

# 2020 기후변화감시 종합 분석 보고서



# 2020 기후변화감시 종합 분석 보고서



## 기 온

2020년 전지구 평균기온은 14.88°C로, 20세기 평균에 비해 0.98°C 높아 2016년 (1.00°C) 이후로 두 번째로 높은 기온으로 기록되었음.

육지 평균기온은 10.09°C로, 20세기 평균에 비해 1.59°C 높아 1880년 이래 가장 높은 기온을 기록함.

2020년 우리나라 연평균기온(13.0°C)은 평년보다 0.5°C 높았고, 최근 48년 중 5번째로 높았음.

2020년 가을을 제외한 나머지 계절의 평균기온은 평년보다 높았고, 평균 최저기온은 봄, 여름, 가을, 겨울 모두 평년보다 높았음. 특히, 1973년 이후 처음으로 7월 평균기온이 6월 평균기온보다 낮았음.

## 강수량

2020년 전지구 육지 강수량은 지역적인 차이가 뚜렷하였으며, 세계 곳곳에서 폭우와 홍수, 가뭄이 기록됨.

동아시아 지역은 평년보다 많은 강수가 기록됨.

2020년 우리나라 연강수량은 평년의 122.2%인 1627.0mm로, 최근 48년 중 6번째로 강수량이 많았음.

2020년 우리나라 봄 강수량과 겨울 강수량은 각각 평년의 70.0%, 53.7%로 건조하였음. 특히, 장마기간은 평년보다 매우 길어, 여름철 강수일수와 강수량이 많았음.

## 해 양

2020년 해수면 높이는 평년에 비해 거의 모든 해역에서 높았고, 1993년부터 2020년까지 83.4mm 상승하였음.

2020년 해수면 온도는 북반구는 대체로 평년에 비해 높았고, 라니냐의 영향으로 적도 태평양 동쪽에서 평년에 비해 낮았고 남극해의 수온도 평년에 비해 낮았음. 1958년 이후 2020년까지 남극해를 제외한 모든 해역에서 꾸준히 증가하는 추세를 보임.

최근 한반도 연근해의 해수면 높이는 모든 해역에서 통계적으로 유의하게 상승하고 있는 추세임. 2020년 연근해 수온은 평년보다 높았지만 2019년에 비하면 낮아짐.

우리나라 연근해 염분은 최근 감소하는 추세이고, 2020년 모든 해역에서 염분이 2019년보다 감소함.

최근 한반도 연근해 해양 열용량은 모든 해역에서 증가하는 추세임. 2020년 남해와 서해의 해양 열용량은 2019년에 비해 다소 증가하였지만, 해수온이 낮아진 동해의 경우 5% 감소하였음.



## 극지 기후

북극은 다른 지역에 비해 온도가 3배 빠르게 증가하는데 반해, 남극은 온도 변화의 경향이 뚜렷하지 않음.

온도 변화와 연동하여 북극의 해빙은 모든 계절에 빠르게 감소하는 경향을 보이는데 반해 남극 해빙은 약간 증가하는 추세를 보임.

## 습 도

2020년 전지구 평균 상대습도는 평년보다 비슷하거나 낮았음.

2020년 전지구 평균 비습은 평년에 비해 높았으며, 특히 해양 평균 비습은 관측 이래 가장 높은 값을 기록함.

2020년 우리나라 상대습도(70.2%)는 평년보다 2.3% 높았고, 최근 48년 중 21번째로 높았음.

2020년 봄과 여름의 상대습도는 평년보다 높았고, 가을은 평년과 비슷하였으며, 겨울의 상대습도는 평년보다 낮았음.

## 적 설

2020년 전지구 봄철 대륙 적설은 평년에 비해 적었음.

3~4월은 유라시아 적설면적이 매우 적었으며 (54년 중 최소 면적 3위), 5~6월에는 유라시아의 적설 면적이 최저를 기록하였음(54년 중 최소 면적 1위).

2020년 우리나라 연 신적설 합계는 평년보다 적었지만, 관측 이후 가장 적게 기록되었던 지난해와 달리, 겨울철 신적설 합계는 평년보다 많았고, 신적설 5cm이상일수는 평년과 비슷하게 나타났음.

서울에서는 2020년 4월 22일에 진눈깨비가 관측되면서 1907년 기상관측 이래 가장 늦은 봄철 강설일로 기록되었음.

## 대기조성

2020년 전지구 평균농도는 CO<sub>2</sub> 412.5 ppm, CH<sub>4</sub> 1879 ppb, N<sub>2</sub>O 333.1 ppb이며, 산업혁명 이전(1750년)과 비교해서 각각 148.4%, 260.2%, 123.3%가 증가함.

2020년 국내 이산화탄소 농도는 안면도 420.4 ppm, 고산 418.9 ppm, 울릉도 417.6 ppm으로 나타남.

2020년 안면도의 메탄 농도(1998 ppb)는 전지구 평균보다 119 ppb 높으며, 농도 증가가 지속됨.

2020년 관측된 아산화질소 농도(안면도: 335.0 ppb, 고산: 334.7 ppb, 울릉도: 334.5 ppb)는 2019년과 비교하여 1.0-1.5 ppb 가량 증가함.

## 기후변동성

2019년 여름철부터 지속되던 엘니뇨는 2020년 봄까지 지속되었고, 이후 라니냐로 전환되어 지속됨.

2020년 초반은 양의 북극진동이 발달하였지만, 5월부터 음의 북극진동으로 바뀌기 시작함. 초반 양의 북극진동과 연관되어 극의 차가운 공기가 남하하지 못해 겨울철 기록적인 고온현상이 발생하였음.

2020년 강한 동아시아 여름 몬순으로 인하여 여름철 강수량이 평년보다 훨씬 많았음.

## 탄소순환

최근 60년(1959~2018년) 동안 전체 이산화탄소 배출량의 82%는 화석연료에 의한 것이며, 18%는 토지용도 변경에 의한 것임.

식생 활동이 활발한 기간(5~9월)에 CO<sub>2</sub> 플럭스는 밤에는 양의 값(CO<sub>2</sub> 방출)을 갖고, 낮에는 음의 값(CO<sub>2</sub> 흡수)을 갖는 뚜렷한 일 변동이 나타남.

2006년부터 관측된 CO<sub>2</sub> 플럭스 결과는 연적산 시 약한 탄소 흡수원 이거나 중립(0 gC·m<sup>-2</sup>·year<sup>-1</sup> 내외)을 이루다가 최근(2016년 이후)에는 지속적으로 탄소 발원이 나타남.



## 열대성 저기압

2020년 북서태평양에서는 23개의 태풍이 발생하여 최근 42년 평균(25.6개)보다 적었으나, 한반도 영향 태풍은 4개로 최근 42년 평균(3.3개)과 비슷하였음.

1951년 이래 7월 태풍 최초 미발생, 10월 평년보다 2배 많은 태풍 발생

## 목 차

	<b>1. 개요</b> ..... 2		<b>6. 해양</b> ..... 132
	<b>2. 기온</b> ..... 6		6.1. 해수면 높이 ..... 133
	2.1. 전지구 기온 (2020년, 최근 5년, 장기추세) ..... 6		6.2. 수온과 염분 ..... 135
	2.2. 우리나라 기온 (2020년, 최근 5년, 장기추세) ..... 16		6.3. 해양 열용량 ..... 141
	<b>3. 물순환</b> ..... 42		6.4. 열대성 저기압 ..... 144
	3.1. 전지구 강수량과 습도 (2020년, 최근 5년, 장기추세) ..... 42		<b>7. 극지의 기후변화</b> ..... 152
	3.2. 우리나라 강수량과 습도 (2020년, 최근 5년, 장기추세) ..... 55		7.1. 극지 기온 ..... 152
	<b>4. 대기조성</b> ..... 80		7.2. 해빙 ..... 155
	4.1. 온실가스 ..... 84		7.3. 대륙 적설 ..... 158
	4.2. 성층권 오존 ..... 107		<b>8. 기후변동성</b> ..... 168
	4.3. 에어로졸 ..... 112		8.1. 엘니뇨/라니냐의 변동성 ..... 168
	<b>5. 탄소순환</b> ..... 126		8.2. 북극진동의 변동성 ..... 169
	5.1. 온실가스 배출 ..... 126		8.3. 동아시아 여름/겨울 몬순의 변동성 ..... 171
	5.2. 우리나라 광릉수목원 탄소 플럭스 변화 ..... 128		<b>부록</b> ..... 176
			I. 지점별 신평년과 과거평년 간 비교(기온, 강수량) ..... 176
			II. 지점별 1991~2020년과 1961~1990년의 극한기온 비교 ..... 201

2020 기후변화감시 종합 분석 보고서

# CHAPTER 01

## 개요



# 개요

기후는 장기간(30년)에 걸친 날씨(기상)의 평균이나 변동, 극한현상의 특성을 말하며, 과거에는 한 지역의 기후는 변하지 않는 것으로 생각하였다. 기후변화는 기후 특성의 평균이나 변동성의 변화를 통해 확인되고, 그 변화가 수십 년 이상 지속되는 것을 말한다. 이러한 변화는 태양에너지 변화, 지구공전 궤도변화, 화산활동, 내부 변동성 등 자연적 요인으로 나타나고, 인간활동으로 인한 대기조성과 토지이용의 변화 등 인위적인 외부강제력으로 인해 발생한다.

유엔 산하 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)에서 최근 발간한 제6차 평가보고서에서 지구의 기후가 온난해지는 것은 의심의 여지가 없는 과학적 사실이고, 이는 화석연료의 연소, 산림 훼손, 농업활동 증가 등으로 인한 대기 중 온실가스의 농도 증가에 기인한다(IPCC, 2021). 또한 2018년 10월 IPCC 총회에서 승인된 1.5°C 특별보고서(SR1.53)에서는 산업혁명 이후 현재 지구 평균기온이 이미 1°C 상승했다고 보고한 바 있다.

지구의 기후변화는 대기권, 수권(해양, 강, 호수), 빙권(해빙, 빙상, 빙하), 생물권, 지권으로 구성되어 있는 기후 시스템에 영향을 미치고(그림 1.1), 기후시스템 내의 각 요소는 끊임없이 상호작용을 하면서 변하고 있다. 지구의 기후변화를 과학적으로 이해하려면 이런 모든 구성 요소를 한 틀에서 고려하여야 한다.



그림 1.1. 지구 기후시스템(기후변화과학 용어 설명집, 2020)

위에서 언급한 바와 같이 지구의 기후는 태양에너지의 변화와 대기권, 해양과 육상 지표면의 변화에 의해 영향을 받는다. 또한, 인간 활동에 의한 온실가스나 에어로졸과 같은 대기 조성물질의 변화가 발생함으로써 기후변화가 일어나고 있다고 평가되고 있다. 이산화탄소, 메테인, 아산화질소, 불소화합물 등 온실가스는 대기 중에 오랫동안 머물며 기후를 온난화시키는 역할(온실효과)을 한다. 반면 미세먼지, 황화합물 등 에어로졸은 온실가스에 비해 대기 중 체류시간이 짧고 종류에 따라 특성이 매우 다르지만 전체적으로 기후를 냉각시키는 역할을 한다. 산업혁명 이후 온실가스와 에어로졸의 변화로 지구의 기후는 점점 온난화되고 있다.

기후변화감시 종합 분석 보고서는 매년 기후시스템 전반에 걸쳐 나타나는 변화를 분석하여 전지구와 우리나라의 기후변화 현황을 이해하는 것을 목적으로 한다. 이 보고서에서는 2장에서 전지구와 우리나라의 기온에 대해서 2020년, 최근 5년, 장기추세의 특성을 분석하고 3장에서 전지구와 우리나라의 강수량 및 습도에 대해서 각각 2020년, 최근 5년, 장기추세의 특성을 분석하였다. 4장에서는 온실가스, 성층권 오존, 에어로졸의 관측 및 측정 결과를 이해하고, 5장에서는 탄소순환의 특성을 제시하였다. 6장과 7장에서는 각각 해양과 극지의 2020년 특성을 분석하고, 8장에서는 기후변동성의 관점에서 엘니뇨/라니냐, 북극진동, 몬순 특성을 분석하였다.

# CHAPTER 02

## 기온

### 2.1. 전지구 기온

(2020년, 최근 5년, 장기추세)

### 2.2. 우리나라 기온

(2020년, 최근 5년, 장기추세)





## 2.1. 전지구 기온 (2020년, 최근 5년, 장기추세) 2020년 전지구 기온

요 약

- 2020년 전지구 평균기온은 14.88°C로, 20세기 평균에 비해 0.98°C 높아 2016년(+1.00°C) 이후로 두 번째로 높은 기온으로 기록되었음.
- 2020년 육지 평균기온은 10.09°C로, 20세기 평균에 비해 1.59°C 높아 1880년 이래 가장 높은 기온을 기록함.
- 2020년은 44년 연속으로 전지구 평균 기온이 20세기 평균보다 높은 해였음.

기온은 기후시스템의 열적 상태를 나타내는 가장 중요한 변수로서 전 지구적 지표 기온 상승은 지구온난화의 명백한 증거 중 하나이다.

2020년 전지구(육지+해양) 평균기온은 14.88°C로, 20세기(1901~2000년) 평균(13.90°C)보다 0.98°C 높아 1880년 이래 2번째로 높은 기온으로 기록되었다.

※ 1위: 2016년(+1.00°C)

육지의 평균기온은 10.09°C로 20세기(1901~2000년) 평균(8.50°C)보다 1.59°C 높아 1880년 이래 가장 높은 기온을 기록하였다.

※ 2위: 2016년(+1.55°C)

1880년 이래 가장 기온이 높은 7년은 2014년부터 2020년 사이에 모두 발생하였다. 전지구 평균기온은 1977년 이후 44년 연속으로 20세기(1901~2000년) 평균보다 높게 기록되었다.

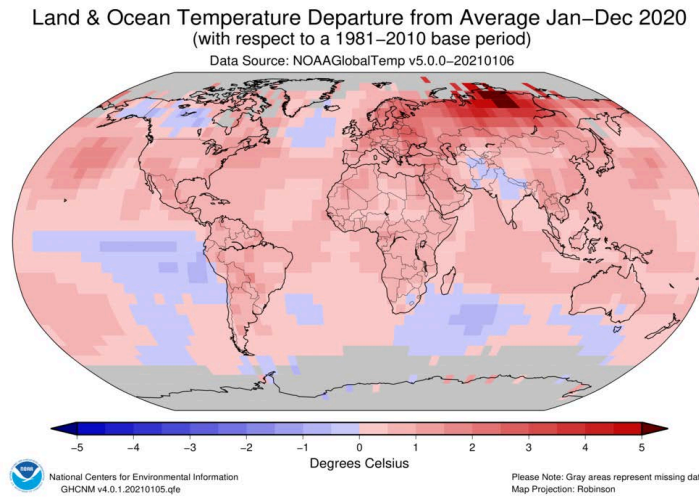


그림 2.1. 2020년 전지구(육지+해양) 연평균기온 편차(평년: 1981-2010년의 평균)  
※ 출처: National Centers for Environmental Information of NOAA

전지구 연평균기온 편차 분포를 살펴보면 2020년에 전 세계 대부분 지역에서 평년보다 높은 기온이 나타났으며(그림 2.1), 특히 유럽과 아시아 지역에서 처음으로 2.0°C 이상의 기록적인 기온편차 발생하였다. 기온 퍼센타일 분포를 살펴보면 유럽, 아시아, 북미 남부, 남아메리카의 넓은 영역에서 2020년에 관측 이래 가장 높은 기온을 기록하였으며, 시베리아 전역과 중국 동부에서 최고 기록이 관측되었다(그림 2.2).

※ 퍼센타일(Percentile) : 표본의 분포를 100으로 나눴을 때의 분할량, 즉 n개로 된 표본의 모든 측정치를 크기 순으로 늘어놓았을 때, 아래에서 k번째에 있는 측정치를  $(k/n) \times 100$  퍼센타일이라고 함.

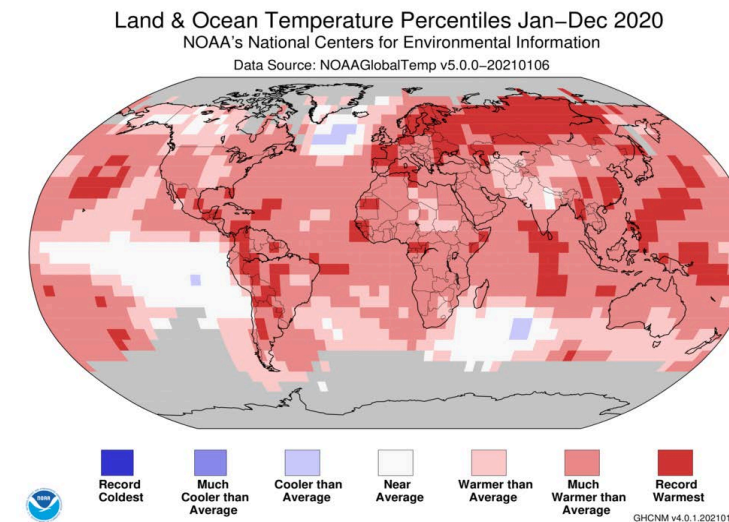


그림 2.2. 2020년 전지구(육지+해양) 연평균기온 퍼센타일

관측 기간인 141년(1880~2020년)을 기준으로 Record coldest(141년 중 최저), Much colder than average(하위 10%에 해당하는 최저 14년), Colder than average(하위 33%에 해당하는 46년), Near average(33~66%에 해당하는 48년), Warmer than average(상위 33%에 해당하는 46년), Much warmer than average(상위 10%에 해당하는 14년), Record warmest(141년 중 최고)로 나뉨.

※ 출처: National Centers for Environmental Information of NOAA

# 2020년 전지구 기온

## 요약

- 2020년의 전지구 기온은 전 계절에 걸쳐 20세기 평균에 비해 1.20~1.74°C가 높았음.
- 2020년 가을철은 다른 계절에 비해 가장 온난화가 심하였으며 20세기 평균에 비해 1.49°C가 높아 관측 이래 1위를 기록하였음.
- 2020년 봄철과 여름철이 관측 이래 고온 2위를 기록하였고 겨울철은 관측 이래 고온 11위를 기록하였음.

계절은 1년을 3개월씩 나누어 4계절로 구분하여, 북반구를 기준으로 봄철(3월~5월, MAM), 여름철(6월~8월, JJA), 가을철(9월~11월, SON) 그리고 겨울철(12월~ 2021년 2월, DJF)로 정의하였다.

2020년 봄철 전지구 육지의 평균기온은 9.84°C로 20세기 평균(8.10°C)보다 1.74°C 높아 1880년 이래 두 번째로 높은 기온으로 기록되었다.

※ 1위: 2016년/+1.95°C

2020년 봄철(MAM) 기온의 전지구 분포를 보면 아메리카 중부와 남부, 멕시코만, 유럽, 아프리카, 아시아 북부에서 높게 나타났고, 동아시아 지역도 전반적으로 고온이 나타났다(그림 2.3). 남아메리카, 아시아, 멕시코만 지역에서 2020년에 관측 이래 가장 높은 기온을 기록하였다. 한편, 북아메리카와 인도, 호주 일부 지역은 평년보다 낮거나 유사하였다.

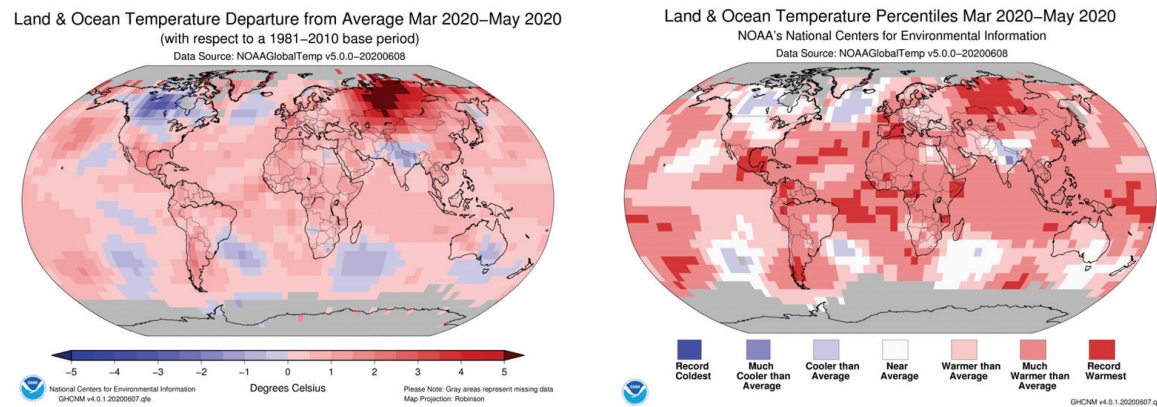


그림 2.3. 2020년 봄철(3~5월) 전지구 평균기온 편차(좌) 및 퍼센타일(우)(평년: 1981~2010년 평균)  
※ 출처: National Centers for Environmental Information of NOAA

2020년 여름철(JJA) 전지구 육지의 평균기온은 15.06°C로 20세기 평균(13.8°C)보다 1.26°C 높아 1880년 이래 두 번째로 높은 기온으로 기록되었다.

※ 1위: 2016년/+1.29°C

2020년 여름철 기온의 전지구 분포를 보면 미국의 남서부와 북동부, 캐나다 동부, 러시아 북부 등의 지역에서 기온이 높게 나타났는데, 특히 아시아의 북부와 남부, 북아메리카와 남아메리카의 일부 지역에서 2020년에 가장 높은 기온을 기록하였다(그림 2.4). 이에 반해 인도 일부, 캐나다 북서, 러시아 일부 및 남아메리카 남부 지역에서는 평년보다 낮거나 유사한 기온이 나타났다.

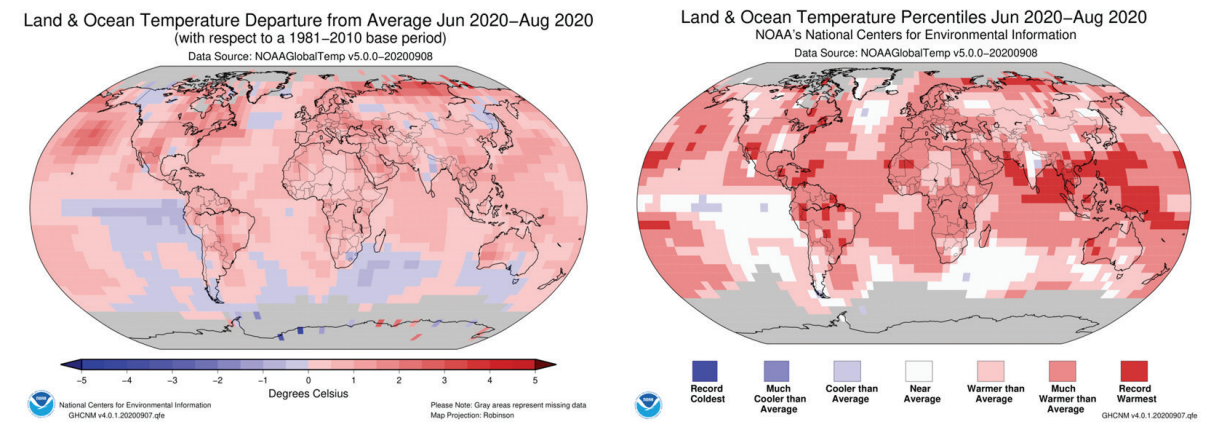


그림 2.4. 2020년 여름철(6~8월) 전지구 평균기온 편차(좌) 및 퍼센타일(우)(평년: 1981~2010년 평균)  
※ 출처: National Centers for Environmental Information of NOAA

2020년 가을철(SON) 전지구 육지의 평균기온은 10.59°C로 20세기 평균(9.10°C)보다 1.49°C 높아 1880년 이래 가장 높은 기온으로 기록되었다.

2020년 가을철 기온의 전지구 분포를 보면 유럽의 북부 및 동부 지역과 러시아 북부에서 특히 기온이 높았고 캐나다 일부, 아프리카 일부, 서남아시아 등의 지역에서 기온이 낮았다(그림 2.5). 동아시아 지역에서도 전반적으로 높은 기온이 지속되었다. 특히 러시아 북부, 북아메리카 남서부, 남아메리카, 호주, 유럽 북부 및 동부에서는 2020년에 가장 높은 기온이 기록되었다.



## 2020년 극한 기온

### 요약

- 2020년 극한 고온 현상의 빈도는 모든 지역에서 평년보다 많았으며, 일부 지역을 제외한 대부분 지역에서 고온의 강도 증가가 나타났다.
- 2020년 극한 저온 현상의 빈도는 대부분의 지역에서 평년보다 적었음.

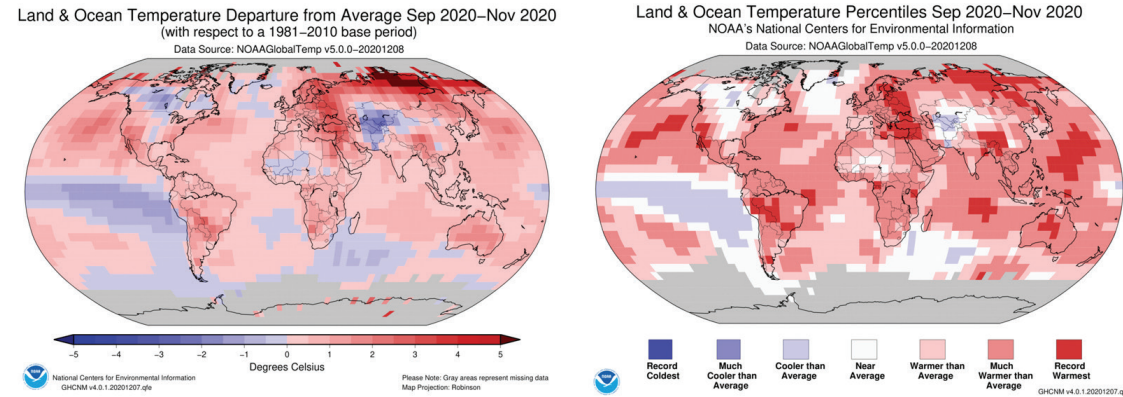


그림 2.5. 2020년 가을철(9월~11월) 평균기온 편차(좌) 및 퍼센타일(우)(평년: 1981~2010년 평균)  
※ 출처: National Centers for Environmental Information of NOAA

2020년 겨울철(DJF) 전지구 육지의 평균기온은 4.43°C로 20세기 평균(3.23°C)보다 1.20°C 높아 1880년 이래 11번째로 높은 기온으로 기록되었다.

2020년 겨울철 기온의 전지구 분포를 보면 캐나다 동부, 유럽의 남동부, 아프리카 북부, 남아시아 등의 지역에서 기온이 높았다(그림 2.6). 이에 따라 캐나다 동부 일부 지역과 지중해 지역에서 2020년의 기온이 가장 높게 기록되었다. 아시아 북부, 호주, 북아메리카 남부에서는 평년보다 낮거나 비슷한 기온을 기록했다.

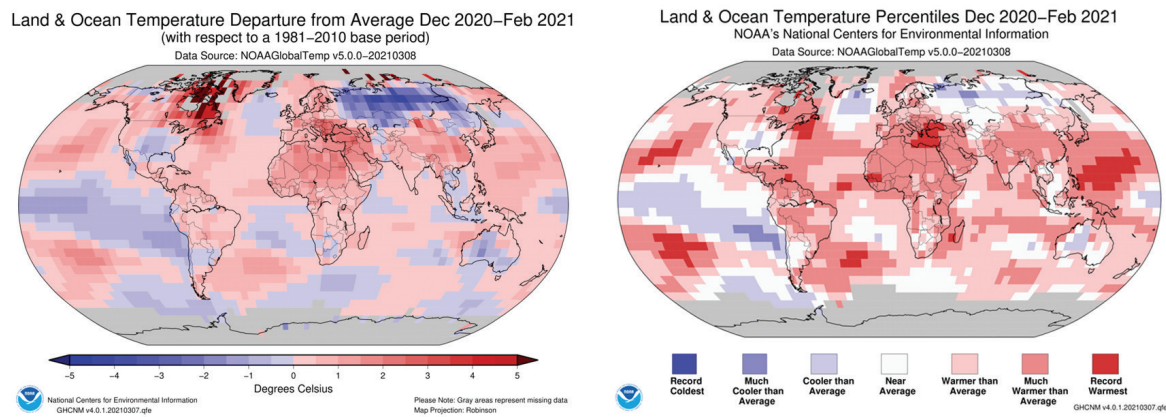


그림 2.6. 2020년 겨울철(2020년 12월~2021년 2월) 전지구 평균기온 편차(좌) 및 퍼센타일(우)(평년: 1981~2010년 평균)  
※ 출처: National Centers for Environmental Information of NOAA

2020년에 발생한 극히 더운 날과 추운 날의 빈도와 강도를 살펴보기 위해 TX90p, TXx, TN10p, TNn 지수의 전지구 분포를 살펴보았으며, 각 지수의 정의와 의미는 표 2.1과 같다.

표 2.1. 사용된 극한 기온 지수

극한 기온지수	정의와 의미
TX90p	· 그 해의 일 최고기온이 과거 30년(1961~1990년) 기준 일 최고기온 분포의 상위 90% 초과한 일 수 · 그 해의 극한 더위에 대한 빈도를 알 수 있음.
TXx	· 그 해의 일 최고기온의 연 최고값 · 그 해의 극한 더위에 대한 강도를 알 수 있음.
TN10p	· 그 해의 일 최저기온이 과거 30년(1961~1990년) 기준 일 최저기온 분포의 하위 10% 미만인 일 수 · 그 해의 극한 추위에 대한 빈도를 알 수 있음.
TNn	· 그 해의 일 최저기온의 연 최저값 · 그 해의 극한 추위에 대한 강도를 알 수 있음.

2020년 극한 고온의 빈도(TX90p) 분포를 살펴보면, 북미 남서부, 유럽, 동아시아, 호주를 포함한 대부분 지역에서 평년보다 높게 나타났다(그림 2.7a). 특히 유럽과 아시아 지역에서 매우 높게 나타났다. 2020년 극한 고온의 강도(TXx)의 경우, 일부 지역을 제외하고 대부분의 지역에서 평년보다 높게 나타났다(그림 2.7b).

2020년 극한 저온의 빈도(TN10p) 분포를 살펴보면, 북아메리카 남동부, 유럽 북서부, 호주의 일부 지역에서 빈도가 감소하였다(그림 2.7c). 중국 중서부 일부 지역에서는 극한 저온 발생일이 증가하였다. 극한 저온 강도(TNn)는 대부분 지역에서 기온 증가로 인해 평년보다 약했으며, 특히 북아메리카, 유럽, 아시아 북부를 포함하여 고위도 지역을 중심으로 높은 온도 증가가 나타났다(그림 2.7d).



## 최근 5년(2016년~2020년) 전지구 기온

### 요약

- 최근 5년(2016~2020년) 평균 전지구 육지 기온은 지난 5년(2012~2016) 대비 0.33°C 상승하였음.
- 대부분의 지역에서 최근 5년에 가장 높은 기온을 기록하였음.

최근 5년(2016년~2020년) 평균기온 편차는 지난 5년(2012년~2016년)에 비해 약 0.33°C 가량 상승하였다. 지역적으로는 북아메리카 중위도 지역과 호주 일부 지역을 제외한 대부분 지역에서 가장 온난한 5년을 기록하였다. 특히 유라시아 지역에서는 지난 5년 대비 최근 5년간 기온 상승이 뚜렷하게 나타났다. 한반도를 포함한 동아시아 지역 또한 최근 5년간 기온이 지난 5년에 비해 크게 증가하여 관측 이래 가장 더운 5년을 기록하였다. 북아메리카 서부, 스칸디나비아반도, 호주 남서부 지역, 인도 북동부, 남아메리카 일부에는 지난 5년에 비해 약한 기온 감소가 나타났다(그림 2.8).

Temperature Departure  
(2016-2020) minus (2012-2016)

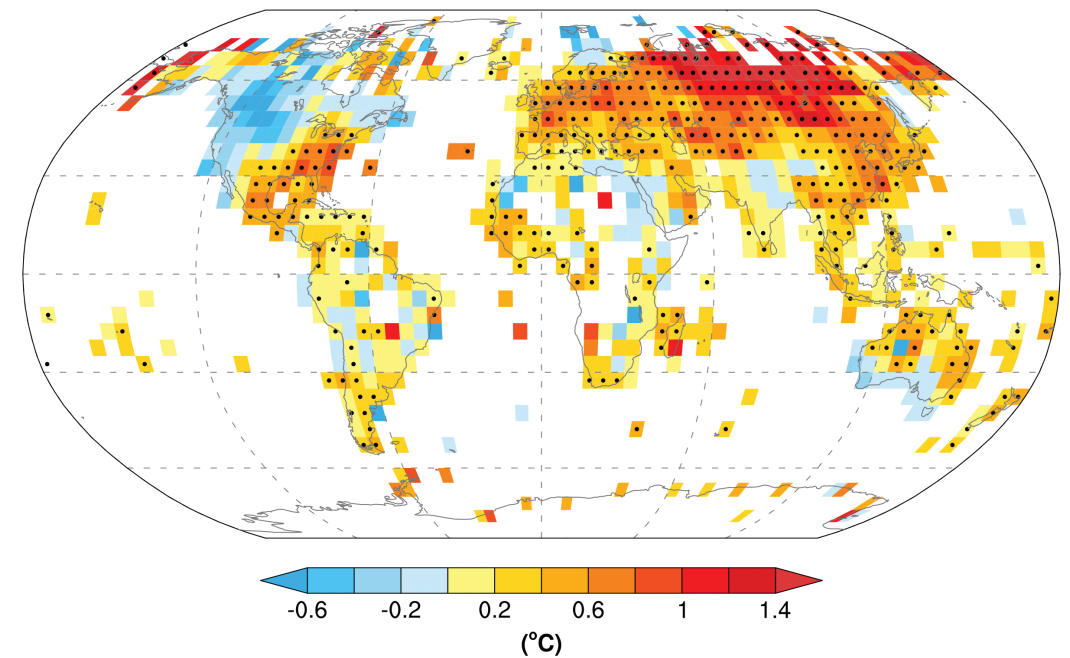


그림 2.8. 지난 5년 (2012~2016년) 대비 최근 5년 평균 (2016년 ~2020년) 전지구 기온 변화. 점은 최근 5년 평균 기온 편차가 관측기간 중 가장 높게 나타난 지역을 나타냄.  
※ Global Historical Climate Network (GHCN) 일 기온자료로 산출함.

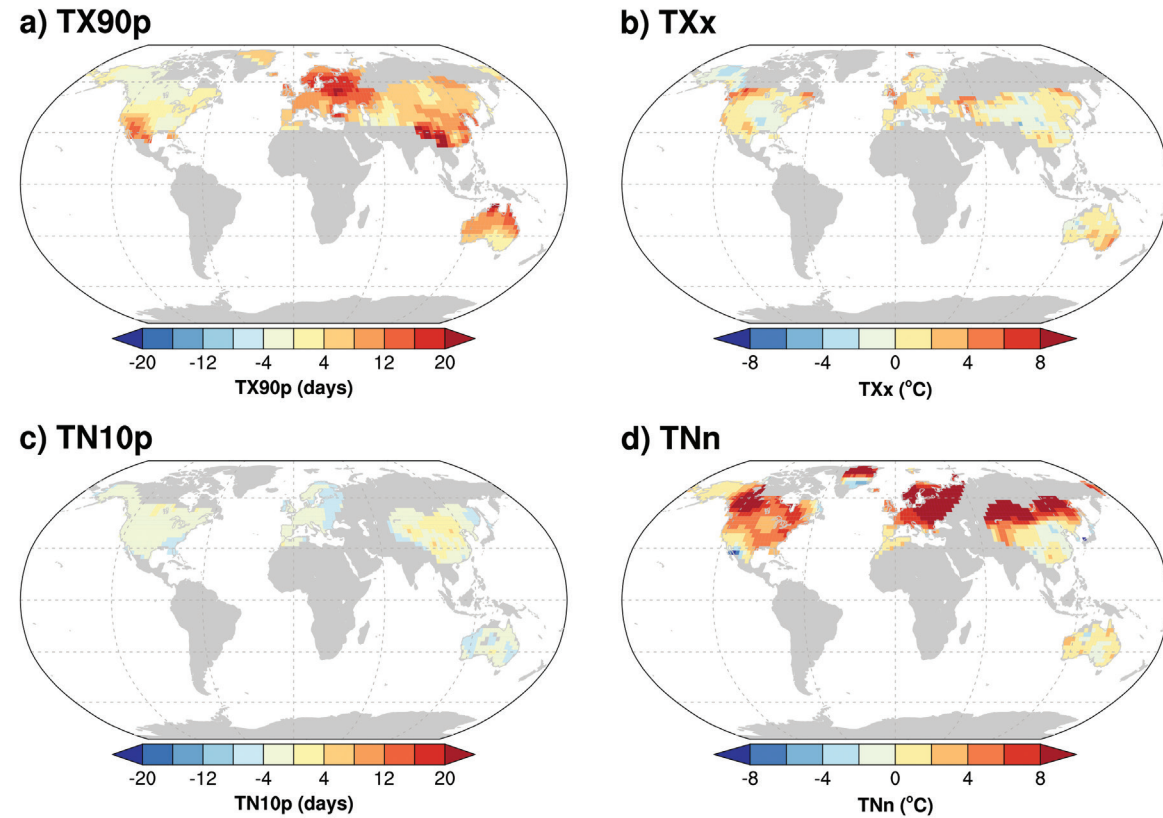


그림 2.7. 2020년 극한 기온 지수의 편차 (a) TX90p, (b) TXx, (c) TN10p, (d) TNn (평년: 1981~2010년의 평균)  
※ Global Historical Climatology Network Daily Extremes Indices (GHCNDEX) 자료로 산출함.

## 전지구 기온 장기추세

### 요약

- 1951년부터 2020년까지 전지구 육지의 평균기온은 지속적으로 상승함(0.23°C/10년).
- 내륙 및 고위도로 갈수록 고온 증가가 뚜렷하며, 동아시아 지역 평균 기온은 전지구와 유사한 온난화 경향을 보임.

전지구 육지의 평균기온은 1951년부터 2020년까지 꾸준히 증가하는 추세(0.23°C/10년)를 보인다(그림 2.9).

육지의 비율이 상대적으로 높은 북반구에서는 기온의 증가추세는 더욱 강하다(0.25°C/10년). 또한, 내륙 및 고위도로 갈수록 증가추세가 강하게 나타난다(그림 2.10).

동아시아의 경우에는 평균기온의 증가추세(0.23°C/10년)가 전지구와 비슷하지만, 변동성이 상대적으로 더 크게 나타난다(그림 2.9).

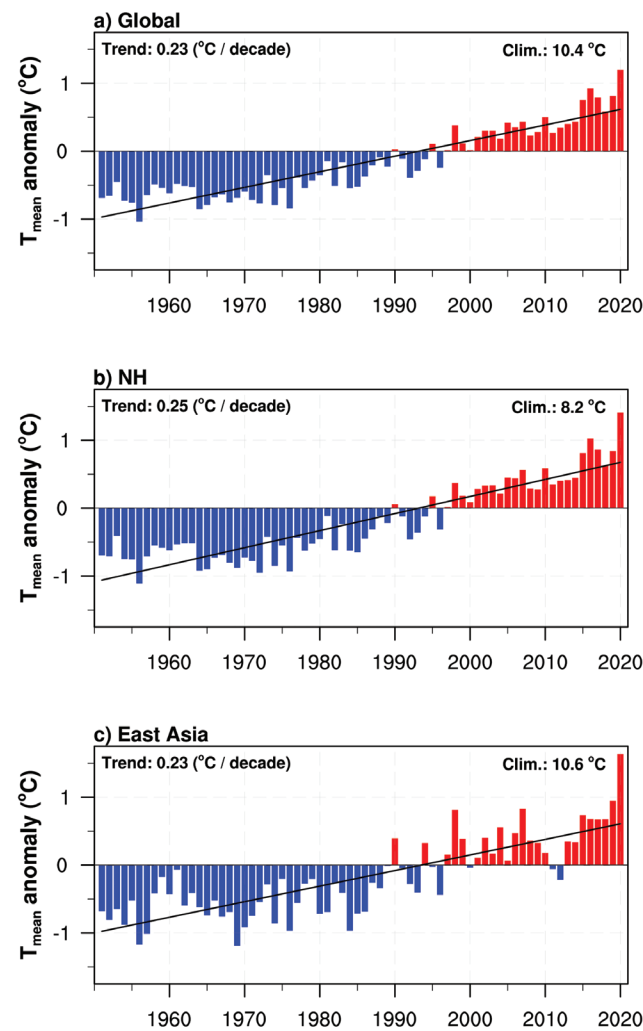


그림 2.9. 연평균기온의 편차(막대: 편차, 실선: 추세선)  
(a) 전지구, (b) 북반구, (c) 동아시아(평년 1981~2010년 평균).  
※ Global Historical Climate Network Daily (GHCND) 자료로 산출함.

Temperature trend [1951-2020]

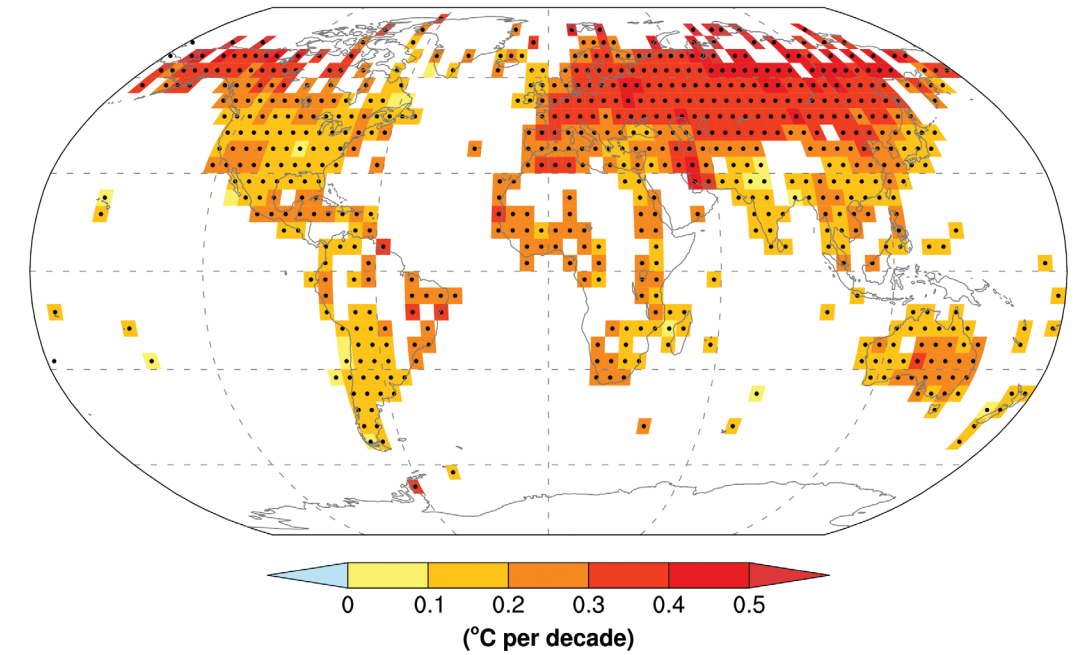


그림 2.10. 연평균 기온 추세의 공간 분포(1951~2020년). 점은 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 추세가 나타난 지역을 나타냄.  
※ Global Historical Climate Network Daily (GHCND) 자료로 산출함.

## 2.2. 우리나라 기온(2020년, 최근 5년, 장기추세) 2020년 우리나라 기온

### 요약

- 2020년 우리나라 연평균기온(13.0°C)은 평년보다 0.5°C 높았고, 최근 48년 중 5번째로 높았음.
- 2020년에 우리나라의 대부분 지역에서 연평균기온이 평년보다 높게 관측되었음.
- 2020년 우리나라 연평균 최고기온은 18.4°C로 평년보다 0.2°C 높았고, 연평균 최저기온은 8.4°C로 평년보다 0.7°C 높았음.
- 우리나라 연평균기온은 1990년대 이후 평년보다 높은 경향이 지속되고 있으며, 최근 2010년대에 가장 높은 연평균기온을 보임.

평년값(1991~2020년)을 적용한 219개 지점의 연평균기온은 그림 2.11과 같다. 우리나라는 제주도(산지 제외)와 남해안에서 기온이 높고, 대도시에서도 국지적으로 기온이 상대적으로 높게 나타난다. 연평균기온이 가장 높은 곳은 서귀포(16.9°C)이고, 가장 낮은 곳은 대관령(7.1°C)이다.

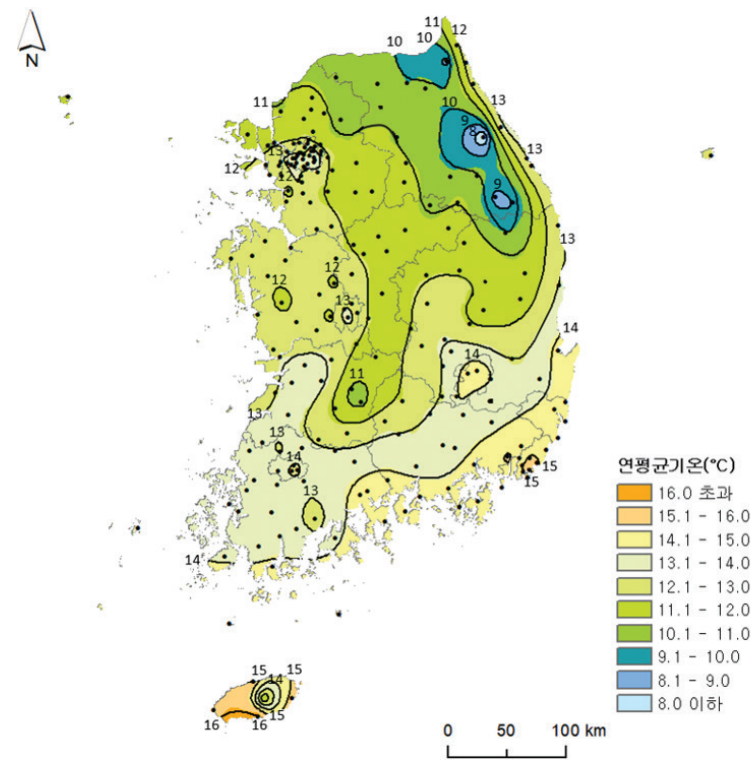


그림 2.11. 우리나라의 연평균기온(1991~2020년)의 분포(219개 지점)

1991~2020년을 적용한 우리나라 연평균기온은 12.5°C이며, 2020년 연평균기온<sup>1)</sup>은 13.0°C로 1991~2020년 평균보다 0.5°C 높았고, 1973년 이후 5번째로 기온이 높은 해로 기록되었다(그림 2.12, 표 2.2).

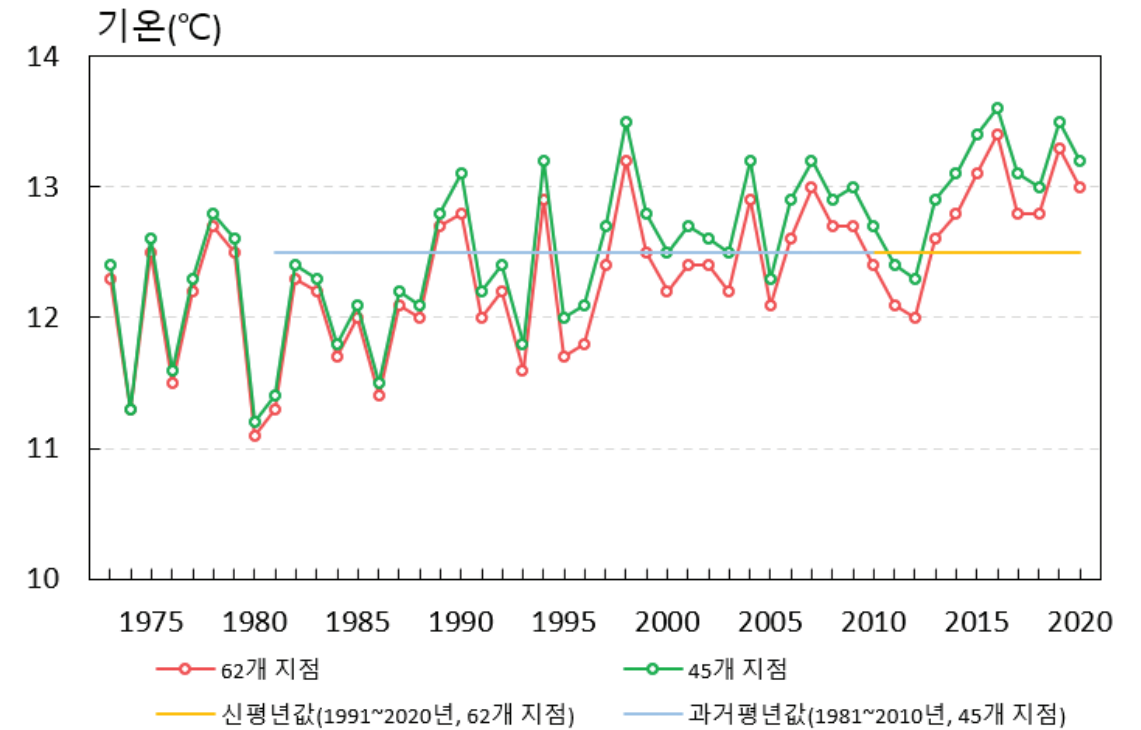


그림 2.12. 우리나라(62개 지점 평균, 45개 지점 평균) 연평균기온 변화(1973~2020년)

지점별로 살펴보면 84개 지점 중 76개 지점에서 연평균기온이 평년(1991~2020년)보다 높았다. 이 중 속초·청주·양평 등을 포함한 12개 지점에서 가장 큰 편차를 보였고, 창원(-0.4°C), 김해시(-0.3°C), 서귀포(-0.1°C) 등을 포함한 6개 지점에서만 연평균기온이 평년보다 낮았다(그림 2.13). 대구(신암)와 목포는 평년과 비슷하였다.

1) 기후통계지침(기상청, 2021)에 따르면 전국 평균값은 기상관측망을 전국적으로 대폭 확충한 1973년부터 산출한다. 전국 평균값은 최근 30년 이상의 연속적인 관측자료가 존재하는 지점 중 지리적 균질성을 고려하여 육지의 62개 지점값을 사용한다. 단, 관측개시일과 자료량을 고려하여 6개 지점(철원, 안동, 창원, 태백, 장수, 봉화)은 1990년 이후의 값을 사용한다. 이 지점에 따라 우리나라 연평균값을 산출할 때는 1973~1989년은 56개 지점, 1990년 이후부터 62개 지점을 평균하여 산출하였고, 공간분포를 파악할 때는 85개 지점을 사용하였다. 다만, 지점별 기온 분석에서 강진군은 결측(2017.7.17.~7.22, 7.24~7.26)으로 인해 평년값을 산출할 수 없으므로 결측 기간에 영향을 받지 않는 봄, 가을, 겨울 기온과 겨울 TNn, 겨울 TN10p의 공간분석에서만 85개 지점으로 사용하고, 이외의 공간분석은 84개 지점을 사용하였다.

분석에 사용된 85개 관측지점  
(우리나라 평균값 산출할 때 사용한 62개 지점은 진하게 표기)

속초, 철원, 동두천, 파주, 대관령, 춘천, 백령도, 강릉, 동해, 서울, 인천, 원주, 울릉도, 수원, 영월, 충주, 서산, 울진, 청주, 대전, 추풍령, 안동, 상주, 포항, 군산, 울산, 창원, 광주, 부산, 통영, 목포, 여수, 흑산도, 완도, 고창, 제주, 고산, 성산, 서귀포, 진주, 강화, 양평, 이천, 인제, 홍천, 태백, 정선군, 제천, 보은, 천안, 보령, 부여, 금산, 부안, 임실, 정읍, 남원, 장수, 영광군, 김해시, 순창군, 양산시, 강진군, 장흥, 해남, 고흥, 의령군, 함양군, 봉화, 영주, 문경, 청송군, 영덕, 의성, 구미, 영천, 경주시, 거창, 합천, 밀양, 산청, 거제, 남해, 대구(신암), 전주(완산)



2020년 연평균 최고기온은 18.4°C로 평년보다 0.2°C 높아서, 1973년 이후 연평균 최고기온이 9번째 높은 해로 기록되었다.

지역별 연평균 최고기온을 살펴보면, 84개 지점 중 60개 지점에서 평년보다 높게 나타났다. 속초·대관령·흑산도에서 가장 큰 편차(+0.9°C)를 보였으며, 강릉(+0.8°C), 대전·의령군(+0.7°C)이 뒤를 이었다. 흑산도(17.4°C)는 2019년에 이어 가장 높은 연평균 최고기온을 보였다. 전주(완산), 남원, 정읍, 밀양, 영주 등을 포함한 10개 지점은 평년과 비슷하였으며, 목포(-0.9°C), 정읍(-0.4°C), 인천(-0.3°C) 등을 포함한 14개 지점은 평년보다 낮았다.

2020년 연평균 최저기온은 8.4°C로 평년보다 0.7°C 높았으며, 1973년 이후 3번째로 연평균 최저기온이 높은 해로 기록되었다.

지역별 연평균 최저기온을 살펴보면, 84개 지점 중 79개 지점에서 평년보다 높게 나타났다. 봉화에서 가장 큰 편차(+1.6°C)를 보였으며, 원주·청주·임실·남원(+1.3°C)이 뒤를 이었다. 특히, 백령도·청주(9.7°C), 의령군(8.3°C), 순창군(8.0°C), 이천(7.3°C), 인제(6.2°C), 봉화(5.3°C), 태백(4.9°C)은 관측 이래 가장 높은 연평균 최저기온을 보였다. 서귀포는 평년과 비슷하였고, 창원(-0.5°C), 김해시(-0.3°C), 대구(신암)(-0.2°C), 해남(-0.1°C)은 평년보다 낮았다.

표 2.2 1973년 이후 우리나라(62개 지점 평균) 연평균·최고·최저기온과 편차(상위 10개, 평년: 1991~2020년의 평균) (단위: °C)

순위	평균기온			최고기온			최저기온		
	연도	연평균	편차	연도	연평균	편차	연도	연평균	편차
1	2016	13.4	0.9	2019	19.0	0.8	2016	8.7	1.0
2	2019	13.3	0.8	1994	18.9	0.7	1998	8.6	0.9
3	1998	13.2	0.7	2016	18.8	0.6	2020	8.4	0.7
4	2015	13.1	0.6	2004	18.8	0.6	2007	8.4	0.7
5	2020	13.0	0.5	2015	18.7	0.5	2019	8.3	0.6
6	2007	13.0	0.5	1998	18.7	0.5	2015	8.3	0.6
7	2004	12.9	0.4	2017	18.5	0.3	1990	8.3	0.6
8	1994	12.9	0.4	2007	18.5	0.3	2014	8.0	0.3
9	2018	12.8	0.3	2020	18.4	0.2	1989	8.0	0.3
10	2017	12.8	0.3	2018	18.4	0.2	1975	8.0	0.3

1973~2020년(48년)간 62개 지점의 연평균기온을 이용하여 우리나라의 연평균기온 편차의 변화를 분석하였다. 그림 2.14는 평년(1991~2020년)에 대한 연평균기온 편차의 변화를 나타낸다.

우리나라 연평균기온은 1990년대 이후 양(+)의 편차 경향이 뚜렷하며, 변동은 있지만 상승하는 경향을 보인다(+0.23°C/10년). 연평균기온은 2016년에 13.4°C로 가장 높았고, 1980년에 11.1°C로 가장 낮았다(그림 2.14).

10년 단위 연평균기온을 비교해 보면(표 2.3), 1970년대는 12.0°C, 1980년대는 12.1°C로 평년(12.5°C)보다 낮은 기온을 보였으나, 1990년대부터 상승하여 2010년대(2011~2020년)에는 12.8°C로 가장 높은 기온을 보였다.

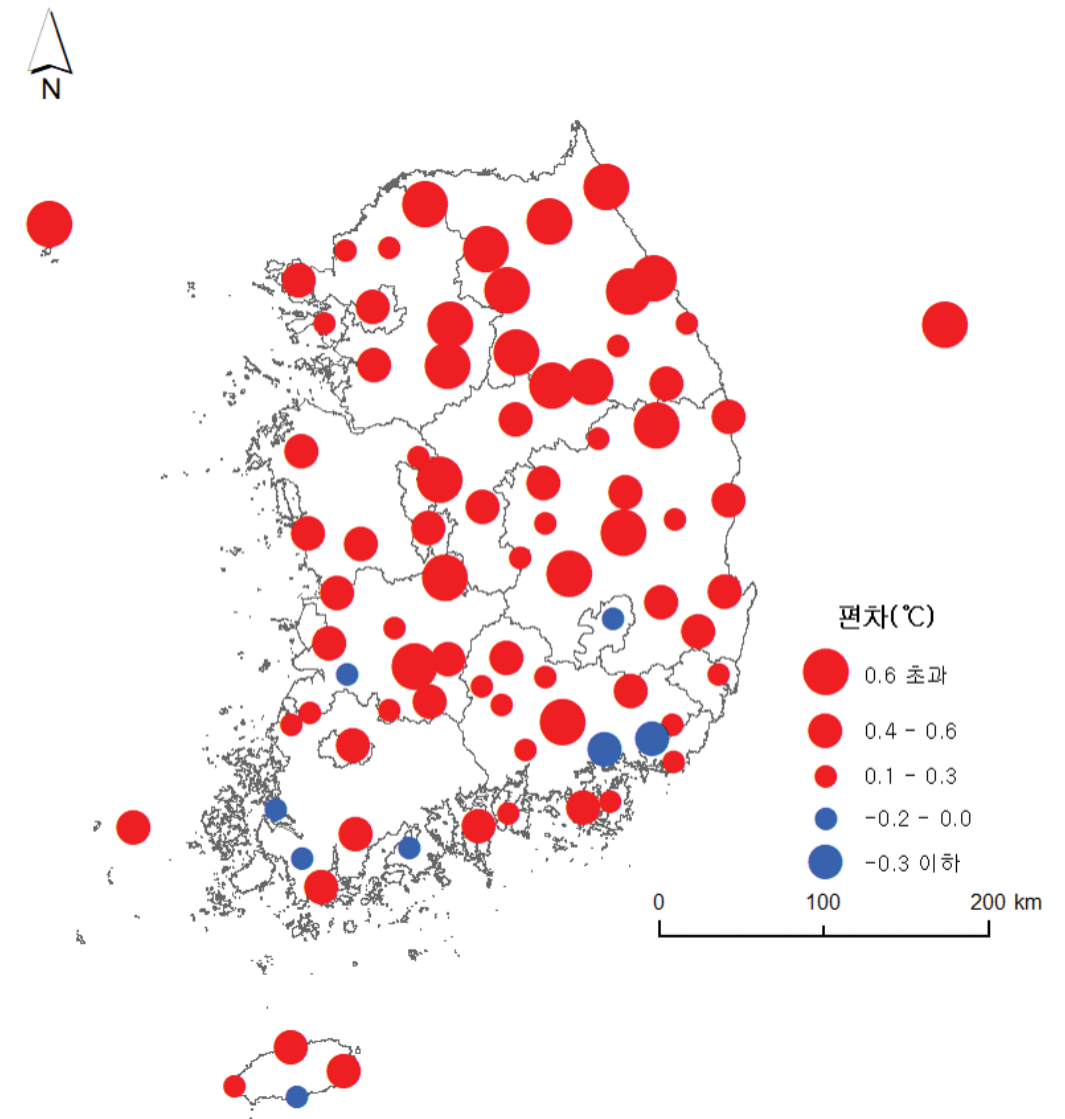


그림 2.13. 2020년 지점별 연평균기온의 편차(평년: 1991~2020년 평균)

## 2020년 우리나라 기온의 계절별<sup>2)</sup> 특성

### 요약

- 2020년 가을을 제외한 평균기온은 평년보다 높았고, 평균 최저기온은 봄, 여름, 가을, 겨울 모두 평년보다 높았음.
- 1973년 이후 처음으로 7월 평균기온이 6월 평균기온보다 낮았음.

2020년 우리나라 봄 평균기온은 12.0°C로 평년보다 0.1°C 높았으며, 1973년 이후 13번째로 평균기온이 높은 봄으로 기록되었다(그림 2.15a). 3월에 고온현상이 자주 발생했지만 4월에 저온현상이 빈번하여 봄철 기온 상승 폭이 작아졌다. 3월 평균기온은 7.7°C로 1973년 이래 2위를 기록하였고, 평균 최고기온은 14.0°C로 3위, 평균 최저기온은 1.6°C로 5위를 기록하였다. 반면, 4월 평균기온(10.6°C)과 최저 평균기온(4.3°C)은 1973년 이후 하위 5위를 기록하였다. 5월 평균 최저기온은 12.6°C로 1973년 이후 가장 높았다.

- 봄 평균 최고기온은 18.1°C로 평년과 비슷하였음. 봄 평균 최저기온은 6.2°C로 평년보다 0.2°C 높았음.
- 지점별 봄 평균기온은 속초·백령도·홍천(+0.6°C) 등을 포함한 49개 지점에서 평년보다 높았음. 반면, 김해시·고흥(-0.8°C), 창원·목포(-0.7°C) 등을 포함한 25개 지점은 평년보다 낮았고, 동두천·대관령·서울 등을 포함한 11개 지점에서는 평년과 비슷하였음.
- 봄 평균 최고기온은 속초·흑산도(+0.8°C), 영월·제주(+0.7°C) 등을 포함한 38개 지점에서 평년보다 높게 나타났음. 특히, 3월 평균 최고기온은 영월·홍천(+2.8°C) 등을 포함한 15개 지점에서 관측 이후 가장 높았음. 반면에 목포(-1.5°C), 고흥(-1.1°C), 정읍·순창군(-0.9°C) 등을 포함한 35개 지점은 봄 평균 최고기온이 평년보다 낮았음. 파주·백령도·수원 등을 포함한 12개 지점은 평년과 비슷하였음.
- 봄 평균 최저기온은 봉화(+1.2°C), 청주·백령도·원주(+0.9°C) 등을 포함한 50개 지점에서 평년보다 높았고, 김해시(-1.1°C), 창원(-1.0°C)을 포함한 30개 지점은 평년보다 낮았음. 수원·울산 등을 포함한 5개 지점은 평년과 비슷하였음.
- 3월 평균 최저기온은 봉화(+2.4°C), 백령도(+2.0°C) 등을 포함한 4개 지점에서 1973년 이후 가장 높았음. 반면, 4월 평균 최저기온은 대관령·순창군(-2.8°C), 파주(-2.7°C) 등을 포함한 10개 지점에서 관측 이후 가장 낮았음. 5월에는 임실(+2.2°C), 남원(+2.1°C) 등을 포함한 17개 지점에서 관측 이후 가장 높았음.

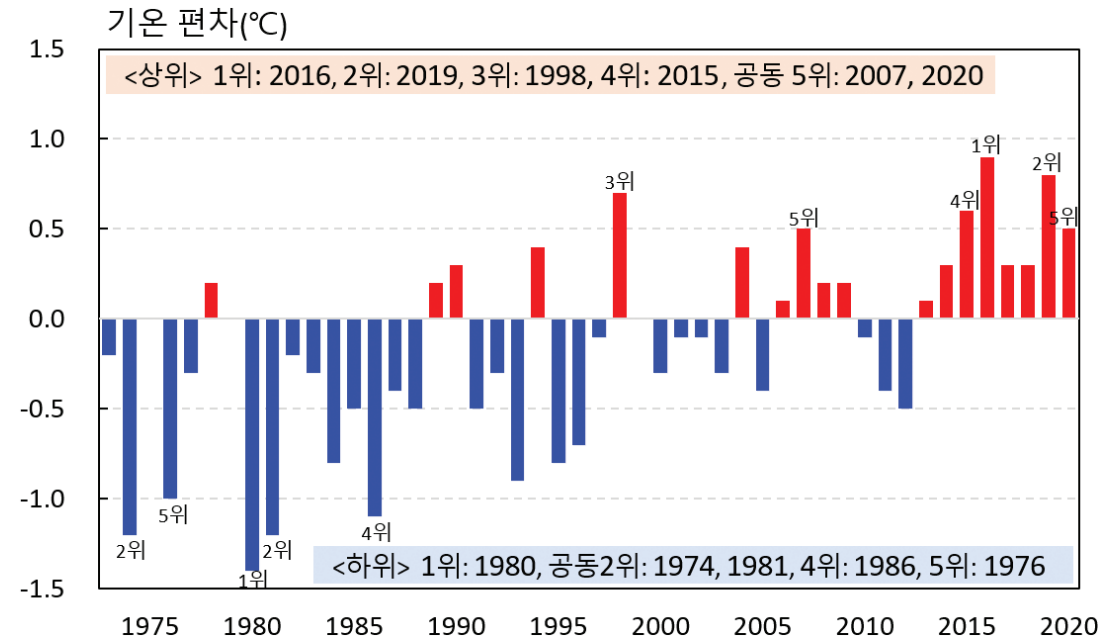


그림 2.14. 우리나라 연평균기온 편차의 변화  
(평년: 1991~2020년, 평균: 12.5°C)

표 2.3. 연평균기온의 10년 단위 평균(평년: 12.5°C)

연도	기온(°C)
1970 (1973~1980년)	12.0
1980 (1981~1990년)	12.1
1990 (1991~2000년)	12.3
2000 (2001~2010년)	12.5
2010 (2011~2020년)	12.8

2) 2020년 봄은 3-5월, 여름은 6-8월, 가을은 9-11월, 겨울은 2020년 12월~2021년 2월로 정의함.

2020년 우리나라 여름 평균기온은 23.9℃로 평년보다 0.2℃ 높았으며, 1973년 이후 15번째로 평균기온이 높은 여름으로 기록되었다(그림 2.15b). 1973년 이후 처음으로 7월 평균기온(22.5℃)이 6월 평균기온(22.7℃)보다 낮았다. 6월 평균기온과 평균 최고기온(28.0℃)은 1973년 이후 가장 높았고, 평균 최저기온(18.2℃)은 2번째로 높았다. 7월 평균기온은 4번째로 낮았고, 평균 최저기온은 19.6℃로 6번째로 낮았으며, 평균 최고기온은 26.2℃로 3번째로 낮았다. 8월 평균기온은 26.4℃로 6번째로 높았고, 평균 최저기온은 23.5℃를 보이면서 2번째로 높았다.

- 여름 평균 최고기온은 28.2℃로 평년보다 0.3℃ 낮았으며, 여름 평균 최저기온은 20.4℃로 평년보다 0.5℃ 높았음.
- 지점별 여름 평균기온은 대관령(+1.1℃), 속초·강릉·울릉도(+0.8℃) 등을 포함한 45개 지점에서 평년보다 높았고, 26개 지점에서 평년보다 낮았음.
- 여름 평균 최고기온은 대관령(+1.3℃), 속초(+1.0℃) 등을 포함한 19개 지점에서 평년보다 높았음. 반면에 봉화(-1.1℃), 정읍(-1.0℃) 등을 포함한 63개 지점에서 평년보다 낮았고, 춘천·완도는 평년과 비슷한 기온을 보였음. 6월 평균 최고기온은 백령도(-0.2℃), 흑산도(0.0℃)를 제외한 82개 지점에서 평년보다 높았음. 다만, 7월 평균 최고기온은 84개 모든 지점에서 평년보다 낮았고, 경주시(-4.3℃), 영천(-4.1℃), 대구(-4.0℃) 등을 포함한 19개 지점은 관측 이후 가장 낮은 기온을 보였음.
- 여름 평균 최저기온은 인제(+1.2℃), 춘천·금산·장수(+1.1℃) 등을 포함한 73개 지점에서 평년보다 높았음. 김해시(-0.7℃), 창원(-0.5℃) 등을 포함한 8개 지점은 평년보다 낮았음. 6월 평균 최저기온은 82개 지점에서 평년보다 높았고, 강릉(+2.6℃), 인제·태백(+2.3℃) 등을 포함한 20개 지점은 관측 이후 가장 높았음. 반면, 7월 평균 최저기온은 84개 모든 지점에서 평년보다 낮았고, 김해시(-2.8℃), 대관령(-2.7℃) 등을 포함한 12개 지점에서 관측 이후 가장 낮았음. 8월 평균 최저기온은 84개 모든 지점에서 평년보다 높았고, 대관령(+3.0℃), 장수·의령군(+2.6℃) 등을 포함한 23개 지점에서 관측 이후 가장 높은 기온을 나타냈음.

2020년 우리나라 가을 평균기온은 14.1℃로 평년과 비슷했으며, 1973년 이후 23번째로 평균기온이 높은 가을로 기록되었다(그림 2.15c). 11월 평균기온은 8.5℃로 9위를 기록하였다.

- 가을 평균 최고기온은 19.7℃로 평년보다 0.4℃ 낮았고, 가을 평균 최저기온은 9.3℃로 평년보다 0.1℃ 높았음.
- 지점별 가을 평균기온은 백령도(+0.8℃)를 포함한 28개 지점에서 평년보다 높았고, 서귀포(-0.8℃)를 포함한 45개 지점에서 평년보다 낮았음.
- 가을 평균 최고기온은 목포·서귀포(-1.3℃) 등을 포함한 69개 지점에서 평년보다 낮았음. 9월과 10월의 평균 최고기온은 대부분 지점에서 평년보다 낮았고, 목포는 10월 평균 최고기온이 1973년 이후 가장 낮았음. 반면, 11월 평균 최고기온은 영월, 강릉(+1.6℃) 등을 포함한 대부분 지점에서 평년보다 높았음.
- 가을 평균 최저기온은 남원(+1.2℃), 봉화(+1.1℃) 등을 포함한 43개 지점에서 평년보다 높았고, 창원(-1.0℃), 파주·김해시(-0.9℃) 등을 포함한 33개 지점은 평년보다 낮은 기온을 보였음. 10월 평균 최저기온은 파주(-2.2℃), 철원(-1.6℃) 등을 포함한 대부분 지점에서 평년보다 낮았던 반면에 11월에는 봉화(+2.1℃), 남원(+1.8℃) 등을 포함한 대부분 지점에서 평년보다 높았음.

2020년 우리나라 겨울 평균기온은 0.9℃로 평년보다 0.4℃ 높았으며, 1973년 이후 17번째로 높은 겨울로 기록되었다(그림 2.15d). 2월 평균기온은 3.4℃, 평균 최고기온은 9.4℃, 평균 최저기온은 -2.2℃로 1973년 이후 각각 3위, 2위, 8위를 기록하였다.

- 겨울 평균 최고기온은 6.6°C로 평년보다 0.6°C 높았으며, 겨울 평균 최저기온은 -4.3°C로 평년보다 0.1°C 높았음.
- 지점별로 살펴보면 겨울 평균기온은 흑산도(+1.4°C), 백령도(+1.1°C) 등을 포함한 73개 지점에서 평년보다 높았고, 창원(-0.8°C)을 포함한 9개 지점은 평년보다 낮았으며, 안동·봉화·영주는 평년과 비슷하였음.
- 1월 평균기온(-1.1°C)과 평균 최고기온(4.5°C), 평균 최저기온(-6.3°C)은 각각 평년에 비해 -0.1°C, +0.1°C, -0.6°C를 보였지만 1월 상순에 저온현상과 하순에 고온현상이 나타나며, 기온 변동성이 컸음.
- 겨울 평균 최고기온은 흑산도(+2.0°C), 의령군(+1.6°C) 등을 포함한 78개 지점에서 평년보다 높았음. 특히, 2월 평균 최고기온은 85개 모든 지점에서 평년보다 높았고, 흑산도·고산·의령군(+3.4°C)에서 가장 큰 편차를 보였음. 또한, 15개 지점에서 관측 이후 가장 높았음.
- 겨울 평균 최저기온의 경우, 태백(+1.1°C), 임실·남원(+0.9°C)을 포함한 48개 지점에서 평년보다 높았고, 창원(-1.1°C), 해남·대구(신암)(-1.0°C)을 포함한 33개 지점에서 평년보다 낮았음. 동두천·보은·정읍·함양군은 평년과 비슷하였음. 12월은 78개 지점에서 평년보다 낮았고, 해남(-3.0°C)에서 가장 낮았음. 반면에 2월은 85개 모든 지점에서 평년보다 높았음. 특히, 제주(+2.4°C), 고산(+2.0°C)은 관측 이후 가장 높았음.

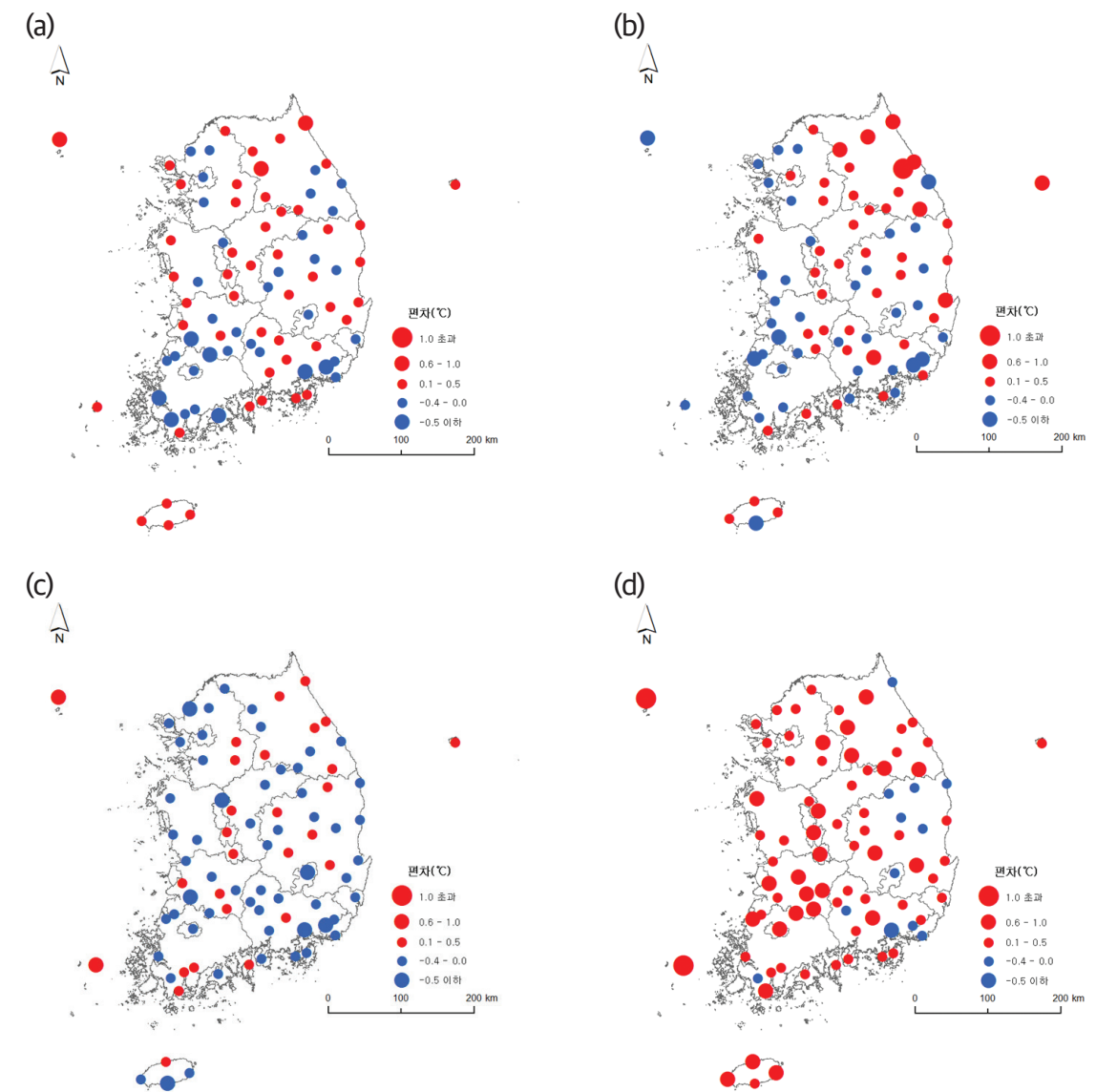


그림 2.15. 2020년 우리나라 지점별 (a) 봄, (b) 여름, (c) 가을, (d) 겨울의 평균기온 편차 (평년: 1991~2020년의 평균)

## 주제 : 따뜻해지는 우리나라, 봄꽃 개화도 빨라졌나?

□ 우리나라 봄꽃 개화일은 1981~1990년과 비교해 최근 30년(1991~2020)을 연대별로 살펴보니, 매화는 10~21일, 개나리는 2~6일, 진달래는 3~5일, 벚나무는 2~6일 빨라졌다. 이는 봄꽃 개화시기에 주로 영향을 주는 2~3월 기온 상승추세와 유사한 경향으로 개화일이 빨라지고 있다(표 1).

【표 1】 연대별 전국 평균 봄꽃 개화일과 2~3월 평균기온

구분	매화	개나리	진달래	벚나무	평균기온(2~3월)
1981~1990년	4.2	3.28	3.31	4.8	2.9℃
1991~2000년	3.23 (-10일)	3.26 (-2일)	3.28 (-3일)	4.6 (-2일)	3.5℃
2001~2010년	3.13 (-20일)	3.22 (-6일)	3.26 (-5일)	4.2 (-6일)	4.2℃
2011~2020년	3.12 (-21일)	3.24 (-4일)	3.26 (-5일)	4.2 (-6일)	4.2℃

\* 개화일 전국 평균 산출지점: 서울, 인천, 대전, 청주, 전주, 광주, 여수, 안동, 대구, 포항, 부산

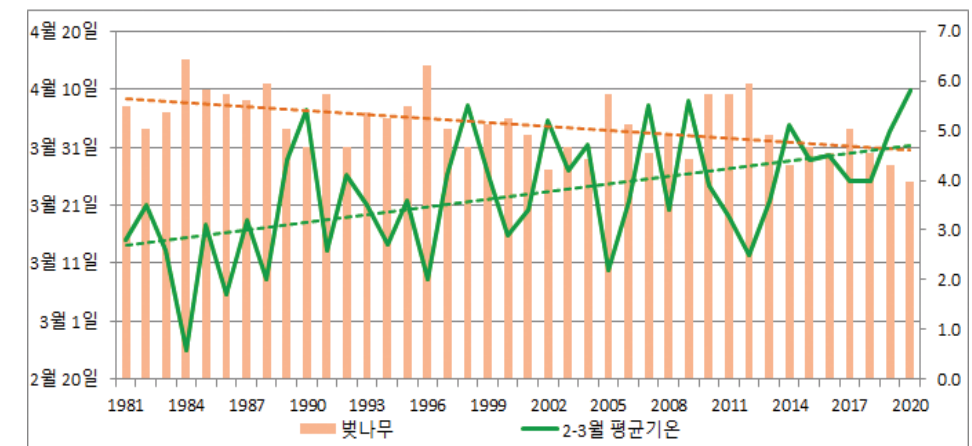
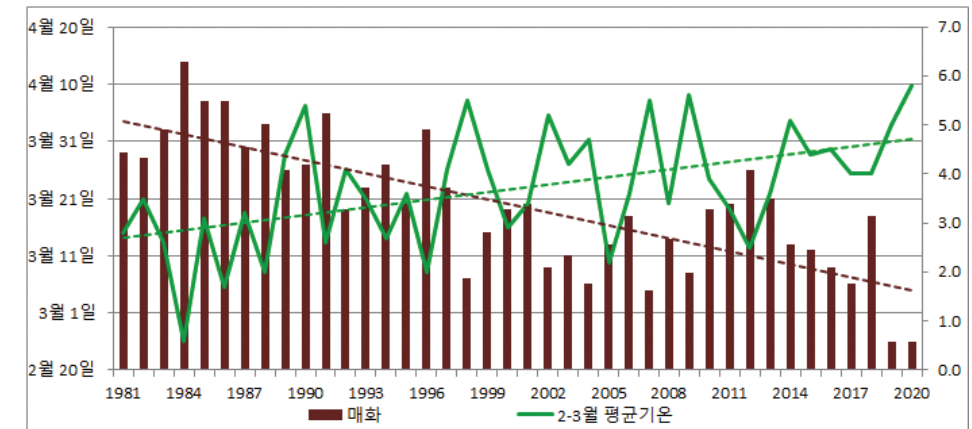
\*\* 평균기온(2~3월)은 전국 45개 지점 관측값을 사용

\*\*\* 표에서 괄호 안의 숫자는 1981~1990년 기준으로 연대별 개화일 차이(“-” 빠름, “+” 늦음, “0” 동일)

□ 1980년대 제주지역에서는 진달래가 벚나무보다 빨리 개화했지만 1990년대 이후부터는 진달래보다 벚나무가 빨리 피기 시작했고, 중부지방은 매화가 1980년대에 가장 늦게 개화하였지만 갈수록 빨라져 최근에는 가장 빨리 피기 시작했다(표 2).

【표 2】 연대별 및 권역별 평균 봄꽃 개화일

구분	매화			개나리			진달래			벚나무		
	제주	남부	중부	제주	남부	중부	제주	남부	중부	제주	남부	중부
1981~1990년	2.19	3.26	4.15	3.20	3.27	3.31	4.8	3.29	4.3	3.28	4.6	4.11
1991~2000년	3.1	3.14	4.6	3.20	3.23	3.29	3.30	3.26	4.1	3.26	4.4	4.10
2001~2010년	2.8	3.3	3.30	3.14	3.19	3.28	3.26	3.24	3.31	3.23	3.30	4.8
2011~2020년	2.12	3.5	3.25	3.17	3.21	3.29	3.19	3.24	3.30	3.25	3.30	4.6



【그림】 연별(1981~2020년) 전국 봄꽃(매화, 벚나무) 개화일과 평균기온(2~3월)



## 2020년 우리나라 극한 기온

### 요약

- 여름 일최고기온의 최고값을 보여주는 TXx는 우리나라 절반 이상의 관측지점에서 평년보다 낮았음.
- 겨울 일최저기온의 최저값을 의미하는 TNn은 14개 지점에서 1973년 이래 가장 낮았음.
- 2021년 2월 21일 포항의 일최고기온이 24.9°C로 관측되어 우리나라 2월 기상관측 사상 가장 높은 값을 기록했음.
- 연극한기온교차는 68개 지점에서 평년보다 작았음.
- 결빙일수와 서리일수는 우리나라 대부분 지점에서 평년보다 적었고, 폭염일수도 대부분 지점에서 평년보다 적었음.
- 최근 48년간 폭염일수의 발생빈도는 점차 증가하였고, 서리일수와 한파일수의 발생빈도는 점차 감소하였음.

2020년 여름철 일최고기온의 최고값(TXx<sup>3)</sup>)이 가장 높았던 지점은 양산시(37.8°C)였고, 2위 대구(37.0°C), 3위 포항·경주시(36.9°C), 4위 영월(36.8°C), 5위 강릉·의령군(36.5°C)으로 기록되었다(그림 2.16).

2020년 여름철 TXx는 46개 지점에서 평년보다 낮았다. 특히, 7월에는 상주(19.1°C), 창원(19.9°C), 고창(20.7°C), 영광군(20.9°C), 김해시(20.3°C), 순창군(20.6°C), 양산시(20.4°C), 함양군(19.8°C), 경주시(19.4°C)에서 일최고기온 최저값이 관측 이후 가장 낮았다. 33개 지점에서는 평년보다 높았는데, 8개 지점에서 1973년 이후 상위 5위 이내의 TXx를 기록하였고, 흑산도, 태백, 정선군, 양산시 등 대부분 상대적으로 관측기간이 짧은 지점이 해당되었다(그림 2.17, 표 2.4).

여름철 일최고기온의 상위 90퍼센타일(TX90p<sup>4)</sup>)은 61개 지점에서 평년보다 낮게 나타난 반면에 일최저기온의 상위 90퍼센타일(TN90p<sup>5)</sup>)은 73개 지점에서 평년보다 높게 나타났다(그림 2.18, 그림 2.19). 제주(29.7°C), 양산시(28.6°C), 인제(26.3°C), 대관령(23.3°C)의 8월 일최저기온 최고값은 관측 이후 가장 높았다.

2020년 겨울철 일최저기온의 최저값(TNn<sup>6)</sup>)이 가장 낮았던 지점은 대관령(-24.3°C)이었고, 2위 장수(-24.1°C), 3위 임실(-22.8°C), 4위 철원(-22.4°C), 5위 춘천(-21.9°C)이었다. 특히, 2021년 1월 상순에 극값을 경신할 정도의 한파가 발생하면서 다수의 지점에서 기온 극값을 경신하였다. 서산, 울진, 포항, 광주 등 14개 지점에서 1973년 이래 가장 낮은 TNn을 기록하였다(그림 2.20, 표 2.5).

월별로 살펴보면 1월의 일최고기온 최고값의 경우 합천(17.7°C), 영천(15.7°C), 서울(13.9°C), 인제(13.2°C)에서 1973년 이후 가장 높았던 반면, 일최고기온 최저값은 서산(-10.1°C), 속초(-9.0°C), 군산(-8.3°C) 등 11개 지점에서 관측 이후 가장 낮았다. 특히, 일최저기온 최저값은 서산(-19.7°C), 군산(-16.8°C), 울진(-16.1°C) 등의 지점에서 1973년 이후 가장 낮았다. 또한, 2월의 일최고기온 최고값은 포항에서 24.9°C를 기록하여 우리나라 2월 관측 사상 가장 높은 값을 기록했다. 이외에도 대구(24.4°C), 서귀포(23.6°C), 대전·광주(22.6°C), 이천(20.8°C) 등 60개 지점에서 관측 이후 가장 높았다.

2020년 겨울 평균기온은 평년보다 높았지만 2021년 1월 상순에 극값을 경신할 정도의 한파가 발생하면서 전국 대부분 지역의 겨울 TNn이 평년보다 낮았다. 겨울 TNn은 봉화를 제외한 84개 지점에서 평년보다 낮았다(그림 2.21). 겨울 TN10p은 77개 지점에서 평년보다 낮았다(그림 2.22).

2020년 우리나라 평균 연극한기온교차<sup>7)</sup>는 47.1°C로 평년(48.4°C)보다 작았다(그림 2.23). 연극한기온교차는 대관령(55.6°C)에서 가장 컸고, 서귀포(33.4°C)에서 가장 작았다. 평년과 비교해보면, 2020년 연극한기온교차는 68개 지점에서 평년보다 작았으며, 임실(45.9°C)은 1973년 이후 가장 작은 연극한기온교차를 보였다.

