

기상청 동네예보의 영농활용도 증진을 위한 방안: IV. ‘하늘상태’를 이용한 일조시간 및 일 적산 일사량 상세화

김수옥^{1*} · 윤진일²

¹국가농림기상센터, ²경희대학교

(2015년 10월 13일 접수; 2015년 11월 1일 수정; 2015년 11월 2일 수락)

Improving the Usage of the Korea Meteorological Administration's Digital Forecasts in Agriculture: IV. Estimation of Daily Sunshine Duration and Solar Radiation Based on ‘Sky Condition’ Product

Soo-ock Kim^{1*} and Jin I. Yun²

¹National Center for Agro-Meteorology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²College of Life Sciences, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea

(Received October 13, 2015; Revised November 1, 2015; Accepted November 2, 2015)

ABSTRACT

Information on sunshine duration and solar radiation are indispensable to the understanding of crop growth and development. Yet, relevant variables are not available in the Korea Meteorological Administration's (KMA) digital forecast. We proposed the methods of estimating sunshine duration and solar radiation based on the ‘sky condition’ of digital forecast products and validated using the observed data. The sky condition values (1 for clear, 2 for partly cloudy, 3 for cloudy, and 4 for overcast) were collected from 22 weather stations at 3-hourly intervals from August 2013 to July 2015. According to the observed relationship, these data were converted to the corresponding amount of clouds on the 0 to 10 scale (0 for clear, 4 for partly cloudy, 7 for cloudy, and 10 for overcast). An equation for the cloud amount–sunshine duration conversion was derived from the 3-year observation data at three weather stations with the highest clear day sunshine ratio (i.e., Daegwallyeong, Bukgangneung, and Busan). Then, the estimated sunshine hour data were used to run the Angstrom-Prescott model which was parameterized with the long-term KMA observations, resulting in daily solar radiation for the three weather stations. Comparison of the estimated sunshine duration and solar radiation with the observed at those three stations showed that the root mean square error ranged from 1.5 to 1.7 hours for sunshine duration and from 2.5 to 3.0 MJ m⁻² day⁻¹ for solar radiation, respectively.

Key words: Sunshine duration, Solar radiation, Sky condition, Cloud amount, Digital forecast

I. 서 론

농업부문의 기상이변 대응 방안 중 하나로 기상위험에 대한 조기경보체계가 구축되어 시범 운영되고 있다

(Yun *et al.*, 2013; Yun, 2014). 조기경보체계는 개별 농장마다 지형조건과 토양특성 및 재배하는 작목의 생육단계를 기반으로 예견되는 기상위험을 정량화하여 해당 농가에게 1:1로 전달하는 시스템이며 기상청에서



* Corresponding Author : Soo-ock Kim
(tolee7785@hanmail.net)

발표하는 ‘동네예보’를 활용한다. 동네예보는 가로×세로 5km 해상도의 격자자료로 제공하지만 개별 농장 단위로 작물의 기상위험수준을 예측하기 위해서는 이것을 필지단위로 상세화 해야 한다. 현재 제공되는 기상요소는 기온, 강수량, 강수확률, 적설, 하늘상태, 습도, 풍향, 풍속 등이 있으며, 실황 값과 함께 선행기간 48시간 동안 3시간 간격의 예보자료를 사용할 수 있다(NIMR, 2012).

하지만 농업에서 중요시 하는 일사량과 일조시간이 제공되지 않아 이를 보완하기 위한 방안을 찾아야 하는 실정이다. 일사량은 작물생육모형의 필수 입력 자료이며(Christopher, 2006), 부족할 경우 작물의 생육이 부진하거나 고사하는 피해가 발생하지만(KMA, 2010; 2011), 반면 지나치게 강한 일사는 과실의 일소피해와 관련이 있으므로(Song *et al.*, 2009), 농업부문 조기경보체계에 일조·일사 정보는 빠질 수 없는 요소이다. Yun(2009)은 수평면 대비 경사면의 일사수광비율을 나타내는 지형보정계수를 고안하였고, 이 기법이 평년기후조건인 한반도 일사수광량을 30m 격자의 고해상도로 모의하는 것에 핵심이 되었으므로(Yun, 2010), 현재 동네예보에서 누락되어 있는 일사량을 대신할 수 있는 보완책을 마련한다면 일사량 예보 역시 필지 구분이 가능한 수준으로 상세화가 가능할 것이다.

현재 기상청 동네예보 기상요소 가운데 일조·일사와 유사한 자료는 ‘하늘상태’이다. 목측 운량이 구름의 양을 0부터 10까지의 계급으로 구분한 것이라면, 하늘상태는 운량 값 0에서 2까지를 ‘맑음(1)’, 운량 3~5를 ‘구름조금(2)’, 운량 6~8을 ‘구름많음(3)’, 운량 9~10을 ‘흐림(4)’으로 대체한 것이다. 동네예보 생산에는 지점의 관측값과 수치모델 추정값 간의 통계적 관계인 MOS(Model Output Statistics) 기술이 이용되고 있는데, 하늘상태는 관측지점이 적은 관계로 한반도 전 지역을 대표하는 통계관계를 적용한 GOE (Generalization of Equation) 방법으로 산출된다(서 등, 2010; 2012).

