

기상청 동네예보의 국지상세화에 의한 영농활용도 제고

김수옥*

국가농림기상센터

Improving Usage of the Korea Meteorological Administration's Digital Forecasts in Agriculture

S. O. Kim*

National Center for Agro-Meteorology, Seoul National University

I. 서 언

기상청의 보고에 따르면 최근 급증하고 있는 기상이변은 전지구적인 기후변화와 관련이 있어 이러한 추세는 상당기간 지속될 것으로 보인다 (KMA 2010; 2011; 2013). 이로 인한 농업부문의 직접적인 피해와 과도한 복구비용은 농가소득 감소와 지역경제 침체로 이어져 만성적인 사회문제가 될 수도 있지만, 농업생산구조를 강화하거나 저항성 품종을 육성하는 등 대응책 마련에는 돈과 시간이 많이 소요되어 현실적으로 쉽지 않다.

선진국의 경우 위험기상과 그로 인한 재해 조기경보서비스를 기후변화 단기적응대책의 핵심으로 선정하고 실용화를 서두르고 있는데, 예를 들어 미국 남동부 주를 중심으로 한 기후위험관리협력체인 SECC (South East Climate Consortium)에서 농업분야의 기상위험 감소와 소득증대를 위해 기후전망에 근거한 웹 기반의 의사결정 지원 시스템인 AgroClimate을 구축하였다 (www.agroclimate.org). 이미 2004년부터 시작된 AgroClimate은 농가 및 농업관련 종사자들에게 장기예보(seasonal forecasts)와 기후전망(climate outlook)은 물론, 예보된 기상조건에 따라 작황, 동상해, 병해충, 가뭄, 냉난방도일 등 농업기상예보(agrometeorological forecasts)를 생산하여 웹 지도서비스로 제공한다 (Fraisie *et al.*, 2006; Breuer *et al.*, 2008).

우리나라도 2005년부터 기상청에서 '동네예보'란 이름으로 5km×5km 격자 해상도에서 3시간 간격으로 최대 48시간의 선행기간을 가진 디지털정보를 제공하고 있다. 만약 이를 이용한 농업 기상서비스가 실용화 된다면 당장 기상위험으로 인한 농가피해를 경감하는 데 도움이 되어 중장기적인 농업부문 기후변화 적응기술 개발에 시간을 벌어줄 수 있다. 그러나 기상청 제공자료(동네예보, KLAPS) 분해능은 사방 5km 로서 평야지에서는 별 문제가 없지만 산간지에서는 실제와 큰 차이가 발생할 수 있다. 예를 들어, 복잡지형의 기온 분포가 표고차에 의해서도 달라지지만, 한낮 사면과 태양위치 간 기하학적 관계로 인한 수광량(surface irradiance) 차이로 최고기온 분포가 달라지며(Seo *et al.*, 2008; Chung *et al.*, 2009a; Kim and Yun 2013), 야간에는 지형적

* Correspondence to : tolee7785@hanmail.net

인 영향으로 저지대, 하천변, 골짜기 등에 냉기가 유입되어 농작물에 저온피해를 입히게 된다 (RDA, 2011; Han *et al.*, 2009; Hwang *et al.*, 2010). 즉 지형이 복잡한 곳에서는 다양한 국지기후가 발현될 수 있어 KLAPS 및 동네예보로는 안전하다고 판단되는 지역 내 농장이나 과원에서 예상 밖의 재해위험이 있을 경우가 있다. 복잡지형의 국지적 기상위험을 파악하여 미리 알려주는 일은 기후변화에 대응하기 위한 농업부문 조기경보시스템의 핵심이라 할 수 있으므로, 격자 규모보다 작은 지형특성을 동네예보에 반영하기 위한 보정기법이 절실하다.

본 연구에서는 복잡지형인 지리산 부근 농산촌에 대하여 기상청의 실황/예보자료만으로는 설명되지 않는 국지기상을 집수역 단위 소기후모형을 기반으로 필지단위 동정이 가능할 정도로 상세화하여 농업기상서비스 개선에 기여하고자 하였다.

II. 일 최저기온

기상청의 동네예보 및 KLAPS(실황) 5km×5km 격자의 0600 기온을 30m×30m 격자 해상도로 상세화하는 것은, 우선 5km 격자의 0600 및 1400 기온을 모형의 초기 입력자료(배경기온)로 변환하는 과정에서부터 시작된다. 5km 격자자료를 집수역 경계(분수령)와 중첩하였을 때, 집수역 안에 포함되는 격자의 면적비율에 따라 계산된 공간평균 값이 대상지역의 배경기온이 된다. 여기에 30m×30m 격자 해상도의 DEM (digital elevation model)으로 표준대기 기온감률(-0.65℃/100m)에 따라 해발고도차 보정을 수행한다. 여기에 냉기집적으로 인한 기온하강과 산중턱의 온난대 효과를 적용하는데 구체적인 모의 과정은 다음과 같다.

