

## 일 최대풍속의 추정확률분포에 의한 농작물 강풍 피해 위험도 판정 방법

김수옥\*

국가농림기상센터

(2017년 9월 4일 접수; 2017년 9월 22일 수정; 2017년 9월 23일 수락)

### Prediction of Wind Damage Risk based on Estimation of Probability Distribution of Daily Maximum Wind Speed

Soo-ock Kim \*

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

(Received September 4, 2017; Revised September 22, 2017; Accepted September 23, 2017)

#### ABSTRACT

The crop damage caused by strong wind was predicted using the wind speed data available from Korean Meteorological Administration (KMA). Wind speed data measured at 19 automatic weather stations in 2012 were compared with wind data available from the KMA's digital forecast. Linear regression equations were derived using the maximum value of wind speed measurements for the three-hour period prior to a given hour and the digital forecasts at the three-hour interval. Estimates of daily maximum wind speed were obtained from the regression equation finding the greatest value among the maximum wind speed at the three-hour interval. The estimation error for the daily maximum wind speed was expressed using normal distribution and Weibull distribution probability density function. The daily maximum wind speed was compared with the critical wind speed that could cause crop damage to determine the level of stages for wind damage, e.g., "watch" or "warning." Spatial interpolation of the regression coefficient for the maximum wind speed, the standard deviation of the estimation error at the automated weather stations, the parameters of Weibull distribution was performed. These interpolated values at the four synoptic weather stations including Suncheon, Namwon, Imsil, and Jangsu were used to estimate the daily maximum wind speed in 2012. The wind damage risk was determined using the critical wind speed of 10m/s under the assumption that the fruit of a pear variety Mansamgil would begin to drop at 10 m/s. The results indicated that the Weibull distribution was more effective than the normal distribution for the estimation error probability distribution for assessing wind damage risk.

**Key words:** Wind damage, Crop damage, Maximum wind speed, Weibull distribution

#### I. 서 언

농가에 큰 손실을 가져오는 기상재해 중 하나로서 강풍으로 인한 피해를 꼽을 수 있는데, 강풍은 벼의

백수현상 및 조풍해, 채소작물의 엽 손상과 광합성 저하, 과수의 낙과 등을 유발한다(Yim *et al.*, 2014; www.nongsaro.go.kr). 농업기상재해를 막기 위한 조기경보시스템에 적절한 풍해예측기술이 탑재된다면



\* Corresponding Author : Soo-ock Kim  
(sookim@ncam.kr)

농가에서 사전에 대책을 세울 수 있을 것이며, 또한 상당 기간의 실황기상 분포자료를 이용, 과거의 최대 풍속 및 강풍특보 발령 누적사례를 통해 위험 지대를 판단할 수도 있을 것이다(Yun, 2014; Park *et al.*, 2014; Shin *et al.*, 2015).

작물의 기상재해 예측에는 기상청에서 발표하는 동네예보자료가 주로 이용된다. 풍향, 풍속 정보는 최장 3일의 선행기간 동안 3시간 간격의 5×5km 격자자료로 산출되는데, 농촌진흥청에서 운영중인 농업기상재해 조기경보서비스에서는 5km 격자자료를 미세규모 바람장모형 MUKLIMO (Microscale Urban Climate Model; Sievers and Zdunkowski, 1986)에 의해 가로×세로 270m 해상도의 풍속분포로 상세화 되어있다(Yun, 2014; Shin *et al.*, 2015). 그러나 기상청 바람예보는 3시간 간격(0000, 0300, ... 2100 LST)의 정시 풍속·풍향만을 제공하기 때문에 바람에 의한 작물피해를 판단하기 위해서는 제공되는 풍속자료로부터 최대풍속에 관한 정보를 추출해 낼 필요가 있다.

농작물의 풍해는 과거의 피해 사례나 조사자료를 통해 작물에 따라 임계풍속이 제시된 경우도 있어 위험 기준으로 활용 가능하다(www.nongsaro.go.kr). 뿐만 아니라, 생태형에 근거하여 평년기간동안의 일 평균풍속을 정규분포로 표준화한 다음 풍해 기준을 설정하여 재해발생위험을 예측하는 방법도 개발되었다(Lee and Kim, 2015). 풍속 확률분포는 대상 지역의 풍력에너지 잠재성 평가를 위해 사용되는 경우가 많으며, 주로 Weibull 분포로 표현된다(Ho *et al.*, 2003; Cartaa and Ramirez, 2007; Kim and Byun, 2008; Chang, 2011; Ryu and Park, 2012). 주어진 날짜의 농작물 풍해위험 판정은 해당 작물의 피해가 시작되는 풍속의 임계값과 일 최대풍속을 비교하는 것이 가장 간단한 방법이다. 하지만 관측값이 아닌 추정된 최대풍속일 경우 내포하고 있는 추정오차를 감안해야 할 것이다.

본 연구에서는 기상청에서 제공하는 동네예보 시간간격을 기준으로 정시 풍속으로부터 일 최대풍속을 추정하고, 이때 발생하는 추정오차를 확률분포로 나타내었다. 또한 추정오차 확률분포에 작물의 임계풍속과 일 최대풍속 간 편차를 고려하여 확률누적값으로 풍해 위험을 판단하는 일련의 과정을 제시하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 일 최대풍속 추정 방법

농촌진흥청의 농업기상재해 조기경보서비스 지역(하동, 구례, 광양, 순천, 곡성, 남원, 임실, 순창, 진안, 장수 10개 시군)에 포함된 기상청 지상기상관측(ASOS) 및 방재기상관측(AWS)지점 가운데 2012년 1년간 풍속자료에 결측이 발생한 날이 2일 이내인 23개소로부터 매시 풍속과 1분간격 풍속을 수집하였다(Fig. 1). 기상청 동네예보의 3시간 간격 풍속과 직전 3시간 동안의 최대풍속 간 관계를 정량화하기 위해 방재기상관측망 19지점 자료로부터 최대풍속 추정을 위한 회귀식을 도출하였다. 측정시간 0000 (자정)부터 0300, 0600, 0900, 1200, 1500, 1800, 2100의 정시 풍속(직전 10분 평균값)을 독립변수로, 직전 3시간 동안의 1분 풍속 중 최대값을 종속변수로 두고 일 8회 ×19지점의  $y = ax + b$ 의 추세식을 작성하였다. 19지점

