

한라산총서

발간등록번호 79-6500000-000832-01

한라산총서 14

한라산의 기후와 기후변화



한라산-이어도를 꿈꾸다(2020)

채기선 | 蔡基善, Chae Ki-seon

제주대학교, 경기대학교 대학원 서양화전공 졸업
(논문: 한라산 형상의 심상표현연구)

수상

2002년 대한민국미술대전 서양화 대상 '像-한라산'(국립현대미술관)

주요작품소장처

국립현대미술관 미술은행 (한라의 봄, 100호)
수원지방법원 (한라산, 300호)
서울지법 고양지원 (한라산, 300호)
제주도 문화진흥원(법정, 20호)
제주 국제컨벤션센터 (한라산, 1000호)
제주KCTV방송국 (일출봉, 200호)
한라병원(설치코지의 아침, 1000호)
서울지방법원 (한라산, 300호, 150호)
한라일보사 (한라산, 300호)
기당미술관 (한라산 영원의 빛, 50호)
KBS 제주방송총국 (한라산 영원의 빛, 500호)
제주도립미술관 (마음의 풍경-한라산, 300호)
제주국제공항 의전실 (100호 한라산)

MONO12023000004061

915.1985 -23-16

한라산
총서 14

한라산의 기후와 기후변화

0002959392



2023.02.13(기증)

인쇄일 2021년 12월 30일

발행일 2021년 12월 30일

발행처 제주특별자치도 · 한라산생태문화연구소

디자인·인쇄 디자인리더제주 (064-746-0775)

발간등록번호 79-6500000-000832-01

ISBN 979-11-977374-3-5

※ 이 책에 실린 사진과 자료 중에는 저작권 보호를 받는 것이 있습니다.

인용·복제할 경우 사전 문의 바랍니다.

문의처 제주특별자치도 환경산림과(064-710-2752) · 한라산생태문화연구소(064-757-1008)

목 차

제1장 조선시대 한라산의 기상·기후특성

1. 고기록에 나타난 한라산의 기상·기후 분포 특성	11
기온	14
강수	17
바람	19
2. 고기록으로 본 한라산의 극한기상 이상기후 현상.....	23
장기간(15~19세기) 극한기상·이상기후 발생 변동	23
김상헌 일기로 본 이상기후.....	28
극한기상 · 이상기후 발생 사례	32
3. 극한기상과 이상기후에 관련된 지역문화	45
강풍 대응 문화.....	46
폭우 대응 문화.....	52
가뭄 대응 문화.....	54
지력 회복 농법	57
기근 대응 문화.....	63

제2장 현대적 관측에서 탐지되는 한라산 기상·기후 특성

1. 한라산 지역 현대적 기상·기후 관측 역사	81
2. 한라산 지역 기후대 분포와 사계절 변화.....	100
한라산 지역 기후대의 수직 분포	100
한라산 지역 사계절 시종과 지속기간	106
3. 한라산 지역 기후요소별 평균(2001~2020년) 분포 특성	114
기온	114
강수	145
바람	164
4. 한라산 지역 극한기후현상과 기상·기후 재해 발생	171
극한기온현상과 기상·기후 재해	171
극한강수현상과 기상·기후 재해	181
극한바람현상과 기상·기후 재해	196

제3장 한라산 지역 기후변화 양상과 미래 변화 전망

1. 현재 장기간 기후변화 양상과 영향	207
기온의 평균과 극한현상의 변화	208
강수의 평균과 극한현상의 변화	225
바람의 평균과 극한현상의 변화	239
2. 한라산 지역 미래 기후변화 전망	241
21세기 한라산 지역 기후대 변화 전망	242
21세기 기온 평균과 극한기온현상의 변화 전망	248
21세기 강수 평균과 극한강수현상의 변화 전망	253
색인	257

한라산홍서14

한라산의 기후와 기후변화



제 1 장

조선시대 한라산의

기상·기후특성



여 백

제주도는 한반도 남서쪽 해상에 위치한 절해고도의 섬으로 재해가 많기로 유명하다. 예로부터 바람과 비, 가뭄이 많다고 하여 삼재도(三災島)라 불리어 왔다. 제주도는 태풍의 길목에 있는 데다 북서계절풍이 광활한 바다를 통과하는 과정에서 바람이 가속화되어 풍재(風災)가 많았다. 또한 지형과 해양 등의 영향으로 제주도는 우리나라의 최다우지를 이루고 있고, 그로 인해 수재(水災)가 많이 발생했다. 지질적인 특성 때문에 비가 오더라도 쉽게 말라버려 가뭄을 많이 타는 한재(旱災)의 섬이기도 하다. 제주도 주민들은 이런 거친 환경을 극복하면서 제주도의 역사와 문화를 창조해 왔다.

제1장에서는 고기록을 중심으로 조선시대 한라산의 기후 특성 및 극한기상과 이상기후의 양상 등에 대해 살펴보고자 한다. 또한 이에 제주인들은 어떻게 대응하며 살아왔는지도 살펴보고자 한다.

조선시대에 한라산 산록 및 고산 지역의 기후 특성에 대해 서술한 기록이 빈약한 편이다. 반면에 주민들이 주로 거주했던 해안 저지대에 대한 기록은 상대적으로 풍부하다. 따라서 본 장에서는 한라산 저지대를 중심으로 극한기상 및 이상기후에 대해 서술하고자 한다. 과거에는 극한기상과 이상기후가 발생하면 주민 생활에 피해를 야기했으며 흉년으로 이어지는 것이 상례였다. 흉년이 심해지면 백성들은 기근에 시달렸고 아사자도 속출했다. 따라서 제주도 주민들은 이상기후와 기근에 어떻게 대응했는지도 살펴보겠다.

극한기상과 이상기후는 비교적 짧은 기간에 발생하여 지역사회의 기능을 마비시켜 버린다. 광범위한 인적, 물적, 환경적 손실이 발생하는 것은 물론이다. 조선시대의 극한기상과 이상기후는 객관적인 기준치가 없기 때문에 ‘사료에 기록되어 있고, 제주지역에 각종 피해를 야기한 기후 및 기상현상’으로 판단하고자 한다.

조선시대 한라산의 극한기상과 이상기후를 분석하는 데 주로 사용한 자료는 《조선왕조실록》, 《증보문헌비고》, 《비변사등록》, 《승정원일기》, 《탐라기년》 등이다.

《조선왕조실록》은 태조부터 순종까지 기록한 편년체 사서이다. 《고종실록》과

《순종실록》은 일제 강점기에 일본이 설치한 이왕직(李王職) 주관 아래 편찬되었지만, 여기서는 《조선왕조실록》에 포함시켰다. 《증보문헌비고》의 「상위고」는 상고(上古)시대부터 대한제국 말기까지 천문과 천재지변 등을 기록한 사서이다. 《비변사등록》은 광해군 9년부터 고종 29년까지 비변사에서 처리한 사건을 기록한 사서이다. 《승정원일기》는 1623년부터 1894년까지 승정원에서 왕명의 출납과 제반 행정 사무 등을 일지 식으로 기록한 사서이다. 《탐라기년》은 고려 태조 21년부터 조선 광무 10년까지 제주지역 관련 역사를 수집하여 기록한 사서이다. 이 사료들은 장기간에 걸쳐 기술한 자료이기 때문에 제주도에서 발생한 극한기상 및 이상기후와 재해 관련 내용들이 기록되어 있다.

조선시대 제주도의 극한기상 이상기후와 관련된 재해 상황을 분석하기 위해 김정익의 《제주풍토록》, 임제의 《남명소승》, 김상헌의 《남사록》, 이건의 《제주풍토기》, 김성구의 《남천록》, 이중의 《남사일록》 등과 같은 개인 사료도 활용했다. 조선시대 제주도의 지역 상황을 파악하기 위하여 《세종실록지리지》, 《신증동국여지승람》을 비롯하여 이원진의 《탐라지》, 이형상의 《남환박물》, 이원조의 《탐라지초본》 등과 같은 지리지도 활용했다.

조선시대 제주도의 행정 체계는 제주목, 대정현, 정의현의 3읍 체제였다. 그러므로 조선시대 제주도의 극한기상과 이상기후를 지역별로 분석할 때는 3읍을 중심으로 했다. 극한기상과 이상기후에 관련된 제주인의 대응 양식은 농업과 기근 극복 활동을 중심으로 살펴봤다.

1. 고기록에 나타난 한라산의 기상·기후 분포 특성

섬 중앙에 있는 한라산(漢拏山)은 예로부터 제주도를 상징해 왔다. 한라산은 금강산, 지리산과 더불어 우리나라 삼신산의 하나로 불리었으며, 그 이름은 은하수를 끌어당길 만한 높은 산이라는 데서 비롯되었다. 또한 두무악 영주산 부라산 부악 원산 진산 선산 혈망봉 여장군 등 많은 이름으로 불렸다. <그림 1-1>의 대동여지도 속의 제주도를 보면 한라산 동서의 주능선을 경계로 북쪽을 제주목, 남쪽을 정의현과 대정현으로 나누고 있다.

한라산 저지대인 해안지역의 기후에 관한 초기 기록물은 김정의 《제주풍토록》이 대표적이다. 이 책에 기록된 제주도의 기후 특성을 보면, 다음과 같이 표현되어 있다.

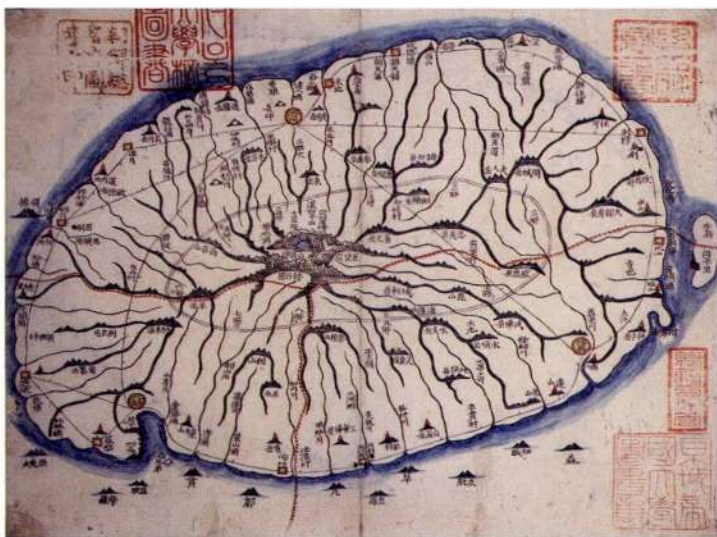


그림 1-1. 대동여지도 속의 제주도
출처: 서울대학교 규장각한국학연구원 홈페이지

제주의 기후는 겨울이 혹 따뜻하고, 여름이 혹 서늘하나 일기변화가 심하다. 바람과 공기는 따뜻한 것 같으나 사람에게는 몸서리 날 만큼 날카롭고 사람의 의식에 맞게 조절하기 어려워 병이 나기 쉽다. 게다가 운무가 항상 음침하게 가리고, 하늘이 맑게 갠 날이 적으므로 거기에 대하여 세찬 바람과 폭우가 내릴 때가 많다. 찌는 듯이 덥고 축축하므로 숨이 막힐 듯이 답답하다.

김정은 제주도의 기후가 육지에 비해 겨울에는 따뜻하고, 여름에는 서늘함을 잘 인식하고 있다. 우리나라의 기후는 겨울에는 춥고 여름에는 더운 한서의 차이가 큰 대륙성 기후이다. 반면에 제주도는 육지에 비해 연교차가 적은 해양성 기후의 특성을 보인다. 김정은 겨울에는 때때로 따뜻하고, 여름에는 때때로 서늘하여 육지와는 기후가 다름을 강조하고 있다. 날씨 변화도 심해 육지 사람들에게겐 이에 적응하기 어려움을 토로하고 있다. 제주도는 대양 상에 있는 데다 섬 중앙에 한라산이 위치해 있어 날씨가 자주 변한다. 강한 바람과 예측하기 힘든 폭우, 고온다습한 날씨 때문에 생활하기에 불편함을 토로하고 있다. 육지에서 건너온 사람들은 육지와 다른 변화무쌍한 제주도의 기후에 의식(衣食)을 조절하기 힘들고, 병에 걸리기 쉽다고 하고 있다.

제주도의 기후는 한반도에서 따뜻하다는 남해안 지역과도 매우 다름을 종종 제주 목사의 치계를 보면 잘 알 수 있다.

감귤을 연해의 각 고을에 옮겨 심어 보았으나 끝내 열매가 맺지 않았으니, 아울러 정파하소서.(《중종실록》 281권, 중종 16년(1521) 3월 11일조)

감귤은 예로부터 제주도의 특산물로 유명했고, 조선시대에 진상품으로 귀하게 여겼다. 그러나 조선시대에 감귤은 수탈의 도구로 이용되었기 때문에 제주인들은 재배를 기피했다. 정부는 감귤을 안정적으로 확보하기 위해 교육지책으로 남해안

의 여러 고을에 옮겨 시험 재배했으나 결국은 열매를 맺지 못했다. 난대성 작물인 감귤나무는 제주도 기후환경에서 정상적으로 생육했지만, 남해안에서는 재배에 실패했던 것이다. “강남의 귤이 회수(淮水)를 넘어 강북으로 가면 탕자가 된다.”라는 말도 있듯이 제주도 감귤을 남해안에 심었더니 열매를 맺지 못했던 것이다.

이는 제주도와 남해안 지역의 기후가 다르기 때문이다. 이런 기후환경에서 난대성 작물인 감귤을 남해안 지역으로 옮겨 심으니 생육이 불량했다. 제주의 감귤을 남해안에 옮겨 심는 제주인들의 고충이 심했기 때문에 제주 목사는 이를 폐지해 달라고 조정에 청하고 있다. 그 후 국가에서는 제주도 곳곳에 관과원을 대거 설치하고, 주민들의 노동력을 강제 동원하여 귤을 재배, 생산케 했다.<그림 1-2>는 조선시대 북과원의 모습으로 감귤나무들이 가지런히 식재되어 있고 바람을 막기 위해 돌담과 대나무가 심어져 있다.



그림 1-2. 제주성 내 북과원
출처: 《탐라순력도(1702)》

기온

조선시대에는 기온을 측정할 수 있는 관측기기가 없었기 때문에 대기의 상태를 정량적으로 정확히 표현할 수 없었다. 그러나 제주도의 기온 특성을 살펴볼 수 있는 정성적인 내용들이 여러 사료에 잘 나타나 있다. 그중 이건의 《제주풍토기》를 보면 다음과 같이 기록되어 있다.

제주도는 장기(瘴氣)로 찌는 듯이 덥고 가슴이 답답하다. 토지는 습열하기 때문에 겨울에 차갑지 않고 내와 못도 얼지 않아 얼음을 저장할 수 없다. 순무, 영초, 파와 마늘 등은 한겨울에도 밭에 둔 채로 아침, 저녁에 캐어다가 쓰고 있다.

이건은 제주도의 기후가 장기로 찌는 듯이 덥다고 하였다. 장기는 습하고 더운 땅에서 생기는 독한 기운이다. 제주도는 한반도에 비해 고온다습한 지역이기 때문에 육지에서 파견된 관리와 유배인은 기후에 적응하기 힘들었음을 알 수 있다. 한양 일대는 겨울이 되면 땅이 얼고 하천도 자주 결빙된다. 그러나 제주도는 하천이 잘 얼지 않기 때문에 얼음을 구하기 힘들고 저장하기도 어려웠다. 땅이 얼지 않기 때문에 겨울에도 밭에서 채소가 자랐다. 육지에서 내려온 사람들은 이러한 제주도의 겨울 경관을 체험하면서 따뜻한 지역이라는 인식을 많이 했다. 김상헌은 《남사록》에서 제주도의 기후 특성을 다음과 같이 기록하고 있다.

나무들은 겨울에도 푸른 것이 많다. 냉이와 같은 것들이 꽃 피었다 시들었다 하는 것이 철을 가리지 않는다. 마당에 눈이 가득 쌓였는데 나비가 날아오고 마당의 풀은 항상 푸르다. 서울의 3,4월과 다를 것이 없다. 제주인들 가운데 매우 가난한 자가 한 겹의 옷으로 몸을 가리거나 망석(網席)을 꿰어서 입고 뛰어다니며 일을 하여도 얼어 죽지 않는다.

김상헌은 한겨울에 한 겹으로 된 옷을 입어도 동사자가 없고, 겨울철에도 꽃과 나비를 볼 수 있을 정도로 제주도의 기후가 온화하다고 표현하고 있다. 제주도의 한겨울 날씨가 서울의 3, 4월 봄 날씨와 흡사하다고 하여 따뜻한 제주기후를 잘 인식하고 있다. 이형상은 《남환박물》에서 제주도 기후에 대하여 관찰한 것을 다음과 같이 기록하고 있다.

뱀·살무사·땅강아지·나비·하루살이·거미 같은 생물들이 겨울과 여름 내내 있다.

육지에서 내려온 관리나 유배인은 제주도의 온화한 기후를 인상 깊게 인식하고 있다. 뱀이나 나비, 하루살이와 같은 생물들은 한반도 대부분 지역에서는 겨울철에 활동을 하지 않는다. 그러나 그런 생물들이 제주도에서는 겨울에도 활동하는 것을 볼 수 있다고 했다. 한양에서는 겨울철에 채소와 작물을 보기 힘들다. 제주도에 와 보니 한겨울에도 채소가 싱싱하게 자라고 곤충들도 돌아다니고 있어 신기하게 보였을 것이다. 제주도의 겨울철 기후는 육지에 비해 온화하여 지내기가 수월했다. 이 때문에 우리나라의 난방문화를 대표하는 온돌이 발달하지 않았음을 김정희의 《제주풍토록》을 통해서 확인할 수 있다.

품관인(品官人) 외에는 온돌이 없다. 땅을 파서 구덩이를 만들어 돌을 메워 그 위에 흙으로 발라서 온돌 모양같이 한다. 말린 뒤에 그 위에서 잠을 잔다.

제주도는 온화한 기후로 온돌의 필요성이 적었다. 제주인들은 방바닥을 파서 돌로 메운 다음 흙을 발라서 건조시킨 후 그 위에서 잠을 잤다. 방바닥에서 올라오는 습기는 돌로 메워 막았다. 부엌에는 돌로 아궁이를 만든 다음 솔을 얹어 놓고 취사했다. 아궁이의 방향도 내부의 방을 향해 배치하지 않고 외벽을 향하게 했다. 통풍구를 설치하여 취사열이 실외로 쉽게 빠져나가도록 했다. 안방을 향해 아궁이를 만

들면 가옥 내부가 뜨거워져 생활하는 데 불편했기 때문이다. 육지는 취사열을 난방열로 이용하는 경우가 많았지만 제주도는 취사하는 데 주로 사용했다.

이원진은 《탐라지》에서 조선시대에 제주도 내 지역 간 기후의 차이를 분석하여 기록했다.

제주목은 한라산 북쪽에 위치하여 남쪽에서 불어오는 습한 바람을 한라산이 막아 주고, 북서풍이 습한 열기를 흩어지게 함으로써 더위가 덜하기 때문에 한라산 북쪽이 남쪽보다 장수자가 많다.

이원진은 한라산 남쪽은 습하고 더운 데 반해 북쪽은 덜하다고 했다. 한라산의 지형적 영향과 풍향의 영향으로 북쪽은 남쪽에 비해 더위가 덜하다고 분석하고 있다. 이러한 연유로 장기(瘴氣)가 덜해서 한라산 북쪽이 남쪽에 비해 장수자가 많다고 했다.

제주도는 섬 중앙에 한라산이 위치해 있기 때문에 사면과 해발고도에 따른 기온차가 심하다. 성종 때 제주도에 왔던 관리가 조정에 보고한 내용을 보면, 다음과 같다.

신이 일찍이 사명을 받들고 제주에 가서 보니, 산 북쪽은 바람 기운이 춥고 강하여 초목이 쉽게 말라 죽고, 산 남쪽은 겨울에도 눈과 서리가 없어서 나뭇잎이 마르지 아니하며 말을 기르면 매우 살이 찹니다. (《성종실록》 283권, 성종 24년(1493) 10월 4일조)

제주도의 기후는 한라산 사면에 따라 지역 차이가 있음을 인식하고 있다. 한라산의 북쪽은 찬바람의 기운이 강해서 초목이 냉해로 쉽게 말라 죽어버리고, 남쪽은 겨울에도 눈과 서리가 적어 나뭇잎이 말라 죽어버리는 것이 덜하다. 한라산 남쪽에 말을 기르면 잘 자라고 살찌기 때문에 목마장 운영은 한라산 북쪽보다 유리하다고 했다. 육지에 비해 따뜻한 기온 특성, 제주도 내에서의 지역 간 기온 차 등을 육지에

서 내려온 관리나 유배인들이 잘 인식하고 있음을 알 수 있다.

김상헌은 1601년 10월 20일(양력) 한라산을 등반하면서 고도에 따른 기후 특성을 관찰하여 다음과 같이 기록하고 있다.

제주도는 매우 따뜻한 곳인데 내가 9월에 올라서 보니 산 아래 초목들은 모두 초가를 풍경이다. 산 위는 아침 서리가 눈 같고, 산꼭대기 못의 물은 얼기 시작했다. 이상하여 지방 사람에게 물으니 일찍 추위가 오는 해는 8월에 눈이 내리고, 겨울철이 되면 눈이 안 오는 날이 없기때문에 그늘진 골짜기의 가장 깊은 곳은 5월에도 잔설이 남는다고 했다. 또한 섬 안에는 옛날부터 얼음을 저장하는 곳이 없으며 관가에서 여름철이 되면 항상 산 속에서 가져다 쓴다.

해발고도에 따른 기온차가 심한 제주도의 기후 특성을 잘 표현하고 있다. 10월의 해안지역은 가을 날씨인데 한라산 고지대는 초겨울 날씨를 보이고 있다. 환경기온 감률 때문에 해안 저지대에서 한라산 정상으로 갈수록 기온이 떨어진다. 지역과 대기환경에 따라 차이가 있지만 대체로 100m 올라갈 때마다 약 0.6℃씩 낮아진다. 김상헌이나 제주 사람들은 해발고도가 높아질수록 추위가 더 심함을 인식하고 있다. 여름에 한라산 깊은 골짜기의 얼음을 캐다가 관용으로 사용하고 있음을 보여 준다. 오늘날 한라산은 깊은 계곡이라 할지라도 여름에 잔설과 얼음을 보기 힘들다. 17세기는 전 세계적으로 저온 현상이 전개된 소빙기였기 때문에 결빙 기간도 길었음을 보여 준다.

강수

김상헌의 《남사록》을 보면 제주도 강수의 특성이 잘 나타나 있는데, 그 내용을 보면 다음과 같다.

매년 춘하에는 구름과 안개가 자욱하고 비가 많으며 맑은 날이 적다. 산 남쪽이 더욱 심하다. 추동에는 하늘이 개지만 폭풍이 많고 눈이 많이 쌓인다. 산북이 더욱 심하다.

김상헌은 여름에 비와 구름, 안개가 많고 겨울에 적다고 하여 강수의 계절차를 표현하고 있다. 또한 한라산 남쪽은 여름에 강수가 많고, 한라산 북쪽은 겨울에 눈이 많다고 하여 강수의 지역차도 잘 인식하고 있다.

제주도의 강수는 여름에 많고 겨울에 적다. 가을과 겨울에는 제주가, 여름과 봄에는 서귀포가 강수량이 많다. 비가 오려면 공기가 상승하면서 수증기의 응결과정을 거쳐야 한다. 한라산은 풍향에 따라 공기를 강제 상승시키는 지리적 인자로 중요하다. 겨울철은 북서기류가 발달하는 계절이다. 바람받이 사면인 북사면에서 공기가 상승하면서 비와 눈이 많이 내린다. 여름철에는 남서, 남동 기류가 발달하면서 바람받이 사면인 남사면에서 공기의 상승으로 비가 많이 내린다. 이원진은 《탐라지》에서 제주도의 하천을 다음과 같이 표현하고 있다.

가물면 말라 버리고 비가 오면 물이 불어 넘친다.

제주도는 다공질 현무암이 발달하여 빗물이 쉽게 지하로 스며든다. 투수율을 초과하는 집중호우가 발생하면 유수의 증가로 하천에 물이 흐르고, 폭우 시는 범람하여 수해를 입히기도 한다. 평상시에는 건천을 이루다가도 비가 올 때는 물이 불어나 유수의 양이 많아지고 때로는 범람하는 현상을 잘 표현하고 있다.

제주도는 다우지역임에도 불구하고 지질구조상 배수가 왕성하기 때문에 지표수 결핍지역으로 식수를 구하기가 어려웠다.

용천수가 취락 인근에 있으면 물을 얻는 데 유리했지만 그렇지 못할 경우 먼 곳까지 가서 물을 길어 왔다.

특히 중산간 마을은 물이 귀했다. 샘이 없는 마을은 비가 오면 고이는 물을 식수로 사용했다. 가뭄으로 말라 버리면 주변 건천의 소(沼)에 고여 있는 물을 떠다 먹기도 했다. 물을 운반할 때는 ‘물구덕’에 ‘물허벅’을 넣어 지고 다녔는데, 주로 여자가 담당했다.

비가 올 때 집 울타리 안에 있는 감나무나 팽나무 같은 거목에 ‘츄새’를 매달아 물을 얻기도 했다. ‘새’라 불리는 띠로 덩기처럼 엮은 ‘츄새’를 나무와 항아리[츄항]에 연결하여 빗물을 받아 생활용수로 사용했다. 이 물을 ‘츄물’이라 했는데, 자연과 더불어 사는 제주인의 지혜를 엿볼 수 있다. <그림 1-3>은 감나무에 ‘츄새’와 ‘츄항’이 설치되어 있는 모습으로 용천수가 부족한 중산간 마을에서 많이 이용했다.



그림 1-3. 츄물 취수(제주민속촌, 2020년 9월)

바람

제주도는 대양 상에 위치한 섬이고, 태풍의 길목에 있기 때문에 바람이 많고 강하게 분다. 제주도의 바람은 주민 생활에 많은 영향을 주었고, 특히 태풍과 겨울 계절풍의 영향이 컸다. 임제는 《남명소승》에서 제주도의 바람 특성을 다음과 같이 기술하고 있다.

한라산 북쪽에는 항상 북풍이 많다. 팔방위의 바람중에서 북쪽이 가장 세찬 까닭에 제주 경내의 나무는 모두 남쪽을 가리키고 있으며 닳아진 비와 같다. 바람이 일 때면 해수입자가 비 오듯하여, 바다 가까운 10리 사이에 초목은 모두 짙은 기운에 젖는다. 정의·대정 두 현의 지경에는 예로부터 북풍이 없다. 산북은 비록 하늘이 무너지

고 바다가 뒤집힌다 하더라도, 산 남쪽은 가는 풀도 움직거리지 않는 까닭에 땅이 한층 따뜻하고 장기가 심하다.

한라산 북쪽에 있는 제주목은 북서계절풍의 바람받이 사면이기 때문에 바람이 강하다. 반면에 한라산 남쪽은 지형효과로 바람이 약하다. 한라산 북쪽은 하늘이 뒤집힐 듯 폭풍이 강하게 불어도 남쪽은 가는 풀조차 미동도 하지 않을 정도로 바람이 약하다고 했다. 강풍이 불 때는 해수 입자가 육상으로 날려 농작물과 식물에 조풍해를 입힌다고 했다.

바람이 강한 지역에서는 편향수를 흔히 볼 수 있다. 편향수는 바람 등에 의해서 한쪽으로 심하게 기울어진 나무이다. 관측시설이 없는 곳에서는 바람의 강도와 탁월풍을 추정할 수 있는 좋은 지표이다. 임제는 편향수를 ‘뿔아진 비[禿]’라고 표현하고 있다. 한라산 북사면 해안지역에 있는 나무들은 모두 남쪽을 향해 있다고 했는데, 이것은 북풍이 강한 지역임을 의미한다. <그림 1-4>를 보면 나무가 바람과 해수 등에 의해 심하게 편향되어 있다. 바람이 세차게 부는 지역임을 알 수 있다. 김상현은 《남사록》에서 다음과 같이 표현하고 있다.



그림 1-4. 편향수(서귀포시 성산, 2020년 9월)

운반할 때 등에 지며 머리에는 이지 않는다. 물을 길어 오거나 곡식을 베는 것 같은 일은 여인들이 한다. 육지의 여성들은 짐을 머리에 이고 운반하지만 제주 여성들은 머리에 이는 법이 없다. 항상 짐을 등에 지고 다닌다.

제주도는 바람이 강하기 때문에 육지처럼 머리에 이고 다닐 수가 없다. 여자들이 식수나 짐을 운반할 때 항상 등에 지고 다녔다.

《신증동국여지승람》, 《탐라지》 등에는 강풍에 의한 사빈과 해안사구의 발달과정이 상세히 기록되어 있다. 이원진의 《탐라지》에 보면, 제주목의 김녕·월정·행원·하도 지경에 있는 사빈과 해안사구가 잘 표현되어 있다.

장사(長沙)는 제주의 동쪽 56리쯤에 있고 길이가 15리쯤 된다. 바다의 물결에 의하여 쌓인 모래가 조수는 줄고 뜨거운 일광에 말라서 바람을 타고 날려 가까운 데서 멀리까지 이른다. 낮은 것이 높아져 쌓임이 점점 커지면 초목을 매몰하고 언덕을 이루어 산을 만든다. 만약 전답이 있는 곳이라면 그 밭의 소재를 잃어버린다. 별방 부근에도 모래가 언덕을 이룬 곳이 있다.



그림 1-5. 해안사구(제주시 구좌, 2020년 9월)

장사는 구좌읍 지역에 발달한 사빈과 사구를 말하고 있다. 김녕, 월정, 행원, 세화, 하도까지 포켓 비치(pocket beach)형으로 사빈이 발달해 있다. 오늘날 이 지역의 사빈과 해안사구는 경관이 뛰어나 해수욕장과 관광지로 이용되고 있지만, 과거에는 강한 바람에 모래가 날려 농경과 생활에 불리했다. 주민들은 경지와 가옥을 보호하기 위해 방사림을 식재하고 방사제를 시설하기도 했다. <그림 1-5>의 지역은 김녕해수욕장에서 약 1km 떨어진 내륙지역임에도 강한 북서풍으로 날려 온 모래들이 언덕을 이루고 있다.

제주도 사람들에게 가장 무서운 바람은 태풍(颱風)이다. 하물며 육지에서 내려온 사람들에게 태풍은 공포의 대상이었을 것이다. 효종 3년 9월 23일 기사를 보면 “제주, 정의, 대정에 구풍(颶風)이 크게 불고 폭우가 사납게 내려서 말이 많이 죽고 백성들도 빠져 죽은 자가 있었다.”라는 내용이 있다. 여기서 구풍은 열대성 저기압, 즉 태풍을 의미한다. 태풍은 강한 바람과 많은 폭우로 육지의 동 식물뿐만 아니라 바다에서 항해하는 선박에게도 치명적인 피해를 입혔다. 제주도는 태풍의 길목에 위치해 있어 그 피해가 심했다. 태풍은 위낙 세력이 강하기 때문에 내습하면 제주도 전역은 극심한 풍수해를 입었던 것이다.

제주인을 지속적으로 괴롭힌 독한 바람은 대륙에서 불어오는 차디찬 북서풍이다. 태풍은 여름철에 일시적으로 짧은 기간에 영향을 미쳤지만, 북서계절풍은 가을과 겨울, 그리고 봄까지 오랫동안 지속적으로 영향을 주었다. 특히 겨울철의 북서풍은 강한 데다 매섭기까지 하여 제주인들의 생활에 많은 영향을 주었다.

제주도는 유라시아 대륙과 태평양 사이에 있기 때문에 대륙과 해양 간의 비열차에 의하여 계절풍이 분다.

겨울철에는 시베리아 고기압이 발달하고, 이에 따라 북서풍이 많이 분다. 여름철에는 북태평양 고기압이 발달하고, 이에 따라 남서, 남동풍이 많이 분다. 겨울에 바람이 더 강한 것은 대륙과 해양 간의 온도 차이가 여름보다 더 크기 때문이다. 겨울에는 대륙과 해양 간 기압경도력이 커서 공기의 이동 속도가 빨라지는 것이다. 제주

도는 대양 상에 위치해 있기 때문에 바람이 해양을 통과하는 과정에서 가속되어 더욱 강해진다. 제주도의 편향수와 사구의 발달, 가옥구조 및 주민생활 등에 북서 계절풍이 많은 영향을 끼쳤다.

2. 고기록으로 본 한라산의 극한기상 이상기후 현상

장기간(15~19세기) 극한기상·이상기후 발생 변동

사계절이 뚜렷한 우리나라는 계절에 따라 기후 변화가 심하다. 따라서 예로부터 기후 및 기상에 대한 관심이 많았으며 조선시대에는 중앙에 서운관 등 천문기상 관제를 두었다. 천문 지리 풍수 측후 등 특수 기술을 전수한 관리들에게 천문 및 기상을 관측하도록 하여 풍운기, 서운관지 등에 기록하게 하고 이상 현상은 보고하도록 했다. 제주도는 중앙과는 달리 기상 및 천재지변을 전문적으로 다루는 관리가 없어 천문 기상에 대한 기록이 빈약하다. 그러나 극한기상 및 이상기후로 큰 피해를 입거나 특이한 현상이 발생했을 때 제주 목사는 장계(狀啓)를 올려 조정에 보고했다.

《조선왕조실록》등의 사료에는 제주도의 이상기후에 대한 기록들이 곳곳에 있다. 강풍 관련 극한기상 이상기후는 ‘풍(風), 대풍(大風), 구풍(颶風), 표풍(飄風), 광풍(狂風), 맹풍(盲風), 용(龍)’ 등으로 다양하게 표현되어 있으며, 그중 ‘대풍’으로 기록된 것이 가장 많다. 대풍은 강한 바람, 표풍은 회오리바람, 구풍은 북태평양 저위도에서 불어오는 태풍, 광풍은 미친 듯이 사납게 휘몰아치는 거센 바람, 맹풍은 세차게 부는 강한 바람이다. 용은 용오름으로 바다나 육지에서 일어나는 맹렬한 회오리바람이다. 재해와 관련해서 ‘풍재, 풍황’, 풍향과 관련해서 ‘동남풍’ 등으로 기록된 것도 있다.

호우 관련 극한기상 이상기후는 ‘우(雨), 수(水), 우수(雨水), 대우(大雨), 대수(大水), 대우수(大雨水), 협우(峽雨), 취우(驟雨), 폭우(暴雨), 음우(陰雨)’ 등으로 기록되어 있다. 그 중 ‘대우’라고 기록된 건수가 가장 많다. 대우 대수 대우수는 큰비, 협우는 골짜기에 내리는 비, 취우는 소나기, 폭우는 갑자기 세차게 많이 쏟아지는 비, 음우는 오랫동안 계속해 내리는 음산한 비를 의미한다. 수해와 관련해 ‘수재’로 기록되기도 했다.

제주도는 사면이 바다여서 조풍해(潮風害)가 많이 발생했으며, 이는 ‘함우(雨), 함수(水), 함수(鹹水), 노도분설(怒濤噴雪)’ 등으로 기록되어 있다. 함(鹹)은 짠 바닷물을 의미하며, 함우는 해수 입자가 바람에 날려 비처럼 내리는 것을 말한다. 노도분설은 성난 파도로 해수가 눈가루처럼 날리는 것을 의미한다.

가뭄 관련 극한기상 이상기후는 ‘한(旱), 대한(大旱), 항한(亢旱), 불우(不雨)’로 기록되어 있다. 대한은 큰 가뭄, 항한은 아주 극심한 가뭄, 불우는 비가 오지 않는 것이다. 재해와 기근에 관련해 ‘한재(旱災), 한발(旱魃)’이라 기록되기도 했다. 한재는 가뭄으로 인한 재앙, 한발은 가뭄을 맡고 있는 귀신이란 뜻으로 심한 가뭄을 의미한다.

눈이나 한파 관련 극한기상 이상기후는 ‘설(雪), 대설(大雪), 한(寒), 동폐(凍斃), 동뇌(凍)’ 등으로 기록되어 있다. 대설은 눈이 많이 온 것이고, 동폐는 얼어 죽은 것이다. 동뇌는 추위와 굶주림에 시달린 것을 의미한다.

표 1-1. 이상기후 현황

시기	강풍	호우	가뭄	한파	합계
15세기	6	3	2	2	13
16세기	5	5	4	-	14
17세기	19	13	8	6	46
18세기	12	5	6	-	23
19세기	2	4	3	2	11
계	44	30	23	10	107

출처: 《조선왕조실록》, 《증보문헌비고》, 《비변사등록》, 《승정원일기》, 《탐라기년》 등을 토대로 작성

조선시대에 중앙에서 파견된 지방관들은 천재지변이 발생하면 조정에 보고하는 것이 중요한 책무였다. 하지만 절해고도의 섬이라는 특수성 때문에 보고가 누락되는 경우가 많았다. 또한 장계를 올리더라도 제주도에서 한양까지 가는 데는 보름에서 한 달 정도 소요됐기 때문에 시기를 놓쳐 조정에서 다루는 중요 현안에서 제외되는 경우가 많았을 것이다.

<표 1-1>의 통계는 《조선왕조실록》, 《증보문헌비고》, 《탐라기년》, 《비변사등록》, 《승정원일기》 등에 기록된 제주도의 이상기후를 검색하여 정리한 것이다. 같은 사건이 서로 다른 사료에 중복 기록되어 있는 경우가 있는데, 그런 경우는 1건으로 처리했다.

15세기부터 19세기까지 전체 이상기후 기록 건수를 보면 총 107건이다. 이를 시기별로 살펴보면, 17세기가 46건으로 가장 많고, 18세기 23건, 16세기 14건, 15세기 13건, 19세기 11건이다. 이 기록들은 평상시 단순한 기상 및 기후상태가 아니라 인간과 동식물에 피해를 준 이상기후 및 극한기상 현상이다. 강풍 관련 기록을 보면 ‘대풍으로 인한 낙과와 파손된 민가의 숫자, 죽은 인명과 우마의 숫자’ 등이 구체적으로 기술되어 있다. 강풍 관련 기록 44건 중 42건은 재해 내용이 기술되어 있고, 나머지 2건도 ‘다섯 마리 용이 승천했다’, ‘큰바람이 불었다’라고 하여 용오름과 강풍으로 피해가 발생했음을 암시하고 있다.

가뭄 관련 기록 23건 중 19건에 대해서는 재해 내용이 구체적으로 포함되어 있다. 나머지 4건은 ‘6개월 동안 가뭄’, ‘여름에 큰 가뭄’, ‘석 달 동안 심한 가뭄’, ‘윤 2월부터 5월까지 가뭄’ 등으로 기록되어 있어 구체적으로 밝히지는 않았지만 어떤 형태로든 가뭄 피해가 있었음을 알 수 있다.

<그림 1-6>은 제주도의 극한기상과 이상기후의 기록 건수를 1400년부터 1900년까지 10년 단위로 나타낸 것이다. 이를 통해 조선시대 제주도의 극한기상 및 이상기후 발생 추이를 살펴보면, 15세기에는 후반기보다 전반기에 많이 발생했다. 16세기 중반부터 이상기후 발생 빈도가 점차 증가하고 있으며, 17세기에 접어들어 대폭 증가하고 있다. 18세기에도 발생 빈도가 높게 나타났고, 19세기에는 감소하는 추세

를 보이고 있다. 17세기는 다른 시기에 비해 강풍, 호우, 가뭄 등 각종 이상기후 발생 빈도가 높았음을 알 수 있다. 특히 한파의 10건 중 6건이 17세기에 집중되어 있어 17세기는 다른 시기에 비해 한랭했음을 알 수 있다.

조선시대 제주도의 기후변동을 분석해 보면, 이상기후가 특히 심했던 시기가 있다. 제주도의 이상기후 집중기는 크게 세 개의 시기로 구분할 수 있다. 제1기는 1510년대부터 1570년대까지로 풍수해와 가뭄이 많이 발생했고, 황충(蝗蟲) 피해를 입기도 했다. 제2기는 1600년대부터 1690년대까지로 풍수해가 많이 발생했고, 특히 이상저온 현상이 심하여 폭설 및 한파로 인한 피해가 많았다. 제3기는 1710년대부터 1790년대까지로 빈번한 이상기후로 기근이 자주 발생했다. 이와 같은 제주도의 기후변동은 그 당시 전 세계를 강타했던 소빙기 기후와 연관되어 있다.

유럽에서 지난 1,000년 동안의 기온변화를 살펴보면, 10세기 중반부터 14세기까지는 20세기 평균기온보다 조금 높은 비교적 온난한 시기였다. 이를 ‘중세 온난기’

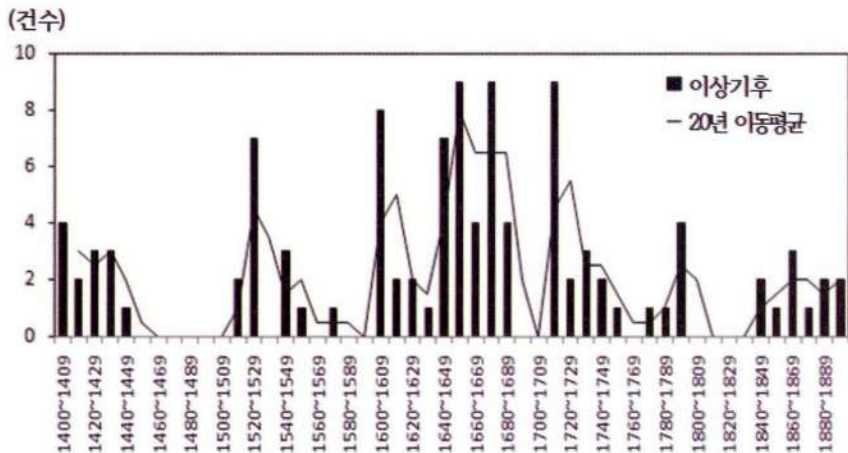


그림 1-6. 제주도 이상기후 추이

출처: 《조선왕조실록》, 《증보문헌비고》, 《비변사등록》, 《탐라기년》 등을 토대로 작성

혹은 ‘소기후적 최적기’라 부른다. 그러나 14세기 후반부터 기후가 악화되기 시작하여 19세기까지 이상저온 현상이 전개되었고 빙하가 확대되었다. 전 세계적으로 이러한 현상이 나타났는데, 이를 ‘소빙기(Little Ice Age)’라 한다.

기후가 추워지고 빙하가 확장되면서 그린란드는 외부와 완전히 고립되었고, 아이슬란드에서는 곡물농업이 불가능해졌다. 잉글랜드에서는 포도밭이 사라졌고, 유럽 각 지역의 작물 재배에 심각한 영향을 주었다. 특히 17세기는 소빙기의 절정을 이루면서 전 세계의 기후가 요동쳤다.

소빙기의 한랭화로 농작물 생산이 타격을 입어 농업생산력이 급격히 감소했고, 곡물가격이 폭등했다. 이것이 사회적 위기로 연결되어 ‘17세기의 위기’를 가져왔다. 기후의 불안은 곧 사회의 불안이었다. 유럽에서는 청교도혁명 등 혁명의 시대가 전개되었고, 지배세력에 항거하는 각종 난(亂)들이 유럽 도처에서 발생했다. 아시아에서는 명 청 교체기를 맞이했고 우리나라에서는 호란이 발생했다. 오스만제국도 이 시기에 몰락했다.

우리나라도 전 세계적으로 진행된 소빙기의 영향을 받아 16세기부터 19세기까지 몇 차례에 걸쳐 이상저온기가 있었음을 여러 학자가 제시하고 있다. 김연옥(1984)은 조선시대 이상저온 현상이 전개된 시기를 제1기(1551~1650년), 제2기(1701~1750년), 제3기(1801~1900년)로 구분했다. 이태진(1996)은 1500~1750년 사이에 이상저온기가 진행되었다고 했다. 김연희(1996)는 제1기(1511~1560년), 제2기(1641~1740년), 제3기(1801~1850년)로 구분하여 이상저온기를 제시하고 있다. 이상저온기 출현 시기는 학자에 따라 조금씩 상이하지만, 이를 종합해 보면 1500년대부터 1890년대까지 이상저온기가 전개되었음을 알 수 있다.

필자가 제시한 제주도의 이상기후 집중기도 우리나라의 이상저온기 출현시기와 유사한 경향을 보인다. 즉, 제1기(1510~1570년대), 제2기(1600~1690년대), 제3기(1710~1790년대)는 제주도에서 이상기후가 특히 요동쳤던 시기이다. 소빙기적 기후 특성이 나타났던 시기라고 할 수 있다.

제주도 이상기후 집중기의 제1기(1510~1570년대)는 이태진과 김연희의 이상저온기와 일치한다. 제2기(1600~1680년대)는 김연옥과 이태진과 김연희의 이상저온기와 부분적으로 일치한다. 제3기(1710~1790년대)는 김연옥과 이태진과 김연희의 이상저온기와 부분적으로 일치하며, 1750~1790년대에는 한반도 지역과 달리 제주도에 이상기후가 많이 출현했다.

김연옥(1984)과 이태진(1996)의 연구를 종합해 보면, 17세기에 공통적으로 이상기후 현상이 많이 발생하고 있다. 제주도를 대상으로 한 필자의 연구에서도 같은 경향을 보여 주고 있다. 이로 미루어 보아 제주도와 우리나라에서 17세기는 기후변동이 가장 심했고 이상저온 현상도 심한 시기였음을 알 수 있다.

김상헌 일기로 본 이상기후

제주도에서 극한기상과 이상기후 현상이 가장 빈번했던 17세기 기후 상황을 고찰하는 데 유용한 자료로 김상헌의 《남사록》을 들 수 있다. 그 책에 기록된 하루하루의 날씨를 보면 그 시기의 기후 상황을 엿볼 수 있다. 그의 일기는 1601년 9월 9일(이하 양력) 서울을 출발하면서 시작하고 있다. 1601년 10월 16일에는 해남을 출발하여 다음 날인 10월 17일에 애월포에 도착했다. 129일간의 안무어사 업무를 마치고 1602년 2월 16일 조천관을 출항했다. 그날 밤 악천후 때문에 추자도에 피항하여 6일간 후풍(候風)한 후 2월 22일에 출항하여 그날 저녁 해남 어란포에 도착했다. 3월 7일 수원에 도착하면서 일기를 끝맺고 있다.

김상헌의 일기는 당시 제주도의 기후 상황을 소상하게 기록하고 있어 편년체 사료의 부족한 부분을 보완할 수 있는 유용한 기후정보를 제공해 주고 있다. 김상헌은 일기 초두에 ‘청(晴), 음(陰), 우(雨), 설(雪), 무(霧)’ 등으로 날씨 상황을 기록했다. 특이한 기후 현상이 발생한 경우 본문 내용에 부연하여 설명했다. 일기의 날씨 상황을 분석하는 데 있어 ‘흐리고 비, 흐리고 눈, 흐리고 안개’ 등 중복될 경우 흐린 것은

생략하여 ‘비, 눈, 안개’로 처리했다. 바람은 ‘풍, 대풍, 풍향’ 등으로 기록된 경우에 집계했다. 《남사록》에 기록된 날씨 상황을 분석하기 위하여 음력을 양력으로 변환하여 통계 처리했다.

129일의 제주도 체류기간 중 맑은 날은 26%인 34일에 불과하고, 74%인 95일은 흐리거나, 비, 눈, 안개로 낯은 날씨를 보였다. 쾌청일이 가장 많은 달은 10월이고, 11월, 1월, 2월, 12월 순이다. 흐린 날은 11월, 12월, 1월, 10월, 2월 순으로 많다. 강수일은 10월, 2월, 1월, 12월, 11월 순으로 많다. 눈은 2월, 1월, 12월, 11월 순으로 많다.

그의 일기 중 바람에 대한 기록이 특히 많다. 제주 도착 후 연일 강한 바람 때문에 업무에 차질을 빚었고, 우도 순시도 포기했다. 1월 10일에는 화북포에서 관선이 육지로 출항했다가 강풍으로 침몰하는 참사가 발생했다. 그가 왔던 1601년은 날씨가 추웠다. 이미 10월 25일에 첫눈이 내렸고, 11월에 눈이 두 차례나 내렸다. 12월 24일부터 27일까지 나흘 동안 강풍을 동반한 폭설이 내렸다. 김상헌은 사점(査點)과 위무(慰撫) 등의 업무를 수행하고 그 결과를 조정에 치계(馳啓)를 올려 보고했으며 그 당시 제주도 기후 상황도 상세히 보고했다. 다음은 김상헌의 치계 중에 《선조실록》에 기록된 내용이다.

표 1-2. 김상헌 일기의 날씨 현황

월	일수	맑음	흐림	비	눈	안개	서리	바람
10	16	6	5	5	-	-	-	6
11	30	9	15	2	4	-	1	13
12	31	5	14	4	6	1	-	7
1	31	9	10	5	7	-	-	13
2	21	5	6	5	5	-	-	11
계	129	34	50	21	22	1	1	50

출처: 김상헌의 《남사록》을 토대로 작성

신이 제주에 온 지 한 달이 지났는데, 그 사이에 하루 이틀 이외에는 비가 오지 않는 날이 없고 바람이 불지 않는 날이 없었습니다. 섬의 기후가 본래 이와 같은 것으로 괴이할 것이 없다고 여겼었습니다. 그런데 오랜 뒤에야 노인과 유생들에게 물어보았더니 ‘금년 9월 이후부터 항상 흐리고 계속 비가 내려 여러 달 동안 개지 않아 여름철보다 더 심합니다. 지금 거센 바람이 크게 일어 밤낮 그치지 아니하니 이는 실로 근고에 없던 재변입니다.’라고 하고 있습니다.(《선조실록》 143권, 선조 34년(1601) 11월 1일조)

김상헌의 치계를 보면 가을은 비가 적게 오는 계절인데도 여름보다 더 심하고 날이 개질 않는다고 했다. 거센 바람도 그치지 않아 제주인들은 재변이라고 토로하고 있다. 김상헌의 《남사록》에도 당시의 이상기후 현상이 잘 표현되어 있다.

내가 10월에 닻을 내리고 정월에 출항했으니, 바로 이는 가을과 겨울로 하늘이 개는 때인데 그사이에 3광을 볼 수 있었던 것은 겨우 수십 일이다. 이 밖에는 항상 흐리고 비가 아니 오면 눈이 내렸다. 바람은 불지 않는 날이 없었다.

김상헌은 10월에 제주도에 와서 다음해 2월에 떠났다. 129일의 체류 기간 동안 3광[해 달 별]을 볼 수 있었던 날은 수십 일에 불과하다고 했다. 이 시기는 하절기에 비해 비가 적게 오고 맑은 날이 비교적 많을 때이다. 그러나 1601년 가을부터 1602년 봄까지는 항상 흐리고 비와 눈이 잦았다. 이러한 날씨를 당시 제주인들은 ‘근고에 없는 재변’이라고 증언하고 있다.

1601~1602년의 ‘근고에 없는 재변’을 당시 세계의 기후 상황과 연관시켜 분석해 볼 필요가 있다. 17세기는 소빙기의 절정을 이루었던 시기로 기후사적으로 의미 있는 화산 분출이 6회 정도 일어났다. 그중 1600년 2월 16일부터 3월 5일까지 페루의 화냐푸티나(Huaynaputina) 화산폭발 위력이 강력했다.

화나푸티나 화산의 분화는 지구 곳곳에 이상기후를 가져왔다(Briffé et al., 1998). 1601년 여름은 1400년 이래 북반구에서 가장 추웠다(Shanaka and Zielinski, 1998). 북아메리카의 서부지역에서는 400년 만에 처음 겪는 추운 여름이 닥쳤으며, 스칸디나비아에서도 1,600년 만에 처음 보는 추운 여름이 엄습했다. 중국에서는 태양이 붉고 흐릿하게 보였다.

화산폭발 1년 후에 이상저온 현상이 전 세계적으로 나타난 것은 화산가스 및 화산재가 성층권에 도달하고 이것이 확산되는 데 시간이 걸렸기 때문으로 추정된다. 화산의 영향으로 지구에 도달하는 태양에너지의 양이 감소하면서 이상저온 현상이 전개된 것이다.

1601년에 제주도에서 나타난 ‘근고에 없는 재변’은 그해 지구 곳곳을 강타했던 이상기후의 출현과 시기적으로 유사하다. 제주도에서만 기후재변이 나타났던 것이 아니라 그해 북반구 곳곳에서 심각한 이상저온 현상이 전개된 것이다. 제주도의 이상기후 현상은 1604년까지 계속 이어졌다. 1602년은 이상저온 현상과 황사로 흉년이 발생하여 기근이 심각했다. 제주인들은 산으로 올라가 제주조릿대 열매를 따다가 먹으며 기근을 견뎠다. 연말에는 폭설이 내렸고 저온현상으로 눈이 녹지 않아 새해까지 계속 쌓였다.

1603년에는 한파로 감귤이 심한 동해를 입었다. 여름에는 풍해와 수해가 극심했고 충해까지 번져 흉년이 심각했다. 국영목장의 우마들은 먹을 풀들이 없어 많이 굶어 죽었다. 1604년은 풍해와 가뭄이 심각하여 흉년이 이어졌는데 육지의 곡식들을 이송하여 제주도 기민을 구제했다. 전 세계적으로 17세기는 소빙기의 영향으로 정치, 사회, 경제적으로 불안정한 상태를 보였다. 제주도 역시 이상기후가 빈번했다. 경임대기근과 계정대기근 같은 대기근이 발생한 데다 역병까지 유행하여 전쟁보다 더 참혹한 ‘죽음의 섬’ 같은 재앙이 닥치기도 했다.

극한기상·이상기후 발생 사례

극한기상과 이상기후로 인해서 발생하는 기후재해의 유형은 풍해, 수해, 설해, 한해, 냉해, 상해 등으로 구분할 수 있다. <그림 1-7>은 조선시대 제주도의 이상기후로 인한 재해 발생 현황을 유형별, 시기별로 나타낸 것이다.

유형별로 보면 풍해가 전체 107건 중 44건으로 41%를 차지하고 있다. 2위는 수해로 30회의 발생 기록이 있고, 전체 재해 중 28%를 차지하고 있다. 한해는 23회로 전체의 22%를 차지하고 있다. 동해는 10회로 9%의 발생 비율을 보이고 있다. 전체 재해 중에서 풍 수 한해가 91%를 차지하고 있다. 풍해와 수해, 한해, 동해 모두 17세기에 가장 많이 발생했다. 전체 기록 건수 107건 중 43%인 46건이 17세기에 발생했다. 그만큼 17세기는 기후변동이 심했음을 알 수 있다.

특히 동해의 기록 건수가 다른 시기에 비해 많은 것으로 보아 17세기는 다른 시기에 비해 추웠던 시기임을 알 수 있다. 이것은 전 세계를 강타한 소빙기 기후와 관련 있음을 암시한다. 18세기는 23건으로 22%를 차지하고 있다. 16세기는 14건으로 13%,

(건수)

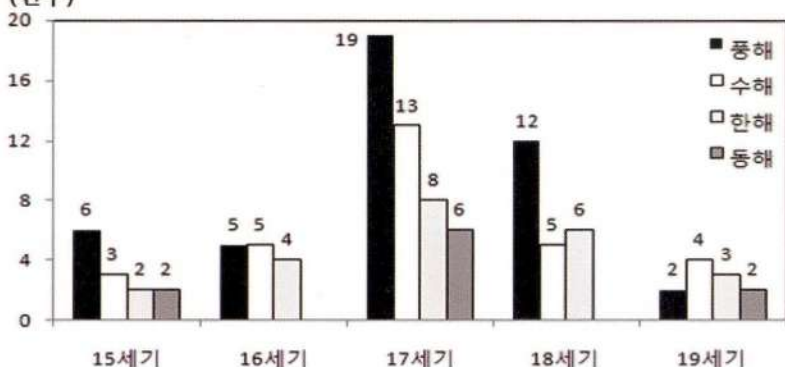


그림 1-7. 유형별 이상기후 현황

출처: 《조선왕조실록》, 《탐라기년》, 《비변사등록》, 《증보문헌비고》 등을 토대로 작성.

15세기는 13건으로 12%를 차지하고 있다. 19세기는 11건으로 가장 적은 10%이다.

제주도에서 지역별로 확인할 수 있는 3대 재해인 풍 수 한해의 발생 건수는 총 142건이다. 지역별 재해 발생 건수가 증가한 것은 제주 대정 정의에서 동시에 발생했으면 3건으로 처리했기 때문이다. 제주도 북부지역인 제주목이 52건으로 가장 많고, 남서부지역인 대정현이 47건, 남동부지역인 정의현이 43건이다. 유형별로 보면 풍해는 제주목이 25건으로 가장 많고, 대정현이 22건, 정의현이 21건이다. 제주목은 한라산 북사면에 위치해 있어 북서풍에 의한 풍해가 많았던 것으로 보인다. 대정현도 풍해가 많았을 것으로 보이지만 기록상으로는 제주목이 가장 많다. 목사의 치소가 제주에 있었기 때문에 치계를 올릴 때 다른 지역에 비해 많이 반영되었던 것으로 보인다.

수해는 제주목이 18건으로 가장 많고, 정의현 14건, 대정현 14건이다. 정의현도 수해가 많았을 것으로 추정되지만, 기록상으로는 제주목이 더 많다. 제주목 관아는 산지천, 병문천, 한천 등이 읍성 안과 주변으로 흐르기 때문에 폭우 시 범람으로 인해 그 피해가 컸던 것으로 보인다. 한해는 대정현이 11건으로 가장 많고, 제주목 9건, 정의현 8건 순이다. 제주도 서부지역에 가뭄 피해가 많이 발생했음을 알 수 있다.

풍해

제주도의 풍해는 주로 태풍과 북서계절풍에 의한 강풍으로 발생했다. 특히 태풍은 단기간에 큰 피해를 입힌 강력한 바람으로 워낙 규모가 크고 강했기 때문에 제주도 어느 지역이든 가리지 않고 큰 피해를 입혔다. 북서계절풍은 태풍보다 풍속은 약하지만 가을부터 봄까지 지속적으로 불었기 때문에 제주도의 자연경관 및 주민 생활에 큰 영향을 미쳤다. 편향수와 해안사구, 독특한 가옥구조와 높은 돌담 등은 제주도의 강풍과 관련이 깊다.

조선시대 제주도에서 발생한 풍해 발생 현황을 <그림 1-7>에서 보면, 15세기에 6건, 16세기에 5건, 17세기에 19건, 18세기에 12건, 19세기에 2건이다. 17세기와 18세기

가 다른 시기에 비해 많이 발생했음을 알 수 있다. 기록된 풍해의 44건 중 24건이 수해를 동반했다. 《조선왕조실록》에 기록된 풍해의 대표적 사례를 보면 다음과 같다.

1514년 제주·대정·정의 등의 고을에 8월 16~17일 풍우가 크게 일었다. 나무뿌리가 뽑히고 기와가 날려서 관사와 창고가 많이 무너졌고, 곡식이 거의 모두 손상되었다. 무너진 민가가 4백 52호이고, 떠내려간 것이 78호이며, 죽은 자도 또한 많았고, 떠내려가고 부서진 배가 82척이었다. 또 정의현 해변 2리쯤 되는 곳은 바다 물결이 넘쳐 들어와 밤새도록 잠겼으므로, 육지로 나와 죽은 크고 작은 물고기가 셀 수 없었다. (《중종실록》 20권, 중종 9년(1514) 9월 27일조)

1865년 제주 목사 양현수가, '7월 21일에 갑자기 동남풍이 크게 일면서 비까지 퍼붓는 바람에 기왓장이 날아가고 돌이 구르고 나무가 부러지고 집이 뽑혔습니다. 좀 오래된 관아 건물은 기울어져 무너지고 남은 민가들은 떠내려갔으며, 곡식도 온통 결판이 나서 온 섬이 그만 허허벌판이 되어 버렸습니다. 동리에는 호곡 소리가 서로 이어지고 들판에는 참혹한 기색만 떠돌아 구제하는 일을 내년 봄까지 기다릴 수 없는 형편입니다. 신이 이곳 수령으로 있으면서 이런 혹심한 재해를 당하여 십수만의 인구가 굶어 죽어 시체가 구렁을 메우는 탄식을 면치 못할 것 같아 황공하여 대죄(待罪)합니다.'라고 아뢰니 대죄하지 말라고 하교했다. (《고종실록》 2권, 고종 2년(1865) 9월 12일조)

두 사례는 태풍이 제주도를 강타한 것이다. 1514년 8월 16일과 17일은 양력으로 환산하면 9월 13일과 14일이다. 1865년 7월 21일은 양력 9월 10일이다. 두 태풍은 가을에 접어들어 내습했다. 1514년의 태풍은 강풍과 폭우를 동반하여 풍수해와 해일 피해가 극심했다. 태풍이 불면 강한 바람으로 파도가 높아진다. 또한 태풍은 강력한 저기압이기 때문에 해수면에 가하는 공기의 압력이 낮아져 해수면이 상승한

다. 태풍이 통과하는 시간과 만조가 겹치면 심각한 해일 피해가 발생한다. 특히 사리 때는 밀물과 썰물의 차가 매우 크고 밀물이 들어오면 해수면이 높게 상승한다. 1514년 8월 16일은 대사리 기간이었으며 해수면 최고조기는 밤 10~11시경이었다. 1514년의 초대형 태풍은 이러한 조건이 절묘하게 결합하면서 극심한 해일을 야기했다. 정의현에서는 해안에서 2리쯤 떨어진 곳까지 해일이 덮친 것이다. 밤새 바닷물에 잠겼다는 것으로 보아 태풍은 최고조기인 밤 10~11시경에 제주도를 통과했던 것으로 보인다. 육지로 나와 죽은 물고기가 셀 수 없이 많았고, 떠내려간 배가 82척이었다니 해일의 규모를 짐작할 수 있다. 수령의 치소인 관아와 무기 곡식 등을 저장하는 창고가 무너졌다. 민가 452호가 무너지고, 78호가 떠내려갔다. 침수로 인해 죽은 자도 많은 것으로 보아 폭풍과 폭우를 동반한 초대형 태풍이었다.

1865년 7월 21일 내습한 태풍도 초가을에 통과하면서 많은 피해를 입혔다. 강풍에 기왓장이 날아가고 돌이 구를 정도였으니 바람의 세기를 짐작할 만하다. 관아와 민가가 허물어지고 결실을 앞두고 있던 곡식들이 결단났으며 들판은 황무지로 변해 버렸다. 제주 목사는 십수만 명이 굶어 죽어 시체가 구렁을 메울 재변이 발생했다고 탄식하고 있다.

열대성 저기압의 하층에서는 공기가 중심부로 수렴된다. 태풍이 통과할 때 동남풍이 강하게 불었다는 것은 제주도 서쪽을 통과하여 북상했음을 암시한다. 같은 날에 영남과 호남에서도 풍우 피해를 입었다는 장계를 양도의 관찰사가 올렸다. 특히 진주, 고성, 통영 등 영남지방의 피해가 극심했다. 이 태풍은 제주도 서쪽으로 북진하여 남해를 통과한 다음, 사천 서쪽으로 육지에 상륙한 것으로 보인다. 태풍의 진행 방향에서 위험반원에 있었던 제주도와 영남지역은 큰 피해를 입었고, 호남지방은 가항반원에 있었기 때문에 피해가 상대적으로 적었던 것 같다.

태풍은 고위도로 올라갈수록 약해지는 경향이 있다. 열대성 저기압을 움직이는 에너지원은 수증기의 잠열(潛熱)이다. 저위도는 대기와 해수온도가 높기 때문에 수증기를 풍부히 공급받을 수 있고, 응결과정에서 잠열이 활발히 방출되어 더욱 세

력을 키운다. 그러나 고위도로 올라갈수록 해수온도가 낮기 때문에 수증기 공급이 원활치 않아 세력이 약해지고 결국 소멸되는 것이다.

제주도 속담에 “여름 태풍보다 가을 태풍이 더 무섭다.”라는 말이 있다. 제주도 연근해의 해수면 온도는 8월 말에서 9월 초가 가장 높다. 이 시기에 통과하는 태풍은 제주도 근해에 와서도 수증기를 계속 공급받을 수 있기 때문에 강한 세력을 유지하거나 더 강해질 수 있다. 또한 이 시기에 북태평양 고기압이 약해지고 대륙고기압이 점차 발달하면서 차가운 공기가 우리나라 주변으로 내려와 태풍과 만나면 더 강력한 폭풍우를 야기할 수 있다. 그렇기 때문에 초가을 태풍이 무서운 것이다. 최근 제주도와 우리나라를 강타한 초대형 태풍인 ‘사라’, ‘루사’, ‘매미’, ‘나리’도 이때 통과했다. 사료에 기록된 규모가 큰 풍해는 대부분 태풍이었고 그 피해가 극심했던 시기는 주로 가을이다. 풍해 발생일자를 확인할 수 있는 7건 중 4건이 9월이고, 2건이 8월이다. 대개 늦여름과 초가을은 바람이 약하지만, 태풍이 내습하면 기상이 돌변하여 강풍이 휘몰아치고, 폭우가 쏟아지면서 풍수해를 야기했다.

또한 해수입자가 바람에 날려 농작물과 식물에 심한 조풍해를 입혔다. 태풍은 단기간에 제주도를 강타하여 삶의 기반을 파괴하는 극심한 재해였고 그에 대응하는데 한계가 있었다.

온대성 저기압이 통과할 때도 폭풍우가 몰아치면서 피해를 입히기도 한다. 동절기에 부는 북서풍은 태풍에 비해 장기간에 걸쳐 불고, 그 강도가 상대적으로 약하기 때문에 어느 정도 대비할 수 있다. 제주도의 방풍림, 돌담, 가옥 등의 방풍 경관은 순간적으로 통과하는 태풍보다 지속적으로 몰아치는 겨울계절풍에 대비했던 측면이 더 강하다. 토네이도처럼 강력한 회오리바람인 용오름(waterspout)에 대한 기록도 2건 있다. 《세종실록》에 5개의 용오름이 연달아 발생했다고 적혀있다. 또한 김석익의 《탐라기년》에 보면, 해상에서 발생한 용오름이 육지로 이동하면서 마을과 식생에 피해를 야기했다는 기록이 있다.

병진년(1440년)에 최해산이 안무사로 왔을 때 치보하기를, “정의현에서 다섯 마리의 용(龍)이 한꺼번에 승천했습니다. 한 마리의 용이 도로 수풀 사이에 떨어져 오랫동안 빙빙 돌다가 뒤에 하늘로 올라갔습니다.”라고 했다.(《세종실록》 88권, 세종 22년(1440) 1월 30일조)

1712년 가을 8월에 두 마리 용이 대정현의 형제섬 앞바다에서 서로 싸워 근처의 인가 66구 및 나무와 모래, 돌들이 빨려 들어갔다.(김석익, 탐라기년), 숙종 38년(1712))

1440년의 용오름은 피해 상황이 기록되지 않아서 정확하게 알 수 없으나, 5개의 용오름이 연달아 육지를 통과한 것으로 보아 피해가 있었을 것이다. 1712년의 용오름은 대정현 형제섬 해상에서 발생했는데 육지로 이동하면서 인가 66가구가 용오름에 빨려 들어가는 피해를 입었다.

수해

제주도는 우리나라의 최다우지로 수해가 많다. 제주도의 강수는 주로 온대성 저기압에 의해 자주 내린다. 장마에 의한 강수는 여름에, 태풍에 의한 강수는 여름과 가을에 많다. 강수량은 계절에 따라 다르지만 남서, 남동기류가 유입될 때는 한라산 남사면이 많고, 북서기류가 유입될 때는 북사면이 많다.

조선시대의 제주도 수해 기록 건수를 <그림 1-7>에서 보면, 총 30건이다. 15세기 3건, 16세기 5건, 17세기 13건, 18세기 5건, 19세기 4건으로 17세기에 발생 빈도가 가장 많다. 수해 발생일자를 확인할 수 있는 기록은 6건이다. 이를 양력으로 환산하여 분석해 보면, 3건은 9월, 2건은 8월, 1건은 7월에 발생했다.

태풍이 통과하면서 수해도 많이 발생하고 있다. 수해 30건 중 24건이 강풍을 동반하고 있다. 폭우가 내릴 때는 강풍을 동반하는 경우가 많음을 알 수 있다. 제주도

에서 발생했던 수해의 대표적인 사례를 보면 다음과 같다.

제주에 큰비가 내려서 물이 제주성에 들어와 관사와 민가가 표몰되고, 화곡(禾穀)의 태반이 침수되었다.(《태종실록》 16권, 태종 8년(1408) 8월 19일조)

윤2월부터 비가 오지 않아 가뭄에 시달리다 5월 그믐께에 와서야 비가 내렸다. 퍼붓는 빗발이 여러 달 개이지 않아 높고 낮은 전답이 침수되지 않은 곳이 없으며 또 풍재가 참혹하다.(《현종실록》 18권, 현종 11년(1670) 8월 1일조)

1886년 가을 7월에 큰비로 평지가 내를 이루고 인가 및 무덤이 떠 흘렀고 남수구 홍예가 무너졌다.(김석익, 탐라기년》, 고종 23년(1886))

1408년의 폭우는 민가와 들판의 곡식뿐만 아니라 제주성 내의 관청까지 침수시킨 것으로 보아 상당한 폭우였음을 알 수 있다. 1670년 5월 그믐에 발생한 수해는 풍재도 참혹했던 것으로 보아 장마가 종료될 시기에 내습한 태풍으로 인해 발생한 것으로 보인다.

5월 30일을 양력으로 환산하면 7월 16일로 이때는 장마가 소강상태로 접어들어 세력이 약해질 때이다. 그러나 늦게 온 장마가 여러 달 계속되었고, 이때 태풍도 겹쳐 그 피해가 컸다. 1886년에는 폭우에 의해 인가뿐만 아니라 무덤까지 떠내려갔으며, 산지천 남수구의 홍예도 무너지는 극심한 피해를 입었다.

한해

제주도는 육지에 비해 해양성 기후 특성이 강하기 때문에 강수량이 많고, 계절에 따라 비가 비교적 골고루 내린다. 그러나 제주도는 기온이 높고, 바람이 많기 때문에 수분의 증발산도 활발하다. 토양은 입자가 큰 화산회토로 이루어져 있어 수분

함양에 불리하다. 또한 기반암에 절리가 발달된 지질구조 때문에 물이 잘 고이지 않는다. 이러한 연유로 제주도는 물이 귀하고, 비가 조금만 안 내려도 쉽게 가뭄이 든다.

가뭄이 발생하면 대기 중 습도가 낮아지고 증발이 촉진된다. 이에 따라 토양 수분이 감소하여 농작물이 시들어 말라 죽어가면서 흉년이 닥친다. 식수 및 생활용수의 부족은 인간 생활에 큰 피해를 야기한다. 가뭄이 장기화되면 한라산 중산간지대의 목마장에서 방목되던 우마가 목이 타서 죽기도 했다. 가뭄이 심해지면 기근으로 이어져 아사자가 속출했다.

제주도의 한해 건수를 <그림 1-7>에서 보면 모두 23건이 기록되어 있다. 15세기 2건, 16세기 4건, 17세기 8건, 18세기 6건, 19세기에 3건으로 17세기와 18세기에 많이 발생했다. 제주도는 흉황과 기근이 빈번하게 발생했으나 그 원인을 기록하지 않은 것이 많다. 그중 가뭄으로 발생한 것도 다수 포함되어 있을 것이다. 가뭄으로 인한 피해 기록을 보면 다음과 같다.

가을로부터 다음 해 여름에 이르기까지 한발로 사람들이 많이 굶어 죽었다. 왕은 안무사를 파견하여 기민을 구휼했다.(김석익, 《탐라기년》 세종 15년(1433))

제주도의 세 고을은 큰 가뭄 때문에 들에는 풀이 돋지 않아 많은 말이 굶어 죽었고 심한 민생고를 겪고 있다. 민생을 염려하여 점마별감을 파견하지 않았다.(《중종실록》 97권, 중종 37년(1542) 3월 7일조)

1433년에 발생한 가뭄은 그해 가을부터 다음 해 여름까지 이어지면서 극심한 피해가 나타났다. 아사자가 속출하자 국가에서는 안무사를 파견하여 구휼하고 위무하며 민심을 안정시키려 노력했다. 중산간 지역에는 국영목마장이 설치되어 있었다. 제주도에서는 해마다 목장의 말을 취합하여 조정에 진상했다. 1542년에 큰 가

몸으로 민생이 어려워지자 조정에서는 목마장의 마필을 점검하기 위해 파견하는 점마별감을 파견하지 않는 등 민생안정을 도모했다.

기후학적 가뭄은 사용 가능한 물로 전환될 강수량이 부족한 현상을 말한다. 가뭄 피해는 다른 재해에 비해 진행속도가 느려 판단하기 어렵다. 또한 진행되다가 다른 재해와 겹치면 가뭄기록에서 제외될 수도 있기 때문에 다른 재해에 비해 기록 누락이 많았을 것으로 보인다.

동해

제주도는 갑자기 몰아닥친 한파와 폭설로 피해를 입기도 했는데, 이를 동해로 분류했다. 조선시대 제주도의 동해 관련 기록 건수를 <그림 1-7>에서 보면 총 10건이다. 15세기에 2건, 17세기에 6건, 19세기에 2건이 있다. 동해는 1600년대부터 1680년대까지 17세기에 집중 분포하고 있다. 17세기는 전 세계적으로 소빙기와 관련된 한랭한 시기여서 제주도에서도 저온현상이 많았던 것으로 보인다. 제주도는 온화한 기후 때문에 다른 재해에 비해 동해 발생 건수가 적은 편이다. 동해와 관련된 사례를 살펴보면 다음과 같다.

제주도에서 기르는 말이 많기가 1만여 필이나 되었다. 이보다 먼저 이 섬에서는 기후가 온난하여 겨울에 쌓인 눈이 없었는데, 이 해에는 추위가 심하여 눈이 5, 6척이나 쌓였으니, 말이 많이 얼어 죽었다. (《세종실록》 14권, 세종 3년(1421) 12월 29일조)

지난 임인년 11월에 큰 눈이 내렸는데, 평지에도 깊이가 2자가 넘어 겨울이 지나도록 녹지 않았고 정월이 되어도 겨울처럼 추워 꿈꿨으니 근고에 없던 일입니다. 과일나무의 가지와 잎은 마른 것 같고 공사 과수원의 청귤은 모두 동해를 입어, 2월에 진상하는 청귤을 간신히 봉진했는데, 말라 맛이 좋지 않으므로 공상(供上)에 합당치 못하니 지극히 황송합니다. (사신은 논한다. 제주에 내린 눈이 겨울이 지나도 녹

지 않았음은 실로 재변인 것이다. 그런데 국가에서는 두려워하고 경계하며 반성한 사람이 있었는가.)(《선조실록》 162권, 선조 36년(1603) 5월 30일조)

지난해 11월 2일에 대풍과 대설이 한꺼번에 사납게 일어 쌓인 눈이 한 장이나 되었다. 산에 올라가 열매를 줬던 자가 미처 집에 돌아오지 못하고 길이 막혀 얼어 죽은 자가 91인이었다.(《현종실록》 19권, 현종 12년(1671) 2월 3일조)

조선시대에 제주도에서 관측된 기상 현황 중 정량적으로 기록된 것은 눈이 유일하다. 사료의 적설량을 보면, 1421년은 5~6척, 1620년은 평지에서 2척, 1670년은 한 장(丈)이라고 기록되어 있다. 전통적인 척관법에 의하면 1척은 약 30.3cm이고, 1장은 10척이다. 오늘날의 적설량은 사방이 개방된 관측노장 적설판에 쌓인 눈의 측정치이다. 적설판의 눈이 녹아버리거나 바람이 불어 날아가 버리면 적설량은 줄어들 수도 있다. 때문에 적설량을 정확하게 관측하는 것은 매우 까다롭다. 오늘날과 유사하게 측정했던 것은 1620년 평지에서 관측된 최심적설량이었던 것 같다. 조선시대 제주도는 적설량을 측정하는 일정한 장소가 없었기 때문에 1421년과 1670년의 적설량은 눈이 많이 쌓였던 곳의 최심적설량을 기록했던 것으로 추정된다. 제주도는 바람이 강하기 때문에 눈이 내릴 때 대부분 소복소복 내리지 않고 휘몰아치듯이 내린다. 개방된 장소는 강한 바람에 눈이 이동해 버려 쌓인 양이 상대적으로 적지만, 바람에 불려 일정한 곳에 쌓이면 상당한 양이 될 수 있다.

