

제주도 감귤 과수원의 야간 기온 분포(Ⅱ)

이 승 호*·이 현 영**

제주도에서 때때로 발생하는 동해(凍害)는 감귤 농사에 많은 영향을 준다. 특히 한라산 북사면의 감귤 과수원에서는 대규모의 동해 뿐만 아니라 소규모 냉기류의 정체로 인하여 품질과 생산성이 낮아지는 경우가 빈번하다. 본 연구는 감귤 과수원지역의 동해나 한해(寒害)로 인한 피해 방지를 모색하기 위한 연구의 일환으로서 1989~1990년 겨울에 동해 피해가 컸던 북제주군 와산리 일대를 사례로 행한 1995년 1월 관측 결과를 중심으로 기온 분포의 특성을 분석하였다.

기상 조건에 따라서 고지대(해발 200m 이상의 지역)와 저지대(해발 200m 미만의 지역)의 최저기온 분포가 다르게 나타났다. 흐리고 바람이 강한 날과 강수현상이 있는 날에는 고지대의 기온이 낮는데, 저지대와와의 차이는 전자의 경우 2.4°C, 후자의 경우 0.2°C 정도이다. 반면 바람이 없고 맑은 날 야간에는 저지대보다 고지대의 기온이 높는데 최대 차이는 4.8°C에 달하였다. 방풍 시설에 의하여 밀폐된 곳이나 지형적으로 함몰된 와지에서는 냉기류가 정체되면서 소규모의 냉기호가 형성되었다. 그리고 최대 강도 3.1°C에 이르는 지표면의 복사냉각에 의한 기온 역전 현상이 발생하는 데, 방풍시설로 완전히 밀폐된 고도인 90cm까지 뚜렷하게 저온현상이 나타났다. 방풍림과 방풍담으로 밀폐된 곳에서는 방풍 시설의 전면과 후면의 기온차가 2.0°C에 이르고 있다. 저지대에 냉기호가 형성되었을 경우, 인공적으로 소규모의 대류현상을 일으켜 냉기호 내의 기온을 상승시키는데 큰 효과를 얻을 수 있었다. 본 연구의 결과는 실측에 의한 상습 냉해지역의 파악과 냉해 방지를 위한 합리적인 방풍시설의 설계의 필요성이 시급함을 보여준다.

主要語 : 동해(凍害), 한해(寒害), 냉기류, 복사냉각, 방풍 시설, 소규모 냉기호

1. 서 론

제주도 감귤 과수원에는 1960년대 초반까지 돌담을 2m 정도 높이로 쌓아 방풍 시설로 이용하였으나, 1960년대 중반 이후 방풍림의 조성방법이 도입되면서 감귤 과수원이 급격히 증가하기 시작하였다. 현재 과수원 조성이 가능하다고 주민들이 생각하고 있는 거의 전지역으로 제주도의 감귤 재배지역이 확대되었다. 그 생산량도 꾸준히 늘어나 대규모 감귤 농업이 조성 초기인 1963년도에 494.0M/T이던 것이 1992년도에는 718,655M/T로 증가하였다. 그러나 현재 제주도의 감귤 농업은 여러 가지 문제에 직면하고 있다. 여름철에 이 지역을 통과하는 태풍, 겨울철과

봄철의 낮은 기온, 가뭄 등은 제주도의 감귤 농업에 위협적인 요소가 되고 있다. 또한 과수원 주변에 설치되어 있는 방풍 시설은 원래의 설치 목적인 겨울의 한랭한 북서 계절풍으로부터 감귤나무를 보호해 주는 역할을 하지만, 이로 인하여 역효과가 발생하기도 하므로 방풍림의 구조·밀도·자재 등의 재검토가 필요하다. 그리하여 제주도에서는 농산물 시장의 개방을 계기로 감귤 농업의 새로운 전환기를 맞아 감귤기획단을 구성한 바 있다. 이 기획단은 감귤 재배조건 및 농업지역의 기상 특성 등 기초 조사 없이 해발 200m 이상 고지대의 과수원과 저지대¹⁾의 동해 상습지역에 위치한 과수원에 폐원을 유도하는 대책안을 마련한 바 있다. 일본의 경우는 이미 1960년대에 감귤 과수원의 적지판정을 위한

본 논문은 대한지리학회 1995년 춘계 학술발표대회에서 발표된 것임.

* 건국대학교 이과대학 조교수

** 건국대학교 이과대학 교수

기상조사(坪井 外, 1963)가 시작된 바 있다. 우리나라에서도 감귤의 품질향상을 위한 과학적 농업의 필요성이 대두되고 있는 이 시점에서 성급한 정책의 결정보다는 적지 재배를 실현하기 위한 과수 농업기상에 대한 연구로 감귤의 품질과 생산성을 높이는 방안을 모색하는 일이 우선되어야 할 것이다. 즉, 겨울철의 한해는 감귤나무의 수령(樹齡)과 수세(樹勢) 그리고 절대온도, 저온상태의 지속기간, 풍속, 영하로 기온이 하강하기 전후의 기온 변화 패턴 등 기후조건에 따라서 달라지기 때문이다(Krueger, 1983). 필자들은 제주도 감귤 과수원 지역에서의 한해나 동해 피해를 방지하기 위하여, 1989~1990년 겨울철 동해 발생 이후 수차례의 겨울 기온을 관측하였으며, 그 결과의 일부를 보고한 바 있다(이현영 외, 1995).

본 연구에서는 한라산 동북쪽 사면에 위치하는 북제주군 조천읍 와산리 일대에서, 과수원이 집중적으로 분포하고 있는 저지대 지역(해발 120~180m)과 감귤 과수원과 더불어 밭농사 또는 초지로 남아 있는 고지대 지역(해발 200m 이상)을 나누어 최저기온·수직 기온 분포를 관측하였다. 그 결과를 기초로 저지대 와지에 냉기호(cold-air lake)의 형성 여부 및 감귤재배 적정 지역 고도 상한에 초점을 두고 분석하여 동해와 상습적 한해 발생지역의 특성을 파악하고자 하였다. 또한 본 연구에서는 이전의 두차례의 관측과 달리 방풍 시설 주변의 최저기온 분포를 조사하여 방풍 시설이 그 주변의 기온에 미치는 영향을 파악하고, 한해 피해를 줄일 수 있는 방안을 모색하고자 하였다.

