

## 지자체 기후변화 대응을 위한 지역별 기후변화의 특성분석: 장기 관측자료를 중심으로

문준기\* · 심창섭\*\*† · 정옥진\*\*\* · 홍제우\*\*\*\* · 한지현\*\*\*\*\* · 송영일\*\*\*\*\*

\*한국환경정책·평가연구원 기후대기안전연구본부 위촉연구원, \*\*한국환경정책·평가연구원 기후대기안전연구본부 연구위원

\*\*\*한국교원대학교 환경교육과 박사과정, \*\*\*\*한국환경정책·평가연구원 국가기후변화적응센터 부연구위원

\*\*\*\*\*국가미세먼지정보센터 배출량조사팀 환경연구사, \*\*\*\*\*한국환경정책·평가연구원 국가기후변화적응센터 선임연구위원

### Characteristics in Regional Climate Change Over South Korea for Regional Climate Policy Measures: Based on Long-Term Observations

Moon, Jungi\* · Shim, Changsub\*\*† · Jung, OkJin\*\*\* · Hong, Je-Woo\*\*\*\* · Han, Jihyun\*\*\*\*\* and Song, Young-Il\*\*\*\*\*

\*Researcher, Department of atmospheric environment research, Korea Environment Institute, Sejong, Korea

\*\*Research Fellow, Department of atmospheric environment research, Korea Environment Institute, Sejong, Korea

\*\*\*Doctor Student, Department of environmental education, Korea National University of Education, Chungbuk, Korea

\*\*\*\*Research Fellow, Korea adaptation center for climate change, Korea Environment Institute, Sejong, Korea

\*\*\*\*\*Environmental Researcher, Department of emission inventory management, National Air Emission Inventory and Research Center, Chungbuk, Korea

\*\*\*\*\*Research Fellow, Korea adaptation center for climate change, Korea Environment Institute, Sejong, Korea

#### ABSTRACT

We investigated regional climate changes in South Korea over the last 40 years (1980 ~ 2019). The country was divided into 10 areas of Seoul, Gyeonggi, Gangwon, Chungbuk, Chungnam, Jeonbuk, Jeonnam, Gyeongbuk, Gyeongnam, and Jeju. We used the regional climate data (daily temperature and precipitation) measured by Korea Meteorological Administration (KMA) at 61 sites. There has been an annual average temperature increase of 1.4°C for the last 40 years in Korea, with a range of +1.0°C (Jeonnam) ~ +1.8°C (Gangwon). The increases in annual minimum and maximum temperatures were even larger; the increase in annual maximum temperature was as high as 2.2°C over a broad range of trends (+0.2°C (Jeonnam) ~ +5.6°C (Gyeonggi)). The change of annual total precipitation was not clear, but the southern part of Korea showed an increasing trend (Jeju(+206.4 mm/40years)), and the central part of Korea showed a decreasing trend (Chungnam (-119.6 mm/40years)). The trend of annual temperature variability was negative in central Korea (Gyeonggi (-4.2°C/40 years)) and positive in southern Korea (Gyeongnam (+1.0°C/40years)). The changes in the trends of monthly temperature variability differed by season; March (Gangwon (+0.1°C/40years) ~ Seoul (+3.6°C/40years)) and August (Jeju (-0.9°C/40 years) ~ Chungbuk (+2.9°C/40 years)) showed increasing trends due to the greater increase in maximum monthly temperatures. In comparison, September (Gyeongnam (-0.6°C/40 years) ~ Jeju (-3.5°C/40years)) and December (Seoul (+0.2°C/40 years) ~ Jeonbuk (-4.4°C/40 years)) showed decreasing trends due to the greater increase in minimum monthly temperatures. Those changes might cause different seasonal health impacts. Warming trends were noted in climate extreme indices over the last 40 years. For example, there was an almost one-month increase in the number of summer days (Tmax ≥ 25°C) in Seoul and 15-day increase in the number of tropical nights (Tmin ≥ 25°C) in Jeju. There was a similar decrease (14 days) in cold days (Tmin ≤ -12°C) in Gangwon. Our results show that regional differences in climate change over the last 40 years should be considered for establishing and implementing regional climate change adaptation policies.