《세종실록》에 기록된 1421년의 적설량은 5~6척이나 되었다. 이 정도의 적설량이면 약 150~180cm 정도의 눈이 쌓였다는 것인데, 대단한 적설량이다. 그로 인해 많은 인명피해가 발생했을 것으로 추정되지만, 그에 대한 기록은 없고 말이 얼어 죽은 것에 대한 기록만 남아 있다. 당시 조정과 수령들은 말 공급지로서 제주도에 대한 관심이 많았음을 알 수 있다.

《선조실록》의 1603년 기록을 보면, 임인년(1602)에 내린 눈은 약 60cm 정도였다.

적설량도 많았지만, 1602년 11월에 내린 눈은 겨울이 지나 새해가 될 때까지 녹지 않았다. 제주도는 온화한 지역이기 때문에 눈이 그치고 2~3일만 지나면 녹아버리는데 한겨울에 내렸던 눈이 녹지 않았다는 것은 ‘근고에 없는 재변’이라 했다. 1602년 11월부터 1603년 정월까지 극심한 저온현상이 전개되었음을 알 수 있다. 그로 인해 제주인들은 한파와 폭설 피해를 입었을 것으로 보이지만 그에 대한 기록은 없다. 제주 목사는 동해 입은 감귤을 진상하게 된 이유만을 보고하고 있다.

당시 수령들은 중앙의 하수인으로 특산물 공급지 관리에 치중했음을 알 수 있다. 심각한 재변이 발생하면 왕과 신하들은 마음을 가다듬고 근신하는 수성(修省)을 했다. 기록자인 사관도 제주도에서 큰 재변이 일어났음에도 국가에서 수성하는 사람이 없음을 비판하고 있다. 이때 내린 눈은 1601년 페루의 화냐푸티냐(Huaynaputina) 화산 폭발로 인해 전 세계에 영향을 미친 이상저온 현상과 관련이 있는 것으로 보인다.

현종 12년(1671) 2월 3일에 기록된 동해는 전해인 1670년 11월 2일에 발생한 것이다. 이를 양력으로 환산하면 12월 13일로 동지(冬至)보다 이른 때이다. 제주도는 절기상 대한(大寒) 무렵이 가장 춥고 눈도 많이 온다.

그런데 1670년 12월 13일의 눈은 때 이른 폭설에 해당한다. 대기근으로 산에 열매를 구하러 갔던 제주인들이 갑자기 내린 폭설에 고립되면서 91명이나 얼어 죽는 참변이 발생했다. 적설량이 한 장(丈)이면 성인의 평균 신장보다 더 되는 대단한 폭설이다. 제주도의 눈은 대부분 습설이기 때문에 무겁다. 한 장이나 되는 눈이 지붕 위에 쌓이면 그 무게는 상당하다.

17세기에 전 지구적으로 한랭한 소빙기 기후가 전개될 때 제주도에서도 이상저온 현상이 극심했음을 보여 주고 있다.

역병과 병충해

여러 질병들 중에서 역병은 사회에 미치는 영향이 심대하고 그 사회의 특징적인 모습을 보여 주기 때문에 관심을 많이 끌고 있다. 중세 유럽에서는 흑사병이 유행했

고, 산업 혁명기에는 결핵이 맹위를 떨쳤다. 오늘날은 조류독감이나 사스, 코로나 19 같은 바이러스가 공포의 전염병으로 등장하여 인류의 생존을 위협하고 있다.

우리나라에서도 역병이 끊이지 않아 고서에 많이 등장하고 있다. 제주도에서 발생한 역병들은 발병 시기가 정확히 기록되지 않아 어느 계절에 유행했는지 정확히 알 수 없다. 권복규(2000)의 조선 전기의 역병에 대한 연구에 의하면 춘궁기인 봄철이 많고 수확기인 가을로 가면서 점차 줄어드는 경향이 있다고 했다. 대규모의 역병은 이상기후가 닥친 후 많이 발생했는데, 이는 기근과 역병은 떨어질 수 없는 관계임을 시사하고 있다.

《조선왕조실록》등에 기록된 제주도의 역병은 총 23건이다. 시기적으로 보면, 19세기가 8건으로 가장 많고, 18세기 6건, 17세기 5건, 16세기 3건, 15세기 1건이다. 조선 초기에서 후기로 갈수록 증가하는 추세를 보이고 있다. 우역이 발생하여 소들이 떼죽음을 당하는 경우도 있었다. 제주도에서 발병했던 역병에 대한 주요 기록을 보면 다음과 같다.

여역이 크게 번져 5천여 명이 죽었는데, 제주 목사가 약이 모자라다고 장계하니 왕은 의사(醫司)에 명하여 상당한 약물을 더 보내라고 명했다.(《숙종실록》 55권, 숙종 40년(1714) 8월 16일조)

조선시대에는 전염병을 비롯한 각종 질병이 발생할 경우 도성의 백성들은 주로 해민서와 활인서를 찾았다. 제주도의 경우는 의료시설이 빈약했기 때문에 발병해도 제대로 치료받지 못했다. 지방관들이 관아에 보관해 두었던 약재를 풀어 보급하거나, 부족하면 조정에서 약재를 지원해 주기도 했지만 백성들은 충분한 치료를 받기 힘들었다.

오늘날의 구제역처럼 가축의 전염병도 발생했다. 우역이 대표적인데 그 사례를 보면 다음과 같다.

제주에 우역이 크게 유행하여 소가 수만 두나 죽었다.(《숙종실록》 14권, 숙종 9년(1683) 8월 10일조)

병충해 발생에 대한 기록은 6건이 있다. 병충해는 해충으로 인한 농작물의 피해로 오늘날에는 각종 농약이 있어 이를 방제하지만, 조선시대에는 이를 구제할 수 있는 수단이 별로 없었다. 병충해가 발생하면 생산량이 급감할 뿐만 아니라 생산을 포기해야 하는 경우도 발생했다. 병충해에 관한 대표적인 사례를 보면 다음과 같다.

제주 삼읍은 풍재와 수재를 입어 화곡이 흉작인 데다 충재까지 심하게 겹쳤으므로 초근목피마저 남김없이 먹어치워 겨울 이전에 반드시 구황하지 않으면 백성이 살아 남기 어려울 것이고, 국둔·사둔의 마소까지도 죄다 굶어 죽을 것이다.(《선조실록》 164권, 선조 36년(1603) 11월 8일조)

풍재와 수재에다 충재까지 겹쳐 백성들이 먹을 것이 고갈되어 버렸다. 메뚜기들이 초근목피까지 다 갉아먹어 버려 백성들이 먹을 것이 없다는 것이다. 국가와 개인이 사육하는 우마까지도 다 굶어 죽을 지경이라고 하니 충재의 심각성을 알 수 있다.

3. 극한기상과 이상기후에 관련된 지역문화

제주도는 극한기상과 이상기후가 빈번하게 발생하고 그로 인해 많은 피해를 입었다. 그만큼 농업 등 생업 활동에 불리한 기후환경이었다. 김석익의 《탐라기년》에 보면 재해가 빈번한 지역임을 잘 표현하고 있다.

여름에 조정에서 제주도의 세(稅)를 정할 때 총대신이 경연에서 아뢰기를 ‘이 섬의 지세는 산이 높아 풍재가 많고, 곡이 깊어 수재가 많으며, 토지가 척박하여 한재가 많습니다. 삼재가 병침(并侵)하여 해마다 반드시 흉년이 많으니 만약에 납세를 책하면 백성이 살 수 없습니다.’라고 했다.(김석익, 《탐라기년》 세종 10년(1428))

총대신은 세종에게 경연하는 자리에서 제주도는 풍재, 수재, 한재가 많은 섬이라고 말하고 있다. 삼재로 해마다 흉년이 끊이지 않는 곳이므로 나라에서 제주인들에게 세금을 부과하면 살아가기 힘든 땅이라는 것이다. 강풍과 폭우가 빈번하고 가뭄이 자주 발생하여 농사짓기에 불리한 기후환경임을 잘 인식하고 있다.

농업은 다양한 자연적 요인에 영향을 받지만, 1차적으로 기후 요인이 중요하다. 기후는 농작물의 생장과 풍흉, 농민들의 농업 활동에 많은 영향을 미친다. 제주도 농민들은 이상기후에 적절히 대응하면서 농업 활동을 전개했다. 강풍에 대응한 대표적인 농법은 방풍림 조성과 돌담 축조를 들 수 있다. 가뭄에 대응한 대표적인 농법은 답전농법과 복토농법을 들 수 있다.

폭우에 대비한 농법은 시둑 축조와 가로발갈기, 배수시설 설치 등을 들 수 있다. 빠른 지력 회복을 위해서 바령농법이 행해졌고, 돛거름 듬북 등을 거름으로 사용했다.

강풍 대응 문화

바람은 농작물의 생장과 결실에 중요한 영향을 미친다. 바람이 강하면 농작물에 낙엽, 낙화, 낙과가 발생하고, 심한 경우에는 가지와 줄기가 꺾어지거나 쓰러지는 피해를 입는다. 제주도는 바람이 강한 지역으로 풍해가 다른 재해에 비해 많이 발생했다. 풍해에 대응하여 제주도에서 이루어졌던 대표적인 방풍농법은 방풍림 조성 and 돌담 축조이다.

제주도는 바다로 둘러싸여 있어서 강풍이 불 때 거센 파랑이 일면서 해수입자가 바람에 운반되어 농작물을 고사시키는 조풍해를 입히기도 했다. 김상헌의 《남사록》에는 제주도의 강한 바람에 대응한 방풍 경관에 대해 다음과 같이 기록되어 있다.

밭이라고 하는 것들은 반드시 돌을 가지고 돌렸으며 인가는 모두 돌을 쌓아서 높은 담을 만들고 문을 만들었다. 과원 하나는 성안의 남쪽에 있고, 하나는 성안의 북쪽에 있다. 밖으로는 돌을 쌓아 담장을 하고 대나무를 심어서 풍재를 막고 있다.

현재의 돌담 경관은 조선시대에 이미 조성되었음을 알 수 있다. 밭에 돌담을 설치했고, 인가에도 높게 울담을 쌓았다. 제주인들은 바람 피해를 줄이기 위해 밭에 돌담을 축조했고, 방풍수로 대나무, 동백나무 등을 심었다.

해양에서 불어오는 강한 바람과 조풍해를 방지하기 위해 해안가에도 방풍림을 조성했다. 또한 농경지, 민가 주위에 동백나무, 후박나무, 참식나무, 대나무 등으로 방풍림을 조성하여 풍해에 대비했다. 서귀포시 남원읍 위미리에는 조선시대 방풍 경관이 잘 남아 있다. 조선 후기에 위미리의 한 주민은 주변보다 약간 높은 구릉지인 속칭 ‘벼독’의 황무지를 사들인 후 개간했다. 밭 주인은 풍해를 막기 위해 밭담 안쪽 경계를 따라 동백나무를 심었다. 이곳의 동백나무 방풍림은 지금도 그 경관이 잘 보존되어 있어, 제주도기념물 제39호로 지정되어 보호받고 있다.

돌담은 제주도의 민가나 농경지, 해안가 등 어디서나 쉽게 볼 수 있는 대표적인 농업경관이다. 돌담도 강한 바람을 막는 방풍 역할을 했다. 제주도는 돌담이 끊임없이 이어져 밭과 집, 도로와 올레, 해안가와 산록지대를 연결하는 선의 파노라마를 연출하고 있다. 돌담은 위치에 따라 밭담, 집담, 축담, 올레담, 잣담, 산담, 성담 등 여러 종류가 있다. 쌓은 모양에 따라 외담, 접담, 잣백담, 잡굽담 등이 있다. 중국의 만리장성인 황룡만리(黃龍萬里)에 빗대어 제주도의 끝없이 연결되는 돌담을 흑룡만리(黑龍萬里)라 부르기도 한다(송성대, 2001). 김정의 《제주풍토록》에는 돌담의 방풍 기능이 잘 나타나 있다.

집 주위가 돌담으로 에워싸여 있고 그 높이가 열 자 남짓 되며, 사슴뿔과 같은 나무를 엮어 세워놓고 출입을 못 하도록 시설했다. 돌담이 높고 좁은 것은 제주의 토속으로 강풍과 몰아치는 눈을 막고 있다.

그림 1-8. 방풍림(서귀포시 남원, 2020년 9월)



돌담은 제주도의 오래된 풍속으로 집집마다, 밭마다 축조되어 있다. 제주인들은 집 둘레에 돌담을 높게 쌓아서 집으로 불어오는 강풍과 휘몰아치는 눈보라를 막았다. 제주도는 바람이 강하고 눈이 많이 오는 지역임을 감안할 때 이에 대응했던 주민들의 지혜를 잘 알 수 있다.

제주도는 사면이 바다로 둘러싸인 섬이기 때문에 바람은 별다른 방해를 받지 않고 광활한 대양을 통과하여 불어온다. 바람은 해양을 통과하는 과정에서 풍속이 가속되어 해안지역에 도달하면 더욱 강해진다. 제주도 해안에 도달한 강풍은 지표층의 거칠기 효과로 맨돌이 운동에 의하여 풍속과 풍향이 무작위로 변하는 난류로 변한다. 바람은 해안에서 내륙 쪽으로 이동하는 과정에서 지표면의 영향을 받아 풍속이 감속된다. 밭에 축조된 발담은 이러한 난류의 풍속을 경감시키는 좋은 시설이다. 발담은 바람이 강한 해안가로 갈수록 높게 축조되어 있고, 멀어질수록 낮게 축조되어 있다. 또한 해안선에 평행하게 축조된 돌담은 내륙 쪽으로 뺀 발담에 비해 더 높게 쌓아서 바다에서 불어오는 강풍과 조풍해에 대응했다.



그림 1-9. 발담(제주시 구좌, 2020년 9월)

밭담은 보통 외줄로 축조했지만 쉽게 무너지지 않는다. 돌과 돌 사이에 구멍이 숭숭 뚫려 있어 약하게 보인다. 그러나 이것은 돌덩이 사이를 치밀하게 막지 않고 일부러 구멍을 둔 것이다. 강풍 시 바람이 돌 틈으로 빠져나가 풍압을 덜 받게 함으로써 쉽게 무너지지 않게 했다. 밭담의 전면과 후면 사이에 풍압차를 줄임으로써 밭담이 안정감 있게 유지되도록 했다(송성대, 2001). 제주도 돌담은 모진 바람과 척박한 자연 환경을 이겨낸 제주도 선인들의 삶의 지혜가 고스란히 담겨 있는 문화유산이다.

조선시대의 제주도 관련 사료에는 풍향에 따른 바람의 명칭을 기록으로 남긴 것이 없다. 그러나 제주인들은 조선시대에 사용했던 바람 명칭을 지금도 사용하고 있다. 제주시 지역에서 풍향에 따른 바람의 명칭은 <그림 1-10>과 같다.

제주도 내에서도 바람의 명칭은 지역에 따라 약간의 차이가 있다. 북쪽에서 불어오는 바람을 ‘하늬바람’이라 했고, 북두칠성과 북극성을 좌표 삼아 판별했다. 대

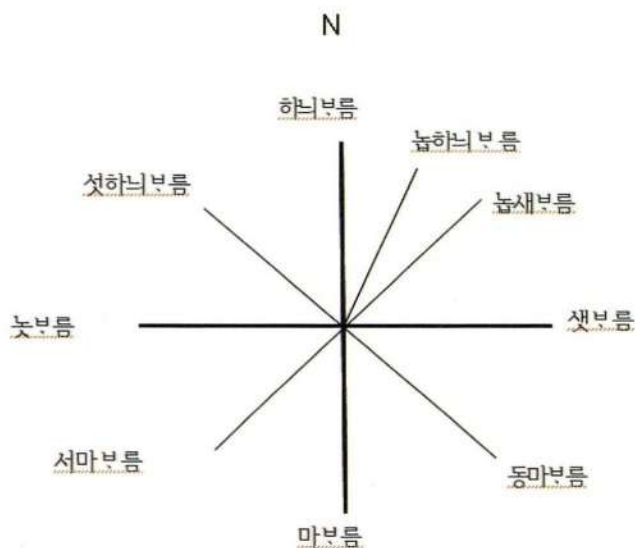


그림 1-10. 전통적인 바람 명칭 (출처: 현지 조사 후 필자 작성)

정 지역에서는 북풍을 ‘하늬브름’이라 했지만 일부에서는 ‘고든하늬브름[곧은하늬브름]’이라고도 했다. 하늬브름은 북풍과 북서풍 사이에 부는 바람으로 구별하기도 했다. 우도(牛島)에서는 북풍을 ‘늬브름’이라 불렀다. 서귀포 북쪽인 한라산 방향에서 불어온다고 하여 ‘상산브름’이라고도 했다.

북동풍은 보통 ‘늬새브름’이라 했는데, ‘동하늬브름’이라고도 했다. 제주시 지역에서는 ‘늬하늬브름’이라고도 했는데, 이것은 ‘늬새브름’과 비슷한 풍향이나 늬새바람보다 약간 하늬바람으로 치우쳐 불어오는 바람이다.

동풍은 ‘셋브름’이고 동남풍은 ‘동마브름’이라고 했으며 ‘동마브름’과 ‘셋브름’ 사이로 부는 바람을 제주도 동부지역에서는 ‘을진풍(乙辰風)’이라고도 했다. 24방위에서 을진은 동남쪽을 의미한다. 남풍은 ‘마브름’이라 했으며, 남서풍을 ‘서마브름’, ‘서갈브름’, ‘늬하늬’, ‘골마브름’ 등으로 불렀다. 서풍을 ‘갈브름’, ‘늬브름’이라 했으며, 우도에서는 ‘하늬브름’이 서풍이다. 북서풍을 ‘첫하늬브름’, ‘갈하늬브름’, ‘늬하늬브름’ 등으로 부르기도 했다. 북서풍을 애월읍 지역에서는 ‘도지’라고도 했지만, 일반적으로 ‘도지’는 갑자기 폭우와 함께 몰아치는 바람을 일컬었다. 제주인들은 ‘하늬바람’보다 돌풍인 ‘도지’바람을 더 두려워했다. 도지바람 부는 것을 ‘도지 올린다.’라고 했는데, 12월에서 3월까지 간헐적으로 불었다.

북서계절풍은 한겨울에 한파와 강풍을 가져왔지만 봄이 되면 세력이 급속히 약화되었다. 청명이 지나면 시베리아 고기압은 그 세력이 미약해져 제주도에 큰 영향을 미치지 못하므로 바람이 약해져 어로 작업하기에 알맞은 날씨가 되었다. 여름과 초가을에는 태풍이 내습하여 풍수해를 입혔다. 제주도에서는 태풍을 ‘늬브름’ 혹은 ‘노대브름’이라고 불렀다.

제주도에서는 한라산을 예로부터 ‘진산(鎭山)’이라고도 했다. 남양에서 올라오는 늬름을 약화시키거나 진로를 바뀌게 하여 호남의 곡창지대나 남해안 지역을 보호한다는 의미가 내포되어 있다.

제주도에는 “6월에 태풍 오면 그 해에는 여섯 번 온다.”라는 속담이 있다. 첫 태풍

이 일찍 내습하면 그만큼 태풍이 발달할 수 있는 기상조건이 북서태평양과 제주도 주변에 일찍 만들어지기 때문에 많이 통과한다는 것이다. 이를 통해 제주인들은 태풍에 대한 관심과 이해가 높았음을 알 수 있다.

제주도에는 ‘늑[노]룩’이라는 국지풍이 있다. 이 바람은 ‘한라산 정상에서 저지대로 흐르는 차가운 공기’를 지칭하는 것으로 가을에서 봄까지 발달한다. 늑룩은 새벽에 한라산 쪽에서 해안 저지대로 불어오는 일종의 산풍이기 때문에 풍속이 강한 바람이라기보다는 기온이 낮고 차가운 바람이다. 한라산 남 북사면은 동 서사면에 비해 룩이 많이 발생하고 강도가 강하다. 한라산 남사면은 겨울에도 늑룩이 자주 발생하지만 북사면 지역은 겨울에 북서계열의 계절풍 때문에 룩이 발생하는 경우가 적고, 봄이나 가을에 발달하는 경우가 많다. 남사면의 서귀포 지역은 중문이나 남원 등 인근 지역보다 한라산정에서 가깝기 때문에 늑룩의 강도가 강하다. 특히 서귀포시 호근동의 하논은 늑룩이 심하다. 한라산 남사면의 급사면을 타고 강하한 늑룩이 하논 화구원에 갇히면 냉기호가 형성되어 냉기류가 빠져나가기 힘들기 때문이다. 하논은 주변 지역에 비해 서리가 자주 발생하며, 서릿발도 타 지역에 비해 잘 발달한다. 감귤 재배에도 영향을 미쳐 주변 지역에 비해 봄순 발아 및 개화 시기가 일주일 정도 늦다고 한다.

늑룩은 내려오는 길이 있다. 늑룩은 냉기류이기 때문에 공기가 무거워져 아래로 가라앉는다. 축적된 냉기류가 한라산 산정 일대에서 해안 저지대로 강하할 때 늑룩 길을 따라 내려온다. 늑룩이 내려오는 길은 주변보다 낮은 저지대가 연속되는 곳으로 이 일대는 기온이 차고 서리도 잘 끼며 서릿발이 주변에 비해 발달한다. ‘늑룩’이 발달하는 날은 이동성 고기압의 영향으로 대기가 안정되고 고요하기 때문에 바람이 약하다. 그래서 ‘아침 늑룩 썰민 날씨 좋다(아침에 룩이 강하면 날씨 좋다).’라는 속담이 전해진다. ‘늑룩’이 부는 아침에는 몹시 춥지만 낮에는 날씨가 맑고 화창하여 겉옷을 얇게 입어도 될 정도로 일교차가 컸다. ‘늑룩’이 불면 어부들은 날씨가 좋아 질 것을 예감하며 안심하고 출항했다.

폭우 대응 문화

제주도는 우리나라에서 최다우지를 이루고 있다. 집중호우로 인해 농경지가 침수되고 토양이 유실되는 등 폭우 피해가 빈번했다. 제주도는 순상화산체여서 섬 중앙의 한라산에서 해안지역으로 갈수록 고도가 완만하게 낮아진다.

폭우 시 경사 방향을 따라 흐르는 유수는 토양을 활발하게 침식시킨다. 토양층은 지표에 존재하는 생물들의 근본적인 토대이다. 토양이 있어야 생명체들이 활발하게 활동할 수 있다. 또한 토양은 인간의 생활에 필요한 식량과 생활필수품을 제공해 주는 중요한 자연적 요소이다. 토양은 암석이 풍화와 함께 생물의 작용을 받아 흙으로 변한 것으로 1cm가 만들어지는 데 약 200년 정도의 세월이 필요하다. 제주도 지표의 대부분은 신생대 제4기 플라이스토세에 만들어졌기 때문에 토양층이 얇을 수밖에 없다.

폭우로 인한 표토의 침식은 농경에 치명적이고, 경지가 황폐화되어 버린다. 이에 대응하여 제주인들은 경사진 농경지에 ‘두둑’을 축조하여 토양을 보호했다. 두둑은 계단식 경작의 하나로 경지 내에 등고선 방향으로 흙이나 돌로 둑을 쌓고 농경지의 흙이 씻겨 내려가지 않도록 하는 농법이다. 두둑을 축조하면 유속의 감소로 토양의 침식을 줄일 수 있다. 경사가 급할수록 두둑의 간격은 좁고, 완만할수록 넓다.

경작지 간 경계에 쌓은 발담도 표토를 보호하는 좋은 시설이다. 발담을 경계로 경작지 간에 약간의 고도 차이가 있는 경우가 많다. 상부의 발담은 위로부터 내려오는 유수의 유속을 감소시켜 주고, 하부의 발담은 유수에 의해 아래로 휩쓸려가는 흙들을 저지하여 토양 침식을 예방했다.

경사진 밭을 갈 때는 등고선 방향을 따라 가로로 밭을 갈았다. 경사 방향으로 밭을 갈면 고랑이 수로 역할을 하며 물살이 빨라져 토양 침식을 가속화시킬 수 있다. ‘가로밭갈기’는 유수의 속도를 감소시키고 토양의 유실도 막아 농경지를 보호하는데 기여했다. 경사 방향으로 밭을 갈면 ‘경 밭갈았당 비왕 끄서불민 어멍허젠 험서.’

라며 동네 사람들로부터 핀잔을 듣기도 했다. ‘경사진 방향으로 밭을 갈았다가 빗물에 흙이 휩쓸려버리면 어떻게 하려고 그러느냐.’라는 충고가 담겨 있는 말이다.

제주도는 한라산 방향에서 해안가로 경사가 이어져 유수가 바다로 잘 흘러간다. 제주의 토양은 화산회토여서 물 빠짐이 양호하다. 그러나 저지대의 일부 농경지는 집중호우로 침수가 장시간 지속될 경우 작물이 죽어버리거나 생육이 불량해질 수 있다. 침수 피해가 자주 발생하는 곳에서는 배수로를 파서 물이 쉽게 빠지도록 했다. 그 대표적인 곳이 서귀포시 호근동에 있는 ‘하논’이다. 하논은 큰비가 오면 상습적으로 침수되는 지역으로 토지 이용은 배수 위주로 이루어졌다. 이 지역은 물이 풍부하여 예로부터 벼농사로 유명했다. 하논은 <그림 1-11>에서 보는 것처럼 여러 고지도에 ‘대답(大畓)’이라 표기되어 있다. 하논은 가뭄이 들어야 풍년이 든다고 할 정도로 사시사철 용수가 풍부하다.



그림 1-11. 고지도 속의 하논
출처: 정의군지도, 1872

가뭄 대응 문화

조선시대의 기후재해 중 한해는 풍해, 수해와 더불어 삼재를 구성하고 있다. 한해에 대응했던 제주도의 대표적인 전통농법은 밭볼림[답전(踏田)]농법이다. 밭볼림은 씨앗을 파종한 뒤 우마 등을 이용하여 땅을 단단히 진압(鎮壓)하는 농법이다. 제주도는 강수량이 많지만 기온이 높아 증발이 활발하다.

화산회토라 토양의 공극률이 높기 때문에 증발도 잘 되어 표토의 수분 함양에 불리하다. 그러므로 쉽게 가뭄이 들고, 농작물 파종 및 생육에 지장을 초래했다. 태종 11년(1411) 제주 목사(牧使)는 밭볼림에 대해 조정에 보고했다.

곡식을 파종하는 자가 반드시 말과 소를 모아 그 땅을 밟아서 땅이 단단해진 뒤에 종자를 뿌리니, 공사(公私)의 소와 말이 이 때문에 피곤하고 피폐해지고 있습니다. 관가에서 이를 금하는 법령이 있으나, 몰래 목자와 짜고서 말을 병들게 합니다.(《태종실록》 22권, 태종 11년(1411) 7월 27일조)

이 기록을 통해 알 수 있듯이 밭볼림은 조선 초기 이전부터 전해 내려오는 제주도의 전통적인 농법이다. 제주도 농민들은 밭볼림에 필요한 민가의 마소가 부족할 때 목마장에서 방목 중인 말과 소를 몰래 빼내어 밭볼림 작업을 하기도 했다. 밭볼림 농법으로 우마가 피폐해져 진상품 생산과 질 관리에 차질을 빚게 되자 조정에서는 이를 금하는 법령까지 만들었다. 밥이 법인 제주 백성들로서는 밭볼림을 하지 않으면 농사를 그르치기 때문에 법령을 어기며 조상 대대로 전수된 농법을 수행했다. 국영목장에서 목자역(牧子役)을 수행하는 제주인들조차 이를 묵인했음을 알 수 있다. 당시 조정은 제주인들의 농사일보다 최고 특산품인 마소 획득이 더 중요했다. 중앙에서 파견된 제주 목사는 조정의 요구를 반영하여 관리자 역할을 적극 수행하고 있다. 고려시대에 반자치적 성격이 강했던 탐라가 조선 초 중앙집권적 지방조직으

로 정비되면서 겪었던 제주인들의 고충을 짐작게 한다.

이형상의 《남환박물》을 보면 밭볼림 농법에 대해 자세히 기술하고 있다.

토성이 바람에 잘 훑날리고 건조하기 때문에 경작하려면 반드시 우마로 밟아주어야 한다. 밟아주지 않으면 파종하지 못하고, 거름을 하지 않으면 이삭이 나오지 않는다. 우마를 밭에 풀어 놓고 달리게 하여 밭을 짓밟는다. 이것을 답전(踏田)이라 한다.

밭볼림은 조와 산디(밭벼), 피 등을 파종한 날에 했다. 조와 피의 종자는 가벼워 바람에 쉽게 훑날리고, 비가 오면 잘 휩쓸리며, 새나 짐승의 먹이가 될 수 있기 때문이다. 밭볼림을 하면 씨앗이 땅속에 묻혀서 가물어도 밭아에 유리하고, 썩든 다음에 뿌리를 땅속에 단단히 내릴 수 있다.

제주도의 화산회토는 토성이 부석부석하고 입자가 크기 때문에 육지의 토양에 비해 수분 증발이 왕성하다. 밭볼림을 하면 토양에 응집력이 생겨 땅이 단단해지면서 수분 증발이 억제된다. 토양 입자 간 공극이 좁아지면서 모세관 현상을 증진시켜 가물을 극복하는 데도 유리했다.

밭볼림의 주목적은 가물에 대응하기 위한 것이지만, 강풍에 대비하는 데도 도움이 되었다. 파종 후 경지를 단단히 밟아주지 않으면 씨앗이 바람에 훑날릴 수 있다. 씨앗이 밟아하여 성장하는 동안 줄기가 바람에 흔들려서 곧게 자라지 못하고 뿌리가 약해진다. 제주도의 토양은 쉽게 건조해져 강풍에 잘 날릴 수 있다. 밭볼림은 이러한 풍해에도 대응했던 농법인 것이다.

밭볼림은 수십 필의 말떼를 밭 안에 몰아놓고, 농부가 뒤에서 말을 몰며 구석구석 밟도록 했다. 밭볼림 작업은 2~3명의 테우리[목자]들이 팀을 이루어 직업적으로 하기도 했고, 농부들끼리 서로 품앗이하기도 했다. 여러 사람이 밭볼림에 동원될 경우 한 사람은 대장 격인 말을 이끌고, 다른 사람들은 뒤와 옆에서 다른 말들이 대오를 이탈하지 않도록 했다.

진압작업을 할 때는 <밭 불리는 소리> 등 노동요를 부르면서 흥을 돋우었다. 대장격의 말을 밟기 원하는 곳으로 유도하면서 선창자가 선소리를 하면 보조자들은 말 떼의 뒤 혹은 앞에서 말을 몰면서 뒷소리를 받는 형식으로 불렀다. 한두 마리의 마소밖에 없는 농부는 고삐를 길게 하여 사람을 중심으로 빙빙 돌게 했다. 차츰차츰 고삐를 조이며 반경을 줄여나가면서 골고루 밟도록 했다.

소나 말이 부족할 경우 진압 능률을 높이기 위해 ‘남테’를 사용했다. 남테는 둥근 나무토막에 굵은 나뭇가지를 돌아가며 박아 붙여서 만든, 소나 말의 힘을 이용하여 굴러 밟을 진압했던 농기구이다. 남테와 비슷한 형태를 돌로 제작한 것을 ‘돌테’라고 하며 이를 이용하여 롤러처럼 굴러 경지를 단단하게 진압했다.

밭볼림 작업에는 복토[覆土: 흙덮기] 작업도 함께 행해지기도 했다. 복토농법은 밭벼, 조, 메밀, 참깨 등의 씨앗을 파종한 후 ‘섬피’라는 농기구를 끌고 다니며 씨앗



그림 1-12. 남테(제주민속촌, 2020년 9월 촬영)

이 흙 속에 잘 묻히게 하는 것이다. 섬피는 쥐똥나무, 느릅나무, 보리수나무, 소나무 등 길쭉한 나뭇가지를 부채 모양으로 엮은 농기구이다.

섬피질을 하여 복토하면 씨앗이 흙 속에 잘 묻혀 가뭄을 덜 타고 바람에 흩날리거나 빗물에 휩쓸리는 것을 막을 수 있으며 새의 먹이가 되는 것을 방지할 수 있다. 씨앗의 발아를 돕고 작물의 건실한 생장에 도움을 주기도 했다. 섬피작업 하기 전에 밭갈이를 먼저 했다. 밭에 물기가 많을 경우 ‘병에(흙덩어리)’가 많이 생겨서 이를 잘게 부수어줘야 씨앗의 파종과 복토 작업이 수월하다. 흙덩어리에 물기가 빠지면 병에 작업을 했는데, 이를 잘게 부술 때는 대형 망치처럼 생긴 ‘곰베’라는 농기구를 이용했다. 곰베는 가시나무나 느티나무 등 단단한 경목으로 만들었다. 원통형, 사각형 등이 있고 작업 용도에 따라 다양하다.

지력 회복 농법

제주도는 화산회토로 이루어진 섬인 데다 돌이 많아 토양층이 얇다. 또한 다우지라 토양에 함유된 유기질의 과다한 용탈로 지력 소모가 심하다. 지력을 빠르게 회복시키기 위해 정기적으로 휴경하는 농법이 행해졌으며, 이를 ‘쉬돌림’이라고 했다. 김성구의 《남천록》에는 쉬돌림 농법에 대해 다음과 같이 기록하고 있다.

제주도는 2, 3년을 연작하면 곡식이 여물지 않고, 또 새로운 밭을 개간하면 수년을 쉬게 한 후에 경작하여야 한다.

2, 3년 연작을 하면 지력 소모로 농사가 불리했다. 이를 극복하기 위하여 정기적인 휴경이 행해졌음을 알 수 있다. 제주도에는 “땅을 못 존디게 허민 농시 그르친다(땅을 못 건디게 하면 농사가 안 된다).”라는 속담이 있다. 매년 쉬지 않고 연작하면 땅의 기운이 빠져버려 곡식이 잘 여물지 못한다는 뜻이다. 몇 년에 한 번은 농지를 휴경

해야 지력이 회복되어 농사가 잘된다는 것이다.

또한 ‘암쇄광 밧은 놀리민 놀린 깎 싯나(암소와 밧은 쉬게 하면 싯 값을 한다).’란 속담이 있다. 암소는 매해 새끼를 낳다 보면 허약해져서 좋은 새끼를 낳지 못한다. 밧도 마찬가지로 해마다 농사를 지으면 땅이 척박해져서 곡식이 잘되지 않는다. 제주도의 경지는 휴경기를 두지 않으면 생산성이 떨어지므로 욕심을 부려 해마다 농사지으면 오히려 손해라는 것이다. 땅이 휴식을 취하면 그 값을 한다는 것으로 쉬돌림 농법의 중요성을 잘 표현하고 있다. 성종 24년(1493) 기록에 다음과 같은 내용이 있다.

한번 농사지는 다음에는 반드시 5년, 6년, 7년을 묵혀서 땅을 쉬게 하여야 경작해 먹을 수 있습니다.(《성종실록 281권, 성종 24년(1493) 8월 5일조)

한번 경작 후 5~7년간 장기휴경을 하고 있음을 알 수 있다. 제주도의 땅은 척박했기 때문에 그만큼 휴경이 중요했다. 조선시대의 쉬돌림 방식에 관한 구체적인 기록이 없기 때문에 일제 강점기의 토지이용 조사 자료를 기초로 휴경의 형태를 추정해 볼 수 있다. 제주도청(濟州島廳, 1939)의 조사에 의하면 해안지대는 토지 이용도가 가장 높은 집약적 농업 지역으로 3년에 1~2회 정도 휴경하고 있다. 제주도는 1년에 2작이 가능하기 때문에, 3년에 4~5작이 이루어지고 있다. 매년 연작이 가능한 우등전(優等田)도 있지만 대부분 경지는 정기적으로 휴경을 하고 있음을 알 수 있다.

중산간지대는 3년에 2~3회 정도 휴경했다. 대부분 휴경과 경작을 번갈아가며 토지가 이용되고 있다. 지력을 빠르게 회복하기 위해 녹비작물을 재배하기도 했다.

한라산 산간지대(해발 200m 이상)에서는 3년에 3~4회 정도 휴경이 이루어지고 있다. 산간지대의 토지 이용은 작물 재배보다도 휴경을 중심으로 이루어지고 있다. 해안지대에서 산간지대로 갈수록 작물 재배의 횟수가 줄어들고 휴경의 횟수가 늘어나고 있다. 1939년의 토지이용 방식을 기초로 조선시대의 쉬돌림 방식을 유추해 보면 휴경 횟수는 더욱 많았을 것이다.

작물 재배 방식은 윤작(輪作)을 기본으로 하고 있다. 제주도 속담에 “용시도 바꾸명 해사 험다(농사도 낫을 바꾸면서 해야 한다).”라는 말이 있다. 같은 땅에 한 작물만 계속 농사지으면 소출이 떨어지기 때문에 윤작(輪作)을 하는 것이 유리했다.

해안지대는 보리와 조, 중산간지대는 조, 밭벼, 메밀 중심의 윤작을 했다. 산간지대는 토지 이용이 가장 조방적인 지역으로 밭벼, 피, 메밀 등을 중심으로 윤작을 했다. 해안지대와 중산간지대는 지력을 빨리 회복하기 위해 녹비작물을 재배하기도 했다.

송성대(2001)는 제주도의 전통적인 토지 이용 방식을 1년 2작 체계, 2년 3작 체계, 1년 1작 체계로 구분하고 있다. 1년 2작 체계로 갈수록 토지 이용이 집약적이고 단위면적당 토지 생산력도 높다. 1년 1작 체계로 갈수록 토지이용이 조방적이고 단위면적당 토지생산력이 낮다.

1년 2작 지역은 해안지대의 농가와 가까운 경지에서 이루어지는 작부 체계로 6월에 여름작물인 조를 심고 11월에 겨울작물인 보리를 심으면서 휴경 없이 경지를 이용하는 방식이다. 지력을 유지하기 위하여 돛거름, 인뇨, 해초 등을 거름으로 사용했다.

2년 3작 지역은 해안지대에서 주로 나타나는 작부 체계이고, 중산간지대의 우등전(優等田)에서도 나타난다. 조, 보리, 콩, 보리를 돌려지었다. 휴한기인 6~10월 사이에 재배한 콩은 녹비용이다. 콩이 자라면 베어 밭에 갈아두었다가 이를 갈아엎어 11월경에 보리농사를 지었다. 콩을 갈지 않고 휴한기를 둘 경우 돛거름에 보리 씨앗을 버무려 파종하기도 했다.

1년 1작 지역은 한라산 중산간 지역에서 주로 나타나는 작부 체계로 조, 메밀, 산디[밭벼] 등을 재배했다. 이 지역은 뜰땅이 분포하고 토심이 깊어 새[茅: 띠]가 잘 자란다. 새왓[새밭]을 개간하여 일정 기간 동안 작물을 재배한 후 지력이 소모되면 경작지를 이동했다가 지력이 회복되면 되돌아오는 순환식 이동경작을 주로 했다. 메밀-산디-조 순으로 재배했으며 산디가 중심 작물이었다. 조 재배가 끝나면 가축의 먹이로 이용되는 [좌골]을 재배하거나 초가집을 지을 때 이용하는 새를 재배했다. 은 3년, 새는 10년 정도 재배하며 휴경한 후 다시 개간했다. 식량 확보가 우선인 소

농인 경우 산디 대신 조를 선택했다. 조가 산디보다 수확량이 많고, 제주도의 토질과 기후에 적응력이 뛰어나 위험 부담이 적은 작물이기 때문이다. 한라산 산간 지역에서는 주로 조 피 팔 등을 재배하며 농사가 종료되면 경작지는 휴경했다.

‘우영팻딘 늬뻤 갈곡, 해벤밧딘 보리 갈곡, 드룻밧딘 산디갈라(텃밭에는 무 갈고, 해변 밭에는 보리 갈고, 들에는 산디(밭벼) 갈라).’라는 제주 속담이 있다. 텃밭인 우영팻은 집 울타리 안에 있을 수도 있고, 울타리 밖에 있을 수도 있는데 집에서 가깝다. 무 같은 채소는 텃밭에 갈아야 비료 주기도 좋고 가꾸기도 좋다. 보리인 경우는 저지대인 해안가에 있는 밭이라야 해조류를 거름으로 사용할 수 있어서 풍작에 유리하다. 밭벼인 산디는 높은 지대인 산야에 있는 밭이라야 가뭄도 덜 타고, 노동력도 적게 드는 이점이 있다. 적지적작을 강조하는 말이다. 중산간지대는 해발고도가 높기 때문에 해안지대보다 기온이 낮아 수분의 증발산량이 적다. 또한 지형의 영향을 받아 비도 더 많이 내려 산디 재배에 유리하다. 해발고도가 더 높은 중산간지대의 초지대에서는 농사보다 우마의 방목이 행해졌다.

해안지대로 갈수록 토지이용도가 높고, 산간지대로 갈수록 낮다. 해안지역은 상대적으로 비옥한 현무암 풍화토 ‘뒸땅’이 많이 분포하고, 산간지역은 토질이 떨어진 화산회토 ‘뜯땅’이 많이 분포하기 때문이다. 해안지역과 산간지역의 강수량 차이로 인한 지력 소모의 차이도 한 요인으로 작용하고 있다. 해안지대는 인가에 가깝고 해조류 시비에 유리하기 때문에 토지 이용에 유리한 측면이 있다.

휴경기에 우마를 빈 밭에 몰아넣어 그 분뇨로 유기질을 공급하여 빠르게 비옥도를 증진시키는 농법을 ‘바령’이라고 한다. 많은 비로 인한 과다한 용탈 현상은 유기질 결핍으로 이어질 수 있다. 이에 지력을 유지하고 농업생산력을 확보하기 위해 정기적으로 휴경이 이루어졌고, 그 기간을 최소화하기 위해 ‘바령’이 행해졌다. 세종 때 고득종의 상소문을 보면 ‘바령’에 대한 기록이 나타난다.

농부들은 밭 가운데에 반드시 팔장이란 것을 만들어서 소를 기르고, 쇠똥을 채취하여 종자를 뿌린 뒤에는 반드시 소들을 모아다가 밭을 밟게 하여야 싹이 살 수 있습니다. 소를 죄다 육지로 내보내라고 하여 제주의 백성들이 경농을 할 수 없습니다. 소를 육지로 내보내라는 명령을 정지시켜 백성들의 소망을 위안하게 하소서.(《세종실록》 45권, 세종 11년(1429) 8월 26일조)

바령농법은 목자로 하여금 소나 말을 낮에는 들판에서 풀을 뜯게 하고, 날이 저물면 휴경지 안에 몰아넣어 분뇨를 배설하게 했다. 우마분이 밭에 어느 정도 쌓이면 우마를 다른 밭으로 이동시켜 그 밭에 분뇨를 받도록 했다. 바령은 소와 말을 주로 이용했지만 돼지를 이용하기도 했다. 조천읍 선흘리에는 ‘돛바령팻’이라는 지명이 있다. 과거에 ‘돼지를 이용하여 바령이 행해졌던 밭’이었기 때문에 지명으로 남아 있다.

이건은 《제주풍토기》에서 ‘바령’을 ‘분전지도(糞田之道)’라고 표현했으며, 이형상(1704)은 《남환박물》에서 ‘팔양(八陽)’이라고 표현하고 있다. 팔양은 ‘바령’의 차자표기이다.

‘바령’을 한 후 밭을 갈아 곡식을 경작하면 지력이 좋아 농업 생산력이 증대되었다. 우마가 부족하여 바령을 할 능력이 없는 민가는 경지를 휴경하고, 중간에 밭을 갈아엎어 지력을 회복하게 하는 방법을 이용했다.

잉여 경지가 없을 경우에는 당장 먹을 식량을 확보하는 것이 중요하므로 휴경하기가 힘들었다. 연작하면 지력의 과다 소모로 결실과 수확이 불량했지만 최소한의 식량을 확보하기 위해 이를 감수할 수밖에 없었다. 제주인들은 척박한 경지에 유기질 비료를 시비함으로써 지력을 보전하고, 양질의 농산물을 생산하려고 노력했다. 바령농법은 오늘날 유기농법으로 계승되고 있다.

돛거름[돼지거름]은 제주인들에게 중요한 천연비료였다. 보릿짚과 잡초 등을 돛통[돼지우리]에 넣어 분뇨와 섞이게 하여 만든 돛거름은 제주도 농사에 최고의 거

름으로 찼다. 돛통에 보릿짚을 넣고 돼지의 분뇨와 우수로 어느 정도 썩으면 또다시 보릿짚을 투입하여 썩게 만들었다. 우마 축사에서 나오는 덜 발효된 쇠거름도 돛통에 넣어 숙성시켰다. 여러 차례 넣기를 반복하여 발효시킨 후 숙성이 되면 퍼냈다. 돛거름을 퍼내는 시기는 주로 가을로 보리농사에 많이 이용했다.

돛거름과 관련된 돼지 사육에 관한 기록을 찾아보면, 《삼국지》 위지 동이전 주호편에 잘 나와 있다.

주호는 마한 서쪽 바다 한가운데 큰 섬에 있는데, 소와 돼지를 기르는 것을 좋아한다. 배에 타서 왕래하며, 한에 들어가 장사를 한다.

주호는 제주도를 지칭하는 것으로 고대시대부터 제주인들은 소와 돼지를 많이 사육했음을 알 수 있다.



그림 1-13. 돛통과 토종돼지(제주민속촌, 2020년 9월)

돼지를 키우는 공간을 돛통[돼지우리]이라고 했다. 돼지는 집 안의 음식 찌꺼기와 인분 등을 처리하여 집 안의 환경을 청결케 하는 데 기여했다. 돼지고기는 훌륭한 단백질 공급원으로서 기근으로 허약해진 제주인들의 건강을 회복시키는 데 기여했다. 보리농사 등에 필요한 돛거름을 생산하여 농업생산력 증대에도 많은 도움을 주었다.

기근 대응 문화

구황작물 재배

“스홀 굴무명 놔미 집 담 안 넘는 스름 어신다(사홀 굴고남의 집담 안 넘는 사람이 없다).”라는 제주도 속담도 있듯이 기근은 무서운 것이다. 홍만선은 《산림경제》에서 “곡식이 잘 되지 못하는 것을 기(飢)라 했고, 채소가 잘 되지 못하는 것을 근(飢)”이라 했다. 흉년으로 먹을 것이 모자라서 굶주림에 허덕이는 상태를 말하고 있는 것이다.

이상기후로 재해가 발생하면 농사를 그르치게 되어 기근으로 이어지는 경우가 많았다. 제주도에서 기근이 발생하면 정부는 구휼곡을 보내는 등 기민을 구제하기 위해 노력했다. 그러나 험한 바다 때문에 곡물 수송이 수월치 않았고, 이전된 곡식의 양도 충분치 않았다. 제주인들은 자구책으로 평시에 곡식을 비축하면서 기근에 대비했다. 재해로 실농했을 때 최소한의 식량을 확보하기 위해 구황작물을 재배하기도 했다.

제주인들이 구황작물로 많이 심었던 대표적 작물은 메밀이다. 메밀은 마디풀과에 속하는 일년초로 동아시아 북부 및 중앙아시아, 만주 등이 원산지이다. 폭우나 가뭄, 태풍 등으로 여름작물을 그르쳤을 때 메밀을 재배했다. 제주도 신화 중 메밀과 관련된 민담이 있다. 제주도의 농신인 자청비가 하늘 옥황에서 오곡 씨를 가지고 제주도 땅으로 내려와서 씨를 뿌리다 보니 씨앗 한 가지를 잊어버린 것을 알았다. 다시 옥황에 올라가서 받아오고 보니 여름 파종 때가 이미 지나버렸다. 그래도

그 씨앗을 뿌리니 다른 곡식과 같이 가을에 거두어들였는데 이것이 바로 메밀이다.

메밀은 생육기간이 80일에 불과할 정도로 짧다. 생장이 매우 빨라서 먼저 재배한 작물이 이상기후로 실패하거나 흉작인 경우 구황작물로 심는 경우가 많았다. 메밀은 일조량이 적고 비교적 여름이 짧은 중산간지대에서 많이 재배했다. 입추 전후가 파종 적기지만 제주도에서는 백중 지나면 파종하였으며 처서 무렵까지도 가능했다. 서늘한 기후에 적합하여 제주도의 해안지대보다 중산간지대에서 많이 재배했다.

메밀은 버리는 것이 거의 없을 정도로 쓰임새가 많은 작물이다. 어릴 때는 나물로 식용 가능하고, 꽃피고 나면 뿌리만 잘라 죽을 쑀어 먹을 수 있다. 결실하면 이삭을 털고 도정하여 껍질은 베갯속, 줄기는 가축 사료로 이용했다. 메밀가루로 수제비, 묵, 빙떡, 범벅 등을 만들어 먹기도 했고, 간편하게 물에 타서 허기진 배를 채우는 비상식량으로도 이용됐다.

피도 구황작물로 많이 재배했다. 피는 벼과에 속하는 1년생 작물로 거친 환경에서도 잘 자란다. 생육기간이 짧아 재해로 여름작물을 그르쳤을 때 재배하기도 했다. 환경 적응성이 뛰어나서 산지나 척박한 땅에서도 잘 자라며 토질을 별로 가리지 않는다. 조를 심을 수 없는 척박한 땅에는 피를 심었으며 비교적 토질이 나쁜 제주도 동부 중산간 마을에서 많이 심었다.

피는 식량으로 산티나 조보다 못하다. 기운이 없거나 얼굴빛이 누런 사람을 보고 ‘피죽 먹었나?’라고 말하는 것도 이 때문이다. 그러나 피밥도 없어 피죽을 먹으며 기근을 견딜 때도 있었다. 특히 중산간 마을에서는 가을에 식량이 떨어지면 덜 익은 피 이삭을 따서 비상식량을 확보했다. 식량이 고갈된 산촌 사람들은 완전히 결실하지 않은 피 이삭을 따다가 정지나 마루에서 밤새도록 ‘피고리’에서 건조시켰다. 피고리는 네모진 대바구니인데 줄을 묶어 천장에 매달고, 그 밑에는 봉덕화로[돌화로]를 설치하여 불을 피우고 건조시켰다. 그 열기로 이삭을 몇 번 뒤엎으며 말린 다음, 둥그런 나무방망이인 ‘덩드렁막게’로 두드려서 알곡을 털어냈다. 피를 방아에 찧고 멧돌에 갈아서 밥, 죽, 범벅을 해먹으며 기근을 이겨내곤 했다. 피를 도정하다

나온 피 껍데기는 우마, 돼지의 사료로 사용되고, 찌꺼기는 부드럽고 영양가가 높아서 겨울에 우마의 가축 사료로 사용했다(그림 1-14).

콩은 1년생 초본식물로 뿌리혹박테리아가 있어서 강산성토양을 제외하면 토질을 잘 가리지 않아 적응범위가 넓고, 재배하기도 쉽다. 다른 여름작물과 혼작 및 윤작하거나 단작하면서 지력유지에 좋은 영향을 준다. 기후재해로 조가 실농되었을 때 구황작물로 재배되기도 했다. 콩은 단백질과 지방분이 많이 함유된 식품으로 가루로 만들어 가을부터 보리가 나오는 봄까지 채소와 함께 국을 끓이거나 죽을 쑤어 먹으면서 기근을 극복했다. 콩국은 영양가가 풍부한 음식으로 국만 먹어도 배가 부르고 영양이 보충될 정도로 기근을 견디는 데 좋은 식품이었다.

콩은 된장의 주원료이기도 하며 된장을 물에 타서 염분과 단백질을 보충하기도 했다. 제주도는 콩의 재배 조건에 알맞아 해안지대에서부터 산간지대까지 광범위하게 재배되었다. 5월 중 하순에 씨앗을 파종했으며 10월 상 중순에 수확했다.



그림 1-14. 피고리와 봉덕화로(제주민속촌, 2020년 9월)

제주도에서 많이 재배했던 구황작물 중 하나인 고구마는 1763년 조엄에 의해 우리나라에 전래되었다. 고구마가 제주도에 전해진 것은 순조 34년(1834)에 제주 목사 한응호에 의한 것으로 알려지고 있다. 김석익의 《탐라기년》에 의하면, 한응호가 제주 목사 재임 시 고구마를 구입하여 농가에 재배하도록 한 것이 재배 시초라고 했다. 그러나 제주도에 고구마가 전래된 것은 그보다 더 이른 것으로 추정된다. 정조 18년(1794) 호남위유사 서용보의 별단을 보면, 그 당시 우리나라 고구마 재배 모습과 제주도에 고구마 재배를 왕에게 건의했던 내용이 상세히 기록되어 있다.

양남 연해 지방에 감저(甘藷)라는 것이 있습니다. 조금만 심어도 수확이 많고, 농사에 지장을 주지 않으며, 가뭄이나 황충에도 재해를 입지 않고, 달고 맛있기가 오곡과 같으며, 힘을 들이는 만큼 보람이 있으므로 풍년이든 흉년이든 간에 이롭다고 했습니다. 제주도는 작은 섬이라 호령이 행해지기 쉬운 것이고 또 대마도와 마찬가지로 토질에도 적합할 것입니다. 이렇게 잘 심으면 비록 흉년을 당하더라도 배로 곡식을 실어



그림 1-15. 고구마 재배(제주시 구좌, 2020년 9월)

나르는 폐단을 제거할 수 있을 것입니다. 훗날을 위해 미리 대비하는 대책으로 이보다 더 나은 것은 없을 듯합니다. (《정조실록》 41권, 정조 18년(1794) 12월 25일조)

정조 재임 기간에 제주도에 기근이 연달아 발생했다. 특히 임을대기근(1792~1795) 기간에 혹독한 기근으로 많은 아사자가 발생했고 정부는 많은 양의 곡식을 이송하여 기민을 구제했다. 이때 서영보가 별단을 올려 정조에게 제주도의 기근을 해결하기 위한 방안으로 고구마의 재배를 청하고 있다. 고구마의 전래지인 대마도와 풍토가 비슷하기 때문에 재배에 별 어려움이 없을 것으로 판단하고 있다.

고구마는 풍토에 대한 적응력이 뛰어나고 구황작물로 인기가 높아 제주도뿐만 아니라 한반도에서 널리 재배되었다. 태풍으로 타 작물은 심하게 손상되더라도 고구마는 그 피해가 적어 구황작물로 뛰어났고, 주식처럼 이용되면서 전도에 널리 재배되었다. 고구마는 재해에 강하고 풍흉의 차이가 적다. 지상부 줄기가 땅 표면을 덮고 자라므로 경사지에서 비바람에 의해 토양이 씻겨 내려가는 것을 방지하며, 태풍 같은 바람 피해가 거의 없고, 토양의 수분 증발을 막아 주어 가뭄의 피해가 다른 작물에 비해 적다. 고구마는 단위면적당 부양가능 인구가 쌀보다 많고, 보리보다 약 3배의 인구를 부양할 수 있다. 따라서 고구마는 각종 이상기후에 견디는 적응력이 강하고, 인구 부양력이 높아 제주인들에게 환영받았다. 고구마는 겨울작물 수확이 끝난 후 장마 무렵에 심었다.

야생식물 채집

최소한의 식량을 확보하기 위하여 구황작물을 재배하면서 기근에 대응했지만, 식량이 고갈되어 아사의 극한 상황에 도달하면 주민들은 원시적인 생존법에 의존할 수밖에 없었다. 산야와 바다에서 식용 가능한 것들은 식물들을 채취하여 먹었다. 《조선왕조실록》과 《탐라기년》에는 ‘나뭇잎’, ‘제주조릿대’, ‘산열매’ 등으로 기근에 대응했다는 기록들이 있다.

제주 목사가 흉황 발생을 보고하자 조정에서는 구휼 방책에 대해 논의하는 중에 마침 장계를 가지고 간 제주인이 있었다. 왕은 내시를 통해 흉년 때 제주 백성들의 생활과 방책을 물어봤더니 제주인은 나뭇잎을 따먹으며 견딘다고 했다(《영조실록》 46권, 영조 13년(1737) 11월 7일조).

기근으로 식량이 고갈되면 산과 들판으로 나가 초근목피나 나뭇잎을 따먹으며 기근에 대응했음을 알 수 있다. 제주조릿대 열매를 따다가 죽이나 밥을 지어 먹으면서 기근에 견디었던 기록도 있다.

제주에 죽실(竹實)이 났다. 한라산에는 전부터 분죽(粉竹)이 숲을 이루고 있으며, 잎은 크고 줄기는 뾰족하여 노죽이라 했다. 씨를 맺지 않았으나 4월 이후로 온 산의 분죽이 갑자기 다 열매를 맺어 모양이 구맥(瞿麥: 패랭이꽃)과 같았다. 이때 제주도의 세 고을이 몹시 가물어 보리농사가 흉작이었으므로 백성들이 굶주림에 시달리고 있었다. 이것을 따서 진하게 쑨 죽을 만들어 먹고 살아난 자가 많았다.(《경종실록》 13권, 경종 3년(1723) 7월 4일조)

한라산 고지대에는 벼과 식물인 제주조릿대가 많이 자생하고 있다(그림 16). 제주조릿대는 60~70년에 한 번 열매를 맺는다고 한다. 조릿대가 열매를 맺으면 그 이듬해에는 죽어버리는데, 원상으로 소생하는 데는 5~10년이 걸린다고 한다. 심한 가뭄으로 흉년이 들 때 열매를 맺는다는 전설이 있다(제주도민속자연사박물관, 1995). 조릿대 열매로 기근을 견디었다는 기록은 이 밖에도 여러 차례 있다.

제주도의 해안저지대는 열대성 식물의 북한계를 이룬다. 또한 한라산 아고산지대와 고산지대는 한대성 식물의 남한계를 이룬다. 제주도는 열대성 식물과 한대성 식물의 접이지대인 것이다. 때문에 식물종이 다양하여 ‘식물의 보고’를 이루고 있으며 식용 가능한 열매와 풀들이 많다.

김성구의 《남천록》을 보면 “제주인들은 산에서 밤(栗)을 주워다가 아침저녁으로

먹으며 목숨을 연명하고 있다.”라고 했다. 제주도는 밤이 많지 않기 때문에 이 표현은 한라산에 있는 상수리나무, 가시나무, 구실잣밤나무, 모람, 으름, 꾸지뽕나무, 산딸나무, 보리수나무 등 야생 열매를 통칭하는 것으로 보인다.

현종 11년(1670)에는 계정대기근이 발생하여 심각한 기아 상태에 빠졌다. 주민들은 산에 올라가 열매를 주워 먹으며 목숨을 겨우 유지했는데 산열매마저 다 떨어질 지경이었다. 들판의 나물과 풀뿌리마저 떨어져 생명보다 귀히 여기는 마소까지 잡아먹으며 배를 채우기도 했다. 어떤 자들은 국영목장의 마소를 훔쳐서 잡아먹는 일도 발생했다(《현종실록》 19권, 현종 12년(1671) 1월 30일조). 이런 상황에서 한라산에 나무 열매를 구하러 갔다가 갑작스런 폭설로 주민들이 고립되어 91명이나 되는 많은 인명이 동사하는 사고가 발생하기도 했다(《현종실록》 19권, 현종 12년(1671) 2월 3일조).

기근이 발생하여 비축했던 식량이 고갈되면 산야에서 나는 풀들을 채취해 소량의 잡곡과 혼합하여 죽을 쑤어 먹었다. 쑥, 비름, 냉이, 달래, 명아주 등 어린 순을 채취하여 이용했다. 풀을 술에 넣고 거기에 보리, 메밀, 좁쌀 등 잡곡을 조금 넣어 죽



그림 1-16. 제주조릿대(한라산국립공원, 2019년 11월)

을 쑤어 먹으며 기근을 견디어냈다. 잡곡 대신 콩가루, 메밀가루, 보릿가루 등을 넣기도 했다. 고사리, 양파, 갯방풍, 미나리 등 야생 식물을 캐어다 데쳐 먹거나 죽에 섞어 먹으면서 흉년이 지나가길 기다렸다.

제주도 속담에 “삼사월엔 몰가죽도 버쩍힌다(삼사월엔 말가죽도 바싹 마른다).”라는 속담이 있다. 삼사월에는 사람은 물론이고 말조차도 바싹 마른다는 것이다. 만물이 소생하는 봄이지만 춘궁기에 해당하여 먹고사는 문제가 심각했다. 이때 구황음식으로 많이 먹었던 것이 ‘첫보리밥’이다. 성종 24년(1493)의 기록을 보면 첫보리밥에 대해 나와 있다.

봄철에 곡식이 다할 때에 이르면 백성들이 굶주려서 얼굴빛이 질게 검어서 사람 모양과 같지 아니합니다. 보리가 처음 패자 성숙하기를 기다리지 못하고 이삭을 뽑아다가 죽을 만들어 먹으나 얼굴빛은 여전합니다. 이는 오로지 토지가 척박한 소치로 그러한 것입니다.(《성종실록》 281권, 성종 24년(1493) 8월 5일조)

보리 이삭 패는 시기가 되면 대부분 집에서는 묵은 곡식이 고갈되어 식량 확보가 큰 걱정거리였다. 연례행사처럼 다가오는 보릿고개의 시작이다. 이삭에 여물이 들어서긴 했지만 설익은 보리를 제주도에서는 ‘첫보리’라 했다. 《성종실록》 기록에 제주도의 첫보리 구황음식을 잘 표현하고 있다. 춘궁기에는 지난해 가을에 수확하여 저장해 두었던 곡식이 바닥나 버린다. 이때쯤 제주인들의 형상은 굶주림에 지친 나머지 사람模樣이 아니었다. 보리 익기를 기다리지 못하고 설익은 보리 이삭을 잘라 죽을 쑤어 먹으면서 기근에 대응했던 것이다. 덜 익은 보리쌀로 지은 밥을 ‘첫보리밥’이라 하는데 보리를 수확하기 전에 먹었다.

제주도는 사면이 바다이기 때문에 해산물이 풍부하다. 연안의 각종 어류와 패류, 미역 등의 해산물은 주민들에게 보통 때도 좋은 식재료였지만 기근 시에는 좋은 구황식품이었다.

즈냥의 생활화

제주인들은 흉년에 대비하여 근검절약하는 ‘즈냥’을 생활화했고, 평상시에도 식량을 아껴 먹었다. 제주도에는 ‘누룽지 버리면 죄 짓는다’라는 속담이 전해온다. 하찮은 누룽지라도 함부로 버리면 벌을 받는다는 뜻이다. 즚냥은 이상기후 및 흉년에 항시 대비했던 제주인의 독특한 생활방식이었다.

제주인들이 기근을 극복하기 위해 항시 곡식을 절량(絶糧)하는 습관을 생활화했는데 이를 ‘즈냥’정신이라 한다. 즚냥은 곡식 저장고인 ‘고팡(庫房)’에서 시작됐다. 곡식을 저장해 둔 큰 항아리 옆에는 작은 항아리 하나를 두었다. 밥을 짓기 위해 곡식을 퍼갈 때마다 한 줍씩 덜어 작은 항아리에 비축해 두었다. 언제 닳칠지 모르는 이상기후와 흉년에 대비하여 곡식을 절량했던 것이다.



그림 1-17. 칠성놀(제주민속촌, 2020년 9월)

제주인들은 ‘고팡’을 큰구들(안방)에 접하여 배치했다. 비축해 둔 식량을 집안의 가장이 머무는 큰구들 가까운 곳에 둬므로써 안전하게 관리하려고 노력을 기울였다. 예기치 않은 극한기상 및 이상기후로 흉년이 발생했을 때를 대비하여 식량관리에 만전을 기했던 것이다. 고팡은 주로 상방을 통하여 출입이 가능하게 했으며, 환기와 채광을 위한 작은 창문을 한두 개 내었다. 고팡의 배치는 기근 대응 과정에서 식량을 안정적으로 관리할 필요성에서 기인한 가옥배치 구조였다.

제주인들은 고팡에 곡물을 지켜주는 신(神)인 ‘안칠성’을 모셨다. 집 밖 마당 뒤쪽에는 칠성놀을 두어 ‘밭칠성[바깥칠성]’을 모셨다. 칠성(七星)은 곡물을 수호하고 풍요를 가져다주는 뱀신이다. 김정의 《제주풍토록》을 보면 다음과 같이 기록되어 있다.

풍속에 뱀을 신이라 해서 받든다. 이것을 보면 술[酒]을 주고 주문을 외우며 거룩한 신으로 하여 쫓아내거나 죽이지 않는다.

김정이나 육지에서 내려온 사람들은 뱀[구렁이]을 모시는 사신(蛇神)신앙을 의아하게 여기고 있다. 고팡에 저장해 둔 곡식을 약탈해가는 최악의 침입자는 쥐(鼠)였다. 구렁이는 식량을 두고서 인간과 적대적 관계인 쥐를 잡아먹음으로써 고팡의 식량을 지켜주었다. 쥐의 천적인 고양이를 이용할 수도 있지만, 고양이는 인간의 식량을 뺏어먹는 경쟁 관계이다. 인간이 먹을 식량도 모자라는 상황에서 고양이에게 먹거리를 나눠주면서 키우는 것은 부담스러웠을 것이다. 그러나 구렁이는 제주인들이 먹는 음식을 뺏아먹지 않으면서도 쥐를 제압하고, 고팡에 있는 식량을 지켜주는 고마운 존재였기에 신으로 모셨던 것이다.

먹거리 나눔 활동

제주도에 기근이 들면 정부에서는 구휼곡을 보냈다. 그것은 무상지원이 아니라 유상지원이었다. 구휼곡을 먹고 살아남은 제주인들은 그 대가로 미역과 해산물을

채취하여 줬었다. 정부는 제주인들이 납부한 해산물과 특산물을 육지로 운반하여 판매한 후, 그 대금으로 구휼곡을 사들여 제주 전담 구제창에 비축해 두었다. 해남의 갈두진창, 임피의 나리포창, 영산포의 제민창이 바로 그것이다. 제주도에 기근이 발생하면 저장해 두었던 곡식을 수송하여 제주인들을 구제했다.

기근이 발생하면 정부는 구휼에 나섰지만 제도와 교통, 경제력의 미비로 한계가 있었다. 기근으로 제주인들이 집단적 아사 상태에 직면해 있을 때 가진 자들은 사재를 털어 먹거리 나눔의 구제 사업을 펼치기도 했다. 그 대표적인 시기가 ‘임을대기근(1792~1795)’ 때이다. 4년간 대기근의 절정기는 ‘갑인년(1794)’이었다. 갑인년과 관련된 속담이 지금도 주민들 사이에 많이 오르내린다. “갑인년 송년에도 먹당 남은 게 물이여(갑인년 흉년에도 먹다가 남은 것이 물이다).”라는 속담이 전해진다. 갑인년 대기근 당시 많이 굶어 죽었는데 이때 굶주린 배를 물로 채우면서 기근에 견디었다. 식량 고갈로 극한 상황에 처했던 제주인들은 차마 물이야 동이 나겠냐고 자위하면서 기근을 견뎌냈다. “갑인년에 콩 보까먹은 소리 허지말라(갑인년에 콩볶아먹은 소리 하지 말라).”라는 속담도 있다. 이때의 갑인년은 특정한 어느 시기를 지칭하지는 않는다. 무익한 과거의 일들을 꺼내어 이야기하면 이를 나무라는 뜻에서 하는 말이다. 1794년 갑인년은 제주인들에게 그만큼 강렬하게 각인되어 있다.

1794년 8월 27~28일에 초강력 태풍이 제주도를 강타하여 초토화시켰다. 농작물 피해가 극심했고, 조풍해로 말미암아 들판의 초목이 소금물에 절인 것처럼 말라 죽었다(《정조실록》 41권, 정조 18년(1794) 9월 17일조).

조정에서는 2만여 섬의 식량을 수차례에 걸쳐 수송했고, 구휼 사업은 다음 해까지 이어졌다. 1795년 윤2월에 구휼곡을 실은 배 5척이 강풍으로 침몰하면서 구휼 사업에 차질을 빚었다. 구휼곡을 실어오던 선박이 풍랑에 침몰했다는 소식에 굶주리던 제주인들은 실의에 빠졌다. 1792년부터 계속된 가뭄으로 도내의 식량은 바닥났다. 제주도의 여러 고을에서 아사자도 대거 발생하면서 죽음의 공포가 온 섬을 뒤덮었다.

이때 제주의 거상이었던 김만덕은 사재를 털어 나눔의 구휼 활동을 펼쳤다. 그는 평생 모은 재산을 동원하여 식량 구입 자금과 선원 및 선박을 마련하고, 육지로 건너가 곡물을 사오게 했다. 곡식을 살 돈과 뱃삿을 받은 제주 뱃사람들은 육지의 연해 고을에 가서 닥치는 대로 곡물을 사고 10여 일 만에 만선이 되어 돌아왔다.

김만덕은 구입해 온 500석을 구호식량으로 나누어주어 아사 직전의 제주인들을 구제하는 데 헌신했다(《정조실록》46권, 정조 20년(1796) 11월 25일조). 정부의 구휼 곡 수송이 늦어져 애를 태우고 있을 때 김만덕의 나눔 활동은 제주인들의 생명을 구하는 데 크게 기여했다. 제주인들은 김만덕을 생명의 은인으로 받들었고, 제주 목사는 그 사실을 조정에 보고했다.

정조는 이 소식을 전해 듣고 감동하여 김만덕에게 상을 주려고 소원을 묻는 유지(諭旨)를 제주 목사에게 내렸다. 김만덕은 극구 사양하면서 소원이 있다면 “서울에



그림 1-18. 김만덕 객주촌(제주시 건입동, 2020년 9월)

가서 임금님 계시는 궁궐을 우러러보고, 천하 명산인 금강산을 유람할 수 있다면 한이 없겠습니다.”라고 제주 목사에게 아뢰었다. 제주의 여걸다운 김만덕의 풍모를 엿볼 수 있다. 이를 전해 들은 정조는 쾌히 허락하고 궁궐로 불러들이라고 했다. 당시 제주인들은 출륙금지령으로 육지에 나갈 수 없었다. 특히 평민 여자는 입궐조차 할 수 없었다. 정조는 당시 여성에게 내릴 수 있는 최고의 벼슬인 의녀반수(醫女班首)에 임명하여 김만덕에게 입궐케 했다. 정조는 수많은 대신들과 궁인들이 보는 앞에서 김만덕에게 큰 상을 주었다.《정조실록》에는 다음과 같이 기록되어 있다.

제주의 만덕은 재물을 풀어서 굶주리는 백성들의 목숨을 구했다고 목사가 보고했다. 상을 주려고 하자, 만덕은 사양하면서 바다를 건너 상경하여 금강산을 유람하기를 원했다. 임금은 이를 허락해 주고, 그가 통과하는 연로의 고을들로 하여금 양식을 지급하게 했다.(《정조실록》 44권, 정조 20년(1796) 6월 6일조)

김만덕은 평생 독신으로 살면서 제주의 산지포구에서 객주를 열어 육지 상인들과 제주 특산물을 장사하여 손꼽히는 부호가 되었다. 임을대기군(1792~1795)으로 제주인들이 참혹하게 죽어가자 사재를 전부 털어 육지의 곡식을 사다가 구제했다. 순조 12년(1812)에 74세의 나이로 세상을 떠날 때도 양아들들에게 기본생계에 필요한 재산만 물려주고, 나머지는 제주의 가난한 사람들에게 나누어 주었다. 그가 죽은 후에도 제주인들은 ‘나눔할망’이라 부르며 신화적인 인물로 추앙했다. ‘나눔할망처럼 을 도우며 살아야 한다(나눔할머니처럼 남을 도우며 살아야 한다).’라는 속담이 전해질 정도이다. 김만덕은 지도층과 부자들에게 요구되는 노블리스 오블리제의 삶을 모범적으로 실천한 조선 최고의 여성 거상(巨商)이라 할 수 있다. 후에 제주에 유배 온 추사 김정희는 대기군으로 굶어 죽는 백성들을 살렸다는 나눔할망 김만덕의 선행을 전해 듣고 감동하였다. 김정희는 이를 기리고자 ‘은광연세(恩光衍世)’라고 쓴 편액을 김만덕의 3대 손에게 선물했다. “은혜의 빛이 온 세상에 퍼진다.”

참고 문헌

- 《國譯朝鮮王朝實錄》(한국학데이터베이스연구소 역, 2001).
- 《國譯增補文獻備考》(세종대왕기념사업회 역, 1980).
- 《南冥小乘》(林悌, 제주문화방송 역, 1994).
- 《南錄》(金尙憲, 김희동 역, 영가문화사, 1992).
- 《南錄》(金尙憲, 홍기표 역, 제주문화원, 2009).
- 《南日錄》(李增, 제주문화원 역, 2001).
- 《南選錄》(金聲久, 제주문화방송 역, 1994).
- 《南宦博物》(李衡祥, 제주도교육위원회 역, 1976).
- 《承政院日記 濟州記事》(제주사정립사업추진위원회 역, 2001).
- 《濟州風土錄》(金淨, 제주도교육위원회 역, 1976).
- 《濟州風土記》(李健, 제주도교육위원회 역, 1976).
- 《朝鮮王朝實錄中 濟州記錄》(제주문화, 2004).
- 《耽羅紀年》(金錫翼, 제주도교육위원회 역, 1976).
- 《耽羅巡歷圖》(李衡祥, 제주시, 1994).
- 《耽羅志》(李元鎮, 탐라문화연구소 역, 1991).
- 《耽羅志草本》(李源祚, 제주교육박물관 역, 2007).
- 《濟州島勢要覽》(全羅南道濟州島廳, 1939).
- 《韓國水産誌 第三輯 濟州島》(朝鮮總督府農商工部編, 1910).
- 강문규, 《일곱 개의 별과 달을 품은 탐라왕국》, 한그루, 2017.
- 고광민, 《제주생활사》, 한그루, 2016.
- 김오진, 《조선시대 제주도의 이상기후와 문화》, 푸른길, 2018.
- 박용후, 《제주도 옛 땅이름 연구》, 제주문화, 1992.
- 송성대, 《문화의 원류와 그 이해》, 도서출판 각, 2001.
- 제주도민속자연사박물관, 《제주도의 식생활》, 1995.
- 제주사정립사업추진위원회, 《탐라사ⅠⅡ》, 2009.
- 제주특별자치도, 《제주도지(1~7)》, 2006.
- 제주특별자치도, 《제주도지》 제1권, 1993.
- 김연옥, <역사 속의 소빙기>, 《역사학보》 149, 1996, 253~265.
- 김연옥, <한국의 소빙기 기후-역사 기후학적 접근의 일반론>, 《지리학과 지리교육》 14, 1984, 1~16.
- 김연희, <조선시대의 기후와 농업변동에 관한 연구>, 경북대학교 석사학위청구논문, 1996.
- 김오진, <조선시대 제주도의 기상재해와 관민(官民)의 대응 양상>, 《대한지리학회지》 43(6), 2008, 858~872.