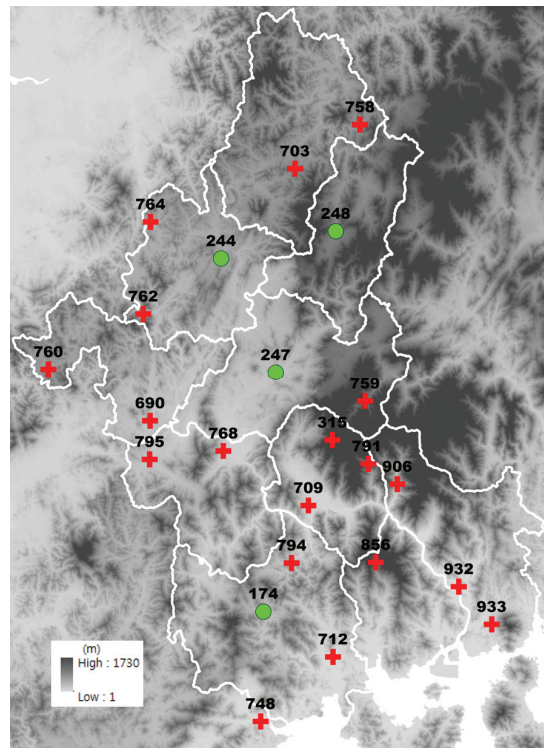


Fig. 1. Korean Meteorological Administration's synoptic meteorological observation network (green circle) and automatic weather stations (red cross) for derivation and verification of daily maximum wind speed estimation equation.

외 회귀식이 없는 지점의 최대풍속 추정에 활용하기 위해 19개소 최적회귀식의 계수  $a$ 와  $b$ 를 지점간 거리 자승역산가중(inverse distance squared weighting, IDSW) 기법으로 공간내삽하여 각각의 분포도를 만들었다. 이  $a$ 와  $b$  회귀계수 분포도로부터 기상청 지상기상관측소(ASOS) 중 순천, 남원, 임실, 장수 지점의 격자값을 추출하여 2012년 매일 8개의 회귀식을 이용, 최대풍속을 추정하였는데, 매 3시간 마다 추정된 최대풍속 중 가장 큰 값을 일 최대풍속으로 간주하였다. 추정된 최대풍속값을 실측 최대풍속과 비교함으로써 회귀식의 신뢰도를 검증하였다.

## 2.2. 일 최대풍속 추정오차 분포 표현

기상청 AWS 19곳에 대해 2012년 한 해 동안 일 최대풍속 관측값과  $a$ ,  $b$ 회귀계수로 추정된 일 최대풍속 간의 편차를 계산하여 0.5m/s 간격으로 전 지점에 대한 빈도분포를 나타내었고, 일 최대풍속 추정오차로 확률분포함수를 작성하였다. 농업기상재해 조기경보 서비스에서 제공하는 ‘지발성 풍해’는 대상 작목의 생육시기에 대해 평년 기간 동안의 일 평균풍속을 표준정규분포로 표현한 후, 예상되는 일 평균풍속이 평년 정규분포의  $\pm\sigma$ 범위를 벗어나는 경우 풍해 위험을 발령하고 있다(Lee and Kim, 2015; www.agmet.kr). 그런데 풍속은 음의 값을 갖지 않기 때문에 풍속의 빈도분포가 일반적으로 양의 비대칭인 모양을 보이게 되는데, 이러한 풍속의 확률분포를 주로 Weibull 분포로 표현하고 있다(Kim and Byun, 2008; Ryu and Park, 2012). 그러므로, 일 최대풍속의 추정오차를 정규분포 또는 Weibull 분포로 표현한 경우, 실제 추정오차의 빈도분포를 유사하게 나타낼 수 있는지, 또한 확률누적함수를 풍해 가능성 예측에 활용한다면 두 가지 확률분포의 위험 판정 결과에서 차이가 발생하는지 비교하고자 하였다. 따라서, 분석기간 동안 관측지점별로 일 최대풍속 추정오차의 평균과 표준편차를 구하여 정규분포 확률밀도함수를 작성하였고, 같은 추정오차 자료로 통계 프로그램(SAS Institute, Raleigh, North Carolina, USA)을 이용하여 지점별 Weibull 분포로 나타내었다. 일 최대풍속은 일차함수 형태의 최적회귀식으로 추정되므로 추정오차의 평균(=ME)은 0일 것으로 간주하였으며 따라서 이 때의 추정오차 확률분포 누적값은 50%가 된다. 표준정규분포의 경우 +또는 -의 추정오차를 가지고 표준편차에 따라 대칭적으로 발현확률을 나타낼 수 있지만, 좌우 비대칭인 Weibull

분포의 확률밀도함수는 양의 값으로 한정된 변수가 이용되기 때문에 추정오차를 별도의 확률 변수  $X$ 로 치환하여 Weibull 분포를 작성하였다(식 1).

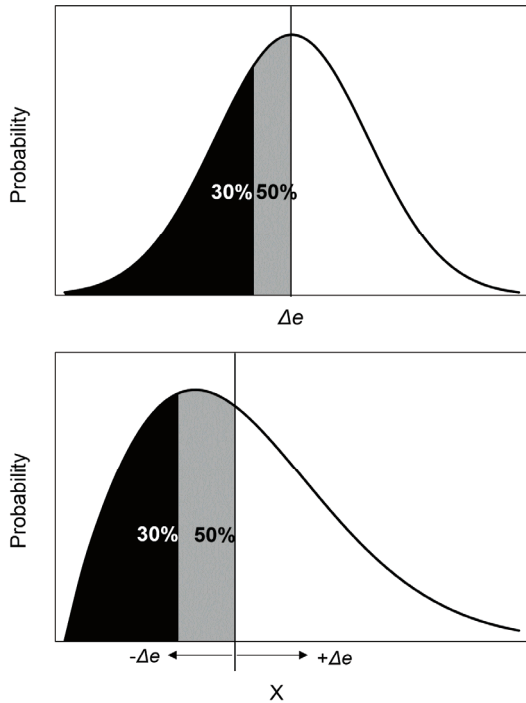
$$X = -(E - W) = W - E \quad (1)$$

식 1에서  $W$ 는 추정된 일 최대풍속,  $E$ 는 관측값과의 편차를 의미한다. 최대풍속이 과대추정되었을 경우, 추정오차  $E$ 값의 범위는 0~ $W$ 까지로, 실제 최대풍속이 0m/s에 가까울수록  $E$ 는 양의 임계치인  $W$ 에 근접할 것이다. 반면, 일 최대풍속이 과소추정된 경우, 즉 실제 최대풍속이 추정값  $W$ 보다 큰 경우는, 실측치에 따라 추정오차  $E$ 가 음의 방향으로 얼마든지 확장될 수 있다. 따라서  $E$  빈도분포의 좌우를 바꾸고  $E$ 의 최대치를 0으로 처리하는 변환과정을 식 1과 같이 진행하였다.

