

# 울릉도의 기후 특성과 변화

김현희(경희대학교 지리학과)

## [목차]

1. 서론 .....	2
2. 연구 방법 .....	5
3. 연구 결과 .....	7
3.1 기후 특성 .....	7
1) 기온	
2) 합계 강수량	
3) 상대습도	
4) 풍속	
3.2 기후변화 .....	17
1) 제주도와 비교한 울릉도의 기후변화	
2) 상관계수 비교를 통한 지역 비교	
3) 월별 비교	
4. 토의 .....	31

## 1. 서론

섬은 지리적으로 매우 특이하고 또 특별한 공간이다. 바다에 의해 육지와 격리되어 있으며, 그 면적과 해발고도, 지형적 형태 등이 매우 다양하다. 또한 강한 바람과 부족한 지표수, 가파른 경사 등 식물이 자생하고 동물이 서식하는데 그 물리적 환경이 육지와 비교하여 매우 열악하다. 따라서 현재 자생하고 있는 식물은 그러한 열악한 환경에 적응한 종들로 현재는 환경적 평형상태에 있다고 봐야 한다 (Kim et al. 2023). 그러나 역설적으로 섬은 지리적 격리로 인해 육지에서는 볼 수 없는 희귀·보호식물이 많이 자생하고 있고, 또 지구상에서 특정 지역에 서만 볼 수 있는 특산식물(endemic plant species) 또한 풍부하다. 이러한 지리적 특성으로 인해 일부 섬은 전 세계 생물다양성의 hot spots으로 널리 알려져 있다. 에콰도르의 갈라파고스는 그 대표적인 예이다. 우리나라의 섬 또한 생물지리적으로 그 의미가 작지 않다. 남쪽의 마라도에서부터 북쪽의 백령도까지 직선거리는 550km 정도에 불과하지만, 난온대 기후에서부터 냉대기후까지 다양한 기후가 나타나 식물종다양성이 높다. 또한 한반도 도서지역은 유라시아 대륙과 일본 열도를 연결하는 생태적 통로의 역할로 지질사적으로도 매우 흥미로운 공간이다. 더불어 섬의 형성 과정이 다양하고 주변의 해양 물리학적 환경 또한 서로 달라 자연지리학적으로도 매우 주목되는 곳이다.

우리나라 섬 대부분은 서해와 남해에 많이 분포하고 있으며, 특히 전라남도 신안군으로 대표되는 서남 해안은 섬의 수가 1,000여 곳이 훌쩍 넘는다. 이들 섬은 과거 빙하기 이후 본격적인 해수면 상승으로 인해 침수된 리아스식 해안의 일부분이다. 그러나 우리나라 동해를 대표하는 유일한 섬인 울릉도와 독도는 그 형성 원인이 270만 년 전 해저 화산폭발로 형성되어 섬의 기원 자체가 서남해의 섬들과는 다르다 (Song et al. 2006; Kim et al. 2022). 서해와 남해의 섬들이 과거 빙하기 대륙의 한 부분으로 산지의 정상이었던 것과는 달리 울릉도와 독도는 화산폭발과 용기로 인해 형성된 섬으로 섬이 만들어진 초기에는 어떤 식물과 동물도 분포하지 않은 상태에서 자연사가 시작되었다고 봐야 할 것이다. 따라서 현재의 울릉도와 독도의 생태계는 1차 천이가 교과서적으로 진행된 매우 흥미로운 공간이다. 특히 울릉도는 가장 가까운 육지인 경상북도 울진군 죽변항에서 직선거리로 약 130km나 떨어져 있고, 주변에 독도를 제외한 크고 작은 섬이 전혀 없는 그야말로 섬다운 섬이다. 이러한 높은 지리적 격리와 고립은 유일하게 울릉도에서만 볼 수 있는 많은 특산식물을 만들어내는 공간적 원천이 되었다. 멸종위기 야생생물 II급인 섬개야광나무(*Cotoneaster wilsonii*)와 섬말나리(*Lilium hansonii*), 섬초롱꽃(*Campanula takesimana*) 등 30여 종의 울릉도 특산식물은 우리나라의 소중한 자연유산이다.

울릉도의 독특한 식물상에 영향을 준 것은 섬이라는 지리적 요인도 있지만, 울릉도의 특별한 기후도 중요한 환경 요인으로 작용했다. 울릉도 주변 수심은 서해와 남해와는 비교되지 않을 만큼 깊은 바다로 온도 변화가 다른 해역과 비교해 상대적으로 적고 따뜻한 쿠로시오 해류의 직접적인 영향으로 기후가 동일 위도 대비 온화하다. 최근 Kim 등(2022)의 연구에 따르면 우리나라 도서지역 평균기온은 위도 1°가 높아지는 동안 약 1°C가 낮아지는 규칙적인 기온 분포가 나타나는 것으로 밝혀졌다. 그러나 예외적으로 북위 37°에 속하는 울릉도는 북위 34°에 해당하는 전라남도 신안군과 한반도 남해 도서지역의 평균기온과 유사한 것으로 보고되었다. 이 때문에 울릉도에는 동일 위도의 서해 백령도에서 볼 수 없는 후박나무(*Machilus thunbergii*)를 비롯한 다양한 난대성 식물이 자생하고 있다. 또한 울릉도는 겨울철 우리나라 최대 다설지로 겨울철 강수량이 압도적으로 많다. 이 때문에 울릉도의 독특한 전통 가옥인 우데기를 볼 수 있다. 울릉도의 겨울철 강수량은 같은 시기 우리나라 평균값 보다 약 4배 이상 많다.

그리고 기온의 연교차가 작고 연중 비슷한 양의 강수량이 분포해 한반도에서는 매우 독특하고 유일한 기후 그래프를 보이는 곳이 울릉도이다. 이러한 독특한 기후 환경 때문에 울릉도 곳곳에서는 다양한 형태의 기후 경관을 볼 수 있는데, 우데기와 같은 문화경관과 상록활엽수림과 같은 자연경관은 대표적인 사례다.

한편 기후와 관련된 분야 중 기후변화는 전 지구적인 단위에서 국가 단위로 그리고 또 지역 단위에서 매우 중요하고도 심각한 환경 담론임에는 논란의 여지가 없다. 기후변화는 당장 우리에게 다가온 가장 체험적인 환경 문제라 해도 과언이 아니다. 올해 초 개최되었던 세계경제 포럼인 다보스포럼(Davos Forum)에서는 향후 2년과 향후 10년의 글로벌 리스크(Global Risks Report)를 제시하였다. 그 내용을 살펴보면 기후변화와 생물다양성 소실 등 환경 분야가 향후 2년간 그리고 10년간 글로벌 리스크 순위 상위권에 대부분 올라 있다. 특히 향후 10년 기준 1위는 기후변화 완화 실패, 2위는 기후변화 적응 실패로 기후변화에 따른 생물다양성 소실과 생태계 훼손 문제가 정말 중요하고 또 위험 과제로 우리에게 다가온 것을 알 수 있다. 특히 울릉도 같은 섬 지역은 그 면적이 작고 또 물리적 환경이 열악하여 기후변화에 따른 생태계 변화와 그에 따른 인간 활동의 변화가 육지와 비교해 매우 민감한 공간이다. 울릉도의 경우 해수 기온변화에 따른 어종의 변화는 직접적인 거주민의 삶의 방식에 영향을 줄 수 있다. 2022년 어업생산동향조사 결과보고서(통계청)에 따르면 울릉도 근해의 대표 어종인 살오징어의 생산량이 작년 한 해 급감한 것으로 보고하고 있다. 2017년부터 2021년까지 평균 생산량은 60.6천톤이었으나, 2022년에는 거의 절반 수준인 36.5천톤으로 급감하였다. 이는 불법 중국 어선의 무분별한 남획 등이 그 원인으로 지목될 수 있겠으나, 해수 온도 상승에 따른 해양 생태계 변화 또한 그 원인 중 하나로 꼽힌다. 이처럼 울릉도를 포함한 주변의 물리적 환경은 매우 불안정한 상황이다. 특히 울릉도는 한반도 어느 지역에서 볼 수 없는 독특한 기후 환경을 가지고 있다는 점에서 울릉도의 기후변화는 더욱 주목할 필요성이 있다.

그럼에도 불구하고 기후변화를 포함한 보다 자세한 울릉도의 기후 특성과 변화에 관한 연구는 아직 많지 않다. 한국 학술지 인용색인(Korea Citation Index)에서 ‘울릉도의 기후’로 검색하면 울릉도와 관련된 직접적인 연구 결과물은 찾을 수 없다. 같은 조건으로 다양한 연구 성과가 검색되는 제주도와는 매우 대조적이다. 이런 관점에서 본 연구는 울릉도의 기후에 관한 전반적인 특성을 관측자료에 기반해 다시 한번 정리하고, 지금까지 없었던 울릉도의 기후 변화에 관해 살펴보고자 한다. 이를 통해 좁게는 울릉도의 기후 특성과 변화 양상을 이해하고 넓게는 기후 환경에 적응해 살아가는 다양한 생물들의 지속가능성을 위한 기초자료를 제공하고자 한다. 물론 여기는 울릉도를 터전으로 살아가는 우리 인간도 포함된다.

그림 1은 울릉도에서 볼 수 있는 대표적인 경관 중 일부다. 울릉도에 자생하는 동백나무(*Camellia japonica*)는 우리나라를 대표하는 난대수종 중 하나로 따뜻한 지역을 상징하는 수종이자 기후변화 지표식물 중 하나다. 울릉도 내수전 일대에는 건강한 동백나무 군락이 형성되어 있다. 울릉도의 동백나무는 섬을 포함했을 때 우리나라의 북한계선 중 한 곳이다. 울릉도를 대표하는 수종으로 마가목(*Sorbus commixta*)을 빼놓을 수 없는데 한약재로 인기가 많다. 그리고 솔송나무(*Tsuga sieboldii*)는 우리나라에서는 울릉도에만 자생하고 있는 종으로 식물지리 그리고 생물종다양성 관점에서 주목되는 종 중 하나이다. 울릉도의 환경은 거칠다. 투막집(우데기)은 울릉도의 겨울철 많은 눈에 적응하고자 만든 전통가옥이다. 너와집 또한 주변 환경에서 쉽게 구할 수 있는 재료로 만든 가옥이다. 이러한 투막집과 너와집은 인간이 자연환경에 적응하고 순응해 살아가는 자연경관이자 문화경관이다.



울릉도 내수전 일대 동백나무 숲과 저동항쪽 경관



울릉도 마가목과 솔송나무



나리분지의 우데기(복원)와 너와집

그림 1. 울릉도의 주요 식물과 전통 가옥 (2022년 6월 촬영)

## 2. 연구지역 및 연구방법

본 연구의 최종 목적은 울릉도의 기후 특성과 기후변화에 관해 정량적인 자료를 구축하고 분석해 울릉도 기후 환경의 전반적인 내용을 규명하는데 있다. 이를 위해 울릉도와 비슷한 위도대에 속하는 지역을 별도로 구분하고 비교하여 울릉도의 기후 특성을 보다 깊이 있게 다루고자 하였다. 이에 더해 우리나라 전 지역을 대상으로 관련 기후 값에 대해서도 동일하게 정리하고 분석하여 울릉도와 비교하였다. 관측소 기준 북위 37.481°의 울릉도와 비슷한 위도대에 속하는 지역은 인천(북위 37.478°), 서울(북위 37.571°), 양평(북위 37.489°), 원주(북위 37.338°), 대관령(북위 37.677°), 강릉(북위 37.752°)이다. 서해안(인천)과 동해안(강릉) 그리고 내륙지역(양평, 원주)을 포함하고 있고, 대관령은 해발고도가 높은 곳으로 다양한 지리적 특성을 반영하여 살펴보고자 하였다. 특히 울릉도와 같은 도서지역인 제주도도 연구지역으로 포함해 비교 분석하였다. 제주도의 경우 제주와 서귀포 관측소의 기상 자료를 평균하여 제주로 인용하였다 (그림 2).

관측 기간은 1973년부터 2022년까지 총 50년으로 통일하였다. 울릉도는 1939년부터 기상 관측 자료가 누락 없이 기록되어 있고, 서울, 인천, 강릉 등 100년 가까이 되는 기상 자료가 확보된 지역도 있으나, 더 많은 지역의 관측자료를 확보 함으로써 자료의 풍부성과 신뢰도를 높이고자 하였다. 전국 평균값은 지난 50년간(1973년~2022년) 관측자료가 확보되는 60곳을 그 대상으로 하였다. 다만 다른 지역과 비교하지 않은 울릉도의 기후변화 특성과 울릉도와 제주도 두 지역만을 비교한 부분은 1939년부터 2022년까지 84년간의 자료를 활용하였다 (그림 2).

분석에 활용된 기후자료는 기상청(<https://data.kma.go.kr>)에서 제공하는 종관기상관측(ASOS) 자료를 원자료(raw-data)로 인용하였다. 종관기상관측은 종관규모의 날씨를 파악하기 위하여 정해진 시각에 모든 관측소에서 같은 시각에 실시하는 지상관측을 말한다. 종관규모는 일기도에 표현되어 있는 보통의 고기압이나 저기압의 공간적 크기 및 수명을 말하며, 주로 매일의 날씨 현상을 뜻한다(기상청 기상자료 개방 포털). 분석에 인용된 기상 관측 요소는 평균 기온(°C), 평균최저기온(°C), 평균최고기온(°C), 합계 강수량(mm), 평균 상대습도(%), 평균 풍속(m/s)의 6개 항목이다. 분석 범위는 먼저 연 단위에서 기후 특성을 살펴보고, 다시 월 단위로 구분하여 더 구체적으로 분석하였다. 울릉도를 포함한 기상관측소는 그림 2와 같다.

울릉도의 기후 특성과 더불어 지난 50년 동안(1973년~2022년)의 기후자료들을 토대로 울릉도와 비교 지역 7곳, 총 8곳의 기후변화 양상을 분석하기 위하여 피어슨 상관분석을 실시하였다. 1973년 1월부터 2022년 12월까지의 기상 관측값으로 연간 비교 및 월별 비교를 통해 50년이라는 긴 시간에 따른 기후 값의 유의미한 변화를 설명하고자 하였다.

