

1월 최저기온을 이용한 겨울철 저온발생일수 추정

문경환* · 손인창 · 서형호 · 최경산 · 좌재호

국립원예특작과학원 온난화대응농업연구센터

(2012년 0월 00일 접수; 2012년 0월 00일 수정; 2012년 0월 00일 수락)

Estimation of Duration of Low-temperature in Winter Season Using Minimum Air Temperature on January

Kyung Hwan Moon*, In Chang Son, Hyeong Ho Seo, Kyung San Choi and Jae Ho Joa

National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Jeju 690-150

(Received , 2012; Revised , 2012; Accepted , 2012)

ABSTRACT

The duration of low temperature in winter season is one of the important agrometeorological characteristics in crop growing fields. This study was conducted to develop a method to estimate the duration of low-temperature with monthly meteorological data. Using daily meteorological data from 61 observation sites from 1981 to 2010, we analyzed the relationships between the averages of monthly temperature minima and the durations of low-temperature ranging from -15 to 5°C . The monthly mean of the January minimum air temperature was appropriate for the estimation of the durations of low-temperature below 0°C . We tested a simple second order equation to predict durations of low-temperature. To apply the equation to various temperature ranges, we suggested two different equations for the estimation of coefficients a and b , which are dependent on the base temperatures from -15 to 0°C . The validation of the equations using other daily meteorological datasets from 1971 to 2000 showed that they were appropriate for the range from -10 to 0°C , but underestimated at -15°C .

Key words: Low-temperature duration, Minimum temperature, Winter day

I. 서 론

겨울철의 저온은 작물의 동해를 유발하는 원인이 되기도 하지만 과수에서는 눈의 자발휴면을 완성하기 위해 필요한 저온요구도(Chill requirement)를 충족시키기도 하는 등 농작물의 재배에 있어서 중요한 기상요소이다(Chung *et al.*, 2008, Seo *et al.*, 2010).

어느 지역의 최저기온과 가장 추운 달인 1월의 최저기온은 겨울철 발생하는 저온현상의 강도를 나타낼 수 있고, 실제로 월동작물이나 과수 등의 재배한계를 결정하는데 중요한 기준으로 고려되고 있다. 또 저온의 강도뿐만 아니라 저온현상의 지속기간 또한 작

물재배에 직접적인 영향을 미치는 요소이다(NIAST, 1990). Choi and Yun(1989)은 일최저기온이 0°C 이하인 일수를 “겨울일”이라고 정하고, 겨울일은 우리나라 대부분의 지역에서 12월 상순부터 3월 중순까지 발생하고, 겨울일 지속기간(발생일수)은 지역마다 차이가 크다고 하였다. 이와 같이 저온의 강도와 저온현상의 발생일수는 모두 작물의 재배에 있어서 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있지만, 작물에 따라 반응하는 저온이 각기 다르기 때문에 기준 저온 별로 저온발생일수를 알아볼 필요가 있다.

이와 유사한 연구로 기후변화에 따른 이상저온의 발생빈도에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. Heo and



* Corresponding Author : Kyung Hwan Moon
(milestone@korea.kr)

Lee(2006)은 우리나라는 과거 60년간 겨울철에 이상저온의 발생빈도가 감소되는 경향이 뚜렷하였다고 하였고, Lee *et al.*(2010)은 벼의 재배기간인 4월부터 10월까지의 이상고온과 이상저온의 발생일수를 분석하여 기후학적으로 이상기상 발생이 많은 지역을 분석하고자 하였다. 이러한 이상기상에 대한 연구는 대부분 월, 순, 일 단위의 과거 기상자료를 이용하여 평균으로부터 편이된 정도를 기준($\pm 2\sigma$)으로 기상의 이상여부를 판단하고 편이가 발생하는 것으로부터 이상기상 발생빈도를 분석하고 있다. 이러한 방법은 어떤 지역에서 얼마나 자주 이상기상이 발생하는지의 여부는 쉽게 보여줄 수 있지만, 정작 작물재배에서 중요한 정보인 기온의 평균값의 분포와 특정 온도 이하가 되는 날이 얼마나 되는 지에 대한 내용은 알기 어렵다.

