

서리 피해 방지를 위한 서리 발생일의 기상 특성에 대한 연구*

권영아** · 이효신*** · 권원태**** · 부경은*****

The Weather Characteristics of Frost Occurrence Days for Protecting Crops against Frost Damage*

Young-Ah Kwon** · Hyo-Shin Lee*** · Won-Tae Kwon**** · Kyung-On Boo*****

요약 : 본 연구는 서리에 의한 피해를 최소화하기 위하여 서리 발생일의 기상 요소별 특성을 분석하여 서리가 발생할 수 있는 기상 조건을 파악하였다. 첫서리 현상이 발생하는 시기인 가을과 마지막 서리 현상이 나타나는 봄으로 나누어 서리 현상일의 기압계 유형, 최저기온, 초상최저기온, 일교차, 평균 상대습도, 최소상대습도, 평균 풍속 자료를 분석에 이용하였다. 기압계 유형별로는 우리나라 남서쪽에 중심을 둔 이동성 고기압의 영향을 받고 있을 때 서리 현상은 가장 잘 발생했다. 초상최저기온은 지표에 발생하는 서리 현상을 감지하기 때문에 농업적 목적으로는 최저기온보다 더 중요하다. 본 연구에서도 해안지역의 경우는 최저기온이 영상이어도 서리가 발생했으나 서리 발생일의 초상최저기온은 모든 지역에서 영하였다. 서리 현상일의 일교차는 내륙 지역은 14℃ 이상이었으며, 해안 지역은 9~12℃이었다. 서리 현상이 발생하기 위한 최소상대습도는 30~50%였으며, 내륙 지역이 해안 지역보다 낮았다. 풍속은 약할수록 서리가 발생하기 쉬우므로 대부분 지역에서 서리가 발생한 날의 평균 풍속은 2m/sec 이하였으며 일부 도서 지역과 해안 지역에서는 4~6m/sec를 나타냈다.

주요어 : 서리 현상일, 최저기온, 초상최저기온, 일교차, 최소상대습도

Abstract : The main objective of the study was to analyze the weather conditions of frost occurrence for protecting crops against frost damage in Korea. The primary data used for the analysis of meteorological characteristics of frost occurrence days are the air mass pattern, minimum temperature, grass minimum temperature, daily temperature range, relative humidity, minimum relative humidity, mean wind speed in autumn and spring. Frost often occurs when the migratory anticyclone passes the southwest of Korea. The importance of grass minimum temperature measurements for agricultural purposes has previously been recognized. The grass minimum thermometer is capable of detecting ground frosts which are often not recorded by the minimum thermometer. The minimum temperature of frost occurrence days is above 0°C in the coastal area, but the grass minimum temperature of frost occurrence days is below 0°C in the whole area. The daily temperature of frost occurrence days is about 9 to 12°C in the coastal area and is over 14°C in the inland area. The minimum relative humidity of frost occurrence days is about 30 to 50%. The mean wind speed of frost occurrence days is less than 2m/sec.

Key Words : frost occurrence day, minimum temperature, grass minimum temperature, daily range, minimum relative humidity

* 본 연구는 기상청 국립기상연구소 사업 "Metri-2008-B-5"의 지원으로 되었음.

** 서울특별시 맑은환경본부 에너지정책담당관 기후전문요원(Climatological Specialist, Energy Policy Division, Environmental Protection Headquarters, Seoul Metropolitan Government), yakwon71@seoul.go.kr

*** 기상청 국립기상연구소 기후연구팀 연구사(Researcher, Climate Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, KMA), hyolee@metri.re.kr

**** 기상청 국립기상연구소 기후연구팀장(Director, Climate Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, KMA), wontk@metri.re.kr

***** 기상청 국립기상연구소 기후연구팀 연구관(Senior Researcher, Climate Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, KMA), bko@metri.re.kr

1. 서론

근래에는 기상 예보 기술이 발달하고 대처 능력이 향상됨에 따라 각종 기상재해로 인한 피해를 다소 제어하고 감소시킬 수 있게 되었다. 그럼에도 불구하고 국지적으로 발생하는 서리 현상에 대해서는 예보 자료가 제공되지 않아 농민들은 여러 가지 불편을 겪고 있다. 특히, 가을철이나 봄철에 발생하는 서리는 농작물의 생육에 치명적인 피해를 입히고 있으므로 예보 자료에 대한 농민들의 수요가 높다. 2005년 4월에도 서리로 인해 배꽃이 모두 죽자 한 농민이 기상청 홈페이지에 담당관 심정을 토로하면서 봄철 서리 예보는 농민의 생사를 가르는 중요한 정보이므로 제공해 줄 것을 요청한 바 있다.

최근 지구 온난화로 인한 최저기온 상승은 서리일수를 감소시키고 있다(Heino *et al.*, 1999; Bonsal *et al.*, 2001; Frich *et al.*, 2002). 그러나 Chmielewski *et al.*(2004)에 의하면 지구 온난화에 의한 최저기온의 상승으로 서리일수가 감소한다고 해도, 기후변화에 따른 이상 난동현상으로 작물의 개화시기가 앞당겨지고 있어 서리에 의한 피해는 앞으로 더 커질 것이므로 그 대책 마련이 시급하다고 하였다. 윤성호 등(2001)도 평균기온의 상승은 고온과 저온의 양극화 현상을 수반하기 때문에 이에 따른 피해를 고려해야 된다고 하였다. 권영아(2006)는 우리나라의 서리 현상일수의 시계열 변화를 분석한 결과, 대부분 기상 관측지점에서 서리 현상일수가 감소 경향을 보이기는 하나 지역별로 증가한 지역들도 있으며, 작물에 직접적으로 영향을 미치는 11월과 3월, 4월의 서리 일수가 증가하는 경향이므로 작물에 대한 서리 피해는 더 커질 수 있다고 하였다.

실제로 우리나라에서는 2002년에 이상난동으로 개화시기가 앞당겨지면서 봄철 늦서리에 의한 과수재배 농가의 피해가 컸다(조선일보 2002년 4월 30일자 기사). 2008년 봄에도 이상저온 현상으로 4월 28일에는 경북 문경과 상주 산간 지역의 오미자와 사과 등 과수·농작물 재배단지 780ha에 서리 피해가 광범위하게 발생하였고, 경북 예천에서는 105ha에 달하는 사과 재배지에 서리 피해를 입었다. 5월 중순에는 강원도 평

창 고랭지 농업단지와 영월 수박 재배단지에서 서리 피해를 입었다.

국외에서는 오래전부터 서리 예보를 위한 자료 구축의 일환으로 서리 발생시의 기상 조건에 대한 연구가 진행되어 왔다. 서리 현상이 발생할 수 있는 기상 조건에 대해 연구된 기초 자료를 바탕으로 서리가 발생할 확률을 계산하고 서리 피해 예측 지역을 지도화하거나 서리 경보 시스템을 구축하여 서리 피해를 최소화하는 방안을 모색하고 있다. Floor(1989)는 서리로 인한 농작물의 피해가 자주 발생하는 네덜란드의 Eelde 지역을 연구 지역으로 선정하여, 1983~1988년까지 6년 동안 첫서리가 발생하는 시기인 10, 11월과 서리 현상이 끝나는 시기인 4, 5월의 일별 풍속, 운량, 지표상태, 최저기온, 초상최저기온을 관측하였으며 그 결과를 바탕으로 서리가 발생할 확률을 추정하였다. Morison and Butterfield(1990)는 1990년 봄에 서리로 인해 곡류에 큰 피해를 입었던 영국의 Heathrow 지역을 사례 지역으로 하여, 1949년부터 1988년까지의 일별 초상최저기온, 평균기온 등을 이용하여 서리 현상일의 기상 상태를 밝히고 파종 시기에 따른 서리 피해의 확률을 언급했다.

또한 서리 현상일의 기상 조건에 기반을 둔 서리 예측 정보의 경제적 가치를 평가함으로써 서리 예보의 필요성에 대해 강조한 논문들도 있는데, Katz and Murphy(1982)와 Stewart *et al.*(1984)은 Washington 중부에 있는 Yakima계곡에서 과수를 재배하는 사람들에게 동적 의사결정 모델(Dynamic decision-making model)을 적용하여 서리 예보의 가치를 추정하였다. 특히, Katz and Murphy(1982)가 과수를 재배하는 사람들이 의사 결정시 단지 예보에만 기초한다는 가정 하에 서리예보의 경제적 가치를 추정한 반면, Stewart *et al.*(1984)은 과수 재배자들이 서리예보 이후에도 사용가능한 기온과 이슬점자료를 이용하며 그들 스스로 서리를 예측할 뿐 아니라 서리방지책도 세우기 때문에 실질적으로 서리 현상일의 기상 조건에 대한 연구 자료들은 더 많은 경제적 가치를 얻을 수 있다고 하였다.

반면, 서리 현상일의 기상 특성과 관련된 국내 연구를 보면 일부 과수원에서 실측한 자료를 이용하여 경보시스템을 구축한 연구나 냉기가 서리에 미친 영향에

대한 논문 몇 편만 있을 뿐이다(권영아, 1995; 황규홍 등, 2001; 권은영 등, 2004; 정유란 등, 2002, 2003, 2004). 우리나라에서는 서리 현상일의 기상 조건에 대한 기초적인 연구조차도 안되어 있어 사례 연구를 통해 서리 정보 시스템을 구현하고자 하는 사람들도 서리가 발생할 조건에 대해 가정을 세워 접근하고 있다. 정유란 등(2002, 2004)의 연구에서도 서리 현상이 최저기온의 영향을 많이 받으므로 복사 냉각에 의한 최저기온을 추정하는 방법을 개발하여 서리정보시스템을 구현하고자 하였다. 구현된 서리정보시스템을 시연하기 위하여 최저기온이 3℃이하일때부터 서리 피해 위험이 발생한다는 가정하에 서리 피해 경보의 가능성을 타진해보았다. 그러나 이 경우에도 서리가 발생할 수 있는 기상 조건에 대한 참고할 기준이 있었으면 서리정보시스템 시연에 있어서 더 다양한 기상 요소를 활용하여 현실적인 결과를 유도할 수 있었을 것이다.