연구대상지역 기상청 AWS 19곳에 대해, 추정오차  $E$ 를 계산하고, 표준편차 및 Weibull 분포의 형상모수( $\alpha$ )와 척도모수( $\beta$ )를 도출하였다.  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 통계프로그램으로 최적값을 찾아내었으며, 지점별 표준편차와  $\alpha$ ,  $\beta$ 를 IDSW 기법으로 공간내삽하여 각각의 분포도를 제작하였다.

## 2.3. 풍해위험판정

농작물의 풍해 위험을 판단하기 위해선 최대풍속이 작물이 피해를 입기 시작하는 임계풍속을 초과하였는지, 또는 임계풍속에 얼마나 가까운지가 관건일 것이다. 작물의 임계풍속이 정확한 기준이라 할지라도, 예측된 풍속은 추정오차를 내포하고 있으므로 풍해 여부 판정에 오류를 가져올 수 있는데, 이것을 보완하기 위해 일 최대풍속 추정오차 기반 표준정규분포 및 Weibull 분포를 이용하여 풍해 ‘경보’와 ‘주의보’ 단계를 설정하였다. 경보 단계는 추정된 일 최대풍속  $W$ 가 작물의 풍해 임계풍속  $V$  이상인 경우로 기준을 삼았는데, ME가 0m/s인 최대풍속 추정오차 확률분포로 판단하였을 때,  $W$ 와  $V$ 가 동일하다면 실제 풍속이  $V$ 보다 더 세게 불었을 경우와 더 약할 경우 모두 절반의 확률을 가지고 있을 것이다. 따라서 표준정규분포와 Weibull 분포에서 누적확률이 50% 이상 되는 경우를 풍해 경보 발령 조건으로 삼았다. 또한 풍해 임계치  $V$ 에 비해  $W$ 가 더 약하게 모의된 경우,  $W$ 가  $V$ 로부터 멀어질수록 풍해 위험도는 감소하겠지만,  $W$ 에 오차가 포함되어 있으므로 일정 수준까지는 풍해 가능성을 포



**Fig. 2.** Normal distribution (upper) and Weibull distribution (lower) probability density functions. The black area has a cumulative probability of 30%, and the cumulative probabilities of the black and gray areas are 50%.  $\Delta e$  is the deviation between the estimated daily maximum wind speed and the critical wind speed causing crop damage.

함할 것이다. 이것을 추정오차 확률분포에서 표현하기 위해, W와 V의 편차를  $\pm\Delta e$ 로 두고 정규분포에서는  $\Delta e$ 에 대한 누적확률을 계산하였을 때, Weibull 분포에서는 누적 확률 50%일 때의 X를 기준으로  $\Delta e$ 만큼 이동했을 때, 누적 확률이 30%인 지점부터 ‘주의보’로 간주하였다(Fig. 2). 본 연구의 주의보 기준은 임의로 부여한 것으로, 추후 사례분석 연구를 통해 적절한 기준을 찾아야 할 것이다.

#### 2.4. 적용

연구대상지역 내 ASOS 순천, 남원, 임실, 장수 4곳에 대해, a와 b 회귀계수 공간내삽 분포의 해당 지점 격자값으로 2012년도의 3시간 간격 최대풍속을 추정하고 그 중 하루 최대치를 일 최대풍속으로 산출하였다. 4곳의 1분간격 풍속 관측값으로부터 매일의 최대 풍속을 뽑아내어 추정값과 비교, ME와 RMSE를 확인

하였다.

또한, 추정된 4지점의 일 최대풍속으로 2012년간 배나무 풍해 경보 및 주의보 여부를 판단하였다. 배만삼길 품종의 경우 과거 최고풍속이 10m/s였을 때 (1984년 8월 27일) 11.3%가 낙과되었음이 보고된 바가 있으므로(www.nongsaro.go.kr), 10m/s를 배 낙과 임계풍속으로 간주하였다. ASOS 4곳에 대해 추정된 일 최대풍속과 임계풍속 간 편차  $\Delta e$ 를 계산하고, AWS 19지점으로 공간내삽한 표준편차 및  $\alpha$ ,  $\beta$ 계수 분포도로부터 ASOS 4곳의 격자값을 추출한 후, 각각의 정규분포와 Weibull 분포 확률밀도함수 및 확률누적값을 계산하였다. 누적확률이 50%이상인 경우 풍해 경보를, 30%이상~50%미만인 경우 풍해 주의보를 발령하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 최대풍속 회귀계수와 추정오차

연구대상지역 내 기상청 AWS 지점별로 도출된 최대풍속 추정 회귀계수 a는 3시간 간격의 정시 풍속 대비 직전 3시간 동안의 1분 풍속 최대치의 비율(기울기)로, 오전과 야간에는 구례 피아골(791) 지점에서 가장 크게 나타났으며, 낮 동안(1500, 1800)에는 광양 백운산(856) 지점의 a가 가장 컸다(Table 1). 회귀계수 a가 크면 상대적으로 y절편인 b는 작은 경우가 많지만, b와 관계없이, a가 큰 지점일수록 정시 풍속의 일정 구간에서 최대풍속의 변동폭이 상대적으로 더 큰 것이다. 피아골과 광양백운산 두 지점은 400m 이상의 해발고도가 높은 산간 남향계곡지형에 위치해 있는데(Fig. 1), 이와 같이 지형적 특성에 따라 1분 풍속 또는 최대풍속 빈도분포가 달라질 수 있을 것이다. 19개의 지점마다 정시 풍속과 최대풍속 간 관계식을 별도로 도출하여 지점별 특성이 반영되도록 하였고, 이것으로 일 최대풍속을 계산하였을 때 추정오차 ME는 최소 -0.25m/s, 최대 0.13m/s, 19지점 중 15지점이  $|ME| < 0.1$ 에 부합하여 추정오차의 불편성을 확인하였다(Table 1).

