

## 최근 한국의 서리 현상의 공간 분포와 시계열 변화 경향

권영아\*

### The Spatial Distribution and Recent Trend of Frost Occurrence Days in South Korea

Kwon Young-Ah\*

**요약** : 최근 30년간(1971~2000년) 54개의 전국 기상관측 지점의 서리 현상 자료를 이용하여 공간 분포와 시계열 변화 경향을 분석하였다. 서리 현상일수는 내륙이 많고 해안으로 갈수록 적은 반면, 무상기간은 내륙이 짧고 해안이 길다. 남해안과 동해안이 서해안에 비해 서리 현상일수는 적고 무상일수는 많다. 서리 시작일과 종료일도 경향이 비슷한데 내륙 지역의 첫 서리일은 10월 상순으로 해안 지역보다 한 달 빠르며, 마지막 서리일은 4월 하순으로 해안 지역보다 20~25일 정도 늦다. 첫 서리일이 늦어지고 마지막 서리일은 빨라지는 경우 대부분 지점들은 서리 현상일수가 감소하였으나, 증가하거나 변화가 없는 지점들도 있었다. 반면, 첫 서리일은 빨라지고 마지막 서리일은 늦어지는 경우에 해당하는 지점들은 모두 서리 현상일이 증가했다. 서리 현상일수가 증가한 지점들의 월별 변화를 보면 11월과 3월, 4월이 증가하는 경향이어서 서리에 의한 피해는 더 커질 수 있다.

**주요어** : 서리 현상일수, 첫 서리일, 마지막 서리일, 무상일수, 시계열 변화, 공간 분포

**Abstract** : The purpose of this paper is to analyze temporal trends and spatial distribution of frost occurrence days using 54 weather stations under the Korea Meteorological Administration during the recent 30years (1971~2000). The frost occurrence days in the middle inland area was more than in the coastal area, but the period of free-frost days in the coastal area was longer than that in the middle inland. In the southern and eastern coastal areas, the frost day was more than in the western coastal area. The distribution of the first frost day was similar to that of the last frost day. The first frost day in the coastal area appeared a month later than that in the middle inland. The last frost day in the coastal area appeared 20~25 days later than that in the middle inland. At most of stations which the first frost day was getting delayed and the last frost day earlier, the frost occurrence days showed a decreasing trend. However, in some stations, the frost occurrence day was increasing. As the frost days in October, March and April at some stations showed an increasing trend, the damage due to the frost might be increased in some areas in South Korea.

**Key Words** : frost occurrence day, first frost day, last frost day, free-frost day, temporal trends, spatial distribution

\* 건국대학교 지리학과 강의 교수(Lecturing Professor, Department of Geography, Konkuk University), yakwon71@hotmail.com

## 1. 서론

근래 급진적인 과학기술의 발달은 기상현상을 일부 제어할 수 있게 되어 기상재해로 인한 각종 피해를 다소 감소시킬 수 있게 되었다. 그러나 국지적으로 발생하는 동해나 냉해, 상해(霜害) 등은 농작물의 생육에 큰 지장을 주고 있음에도 불구하고 이에 대한 구체적인 예보가 제공되지 않아 농민들은 여러 가지 불편을 겪고 있다. 특히, 서리에 의한 피해는 봄이나 가을에 급격한 기온 하강으로 인하여 작물체가 동결하고, 추위에 약한 부분이 동사하여 생리적 장애가 발생하는 것이므로 작물을 생육하는 사람들에게는 민감한 부분이며, 봄철 늦서리는 과수 재배 농가에 치명적인 피해를 끼칠 수 있다. 최근에는 기후변화에 따른 이상 난동 현상으로 작물의 개화시기가 앞당겨지고 있어 더 잦은 서리 피해를 전망케하며, 그 대책 마련이 시급하게 되었다(Chmielewski *et al.*, 2004).

사과나무, 복숭아나무, 배나무 등 주요 과수에서 꽃봉오리 상태, 꽃 필 상태, 어린 과일인 상태의 동해 위험도를 살펴보면 과수의 종류별로 다소 차이는 있지만 모두 어린 과일인 상태보다는 꽃 필 상태가 더 저항성이 약하고 가장 저항성이 약한 꽃봉오리 상태 일 때는 영하 1~2℃의 저온에서도 쉽게 장애를 받는다. 따라서 싹이 트는 시기와 꽃이 피는 시기가 빠른 종류의 품종 일수록 서리에 의한 피해의 발생 빈도가 높다(박광오, 2002). 우리나라의 경우 사과, 배 재배는 봄철 개화기를 전후하여 내리는 늦서리의 피해를 자주 받는데, 이 시기에 서리가 내리면 수정 장애로 낙과나 기형의 비율이 많아지고 과실 품질이 저하된다. 또한 단감 재배는 첫 서리의 피해를 자주 받는데, 당도를 높이기 위해 수확시기를 늦추게 되면서 서리를 맞아 과육이 물러지는 등의 문제가 발생하고 있다(황규홍 외, 2001).

현재 미국, 유럽, 일본에서는 총 과실 생산의 80%가 고품질이지만 한국은 총 생산의 20~40%정도 밖에 고품질이 재배되지 않는다(Choe, 1996). 이러한 과실 품질은 품종 재배기술과 환경이 최적화 되었을 때 가장 좋아지므로 재배환경은 과실 품질 결정에 빼 놓을 수 없는 고려 요인이다(Shin *et al.*, 1996; Jang *et al.*, 2001). 그럼에도 불구하고 서리로 인한 피해는 홍수 피

해와 같이 즉각적이고 가시적으로 나타나는 것이 아니므로 이에 관한 연구가 부족하여, 재배 환경요인 가운데 기후조건에 대한 고려는 매우 미흡한 실정이다.

국외에서는 오래전부터 서리 현상의 시·공간적 특성 뿐 아니라 서리 발생시의 기상조건에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 그 기초 자료를 이용하여 서리가 발생할 확률을 계산하여 서리피해 예측 지역을 지도화하거나 서리경보 시스템을 구축하여 서리 피해를 최소화하는 방안을 모색하고 있다(Katz and Murphy, 1982; Stewart *et al.*, 1984; Avissar and Mahrer, 1987; Laughlin and Kalma, 1987; Floor, 1989; Morison and Butterfield, 1990; Takaichi, 1993; Lindkvist and Lindkvist, 1997; Blennow, K., 1998; Chmielewski *et al.*, 2004). 그러나 서리 현상에 관한 국내 연구로는 기상 관측지점 자료를 이용한 서리 현상의 기후 특성에 관한 연구(권영아, 1995; 박광오, 2002)와 실측에 의한 국지적인 사례 연구로 과수원에서의 최저기온 분포 특성에 대한 연구(강안석 외, 1986; 이승호·이현영, 1995; 이현영 외, 1995; 황규홍 외, 2001)가 몇 편 있을 뿐이다. 그 외 최근 들어 재배 적지 선정을 위한 수치 기후모델을 개발하거나 서리경보 시스템 구축을 위한 모형 개발과 관련된 연구(Chung *et al.*, 2002, 2003; 권은영 외, 2004; Kim *et al.*, 2004a, 2004b; 정유란 외, 2004)가 수행되고 있다.