따라서 본 연구에서는 서리에 의한 피해를 저감시키기 위한 노력의 일환으로 서리가 발생할 수 있는 기상 조건을 연구하고자 한다. 이에 서리 발생에 영향을 미치는 기압패턴과 기상 요소들(기온, 습도, 풍속 등)을 분석하여 기상 관측 지점별로 서리가 발생할 기상 조

건을 규명하고자한다. 또한 서리 현상의 지역적 특성을 파악하기 위하여 서리 현상일의 기상 요소별로 공간 분포도를 작성하고, 기후 지역 구분에 따른 결과를 분석하여 지역적 차이를 밝히고자 한다.

2. 연구 자료 및 방법

서리 현상은 가을에 첫서리가 발생하여 겨울과 그 다음해 봄까지 발생하므로 연구 기간은 1973년 가을철부터 2007년 봄철까지로 하였다. 그러나 우리나라는 겨울철이 농한기이므로 일반적으로 농민들이 서리 예보를 직접적으로 필요로 하는 시기는 가을철과 봄철이다. 따라서 지역별 서리 예보 자료를 구축하기 위하여 첫 서리가 발생하는 시기인 가을철(9~11월)과 마지막 서리가 발생하는 시기인 봄철(3~5월)로 나누어 서리 현상일의 기상 조건을 분석하였다.

연구 지역은 분석 기간에 연속적인 기상자료와 서리 현상일 자료가 있는 61개 기상 관측 지점으로 하였다. 분석은 각각의 관측 지점별로 수행하였으며, 지역별

표 1. 상세 기후 지역에 기초한 연구 지역

1차	2차	기상 관측지점
중부	중부서안(4)	서울, 수원, 강화, 인천
	중부내륙(8)	춘천, 홍천, 인제, 양평, 이천, 원주, 제천, 충주
	중부동안(2)	속초, 강릉
남부	남부서안(5)	보령, 서산, 부안, 군산, 목포
	충청내륙(6)	천안, 부여, 대전, 청주, 보은, 금산
	전라내륙(7)	정읍, 전주, 남원, 임실, 광주, 장흥, 순천
	경북내륙(5)	의성, 영주, 문경, 추풍령, 구미
	경남내륙(7)	합천, 거창, 산청, 대구, 영천, 밀양, 진주
	남부동안(3)	포항, 울진, 영덕
남해안 및 도서	남해안(9)	해남, 여수, 고흥, 완도, 거제, 통영, 남해, 부산, 울산
	제주도(3)	제주, 성산포, 서귀포
	울릉도(1)	울릉도
산지	산지(1)	대관령

서리 예보 자료를 구축하기 위하여 분석된 자료를 기후 지역에 따라 분류하여 공간 분포 특성을 분석하였다. 기후 지역 구분은 연구 목적에 따라 다양하게 구분될 수 있는데, 본 연구에서는 서리 현상이 국지적이므로 한반도를 48개로 세분화 하여 지역을 구분한 기상 연구소(2003)의 상세 기후 지역을 기반으로 하여 기후 지역을 재구성하였다(표 1). 상세 기후 지역은 우리나라의 기후 특성을 잘 반영하는 대나무, 송악, 마늘, 월동배추, 조생종 벼, 고랭지 감자, 차나무, 개화시기, 단감, 산경표, 폐쇄적·개방적 가옥 구조 분포 등 지리적 인자와 식생, 작물, 가옥 구조의 분포를 조사하여 구분한 것이다. 또한 해발 300m를 기준선으로 산지 지역을 별도로 구분하여 지형에 의한 영향을 고려하였기 때문에 본 연구에서는 이를 기초로 하여 상세 기후 지역 2차 구분에 해당하는 지역을 중심으로 나누어 분석하였다.

기상청에서 제공하는 서리 현상일은 오전과 오후로 나누어 서리 발생 유무를 표시하고 있다. 본 연구가 귀납적인 방법에 의해 서리 현상이 발생할 기상 조건을 파악하는 것이므로 오전 서리와 오후 서리를 구분하여 분석하였다. 즉, 오전에 발생한 서리 현상은 전날의 최고기온, 평균 풍속, 상대습도 등과 당일의 최저기온, 초상최저기온 등이 영향을 미치지만 오후에 발생한 서리 현상은 당일의 최고기온, 평균 풍속, 상대습도, 최저기온 등이 영향을 미치기 때문이다. 서리가 발생한

날을 중심으로 서리 발생에 영향을 미친 기상 요소를 접목시켜 추출해냈다. 서리 현상은 최저기온의 영향을 많이 받으므로, 서리 현상일의 최저기온, 초상최저기온, 이슬점 온도를 추출하였다. 또한 전날 최고기온과 서리 발생 당일의 최저기온의 차가 클수록 서리가 발생할 확률이 크므로 일교차를 계산하였다. 그 외 서리 발생의 중요 요소인 습도를 분석하기 위하여 서리 발생 전날의 평균상대습도와 최소상대습도를 추출하였으며, 서리 발생에 영향을 미치는 풍속 및 전날의 운량도 추출하였다. 추출한 자료들을 이용하여 지역별 서리 발생 기상 조건을 분석하기 위하여 기후 지역을 구분하여 평균화하였으며, 61개 관측 지점별 값을 이용하여 지도화함으로써 공간적 분포 특성도 파악하였다.

또한 서리 현상은 기압계의 영향도 많이 받는다. 따라서 서리 발생에 영향을 미치는 기압계를 분석하기 위하여 기상청 발행의 지상 일기도 및 항공기상연감의 지상일기도를 이용하여 서리 현상이 발생한 날의 전날과 당일의 기압계 유형을 판독하였다. 한반도에 영향을 미치는 기압배치의 유형을 분류한 논문으로는 강만석(1979), 문승의·엄향희(1980), 이승호(1995), 양진석(1998) 등이 있다. 서리 현상은 이동성고기압의 영향하에 있을 때 가장 많이 발생하기 때문에 다른 사람들에 비해 이동성고기압형을 세분한 이승호(1995)의 분류기준을 참고하여 재분류하였다. 본 연구에서 분석한 기압배치 유형은 표 2와 같이 구분하였으며, 이동성 고

표 2. 한반도 주변 기압배치의 유형

유형	기호	특성
한대 고기압형 (1)	1a	대륙성 한대고기압이 한반도로 확장
	1b	해양성 한대고기압이 한반도로 확장
저기압 및 전선형(2)	2a	한반도 주변에 저기압이 위치하는 경우
	2b	한반도 주변에 한랭·온난 전선이 위치하는 경우
이동성고기압형 (3)	3NE	이동성 고기압의 중심이 한반도의 동부나 북동부에 위치하는 경우
	3SE	이동성 고기압의 중심이 한반도의 남부나 남동부에 위치하는 경우
	3SW	이동성 고기압의 중심이 한반도의 서부나 남서부에 위치하는 경우
	3NW	이동성 고기압의 중심이 한반도의 북부나 북서부에 위치하는 경우
기타(4)	4	북태평양 고기압의 영향을 받거나 미판독인 경우

기압의 경우는 그 중심 위치에 따라 4개 유형(3SW, 3SE, 3NW, 3NE)으로 세분하였다.

3. 결과 및 토의

1) 서리 현상일의 기상 조건

(1) 서리 현상일의 기압 배치 유형

서리는 이동성 고기압의 영향을 받고 있을 때처럼 맑고 바람이 없는 날 야간에 복사 냉각이 진행되면서, 접지층의 대기가 안정되고, 기온이 0℃ 이하로 하강한 경우에 수증기가 승화하여 발생한다. 그러므로 서리의 발생은 여러 가지 기상 요소의 영향을 받고 있으나, 특히, 서리 현상일의 기압계 유형에 의해 많이 좌우된다.

서리 발생에 영향을 미친 기압계에 대한 연구로는 국지예보구역별로 서리가 발생한 날의 기압배치 유형을 분석한 권영아(1995)의 것이 있는데, 그는 기압배치 유형별로 1982~1993년의 10월부터 5월까지 월별 서리 발생율을 계산하였다. 분석 결과 가을철과 봄철에는 이동성 고기압의 중심이 한반도의 남서쪽과 남동쪽에 위치하고 있을 때 월별로 서리 발생율이 가장 높으며, 이때 내륙 지역은 70% 이상의 발생율을 보인다고 하였다.

본 연구에서는 서리 예보자료 구축을 위한 서리 현

상일의 기상 조건을 분석하기 위해서는 기압계의 유형도 중요하므로 연구기간동안 기압배치 유형별로 서리 발생 비율을 구하였다(표 3). 가을철과 봄철의 기압계 유형만을 분석한 것이므로 서리 발생 비율의 차이는 있으나 권영아(1995)의 연구 결과와 마찬가지로 서리가 가장 많이 발생한 날의 기압계 유형은 이동성 고기압의 영향을 받고 있을 때로 전체 서리 발생율의 65% 이상이었다. 특히, 이동성 고기압의 중심이 우리나라의 남서쪽에 위치하고 있을 때 대부분 지역들의 서리 발생율은 30% 이상으로 가장 높았다. 그러나 대관령은 이동성 고기압의 중심이 남서쪽에 있는 경우와 북서쪽에 있는 경우 모두 서리 발생율이 높았는데, 이는 대관령의 경우 해발고도가 높기 때문에 봄철과 가을철에 야간의 복사 냉각에 의한 영향과 고도에 따른 기온 저감의 영향을 모두 받기 때문으로 생각된다. 즉, 풍속이 상당히 감소된 상태에서 야간에 기온이 어느점 이하로 하강하면서 지표면에서의 복사냉각이 급속하게 진행되기 때문에 서리 발생율이 높은 편으로 생각된다. 다른 지역에 비해 기온이 낮은 대관령은 오히려 한대 고기압의 영향을 받을 때 기온이 많이 떨어지므로 서리 발생율은 10% 이하로 낮게 나타났다.