표 2.4. 2020년 여름 일최고기온 최고값(TXx)의 지점별 순위(1973~2020년)

순위	지점
1	-
2	-
3	-
4	태백, 정선군, 양산시, 의령군
5	춘천, 흑산도, 제주, 청송군

3) 일 최고기온의 최고값  
4) 일 최고기온 상위 90퍼센타일 값  
5) 일 최저기온 상위 90퍼센타일 값

6) 일 최저기온의 최저값  
7) 연극한기온교차는 연중 가장 높았던 일최고기온과 가장 낮았던 일최저기온의 차이로 정의

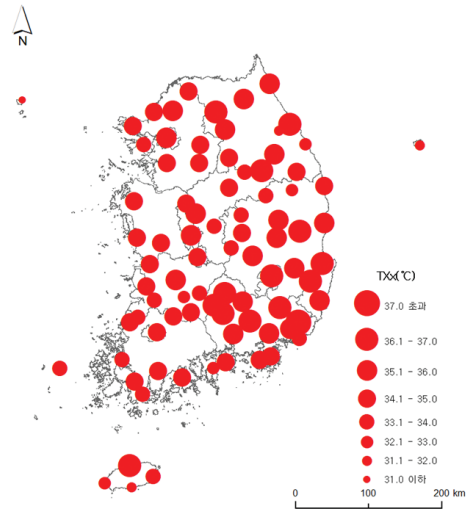


그림 2.16. 2020년 지점별 여름 TXx

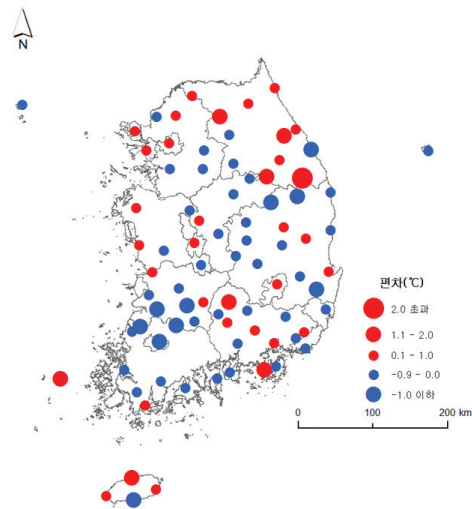


그림 2.17. 2020년 지점별 여름 TXx의 편차 (평년: 1991~2020년)

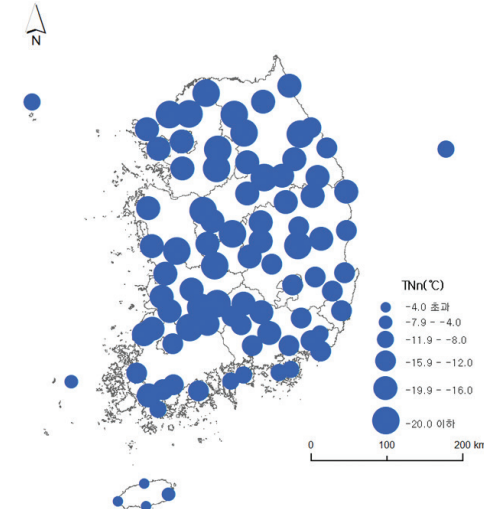


그림 2.20. 2020년 지점별 겨울철 TNn

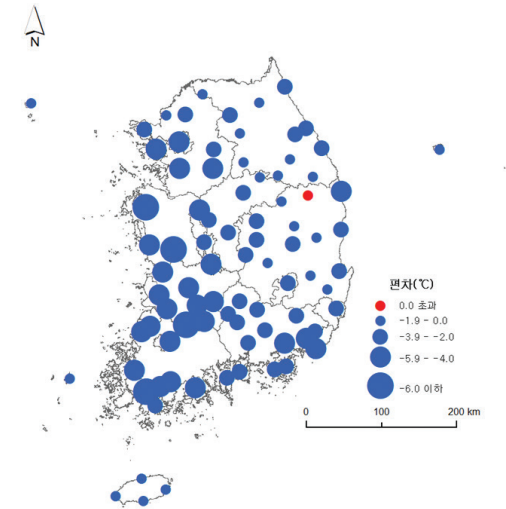


그림 2.21. 2020년 지점별 겨울 TNn의 편차 (평년: 1991~2020년의 평균)

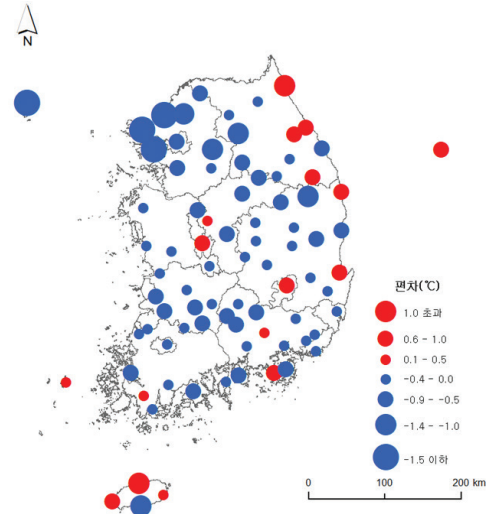


그림 2.18. 2020년 지점별 여름 TX90p의 편차 (평년: 1991~2020년의 평균)

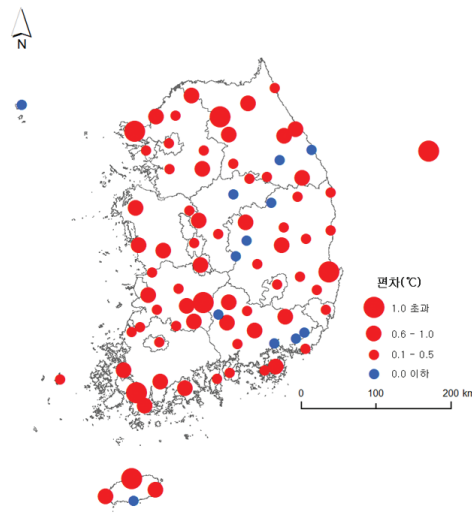


그림 2.19. 2020년 지점별 여름 TN90p의 편차 (평년: 1991~2020년의 평균)

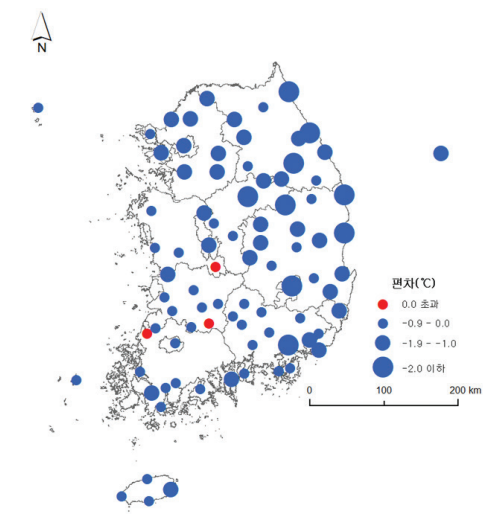


그림 2.22. 2020년 지점별 겨울 TN10p의 편차 (평년: 1991~2020년의 평균)

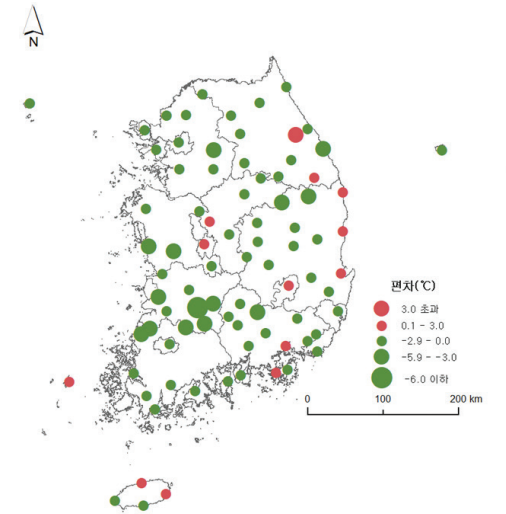


그림 2.23. 2020년 지점별 연극한기온교차의 편차 (평년: 1991~2020년의 평균)

표 2.5. 2020년 겨울 일최저기온 최저값(TNn)의 지점별 순위(1973~2020년)

순위	지점
1	서산, 울진, 상주, 군산, 창원, 광주, 목포, 고창, 영광군, 김해시, 순창군, 강진군, 해남, 전주(완산)
2	서울, 대전, 추풍령, 통영, 여수, 완도, 보령, 부여, 정읍, 남원, 장흥, 고흥, 의령군, 함양군, 영덕, 산청
3	인천, 부산, 금산, 임실, 장수, 양산시, 합천
4	속초, 흑산도, 진주, 거창, 남해, 대구(신암)
5	동두천, 강릉, 울산, 정선군, 청송군, 의성

2020년 우리나라 평균 서리일수<sup>8)</sup>는 86.2일로 평년보다 15.2일 적었으며, 1973년 이후 3번째로 적은 해로 기록되었다(그림 2.24).

- 서리일수는 고도와 위도가 높은 강원도 영서지역에서 많았고, 남해안지역과 제주도에 적었음.
- 지점별 서리일수는 대관령이 176일로 가장 많아서 연중 48.1% 가량 서리가 발생하였음. 2019년과 달리 84개 모든 지점에서 서리일이 발생하였음.
- 2020년 서리일수는 태백(+6.7일), 파주(+5.3일) 등을 포함한 6개 지점에서 평년보다 많았고, 78개 지점에서 평년보다 적었음. 대관령(+19.8일)이 평년에 비해 가장 많았고, 백령도(-40.6일)가 평년에 비해 가장 적었음.
- 특히, 거제(30일), 강릉(35일), 광주(47일) 등 7개 지점에서 1973년 이후 서리일수가 가장 적었음.

2020년 우리나라 평균 결빙일수<sup>9)</sup>는 5.5일로 평년보다 3.9일 적었으며, 1973년 이후 7번째로 적은 해로 기록되었다(그림 2.25).

- 지점별 결빙일수는 대관령에서 34일로 가장 많았으며, 강릉을 포함한 일부 동해안지역과 대부분의 남부지역을 포함한 22개 지점에서 결빙일이 나타나지 않았음.
- 2020년 결빙일수는 대구(신암), 전주(완산) 등을 제외한 76개 지점에서 평년보다 적었으며, 특히, 대관령은 서리일수 편차와는 달리 결빙일수 편차가 -19.3일로 평년에 비해 가장 적었음.
- 특히, 강릉, 울진 등 21개 지점에서 1973년 이후 결빙일수가 가장 적었음.

8) 서리일수는 연중 일최저기온이 0°C미만인 날의 수로 정의  
9) 결빙일수는 연중 일최고기온이 0°C미만인 날의 수로 정의

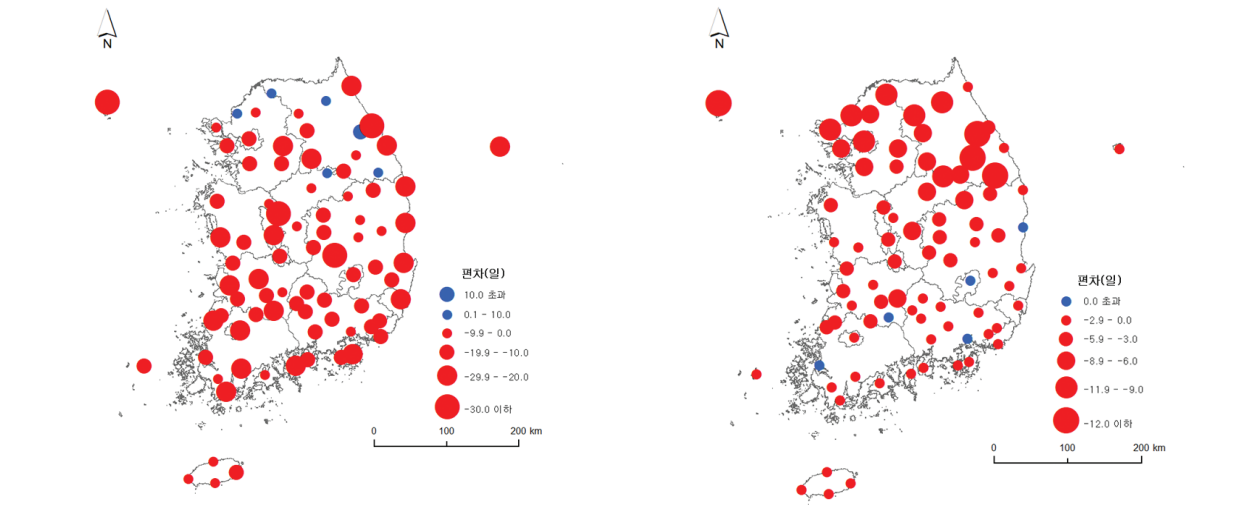


그림 2.24. 2020년 지점별 서리일수의 편차 (평년: 1991~2020년의 평균)

그림 2.25. 2020년 지점별 결빙일수의 편차 (평년: 1991~2020년의 평균)

2020년 우리나라 평균 폭염일수<sup>10)</sup>는 7.7일로 평년보다 3.3일 적었다(그림 2.26).

- 폭염일수는 대구(신암)에서 31일로 가장 많이 발생하였음. 또한 경주시(25일), 포항(22일), 밀양(21일) 등 남부 내륙지역에서 많이 발생하였고, 대관령, 백령도, 울릉도, 제주도(제주, 고산 제외) 등 강원 산간과 일부 도서지역에서는 발생하지 않았음.
- 2020년 폭염일수는 70개 지점에서 평년보다 적었고, 13개 지점에서 평년보다 많았음. 지역별로 합천(-10.3일)이 평년에 비해 가장 적었고, 제주(+5.2일)가 평년에 비해 가장 많았음.

2020년 우리나라 평균 열대야일수<sup>11)</sup>는 6.4일로 평년보다 1.2일 많았다(그림 2.27).

- 열대야일수는 제주에서 34일로 가장 많았고, 여름의 37.0%에 해당하는 기간 동안 열대야가 발생하였음. 또한 고산(30일), 서귀포(26일), 목포(24일) 순으로 많이 발생하였음.
- 대관령, 제천, 백령도 등을 포함하여 상대적으로 고도가 높은 지역과 일부 내륙지역, 일부 도서 지역의 18개 지점에서는 열대야가 발생하지 않았음.
- 열대야일수는 39개 지점에서 평년보다 많았고, 37개 지점에서 평년보다 적었음. 지역별로 고산(+10.8일)이 평년에 비해 가장 많았고, 김해시(-8.8일)가 평년에 비해 가장 적었음.

10) 폭염일수는 연중 일최고기온이 33°C이상인 날의 수로 정의  
11) 열대야일수는 연중 일최저기온이 25°C이상인 날의 수로 정의

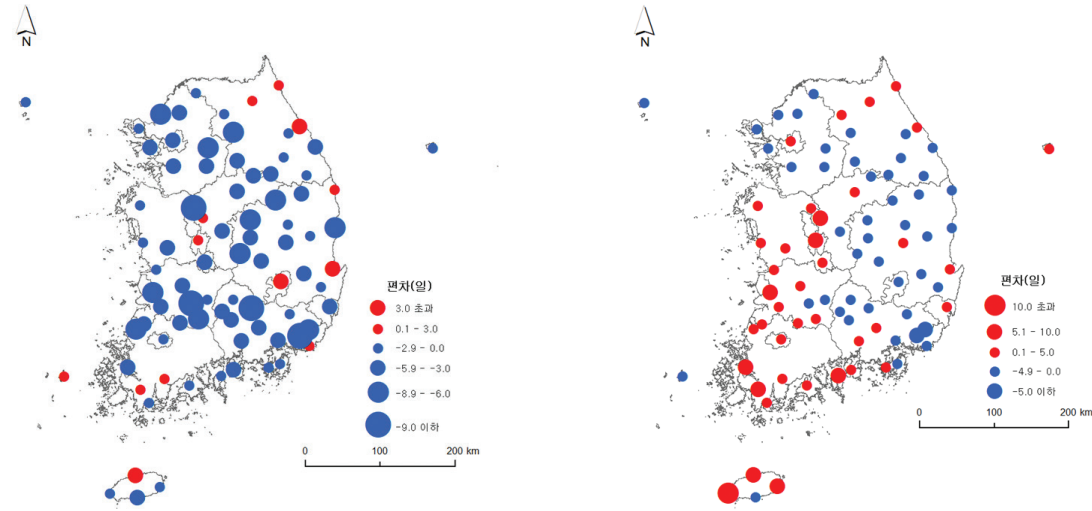


그림 2.26. 2020년 지점별 폭염일수의 편차  
(평년: 1991~2020년의 평균)

그림 2.27. 2020년 지점별 열대야일수의 편차  
(평년: 1991~2020년의 평균)

우리나라 연간 서리일수의 경우, 변동은 있지만 감소하는 경향을 보인다(-2.0일/10년). 1995년에 116.7일로 가장 많이 발생했으며 1990년에 81.2일로 가장 적게 발생했다(그림 2.28). 최근 5년 평균 연간 서리일수는 96.1일로 최근 10년 평균(99.1일)보다 감소하였고, 이들은 또한 48년(1973~2020년) 평균(102.6일)보다 감소하여, 서리일수가 최근 들어 계속해서 감소하고 있음을 알 수 있다(표 2.6).

우리나라 연간 폭염일수는 뚜렷한 변화 추세가 없었으나, 2010년대에 급격히 증가하면서 1973~2020년 동안 +1.2일/10년의 경향이 나타났다(그림 2.29). 2018년에 31.0일로 가장 많이 발생했고 1994년(29.6일)과 2016년(22.0일)이 그 뒤를 이었으며, 1993년에 0.1일로 가장 적게 발생했다. 10년 단위 평균값을 비교하면, 2010년대 이전에 폭염은 연간 9.2일 발생하였는데, 최근 10년에는 14.0일, 최근 5년에는 17.4일로 급격히 증가하면서 48년(1973~2020년) 평균(10.2일)을 크게 넘어섰다(표 2.6).

우리나라 연간 한파일수<sup>12)</sup>는 1980년대 후반에 급격히 감소한 이후 큰 변화 없이 유지되다가 2010년대에 다소 증가하는 경향이다(그림 2.30). 그러나 전체 기간에서는 감소 경향이다(-0.8일/10년). 한파는 1984년에 17.5일로 가장 많이 발생했고 2007년에 1.5일로 가장 적게 발생했다.

10년 단위 평균값을 비교하면, 한파는 1980년대(9.8일)에 가장 빈번했고, 1990년대(6.7일)에 가장 적었으며, 48년(1973~2020년) 평균 연간 한파 발생일수는 8.1일이었다. 특히, 한파일수는 2010년대 이후 다소 증가하여 최근 10년에는 7.7일이었으나, 최근 5년에는 다시 감소하여 6.1일이었다(표 2.6).

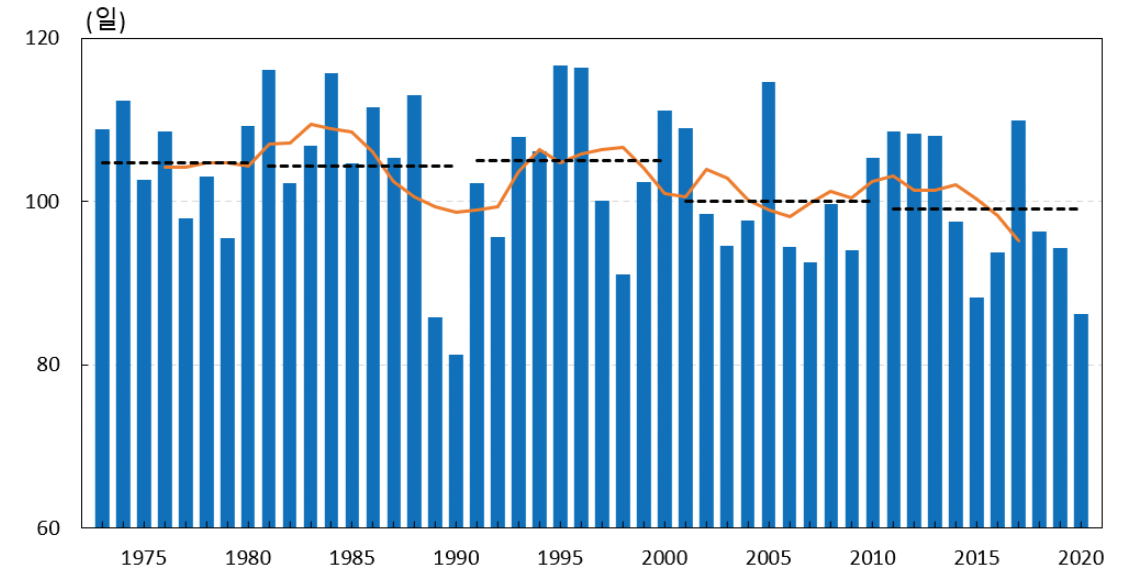


그림 2.28. 우리나라 연간 서리일수 변화(1973~2020년, 검은 파선: 10년 평균, 주황 실선: 7년 이동평균)

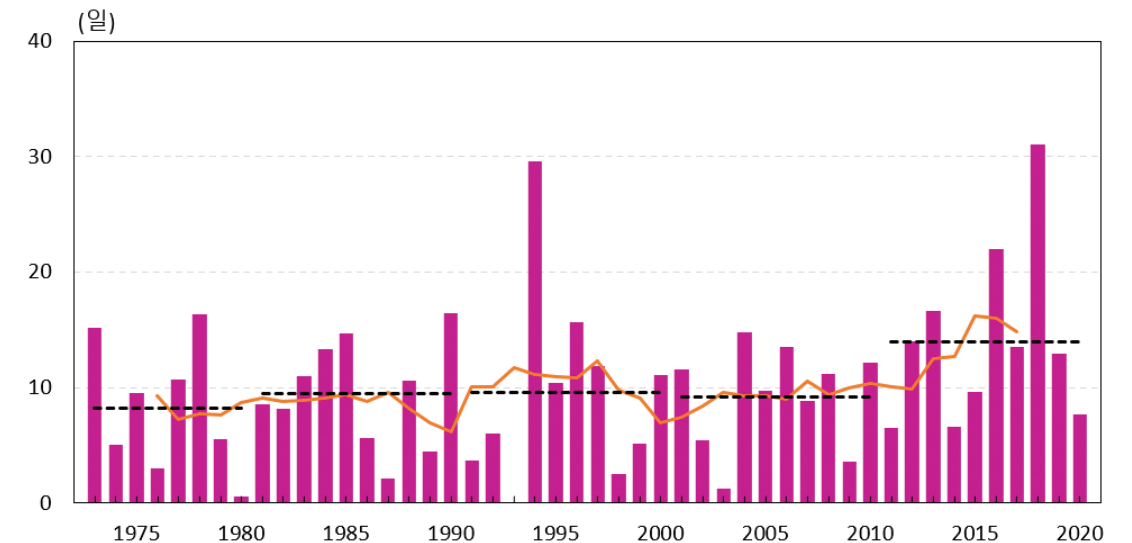


그림 2.29. 우리나라 연간 폭염일수 변화(1973~2020년, 검은 파선: 10년 평균, 주황 실선: 7년 이동평균)

12) 한파일수는 연중 일최저기온이 -12°C이하인 날의 수로 정의



## 최근 5년(2016년~2020년) 우리나라 기온

### 요약

· 지난 5년 대비 최근 5년 우리나라 연평균기온은 13.1°C로 0.3°C 상승하였고, 절반 이상의 지점에서 최근 5년 연평균기온은 1973년 이후 가장 높았음.

지난 5년(2012~2016년) 대비 최근 5년(2016~2020년)간 우리나라 연평균기온은 13.1°C로 0.3°C 상승하였고, 84개 지점 중 71개 지점에서 상승하였다(그림 2.31). 의령군(+0.9°C)에서 가장 큰 상승폭을 보였고, 봉화(+0.7°C)가 그 뒤를 이었다. 하지만 천안·정읍(-0.4°C) 등을 포함한 8개 지점은 기온이 하강하였고, 울산·서귀포·인제·김해시·영주 지점은 지난 5년 연평균기온과 최근 5년 연평균기온이 비슷하였다. 또한 최근 5년 연평균기온은 통영(15.1°C), 울릉도(13.3°C), 속초(13.1°C) 등을 포함한 48개 지점에서 1973년 이후 가장 높았다.

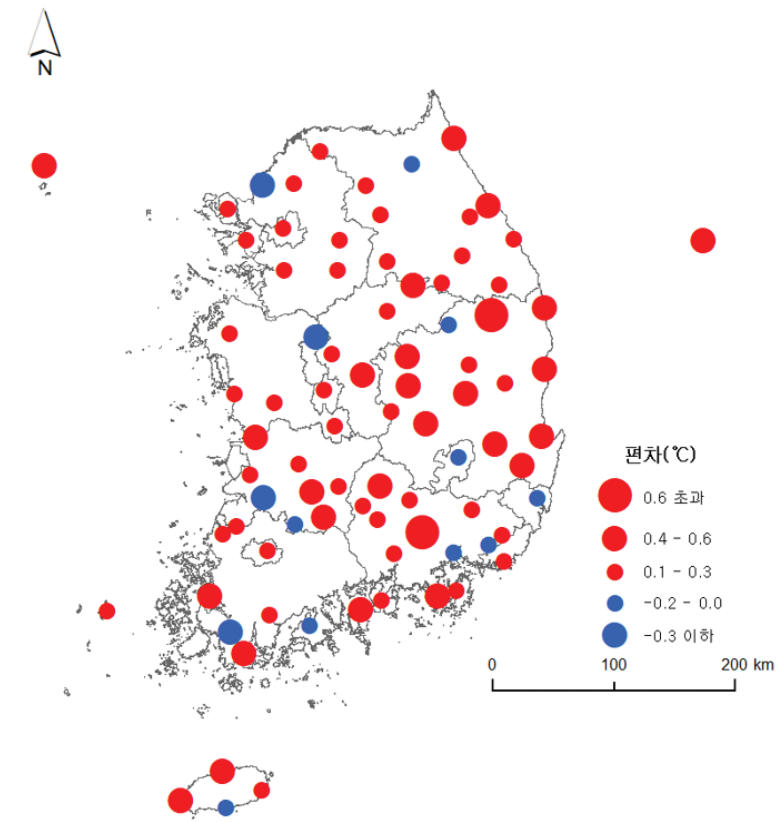


그림 2.31. 지난 5년(2012~2016년) 대비 최근 5년(2016~2020년) 우리나라 연평균기온 편차

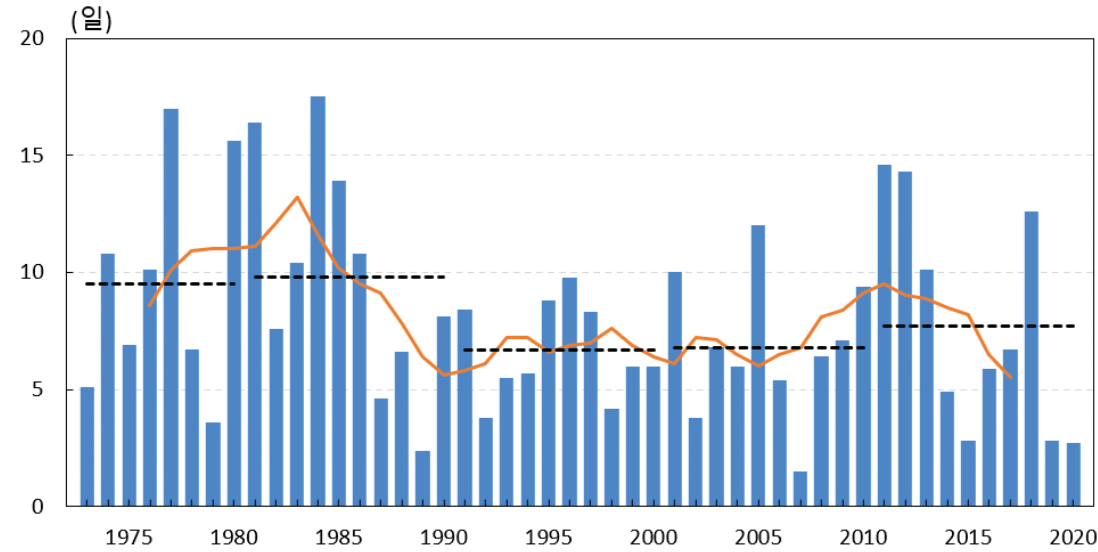


그림 2.30. 우리나라 연간 한파일수 변화(1973~2020년, 검은 파선: 10년 평균, 주황 실선: 7년 이동평균)

표 2.6. 최근 5년/10년/48년(1973~2020년)간 서리, 폭염, 한파일수

기간	서리일수	폭염일수	한파일수
최근 5년(2016~2020년)	96.1일	17.4일	6.1일
최근 10년(2011~2020년)	99.1일	14.0일	7.7일
1973~2020년	102.6일	10.2일	8.1일

## 우리나라 기온 장기추세

### 요약

· 109년간 우리나라 연평균기온은 우리나라 평균과 6개 지점 모두 유의하게 상승하였음.

1912~2020년(109년간)<sup>13)</sup>을 대상으로 6개 지점<sup>14)</sup>의 연평균기온을 이용하여 우리나라의 109년간의 연평균 기온 변화를 분석하였다(그림 2.32).

우리나라 109년간 연평균기온은 12.8°C이며, 가장 낮았던 연평균기온은 11.0°C(1947년), 가장 높았던 연평균 기온은 14.4°C(1994년, 1998년, 2019년)였다. 우리나라 연평균기온은 +0.20°C/10년 상승하였고, 6개 지점들 중 대구(+0.26°C/10년)에서 상승 폭이 가장 컸다(표 2.7). 109년간 연평균기온의 상승은 우리나라 평균과 6개 지점 모두 유의하였다.

우리나라 평균과 5개 지점(대구 제외)에서 최근 5년 연평균기온은 지난 5년 연평균기온보다 높았고, 최근 5년과 30년 평균값을 비교한 경우에는 우리나라 평균과 5개 지점(부산 제외) 모두 최근 5년값이 더 높았다. 대구의 최근 5년 연평균기온은 지난 5년 연평균기온보다 0.2°C 낮았다.

6개 지점 중, 목포(+0.1°C/10년)에서 연평균기온의 상승률이 가장 작았고, 강릉에서는 최근 5년 연평균기온이 지난 5년 연평균기온에 비해 6개 지점들 중 상승 폭이 +0.6°C로 가장 컸다. 강릉과 목포 지점의 지난 5년 연평균기온은 30년 연평균기온과 비슷하였다.

13) 분석기간(1912~2020년) 중 1950~1953년은 한국전쟁으로 인하여 일부 지점에서 관측이 수행되지 않아, 분석기간에서 제외하였음.

14) 기후정보포털에서는 100년 이상의 기간을 분석할 때 6개 지점을 사용함. 자료의 일관성을 위하여 1912년을 분석기간의 첫 해로 설정하였고, 우리나라 109년간 연평균기온은 6개 지점을 평균하였음.

분석에 사용된 6개 관측지점

강릉, 서울, 인천, 대구, 부산, 목포

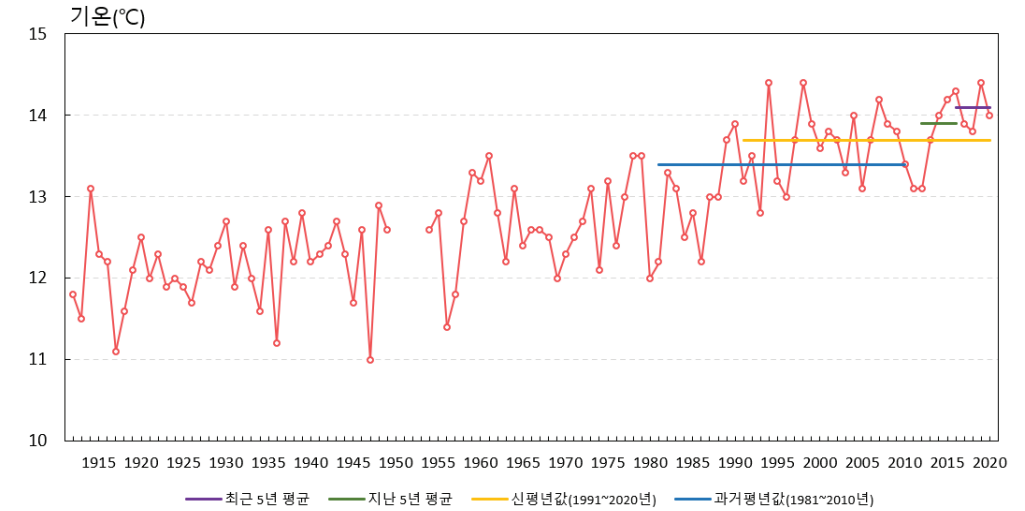


그림 2.32. 우리나라(6개 지점) 109년간(1912~2020년)의 연평균기온 변화

표 2.7. 우리나라와 6개 지점별 연평균기온의 변화율(°C/10년)과 30년(1991~2020년)/지난 5년(2012~2016년)/최근 5년(2016년~2020년) 평균값(°C)

지역	변화율	30년 평균	지난 5년 평균	최근 5년 평균
우리나라	+0.20*	13.7	13.9	14.1
강릉	+0.20*	13.5	13.5	14.1
서울	+0.24*	12.8	13.1	13.2
인천	+0.20*	12.5	12.6	12.9
대구	+0.26*	14.5	14.7	14.5
부산	+0.18*	15.0	15.2	15.4
목포	+0.10*	14.0	14.0	14.4

\* Pearson 방법 적용 유의한 값

# CHAPTER 03

## 물 순환

### 3.1. 전지구 강수량과 습도

(2020년, 최근 5년, 장기추세)

### 3.2. 우리나라 강수량과 습도

(2020년, 최근 5년, 장기추세)



### 3.1. 전지구 강수량과 습도 (2020년, 최근 5년, 장기추세) 2020년 전지구 강수량

요약

- 2020년 전지구 육지 강수량은 지역적인 차이가 뚜렷하였으며, 세계 곳곳에서 폭우와 홍수, 가뭄이 기록됨.
- 동아시아 지역은 평년보다 많은 강수가 기록됨.

강수는 인간 생활 및 자연 생태계뿐 아니라 물, 관개 및 산업에 이용할 수 있는 지표수, 지하수 등 광범위한 영향을 준다. 기후변화는 강수의 강도와 빈도에 영향을 줄 수 있으며, 평균기온이 높아질수록, 증발량이 증가하여 전체적인 강수량이 증가할 것으로 예상된다.

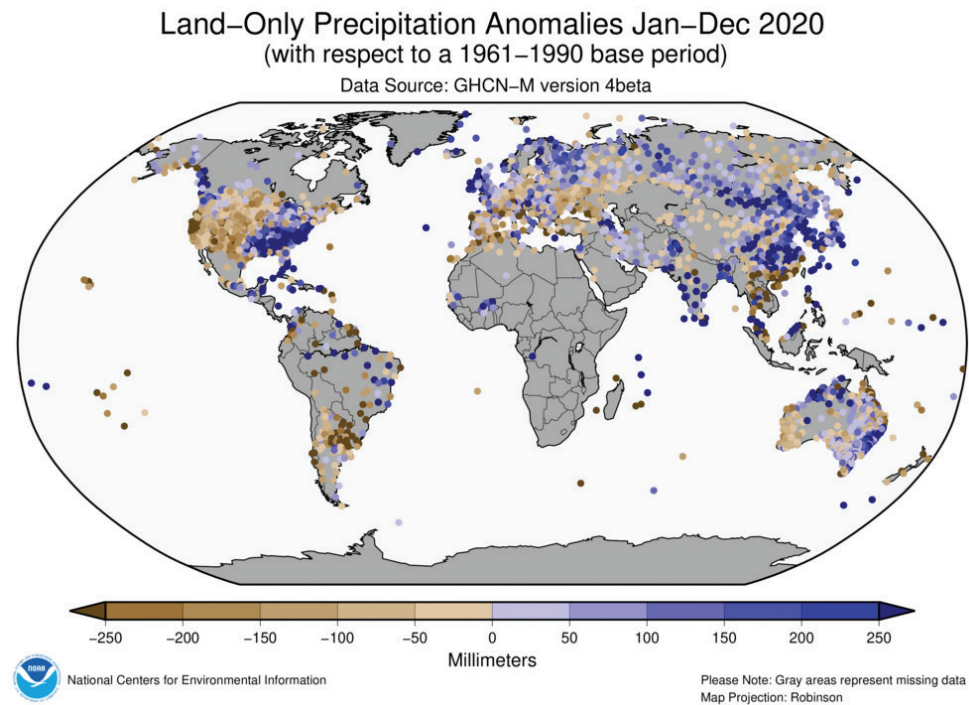


그림 3.1. 2020년 전지구 육지 연 강수량 편차(mm) (평년: 1961~1990년 평균)  
※ 출처: National Centers for Environmental Information of NOAA

2020년 전지구 육지의 강수량은 지역적인 차이가 뚜렷하게 나타났다. 북아메리카 동부, 유럽 북부, 인도, 동아시아, 호주 북서와 남동부 지역에서 평년보다 많은 강수가 기록된 반면, 동남아시아 남부, 북아메리카 서부, 남아메리카 남부 지역에서는 평년보다 적은 강수가 기록되었다. 동아시아 지역은 평년보다 많은 강수가 기록되었다(그림 3.1, 그림 3.2).

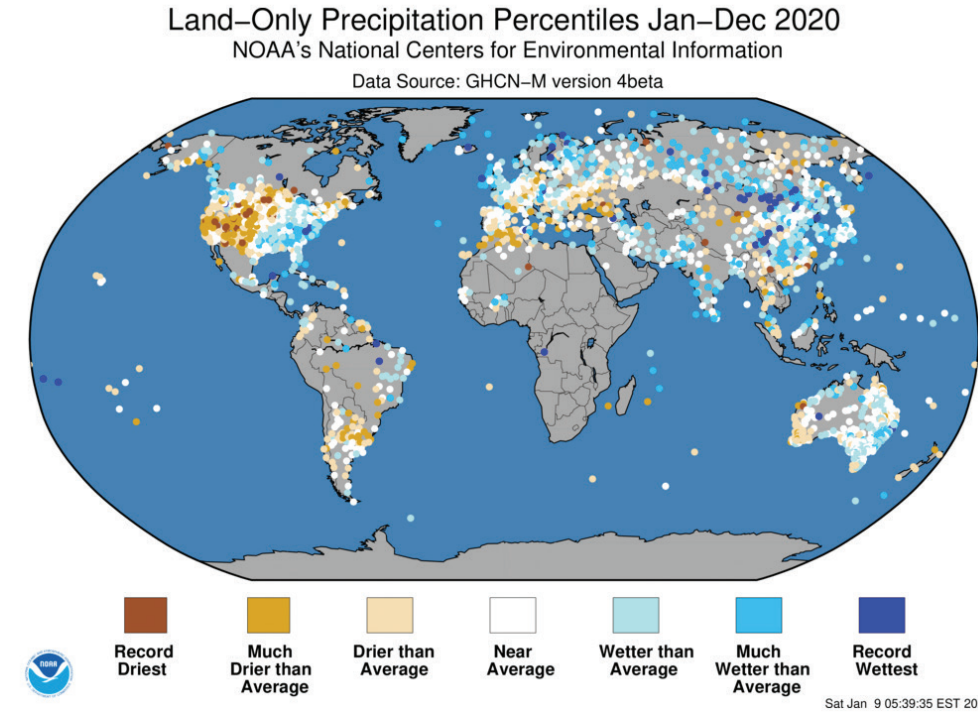


그림 3.2. 2020년 전지구 육지 연 강수량 퍼센타일. 관측 기간인 121년(1900~2020년)을 기준으로 Record Driest(121년 중 강수량이 가장 적음), Much Drier than Average(하위 10%에 해당하는 12년), Drier than Average(하위 33%에 해당하는 40년), Near average(33~66%에 해당하는 40년), Wetter than average(상위 30%에 해당하는 40년), Much Wetter than Average(상위 10%에 해당하는 12년), Record Wettest(121년 중 강수량이 가장 많음)로 나뉨.

※ 출처: National Centers for Environmental Information of NOAA



## 2020년 전지구 강수량 계절별 특성

### 요약

- 계절 강수는 지역별로 차이가 크게 나타남.
- 한반도를 포함한 동아시아 지역은 모든 계절에서 대체로 평년보다 강수량이 많았으나 지역별 편차가 크게 나타남. 특히 여름철은 평년보다 강수량이 매우 많았음.

2020년 봄철(MAM)에 전지구 육지의 강수량은 북아메리카 동부 지역과 알래스카, 유라시아 북부 지역, 아시아 일부 지역은 평년보다 많았고, 서부 유럽, 북아메리카 중부 및 서부, 멕시코, 중부 및 서부 유럽 지역에서는 평년보다 적었다. 동아시아는 지역별 편차가 크게 나타났다(그림 3.3).

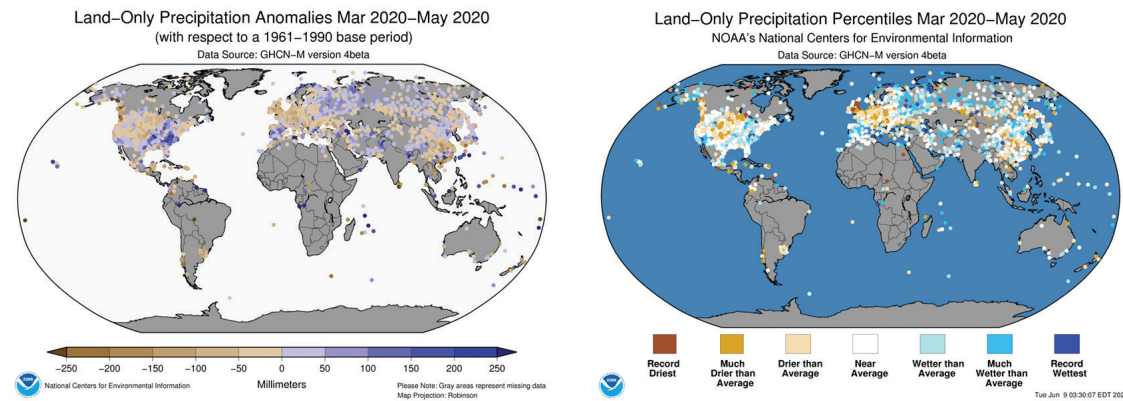


그림 3.3. 2020년 봄철(3~5월) 전지구 육지 강수량 편차(좌) 및 퍼센타일(우)(평년: 1961~1990년 평균)  
※ 출처: National Centers for Environmental Information of NOAA

2020년 여름철(JJA)에 전지구 육지의 강수량은 북아메리카 동부, 유럽의 중부 및 북부, 동아시아, 아르헨티나 남부에서 평년보다 많았고, 북아메리카의 남서부, 알래스카 서부, 스페인 남부, 러시아의 서부 및 동부, 브라질, 아르헨티나 북부 및 오세아니아 지역에서 평년보다 적었다(그림 3.4).

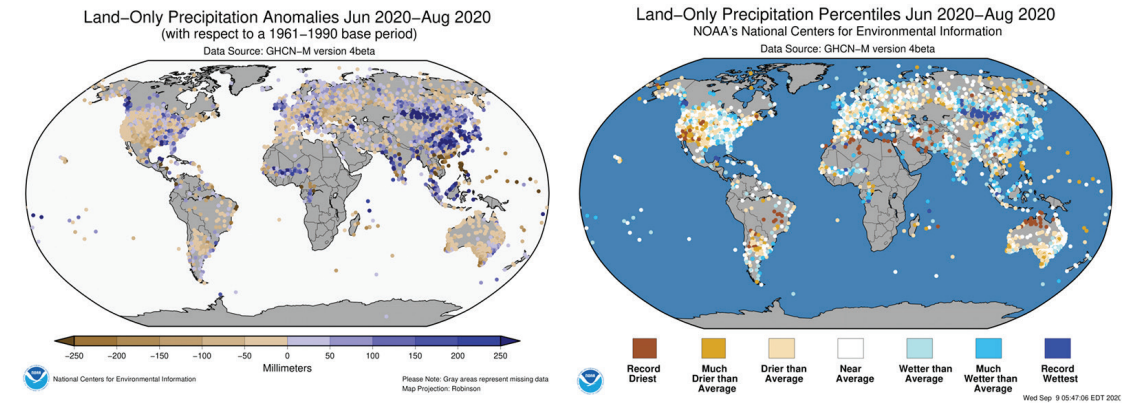


그림 3.4. 2020년 여름철(6~8월) 전지구 육지 강수량 편차(좌) 및 퍼센타일(우)(평년: 1961~1990년 평균)  
※ 출처: National Centers for Environmental Information of NOAA

2020년 가을철(SON) 전지구 육지의 강수량은 북아메리카 동부 지역과 브라질 북부 지역, 유럽의 중부 및 북부, 중앙아시아 및 동아시아, 호주 중부 지역에서 평년보다 많았다. 북아메리카 서부 일부 지역에서 최저값이 기록되었으며, 남아메리카 남부지역, 유럽 남부, 아시아의 서부 및 남부 지역과 호주 동부 지역에서는 평년보다 적었다(그림 3.5).

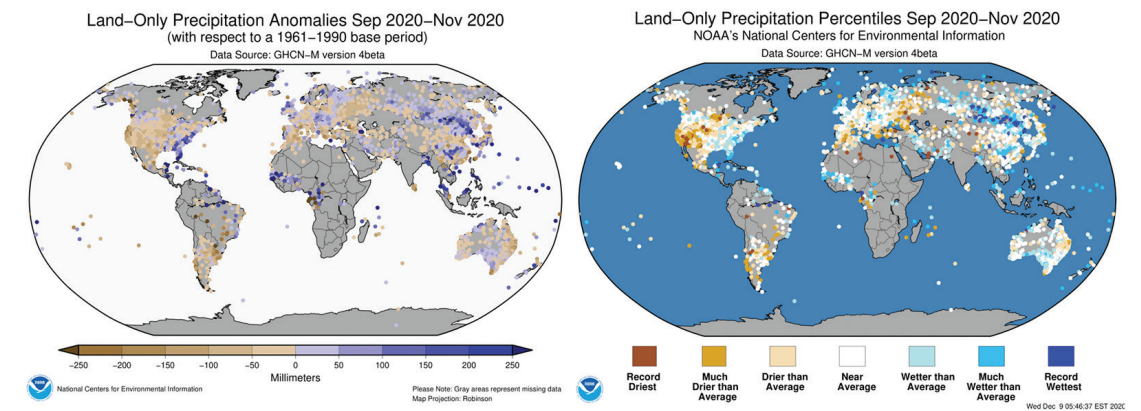


그림 3.5. 2020년 가을철(9~11월) 전지구 육지 강수량 편차(좌) 및 퍼센타일(우)(평년: 1961~1990년 평균)  
※ 출처: National Centers for Environmental Information of NOAA

2020년 겨울철(DJF) 전지구 육지의 강수량은 북아메리카 동부와 남아메리카 북부, 유럽 지역, 아시아의 북부와 동부 그리고 호주에서 평년보다 많았다. 북아메리카 서부 및 멕시코 지역, 남아메리카의 남부 지역, 아프리카 북부 그리고 남아시아 지역에서는 평년보다 적었다(그림 3.6).

## 2020년 극한 강수

### 요약

- 2020년 극한 강수 현상의 빈도는 지역별로 큰 차이가 나타남. 북아메리카 중부 지역에서는 강도와 빈도 모두 평년에 비해 적었음.
- 동아시아 지역과 유럽 북부 그리고 호주 일부 지역은 극한강수의 빈도와 강도 모두 평년보다 증가하였음.

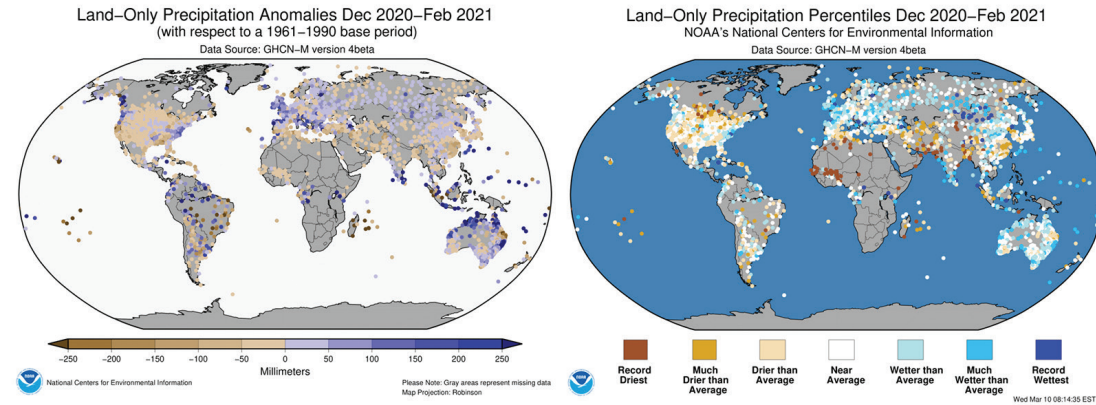


그림 3.6. 2020년 겨울철(2020년 12월~2021년 2월) 전지구 육지 강수량 편차(좌) 및 퍼센타일(우)(평년: 1961~1990년 평균)  
※ 출처: National Centers for Environmental Information of NOAA

2020년의 극한 강수의 강도와 빈도를 살펴보기 위해 Rx1d, Rx5d, R10mm, R20mm 지수의 전지구 분포를 살펴보았으며, 각 지수의 정의와 의미는 표 3.1과 같다.

표 3.1 사용된 극한 강수 지수

극한강수지수	정의와 의미
Rx1d	· 그 해의 1일 강수량 중 최댓값 · 그 해의 극한 강수에 대한 강도를 알 수 있음.
Rx5d	· 그 해의 5일 강수량 중 최댓값 · 그 해의 극한 강수에 대한 강도를 알 수 있음.
R10mm	· 그 해의 일강수량이 10mm를 초과한 일수 · 그 해의 극한 강수에 대한 빈도를 알 수 있음.
R20mm	· 그 해의 일상수량이 20mm를 초과한 일수 · 그 해의 극한 강수에 대한 빈도를 알 수 있음.

극한 강수 강도를 나타내는 연 최대 1일 강수량(Rx1d) 및 연 최대 5일 강수량(Rx5d)의 2020년 값은 북아메리카 동부 및 유럽, 호주, 동아시아 일부 지역에서 평년(1981~2010년)보다 많은 값을 보인 반면, 북아메리카 서부 지역은 평년보다 적은 값을 기록하였다(그림 3.7a,b).

극한 강수빈도를 나타내는 일강수량 10mm 및 20mm 이상 강수일수(R10mm, R20mm)의 2020년 값은 북아메리카 남동부와 북서부, 유럽 북부, 동아시아, 호주 남동부 및 북서부 지역에서 평년(1981~2010년)보다 많았고, 북아메리카 중부 지역과 유럽 중부, 중앙아시아, 호주의 남서부 지역에서는 평년보다 적게 나타났다(그림 3.7c,d).

## 최근 5년 (2016년~2020년) 전지구 강수량

### 요약

- 최근 5년 (2016~2020년) 강수량은 지난 5년 (2012~2016)에 비해 지역적인 차이가 크게 나타났음.
- 동아시아와 아프리카 북부 지역은 강수량이 뚜렷하게 증가한 반면, 오세아니아 대륙과 남아메리카 남부 지역, 북아메리카 북동부는 감소하였음.

지난 5년 대비 최근 5년(2016년~2020년) 평균 강수량 변화는 증가와 감소 지역이 혼재되어 나타났다. 아프리카 중부, 동아시아, 유럽 북부, 북아메리카 남동부 지역에서는 강수량이 증가하였지만, 오스트레일리아, 북아메리카 북동부, 남아메리카 남부 지역에서는 강수량이 감소하였다. 한반도를 포함 동아시아 지역의 강수 변화 경향은 우리나라와 일본에서 지난 5년 대비 최근 5년 강수량이 비슷하거나 조금 증가하였지만, 중국 동부 지역에서는 강수량이 증가하였다(그림 3.8).

Precipitation Departure  
(2016-2020) minus (2012-2016)

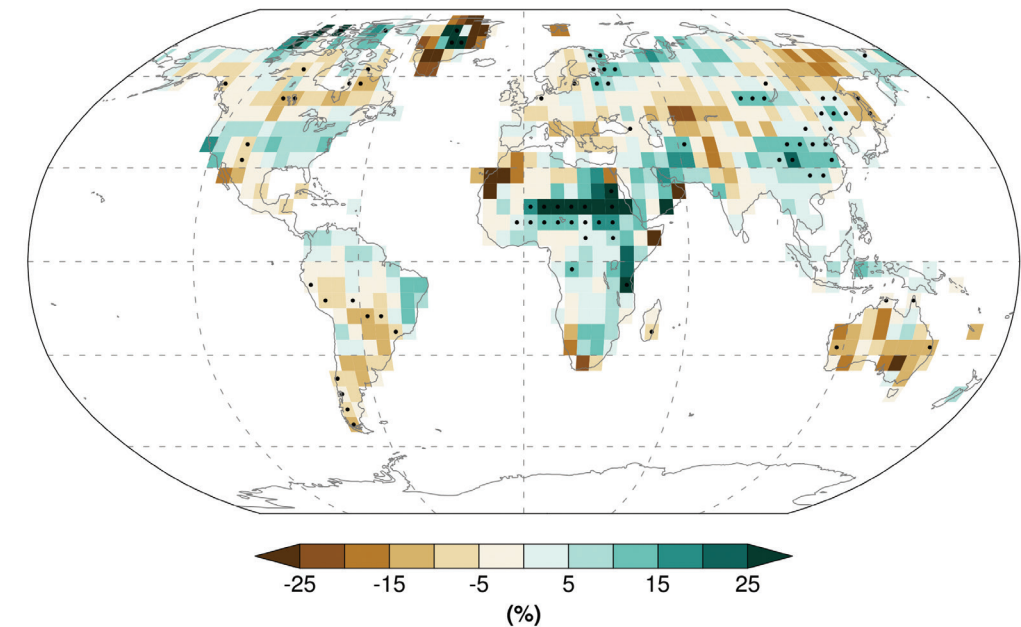
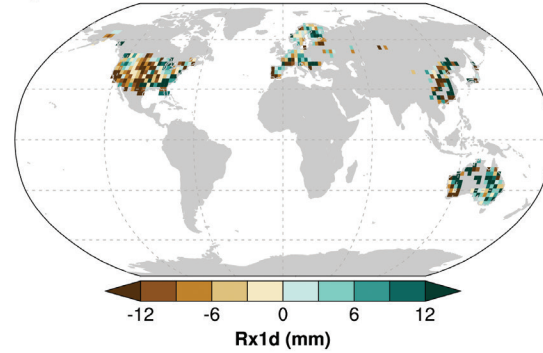
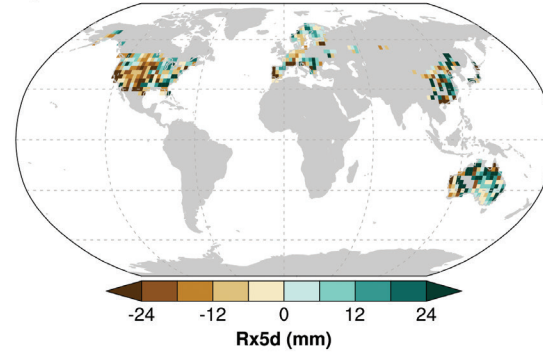


그림 3.8. 지난 5년 (2012~2016년) 대비 최근 5년 평균 (2016년 ~2020년) 강수량 변화(%).  
점은 최근 5년 평균 강수량이 관측기간 중 가장 크게 또는 작게 나타난 지역을 나타냄.  
※ Global Precipitation Climatology Project (GPCP) 자료로 산출함.

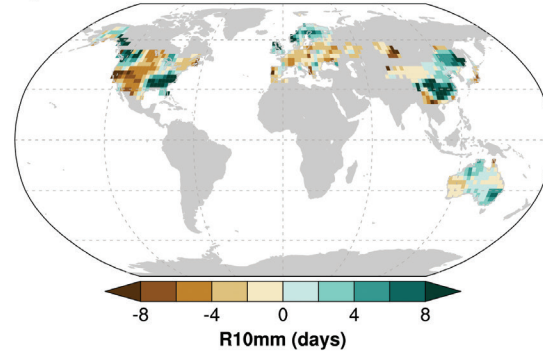
a) Rx1d



b) Rx5d



c) R10mm



d) R20mm

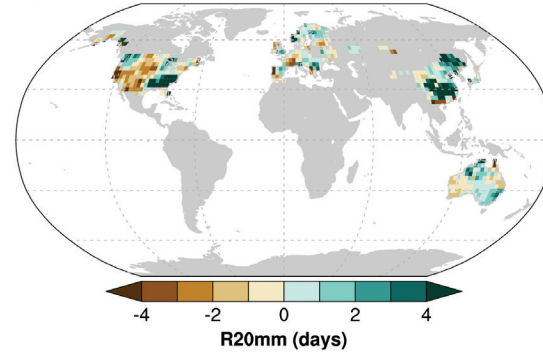


그림 3.7. 2020년 극한 강수 지수의 편차 (a) Rx1d, (b) Rx5d,  
(c) R10mm, (d) R20mm(평년: 1981~2010년 평균).

※ Global Historical Climatology Network Daily Extremes Indices (GHCNDEX) 자료로 산출함.



## 전지구 강수량 장기추세

### 요약

- 1979년부터 2020년까지 전지구 육지 평균 강수량은 약한 감소경향 (-0.19%/10년)을 보임.
- 동아시아 지역의 강수량은 변동성이 크며, 크게 증가하는 경향을 보임.

1979년부터 2020년까지 전지구 육지의 평균 연 강수량은 약한 감소 추세를 보인다 (-0.19%/10년).

북반구 평균 강수량은 전지구 평균의 감소 추세와 다르게, 약한 증가 추세 (0.16%/10년)를 보이거나 통계적으로 유의하지 않다.

동아시아 지역 평균 강수량은 북반구 평균 강수량 추세 보다 다소 강한 증가추세 (1.20%/10년)를 보이며, 경년 변동성이 더 크게 나타난다(그림 3.9).

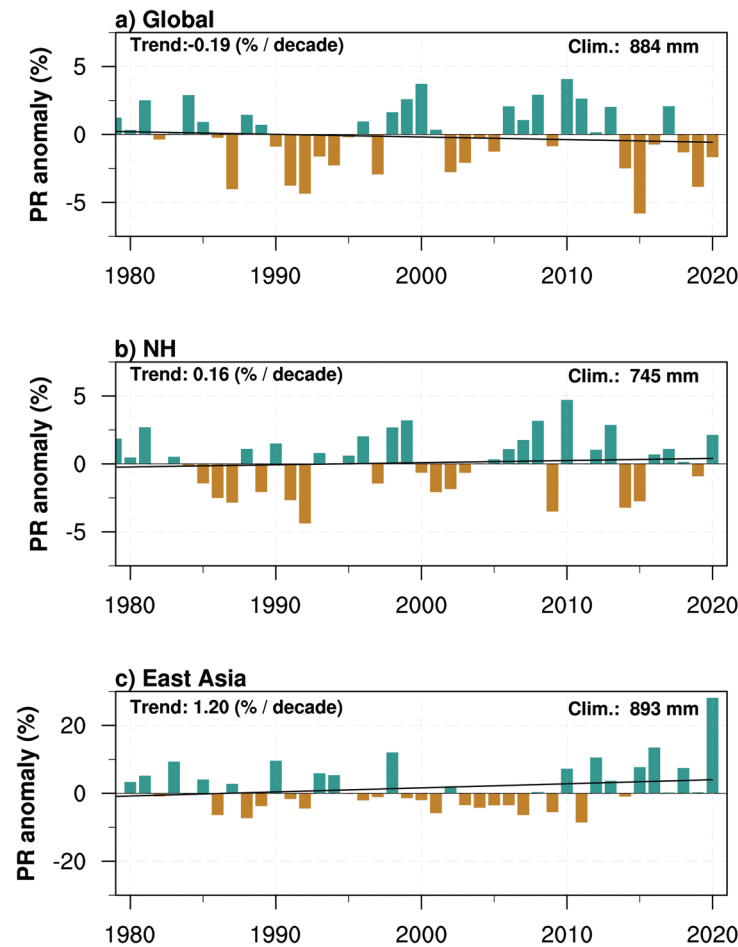


그림 3.9. 영역 평균 연 강수량 편차(%) 시계열 (막대: 편차, 실선: 추세선)  
a) 전지구, b) 북반구, c) 동아시아(평년: 1981~2010년 평균)  
※ Global Precipitation Climatology Project (GPCP) 자료로 산출함.

1979년부터 2020년까지 강수량의 장기추세의 지역별 분포를 살펴보면, 유라시아 대륙 지역과 그린란드를 포함한 북반구 고위도 지역, 중앙 아시아 일부, 그리고 아프리카 중부 지역에서 통계적으로 유의한 강수량 증가가 나타난다(그림 3.10). 북아메리카 서부, 남아메리카, 중동 지역에서 통계적으로 유의한 강수량 감소 경향이 나타난다. 한반도를 포함한 동아시아 지역은 약하게 증가하는 경향을 보이지만 통계적인 유의성은 낮은 편이다.

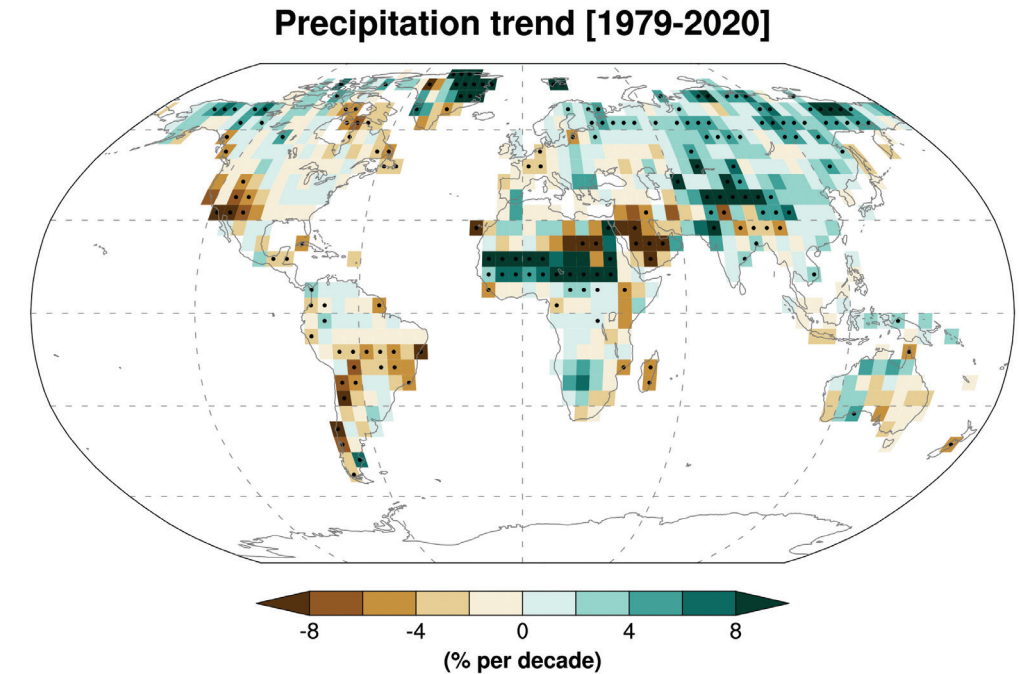


그림 3.10. 전지구 연 강수량 변화 경향 (1979~2020년). 점은 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 추세가 나타난 지역을 나타냄.  
※ Global Precipitation Climatology Project monthly precipitation(GPCP) 자료로 산출함.

## 전지구 습도<sup>15)</sup>

### 요약

- 2020년 전지구 평균 상대습도는 평년과 비슷하거나 낮았음.
- 2020년 전지구 평균 비습은 평년에 비해 높았으며, 특히 해양 평균 비습은 관측 이래 가장 높은 값을 기록함.

지구온난화는 대기가 포함할 수 있는 수증기를 증가시키며, 해양을 중심으로 증발량이 증가할 것으로 전망된다. 절대적인 수증기량인 비습은 해양과 육지 모두에서 증가하지만, 상대습도의 변화는 지역에 따라 달라진다. 수증기 공급이 풍부한 해양에서는 상대습도는 일정하게 유지되는 반면, 내륙에서는 수증기 공급이 제한되어 상대습도의 감소가 나타난다. 대기 중 수증기량이 증가함에 따라 전반적인 강수증가가 전망되며, 고온 현상과 결합하여 열스트레스 상승과 열파와 관련된 질병 위험도와 사망률에 영향을 미친다.

2020년 전지구 육지 평균 상대습도는 평년보다 낮았으며(평년 대비 -0.68 ~ -1.28 %)(그림 3.11), 해양에서의 상대습도는 평년과 비슷한 수준이었다(평년 대비 -0.14 ~ 0.13 %).

반면, 전지구 평균 비습은 온난화에 따라 꾸준한 증가 추세를 보였으며, 2020년 전지구 평균 비습은 평년에 비해 높았다. 평년 대비 육지 평균 비습은 0.14~0.36 g/kg으로 높게 나타났고, 해양 평균 비습은 0.23~0.41 g/kg으로 관측 이래 가장 높았다.

종합해보면, 비습은 육지와 해양에서 모두 증가하는 반면, 포화 정도를 나타내는 상대습도는 육지에서 감소하는 경향이 뚜렷하였다. 특히, 육지에서의 기온 상승은 해양보다 높아 기온 상승으로 인해 포함할 수 있는 수증기의 증가량에 비해 비습의 증가가 이에 미치지 못하기 때문에 상대습도는 감소하는 경향이 나타난다.

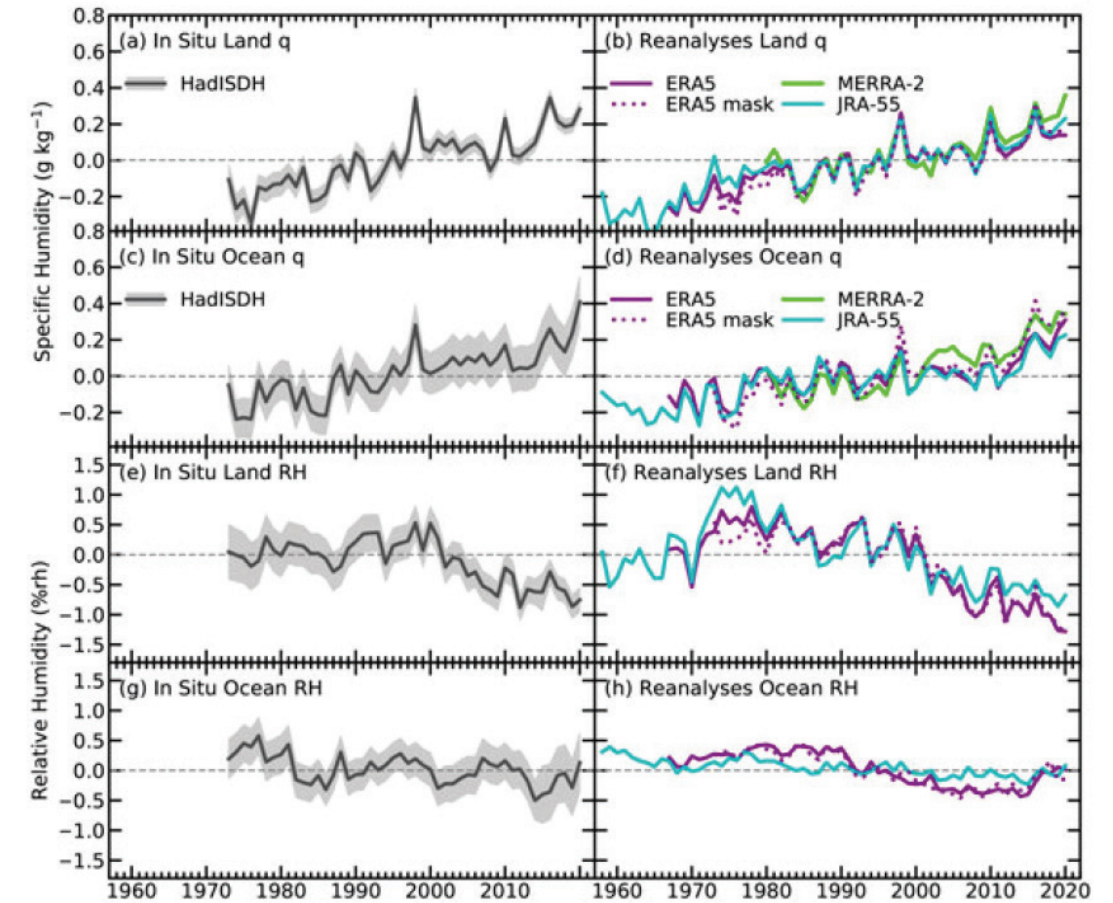


그림 3.11. 전지구 평균 비습(a-d)과 상대습도(e-h) 편차의 시계열 (1981~2010년 평균 대비)  
※ 출처: State of the Climate in 2020 (미국기상학회보)

2020년 상대습도의 전지구 분포를 살펴보면(그림 3.12), 대부분 지역에서 평년보다 낮은 값을 기록하였으며, 특히, 북아메리카 서부, 남아메리카 남부 지역에서 건조한 특성이 뚜렷하게 나타났다. 남아프리카와 중앙아시아 일부지역 또한 건조했으며, 인도와 호주 남동부, 남아메리카 일부 지역에서는 평년보다 높은 상대습도를 기록하였다.

15) 습도는 비습과 상대습도로 나뉘며, 비습은 공기 가운데 포함된 수증기의 양을 표시하는 수치로 단위 체적의 공기 속에 포함된 수증기의 질량을 수증기를 포함한 공기의 질량으로 나누어 구한다. 상대습도는 일정 부피의 공기 속에 실제로 포함되어 있는 수증기의 양과 포함할 수 있는 최대한의 수증기 양과의 비율이다.

### 3.2. 우리나라 강수량과 습도(2020년, 최근 5년, 장기추세) 2020년 우리나라 강수량

요약

- 2020년 연강수량은 평년의 122.2%인 1627.0mm로, 최근 48년 중 6번째로 강수량이 많았음.
- 2020년에 우리나라의 상당수 지역에서 강수량이 평년보다 많았음.
- 109년간 우리나라 연강수량과 80mm이상 강수일에 기록된 강수량합의 평균값은 유의하게 증가함.

평년값(1991~2020년)을 적용한 219개 지점의 연평균강수량은 그림 3.13과 같다. 우리나라는 제주도와 남해안, 강원 산지와 중부 북부 내륙에서 강수량이 많고, 경상도와 서해안에서 상대적으로 강수량이 적은 특성을 보인다. 연강수량이 가장 많은 곳은 성판악(4381.0mm)이고, 가장 적은 곳은 백령도(787.3mm)이며, 62개 지점을 평균한 우리나라 연평균강수량은 1331.7mm이다.

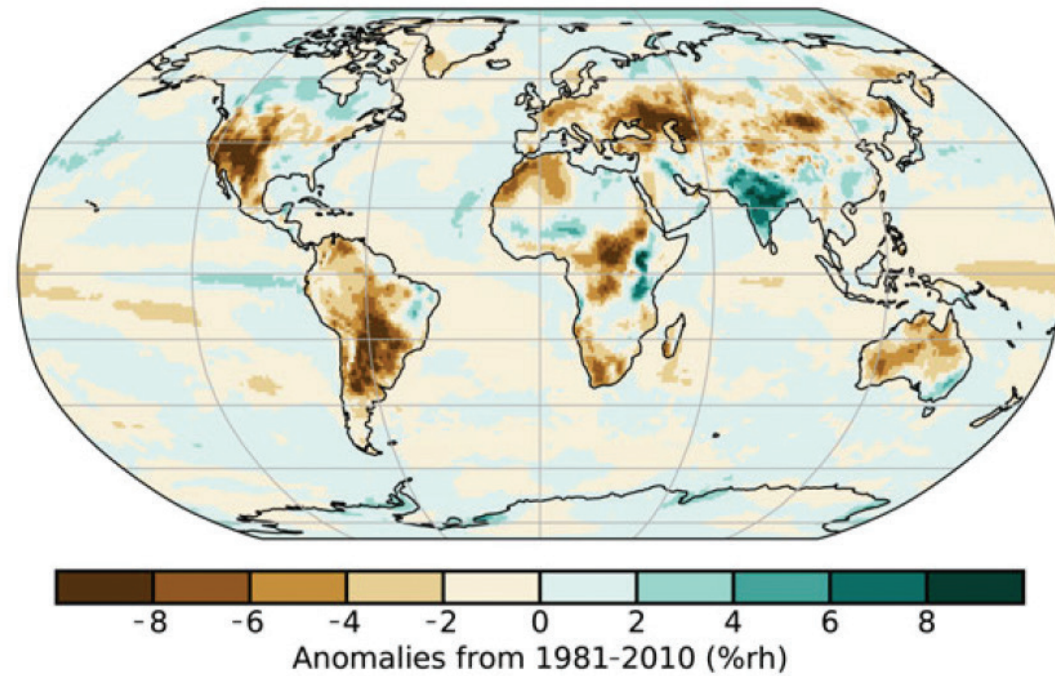


그림 3.12. 2020년 연평균 상대습도 편차 분포 (평년: 1981~2010년 평균)  
※ 출처: State of the Climate in 2020 (미국기상학회보)

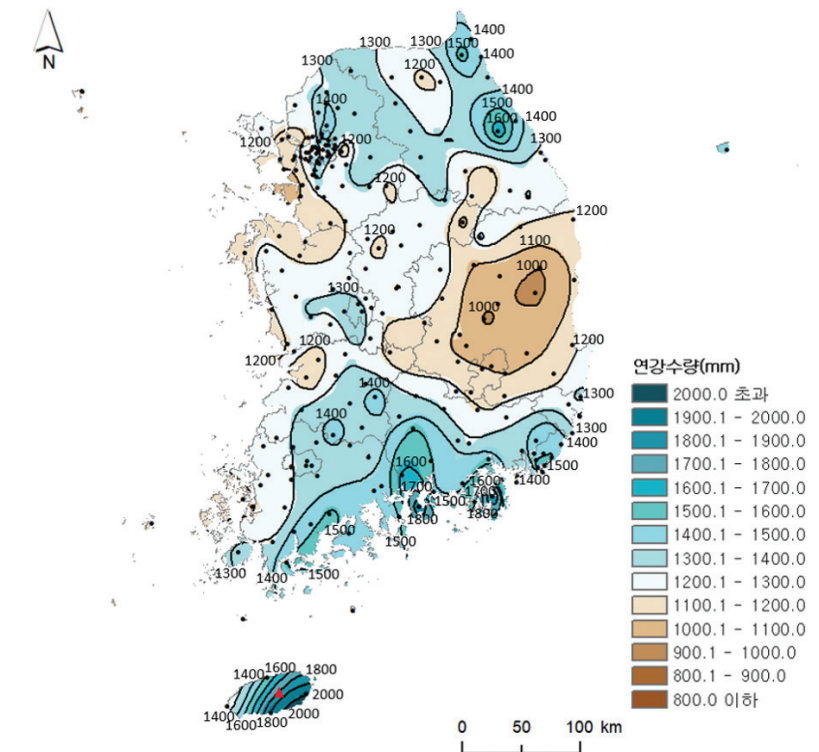


그림 3.13. 우리나라 연평균강수량(1991~2020년)의 분포(219개 지점)



2020년의 우리나라 연강수량<sup>16)</sup>은 1627.0mm로 평년의 122.2% 수준이었다(그림 3.14). 1973년 이후 48년 중 6번째로 강수량이 많은 해로 기록되었다(표 3.2).

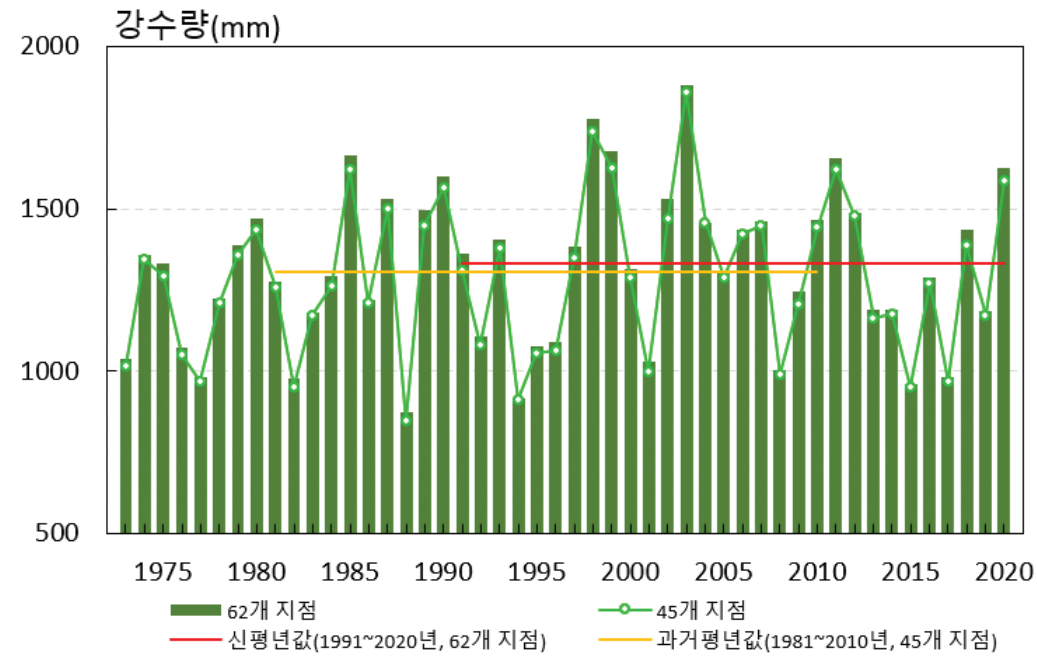


그림 3.14. 우리나라(62개 지점 평균, 45개 지점 평균) 연강수량의 변화(1973~2020년)

연강수량은 거제(2481.8mm)에서 가장 많고 의성(1128.9mm)에서 가장 적었다. 지역별로 살펴보면 84개 지점 중 제주·울릉도·양평을 제외한 81개 지점에서 평년보다 많았다(그림 3.15).

평년 대비 2020년 연강수량은 백령도(1258.4mm)에서 159.8%로 평년에 비해 강수량이 가장 많았고, 제주(1389.5mm)가 92.5%로 평년에 비해 강수량이 가장 적었다.

표 3.2. 1973년 이후 우리나라(62개 지점 평균) 연강수량 평년비 (상위 20개, 평년: 1991~2020년) / 1973~1989년 56개 지점 평균

순위	연도	연강수량(mm)	평년비(%)	순위	연도	연강수량(mm)	평년비(%)
1	2003	1882.8	141.4	11	2012	1488.7	111.8
2	1998	1776.0	133.4	12	1980	1471.8	110.6
3	1999	1679.1	126.1	13	2010	1464.6	110.0
4	1985	1662.6	124.9	14	2007	1461.1	109.8
5	2011	1658.0	124.6	15	2004	1457.6	109.5
6	<b>2020</b>	<b>1627.0</b>	<b>122.2</b>	16	2006	1437.1	108.0
7	1990	1598.0	120.1	17	2018	1437.0	108.0
8	2002	1530.0	114.9	18	1993	1406.4	105.7
9	1987	1528.5	114.8	19	1979	1386.4	104.2
10	1976	1497.1	112.5	20	1997	1384.3	104.0

1973~2020년(48년간)을 대상으로 우리나라의 연강수량 편차의 변화를 분석하였다. 우리나라 연강수량은 변동성이 커 뚜렷한 변화경향을 보이지 않는다. 연강수량은 평년이 1331.7mm이며, 2003년에 1882.8mm로 가장 많았고 1988년에 874.9mm로 가장 적었다(그림 3.16).

10년 단위 연강수량의 변화를 살펴보면 2000년대에 강수량이 가장 많았고, 최근(2010년대)에 다시 감소한 것으로 나타났다(표 3.3).

16) 우리나라 연강수량은 62개 지점을 평균하여 산출하였음. 지점별 분석에서 강진군은 결측(2017.7.17~7.22, 7.24~7.26)으로 인해 평년값을 산출할 수 없음. 따라서 결측기간에 영향을 받지 않는 봄, 가을, 겨울 강수량의 공간분석에서만 85개 지점으로 사용하고, 이외의 공간분석은 84개 지점을 사용함.

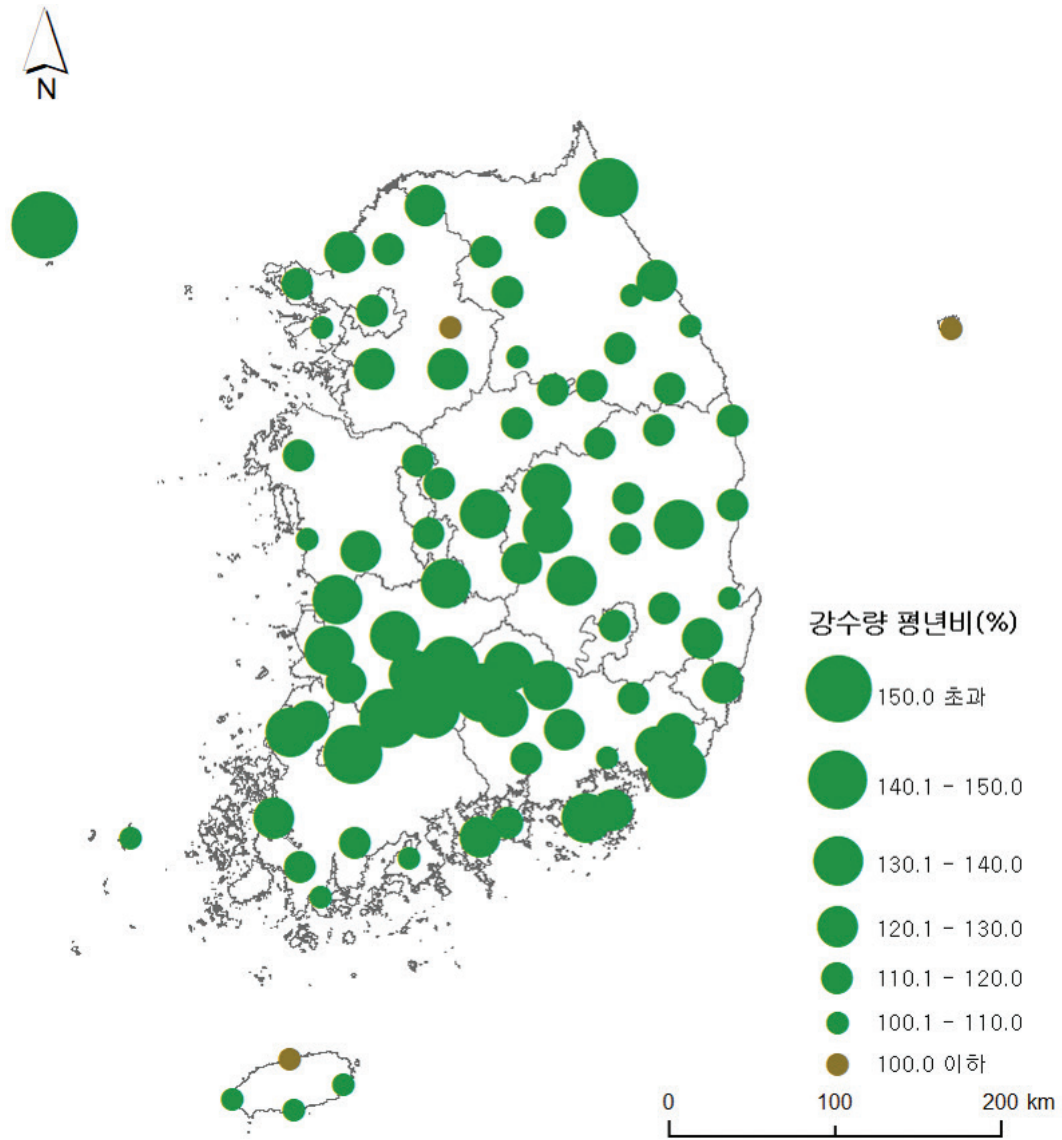


그림 3.15. 2020년 지점별 연강수량의 평년비(평년: 1991~2020년의 평균)

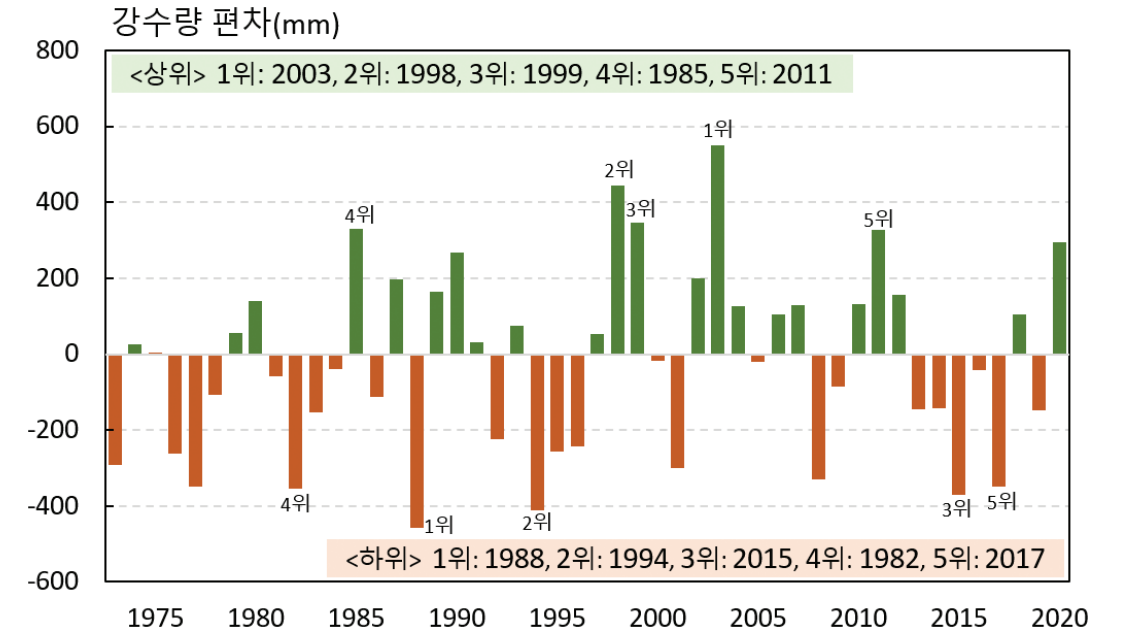


그림 3.16. 우리나라 연강수량 편차의 변화(평년: 1991~2020년 평균)

표 3.3. 연강수량의 10년 단위 평균(평년: 1331.7mm)

연대	강수량(mm)
1970 (1973~1980년)	1233.0
1980 (1981~1990년)	1310.1
1990 (1991~2000년)	1311.1
2000 (2001~2010년)	1382.1
2010 (2011~2020년)	1300.1



## 2020년 우리나라 강수량 계절별 특성

### 요약

- 2020년 우리나라 봄 강수량과 겨울 강수량은 각각 평년의 70.0%, 53.7%로 건조하였음. 하지만 여름 강수량은 평년의 142.7%로, 매우 습윤하였음. 가을 강수량은 평년의 101.6%로 평년과 비슷하였음.
- 장마기간이 평년보다 매우 길어, 전반적으로 여름철 강수일수와 강수량이 많았음.

2020년의 우리나라 봄 강수량은 173.7mm로 평년(248.4mm)의 70.0% 수준이며, 1973년 이후 7번째로 적은 봄 강수량으로 기록되었다(그림 3.17a).

- 지점별 봄 강수량은 백령도(179.0%), 속초(150.2%), 흑산도(114.9%), 완도(102.3%)를 제외한 81개 지점에서 평년보다 적었으며, 이 중 대구(신암)(48.1%)이 평년 대비 강수량이 가장 적은 곳으로 나타났음.
- 특히, 4월 강수량은 대전(17.8mm), 부여(17.7mm), 부안(22.2mm)에서 1973년 이후 가장 적었음.

2020년 우리나라 여름 강수량은 1037.6mm로 평년(727.3mm)의 142.7%에 달하였고, 1973년 이후 3번째로 강수량이 많은 여름으로 기록되었다(그림 3.17b).