지표냉각으로 인해 기온역전이 발생한 시기에는 기준점 또는 기준면으로부터 해발고도에 따라 단순 기온감률을 적용할 경우, 높은 고도에서는 실제 기온보다 더 낮게 기온이 추정되며 이를 식 (1)과 같이 온난대 효과(E1)로 보정한다(Chung *et al.*, 2006). 또한 지표의 찬 공기가 낮은 쪽으로 흘러 계곡부나 저지대에 집적되는 현상을 냉기집적량으로 표현하는데, Kim and Yun (2011)은 Chung *et al.* (2006)의 산간 냉기류와 폐쇄집수역에서 발생하는 냉기호를 결합하였다. 또한 Kim *et al.* (2012)는 야간에 냉기호 지대에서 사면에서 흘러내리는 서로 다른 풍향의 사면 활강류가 계곡 바닥에서 수렴되는 과정에서 상부의 따뜻한 공기가 냉기호 내부로 혼입되어 냉기호 효과를 상쇄시키는 현상을 정량화하였으며, 식 (2)와 같이 기존 냉기집적효과(℃)에 풍속에 따른 감쇄분(℃)을 결합하였다.

$$E1 = \left(\frac{R}{R_{\max}} \right) \times I_{\max} [1 - \exp\{-0.01(Z - Z1)\}] \quad (1)$$

$$E2 = \left(\frac{R}{R_{\max}} \right) \times \{a \log_{10}(CFA_5 + CAP_i) - 2U_2\} \quad (2)$$

위 식에서 I_{max} 는 해당 집수역에서 관찰된 최대역전강도, Z 는 기온추정이 필요한 지점의 해발고도, $Z1$ 은 온난대의 시작고도이자 최대 냉기집적량이 CAP 인 냉기호의 ‘수면’에 해당하는 고도, CFA_5 는 냉기호 외부에서 지형경사에 의해 생기는 냉기류이다. a 는 집적된 냉기량을 기온으로 변환하기 위한 경험상수이고 R_{max} 는 일교차 최대값으로, 매일의 일교차(R)에 따라 온난대 및 냉기집적효과의 세기가 조절된다 (Kim and Yun, 2011). U_2 는 지상 2m에서 관측된 60분 평균풍속이며 풍속효과에 의한 승온은 냉기집적효과를 벗어날 수 없다(Kim *et al.*, 2012).

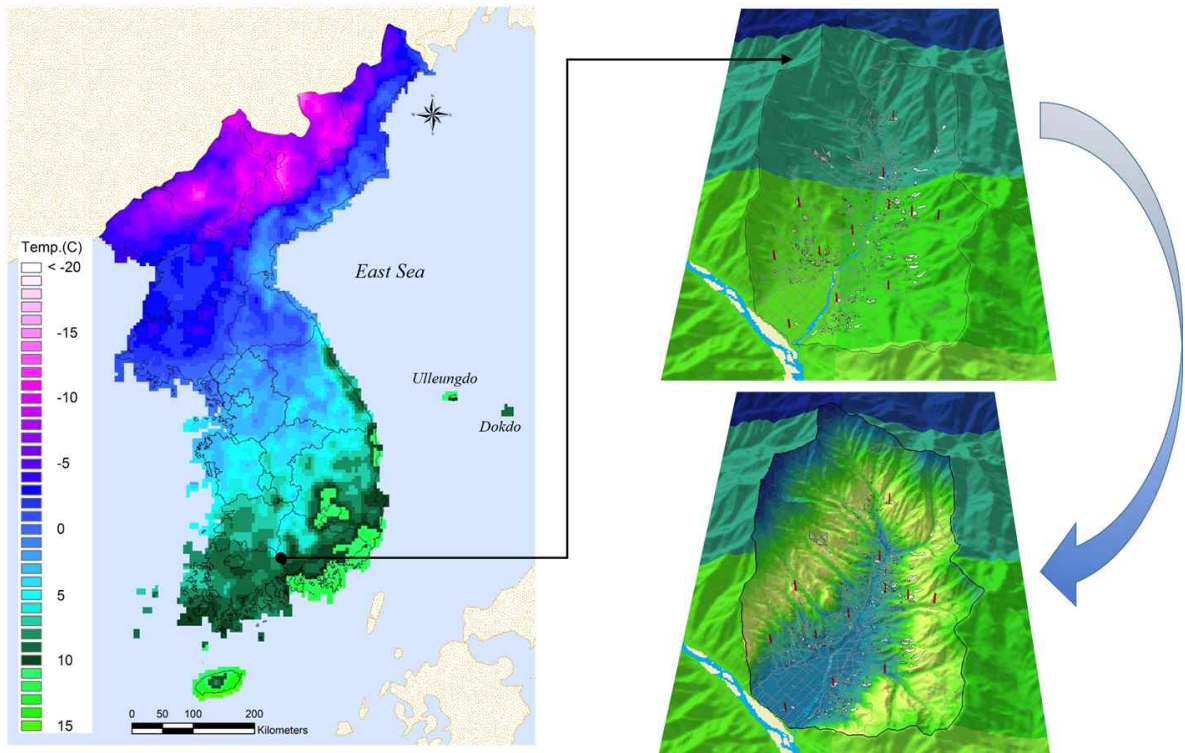


Fig. 1. Digital mesoscale forecast issued by KMA for the 2m air temperature at 0600 LST 1 March 2013(Left) and comparison of the geospatially corrected local scale forecast (bottom layer) and the uncorrected mesoscale forecast(top layer).