기상연구소는 최근 지구온난화에 따라 겨울철 기온이 과거보다 높아져 저온의 지속기간도 줄어들고, 이에 따라 겨울의 짧아진다고 보고하고 있다(Kwon *et al.*, 2008). 이는 겨울철 특정한 저온과 그 온도 이하의 지속기간 간에는 일정한 관계가 있으며, 온도에 따라 저온일의 발생일수를 알아낼 수 있음을 암시한다. 농작물의 경우 저온생리반응을 보이는 임계온도가 다르므로 특정한 온도를 정했을 때 그 온도 이하의 발생일수를 알 수 있다면 재배작물의 선정, 재배지 변동 예측 등에 유용하게 이용될 수 있다.

따라서 본 연구는 저온의 강도와 지속기간에 대한 정보를 동시에 알아내기 위하여, 과거의 기상자료를 토대로 하여 기온과 지속일수(발생일수) 간의 관계를 구명하고, 이로부터 특정한 기준 온도를 정했을 때 그 온도의 이하가 되는 일수를 추정할 수 있는 방법을 개발하고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

본 연구의 분석기간은 최근의 평년기상정보를 알 수 있는 1981년부터 2010년까지의 30년간을 대상으로 하였다. 전국 기상관서 중 30년간의 일별 기상자료를 확보할 수 있는 61개 지점의 기상관측자료를 토대로 하여 분석하였다.

우선 61개 지점을 대상으로 저온발생일수를 추정할 수 있는 적합한 월 기온자료를 알아보기 위하여 1년 중 가장 추운 달인 1월, 12~2월, 11~3월, 10~4월의 최저기온평균과 1981~2010년 기간의 연평균 저온발생

Table 1. Basic information of selected observation sites of Korea Meteorological Administration used in this study

Name	Latitude(°C)	Longitude(°C)	Altitude(m)
Andong	36.57	128.71	139.4
Boeun	36.49	127.73	173.0
Boryeong	36.33	126.56	17.9
Buan	35.73	126.72	3.6
Busan	35.10	129.03	69.2
Buyeo	36.27	126.92	11.0
Cheonan	36.78	127.12	21.3
Cheongju	36.64	127.44	56.4
Chuncheon	37.90	127.74	76.8
Chungju	36.97	127.95	113.7
Chupungnyeong	36.22	127.99	240.9
Daegu	35.89	128.62	57.3
Daegwallyeong	37.69	128.76	842.5
Daejeon	36.37	127.37	62.6
Ganghwa	37.71	126.45	46.2
Gangneung	37.75	128.89	26.1
Geochang	35.67	127.91	221.4
Geoje	34.89	128.60	44.5
Geumsan	36.11	127.48	170.6
Goheung	34.62	127.28	53.3
Gumi	36.13	128.32	47.4
Gunsan	35.99	126.71	25.6
Gwangju	35.17	126.89	74.5
Haenam	34.55	126.57	4.6
Hapcheon	35.57	128.17	33.0
Hongcheon	37.68	127.88	146.2
Icheon	37.26	127.48	90.0
Imsil	35.61	127.29	248.0
Incheon	37.48	126.62	69.0
Inje	38.06	128.17	198.7
Jangheung	34.69	126.92	44.5
Jecheon	37.16	128.19	263.1
Jeju	33.51	126.53	19.9
Jeongeup	35.56	126.87	39.5
Jeonju	35.82	127.15	61.0
Jinju	35.21	128.12	21.3
Miryang	35.49	128.74	10.7
Mokpo	34.82	126.38	37.4
Mungyeong	36.63	128.15	170.8
Namhae	34.82	127.93	43.2
Namwon	35.41	127.33	93.5
Pohang	36.03	129.38	1.3
Sancheong	35.41	127.88	138.7
Seogwipo	33.25	126.57	50.4
Seosan	36.77	126.50	25.2
Seoul	37.57	126.97	85.5
Sokcho	38.25	128.56	22.9
Suncheon	35.07	127.24	74.4
Suwon	37.27	126.99	34.5
Tongyeong	34.85	128.44	30.8
Uiseong	36.36	128.69	82.6
Uljin	36.99	129.41	47.0
Ulleungdo	37.50	130.92	220.0
Ulsan	35.56	129.32	34.6
Wando	34.40	126.70	27.7
Wonju	37.34	127.95	150.7
Yangpyeong	37.49	127.49	47.4
Yeongcheon	35.98	128.95	93.3
Yeongdeok	36.53	129.41	41.2
Yeongju	36.87	128.52	210.5
Yoesu	34.74	127.74	73.3

