

수정된 Heliosat-II 방법과 COMS-MI 위성 영상을 이용한 한반도 일사량 추정

Solar Irradiance Estimation in Korea by Using Modified Heliosat-II Method and COMS-MI Imagery

최원석¹⁾ · 송아람²⁾ · 김용일³⁾

Choi, Won Seok · Song, Ah Ram · Kim Yong Il

Abstract

Solar radiation data are important data that can be used as basic research data in diverse areas. In particular, solar radiation data are essential for diverse studies that have been recently conducted in South Korea including those for new and renewable energy resource map making and crop yield forecasting. So purpose of this study is modification of Heliosat-II method to estimate solar irradiance in Korea by using COMS-MI imagery. For this purpose, in this study, errors appearing in ground albedo images were corrected through linear transformation. And method of producing background albedo map which is used in Heliosat-II method is modified to get more finely tuned one. Through the study, ground albedo correction could be successfully performed and background albedo maps could be successfully derived. Lastly, In this study, solar irradiance was estimated by using modified Heliosat-II method. And it was compared with actually measured values to verify the accuracy of the methods. Accuracy of estimated solar irradiance was 30.8% RMSE(%). And this accuracy level means that solar irradiance was estimated on 10% higher level than previous Heliosat-II method.

Keywords : Solar Irradiance Map, Solar Irradiance Estimation, Heliosat-II Method, Ground Albedo Correction, Background Albedo Map, COMS-MI Imagery

초 록

지표 일사량 데이터는 신재생 에너지 자원지도 제작, 태양 에너지 관련 시설의 입지 선정 및 관련 정책의 기초 자료 및 농작물 생산량 예측 등의 매우 다양한 분야에 사용될 수 있는 중요한 데이터이며, 이에 최근 한국에서도 일사량 데이터 구축에 대한 연구의 필요성이 커지고 있다. 이에 본 연구에서는 COMS-MI(천리안 기상위성) 영상과 Heliosat-II 방법을 이용하여 국내 일사량을 추정하고자, Heliosat-II 방법을 국내 데이터에 적합하도록 수정하고, 이를 통하여 일사량을 추정하는 것을 목표로 하였다. 이를 위하여 먼저 COMS-MI 위성 영상 및 국내 기상 데이터 등을 확보하고 전처리를 수행하였다. 또한 Heliosat-II 방법의 입력 데이터이자 중간 결과물인 지표 반사도(ground albedo) 보정을 수행하고, 반사도 참조 지도(background albedo map)의 정확도를 높이고자 기존의 방법을 수정하였다. 그리고 이와 같이 수정된 Heliosat-II 방법을 통하여 추정 일사량을 도출하고, 이를 지상에서 관측된 일사량 실측치와의 비교를 통하여 정확도를 검증하였다. 실험 결과, 수정된 Heliosat-II 방법을 사용할 경우, 약 30.8%의 RMSE(%) 정확도를 나타내었으며, 기존 Heliosat-II 방법을 그대로 이용하였을 경우에 비하여 약 10% 수준의 향상된 정확도를 확보할 수 있음을 확인하였다.

핵심어 : 일사량 지도, 한반도 일사량 추정, Heliosat-II 방법, 지표 반사도 보정, 반사도 참조 영상, COMS-MI 영상

Received 2015. 10. 14, Revised 2015. 10. 27, Accepted 2015. 10. 28

1) Department of civil and Environmental Engineering, Seoul National University (E-mail: youn0603@snu.ac.kr)

2) Department of civil and Environmental Engineering, Seoul National University (E-mail: aram200@snu.ac.kr)

3) Corresponding Author, Member, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University (E-mail: yik@snu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

지표 일사량 추정에는 지표의 일사량 지도를 제작하고, 태양 에너지 자원의 잠재량을 평가하기 위한 기초 연구로서, 다양한 분야의 기초 연구 자료로 사용될 수 있는 중요한 데이터를 제공한다. 최근 한국에서도 다양한 방법을 이용하여 일사량을 추정하고자 하는 연구가 진행되고 있으며, 특히 위성영상을 이용한 일사량 추정은 광범위한 지역에 대하여 실시간으로 일사량 데이터를 확보할 수 있으며, 비접근 지역의 일사량 추정이 가능하다는 점에서 많은 관련 연구가 진행되고 있다. 하지만 대부분의 연구들이 국외 위성영상을 이용하여 일사량을 추정하고 있거나(Lee *et al.*, 2013), Kawamura 모델 등의 특정 모델에 국한되어 연구되고 있다는 한계가 존재한다.