III. 일 최고기온

산악 등 복잡지형에서 발생하는 일사효과를 정량적으로 추정할 수 있는 모형으로서 캐나다 산림청에서 개발한 BioSIM이 대표적이다. 이 모형에서는 임의 사면의 1100부터 1500까지 4시간 동안의 적산 일사수광량과 인근 기상관측소의 수평면일사량 간 편차에 의해 기상관측소의 1500 기온을 보정하여 임의사면의 기온값으로 삼는다. 이때 사용되는 보정계수 (C_f , correction factor)는 다음 식과 같이 표현된다 (Regniere, 1996).

$$C_f = v \times R \times \Delta T_R \quad (3)$$

여기서 R은 기온일교차, ΔTR 은 수평면과 경사면간 일사량 편차에 의한 기온상승분의 상한 값으로 일교차 1°C당 기온으로 표현되며 산림군락에서 0.1429로 알려져 있다. Chung *et al.*(2009a)은 4시간 동안 적산한 수평면 일사량(ϕ_0)과 경사면 일사량(ϕ)간의 차이를, 청천일사량 (clear sky radiation, S)으로 표준화한 표준수광지수 (χ , normalized slope irradiance)를 제시하였다.

$$\chi = \frac{\phi_t - \phi_0}{S} \quad (4)$$

Chung *et al.* (2009a)는 제주도 기생화산을 이용한 실험을 통해 다양한 경사면과 수평면 간 최고기온 편차, 즉 일사수광량에 의한 추정기온 보정량(C_p)은 표준수광지수 χ 의 이차함수로 표현할 하였으며 이를 토대로 Fig. 2 및 Table 1과 같이 일사효과로 인한 기온변화량을 모의하였다.

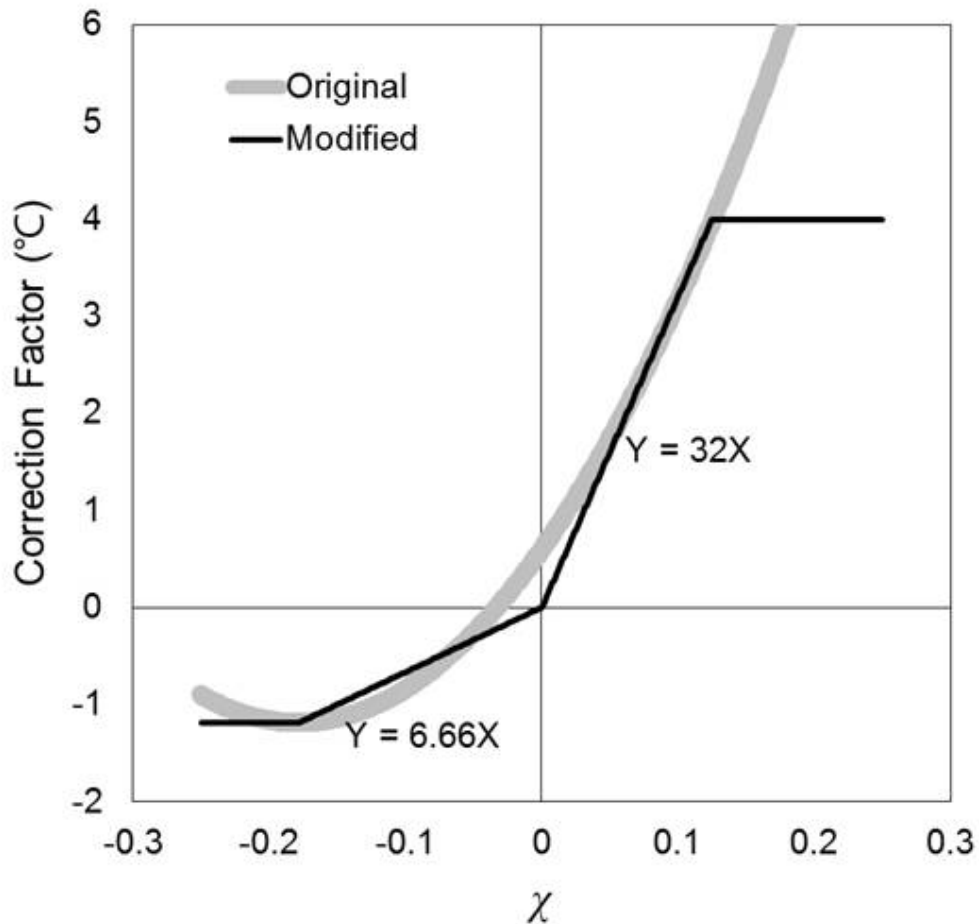


Fig. 2. Change in 1500 temperature as influenced by the 4-hour normalized differential solar irradiance between sloped surfaces and a horizontal plain on clear days (Adapted from Chung *et al.*, 2009).

Table 1. Correction factors classified by the range of normalized differential slope irradiance values

Case	NDSI	Correction factor (°C)
1	$\chi < -0.178$	$C_f = -1.2$
2	$-0.178 \leq \chi \leq 0$	$C_f = 6.66\chi$
3	$0 \leq \chi \leq 0.125$	$C_f = 32\chi$
4	$0.125 < \chi$	$C_f = 4$

만약 주변으로부터 열특성이 다른 공기주머니가 이류에 의해 기존 공기주머니를 밀어내거나 섞일 경우에는 일사효과의 감쇄가 예상된다. 이를 반영하여 표준수광지수(χ)를 이용한 기온보정 계수 C_f 를 이류가 전혀 없는 조건에서 기대할 수 있는 일사효과의 최대값으로 간주하였다. 이류가 있는 경우는 야외실험을 통해 풍속과 한낮기온 간 관계를 도출하였다 (Fig. 3).

