

## 기상청 동네예보의 영농활용도 증진을 위한 방안:

### I. 기온역전조건의 국지기온 보정

김수옥<sup>1\*</sup> · 김대준<sup>1,2</sup> · 김진희<sup>1</sup> · 윤진일<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(재)국가농림기상센터, <sup>2</sup>경희대학교 식물환경신소재공학과

(2013년 6월 3일 접수; 2013년 6월 17일 수정; 2013년 6월 18일 수락)

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

### I. Correction for Local Temperature under the Inversion Condition

Soo-ock Kim<sup>1\*</sup>, Dae-jun Kim<sup>1,2</sup>, Jin-hee Kim<sup>1</sup> and Jin I. Yun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Center for Agro-Meteorology, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

<sup>2</sup>College of Life Sciences, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea

(Received June 3, 2013; Revised June 17, 2013; Accepted June 18, 2013)

#### ABSTRACT

An adequate downscaling of the official forecasts of Korea Meteorological Administration (KMA) is a prerequisite to improving the value and utility of agrometeorological information in rural areas, where complex terrain and small farms constitute major features of the landscape. In this study, we suggest a simple correction scheme for scaling down the KMA temperature forecasts from mesoscale (5 km by 5 km) to the local scale (30 m by 30 m) across a rural catchment, especially under temperature inversion conditions. The study area is a rural catchment of 50 km<sup>2</sup> area with complex terrain and located on a southern slope of Mountain Jiri National Park. Temperature forecasts for 0600 LST on 62 days with temperature inversion were selected from the fall 2011-spring 2012 KMA data archive. A geospatial correction scheme which can simulate both cold air drainage and the so-called 'thermal belt' was used to derive the site-specific temperature deviation across the study area at a 30 m by 30 m resolution from the original 5 km by 5 km forecast grids. The observed temperature data at 12 validation sites within the study area showed a substantial reduction in forecast error: from  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  to  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  in the mean error range and from  $1.9^{\circ}\text{C}$  to  $1.6^{\circ}\text{C}$  in the root mean square error. Improvement was most remarkable at low lying locations showing frequent cold pooling events. Temperature prediction error was less than  $2^{\circ}\text{C}$  for more than 80% of the observed inversion cases and less than  $1^{\circ}\text{C}$  for half of the cases. Temperature forecasts corrected by this scheme may accelerate implementation of the freeze and frost early warning service for major fruits growing regions in Korea.

**Key words:** Forecast downscaling, Temperature inversion, Frost warning, Geospatial climatology, Complex terrain

### I. 서 론

최근 3년간 가뭄, 태풍, 집중호우로 인한 피해 뿐

아니라, 겨울철 한파와 1~4월의 이상저온으로 인해 노  
지작물은 물론 시설작물까지 동상해, 고사, 수정불량,  
생육장애 등의 피해가 발생하였다(Hwang *et al.*, 2010;



\* Corresponding Author : Soo-ock Kim  
(tolce7785@hanmail.net)

Hwang and Kim, 2012; Seo *et al.*, 2010; 기상청, 2013). 기상청의 보고에 따르면 최근 급증하고 있는 기상이변은 전지구적인 기후변화와 관련이 있어 이러한 추세가 상당기간 지속될 것으로 보인다(기상청, 2010a; 2011; 2013). 이로 인한 농업부문의 직접적인 피해와 과도한 복구비용은 농가소득 감소와 지역경제 침체로 이어져 만성적인 사회문제가 될 수도 있으나, 농업생산구조를 강화하거나 저항성 품종을 육성하는 등 대응책 마련에는 돈과 시간이 많이 소요되어 현장 적용이 현실적으로 쉽지 않다.

선진국의 경우 위험기상 조기경보서비스를 기후변화 단기적응대책의 핵심으로 선정하고 실용화를 서두르고 있는데, 미국의 경우 남동부 주를 중심으로 한 기후위험 관리협력체인 SECC (SouthEast Climate Consortium)에서 농업분야의 기상위험 감소와 소득증대를 위해 기후 전망에 근거한 웹 기반의 의사결정 지원 시스템인 AgroClimate을 구축하였다(www.agroclimate.org). 이미 2004년부터 시작된 ArgoCimate은 농가 및 농업 관련 종사자들에게 장기에보(seasonal forecasts), 기후 전망(climate outlook)과 함께, 과거 기상자료와 예보된 기상조건에 근거한 동상해위험, 가뭄전망, 작황, 생장도일, 냉각량 등 지역별 농업기상예보(agrometeorological forecasts)를 생산하여 웹 지도서비스로 제공한다(Fraisse *et al.*, 2006; Breuer *et al.*, 2008).

우리나라도 2005년부터 기상청에서 '동네예보'란 이름으로 5km×5km 격자해상도에서 3시간 간격으로 예보선행기간 최대 48시간의 디지털정보를 제공하고 있어 이를 이용한 농업기상서비스가 실용화 된다면 당장 기상위험으로 인한 농가피해를 경감하는 데 도움이 되어 중장기적인 농업부문 기후변화 적응기술 개발에 시간을 벌어줄 수 있다. 동네예보 가운데 기온예보는 강수, 바람 등 다른 요소에 비해 신뢰도가 상대적으로 높아 활용분야가 넓고 파급효과가 크다. 특히 일 최저기온은 농작물의 냉해, 상해, 동해위험을 가늠하는 지표로서 지역 농민들에게 가장 필요한 정보 중 하나로 인식되어 왔다.