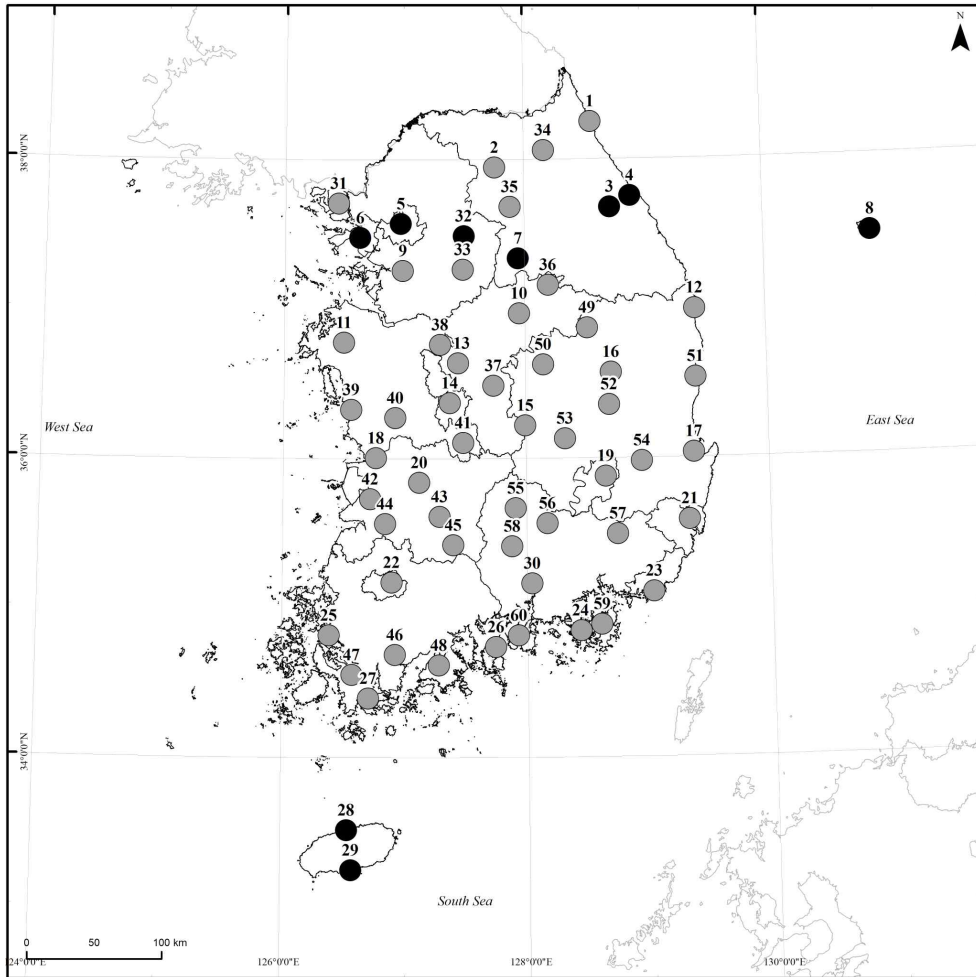


그림 2. 본 연구에서 활용된 기상 자료가 관측된 관측소들로 1973년부터 2022년까지 지난 50년간 관측자료가 확보된 전국 60개 지점 (검은색으로 표기된 지점은 울릉도와 별도로 구분하여 비교한 관측소)

1 속초, 2 춘천, 3 대관령, 4 강릉, 5 서울, 6 인천, 7 원주, 8 울릉도, 9 수원, 10 충주, 11 서산, 12 울진, 13 청주, 14 대전, 15 추풍령, 16 안동, 17 포항, 18 군산, 19 대구, 20 전주, 21 울산, 22 광주, 23 부산, 24 통영, 25 목포, 26 여수, 27 완도, 28 제주, 29 서귀포, 30 진주, 31 강화, 32 양평, 33 이천, 34 인제, 35 홍천, 36 제천, 37 보은, 38 천안, 39 보령, 40 부여, 41 금산, 42 부안, 43 임실, 44 정읍, 45 남원, 46 장흥, 47 해남, 48 고흥, 49 영주, 50 문경, 51 영덕, 52 의성, 53 구미, 54 영천, 55 거창, 56 합천, 57 밀양, 58 산청, 59 거제, 60 남해 (해당 관측소는 검은색 지점은 울릉도와 비교 지역)

### 3. 결과

#### 3.1 기후 특성

##### 1) 기온

지난 50년간(1973년~2022년) 울릉도의 평균기온은 12.52°C(표준편차 7.75), 평균 최고기온 15.81°C(표준편차 7.78), 평균 최저기온 9.92°C(표준편차 7.78)로 조사되었다. 같은 기간 우리나라 전국 평균기온은 12.59°C(표준편차 9.25), 평균 최고기온 18.06°C(표준편차 9.02), 평균 최저기온 7.87°C(표준편차 9.74)이다. 전국 관측값과 비교하여 울릉도의 평균기온은 0.07°C 낮았으며, 평균 최고기온은 2.25°C 낮았고, 평균 최저기온은 2.05°C 높았다. 평균기온은 전국 평균과 유사하였지만, 평균 최고기온은 전국 평균보다 낮았고 반대로 평균 최저기온은 전국 평균보다 높았다. 울릉도의 연교차(최난월 8월 평균기온과 최한월 1월 평균기온의 차)는 22.4°C로 우리나라 연교차 26.07°C보다 크게 낮았다. 울릉도의 평균기온은 3월부터 9월까지 전국과 비교해 기온이 낮았으나, 10월부터 다음 해 2월까지 전국 평균보다 높다. 3월에 울릉도와 전국 평균기온 차가 0.5°C로 가장 작았으며, 12월은 2.78°C로 가장 크게 벌어졌다. 6월(2.35°C)과 1월(2.26°C) 그리고 7월(2.05°C)에 2°C 이상 기온 차가 났다. 6월은 본격적으로 기온이 높아지면서 울릉도보다 전국 평균값이 빠르게 높아진 결과이며, 12월은 그 반대로 기온이 빠르게 낮아지면서 울릉도보다 전국 평균값이 빠르게 낮아진 결과이다 (그림 3) (표 1). 평균 최고기온의 경우 6월 4.17°C 차이로 그 차이가 가장 크다. 반면 1월은 0.13°C 차이로 그 차이가 가장 작았다. 4월부터 7월까지 평균 최고기온 차이는 크게 벌어졌다가 이후 그 차이는 감소한다 (그림 4) (표2). 반면 평균 최저기온의 경우 12월 4.99°C 차이로 가장 크며, 6월은 0.6°C로 그 차이가 가장 작아 평균 최고기온과 완전히 반대되는 결과를 보였다 (그림 5) (표 3). 이와 같은 결과는 울릉도의 기온변화 폭이 전국 평균보다 상대적으로 작음을 잘 보여준다. 이는 기온 편차에서도 확인되는데 울릉도의 기온 편차는 평균기온 1.23, 평균 최고기온 1.36, 평균 최저기온 1.22이며, 전국 평균의 경우 평균기온 2.10, 평균 최고기온 2.13, 평균 최저기온 2.61로 울릉도의 기온 편차가 전국 대비 상대적으로 작았다.

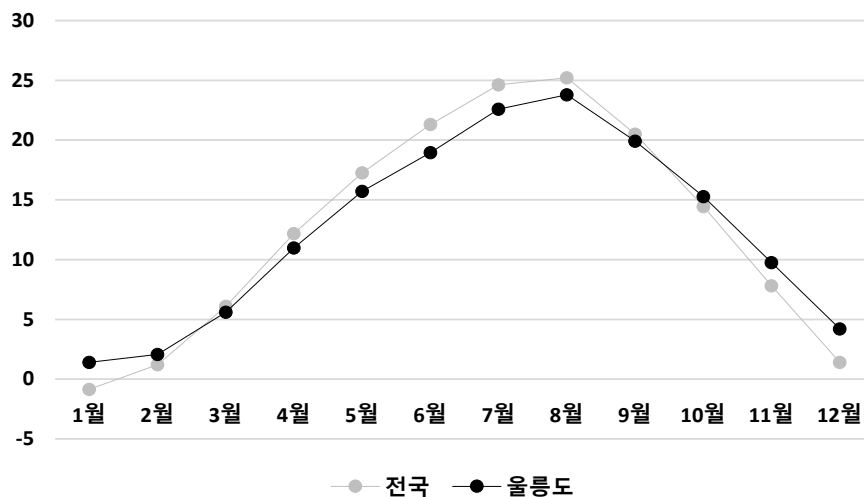


그림 3. 전국 평균값과 비교한 울릉도의 지난 84년간의 월평균 기온 (단위 °C)

[표 1] 전국 대비 울릉도의 월별 평균기온 및 기온 차 비교 (단위 °C)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전국	-0.86	1.21	6.1	12.17	17.25	21.31	24.63	25.21	20.51	14.43	7.8	1.41
울릉도	1.4	2.07	5.6	10.98	15.71	18.96	22.58	23.8	19.91	15.28	9.75	4.2
차	2.26	0.86	-0.5	-1.19	-1.54	-2.35	-2.05	-1.41	-0.6	0.85	1.95	2.79

(차: 울릉도 관측값 - 전국 관측값)

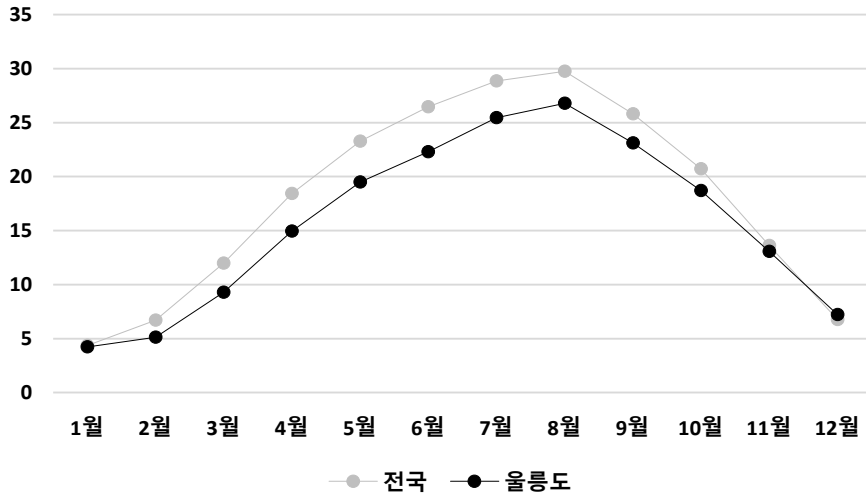


그림 4. 전국 평균값과 비교한 울릉도의 지난 84년간의 월평균 최고기온 (단위 °C)

[표 2] 전국 대비 울릉도의 월별 평균 최고기온 및 기온 차 비교 (단위 °C)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전국	4.37	6.71	11.98	18.43	23.28	26.47	28.86	29.76	25.82	20.72	13.61	6.75
울릉도	4.24	5.12	9.28	14.96	19.5	22.3	25.46	26.8	23.1	18.7	13.08	7.21
차	-0.13	-1.59	-2.7	-3.47	-3.78	-4.17	-3.4	-2.96	-2.72	-2.02	-0.53	0.46

(차: 울릉도 관측값 - 전국 관측값)

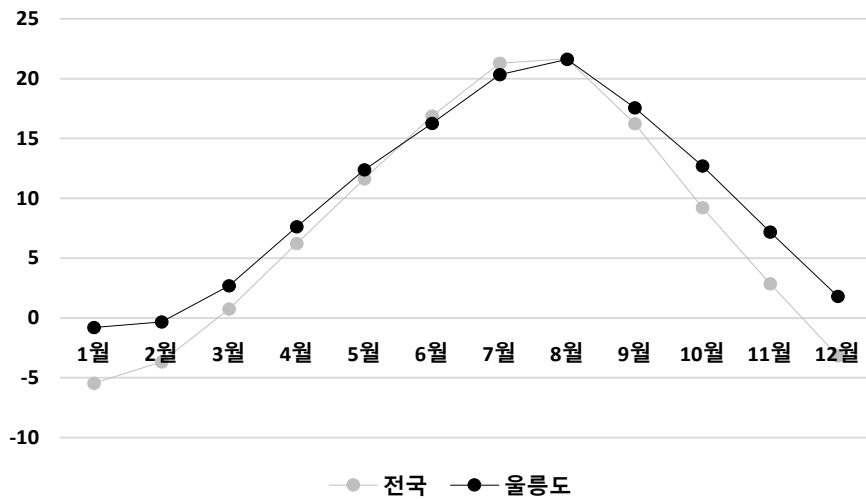


그림 5. 전국 평균값과 비교한 울릉도의 지난 84년간의 월평균 최저기온 (단위 °C)



[표 3] 전국 대비 울릉도의 월별 평균 최저기온 및 기온 차 비교

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전국	-5.46	-3.68	0.76	6.23	11.61	16.87	21.29	21.66	16.23	9.22	2.85	-3.19
울릉도	-0.8	-0.33	2.68	7.63	12.38	16.27	20.33	21.6	17.57	12.71	7.17	1.8
차	4.66	3.35	1.92	1.4	0.77	-0.6	-0.96	-0.06	1.34	3.49	4.32	4.99

(차: 울릉도 관측값 - 전국 관측값)

동일 위도대에 해당하는 지역들과 비교해 울릉도는 전국 평균 비교와 마찬가지로 평균기온은 비슷했으나, 최고기온은 낮았고, 최저기온은 높은 양상을 보였다. 물론 해발고도가 높은 대관령은 평균기온, 최고기온, 최저기온 모두 가장 낮았다. 울릉도의 연교차는 22.4로 인천 27.36, 서울 28.22, 양평 29.13, 원주 28.96, 대관령 26.93, 강릉 24.33과 비교해 작았다. 울릉도와 같은 도서지역인 제주도의 연교차는 20.66으로 울릉도보다 작았다. 이는 위도가 반영된 결과이다 (그림 6) (표 4).

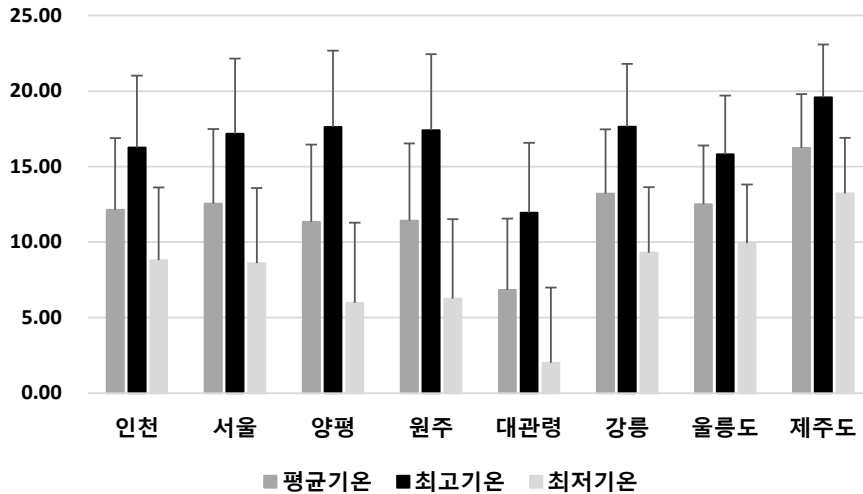


그림 6. 울릉도와 비슷한 위도대에 속하는 지역들과 제주도의 평균기온, 평균 최고기온, 평균 최저기온 비교 (단위 °C) (관측 기간: 1973년~2022년)

[표 4] 울릉도와 비교 지역 7곳의 지난 50년(1973년~2022년)간 월별 평균기온, 평균최저기온, 평균최고기온 (단위 °C)

월별 평균기온								
	인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
1월	-2.06	-2.42	-4.20	-3.99	-7.36	0.52	1.40	6.32
2월	0.12	0.17	-1.07	-1.01	-5.20	2.10	2.07	7.09
3월	5.19	5.78	4.97	4.94	-0.01	6.62	5.60	10.10
4월	11.22	12.41	11.69	11.86	6.87	12.90	10.98	14.38
5월	16.45	17.90	17.24	17.43	12.37	17.93	15.71	18.27
6월	20.92	22.36	21.91	21.95	16.03	21.05	18.96	21.61
7월	24.23	25.16	24.78	24.86	19.51	24.40	22.58	25.79
8월	25.30	25.80	24.93	24.97	19.57	24.85	23.80	26.98

