

# 한라산의 수직적 기온 분포와 고산식물의 온도적 범위\*

공 우 석\*\*

## The Vertical Distribution of Air Temperature and Thermal Amplitude of Alpine Plants on Mt. Halla, Cheju Island, Korea\*

Woo-seok Kong\*\*

**요약** : 본 연구에서는 한라산의 고도별, 사면별, 계절별 기온(일평균, 일최고, 일최저) 분포와 고산식물의 수직적 분포역을 기초로 고산식물별 온도적 범위를 분석한 후 제주도의 온난화에 따른 한라산 고산식물의 미래를 논의하였다. 아울러 고산지에서의 고도별 기온 분포와 수직적 기온체감율이 환산되어 산악지역에서의 기온 분포를 이해하는데 중요한 자료가 확보되었다. 한라산에서의 100m 당 기온체감율은 일평균기온이  $-0.58^{\circ}\text{C}$ , 일최고기온이  $-0.53^{\circ}\text{C}$ , 일최저기온이  $-0.62^{\circ}\text{C}$ 를 기록하였다. 한라산 고산식물 8종은 최난월인 8월 평균기온  $23.5\sim 18.7^{\circ}\text{C}$  범위에서 분포가 주로 결정되어, 상대적으로 낮은 최고기온 체감율이 고산식물의 생존에 유리하게 작용한 것으로 보인다. 본 연구에서 얻어진 결과는 온난화에 따른 생태계 변화의 모니터링과 경관 보전 측면에서 유용한 생태적 정보를 축적하여, 한라산에 분포하는 희귀하거나, 멸종 위기 상태에 있는 고산식물들의 보전과 관련된 지식이 수립될 수 있다.

**주요어** : 한라산, 고도별 기온 분포, 고산식물, 온도적 범위, 기온체감율, 최난월 평균기온, 온난화

**Abstract** : Present work analyses the vertical distribution range of eight alpine plants and the daily mean, maximum and minimum temperatures on Mt. Halla, Cheju Island, Korea to designate the thermal amplitude of alpine plants. Acquisition of temperature data at different altitudes has also enabled to understand the thermal regimes and gradients on high mountain. The lapse rate of temperature on Mt. Halla marked  $-0.58^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  for daily mean temperature,  $-0.53^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  for daily maximum temperature,  $-0.62^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  for daily minimum temperature. The limits of eight alpine species seem to coincide with the daily maximum August isotherms of  $23.5$  to  $18.7^{\circ}\text{C}$ , and they grow well on areas of relatively low summer temperature. The presences of numerous alpine plants on Cheju Island are mainly due to their relative degree of sensitivity to high summer temperatures. Acquired data will be helpful to establish a conservation strategy which ensured the continued survival of alpine plants near the summit of Mt. Halla.

**Key words** : Mt. Halla, altitudinal distribution of temperature, alpine plant, thermal amplitude, lapse rate of temperature, daily maximum August isotherms, global warming

## 1. 서론

### 1) 연구 목적

한반도 남단으로부터 약 143km 떨어진 제주도 한라산은 생물지리학적으로 매우 중요한 지역이다. 한라산은 첫째, 우리 나라 4,500여 종의 관속식물 중 1,800여 종을 보유한 중 다양성의 보고이다. 둘째, 해발고도(1,950m)에 따른 식생대의 수직적

발달이 뚜렷하여 생태학으로 교과서적인 장소이다. 셋째, 신생대의 기후변동에 따라 한반도에 도래한 빙하기의 유존종(遺存種: relict species)과 한라산의 특이한 자연환경에 적응하여 형성된 특산종(特産種: endemic species) 및 온대와 난대성 식물을 다수 포함하고 있어 한반도의 자연환경 변천사를 복원하는데 소중한 자연유산이다. 넷째, 한라산 정상 일대는 극지고산식물(arctic-alpine plant)의 세계적 남방한계선 중 하나로 생물 분포

\* 이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

\*\* 경희대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Kyung Hee University)

상으로 중요한 지역이다.

우리 나라의 극지고산식물과 고산식물(alpine plant)은 그 중요성에 비하여 개체의 크기가 작고 분포 면적이 좁아 일반의 관심과 보호를 받지 못하고 있다. 특히 국제적인 현안으로 등장한 지구 온난화가 계속될 경우, 바다에 의해 격리되어 한라산 정상 일대에 고립 분포하는 북방계 극지고산식물이 멸종될 수 있다고 판단되어 연구와 현지 조사를 실시하였다.

본 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 제주도 일원의 기온 관측 자료와 한라산 고산지대 2개 지점(해발고도 1,700m와 1,930m)에서 2년간에 걸쳐 계절별로 1주일씩 관측된 기온을 비교하여 고도별 기온 분포와 사면별, 계절별 기온체감율을 분석하였다. 둘째, 8종의 한라산 고산식물 분포역을 한라산 고산대에서 관측한 기온 분포를 비교 분석하여 고산식물의 온도적 범위와 생태적 특성을 파악하였다. 셋째, 제주도의 온난화에 따른 한라산 정상 일대 고산식물과 고산경관의 미래를 논의하였다.