운량, 일조시간, 일사량 간 관계에 관한 연구로는 김 등(2004)이 운량자료를 기반으로 월별 일조시간을 추정할 수 있는 통계적 기법을 제시하였고, Jo and Kang (2010)은 운량과 일사량 간 경험식을 이용하여 국내 16개 지점의 일사량을 예측한 바 있다. 일조시간으로부터 일사량을 추정하는 방법으로는 Angstrom-PreScott 모형이 널리 사용되어 왔다(Almorox *et al.*, 2005; Choi *et al.*, 2010; Podesta *et al.*, 2004). 따라서 기상청의 하늘

상태를 수평면 조건의 운량으로 환산한다면 선행연구에서 제시한 방법에 의해 일조시간과 일사량을 추정할 수 있을 것으로 기대된다. 수평면 일사량이 추정된다면 Yun(2009)의 지형보정계수에 의해 농장단위로 적용 가능한 상세 일사량 예보 산출이 가능할 것이다.

본 연구에서는 동네예보 목록에서 누락된 일사량을 대체할 수 있는 방법으로서, 먼저 3시간 간격 ‘하늘상태’ 자료를 해당 날짜의 전운량으로 변환한 다음 일조시간을 추정하는 방법을 모색하였다. 다음에는 일조시간을 수평면 일사량으로 변환할 수 있는 일조-일사 관계식을 적용하였다. 이렇게 하여 얻어진 수평면 일사량을 상세지형에 의해 보정하여 임의지역의 일사 수광량 분포를 생성함으로써 동네예보의 영농활용 가능성을 보이고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 운량과 하늘상태 비교

동네예보의 ‘하늘상태’ 자료는 격자값 1, 2, 3, 4가

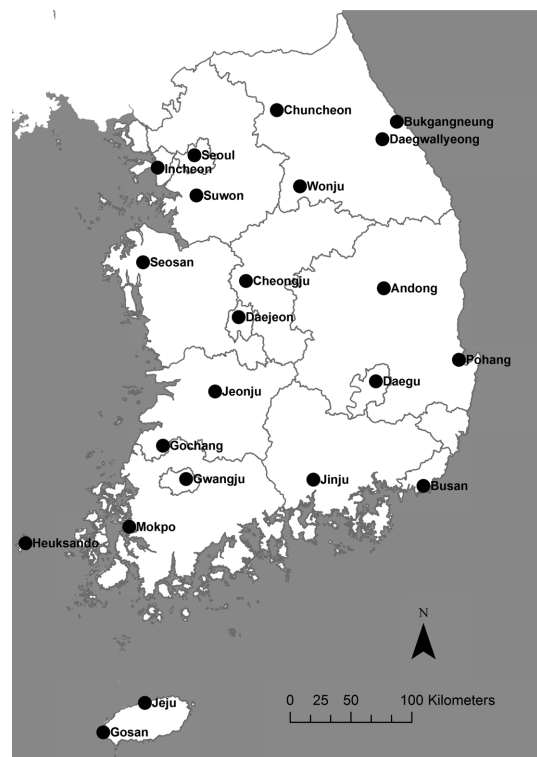


Fig. 1. Locations of the Korea Meteorological Administration (KMA) stations where both the solar radiation and sunshine duration data are available.

각각 '맑음' ($0 \leq x \leq 2$), '구름조금' ($3 \leq x \leq 5$), '구름 많음' ($6 \leq x \leq 8$), '흐림' ($9 \leq x \leq 10$)을 의미하는데, 하늘상태 격자자료를 운량으로 활용하기 위해서는 1에서 4까지의 격자값을 0에서 10까지의 운량자료로 변환해야 한다. 남한 전역의 기상관서 중 일사량과 일조시간 및 운량을 모두 관측하는 지점은 총 22지점인데 (Fig. 1), 이들로부터 2013년 8월 1일부터 2015년 7월 31일까지 2년에 걸쳐 3시간 간격(0600, 0900, 1200, 1500, 1800) 운량자료를 수집하였다(http://sts.kma.go.kr).

같은 기간에 대해 22개 기상관서에 해당하는 동네예보 격자점의 3시간 간격 하늘상태 자료를 수집하여 운량과 비교함으로써 하늘상태-운량 관계를 파악하였다.