Table 2. Correlation coefficients of daily minimum temperatures and durations of low-temperature below -15, -10, -5, 0, 5°C

Averages of daily minimum temperature during	Durations of low-temperatures below				
	-15°C	-10°C	-5°C	0°C	5°C
Jan.	-0.867	-0.924	-0.984	-0.957	-0.947
Dec.~Feb.	-0.857	-0.908	-0.990	-0.975	-0.967
Nov.~Mar.	-0.845	-0.892	-0.989	-0.984	-0.978
Oct.~Apr.	-0.833	-0.880	-0.984	-0.989	-0.984

일수 간의 관계를 분석하였다. 여러 달에 걸친 기간의 최저기온 평균을 구할 때에는 1월이 중심이 되도록 전년도의 12, 11, 10월의 최저기온 자료를 활용하였다. 저온발생일수 계산의 기준이 되는 저온으로는 -15°C부터 5°C까지 1°C씩 증가시켜가며 21단계로 설정하였다. 저온 발생일수는 기준온도 이하가 되는 연중 일수를 분석기간 전체에 대하여 매년의 값을 구하여 30년 평균을 계산한 다음 분석에 이용하였다.

월 최저기온 자료로부터 저온 발생일수를 추정하기 위하여 적합한 추정식을 선정하기 위하여 TableCurve 2D(ver. 4) 프로그램을 이용하여 모든 기준온도에서 나타낼 수 있는 계수가 두 개인 2차 함수를 최적함수로 선정할 수 있었다. 이로부터 선정된 추정식을 모든 기준온도에 적용하기 위해서 추정식에 이용된 두 계수를 기준온도로부터 추정할 수 있도록 별도의 관계식을 도출하였다.

예측식의 적합성 여부를 검증하기 위하여 분석자료와 별개로 1971~2000년까지의 30년간 일별 자료가 확보될 수 있는 전국 23개 지점의 기상관측자료를 수집하고, 이 자료를 이용하여 실제 관측값과 추정값을 비교하였다.

III. 결과 및 고찰

분석대상 기간인 1981~2010년 30년을 대상으로 연중 가장 추운 달인 1월을 중심으로 1월, 12~2월, 11~3월, 10~4월 기간의 일최저기온의 평균과 5°C이하 -15°C까지 기준온도 이하가 발생한 일수의 연평균과의 상관계수를 구해본 결과 최하 -0.833부터 최대 -0.993까지 강한 음의 상관을 보이고 있어, 일최저기온의 월 평균을 이용하여 저온 발생일수를 충분히 추정할 수 있다는 것을 보여주었다.

대체로 분석된 모든 관계에서 높은 부의 상관을 보였지만, 그 중에서도 1월의 최저기온 평균은 -5°C보다 낮

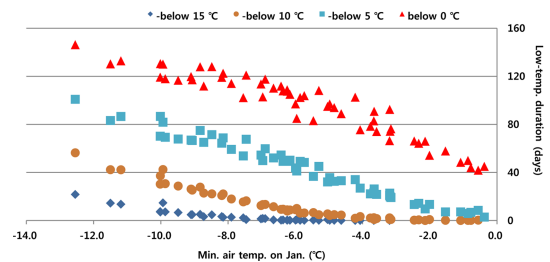


Fig. 1. Relationship between daily minimum temperature on January and duration of below -15, -10, -5, 0°C of daily minimum temperature during 1981~2010 in Korea.

은 온도의 발생일수와 상관이 크고, 10~4월의 최저기온 평균은 -5°C보다 높은 온도의 발생일수와 상관이 크게 나타났고, 12~2월 기간의 최저기온 평균이 다른 기간들에 비하여 평균적인 관계를 보였다. 따라서 보다 낮은 저온의 발생일수 추정에 유리하고 분석과정의 용이함을 고려하여 일최저기온의 1월 평균을 이용하여 저온 발생일수를 추정하는 것이 적합하다고 판단하였다(Fig. 1).