2. 연구방법 및 자료

1991년부터 1995년까지 세해 겨울(1991, 1994, 1995)에 걸쳐 연구지역의 기온 관측을 시행하였는데 본 연구에서는 1995년 1월 7일부터 27일까지 21일간의 관측을 중심으로 분석하였다. 연구지역인 와산리는 한라산 동북쪽 사면에 위치하는데 해발고도는 120~250m이고, 경사는 약 1° 정도로 완만하다(그림 1). 와산리 본동의 서쪽

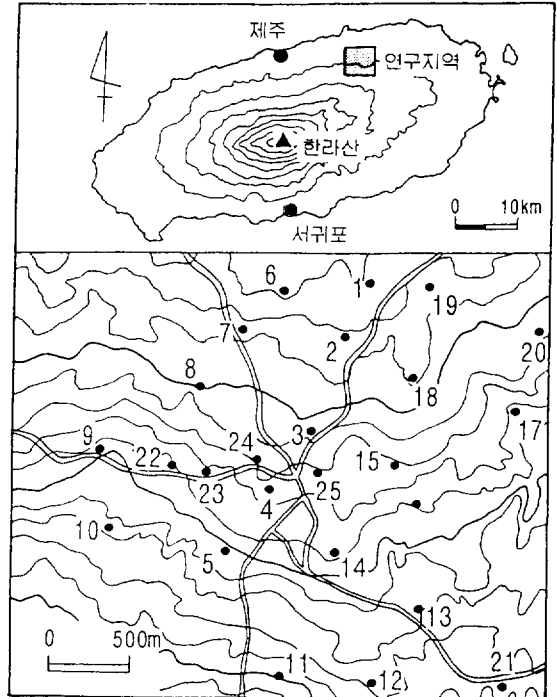


그림 1. 연구지역 및 관측지점의 위치

에 위치하는 남남서-북북동 방향의 소규모 골짜기에서, 해발 180m 이하의 지역에서는 1960년대 말부터 감귤 과수원이 조성되기 시작하였는데 최근에는 마을 경작지의 대부분이 감귤 과수원으로 전환되었다.

연구지역인 와산리 본동을 중심으로 250m×250m의 방안을 작성하고 각 방안마다 설치된 관측지점의 일최저기온·수직기온과 방풍 시설 주변의 일최저기온을 관측하였다. 특히 본 연구에서는 선행연구(이현영 외, 1995)에서 행하지 않았던, 해발 200m 이상에 위치하는 과수원 관리자들을 대상으로 감귤 생산량 및 품질에 대한 설문조사를 하였으며, 인공적으로 조성된 방풍 시설이 과수원의 기온 분포에 미치는 영향을 파악하기 위하여 방풍 시설의 윗쪽과 아랫쪽으로 각각 약 10m 떨어진 지점에서 일최저기온을 관측하였다. 조사지역은 동서방향과 남북방향의 방풍림 가운데 방풍림의 밀도가 성긴 곳, 밀집된 곳, 그리고 방풍림과 방풍담이 함께 조성된 곳으로 분류하여 각각 선정하였다. 또한 냉기호에서의 한해 방지를 위하여 모닥불 실험을 행하였다.

1995년 관측에서는 한라산 남사면의 기온 분포 특성을 밝히기 위하여 남제주군 표선면 가시리에서도 관측을 행하였으나, 기기상의 결함으로 분석에서는 제외하였다.

온도계는 높이 150cm 관측 막대에서 지상 120cm와 30cm의 높이에 설치하였다. 측정에 사용된 기기는 눈금 0.2°C인 이중관 최저온도계이며, 기기의 오차범위는 $\pm 0.1 \sim 0.2^\circ\text{C}$ 인데, 오차 값은 보정하였다.

수직기온의 분포는 3번과 10번 지점에서 관측하였다. 관측지점 3번은 와산리 본동에서 북쪽으로 뻗은 소규모 계곡내에 해발 150m인 곳에 위치하는데, 높이 15m 정도의 방풍림으로 둘러싸여 있다. 대체로 10년생 정도의 감귤나무가 재배되고 있다. 해발 215m인 관측지점 10번은 와산리 본동 남서쪽 사면에 위치하는데 비교적 평탄하다. 이 지역에는 5년생 정도의 감귤 과수원이 조성되어 있으며 5~10m의 방풍림으로 둘러싸여 있다.

수직기온의 관측 시간은 일출·일몰 각각 30분 전부터 2시간 후까지 2시간 30분간, 그리고 23시 30분부터 01시까지 자정을 중심으로 1시간 30분간 하루에 세차례씩 측정하였다. 관측 간격은 기상 조건에 따라서 15~60분 간격으로 실시하였다. 즉, 맑고 바람이 없는 야간에는 15분, 대륙성 고기압의 영향을 받아 흐리고 바람이 불고 단속적인 강수현상이 있는 날에는 30분, 저기압의 영향으로 지속적인 강수현상이 있는 경우는 1시간 간격으로 관측하였다. 관측지점마다 500cm 고도의 관측탑을 세우고, 온도계는 지표에서부터 30cm 간격으로 12개씩 고도 360cm까지 설치하였고, 관측탑의 상단에 풍향풍속계를 설치하고 기온 관측을 할 때 마다 풍향·풍속을 기록하였다.

1994년 조사(이현영 외, 1995)에서 야간 저온 현상이 뚜렷하고 냉기류가 잘 고이는 와지내의 가장 낮은 지점에 모닥불을 피웠다. 그리고 방풍 시설의 사면 아랫쪽과 뒷쪽의 사면을 따라 약 15m 간격으로 Digital 온도계와 봉상온도계를 설치하여 5분 간격으로 기온의 변화를 관측하였다.

이상에서 관측된 결과는 기상 조건(이동성 고

기압의 영향으로 맑고 바람이 없는 날, 대륙성 고기압의 영향으로 흐리고 바람이 강하게 불며, 단속적인 강수현상이 있는 날, 저기압의 영향으로 지속적인 강수현상이 있는 날)에 따라 분류하고, 각각의 기온 분포 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 토의

1) 관측기간의 기상

1995년 겨울 관측기간 동안의 한반도 주변의 기압배치는 21시 지상일기도를 기준으로 볼 때, 이동성 고기압형(그림 2)의 영향하에 든 날이 8일간(7, 8, 14, 15, 17, 20, 24, 25일)이었고, 21일은 저기압형, 그외의 날에는 대륙성 고기압형을 나타냈다.