농작물의 저온피해는 지형적인 영향으로 야간에 냉기가 유입되는 저지대, 하천변, 골짜기 등에서 발생하는 경우가 흔하므로 이런 곳의 최저기온을 정확하게 예측하는 일이 재해경감에 중요하다(농촌진흥청, 2011; Han *et al.*, 2009; Hwang *et al.*, 2010). 하지만 지형이 복잡한 곳에서는 동네예보의 단위격자 면적

(5km×5km=25km<sup>2</sup>) 내에서도 다양한 국지기후가 발현될 수 있어 동네예보 상으로는 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 동네예보 0600 기온을 대상으로 복잡지형인 지리산 부근 농·산촌에서 예보 신뢰도를 평가하고, 동네예보의 미흡한 점을 개선하고자 하였다. 이를 위해 선행연구(Kim and Yun, 2011)를 통해 개발된 집수역 단위 소기후모형 기반의 국지기온 추정기법을 동네예보 보정과정에 적용하여 그 성과를 평가함으로써 농업기상서비스 개선에 기여하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 동네예보의 중규모 신뢰성 평가

연구대상지역은 경남 하동군의 북부를 중심으로 산청군, 구례군, 광양시 등 인접 3개 시군의 일부를 포함하며 지리산 국립공원 남쪽 사면에 해당한다. 이 일대에는 기상청에서 운영하는 방재기상감시용 자동기상 관측장비(AWS, Automatic Weather Station) 7대가 설치되어 있으며(Fig. 1, left), 이 지역 주요 작물인 온대과수의 휴면심도가 누적되기 시작하는 가을철부터 월동기간은 물론, 종종 상해가 발생하는 봄철을 포함하여 2011년 10월부터 2012년 4월까지 213일에 대하여 매일의 0600 기온자료를 수집하였다. 마찬가지로 동일 기간에 대하여 매일의 기상청 동네예보 0600 기온예측자료를 수집하였다. 동네예보자료는 영국기상청의 통합모델을 기반한 수치예보자료에 GMOS (Gridded Model Output Statistics) 기법과 예보관 보정을 통해 한반도 영역(745km×1,265km)을 5km 간격으로 동서방향 149개, 남북방향 253개의 격자(이들 중 육지 영역은 4,438개 격자)로 분할하여 3시간 간격으로 생산한다. 예보요소는 기온, 습도, 강수확률 및 강수형태, 풍향, 풍속, 유의파고, 하늘상태와 12시간 동안의 누적 강수량 및 적설량, 일 단위의 최저기온 및 최고기온이며, 선행기간은 48시간이다(기상청, 2010b; 서 등, 2012; 추 등, 2012). 동네예보 자료는 3시간 마다 신규자료로 갱신되므로 본 연구에서는 0200에 발표된

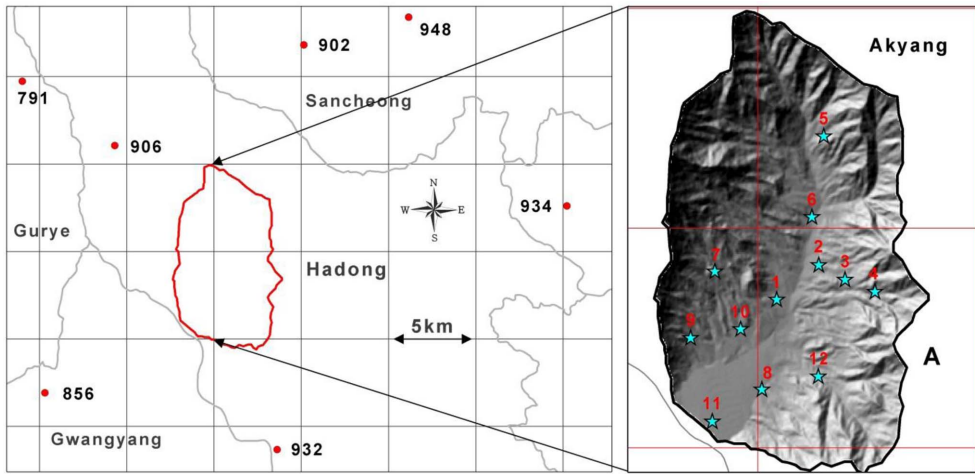


Fig. 1. Locations of the 7 automated weather stations operated by Korea Meteorological Administration (KMA) within the mesoscale experiment site (left panel) and the local scale experiment site (Akyang catchment) with the locations of 12 temperature loggers (right panel). Overlaid are the KMA digital forecast grids with a 5 km by 5 km spacing.

동네예보, 즉 선행기간 4시간인 최신자료가 이용되었다. 기상청에서 제공하는 GRIB (GRIdded Binary) 형식의 동네예보 격자 자료를 GDAL (Geospatial Data Abstraction Library)을 이용하여 GIS에서의 처리가 용이한 GeoTIFF 형식으로 변환하였고, GeoServer의 ImageMosaic 레이어로 저장하여 관리하였다. 이들 자료 가운데 연구대상지역 내 기상청 AWS 지점이 포함된 동네예보 격자값을 추출하고 AWS 관측기온(Fig. 1, left)과 비교하여 예보신뢰도를 검증하였다.