최근에는 기후변화의 영향에 대한 관심이 높아지면서 기후자료의 시계열 변화 특성을 비롯하여 여러 측면에서 기후영향평가가 수행되고 있다. 그러나 우리나라 전 관측지점을 대상으로 서리 현상일수와 첫 서리일 및 마지막 서리일의 시계열 변화 경향에 대한 연구는 이루어진 것이 없으며, 서리 현상의 공간적 분포 특성에 대한 연구도 1982년부터 1993년까지 분석한 권영아(1995)의 것을 제외하고는 없다. 기상연구소에서 발행한 한국의 기후(2004)에서도 서리 현상일수의 연변화에 대해서만 간략히 언급하고 있을 뿐이다.

서리에 의한 피해는 발생 시기에 따라 가을에 발생하는 초상해와 봄철에 발생하는 만상해로 구분되지만 그 피해는 봄철이 현저하다. 2005년 4월에도 서리로 인해 배꽃이 모두 죽자 한 농민이 기상청 홈페이지에 답답한 심정을 토로하면서 봄철 서리 예보는 농민의

생사를 가르는 중요한 정보이므로 제공해 줄 것을 요청한 바 있다. 그러나 현재 서리 현상에 대해서는 서리예보를 하기 위한 기초 자료 연구 조차 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 전국의 서리경보시스템 구축을 위한 기초자료 수립의 첫 단계로서 최근 30년간(1971~2000년)의 전국 기상관측 지점의 서리 현상일 자료를 이용하여 우리나라 서리 현상의 공간적 분포 특성과 시계열 변화 경향을 분석하고자 한다.

## 2. 연구 자료 및 방법

기상청에서는 2001년부터 관측의 자동화로 인해 관측소 단위에서는 서리 현상 관측을 하지 않고 기상대급 이상에서만 하고 있다. 따라서 본 연구의 분석기간은 관측소 자료가 있는 1971년부터 2000년까지 최근 30년간이며, 분석 지점은 연구기간동안 연속자료가 있

는 54개 관측지점을 선정하였다(그림 1). 도서지역은 서리 현상일수도 적고 결측이 많아 분석에서 제외하였다.

서리 현상은 첫 서리와 마지막 서리 현상의 출현일, 서리 현상일 자료를 이용하여 분석하였다. 서리 현상은 가을철에 시작되어 그 다음해 봄철까지 나타나는 계절 현상으로 첫 서리 현상일은 그 해 가을에 처음으로 서리가 발생한 날이며, 마지막 서리 현상일은 첫 서리가 발생한 다음 해 봄에 마지막으로 서리 현상이 발생한 날이다. 서리 현상일수는 첫 서리가 발생한 날부터 마지막 서리가 나타날 때까지의 기간 중 서리 현상이 발생하였던 날의 수이고, 무상기간은 봄철 서리가 종료된 후 다시 그해 가을 첫 서리가 내리기 전까지 서리 현상이 나타나지 않은 기간을 의미한다.

따라서 본 연구에서는 가을철부터 그 다음해 봄철에 걸쳐 발생한 서리 현상을 서리가 종료되는 시점을 기준으로 하였으므로 1972년 서리 현상일수는 1971년 가을철부터 1972년 봄철에 걸쳐 나타난 서리 현상일을 계산한 것이다. 서리 현상의 공간 분포 특성을 파악하기 위해서 관측지점별로 1971년부터 2000년까지 첫 서리일 및 마지막 서리일, 서리 현상일수, 무상일수 등의 평균값을 계산하여 지도화 하였다. 또한 서리 현상의 시계열 변화 경향을 분석하기 위하여 30년간의 서리 현상일수, 첫 서리일, 마지막 서리일 자료를 이용하여 상관 분석과 회귀분석을 시행하였다.

## 3. 결과 및 토의

### 1) 서리 현상의 공간 분포 특성

#### (1) 서리 현상일수

서리 현상은 맑고 바람이 없는 날 야간에 복사 냉각이 진행되면서, 접지층의 대기가 안정되고, 지표면의 온도가 0℃이하로 하강한 경우에 수증기가 승화하여 발생하므로 일반적으로 내륙지역에서 많이 발생하며 해안지역으로 갈수록 적게 발생한다. 그림 2는 1971년부터 2000년까지 30년간 발생한 서리 현상일수의 평

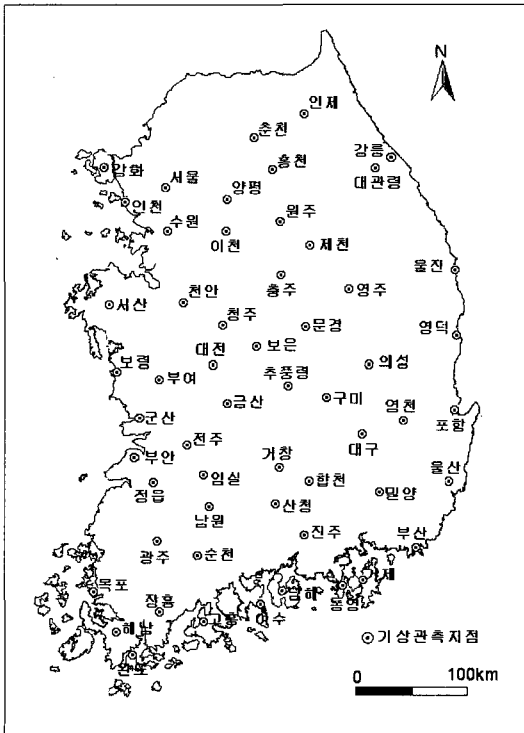


그림 1. 서리자료 분석 지점

균값을 계산하여 공간 분포를 지도화한 것이다.

내륙 지역의 서리 현상일수는 대부분 90~130일의 분포를 보이며, 중부지방에서는 태백산맥 서쪽 지역에서 대부분 서리 현상일수가 많아 양평, 홍천, 의성, 금산은 120일 이상을 나타낸다. 특히 의성은 126일로 전국에서 가장 많은 서리 현상일수를 보이고 있다. 그러나 내륙 지역에서도 추풍령, 대구, 문경 등은 60일 이하로 서리 현상일수가 적었는데, 추풍령 지점(해발 242.5m)은 산등성이에 위치하고 있어 기온이 낮은 겨울철에 더 강하게 바람이 불기 때문이며, 대구는 도시화에 의한 영향으로 생각된다. 문경 관측소는 1987년 현 청사로 이전하기 전까지 도로변에 인접한 야산 중턱에 위치하고 있어 국지적 바람이 강해 서리 현상이 적게 발생했던 것으로 생각된다.