표 1은 관측기간 중 제주지방의 기상 상태를 요약한 것인데(제주 기상대 관측원부, 1995년 1월), 이동성 고기압의 영향을 받았던 7일 저녁부터 8일 낮까지, 17, 20, 24일 야간 25일 주야간에는 대체로 맑은 날씨였으나 그외의 날에는 대부분 하층운의 운량이 5/10 이상인 흐린 날씨를 나타냈다. 대륙성 고기압의 영향을 받았던 10~13일과 22일에는 강수현상이 있었다. 특히 저기압이 후면에 들었던 22일 낮에는 비교적 많은 비(21.4mm)가 내렸다. 관측기간 동안에 제주지방의 최저기온은 1.0°C에서 8.0°C로 큰 폭의 변화를 하였고, 비교적 온화한 날씨를 보였다. 그러나 이동성 고기압의 영향을 받았던 14일

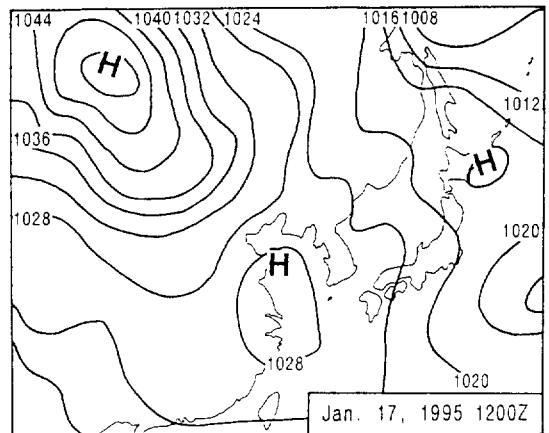


그림 2. 맑고 바람 없는 날의 지상 일기도(1995/01/17)

표 1. 관측기간 제주지방의 기상

일	기압배치형*	최저기온 (°C)	최대풍향	최대풍속 (m/sec)	평균풍속 (m/sec)	평균운량	강수량 (mm)	기상**	
								주간	야간
7	이동성 고기압	6.7	W	7.0	3.8	3.0		BRK	CLR
8	이동성 고기압 후 저기압	7.9	SW	8.3	4.1	0.3		STD	C>OV
9	대륙성 고기압	5.7	NW	10.0	6.3	6.5		STD	BRK
10	대륙성 고기압	3.5	NE	8.3	5.4	8.5	0.3	RA	BRK
11	대륙성 고기압	3.8	NW	5.3	4.4	8.8	0.0	BRK	BRK
12	대륙성 고기압	4.7	NW	11.0	5.6	8.5	0.2	RASN	RASN
13	대륙성 고기압	2.0	NW	11.7	8.3	8.3	2.1	SN	RASN
14	이동성 고기압	1.3	N	9.3	6.5	8.8	0.7	BRK	BRK
15	이동성 고기압	3.7	NW	6.0	3.8	8.8		BRK	BRK
16	대륙성 고기압	5.3	NW	6.2	4.3	8.8		BRK	BRK
17	이동성 고기압	2.7	NW	6.3	3.8	6.0		BRK	STD
18	대륙성 고기압	2.7	NW	7.2	3.7	4.3		BRK	BRK
19	대륙성 고기압	2.8	NW	7.3	3.6	9.8		OVC	OVC
20	이동성 고기압	2.9	NW	5.5	3.3	4.8		BRK	CLR
21	저기압	3.0	SE	9.2	2.1	7.5	3.0	RA	RA
22	대륙성 고기압	7.7	W	7.0	4.5	10.0	21.4	OVC	OVC
23	대륙성 고기압	5.2	NW	7.3	6.4	9.0		BRK	BRK
24	이동성 고기압	3.6	NW	9.3	6.4	5.3	0.0	SN	STD
25	이동성 고기압	2.4	NW	5.7	3.1	3.0		STD	STD
26	대륙성 고기압	1.5	NW	10.0	5.5	6.8		BRK	BRK

자료: 기상청

주: * 기상청 분석 일기도를 필자들이 분류한 것임.

** RA: 강우현상 있음. SN: 강설현상 있음. RASN: 진눈깨비 있음. BRK: 흐림. STD: 구름 조금. CLR: 맑음. OVC: 온 흐림. C>OV: 맑은 후 온 흐림

에는 최저기온이 1.3°C로 가장 낮은 값을 나타냈다.

관측기간의 평균 풍속은 이동성 고기압이나 저기압의 영향을 받을 때는 대체로 5.0ms⁻¹ 이하, 대륙성 고기압의 영향을 받았던 날에는 대부분 5.0ms⁻¹ 이상이었다. 특히 대륙성 고기압의 영향을 받았던 9, 12, 13, 26일에는 최대풍속 10.0ms⁻¹ 이상으로 비교적 강한 바람이 불었다. 풍향은 이동성 고기압의 영향을 받았던 8일과 저기압의 영향을 받았던 21일에만 각각 남서, 남동풍이 불었고, 그외에도 대부분 북서풍계였다.

2) 최저기온의 분포

이동성 고기압의 영향을 받았던 7, 8, 14, 15, 17, 24, 25일은 저지대에 냉기호나 고지대의 온난대가 형성되기 적합한 날씨였다. 이 가운데 14

일과 15일 야간에는 풍속 3~4ms⁻¹의 북서풍이 불고, 한라산의 북사면 지역에 하층운이 덮혀 계속 흐린 상태여서 냉기호는 형성되지 않았다. 그리고 8일 21시 이후부터 이동성 고기압이 남동진하면서 만주지방에 중심을 두고 있는 저기압의 가장자리에 관측지역이 놓이게 됨에 따라 자정 이후부터 하층운으로 흐린 상태가 되었다. 그리하여 본 연구에서는 1월 7일 저녁부터 8일 아침까지의 기온을 중심으로 분석하였다.

1월 7일은 18시 이후부터 다음날 아침까지 운량은 0, 바람은 남서풍이 1~3ms⁻¹로 불어, 저지대에 냉기호가 형성되기에 적합한 기상 조건을 나타냈다. 이날의 최저기온의 분포는 그림 3이 보여주는 바와 같이 비교적 낮은 골짜기에서 주변에 비하여 기온이 낮았다. 특히 주변이 방풍림과 방풍담으로 폐쇄되어 있는 3번 관측지점에서

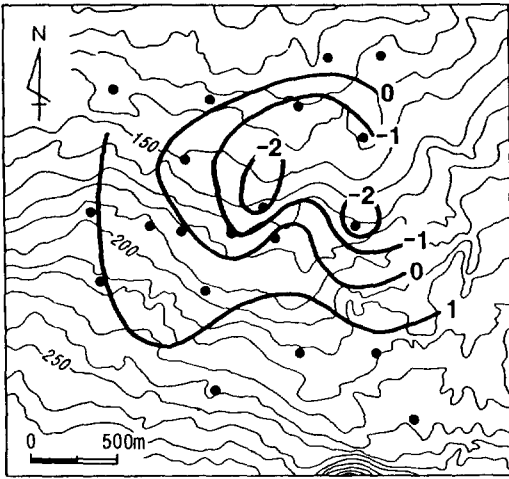


그림 3. 맑고 바람 없는 날의 최저기온분포 (1995/01/07~08)

-2.8°C로 가장 낮았고, 해발고도가 가장 높은 12번 관측지점에서는 1.7°C로 가장 높은 값을 보였다. 해발고도는 낮으나 능선에 위치하는 19번 관측지점에서도 1.6°C로 비교적 높은 값을 기록하였다. 대체로 골짜기를 따라서 낮은 기온 분포를 보이고, 같은 골짜기 내에서는 해발 150m 정도 범위내에서는 고도가 낮아질수록 기온이 하강하였다.