1월의 일최저기온의 평균값과 일최저기온이 기준온도(-15~5°C) 이하 발생일수 간의 관계를 간단하게 기술할 수 있는 식을 탐색해본 결과 기준온도가 0°C 이상의 비교적 고온에서는 1월의 일최저기온의 평균과 선형관계를 나타내었으나, 저온으로 내려갈수록 2차 함수식으로 나타내는 것이 보다 적합하였다. 이는 겨울철 일최저기온의 평균이 비교적 고온인 지역에서는 기준온도가 내려갈수록 저온일수의 증가경향이 크지 않음을 의미하며, 조사된 기준온도의 모든 범위를 고려하면 2차식으로 나타내었을 때 비교적 적합하게 기술할 수 있었다.

$$Y = (a+bX)^2 \tag{1}$$

X: Mean minimum air temperature on January (°C)

Y: Mean duration of low-temperature below base temperatures (days)

a, b: Coefficients

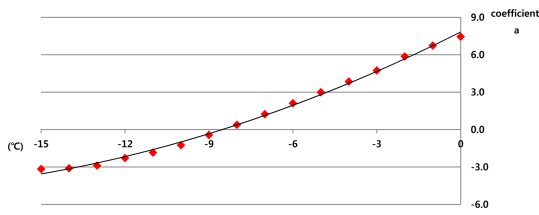


Fig. 2. Relationship between base temperatures and coefficient a of estimation equation (1).

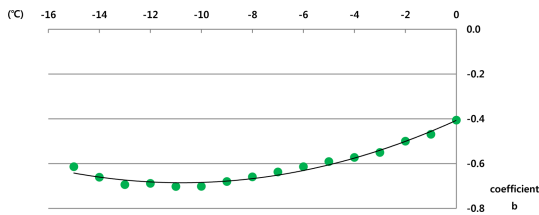


Fig. 3. Relationship between base temperatures and coefficient b of estimation equation (1).

추정식을 일반화하기 위해서는 기준온도로부터 추정식에 이용된 계수 a, b를 추정할 수 있어야 한다. 곡선맞춤법을 이용하여 기존의 자료로부터 -15°C부터 0°C까지 각 온도별로 a, b 값을 구하였다. Fig. 2와 Fig. 3에는 기준온도와 a, b 값의 관계를 나타내었다. 계수 a와 b는 기준온도를 이용하여 2차 함수로 나타내었을 때 결정계수가 각각 0.995와 0.962를 나타내어 기준온도로부터 계수들을 충분히 추정할 수 있었다.

$$a = 0.0246 X^2 + 1.1279 X + 7.8293 \quad (r^2 = 0.9968) \quad (2)$$

$$b = 0.0024 X^2 + 0.0518 X - 0.4066 \quad (r^2 = 0.9758) \quad (3)$$

a, b: Coefficients of equation (1)

X: Base temperatures (0 ~ -15°C)

이상의 과정으로 분석하고자 하는 기준온도(저온)를 결정하면, 이로부터 a, b 두 계수의 값을 구할 수 있고, 이 값들과 일최저기온의 1월 평균을 저온발생일수 추정식에 대입하면 기준온도 이하의 발생일수를 추정하게 된다.

이 추정식의 유효성을 알아보기 위하여 1971~2000년 까지 30년간 일별 기상자료를 이용하여 일최저기온이 -15, -10, -5, 0°C 이하 발생일수에 대한 관측값과 추정값의 관계를 Fig. 4에 나타내었다.

기준온도를 -10~0°C의 범위에서는 저온 발생일수의 추정값과 실측값이 대체로 일치되는 결과를 보였지만, -15°C에서는 추정식에 의한 값이 실측값보다 낮게 추정되는 경향을 보였다. 따라서 제시된 추정식을 활용하여 저온 발생일수를 추정할 경우에는 -10~0°C의 온도범위를 이용하는 것이 바람직하였다. 제시된 추정식은 어떤 지점에서 1월의 최저기온 평균만 알면 기준온도 이하로 저온이 발생할 수 있는 연평균일수를 효과적으로 추정할 수 있게 해주며, 이를 확장하여 1월 최저기온평균 수치지도 자료를 활용하여 기준온도에 대한 저온발생일 지도를 제작하는데도 이용될 수 있다.