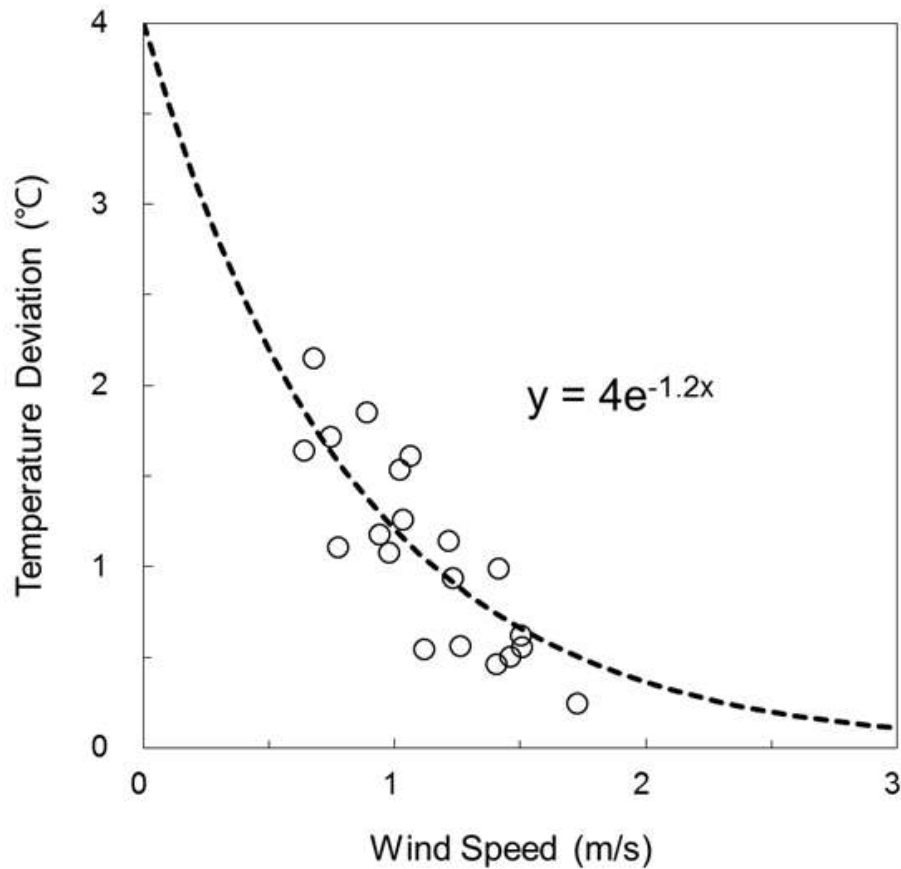


Fig. 3. Derivation of the wind-speed dependent weighting factor for correcting solar irradiance effect in daily maximum temperature estimation. The maximum rise due to solar effect is 4°C under no advection condition (mean wind speed of 0 m/s) but reduced to 2.2°C rise at 2 m/s, 1.2°C rise at 1 m/s, 0.4°C rise at 3 m/s and no temperature change at or over 3 m/s wind speed.

이를 바탕으로 수평풍속에 따라 가중치를 적용함으로써 일사효과 보정계수를 조정하는 방안을 도출하였다. 풍속가중치(f)는 해당 경사면의 표준수광지수 계산과 동일한 4시간 (1100 - 1500) 동안 평균풍속($\overline{v_4}$)을 변수로 둔 다음 식으로 모의하였다.

$$f = e^{-1.2\overline{v_4}} \quad (5)$$

IV. 일 적산강수량

기존 5km 격자 해상도의 KLPAS 자료에 기상레이더자료를 적용하여 해상도를 1km 급으로 높이는 1단계 상세화와 PRISM 기반의 공간통계기법에 의해 지형특성을 반영하는 2단계 상세화를 통해 최종 해상도를 270m까지 높이고자 하였다. 먼저 기상청에서 제공하는 KLPAS의 여러 기상요소 중 강수량에 해당되는 'RN1' 데이터를 수집하였다. 이 데이터는 1시간 간격으로 분석되는 ASCII 형태의 파일들로 이루어져 있으므로 이들의 24시간 적산에 의해 일 강수량자료를 생성하고, 이것을 공간정보시스템 상에서 처리할 수 있는 5km격자 간격의 raster 형태로 변환하고 이를 배경강수량 자료로 둔다.