- 지점별로 살펴보면, 여름 강수량은 제주(83.6%), 대관령(96.5%)을 제외한 83개 지점에서 평년보다 많았음.
- 전국적으로 장마기간이 평년보다 길었음. 중부지방(6.24~8.16, 54일)과 제주도(6.10~7.28, 49일)는 관측 이후 장마기간이 가장 길었고, 남부지방(6.24~7.31, 38일)도 평년보다 길었음(기상자료개발포털 참조).
- 특히, 장마기간 우리나라 강수량은 2006년(704.0mm) 이후 가장 많은 701.4mm를 보였고, 강수일수는 28.5일로 가장 많았음. 중부지방의 2020년 장마기간 강수량은 856.1mm, 강수일수도 34.9일로 관측 이후 가장 많았음(기상자료개발포털 참조).
- 함양군(202.7%)에서 평년 대비 가장 많은 강수량을 기록하였으며, 광주(190.3%), 산청(181.3%), 전주(173.5%), 금산(166.1%), 문경(165.9%) 등을 포함한 19개 지점에서 1973년 이후 가장 많았음.

2020년 우리나라 가을 강수량은 270.4mm로 평년(266.1mm)의 101.6% 수준이며, 1973년 이후 19번째로 강수량이 많은 가을로 기록되었다(그림 3.17c).

- 지점별로 살펴보면, 가을 강수량은 태백(171.1%), 양산시(148.8%) 등을 포함한 41개 지점에서 평년보다 많았고, 영주(58.8%), 제천(65.0%) 등을 포함한 45개 지점에서 평년보다 적었음.
- 백령도(179.1%)에서 평년 대비 가장 많은 강수량을 기록하였으며, 흑산도(47.3%)에서 평년 대비 가장 적은 강수량을 기록하였음.
- 우리나라 10월 강수량은 10.5mm로 평년(63.0mm)의 16.7% 수준이었고, 1973년 이후 3번째로 적었음. 특히, 속초와 서울은 관측 이후 처음으로 10월 강수량이 0.0mm를 기록하였음.
- 우리나라 11월 강수량은 40.8mm로 평년(48.0mm)보다 적었지만, 11월 19일 서울(86.9mm), 춘천(72.0mm), 장수(63.0mm)에서 11월에 발생한 일강수량 중, 1일최다강수량으로 기록되었음.

2020년 우리나라 겨울 강수량은 47.8mm로 평년(89.0mm)의 53.7% 수준이며, 1973년 이후 6번째로 강수량이 적은 겨울로 기록되었다(그림 3.17d).

- 겨울 강수량은 81개 지점에서 평년보다 적었고, 상대적으로 남부지방보다 중부지방의 강수량이 적었음.
- 속초(4.3%), 동해(5.4%), 울진(10.0%) 등을 포함한 10개 지점에서 관측 이후 가장 적었음. 반면에 백령도(144.8%), 흑산도(113.3%), 제주(110.3%) 등과 같이 일부 도서에서만 강수량이 평년보다 많았음.
- 속초의 2021년 1월 강수량은 1973년 이후 처음으로 0.0mm를 기록하였음.

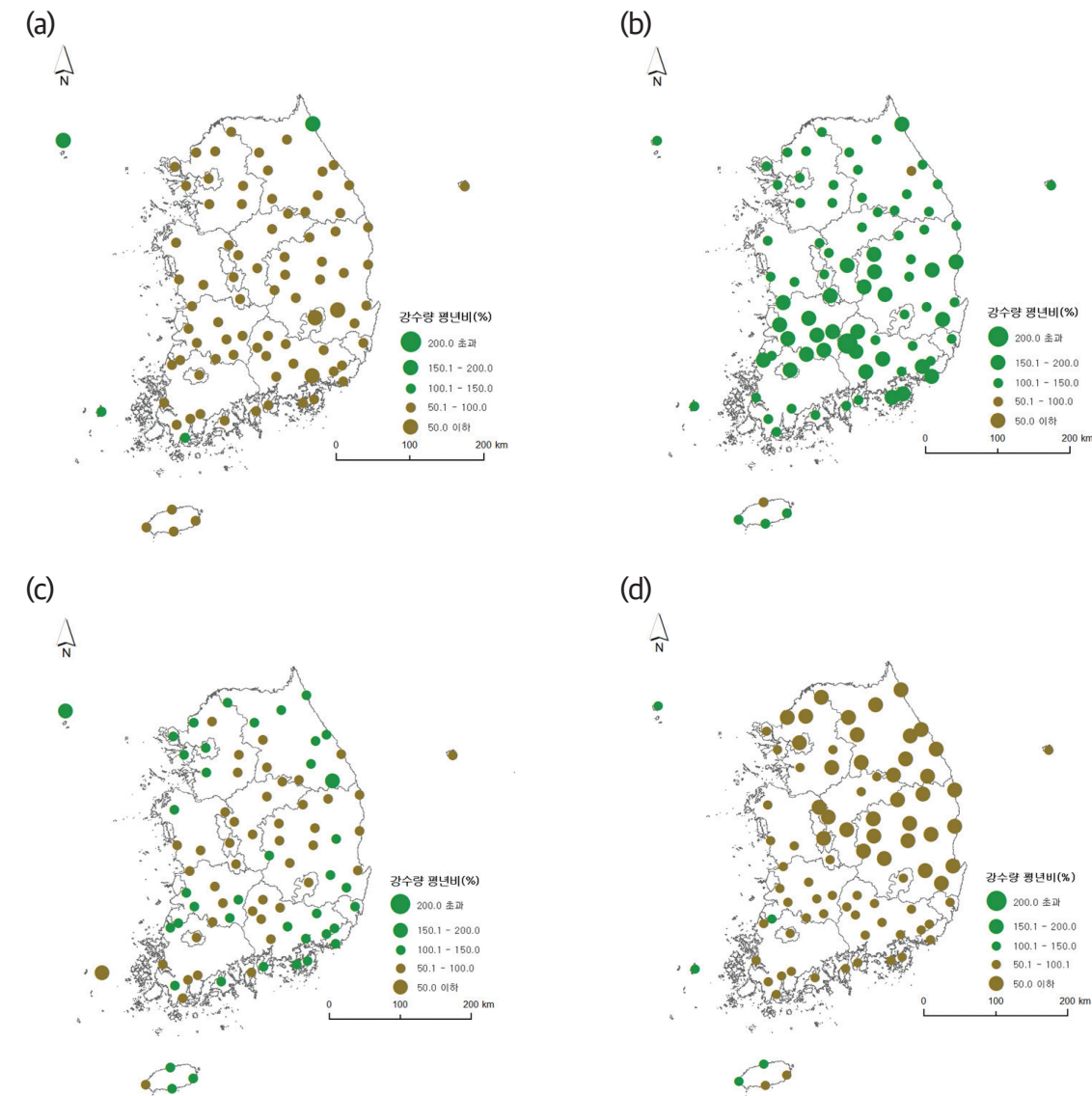
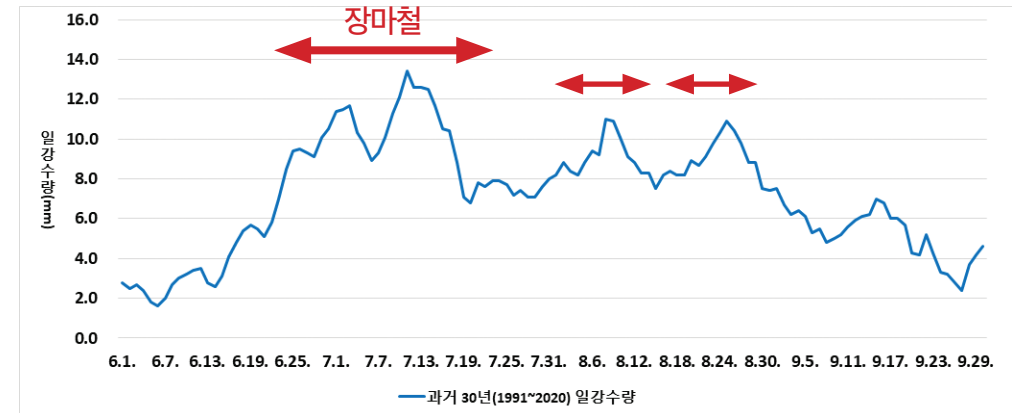


그림 3.17. 2020년 우리나라 지점별 (a) 봄, (b) 여름, (c) 가을, (d) 겨울의 강수량 평년비 (평년: 1991~2020년의 평균)

## 주제 : 장마가 끝났다고 비가 안 오는 건가요?

□ 과거 30년(1991~2020) 일강수량 경향을 보면, 흔히 장마철인 6월 하순~7월 하순까지 많은 강수량이 집중되어 있으며 장마종료 이후에도 8월 상순과 하순에 일강수량이 많이 나타난다(그림 1).

※ 장마철 시작일과 종료일: 중부(6.25.~7.26.), 남부(6.23.~7.24.), 제주(6.19.~7.20.)



【그림 1】과거 30년(1991년~2020년) 일강수량 5일 이동평균(빨간색 화살표: 강수가 집중된 시기)

□ 장마철 전국 평균 강수량과 강수일수는 각각 356.6mm, 17.3일이며, 장마가 종료된 이후 30일 동안은 229.4mm(장마철 대비 64.3%), 11.8일(장마철 대비 68.2%)로 나타난다(표 참조).

장마철이 연중 가장 많은 비가 내리긴 하지만, 장마가 종료된 이후에도 장마철 대비 64% 가량의 많은 강수량과 68%의 많은 강수일수를 보이고 있다.

【표】과거 30년(1991년~2020년) 장마철과 장마종료 후 30일 동안의 평균 강수량과 강수일수

	장마철		장마종료 후 30일 (장마철 대비 백분율)	
	강수량(mm)	강수일수(일)	강수량(mm)	강수일수(일)
중부(6.25.~7.26.)	378.3	17.7	252.7 (66.8%)	12.7 (71.8)
남부(6.23.~7.24.)	340.9	17.0	212.7 (62.4%)	11.2 (65.9%)
제주(6.19.~7.20.)	348.7	17.5	178.9 (51.3%)	10.1 (57.7%)
<b>전국</b>	<b>356.6</b>	<b>17.3</b>	<b>229.4 (64.3%)</b>	<b>11.8 (68.2%)</b>

□ 집중호우(시간당 30mm 이상/일강수량 80mm 이상) 강수일수를 분석한 결과, 장마시작 전 30일간(0.1일/0.1일)은 낮은 분포였지만, 장마철(0.7일/0.9일)에는 집중호우 일수가 급격히 증가하고, 장마 종료 후 30일간(0.6일/0.6일)에도 여전히 장마철만큼 집중호우가 자주 나타났다.

장마가 종료된 이후에도 호우 피해 예방을 위한 안전에 만반의 대비가 필요해 보인다.

## 2020년 우리나라 극한 강수

### 요약

- 2020년 1일최다강수량과 5일최다강수량, 100mm이상 호우일수는 평년보다 많았음. 강수강도는 평년보다 강했고, 최대무강수계속기간은 평년보다 길었음.

2020년 우리나라 평균 1일최다강수량<sup>17)</sup>은 144.8mm로 평년(137.9mm)의 105.0% 수준으로 많았다(그림 3.18).

- 지점별로는 남원(289.4mm), 장수(237.0mm)에서 관측 이후 가장 많은 1일최다강수량을 기록하였고, 순창군에서 361.3mm로 84개 지점 중 가장 많았으며, 정선군에서 66.0mm로 가장 적었음.
- 2020년 1일최다강수량은 정선군(58.6%), 청주(60.2%), 흑산도(61.1%) 등을 포함한 43개 지점에서 평년보다 강수량이 적었음.
- 순창군(250.4%), 남원(231.2%), 광주(198.5%) 등을 포함한 41개 지점에서는 평년보다 1일최다강수량이 많았음.

2020년 우리나라 평균 5일최다강수량은 293.3mm로 평년(229.8mm)의 127.6% 수준으로 많았다(그림 3.19).

- 지점별로는 순창군에서 697.4mm로 가장 많았고 완도에서 141.0mm로 가장 적었음.
- 특히, 광주(643.7mm), 남원(526.3mm), 산청(478.5mm) 등을 포함한 10개 지점은 1973년 이후 5일 최다강수량이 가장 많았음.
- 2020년 5일최다강수량은 광주(286.1%)에서 평년보다 가장 많았고, 순창군(254.8%), 남원(237.6%)이 그 뒤를 이었음. 또한, 61개 지점에서 평년보다 강수량이 많았음.
- 완도(63.5%), 동해(69.8%), 청주(73.2%) 등을 포함한 23개 지점에서는 평년보다 강수량이 적었음.

2020년 우리나라 평균 100mm이상 호우일수는 2.1일로 평년(1.4일)보다 많이 발생하였고, 1973년 이후 상위 3위를 기록하였다(그림 3.20).

- 부산에서 7일로 가장 많이 발생했고, 속초(6일), 대관령·통영·산청·거제(5일)가 그 뒤를 이었음. 하지만 원주, 울릉도, 충주, 청주를 포함한 14개 지점에서 연중 한 번도 발생하지 않았음.
- 지점별로는 부산(+4.8일), 속초(+4.4일), 통영(+3.2일) 등을 포함한 52개 지점에서 평년보다 많이 발생했음. 특히, 속초와 부산은 1973년 이후 가장 많이 발생하였음.
- 고산·문경에서는 평년과 같았으며, 성산(-2.0일), 장흥(-1.9일), 보령(-1.3일) 등을 포함한 30개 지점에서는 평년보다 적게 발생했음.

2020년 우리나라 평균 강수강도는 20.0mm/일로 평년(16.6mm/일)보다 강하였고, 1973년 이후 상위 2위를 기록하였다(그림 3.21).

- 지점별로는 고창(34.3mm/일)에서 가장 강하게 나타났고, 1973년 이후 우리나라에서 4번째로 강한 평균 강수강도로 기록되었음.
- 특히, 부산(28.2mm/일), 속초(25.1mm/일), 전주(20.2mm/일), 임실(18.9mm/일), 추풍령(18.5mm/일)은 1973년 이후 강수강도가 가장 강했던 반면, 울릉도(13.3mm/일)에서는 가장 약하게 나타났음.
- 2020년 평균 강수강도 편차는 고흥(-0.2mm/일), 평년과 비슷했던 울릉도를 제외한 82개 지점에서 평년보다 강하였음.

2020년 우리나라 평균 최대무강수계속기간은 35.6일로 평년(31.5일)보다 4.1일 길었다(그림 3.22).

- 동해안 지역을 중심으로 최대무강수계속기간이 길었고, 지점별로는 속초에서 92일로 가장 길었음(표 3.4).
- 평년과 비교했을 때, 속초(+55.7일), 강릉(+31.5일), 포항(+26.2일) 등을 포함한 41개 지점에서 평년보다 길었고, 부여·거제는 평년과 비슷한 최대무강수계속기간을 보였음. 백령도(-15.9일), 고산(-8.6일), 합천(-7.3일) 등을 포함한 41개 지점은 평년보다 짧았음.

17) 1일최다강수량은 연중 1일 동안의 최다강수량으로 정의하고 홍수의 지표가 됨.  
18) 5일최다강수량은 연중 5일 동안의 최다강수량으로 정의하고 홍수의 지표가 됨.

19) 100mm이상 호우일수는 연중 일강수량 100mm 이상인 날의 수로 정의함.  
20) 강수강도는 연강수량을 연강수일수(1mm이상 강수일)로 나눈 것으로 정의함.  
21) 최대무강수계속기간은 연중 일강수량 1mm 미만인 날의 최대계속일수로 정의함. 값이 커지면 물 부족을 초래할 수 있어서 수자원 관리에 중요한 지표가 됨.

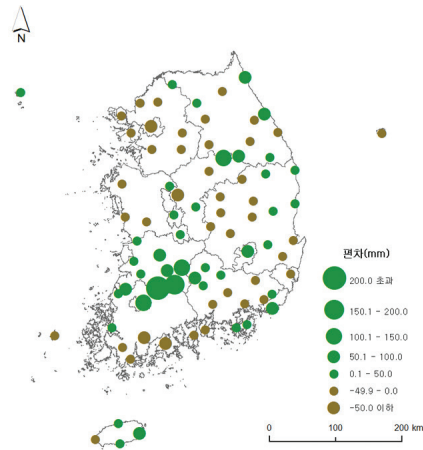


그림 3.18. 2020년 지점별 1일최다강수량 편차  
(평년: 1991~2020년의 평균)

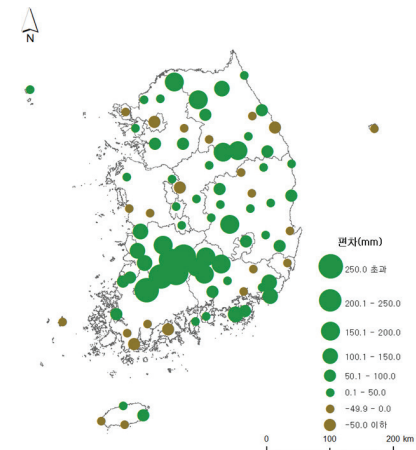


그림 3.19. 2020년 지점별 5일최다강수량 편차  
(평년: 1991~2020년의 평균)

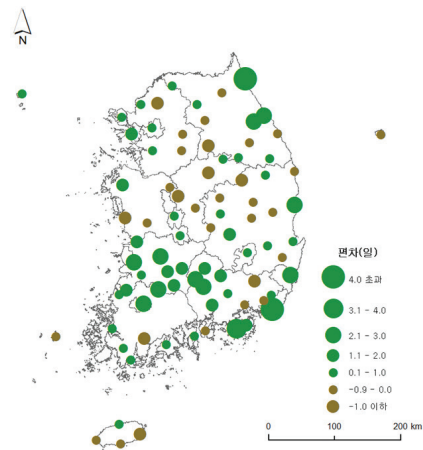


그림 3.20. 2020년 지점별 100mm 이상 호우일수 편차  
(평년: 1991~2020년의 평균)

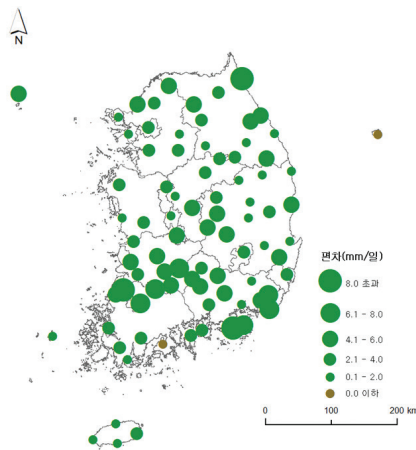


그림 3.21. 2020년 지점별 강수강도 편차  
(평년: 1991~2020년의 평균)

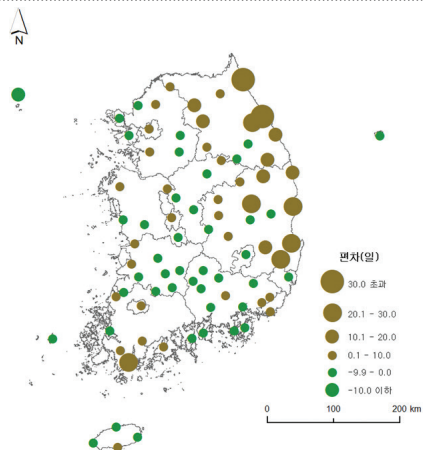


그림 3.22. 2020년 지점별 최대무강수계속기간 편차  
(평년: 1991~2020년의 평균)

표 3.4. 2020년 최대무강수계속기간 상위 5순위

순위	지점	일수	시작일	종료일
1	속초	92일	2020.11.27.	2021.2.26.
2	안동	64일	2020.11.23.	2021.1.25.
2	포항	64일	2020.11.20.	2021.1.22.
2	영덕	64일	2020.11.20.	2021.1.22.
5	강릉	63일	2020.11.20.	2021.1.21.



## 최근 5년(2016년~2020년) 우리나라 강수량

### 요약

- 지난 5년 대비 최근 5년 우리나라 연강수량은 1304.7mm로 81.9mm 증가하였음.
- 우리나라 평균과 대부분 지점에서 최근 5년 연강수량은 증가하였고, 통영과 청송군 지점은 관측 이후 가장 많았음.

지난 5년(2012~2016년) 대비 최근 5년(2016~2020년) 우리나라 평균 연강수량은 1304.7mm로 81.9mm 증가하였고, 84개 지점 중 66개 지점에서 증가하였다(그림 3.23). 속초(+31.6%)에서 증가폭이 컸고, 강릉(+25.0%), 영덕(+19.2%)이 그 뒤를 이었다. 완도(-13.6%), 서귀포(-9.7%) 등을 포함한 17개 지점은 연강수량이 감소하였다. 최근 5년 평균 연강수량은 통영(1836.8mm), 청송군(1040.0mm)에서 관측 이후 가장 많았다.

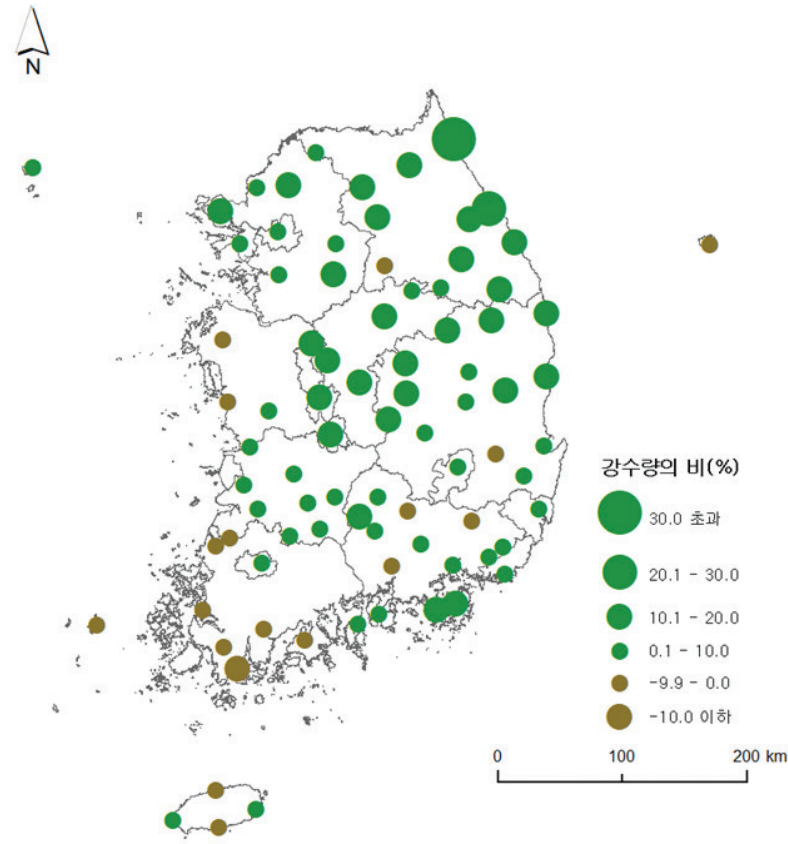


그림 3.23. 지난 5년(2012~2016년) 대비 최근 5년(2016~2020년) 평균 연강수량의 비(%)

## 우리나라 강수량 장기추세

### 요약

- 109년간 우리나라 연강수량은 우리나라 평균과 강릉, 대구 지점에서 유의하게 증가하였음.
- 109년간 80mm이상 강수일에 기록된 강수량 합의 평균값은 우리나라 평균과 6개 지점 중 강릉, 대구 지점에서 유의하게 증가하였고, 증가폭은 강릉(+15.98mm/10년)에서 가장 컸음.

1912~2020년(109년간<sup>22)</sup>을 대상으로 6개 지점<sup>23)</sup>의 연강수량을 이용하여 우리나라 109년간의 연강수량 변화를 분석하였다(그림 3.24).

우리나라 109년간 연강수량 평균값은 1242.6mm이며, 가장 적었던 연강수량은 711.8mm(1939년), 가장 많았던 연강수량은 1929.0mm(2003년)였다(그림 3.24). 우리나라 연강수량은 +17.71mm/10년 유의한 증가를 보였고, 6개 지점들 중 강릉(+24.53mm/10년)과 대구(+16.14mm/10년) 지점에서 유의하게 증가하였다(표 3.5).

최근 5년 평균 연강수량은 우리나라 평균과 서울, 인천 지점에서 30년 평균 연강수량보다 적었다(표 3.5). 반면에 지난 5년 대비 최근 5년 평균 연강수량은 강릉(+297.1mm)에서 증가폭이 가장 컸다.

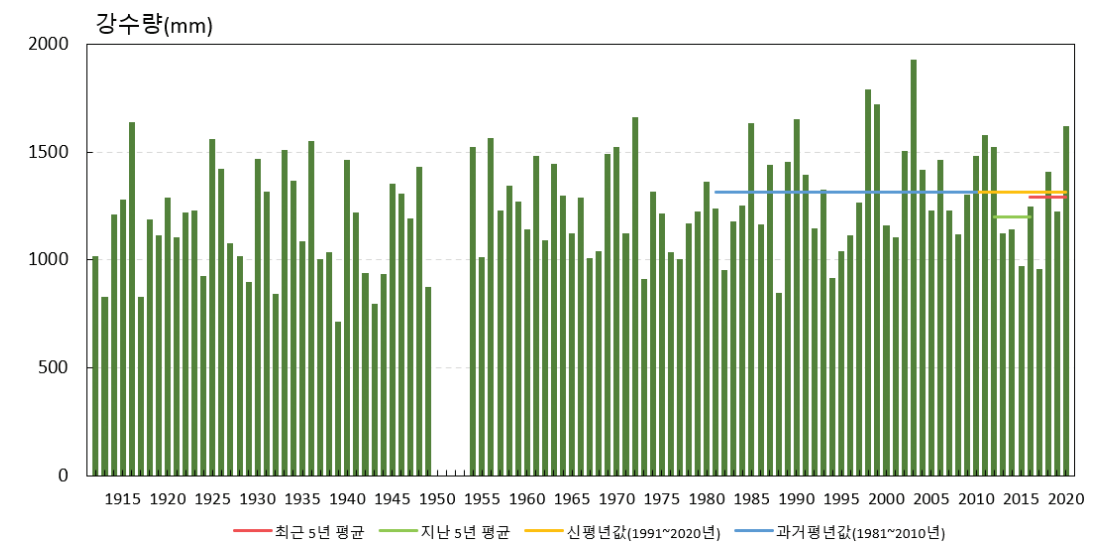


그림 3.24. 우리나라(6개 지점) 109년간(1912~2020년)의 연강수량 변화

22) 분석기간(1912~2020년) 중 1950~1953년은 한국전쟁으로 인하여 일부 지점에서 관측이 수행되지 않아, 분석기간에서 제외하였음.  
23) 우리나라 109년간 연강수량 평균값은 6개 지점(강릉, 서울, 인천, 대구, 부산, 목포)을 평균함.

표 3.5. 우리나라와 6개 지점별 연강수량의 변화율(mm/10년)과 30년(1991~2020년)/지난 5년(2012~2016년)/최근 5년(2016~2020년) 평균값(mm)

지역	변화율	30년 평균	지난 5년 평균	최근 5년 평균
우리나라	+17.71*	1315.5	1201.3	1292.7
강릉	+24.53*	1444.9	1187.5	1484.6
서울	+14.81	1417.9	1128.6	1210.3
인천	+15.01	1207.4	981.2	1051.8
대구	+16.14*	1080.8	1078.8	1085.8
부산	+22.11	1576.7	1592.7	1691.6
목포	+13.66	1167.7	1238.9	1232.0

\* Pearson 방법 적용 유의한 값

1912~2020년(109년간)<sup>24)</sup>을 대상으로 6개 지점<sup>25)</sup>의 80mm이상 강수일에 기록된 강수량을 이용하여 우리나라 109년간의 80mm이상일에 나타난 강수량 합의 평균값 변화를 분석하였다(그림 3.25).

우리나라 109년간 80mm이상일의 강수량 합의 평균값은 250.0mm이고, 가장 적었던 강수량은 13.6mm(1913년), 가장 많았던 강수량은 568.7mm(1999년)였다(그림 3.25). 우리나라(+10.08mm/10년)와 6개 지점 중 강릉(+15.98mm/10년)과 대구(+7.63mm/10년)는 유의하게 증가하였으나, 서울, 인천, 대구 지점의 최근 5년 평균값은 30년 평균값에 비해 감소하였다(표 3.6).

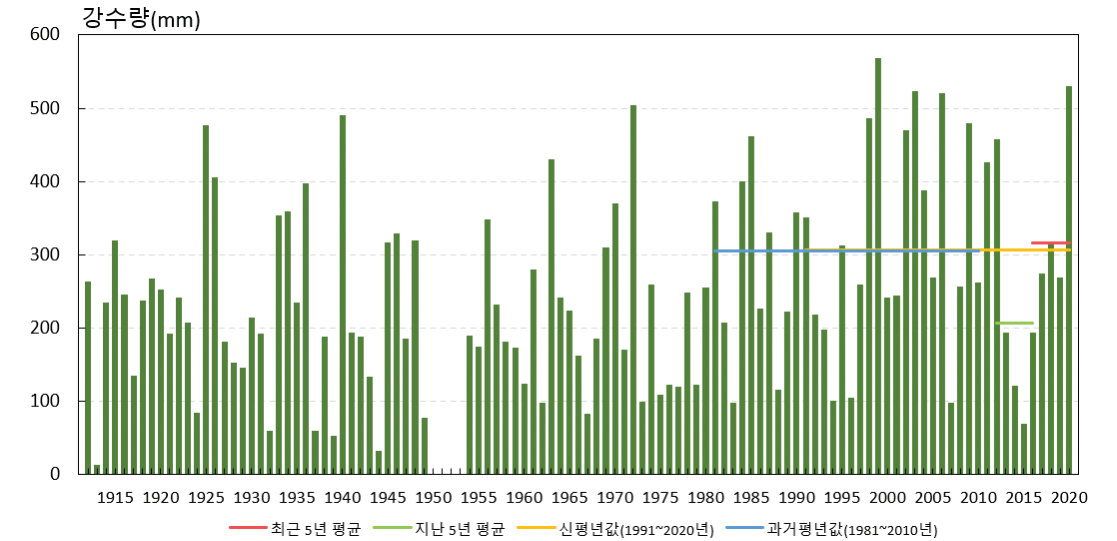


그림 3.25. 우리나라(6개 지점) 109년간(1912~2020년) 80mm이상 강수일에 기록된 강수량 합의 평균값 변화

표 3.6. 우리나라와 6개 지점별 80mm이상 강수일에 기록된 강수량 합의 평균 변화율(mm/10년)과 30년(1991~2020년)/지난 5년(2012~2016년)/최근 5년(2016~2020년) 평균값(mm)

지역	변화율	30년 평균	지난 5년 평균	최근 5년 평균
우리나라	+10.08*	306.8	207.0	316.6
강릉	+15.98*	349.4	248.0	465.7
서울	+10.18	400.1	200.0	270.5
인천	+11.65	308.2	146.7	203.9
대구	+7.63*	168.2	137.6	156.4
부산	+12.44	442.2	364.1	589.4
목포	+2.62	172.5	145.2	213.5

\* Pearson 방법 적용 유의한 값

24) 분석기간(1912~2020년) 중 1950~1953년은 한국전쟁으로 인하여 일부 지점에서 관측이 수행되지 않아, 분석기간에서 제외하였음.  
25) 우리나라 109년간 80mm이상 강수일에 기록된 강수량 합의 평균값은 6개 지점을 평균함.

## 2020년 우리나라 상대습도

### 요약

- 2020년 우리나라 상대습도(70.2%)는 평년보다 2.3% 높았고, 최근 48년 중 21번째로 높았음.
- 2020년 봄과 여름의 상대습도는 평년보다 높았고, 가을은 평년과 비슷하였으며, 겨울의 상대습도는 평년보다 낮았음.

2020년 우리나라 상대습도<sup>26)</sup>는 70.2%로 평년(67.9%)보다 2.3% 높았고(그림 3.26), 1973년 이후 48년 중 21번째로 상대습도가 높은 해로 기록되었다.

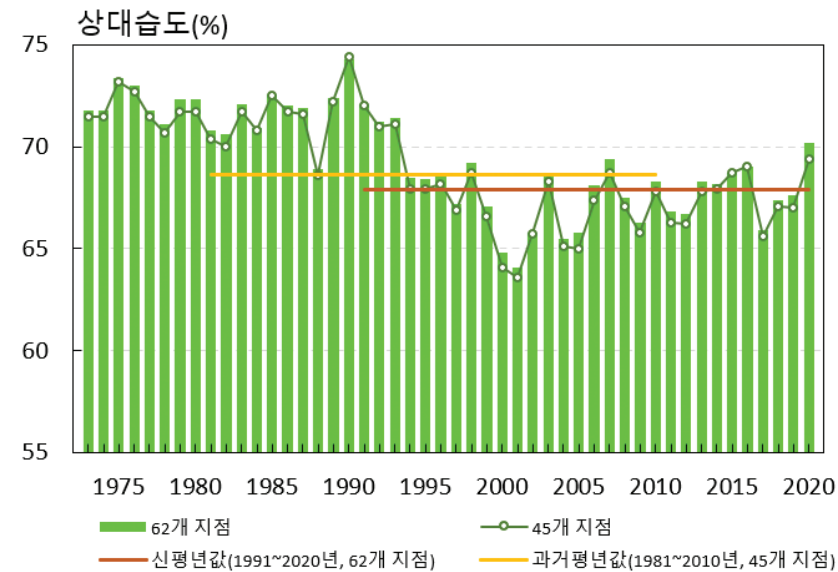


그림 3.26. 우리나라(62개 지점 평균, 45개 지점 평균) 연평균상대습도의 변화(1973~2020년)

상대습도는 흑산도(80.2%)에서 가장 높았고, 강릉(60.9%)에서 가장 낮았다. 지점별로 살펴보면 84개 지점 중 원주(-4.4%), 함양군(-4.1%), 속초(-3.3%) 등을 포함한 17개 지점에서 연평균상대습도가 평년보다 적었고, 서귀포(+9.1%), 철원(+8.4%), 정선군·합천(+7.7%) 등을 포함한 67개 지점은 평년보다 높았다(그림 3.27).

26) 우리나라 상대습도는 62개 지점을 평균하여 산출하였음. 지점별 분석에서는 강진군의 결측(2017.17-7.22, 7.24-7.26, 10.9-10.11(연속 3일))으로 인해 평년값을 산출할 수 없음. 따라서 결측기간에 영향을 받지 않는 봄, 겨울 상대습도의 공간분석에서만 85개 지점으로 사용하고, 이외의 공간분석은 84개 지점을 사용함.

2020년 우리나라 봄 상대습도는 62.4%로 평년(61.5%)보다 0.9% 높았으나, 1973년 이후 22번째로 상대습도가 낮은 봄으로 기록되었다. 특히, 4월 상대습도는 55.1%로 1973년 이후 4번째로 낮았다. 반면에 5월 상대습도는 71.8%로 1973년 이후 3번째로 높았다(그림 3.28).

- 지점별로 살펴보면, 봄 상대습도는 원주(-7.2%), 함양군(-6.0%), 밀양(-4.4%) 등을 포함한 30개 지점에서 평년보다 낮았고, 정선군(+11.2%), 서귀포(+9.9%), 수원(+9.5%) 등을 포함한 55개 지점에서 평년보다 높았음.
- 정선군(+11.2%)에서 봄 상대습도가 평년보다 가장 높았고, 원주(-7.2%)에서 평년보다 가장 낮았음.

2020년 우리나라 여름 상대습도는 81.8%로 평년(76.7%)보다 5.1% 높았다. 특히, 7월 상대습도는 85.6%로 1973년 이후 가장 높았고, 8월 상대습도는 84.9%로 2번째로 높았다(그림 3.29).

- 지점별로 살펴보면, 여름 상대습도는 구미(+11.2%), 합천(+11.1%), 이천(+10.5%) 등을 포함한 79개 지점에서 평년보다 높았음. 원주(-3.8%)를 포함한 5개 지점에서 평년보다 낮았음.
- 구미(+11.2%)에서 여름 상대습도가 평년보다 가장 높았고, 원주(-3.8%)에서 평년보다 가장 낮았음.
- 특히, 고산(92.7%)과 백령도(92.3%) 등을 포함한 21개 지점은 1973년 이후 여름 상대습도가 가장 높았음.

2020년 우리나라 가을 상대습도는 71.5%로 평년(71.0%)과 비슷하였다(그림 3.30).

- 지점별로 살펴보면, 가을 상대습도는 철원(+7.5%), 서귀포·천안(+6.6%), 합천(+6.3%) 등을 포함한 47개 지점에서 평년보다 높았고, 의령군(-7.6%), 함양군(-7.4%), 속초(-5.8%) 등을 포함한 35개 지점에서 평년보다 낮았음. 흑산도와 순창군은 평년과 비슷하였음.
- 철원(+7.5%)에서 가을 상대습도가 평년보다 가장 높았고, 의령군(-7.6%)에서 평년보다 가장 낮았음.

2020년 우리나라 겨울 상대습도는 60.5%로 평년(61.8%)보다 1.3% 낮았다(그림 3.31).

- 지점별로 살펴보면, 겨울 상대습도는 서귀포(+6.2%), 대구(신암)(+5.7%), 양산시(+4.9%) 등을 포함한 31개 지점에서 평년보다 높았고, 안동(-7.0%), 속초(-6.8%), 원주(-6.6%) 등을 포함한 52개 지점에서 평년보다 낮았음.
- 서귀포(+6.2%)에서 겨울 상대습도가 평년보다 가장 높았고, 안동(-7.0%)에서 평년보다 가장 낮았음.

## 우리나라 상대습도 최근 5년(2016년~2020년), 장기추세

### 요약

- 109년간 우리나라 상대습도는 우리나라 평균과 5개 지점(목포 제외)에서 유의하게 감소하였음.
- 특히, 6개 지점 중 서울(-1.01%/10년)에서 감소율이 가장 컸음.

1912~2020년(109년간)<sup>27)</sup>을 대상으로 6개 지점<sup>28)</sup>의 연평균 상대습도를 이용하여 우리나라 109년간의 연평균 상대습도변화를 분석하였다(그림 3.32).

우리나라 109년간 연평균상대습도는 67.6%이며, 가장 낮았던 연평균 상대습도는 61.1%(2005년), 가장 높았던 연평균 상대습도는 72.0%(1920년)였다(그림 3.32). 우리나라 109년간 연평균 상대습도는 -0.48%/10년 유의하게 감소하였고, 2000년대 이후 8개년(2003년, 2007년, 2010년, 2013년, 2014년, 2015년, 2016년, 2020년)을 제외한 나머지 해의 상대습도는 30년 평균 상대습도(64.6%)보다 낮았다(그림 3.32, 표 3.7).

목포를 제외한 5개 지점도 연평균 상대습도가 유의하게 감소하였고, 서울(-1.01%/10년)에서 감소율이 가장 컸다(표 3.7).

강릉, 서울, 인천과 우리나라 평균의 최근 5년 평균 상대습도는 30년 평균값과 지난 5년 평균값보다 낮았으나, 대구(61.0%)는 오히려 최근 5년 평균값이 더 높았다. 부산(63.2%)은 30년 평균값보다 낮았지만, 지난 5년 평균값보다 높았다. 목포(77.2%) 지점은 30년 평균값보다 높았으나 지난 5년 평균값보다 낮았다(표 3.7).

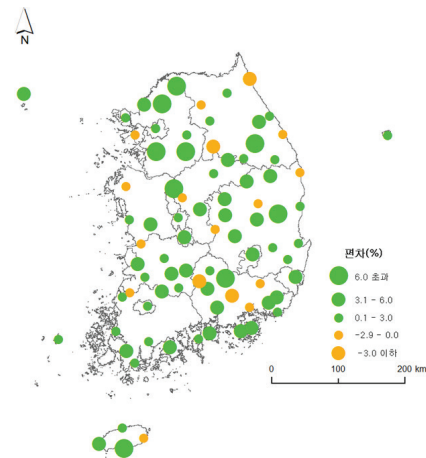


그림 3.27. 2020년 지점별 연평균 상대습도 편차 (평년: 1991~2020년의 평균)

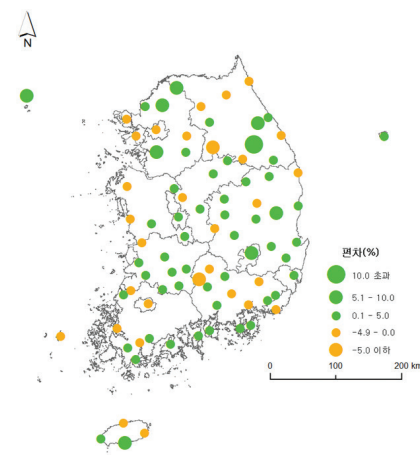


그림 3.28. 2020년 지점별 봄 상대습도 편차 (평년: 1991~2020년의 평균)

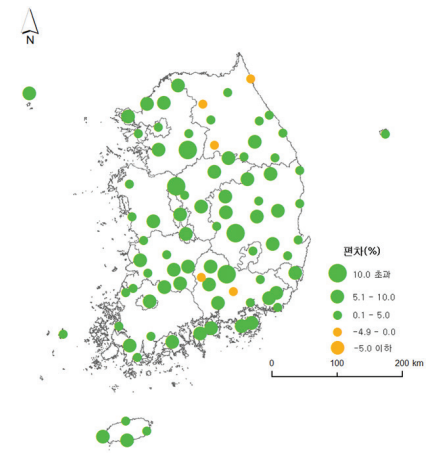


그림 3.29. 2020년 지점별 여름 상대습도 편차 (평년: 1991~2020년의 평균)

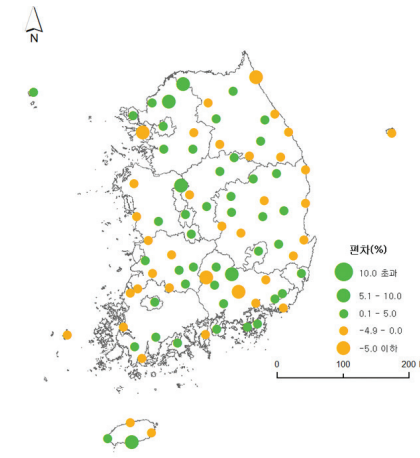


그림 3.30. 2020년 지점별 가을 상대습도 편차 (평년: 1991~2020년의 평균)

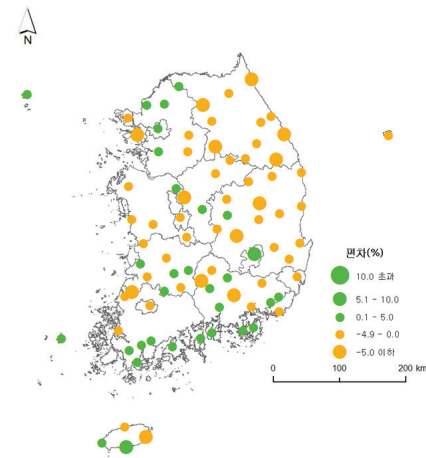


그림 3.31. 2020년 지점별 겨울 상대습도 편차 (평년: 1991~2020년의 평균)

27) 분석기간(1912~2020년) 중 1950~1953년은 한국전쟁으로 인하여 일부 지점에서 관측이 수행되지 않아, 분석기간에서 제외하였음.

28) 우리나라 상대습도 평균값은 1949~2020년 기간 동안 6개 지점을 평균하였으나 6개 지점 중 인천은 1949년부터 상대습도 자료가 제공되어, 1912~1948년 기간은 인천을 제외한 5개 지점을 평균하였음.



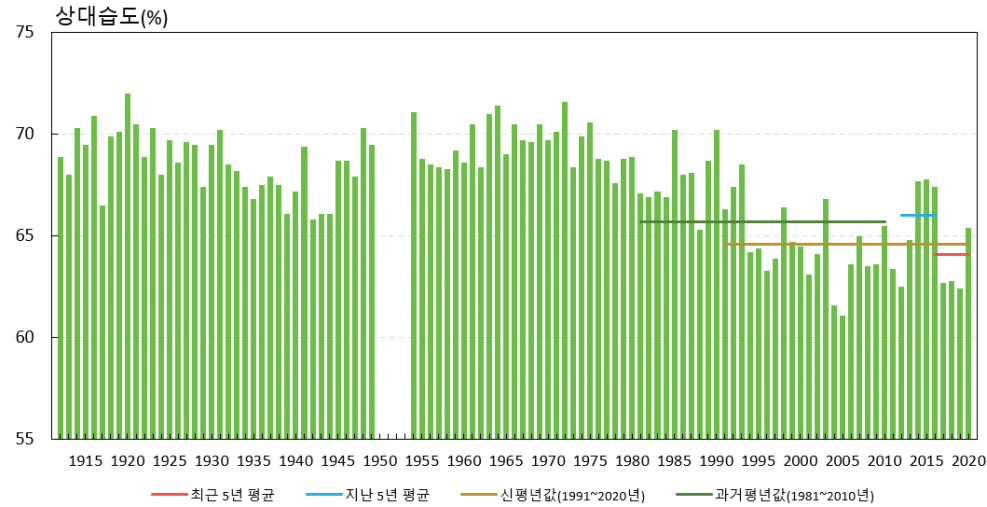


그림 3.32. 우리나라(6개 지점) 109년간(1912~2020년)의 연평균상대습도 변화

상대습도는 흑산도(80.2%)에서 가장 높았고, 강릉(60.9%)에서 가장 낮았다. 지점별로 살펴보면 84개 지점 중 원주(-4.4%), 함양군(-4.1%), 속초(-3.3%) 등을 포함한 17개 지점에서 연평균 상대습도가 평년보다 적었고, 서귀포(+9.1%), 철원(+8.4%), 정선군·합천(+7.7%) 등을 포함한 67개 지점은 평년보다 높았다(그림 3.27).

표 3.7. 우리나라와 6개 지점별 연평균 상대습도의 변화율(%/10년)과 30년(1991~2020년)/지난 5년(2012~2016년)/최근 5년(2016~2020년) 평균값(%)

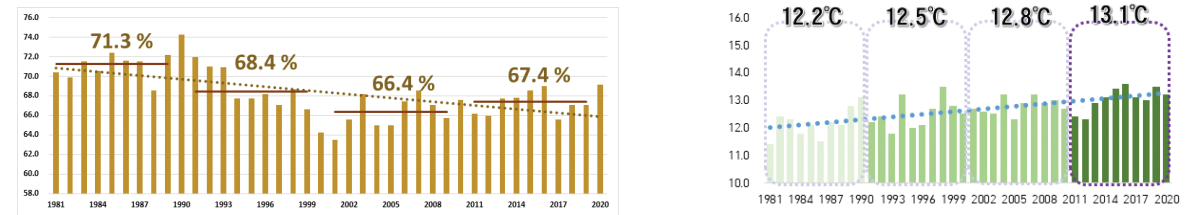
지역	변화율	30년 평균	지난 5년 평균	최근 5년 평균
우리나라	-0.48*	64.6	66.0	64.1
강릉	-0.87*	59.6	57.5	56.6
서울	-1.01*	61.9	59.7	58.9
인천	-0.64*	68.9	75.6	67.7
대구	-0.80*	59.6	59.6	61.0
부산	-0.27*	63.5	63.0	63.2
목포	-0.01	74.1	80.8	77.2

\* Pearson 방법 적용 유의한 값

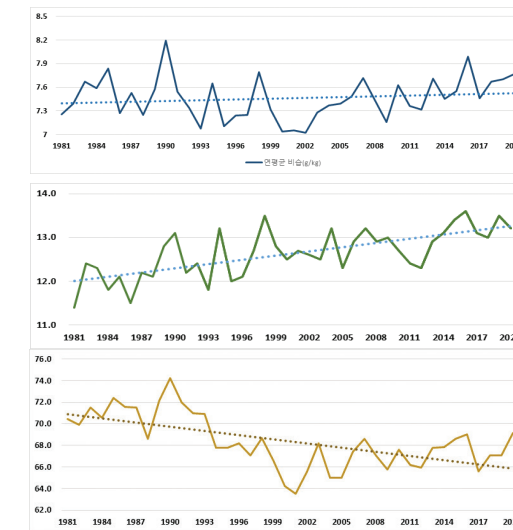
## 주제 : 점점 건조해지는 우리나라, 늘어나는 산불

□ 과거 40년(1981년~2020년) 동안 상대습도는 점차 낮아지는 경향을 보이고 있으며, 최근 10년은 67.4%로 2000년대보다 소폭 상승하였으나 이전보다는 여전히 낮게 나타난다. 2000년대 이후부터 비습\*이 증가하고 있는 추세로 나타나 공기 중에 수증기량이 증가했다더라도 지구온난화로 인한 기온 상승 폭이 비습보다 크게 증가하면서 상대습도를 낮추는 역할을 했다(그림 1, 2).

비습은 공기 가운데 포함된 수증기의 양을 의미함(수식: 수증기의 질량(g)/공기의 질량(kg))

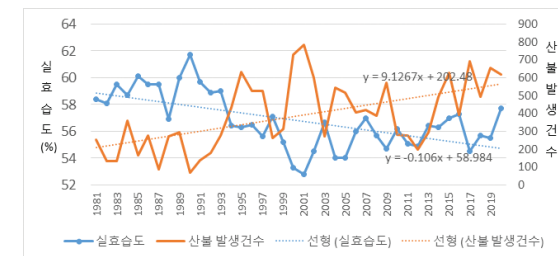


【그림 1】 연별 평균 상대습도(좌), 평균 기온(우) (1981~2020년 전국 45개 관측 지점)



【그림 2】 지난 40년(1981~2020년)간 연별 비습(상), 기온(중), 상대습도(하) 변화 추세

□ 화재 예방의 목적으로 수일 전부터의 상대습도에 경과 시간에 따른 가중치를 주어서 산출한 목재 등의 건조도를 나타내는 지수인 실효습도와 산불 발생건수와 비교한 결과(그림 3), 실효습도가 크게 떨어진 1990년대부터 산불 발생건수도 증가폭이 커지기 시작한 것을 볼 수 있다.



【그림 3】 지난 40년(1981~2020년)간 우리나라 실효습도와 산불 발생건수 변화

# CHAPTER 04

## 대기조성

4.1. 온실가스

4.2. 성층권 오존

4.3. 에어로졸



지구는 태양으로부터 들어오는 복사에너지를 흡수하여 불균등하게 가열되기 때문에 지역에 따라 다양한 유형의 기후를 이루고, 최종적으로 지표면의 온도에 따라 적외선 복사에너지의 형태로 우주로 방출한다. 인간 활동에 기인한 인위적 요인과 자연적인 원인에 의한 대기 조성물질(대기 중 기체, 액체 또는 고체 물질)의 변화는 기후시스템의 복사에너지 수지를 변화시켜 기후변화를 일으키는 주요 원인이 되며(그림 4.1), 기후시스템 내의 복잡한 되먹임 과정(피드백)을 통해 궁극적으로 전지구 기온 상승 등의 기후변화를 초래하고 있다. 이처럼 기후변화를 유발하는 대기 조성물질에는 온실가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소 등), 반응가스(오존, 일산화탄소, 질소산화물 등), 에어로졸 등이 있다.

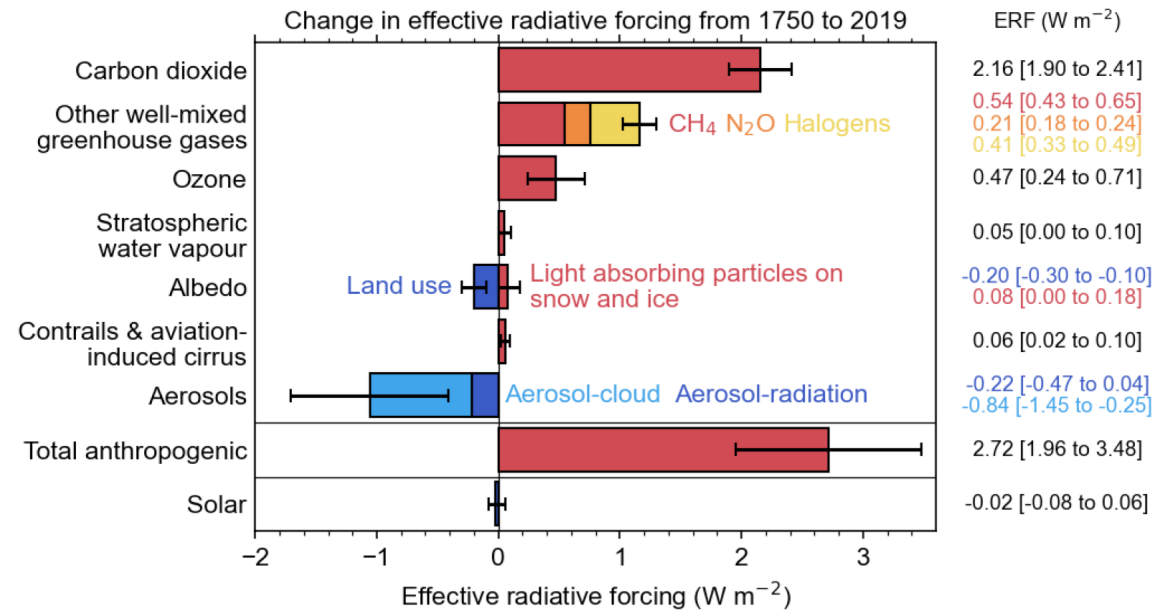


그림 4.1. 주요 대기조성물질의 유효복사강제력<sup>29)</sup>  
(출처: 기후변화에 관한 정부 간 협의체<sup>30)</sup> 6차 보고서, 2021년)

세계기상기구(WMO)는 지구온난화를 비롯한 지구환경문제(오존층 파괴, 산성비 등)에 대처하기 위해서 1989년부터 지구대기감시(GAW<sup>31)</sup>) 프로그램을 운영하고 있다. GAW 프로그램은 기후변화 원인물질의 대기 중 농도를 비롯한 지구대기의 물리·화학적 조성에 대한 관측자료와 자연적·인위적 대기조성

29) 유효복사강제력(Effective radiative forcing; ERF): 복사강제력(Radiative Forcing; RF)은 인위적 요인에 의해 대기 중 농도가 증가한 온실가스나 에어로졸 등에 의해 발생하는 지구복사에너지 균형의 변화를 정량화하기 위하여 사용되며, 양의 복사강제력은 지구 온난화를, 음의 복사강제력은 지구 냉각화를 의미한다. 유효복사강제력(ERF)은 복사강제력 개념에 기초하여, 지구 평균기온과 표면상태가 변하지 않음을 가정했을 때 대기 조성들에 의한 강제력에 반응하여 대류권이 빠르게 변화하는 되먹임(피드백) 과정을 포함한 개념이다. 유효복사강제력은 에어로졸-구름 및 에어로졸-복사 상호작용 등을 포함하는 더 넓은 범위의 영향을 정량화하는 데 유리하다. 따라서 잘 혼합된 온실가스들에 대해서는 유효복사강제력과 복사강제력은 유사하지만, 유효복사강제력이 가까운 미래의 기후 강제요소들(climate forcers)에 대한 기후 반응을 규명하는데 더 유용한 장점이 있음.

30) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

변화 정보를 제공하고 있으며, 현재와 미래 기후시스템 변화를 분석·예측하여 기후변화 대응을 위한 정책 수립에 활용되고 있다.

GAW 프로그램의 주요 관심 분야는 온실가스, 반응가스, 에어로졸, 성층권 오존, 대기복사(자외선) 및 총대기침적 등이다. 현재 WMO 회원국 100개 이상의 국가에서 800개가 넘는 관측소를 GAW 관측시스템에 등록하여 운영하고 있으며, 30개소의 지구급 관측소, 400개 이상의 지역급 관측소, 그리고 협력 네트워크(contributing networks<sup>32)</sup>)의 일환으로 100여 개소 이상의 협력관측소가 있다<sup>33)</sup>(그림 4.2).

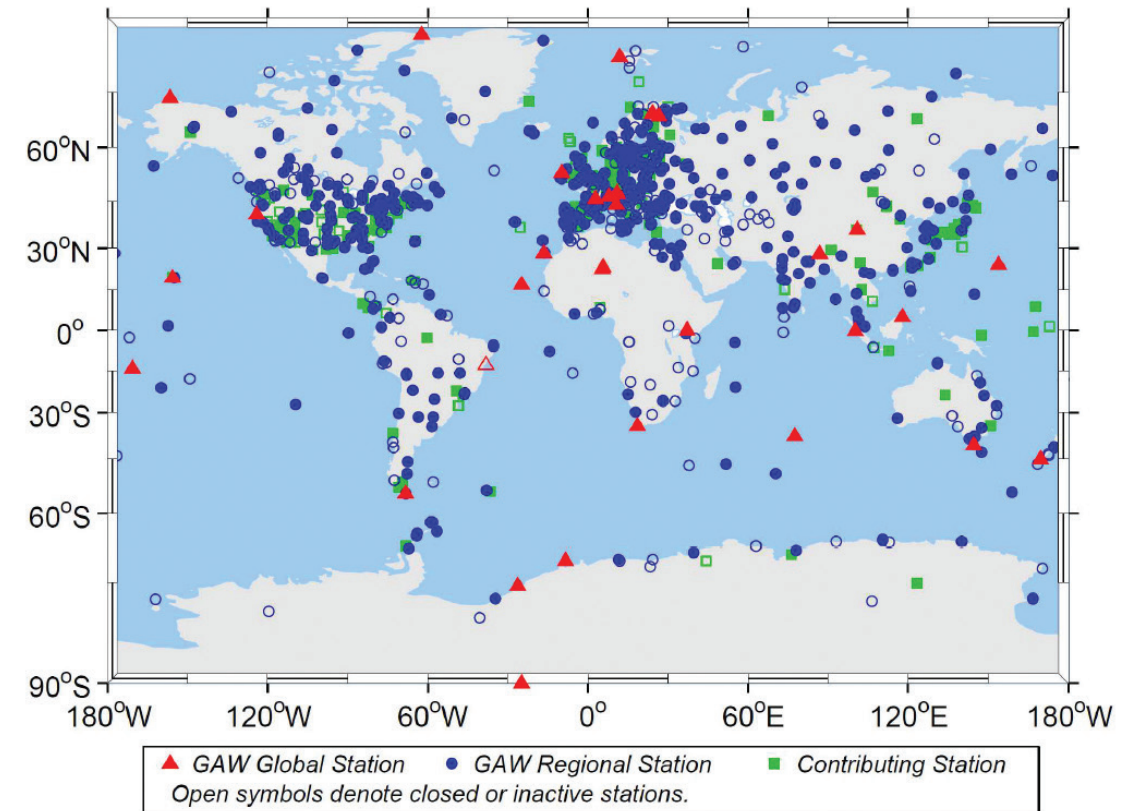


그림 4.2. WMO GAW의 관측소(출처: 2020 지구대기감시보고서<sup>34)</sup>)

31) GAW: Global Atmosphere Watch, [https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw\\_home\\_en.html](https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html)

32) <https://community.wmo.int/contributing-network>

33) <https://community.wmo.int/activity-areas/gaw/research-infrastructure/gaw-stations>

34) 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>) → 열린마당 → 발간물



우리나라 기후변화감시를 위해 안면도 기후변화감시소, 고산 기후변화감시소, 울릉도독도 기후변화감시소, 포항관측소 등의 관측소(그림 4.3)에서 온실가스, 반응가스, 에어로졸, 대기복사, 성층권 오존, 자외선, 총대기침적 등 분야의 36종 요소(GAW 권고 관측대상 물질)를 관측하고 있다. 지구대기감시관측소 현황 및 위탁관측소 운영 현황은 각각 표 4.1과 4.2와 같다(상세한 내용은 '2020 지구대기감시 보고서' 참조).

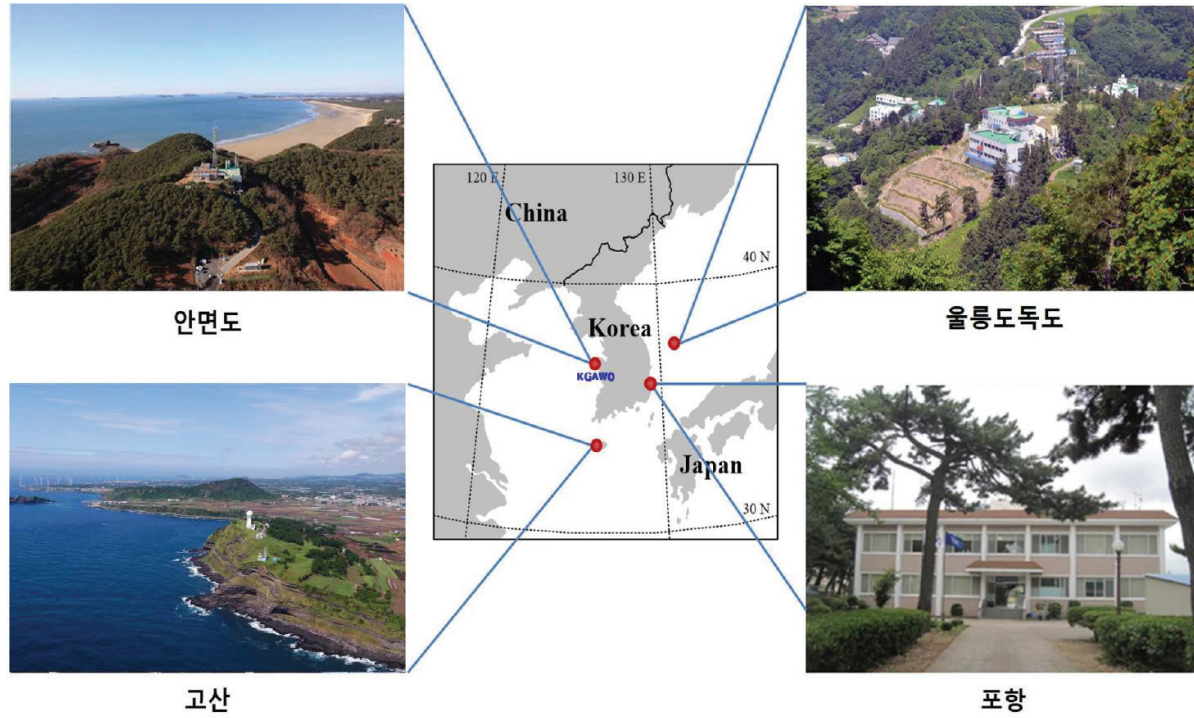


그림 4.3. 한반도 기후변화 감시망의 구성(출처: 2020 지구대기감시 보고서)

표 4.1. 한반도 기후변화감시 현황(2020 지구대기감시 보고서)

지점명	위·경도	해발고도(m)	관측분야(관측시작연도)	비고
안면도	36.53°N 126.32°E	47.0	온실가스(1999), 반응가스(1998) 에어로졸(1999), 총대기침적(1997) 성층권 오존(1994), 자외선(1999) 대기복사(1999)	WMO GAW 지역급관측소 (1999, AMY)
고산	33.30°N 126.21°E	52.0	온실가스(2009), 에어로졸(2009) 총대기침적(2012), 성층권 오존(2009) 자외선(1999), 대기복사(2008)	WMO GAW 지역급관측소 (2013, JGS)
	33.29°N 126.16°E	71.0	온실가스(2012), 반응가스(2012) 에어로졸(2014), 총대기침적(1998)	
울릉도 독도	37.48°N 130.90°E (울릉도)	220.9	온실가스(2012), 반응가스(2015) 에어로졸(2012), 총대기침적(1997) 자외선(2012)	
	37.23°N 131.86°E (독도)	24.0	온실가스(2011)	
포항	36.02°N 129.37°E	2.5	성층권오존(1994), 자외선(1999)	WMO GAW 지역급관측소 (1994, POH)

표 4.2 위탁관측소 운영 현황

위탁기관명	위·경도	관측요소	위탁지정일	비고
연세대학교	37.57°N 126.95°E (서울)	성층권 오존, 자외선	2004. 11. 6.	WMO GAW 지역급 관측소
광주과학기술원	35.22°N 126.83°E (광주)	에어로졸 광학깊이, 연직분포	2007. 1. 1.	WMO GAW 지역급 관측소
서울대학교	37.75°N 127.15°E (광릉수목원)	산림 이산화탄소	2008. 11. 5.	
극지연구소	62.22°S 58.78°W (남극 세종과학기지)	이산화탄소	2010. 10. 26.	
	74.62°S 164.23°E (남극 장보고과학기지)	이산화탄소, 성층권 오존	2017. 10. 1.	
제주대학교	33.29°N 126.16°E (제주 고산)	라돈	2012. 4. 1.	
숙명여자대학교	37.54°N 126.97°E (서울)	중층대기 수증기, 성층권 오존	2015. 4. 1.	



## 4.1. 온실가스

### 요약

- 2020년 국내·외 모든 지점에서 이산화탄소 농도는 지속적으로 증가함. 특히, 코로나19 확산으로 인해 인위적인 이산화탄소 배출량이 감소함에도 불구하고<sup>35)</sup> 예년과 같은 수준의 증가가 관측됨.
- 2020년 국내 이산화탄소 농도는 안면도 420.4 ppm, 고산 418.9 ppm, 그리고 울릉도 417.6 ppm으로 나타남. 2020년 전지구 평균 증가율이 2.4 ppm/year이며, 국내의 경우 안면도 2.7 ppm/year, 고산 2.4 ppm/year, 울릉도 2.3 ppm/year로 관측됨.
- 2020년 안면도의 메탄 농도(1998 ppb)는 전지구 평균보다 119 ppb 높으며, 농도 증가가 지속됨.
- 2020년 관측된 아산화질소 농도(안면도: 335.0 ppb, 고산: 334.7 ppb, 울릉도: 334.5 ppb)는 2019년과 비교하여 1.0-1.5 ppb 가량 증가함.
- 2020년 육불화황 농도는 안면도, 고산 그리고 울릉도 모두 10.5 ppt로 나타났으며, 세 지점의 전년 대비 증가율도 0.2 ppt로 동일하며, 지속적으로 증가하고 있음.
- 몬트리올 의정서에서 제한하고 있는 염화불화탄소류(CFCs) 배경 농도는 지속적으로 감소하는 추세임.

이산화탄소, 메탄, 아산화질소 등의 온실가스는 지표, 대기, 구름에 의해 방출된 열적외 복사 스펙트럼 내 특정 파장의 복사를 선택적으로 흡수하고 방출하는 기체상 대기 성분으로 자연적 발생하거나 인위적으로 배출되며, 열적외 복사를 흡수하고 방출하는 이 속성이 지구 온실효과를 야기한다.

온실가스는 지표면이 반사하는 태양복사의 장파복사를 흡수 또는 반사하여 지구표면의 온도를 상승시키는 역할을 하는 가스종으로, 긴 체류시간으로 한 번 배출되면 대기에 지속적으로 누적되어 지구온난화를 가속한다. 온실가스에는 수증기(H<sub>2</sub>O), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 오존(O<sub>3</sub>)과 인공합합물인 염화불화탄소류(CFCs), 육불화황(SF<sub>6</sub>), 과불화탄소류(PFCs) 등이 포함된다. 국제협약으로 규제되는 대상 물질은 몬트리올의정서(1989년)에서 CFCs, 교토의정서(1997년)에서 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, 수소불화탄소(HFCs), PFCs, SF<sub>6</sub> 등이며, 교토의정서 후속회의(더반, 2011년)에서 삼불화질소(NF<sub>3</sub>)가 추가되었다. 표 4.3은 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 6차 보고서(2021년)에 보고된 주요 온실가스의 대기 중 체류시간(life time)과 지구온난화지수<sup>36)</sup>를 나타낸 것이다.

35) 2020년 코로나19로 인해 CO<sub>2</sub> 배출량 전지구 -7%, 한반도 -7% 감소한 것으로 추정됨(2020 기후변화감시 보고서, 2021).

36) 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential): 이산화탄소 1kg과 비교할 때 특정기체 1kg이 지구 온난화에 얼마나 영향을 미치는지를 나타내는 지수로, 보통 20년, 50년, 100년에 걸친 기간의 자료로 계산함.

표 4.3. 주요 온실가스의 대기 중 체류시간(년)과 지구온난화지수

종류	화학식	체류시간(년)	지구온난화지수 (100년 기준)
이산화탄소	CO <sub>2</sub>	Multiple	1
메탄	CH <sub>4</sub>	11.8 ± 1.8	29.8 ± 11 (CH <sub>4</sub> -fossil) 27.2 ± 11 (CH <sub>4</sub> -non fossil)
아산화질소	N <sub>2</sub> O	109 ± 10	273 ± 130
수소불화탄소	HFC-32	5.4 ± 1.1	771 ± 292
	HFC-134a	14.0 ± 2.8	1526 ± 577
염화불화탄소(프레온가스)	CFC-11	52.0 ± 10.4	6626 ± 2297
과불화탄소	PFC-14	50000	7380 ± 2430

미국 해양대기청(NOAA) 발표값에 의하면, 2020년 전지구 평균농도는 CO<sub>2</sub> 412.5 ppm, CH<sub>4</sub> 1879 ppb, 그리고 N<sub>2</sub>O 333.1 ppb이며, 산업혁명 이전(1750년)과 비교해서 각각 148.4%, 260.2%, 123.3% 수준에 해당된다(표 4.4). 또한, 지난 70년간 이산화탄소의 증가율은 빙하기 말의 증가에 비해 약 100배 빠른 속도로 증가하고 있다고 분석하였다. NOAA 연간 온실가스 지수(AGGI<sup>37)</sup>)는 1991년에서 2020년까지 장기체류 온실가스에 의한 복사강제력이 44.6% 증가하면서 1.016에서 1.470으로 증가하였으며, CO<sub>2</sub>는 이 증가분의 약 81.1%를 차지하였다.

37) AGGI (Annual Greenhouse Gas Index)는 연간 온실가스 지수로 장기체류 온실가스에 의한 복사강제력의 상대적인 크기를 의미하며, 복사강제력은 산업혁명(1750년 기준) 이후에 증가한 값을 산정한다.  
Bulter, J.H. and S.A. Montzka, 2018: The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI), <https://gml.noaa.gov/aggi/>

## 4.1.1 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)

표 4.4. 2020년 주요 온실가스의 전지구 평균농도 및 증가값

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
2020년 전지구 평균농도 <sup>1</sup>	412.5 ppm	1879 ppb	333.1 ppb
산업혁명이전(1750년 <sup>2</sup> ) 대비 농도 증가율	148.4%	260.2%	123.3%
2020년 절대 증가값 <sup>3</sup>	2.4 ppm	13 ppb	1.2 ppb
최근 10년간 절대 증가값 평균 (2010~2019년)	2.4 ppm/년	8 ppb/년	1 ppb/년

<sup>1</sup> NOAA ([https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl\\_data.html](https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl_data.html))

<sup>2</sup> NOAA 기준 CO<sub>2</sub>: 278 ppm, CH<sub>4</sub>: 722 ppb, N<sub>2</sub>O: 270 ppb

<sup>3</sup> 절대 증가값 = 올해 연평균값(2020년) - 전년도 연평균값(2019년)

기상청은 안면도(1999~), 고산(2012~), 울릉도·독도(2014~) 기후변화감시소에서 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 육불화황(SF<sub>6</sub>), 염화불화탄소(CFC-11, CFC-12, CFC-113) 등 7종을 관측하고 있다. 또한, 안면도 기후변화감시소에서 고분해 태양흡수 분광간섭계(FTS)를 이용하여 대기 기주의 총 CO<sub>2</sub>를 관측하고 있다.

- 이산화탄소는 지구온난화를 유발하는 대표적인 온실가스로 석탄, 석유 및 천연가스 등 화석연료를 태울 때 주로 발생함. 또한, 시멘트 생산, 벌목과 화재, 산불, 폐기물 등에서 배출되고 식생의 광합성과 해양에 의해 흡수됨.
- 이산화탄소의 대기 중 농도는 꾸준히 증가하고 있으며, 배출되어 대기 중에 머무르는 잔류기간이 100~300년임. 관측 단위는 ppm(part per million, 100만분의 1)임.
- 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 6차 보고서(2021년)<sup>38)</sup>에 따르면 1750년을 기준으로 전체 온실가스들의 2019년 유효복사강제력(ERF)은 3.84 [3.46-4.22] W/m<sup>2</sup>이며, 이산화탄소의 유효복사강제력(ERF)은 2.16 [1.90-2.41] W/m<sup>2</sup>으로, 전체 온실가스 유효복사강제력(ERF)의 약 56±16%를 기여함.

그림 4.4는 전지구(1984년~), 마우나로아(1974년~), 케이프그림(1981년~), 료리(1987년~) 그리고 안면도(1999년~)에서 관측된 월평균 이산화탄소 농도 그래프이다.

모든 관측소에서 이산화탄소는 봄철에 가장 높고 여름철에 가장 낮은 계절변동을 보인다. 특히 남반구에 비해 북반구에 위치한 관측소에서 더 큰 계절 변동성이 나타나며, 전지구 평균농도 또한 북반구 관측소와 같이 뚜렷한 계절변동을 나타낸다.

국내외 모든 관측결과에서 이산화탄소 농도는 지속적으로 증가하고 있으며, 특히, 코로나19 확산으로 인해 인위적인 이산화탄소 배출량이 감소하였음에도 불구하고, 예년과 같은 수준의 증가가 2020년에도 관측되었다(그림 4.4와 그림 4.5).

그림 4.5는 관측 이래 안면도(1999~2020년), 고산(2012~2020년), 울릉도(2014~2020년), 독도(2014~2020년)의 이산화탄소 농도 월평균 자료로 이산화탄소 농도 변화를 보여주는 그래프이다. 안면도와 고산에서 2013년에 처음으로 연평균 농도가 400 ppm을 넘어섰으며<sup>39)</sup>, 모든 지점에서 지속적으로 증가하고 있다.

38) <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

39) 전지구 이산화탄소의 연평균 농도는 2015년 처음으로 400 ppm에 도달하였으며, 일본 료리 관측소의 경우는 2014년에 400 ppm을 돌파함.

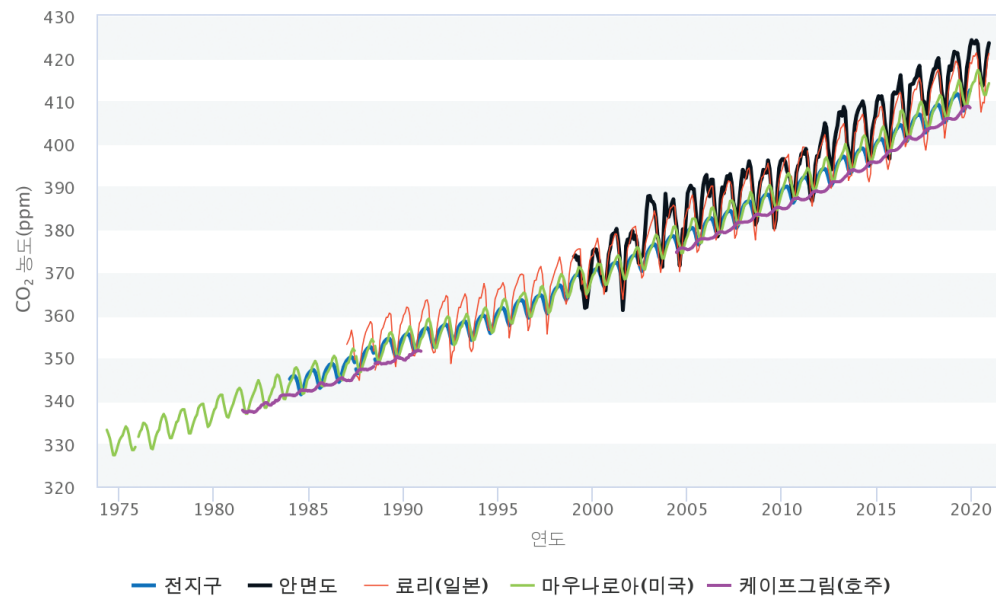


그림 4.4. 전지구 및 주요 지점의 이산화탄소 월평균 농도(ppm)<sup>40)</sup>

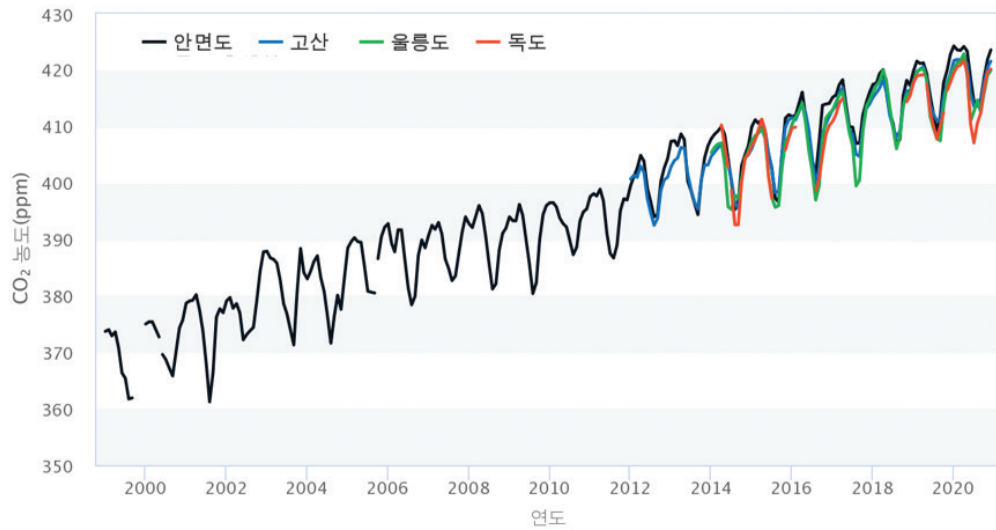


그림 4.5. 국내 지점별 이산화탄소 월평균 농도(ppm)<sup>40)</sup>

2020년 국내 이산화탄소 농도는 안면도 420.4 ppm, 고산 418.9 ppm, 울릉도 417.6 ppm, 그리고 독도 416.6 ppm으로 관측되었다. 이는 2020년 전지구 평균농도(412.5 ppm)와 비교해서 4.1~7.9 ppm 높은 값이다.

2020년 안면도의 이산화탄소 농도는 1999년 최초 관측값(369.2 ppm)에 비하여 약 13.86%가 증가하였다. 이는 전지구 평균값(412.5 ppm)이 1999년 값(368.0 ppm)에 비해 약 12.09%가 증가한 것에 비하면 약 1.77% 높은 수치이다.

전지구(1985년~)와 안면도(2000년~)의 이산화탄소 연평균 농도의 전년 대비 증가값(ppm)을 비교해보면(그림 4.6), 안면도의 이산화탄소 증가율은 전지구 평균보다 대체로 큰 경향을 보인다(2003, 2013, 2016년 제외). 특히, 2015년 대비 2016년의 전지구 이산화탄소 농도 증가값은 3.2 ppm으로 가장 높았으며, 이는 2015~2016년에 발생한 강력한 엘니뇨 때문으로 분석된다(Betts et al., 2016<sup>41)</sup>).

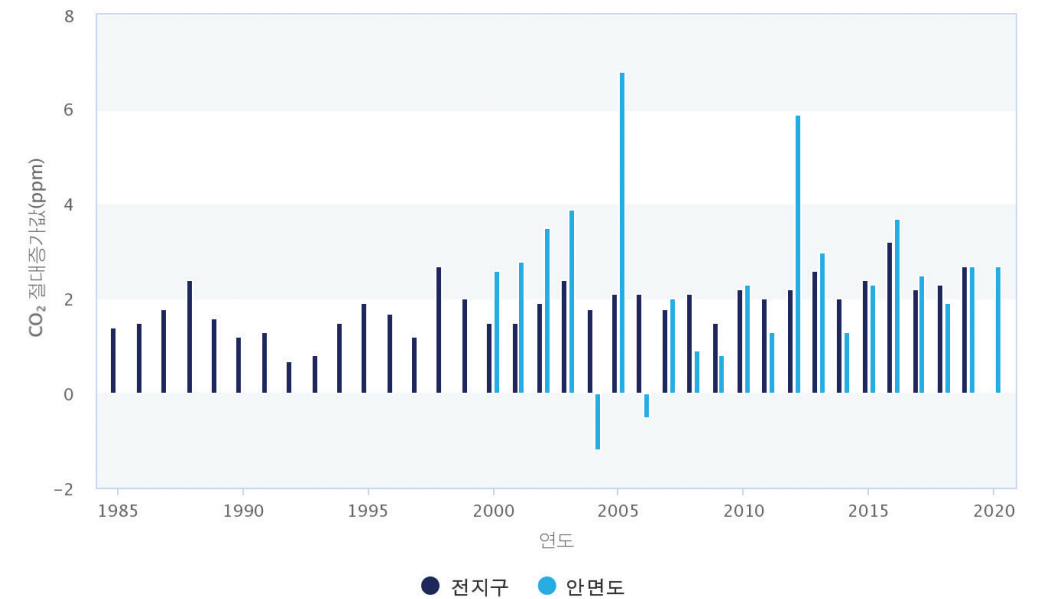


그림 4.6. 전지구와 안면도에서 이산화탄소 농도의 전년 대비 증가량<sup>42)</sup>

40) 출처: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>) → 기후변화감시 → 종합 기후변화감시정보

41) Betts, R.A., C.D. Jones, J.R. Knight, R.F. Keeling, and J.J. Kennedy, 2016: El Nino and a record CO<sub>2</sub> rise. Nature Climate Change, 806-810.

42) 출처: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>) → 기후변화감시 → 종합 기후변화감시정보

전지구 평균의 경우 2020년 증가값(2.4 ppm/년)은 지난 10년간 절대 증가값 평균(2.4 ppm/년)과 같았으며, 이러한 현상은 우리나라의 안면도에서도 유사하게 나타났다(표 4.5).

표 4.5. 우리나라와 전지구 이산화탄소의 절대 증가량의 비교

	전지구	안면도	고산	울릉도	독도
2020년 평균(ppm)	412.5	420.4	418.9	417.6	416.6
2019년 대비 2020년 절대 증가값 (ppm/년)*	2.4	2.7	2.4	2.3	1.8
최근 10년간 절대 증가값 평균 (ppm/년) (2010~2019년)	2.4	2.7	-	-	-

\* 절대증가값 = 올해 연평균값 - 전년도 연평균값

최근 5년(2016~2020년)의 이산화탄소 농도 변화 경향에서도(그림 4.7), 뚜렷한 계절 변동성이 나타나며, 4월에 최댓값, 8월에 최솟값을 보였다.

북반구의 경우, 이산화탄소 농도는 육지 생물권의 광합성이 활발한 6~8월에 급격히 감소하는 특징이 있으며<sup>43)</sup>, 이러한 계절변동은 이산화탄소의 발생원과 흡수원 및 주풍(탁월풍)에 의한 수송의 영향을 알 수 있는 지표가 된다.

최댓값과 최솟값의 차이는 이산화탄소의 발생원과 흡수원(식생 등)이 분포하고 있는 내륙에 가까울수록 큰 것으로 알려져 있다. 이산화탄소 관측이 시작된 1960년대 이후 북반구 고위도에서 계절 변동성이 증가하는 것으로 확인되었는데, 이는 온난화로 식생 면적의 변화와 광합성에 의한 이산화탄소 흡수량의 증가가 주요 원인으로 보고되었다(Forkel et al., 2016<sup>44)</sup>).



그림 4.7. 최근 5년(2016~2020년) 동안 안면도, 고산, 울릉도, 독도의 이산화탄소의 월변화<sup>45)</sup>

한편, 2020년 코로나19로 인해 이산화탄소의 인위적 배출량이 전지구적으로 약 -7%, 한반도 약 -7% 감소<sup>46)</sup>하였으나, 대기 중 농도는 예년과 동일한 수준으로 상승하여 나타났다. 그림 4.7에서 보듯이 한반도 4개 지점에서의 이산화탄소 농도의 월변화는 예년과 동일한 패턴을 보이면서 더 높게 관측이 되었다. 미국 해양대기청(NOAA)의 전지구 배경대기 3개 관측 지점(하와이 마우나로아, 알래스카 배로우, 남극)에서 보고된 이산화탄소 농도의 월변화를 보면, 2020년과 최근 10년간의 통계적으로 유의미한 차이를 찾아볼 수 없었다(그림 4.8).

43) <https://keelingcurve.ucsd.edu/>

44) Forkel, M., N. Carvalhais, C. Rodenbeck, R. Keeling, M. Heimann, K. Thonicke, S. Zaehle and M. Reichstein., 2016: Enhanced seasonal CO<sub>2</sub> exchange caused by amplified plant productivity in northern ecosystems. Science, 10.1126/science.aac4971

45) 출처: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>) → 기후변화감시 → 종합 기후변화감시정보

46) 출처: 2020 지구대기감시 보고서(기상청, 2021)



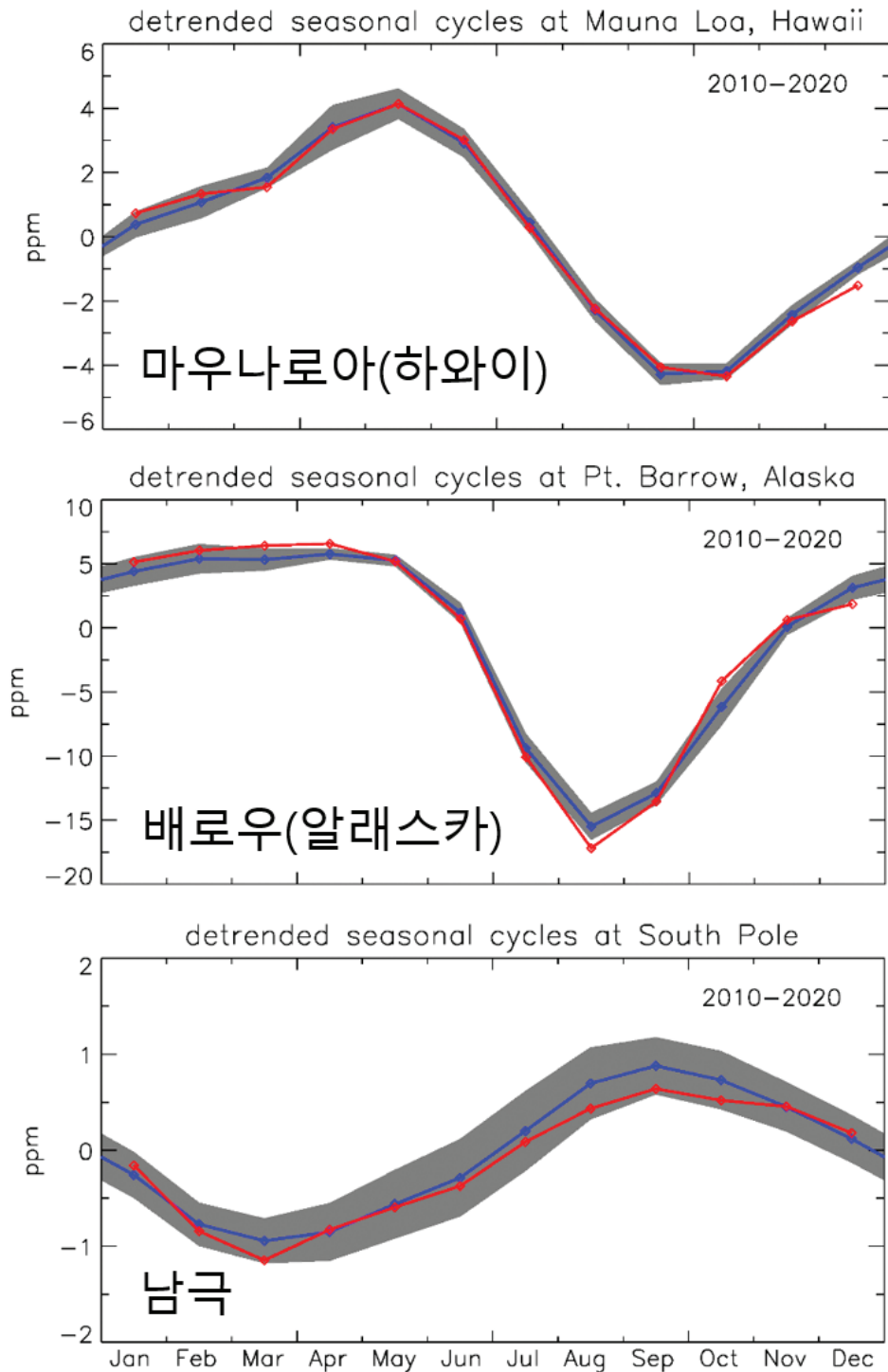


그림 4.8. 미국 해양대기청(NOAA)의 3개 관측지점(마우나로아, 배로우, 남극)에서 관측된 이산화탄소 농도의 월변화<sup>47)</sup>  
푸른색은 2010-2020년의 평균, 붉은색은 2020년의 평균, 그리고 회색 영역은 각 월의 표준편차를 나타냄.