김오진, <조선시대 제주도의 기후와 그에 대한 주민의 대응에 대한 연구>, 건국대학교 박사학위청구논문, 2009.

이승호, <제주도 지역의 겨울철 바람에 관한 연구>, 건국대학교 석사학위청구논문, 1985.

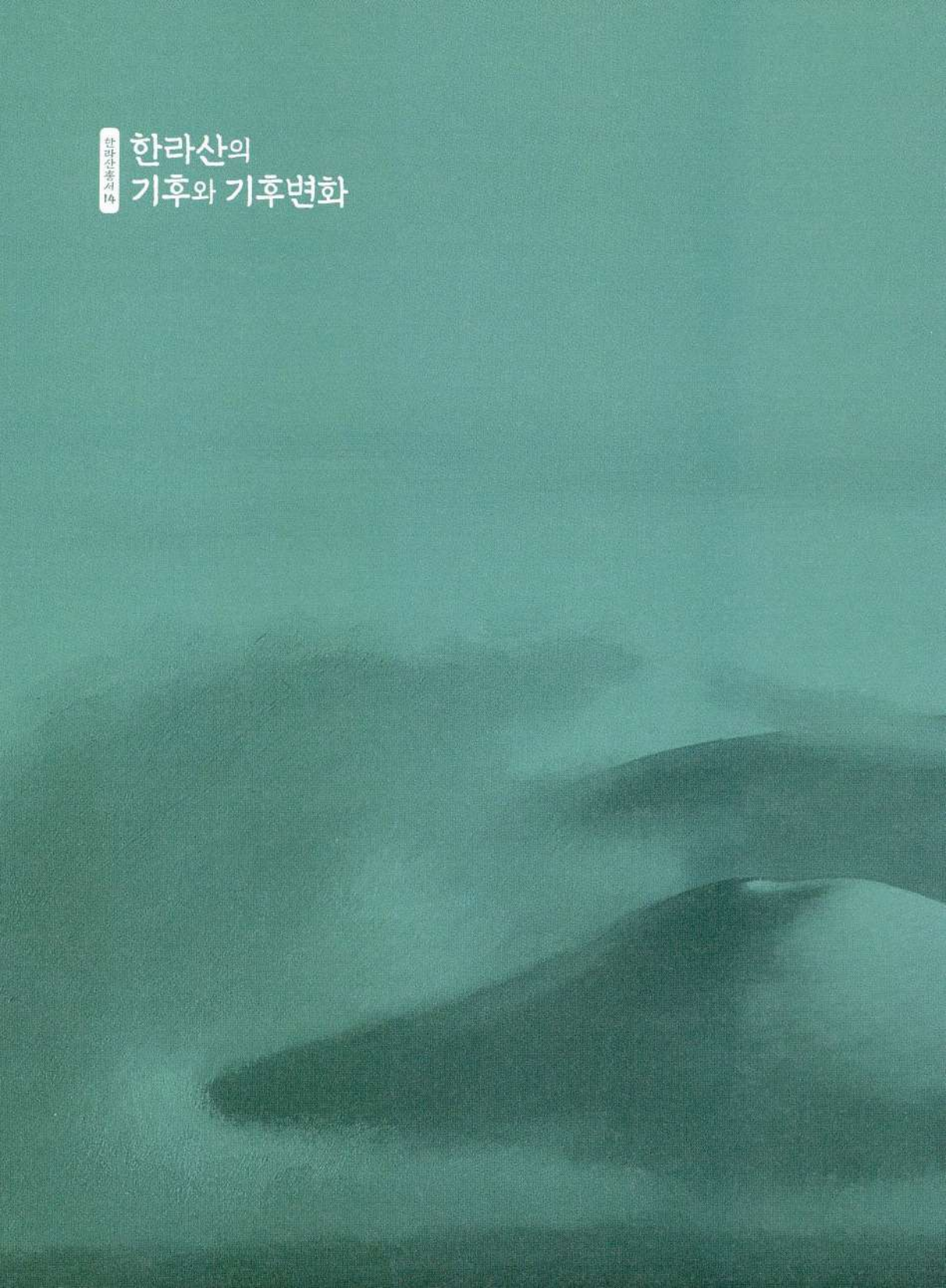
이태진, <소빙기(1500~1750) 천변재이 연구와 조선왕조실록>, 《역사학보》 149, 1996, 202~245.

Fagan, B., 《The Little Ice: How Climate Made History 1300~1850》, Basic Book, 2000.

Briffe, K. R., P. D. Jones, F. H. Schweingruber and T. J. Osborn, <Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years>, 《Nature》, 393, 1998, 450~455.

Shanaka, L. de Silva. and G. A. Zielinski, <Global influence of the AD 1600 eruption of Huaynaputina, Peru>, 《Nature》, 393, 1998, 455~460.

한라산의 기후와 기후변화



제 2 장

현대적 관측에서 탐지되는

한라산 기상·기후 특성



여 백

1. 한라산 지역 현대적 기상·기후 관측 역사

2020년 말 현재 한라산 주변과 제주도 부속 도서에는 기상청 산하 기상·기후 관측소로 4개의 종관기상관측장비(Automated Synoptic Observing System; ASOS) 기반 관측소(종관기상관측소)와 35개의 방재기상용 자동기상관측장비(Automatic Weather System; AWS) 기반 관측소(자동기상관측소)가 운영되고 있다(그림 2-1). 우선, 4개의 종관 기상관측소들은 인구가 밀집한 제주도의 동서남북 해안 지역에 설치되어 있다. 이들 제주도 ASOS 관측소의 개소 및 관측 역사를 살펴보면, 북부 해안 제주(184) 관측소가 1923년 5월 이후 가장 오랫동안 기상·기후 관측을 수행해 오고 있다. 이후 남

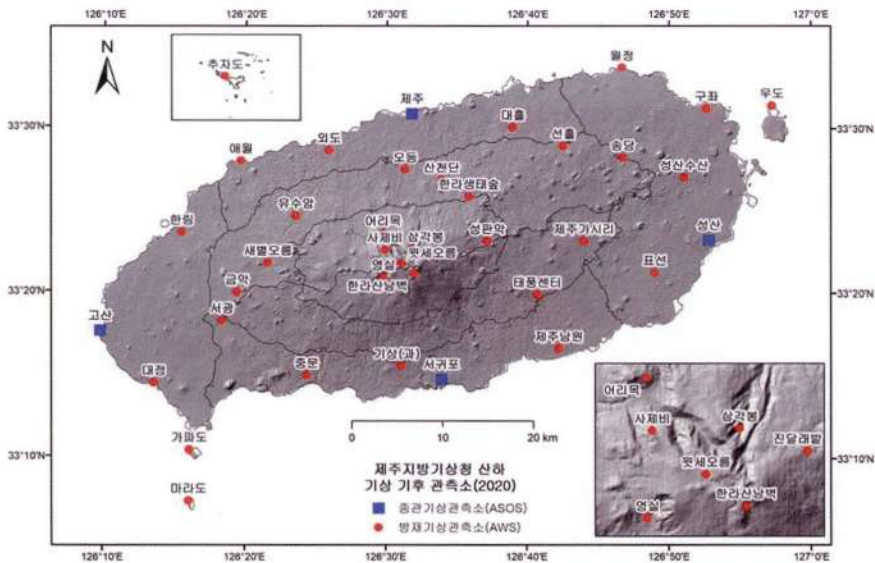


그림 2-1. 2020년 말 제주지방기상청 산하 기상·기후 관측소

부 해안 서귀포(189) 관측소는 1961년 1월에 이르러 개소와 함께 연속적인 관측자료를 제공하기 시작하였고, 1971년에 개소된 동부 해안 성산(188) 관측소는 1973년 1월부터 지금까지 연속적으로 기상·기후 자료를 제공해 오고 있다. 서부 해안에 위치한 고산(185) 관측소는 4개 ASOS 관측소들 중 1988년 1월에 가장 늦게 개소 후 지금까지 운영되어 30년 평균 기후값을 제공하게 되었다. 이들 종관기상관측소에서는 기온, 강수량, 풍향 및 풍속 자료 이외에도 습도, 기압, 일사량 및 일조시간, 적설, 운량, 지중온도, 증발량, 안개, 식물 계절 등 전반적인 기상·기후 요소들을 수집하여 정확한 일기예보와 중장기 기후예보에 활용하고 있다. 제주도 중심에는 남한 최고봉인 한라산(1,950m)이 자리잡고 있어서 한반도 지역에 비해 상대적으로 작은 섬 지역임에도 불구하고 동부 해안 성산(2006년)과 서부 해안 고산(2017년) 기상대에서 기상레이더를 각각 1대씩 설치하여 한라산 주변지역의 강수예보에 활용하고 있다(그림 2-2).

제주도 동서남북 해안 지역에 위치한 4개 종관기상관측소의 관측 환경을 살펴보면(그림 2-3), 북부 해안 제주 관측소의 경우 제주시 건입동 제주지방기상청 청사 앞에 관측 노장이 있다. 1980년대 초반에 동문 지하상가 등이 개발되고 1980년대 후반에 화북공업단지까지 완공되면서 관측소 주변 지역도 점차 도시화의 영향을 많이 받게 되었다. 열을 잘 흡수하는 콘크리트 고층 건물 면적이 증가함에 따



그림 2-2. 고산과 성산 기상대 레이더 관측시스템



(a) 북부 해안 제주(184)
관측소(1923. 05.~현재)



(b) 남부 해안 서귀포(189)
관측소(1961. 01.~현재)



(c) 동부 해안 성산(188)
관측소(1971. 07.~현재)



(d) 서부 해안 고산(185)
관측소(1988. 01.~현재)

그림 2-3. 제주도 해안 지역 기상청 산하 종관기상관측소

라 기온, 풍속 등의 기상·기후 요소 관측에 영향을 미쳤을 것으로 짐작된다. 서귀포 기상대의 경우에도 서귀포 구도심 해발고도 약 52m에 달하는 이중섭 미술관 뒤편 주택가 주변에 위치해 있다. 제주시에 비해서는 주변에 녹지대가 군데군데 남아 있는 편이긴 하지만 1970년대 중반에 도시재정비계획 이후 구도심 솔동산 중심의 상권이 서귀포 관측소의 북쪽에 1960년대 중반부터 형성되기 시작된 서귀포매일올레시장 지역까지 확장되면서 콘크리트 피복의 도심 규모가 전반적으로 넓어지게 되었다. 이에 따라 도시화 효과가 제주시보다는 덜하지만 여전히 서귀포 관측소에서 관측된 기상·기후 자료에 반영되어 있을 것으로 추정된다. 동부 해안에서 기상·기후를 관측하고 있는 성산 기상대는 성산읍 도심에서 멀리 떨어진 신산리에 위치해 있는데, 관측소 주변에서는 주로 밭농사가 이루어지고 있다. 서부 해안의 기상·기후관측을 담당하고 있는 고산 기상대는 한경면의 수월봉 정상에 위치해 있다. 관측노장은 해안과 바로 인접해 있고, 수월봉의 해발고도가 71m에 달하여 연중 바람이 강한 특징을 나타낸다.

제주도의 자동기상관측소(AWS) 기반 기상·기후 관측은 1990년 6월 1일 우도 관측 지점에서 처음 이루어졌고, 마라도 관측 지점에서는 같은 해 6월 2일부터 이루어졌다(그림 2-4). 이후 1991년에 유수암(애월), 추자도, 선홍, 1992년에 서광, 어리목, 제주남원, 구좌, 1994년에 한림 AWS 관측 지점이 개소되어 운영되기 시작하였다. 1990년대 말~2000년대 초반에는 성판악(1998년), 대정(1999년), 표선(1999년), 중문(2001년), 산천단(2001년), 대흘(2001년), 가파도(2002년), 월정(2002년), 진달래밭(2002년), 윗세오름(2002년) AWS 들이 새롭게 구축되었다. 이후 국가 공공기관 지방이전 정책에 따라 2008년에 서귀포시 남원을 중산간 지역에 국가태풍센터가 개소하기 직전 2007년 말부터 태풍센터 AWS 관측 지점이 운영되기 시작하였다. 또한, 2014년에 국립기상연구소(현 국립기상과학원)가 서울특별시 신정동 보라매공원 내 기상청 본청에서 분리되어 서귀포시 혁신도시로 이전하기 직전 2013년 말에 기상과학원 AWS 관측 지점이 설치되었다.

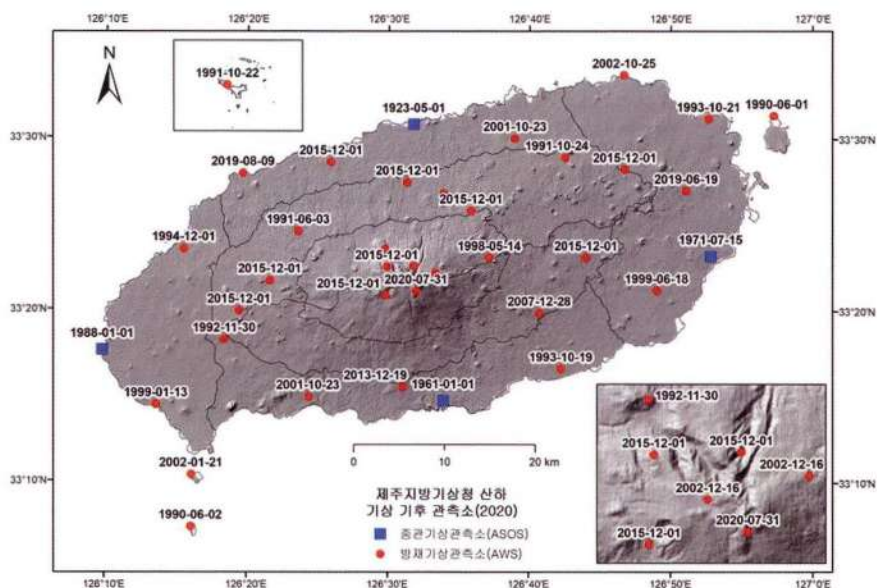


그림 2-4. 제주지방기상청 산하 기상·기후 관측소별 최초 관측 시작일

기상청에서는 2007년부터 한라산 주변 지역에 시범적으로 52곳의 Ubiquitous Sensor Network(USN) 장비 기반 관측소를 설치 운영하기도 하였다. 그러나 USN 관측망은 표준 기상 관측 환경 확보의 어려움으로 수집된 자료를 기상청 내부 연구용으로만 사용하다가 2015년 이후에 그 일부를 관측 공간 적정성을 고려하여 AWS 기반 한라산 지역 기상·기후 관측망에 흡수 통합시켰다. 송당, 외도, 오동, 한라생태숲, 삼각봉, 사제비, 영실, 금악, 새별오름, 제주가시리 AWS 관측 지점등이 이에 해당된다. 2020년 7월에는 산간지역의 관측을 강화하기 위해 국립생태원에서 운영하던 한라산 남벽관측소를 기상청에서 이관 통합하기 시작하였다. 또한, 2022년 4월에는 한라산 정상 주변 동릉관측소(한라산연구소가 제시한 해발고도는 1,920m임)에 신

규 장비를 설치하면서 우리나라에서 가장 해발고도가 높은 한라산 정상 주변의 기상·기후 자료를 수집하기 시작하였다.

제주도는 동서 장축 길이가 약 70km, 남북 단축 길이가 약 30km이고 전체 면적은 1,848km²로 한반도와 비교하여 그 면적이 약 0.8%에 달하는 작은 섬에 불과하다. 그러나 섬의 중심에 해발고도 1,950m에 달하는 남한 최고봉 한라산이 자리 잡고 있어 해발고도 기준 지역별(해안 지역: 200m 이하, 중산간 지역: 200~600m, 산간 지역: 600m 이상) 및 동서남북 사면별로 기상·기후 특성이 매우 상이하게 나타난다. 제주도 해안 지역-한라산 산간 지역 간 기후 특성 차이는 제주-한반도 중부 지방(서울) 간 기후 특성 차이보다 더 크다. 이러한 지역 기후 특수성을 고려하여 2016년부터 제주 지방기상청 관측과를 중심으로 위험기상·기후현상의 모니터링에 적합한 한라산 지역 최적 기상·기후 관측 네트워크를 구축하기 위해 다양한 기초 연구들을 수행하기 시작하였다(제주지방기상청, 2016, 2017, 2018). 이러한 기초 분석 결과를 바탕으로 일부 관측 지점들의 위치를 수정하거나 새로운 AWS 관측소들(성산수산, 애월, 한라산 남벽)을 개소해나가고 있다(표 2-1). 또한 이 최적 관측망 구축을 위한 기존 AWS 관측 지점 재배치 과정에서 일부 관측 지점들(색달, 강정)의 관측은 종료되기도 하였다.

제주도 주민들이 오랫동안 생활하면서 경험적으로 습득한 한라산 지역별 기후 특성을 고려하여 특정 해발고도를 기준으로 한라산 지역을 구분하여 생활에 적용해오고 있다. 흔히 해발고도 200m 이하 지역을 해안 지역, 해발고도 200~600m 지역을 중산간 지역, 해발고도 600m 이상 지역을 산간 지역으로 구분하고 있다. 중산간 지역은 겨울철에 기온이 낮고 눈이 내리게 되면 잘 녹지 않아서 거주하는 데 어려움이 많다. 또한 제주도는 현무암 기반암으로 되어 있어 잘 발달한 절리를 따라서 대부분의 강수가 스며들어 중산간 지역에서는 상수도 개발 이전에 식수나 농업 용수를 얻는데 많은 어려움이 있다. 경사가 덜하고 일부 용천수를 구할 수 있었던 동서 사면의 마을(예. 조천읍 교래리, 한경면 저지리 등)을 제외하면 대부분의 주민이 거주하는 마을은 용천수가 풍부했던 해안가에 자리 잡고 있다. 제주도 해안 지역은 바람

표 2-1. 2020년 말 기준 제주도의 기상청 산하 AWS 기반 방재기상 관측소 정보

지점번호	지점명	위도(°N)	경도(°E)	고도(m)	주소
328	중문	33.249	126.406	63.64	제주특별자치도 서귀포시 중문관광로72번길 60 중문골프장
329	산천단	33.447	126.565	378.48	제주특별자치도 제주시 아라1동 KBS제주방송총국
330	대흘	33.501	126.650	144.41	제주특별자치도 제주시 조천읍 대흘리 2778-30 상하수도본부
724	추자도	33.958	126.302	8.10	제주특별자치도 제주시 추자면 영흥리 31-14
725	우도	33.523	126.954	9.23	제주특별자치도 제주시 우도면 연평리 772
726	마라도	33.122	126.268	11.58	제주특별자치도 서귀포시 대정읍 가파리 584
727	유수암	33.410	126.393	425.21	제주특별자치도 제주시 애월읍 평화로 2144 제주경마공원
751	선흘	33.482	126.709	251.09	제주특별자치도 제주시 조천읍 선교로 117
752	서광	33.305	126.306	188.42	제주특별자치도 서귀포시 안덕면 신화역사로188번길 62
753	어리목	33.393	126.496	967.83	제주특별자치도 제주시 1100로 2070-61 한라산국립공원관리사무소
779	한림	33.393	126.258	38.79	제주특별자치도 제주시 한림읍 명월리 1969
780	제주남원	33.277	126.704	25.86	제주특별자치도 서귀포시 남원읍 태위로 551-27 남원생활체육관
781	구좌	33.520	126.878	17.18	제주특별자치도 제주시 구좌읍 하도리 2233-1
782	성판악	33.385	126.619	760.47	제주특별자치도 제주시 조천읍 516로 1865 성판악탐방안내소
792	표선	33.354	126.817	80.47	제주특별자치도 서귀포시 표선면 한마음초등로 399 표선생활체육관
793	대정	33.241	126.226	2.64	제주특별자치도 서귀포시 대정읍 일파리 1396-2

855	가파도	33.173	126.268	4.25	제주특별자치도 서귀포시 가파리 373-1
861	월정	33.562	126.778	34.00	제주특별자치도 제주시 구좌읍 월정리 1400-103
862	송당	33.471	126.779	196.63	제주특별자치도 제주시 구좌읍 송당리 1266-1 송당리사무소
863	외도	33.477	126.432	52.65	제주특별자치도 제주시 외도1동 1019
865	오등	33.458	126.522	233.90	제주특별자치도 제주시 오등동 1809
866	한라 생태숲	33.430	126.598	588.19	제주특별자치도 제주시 용강동 산14-1
867	삼각봉	33.377	126.531	1499.40	제주특별자치도 제주시 오라2동 산107-20
868	사제비	33.376	126.498	1392.70	제주특별자치도 제주시 애월읍 1100로 2070-510
869	영실	33.348	126.496	1260.20	제주특별자치도 서귀포시 하원동 산1-1
870	진달래밭	33.370	126.556	1488.56	제주특별자치도 서귀포시 남원읍 영실로 492 진달래밭대피소
871	윗세오름	33.362	126.518	1665.71	제주특별자치도 제주시 애월읍 1100로 2070-510 윗세오름대피소
880	금악	33.333	126.324	319.78	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 산56-3
883	새별오름	33.362	126.360	435.00	제주특별자치도 제주시 애월읍 봉성리 산59-12
884	기상(과)	33.259	126.518	173.45	제주특별자치도 서귀포시 대륜동(서호동) 1249-7
885	태풍센터	33.331	126.679	244.29	제주특별자치도 서귀포시 남원읍 서성로810번길 2
890	제주 가시리	33.385	126.734	275.20	제주특별자치도 서귀포시 남원읍 신례리 2162-43
892	성산수산	33.450	126.851	102.47	제주특별자치도 서귀포시 성산읍 수산리 3039-1
893	애월	33.466	126.328	5.24	제주특별자치도 제주시 애월읍 애월리 397-2
965	한라산 남벽	33.352	126.533	1576.00	

이 강하게 불지만 한 겨울에도 기온이 영하로 잘 떨어지지 않아서 조선 시대 말기에 와서야 불을 이용한 온돌집이 지어졌다. 반면, 섬의 중심에 자리 잡고 있는 해발고도 1,950m의 한라산은 물자와 인력의 남북 이동을 제한하는 장해물이 되어 한반도에 가까운 북부해안에 위치한 제주 도심 지역이 제주도의 인적·물적 교류의 중심을 이루고 있다. 한라산 남쪽에 위치한 서귀포와의 인적·물적 교류는 1962~1969년에 한라산 동쪽 산간 지역을 가로지르는 516로라 명명된 제1횡단도로를 건설하게 되면서 활발해지기 시작하였다. 또한, 1969~1973년에는 한라산 서사면을 감싸 넘어 남북을 횡단하는 1100도로라 불리는 제2횡단도로도 건설되면서 이를 통해 제주-서귀포 도심 간 연계성이 강화되었을 뿐만 아니라 영실, 어승생, 노루목 등의 지역도 개발되기에 이르렀다. 한라산 정상 지역은 기온이 낮아 해안지역이 봄철과 가을철인 시기에도 눈이 자주 내리며 여름철에도 일평균기온이 20℃ 이상으로 올라가지 않는다. 전통적으로 제주도의 10대 아름다운 경치를 일컫는 영주십경(瀛州十景)의 하나인 녹담만설(鹿潭晩雪)은 해안 지역 대부분 식생들이 꽃을 피우는 늦봄까지도 한라산 정상에는 잔설이 남아 있는 풍경을 가리킨다. 애조로(산북)-남조로(동부)-산록도로(산남)-평화로(서부)로 둘러싸인 해발고도 600m 이상의 산간 지역은 대부분 1970년에 한라산국립공원 지역으로 지정되어 보호되어 오고 있다.

한라산 지역의 해발고도별 자동기상관측소 설치 역사를 살펴보면 해발고도 200m 이하의 해안 지역은 1990년대 초반부터 현재까지 지속적으로 관측소가 증설되어 왔다(그림 2-5). 이는 제주도 인구의 대부분이 이 해발고도 200m 이하 해안 지역에 살고 있기 때문이다. 반면, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 2010년대 중반 이전에는 마을이 형성된 지역을 중심으로 드물게 설치되었다가 2015년 USN 관측망을 재정비하면서 일부 증가하였을 뿐이다. 최근 중산간 지역에 기존의 목장, 골프장 부지 이외에도 도로 확장과 더불어 주거 지역이 이곳 저곳에 형성되고 있다. 해발고도 600m 이상 산간 지역 자동기상관측소의 수는 중산간 지역보다 더 드물다. 1100로와 516로가 접근하는 한라산 등산코스인 어리목(968m)과 성판악(760m)

면 경사가 급한 한라산 남사면 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 2020년 현재 공식적인 자료를 수집하여 공개하는 관측소가 전무한 실정이다. 이러한 상황으로 인해 태풍이나 이동성 저기압이 다가올 때 유입되는 산간 지역에 나타나는 지형성 강수에 대한 정보가 거의 없어서 호우 시 경사가 상대적으로 급한 제주시나 서귀포 도심 방향으로 유출되는 유량 예측에 어려움을 겪어왔다. 제주지방기상청 관측과는 2017년 이후 지속적으로 제주도 한라산 지역의 최적 관측망 구축에 관한 기

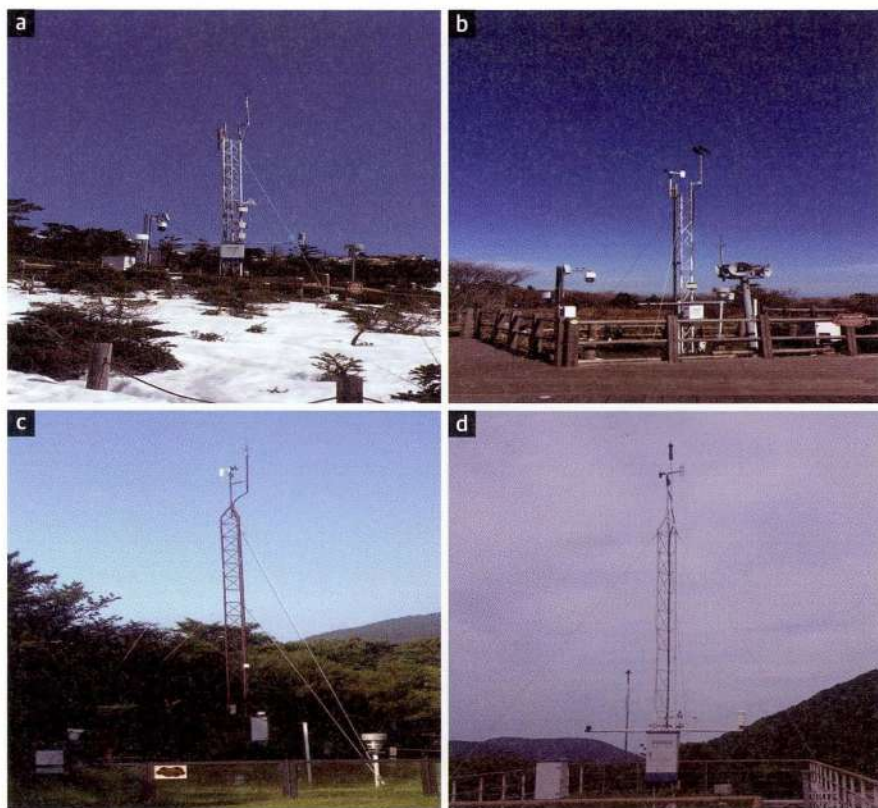


그림 2-6. 한라산 고산간 지역((a)윗세오름(1,666m), (b)진달래밭(1,486m))과 산간 지역, (c)어리목(968m), (d)성판악(760m))의 AWS

초 연구들(제주지방기상청, 2016, 2017, 2018)을 수행하였다. 그러한 노력의 결과로 한라산 남사면 돈네코 코스 관련 등산객을 위한 기상 관측과 관련하여 2020년 7월 31일에 환경부 산하 국립생태원에서 2017년 이래 운영해오던 한라산 남벽(해발고도 약 1,576m) 관측소를 기상청의 방재기상관측망(AWS)에 편입하기에 이르렀다. 원래 이 한라산 남벽 AWS 관측 지점은 국립생태원 한라산 중점생태연구소에서 2017년 말부터 기후변화에 민감한 한라산 고산 지역의 장기 생태 연구를 수행하기 위해 처음 설치한 것이다.

한라산 정상 의 경우에는 2004년부터 제주특별자치도 한라산연구소가 운영해 오던 한라산 정상 동릉 관측 지점(1,920m)에 2011년 말부터 협력 관측 장비를 설치하여 기온, 습도, 풍향 및 풍속, 기압 등의 기상·기후 자료를 수집해 오고 있다(그림 2-7). 해발고도 1,920m에 위치한 한라산 정상(동릉) 관측 지점 자료의 경우 관측 지점 주변 경사가 급하여 평평한 노장 확보가 어렵고, 강풍이 자주 불어 강수 등 관측 요소에 따라 불확실성이 자료에 포함되어 있을 것으로 짐작된다. 또한 한라산 정상 주변에



그림 2-7. 한라산 정상 동릉(1,920m) AWS 관측 지점

위치해 있어 동릉관측소는 낙뢰, 태풍, 폭설 등 위험기상현상에 의한 장비 파손의 위험성에 노출되어 있다. 이러한 한라산 고산간 지역의 극한 관측 환경에 의해 관측장비 고장 시 접근성이 제한되어 복구에 큰 어려움이 있다. 이러한 한계점 때문에 한라산 정상 동릉 AWS 관측 지점은 2020년 말까지도 기상청에서 실시간 방재기상관측소로 활용하지 못하고 있는 실정이다. 21세기 접어들어 기후변화가 심화되어 전례 없는 극한기상·기후 현상들이 발생하는 가운데 제주도 관광업 활성화와 함께 한라산 등산객이 급증하고 있다. 따라서 한라산 정상에도 안정된 관측시스템을 구축하여 관광객들에게 필요한 산악 기상·기후 정보를 제공하는 것이 시급한 실정이다.

한라산 산간 및 고산간 지역의 기상청 산하 AWS에서는 공통적으로 기온, 강수량, 풍향 및 풍속 자료를 측정해 오고 있다. 그러나 한라산 지역에서는 이러한 기본 방재 기상관측망 관측 요소 외에도 적설, 안개 등 제주도민과 관광객에게 고해상도 산악 위험 기상·기후 정보 제공을 위해 관측소 확충이 시급하다(제주지방기상청, 2018). 제주도 중산간 및 산간 지역에는 겨울철에 대설로 인해 제주시와 서귀포시 도심을 최단 거리로 연결하는 1100로와 516로 등 산악 도로들이 통제되는 경우가 자주 발생하고 있다. 대설 현상과 관련하여 제주도 해안 지역의 4개 종관기상관측소는 1960년대 초반부터 목측에 의존한 수동 적설 관측을 수행해 오다가 2014년 말에 제주 관측소를 제외한 나머지 기상대가 무인화되면서 CCTV에 의한 적설 자동 모니터링이 이루어지기 시작하였다. 기상청 산하 AWS 관측 지점 중에서는 산천단과 어리목에 2012년 초반부터 적설 감시용 CCTV를 설치하였다(그림 2-8). 그러나 이는 일정 시각에 적설판 위의 눈을 치운 후 일별 신적설을 측정하는 기존 유인 관측과는 차이가 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 2016년 후반에 유수암, 2017년 후반에 산천단, 추자도, 어리목 등의 관측 지점에 현대적인 초음파식 적설계를 설치하였다. 그러나 이 또한 여전히 관측된 적설량에 불확실성이 큰 편이어서 수집된 자료는 기상청 내부 연구용으로만 활용되고 있다.

한라산 고산간 지역의 경우에는 윗세오름과 진달래밭 대피소에 근무하는 한라

산국립공원 관리사무소 직원이 3시간마다 대피소 부근에 쌓인 적설을 눈금자를 이용하여 육안 관측한 결과를 제주지방기상청에 제공해 왔다. 그러나 2016년 이후에는 대피소 상주 업무가 종료되고 적설 협조 관측도 중단되었다. 이를 보완하기 위해 그 이후에 제주도청에서는 윗세오름과 진달래밭 기상청 AWS 관측 지점에 단초점 레이저 적설계를 설치하기에 이르렀다. 이보다 해발고도가 낮고 도로가 연결되어 접근성이 나은 산간 지역에 위치한 어리목과 성판악의 경우에는 육안 적설 관측도 병행해 오고 있다.

제주특별자치도는 2016년 1월에 발생한 대설에 의해 제주국제공항이 마비되는 사례를 겪었다. 그 이후 평화로, 산천단, 성이시돌 목장, 모슬포예비군훈련장, 영실, 삼다수 공장, 번영로, 비자림 등지에 적설 관측 장비를 설치하여 실시간 도로 교통

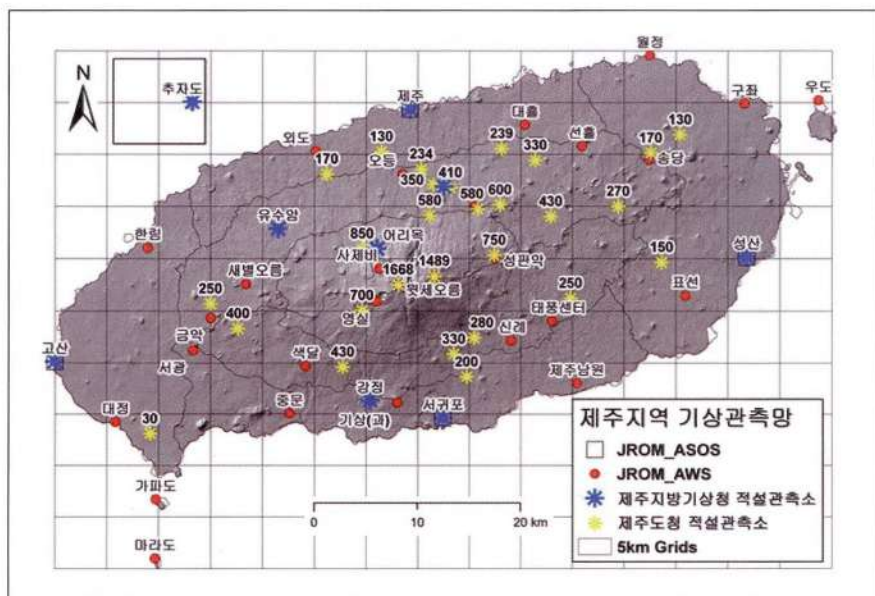


그림 2-8. 한라산 지역 제주지방기상청과 제주특별자치도 적설 관측망 분포(해발고도, m)
출처: 제주지방기상청, 2018.

사고 방재용 적설 정보를 제공하기 시작하였다. 이후 한라산 주변 주요 도로망을 따라 관측 지점 수를 늘려 2020년 말 기준 적설 관측 지점 수는 약 28여 개소에 달하고 있다(그림 2-8). 그러나 이들 관측 장비들은 기상·기후관측 전문가가 관리하는 것이 아니기 때문에 일부 관측 지점에서는 장비 유지 보수가 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 그 결과 자료의 결측도 많고 측정 자료의 품질에도 문제가 있을 것으로 추정되어 실시간 방재용으로만 제한적으로 사용되고 있다.

한편, 제주도는 아열대 해양으로 둘러싸여 대기 중 수증기량이 많은 편이다. 그 중에서도 늦봄~초가를 사이에 습도가 높는데 특히 성하기~늦여름에는 섬 주변에 25℃ 이상까지 데워진 해수의 영향으로 습도도 높아져 불쾌지수가 매우 나쁨 수준의 상태를 자주 보인다. 야간에도 기온이 쉽게 하강하지 않아 열대야가 오랫동안 지속되고, 수주 동안 연속적으로 발생하게 된다. 해안 지역 4개 종관기상관측소에서는 관측 시작 연도부터 지금까지 습도 관측을 해오고 있으나, 한라산 주변 지역 AWS 관측 지점 중에서는 2007년 연말에 와서야 처음으로 태풍센터 AWS 지점에서 습도 관측이 이루어지기 시작하였다. 이후 제주지방기상관측소에서도 여름철의 경우 높은 기온뿐만 아니라 습도에 의한 체감온도가 상승하는 중요성에 대해 인지하고 점차 습도 관측 지점의 수를 늘리기 시작하였다. 그 결과 2012년 말에는 추자도, 우도, 마라도, 가파도 등 제주도 부속도서 지역과 윗세오름, 진달래밭 등 한라산 고산간 지역에까지 습도 센서가 확대 설치되었다. 2020년 말 기준으로는 4개 종관기상관측소와 35개 자동기상 관측 지점 중에서 대흘, 표선을 제외한 대부분의 관측지점에서 습도를 측정하고 있다.

제주도의 북서부 해안 지역과 한라산 중산간 및 산간 지역에는 짙은 안개(농무)가 자주 발생한다. 특히, 516로, 1100로, 평화로, 남조로 등의 한라산 산간 지역 주변 도로 이용 시 교통사고 위험이 상존하고 있다. 따라서 영향 예보적 측면에서도 제주도 주요 도로망 주변의 안개 발생 정보는 중요하게 여겨진다. 기상청 산하 4개 종관기상관측소 중에서 제주 관측소에서는 1960년대부터 그리고 나머지 3개 종관기상관

측소는 관측소 개소와 더불어 목측으로 안개계속시간을 수집해왔다. 2015년 전후로 이들 종관기상관측소에서 현대적인 시정현천계를 설치하여 안개 관측을 자동화하기 시작하였다. 2013년 유수암, 한림, 제주남원, 2014년에 선흥, 서광, 2015년 중문, 2016년 구좌, 성판악, 추자도, 어리목, 김녕(2018년 이후 송당으로 이전) AWS에 설치하였다. 이러한 노력의 결과로 기상청 산하에는 2018년 말 기준 4개의 종관기상관측소 포함 총 15개의 AWS 관측 지점에 시정현천계가 설치되었다(제주지방기상청, 2018).

제주특별자치도에서도 짙은 안개(농무)발생에 따른 교통사고 발생을 줄이기 위해 자치경찰단 산하에 주요 교통 분기점에 약 65개의 CCTV를 설치하여 운영해 오고 있다. 2016년에 애조로 제주경마장 주변에서 짙은 안개로 인해 19중 충돌사고가 발생한 이후에 평화로 광평IC-어음IC 구간 12곳에 시정계를 설치하였다. 현재 도로망을 따라서 약 80여 개의 적외선 센서가 있는 안개등도 설치되어 있다. 다만 이들 제주특별자치도 운영 센서들은 모두 실시간 모니터링을 위한 자료로만 활용하고 있고 장기간 안개 발생의 기후 특성 분석에는 활용되고 있지 못한 실정이다.

실제 한라산 정상 지역의 기상·기후 관측은 제주지방기상청에 앞서 언급한 대로 2001년 제주특별자치도 산하 한라산연구소가 처음 설립되고, 2002년 한라산 정상 동릉(1,920m)에 AWS를 설치하면서 본격화되기 시작하였다(한라산연구소, 2004). 2008년 이후에는 한라산 산림 생태 모니터링을 위해 영실 우량소나무림대, 관음사 낙엽활엽수림대 등 2곳에 기상·기후 관측 지점을 증설하였다. 이들 한라산연구소의 관측망에서는 기온, 습도, 풍향 및 풍속, 강우량, 지중온도 등의 요소들을 30분 단위로 수집하여 연구 자료로 활용해 왔다. 그러나 이들 지점에서는 기상·기후 관측장비 운영에 필요한 전력은 태양열을 이용하여 확보하였으나, 관측된 자료를 데이터 로거에 저장했다가 연중 몇 번에 걸쳐 해당 지점을 직접 방문해 다운로드해야 하는 방식이어서 운영에 많은 어려움을 겪어 왔다. 한라산 정상에는 겨울철을 중심으로 AWS 기상·기후 관측 장비에 동결 용해가 반복되고, 수 미터 이상의 눈으로 덮여 관측에 많은 오류와 결측이 발생하기 쉽다. 여름철에도 태풍 또는 낙뢰에 의

한 관측 장비 손상이 자주 발생하여 이들 관측 지점에서 결측이 수개월간 이어지기도 한다. 따라서 2020년 말 현재까지도 한라산 정상에는 한라산 정상 동릉 협력 관측 지점만 운영되고 있는 실정이다. 이 제한된 양의 자료를 바탕으로 한라산 정상상의 기상·기후 특성에 관한 일부 분석 결과가 2010년을 전후로 한라산연구소 내부에서 발간하는 연구보고서에 제시되기도 하였다(한라산연구소, 2005, 2006, 2007, 2008, 2011a, 2011b, 2013, 2014). 그러나 동릉 관측 지점 주변 환경은 기상청 표준 관측 환경 요건에 부합하지 못하여 수집된 자료의 품질에 불확실성이 존재한다. 가령, 한라산 정상 주변에는 강풍이 자주 불어 강수 관측의 경우에는 실제 강수량보다 적게 기록될 가능성이 크고, 유인 관측이 필요한 적설 관측은 폭설 발생 시 접근성이 낮아 거의 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이외에도 한라산 연구소에서는 2010년대 초반 이후 정규 방재 기상 관측 이외에 한라산 장기 생태 모니터링을 위해 한라산 산간 산림 지역과 해안-중산간 지역 내 꽃자왈의 HOBO 센서 기반 온습도 및 지온 관측망을 일시적으로 운영하기도 하였다. 또한, 한라산 산간 구상나무 고사에 영향을 미치는 기상·기후 특성을 파악하기 위해 약 10여 개의 HOBO 센서 기반 관측 지점을 운영해오고 있다. 그러나 이들 간이 관측 시스템도 장기적인 운영에는 취약하여 연속적인 관측이 언제까지 이루어질지는 다소 미지수이다.

한편, 제주특별자치도에서도 여름철 태풍, 집중 호우 등 홍수 피해와 관련하여 2007년 9월 중순 태풍 나리(NARI)에 의한 대규모 인명 및 재산 피해를 입은 후 한라산 주변 지역에 강우 관측망을 구축하기 시작하였다. 그 결과 2020년말 현재 해발고도 600m 이하 중산간 및 해안 지역에 홍수 감시용 약 50여 개 지점에서 강우량 관측자료를 수집하여 제공하고 있다(<https://bangjae.jeu.go.kr>). 이들 강우량 관측 장비들은 대부분은 주민들이 사는 해안 지역 및 중산간 지역 마을에 설치되어 있지만, 어승생, 천백고지, 영실, 관음사, 서귀포수련원 등 산간 지역에도 일부 설치되어 있다. 인구가 밀집한 제주도 도심권을 관통하는 한천, 병문천, 산지천, 독사천 등 주요 하천을 따라서는 약 22개소에 CCTV를 설치하여 집중호우 시 도심 하천 범람

감시를 해오고 있다. 이외에도 제주특별자치도 산하 농업기술원에서는 제주지방 기상청에서 기술이전을 받아 2019년 말부터 약 38개 관측 지점에서 서리, 동해, 가뭄 등 제주 농업에 영향을 주는 극한현상에 관한 자료를 수집하여 농민들에게 제공해오고 있다(<http://ceresd.agri.jeju.kr/>). 이들 관측 지점들은 원종장(308m)과 용강동(239m) 관측 지점을 제외하면 대부분의 관측 지점들은 농지가 분포하고 있는 해발 고도 200m 이하 해안 지역에 위치해 있다.

개인 연구자에 의한 한라산 산간 지역 기상 관측으로는 1948년 1월 6~22일 한라산을 등반한 한국산악회가 중앙관상대의 풍속계를 빌려 등반했다는 기록이 남아 있다. 그러나 개인 연구자들이 데이터 로거 등 연속관측이 가능한 장비를 설치하여 장기간 수집한 관측 정보를 제공하기 시작한 것은 20세기 후반에 와서이다. 일부 연구에서는 한라산 지역에 수개월 이상 지온, 암온, 기온 등을 관측하여 아고산대 식생과 기후와의 관련성(공우석, 1999), 산간 지역의 물수지(안중기와 김태호, 2006, 2008)나 동결-융해 반복에 의한 주빙하성 지형 프로세스(김태호, 2012, 2013; 김태호와 이승욱, 2018) 등을 파악하고자 한 사례가 있다. 또한 최근에는 고해상도 HOBO 온습도관측망을 구축하여 제주도 아열대 도심 지역의 기후변화와 도시화에 의한 여름철 열환경 분포를 조사한 연구결과도 보고되기 시작하였다(최광용, 2019; 제주녹색환경지원센터, 2019).

여기에서는 이와 같은 이러한 다양한 현대적 관측 센서 기반 한라산 지역 기상·기후 관측망 자료 중에서 시공간적으로 가장 체계적이고 표준화된 기상청 산하 관측소 자료를 바탕으로 한라산 지역의 시공간적 기후 분포 특성을 기술하고자 한다. 우선, 2-2장에서는 한라산 지역의 해발고도별 공간 연속적인 기후대와 사계절 분포 특성을 살펴보기 위해 최근 10년 동안(2001~2010년) 한라산 주변 지역 기상청 산하 지상 관측 자료를 PRIDE(PRSIM based Downscaling Model)를 활용하여 통계적으로 재분석하여 생산한 고해상도(1km×1km) 격자 자료를 분석한 결과를 제시하고자 한다. 2-3장에서는 21세기에 접어들어 장기간 동안 실제 지상관측소에서 수집한 한

라산 주변 지역의 일별 기온, 강수, 바람 등 주요 기후 요소 자료를 바탕으로 한라산
 해발고도 기준 지역별(해안 지역: 200m 이하, 중산간 지역: 해발고도 200~600m, 산간 지
 역: 해발고도 600m 이상) 및 동서남북 해안 지역과 동서 고산간 지역 관측 지점 자료
 를 바탕으로 한 한라산 지역의 사면별 기상·기후 특성을 분석한 결과를 제시하기
 로 한다. 이를 위해, 기상청 산하에서 최소 30년 이상 동안 체계적인 관측을 수행해
 온 제주도 동서남북 해안 종관기상관측소(성산: 1973~2020년, 고산: 1988~2020년, 서귀
 포: 1961~2020년, 제주: 1924~2020년)와 약 20여 년(2001~2020년)에 가까운 장기간 동
 안 산간 지역을 포함한 기상·기후 자료를 수집해 온 약 19개의 AWS 관측 지점 자료
 를 기상청 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/>)에서 수집하여 분석하였다. 2-4
 장에서는 한라산 지역 극한기후현상의 시·공간적 분포 특성을 밝히기 위해 필요에
 따라서는 2010년대를 중심으로 10년 이하의 단기간 관측 자료를 제공하고 있는 약
 16개의 AWS 관측 지점의 자료도 추가적으로 분석하였다. 이외에 한라산 정상 기
 상·기후에 대해서는 기상청에서 수집하여 제공하는 기상자료개방포털에서 가용하
 지 않으므로 한라산 연구소에서 발간한 내부 연구조사보고서에 명시된 자료들을
 수집 분석하여 요약 기술하기로 한다.

2. 한라산 지역 기후대 분포와 사계절 변화

한라산 지역 기후대의 수직 분포

제주도는 동아시아 남부 위도 33°N, 경도 126°E 아열대 해상에 자리 잡아 겨울철의 경우 시베리아에서 발원하는 한랭건조한 북서계절풍의 영향에도 불구하고 한반도 지역에 비해 온화한 기후 특성을 보인다. 또한 쿠로시오 난류의 지류 일부가 제주도 남동 방향을 거쳐 한반도와 일본 열도 사이에 놓인 동해로 북상하면서 제주도에 한겨울철에도 영상의 기온을 유지시키는 데 영향을 준다. 여름철에는 북태평양 아열대 고기압 북서 가장자리를 따라 남서 기류가 유입된다. 유라시아 북서부로부터는 상대적으로 한랭건조한 기류가 파장 형태로 남동진하게 된다. 이때 여름 몬순 전선이 동아시아 영역 남북으로 불규칙하게 형성되면서 호우현상과 여름철 무더위 현상이 수일 간격으로 나타난다. 그 결과 제주도는 여름철에 전형적인 고온다습한 아열대 기후 특성을 보인다. 특히, 늦여름에 섬 주변 해상의 수온이 30℃까지 상승하여 주간뿐만 아니라 야간에도 고온다습한 열대야 현상이 오랫동안 연속적으로 나타난다.

아열대 해상에 위치한 제주도의 중심에는 남한 최고봉(1,950m)인 한라산이 솟아 있어 해발고도에 따라 기후 특성이 뚜렷하게 달라진다. 제주도 해안 지역과 한라산 정상 백록담 지역 간에는 해발고도 상승에 따른 기온감률에 의해 연중 기온은 최소 10℃의 차이를 나타내며, 지형성 강수 현상 발생으로 인해 약 3배 이상의 강수량 차이를 보인다. 여름철 극한강수현상의 발생빈도와 강도도 한라산 정상 지역으로 갈수록 강해진다. 겨울철 강수도 해안 지역에서 강우 형태로 내릴 때에도 한라산 산간 지역에서는 강설로 나타나는 경우도 자주 관찰되고 있다. 또한 한반도 내륙 지역에 비해 제주도 해안 지역을 중심으로 계절풍이나 국지적 해륙풍이 강하게 부는

편이지만, 한라산 정상 지역은 경계층(boundary layer)를 벗어나 850hPa 이상 대류권 하층에 해당되기 때문에 연중 주로 중위도 편서풍의 영향을 받는다. 제주도 주민들은 이러한 한라산 해발고도에 따른 기후 요소들의 분포와 식생 경관의 수직적 변화를 바탕으로 오래전부터 경험적으로 해발고도 200m 이하를 해안 지역, 해발고도 200~600m를 중산간 지역, 해발고도 600m 이상을 산간 지역으로 구분하여 생활에 적용해 오고 있다.

21세기 초반 10년간(2001~2010년) 종관기상관측소 및 자동기상관측소 일평균기온 자료를 PRIDE 기법으로 통계적 상세화하여 생산한 고해상도(1km×1km) 재분석 격자 자료를 바탕으로 한라산 지역의 기후대 분포를 살펴보면 한라산 해발고도 상승에 따라 최한월과 최난월 평균기온 차이가 뚜렷하여 아열대 기후대, 온화한 중위도 기후대, 혹독한 아고산대 기후대 등 다양한 기후유형이 나타남을 알 수 있다(그림 2-9). 한반도 대부분 지역은 여름철 고온다습한 아열대 기단의 영향을 뚜렷하게 받지만 겨울철에는 한랭건조한 시베리아 기단의 영향에 의해 최한월 평균기온이 영하로 떨어진다. 이에 따라 눈이 내려 녹지 않는 경우도 발생하고, 토양이 얼어 식생도 대부분 동면 상태에 들어간다. 반면, 제주도 해안 저지대와 남해안 도서 지역에서 연중 지배적으로 나타나는 난대 상록활엽수림은 이들 지역이 아열대 기후대 지역임을 증명한다. 우리나라 기상청에서는 트레와다의 전세계 기후 구분 기준(최한월 평균기온이 18℃ 이하이고, 월평균기온이 10℃ 이상인 기간이 8개월 이상인 경우)에 의해 아열대 기후대를 구분하지만, 이러한 전 세계 기준을 상대적으로 면적이 상대적으로 작은 우리나라에 적용하는 것은 다소 무리가 있다고 판단된다. 일부 연구자들(예. 권영아 등, 2007)은 우리나라에서 트레와다의 아열대 기후구 구분에는 해당되지만 기온이 영하로 떨어지는 추운 겨울철 기간이 수개월 이상 나타나는 지역을 아열대 기후 지역으로 구분하는 것은 적합하지 않다는 의견을 제시하였다. 현재 전 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 쾨펜-가이거의 전세계 기후 구분에 따르면 제주 해안 지역은 온난 습윤 기후(Cfa)(C는 최한월 평균기온 -3~18℃; f는 여름철 겨울철에 상

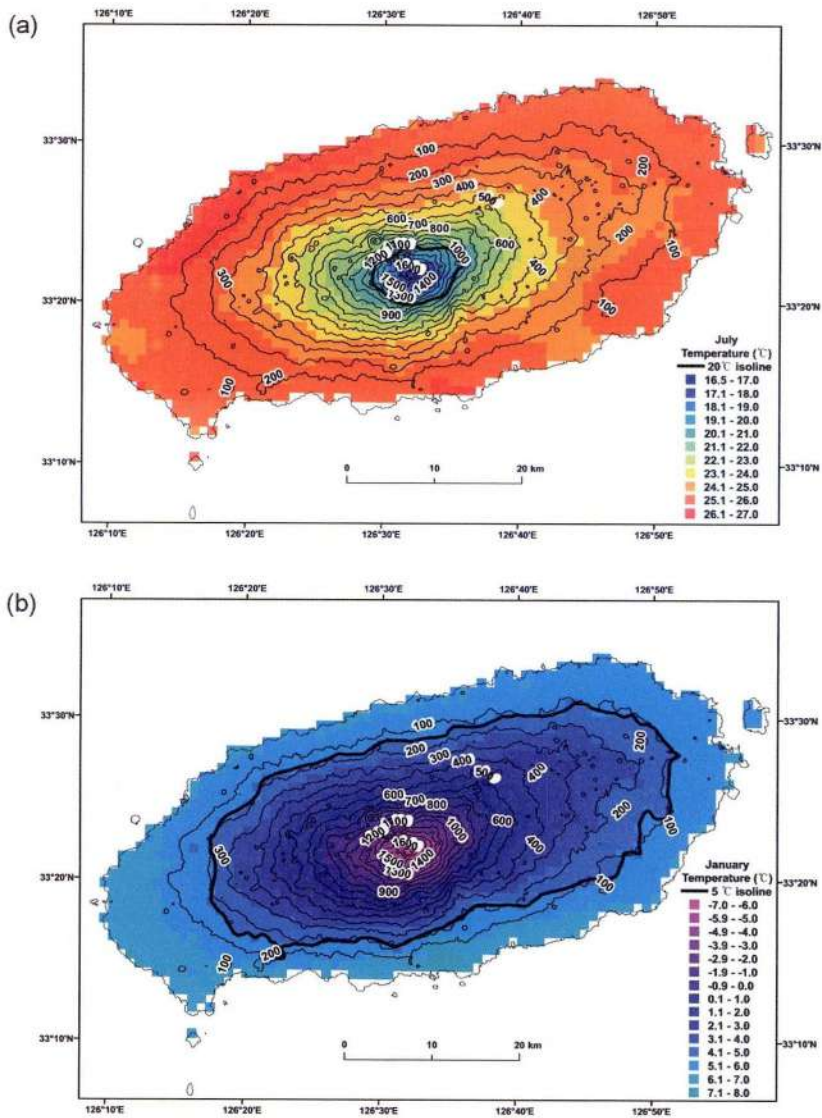


그림 2-9. 한라산 지역의 최난월(a) 및 최한월(b) 평균기온을 고려한 기후대 지역 구분
출처: 최광용, 2017.

관없이 연중 강수가 고르게 내림; a는 여름이 덥고 최난월 평균기온이 22℃ 이상), 한라산 정상 주변은 한랭 습윤 기후(Dfb)(D는 최한월 평균기온 -3℃ 이하이고 최난월 평균기온 10℃ 이상; f는 여름철 겨울철에 상관없이 연중 강수가 고르게 내림; b는 여름이 선선하고 최난월 평균기온이 22℃이하이며 적어도 4개월 이상 10℃이상)로 구분된다. 한라산 해발고도 상승에 따라서 식생경관 변화양상을 보더라도 이보다 더 다양한 기후대가 존재한다는 사실을 알 수 있다. 제주도 해안 지역은 한반도 지역에 비해 연강수량이 많으며, 특히 한라산 산악 지역으로 갈수록 강수량은 해안 지역의 최대 3배 이상을 보일 정도로 풍부하다. 여기에서는 최광용(2017)의 연구 내용을 바탕으로 강수량보다는 기온을 중심으로 해발고도 상승에 따른 식생경관 변화에 영향을 미치는 요소를 고려하여 기후대를 구분하였다.

한라산의 해발고도 상승에 따른 식생 경관으로 기후 지역을 구분해 보면 해발고도 200m 이하 해안 지역 꽃자왈 또는 주요 하천을 따라 나타나는 산림 생태계는



그림 2-10. 제주도 해안 지역 꽃자왈의 난대림 경관
출처: 제주꽃자왈도립공원

구실잣밤나무, 종가시나무, 참가시나무 등 주로 난대 상록활엽수림으로 이루어져 있어 이 지역도 아열대 기후 지역으로 구분할 수 있다(그림 2-10). 동아시아에서는 겨울 몬순의 영향으로 유라시아 대륙 서안 유럽 지역에 비해 겨울철이 더 한랭건조한 기후특성을 보이기 때문에 우리나라 아열대 기후대는 여름철 고온보다는 겨울철 저온 분포에 따라 그 범위가 결정될 수 있다고 판단된다. 한라산 해발고도 200m 내외 지역의 최한월(1월) 평균기온을 살펴보면 개략적으로 5℃ 등온선과 일치됨을 알 수 있다(최광용, 2017). 일반적으로 육상에서 평균기온과 최저기온 간에 약 5℃ 차이가 나기 때문에 평균기온 5℃ 등온선은 최저기온 0℃, 즉 한겨울에 식생이 동면에 접어드는 토양 수분이 어는점과도 관련성이 있다고 할 수 있다. 또한 이때 해발고도 200m 내외 지역의 최한월(7월) 평균기온은 약 25℃ 이상을 보인다. 해발고도 200~600m 중간간 지역으로 가면 난대 아열대상록수림은 점차 감소하고 온화한 중위도 기후대의 낙엽활엽수림대가 우세한 식생 경관을 이룬다.

한편, 한라산 해발고도 1,300m를 전후로는 주로 온대 혼효림으로 구성된 교목림 식생 경관에서 아고산대 키작은 관목림대로 뚜렷한 식생 경관 변화가 나타나므로 해발고도 1,300m이상 고도지역은 고산간 지역으로 구분될 수 있다. 해발고도 600~1,300m의 산간 지역에서는 주로 졸참나무, 서어나무, 신갈나무, 물참나무, 조릿대 등의 낙엽활엽수림과 소나무, 구상나무 등 상록침엽수림이 혼재되어 나타난다(그림 2-11). 반면, 해발고도 1,300m이상 고산간 지역에서는 구상나무 등 아고산대 상록침엽수림과 털진달래, 산철쭉, 제주조릿대 등 아고산대 관목림들이 우세하게 나타난다(그림 2-12). 쾨펜-가이저의 기후 지역 구분의 고위도 아극 기후(subarctic climate) 지역과 유사한 한라산 아고산 기후대(subalpine climate belt)에서는 여름철에도 고온현상이 발생하는 경우는 드물다. 반면 겨울철에는 저온현상이 오랜 기간 동안 지속되는 기후 환경과 관련하여 해발고도 1,300m 내외의 최한월(7월) 평균기온을 살펴보면 약 20℃ 정도를 보임을 알 수 있다. 이 지역의 최한월(1월) 평균기온은 약 -3℃ 내외로 주간에도 영하를 나타내 눈이 잘 녹지 않는 기후 지역에 해당됨



그림 2-11. 한라산 저산간(1100로) 중위도 기후대의 혼효림 경관

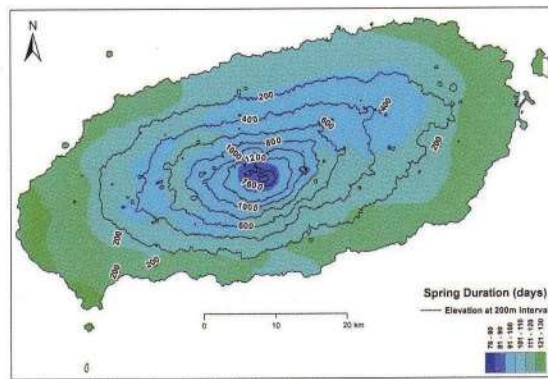


그림 2-12. 한라산 고산간(성판악 등산로 주변) 아고산 기후대의 관목림 경관

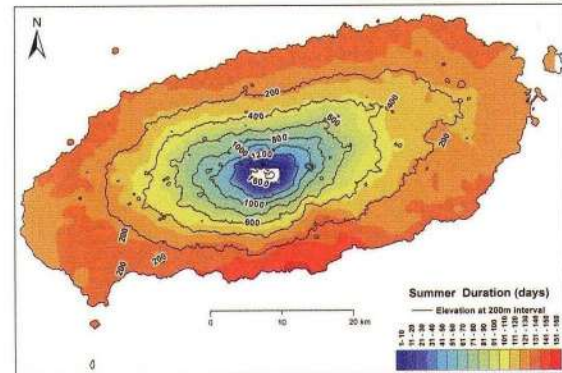
을 알 수 있다. 한라산 아고산 기후대 지역에서는 고위도 아극 기후 지역과는 달리 겨울철에 눈이 많이 내리며 바람이 매우 강하게 부는 혹독한 기후 환경 때문에 구상나무, 주목 등 상록침엽수림이 가지가 강한 눈바람에 의해 변형된 고산굴곡림(krummholz) 형태로 나타난다. 이 지역에는 겨울철 혹독한 눈보라와 건조함을 견딜 수 있는 눈향나무, 시로미, 돌매화나무 등 키작은 관목림이 공존한다. 한라산 주변 아고산대 기후 지역의 최난월(7월) 월평균기온은 약 15~20℃의 범위를 보이는데, 여름철(6~8월)에는 이 지역에 고산굴곡림과 키작은 관목림과 더불어 고산 초지가 넓게 나타난다. 이러한 한라산 해발고도 상승에 따른 아열대, 온대, 아고산대 기후 등 수직적 기후대 분포는 한반도 남북 끝단(남해 도서 지역-개마고원) 간에 수평적으로 나타나는 다양한 기후대를 모두 한지역에 모아둔 것과 같다.

한라산 지역 사계절 시종과 지속기간

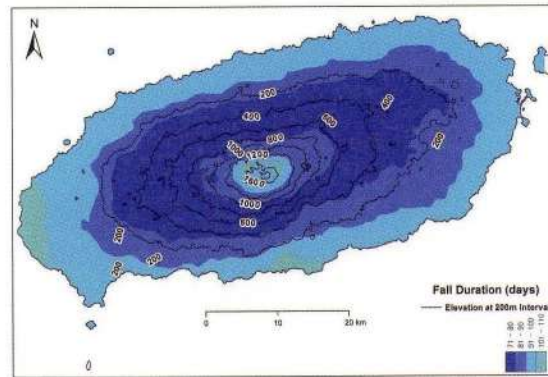
전세계 각 지역의 인간이나 동식물이 체감하는 기후학적 계절(climatological seasons)은 3개월 단위 달력 기간으로 구분하는(가령, 봄철: 3~5월, 여름철: 6~8월, 가을철: 9~11월, 겨울철: 12~2월) 기상학적 계절(meteorological seasons)이나 춘분, 하지, 추분, 동지 등 태양 주위 공전면에 대해 약 66.5° 기울어진 자전축을 가진 지구가 90°의 태양고도를 이루는 상대적인 위도를 기준으로 구분하는 천문학적 계절(astronomical seasons)과는 차이를 보인다. 기상학적 계절과 천문학적 계절은 북반구 또는 남반구 전체 평균 계절 구분에는 사용 가능하나 실제 지구상에서 각 지역마다 그리고 동일 지역에서도 해마다 달라지는 계절의 시종과 지속 현상을 반영하지는 못한다. 이와같이 시공간적으로 달라지는 기후학적 계절과 관련하여, 우리나라에서는 대체로 일평균기온이 연속적으로 약 5℃ 이하인 경우를 겨울철, 일평균기온 20℃ 이상인 경우를 여름철로 정의한다(이병설, 1979; 최광용 등, 2006). 제주도의 경우에는 남한 최고봉(1,950m) 한라산의 영향으로 해발고도에 따라 연중 기후학적 사계



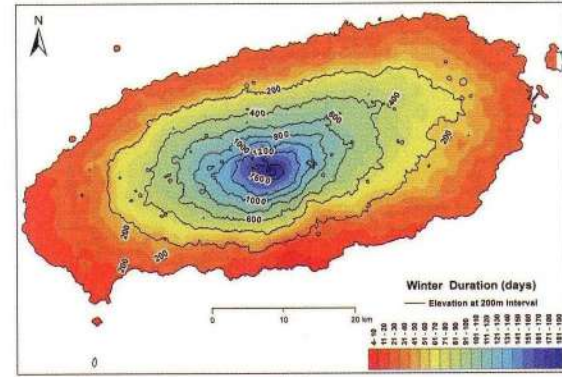
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 2-13. 제주도의 기후학적 사계절 지속시간
출처: 최광용, 2019.

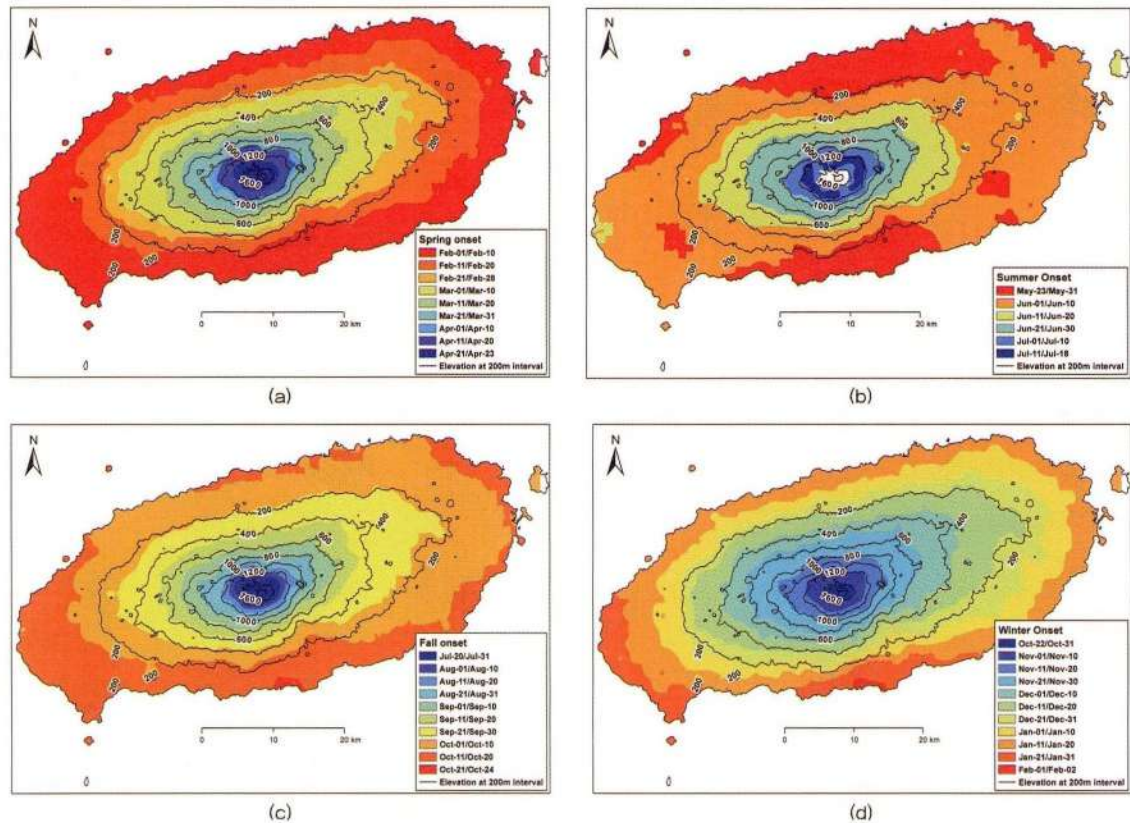


그림 2-14. 제주도의 기후학적 사계절 시작일
출처: 최광용, 2019.

절의 시작 및 종료 시기와 지속기간이 상이하게 나타난다. 가령, 3월 초순에 해안 지역에는 벚꽃이 만발하게 피어 있어 봄이지만, 같은 시기에 한라산 정상 주변에는 여전히 눈으로 덮여 있어 아직 겨울인 셈이다.

최근 10년간(2001~2010년) 고해상도 PRIDE 기반 재분석 기온자료에서 추출한 사계절 지속기간 분포에 따르면(최광용, 2019) 해발고도 약 600m까지는 여름철과 봄철 지속기간은 상대적으로 긴 편이지만, 가을철과 겨울철 지속기간은 상대적으로 짧음을 알 수 있다(그림 2-13). 특히, 아열대 기후 특성이 지배적으로 나타나는 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 여름철은 약 120~160일 정도로 긴 편이지만, 겨울철은 60일 이하로 짧은 편이다. 이 지역에서는 봄철도 100~130일 정도로 겨울철보다 길고, 가을철도 80~110일에 달한다. 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 여름철은 80~120일, 겨울철은 60~100일 정도로 유사하다. 반면, 해발고도 600~1,300m 산간 지역에서는 해안지역이나 중산간지역에 비해 겨울철과 봄철이 길고 여름철과 가을철은 짧다. 산간지역에서는 겨울철은 100~160일 정도 지속되지만, 여름철은 40~80일 정도로 겨울철 지속기간의 1/2 이하를 보인다. 또한, 해발고도 1,300m 이상 아고산대 기후 특성이 나타나는 고산간 지역에서는 겨울철과 가을철이 각각 160~190일과 90~110일로 지속기간이 긴 편이지만, 여름철과 봄철 지속기간은 각각 80일 이하와 90일 이하로 상대적으로 짧은 편이다. 심지어 해발고도 1,600m 이상 한라산 정상 주변 지역에서는 여름철에 해당하는 무더운 기간이 전혀 나타나지 않는다.

기후학적 계절은 연중 시간이 지나면서 공간적으로 전파되는 현상이다. 최근 10년간(2001~2010년) 고해상도 PRIDE 기반 재분석 기온자료에서 추출한 사계절 시작일 분포도에 따르면(최광용, 2019), 한라산에서도 해발고도에 따라 봄철은 2월 초순에 해안 저지대에서 시작되어 해발고도 상승에 따라 4.9일/100m의 속도로 산간 지역으로 전파된다(그림 2-14). 그 결과 해발고도 1,800m 이상 한라산 정상 주변에서는 4월 하순이 되어야 봄이 시작된다. 즉, 기상학적 봄철의 시작일인 3월 1일에 기

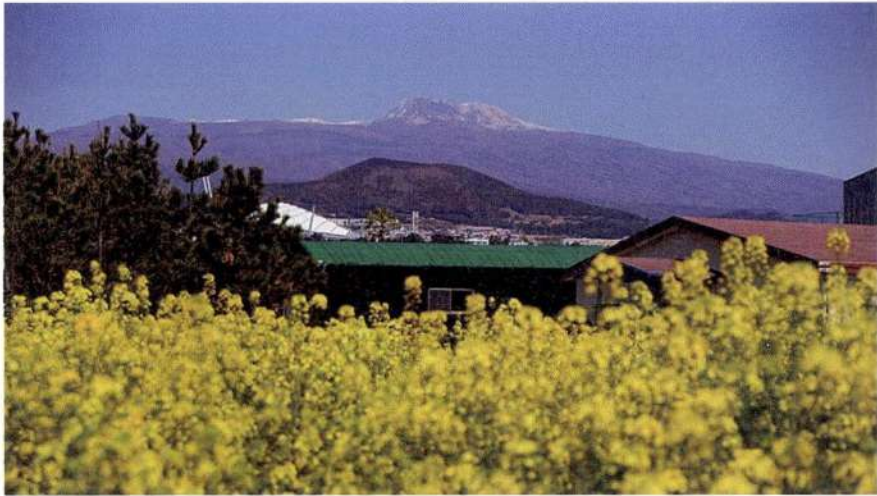


그림 2-15. 봄철(2019년 3월 19일) 유채꽃이 만발한 서귀포 법환 해안도로에서 바라본 눈 덮인 한라산 정상
제공자: 권용의 사진작가

후학적으로는 한라산 해발고도 약 400m 이하 중산간 저지대 및 해안 지역은 실제 아름다운 꽃들이 피어 봄이 한창이지만, 이보다 해발고도가 높은 중산간 및 산간 지역에서는 아직 겨울철에 머물고 있는 셈이다. 제주도 해안 지역에서는 이미 2월 중순 이후에 유채꽃 등이 만발하게 피어 있지만, 한라산 정상 주변 지역은 4월 하순 까지도 눈으로 덮여 있는 모습을 관찰할 수 있다. 제주도의 아름다운 풍경을 일컫는 영주십경의 하나인 녹담만설(鹿潭晩雪)은 이와 같이 해안 지역에는 봄이 이미 왔는데 한라산 정상은 아직 겨울이어서 눈으로 덮여 있는 풍광을 일컫는 것이다(그림 2-15). 가령, 2020년의 경우에도 4월 12일에 제주시와 서귀포시 도심 일대에는 벚꽃이 한창 피어 있었지만, 한라산 정상에는 20cm 이상의 눈이 내렸다. 이와 유사한 과거 사례로 1981년 5월 13일에 제주도 해안 지역은 일최고기온이 25℃까지 높아져 여름이 다가온 듯 여겨졌는데, 한라산 등산로 곳곳에는 아직 눈이 남아 있었다는 기록도 전해지고 있다.



그림 2-16. 가을철(2019년 10월 17일) 서귀포 감귤박물관에서 바라본 한라산 정상 모습

좀 더 세부적으로 봄철 시작 현상의 전파 속도는 한라산 해발고도 구간별로 차이를 보이는데 습한 공기가 유입되는 해안 지역보다는 상대적으로 건조한 상태를 보이는 산간 지역에서 더 빠르게 진행된다(그림 2-15). 제주도의 기후학적 여름철은 해안 저지대에서 한반도 남부 내륙 지역에 비해서 약 일주일 정도 늦은 5월 하순에 처음 시작된 후, 평균적으로 3.0일/100m의 속도로 산간 지역을 향해 이동한다. 그 결과 해발고도 약 1,600m 고산간 지역에서는 7월 중순이 되어야 여름철이 시작된다. 해발고도 구간별로 살펴보면, 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 비열이 큰 해수의 영향으로 5월 하순에 동서남북 지역에 거의 동시에 여름철이 시작되지만, 중산간 지역으로 접어들면 한라산 산간 지역방향으로 전파 속도가 다소 둔화된다. 반대로 가을철은 한라산 정상 주변에서 7월 하순에 시작되어 해안 저지대를 향해 4.7일/100m의 속도로 이동하여 해안 지역도 10월 중하순이 되어야 여름이 종료된다. 그 결과, 기상학적 가을철 시작일(여름철 종료일)인 9월 1일에 한라산 해발고도



그림 2-17. 가을철(2020년 10월 24일) 뒷세오름에서 바라본 한라산 정상 주변 상고대가 핀 모습
제공자: 서정문 시인

1,000m 이상 산간 지역에서는 실제 기후학적 여름철이 종료되고 가을철이 시작되지만, 그 이하 중산간 및 해안 지역에서는 이 때 여전히 무더운 여름철이 지속되고 있다.

제주도에서는 늦여름 이후 비가 적고 해안 지역에서 11월 초순 가을철이 본격적으로 시작되면 일사량도 증가하여 탐스럽게 익어가는 노지 감귤밭을 흔히 볼 수 있다(그림 2-16). 이러한 가을철 비경을 일컬어 영주십경에서는 굴림추색(橘林秋色)이라고 한다. 한편, 겨울철 시작 현상도 한라산 정상에서 10월 하순에 가장 먼저 나타난 후, 해발고도가 낮은 지역으로 5.8일/100일 속도로 전파되어 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 1월 하순에 가장 늦게 시작된다. 늦가을에 유라시아 대륙 내부에서 시베리아 고기압이 발달하기 시작하고 갑자기 상층의 찬 공기가 남하하여 한라산 산간 지역으로 유입될 때에는 한라산 정상 주변에는 상고대가 아름답게 피기도 한다(그림 2-17). 해발고도 구간별로 비교해 보면 한라산 정상 주변에서 중산간 지

역까지는 겨울 시작일이 빠른 속도로 전파되지만, 여름철까지 데워진 해수의 영향을 받는 해안 지역 구간에서는 겨울이 느리게 해안 저지대 방향으로 이동하면서 발생함을 알 수 있다.