1월 17일과 20일에는 오전까지 대륙성 고기압의 영향을 받다가 오후부터는 대륙성 고기압에서 변질된 이동성 고기압의 영향을 받았다. 17일은 21시 이후부터 맑고(운량 3/10 이하), 남쪽으로부터 1~2ms⁻¹의 사면하강류가 유입되면서 저녁부터 기온이 급격하게 하강하였다. 또한 20일은 15시 이후부터 자정까지는 운량이 0으로 맑았고, 바람은 남동풍의 1~2ms⁻¹ 정도였다. 자정 이후는 하층운의 운량이 점차 증가하면서 다음날 06시 이후 하층운으로 완전히 덮혀 흐린 상태로 바뀌었다. 이에 따라 기온의 변화도 밀물시간 이후 20일 자정까지는 약 7°C가 급격하게 하강한 데 반하여, 자정 이후는 오히려 서서히 상승하여 21일 일출전보다 낮은 최저기온이 20일 야간에 나타났다. 양일의 최저기온 분포를 보면 관측 지점에서 영하의 기온을 기록하였는데 특히 와산리 본동 서쪽 골짜기를 따라서는 -3.2~-5.0°C의 분포로 기온이 낮았으며, 분포 패턴은 비슷하

였다. 마을 주변의 능선을 따라서는 -2°C 내외의 분포를 보였다. 가장 기온이 낮은 지점(3번 관측지점)과 가장 높은 값을 보인 12번 관측지점의 최저기온 차이는 18일 아침에는 4.8°C였고, 21일 아침에는 3.2°C였다. 즉, 이동성 고기압의 영향으로 맑고 바람이 없는 야간에는 과수원이 밀집된 해발 150m 정도의 지대에서 해발 200m 이상의 고지대보다 기온이 더 낮았다. 해발 200m 이상에서 과수원을 경영하는 주민 15명 중의 14명은 그들의 과수원이 생산성이나 품질면에서 저지대에 비하여 결코 뒤떨어지지 않는다고 응답하고 있어 이를 뒷받침하여 준다. 이동성 고기압의 출현빈도는 한겨울보다 늦겨울이나 이른 봄에 더 많으므로(이승호, 1995), 나무가 성장을 시작하는 이 시기에 한해서 더 커진다(Krueger, 1983)는 점을 감안 한다면, 제주도 감귤기획단의 시안인 “해발 200m 이상 과수원의 폐원” 정책은 보다 구체적인 연구 후에 결정할 일이라고 생각된다. 그보다는 해발 200m 이하일지라도 동해 및 한해가 빈번하게 발생하는 지역을 파악하고 이에 대한 방지 대책을 마련하는 일이 더 시급하다.

대륙성 고기압의 영향하에 들었던 1월 9일부터 13일 가운데 12일과 13일에는 약간의 눈이 내렸고 그밖의 날에는 하층운 운량이 6/10~10/10인 흐린 상태를 나타내었다. 바람도 평균 풍속 5.0ms⁻¹

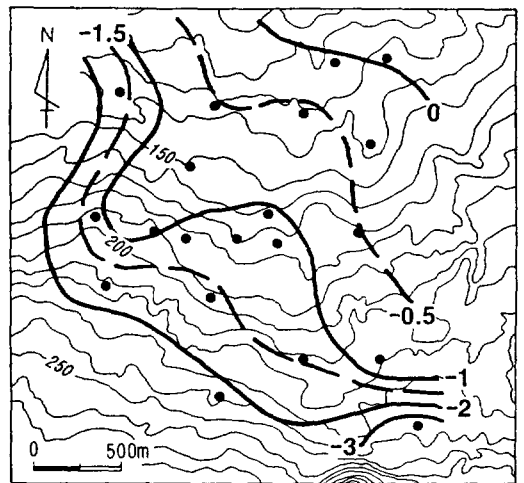


그림 4. 흐리고 바람 부는 날의 최저기온 분포 (1995/01/13~14)

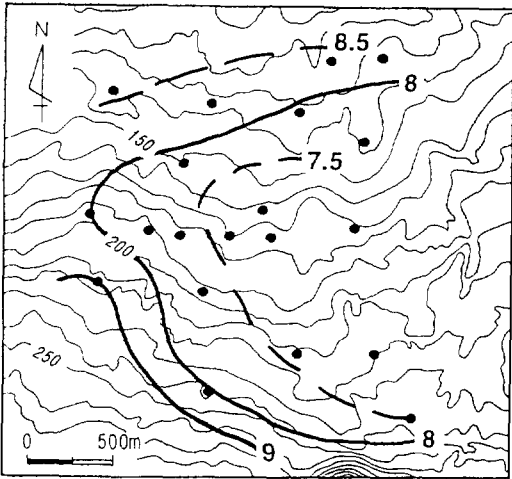


그림 5. 지속적인 강수현상 있는 날의 최저기온 분포 (1995/01/21~22)

이상의 비교적 강한 바람이 불었는데 특히 12일과 13일에는 최대풍속이 11.0ms^{-1} 를 넘었다. 그림 4는 대륙성 고기압이 가장 강화되었던 13일의 야간 기상조건이 반영된 14일 아침의 최저기온 분포를 보여준다. 해발고도가 가장 높은 지점인 12번 관측지점의 값이 -3.5°C 로 기온이 가장 낮고, 그외의 지점에는 $0\sim-1.5^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 보였다. 와산리 본동의 서쪽 골짜기를 따라서도 해발고도가 가장 높은 5번 지점이 -1.6°C 로 가장 낮고, 해발고도가 낮아짐에 따라 기온은 서서히 상승하여 고도가 가장 낮은 2번 지점에서는 -0.7°C 로 가장 높은 값이 나타났다.

1월 21일은 제주도 서쪽의 동중국해 상해 중심을 둔 저기압의 영향을 받아, 오전부터 다음날 12시경까지 24.4mm의 비가 내렸다. 21일 06시 이후부터 다음날까지는 하층운으로 완전히 덮혀(운량 10/10) 계속 흐려서 일교차는 1.8°C 에 지나지 않았고 지면복사 냉각현상은 거의 진행되지 않았다. 22일 아침의 최저기온도 해발고도와 관계없이 본동의 서쪽 골짜기는 8.0°C 내외, 동쪽 골짜기는 $7.1\sim 7.9^{\circ}\text{C}$ 로 큰 차이를 보이지 않았다(그림 5).

3) 수직기온의 분포

연구지역에서는 야간 복사냉각과 한라산의 산정으로부터 홀로 내리는 냉기류의 유무가 야간의

수직 기온 분포에 크게 영향을 미칠 것이라는 가정하에 이러한 기상조건이 발달하기에 적합한 이동성 고기압의 영향을 받는 날의 기온분포를 그렇지 않은 날과 비교 분석을 하였다. 이동성 고기압의 영향을 현저하게 받는 날 가운데 7일과 25일에는 수직 기온 관측이 결측되었고, 14일과 15일에는 북서풍이 불면서 하층운으로 덮혀 흐렸기 때문에 17일 야간 기온 분포를 중심으로 특성을 알아보려고 하였다.

