

기상청 동네예보의 '하늘상태'와 실측 일사량 관계

김수옥*

국가농림기상센터

Relationship between the Measured Solar Radiation and the “Sky Condition” of Digital Forecast Products from the Korea Meteorological Administration

Soo-ock Kim*

National Center for Agro-Meteorology (NCAM), Seoul, Korea

I. 서 언

농업부문의 기상이변 대응 방안 중 하나로 기상위험에 대한 조기경보 시스템이 시범적으로 구축되고 있다(Yun, 2014). 작물의 기상재해 예측을 위해서는 작목·품종에 따른 발육단계와 기상위험수준을 정량적으로 판단할 기상정보가 필요한데, 이 시스템은 기상청에서 제공하는 5km 격자해상도의 '동네예보'(KLAPS, Korea Local Analysis and Prediction System)를 기반자료로 이용한다(Yun *et al.*, 2013). 기상요소 가운데 일사량은 작물생육모형의 주요한 입력 자료이며(Christopher, 2006), 부족할 경우 작물의 생육이 부진하거나 고사하는 피해가 발생하지만(기상청, 2010; 2011), 지나치게 강한 일사는 과실의 일소피해와 관련이 있다(Song *et al.*, 2009). 그러나 일사량은 동네예보 목록에 빠져있고 대신 '하늘상태'가 제공된다. 기상청의 '운량'이 구름의 양을 0부터 10까지의 계급으로 구분한 것이라면, 하늘상태는 운량값 0에서 2까지를 '맑음(1)', 운량 3~5를 '구름조금(2)', 운량 6~8을 '구름많음(3)', 운량 9~10을 '흐림(4)' 등으로 대체한 것이다. 동네예보 생산에는 관측지점값과 수치모델자료간의 통계적 관계인 MOS (Model Output Statistics) 기술이 이용되고 있는데, 하늘상태는 관측지점이 적은 관계로 한반도 전 지역을 대표하는 통계 관계를 적용한 GOE (Generalization of Equation) 방법으로 산출된다(서 등, 2010; 2012). 또한 동네예보의 실황 하늘상태는 KLAPS에서 분석된 구름 정보와 합성강수량 및 관측지점의 자료로부터 동네예보와 마찬가지로 1~4의 값으로 산출된다(기상청, 2012).

김 등(2004)은 운량자료를 기반으로 월별 일조시간을 추정할 수 있는 통계적 기법을 제시하였고, Jo and Kang(2010)은 운량과 일사량의 경험식으로 국내 16개 지점의 일사량을 예측하였으며, Kim and Choi(2014)는 운량과 일조시간 간의 관계를 도출하여 운량-일조 관계식을 작성하였다. 또한 일조시간으로부터 일사량을 추정하는 방법으로 Angstrom-Prescott 모형이 널리 알려져 있으므로(Angstrom, 1924; Prescott, 1940), 운량값을 알면 일조시간은 물론 일사량까지 추정할 수

* Correspondence to : tolee7785@hanmail.net

있다. 따라서 기상청의 하늘상태 예보자료를 운량 대신 활용할 수 있다면, 관측하지 않는 지역 또는 예보기간의 일조시간 및 일 적산일사량을 5km 격자해상도로 유추해낼 수 있을 것이다.

본 연구에서는, 하늘상태 격자자료가 운량을 더욱 간소하게 표현한 것이지만 시간대별 하늘상태를 일 평균한다면 운량을 일평균운량을 대신할 수 있을 것으로 간주하였다. 운량과 일조시간 간의 관계식을 작성한 다음, 하늘상태 자료를 운량으로 변환하여 일조시간을 추정하고, 이것을 다시 Angstrom-Prescott 모형을 통해 일사량으로 변환한 후 관측값과 비교하였다. 하늘상태는 KLAPS의 동네예보 실황(0시)을 이용하였으며, 이 하늘상태 자료가 실제 일조시간 및 일사량을 얼마나 설명할 수 있는지를 확인하였다.