공간내삽(IDSW)된 a, b 분포도를 이용하여 기상청 ASOS 4곳의 2012년간 일 최대풍속을 추정한 결과와, ASOS 지점에서 각각 도출한 a, b회귀계수로 추정된 결과를 비교하기 위해 실측값과의 ME와 RMSE를 계산하여 Table 2에 나타내었다. 두 종류의 회귀계수로 추정된 일 최대풍속의 ME와 RMSE는 전반적으로 크

**Table 1.** Three-hour interval maximum wind speed estimation regression coefficients a and b at 19 automatic weather stations (AWS) of Korean Meteorological Administration (KMA)

| SN. | Name                   | 0:00          |        | 3:00          |        | 6:00          |        | 9:00          |        | 12:00         |        | 15:00         |        | 18:00         |        | 21:00         |        | Daily maximum    |      |    |      |
|-----|------------------------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|------------------|------|----|------|
|     |                        | a             | b      | a             | b      | a             | b      | a             | b      | a             | b      | a             | b      | a             | b      | a             | b      | a                | b    | ME | RMSE |
|     |                        | (21:01~00:00) |        | (00:01~03:00) |        | (03:01~06:00) |        | (06:01~09:00) |        | (09:01~12:00) |        | (12:01~15:00) |        | (15:01~18:00) |        | (18:01~21:00) |        | wind speed (m/s) |      |    |      |
| 315 | Sungsamjae             | 1.2201        | 2.5886 | 1.2592        | 2.5198 | 1.2132        | 2.7849 | 1.2005        | 2.9512 | 1.2196        | 3.3434 | 1.4168        | 2.4375 | 1.2704        | 2.8829 | 1.1682        | 2.7655 | 0.02             | 1.90 |    |      |
| 690 | Pungsan                | 1.5829        | 1.2825 | 1.6486        | 1.1573 | 1.6692        | 1.0288 | 1.4834        | 0.8626 | 1.3748        | 1.4039 | 1.2973        | 2.1775 | 1.1817        | 2.9448 | 1.3460        | 2.3528 | -0.07            | 1.37 |    |      |
| 703 | Jinan                  | 1.1848        | 1.6211 | 1.2972        | 1.2862 | 1.2954        | 1.2075 | 1.3753        | 0.8337 | 1.1513        | 1.4451 | 1.0357        | 2.2212 | 1.1437        | 2.3985 | 1.0810        | 2.2197 | 0.07             | 1.19 |    |      |
| 709 | Gurye                  | 1.2876        | 1.5066 | 1.2844        | 1.2124 | 1.3590        | 1.1233 | 1.3415        | 0.9102 | 1.3490        | 0.9527 | 1.2946        | 1.7347 | 1.0680        | 2.5166 | 1.2510        | 1.9034 | -0.15            | 3.23 |    |      |
| 712 | Suncheon               | 1.2300        | 1.3486 | 1.1660        | 1.4583 | 1.1700        | 1.4409 | 1.1093        | 1.6288 | 1.1903        | 1.4887 | 1.1715        | 1.7561 | 1.1207        | 2.4099 | 1.0266        | 2.1291 | 0.03             | 0.87 |    |      |
| 748 | Beolgyo                | 1.0934        | 1.8363 | 1.0425        | 1.9406 | 1.0212        | 2.0840 | 1.0109        | 2.0080 | 1.1643        | 1.3325 | 1.1259        | 1.6622 | 1.0385        | 2.7418 | 0.9606        | 2.6424 | 0.06             | 1.13 |    |      |
| 758 | Donghyang              | 1.2550        | 1.5124 | 1.2329        | 1.3385 | 1.1617        | 1.2242 | 1.0552        | 1.2085 | 0.8307        | 2.4502 | 0.8505        | 3.3264 | 0.8148        | 3.7664 | 1.2271        | 2.2515 | -0.25            | 1.62 |    |      |
| 759 | Baemsagol              | 1.4323        | 1.1156 | 1.4157        | 1.1897 | 1.5118        | 1.0711 | 1.2662        | 1.3961 | 0.9655        | 2.2230 | 0.8154        | 3.2649 | 1.0590        | 3.1180 | 1.4112        | 1.3947 | -0.11            | 1.19 |    |      |
| 760 | Bokheung               | 1.0029        | 1.3102 | 1.0545        | 1.1519 | 1.0772        | 1.1824 | 1.0694        | 0.9139 | 0.9999        | 1.2788 | 0.9190        | 1.7225 | 0.8257        | 2.1274 | 0.8756        | 1.7419 | 0.00             | 0.61 |    |      |
| 762 | Gangjimyoon            | 1.1131        | 1.9264 | 1.1380        | 1.7553 | 1.1549        | 1.5234 | 1.0777        | 1.4853 | 1.1898        | 1.6133 | 1.0458        | 2.4830 | 0.9804        | 2.9195 | 1.0832        | 2.0060 | 0.01             | 1.13 |    |      |
| 764 | Sindeok                | 1.5450        | 1.1467 | 1.2807        | 1.2218 | 1.4699        | 1.1515 | 1.3298        | 0.9806 | 1.1272        | 1.9467 | 1.0050        | 2.7420 | 1.0040        | 3.1482 | 1.3716        | 1.8321 | 0.00             | 1.02 |    |      |
| 768 | Gokseong               | 1.2601        | 1.5464 | 1.3120        | 1.3327 | 1.3560        | 1.1665 | 1.2730        | 0.8323 | 1.2742        | 1.1404 | 1.1348        | 2.0341 | 1.1131        | 2.4042 | 1.0345        | 2.2849 | 0.09             | 1.04 |    |      |
| 791 | Piagol                 | 1.6901        | 0.8687 | 1.8662        | 0.7274 | 1.8351        | 0.8668 | 1.5993        | 0.8326 | 1.6313        | 0.5346 | 1.3095        | 1.6607 | 1.2107        | 2.1463 | 1.6768        | 1.0167 | -0.02            | 2.02 |    |      |
| 794 | Hwangjeon              | 1.4542        | 1.3519 | 1.5158        | 1.1170 | 1.3440        | 1.3108 | 1.4052        | 1.0019 | 1.3787        | 1.1403 | 1.2109        | 2.0843 | 1.2289        | 2.7023 | 1.3715        | 1.9514 | 0.13             | 1.15 |    |      |
| 795 | Okgwa                  | 1.3339        | 1.1429 | 1.2889        | 1.0848 | 1.4525        | 0.8409 | 1.3374        | 0.8028 | 1.2392        | 1.1158 | 1.1770        | 1.6783 | 1.1160        | 2.3360 | 1.1885        | 1.9526 | -0.02            | 1.31 |    |      |
| 856 | Gwangyang<br>baegunsan | 1.5299        | 1.5639 | 1.5313        | 1.5773 | 1.4211        | 2.1394 | 1.4853        | 2.2698 | 1.5811        | 1.7185 | 1.5611        | 2.1717 | 1.3065        | 2.8064 | 1.6181        | 1.4062 | -0.01            | 1.45 |    |      |
| 906 | Hwagae                 | 1.6193        | 0.9488 | 1.4808        | 0.9723 | 1.6615        | 0.9047 | 1.5025        | 0.8441 | 1.2219        | 1.0118 | 1.2004        | 1.6117 | 1.2046        | 2.3445 | 1.4913        | 1.2755 | 0.08             | 0.91 |    |      |
| 932 | hadong                 | 1.1613        | 1.6299 | 1.2895        | 1.3586 | 1.2158        | 1.4968 | 1.1986        | 1.2427 | 1.1027        | 1.6454 | 1.0294        | 2.1619 | 0.9875        | 2.7352 | 1.0591        | 2.0608 | -0.05            | 1.00 |    |      |
| 933 | Geumnam                | 1.2296        | 1.3933 | 1.2451        | 1.2774 | 1.1980        | 1.3684 | 1.1452        | 1.1897 | 1.0377        | 1.7888 | 0.9256        | 2.4173 | 0.7931        | 3.0661 | 1.0892        | 1.8969 | 0.00             | 0.88 |    |      |