## 2.2. 동네예보의 국지규모 신뢰성 평가

동네예보기온을 단위격자( $5\text{km} \times 5\text{km} = 25\text{km}^2$ ) 내 농장, 과원 등 실제 농작물이 자라는 토지에 보정 없이 적용했을 경우 국지적인 예보오차가 얼마나 발생하는지 알기 위해 연구대상지역의 중심에 자리한 소규모 집수역을 선정하여 12개 지점(Fig. 1, right)에서 2011년 10월부터 2012년 4월까지 무인기상관측기(SL100, STA Corporation, Korea)에 의해 기온자료를 수집하였다. 이 집수역(하동군 악양면)은 주변 삼면이 지리산 자락으로 둘러싸인 총면적 약  $50\text{km}^2$ 의 골짜기이며, 최고 1,117m에 이르는 산악지형으로부터 해발고도 10m에 불과한 섬진강변 평야지(일명 ‘무덤이들’)까지 고도편차가 매우 큰 복잡지형이다. 또한 섬진강과 면한 집수역 출구에 도로를 겸하는 제방이 설치되어 있어 야간에 냉기호가 자주 형성되는 폐쇄집수역이다

(Yun, 2011). 이곳의 영농형태는 평야지의 벼는(보리 이모작)과 중산간지의 녹차밭, 매실·감·배 과원, 산간지의 고사리·밤나무 조림지로 구분된다. 무인기상관측기는 해발고도 약 10~330m 사이의 농장이나 과원을 중심으로 국지적인 특성을 잘 반영할 수 있는 곳에 설치하였고, 기온, 습도, 일사, 강수, 풍향, 풍속을 1분 간격으로 측정하여 10분에 한번씩 CDMA 방식으로 수집하였다.

악양 집수역 위에  $5\text{km} \times 5\text{km}$ 의 동네예보격자를 중첩할 경우 격자 4개가 집수역 경계에 걸치며 한 격자 안에 적게는 2대, 많게는 6대의 무인기상관측지점이 포함된다(Fig. 1, right). 대상지역의 중심부를 site 1(해발 44m)로 간주하였을 때, 동네예보 격자 A 안에서 site 4(해발 326m)와의 직선거리는 약 2.3km, 해발고도 차이는 280m 가량 발생한다. 낮 동안에는 고도가 높아질수록 기온감률에 따라 기온이 내려가지만( $T_{\text{site1}} > T_{\text{site4}}$ ), 야간에는 지표냉각과 저지대 냉기집적으로 인해 site 1과 4간의 기온이 점차 비슷해지거나 역전될 것이다( $T_{\text{site1}} < T_{\text{site4}}$ ). 특히 청명미풍의 일교차가 큰 날에는 기온역전이 더욱 발달할 것이며, 이와 같은 조건에서 site 1지점은  $5\text{km} \times 5\text{km}$  격자 대표값으로 주어지는 동네예보보다 낮은 기온에 의해 저온피해를 입을 가능성이 커지므로, 다른 날보다 국지규모 최저기온예보의 필요성이 높다. 이런 날을 선별하기 위해 기온역전조건을 판정기준으로 삼았는데 0600에 동시 관

측된 site 1과 site 4간 기온편차( $T_{site4} - T_{site1}$ )가 2°C 이상인 조건으로 선정하였다. 예보평가기간은 중규모 예보 평가기간(2011년 10월부터 2012년 4월까지)과 동일하며 이 기간 중 기온역전기준에 부합하는 62일간 0600 기온자료(0559-0600의 1분간 평균기온)를 분석 대상으로 하였다.

### 2.3. 국지규모 기온예보 제작

Yun (2010)이 전국 전자기후도 제작에 이용한 소규모 후 모형은 복잡지형에 최적화된 기온분포 추정기술로서, 단일 집수역 내 일 최저기온 추정과정에서 고려해야 할 냉기집적으로 인한 기온하강과 산중턱의 온난대 효과를 모의할 수 있다. 지표냉각으로 인해 기온역전이 발생한 시기에는 기준점 또는 기준면으로부터 해발 고도에 따라 단순 기온감률을 적용할 경우, 높은 고도에서는 실제 기온보다 더 낮게 기온이 추정되며 이를 온난대 효과( $E1$ )로 보정한다(식 1). 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 폐쇄 집수역에서 발생하는 냉기호를 결합하여 식 (2)와 같이 냉기집적효과( $E2$ )를 모의하였다.

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

$$E2 = \left( \frac{R}{R_{max}} \right) \cdot a \log_{10}(CFA_5 + CAP_7) \quad (2)$$

위 식에서  $I_{max}$ 는 해당 집수역에서 관찰된 최대역전 강도,  $Z$ 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).