2.2. 운량-일조시간 관계 도출

일조시간에 크게 영향을 미치는 것은 직달일사를 가리는 구름이지만, 주변 지형지물 등 관측환경에 의해서도 일조시간이 영향을 받게 된다. 먼저 22개 관측지점에 대해 하루 종일 맑았던 날에 한정하여 일조시간을 비교함으로써 관측환경을 추정하였다. 태양고도에 따라 일조시간은 큰 차이를 나타내므로 맑은 날이 어떤 계절에 주로 분포하는가에 따라 일조시간의 평균치가 달라질 것이다. 따라서 일조시간 대신 매일의 일조율을 계산한 다음 일 평균운량이 0인 날의 평균 일조율을 관측지점별로 비교하여, 일조율이 높을수록 이상적인 관측환경인 것으로 간주하였다.

전체 22개소 중에서 맑은 날 일조율이 최상위에 드는 세 지점을 선발하여 운량과 일조시간 자료를 수집하였다. 이 때 기상청에서 발표하는 일 평균운량(하루 3시간 간격 8회 관측값의 평균) 대신, 0600, 0900, 1200, 1500, 1800의 운량만을 평균함으로써 야간의 하늘상태는 제외하였다. 운량과 일조시간 관측자료는 2012년 1월 1일부터 2014년 12월 31일까지 3년간 자료를 두 그룹으로 구분하였는데 2012년 1월 1일을 A, 1월 2일을 B, 1월 3일을 다시 A에 넣는 방식을 이용하였다. A그룹의 운량과 일조율은 경험식을 도출하는데 활용하였고, B그룹 자료는 식을 검증하는데 사용하였다. 경험식은 일 · 이차다항식뿐만 아니라 SAS의 비선형 모델(logarithmic curve, exponential reciprocal curve, logistic curve 등) 회귀 분석에 의해 최적 함수를 선정하였다(SAS Institute, Raleigh, North Carolina,

USA).

2.3. 일조시간으로부터 전천일사량 추정

운량으로부터 도출된 일조시간에 의해 수평면 일사량을 추정하는 과정은 일조율과 일사율 간의 관계를 회귀계수 a 와 b 로 표현하는 Angstrom-Prescott 모형을 이용하였다. 이 모형은 식 1과 같이 나타낼 수 있으며, 월별 또는 일별 일조시간만으로 손쉽게 수평면 일사량을 추정할 수 있어, 국내에서도 이용된 사례가 많다(Cho *et al.*, 1987; Jo and Kang, 2008; Lee and Sim, 2010; Choi *et al.*, 2010).

Choi *et al.*(2010)는 전국 기상관서 18지점에 대해 1983-2007 기간의 일사량 및 일조시간 관측자료에 근거, 식 (1)의 회귀계수 a , b 를 제시하였으며, 이 계수를 대상 지점의 수평면 일 적산일사량 예측에 활용하였다. Q 를 수평면 일 적산일사량, S 는 일조시간, S_0 는 가조시간, Q_0 는 대기외일사량으로 두면, 대상 지점의 위도와 태양적위가 각각 ϕ 와 δ 인 경우

$$Q = \left(a + b \frac{S}{S_0} \right) \times Q_0 \quad (1)$$

로 표현되며, 여기서 $Q_0 = 37.6(W \cdot \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \sin W)$ 로 계산되며, $W = \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta)$ 이다.

본 연구에서는 18개 지점에 대해서는 Choi *et al.* (2010)의 a , b 회귀계수를 수정 없이 이용하였고, 그 외 지점에 대해서는 18 지점 값을 토대로 거리사중역산가중법(IDWS, inverse distance squared weighting)에 의해 a 와 b 의 전국 분포도를 제작하고 관측소 해당 격자값을 추출하여 사용하였다.

2.4. 일조시간 및 일사량 추정신뢰도 검증

관측자료 A그룹으로부터 도출된 운량-일조율 경험식과 식 (1)을 이용하여, B그룹 날짜에 대해 22개 지점의 일조시간과 일사량을 추정하였다. 적용한 운량-일조율 경험식이 여럿이기 때문에 추정된 일조시간의 추정 오차를 비교하여 최적 모형을 선정하였다. 이 최적모형을 이용하여 기상청 동네예보의 하늘상태 기반 일조시간 및 일사량을 모의하였는데 이 과정에서 하늘상태 격자값 1, 2, 3, 4는 각각 관측지점 22곳의 실측 운량으로부터 도출된 중앙값(median)으로 환산하였으며, 0600, 0900, 1200, 1500 및 1800 운량값을 산술평균하여 일 평균운량으로 삼았다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 운량과 일조율 관계