맑고 고요한 날에는 일몰 1시간 전부터 지표면에서 역전현상이 형성되기 시작하는 것이 일반적이는데 (Yoshino, 1975), 이날의 경우에는 뚜렷한 역전현상이 비교적 늦게 나타났다. 그것은 일몰시간인 17시 50분에서 30분이 지난 18시 20분까지는 7/10 정도의 하층운 때문에 흐려 있어서, 지표면에서의 복사냉각현상이 진행되지 않았기 때문이다. 그림 6과 7은 관측지점 3번과 10번에서 17일 일몰 30분 전부터 일출 후 1시간까지 수직기온의 변화를 시간별로 나타낸 것이다.

3번 지점에서는 19시 20분까지는 역전 강도가 0.5°C 이하의 낮은 값이었으나, 19시 50분 이후부터 날씨가 바뀌면서 지표면으로부터 복사

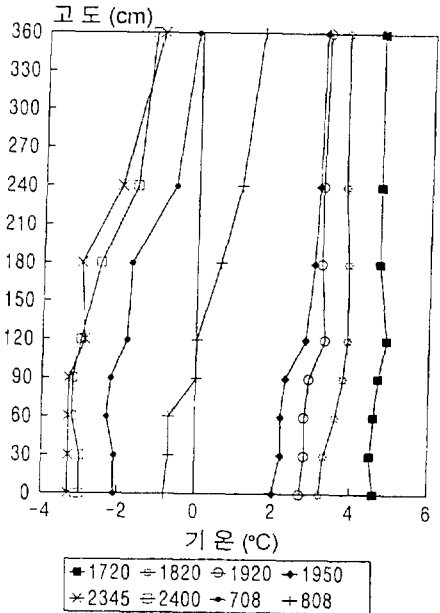


그림 6. 맑고 바람 없는 날의 수직기온 분포 A (관측지점 3, 1995/01/17~18)

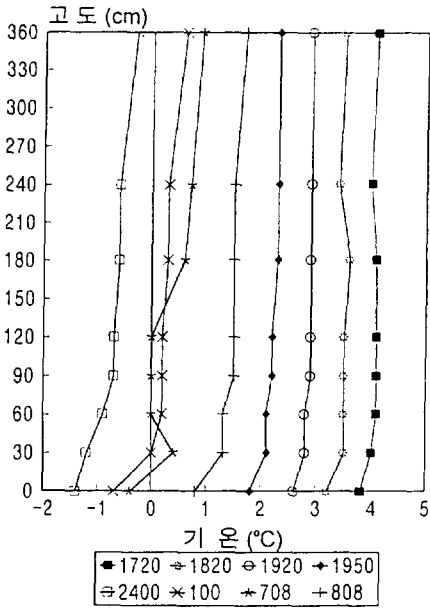


그림 7. 맑고 바람 없는 날의 수직기온 분포 B
(관측지점 10, 1995/01/17~18)

냉각이 빠르게 진행되면서 역전강도가 점차 커졌다. 즉, 하층운이 완전히 소산되면서 상층운이 1/10정도 끼고, 북서풍에서 남서풍으로 풍향이 바뀌면서 풍속도 약화되었다(Beaufort 풍력계급 1정도). 일반풍의 풍속이 약화되면서 산정으로부터의 냉기류가 유입되기 시작한 것으로 생각된다. 역전강도는 19시 50분 이후부터 점차 강화되어 심야에는 최대 2.3°C에 이른다(그림 6). 같은 시간에 고지대인 10번 관측지점의 역전 강도 보다 1°C가 더 큰데, 이는 저지대에 냉기류가 더욱 많이 퇴적되어 일종의 냉기호를 형성하기 때문이라 생각된다. 이는 1994년 겨울철 조사 결과와 일치한다. 10번 관측지점에서는 새벽까지 약 1°C의 역전 강도를 유지한데(그림 7) 반하여 저지대인 3번 관측지점에서는 자정을 지나면서 그 강도가 더욱 심화되어 18일에 일출 후 1시간이 경과한 08시 38분에는 3.1°C로 가장 높은 값을 기록하였다(그림 6 참조). 저온 현상은 지면에서부터 90cm 고도까지 뚜렷하였으며, 이는 이현영 외(1995)가 지적한 바와 같이 관측지점 북측에 있는 방풍담의 영향이 더해져서 소류모의 냉기호가 형성되었기 때문으로 해석된다. 이동

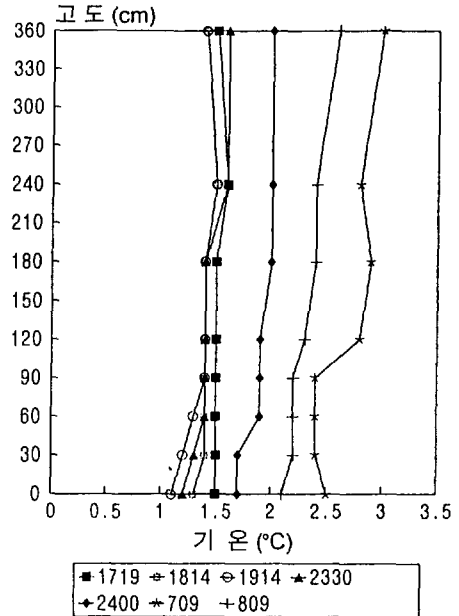


그림 8. 흐리고 바람 부는 날의 수직 기온 분포
(관측지점 3, 1995/01/11~12)

성 고기압의 영향하에서 맑고 일반풍의 풍속이 약한 경우에는 거의 비슷하게 하층의 저온현상이 새벽에 더욱 뚜렷하게 나타나는데 이는 감귤의 생산성과 품질을 저하시키는 주요 원인의 하나가 된다. 같은 과수원 가운데서도 관측지점 3번 주변의 갈나무들이 사면에 위치하는 나무들에 비하여 생산성이 떨어지는 것은 이러한 사실을 입증해준다.³⁾

대륙성 고기압이나 저기압의 영향을 받는 경우는 역전현상이 거의 발생하지 않았다(그림 8). 1월 11일의 경우를 보면 자정을 전후하여 일시적으로 하층운의 운량이 3/10 이하로 감소하면서 상대습도가 약 70% 정도로 낮아졌다. 남서풍의 풍속이 Beaufort 풍력계급 1정도로 낮아지면서 지면 북사면각과 산정으로부터 냉기류가 유입되자 약한 역전현상(강도 0.5~0.8°C)이 나타났다(그림 8 참조). 다음날 아침에도 비슷한 강도의 역전현상이 지속되었는데 이러한 현상은 하층운이 감소되면서 지면에서 북사면각이 이루어지기 때문이다. 이는 대륙성고기압의 영향을 받은 경우에도 일반풍이 약화되고, 하층운이 많지 않은 경우에는 일시적인 역전현상이 출현할

오크 대기의 혼합이 이루어졌기 때문이라고 설명할 수 있다.