이 모형을 이용하여 악양면 집수역과 중첩시킨 4개 동네예보 5km×5km 격자의 0600 기온을 30m×30m 격자 해상도로 상세화 하였다. 우선 동네예보의 0600 및 1400 기온을 모형의 초기 입력자료(배경기온)로 삼았는데, 집수역 경계(분수령) 안에 포함된 격자의 면적비율에 따른 공간평균을 구해 사용하였다. 기준면

에 해당하는 가상지형(virtual terrain)은 악양 집수역에서 가장 가까운 기상청 AWS인 화개(906)와 동일한 해발고도(91m)의 평탄지로 설정하고, 30m×30m 격자 해상도의 DEM (Digital Elevation Model)과 고도편차를 계산한 후, 표준대기온감률(-0.65°C/100m)을 이 고도편차에 적용하여 0600의 동네예보 배경기온을 보정하였다. 다음 단계로, DEM을 기반으로 하여 온난대효과와 냉기집적효과를 모의한 다음 고도편차가 보정된 기온분포에 가감하여 최종적으로 30×30m 격자에 대해 추정된 0600의 국지기온예보(local forecast)를 산출하였다. 이때 전날 1400과 당일 0600 배경기온 편차(기온 일교차)가 클수록 지표 복사냉각 및 그로 인한 기온역전의 영향이 커지는 것으로 간주하였다. 이러한 모의 과정은 Python의 numpy 모듈(Oliphant, 2007)로 구현하였으며, 필요한 입력 자료들은 GeoServer 기반의 WCS (Web Coverage Service) API를 통해 접근하도록 구성하였다. 모의 결과는 입력 자료와 동일하게 GeoServer의 레이어로 저장하였다. 검증용 무인기상관측기 위치에 해당하는 국지기온 예보값( $T_{LF}$ )과 무인기상관측기에 의해 측정된 실제 기온( $T_{obs}$ )과의 편차를 계산하여 ME (Mean Error), MAE (Mean Absolute Error) 및 RMSE (Root Mean Square Error)를 산출하고 무보정 동네예보의 경우와 비교하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 3.1. 동네예보의 중규모 적용오차

연구대상지역 내 기상청 AWS를 통해 확인한 2011년 10월부터 2012년 4월까지 총 213일간의 동네예보 0600 기온( $T_{DF}$ )의 예측오차는 7지점 평균 RMSE가 2.2°C 수준이었다. 선정된 기온역전일 62일 동안의 지점평균 RMSE는 2.4°C로 신뢰도가 더 떨어졌고 MAE 2.0°C, ME는 지점에 따라 -3.0°C에서 2.3°C까지 차이가 크게 나타나 편기성이 뚜렷하였다(Table 1). 섬진강변 평야지에 위치한 화개(906)와 하동(932)의 경우 RMSE 1.3~1.4°C로 타 지점에 비해 오차가 적었지만 해발고도가 400m 이상인 피아골(791), 백운산(856) 지점은 상당한 과소추정경향(ME -3.0°C, -2.8°C)을, 북동쪽에 위치한 삼장(948)은 과대추정경향(ME 2.3°C)이 나타났다.

이와 같은 결과는 중규모에서 기대할 수 있는 동네예보의 기온예측능력과 그 한계를 보여준 것이라 할

수 있다. 중규모 기상을 파악하기 위해 설계된 기상청 AWS의 관측밀도와 설치여건을 감안하면 AWS자료는 동네예보 격자해상도(5km×5km)에 대응할 만하며, 표준 집수역 두어 개를 합친 지역의 대표값에 해당하므로 집수역 내부의 세밀한 지형특성을 반영한 국지기후와는 다를 수 있다. 악양에서 가장 가까운 화개(906)에서 기온역전일 62일 간 RMSE 1.4°C를 보인 것은 이 지역 농작물의 동상해위험 판정에 당장 이용해도 좋을 만한 것인데, 그것은 농업적 용도의 기온예보에서 추정오차가 2°C 이내이면 일반적으로 허용되기 때문이다(World Meteorological Organization, 1990). 따라서 화개 지점만을 놓고 본다면 기상청 동네예보의 신뢰도가 상당히 높은 수준임을 말해준다. 하지만 화개에는 동네예보의 격자크기에 견줄 만한 넓고 평탄한 농경지가 없다는 점이 현실적인 문제이다. 대신 고도 편차가 심하고 경사진 산록과 좁은 계곡에 작고 불규칙한 모양의 농장이나 과원이 산재해 있어 국지규모에서의 신뢰성 평가가 필요하다.

화개 AWS와 인접한 악양면 내 12지점에서 무인기상관측기로 측정된 기온역전일 62일간 0600 기온을 동네예보( $T_{DF}$ )와 비교해 보면, RMSE가 12지점 평균 1.9°C였다. 기상청 AWS 지점과 마찬가지로 설치위치에 따라 예보 신뢰성에 차이가 크데, ME 1.0~1.8°C 사이의 과대추정경향을 보인 site 1, 2, 8, 10, 11는 냉기가 집적되는 저지대에 위치해있고, ME -1.7~-2.0°C의 과소추정경향을 보인 site 4, 5, 7은 해발고도 300m 전후에 위치한 소위 온난대(thermal belt)에 해당한다(Table 2).