9월	21.21	21.33	19.62	19.62	14.37	20.35	19.91	23.42
10월	15.00	14.81	12.62	12.73	8.56	15.42	15.28	18.82
11월	7.63	7.24	5.38	5.47	2.07	9.36	9.75	13.59
12월	0.51	0.00	-1.68	-1.63	-4.70	3.16	4.20	8.55
월별 평균최고기온								
	인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
1월	1.72	1.68	1.81	1.77	-2.17	5.02	4.24	9.46
2월	4.15	4.65	5.15	4.93	0.00	6.62	5.12	10.46
3월	9.58	10.78	11.60	11.26	5.06	11.27	9.28	13.70
4월	15.90	17.83	19.01	18.83	12.84	17.87	14.96	18.09
5월	21.14	23.31	24.21	24.00	18.27	22.75	19.50	21.92
6월	25.23	27.27	27.98	27.70	21.09	25.13	22.30	24.73
7월	27.66	28.97	29.62	29.54	23.43	28.00	25.46	28.66
8월	28.88	29.79	30.25	30.03	23.52	28.57	26.80	29.93
9월	25.43	26.00	26.11	25.66	19.23	24.60	23.10	26.54
10월	19.59	20.03	20.07	19.70	14.46	20.22	18.70	22.37
11월	11.74	11.76	11.69	11.62	7.30	13.89	13.08	17.15
12월	4.27	4.02	3.93	3.91	0.33	7.70	7.21	11.89
월별 평균최저기온								
	인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
1월	-5.38	-6.01	-9.64	-9.10	-12.54	-3.12	-0.80	3.44
2월	-3.27	-3.65	-6.70	-6.29	-10.47	-1.78	-0.33	3.93
3월	1.74	1.60	-1.11	-0.81	-5.02	2.24	2.68	6.66
4월	7.60	7.72	4.64	5.15	1.06	7.96	7.63	10.84
5월	12.81	13.16	10.62	11.16	6.40	13.20	12.38	14.96
6월	17.71	18.33	16.56	16.85	11.34	17.28	16.27	18.97
7월	21.74	22.15	20.97	21.12	16.33	21.35	20.33	23.48
8월	22.61	22.62	20.95	21.07	16.31	21.74	21.60	24.47
9월	17.68	17.34	14.78	14.86	10.03	16.72	17.57	20.68
10월	11.06	10.31	7.01	7.10	3.16	11.23	12.71	15.61
11월	4.04	3.28	0.21	0.33	-2.87	5.37	7.17	10.31
12월	-2.89	-3.60	-6.57	-6.39	-9.61	-0.61	1.80	5.45

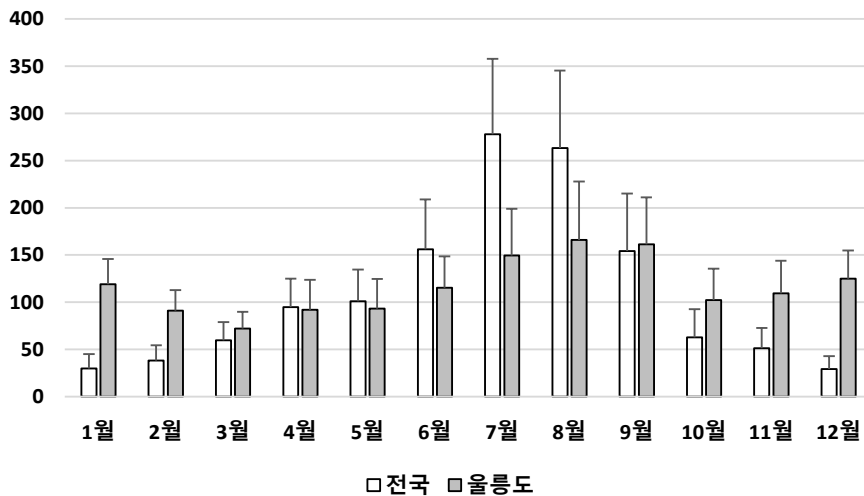
## 2) 합계 강수량

1973년부터 2022년까지 50년간 기상 자료가 관측된 60곳의 자료를 기준으로 우리나라 평균 연 강수량은 1,317.88mm였다. 같은 기간 울릉도는 1,395.84mm로 전국 평균과 큰 차이는 없다 (그림 7). 울릉도와 동일 위도에 속하는 지역의 연 강수량은 인천 1,173.43mm, 서울 1,368.08mm, 양평 1,354.35mm, 원주 1,292.88mm, 대관령 1,633.20mm, 강릉 1,428.09mm, 울릉도 1,395.81mm, 제주도 1,698.97mm다. 울릉도는 제주도와 대관령, 강릉과 비교했을 때 연 강수량이 적었고, 인천, 서울, 양평, 원주와 비교해서는 연 강수량이 많았다 (표 5) (그림 8).

그러나 울릉도의 월별 강수 패턴은 우리나라의 전형적인 강수 분포와는 매우 다르다. 일반적으로 우리나라 연 강수량은 장마와 태풍의 영향을 받는 여름철에 집중된다. 전국 단위에서 우리나라 여름철 강수 집중도는 52.91%(697.64mm)로, 다른 계절(봄 19.38%, 가을 20.35%, 겨울

울 7.36%)과 비교해 월등히 높다. 울릉도와 동일한 위도대에 속하는 지역들도 이러한 경향은 뚜렷하다. 서울(61.05%)과 양평(61.64%)의 여름철 강수 집중도는 60%가 넘으며, 인천(58.01%), 원주(59.48%), 대관령(50.45%)은 50% 이상이다. 강릉이 44.36%, 제주도가 43.95%로 조사되어 여름철 강수 집중도가 상대적으로 낮았다. 그러나 울릉도의 여름 강수 집중도는 30.86%에 불과해 다른 지역과 비교해 압도적으로 낮다. 이와 반대로 울릉도의 겨울 강수 집중도는 23.98%로 전국 평균 7.36%과 비교에 매우 높다. 서울(4.95%)과 양평(4.85%)이 5% 미만인 것과 비교하면 그 차이는 더욱 극명하다. 울릉도의 계절별 강수 집중도는 봄 18.44%, 여름 30.86%, 가을 26.72%, 겨울 23.98%로 우리나라에서 유일하게 강수의 계절적 편중이 나타나지 않는다. 여름 강수 집중도가 낮고, 겨울 강수 집중도가 상대적으로 높은 것이 그 원인이다. 이것은 겨울철 압도적으로 많은 강설량에 따른 결과로 특히 울릉도의 12월과 1월 강수량은 전국 평균의 3배 이상이다 (표 6). 동일 위도 지역들과 제주도를 비교한 울릉도의 월별 강수량 순위는 1월, 2월, 11월, 12월에 1위였으며, 반대로 6월은 7위, 7월과 8월은 8위로 가장 적었다 (표 7).

강수량의 월별 편차는 울릉도가 70.2로 전국 평균 75.9 보다는 작다. 그러나 겨울철(12월, 1월, 2월) 강수 편차는 울릉도가 크고(울릉도 52.51, 전국 평균 30.03), 반대로 여름철(6월, 7월, 8월) 편차는 울릉도가 작다(울릉도 96.34, 전국 평균 143.18). 이러한 결과 또한 강수의 계절별 집중도 차이에 따른 것이다.



	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전국	29.78	38.03	59.55	94.69	100.85	155.9	278.03	263.41	154.22	62.85	51.06	29.24
울릉도	118.86	90.93	72.16	91.89	93.31	115.39	149.37	166.01	161.38	102.18	109.45	124.87
차	89.08	52.9	12.61	-2.8	-7.54	-40.51	-112.02	-97.4	7.16	39.33	58.39	95.63

(차: 울릉도 관측값 - 전국 관측값)

그림 7. 전국 평균값과 비교한 울릉도의 지난 84년간의 월별 합계 강수량 (단위 mm)

[표 5] 울릉도와 비교 지역 7곳의 지난 50년(1973년~2022년)간 월별 합계 강수량 (단위 mm)

강수량	인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
1월	17.87	18.98	18.98	20.07	47.87	51.54	118.86	60.09

2월	22.48	25.3	25.2	26.45	46.18	52.39	90.93	71.76
3월	38.57	43.41	43.65	48.15	67.18	69.07	72.16	105.25
4월	70.03	77.98	77.23	78.49	93.52	82.57	91.89	138.31
5월	91.41	98.87	92.78	86.85	103.49	77.64	93.31	151.54
6월	111.05	137.78	141.41	141.45	166.84	120.13	115.39	224.94
7월	303.09	374.05	379.34	348.8	310.87	231.2	149.37	250.11
8월	266.6	323.33	314.06	281.76	346.25	281.42	166.01	271.63
9월	129.42	141.71	146.42	147.86	242.47	220.74	161.38	212.08
10월	49.87	50.76	47.48	50.6	105.95	120.34	102.18	89.48
11월	50.69	52.43	46.26	43.14	71.15	80.68	109.45	74.09
12월	22.35	23.48	21.54	24.27	31.44	38.79	124.87	49.67

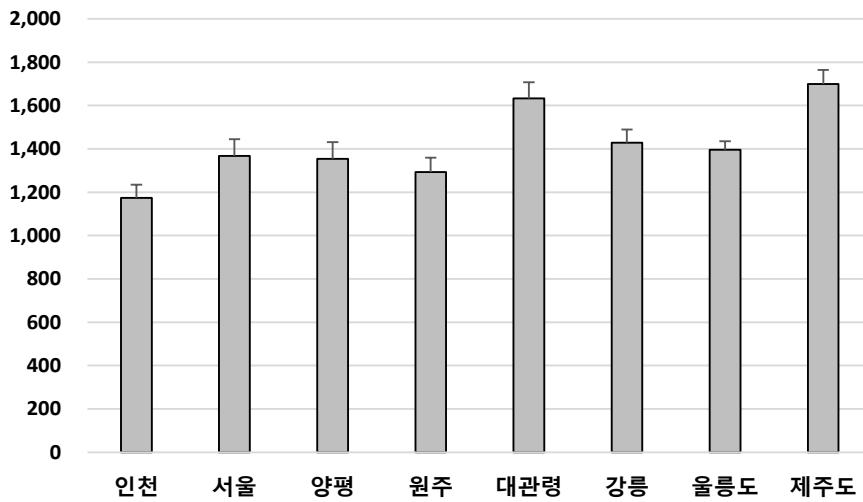


그림 8. 울릉도와 비교 지역 7곳의 평균 연 강수량 비교(단위 mm)  
(관측 기간: 1973년~2022년)

[표 6] 계절별 강수 비율 (단위 %)

	인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도	전국
봄	17.04	16.10	15.78	16.45	16.18	16.07	18.44	23.26	19.38
여름	58.01	61.05	61.64	59.48	50.45	44.36	30.86	43.95	52.91
가을	19.60	17.90	17.73	18.61	25.69	29.57	26.72	22.11	20.35
겨울	5.34	4.95	4.85	5.45	7.68	10.00	23.98	10.68	7.36

[표 7] 울릉도와 비교 지역들의 월별 합계 강수량 상대 비교표 (순위)

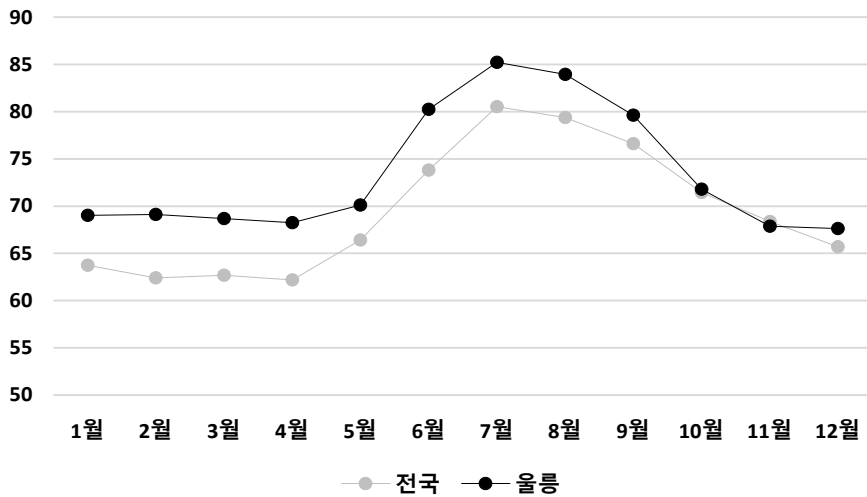
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1위	울릉도	울릉도	제주도	제주도	제주도	제주도	양평	대관령	대관령	강릉	울릉도	울릉도
2위	제주도	제주도	울릉도	대관령	대관령	대관령	서울	서울	강릉	대관령	강릉	제주도
3위	강릉	강릉	강릉	울릉도	서울	원주	원주	양평	제주도	울릉도	제주도	강릉
4위	대관령	대관령	대관령	강릉	울릉도	양평	대관령	원주	울릉도	제주도	대관령	대관령
5위	원주	원주	원주	원주	양평	서울	인천	강릉	원주	서울	서울	원주
6위	서울	서울	양평	서울	인천	강릉	제주도	제주도	양평	원주	인천	서울

7위	양평	양평	서울	양평	원주	울릉도	강릉	인천	서울	인천	양평	인천
8위	인천	인천	인천	인천	강릉	인천	울릉도	울릉도	인천	양평	원주	양평

### 3) 상대습도

지난 50년간 울릉도의 평균 상대습도는 73.46%로 조사되었다. 7월이 평균 85.22%로 1년 중 가장 높았고, 12월이 67.62%로 가장 낮았다. 월별 편차는 평균 4.83이다. 같은 기간 우리나라 전국 평균 상대습도는 69.44%이다. 7월이 평균 80.54%로 가장 높았고, 4월이 62.17%로 가장 낮았다. 월별 편차는 7.15이다. 울릉도의 평균 상대습도는 전국 평균 대비 4.02% 높았다. 다양한 지리적, 지역적 특성이 반영된 전국 평균보다 편차는 작았다. 울릉도의 상대습도가 7월 최고, 12월 최저인 것에 반해 전국 평균값은 7월 최고, 봄철인 4월이 최저인 것이 특징적이다. 울릉도의 상대습도는 우리나라의 일반적으로 건조한 봄철과는 달랐다. 전국 평균값과 울릉도의 상대습도 차이는 2월 6.72%로 가장 컸고, 10월 0.36%로 가장 작았다. 2월부터 6월까지 그 차이가 컸으며 9월부터 12월은 상대적으로 차이가 작았다 (그림 9).

같은 기간 동일 위도에 속하는 지역들의 평균 상대습도는 인천 69.56%, 서울 64.11%, 양평 70.23%, 원주 68.25%, 대관령 74.20%, 강릉 61.20%로 울릉도는 대관령을 제외하고 가장 높았다. 제주도는 70.83%로 울릉도보다 낮았다 (그림 10) (표 8). 울릉도의 상대습도는 1월부터 6월까지 제주도가 가장 높았던 5월 두 번째로 높았던 것을 제외하고 비교 지역들 중 가장 높았다. 7월부터 9월도 지형성 강수량이 많은 대관령 다음이었다. 단 10월, 11월, 12월 동안 울릉도의 비교 지역별 상대습도 순위는 4위로 다소 낮아졌다 (표 9).