47) 출처: <https://gml.noaa.gov/ccgg/covid2.html>

### [코로나 19와 2020년 이산화탄소 농도]<sup>48)</sup>

2020년 코로나19의 영향으로 전지구 이산화탄소 배출량이 평균 7%(불확도: -3% ~ 11%), 우리나라는 7% 감소한 것으로 보고되었으나<sup>49)</sup>, 대기 중 이산화탄소 농도는 앞서 기술한 바와 같이 지속적으로 증가하였다(그림 4.4와 4.5).

배출량 감소에도 불구하고 대기 중 이산화탄소 농도가 줄어들지 않은 이유는 무엇일까? 이산화탄소는 대기로 한번 배출되면 해양과 지표 생태에서 흡수하고 남은 양이 대기 중에 머물기 때문에, 자연 변동폭이 크다. 대기 중 이산화탄소 농도 최댓값은 그림 4.7에 제시되었듯이 지표 식생이 활발해지기 직전까지 누적된 이산화탄소로 인해 4월에 관측되며, 최솟값은 광합성 활동으로 흡수가 큰 8월에 나타난다. 이와 같은 이산화탄소 농도의 자연 변동폭은 ±2 ppm 정도이다.

당초 코로나19에 따른 대규모 봉쇄 조치(lockdown)로 2월부터 전 지구 이산화탄소의 배출량이 25% 정도 감소하여 3월부터 이산화탄소 농도가 약 0.2 ppm 정도 낮아질 것으로 예상하였다(<https://gml.noaa.gov/ccgg/covid2.html>). 그러나 실제 전 지구 이산화탄소 배출량이 약 7% 정도의 감소에 그치면서 지속적인 이산화탄소 농도 증가가 관측되었다. 설령 0.2 ppm의 이산화탄소 농도 감소가 나타났더라도 자연 변동폭을 고려하면, 실제 관측에서 유의미한 농도 감소를 보기는 어려웠을 것이다.

따라서, 이산화탄소 배출량 감소를 통해 대기 중 농도 감소를 이뤄내기 위해서는 자연 변동성을 넘어서는 파격적이고 지속적인 배출량 감소가 필요하다.

48) 출처: 2020 지구대기감시 보고서(기상청, 2021)

49) Le Quere, C., R. B. Jackson, M. W. Jones, A. J. P. Smith, S. Abernethy, R. M. Andrew, A. J. De-Gol, D. R. Willis, Y. Shan, J. G. Canadell, P. Friedlingstein, F. Creutzig, and G.P. Peters, 2020: Temporary reduction in daily global CO<sub>2</sub> emissions during the COVID-19 forced confinement, Nat. Clim. Change. 10, 647-653.

## 4.1.2 메탄(CH<sub>4</sub>)

- 메탄은 이산화탄소 다음으로 중요한 온실가스 중 하나로 10억분의 1(ppb; part per billion) 단위를 주로 사용함.
- 1750년을 기준으로 메탄의 유효복사강제력(ERF)은 0.54 [0.43-0.65] W/m<sup>2</sup>로 전지구 온실가스 복사강제력(3.84 W/m<sup>2</sup>)의 14.1% 기여하고 있으며, 메탄은 이산화탄소와 비교하여 지구온난화지수가 화석연료 기원 메탄의 경우 약 29.8배, 화석 연료 이외의 기원인 메탄의 경우 약 27.2 배로 강력한 온실 효과를 가지고 있음(기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 6차 보고서<sup>50</sup>).
- 메탄은 다양한 인위적·자연적 원인(습지, 바이오매스 연소, 반추동물, 바다, 토지사용, 쌀농사, 화석 연료 등)에 의해 배출되며(Saunois et al., 2016<sup>51</sup>), OH 라디칼에 의하여 제거됨(Warneck, 2000<sup>52</sup>).
- IPCC 6차 보고서에 따르면, 메탄은 한번 배출되면 약 11.8년 정도 대기 중에 체류하며, 체류 기간이 다른 온실가스들에 비하여 짧기 때문에 정책적으로 배출량을 줄이면 가장 빠른 효과를 볼 수 있음.

그림 4.9는 전지구(1984~2019년), 안면도(1999~2020년), 케이프그림(1993~2019년), 마우나로아(1987~2020년)의 월평균 메탄 농도변화를 나타낸 그래프로, 모든 지점에서 지속적으로 증가하는 경향을 보여준다. 메탄의 농도는 북반구에서 높은 농도를 보이며 안면도는 케이프그림(호주)에 비하여 계절 변동성이 매우 높은 특징을 보인다(그림 4.9).

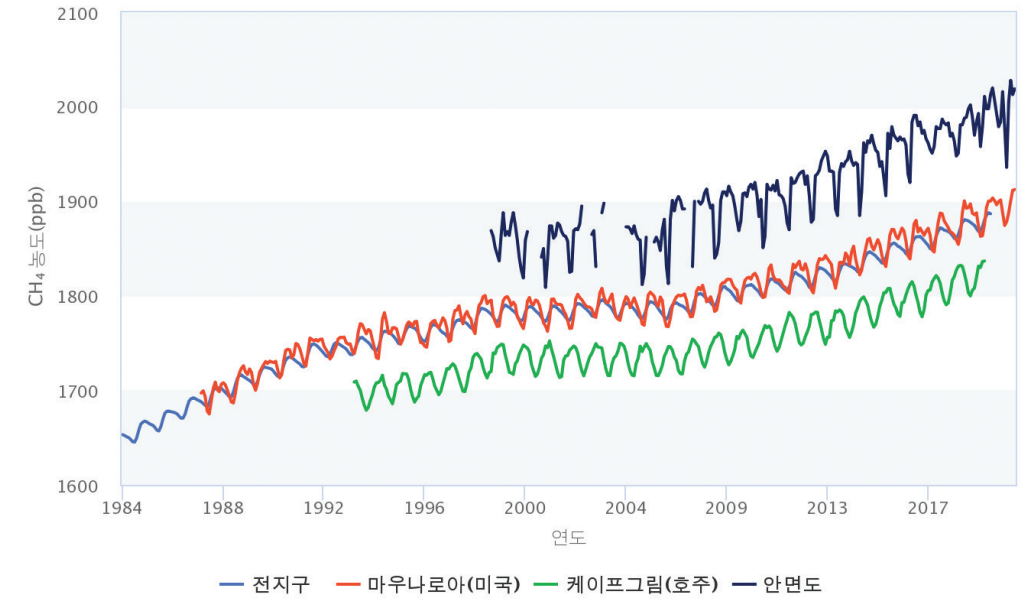


그림 4.9. 전지구(1984년~2019년), 안면도(1999년~2020년), 케이프그림(1993년~2019년), 마우나로아(1987~2020년)의 메탄 월평균농도 변화(ppb)<sup>53)</sup>

2020년 전지구 평균 메탄의 농도는 1879 ppb이며, 2020년도 절대 증가값(13 ppb)은 2019년 절대 증가값(8 ppb)보다 더 크며, 지난 10년 평균(2010~2019년)값인 8 ppb/year 보다 5 ppb/year 더 크다(표 4.6). 이는 1984년 관측 이래 가장 큰 상승폭이 나타난 것이다(그림 4.10).

표 4.6. 우리나라와 전지구 메탄의 절대 증가량(ppb)의 비교

	전지구	안면도	고산	울릉도
2020년 평균(ppb)	1879	1998	1973	1976
2019년 대비 2020년 절대 증가값*	13	7	6	16
최근 10년간 절대 증가값 평균(ppb/년) (2010~2019년)	8	9	-	-

\*절대 증가값 = 올해 연평균값 - 전년도 연평균값

50) <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

51) Saunois, M., R.B. Jackson, P. Bousquet, B. Poulter, and J.G. Canadell, 2016: The growing role of methane in anthropogenic climate change. Environmental Research Letters, vol. 11, 120207, DOI: 10.1088/1748-9326/11/12/120207

52) Warneck, Peter, 2000: Chemistry of the natural atmosphere (2nd ed.). San Diego: Academic Press. ISBN 978-0127356327. OCLC 42622164

53) 출처: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>) → 기후변화감시 → 종합 기후변화감시정보

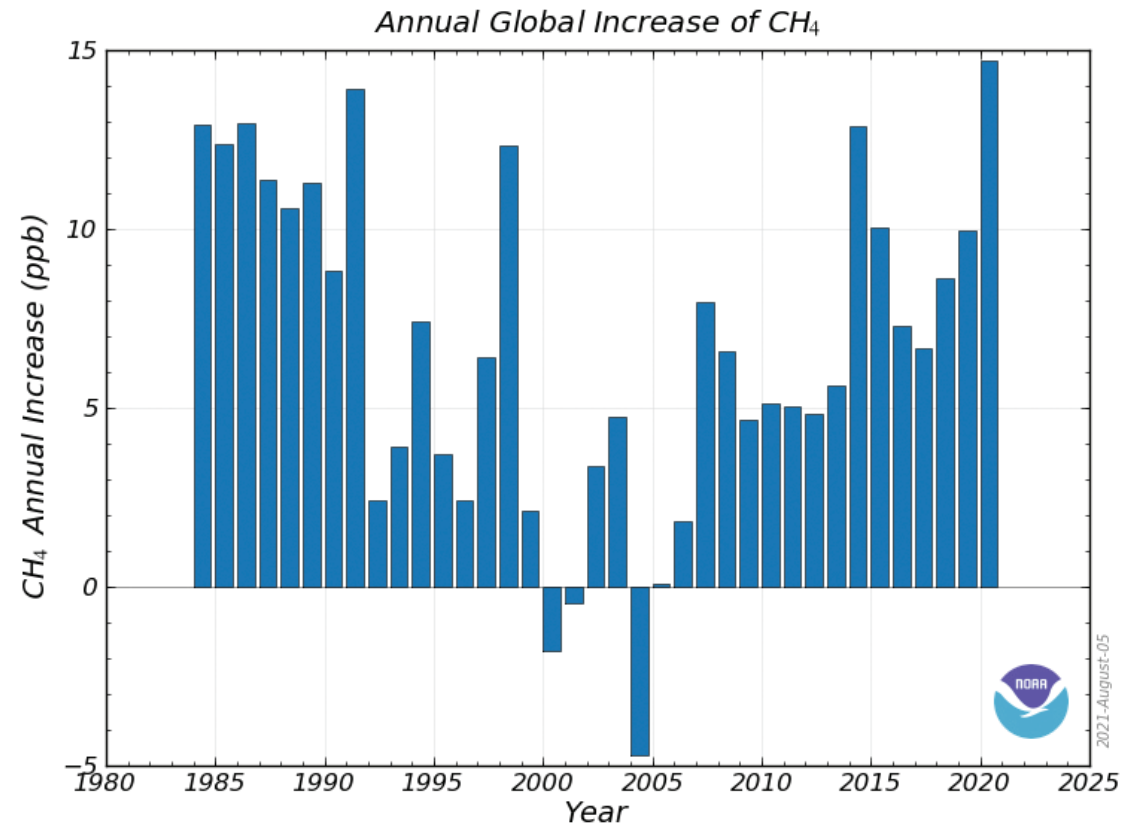


그림 4.10. 전지구 메탄 농도의 연간 증가량<sup>54)</sup>

안면도의 메탄 농도는 2020년에 1998 ppb를 기록하여, 전지구 평균보다 119 ppb 이상 더 높으며, 2012년 이후 지속적으로 전지구 평균보다 100 ppb 이상 높게 관측되고 있다(표 4.6). 2020년 메탄 농도는 1999년 최초 관측치(1861 ppb)보다 137 ppb 증가하였으며, 계속 증가 추세이다.

전 세계적으로 메탄의 농도는 1999년부터 2006년까지 증가가 둔화되었다가 다시 2007년부터 꾸준히 증가(평균증가율: 7.0 ppb/년)하는 것으로 나타나며(그림 4.10과 4.11), 안면도에서도 결측 기간을 제외하면 이러한 경향성이 잘 나타난다.

54) 출처: [https://gml.noaa.gov/ccgg/trends\\_ch4/](https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_ch4/)

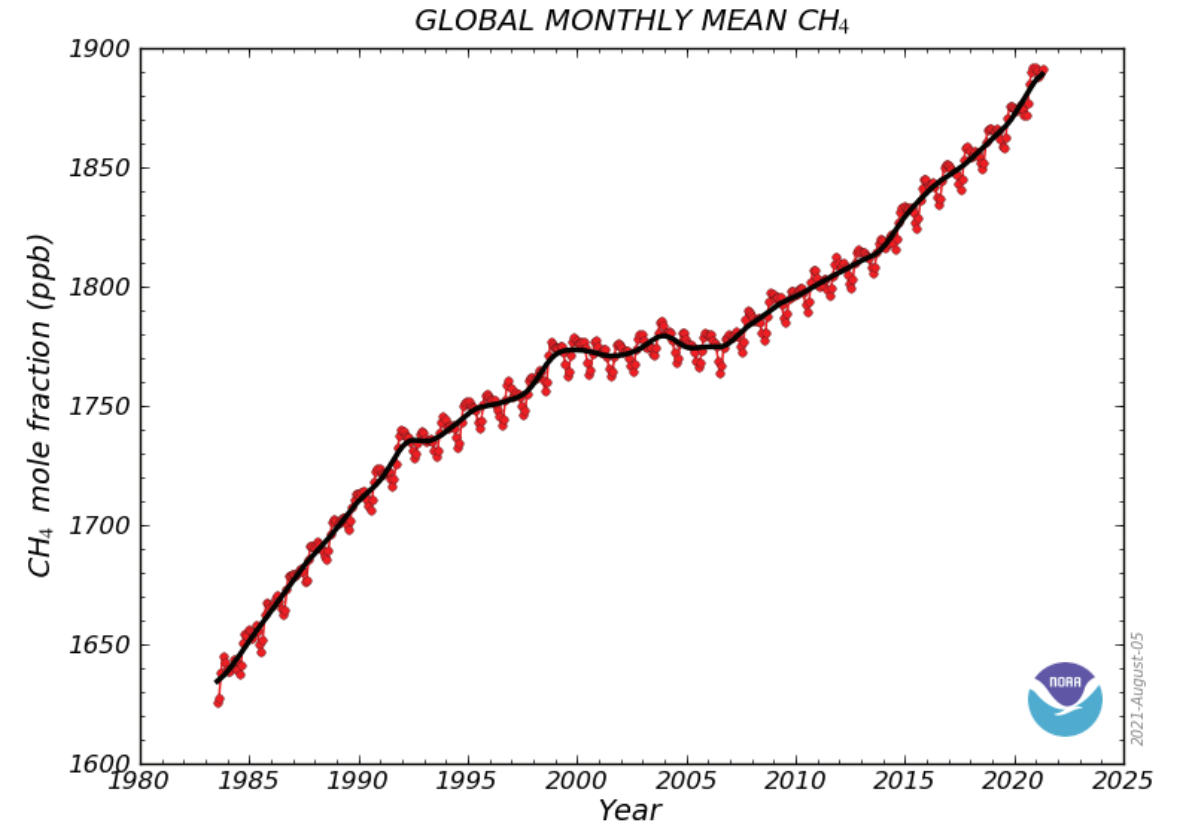


그림 4.11. 전지구 메탄 농도<sup>55)</sup>

55) 출처: [https://gml.noaa.gov/ccgg/trends\\_ch4/](https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_ch4/)

### 4.1.3 아산화질소(N<sub>2</sub>O)

최근 5년(2016~2020년) 동안 안면도의 메탄 월평균 농도 변화를 보면 메탄과 반응하는 OH 라디칼이 높아지는 여름에 메탄의 농도가 낮아짐을 알 수 있다(그림 4.12).

월별로는 7월에 농도가 가장 낮고 가을과 겨울에 가장 높은 값을 나타낸다. 북반구의 경우 여름에 가장 낮고 겨울에 가장 높은 양상과 일치한다(WDCGG NO.42, 2018<sup>56)</sup>).

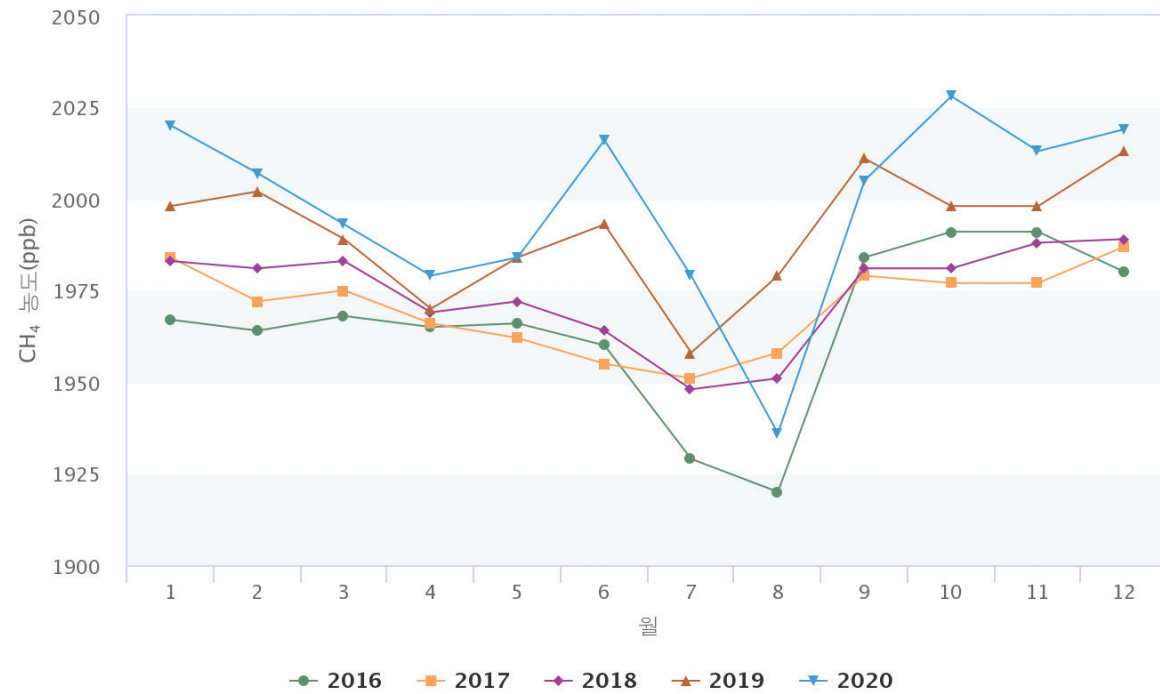


그림 4.12. 최근 5년간(2016~2020년) 안면도 메탄 농도의 월변화<sup>57)</sup>

- 아산화질소는 이산화탄소와 메탄에 이어 세 번째로 강력한 온실가스이며, 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 6차 보고서에 의하면 1750년 기준 2019년의 유효복사강제력(ERF)이 0.21 [0.18-0.24] W/m<sup>2</sup>로 전체 온실가스 중 약 5.5%를 차지함.
- 아산화질소의 온난화 효과는 이산화탄소의 273배이며, 대기 중 체류기간이 약 109(±10)년 정도로 대기 중에서 매우 안정하지만, 성층권에서 오존층 파괴의 촉발제 역할을 하기도 함.
- 아산화질소의 자연기원은 해양, 토양 등이 있으며, 화석 연료, 생태소각, 농업비료의 사용, 여러 산업 공정에서 배출되는 인위적 기원 등이 있다. 인위적 배출원과 자연적 배출원의 비율은 거의 같은 것으로 추정되며, 아산화질소는 광분해에 의해 성층권에서 소멸되며 때론 오존층 파괴 과정의 촉발제(trigger)로 작용하기도 함.

산업화 이전의 아산화질소 농도는 270 ppb 수준으로 추정되고 있는데 2020년 전지구, 안면도와 고산 그리고 울릉도에서 관측된 농도는 각각 333.1 ppb, 335.0 ppb, 334.7 ppb, 334.5 ppb이다. 이는 산업화 이전 대비 22.6~24.0% 증가한 양이다(표4.7).

그림 4.13은 전지구(2001~2020), 마우나로아(1999~2020), 안면도(1999~2020), 고산(2012~2020)의 월평균 아산화질소 농도이며, 안면도와 고산의 농도는 전지구 평균(331.1 ppb)이나 마우나로아(334.0 ppb) 보다 다소 높은 값을 보였다. 전지구 평균 아산화질소 농도(331.1 ppb)의 경우, 2019년에서 2020년까지의 증가율(1.39 ppb)은 지난 2000년 이후 가장 큰 폭의 증가였다(그림 4.14).

2020년 안면도와 고산, 그리고 울릉도에서 관측된 아산화질소 농도는 각각 335.0 ppb, 334.7 ppb 그리고 334.5 ppb이며, 전년도에 비해 각각 1.0 ppb와 1.0 ppb 그리고 1.5 ppb 증가하였다(표 4.7). 국내 세 지점에서 관측된 아산화질소 농도는 계속 증가하는 추세이다.

56) WDCGG No.42(2018): analysis based on data submitted by September 2017

57) 출처: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>) → 기후변화감시 → 종합 기후변화감시정보



표 4.7. 우리나라와 전지구 아산화질소 농도의 비교

	전지구	안면도	고산	울릉도
2020 평균(ppb)	333.1	335.0	334.7	334.5
2019년 대비 2020년 절대 증가값*	1.2	1.0	1.0	1.5
최근 10년간 절대 증가값 평균(ppb/년) (2010~2019년)	1.0	1.0	-	-

\*절대 증가값 = 올해 연평균값 - 전년도 연평균값

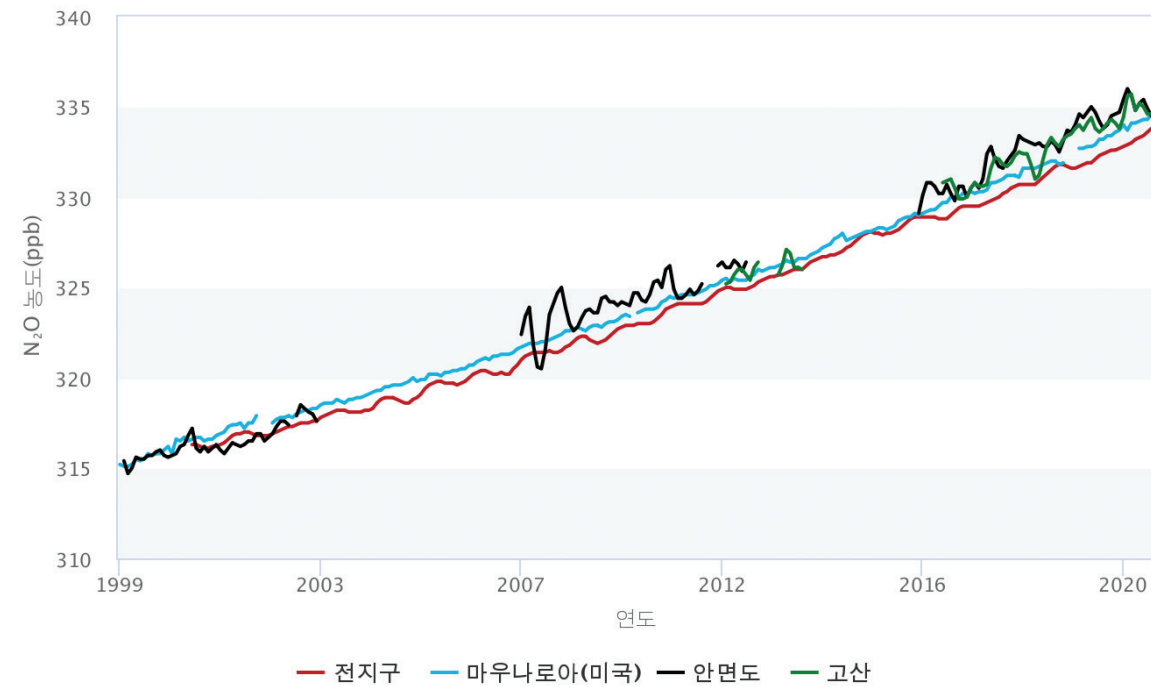


그림 4.13. 전지구(2001~2020), 마우나로아(1999~2020), 안면도(1999~2020), 고산(2012~2020)의 월평균 아산화질소 농도변화(ppb)<sup>58)</sup>

58) 출처: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>) → 기후변화감시 → 종합 기후변화감시정보

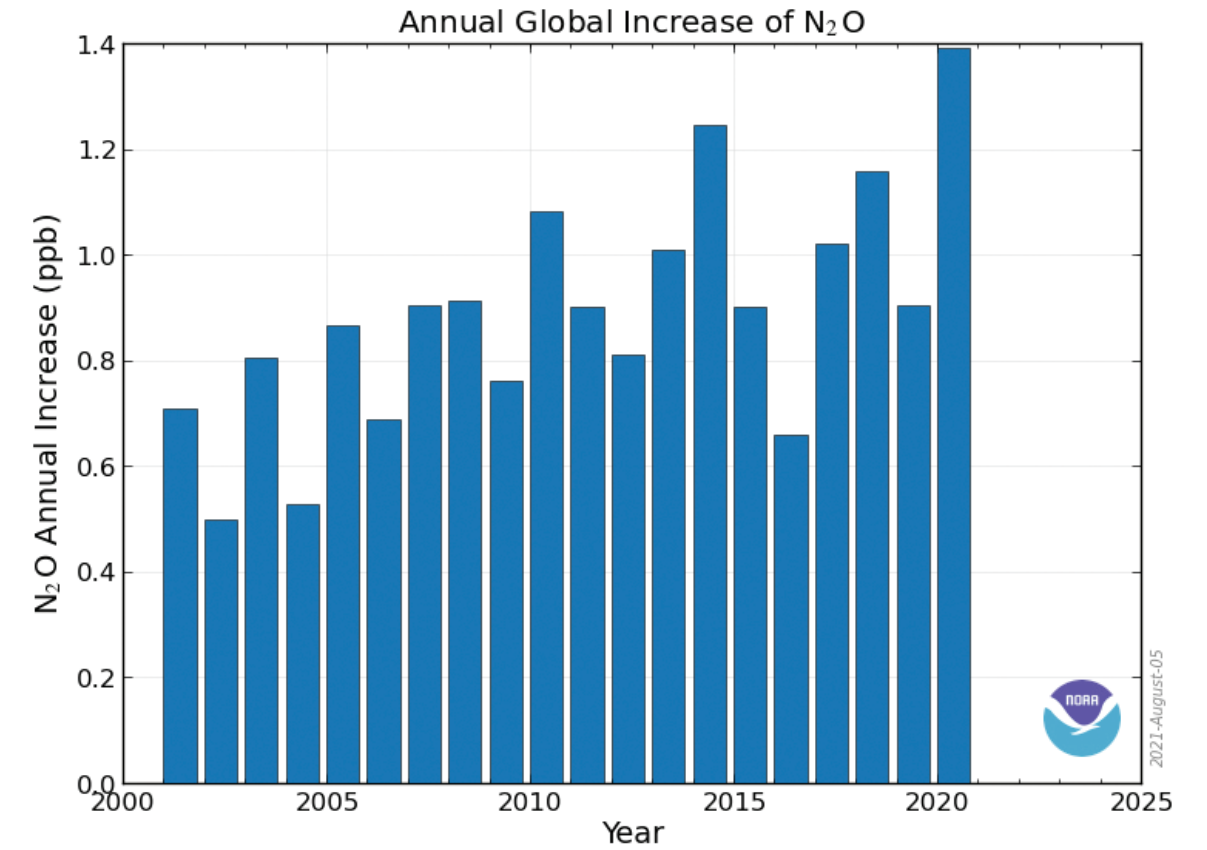


그림 4.14. 전지구 아산화질소 농도의 연간 증가량<sup>59)</sup>

59) 출처: [https://gml.noaa.gov/ccgg/trends\\_n2o/](https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_n2o/)

### 4.1.4 육불화황과 염화불화탄소류

- 육불화황(SF<sub>6</sub>)은 ppt(part per trillion; 1조 분의 1) 수준으로 대기 중에 존재하는 인공화합물이다. 대기로 한번 배출되면 거의 선형으로 누적되어 빠르게 증가하기 때문에 향후 기후변화에 영향을 줄 수 있는 잠재력이 높은 온실가스임.
- 육불화황은 주로 반도체 및 알루미늄 산업공정에서 배출되는데, 체류기간이 약 850년(580~1400년)으로 한번 대기로 배출되면 거의 소멸되지 않고 누적됨.
- 염화불화탄소류는 몬트리올 의정서에 의해 규제되는 화합물로 냉매제로 주로 사용되었음. 성층권에서 자외선에 의해 분해되며 성층권 오존을 파괴하는 염소와 브로민이 포함되어 있음.
- 대기 중 체류기간은 CFC-11은 약 52년, 그리고 CFC-12와 CFC-113은 각각 약 110년과 85년으로 알려져 있음. 규제물질인 염화불화탄소류의 농도는 감소세를 보이고 있으나, 2012년 이후로 마우나로아 관측소 및 전지구 평균 CFC-11 농도 감소세가 둔화되고 있으며(Montzka et al., 2018<sup>60)</sup>), 그 원인은 중국의 동북 지역에서 배출량이 더 증가했기 때문임(Rigby et al., 2019).

2020년 육불화황 농도는 안면도, 고산 그리고 울릉도 모두 10.5 ppt로 나타났으며, 전지구 평균인 10.3 ppt보다 0.2 ppt 높은 값이다. 세 지점의 전년 대비 증가율도 0.2 ppt로 동일하다(표 4.8).

표 4.8. 우리나라와 전지구 육불화황 농도의 비교

	전지구	안면도	고산	울릉도
2020 평균(ppt)	10.3	10.5	10.5	10.5
2019년 대비 2020년 절대 증가값*	0.3	0.2	0.2	0.2
최근 10년간 절대 증가값 평균(ppt/년) (2010~2019년)	0.3	0.3	-	-

\* 절대 증가값 = 올해 연평균값 - 전년도 연평균값

육불화황의 경우 그림 4.15에서 보듯이, 1997년 관측 이래 전지구 평균 농도가 꾸준히 증가하고 있다. 특히 2017년 이후 0.33 - 0.35 ppt 수준으로 꾸준히 증가하고 있다(그림 4.16).

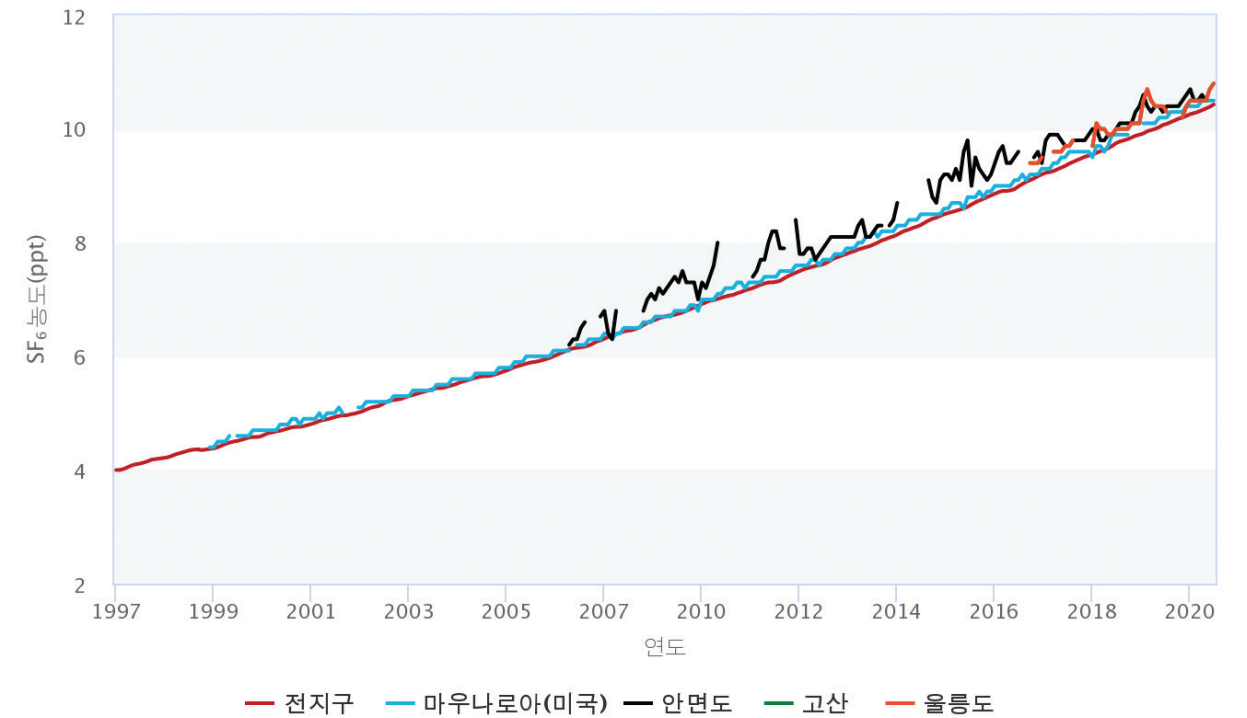


그림 4.15. 육불화황 국내외 월평균 농도(ppt)

60) Montzka, S. A., Dutton, G. S., Yu, P., Ray, E., Portmann, R. W., Daniel, J. S., Kuijpers, L., Hall, B. D., Mondeel, D., Siso, C., et al.: An unexpected and persistent increase in global emissions of ozone-depleting CFC-11, Nature, 557, 413, 2018.

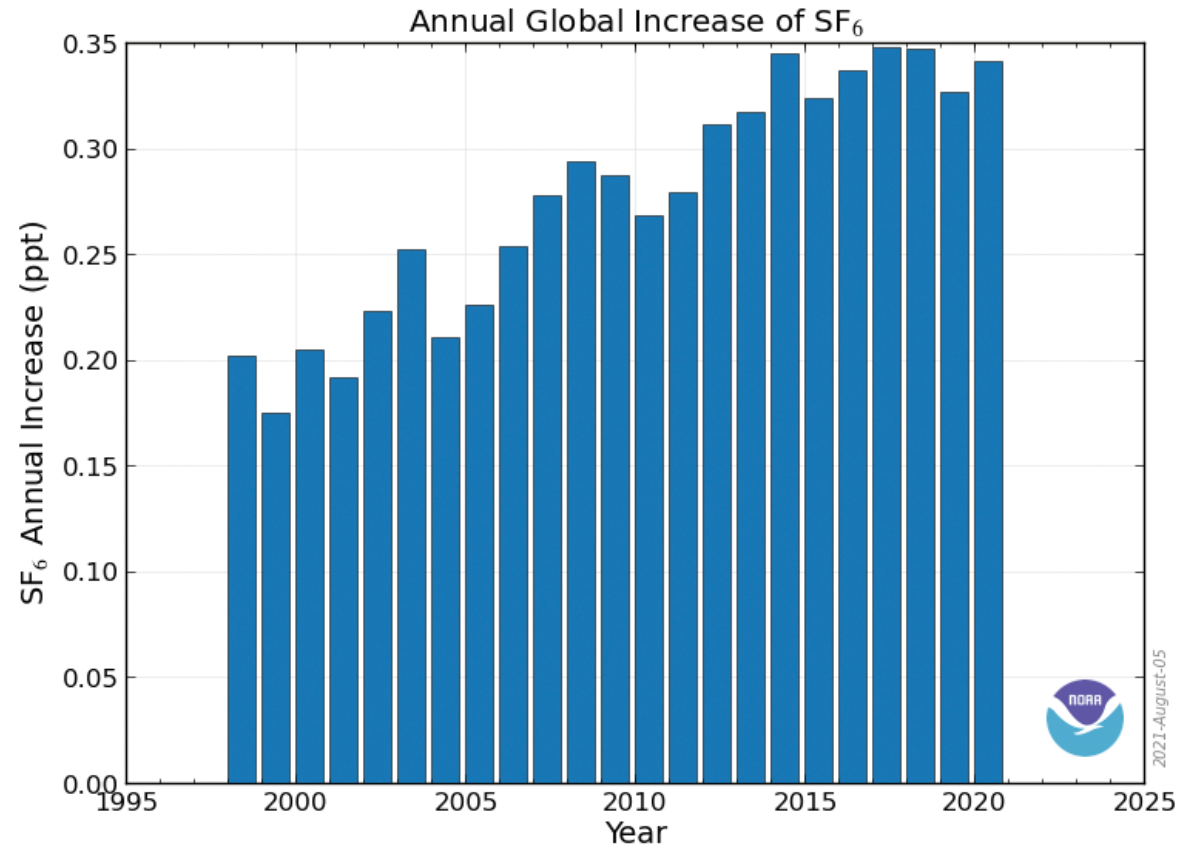


그림 4.16. 전지구 평균 육불화황의 연간 증가량<sup>61)</sup>

한반도의 염화불화탄소류의 농도는 계속해서 감소하고 있다. CFC-11은 점차 감소해 관측을 시작한 1999년에 비해 약 43.9 ppt 감소하여 2020년 그 농도가 224.0 ppt이다(2020 지구대기감시 보고서, 2021).

2020년 안면도의 CFC-11 농도(224.0 ppt)는 전지구 평균(224.0 ppt)과 동일한 값으로 나타났다(표 4.9). CFC-12의 경우, 안면도와 전지구 농도 사이에 0.4 ppt의 차이가 존재하였으며, 2020년의 전지구 농도 감소에 비해 안면도에서의 감소(-1.0 ppt)가 다소 낮게 나타났다. 안면도에서 2020년 CFC-113 연평균 농도가 68.9 ppt로 2007년(78.8 ppt)과 비교하면 약 9.9 ppt 감소했다.

표 4.9. 우리나라와 전지구 염화불화탄소 농도의 비교

	전지구			안면도		
	CFC-11	CFC-12	CFC-113	CFC-11	CFC-12	CFC-113
2020 평균(ppt)	224.0	497.2	69.0	224.0	496.8	68.9
2019년 대비 2020년 절대 증가값*	-2.4	-4.2	-0.6	-5.1	-1.0	-1.0
최근 5년간 절대 증가값 평균(ppt/년) (2015~2019년)	-1.5	-3.7	-0.6	-1.4	-5.1	-0.5

\* 절대 증가값 = 올해 연평균값 - 전년도 연평균값

북반구의 관측소에서는 CFC-11이 1992년에 최고값을 보였다가 감소추세를 보이며, CFC-12는 2005년에 최고값을 보였다가 감소추세를 보이고 있다(그림 4.17). CFC-12의 경우 대기 중 체류시간이 다른 두 물질에 비해 상대적으로 길기 때문에 규제에 대한 실제 반응속도는 늦고, 따라서 감소 추이가 상대적으로 늦다.

한편, Montzka et al.(2018)는 2010년에 배출량 0으로 보고된 CFC-11 농도가 실제 대기 관측으로 2002년과 2012년 사이에 감소세가 2/3만큼 완화된 것을 발견하였다. 이러한 감소세 둔화의 원인이 2012년 이후 배출량 증가 때문이라고 설명하였으며, 기류분석 및 다른 가스 종들과의 상관관계 등을 통해 동아시아 지역을 배출원으로 지목하였다. 동아시아의 실제 대기의 농도가 다시 감소하고 있음이 2021년 발표되었다<sup>62)</sup>.

61) 출처: [https://gml.noaa.gov/ccgg/trends\\_sf6/](https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_sf6/)

62) Park, S., L. M. Western, T. Saito, A. L. Redington, S. Henne, X. Fang, R. G. Prinn, A. J. Manning, S. A. Montzka, P. J. Fraser, A. L. Ganesan, C. M. Harth, Jooil Kim, P. B. Krummel, Q. Liang, J. Muhle, S. O'Doherty, H. Park, M.-K. Park, S. Reimann, P. K. Salameh, R. F. Weiss, and M. Rigby, 2021: A decline in emissions of CFC-11 and related chemicals from eastern China, Nature, <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03277-w>.

## 4.2. 성층권 오존

## 요약

- 2020년 오존전량 연평균 값은 서울, 안면도, 츠크바(일본), 고산, 나하(일본)의 5개 지점에서 2019년에 비해 소폭 증가함.
- 대체로 봄에 높고, 가을에 낮은 계절변동을 나타내며, 고위도로 갈수록 월별 변화폭이 큼.

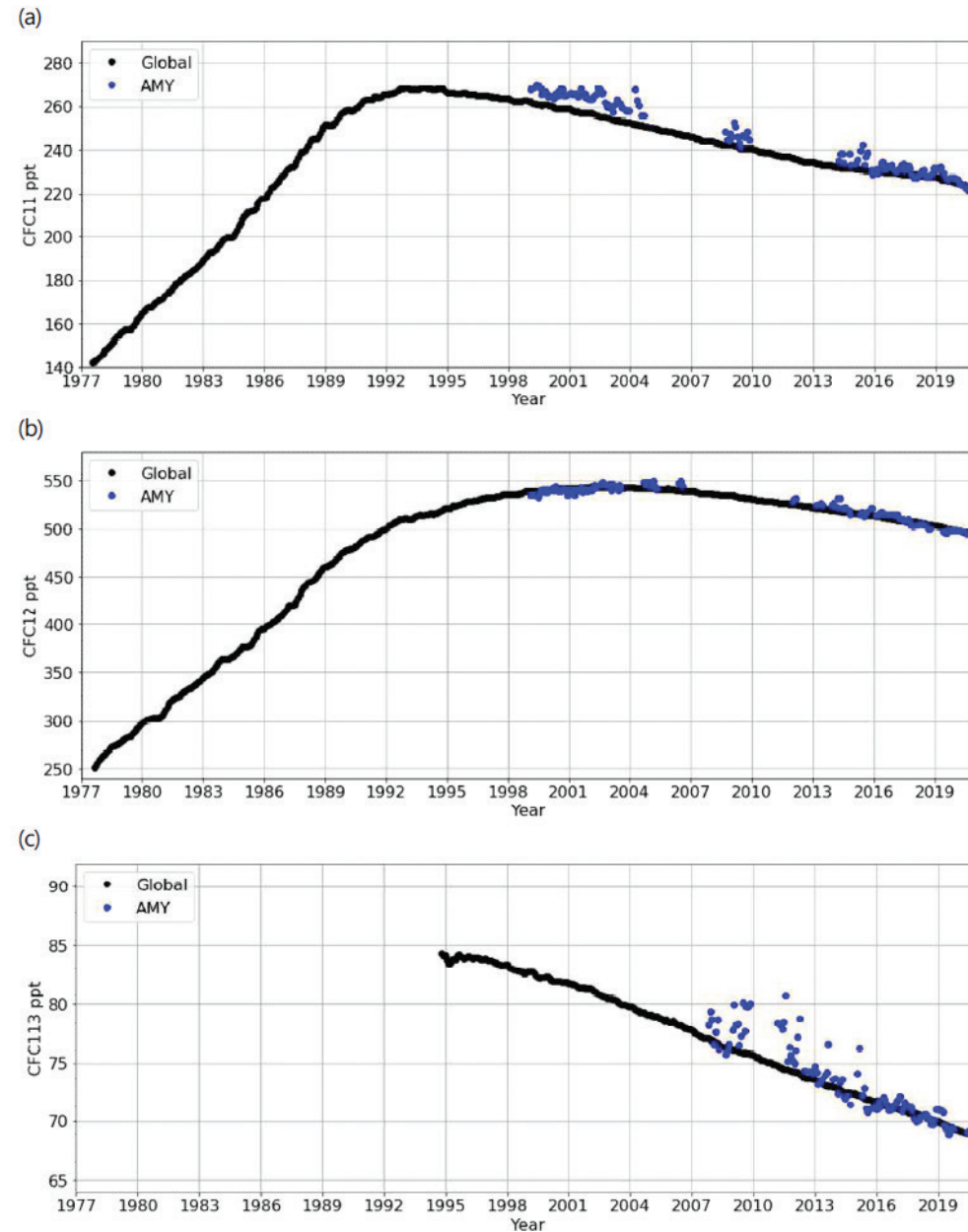


그림 4.17. 안면도(AMY, 청색)와 전지구(Global, 검정색)의 (a) CFC-11, (b) CFC-12, (c) CFC-113의 배경농도<sup>63)</sup>

오존층은 태양으로부터 지구대기로 입사한 유해 자외선 복사를 흡수하여 자외선으로부터 인간과 생태계가 유지될 수 있도록 보호하고 지구의 기후 조절에 중요한 역할을 하고 있다.

성층권에 존재하는 오존은 지구 대기에 존재하는 오존의 약 90%를 차지하며 대기에 도달하는 태양복사 중 자외선 영역을 흡수해 산소분자와 원자로 분해되는 과정에서 인간과 생태계에 피해를 주는 자외선을 차단한다.

성층권 25 km 고도에서 오존농도는 15 ppm으로 지상의 50~100배 정도 높게 나타나며, 일반적으로 오존전량은 적도에서 최솟값을 갖고 극지방에서 최댓값을 갖는다.

자외선은 복사파장, 태양 천정각, 오존 및 기타 미량가스, 구름, 에어로졸, 알베도, 고도, 지구와 태양 간 거리 등에 의해 영향을 받는다. 자외선은 파장에 따라 자외선 A(320~400 nm), 자외선 B(280~320 nm), 자외선 C(100~280 nm)로 구분할 수 있다. 생명체에 매우 유해한 자외선 C는 약 35 km 고도까지 오존에 의해서 모두 흡수되고 자외선 B는 약 90%가 대기 중에 흡수되어 일부만 지표에 도달하나, 자외선 A는 흡수되지 않고 대부분 지표에 도달한다.

자외선 복사의 변화폭은 매우 크며 대기 변화에 크게 영향을 받는다. 오존 변화가 자외선에 영향을 끼치며 파장이 짧은 영역에서 변화가 크기 때문에 오존층이 파괴되면 지표면의 자외선 복사가 증가하여 피부암과 백내장의 발병률이 증가하고 식물, 농작물, 해양 플랑크톤에도 악영향을 미친다.

63) 출처:2020 지구대기감시 보고서(기상청, 2021)



## 4.2.1 오존 전량<sup>64)</sup>

2020년 오존전량 연평균 값은 서울(334 DU), 안면도(324 DU), 츠쿠바(일본, 310 DU), 고산(308 DU), 나하(일본, 268 DU)의 5개 지점에서 2019년보다 소폭 증가하였으나, 삿포로(일본, 348 DU)에서는 소폭 감소하였다. 오존 전량은 위도가 낮을수록 낮은 농도를 나타낸다(그림 4.18).

2020년 안면도 오존 전량은 최근 7년대비 약 0.5% 증가한 것이며, 고산의 경우 최근 9년 대비 2.0% 증가한 것이다.

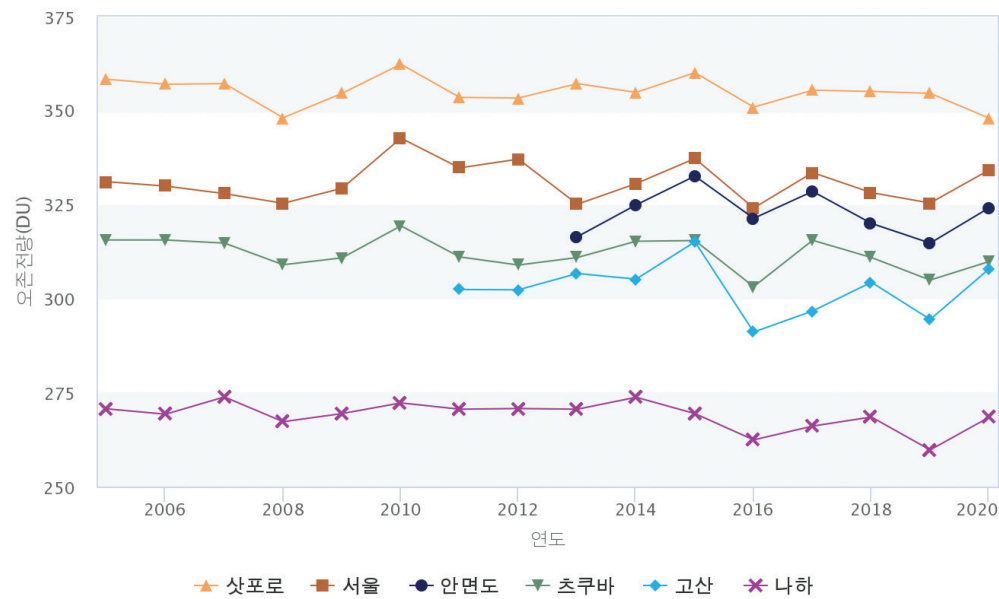


그림 4.18. 2005년 이후 삿포로(일본), 서울, 안면도, 츠쿠바(일본), 고산, 나하(일본)의 연평균 오존 전량<sup>65)</sup>

그림 4.19에 제시되어 있듯이, 한국과 일본의 6개 관측 지점 모두에서 오존전량은 봄철에 높고 가을철에 낮게 나타나는 유사한 경향을 보여주며, 고위도로 갈수록 월별 변화폭이 크다.

오존전량은 계절별로 달라지는데, 늦가을과 겨울 동안 열대지방에서 극지방으로의 오존 수송이 증가하여 오존전량은 봄철 고위도에서 최댓값을 나타낸다.

안면도의 월평균 최댓값은 4월(383 DU), 최솟값은 10월(280 DU)에, 고산의 최댓값은 4월(361 DU), 최솟값은 10월(275 DU)에 각각 나타났다. 2020년에는 안면도와 고산 모두 전체적으로 최근 평균과 비슷한 수준의 관측값을 나타냈으나 4월에 평균값 대비 가장 큰 차이를 보이며 높았다.

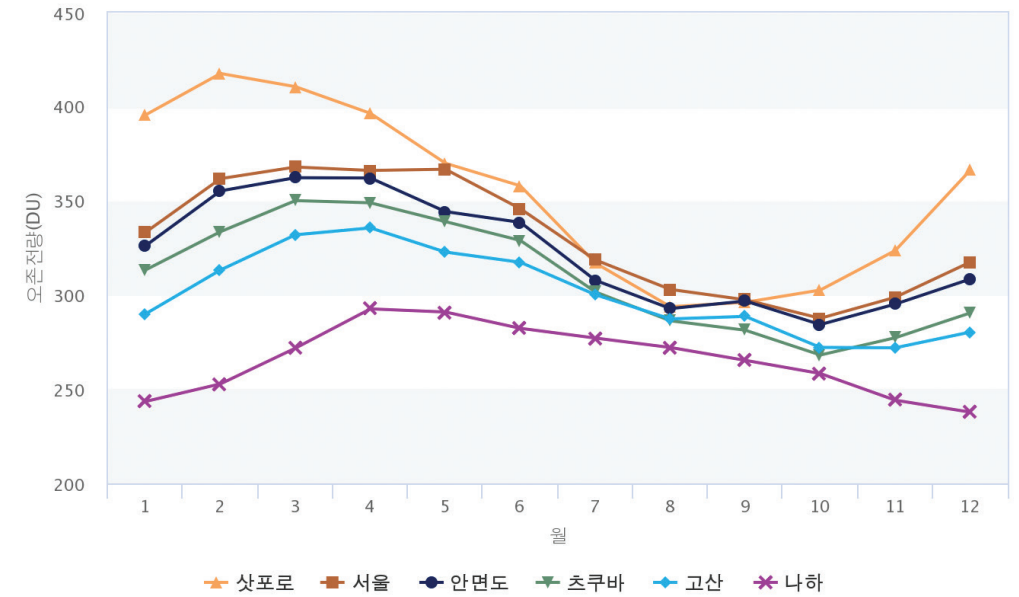


그림 4.19. 최근 5년(2016~2020년) 동안 삿포로(일본), 서울, 안면도, 츠쿠바(일본), 고산, 나하(일본)의 오존전량 월변화<sup>66)</sup>

64) 브루어 오존분광광도계(Brewer spectrophotometer)를 이용하여 해당 감시소 상공에 존재하는 오존의 총량을 관측하고 있으며, 관측값은 돌슨 단위(Dobson Unit, DU)로 기록됨.

65) 출처: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>) → 기후변화감시 → 종합 기후변화감시정보

66) 출처: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>) → 기후변화감시 → 종합 기후변화감시정보

## 4.2.2 오존 연직 분포<sup>67)</sup>

오존 연직분포는 연직 공기기둥에 존재하는 각 층의 오존량을 의미하며 오존의 광화학 반응 및 대기 수송 등에 의해 결정된다. 오존은 강한 자외선에 의한 광화학 작용으로 인해 일반적으로 성층권 중·하부(20~30 km)에서 최고 농도대를 형성하며, 성층권하부·대류권 상부(9~16 km)에서 성층권-대류권 상호 교환이 발생한다.

그림 4.20은 연도별(1995~2020) 포항의 연직 오존의 연평균 농도 분포를 나타내는 그래프이다. 19~28km 층에서 최대 오존농도를 보인다. 1995년부터 관측된 전체기간 평균 자료와 비교하여 2020년 최대 오존농도 층에서는 미미한 감소를, 대류권 상부에서는 반대로 미미한 증가세를 보였다.

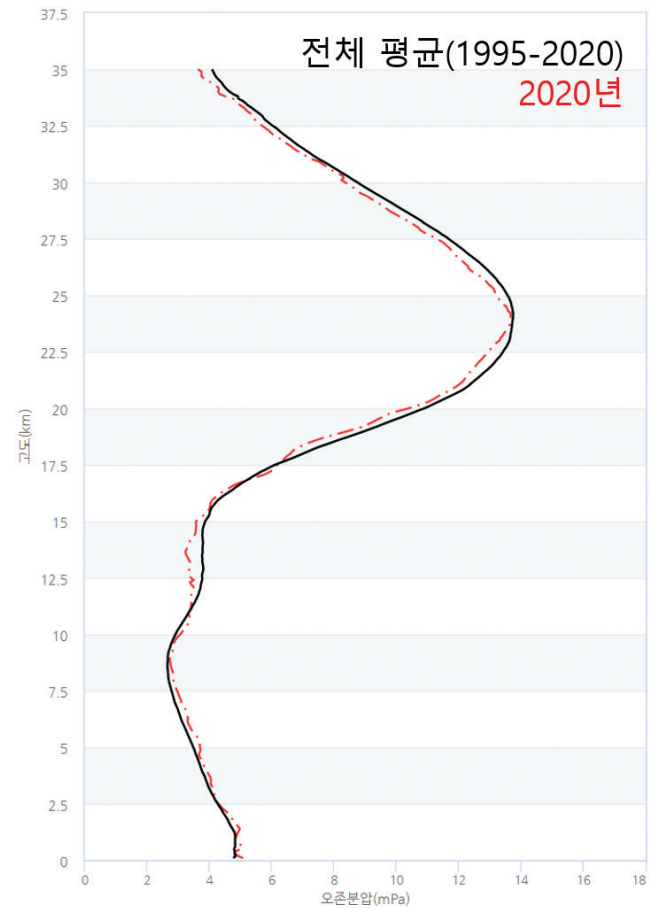


그림 4.20. 포항에서 관측된 연직 오존의 농도 분포. 1995-2020년 평균(검은색)과 2020년 평균(붉은색)<sup>68)</sup>

67) 오존존데를 이용한 연직분포 관측은 WMO 권고에 따라 주 1회의 관측주기로 매주 수요일 실시하는 것을 원칙으로함. ECC 오존존데는 1200~2000 g 정도로 무게가 가볍고 부피가 작아 일반적으로 30 km 이상까지 관측이 가능하며, 오존존데의 관측 원리는 오존과 요오드화칼륨(KI) 용액의 화학 반응을 활용한다. 사전준비절차를 통해 센서에 투입된 KI(potassium iodide) 용액은 존데가 비양하면서 흡입되는 공기 중의 오존 분자와 반응하여 전류를 발생시키는데, 이때 발생하는 전류를 측정하여 오존량을 추정함(출처: 2020 기후변화감시 보고서, 2021).

68) 출처: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>) → 기후변화감시 → 종합 기후변화감시정보

2020년 포항 상공의 월평균 연직 오존 분포를 보면(그림 4.21), 고농도 오존은 주로 고도 20~26 km에 분포하며, 2~5월에 가장 높게 나타났다. 특히, 2020년 3월에서 4월에는 약 20~24 km 고도에서 최대 농도 값이 나타났으며, 8월에 가장 높은 고도에서 최대 농도가 나타났다. 한편, 대류권에 해당하는 약 9 km 이하의 고도에서는 6월에 최대 농도가 나타났으며, 이는 초여름의 강한 태양복사에 기인한 것으로 보인다. 계절에 따른 고도별 농도변화는 성층권 하층과 대류권 상부(9~16 km)에서 가장 뚜렷하게 나타났다.

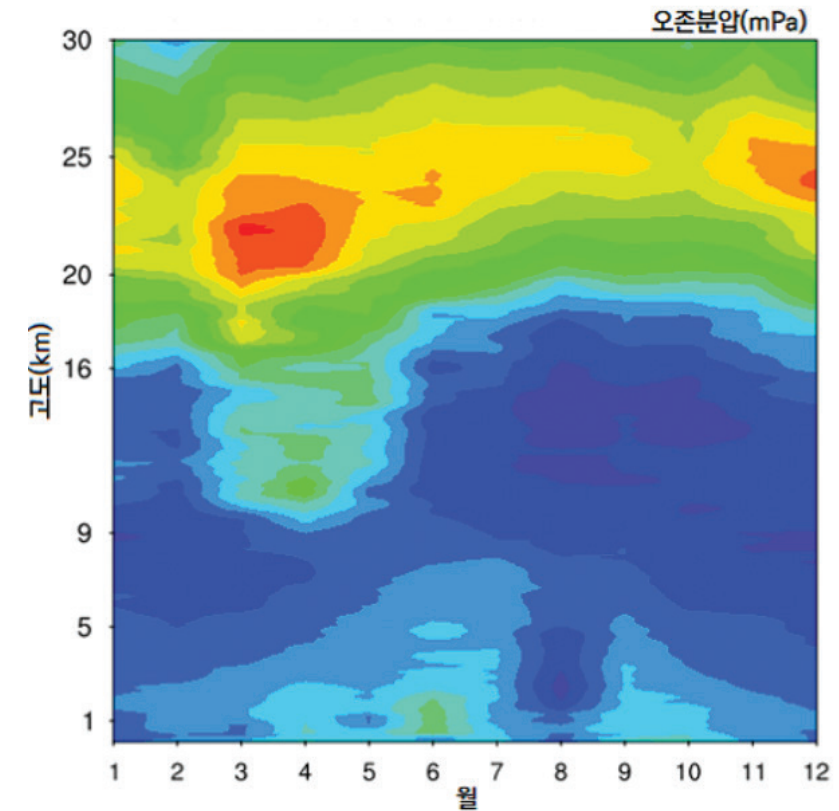


그림 4.21. 2020년 포항지역의 오존농도 연직 분포<sup>69)</sup>

69) 출처: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>) → 기후변화감시 → 종합 기후변화감시정보

### 4.3. 에어로졸

#### 요약

- 안면도의 연평균 PM10 질량 농도와 광산란계수는 관측 이래 최저치가 나타남.
- 2020년 안면도의 PM10 질량농도 연평균은  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 최근 10년 대비 25% 낮아짐. 고산의 경우 연평균 PM10 질량농도는 안면도 보다 높은  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 최근 9년 대비 6.7% 낮아짐.
- 2020년 연평균 에어로졸 광산란 계수와 광흡수 계수(안면도)는  $74.4 \text{ Mm}^{-1}$ 와  $8.6 \text{ Mm}^{-1}$ 로, 광산란계수는 최근 10년 대비 26%가 감소하였으나, 광흡수계수는 최근 10년 대비 6.9% 증가함.
- 옹스트롬 지수는 주로 큰 입자로 구성된 황사의 영향을 받은 봄에 작은 값을 보였고, 여름·가을에 대체로 큰 값을 보였음.
- 에어로졸 총수농도는 활발한 입자생성으로 가을에 최대를 보이거나, 증감 추세는 뚜렷하지 않음.

에어로졸은 자연적 또는 인위적으로 배출되는 고체상의 물질로 기후변화와 대기오염에 막대한 영향을 미친다.

에어로졸은 공기 중에 떠 있는 고체 또는 액체 상태의 작은 입자로 보통 직경이  $0.001\sim 100 \mu\text{m}$  정도이다. 황사, 화산재, 해염 등은 자연적으로 발생, 검댕, 유기화합물은 인위적으로 발생하는데, 그 기원에 따라 종류와 특성이 매우 다양하게 나타난다.

에어로졸은 평균적으로  $-0.22[-0.47\sim 0.04] \text{ W}/\text{m}^2$ 인 음(-)의 유효복사강제력(ERF)을 갖는다(기후 변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 6차 보고서, 2021년). 또한, 에어로졸은 구름 응결핵으로 작용하며 지구복사수지에 영향을 끼치는데, 이와 같은 간접효과에 의한 유효복사강제력은  $-0.84[-1.45\sim -0.25] \text{ W}/\text{m}^2$ 이다.

대기 중 구름의 형성 및 특성과 관계있는 에어로졸이 기후에 미치는 영향은 매우 광범위하고 불확실성이 크다. 한편 대기 중 미세먼지, 특히 직경이  $2.5 \mu\text{m}$  이하의 초미세먼지(PM2.5)는 호흡기질환 및 심질환에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

### 4.3.1 에어로졸 물리적 특성: 질량 농도와 수농도

그림 4.22와 그림 4.23은 안면도(2004~2020년)와 고산(2011~2020년)에서 관측된 PM10 질량농도의 연평균 변화 시계열과 월변화를 각각 그린 것이다.

안면도 PM10 연평균 질량농도의 2020년 월평균은  $17\sim 36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  구간에 분포하며, 연평균은  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이었다. 이는 최근 10년(2010~2019년) 대비 25% 낮아진 수치이다.

고산 PM10 연평균 질량농도는 2014년부터 2018년까지 연평균의 변화가 뚜렷하지 않으나, 2019년의 연평균 PM10 질량농도는  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 증가하였다가, 2020년에는 코로나19의 영향으로  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 낮아졌다. 이는 최근 9년 대비 6.7% 낮아진 수치이다. 2020년 고산의 PM10 질량농도 월평균은  $18\sim 37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  사이로 안면도와 유사하며, 최근 9년(2011~2019년)간 월별 평균과 비교할 때 8월은 과거 보다 높았고, 나머지 달은 비슷하거나 낮은 농도를 보였다.



그림 4.22. 안면도(2004~2020년), 고산(2011~2020년)의 PM10 연평균 농도. 직경이  $10 \mu\text{m}$  이하인 입자(PM10)에 대한 에어로졸의 질량농도 그래프<sup>70)</sup>

70) 출처: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>) → 기후변화감시 → 종합 기후변화감시정보

안면도는 4~5월( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 고산은 5월( $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 봄철에 가장 높았고, 안면도는 7~8월( $26\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 고산은 9월( $22\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 등 주로 여름철에 가장 낮은 PM10 질량농도를 보였다.

한편, 2020년 울릉도의 PM10 질량농도 연평균은  $17\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 안면도, 고산에 비해 약 37%~39% 낮은 수준이었다.

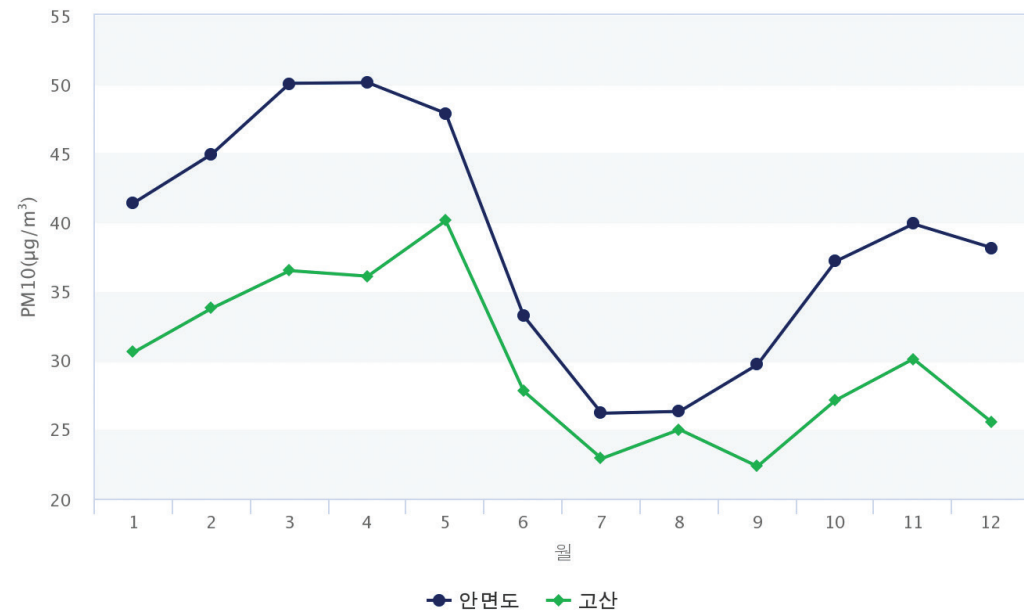


그림 4.23. 안면도와 고산의 PM10 질량농도 월변화( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>71)</sup>

에어로졸 수농도와 크기 분포<sup>72)</sup>는 모든 이차 에어로졸 생성 과정 및 구름 응결핵 생성 과정, 그리고 황사와 같은 에어로졸을 감지하는데 있어 기본이 되는 정보이다.

안면도와 고산에서 측정된 총수농도의 월변동을 보면(그림 4.24), 2020년에 관측된 안면도의 월별 총수농도는 9, 10월을 제외하고 최근 10년(2010~2019년)의 월평균과 비슷하였다. 고산의 경우는 8월의 총수농도가 최근 8년(2012~2019년) 평균의 약 62% 수준으로 낮았으며, 예년에 비해 8월에 입자의 수농도가 급감하여 나타났다. 두 감시소 모두 에어로졸 입자 생성이 비교적 활발한 봄철과 가을철에 총수농도가 증가하여 나타났다.

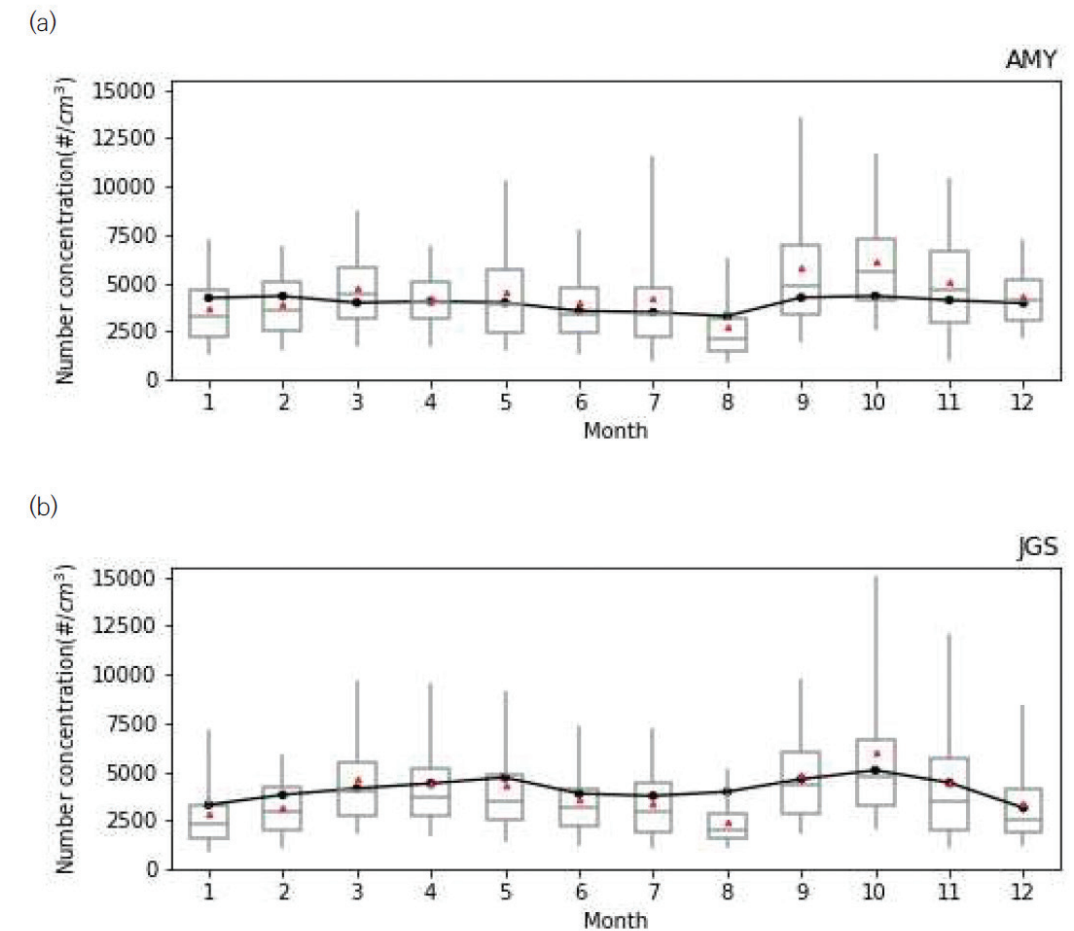


그림 4.24. (a) 안면도(AMY), (b) 고산(JGS)의 총수농도( $\#/ \text{cm}^3$ ) 월변화. 2020년 월별분포(상자의 세로 실선 양끝은 5%, 95% 값, 상자 양끝은 25%, 75% 값, 상자 가운데 실선은 중간값, 빨간색 삼각형은 평균)과 2010~2019년(안면도), 2012~2019년(고산) 평균(점-선)<sup>73)</sup>

71) 출처: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>) → 기후변화감시 → 종합 기후변화감시정보

72) 에어로졸 생성 과정 분석을 위해서는 전자기유도 입자계수기(SMPS)를 통해 0.01~0.5  $\mu\text{m}$  입경구간의 크기별 수농도와 총수농도를 측정함. 입경 크기가 0.5  $\mu\text{m}$ 부터 수십  $\mu\text{m}$ 에 이르는 구간은 광학입자계수기(OPC 또는 APS)를 이용하여 측정함. 구름응결핵 관련된 분석을 위해서 응결핵계수기(CPC)를 이용하여 모든 입경 구간에 존재하는 에어로졸 총수농도를 측정함.

73) 출처: 2020 지구대기감시 보고서(기상청, 2021)



## 4.3.2 에어로졸 광학적 특성

그림 4.25는 2020년에 관측된 안면도, 고산, 울릉도의 입자 크기별 부피농도 분포<sup>74)</sup>(0.5~20  $\mu\text{m}$ )를 그린 것으로, 세 감시소 모두 미세입자 영역( $1\ \mu\text{m}$  이하)과 조대입자 영역에 피크가 관측되는 양봉형(bi-modal) 분포를 보였다. 특히 황사와 초미세먼지의 영향이 빈번히 나타나는 겨울철과 봄철에 이러한 분포가 뚜렷하게 나타났다.

안면도와 고산은 울릉도에 비해 고농도 사례가 빈번하게 관측되었다. 특히, 안면도의 경우 6월에 미세입자 영역의 부피 농도가 크게 증가한 것이 두드러진다. 울릉도는 안면도와 고산과 비교하여 배출원으로부터 거리가 먼 지리적 위치로 인해 상대적으로 전 기간에 걸쳐 농도가 낮게 측정되었다.

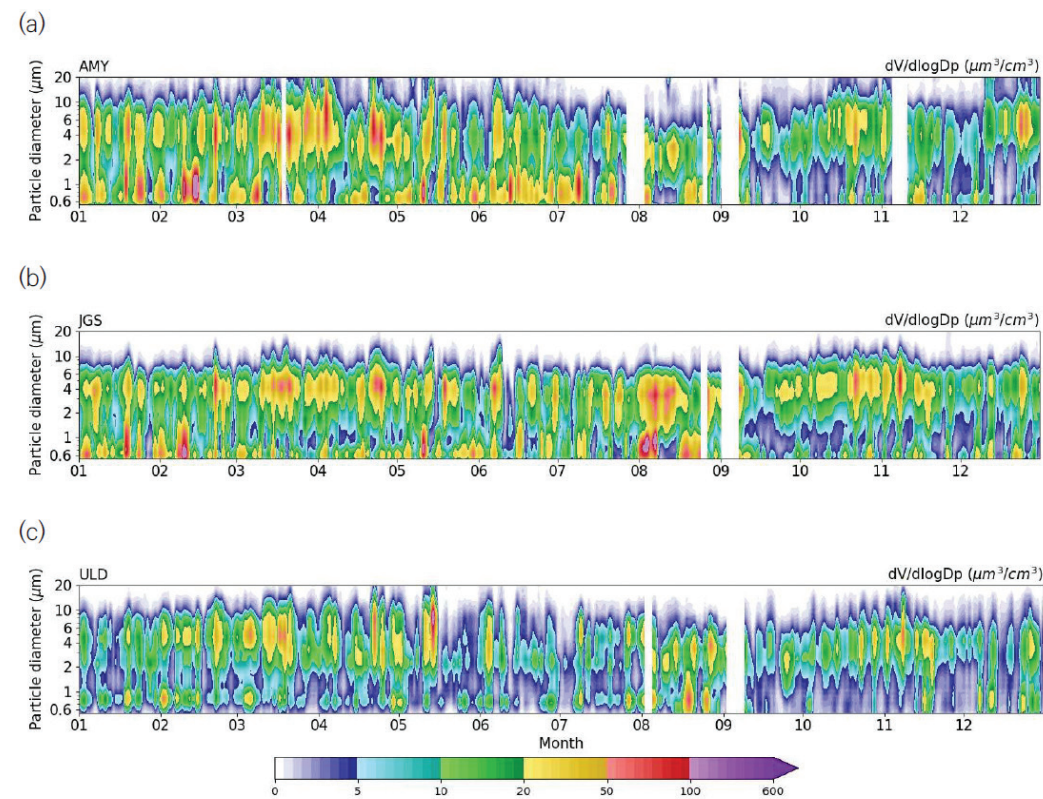


그림 4.25 (a) 안면도와 (b) 고산, 그리고 (c) 울릉도에서 관측한 2020년 입자크기별 에어로졸 부피농도( $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$ )<sup>75)</sup>

2020년 안면도의 월평균 에어로졸 광산란계수(550 nm)는  $44.0\sim 108.2\ \text{Mm}^{-1}$  범위에서 관측되었으며, 2월과 9월에 월평균 최댓값과 최솟값이 관측되었다(그림 4.26).

2020년의 월평균 에어로졸 광산란계수는 과거 10년 평균(2010~2019년)에 비해 월별로 14~44% 낮게 관측되었다. 이는 앞서 기술한 낮아진 PM10의 질량농도와 일치하는 결과이다. 2020년 월평균 최댓값이 관측된 2월의 경우, 특히 에어로졸 고농도 사례(상자의 수염 75~95% 자료)가 월평균 상승에 기여한 것이다.

안면도에서의 연평균 에어로졸 광산란계수는 2003년 이후 전반적으로 감소하는 추세를 보이거나 ( $-5.5\ \text{Mm}^{-1}/\text{year}$ ), 2016년부터는 거의 정체되어 연변화가 없는 것으로 나타났다.

2020년 연평균 에어로졸 광산란계수는  $74.4\ \text{Mm}^{-1}$ 로 관측 이래 가장 낮았고, 최근 10년(2010~2019년) 평균( $101.2\ \text{Mm}^{-1}$ )보다 26% 감소한 값이다.

74) 단위 체적당 입자의 수농도가 낮은 직경  $1\ \mu\text{m}$  이상의 비교적 큰 입자(예, 황사)를 분석하기 위해서 크기별 수농도분포보다는 부피농도로 표현함.

75) 출처: 2020 지구대기감시 보고서(기상청, 2021)

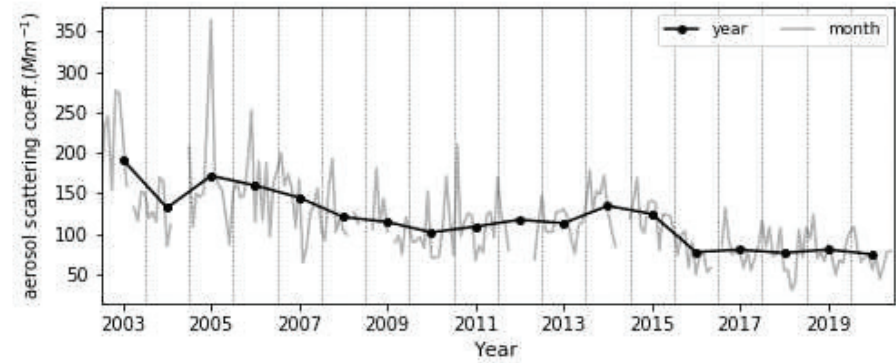
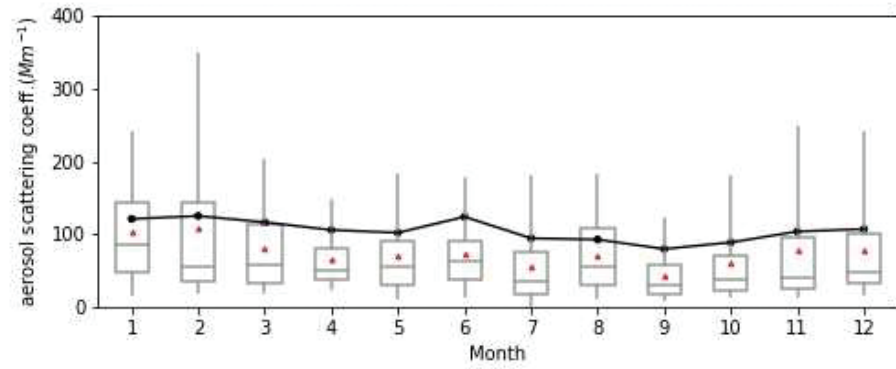


그림 4.26. (위) 2020년 안면도의 550 nm 광산란계수( $Mm^{-1}$ )의 월변화(상자의 세로 실선 양끝은 5%, 95% 값, 상자 양끝은 25%, 75% 값, 상자 가운데 실선은 중간값, 빨간색 삼각형은 평균)과 2010~2019년 평균(점-선).  
(아래) 안면도 에어로졸 광흡수계수(550 nm,  $Mm^{-1}$ )의 연변화<sup>76)</sup>

2020년 안면도에서 측정된 광흡수계수(550 nm)의 월평균은 6.6~13.2  $Mm^{-1}$  범위에서 관측되었으며, 2020년 광흡수계수의 연평균은 8.6  $Mm^{-1}$ 로 최근 10년(2010~2019년,  $8.0 \pm 1.2 Mm^{-1}$ )과 비슷한 수준이다(그림 4.27).

안면도 에어로졸 광흡수계수(550 nm)의 연평균은 2012년에 가장 높았고( $9.4 Mm^{-1}$ ), 이후 점차 감소하다가 2019년에는  $8.2 Mm^{-1}$ 로 2016년 수준으로 다시 높아지는 등 소폭의 연변화를 보이거나, 2010년 관측 이후 2020년까지 증감 추세가 뚜렷하지 않았다.

76) 출처: 2020 지구대기감시 보고서(기상청, 2021)

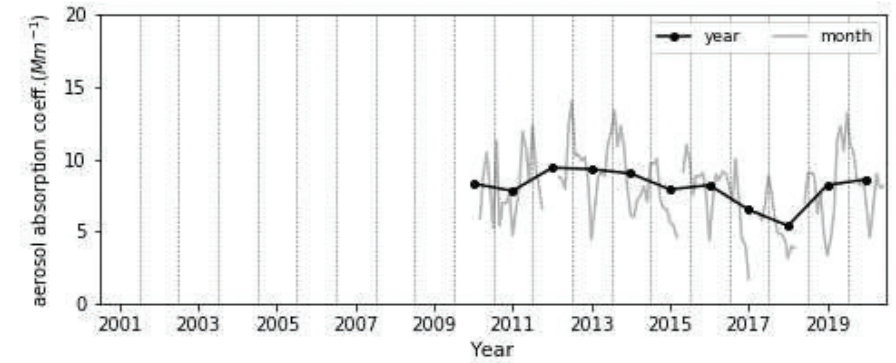
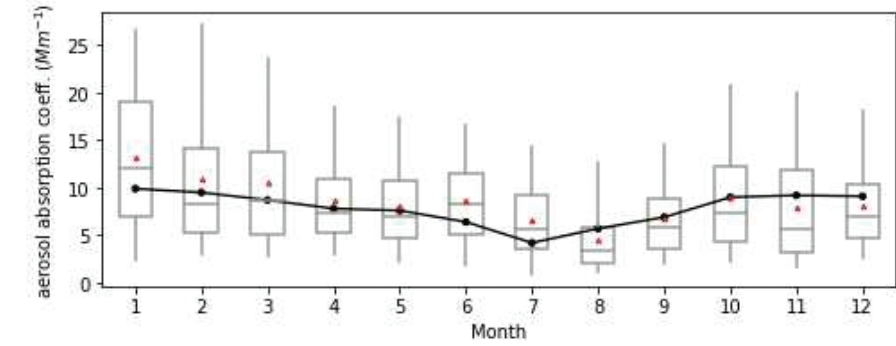


그림 4.27. (위) 2020년 안면도의 550 nm 광흡수계수( $Mm^{-1}$ )의 월변화(상자의 세로 실선 양끝은 5%, 95% 값, 상자 양끝은 25%, 75% 값, 상자 가운데 실선은 중간값, 빨간색 삼각형은 평균)과 2010~2019년 평균(점-선).  
(아래) 안면도 에어로졸 광흡수계수(550 nm,  $Mm^{-1}$ )의 연변화<sup>77)</sup>

77) 출처: 2020 지구대기감시 보고서(기상청, 2021)

에어로졸 광학깊이<sup>78)</sup>(AOD: Aerosol Optical Depth)는 태양복사가 대기의 상한에서 지표까지 도달하는 동안 대기 중에 존재하는 여러 성분들에 의해 감소되는 효과를 나타내는 척도로, 에어로졸의 복사강제력 평가를 위한 가장 중요한 요소이다.

정밀필터 복사계(Precision Filter Radiometer; GAW-PFR) 장비를 이용하여 직달 일사를 관측하고, 세계 광학 깊이 연구 및 교정센터(World Optical Depth Research and Calibration Centre; WORCC)에서 제공한 알고리즘을 적용하여 에어로졸 광학깊이를 계산한다<sup>79)</sup>.

안면도에서 관측된 최근 10년의 에어로졸 광학깊이 분포를 보면 4~6월에 높고, 7~9월에 대체로 낮으며, 월별로는 6월에 최대 7월에 최소로 관측되었다. 에어로졸 광학깊이는 대기 기주의 에어로졸 양에 대체로 비례하며, 산란 효율이 큰 미세입자에 보다 크게 좌우되고, 중하부 대류권에서 생성된 입자의 영향을 받기에, 지상 PM10 질량농도의 월변화 경향과 일치하여 나타나지는 않는다(그림 4.28).

안면도와 고산에서 관측된 에어로졸 광학깊이는 대체로 봄에 큰 값을 보이고 가을과 겨울에 작은 값을 보였다(그림 4.28과 그림 4.29).

2020년 안면도 에어로졸 광학깊이는 3월에 평년보다 낮은 값을 보였으며, 6-8월에 전반적으로 높은 경향을 보였다. 7월 7~9일까지 고농도의 에어로졸 관측이 되었으며, 8월에도 예년에 비해 높은 에어로졸 광학 깊이가 관측되었다(그림 4.28).

안면도에서 관측된 옹스트롬 지수<sup>80)</sup>는 연중 큰 변동이 없었으나, 3, 5월에 가장 낮고, 8월에 가장 높았다. 봄철의 낮은 옹스트롬 지수는 큰 입자로 구성된 황사의 영향 때문이다. 안면도와 고산의 가을과 겨울에 옹스트롬 지수가 상대적으로 큰 것은 이 시기에 에어로졸의 영향이 적거나 상대적으로 작은 입자의 영향이 우세함을 의미한다.

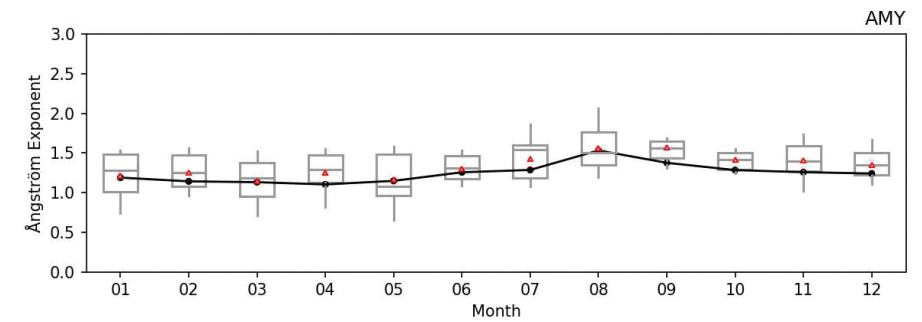
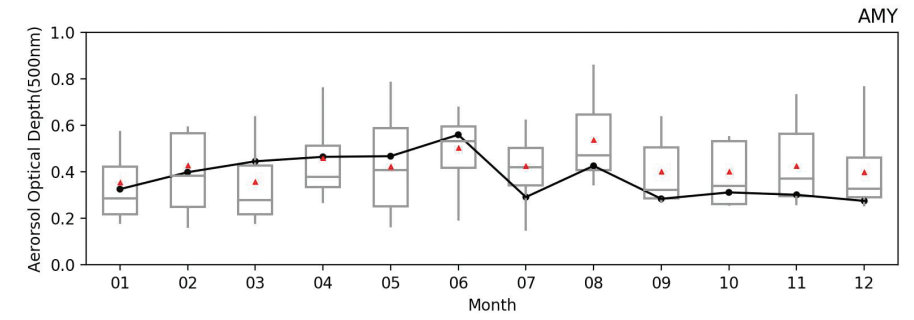


그림 4.28. 2020년 안면도(AMY)의 에어로졸 광학깊이(AOD)와 옹스트롬 지수의 월변화 (상자의 세로 실선 양끝은 5%, 95% 값, 상자 양끝은 25%, 75% 값, 상자 가운데 실선은 중간값, 빨간색 삼각형은 평균, 점-선은 2011~2019년 평균)<sup>81)</sup>

78) 에어로졸 광학깊이(AOD, Aerosol Optical Depth): 태양에너지가 에어로졸에 의해 감소되어 지표에 도달하지 못하고 반사되는 정도를 나타냄. “clean air”의 경우 AOD 값은 0이 되며, AOD 값이 클수록 대기 중 에어로졸이 많이 존재함을 의미함.

79) 상세한 과정은 2020 지구대기감시 보고서(기상청, 2021) 참조.

80) 에어로졸 크기를 상대적으로 판단할 수 있으며, 에어로졸의 평균 입자 크기와 반비례하여 입자가 작을수록 지수가 커진다. 이러한 옹스트롬 지수는 에어로졸 및 구름의 입자 크기뿐 아니라 에어로졸·구름의 광학성질에 의한 파장 의존성을 평가하는데 유용함.