RMSE는 12지점 중 절반에서 영농활용 한계기준인 2°C를 넘어서는데, 만약 이 지역 농민들이 동네예보를 믿고 각자의 토지에 대해 영농계획을 수립하거나 농작업을 수행한다면 절반의 농가는 잘못된 기온정보에 의해 비효율적인 의사결정을 할 수 있다는 뜻이다. 하지만 12개 지점 평균오차(RMSE 1.9°C)가 화개 AWS의 추정오차(RMSE 1.4°C)에 비해 증가한 것은 기상청 예보기술 때문이 아니라 국지적인 지형특성에 기인

**Table 1.** Accuracy of the mesoscale temperature forecast issued by Korea Meteorological Administration (KMA) at selected KMA automated weather stations for 0600 LST on the 62 days with inversion incidence during the fall 2011-spring 2012 period

Station ID	791	856	902	906	932	934	948	Average
Elevation (m)	413	518	354	91	22	73	135	
ME	-3.0	-2.8	-0.2	0.1	0.3	1.2	2.3	-0.3
MAE	3.1	3.0	1.2	1.1	1.1	1.9	2.4	2.0
RMSE	3.8	3.5	1.8	1.4	1.3	2.2	2.8	2.4

ME: mean error, MAE: mean absolute error, RMSE: root mean square error

**Table 2.** Comparison of the errors caused by the uncorrected mesoscale forecast and by the geospatially corrected local forecast for the early morning temperature on 62 cold pooling days during the fall 2011-spring 2012 period. Net error means the estimation error caused solely by the geospatial model, which can be derived under the assumption that mesoscale forecast has no error (perfect forecast)

Site ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean	
Elevation (m)	44	92	195	326	284	82	276	11	105	42	13	88		
Uncorrected	ME	1.5	1.0	-0.2	-1.7	-2.0	0.1	-1.7	1.4	-0.1	1.0	1.8	0.4	0.1
	MAE	1.7	1.3	1.3	2.0	2.3	1.1	2.0	1.8	1.0	1.4	2.1	1.1	1.6
	RMSE	2.0	1.6	1.8	2.4	2.7	1.4	2.4	2.1	1.3	1.7	2.4	1.4	1.9
Corrected	ME	0.4	0.3	0.5	-1.0	-0.4	-0.1	-0.6	0.1	-0.6	0.0	0.5	-0.7	-0.1
	MAE	1.1	1.0	1.5	1.7	1.7	1.1	1.4	1.2	1.2	1.0	1.2	1.2	1.3
	RMSE	1.4	1.3	1.9	2.2	2.1	1.4	1.8	1.5	1.5	1.3	1.6	1.5	1.6
Net error	ME	0.3	0.2	0.5	-1.1	-0.5	-0.2	-0.6	0.2	-0.7	0.0	0.4	-0.8	-0.2
	MAE	0.7	0.7	1.1	1.3	1.1	0.7	1.1	0.7	1.1	0.7	1.0	1.0	0.9
	RMSE	0.9	0.9	1.4	1.6	1.6	0.8	1.4	1.0	1.3	0.9	1.2	1.2	1.2

ME: mean error, MAE: mean absolute error, RMSE: root mean square error

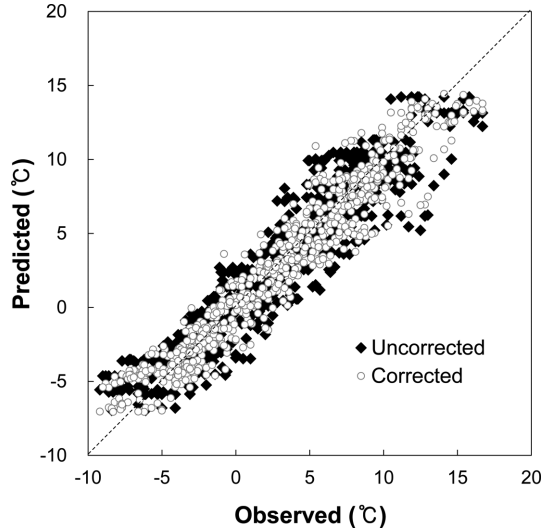
한 것이므로 이를 동네예보에 잘 반영한다면 신뢰도를 최소한 당초의 동네예보 수준으로 회복시킬 수 있다.

**3.2. 소기후모형에 의한 보정효과**

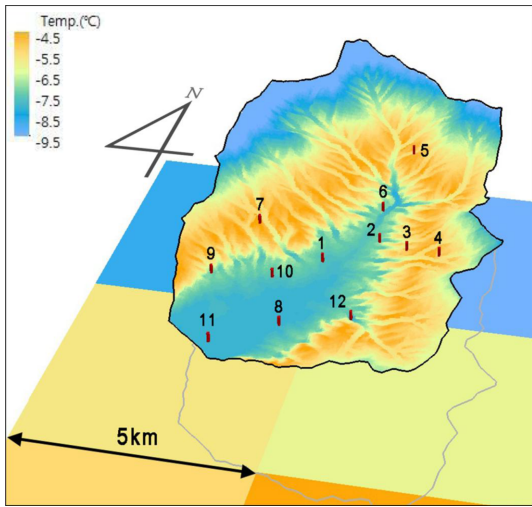
25km<sup>2</sup> 영역 내 대표값이라고 할 수 있는 동네예보 0600 기온을 소기후 모형에 의해 30m×30m 크기로 분할하여 각각의 지형특성에 의해 보정하면 경사면 골짜기 주변에는 냉기류로 인한 저온지대가, 무덤이들 중심의 계곡입구에는 냉기호에 의한 저온역이 생기는 것을 확인할 수 있다. 또한 산 중턱에는 상대적으로 기온이 높은 온난대가 나타난다(Fig. 2). 대표적인 기온역전일인 2012년 1월 8일 0600의 추정기온분포를 보면 site 1, 6, 8, 10, 11, 12는 냉기류 길목에 위치하거나 냉기호 수몰지역에 포함되어 저온지역에 해당하였고, site 4, 5, 7은 온난대에 해당한다.