**Table 2.** Estimation errors in 2012 based on the regression coefficients of the daily maximum wind speeds at Suncheon, Imsil, Namwon, and Jangsu

| Maximum Wind Speed Estimation |      |                   |                |                 |                 |
|-------------------------------|------|-------------------|----------------|-----------------|-----------------|
|                               |      | Suncheon<br>(174) | Imsil<br>(244) | Namwon<br>(247) | Jangsu<br>(248) |
| derived                       | ME   | -0.16             | 0.11           | -0.01           | 0.12            |
|                               | RMSE | 2.91              | 0.82           | 1.30            | 1.09            |
| IDSW                          | ME   | -0.19             | 0.30           | 0.51            | 0.10            |
|                               | RMSE | 2.99              | 0.90           | 1.34            | 1.10            |

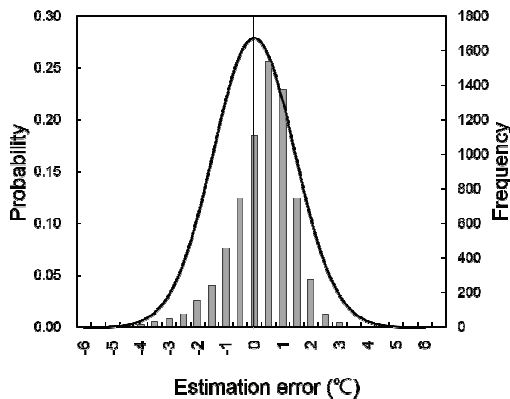
게 다르지 않았다. IDSW방식으로 추출된 a, b 회귀계수를 기반으로 한 일 최대풍속은 상대적으로 RMSE가 약간 증가하는 경향을 보였으나, ASOS 지점간의 ME, RMSE 차이에 비해 미미한 수준이었다. RMSE는 임실과 장수는 각각 0.9m/s, 1.1m/s 였고, 남원은 1.3m/s, 순천은 3.0m/s로 남쪽 지역에서 추정오차가 상대적으로 크게 나타났다. 풍속이 강한 지역은 약한 지역에 비해 추정오차가 크게 계산될 수 있는데, 일 최대풍속의 연 평균치를 비교해보면 순천 7.0m/s, 임실 5.5m/s, 남원 5.9m/s, 장수 6.4m/s 로, RMSE값에 비해 지점간 차이가 적다. 그만큼, 순천의 경우 정시 풍속을 독립변수로 하는 a, b 회귀계수의 일차회귀식으로는 설명되지 않은 풍속의 변이가 큰 것으로 판단된다. 순천에서 2012년간 관측된 일 최대풍속(1분 관측값 기준)의 표준편차는 3.8m/s로 다른 ASOS 지점에 비해 1.5~2배

가량 크게 나타났다(임실 1.8m/s, 남원 2.3m/s, 장수 2.0m/s). 정시 풍속만으로는 설명되지 않는 최대풍속의 변이를 주변 지형의 영향, 지리적인 특성 등 다른 요인과 관련지어 해석하는 추가 연구가 필요할 것이다.

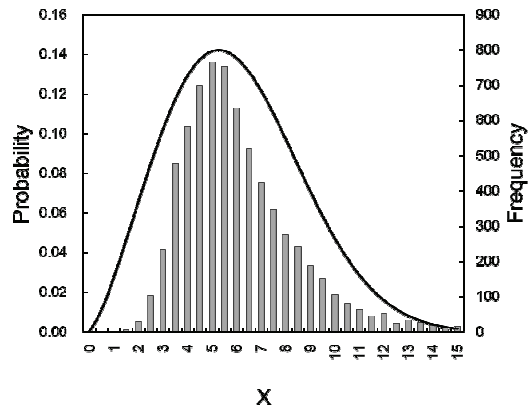
**3.2. 일 최대풍속 추정오차 확률 분포**

2012년의 기상청 AWS 19곳 전 지점의 일 최대풍속 추정오차를 0.5m/s 간격으로 빈도분포를 나타내어 보면, 평균적인 추정오차는 거의 0에 가까웠으나 과대 및 과소추정오차의 분포는 정규분포곡선과 같이 대칭적으로 발생하지 않았다(Fig. 3). 추정오차가 -1~0m/s 사이인 경우는 1853회인 반면, 0~1m/s 사이인 경우는 2911회로, 약 1.6배 가량 많았다. 때문에 일 최대풍속 추정오차의 평균 및 표준편차로 정규분포의 확률밀도함수를 작성할 경우, 실제 추정오차 빈도분포 특성을 반영하지 못할 수 있다. AWS 전 지점의 추정오차를 식 1의 X로 변환하여 Weibull 분포로 표현한 경우(Fig. 4), 정규분포에 비해 상대적으로 확률밀도곡선과 빈도분포가 더 유사한 형태를 나타내었다. 전 지점 공통의 Weibull 분포에서 누적확률이 50%가 되는 X값은 5.75였다.