그 외 한반도가 저기압의 영향을 받고 있을 경우에도 강수 현상의 유무에 따라 서리 발생에 영향을 미칠 수 있다. 강수현상이 있는 경우는 난류현상이 비교적 잘 발생하므로 서리가 발생하지 않을 것으로 판단되나, 저기압의 강도가 약하여 강수현상이 없는 경우는

표 3. 기압배치 유형별 서리 발생 비율(%)

	강화	수원	원주	대관령	서산	청주	대전	추풍령	포항	부안	합천	여수	제주	성산포	울릉도	
한대고기압	18.3	18.4	21.1	9.2	16.7	19.5	19.6	10.8	18.6	15.7	20.4	10.9	10.1	10.7	16.7	
이동성 고기압	북서	16.4	16.6	15.9	27.7	16.6	16.0	16.7	13.5	16.5	16.2	15.0	12.4	17.3	13.0	15.7
	북동	13.7	13.8	13.3	20.0	13.6	13.3	13.5	13.8	11.9	13.7	12.3	11.3	17.7	12.1	16.2
	남서	31.5	31.7	28.5	24.6	33.0	30.3	30.6	29.5	24.4	33.2	30.2	35.2	37.1	32.9	32.4
	남동	5.4	6.0	7.1	3.1	6.8	6.8	6.6	13.6	8.8	7.2	7.0	9.7	7.6	12.0	10.3
	합계	67.0	68.1	64.8	75.4	70.0	66.4	67.4	70.4	61.6	70.3	64.5	68.6	79.7	70.0	74.6
저기압/전선	13.9	12.8	13.6	13.8	12.9	13.3	12.3	18.1	19.8	13.5	14.4	19.2	10.1	18.9	7.8	
기타	0.8	0.6	0.6	1.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.0	0.5	0.7	1.3	0.0	0.4	1.0	

기온이 빙점이하로 하강할 때 서리가 발생할 수 있다. 본 연구에서도 저기압이나 전선의 영향을 받을 때에 15% 내외의 서리 발생율을 보였다. 따라서 국지적인 기상 조건의 차이는 있겠으나 수확기인 가을철과 작물의 개화 시기인 봄철동안 서리 발생에 가장 큰 영향을 미치는 기압계는 이동성 고기압이다.

2) 서리 현상일의 기상 요소별 값의 특징

서리가 발생할 수 있는 기상 조건을 유추하기 위하여 서리 현상일을 중심으로 서리 발생에 영향을 미칠 것으로 생각되는 그 전날과 당일의 기상 요소들을 추출하였다. 또한 지리적 위치에 따른 차이를 분석하기 위하여 상세기후 지역별로 서리 현상이 발생한 날의 기상 요소별 값을 가을철과 봄철로 나누어 평균하였다.

기상 요소들 중에서 서리 발생과 밀접한 관련이 있는 최저기온과 초상최저기온을 보면, 가을철에는 내륙 지역과 산지 지역의 최저기온은 영하일 때 서리가 발생한 반면, 해안 지역과 도서 지역은 최저기온이 0℃ 이상일 때 서리가 발생했다. 초상최저기온은 내륙이나

해안 지역 모두 0℃ 이하에서 서리가 발생했으며, -2~-5℃의 분포를 보였다. 대부분의 내륙지역에서는 최저기온이 -1℃ 내외이고 초상최저기온이 -3℃ 이하일 때 서리가 발생했고, 해안지역이나 도서지역은 최저기온은 1~2℃, 초상최저기온은 -2℃ 내외에서 서리가 발생했다. 특히, 중부서안, 중부내륙, 충청내륙, 경북내륙, 대관령 등 위도가 높은 내륙지역들은 초상최저기온이 -4℃ 이하에서 서리가 발생했다. 그러나 전라 내륙은 서리 발생일의 초상최저기온이 -2.6℃로 주변 해안 지역과 비슷한 값이었다. 초상최저기온이 가장 낮은 곳은 중부내륙으로 -5.4℃였으며, 이는 복사 냉각에 의한 냉기류의 영향으로 생각된다. 즉, 복사 냉각에 의한 서리 현상은 지면 위 1.2~1.5m 높이에서 측정된 최저기온 보다는 지면 위 30cm 높이에서 측정된 초상최저기온의 영향을 더 많이 받는다는 것을 알 수 있으며, 가을철에는 지형에 의한 냉기류의 흐름에 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 참고 자료로 수증기가 응결하기 시작하는 이슬점 온도의 분포를 보면 도서지역과 대관령, 전라내륙, 남부 서안은 0℃ 이상이었는데 이슬점 온도는 수증기량과 관련이 깊기 때문에 상대습도가 높은 곳은 상대적으로 이슬점 온도가 높은 반면,

표 4. 상세 기후 지역별 가을철 서리 현상일의 평균 기상 조건

가을	최저기온(℃)	초상최저기온(℃)	이슬점 온도(℃)	일교차(℃)	상대습도(%)	최소상대 습도(%)	평균풍속 (m/sec)	평균운량(할)
중부서안	0.7	-4.7	-1.3	10.8	61	38	2.7	3.0
중부내륙	-1.6	-5.4	-1.1	14.6	66	36	1.7	3.7
중부동안	2.4	-2.0	-3.4	9.5	50	37	3.4	1.9
남부서안	0.6	-2.8	0.2	11.9	69	45	3.4	4.2
충청내륙	-0.8	-4.5	-0.1	14.6	70	40	1.5	3.4
전라내륙	-0.1	-2.6	0.3	14.0	69	40	1.6	3.9
경북내륙	-1.0	-4.8	-1.0	14.7	63	33	2.3	2.8
경남내륙	-0.4	-3.8	-0.7	15.1	62	32	1.8	2.8
남부동안	0.6	-3.8	-1.6	12.2	57	37	3.0	2.7
남해안	1.5	-2.6	-0.3	11.8	59	39	2.8	2.5
제주도	2.7	-1.9	1.5	8.9	64	48	4.0	4.7
대관령	-2.1	-4.2	0.3	13.0	75	50	3.3	4.1
울릉도	3.7	-1.9	1.0	5.6	66	53	3.9	5.2

상대습도가 낮은 중부 동안지역은 이슬점 온도가 낮게 나타났다(표 4).

봄철의 경우에는 서리 발생일의 최저기온은 가을철보다 조금 낮아 남부 서안과 남부 동안은 해안지역이지만 0℃ 이하에서 서리가 발생했다. 전체적인 경향은 가을철과 유사하며, 기온만 1℃ 정도 더 낮아 내륙지역은 최저기온이 0℃ 이하에서 서리가 발생하고 초상최저기온은 -3~-6℃에서 발생했다. 그러나 가을철에는 중부 내륙에서 가장 낮은 초상최저기온이 나타난 반면, 봄철에는 해발고도가 높은 대관령이 -6℃로 가장 낮은 초상최저기온을 나타냈다. 전라내륙은 가을철과 마찬가지로 초상최저기온이 주변 지역에 비해 높은 편으로 봄철에는 -3.9℃로 -4.1℃인 남부 서안지역보다 약간 높았다. 서리 발생일의 일교차를 보면 가을철과 봄철 모두 내륙지역은 대부분 14℃ 이상으로 크고 해안지역은 10~12℃ 였으며, 도서지역은 10℃ 이하였다. 야간의 복사 냉각이 봄철보다는 가을철이 더 활발하기 때문에 내륙지역의 일교차는 봄철보다 가을철이 더 컸다. 그러나 도서지역은 서리가 발생한 날의 일교차가 봄철이 가을철보다 더 크게 나타났다.

가을철과 봄철에 서리 발생일의 상대 습도는 대부분

55~75%였으며, 최소상대습도는 울릉도를 제외하고는 30~50%였다. 도서지역인 제주도와 울릉도 및 대관령은 서리 발생일의 최소상대습도가 45~55% 이상으로 높았는데, 대관령은 해발고도가 높기 때문에 수증기 응결로 인해 최소 상대습도가 높은 것으로 생각된다. 그 외 가을철에는 남부 서안의 최소상대습도가 45%로 높았고 봄철에는 중부 동안의 최소상대습도가 48%로 높았다.