## 2) 연구 자료와 방법

본 연구의 자료와 방법은 다음과 같다. 첫째, 한라산에서의 수직적 기온 분포를 파악하기 위하여 한라산 동서남북에 위치한 성산포, 고산, 서귀포, 제주에서 관측한 기온치를 우선 수집하였다. 수집된 기온 자료는 연구자에 의하여 한라산의 1,700m와 1,930m 두 지점에서 1995년 가을부터 1997년 여름까지 만 2년간 계절마다 1주일씩 하루 4회(03, 09, 15, 21시)에 걸쳐 정시에 실측된 기온, 일최고기온, 일최저기온과 비교 분석되었다. 둘째, 실측된 한라산 고도별 기온을 제주도 4곳의 기온 관측치와 비교하여 한라산에서의 고도별, 사면별, 계절별 기온 분포와 기온체감율(氣溫遞減率: lapse rate of temperature)을 환산하였다. 셋째, 한라산의 고도별, 사면별, 계절별 기온 분포도를 고산식물의 수직분포와 비교 분석하여 고산식물별 온도적 범위 등 생태적 특성을 파악하였고, 기온 온난화 정도에 따른 한라산 고산식물의 미래를 예측하였다.

## 3) 연구 배경

기후변화에 대한 정부간 패널(IPCC, 1990)에 의하면 2050년까지 지구의 평균기온은 3°C 정도 상승하고, 여름은 고온 건조해지며, 강수량은 20% 정도 증감하는 등 이상기상 현상이 더욱 심각해질 것으로 보았다. 기온 온난화의 문제는 Greenpeace, Worldwatch Institute, NATO, EU 등 여러 기구에서 거론하였다(Cannel and Hopper, 1990; Geyer, 1992; Houghton et al., 1990; 1996; IPCC, 1990; Leggett, 1990; Tegart et al., 1990; Peters and Lovejoy, 1992; Teller et al., 1992; Hiller, 1993; Jackson and Black, 1993).

우리 나라에서 기후 변화는 과학기술처가 주관하여 온난화 현상 자체와 원인은 연구(기상연구소, 1990; 기상연구소 1991; 1992; 1994a; 기상청 1993; 기상연구소, 1994b; 한국과학기술원, 1995)되고 있으나, 기온 온난화가 자연 식생과 생태계에 미치는 영향에 대한 연구는 부진하다.

근래에 발표된 기후 변화 모델에 의하면 이산화탄소가 2배 증가하면 한반도의 기온은 연평균 3~4°C 상승할 것으로 예측하고(조하만, 1992), 이때 제주도는 아열대로 바뀔 것으로 예상하였다(임정남, 1992).

온난화가 가시화되면 현재 한라산의 정상 부근에 분포하는 고산식물들의 제주도 내에서 이동하여 피난할 장소(refugia)를 찾지 못하고 도태되거나 멸종될 운명을 맞게 된다. 세계적 분포 남방 한계선에서의 고산식물들의 소실, 멸종은 제주도 생물종의 다양성을 감소시킬 뿐만 아니라 지역의 생물지리적 가치를 잃게 하는 문제를 가져오므로 기온 상승에 민감한 한라산 고산식물의 분포와 생존에 관한 연구가 필요하다.

## 2. 본론

### 1) 제주도의 기온

제주의 기온 관측(홍성길, 1979; 제주도, 1985; 신만용·윤진일, 1992; 제주기상대, 1993)은 1923년에 현재의 제주지방기상청이 설치되면서 시작

되었다. 제주지방기상청은 1965년과 1973년에 이전 후, 1977년 현 위치로 이전하여 오늘에 이른다. 1961년에는 서귀포기상관측소, 1970년에는 성산포기상관측소, 1988년에는 고산에 제주 고층레이더기상대가 개설되었다.

제주도는 아시아대륙과 태평양에 연하여 대륙성 기후와 해양성 기후의 점이적 특성을 보인다. 제주도는 연평균기온 14.7°C, 8월 평균기온 25.8°C, 1월 평균기온 4.8°C로 우리 나라에서 기온의 연교차가 가장 적다. 또한 한랭 건조한 시베리아 기단이 대한해협을 건너면서 기온이 상승하기 때문에 제주도의 1월 평균기온이 전국에서 가장 높다. 그러나 한라산에서는 고도에 따라 난대에서 한대 기후대가 수직적으로 나타난다.

1961년부터 1990년 관측치(제주기상대, 1993)에 따르면 연평균기온은 서귀포가 제주시보다 0.6~0.7°C 높게 나타난다. 1월 기온은 성산이 4.8°C로 가장 낮고, 서귀포가 6.0°C로 약 1°C 정도 높게 나타나며, 기타 지역은 거의 비슷한 분포를 보인다. 8월 평균 기온이 가장 낮은 곳은 성산으로 26.4°C이며, 서귀포가 26.7°C이다. 최한월인 8월과 최한월인 1월의 기온 교차는 약 21°C이다.