남한 전역 22개 지점에서 2012년 1월부터 2014년 12월까지 일 평균운량이 0이었던 맑은 날의 일조율 평균값은 관측지점에 따라 최소 84.0%에서 최대 93.8%까지, 평균적으로 89.1%로 나타났다. 3년간의 맑은 날 수는 22지점 평균 65.8일이었는데, 제주도의 경우 21일(제주), 16일(고산)로 매우 적었고, 부산의 경우 105일이 되어 지역에 따라 큰 차이를 나타내었다(Table 1). 지점별 맑은 날의 일조율을 내림차순으로 보면, 1, 2, 3위는 대관령, 북강릉, 부산으로서 각각 93.8%, 92.8%, 92.2%으로, 타 지역에 비해서 일조율이 높은 편이다(Table 1). 대부분의 관측지점은 맑은 날의 일조율이 87~91% 범위에 해당하였고, 춘천과 청주, 전주는 각각 85.4%, 84.6%, 84.0%로서 타 지점에 비해 상당히 낮게 나타났다. 춘천기상대 남서쪽(거리 500~700m)에는 아파트 단지가 조성되어 있고, 청주기상지청의 관측노장은 도심 한복판에 있으며,

전주기상지청 역시 이전 전에는 도심 가운데에, 이전 후에는 남서쪽에 아파트 단지가 자리하고 있어, 주변 환경이 일조시간 관측에 영향을 주었을 가능성을 배제

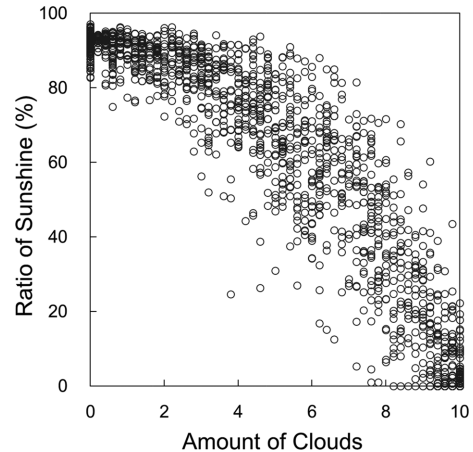


Fig. 2. Relationship between the daily cloud amount and sunshine ratio observed at 3 locations (Daegwallyeong, Bukgangneung, and Busan) during the 3 years from January 2012 to December 2014.

Table 1. Rankings of the clear day sunshine ratio (2012-2014) among 22 station locations in South Korea. Clear day means a day with zero cloud amount

Station				No. Clear Day	Sunshine Ratio ($\bar{x} \pm sd$)
Name	Elevation (m)	Latitude	Longitude		
Daegwallyeong	772	37.68	128.72	63	93.8 \pm 2.2
Bukgangneung	79	37.81	128.86	66	92.8 \pm 2.2
Busan	70	35.10	129.03	105	92.2 \pm 3.7
Gosan	74	33.29	126.16	16	91.2 \pm 3.9
Gwangju	72	35.17	126.89	63	90.6 \pm 3.7
Suwon	34	37.27	126.99	83	90.4 \pm 6.4
Pohang	2	36.03	129.38	95	90.4 \pm 3.8
Daegu	64	35.89	128.62	73	90.3 \pm 5.8
Seoul	86	37.57	126.97	78	89.8 \pm 6.9
Incheon	68	37.48	126.62	54	89.8 \pm 7.0
Gochang	52	35.33	126.58	56	89.7 \pm 5.4
Andong	140	36.57	128.71	84	89.5 \pm 6.1
Daejeon	69	36.37	127.37	65	89.4 \pm 4.6
Seosan	29	36.78	126.49	59	88.8 \pm 5.8
Mokpo	38	34.82	126.38	59	88.4 \pm 5.3
Wonju	149	37.34	127.95	88	88.2 \pm 5.4
Jinju	29	35.16	128.04	87	87.8 \pm 4.5
Jeju	20	33.51	126.53	21	87.0 \pm 8.6
Heuksando	76	34.69	125.45	47	86.9 \pm 11.4
Chuncheon	78	37.90	127.74	62	85.4 \pm 3.9
Cheongju	57	36.64	127.44	64	84.6 \pm 4.3
Jeonju	53	35.82	127.15	60	84.0 \pm 3.2

할 수 없다.

전체 22개 지점 중에서 맑은 날 일조율이 최상위에 드는 대관령, 북강릉, 부산을 가장 관측 여건이 좋은 곳으로 간주하고, 3지점의 매일의 일조율과 운량(0600, 0900, 1200, 1500, 1800 운량 평균치) 간의 관계를 Fig. 2에 나타내었다. 2012년부터 2014년까지 대관령과, 북강릉, 부산에서 관측된 운량과 일조시간자료(A그룹)를 바탕으로 두 변수의 관계를 보면, 운량이 0에서 10으로 증가할수록 일조율은 점차 감소되며, 운량이 커질수록 감소폭은 증가된다. 운량과 일조율의 관계를 이차다항식의 회귀선으로 표현하였을 때, 결정계수는 0.91가량이었다.