	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전국	63.74	62.4	62.69	62.17	66.4	73.82	80.54	79.38	76.6	71.44	68.37	65.71
울릉도	69.02	69.12	68.68	68.24	70.1	80.26	85.22	83.96	79.62	71.8	67.88	67.62
차	5.28	6.72	5.99	6.07	3.7	6.44	4.68	4.58	3.02	0.36	-0.49	1.91

(차: 울릉도 관측값 - 전국 관측값)

그림 9. 전국 평균과 비교한 울릉도의 지난 84년간의 월평균 상대습도 (단위 %)

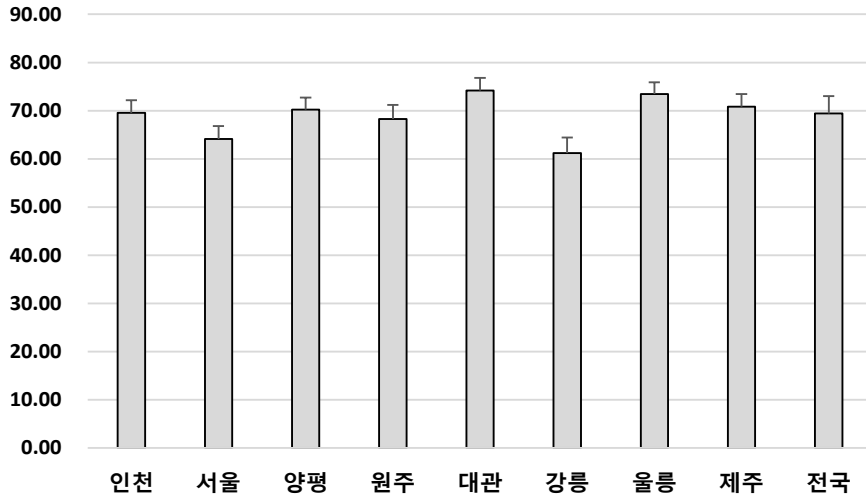


그림 10. 울릉도와 비교 지역 7곳의 평균 상대습도 비교(단위 %)  
(관측 기간: 1973년~2022년)

[표 8] 울릉도와 비교 지역 7곳의 지난 50년(1973년~2022년)간 월평균 상대습도 (단위 %)

습도	인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
1월	62.34	59	67.5	65.6	67.48	48.48	69.02	65.43
2월	62.46	57.54	64.34	62.36	67.44	51.76	69.12	65.05
3월	64.68	57.68	61.86	60.44	68.28	55.86	68.68	64.97
4월	65.32	56.84	59.68	58.04	63.52	54.6	68.24	67.28
5월	70.08	61.48	64.94	62.3	67.62	59.42	70.1	71.18
6월	76.36	68.22	70.36	68.86	79.8	71.14	80.26	79.9
7월	83.16	77.78	79.28	77.26	86.22	76.64	85.22	82.98
8월	80.24	75.26	79.46	77.18	87.24	77.42	83.96	79.49
9월	73.5	68.52	77.54	75.14	85.56	74.04	79.62	74.86
10월	67.98	63.92	75.3	72.86	77.44	63.02	71.8	67.4
11월	65.28	62.34	72.18	70.46	71.6	54.36	67.88	66.15
12월	63.3	60.7	70.32	68.54	68.24	47.66	67.62	65.21
평균	69.56	64.11	70.23	68.25	74.20	61.20	73.46	70.83

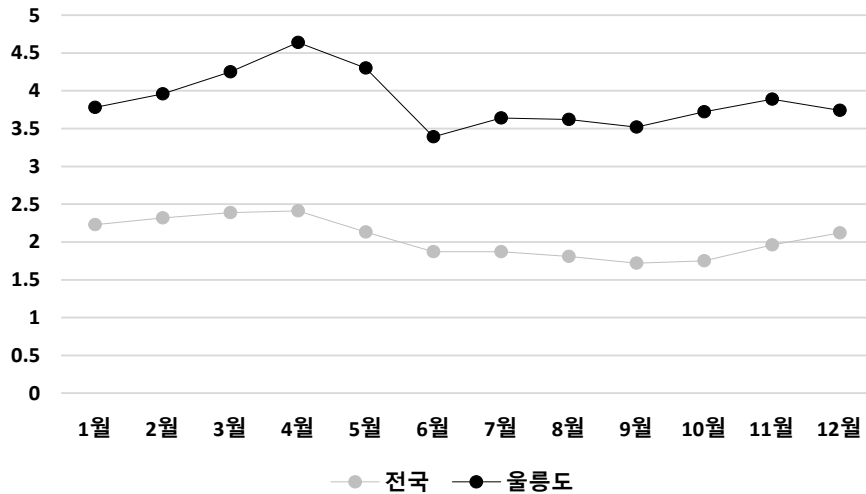
[표 9]. 울릉도와 비교 지역들의 월별 평균 상대습도 비교표 (순위)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1위	울릉도	울릉도	울릉도	울릉도	제주도	울릉도	대관령	대관령	대관령	대관령	양평	양평
2위	양평	대관령	대관령	제주도	울릉도	제주도	울릉도	울릉도	울릉도	양평	대관령	원주
3위	대관령	제주도	제주도	인천	인천	대관령	인천	인천	양평	원주	원주	대관령
4위	원주	양평	인천	대관령	대관령	인천	제주도	제주도	원주	울릉도	울릉도	울릉도
5위	제주도	인천	양평	양평	양평	강릉	양평	양평	제주도	인천	제주도	제주도
6위	인천	원주	원주	원주	원주	양평	서울	강릉	강릉	제주도	인천	인천
7위	서울	서울	서울	서울	서울	원주	원주	원주	인천	서울	서울	서울
8위	강릉	강릉	강릉	강릉	강릉	서울	강릉	서울	서울	강릉	강릉	강릉

#### 4) 풍속

울릉도의 연평균 풍속은 3.87㎞이며 4월 평균 4.64㎞로 가장 강했고 9월이 3.52㎞로 가장 약했다. 이어 5월(4.30㎞)과 3월(4.25㎞)도 평균 4㎞ 이상으로 다른 월과 비교해 풍속이 강했다. 봄철 강한 풍속을 제외하면 다른 월별 평균 풍속은 비슷하였다. 같은 기간 우리나라 전 지역 평균 풍속은 2.05㎞로 울릉도와 비교해 풍속은 약했다. 봄철인 4월 2.41㎞로 가장 바람이 강했고 3월(2.39㎞)과 5월(2.13㎞)도 상대적으로 풍속이 강했다. 9월은 1.72㎞로 가장 약한 월이었다. 월별 편차는 울릉도가 평균 0.66으로 전국 평균 0.96보다 작았다 (그림 11).

제주도를 포함한 비슷한 위도에 해당하는 지역과 울릉도의 풍속을 비교한 결과 울릉도는 연평균 풍속 3.87㎞로 풍속이 가장 강한 것으로 파악되었다. 강한 바람으로 유명한 제주도(3.14㎞)보다 울릉도의 평균 풍속이 강했으며, 높은 해발고도로 바람이 강한 대관령(3.76㎞)과의 비교에서도 울릉도의 평균 풍속이 강했다. 내륙지역인 양평(1.26㎞)과 원주(1.16㎞)는 풍속이 전국 평균보다 약한 것으로 조사되었으며, 울릉도와는 약 3배 이상 차이가 나타났다 (그림 12) (표 10). 풍속의 평균 편차는 울릉도가 0.66으로 전국 평균 0.96, 대관령 0.93, 제주도 0.70보다 작아 월별 편차는 작았다. 다른 지역과 비교한 울릉도의 풍속은 3월부터 10월까지 가장 강했으며, 11월부터 2월의 겨울에는 대관령에 이어 두 번째로 풍속이 강했다 (표 11).



	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전국	2.23	2.32	2.39	2.41	2.13	1.87	1.87	1.81	1.72	1.75	1.96	2.12
울릉도	3.78	3.96	4.25	4.64	4.3	3.39	3.64	3.62	3.52	3.72	3.89	3.74
차	1.55	1.64	1.86	2.23	2.17	1.52	1.77	1.81	1.8	1.97	1.93	1.62

(차: 울릉도 관측값 - 전국 관측값)

그림 11. 전국 평균값과 비교한 울릉도의 지난 84년간의 월평균 풍속 (단위 ㎞)

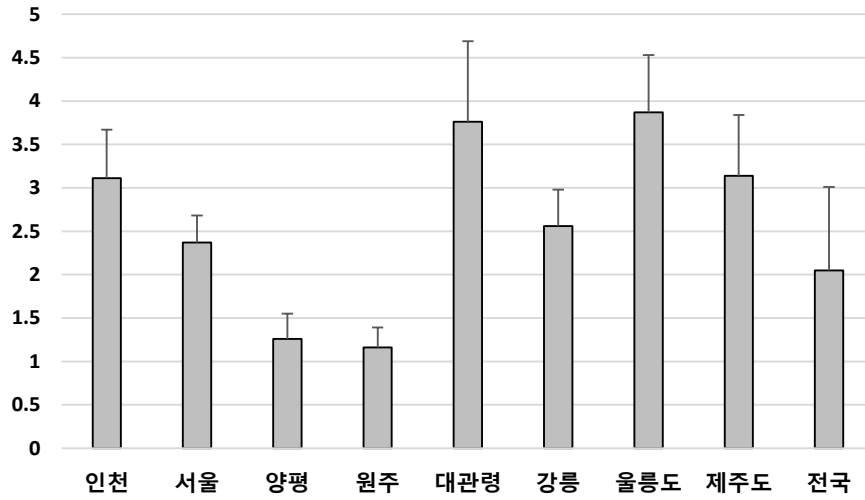


그림 12. 울릉도와 비교 지역 7곳의 평균 풍속 비교(단위 %) (관측 기간: 1973년~2022년)

[표 10] 울릉도와 비교 지역 7곳의 지난 50년(1973년~2022년)간 월별 평균 풍속 (단위 %)

풍속	인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
1월	3.43	2.4	1.28	1.04	4.72	3.41	3.78	3.56
2월	3.64	2.62	1.47	1.25	4.35	3.08	3.96	3.52
3월	3.76	2.77	1.63	1.51	4.05	2.8	4.25	3.39
4월	3.69	2.83	1.65	1.61	4.31	2.82	4.64	3.18
5월	3.12	2.55	1.35	1.36	3.94	2.48	4.3	2.79
6월	2.6	2.25	1.19	1.19	2.89	1.84	3.39	2.71
7월	2.74	2.25	1.07	1.09	3.2	1.76	3.64	2.76
8월	2.62	2.14	1.05	1.01	2.8	1.77	3.62	2.95
9월	2.39	1.98	0.96	0.92	2.46	2.01	3.52	3.06
10월	2.57	2.01	0.99	0.89	3.17	2.47	3.72	3.06
11월	3.24	2.26	1.22	1.01	4.27	2.9	3.89	3.2
12월	3.46	2.32	1.26	1.02	4.9	3.39	3.74	3.48
평균	3.11	2.37	1.26	1.16	3.76	2.56	3.87	3.14

[표 11] 울릉도와 비교 지역들의 월별 평균 풍속 상대 비교표 (순위)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1위	대관령	대관령	울릉도	울릉도	울릉도	울릉도	울릉도	울릉도	울릉도	울릉도	대관령	대관령
2위	울릉도	울릉도	대관령	대관령	대관령	대관령	대관령	제주도	제주도	대관령	울릉도	울릉도
3위	제주도	인천	인천	인천	인천	제주도	제주도	대관령	대관령	제주도	인천	제주도
4위	인천	제주도	제주도	제주도	제주도	인천	인천	인천	인천	인천	제주도	인천
5위	강릉	강릉	강릉	서울	서울	서울	서울	서울	강릉	강릉	강릉	강릉
6위	서울	서울	서울	강릉	강릉	강릉	강릉	강릉	서울	서울	서울	서울
7위	양평	양평	양평	양평	원주	원주	원주	양평	양평	양평	양평	양평
8위	원주	원주	원주	원주	양평	양평	양평	원주	원주	원주	원주	원주



### 3.2 기후변화

지구온난화에 따른 기후변화는 오늘날 우리 인류에게 직면한 가장 직접적이고 또 중요한 환경 이슈 중 하나로 기후변화와 그에 따른 다양한 분야에서의 영향은 전 세계적인 환경 담론으로 자리매김하였다. 특히 기후변화는 환경문제라는 특정 분야에 국한되지 않고, 사회, 경제, 문화 등 매우 다양한 분야에 직간접인 영향을 주고 있는 것이 현실이다. 본 연구에서는 그동안 주목받지 못했던 울릉도의 기후변화에 관해 다루고자 하였다. 같은 도서지역인 제주도와 비교하고 또 울릉도와 비슷한 위도대에 속하는 지역들과 비교해 울릉도 기후변화의 현황과 그 특징에 대해 살펴보고자 하였다. 특히 피어슨 상관분석을 통해 시간과 기후요소들 간의 상관성을 비교 분석하였다.

#### 1) 제주도와 비교한 울릉도의 기온변화

지난 84년간 울릉도의 평균기온은 12.3°C였으며, 표준편차는 0.65였다. 가장 기온이 높았던 해는 2019년으로 13.7°C였으며, 가장 기온이 낮았던 해는 1947년으로 10.5°C였다. 기온이 높았던 상위 10년은 2019년 13.7°C, 2022년 13.6°C, 2021년 13.5°C, 2007년 13.4°C, 2020년 13.4°C, 1990년 13.3°C, 1998년 13.3°C, 2016년 13.2°C, 1994년 13.1°C, 2004년 13.1°C, 2015년 13.1°C, 2017년 13.1°C 순이었다. 반대로 기온이 낮았던 상위 10년은 1947년 10.5°C, 1945년 11°C, 1963년 11.1°C, 1974년 11.2°C, 1980년 11.2°C, 1986년 11.2°C, 1956년 11.3°C, 1969년 11.3°C, 1957년 11.4°C, 1981년 11.4°C 순이었다. 이들 연도를 단순 평균으로 비교하면 가장 더웠던 10년은 평균 2010.3년, 가장 추웠던 10년은 평균 1965.8년으로 그 시기에 극명한 차이가 있음이 확인된다.

지난 84년간 울릉도의 평균기온은 지속해 상승하고 있다( $p < 0.01$ ,  $r = 0.556$ ). 최저 10.5°C (1947년)에서 최대 12.9°C(1959년, 1961년, 1978년) 사이에서 형성되던 울릉도의 평균기온은 1986년 11.2°C를 마지막으로 11.5°C 이하의 평균기온이 관측된 적은 없었다. 또한 2012년 11.9°C를 마지막으로 울릉도의 평균기온은 매년 12°C 이상으로 관측되었다. 특히 2015년부터 2022년까지 최근 8년 연속 평균기온은 13°C 이상으로 기상관측 이래 가장 높은 기온이 유지되고 있다 (그림 13). 10년 단위로 살펴보면 울릉도의 평균기온은 1940년대(1939년~1950년) 11.88°C, 1950년대(1951년~1960년) 12.18°C, 1960년대(1961년~1970년) 11.86°C, 1970년대(1971년~1980년) 12.06°C, 1980년대(1981년~1990년) 12.16°C, 1990년대(1991년~2000년) 12.59°C, 2000년대(2001년~2010년) 12.58°C, 2010년대(2011년~2022년) 13.01°C였다. 1960년대가 11.86°C로 가장 낮았던 반면 최근인 2010년대는 13.01°C로 평균기온 13°C를 넘어섰다. 특히 2000년대와 비교해 2010년대는 0.43°C가 높아져 기온 증가 폭이 다른 기간과 비교해 가장 높았다 (그림 14). 기온변화 양상을 더 구체적으로 살펴보기 위하여 다시 5년 단위로 구분하여 울릉도의 평균기온을 분석하였다. 1966년부터 1970년 사이 평균기온은 11.72°C로 가장 낮았던 반면 가장 최근인 2016년부터 2022년 사이는 13.36°C로 가장 기온이 높았다. 1939년부터 1975년까지는 11°C에서 12°C 사이에서 평균값이 분포했으나, 1976년 이후에는 12°C 이하로 기온이 떨어지지 않았으며, 2011년에서 2015년 사이 12.52°C였던 기온은 이후 빠르게 올라 13°C를 넘어섰다 (그림 15).

평균기온과 함께 평균 최저기온과 평균 최고기온도 지난 84년간 지속적으로 높아지고 있는 것이 확인된다. 그러나 다른 지역들이 최저기온이 빠르게 높아지는 경향을 보이는 반면 울릉도는 평균 최저기온의 상승 폭( $p < 0.01$ ,  $r = 0.521$ )과 평균 최고기온의 상승 폭( $p < 0.01$ ,  $r = 0.524$ )의 차이가 미미하게 산출된 것이 특징적이다.