81) 출처: 2020 지구대기감시 보고서(기상청, 2021)

고산에서 관측된 에어로졸 광학깊이의 경우 안면도와 달리, 2020년에는 4월을 제외한 모든 달에서 최근 9년(2011~2019년) 평균보다 낮은 에어로졸 광학깊이가 관측되었다(그림 4.29). 또한, 2020년 평년 대비 에어로졸 광학깊이가 낮고, 옹스트롬 지수가 상승한 것은 큰 입자보다는 작은 입자의 영향을 나타낸다.

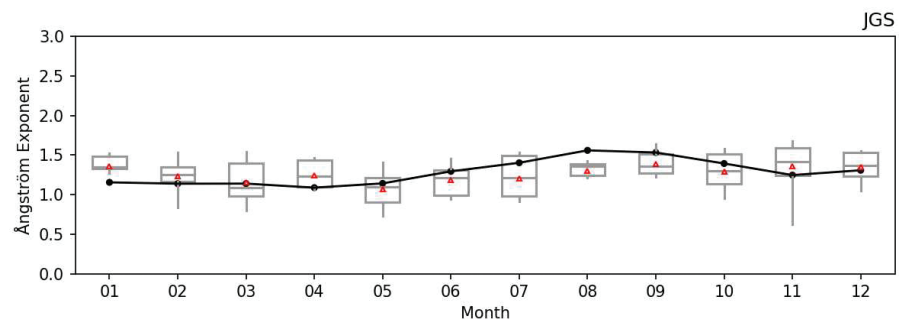
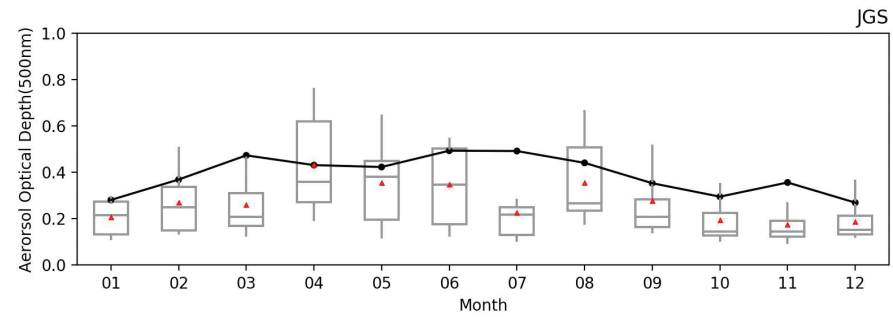


그림 4.29. 2020년 고산(JGS)의 에어로졸 광학깊이(AOD)와 옹스트롬 지수의 월변화  
(상자의 세로 실선 양끝은 5%, 95% 값, 상자 양끝은 25%, 75% 값, 상자 가운데 실선은 중간값, 빨간색 삼각형은 평균, 점-선은 2011~2019년 평균)<sup>82)</sup>

울릉도의 경우, 2020년 상반기 봄철을 중심으로 에어로졸 광학깊이가 높았으며, 4월 최댓값을 보였다. 이후 2020년 하반기에는 낮은 에어로졸 광학깊이를 나타내고 있으며 9월이 가장 낮았다 (그림 4.30). 옹스트롬 지수는 에어로졸 광학깊이가 가장 높은 4월에 최대였으며, 미세입자의 영향을 상대적으로 많이 받았을 것으로 추정할 수 있다.

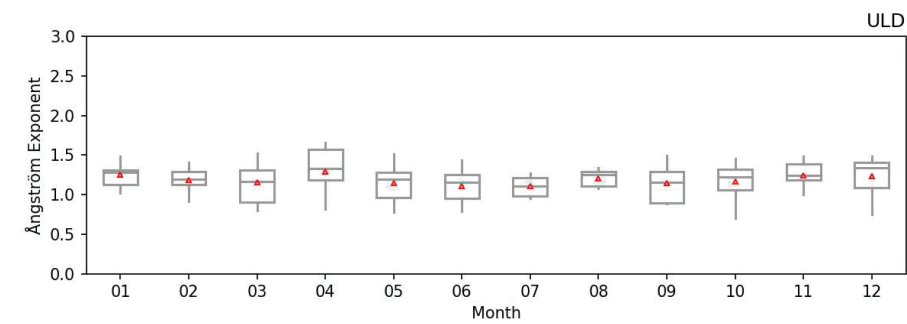
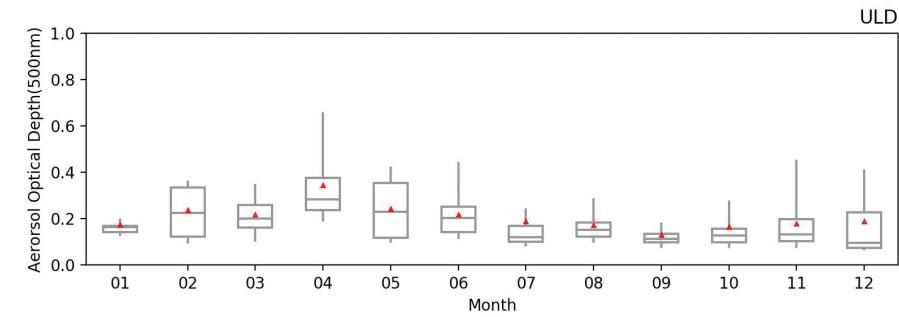


그림 4.30. 2020년 울릉도(ULD)의 에어로졸 광학깊이(AOD)와 옹스트롬 지수의 월변화  
(상자의 세로 실선 양끝은 5%, 95% 값, 상자 양끝은 25%, 75% 값, 상자 가운데 실선은 중간값, 빨간색 삼각형은 평균, 점-선은 2011~2019년 평균)<sup>83)</sup>

82) 출처: 2020 지구대기감시 보고서(기상청, 2021)

83) 출처: 2020 지구대기감시 보고서(기상청, 2021)



# CHAPTER 05

## 탄소 순환

5.1. 온실가스 배출

5.2. 우리나라 광릉수목원 탄소 플럭스 변화



요약

- 최근 60년 (1959~2018년) 동안 전체 CO<sub>2</sub> 배출량의 82%는 화석연료에 의한 것이며, 18%는 토지용도 변경에 의한 것임.
- 2006년부터 우리나라 광릉수목원에서 관측한 CO<sub>2</sub> 플럭스를 분석한 결과, 5~6월 가장 많은 흡수를 하였고, 2016년 이후 순배출이 크게 증가하였음.

전지구 탄소수지는 전지구 탄소순환의 이해 뿐 만 아니라 기후 정책 수립의 지원 및 미래의 기후변화 예측에 매우 중요하다. 특히, 인위적인 이산화탄소 배출량과 배출 이후에 대기, 해양, 지구 육상 생물권으로 어떻게 재분배하는지를 정확하게 평가하는 것이 중요하다(WMO, 2020).

### 5.1. 온실가스 배출

지난 10년(2009~2018년) 동안의 전 세계 화석연료 기반 CO<sub>2</sub> 배출량은 평균 34.7±1.8GtCO<sub>2</sub> (10억톤)/년으로 연평균 0.9%의 비율로 증가했으며, 토지용도 변경 및 지면이용에 따른 이산화탄소 배출량은 5.5±2.6GtCO<sub>2</sub>/년으로 뚜렷한 추세는 나타나지 않았다(그림 5.1).

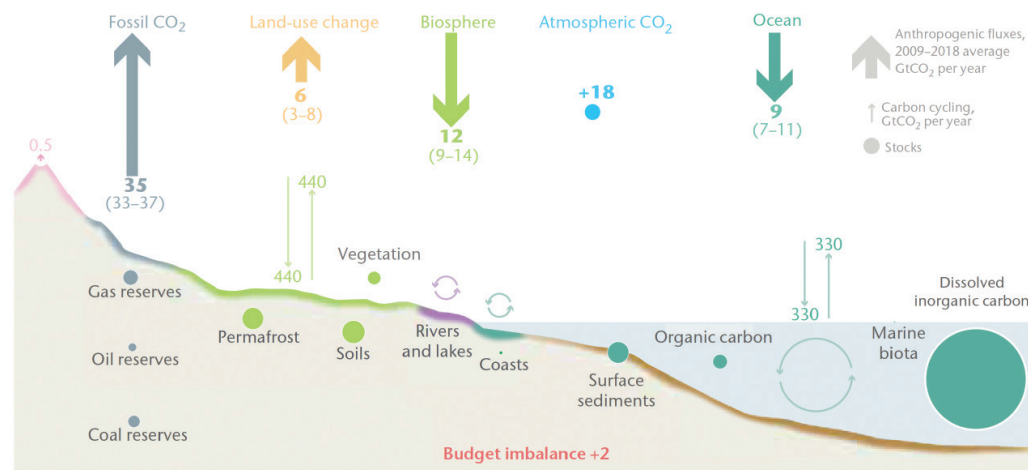


그림 5.1 인간활동에 의한 전지구 탄소순환의 10년(2009~2018년) 평균 수치. 인위적배출원에 의한 플럭스는 자연탄소 플럭스에 추가하여 발생하며, 가는 화살표와 원은 각각 플럭스와 저장을 나타낸다. 총배출량과 총흡수량 간의 불균형은 데이터, 모델링 또는 탄소 순환에 대한 과학적 이해에 격차가 있음을 의미한다 (출처: Friedlingstein et al., 2019).

화석연료 기반 CO<sub>2</sub> 배출량은 지난 두 세기 동안 경기후퇴나 오일쇼크와 같은 주요 경기침체 시기에 소폭 하락하여 증가세가 잠시 주춤되었을 뿐 그 외에는 꾸준히 증가하고 있다. 지난 60년(1959~2018년) 동안 전체 배출량의 82%는 화석연료 CO<sub>2</sub> 배출량에 의한 것이며, 18%는 토지용도 변경에 의해서 배출된 것이다(그림 5.2).

전체 배출량은 대기에 45%, 해양에 24%, 그리고 육지에 29%의 비율로 재분배되며, 나머지 2%는 원인을 알 수 없는 수지 불균형(budget imbalance)이다.

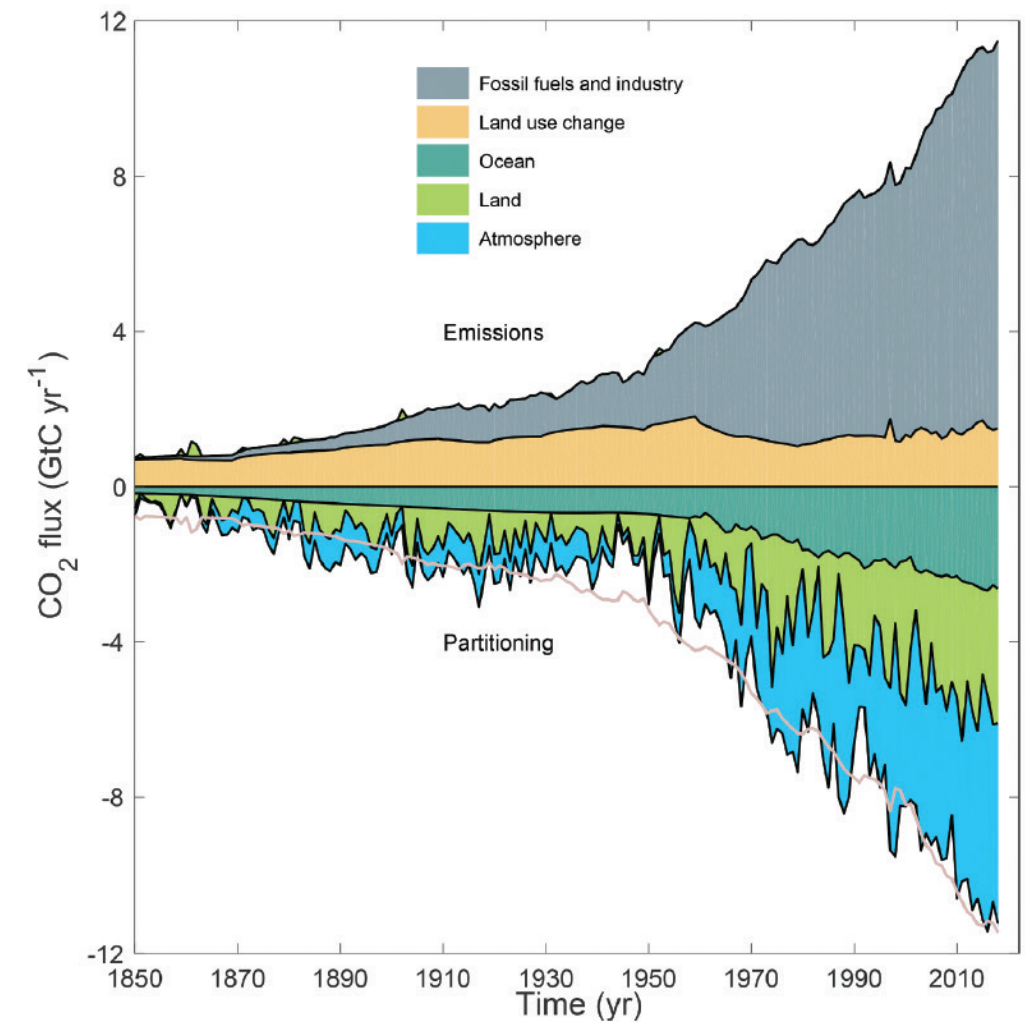


그림 5.2 화석연료 CO<sub>2</sub> 배출량(회색). 토지용도 변경에 따른 배출량(갈색), 대기(청색)-해양(하늘색)-육지(녹색)사이의 재분포에 대한 전지구 탄소 순환의 시계열. 핑크 선은 총배출량을 나타내며, 수지 불균형(budget imbalance)은 총배출량과 해양-육지-대기의 총합과의 차이로 나타난다 (출처: Friedlingstein et al., 2019).

## 5.2. 우리나라 광릉수목원 탄소 플럭스 변화

광릉 관측지는 KoFlux(Korean Flux Monitoring Network; <http://ncam.kr/page/koflux/database/index.php>)의 주요 관측지로 한반도 중서부에 위치한 경기도 포천시 소재 국립수목원내 활엽수림 지역(37°44'56"N, 127°8'57"E: 252m a.s.l.)에 위치한다. 광릉 산림은 550년간 훼손되지 않는 숲으로 국내에서 가장 잘 보존된 자연림으로 꼽힌다. 광릉 활엽수림 관측지는 산림에서 관측된 CO<sub>2</sub> 플럭스 중 국내에서 가장 긴 자료를 보유하고 있다. 2006년부터 자료가 안정적으로 수집되어, 현재도 산림과학원과 기상청의 협력 및 지원으로 꾸준히 관측을 이어나가고 있다. 80~200년 수령의 졸참나무(*Quercus serrata*)와 서어나무(*Carpinus laxiflora*)가 주종을 이룬다(Lee et al., 2007). 군락 높이(canopy height)는 평균 18m이고 최대 엽면적지수(leaf area index)는 약 6으로 여름에 나타난다. 토양은 사양토(75%), 사질식양토(13%), 사토(12%)를 함유하고 있다.

그림 5.3은 광릉수목원에서 관측된 CO<sub>2</sub> 플럭스의 월별 평균 일 변동을 나타낸다. 식생의 활동이 활발한 기간(5~9월) 동안 이산화탄소 플럭스는 밤에는 양의 값(CO<sub>2</sub> 방출)을 갖고, 낮에는 음의 값(CO<sub>2</sub> 흡수)을 갖는 뚜렷한 일 변동을 보였다.

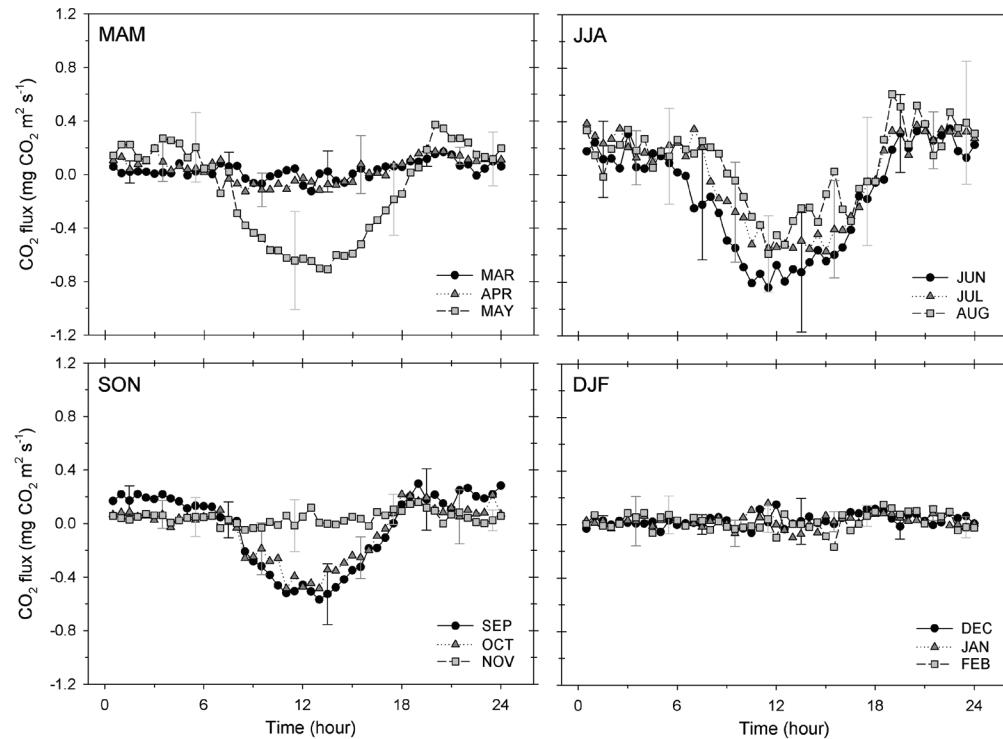


그림 5.3. 광릉 활엽수림의 월별 CO<sub>2</sub> 플럭스의 평균 일 변동(2020년 3월~2021년 2월). 오차막대는 각 시간대의 가용한 자료들의 표준편차를 나타냄(출처: 기상청, 2021).

2006년부터 관측된 CO<sub>2</sub> 플럭스 결과를 보면(그림5.4), 연적산 시 약한 탄소 흡원이거나 중립(0 gC·m<sup>-2</sup>·year<sup>-1</sup> 내외)을 이루다가 최근(2016년 이후)에는 지속적으로 탄소 발원으로 나타났는데 이는 기후요인 뿐만 아니라 생태계 내부 요인으로 설명할 수 있다(Yang et al., submitted). 최근에 연간 전천일사가 지속적으로 증가했는데, 이에 따라 지표면 온도도 같이 증가하였다. 광포화점이 낮은 광릉 활엽수림의 경우 지표면 온도가 올라갈수록 광합성량은 최적 온도 이상(27℃ 주변)에서 줄어들고, 고사목 분해를 포함한 생태계호흡량은 상한 없이 지수함수적으로 증가하였다. 이는 2015년 이후에 전천일사 증가에 따라 지표면 온도가 증가하자, 생태계호흡량의 증가가 광합성량의 증가보다 상대적으로 더 커져서 발원이 되었음을 나타낸다. 이렇게 생태계호흡량이 증가한 또 다른 원인으로는 최근 광릉 활엽수림에 고사목 발생이 증가했기 때문으로 파악된다. 고사목이 증가한 이유에는 여러 가지가 있을 수 있으나, 2010년과 2012년에 광릉 활엽수림을 강타한 태풍 곤파스와 블라벤이 주된 이유로 조사되었다(Korea National Arboretum, 2020).

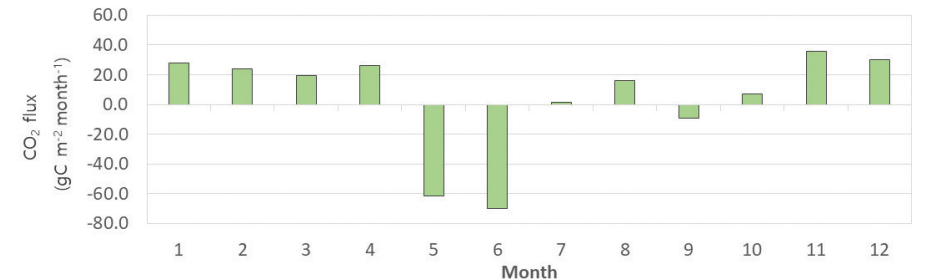
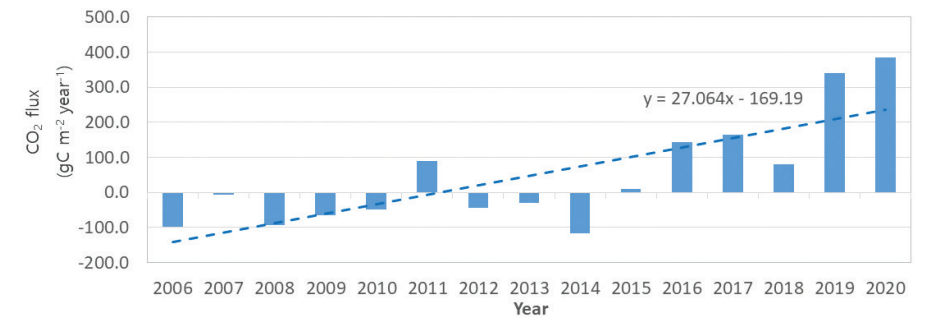
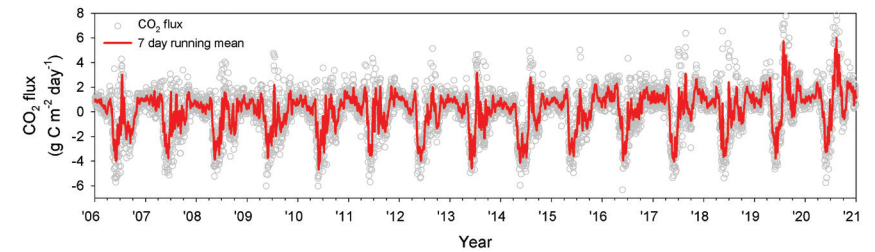


그림 5.4. (상) 광릉 활엽수림에서 관측된 2006~2020년 일적산 CO<sub>2</sub> 플럭스(출처: 기상청, 2021). (중) 연적산 CO<sub>2</sub> 플럭스 (하) 월평균 CO<sub>2</sub> 플럭스

# CHAPTER 06

## 해양

- 6.1. 해수면 높이
- 6.2. 수온과 염분
- 6.3. 해양 열용량
- 6.4. 열대성 저기압





## 요약

- 2020년 해수면 높이는 평년에 비해 거의 모든 해역에서 높았고, 1993년부터 2020년까지 83.4mm 상승하였음.
- 2020년 해수면 온도는 북반구에서 대체로 평년에 비해 높았고, 라니냐의 영향으로 적도 태평양 동쪽에서는 평년에 비해 낮았고 남극해의 수온도 평년에 비해 낮았으며, 1958년 이후 2020년까지 남극해를 제외한 모든 해역에서 꾸준히 증가하는 추세를 보임.
- 2020년 해수면 염분은 태평양 동부와 인도양 서쪽에서는 평년보다 낮았고, 나머지 해역에서는 평년보다 높았음.
- 2020년 해양 열용량은 북태평양 아열대, 북대서양 북부, 그리고 남극해를 제외하고 모든 해역에서 양의 편차를 보였으며, 1990년대 이후 빠르게 상승하는 추세를 보임.

해양은 기상에 직접적인 영향을 주며 기후시스템의 계절 내 규모부터 수천년 단위의 메모리에 영향을 준다. 많은 양의 태양에너지, 이산화탄소 등이 해양으로 흡수되고 수층에 저장되며, 표층 및 하층 해류에 의해 한 곳에서 다른 곳으로 이동하며 대기로 방출되거나 혹은 해양 심해에 저장되기도 한다. 수온변화는 대기에 거대한 양의 열과 수분의 전달을 결정하는 중요한 요소이며, 열팽창에 의한 해수면 높이의 변화에도 중요한 역할을 한다. 또한 대기와의 상호작용을 통해 적도태평양의 엘니뇨, 북대서양 경년변동 등의 기후 모드의 변화에도 기여한다. 염분은 증발량 및 강수량에 영향을 받으며, 수온과 더불어 극지역 융빙에 의해 해수면 변화에 영향을 주고, 고위도에서는 해양의 밀도를 변화시켜 심층수 생성에 영향을 준다. 그리고 연안에서는 강물의 유입에 대한 정보를 제공한다.

2020년 전지구 해수면 높이, 해양 수온과 염분, 그리고 해양 열용량을 평년값(1981~2010년)과 비교 분석하였다. 해양의 수온과 염분은 대기에 비해 계절적 변화가 크지 않아, 연평균만 고려하였다.

## 6.1. 해수면 높이

해수면은 기후변화의 중요한 인자로서 수온증가에 의한 열팽창, 극지역 온도상승에 의한 빙하의 융빙에 의해 변동한다. 해수면변화 경향은 1993년부터 꾸준히 상승하여 2020년까지 83.4mm가 올라갔다(그림 6.1a). 1997년부터 2000년까지는 해수면 상승 추세가 약간 둔화되긴 했지만, 전체적으로는 올라가는 추세이고 2011년 이후 상승 추세가 높다.

2020년 해수면 편차를 보면, 평년에 비해 거의 모든 해역에서 해수면이 높았고, 특히 북태평양과 북대서양 서부와 인도양 서부 해양에서 양의 해수면 편차가 두드러진다(그림 6.1b). 서남극해와 북극 척치해에서는 2020년 해수면이 낮았다.

해수면 변화 경향의 공간분포를 보면 시계열에서와 같이 남극해 태평양 섹터와 북대서양 북부해역을 제외하고 거의 모든 해역에서 올라가는 경향이 있고(그림 6.1c), 특히 북서태평양, 남반구 아열대 해양에서 해수면 상승 경향이 두드러진다.

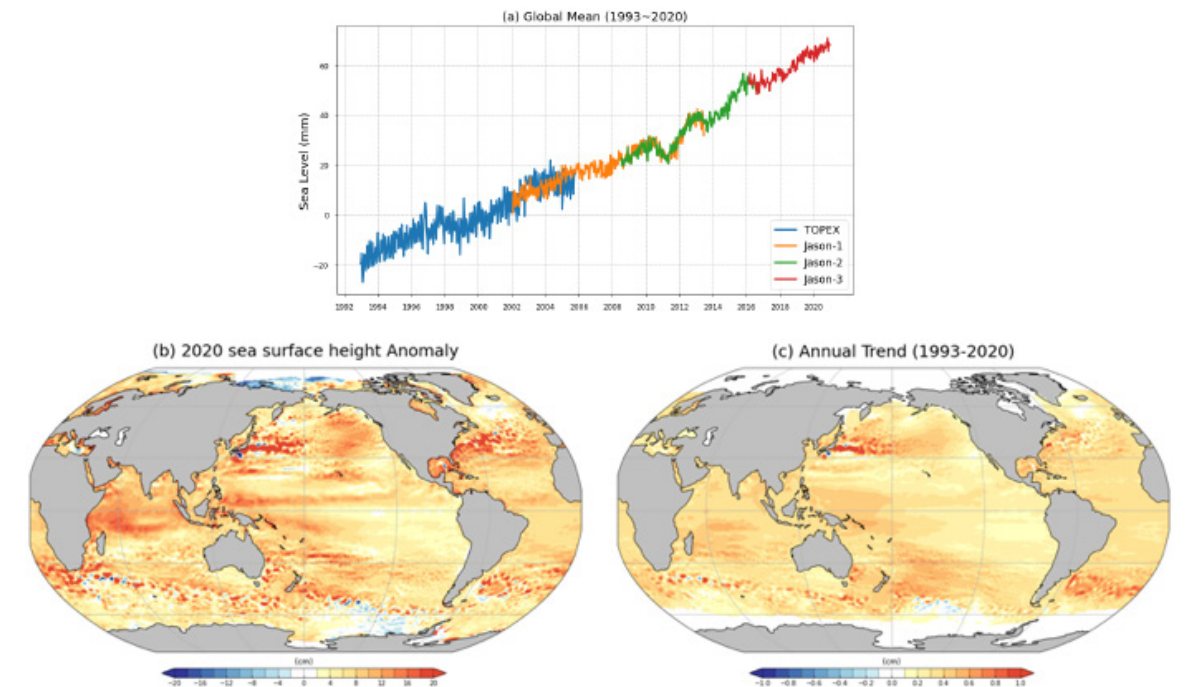


그림 6.1. 전지구 해수면의 (a)시계열 변화, (b)2020년 편차, (c)전지구 해수면 변화경향 분포.  
2020년 편차는 1993-2012년 평균값과의 차이를 나타냄. 자료: 해수면 시계열은 NOAA lab for satellite altimetry ([https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lisa/SeaLevelRise/LSA\\_SLR\\_timeseries\\_global.php](https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lisa/SeaLevelRise/LSA_SLR_timeseries_global.php)), 공간 분포자료는 Altimeter satellite gridded sea level anomaly ([https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/SEALEVEL\\_GLO\\_PHY\\_L4\\_NRT\\_OBSERVATIONS\\_008\\_046/INFORMATION](https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_NRT_OBSERVATIONS_008_046/INFORMATION))

## 한반도 연근해 해수면 높이

### 요약

- 최근 한반도 연근해의 해수면 높이는 모든 해역에서 통계적으로 유의하게 상승하고 있는 추세임.

국내 조위관측소 21개 지점의 연평균 해수면 높이의 장기 변동성을 분석하였다(그림 6.2). 1989년부터 2019년까지 각 지점별 해수면 높이의 변화율을 계산했을 때 모든 지역에서 상승하였다. 이러한 해수면 높이의 상승 추세는 모든 지역에서 통계적으로 99% 수준에서 유의하였다. 특히 제주와 울릉도 주변에서 해수면 상승률이 31년간 5.2 mm/year 이상으로 가장 크게 나타났다. 해역별 해수면 높이도 모든 해역에서 통계적으로 유의하게 상승하였는데 상승률은 제주인근, 동해, 남해, 서해 순이었다.

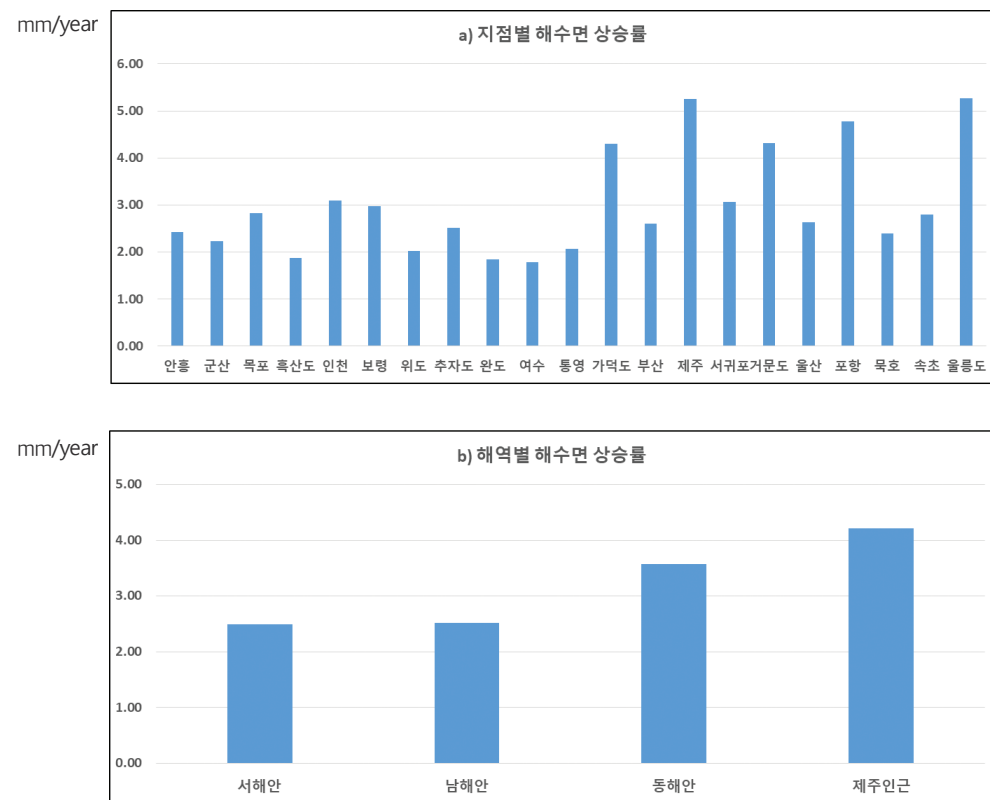


그림 6.2. 한반도 연근해 21개 지점의 연평균 해수면 상승률 (1989년 해수면 높이(0.0mm)를 기준으로 변환)  
(출처:국립해양조사원)

## 6.2. 수온과 염분

### 요약

- 2020년 연근해 수온은 평년보다 높았지만 2019년에 비하면 낮아짐.
- 우리나라 연근해 염분은 최근 감소하는 추세이고, 2020년 모든 해역에서 염분이 2019년보다 감소함.

해양 수온을 살펴보면, 2020 해양 표면 수온은 북반구에서는 평년에 비해 대체로 높았는데, 특히 북태평양, 북서 대서양, 지중해 연안, 그리고 북극해에서 표층 수온 증가가 두드러졌다(그림 6.3a). 북동 태평양, 북대서양 서부연안과 북극 바렌츠-카라해-랍테프해에서 평년에 비해 표층 수온이 1도 이상 높았다. 적도 태평양 서부에서는 수온이 평년에 비해 높았던데 반해, 적도 태평양 동부에서는 표층 수온이 낮았는데, 이는 2020년 발달한 라니냐의 영향으로 여겨진다. 표층수온은 남반구 인도양에서도 낮았고, 북대서양 북부 그린란드해 그리고 남극해 전체에서 수온이 평년보다 낮았다.

표면 수온의 변화 경향을 보면, 남극해를 제외한 대부분 해양에서 수온이 증가하는 추세에 있고, 특히 북서 태평양, 북서 대서양, 그리고 북극해에서 수온의 증가 경향이 뚜렷하다(그림 6.3b). 하지만 남극해에서는 시간에 따라 약간의 냉각화 경향이 나타난다.

표면 염분은 증발이 강수보다 많은 아열대 해역에서 높은 값을 보이는데 반해 적도 태평양 서안의 지역에서는 많은 강수로 인해 대체로 낮은 염분분포를 보인다(그림 6.3c 실선). 2020년은 평년에 비해 염분이 대체로 높았고 특히 대서양과 적도 태평양 서부와 인도양 동부에서 높았지만, 적도 태평양 동부와 북태평양 동부, 그리고 인도양 서부와 적도 대서양 동부아프리카 연안에서 평년에 비해 염분이 낮았다(그림 6.3c 색). 북극해는 연안을 중심으로 낮은 염분 편차가 나타났다.

1958년부터 2020년까지 염분의 변화 경향을 보면, 적도태평양 서안과 북태평양에서 염분이 약간 감소하는 경향을 보이고, 북극 척치해와 보퍼트해에서 염분이 상당히 감소하는 경향을 보인다. 하지만, 북극의 나머지 지역, 특히 카라해와 동시베리아 해, 그리고 대서양, 인도양 서안에서는 염분이 증가하는 경향을 보인다(그림 6.3d). 남극해는 염분이 약간 감소하는 경향을 보이지만 남극 연안에서는 증가하는 경향을 보인다.

해역별로 1958년부터 2020년 까지 수온변화 경향을 보면, 남극해를 제외한 모든 해역에서 수온이 증가하는 경향을 보이는데, 특히 1970년대부터 현재까지 표면 수온의 증가가 두드러진다(그림 6.4).

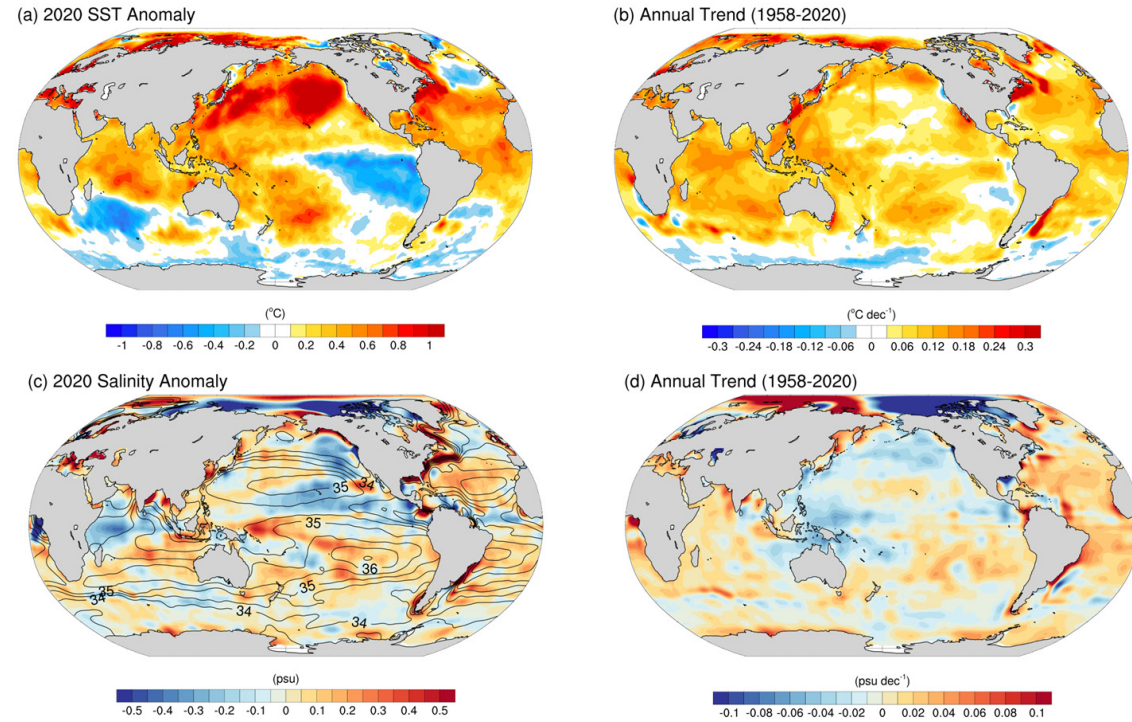


그림 6.3. (a) 2020년 해수면 온도 편차, (b) 해수면 온도 변화 경향, (c) 해수면 염분 (실선)과 2020년 염분 편차 (색), (d) 해수면 염분 변화 경향. 해수면 온도와 염분의 2020년 편차는 1981-2010년 평균과의 차이를 나타냄.  
 자료: 수온 UK MetOffice HadISST, 염분 UK MetOffice EN4 salinity

북태평양과 북대서양에서는 2019년 보다는 2020년의 수온이 높은데 반해, 다른 해역에서는 지난해에 비해 수온이 약간 내려가는 경향이 나타난다. 그럼에도 불구하고 1970년대에 비해서는 남극해를 제외한 모든 해양에서 표층 수온이 증가하는 경향을 보여 지구온난화의 효과가 1970년대부터 본격적으로 표층 수온 증가에 영향을 준 것으로 여겨진다. 흥미롭게도 온실가스 증가에도 불구하고 다른 해역과 달리 남극해는 1990년대부터 최근까지 수온이 약간 내려가는 경향이 나타난다.

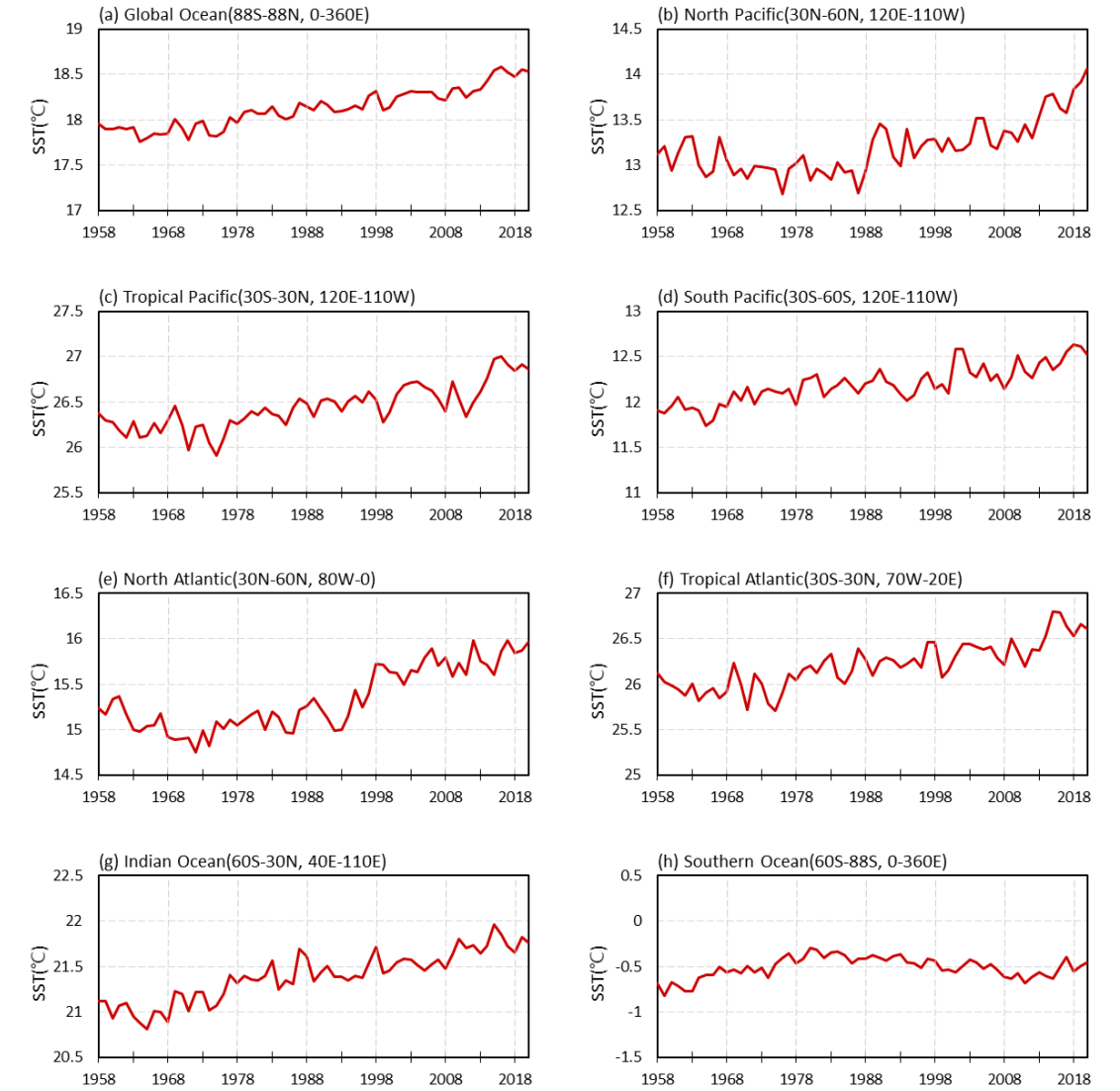


그림 6.4. 해역별 표면수온 시계열 변화. 자료: NOAA ERSSTv5



## 한반도 연근해 해수온과 염분

한반도 연근해 연평균 수온변동을 국내 정선해양관측지점(25개선 207개 정점) 평균 자료를 이용하여 분석하였다(그림 6.5). 한반도 연근해 수온은 비록 경년변동성을 갖지만, 장기 변동성 측면에서는 통계적으로 명확하게 증가하였다. 한반도 연근해 평균 해수온 증가율은 53년(1968-2020년)간 0.024°C/year 이고, 이러한 증가 경향은 95% 수준에서 유의하였다. 2020년의 한반도 연근해 해수온은 평년(1991-2020년)보다 0.3°C 높았지만 2019년에 비하면 0.3°C 낮았다. 이는 2020년 여름철 상대적으로 길었던 장마기간과 8, 9월 연속적으로 3개의 태풍의 영향을 받은 것과 관련될 수 있다.

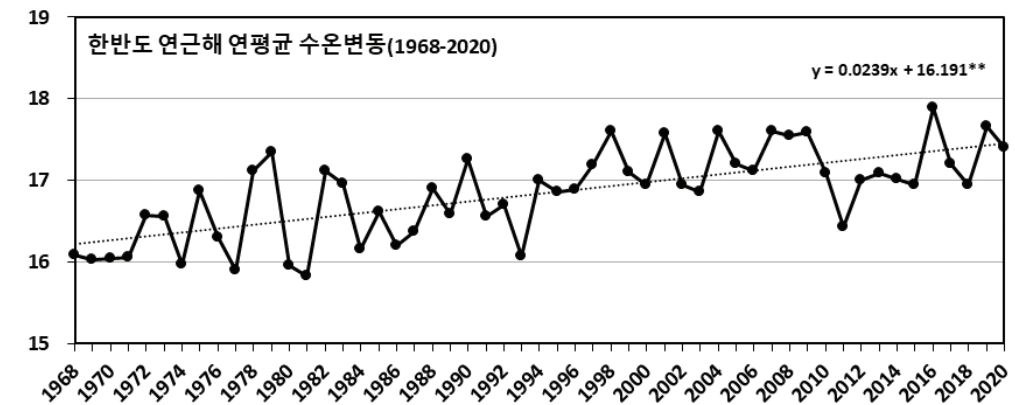


그림 6.5. 한반도 연근해의 연평균 해수온(°C)과 추세선(출처:국립수산과학원)

한반도 주변의 모든 연근해 해역에서 1968년부터 2020년까지 해수온의 증가 경향이 95% 수준에서 통계적으로 유의하게 나타났는데 동해가 0.03°C/year로 가장 컸고, 남해의 해수온 증가율이 0.02°C/year로 가장 작았다(그림 6.6). 2020년 동해와 남해의 해수온이 2019년보다 각각 0.6°C, 0.2°C 낮아진 반면, 서해의 경우 0.2°C 높아졌다.

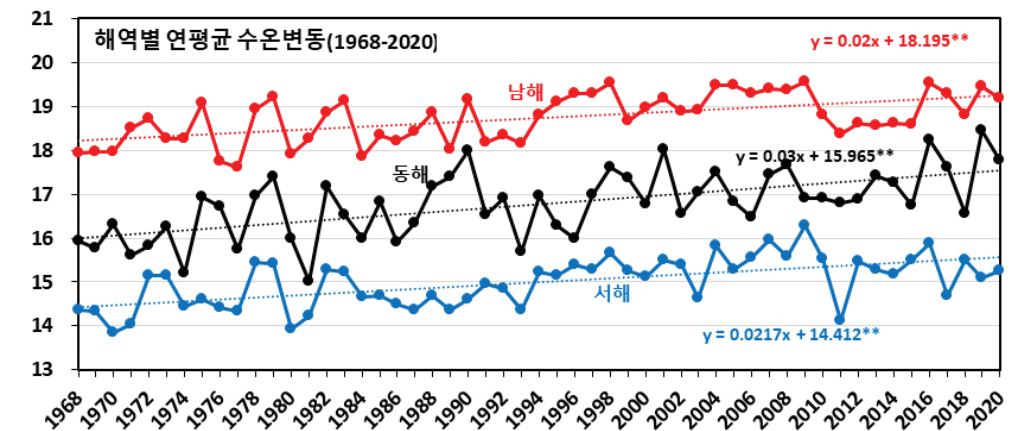
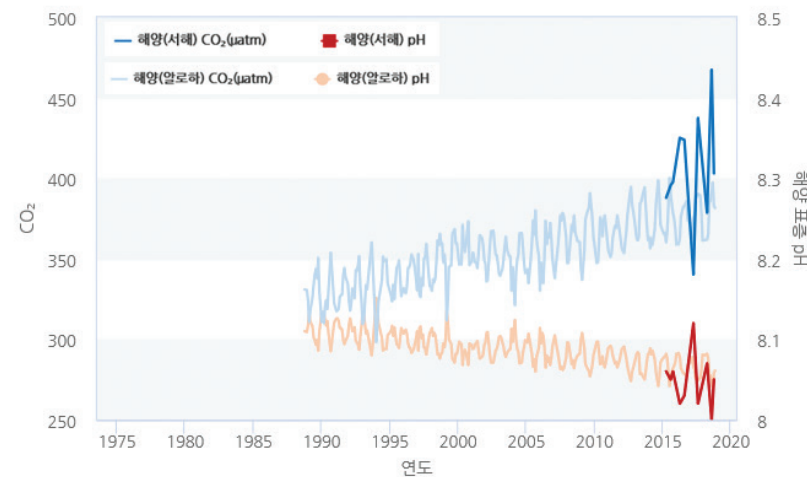


그림 6.6. 한반도 해역별의 연평균 해수온(°C)과 추세선(출처:국립수산과학원)

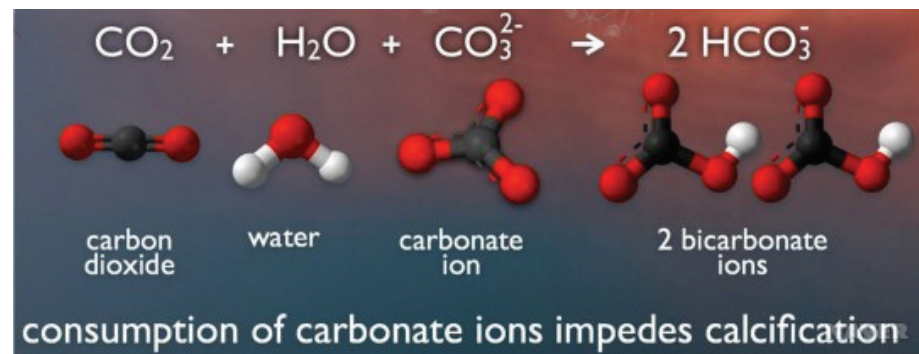
## 주제 : 바닷물에 녹은 이산화탄소, 해양생태계를 위협한다.

□ 해양의 산성화는 탄산골격 생물군 뿐만 아니라, 식물성 플랑크톤, 해양 달팽이, 어류 등을 포함한 전반적인 해양 생물의 호흡이나 에너지 저장, 소모 등 생리, 생태에 악영향을 끼친다. 산업화 이전 표층 해수의 산도(pH)는 8.2로 예상되고, 현재는 8.1로 0.1만큼 산성화를 겪고 있다. 이는 이산화탄소의 꾸준한 증가로 인해 바닷물에 용해되어 점차 산도를 강화시켰고 이를 '해양 산성화(Ocean Acidification)'라 한다. 미국 하와이 알로하의 해양 표층 산도 및 이산화탄소 해양분압을 1988년부터 2018년 30년간 관측한 결과, 이산화탄소 해양 분압이 꾸준히 증가함에 따라 해양 산성도는 강해지는 것이 확인되었다(그림 1). 우리나라 서해에서 2015년~2018년 4년간의 짧은 관측 기간에도 불구하고 그 경향이 나타났다(그림 1).



【그림 1】 미국 하와이, 우리나라 서해에서의 이산화탄소 해양분압과 해양산성도 연변화

□ 이산화탄소의 용해에 의한 해양산성화 원리를 이해하는 것은 쉽지 않다. 즐겨 마시는 탄산수가 신 맛을 내는 것과 같은 원리이다. 다만 다행히도 해수는 약 알칼리성을 띠고 있어서 녹아든 이산화탄소의 양에 비해서는 산도가 매우 적게 강화된다. 반응식에 따르면(그림 2), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 한 분자는 물 한 분자와 탄산이온(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) 한 분자와 결합해서 중탄산이온(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 두 분자로 변환된다. 해양에 물은 지천이므로 전혀 문제가 없고 중탄산 이온은 중성에 가까워서 늘어나도 큰 문제는 되지 않지만 알칼리성인 탄산이온의 소모로 인해 해양 표층수의 산성화를 불러 일으킨다.



【그림 2】 해수에서 이산화탄소에 의한 탄산이온의 소모 반응식(출처: 미국해양대기청)

□ 해양산성화를 방지하기 위한 현재 제안 기술은 여러 가지 부작용이나 비용 문제로 좋은 대책이 아니다. 그나마 환경친화적인 제안으로 대형 해조류 숲을 조성하는 방안이 있고, 해양산성화에 강한 해산물 품종 개발(해양산성화를 잘 견디는 굴 육종 등)이 거론되고 있다.



## 6.3. 해양 열용량

## 요약

- 최근 한반도 연근해 해양 열용량은 모든 해역에서 증가하는 추세임.
- 2020년 남해와 서해의 해양 열용량은 2019년에 비해 다소 증가하였지만, 해수온이 낮아진 동해의 경우 5%나 감소하였음.

한반도 연근해 연평균 염분변동을 국내 정선해양관측지점 평균 자료를 이용하여 분석하였다(그림 6.7). 53년(1968-2020년) 한반도 연근해 염분은 감소하는 경향을 갖는데 특히 2000년대 이후 뚜렷하게 감소하였다. 한반도 연근해 평균 염분 감소율은  $-0.00057\%/year$ 이고, 이러한 감소 경향은 95% 수준에서 유의하였다. 2000년대 이후 우리나라 연근해에서 염분이 감소하는 것은 중국 내륙에서 해양으로 이동하는 담수량의 증가와 관련될 수 있다. 2020년의 한반도 연근해 염분은 평년(1991-2020년)과 같았지만 2019년에 비하면 0.1% 낮았다.

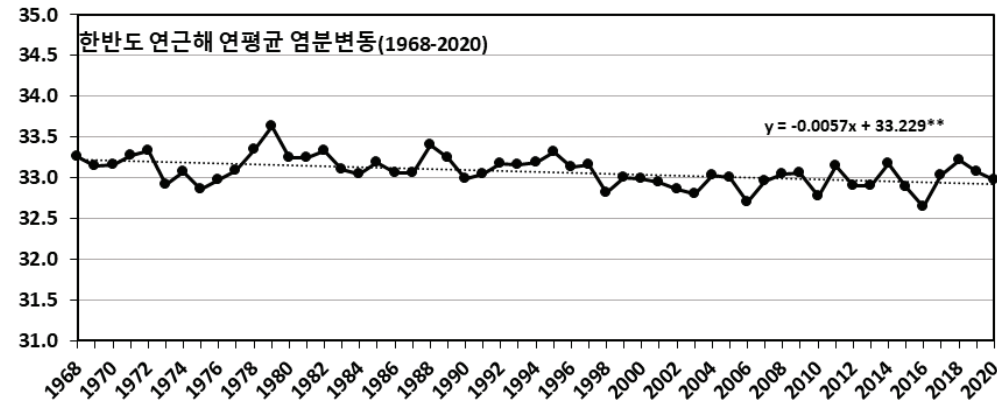


그림 6.7. 한반도 연근해의 연평균 염분(%)과 추세선(출처:국립수산과학원)

한반도 주변의 모든 연근해 해역에서 1968년부터 2020년까지 염분의 감소 경향이 통계적으로 유의하게 나타나는데 서해와 남해가 각각  $-0.0072\%/year$ ,  $-0.0065\%/year$ 로 상대적으로 큰 반면, 동해의 염분 감소율은  $-0.0033\%/year$ 로 가장 작았다(그림 6.8). 2020년 남해와 서해의 염분이 2019년보다 각각 0.2%, 0.1% 낮아졌는데, 이는 2020년 여름철 기록적인 중국 내륙의 홍수로 인해 많은 담수가 남해와 서해로 유입된 것이 원인이 될 수 있다.

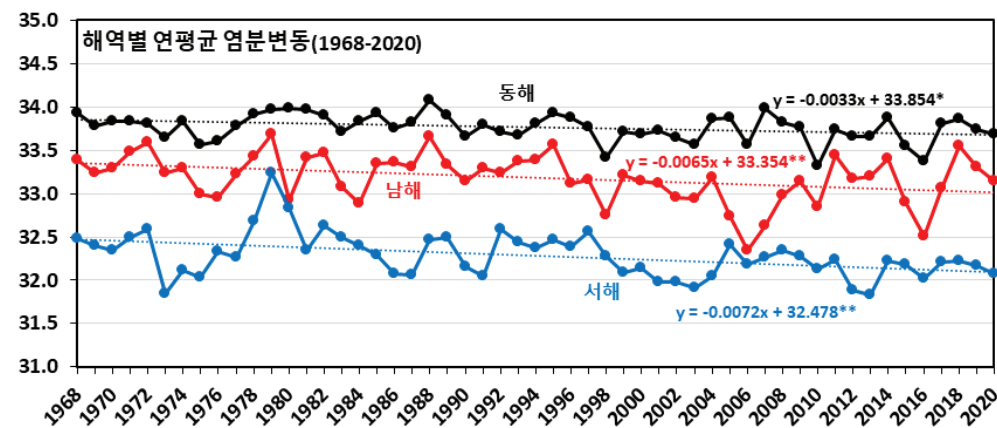


그림 6.8. 한반도 해역별의 연평균 염분(%)과 추세선(출처:국립수산과학원)

해양은 지구온난화에 의한 열의 많은 부분을 흡수하고, 수온 상승에 의한 열팽창은 해수면 상승을 야기한다. 해양의 열용량은 해양의 내부 에너지로서 해양의 수온을 일정 깊이에 대해 적분한 양이다. 그림 6.9a는 1955년부터 2020년까지 0-700m 깊이 해양 열용량의 연평균 시계열 변화를 보여주는데, 1970년대까지는 큰 변화를 보이지 않다가 이후 현재까지 빠르게 증가추세에 있다. 2020년은 2019년에 비해 해양의 열용량이 감소한 경향을 보인다.

해양 열용량의 수평 분포의 평년에 대한 2020년의 차이를 보면, 북서태평양, 대서양 전체, 인도양 서부, 적도태평양 동부 등 대부분 해양에서 열용량이 평년에 비해 증가했다(그림 6.9b). 하지만 북태평양 서부 아열대와 북대서양 북부, 인도양 동부, 그리고 남극해에서 음의 편차를 보였다.

1993년부터 2020년까지의 해양 상층 열용량 변화 경향은 대부분 해역에서 열용량이 증가하는 추세를 보인다(그림 6.9c). 하지만, 북태평양 아열대와 북대서양 북부에서 음의 열용량 변화 경향을 보이는데, 전자는 온난화에 의해 쿠로시오 해류가 북상함에 따라 나타나는 것으로 여겨지며, 후자는 온난화에 의한 북대서양 심층수 생성의 둔화와 연관 있다. 남태평양 동부와 남극해 일부에서도 열용량은 감소하는 경향을 보인다.

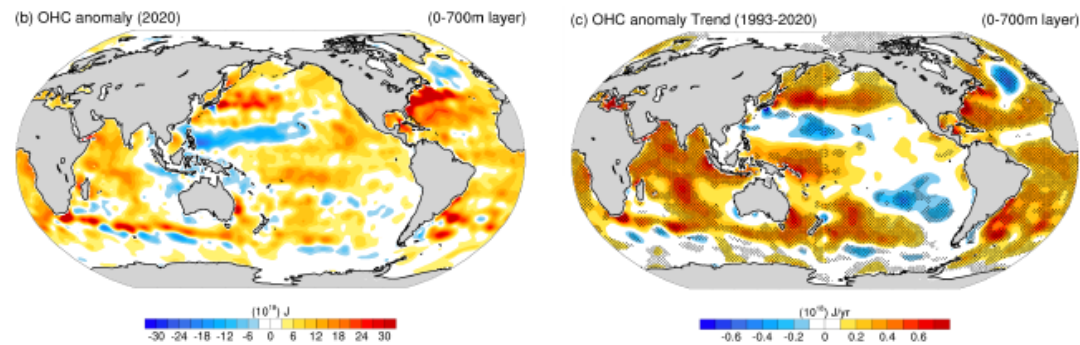
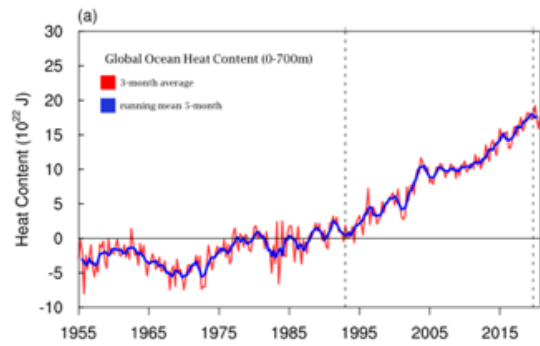


그림 6.9. 전지구 해양 상층(0-700m)의 열용량 (a) 시계열 변화, (b) 2020년 편차 분포, (c) 변화 경향 분포.  
 자료: NOAA NODC Atlas ([https://www.nodc.noaa.gov/OC5/3M\\_HEAT\\_CONTENT](https://www.nodc.noaa.gov/OC5/3M_HEAT_CONTENT))

## 한반도 연근해 해양 열용량

한반도 연근해의 해역별 평균 해양 열용량 연변화를 분석하였다(그림 6.10). 해양 열용량은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Ocean heat Content} = \int_{-H}^0 \rho C_p T(z) dz$$

여기서, H는 수심, ρ는 밀도, Cp는 비열, T는 수온을 의미하고, 수심은 정선해양관측자료의 정점별 실제 관측된 수심을 바탕으로 동해는 500 m, 남해는 100 m, 서해는 75 m를 기준으로 하였다. 밀도는 해역 모두 동일하게 1025 kg m<sup>-3</sup>, 비열은 동해는 3850 J kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>, 남해와 서해는 3993 J kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>를 적용하였다.

해양 열용량은 모든 해역에서 증가하는 경향을 갖는데 증가 경향은 동해가 가장 컸고, 남해가 제일 작았다. 남해를 제외한 동해와 서해에서 해양 열용량의 증가 추세는 95% 수준에서 통계적으로 유의하였다.

2020년의 해양 열용량은 남해와 서해에서 2019년보다 다소 증가하였지만, 동해의 경우 5%나 감소하였는데 이는 동해의 수온이 0.6°C 낮아진 것과 연관될 수 있다.

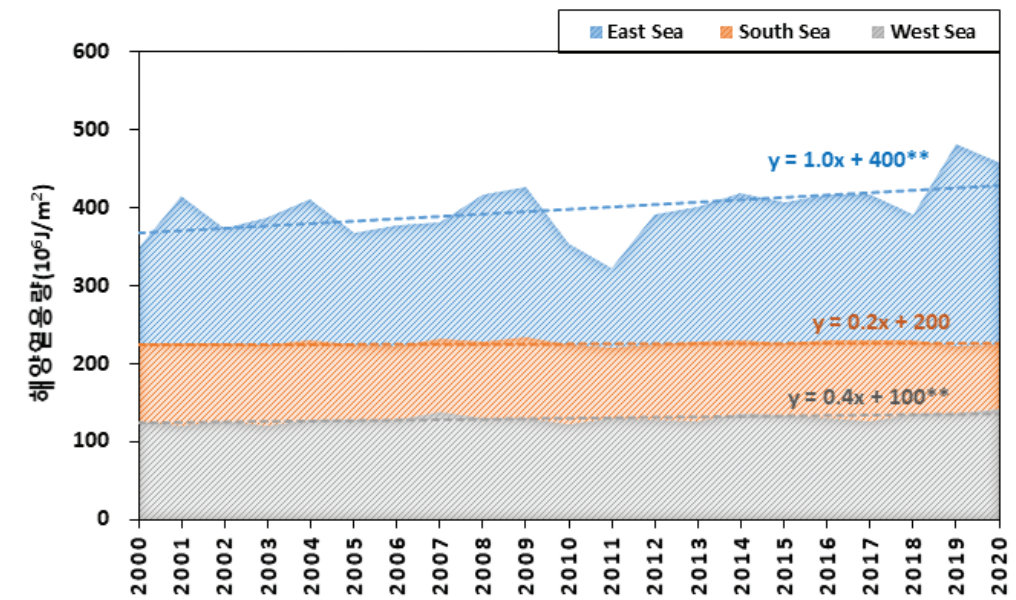


그림 6.10. 한반도 해역별의 연평균 해양 열용량 추세선(출처:국립수산과학원)

## 6.4. 열대성 저기압

### 요약

- 2020년 북서태평양에서는 23개의 태풍이 발생하여 최근 42년 평균(25.6개)보다 적었으나, 한반도 영향 태풍은 4개로 최근 42년 평균(3.3개)과 비슷하였음.
- 1951년 이래 7월 태풍 최초 미발생, 10월 평년보다 2배 많은 태풍 발생.
- 평년보다 필리핀 부근 해상~남중국해, 대만 동쪽~한반도, 일본 남동해상으로 진행되는 태풍의 진로 밀도가 증가

북서태평양의 장기 태풍 특성 및 2020년 경향을 파악하기 위하여 RSMC Tyoko(Regional Specialized Meteorological Center:지역특별기상센터)의 최적 진로 자료(Best Track Data)를 분석하였다.

라니냐에는 일반적으로 평년에 비하여 태풍 발생 지역이 서태평양의 북서쪽에서 증가하는 특징이 나타난다. 이러한 라니냐해 특성을 갖는 2020년에는 위도 20도 부근의 대만 동쪽과 필리핀 북동쪽 해상 그리고 필리핀 동쪽 해상에서 태풍의 발생이 평년(1979~2020년)보다 증가하였고 경도 약 135도부터 160도의 해상에서는 감소하였다(그림 6.11).

그리고 한반도 부근과 필리핀 서쪽의 남중국해에서 이 지역을 경유한 태풍의 수와 비례하는 태풍진로 밀도가 평년에 비하여 증가하였지만 대만과 필리핀 사이, 괌에서 일본 부근의 해상에서는 감소하였다.

평년에 비해 2020년은 주요 태풍 발생 지역이 해상보다 육지 가까이에서 나타났다. 또한, 8월과 10월의 발생 태풍 수는 각각 7개로, 평년보다 많은 개수의 태풍이 발생하였다. 8월에는 그 중 3개의 태풍이 한반도에 영향을 미친 반면에 10월에는 영향을 미친 태풍이 없었다(그림 6.12).

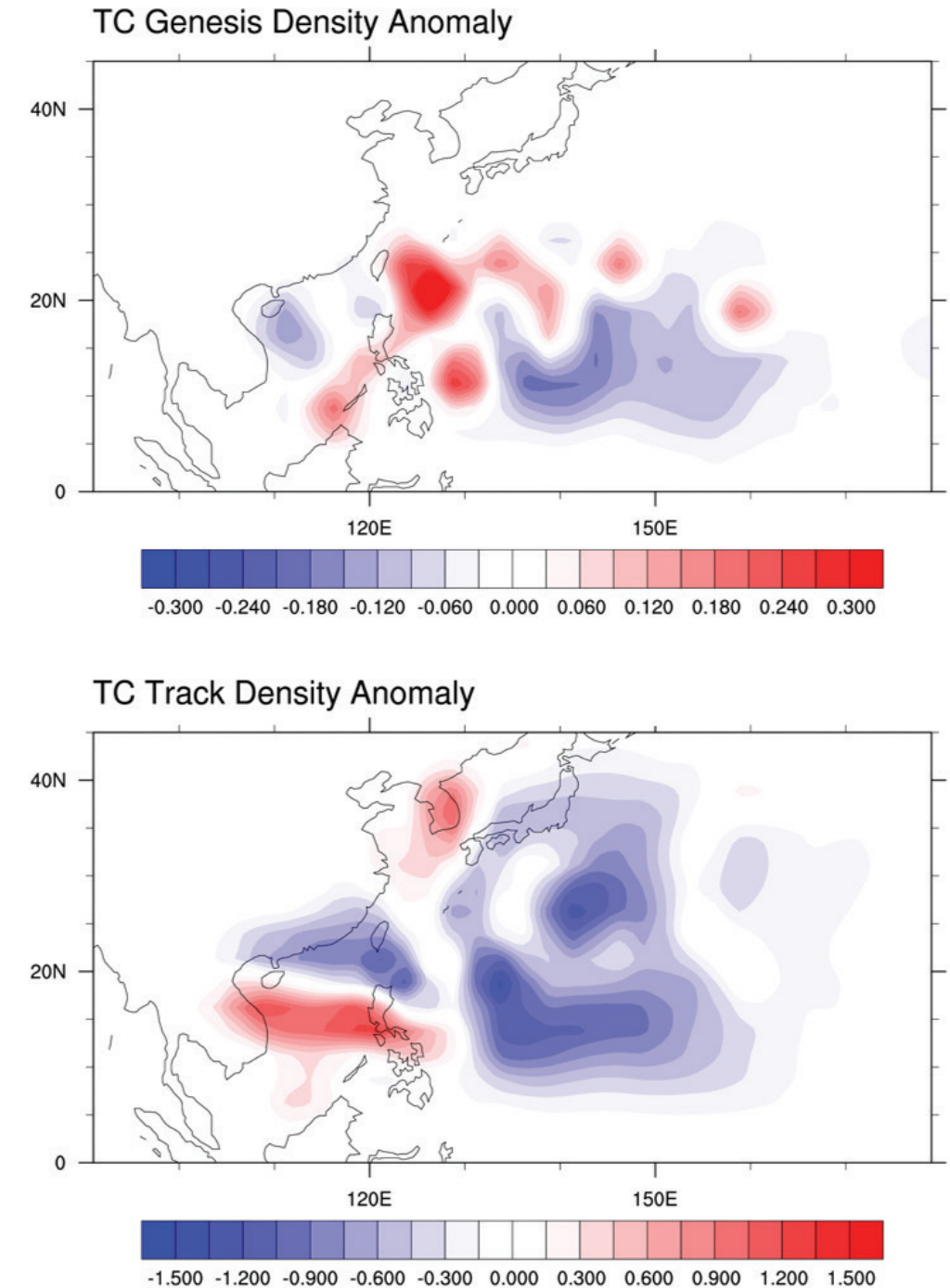


그림 6.11. Regional Specialized Meteorological Center(RSMC)의 최적 진로 자료(Best Track Data)를 이용하여 산출한 2020년  
(a) 태풍발생밀도함수와 (b) 진로밀도 함수 아노말리  
(평년: 1991~2020년 평균)



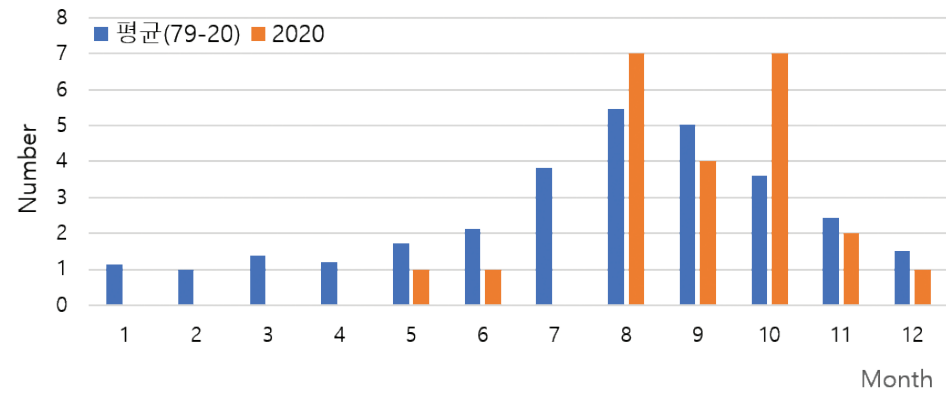


그림 6.12. 2020년 월별 태풍 발생수와 최근 42년(1979~2020년)의 평균 월별 태풍 발생수

## 태풍 영향력 특성

태풍의 영향력을 의미하는 지수인 Power Dissipation Index(PDI)를 계산하여 1979년부터 2020년까지 북서태평양에서 발생한 태풍들의 장기적인 변동 특징에 대해 분석하였다.

※ PDI(Power Dissipation Index)는 태풍의 발생부터 소멸하기 전까지의 시간별 최대풍속을 3제곱하여 시간에 대해 적분한 것으로, PDI가 큰 것은 태풍 활동이 왕성함을 의미한다.

2020년 북서태평양의 태풍 발생수가 최근 42년(1979~2020년) 평균(25.6개)에 비하여 다소 적은 23개가 발생하면서 2020년 북서태평양 전체 PDI는 최근 평균보다 작게 나타났다. 평균 생존기간(duration)도 평균보다 다소 짧아졌으며, 태풍의 평균 강도(mean maximum wind speed)도 약해진 것으로 나타났다(그림 6.13).

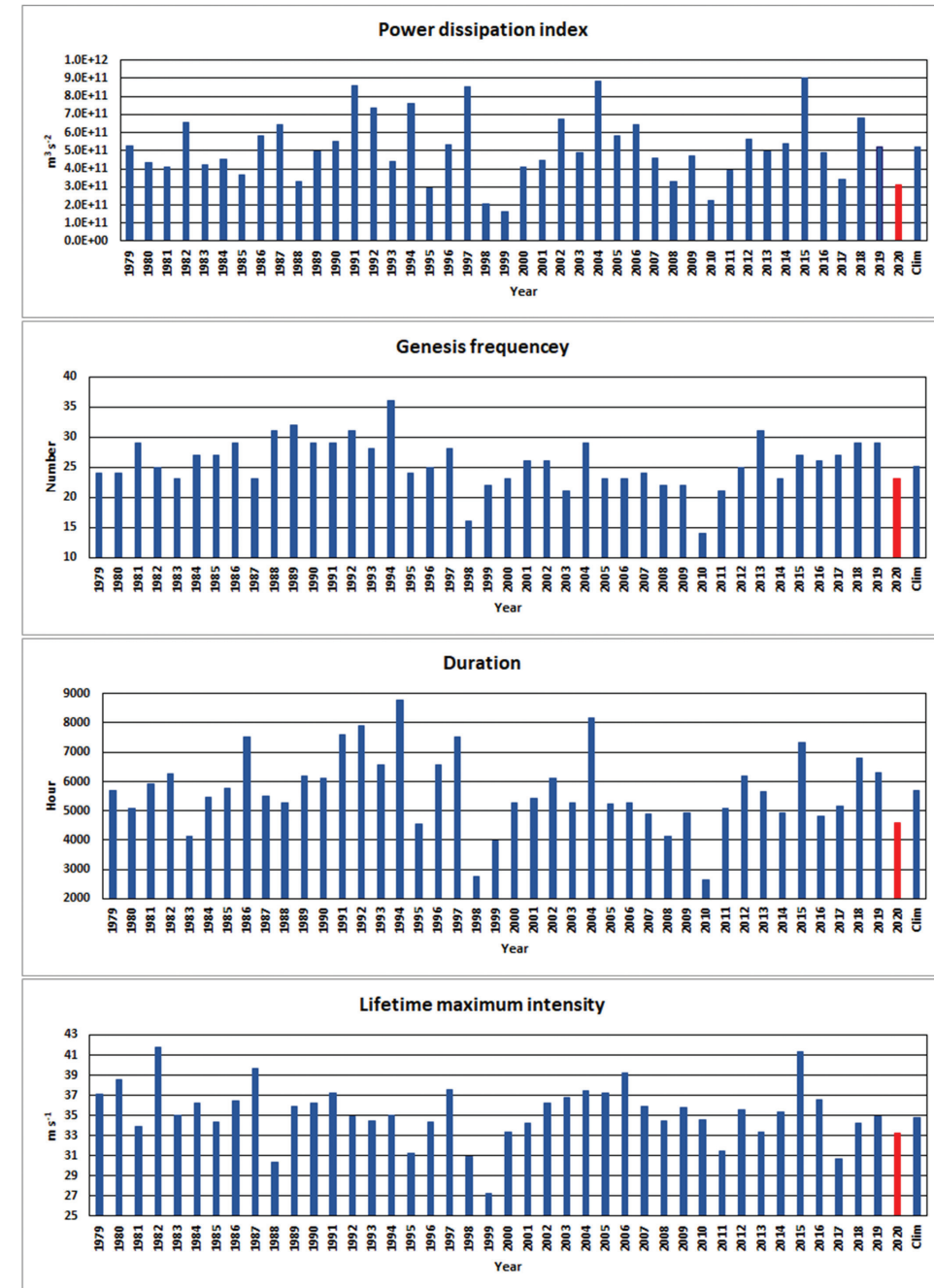


그림 6.13. Regional Specialized Meteorological Center(RSMC)의 최적 진로 자료(Best Track Data)를 이용하여 산출한 연도별 PDI 지수.  
(평년: 1991~2020년 평균)  
※ PDI(Power Dissipation Index): 태풍이 발생하기부터 소멸하기 전까지의 시간별 최대풍속을 3제곱하여 합산한 것으로, 태풍 활동의 왕성한 정도를 의미함.



## 한반도 영향 태풍 특성

한반도에 영향을 준 태풍의 장기변동성 및 2020년 경향을 파악하기 위하여 기상청 자료를 이용하여 한반도 영향 태풍 시계열을 분석하였다(그림 6.14). 2020년 한반도 영향 태풍의 수는 4개로 최근 42년(1979~2020년) 평균값 3.3개보다 조금 많이 발생하였다. 2020년은 라니냐, 강한 동아시아 여름 몬순 등과 연관되어 여름철 북서태평양 고기압이 극단적으로 서쪽으로 확장하여 6월과 7월 태풍 발생이 이례적으로 적었다(그림 6.15). 하지만 8월 북서태평양 고기압이 일본 남동쪽으로 수축하면서 태풍 발생이 늘어났다. 특히 8월 하순부터 9월 초순까지 태풍 바비, 마이삭, 하이선이 연속적으로 한반도에 영향을 끼쳤는데, 이는 높은 해수온과 일본 남동쪽에 위치한 북서태평양 고기압과 연관돼 한반도로 향하는 지향류 때문이다.

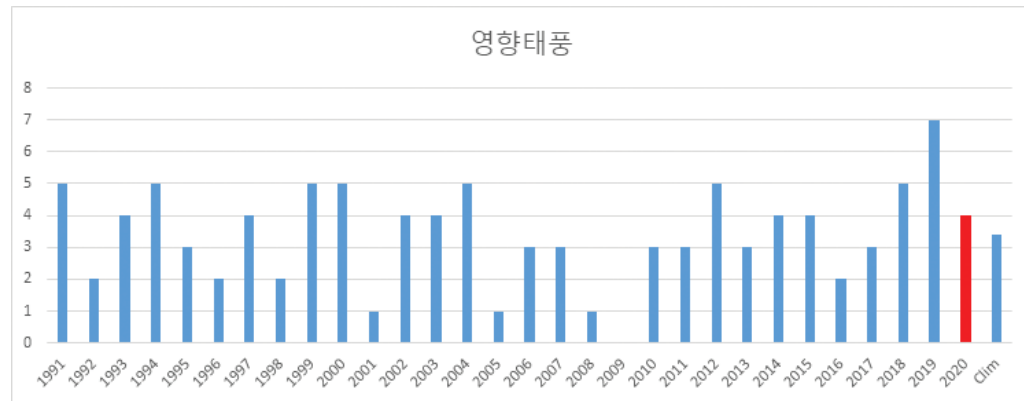


그림 6.14. Korea Meteorological Administration (KMA)의 태풍 발생 통계 자료를 이용한 연도별 한반도 영향 태풍수

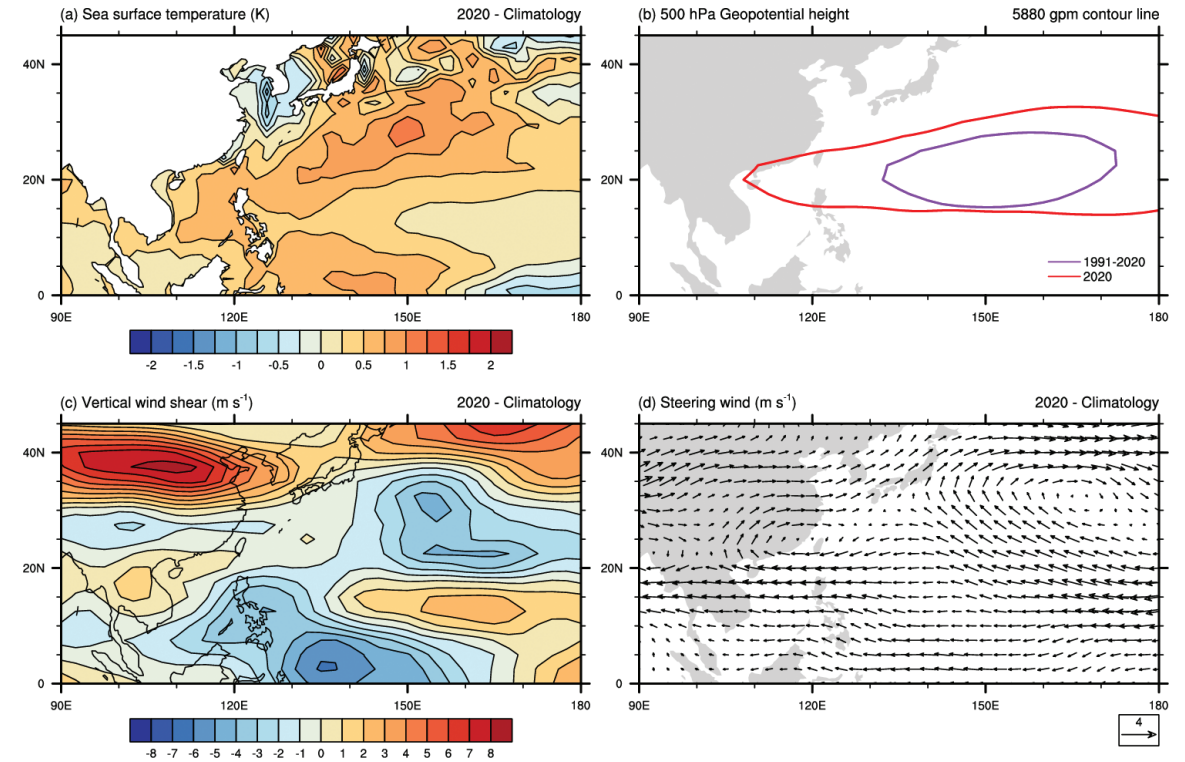


그림 6.15. National Centers for Environmental Prediction(NCEP)의 NCEP-DOE Reanalysis 2(NNRP2) 자료를 이용하여 산출한 2020년 6-12월 (a) 해수면 온도, (b) 500hPa 지위고도, (c) 연직 바람시어, (d) 지향류 아노말리 (평년: 1991~2020년 평균)

2020 기후변화감시 종합 분석 보고서

# CHAPTER 07

## 극지의 기후변화

7.1. 극지기온

7.2. 해빙

7.3. 대륙 적설





빙권은 해빙과 육상 빙하가 눈으로 덮여있기 때문에 온실가스 증가에 대해 양의 되먹임 작용이 일어나 온도변화가 지구상 가장 크다. 빙권의 변화는 단기적으로는 중위도 기상/기후에 영향을 주고 장기적으로는 해수면 상승에 영향을 미친다.

## 7.1. 극지기온

### 요약

- 북극은 다른 지역에 비해 온도가 3배 빠르게 증가하는데 반해, 남극은 온도 변화의 경향이 뚜렷하지 않음.
- 온도 변화와 연동하여 북극의 해빙은 모든 계절에 빠르게 감소하는 경향을 보이는데 반해 남극 해빙은 약간 증가하는 추세를 보임.

2020년 북극은 평년에 비해 모든 계절에 온난화가 뚜렷하였다(그림 7.1). 특히 북반구 겨울 유럽과 시베리아의 기온이 평년보다 높았고, 봄까지 이어진 시베리아의 온도가 평년에 비해 6°C 이상 높았다. 2020년 겨울부터 여름까지 진행된 시베리아 열파는 산불피해를 유발한 바 있다. 북반구 가을에는 시베리아의 기온상승이 북극해까지 확장하며 카라해, 랍테프해, 그리고 동시베리아해와 척치해까지 광범위한 지역에 걸쳐 양의 온도 편차가 나타났다. 하지만, 겨울철 알래스카와 그린란드는 평년에 비해 낮은 기온을 보였고, 봄철은 캐나다에서 음의 기온편차가 나타났다.

2020년 남극의 기온편차를 보면, 남반구 여름과 가을에 남극 대륙 전체에서 평년보다 기온이 약간 높았다(그림 7.2). 겨울에는 벨링스하우젠해와 로스해 그리고 인근 서남극의 기온이 평년에 비해 높았던데 반해 웨델해와 인근 남극 대륙에서는 평년에 비해 낮은 온도를 보였다. 봄에는 서남극 대부분과 로스해 부근에서 평년보다 온도가 낮았지만, 동남극 대부분 지역에서는 평년보다 온도가 높았다.

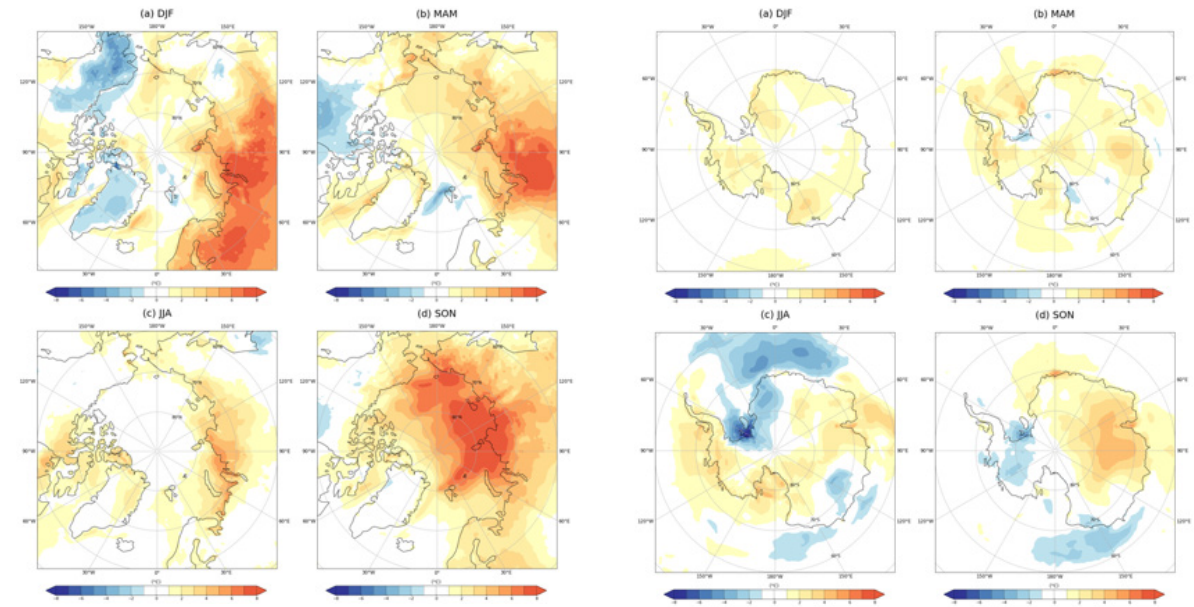


그림 7.1. 2020년 북극의 계절별 표면기온 편차.  
2020년 편차는 1981-2010년 평균과 차이임. 자료: ECMWF ERA5

그림 7.2. 2020년 남극의 계절별 표면기온 편차.  
2020년 편차는 1981-2010년 평균과 차이임. 자료: ECMWF ERA5

북극(북위 60-90도)의 기온은 1979년부터 2020년까지 약 3°C 이상 증가한데 반해, 같은 기간 전지구 평균기온은 약 1.1°C 정도의 상승을 보여, 북극의 온난화가 약 3배 정도 빠르게 진행 중임을 알 수 있다(그림 7.3). 북극의 온난화가 저위도에 비해 빠르게 나타나는 현상을 '북극 온난화 증폭'이라 하는데, 북극 온난화 증폭의 원인은 해빙과 눈 감소에 의한 알베도 감소, 저위도보다 낮은 기온에 의한 낮은 장파 복사 손실, 대기안정도에 따른 기온감률 되먹임, 수증기량 증가, 겨울철 운량 증가, 해양과 대륙을 통한 북극으로의 열전달 등 복합적인 요인에 기인한다. 이와 같은 북극 온난화 증폭은 북반구 플라볼텍스를 약화시켜 겨울철 중위도 한파를 비롯한 극한기상을 유발하는 것으로 보고되고 있다.