해안 지역의 서리 현상일수는 동해안이 40일 이하로 가장 적고, 남해안, 서해안 순으로 많았다. 남해안에서도 남해, 통영, 거제, 해남 등의 서리 현상일수는 40일 이상이었으며, 해남은 71일로 서리 현상일수가 서해안과 비슷하게 많았다. 서해안의 서리 현상일수는 대부

분 지역에서 50일 이상이었으며, 서산과 보령은 80일 이상으로 내륙과 비슷했다. 특히 서산은 서리 현상일수가 101일로 매우 많았는데 이는 관측지점 주변의 지리적 특성 때문이다. 즉, 서산 관측 지점은 위치상으로 서해안에 인접해 있으나 관측지점은 해안에서 30~40km 정도 떨어져 있으며 가야산과 팔봉산으로 둘러싸인 분지성 지형이기 때문에 내륙과 비슷한 경향을 보였으며, 보령 관측 지점도 서산과 마찬가지로 해안에 위치하지만 성주산이 해안가를 막고 있기 때문에 다른 해안지역에 비해 서리 현상일수가 많았다.

(2) 무상일수

무상기간은 봄철에 마지막 서리 현상이 발생한 후부터 가을철에 그 다음해의 첫 서리 현상이 발생하기 전까지 서리 현상이 나타나지 않는 하계의 기간을 말하는 것으로, 작물의 생육기간과 일치한다. 작물의 생육기간이 무상기간보다 길면 재배하는 동안 서리 피해를 받을 확률이 더 커지기 때문에 무상일수는 재배 작물을 선정함에 있어서 가장 우선적으로 고려되어야 할

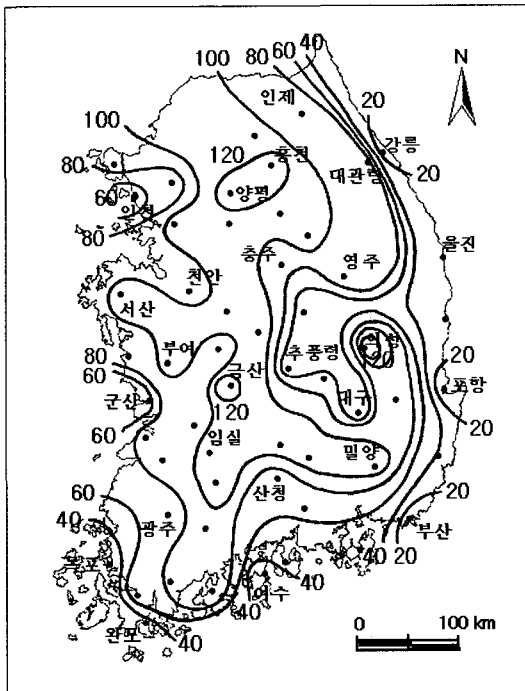


그림 2. 서리 현상일수의 분포(1971~2000년 평균값)

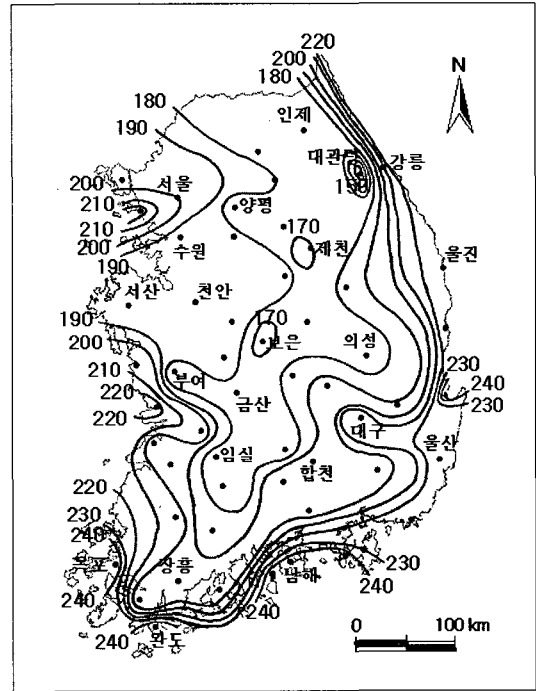


그림 3. 무상일수의 분포(1971~2000년 평균값)

요소이다.

우리나라 무상일수의 공간 분포를 보면 서리 현상일 수와는 대조적으로 해안 지역에서 길고 내륙 지역에서 짧다. 내륙지역의 무상일수 분포를 보면 영서 내륙지역과 영동 산간지역이 180일 이하를 나타낸다. 특히, 대관령은 해발고도가 높기 때문에 다른 지역에 비해 서리 시작일은 빠르고 서리 종료일은 늦어, 무상일수가 142일로 가장 짧았다. 해안지역은 200일 이상의 무상일수를 가지며, 남해안은 230일 이상으로 일년의 2/3 이상이 서리 현상이 나타나지 않는다. 서해안은 남해안이나 동해안보다 무상기간이 짧은 편으로 서산과 보령은 200일 이하이며, 특히 서산은 182일로 수원이나 이천과 같은 주변의 내륙 지역과 비슷한 무상기간을 갖는다(그림 3).

(3) 첫 서리일의 분포

작물의 생육이 완료되지 않은 가을에 발생하는 이른 첫 서리는 고구마 등의 농작물 생육에 큰 피해를 끼칠 수 있다. 일반적으로 첫 서리 현상은 북부지방으로 갈

수록 빠르며, 해안지역보다 내륙지역에서 빠르고, 같은 해안지역에서는 서해안 지역이 빠르다고 알려져 있다.

그림 4는 우리나라의 첫 서리 현상일의 공간 분포를 나타낸 것인데, 산악지역인 대관령이 10월 2일로 가장 빠르고, 다음은 원주, 제천, 인제, 보은, 금산, 임실, 거창, 의성 등 내륙지역이 10월 15일경으로 비교적 빠른 편임을 알 수 있다. 그 밖에 춘천, 홍천, 수원, 청주, 대전, 부여, 남원, 영주, 추풍령 등의 내륙지역에서도 10월 20일 이전에 첫 서리가 발생한다. 이후 서리의 발생이 점차 해안지역으로 확산되어 10월 30일경부터는 남서부와 남부, 동부 해안지역에 첫 서리가 발생한다. 남해안 지역은 대부분 11월에 첫 서리가 발생하고 목포, 완도는 11월 말에 첫 서리가 나타난다. 중부 서해안 지역은 남부 서해안이나 남해안, 동해안보다 첫 서리일이 빠른 편으로 강화가 10월 21일, 인천이 11월 7일, 서산이 10월 20일, 보령이 10월 28일에 발생한다. 앞에서 언급한 것처럼 서산과 보령은 서해안에 위치하고 있으나 관측 지점 주변의 지형적 원인으로 다른 해안 지역에 비해 서리 시작일이 빠르다.