강수입자로부터 산란되어 돌아오는 반사도 신호의 강도를 이용하여 1km 분해능의 강우강도를 추정할 수 있는 레이더자료는 UF (Universal Format) 형식으로 기상청으로부터 제공된다. 본 연구에서는 이것을 Radx패키지(<http://www.ral.ucar.edu/>)를 이용하여 NetCDF 형식(.nc)의 1km 해상도의 반사강도(dBZ)로 변환하였다. 반사강도는 Marshall and Palmer(1948)와 Battan(1973)이 규명한 레이더반사강도와 강우강도 사이의 관계식(Z-R 경험식, 식 (6)에 의해 강수량으로 변환된다.

$$\begin{aligned} Z &= 200R^{1.6} \\ dBZ &= 10\log_{10}Z \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 Z는 강우강도, R은 레이더 반사강도를 뜻하며, 200과 1.6은 Marshall and Palmer(1948)가 제시한 직경분포를 가지는 층상운이라는 가정하에 적용되는 계수이다(Ahn and Kim, 2003). 5km 격자의 KLPAS 강수량자료를 식 (6)에 적용하여 1km 해상도로 상세화하였다. 실제로 어떤 지역에 적용하기 위해서는 반사강도의 해당 지역 공간평균을 먼저 계산하여 각각의 1km 격자점 반사강도를 나누어주면 격자점마다 상대비율(편차지수)이 얻어진다. 또한 5km 해상도의 배경강수량(KLPAS)도 대상지역 전체 공간평균을 일별로 구해야 하며 여기에 얻어진 반사강도 편차지수를 곱해주면 1km 해상도의 강수분포를 얻을 수 있다.

Daly *et al.*(1994)이 발표한 PRISM은 산악지형에서 기후학적 강수분포의 공간변이에 미치는 지형효과를 DEM (Digital Elevation Model)과 산악강수모형의 결합으로 나타낸 것인데, 세계적인

로 강수추정에 가장 널리 사용되어 온 방법 중 하나이다. 강수량은 관측지점의 고도와 대체로 정의 상관성이 인정되는데, 산악강수모형은 해발고도가 강수량에 미치는 영향, 즉 회귀계수를 산정할 때 지표면의 경사방향이나 관측지점과의 거리 등에 따라 모형 격자점 마다 가중치를 다르게 부여한다. 우리나라에서는 5km 공간해상도로 월평균 면적강수량을 추정하는 K_PRISM이 제시되어 동네예보에 현업기술로 사용되고 있으며(Shin *et al.*, 2008), Chung *et al.* (2009b)에 의하면 관측밀도가 동일한 조건에서 단위 격자점의 크기를 5km에서 270m 해상도로 줄이기만 해도 추정오차의 감소효과가 인정된다. 본 연구에서는 레이더 반사강도에 의해 1km 해상도로 변환한 KLAPS 강수자료에 PRISM에 의한 지형효과를 반영함으로써 270m 해상도 강수분포도를 제작하였다.

V. 일적산일사량

복잡지형의 일사량은 수평면과 경사면 간의 일사량 비율을 나타내는 지형보정계수에 따라 수평면일사량을 보정하는 방법으로 모의할 수 있다(Yun, 2009). 평년기후조건에서는 안정적으로 일사량을 관측하는 표준기상관측지점으로부터 일 적산일사량을 수집하여 공간내삽을 수행한 배경일사를 수평면일사량으로 간주하였으나, 각 기상관서 사이에는 시군 규모 이상의 거리가 있기 때문에 실황조건에서 나타나는 지역에 따른 구름 유무 등의 하늘상태를 국지적으로 반영하기에는 충분하지 않다. 때문에, 천리안 위성 (Communication, Ocean and Meteorological Satellite, COMS) MI(Meteorological Imager) 자료를 이용하여 대기투과도 및 구름감쇄효과가 적용된 일사량 분석자료를 수평면일사량으로 간주하여 실황조건에서의 일사량을 산출하는 기법을 고안하였다.

천리안 위성은 2010년 6월 27일 발사된 정지궤도 위성으로, 국가기상위성센터를 통해 2011년 4월부터 기상영상기(MI, Meteorological Imager) 영상이 제공되며 지속적인 품질관리와 알고리즘 개발이 진행 중이다(<http://nmsc.kma.go.k>). 제공되는 천리안 위성자료는 레벨1 데이터와 분석자료인 레벨2 데이터로 구분되며, 그 중 표면도달일사량(Solar Insolation, INS)은 레벨1 데이터와 레벨 2 구름영상을 이용하여 Kawamura 물리모델식에 의해 산출된다(Kawamura, *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 2013). 전구 영역 표면도달일사량(W/m^2) 이진자료(HDF5 포맷)을 15분 간격으로 수집하고, 일 적산값(MJ/m^2)으로 누적하였다. 15분 간격의 일사강도를 일 적산값으로 적분하는 과정에서 일사오차가 발생할 것으로 보고, 이 적산일사량에서 기상관서 지점과 중첩되는 격자값을 실측 일사량과 비교, 대상지역과 가장 가까운 기상관서에서 계산된 오차만큼 적산일사량에 더하여 최종 배경일사, 즉 대상지역의 수평면일사량을 제작하였다. 최종적으로, 보정된 수평면일사량에 일사수광비율(Yun, 2009)을 적용하여 복잡지형의 일사수광량을 30m 격자해상도로 추정하였다.

VI. 기상실황 상세화 기법의 적용

6.1. 연구대상지역 검증관측망

연구대상지역은 해발고도 5m에서 약 1,600m에 이르기까지 평야와 산악지형을 아우르는 면적 약 340km²의 농산촌 지역으로서, 표준유역 3개(화개천, 화개천합류점, 하동2수위표)로 이루어져 있다. 행정구역으로는 경남 하동군과 전남 구례군, 광양시 일부를 포함하고 있다.