무인기상관측기 12대가 위치한 30m×30m 격자점들의 62일 간 보정기온( $T_{LF}$ )을 추출하여 실측기온과 1:1로 표현한 것이 Fig. 3이다. 비교를 위해 동네예보 무보정결과( $T_{DF}$ )를 함께 표현해 보면 넓은 온도범위에서 동네예보 정확도가 개선되는 것을 육안으로 확인할 수 있다. 편기성(bias)을 나타내는 ME 범위는 관측지점 12곳에서 ±1°C정도였으며, 이는 동네예보를 보정 없이 적용했을 때 지점별 ME가 ±2°C인 것을 감안하면 크

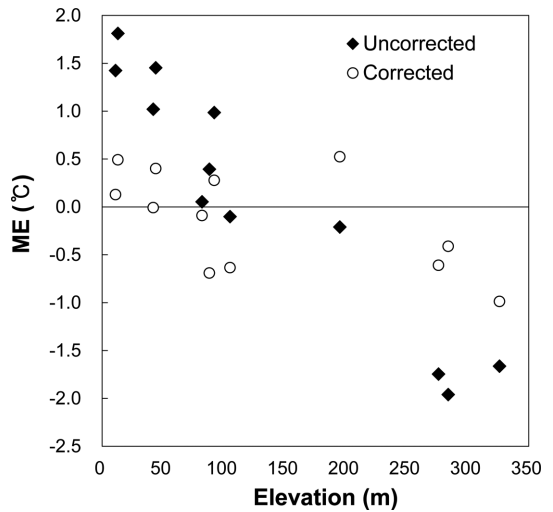
게 개선된 결과이다(Fig. 4). 특히 찬 공기가 집적되는 저지대에서는 동네예보 적용 시 나타났던 과다추정 경향이 거의 해소되어 ME범위가 ±0.5°C로 더욱 좁혀



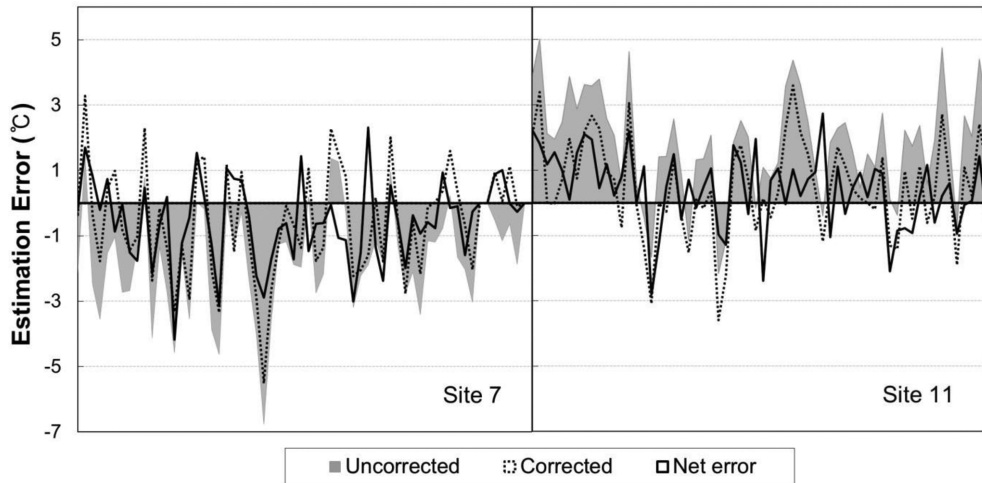
**Fig. 3.** Comparison of the predicted 0600 temperatures with those observed at 12 validation sites in Akyang catchment on 62 cold pooling days during the fall 2011-spring 2012 period. White circles represent the geospatially corrected local scale forecasts, while black spades stand for the uncorrected mesoscale forecasts.



**Fig. 2.** Comparison of the geospatially corrected local scale forecast (top layer) and the uncorrected mesoscale forecast issued by KMA (bottom layer) for the 2m air temperature at 0600 LST on 8 January 2012. Locations of the 12 validations sites are indicated by red sticks with identification numbers.



**Fig. 4.** The forecast bias distribution across the elevation range of 12 validation sites in Akyang catchment for the early morning temperature 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.



**Fig. 5.** Comparison of the forecast errors for the early morning temperature on 62 cold pooling days during the fall 2011 - spring 2012 period: shaded for the uncorrected mesoscale forecast, dotted line for the geospatially corrected local forecast. Solid line stands for the difference between the corrected and the uncorrected forecasts which can be regarded as the net error caused by the geospatial model. Site 7 is located on the so-called thermal belt region, while site 11 is found within a cold pool.