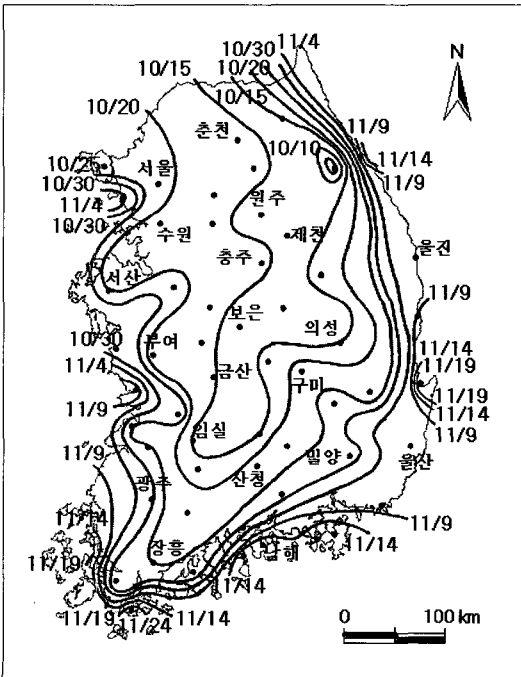


그림 4. 첫 서리 현상일의 분포(1971~2000년의 평균값)

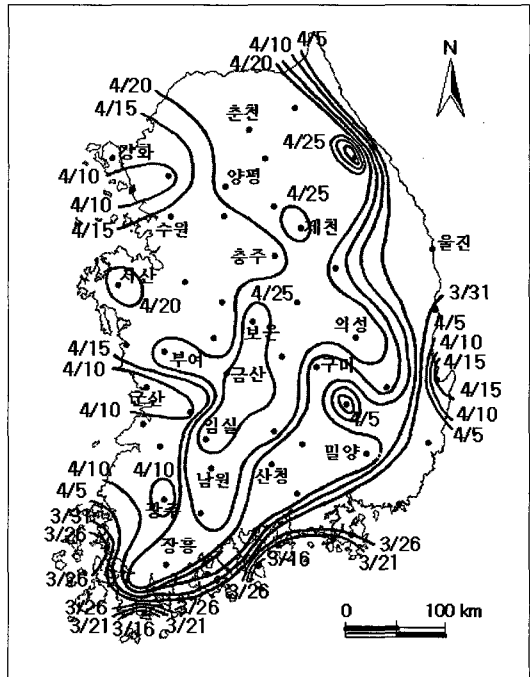


그림 5. 마지막 서리 현상일의 분포(1971~2000년의 평균값)

**(4) 마지막 서리일의 분포**

봄철의 이동성 고기압 내에서는 수증기압이 작고 바람이 약하다. 또한 구름의 양이 적으므로 야간에 지표면에서 복사냉각이 잘 일어나기 때문에 늦봄까지도 기온이 0℃이하로 하강하여 늦서리가 발생하는 경우가 많다. 늦서리는 농작물의 싹이 트는 다음에 발생하는 경우가 많으므로 첫 서리 시기에 비해 심각한 피해를 일으킬 수 있다.

마지막 서리 현상은 일반적으로 남부지방에서 먼저 종료되고 중부지방으로 북상한다. 대체로 해안지역이 내륙지역에 비하여 서리 종료일이 빠르다 대부분 4월 상순에 종료된다(그림 5). 남해안과 동해안 지역에서는 대부분 3월 하순에 마지막 서리 현상이 발생하였다. 서해안의 경우 3월 하순~4월 중순경에 마지막 서리 현상이 발생하였는데, 첫 서리 현상이 다른 해안 지역에 비해 일찍 발생하였던 보령과 서산 지역의 마지막 서리 현상일은 각각 4월 18일과 4월 21일로 다른 해안 지역에 비해 늦게까지 서리 현상이 나타났다.

내륙지역은 해안지역보다 한달 정도 늦은 4월 20일 이후까지도 서리 현상이 나타나며 보은, 금산, 임실, 제천, 대관령 등은 4월 25일 이후에 마지막 서리 현상이 발생하였다. 해발고도가 높아 서리 현상이 가장 일찍 발생했던 대관령은 서리 종료일이 가장 늦어 5월 13일까지도 서리가 발생하였다.

**2) 서리 현상의 시계열 변화 특성**

서리 현상의 시계열 변화 경향을 파악한 결과, 서리 시작일과 종료일의 변화 유형은 서리 시작일은 늦어지고 서리 종료일은 빨라지는 유형, 서리 시작일은 빨라지고 서리 종료일은 늦어지는 유형, 서리 시작일과 서리 종료일이 모두 늦어지는 유형, 서리 시작일과 서리 종료일이 모두 빨라지는 유형으로 구분된다.

전국 기상관측 지점들 중 대부분의 관측지점들이 서리 시작일은 늦어지고 서리 종료일이 빨라지는 유형에 해당되며, 이 지점들은 대관령, 원주, 수원, 서산, 울산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 전주, 울진, 광주, 목포, 여수, 강화, 양평, 보은, 천안, 부안, 정읍, 함천, 영주, 의성, 남해, 완도이다. 또한 순천, 거제, 춘천 지

점은 서리 시작일은 늦어지나 서리 종료일의 변화가 거의 없는 반면, 서울 지점은 서리 시작일의 변화가 거의 없고 서리 종료일이 빨라지는 경향을 보이고 있다.

다음으로 위의 지점들과는 반대로 서리 시작일은 빨라지고 서리 종료일은 늦어지는 유형이 있는데, 이에 해당하는 지점들은 부여, 금산, 인천, 통영, 영덕, 거창, 밀양, 충주, 구미가 있다. 이 외에도 서리 시작일과 종료일이 모두 늦어지는 유형에 해당하는 지점은 대구, 진주, 인제, 홍천, 제천, 보령, 임실, 장흥, 해남, 고흥, 산청이 있으며, 서리 시작일과 종료일이 모두 빨라지는 유형에 해당하는 지점은 강릉, 이천, 남원이 있다. 이 지점들의 서리 현상일수는 통계적으로 유의하지는 않지만 대도시인 대구를 제외하고는 모두 증가하는 경향이다.

표 1은 위에서 언급한 유형 중 통계적으로 유의한 지점들의 서리 시작일 및 종료일의 유의성 검증 결과를 나타낸 것이다. 서리 시작일이 늦어지고 있는 경우는 양의 상관관을 보이며, 서리 종료일이 빨라지는 경우는 음의 상관관을 보인다.

서리 시작일은 늦어지고 서리 종료일은 빨라지는 지

표 1. 서리 시작일 및 종료일의 유의성 검증 결과

관측 지점	서리 시작일	서리 종료일
대관령	0.554**	-0.327
정읍	0.375*	-0.049
포항	0.618**	-0.365
남해	0.488**	-0.267
순천	0.371*	-0.009
원주	0.432*	-0.371*
완도	0.441*	-0.644**
강화	0.223	-0.403*
수원	0.280	-0.529**
목포	0.229	-0.437*
여수	0.131	-0.431*
인천	-0.538**	0.103
부여	-0.126	0.475**
밀양	-0.123	0.383*

\* : 유의수준  $\alpha = 0.05$ , \*\* : 유의수준  $\alpha = 0.01$

점들 중에서 대관령, 정읍, 포항, 남해, 순천은 통계적으로 서리 시작일이 유의하며, 강화, 수원, 목포, 여수는 서리 종료일이 유의하다. 원주와 완도는 서리 시작일과 종료일 모두 통계적으로 유의하였는데, 특히, 완도는 서리 종료일이 빨라지고 있는 지점들 중에서 가장 급격한 속도로 빨라진다.

