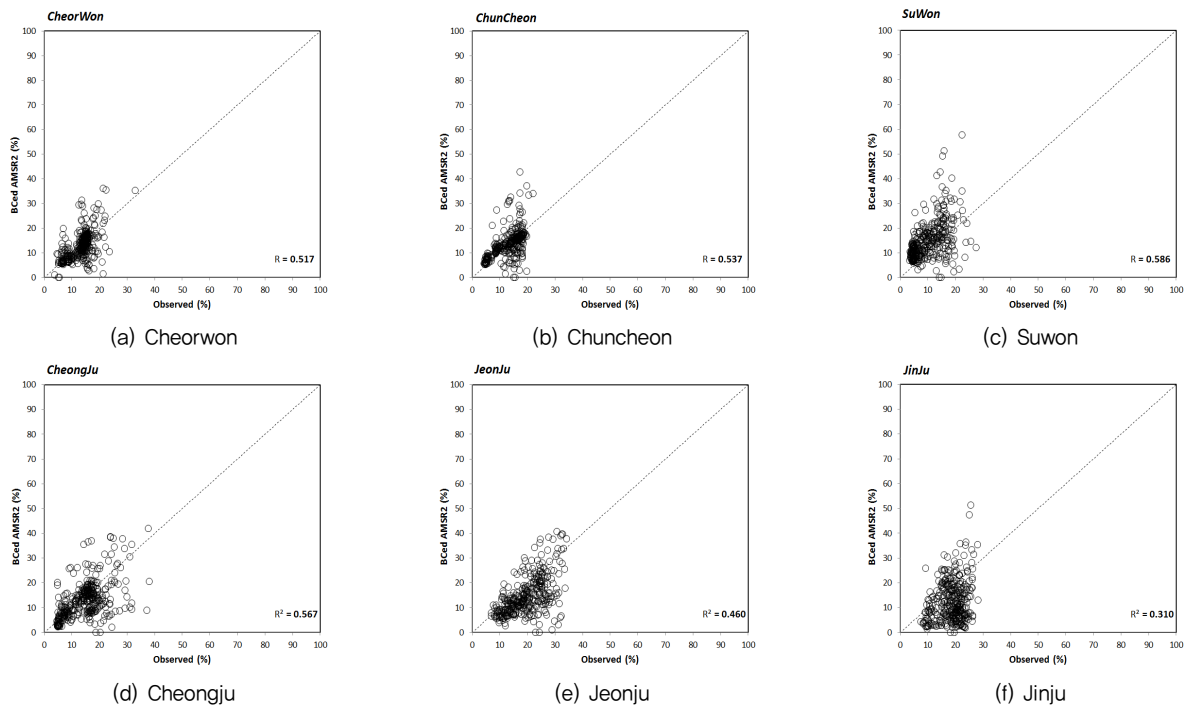


Fig. 4 Scatter plots of bias corrected AMSR2, and site observed soil moisture sample

Table 4 Soil type classification

Class	Description	Type	Class	Description	Type
1	sandy and moderately coarse texture	sand	10	sandy	sand
2	clay loam or silty clay loam	clay	11	sandy loam or silty sandy loam	sand
3	sandy loam with gravel	sand	12	clay or silty sandy loam	mix
4	sandy loam or clay	mix	13	silty sandy loam or silty clay	mix
5	clay loam or sandy loam	mix	14	sandy loam and clay loam	mix
6	clay loam and clay	clay	15	clay loam with gravel	clay
7	clay loam or clay	clay	16	clay loam or sand	mix
8	sandy loam with gravel	sand	17	clay loam	clay
9	silty clay loam and clay	clay	49	rock field	other

Table 5 Comparison the correlation coefficients of before and after bias correction according to soil types

Location	<i>R</i>		<i>RMSE</i>	
	Before	After	Before	After
CW ¹⁾	0,328	0,498	9,46	5,38
CC ¹⁾	0,251	0,501	9,74	5,66
SW ¹⁾	0,280	0,559	12,30	7,95
CJ ¹⁾	0,227	0,508	11,23	7,07
Jeon ¹⁾	0,189	0,429	13,49	8,31
Jin ¹⁾	0,107	0,286	14,36	9,62

¹⁾ CW: Cheorwon, CC: Chuncheon, SW: Suwon, CJ: Cheongju, Jeon: Jeonju, Jin: Jinju