서리 현상은 대기가 안정되고 풍속이 약할 때 주로 발생한다. 서리가 발생한 날의 평균 풍속을 보면, 경북 내륙을 제외한 모든 내륙 지역이 가을철에는 1.5~1.8m/sec에서 서리가 발생했으며, 봄철에는 1.9~2.2m/sec에서 발생했다. 해안 지역은 내륙지역보다 풍속이 강했는데 가을철에는 2.7~3.4m/sec이고, 봄철에는 2.9~3.8m/sec로 내륙보다 1~1.5m/sec 더 강했다. 도서지역은 풍속이 강해 가을철에는 5m/sec 정도에서 서리가 발생했으며, 봄철에는 제주도는 4m/sec, 울릉도는 5.3m/sec에서 발생했다. 평균 운량은 제주도와 울릉도, 남부 서안과 해발고도가 높은 대관령 지역에서는 4~5할 정도에서 서리가 발생했고 그 외 지역은 2~4할일 때 서리가 발생했다. 평균 운량은 최소 상대

표 5. 상세 기후 지역별 봄철 서리 현상일의 평균 기상 조건

봄	최저기온(℃)	초상최저기온(℃)	이슬점 온도(℃)	일교차(℃)	상대습도(%)	최소상대 습도(%)	평균풍속 (m/sec)	평균운량(할)
중부서안	0.0	-5.3	-1.9	10.0	64	39	2.9	3.9
중부내륙	-1.4	-5.4	-2.6	14.0	61	31	1.9	4.0
중부동안	0.5	-3.3	-0.8	9.3	68	48	2.9	5.6
남부서안	-0.4	-4.1	-0.9	10.6	67	42	3.8	3.6
충청내륙	-1.1	-5.5	-1.8	13.7	63	34	2.0	3.6
전라내륙	-1.4	-3.9	-2.1	14.6	65	36	2.1	4.4
경북내륙	-1.3	-5.5	-2.5	14.0	59	31	2.6	4.2
경남내륙	-1.1	-4.9	-2.4	14.5	55	29	2.2	3.5
남부동안	-0.4	-3.7	-1.9	10.9	66	43	3.4	4.8
남해안	1.0	-3.4	-0.8	11.5	58	35	2.9	3.4
제주도	1.7	-3.6	1.1	9.3	65	47	4.0	5.0
대관령	-3.5	-6.0	-2.4	12.4	70	48	3.4	5.2
울릉도	1.6	-2.2	-0.9	6.8	72	55	5.3	5.9

습도와 경향이 같았으며, 이는 기압계의 영향으로 생각된다. 즉, 가을철에는 이동성 고기압의 중심이 남서쪽에 위치하고 있을 때 서해안에서 수증기를 공급받기 때문이고 봄철에는 이동성 고기압의 중심이 동쪽이나 남동쪽에 위치하거나 오호츠크해 고기압의 영향을 받을 때 동해안의 수증기가 유입되기 때문으로 생각된다. 이러한 이유로 중부 동안의 경우 가을철에는 서리 발생일의 평균 운량이 1.9할로 가장 작았는데 봄철에는 5.6할로 올릉도 다음으로 많은 운량을 나타냈다(표 5).

이상에서 서리 발생은 지역의 지리적 특성에 따라 기상 조건이 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다. 상세 기후 지역 구분에 따른 분석은 지리적 특성이나 위치가 유사한 지역별로 그룹화되어 평균된 것이므로 각각의 지역별 서리 발생일의 기상 조건을 파악하기 위해서 각 관측지점별로 기상 요소값을 나열하였다. 각 지점별로 가을철 서리 현상일의 기상 조건을 보면, 전체적인 경향은 기후 지역별로 구분한 것과 유사하다. 해안 지역은 강화를 제외한 모든 지역들이 최저기온이

표 6. 가을철 서리 현상일의 기상 조건

	관측 지점	최저기온 (℃)	초상최저 기온(℃)	이슬점 온도(℃)	일교차(℃)	상대습도 (%)	최소 습도(%)	평균풍속 (m/sec)	평균운량 (할)
중부 서안	강화	-1.4	-5.3	-2.4	12.3	63	37	1.8	2.7
	서울	2.1	-4.1	-1.5	9.6	56	35	3.3	3.7
	수원	0.3	-5.2	0.2	12.6	65	40	2.1	3.6
	인천	1.8	-4.3	-1.6	8.8	59	40	3.7	2.2
중부 내륙	양평	-1.5	-5.3	-0.5	16.2	66	35	2.0	3.1
	원주	-1.2	-4.1	-0.5	14.2	69	37	1.4	3.5
	이천	-0.7	-4.0	-1.3	13.1	61	35	1.5	3.4
	인제	-1.8	-6.7	-1.1	14.7	67	40	1.9	3.8
	제천	-2.1	-5.8	-1.4	15.1	68	34	1.9	4.0
	춘천	-0.8	-5.4	-0.6	13.7	63	35	2.1	3.9
	충주	-1.8	-5.0	-1.5	13.9	71	37	1.3	3.8
	홍천	-2.8	-6.4	-2.2	15.8	64	31	1.4	3.9
중부 동안	강릉	2.4	-2.7	-3.5	9.6	52	36	3.2	2.7
	속초	2.4	-1.2	-3.3	9.3	47	39	3.5	1.1
남부 서안	군산	0.4	-2.6	-1.5	10.1	66	43	4.2	4.2
	목포	1.3	-2.3	-0.9	10.8	66	44	5.9	4.8
	보령	0.5	-3.6	1.2	13.0	71	45	2.0	3.7
	부안	0.1	-2.8	1.0	13.1	73	48	2.0	4.6
	서산	0.7	-2.6	1.1	12.7	67	42	2.9	3.9
충청 내륙	금산	-0.4	-4.3	1.2	16.1	72	42	1.3	2.9
	대전	0.2	-3.8	-0.8	13.3	67	37	1.6	3.5
	보은	-2.0	-5.0	-0.3	15.7	70	36	1.6	3.2
	부여	-0.7	-3.9	0.6	14.8	73	42	1.1	3.5
	천안	-1.3	-4.4	-0.8	14.2	71	43	1.7	3.9
	청주	-0.6	-5.4	-0.9	13.5	69	38	1.9	3.6

[표 6 계속]

	관측 지점	최저기온 (℃)	초상최저 기온(℃)	이슬점 온도(℃)	일교차(℃)	상대습도 (%)	최소 습도(%)	평균풍속 (m/sec)	평균운량 (합)
전라 내륙	광주	1.8	-1.7	0.5	11.5	67	42	2.5	4.1
	남원	-1.1	-3.4	-0.1	15.8	72	38	1.2	3.8
	순천	-0.7	-2.6	-0.1	14.8	67	37	1.7	3.8
	임실	-1.0	-3.0	0.9	15.7	72	38	1.3	3.7
	장흥	0.1	-2.9	0.9	14.7	68	36	1.9	3.0
	전주	0.6	-2.0	-0.8	12.6	68	40	1.4	4.3
	정읍	-0.1	-2.8	0.5	13.0	72	46	1.3	4.7
경북 내륙	구미	-0.3	-4.2	-0.7	14.2	61	30	2.8	2.8
	문경	-0.5	-4.6	-1.2	14.6	59	34	2.1	2.5
	영주	-1.9	-5.5	-1.5	14.9	64	31	2.4	2.9
	의성	-2.7	-6.3	-1.2	17.6	70	34	1.2	2.9
	추풍령	0.7	-3.5	0.6	13.1	61	36	3.7	2.8
경남 내륙	거창	-1.2	-4.3	0.1	16.4	68	38	1.3	2.9
	대구	1.3	-4.0	-1.0	11.5	55	35	3.0	3.4
	밀양	-0.8	-3.9	-1.7	15.2	65	30	1.7	2.7
	산청	0.5	-2.6	0.7	16.3	58	30	1.8	2.0
	영천	-1.2	-4.6	-1.0	15.8	60	30	1.8	2.8
	진주	-0.5	-3.2	-0.4	14.8	64	34	1.8	2.7
	합천	-0.7	-4.0	-1.7	15.5	64	29	1.2	3.3
남부 동안	영덕	0.1	-4.4	-1.1	13.7	58	36	2.1	2.3
	울진	0.6	-2.6	-1.3	11.9	61	42	3.9	3.4
	포항	1.1	-4.5	-2.4	10.9	52	33	2.9	2.3
남해안	거제	1.8	-2.4	-0.6	13.1	54	31	2.1	1.3
	고흥	1.2	-3.2	2.0	14.5	66	39	1.3	2.7
	남해	0.3	-3.1	-1.1	12.9	60	37	2.1	2.5
	부산	0.8	-2.9	-2.6	10.7	54	40	4.8	1.1
	여수	4.1	-3.0	-0.2	6.7	56	39	3.8	2.2
	완도	1.0	-2.6	0.6	9.2	65	46	3.1	4.0
	울산	0.7	-2.9	-2.0	11.5	55	35	2.9	2.4
	통영	2.6	-1.6	-1.2	10.3	57	37	3.2	2.7
	해남	0.6	-1.9	2.0	14.5	70	46	2.1	3.7
제주도	서귀포	2.1	-2.5	-1.4	7.1	63	49	3.9	5.3
	성산포	2.8	-2.3	4.4	10.3	68	47	3.7	4.3
	제주	3.2	-1.0	1.5	9.4	63	48	4.6	4.4
대관령	대관령	-2.1	-4.2	0.3	13.0	75	50	3.3	4.1
울릉도	울릉도	3.7	-1.9	1.0	5.6	66	53	3.9	5.2

영상일 때 서리가 발생했으며, 내륙에 위치하고 있어도 대도시 지역의 경우에는 해안지역과 마찬가지로 최저기온이 0℃ 이상일 때 서리가 발생했다. 양평, 의성, 거창, 산청, 금산 등의 내륙지역은 서리 발생일의 일교차가 16℃ 이상으로 컸으며, 의성은 17.6℃로 가장 컸다. 가을철 평균 풍속은 군산, 목포, 부산, 제주를 제외한 전 지역이 4m/sec 이하일 때 서리가 발생했다. 특히 경북내륙에 해당하는 지역들을 제외한 대부분의 내륙지역들은 평균풍속이 2m/sec 이하일 때 서리가 발

생했다. 서리가 발생한 날의 평균 풍속이 가장 큰 지점은 목포 지점으로 5.9m/sec였다(표 6).