Heliosat-II 방법은 위성 영상을 이용하여 일사량을 추정하는 대표적인 모델로서, 분석하고자 하는 시점의 이론적인 일사량과 구름에 의한 일사량 감소효과를 고려하여, 지표에 도달하는 일사량을 추정하는 모델이다. Heliosat-II 방법은 다양한 연구를 통하여 그 결과의 정확도를 검증받고 있으며, 서로 다른 다양한 위성영상에 적용하였을 경우에도 상대적으로 우수한 결과를 보여준다는 장점이 있다. 또한 국내에서 주로 일사량 추정에 사용되는 Kawamura 모델의 경우 가시광 및 근적외선 채널을 사용함에 따라 최종 영상의 해상도가 근적외선 채널의 공간해상도인 4km×4km 급으로 도출되는 데에 반하여, Heliosat-II 방법은 일사량 추정에 가시광 채널만을 사용하여 1km×1km의 보다 높은 공간해상도 확보가 가능하다는 장점이 있다. 하지만 국내 위성 영상 및 국내 기상 자료를 활용한 Heliosat-II 방법 적용사례 및 기존 연구가 없으며, 이에 따라 높은 정확도로 일사량을 추정하기 위해서는 국내 위성영상 및 기상 데이터에 적합하도록 모델을 수정해야 한다는 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 COMS-MI 영상과 국내 기상 데이터를 이용하여, Heliosat-II 방법을 통한 일사량을 추정하고자, 기존의 모델을 국내 상황에 적합하도록 수정하고 이를 통하여 일사량 지도를 제작하는 것을 목표로 하였다. 이를 위하여 먼저 Heliosat-II 방법의 주요 입력 데이터이자 중간 결과물인 지표 반사도 영상의 보정을 수행하였다. 위성영상에 존재하는 매우 많은 양의 구름은 구름 근처의 청천 지역의 반사도에 큰 영향을 미친다(Wen *et al.*, 2001). 즉 구름의 양과 에어로졸의 광학 두께는 양의 상관관계를 지니며(Marshak *et al.*, 2014), 이는 구름 근처의 청천지역에 대한 지표 반사도의 감소의 원인이 된다(Cahalan *et al.*, 2001). 이에 따라, 구름이 다량 존재하는 위성영상을 통하여 도출한 지표 반사도 영상은 적절한 보정이 필요하다.

한편 기존의 Heliosat-II 모델은 최소 반사도법(minimum reflectance method)을 사용하여 반사도 참조 지도를 도출한다. 최소 반사도법은 지표 정보 보정을 위하여 널리 사용되는 모델로서(Knapp *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2010; Wong *et al.*, 2010), 가시광 채널만을 이용하여, 정지궤도 위성의 반사도 데이터를 처리할 때 매우 유용한 방법이다. 최소 반사도법은 일정기간 동안 최소 하루 이상은 구름, 에어로졸의 영향을 받지 않는 날이 존재함을 가정하고, 동일한 화소에서 관측된 반사도 값 중, 최솟값을 구름이 전혀 없는 맑은 날인 청천일(clear sky day)의 지표 반사도로 정의하는 방법으로, Kim *et al.*(2014)은 이를 사용하여 에어로졸의 광학두께를 도출하는 연구를 성공적으로 수행한 바 있다. 또한 Knapp *et al.*(2005)은 최소 반사도법을 활용하여 에어로졸 정보 도출 연구에 사용한 바 있다. 한편 Heliosat-II 방법에서는 최소 반사도법을 이용하여 지표 반사도 참조 지도를 도출한 후, 반사도 값이 0.05 미만인 화소의 값은 0.05로 치환하는 보정 과정을 통하여 최종 지표 반사도 참조 지도를 제작하게 된다. 하지만 이 같은 방법은 i) 지표 반사도의 정확도가 확보되고, ii) 모든 화소에 대하여 구름이 존재하지 않는 영상이 축적될 만큼의 충분한 기간 동안 수집된 데이터를 기반으로 해야 한다는 조건이 갖추어져야 한다. 그러나 한국의 경우 6~8월은 매우 구름이 많이 나타나는 기간이라는 점, 그리고 COMS-MI 위성영상 데이터는 상대적으로 데이터의 수집 기간이 짧다는 점은, 최종 결과에 부정적인 영향을 나타내는 요인이 된다. 이에 본 연구에서는 COMS-MI 위성영상에 적합하도록 기존의 방법을 개선하여, 반사도 참조 지도를 도출하였다.

2. 연구방법

Fig. 1은 수정된 Heliosat-II 방법의 흐름도이다. Heliosat-II 방법은 총 4단계의 프로세스를 통하여 일사량을 추정한다. 1 단계에서는 위성의 가시광 채널 영상과 가시광 채널의 분광구간에 대응되는 영역에서의 지표 도달방사에너지를 통하여 겉보기 알베도 영상을 구하는 단계이다. 본 연구에서는 COMS-MI의 가시광 채널 영상을 사용하고, 이에 대응되는 지표 도달방사에너지($I_{0, \text{coms}}$)를 도출하여 Heliosat-II 방법 1단계를 구현하였다. 2단계는 Linke 혼탁도 지도(Linke turbidity map)와 앞서 도출한 $I_{0, \text{coms}}$ 를 이용하여 대기 반사도(atmosphere reflectance) 도출하는 단계이다. 그리고 1단계와 2단계에서 도출한 지표 반사도와 대기 반사도를 이용하여 지표 반사도를 도출할 수 있다. 3단계는 구름에 의한 일사량 감소효과를 계산하기 위한, 구름 지수(cloud index)를 구하는 단계이다.