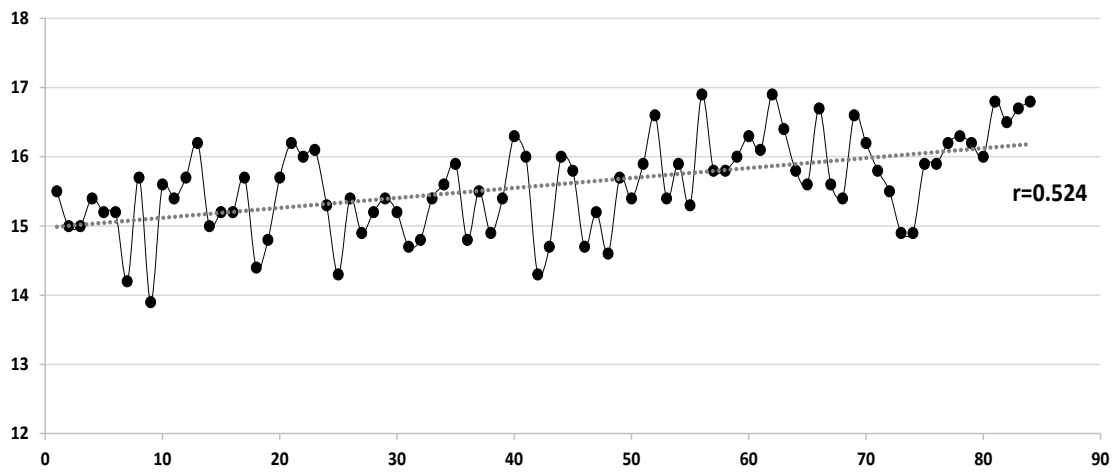
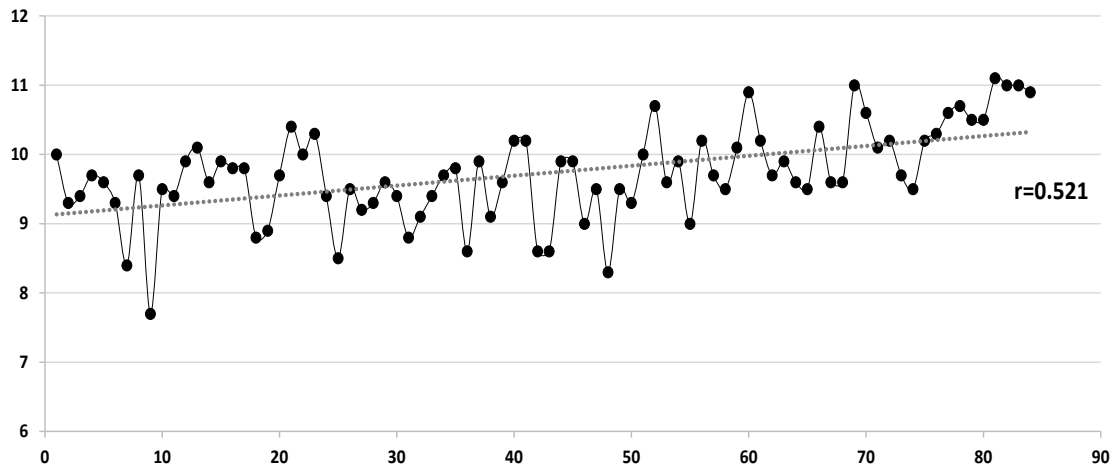
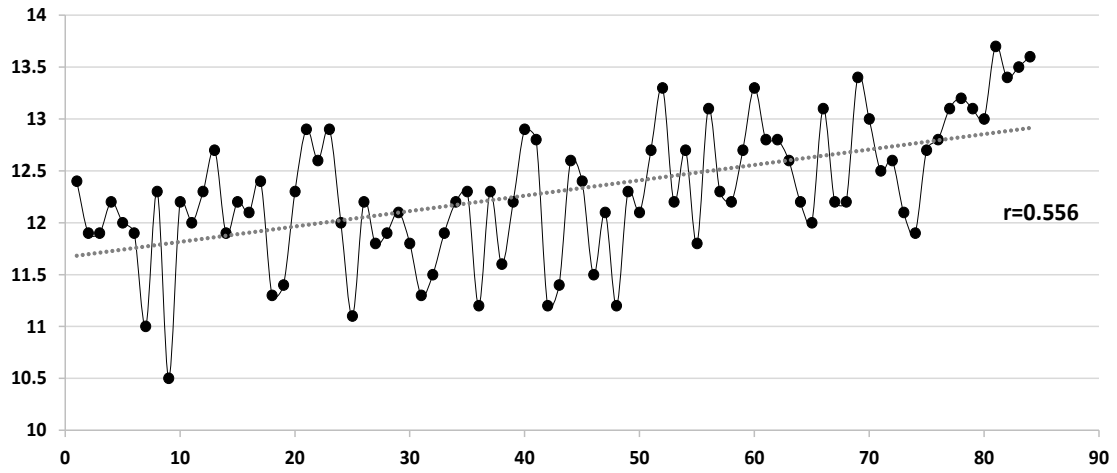


그림 13. 지난 84년간(1939년~2022년) 울릉도의 평균기온, 평균 최저기온, 평균 최고기온 변화 추이 (단위 °C)

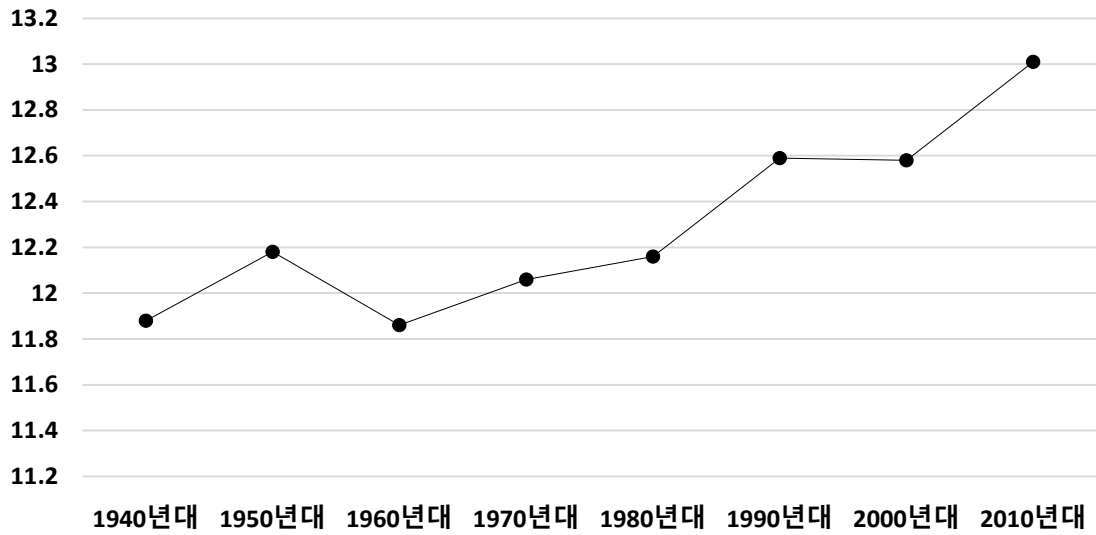


그림 14. 10년 단위에서 울릉도의 평균기온 변화 (단위: °C)

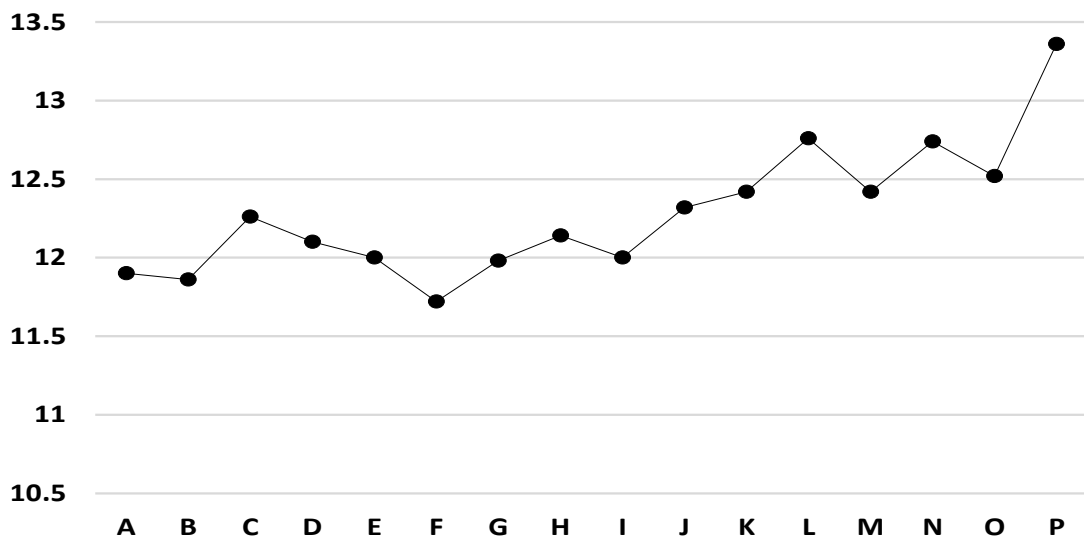


그림 15. 5년 단위에서 울릉도의 평균기온 변화 (단위: °C)

(A: 1939년~1945년, B: 1946년~1950년, C: 1951년~1955년, D: 1956년~1960년, E: 1961년~1965년, F: 1966년~1970년, G: 1971년~1975년, H: 1976년~1980년, I: 1981년~1985년, J: 1986년~1990년, K: 1991년~1995년, L: 1996년~2000년, M: 2001년~2005년, N: 2006년~2010년, O: 2011년~2015년, P: 2016년~2022년)

울릉도와 같은 기간인 지난 84년간(1939년~2022년) 제주도의 평균기온은 15.75°C였으며, 표준편차는 0.84였다. 위도가 낮아 울릉도보다 평균기온이 높았으며, 평균기온의 편차도 제주도가 컸다. 가장 기온이 높았던 해는 2021년으로 17.5°C였으며, 울릉도의 기온이 가장 높았던 2019년은 17.05°C로 여섯 번째로 기온이 높은 해였다. 반면 기온이 가장 낮았던 해는 1947년으로 13.9°C에 불과하였다. 제주도의 연평균 기온이 13°C대를 기록한 것은 그때가 유일했으며, 울릉도 또한 1947년이 가장 기온이 낮았었다. 기온이 높았던 상위 10년은 2021년 17.5°C, 1998년 17.25°C, 2004년 17.1°C, 2022년 17.1°C, 2019년 17.05°C, 2016년 17°C, 2007년 16.95°C, 2013년 16.95°C, 2017년 16.9°C, 1994년 16.8°C 순이었다. 반대로 기온이 낮았던 상위 10년은 1947년 13.9°C, 1945년 14.3°C, 1957년 14.3°C, 1956년 14.4°C, 1940년 14.5°C, 1941년 14.5°C, 1943년 14.5°C, 1944년 14.6°C, 1949년 14.6°C, 1939년 14.7°C 순이었다. 이들 연도를 단순 평균으로 비교하면 가장 더웠던 10년은 2011.1년, 가장 추웠던 10년은 1946.1년으로 제주도 역시 그 기간의 차이가 명확하다.

지난 84년간 제주도의 평균기온 역시 지속해 상승하고 있다( $p < 0.01$ ,  $r = 0.884$ ). 울릉도와 제주도의 상관계수를 비교하면 제주도의 기온 상승이 울릉도( $r = 0.556$ )보다 더 뚜렷한 것이 확인된다. 1980년 14.95°C를 마지막으로 제주도의 연평균 기온은 15°C 이하로 떨어지지 않았다. 그리고 1995년 15.8°C를 마지막으로 제주도의 연평균 기온은 16°C 이상을 유지하고 있다. 17.25°C로 역대 두 번째로 평균기온이 높았던 1998년 처음 17°C를 넘어섰고 이후 2004년(17.1°C), 2016년(17°C), 2019년(17.05°C), 2021년(17.5°C), 2022년(17.1°C)에도 17°C 이상의 평균기온이 관측되었다 (그림 16).

10년 단위로 살펴보면 제주도의 평균기온은 1940년대(1939년~1950년) 14.63°C, 1950년대(1951년~1960년) 14.95°C, 1960년대(1961년~1970년) 15.41°C, 1970년대(1971년~1980년) 15.59°C, 1980년대(1981년~1990년) 15.76°C, 1990년대(1991년~2000년) 16.28°C, 2000년대(2001년~2010년) 16.61°C, 2010년대(2011년~2022년) 16.80°C였다. 10년 단위에서도 1940년대 이후 지속해 기온이 상승하고 있음이 확인된다. 1960년대 평균기온은 15°C를 넘었고, 1990년대 16°C를 넘었으며 10년 동안 약 0.3°C 상승하고 있다. 특히 1980년대는 1970년대에 비해 0.52°C가 높아져 그 증가 폭이 가장 컸다 (그림 17). 좀 더 구체적으로 살펴보기 위하여 5년 단위로 구분하여 제주도의 평균기온을 분석하였다. 1939년부터 1945년 사이 평균기온은 14.56°C로 가장 낮았던 반면 가장 최근인 2016년부터 2022년 사이는 16.99°C로 가장 기온이 높았다. 1939년부터 1955년까지는 평균 14°C대, 1956년부터 1990년까지는 평균 15°C대 그리고 1991년부터 2022년까지는 5년 단위에서 16°C대였다. 특히 1986년부터 1990년과 1991년부터 1995년 사이의 기온 차가 0.48°C로 가장 컸으며, 최근인 2011년부터 2015년과 2016년부터 2022년 사이의 기온 차도 0.47°C로 매우 컸다 (그림 18).

평균기온과 함께 평균 최저기온과 평균 최고기온도 지난 84년간 지속적으로 높아지고 있다. 특히 최저기온의 상승( $p < 0.01$ ,  $r = 0.914$ )이 최고기온의 상승( $p < 0.01$ ,  $r = 0.788$ )보다 더 뚜렷한 것이 확인되었다.

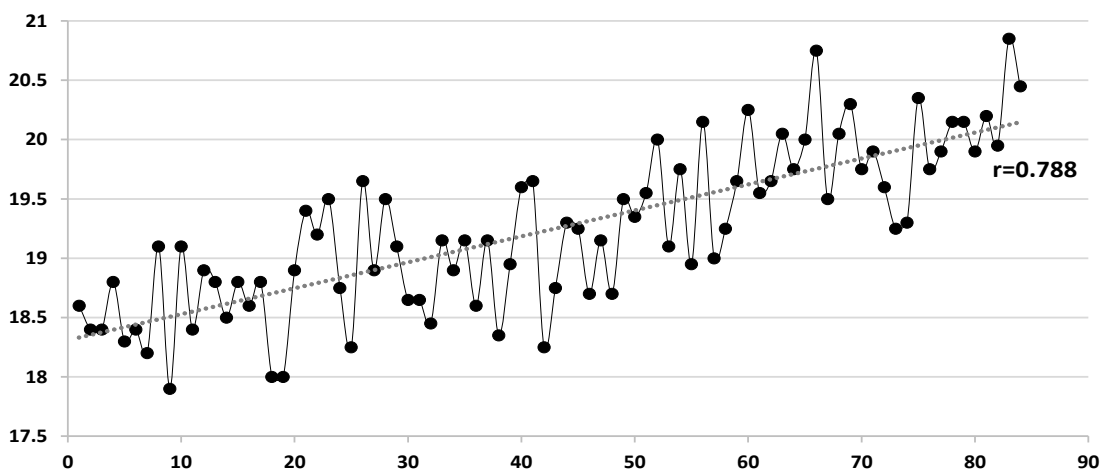
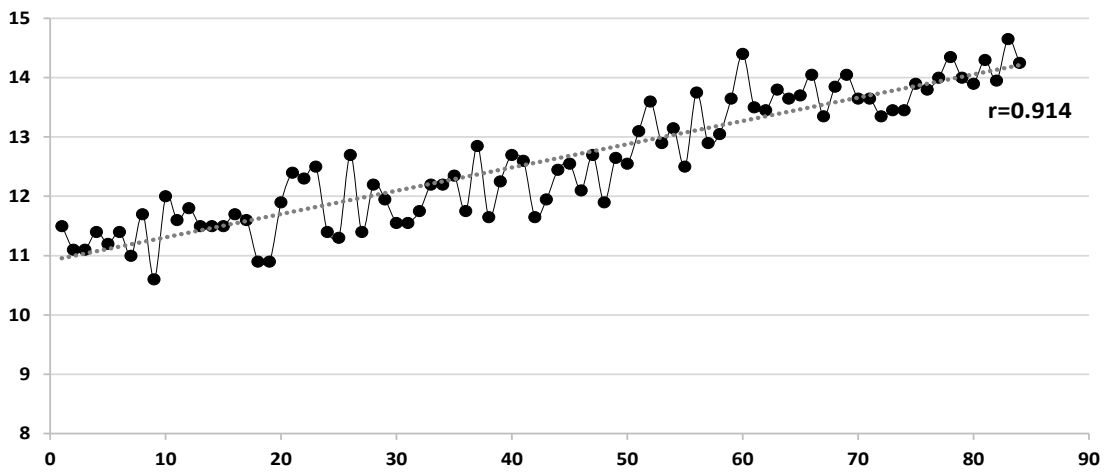
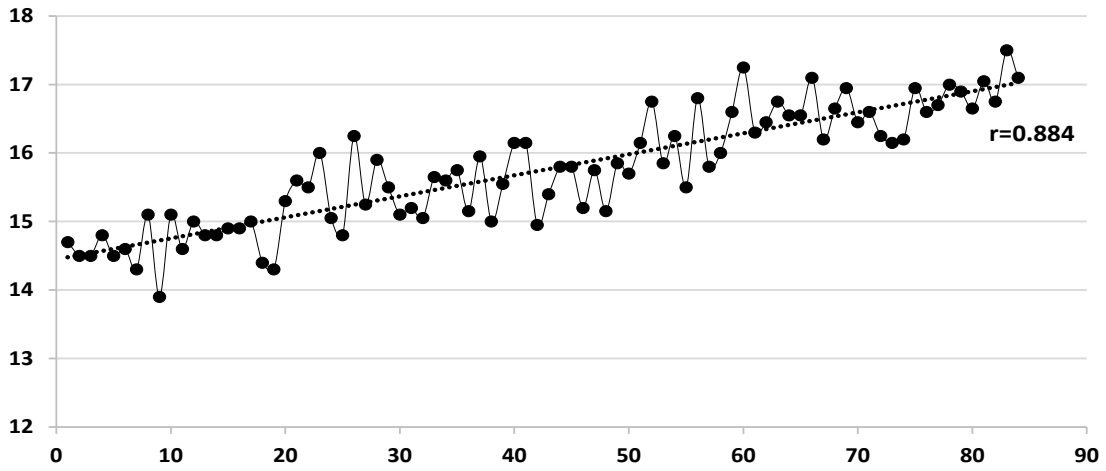