한편 한라산 동서남북 사면별로 사계절 공간 전파 속도를 비교해 보면 대체로 북사면보다 남사면에서 계절의 이동 속도가 빠름을 알 수 있다(그림 2-14). 예를 들어 봄철은 제주도 남부 해안 지역에서 2월 4일에 처음 시작되어 4.7일/100m의 속도로 한라산 산간 지역 방향으로 전파된다. 반면, 북부 해안 지역의 봄철은 2월 9일에 시작된 후 남부 해안 지역에 비해 더 빠른 5.3일/100m의 속도로 한라산 정상을 향하여 이동한다. 여름철은 대체로 제주도 해안 지역에서 동서남북 방향에 상관없이 5월 28일~6월 1일 사이에 비슷하게 시작되는데 해발고도 상승에 따라 한라산 사면별로는 약 2.8~3.6일/100m 정도로 이동 속도 차이를 보인다. 한라산 남사면에 서는 한라산 정상 방향으로 여름철 시작은 2.8일/100m로 빠르게 이동하는 편이고, 북사면의 경우에는 그 이동 속도가 3.6일/100m로 상대적으로 느린 편이다. 한편, 가을철 시작일(여름철 종료일)의 경우도 한라산 정상 주변 북사면에서는 10월 11일에 처음 시작되고, 남사면 시작일은 10월 16일로 다소 늦게 시작되는 편이다. 반면, 가을철 시작 현상의 이동 속도는 남사면에서 4.2일/100m이고, 북사면에서 5.1일/100m로 남사면에서 더 빠르게 진행된다. 겨울철 시작 현상의 경우에는 한라산 정상 주변 지역에서 동사면을 따라 5.3일/100m의 속도로 가장 빠르게 이동하고, 북사면을 따라 6.1일/100m의 속도로 가장 느리게 진행된다.

3. 한라산 지역 기후요소별 평균(2001~2020년) 분포 특성

기온

제주도는 한반도 남부 아열대 해상에 위치하고 있어 주변 해수가 서서히 데워지는 늦봄~초여름(5~6월)을 제외하면 연중 대부분 한반도 남부 지역에 비해 기온이 높은 편이다. 최근 30년간(1991~2020년) 제주도 동서남북 해안 지역 4개 종관기상관측소(성산, 고산, 서귀포, 제주)의 연평균기온은 약 16.1℃로 한반도 중부 지방에 위치한 서울(12.9℃)에 비해 3℃ 이상 높다. 계절별로도 제주도는 여름철에 장마전선이 한반도 중부 지역으로 북상하게 될 때에는 그 이남지역에서 확장하는 고온다습한 북태평양 기단의 영향을 직접적으로 받게 되어 무더운 날씨가 연속적으로 나타나게 된다. 그 결과 제주도 남부 해안 서귀포의 최난월 평균기온 평균값은 27.2℃로 서울(26.1℃)에 비해 1℃ 이상 높게 나타난다. 이때 해양에서 수분 증발 현상과 고기압 하에서 하강 기류에 의한 단열승온 현상의 영향으로 제주도에서는 기온뿐만 아니라 습도도 높아져 인체가 체감하는 온도는 기온보다 훨씬 더 높아지게 된다(최광용, 2018).

제주도 해안 지역 평균 연중 최난월과 최한월 간의 월평균 기온의 변화 폭을 나타내는 기온의 연교차를 살펴보면 약 20.6℃로 서울(28.1℃)에 비해 7.5℃정도 작다. 이러한 두 지역 기온의 연교차 차이는 여름철 최난월 평균기온보다는 겨울철 최한월 평균기온의 두 지역 간 차이와 관련성이 더 크다. 제주도 해안 지역 평균 최한월(1월) 평균기온은 6.2℃로 서울의 최한월 평균기온(-2.0℃)과 비교해 보면 8℃ 이상 높다. 겨울철 시베리아 기단이 확장할 때 중부 지방은 한랭건조한 시베리아 기단의 직접적인 영향권에 들지만, 제주도는 한반도에서도 남쪽으로 100km 이상 떨어진 지리적 위치의 영향으로 그 영향이 덜하기 때문이다. 제주도는 한랭건조한 시베리아 기단이 동아시아로 장출하여 남북으로 길게 황해를 지나올 때에도 기단변질에 의

해 한랭건조함이 덜해져 온화한 기후 특성을 보인다. 실제 북부 해안 제주 종관기상 관측소의 최한월(1월) 동안 일평균기온을 살펴보면 0℃ 이하로 떨어지는 경우는 드물게 발생한다. 제주도와 일본 열도 사이로 유입되는 쿠로시오 난류의 지류도 이러한 제주도의 겨울철 기후의 온화함을 더해준다.

아열대 해상에 놓인 제주도는 면적 약 1,848km² 타원형의 섬이지만 그 중심에 남한 최고봉인 한라산(1,950m)이 자리 잡아 3차원적으로는 원추 형태를 보인다. 이러한 한라산 지형·지세의 영향으로 한라산 정상 주변에서는 한반도 북부 산간 지역과 유사한 낮은 기온값을 보인다. 해발고도 상승에 따른 기온감률의 영향으로 한라산 정상 주변에서는 한겨울에도 대부분 -5℃ 이하를 유지하고 성하기에도 대부분 20℃ 이하로 기후학적 여름철이 존재하지 않는다. 대기의 습윤 정도가 해발고도에 따라 상이하여 해안 지역과 중산간 지역 그리고 중산간 지역과 산간 지역간 고도 상승에 따른 기온감률도 차이를 보이며, 사면 방향에 따라 동아시아 여름 몬순과 겨울 몬순의 영향 정도가 달라진다.

기상청은 최근 약 20여 년(2001~2020년) 동안 한라산 주변지역의 약 19개 자동기상관측소와 4개의 종관기상관측소에서 일별 기온 자료를 수집해오고 있다. 이들 관측소에서 결측이 10% 이하인 관측소들이 장기간 평균적인 연평균기온 분포를 살펴보면 한라산 고산간 지역의 관측 지점들(윗세오름(1,666m), 진달래밭(1,489m))은 해안 지역에 비해 약 9~11℃ 정도 낮음을 알 수 있다(그림 2-18). 해발고도 200m 이하 해안 지역 관측소들의 연평균기온은 약 16~17℃의 범위를 보이지만, 한라산 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 10℃ 이하로 낮게 나타내는데, 특히, 1,300m 이상 고산간 지역에서는 연평균기온이 약 7℃ 이하값을 보인다. 해발고도 200m이하 해안 지역의 경우에는 동서남북 지역 중 도시화가 진행된 북부의 제주와 남부의 서귀포 관측소가 동서부 해안 비도시 지역에 위치한 성산과 고산 관측소의 연평균 기온에 비해 0.6~1.4℃ 정도 더 높다. 그러나 도시화는 서귀포보다는 제주시 동지역에서 뚜렷하게 진행되었음에도 불구하고 서귀포의 연평균기온은 한라산 남쪽에 위

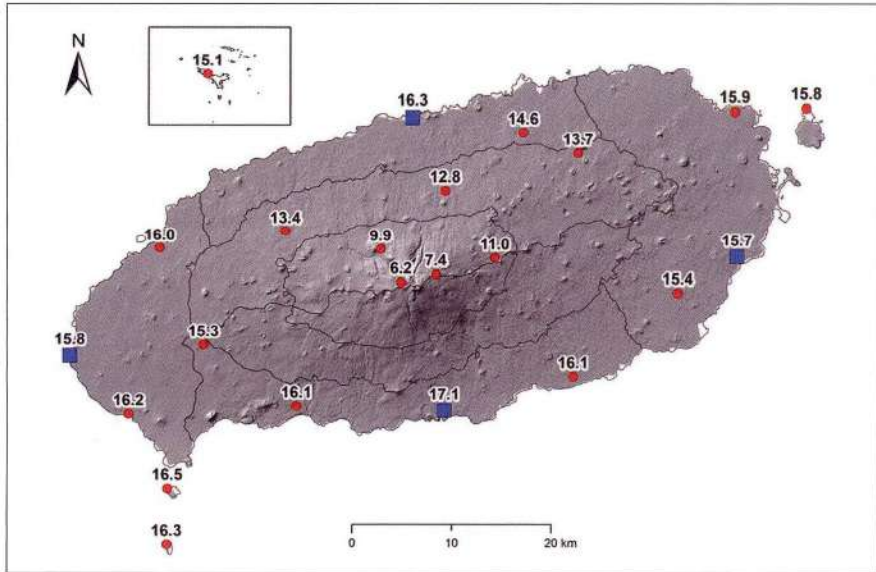


그림 2-18. 한라산 지역 연평균기온(2001~2020년) (단위: °C)

치한 지리적 특성으로 제주에 비해서 0.8°C 이상 높게 나타난다. 이는 겨울철을 중심으로 시베리아 기단이 제주도에 영향을 미칠 때 한라산에 의해서 찬 기단의 남하가 저지되기 때문인 것으로 추정된다. 한편, 해발고도 200~600m 중산간 지역의 연평균기온은 한반도 중부 지방의 저지대와 유사한 약 $11\sim14^{\circ}\text{C}$ 의 범위를 보인다.

앞서 언급한 대로 현재 한라산 정상 기상·기후 관측은 한라산연구소와 제주지방 기상청이 협력 관측을 수행하고 있는 한라산 정상 동릉(1,920m) AWS에서만 비공식적으로 이루어져 왔다. 그러나 해당 자료들은 내부 연구용으로만 사용하고 기상 자료개방포털에는 제공되지 않고 있어서 과거 한라산연구소에서 발간한 연구보고서에 제시된 2000년대 중반 이후 자료를 조사하였다. 과거 약 7년(2004~2009년 및 2012년) 동안 이 한라산 동릉 관측지점에서 측정한 기상·기후 자료에 따르면, 한라산 정상의 연평균기온은 해에 따라 $4.5\sim5.7^{\circ}\text{C}$ 범위의 변화를 보이지만, 평균적으로

표 2-2. 한라산 정상 동릉 연평균 기온(단위: °C)

연도	연평균 기온	연평균 일최고기온	연평균 일최저기온
2004	5.7	9.2	2.5
2005	4.7	8.2	1.6
2006	5.4	9	2.3
2007	5.7	9.3	2.7
2008	4.8	8.1	1.8
2009	4.5	미제공	미제공
2012	5.2	미제공	미제공
평균값	5.1	8.8	2.2

출처: 한라산연구소, 2005, 2008, 2011, 2013, 2014.

약 5.1°C 정도임을 알 수 있다(표 2-2). 이는 한반도 북부 중강(41.78°N, 해발고도 332m)의 연평균기온과 유사한 값에 해당된다. 한라산 정상의 연평균기온은 심지어 북한이 세계기상기구(WMO)를 통해서 제공하는 27개의 관측 지점 자료 중 가장 고위도에 위치한 선봉(42.32°N, 해발고도 3m)의 최근 30년(1991~2020년) 기준 연평균기온(7.5°C)보다도 낮은 값을 보이는 셈이다.

한편, 이러한 한라산 정상 동릉(1,920m) 자료와 동일 기간 해안 지역 동서남북 관측소(성산, 고산, 서귀포, 제주 순) 자료(15.6°C, 15.8°C, 17.0°C, 16.1°C)를 비교해 보면 해발고도 상승에 따른 동서남북 사면별 기온감률은 각각 0.55°C/100m, 0.57°C/100m, 0.64°C/100m, 0.58°C/100m임을 알 수 있다. 즉, 이들 관측 자료를 평균한 한라산 해발고도 상승에 따른 기온감률은 평균적으로 약 0.59°C/100m로 전 지구 평균 환경기온감률(0.65°C/100m)보다는 작은 편임을 알 수 있다. 또한, 한라산 정상 동릉(1,920m)의 연평균기온(5.1°C)은 기상청 산하 관측소 중 가장 해발고도가 높은 윗세오름(1,666m)의 동일 기간 연평균기온(6.2°C)과 비교하여 약 1.1°C의 차이를 보인다. 두 관측 지점 간 해발고도 차이를 고려한 기온감률은 0.44°C/100m로 한라산 정상 동릉~해안 지역 관측점들 간 기온감률보다 작은 값을 나타낸다. 한라산 정상 주

변에는 매우 습한 상태가 연중 오랫동안 지속되어 고도 상승에 따른 기온하강 정도도 둔화되는 것으로 판단된다.

최근 20년(2001~2020년) 평균 한라산 해발고도 600m 이상 산간 지역의 연평균 일최고기온과 일최저기온은 각각 약 14℃ 이하, 8℃ 이하 값을 나타낸다(그림 2-19). 즉, 한라산 산간 지역에서 연평균기온에 비하여 연평균 일최고기온은 3.9℃ 정도 높고, 연평균 일최저기온은 3.8℃ 정도 낮다. 해발고도 200~600m 중산간 지역의 연평균 일최고기온은 약 15~17℃의 범위를 보이고, 연평균 일최저기온은 약 8~10℃ 정도를 나타낸다. 그러나 중산간 지역에는 3개의 AWS관측소가 있는데, 이들 모두 북사면에 위치해 있어 한라산 사면별 중산간 지역 기온 분포 차이를 파악하기는 어려운 실정이다. 한편, 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 연평균 일최고기온과 일최저기온은 각각 약 18~21℃와 약 11~14℃의 범위를 나타낸다. 연평균기온과 비교하여 연평균 일최고기온과 일최저기온은 해안 지역 전체 평균적으로는 각각 약 3.0℃와 3.3℃의 차이를 보인다. 해안 지역의 연평균 일최고기온-평균기온 또는 연평균 일최저기온-평균기온 차이는 산간 지역의 차이에 비해 작은 편이다. 이는 해안 지역의 경우에는 해양과 인접하여 대기 중 수증기가 많아 하루 중 기온 상승과 하강 폭도 둔화되기 때문일 것으로 짐작된다.

동서남북 지역별 차이를 살펴보면, 북부 해안 제주와 남부 해안 서귀포 간에 연평균 일최고기온은 약 1.1℃ 차이를 보이고, 연평균 일최저기온도 약 0.6℃의 차이를 나타낸다(그림 2-19). 이와같이 일최저기온 지역별 차이가 상대적으로 작은 것은 제주도 해안 지역은 동서남북 방향에 상관없이 바다로 둘러싸여 있어 산간 지역에 비해 모두 높은 습도를 보이는 것과 관련성이 크다고 할 수 있다. 육지에 비해 해수는 비열이 높을 뿐만 아니라 열용량도 커서 주간에 열을 흡수하였다가 지속적으로 방출하기 때문에 한라산 남부-북부 지역 간 일최저기온 지역 차도 줄어드는 것으로 짐작된다. 또한, 북부 제주 관측소의 경우 20세기 후반에 도시화도 심화되면서 점점 늘어나는 도심 지역의 콘크리트 및 아스팔트로 피복은 주간에 열을 흡수하였다

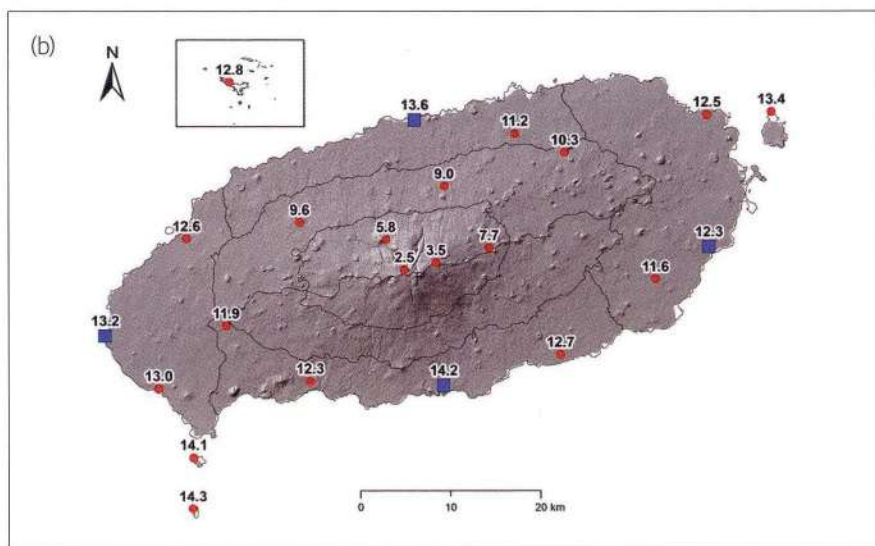
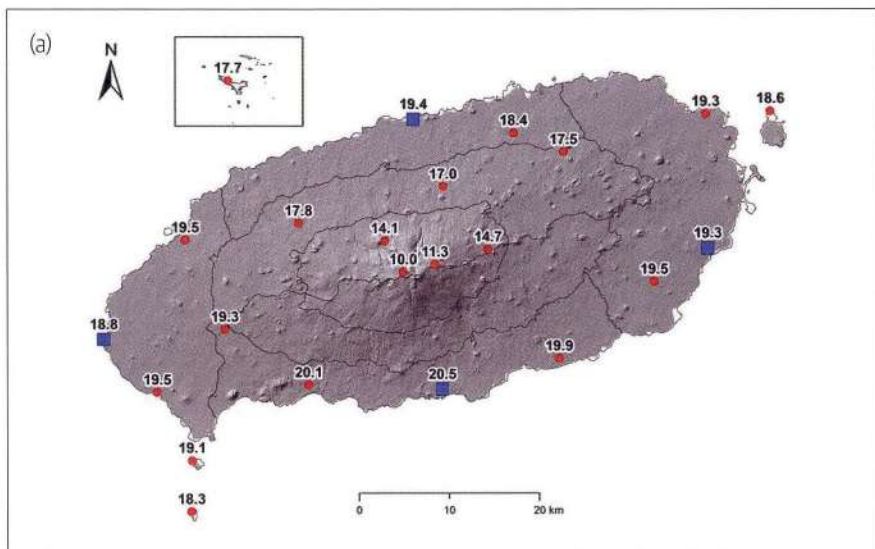


그림 2-19. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 연평균 일최고기온(a)과 일최저기온(b) (단위: °C)

가 야간에 방출하면서 야간 기온 하강 정도를 둔화시켜 남부 해안 서귀포와 일최저 기온 차이를 줄이는 데 기여하는 것으로 추정된다.

한편, 한라산연구소 한라산 정상 동릉(1,920m)의 관측자료를 바탕으로 백록담 주변의 5년(2004~2008년) 기준 연평균 일최고기온과 일최저기온을 산출해 보면 각각 약 8.8℃와 약 2.2℃ 내외로 일평균기온과 약 3℃ 정도 차이를 보임을 알 수 있다(표 2-2). 이러한 차이는 한라산 중산간 또는 저산간 지역보다는 작은데, 한라산 정상 주변에는 연중 구름이 형성되어 흐리거나 비가 자주 내려 하루 중 기온 상승과 하강하는 변동폭이 둔화되기 때문인 것으로 추정된다. 또한, 국지적으로 관측이 이루어지지 않아서 확인할 수는 없지만 한라산 정상에 자리 잡은 칼데라 분지 내부 백록담에는 화구호를 감싸는 산능선의 외곽과는 달리 찬 공기가 모여 냉기호(cooling pool)가 형성되어 있어 연중 기온 변화가 덜한 것으로 추정된다.

최근 20년(2001~2020년) 자료를 바탕으로 한라산 주변 기온 분포를 기상학적 계절(3개월 단위)로 구분하여 살펴보면 해발고도의 영향으로 해안-산간 지역 간 평균 기온은 봄철(3~5월)에는 약 10℃, 여름철(6~8월)에는 약 9℃, 가을철(9~11월)에는 약 12℃, 겨울철(12~2월)에는 약 13℃ 정도 차이를 보인다(그림 2-20). 우선, 여름철(6~8월) 평균기온의 경우 해발고도 구간에 따라 200m 이하 해안 지역에서는 약 24~25℃, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 21~23℃, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 20℃ 이하를 각각 나타낸다. 겨울철(12~2월)에는 평균기온이 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 약 5~8℃, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 2~4℃, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 1℃ 이하를 보인다. 심지어 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역(윗세오름, 진달래밭) 지역에서는 겨울철 평균기온이 -3℃ 이하까지 낮아진다. 제주도에서 겨울철 평균기온은 시베리아 고기압의 영향을 직접적으로 받는 북부 해안 지역보다 지형에 가려진 한라산 남부 해안 지역에서 1℃ 이상 높게 나타난다.

여름과 겨울 몬순 시스템이 탁월한 동아시아에서 전이적인 계절에 해당되는 봄

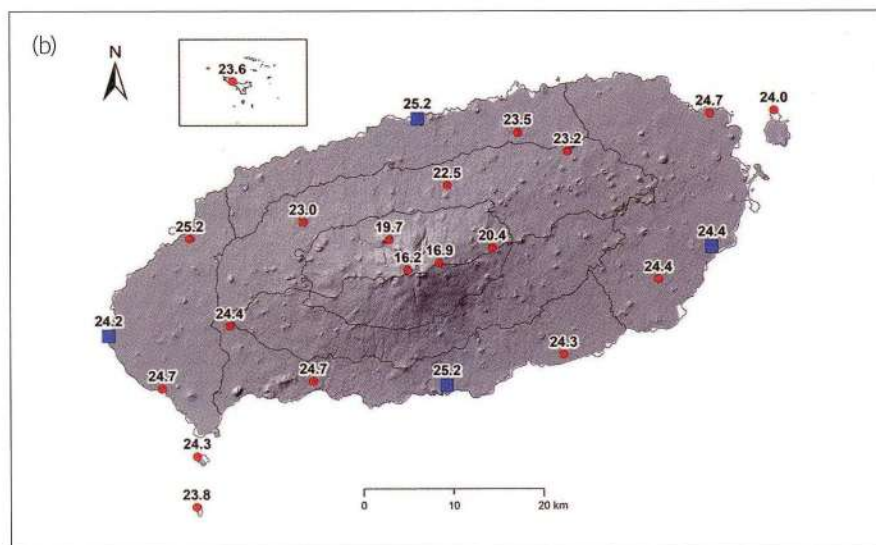
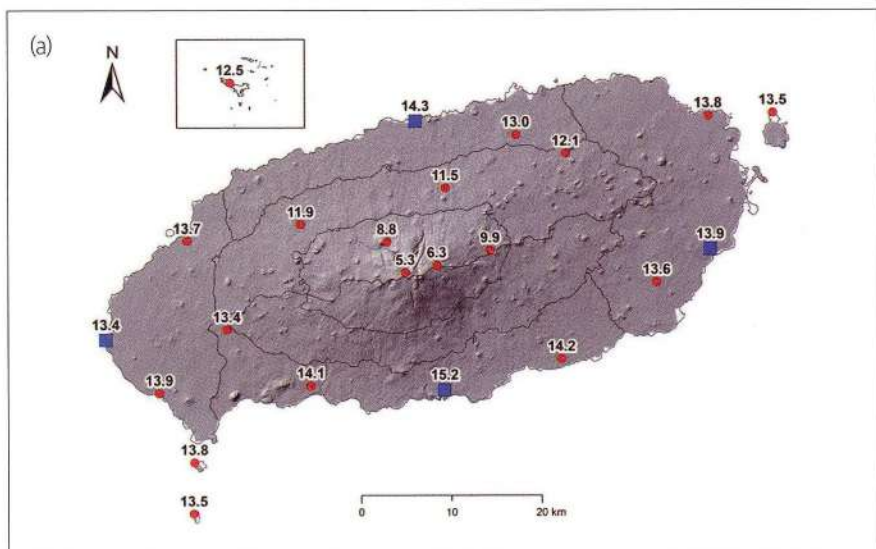


그림 2-20. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 기상학적 계절별 평균기온((a)봄철(3~5월), (b)여름철(6~8월)) (단위: °C)

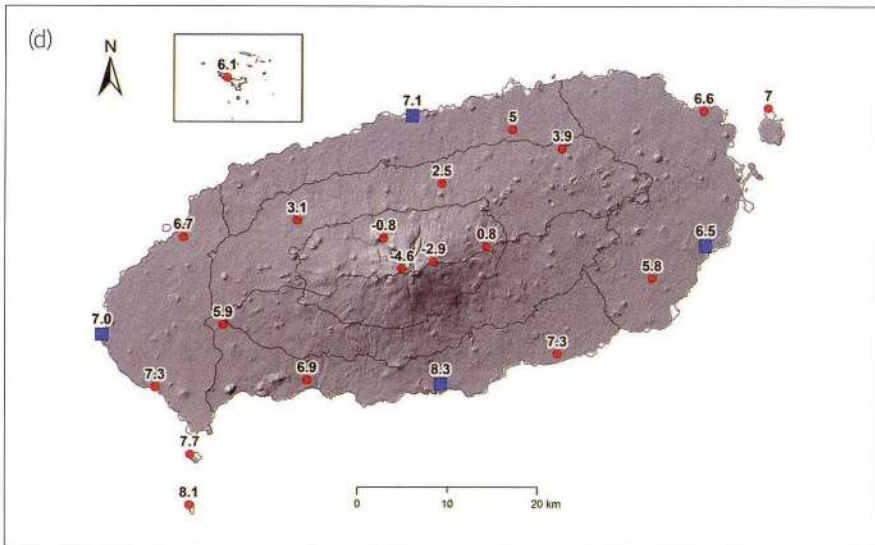
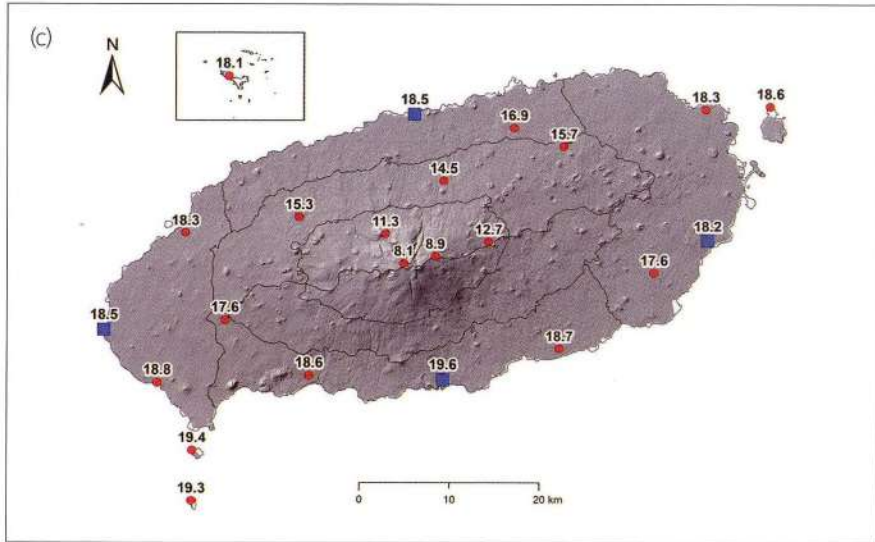


그림 2-20. 앞 그림 계속((c)가을철(9~11월), (d)겨울철(12~2월))

철(3~5월)의 한라산 주변 지역 계절 평균기온 분포를 살펴보면 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 약 13~15℃, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 11~12℃, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 10℃ 이하 범위를 나타낸다(그림 2-20). 제주도 남부 해안 지역의 경우에는 동아시아 남부 지역으로 확장하는 한랭 건조한 시베리아 기단의 영향이 한라산에 의해서 차단되어 봄철 평균기온도 다른 해안 지역에 비해 상대적으로 높게 나타난다. 한편, 가을철(9~11월) 평균기온 분포를 살펴보면 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 약 17~20℃, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 15~16℃, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 14℃ 이하를 보임을 알 수 있다. 즉, 가을철(9~11월)의 평균기온은 봄철(3~5월)에 비하여 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 약 6~8℃, 해발고도 200~600m 중산간 지역과 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 4℃ 이상 높은 편이다. 이는 제주도의 경우 주변 수온이 연중 전반부에 데워지는 속도가 느리지만, 연중 후반부에

표 2-3. 한라산 정상 동릉에서 관측한 월별 평균기온(단위: °C)

월	2004~2007년	2009년	2012년	전체 평균
1	-6.8	-7.2	-7.84	-7.0
2	-4.3	-1.3	-7.33	-4.3
3	-2.5	-1.2	-2.4	-2.3
4	4.1	3.2	6.1	4.3
5	9.3	9.0	9.39	9.3
6	13.1	12.7	12.41	12.9
7	16.7	15.3	16.2	16.4
8	16.6	16.1	15.6	16.4
9	13.0	13.1	11.8	12.8
10	7.7	6.4	7.9	7.5
11	1.6	0.8	-2.3	0.8
12	-4.3	-5.1	-5.9	-4.7

출처: 한라산연구소, 2008, 2011, 2014.

식은 속도도 느린 특성과 관련성이 있을 것으로 판단된다. 가을철에도 해수 온도는 여름철 내내 데워져 봄철보다 높게 유지되어 봄철보다 가을철에 평균기온이 높게 나타나는 것으로 추정된다.

한라산 정상 지역의 사계절 평균기온과 관련하여 한라산연구소 보고서에 제시된 한라산 정상 동릉 관측지점이 6년(2004~2007년, 2009년, 2012년) 월단위 자료에서 산출한 평균 3개월 단위 기상학적 계절별 기온값을 살펴보면 봄철(3~5월) 3.8℃, 여름철(6~8월) 15.2℃, 가을철(9~11월) 7.1℃, 겨울철(12~2월) -5.4℃를 나타냄을 알 수 있다(표 2-3). 이러한 한라산 정상의 각 기상학적 계절 평균기온 값은 동일 기간 해안 지역 제주 관측소의 값(봄철(3~5월) 14.1℃, 여름철(6~8월) 25.2℃, 가을철(9~11월) 18.4℃, 겨울철(12~2월) 7.0℃)과 비교하면 한라산 정상 기온이 10.0~12.4℃ 정도 낮은 셈이다. 좀 더 세부적으로 월별 자료를 분석해 보면, 한라산 정상 동릉 관측지점의 최한월(1월) 평균기온은 -7.0℃, 최난월(8월) 평균기온은 16.4℃로 기온의 연교차는 약 23.4℃임을 알 수 있다. 이를 동서남북 해안 지역 종관기상관측소의 최한월(1월) 월평균 기온(성산: 5.8℃, 고산: 6.2℃, 서귀포: 7.2℃, 제주: 6.4℃) 및 최난월(8월) 평균기온(성산: 26.6℃, 고산: 26.8℃, 서귀포: 27.6℃, 제주: 27.2℃)과 비교해 보면 한라산 정상 동릉 관측지점의 평균기온은 이들 해안 지역에 비해 최한월(1월)에 약 12.8~14.2℃, 최난월(8월)에 약 10.2~11.2℃ 정도 낮음을 알 수 있다.

이들 한라산 정상 동릉-해안 지역 종관기상관측소 자료에서 산출한 한라산 동서남북 사면 방향으로 해발고도 상승에 따른 최한월(1월)에 0.70℃/100m로 기온감률은 전 지구 평균 환경기온감률(0.65℃/100m)보다 크지만, 최난월(8월)에는 0.58℃/100m로 오히려 작음을 알 수 있다(표 2-4). 여름철에 한라산 정상 주변에는 구름이 자주 형성되고 강수가 자주 내려 습도가 높아 해발고도 상승에 따른 기온감률이 줄어든 것임을 알 수 있다. 반면, 겨울철에는 전반적으로 한라산 정상 주변의 대기도 냉각되면서 대기 중 수증기의 포화가 이루어지는 해발고도도 낮아지는 것으로 추정된다. 그 결과 겨울철에 한라산 정상 대기는 건조한 상태를 유지하면서 해발고

표 2-4. 한라산 정상(한라산연구소 한라산 정상 동릉 AWS)-동서남북 해안 지역(기상청 산하 4개
종관기상관측소) 간 해발고도 상승에 따른 기온감률(℃/100m)

기간	동사면 (성산)	서사면 (고산)	남사면 (서귀포)	북사면 (제주)	지역 평균
1월	0.66	0.71	0.76	0.69	0.70
2월	0.58	0.61	0.69	0.60	0.62
3월	0.61	0.62	0.71	0.63	0.64
4월	0.51	0.49	0.59	0.53	0.53
5월	0.45	0.42	0.53	0.48	0.47
6월	0.44	0.44	0.50	0.48	0.47
7월	0.45	0.45	0.51	0.52	0.48
8월	0.55	0.57	0.61	0.58	0.58
9월	0.54	0.55	0.61	0.54	0.56
10월	0.58	0.62	0.67	0.60	0.62
11월	0.62	0.69	0.72	0.65	0.67
12월	0.63	0.70	0.74	0.67	0.68
봄철(3~5월)	0.52	0.51	0.61	0.54	0.55
여름철(6~8월)	0.48	0.49	0.54	0.53	0.51
가을철(9~11월)	0.58	0.62	0.67	0.60	0.62
겨울철(12~2월)	0.62	0.67	0.73	0.65	0.67
연 전체(1~12월)	0.55	0.57	0.64	0.58	0.58

도 차에 대한 기온감률은 여름철에 비해 더 커지는 것으로 사료된다.

이와 같은 기온감률에 관한 한라산연구소 연구 결과는 6년 관측 자료 분석 결과에 국한되므로 기상청에서 최근 20년(2001~2020년) 동안 수집한 일평균기온 자료를 추가적으로 살펴볼 필요성이 있다. 이를 위해 2000년대 10년(2001~2010년) 평균 기온감률을 산출한 최광용(2011)과 동일한 연구 방법을 사용하여 해발고도가 가장 높은 윗세오름(1,666m)과 동서남북 종관기상관측소 간 일별 기온 자료와 해발고도 차를 바탕으로 월평균, 계절평균, 연평균 기온감률을 산출하였다(표 2-5). 이때 윗세오름 자료가 결측일 경우에는 진달래밭 일평균기온 자료를 사용하였고, 결측 10% 초

과인 경우는 평균값 산출에서 제외시켰다. 최근 20년 평균 윗세오름 기준 기온감률은 한라산 동릉의 경우와 기온 관측 기준 지점도 다르고 분석된 자료 기간도 상이하게 때문에 차이를 보인다. 가령, 동서남북 지역평균 한라산 고도 상승에 따른 기온감률은 기상청 20년(2001~2020년) 평균 자료를 기준으로 했을 때에는 $0.61^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 이다. 이는 상대적으로 단기간인 한라산 정상 동릉 자료를 사용한 경우보다 약간 높지만, 전지구 평균 환경단열감률과는 유사하다. 또한, 이 기상청 20년 기온 자료에 따르면 연평균 기온감률은 동서남북 사면 중 남사면을 따라 $0.76^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 가장 크고, 동사면(윗세오름-성산)과 서사면(윗세오름-고산)을 따라 $0.58^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 가장

표 2-5. 최근 20년(2001~2020년) 평균 한라산 고산간 지역(윗세오름 AWS)-동서남북 해안 지역(기상청 산하 4개 종관기상관측소) 간 해발고도 상승에 따른 기온감률($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)

기간	동사면 (성산)	서사면 (고산)	남사면 (서귀포)	북사면 (제주)	지역 평균
1월	0.69	0.71	0.79	0.72	0.73
2월	0.65	0.65	0.75	0.67	0.68
3월	0.62	0.60	0.71	0.64	0.64
4월	0.54	0.50	0.60	0.56	0.55
5월	0.47	0.41	0.52	0.50	0.47
6월	0.44	0.42	0.49	0.48	0.46
7월	0.49	0.47	0.52	0.56	0.51
8월	0.58	0.57	0.62	0.62	0.60
9월	0.60	0.58	0.65	0.60	0.61
10월	0.63	0.64	0.71	0.65	0.66
11월	0.64	0.68	0.74	0.67	0.68
12월	0.68	0.73	0.78	0.73	0.73
봄철(3~5월)	0.53	0.50	0.61	0.56	0.55
여름철(6~8월)	0.51	0.49	0.54	0.55	0.52
가을철(9~11월)	0.62	0.63	0.69	0.63	0.64
겨울철(12~2월)	0.66	0.69	0.76	0.69	0.70
연 전체(1~12월)	0.58	0.58	0.66	0.62	0.61

작음을 알 수 있다. 이러한 서귀포 지역의 값이 높은 지역적 차이에는 북부 해안 지역 제주 관측소와 마찬가지로 주변의 도시화 효과가 포함되어 있기는 하다. 또한 제주도 남동 지역에서 북상하는 쿠로시오 난류와 겨울철 한랭건조한 시베리아 기단의 영향을 막아주는 한라산의 지형 영향도 기온감률 지역 차이에 반영되어 있을 것으로 추정된다. 20년 평균 동서남북 사면의 계절별 해발고도 상승에 따른 기온감률을 살펴보면 여름철(6~8월)에 약 $0.49\sim0.55^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 가장 작고, 겨울철에 약 $0.66\sim0.76^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 가장 큼을 알 수 있다. 특히, 6월에 약 $0.42\sim0.48^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 가장 작고, 1월에 $0.69\sim0.79^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 가장 큼을 알 수 있다.

최근 20년(2001~2020년) 동안 기상청 산하 23개 관측소에서 수집한 자료를 바탕으로 주로 한낮에 기록되는 한라산 지역 각 기상학적 계절별 일최고기온 평균값의 분포를 살펴보면 지역에 따라 $9\sim13^{\circ}\text{C}$ 정도 차이가 남을 알 수 있다(그림 2-21). 우선, 여름철(6~8월)에는 일최고기온 평균값이 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 약 $25\sim29^{\circ}\text{C}$, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 $25\sim27^{\circ}\text{C}$, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 24°C 이하로 나타난다. 가장 큰 관측 지점별 장기간 평균 여름철 일최고기온 차이는 전체 23개 관측 지점 중 해발고도가 가장 높은 윗세오름(19.5°C ; 1,666m)과 북서부 해안 한림(28.8°C) 간에 9.3°C 로 나타난다. 한라산연구소가 수집한 자료(2004~2007년 평균)에 따르면 한라산 정상 동릉(1,920m)의 여름철 평균 일최고기온은 18.3°C 를 보인다. 한편, 최근 20년 평균 한라산 지역의 겨울철(12~2월) 평균 일최고기온은 해발고도 200m 이하 해안 지역에서 약 $9\sim12^{\circ}\text{C}$, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 $6\sim7^{\circ}\text{C}$ 내외 범위를 나타낸다. 동서남북 해안 지역 중에서는 특히, 시베리아 고기압의 확장 후퇴의 직접적인 영향을 받는 서부 지역에서 상대적으로 낮은 값을 보인다. 겨울철 일최고기온은 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 4°C 이하까지 하강하고, 한라산 정상 동릉(1,920m)에서는 심지어 약 -1.7°C 로 이 지역에서는 주야간 모두 영하권에 머무는 기간이 장기간 지속됨을 짐작할 수 있다. 기상청 산하 23개 관측 지점의 20년 평균 겨울철(12~2월) 일최고기

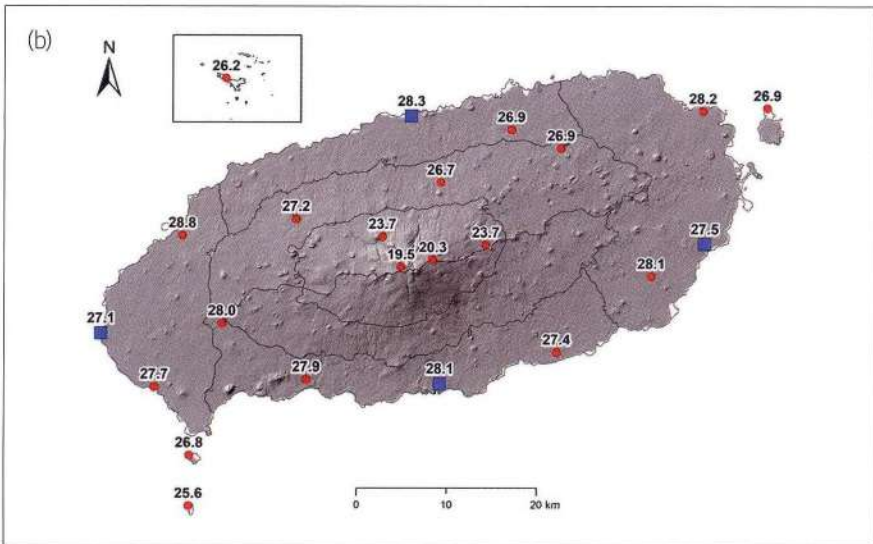
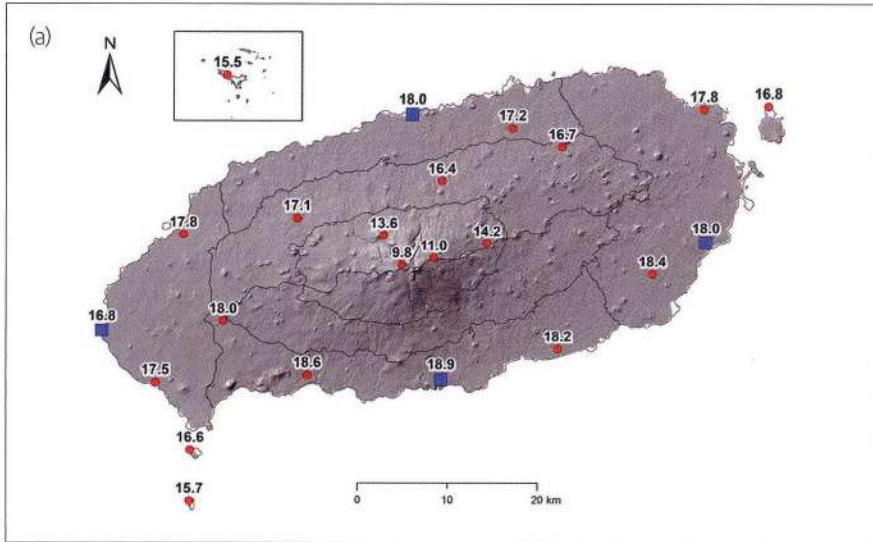


그림 2-21. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 기상학적 계절별 평균 일최고기온((a)봄철(3~5월), (b)여름철(6~8월)) (단위: °C)

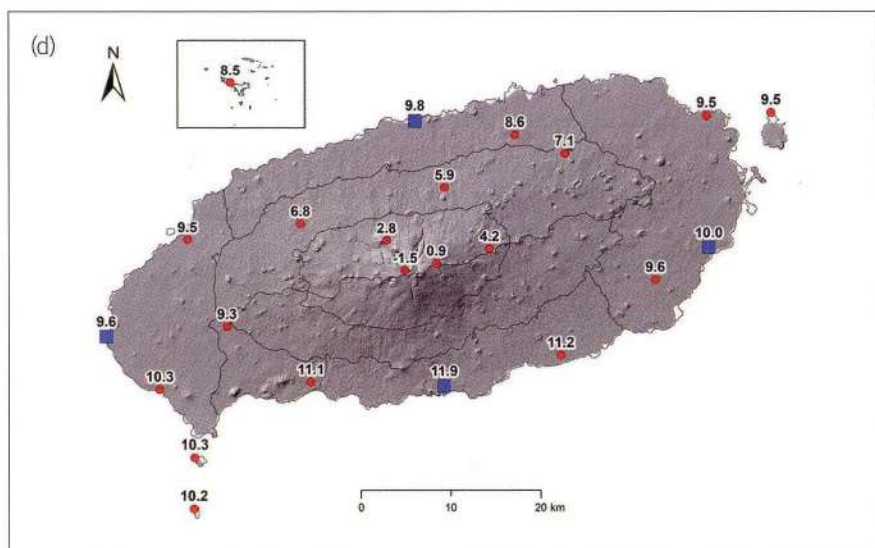
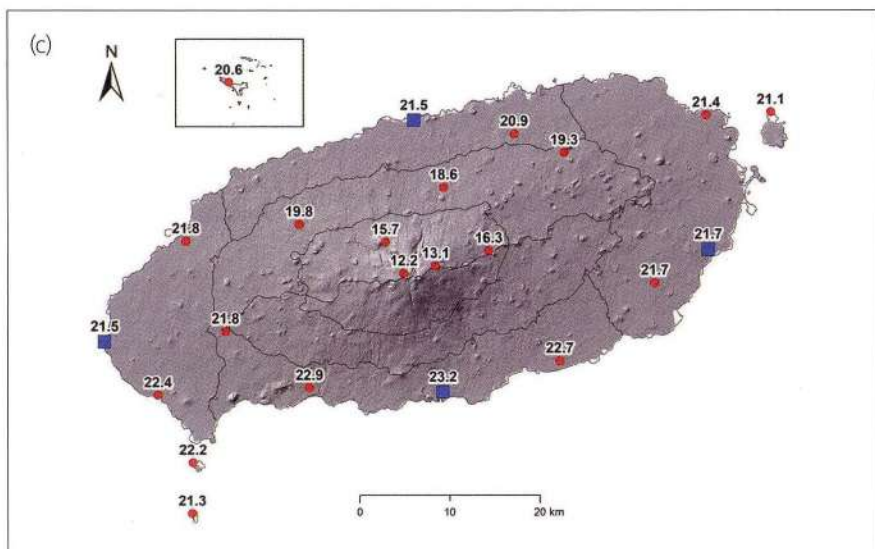


그림 2-21. 앞 그림 계속((c)가을철(9~11월), (d)겨울철(12~2월))

온 중 가장 큰 지역 차이는 최대 13.4°C에 달한다. 즉, 한라산 주변 지역별 일최고기온 차이는 여름철보다 겨울철에 더 크게 남을 알 수 있다.

봄철(3~5월) 평균 한라산 지역 일최고기온 분포를 해발고도 구간별로 살펴보면, 해발고도 200m 이하 해안 지역에서 약 16~19°C, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 15~16°C 내외를 보임을 알 수 있다(그림 2-21). 반면, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 14°C 이하를 보이고, 심지어 한라산 정상 동릉(1,920m) 관측 기준으로 한라산 정상 주변의 봄철 평균 일최고기온은 7.7°C까지 낮아진다. 해안 지역의 경우 겨울철과 유사하게 봄철 평균 일최고기온도 다른 해안 지역보다는 대체로 그 세력이 약화되는 시베리아 기단의 영향을 가장 직접적으로 받는 서부 해안에서 가장 낮게 나타난다. 한편, 가을철(9~11월) 평균 일최고기온은 동일 해발고도 구간에서 봄철 평균보다 약 5°C 정도 더 높은 값을 보인다. 가을철 평균 일최고기온은 해발고도 200m 이하 해안 지역에서 약 21~23°C, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 19~20°C 범위를 나타낸다. 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 17°C 이하를 보이고, 한라산 정상 동릉(1,920m) 관측 기준(2004~2007년 평균)으로 한라산 정상 주변에서는 11.1°C까지 낮아짐을 알 수 있다. 연중 겨울철 찬 해수가 제주도를 감싸는 봄철과는 달리 가을철에는 여름철내내 해수에 저장된 열이 대기 중으로 지속적으로 방출되기 때문에 해안 지역의 기온도 가을철까지 높게 유지되는 것으로 짐작된다. 지역별 가을철 평균기온 차이는 남부 해안 지역에 인접한 서귀포와 기상청 산하 관측지점 중 해발고도가 가장 높은 윗세오름(1,666m) 간에 11.1°C에 달한다. 반면 봄철의 경우에는 가장 큰 지역별(윗세오름-서귀포) 차이가 9.1°C로 가을철에 비해서는 작게 나타난다.

한편, 하루 중 야간 새벽 시간에 기록되는 일최저기온의 한라산 지역 계절별 평균값의 분포를 살펴보면 일최고기온보다 해발고도에 상승에 따른 지역별 차이가 더 크게 나타남을 알 수 있다(그림 2-22). 지난 20여 년(2001~2020년) 동안 기상청 산하 전체 23개 관측 지점에서 수집해 온 3개월 단위 기상학적 계절 평균 관측 지점 간 일최저기온 최고값과 최저값의 차이는 봄철(3~5월)에 11.1°C, 여름철(6~8월) 9.9°C, 가을

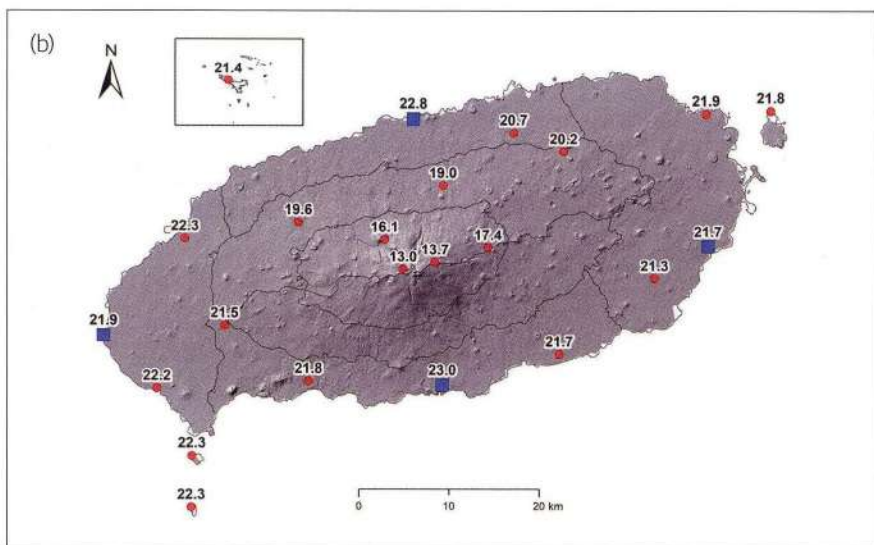
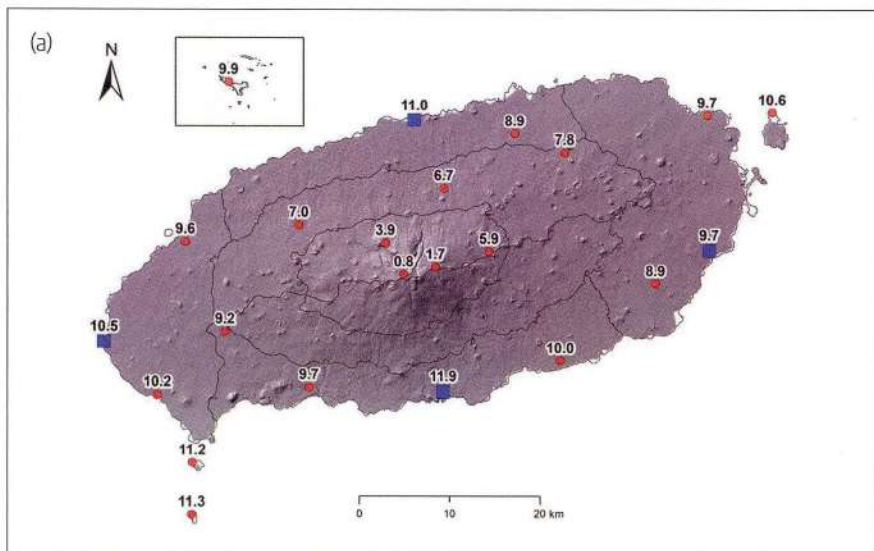


그림 2-22. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 기상학적 계절별 평균 일최저기온((a)봄철(3~5월), (b)여름철(6~8월)) (단위: °C)

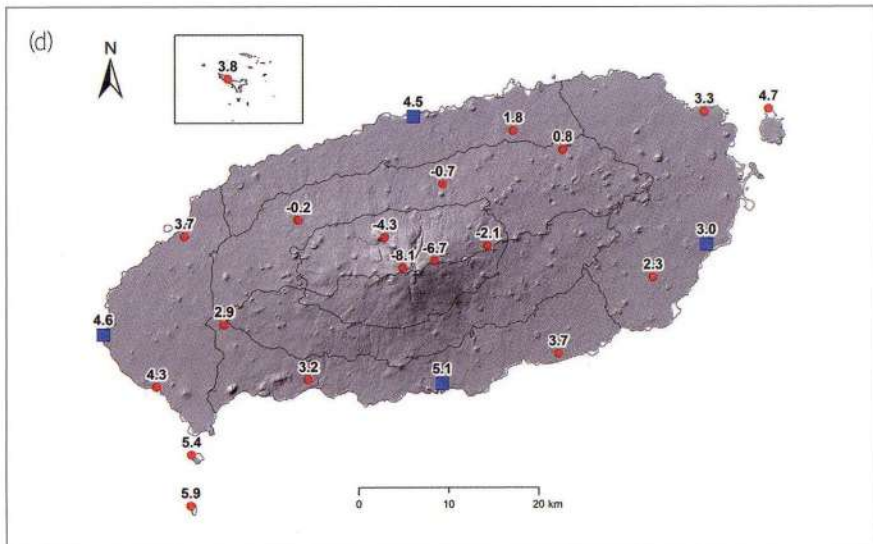
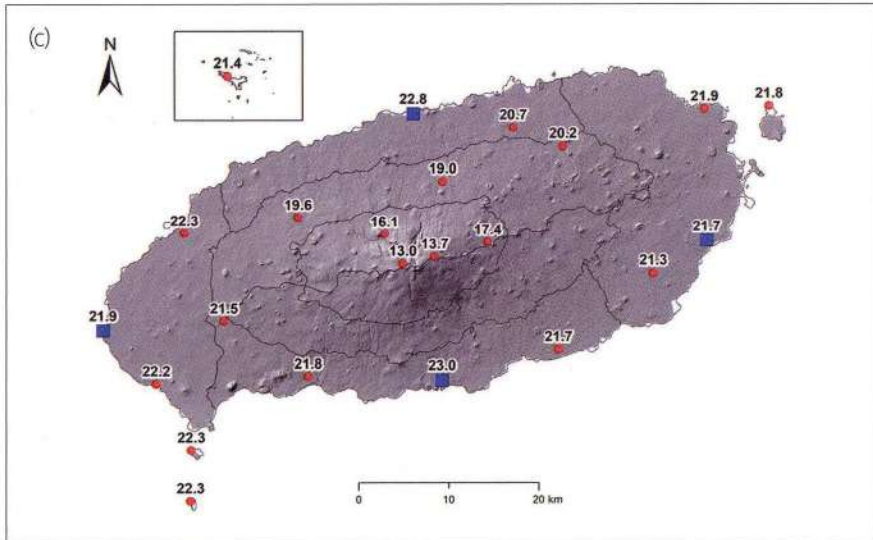


그림 2-22. 앞 그림 계속((c)가을철(9~11월), (d)겨울철(12~2월))

철(9~11월) 13.2℃, 겨울철(12~2월) 14.0℃이다. 이는 대부분 고산간 지역에서 해발고도가 가장 높은 지점에서 가장 낮은 값을 보이는 윗세오름(1,666m)과 해안 지역 관측 지점 간의 차이를 나타낸 것이다. 사계절 중 연중 기온이 가장 낮아지는 겨울철(12~2월) 장기간(2001~2020년) 평균 일최저기온의 분포를 살펴보면, 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 약 2~9℃로 어느점 이상의 범위를 보임을 알 수 있다. 그러나 해발고도 상승에 따라 200~600m 중산간 지역에서는 -1~1℃, 해발고도 600m 이상에서는 -2~8℃로 점차 영하의 값을 보이는 지역이 나타나기 시작한다. 한라산연구소의 한라산 정상 동릉(1,920m) 관측 기록(2004~2007년 평균)에 따르면 겨울철(12~2월) 평균 일최저기온은 -8.4℃까지 낮아짐을 알 수 있다. 이와 대조적으로 연중 기온이 가장 높아지는 여름철(6~8월) 평균 일최저기온 분포를 살펴보면, 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 21~23℃, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 19~20℃, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 18℃ 이하의 범위를 보임을 알 수 있다. 특히, 장기간 기후 자료를 수집해오고 있는 기상청 산하 관측 지점 중 해발고도가 가장 높은 윗세오름(1,666m)에서는 여름철 평균 일최저기온이 약 13.0℃로 가장 낮게 나타났다. 심지어 한라산연구소 관측 한라산 정상 동릉(1,920m) 관측 자료에서도 여름철 일최저기온 평균값은 13.1℃로 나타났다.

이외에도 봄철(3~5월)에는 일최저기온이 평균적으로 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 9~12℃, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 7~8℃, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 6℃ 이하로 고도 상승에 따라 점차 낮아지는 패턴을 보인다(그림 2-22). 특히, 고산간 지역의 윗세오름(1,666m)에서는 0.8℃, 한라산 정상 동릉(1,920m)에서는 -0.1℃까지 낮아짐을 알 수 있다. 가을철(9~11월)에는 데워진 제주도 주변 해수의 영향으로 일최고기온뿐만 아니라 일최저기온도 봄철보다 4~5℃ 이상 높은 값을 보인다. 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 13~17℃, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 11~12℃ 범위를 보인다. 또한, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 10℃ 이하로 점점 더 낮아지는데 윗세오름(2001~2020년 평균)에

서 4.1℃, 한라산 정상 동릉(2004~2007년 평균)에서 4.4℃ 값을 각각 나타낸다.

2020년 말 기준 기상청 산하 전체 약 40여 개의 관측 지점 중 해발고도 600m 이상 한라산 산간 지역에서 장기간(2001~2020년) 기상 기후 관측을 해오는 지점은 윗세오름(1,666m), 진달래밭(1,489m), 어리목(968m), 성판악(760) 등 4개 지점에 불과하다. 2020년 말 기준 기상청 산하 우리나라 전체 약 530여 개 AWS 및 약 80여 개의 ASOS 관측 지점 중 장비의 설치 및 운영의 어려움으로 장기간 수집된 산악 기상·기후 관측 자료는 드문 편이다. 따라서 이들 한라산 해발고도 600m 이상 산간 지역 기상·기후 관측 기록에 대해서 상세하게 살펴볼 필요성이 있다. 이들 관측 지점에서는 2000년대 초반부터 일평균기온을 관측해오고 있지만, 일최고기온과 일최저기온 관측은 2010년대 초반부터 관측해오고 있다.

우선 해발고도 1,300m 이상 고산간 서사면 지역에 위치한 윗세오름의 연중 월평균 기온의 변화를 살펴보면 월평균 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온이 최한월(1월)에는 각각 -2.6℃, -5.9℃, -9.1℃까지 낮아지지만, 최난월(8월)에는 14.4℃, 17.4℃, 20.6℃까지 높아짐을 알 수 있다(그림 2-23). 즉, 기온의 일교차는 최한월(1월)에 6.5℃, 최난월(8월)에는 6.2℃로 유사함을 알 수 있다. 4~10월에는 월평균 일최저기온이

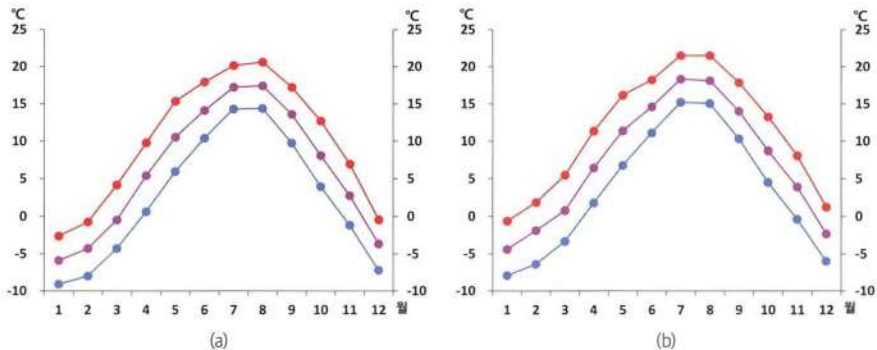


그림 2-23. 장기간(2001~2020년) 평균 한라산 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역((a)윗세오름(1,666m), (b)진달래밭(1,489m)) 월별 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온

0℃ 이상을 보이지만, 12~2월에는 월평균 일최고기온이 0℃ 이하로 해발고도 약 1,600m이상의 이 지역에서는 수분이 하루 종일 얼어 있는 상태임을 짐작할 수 있다. 고산간에서 윗세오름(1,666m)보다 해발고도가 약 180m 낮고, 서사면이 아닌 동사면 지역에 위치한 진달래밭(1,489m)의 연중 기온 변화를 살펴보면, 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온의 장기간 평균값은 최한월(1월)에 각각 -0.6℃, -4.4℃, -7.9℃로 윗세오름에 비하여 -2.0℃, -1.5℃, -1.2℃ 정도 더 높음을 알 수 있다. 또한, 윗세오름과 달리 진달래밭 관측지점에서는 7월이 기온의 최한월에 해당되며, 이때에는 월평균 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온이 각각 21.5℃, 18.3℃, 15.2℃까지 높아진다. 또한, 진달래밭에서는 월평균 일최저기온이 0℃ 이상인 기간은 4~10월로 윗세오름과 유사하지만, 월평균 일최고기온이 0℃ 이하인 기간은 1월로만 한정된다.

좀 더 세부적으로 고산간 지역에 위치한 윗세오름(1,666m) 지점의 연중 장기간(2001~2020년) 평균 일별 일최고기온 연중 변화 양상을 살펴보면 2월 중순까지는 0℃ 이하를 유지하다가 2월 하순부터 영상의 기온을 보이기 시작함을 관찰할 수 있다(그림 2-24). 이후 5월 초순까지 상승 하강을 반복하면서 전반적으로는 빠르게 상승하는 패턴이 나타난다. 5월 중순 이후에는 점차 상승폭이 둔화되어 7월 하순(예. 7월 27일 22.4℃)에 가장 높게 상승한다. 이후 일최고기온은 9월 말까지 서서히 낮아지다가 10월 초순부터 빠르게 하강하여 11월 하순에 0℃ 이하를 나타내기 시작한다. 해발고도가 약 180m 정도 낮고, 동사면에 위치한 진달래밭의 연중 기온 변화를 살펴보면, 12~2월에는 일최고기온이 0℃ 내외의 범위를 보이다가 2월 중순부터 상승하기 시작하여 4월 하순까지 빠르게 상승하는 패턴을 보인다. 이후 점진적인 상승 경향을 보이다가 7월 중순 다시 빠른 상승 패턴을 보여 7월 29일에 23.3℃로 최고값을 나타낸다. 8월 초순 이후에는 12월 하순까지 빠른 하강 추세를 보인다. 이와 대조적으로 북부 해안에 위치한 제주의 일최고기온은 연중 내내 0℃ 이하를 보이고, 6월 초순~9월 중순에는 25℃ 이상을 보이며, 특히 7월 중순~8월 중순에는 심지어 30℃ 이상까지 상승한다.

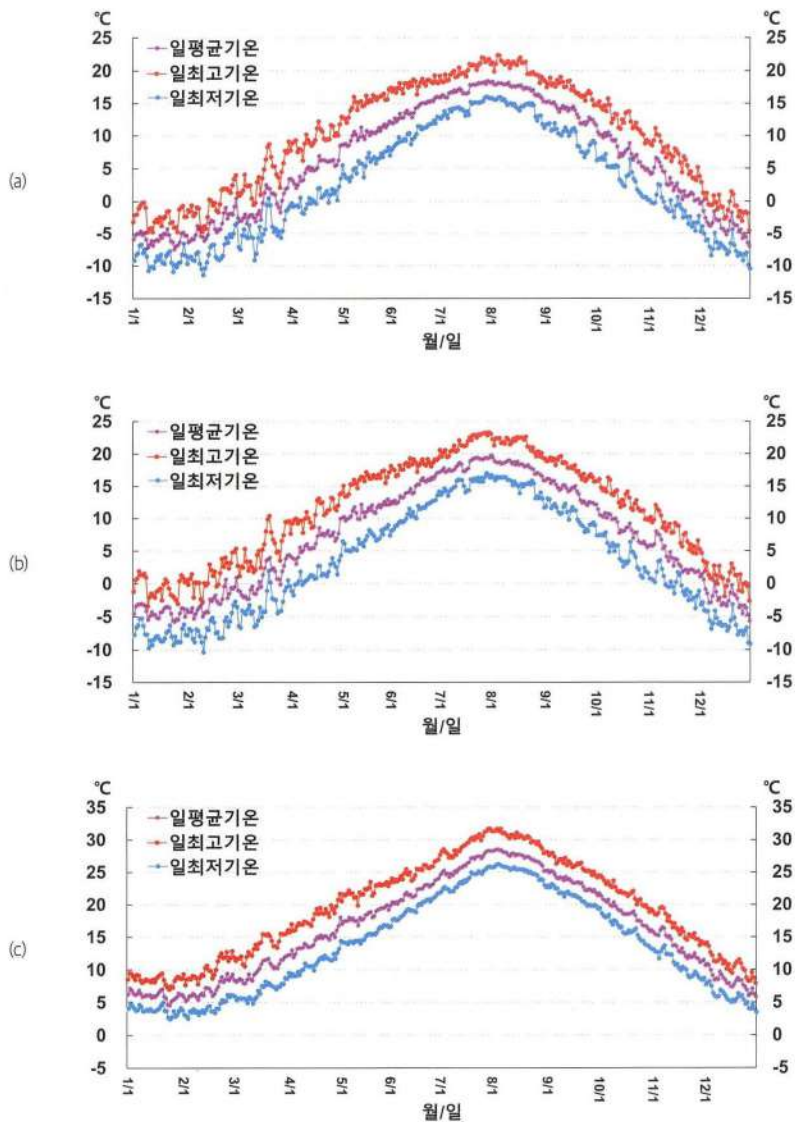


그림 2-24. 최근 20년(2001~2020년) 평균 한라산 고산간(a)윗세오름(1,666m), (b)진달래밭(1,489m) 및 해안 지역(c)제주(21m) 연중 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온 시계열

연중 일최저기온도 일최고기온과 유사한 진행 양상을 보이는데 윗세오름(1,666m)의 경우 4월 중순을 전후로 0℃ 이상으로 상승하고 7월 29일에 16.0℃로 가장 높은 값을 보인다. 8월 초순부터 일최저기온도 다시 하강하다가 10월 하순에 0℃ 이하 값을 연속적으로 나타내기 시작한다(그림 2-24). 특히, 11월 하순~2월 하순에는 일최저기온이 -5℃ 이하로 낮아지며, 12월 하순~2월 초순에는 심지어 -10℃ 이하까지 떨어지는 경우가 자주 발생한다. 예를들어 1월 9일, 1월 23일, 2월 9일에는 장기간 평균 일최저기온이 각각 -10.8℃, -11.0℃, -11.5℃까지 하강한다. 한편, 해발고도가 180m 정도 낮고 동사면에 위치한 진달래밭의 경우 11월 중순~3월 하순에는 일최저기온이 0℃ 이하로 야간에 수분이 얼어있는 상태로 유지되고 있음을 짐작할 수 있다. 특히, 일최저기온이 장기간 평균적으로 12월 중순~2월 하순까지는 일최저기온이 거의 -5℃ 이하를 나타내는데, 특히 1월 9일과 2월 9일에 각각 -9.8℃와 -10.4℃정도까지 낮게 나타난다. 이러한 해발고도 1,300m이상 고산간 지역의 경우 일최고기온과 일최저기온 모두 12월 초순~4월 초순 사이에 삼한사온 현상에 의해 수일 간격으로 눈에 띄게 상승하였다가 하강하는 패턴을 보인다. 이러한 한라산 고산간 지역 봄철 기온의 수일 간의 변동 패턴은 이 시기까지 연중 시베리아 고기압이 제주도를 포함한 동아시아 대륙권 하층대기에 영향을 미치고 있음을 가리킨다. 반면, 해양에 인접하여 대기 중 수증기가 더 많은 해안 지역에 위치한 제주 관측소의 일별 기온 변화폭은 이들 고산간 관측 지점에서의 변화폭보다는 작다. 5월 중순~9월 초순 사이에는 한라산 고산간 지역에서도 매일 매일의 기온 변동성이 상대적으로 줄어든다.

한라산 해발고도 600~1,300m 산간 지역에 위치한 기상청 산하 관측 지점의 연중 월별 기온 변화를 살펴보면 어리목(968m)의 경우에 월평균 일최저기온은 12~3월에 0℃ 이하를 보이지만, 일최고기온은 겨울철이 시기에도 0℃ 이상을 보인다(그림 2-25). 7~8월에 어리목의 월평균 일평균기온은 20℃ 이상을 나타내고 월평균 일최고기온도 25℃ 가까이 높아진다. 이보다 해발고도가 약 210m 낮은 성판악(760m)

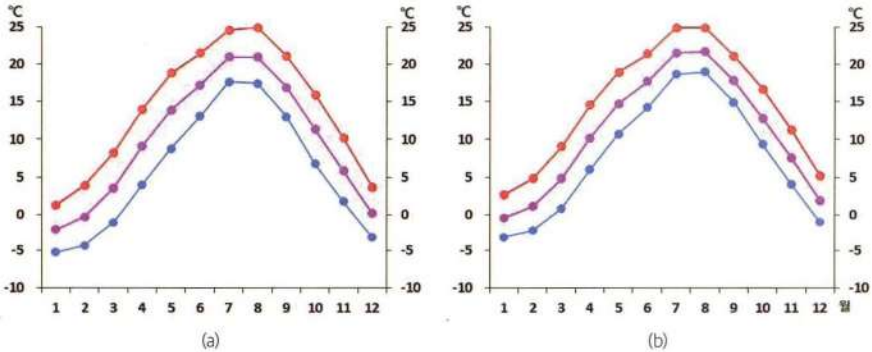


그림 2-25. 장기간(2001~2020년) 평균 한라산 해발고도 600~1,300m 산간 지역((a)어리목(968m), (b)성판악(760m)) 월별 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온

에서는 월평균 일최저기온이 0°C인 기간은 12~2월로 줄어들지만, 7~8월 일최고기온은 약 25°C에 가까이 상승하고 일평균기온도 약 22°C에 달한다.

좀 더 세부적으로 한라산 저산간 지역에 위치한 어리목의 장기간(2001~2020년) 연중 일별 평균 기온 시계열의 변화를 살펴보면 11월 하순~3월 하순에 일최저기온은 0°C 이하를 보이고, 심지어 1월 초순~2월 중순에는 -5°C 내외 값을 보인다(그림 2-26). 고산간 지역에 비해 어리목에서는 연중 일최저기온이 -10°C 이하로 떨어지는 기간은 거의 관찰할 수 없다. 반면, 7월 중순~8월 초순에는 일최고기온이 25°C 이상을 나타낸다. 어리목보다 해발고도가 약 210m가 낮은 성판악에서는 11월 하순~2월 하순에 일최저기온이 0°C 이하를 나타내고, 7월 중순~8월 초순에는 일최고기온이 25°C 이상을 나타낸다. 성판악의 경우 연중 대부분 일평균기온이 0°C 이상을 나타내는데, 특히 6월 하순~8월 하순 사이에는 일평균기온이 20°C 이상을 보인다. 일최고기온과 일최저기온의 차(기온의 일교차)는 겨울철과 여름철에 상대적으로 작은 편이다. 반면, 봄철에는 변질된 시베리아 기단이 간헐적으로 저위도로 전진과 후퇴를 반복함에 따라 나타나는 꽃샘추위 발생이 끝난 4월 초순경부터 여름장마가 시작되기 전인 6월 중순 사이에는 기온의 일교차가 다른 계절에 비하여 상대적으로 커진다.

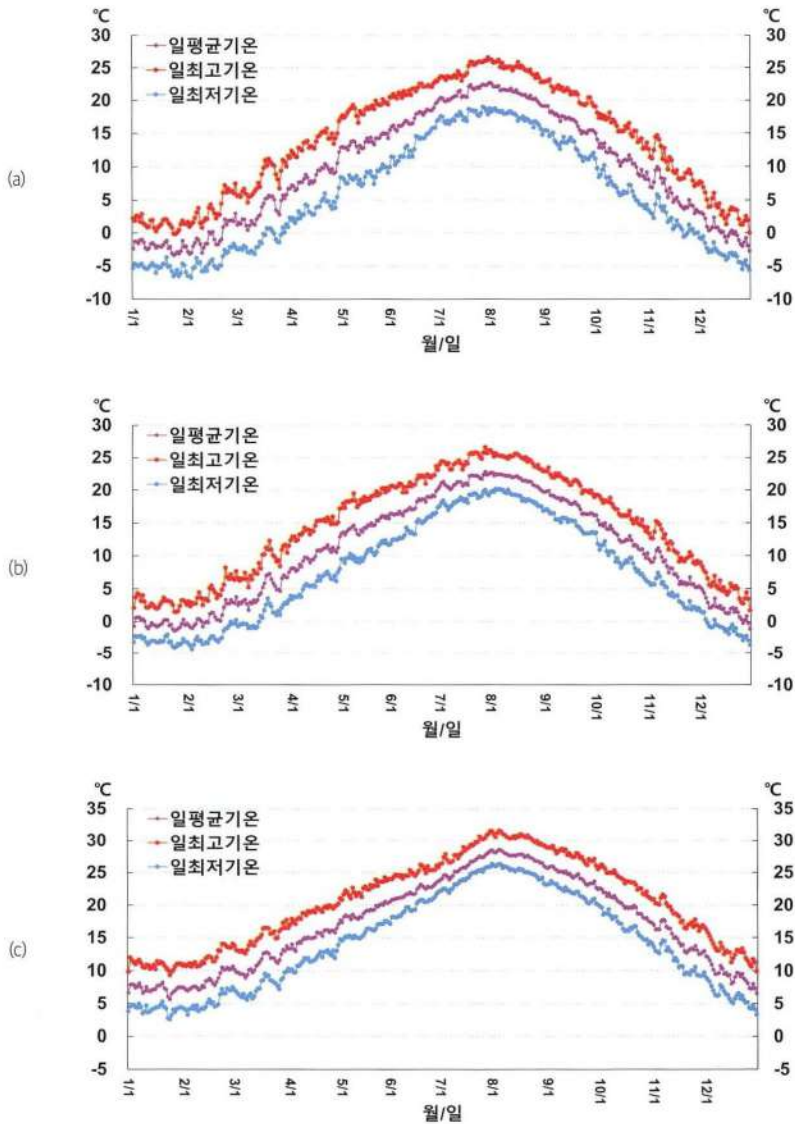


그림 2-26. 최근 20년(2001~2020년) 평균 한라산 산간(a)어리목(968m), (b)성판악(760m) 및 해안 지역((c)서귀포(52m)) 연중 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온 시계열

표 2-6. 2010년대 초반 한라산 성판악 코스 해발고도 1,200~1,800m 구간 월평균기온(℃)

월	1,200m 지역	1,400m 지역	1,600m 지역	1,800m 지역
1	-5.3	-6.0	-7.5	-8.4
2	-2.2	-2.7	-3.9	-4.1
3	0.6	-0.1	-1.4	-3.0
4	6.1	5.4	4.0	2.9
5	12.4	12.1	10.4	9.5
6	15.4	15.0	13.9	13.2
7	19.3	18.7	17.5	16.6
8	19.8	19.1	17.7	16.8
9	15.0	14.6	13.1	12.6
10	9.0	8.5	7.1	6.6
11	6.3	5.6	4.6	3.9
12	-2.5	-3.2	-3.1	-4.3

출처: 한라산연구소, 2011, 2013.

이러한 기상청 산하 자동기상관측소 이외에 한라산연구소에서도 좀 더 세부적으로 성판악 해발고도 1,200~1,800m 구간에 200m 간격으로 HOBO 온습도계를 설치하여 2010년 11월 1일에서 2012년 10월 31일까지 관측 자료를 수집하였다(한라산연구소 조사보고서 12호). 이 자료에 따르면 최한월(1월)의 평균온도는 한라산 정상 방향으로 매 200m 간격으로 각각 -5.3℃(1,200m), -6.0℃(1,400m), -7.5℃(1,600m), -8.4℃(1,800m)로 나타났고, 최난월(7월) 평균기온은 각각 19.8℃(1,200m), 19.1℃(1,400m), 17.7℃(1,600m), 16.8℃(1,800m)를 보임을 알 수 있다(표 2-6). 즉, 한겨울에는 이러한 해발고도 200m 간격 구간 중 1,200m~1,400m 고지 구간에서 기온 차이가 가장 작고, 한여름에는 1,400m~1,600m 구간을 중심으로 기온 차이가 가장 작게 나타남을 알 수 있다. 대기 중 수증기가 많아 포화가 잘 일어나는 구간에서는 해발고도 상승에 따른 기온감률이 상태적으로 줄어든다. 즉, 구름이 형성되고 강수 현상이 자주 발생하는 고도가 여름철에 비해 겨울철에는 낮아짐을 가리킨다.