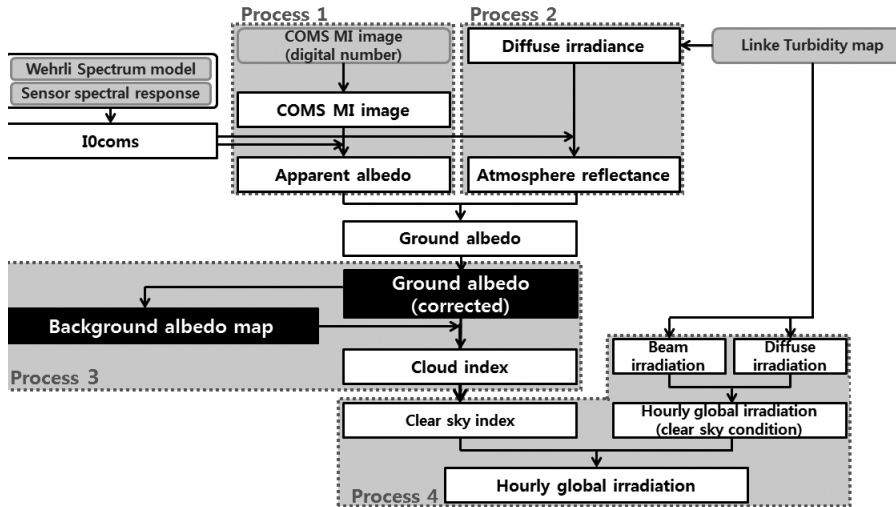


Fig. 1. Flow chart of modified Heliosat-II method

구름 지수는 참조 데이터인 반사도 참조 지도와 지표 반사도의 차이를 통하여 도출한다. 마지막으로 4단계에서는 구름의 효과가 계산되지 않은 이론적인 일사량을 도출하고, 이에 구름에 의한 일사량 감소효과를 계산하여, 최종적으로 일사량 지도를 도출하게 된다.

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 기존의 Heliosat-II 방법에 지표 반사도의 오차를 보정하는 과정을 추가하였다. 또한 보다 정확한 반사도 참조 지도를 얻기 위하여, 기존의 방법을 COMS-MI 영상에 적합하도록 수정하여 적용하였다. 그리고 이와 같은 과정을 통하여 보다 구름 지수를 도출하고, 최종적으로 보다 정확도 높은 한반도 일사량을 추정하고자 하였다.

2.1 사용 데이터

본 연구에서는 Heliosat-II 방법의 구현을 위하여, COMS-

MI 위성영상, Linke 혼탁도 지도, Wehili 1985 분광 모델과 COMS-MI의 센서 분광 반응도(sensor spectral response) 데이터 등을 확보하고 이에 대한 전처리를 수행하여 일사량 추정에 사용하였다. 또한 최종 결과인 일사량 추정 지도의 정확도를 확인하기 위하여, 지상에서 관측한 일사량 실측치 데이터를 사용하였다. COMS-MI는 한국의 기상 위성으로 2010년 6월 발사되어, 36,000km의 고도에서 한국을 중심으로 촬영하는 정지궤도위성이다. COMS-MI 영상은 2011년 4월부터 제공되고 있으며, 총 5개의 채널로 구성되어 있다. 각 채널에 대한 정보는 Table 1과 같으며, 본 연구에서는 2013년 1월 1일부터 12월 31일 까지의 가시광 채널 영상을 사용 되었다. 가시광 채널은 0.55~0.8 μ m의 분광 구간을 커버하며, 1km \times 1km의 공간해상도를 지닌다.

한편 Linke 혼탁도 지도는 0.083 $^{\circ}$ \times 0.083 $^{\circ}$ 의 공간해상도

Table 1. Specification of COMS-MI channels

Channel	Spatial resolution	Wavelength(μ m)	Temporal resolution
Visible	1km \times 1km	0.55~0.8	15 minute
SWIR	4km \times 4km	3.5~4.0	
WV	4km \times 4km	6.5~7.0	
IR1	4km \times 4km	10.3~11.3	
IR2	4km \times 4km	11.5~12.5	

로 대기 혼탁도 정보를 나타내는 영상이며, 기존의 해상도를 COMS-MI영상과 동일한 1km×1km의 공간해상도로 변환하는 전처리 과정을 수행하여 사용하였다. 또한 본 연구에서는 Wehili 1985 분광 모델과 국가기상위성센터에서 제공하는 COMS-MI 센서 분광 반응도 데이터를 확보하고, 두 데이터간의 분광 구간을 일치시키는 전처리를 수행하였다. 그리고 각 데이터와 수식 1을 통하여, COMS-MI 가시광 채널에 대응되는 분광구간에서의 지표 도달 방사에너지를 도출하였으며, 이를 I_{0coms} 로 명명하였다. 마지막으로 도출된 추정일사량의 정확도를 검증하기 위하여, 기상청에서 제공하는 2013년 1월 1일부터 12월 31일까지의 시간당 일사량 실측 데이터를 확보하고, 최종 정확도 평가에 사용하였다.

$$I_{0coms} = \int_{0.55}^{0.80} I_{0\lambda} S_{\lambda} d\lambda \quad (1)$$

where $I_{0\lambda}$: spectrum model value, S_{λ} : spectral response data of COMS-MI, λ : wavelength.

2.2 지표 반사도 보정

Heliosat-II 방법 1단계와 2단계를 통하여 도출한 지표 반사도 영상은 최종 추정 일사량의 정확도에 가장 중요한 데이터 중 하나이며, 이에 따라 지표 반사도의 적절한 보정은 최종 정확도의 향상에 큰 영향을 미친다. 특히 높은 운량이 나타나는 영상의 경우 구름이 없는 화소의 반사도가 실제보다 과소 추정되는 경향이 있으며, 이 같은 화소는 일반적으로 영상에 음

의 값 또는 0에 매우 근접한 반사도를 나타나게 된다. 그리고 이는 일사량의 과대평가를 야기하는 원인이 된다. 본 연구에서는 영상의 반사도 분포 정보를 보존하기 위하여, 선형 변환을 통하여 반사도를 보정하였다. 즉 과소평가된 화소에 대해서만 반사도를 특정 값으로 치환하는 방식의 보정을 실시할 경우, 기존 반사도 분포 정보를 크게 해칠 수 있기 때문에, 선형 변환을 통하여 특정 임계값 구간 이내의 반사도 전체를 조정하는 방식을 선택하였다.

