천리안 위성영상을 이용한 일조시간 분포 추정에 관한 연구

유재진¹·박종철²·장동호¹

¹공주대학교 지리학과·²국립생태원 생태조사연구실

(2016년 12월 12일 접수, 2016년 12월 30일 수정, 2016년 12월 30일 게재 확정)

Estimating Distribution of Sunshine Duration using COMS Satellite Images

Jae Jin Yu¹ · Jongchul Park² · Dong-Ho Jang¹

¹Department of Geography, Kongju National University

²Department of Nature Survey, National Institute of Ecology

(Received 12 December 2016, Revised 30 December 2016, Accepted 30 December 2016)

Abstract : This study estimated sunshine duration in South Korea using cloud detection images; the 2 class and 5 class images of Communication, Ocean and Meteorological Satellite (COMS). The images were preprocessed and then compared with the observed sunshine duration from the Automated Synoptic Observing System (ASOS). Based on the result of comparing yearly and monthly sunshine duration, the results of the 5 class were better than the results of the 2 class. In the case of comparing daily sunshine duration, the results of the 5 class also showed relatively better outcome than the 2 class images. The simulation performance of the sunshine duration observed by ASOS and the sunshine duration calculated by COMS were evaluated using Kling-Gupta Efficiency (KGE) technique. The 5 class data showed relatively high efficiency. RMSEs were relatively lower in the 5 class than the 2 class image in all years (2011-2014). Therefore, the 5 class data among the COMS satellite images could provide meaningful information at the points where there is no observation of sunshine duration.

Key Words : sunshine duration, COMS(Communication, Ocean and Meteorological Satellite), cloud detection, ASOS(Automated Synoptic Observing System), accuracy

주요어 : 일조시간, 천리안 위성(COMS), 구름탐지, 종관기상관측시스템(ASOS), 정확도

1. 서론

최근 세계적인 경제위기와 함께 환경오염 문제에 따른 탄소배출 의무 감축량 시대로 접어들면서 신재생에너지에 대한 관심과 투자가 급증하고 있

다. 신에너지인 수소, 연료전지, 석탄액화가스와 재생에너지인 태양광, 태양열, 지열, 바이오, 폐기물, 해양, 수력, 풍력으로 나뉘는 신재생에너지 중 특히 태양에너지는 가장 확실한 미래 에너지자원으로 여겨지고 있다. 게다가 우리가 호흡하고 마

시는 공기나 물을 오염시키지 않을 뿐만 아니라, 우리의 건강과 생명을 위협하는 사고 위험도 없는 순수하고 유용한 자원이다(Jo *et al.*, 2011). 또한 화석연료를 사용하지 않기 때문에 이산화탄소를 저감하여 기후변화를 완화할 수 있으며, 외국으로부터 석유 의존도를 줄여 경제적인 이익도 볼 수 있는 장점이 있다.

태양에너지 산업은 매년 40% 씩 증가하고 있다. 2002년에는 550MW를 생산할 수 있는 태양전지가 세계적으로 거래되었고 2007년은 2002년에 비해 7배가 증가하여 매우 급속한 성장세를 기록하고 있으며(Korea Meteorological Administration, 2008), 현재까지 227GW에 해당하는 태양전지가 전 세계적으로 설치되어있다. 태양에너지를 에너지원으로 사용하는 태양전지는 발전량 당 설치비용이 매년 감소하는 추세를 보이면서 태양에너지의 사용이 더욱 가속화되고 있다(Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, <http://www.ren21.net>).

한국은 1차 에너지 대비 신재생에너지의 비율이 약 4.54%(재생에너지 4.45%, 신에너지 0.08%)에 해당하여 다른 나라에 비해 다소 부진한 상황이지만, 그 비율은 2005년 2.13%에서 현재의 4.54%까지 꾸준히 성장세를 보이고 있다(Korea Energy Agency, 2016). 특히 태양에너지는 가장 확실한 미래의 에너지자원으로 국내외적으로 현재 광범위한 분야에 걸쳐 이를 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이미 여러 분야에서 그 경제성과 장래성이 입증되고 있다(Korea Institute of Energy Research, 2012).

최근에는 국가적으로 태양에너지와 관련한 경제적·정책적 움직임도 활발하게 진행되고 있으며, 아울러 태양에너지를 효율적으로 활용하기 위해 일조시간을 집중적으로 분석한 연구가 발표되고 있다. Korea Meteorological Administration(2008)

은 우리나라의 에너지자원이 부족하므로 태양광 등의 대체에너지 개발이 필요하다고 지적하였고, 특히 태양에너지 자원이 풍부한 지역을 조사하여 부존자원을 최대한 효율적으로 활용할 필요성을 주장하였다.

Jo *et al.*(2011)은 우리나라 주요 16개 지역에서 1982년 1월~2009년 12월 사이에 전년에 걸쳐 매 시간마다 측정된 실측 자료를 토대로 전국 수평면 일일사량과 기상청에서 관측된 일조시간에 대한 실측평가 사업을 종합 평가하였다. 그 결과, 우리나라 주요 16개 지역에서 측정된 연평균 1일 일조시간은 5.9시간으로 나타났으며, 5월이 가장 높았고 7월에 가장 낮은 일조시간을 보인다고 하였다. 공간적으로 살펴보면 경상남·북도 일대 지역에서 가장 높은 일조시간 조건이 좋았으며 제주도 지방에서 가장 낮은 일조시간을 기록하였다고 주장하였다.