**Key words:** Regional Climate Changes, Temperature Variabilities, Climate Extreme Indices

†Corresponding author : marchell@gmail.com (30147, Korea Environment Institute, 370, Sicheong-daero, Sejong, Republic of Korea. Tel: +82-44-415-7701)

#### ORCID

문준기 0000-0001-5951-8689

심창섭 0000-0003-1735-6655

정옥진 0000-0002-1644-3741

홍제우 0000-0001-8769-0312

한지현 0000-0002-0993-4120

송영일 0000-0002-6677-7336

Received: October 21, 2020 / Revised: November 23, 2020 1st, December 02, 2nd / Accepted: December 11, 2020

## 1. 서론

20세기 동안 기후변화로 전 지구 평균기온은 약 0.85°C 증가했고(IPCC, 2013), 21세기에 들어서도 2006년부터 2015년까지 10년간 0.87°C의 지구 평균기온이 상승한 것으로 나타나(IPCC, 2018) 지구 기온상승이 더욱 가속화되고 있다. 장기 기상관측 결과에 따르면 우리나라의 연 평균기온은 1912년부터 2017년까지 106년간 도시화 효과를 포함하여 약 1.9°C가 상승하여(NIMS, 2018) 전 지구 평균의 2배에 가까운 기온 상승을 보였다. 이는 산업화 이후 지구 평균온도 상승폭을 1.5°C로 제한하는 것을 목표로 한 UNFCCC의 합의에 비추어보면 이미 심각한 상황임을 알 수 있다(UNFCCC, 2016; IPCC, 2018).

동아시아는 기후변화가 상대적으로 크게 나타나며, 특히 우리나라는 지형과 토지피복의 다양성으로 지역별·계절별 기후변화의 편차가 뚜렷하다(Han et al., 2018; Park, 2015; Ho et al., 2011). 2018년 여름의 기록적 폭염에 의한 온열질환자수가 약 4,500명에 달하였고, 1913년에서 2012년까지 여름철 우기의 발생시기가 약 10일 빨라졌으나 2015년 이후 일부 지역의 지속된 가뭄과 2020년 초장기 장마와 홍수피해가 나타난 점은 국내에서 점점 심화되는 기후변동성의 예라고 할 수 있다(KMA, 2020b; KMA, 2014, KMA 2020a).

이러한 기후변화에 대응의 일환으로 우리나라는 2010년 제1차 국가 기후변화 적응대책을 수립하고 이행을 시작하였다. 기후변화의 대응, 특히 기후변화 적응은 지역 차원의 영향과 취약성에 의존하기 때문에 지자체 차원의 기후변화 대응 역량이 중요하다. 따라서 정부는 17개 광역지자체별로 기후변화 적응대책 세부시행계획의 수립과 시행을 의무화하고 있다. 특히, 2021년에는 세종을 제외한 16개 광역지자체의 제3차 광역지자체 기후변화 적응대책 세부시행계획이 수립이 계획되어 있다. 따라서 우리나라의 지역별 주요 기후변화의 특성을 분석하고 이해하는 것은 지자체 차원의 기후변화 대응을 위한 과학적 근거를 제공하는 차원에서 중요한 의미가 있다.

그러나 지금까지 전국차원의 지역별 기후변화의 특성에 대한 장기적이고 정량적인 종합분석은 많이 수행되지 않았다. 본 연구에서는 1980년부터 2019년까지 기후 관측값을 중심으로 우리나라의 지역별 기후변화 특성 및 경향분석을 수행했다. 또한 연 누적강수량의 40~60%가 집중되는 6월에서 9월을 여름몬순에 의한 장마철로 구분하고(Son and Seo, 2012) 지역별 강수량을 우기(여름몬순) 및

비우기로 구분하여 분석해보았다. 추가적으로 연간 여름 및 겨울일수, 한파, 폭염 일수 등 주요 극한기후지수(Climatic Extreme Indices) 값의 변화에 대한 지역별 분석도 함께 수행하였다.

## 2. 연구자료 및 방법

### 2.1 지역 구분 및 기상 관측소의 선정

기상청에서는 1904년 기상관측이 시작된 이래 기온과 강수 등의 자료를 제공하고 있다. 현재 기상청에서는 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/>)을 통해 102개 지점의 중관기상관측소(ASOS; Automated Synoptic Observing System)의 기온, 강수, 바람, 기압 등의 자료를 분, 시간, 일, 월, 연 단위로 제공하고 있다(KMA, 2019).