본 연구에서는 각 영상의 반사도 히스토그램 분석을 통하여, 반사도 오차 존재 여부를 찾아내고, 이에 대하여 보정하였다. 영상 전반에 걸쳐 반사도 오차가 나타나는 경우의 히스토그램은 일반적으로 Fig. 2와 같이, 다수의 음의 값을 포함한, 2봉 분포(bimodal distribution) 형태로 나타나며, 두 개의 최빈값 중 하나가 음의 값을 나타내거나 0에 매우 가까운 값을 나타내는 형태를 나타낸다. 본 연구에서는 이 같은 히스토그램 특성을 활용하여, 반사도 오차를 찾아내고, 이에 선형변환을 통한 반사도 보정을 수행하였다.

Fig. 3은 지표 반사도 보정의 흐름을 보여준다. 본 연구에서는 일반적으로 나타는 지표의 최소 반사도와 구름의 최소 반사도를, 각각 최소 및 최대 임계값으로 설정하고, 해당 구간에 대응되는 반사도에 대하여 보정을 실시하였다. 최소 임계값은 육지 및 바다의 2개 지역으로 나누어 각각 0.05, 0.03으로 설정하였으며, 최대 임계값은 일반적으로 나타나는 구름의 최소 반사도인 0.30로 설정하였다(Oke, 1992; Ahrens, 2006). 이 같이 설정된 임계값을 사용하여 Fig. 4와 같이 선형 변환식을

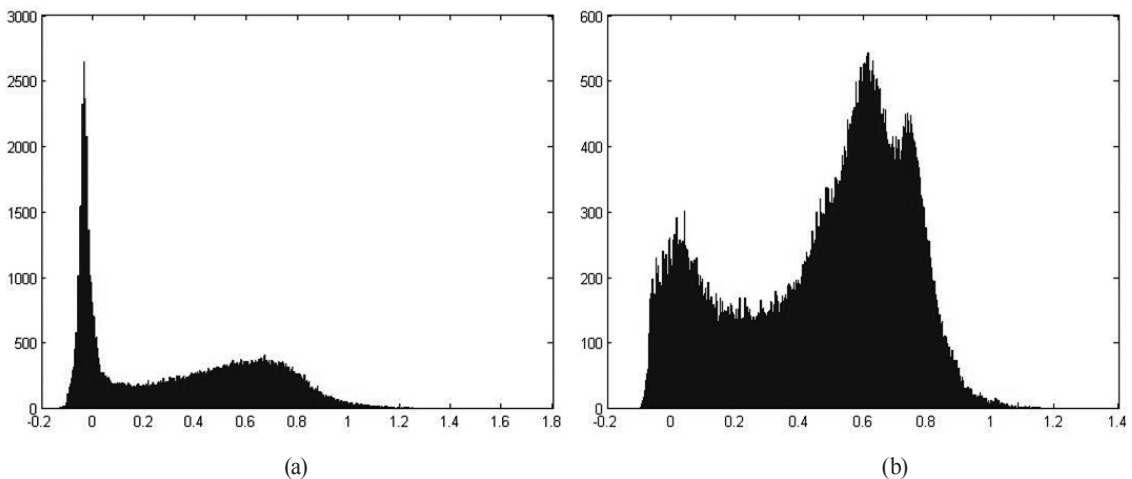


Fig. 2. Histograms of images that require ground albedo correction ((a) histogram of an image at 00:00 on 2013.7.21(UTC), (b) histogram of an image at 00:00 on 2013.7.30(UTC))

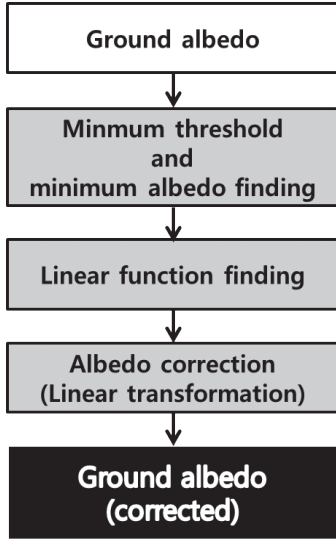


Fig. 3. Flow chart of ground albedo correction using linear transformation

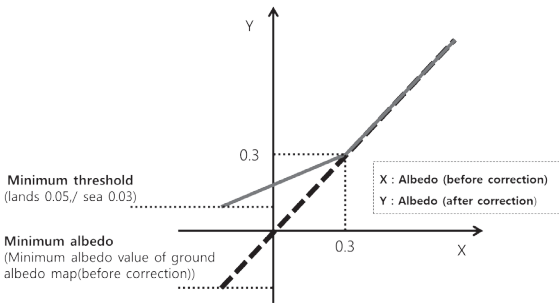


Fig. 4. Linear transformation used in ground albedo image correction

구성하여 반사도 보정을 수행하였다.

2.3 반사도 참조 영상 도출

반사도 참조 지도는 분석하고자 하는 시점의 구름에 의한 일사량 감소효과를 계산하기 위한 데이터로, 일사량 추정 시점에 구름이 전혀 없을 경우를 가정하고 이때 나타날 수 있는 가상의 지표 반사도를 보여주는 영상이다.