서리 시작일은 빨라지고 서리 종료일은 늦어지는 지점들 중에서 인천은 유의수준  $\alpha=0.01$ 에서 서리 시작일이 유의하고 부여( $\alpha=0.01$ )와 밀양( $\alpha=0.05$ )은 서리 종료일이 유의하다.

서리 시작일과 종료일 및 서리 현상일수의 시계열 변화 경향을 파악하기 위하여 각 유형별로 통계적으로 유의한 지점들을 중심으로 회귀식을 도출하고 서리 현상일수의 변화를 파악하였다. 서리 시작일은 늦어지고 서리 종료일은 빨라지는 지점들의 서리 현상일수는 감소

하거나 증가하거나 변화가 없는 경우로 나누어진다.

우선 서리가 발생할 수 있는 기간이 짧아지고, 서리 현상일수가 감소한 지점들은 완도, 수원, 남해, 서산, 청주, 추풍령, 포항, 군산, 전주, 광주, 목포, 여수, 강화, 거제이다. 그림 6은 서리 시작일과 종료일 및 서리 현상일수가 통계적으로 유의한 완도 지점의 시계열 변화 경향이다. 완도의 서리 시작일은 10년에 7일씩 늦어지고 있어 11월 중순에 발생하던 서리 현상이 2000년에는 12월 초순에 발생하였으며, 서리 종료일은 10년에 13일씩 빨라지고 있어 4월 초순에 끝나던 것이 2월 하순에 종료되었다. 따라서 서리에 노출될 수 있는 기간이 짧아짐에 따라 서리 현상일수도 상대적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. 이러한 유형에 해당하는 지점들의 월별 서리 현상일수의 시계열 변화를 보면 첫 서리가 시작되는 11월이나 늦서리가 나타나는 3월과 4

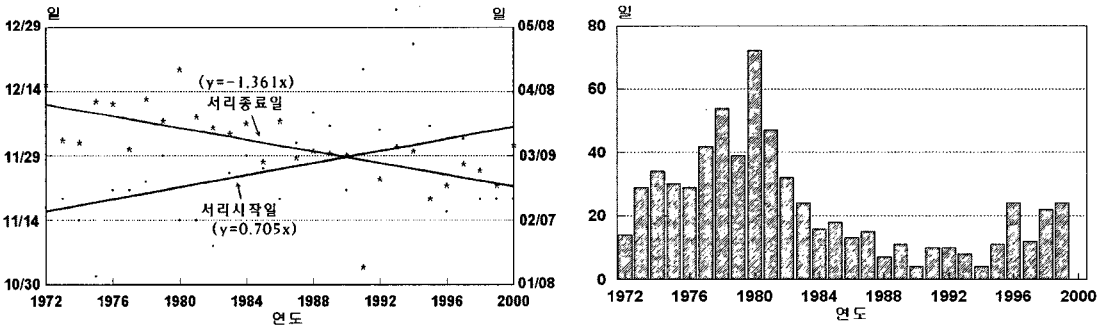


그림 6. 완도의 서리 시·종료일과 서리 현상일수의 시계열 변화

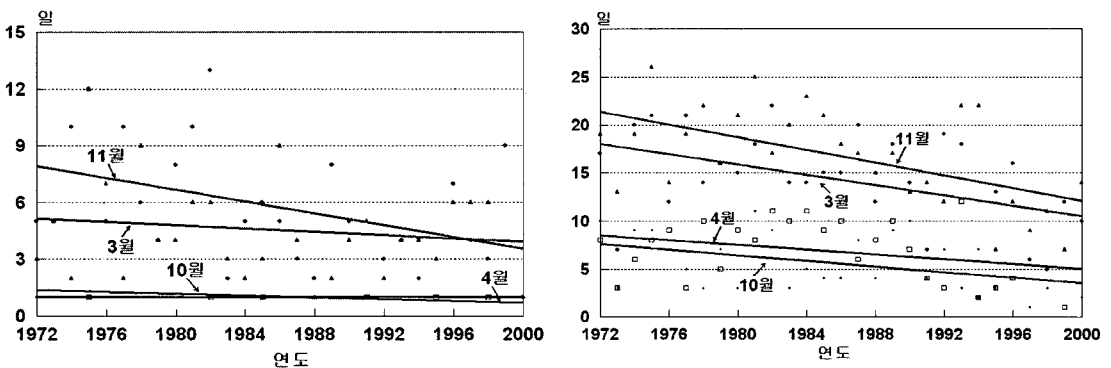


그림 7. 남해(좌)와 수원(우)의 월별 서리 현상일수의 시계열 변화

월의 서리 현상일수가 감소하고 있음을 알 수 있다(그림 7). 따라서 서리 현상이 발생할 수 있는 기간이 짧아짐에 따라 서리 현상일수도 감소하고 있으므로 이에 해당하는 지점들에서는 서리에 의한 피해가 예전에 비해 감소할 확률이 커졌다고 할 수 있다.

지난 30년간 서리 시작일은 늦어지고 서리 종료일은 빨라졌으나 서리 현상일수에는 변화가 없는 지점들로 원주, 대관령, 울산이 있다(그림 8). 유의수준  $\alpha = 0.05$ 인 원주의 서리 시작일을 보면 10년에 4.9일씩 늦어져 10월 5일경에 발생하던 서리가 2000년에는 10월 15일쯤 나타났다. 서리 종료일은 10년에 6일씩 빨라져서 5월 초순경에 종료되던 것이 4월 중순으로 당겨졌다. 이처럼 서리 현상이 나타나는 기간은 짧아졌지만 서리 현상일수에는 변화가 없었는데, 이는 짧은 기간에 집중해서 서리 현상이 나타난다는 것을 의미한다.

서리 현상일수의 월별 분포를 보면 원주, 울산의 경

우, 겨울철 서리 현상일수가 증가하였으며, 농작물에 큰 피해를 주는 늦서리가 나타나는 3월·4월과 첫 서리가 나타나는 10월·11월은 감소하거나 변화가 없었다.

이러한 감소는 서리 시작일이 늦어짐에 따라 상대적으로 예년에 비해 10월, 11월에 서리 현상일수가 적어진 것을 의미한다. 반면, 대관령은 3월에 서리 현상일수가 약간 증가하였고 4월과 10월·11월은 급격히 감소하였다(그림 9). 이는 해발고도가 높은 대관령 지점은 5월까지도 서리 현상이 나타나기 때문에 빨라진 서리 종료일은 4월과 5월의 서리 현상일수에만 영향을 미친 것으로 생각된다.