3.2. 일조시간 추정식

대관령과 북강릉, 부산에서 관측된 운량과 일조율 자료(A그룹)를 이용하여 이차다항식 외에 3가지의 비선형 회귀 분석을 수행하고, 각 도출된 경험식을 B그룹의 운량에 적용, 일조시간 실측값으로 검증한 결과를 Table 2에 제시하였다. 대수함수(logarithmic function) 기반의 일조시간 추정신뢰도는 세 관측지점 평균 ME -0.11, RMSE 1.34시간이었다. 역지수함수(exponential reciprocal function)의 경우 ME -0.13, RMSE 1.39시간이었으며, 로지스틱함수(logistic function)를 이용하였을 때에는 ME -0.07, RMSE 1.44시간으로 추정 오차가 더 증가하였다. 이차다항식을 기반으로 한 일조시간의 추정신뢰도는 세 관측지점 평균 ME -0.10, RMSE 1.35시간으로, 대수함수와 유사하였다.

운량으로부터 일조시간을 추정하는 경험식 선정 기준은 첫째로 검증과정에서 추정오차가 가장 작은 것, 둘째로는 단순한 형태인 것을 고려하였는데, RMSE가 가장 작았던 대수함수와 이차다항식 중, 상대적으로

항이 더 적은 대수함수를 최종적으로 선택하였다.

3.3. 하늘상태와 운량 관계

전국 22곳에서 2013년 8월부터 2015년 7월까지 2년간 3시간 간격(0600, 0900, 1200, 1500, 1800)으로 관측된 운량(0-10)을 동네예보 해당 지점의 하늘상태 격자값(1~4)에 따라 사분위수로 분류해 보았다(Fig. 3). 하늘상태가 '맑음'일 때 실측 운량은 1분위와 중앙값 모두 0이었고, 3분위 값은 1이었다. '구름조금'일 때는 운량의 1분위값은 3, 중앙값은 4, 3분위값은 5로 나타났다. '구름많음' 상태에서는 운량의 1분위값은 6, 중앙값 7, 3분위값은 8이었으며, '흐림'의 경우 1분

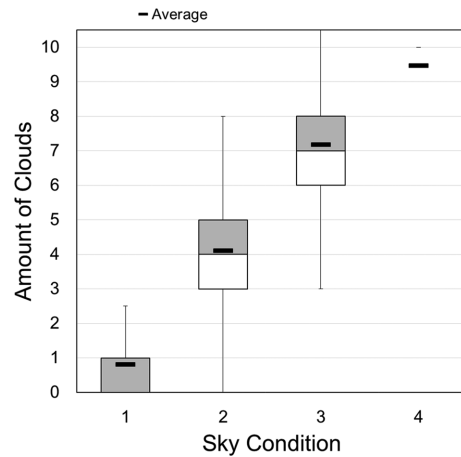


Fig. 3. Box-whisker plots of the cloud amount observed at each class of 'sky condition' issued by the Korea Meteorological Administration's digital forecast. Three-hourly data at 22 stations from August 2013 to July 2015 were used and the sky condition was identified at the 5 km grid cell corresponding to each station location. The sky condition number 1, 2, 3 and 4 stands for clear, partly cloudy, cloudy, and overcast, respectively.

Table 2. Fitted equations for the relationship between the cloud amount (x) and the sunshine hour (y). Performance of each equation is represented by the mean error (ME) and the root mean square error (RMSE)

Case	Name	Function	ME	RMSE
1	Logarithmic	$y = 90.5 - 0.6x^{2.2}$	-0.11	1.34
2	Exponential Reciprocal	$y = 87.8 - 484.1 \cdot \exp\left(-\frac{17.4}{x}\right)$	-0.13	1.39
3	Logistic	$y = 88.9 - \frac{88.9}{1 + \exp\{-0.7(x - 7.1)\}}$	-0.07	1.44
4	Quadratic Polynomial	$y = -0.9x^2 + 0.4x + 90.9$	-0.10	1.35

Table 3. Error statistics for the sky condition-based estimation of sunshine duration and solar radiation at 3 locations during the 2 years from August 2013 to July 2015

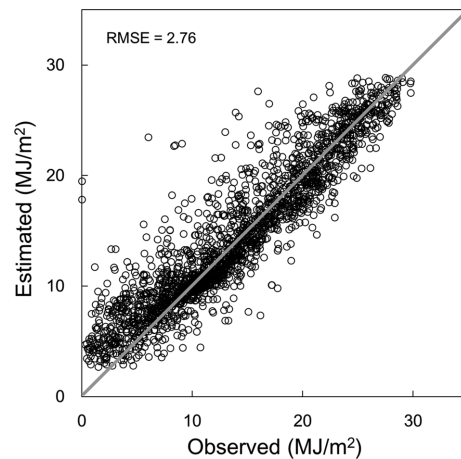
	Sunshine duration (hour)			Solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)		
	Daegwallyeong	Bukgangneung	Busan	Daegwallyeong	Bukgangneung	Busan
ME	0.08	0.42	0.08	0.62	1.18	0.21
RMSE	1.66	1.71	1.50	2.74	3.03	2.50

위, 중앙값, 3분위 모두 10이었다. 따라서 하늘상태를 운량으로 변환할 때 각 계급의 중앙값을 사용하여 ‘맑음’=0, ‘구름조금’=4, ‘구름많음’=7, ‘흐림’=10으로 두었다.