기존의 Heliosat-II 방법은 1985년부터 1997년까지의 반사도 데이터를, 최소 반사도법을 이용하여, 월별, 시간별 반사도 참조 지도를 제작하였다. 이때 첫 번째 최솟값은 화소에 오차가 있을 수 있음을 가정하고, 두 번째 최솟값을 영상 제작에 사용하였으며, 화소의 값이 0.05보다 작은 값일 경우 0.05로

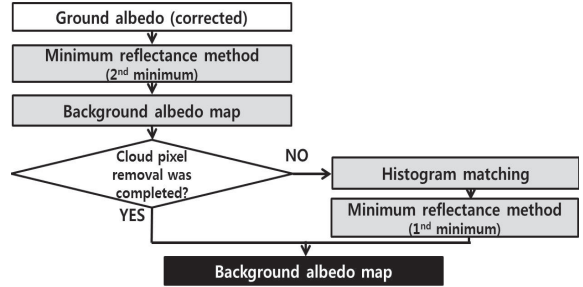


Fig. 5. Flow chart of background albedo map making

치환하는 단계를 거쳐 반사도 참조 지도를 제작하였다. 이와 같은 제작 방법은 데이터의 축적기간이 높으며, 반사도 데이터가 정확할 경우 높은 신뢰도를 지닌 결과를 얻을 수 있다. 하지만 COMS-MI의 경우 상대적으로 짧은 기간 동안 데이터의 축적이 이루어져 왔기 때문에, 최종 결과의 신뢰도가 낮아질 수 있다. 특히 한국의 7, 8월은 매우 높은 운량이 나타나는 기간으로서, 기존의 방법을 그대로 사용하여 반사도 참조 지도를 제작할 경우 영상에 구름화소가 남아 있거나, 반사도 값이 지나치게 작은 값으로 도출되는 문제가 있을 수 있다.

본 연구에서는 이 같은 한계점을 극복하고자, Fig. 5와 같이 기존의 방법을 수정하고, 최종 반사도 참조 지도를 다음과 같은 단계를 통하여 제작하였다. 먼저 i) 기존의 Heliosat-II 방법과 동일한 방법으로 반사도 참조 지도를 제작하고, ii) 보정 대상(보정하고자 하는 반사도 참조 지도)과 같은 달에 해당하는 반사도 참조 지도들에 대하여 대상 영상을 기준으로 히스토그램 매칭을 실시하였으며, 마지막으로 iii) 대상 지도와 각 반사도 참조 지도들을 이용하여, 최소 반사도법을 다시 적용하여, 최종 반사도 참조 지도를 도출하였다. 이 같이 도출된 반사도 참조 지도와 보정된 지표 반사도를 사용하여 구름 지수를 도출하였으며, 최종적으로 Heliosat-II 방법의 4단계를 거쳐 지표 일사량 지도를 도출하였다.

3. 연구 결과

Fig. 6은 지표 반사도의 보정 전(Fig. 6(a))과 보정 후(Fig. 6(b)) 영상, 그리고 각 영상의 히스토그램을 보여준다. 보정 전 영상에서 검은색으로 표시된 0미만의 반사도가 적절히 보정되어 있음을 보정 후 영상에서 확인할 수 있다. 히스토그램 역시 같은 내용을 설명해 준다. 보정 전 나타나는 음의 값을 지닌 다수 화소들(Fig. 6(c))이 적절히 보정되었음을(Fig. 6(d)) 확인할 수 있다. 또한 기존의 영상이 지닌 반사도 분포 정보

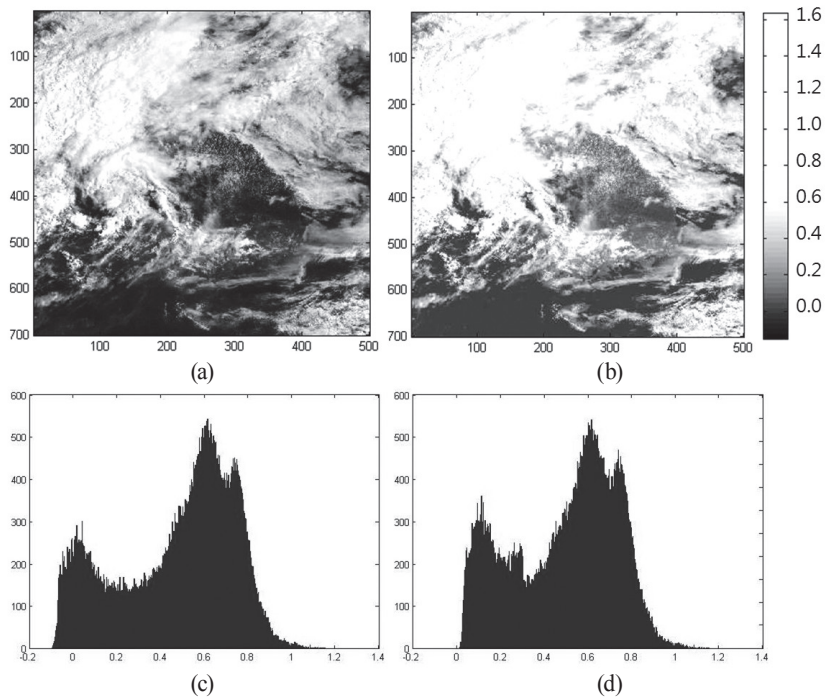


Fig. 6. Ground albedo images and histograms (a) ground albedo image(before correction), (b) ground albedo image(after correction), (c) histogram of ground albedo image(before correction), (d) histogram of ground albedo image(after correction)