한편으로는 여름철 고온의 발생일수에 대한 예측과

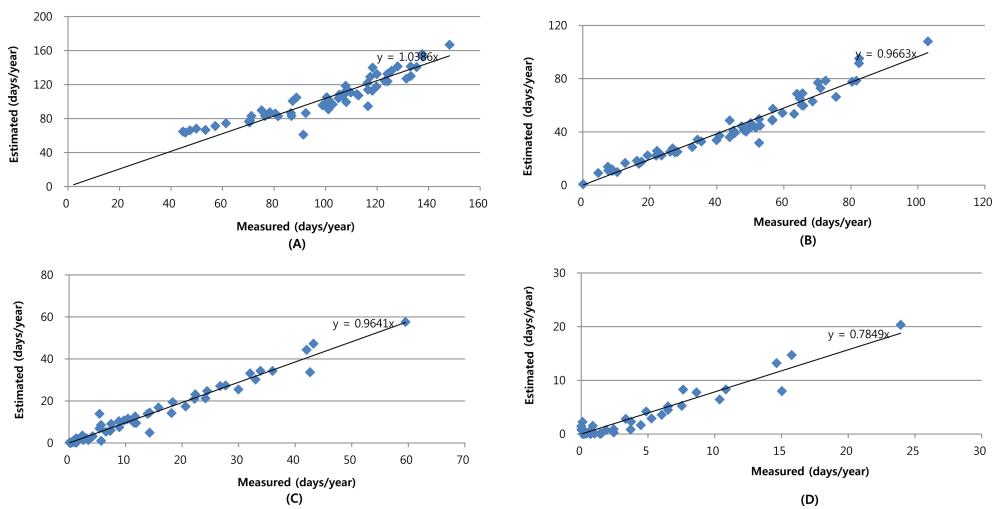


Fig. 4. Comparison between measured and estimated durations of low-temperature below 0°C (A), -5°C (B), -10°C (C) and -15°C (D) with 1971~2000 data-sets.

저온일수 및 고온일수를 수치지도로 나타내고, 이러한 기후특성이 작물의 재배나 생산성에 미치는 영향에 대한 연구가 더 필요하다고 하겠다.

적 요

이 연구는 월 기상자료를 이용하여 작물 생육에 중요한 겨울철 저온 발생일수를 효과적으로 추정하기 위해서 수행되었다. 전국 61개 기상관서의 1981~2010년의 30년 간의 일 최저기온자료를 확보하여 -15°C부터 5°C까지 각 온도 이하 일수와 월 최저기온의 평균들을 비교한 결과, 1월 최저기온의 평균을 이용하였을 때 저온 발생일수를 가장 적합하게 추정할 수 있었다. 1월 최저기온 평균자료로부터 기준온도 이하가 되는 저온 발생일수를 추정할 수 있는 2차 함수 형태의 간단한 추정식을 제시하였다. 여러 온도 범위에서 추정식을 활용하기 위하여 추정식의 계수를 저온을 평가하는 기준 온도로부터 구할 수 있도록 두 개의 2차 함수식을 도출하였고, 이 식들은 결정계수가 0.995 이상이었다. 분석에 이용된 자료와 기간을 달리하여 1971~2000년 30년 일 기상자료를 이용하여 검증해본 결과 기준온도 -10~0°C 범위에서는 저온 발생일수를 비교적 정확하게 예측할 수 있었으나, -15°C에서는 다소 과소하게 추정되는 결과를 보였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 시험연구사업(과제번호 PJ007493)의 지원으로 이루어졌다.

REFERENCES

- Choi, D. H. and S. H. Yun, 1989. Agroclimatic Zone and Characters of the Area Subject to Climatic Disaster in Korea. *Korean Journal of Crop Science* **34**, 13-33.
- Chung, U., S.-O. Kim and J. I. Yun, 2008. Plant Hardiness Zone Mapping Based on a Combined Risk Analysis Using Dormancy Depth Index and Low Temperature Extremes-A Case Study with "Campbell Early" Grapevine. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**, 121-131.
- Heo, I. and S. Lee, 2006. Changes of unusual temperature events and their controlling factors in Korea. *Journal of the Korean Geographical Society* **41**, 94-105.
- Kwon, Y.-A., W.-T. Kwon and K.-O. Boo, 2008. Future Projections on the Spatial Distribution of Onset Date and Duration of Natural Seasons Using SRES A1B Data in South Korea. *Journal of the Korean Geographical Society* **43**, 36-51.
- Lee, J., Y. Kim and S. Jeong, 2010. The Climatological Regional Characteristics of the Occurrence of Extraordinary Temperature Events Associated with Cropcultivation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**.
- NIAST. 1990. Climatic characteristics of the major fruit growing regions. National Institute of Agricultural Science and Technology.
- 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.