II. 재료 및 방법

2.1 하늘상태를 이용한 일 평균운량 산출

동네예보는 3시간 간격(00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21시), KLAPS는 1시간 간격의 시간해상도를 가지고 있으나 동네예보와의 연속성을 위해 KLAPS 격자자료를 3시간 간격으로 수집하였다. 수집기간은 2013년 8월 1일부터 2014년 12월 31일까지이며, 자료 포맷은 기존 GRIB 에서 GIS 프로그램에서 활용하기 편리한 GeoTiff로 변환하였다. 하늘상태 값 1~4는 맑음($0 \leq x \leq 2$), 구름조금($3 \leq x \leq 5$), 구름많음($6 \leq x \leq 8$), 흐림($9 \leq x \leq 10$)의 각각 운량 중앙값인 1, 4, 7, 9.5로 간주하였다. 하늘상태자료를 활용하는 궁극적인 목표는 일조시간 및 일사량을 추정하기 위한 것이므로 야간의 운량은 제외하고 06, 09, 12, 15, 18시까지 주간 하늘상태만 사용하여 매일의 평균운량을 계산하였다.

2.2 운량을 이용한 일조율 추정

일조시간은 절기에 따라 달라지므로 가조시간으로 나눈 일조율(%)로 계산하여, 일 평균운량과의 관계를 나타내었다. 운량-일조율의 관계식은 logarithmic function을 채택, 식 1과 같이 표현하였다. 운량 x 가 0일 경우 일조율 y 가 최대값(M)을 나타내며 운량이 증가할수록 일조율은 점차 감소한다.

$$y = M - k \cdot x^A \quad (1)$$

모수 M 과 k , A 는 실측운량과 일조시간을 바탕으로 SAS의 비선형 회귀 분석 기법을 통해 도출하였다. 실측자료는 일 적산일사량과 일조시간을 안정적으로 관측하는 기상관서 중, 우리나라 남부 지역 중 곡창지대인 호남평야 부근에 위치한 전주기상지청 및 광주지방기상청, 그리고 남부지역의 진주기상대 3지점을 선정하여 2012년 1월 1일부터 2014년 12월 31일까지의 관측값을

이용하였다. 운량의 경우, 주간에 해당하는 06, 09, 12, 15, 18시의 운량만을 평균하였다. 관측된 운량 및 일조시간은 A, B 두 그룹으로 구분하였는데, 2012년 1월 1일을 A, 2일을 B, 3일을 다시 A에 넣는 방식을 이용하였다. A 그룹의 운량과 일조시간은 운량-일조율 관계식을 도출하는데 활용하였고, 그룹 B로는 관계식을 검증하였다.

2.3. Angstrom-Prescott 모형

Angstrom-Prescott 모형은 월별 또는 일별 일조시간만으로 전천일사량을 추정할 수 있으며, 국내에서도 지역맞춤 A-P 회귀계수를 도출한 사례가 많다(Cho *et al.*, 1987; Jo and Kang, 2008; Lee and Sim, 2010; Choi *et al.*, 2010). 일 단위 자료에 근거하여 A-P 계수를 도출한 Choi *et al.* (2010)는 기상관서 18지점에 대해 1983-2007 기간의 일사량 및 일조시간 자료를 토대로 한 회귀계수 a , b 를 제시하였으며, 이 중 진주와 광주, 전주 지점의 계수를 하늘상태 기반 일사량 예측에 활용하였다. 수평면 일 적산일사량 Q 는

$$Q = \left(a + b \frac{S}{S_0} \right) \times Q_0 \quad (2)$$

식 2에 의해 추정되며, S 는 일조시간, S_0 는 가조시간, Q_0 는 대기외일사량이다.

2.4. 일조시간 및 일사량 추정신뢰도 검증

실측운량 및 하늘상태를 기반으로 한 일조시간 및 일사량 추정신뢰도를 광주, 전주, 진주 지점에 대해 검토하였다. 식 1에 의해 일조율을 추정된 후 가조시간을 곱하여 일조시간을 얻었고, 추정된 일조시간을 식 2에 넣어 일사량으로 변환하였다. 추정된 값은 실측자료와 비교하여, ME (mean error), RMSE (root mean square error)를 계산하였다.