연구대상지역에 설치된 무인기상관측장비(AWS)는 기본적으로 1분 간격 측정 및 내장메모리 저장, 10분 간격 CDMA (Code Division Multiple Access) 방식 송수신에 의해 지점별 기상데이터가 제작사의 서버로 수집된다. 기상관측장비의 구성은 3m 고정형의 기상타워에 기온, 습도, 일사량, 강수량, 풍속, 풍향 등 총 6종류의 센서가 설치되며, 악양면에 설치된 12기 중 3곳(지점명: 햇차원, 상중대, 상명농장)의 AWS에는 토양수분센서가 추가로 포함된다. 기상타워의 중간 부분에는 기상자료 수집용 데이터 로거(Model STL08/X16, STA Inc., Korea)가 자료를 송수신하는 CDMA 모뎀, 태양열전열판에 의한 전원 공급용 배터리와 함께 연결되어 자료수집함 안에 보관된다. 데이터로거의 온도측정 가능범위는 -40~80℃ 내로써 데이터 측정간격이 1초~1일까지 설정이 가능하도록 되어있으며 지온, 토양수분, 일사, 풍향의 센서를 아날로그 형태로, 풍속과 강우량을 디지털 채널로 입력받는 특징을 가진다. 2010년 10월에 3지점에 AWS를 설치한 이후로, 올해 연구대상지역에 총 22기를 운영하고 있다. 또한 10분 간격으로 온도와 습도를 관측하는 간이 온습도 관측장비(HOBO Pro v2, Onset Computer Corporation, USA)를 총 7지점에 설치하였다.

6.2. 국지기상 상세화 기법의 적절성

소기후 모형을 이용한 국지기상 상세화 기법의 신뢰도는 기상관측망으로부터 수집된 실측값과 모형의 추정값을 비교하여, 각 모형의 ME (mean error)와 RMSE (root mean square error)를 통해 검증한다.

Fig. 4는 2011년 10월부터 2012년 4월까지 연구대상지역 내에서 기온을 관측한 12지점을 대상으로 기온역전이 발생한 62일간에 대해, 기상청 동네예보 0600 기온 자료에 최저기온 추정모형을 적용하여 산출한 예측기온값과 0600 실측기온을 비교한 것이다. 비교를 위해 동네예보 무보정결과를 함께 표현해 보면 넓은 온도범위에서 동네예보 정확도가 개선되는 것을 육안으로 확인할 수 있다. 편기성(bias)을 나타내는 ME 범위는 관측지점 12곳에서 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 정도였으며, 이는 동네예보를 보정 없이 적용했을 때 지점별 ME가 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 인 것을 감안하면 크게 개선된 결과이다. 특히 찬 공기가 집적되는 저지대에서는 동네예보 적용 시 나타났던 과다추정경향이 거의 해소되어 ME범위가 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 로 더욱 좁혀졌다. 또한 산 중턱 온난대의 과소추정경향도 눈에 띄게 개선되었다. 12개 검증지점 전체적으로는 예보기온의 추정오차(RMSE)가 무보정 시 1.9°C 였는데 비해 소기후모형 보정 시 1.6°C 로 감소되었다.