지역별 최고기온은 1월에 제주가 7.9°C, 서귀포가 10.0°C를 보였고, 8월 최고기온은 제주가 29.8°C, 성산포가 29.6°C를 기록하였다. 지역별 최고기온의 극값은 제주 37.5°C(1942년 7월 25일), 서귀포 35.9°C(1966년 8월 3일), 성산 35.5°C(1983년 8월 4일), 대정 34.5°C(1984년 8월 17일)이다. 제주도의 8월 일최고평균기온은 29.5°C로 높은 편이다(조선일보, 1996). 지역별 최저기온은 1월에 제주와 서귀포가 2.4°C, 성산포가 1.2°C를 기록하였고, 8월 최저기온은 서귀포 23.9°C, 제주 23.6°C, 성산포 23.1°C였다. 지역별 최저기온 극값의 출현은 성산포 -7.0°C(1990년 1월 23일), 서귀포 -6.3°C(1977년 2월 16일), 제주 -6.0°C(1977년 2월 16일)이다. 제주도의 기온의 연교차는 21°C로 전국에서 가장 낮은 값을 보였으며, 일교차는 1월에 5°C로 적었으나, 7월에는 비교적 컸다. 제주도의 강한 바람과 지역별 강수량 차이는 잘 알려진 사실이다(이승호, 1987; 1996; 1999).

## 2) 한라산의 고도별 기온 분포

중앙기상대(1988)의 자료에 의하면 우리 나라의 1,000m 당 월평균 기온체감율은 5~9°C로 조사되었다. 그러나 제주도에서 해발고도 변화에 따른 기온체감율은 1,000m 당 3.4~14.1°C의 범위에서 변화하였으며, 4월~7월은 기온체감율이 적었고 겨울철에 가장 큰 것으로 나타났다. 최고기온은 최저기온에 비하여 해발고도 상승에 따른 기온 체감이 비교적 적은 것으로 알려졌다. 월평균 기온은 1,000m 당 월평균 기온체감율은 2.5~12.6°C를 보였다(신만용·윤진일, 1992). 윤진일 등(1988)은 한라산에서는 북사면이 남사면보다 기온의 하강율이 큰 것으로 보고하였다. 월평균 기온의 기온체감율은 100m 상승에 0.46~0.96°C 하강하는 것으로 나타났다. 건조 대기의 기온체감율은 100m 당 -0.96°C이고, 습한 접지층 대기에서는 -0.4°C 그리고 보다 건조한 대류권의 중간지점 정도에서는 -0.7°C로 알려져 있다(정귀원 외, 1988; 윤진일 외, 1989).

한라산의 사면별 일사량 분포를 보면 하지날 09시에는 동사면에서 일사량이 크며, 15시에는 서사면에서 일사량이 많고 동사면의 일사량이 적었다. 동지날 09시에는 남동사면의 일사량이 많았다(이종범 외, 1991). 한라산의 기온은 여름철보다 겨울철의 기온차가 더욱 두드러졌다.

본 연구에서 한라산의 고도별 기온 관측은 제1차(1995. 9. 29~10. 5), 제2차(1996. 1. 18~1. 25), 제3차(1996. 6. 24~7. 1), 제4차(1996. 8. 13~8. 19), 제5차(1996. 10. 12~10. 17), 제6차(1997. 2. 12~2. 19), 제7차(1997. 5. 19~5. 25), 제8차(1997. 7. 27~8. 3)에 걸쳐 봄, 여름, 가을, 겨울에 각 1주일씩 실시되었다.

한라산 고도별 기온 조사는 서사면 1,700m에 위치한 윗세오름 1곳과 1,930m에 위치한 백록담 외륜산 1곳 등 2곳에서 관측하였다. 기온은 지면으로부터 1.4m 높이에 설치된 소형 백엽상(가로 35cm, 세로 35cm, 폭 15cm)에 설치된 온도계(최고온도계와 최저온도계: 유일계기 제작, 기상청 측기 검정 필) 그리고 독일 Lambrecht사에서 제작한 온도계와 아스만식 통풍건습계를 사용하여 관측하였다. 일최고기온과 일최저기온은 09시에