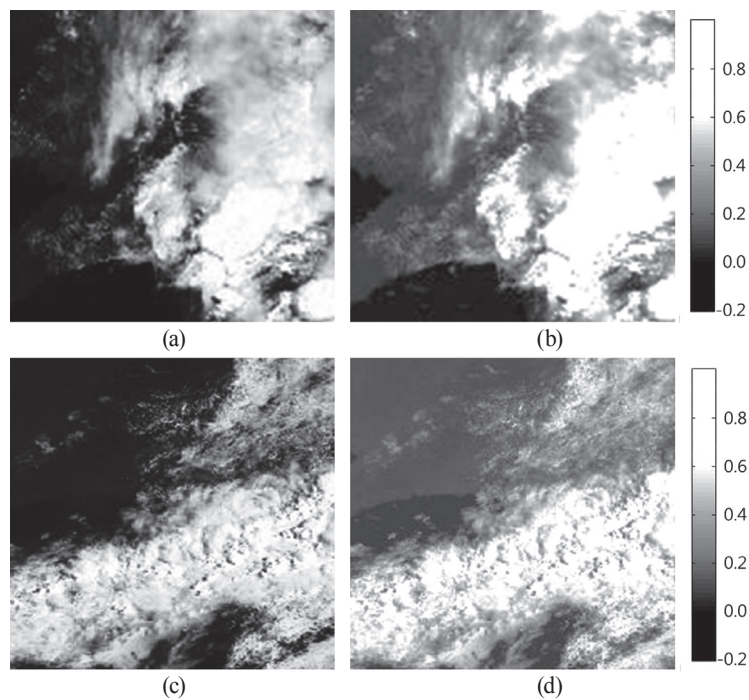


Fig. 7. Ground albedo image ((a) ground albedo image (11:00 on 2013.8.5), (b) ground albedo image(a) after correction, (c) ground albedo image (8:00 on 2013.7.21), (d) ground albedo image(c) after correction)

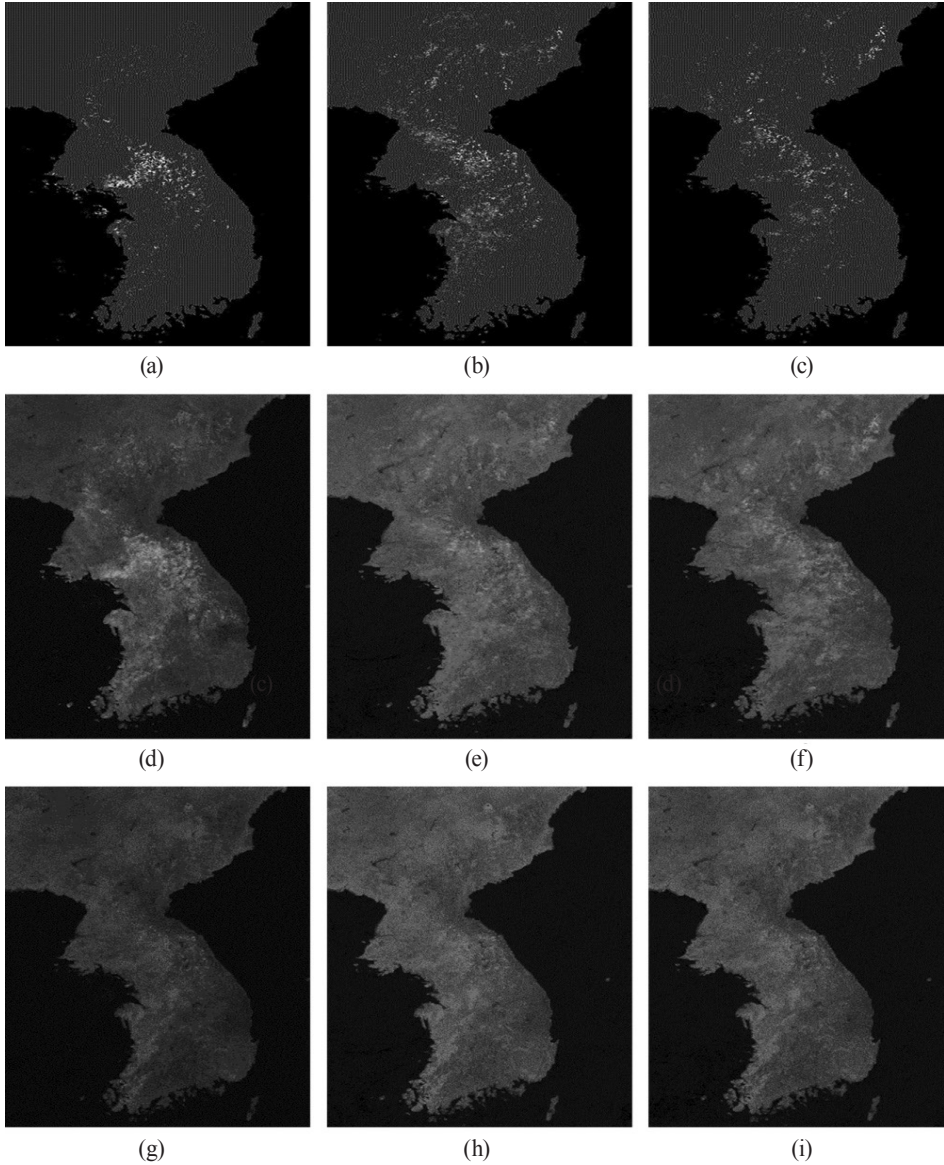


Fig. 8. Background albedo maps (From the left to the right, background albedo maps at 1:00, 3:00 and 5:00 on July 1(UTC), (a)~(d): uncorrected ground albedo - minimum reflectance method, (e)~(h): corrected ground albedo - minimum reflectance method, (i)~(l): corrected ground albedo – modified minimum reflectance method)

가 보정 후에도 보존됨을 Fig. 6(c) 및 Fig. 6(d)를 통하여 확인할 수 있다. Fig. 7을 통해서도 보정 전(Fig. 7(a), (c))과 보정 후(Fig. 7(b), (d))의 지표 반사도의 보정 결과를 확인할 수 있으며, 두 경우 모두에서 반사도 값이 적절하게 보정되었음을 확인할 수 있다.