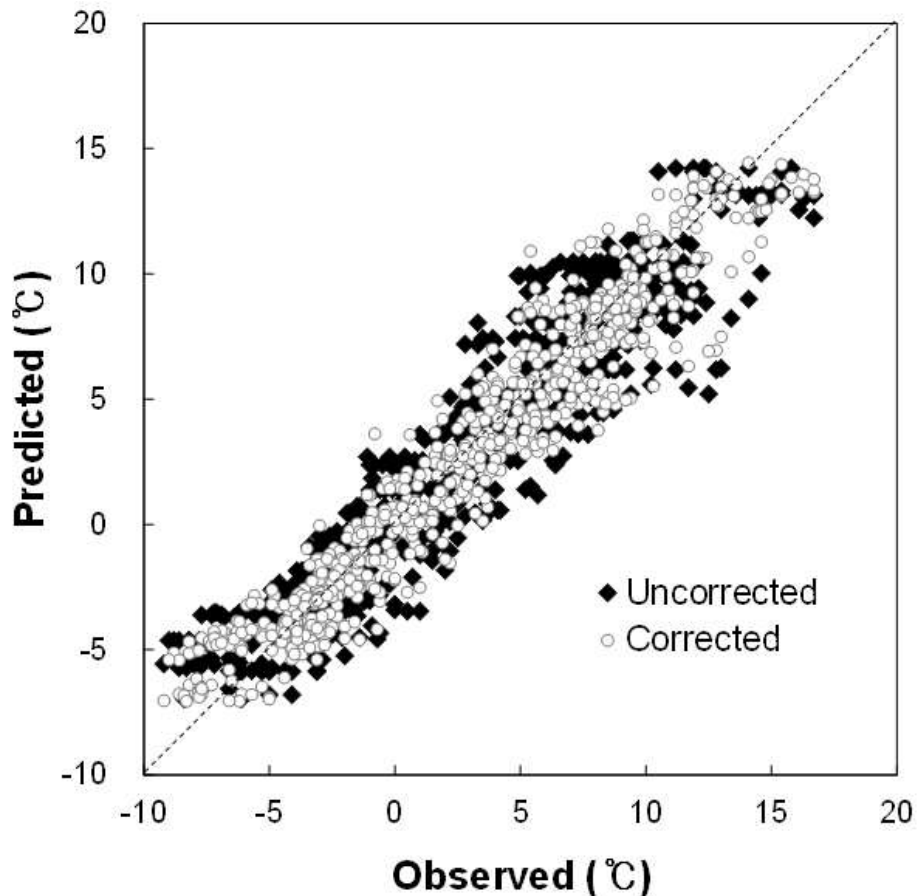


Fig. 4. Comparison of the predicted 0600 temperatures with those observed at 12 validation sites in Akyang catchment on 62 cold pooling days during the fall 2011 – spring 2012 period. White circles represent the geospatially corrected local scale forecasts, while black spades stand for the uncorrected mesoscale forecasts.

Table 2는 2012년 1월 1일부터 2013년 12월 31일까지 관측자료가 수집된 기상관측지점 10지점에 대하여, 맑은 날의 일사효과를 반영한 일 최저기온 모형의 성능을 기존 모형과 비교한 것이다. 단순 고도보정의 경우 기온추정 오차(ME)는 평균 -0.87°C 로 전반적으로 과소추정이었으며, 특히 서향사면에 위치한 3~5번 지점과 저지대이나 완만한 남사면에 해당하는 6번 지점에서 이런 경향이 심했다 (Table 2, Lapse). 기존의 표준수광지수 모형으로 추정된 기온은 ME 1.0°C 로서 실측기온에 비해 전반적으로 높았다 (Table 2, NDSI). 이에 비해 바람효과를 결합한 새로운 모형에 의해 추정된 기온은 ME가 -0.23°C 로 편기성이 크게 개선되었으며, 이 같은 효과는 특히 남·서향의 사면에서 크게 나타났다 (Table 2, NDSI+U). 검증지점 10곳의 1500 추정기온 평균 RMSE 역시 1.0°C 수준으로 낮아져 실용성이 충분한 것으로 판단된다. 기존의 표준수광지수 모형만으로는 RMSE가 1.8°C 나 되지만 풍속가중치로 보완함으로써 편기성 개선은 물론 RMSE를 크게 낮출 수 있게 되었다

Table 2. The error statistics for 1500 temperature estimated by the lapse-rate corrected (Lapse), the solar-effect corrected (NDSI), and the NDSI plus wind speed corrected (NDSI+U) models. Clear day data in 2012-2013 were used

		Weather sites										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVG
Lapse	ME	-0.33	-0.73	-1.49	-1.10	-1.36	-1.49	-0.29	-0.97	-0.40	-0.52	-0.87
	RMSE	0.78	1.09	1.71	1.37	1.63	1.69	0.81	1.33	0.88	0.93	1.22
NDSI	ME	1.24	1.24	0.05	1.69	1.77	0.69	1.83	0.08	0.60	0.98	1.02
	RMSE	1.80	1.86	1.35	2.19	2.36	1.65	2.49	1.23	1.43	1.63	1.80
NDSI+U	ME	0.01	-0.25	-0.78	-0.11	0.09	-0.57	0.15	-0.55	-0.17	-0.08	-0.23
	RMSE	0.76	0.90	1.34	0.95	1.34	1.15	0.82	1.08	0.82	0.84	1.00

ME: mean error, RMSE: root mean square error

연구대상지역에 2013년 1월부터 5월까지 13개 지점 AWS에서 수집된 강수량 중, 1mm 이상의 비가 온 날은 총 19일이다. 이 때의 각 지점에서 실제 측정된 강수량과 KLAPS 및 소기후 모형에 의한 격자점 추정강수량 간 편차를 RMSE로 표현한 것이 Table 3이다. 기존의 KLAPS 5km 강수량 추정치의 경우 지점에 따라 4.1mm에서 9.2mm의 오차를 보였으며, 13지점 평균은 6.5mm였다. 이 연구에서 제시한 RATER 270m 강수량 추정치의 경우에는 지점에 따라 3.4mm에서 5.7mm 범위에서 평균 4.7mm의 오차를 보였다. 검증에 사용된 19일간 평균 강수량은 19.2mm로서 평균 대비 이들 오차의 비율은 13지점 평균 34% (KLAPS 5km)에서 24.4% (RATER 270m)로 낮아져 기존 방법에 대비한 새 방법의 개선효과는 28% 가량으로 추정된다(Table 3).

Table 3. Comparison of the estimation errors for daily precipitation between the KLAPS method (5km) and the radar assisted topography and elevation revision (RATER) scheme (270m). Each number stands for the mean of 19 precipitation cases.