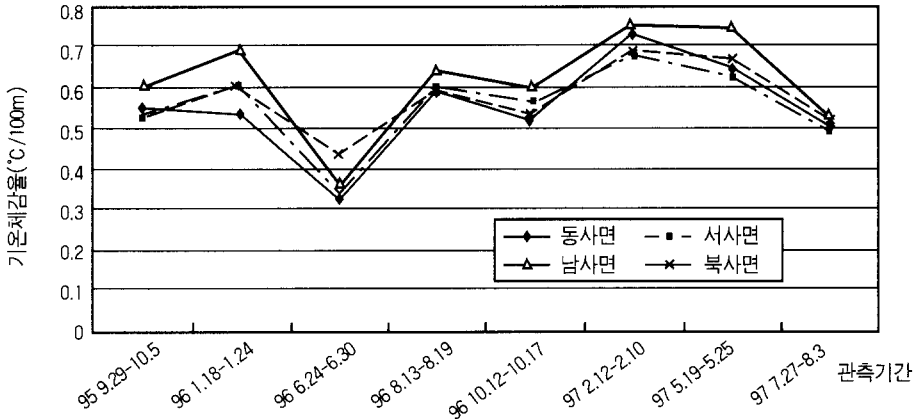


그림 1. 사면별 기온체감율

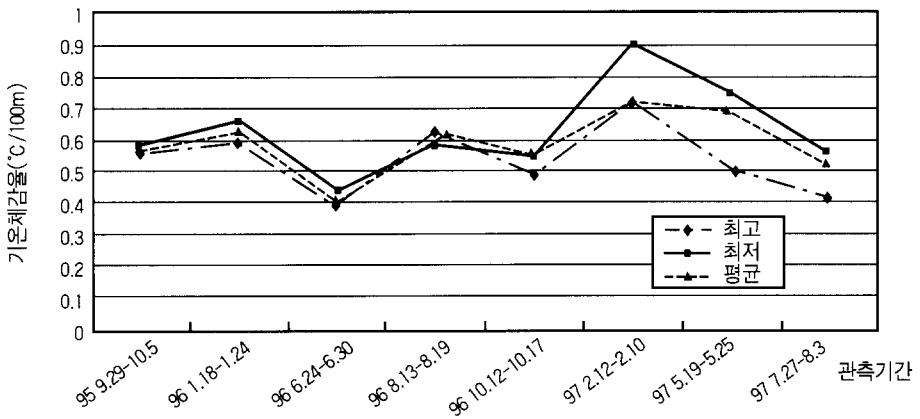


그림 2. 최고, 최저, 평균 기온체감율

계측하였고, 하루 4회(03시, 09시, 15시, 21시)에 걸쳐 당시 기온을 실측하였다.

만 2년간 계절별로 1주일씩 8회에 걸쳐 실측된 한라산 2지점의 고도별 기온 관측치는 제주도의 각 방향에 위치한 생산(동), 고산(서), 서귀포(남), 제주(북)의 같은 기간 기온 자료와 비교 분석하여 사면별, 고도별, 계절별 기온 분포와 고도별 기온 체감율 등을 환산하였다.

사면별 일평균기온 체감율은 동사면과 서사면이  $-0.55^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 남사면이  $-0.61^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 북사면이  $-0.57^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 남사면에서의 일평균기온 체감율이 가장 크고, 전체적으로는 일평균기온의 체감율은  $-0.58^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 나타났다. 계절에 따른 사면별 일평균기온의 기온체감율을 보면 여름에는 동서

남북사면에서 각각  $-0.55$ ,  $-0.54$ ,  $-0.58$ ,  $-0.56^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 평균  $-0.56^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 였고, 겨울에는 동서남북 사면에서 각각  $-0.63$ ,  $-0.65$ ,  $-0.73$ ,  $-0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 평균  $-0.66^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 였다(그림 1). 계절별 일평균기온의 체감율은 겨울이 여름보다  $0.1^{\circ}\text{C}$  정도 높았다.

일최고기온의 평균 체감율은  $-0.53^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 일최저기온의 평균 체감율은  $-0.62^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 일최저기온의 평균 체감율이 일최고기온보다  $0.09^{\circ}\text{C}$  정도 높았다. 일평균기온의 주간과 야간 체감율은 주간이  $-0.57^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 야간이  $-0.58^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 차이가 거의 없었다.

여름과 겨울의 계절별 기온체감율은 보면 일평균기온은 여름  $-0.56^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 겨울  $-0.66^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 겨울 기온체감율이 여름에 비해  $0.1^{\circ}\text{C}$  높았다. 일

최고기온은 여름  $-0.51^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 겨울  $-0.64^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 겨울체감율이 여름에 비해  $0.13^{\circ}\text{C}$  정도 큰 것으로 밝혀졌다. 일최저기온 역시 여름  $-0.56^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 겨울  $-0.76^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 겨울철 일최저기온의 체감율이  $0.2^{\circ}\text{C}$  정도 높았다(그림 2). 전체적으로 겨울철 기온 체감율이 여름철보다 다소 높았다.

종합적으로 보면 한라산에서의 일평균기온 체감율은  $-0.58^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 였으며, 일최저기온의 체감율( $-0.62^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )은 일최고기온의 체감율( $-0.53^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )보다  $0.09^{\circ}\text{C}$  정도 컸다. 사면별로는 남사면에서의 일평균기온 체감율이  $-0.61^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 전체 사면 평균( $-0.58^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ) 보다 높게 나타났다. 계절별로 일평균기온 체감율은 겨울( $-0.66^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )이 여름( $-0.56^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )보다  $0.1^{\circ}\text{C}$  정도 높았다. 일최고기온 역시 겨울 체감율( $-0.64^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )이 여름( $-0.51^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )에 비해  $0.13^{\circ}\text{C}$  정도 높았다. 일최저기온 또한 겨울 최저기온의 체감율( $-0.76^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )이 여름( $-0.56^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )에 비해  $0.2^{\circ}\text{C}$  정도 높았다. 그러나 일평균기온의 주간과 야간 체감율의 차이는 거의 없었다.

요약하면 기온체감율은 일최저기온이 일최고기온에 비하여 높고, 사면별로는 남사면이 높고, 계절별로는 겨울철이 여름철보다 큰 것으로 조사되었다. 따라서 주로 여름에 고온에 의한 피해를 받기 쉬운 고산식물은 상대적으로 높은 일최고기온이 나타나지 않는 동·서·북사면의 높은 고도에 집중 분포하는 것으로 볼 수 있다.