III. 결 과

3.1 실측운량과 일조율 관계

광주, 전주, 진주 세 지점의 운량과 일조율(일조시간/가조시간) 관계는 Fig. 1과 같다. 가조시간은 완전한 수평면에 햇빛이 비치는 시간을 매일의 태양 궤적에 근거하여 계산한 것이며, 관측된 일조시간은 구름과 안개는 물론 주변 지형지물에 의해 가조시간보다 더 짧아진다. Fig. 1은 일조시간에 영향을 미치는 기상요인 중 운량에 대해 일조율과의 관계를 광주(blue ex), 전주(red star), 진주(black circle) 세 지점에 대해 나타낸 것으로(그룹 A), 광주 지점은 전주에 비해 최대 일조율이 약간 더 높은 경향을 보였으나 전반적으로 세 지점의 운량-일조율 관계는 유사

하게 나타났다. 세 지점의 일별 운량과 일조율로 도출한 식 1의 모수는 Table 1과 같다.

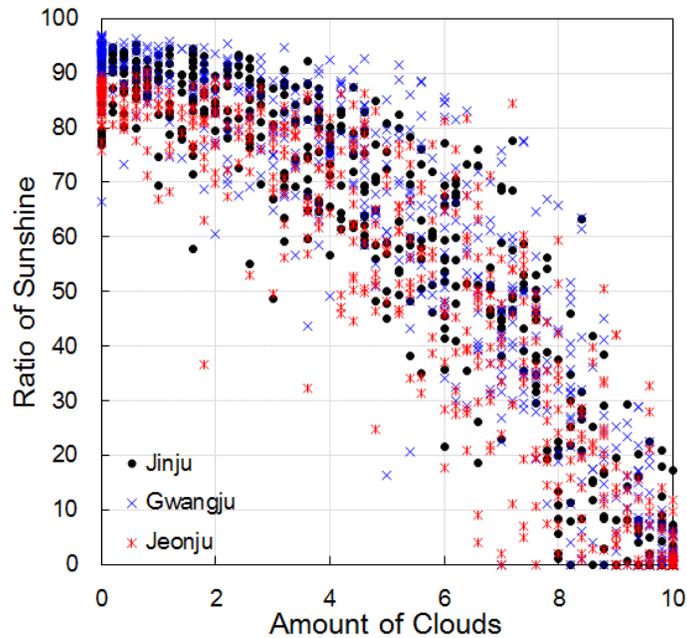


Fig. 1. 광주(blue ex)와 전주(red star), 진주(black circle)의 운량과 일조시간 관계.

Table 1. 광주, 전주, 진주 지점의 1.5년(2012-2014년 중 절반) 동안 운량 및 일조시간으로 도출한 관계식(식 1) 모수

	M	k	A
Value	87.3026	0.9581	1.9602

3.2 실측운량 기반 일조시간 및 일사량 추정신뢰도

그룹 B의 실측운량 자료를 운량-일조율 관계식(식 1)에 넣어 일조시간을 추정, 실측값과 비교한 결과, 광주의 경우 ME는 -0.35시간, RMSE는 1.47 시간이었고, 전주는 ME와 RMSE 각각 0.36, 1.49 시간, 진주는 ME -0.13, RMSE 1.17 시간이었다(Table2). 또한 추정된 일조시간으로 식 2에 의해 계산된 일사량의 추정오차는, 광주의 경우 ME 0.42, RMSE 2.36 MJ/m², 전주는 ME 0.33, RMSE 2.53 MJ/m² 이었으며, 진주는 ME -0.83, RMSE 2.51 MJ/m² 이었다. 일조시간은 진주 지점의 추정오차가 상대적으로 작았으나, 일사량은 광주 지점의 RMSE가 비교적 더 작았다. 진주의 경우, 일조시간에서 일사량을 추정하면 타 지점에 비해 RMSE가 증가되었고 과소추정 경향이 커졌으며, 광주의 경우, 타 지점에 비해 일조시간이 과소추정되는 경향을 보였지만, 일사량을 계산하였을 때에는 상대적으로 과대추정되었다. 일조시간에서 일사량으로 변환될 때 A-P 계수로 인해 추정오차 경향이 달라지는 것으로 보이며, 추정오차가 증가되는 것을 방지하

기 위해서는 최근 10년의 일조시간, 일사량의 검토가 필요할 것으로 사료된다.