Site ID	Obs. (mm)	5km		270m	
		RMSE(mm)	CEE*(%)	RMSE(mm)	CEE(%)
1	21	6.7	32.5	3.5	17.0
2	17	9.2	53.0	5.3	30.7
3	18	9.0	50.7	5.6	31.9
4	20	7.4	36.2	5.5	26.9
5	18	6.7	36.4	5.7	31.2
6	20	4.6	22.4	4.3	21.3
7	18	6.0	32.9	5.2	28.5
8	19	7.4	38.4	3.7	19.1
9	19	4.3	22.2	3.7	19.6
10	19	4.1	21.2	3.4	17.5
11	19	5.3	27.8	4.9	25.4
12	19	6.9	36.6	4.1	21.9
13	22	6.8	31.4	5.6	25.9
mean	19.2	6.5	34.0	4.7	24.4

*CEE: Coefficient of Estimation Error (Percent ratio of RMSE relative to the observed mean)

인용문헌

- Daly, C., R. P. Neilson, and D. L. Phillips, 1994: A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology* **33**, 140-158.
- Ahn, S. J., and J. G. Kim, 2003: Estimation of Z-R relationships between radar reflectivity and rainfall rate. *Journal of Korea Water Resources Association* **36**(1). 13-21. (in Korean with English abstract)
- Battan, L. J., 1973: *Radar Observation of the Atmosphere*. University of Chicago Press, 323pp.
- Breuer, N. E., V. E. Cabrera, K. T. Ingram, K. Broad, P. E. Hildebrand, 2008: AgClimate: a case study in participatory decision support system development. *Climatic Change* **87**, 385-403. doi: 10.1007/s10584-007-9323-7
- 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.
- Chung, U., H. H. Seo, K. H. Hwang, B. S. Hwang, J. Choi, J. T. Lee, and J. I. Yun, 2006: Minimum temperature mapping over complex terrain by estimating cold air accumulation potential. *Agricultural and Forest Meteorology* **137**, 15-24.
- Chung, U., H. C. Seo, J. I. Yun, S. J. Jeon, K. H. Moon, H. H. Seo, and Y. S. Kwon, 2009a: Extrapolation of daily maximum temperature in a mountainous terrain. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**, 473-482.
- Chung, U., K. Yun, K. S. Cho, J. H. Yi, and J. I. Yun, 2009b: The PRISM-based rainfall mapping at an enhanced grid cell resolution in complex terrain. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(2), 72-78. (In Korean with English abstract)
- Fraisse, C. W., N. E. Breuer, D. Zierden, J. G. Bellow, J. Paz, V. E. Cabrera, A. Garcia y Garcia, K. T. Ingram, U. Hatch, G. Hoogenboom, J. W. Jones, J. J. O'Brien, 2006: AgClimate: A climate forecast information system for agricultural risk management in the southeastern USA. *Computers and Electronics in Agriculture* **53**(1), 13-27. doi: 10.1016/j.compag.2006.03.002
- Han, J. H., J. J. Choi, U. Chung, K. S. Cho, and J. P. Chun, 2009: Forestfall forecasting in the Naju pear production area based on discriminant analysis of climatic data. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**, 135-142. (In Korean with English abstract)
- Hwang, J. G., J. C. Kim, K. H. Cho, J. Y. Han, R. M. Kim, Y. S. Kim, G. W. Cheong, and Y. D. Kim, 2010: Analysis of meteorological elements in the cultivated area of Hadong green tea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**, 132-142. (In Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2010.12.2.132
- Marshall, J. S., and W. Mc K. Palmer, 1948: The distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology*, **5**, 165-166. doi: 10.1175/1520-0469(1948)005<0165:TDORWS>2.0.CO;2
- Kawamura, H., S. Tanahashi, and T. Takahashi, 1998: Estimation of Insolation over the Pacific Ocean off the Sanriku Coast, *Journal of Oceanography* **54**, 457-464.
- Kim, S. O., and J. I. Yun, 2011: A quantification method for the cold pool effect on nocturnal temperature in a closed catchment. ,176-184.(inKoreanwithEnglishabstract)doi:10.5532/KJAFM.2011.13.4.176
- Kim, S. O., and J. I. Yun, 2013: Relationship between midday air temperature and solar irradiance

- over sloping surfaces under cloudless conditions. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**(4), 291-297. (In Korean with English abstract) doi:10.5532/KJAFM.2013.15.4.291
- 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.
- Seo, H. C., S. J. Jeon, and J. I. Yun, 2008: Azimuthal distribution of daily maximum temperature observed at sideslopes of a grass-covered inactive parasitic volcano (“Ohreum”) in Jeju Island. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**(1), 25-31. (In Korean with English abstract)
- Shin, S. C., M. G. Kim, M. S. Suh, D. K. Rha, D. H. Jang, C. S. Kim, W. S. Lee, and Y. H. Kim, 2008: Estimation of high resolution gridded precipitation using GIS and PRISM. *Atmosphere* **18**, 71-81. (In Korean with English abstract)
- Sievers, U., and W. G. Zdunkowski, 1986: A microscale urban climate model. *Beitr ge zur Physik der Atmosphere*, **69**(1), 13-40.
- Sievers, U., 1995: Verallgemeinerung der stromfunktion-smethode. *Meteorologisch Zeitschrift NF* **4**, 3-15
- 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)
- KMA, 2010a: 2010 이상기후 특별보고서. 기상청 114pp.
- KMA, 2011: 2011년 이상기후 보고서. 기상청 144pp.
- KMA, 2013: 2012년 이상기후 보고서. 기상청 148pp.
- RDA, 2011: 2010 과수 이상기상 대응 백서. 농촌진흥청 국립원예특작과학원, 327pp.
- 서경영, 최준태, 이진아, 정현숙, 2012: 동네예보지원을 위한 통계모델(MOS) 개선 : 단기 하늘상태, 주간 기온. 2012년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집. 110-111.