### 3) 한라산의 고산식물 분포와 기온적 범위

한라산 고산식물의 수직적 분포역 조사는 기온 실측과 같은 시기 본 연구팀에 의하여 수행되었다. 한라산 고산식물 분포 조사는 연구 대상종이 출현하는 고도인 해발고도 1,300m 이상에서 동서남북 사면별(동사면 성판악 코스, 서사면 어리목 코스, 남사면 돈네코 코스, 북사면 관음사 코스)로 조사를 따라서 실시하였다. 식물의 분포 고도는 1:5,000 지형도와 항공사진을 스위스 Thommen사의 기압고도계와 일본 EMPEX사의 Top Climber 기압고도온도계를 동시에 사용 보정하였다.

한라산에서 연구대상 고산식물의 수직적, 방위별 주된 분포역을 보면 목본류의 경우 눈향나무

(*Juniperus chinensis* var. *sargentii*)는 한라산 동사면(1,700~1,920m a.s.l.), 서사면(1,550~1,940m), 남사면(1,500~1,920m), 북사면(1,670~1,900m)에 분포한다. 돌매화나무(*Diapensia lapponica* subsp. *obovata*)는 한라산 정상 서사면(1,800~1,900)과 북사면(1,850m 일대) 바위에 자란다. 시로미(*Empetrum nigrum* var. *japonicum*)는 한라산 동사면(1,500~1,920m), 서사면(1,200~1,940m), 남사면(1,400~1,920m), 북사면(1,200~1,850m)에 난다. 들쭉나무(*Vaccinium uliginosum*)는 한라산 동사면(1,700~1,920m), 서사면(1,930m 일대), 남사면(1,910m 일대), 북사면(1,500~1,850m) 등 백록담 분화구 외륜산에 집중되어 있다.

초본류의 경우 구름송이풀(*Pedicularis verticillata*)은 한라산 서사면(1,400~1,940m)에 출현하며, 구름채꽃(*Scobiosa japonica* form. *alpina*)은 한라산 동북사면(1,880m 일대), 서사면(1,500~1,700m), 남사면(1,750~1,800m)에 나타나며, 구름떡쭈(*Anaphalis sinica* subsp. *morii*)은 한라산 동사면(1,850~1,900m 일대), 서사면(1,200~1,900m), 남사면(1,760~1,900m), 북사면(1,850m 일대)에 분포하며, 솜다리(*Leontopodium coreanum*)는 한라산 서사면(1,900m 일대), 남사면(1,900m 일대)에서 확인하였다(공우석, 1998).

고산식물의 분포가 주로 여름에도 낮은 기온이 유지되는 곳에 국한되고, 기후요소 중 특히 최난월 월 최고기온과 밀접한 관계가 있다는 것은 널리 알려진 사실(Dahl, 1951; 1998; Tralau, 1961; Damman, 1965; 1976; Conolly, 1970; Gauslaa, 1985; Komer, 1999)이다. 따라서 본 연구에서도 한라산의 고도별 기온 분포를 주로 8월 최고기온의 분포와 연관하여 분석하였다. 한라산에서 조사된 고산식물의 종별 분포역과 기온 분포를 기초로 한 고산식물별 기온적 범위는 표 1과 같다.

기후요소 중 고산식물의 생육에 지배적인 영향을 미치는 최난월 8월 일최고기온의 분포를 고산식물 종별 수직적 범위와 관련시켜 분석한 결과, 조사된 8종의 한라산 고산식물은 8월 일최고기온  $23.5^{\circ}\text{C}$ 에서  $18.7^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 분포하였다. 고산식물의 분포에 불리한 고온 장애를 야기하는 8월 일최고기온의 기온적 범위가 좁아 온난화에 따라 생육이 직접적인 피해를 받을 수 있는 정도는 돌

표 1. 한라산 고산식물의 기온적 범위

(단위: °C)

구분 식물	8월		1월		일평균기온	일평균기온범위
	일최고기온	일최고기온 범위	일최저기온	일최저기온 범위		
눈향나무	20.3~18.7	1.6	-11.5~-8.5	3.0	6.8~4.3	2.5
돌매화나무	20.2~19.5	0.7	-10.2~-9.7	0.5	5.5~4.8	0.7
시로미	23.5~18.7	4.8	-11.5~-6.0	5.5	8.8~4.2	4.6
들쭉나무	21.2~18.7	2.5	-11.5~-7.4	4.1	6.8~4.3	2.5
구름송이풀	22.4~19.7	2.7	-10.8~-7.8	3.2	7.7~4.9	2.8
구름채꽃	21.9~19.3	2.6	-10.8~-8.2	2.6	7.3~4.3	3.0
구름떡쑥	23.5~18.7	4.8	-10.8~-6.3	4.5	8.8~4.2	4.6
솜다리	19.7~18.7	1.0	-11.5~-10.8	0.7	4.9~4.3	0.6

매화나무, 솜다리, 눈향나무, 들쭉나무, 구름채꽃, 구름송이풀, 시로미, 구름떡쑥 순이다.