각 지점별로 봄철 서리 현상일의 기상 조건을 보면, 서리 발생일의 최저기온이 0℃ 이상인 지역이 남해안과 제주, 울릉도, 강릉, 속초, 군산, 목포 등 가을철 보다 해당 지역이 적다. 대도시 지역 중에서도 서울 지역만 최저기온이 영상일 때 서리가 발생했으며, 그 외 도시지역들은 영하에서 발생했다. 일교차는 전체적으로 가을보다 1℃ 이상 작았는데 봄철에도 서리 발생일의

표 7. 봄철 서리 현상일의 기상 조건

	관측 지점	최저기온(℃)	초상최저기온(℃)	이슬점온도(℃)	일교차(℃)	상대습도(%)	최소습도(%)	평균풍속(m/sec)	평균운량(할)
중부 서안	강화	-0.5	-4.6	-1.7	12.1	65	37	2.1	4.1
	서울	1.0	-4.5	-1.8	9.1	62	39	3.1	4.2
	수원	-0.5	-6.5	-1.2	11.9	66	38	2.2	4.0
	인천	-0.1	-5.7	-2.9	7.2	63	40	4.2	3.4
중부 내륙	양평	-0.6	-4.7	-0.9	14.8	61	31	2.0	3.7
	원주	-0.8	-3.6	-2.3	13.6	61	32	1.9	4.3
	이천	-0.4	-4.8	-2.2	13.3	60	30	1.6	3.2
	인제	-2.0	-6.4	-2.7	14.2	60	35	2.6	4.2
	제천	-2.1	-6.0	-3.8	14.3	61	29	2.0	4.3
	춘천	-0.9	-5.8	-2.2	12.6	63	34	2.2	4.2
	충주	-1.5	-5.9	-2.7	13.7	62	34	1.8	4.0
중부 동안	홍천	-2.8	-6.5	-3.8	15.9	59	26	1.5	3.8
	강릉	0.4	-4.2	-1.9	8.8	65	44	2.3	5.6
남부 서안	속초	0.7	-2.4	0.4	9.8	70	52	3.5	5.5
	군산	0.3	-3.0	-1.3	7.6	66	43	5.2	2.8
	목포	0.1	-3.3	-2.0	8.8	64	42	6.3	3.7
	보령	-0.7	-4.8	-0.3	12.5	69	40	2.2	3.7
	부안	-1.1	-4.6	-0.2	12.1	71	46	2.2	3.7
충청 내륙	서산	-0.7	-4.8	-0.9	12.1	68	40	3.1	4.1
	금산	-1.2	-5.6	-0.6	14.6	65	39	1.8	3.6
	대전	-0.3	-5.3	-3.2	11.5	61	31	2.3	3.3
	보은	-2.7	-6.2	-2.1	15.2	64	32	2.1	3.8
	부여	-1.0	-5.0	-1.1	14.5	65	35	1.4	3.7
	천안	-1.4	-5.3	-1.5	13.5	63	35	1.9	3.1
	청주	-0.3	-5.5	-2.2	12.8	60	32	2.7	3.8

[표 7 계속]

	관측 지점	최저기온 (°C)	초상최저 기온(°C)	이슬점 온도(°C)	일교차(°C)	상대습도 (%)	최소 습도(%)	평균풍속 (m/sec)	평균운량 (합)
전라 내륙	광주	-0.2	-3.9	-2.6	11.2	68	41	3.4	5.3
	남원	-1.7	-3.7	-1.7	15.8	65	33	1.7	4.4
	순천	-1.3	-3.7	-2.3	14.6	60	34	2.2	4.2
	임실	-2.6	-4.4	-2.2	15.1	67	34	1.7	4.6
	장흥	-1.1	-4.2	-0.8	13.8	64	35	2.6	3.7
	전주	-1.5	-4.3	-3.1	11.4	63	35	1.8	3.9
	정읍	-1.2	-3.5	-2.1	12.8	66	37	1.3	4.2
경북 내륙	구미	-0.9	-4.9	-3.3	13.6	57	30	3.2	4.3
	문경	-1.2	-6.3	-3.2	14.1	58	33	2.1	4.3
	영주	-1.4	-4.7	-2.0	14.3	59	27	2.7	4.0
	의성	-2.6	-6.4	-2.3	16.1	61	32	1.8	4.3
	추풍령	0.2	-4.7	-1.2	11.7	62	35	3.6	4.8
남부 동안	영덕	-0.9	-4.4	-1.6	11.8	65	42	2.6	4.6
	울진	-0.2	-2.5	-0.6	10.9	71	47	4.0	5.5
	포항	-0.2	-4.3	-3.6	9.9	60	39	3.6	4.2
남해안	거제	0.2	-3.9	-2.2	11.3	55	32	2.4	3.3
	고흥	0.5	-3.6	-0.1	13.8	58	34	1.7	3.9
	남해	-0.2	-4.6	-2.8	11.7	55	35	2.4	2.2
	부산	4.1	-2.5	1.9	7.0	69	48	3.8	5.9
	여수	2.9	-3.6	-0.6	8.6	53	33	4.6	3.3
	완도	1.7	-2.4	2.1	8.1	66	40	2.2	3.3
	울산	0.1	-3.2	-1.6	11.5	59	37	2.7	3.6
	통영	0.5	-3.8	-3.8	10.4	48	28	3.4	1.8
	해남	-0.8	-2.8	-0.6	13.1	64	37	2.9	3.0
제주도	서귀포	0.5	-5.1	-0.9	7.9	60	44	3.6	5.0
	성산포	2.0	-2.9	3.3	12.2	65	45	3.8	4.4
	제주	2.6	-2.9	0.7	7.8	71	53	4.5	5.6
대관령	대관령	-3.5	-6.0	-2.4	12.4	70	48	3.4	5.2
울릉도	울릉도	1.6	-2.2	-0.9	6.8	72	55	5.3	5.9

일교차가 가장 큰 지역은 의성으로 16.1°C였다. 그러나 서리 발생일의 평균 풍속은 가을철보다 커서 인천, 군산, 목포, 울진, 여수, 제주 울릉도는 4m/sec 이상이었으며, 가장 큰 평균 풍속이 나타난 지역은 가을과 마찬가지로 목포(6.3m/sec)였다(표 7).

3) 기상 요소별 서리 현상일의 공간 분포 특성

서리 현상일의 기상 조건의 지리적 특징을 분석하기 위하여 기상 요소별(최저기온, 초상최저기온, 일교차, 최소상대습도, 평균 풍속)로 공간 분포도를 작성하였

다. 특히, 기온과 관련된 분포는 내륙지역과 해역지역의 차이를 잘 나타냈으며, 지형과 해발고도, 위도의 영향을 반영하고 있었다.

(1) 서리 현상일의 최저기온 분포

첫서리가 발생하는 가을철은 작물에 따라 차이는 있지만 대부분 수확을 앞두고 있는 시점이어서 농민들에게는 서리 현상에 민감한 계절이다. 우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여있고 지형이 복잡하여 지역마다 기상 조건이 조금씩 다르게 나타난다. 최저기온의 분포를 보면 해안에 인접한 지역은 대부분 0~2℃이며, 제주도와 울릉도 같은 도서 지역은 3℃ 이상의 높은 값을 보인다. 그러나 내륙 지역은 영하의 최저기온 값을 나타내는데, 특히, 내륙 산간 지역은 -2℃ 이하로 낮은 값을 보인다. 대구나 광주, 전주, 대전 등 일부 대도시들은 내륙에 위치하고 있으나 서리가 발생한 날의 최저기온은 0℃ 이상이었다(그림 1).

마지막 서리가 발생하는 봄철은 작물이 개화하는 시

기이므로 서리 현상이 발생하면 과수와 같은 작물은 치명적인 피해를 입게된다. 봄철 서리 발생일의 최저기온 분포를 보면 전체적인 분포 경향은 가을철과 유사하지만 기온은 내륙에 인접한 지역들에서 1℃ 이상 더 낮게 나타났다. 즉, 가을철에는 대부분의 해안지역이 0℃ 이상에서 서리가 발생한 반면, 봄철에는 남해를 제외한 해안에 인접한 지역들은 최저기온이 영하일 때 서리가 발생했다. 그 외 내륙 지역이나 산간 지역은 가을철과 유사하여 최저기온이 -1~-2℃일 때 서리가 발생했다(그림 2).

최저기온은 지면 위 1.5m 높이에서 측정하는 자료이므로 지면위에서 측정된 값과는 다를 수 있다. Bootsma(1976)에 의하면 작물에 영향을 미치는 기온은 최저기온보다는 초상최저기온이며, 농업적인 목적이라면 초상최저기온 측정이 더 중요하다는 것은 선행 연구들에서도 이미 알려져 있다고 하였다. 또한 최저기온과 초상최저기온의 차이는 대기 상태, 지형적 원인, 토양과 지표 특성에 따라 달라질 수 있는데 복사냉