4) 방풍 시설 주변의 기온 분포

강풍지역에서는 그 배후의 경지를 보호하고 풍해를 방지하고자 방풍림이나 방풍담을 만들어 그 배후의 경작지를 보호하는데 제주도에서도 그 효과가 매우 큰 것으로 인정되고 있다. 그러나 제주도 과수원의 방풍 시설은 대부분 지역의 특수성에 맞도록 설계된 것이라기 보다는 관례대로 조성된 것이므로 다른 지역에서는 적절한 설계라고 할지라도 제주도에서도 같은 효과를 거둔다고 확신하기는 어렵다.

제주도에서는 초기에 조성된 감귤 과수원들은 높이가 약 2m의 돌담을 쌓아서 방풍시설로 이용하였으나⁴⁾, 최근에는 일본 삼나무, 측백나무 등으로 방풍림을 조성하여 기존의 돌담과 더불어 방풍 시설로 이용하고 있다. 이러한 방풍 시설의 효과는 지표면의 상태, 지형, 방풍 시설의 밀도 등에 따라 다르게 나타나는데, 일반적으로 풍속이 반감되는 범위는 방풍 시설의 풍상측에서는 시설 고도의 3배까지, 풍하측에서는 그 고도의 10~15배 거리까지 나타난다(井上榮一 외, 1970)고 한다.

본고에서는 한해지역에서 방풍 시설의 효과를 파악하기 위하여 방풍 시설 주변의 최저기온을 관측하였다. 한해지역에서는 이동성 고기압에서 지면 복사냉각 현상과 산정으로부터의 냉기류가 유입될 때 소규모의 냉기호가 형성되므로 동서

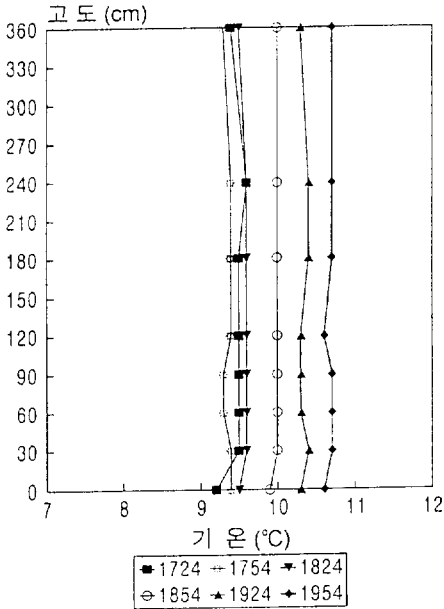


그림 9. 지속적인 강수현상 있는 날의 수직 기온 분포 (관측지점 3, 1995/01/21)

수 있음을 보여준다. 그러나 10번 관측지점에서는 역전현상이 나타나지 않았으며 이는 1994년의 관측결과와 일치한다. 3번 관측지점에서 약하지만 역전현상이 발생하는 것은 지형이 주변보다 낮고, 방풍림과 방풍담으로 둘러싸여 냉기류가 정체되기 때문이다. 기온의 수직분포의 시간별 변화를 보면, 저녁에는 120cm 이하의 고도에서는 0.25°C/h의 비율로 하강하고 있으며, 그보다 높은 곳에서는 시간에 따른 변화가 거의 없었다. 자정을 전후하여서는 ±0.4°C의 범위에서 일정한 경향은 없이 상승과 하강을 반복하고 있다. 이와 같은 현상은 저지대의 와지나 고지대에서 비슷하였는데, 이것은 일시적인 운량의 변화나 기류 방향의 변화에 따른 것으로 해석된다.

그림 9는 저기압의 영향을 받았던 1월 21일에 3번 관측지점에서 저녁의 기온분포를 보여준다. 일몰 시간 이후 기온이 일시적으로 상승하였으며, 높이에 따른 차이는 거의 없었다. 즉, 지면에서부터 360cm 높이의 기온이 30cm 높이에서 보다 0.1°C가 낮은 정상분포를 보이고 있다. 이때의 풍속은 Beaufort 풍력계급 4~5로 비교적 강한 바람이 불었기 때문에 지표면에 난류를 일

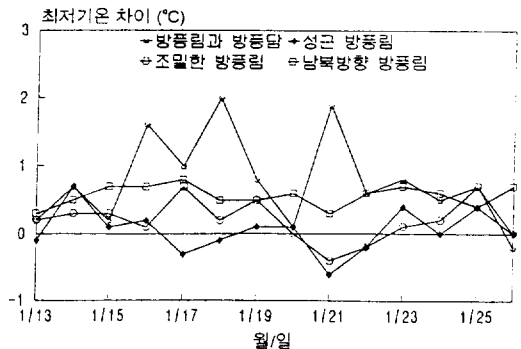


그림 10. 방풍 시설별 그 주변의 최저기온 차이

방향으로 방풍 시설이 조성된 곳을 중심으로 산 정쪽과 그 반대쪽에서 최저기온을 관측하였는데, 그림 10은 방풍 시설의 유형별로 시설 주변에서 관측한 최저기온의 차이를 보여준다. 즉, 그림 10의 최저기온의 차이 값은 방풍시설의 바람받이 쪽과 바람그늘⁵⁾쪽의 최저기온의 차이를 나타낸다. 방풍림이 성글게 조성된 과수원에서는 방풍림을 사이에 두고 두지점간의 기온차가 $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 로써 크지 않았다. 방풍림이 비교적 조밀하게 조성된 과수원에서 방풍림의 바람받이와 바람그늘쪽의 기온차는 전자와 비슷한데 후자의 경우에는 대체로 바람그늘쪽의 기온이 낮았다.

방풍림과 방풍담으로 과수원이 밀폐되어 있는 경우는 그 차이가 컸다. 전날 야간에 강수현상이 있었거나, 운량이 10/10인 13, 20일 아침 최저기온의 차이는 $0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C}$ 로 그 값이 낮았으나, 맑고 바람이 없었던 16, 18, 21일 아침의 경우에는 방풍림 바람그늘쪽에서 바람받이쪽보다 $1.6\sim 2.0^{\circ}\text{C}$ 더 낮은 값을 보였다. 대체로 방풍림의 바람그늘쪽에서 최저기온이 낮게 나타났다. 이와 같은 현상은 맑고 바람이 약한 날에는 밀폐된 방풍 시설이 바람그늘쪽에 냉기류를 정체시켜 소규모 냉기호를 형성시키므로 오히려 방풍림이 감귤의 품질과 생산성 저하의 주요 원인의 하나를 제공하고 있다. 따라서 돌담과 방풍림으로 완전히 폐쇄된 과수원의 경우는 한해를 방지하기 위하여 돌담을 제거하고 방풍림의 밑부분에서 가지치기를 병행하여 냉기류가 정체하는 것을 방지해야 할 것이다.