북극과 달리 남극의 평균 기온은 상승폭이 크지 않은데, 전반적으로 기온이 하강하는 추세를 보이다 2016년 이후 올라가는 경향이 있다(그림 7.3). 표층수온에 비해 기온은 변동성이 크고 지역적인 영향을 크게 받기 때문에 남극의 기온추세를 정확히 파악하기 위하여 지속적인 모니터링이 필요하다.

## 7.2. 해빙



그림 7.3. 북극과 남극의 (a) 평균 기온 시간변화, (b) 기온 편차 시간변화. 비교를 위해 전구평균기온변화도 녹색 실선으로 표시하였음. 자료: ECMWF ERA5

그림 7.4는 1981년부터 2010년까지 3월과 9월의 해빙 농도 분포를 나타낸다. 해빙은 북극에서 3월과 9월 최대값과 최소값을 보이고 남극은 반대이다. 북극은 3월 초 대서양 북부와 베링해 북부, 오호츠크해 까지 확장했다가 9월에는 북극제도(Canadian Archipelago) 근처에만 다년빙이 존재하고 바렌츠해 부터 보퍼트해까지는 녹는다(그림 7.4a, b). 남극해빙은 북극과 달리 외해로 열려있기 때문에 3월에 웨델해와 로스해 동부를 제외하고는 모두 녹는 특징이 있다(그림 7.4c, d).

1981-2010 Mean SIC

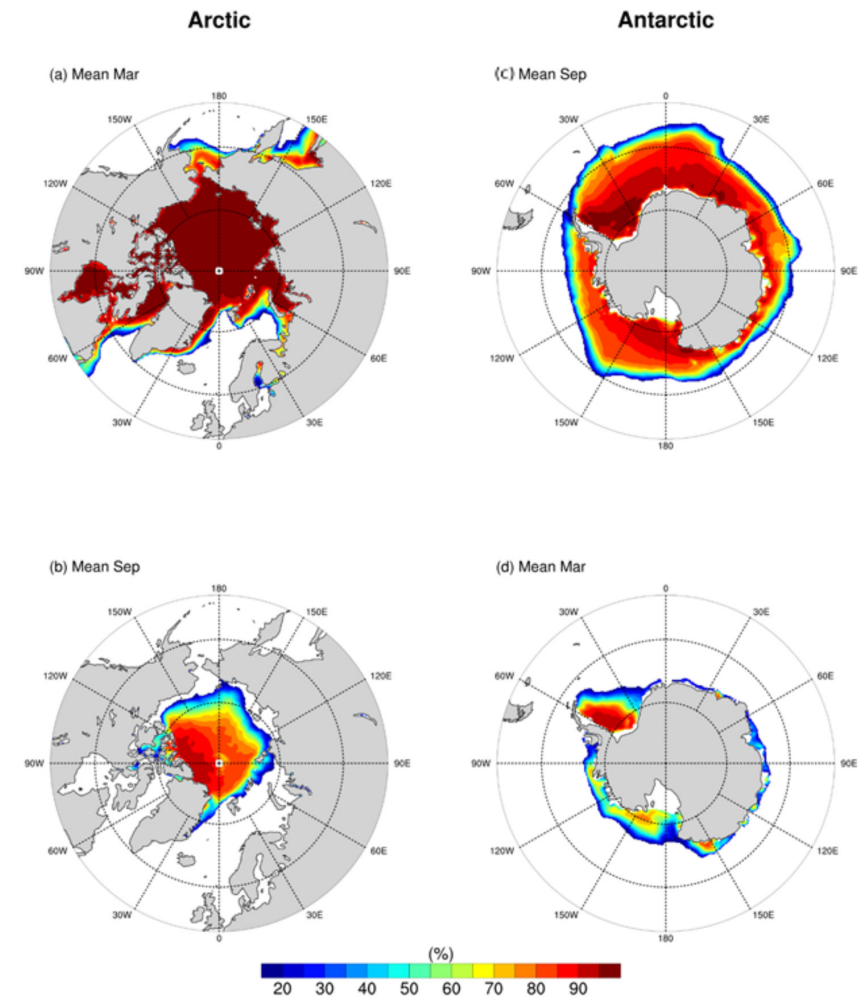


그림 7.4. 북극과 남극의 3월, 9월의 해빙 농도(Sea Ice Concentration, SIC) 분포. 자료: 미국 NSIDC



2020년 3월 북극의 해빙 농도는 평년과 유사하지만, 베링해 동부 알래스카 연안에서는 평년보다 늘었고, 베링해 서부에서는 줄었으며, 오호츠크해에서는 농도가 대체로 감소하였다(그림 7.5a). 3월 래브라도해와 그린란드해 서부, 그리고 바렌츠해에서 평년에 비해 줄어든 것으로 나타난다. 9월 북극 해빙 농도는 평년에 비해 모든 곳에서 줄어든 것으로 나타나는데, 특히 카라해, 랍테프해, 동시베리아해, 척치해의 해빙 농도가 평년보다 줄었는데(그림 7.5c), 이는 기온의 증가와 일치한다(그림 7.1d).

남극 해빙농도는 2020년 9월 평년에 웨델해와 로스해에서 증가한 반면, 아문젠해와 인도양 섹터에서는 평년에 비해 감소하였다(그림 7.5b). 특히, 로스해 서부의 해빙 농도 증가가 뚜렷하다. 3월의 남극의 해빙 농도는 서남극 대부분 해역에서는 감소하였으며 웨델해의 외해에서도 감소하였다(그림 7.5d). 하지만 웨델해 내부와 인도양 섹터에서는 해빙의 농도가 평년에 비해 증가한 것으로 나타난다.

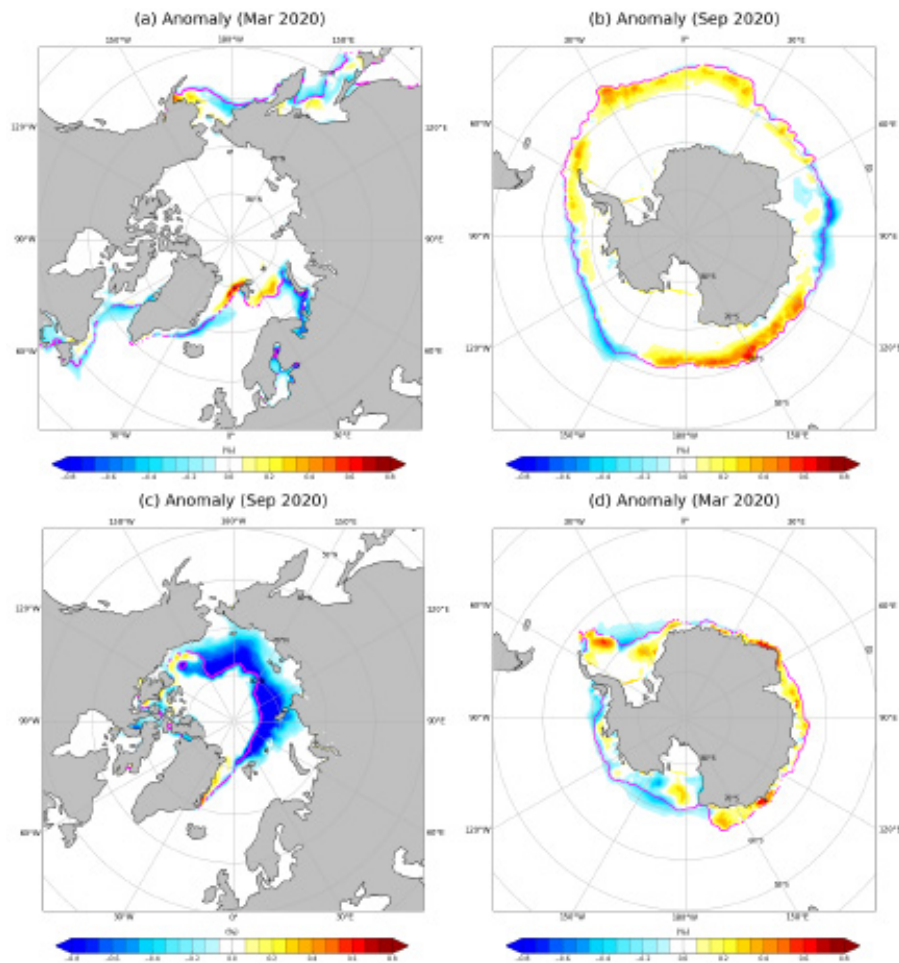


그림 7.5. 평년(1981~2010년 평균) 대비 (a) 북극의 3월, (b) 남극의 9월, (c) 북극의 9월, (d) 남극의 3월 해빙농도 편차. 자료: 미국 NSIDC

북극 해빙은 3월과 9월 모두 뚜렷한 감소추세를 보이고 있다(그림 7.6a). 특히 9월의 북극 해빙 면적은 1979년부터 2020년까지 약 3백만 평방킬로미터 이상 줄어 들었고, 3월의 해빙 면적은 같은 기간 동안 약 2백만 평방킬로미터 줄어든 것으로 나타나, 여름의 해빙면적 감소가 겨울보다 1.5배 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있다. 2019년에 비해 9월 북극 해빙은 약간 더 줄어들었지만, 3월의 해빙은 약간 더 증가하였다.

북극과는 대조적으로 남극의 해빙은 시간이 경과함에 따라 3월과 9월 모두 면적이 증가하는 경향을 보인다(그림 7.6b). 하지만, 2016년과 2017년 남극의 해빙 면적이 급격히 감소하였다가 다시 증가하는 추세를 보여, 매우 강한 연변동이 나타남을 알 수 있다. 남극 해빙 면적의 증가 추세는 앞에서 살펴본 남극해 표층 수온의 감소 경향과 대체로 일치하며 이는 지구온난화와 반대되는 추세이기 때문에 지속적인 모니터링이 필요하다.

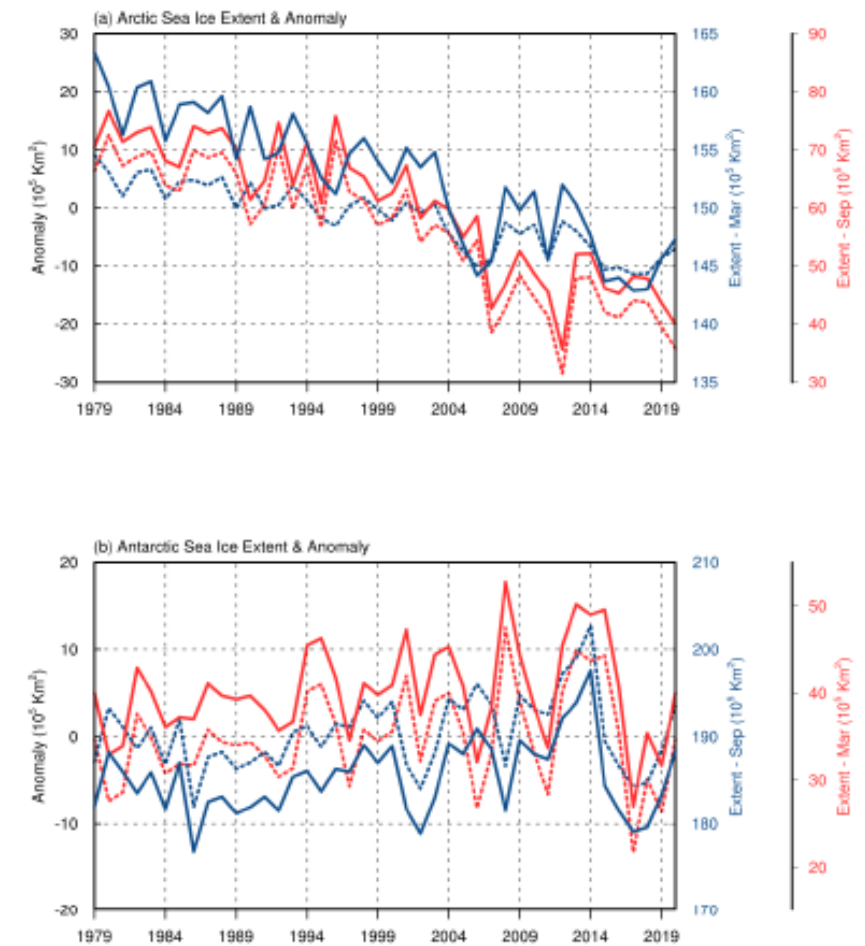


그림 7.6. (a) 북극과 (b) 남극의 해빙 면적(실선)과 편차(점선) 시계열 변화. 자료: NSIDC sea ice index (<https://nsidc.org/data/GO2135/versions/3>)

### 7.3. 대륙 적설

#### 2020년 대륙 적설

**요약**

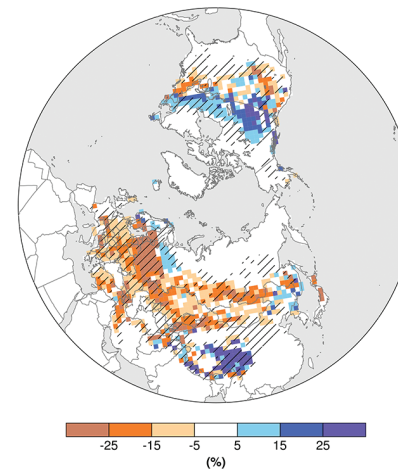
- 2020년 봄철 대륙적설은 평년에 비해 적었음.
- 3~4월은 유라시아 적설면적이 매우 적었으며(54년 중 최소 면적 3위), 5~6월에는 유라시아의 적설면적이 최저를 기록하였음(54년 중 최소 면적 1위).

대륙 적설은 온난화에 따라 감소가 뚜렷한 북반구 지역 봄철(3~6월) 눈덮임 면적을 중심으로 유라시아와 북아메리카 지역으로 나누어 평가하였다.

2020년 북반구 봄철 눈덮임은 지역적인 차이가 뚜렷하게 나타났다(그림 7.7). 3월~4월에는 유라시아 대륙의 중위도 지역에서는 하위 10%의 눈덮임을 기록했지만, 북아메리카 중위도 지역에서는 눈덮임 면적이 증가하였다. 2020년 봄철 북반구 전체 눈덮임 면적은 관측된 54년(1967년~2020년) 중 51위를 기록하였는데, 북아메리카 지역은 54년 중 21위를 기록한 반면, 유라시아는 54년 중 52위를 기록하여 유라시아 지역의 눈덮임 감소가 크게 기여하였다.

5월~6월에는 유라시아 북부와 북아메리카 북부 지역 모두 눈덮임 면적이 평년에 비해 작게 나타났다(그림 7.7). 북반구 전체 눈덮임 면적은 결측된 1969년을 제외한 53년 중 48위로 작았으며, 유라시아는 53위(최소 면적 1위), 북아메리카는 39위(최소 면적 15위)를 기록하였다.

March - April Snow Departure (2020)



May - June Snow Departure (2020)

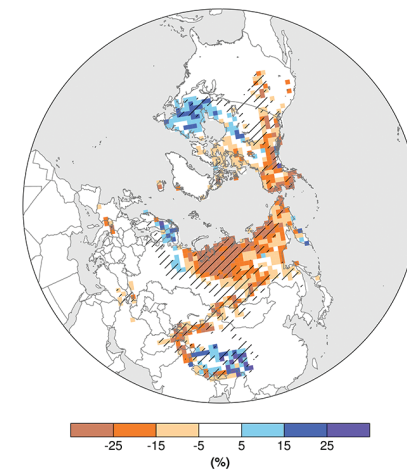


그림 7.7. 2020년 북반구 봄철 눈덮임의 편차(평년: 1981~2010년 평균).  
 (a) 3월~4월, (b) 5월~6월. 빗금은 상·하위 10%에 해당하는 지역을 나타냄.  
 ※ Rutgers University에서 제공하는 눈덮임 자료로 산출함.

## 대륙 적설 장기추세

### 요약

- 1967년부터 2020년까지 전지구 북반구 육지의 봄철 눈덮임 면적은 뚜렷하게 감소하였음. ( $-0.71 \times 10^6 \text{km}^2 / 10\text{년}$ )
- 유라시아 지역의 눈덮임 면적의 감소 경향이 북아메리카보다 크게 기여함.
- 3~4월은 중앙아시아, 5~6월은 러시아 북/동부, 알래스카와 캐나다 북부 지역에서의 눈덮임 감소가 뚜렷하게 나타남.

1967년부터 2020년까지 북반구 육지의 봄철(3월~6월) 평균 눈덮임 면적의 변화 경향을 살펴보면 북반구 평균 눈덮임은 뚜렷하게 감소하는 추세( $-0.71 \times 10^6 \text{km}^2 / 10\text{년}$ )를 보인다(그림 7.8). 유라시아와 북아메리카 지역 모두 눈덮임 면적이 감소하였으나, 유라시아 지역에서의 눈덮임 면적의 감소( $-0.53 \times 10^6 \text{km}^2 / 10\text{년}$ )가 북아메리카( $-0.19 \times 10^6 \text{km}^2 / 10\text{년}$ )보다 더 크게 나타났다.

과거 20년(1967~1986년 평균) 대비 최근 20년(2001~2020년 평균)의 눈덮임 면적 변화 패턴을 3~4월과 5~6월로 나누어 살펴보면(그림 7.9), 3~4월은 중앙아시아를 중심으로 눈덮임 감소 경향이 크게 나타났으며, 티벳 동쪽 지역의 눈덮임은 오히려 증가하였다. 반면, 북반구의 초여름에 해당하는 5~6월은 러시아 북부와 동부, 알래스카와 북부 캐나다 지역에서의 감소가 뚜렷하였다. 러시아 북동부의 급격한 눈덮임 감소는 2020년 봄철에 발생한 이상고온 현상(그림 2.3)과 밀접히 연관된 것으로 판단된다.

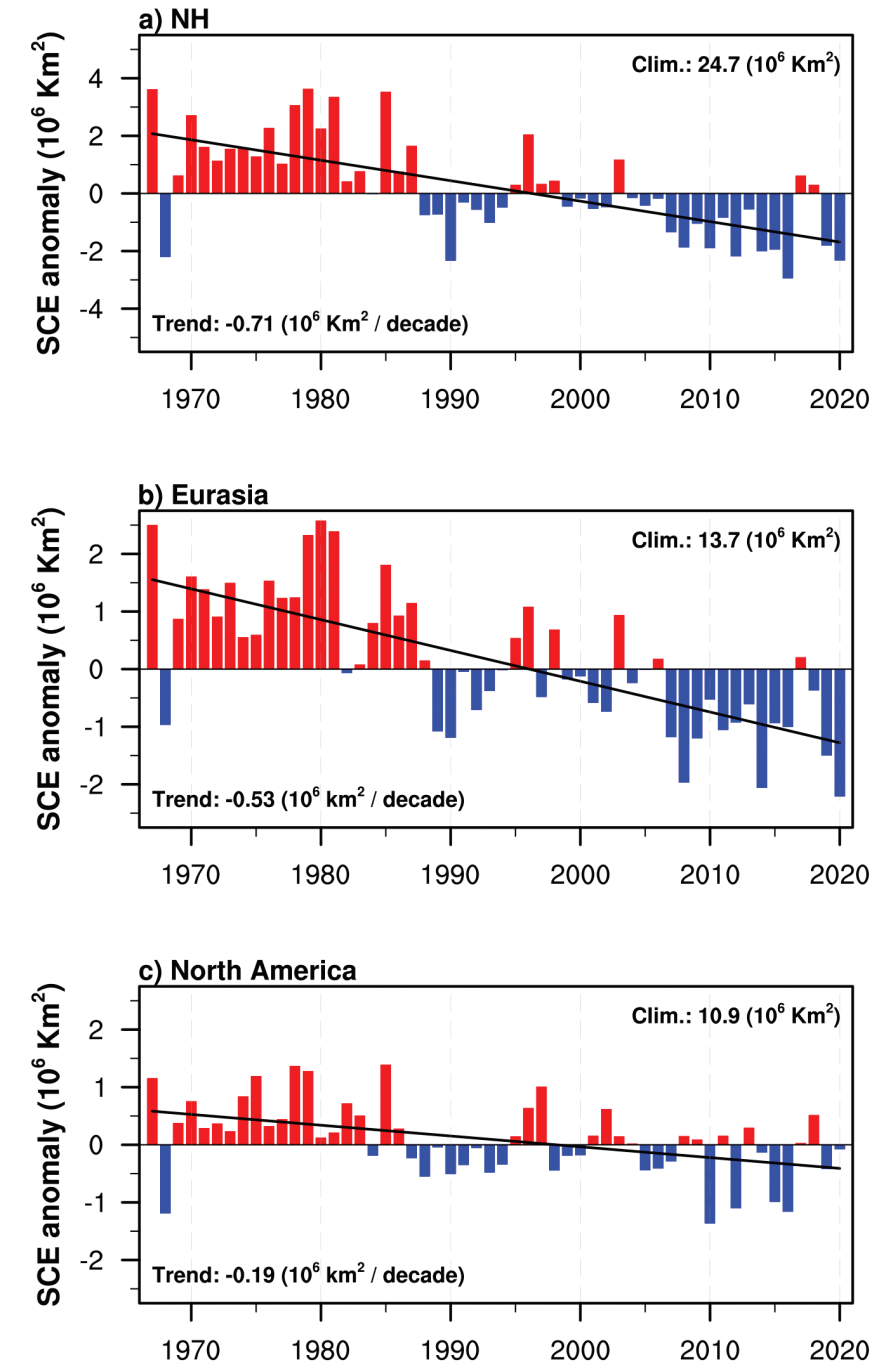


그림 7.8. 1967년부터 2020년까지 영역 평균 봄철(3~6월) 눈덮임의 편차 시계열(막대: 편차, 실선: 추세선)  
 (a) 북반구, (b) 유라시아, (c) 북아메리카(평년 1981~2010년 평균)  
 ※ Rutgers University에서 제공하는 눈덮임 자료로 산출함.

## 2020년 우리나라 적설

### 요약

· 2020년 우리나라 연 신적설 합계는 평년보다 적었지만, 관측 이후 가장 적게 기록되었던 지난해와 달리, 겨울철 신적설 합계는 평년보다 많았고, 신적설 5cm이상일수는 평년과 비슷하게 나타났음.

2020년 우리나라 평균 연 신적설 합계<sup>84)</sup>는 24.5cm로 평년(25.1cm)의 97.6% 수준이며(그림 7.10), 1973년 이후 19번째로 적은 연 신적설 합계로 기록되었다.

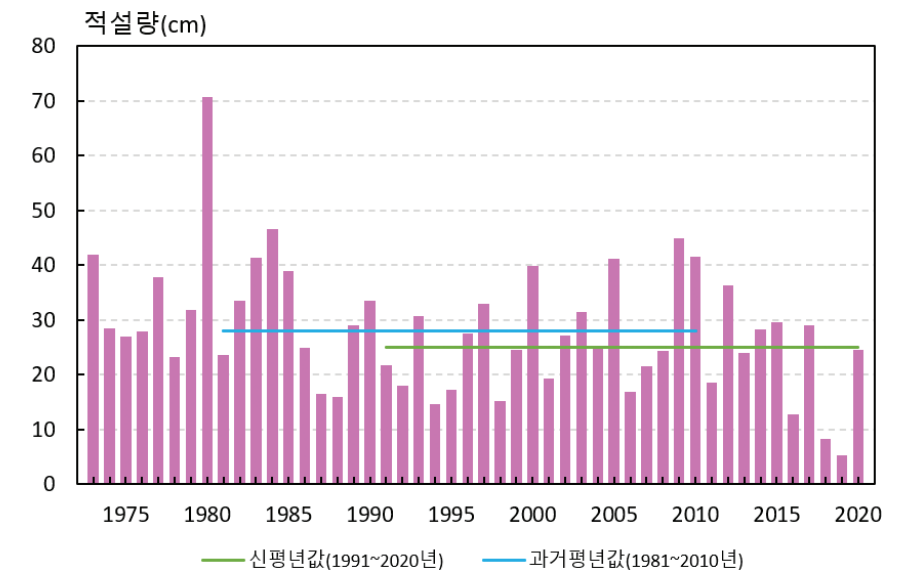


그림 7.10. 우리나라(13개 지점) 평균 연 신적설 합계 변화(1973~2020년)

2020년 연 신적설 합계는 지난해에 비해 강설현상이 많이 발생하면서 유인관측소<sup>85)</sup> 12개 지점에서 평년보다 많았지만 지점마다 적설 차이가 커서 우리나라 평균 연 신적설 합계는 평년보다 적었다(그림 7.11).

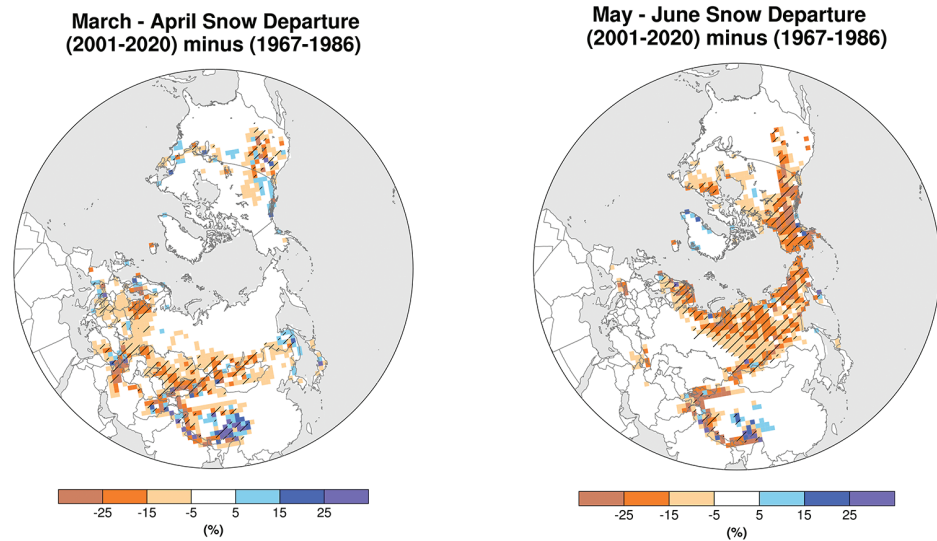


그림 7.9. 북반구 봄철 눈덮임의 변화 경향(1967~2020년). (a) 3월~4월, (b) 5월~6월. 분석 기간 중 40년 이상 눈덮임이 있는 격자만 변화 경향을 표출함. 빗금은 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 추세가 나타난 지역을 나타냄. ※ Rutgers University에서 제공하는 눈덮임 자료로 산출함.

84) 종합기후변화감시정보와 한국기후도(기상청, 2012)에 따르면 신적설의 연도별 통계는 전년도 10월부터 이듬해 4월까지의 통계이다. 예를 들어, 2020년 자료는 2020년 10월부터 2021년 4월까지의 통계이다.  
85) 기상청에 따르면 유인관측소 23개 지점에서 신적설량을 제공하므로 본 보고서에서는 23개 지점을 사용하였다. 또한 종합기후변화감시정보에서도 전국 평균값은 1973년 이후 연속적으로 관측자료가 존재하는 육지의 13개 지점값을 사용하였으므로 본 보고서에서 우리나라 연평균값은 13개 지점을 평균하여 산출하였다.

분석에 사용된 23개 유인관측지점(우리나라 평균값 산출할 때 사용한 13개 지점은 진하게 표기)

춘천(2016.10.1. 이후 북춘천 자료 사용), 백령도, 북강릉, 서울, 인천, 울릉도, 수원, 서산(2017.11.1. 이후 홍성 자료 사용), 청주, 대전, 안동, 포항, 대구, 전주, 울산, 창원, 광주, 부산, 목포, 여수, 흑산도, 제주, 서귀포



- 울릉도에서 261.2cm로 가장 많았고, 울산·창원·부산은 지난해에 이어 0.0cm로 강설은 나타났으나 적설 되지 않았음.
- 북강릉의 연 신적설 합계(41.4cm)는 2021년 3월 1일에 기록된 적설량(32.4cm)의 비중이 큼.

- 지점별로 살펴보면 2020년 겨울철 신적설 합계는 유인관측소 13개 지점에서 평년보다 많았음(그림 7.12).
- 23개 지점 중, 울릉도에서 254.8cm로 가장 많았음. 하지만 북강릉 지점은 연 신적설 합계와는 달리 겨울철 신적설 합계가 0.4cm를 나타내면서 관측개시 2008년 이후 가장 적었음.

- 지점별로 살펴보면 2020년 신적설 5cm이상일수는 유인관측소 9개 지점에서 평년보다 많았음(그림 7.13).
- 울릉도에서 16일로 가장 많아서 평년보다 2.4일 많았고, 흑산도에서는 4일을 기록하면서 관측개시 1997년 이후 가장 많았음. 백령도에서도 2012년 이후 가장 많은 6일을 기록하였음.

또한, 2020년 4월은 저온현상이 빈번하게 나타났는데 특히, 4월 22일 서울에 진눈깨비가 관측되면서 1907년 기상관측이 시작된 이후 가장 늦은 봄철 강설일로 기록되었다.

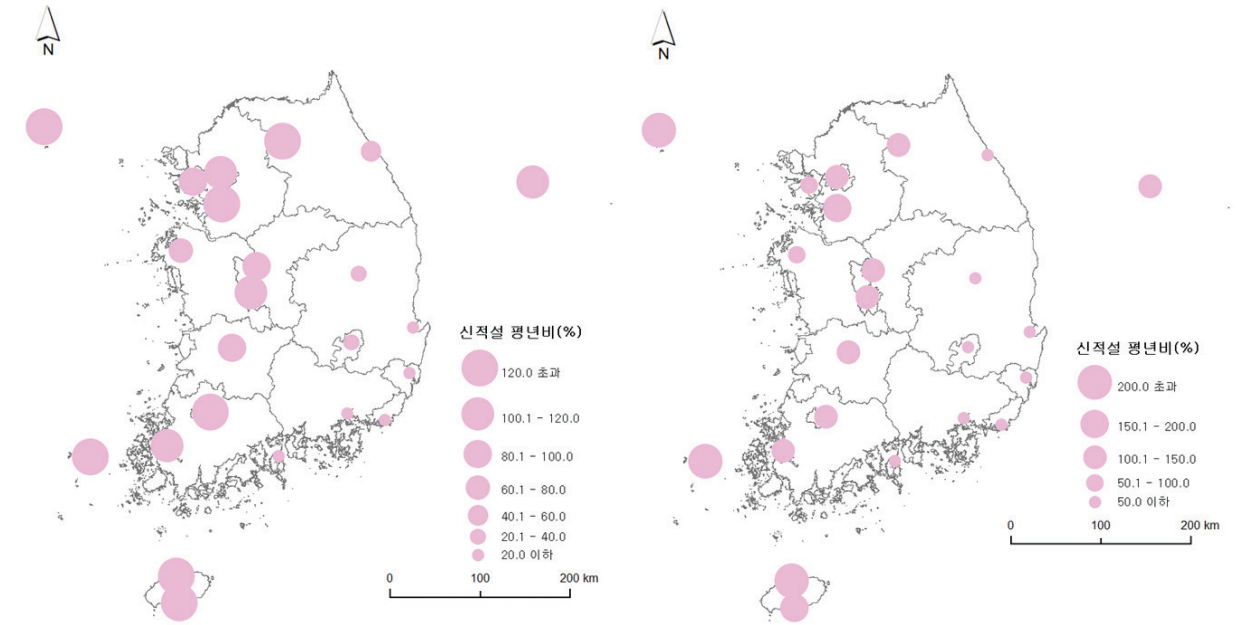


그림 7.11. 2020년 지점별 연 신적설 합계 평년비  
(평년: 1991~2020년의 평균)

그림 7.12. 2020년 지점별 겨울철 신적설 합계 평년비  
(평년: 1991~2020년의 평균)

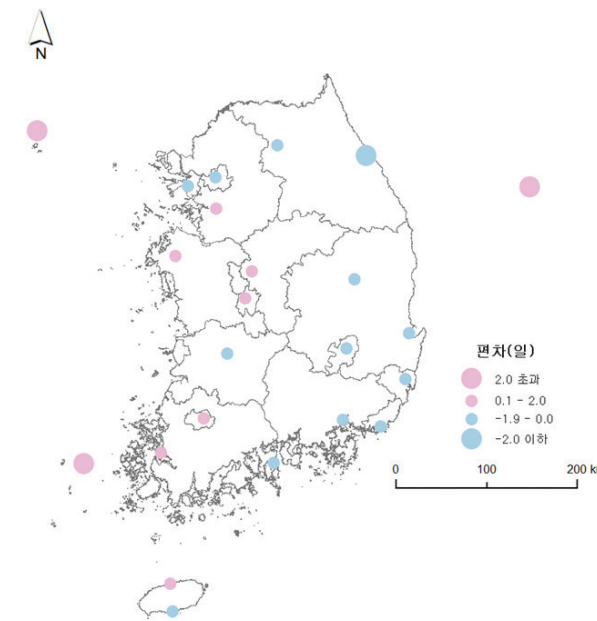


그림 7.13. 2020년 지점별 신적설 5cm이상일수 편차  
(평년: 1991~2020년의 평균)

# CHAPTER 08

## 기후 변동성

8.1. 엘니뇨/라니냐의 변동성

8.2. 북극진동의 변동성

8.3. 동아시아 여름/겨울 몬순의 변동성





## 요약

- 2019년 여름철부터 지속되던 엘니뇨는 2020년 봄까지 지속되었고, 이후 라니냐로 전환되어 지속됨.

엘니뇨·라니냐는 전지구 기후변동에 큰 영향을 미치는 요소 중 하나로 지역과 계절에 따라 다른 영향을 미친다. 2020년 엘니뇨·라니냐의 변화를 조사하기 위해 열대 태평양 엘니뇨·라니냐 감시구역의 해수면 온도 편차를 분석하였다(그림 8.1).

2020년 4월까지 양의 값을 보이다가 그 이후 음의 값으로 전환하였다. 기상청 엘니뇨·라니냐 기준\*에 따라 2020년 8월부터 라니냐가 발달하여 지속중이다.

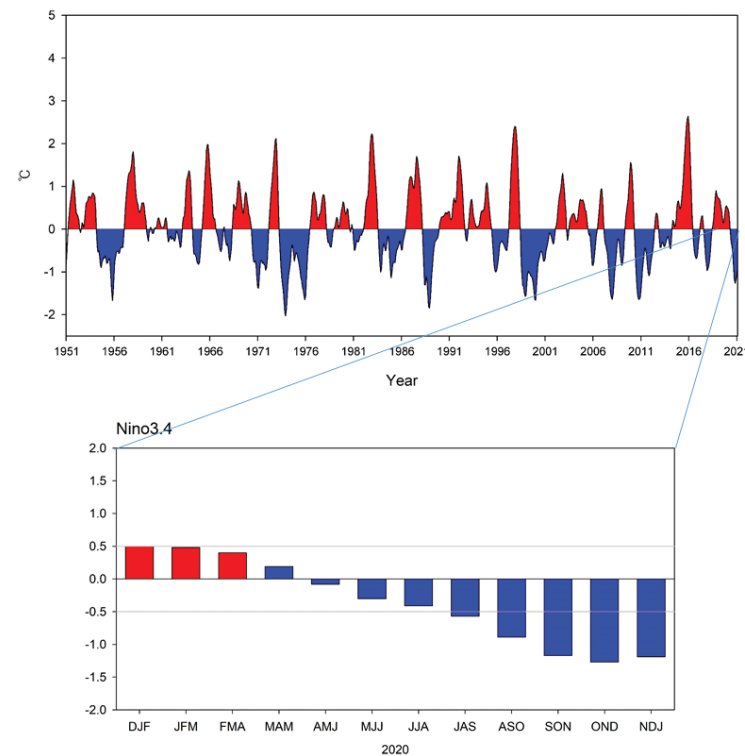


그림 8.1. 3개월 이동 평균한 엘니뇨·라니냐 감시구역의 해수면온도 편차 시계열

※ 출처: NOAA CPC에서 제공하는 Nino3.4 지수

※ 기준: 엘니뇨·라니냐 감시구역(열대 태평양 Niño3.4 지역: 5°S~5°N, 170°W~120°W)의 3개월 이동평균한 해수면온도 편차 (1981~2010년 30년 평균대비)가 +0.5°C 이상(-0.5°C 이하)으로 5개월 이상 지속될 때 그 첫 달을 엘니뇨(라니냐)의 시작으로 정의함.

## 8.2. 북극진동의 변동성

### 요약

- 2020년 초반은 양의 북극진동이 발달하였지만 5월부터 음의 북극진동으로 바뀌기 시작함.
- 초반 양의 북극진동과 연관되어 극의 차가운 공기가 남하하지 못해 겨울철 기록적인 고온 현상이 발생하였음.

북극진동(Arctic Oscillation, AO)은 북반구에서 나타나는 대규모 기후변동 중 하나로 북극과 중위도에서의 해면기압의 편차가 서로 반대 부호를 가진다. 겨울철 북극진동은 북반구 지역의 겨울철 기후 변동에 영향을 미친다. 양(+)의 북극진동일 때 대류권 상층 제트의 바람 세기가 강해져 극지방으로부터 차가운 공기가 남하하는 것을 막고, 음(-)의 북극진동일 때 바람 세기가 약해져 제트가 사행하면서 차가운 북극의 공기가 남쪽으로 쉽게 유입되어 한파를 발생시킬 수 있다<sup>86)</sup>.

2020년 북극진동의 변화를 살펴 보기 위하여 미국 National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA)의 북극진동 지수 시계열을 분석하였다(그림 8.2). 12, 1, 2월 평균한 북극진동(AO) 지수(National Weather Service/Climate Prediction Center 자료 이용)에서 2019년 겨울(2019년 12월, 2020년 1월, 2020년 2월)은 양의 값을 보이면서 우리나라 1월 평균기온은 1973년 이후 순위에서 상위 1위, 한파일수는 하위 1위로 기록될 정도로 고온현상이 발생하였다(2020년 기후특성보고서). 반면, 2020년 겨울(2020년 12월, 2021년 1월, 2021년 2월)은 다시 음의 값으로 전환되었다.

86) Cohen, J. et al, 2014 : Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather, Nat. Geosci, 7, 627-637.

## 8.3. 동아시아 여름/겨울 몬순의 변동성

## 요약

- 2020년 강한 동아시아 여름 몬순으로 인하여 여름철 강수량이 평년보다 훨씬 많았음.
- 월별 겨울철 동아시아 겨울 몬순에 따라 겨울철 기온이 변동했음.

## 동아시아 여름 몬순

한반도 여름철 날씨에 막대한 영향을 미치는 동아시아 여름몬순의 경년변동성을 파악하기 위하여 북서태평양 여름몬순 지수(Western North Pacific Summer Monsoon Index, WNPMI)를 분석하였다. 북서태평양 여름몬순 지수(WNPMI)는 동아시아 지역 1(5~15°N, 100~130°E)과 지역 2(20~30°N, 110~140°E)의 6~9월 평균 850hPa 동서방향바람 차이, 즉 두 지역의 수평 바람시어를 계산함으로써 산출된다.

일반적으로 동아시아와 북서태평양 지역은 동아시아 여름몬순과 북서태평양 여름몬순에 의해 여름철 날씨가 영향을 받고, 두 몬순이 남북방향의 쌍극자 모드를 취해 동아시아 여름몬순이 강한(약한) 해는 북서태평양 여름몬순이 약한(강한) 특성을 갖는다. 따라서 WNPMI는 여름철 한반도를 포함한 동북아시아 지역의 강수량과 음(-)의 상관관계를 보인다.

그림 8.3에서 2020년 WNPMI는 최근 42년 중 1998년 다음으로 가장 낮은 수치를 보였으며, 이는 동아시아 여름 몬순이 매우 강했다는 것을 의미한다. 강한 여름 몬순의 영향으로 인해 2020년 여름철 강수는 평년보다 훨씬 많았으며, 특히 7-8월엔 평년보다 약 1.5배 많은 강수가 발생하였다(표 8.1).

2020년 여름철의 매우 강한 동아시아 여름 몬순의 영향으로 우리나라뿐만 아니라 중국과 일본에서 평년보다 매우 많은 강수가 발생하였는데(그림 8.4a), 그 이유는 강한 동아시아 여름 몬순 시기의 종관 특성과 관련이 있다. 2020년은 북서태평양 고기압이 중국 동해안까지 이례적으로 확장하였고(그림 8.4b), 고기압의 연변을 따라 화남지역에서부터 한반도를 거쳐 일본까지 발달한 하층 남서기류가 강해져 동아시아 국가들에 많은 수증기를 공급하였다(그림 8.4c). 또한 고기압의 지속적인 발달로 인해 북서태평양 아열대 지역의 해수면온도가 상승해 잠열속으로 인한 해양에서 대기로의 에너지 공급도 증가할 수 있었다(그림 8.4d). 이처럼 2020년은 강한 동아시아 여름 몬순과 연관되어 이례적으로 발달한 종관 특성으로 인해 평년보다 많은 강수가 동아시아 지역에 발생하였다.

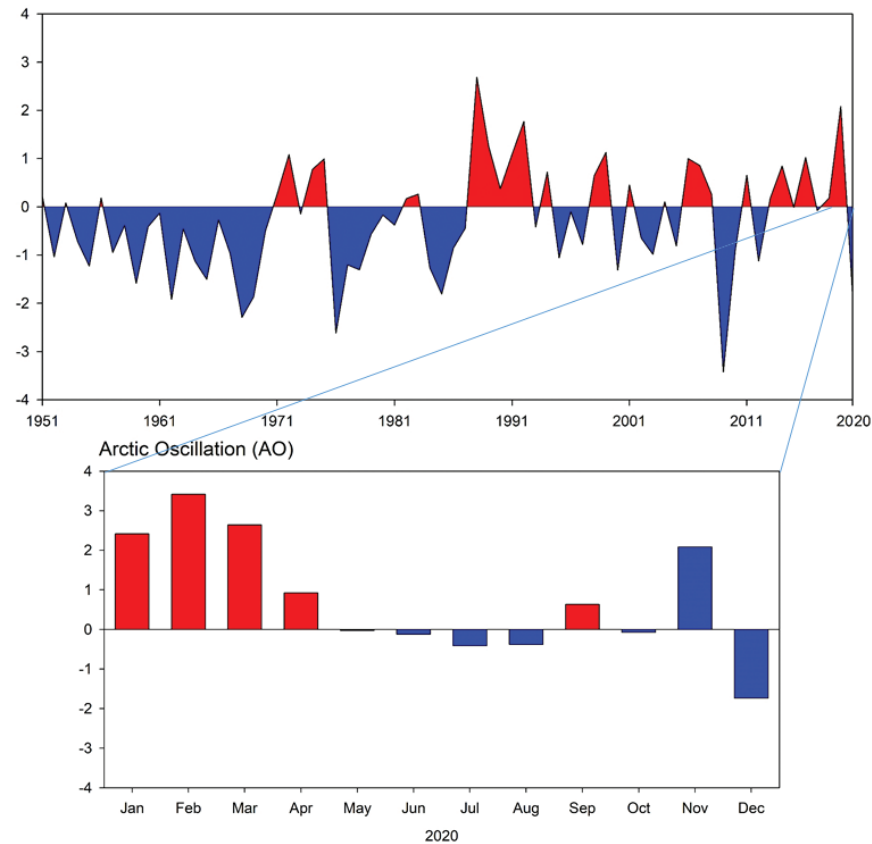


그림 8.2. 월별 북극진동 지수 시계열  
※ 출처: NOAA CPC에서 제공하는 AO 지수



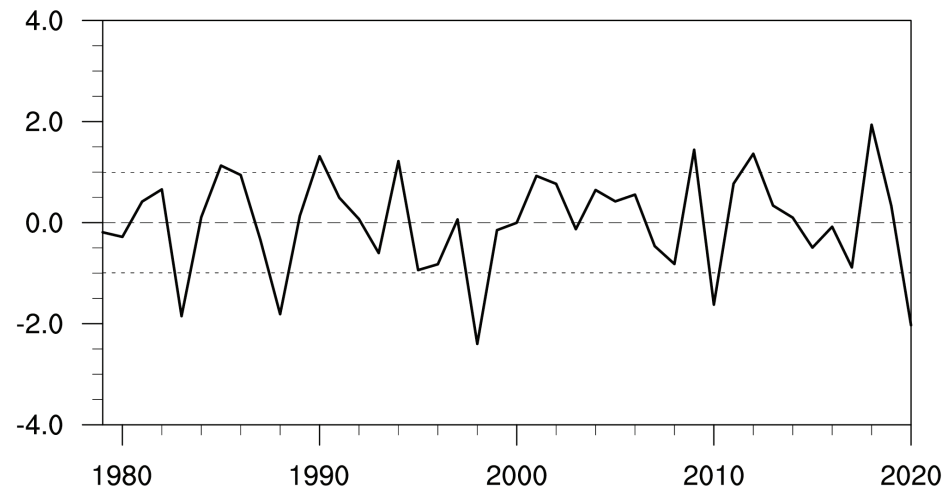


그림 8.3. ERA5 자료로 계산한 표준화된 북서태평양 여름몬순 지수(WNPMI) 시계열

표 8.1. 1981~2010년 기후값에 대한 2020년 우리나라 월평균 강수량 편차

	6월	7월	8월	9월
월평균 강수량 아노말리 (%)	+114.4	+150.6	+142.1	+126.8

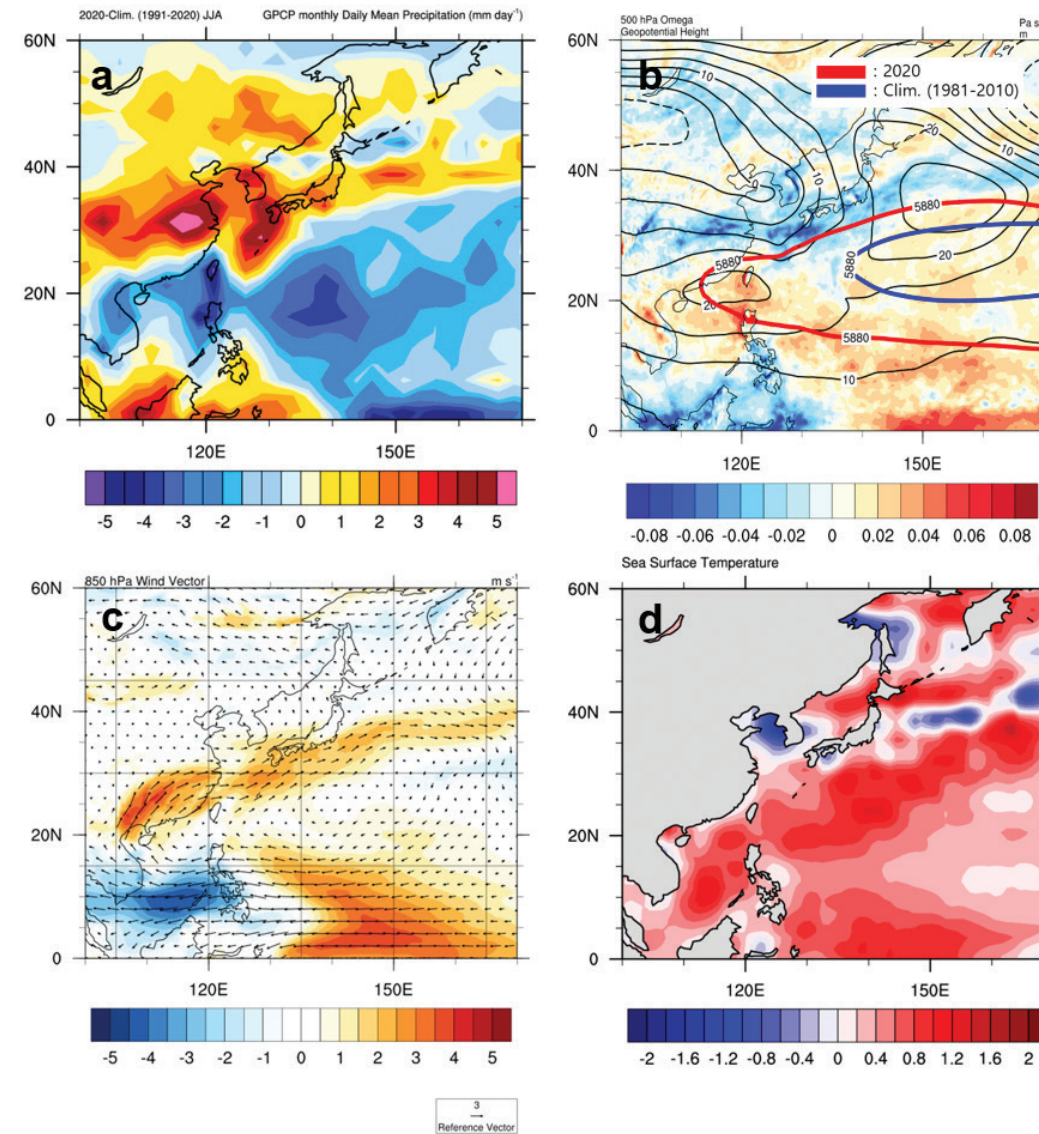


그림 8.4. a) 2020년 6월~8월 평균 강수량 아노말리, b) 500 hPa 오메가 아노말리와 5880 gpm 지위고도선, c) 850 hPa 하층 바람 아노말리, d) 해수면 온도 아노말리 분포(평년: 1991~2020년 평균)

## 동아시아 겨울몬순

극동아시아 지역의 겨울철 날씨와 연관성이 높은 동아시아 겨울몬순의 경년변화를 조사하기 위하여 동아시아 겨울몬순 지수를 분석하였다.

다양한 동아시아 겨울몬순 지수가 있지만 대표적으로 사용되는 Jhun and Lee(2004)<sup>87)</sup>의 동아시아 겨울몬순 지수(East Asia Winter Monsoon Index, EAWMI)를 활용하였다.

※ EAWMI는 아시아의 지역 1(27.5~37.5°N, 110~170°E)과 지역 2(50~60°N, 80~140°E)의 겨울철(DJF) 기간 300hPa 고도의 동서 바람 차이로 정의됨.

일반적으로 EAWMI 아노말리가 양수일 때, 즉 동아시아 겨울몬순이 강할 때 시베리아 고기압이 남동쪽으로 확장하여 한반도 겨울철 기온이 평년(1981~2010년)보다 낮은 특성이 나타난다.

다만, 2020년 EAWMI 아노말리를 통해 동아시아 겨울몬순이 평년과 유사했음을 알 수 있었다(그림 8.5). 다만, 월별로 EAWMI를 구했을 때 12월엔 양, 1월과 2월엔 음의 아노말리가 나타났으며, 이는 남한 지역의 겨울철 기온 아노말리와 대응된다.

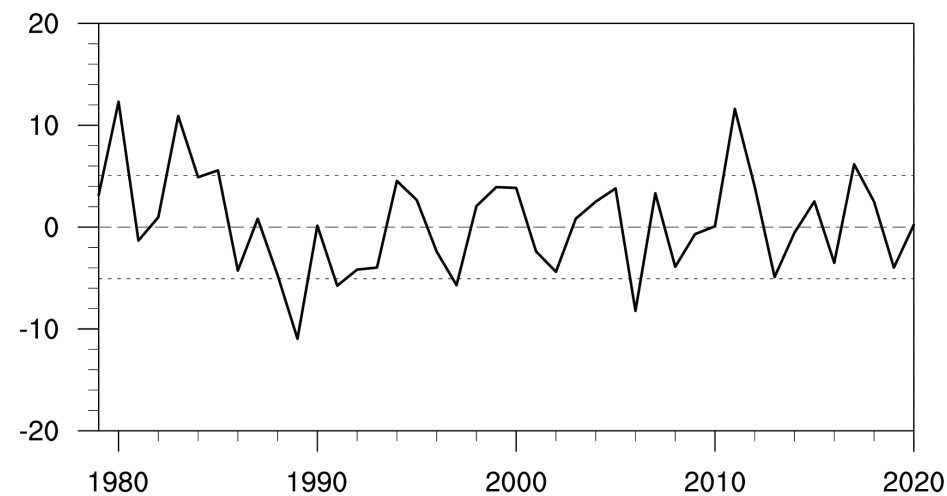


그림 8.5. ERA5 자료로 계산한 동아시아 겨울몬순 지수(EAWMI) 아노말리의 변화

# 부록

I. 지점별 신평년과 과거평년 간 비교(기온, 강수량)

II. 지점별 1991~2020년과 1961~1990년의 극한기온 비교



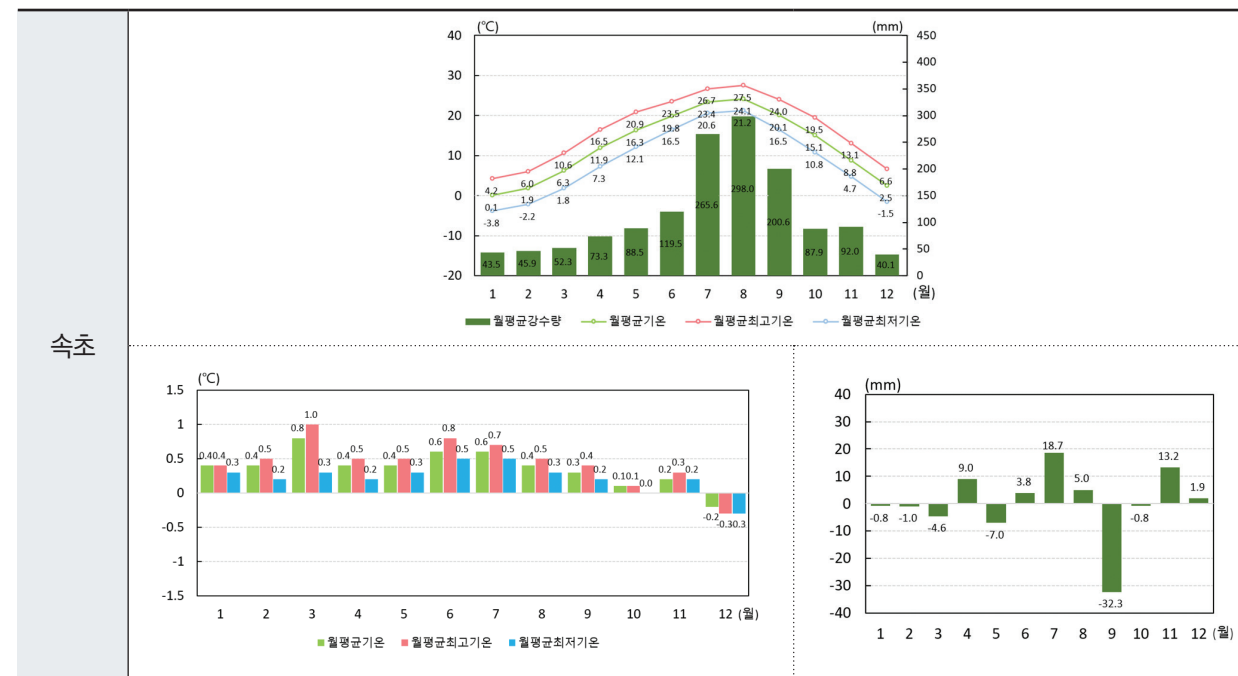
87) Jhun, J.-G., and E.-J. Lee, 2004: A new East Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon. J.Climate, 17, 711-726.

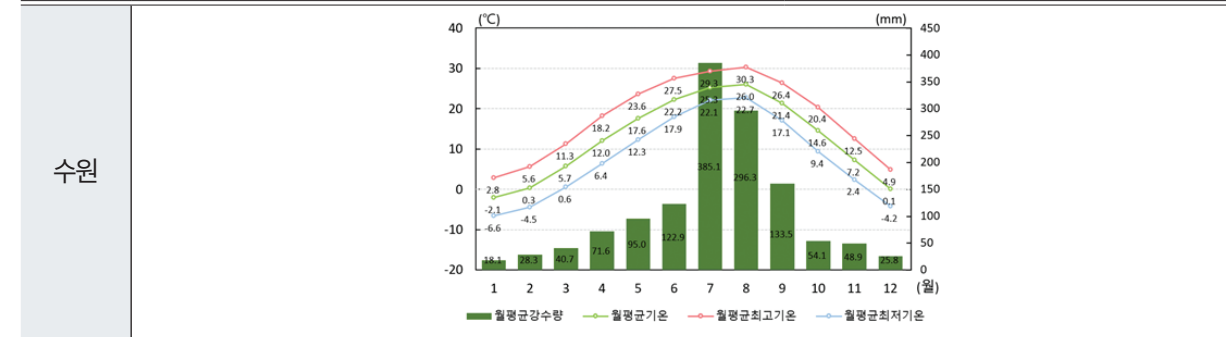
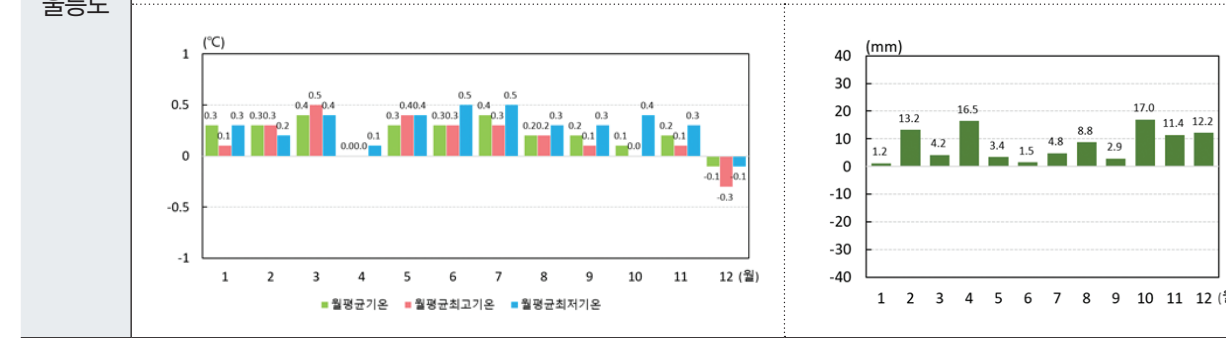
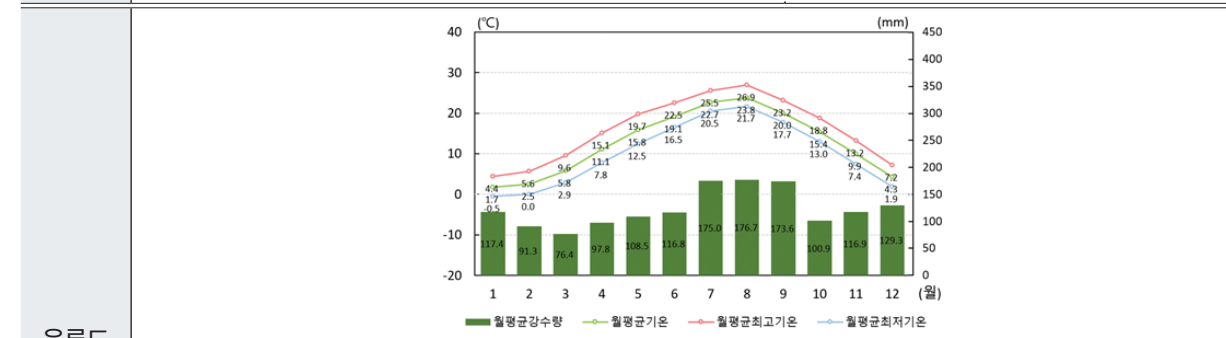
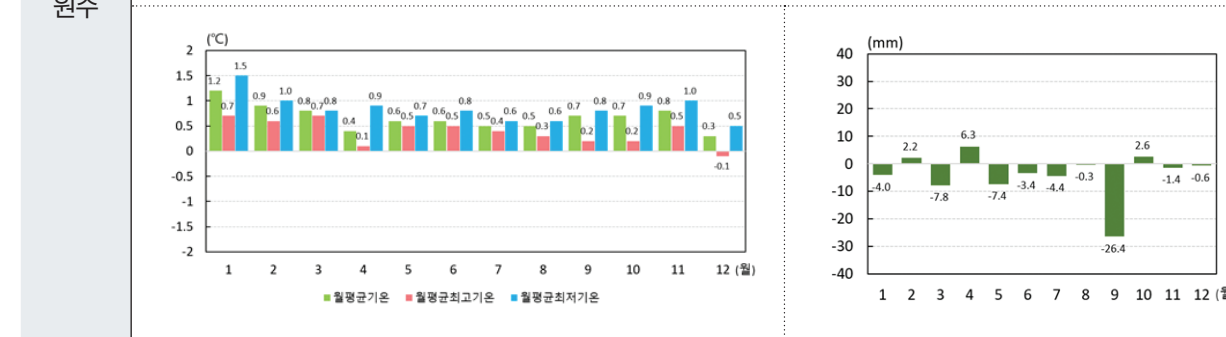
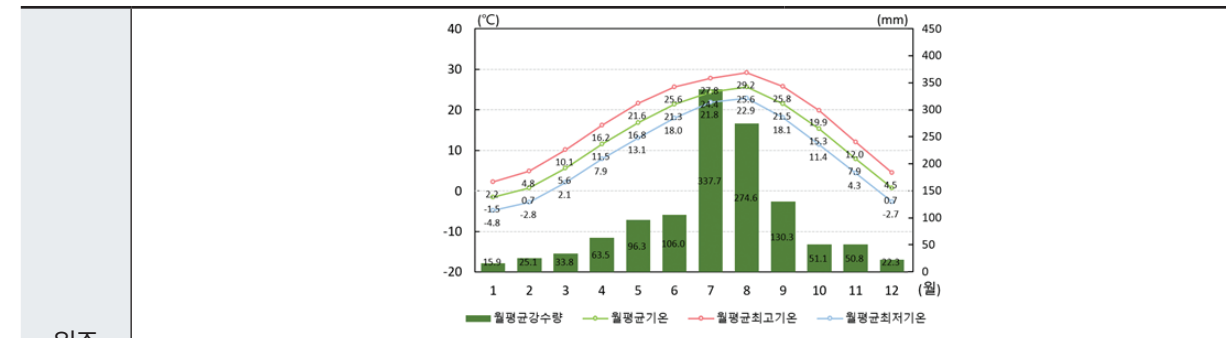
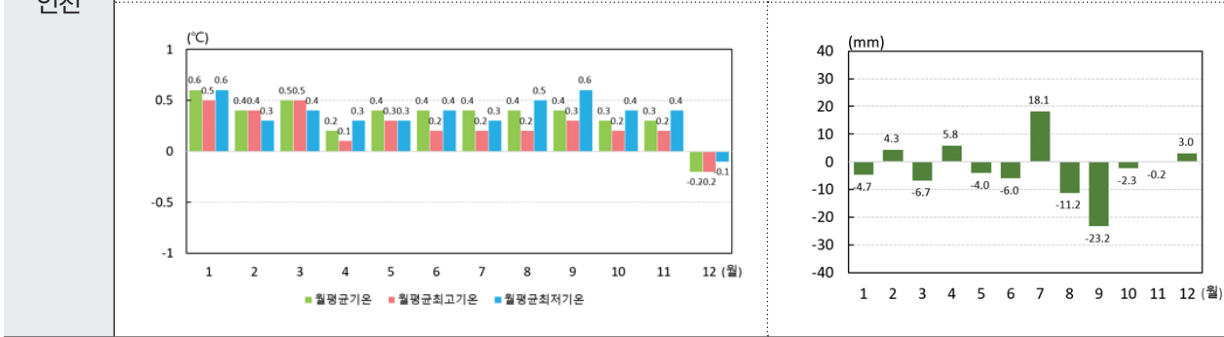
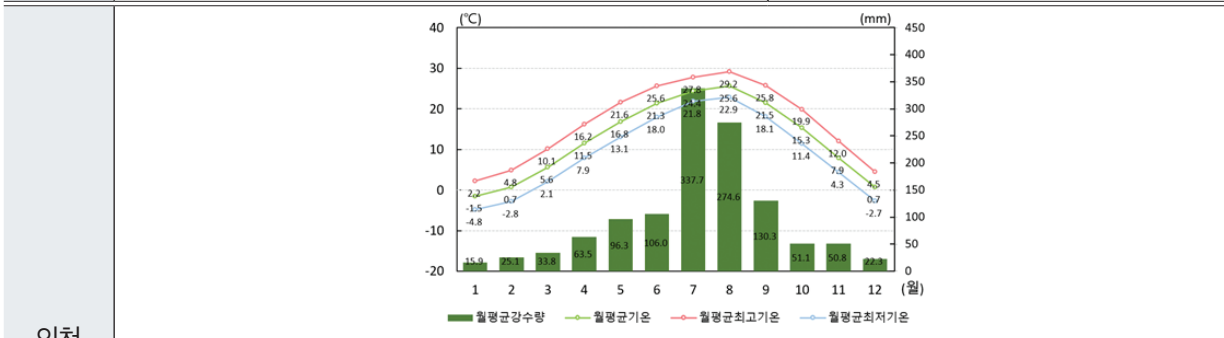
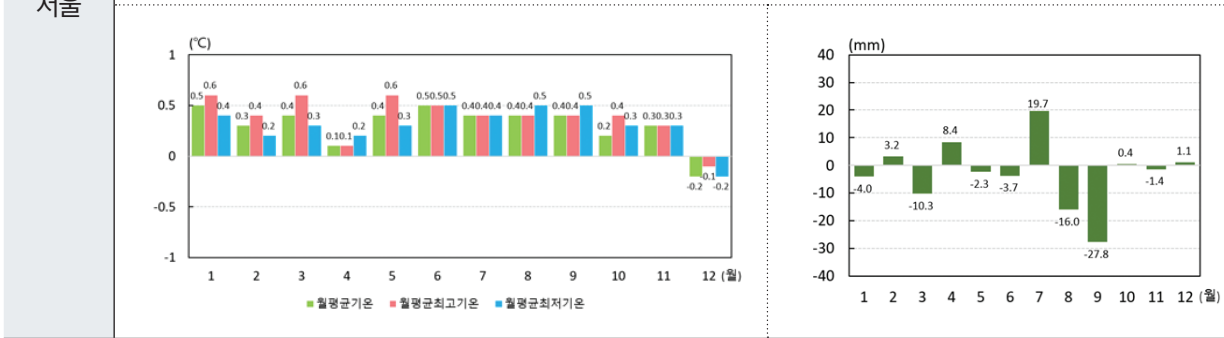
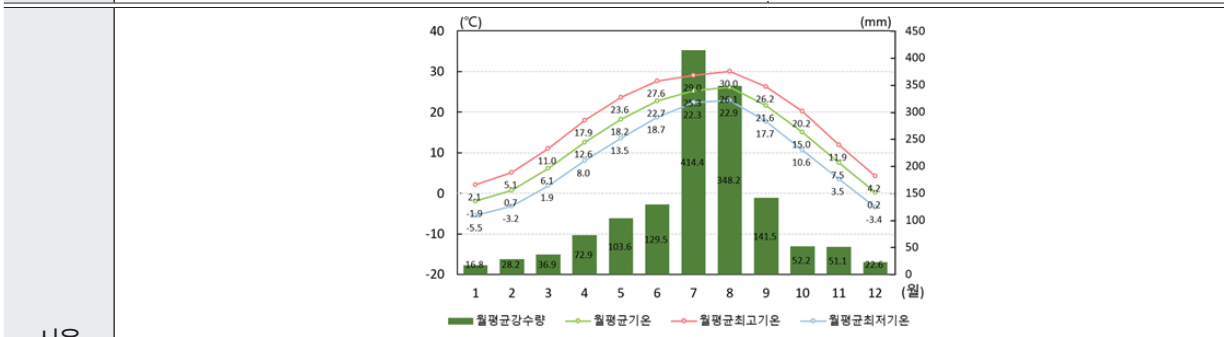
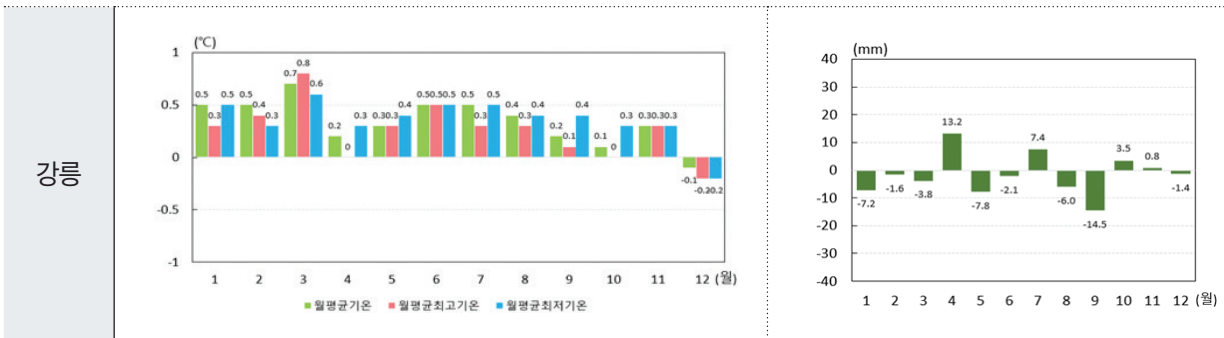
# 부록

## I. 지점별 신평년과 과거평년 간 비교(기온, 강수량)

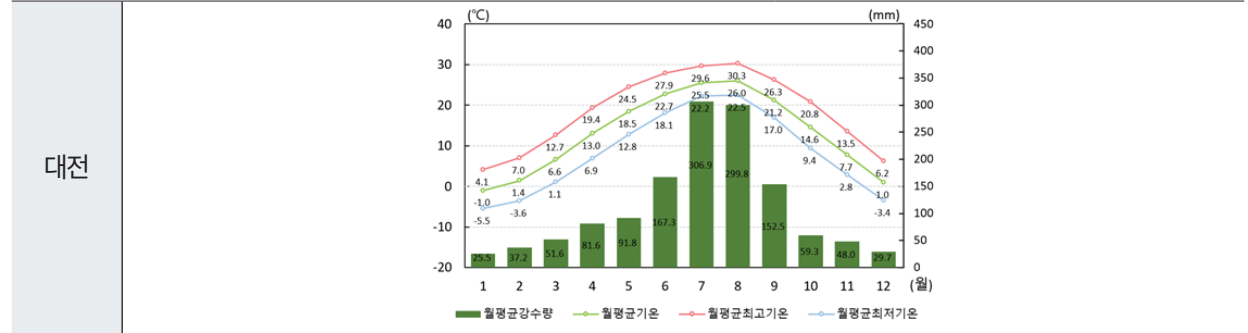
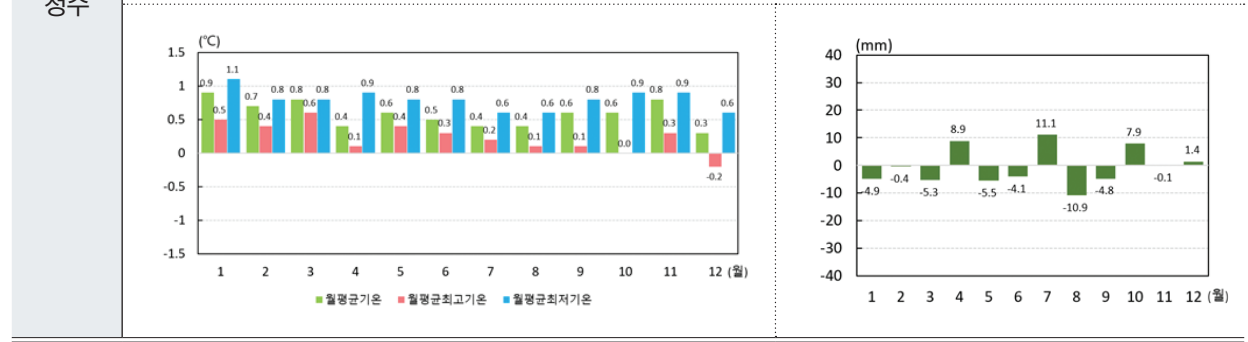
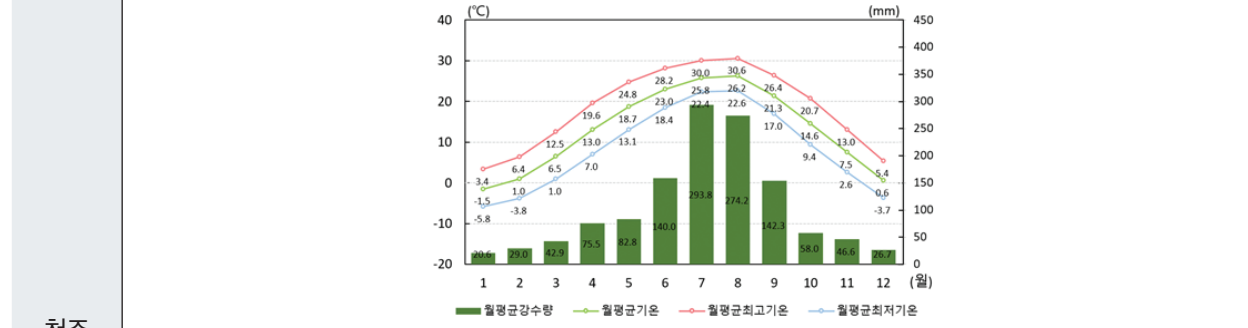
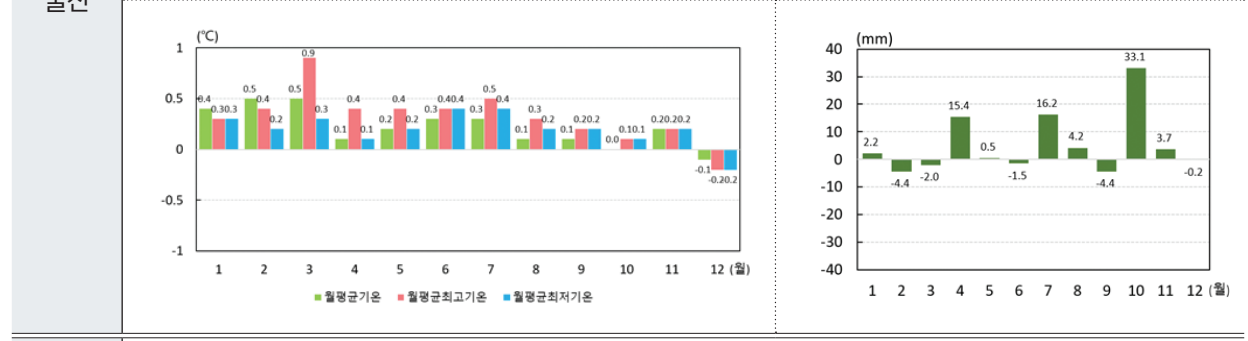
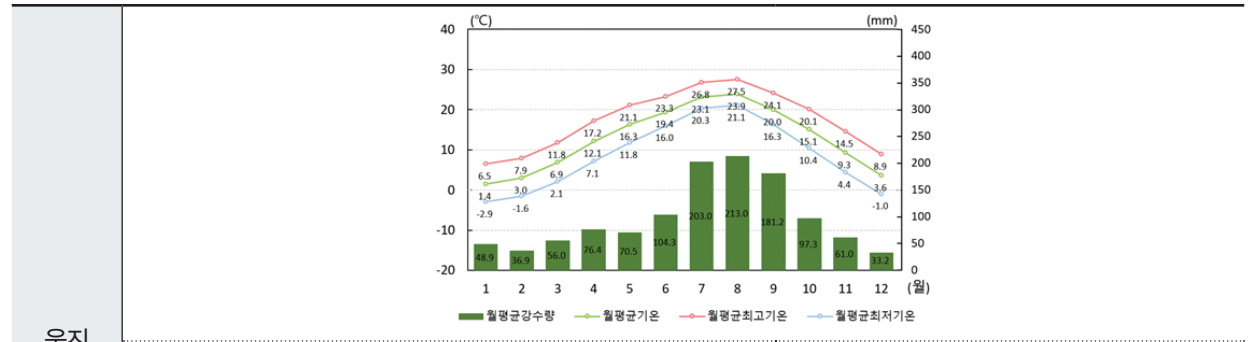
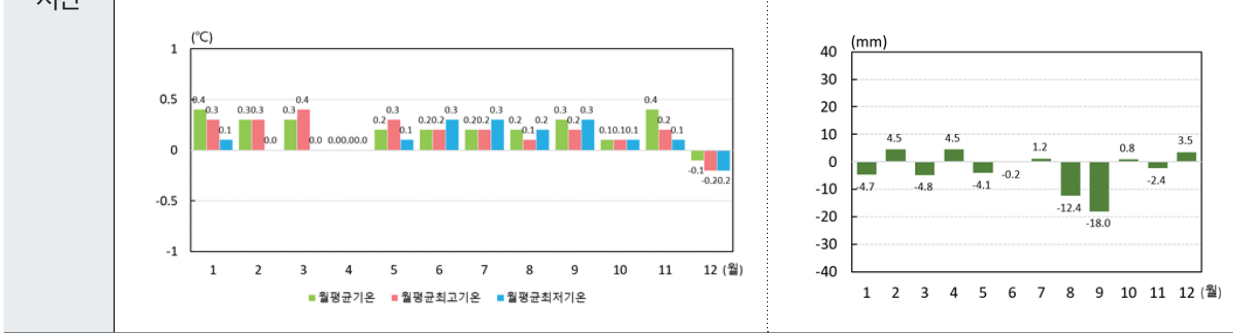
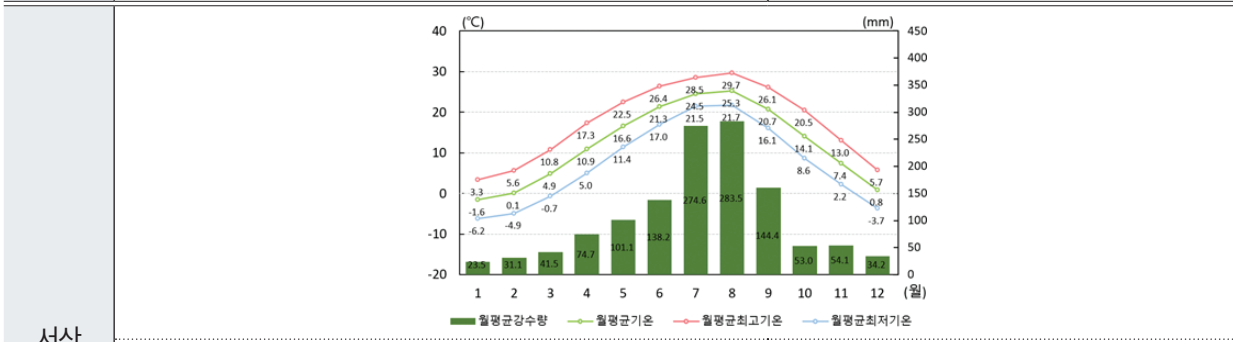
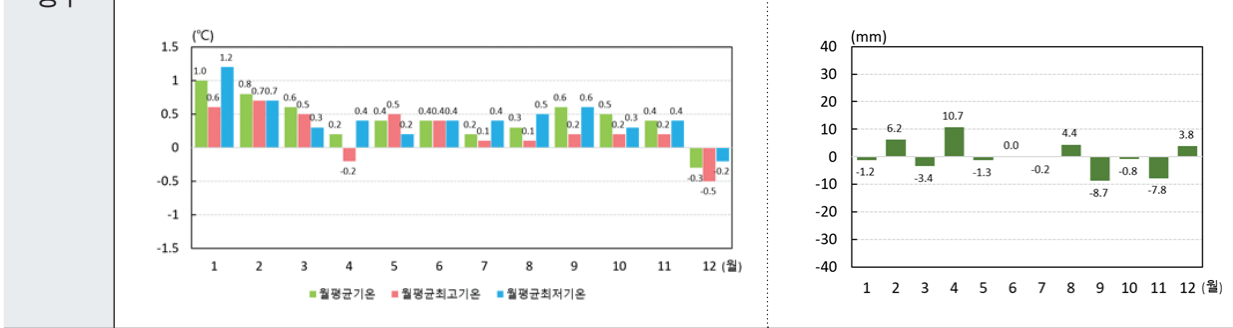
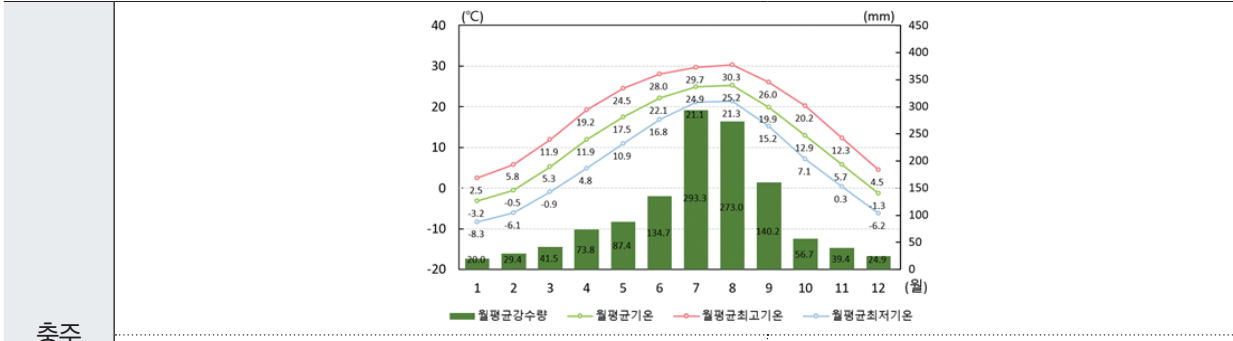
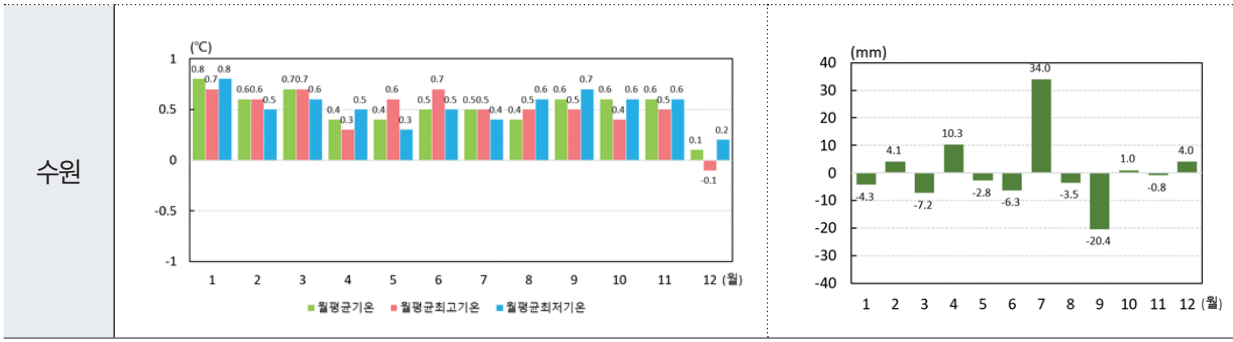
기상청의 기후통계지침(2021)에 의거하면 기후평년값은 '0'으로 끝나는 해의 최근 30년의 누년평균값으로 정의되며, 10년마다 산출된다. 2021년부터 신평년값(1991~2020년)이 제공되고 있으며, 2030년까지 사용된다. 지역별 기후평년값은 지역의 기후특성을 반영하는 것으로 새로운 기후평년값과 과거 기후평년값의 변화를 파악하는 것이 지역의 기후특성 이해에 있어서 중요하다. 이에 본 보고서에서는 1973년부터 자료가 제공되는 60개 지점을 대상으로 지점별 신평년값의 클라이모그래프와 신평년값과 과거평년값(1981~2010년) 간의 비교를 표 1에 제시하였다.