한라산 고산식물은 한라산 분포지에서의 추정온도인 1월 일최저기온 -11.5°C에서 -6.0°C 그리고 일평균기온 8.8°C에서 4.2°C의 범위 내에 주로 분포하는 것으로 볼 수 있다. 식물의 생육일수를 결정하는 일평균기온의 분포역이 좁아 기후 변화에 따라 분포역이 영향을 받기 쉬운 정도는 솜다리, 돌매화나무, 눈향나무, 들쭉나무, 구름송이풀, 구름채꽃, 시로미, 구름떡쑥 순이다. 1월 일최저기온의 변화에 따라 분포에 저온 피해 등의 부정적인 피해가 발생할 수 있는 정도는 돌매화나무, 솜다리, 구름채꽃, 눈향나무, 구름송이풀, 들쭉나무, 구름떡쑥, 시로미 순이다. 전체적으로 돌매화나무, 솜다리, 눈향나무, 들쭉나무, 구름채꽃, 구름송이풀이 온난화에 따른 피해를 쉽게 받을 수 있다고 판단된다.

#### 4) 온난화와 식생대 변화

기상청의 발표에 의하면 1961년부터 1990년까지의 연평균 기온은 13.0°C로, 1931~1960년의 연평균 기온 12.6°C보다 0.4°C가 높아진 것으로 밝혀졌다. 더욱 우려할 것은 기온 상승 추세가 근래에 더욱 가속화되고 있다는 사실이다. 1931~1960년의 연평균 기온 12.6°C와 비교할 때 1980년은 1.1°C 올라간 13.7°C, 1990년은 1.4°C 올라간 14.0°C를 기록해 상승세가 가파랐다. 또한 국립수산진흥원 조사에 의하면 한반도 근해의 해수온도 역시 1881년부터 1990년까지 2월에는 약 2°C가 올랐고, 8월에는 약 1°C가 상승하였다(조선일보, 1995).

한반도에서 이산화탄소가 2배로 증가할 경우 기온은 1~4°C까지 상승할 것으로 보이며 적어도 2~2.5°C는 상승하게 된다. 지역별로는 북한과 동해안의 기온 변화가 심하며 계절별로는 겨울이 여름보다 크게 변화할 것으로 추정되었다. 고산에 위치한 제주 고층레이다 기상대의 1996년 평균 이산화탄소 농도는 0.0365%로 최고 0.05%를 기록한 서울에 비하여는 낮지만, 비슷한 위도의 태평양상 다른 섬에 비해 높은 것이어서 제주도가 온실가스의 영향권 아래에 있음을 알 수 있다(조선일보, 1997).

기온이 온난화되면 겨울철 한랭기간이 짧아지고 온난기간이 길어져 기온의 연교차가 작아지게 된다. 따라서 회귀하거나 멸종 위기에 처한 종이 소멸되거나 서식지를 잃는 결과를 가져 올 수 있다. 기온이 상승하면 식물생육기간이 연장되는데, 특히 여름기간의 증가로 과도한 고온조건이 계속되고 증발산의 요구량이 커져 식물의 피해가 발생한다(노재식, 1989; 이병렬, 1995). 기후가 변화하면 산림생태계에서는 1단계로 식물의 생리적 반응이 나타나고, 2단계로 생물 군집의 종 조성과 생장에 변화가 나타나고, 3단계로 식생대가 이동하고, 4단계로 생태계 내의 먹이 사슬, 수분수지, 양분순환체계 등에 교란과 변화가 발생한다(신준환·임종환, 1995).

한반도에서 기온이 온난화될 경우 난대 수종의 생육 범위는 확장되지만 한대 수종의 범위는 감소하게 된다. 따라서 지금도 고산이나 아고산대에 국한하여 분포하는 극지고산식물과 고산식물 등 한대 식물의 영역이 갈수록 좁아져 멸종될 가능성이 높다. 왜냐하면 기후 온난화에 따라서 낮은 곳으로부터 다른 식물들이 침입할 경우 고산식물들은 자신에 맞는 새로운 서식처를 찾아 이동해야한다(Kong, 1998; 1999). 그러나 한랭한 기후가 보장되는 장소를 찾기 힘들뿐만 아니라 침입종에 대응할 정도로 이들의 이동 속도가 빠르지 않기 때문이다.

지난 빙하기 동안 유럽과 북미의 나무들의 이동 속도는 300m/년이었고, 영국의 경우 후빙기 현생 수종의 이동 속도는 700m/년으로, 최소 확산 거리는 세대 당 10km로 알려졌다. 기후 변화가 빠른 경우에는 연간 약 80km 정도, 느릴 때에는

연간 약 3km가 요구되므로(월간과학, 1992) 이동에 제약이 많은 고산식물이 기온 온난화가 가속화될 경우 살아 남을 가능성은 그리 높지 못하다.

특히 한반도 고산대의 산꼭대기에 격리되어 분포하는 고산식물들은 기후가 변화할 경우 쉽게 이동하여 살아 남을 피난처를 찾지 못하고 위기에 처할 것으로 판단된다. 이러한 경향은 바다로 고립된 제주도의 한라산의 경우에는 더욱 심각하다고 볼 수 있다(Kong, 1998; 1999).

### 3. 결론

제주도 일원의 기온 관측치와 한라산의 고도별 기온 실측치에 기초한 기온체감율을 적용하여 한라산 기온 분포와 고산식물의 온도적 범위를 연구한 결과는 다음과 같다.