졌다. 또한 산 중턱 온난대의 과소추정경향도 눈에 띄게 개선되었다. 12개 검증지점 전체적으로는 예보기온의 추정오차(RMSE)가 무보정 시  $1.9^{\circ}\text{C}$ 였는데 비해 소기후모형 보정 시  $1.6^{\circ}\text{C}$ 로 감소되었다(Table 2).

소기후모형에 근거하여 30m 격자점마다 산출된 0600 상세기온의 예보오차( $T_{LF} - T_{obs}$ )에는 보정 전부터 동네예보가 본래 가지고 있던 예보오차( $E_{DF}$ )가 포함되어 있다. 악양면에서 가장 가까운 기상청 AWS 화개지점(906)에 대한 매일 0600 기온 예보오차( $T_{DF} - T_{obs}$ )를 동네예보의 태생적 오차  $E_{DF}$ 로 간주하고, 매일의 악양면 상세기온 예보값( $T_{LF}$ )에 그날의  $E_{DF}$ 만큼 제거한 다음, 계산된  $T'_{LF}$ 와 실측값과의 추정오차( $T'_{LF} - T_{obs}$ )를 소기후모형 본연의 추정오차( $E_{Net}$ )로 보았다. 62 일간의  $E_{Net}$  산출 결과, 검증지점 12곳의  $E_{Net}$  범위는 RMSE 0.9~ $1.6^{\circ}\text{C}$ 로, 평균 RMSE  $1.2^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다(Table 2). 이는 무결점 동네예보, 즉 기온예보의 정확도가 완벽하다는 가정 하에 소기후모형 보정에 의해 만들어진 상세기온분포도는 평균적으로 추정오차가  $1.2^{\circ}\text{C}$ 로 예상된다는 의미이다. 이해를 돕기 위해 악양면 무인기상관측지점 12곳 중 각각 온난대 지역과 냉기호 수몰지역에 해당하는 site 7과 11번 지점을 대표로 두고 오차성분을 그림으로 표현해 보았다(Fig. 5). 그림에서 동네예보 무보정 오차(회색 영역)와 보정오차(점선) 및 예보오차를 제거한 소기후모형의 신뢰도(실

선)를 구분하였다.

상세화한 국지기온예보오차( $T_{LF} - T_{obs}$ )는 악양지역 내 과수원이나 농장에서 농민이 실제 체감하는 예보신뢰도인데, 12개 검증지점에서 기온역전일 62일 중 농업기상정보로서 실용성이 있는  $2^{\circ}\text{C}$  미만의 예보오차( $T_{LF} - T_{obs}$ )가 발생한 날은 전체의 80%(평균 49.5일)이었으며, 그 중 냉기집적지대에 위치한 7곳에서는 85%(평균 53일)에 달했다. 실측기온과의 편차가  $1^{\circ}\text{C}$  이하인 경우는 12지점 평균 47.2%이었고, 동상해 위험이 큰 계곡 저지대에 위치한 7지점은 평균 52.3%이었다. 즉, 소기후모형에 의해 동네예보를 보정해서 악양지역 각 농장에 적용할 경우 동상해 위험이 큰 날씨조건(기온역전일)에서 절반 정도는 연중 예측오차  $1^{\circ}\text{C}$  이하의 신뢰도 높은 국지기온예보가 가능하다는 뜻이다.

이는 악양지역 동일 지점들의 동네예보 추정오차( $T_{DF} - T_{obs}$ )가  $2^{\circ}\text{C}$  미만인 경우가 평균 69%(평균 42.5일),  $1^{\circ}\text{C}$  이하인 경우가 평균 38%(평균 23.5일)를 차지한 것에 비해 개선된 결과이다.

예보오차( $T_{LF} - T_{obs}$ )가  $2^{\circ}\text{C}$  이상으로 커서 실용성이 떨어지는 경우(전체의 15~20%)는 소기후모형의 추정오차와 동네예보 생산과정의 태생적 오차가 합산·가중된 때에 해당한다. 동네예보 자체의 신뢰도는 전반적인 기상청 예보기술수준에 달려있어 개선이 점진적일 수밖에 없으므로 과원이나 농장단위의 국지적인 신뢰

도 향상에는 소기후 모형 개선 노력이 더욱 효율적이다.

#### IV. 결 론

산이 많은 우리나라에서 흔히 볼 수 있는 크고 작은 계곡지형에서 야간 찬 공기 집적으로 인한 농작물의 동상해를 사전에 대비할 수 있도록 기존 동네예보의 격자해상도와 신뢰성을 국지적 지형특성에 의해 보정하는 방법을 개발하였다. 전형적인 복잡지형인 지리산 남사면 악양 집수역을 대상으로 기상청에서 발표하는 동네예보 0600 기온 격자자료를 이 방법에 의해 30m×30m로 분해능을 높인 결과, 냉기가 집적되는 저지대와 온난대가 나타나는 산 중턱에서 예측신뢰도가 크게 개선되었다. 대상지역 주변 7개 기상청 AWS자료에 의해 확인한 동네예보 본연의 예측오류는 제거할 수 없었지만, 영농규모와 지형특성을 모두 반영할 수 있도록 동네예보 공간해상도의 한계를 극복할 수 있었다.