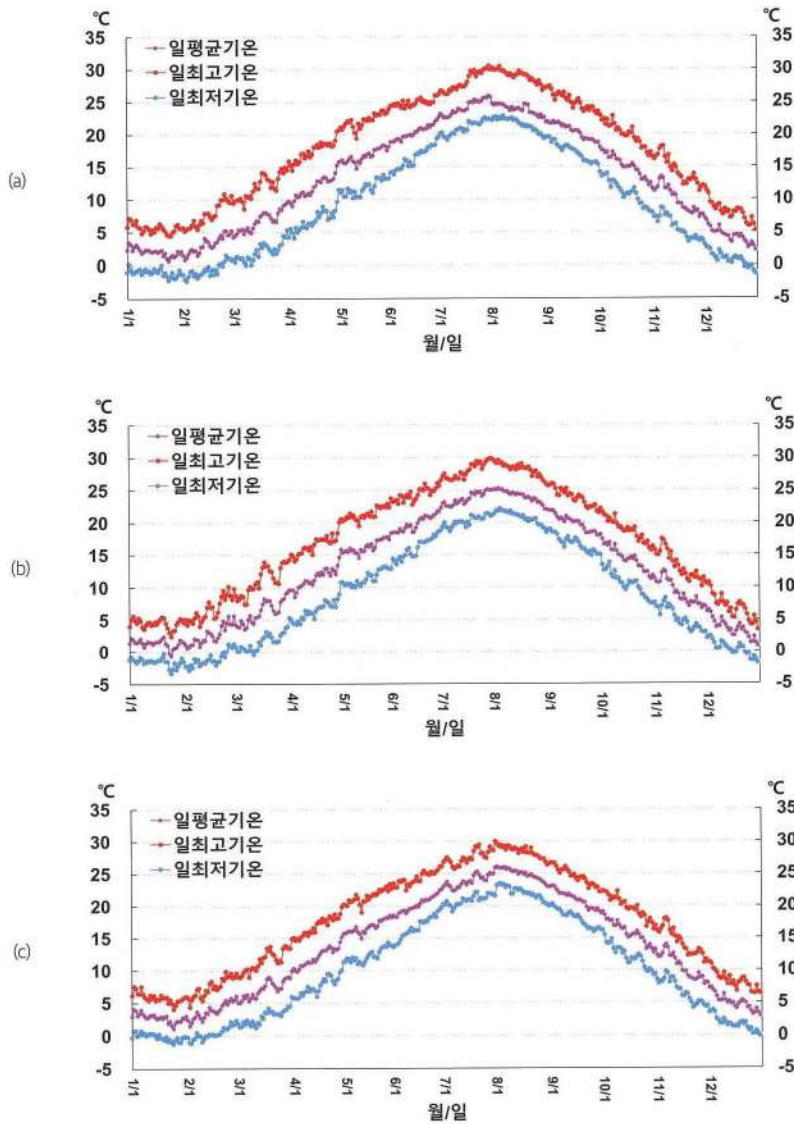


그림 2-27. 최근 20년(2001~2020년) 평균 한라산 중산간((a)유수암(428m), (b)산천단(378m), (c)선홀(251m)) 연중 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온 시계열

한편, 기상청 산하 장기간 기상·기후 관측지점 중 해발고도 200~600m 중산간 지역에 설치된 AWS는 유수암(425m), 산천단(378m), 선흘(251m) 등 3개 지점이 있다. 이들 중산간 지역 관측지점들의 최근 20년 평균 일별 기온 자료 시계열을 살펴보면, 산간 지역에 비해 일최저기온이 0℃ 이하를 보이는 기간은 더 짧고, 반대로 일최고기온이 25℃ 이상을 나타내는 기간은 더 길다는 것을 알 수 있다(그림 2-27). 우선 한라산 북서사면에 위치한 유수암(425m)은 12월 하순~2월 중순까지만 일최저기온이 0℃ 이하를 나타낸다. 반면, 유수암에서 일최고기온이 25℃ 이상을 나타내는 기간은 6월 초순~9월 초순까지로 늘어난다. 한라산 북사면에 위치한 산천단(378m)에서 0℃ 이하를 보이는 기간은 12월 중순~2월 하순이고, 일최고기온이 25℃ 이상을 나타내는 기간은 6월 중순~8월 하순까지이다. 한라산 북동사면에 위치한 선흘(251m)

표 2-7. 최근 20년(2001~2020년) 평균 한라산 해발고도 600~1,300m 산간 지역(아리목 AWS)- 동서남북 해안 지역(기상청 산하 종관기상관측소) 간 해발고도 상승에 따른 기온감률(℃/100m)

기간	지역	동사면 (성산)	서사면 (고산)	남사면 (서귀포)	북사면 (제주)	지역 평균
1월		0.69	0.71	0.79	0.72	0.73
2월		0.65	0.65	0.75	0.67	0.68
3월		0.62	0.60	0.71	0.64	0.64
4월		0.54	0.50	0.60	0.56	0.55
5월		0.47	0.41	0.52	0.50	0.47
6월		0.44	0.42	0.49	0.48	0.46
7월		0.49	0.47	0.52	0.56	0.51
8월		0.58	0.57	0.62	0.62	0.60
9월		0.60	0.58	0.65	0.60	0.61
10월		0.63	0.64	0.71	0.65	0.66
11월		0.64	0.68	0.74	0.67	0.68
12월		0.68	0.73	0.78	0.73	0.73
봄철(3~5월)		0.53	0.50	0.61	0.56	0.55
여름철(6~8월)		0.51	0.49	0.54	0.55	0.52
가을철(9~11월)		0.62	0.63	0.69	0.63	0.64
겨울철(12~2월)		0.66	0.69	0.76	0.69	0.70
연 전체(1~12월)		0.58	0.58	0.66	0.62	0.61

에서는 1월 초순~2월 중순까지 0℃ 내외를 나타낸다. 선홀에서 일최고기온이 25℃ 이상을 나타내는 기간은 6월 중순~9월 초순까지이며, 심지어 7월 하순에는 20년 평균 일최고기온도 약 30℃에 달하기도 한다.

한라산 중산간 지역의 해발고도 상승에 따른 기온감률을 살펴보기 위해 중산간을 포함하는 해발고도 600~1,300m 산간 지역에 위치한 어리목(또는 성판악)과 동서남북 해안 지역 종관기상관측소 간의 기온 차이를 분석하였다. 중산간을 포함하는 해발고도 1,300m 이하 산간 지역 이하 기온감률을 살펴보면 연평균 기온감률은 0.63℃/100m로 고산간-해안 지역 간 기온감률보다 약간 더 크게 나타나지만, 연중 시기에 따라서는 큰 차이를 보인다(표 2-7). 예를 들어, 해안-산간 지역 간 최한월(1월) 기온감률은 0.85℃/100m로 고산간 지역 기준일 때(0.73℃/100m)보다 더 크지만, 최난월(7월) 기온감률은 0.42℃/100m로 고산간 지역 기준일 때(0.51℃/100m)보다 오히려 더 작다. 이는 겨울철에 중산간 지역의 대기가 건조하지만, 여름철에는 강수량도 증가하고 제주도 주변 해수의 영향으로 공기가 습하기 때문인 것으로 추정된다. 동서남북 사면별로 비교해 보면, 해발고도 상승에 따른 기온감률은 대체로 남사면에서 가장 크고 서사면에서 가장 작은 특징을 보이는데 이는 해안 지역 기온 차이에 의한 것임을 짐작할 수 있다. 연중 기온감률은 한라산 사면 방향에 관계없이 모두 5~7월에 가장 작아지는데 이는 이 시기에 중산간 지역의 대기 상태가 습하고 비가 자주 내리는 것과 연관성이 있는 것으로 추정된다. 반면, 10월부터 이듬해 2월 사이에는 기온감률이 대부분 전 지구 평균 환경기온감률(0.65℃/100m)보다 큰 값을 나타낸다.

마지막으로 한라산에서 해발고도 200m 이하 제주도 동서남북(성산, 고산, 서귀포, 제주) 해안 지역의 최근 20년 평균 월별 기온 변화를 살펴보았다(그림 2-28). 연중 4개 관측 지점 모두 최한월은 1월이지만, 한반도 대부분의 관측지점과 유사하게 7월 중순까지 이어지는 여름장마의 영향으로 최난월은 8월에 나타난다. 8월에 나타나는 차이를 나타낸다. 우선, 한라산 기준 도시화의 영향이 거의 없는 동부와 서부 해안

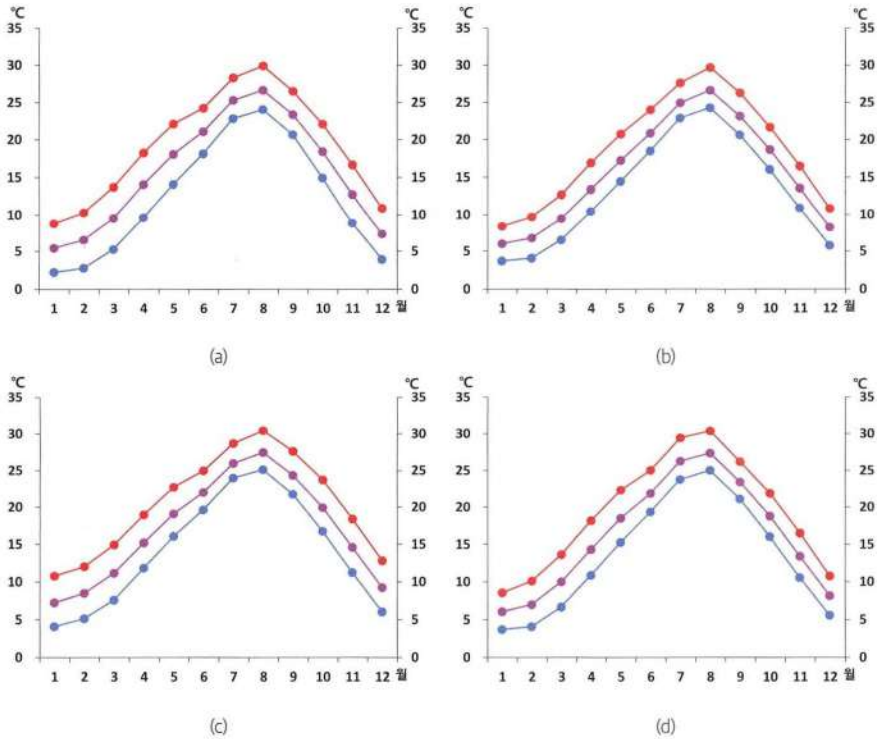


그림 2-28. 장기간(2001~2020년) 평균 제주도 동서남북 해안 지역((a)성산, (b)고산, (c)서귀포, (d)제주) 월별 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온,

지역의 성산과 고산 관측 지점 자료를 비교해 보기로 하자. 동부 해안 성산의 최근 20년 평균 최한월(1월) 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온은 각각 2.2℃, 5.4℃, 8.8℃를 나타내고, 최난월(8월) 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온은 평균값은 각각 24.1℃, 26.7℃, 29.9℃를 나타낸다. 반면, 서부 해안 고산의 최한월(1월) 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온은 최근 20년 평균값은 각각 3.7℃, 6.0℃, 8.4℃를 나타내고, 최난월(8월) 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온은 평균값은 각각 24.3℃, 26.6℃, 29.7℃를 나타낸다. 즉, 최한월과 최난월 모두 일최고기온은 서부 해안보다 동부 해안에서 높게 나타

나지만, 일최저기온은 오히려 동부 해안보다 서부 해안에서 높음을 알 수 있다.

한라산 기준 북부와 남부 해안 지역의 월별 기온을 비교해 보면 동-서 지역 차이보다 남-북 지역 차이가 더 크게 나타남을 알 수 있다(그림 2-28). 우선 북부 해안 제주의 최한월(1월) 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온 최근 20년 평균값은 각각 3.7℃, 6.1℃, 8.5℃를 나타내고, 최난월(8월) 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온 평균값은 각각 25.0℃, 27.4℃, 30.4℃를 나타낸다. 반면, 남부 해안 서귀포의 최한월(1월) 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온 최근 20년 평균값은 각각 4.1℃, 7.2℃, 10.8℃를 나타내고, 최난월(8월) 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온 평균값은 각각 25.1℃, 27.5℃, 30.4℃를 나타낸다. 즉, 여름철보다는 겨울철 기온의 남북 차이가 더 크며, 계절에 상관없이 일최저기온보다는 일최고기온의 한라산 기준 남북 차이가 더 큼을 알 수 있다.

강수

제주도는 동아시아 몬순 기후 지역 내에서도 저위도 기단이나 기류의 영향을 자주 받는 남부 아열대 해상에 위치해 있다. 또한, 섬의 중심에는 남한 최고봉(1,950m)인 한라산에 의한 지형성 강수 현상이 잦아 연강수량이 많은 편이다. 최근 30년(1991~2020년) 평균 제주도 해안 지역 평균 강수량은 1,676mm로 남한 전체 60개 종관기상 관측 지점 평균(약 1,361mm)에 비하여 약 325mm 이상 더 많다. 특히, 제주도 남동 해안 지역은 태백산맥 서사면 산간에 위치한 대관령 및 한반도 남해안 지역과 더불어 우리나라의 대표적인 다우지에 속한다.

이러한 제주도의 연강수량은 한라산 중산간을 거쳐 산간 지역으로 갈수록 증가한다. 가령, 한라산 지역 기상청 산하 약 23개 관측 지점의 최근 20(2001~2020년) 평균 연강수량 분포를 살펴보면 가장 해발고도가 높은 윗세오름(1,666m) 관측 지점의 연강수량이 약 5,838mm에 달함을 알 수 있다(그림 2-29). 이는 남한 평균 강수량의

약 4.3배에 달하고, 제주도 해안 지역 4개 종관 관측소 평균 연강수량에 비해서도 약 3.5배 이상 많은 값에 해당된다. 한라산 고산간 지역은 소위 물폭탄 형태의 집중 호우가 자주 내리는 지역으로 절리와 숨골이 잘 발달한 기반암인 현무암의 지질구조로 인해 대부분의 강수가 지하수로 흡수되는 자연 정수 현상이 이루어지는 지역이라고 할 수 있다.

한라산 고도별로 연강수량 분포를 상세히 비교해 보면, 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 약 1,200~2,200mm 정도, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 2,000~3,000mm 정도, 해발고도 600m 이상 산간 지역에는 약 3,000~5,800mm 정도로 점차 많아짐을 알 수 있다(그림 2-29). 즉, 한라산 지역에서는 평균적으로 해발고도 상승에 따라 연강수량이 263mm/100m의 비율로 증

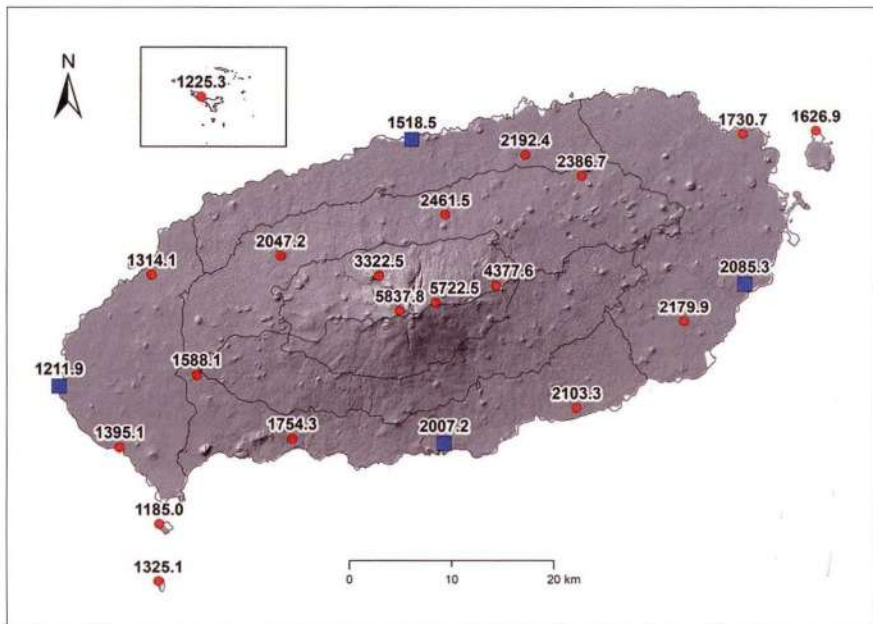


그림 2-29. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 연강수량(단위: mm)

가함을 알 수 있다. 제주도 해안 지역의 연강수량 분포의 경우는 대체로 북서 해안 지역에서 남동 해안 지역으로 갈수록 더 많아지는 지역 차이를 보인다. 연강수량이 서부 해안에서는 약 1,190~1,330mm 정도를 나타내지만, 동부 해안에서는 약 1,630~2,180mm로 동-서 방향 약 75km 이내 좁은 섬 내에서도 최소 지역(가파도)과 최대 지역(표선)의 연강수량 차이는 무려 995mm에 달한다. 제주도 북부 해안의 연강수량은 약 1,520~2,190mm이고, 남부 해안의 연강수량은 약 1,750~2,010mm의 범위를 보인다. 관측 지점 수가 충분하지 않아 국지성이 높은 강수 분포 특성을 정확하게는 알 수 없지만 동일 해발고도의 연강수량은 북부 해안 지역보다는 남부 해안 지역에서 더 많을 것으로 추정된다. 가령 해발고도가 유사하고 해안에 인접한 북부 해안 제주와 남부 해안 서귀포의 연강수량을 비교해보면 서귀포의 연강수량이 제주보다 약 480mm 이상 더 많다. 한편, 중산간 지역으로 갈수록 장기간 강수량 자료 관측 지점 수가 더 적지만 해안 지역보다 연강수량은 더 많아지는 것은 분명하다. 대부분의 대하천 하계망이 경사가 급한 한라산 남북 사면에 집중적으로 발달되어 있다. 또한 인구가 제주시와 서귀포시 도심에 집중된 것으로 고려하면 한라산 중산간 지역에 여름철 홍수 대비 강수량 관측망을 확충할 필요성이 있다.

한편, 해발고도 600m 이상 한라산 산간 지역에서 장기간 강수량을 관측해 온 AWS지점에는 동사면을 따라 성판악(760m)과 진달래밭(1,489m)이 있고, 북서사면에 어리목(968m), 서사면에 윗세오름(1,666m)이 있다. 해발고도가 상이하여 직접적으로 비교하기는 힘들지만, 한라산 해발고도 상승에 따른 연강수량 증가율(263mm/100m)을 기준으로 동일 고도로 표준화해 비교해 보면, 연강수량은 윗세오름(관측치: 5,838mm)보다 진달래밭(추정치: 6,188mm)에서 약 350mm 정도 더 많을 것으로 추정된다. 즉, 한라산 고산간 지역에서도 서사면보다 동사면에서 강수량이 더 많을 것으로 추정된다.

한라산 정상 강수량과 관련하여 7개년도(2004~2009년과 2012년) 동안 한라산연구소의 한라산 정상 동릉(1,920m) AWS에서 수집한 평균 연강수량은 약 4,358mm

이다. 반면, 동일 기간의 기상청 산하 어리목과 성판악의 연강수량은 각각 약 3,029mm와 4,204mm를 기록하였다. 또한, 한라산 정상 동릉 AWS와 윗세오름을 포함한 기상청 산하 4개 산간 지역 관측 지점에서 연강수량이 모두 관측된 2012년 기록을 살펴보면, 한라산 정상 동릉의 연강수량은 4,234mm였고, 이보다 해발고도가 낮은 한라산 서부 능선에 위치한 윗세오름에서 6,520mm, 한라산 동부 능선에 위치한 진달래밭에서 7,324mm로 더 많은 값을 보였다. 즉, 한라산 정상 주변보다는 이보다 해발고도가 낮은 고산간 지역의 연강수량이 약 2,000~3,000mm 정도 더 많음을 알 수 있다. 이는 한라산 지역의 다우지는 정상보다는 해발고도 1,700mm 부근에서 형성하고 있을 것이라는 기존 연구의 추정과 일치한다(강태진, 2003). 그러나, 실제 연중 기류의 유입 방향과 한라산 사면별 지형·지세에 따라 강수량 분포는 국지적으로 상이할 것으로 추정되어 다우지 고도를 확인하기 위해서는 추가적인 후속 연구가 필요한 실정이다. 특히, 이러한 해발고도별 비교를 위해 사용된 한라산 정상과 기상청 관측 자료도 2012년 단일 연도 자료이기 때문에 한라산 산간 지역 강수의 상세한 시공간적 분포를 파악하기 위해서는 관측소 확충이 우선적으로 필요하다고 판단된다.

한라산 주변 지역의 강수량은 계절별로 큰 차이를 보이지만, 제주도는 아열대 해양으로 둘러싸여 있어 한반도 내륙 지역에 비해 기상학적 여름철(6~8월) 이외에 봄철(3~5월)과 가을철(9~11월) 등 다른 계절에도 강수량이 많은 편이다(그림 2-30). 우리나라 전체 연강수량의 약 53%는 여름철(6~8월)에 집중되고, 겨울철(12~2월) 강수량이 차지하는 비율은 7%로 줄어든다. 반면, 최근 20년(2001~2020년) 평균 한라산 지역 전체 23개 관측 지점의 각 기상학적 계절별 강수량이 연강수량 대비 차지하는 비율을 산출해 보면, 제주도의 봄철 강수 집중률은 약 24% 내외, 여름철(6~8월) 강수 집중률은 41% 내외, 가을철(9~11월) 강수 집중률은 23% 내외, 겨울철(12~2월) 강수 집중률은 11% 내외로 봄철과 가을철에도 강수가 많음을 알 수 있다. 즉, 한라산 지역의 평균적인 여름철 강수 집중률은 다른 계절 강수량으로 분산되어 남한 전체 여름철 강수 집

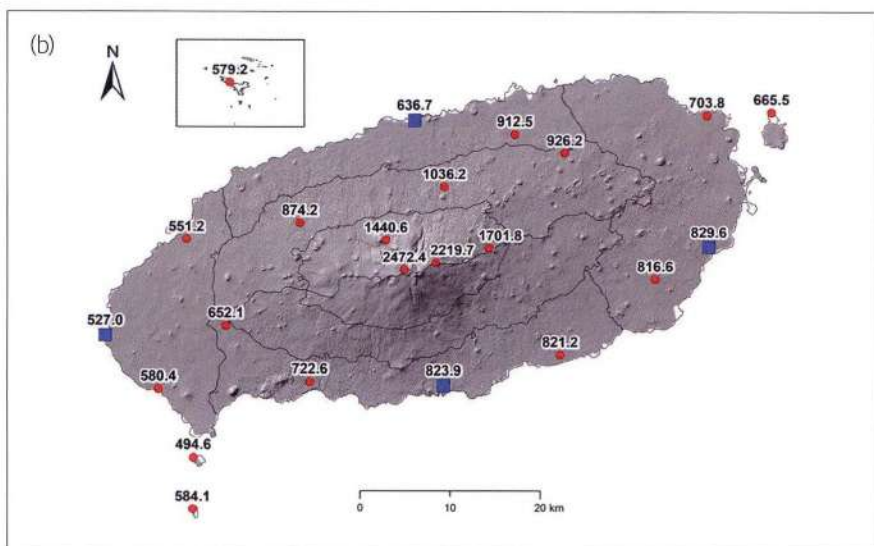
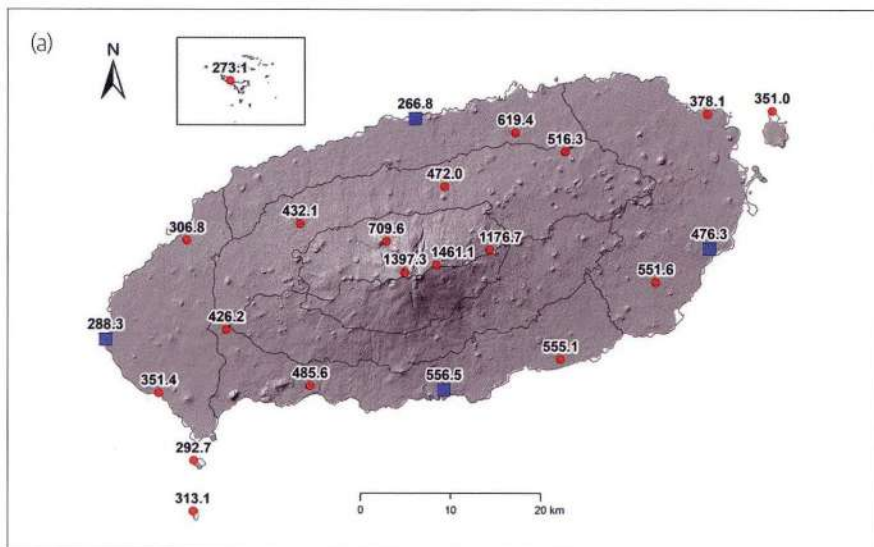


그림 2-30. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 기상학적 계절별 강수량(a)봄철(3~5월), (b)여름철(6~8월)
(단위: mm)

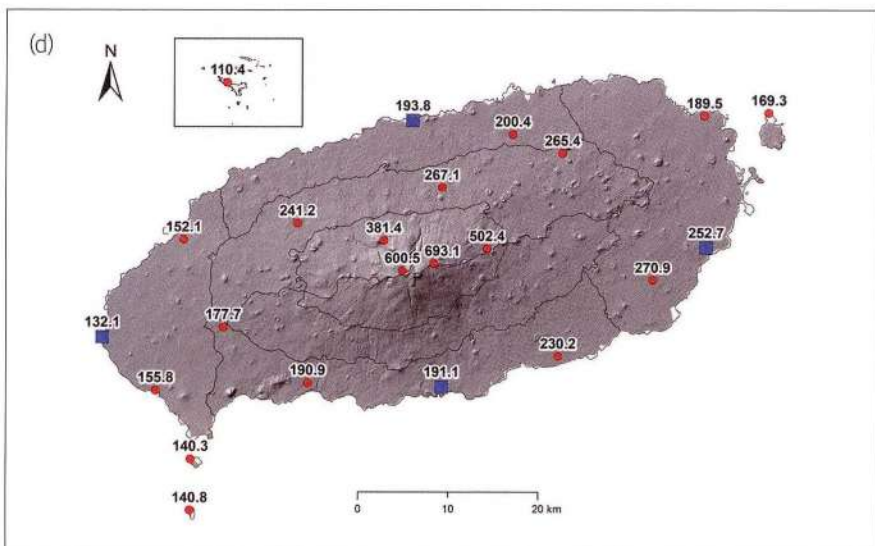
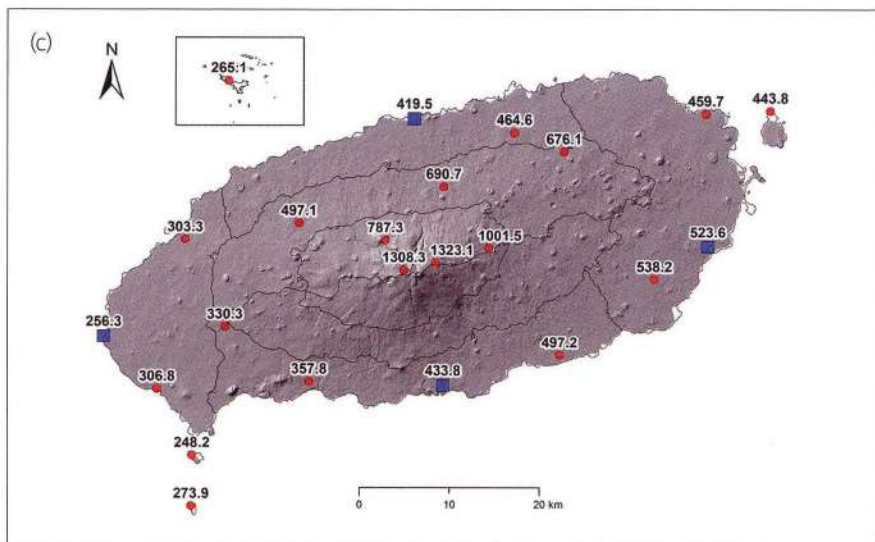


그림 2-30. 앞 그림 계속((c)가을철(9~11월), (d)겨울철(12~2월))



그림 2-31. 2007년 8월 중순 열대저압부의 영향으로 형성된 한라산 백록담 만수위 모습
제공처: 한라산국립공원

중월에 비해 약 12% 정도 적은 편이다. 이는 제주도의 경우에는 해양성 기후 특성이 우세하게 나타나 여름철 이외 다른 계절에도 비가 자주 내린다는 것을 가리킨다.

한라산 기상학적 여름철(6~8월) 강수량의 분포를 해발고도 지역별로 구분하여 세부적으로 살펴보면, 해발고도 200m 이하 지역에서는 평균적으로 약 680mm 정도, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 950mm, 해발고도 600~1,300m 산간 지역에서는 약 1,570mm, 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역에서는 약 2,350mm로 점차 증가하는 패턴을 확인할 수 있다(그림 2-30). 특히, 한라산 고산간 지역의 여름철(6~8월) 강수량은 한반도 연누적(1~12월) 강수량에 비해서도 약 1,000mm 이상 많은 값에 해당된다. 심지어 한라산 정상에 함몰된 백록담은 많은 비가 내리면 큰 호수로 변모한다(그림 2-31). 한라산연구소 관측기록에 따르면 여름철에 한라산 정상에 장마전선이 북상하면서 집중호우가 내리거나 태풍이 제주도를 지나갈 때에는 백록담의 수위가 올라가 산정호수와 같은 장관을 연출하기

도 한다. 우리나라 여름철은 강수의 증감에 따라 여름장마기, 성하기, 늦장마기 등으로 세분할 수 있다. 여름철 장마기에는 북태평양 고기압과 유라시아 대륙 북서쪽에서 남동 방향으로 남하하는 찬 기류가 만나 동아시아 여름 몬순 전선(중국: 메이유 전선, 우리나라: 장마전선, 일본: 바이유 전선)을 형성하여 많은 비를 내린다. 우리나라 장마전선 형성 위치는 저위도에서 고위도로 순차적으로 시간이 감에 따라 북상하는 것이 아니라 남북으로 불규칙하게 이동하면서 형성된다. 따라서 제주도에 장마전선이 먼저 형성되어 많은 비를 내릴 때 한반도 중부 지방은 장마 전 무더운 대기 상태가 형성되며, 반대로 장마전선이 한반도 중부 지방에서 먼저 형성되면 제주도에 는 이를 따라 확장하는 북서 태평양 아열대 고기압의 영향으로 이례적인 고온 현상이 나타나기도 한다.

한라산 지역의 기상학적 겨울철(12~2월) 강수량은 여름철 강수량에 비해 1/4로 감소하지만, 한라산의 지형·지세의 영향으로 산간 지역으로 갈수록 강수량이 많아져 심지어 한반도 중부 지방 저지대의 여름철 강수량보다 많게 된다(그림 2-30). 고도별로 겨울철 강수량은 한라산 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 약 180mm, 중산간 지역에서는 약 260mm, 해발고도 600~1,300m 산간 지역에서는 약 440mm, 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역에서는 약 650mm까지 증가한다. 제주도의 겨울철 강수현상은 주로 유라시아 대륙 내부에서 형성되는 한랭건조한 시베리아 기단이 중국 남부 지역으로 확장하거나, 이동성 저기압이 제주도 주변을 이동할 때 발생한다. 한라산의 겨울철 강수 형태는 해발고도 상승에 따라서 기온감률에 의해 기온이 어는점 이하로 낮아지면서 그 형태가 점차 강우(rain)에서 강설(snow)로 바뀐다. 제주도의 강설 현상은 알류산 저기압의 일부가 일본 열도 중부 지역까지 확장해 있고, 시베리아 고기압이 중국 남부 지역까지 확장하여 남북 방향으로 길게 장출한 서고동저형 기압 배치하에서 흔히 발생한다. 유라시아 고위도 지역의 찬 기단이 중국 남부 지역으로 확장하고 남하하면서 제주도 주변에는 -5~5℃ 기온 구역이 위치할 때 강수 형태가 눈에서 비로 바뀌게 된다(최광용과 권원태, 2008). 일부 이동성 저기압



그림 2-32. 봄철 눈으로 덮인 한라산 정상의 모습(2010년 3월)

출처: 한라산국립공원제공처: 한라산국립공원

이 제주도 주변을 지나면서 전선면을 따라서 눈이 내리는 경우도 있지만 그 강도와 지속기간은 시베리아 기단 확장 시 발생하는 강설 현상보다 훨씬 덜하다. 특히, 제주도 중심에 한라산이 자리 잡아 찬 기단이 황해에서 형성된 눈구름이 강하게 남하할 때 한라산 사면을 타고 상승하면서 지형성 대설 현상이 발생하게 된다. 한라산 산간 지역에 내린 눈은 기온감률 영하로 유지되는 저온상태 때문에 5월 초순까지도 녹지 않고 정상 주변에 남아있게 된다. 앞서 언급한 대로 이러한 해안 지역의 봄철 눈 덮인 백록담의 풍경은 녹담만설이라 하여, 제주도의 열 가지 아름다운 풍경을 일컫는 영주십경 중의 하나에 속한다(그림 2-32).

제주도는 한반도 남쪽 아열대 해상으로 둘러싸여 해안 지역의 경우 적설 현상이 드물기는 하지만 한라산 지형·지세의 영향으로 동서남북 해안 지역 방향에 따라 적설량이 차이를 보인다. 최근 30년(1991~2020년) 평균 동서남북 해안 지역 4개 종관 기상관측소(성산, 고산, 서귀포, 제주)의 연누적 신적설량을 비교해 보면 동부 해안 성

산에서 약 16cm, 북부 해안 제주에서 약 7cm, 남부 해안 서귀포에서 약 6cm을 보인다. 즉, 북서계절풍에 가장 직접적인 영향을 받는 서부 해안 고산의 약 2cm에 비해서 최소 3~8배 이상 더 많음을 알 수 있다. 북서계절풍이 강하게 불 때 황해를 건너오면서 머금은 습윤한 기류가 한라산 북서사면을 만나 한라산 돌레를 돌아 남동 방향으로 진행하게 되면 바람의지(leeward) 지역인 남동부 지역에 난류에 의한 상승 작용이 강하게 나타나면서 더 많은 강설현상이 발생하는 것으로 추정된다. 제주도 해안 지역 종관기상관측소에서는 1960년대 초반 이래 적설 관측을 해오고 있다. 반면, 한라산 중산간 및 산간 지역의 경우에는 기상청 AWS 지점에는 최근에 와서야 체계적인 적설 관측시스템이 구축되기 시작하여 산간지역의 장기간 평균적인 적설 분포에 대해서는 거의 알려진 바는 없다. 최근 기온과 강수량을 기반으로 추정한 연구 결과(제주지방기상청, 2018)에 따르면, 한라산 해발고도 200~600m 중산간 지역의 최대 연누적 신적설량은 약 10~200cm이고, 해발고도 600m 이상 산간 지역의 연누적 신적설량은 약 200~700cm에 달할 것으로 짐작될 뿐이다. 최근 제주특별자치도에서도 산악 도로 교통 통제를 위해 주요 산간 도로망을 따라 적설계를 설치 운영해 오고 있으나 실시간 방재용으로만 사용하고 있는 실정이다.

한편, 기상학적 봄철(3~5월) 강수량은 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 약 410mm, 중산간 지역에서는 약 470mm, 해발고도 600~1,300m 저산간 지역에서는 약 940mm, 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역에서는 약 1,430mm로 겨울철에 비해 강수량이 약 2배 이상으로 늘어난다(그림 2-30). 기상학적 가을철(9~11월) 강수량은 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 약 380mm, 중산간 지역에서는 약 620mm, 해발고도 600~1,300m 산간 지역에서는 약 890mm, 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역에서는 약 1,310mm로 봄철과 유사하게 나타난다. 이들 봄철과 가을철 강수 집중률은 각각 24%와 27%로 남한 평균보다 더 큰 비율을 보인다. 이들 계절 강수량 자체도 한라산 고산간 지역의 경우에는 남한 전체 평균 연강수량(약 1,311mm)과 유사할 정도로 많은 편이다.

이러한 결과를 종합해 보면 해발고도별 기상학적 계절별 강수 집중률은 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 여름철>봄철>가을철>겨울철 순으로 크게 나타나고, 해발고도 200~600m의 중산간 지역에서는 여름철>가을철>봄철>겨울철 순으로 나타난다. 중산간 지역에서는 가을철 강수량이 봄철 강수량에 비해서 약 150mm 정도 더 많다. 해발고도 600~1,300m 산간 지역과 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역에서는 해안 지역과 공통적으로 여름철>봄철>가을철>겨울철 순서로 강수 집중률이 높게 나타난다.

한라산연구소 보고서에 제시된 한라산 정상 동릉 일강수량 자료(2004년, 2009년, 2012년)에 따르면 봄철(3~5월) 강수량은 779mm, 여름철(6~8월) 강수량은 2,111mm, 가을철(9~11월) 강수량은 1,159mm, 겨울철(12~2월) 강수량은 269mm임을

표 2-8. 2010년대 초반 한라산 성판악 코스 해발고도 1,200~1,800m 구간 월강수량(mm)

월	기간	2004년	2009년	2012년	전체 평균
1		18.0	33.0	2.0	17.8
2		175.0	152.0	62.5	152.4
3		276.5	231.0	176.5	252.3
4		444.0	213.5	256.5	374.3
5		949.0	134.0	42.0	662.0
6		539.0	470.5	254.0	480.1
7		505.5	1306.5	796.5	687.5
8		957.0	513.5	1318.0	943.3
9		812.0	186.0	1182.0	769.3
10		91.0	120.0	723.0	201.2
11		200.0	280.5	49.5	188.3
12		83.5	11.5	244.5	98.3

출처: 한라산연구소, 2012.

알 수 있다(표 2-8). 월강수량은 1월에 약 18mm로 가장 적고, 8월에 943mm로 가장 많다. 연중 전반기(1~6월)의 강수량은 증가하는 것이 일반적인데, 5월에 662mm를 보였다가 6월에 480mm로 감소하고 다시 7월에 688mm로 증가하는 특이함을 보인다. 후반기에는 8월 최대값을 기록한 후 9월까지도 700mm 이상 많은 비를 내리지만 10월로 접어들면 월강수량이 200mm 이하로 급격하게 줄어든다. 이외에 한라산연구소에서 성판악 해발고도 1,200~1,800m 구간에 200m 간격으로 설치한 HOBO 온습도계에서 약 2년 동안(2010년 11월~2012년 10월) 수집한 습도 자료를 분석해 보면 연중 산간 지역의 해발고도별 습도 변화를 파악할 수 있다. 이 자료에 따르면 겨울철 1~2월 상대습도는 해발고도에 상관없이 대체로 90~94% 정도로 한라산 산간 지역에 쌓인 눈이 녹으면서 지속적으로 대기 중으로 수증기 공급이 이루어지는 것으로 추정된다. 이후 봄철에는 눈이 녹아 사라지고 강수 현상도 줄어들면서 4월에는 월평균 상대습도가 해발고도에 상관없이 산간 지역 전체적으로 약 69% 정도까지 낮아진다. 이후 5~7월에는 다시 고사리 장마와 여름장마 등 우기로 접어들면서 산간 지역의 상대습도도 점차 증가하기 시작한다. 이때 성판악 코스를 따라 1,800m에서 1,200m로 해발고도가 점차 낮아질수록 상대습도는 오히려 약 2~6% 정도 더 높아지는 패턴을 보인다. 8월이 되면 저위도로부터 습한 남서 기류가 자주 유입되면서 한라산 산간 지역에서는 해발고도에 상관없이 상대습도는 94~98%까지 높아진다. 9월 이후에는 상대습도가 다시 모든 고도에서 감소하기 시작하고, 해발고도 차이에 따른 상대습도 차이가 다시 나타나기 시작한다. 해발고도 1,800m에서 1,200m로 낮아질수록 상대습도는 오히려 더 높아진다. 9월의 경우에도 해발고도 1,200m 지역은 1,800m 지역보다 상대습도가 여름철에 비해 약 8% 정도 더 높아진다. 심지어 10월에는 1,800m에서는 66%, 1,200m에서는 82%로 해발고도 차이에 의한 습도 차가 가장 커진다. 한라산 정상 주변 지역에 눈이 내리기 시작하는 11~12월에는 다시 상대습도는 높아진다.

한라산 정상의 경우 한라산연구소의 동릉 관측 자료 수집 기간이 짧아서 기상청

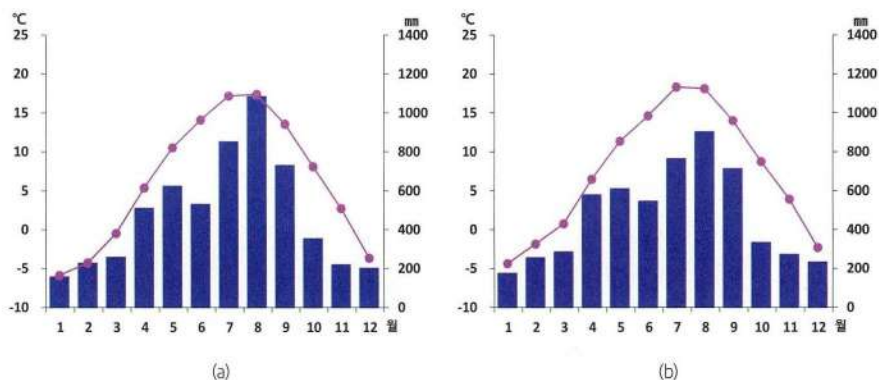


그림 2-33. 장기간(2001~2020년) 평균 한라산 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역((a)윗세오름(1,666m), (b)진달래밭(1,489m)) 월강수량과 평균기온

산하 20년(2001~2020년) 평균 산간 지역의 연중 월강수량 변화를 살펴볼 필요성이 있다. 우선, 한라산 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역에 위치한 윗세오름과 진달래밭의 연중 월강수량 분포를 살펴보면, 대체로 11~3월에는 월강수량이 200mm 내외로 적은 편이지만, 4~9월에는 월강수량이 500mm 이상, 특히 7~9월에는 최소 700mm 이상으로 많아진다(그림 2-33). 윗세오름과 진달래밭의 월강수량은 각각 1월에 약 158mm, 177mm로 최소값을 보이고, 8월에는 1,086mm, 905mm로 1월에 비해 약 5~7배로 늘어난다. 북반구에서는 아열대 사막 기후 지역이나 지중해성 기후 지역을 제외하면 일반적으로 연중 전반기에는 강수가 점차 증가하는 패턴을 보이는데 한라산 고산간 지역의 두 관측 지점도 모두 6월에 일시적으로 감소하는 지역적 특이성을 나타낸다.

좀 더 세부적으로 이들 한라산 고산간 지역 관측 지점의 장기간 평균적인 연중 일별 강수량의 분포 특징을 살펴보면 6월 하순~7월 중순 사이에 여름장마가 나타나고, 8월 하순~10월 초순까지 2차 우기가 나타남을 알 수 있다(그림 2-34). 또한, 널리 알려진 이러한 여름철 두번의 우기보다 강수량은 적지만 봄철 4월 중순~5월 중순에 또 다른 우기가 존재하고 여름장마가 시작되기 전인 5월 하순~6월 중순 사이에

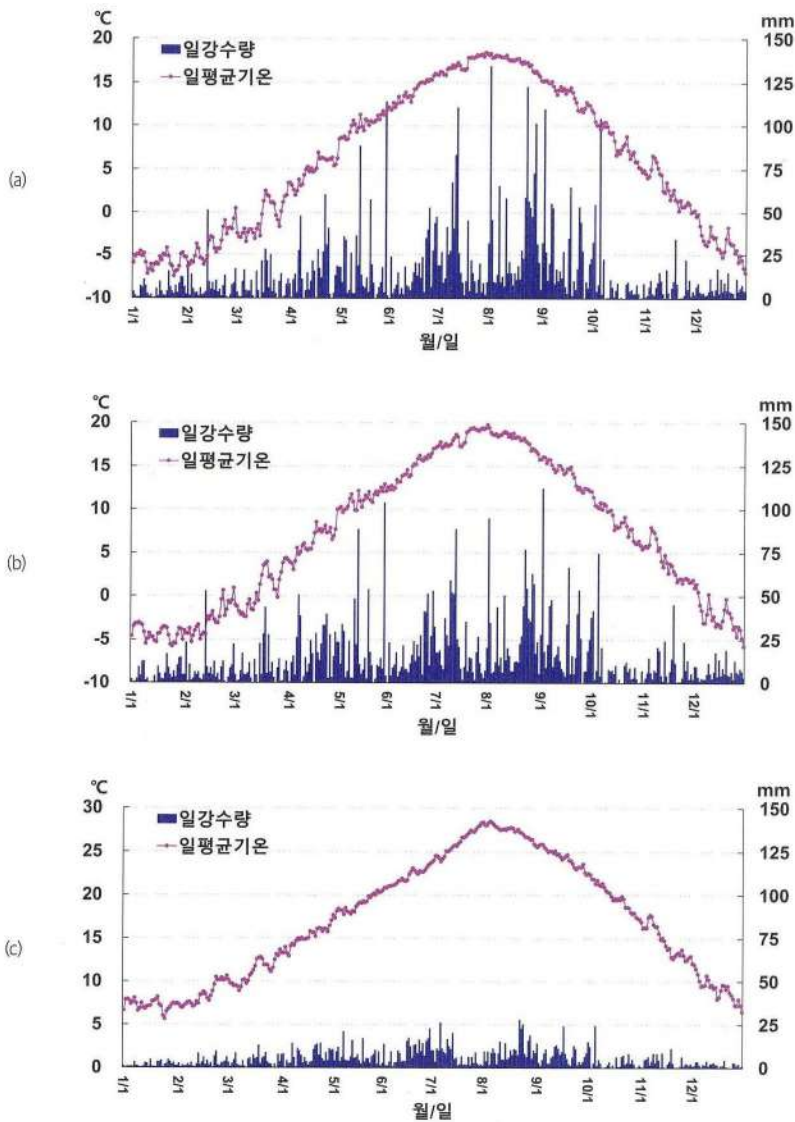


그림 2-34. 최근 20년(2001~2020년) 평균 한라산 해발고도 1,300m 이상 고산 간((a)윗세오름(1,666m), (b)진달래밭(1,489m)) 및 해안 지역((c)서귀포(52m)) 연중 일강수량 및 일평균기온 변동시계열

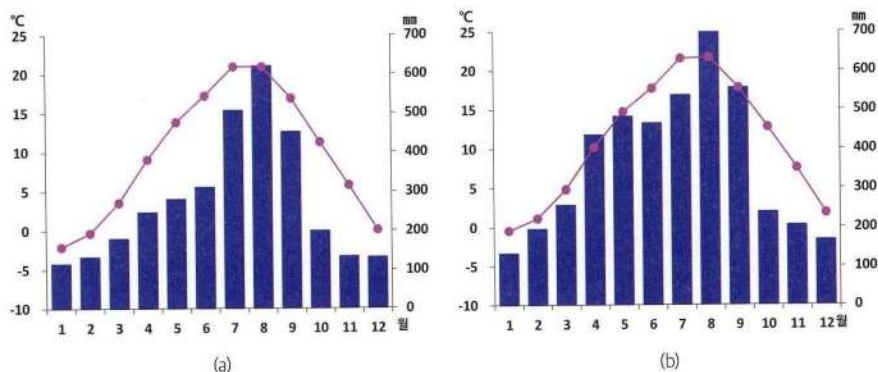


그림 2-35. 장기간(2001~2020년) 평균 한라산 해발고도 600~1,300m 산간 지역((a)어리목(968m), (b)성판악(760m)) 월강수량과 평균기온

는 건기가 존재함을 알 수 있다. 상대적으로 고산간 지역보다 일강수량 분포에 나타난 강도는 다소 많이 약하지만 남부 해안 서귀포에서도 4~5월 사이에 봄철 우기가 존재함을 알 수 있다. 이와 같이 봄철에 비가 많이 내리고 안개가 자주 끼는 현상을 두고 제주도 주민들은 이때 들녘에 고사리가 잘 올라오기 때문에 예부터 ‘고사리 장마’라고 일컬어 왔다. 특히, 제주도 동서남북 사면 중 남동사면을 따라 봄철에도 습한 상태를 나타내 고사리 생육에 가장 적합한 것으로 짐작된다. 해마다 4월 하순이면 한라산 남동 지역에 위치한 서귀포시 남원읍 중산간 지역에서는 고사리 축제가 열린다.

한라산 해발고도 600~1,300m의 산간 지역에 위치한 어리목과 성판악 AWS에서 관측된 최근 20년 평균 월강수량 분포 자료를 살펴보면, 대체로 4~9월의 우기와 10~3월의 건기로 구분됨을 알 수 있다(그림 2-35). 연중 최대 우기인 8월 해발고도 1,300m 이하 산간 지역 관측소의 월강수량은 고산간 지역에 위치한 윗세오름에 비해서 약 400mm 이상 작다. 한라산 산간 북서 사면에 위치한 어리목(968m)과 동사면에 위치한 성판악(760m) 관측 지점의 8월 강수량은 각각 622mm, 699mm 정도이다. 즉, 해발고도는 성판악이 더 낮음에도 불구하고 반시계 방향으로 회전하는

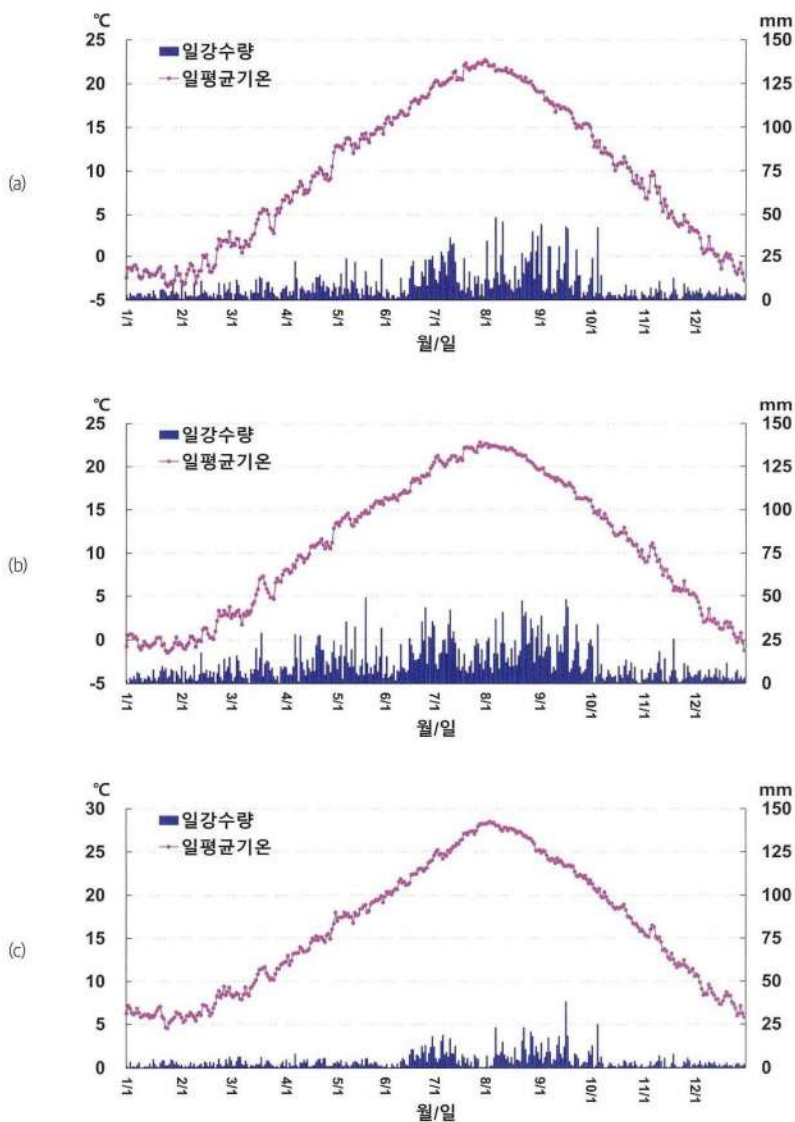


그림 2-36. 최근 20년(2001~2020년) 평균 한라산 해발고도 600~1,300m 산간(a)어리목(968m), (b)성판악(760m) 및 해안 지역(c)제주(21m) 연중 일강수량 및 일평균기온 변동

저기압 접근시 기류 유입이 많은 동사면에 위치하여 강수량이 더 많음을 알 수 있다. 전반기 월강수량의 상승 경향에서 일시적으로 6월에 감소하는 패턴은 북서 사면의 어리목에서는 볼 수 없지만, 동사면의 성판악에서는 관찰할 수 있다. 연중 월 강수량 최소값은 1월에 나타나는데 어리목에서는 116mm, 성판악에서는 134mm 까지 줄어든다. 연중 장기간 평균 일별 강수량 변동 패턴을 살펴보면 봄철 우기인 고사리 장마는 북서사면의 어리목에서는 뚜렷하지 않으나, 동사면 성판악에서는 관찰된다(그림 2-36). 4월 중순~5월 초순에는 성판악 관측소 일강수량이 증가하였다가 5월 중순~6월 중순에 감소하는 패턴이 확인된다.

해발고도 600m 이하 한라산 중산간 지역에는 북서사면에 유수암(425m)과 북사면에 산천단(378m), 북동사면에 선흘(251m) 등 3개 관측 지점에서 장기간(2001~2020년) 강수량 자료를 수집해 오고 있다. 연중 가장 많은 강수량이 내리는 8월 강수량을 살펴보면, 한라산 중산간 북서사면 유수암에서는 386mm, 북사면의 산천단에서는 473mm, 북동사면의 선흘에서는 416mm 정도를 나타낸다. 즉, 해발

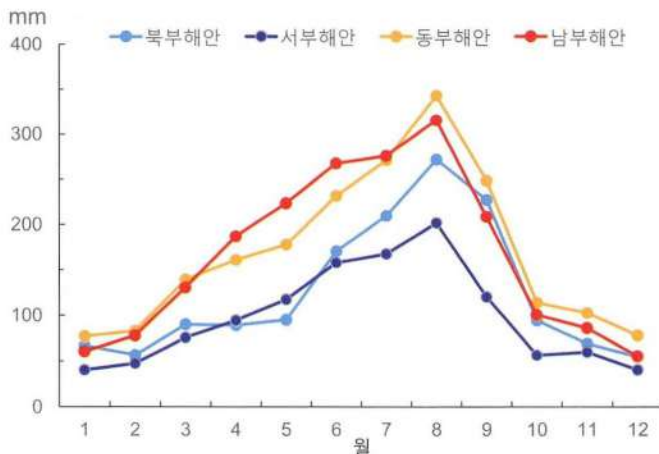


그림 2-37. 최근 30년(1991~2020년) 평균 제주도 동서남북 해안 지역 4개 종관기상관측소(성산, 고산, 서귀포, 제주)의 연중 월강수량 변화

고도는 유수암>산천단>선홀 순이지만 강수량은 오히려 산천단>선홀>유수암 순으로 나타난다. 한라산의 강수량이 고도 상승에 따라 증가하는 패턴이 일반적으로 나타나는 패턴을 고려하면, 중산간 지역의 경우 동일 해발고도에서는 북서사면보다는 북사면과 북동사면으로 갈수록 8월 강수량은 더 많은 것으로 추정된다. 또한, 북서에서 북동사면으로 갈수록 9월 강수량도 8월 강수량과 유사할 정도로 많아진다. 연중 강수량이 가장 적은 1월 중산간 지역의 관측소별 강수량을 비교해보면, 북서사면 유수암에서는 70mm, 북사면 산천단에서는 82mm, 북동사면 선홀에서도 82mm 정도로 8월 강수량에 비해서는 약 1/5 정도로 감소한다.

마지막으로 해발고도 200m 이하의 해안 지역에서 30년(1991~2020년) 이상 장기간 기상·기후 관측을 수행하고 있는 기상청 산하 4개 종관기상관측소의 월강수량 연중 변화를 비교해보면 11~2월에는 큰 차이를 보이지 않지만 3~10월에는 동서남북 지역별 차이가 눈에 띄게 커짐을 알 수 있다(그림 2-37). 전반기 2~8월에는 북부와 서부 해안 지역보다는 동부와 남부 해안 지역의 강수량이 더 많다. 4~6월에는 남부 해안 지역에서 월강수량이 가장 많은데, 이는 봄철 고사리 장마 현상이 동서남북 해안 중 남부 해안 지역에서 가장 뚜렷하게 나타남을 가리킨다. 이 기간을 제외하면 연중 다른 기간에는 오히려 남부 해안 지역보다 동부 해안 지역의 월강수량이 약간 더 많다. 9~10월에는 북부 해안 지역 강수량도 늘어나 동부와 남부 해안 지역과 큰 차이를 보이지 않는다. 서부 해안 지역은 연강수량이 남한 전체 60개 관측지점 평균(1,361mm)에 비해 적은 지역인데, 특히 4~10월에 다른 해안 지역과 큰 차이를 보인다. 북부 해안 지역과 비교해도 7~10월 서부 해안의 월강수량은 약 40~110mm 정도 더 적어 서부 해안 지역은 연속적인 무강수일 발생 시 가을철 가뭄 피해에 취약한 지역임을 알 수 있다.

한편, 장기간(2001~2020년) 평균 한라산 지역의 연중 강수일수 분포를 살펴보면, 해발고도 600m 이상의 산간 지역은 약 150~160일, 해발고도 200~600m의 중산간 지역은 약 130~150일, 해발고도 200m 이하 해안 지역은 90~130일 정도를 나

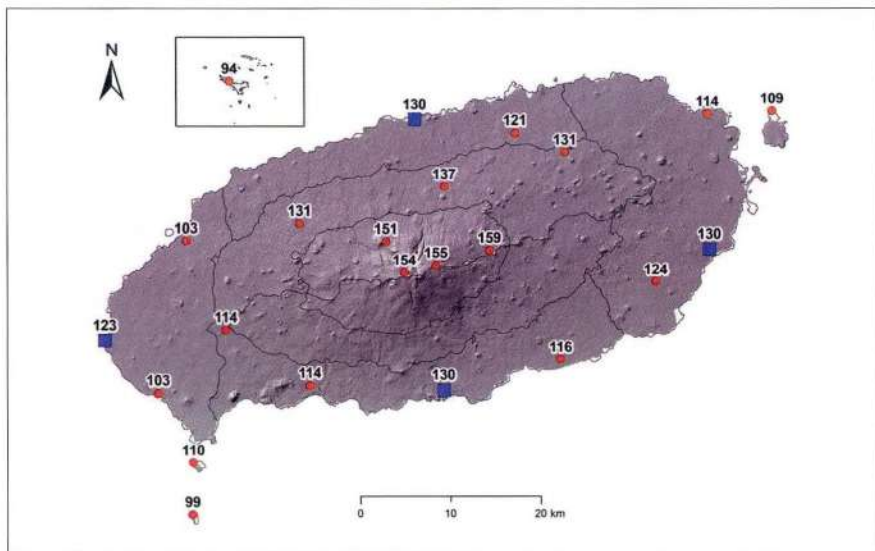


그림 2-38. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 연중 강수일수

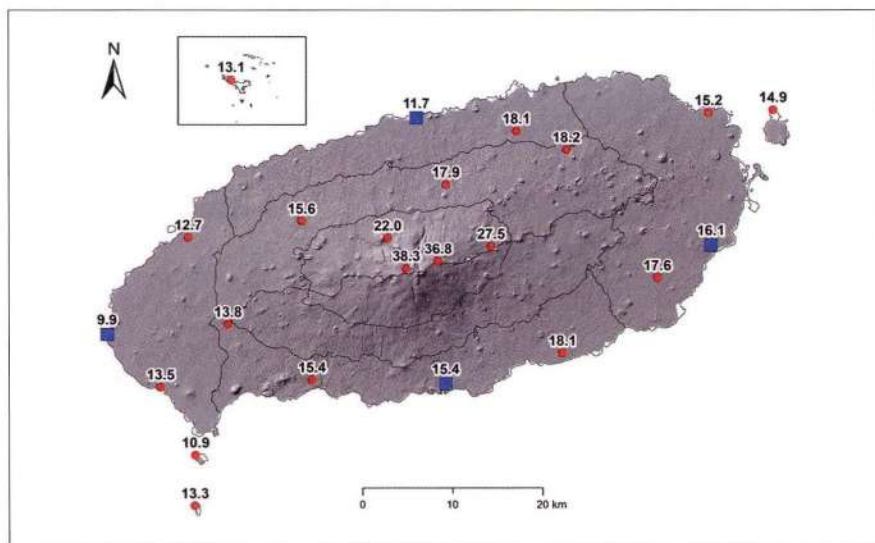


그림 2-39. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 연중 강수강도(연강수량/강수일수) (단위: mm/일)

타낸다(그림 2-38). 해발고도 600m 이상 산간 지역의 경우 서사면 윗세오름 또는 북서사면 어리목에 비해서 동사면의 진달래밭과 성판악이 수일 정도 연중 강수일수가 더 많다. 해안 지역의 강수일수의 경우에는 한라산을 중심으로 동서남북 차이가 크게 난다. 남부, 동부, 북부 해안의 경우에는 연중 강수일수가 평균적으로 최대 약 130일에 달하나, 서부 해안의 경우에는 최소 약 100일 정도에 불과하다. 이들 자료를 바탕으로 한라산 지역의 장기간(2001~2020년) 평균 연강수량을 강수일수로 나눈 강수강도의 분포를 살펴보면 해발고도 상승에 따라 점차 증가함을 알 수 있다(그림 3-39). 해발고도 200m 이하 해안 지역에서 평균적인 강수강도는 약 10~18mm/일이지만, 동서남북 해안 지역별로 상이하게 나타난다. 연강수량이 가장 작은 서부 해안 지역에서는 강수강도도 약 10mm/일로 가장 작지만, 연강수량이 가장 많은 남동부 해안 지역에서는 강수강도도 약 18mm/일로 가장 크다. 한편, 해발고도 상승에 따라 강수강도는 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 15~20mm/일, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 약 20~40mm/일로 해발고도가 높아짐에 따라 증가한다. 특히, 해발고도 1,300m 이하 산간 지역보다는 그 이상의 고산간 지역에서 강수강도가 약 2배 정도로 증가한다. 즉, 이러한 강수강도 분포는 한라산 정상 방향으로 해발고도 상승에 따라 지형성 강수현상의 강도가 강화됨을 알 수 있다.

바람

제주도는 돌, 여자, 바람이 많아 예로부터 삼다도(三多島)라 불리어 왔다. 한라산 지역 전체 약 23개 관측 지점의 최근 20년(2001~2020년) 연평균 풍속은 약 3.6m/s로, 남한 전체 약 60기 관측 지점 최근 30년 평균(1991~2020년) 평균 풍속(2.1m/s)에 비해 1.5배 이상 더 강한 바람이 분다. 특히, 해안 지역에는 연중 바람이 강하게 불어 팽나무(제주어로 풍낭으로 불림) 등 마을 주변에 있는 나무들의 수관이 바람 부는 방



그림 2-40. 해안 지역의 강한 바람에 의해 변형된 편형수

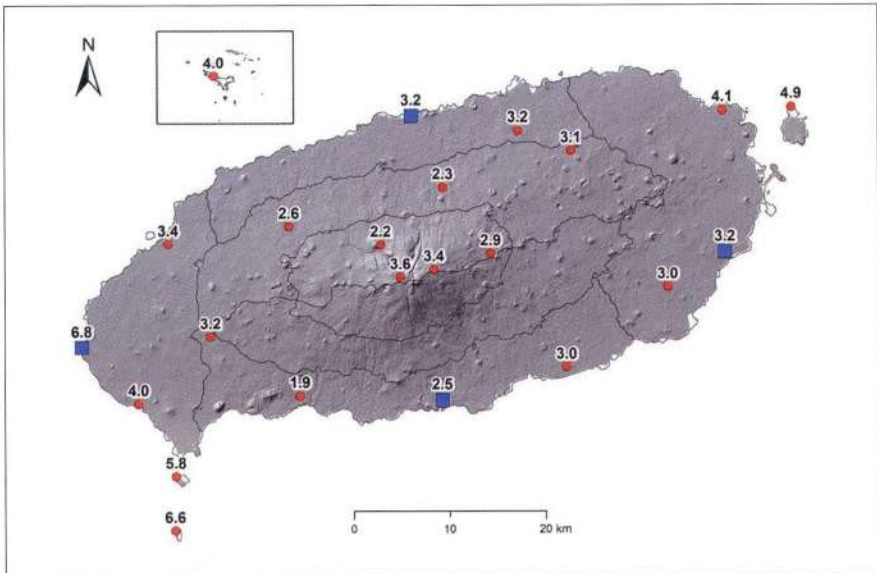


그림 2-41. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 연평균풍속(단위: m/s)

향으로 변형되기도 하는데 이를 편형수(또는 편향수)라고 한다(그림 2-40). 어촌 마을 가옥들의 경우에도 지금은 대부분 현대적인 건물로 바뀌었지만 옛 전통 가옥은 강한 바람에 잘 견디기 위해 지붕을 돌담 높이 정도로 낮게 하였다. 또한, 바람에 의한 농작물 피해를 줄이려고 밭담을 쌓고, 감귤 과수를 보호하기 위해 해송, 후박나무, 편백, 삼나무 등 방풍림을 조림하기도 하였다.

한라산 지역에서 장기간(2001~2020년) 기상-기후 자료가 수집된 기상청 산하 약 23개 관측 지점의 연평균풍속 분포 특징을 분석해 보면, 주로 해안 도서 지역과 한라산 정상 주변 지역에서 바람이 강하게 불고 있음을 알 수 있다(그림 2-41). 해안 지역의 경우 대부분 농업 지역으로 지표 마찰이 적어 바람이 강하게 분다. 특히, 겨울철 북서계절풍의 영향을 받는 서부 해안 도서 지역의 연평균풍속은 약 3~7m/s로 가장 강한 편이다. 북부 해안 지역의 연평균풍속은 약 3m/s이고, 동부 해안 지역에서도 연평균 풍속이 약 3~5m/s로 다소 바람이 강하게 불고 있음을 알 수 있다. 대체로 한라산 산북 지역에 바람이 강하여 해안가 지역에서는 풍부한 바람 자원을 이용하기 위한 풍력 발전 터빈들이 설치되어 있다(그림 2-42). 반면, 동서남북 해안 중



그림 2-42. 제주도 북부 해안 지역(월정리)의 풍력 발전

겨울철 시베리아 기단에서 불어오는 강한 바람이 한라산에 의해 차단되는 남부 해안 지역의 연평균풍속이 약 2~3m/s로 가장 약하다.

한라산 해발고도 200~600m 중산간 지역 구간에 관측소가 많지 않아서 동서남북 사면별 풍속 차이는 알 수 없지만, 북사면 중산간 지역에 위치한 3개 관측 지점 자료에 따르면 약 2~3m/s로 동일 사면 해안 지역 연평균풍속보다는 다소 약해짐을 알 수 있다(그림 2-41). 해안 지역에서는 동 지역을 제외하면 농업 지역 면적이 넓게 펼쳐져 있지만, 중산간 지역으로 갈수록 꽃자왈 등 숲의 면적이 점차 증가하면서 바람의 지표 마찰도 커지게 된다. 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 연평균풍속이 약 2~4m/s로 중산간 지역에 비해서는 다시 증가한다. 특히, 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역에 위치한 윗세오름과 진달래밭의 연평균풍속은 약 3.6m/s와 3.4m/s로 그 이하 산간 지역에 비해 더 강해진다. 해발고도 1,300m 이상의 고산간 지역은 지표 마찰의 영향을 받는 경계층(boundary layer) 상부에 해당된다. 또한, 이 지역에서는 중위도 온화한 기후대에서 아고산대 기후대로 전환되면서 지표 경관도 대부분 키 작은 관목림으로 바뀌면서 교목림이 무성한 산간지역에 비해 지표 마찰이 감소하는 것으로 추정된다.

한라산 정상상의 경우 한라산연구소의 2005~2006년 정상 동릉(1,920m) AWS 관측소 자료를 살펴보면, 한라산 정상 지역의 연평균풍속은 약 9.5m/s로 해안 지역(제주)과 비교하여 약 3배 정도 높게 나타남을 알 수 있다(제주특별자치도 한라산연구소, 2007). 계절별로는 겨울철에 17.1m/s, 봄철에 8.8m/s, 가을철에 6.6m/s, 여름철에 5.6m/s 순으로 평균풍속이 강하다. 보퍼트(Beaufort) 풍력 계급 기준 각 계절별 주풍의 평균풍속 범위를 살펴보면, 대체로 봄철에는 5.5~7.9m/s(22.6%), 여름철에는 1.6~3.3m/s(28.6%), 가을철에는 3.4~5.4m/s(29.8%), 겨울철에는 24.5~28.4m/s(50.7%)의 풍속을 나타낸다. 이때 주풍향은 봄철에는 서북서풍, 여름철 남서풍, 가을철 서북서풍, 겨울철 북북서풍 형태를 보인다.

한편, 기상청 산하 23개 관측 자료 기준 한라산 전체 지역 기상학적 계절 평균풍

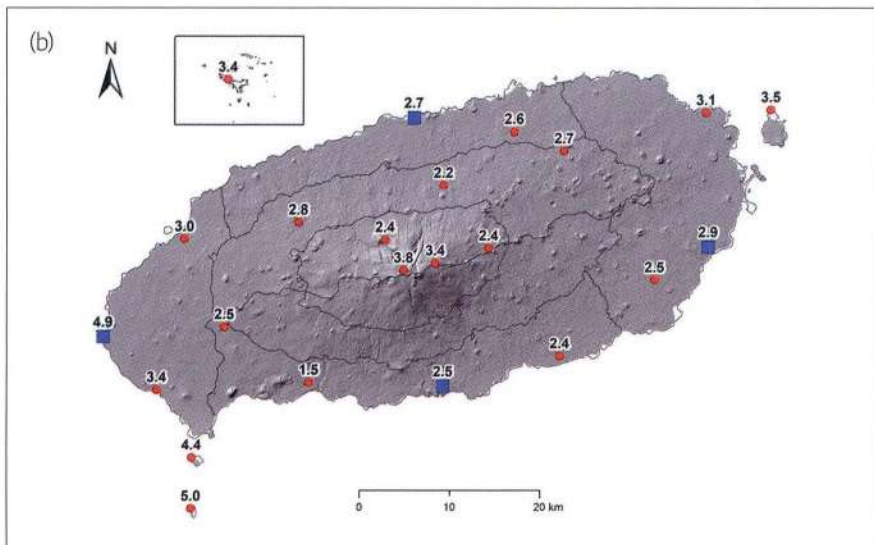
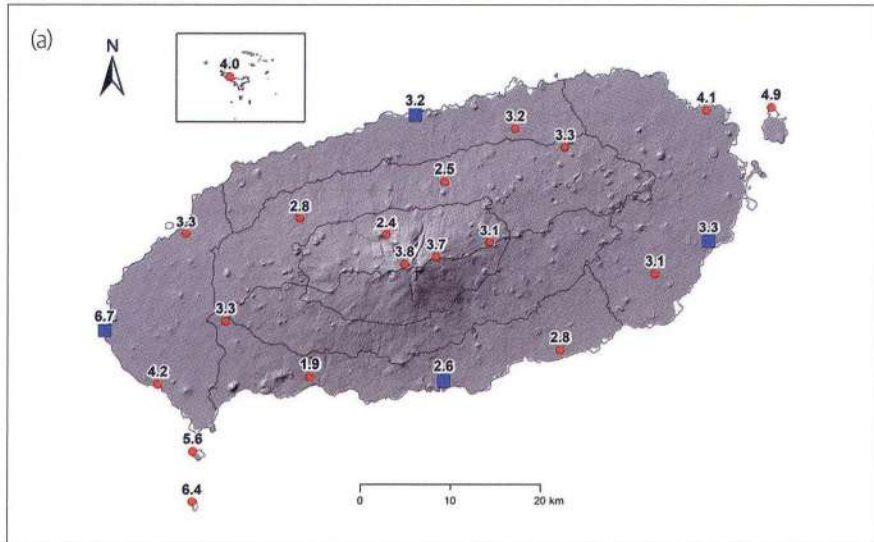


그림 2-43. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 기상학적 계절별 평균풍속(a)봄철(3~5월),
(b)여름철(6~8월)) (단위: m/s)

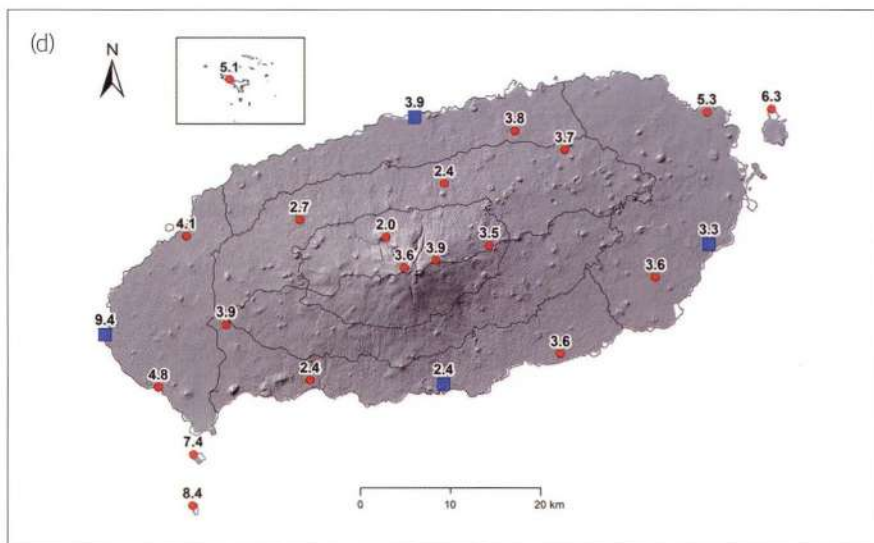
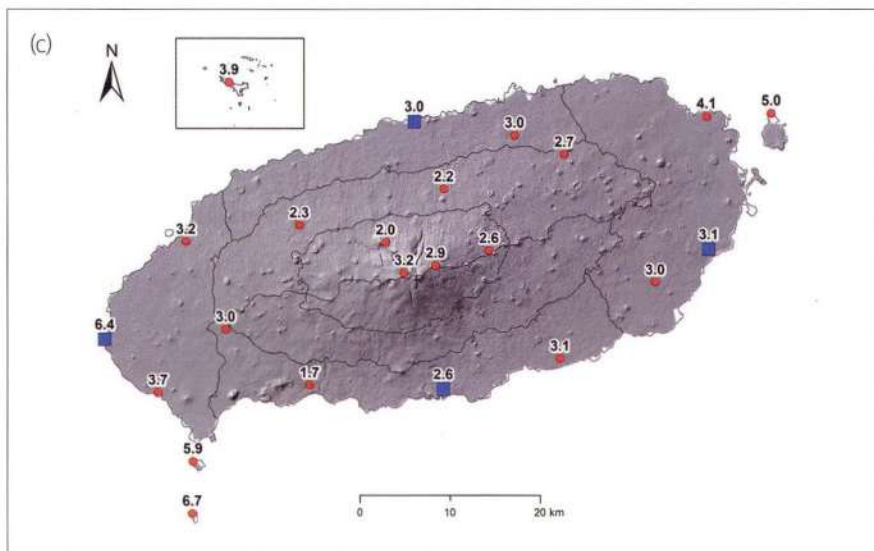


그림 2-43. 앞 그림 계속((c)가을철(9~11월), (d)겨울철(12~2월))

속을 비교해 보면, 겨울철(4.3m/s)>봄철(3.7m/s)>가을철(3.5m/s)>여름철(3.0m/s) 순으로 바람이 강함을 알 수 있다(그림 2-43). 바람이 가장 강한 겨울철에는 평균풍속이 해발고도 200m 해안 지역에서는 약 4~9m/s, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 2~3m/s, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 약 2~4m/s의 범위를 나타낸다. 봄철에도 해발고도 200m 해안 지역에서는 약 3~6m/s, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 2~3m/s, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 약 2~4m/s의 평균풍속을 나타낸다. 가을철에는 평균풍속이 해발고도 200m 해안 지역에서는 약 3~7m/s, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 2m/s 내외, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 약 2~3m/s의 범위를 보인다. 바람이 제일 약한 여름철에는 해발고도 200m 해안 지역에서는 약 3~5m/s, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 2~3m/s, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 약 2~4m/s의 평균풍속을 나타낸다. 연중 내내 바람이 자주 강하게 불기 때문에 습도가 높아 체감온도가 기온보다 더 높은 여름철을 제외하면 다른 계절에는 바람 냉각 효과에 의해 인체가 느끼는 체감온도는 기온보다 더 낮아진다(최광용, 2018). 특히, 겨울철에 한라산 산간지역에서는 낮은 기온과 강풍이 결합하여 체감온도가 기온보다 훨씬 더 떨어져 등산객들의 경우 주의를 할 필요성이 있다.