Table 2. 진주, 광주, 전주 지점의 실측운량 기반 일조시간 및 일사량 추정신뢰도

	Hours of sunshine (hour)			Solar radiation (MJ/m ²)		
	Gwangju	Jeonju	Jinju	Gwangju	Jeonju	Jinju
ME	-0.35	0.36	-0.13	0.42	0.33	-0.83
RMSE	1.47	1.49	1.17	2.36	2.53	2.51

3.3 하늘상태 기반 일조시간 및 일사량 추정신뢰도

운량을 KLAPS ‘하늘상태’로 대체할 경우 일조시간 추정 신뢰도는 진주의 경우, ME -0.42, RMSE 1.68시간, 광주는 ME 0.32, RMSE 1.61시간, 전주는 ME 0.02, RMSE 1.38시간으로, 운량을 실측값에서 하늘상태로 변경함에 따라 ME는 증가 또는 감소하였으나 전반적인 오차는 모두 증가하였는데, RMSE가 실측운량 조건 대비, 광주, 전주, 진주 지점 각각, 14%, 8%, 18% 늘어난 것이다. 일사량 역시 ME는 증가 또는 감소하였으나 RMSE는 광주, 전주, 지점 각각 2.60, 2.71, 2.66 MJ/m² 으로 실측운량 대비, 각각 10%, 7%, 6% 증가하였다.

Table 3. 진주, 광주, 전주 지점의 하늘상태 기반 일조시간 및 일사량 추정신뢰도

	Hours of sunshine (hour)			Solar radiation (MJ/m ²)		
	Gwangju	Jeonju	Jinju	Gwangju	Jeonju	Jinju
ME	-0.42	0.32	0.02	0.34	0.73	-0.64
RMSE	1.68	1.61	1.38	2.60	2.71	2.66

하늘상태 자료를 이용하여 운량-일조율 관계식으로 일조시간 및 일 적산일사량을 추정할 경우, 실측운량에 비해 오차가 증가되는 양상이 모든 분석지점에서 나타났으나, 일조시간에 비해 일사량의 오차 증가율은 상대적으로 작았다. RMSE의 변동은 일조시간의 경우 0.12~0.21시간 (약 7~13분) 증가, 일사량은 0.15~0.24MJ/m² 정도로, 운량 관측값이 없는 지역 및 시간대에 하늘상태를 대신 적용하여도 무리는 없을 것으로 판단된다. 국가기상위성센터에서 천리안위성 영상을 토대로 Kawamura 물리모델식으로 추정된 수평면일사량의 경우, 우리나라 18개 기상관측지점 전체 RMSE가 3.27MJ/m²로 나타나(Lee *et al.*, 2013), 본 실험에서 제시한 방법은 실용적인 신뢰도를 갖췄다고 판단되며, 각종 농작물 생육 및 일소, 일조부족 등을 며칠 더 앞당겨 예측하는데 이용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ010007)에 의해 이루어진 것임.

인용문헌

- 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.
- Choi, M. H., J. I. Yun, U. Chung, and K. H. Moon, 2010: Performance of Angstrom-Prescott coefficients under different time scales in estimating daily solar radiation in South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **12**(4), 232-237.
- 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.
- 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.
- Kim, S. O., and Y. J. Choi, 2014: Estimating solar irradiance over a mountainous catchment from the KMA forecast product 'Sky Condition'. *15th Conference on Agricultural and Forest Meteorology*, 216-220.
- 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.
- 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.
- 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. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **11**(4), 127-134.
- 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.
- 기상청, 2010: 2010 이상기후 특별보고서. 114pp.
- 기상청, 2011: 2011년 이상기후보고서. 144pp.
- 기상청, 2012: 예보기술지원 및 활용연구 IV 초단기, 단·중기 예보능력 향상연구. 기상청 국립기상연구소. 551pp.
- 김연희, 구해정, 남재철, 오성남, 2004: 운량 자료에 기반한 일조시간 추정 기법. *2004 대기환경학회 추계학술대회 논문집*. 469-470.
- 서영경, 최준태, 주상원, 2010: 기상청 전지구 예보모델(UM N320 L50) 기반 하늘상태 MOS 예보 가이던스 개발 및 유용성 검증. *2010 한국기상학회 가을학술대회 논문집*, 188-189.
- 서영경, 최준태, 이진아, 정현숙, 2012: 동네예보지원을 위한 통계모델(MOS) 개선: 단기 하늘상태, 주간 기온. *2012 한국기상학회 가을학술대회 논문집*, 110-111.