Fig. 8(a)~(c)는 i) 보정되지 않은 지표 반사도와 최소 반사

도법을 통하여 구한 2013년 7월의 시간대별 반사도 참조 지도이며, Fig. 8(d)~(f)는 ii) 보정된 지표 반사도와 최소 반사도법을 통하여 도출한 반사도 참조 지도이다. 마지막으로, Fig. 8(g)~(i)은 iii)보정된 지표 반사도와 수정된 최소 반사도법을 통해 도출된 반사도 참조 지도를 확인할 수 있다.

i)의 경우 지표 반사도 대부분 동일한 값으로 나타나고, 구

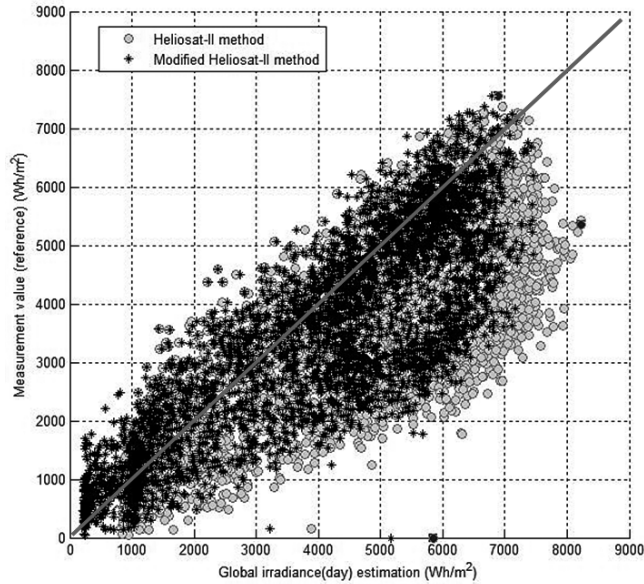


Fig. 9. Comparison of estimated and observed daily global irradiance

Table 2. RMSE(%) of estimated irradiance

Month		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RMSE (%)	Heliosat-II	69	29	16	15	14	17	21	26	43	77	117	116
	modified Heliosat-II	45	23	15	15	13	16	19	16	28	58	92	90

름화소가 모두 제거되지 못하고 남아 있음을 확인할 수 있다. 반사도의 대부분이 동일한 값으로 도출된 이유는 다음과 같이 판단할 수 있다. 한국의 7월은 장마철로서 매우 높은 운량이 나타나고, 이는 구름이 아닌 화소 반사도의 과소 평가를 발생시키게 된다. 그리고 i)의 경우 이와 같은 오차를 보정하지 않았기 때문에, 반사도 참조 지도의 대부분 화소가 기존의 Heliosat-II 방법에서 제안한 최소값인 0.05로 대체되었다. 한편 구름화소가 모두 제거되지 않은 이유는, 한국의 경우 7월은 지속적으로 위성영상에 구름이 많이 나타나기 때문에, 화소 중 최소 반사도법의 전제 조건인 '일정기간 동안 최소 하루 이상은 구름, 에어로졸의 영향을 받지 않는 날이 존재함'을 충족시키지 못하기 때문으로 판단할 수 있다. 다음으로 ii)의 경우, 여전히 구름이 모두 제거되지 않고 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 이는 앞선 i)의 경우에서 구름이 제거되지 못한 이유와 동일하게 판단할 수 있다. 반면, iii)의 경우, 반사도가 실제 지표의 상태를 정상적으로 보여주고 있으며, 구름화소 역

시 모두 제거되어 성공적으로 반사도 참조 지도가 도출된 것을 확인할 수 있다.

Fig. 9는 최종적으로 도출된 2013년 1월 1일부터 12월 31일까지의 일사량 추정치(x축)와 일사량 실측치(y축) 간의 관계를 보여주는 그래프이다. 원형은 기존의 Heliosat-II 방법, 별표는 수정된 Heliosat-II 방법을 통하여 도출된 일사량 추정치로서, 수정된 Heliosat-II 방법을 통하여 도출한 결과가 실측치와 보다 가까운 값으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 최종 정확도는 기존 Heliosat-II 방법을 통하여 구한 경우, 40.3%의 RMSE(%)를 나타내었으며, 수정된 Heliosat-II 방법의 경우 30.8%의 RMSE(%)를 나타내었다. 즉 수정된 Heliosat-II 방법이, RMSE(%) 기준 9.5% 수준의 정확도 향상을 보여주고 있다.