Kim(2011)은 제주도 내 일조계에서 관측된 자료를 이용한 일조와 운량, 습도 변화 특성을 분석하고 한반도 내륙 지점과 비교·분석하였다. 그 결과, 지역별 평균 일조시간을 타 지역과 비교해 보면, 내륙지역인 대구가 2,406시간으로 가장 많고, 부산 2,399시간, 서울 2,213시간, 성산 2,095시간, 서귀포 2,051시간, 고산 2,023시간, 제주시 1,990시간 순으로 나타나 남동해안에 위치한 지역의 일조시간이 높게 나타났다. 또한 장기변동으로 봤을 때는 일조율과 운량의 상관성이 작아보였으나 월별 일조율과 운량을 통해 서로 음의 상관성이 있는 것으로 나타났고, 상대습도는 운량에 비하여 상관성이 다소 낮은 것으로 보고하였다.

해외의 선행연구들은 제한된 지상 관측소의 수와 분포로 인해 불확실성을 내포하고 있는 일조시간 지도를 보완하기 위해서 위성영상 데이터를 보조데이터로 활용하여 불확실성을 줄이는 작업을 주로 진행하였다(Matzarakis and Katsoulis, 2006;

Elizabeth, 2010; Muhammad *et al.*, 2012; Journée *et al.*, 2013; Kandirmaz and Kaba, 2014; Kómar and Kocifaj, 2016; José Leonaldo *et al.*, 2016). 이 중 Elizabeth(2010)는 현재 영국에서 제공되고 있는 일조시간 지도가 지상관측소의 관측치를 이용하여 제작되고 있기 때문에 한정된 관측소의 수와 분포가 일조시간 지도의 불확실성을 키우고 있다고 지적하였다. 따라서 이를 보완하기 위해서는 위성영상의 활용이 필요하고, 실제 적용을 통하여 일조시간 지도의 정확성이 향상되었다고 주장하였다.

Muhammad *et al.*(2012)은 영국 남서부 지역의 일조시간 평가를 위해 향상된 모델을 제안하였다. Meteosat 영상의 가시광선대 밴드를 이용하여 영국 남서부 Brue Catchment 지역에 대해 테스트를 실시하여 향상된 모델을 통해 효과적으로 R^2 값을 높이고 RMSE를 낮추었다고 보고하였다. 또한 Journée *et al.*(2013)은 벨기에와 룩셈부르크에 분포된 18개 Site의 관측데이터로 일조시간 지도를 제작하고 이에 대해 높은 정확도를 확보하기 위해 부가 데이터로써 고해상도 Meteosat 영상을 이용하였다. 동 시기의 관측데이터와 고해상도 Meteosat 영상을 중복시켜 선형회귀식으로 검증된 벨기에와 룩셈부르크의 일조시간 데이터를 획득하였지만 연구대상 기간인 10년 동안의 특정한 변화 경향을 발견하지 못하였다고 보고하였다.

기존의 국내 연구에서는 대부분 지상관측소에서 수집된 일조시간을 공간적으로 내삽하여 전국의 일조시간을 추정하였기 때문에 지상관측소로부터 공간적으로 이격될수록 그 정확성을 확보하기가 어려웠으며(Korea Meteorological Administration, 2008; Jo *et al.*, 2011), 특정지역 관측소의 운량 데이터를 추가하여 상관성을 분석한 연구 또한 이러한 공간적 제약으로부터 자유로울 수 없었다(Kim, 2011). 따라서 지상관측소가 없는 지점에 대해서

도 일조시간 정확도를 확보하기 위해 연구지역을 포괄할 수 있는 위성영상과 같은 부가 데이터를 사용해야 한다. 해외의 연구 사례들은 지상관측소의 공간적 한계를 보완하기 위해 위성영상을 썼다는 점에서 본 연구에서 진행하고자 하는 방향과 부합하여 참고할 만하다.

향후 우리나라의 에너지발전에서 큰 비중을 차지할 태양에너지를 효율적으로 사용하기 위한 기초 자료로 해당 지역의 정확한 일조시간 자료가 요구된다. 그러나 기상청에서 수집하고 있는 일조시간 자료는 ASOS(Automated Synoptic Observing System)에서만 수집되고 있는데, 이는 전국에 100여개만 분포하고 있기 때문에 전국적인 일조시간 자료를 수집하기에는 공간적 한계가 있다. 즉, 측정이 일부 지역에서만 이루어짐에 따라 우리나라 전 지역의 일조시간 분포를 파악하기 위해서는 위성영상 또는 GIS 공간 분석 기법 등을 토대로 한 추정 기술이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 천리안 위성(COMS; Communication, Ocean and Meteorological Satellite) 영상을 활용하여 남한 전역에 대한 일조시간 분포를 추정하고자 하였다.