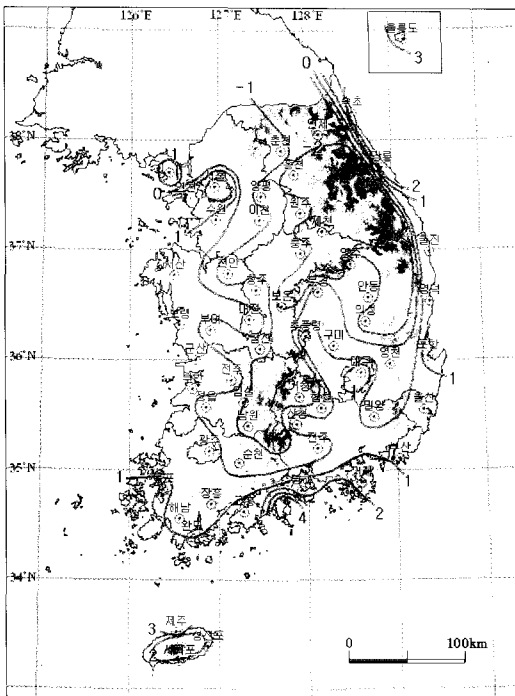


그림 1. 가을철 최저기온(°C)의 분포

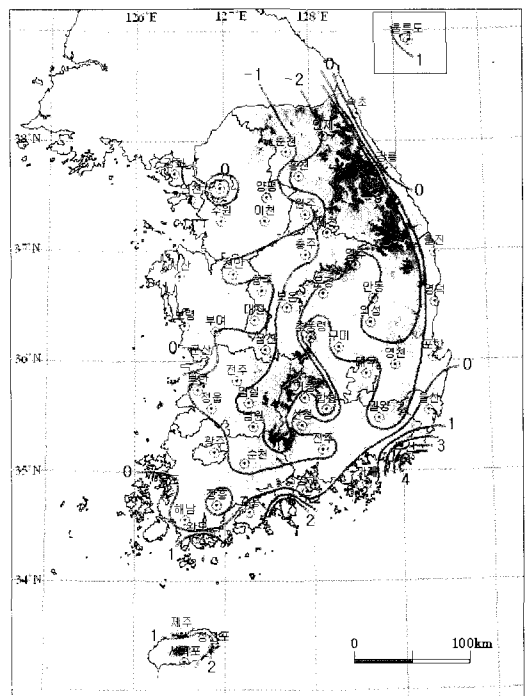


그림 2. 봄철 최저기온(°C)의 분포

각이 강한 맑은날 밤에 그 차이는 더 커질 수 있다고 하였다. 따라서 우리나라의 경우 대부분 복사 냉각에 의해 서리가 발생하기 때문에 해안에 인접해 있는 해안지역이나 지표면의 피복상태가 도시화되어있는 지역 같은 경우는 최저기온과 초상최저기온의 차이가 클 수 있다. 따라서 지역적 특성에 따라 서리가 발생한 날의 최저기온은 영상을 나타낼 수도 있다.

(2) 서리 현상일의 초상최저기온 분포

초상최저기온은 실제 작물과 밀접한 관련을 가지고 있는 기상 요소이며, 서리 발생과 관련하여 매우 중요하다. Bootsma(1976)에 의하면 초상최저기온은 최저기온에 의해 기록되지 않을 수 있는 지표면에 발생한 서리 현상도 감지할 수 있기 때문에 작물 성장에 영향을 미치는 온도 상태를 표현하기에는 더 낫다고 하였다.

서리 현상일의 초상최저기온의 분포를 보면 모든 지역에서 영하의 값을 보이고 있으며, 위도가 높을수록, 해안에 인접한 지역보다는 내륙 지역일수록 더 낮음을

알 수 있다. 특히 가을철의 경우 야간의 복사냉각에 의한 냉기류의 흐름에도 영향을 받기 때문에 지형의 영향이 반영된 분포 특성을 보이고 있다. 즉, 남서해안 지역과 남동해안 지역, 동해안 지역을 제외하고는 중부 서안 지역이나 소백산맥 자락 남단에 위치한 여수, 고흥 등 일부 남부 지역은 주변 지역에 비해 초상최저기온이 낮았다. 또한 내륙 산간 지역에서도 해발고도가 높은 대관령보다는 홍천, 춘천, 양평, 제천, 의성, 영주, 청주 등 산지 주변 지역에서 더 낮은 최저기온을 나타냈다. 특히 홍천이나 의성 등은 -6℃ 이상으로 매우 낮았다(그림 3).

봄철의 초상최저기온 분포는 지형에 의한 영향이 뚜렷하게 반영되지 않았으며, 최저기온의 분포와 유사한 패턴이었다. 해안 지역과 도서 지역은 상대적으로 초상최저기온이 높았으며, 내륙 및 산간 지역은 -5~-7℃로 낮은 분포를 보였다. 가을철에도 봄철과 마찬가지로 대관령보다 홍천이나 인제, 의성, 보은, 문경 등에서 더 낮은 초상최저기온을 나타냈다(그림 4).

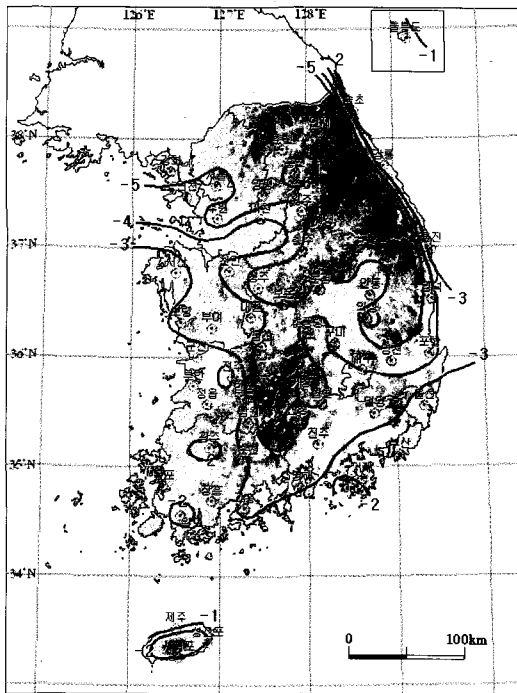


그림 3. 가을철 초상최저기온(°C)의 분포

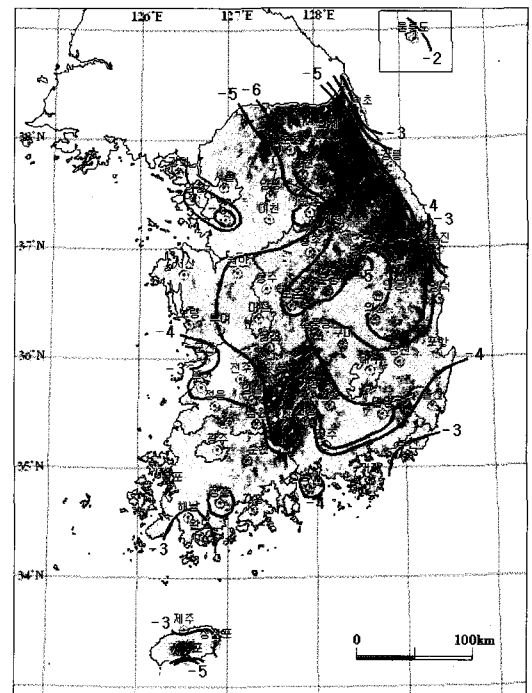


그림 4. 봄철 초상최저기온(°C)의 분포

(3) 서리 현상일의 일교차 분포

대기 중에 수증기가 적고 풍속이 약한 야간에는 지표면의 복사냉각에 의해 지면온도가 낮아지며 온도가 낮아질수록 서리가 발생할 확률은 커진다. 복사냉각 정도가 클수록 일교차는 커지기 때문에 서리 현상이 있었던 날의 일교차의 분포는 서리 현상과 밀접한 관련이 있다. 가을철의 일교차 분포를 보면 해안 지역보다는 내륙 지역에서 크게 나타나며, 대도시 지역은 도시화의 영향으로 주변에 비해 상대적으로 일교차가 적다. 내륙 지역은 대부분 14℃ 이상의 일교차를 보이며, 양평, 금산, 거창, 산청, 의성 등은 16℃ 이상으로 일교차가 매우 컸다. 특히, 서리가 많이 발생하는 의성의 경우는 17.6℃로 가장 큰 일교차를 나타냈다(그림 5).

봄철 일교차 분포는 가을철과 유사하며 16.1℃로 의성이 가장 컸다. 서리 현상이 있었던 날들의 일교차를 보면 해안 지역의 경우 대부분 8~12℃정도인데 중부 서해안 지역과 남동해안 지역이 주변 해안 지역보다 일교차가 조금 크다(그림 6).

(4) 서리 현상일의 최소상대습도 분포

대기 중의 수증기가 승화된 것이 서리이므로 서리가 발생하기 위해서는 기온 뿐 아니라 상대습도도 중요한 역할을 한다. 가을철 서리 현상일의 평균 상대습도는 대부분 지역에서 60~70%이었으며, 남해안과 남부동안 지역은 55~60%였다. 강릉이나 속초 지역은 상대습도가 50% 내외로 가장 낮았다. 봄철 서리 현상일의 상대습도도 가을철과 유사하여, 경상도 내륙 지역과 남해안 지역을 제외하고는 대부분 60~70%였으며, 경북 내륙과 경남 내륙, 남해안은 55~60%였다.

서리가 발생할 수 있는 최소상대습도의 분포를 보면 가을철에는 도서 지역과 서해안 인접 지역들에서 40% 이상으로 높은 값을 나타낸다. 내륙 지역은 대부분 30~40%였으며, 구미나 영천, 밀양, 산천, 함천 등 경상도 내륙 지역은 30% 내외의 낮은 최소상대습도를 보인다(그림 7).