Fig. 10과 Table 2는 월별 RMSE(%)의 변화를 보여주며, 이를 통하여 계절 및 달에 상관없이 수정된 Heliosat-II 방법이 전반적으로 보다 높은 정확도를 나타냄을 확인할 수 있다. 한

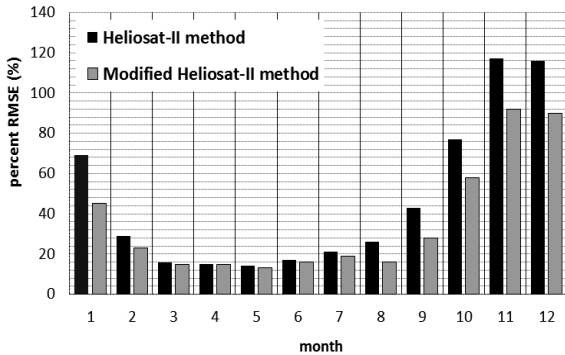


Fig. 10. RMSE(%) of estimated irradiance

편 추정 일사량의 정확도는 모델에 상관없이 2~9월 사이에 보다 높은 정확도를 나타낸다. 반면에 10~12월 그리고 1월에는 상대적으로 낮은 정확도를 나타남을 확인할 수 있다. 이 같은 오차는 청천일의 일사량을 추정하는 일사량 추정 물리모델 (Heliosat-II 방법의 4단계)에서 기인한 것으로 추정된다.

4. 결론

본 연구는 COMS-MI 가시광 채널 영상을 사용하여 한국의 일사량을 추정하기 위해서, Heliosat-II 방법을 수정 및 개선하는 것을 목표로 하였다. 이를 위하여 먼저 Heliosat-II 방법에 대입되는 각종 데이터를 국내 데이터로 확보 및 전처리를 수행하였으며, 선형변환을 통하여 지표 반사도 영상에 나타나는 오차를 수정하여 추정 일사량의 정확도를 높이고자 하였다. 또한 기존의 반사도 참조 영상을 도출하는 방법을 수정하여, 보다 향상된 수준의 반사도 참조 영상을 도출하였다. 그리고 마지막으로 추정 일사량을 도출하고 이를 지상에서 관측된 일사량 실측치를 참조자료로 하여 정확도를 확인하였다.

연구 결과, 수정된 Heliosat-II 방법을 사용하여, 기존의 방법으로 도출한 일사량보다 RMSE(%)를 기준으로 9.5% 수준의 향상된 결과를 확보할 수 있었으며, 월별 추정 일사량 역시 시기에 상관없이 보다 높은 정확도의 일사량을 얻을 수 있었다. 한편 추정된 일사량은 2~9월 사이에 전반적으로 20%이하 수준의 매우 높은 정확도를 보여주었다.

이 같은 본연구의 결과를 사용하여 보다 높은 정확도의 일사량 추정 및 일사량 지도를 제작에 기여할 것으로 판단된다. 추후 추정 일사량 정확도를 보다 높이기 위하여, 기존의 Heliosat-II 방법 4단계에서 사용되는 일사량 물리 모델과 다

양한 다른 물리 모델 간의 정확도 비교 평가를 수행할 예정이다. 또한 Heliosat-II 방법에서 구름 지수를 도출하는 방법을 COMS-MI 위성에 보다 적합하도록 수정하는 연구를 수행이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업으로 수행한 결과입니다(B5-2429).

References

- Ahrens, C.D. (2006), *Meteorology Today. An Introduction to Weather, Climate, and the Environment. Eighth Edition*, Thompson, Brooks/Cole., USA.
- Cahalan, R.F., Oreopoulos L., Wen G., Marshak A., Tsay S.C., and DeFelice T. (2001), Cloud characterization and clear sky correction from Landsat 7, *Remote Sensing Environment*, Vol. 78, No. 1-2, pp. 83-98.
- Kim, M., Kim, J., Wong, M.S., Yoon, J., Lee, J., Wu, D., Chan, P.W., Nichol, J.E., Chung, C.Y.C., and Ou, M.L. (2014), Improvement of aerosol optical depth retrieval over Hong Kong from a geostationary meteorological satellite using critical reflectance with background optical depth correction, *Remote Sensing Environment*, Vol. 142, No. 25, pp. 176-187.
- Knapp, K.R., Frouin, R., Kondragunta, S., and Prados, A. (2005), Toward aerosol optical depth retrievals over land from GOES visible radiances: determining surface reflectance, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 18, pp. 4097-4116.
- Knapp, K.R., Vonder, H.T.H., and Kaufman, Y.J. (2002), Aerosol optical depth retrieval from GOES-8: uncertainty study and retrieval validation over South America, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, No. D7, pp. 1-12.
- Lee, J., Choi, W.S., Yun, C.Y., Jo, D.K., Kang, Y.H., and Kim, Y.I. (2013), Estimation of global horizontal insolation over the Korean Peninsula based on COMS MI satellite images, *Korea Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 1, pp. 151-160. (in Korean with English abstract)
- Lee, J., Kim J., Song, C.H., Ryu, J.H., Ahn, Y.H., and Song,

- C.K. (2010), Algorithm for retrieval of aerosol optical properties over the ocean from the Geostationary Ocean Color Imager, *Remote Sensing Environment*, Vol. 114, No. 5, pp. 1077-1088.
- Marshak, A., Frank E.K., Tamas V., and Wen, G. (2014), Extending 3D near-cloud corrections from shorter to longer wavelengths, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, Vol. 147, No. 1, pp. 79-85.
- Oke, T.R. (1992), *Boundary Layer Climates: Second Edition.*, Routledge. New York.
- Wen, G., Robert F. Cahalan, Si-Chee Tsay, and Lazaros Oreopoulos (2001), Impact of cumulus cloud spacing on Landsat atmospheric correction and aerosol retrieval, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 106, No. D11, pp. 12129-12138.
- Wong, M.S., Lee, K.H., Nichol, J.E., and Li, Z.Q. (2010), Retrieval of aerosol optical thickness using MODIS 500×500 m(2), a study in Hong Kong and the Pearl River delta region, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 48, No. 8, pp. 3318-3327.