그림 16. 지난 84년간(1939년~2022년) 제주도의 평균기온, 평균최저기온, 평균최고기온 변화 추이 (단위: °C)

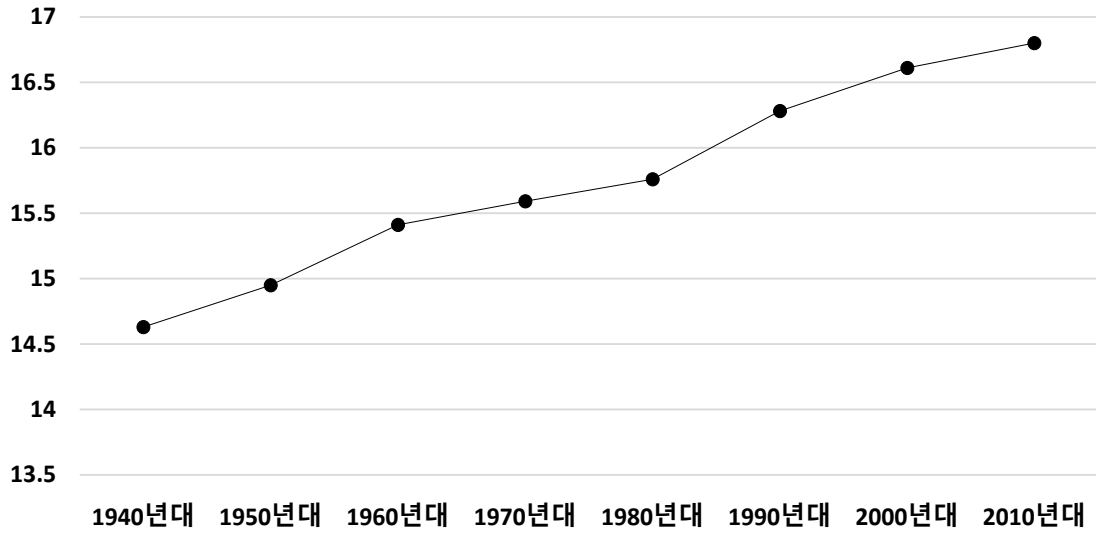


그림 17. 10년 단위에서의 제주도의 평균기온 변화 (단위: °C)

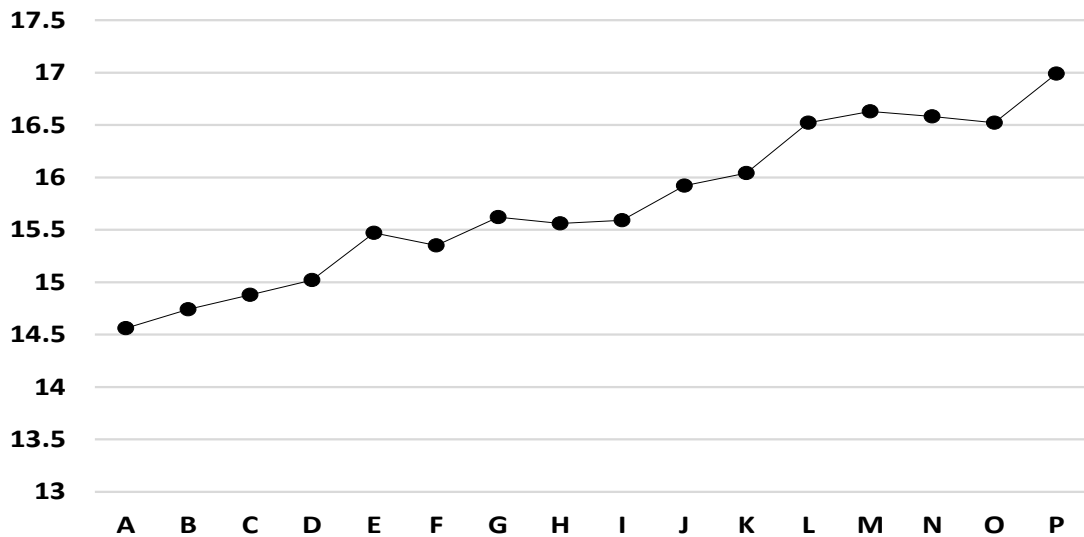


그림 18. 5년 단위에서의 제주도의 평균기온 변화 (단위: °C)

(A: 1939년~1945년, B: 1946년~1950년, C: 1951년~1955년, D: 1956년~1960년, E: 1961년~1965년, F: 1966년~1970년, G: 1971년~1975년, H: 1976년~1980년, I: 1981년~1985년, J: 1986년~1990년, K: 1991년~1995년, L: 1996년~2000년, M: 2001년~2005년, N: 2006년~2010년, O: 2011년~2015년, P: 2016년~2022년)

## 2) 상관계수 비교를 통한 지역 비교

울릉도의 기후변화 특징을 비교 분석하기 위하여 동일 위도대에 속하는 지역(인천, 서울, 양평, 원주, 대관령, 강릉)과 울릉도와 같은 도서지역인 제주도의 기온변화를 상관계수(r)를 통해 비교 분석하였다. 지점별 관측 기간을 통일하기 위하여 1973년부터 2022년까지 지난 50년간의 관측자료를 인용하였다. 기온변수는 평균기온과 평균 최저기온 그리고 평균 최고기온을 그 대상으로 하였다. 이를 통해 전체적이고 대략적인 기온변화 경향성을 비교 분석하고자 하였다.

지난 50년간 울릉도를 포함한 비교지역 8곳 전부 평균기온 상승은 유의미한 것으로 조사되었다( $p < 0.01$ ). 지역별 평균기온의 상관계수는 인천 0.726, 서울 0.652, 양평 0.782, 원주 0.836, 대관령 0.717, 강릉 0.656, 울릉도 0.602, 제주도 0.777이다. 울릉도는 동일 위도상의 다른 지역과 비교해 상관계수가 가장 작았으며, 같은 도서지역인 제주도와 비교해서도 작았다. 내륙지역인 원주와 양평의 상관계수가 다른 지역과 비교해 상대적으로 컸으며, 제주도도 0.777로 다른 지역과 비교해 상관계수가 컸다. 평균 최저기온도 지난 50년간 울릉도를 포함하여 조사지역 8곳 모두 기온이 상승했다( $p < 0.01$ ). 지역별 평균 최저기온의 상관계수는 인천 0.764, 서울 0.687, 양평 0.818, 원주 0.836, 대관령 0.618, 강릉 0.712, 울릉도 0.633, 제주도 0.864이다. 평균기온과 마찬가지로 원주, 양평이 높았으며, 제주도도 높았다. 평균 최고기온 또한 지난 50년간 8곳의 전 지역에서 기온 상승은 유의미하였다( $p < 0.01$ ). 지역별 평균 최고기온의 상관계수는 인천 0.478, 서울 0.572, 양평 0.586, 원주 0.671, 대관령 0.655, 강릉 0.547, 울릉도 0.474 그리고 제주도 0.716이다. 제주도(0.716)가 가장 컸으며, 원주(0.671)와 대관령(0.655)의 평균 최고기온 상관계수가 상대적으로 컸다. 고도가 높은 대관령을 제외한 모든 지역에서 평균 최저기온의 상관계수(평균  $r = 0.745$ )가 평균 최고기온 상관계수(평균  $r = 0.587$ )보다 높았다. 이를 통해 지난 50년간 기온은 평균 최저기온의 상승이 평균 최고기온보다 뚜렷하게 높아졌음이 확인된다 (표 12).

[표 12] 울릉도를 포함한 비교지역 8곳의 지난 50년간 평균기온, 평균 최저기온, 평균 최고기온 상관분석 결과

		인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
평균 기온	상관계수	0.726**	0.652**	0.782**	0.836**	0.717**	0.656**	0.602**	0.777**
	유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
최저 기온	상관계수	0.764**	0.687**	0.818**	0.863**	0.618**	0.712**	0.633**	0.864**
	유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
최고 기온	상관계수	0.478**	0.572**	0.586**	0.671**	0.655**	0.547**	0.474**	0.716**
	유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

\*: 상관계수는 0.05 수준에서 유의, \*\*: 상관계수는 0.01 수준에서 유의

기온자료와 함께 울릉도를 포함한 비교지역의 합계 연강수량(mm), 평균 상대습도(%), 평균 풍속(%)에 대해서도 상관분석을 통해 지난 50년간의 관측값을 분석하고 그 상관계수(r)를 산출하여 비교하였다.

합계 연강수량의 경우 강수 집중률의 차이가 있을 수 있겠으나 지난 50년간 큰 변화는 없었던 것으로 보이며 유의미한 증감을 설명하기는 어려웠다. 대부분 강수량의 소폭 증가로 보여지나 원주와 대관령의 경우 연강수량의 감소가 나타나기도 하였다. 그러나 8곳의 지역 중

유일하게 울릉도의 경우 합계 연강수량의 유의미한 증가를 확인하였다( $p < 0.01$ ,  $r = 0.391$ ). 실제 울릉도의 경우 2002년 이후 단 5차례(2013년, 2015년, 2017년, 2019년, 2022년)를 제외하고 지난 50년 평균보다 연 강수량이 많은 해가 많았다.

합계 강수량과 달리 평균 상대습도의 경우 조사지역 8곳 모두 지난 50년간 유의미한 감소가 나타났다. 그중에서도 서울, 양평, 원주, 대관령, 강릉, 울릉도의 상대습도 감소( $p < 0.01$ )가 인천과 제주도( $p < 0.05$ )에 비해 현저하다. 특히 서울( $r = -0.772$ )과 원주( $r = -0.750$ ) 그리고 강릉( $r = -0.692$ )의 평균 상대습도 감소가 뚜렷하게 확인된다. 울릉도 또한 상대습도는 감소하는 경향( $r = -0.429$ )이 뚜렷하지만, 동일 위도의 서울( $r = -0.772$ ), 양평( $r = -0.546$ ), 원주( $r = -0.750$ ), 강릉( $r = -0.692$ )보다는 상대적으로 크지 않았다.

지난 50년의 평균 풍속은 지역에 따른 차이가 다른 기후요소 보다 뚜렷하게 나타났다. 지리적으로 바다를 끼고 있는 인천( $r = -0.613$ ), 울릉도( $r = -0.502$ ), 제주도( $r = -0.928$ )는 평균 풍속의 감소가 확인되었으며( $p < 0.01$ ) 특히 제주도의 풍속 감소가 확연하게 나타났다. 이들 외의 지역들은 양평을 제외하고 풍속은 감소한 것으로 보이나 유의미한 증감을 설명하기는 어려웠다. 울릉도는 인천, 제주도와 함께 풍속의 감소가 확인된다 (표 13).

[표 13] 울릉도를 포함한 비교지역 8곳의 지난 50년간 합계 연강수량, 평균 상대습도, 평균 풍속 상관분석 결과

		인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
연강수량	상관계수	0.212	0.183	0.189	-0.005	-0.133	0.091	0.391**	0.161
	유의확률	0.140	0.202	0.188	0.972	0.358	0.530	0.005	0.264
상대습도	상관계수	-0.334*	-0.772**	-0.546**	-0.750**	-0.401**	-0.692**	-0.429**	-0.333*
	유의확률	0.018	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.002	0.018
풍속	상관계수	-0.613**	-0.161	0.086	-0.030	-0.011	-0.213	-0.502**	-0.928**
	유의확률	0.000	0.264	0.557	0.837	0.941	0.137	0.000	0.000

\*: 상관계수는 0.05 수준에서 유의, \*\*: 상관계수는 0.01 수준에서 유의

### 3) 월별 비교

울릉도와 동위도 지역 그리고 제주도의 지난 50년간 기후변화를 더 자세하게 분석하기 위하여 관측자료를 월별로 세분화하여 살펴보았다. 평균기온은 2월, 3월, 5월, 6월, 9월, 11월에 비교 지역 8곳 모두에서 유의미한 기온 상승이 확인되었다( $p < 0.01$  또는  $p < 0.05$ ). 특히 그중에서도 3월의 기온 상승이 가장 두드러지는 것으로 조사되었다. 8곳의 평균 상관계수는 0.623으로 다른 월과 비교해 가장 컸다. 원주의 상관계수가 0.768로 최고였으며, 울릉도가 0.529로 가장 작았다. 3월 다음으로 6월(0.585)과 5월(0.565) 그리고 9월(0.521)의 상관계수가 0.5 이상으로 높았다. 다음으로 8월과 10월은 비교 지역 중 울릉도만 제외하고 기온 상승이 확인되었으며, 1월은 서울과 울릉도 그리고 7월은 대관령과 울릉도를 제외하고 기온은 높아졌다. 4월의 경우 서울, 대관령, 강릉, 울릉도의 기온 상승을 설명하기는 어려웠으며 12월의 경우에는 비교 지역 중 유일하게 원주( $r = 0.312$ )만 기온이 상승했다.

지역별로는 원주가 12개월 모두 유의미한 기온 상승이 확인되었으며, 인천과 양평 그리고 제주도는 12월을 제외한 모든 달에서 기온이 높아졌다. 강릉은 2개월(4월, 12월), 서울(1월, 4월, 12월)과 대관령(4월, 7월, 12월)이 각 3개월을 제외하고 기온이 상승했다. 울릉도는 12개월 중 절반인 6개월(2월, 3월, 5월, 6월, 9월, 11월)만 기온 상승이 확인되어 다른 지역과 그



차이가 뚜렷했다. 또한 울릉도는 기온 상승이 확인된 월(月)도 그 유의확률과 상관계수가 다른 지역과 비교해 낮았다. 예를 들어 기온 상승이 가장 뚜렷했던 것으로 조사된 3월도 울릉도의 상관계수는 0.529로 비교 지역 8곳 중 가장 낮았다( $p < 0.01$ ) (표 14).