이 방법은 다른 집수역에도 약간의 수정과정을 거쳐 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 기상청 동네예보는 기온 외에도 10여 종의 다양한 정보를 포함하므로 이들 각각에 대한 보정방법을 개발한다면 동상해 등 저온피해위험 뿐 아니라 바람, 강수, 대기습도 등의 변동에 기인한 다양한 기상위험으로부터 농작물을 보호하고 피해를 경감하는 데 기여할 것이다. 막대한 예산과 인력을 투입하여 구축한 동네예보서비스는 그 자체만으로도 세계에 자랑할 수 있는 훌륭한 서비스이다. 나아가 부문별 특성에 맞게 전문가들이 가공하는 방법을 개발하고 이를 토대로 민간 혹은 공공사업자가 응용정보를 생산하여 수요자에게 제공한다면 기상정보의 사회적 가치증대에 도움이 될 것이다. 이번 연구의 결과는 우리나라 농촌현실에서 동네예보의 활용도를 획기적으로 높일 수 있는 가능성을 보여주었다. 앞으로 보정방법의 신뢰도를 개선하고 활용분야를 확대한다면 수요자맞춤형 기상정보의 모범사례로서 농촌지역의 기후변화적응정책 추진에 기상청의 역할이 더욱 중요해지는 계기가 될 것이다.

#### 적 요

기상청 동네예보의 공간규모를 농촌현실에 맞게 상세화 하는 일은 농업기상정보의 가치를 높이기 위한

전제조건이다. 이 연구에서는 기온역전조건에서 기상청의 중규모 기온예보를 집수역 내 지형특성이 반영된 국지기온예보로 상세화 할 수 있는 간단한 기법을 제시하였다. 지리산 남사면에 위치한 전형적인 복잡지형의 농촌 집수역(50km<sup>2</sup>)을 대상지역으로 선정하고, 2011년 10월부터 2012년 4월 기간 중 기온역전에 의한 냉기집적이 의심되는 62일에 대해 동네예보 0600 기온자료(5km×5km 격자)를 수집하였다. 여기에 단일 집수역의 냉기호 및 온난대효과를 모의할 수 있는 소기후모형을 적용하여 상세격자(30m×30m) 단위로 표출하였다. 연구대상지역에 설치된 무인기상관측기 12 지점 자료를 이용, 보정된 0600 기온예보값을 검증한 결과, 기온역전일의 평균 ME는 ±1°C, RMSE는 1.6°C를 보였다. 이 결과는 동네예보 경우(ME ±2°C, RMSE 1.9°C)에 비하여 지역적 편기성이 크게 개선된 것으로서, 찬 공기가 집적되는 저지대에서 더욱 개선 효과가 컸다. 보정된 예보기온의 추정오차가 2°C 미만인 경우는 전체 기온역전일 중 80%에 해당하였으며, 절반 정도는 추정오차가 1°C 이내였다. 동상해 위험이 큰 기상조건에서 소기후모형에 의해 보정된 동네예보를 지역 내 각 농장에 제공할 경우 무보정 동네예보를 제공하는 것에 비해 신뢰도를 크게 높일 수 있어 동상해 위험의 조기경보시스템 실용화에 기여할 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

이 연구는 기상청 ‘기상산업 지원 및 활용기술개발 사업’(과제번호 KMIPA 2011-1101)의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

#### REFERENCES

- Breuer, N. E., V. E. Cabrera, K. T. Ingram, K. Broad, and 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
- 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.
- 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, and 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
- Hwang, J. G., and Y. D. Kim, 2012: A survey low temperature damage of tea tree at South Korea in 2011. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**, 246-253. (In Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2012.14.4.246
- Kim, S. O., and J. I. Yun, 2011: A quantification method for the cold pool effect on nocturnal temperature in a closed catchment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **13**, 176-184. (in Korean with English abstract) doi:10.5532/KJAFM.2011.13.4.176
- Oliphant, T. E., 2007: Python for scientific computing. *Computing in Science and Engineering* **9**(3), 10-20.
- Seo, Y. H., Y. S. Park, B. O. Cho, A. S. Kang, B. C. Jeong, and Y. S. Jung, 2010: Regional distribution of peach freezing damage and chilling days in 2010 in Gangwon province. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**, 225-231. (In Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2010.12.4.225
- World Meteorological Organization, 1990: *Using Meteorological Information and Products*. Ellis Horwood Limited. 491pp.
- Yun, J. I., 2010: Agroclimatic maps augmented by a GIS technology. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**, 63-73. (In Korean with English abstract)
- Yun, J. I., 2011: Observation of the cold-air drainage and thermal belt formation in a small mountainous watershed by using an infrared imaging radiometer. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **13**, 79-86. (In Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2011.13.2.079.
- 기상청, 2010a: 2010 이상기후 특별보고서. 기상청 114pp.
- 기상청, 2010b: 동네예보 중장기 발전방안 마련을 위한 정책연구 최종보고서. 기상청. 90pp.
- 기상청, 2011: 2011년 이상기후 보고서. 기상청 144pp.
- 기상청, 2013: 2012년 이상기후 보고서. 기상청 148pp.
- 농촌진흥청, 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.
- 추성호, 이용희, 안광득, 전관영, 2012: 동네예보 격자점 가이던스의 예보요소 확장 및 개선. 2012년도 한국기상학회 봄 학술대회 논문집. 60-61.
- <http://www.agroclimate.org> (2013.5.15)