3.4. 하늘상태 기반 일조시간 및 일사량 추정신뢰도

2013년 8월부터 2015년 7월까지 매일 0600, 0900, 1200, 1500, 1800 하늘상태자료를 중앙값에 의해 운량으로 변환하고 이들을 산술평균 하여 일별 전운량을 얻었다. 계산한 전운량을 앞서 선정된 대수함수 기반의 경험식에 넣어 대관령, 북강릉, 부산 지점에 대한 매일의 일조시간을 추정된 결과, 실측값과 비교한 ME는 대관령과 부산은 0.08시간, 북강릉 0.42시간이었고, RMSE는 대관령 1.66시간, 북강릉 1.71시간, 부산 1.50시간으로 나타났다(Table 3). 관측자료를 기반으로 도출된 운량-일조율 관계식은 일조시간을 다소 과소추정(ME -0.11시간)하는 경향이 있었으나, 실측값 대신 하늘상태를 적용함으로써 일부 과대추정 경향을 나타내었다.

지점별로 추정된 2년치의 일조시간을 토대로, Choi *et al.*(2010)의 a , b 회귀계수를 이용하여 일사량을 산출하여 관측치와 비교하면, 대관령은 ME $0.62 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, RMSE $2.74 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 이었고, 북강릉은 ME $1.18 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, RMSE $3.03 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, 부산은 ME $0.21 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, RMSE $2.50 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 으로, 평균 $2.76 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 의 오차를 나타내었다(Table 3). 북강릉은 타 지점에 비해 일사량이 과다추정되는 경향이 강하여, 상대적으로 오차가 더 크게 나타났다. 대관령에서도 평균 $0.62 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 정도는 일사량이 과다하게 추정됨을 확인하였다. 과다추정 경향은 일사량이 적은 경우에 두드러지는데 관측 일사량이 $8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 이하에서는 대부분 실측치에 비해 더 높게 모의되었다(Fig. 4). 기상청 하늘상태 뿐만 아니라, 강수량 또는 강수 유무를 활용하여 비가 오는 날의 예외 처리를 하는 등의 추가적인 보완을 하여 과다추정현상을 감소시킬 필요가 있다.

**Fig. 4.** Performance of the sky condition - based solar radiation estimation method at 3 locations in South Korea (Daegwallyeong, Bukgangneung, and Busan).

3.5. 일조시간 및 일사량 분포도 제작

하늘상태 기반 5km 격자의 운량 분포도를 이용하여 남한 전역 일조시간 분포를 계산하고 식 (1)에 의해 수평면 일 적산일사량 분포도로 변환하였다. 5km 격자의 수평면 일 적산일사량은 Yun(2009)의 경사면과 수평면 간 상대일사수광비율을 적용한 지형보정기법을 통해, 30m 격자해상도의 경사면 일사량으로 상세화하였다. Fig. 5는 2015년 5월 1일에 대해 0600, 0900, 1200, 1500, 1800의 동네예보 하늘상태 자료(Fig. 5, A)를 기반으로 한 운량 분포(Fig. 5, B)를 이용하여 5km 격자해상도의 일조시간을 모의하고(Fig. 5, C), 공간내삽에 의해 추정된 식 1의 a , b 회귀계수에 의해 일조-일사 관계식을 적용하여 수평면 일사량(Fig. 5, D)을 추정한 것이다. 모의결과에 따르면 이 날 한반도 지역의 일 적산 수평면 일사량은 최소 $17.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 에서 최대 $26.6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 까지 넓게 분포하였으며, 경남 지역은 구름의 영향으로 상대적으로 일사량이 낮게 나타났다.

나아가 Yun(2009)의 지형보정 기법에 의해 30m

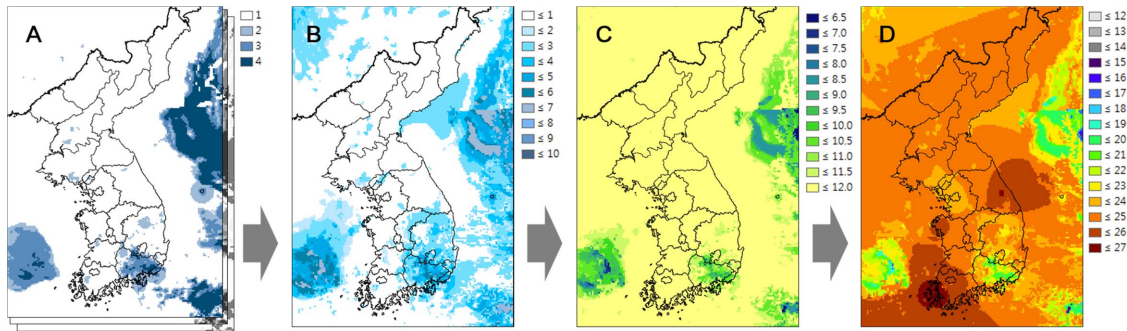


Fig. 5. A step-by-step procedure for generating maps for the solar radiation (D) from the sky condition (A). Panels B and C indicate the cloud amount and sunshine duration, respectively. This example applies to 1 May 2015.