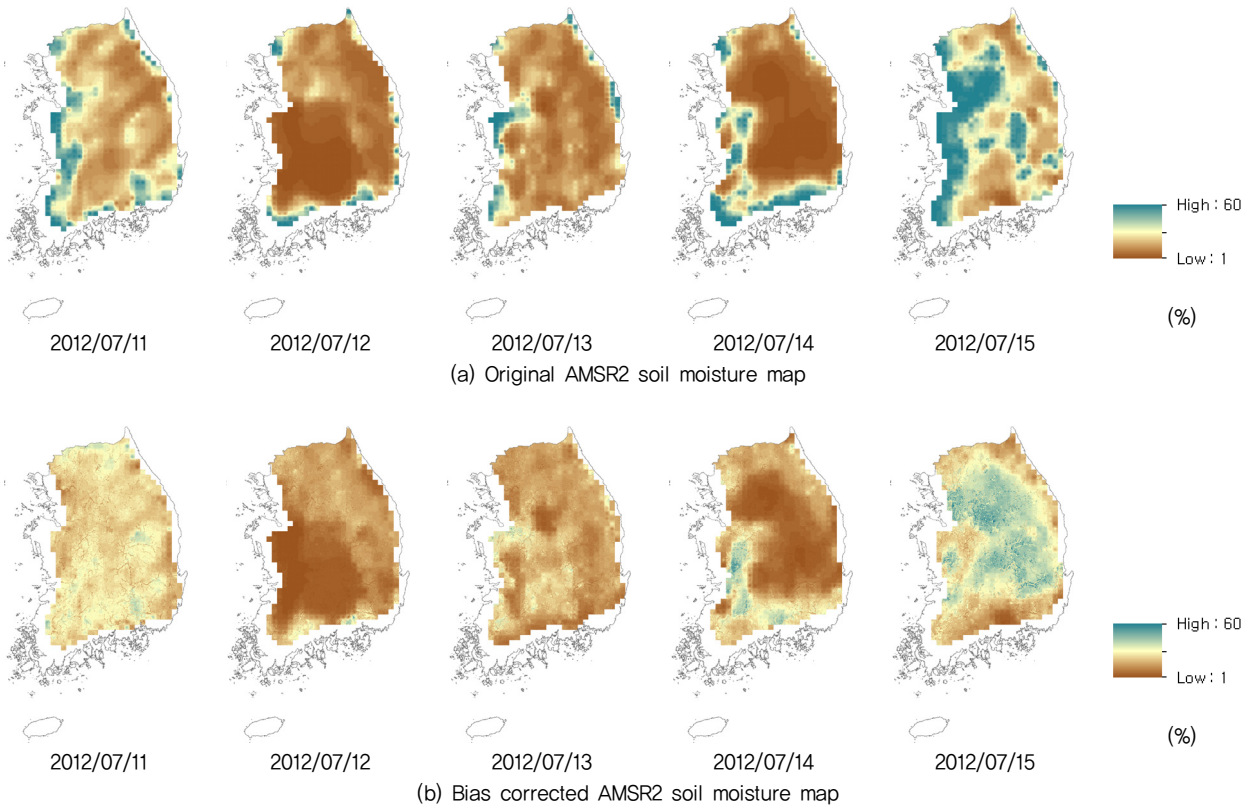


Fig. 5 AMSR2, and bias corrected AMSR2 soil moisture map samples

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 세 가지 편이 보정 식을 이용하여 AMSR2 토양수분을 편이 보정하여 지상관측과의 상관성 개선정도를 비교하였다. 편이 보정하기 전 지상관측과의 상관계수 R 이 0.14 ~ 0.33이다. 편이 보정식 Eq. (1) ~ (3)에 3일, 5일, 7일 평균, 표준편차를 이용하여 AMSR2 토양수분을 편이 보정하였을 때, 지상관측 토양수분과의 상관계수 R 은 Eq. (1)일 때 0.200 ~ 0.554이고 Eq. (2)일 때 0.195 ~ 0.586이고 Eq. (3)일 때 0.190 ~ 0.517로 상관관계가 개선되며, 세 가지 편이 보정식 중 Eq. (2)에 3일 평균을 적용할 경우 선형 상관성이 가장 개선됨을 보였다. 지상 관측 토양수분을 활용한 AMSR2 편이 보정은 지점에 대해 보정은 가능하지만 광역에 대한 적용에 어려움이 있다. 광역 토양수분자료의 편이 보정을 위하여 토양특성에 따라 토양군을 재분류하고 토양군에 따른 토양수분자료의 편이 보정 체계를 구축하였다. 토양군별 편이 보정 결과 상관계수 R 은 0.286 ~ 0.559이고, 평균계급근오차 $RMSE$ 는 5.38 ~ 9.62%로 지표가 개선됨을 알 수 있다. 즉 광역 위성관측 토양수분자료의 직접적인 사용보다 토양수분의 지상관측망 자료를 활용한 편이 보정은 필수적이라 하겠다.