2. 사용자료 및 연구방법

1) 사용자료

천리안 위성은 지구 적도상공 36,000km 고도, 동경 128.2도에 위치하여 기상·해양관측, 통신서비스 임무를 수행하는 우리나라 최초의 정지궤도 복합위성이다. 2010년 6월에 발사되었지만 위성이 발사된 후 위치 보정 등 다양한 검보정 작업이 이루어져야하기 때문에 실제 데이터를 획득할 수 있는 것은 2011년 4월 1일부터이다(National Meteorological Satellite Center, <http://nmsc.kma.go.kr>). 따라서 본 연구에서는 2011년 4월 1일부터 2014년

12월 31일까지의 자료를 활용하여 추정 일조시간 자료를 제작하였다.

천리안 위성의 기상탐재체는 가시광선 1개 채널, 적외선 4채널로 총 5개 채널을 가지고 있으며 (Level 1 영상), 전구관측시간은 1회당 27분 이하이다. 개별 채널로부터 획득한 영상은 기상자료처리시스템(CMDPS)을 통해 16종의 분석 자료가 생산된다(Level 2 영상). 분석 자료는 기상예보 및 수치예보 입력 자료, 기후변화 예측 등에 활용된다(National Meteorological Satellite Center, <http://nmsc.kma.go.kr/>).

본 연구에서 활용한 영상 자료는 기상자료처리시스템을 통해 산출된 북반구 영역의 구름탐지 자료(Level 2)로써 4km의 공간해상도를 갖고 있으며, 파일 형식은 HDF 포맷으로 이루어져 있다. 북반구 영역의 구름탐지 자료는 두 가지로 구분된다. 첫째, 구름이 있는 격자와 없는 격자 등 구름탐지 여부를 2가지로 분류하는 자료(구름의 유무, 이하 2class)가 있고 둘째, 구름이 확실하게 있는 격자와 있을 가능성이 있는 격자 등 구름탐지 여부를 5가지로 분류하는 자료(구름의 정도, 이하 5class)가 있다.

기본적으로 북반구 영상은 15분 주기로 촬영되지만, 3시간에 한 번씩 약 27분 동안 전구를 촬영하기 때문에 이 시간동안에는 북반구 영역에 결측이 생긴다. 따라서 본 연구에서 활용한 북반구 영역 자료는 3시간에 2회 결측이 생기기에 때문에 이를 보완해야 했으며, 이러한 결측 기간에는 구름과 일조의 비율을 50:50으로 가정하여 결측시간이 두 시간인 경우에는 1시간의 일조시간이 발생한 것으로 가정하였다.

2) 연구방법

본 연구에서는 천리안 위성영상 중 2class와 5class로 나뉘는 구름탐지 영상을 활용하여 남한

전역의 일조시간을 추정하였고, 이를 ASOS의 관측값과 비교 및 평가하였으며, 전체적인 연구의 흐름은 Figure 1과 같다. 구름탐지 자료에서 구름이 있는 격자는 일조가 없고 그 반대의 경우에는 일조가 있는 것으로 가정하였다. 위성영상 자료는 천리안 위성영상이 제공되는 가장 이른 시점인 2011년 4월 1일부터 2014년 12월 31일까지 15분 간격으로 관측된 자료를 활용하였으며, 검증 자료로는 2011년 4월 1일부터 2014년 12월 31일까지의 전국에 분포하고 있는 90개 지점의 ASOS 관측 자료를 사용하였다.

본 연구에서는 매 일자의 위성자료 중 낮 시간대에 해당하는 자료만을 선택하여 일조시간을 추정하였다. 매 일자에 대한 낮 시간은 Lee(1962)의 등가 경사 공식(Equivalent slope formula)과 Swift(1976)의 공식을 이용하여 추정한 후, 이를 오후 1시 기준으로 양분하여 결정하였다. 낮 시간대, 15분 간격의 영상을 누적하여 각 격자에서의 일 일조시간을 계산하였으며, 이를 누적하여 월·년 일조시간을 산출하였다.

전술하였듯이 구름탐지 자료는 2class와 5class의 두 가지로 구분되며, 본 연구에서는 두 자료 모두 활용하였다. 2class에서는 구름이 있는 픽셀은 일조가 없는 시간으로, 구름이 없는 픽셀은 일조가 있는 시간으로 가정하였다. 5class에서는 구름탐지 결과는 각각 ‘confidently cloud: 일조시간 15분 × 0.0’, ‘cloud: 일조시간 0.0’, ‘probably cloud: 일조시간 0.0’, ‘sunlight clear: 일조시간 0.8’, ‘confidently clear: 일조시간 1.0’ 으로 가중치를 설정하였다.

본 연구에서는 산출된 일조시간 자료를 연구지역 외 지역에 대해 마스킹 처리하고, WGS84 타원체의 Lambert Conformal Conic 도법으로 투영하여 최종적인 일조시간 자료를 생산하였다. 자료의 분석 과정에서는 Python과 Python의 HDF5 라이브러리인 H5py 그리고 ArcGIS 등이 활용되었다.