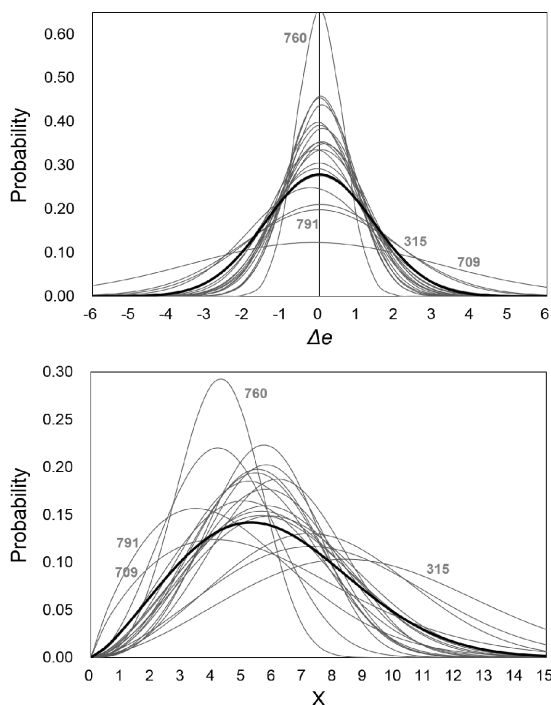
10개 시군 내 각 AWS 지점별 일 최대풍속 추정오차의 평균 및 표준편차를 가지고 정규분포를 작성한 결과, 지점마다 다른 산포도를 나타내었다(Fig. 5, Up). 19지점 확률분포곡선에서 표준편차가 가장 큰 구례(709)지점과(=3.2m/s) 표준편차가 가장 작은 북홍



**Fig. 3.** Probability curve of normal distribution and histogram for estimation error of daily maximum wind speeds at the 19 AWS of Korean Meteorological Administration in 2012.



**Fig. 4.** Probability curve of Weibull distribution and histogram, where the estimation error of the daily maximum wind speeds at the 19 AWS of Korean Meteorological Administration in 2012 is converted into variable X.



**Fig. 5.** Normal distribution curves (upper) and Weibull distribution curves (lower) for expressing estimation error of the daily maximum wind speed at each of the 19 AWS. The bold line represents the probability density curve of all the 19 points integrated, and the gray line represents the individual distribution curve of each AWS.

(760)지점 간(=0.6m/s) 가장 큰 차이를 보였다. 구례(709)외에도 피아골(791)과 성삼재(315)가 표준편차가 각각 2.0m/s, 1.9m/s로 상대적으로 산포도가 크게 나타났다.

한편, 각 AWS지점의 일 최대풍속 추정오차를 X값으로 환산하여 Weibull 분포곡선을 도출한 결과, 상당수 지점은 정규분포와 비슷한 형태의 확률밀도곡선을 나타내었으나 일부 지점, 특히 구례(709)와 피아골(791)은 전형적으로 비대칭적인 분포를 보였다(Fig. 5, Down). 성삼재(315)와 복흥(760)은 정규분포로 표현한 결과와 Weibull 분포로 도출된 결과를 비교하였을 때 두 종류의 확률밀도곡선의 형태가 유사하였다. 반면, 피아골(791)과 성삼재(315)는 정규분포의 경우 두 지점의 평균과 표준편차가 비슷하여 확률밀도곡선이 거의 일치하였으나, 추정오차로 Weibull 분포를 도출한 결과에서는 두 지점의 확률밀도곡선이 매우 상이하

게 나타났다(Fig. 5). 이와 같은 문제로, 일 최대풍속의 추정오차를 표준정규분포로 해석하거나 다수 지점을 통합하여 작성한 추정오차 분포곡선(Fig. 5, bold line)을 이용할 경우, 일 최대풍속의 추정오차를 감안한 풍해 위험도 판정 과정에서 실제 현상을 대변하는데 부적합할 수 있으므로, 지점별로 작성된 Weibull 분포를 최대한 활용하였을 때 더 나은 결과를 가져올 것이라 유추할 수 있다.

### 3.3. 풍해 판정의 현실 적용 가능성

연구대상지역 내 AWS 19지점에 대해 일 최대풍속 추정오차의 표준편차와 Weibull 모수( $\alpha$ ,  $\beta$ )를 공간 내삽한 분포도로부터 ASOS 지점 순천, 남원, 임실, 장수 4곳의 격자값을 추출, 지점별 추정오차 확률분포를 작성함으로써 풍해 위험도 판단 시 개별적인 추정오차 발생확률을 감안할 수 있도록 하였다. 4지점에서 모의한 2012년 일 최대풍속으로 배 낙과 피해 ‘경보’를 판정(누적확률 50% 이상)한 결과는 정규분포와 Weibull 분포 모두 동일하였는데, 순천의 경우 21회로 가장 많았고 임실 6회, 남원 14회, 장수는 6회 발생하였다(Table 3). 반면 누적확률 30% 이상 조건으로 풍해 ‘주의보’를 판정한 결과, 전반적으로 정규분포에 비해 Weibull 분포를 사용한 경우에서 2~3배 이상 주의보 발령 횟수가 많았다(Table 3).