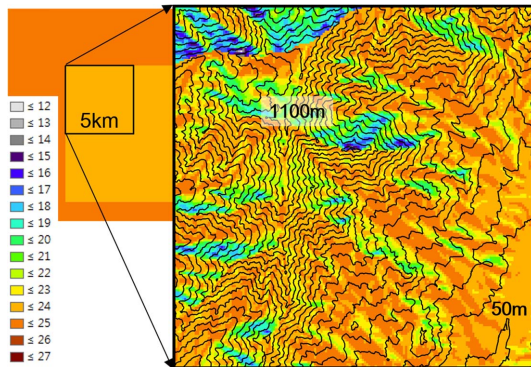


Fig. 6. A sample map of solar irradiance distribution at a 30 m resolution over a complex terrain. This example uses the solar radiation generated from the sky condition on 1 May 2015 and corrected for the topography depicted by the elevation contours at 50 m intervals.

격자해상도의 경사면 일사수광량을 모의하였다(Fig. 6). 경남 하동군에서 가로×세로 5km의 기상청 동네예보 격자 하나에 해당하는 영역(하동 악양면과 화개면)을 확대해보면, 한 격자 내에서도 해발고도 50m 이하와 1,000m 이상의 다양한 고도와 경사면을 포함하고 있는데, 남향사면이 북향사면에 비해 더 일사량이 많은 현상을 지형에 따라 상세하게 나타내고 있어 복잡지형에서도 농장과 과원이 위치한 경사면의 일사수광량 정보를 현실에 더 가깝게 제공할 수 있을 것이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 기상청에서 제공하지 않는 일사량 및 일조시간을 대신하여 동네예보 하늘상태를 운량으로 변환하고, 운량-일조율 관계를 도출하여 일조시간을 추

정하며, 일조-일사 관계 경험식에 의해 일 적산 수평면 일사량을 모의하는 과정을 제시하였다.

기상청 국가기상위성센터에서는 천리안 위성영상을 물리모델에 의해 지표도달일사량으로 변환하여 제공하고 있는데, 2011년 5월부터 2012년 4월까지의 일년간 남한 18지점의 수평면 일사량 관측자료와 비교한 결과 RMSE의 평균이 $908.7 \text{ Wh m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 인 것으로 보고되었다(Lee *et al.*, 2013). 이를 단위면적당 MJ로 환산할 경우 $3.27 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 이므로 본 실험에서 하늘상태를 이용하여 추정된 수평면 일사량의 신뢰도가 위성영상으로부터 추정된 일사량과 거의 비슷하거나 약간 나은 것으로 판단된다. 더욱이 위성영상 처리에 의한 일사정보의 제공은 동네예보에 비해 시간지연이 심해 영농활용 측면에서 실용성이 떨어지므로 하늘상태를 이용하는 우리의 방법이 현재로서는 유일한 대안이라 할 수 있다.

나아가 5km 격자단위의 수평면 일사량에 지형효과를 반영함으로써 30m 격자해상도로 상세화 할 수 있었으며, 만일 여기에 아파트단지, 산업시설, 도시의 인공구조물이나 교목 등 주변 경관에서 지형 외 영향요인까지 반영한다면 실제와 더욱 가까운 일사량 예측이 가능할 것으로 보인다. 기상청에서 발표하는 동네예보를 최대한 활용하는 선에서 일조시간 및 일사량을 상세하게 모의한다면 동네예보 선행기간만큼 농작물의 생육 및 일소, 일조부족 등의 기상재해를 사전에 예측하는 데 기여할 수 있을 것이다.