냉기호에 의한 한해 피해를 방지할 가능성을 모색하기 위하여 모닥불 실험을 시행하였다. 냉기호가 형성될 수 있는 조건을 갖춘 맑고 바람이 없는 1월 21일 새벽에 7번 관측지점이 위치한 과수원에서 행하였다. 그 과수원은 지형적으로 경사 $3\sim 5^{\circ}$ 의 비교적 급한 사면을 이루고 있으며, 북쪽 경계 부근은 방풍림과 방풍담으로 밀폐되어 있다(그림 11).

모닥불은 새벽 1시에 점화하였으며, 그 불꽃의 기둥은 최고 4m 정도의 규모였다. 그림 12는 모닥불 점화 후에 모닥불로부터 15m 간격으로 수평거리 60m까지의 기온 변화이다. 점화 후 30

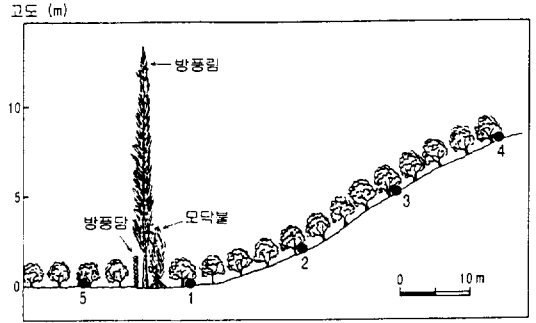


그림 11. 모닥불 실험 과수원의 관측지점 위치

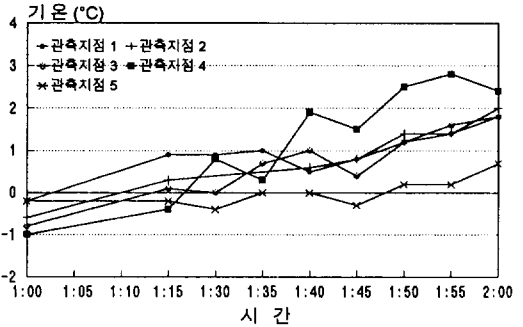


그림 12. 모닥불 점화 후의 관측지점별 기온변화 (1995/01/21)

분이 경과하기 전까지는 모든 관측지점에서 기온 변화가 거의 없었는데 30분이 지나자 냉기호의 바닥에 해당하는 1번 지점에서 뚜렷하게 기온이 상승하기 시작하였다. 즉, 1시에 -1.0°C 이었던 것이 1시 30분에는 0.8°C 가 되었다. 40분 경과 후에는 점화전에 비하여 2.9°C 가 상승하여 1.9°C 에 이르렀다. 그 후에도 모닥불이 완전히 소화될 때 (02시 00분)까지 계속 상승하여, 1시 55분에는 최고값인 2.8°C 를 기록하여 모닥불이 없을 때 보다 3.8°C 의 승온효과를 얻었다.

2번 지점의 고도는 그림 11에서 볼 수 있는 바와 같이 대략 방풍담의 높이와 일치하기 때문에 냉기류가 정체할 때 한해가 발생할 수 있는 상한계가 되는 곳이다.⁶⁾ 2번 지점의 기온 상승은 1번 지점보다 10분 정도 늦게 나타났는데, 1시 40분에는 모닥불 점화전에 비하여 1.9°C 가 상승한 1.0°C 를 기록하였고, 그 후에도 계속 상승하여 2시에는 점화전에 비하여 2.6°C 가 상승한 1.8°C 를 기록하였다. 이러한 경향은 2번 지

점의 바로 윗쪽에 위치한 3번 지점에서 나타나고 있다. 가장 고도가 높은 4번 지점과 방풍 시설의 후면에 위치한 5번 지점에서는 상승 폭이 각각 1.9, 0.7°C로 비교적 작다. 이와 같이 소규모의 인공적인 대류현상에 의하여 냉기호 내에서 약 1시간 동안에 2.5~3.8°C의 승온 효과를 얻을 수 있으므로, 동해나 한해가 예상될 경우 소규모의 모닥불로도 그 피해를 상당히 줄일 수 있을 것이다. 그러므로 제주도지역의 현재 예보체계를 개선하여 농업지역에 대한 보다 정확한 기상 예보가 제공된다면, 동해나 한해의 피해를 크게 줄일 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구는 제주도의 감귤 과수원지역의 한해 요인을 규명하는 연구의 일환으로서 수행되었다. 1990년 겨울에 동해가 발생하였을 때 비교적 큰 피해를 입었던 북제주군 와산리 일대에서 1995년 1월에 관측한 기온분포 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

기상조건에 따라서 고지대와 저지대의 최저기온 분포가 다르게 나타나는데, 맑고 바람이 없는 야간의 경우는 저지대의 기온이 오히려 낮으며 고지대와와의 차이는 4.8°C까지 이른다. 흐리고 바람이 불거나 강수현상이 있는 경우는 고지대의 기온이 낮는데, 저지대와와의 차이는 전자의 경우 2.4°C, 후자의 경우 0.2°C 정도이다.

맑고 바람이 없는 야간에는 저지대의 와지에 소규모의 냉기호가 형성되었는데, 지면에서 360cm와 30cm 고도의 기온차인 역전강도는 최고 3.1°C에 이르며, 이는 지표면의 복사냉각과 방풍 시설 및 지형조건에 의한 냉기류의 정체에 기인하였다. 밀폐된 방풍 시설로 둘러 싸인 곳이거나 와지에서는 고도 90cm까지 뚜렷한 저온현상이 나타났는데, 이는 한해의 주 원인이 되고 있다. 또한 방풍림과 방풍담으로 밀폐된 곳에서는 방풍 시설 전후면에서의 기온차가 2.0°C에 이르고 있다. 그리고 저지대에 냉기호가 형성되었을 경우, 인공적으로 소규모의 대류현상을 유발하면, 냉기호 내의 기온상승에 큰 효과

를 얻을 수 있었다.