Figure 1. Workflow of the study.

위성영상 기반으로 제작된 추정 일조시간과 ASOS 기반의 관측 일조시간의 비교 및 정확도 평가를 위해 Kling and Gupta efficiency(KGE), Root Mean Square Error(RMSE)를 사용하였다.

3. 일조시간 분포도의 작성 및 평가 결과

1) 일조시간 분포도 및 비교

본 연구에서는 천리안 위성영상을 이용해 추정 일조시간 2class 자료와 5class 자료를 작성한 뒤 ASOS 스테이션 기반의 관측 일조시간 자료와 비교하였다. 우선 HDF 포맷으로부터 ASCII 포맷으로 전환하는 과정에서 최종적으로 산출된 래스터 형식의 IMG 파일들을 2class와 5class를 구분하여

보면 Figure 2, 3과 같다. 동일시기를 비교해봤을 때, 대체적으로 2class의 일조시간 결과가 5class에 비해 과대 추정되는 결과를 보였다.

ASOS 스테이션 기반의 관측 일조시간과 위성 영상 기반의 일조시간을 비교한 결과는 Table 1과 Figure 4와 같다. 2011년에는 천리안 위성영상이 4월부터 제공되었기 때문에 4월부터 12월까지 총 9개월 치를 비교했다. Table 1의 개별 월의 시간은 ASOS 스테이션과 ASOS 스테이션 위치에 해당하는 지점의 추정 일조시간 월별 평균값이다. 예를 들어, ASOS 스테이션의 4월(214.4 시간)은 4월 1일부터 4월 30일까지 90개의 ASOS 스테이션에서 관측된 일조시간의 월간 평균을 의미하며, 2class의 290.5 시간은 천리안 위성의 구름탐지 영상 중 2class 영상을 분석한 결과로 만들어진 IMG 포맷의 파일 중 ASOS 스테이션들이 위치한 90개 지점들의 월간 평균 일조시간을 의미한다.

Figure 2. Sunshine duration distribution, April 1-4, 2011(2class).

Figure 3. Sunshine duration distribution, April 1-4, 2011(5class).

Table 1. Comparison of monthly average sunshine duration based on ASOS stations and satellite images (2011-2014).

M \ Y	ASOS station(hr/mon)				2class(hr/mon)				5class(hr/mon)			
	2011	2012	2013	2014	2011	2012	2013	2014	2011	2012	2013	2014
1		165.5	172.6	194.9		228.4	232.8	256.4		147.9	151.3	175.7
2		175.1	170.4	142.1		226.8	224.6	200.1		151.5	151.8	127.6
3		179.6	240.3	205.8		248.2	297.4	273.8		165.5	214.7	187.3
4	214.4	212.1	215.5	209.7	290.5	280.9	270.4	265.9	208.5	205.6	189.9	188.1
5	178.6	229.9	241.2	290.1	244.4	287.4	291.7	333.7	151.4	196.4	201.2	239.6
6	165.7	171.7	178.8	164.3	261.7	247.6	275.3	245.5	152.7	141.4	167.8	135
7	115	160.7	142.8	162.9	249.2	251.2	240.7	261.2	137	141.5	130.4	150.2
8	104.4	154.5	236.1	115.6	203.4	220.2	286.1	197.7	116.7	134.7	201.6	114.4
9	176	171.1	179.7	189.1	272.5	237.8	253	247.4	196.5	161.8	176	168.8
10	195.7	226.5	205.8	217.2	248.7	283.9	264.6	287.5	175.6	211.1	193.3	213.7
11	123.9	163.3	177.8	168.1	214.4	232.2	248.3	240.4	143.4	161.1	177.1	169.1
12	163.2	161.7	170.8	173.7	222.9	224	234.6	221.9	143.5	144.8	153.8	139.9
Total	1,436	2,171	2,331	2,233	2,207	2,968	3,119	3,031	1,425	1,963	2,109	2,009
Mean	159.7	181	194.3	186.1	245.3	247.4	260	252.6	158.4	163.6	175.8	167.4

Figure 4. Comparison of monthly average sunshine duration based on ASOS stations and satellite images (2011-2014).

2011년 자료를 분석한 결과 모든 월에서 5class의 결과가 관측치에 가까운 결과를 보였다. ASOS 스테이션의 관측 자료 중 4월부터 12월까지 9개월간의 일조시간은 1,436.9시간이며 이를 월로 평균하면 159.7시간이다. 2class의 경우 9개월간의 일조시간은 2,207.7시간이며 이를 월로 평균하면 245.3시간이다. 5class는 9개월간의 일조시간이 1,425.3시간, 월평균은 158.4시간이다. 2012년 자료를 분석한 결과, 2011년과 마찬가지로 모든 달에서 5class가 좋은 결과를 보였다. ASOS 스테이

션의 관측 자료의 총 일조시간은 2,171.7시간이며 이를 월로 평균하면 181.0시간이다. 2class의 경우 총 일조시간은 2,968시간이며 이를 월로 평균하면 247.4시간이다. 5class는 총 일조시간이 1,963시간, 월평균은 163.6시간이다.