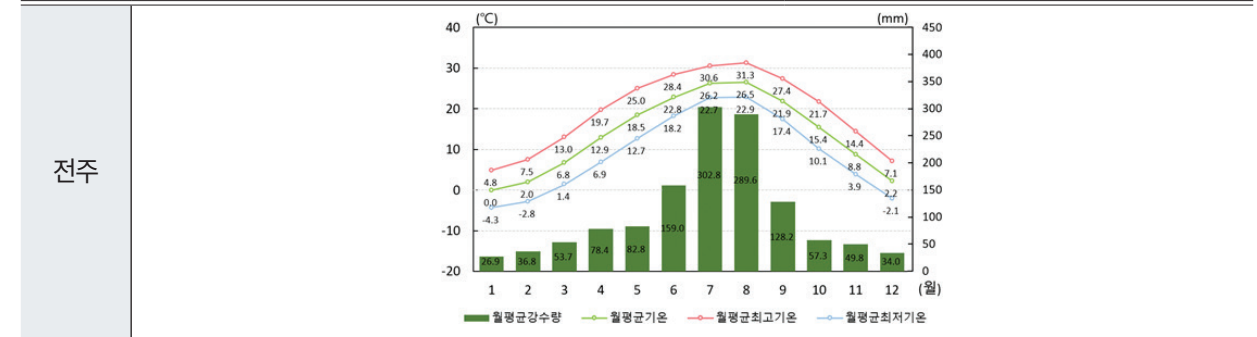
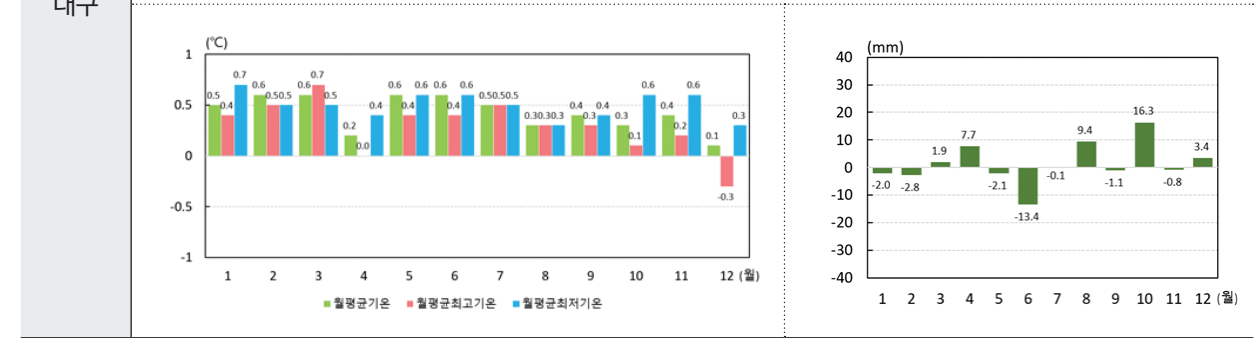
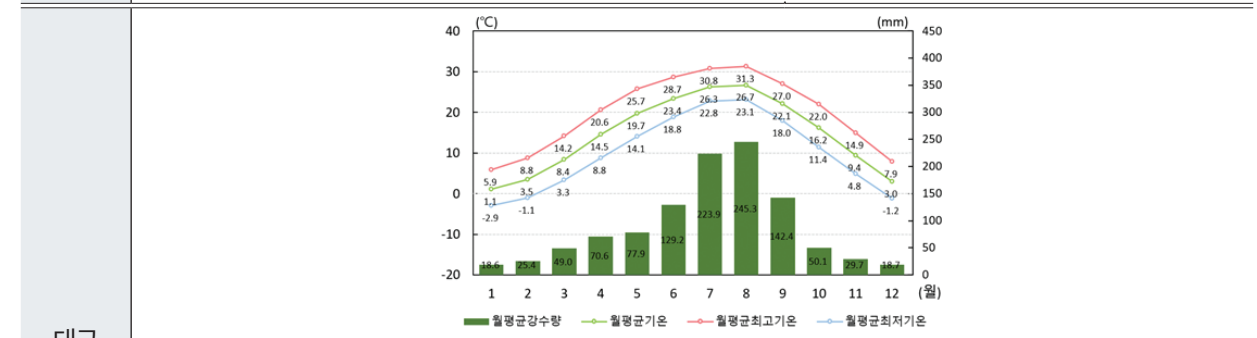
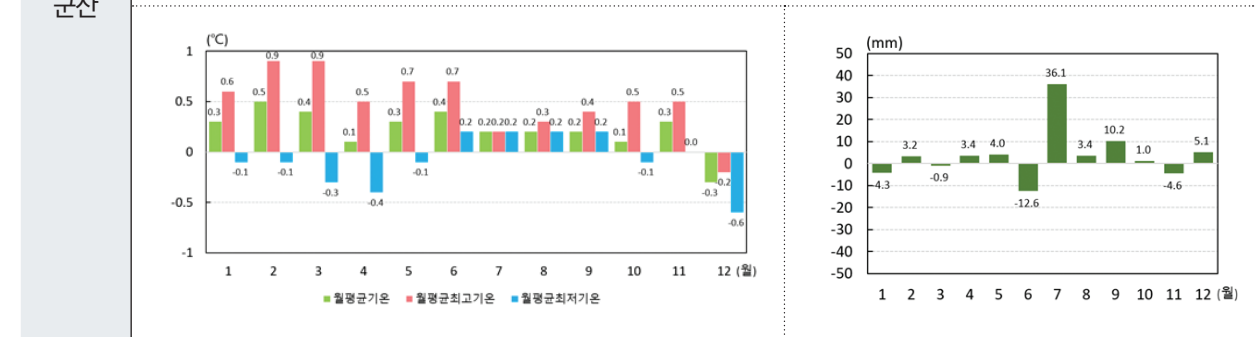
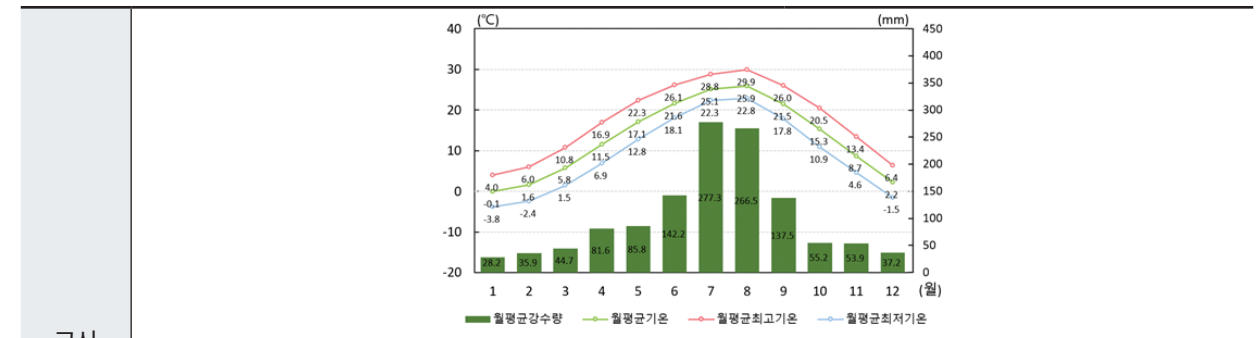
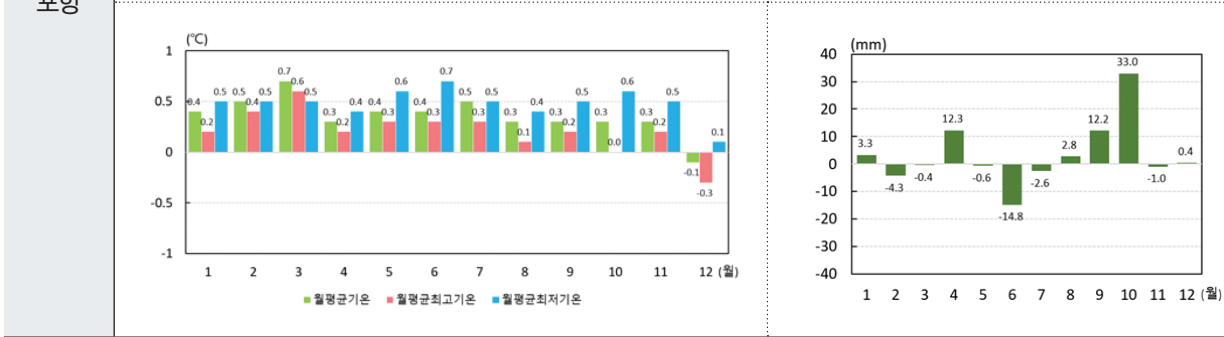
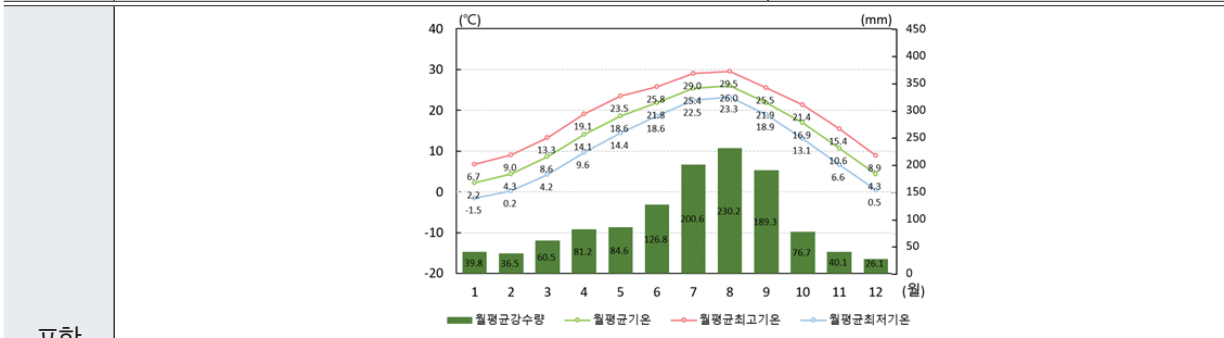
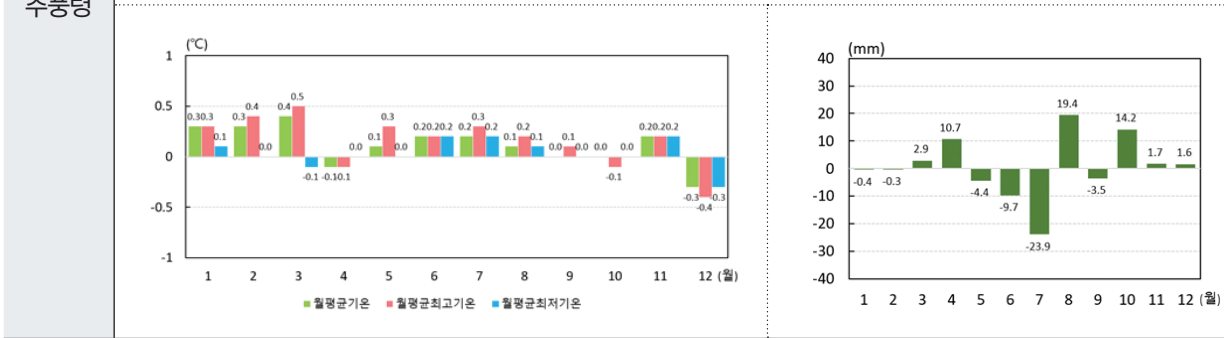
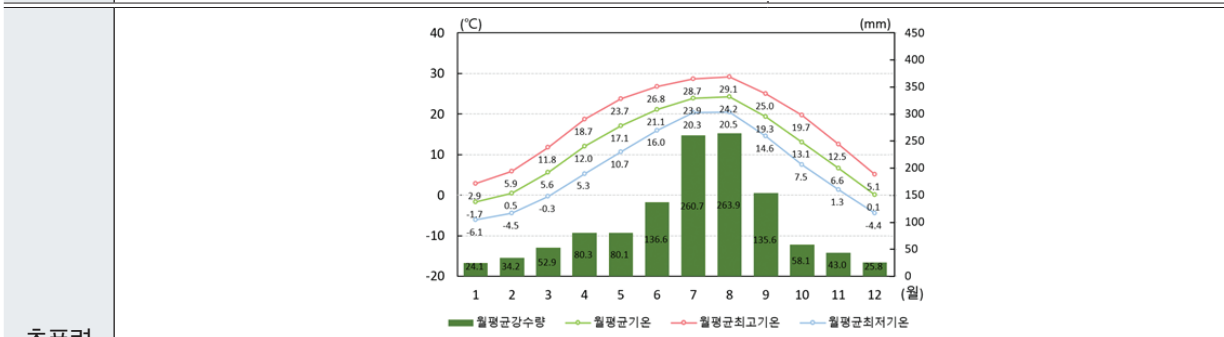
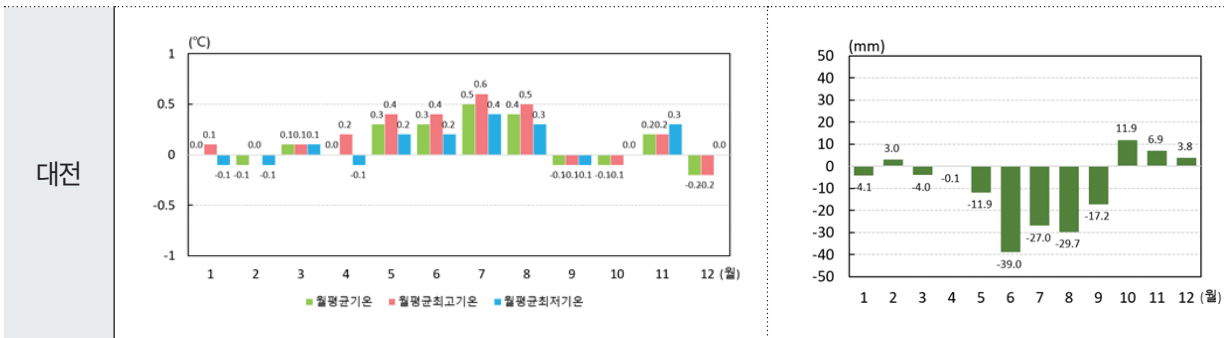
표 1. 60개 지점별 신평년값(1991~2020년) 클라이모그래프와 신평년값과 과거평년값(1981~2010년)의 차이

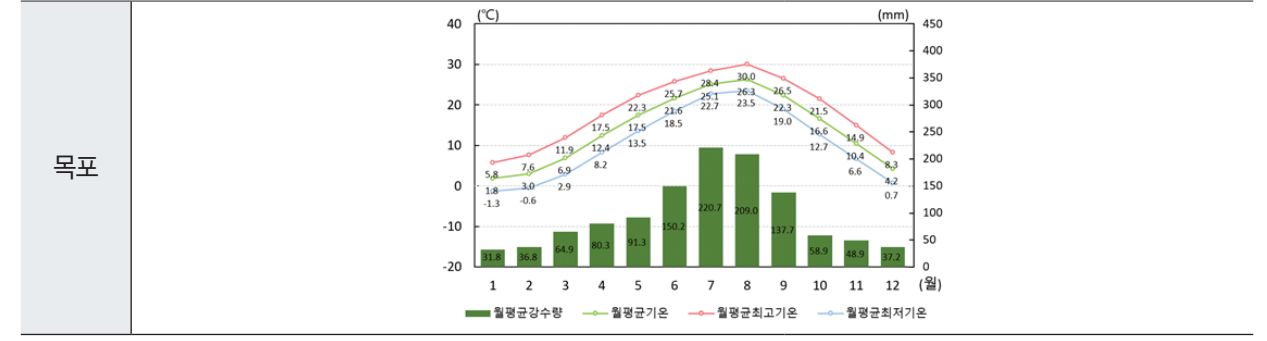
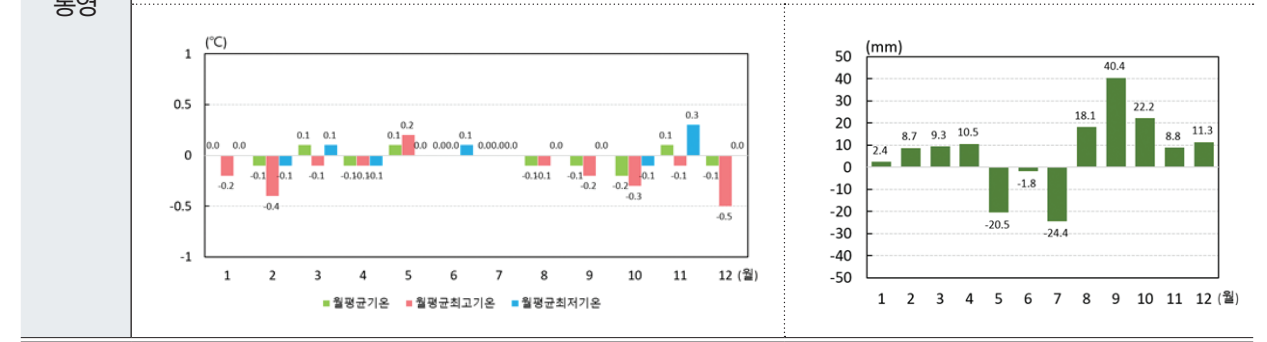
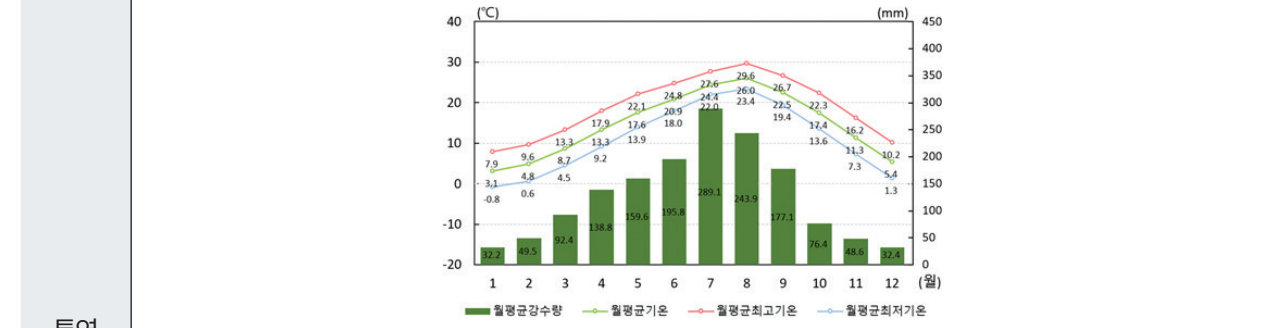
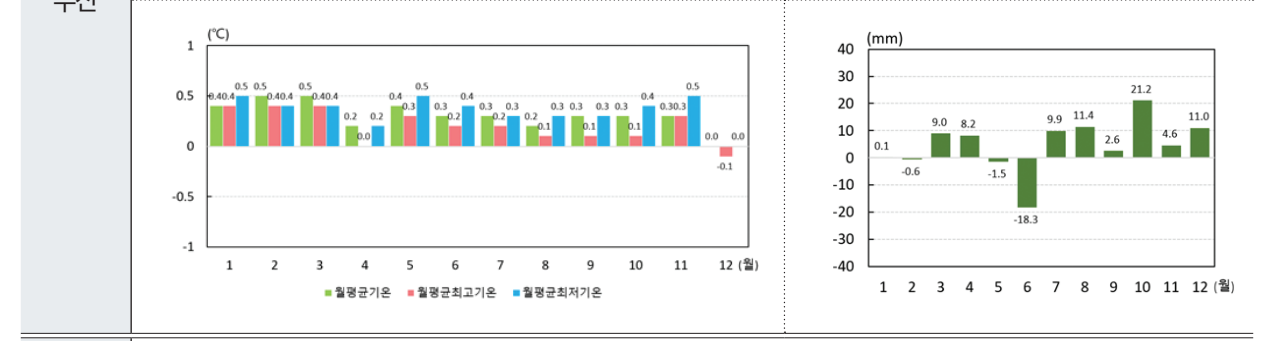
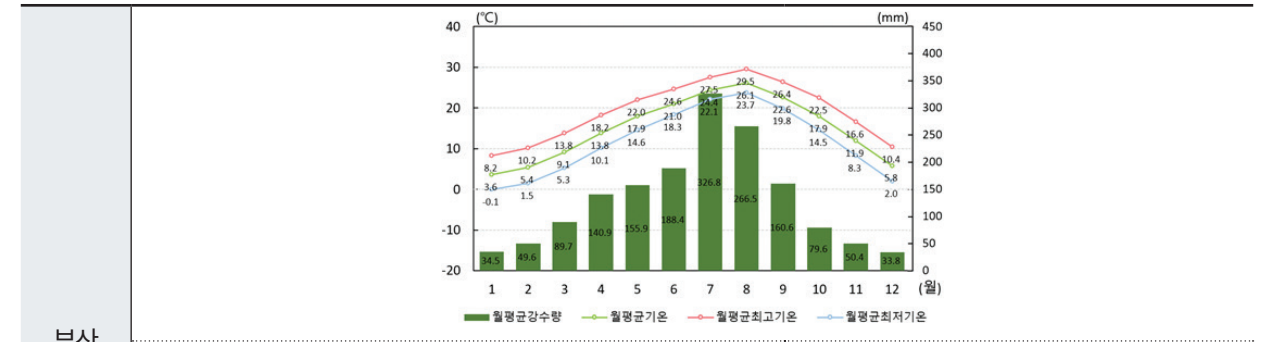
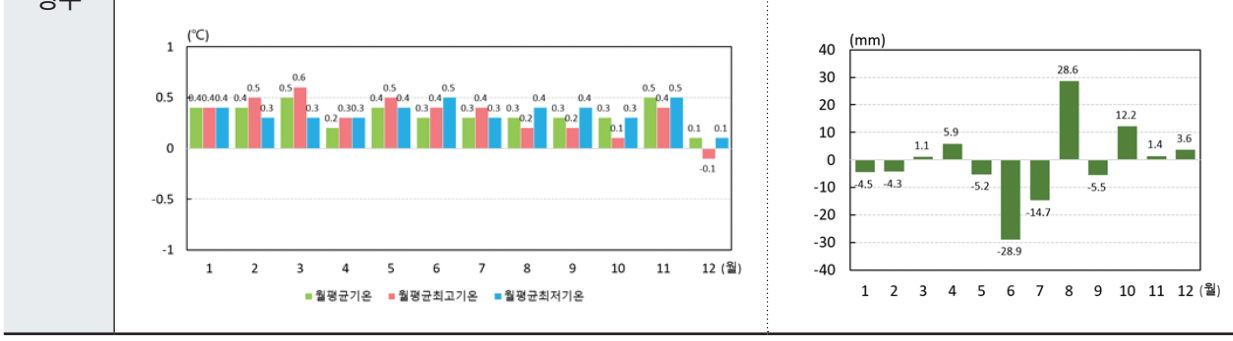
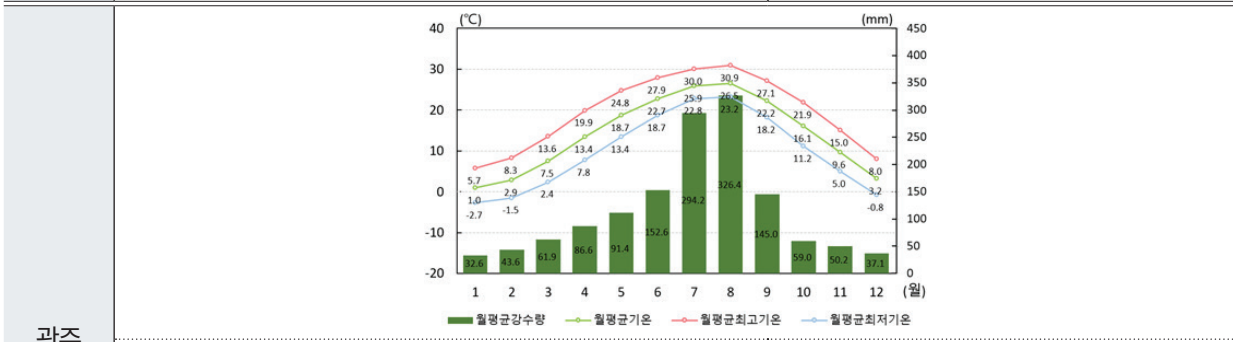
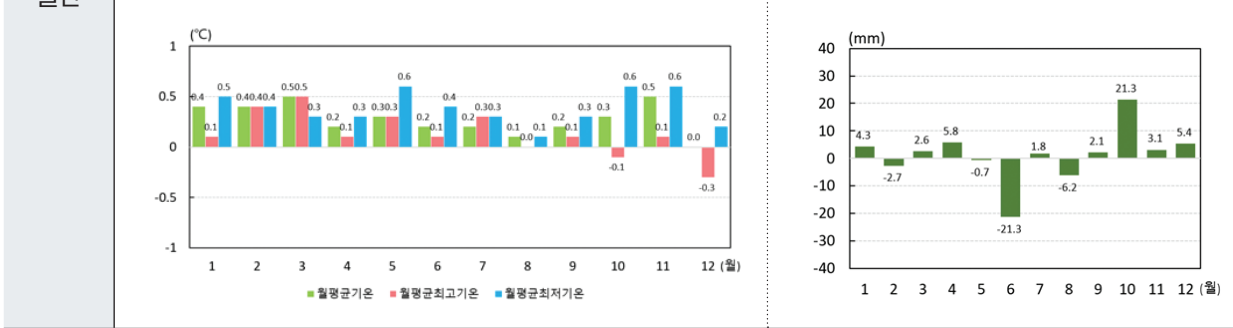
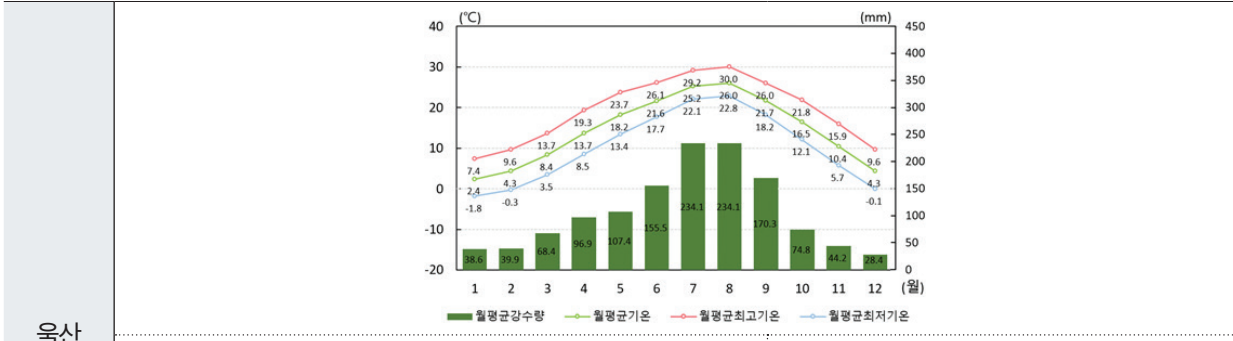
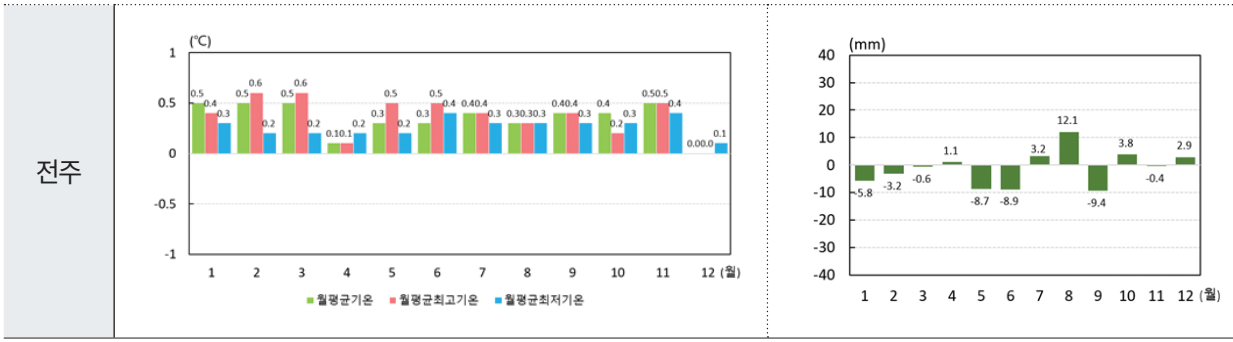




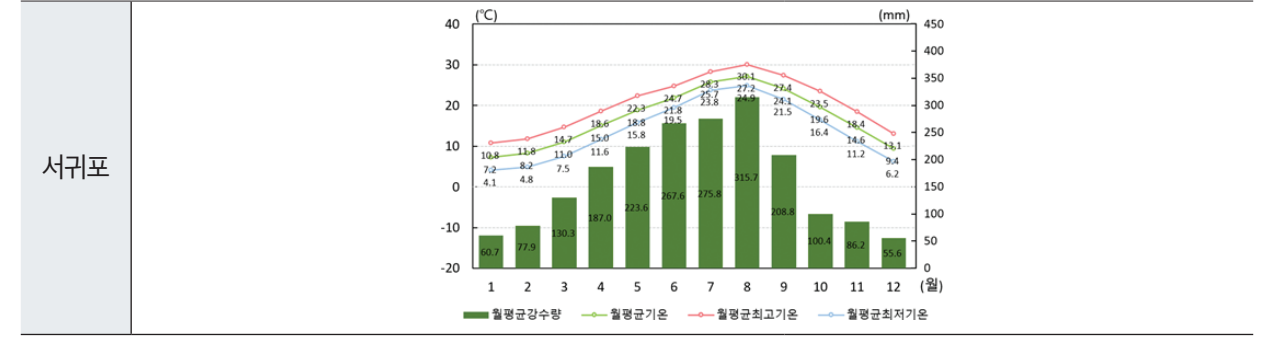
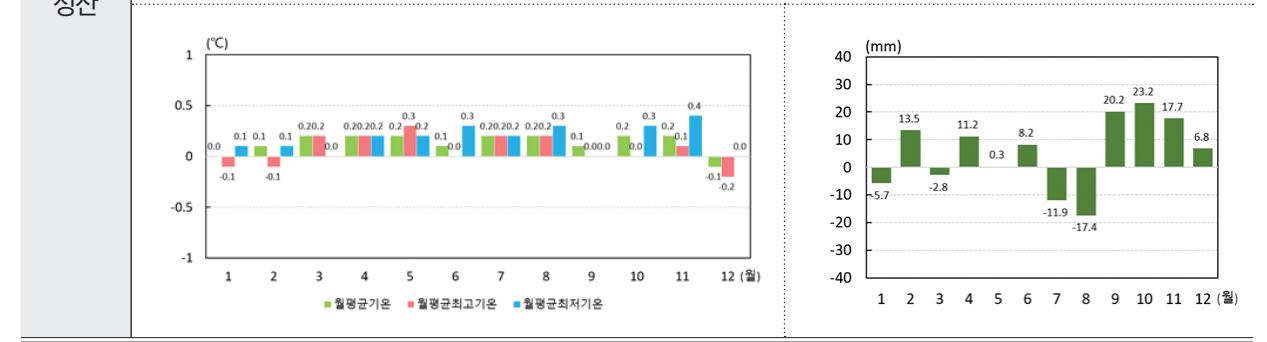
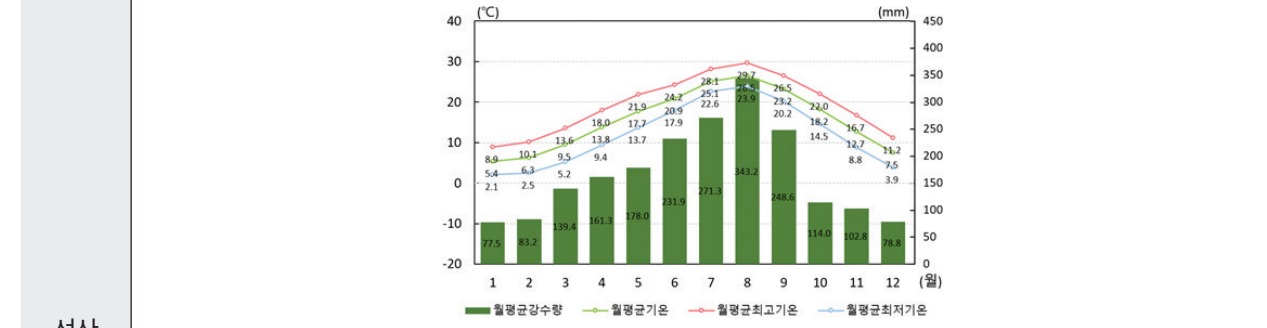
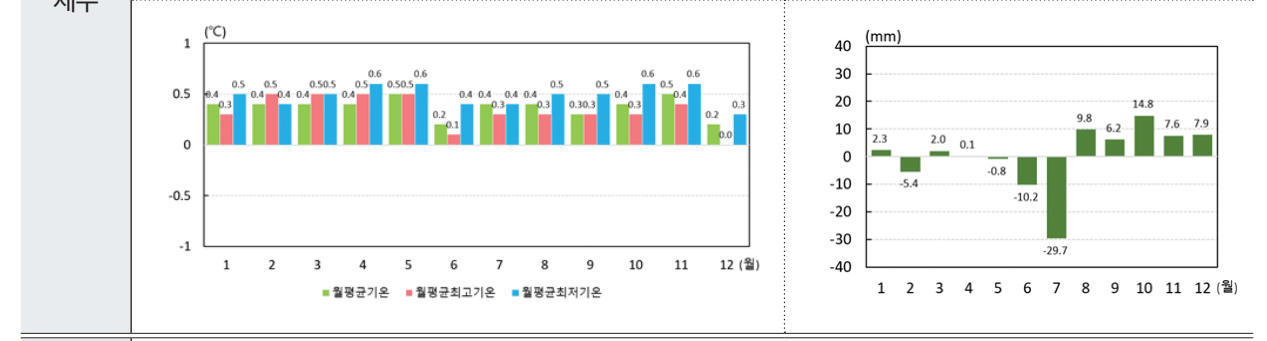
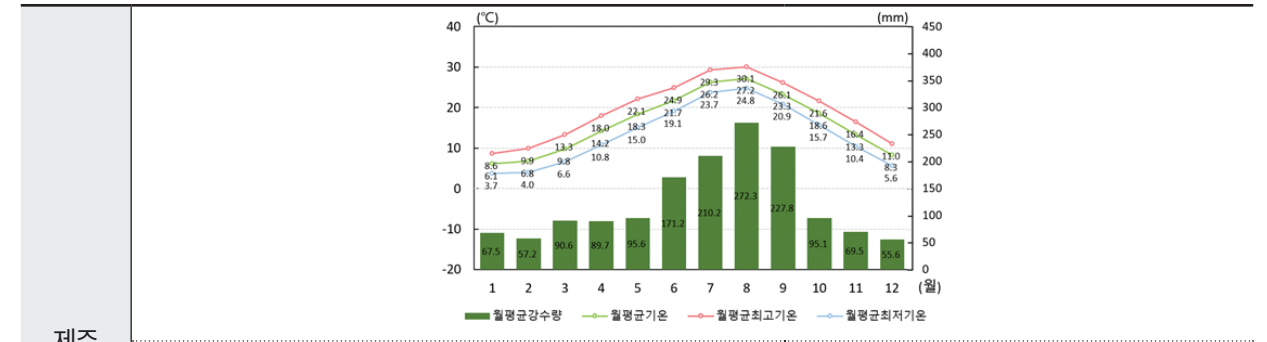
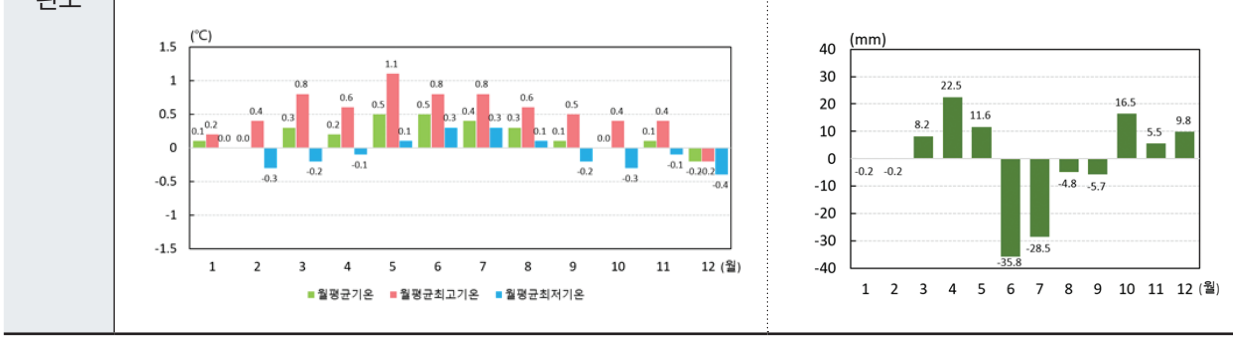
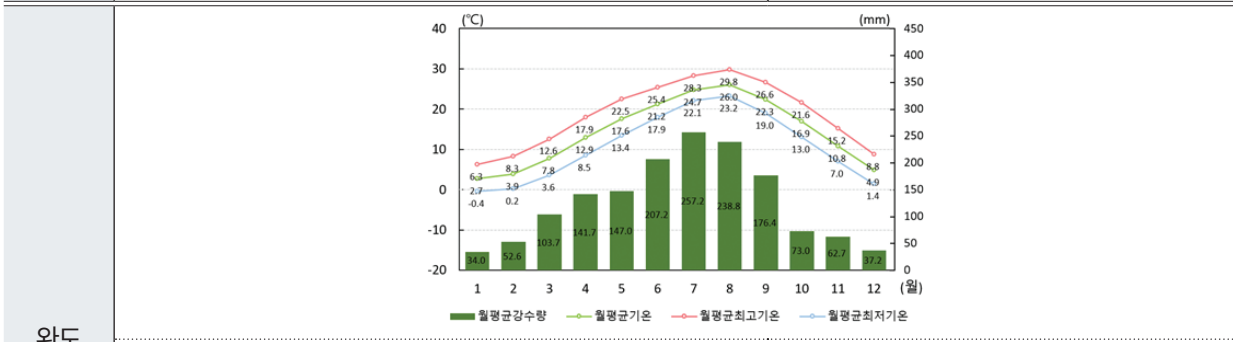
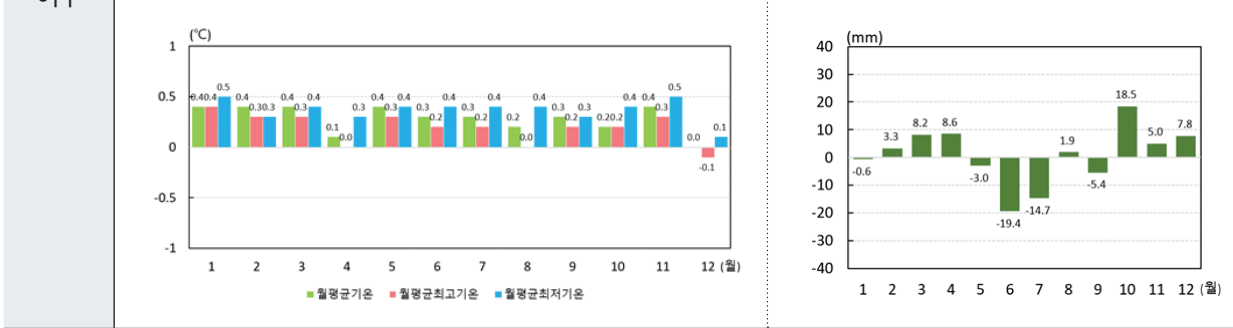
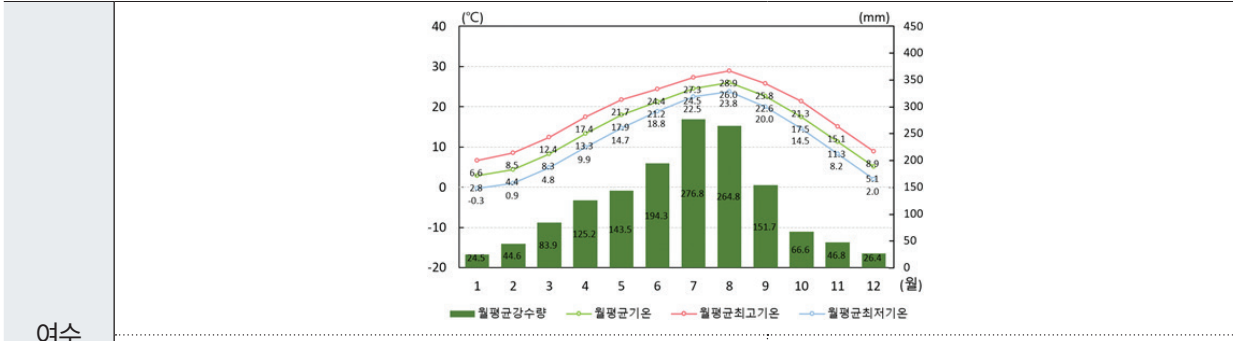
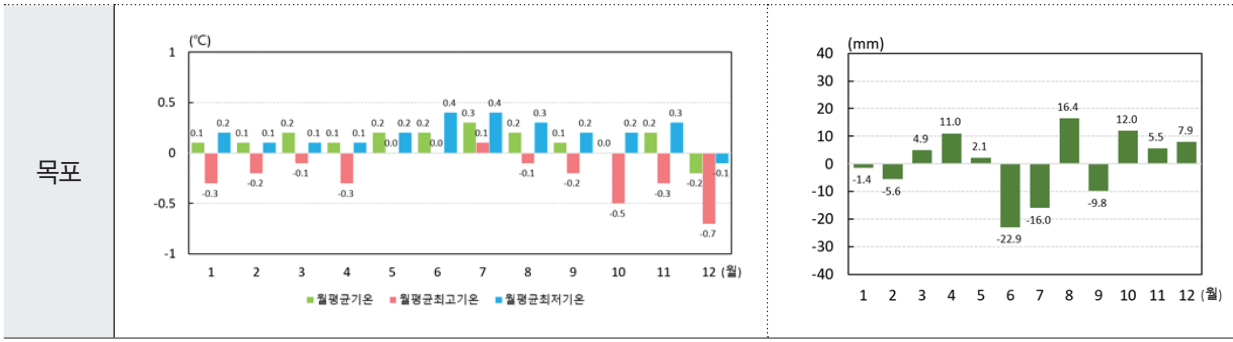




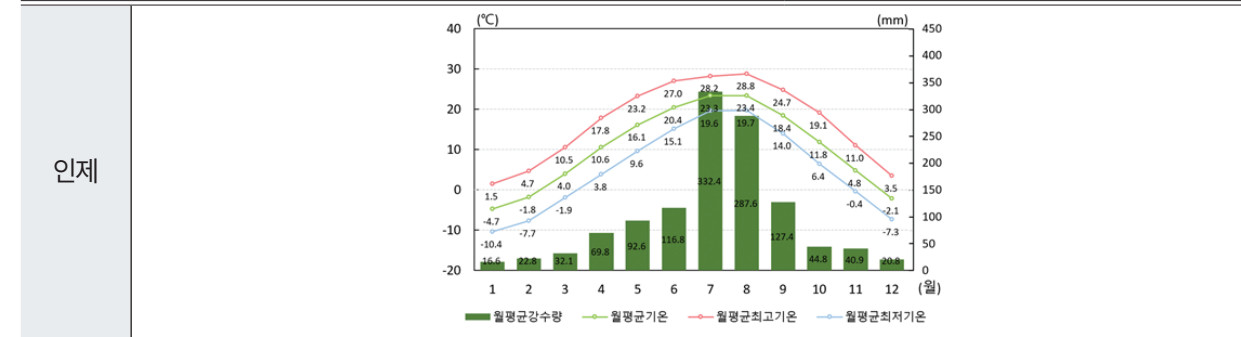
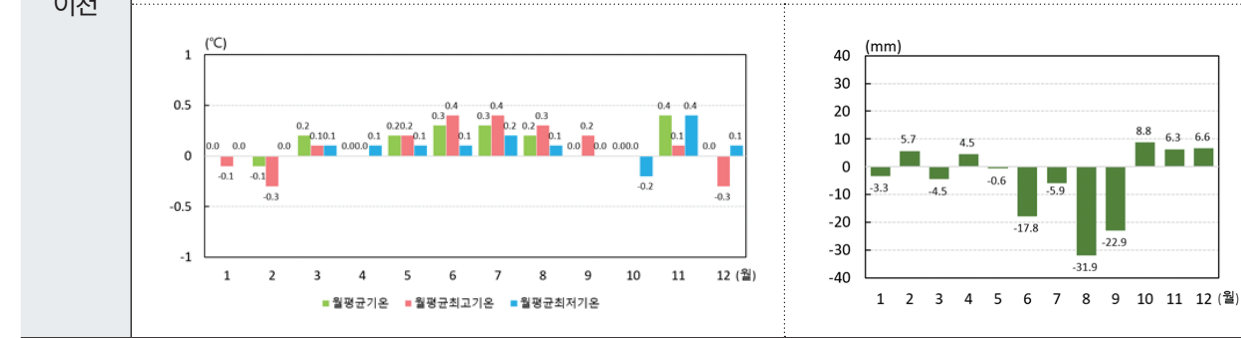
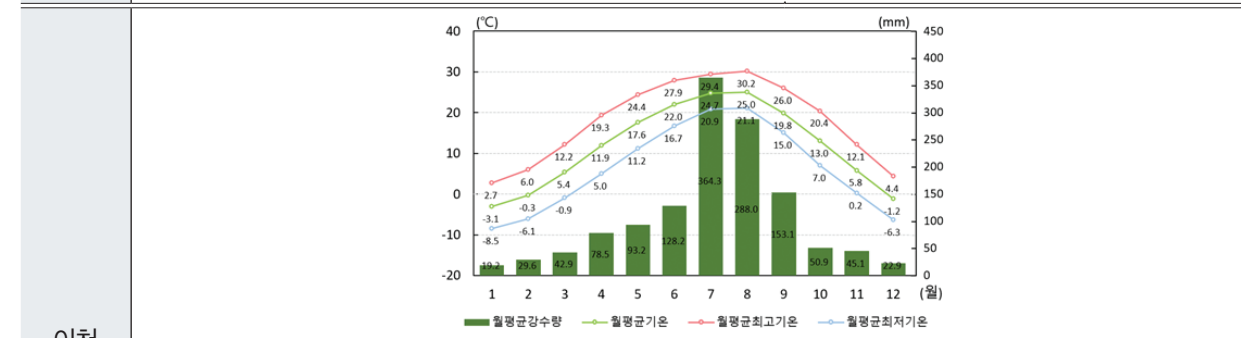
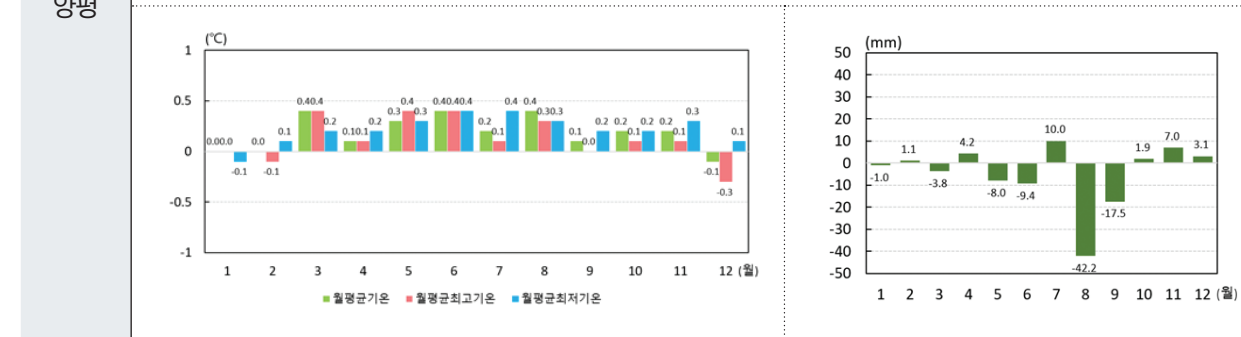
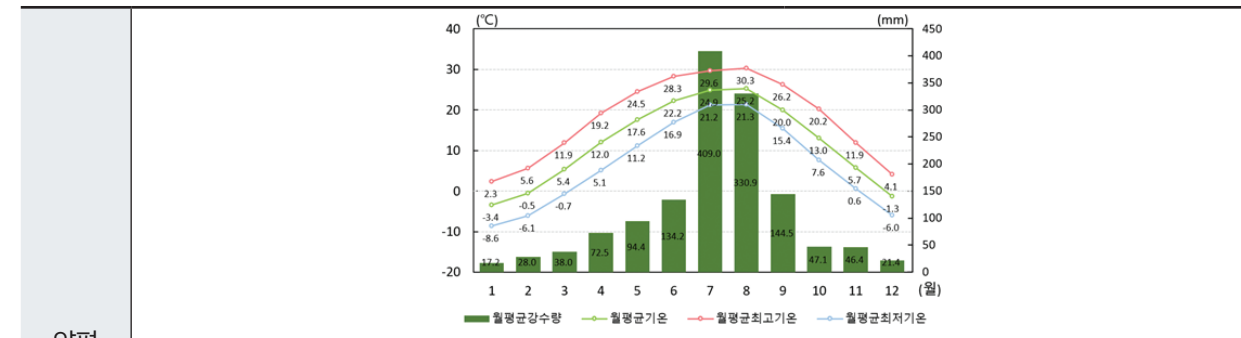
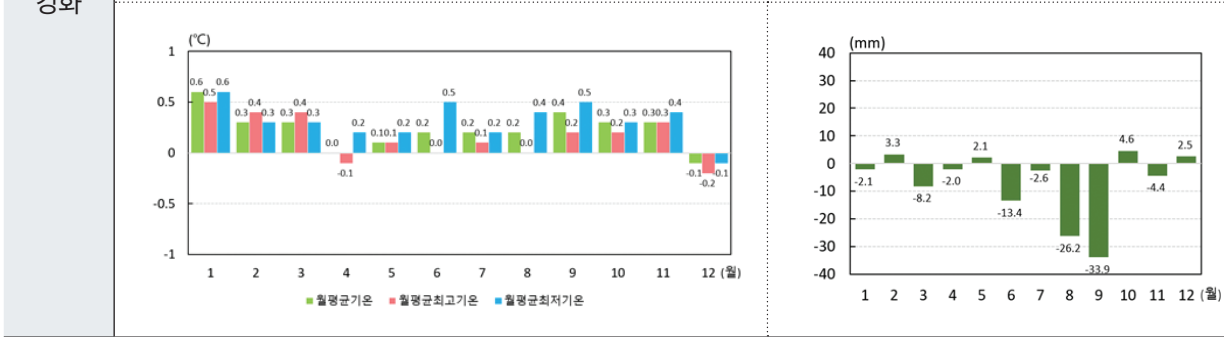
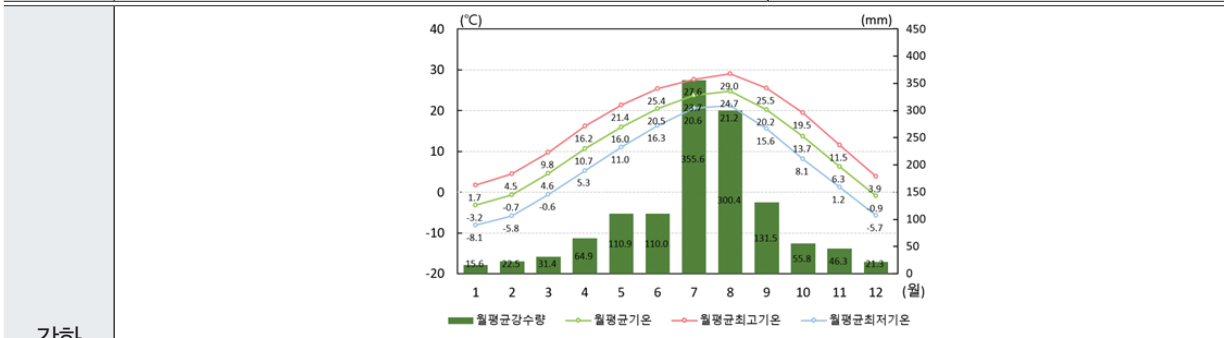
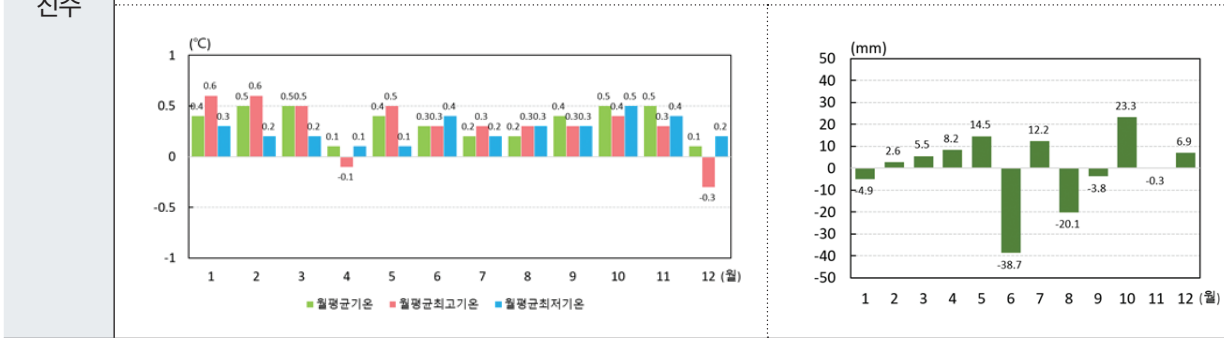
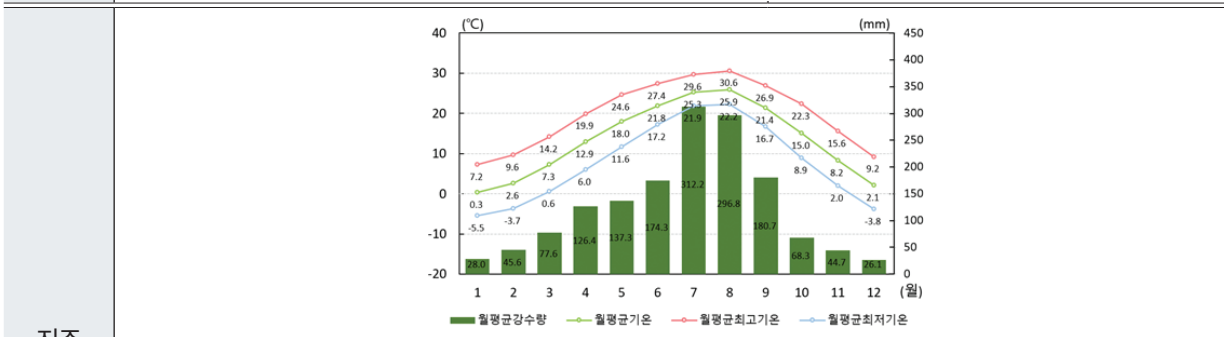
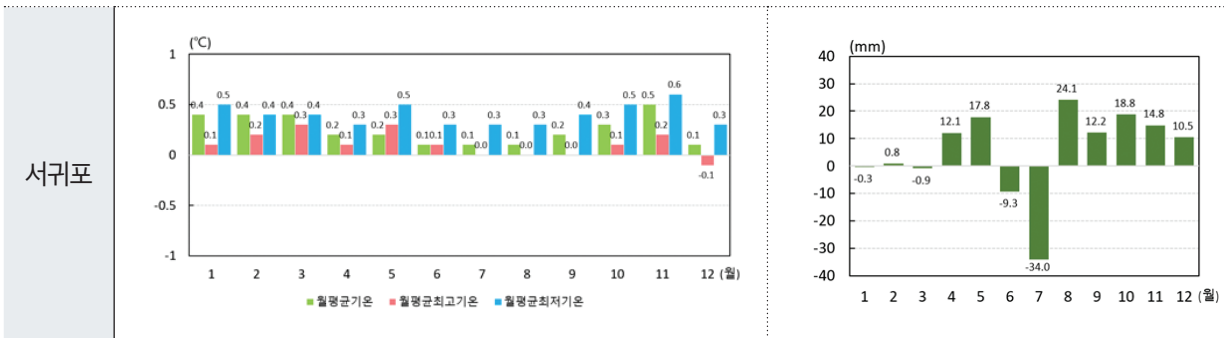


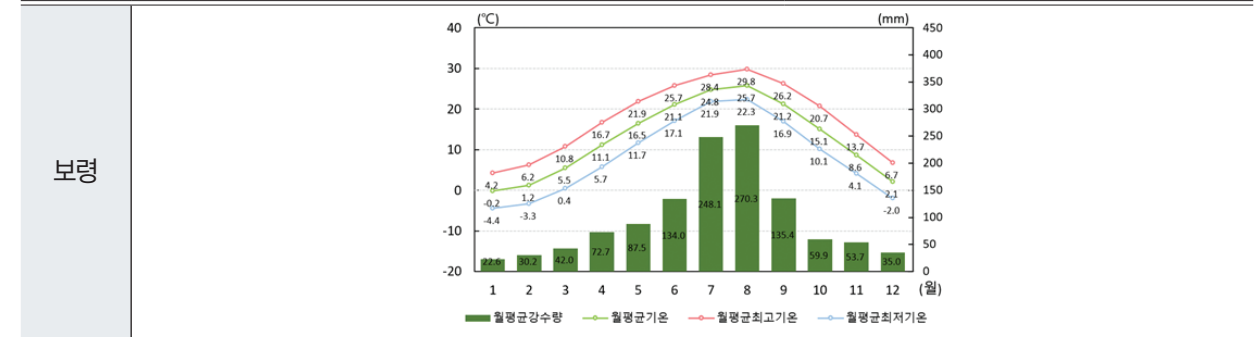
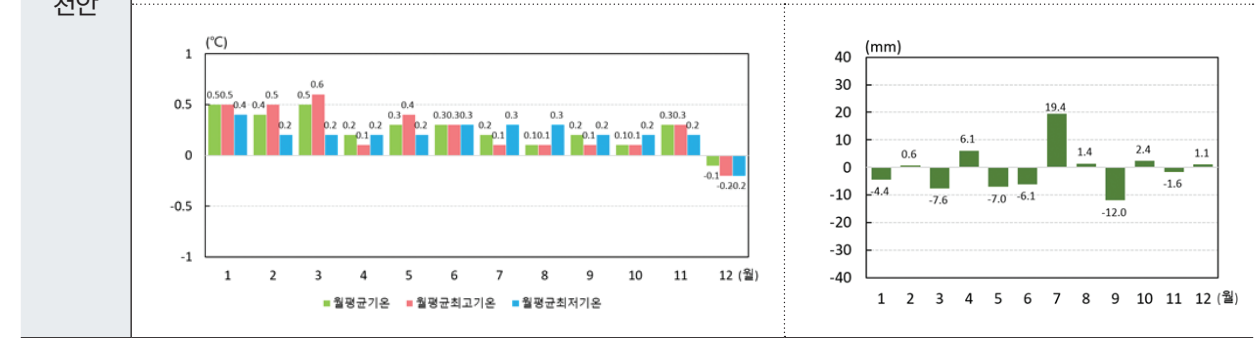
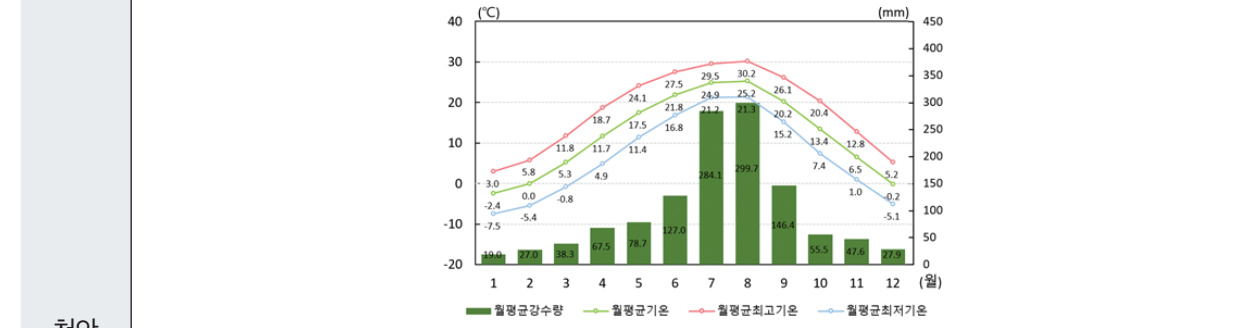
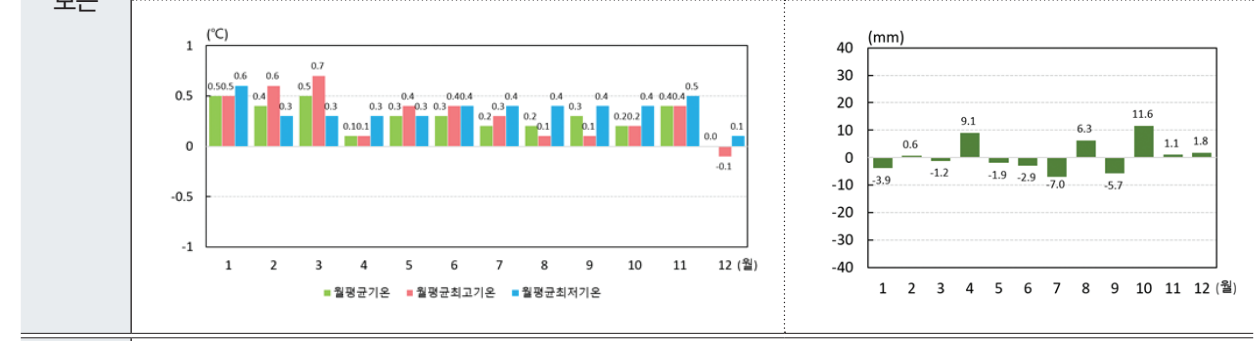
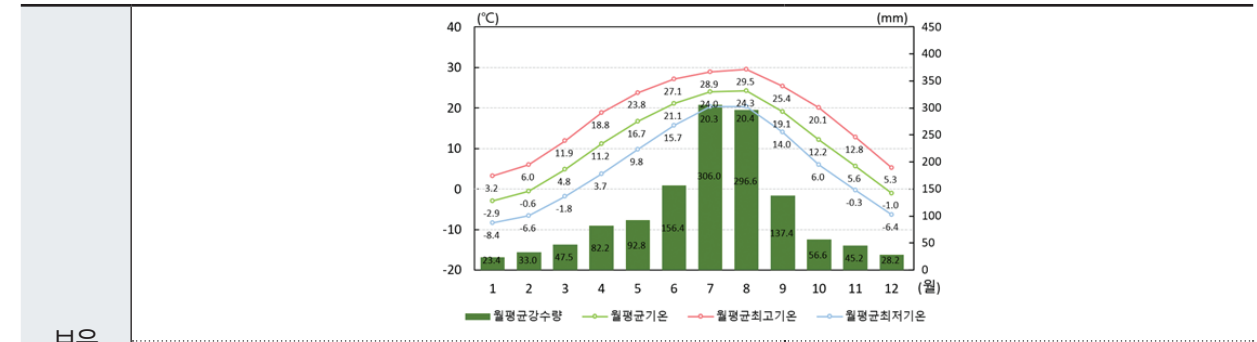
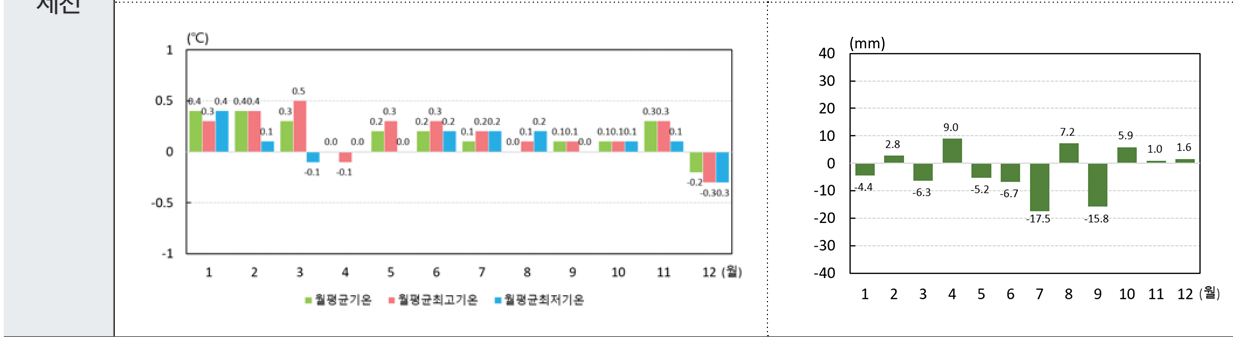
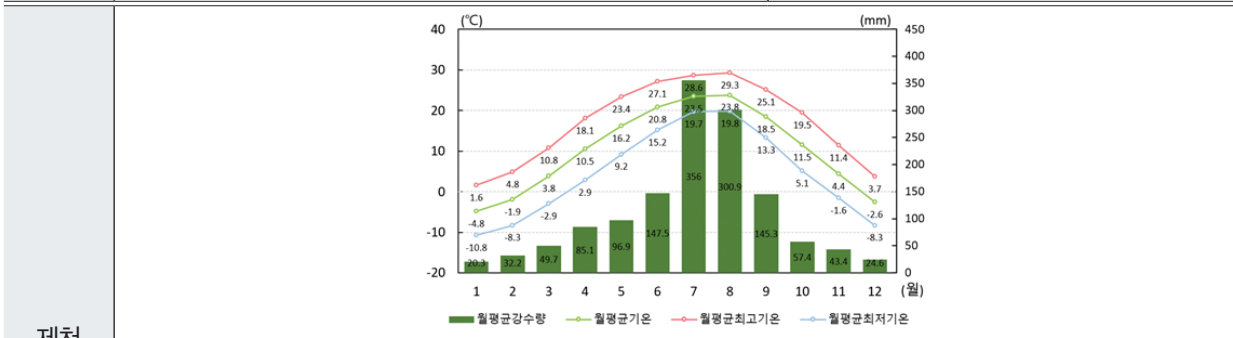
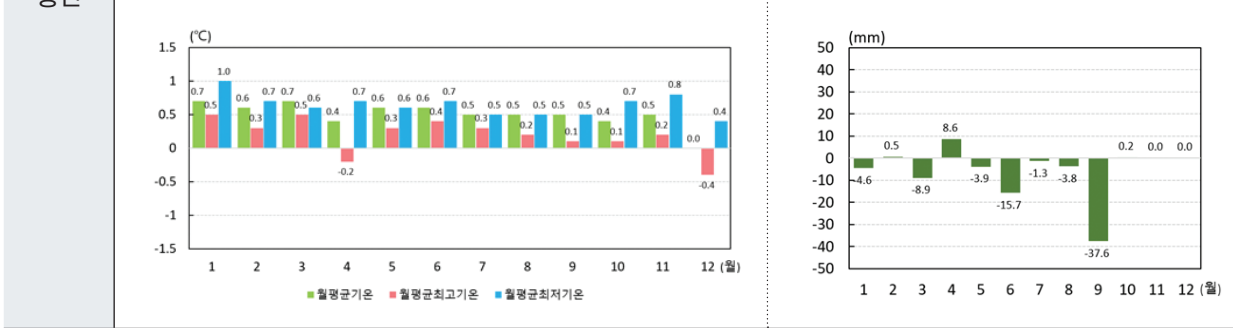
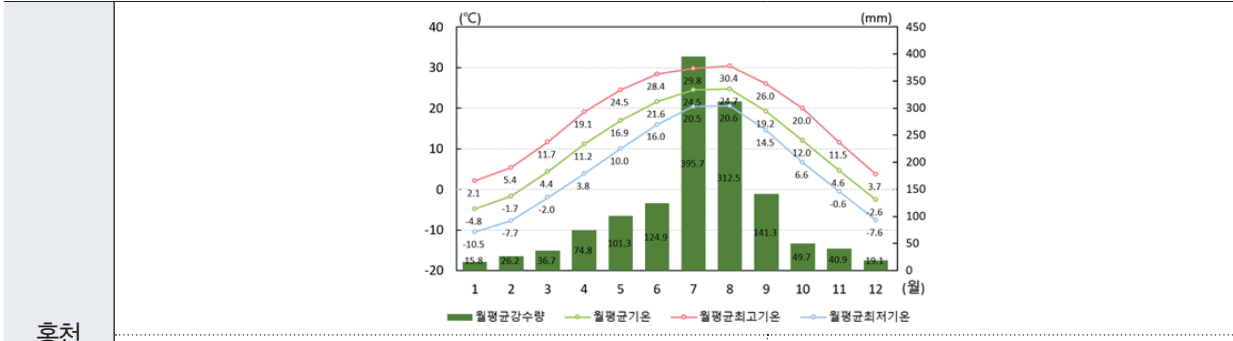
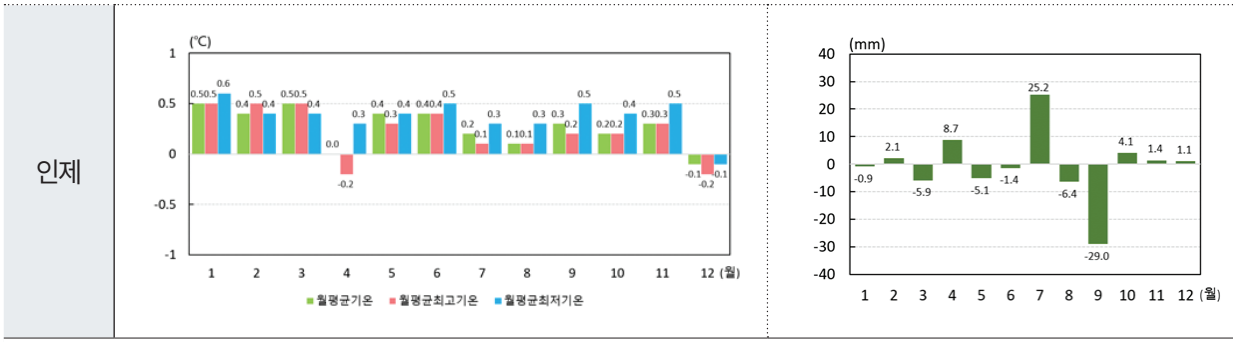


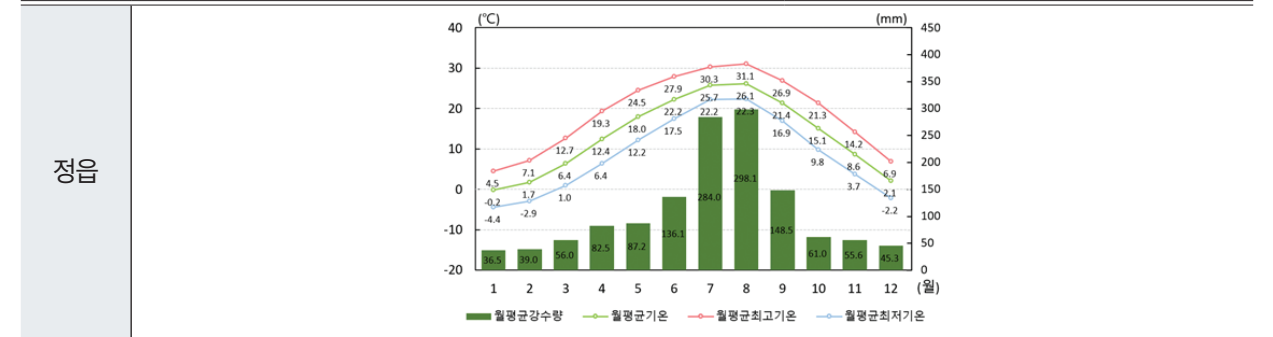
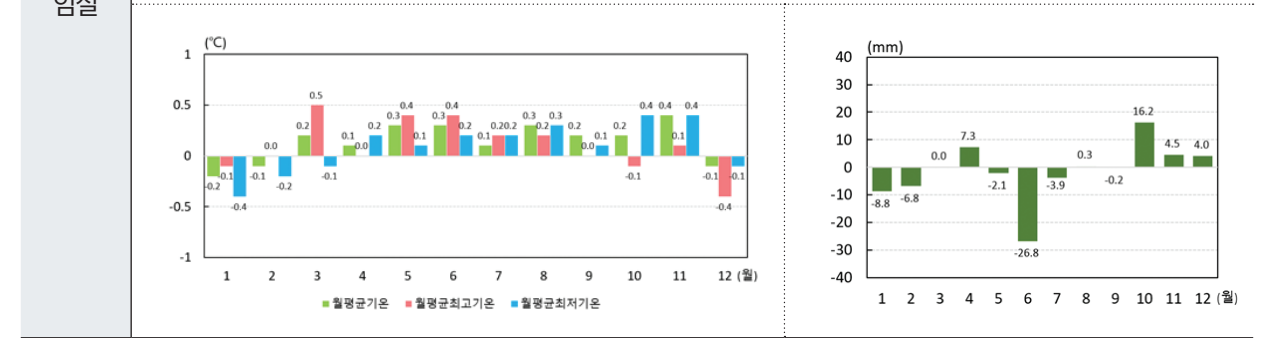
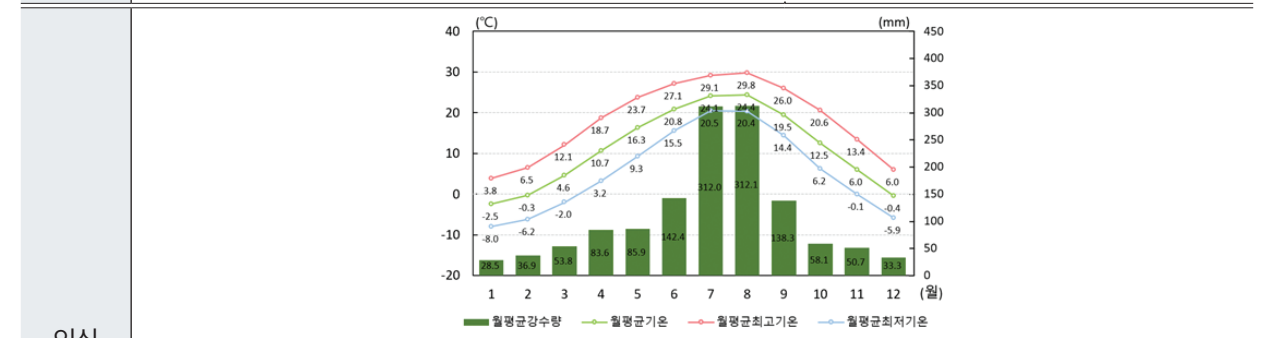
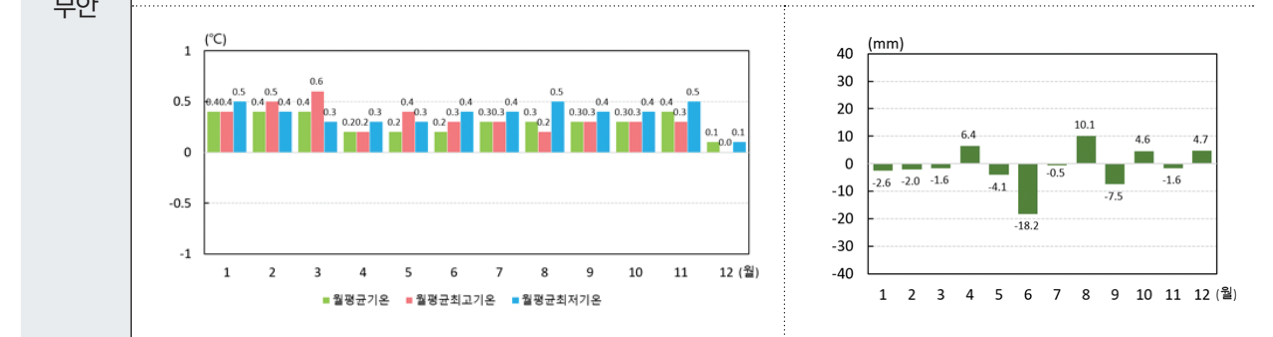
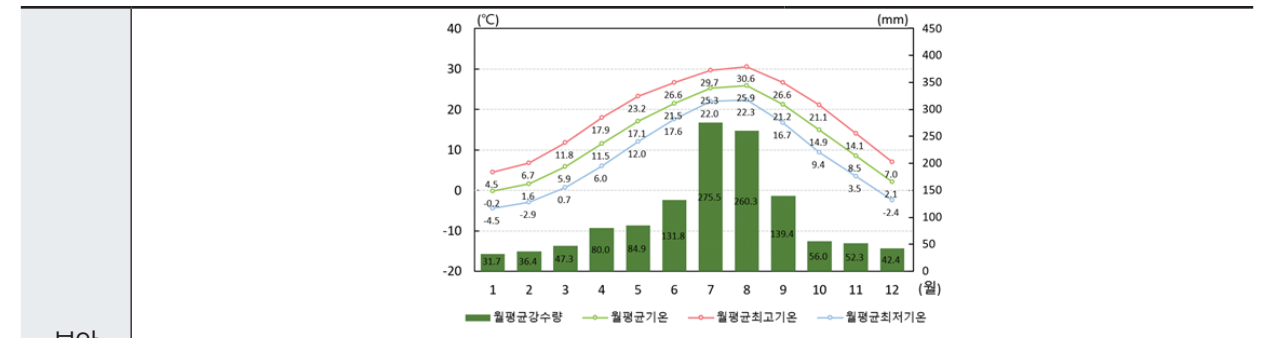
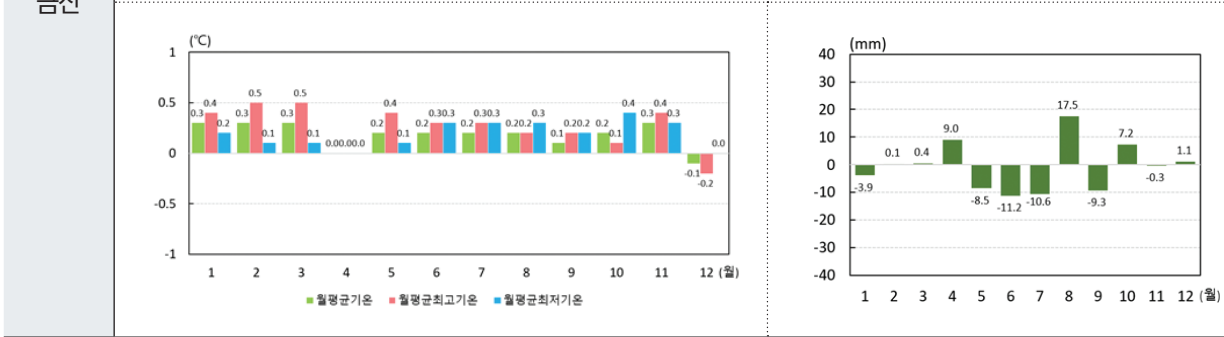
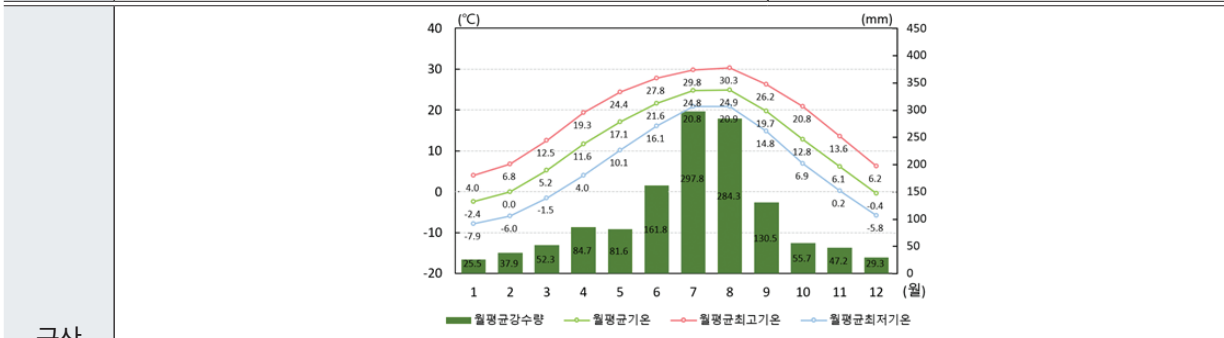
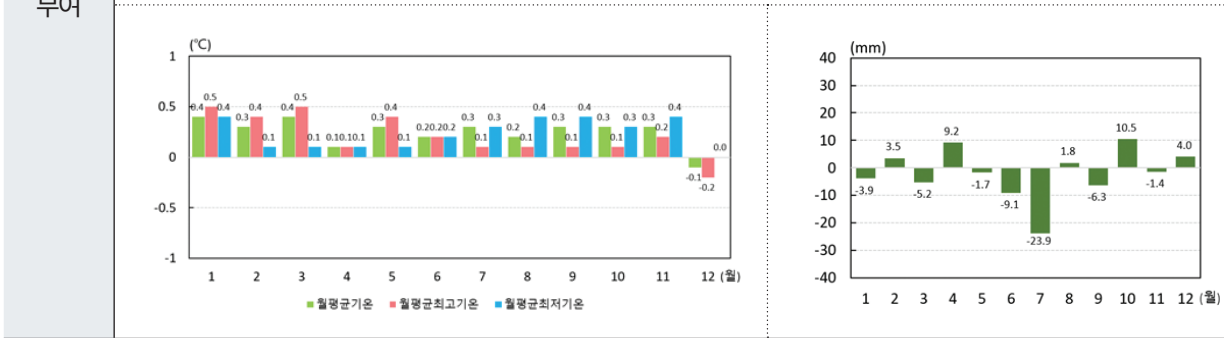
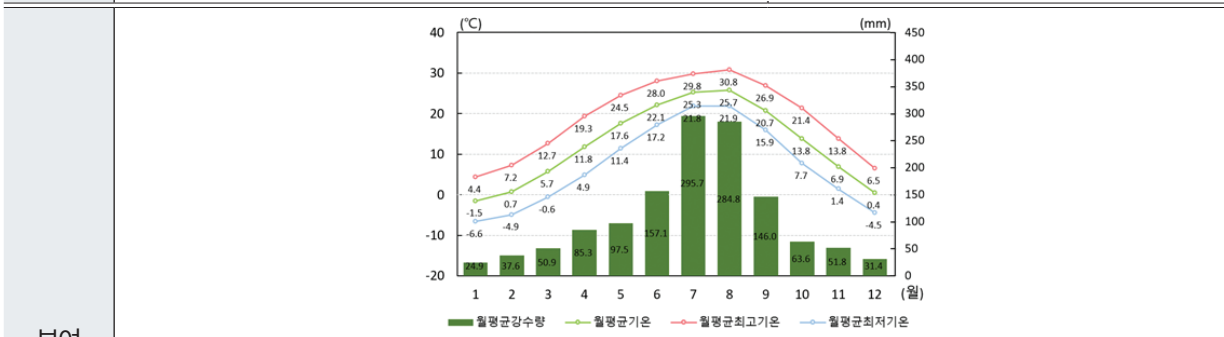
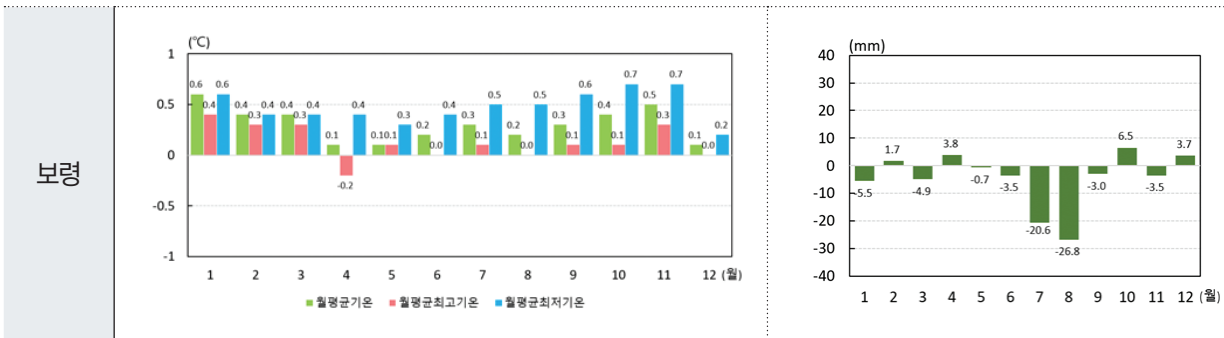


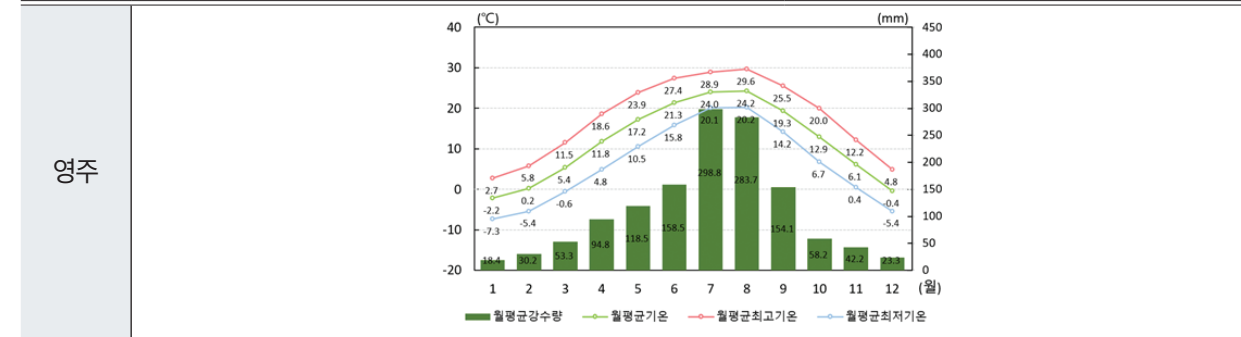
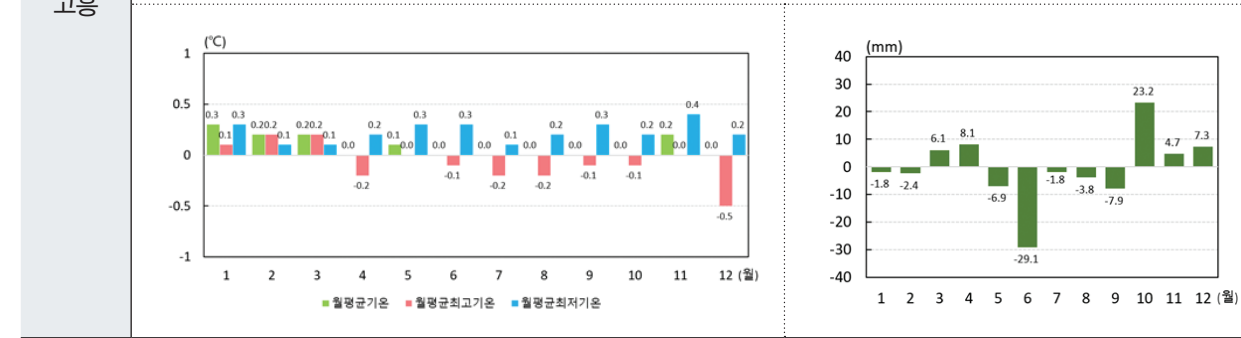
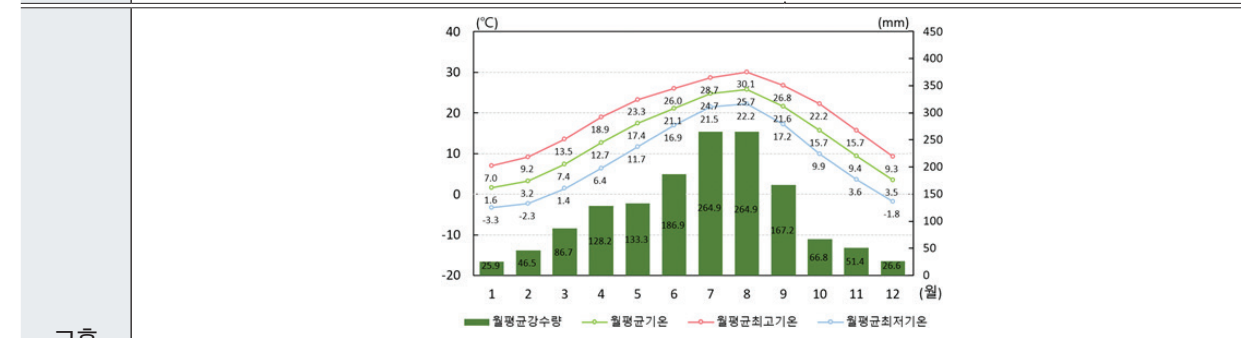
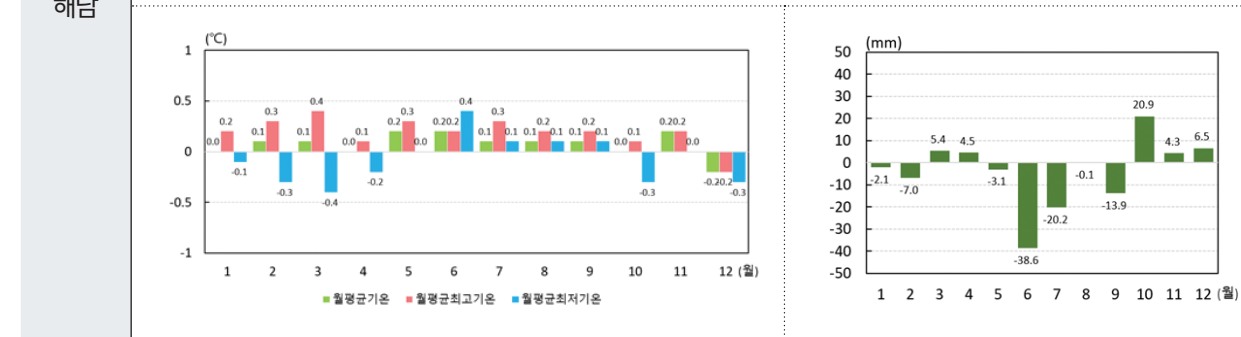
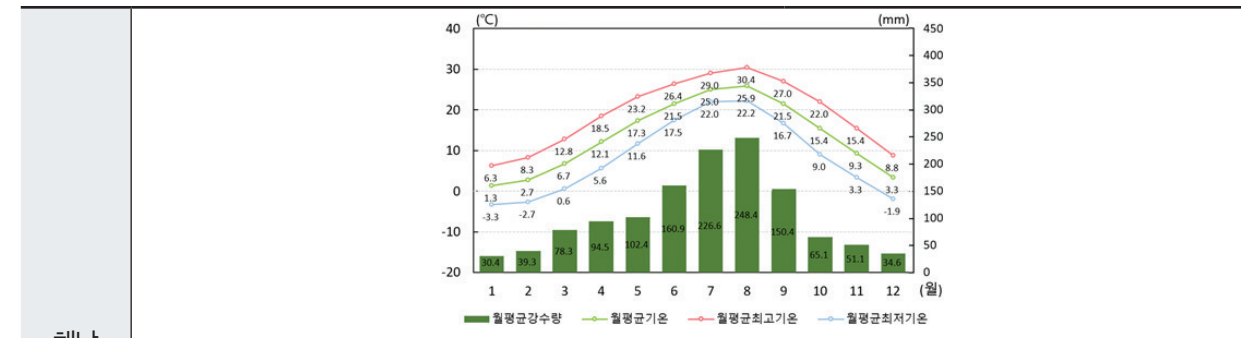
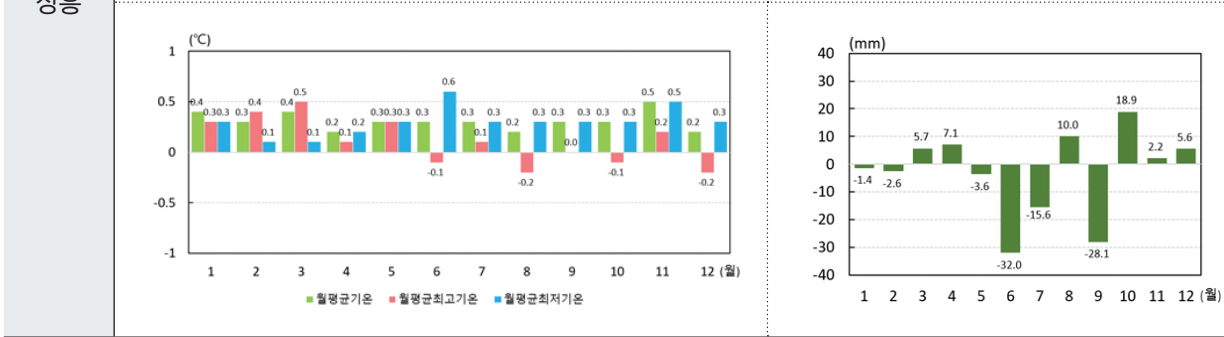
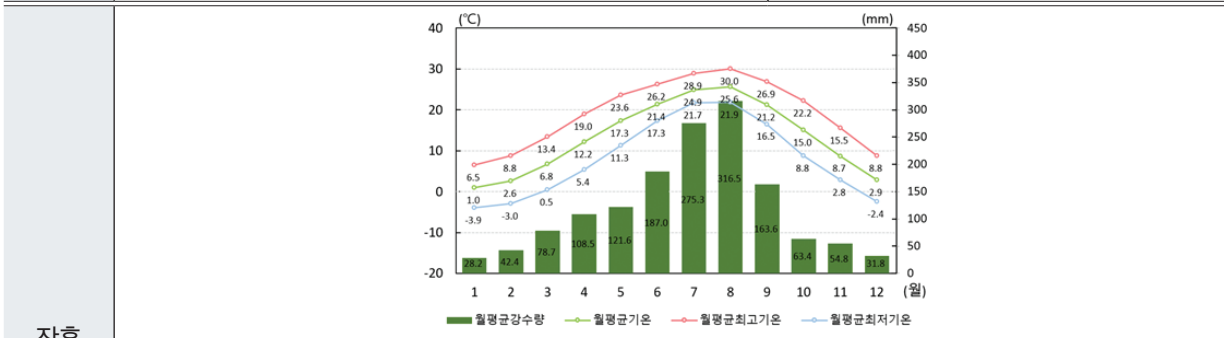
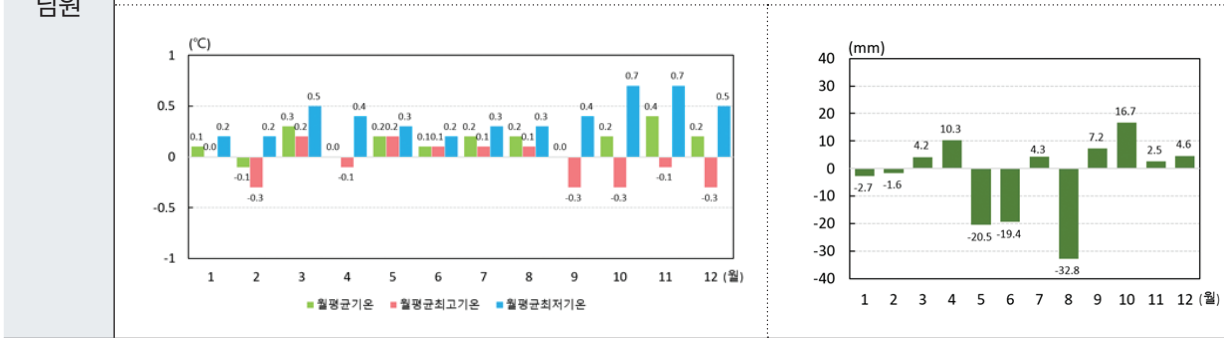
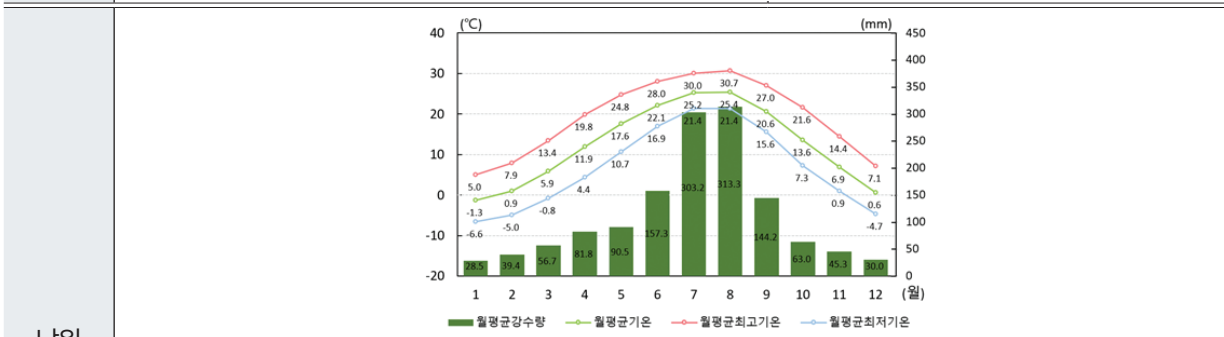
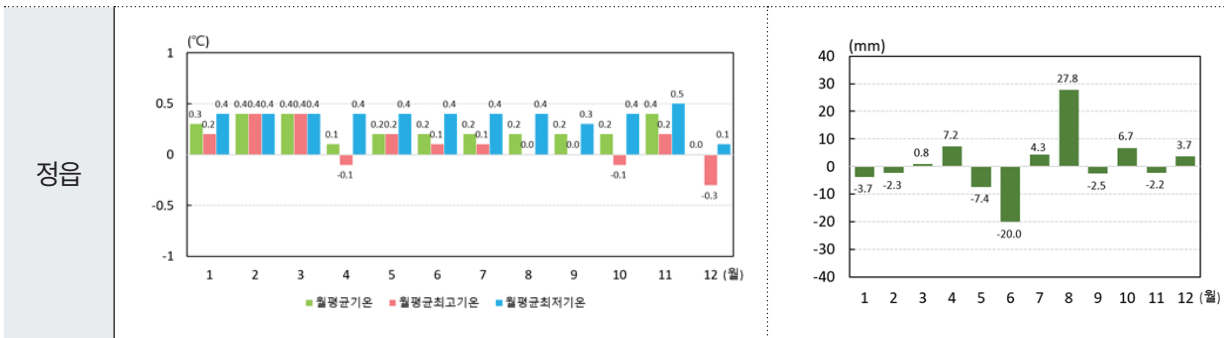