제주도의 감귤 과수원에 조성된 방풍 시설은 대부분 관례대로 설계되어 있어서, 경우에 따라서는 방풍 시설이 대기순환을 억제시키므로써 오히려 역효과를 발생시키고 있음을 발견할 수 있었다. 즉, 방풍 시설의 밀도가 지나치게 높으면 때때로 발생하는 동해나 비교적 빈번하게 나타나는 한해를 심화시켜 감귤나무가 동사하거나 생산성이 저하되는 경우가 많다. 특히 한라산 북쪽 사면의 경우 대부분의 감귤 과수원은 해발 100~200m의 지역에 분포하고 있는데, 특히 와지나 방풍림으로 밀폐된 과수원의 경우, 대규모의 동해 뿐만 아니라 냉기류의 정체로 인한 감귤의 생산성이 떨어지고 있다. 그러므로 저지대와 와지에서는 하층의 저온현상을 방지하기 위하여 돌담을 제거하고, 과수원을 밀폐시키는 방풍 시설의 경우에는 방풍림 밑부분의 가지치기를 행할 뿐 아니라 과학적 자료에 근거한 방풍시설 설계의 개선이 필요하다. 즉, 방풍 시설을 조성할 때 그 지역환경에 맞는 고도, 밀도 및 제재(수종, 망, 돌담 등)를 신중한 고려하여 선택하여 그 효과를 높일 수 있도록 이에 관한 연구가 이루어져야 할 과제이다.

* 사 사

현지 관측기간 동안 많은 도움을 주신 와산리의 이장님과 청년회 임원을 비롯한 주민 여러분들, 그리고 최저온도계의 일부를 대여해준 기상 연구소에 깊은 감사료를 드립니다.

註

- 1) 제주도 감귤 기획단에서는 고지대를 해발 200m 이상의 지역으로, 저지대를 그 이하 지역의 의미로 사용하였는데, 본 연구에서도 그와 같은 의미로 사용하였다.
- 2) 본 연구에서 역전강도는 360cm와 30cm에서 관측한 온도의 차이를 뜻하며, 그 값이 +인 경우 역전현상이 나타난 것이며, -인 경우는 정상적인 기온분포를 보이고 있음을 나타낸다.
- 3) 관측지점 3번이 위치하는 과수원 관리자인 이경현씨(와산리 거주)의 증언에 의하면 동일 과수원 내에서도 와지에 있는 나무들의 생산성이 현저

히 낮다. 그리고 약 30년 마다 발생하는 대규모의 동해보다 빈번하게 지속적으로 발생하는 한해로 인한 피해가 감귤의 생산성과 품질 저하에 더 큰 영향을 미치고 있다고 본인 뿐 아니라 인근 과수원 관리인들도 인식한다고 한다.

- 4) 기존의 돌담은 원래 경지 정리를 할 때 밭에 흩어진 돌들을 모아 쌓아서 밭과 밭 사이의 경계선의 기능을 하였으나, 최근에는 그와 더불어 방풍의 기능을 일부 담당하고 있다.
- 5) 이하 바람받이와 바람그늘은 제주도 겨울철 탁월한 풍인 북서풍에 대한 것임.
- 6) 과수원 관리자의 증언에 의하면, 1990년 겨울 동해 시 방풍담이 있는 곳에서 2번 지점까지 그 피해가 발생하였다고 한다.

文 獻

강안석 외, 1986, “봄철 양평지역의 지형 및 고도에 따른 일최저기온의 분포”, 「한국토양비료학회지」, 19(4), 339-344.

이승호, 1995, “한반도 주변의 기압배치형에 의한 한국의 자연계절 구분”, 「지리학연구」 26, 인쇄중.

이현영, 이승호, 김미정, 1995, “제주도 감귤과수원의 야간 기온 분포(Ⅰ)”, 「환동해권의 시간과 공간의 교감—목지 오폭석박사 화갑기념논문집 Ⅰ」, 643-660.

中村圭三, 1978, “菅平の大松山の斜面上にける冷氣流の發現域と流出域”, 「地理學評論」, 51(11), 793-803.

中村圭三, 1985, “谷もしくは盆地斜面上における夜間の冷氣流の鉛直構造”, 「地理學評論」,

58(8), 477-491.

坪井八十二 外, 1963, “柑橘園の適地判定のための氣象調査—静岡縣三ヶ日町における局地氣象”, 「静岡縣柑橘試驗場業績」, 82, 1-31.

高市益行, 米谷力, 1993, “冬季の成木茶園における溫度分布と樹體の凍結・融解”, 農業氣象, 49(2), 81-90.

堀口郁夫 外, 1991, 「新版 農業氣象學」, 文永堂, 東京.

井上榮一 外, 1970, 「農業氣象學ハンドブック」, 養賢堂, 東京.

Barry, R.G., 1981, *Mountain weather and climate*, Methuen.

Geiger, R., 1966, *The climate near the ground*, Harvard University Press.

Krueger, R.P., 1983, The orchard industry's response to low-temperature injury in the Okanagan valley, *The Canadian Geographer*, XXII (4), 313-327.

Oke, T.R., 1987, *Boundary layer climates*, Methuen.

Resenberg, N.J. et al., 1983, *Microclimate—The biological environment*, John Wiley & Sons.

Takaichi, M., 1993, An analysis of nocturnal cooling and frost damage in tea plants in complex terrain using micro-scale topographic factors, *J. Agr. Met.*, 48(5), 759-762.

Yoshino, M.M., 1975, *Climate in a small area, An introduction to local meteorology*, University of Tokyo.

Nocturnal Temperature Distribution on Orange Orchards in Cheju Island (II)

Seung-Ho Lee* · Hyoun-Young Lee**

Summary

The characteristics of nocturnal temperature fields were analyzed to understand the factors of freezing-and-cold damages on orange orchards in Cheju Island. Temperatures were measured from January 7th through 27, 1995 at 25 sites in an area of $1 \times 1.25 \text{ km}^2$, *Wasan-ri*, *Chochon-up*, *Pukcheju-kun* located on the northeastern slope of Mt. Hanla. Several other weather elements such as wind and cloud were observed as supplementary data. Surface weather maps were also analyzed to clarify the influence of prevailing pressure patterns on the temperature fields. The vertical temperature profiles were obtained at the height from the ground up to 360cm in 30cm intervals at site 3, a frost hollow, and site 10 on the upper slope.

The results show that freezing damages occurred in the hollows, terrain depressions, rather than at the upper slope due to nocturnal radia-

tion cooling as well as accumulation of cold airflow from Mt. Hanla. Windbreaks of densely planted Japanese ceders with stone-walls also roled as obstacles to the cold airflow in nights with clear skies and light winds. The maximum intensity of temperature inversion in hollows, quasi-cold air lake, was 3.1°C . Cold air from Mt. Hanla was trapped in the depressions up to a height of 90cm forming frost pocket. Man-made facilities such as shelterbelt or stone-wall which are built to prevent the penetration of cold north-westeries in winter aggravated the cold damage. The differance of daily minimum temperatures between before and behind shelterbelts was 2.0°C . The man-made convection by smudging which raised the temperatures up to 3.8°C can reduce the cold damage in the hollows.

Key Words: freezing-and-cold damage, cold air flow, radiation cooling, quasi-cold air lake, windbreaks.

* Assistant Professor, College of Science, Konkuk University

** Professor, College of Science, Konkuk University