4. 한라산 지역 극한기후현상과 기상·기후 재해 발생

극한기온현상과 기상·기후 재해

제주도는 아열대 해상에 위치해 연중 대기 중 수증기가 많고 비가 자주 내려 여름철 일최고기온은 한반도 남부 내륙 지역(예. 대구)보다는 낮지만 습도와 결합된 체감온도는 기온보다 훨씬 더 높다(최광용, 2018). 늦여름으로 갈수록 여름철 내내 데워진 해수가 흡수한 열을 일몰 후에도 주변대기로 방출되어 야간에 기온이 하강하는 것을 둔화시킨다. 그 결과 여름철 열대야 발생빈도도 한반도 내륙지역에 비해 높고, 수일 이상 오랫동안 지속되는 편이다. 제주도에 열파(폭염), 열대야 등 고온극한현상이 발생하면 전력 사용량이 급증하여 도서 지방의 특성상 지역규모 단전(black out) 현상에 의한 대규모 인명 피해 가능성이 높다. 제주도민들은 무더운 여름철에 무더위를 피하기 위해 찬 용천수가 솟아오르는 해수욕장(예. 삼양해수욕장, 광지해수욕장 등)



그림 2-44. 돈내코 계곡에서 여름철 피서를 즐기는 제주도민들

시 열섬 효과로 주변 비도시화 지역에 비해 열대야의 발생빈도가 1.5배 이상 발생빈도가 더 높게 나타난다. 가령, 인구가 밀집된 북부 해안 제주 관측소의 경우 연중 열대야 발생빈도는 약 29일이고, 남부 해안 서귀포에서도 그 발생빈도가 약 31일 정도에 달한다. 반면, 중문과 제주남원 지역 등 서귀포시 도심 외곽지역에서는 연중 열대야가 약 16~19일 정도 발생한다. 비가 많은 제주도 남동부 해안지역의 열대야 발생빈도는 약 12~17일로 많이 줄어들지만, 비가 가장 적은 북서부 지역에서는 열대야의 연중 발생빈도가 약 20~28일에 달한다. 이러한 기록들은 장기간 평균값이기 때문에 특정 해에는 이보다 발생빈도도 훨씬 더 높고 오랫동안 지속되어 주민들의 수면활동에 어려움을 가증시키기도 한다. 예를 들면, 서귀포는 2013년 열대야 발생빈도가 52일에 달하였고, 이때 7월 8일부터 8월 25일까지 49일 동안 열대야가 연속적으로 발생하여 주민들과 방문 관광객들의 활동을 제약시키기도 하였다.

여름철 주간 고온현상과 관련하여 일최고기온 25℃ 이상을 나타내는 여름일(summer days)의 분포를 살펴보면, 해발 고도 200m 이하 해안 지역에서는 약 70~110일, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 80~90일, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 40일 이하로 해발고도 상승에 따라 뚜렷하게 줄어듦을 알 수 있다(그림 2-46). 특히, 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역에서는 10일 이하이며, 한라산 정상 주변으로 갈수록 여름일이 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 해안 지역의 경우에는 해양의 영향을 가장 직접적으로 받는 마라도, 우도 등 제주도 주변 아열대 해상에 자리잡은 부속 도서에서 그 발생빈도가 70일 내외로 가장 낮게 나타난다. 한라산 주변 해안 지역 중에서는 남부 해안 서귀포에서 약 117일로 발생빈도가 가장 높고, 중문에서 약 115일, 북서부 해안 한림에서 약 113일 순으로 높게 나타난다. 그러나 제주도는 비열이 큰 해양으로 둘러싸여 공기가 건조한 한반도 남부 내륙 지역(예. 대구)에 비하여 여름일 발생빈도가 최소 15일 이상 낮은 편이다.

여름철의 극한고온현상을 정의하는 여러 지수 중 2일간 일최고기온은 33℃를 나타내는 폭염일의 경우, 제주도는 해양으로 둘러싸여 여름철에 대기 중 수증기가 많고

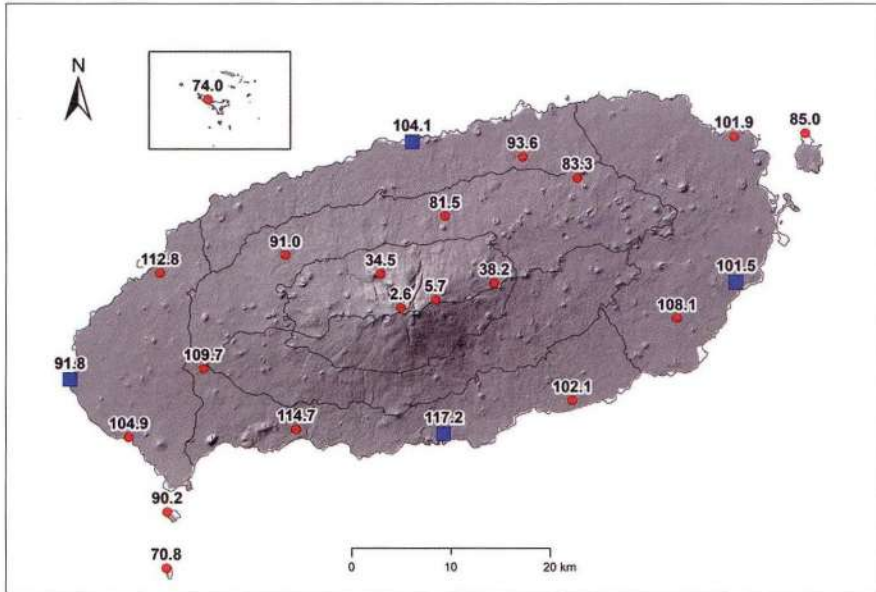


그림 2-46. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 연중 여름일(일최저기온 25°C 이상) 발생일수

비가 자주 내려 여름일보다는 그 발생빈도가 현저하게 줄어든다(그림 2-46). 해발 고도 200m 이하 해안 지역에서도 강수량이 가장 적은 북서부 해안 지역에서 최대 6일의 높은 발생빈도를 보인다. 일최고기온의 고온현상은 한라산의 국지적 강수 현상 발생과 밀접한 관련성이 있으므로 열대야에 비하여 큰 경년변화와 지역 편차를 보인다. 최근 20년(2001~2020년) 23개 관측 지점 특정 연도 극값 기록으로는 남동부 해안 표선에서 2006년 7월 하순~8월 초순에 걸쳐 19일 동안 연속적으로 폭염일이 발생하기도 하였다. 또한, 평균 발생빈도가 가장 높은 북동부 한림의 경우 2001년(14일), 2006년(10일), 2013년(11일), 2017년(14일) 등 특정 해에는 장기간 평균 발생빈도를 훨씬 초과하는 폭염일이 발생하였다. 반면 중산간 지역에서는 장기간 평균적인 폭염일 발생빈도는 1일 이하로 낮고, 해발고도 600m 이상 산간 지역으로 가면

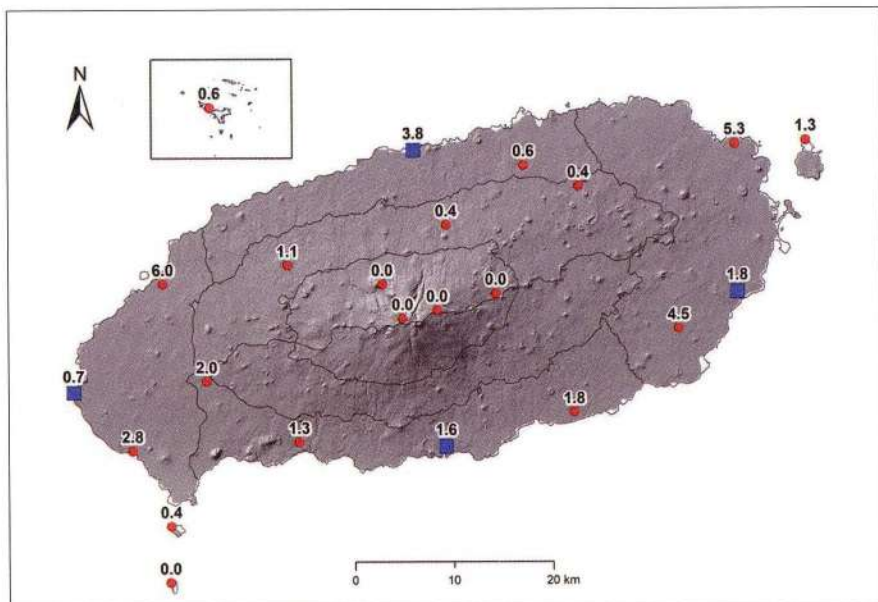


그림 2-47. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 연중 폭염일(2일 연속 일최고기온 33℃ 이상) 발생일수

전혀 발생하지 않음을 알 수 있다. 여름철 고온극한현상과 관련하여 좀 더 세부적으로 일최고기온 최고극값 기록을 살펴보면, 관측 지점마다 날짜가 다소 상이하기는 하지만 최근 20년(2001~2020년) 중에서는 2013년 8월 10일 전후로 가장 높은 기온을 보였다. 이때 해안 지역의 일최고기온은 최고 37℃까지 상승하였고, 중산간 지역의 유수암, 산천단, 선흥의 일최고기온도 약 34~36℃까지 상승하였다. 이때 해발고도 600~1,300m 산간 지역의 어리목과 성판악의 일최고기온도 약 31~32℃로 평년에 비해 훨씬 높게 나타났고, 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역의 윗세오름과 진달래밭에서도 25~26℃의 높은 값을 기록하였다.

이러한 여름철 고온극한현상은 수증기를 머금은 기류가 한라산을 넘어가면서 나타나는 뿔(Föhn)현상에 의해 더욱 강하게 나타날 수 있다. 여름철에 남서풍 계열

의 기류가 제주도로 유입될 때 한라산을 중심으로 서귀포 방향에는 비가 내리지만, 해발고도 1,950m에 달하는 한라산을 넘어 산북 제주시 동지역으로 넘어올 때에는 건조단열과정을 거치면서 더욱 고온건조하게 변모된 뽀풍(Föhn wind)이 불게 된다. 한라산의 경우 동서 사면보다는 남북 사면이 경사가 급하기 때문에 남북 방향으로 더욱 뚜렷한 열역학적 뽀현상에 의한 바람의지 지역의 승온 현상이 나타난다. 이 열역학적 뽀현상에 의한 승온 현상은 여름철 성하기에는 인구가 밀집된 제주시 동지역의 국지적 가열과 도시열섬에 의해 이미 고온다습한 상태를 더욱 악화시키게 된다. 이와 관련하여 최광용(2016)의 연구 결과에 따르면, 제주도 지역에서는 6월에 한라산을 기준으로 남부 강수-북부 고온 상태를 보이는 열역학적 뽀현상 발생시 제주시 동지역의 기온이 평균적으로 5℃ 이상 높아질 수 있음을 알 수 있다. 일례로 2015년 7월 23일에 나타난 뽀현상에 의해 남부 해안 서귀포보다 북부 해안 제주의 일평균기온이 5℃ 이상 더 높아지면서 제주시 동지역의 일최고기온은 심지어 34.1℃까지 상승하였다. 이때의 제주도 주변 상층 종관 상태를 살펴보면, 장마전선

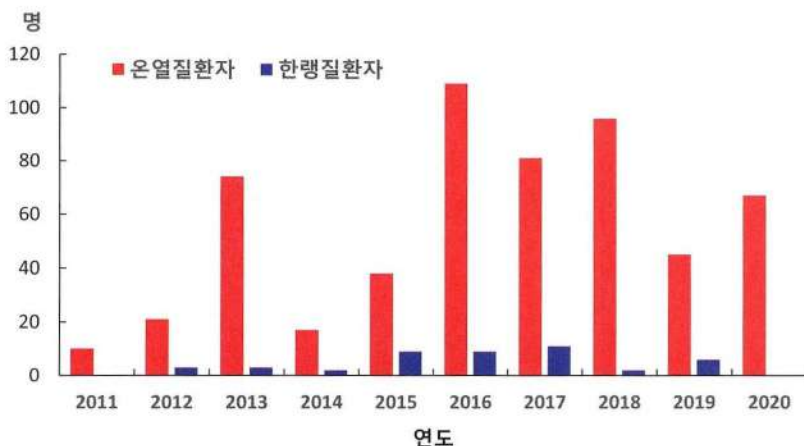


그림 2-48. 최근 10년간(2011~2020년) 제주특별자치도 온열질환자 및 한랭질환자 수

이 한반도 남부 지역에 형성되어 있어 남풍 계열 기류들이 불어와 한라산을 넘으면서 남부 강수-북부 고온형의 편현상이 발생한 경우임을 알 수 있다.

국지적으로 인구가 밀집된 제주도 동지역에서는 열을 잘 흡수하는 콘크리트 피복 면적이 넓은 도심 중심지역으로 갈수록 여름철 기온은 더 높아져 극한고온현상의 강도는 더 강해진다(최광용, 2020). 또한 제주도는 주변이 해양으로 둘러싸여 있어서 여름철 성하기에 기온뿐만 아니라 습도도 높아 이러한 고온다습한 열환경에 의해 제주시 아열대 도심 지역의 경우 공기의 온도(기온)에 비해 인체가 체감하는 온도는 6℃ 이상 더 상승하게 된다. 향후 점점 심화되고 있는 지구 온난화와 제주시 동 지역의 도시 팽창에 의해 제주도 아열대 도심 지역의 여름철 극한고온현상 발생빈도와 그 강도도 더욱 커질 것으로 예상되므로 여름철 온열환자 또는 열파(폭염) 사망자 발생 저감을 위한 지자체의 대책 마련이 시급한 편이다.

실제 제주도에서도 폭염에 의해 고령의 노인이 사망하는 사례(2016년, 2017년, 2020년)도 최근 자주 보고되고 있다. 주야간에 걸쳐 고온의 상태가 지속되면 60세 이상의 심혈관계 노약자를 중심으로 폭염에 의한 인명피해가 발생하게 된다. 최근 10년(2011~2020년) 질병관리청 온열질환자 및 한랭질환자 통계자료에 따르면(<http://www.cdc.go.kr/>), 제주도민들이 주로 거주하는 해안 지역은 아열대 기후대에 속하여 겨울철 극한저온현상에 의한 한랭질환자보다는 주로 여름철 고온극한현상에 의한 온열질환자가 더 많이 발생함을 알 수 있다(그림 2-48). 특히 여름철이 무더웠던 2016년(109명), 2018년(96명), 2017년(81명), 2013년(74명)의 경우에는 온열환자가 발생 수가 평년에 비해 수배 이상 급증하였음을 알 수 있다.

한편, 연중 저온극한현상과 관련하여 일최고기온 0℃ 이하 결빙일(ice days)의 장기간 평균 연중 발생빈도 분포를 살펴보면, 해발고도 200m 해안 지역에서는 발생빈도가 2일 이하로 낮지만 한라산 해발고도가 높아질수록 점차 증가하는 패턴을 보인다(그림 2-49). 이는 장기간 평균 값으로 특정 해(2018년, 2011년, 2016년)에는 폭설과 함께 일최고기온 0℃ 이하 결빙일 발생빈도가 평년에 비해 2배 이상 높게 나타나기

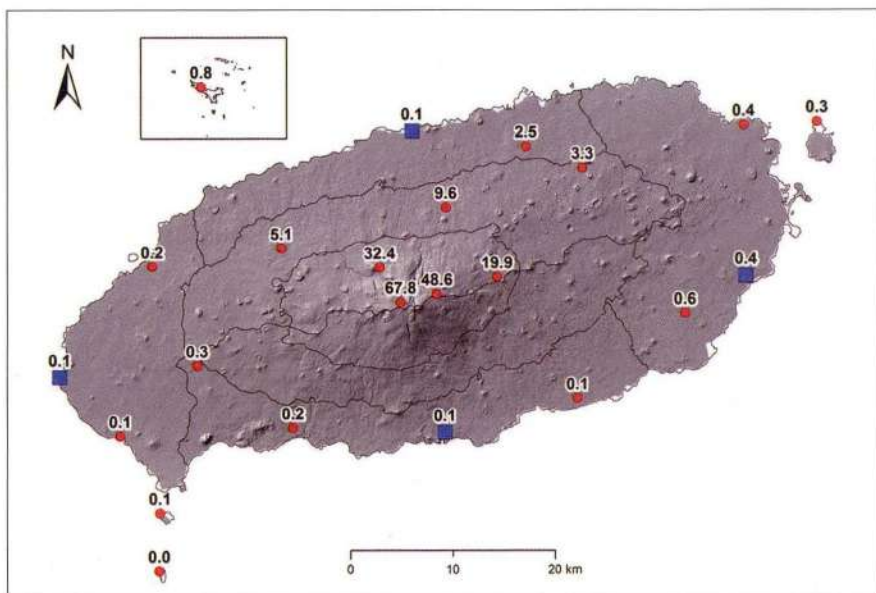


그림 2-49. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 연중 결빙일(일최고기온 0°C 이하) 발생일수

도 한다. 눈이 쌓인 후 영하의 기온이 수일 동안 지속되면서 월동 작물이 얼어 있는 상태가 지속되면 농작물들이 동해를 입게 된다. 겨울철 무, 비트, 브로콜리, 콜라비 등 월동채소류 등에 큰 피해가 발생하게 된다. 노지 감귤의 경우에는 동해를 입으면 가지까지 말라버리는 수지병으로 결국 수목이 죽게 되는 경우도 종종 발생한다. 평균적인 연중 결빙일 발생빈도는 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 3~20일로 증가하고, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 20~70일까지 증가한다. 한라산 정상 주변에는 일단위 자료를 지속적으로 관측 수집하는 관측소가 없어서 정확한 결빙일 발생빈도를 알 수 없지만, 윗세오름(1,666m)의 기록에 따르면 한라산 정상 주변 지역의 결빙일은 최소 70일 이상은 될 것으로 추정된다. 한라산 정상 주변 아고산대 식생의 경우에는 겨울철 눈의 보온 효과로 결빙에 의한 동해 피해에 적

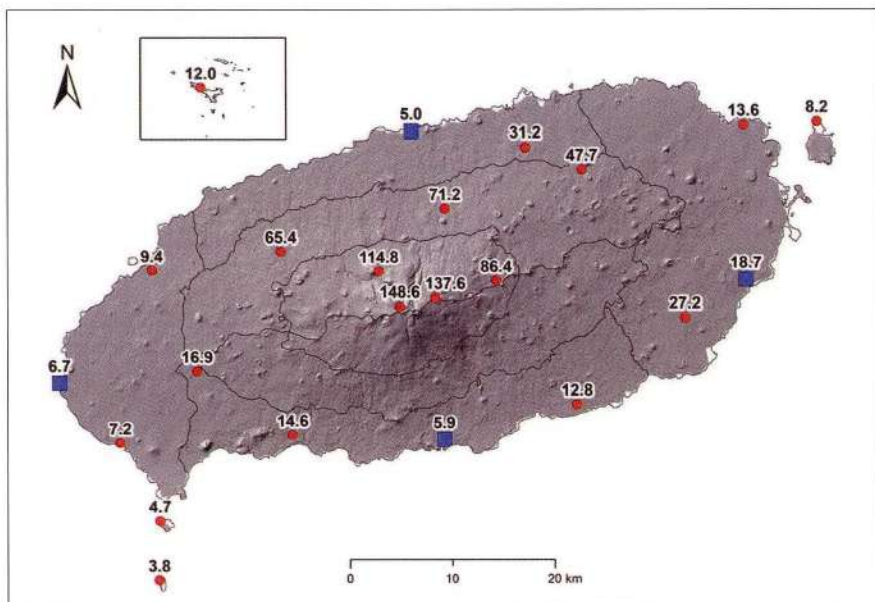


그림 2-50. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 연중 서리야(일최저기온 0°C 이하) 발생일수

응하고 있을 것으로 추정되는데, 최근 온난화로 인해 적설량도 많이 감소하였을 것으로 추정된다.

야간 저온극한현상과 관련하여 일최저기온 0°C 이하 서리야(frost nights)의 장기간 평균적인 연중 발생빈도를 살펴보면, 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 아열대 기후 지역임에도 불구하고 야간 서리 현상의 연중 발생빈도가 약 5~30일에 달함을 알 수 있다(그림 2-50). 특히, 남동부 해안 지역에서는 다른 지역에 비해 서리야 발생빈도가 연중 20~30일 정도로 높은 편이다. 관측소의 수가 한정되어 있어 사면별로 명확한 차이를 알 수 없지만 겨울철에 시베리아로부터 북서계절풍이 강하게 불면 한라산 북서 지역 해안은 이 한랭건조한 바람의 직접적인 영향을 받게 된다. 바람의지 지역에 해당되는 남동 해안 지역의 경우에도 한라산 산간 지역에서

형성된 찬 기류가 바람이 잔잔하고 맑은날 봄철 야간에 사면을 따라 흘러 내려 서리야 현상 발생빈도가 예상보다 높은 것으로 추정된다. 실제 한라산 남사면에는 봄철 개화시기를 중심으로 누룽이라고 불리는 야간에 형성된 냉기류가 자주 감귤밭 등 저지대로 모여 농작물에 냉해를 입히고 있다. 반면 한라산 북사면 전반적으로 해안 지역에서도 해발고도 상승에 따라 200m 내외 지역에서는 기온감률에 의해서 서리야의 발생빈도가 최대 30일까지 달한다. 해발고도 200~600m의 중산간 지역에서는 서리야의 발생빈도가 30~80일로 큰 폭으로 증가한다. 저온극한현상 강도 측면에서 최근 20년 동안 일별 기온 극값을 살펴보면, 2016년 1월 24일에 가장 낮은 기온을 기록하였음을 알 수 있다. 이때 해발고도 200m 이하 해안 지역의 일최저기온이 약 -5~7℃정도로 평년에 비해 매우 낮았다. 이때 야간 일최저기온은 해발고도 200~600m 중산간 지역에서도 약 -8~11℃까지 낮아졌고, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 심지어 -10~17℃의 범위를 나타내기도 했다. 이는 이들 지역 장기간 평균적인 겨울철(12~2월) 일최저기온 평균값보다 약 10℃ 이상 낮은 값에 해당된다. 저온극한현상의 지속기간 측면에서 살펴보면, 2011년 1월 하순~2월 초순과 2018년 2월 초순에 일최저기온이 0℃ 이하인 서리야의 연속 발생기간이 7일로 가장 장기간 연속적으로 발생하기도 하였다.

제주도에서 서리에 의한 농작물 피해는 겨울철이 따뜻해서 농작물이 일찍 꽃눈이 발아한 후 봄철에 갑자기 0℃ 이하의 이상저온현상이 수일 동안 지속될 때 주로 발생한다. 최근 10년(2011~2020년) 동안 서리 피해 발생 기록을 살펴보면, 2009년과 2015년 봄철에 꽃샘추위가 수일 동안 발생하여 한라산 북서부와 북동부 중산간 지역에 걸쳐 감자, 키위, 만감류, 단호박 등 농작물 재배지 수백 ha에 큰 규모의 피해를 입은 사례가 있었음을 알 수 있다. 감귤 나무의 경우 서리 피해를 입은 잎이나 가지가 심한 경우에는 말라 죽기도 하였다(그림 2-51). 이러한 서리 피해를 저감하기 위해 제주특별자치도 농업기술원과 제주지방기상청은 제주농업기상정보 시스템을 구축하여 서리 발생 예측 정보를 제공하고 있다(<http://ceresd.agri.jeu.kr/>).



그림 2-51. 봄철(2015년) 서리에 의한 감귤 재배 피해 사례
자료: 제주특별자치도

극한강수현상과 기상·기후 재해

제주도는 한반도 남쪽으로 100km 떨어진 아열대 해상에 위치하여 여름철에는 북상하는 장마전선과 열대저기압(태풍)의 영향을 직접적으로 받아 강한 호우현상이 자주 발생한다. 한라산 지역에 극한강수현상 발생 시 동서 사면보다는 상대적으로 경사가 급한 남북 사면으로 발달된 주요 하천 주변과 해안 지역 저지대를 중심으로 홍수 피해를 자주 입게 된다. 한편, 겨울철에는 섬의 중심에 남한 최고봉인 한라산(1,950m)이 자리 잡고 있어 겨울철 한랭건조한 북풍이 강하게 불면 황해를 통과하면서 형성된 눈구름이 산사면과 만나 강제 상승하면서 산간 지역에 지형성 대설을 내린다. 이러한 여름철 집중호우 또는 겨울철 대설 등 극한강수현상이 발생할 때에는 제주시와 서귀포시 동지역을 넘나드는 한라산 입산과 516로나 1100로 등 산악도로 통과가 통제되면서 물자 이동도 제한된다.

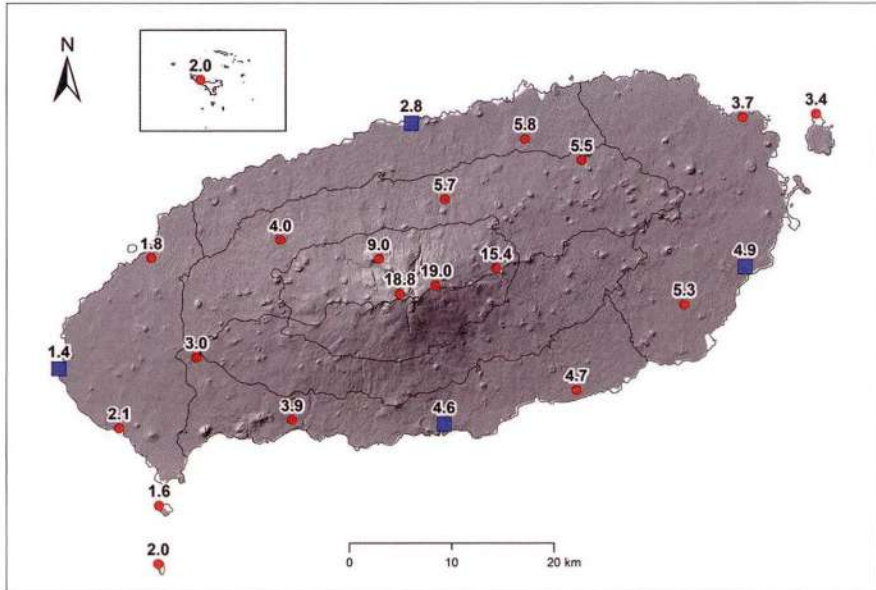


그림 2-52. 장기간 평균(2001~2020년) 한라산 지역 연중 호우일(일강수량 80mm 이상) 발생일수

장기간(2001~2020년) 평균 연중 일강수량 80mm 이상 호우일의 발생빈도를 살펴 보면, 해발고도가 100m 상승함에 따라 호우일이 약 1일 정도 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다(그림 2-52). 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 연중 호우일이 평균적으로 약 1~5일 정도 발생하지만, 해발고도 200~600m 지역에서는 약 4~6일, 산간 지역에서는 9~19일로 증가한다. 해안 지역의 경우에는 연강수량이 많은 남동부 지역에서 호우일의 발생빈도도 높게 나타난다. 산간 지역에서도 북서 사면에 위치한 어리목(968m)은 해발고도가 동사면에 위치한 성판악(760m)보다 해발고도가 더 높지만 호우일 발생빈도는 성판악에서 약 6일 정도 더 높게 나타난다. 열대저기압(태풍)이나 온대저기압 등이 제주도에 접근할 때 중위도의 일반적인 흐름인 편서풍의 영향이 더해지게 된다. 이때 반시계 방향 회전이 강화되어 주변 해양에서 많은

양의 수증기를 머금은 기류가 한라산 사면 특히 동사면을 강제상승하면서 지형성 호우현상이 발생하는 것으로 추정된다.

해발고도 1,300m 이상 고산간 지역의 경우에는 2010년까지 일강수량 자료의 결측이 많지만, 2011년 이후 자료 중에서는 진달래밭에서 2012년 8월 21~24일 동안에 연속적으로 일강수량이 80mm 이상의 호우현상이 발생하기도 하였다. 이 기간 동안 위성 자료를 살펴보면, 유라시아 대륙에서 동아시아 남동 방향으로 기류가 남하하고 태풍 덴빈(DENBIN)과 볼라벤(BOLAVEN)에 의해 고온다습한 기류가 한라산 남동 방향에서 유입되었음을 알 수 있다. 그 결과, 타이완에서 우리나라 남부를 거쳐 일본 열도 중부 지방까지 남남서-북북동 방향으로 강한 장마전선이 형성되면서 집중호우가 제주도 산간 지역에 4일간 연속 발생할 수 있었다. 한라산 고산간 지역 서사면 윗세오름에서도 2014년 7월 31~8월 3일까지 4일 동안 연속적으로 호우현상이 발생하기도 하였다. 이때 위성 영상 자료에 따르면, 태풍 나크리(NAKRI)가 북상하면서 고온다습한 공기를 북상시켜 북서쪽에서 남동진하는 찬 기류와 만나 제주도에 호우성 구름대를 형성시킨 것으로 짐작된다.

한편, 기상청 산하 약 23개 기상관측소의 지난 약 20여 년(2001~2020년) 동안 발생한 일강수량 최고값을 추출해 보면 해안 지역에서 한라산 산간 지역으로 갈수록 극한강수현상의 극값 강도가 증가함을 알 수 있다(그림 2-53). 일강수량 최대 극값은 해안 지역에서 산간 지역으로 갈수록 고도 상승에 따라 약 188mm/100m의 비율로 강해지는 경향을 보인다. 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 연강수량과 여름철 강수량이 많은 남동부 지역보다는 북부 해안 지역에서 일강수량 최대 극값이 더 크게 나타났다. 북부 해안 제주 ASOS에서는 2007년 9월 16일 태풍 나리(NARI)가 제주도 동부 해안에 근접하여 통과하면서 420.0mm의 일강수량 극값을 기록하였다. 이때 대흘 AWS에서도 일강수량이 428.5mm로 관측 이래 최고값을 기록하였고, 중산간 북서 사면 유수암에도 386.5mm, 북사면 산천단에서 481.0mm, 북동 사면 대흘에서 428.5mm로 일강수량 극값을 동시에 기록하였다. 또한, 서부 해

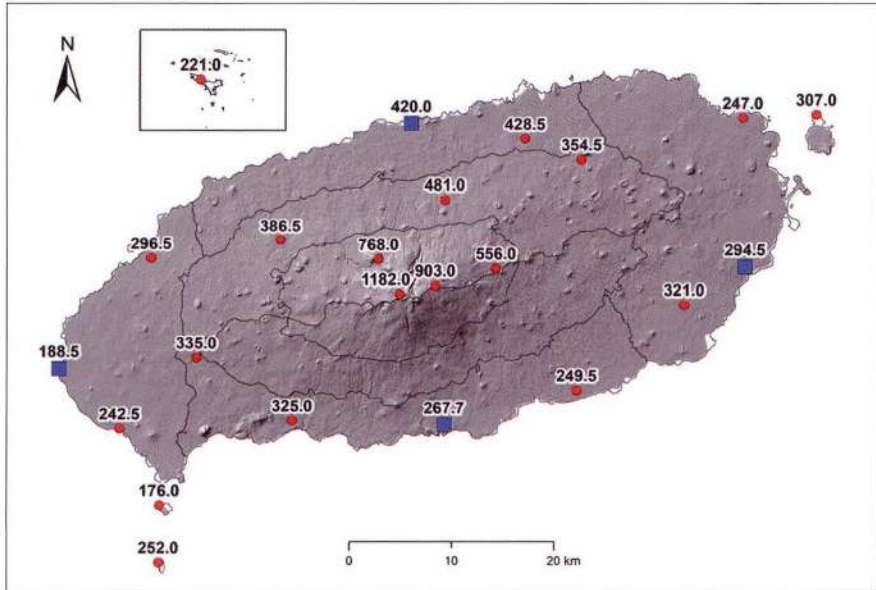


그림 2-53 최근 약 20여 년(2001~2020년) 동안 발생한 한라산 지역 일강수량 최대 극값(단위: mm)

안의 한림(296.5mm)과 동부 해안의 성산(294.5mm), 제주남원(249.5mm) 등에서도 일강수량 최대 극값은 태풍 나리(NARI)에 의해서 발생하였다. 반면, 남사면에 위치한 서귀포 ASOS에서는 2016년 10월 5일 태풍 차바(CHABA)가 제주도 남동 해안을 거쳐 통과했을 때 일강수량 극값(267.7mm)을 기록하였다. 남동 해안의 표선(321.0mm)과 북동 해안의 구좌(247.0mm)의 일강수량 극값은 2004년 9월 11일 일본 열도 남부 지역에 상륙한 태풍 송다(SONGDA)에 의해 발생하였다. 반면, 남서 해안 중문의 일강수량 극값(325.0mm)은 2020년 9월 2일 태풍 마이삭(MAYSACK)이 제주도 서쪽 해상을 통과할 때 기록되었다. 즉, 통과 방향에 따라 극값 발생 지역이 달라지지만, 일반적으로 제주도의 일강수량 최대 극값은 주로 열대저기압(태풍)의 접근에 의해 발생하였음을 알 수 있다. 열대저기압(태풍)이 제주도 주변 해상을 통과하게 되면 반

시계 방향으로 유입되는 데워진 해수로부터 흡입한 많은 양의 수증기가 집중적으로 한라산 경사면을 타고 오르면서 강한 지형성 강수 현상이 발생할 수 있다.

한라산 산간 지역 관측소들의 경우에는 일강수량 극값을 보인 날짜가 모두 상이하게 나타난다(미제시). 우선 해발고도 600~1,300m 산간 구간에 위치한 관측소들을 살펴보면, 동사면 성판악에서는 2007년 9월 16일 태풍 나리(NARI)에 의해 일강수량이 556.0mm로 최대 극값을 기록하였지만, 북서 사면 어리목은 2020년 9월 2일 태풍 마이삭(MAYSACK)에 의해 일강수량이 768.0mm를 기록하였다. 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역에 위치한 관측소들의 극값 기록을 살펴보면, 동사면 진달래밭도 2020년 9월 2일 태풍 마이삭(MAYSACK)의 영향에 의해 일강수량이 903.0mm에 달하였지만, 서사면의 윗세오름에서는 2014년 8월 2일 태풍 나크리(NAKRI)가 제주도 서쪽 해상으로 지나갈 때 일강수량이 1,182mm에 달하였다.

한라산연구소의 2005년 4~11월 동안 관측 자료에 따르면, 연중 한라산 정상에 있는 백록담의 담수 수위는 200cm 초과 3일, 151~200cm 39일, 101~150cm 35일, 51~100cm 56일, 1~50cm 이하 61일을 보인다(한라산연구소, 2006). 장마전선이 제주도 주변에 정체하거나 열대저기압(태풍)이 제주도 주변을 거쳐 북상할 때에는 한라산 백록담의 수위도 빠르게 상승하게 된다. 한라산 백록담 분화구의 직경은 약 585m이고, 깊이는 최대 112m에 달하는데, 장마전선이 정체하거나 태풍 내습 시에는 약 4m까지 수위가 올라가 마치 산정호수와 같은 장관을 연출하기도 한다(제주특별자치도 한라산연구소, 2006). 특히, 이와 같이 한라산 정상의 만수현상도 대부분 강한 열대저기압(태풍)이 제주도 주변 해상을 통과할 때 주로 발생함을 알 수 있다.

실제 제주도에서 연중 발생하는 다양한 극한기후현상에 의한 자연재해 피해의 대부분은 열대저기압(태풍)에 의한 것이다. 최근 20여 년간(2000~2019년) 발생한 전체 피해액은 약 2,506억 원에 달하는데 그중 90% 이상은 열대저기압(태풍)에 의해 발생하였다. 최근 20년 기간 동안 발생한 태풍과 호우에 의한 연도별 피해액을 연도별로 살펴보면, 태풍 나리(NARI)가 강타한 2007년에 피해액이 907억 원으로 최

고값을 기록하였다(그림 2-54). 이외에도 태풍·호우에 의한 피해액은 2002년에 777억 원, 2003년 607억 원, 2012년에 556억 원 등의 순으로 높게 나타났다. 2002년에는 태풍 루사(RUSA), 2003년에는 태풍 매미(MAEMI), 2012년에는 태풍 볼라벤(BOLAVEN)에 의해 제주도 지역에 큰 재산 피해가 발생하였다.

제주도 지역 대부분의 자연재해 피해액을 유발시키는 지난 약 70여년 동안(1951~2020년)의 한반도 영향 태풍의 통계를 살펴보면 장기간 평균적으로 주로 5~10월에 약 3.3개가 제주도를 거쳐 북상함을 알 수 있다(그림 2-55). 물론 1959년과 2019년 등과 같은 특정 해에는 제주도를 거쳐가는 영향 태풍의 수가 7개에 달하기도 하였다. 한반도 영향 태풍은 모두 제주도 주변 해상을 거쳐 북상하기 때문에 강한 상태로 제주도에 큰 피해를 가져다 준다. 지난 70여 년 동안(1951~2020년)에 북서태평양 상에서 전체 1,811개의 열대저기압(태풍)이 발생하였는데, 그중 약 13%가 제주도 주변을 통과하여 한반도에 영향을 미쳤다. 특히 한여름(7월)에 북서태평양 상에서 발생하는 태풍의 약 25% 이상이 제주도 주변 해상을 거쳐 북상하는 한반도

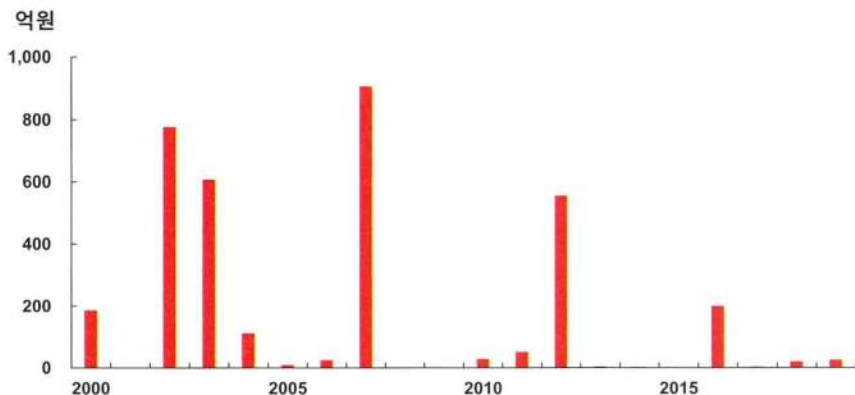


그림 2-54. 최근 20년간(200~2019) 제주도 지역의 연도별 태풍/호우에 의한 재산 피해액 규모(2015년 화폐가치 기준)
출처: 재해연보(2000~2019)

영향 태풍임을 알 수 있다.

제주도에 큰 자연재해 피해액을 유발한 영향 태풍들은 대체로 동아시아 남부 지역 해수 온도가 가장 높게 올라간 8월 하순 이후에 주로 발생하였다. 예를 들면, 제주도에 가장 큰 피해를 유발한 태풍 나리(NARI)는 9월 13일에 발생하여 9월 16일까지 세력을 유지하면서 큰 피해를 입혔다. 2002년 태풍 루사(RUSA)는 8월 23일에 발생하여 9월 1일까지 영향을 미쳤고, 2003년 태풍 매미(MAEMI)는 9월 6일에 발생하여 14일까지 영향을 미쳤다. 이외에도 2012년 태풍 볼라벤(BOLAVEN)과 덴빈(DENBIN)도 각각 8월 19~31일과 8월 23일~9월 1일에 걸쳐 세력을 유지하면서 제주도에 큰 피해를 입혔다.

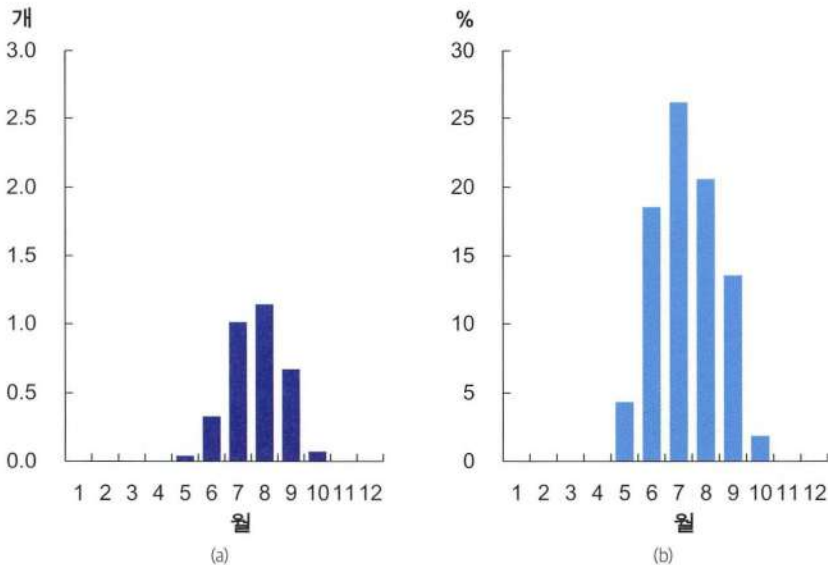


그림 2-55. 장기간(1951~2020년) 평균월별 평균적인 영향태풍 빈도(a) 및 북서태평양 전체 발생 수 대비 한반도 영향 태풍이 차지하는 비율(b)

자료: 국가태풍센터

태풍에 의한 피해 지역 및 규모는 강도뿐만 아니라 이동 경로와도 밀접한 관련성이 있다. 제주도 지역에 가장 큰 재산 및 인명 피해를 낸 태풍 나리(NARI)는 2007년 9월 13일 처음 일본 오키나와섬 남동 해상에서 발생하였다. 그 후 9월 14일에는 소형이지만 매우 강한 태풍으로 발달하여 제주도 남부 해상을 향해 북상하였다(그림 2-56). 9월 16일 정오 무렵에는 강한 세력을 유지하면서 제주도 동쪽 해안에 근접하여 통과할 때 강풍과 더불어 많은 강수를 동반했다. 우리나라 전체 ASOS 관측 일강수량 극값 상위 5위에 해당하는 420.0mm는 태풍 나리(NARI)가 9월 16일 제주도에 근접하였을 때 북부 해안 제주 ASOS에서 기록된 것이다(그림 2-57). 이때 중산간 지역 산천단에서도 일강수량이 481.0mm로 기존 최고치를 경신하였고, 9월 13~16일 누적 강수량도 726.45mm에 달하였다. 또한 산간 지역 성판악의 일강수량

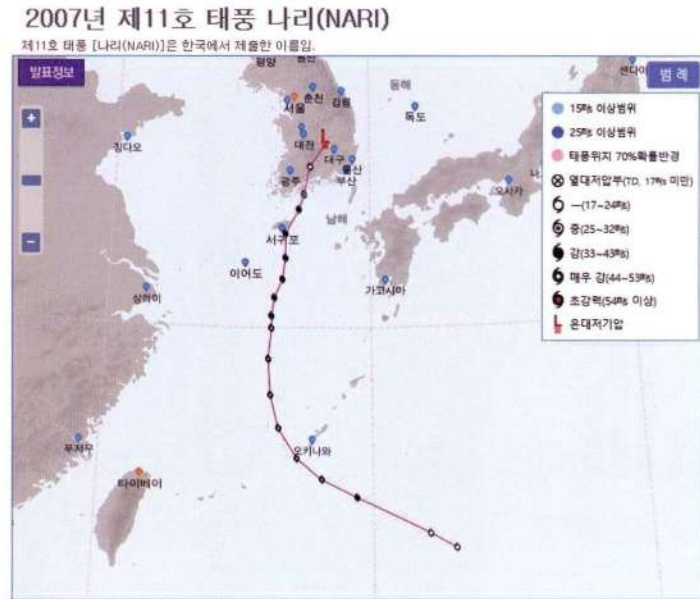


그림 2-56. 2007년 9월 13~16일 태풍 나리(NARI)의 이동 경로
출처: 기상청

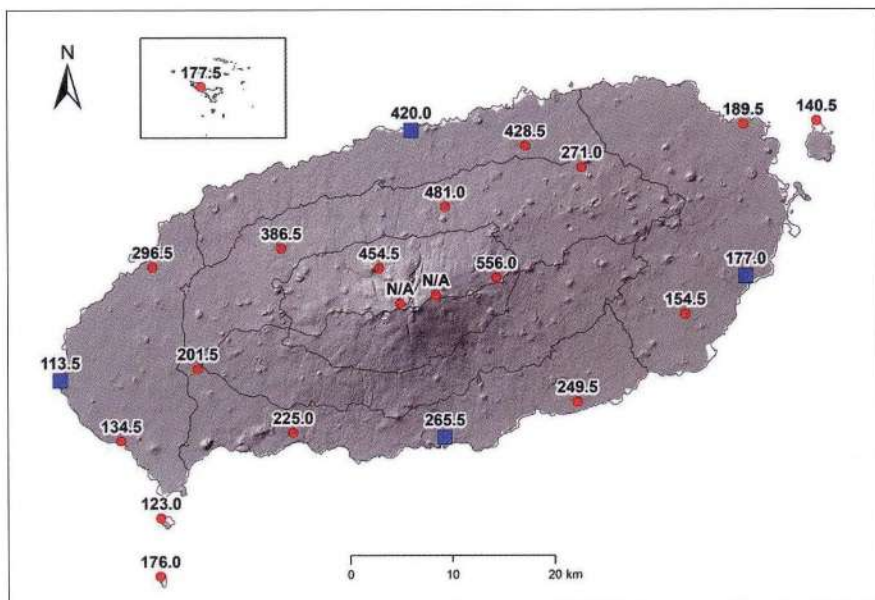


그림 2-57. 2007년 9월 16일 태풍 나리(NARI) 관통 시 한라산 지역 일강수량(단위: mm)

도 556mm로 기존 최고치를 경신하였고, 전체 태풍 내습 기간 동안의 누적 강수량도 829mm에 달하였다. 이와 같이 태풍 나리(NARI) 내습 시 한라산 북사면 지역을 중심으로 많은 지형성 강수를 내리면서 제주시 동지역을 중심으로 전례없는 인명 및 재산 피해가 발생하였다. 이때 13명의 사망자가 발생하였고, 재산 피해액도 최소 900억 원 이상 발생하면서 역대 최고치를 경신하였다.

이와 같이 태풍 나리(NARI)에 의한 피해가 한라산 북사면 제주시 도심 지역에 집중된 것은 태풍의 이동 경로 이외에도 한라산의 지형 및 지질적인 특성 과도 관련성이 깊다. 타원형으로 된 제주도 중심에는 원추형의 한라산이 자리 잡고 있어, 평균 경사도는 동-서 사면보다는 남-북 사면을 따라 더 크다. 동-서 방향 사면의 평균 경사도는 약 3.2°이지만, 남북 방향 사면은 경사는 6.5°로 2배 이상 더 급하다. 2007년 태풍 나리(NARI) 사례처럼 제주도 동쪽에 근접하여 강한 태풍이 접근할 때 반시계

방향 흐름과 함께 한라산 북사면을 중심으로 많은 양의 수증기가 유입된다. 이때 상대적으로 경사가 급한 한라산 북사면을 타고 기류가 상승하면서 지형성 강수의 강도도 더욱 강해졌고, 주요 하천을 따라 산간지역에 내린 강수가 흘러내리면서 범람하였다.

국지적으로 제주도에서 도시화에 의한 지표 피복의 변화도 태풍 나리(NARI) 내습 시 피해 규모를 더욱 커지게 하는 요인이 되었다. 제주도의 하천은 절리(fault)가 잘 발달된 기반암의 특성상 물빠짐이 좋아 유출수는 없이 연중 대부분 하도 형태만 드러낸다. 그러나 제주시와 서귀포시 동지역에서는 도시화가 빠르게 진행되면서 도심 하천들의 하폭이 인위적으로 좁아져 태풍 내습 시 범람 가능성도 높아지게 되었다. 또한 제주도의 하천은 한라산에서 발원하기 때문에 태풍 내습 시 산간 지역에서 하천을 따라 휩쓸려온 나무들의 잔해들이 하천 흐름을 방해하게 되면 하천 범람의 가능성은 더욱 커지게 된다. 심지어 바다와 만나는 도심 하천 하류 지역의 경우에는 상류에서 유출된 물이 빠르게 유입될 때 만조까지 겹치게 되면 하천수의 바다 유출이 막히면서 넓은 지역에 걸쳐 홍수가 발생하게 된다. 실제 2007년 태풍 나리(NARI)가 제주도를 강타하였을 때 이러한 요인들이 결합하면서 주요 홍수 피해도 북사면의 산지천 하류에 위치한 제주동문재래시장 등 도심 하천 하류 지역에서 주로 발생하였다.

한편, 한라산 중산간 지역의 겨울철 극한강수현상은 대설의 형태로 나타난다. 제주특별자치도에서도 한라산 중산간 이상 지역에서 대설이 발생하게 되면 516로와 1100로 등의 제주시와 서귀포시를 연결하는 산악 도로를 통제한다. 516로의 경우 제주시 제주대학교 사거리와 서귀포시 서성로 삼거리에서 통제하며, 1100로의 경우 제주시 서귀포시 산록남로와 만나는 지점과 산록서로와 1100로가 교차하는 어승생 삼거리에서 통제한다. 제주도는 아열대 해상에 위치해 있지만, 한라산 해발고도 상승에 따라 겨울철 기온이 영하로 내려가면서 중산간 및 산간 지역에는 많은 눈이 내린다. 제주도 주민들은 대설 발생 시 서귀포시와 제주시 간 이동에 제한을

받게 된다. 한라산에 대설 발생 시 관광을 온 등산객들은 지역 기후에 관한 정보가 부족해 조난을 당할 가능성도 커진다. 따라서 체계적인 적설관측망을 기반으로 한라산 지역에서 발생하는 대설에 관한 정보를 실시간으로 제공하는 것이 필요하다. 해안 지역에 비가 내리는 동안에 중산간 및 산간 지역에는 눈이 내리는 경우가 많아 남조로, 애조로 등 중산간 도로 및 516로, 1100로 등 산간도로 운전 시에도 교통사고의 위험성도 높아진다.

아열대 제주도 지역에서도 겨울철에는 적설 정보가 중요함에도 불구하고 2020년 말 기준 기상청 산하 제주도 지역에서 적설 관측을 수행하는 관측소는 9개소에 불과한 실정이다. 우선, 해안 지역의 경우 동서남북에 위치한 ASOS 관측소(성산, 고산, 서귀포, 제주)에서 목측 기반 적설 관측을 30년 이상 해오고 있다. 적설 목측 관측은 관측자가 자를 이용하여 노장에 설치된 적설판에 쌓인 눈의 높이를 사람이 직접 측정하는 방식이다. 이외에 제주도 해안 도서 지역의 적설 관측은 남부 해안 서귀포농업기술센터에서 운영하는 강정 관측소와 추자도 관측소에서 이루어지고 있다. 그러나 한라산 중산간 지역과 산간 지역에는 조밀한 방재기상관측망 자체가 구축되어 있지 않아 대설 발생 시 한라산 산간 지역 대설 발생의 분포 특징을 파악하기 어려운 실정이다. 산간 지역으로 갈수록 강풍, 호우, 폭설, 결빙 등 악기상이 자주 발생하여 관측 및 통신 장비에 고장이 자주 발생한다. 2020년 말 기준 해발고도 200~600m의 중산간 지역에는 유수암, 산천단 등 AWS 2개소, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 어리목 AWS 관측소에서만 기상청 감독 아래 적설 관측이 이루어지고 있다. 이들 관측소에서의 적설 관측도 2016년 이후에야 이루어졌는데, 중산간 지역 AWS 관측소에서는 CCTV 기반 적설 관측이 이루어지고 있고, 산간 지역 어리목 관측소의 경우에만 다초점 레이저식 적설계를 사용하고 있다.

한편, 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역의 경우에는 제주도청 산하 어리목 한라산국립공원 안내소의 협조 관측 자료를 공유하고 있는 실정이다. 2016년 이전에는 한라산국립공원 대피소 근무자가 윗세오름과 진달래밭에서 목측 방법으로 적설

자료를 수집하였으나, 2016년 이후에는 제주도청에서 설치한 레이저 적설계를 이용하여 적설 정보를 수집해 오고 있다. 다만, 설치된 관측 센서가 단초점 방식 레이저 적설계여서 수집된 적설 자료에는 다소 불확실성이 포함되어 있을 것으로 추정된다. 또한 산악 지역의 경우에는 겨울철에 강풍이 자주 불기 때문에 쌓인 눈이 지역에 따라 바람에 날려 없어지기도 하므로 과소 관측이 이루어졌을 가능성이 많다.

제주특별자치도에서도 겨울철 도로 교통사고와 대설 시 한라산 등산객의 조난 사고 예방을 위해 주요도 망을 따라 2005년 이후 적설관측 장비를 설치하기 시작하였다. 그 결과 2020년 말까지 제주도청 산하 적설 관측은 약 27개소로 늘어났지만, 관측 장비 운영에 많은 어려움이 있어 결측이 자주 발생하고 수집된 자료의 품질에도 불확실성이 많은 편이다. 2020년 말 기준 약 12개소(산천단, 제방사, 평화로, 이시돌목장, 모슬포 예비군 훈련장, 도평 감굴 유통, 삼다수 공장, 비자림, 번영로 제동목장, 영실, 윗세오름, 진달래밭)의 적설 관측자료만이 제주 재난안전대책본부 웹사이트(<https://bangjae.jeu.go.kr/>)를 통해서 일부 실시간 방재 목적으로 제공되고 있다.

이와 같이 한라산 주변 지역에서는 장기간 체계적으로 수집된 적설 관측 자료 자체가 거의 없기 때문에, 한라산 지역의 장기간 평균적인 기후학적 대설 분포를 파악하기 위해서는 기온과 강수량을 추정한 자료를 사용하는 수밖에 없다. 장기간(2001/02~2017/18) 동안 일평균기온 0℃ 이하에서 발생한 강수량(강수 1mm=강설 1cm)을 바탕으로 일최대 적설량을 추정해 보면, 한라산 해발고도에 따라 일별 대설 극값은 수십 cm까지 증가함을 알 수 있다(그림 2-58). 이 추정치에 따르면 일최대 적설 극값은 해발고도 200m 이하 해안 지역에서는 약 2~20cm 정도이지만, 해발고도 200~600m 중산간 지역에서는 약 5~25cm, 해발고도 600m 이상 산간 지역에서는 약 20~80cm에 달함을 알 수 있다(제주지방기상청, 2018). 일평균기온 0℃ 이하일 때 강수량을 누적한 연누적 최대 적설도 해안 지역에서 약 1~70cm, 중산간 지역에서 약 10~160cm이며 심지어 산간 지역에서는 약 5~7m까지 증가함을 알 수 있다.

이 기온-강수 간 관계에서 추정된 한라산 지역의 일최대 적설 및 연누적 적설 극

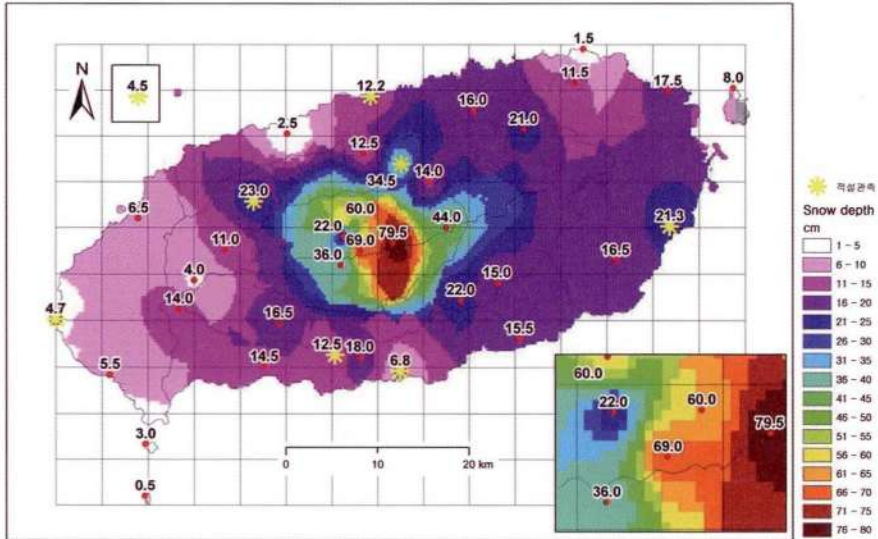


그림 2-58. 장기간(2001/02~2017/18년) 기온 및 강수량 자료에서 추정한 한라산 지역 일최대 적설(단위: cm)
출처: 제주지방기상청, 2018(연구책임자: 최광용).

값의 공간 분포를 살펴보면 대체로 해발고도 이외에도 사면의 영향에 따라 겨울철 북서계절풍의 바람받이에 해당하는 서사면 지역보다는 바람의지 지역에 속하는 동사면 지역에서 대설의 강도가 더 높음을 알 수 있다(자료 미제시). 해안 지역의 경우에도 일최대 적설값이 서부에 비해 최대 10배 정도 더 크게 나타난다. 실제 제주도 해안 지역의 4개 ASOS 관측소의 최근 30여 년(1991~2020년) 평균 겨울철 대설일(일별 신적설 5cm 이상) 발생빈도를 비교해 보면, 서부 해안 고산보다는 동부 해안 성산에서 대설이 자주 발생함을 알 수 있다. 서부 해안 고산의 평균적인 겨울철 대설일 발생빈도는 약 0.3일이지만, 동부 해안 성산은 약 1.0일로 3배 이상 더 많다. 이는 한라산의 지형 장애에 의해 바람의지 지역에서는 서로 반대 방향으로 회전하여 형성되는 와류인 카르만 소용돌이(Karman vortex) 주변의 대기 불안정에 의해 제주도 남동부 지역을 중심으로 강설 현상이 강화되어 나타나는 것으로 추정된다.

제주도에 대설 발생 시(예. 2020년 12월 30일) 중관 기후 상태를 살펴보면, 대류권 상층에는 극지방 찬 공기를 감싸고 있는 극소용돌이(circumpolar vortex)의 일부분이 한반도 남부 방향으로 사행해 있고, 대류권 하층에는 시베리아 고기압과 알류산 저기압이 모두 강하게 발달하여 있음을 알 수 있다. 이와 같은 서고동저형 기압 배치는 북풍 계열의 찬 기류가 한반도 남쪽 제주도 방향으로 강하게 유입된다. 이때 남하하는 한랭건조한 공기가 상대적으로 온난한 황해 바다를 통과하면서 수증기를 흡수하여 포화되면서 여러 갈래의 눈구름이 남-북 방향으로 형성된다(그림 2-59). 이와 같이 강한 북풍 계열의 바람이 불 때 한반도 남서 해상의 수온은 대류권 하층 기온에 비해 25℃ 이상 높아 눈구름 형성이 더욱 활성화된다. 이러한 눈구름이 제주도에 도달하면 섬의 중심에 원추형으로 솟은 한라산(1,950m)을 타고 강제 상승하면서 중산간 및 산간 지역에 지형성 대설 형태로 내리게 된다. 제주도 대설 현상의 대부분은 시베리아 고기압의 확장 및 변질에 의해 발생하지만, 일부 대설 현상은 서해상에서 이동해 오는 온대저기압이 급격하게 발달하여 제주도를 통과할 때

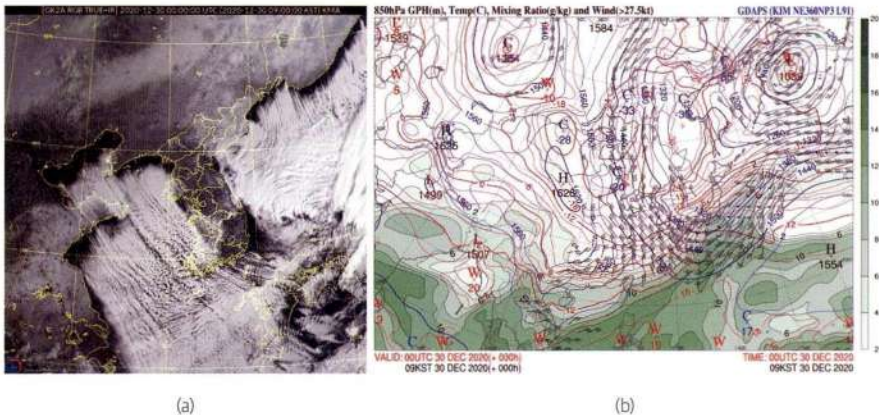


그림 2-59. 제주도 대설 발생 시(2020년 12월 30일 09시) 천리안 위성 영상(a) 및 대류권 하층(850hPa) 일기도(b)
출처: 기상청

(예. 2010년 1월 12~13일)에도 발생하기도 한다.

최근 20여 년간(2000~2020년) 제주도의 자연재해 중 대설에 의한 피해 기록을 살펴보면, 2016년이 약 60억 원으로 가장 많았고, 2005년 44억 원, 2010년 41억 원, 2001년 16억 원 순으로 높게 나타났다(그림 2-60). 4개 종관관측소의 공통 관측 기간인 1988년 이후 대설 극값 기록 중에서는 북부 해안 제주에서는 2016년 1월 23일 12cm, 2018년 2월 6일 8.8cm를 예로 들 수 있다. 특히 2016년 1월 중순 발생한 대설로 인하여 북부 해안 지역에 위치한 제주국제공항이 마비되어 수만 명의 관광객이 수일 동안 공항청사에 고립되어 노숙을 하면서 우리나라 대표적인 관광지로서의 제주도 이미지가 크게 실추되기도 하였다. 이때 수일 동안 이어진 눈보라로 제주도에서는 31ha의 농가 비닐하우스 등 시설물들이 눈 무게를 견디지 못하고 붕괴되어 농작물이 큰 피해를 입었을 뿐만 아니라 무, 당근 등 노지 재배 월동채소도 넓은 면적에 걸쳐 동해를 입게 되었다. 그 결과 대설 이후 제주도는 전역에 걸쳐 우심 재난 지역으로 선포되었다. 한편, 1988년 이래 일최대 최심적설 극값 기록을 보인

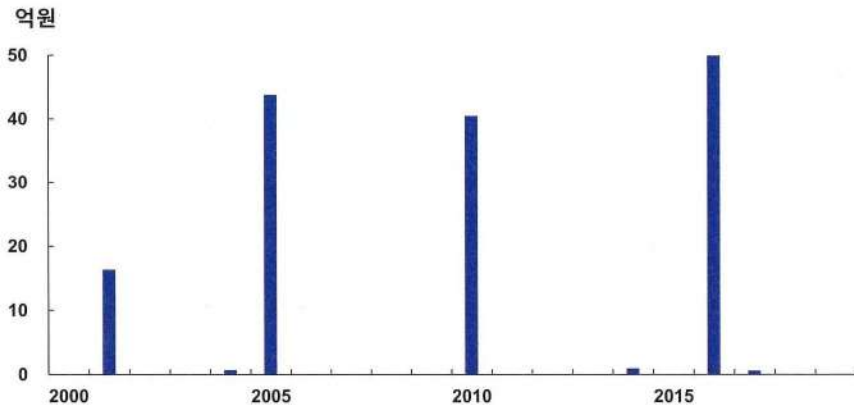


그림 2-60. 최근 20년간(200~2019) 제주도 지역의 대설에 의한 재산 피해액 규모(2015년 화폐가치 기준)
출처: 재해연보(2000~2019)

날짜는 한라산을 중심으로 동서남북 해안 지역별로 상이하다. 동부 해안 성산에서는 1994년 1월 21일에 16.6cm, 2010년 12월 31일 14.9cm, 1999년 12월 21일 13.5cm 등이 일최대 적설 값이 이례적으로 많았던 극값 상위 사례에 해당한다. 남부 해안 서귀포에서는 2003년 1월 4일 7.9cm, 2010년 12월 31일 6.7cm, 2005년 6.2cm 등을 예로 들 수 있다. 서부 해안 고산의 경우에는 2004년 1월 24일 6cm, 2003년 1월 4일 3.2cm 등의 극값이 발생하였다.

극한바람현상과 기상·기후 재해

제주도는 예로부터 바람이 강한 지역으로 잘 알려져 왔는데, 전통적으로 제주도에서는 해안 지역의 강한 바람에 의한 농작물 피해를 막기 위해 농경지 주변에 밭담을 쌓거나 방풍림을 심었고, 지붕의 높이도 최대한 낮추고 돌을 매달아 강풍에 날라가는 것을 방지하였다. 장기간(2001~2020년) 평균 한라산 주변 기상청 산하 약 23개 기상·기후 관측소에서 수집한 바람 자료에서 추출한 연중 강풍일(기상청 강풍주의보 기준, 500m 기준 산간 지역과 저지대 구분) 발생빈도 분포를 살펴보면, 해안 지역 혹은 도서 지역이거나 개활지에도 강풍이 자주 불지만 한라산 정상 주변에도 강풍 현상이 자주 발생하고 있음을 알 수 있다(그림 2-61). 해발고도 200m 이하 해안 지역의 강풍일은 대체로 서부 지역과 북동부 도서 지역에서 연중 발생빈도가 20일 이상으로 높은 편이다. 반면 한라산 남부 지역과 남동부 해안 지역에서는 연중 강풍일 발생빈도가 5일 이하로 낮은 편이다. 북부 해안 지역에서는 장기간 평균 연중 강풍일 발생빈도가 약 10일 내외를 나타낸다. 관측소의 수가 제한적이긴 하지만 해발고도 1,300m 이상 산간 지역에서는 장기간 평균적인 연중 강풍일 발생빈도가 35일 내외로 해발고도 200~600m 중산간 지역(8~11일) 또는 해발고도 600~1,300m의 산간 지역(9~15일)에 비해 약 3배 이상 높은 편임을 알 수 있다. 이 지역은 대류권 하층에서 지표 마찰이 거의 없어지는 경계층(boundary layer)을 벗어

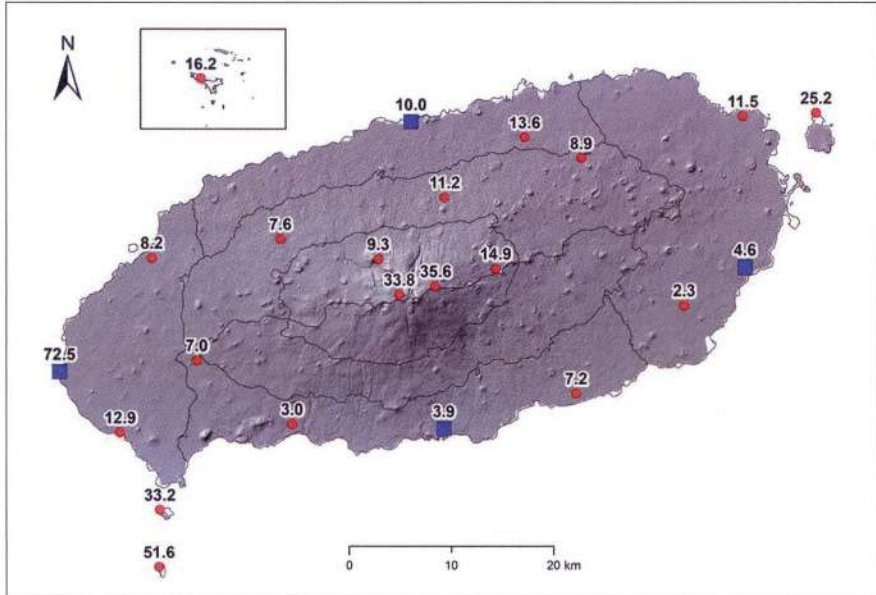


그림 2-61. 최근 약 20여 년(2001~2020년) 평균 한라산 지역 연중 강풍일(해발고도 500m 이상(이하) 일최대 순간최대풍속 20m/s(25m/s) 이상) 발생일수

나는 고도(약 850hPa)에 해당되어 중위도 탁월풍인 편서풍의 영향을 직접적으로 받는다. 국지적으로 이 지역의 식생 경관도 아고산대 키작은 관목림으로 이루어져 있어서 지표 마찰이 적고 강풍에 그대로 노출되어 있다. 과거 제주도 강풍 관련 연구들(강태진, 2002; 김아름, 2014)에 따르면, 한라산 남쪽에 자리 잡은 서귀포 강풍 사례들은 대부분 태풍 내습 시 발생하였음을 알 수 있다. 반면, 북쪽에 자리 잡은 제주의 강풍은 주로 제주도 북쪽으로 온대저기압이 통과하면서 제주도를 중심으로 남고북저형의 기압 배치가 형성될 때 나타났다. 이때 제주도 북부 지역은 기압경도력이 높은 구역에 놓이게 되어 남남서풍 풍향을 보이는 강풍이 유입된다. 이외에도 여름철 장마전선, 겨울철 시베리아 기단 확장도 북부 해안 제주의 강풍 발생에 영향을 준다. 한라산 산간 지역을 포함한 제주도 전체적인 강풍 극값 분포 특성을 파악

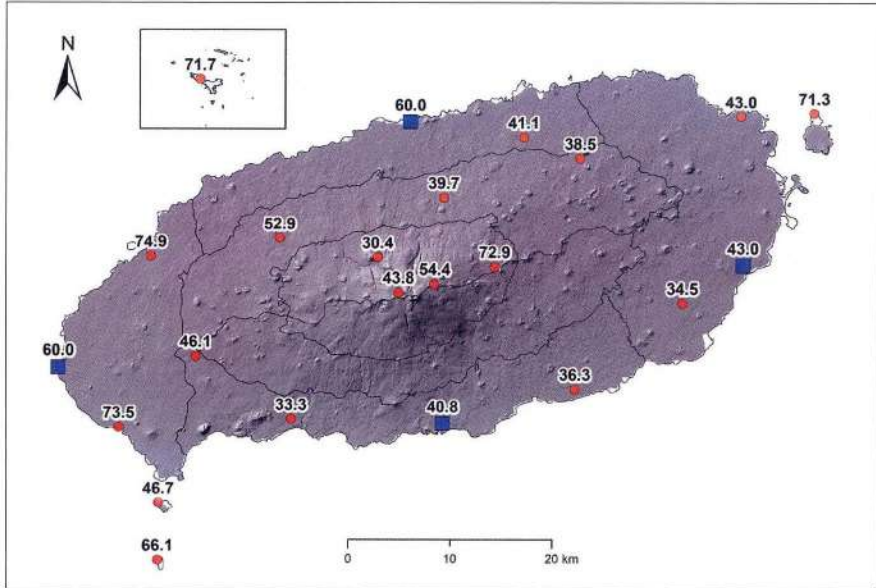


그림 2-62. 최근 약 20년(2001~2020년) 동안 발생한 한라산 지역 최대순간풍속 최대극값(단위: m/s)

하기 위해 약 20여 년 동안(2001~2020년) 관측소별로 관측된 최대순간풍속 최대치 분포를 살펴보면, 대체로 겨울철에 폭풍설이 불거나 여름철에 강한 태풍이 내습하였을 때 해안·도서 지역 또는 한라산 산간 지역에 기록되었음을 알 수 있다(그림 2-62). 기상청 산하 23개 기상 관측 지점 중 최대순간풍속 최대 극값은 북서부 해안 지역 한림 AWS에서 기록되었다. 2017년 1월 15일에 만주 지역에 시베리아 고기압이 확장하여 강한 북풍 계열의 바람이 남하하면서 한림의 최대순간풍속은 74.9m/s에 달하였다. 이외에도 대정(2017년 12월 10일 73.5m/s), 마라도(2017년 2월 3일 71.3m/s), 유수암(2017년 2월 11일 52.9m/s)에서도 겨울철에 강풍 극값이 기록되었다. 일부 봄·가을철에 발생한 추자도, 우도, 성판악 등을 제외하면 대부분의 다른 관측소에서는 여름철 태풍 내습 시 강풍 극값이 발생하였다. 가령, 구좌(43.0m/s), 중문(33.3m/s), 표선(34.5m/s), 선흘(38.5m/s) 등의 AWS와 제주(60.0m/s), 고산(60.0m/s) ASOS에서

는 2003년 9월 12일 태풍 매미(MAEMI)가 제주도 주변으로 북상하였을 때 최대순간풍속 극값이 기록되었다. 이외에도 동부 해안 성산(43.0m/s), 북동부 중산간 대흘(41.1m/s) 지역에서는 2007년 9월 16일 태풍 나리(NARI) 내습 시 최대순간풍속 극값을 기록하였다. 남부 해안 서귀포의 경우에는 2002년 8월 31일 태풍 루사(RUSA) 북상 시 최대순간풍속이 40.8m/s로 강하게 나타났고, 남동부 제주남원의 경우에는 2016년 10월 5일 태풍 차바(CHABA) 접근시 최대풍속이 36.3m/s에 달하였다.

제주도 강풍에 의한 피해와 관련하여 재해연보에 수집된 최근 20여 년간(2000~2019년) 강풍에 의한 피해액 통계를 살펴보면 특히 2008년, 2009년, 2012년 등에 많은 강풍에 의한 피해가 발생하였음을 알 수 있다. 특히 2009년 제주도 지역에 발생한 강풍에 의한 피해액은 무려 44억원에 달하였다. 2009년 7월 28일 제주도 남쪽 해상에 형성된 장마전선과 이어진 중국 남부 지역에 발달된 저기압의 영향으로 제주남원 지역에 이상 돌풍이 발생하여 비닐하우스 및 농산물 저장시설이 파괴되었다. 이때 북동부 구좌읍 지역에는 집중호우가 발생해 농경지 및 농작물 침수로 피해액은 더욱 증가하였다. 이외에도 실제 강풍에 의한 공식 피해액으로는 산정되지 않고 있지만, 관광업 측면에서는 연중 제주도의 강풍 현상에 의해 제주국제공항의 항공기 결항이 연중 1,000편 이상에 달한다. 제주국제공항에서는 여름철~초가을 강풍성 태풍이 북상하는 경우 이외에도 봄~여름철 또는 여름철~가을철 계절전이 기간에 국지적 돌풍에 의한 윈드시어(wind shear)가 발생하거나, 겨울철 북풍 계열의 눈폭풍이 불 때 항공기 이착륙 시 잠재적인 사고 위험성 때문에 항공기 운항을 일시적으로 중단하게 된다. 또한 여름철에 태풍이 제주도 주변을 통해 북상할 때에는 주변 바다로부터 염분을 포함한 해수가 뒤섞인 강풍인 조풍(潮風)에 의해 해안 지역의 농작물과 삼나무 등의 외래도입 방풍림 등에 피해를 미칠 것으로 짐작되지만, 이에 대한 피해액도 산정된 바가 없다. 일부 연구 결과(최광희 등, 2014)에 따르면 제주도에 강풍성 태풍이 불었을 때 제주도 해안가에서 내륙으로 1km까지 염분을 포함한 바람이 불어 방풍림이 붉게 타죽는 조풍 피해를 입은 것으로 파악된다.