**Table 3.** Number of days with wind damage advisory for pear at Suncheon, Imsil, Namwon and Jangsu stations were issued in 2012, determined by the normal distribution and Weibull distribution of daily maximum wind speed estimation errors

| Number of Days with Wind Damage Advisory |                |             |              |              |    |
|--|----------------|-------------|--------------|--------------|----|
| Name                                     | Suncheon (174) | Imsil (244) | Namwon (247) | Jangsu (248) |    |
| Watch                                    | Normal         | 10          | 5            | 9            | 6  |
|  | Weibull        | 31          | 10           | 24           | 21 |
| Warning                                  | 21             | 6           | 14           | 6            |    |

2012년의 강풍과 관련된 주요 이슈를 살펴보면, 4월 2~3일에 저기압이 강하게 발달하여 강풍을 발생 시킴으로써, 서남해안 중심으로 크레인 붕괴사고와 같은 각종 피해가 속출하였는데(KMA, 2013), 풍해위험도를 적용한 결과 남원은 4월 2일부터 3일까지, 순천과 장수는 3일에 풍해 경보가 발령되었다. Weibull 분

포를 적용하였을 때 4월 2일 장수 지역을 주의보로, 3일에 입실에서 주의보가 발령되었지만, 정규분포를 이용한 경우, 2일 장수는 주의보가 발령되지 않았다. 4월 2일에 추정된 일 최대풍속은 순천, 입실, 남원, 장수 각각 6.9m/s, 8.0m/s, 10.1m/s, 9.4m/s였으며, Weibull 분포에서는 장수 9.4m/s를 주의보로 분류하였으나 정규분포에서는 누락되었다. 4월 2일 실제 관측된 1분풍속 중 일 최대풍속은 각각 8.4m/s, 8.1m/s, 10.8m/s, 8.6m/s 로, 순천과 입실, 장수 간에 큰 차이가 없었기 때문에 일 최대풍속 추정값이 현실의 지역별 강풍 특성을 충분히 반영하지는 못하였다.

태풍 ‘카논’이 통과하였던 시기에는 남쪽 순천의 경우 7월 18일부터 19일까지 풍해 경보가 판정되었고, 남원과 장수는 19일 경보가 발령되었다. 입실의 경우, 풍해 위험도 판정 과정에서 정규분포를 적용하였을 때에는 위험이 감지되지 않았고 Weibull 분포로 대신하였을 때 풍해 주의보가 판정되었다. 7월 19일의 실제 일 최대풍속은 10.1m/s로써, 풍해 경보 수준에 해당하였으므로 이 날은 Weibull 분포의 추정오차를 감안하여 위험도를 판정한 것이 정규분포의 경우보다 더 현실에 가까운 결과를 얻었다.

8월 27~28일에는 태풍 ‘블라벤’이 통과하여 과수 낙과, 시설 파손, 벼 도복 등의 피해가 발생하였는데 (KMA, 2013), 남쪽의 순천에서는 27일부터 풍해 경보가 발생, 28일까지 경보 수준이 유지되었고, 입실과 남원, 장수는 28일에 경보가 발령되었다. 위험도 판정 과정에서 Weibull 확률분포를 사용하면 순천에서는 8월 26일에, 입실은 27일부터 주의보를 발령하게 되었으나, 정규분포의 경우 주의보 수준에 이르지 않는 것으로 판정되었다. 26일 순천의 경우, 실제 일 최대풍속은 7.5m/s였으나, 추정치는 9.0m/s로 과대추정되면서 풍해 판정에 Weibull 확률분포를 적용하였을 때 성급한 주의보 판정이 내려졌을지라도, 27일은 입실에서 실제 9.5m/s의 일 최대풍속이 관측되어 주의보를 발령한 Weibull 확률분포가 더 효용성이 있었다. 태풍 블라벤에 뒤이어 ‘텐빈’이 전남지역을 지나가면서 8월 30일에 순천 지점만 경보로 판정되었는데, 추정오차 확률분포를 정규분포로 사용하였을 경우에는 어느 지역도 주의보가 발령되지 않았지만, Weibull 분포로는 남원이 주의보가 판정되었다. 그런데 30일 장수는 실측 일 최대풍속이 10.3m/s로 다른 4곳에 비해 두번째로 바람이 강했으나(순천 19.1m/s, 입실 7.3m/s, 남원 8.5m/s), 최대풍속 추정값은 순천 11.9m/s, 입실

7.3m/s, 남원 8.7m/s, 장수 7.8m/s로, 장수 지역이 상대적으로 약하게 모의되어, 풍해 위험을 예측하는 데 실패하였다.

9월 16~17일에는 태풍 ‘산바’가 통과하면서 강풍과 폭우로 인해 산사태, 시설 파손 및 과수낙과 피해가 발생하였으며(KMA, 2013), 풍해 위험도 판정 결과 17일 순천과 남원은 풍해 경보가 발령되었다. 이 시기에는 두 종류의 추정오차 확률분포 모두, 16일 입실과 17일 장수의 풍해 주의보를 판정하였다. 입실 지점의 풍해 주의보는 Weibull 분포로는 16~17일까지 유지되었던 반면, 정규분포로는 17일에 주의보가 해제되었는데, 실제 관측된 17일의 입실 지점 일 최대풍속은 9.6m/s, 추정 풍속은 9.2m/s로, 만일 이 날의 풍해위험을 정규분포 누적확률로 판단한다면, 풍해 임계풍속에 가까운 풍속이 불었음에도 주의보가 발령되지 않는다.

#### IV. 결 론

기상청 동네예보의 풍속 정보를 이용하여 농작물의 풍해 위험을 예측하기 위해, 예보시간 간격에 맞추어 직전 3시간 동안의 최대풍속을 추정하는 직선회귀식을 기상청 AWS 19 지점별로 도출하였고, 이것으로 일 최대풍속을 추정하였다. 그러나 추정된 최대풍속에는 오차가 내포되어 있기 때문에 풍해 발생 여부 판정에 오류를 가져올 수 있으므로, 추정오차의 확률분포에 따라 주의보 및 경보 수준을 누적확률로 판정하는 방법을 고안하였다. 일 최대풍속의 추정오차 확률분포는 정규분포와 Weibull 분포 두 종류를 이용하였으며, 누적확률에 따라 주의보(30%이상)와 경보(50%이상)를 발령하도록 하였다. 배나무 낙과 피해 임계풍속을 기준으로, 기상청 중관기상관측지점 4곳의 2012년 풍해 위험도를 판정하여 강풍 피해 발생일의 실측 풍속과 대조해보면 최대풍속이 임계풍속에 가깝거나 더 강했음에도 불구하고 정규분포는 Weibull 분포에 비해 주의보를 누락하는 사례가 더 많았다. 농작물 기상재해의 예측 실패는 거짓정보보다 사건 발생을 탐지하지 못한 것이 더 큰 문제가 될 수 있으므로 풍해 위험을 보다 민감하게 예측하는 Weibull 확률분포가 더 실용성이 있을 것으로 보인다.