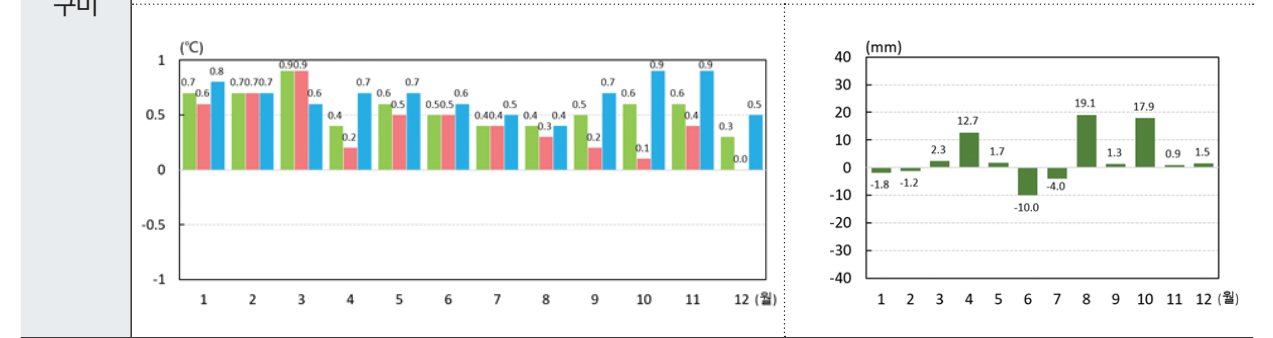
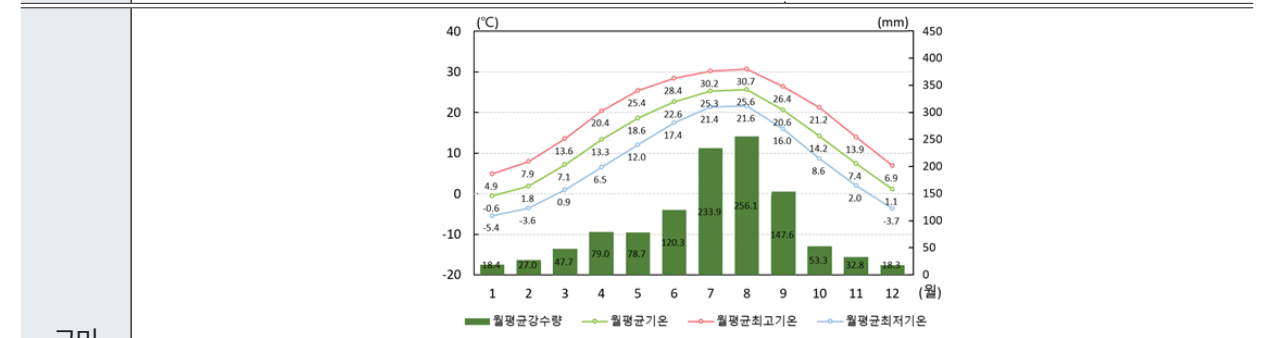
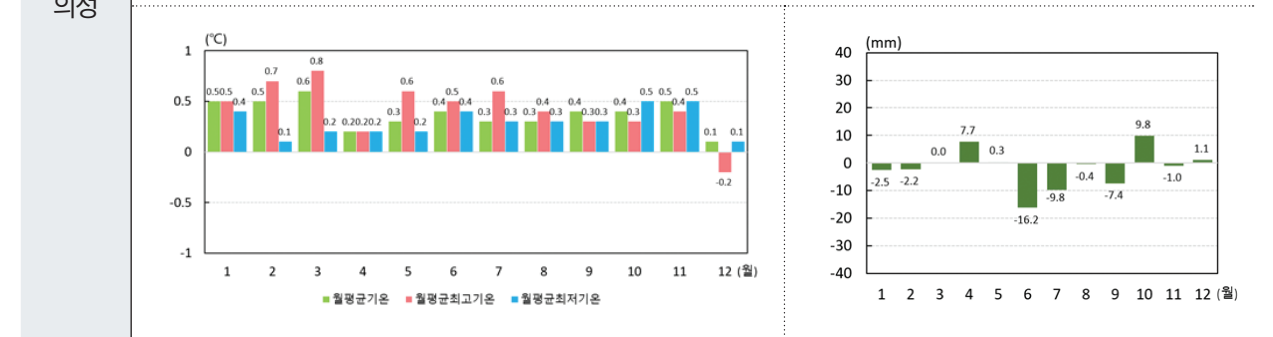
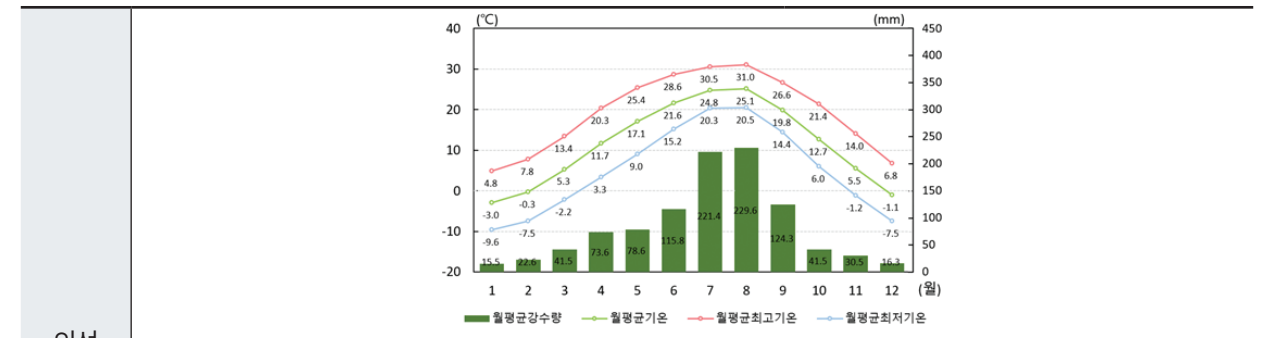
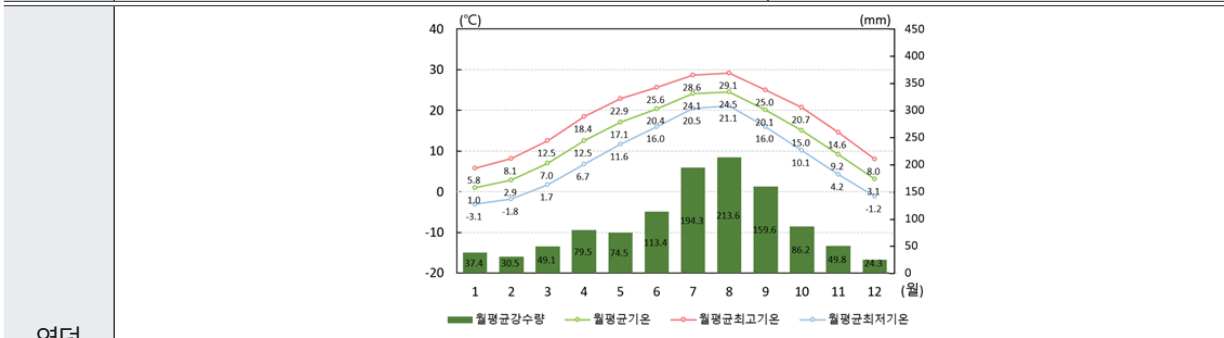
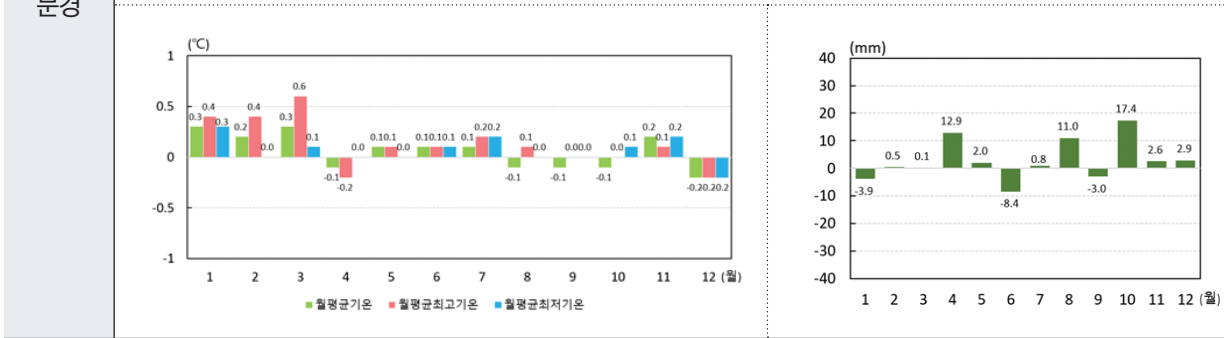
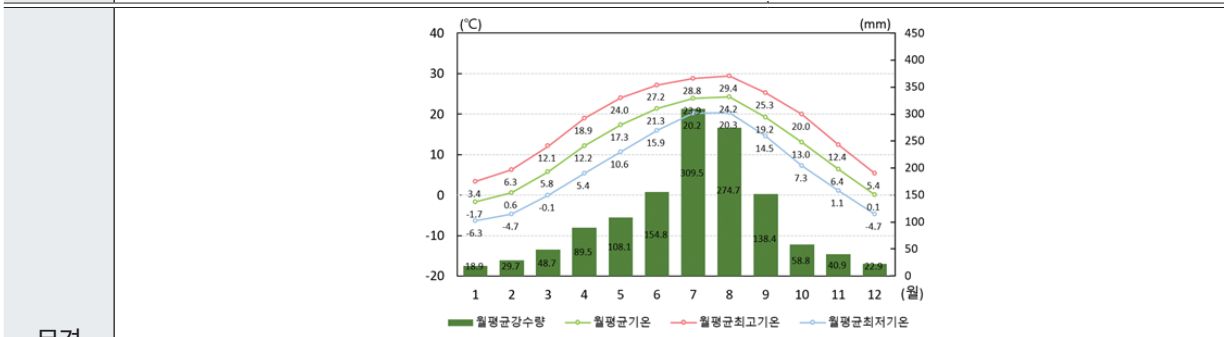
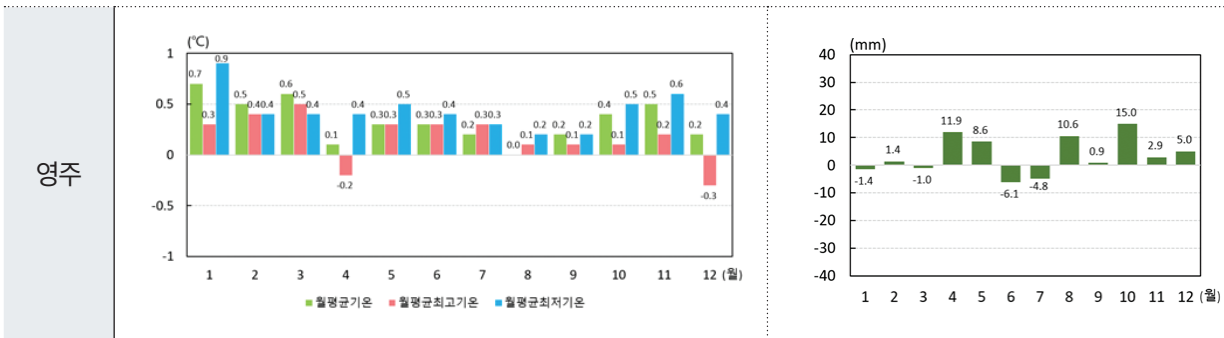


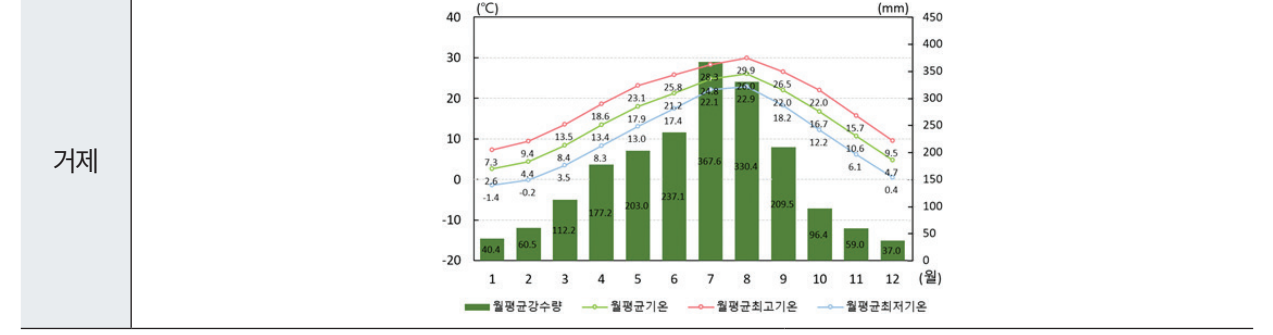
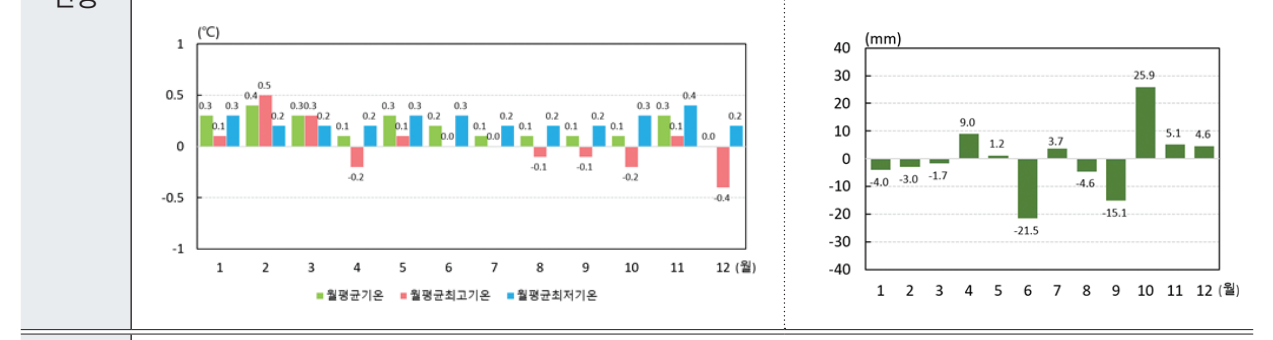
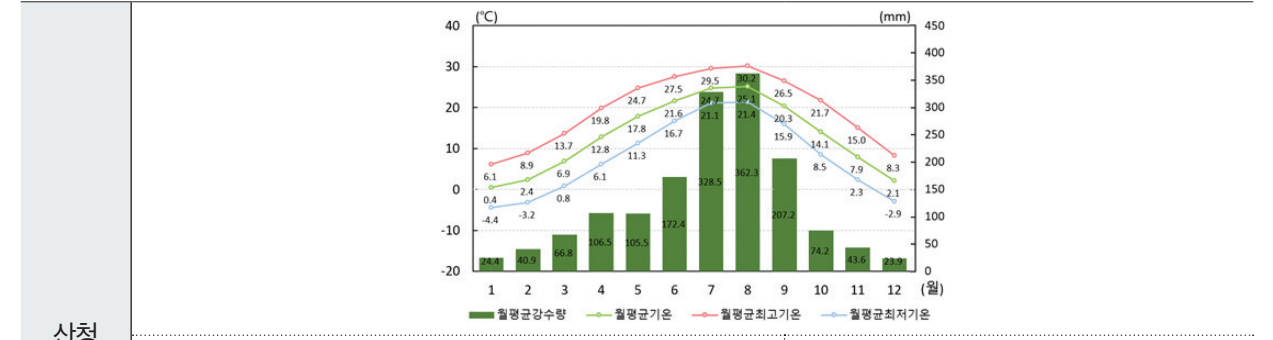
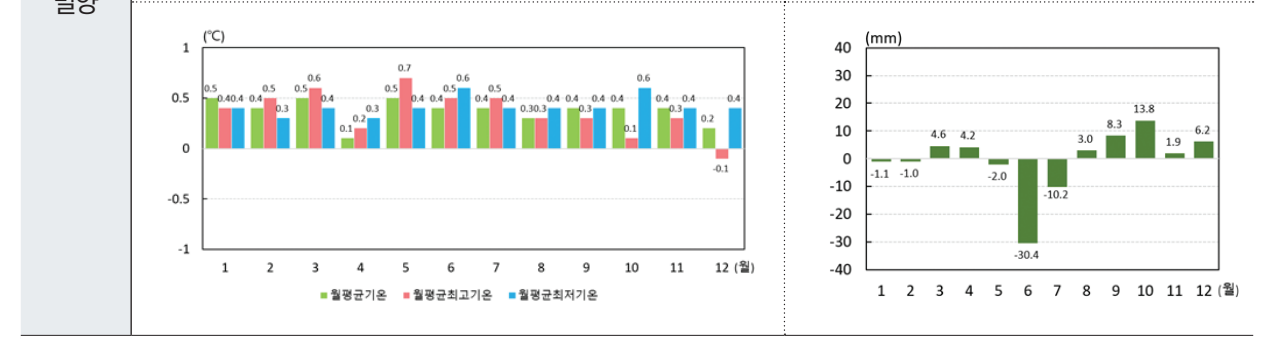
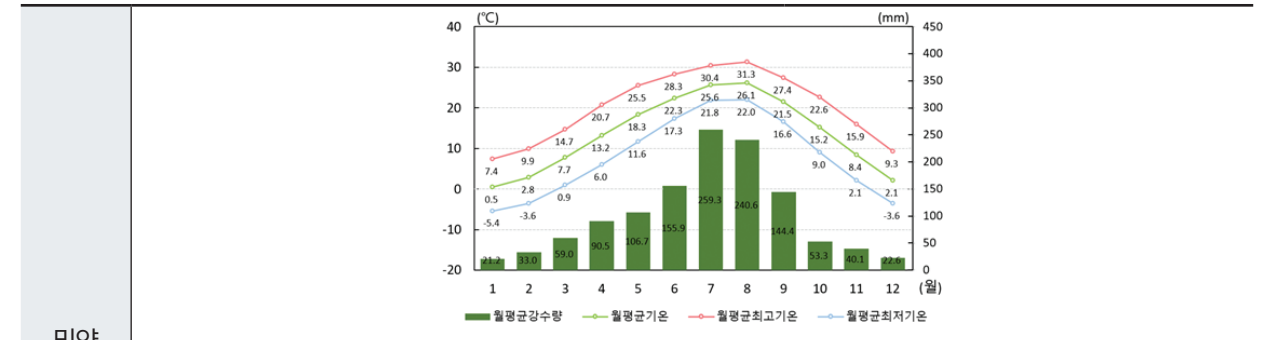
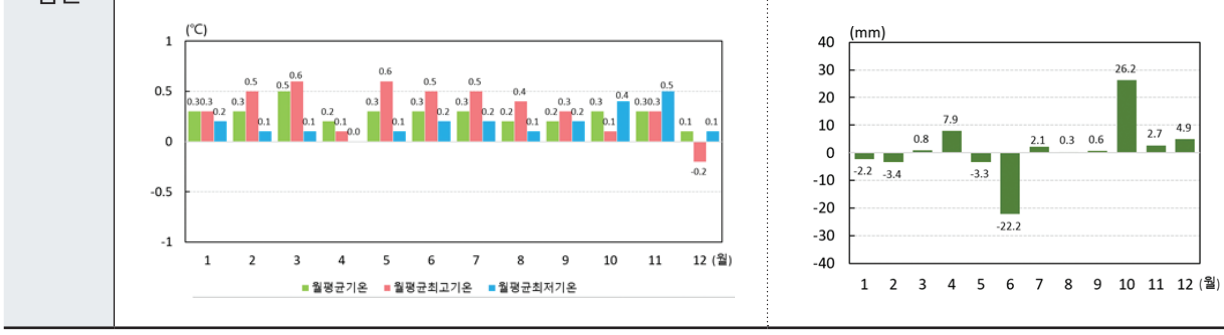
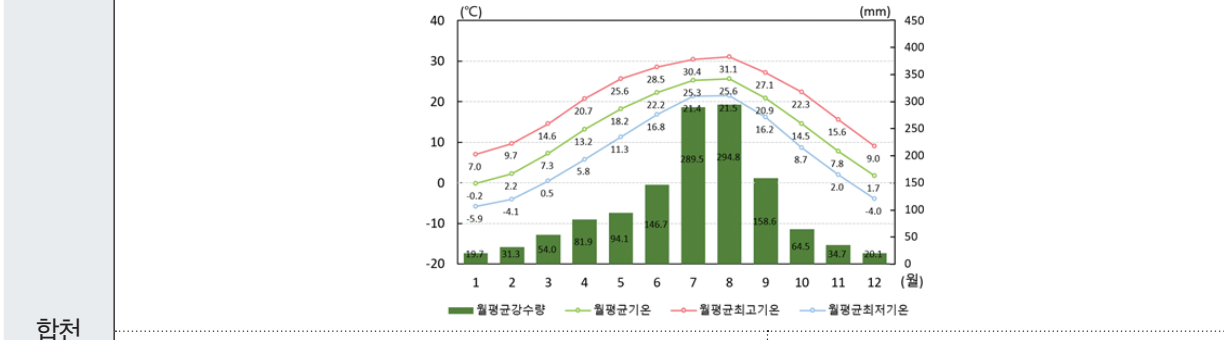
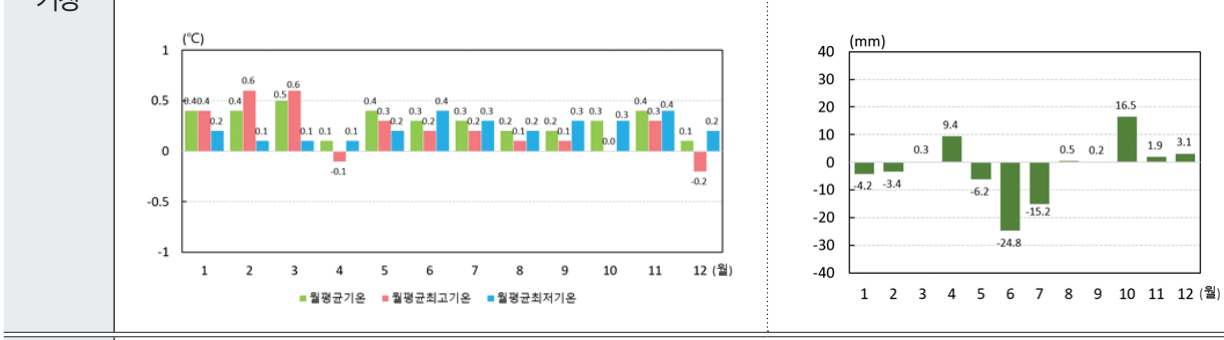
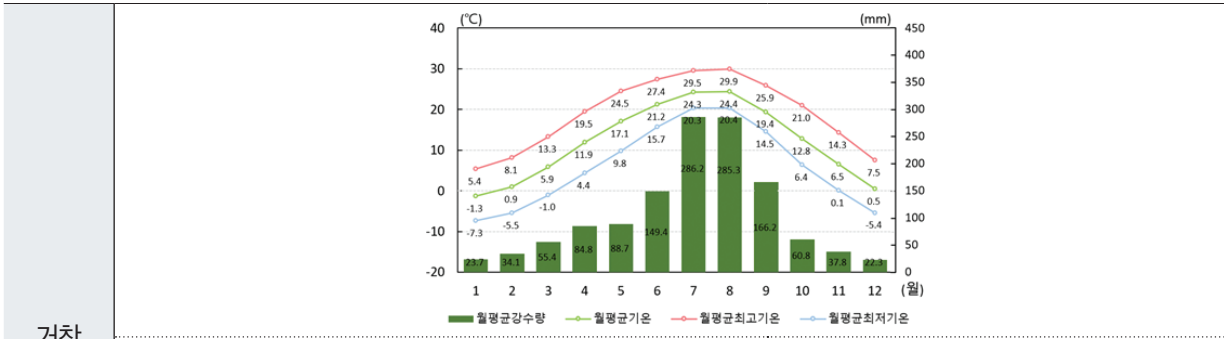
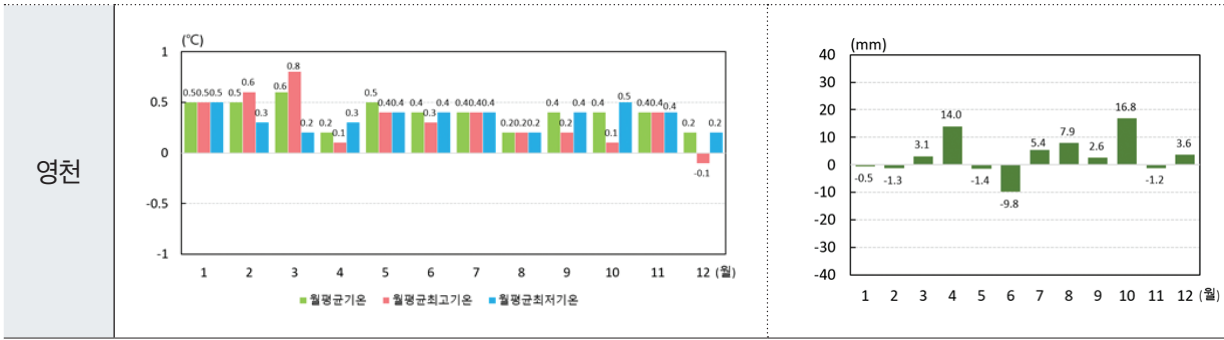


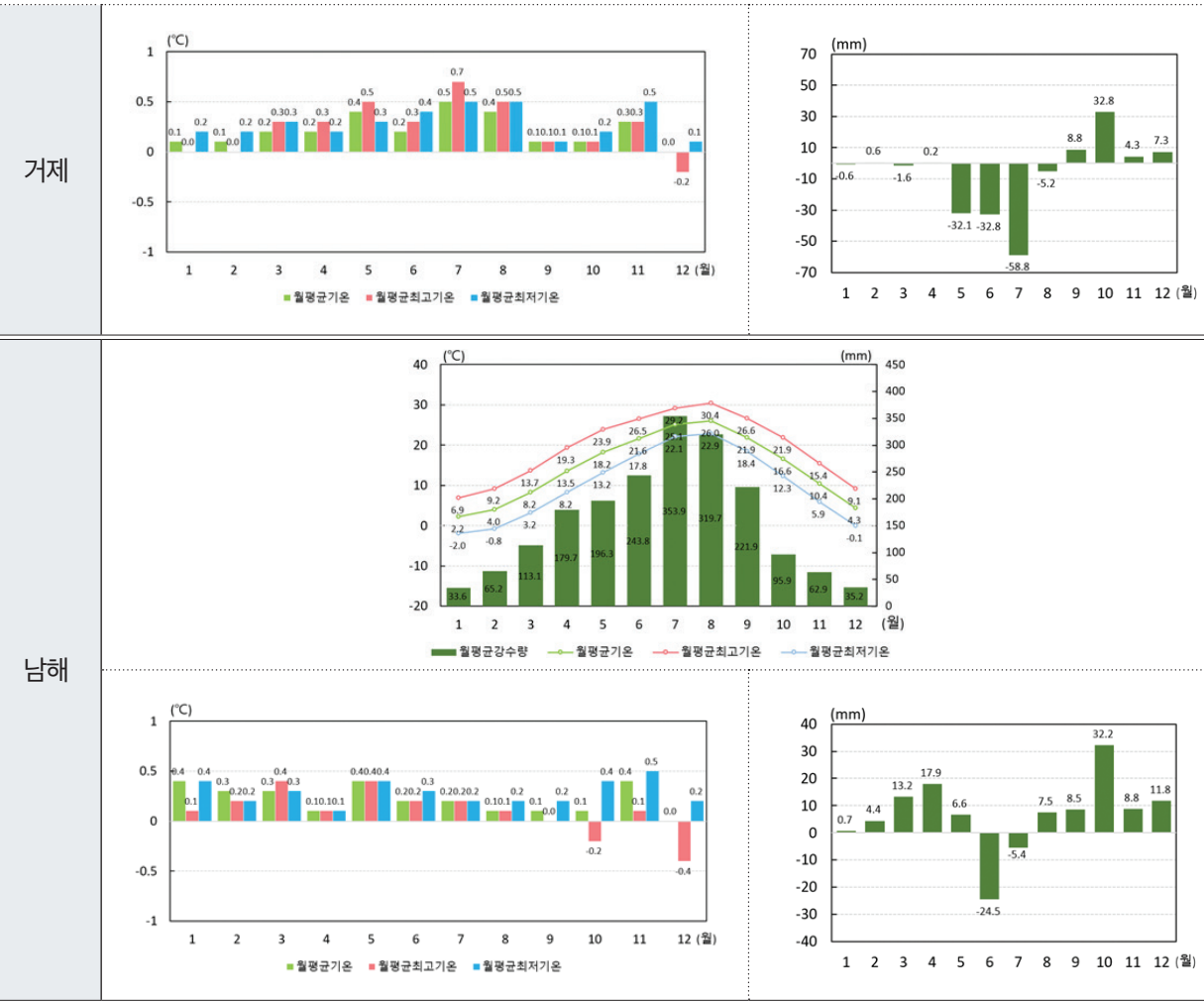










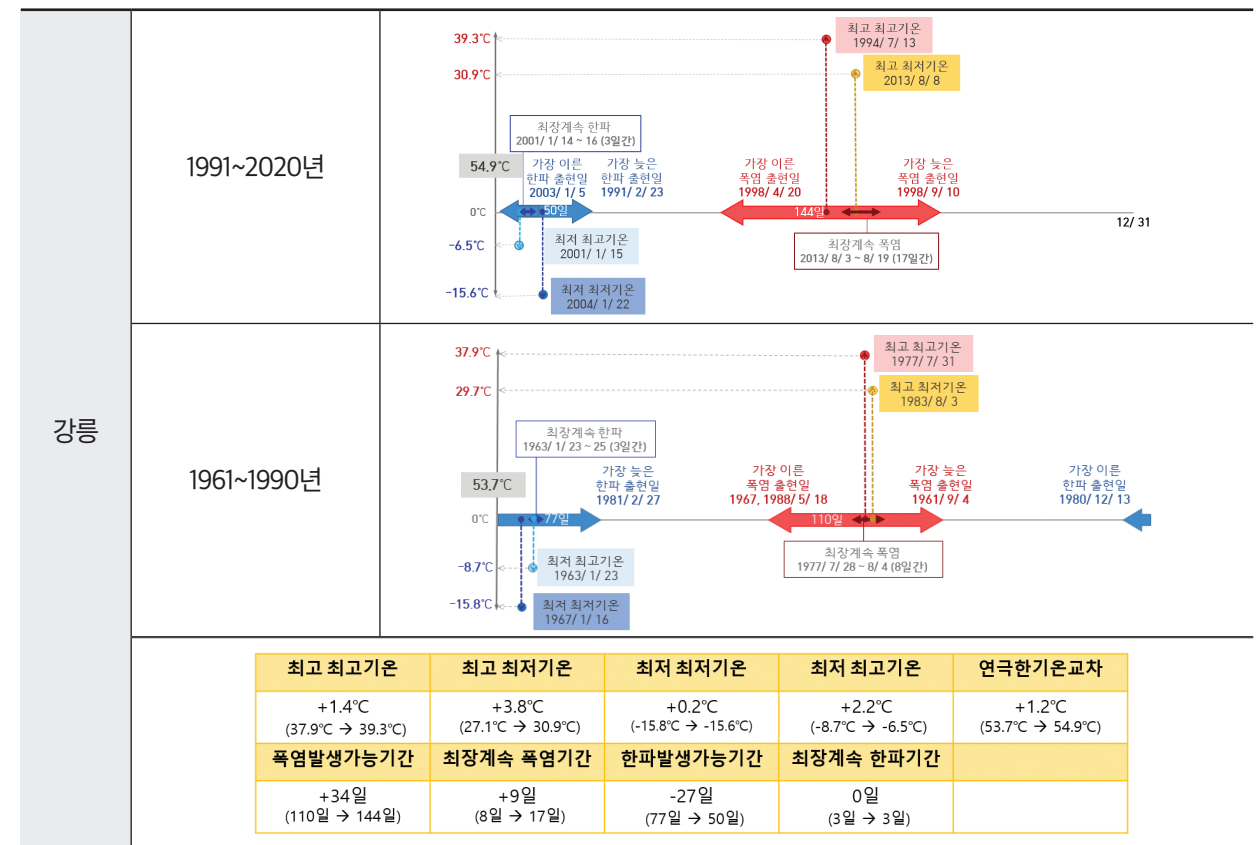


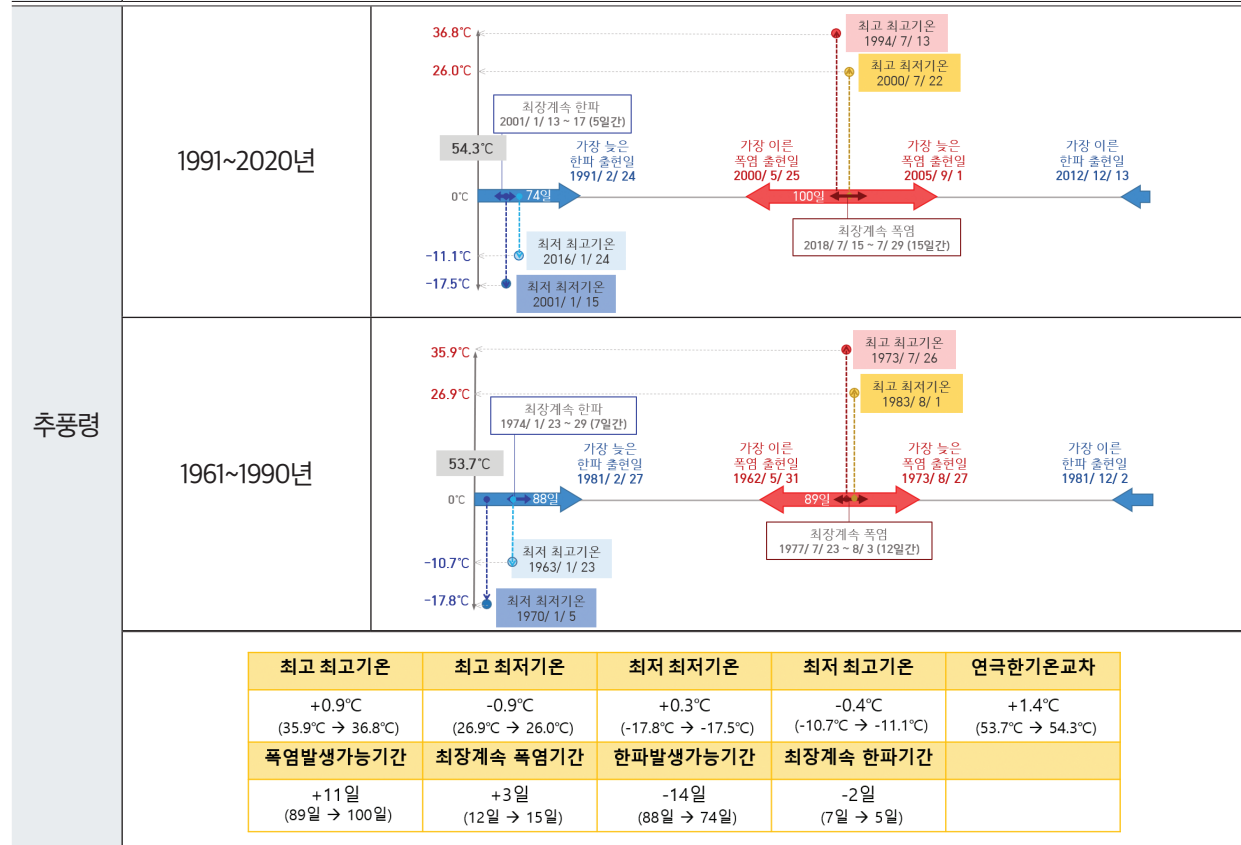
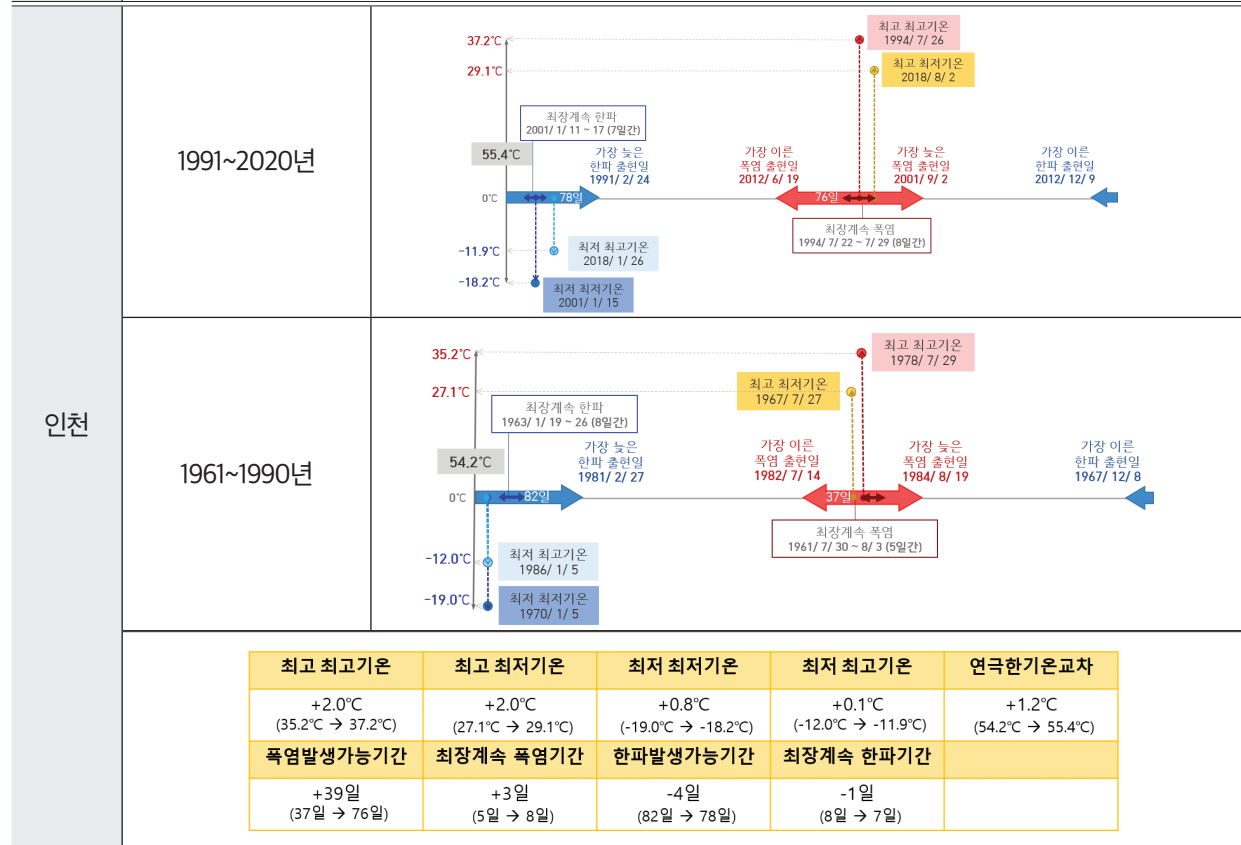
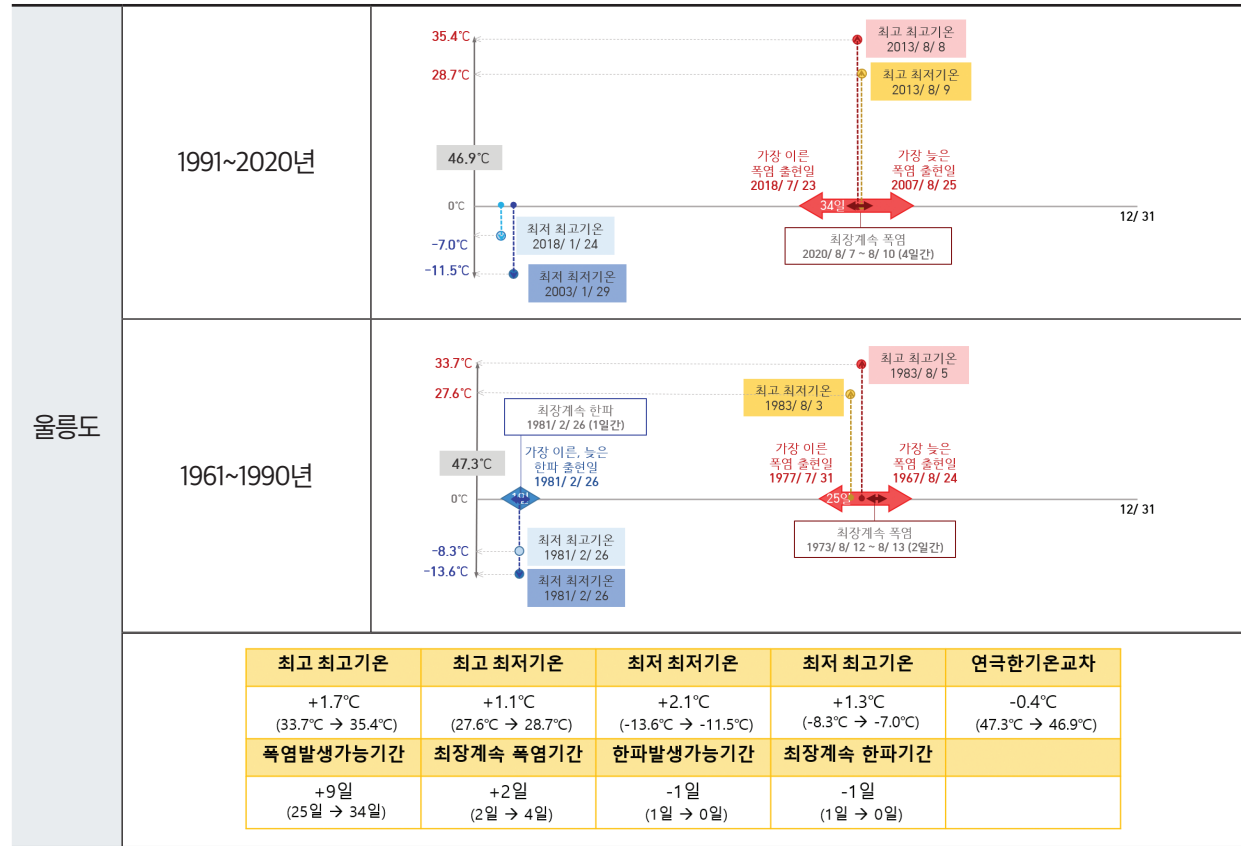
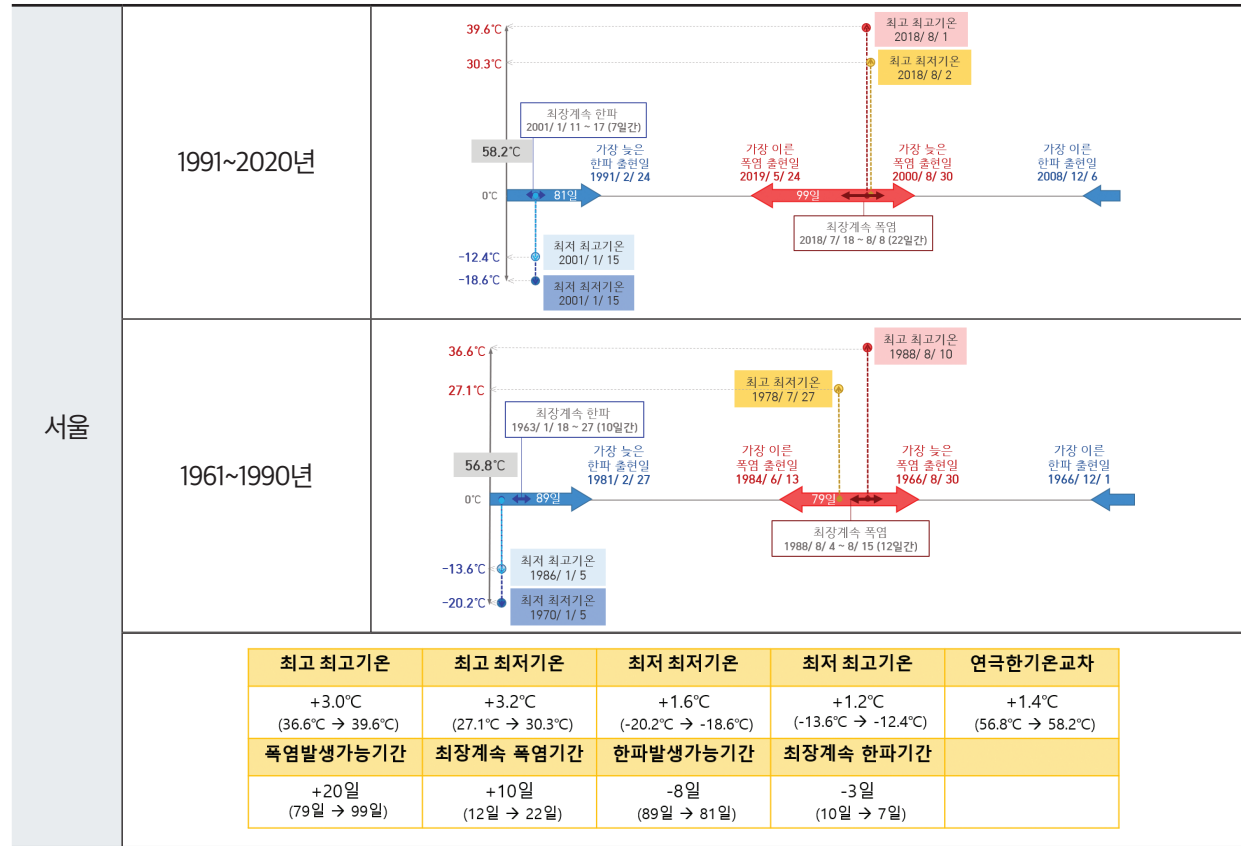
## 부록

### II. 지점별 1991~2020년과 1961~1990년의 극한기온 비교

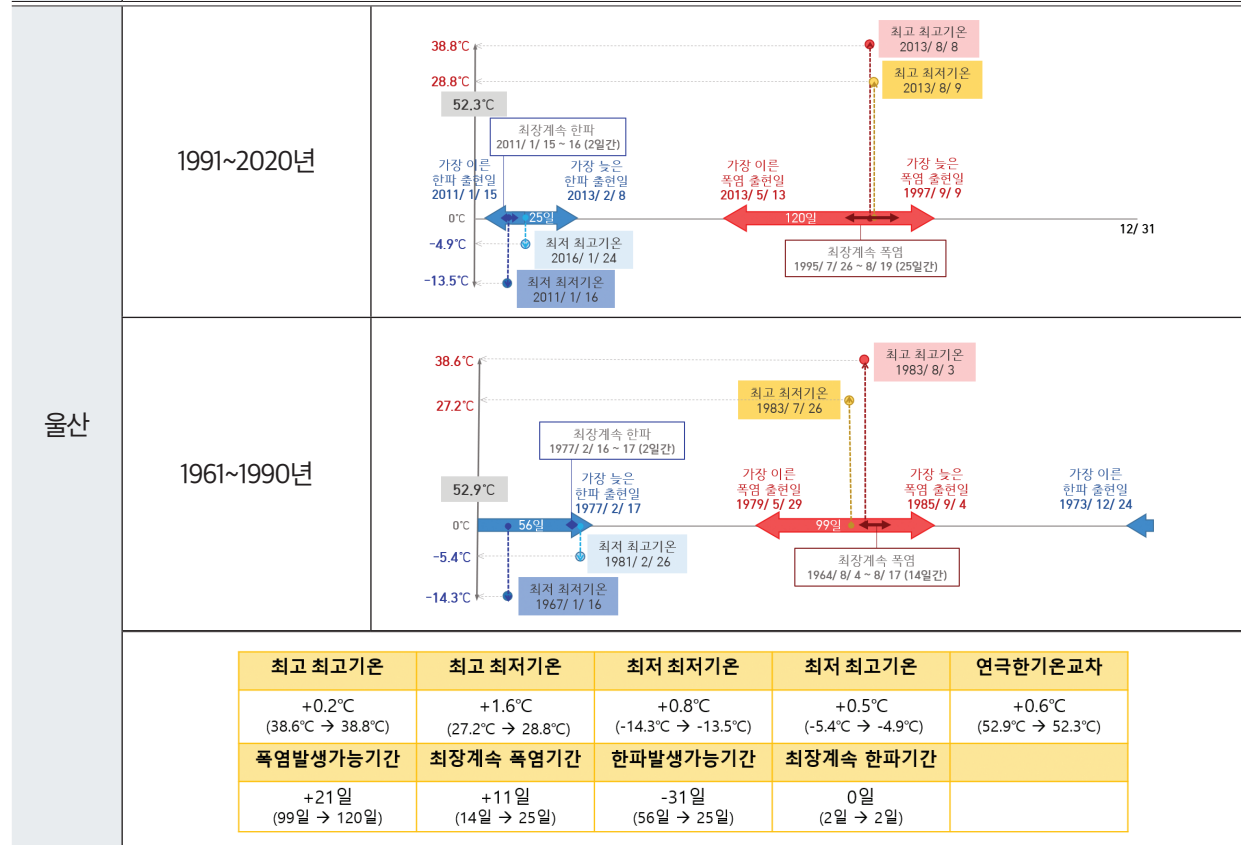
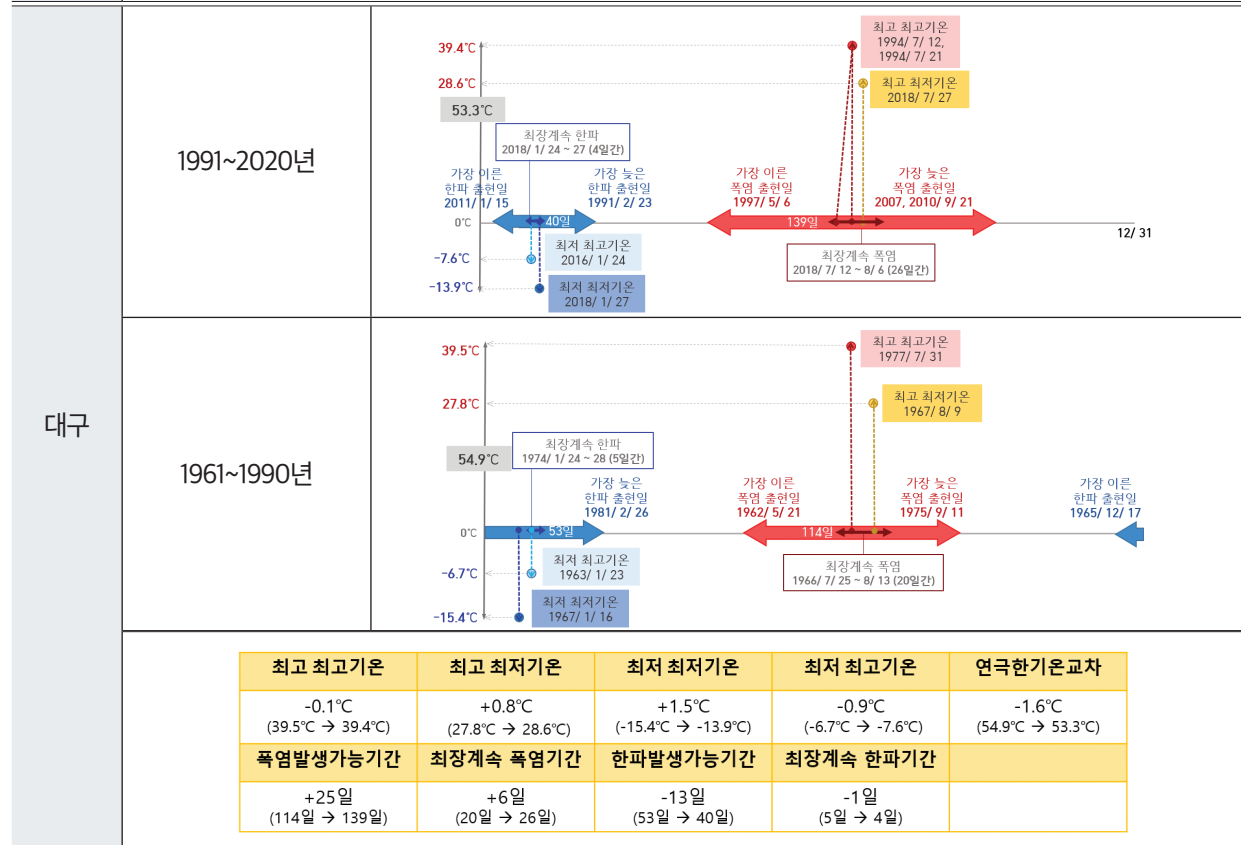
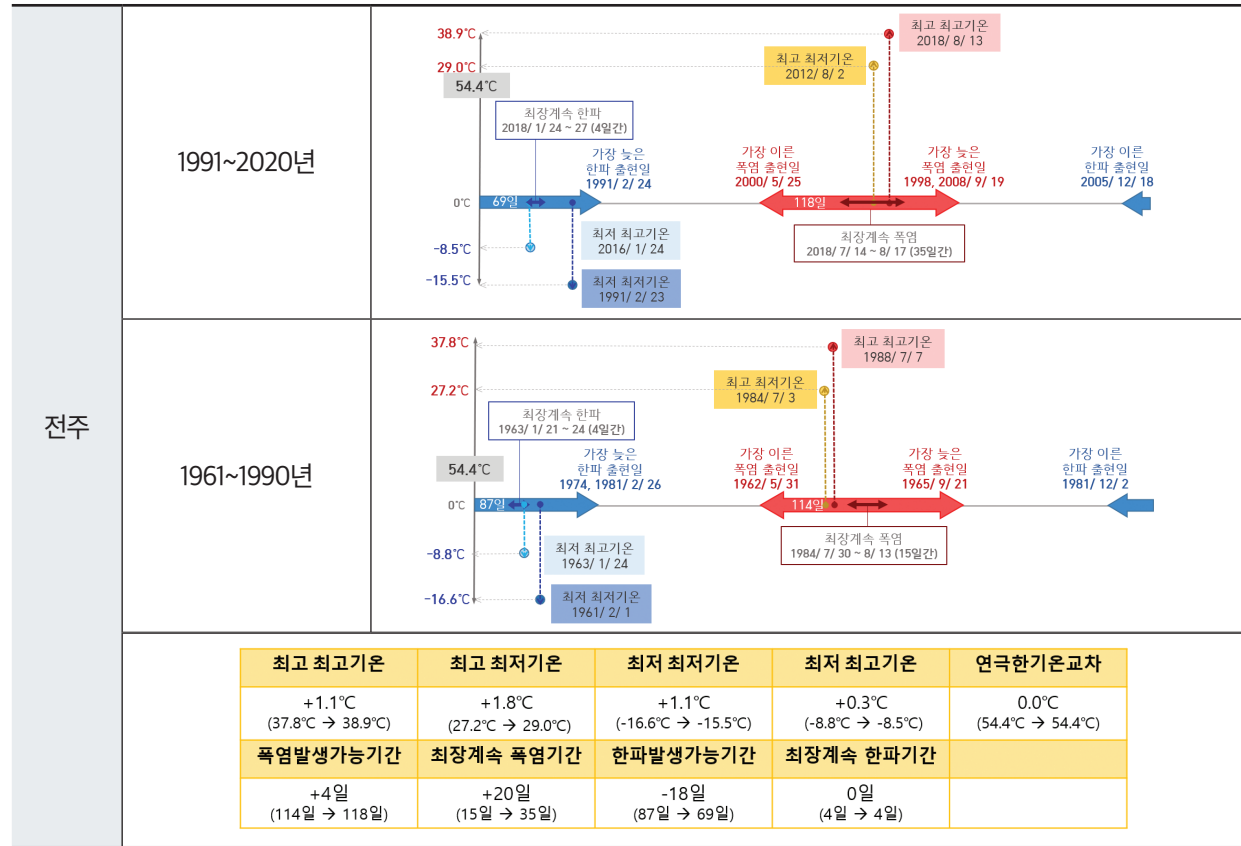
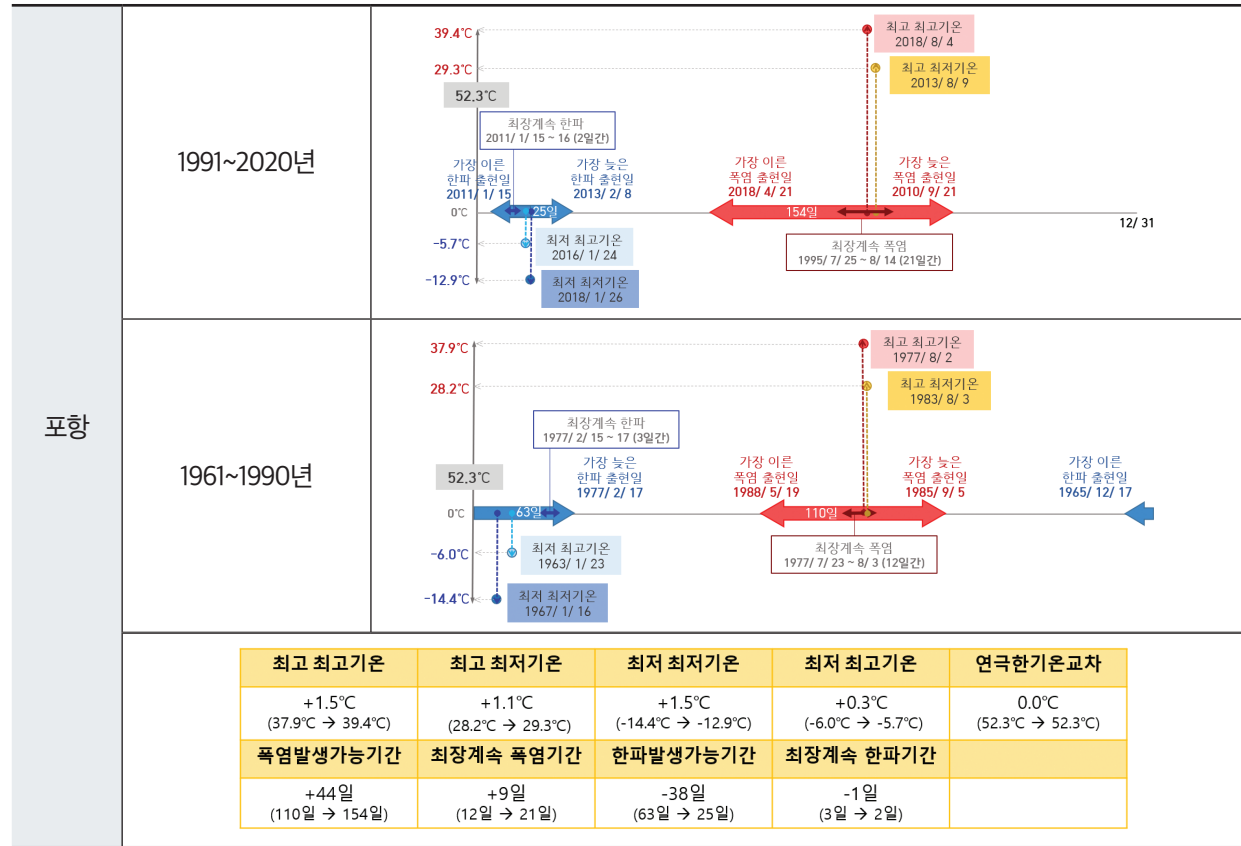
WMO는 장기간의 기후변화 평가를 위해 기준 연도를 1961~1990년의 기간으로 사용하고 있다. 이에 따라 본 보고서에서는 1961년 이후 자료가 제공되는 15개 지점(강릉, 서울, 인천, 울릉도, 추풍령, 포항, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 목포, 여수, 제주, 서귀포)을 분석하였다. 그리고 신평년값의 산출에 이용된 1991~2020년과 WMO의 실정에 맞춘 1961~1990년의 분석기간에서 나타난 극한기온 관련 정보를 각각 그림으로 표현하였다. 그림에서 최고 최고기온은 일최고기온 중에서 가장 높은 기온을 의미하고, 최고 최저기온은 일최저기온 중에서 가장 높은 기온을 의미한다. 폭염 출현일과 최장계속 폭염에 사용된 기온의 기준은 일최고기온 33.0°C 이상이다. 최저 최저기온은 일최저기온 중에서 가장 낮은 기온을 의미하고, 최저 최고기온은 일최고기온 중에서 가장 낮은 기온을 의미한다. 한파 출현일과 최장계속 한파에 사용된 기온의 기준은 일최저기온 -12.0°C 이하이다. 또한, 세로축에 최고 최고기온과 최저 최저기온 간의 차이를 의미하는 연극한기온교차를 나타냈다. 15개 지점별 1991~2020년과 1961~1990년의 극한기온 비교 그림과 두 기간 값의 차이를 표 2에 제시하였다.

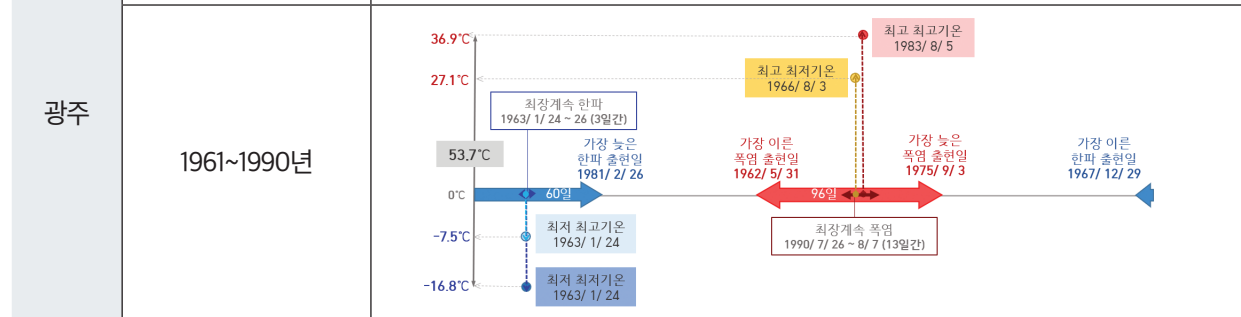
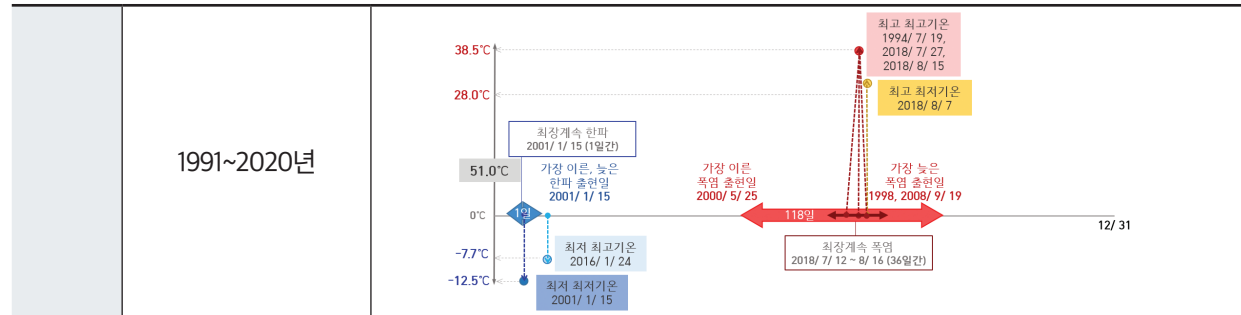
표 2. 15개 지점별 1991~2020년과 1961~1990년의 극한기온 비교



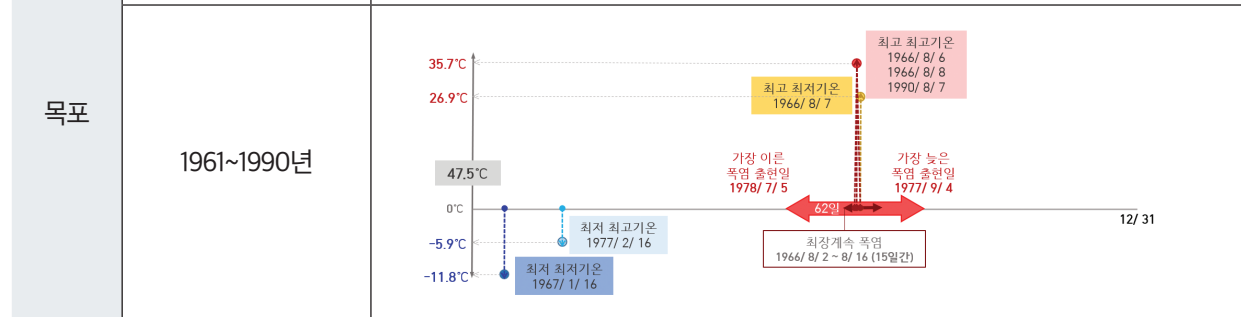
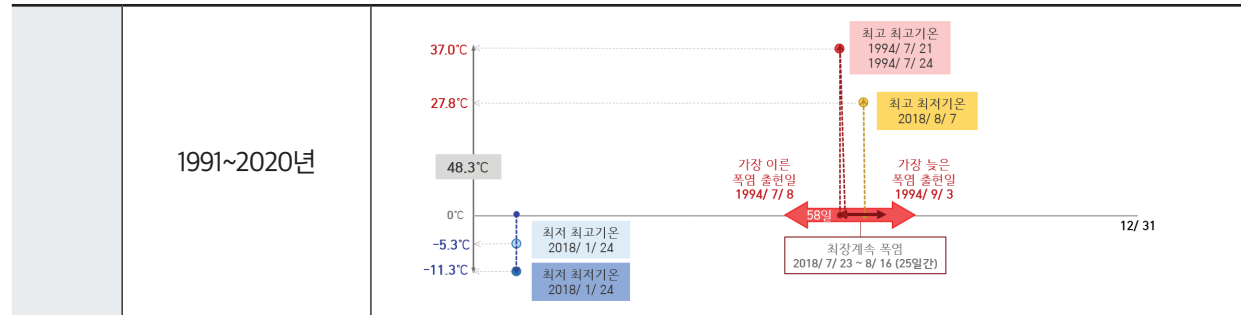




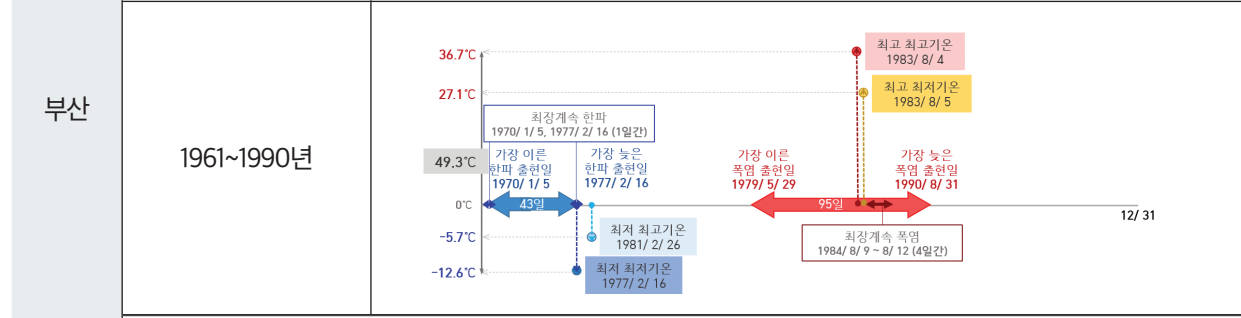
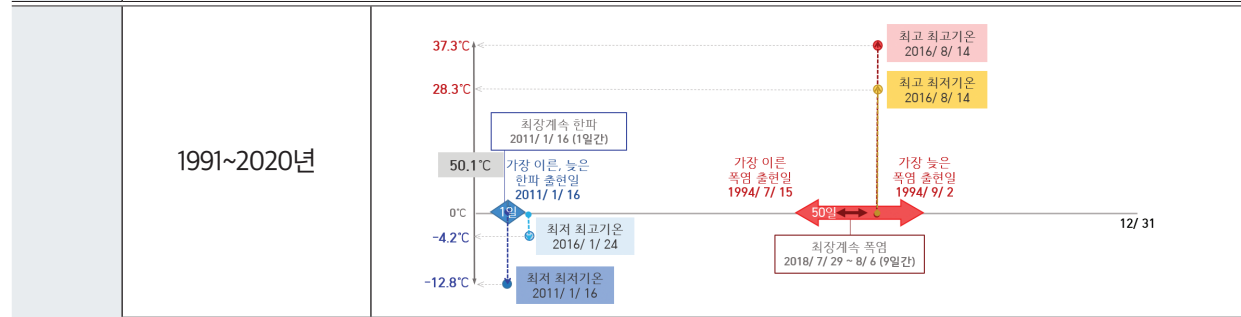




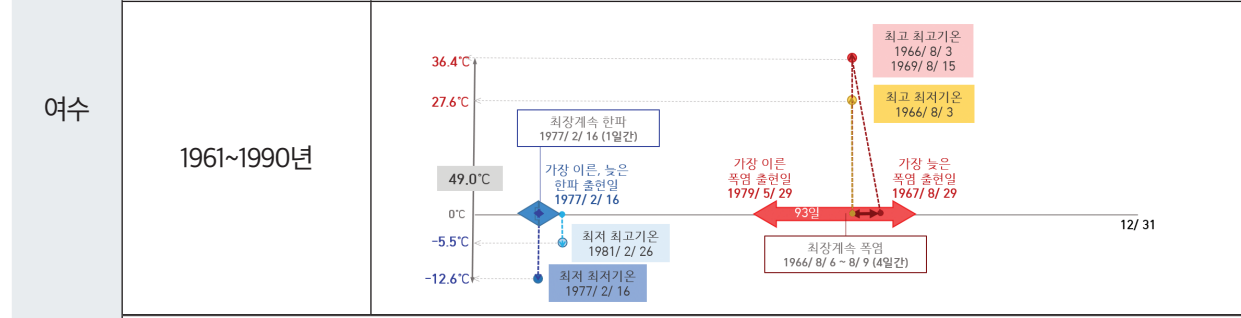
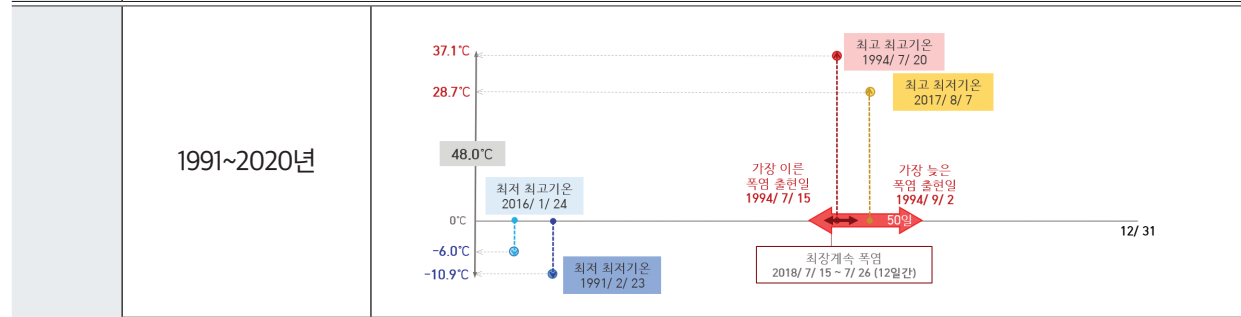
최고 최고기온	최고 최저기온	최저 최저기온	최저 최고기온	연극한기온교차
+1.6°C (36.9°C → 38.5°C)	+0.9°C (27.1°C → 28.0°C)	+4.3°C (-16.8°C → -12.5°C)	-0.2°C (-7.5°C → -7.7°C)	-2.7°C (53.7°C → 51.0°C)
폭염발생가능기간 +22일 (96일 → 118일)	최장계속 폭염기간 +23일 (13일 → 36일)	한파발생가능기간 -59일 (60일 → 1일)	최장계속 한파기간 -2일 (3일 → 1일)	



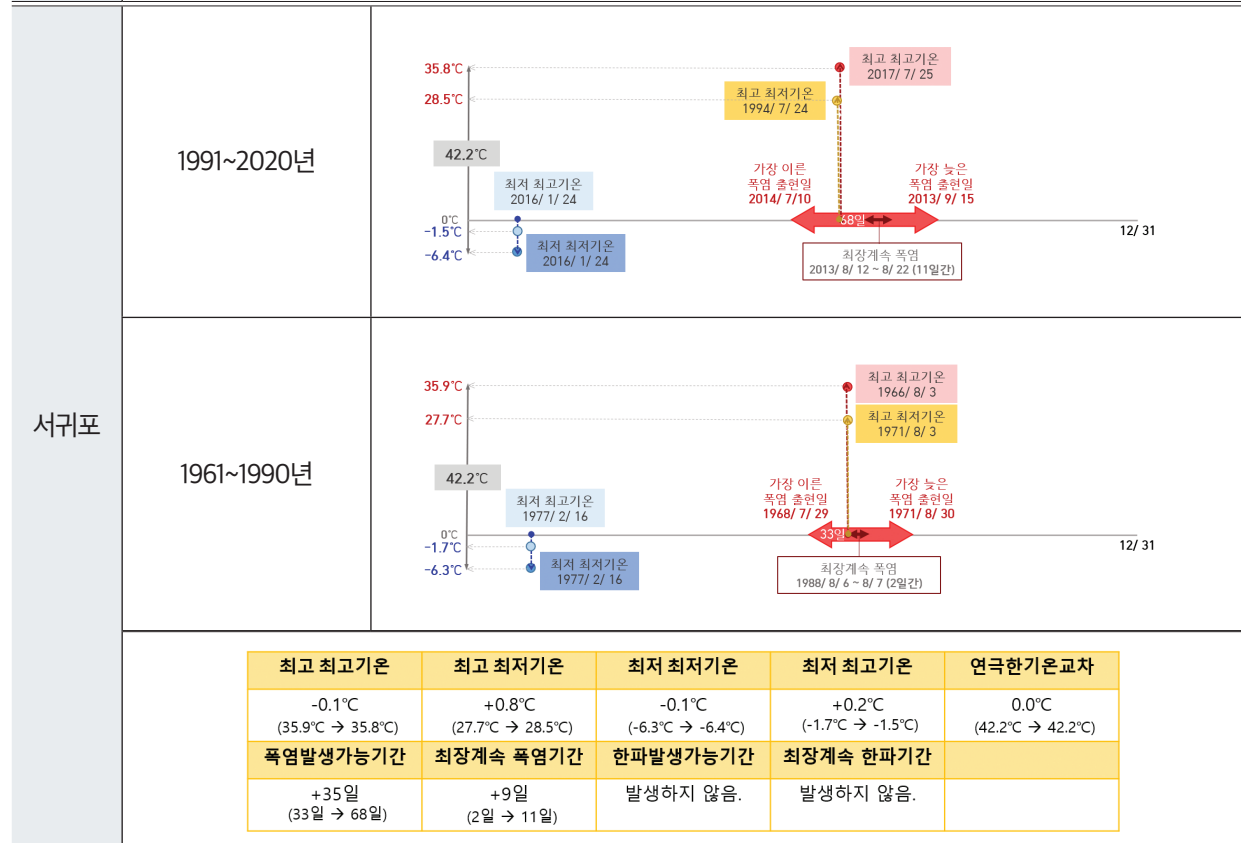
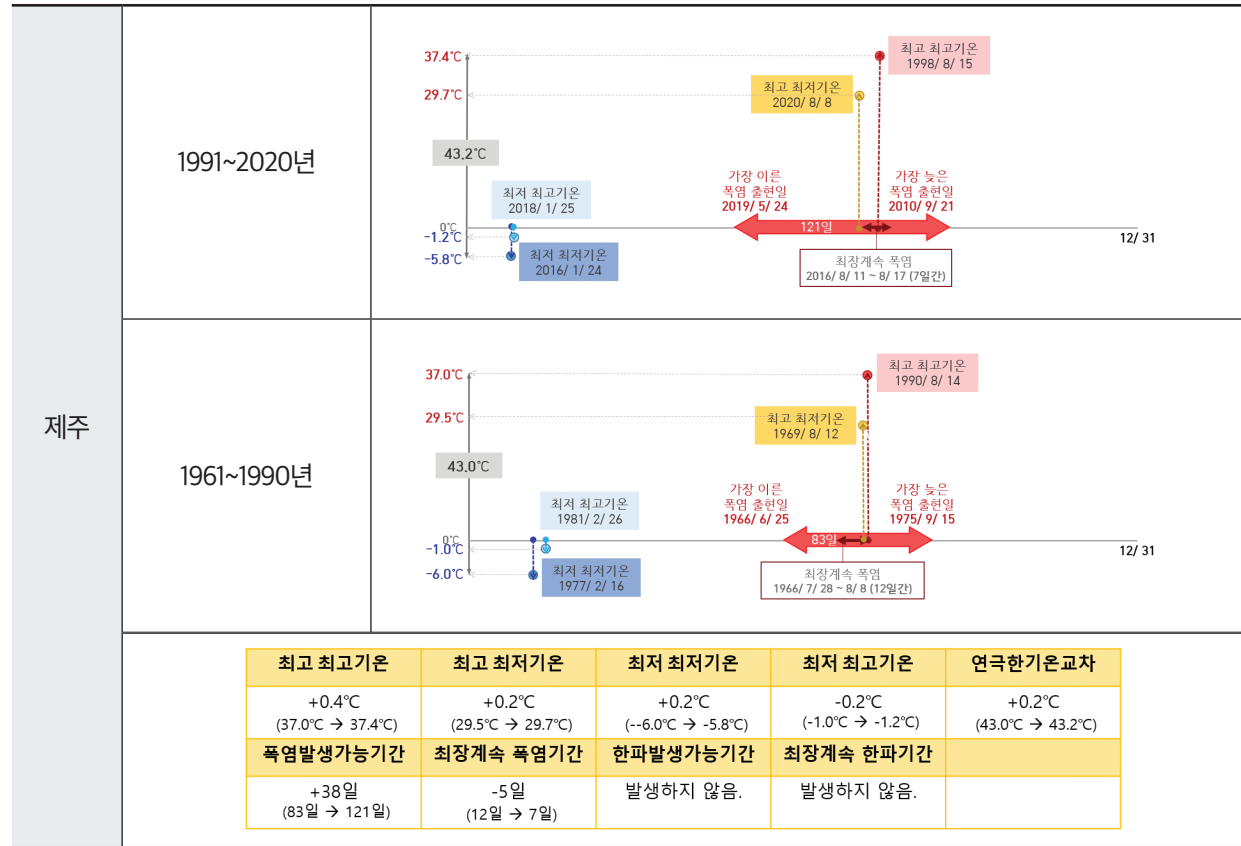
최고 최고기온	최고 최저기온	최저 최저기온	최저 최고기온	연극한기온교차
+1.3°C (35.7°C → 37.0°C)	+0.9°C (26.9°C → 27.8°C)	+0.5°C (-11.8°C → -11.3°C)	+0.6°C (-5.9°C → -5.3°C)	+0.8°C (47.5°C → 48.3°C)
폭염발생가능기간 -4일 (62일 → 58일)	최장계속 폭염기간 +10일 (15일 → 25일)	한파발생가능기간 발생하지 않음.	최장계속 한파기간 발생하지 않음.	



최고 최고기온	최고 최저기온	최저 최저기온	최저 최고기온	연극한기온교차
+0.6°C (36.7°C → 37.3°C)	+1.2°C (27.1°C → 28.3°C)	-0.2°C (-12.6°C → -12.8°C)	+1.5°C (-5.7°C → -4.2°C)	+0.8°C (49.3°C → 50.1°C)
폭염발생가능기간 -45일 (95일 → 50일)	최장계속 폭염기간 +5일 (4일 → 9일)	한파발생가능기간 -42일 (43일 → 1일)	최장계속 한파기간 0일 (1일 → 1일)	



최고 최고기온	최고 최저기온	최저 최저기온	최저 최고기온	연극한기온교차
+0.7°C (36.4°C → 37.1°C)	+1.1°C (27.6°C → 28.7°C)	+1.7°C (-12.6°C → -10.9°C)	-0.5°C (-5.5°C → -6.0°C)	-1.0°C (49.0°C → 48.0°C)
폭염발생가능기간 -43일 (93일 → 50일)	최장계속 폭염기간 +8일 (4일 → 12일)	한파발생가능기간 -1일 (1일 → 0일)	최장계속 한파기간 -1일 (1일 → 0일)	



### 2020 기후변화감시 종합 분석 보고서

**발행일** | 2021년 11월

**발행처** | 기상청 기후과학국 기후변화감시과  
(02-2181-0642)

**편 집** | (주)투씨 솔루션

**집필진** | 최영은 교수(건국대학교), 민승기 교수(포항공과대학교),  
차동현 교수(울산과학기술원), 김성중 책임연구원(극지연구소),  
김상우 교수(서울대학교)



기상청

Korea Meteorological  
Administration