2013년 자료를 분석한 결과 또한 모든 달에서 5class가 좋은 결과를 보였다. ASOS 스테이션의 관측 자료의 총 일조시간은 2,331시간이며 이를 월로 평균하면 194.3시간이다. 2class의 경우 총 일조시간은 3,119.6시간이며 이를 월로 평균

하면 260시간이다. 5class는 일조시간이 2,109시간, 월평균은 175.8시간이다. 2014년 자료를 분석한 결과 모든 월에서 5class가 좋은 결과를 보였다. ASOS 스테이션의 관측 자료의 총 일조시간은 2,233시간이며 이를 월로 평균하면 186.1시간이다. 2class의 경우 총 일조시간은 3,031.3시간이며 이를 월로 평균하면 252.6시간이다. 5class는 일조시간이 2,009시간, 월평균은 167.4시간이다.

2011년의 ASOS 스테이션 관측값과 위성영상 기반의 추정치를 차연산하여 얻은 오차 값을 살펴본 결과, 2class의 경우에는 차이가 가장 작은 10월에도 53시간의 차이가 있었지만 5class의 경우에는 가장 차이가 많이 나는 달인 5월에도 관측 자료와 -27.2시간 차이 밖에 나지 않았다. 2012년의 2class의 경우에는 차이가 가장 작은 2월에도 51.7시간의 차이가 있었지만 5class의 경우에는 가장 차이가 많이 나는 달인 5월에도 관측 자료와 -33.5시간 차이 밖에 나지 않았다.

2013년의 ASOS 스테이션 관측값과 위성영상 기반의 추정치를 차연산하여 얻은 오차 값을 살펴본 결과, 2class의 경우에는 차이가 가장 작은 8월에도 50.0시간의 차이가 있었지만 5class의 경우에는 가장 차이가 많이 나는 달인 5월에도 관측 자료와 -40시간 차이 밖에 나지 않았다. 마지막으로 2014년의 ASOS 스테이션 관측값과 위성영상 기반의 추정치를 차연산하여 얻은 오차 값을 살펴본 결과, 2class의 경우에는 차이가 가장 작은 5월에도 43.6시간의 차이가 있었고 5class의 경우에는 가장 차이가 많이 나는 달인 5월에는 -50.5시간 차이가 났다(Table 2).

비교 및 검증을 위해 사용한 2011년 4월부터 2014년 12월까지의 월별 자료를 분석해본 결과 전반적으로 5class로 구분한 자료가 2class로 구분된 자료보다 ASOS 스테이션의 관측 자료와 더욱 유사한 양상을 보였다. 이를 연간으로 환산하여 나타내면 Table 3과 같으며, 5class 추정치와 ASOS

Table 2. Error of monthly average sunshine duration based on ASOS stations and satellite images (unit: hours).

M \ Y	Error(ASOS-2class)					Error(ASOS-5class)				
	2011	2012	2013	2014	Mean	2011	2012	2013	2014	Mean
1		62.9	60.2	61.5	61.5		-17.5	-21.3	-19.2	-19.3
2		51.7	54.1	58	54.6		-23.5	-18.6	-14.5	-18.9
3		68.7	57.1	67.9	64.6		-14.1	-25.7	-18.5	-19.4
4	76	68.7	55	56.2	60.0	-6	-6.6	-25.5	-21.6	-17.9
5	65.8	57.5	50.5	43.6	50.5	-27.2	-33.5	-40	-50.5	-41.3
6	96.1	75.9	96.5	81.2	84.5	-12.9	-30.4	-11	-29.3	-23.6
7	134.2	90.5	98	98.3	95.6	22	-19.2	-12.3	-12.7	-14.7
8	99	65.7	50	82	65.9	12.3	-19.7	-34.5	-1.2	-18.5
9	96.5	66.7	73.3	58.3	66.1	20.5	-9.3	-3.7	-20.4	-11.1
10	53	57.4	58.8	70.3	62.2	-20	-15.4	-12.5	-3.5	-10.5
11	90.5	69	70.6	72.3	70.6	19.5	-2.2	-0.7	1	-0.6
12	59.6	62.3	63.8	48.2	58.1	-19.7	-17	-17	-33.8	-22.6
Total	770.8	797	787.9	797.9		-11.6	-208.3	-222.7	-224.2	
Mean	85.6	66.4	65.7	66.5		-1.3	-17.4	-18.6	-18.7	

Table 3. Comparison of sunshine duration based on ASOS station and satellite image (annual conversion).

Year	ASOS station(hr/year)	2class (hr/year)	5class (hr/year)	Error (ASOS-2class)	Error (ASOS-5class)
2011	1,436.9	2,207.7	1,425.3	770.8	-11.6
2012	2,171.7	2,968.7	1,963.4	797.0	-208.3
2013	2,331.8	3,119.6	2,109.0	787.8	-222.8
2014	2,233.5	3,031.3	2,009.3	797.8	-224.2
Mean	2,043.5	2,831.8	1,876.8	788.4	-166.7

Table 4. Comparison of sunshine duration based on ASOS station and satellite image (daily conversion).