봄철 서리 현상일의 최소상대습도는 제주도와 울릉도를 포함한 도서 지역과 서해안 및 동해안 지역에서

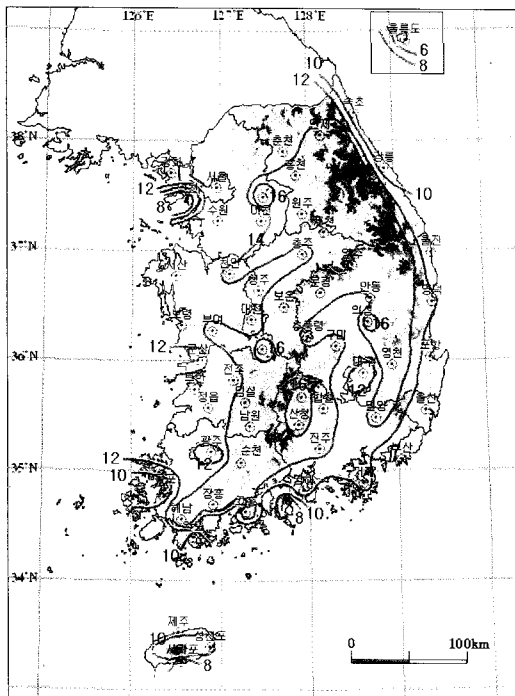


그림 5. 가을철 일교차(℃)의 분포

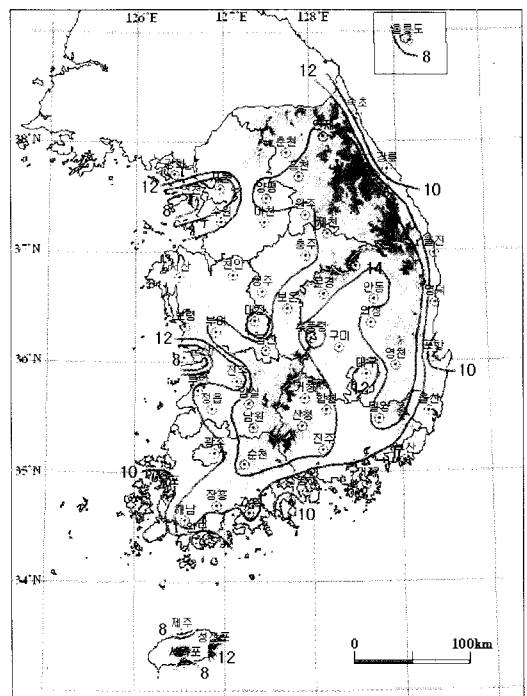


그림 6. 봄철 일교차(℃)의 분포

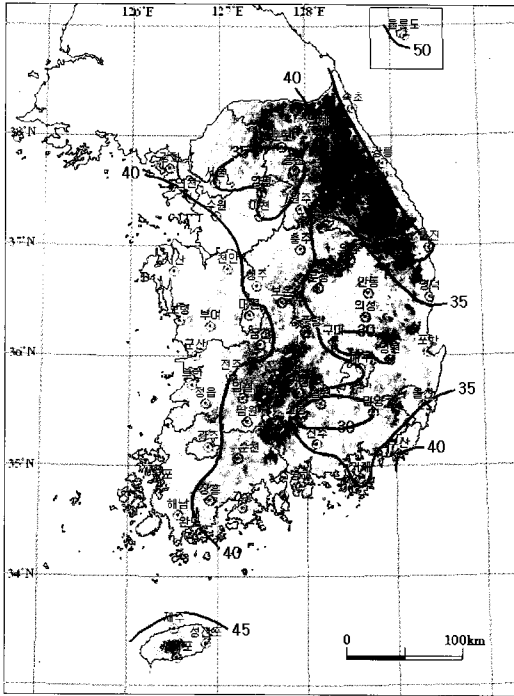


그림 7. 가을철 최소상대습도(%)의 분포

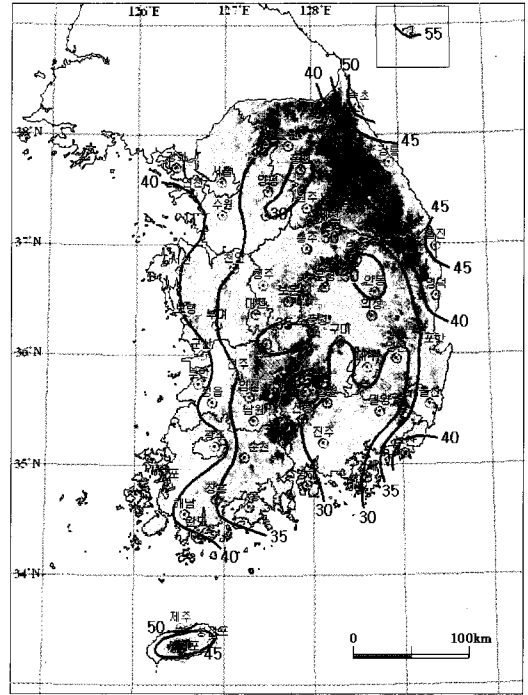


그림 8. 봄철 최소상대습도(%)의 분포

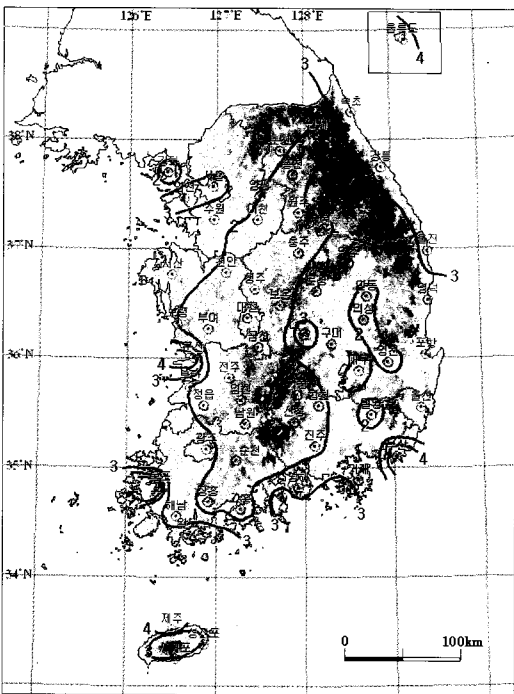


그림 9. 가을철 평균 풍속(m/sec)의 분포

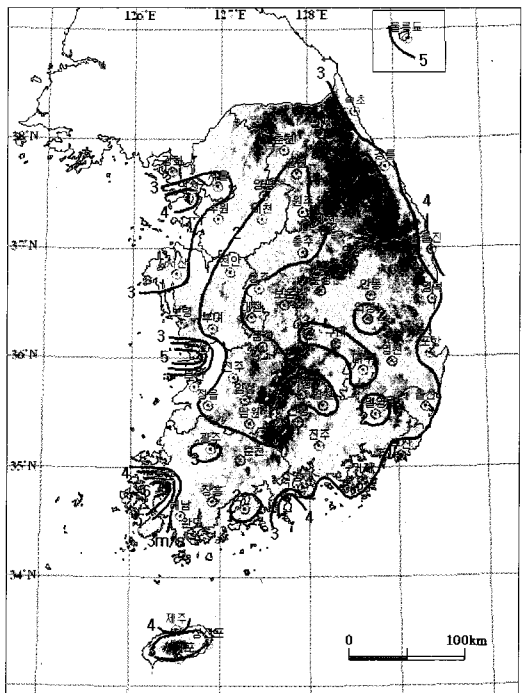


그림 10. 봄철 평균 풍속(m/sec)의 분포

40% 이상이었으며, 남해안과 내륙 지역은 30~40%를 나타냈다. 특히, 속초나 울진 등 동해안 지역들이 45% 이상으로 가을철과는 달리 높은 최소상대습도를 나타냈다. 봄철에는 높새현상의 영향으로 중부 영서 지역에서 최소상대습도가 낮게 나타났는데 홍천, 이천, 제천, 영주, 안동 등은 30% 이하였다. 또한 경남 내륙 지역인 밀양, 진주, 합천, 영천 등에서도 30% 이하로 낮은 최소상대습도를 보였다(그림 8).

(5) 서리 현상일의 평균 풍속 분포

바람은 대류작용을 일으키기 때문에 풍속이 강한 날에는 역전층이 형성되지 않아 서리 현상도 잘 일어나지 않는다. 가을철 서리 현상일의 평균 풍속은 내륙에 위치한 대부분 지역에서는 2m/sec 이하이며 경북 일부 내륙 지역에서만 2~3m/sec이었다. 해안에 인접한 지역이나 도서 지역에서는 평균 풍속이 2~5m/sec를 나타냈는데, 제주도와 울릉도는 4m/sec 내외이며 목포는 5.9m/sec로 가장 큰 풍속을 보였다. 내륙 지역에서도 해발고도가 높은 추풍령은 3.7m/sec로 풍속이 강한편이고 산지 지역인 대관령도 3.3m/sec로 풍속이 강하다. 그러나 안동, 의성, 영천 등 경북 내륙 지역은 1~2m/sec로 풍속이 약할 때 서리가 발생했다(그림 9). 봄철 평균 풍속의 분포도 가을철과 패턴은 유사하며, 봄철과 마찬가지로 목포가 6.3m/sec로 가장 풍속이 강했다. 내륙에 위치한 지역들은 1~3m/sec의 풍속을 보였으며 해안 지역은 2~5m/sec이었다(그림 10).

4. 결론

최근 지구 온난화에 따른 최저기온 상승으로 서리 현상일수가 줄어들었다는 보도가 자주 등장하고 있다. 그러나 서리 현상일수는 감소했어도 작물의 개화시기가 빨라지고 기온 변동성이 커지면서 서리에 의한 피해는 서리 현상일수와 비례하여 감소한다고 말하기 어렵다. 서리 현상에 의한 피해가 작물에 직접적으로 영향을 미치는 가을철과 봄철이 되면 농민들이나 과수 재배자들은 서리 예보의 필요성을 절실히 느끼게 된

다. 그러나 현재 서리 예보를 하기 위한 기초적인 연구조차 진행된 것이 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 농민들이나 과수 재배자들에게 서리 피해 방지를 위한 유용한 정보를 제공하기 위하여 전국 기상관측 지점을 중심으로 서리 현상에 영향을 미치는 기상 요소 중 기압계 유형, 초상최저기온, 최저기온, 최소상대습도, 평균 풍속 등의 특성을 첫서리 현상이 발생하는 시기인 가을과 마지막 서리 현상이 나타나는 봄으로 나누어 분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

서리 현상은 기압계 유형 중에서 이동성 고기압의 영향을 받고 있을 때 60% 이상으로 가장 높은 발생율을 보이며, 특히 이동성 고기압의 중심이 우리나라 남서쪽에 위치하고 있을 때 서리 발생 비율은 30% 이상이다. 서리 발생일의 기상 요소값의 분포를 보면 최저기온은 가을철에는 해안 인접 지역은 대부분 0~2℃, 내륙 지역은 -1℃ 내외, 산지 지역은 -2℃ 내외였다. 그러나 봄철의 분포패턴은 가을철과 비슷하나 기온은 1℃정도 더 낮은 온도에서 서리가 발생했다.