서리 시작일은 늦어지고 서리 종료일이 빨라지면서 서리 현상이 나타날 수 있는 기간은 짧아졌으나, 오히려 서리 현상일수는 증가하는 경향을 보이는 지점들은 정읍, 순천, 대전, 울진, 양평, 보은, 천안, 의성, 춘천, 부안, 합천, 거제가 있다. 그 중 유의수준  $\alpha = 0.05$ 에서

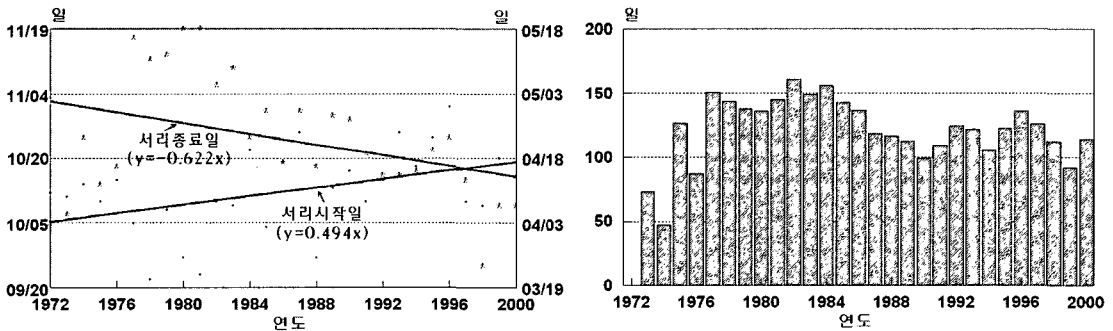


그림 8. 원주의 서리 시·종료일과 서리 현상일수의 시계열 변화

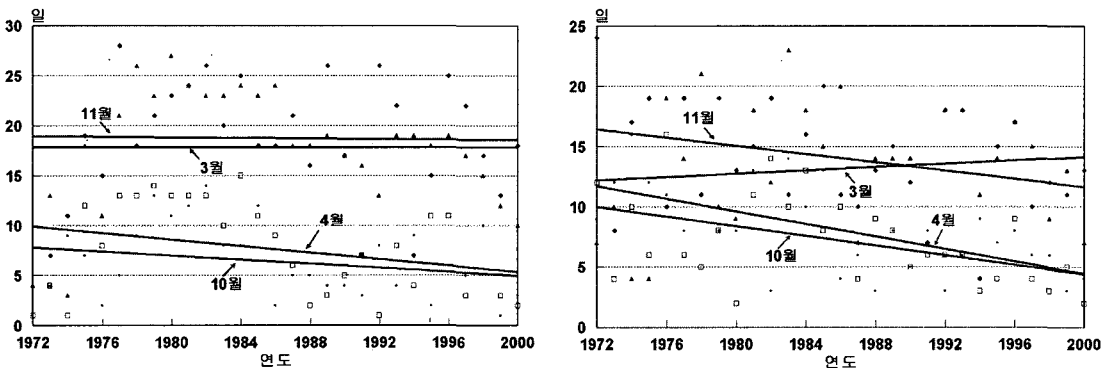


그림 9. 원주(좌)와 대관령(우)의 월별 서리 현상일수의 시계열 변화



유익한 정읍의 서리 시작일을 보면 10년에 4일씩 늦어지고 있어 10월 20일경에 시작되던 것이 10월 말이나 11월초에 발생하고 있다. 그러나 서리 현상일수는 증가하는 경향을 나타낸다(그림 10). 월별 서리 현상일수의 분포를 보면 정읍과 순천 지점은 서리가 시작되는 10월과 11월에는 감소하는 경향이나 늦서리가 나타나는 4월에는 오히려 서리 현상일이 증가하고 있음을 알 수 있다(그림 11). 즉, 서리 종료일이 빨라지고 있음에도 불구하고 늦서리가 나타나는 기간의 서리 현상일수는 증가하고 있으므로 이 지점들은 늦서리의 피해를 받을 확률이 더 커졌다고 볼 수 있다.

다음은 위의 유형과는 반대로 서리 시작일은 오히려 빨라지고, 서리 종료일은 늦어지는 유형이다. 즉, 서리 현상이 빨리 시작되고 늦게 끝나기 때문에 서리에 노출될 수 있는 기간이 늘어났는데, 이러한 유형에 해당

하는 지점들은 부여, 밀양, 인천, 금산, 통영, 영덕, 거창, 충주, 구미이다. 통계적으로 유익한 지점을 중심으로 보면 인천의 서리 시작일은 유의수준  $\alpha = 0.01$ 에서 높은 음의 상관관계를 보였으며, 10년에 7.9일씩 빨리 시작되었다. 부여(유의수준  $\alpha = 0.01$ )와 밀양(유의수준  $\alpha = 0.05$ )의 서리 종료일은 높은 양의 상관관계를 나타냈다.

부여는 서리 종료일이 10년에 6일 정도 늦어지고 있어 1972년에는 4월 상순에 종료되던 것이 2000년에는 4월 하순까지도 서리 현상이 발생하고 있다(그림 12). 이러한 유형에 해당하는 지점들은 서리가 종료되는 시기가 늦어지면서 서리에 노출될 수 있는 기간이 길어졌으며, 서리 현상일수는 모두 증가했다. 부여와 밀양의 월별 서리 현상일수의 분포를 보면 부여는 11월과 3월, 4월에 서리 현상일수의 급격한 증가를 보이고, 밀양은 3월에 서리 현상일수가 급격히 증가하는 경향이