[표 14] 울릉도를 포함한 비교지역 8곳의 지난 50년간 월별 평균기온 상관분석 결과

		인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
1월	상관계수	0.294*	0.204	0.381**	0.459**	0.309*	0.338*	0.273	0.342*
	유의확률	0.038	0.156	0.006	0.001	0.029	0.016	0.055	0.015
2월	상관계수	0.383**	0.313*	0.484**	0.542**	0.427**	0.430**	0.369**	0.407**
	유의확률	0.006	0.027	0.000	0.000	0.002	0.002	0.008	0.003
3월	상관계수	0.652**	0.534**	0.693**	0.768**	0.645**	0.604**	0.529**	0.649**
	유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4월	상관계수	0.390**	0.264	0.429**	0.472**	0.208	0.275	0.248	0.480**
	유의확률	0.005	0.064	0.002	0.001	0.148	0.054	0.082	0.000
5월	상관계수	0.621**	0.581**	0.621**	0.720**	0.510**	0.371**	0.452**	0.722**
	유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.001	0.000
6월	상관계수	0.671**	0.664**	0.641**	0.757**	0.435**	0.489**	0.464**	0.598**
	유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000
7월	상관계수	0.372**	0.382**	0.306*	0.426**	0.270	0.280*	0.261	0.306*
	유의확률	0.008	0.006	0.031	0.002	0.058	0.049	0.067	0.031
8월	상관계수	0.424**	0.429**	0.409**	0.490**	0.347*	0.330*	0.271	0.414**
	유의확률	0.002	0.002	0.003	0.000	0.014	0.019	0.057	0.003
9월	상관계수	0.636**	0.608**	0.618**	0.682**	0.464**	0.452**	0.290*	0.464**
	유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.041	0.001
10월	상관계수	0.417**	0.336*	0.539**	0.629**	0.323*	0.296*	0.243	0.516**
	유의확률	0.003	0.017	0.000	0.000	0.022	0.037	0.089	0.000
11월	상관계수	0.400**	0.322*	0.495**	0.579**	0.423**	0.421**	0.380**	0.507**
	유의확률	0.004	0.023	0.000	0.000	0.002	0.002	0.006	0.000
12월	상관계수	0.11	-0.060	0.209	0.312*	0.002	0.019	-0.21	0.177
	유의확률	0.939	0.677	0.145	0.027	0.991	0.897	0.884	0.218

\*: 상관계수는 0.05 수준에서 유의, \*\*: 상관계수는 0.01 수준에서 유의

평균 최고기온은 2월, 3월, 5월, 6월에 8곳 전 지역에서 유의미한 기온 상승이 확인되었다 ( $p < 0.01$  또는  $p < 0.05$ ). 특히 3월의 상관계수가 평균 0.551로 유일하게 0.5 이상으로 높았으며, 다음으로 6월(0.441), 5월(0.429), 2월(0.398) 순이었다. 11월은 인천을 제외한 7곳의 지역에서 기온이 상승했다. 반면 12월은 비교 지역 단 한 곳에서도 유의미한 기온 상승이 나타나 대조적이다. 그리고 7월과 10월은 유일하게 제주도에서만 기온 상승이 확인되었고, 울릉도와 동일 위도에 속하는 지역은 그렇지 않았다.

지역별로는 제주도가 1월과 12월을 제외한 모든 월에서 기온이 상승한 것으로 나타났다. 다음으로 대관령이 8회(1월, 2월, 3월, 5월, 6월, 8월, 9월, 11월), 원주가 7회(1월, 2월, 3월, 5월, 6월, 9월, 11월)에 해당하는 월에 기온이 높아졌다. 8월 최고기온 상승이 유의미한 곳은

제주도를 제외하고 대관령( $r=0.031$ )이 유일하다. 대관령 다음으로 기온 상승 횟수가 많은 원주는 8월을 제외하고 대관령과 기온 상승 월(1월, 2월, 3월, 5월, 6월, 9월, 11월)이 같다. 울릉도의 경우 평균기온과 마찬가지로 평균 최고기온 또한 그 상승 정도가 다른 지역과 비교해 뚜렷하지 않다. 유의미한 기온 상승이 확인된 것은 5회(2월, 3월, 5월, 6월, 11월)였으며, 그 중 유의확률 0.01 미만은 3월, 5월, 6월 3회였다. 특히 같은 도서지역인 제주도의 최고기온 상승이 총 10회(유의확률 0.01 미만 6회)와 비교하면 그 차이가 현격하다 (표 15).

[표 15] 울릉도를 포함한 비교지역 8곳의 지난 50년간 월별 평균 최고기온 상관분석 결과

	최고기온	인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
1월	상관계수	0.228	0.210	0.329**	0.375**	0.371**	0.315*	0.168	0.225
	유의확률	0.111	0.143	0.020	0.007	0.008	0.026	0.244	0.117
2월	상관계수	0.361*	0.357*	0.420**	0.485**	0.499**	0.449**	0.327*	0.349*
	유의확률	0.010	0.011	0.002	0.000	0.000	0.001	0.020	0.013
3월	상관계수	0.553**	0.477**	0.564**	0.630**	0.625**	0.541**	0.481**	0.653**
	유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4월	상관계수	0.255	0.180	0.230	0.210	0.195	0.183	0.248	0.505**
	유의확률	0.074	0.210	0.108	0.143	0.175	0.204	0.083	0.000
5월	상관계수	0.411**	0.446**	0.370**	0.448**	0.436**	0.295*	0.384**	0.715**
	유의확률	0.003	0.001	0.008	0.001	0.002	0.037	0.006	0.000
6월	상관계수	0.430**	0.513**	0.394**	0.583**	0.362**	0.392**	0.414**	0.512**
	유의확률	0.002	0.000	0.005	0.000	0.010	0.005	0.003	0.000
7월	상관계수	0.237	0.275	0.085	0.240	0.225	0.173	0.193	0.287*
	유의확률	0.097	0.054	0.556	0.094	0.117	0.231	0.179	0.043
8월	상관계수	0.218	0.268	0.075	0.216	0.305*	0.216	0.194	0.335*
	유의확률	0.128	0.060	0.606	0.131	0.031	0.132	0.178	0.017
9월	상관계수	0.317*	0.435**	0.238	0.317*	0.385**	0.188	0.073	0.328*
	유의확률	0.025	0.002	0.096	0.025	0.006	0.190	0.614	0.020
10월	상관계수	0.155	0.263	0.198	0.240	0.273	0.158	0.056	0.369**
	유의확률	0.283	0.065	0.169	0.093	0.055	0.274	0.699	0.008
11월	상관계수	0.274	0.318*	0.362**	0.394**	0.407**	0.367**	0.301*	0.442**
	유의확률	0.054	0.024	0.010	0.005	0.003	0.009	0.033	0.001
12월	상관계수	-0.069	-0.043	0.005	0.097	-0.020	-0.022	-0.138	0.012
	유의확률	0.635	0.767	0.971	0.505	0.891	0.882	0.339	0.932

\*: 상관계수는 0.05 수준에서 유의, \*\*: 상관계수는 0.01 수준에서 유의

평균 최저기온은 최고기온과 비교해 지난 50년간 기온 상승이 더 확연한 것으로 분석되었다. 1월, 2월, 4월, 12월을 제외한 모든 월에서 비교 지역 8곳 전부에서 유의한 기온 상승이 확인되었다( $p<0.01$  또는  $p<0.05$ ). 특히 3월( $r=0.604$ ), 5월( $r=0.637$ ), 6월( $r=0.617$ ), 9월( $r=0.567$ ) 평균 최저 기온 상승이 더 뚜렷한 것으로 조사되었다. 이와 반대로 12월은 양평( $r=0.371$ ), 원주( $r=0.407$ ), 제주도( $r=0.352$ )에서만 유의미한 기온 상승이 확인되었다. 12월( $r=0.354$ )과 함께 1월( $r=0.364$ )과 2월( $r=0.416$ )의 평균 상관계수도 다른 계절과 비교해 상대적

으로 작았다. 특징적으로 1월과 2월은 서울과 대관령의 기온 상승은 유의하지 않았다.

지역별로 양평, 원주 그리고 제주도는 12개월 모두 평균 최저기온의 상승이 확인되었으며, 인천과 강릉은 12월 기온을 제외한 11개월, 그리고 울릉도는 4월과 12월을 제외한 10개월의 기온이 상승했다. 서울은 9개월 대관령은 8개월로 단순 횡수로만 보면 대관령의 최저기온 상승이 가장 작다. 울릉도의 경우 다른 지역과 비교해 상관계수가 상대적으로 낮은 편이다. 울릉도의 최저기온 상승이 가장 높은 6월( $r=0.513$ )의 경우도 강원도 원주( $r=0.726$ ) 및 제주도( $r=0.730$ )와 비교해 상대적으로 상관계수는 작았다 (표 16).

[표 16] 울릉도를 포함한 비교지역 8곳의 지난 50년간 월별 평균 최저기온 상관분석 결과

		인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
1월	상관계수	0.290*	0.180	0.369**	0.455**	0.148	0.302*	0.322*	0.456**
	유의확률	0.041	0.212	0.008	0.001	0.304	0.033	0.023	0.001
2월	상관계수	0.355*	0.239	0.449**	0.516**	0.254	0.367**	0.367**	0.500**
	유의확률	0.012	0.094	0.001	0.000	0.075	0.009	0.009	0.000
3월	상관계수	0.608**	0.490**	0.713**	0.778**	0.499**	0.614**	0.504**	0.692**
	유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4월	상관계수	0.492**	0.352*	0.546**	0.628**	0.176	0.354*	0.248	0.583**
	유의확률	0.000	0.012	0.000	0.000	0.221	0.012	0.083	0.000
5월	상관계수	0.664**	0.632**	0.716**	0.810**	0.558**	0.522**	0.494**	0.789**
	유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6월	상관계수	0.702**	0.700**	0.669**	0.726**	0.402**	0.530**	0.513**	0.730**
	유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
7월	상관계수	0.411**	0.426**	0.444**	0.515**	0.336*	0.376**	0.349*	0.407**
	유의확률	0.003	0.002	0.001	0.000	0.017	0.007	0.013	0.003
8월	상관계수	0.486**	0.490**	0.580**	0.596**	0.372**	0.403**	0.315*	0.601**
	유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.004	0.026	0.000
9월	상관계수	0.696**	0.582**	0.627**	0.700**	0.418**	0.528**	0.395**	0.622**
	유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.005	0.000
10월	상관계수	0.492**	0.376**	0.617**	0.690**	0.377**	0.432**	0.384**	0.640**
	유의확률	0.000	0.007	0.000	0.000	0.007	0.002	0.006	0.000
11월	상관계수	0.423**	0.311*	0.527**	0.623**	0.290*	0.457**	0.404**	0.559**
	유의확률	0.002	0.028	0.000	0.000	0.041	0.001	0.004	0.000
12월	상관계수	0.017	-0.094	0.371*	0.407**	-0.038	0.003	0.010	0.352*
	유의확률	0.907	0.514	0.025	0.003	0.793	0.982	0.948	0.012

\*: 상관계수는 0.05 수준에서 유의, \*\*: 상관계수는 0.01 수준에서 유의

연 합계 강수량은 다른 기후요소와 달리 지난 50년간의 변화가 가장 적은 것으로 분석되었다. 주로 겨울과 봄에는 강수량이 감소했고, 7월부터 9월 사이에는 증가하는 경향이 나타났으나 이를 통계적으로 설명하기에는 부족해 보인다. 하지만 그중에서도 9월 제주도( $r=0.321$ ,  $p<0.05$ )와 10월 울릉도( $r=0.370$ ,  $p<0.01$ )는 연 합계 강수량의 유의미한 증가가 확인되었다. 12월 원주( $r=-0.287$ ,  $p<0.05$ )는 유일하게 강수량의 감소로 분석되었다. 강수량은 합계 강수량

에 관한 것으로, 일 편차, 계절적 편차 등을 고려해야 그 현황과 특징을 보다 자세히 분석할 수 있을 것으로 본다 (표 17).

[표 17] 울릉도를 포함한 비교지역 8곳의 지난 50년간 월별 강수량 상관분석 결과

		인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
1월	상관계수	-0.087	-0.130	-0.109	-0.192	-0.124	-0.203	0.072	0.069
	유의확률	0.548	0.367	0.452	0.183	0.392	0.157	0.621	0.635
2월	상관계수	0.091	0.072	0.080	0.063	-0.137	-0.174	0.201	-0.127
	유의확률	0.532	0.617	0.580	0.666	0.344	0.226	0.162	0.380
3월	상관계수	0.055	0.026	0.060	-0.032	-0.003	0.023	0.177	0.105
	유의확률	0.704	0.857	0.677	0.825	0.983	0.874	0.219	0.470
4월	상관계수	-0.229	-0.186	-0.151	-0.203	-0.171	-0.002	0.136	0.004
	유의확률	0.110	0.195	0.297	0.158	0.235	0.991	0.346	0.978
5월	상관계수	0.038	-0.004	-0.061	-0.129	-0.132	-0.092	0.109	-0.070
	유의확률	0.793	0.979	0.675	0.371	0.360	0.523	0.453	0.629
6월	상관계수	0.027	0.063	0.038	-0.058	-0.139	-0.057	0.055	-0.019
	유의확률	0.852	0.665	0.794	0.687	0.335	0.697	0.703	0.898
7월	상관계수	0.179	0.167	0.096	0.074	0.064	0.200	0.213	-0.78
	유의확률	0.215	0.246	0.508	0.611	0.661	0.165	0.137	0.591
8월	상관계수	0.092	0.077	0.169	0.036	-0.065	0.085	0.106	0.087
	유의확률	0.527	0.594	0.242	0.804	0.655	0.556	0.465	0.549
9월	상관계수	0.081	0.064	0.063	0.031	0.029	0.098	0.078	0.321*
	유의확률	0.578	0.657	0.663	0.833	0.842	0.498	0.590	0.023
10월	상관계수	0.064	0.143	0.088	0.047	-0.102	0.102	0.370**	0.132
	유의확률	0.658	0.322	0.544	0.744	0.480	0.480	0.008	0.360
11월	상관계수	0.228	0.148	0.170	0.088	-0.145	-0.070	0.133	0.077
	유의확률	0.111	0.305	0.237	0.544	0.315	0.628	0.357	0.595
12월	상관계수	-0.080	-0.187	-0.164	-0.287*	-0.167	-0.164	0.193	0.134
	유의확률	0.580	0.192	0.256	0.043	0.247	0.259	0.179	0.353

\*: 상관계수는 0.05 수준에서 유의, \*\*: 상관계수는 0.01 수준에서 유의

지난 50년간 큰 변함이 없었던 합계 강수량과 달리 상대습도의 변화는 매우 광범위하게 나타났다. 특이하게도 지난 50년간 상대습도는 전 지역에서 감소하는 경향이 뚜렷하다. 같은 기간 평균 상대습도 증가가 유의미한 곳은 단 한 곳도 없었다. 1월과 12월은 비교 지역 8곳에서 전부 상대습도의 감소가 확인되었고, 2월과 3월 그리고 4월은 7곳에서 감소가 확인되어 겨울과 봄에 상대적으로 상대습도의 감소가 뚜렷하였다. 반면 9월은 2곳(서울, 원주), 7월은 3곳(서울, 원주, 강릉), 8월 4곳(서울, 원주, 강릉, 울릉도)으로 상대습도 감소지역이 상대적으로 적었다.

지역별로는 서울과 원주가 1월부터 12월까지 전 월에서 상대습도의 감소가 뚜렷하게 확인되었다. 반면 인천은 1월, 4월, 10월, 12월 단 4개월만 상대습도가 감소해 대조적이다. 울릉도는 7월, 9월, 10월을 제외한 모든 월에서 유의미한 상대습도 감소가 있었다. 하지만 서울과

원주 등과 비교했을 때 울릉도의 유의확률이 상대적으로 커 그 설명력은 떨어진다 (표 18).