참고 문헌

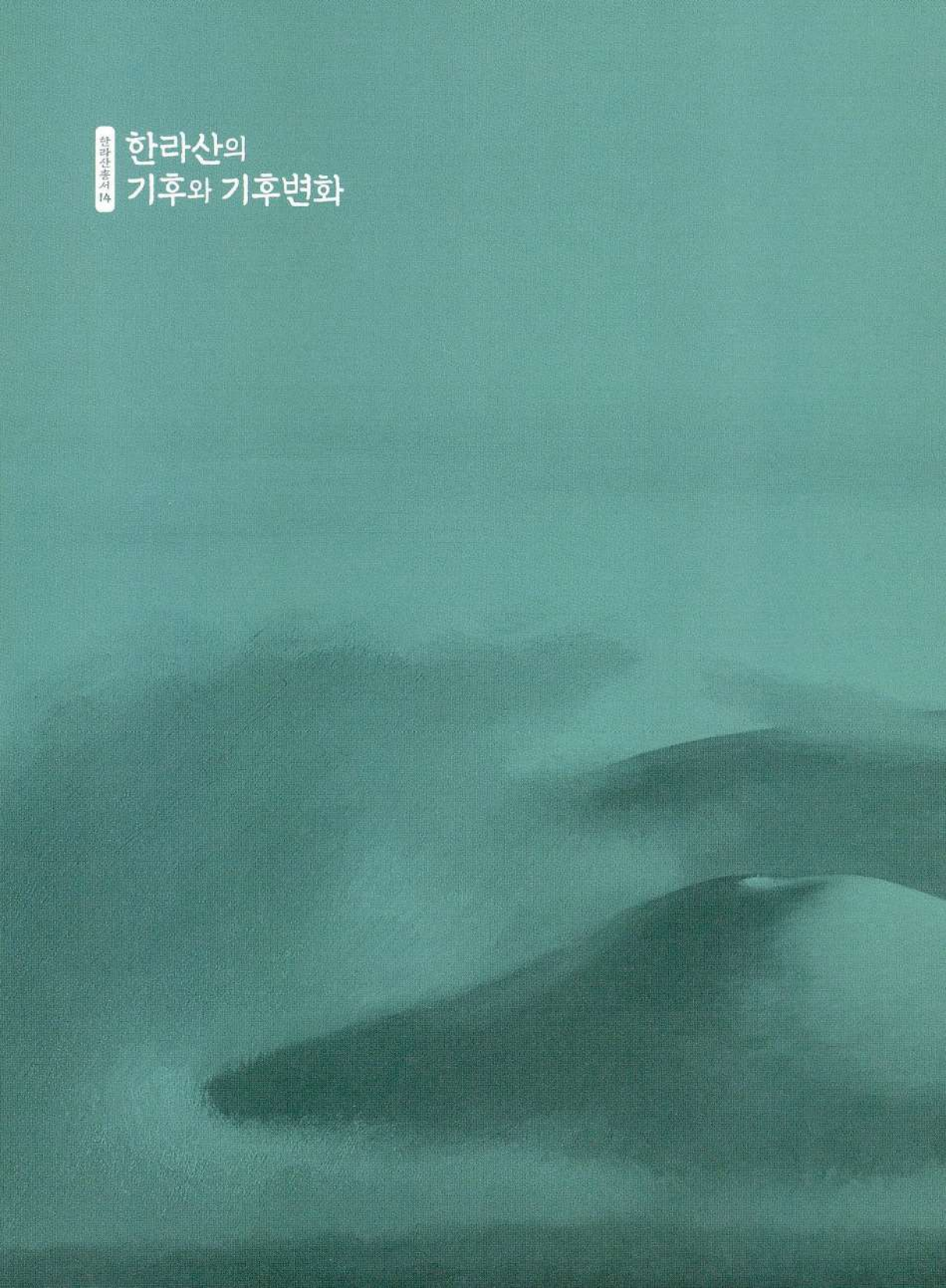
- 강태진, <한라산 고도에 따른 바람의 구조변화>, 《제주기상특성집》, 2002, 125~136.
- 강태진, <고립된 산악에서의 기상특성>, 《제주기상특성집》, 2003, 255~270.
- 공우석, <한라산의 수직적 기온 분포와 고산식물의 온도적 범위>, 《대한지리학회지》 34(4), 1999, 385~393.
- 국립기상과학원, 《한반도 100년의 기후변화 보고서》, 2018.
- 권영아·권원태·부경은, <A1B 시나리오 자료를 이용한 우리나라 자연 계절 시작일 및 지속기간 변화 전망>, 《대한지리학회지》 42(6), 2007, 835~850.
- 김경보·방익찬·김길엽·김동호·이지미, <제주연안에 강설을 수반하는 대륙성 한기단 확장 시 대기와 해양 간의 열교환 특성 사례 연구>, 《한국지구과학회지》 26(5), 2005, 395~403.
- 김성수·장승민·백희정·최홍연·권원태, <제주지역 기온과 강수량의 기후 변동 특성>, 《한국지구과학회지》 27(2), 2006, 188~197.
- 김아름, <한라산 지형효과에 의한 제주도 호우 및 강풍 사례 분석>, 《제주지방기상기술집》, 2014, 22~45.
- 김유진·최영은, <제주도 극한기후사상의 특성 및 변화>, 《기후연구》 5(3), 2010, 202~218.
- 김태호, <한라산 백록담 서북벽 암온의 항별 특성>, 《한국지형학회지》 19(3), 2012, 109~121.
- 김태호, <한라산 아고산대의 동결기 기온 및 지온변화>, 《한국지형학회지》 20(3), 2013, 95~107.
- 김태호·이승욱, <돌매화나무 서식지로서 한라산 정상 암벽 표면의 온도특성>, 《한국지형학회지》 25(4), 2018, 89~101.
- 박노옥·장동호, <수치표고모델과 다변량 크리깅을 이용한 기온 및 강수 분포도 작성>, 《대한지리학회지》 43(6), 2008, 1002~1015.
- 박윤호·김경보·허수영·이영미·허종철, <제주지역 바람자료 분석 및 풍속 예측에 관한 연구>, 《한국태양에너지학회 논문집》 30(6), 2010, 66~72.
- 박종철·김민규, <공동 크리깅을 이용한 강수 분포도 작성에서 지형 사면방향 변수 사용에 대한 연구: 제주도를 사례 지역으로>, 《한국지형학회지》 16(3), 2009, 59~66.
- 서희철·전승중·윤진일, <제주도 초지피복 기생화산 '오름'의 방위별 일 최고기온 분포>, 《한국농림기상학회지》 10(1), 2008, 25~31.
- 신만용·윤진일, <지형(地形)-기후(氣候) 관계식(關係式)에 의한 제주도(濟州道)의 월별(月別) 기온분포(氣溫分布)의 추정(推定)>, 《한국산림과학회지》 81(1), 1992, 40~52.
- 안중가·김태호, <제주도 단성화산 소유역에서의 강우의 분배: 한라산 어승생오름을 사례로>, 《한국지역지리학회지》 14(3), 2008, 212~223.
- 안중가·김태호, <한라산 아고산 초지대 소유역의 물수지>, 《대한지리학회지》 41(4), 2006, 404~417.
- 오영숙·최광용, <문난수송대 접근에 의한 한라산 봄철 호우 현상의 종관적 특징>, 《기후연구》 9(3), 2014, 193~205.
- 윤진일·유근배·이민영·정귀원, <제주도의 농업기후 분석 I. 지형기후 추정법과 동계 일최저기온 분포>, 《한국작물학회지》 34(3), 1989, 261~269.
- 윤진일, <제주도의 농업기후 분석 II. 무인관측강에 의한 기상실태자료 수집 및 증발산위 계산>, 《한국작물학회지》 35(6), 1990, 504~511.

- 이병설, <제주도의 바람에 관한 연구>, 《지리학논총》 6, 1979, 11~19.
- 이병설, <우리나라 자연계절에 관한 연구>, 《지리학》 20, 1979, 1~11.
- 이승호, <제주도 해안지역의 겨울철 바람에 관한 연구>, 《제주도 연구》 4, 1987, 219~259.
- 이승호, <제주도 지역의 강수 분포 특성>, 《대한지리학회지》 34(2), 1999, 123~136.
- 이승호·이현영, <제주도 감귤 과수원의 야간 기온 분포 II>, 《대한지리학회지》 30(3), 1995, 230~241.
- 정학주·황경수, <제주 바람(風)의 다면적(多面的) 특성과 정책 활성화 방안>, 《제주도연구》 39, 2013, 101~154.
- 제주녹색환경지원센터, 《제주도 아열대화 심화와 도시팽창에 따른 열환경 변화 평가》(연구책임자: 최광용), 2019.
- 제주발전연구원, 《제주지역의 가뭄 특성과 대응방안》, 2016.
- 제주지방기상청, 《지역기후변화보고서[제주도]》(연구책임자: 최광용), 2011.
- 제주지방기상청, 《제주지역 기상기후 서비스 개선연구》(연구책임자: 최광용), 2015.
- 제주지방기상청, 《영향예보 지원을 위한 한라산 기상관측 스마트 그리드 구축》(연구책임자: 최광용), 2016.
- 제주지방기상청, 《제주도 특성에 맞는 최적 지상관측망 구성 및 안정적인 관측장비 운영방안 강구》(연구책임자: 최광용), 2017.
- 제주지방기상청, 《제주 지역 연도별 상세 기상기후 특성 연구》(연구책임자: 최광용), 2017.
- 제주지방기상청, 《제주 지역 최적 적설 및 시정 관측망 운영 방안 연구》(연구책임자: 최광용), 2018.
- 제주지방기상청, 《제주도 기후변화 특성 분석집》, 2019.
- 제주특별자치도, 《사진으로 보는 제주역사》, 2009.
- 제주특별자치도 한라산연구소, <한라산 정상 기온, 강수량 및 습도의 연중변화>, 《조사연구보고서》 제4호, 2005, 209~221.
- 제주특별자치도 한라산연구소, 《한라산천연보호구역학술조사보고서》, 2006.
- 제주특별자치도 한라산연구소, <한라산 정상일대 강우량에 따른 백록담 담수수위 변화>, 《조사연구보고서》 제5호, 2006, 109~123.
- 제주특별자치도 한라산연구소, <한라산 정상일대 바람의 특성>, 《조사연구보고서》 제6호, 2007, 103~116.
- 제주특별자치도 한라산연구소, <한라산 정상부와 제주시의 기온 및 습도 비교>, 《조사연구보고서》 제7호, 2008, 95~105.
- 제주특별자치도 한라산연구소, <한라산 정상부의 기후변화 조사>, 《조사연구보고서》 제8·9호, 2011, 246~248.
- 제주특별자치도 한라산연구소, <한라산 성판악의 해발고도별 온습도 변화>, 《조사연구보고서》 제10호, 2011, 187~190.
- 제주특별자치도 한라산연구소, <한라산 성판악의 해발고도별 온습도 변화>, 《조사연구보고서》 제12호, 2013, 223~226.
- 최광용, <한라산 사면 및 고도별 기온감률 변동성>, 《기후연구》 6(3), 2011, 171~186.
- 최광용, <한라산의 사계절 극한강수현상 발생패턴>, 《기후연구》 8(4), 2013, 267~280.
- 최광용, <한라산 지역 열역학적 편 현상 발생 시 종관 기후 패턴>, 《기후연구》 11(4), 2016, 313~330.
- 최광용, <제주도 지역 체감온도 극한현상 발생 시 종관 기후 패턴>, 《기후연구》 13(2), 2018, 87~104.
- 최광용, <한라산 지역의 기후학적 사계절 개시일과 지속기간>, 《한국지역지리학회지》 25(1), 2019, 178~193.

- 최광용, <제주도 아열대 도심 지역의 여름철 열환경 시공간적 패턴>, 《기후연구》 15(1), 2020, 1~20.
- 최광용·David A. Robinson·권원태, <우리나라 사계절 개시일과 지속기간>, 《대한지리학회지》 41(4), 2006, 435~456.
- 최광희·최광용·김윤미 <태풍 블라벤에 의한 제주도 방풍림 조풍(潮風) 피해>, 《대한지리학회지》 49(1), 2014, 18~31.
- 홍기옥·서명석·나득균·장동호·김찬수·김맹기, <GIS와 PRISM을 이용한 고해상도 격자형 기온자료 추정>, 《대기》 17(3), 2007, 255~268.
- Cohen, J., Furtado, J., Barlow, J. M., Alexeev, V., and Cherry, J., 2012, Arctic warming, increasing fall snow cover and widespread boreal winter cooling, *Environmental Research Letters*, 7(1), 014007.
- <http://ceresd.agri.jeju.kr>
- <https://bangjae.jeju.go.kr>

한라산홍서책

한라산의 기후와 기후변화



제 3 장

한라산 지역 기후변화

양상과 미래 변화 전망



여 백

1. 현재 장기간 기후변화 양상과 영향

제주도는 우리나라 최남단에 위치하여 전 지구 온난화에 의한 기후대 이동 현상이 뚜렷하게 나타나는 대표적인 점이지대에 있다. 최근 제주도는 한라산 지역의 기후대 수직적 변화에 의한 한라산 중산간 및 산간지역 식생생태계 변화, 해안지역 아열대화 심화에 따른 농수산업의 변화 등이 뚜렷하게 나타나는 지역에 속한다. 한라산의 기후변화 양상의 세부 시공간적 특징을 파악하기 위해서는 관측망 구축과 장기간 자료 수집이 필요하나 산간 지역으로 갈수록 관측소 운영상의 어려움이 많아 수집된 자료 기간이 저지대 관측소에 비해 상대적으로 짧다. 한라산 중산간 및 산간 지역 대부분 관측소의 수도 적고 수집된 자료 기간도 20년 이내이어서 장기간 기후변화 추세를 파악하기가 쉽지 않다. 따라서 이 장에서는 기상청 산하의 최소 30년 이상 해발고도 200m 이하 동서남북 해안 지역 4개의 종관기상관측소(성산: 1973~2020년, 고산: 1988~2020년, 서귀포: 1961~2020년, 제주: 1924~2020년) 자료에 나타난 기후변화 양상을 우선적으로 분석하였다. 특히 북부 해안 제주 관측소 자료를 바탕으로 지난 약 100여 년 동안의 제주도 기후변화 양상을 분석하였다. 기온, 강수량, 바람 등 기후요소의 평균 및 일 자료에서 추출한 극한기후지수들의 시계열에 일차 추세선을 그려 변화량을 산출하고, 비모수검정(Kendall's tau)을 이용하여 통계적 유의성을 평가하였다. 한라산 동서남북 사면 비교 시에는 자료가 공통적으로 존재하는 약 30여 년 동안(1988~2020년)의 시계열 자료를 분석하였다.

그 후 중산간 및 산간 지역의 기후변화 양상을 파악하기 위해 일부 약 20여 년 동안(2001~2020년) 해발고도 200~600m 중산간 지역에서 운영된 관측 지점(예. 선홍, 유수암) 자료와 해발고도 600~1,300m의 저산간 지역 관측 지점(어리목, 성판악) 자료를 분석하였다. 산간 지역으로 갈수록 관측 자료에 결측 기록이 많아 모든 통계 산출 시 10% 이상의 결측이 있는 연도나 계절의 경우에는 분석에서 제외한 시계열의

일차 추세를 분석하였다. 이러한 기후변화가 제주도 주민과 관광객에 미치는 영향은 신문 등 언론 매체에 언급된 사례들을 수집하여 소개하기로 한다.

기온의 평균과 극한현상의 변화

제주도에서 가장 오랫동안 현대적인 기상-기후 관측이 이루어진 북부 해안 제주 종관기상관측소에서 수집한 기온 자료의 시계열을 살펴보면 IPCC 5차보고서에서 제시한 전 지구 평균 연평균기온 상승률($0.74^{\circ}\text{C}/100\text{년}$)보다 높은 기온 상승 경향이 나타남을 알 수 있다. 지난 약 100여 년 동안(1924~2020년) 제주 관측소의 연평균기온은 약 $2.36^{\circ}\text{C}/100\text{년}$ 의 비율로 빠르게 상승하는 추세를 보였다(그림 3-1). 이는 우리나라 약 100여 년간 장기간 관측 자료가 존재하는 약 6개의 관측 지점(서울, 강릉, 전주, 대구, 목포, 부산) 평균 상승률(약 $1.9^{\circ}\text{C}/100\text{년}$)보다도 큰 값에 해당된다. 제주 관측소의 기온 상승률에는 전 지구 온실기체 증가에 따른 온실 효과 강화에 의한 상승분 이외에 국지적인 열흡수를 강화시키는 콘크리트 피복 면적 증가에 따른 도시 열섬 현상 강화에 의한 상승분도 포함되어 있을 것으로 추정된다. 또한, 이러한 기온 상승에는 최근 쿠로시오 난류의 북상 강도의 변화에 따른 제주도 주변의 해수 온도 상승도 영향을 미쳤을 것으로 추정된다. 지난 100년 동안의 이러한 연평균기온 변화는 시기적으로 크게 1950년대 중반 이전의 온난화 시기, 1950년대 후반~1980년대 중반의 온난화 둔화 시기, 1980년대 후반~현재의 온난화 재개 시기 등 세 시기로 구분된다.

한편, 제주의 주간과 야간 기온의 온난율을 비교해 보면, 연평균 일최저기온 상승률(약 $3.02^{\circ}\text{C}/100\text{년}$)은 연평균 일최고기온 상승률($1.34^{\circ}\text{C}/100\text{년}$)에 비해 2배 이상 큼을 알 수 있다. 이와 같은 주야간 비대칭적 온난화로 인하여 연평균적인 기온의 일교차는 줄어드는 변화 추세를 보인다. 제주도는 아열대 해상에 위치해 있어 한반도 내륙 지역에 비하여 대기 중 수증기가 많은 편이다. 이러한 연중 높은 습도에 의

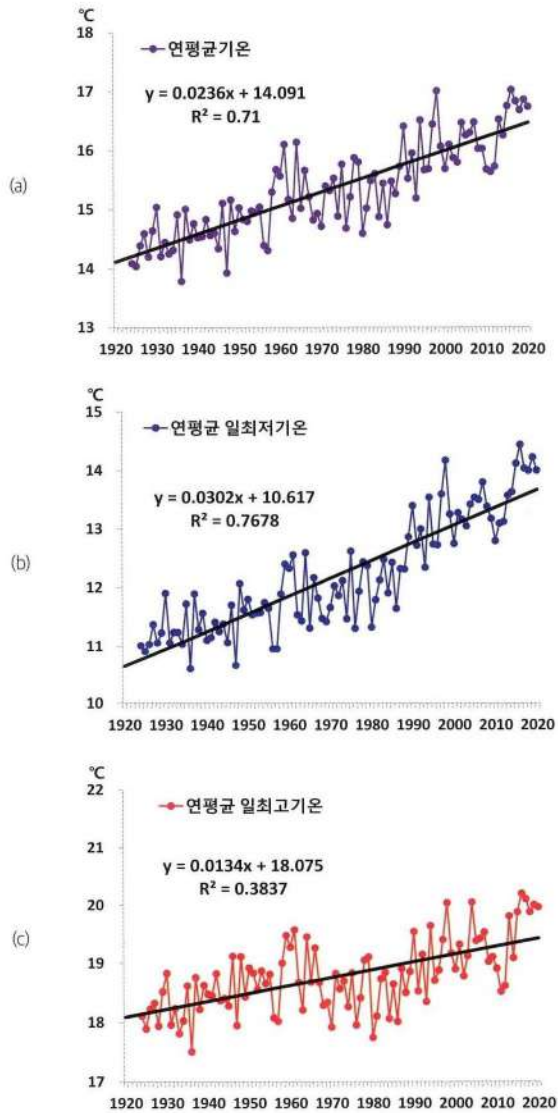


그림 3-1. 제주 관측소(184)의 연평균기온, 연평균 일최저기온, 연평균 일최고기온의 장기간(1924~2020년) 변화

해 일최고기온의 상승률은 다소 둔화되지만, 하루 중 야간에 주로 나타나는 일최저기온은 비열이 상대적으로 큰 해수 수온 상승의 영향으로 일최고기온 상승 정도보다 더 높은 상승률을 보이게 된다.

제주에서는 남한 평균 상승률보다 높은 기온상승 경향에 따라 20세기 후반 이후에 특정 연도는 전례 없는 고온상태를 자주 보였다(그림 3-1). 제주의 연평균기온은 지난 약 100여 년(1924~2020년) 중 1998년에 17.0℃로 가장 높은 값을 처음 기록하였고, 다시 2016년도에 17.0℃의 동일한 최고값을 나타냈다. 이는 1920년대 초반에 비해 약 3℃ 이상 높은 값에 해당된다. 한편, 연평균 일최고기온의 극값 발생 기록을 살펴보면, 2016년에 20.2℃로 가장 높게 나타났고, 2014년과 2017년에 20.1℃, 1998년과 2019년에도 20.0℃로 높은 값을 보였다. 연평균 일최저기온도 지난 약 100여년 중에 2016년에 14.4℃로 가장 높은 값을 기록하였고, 1998년과 2019년에 14.2℃, 2017년, 2018년, 2020년에도 14.0℃로 높은 값을 보였다. 연평균 일최고기온과 일최저기온 모두 최근 2015~2020년 동안에는 연속적으로 이러한 최고값과 유사한 높은 연평균기온 값들을 자주 기록하면서 평년보다 이례적으로 높은 기온을 보이는 해의 발생 재현 기간도 점차 짧아지고 있음을 알 수 있다.

좀 더 세부적으로 지난 약 100여 년 동안 제주 관측 지점의 3개월 단위 기상학적 계절별 온난화율을 비교해 보면, 제주의 평균기온 상승률은 사계절 중 봄철에 가장 높게 나타났다(그림 3-2). 봄철(3~5월) 상승률은 약 3.14℃/100년이었고, 가을철(9~11월) 상승률도 2.42℃/100년으로 높게 나타났다. 개별 연도 기록을 살펴보면 봄철 평균기온은 2018년에 15.5℃로 가장 높게 나타났는데, 이는 1920년대 초반에 비해 최소 4℃ 이상 높은 값에 해당된다. 가을철 기온의 경우에는 1975년 19.5℃로 가장 높게 나타났지만, 2005년과 2019년에도 19.4℃로 높은 값을 보였다. 반면, 겨울철(12~2월) 평균기온 상승률은 약 2.01℃/100년, 여름철(6~8월) 평균기온 상승률은 1.91℃/100년으로 봄철과 가을철 평균기온 상승률보다는 작게 나타났다. 과거 약 100여 년 동안의 장기간 관측자료가 존재하는 한반도 지역 약 6개 관측 지점 평균

여름철 평균기온은 여름철 강수량 증가의 영향으로 통계적으로 유의미한 증가 경향을 보이지 않는다(Choi et al., 2008). 반면, 제주도 북부 해안 제주에서는 여름철 비가 많지만 여름철 강수량은 통계적으로 뚜렷한 변화가 없는 가운데 여름철 평균기온이 통계적으로 유의미한 증가 경향을 보인다. 2010년 이전에는 우리나라기온 변화 전반적으로 사계절 중 겨울철 기온 상승률이 상승 정도가 가장 컸으나(Choi et al.,

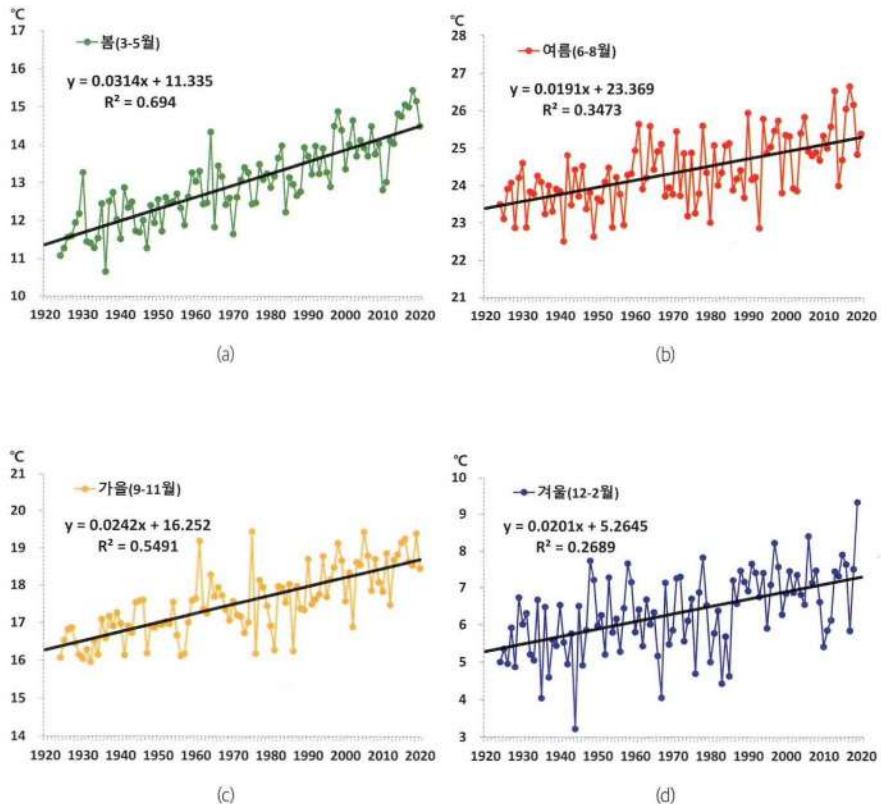


그림 3-2. 제주 관측소(184)의 기상학적 사계절 평균기온의 장기간(1924-2020년) 변화

2008), 2000년대 후반 이후 북극해빙 감소에 따른 잦아진 한기의 중위도 방향 남하 현상에 의해 겨울철에 전례 없는 강추위가 발생하면서(Cohen et al., 2012) 제주의 겨울철 평균적인 기온 상승정도도 둔화된 것으로 판단된다(최광용, 2020). 이러한 기온 상승률 둔화에도 불구하고 뚜렷한 장기간 상승 경향과 함께 제주 관측소의 2019년 겨울철 평균기온은 9.3℃로 역대 최고값을 기록하였다. 여름철 평균기온도 2017년에 26.7℃, 2013년에 26.5℃로 전례 없는 높은 값을 보였다.

제주도 해안 지역 기상청 산하 4개 종관기상관측소에서 공통적으로 관측한 최근 약 30여 년(1988~2020년) 동안의 기온 변화를 비교해 보면, 연평균기온의 상승률은 한라산 사면 기준 동서남북 지역별로 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 우선, 연평균기온 상승률은 북부 해안 제주(0.29℃/10년)와 동부 해안 성산(0.20℃/10년) > 남부 해안 서귀포(0.17℃/10년) > 서부 해안 고산(0.14℃/10년) 순으로 높게 나타났다. 1990년대에 도시화가 빠르게 진행된 북부 해안 제주 관측소와 1988년 이전 자료가 없는 서부 해안 고산 관측소를 제외하면 남부 해안 서귀포와 동부 해안 성산에서는 1980년대 후반 이전의 기온이 낮은 시기가 시계열에 포함되지 않았다. 그 결과 제주도의 4개 종관기상관측소에서도 1970년대~현재까지의 연평균기온 상승률(Choi et al., 2008)에 비해 1988년 이후 자료 시계열에서 추출한 상승률은 상대적으로 작은 값을 보이는 것이다.

제주도 동서남북 해안 지역 4개 관측소의 기상학적 계절별 평균기온 상승률을 비교해 보면, 겨울철 평균기온은 동서남북 모든 해안지역에서 뚜렷한 증감 변화가 관찰되지 않는다(그림 3-3). 심지어 서부 해안 고산의 경우에는 통계적 유의성은 낮지만 겨울철 평균기온이 오히려 -0.01℃/10년으로 감소하는 추세를 보였다. 2000년대 후반 이후 시기에는 겨울철에는 시베리아 기단이 확장하면서 동아시아 전체적으로 전례 없는 극한저온현상이 자주 발생하여 1980년대 이후 전체 기간 동안의 기온상승률은 둔화되었기 때문이다. 동서남북 해안 중 시베리아 기단에서 발원하는 한랭건조한 기류의 영향을 직접적으로 받는 서부 해안 고산에서도 겨울철 평균

기온은 2010/2011년, 2012/2013년, 2019/2020년 겨울철에 최근 30년(1991~2020년) 평균대비 -2.0 표준편차 이상으로 낮은 값을 보였다. 이는 최근 온난화에 의해 북극해(예. 카라/바란츠 해)의 해빙이 녹으면서 여름철에 태양 복사에너지 흡수량이 증가하였다가 가을철부터 시베리아 지역에 눈 피복이 증가되어 시베리아 기단이 더욱 한랭건조해졌기 때문인 것으로 사료된다(Cohen et al., 2012).

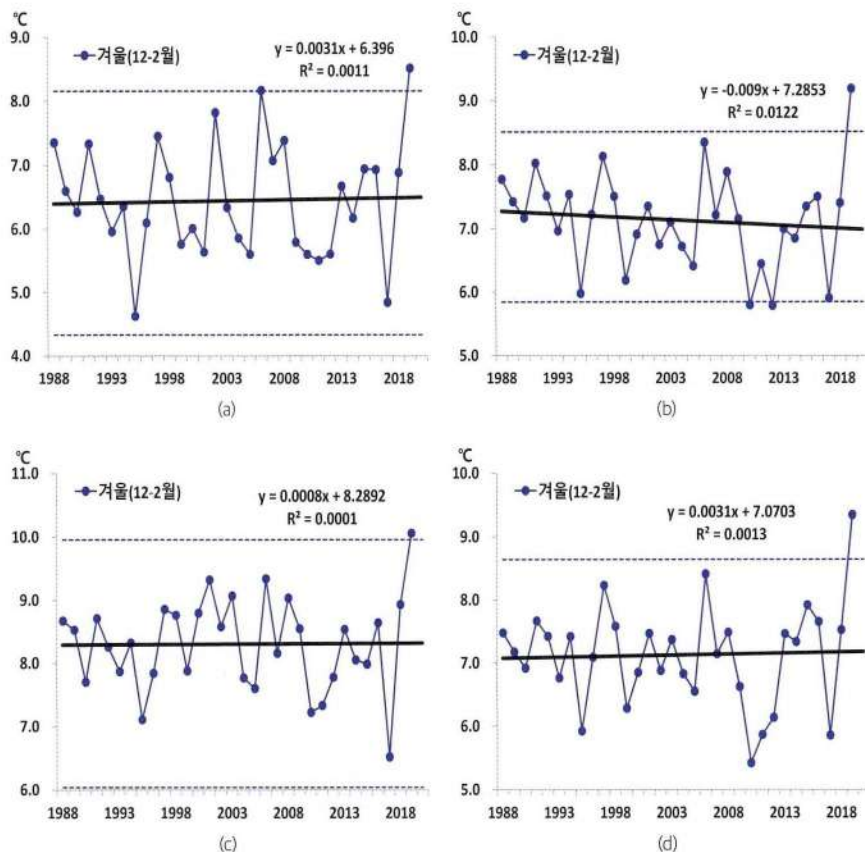


그림 3-3. 제주도 해안 지역((a)성산, (b)고산, (c)서귀포, (d)제주) 겨울철(12~2월) 평균기온 변화

* 파선은 ± 2.0 표준편차를 가리킴.

한편, 제주도 동서남북 해안 지역 4개 관측 지점 여름철 평균기온을 살펴보면, 모든 해안 지역에서 증가하는데 강수량이 일부 증가를 보이는 동부 해안으로 갈수록 기온 상승률이 상대적으로 작아짐을 알 수 있다(그림 3-4). 도시화가 가장 많이 진행된 제주에서 0.37℃/10년의 가장 높은 상승률을 보였다. 이외에도 여름철 평균기온은 도시화의 영향이 거의 없음에도 불구하고 서부 해안 고산에서 0.23℃/10년,

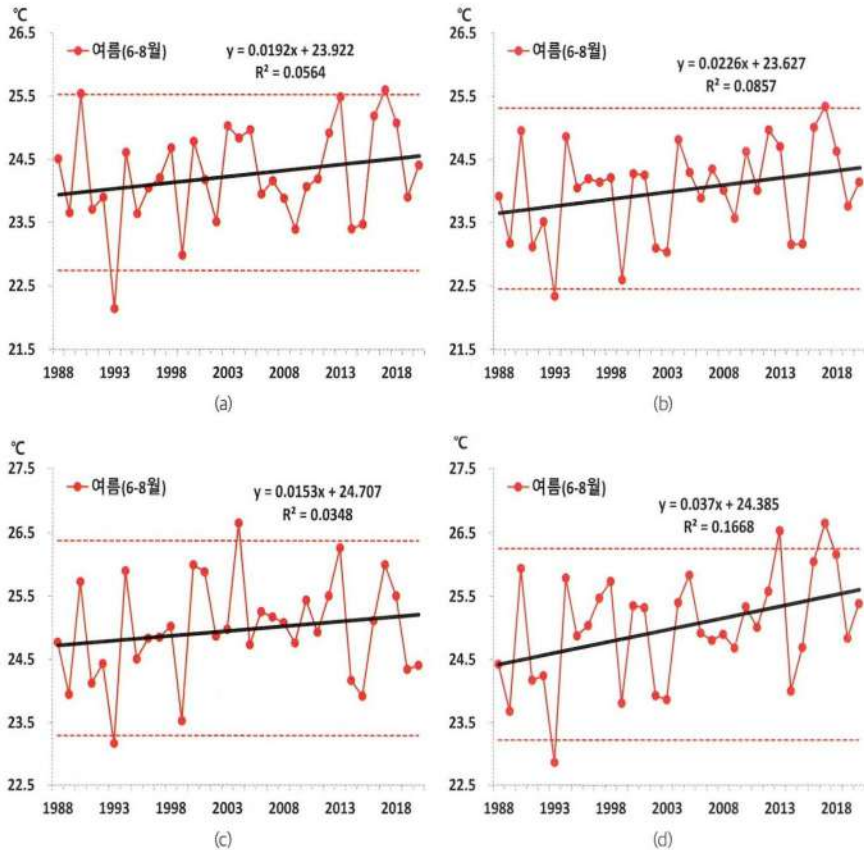


그림 3-4. 제주도 해안 지역((a)성산, (b)고산, (c)서귀포, (d)제주) 여름철(6~8월) 평균기온 변화

* 파선은 ± 2.0 표준편차를 가리킴.

동부 해안 성산에서 $0.19^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 상승률을 보였다. 이러한 기온 상승 경향과 더불어 제주도가 아열대 해상에 위치하여 습도도 높아 인체가 체감하는 체감온도는 기온보다 더 높은 상승률을 보이고 있다(최광용, 2018). 남한 전체적으로는 여름철 강수가 증가하면서 여름철 평균기온에 뚜렷한 상승 경향을 찾아볼 수 없지만(Choi et al., 2008), 제주도의 경우에는 기온 상승 경향이 한반도 지역보다 뚜렷하게 나타나는데, 이는 강수량 증가 경향이 뚜렷하지 않은 것과 관련성이 있을 것으로 추정된다. 또한, 최근 북서 태평양 지역으로 아열대 고기압이 자주 장출하면서 고온 현상이 자주 나타나기 때문인 것으로 짐작된다. 이들 관측소의 개별 연도 기록을 살펴보면, 여름철 평균기온이 장기간 평균 대비 +2.0 표준편차 이상 값 이상의 무더운 기록을 나타내는 연도가 지역별 차이가 다소 있는 경우도 있었음을 알 수 있다. 북부 해안 제주에서는 2013년과 2017년에 여름철 평균기온이 평년에 비해 +2.0 표준편차 이상으로 높게 나타났지만, 남부 해안 서귀포에서는 2004년과 2013년에 높게 나타났다. 동부 해안 성산에서는 1990년, 2013년, 2017년에 +2.0 평년에 비해 표준편차 이상으로 높은 값을 보였지만, 서부해안에서는 2017년에만 +2.0 표준편차 이상의 높은 값을 보였다. 대체로 강수가 많은 해에는 기온이 높게 상승하기 어렵기 때문에 이러한 지역별 차이는 해당 연도의 평년 대비 강수량 증감 정도와도 관련성이 있을 것으로 추정된다.

한라산 지역의 기후변화 양상을 살펴볼 수 있는 기상청 산하 AWS 중 한라산 중산간 및 산간 지역에서 장기간 기상·기후 관측을 해오고 있는 관측소 수는 매우 드물다. 우선 한라산 중산간 북서사면에 위치한 유수암(425m)과 북동사면에 위치한 선흘(251m) AWS에서 수집한 연평균기온(연중 10% 이상 결측 시 해당 연도 제외)의 장기간(1991~2020년) 시계열에 나타난 일차 추세선을 살펴보면 1990년대 초반에 일부 결측 자료가 있어 불확실성이 있기는 하지만 이를 고려하더라도 전체 기간동안 뚜렷한 증감 추세는 관찰하기 어렵다(그림 3-5). 이들 관측지점의 기상학적 계절별 평균기온 장기간 변화 추세를 살펴보면 지점별로 변화 추세가 상이함을 알 수 있다.

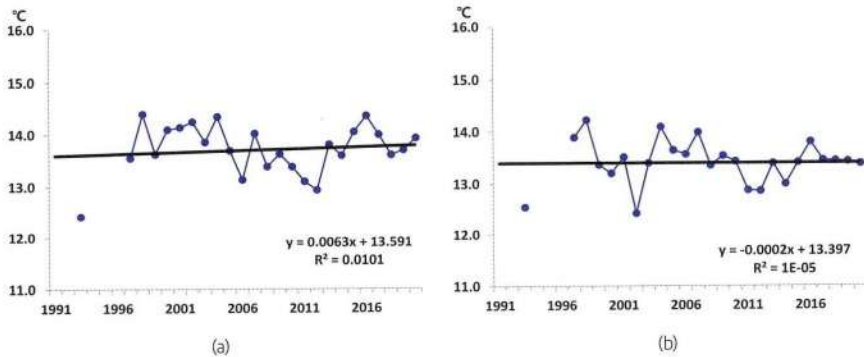


그림 3-5. 한라산 중산간 지역((a)선흘, (b)유수암) 장기간 연평균기온 변화

북서부 사면에 위치한 유수암의 경우에는 여름철 평균기온은 $0.24^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 비율로 증가하는 추세를 보였지만, 다른 계절에는 평균기온의 변화 정도도 매우 작게 나타났을 뿐만 아니라 통계적 유의성도 매우 낮게 나타났다. 반면, 북동부 사면에 위치한 선흘은 겨울철 평균기온이 일부 상승 추세를 보였으나, 통계적 유의성은 낮게 나타났다. 중산간 지역의 두 관측 지점에서 평균기온 상승이 나타나지 않은 계절에는 강수량은 모두 증가하는 추세를 보인다. 반면, 평균기온이 상승하는 계절의 강수량은 감소하는 추세를 보였다. 이는 최근 온난화에 의해 한라산 중산간 지역에서는 지형성 강수현상이 증가하면서 기온 상승률이 둔화되었을 가능성을 제시하고 있다.

한편, 한라산 산간 지역에서는 해안 지역과 유사하게 연평균기온뿐만 아니라 사계절 평균기온도 통계적으로 유의미한 증가 추세를 보였다. 북서사면 산간 지역에 위치한 어리목(968m) AWS의 2000년 이후 약 20여 년 동안의 연평균기온은 약 $0.32^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 비율로 증가하는 추세를 보이고 있다(그림 3-6). 동사면 산간 지역에 위치한 성판악(760m)에서도 수집된 자료 기간이 20년 내외로 짧은 편이지만 연평균기온이 약 $0.28^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 한라산 해발고도

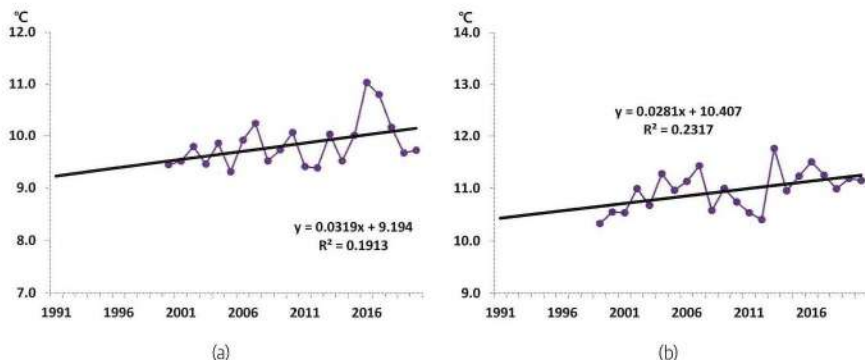


그림 3-6. 한라산 산간 지역((a)어리목, (b)성판악) 1990년대 후반이후 연평균기온 변화

1,300m 이상 고산간 지역에 위치한 진달래밭(1,489m)은 단기간 자료를 분석하면 관측연도가 2003년부터 시작되고, 결측이 많아 10% 이상 결측된 해의 자료를 분석에서 제외하면 약 13년도 정도의 자료만 남게 된다(자료 미제시). 단기간 시계열에서 일차 추세선을 추출하고 그 통계적 유의성을 검정한 결과는 다소 불확실성이 크나 진달래밭의 연평균기온은 통계적으로 유의미한 약 0.14°C/10년의 증가율을 보인다. 해발고도가 가장 높은 곳에 위치한 윗세오름(1,666m)의 경우에도 연평균기온이 약 0.13°C/10년의 통계적 유의성이 불확실하기는 하지만 증가 추세를 보인다(자료 미제시). 즉, 자료 기간이 짧고 결측이 많아 분석된 결과에 불확실성이 포함되어 있지만, 이들 고산간 지역의 제한된 자료에서도 한라산 산간 지역에서 온난화가 진행되고 있음을 보여주고 있다.

겨울철 주간 극한저온현상과 관련하여 지난 약 100여 년 동안(1924~2020년) 북부 해안 제주 관측소의 일최고기온 0°C 이하의 결빙일(ice days)의 장기간 변화를 살펴보았다(그림 3-7). 이 시계열에 따르면, 제주도 해안 지역은 아열대 기후대에 속해서 결빙일의 발생빈도가 원래 적지만 1990년 이후에는 거의 발생하지 않았음을 알 수 있다. 2012년과 2018년에 각각 1일과 2일을 제외하면 결빙일은 1991년 이후에는 발생

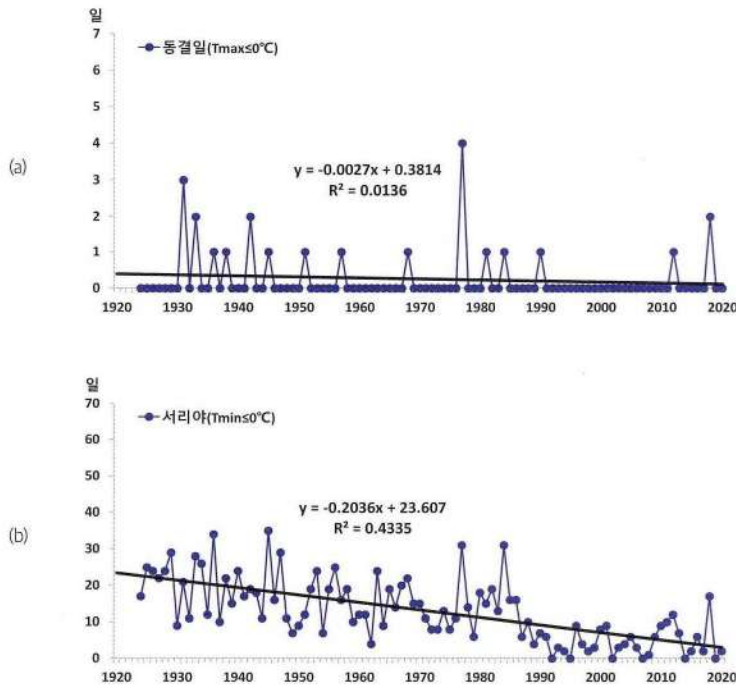


그림 3-7. 제주(184)의 극한저온현상 장기간(1924~2020년) 변화

하지 않고 있다. 한편, 연중 야간 극한저온현상의 변화와 관련하여 일최저기온 0℃ 이하의 서리야(frost nights)의 장기간 변화를 살펴보면 약 -20일/100년의 비율로 뚜렷하게 감소하는 추세를 보임을 알 수 있다. 특히, 전 지구적으로 그리고 한반도뿐만 아니라 제주도에서도 뚜렷한 기온 상승 경향이 나타나는 1980년대 후반 이후로 제주 관측소의 서리야 발생빈도도 감소추세가 두드러진다. 한편, 여름철 주간 고온극한현상 측면에서 일최고기온 25℃ 이상을 보이는 여름일(summer days)의 발생빈도의 장기간 변화 추세를 살펴보면, 북부 해안 제주에서 여름일이 약 19일/100년의 비율로 증가하는 추세를 보임을 알 수 있다(그림 3-8). 연중 제주도 북부 해안 제주 관측

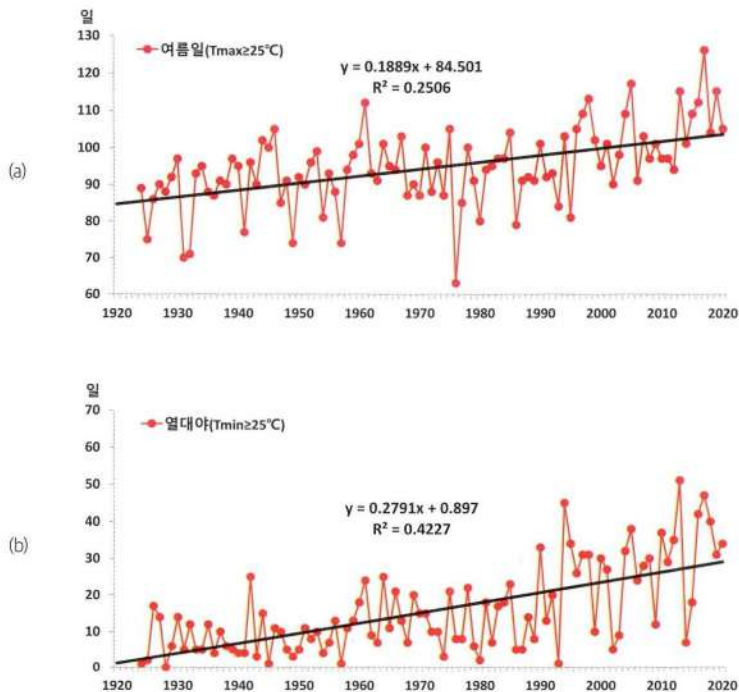


그림 3-8. 제주(184)의 극한고온현상 장기간(1924~2020년) 변화

지점의 여름일 발생빈도는 1920년대 초반에는 약 85일이었으나, 2010년대에는 약 120일 내외로 증가하였다. 특히, 제주의 연중 여름일의 발생빈도는 2017년에는 126일로 지난 100여년 중 가장 높게 나타났다. 여름철 야간 극한고온현상과 관련하여 일최저기온 25°C 이상 열대야(tropical nights) 발생빈도의 장기간 변화를 살펴보면, 북부 해안 제주에서 지난 100여년 동안 약 28일/100년의 비율로 증가하는 추세를 보임을 관찰할 수 있다. 여름철 이들 현상의 변화정도를 비교하면 주간 고온극한현상인 여름일의 장기간 변화율보다 야간 고온극한현상인 열대야의 장기간 변화율이 더 큼을 알 수 있다. 이러한 주야간 비대칭적인 고온극한현상 증가 추세는 최근 제주

도 주변의 수온 상승 경향과 제주도 주변을 거쳐 북상하는 쿠로시오 난류의 흐름과 관련성이 있을 것으로 추정된다. 난류 유입이 강화되고 수온이 상승하면 야간에도 지속적으로 주변 대기로 전달되는 열이 증가하여 장기적으로 야간 기온이 상승하는 것을 심화시킬 것으로 사료된다. 또한, 부가적으로 북부 해안 제주 관측소 주변은 지난 100여 년 동안 눈에 띄는 도시화 과정을 겪은 것도 이러한 고온극한현상의 변화에 영향을 주었을 것으로 추정된다. 1990년대 이후 제주시 건입동 제주관측소 주변에 태양복사에너지를 잘 흡수하는 콘크리트로 된 주택이 면적이 팽창하면서 여름철에도 도시 열섬 현상이 강화된 것으로 추정된다. 이러한 여러 요인들이 결합되어 제주 관측소에서 열대야는 1920년대 초반(약 10일 내외)에 비해 2010년대(약 40일 내외)에는 약 4배 정도 증가하였다. 특히, 1990년대 중반 이후 증가 경향이 뚜렷하게 나타나, 열대야가 2013년도에는 51일로 지난 100년 중 가장 높은 발생빈도를 보였고, 2017년(47일)과 1994년(45일)에도 높은 발생빈도를 보였다.

4개 종관기상관측소 자료가 모두 수집되기 시작한 1980년대 후반 이후(1988~2020년) 동서남북 해안 지역별로 주간 극한고온현상인 일최저기온 25℃ 이상을 보이는 열대야의 발생빈도 변화를 살펴보면, 모든 지역에서 증가 추세를 보이지만 특히 도시화가 많이 진행된 북부 해안 제주에서 그 증가율이 가장 높게 나타나고 있음을 알 수 있다(그림 3-9). 제주 관측소에서 열대야 발생빈도 증가율은 5.4일/10년으로 나타났다. 남한 종관기상관측소 중에서 장기간 평균적으로 연중 열대야 발생빈도가 가장 높은 남부 해안 서귀포에서도 2.8일/10년의 증가율을 보였다. 비도시 지역에 해당되는 동부 해안 성산 관측소의 열대야 증가율도 4.6일/10년으로 북부 해안 다음으로 높게 나타났다. 서부 해안 고산에서 열대야 증가율은 3.5일/10년을 나타냈다. 제주도 해안 지역의 열대야는 이러한 장기간 증가 경향에 의해 2010년대로 올수록 전례 없는 높은 발생빈도를 보였는데, 동서남북 지역마다 그 해당 연도는 상이하다(그림 3-9). 4개 종관기상관측소 중 열대야 장기간 평균 발생빈도가 가장 작은 동부 해안 성산에서는 2016년(32일), 2013년(31일), 2010년(28일)

에 열대야 발생빈도가 높게 나타났다. 서부 해안 고산에서는 2018년(38일), 2017년(37일), 2013년(36일), 2010년(35일)에 열대야 발생빈도가 높게 나타났다. 북부 해안 제주에서는 2013년(51일), 2017년(47일), 1994년(45일)에 열대야가 많이 발생하였고, 남부 해안 서귀포에서는 2013년(52일), 2010년(49일), 2004년(47일), 2017년(45일)에 열대야 발생빈도가 높게 나타났다.

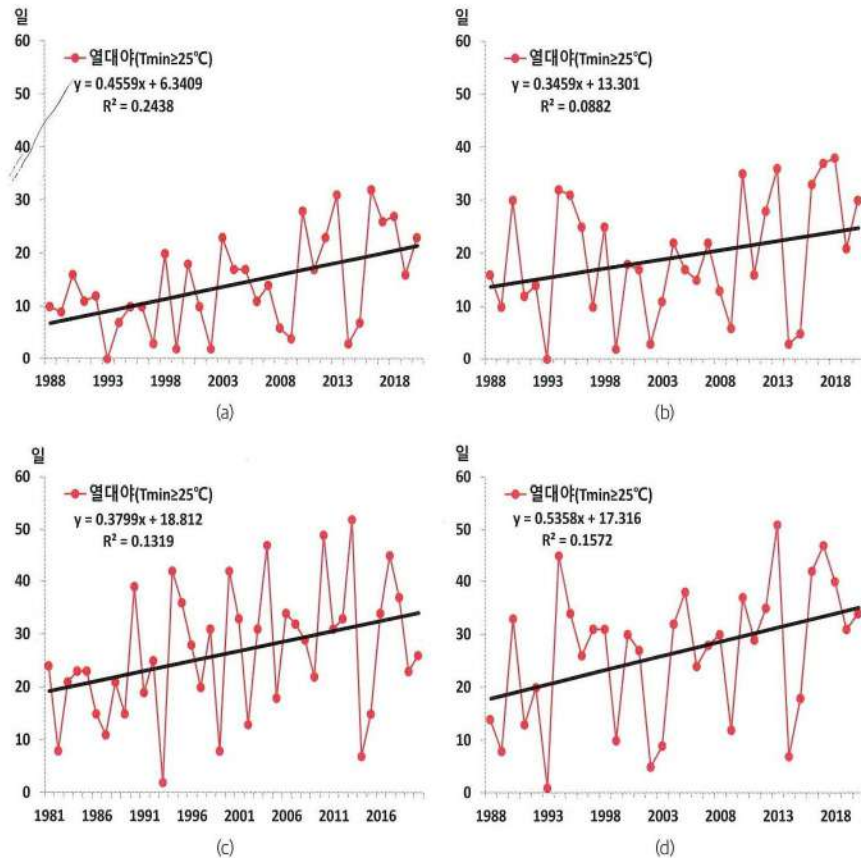


그림 3-9. 제주도 해안 지역((a)성산, (b)고산, (c)서귀포, (d)제주) 열대야(일최저기온 25°C 이상) 발생빈도 변화

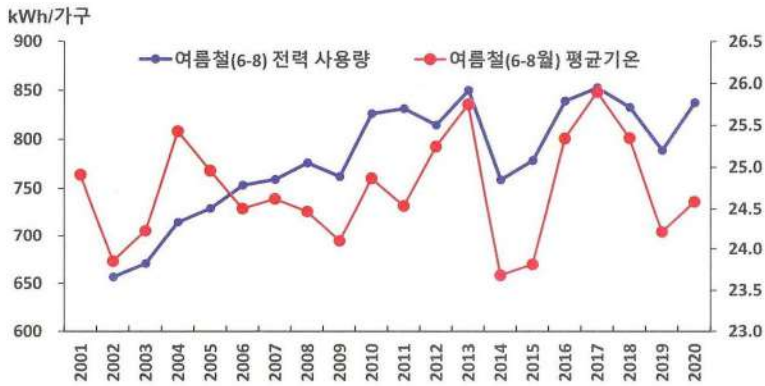


그림 3-10. 최근 20년 동안(2001~2020년) 제주도 해안 지역 여름철(6-8월) 평균기온과 가구당 전력 사용량 변화

이러한 고온극한현상 증가의 영향과 관련하여 최근 20년(2001~2020년) 동안 여름철 가구당 전력 사용량을 살펴보면, 실제 인구가 밀집된 제주 지역에 고온현상이 자주 발생했던 무더웠던 2013년과 2017년에 전력사용량도 급증하였음을 알 수 있다(그림 3-10). 따라서 향후 이러한 고온극한현상 증가 추세가 지속되면 특정 해에는 전력 생산 가능량을 초과할 가능성도 높아질 것으로 예상된다. 제주도는 도서 지역의 특



그림 3-11. 제주 지역 무더위에 의한 전력 수요 급증 사례
출처: News1(2017년 7월 21일자 온라인 판)

정상 전력 생산량이 수요량을 초과할 때 다른 지역에서 전력을 추가적으로 공급할 수 있는 가능성이 낮다. 또한, 최근 해안 지역을 중심으로 아열대화가 더욱 심화되고 있어서 성하기에 강력한 열파(폭염), 열대야 등 전례없는 무더위가 발생하면 전력 사용 과부하로 인해 지역 전체 규모의 단전(blackout)이 발생할 가능성이 높다. 실제 제주도에서는 최근 해마다 에너지 소비량이 증가하는 가운데 고온현상이 자주 발

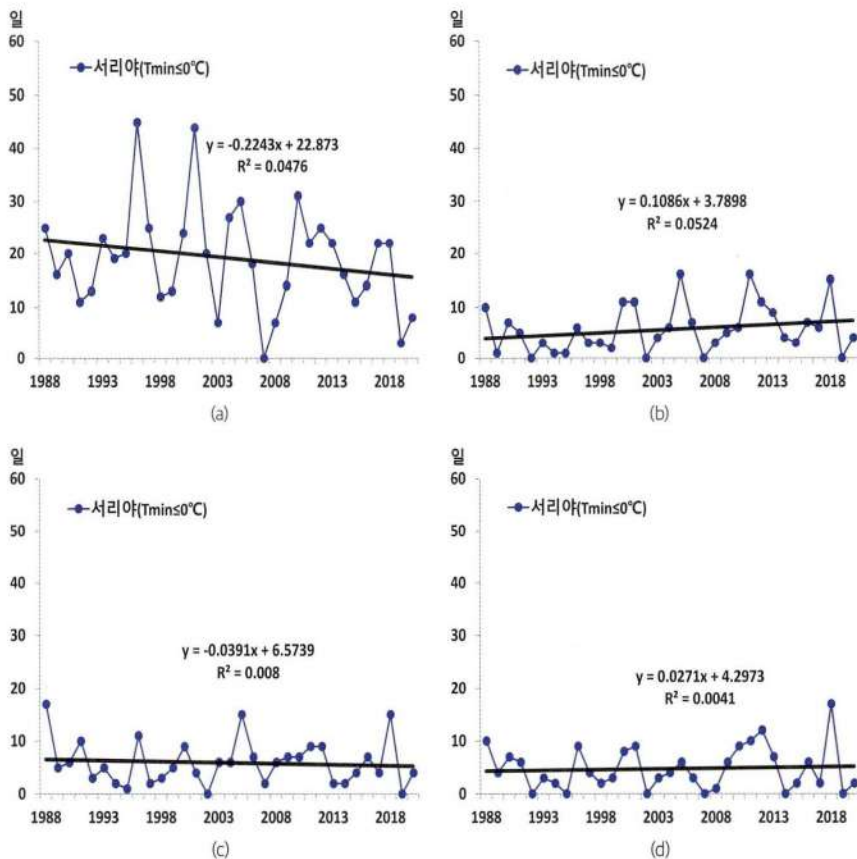


그림 3-12. 제주도 해안 지역((a)성산, (b)고산, (c)서귀포, (d)제주) 서리아(일최저기온 0°C 이하) 발생빈도 변화

감귤 냉해 피해 우려

보도일자 2020-04-22 JIBS 조광범 기자



그림 3-13. 봄철 서리에 의한 농작물 피해 사례

출처: JIBS 보도 자료(2020년 4월 22일)

생함에 따라 여름철 고온일 전력 수요 최고치는 계속 경신되고 있다(그림 3-11).

한편, 아열대 지역에서 발생하는 겨울철 야간 저온극한현상과 관련하여 일최저 기온 0°C 이하 서리야의 발생빈도는 최근 온난화의 경향에도 불구하고 최근 30여 년 동안(1988~2020년) 제주도 동서남북 전체 해안 지역에서 통계적으로 유의미한 뚜렷한 감소 경향을 보이지는 않는다(그림 3-12). 2010년대에 접어들어서도 1980년대 후반과 비슷한 서리야 발생빈도를 보이는 사례가 나타나고 있다. 예를 들어, 남부 해안 서귀포의 경우 2018년 서리야 발생빈도는 장기간 평균값의 3배인 18일에 달하였다. 2018년에는 북부 해안 제주에서도 서리야 발생빈도가 17일로 장기간 평균값의 4배에 달하였다. 서부 해안 고산에서도 서리야는 2005년(16일), 2011년(16일), 2018년(15일) 순으로 높은 발생빈도를 보였다. 반면, 동부 해안 성산에서는 1996년(45일), 2001년(44일)에 서리야 발생빈도가 높게 나타났다. 제주도 해안 지역에서

봄철 개화 시기에 서리 현상이 발생하게 되면 감귤 등 봄철 과수 재배에 큰 피해를 주게 된다(그림 3-13).

강수의 평균과 극한현상의 변화

제주도에서 가장 오랫동안 현대적인 강수량을 측정해온 북부 해안 제주 관측소 자료에 따르면, 지난 약 100여 년 동안(1924~2020년) 연강수량은 통계적으로 유의미한 증감 변화를 보이지 않는다(그림 3-14). 반면, 연중 0.1mm 이상 강수일의 발생 빈도는 약 20일/100년의 비율로 감소하는 추세를 보였다. 이에 따라 제주의 연강수량을 연중 강수일수로 나눈 연평균 강수강도는 통계적 유의성은 낮지만 증가하는 추세를 보이고 있다. 특히, 1980년대 중반 이후로 강수일수가 뚜렷하게 감소하였고, 2010년대 중반 이후에도 강수일수가 눈에 띄게 감소하여 통계적 유의성은 다소 약하지만 연평균 강수강도가 강해지는 추세를 보이고 있다. 이에 따라 제주에서는 과거에 비해 21세기로 올수록 연중 강수가 특정 날짜에 집중되는 호우성 강수현상에 의해 많은 홍수피해를 입을 수 있는 가능성이 증가하고 있다.

북부 해안 제주 관측소의 연강수량은 장기간 통계적으로 유의미한 증감 추세를 보이지는 않지만, 1980년대 중반 이후 특정 해에는 장기간 평균값을 훨씬 상회하는 값을 보이는 경우가 자주 발생하고 있다(그림 3-14). 가령, 1999년은 약 2,526mm, 1985년 약 2,421mm, 2012년 약 2,248mm, 2007년 약 2,140mm로 평년에 비해 약 800~1,200mm가량 더 많았다. 연중 0.1mm 이상 강수일수가 높은 해들은 주로 1980년대 중반 이전에 나타났다. 가령, 1980년에는 연중 강수일수가 170여 일에 달하였고, 1963년에 164일, 1949년에 163일에 달하였다. 그러나, 1994년에는 100여 일에 불과하였고, 2017년에도 97일, 2019년에 107일로 강수일수가 평년에 비해 작게 나타났다. 그 결과 강수강도가 높은 해들은 1980년대 중반 이후에 나타났는데, 특히, 2019년에 18.5mm/일로 연평균 강수강도가 가장 높게 나타났고, 2007년,

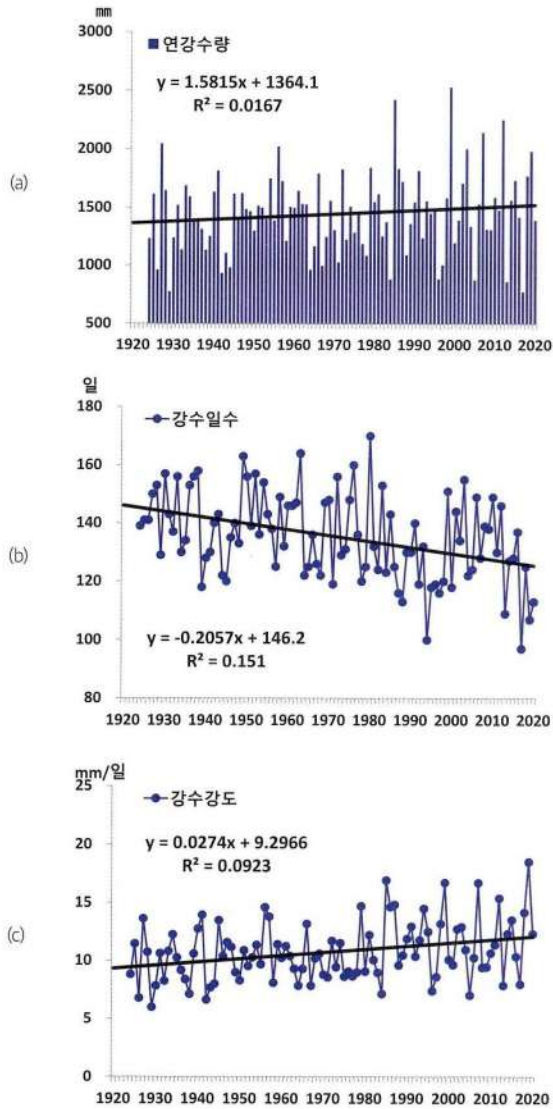


그림 3-14. 제주 관측소(184)의 연강수량(a), 강수일수(b), 강수강도(c)의 장기간(1924~2020년) 변화

1999년, 1985년에도 강수량이 평년에 비해 훨씬 높게 나타났다.

좀 더 상세하게 기상학적 계절별 강수량 시계열을 살펴보면 지난 약 100여년간 (1924~2020년) 북부 해안 제주 관측 지점에서는 사계절 강수량은 십년 전후의 변동성을 보였지만 통계적으로 유의미한 증감 추세는 보이지 않았다(그림 미제시). 일부 2003년 봄철, 1999년 여름철, 2007년 가을철에는 각 계절별 장기간 평균값의 2배

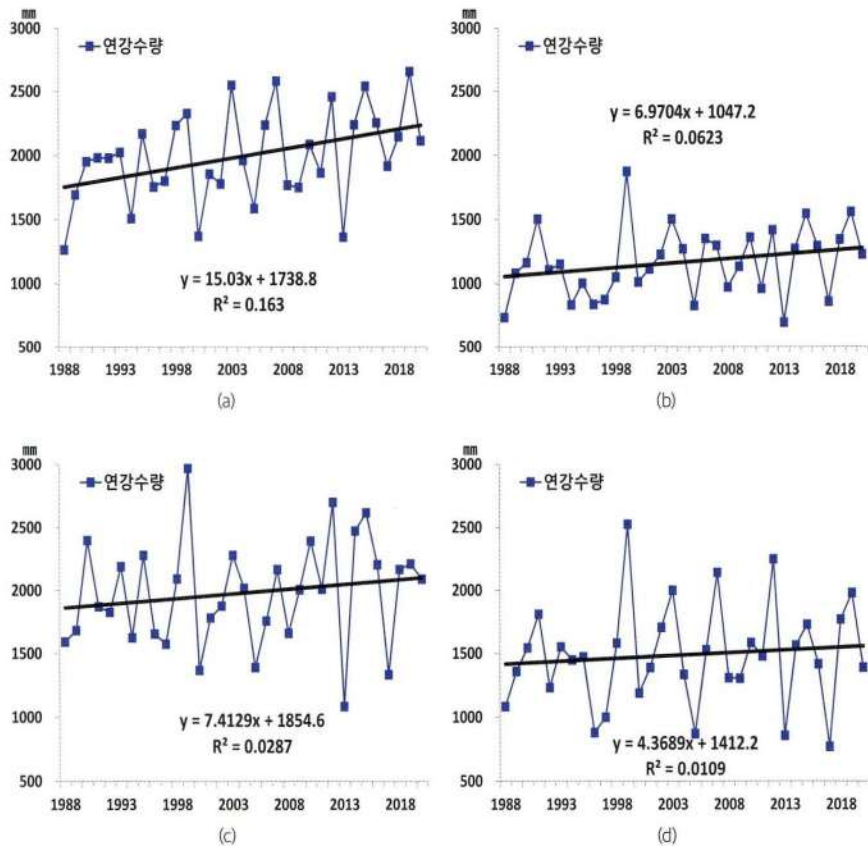


그림 3-15. 제주도 해안 지역((a)성산, (b)고산, (c)서귀포, (d)제주) 연강수량 변화

이상에 달하는 이례적으로 많은 강수량을 기록하기도 하였다.

강수 현상은 국지성이 강하고 제주도의 중심에는 한라산(1,950m)이 자리잡고 있어 동서남북 사면별로 강수의 변화 양상도 상이하게 나타난다. 최근 약 30여 년(1988~2020년) 동서남북 해안 지역에 위치한 4개 종관기상관측소의 연강수량 시계열 자료를 살펴보면 동부 해안 성산에서는 통계적으로 유의미한 증가 경향(150mm/10년)을 보인다. 그러나 그 이외의 다른 해안 지역에서는 일차 추세선의 기울기 값이 양(+)의 값을 보이긴 하지만 통계적 유의성이 낮은 편이어서 뚜렷한 증가 패턴을 보인다고 하기는 어렵다. 대신, 대체로 2~3년 주기로 연강수량이 늘었다가 줄어드는 경년 변동 패턴을 보이는데, 동서남북 각 해안 지역별로 연강수량이 눈에 띄게 많았던 극값을 보이는 해들이 일치하는 경우도 있지만 일부 지역에 따라 상이한 경우도 나타났다. 동부 해안 성산에서는 2019년, 2007년, 2003년 순으로 연강수량이 많았지만, 서부 해안 고산에서는 1999년에만 눈에 띄게 평년대비 강수량이 많았다. 남부 해안 서귀포에서는 1999년, 2012년, 2015년에 평년에 비해 연강수량이 많았지만, 북부 해안 제주에서는 1999년, 2012년, 2007년 순으로 연강수량이 많았다. 반면, 연강수량이 적어 가뭄 발생률이 높았던 해는 동서남북 해안에 상관 없이 일치하는 경향을 보였다. 대체로 2013년, 2017년, 2000년, 2005년에는 모든 관측 지점에서 연강수량이 평년에 비해 눈에 띄게 적었다. 가뭄을 초래하는 고기압의 정체 현상은 제주도 전체지역보다 훨씬 더 큰 종관 규모로 나타나기 때문이다. 다만 관측 기간 동안 최저값을 보인 해는 북부 해안 제주(2017년)와 남부 해안 서귀포(2013년)에 일부 차이를 나타냈다.

한라산 중산간 및 산간 지역으로 갈수록 기상·기후 관측 기간이 짧고 결측이 발생한 사례가 많기는 하지만 최근 30년(1991~2020년) 기간 중 결측 10% 이하인 경우만을 추출하여 한라산 해발고도 200~600m 중산간 지역에 위치한 선흘과 유수암의 연강수량의 시계열을 살펴보았다. 연강수량의 증가 추세가 일부 관찰되기는 하지만 1993년과 같은 특정 해를 제외하면 일차 변화 추세선의 기울기도 줄어

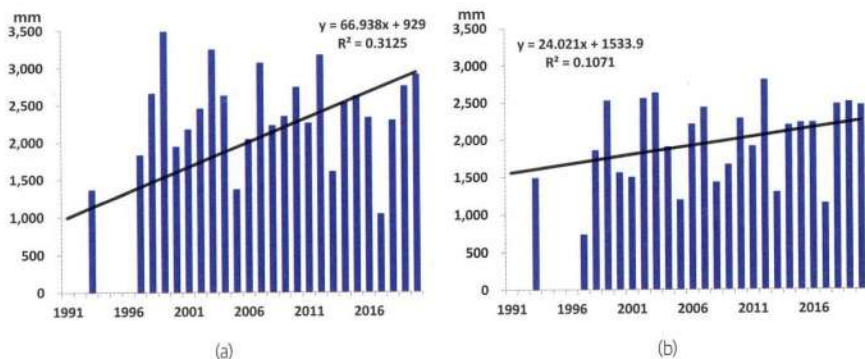


그림 3-16. 한라산 중산간 지역((a)선흘, (b)유수암) 장기간 연강수량 변화

들고 통계적 유의성도 낮게 나타났다(그림 3-16). 다만 연강수량이 1999년, 2003년, 2007년, 2012년, 2020년에는 평년에 비해 많았고, 반대로 1993년, 2005년, 2013년, 2017년에는 평년에 비해 눈에 띄게 적었다. 한라산 해발고도 고도 600m 이상 산간 지역에 위치한 어리목과 성판악의 연강수량은 최근 30년 자료 중 약 20여 년 정도만 자료가 가용하다. 이 제한된 자료를 바탕으로 장기간 변화 추세를 살펴보면, 북서사면에 위치한 어리목에서는 연강수량이 증가하는 경향이 나타났지만, 동사면에 위치한 성판악에서는 뚜렷한 증감 패턴이 나타나지 않았다(그림 3-17). 이들 산간 지역 관측 지점의 개별 연도의 연강수량 기록을 비교해 보면, 평년 대비 다우해는 다소 상이하지만, 과우해는 일치하는 경향을 보였다. 가령, 북서사면에 위치한 어리목에서는 2019년, 2012년, 2020년 순으로 연강수량이 평년에 비해 많았지만, 동사면의 성판악에서는 1999년, 2012년, 2019년, 2010년 순으로 연강수량이 많았다. 즉, 지형성 강수 현상은 국지성이 커서 연강수량이 한라산 지역의 사면별로 상이함을 알 수 있다. 이러한 지형성 강수 현상의 보다 상세한 시공간적 특성을 파악하기 위해서는 지속적으로 한라산 산간 지역의 기상·기후 관측 지점 확충이 필요하다고 판단된다. 한편, 두 관측 지점 모두 2000년, 2001년, 2005년, 2008년, 2013년, 2017년에

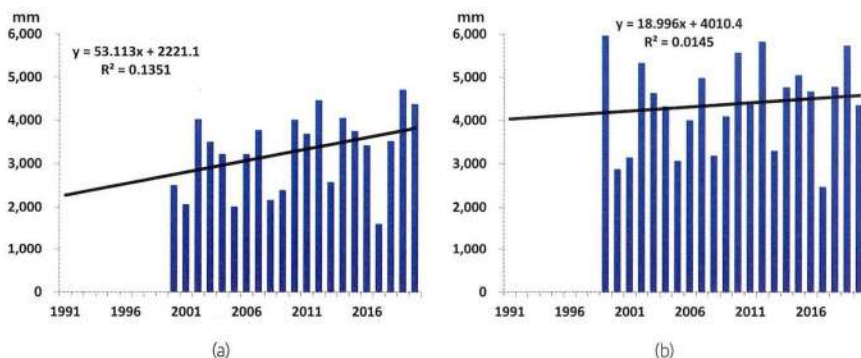


그림 3-17. 한라산 산간 지역((a)어리목, (b)성판악) 장기간 연강수량 변화

는 연강수량이 평년에 비해 상대적으로 적게 나타났다. 특히, 2017년의 연강수량은 약 20여 년의 관측 기간 동안 평균값(어리목: 3,323mm, 성판악: 4,378mm)에 비해 최소 1,500mm 이상 적은 값(어리목: 1,607mm, 성판악: 2,467mm)을 기록하였다.