Year	ASOS station	2class	5class	Error(ASOS-2class)	Error(ASOS-5class)
2011	5.23	8.03	5.18	2.80	-0.04
2012	5.93	8.11	5.36	2.18	-0.57
2013	6.39	8.55	5.78	2.16	-0.61
2014	6.12	8.30	5.50	2.19	-0.61
Mean	5.92	8.25	5.46	2.33	-0.46

스테이션의 관측치가 유사한 것을 일목요연하게 확인할 수 있다.

독특한 점은 ASOS 스테이션에 비해 2class 추정치는 모두 과대 추정되는 데 반해, 5class 추정치는 과소 추정되는 양상을 파악할 수 있다는 점이다. 그러나 2class의 과대 추정 시간이 5class가 과소 추정되는 시간보다 훨씬 크다. 2011년부터 2014년까지 2class는 연간 약 780시간씩 과대 추정되고 있으며, 5class는 기간이 짧은 2011년을 제외하고는 연간 약 200시간씩 과소 추정되고 있다. 또한 2011년은 4월부터 12월까지 총 9개월을 데이터로 사용했는데, 오차가 -11.6시간 밖에 되지 않는 것은 2012년부터 2014년까지의 결과 값 중 1월부터 3월까지의 오차가 크다는 것으로 생각할 수 도 있다. 이는 향후 추가적인 연구를 요하는 부분이다.

2, 5class 별로 대략적으로 연간 780시간, -200시간의 추정오차가 발생하였다. 이는 일평균을 합한 값이므로 각각의 결과 값을 일 년인 365일(2012년은 윤년으로 366일)로 다시 나누면 일별 오차

가 산출된다(Table 4). ASOS 스테이션에서 관측된 일별 일조시간은 4년간 평균 약 5.92시간/일이며, 2class는 8.25시간/일, 5class는 5.46시간/일이다. 이에 대한 오차를 구해보면, 2class의 경우에는 일별 2.33시간, 5class의 경우에는 일별 -0.46시간이 차이나는 것을 알 수 있다.

2) 모의효율 평가

개별 ASOS 스테이션 기반의 월평균 관측 일조시간과 위성영상 기반의 월평균 추정 일조시간은 KGE(Kling and Gupta efficiency) 기법을 이용하여 모의효율을 평가했다. 실측과 모의 결과와 같이 1:1 대응관계를 갖는 자료에서 모의 결과가 실측 자료에 얼마나 유사한 지를 평가할 때는 KGE가 유용하며, KGE 값은 모의 결과가 실측 자료에 비해 과소 또는 과대 추정되었는지에 따라 서로 달라지기 때문이다. KGE가 높다는 것은 자료의 유사성이 높다는 것을 의미한다. KGE 기법을 이용하여 평가한 결과를 그래프로 나타내면 Figure 5

Figure 5. KGE of monthly sunshine duration each year.

와 같다. 2011년의 경우 2class와 5class의 KGE가 각각 0.36, 0.73으로 나타났으며, 2012년의 경우 2class와 5class의 KGE가 각각 0.55, 0.73으로 나타났다. 2013년의 경우 2class와 5class의 KGE가 각각 0.54, 0.71로 나타났으며, 2014년의 경우 2class와 5class의 KGE가 각각 0.58, 0.75로 나타났다. 5class의 경우 4년간 평균 0.73의 수치를 보이며, 2class에 비해 상대적으로 정확한 결과를 보인다.

ASOS 스테이션 기반의 월평균 관측 일조시간과 위성영상 기반의 월평균 추정 일조시간 자료 중 각 연도에 해당하는 하루치의 RMSE를 산출하

였다(Table 5). 2011년도의 일간 RMSE가 2class는 3.8시간, 5class는 2.4시간이며, 2012년도는 2class 3.2시간, 5class 2.3시간이다. 2013년은 일간 2class 3.3시간, 5class 2.5시간이고 2014년의 경우에는 일간 2class 3.1시간, 5class 2.3시간이다. 모든 연도에서 5class의 RMSE 값이 낮아 2class에 비해 높은 정확도를 갖는 것으로 판단되었다.

ASOS 스테이션에서 관측된 일평균 일조시간과 위성영상 기반의 추정 일조시간의 일평균 RMSE와 비교해보면 Table 6과 같다. 2011년에 관측된 모든 ASOS 스테이션에서의 일평균 관측 일조시

Table 5. 2class and 5class daily RMSE for each year.

Year	2class(hr/day)	5class(hr/day)
2011	3.8	2.4
2012	3.2	2.3
2013	3.3	2.5
2014	3.1	2.3

Table 6. Observed daily average sunshine duration by RMSE ratio.