해발고도 상승에 따른 일최고기온의 체감율( $-0.53^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )은 일최저기온( $-0.62^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )에 비하여 상대적으로 작다. 따라서 저온에는 적응하나 고온에 민감한 고산식물은 한라산 산정부를 중심으로 저온이 유지되는 곳에 기후적으로 유리한 서식 공간을 확보할 수 있었던 것으로 보인다. 또한 고온이 유지되는 주간의 기온체감율이 야간보다 낮은 것도 고온에 민감한 고산식물에는 적합한 조건으로 판단된다.

계절별로는 여름철 최고기온 체감율( $-0.51^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )이 겨울( $-0.64^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )보다 낮아 기온이 급상승하는 여름에 한라산 산정부에 비교적 낮은 기온대가 유지되어 고산식물이 살아 남을 수 있는 조건이 마련된 것으로 보인다.

사면의 방위상으로는 평균  $-0.58^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 보다 높은 기온체감율을 보이는 남사면( $-0.61^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )에 고산식물의 분포가 희소하다. 반면에 평균치보다 낮은  $-0.5$  내지  $-0.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 의 체감율을 보이는 동·서·북사면에 고산식물의 주된 분포역이 형성되는 것은 기온체감율의 사면별 차이에 부분적으로 기인하는 것으로 본다.

전체적으로 기온체감율은 일최저기온이 일최고기온에 비하여 높고, 사면별로는 남사면이 높고, 계절별로는 겨울철이 여름철보다 큰 것으로 조사되었다. 따라서 여름에 고온의 피해를 받기 쉬운

고산식물은 상대적으로 높은 일최고기온이 나타나지 않는 동·서·북사면의 높은 고도에 집중 분포하는 것으로 볼 수 있다.

조사된 8종의 고산식물은 8월 일최고기온이  $23.5^{\circ}\text{C}$ 에서  $18.7^{\circ}\text{C}$ , 1월 일최저기온  $-11.5^{\circ}\text{C}$ 에서  $-6.0^{\circ}\text{C}$  그리고 일평균기온  $8.8^{\circ}\text{C}$ 에서  $4.2^{\circ}\text{C}$ 의 범위 내에 주로 분포하는 것으로 볼 수 있다. 특히 돌매화나무, 솜다리, 눈향나무, 들쭉나무, 구름채꽃, 구름송이풀이 온난화에 따른 피해를 쉽게 받을 수 있다고 판단된다.

요약하면 본 연구 결과 한라산 1,700m 이상의 고도에서의 고도별 기온 분포와 수직적 기온체감율이 환산되어 한반도 산악지역에서의 기온 분포를 이해하는데 중요한 자료가 확보되었다. 아울러 고산식물들의 온도적 범위는 기온 온난화에 따른 고산의 자연생태계와 경관의 변화 양상을 이해하고, 해당 식물을 보전하는데 필요한 유용한 생물지리적 기초 정보를 제공할 것으로 판단된다.

현재와 같은 온난화 추세가 지속된다면 한라산 고산대에 분포하는 고산식물의 미래는 보장될 수 없다. 따라서 이를 바탕으로 제주도에서의 기온 상승율에 따라 한라산 고산생태계에 일어날 수 있는 상황을 예측하고 앞으로 이에 대응한 보존 대책을 수립하는 연구가 요구된다.

### 사 사

본 연구를 위해 1995년부터 1997년까지 연구를 재정적으로 지원한 한국학술진흥재단과 현지 식물 조사와 기온 관측을 협조해 준 한라산국립공원 그리고 제주도 기온 자료를 제공해 준 제주지방기상청 관계자들에게 감사드린다. 아울러 여러 조사에 동행하거나 자료 처리를 도와 준 경희대학교 생물지리학교실 대학원생 유효상, 구경아, 이준호, 유용한과 많은 학부 학생들에게 고마운 마음을 전한다.

### 文 獻

공우석, 1998, "한라산 고산식물의 분포 특성," 대

한지리학회지, 33(2), 191-208.

기상연구소, 1991, 한반도 기후 변화 감시 및 이상기상에 관한 연구(II), 과학기술처.

\_\_\_\_\_, 1992, 한반도 기후 변화 감시 및 이상기상에 관한 연구(III), 과학기술처.

\_\_\_\_\_, 1994a, 온실기체 감지 시스템 개발 연구(II), 과학기술처.

\_\_\_\_\_, 1994b, 우리 나라 겨울철 이상난동에 대한 기후학적 특성 연구, 과학기술처.

기상청, 1993, 기후 변화가 한반도에 미치는 영향, 과학기술처.

노재식, 1989, "온실효과와 생태계에 미치는 영향," 자연보호, 12(2), 28-30.

신만용 · 윤진일, 1992, "지형-기후 관계식에 의한 제주도의 월간 기온 분포의 추정," 한국임학회지, 81(1), 40-52.

신준환 · 임중환, 1995, "기후 변화가 산림생태계에 미치는 영향과 대응 방안," 자연보존, 90, 12-21.

윤진일 · 이민영 · 조천호 · 이종범 · 정귀원, 1988, "한라산 남사면상의 야간 기온 분포 분석을 위한 사례 연구," 기상연구논문집, 5(1), 35-42.

윤진일 · 이민영 · 남재철, 1989, "제주도의 그물망 기후자료 생산," 기상연구논문집, 6(1), 61-74.