이와 같이 최근 20년 동안에 산간 및 중산간 지역의 연강수량은 뚜렷한 변화 양상이 나타나지 않았지만, 계절별로 세분하여 강수량의 변화를 살펴보면 북동사면의 선흘을 제외하면 3개 관측 지점 공통적으로 가을철(9~11월)과 겨울철(12~2월) 강수량이 증가하는 추세를 보이고 있다. 특히, 겨울철보다는 가을철 강수량의 증가 추세가 더 뚜렷하게 나타났다. 중산간 북서사면 유수암의 가을철 강수량은 약 198mm/10년의 비율로 증가 추세를 보였고, 겨울철 강수량도 약 39mm/10년의 비율로 증가 추세를 보였다. 북동부 지역의 선흘의 경우에도 가을철에 통계적 유의성은 다소 약하지만(약 90%), 약 146mm/10년의 비율로 증가 추세를 보였다. 해발고도 600m 이상의 산간 지역 북서 사면에 위치한 어리목의 가을철 강수량은 95% 이상의 통계적으로 유의미한 증가 추세를 보였고, 반대로 겨울철 강수량은 통계적으로 유의미한 감소 추세를 보였으나 변화량 자체는 작았다. 한라산 산간 지역 동사면에 위치하여 강수량이 많은 성판악의 경우에는 가을철 강수량이 약 207m/10년의

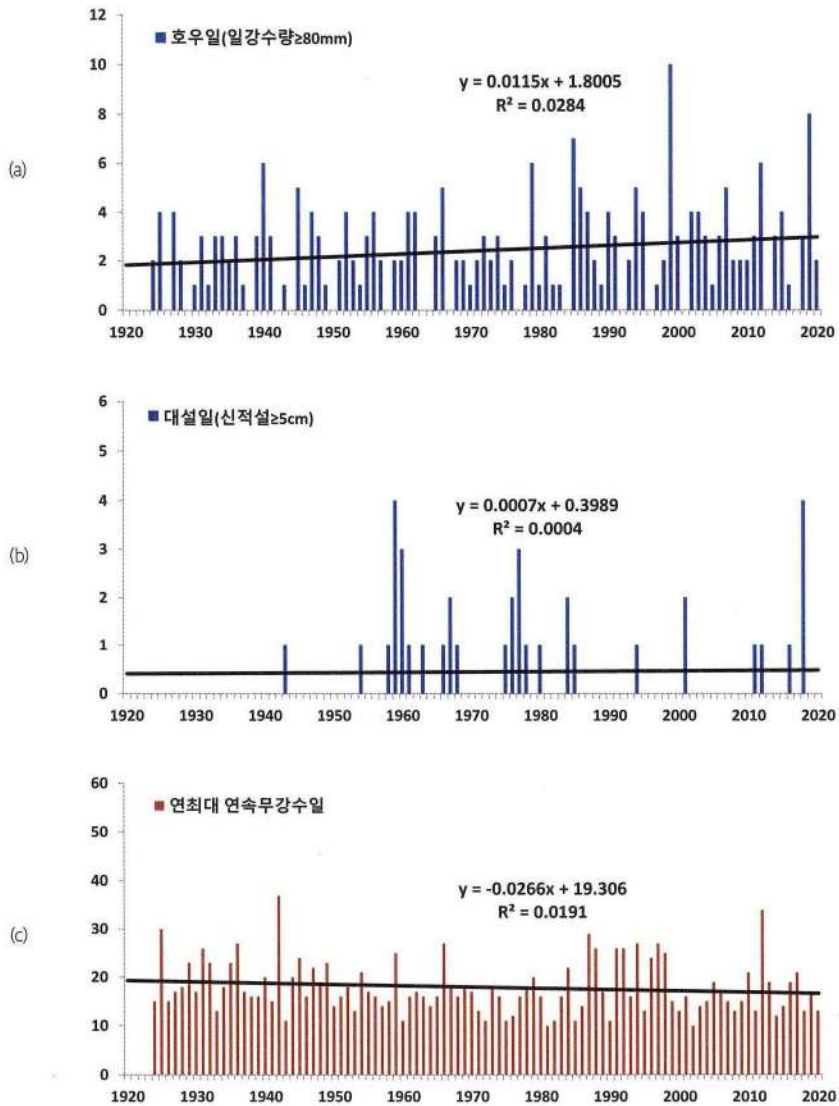


그림 3-18. 제주(184)의 극한강수현상의 장기간(1924~2020년) 변화

증가 추세를 보였고, 심지어 겨울철 강수량도 약 147mm/10년의 증가 추세를 보였다. 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역의 진달래밭(1,489m)과 윗세오름(1,666m)의 경우에도 자료 기간은 10년 이내로 짧지만 가을철 강수량은 각각 약 347mm/10년, 1,104mm/10년으로 통계적으로 유의미한 증가 추세를 보였다.

한편, 극한강수현상 측면에서 장기간 일별 강수량 자료가 수집된 북부 해안 제주 관측소의 극한강수현상 변화를 살펴보면 지난 100여 년간(1924~2020년) 일강수량 80mm 이상 호우일 발생빈도는 뚜렷한 장기간 지속적인 증감 변화는 없었음을 알 수 있다(그림 3-18). 다만, 특정 해에는 이러한 극한강수현상들의 발생빈도가 높아져 주민들의 생활에 큰 피해를 끼치기도 하였다. 예를 들어, 1999년에는 연중 일강수량 80mm 이상의 호우일수가 10일에 달하였고, 2019년에도 8일이었다. 즉, 과거에 비해 호우일 발생빈도가 높은 해가 20세기 후반 이후부터 최근으로 올수록 자주 나타나기 시작하였다. 이러한 호우현상들은 한반도로 북상하는 태풍과 관련성이 있는데, 제주에서 발생한 인명 및 재산 피해의 약 85%는 태풍에 의해 발생한 것이

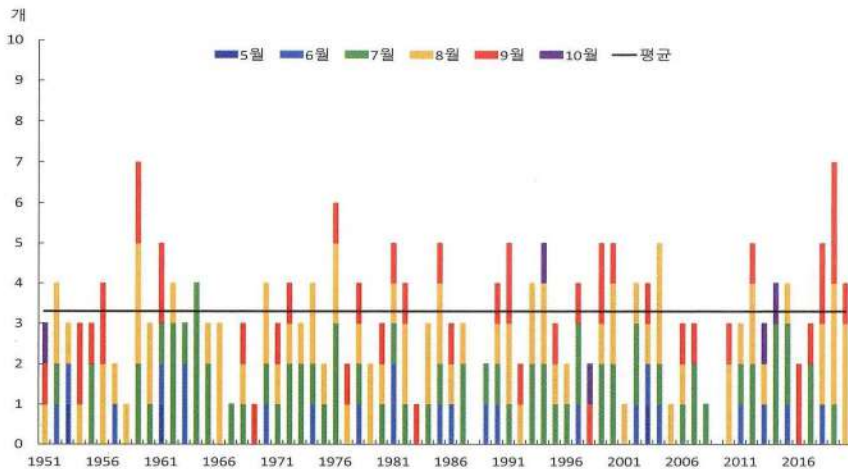


그림 3-19. 최근 70년간(1951~2020년) 제주도 주변을 관통하여 한반도에 영향을 미친 태풍 개수 변화

다. 제주도를 관통하는 태풍의 수에는 뚜렷한 변화가 없으나(그림 3-19), 21세기 접어들면서 북서 태평양 연안의 수온 상승률이 높아지면서 과거보다 강한 태풍에 의해 피해 사례가 늘고 있다. 최근 최대 인명 및 재산 피해 규모는 2007년 태풍 나리(NARI)에 의해 발생하였고, 2012년 볼라벤(BOLAVEN)과 덴빈(DENBIN), 2002년 태풍 루사(RUSA), 2003년 태풍 매미(MAEMI), 2016년 태풍 차바(CHABA) 순으로 큰 피

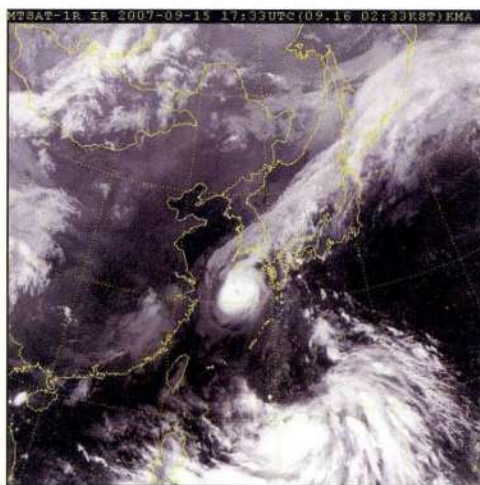


그림 3-20.
2007년 9월 16일 제주도를 강타한 태풍 나리(NARI)
출처: 기상청

해가 발생하였다. 특히, 한라산의 남북 사면은 동서 사면보다 경사가 급해 대부분의 대하천이 인구가 밀집한 제주시와 서귀포시 동지역을 흐른다. 지질적인 특성으로 평시에는 건천이지만 태풍 내습 시 호우가 내리면 하천 범람에 의해 도심 지역을 중심으로 큰 홍수 피해가 발생하게 된다. 예를 들어, 2007년 9월 중순 태풍 나리(NARI)가 제주도를 강타하였을 때(그림 3-20), 북사면을 따라 흐르는 산지천 주변의 범람에 의해 대부분의 재산 및 인명 피해가 발생하였다. 그 이후 제주특별자치도에서는 해안 지역의 도심 홍수를 예방하기 위해 주요 중산간 지역 하천 주변에 저류지를 새롭게 조성하였다.

제주도 중심에 한라산이 있어서 동서남북 특정 지역에 국한되어 국지적으로 발생하는 집중호우 피해를 입기도 한다. 동서남북 해안 지역의 최근 30여 년(1988~2020년) 동안의 매년 일강수량 80mm 이상의 호우일 발생빈도의 시계열을 살펴보면 지역마다 호우일 발생빈도가 높은 해가 일치하지 않는 경우도 관찰된다(그림 3-21). 가

령, 북부 해안 제주에서는 1999년과 2019년에 각각 호우일이 10일과 9일로 높게 나타났다. 남부 해안 서귀포에서는 1985년과 1999년에 각각 14일과 11일로 높게 나타났다. 서부 해안 고산에서는 1991년과 1999년에 5일 정도로 높게 나타났다. 다만 이들 관측소에서는 장기간 일차 추세선에서도 볼 수 있듯이, 통계적으로 유의미한 호우일의 증감 추세는 나타나지 않았다. 반면, 연강수량이 가장 뚜렷하게 통계적으

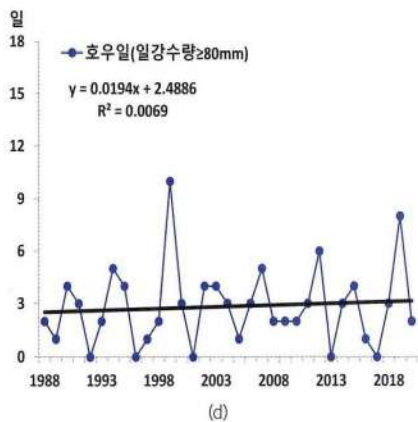
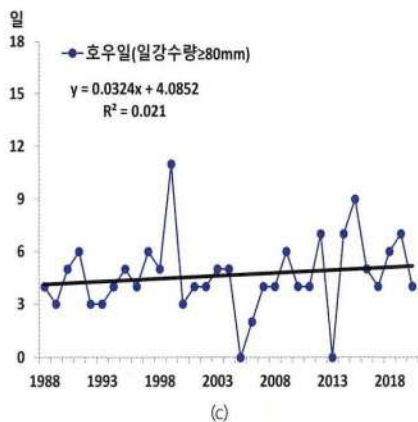
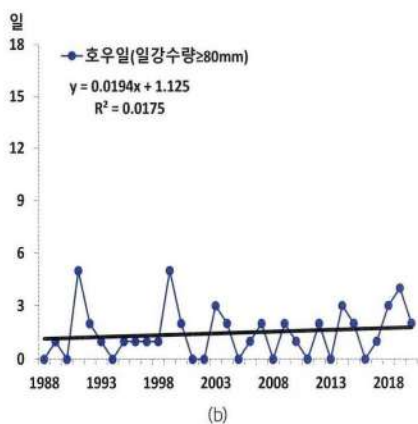
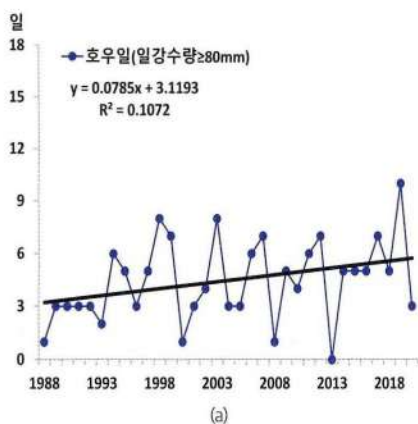


그림 3-21. 제주도 해안 지역((a)성산, (b)고산, (c)서귀포, (d)제주) 호우일(일강수량 80mm 이상) 발생빈도 변화

로 유의미한 증가 경향을 보였던 동부 해안 성산에서 호우일도 0.9일/10년의 비율로 통계적으로 유의미한(90% 이상 유의수준 증가) 경향을 보였다(그림 3-21). 이러한 호우일 증가 경향과 함께 지난 약 30여 년 중(1988~2020년) 성산에서 호우일 발생빈도가 높은 해는 2019년(10일)으로 나타났다. 한편, 일강수량 극값 기록을 살펴보면, 1995년 7월 2일에 302mm로 가장 많았고,

이외에도 1992년 8월 12일(296.5mm), 2007년 9월 5일(294.5mm), 1992년 5월 6일(291.8mm), 2020년 9월 2일(262.9mm), 2019년 7월 19일(262.7mm) 순으로 많게 나타났다. 이러한 극값은 태풍뿐만 아니라 일부 국지성 집중 호우에 의한 것이다. 한라산 동사면을 중심으로 지형성 호우현상이 자주 발생하면서 동부 해안 저지대의 농경지, 주택 등에 침수 피해가 자주 보고되고 있다(그림 3-22).

한편, 겨울철에는 이러한 극한강수현상이 폭설의 형태로 나타난다. 제주도에서 기상·기후 관측 역사가 가장 긴 제주 관측소에서도 적설 관측은 1961년부터 시작되었다. 제주 관측소의 장기간(1961~2020년) 일신적설 5cm 이상일 수의 시계열을 살펴보면 대설의 발생빈도는 뚜렷한 증감 패턴을 보이지 않음을 알 수 있다(그림 3-18). 그러나 최근 온난화에 의해 겨울철 강수 형태가 강설에서 강우로 변해가는 전반적인 추세에도 불구하고(최광용과 권원태, 2008), 2018년과 같은 특정 해에는 과거(예. 1959년)와 유사하게 대설이 자주 발생하기도 하였다. 이와 유사하게 2016년 1월에



그림 3-22. 제주 동부 지역의 잦은 집중 호우에 의한 피해 사례 출처: 제주의 소리(2017년 8월 25일자)

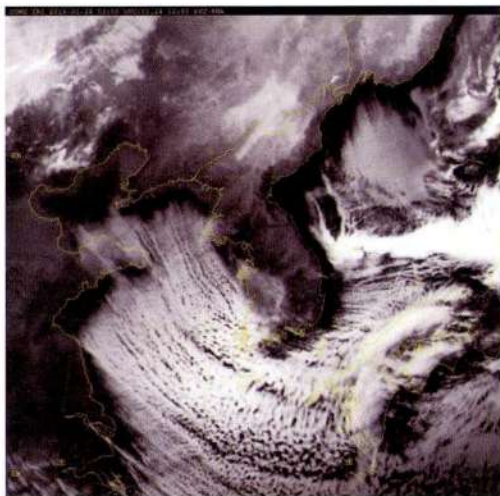


그림 3-23. 2016년 1월 23일 제주도 대설 발생 시 황해에서
생성되어 남하하는 눈구름 위성영상
출처: 기상청

도 시베리아 고기압에서 강하게 불어오는 한랭건조한 바람이 상대적으로 따뜻한 황해를 건너면서 많은 눈구름이 형성되어 제주도 북부 해안 지역에도 전례없는 대설이 발생하였다(그림 3-23). 이때 제주 도심 지역뿐만 아니라 제주국제공항이 마비되어 수천 명의 관광객들이 공항 청사에 수일 동안 발이 묶여 노숙을 하기도 하였다. 제주도의 농촌 지역에서 대설 발생 시에는 비닐하우스 등

의 시설물들이 적설의 무게를 이기지 못해 붕괴하고, 노지에 심어진 무, 당근 등 월동채소들도 수일 동안 눈에 파묻혀 동해를 입는 사례가 자주 발생하고 있다(그림 3-24). 최근 30여 년 동안(1988~2020년) 동서남북 지역별 대설일의 발생빈도를 살펴보면, 아열대 기후대에 속하여 연중 발생빈도도 적지만, 통계적으로 유의미한 뚜렷한 증감 패턴도 관찰되지 않고 있다. 다만, 2010년에 남부 해안 서귀포에서 3일, 동부 해안 성산에서 5일로 5cm 이상의 대설일 발생빈도가 높게 나타났고, 북부 해안 제주에서는 2018년에 4일로 높게 나타났다. 반면, 서부 해안 고산에서는 2004년에 1일이 유일한 대설현상 발생기록이다.

극한강수현상은 호우나 대설 등 강수량이 많은 경우뿐만 아니라 강수량이 적은 경우에도 가뭄의 형태로 나타난다. 특히 제주의 경우에는 절리가 발달한 현무암 기반암으로 구성되어 있고, 곳곳에 숲골 등이 발달되어 표토에서 수분 함유량이 낮은 편이다. 하천도 평상시에는 말라 있는 건천의 형태를 보이고 호우 시에만 물이 흐

르거나 범람한다. 이러한 기반
암의 특성 때문에 제주도에서
가뭄 발생은 전체 누적 강수량
뿐만 아니라 실제 강수가 내리
지 않은 무강수일 지속기간에
의해 좌우된다. 가장 오랫동안
자료가 수집된 북부 해안 제
주 관측소의 지난 약 100여 년
(1924~2020년) 동안의 연최대
무강수일 지속기간의 시계열
을 살펴보면, 강한 가뭄을 유
발할 수 있는 연최대 무강수일
지속기간은 뚜렷한 증감 패턴

을 보이지는 않는다. 다만, 2012년과 같은 해에는 34일간 연속적으로 강우량이 전
혀 내리지 않은 극단적인 경우가 나타나기도 하였다. 동서남북 지역별 연최고 연속
무강수일 지속기간의 시계열에 나타난 일차 추세선을 살펴보면 통계적으로 유의
미한 뚜렷한 증감 패턴을 찾아볼 수 없다(그림 3-25). 서부 해안 지역의 경우에는 연
강수량 자체가 적기 때문에 특정 해에 누적 계절 강수량이 적은 상태에서 장기간
무강수일이 지속되면 농작물 가뭄 피해가 더욱 뚜렷하게 발생하게 된다. 일례로 고
산의 2013년 연강수량은 697.1mm로 평년에 비해 500mm 이상 적은 상태에서 무
강수일의 연최대 지속기간도 31일에 달하여 이때 서부 해안 지역에는 농작물이 말
라 죽은 피해가 보고되었다. 21세기에 접어들어 제주도 해안 지역을 중심으로 농업
활동 심화되면서 지하수 사용량도 증가하고 있다. 특히, 강수량이 적은 제주도 서
부 지역을 중심으로 지하수 과다 사용에 의한 고염분 해수 침투 현상이 향후 지역
문제화될 가능성도 커지고 있어 이에 대한 대책 마련이 필요하다고 판단된다.



그림 3-24. 제주 해안 지역 겨울철 폭설에 의한 농작물 피해 사례
출처: 제주의 소리(2021년 1월 11일자)

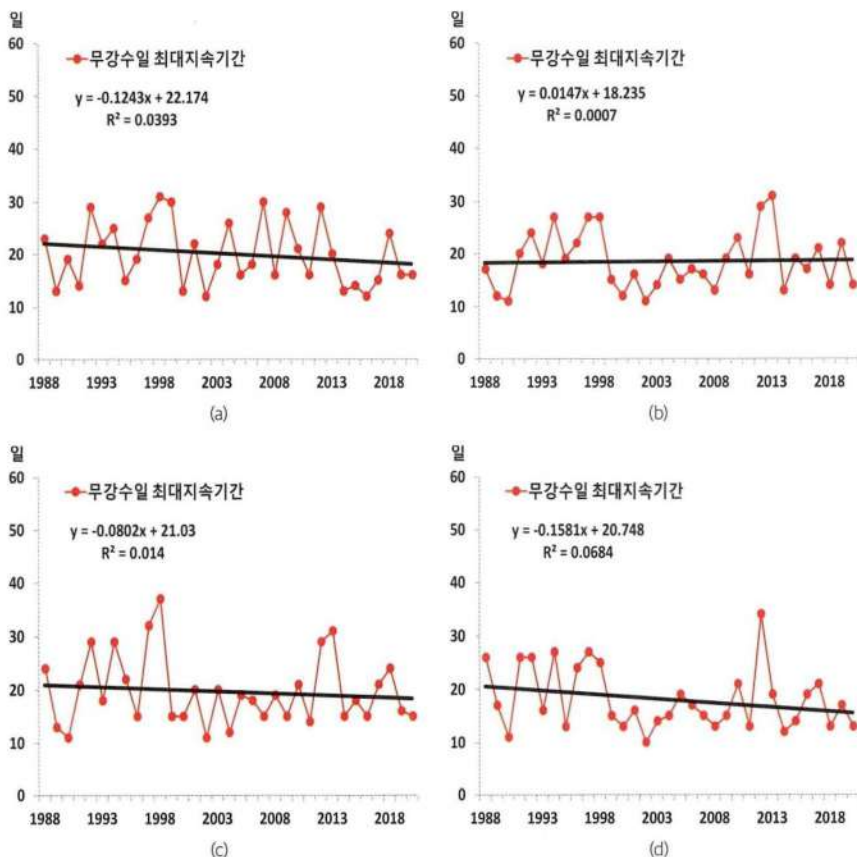


그림 3-25. 제주도 해안 지역((a)성산, (b)고산, (c)서귀포, (d)제주) 연최대 무강수일 지속기간 변화

바람의 평균과 극한현상의 변화

제주도 종관기상관측소 및 자동기상관측소에서도 풍향과 풍속 등 바람 관측을 해오고 있지만, 바람은 관측지 주변 지형 지물의 마찰에 의한 영향이 커서 기후변

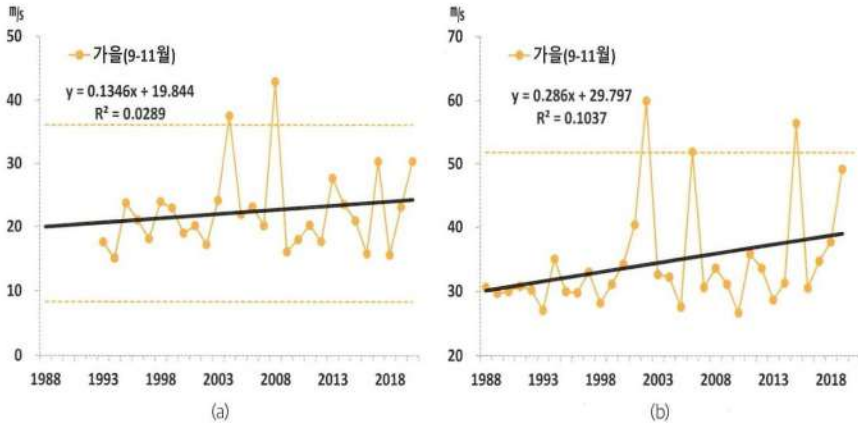


그림 3-26. 도시화 효과가 적은 제주도 동부 해안((a)성산)과 서부 해안((b)고산)의 가을철(9~11월) 평균 최대 순간풍속
* 파선은 ± 2.0 표준편차를 가리킴

회만 관련된 변화 양상을 파악하기 쉽지 않다. 바람이 많은 제주도의 동서남북 해안 지역 관측소 중 북부 해안 제주와 남부 해안 서귀포의 경우에는 관측소 주변이 도시화에 의해 높은 건축물들이 들어서면서 최근으로 올수록 풍속이 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타난다. 반면, 상대적으로 도시화 효과가 거의 없는 동부 해안 성산의 평균풍속 및 최대순간풍속은 모두 뚜렷한 증감 변화를 보이지 않고 있다(그림 3-26). 서부 해안 고산의 경우에는 다른 계절에는 바람이 뚜렷한 증감 추세를 보이지 않으나, 연평균 및 가을철(9~11월) 최대순간풍속은 모두 2.8m/s/10년의 통계적으로 유의미한 증가 추세를 보인다. 극한바람현상과 관련하여 최근 30여 년 동안의 연중 최대순간풍속 20m/s 이상 강풍일의 발생빈도는 동부 해안 성산에서는 뚜렷한 변화 경향을 보이지 않았다. 반면, 서부 해안 고산에서는 2010년대에 접어들어 강풍일 연중 발생빈도가 눈에 띄게 줄어들어 최근 30여 년 동안의 변화율도 8일/10년 정도의 감소 추세를 나타냈다.

한라산 해발고도 600m 이상의 산간 지역에 위치한 어리목과 성판악의 최근 30

년간(1991~2020년) 풍속의 일차 추세변화를 살펴보면, 동사면에 위치한 성판악에서는 모든 계절에 평균풍속이 증가하는 추세를 보이는데 특히, 봄철에는 2.5m/s/10년의 통계적으로 유의미한 증가 추세를 보였다. 반면, 최대순간풍속은 통계적으로 유의미한 변화 추세를 보이지 않았다. 북서 사면에 위치한 어리목에서는 평균풍속과 최대순간풍속이 모든 계절에 걸쳐 감소 경향을 보였고, 특히 평균풍속의 감소 경향은 모든 계절에 걸쳐 통계적 유의성을 보였다. 앞서 언급하였듯이 바람은 국지성이 큰 기후요소이다. 따라서 어리목과 성판악 관측소 모두 2012년에 관측 장소 근거리 이동 기록이 있어서 이러한 변화들이 기후변화에 의한 것인지는 다소 불분명하다고 판단된다.

2. 한라산 지역 미래 기후변화 전망

한라산 지역 미래 기후변화 양상을 전망하기 위해 우리나라 기상청 기후변화정보포털(<http://www.climate.go.kr/>)에서 제공하는 남한상세 기후변화 시나리오 자료를 분석한 결과를 기술하였다. 우리나라 기상청에서는 2020년 말 기준 IPCC AR5 저해상도 전 지구 기후변화 시나리오를 상세화 기법을 활용하여 고해상도 남한상세 기후변화 시나리오 자료를 제공하고 있다. 이 미래 기후변화 전망 자료 생산에 사용된 온실기체 배출 시나리오는 크게 CMIP5 저배출(RCP2.6), 중배출(RCP4.5/6.5), 고배출(RCP8.5)로 구분된다. 우선 이 고해상도 남한상세 기후변화 시나리오 자료를 생산하기 위해 저해상도 전 지구 기후모델(HadGEM2-AO) 미래 전망 자료를 우리나라 기상청 및 주요 대학들에서 운영 중인 다중 지역 기후 모델(HadGEM3-RA, RegCM4, SNURCM, GRIMs, WRF)을 이용하여 역학적 상세화(dynamical downscaling) 과정을 거



그림 3-27. 우리나라 기상청 남한상세 기후변화 시나리오 자료 생산 과정

출처: 기후변화정보포털(<http://www.climate.go.kr/>)

쳤다. 그 후 자료를 평균한 앙상블 자료를 다시 MK-PRISM(Modified Korean-Parameter-elevation Regression on Independent Slopes Model)을 이용하여 통계적 상세화(statistical downscaling) 과정을 거쳐 1km×1km 격자의 PRIDE 고해상도 자료(김맹기 등, 2012)로 생산하는 과정을 거쳤다(그림 3-27). 이 고해상도 앙상블 남한상세 기후변화 시나리오 자료는 2000년대 중반 이후부터 2100년까지 모델 생산 일별 및 월별 평균기온, 최고기온, 최저기온, 강수량, 상대습도, 풍속 등의 기후자료를 제공하고 있다. 이 장에서는 PRIDE 기반 고해상도 남한상세 기후변화 시나리오 자료를 바탕으로 제주도 지역의 미래 기후변화 전망치를 제시한 연구보고서나 논문 내용들을 요약하여 제시하기로 한다.

21세기 한라산 지역 기후대 변화 전망

제주도는 동아시아 남쪽 해상의 아열대 기후대상에 위치하여 한반도 내륙 지역보다 여름철은 더 고온다습하고, 겨울철은 시베리아 기단의 영향에도 불구하고 한반도 중부나 북부 지역에 비하여 온화한 편이다. 그러나 섬의 중심에는 남한에서 최고봉인 한라산(1,950m)이 자리 잡고 있어 해안 지역에는 아열대 기후가 나타나지만, 해발고도가 상승할수록 온대 기후대와 아고산대 기후대가 나타난다. 동아시아 겨울 몬순의 영향으로 제주도 해안 지역은 최한월 평균기온이 온화하여 난대림이 겨울철에도 생존 가능하여 아열대 기후대로 구분될 수 있다. 반면, 한라산 정상 주변 지역에는 최난월에도 기온이 낮아 서늘하여 키작은 관목림대가 우점하는 아고산대 기후대가 나타난다고 볼 수 있다. 최광용(2017)은 최한월 평균기온 5℃ 이상인 지역을 아열대 기후대로 구분하였고, 최난월 평균기온 20℃ 이하인 지역을 아고산대 기후대로 구분하였다. 이 장에서는 최광용(2017)의 연구 결과를 바탕으로 21세기 말 한라산 지역의 기후대 변화 전망에 관한 내용을 살펴보기로 한다.

최광용(2017)의 PRIDE 기반 21세기 초반(2001~2010) 평균 기온 자료 분석에 따르

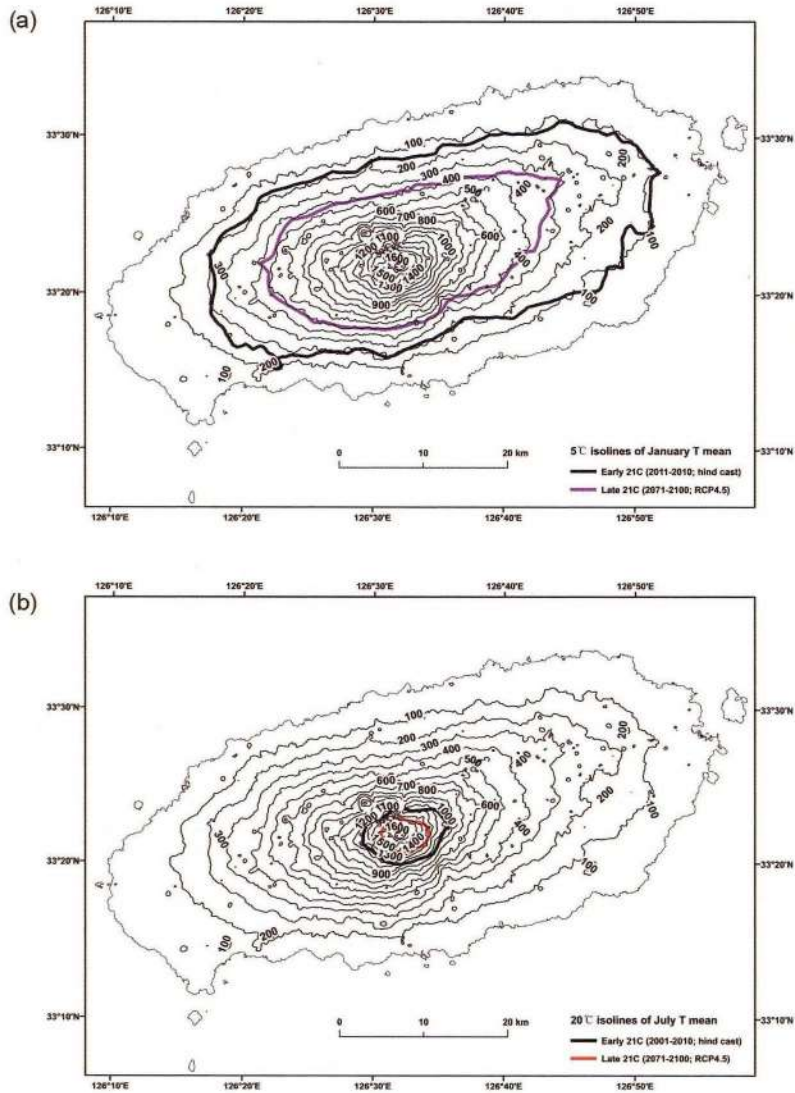


그림 3-28. 21세기 후반기 온실기체 증배출(RCP 4.5) 고해상도 PRIDE 남한상세 기후변화 시나리오 기반 한라산 지역 기후대((a)아열대, (b)아고산대) 변화 전망
출처: 최광용, 2017.

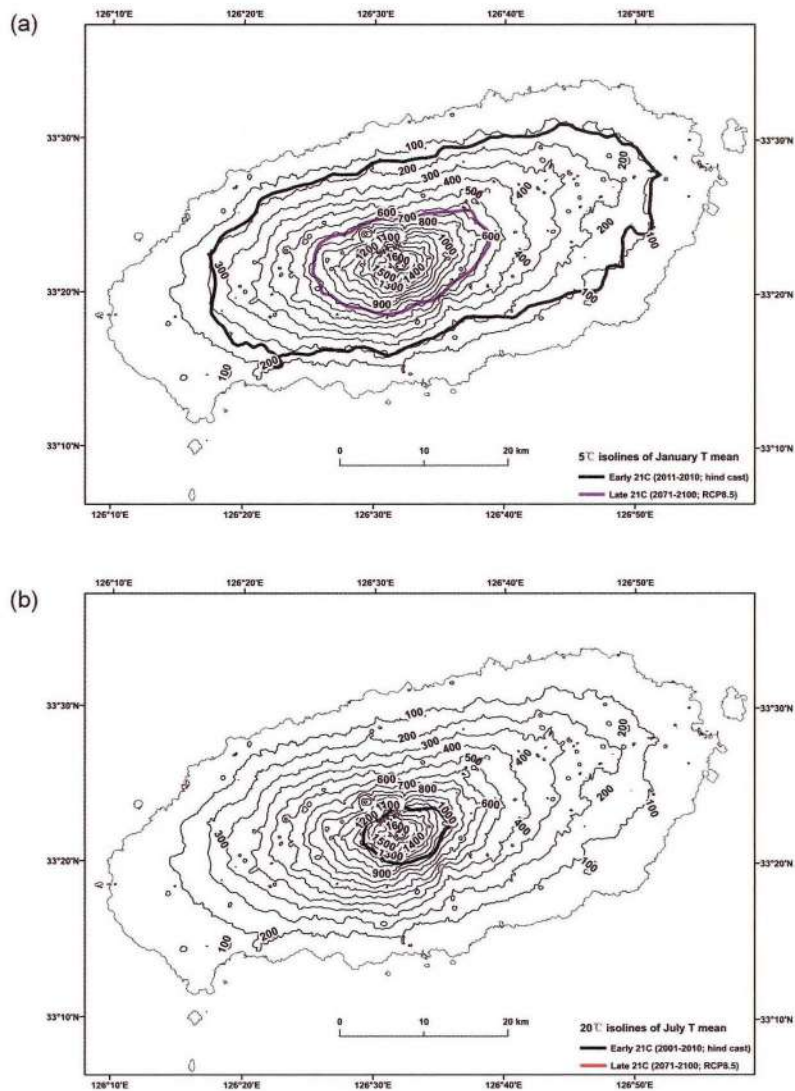


그림 3-29. 21세기 후반기 온실기체 고배출(RCP 8.5) 고해상도 PRIDE 남한상세 기후변화 시나리오 기반 한라산 지역 기후대((a)아열대, (b)아고산대) 변화 전망
출처: 최광용, 2017.

면, 현재 한라산 지역에서 해발고도 200m 내외 지역에 위치하는 아열대-온화한 중위도 기후대 경계선(최한월 평균기온 5℃ 이상 등온선)은 21세기 말에는 온실기체 증배출(RCP 4.5) 시나리오를 가정했을 때 해발고도 400m 내외 지역으로 이동할 것으로 전망된다(그림 3-28). 또한, 현재 해발고도 1,100~1,300m에 위치한 온화한 중위도 기후대-아고산대 기후대의 경계선(최한월 평균기온 20℃ 이하 등온선)은 이 증배출 시나리오에 따르면 21세기 말에는 해발고도 1,600m 내외 지역까지 상승할 것으로 전망된다. 이에 따라 21세기 말에는 아고산대 식생대는 해발고도 1,600m 이상 표토가 거의 없는 종상 화산체로 국한되어 생존에 열악한 환경에 놓이게 될 것으로 예상된다.

한편, 온실기체 고배출(RCP 8.5) 시나리오 자료에 따르면, 현재 해발고도 200m 이하 해안 지역을 중심으로 나타나고 있는 아열대 기후대 한계선은 해발고도 700m 내외 지역으로 이동하여 중산간 지역(해발고도 200~600m)의 전체가 아열대화될 것으로 전망된다(그림 3-29). 이에 따라 중산간 및 산간 지역(해발고도 600~1,300m)에서 나타나는 온화한 중위도 기후대는 현재보다 훨씬 더 높은 고도로 재배치될 것으로 전망된다. 현재 해발고도 1,300m 이상 고산간 지역에서 한라산 정상까지 나타나는 아고산대 기후대는 온실기체 고배출 시나리오를 바탕으로 했을 때 21세기 말에 한라산 정상을 넘어서는 고도까지 올라갈 것으로 전망된다. 그 결과 한라산 지역에서 아고산대 기후대가 사라져 아고산대 식생이 생존할 수 있는 구역이 존재하지 않게 되어 아고산대 식생 전체가 멸종 위기에 처할 것으로 전망된다. 따라서 향후 온난화에 따른 아고산대 종의 보존 대책 마련이 필요하다고 판단된다.

실제 최근 온난화의 심화와 더불어 한라산 지역에서는 식생대 변화가 감지되고 있다. 우리나라 한라산 및 남부 주요 산에서 자생하는 구상나무(*Abies koreana* Wilson E.H.)가 양상한 흰색의 속가지를 드러내며 죽어가고 있다(그림 3-30). 특히, 한라산 동사면 성판악 등산로 코스와 남서부 영실 등산로 코스 주변을 중심으로 구상나무의 고사목들을 흔히 볼 수 있다(그림 3-31). 구상나무 고사의 주요 요인으로 기후변화가 지목되고 있으나, 어떤 기후변화 프로세스가 관여된 것인지는 지금까지 정확



그림 3-30. 한라산 지역의 구상나무(*Abies koreana* Wilson E.H.) 고사

히 밝혀지지 않았다. 일부 연구에서는 온난화에 의해 봄철 광합성 시간이 앞당겨 지지만 수분이 충분하지 않아 가뭄에 의해 말라 죽어가고 있다는 주장도 제기되었다(구경아 등, 2001; 구경아와 김민아, 2020). 반면, 최근 다른 연구에서는 이와 상반되게 오히려 수분이 지나치게 많아서 경사도가 덜한 지역을 중심으로 구상나무 고사 면적이 더 뚜렷하게 넓어지고 있다는 연구 결과가 제시되기도 하였다(안용산 등, 2019; Ahn and Yun, 2020). 그러나 이와 같은 수분 변화 이외에도 강풍과 호우를 동반한 태풍의 영향이나 곰팡이류의 병충해 피해, 최근 온난화에 의한 겨울철 눈피복 감소 등 다른 요인들도 이러한 구상나무 고사에 영향을 미칠 가능성도 제시되고 있어 향후 한라산 구상나무 고사 원인 규명에 관해서는 지속적인 연구가 필요한 실정이다.

한편, 최근 다중시기 항공 사진 분석에 따르면 온난화가 진행됨에 따라 한라산 중산간 지역의 소나무림(*Pinus densiflora*) 면적이 증가하고 있음을 알 수 있다. 특히 해발고도 1,100~1,300m의 저산간 지역에서 해발고도 1,300m 이상의 고산간 지역으로 확장해가는 패턴이 관찰되고 있다(송국만 등, 2012; 김종갑 등, 2019). 또한, 제

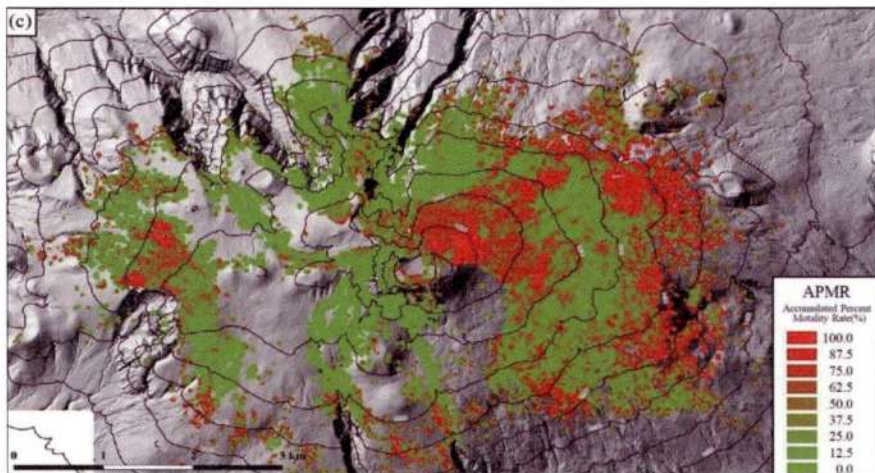


그림 3-31. 한라산 지역의 구상나무 고사 비율 분포(2018년 기준)
출처: Ahn and Yun, 2020.

주 조릿대 (*Sasa quelpaertensis* Nakai)가 한라산 정상 주변까지 확장해 다른 아고산대 관목림과의 생태적 경쟁에 의한 부정적인 영향을 미칠 가능성이 제기되고 있다. 제주특별자치도에서는 이러한 조릿대의 과도한 공간 확장을 막기 위해 한라산 고지대의 조릿대를 부분적으로 베어내어 음료나 화장품을 개발하는 등 다양한 활용방안을 강구해 나가고 있다(그림 3-32).



그림 3-32. 기후변화에 따른 한라산 산간 지역 조릿대 확산 문제
출처: 제주의 소리(2016년 6월 22일자)

21세기 기온 평균과 극한기온현상의 변화 전망

IPCC 6차 보고서의 새로운 온실기체 저배출 (SSP1-2.6)과 고배출(SSP5-8.5) 시나리오 자료에 따르면 21세기 후반기(2081~2100년)에 한반도 연평균 기온은 현재(1995~2014년) 대비 약 2.6℃와 7.0℃씩 상승할 것으로 전망된다(국립기상과학원, 2020). 기온 변화 전망 분포도에 따르면 전국 여러 지자체 중에서 제주특별자치도의 기온 상승률은 한반도 북부 지역이나 중부 지역에 비해서는 덜할 것으로 예상된다(그림 3-33). 또한, 극한기온현상 측면에서는 한반도 평균적으로 21세기 후반기에는 온난일(warm days)이 약 37일(저배출) 또는 약 94일(고배출) 정도 증가하고, 온난야(warm nights)는 약 35일(저배출) 또는 84일(고배출) 증가할 것으로 전망된다. 반면, 한랭일(cool days)은 16일(저배출) 또는 34일(고배출) 감소하고, 한랭야(cool nights)는 약 19

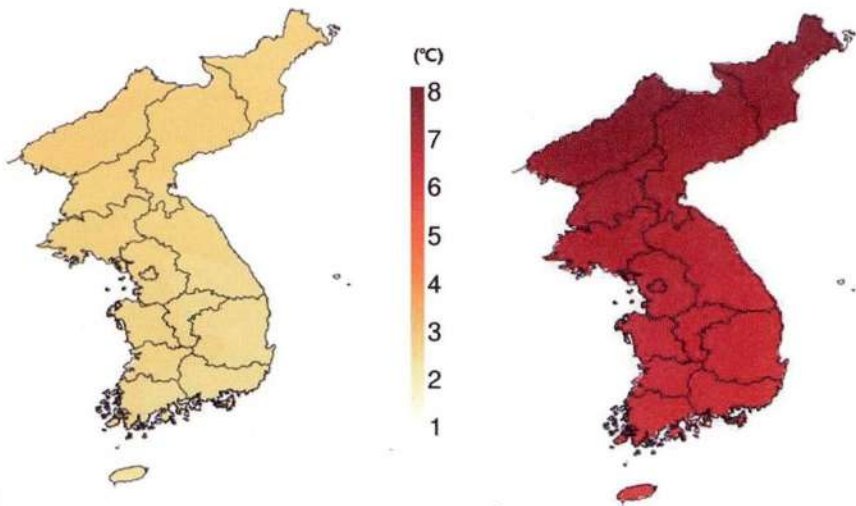


그림 3-33. 온실기체 시나리오별((a)저배출(SSP1-2.6), (b)고배출(SSP5-8.5) 현재(1995~2014년)) 대비 21세기 후반기(2081~2100년) 한반도 연평균기온 변화 전망치

출처: 국립기상과학원, 2020.

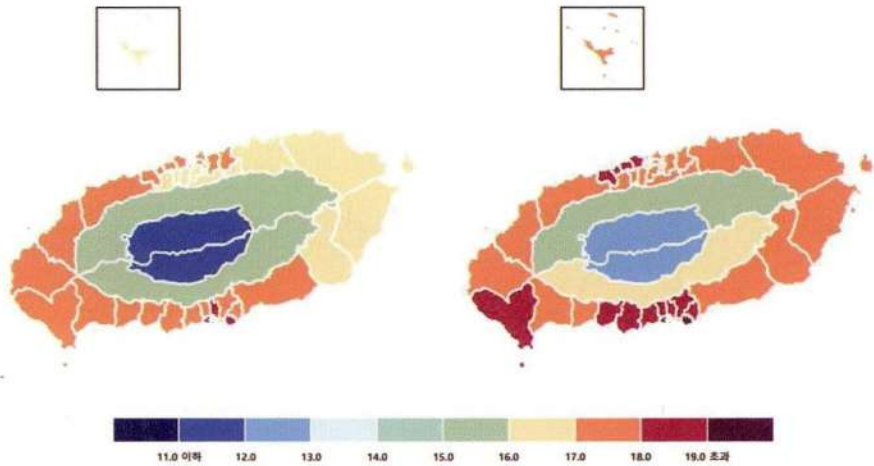


그림 3-34. 온실기체 저배출(RCP 2.6) 및 중배출(RCP 6.0) 시나리오 기준 21세기 후반기(2071~2100년) 제주도 연평균기온 분포 전망치

출처: 기상청, 2017.

일(저배출) 또는 36일(고배출) 정도 감소할 것으로 전망된다. 제주도 지역에서도 이러한 한반도 지역 평균적인 변화와 일치하여 극한기온현상도 극한저온현상의 감소보다는 극한고온현상의 증가현상이 더 뚜렷하게 나타날 것으로 전망된다. 2020년 말 기준 IPCC AR6 전 지구 모델 자료를 활용하여 상세화한 한반도 고해상도 후변화 시나리오 자료는 아직 생산되지 않았다. 따라서 이전 IPCC AR5 시나리오를 이용한 PRIDE 고해상도 남한상세자료에서 추출한 연평균기온 분포를 살펴보면(기상청, 2017), 제주도의 현재 대비 21세기 후반기 기온 변화규모는 지역마다 상이할 것으로 예상된다(그림 3-34). 온실기체 저배출(RCP 2.6)과 중배출(RCP 6.0) 시나리오 기준에 따르면 제주도 지역 전체적으로는 현재 대비 21세기 후반기(2071~2100년)에 연평균기온이 각각 약 1.4℃와 2.1℃ 정도씩 상승할 것으로 전망된다. 그러나 지역별로는 동서남북 해안 지역 중에서는 북부 해안과 동부 해안이 남부와 서부 해안 지역

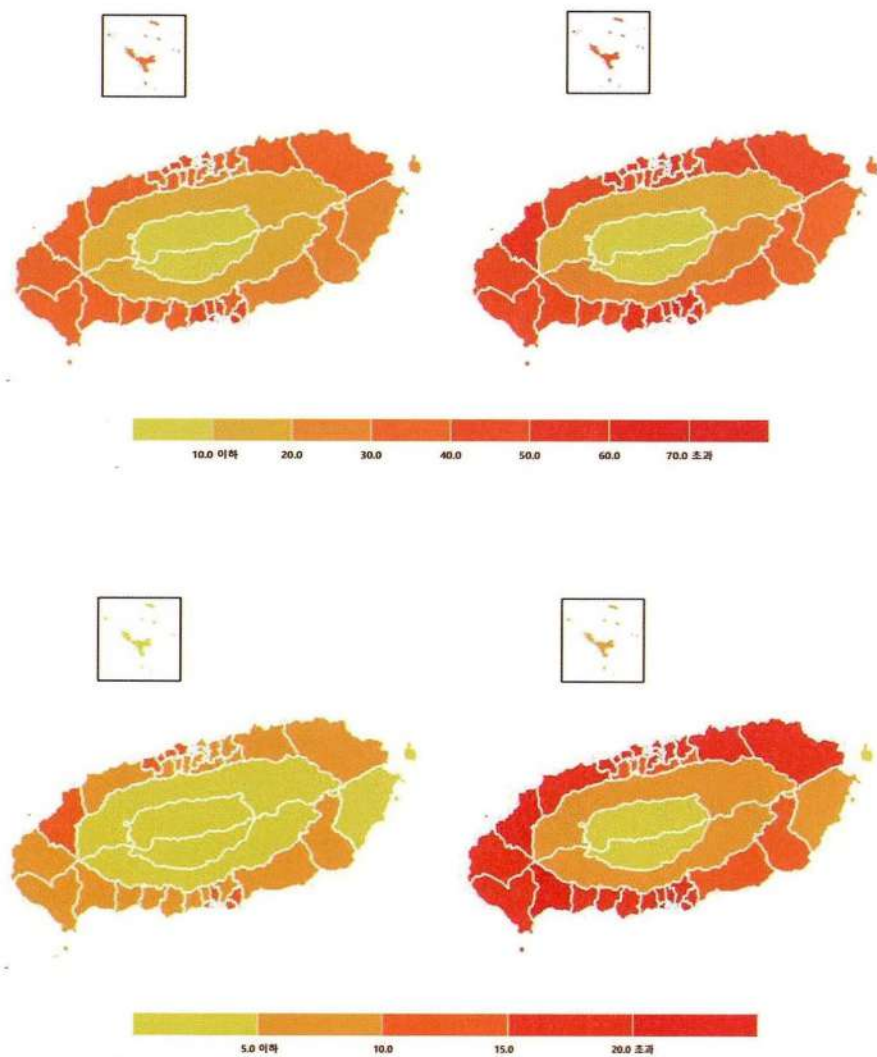


그림 3-35. 온실기체 저배출(RCP 2.6)(좌) 및 중배출(RCP 6.0)(우) 시나리오 기준 21세기 후반기(2071~2100년) 제주도 폭염일(상)과 열대야(하) 발생 분포 전망치
출처: 기상청, 2017.

에 비해 연평균기온이 더 뚜렷하게 상승할 것으로 전망된다. 이러한 연평균기온 상승 정도는 21세기 후반기에 해안 지역에서 한라산 중산간을 거쳐 산간 지역으로 갈수록 더 크게 나타나고, 한라산을 기준으로 남사면보다는 북사면에서 약간 더 크게 나타날 것으로 전망된다. 극한기온현상과 관련하여 중배출(RCP 6.0) 시나리오 기준 제주도 전체적으로 21세기 후반기에는 현재 대비 연중 일최저기온 25℃ 이상 열대야 발생빈도는 약 21일 정도 더 많아지고, 2일 연속 일최고기온 33℃ 이상인 폭염일도 약 10일 정도 더 증가할 것으로 전망된다(그림 2-35). 이에 따라 원래 이러한 고온극한현상 발생빈도가 높은 해발고도 200m 이하 서귀포시 동지역에서 열대야 일수가 70일 이상, 폭염일 일수가 약 20일 이상까지 증가할 것으로 예상된다(그림 3-35). 연중 일최고기온 25℃ 이상 여름일의 경우에도 현재 대비 21세기 후반부에 23일 이상 증가할 것으로 전망된다. 반면, 일최저기온 0℃ 이하 서리야 발생빈도는 중배출(RCP 6.0) 시나리오의 경우 21세기 후반기에 현재보다 제주도 평균적으로 약 18일 줄어들고, 일최고기온 0℃ 이하 결빙일도 약 3일 감소할 것으로 전망된다. 공간적으로 기온 감소폭이 제주도 전체적으로 유사해 이들 저온극한현상의 연중 발생빈도는 원래 발생빈도가 높은 한라산 산간 북부 지역(서리야: 74일, 결빙일: 10일)에서도 유사하게 감소할 것으로 전망된다.

이와 같이 여름철 고온극한현상이 증가함에 따라 제주도의 일평균기온 24℃ 이상 연 누적치인 냉방도일(cooling degree days)도 현재 대비 21세기 후반부에 50% 이상 더 늘어날 것으로 예상된다(그림 3-36). 또한 21세기 후반기에 제주도는 해안 지역을 중심으로 기후학적 여름철(일평균기온 20℃ 이상)의 지속기간도 현재보다 약 30일 이상 길어질 것으로 예상된다. 또한 연중 여름철(6~10월)을 중심으로 기온뿐만 아니라 습도도 높아져 불쾌지수도 높음(75~80)에서 매우 높음(80 이상)으로 변하게 될 것으로 예상된다. 정반대로 저온극한현상이 감소함에 따라 일평균기온 18℃ 이하 연 누적치인 난방도일(heating degree days)은 약 20% 감소할 것으로 전망된다. 즉, 21세기말로 갈수록 현재보다 겨울철 난방 관련 에너지 수요량보다는 여름철 냉방 관

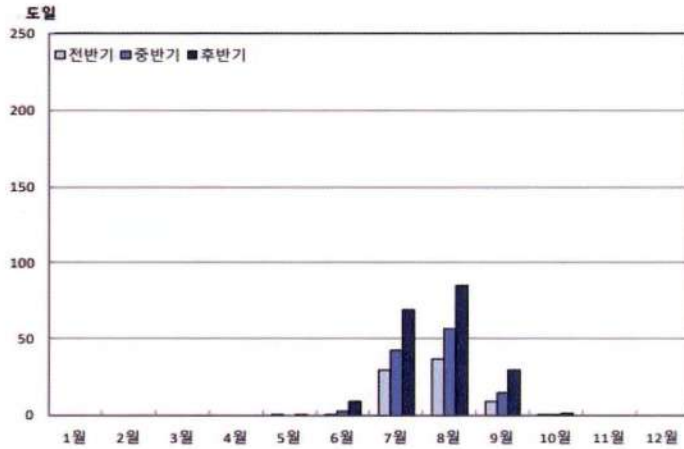


그림 3-36. 온실기체 중배출(RCP 6.0) 시나리오 기준 21세기 후반기(2071~2100년) 제주도 월별 냉방도일 변화 전망치
출처: 기상청, 2017.

런 에너지 수요량의 증가폭이 더 클 것으로 예상되므로 여름철 전력 안정 공급에 대한 장기적인 대책 마련이 필요하다고 판단된다. 특히 공간적으로는 인구 밀집에 의한 도시화가 뚜렷하게 이루어진 제주시와 서귀포시 동지역을 중심으로 전력수급 안정화 정책 수립이 선행되어야 할 필요성이 있다고 판단된다.

21세기 강수 평균과 극한강수현상의 변화 전망

다중 기후모델에서 생산되는 자료를 평균한 앙상블 기후변화 시나리오 자료를 사용하더라도 미래 강수 자료를 모의하는 경우에는 기온에 비해 많은 불확실성이 포함되어 있다. 국립기상과학원이 제시한 보고서(2020)에 따르면, 온실기체 저배출(SSP1-2.6)과 고배출(SSP5-8.5) 시나리오의 경우 한반도 평균적으로 각각 21세기 후반기(2081~2020년)에 현재 대비 약 3%와 약 14%의 강수량이 증가할 것으로 전망하고 있다. 그러나 앞서 언급한 바와같이 기후모델 강수 모의능력의 불확실성 때문에 한반도 지역별 강수변화량의 공간 분포는 기후모델마다 상이할 것으로 예상된다. 이 앙상블 자료에 따르면 제주도 지역은 저배출 시나리오의 경우 약간 증가하는 경

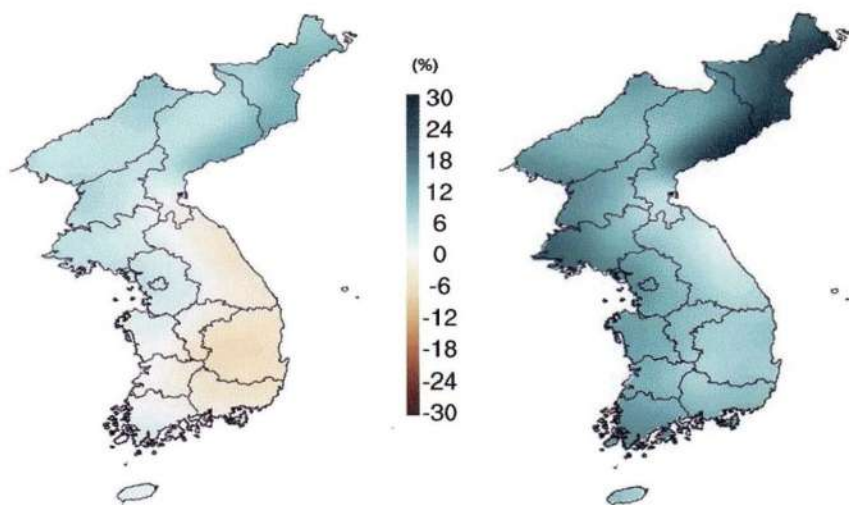


그림 3-37. 온실기체 시나리오별((a) 저배출(SSP1-2.6), (b)고배출 (SSP5-8.5) 현재(1995~2014년)) 대비 21세기 후반기(2081~2020년) 한반도 연강수량 변화 전망치

출처: 국립기상과학원, 2020.

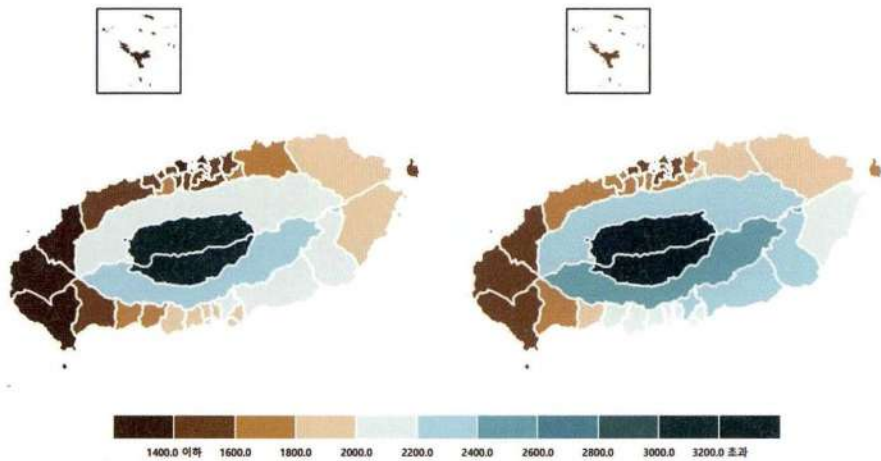


그림 3-38. 온실기체 저배출(RCP 2.6) 및 중배출(RCP 6.0) 시나리오 기준 21세기 후반기(2071~2100년) 제주도 연강수량 분포 전망치
출처: 기상청, 2017

향을 보이고, 고배출 시나리오의 경우에는 이보다 더 많은 강수 증가 경향이 나타날 것으로 전망된다(그림 3-37). 극한강수현상 변화 측면에서 연중 5일 누적강수량 최대치의 경우에도 한반도 평균적으로 현재보다 21세기 후반기에는 현재보다 약 10mm(저배출) 또는 약 40mm(중배출) 정도 증가할 것으로 전망된다. 유사하게 상위 5퍼센타일 극한강수일도 21세기 후반기에는 현재 대비 약 7일(저배출) 또는 9일(중배출) 정도 더 늘어날 것으로 전망된다.

IPCC AR5 기준 남한상세 기후변화 시나리오 자료에 따르면 21세기 후반기(2071~2100년) 제주도 지역의 연강수량 변화 규모는 한반도 평균적인 변화와 유사하게 현재보다 약 3% 정도 증가할 것으로 전망된다(그림 3-38). 제주도 지역의 현재 대비 21세기 후반 강수 변화율 전망 분포도를 살펴보면 남서부 지역을 중심으로 연강수량 증가율이 가장 높게 나타나고, 다우지인 남동부 지역에서는 약 5% 내외 증가

울을 보일 것으로 전망된다. 그 결과 21세기 후반에 제주도 서부 지역에서는 연강수량이 약 1,400mm 내외를 보이고 남동부 지역은 약 2,300mm 내외를 보일 것으로 전망된다. 또한 해발고도의 상승에 따라 연강수량은 해안 지역에서 중산간 및 산간 지역으로 갈수록 2,000mm 이상, 4,000mm 이상 정도로 증가할 것으로 전망되고 특히, 북사면보다는 남사면의 강수량이 더 많아질 것으로 전망된다. 한편, 21세기 후반기 제주도 지역 평균 극한강수현상 변화 전망치를 살펴보면 일강수량 80mm 이상 호우일수는 현재 대비 약 2배 정도로 증가하고, 강수강도(강수량을 강수일수로 나눈 값)는 현재 대비 약 12% 정도 증가할 것으로 전망된다. 특히 한라산 산간 지역으로 갈수록 이러한 극한강수현상의 증가 정도는 더 크게 나타날 것으로 예상된다. 그러나 앞서 언급한 대로 기후모델의 강수 예측치에는 많은 불확실성이 있어 이러한 전망치는 참고 자료로만 활용 가능하다고 판단된다.

참고 문헌

- 구경아 · 김다빈, <국내 구상나무(*Abies koreana* Wilson) 연구 40년: 검토 및 제언>, 《한국환경생태학회지》 34(5), 2020, 358~371.
- 구경아 · 박원규 · 공우석, <한라산 구상나무(*Abies koreana* W.)의 연륜연대학적 연구: 기후변화에 따른 생장 변동 분석>, 《한국생태학회지》 24(5), 2001, 281~288.
- 국립기상과학원, 《한반도 기후변화 전망보고서》, 2020.
- 기상청, 《신기후체제 대비 제주특별자치도 기후변화 전망 보고서》, 2017.
- 김맹기 · 한명수 · 장동호 · 백승균 · 이우섭 · 김연희 · 김성, <1km 해상도의 관측 격자자료 생산기술>, 《기후연구》 7(1), 2012, 55~68.
- 김종갑 · 고정균 · 임형택 · 김동순, <한라산국립공원 소나무림의 공간분포 변화>, 《한국환경생태학회지》 33(5), 2019, 578~586.
- 송국만 · 김찬수 · 문명옥 · 김문홍, <한라산 소나무림의 분포와 변화>, 《한국환경과학회지》 21(1), 2012, 41~47.
- 안웅산, <한라산 구상나무 공간적 고사패턴 분석을 통한 고사원인 추정-기후변화에 따른 토양 수분 과다 가능성 제안>, 《한국농림기상학회지》 21(1), 2019, 1~28.
- 최광용, <고해상도 기후변화 시나리오 자료를 활용한 한라산 지역 기온 및 기후대 변화 전망>, 《기후연구》 12(3), 2017, 243~257.
- 최광용, <제주도 지역 체감온도의 시·공간적 분포 특징과 장기간 변화 경향>, 《한국지리학회지》 7(1), 2018, 29~41.
- 최광용, <북극 빙권 변화가 동아시아 극한기온현상에 미치는 영향>, 《기후연구》 15(3), 2020, 153~172.
- 최광용 권원태, <현재와 미래 우리나라 겨울철 감수형태의 변화>, 《대한지리학회지》, 43(1), 2008. 1-19
- Ahn, U.S. and Yun, Y.S., 2020, Causes of decline in the Korean fir based on spatial distribution in the Mt. Halla region in Korea: A meta-analysis. *Forests*, 11(4), 391~412.
- Choi, G., Kwon, W. T., Boo, K. O., and Cha, Y. M., 2008, Recent spatial and temporal changes in means and extreme events of temperature and precipitation across the Republic of Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 43(5), 681~700.

색인

ㄱ

가로발갈기 45, 52
 가뭄 9, 19, 24, 25, 26, 31, 33, 38, 39, 40, 45, 53, 54,
 55, 57, 60, 63, 66, 67, 68, 73, 98, 162, 228,
 237, 246
 갈두진창 73
 갈브름 50
 갈하늬브름 50
 감굴 12, 13, 31, 42, 51, 111, 112, 166, 178, 180,
 224
 갑인년 73
 강설(snow) 152
 강수강도 164, 225
 강수일수 162, 164, 225
 강수 집중률 148, 154, 155
 강우(rain) 152
 강풍 20, 21, 23, 25, 26, 29, 33, 34, 35, 36, 37, 45, 46,
 47, 48, 49, 50, 55, 73, 92, 97, 170, 188, 191,
 192, 196, 197, 198, 199, 246
 강풍일 196, 239
 건기 159
 결빙일(ice days) 177, 217
 경계층(boundary layer) 101, 167, 196
 계단식 경작 52
 계절별 강수 집중률 155
 계절풍 19, 22, 51, 100
 계절대기근 31, 69
 고구마 66, 67
 고든하늬브름 50
 고사리 장마 156, 159, 161, 162
 고산굴곡림(krummholz) 106
 고팡(庫房) 71, 72
 골마브름 50
 곰베 57

꽃자왈 97, 103, 167
 관과원 13
 관목림 104, 106, 167, 197, 247
 구풍 22, 23
 구황작물 63, 64, 65, 66, 67
 국가태풍센터 84
 국립기상과학원 84, 248, 253
 국영목마장 39
 굴림추색(橘林秋色) 112
 극소용돌이(circumpolar vortex) 194
 극한기상 9, 10, 23, 24, 25, 28, 32, 45, 72, 93, 98
 극한기후지수 207
 근고에 없는 재변 30, 31, 42
 기근 9, 10, 24, 26, 31, 39, 43, 63, 64, 65, 67, 68, 69,
 70, 71, 72, 73
 기단변질 114
 기상레이더 82
 기상자료개방포털 99, 116
 기상학적 계절(meteorological seasons) 106
 기온감률 100, 115, 117, 124, 125, 126, 127, 140,
 143, 152, 153, 172, 180
 기온의 일교차 134, 138, 208
 기후대 이동 207
 기후학적 계절(climatological seasons) 106
 꽃샘추위 138, 180

ㄴ

나눔할망 75
 나리포창 73
 낙엽활엽수림대 96, 104
 난대 상록활엽수림 101, 104
 난방문화 15
 남명소승 10, 19
 남사록 10, 14, 17, 20, 28, 29, 30, 46
 남천록 10, 57, 68
 남테 56

남환박물 10, 15, 55, 61

노대부름 50

노릇[노릇] 51, 180

놀부름 50

늦부름 50

늪부름 50

늪새부름 50

늪하늪부름 50

냉기류 51, 180

냉기호 51, 120

녹담만설(鹿潭晩雪) 89, 110, 153

눈 피복 213

늦장마기 152

늦하늪 50

ㄷ

다우지 57, 145, 148, 254

다초점 레이저식 적설계 191

대설 24, 41, 93, 94, 181, 190, 191, 192, 193, 194,
195, 235, 236

도시 열섬 현상 208, 220

도시화 82, 84, 98, 115, 118, 127, 143, 172, 173,
190, 212, 214, 220, 239, 252

도심 하천 97, 190

도지 50

돌담 13, 33, 36, 45, 46, 47, 48, 49, 166

돌테 56

돛거름 45, 59, 61, 62, 63

돛바령팻 61

돛통 61, 62, 63

동릉관측소 85, 93

동마부름 50

동하늪부름 50

동해 31, 32, 40, 42, 98, 178, 195, 236

된땅 60

두독 52

튼땅 59, 60

ㄹ

마부름 50

메밀 56, 59, 63, 64, 69

ㅁ

바람 냉각 효과 170

바람받이 18, 20, 193

바람의지 154, 176, 179, 193

바람 자원 166

바령 60, 61

바령농법 45, 61

밭불림 54, 55, 56

밭칠성 72

방풍림 36, 45, 46, 166, 199

백록담 100, 120, 151, 153, 185

뱀신 72

병충해 42, 44, 246

복토농법 45, 56

봉덕화로 64

북극해빙 212

북서계절풍 9, 20, 22, 23, 33, 50, 100, 154, 166,
179, 193

북태평양 아열대 고기압 100

분전지도(糞田之道) 61

비변사등록 9, 10, 25, 26, 32

ㅂ

사빈 21, 22

사신(蛇神)신앙 72

산림경제 63

삼다도 164
삼재 45, 54
삼재도(三災島) 9
상산부름 50
삼한사온 현상 137
상대습도 156, 242
셋부름 50
서갈부름 50
서고동저형 기압 배치 152, 194
서리아(frost nights) 179, 218
서마부름 50
섬피 56, 57
섯보리 70
섯보리밥 70
섯하늬부름 50
성하 95, 115, 152, 176, 177, 223
소기후적 최저기 27
소빙기 17, 26, 27, 30, 31, 32, 40, 42
수해 18, 24, 31, 32, 33, 34, 37, 38, 54
순환식 이동경작 59
쉬들림 57, 58
시베리아 100, 179, 213
시베리아 고기압 22, 50, 112, 120, 127, 137, 152,
194, 198, 236
시베리아 기단 101, 114, 116, 123, 127, 130, 138,
152, 153, 167, 197, 212, 213, 242
시정현천계 96

○

아고산 기후대 104
아고산대 상록침엽수림 104
아열대 95, 104, 106, 109, 148, 157, 179, 191, 223,
224
아열대 고기압 100, 152, 215
아열대 기후대 104, 177, 217, 236, 242, 245
아열대 도심 지역 98, 177

아열대 해상 100, 114, 115, 145, 153, 171, 173,
181, 190, 208, 215
안개등 96
안철성 72
알류산 저기압 152, 194
여름 몬순 전선 100, 152
여름일(summer days) 173, 218
여름장마 138, 143, 152, 156, 157
역병 31, 42, 43
연강수량 103, 145, 146, 147, 148, 154, 162, 164,
182, 183, 225, 228, 230, 234, 237, 254, 255
연평균기온 114, 115, 117, 118, 208, 210, 212,
215, 216, 217, 249, 251
연평균 일최고기온 118, 120, 208, 210
연평균 일최저기온 118, 208, 210
열대성 저기압 22, 35
열대야 95, 100, 171, 172, 173, 174, 219, 220, 221,
223, 251
열대저기압(태풍) 181, 182, 184, 185, 186
열용량 118
열파(폭염) 177, 223
열파(폭염) 사망자 177
영주심경 89, 110, 112, 153
온돌 15
온열질환자 177
온화한 중위도 기후대 101, 104, 245
용오름 23, 25, 36, 37
용천수 18, 19, 86, 171
우기 156, 157, 159, 161
우역 43, 44
윈드시어(wind shear) 199
윤작(輪作) 59, 65
은광연세(恩光衍世) 75
을진풍 50
의녀반수(醫女班首) 75
이상기후 9, 10, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 43,
45, 63, 64, 67, 71, 72
임몰대기근 67, 73, 75

ㄴ

자동기상관측소 81, 84, 89, 101, 115, 140, 238
 자청비 63
 장기 14, 16, 20, 92, 97
 장마전선 114, 151, 152, 176, 181, 183, 185, 197, 199
 장사 21, 22
 적설계 93, 94, 154, 192
 전력 사용량 171, 222
 정기적인 휴경 57
 제민창 73
 제주농업기상정보 시스템 180
 제주조릿대 31, 67, 68, 69, 104
 제주풍토기 10, 14, 61
 제주풍토록 10, 11, 15, 47, 72
 주낭 71
 조선왕조실록 9, 10, 23, 25, 26, 32, 34, 43, 67
 조풍(潮風) 199
 종관기상관측소 81, 82, 93, 95, 96, 99, 101, 114, 115, 124, 125, 143, 153, 154, 162, 207, 208, 212, 220, 228, 238
 주호 62
 중세 온난기 26
 증보문헌비고 9, 10, 25, 26, 32
 지표 마찰 166, 167, 196, 197
 지형성 강수 현상 100, 145, 185, 229
 지형성 대설 현상 153
 진산(鎭山) 11, 50
 집중호우 18, 52, 53, 97, 146, 151, 181, 183, 199, 233
 짙은 안개(농무) 95, 96

ㄷ

천문학적 계절(astronomical seasons) 106
 체감온도 95, 170, 171, 215
 최난월 평균기온 103, 114, 242, 245

최대순간풍속 198, 199, 239
 최한월 평균기온 101, 103, 114, 242, 245
 춤물 19
 출륙금지령 75
 칠성(七星) 72

ㄹ

카르만 소용돌이(Karman vortex) 193
 롱 59, 65, 73
 콰텐-가이저의 전세계 기후 구분 101
 쿠로시오 난류 100, 115, 127, 208, 220

ㄴ

탐라기년 9, 10, 25, 26, 32, 36, 37, 38, 39, 45, 66, 67
 탐라지 10, 16, 18, 21
 태풍 9, 19, 22, 23, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 50, 51, 63, 67, 73, 91, 93, 96, 151, 181, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 197, 198, 199, 232, 235, 246
 태풍 나리(NARI) 97, 183, 184, 185, 187, 188, 189, 190, 199, 232
 토지 이용 방식 59
 트레와다의 전세계 기후 구분 101

ㄷ

팔양(八陽) 61
 편향수 20, 23, 33, 166
 편형수 166
 폭설 26, 29, 31, 40, 42, 69, 93, 97, 177, 191, 235
 폭염일 173, 174, 251

핀풍(Föhn wind) 176
핀(Föhn)현상 175
풍력 발전 166
풍해 31, 32, 33, 34, 36, 46, 54, 55
피 55, 59, 60, 64, 65
피고리 64

ㅎ

하논 51, 53
하늬부름 49, 50
한라산 9, 11, 12, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 33, 37, 39,
50, 51, 52, 53, 58, 59, 60, 68, 69, 81, 82, 85,
86, 87, 89, 90, 91, 92, 93, 95, 97, 98, 99, 100,
101, 103, 104, 106, 109, 110, 111, 112, 113,
114, 115, 116, 117, 118, 120, 123, 124, 125,
126, 127, 130, 133, 134, 137, 138, 140, 142,
143, 145, 146, 147, 148, 151, 152, 153, 154,
155, 156, 157, 159, 161, 162, 164, 166, 167,
170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178,
179, 180, 181, 183, 185, 189, 190, 191, 192,
193, 194, 196, 197, 198, 207, 212, 215, 216,
217, 228, 229, 230, 233, 235, 239, 241, 242,
245, 246, 247, 251, 255
한라산연구소 92, 96, 97, 116, 120, 125, 127, 133,
140, 147, 151, 155, 156, 167, 185
한라산 정상 동릉 관측 지점 92
한랭질환자 177
한반도 영향 태풍 186
한해 32, 33, 38, 39, 54
해륙풍 100
해발고도 16, 17, 60, 84, 86, 89, 91, 92, 94, 97, 98,
99, 100, 101, 103, 104, 106, 109, 111, 112,
113, 115, 117, 118, 120, 123, 124, 125, 127,
130, 133, 134, 135, 137, 140, 142, 143, 145,
146, 147, 148, 151, 152, 154, 155, 156, 157,
159, 161, 162, 164, 167, 170, 172, 173, 174,

175, 176, 177, 178, 179, 180, 182, 183, 185,
190, 191, 192, 196, 207, 217, 228, 229, 232,
239, 245, 246, 251, 255

해안사구 21, 22, 33
해양성 기후 12, 38, 151
호우일 182, 232, 233, 235, 255
호우현상 100, 181, 183, 232, 235
화나푸티나 화산 31
화나푸티나 42
환경기온감률 17, 117, 124, 143
황룡만리(黃龍萬里) 47

기타

HOB0 센서 기반 관측 지점 97
PRIDE(PRSIM based Downscaling Model)
98
USN 관측망 85, 89, 90
17세기의 위기 27

제14권 저자들

제1장 | 김오진

건국대학교 지리학과 이학박사

제주대학교 겸임교수 역임

제주특별자치도교육청 중등교장 역임

제주기후문화연구소 소장

《조선시대 제주도의 이상기후와 문화》, 《제주지리환경과 주민생활(공저)》의 다수

제2장/제3장 | 최광용

서울대학교 지리교육과 학사 및 석사

미국 텃거스 뉴저지 주립대학교 지리학과 지리학 박사

제주대학교 지리교육과 교수

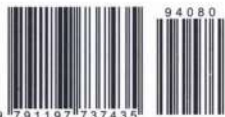
기후학, 환경지리학, GIS·원격탐사 강의

《동아시아의 기후》, 《제주지리환경과 주민생활(공저)》의 다수

기후와 기후변화

한라산의

한라산홍서14



ISBN 979-11-977374-3-5

ISBN 979-11-968758-9-3 (세트)