Year	Daily average (hr/day)	2class (%)	5class (%)
2011	5.2	72.1	46.5
2012	5.9	53.1	28.7
2013	6.4	51.8	39.5
2014	6.1	51.8	38.3

간은 5.2시간인데, 이를 개별 연도의 일 RMSE와 비교해보면 2011년의 2class는 72.1%, 5class는 46.5%의 오차를 보인다. 2012년의 경우에는 ASOS 스테이션에서의 일평균 관측 일조시간은 5.9시간이며, 추정 값인 2class와 53.1%, 5class는 28.7%의 오차를 보인다. 2013년의 ASOS 스테이션 일평균 관측 일조시간은 6.4시간이며, 추정값인 2class는 51.8%, 5class는 39.5%의 오차를 보인다. 2014년에는 6.1시간의 일평균 일조시간이 관측되었으며, 추정값인 2class와 51.8%, 5class와 38.3%의 오차를 보인다.

2class보다 5class로 추정한 일조시간이 ASOS 스테이션의 관측 일조시간과 더욱 유사한 양상을 보이며, 정확도도 높은 것으로 판단되었다. 이를 5class의 추정 일조시간과 ASOS 스테이션의 관측 일조시간의 분산 그래프를 그려보면 Figure 6과 같다.

Figure 6에서 5class의 일조시간(추정 일조시간) 중 1시간 미만의 값이 없는 이유는 전구 관측으로 인한 결측 시간대를 일조와 구름의 비율을 50:50으로 상정했기 때문에 결측이 2시간이면 1시간은

Figure 6. Dispersion graph of observed sunshine duration of ASOS station and estimated sunshine duration of 5class.

일조가 있는 시간으로 표현되었기 때문이다.

남한 전역의 일조시간을 추정하기 위해 천리안 위성영상을 활용하여 추정 일조시간 분포도를 작성하여 ASOS 스테이션과 비교해본 결과 전반적으로 2class에 비해 5class의 정확도가 높았다. 따라서 연구에 사용된 전체 ASOS 스테이션이 위치한 지역에 5class로 제작한 추정한 일조시간을 중첩하여 어느 정도 유사한 값을 갖는지 확인하였다(Figure 7).

상대적으로 높은 오차가 나타난 지역은 육지부의 해안지역과 해발고도가 높은 지역들이며 이를 제외한 대부분의 지역에서는 추정오차가 매우 적게 나타나는 경향을 보였다. 그러나 울릉도와 백령도, 제주도와 같은 해안지역에서는 추정오차가 매우 적었으며, 흑산도, 부산 등의 지역에서는 오차가 큰 것으로 나타났기 때문에 단순히 해안지역의 오차가 크다고 일반화하기는 어렵다. 또한 대부분의 오차가 마이너스 오차로 기록되었기 때문에 위성영상 기반의 일조시간 결과가 실제보다 과소추정하는 경향을 파악할 수 있었다.

Figure 7. Difference between 5class estimated sunshine duration and actual sunshine duration (2011.4-2014.12).

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 천리안 위성영상을 활용하여 남한 전역의 일조시간을 추정하였고, 이를 ASOS기반의 관측자료와 비교 및 평가하였다. 우선 HDF 포맷으로부터 ASCII 포맷으로 전환하는 과정에서 최종적으로 산출된 래스터 형식의 IMG 파일들을 2class와 5class를 구분하여 동일시기를 비교해봤을 때, 대체적으로 2class의 일조시간이 5class에 비해 과대 추정되는 결과를 보였다.

연도별 및 월별 일조시간을 비교했을 시에도 전반적으로 5class의 결과가 2class의 결과보다 양호하였다. ASOS 스테이션의 관측값과 비교했을 때, 2class의 가장 작은 오차도 5class의 가장 큰 오차에 비해 더 높은 경향을 보였다. ASOS 스테이션의 관측값과 일별 일조시간을 비교할 때, 2class에 비해 5class가 상대적으로 양호한 결과를 보였

다. 개별 ASOS 스테이션의 월평균 관측 일조시간과 위성영상 기반의 월평균 추정 일조시간은 KGE(Kling and Gupta efficiency) 기법을 이용하여 모의효율을 평가했을 시에도 5class의 모의 효율이 높은 것으로 나타났으며, 모든 연도에서 5class의 RMSE 값이 낮게 산출되어 더욱 높은 정확도를 보였다.

즉, 천리안 위성영상을 활용하여 일조시간을 추정하는데 2class와 5class 자료를 이용할 수 있었고 결과적으로 5class의 자료가 관측치에 가깝기 때문에 더욱 신뢰할 만한 자료로 판단되었다. 향후 태양에너지 활용에 있어서 일조시간 관측 자료가 없는 지점에는 천리안 위성영상의 구름탐지 자료 중 5class 자료를 이용하고, 아래의 한계점을 보완한다면 더욱 유의미한 결과를 얻을 수 있을 것이라고 판단된다.

연구과정에서 발견한 아래의 몇 가지 한계점을 보완한다면 향후 남한 전역의 일조시간 자료를 제작함에 있어서 더욱 유익한 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 첫째, ASOS 스테이션에 비해 2class 추정치는 모두 과대 추정되는 데 반해, 5class 추정치는 과소 추정되는 양상을 파악할 수 있었다. 그러나 5class가 과소 추정되는 시간은 2class가 과대 추정되는 시간에 비해 현저히 적었다. 2011년부터 2014년까지 2class는 연간 약 780시간씩 과대 추정되고 있으며, 5class는 기간이 짧은 2011년을 제외하고는 연간 약 200시간씩 과소 추정되고 있다. 또한 2011년은 4월부터 12월까지 총 9개월을 데이터로 사용했는데, 오차가 -11.6시간 밖에 되지 않는 것은 2012년부터 2014년까지의 결과 값 중 1월부터 3월까지의 오차가 크다는 것으로 생각할 수도 있다.