일 최대풍속 추정 결과에서 지역적 특성이 제대로 반영되지 않아 일부 지역은 강풍 피해 예측에 실패하는 사례가 발생하였는데, a, b 회귀계수를 다수의 관측 지점에서 도출하였음에도 불구하고 미관측지역에 적



용하였을 때 최대풍속의 지역적인 변이를 모두 설명하기 어려웠다. 이로 인한 풍해 위험도 판정오류를 줄이기 위해서는 지형 조건별 풍속 빈도 분석과 추정오차의 확률분포 특징 규명 등 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구에서 사용한 풍해 위험 판정 기준은 배 낙과 임계풍속이므로, 배나무의 생육단계와 연계하여 위험도를 발령하는 것이 옳다. 풍해 위험도 판정 사례 중 2012년 4월 3일의 경우, 남부지방은 개화를 앞두고 있는 시점이므로 이와 같은 시기에는 배 낙과 위험 주의보/경보 대신 풍해를 입을 수 있는 다른 타 작목 및 요인에 대해서 위험도를 판정, 발령해야 할 것이다.

풍해 위험 판단 과정에 활용된 일 최대풍속은 24시간 동안의 1분 풍속 중 최대값을 기준으로 하였다. 1분 풍속의 일 최대값과 일 순간최대풍속은 차이가 있으나, 1분 풍속을 분석에 이용한다면 일 최대풍속이 작물의 풍해 임계값보다 더 센 경우, 임계풍속을 초과한 풍속이 하루 중 몇 시간인지 1분단위로 계수가 가능하다. 일일 1분 풍속의 빈도분포를 확률분포로 변환한다면 특정 풍속값 이상인 경우에 노출시간을 연계하여 누적확률로써 표현이 가능할 것이라 예상되며, 작물의 풍해 위험을 판단하기 위한 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

## 적 요

기상청 동네예보 풍속으로부터 농작물의 강풍피해를 예측하기 위해, 방재기상관측지점 19곳의 2012년 풍속자료를 이용하여 기상청 동네예보의 3시간 간격과 동일한 0000, 0300 ... 2100 시간대의 풍속과 직전 3시간 동안의 최대풍속 간의 관계를 직선회귀식으로 표현하였다. 매 3시간 마다 추정된 최대풍속 중 가장 큰 값을 일 최대풍속으로 간주하고, 이 때의 추정오차를 정규분포와 Weibull 분포 확률밀도함수로 표현하였다. 또한 일 최대풍속과 작물 피해 임계풍속 간의 편차를 추정오차 기반 확률 분포에 적용하여 확률누적값으로 풍해 ‘주의보’와 ‘경보’ 단계를 설정하였다. 19 지점별 최대풍속 추정 회귀계수(a, b)와 추정오차의 표준편차 및 Weibull 분포의 모수( $\alpha$ ,  $\beta$ )는 공간내삽하여 분포도로 작성하고 종관기상관측지점 4곳(순천, 남원, 임실, 장수)의 격자값을 추출하였다. 이를 이용해 2012년의 일 최대풍속을 추정하고, 배 만삼길 품종의 낙과 발생 사례에서 제시된 풍속 10m/s를 낙과 임계풍속으로 간주, 풍해 주의보와 경보를 판정하였다. 그 결

과, 최대풍속 추정오차를 Weibull 분포로 표현하여 풍해 위험 정도를 판정하는 것이 정규분포만을 이용하는 것보다 더 현장에 정확한 주의보를 발령할 수 있었다.

## 감사의 글

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

## REFERENCES

- Cartaa, J. A., and P. Ramirez, 2007: Analysis of two-component mixture Weibull statistics for estimation of wind speed distributions. *Renewable Energy* **32**, 518-531. doi:10.1016/j.renene.2006.05.005
- Chang, T. P., 2011: Performance comparison of six numerical methods in estimating Weibull parameters for wind energy application. *Applied Energy* **88**, 272-282. doi:10.1016/j.apenergy.2010.06.018
- Ho, K. N., J. E. Yoon, M. S. Jang, D. S. Jang, and J. C. Huh, 2003: A refinement of WASP prediction in a complex terrain. *Journal of the Korean Solar Energy Society* **23**(4), 21-27.
- Kim, D. W., and H. R. Byun, 2008: Spatial and temporal distribution of wind resources over Korea. *Atmosphere* **18**(3), 171-182.
- KMA, 2013: 2012 report of abnormal weather. Korea Meteorological Administration. 148pp.
- Lee, D. H. S., and D. J. Kim, 2015: Relative risk of wind damage for pear orchards located in different watersheds. *16<sup>th</sup> Conference on Agricultural and Forest Meteorology*, Jeonju, 151-155.
- Park, J. H., S. K. Kim, Y. S. Shin, M. I. Ahn, and Y. K. Han, 2014: Implementation of a weather hazard warning system at a catchment scale. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(4), 389-395. (in Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2014.16.4.389
- Ryu, S. B., and J. S. Park, 2012: Meteorological statistics. *Chonnam National University Press*. 348pp.
- Shin, Y. S., J. H. Park, S. K. Kim, W. S. Kang, K. M. Shim, and E. W. Park, 2015: An operational site-specific early warning of weather hazards for farmers and extension workers in a mountainous watershed. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(4), 290-305. (in Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2015.17.4.290
- Sievers, U., and W. G. Zdunkowski, 1986: A micro-scale

- urban climate model. *Beiträge zur Physik der Atmosphäre* **69**(1), 13-40.
- Yim, J. H., Y. M. Choi, and D. G. Choi, 2014: Effect of wind velocity on photosynthesis, sop flux, and damage of leaves in apple trees. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(2), 131-136. (in Korean with English abstract)
- doi: 10.5532/KJAFM.2014.16.2.131
- 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) doi: 10.5532/KJAFM.2014.16.4.403