[표 18] 울릉도를 포함한 비교지역 8곳의 지난 50년간 월별 상대습도 상관분석 결과

		인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
1월	상관계수	-0.368**	-0.666**	-0.464**	-0.615**	-0.380**	-0.454**	-0.282*	-0.359*
	유의확률	0.009	0.000	0.001	0.000	0.007	0.001	0.047	0.010
2월	상관계수	-0.256	-0.623**	-0.506**	-0.616**	-0.396**	-0.381**	-0.357*	-0.401**
	유의확률	0.072	0.000	0.000	0.000	0.004	0.006	0.011	0.004
3월	상관계수	-0.209	-0.617**	-0.525**	-0.637**	-0.421**	-0.480**	-0.435**	-0.282*
	유의확률	0.144	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.047
4월	상관계수	-0.339*	-0.595**	-0.584**	-0.615**	-0.266	-0.482**	-0.420**	-0.388**
	유의확률	0.016	0.000	0.000	0.000	0.062	0.000	0.002	0.005
5월	상관계수	-0.157	-0.459**	-0.268	-0.496**	-0.129	-0.255	-0.323*	-0.309*
	유의확률	0.275	0.001	0.060	0.000	0.372	0.074	0.022	0.029
6월	상관계수	-0.091	-0.511**	-0.319*	-0.607**	-0.079	-0.454**	-0.283*	0.085
	유의확률	0.530	0.000	0.024	0.000	0.587	0.001	0.046	0.557
7월	상관계수	0.001	-0.638**	-0.098	-0.504**	-0.042	-0.388**	-0.168	-0.102
	유의확률	0.992	0.000	0.498	0.000	0.775	0.005	0.244	0.482
8월	상관계수	-0.052	-0.412**	-0.015	-0.522**	-0.025	-0.465**	-0.294*	-0.125
	유의확률	0.722	0.003	0.918	0.000	0.861	0.001	0.038	0.387
9월	상관계수	-0.275	-0.495**	-0.162	-0.557**	0.204	-0.257	-0.121	0.086
	유의확률	0.053	0.000	0.260	0.000	0.155	0.072	0.403	0.553
10월	상관계수	-0.360*	-0.480**	-0.025	-0.618**	0.122	-0.208	-0.203	-0.289*
	유의확률	0.010	0.000	0.861	0.000	0.400	0.146	0.157	0.042
11월	상관계수	-0.172	-0.354*	-0.371**	-0.609**	-0.236	-0.310*	-0.306*	-0.181
	유의확률	0.232	0.012	0.008	0.000	0.099	0.029	0.031	0.208
12월	상관계수	-0.420**	-0.627**	-0.479**	-0.615**	-0.490**	-0.548**	-0.296*	-0.403**
	유의확률	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	0.004

\*: 상관계수는 0.05 수준에서 유의, \*\*: 상관계수는 0.01 수준에서 유의

마지막으로 평균 풍속은 월별로 그리고 지역별로 다양한 양상이 나타났다. 전반적으로 지난 50년간 겨울과 봄철 풍속은 약해지는 경향이 나타났으나, 여름과 이른 가을 일부 지역에서 풍속이 강해지는 경향도 보였다. 여름보다는 겨울철 풍속이 더 약해졌다. 풍속의 변화는 지역별 차이가 매우 주목된다. 제주도는 유일하게 1월부터 12월까지 평균 풍속이 매우 뚜렷하게 감소했음이 확인되었다. 인천 또한 12개월 모두 풍속이 약해지는 경향이 나타났으며, 9월과 10월을 제외하고는 그 결과가 유의미하였다. 상대적으로 내륙(양평, 원주)보다는 해안 지역(인천, 강릉) 및 도서지역(울릉도, 제주도)의 풍속이 더 약해지고 있다. 동해안의 강릉과 서해안의 인천을 비교하면 서해의 인천이 동해의 강릉보다 풍속의 감소가 확연하다. 특징적으로 서울은 1월부터 4월까지만 풍속이 유의미하게 약해졌으며, 강릉은 겨울 풍속이 약해진 반면 여름인 7월에는 풍속이 강해졌다. 여름철 일부 지역은 풍속이 강해졌는데, 양평은 6월에서 9월, 원주는 7월에서 9월이 해당 월이다. 유일하게 대관령은 풍속의 증감을 설명하지 못했다. 울릉도의

경우 모든 월에서 풍속은 약해지는 양상이 나타났다. 특히 겨울과 봄철 풍속이 유의미하게 약해졌음이 확인된다. 여름인 8월 풍속도 감소하였는데 같은 기간 인천과 제주도는 풍속이 약해진 반면 양평과 원주는 강해진 것이 특징적이다 (표 19).

[표 19] 울릉도를 포함한 비교지역 8곳의 지난 50년간 월별 평균 풍속 상관분석 결과

		인천	서울	양평	원주	대관령	강릉	울릉도	제주도
1월	상관계수	-0.627**	-0.308*	-0.145	-0.223	-0.081	-0.368**	-0.514**	-0.815**
	유의확률	0.000	0.029	0.315	0.120	0.575	0.009	0.000	0.000
2월	상관계수	-0.656**	-0.385**	-0.239	-0.194	0.005	-0.219	-0.395**	-0.831**
	유의확률	0.000	0.006	0.095	0.178	0.973	0.127	0.004	0.000
3월	상관계수	-0.641**	-0.301*	-0.184	-0.145	0.219	-0.078	-0.200	-0.814**
	유의확률	0.000	0.034	0.200	0.314	0.126	0.589	0.164	0.000
4월	상관계수	-0.614**	-0.354*	-0.158	-0.101	-0.011	-0.189	-0.490**	-0.751**
	유의확률	0.000	0.012	0.274	0.486	0.937	0.189	0.000	0.000
5월	상관계수	-0.635**	-0.214	0.155	-0.002	0.028	-0.056	-0.495**	-0.682**
	유의확률	0.000	0.135	0.284	0.989	0.845	0.699	0.000	0.000
6월	상관계수	-0.495**	-0.038	0.373**	0.170	0.036	0.216	-0.222	-0.660**
	유의확률	0.000	0.794	0.008	0.238	0.803	0.132	0.122	0.000
7월	상관계수	-0.490**	0.031	0.497**	0.291*	0.048	0.354*	-0.257	-0.545**
	유의확률	0.000	0.831	0.000	0.040	0.739	0.012	0.071	0.000
8월	상관계수	-0.350*	0.070	0.541**	0.426**	0.034	0.263	-0.380**	-0.697**
	유의확률	0.013	0.631	0.000	0.002	0.813	0.065	0.007	0.000
9월	상관계수	-0.212	0.217	0.443**	0.332*	-0.128	0.102	-0.112	-0.566**
	유의확률	0.140	0.130	0.001	0.018	0.377	0.480	0.437	0.000
10월	상관계수	-0.276	0.032	-0.004	-0.127	-0.153	-0.180	-0.214	-0.780**
	유의확률	0.052	0.825	0.978	0.379	0.290	0.210	0.135	0.000
11월	상관계수	-0.539**	-0.139	-0.188	-0.229	-0.083	-0.393**	-0.445**	-0.849**
	유의확률	0.000	0.334	0.191	0.110	0.565	0.005	0.001	0.000
12월	상관계수	-0.462**	-0.142	0.021	-0.172	-0.006	-0.403**	-0.442**	-0.696**
	유의확률	0.001	0.327	0.886	0.232	0.965	0.004	0.001	0.000

\*: 상관계수는 0.05 수준에서 유의, \*\*: 상관계수는 0.01 수준에서 유의

#### 4. 요약 및 결론

1) 본 연구는 울릉도의 기후특성과 변화를 동일 위도에 해당하는 지역들과 울릉도와 같은 도서지역인 제주도와의 비교를 통해 살펴보고자 하였다. 지난 50년간 울릉도의 평균기온은 전국 대비 그 차이가 크지 않았으나, 평균 최고기온은 낮았고 반대로 평균 최저기온은 높았다. 이러한 결과를 반영해 1년 중 가장 더운 달(8월) 평균기온과 가장 추운 달(1월) 평균기온 차이인 연교차도 울릉도가 전국 대비 작았다. 이러한 울릉도의 상대적으로 작은 기온변화는 해양의 영향을 지배적으로 받기 때문이며, 여름에 상대적으로 천천히 뜨거워지고 겨울에는 상대적으로 천천히 식기 때문이다. 이러한 경향은 위도가 비슷한 지역들과의 비교에서도 동일하게 확인되었다.

2) 울릉도의 연강수량은 전국 평균과 큰 차이는 없었다. 그러나 울릉도의 강수패턴은 우리나라의 전형적인 그것과는 전혀 다른 경향이 나타났다. 일반적으로 우리나라 대부분 지역은 여름 강수가 1년 전체의 절반 이상을 차지한다. 그러나 울릉도는 여름 강수 집중률이 30%대로 매우 낮다. 반면 겨울 강수 집중률은 약 24%로 우리나라 평균 겨울 강수 집중률 7.36%와 비교해 3배 이상 높다. 이러한 결과는 겨울철 많은 양의 강설량에 따른 것으로 차가운 겨울 계절풍인 북서풍이 상대적으로 따뜻한 동해를 지나며 수증기를 공급받고, 해발고도 986m의 울릉도에 지형성 강우로 나타난 결과다. 이러한 울릉도의 많은 강설은 우데기라는 독특한 가옥구조를 발달시킨 원인이기도 하다.

3) 울릉도 상대습도의 경우 10월과 11월을 제외하면 전국 대비 높은 편이다. 해발고도가 높은 대관령을 제외하면 비교 지역 중에서도 울릉도의 상대습도가 가장 높다. 월별로는 봄철과 여름철에 상대적으로 높는데, 특히 연중 가장 건조한 봄철의 경우는 이전 겨울 동안 내린 강설에 따른 영향으로 해석된다. 일반적으로 풍속은 인천, 대관령, 강릉, 울릉도, 제주도 같은 해안을 끼고 있는 지역이나, 해발고도가 높은 지역에서 강했다. 섬인 울릉도의 풍속은 전국 대비 그리고 비교 지역 중에서도 압도적으로 강한 것으로 조사되었다. 특히 3월부터 5월까지의 평균 4% 이상의 풍속이 관측되었으며, 나머지 기간에서도 겨울철 대관령을 제외하면 울릉도의 풍속이 매우 강하다.

4) 지난 84년간 울릉도의 연 평균기온은 통계적으로 유의한 수준에서 지속해 높아졌다. 특히 2015년 이후 8년 연속 연 평균기온 13°C 이상을 유지하고 있고 또 계속해 높아지는 추세가 이어지고 있다는 점이 매우 주목된다. 이러한 경향은 평균 최고기온과 최저기온에서도 확인된다. 한가지 눈여겨볼 점은 우리나라 대부분의 지역에서 나타나는 기온 상승과 비교해 울릉도의 기온 상승 폭은 상대적으로 작다는 점이다. 이는 섬이라는 울릉도의 지리적 특성 때문으로 해양성기후가 뚜렷하기 때문이다. 특히 울릉도 주변 수역은 수심이 깊고, 쿠로시오 해류에서 분류된 지배적인 난류가 흐르며, 육지와와의 거리도 멀어서 그 고립도가 매우 높은 섬이기 때문이기도 하다. 이처럼 울릉도의 기온 상승은 제주도나 동일 위도의 다른 지역과 비교해 그 정도가 상대적으로 뚜렷하지 않다.

5) 본 연구에서는 울릉도를 포함해 연평균 최고기온 보다는 연평균 최저기온의 지속적 상승이 더 뚜렷했음이 확인되었다. 더불어 우리나라의 평균 연 강수량은 지난 50년간 큰 변화가 없었지만, 상대습도는 지속해 감소하고 있음도 밝혔다. 이는 우리나라의 강수 패턴이 특정 시점에 집중되고 있음을 간접적으로 보여주는 지표로 홍수와 가뭄과 같은 자연재해로 연결될 수 있다는 점을 살펴보아야 할 것이다. 더불어 울릉도를 포함해 제주도와 인천의 유의미한 풍속의 감소도 주목된다. 풍속의 감소는 상대습도와 기온 상승과도 관계가 있을 것으로 본다. 후속 연구를 통해 이와 관련한 내용을 규명할 필요성이 제기된다.

6) 그리고 이번 연구에서는 기후자료를 월별로 세분화하여 더 자세한 기후변화 양상을 분석하였다. 그 결과를 토대로 3월과 5월, 6월, 9월, 11월의 기온변화에 특히 주목할 것을 제안하는 바이다. 이들 해당 월은 계절이 바뀌는 그 경계에 해당되며, 그중에서도 3월 기온 상승이 가장 유의미하다. 이는 울릉도는 물론이며 본 연구에서 다룬 모든 지역에 해당하는 것으로, 그동안 기온 상승을 여름 기온과 겨울 기온 중심으로 바라보던 관점이 일부 전환되어야 할 것으로 보인다.

7) 울릉도의 기후는 작은 연교차, 높은 상대습도, 강한 풍속 등 전형적인 도서지역 기후 특성이 나타난다. 하지만 비교적 풍부한 강수량과 위도 대비 높은 기온 등 울릉도의 물리적 환경은 우리나라에 비슷한 지역을 찾기 힘든 매우 독특한 환경이라는 점을 주목할 필요가 있다. 비록 울릉도의 기온 상승이 우리나라의 다른 지역과 비교해 그 정도가 크지 않다고 할지라도 울릉도의 기온 상승 또한 현재 진행형이며, 향후 그 변화를 지속해 추적 관찰할 필요성이 있다. 특히 강수량의 균등한 계절적 분포 패턴, 상대습도와 풍속의 통계적으로 유의미한 감소 등 다양한 기후요소들이 복합적으로 작용해 울릉도의 기후변화에 영향을 줄 가능성이 크다. 따라서 많은 기후변수를 고려한 종합적인 관점에서의 연구가 더 많이 있어야 할 것으로 판단된다.

울릉도의 독특한 지리적 특성(지역성)은 우리가 가지고 있는 소중한 자연자본이자 문화자원이다. 앞으로 현재와 같은 온난화가 지속되고 인간의 간섭이 심해지면 울릉도는 그 원래 모습을 빠르게 상실할 가능성이 크다. 오랜 세월 주어진 환경에 적응한 울릉도의 자연생태계는 교란의 가능성을 배제할 수 없는데 고립된 섬이라는 환경이 이를 더 가속화하고 극대화시킬 수 있다. 또한 코로나 유행 이후 최근 울릉도를 찾는 관광객 수가 증가하고 그에 따른 개발 등 인간의 간섭도 향후 울릉도의 기후변화에 부정적 의미에서의 촉매제 역할로 작용할 수 있음을 잊지 말아야 한다. 결국 우리가 예상할 수 없는 환경 변화는 울릉도 생물다양성에 직접적인 영향을 주는 것은 물론이며, 나아가 울릉도를 삶의 터전으로 살아가는 인간의 삶에도 직접적인 영향을 줄 수 있다는 점도 놓쳐서는 안 될 것이다.



## 참고문헌

김기범 외 3인, 2022, 『동해 울릉도-독도 화산그룹 분화사 다중스케일 연구』, 한국지구과학학회지 43권 1호, pp. 140-150.

김현희 외 2인, 2022, 『AWS 관측자료로 분석한 한국 도서지역 기후 특성』, 한국기후변화학회지 13권 4호, pp. 399-408.

김현희 외 2인, 2023, 『Present status and distribution of naturalized plants in the island regions of the South Korea』, BioInvasions Records 12권 1호, pp. 31-42.

송용선 외 2인, 2006, 『울릉도와 독도 화산암의 생성연대 및 진화사』, 암석학회지 15권 2호, pp. 72-80.

통계청, 2022, 『어업생산동향조사 결과보고서』, 통계청.