둘째, 해안가와 산지의 오차가 다른 지역에 비해 상대적으로 크다는 점이다. 특히 산지의 오차는 전반적으로 내륙의 다른 지역에 비해 과소 추정되

는 양이 많이 나타났지만 해안가의 오차는 뚜렷한 경향이 없어 일반화하기 어려운 점이 발견되었다. 이러한 문제점에 대해 해안가의 경우 해무의 발생이 일조시간 관측에 영향을 준 것으로 생각되며, 산지의 경우에는 지형적인 요철로 인해 주변과 뚜렷한 고도차가 있음에도 불구하고 태양의 입사각을 고려하지 않았다는 점에 영향을 받은 것으로 생각되었기 때문에 추후 연구에서는 이를 실증적으로 밝힐 수 있는 방법론의 개선이 필요할 것이다.

셋째, 본 연구에서 사용한 구름탐지 자료는 필연적으로 3시간에 약 2회의 결측이 생기는데, 이를 보완하기 위한 계산법으로 일조와 비일조의 비율을 50:50으로 계산하였다. 그러나 이러한 계산식은 결측시간이 두 시간일 경우 1시간의 일조시간을 무조건 삽입하게 되므로 구름이 매우 많거나 적은 시간일 경우 추정오차가 커질 수밖에 없는 한계가 있다. 따라서 향후에는 전후 시간대에 촬영한 구름 탐지영상을 활용하는 등의 방안이 제시될 수 있다.

마지막으로 5class가 관측값과 유사한 결과를 보였지만 클래스별 가중치를 임의로 설정하여 획득한 결과이기 때문에 향후 연구에서는 이를 더욱 세분화하고, 최적의 가중치를 찾아 새롭게 설정한다면 관측치에 더욱 가까운 일조시간 자료를 작성할 수 있을 것이다.

사사

본 연구는 국립기상과학원 “기상업무지원개발 연구”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Elizabeth, G., 2010, Estimating daily sunshine duration over the UK from geostationary satellite data, *Weather*, 65(12), 324-328.
- Jo, D.-K., Yun, C.-Y., Kim, K.-D., and Kang, Y.-H., 2011, A Detail Survey of Horizontal Global Radiation and Hours of Bright Sunshine for the Installation of Solar Photovoltaic System in Korea, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 31(3), 48-56 (in Korean).
- José Leonaldo, D. S., Gustavo, B. L., Cícero, M. D. S., Ricardo, A. F. J., Chiguero, T., Guilherme, B. L., and Marco, A. M. L., 2016, Empirical models of daily and monthly global solar irradiation using sunshine duration for Alagoas State, Northeastern Brazil, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 14, 35-45.
- Journée, M., Demain, C., and Bertrand, C., 2013, Sunshine duration climate maps of Belgium and Luxembourg based on Meteosat and in-situ observations, *Advances in Science and Research*, 10(1), 15-19.
- Kandirmaz, H. M. and Kaba, K., 2014, Estimation of Daily Sunshine Duration from Terra and Aqua MODIS Data, *Advances in Meteorology*, 2014 (article ID 613267), 9.
- Kim, D.-J., 2011, A Study on Variation Characteristics of Sunshine and Clouds in Jeju Area, *Cheju Development Review*, 15, 179-201 (in Korean).
- Korea Energy Agency, 2016, *Summary of New Renewable Energy Supply Statistics for 2016* (in Korean).
- Korea Institute of Energy Research, 2012, *The Establishment of New and Renewable Energy Resource Map & Utilization System* (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2008, *Meteorological Resource Analysis Report for Optimal Utilization of Solar Energy* (in Korean).
- Kómar, L. and Kocifaj, M., 2016, Statistical cloud coverage as determined from sunshine duration: a

- modelapplicable in daylighting and solar energy forecasting, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2016, 150, 1-8.
- Lee, R., 1962, Theory of the “Equivalent Slope”, *Monthly Weather Review*, 90, 165-166.
- Matzarakis, A. P. and Katsoulis, V. D., 2006, Sunshine duration hours over the Greek region, *Theoretical and Applied Climatology*, 83, 107-120.
- Muhammad, A. S., Renji, R., Da-wei, H., Naeem, E., and Ayub, L., 2012, An improved technique for global daily sunshine duration estimation using satellite imagery, *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)*, 13(9), 717-722.
- Swift, L. W., 1976, Algorithm for solar radiation on mountain slopes, *Water Resources Research*, 12(1), 108-112.
- National Meteorological Satellite Center, <http://nmsc.kma.go.kr>
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, <http://www.ren21.net>

책임편집: 박창용
영문교열: 이은걸