적 요

일조시간 및 일사량은 작물생육에 중요한 기상요소

이지만 기상청 동네예보 항목에 없기 때문에 3시간 간격 ‘하늘상태’를 활용하여 일조시간 및 수평면 일사량을 추정하는 방법을 고안하였다. 기상청 동네예보의 3시간 간격 ‘하늘상태’ 자료를 수집하고 전국 22개 일사관측 기상대의 동시간대 실측 운량과 비교하여 ‘하늘상태’의 4단계 격자값 ‘맑음(1)’, ‘구름조금(2)’, ‘구름많음(3)’, ‘흐림(4)’을 0부터 10까지의 운량으로 변환하였다. 22개 일사관측 기상대의 일 평균운량 0인 날에 대하여 일조율을 비교하여 관측여건이 가장 좋은 3개 지점을 선정하였다. 선정된 지점의 3년치 운량과 일조시간 실측자료로부터 운량-일조시간 추정식을 도출하였으며, 이 식에 의해 추정된 일조시간값으로 Angstrom-Preseott 모형을 구동하여 수평면 일사량을 산출하였다. ‘하늘상태’ 기반으로 추정된 일조시간 및 일사량을 3 지점에서 2년간 실측자료와 비교한 결과 RMSE 기준 일조시간 추정오차는 1.5~1.7 시간, 일사량 추정오차는 2.5~3.0 MJ m⁻² day⁻¹ 이었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ010007)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Almorox, J., B. Benito, and C. Hontoria, 2005: Estimation of monthly Angstrom-Preseott equation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain. *Renewable Energy* **30**, 931-936.
- Cho, H. M., K. W. Chung, and C. H. Cho, 1987: The relationship between the amount of solar radiation at ground level and related meteorological parameters. *Journal of Korean Meteorological Society* **23**, 26-34. (In Korean with English abstract)
- Choi, M. H., J. I. Yun, U. Chung, and K. H. Moon, 2010: Performance of Angstrom-Preseott coefficients under different time scales in estimating daily solar radiation in South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **12**(4), 232-237. (In Korean with English abstract)
- Christopher, B. S., 2006: *Introduction to Mathematical Modeling of Crop Growth*. Brown Walker Press, 256pp.
- Jo, D. K., and Y. H. Kang, 2008: A study on estimating solar radiation in relation to meteorological parameters. *Journal of the Korean Solar Energy Society* **28**, 1-6. (In Korean with English abstract)
- Jo, D. K., and Y. H. Kang, 2010: A study on the solar radiation estimation of 16 areas in Korea using cloud cover. *Journal of the Korean Solar Energy Society* **30**, 15-21. (In Korean with English abstract)
- Lee, J. H., W. S. Choi, Y. I. Kim, C. Y. Yun, D. K. Jo, and Y. H. Kang, 2013: Estimation of global horizontal insolation over the Korean Peninsula based on COMS MI satellite images. *Korean Journal of Remote Sensing* **29**(1), 151-160. (In Korean with English abstract)
- Lee, K. H., and K. Y. Sim, 2010: Analysis and calculation of global hourly solar irradiation based on sunshine duration for major cities in Korea. *Journal of the Korean Solar Energy Society* **30**, 16-21. (In Korean with English abstract)
- Podesta, G. P., L. Nunez, C. A. Villanueva, and M. A. Skansi, 2004: Estimating daily solar radiation in the Argentine Pampas. *Agricultural and Forest Meteorology* **123**, 41-53.
- Song, Y. Y., M. Y. Park, S. J. Yang, and D. H. Sagong, 2009: Influence of air temperature during midsummer on fruit sunburn occurrence in ‘Fuji’/M.9 apple tree. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **11**(4), 127-134. (In Korean with English abstract)
- Yun, J. I., 2009: A simple method using a topography correction coefficient for estimating daily distribution of solar irradiance in complex terrain. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **11**(1), 13-18. (In Korean with English abstract)
- Yun, J. I., 2010: Agroclimatic maps augmented by a GIS technology. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **12**(1), 63-73. (In Korean with English abstract)
- Yun J. I., 2014: Agrometeorological early warning system: A service infrastructure for climate-smart agriculture. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **16**(4), 403-417. (In Korean with English abstract)
- Yun, J. I., S. O. Kim, J. H. Kim, and D. J. Kim, 2013: User-specific agrometeorological service to local farming community: A case study. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **15**(4), 320-331. (In Korean with English abstract)
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2010: 2010 이상기후 특별보고서. 114pp.
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2011: 2011년 이상기후보고서. 144pp.
- NIMR (National Institute of Meteorological Research), 2012: 예보기술지원 및 활용연구 IV 초단기, 단중기 예보능력 향상연구. Korea Meteorological Administration. 551pp.
- 김연희, 구해정, 남재철, 오성남, 2004: The estimation method of sunshine duration based on cloudiness. *Proceeding of the 38th Meeting of KOSAE, 2004*, Korean Society for Atmospheric Environment, 469-470. (in Korean)
- 서영경, 최준태, 주상원, 2010: 기상청 전지구 예보모델 (UM N320 L50) 기반 하늘상태 MOS 예보 가이드스

개발 및 유용성 검증. *Proceedings of the Autumn Meeting of KMS, 2010*, Korean Meteorological Society, 188-189. (in Korean)
서영경, 최준태, 이진아, 정현숙, 2012: 동네예보지원을 위

한 통계모델(MOS) 개선: 단기 하늘상태, 주간 기온. *Proceedings of the Autumn Meeting of KMS, 2012*, Korean Meteorological Society, 110-111. (in Korean)