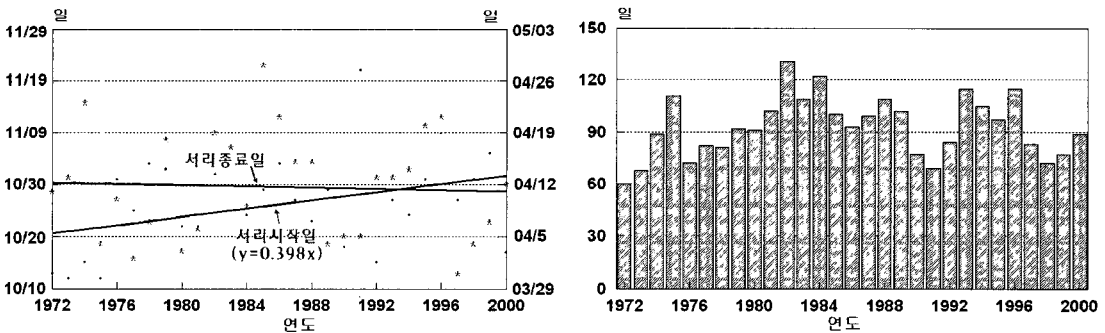


그림 10. 정읍의 서리 시·종료일과 서리 현상일수의 시계열 변화

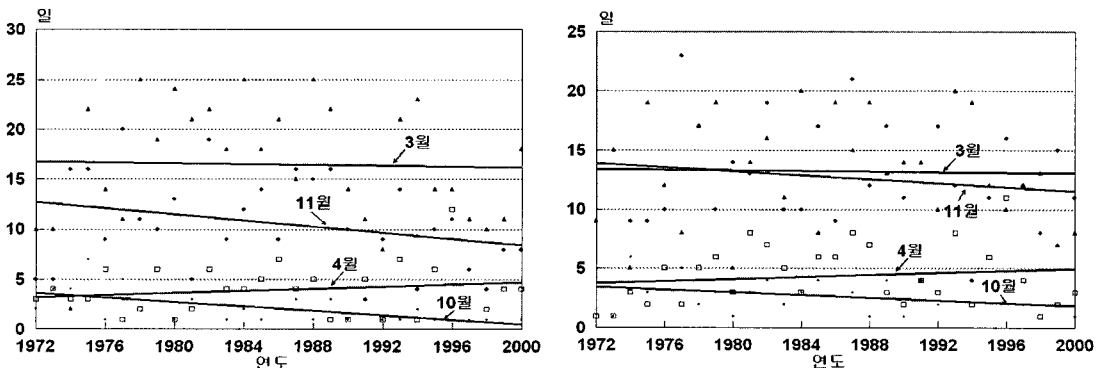


그림 11. 정읍(좌)과 순천(우)의 월별 서리 현상일수의 시계열 변화

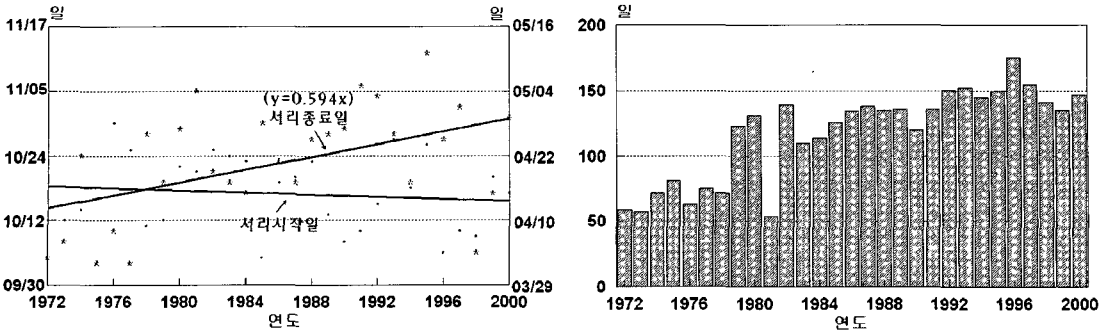


그림 12. 부여의 서리 시·종료일과 서리 현상일수의 시계열 변화

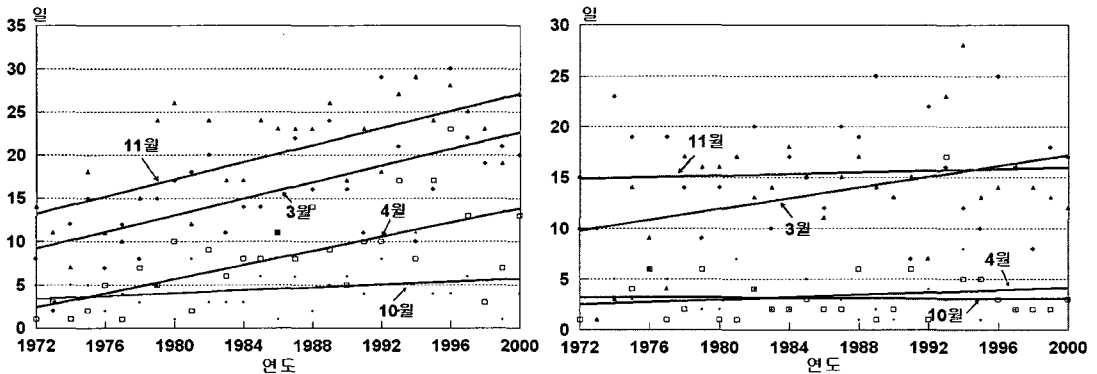


그림 13. 부여(좌)와 밀양(우)의 월별 서리 현상일수의 시계열 변화

다(그림 13). 따라서 서리 종료일이 늦어짐에 따라 작물의 싹이 나기 시작하는 봄철에 서리에 의한 피해가 커지고 있으므로 이러한 지역들은 늦서리에 대한 대책을 세워야 한다.

#### 4. 결론

최근 지구 온난화에 따른 최저기온 상승으로 서리 현상일수가 줄어들었다는 보도가 자주 등장하고 있다. 그러나 본 연구의 분석 결과 서리 현상일수는 지역에 따라 다른 특성을 보이고 있으며, 부여와 같이 지난 30년간 두 배 이상 증가한 경우도 있다. 본 연구에서는 서리 예보 시스템 구축을 위한 기초단계로 전국 기상 관측 지점을 중심으로 우리나라 서리 현상의 공간 분

포와 시계열 변화 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

서리 현상의 공간 분포는 해안 지역과 내륙 지역의 특성이 뚜렷이 구분되는데 이는 서리 현상이 복사 냉각에 의해 발생하기 때문에 비열차가 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 서리 현상일수는 내륙이 많고 해안으로 갈수록 적은 반면, 서리 현상이 나타나지 않는 기간을 의미하는 무상기간은 내륙이 짧고 해안으로 갈수록 길다. 해안 지역에서는 남해안과 동해안이 서해안에 비해 서리 현상일수도 적고 무상기간도 길다.

서리 시작일과 종료일도 비슷한 경향을 보이는데 태백산맥 서쪽에 위치한 내륙 지역과 산지 지역에서는 첫 서리일이 10월 상순으로 해안 지역에 비해 한 달 정도 빨리 서리가 내린다. 마지막 서리일도 대관령을 제외하고는 대부분 4월 하순으로 3월에 서리가 종료되는

해안 지역보다 20일~25일 정도 늦다.

서리현상의 시계열 변화 경향을 보면, 서리 시작일이 늦어지고 서리 종료일이 빨라진 유형에 해당하는 지점들은 서리 현상일이 증가한 경우, 감소한 경우, 변화가 없는 경우로 구분된다. 대부분의 관측지점들은 서리에 노출될 수 있는 기간이 짧아지면서 서리 현상 일수도 감소했으나, 일부 관측지점에서는 오히려 증가한 경향을 보였으며, 늦서리 기간의 서리 현상일수가 증가한 특성을 보였다. 또한 최저 기온이 상승함에 따라 서리현상이 출현하는 시기가 늦어지고 종료하는 시기가 빨라지기는 하지만, 이러한 기온 상승은 작물의 개화시기를 앞당기기 때문에 결국 서리에 의한 피해는 기온 상승에 따라 감소한다고 보기 어렵다. 오히려, 이상 기온으로 인해 서리에 의한 피해는 더 커질 수 있다.