우리나라는 1973년부터 전국적으로 기상관측망을 대폭 확충하여 안정적으로 자료를 생산하기 시작했으며 기상청의 기후통계지침에 따라 우리나라의 전국 평균값에 대해서는 주로 1973년 이후 연속적으로 관측자료가 존재하는 45개 지점을 사용한다(KMA, 2019). 그러나 지역별 기후자료 획득을 위해 1973년 이후 운영 중인 45개 관측소로 우리나라 전 지역을 균일하게 분석하기에는 한계가 있기 때문에 1980년 1월 1일부터 2019년 12월 31일까지 연속적으로 관측값이 존재하는 60개의 ASOS 관측소와 1개의 공항기상관측소(AMOS; Aerodrome Meteorological Observation System)를 선정하여 분석했다. 이번 연구에 사용된 1개의 AMOS 관측소는 김포공항 관측소로 서울지역에서 조건을 만족하는 ASOS 관측소가 1개인 점을 고려하여 추가하였다. 이 외에도 방재기상관측소(AWS; Automatic Weather System)를 운영하며 전국 510개 지점에 대하여 기온, 강수, 바람, 습도 등의 자료를 제공하고 있지만 1997년부터 자료를 제공하고 있기에 장기적인 변동을 살펴보기에는 한계가 있어 제외하였다.

본 연구에서는 지역별 기후변화 경향분석을 위하여 남한을 서울, 경기(+인천), 강원, 충북, 충남(+대전, 세종), 전북, 전남(+광주), 경북(+대구), 경남(+부산, 울산), 제주 총 10개의 지역으로 구분하였다. 서울은 주변지역인 경기도에 비해 작은 면적에도 불구하고 인구나 토지피복 등의 차이로 인한 영향이 있을 것으로 판단하여 별도로 구분하였다. 각 지역별 관측소는 서울 2개소, 경기 5개소, 강원 7개소, 충북 5개소, 충남 6개소, 전북 6개소, 전남 7개소, 경북 10개소, 경남 10개소, 제주 3개소로 구성되어있다. 61개 관측소들의 지점정보는 부록(Table S1)에 나타내었다.

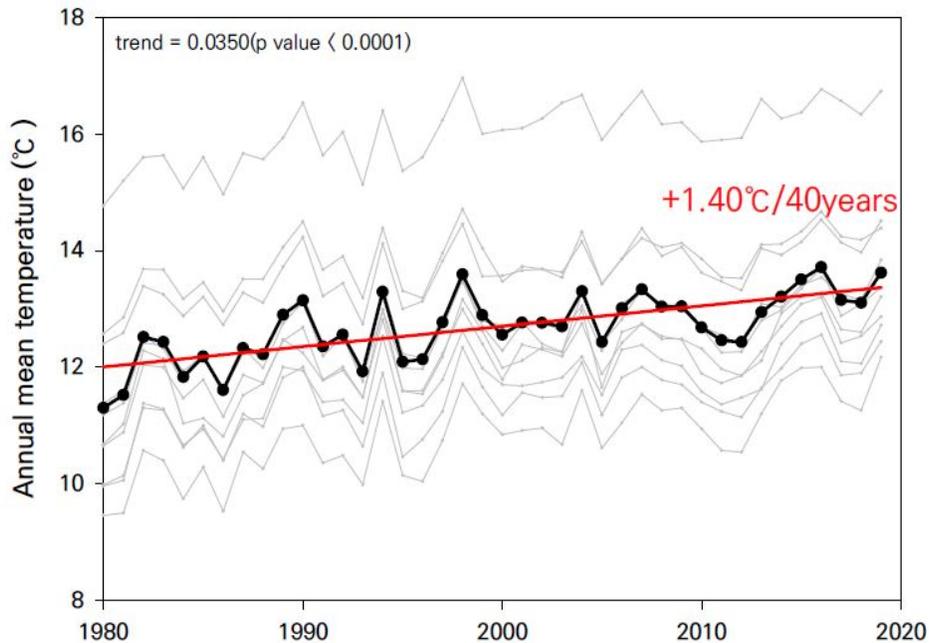


Fig. 1. The trends of the annual mean temperatures over the last 40 years in South Korea (1980 ~ 2019). The bold line is national average temperature & the other grey lines in the background show average temperature trends over the 10 regions