월간과학, 1992, "지구 온난화가 인류와 동식물에 미치는 위기," 1992년 7월호, 140.

이병렬, 1995, "기후변화에 따른 농업기후지대와 작물재배기간 변동 예측," 자연보존, 90, 6-11.

이승호, 1987, "제주도 해안지역의 겨울철 바람에 관한 연구," 제주도연구, 4, 219-259.

\_\_\_\_\_, 1996, "제주도에 분포하는 편형수에 의한 탁월풍의 추정," 지리환경교육학회, 4(1), 121-133.

\_\_\_\_\_, 1999, "제주도 지역의 강수 분포 특성," 대한지리학회지, 34(2), 123-136.

이종범 · 이민영 · 최재천, 1991, "한라산 경사면의 일사량 및 기온 추정 모형," 기상연구논문집, 8(1), 87-97.

임경빈, 1972, 한국의 고산대, 원색과학대사전, 학원사, 266-288.

임정남, 1992, 지구온난화가 우리나라 농업생태계에 미치는 영향, 생태계 위기와 한국의 환경 문제, 도서출판 따님, 103-123.

정귀원 · 박종탁 · 조하만 · 이민영 · 유근배, 1986, "적설시 기온과 자중온도와의 관계," 기상연구논문집, 3(1), 45-49.

정귀원 외 7인, 1988, "제주도의 접지층 기상특성 조사(II), -겨자형 지형기후도 작성-", 기상연구소, 78.

제주기상대, 1993, 제주도 기후 요람(1961-1990), 138.

제주도, 1985, 한라산 천연보호구역 학술조사보고서, 제주도.

조선일보, 1995. 2. 7.

\_\_\_\_\_, 1996. 7. 24.

\_\_\_\_\_, 1997. 2. 20.

조하만, 1992, 기온 온난화와 한반도 부근의 기후 변화, 생태계 위기와 한국의 환경 문제, 도서출판 따님, 79-101.

중앙기상대, 1988, 표고별 농업기후도, 중앙기상대 응용기상국 농업기상과, 103.

중앙기상대 기상연구소, 1990, 한반도 기후 변화 감시 및 이상기상에 관한 연구(I), 과학기술처.

홍성길, 1979, "한국의 기후관측사(I)," 한국기상학회지, 15(2), 31-53.

Cannel, M. and Hopper, M., 1990, The greenhouse effect and terrestrial ecosystems of the UK, ITE Research Publication, No.4.

Conolly, A. P., 1970, Maximum summer temperature in relation to the modern and quaternary distributions of certain arctic-montane species in the British Isles, Part 2, The fossil record in relation to maximum summer temperature, in Walker, D. and West, R. G. (eds.), *Studies in the Vegetational History of the British Isles*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 168-176.

Dahl, E., 1951, On the relations between summer temperature and the distribution of alpine vascular plants in the lowlands of



- Fennoscandia, *Oikos*, 3, 22-52.
- \_\_\_\_\_, 1998, *The Phytogeography of Northern Europe*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Damman, A. W. H., 1965, The distribution pattern of northern and southern elements in the flora of Newfoundland, *Rhodora*, 67, 363-392.
- \_\_\_\_\_, 1976, Plant distribution in Newfoundland especially in relation to summer temperatures measured with the sucrose inversion method, *Can. J. Bot.*, 54, 1561-1585.
- Gauslaa, Y., 1985, Climatic limitations on the distribution of alpine plants: a historical review, *Blyttia*, 43, 75-86.
- Geyer, R. A., 1992, *A Global Warming Forum*, CRS Press, Florida.
- Hiller, S., 1993, Climate change impacts on British vegetation, *NERC News*, 7, 27-29.
- Houghton, J., Jenkins, G. and Ephraums, J., 1990, *Climate Change The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Houghton, J. et al., 1996, *Climate Change 1995*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- IPCC, 1990, *Climate Change The IPCC Response Strategies*, WMO and UNEP.
- Jackson, M. B. and Black, C. R., 1993, *Interacting Stress on Plants in a Changing Climate*, NATO ASI Series, Springer-Verlag, Berlin.
- Kong, W. S., 1998, The alpine and subalpine geocology of the Korean Peninsula, *Korean Journal of Ecology*, 21(4), 383-387.
- \_\_\_\_\_, 1999, Geoecological analysis of the Korean alpine plants and landscape, *Jour. of Environmental Science*, 11, 243-246.
- Korner, Ch., 1999, *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*, Springer-Verlag, Berlin.
- Leggett, J., 1990, *Global Warming The Greenpeace Report*, Oxford Univ. Press, Oxford.
- Peters, R. L. and Lovejoy, T. E., 1992, *Global Warming and Biological Diversity*, Yale Univ. Press, New Haven.
- Tegart, W., Sheldon, G. and Griffiths, D., 1990, *Climate Change The IPCC Impacts Assessment*, Australian Government Publishing Service, Canberra.
- Teller, A. et al., 1992, *Response of Forest Ecosystems to Environmental Changes*, Commission of EU, Elsevier Applied Sci., Oxford.
- Tralau, H., 1961, A real development of the European arctic-montane plants, *Bot. Not.*, 114, 213-238.