그러나 개선된 상관계수의 범위가 보여주듯이 현재 제한된 토양수분 관측망으로 인하여 다양한 토양조건을 대표하는 편이 보정체계의 구축은 한계가 있으므로 광역 위성관측 토양수분자료의 활용을 위하여 지상관측망의 확충과 관련 연구가 지속되어야 할 것이다.

사 사

이 논문은 2010년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 (NRF-2010-0029194)와 2012년도 KNU학술연구비에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

1. Brocca, L., S. Hasenauer, T. Lacava, F. Melone, T. Moramarco, W. Wagner, W. Dorigo, P. Matgen, J. Martinez-Fernandez, P. Llorens, J. Latron, C. Martin, and M. Bittelli, 2011. Soil moisture estimation through ASCAT and AMSR-E sensors: An intercomparison and validation study across Europe.

- Remote sensing* 115: 3390-3408.
2. Chen, J., F. P. Brissette, and R. Leconte, 2011. Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. *Journal of Hydrology* 401(3): 190-202.
 3. Choi, M., and J. M. Jacobs, 2007. Soil moisture variability of root zone profiles within SMEX02 remote sensing footprints. *Advances in Water Resources* 30(4): :883-896.
 4. Draper, C. S., J. P. Walker, P. J. Steinle, de Jeu, R. A., and T. R. Holmes, 2009. An evaluation of AMSR-E derived soil moisture over Australia. *Remote Sensing of Environment*, 113(4): 703-710.
 5. Hur, Y. M., and M. H. Choi, 2011. Advanced microwave scanning radiometer E soil moisture evaluation for Haenam flux monitoring network site. *Korean Journal of Remote Sensing* 27(2): 131-140 (in Korean).
 6. Jackson, T. J., P. J. Starks, D. D. Bosch, M. Seyfried, D. C. Goodrich, and M. S. Moran, 2010. Validation of advanced microwave scanning radiometer soil moisture products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(10): 4256-4272.
 7. Kim, G. S., and J. P. Kim, 2011. Corelation analysis between soil moisture retrieved from satellite images and ground network measurements, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 14(2): 69-81 (in Korean).
 8. Kim, O. K., J. Y. Choi, M. W. Jang, S. H. Yoo, W. H. Nam, J. H. Lee, and J. K. Noh, 2006. Watershed scale drought assessment using soil moisture index, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 48(6): 3-13 (in Korean).
 9. Kwon, H. J., S. C. Shin, and S. J. Kim, 2005. Climatic water balance analysis using NOAA/AVHRR satellite images, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 47(1): 3-9 (in Korean).
 10. Laiolo, P., S. Gabellani, L. Pulvirenti, G. Boni, R. Rudari, F. Delogu, F. Silvestro, L. Campo, F. Fascetti, N. Pierdicca, R. Crapolicchio, S. Hasenauer, and S. Puca, 2014. Validation of remote sensing soil moisture products with a distributed continuous hydrological model. *In Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International*, 3319-3322. Québec City, Canada.: IEEE.
 11. Leander, R., and T. A. Buishand, 2007. Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. *Journal of Hydrology* 332(3): 487-496.
 12. Lee, G. Y., S. H. Kim, K. H. Kim, and H. S. Lee, 2005. Analysis of soil moisture recession characteristics on hillslope through the intensive monitoring using TDR. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 7(1): 79-91 (in Korean).
 13. Park, E. J., C. S. Hwang, and J. C. Seong, 2002. The analysis of drought susceptibility using soil moisture information and spatial factors involved in satellite imagery. *The Journal of GIS Association of Korea* 10(3): 481-492 (in Korean).
 14. Pellarin, T., S. Louvet, C. Gruhier, G. Quantin, and C. Legout, 2013. A simple and effective method for correcting soil moisture and precipitation estimates using AMSR-E measurements. *Remote Sensing of Environment*, 136: 28-36.
 15. Suh, A. S., I. C. Shin, J. S. Park, and S. W. Hong, 2011. An inversion algorithm for estimating soil moisture using satellite-based microwave observation. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, 95. Daegu, Korea.: KWRA (in Korean).
 16. Sunwoo, W. Y., D. E. Kim, S. H. Hwang, and M. H. Choi, 2014. Analysis of regional antecedent wetness conditions using remotely sensed soil moisture and point scale rainfall data. *Korean Journal of Remote Sensing* 30(5): 587-596 (in Korean).
 17. Ye, Q., L. Chai, L. Jiang, and S. Zhao, 2014. A downscaling approach of phase transition water content using AMSR2 and MODIS products. *In Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International* 3323-3326. Québec City, Canada.: IEEE.