## 2.2 지역 기후자료의 분석

61개 관측소에서 관측된 일 단위 강수량자료와 기온자료를 사용하여 과거의 장기적인 변동성을 살펴보고자 한다. 일 자료를 바탕으로 연 평균기온, 연 최고기온, 연 최저기온, 연 누적강수량 등을 구하여 분석하였고, 기온의 변동성 분석을 위해 지역별 연 최고기온과 연 최저기온의 차이인 연교차를 분석하였다. 연교차는 장기적으로 기온이 어떻게 변화하였는지 온도차의 변동성(temperature variability) 정도를 가늠할 수 있는 지표 중 한 가지라고 할 수 있다 (Tamarin-Brodsky et al., 2020). 또한 계절변화가 뚜렷한 우리나라의 특성상 1개월 단위의 온도 편차는 월별로 상이할 수 있으므로 월 최고기온과 월 최저기온의 차이인 월교차의 장기적인 변화도 살펴보았다. 월별 기온편차는 보건학적으로 사망률과도 상관관계가 있어(Capelli and Piccolo, 2002) 지역별로 월별 기온편차의 경향성을 분석하였다.

또한 각 관측소별 극한기후지수(Climate Extreme Indices)를 계산하여 지역별 극한기후지수의 변화를 분석했다. 지역별 극한기후지수는 각각의 지역별 관측소의 평균값이다. 기상청의 극한기후지수를 바탕으로 7가지를 선정하였으며 그 기준은 Table 1에 나타내었다(KMA, 2018).

Table 1. The details of Climate Extreme Indices

Climate Extreme Indices	Standard
Tropical night days	daily minimum temperature $\geq 25^{\circ}\text{C}$
Cold wave days	daily minimum temperature $\leq -12^{\circ}\text{C}$
Summer days	daily maximum temperature $\geq 25^{\circ}\text{C}$
Winter days	daily mean temperature $\leq 5^{\circ}\text{C}$
Heat wave days	daily maximum temperature $\geq 33^{\circ}\text{C}$
Rainy days	daily precipitation $\geq 0.1 \text{ mm}$
Heavy rain days	daily precipitation $\geq 80 \text{ mm}$

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 1980년~2019년 관측된 기후자료 분석 결과(기온)

연 평균기온은 우리나라의 모든 지역에서 상승했으며 전국 평균값은 지난 40년간  $1.4^{\circ}\text{C}$  증가하여 전 세계 평균 상승폭 보다 크게 상승한 것으로 나타났다(Fig. 1). 지역별 연 평균기온의 10년 단위 변화를 살펴보면 모든 지역에서 꾸준히 상승하여 40년간  $1.0^{\circ}\text{C}$  이상의 상승추세가 나타났으며, 2010년대에 각 지역별 가장 높은 연 평균기온이 나타났다. 지난 40년간 연 평균기온의 상승폭은 강원( $+1.8^{\circ}\text{C}$ )에서 가장 크고 전남( $+1.0^{\circ}\text{C}$ )에서 가장 작았다(Table 2).

연 최고기온은 연 평균기온보다 상승폭이 컸다(Table 3). 1980년대부터 2000년대까지는 큰 변화를 보이지 않고 일부 지역에서는 연 최고기온이 감소하기도 했으나(경기, 강원, 전남) 2010년대의 전국적인 폭염으로 인해 연 평균기온보다 가파른 상승추세가 나타났다. 모든 지역에서 1.0°C 이상의 상승추세가 나타났으며 경남(+2.2°C)과 서울(+2.0°C)에서는 2°C 이상의 상승추세가 나타났다(Table 3). 경남에서 최고기온이 가장 크게 상승했고, 서울은 비슷한 위도의 경기와 강원에 비해 최고기온이 크게 증가했는데 이는 도시의 확장, 토지이용 및 구조물의 변화 등 복합적인 요인으로 인해 발생한 도시열섬현상이 원인으로 추정된다. 국토교통부의 지목통계를 살펴보면 서울의 1980년에서 2019년까지 대지(40% 증가), 도로(107% 증가) 등의 시가화건조지역(토지분류체계상 도시화된 지역)은 증가했고 그 외의 밭(82% 감소), 논(81% 감소), 임야(25% 감소) 등의 지역은 감소하여(MOLIT, 2020), 현재 서울의 녹지비율은 약 39%로 나타났는데 주변지역인 경기와 강원에 비해 크게 낮은 것을 확인할 수 있다(약 77%)(KOSIS, 2019). 즉 서울 등의 경우 표면물질이 열에너지를 흡수, 저장하여 도심의 온도가 다른 주변부보다 높아지고 도시 내 건축물의 높이와 인구, 도로피복의 변화로 인한 증발열의