위의 유형과는 반대로 서리 시작일이 빨라지고 서리 종료일은 늦어진 유형은 서리에 노출될 수 있는 기간이 길어지면서 서리 현상일수도 증가했다. 특히, 첫 서리와 늦서리가 발생하는 11월과 3월, 4월의 서리 현상일수가 증가하고 있어 작물의 서리에 의한 피해는 커질 수 있다.

따라서 앞으로 각 지점마다 대표 작물들을 선정하여 작물의 개화시기와 지점별 서리 시작일과 종료일간의 상관성을 분석한다면 서리에 의한 피해를 좀 더 줄일 수 있을 것이다. 앞으로 우리나라 기후 특성을 이해하기 위해서는 다른 기상 현상과 마찬가지로 서리 현상에 대한 시·공간적 변화 경향에 대한 모니터링이 지속적으로 이루어져야 하며, 서리 예보나 경보 시스템 구축을 위하여 자료 조사와 사례 연구가 활발히 이루어져야 한다.

## 文獻

강안석·윤진일·정용상·谷信輝, 1986, “봄철 양평지역의 지형 및 고도에 따른 일 최저기온의 분포,” 한국토양비료학회지, 19(4), 339~344.  
 권영아, 1995, 한국의 서리현상의 기후학적 특성, 건국대학교 석사학위 청구논문, 55pp.  
 권원태 외 18인, 2004, 한국의 기후, 기상청 기상연구소, 49~50.

권은영·정재은·서형호·윤진일, 2004, “전자기후도를 이용한 고품질 사과생산 후보지역 탐색,” 한국농림기상학회지, 6(3), 170~176.  
 박광오, 2002, 안동지방 서리현상의 예보 가능성에 관한 고찰, 대구대학교 석사학위 청구논문, 71pp.  
 이승호·이현영, 1995, “제주도 감귤과수원의 야간기온 분포 (II),” 대한지리학회지, 30(3), 230~241.  
 이현영·이승호·김미정, 1995, 제주도 감귤과수원의 야간기온 분포 (I), 오홍석박사회갑기념논문집 I, 643~660.  
 정유란·서희철·윤진일, 2004, “지형기후모형에 근거한 서리경보시스템 구축,” 한국농림기상학회지, 6(3), 164~169.  
 황규홍·이정택·윤진일·허승호·심교문, 2001, “서리상습지 배 과수원에서의 야간 냉각 특성,” 한국농림기상학회지, 3(4), 206~214.  
 Avissar, R. and Y. Mahrer, 1987, Mapping Frost-Sensitive Areas with a Three-Dimensional Local-Scale Numerical Model. Part I: Physical and Numerical Aspects, *J. of Applied Meteorology*, 27, 400~413.  
 Blennow, K., 1998, Modelling Minimum Air Temperature in Partially and Clear Felled Forest, *Agricultural and Forest meteorology*, 91, 223~235.  
 Chmielewski, F-M., A. Muller and E. Bruns, 2004, Climate change and trends in phenology of fruit trees and field crops in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000, *Agricultural and Forest meteorology*, 121, 69~78.  
 Choe, U., 1996, The Tendency of Apple Cultivation for Main Competition Countries: The Tendency of American Apple Industry and the Corresponding Vision of Kyoungbuk Apple Industry, Taegu Apple Research Institute, RDA., 82p.  
 Chung, U., H. H. Seo, K. H. Hwang, B. S. Hwang and J. I. Yun, 2002, Minimum temperature mapping in complex terrain considering cold air drainage, *Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology*, 4, 133~140.  
 Chung, U., H. H. Seo, J. I. Yun and K. H. Lee, 2003, An optimum scale for topoclimatic interpolation of daily minimum temperature in complex terrain, *Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology*,

- 5(4), 261~265.
- Floor, C., 1989, Estimating grass minimum temperature and Probability of ground frost at Eelde (Netherlands), *The Meteo. Magaz.*, 118, 261~265.
- Jang, H. I., S. J. Park, H. H. Seo, J. W. Han and M. D. Cho, 2001, Some characteristic phenomena of cold injury in peach (*Prunus persica* L. Barsch). *Proceedings of 3rd Conference on Agricultural and forest meteorology*, Korean Society of Agricultural and Forest meteorology, 157~158.
- Katz, R. W. and A. H. Murphy, 1982, Assessing the value of frost forecasts to orchardists: A dynamic decision-making approach, *J. Appl. Meteorol.*, 21, 518~531.
- Kim, S. K., J. S. Park, E. S. Lee, J. H. Jang, U. Chung and J. I. Yun, 2004a, Development and use of digital climate models in northern Gyunggi Province - I. Derivation of DCMs from historical climate data and local land surface features, *Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology*, 6(1), 49~60.
- Kim, S. K., J. S. Park, Y. S. Lee, H. C. Seo, K. S. Kim and J. I. Yun, 2004b, Development and use of digital climate models in northern Gyunggi Province - II. Site-specific performance evaluation of soybean cultivars by DCM-based growth simulation, *Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology*, 6(1), 61~69.
- Laughlin, G. P. and J. D. Kalma, 1987, Frost hazard assessment from local weather and terrain data, *Agricultural and Forest meteorology*, 40, 1~16.
- Lindkvist, L. and S. Lindqvist, 1997, Spatial and Temporal Variability of Nocturnal Summer Frost in Elevated Complex Terrain, *Agricultural and Forest meteorology*, 87, 139-153.
- Morison, J. I. L. and R. E. Butterfield, 1990, Cereal crop damage by frosts, spring 1990., *Weather*, 45(8), 308~313.
- Shin, B. W., C. H. Yoo, G. H. Cho, J. H. Jeong, S. J. Yu and G. S. Rhee, 1996, Establishment of land suitability classification for lycium chinese cultivation, *RDA Journal of Agricultural Sciences*, 38(1), 379~383.
- Stewart, T. R., R. W. Katz and A. H. Murphy, 1984, Value of Weather Information: A Descriptive Study of the Fruit-Frost Problem, *American Meteorol. Soc.*, 65, 126~137.
- Takaichi, M., 1993, An analysis of nocturnal cooling and frost damage in tea plants in complex terrain using micro-scale topographic factors, *J. Agr. Meteorol.*, 48(5), 759~762.
- 교신 : 권영아, 서울시 광진구 화양동 1번지, 건국대학교 이과대학 지리학과(이메일 : yakwon71@hotmail.com, 전화 : 02-2049-6064)
- Correspondence : Young-Ah Kwon, Dept. of Geography, Konkuk Univ., 1, Hwayang-dong, Gwangjin-gu, Seoul, 143-701, Korea(e-mail : yakwon71@hotmail.com, phone : 02-2049-6064)
- 최초투고일 06. 5. 30.  
최종접수일 06. 6. 26.