최저기온은 지면 위 1.5m 높이에서 측정된 값이므로 복사 냉각의 강도가 강한 내륙지역에서는 서리가 발생한 날 최저기온이 0℃ 이하인 경우가 대부분이지만, 해안에 인접한 지역은 복사 냉각의 강도가 강하지 않으므로 최저기온은 영하가 되지 않는 경우에도 서리가 발생할 수 있었다. 즉, 서리가 발생한 날의 초상최저기온(지면 위 30cm에서 측정)은 모든 지역에서 0℃ 이하의 값을 보이지만 최저기온은 지역적 특성에 따라서 영상에서도 서리가 발생했다.

서리 발생일의 초상최저기온의 분포는 위도가 높을수록 기온이 더 낮았고, 내륙 지역이 해안 지역보다 더 낮은 온도를 나타냈다. 일반적으로 중부 지방은 -4.5~-5.5℃, 남부 지방은 -2.5~-4℃, 도서 및 동해안 지역은 -2℃ 내외의 분포를 보였다. 또한 해안 지역은 초상최저기온이 -2~-3℃, 중부 서해안과 내륙 지역은 -4℃ 내외, 강원 산간 지역은 -5℃ 이하에서 서리가 발생했다. 지면위에서 측정된 값인 초상최저기온의 분포는 특히 가을철에 지형에 의한 영향을 잘 반영하였는데, 야간의 복사 냉각에 의해 형성된 냉기류가 지형의 영향으로 해발고도가 낮은 곳으로 이동함에 따라

가장 낮은 초상최저기온은 산지 주변 지역으로 나타났다.

서리가 발생한 날의 일교차는 봄철과 가을철 모두 제주도와 울릉도, 중부 동안을 제외한 모든 지역이 10℃ 이상이었으며, 내륙 지역은 평균적으로 14℃ 이상이었다. 평균 상대습도는 60~70%일 때 서리가 발생했으며, 최소상대습도는 30~50%일 때 서리가 발생했다. 가을철 최소상대습도는 해안 지역은 40~50%, 내륙 지역은 30~40%, 경북 내륙은 30% 이하에서 서리가 발생했으며, 산지 지역은 최소상대습도가 40% 이상일 때 서리가 발생했다. 봄철은 가을철과 유사한 패턴이었다. 평균 풍속은 가을철과 봄철 모두 내륙지역은 평균적으로 2m/sec 내외에서 서리가 발생했으며, 일부 도서 지역과 해안 지역을 제외하고는 4m/sec를 넘지 않았다.

이상에서 각 관측지점별로 분석된 서리 현상일의 기상 요소별 값은 과수 재배자들이 서리 피해를 예방하거나 감소시킬 수 있도록 서리 예보를 위한 유용한 정보를 제공할 것이다. 즉, 분석된 서리 발생일의 기상 조건을 만족한다면 과수 재배자들은 팬을 돌려 바람을 일으키거나 불을 피워 대류작용을 유도함으로써 서리 피해를 최소화할 수 있을 것이다.

文獻

강만석, 1979, "한국의 기압배치기후학적 고찰," 연구논문집(대구효성카톨릭대학교), 21(2), 131-146.

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.

권영아, 2006, "최근 한국의 서리 현상의 공간 분포와 시계열 변화 경향," 대한지리학회지, 41(3), 361-372.

권은영 · 정재은 · 서형호 · 윤진일, 2004, "전자기후도를 이용한 고품질 사과생산 후보지역 탐색," 한국농림기상학회지, 6(3), 170-176.

기상연구소, 2003, 기후변화협약 대응 지역기후 시나리오

산출기술개발(II), 기상연구소.

문승의 · 엄향희, 1980, "한국의 계절 구분," 한국기상학회지, 16(1), 45-54.

박광오, 2002, 안동지방 서리현상의 예보 가능성에 관한 고찰, 대구대학교 석사학위 청구논문.

양진석, 1998, "한국의 춘계한발의 종관 기후학적 특성," 한국지역지리학회지, 4(1), 43-56.

윤성호 · 임정남 · 이정택 · 심교문 · 황규홍, 2001, "기후변화와 농업생산의 전망과 대책," 한국농림기상학회지, 3(4), 220-237.

이승호, 1995, "한반도 주변의 기압배치형에 의한 한국의 자연계절 구분," 지리학연구, 26, 65-78.

정유란 · 서형호 · 황규홍 · 황범석 · 윤진일, 2002, "냉기침강효과를 고려한 복잡지형의 최저기온 분포 추정," 한국농림기상학회지, 4(3), 133-140.

정유란 · 서희철 · 윤진일, 2004, "지형기후모형에 근거한 서리경보시스템 구축," 한국농림기상학회지, 6(3), 164-169.

정유란 · 서희철 · 윤진일 · 이광희, 2003, "일 최저기온 공간내삽을 위한 지형기후학적 최적 공간규모," 한국농림기상학회지, 5(4), 261-265.

황규홍 · 이정택 · 윤진일 · 허승호 · 심교문, 2001, "서리상습지 배 과수원에서의 야간 냉각 특성," 한국농림기상학회지, 3(4), 206-214.

Avakyan, A. B., 1993, Influence of frosts on the delayed fluorescence of the leaves of plants grown in field conditions, *Biophysics*, 38(5), 899-902.

Avisar, R. and Mahrer, Y., 1987, Mapping Frost-Sensitive Areas with a Three-Dimensional Local-Scale Numerical Model. Part I: Physical and Numerical Aspects, *Journal 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.

Bonsal, B. R., Zhang, X., Vincent, L. A., and Hogg, W. D., 2001, Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada, *Journal of Climate*, 14, 1959-1976.

Bootsma, A., 1976, Estimating grass minimum temperatures from screen minimum values and

- other climatological parameters, *Agricultural Meteorology*, 16, 103-113.
- Chmielewski, F.-M., Muller, A., and Bruns, E., 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.
- Easterling, D. R., 2002, Recent changes in frost days and the frost-free season in the United States, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(9), 1327-1332.
- Floor, C., 1989, Estimating grass minimum temperature and Probability of ground frost at Eelde (Netherlands), *The Meteorological Magazine*, 118, 261-265.
- Frich, P., Alexander, L. V., della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A., and Peterson, T., 2002, Global changes in climatic extremes during the 2nd half of the 20th century, *Climate Research*, 19, 193-212.
- Fuller, M. P., Grout, B. W. W., and Tapsell, C. R., 1989, The pattern of frost-hardening of leaves of winter cauliflower, *Annual Applied Biology*, 115, 161-170.
- Heino, R., Brázdil, R., Fø rland, E., Tuomenvirta, H., Alexandersson, H., Beniston, M., Pfister, C., Rebetez, M., Rosenhagen, G., Rösner, S., and Wibig, J., 1999, Progress in the study of climate extremes in northern and central Europe, *Climatic Change*, 42, 151-181.
- Jang, H. I., Park, S. J., Seo, H. H., Han, J. W., and Cho, M. D., 2001, Some characteristic phenomena of cold injury in peach (*Prunus persica* L. Batsch). Proceedings of 3rd Conference on Agricultural and forest meteorology, *Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology*, 157-158.
- Katz, R. W. and Murphy, A. H., 1982, Assessing the value of frost forecasts to orchardists: A dynamic decision-making approach, *Journal of Applied Meteorology*, 21, 518-531.
- Kim, S. K., Park, J. S., Lee, E. S., Jang, J. H., Chung U., and Yun, J. I., 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 Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 6(1), 49-60.
- Kim, S. K., Park, J. S., Lee, Y. S., Seo, H. C., Kim, K. S., and Yun, J. I., 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 Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 6(1), 61-69.
- Laughlin, G. P. and Kalma, J. D., 1987, Frost hazard assessment from local weather and terrain data, *Agricultural and Forest Meteorology*, 40, 1-16.
- Lindkvist, L. and Lindqvist, S., 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 Butterfield, R. E., 1990, Cereal crop damage by frosts, spring 1990, *Weather*, 45(8), 308-313.
- Shin, B. W., Yoo, C. H., Cho, G. H., Jeong, J. H., Yu, S. J., and Rhee, G. S., 1996, Establishment of land suitability classification for lycium chinese cultivation, *Journal of Agricultural Sciences*, 38(1), 379-383.
- Stewart, T. R., Katz R. W., and Murphy, A. H., 1984, Value of Weather Information: A Descriptive Study of the Fruit-Frost Problem, *American Meteorological Society*, 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, *Journal of Agricultural Meteorology*, 48(5), 759-762.

권영아 · 이효신 · 권원태 · 부경은

교신: 권영아, 100-250, 서울시 중구 문학의집길 11-1, 서울특별시 맑은환경본부 에너지정책담당관 기후변화팀(이메일: yakwon71@seoul.go.kr, 전화: 02-3461-4136)

Correspondence: Young-Ah Kwon, Climate Change Team, Energy Policy Division, Environmental Protection Headquarters, Seoul Metropolitan Government, 11-1,

Munhakuijip-gil, Jung-Gu, Seoul, 100-250, Korea(email: yakwon71@seoul.go.kr, phone: +82-2-3461-4136)

최초투고일 08. 09. 10

최종접수일 08. 11. 24