감소와 같은 영향을 받으며(Zhao et al., 2014; Je and Jung, 2018), 높은 도시열섬강도(Urban Heat Island intensity; UHI, 도시와 주변부의 열 차이)로 인해 도시의 Heat Stress의 증가를 가속화시키고, 잠열(Latent heat)을 최대화시키는 것으로 알려졌다(Hong et al., 2019). 해외 사례에서도 도시화에 의해 호주 시드니의 기온상승은 여름에 가장 크게 상승할 것이며 토지이용, 구조물의 변화와 영향으로 2070년대에는 시드니 지역의 최고기온이 현재보다 1.9°C 상승할 것으로 전망하고 있다(OEH, 2015).

연 최저기온은 지난 40년간 전체적으로는 증가추세가 나타났으나 지역별 편차가 존재했다(Fig. 2 and Fig. 3). 최저기온이 상대적으로 낮은 중부지방에서 1980년대에 비하여 1990년대에 기온이 큰 폭으로 증가한 탓에 경기(+5.6°C), 강원(+2.6°C)에서 40년간 급격한 증가추세가 나타났고(Fig. 2) 전남(+0.2°C), 경남(+1.2°C)을 비롯한 남부지방에서는 상대적으로 작은 변화를 보였다(Table 4). 이는 해륙분포와 같은 지형에 의한 영향과 위도에 따른 열용량의 영향이 다른 것에 기인한 것으로 추정할 수 있다. 이로 인해 우리나라의 작은 국토면적에도 불구하고 남부지방은 아열대기후의 특성과 그 외의 지역은 온대기후의 특성이 나타나는 등 여러 기후의 특성이 동시에 나타난 것으로 파악되었다(Kim et al., 2014).

Table 2. The annual mean temperature (°C) and its trend (°C/40 years) over the last 40 years (1980 ~ 2019)

	Seoul	Gyeonggi	Gangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Jeju
1980 ~ 1989	11.5	10.9	10.1	10.9	11.6	12.0	13.4	12.0	13.1	15.4
1990 ~ 1999	12.2	11.7	10.7	11.3	12.2	12.6	13.9	12.7	13.6	16.0
2000 ~ 2009	12.4	12.0	11.1	11.6	12.3	12.8	13.8	12.8	13.8	16.3
2010 ~ 2019	12.6	12.1	11.4	11.9	12.5	12.9	14.1	13.1	14.0	16.3
<b>Trend</b>	<b>+1.5</b>	<b>+1.7</b>	<b>+1.8</b>	<b>+1.4</b>	<b>+1.3</b>	<b>+1.3</b>	<b>+1.0</b>	<b>+1.4</b>	<b>+1.3</b>	<b>+1.3</b>

Table 3. The annual maximum temperature (°C) and its trend (°C/40 years) over the last 40 years (1980 ~ 2019).

	Seoul	Gyeonggi	Gangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Jeju
1980 ~ 1989	34.6	35.6	36.7	35.6	35.2	35.7	35.5	37.1	36.3	34.3
1990 ~ 1999	34.8	35.5	36.0	35.3	35.6	35.9	35.5	37.1	36.3	35.3
2000 ~ 2009	35.0	35.3	36.2	35.1	35.5	35.8	34.9	37.0	37.1	34.8
2010 ~ 2019	36.0	36.6	37.3	36.6	36.5	37.0	36.7	38.0	37.8	35.8
<b>Trend</b>	<b>+2.0</b>	<b>+1.3</b>	<b>+1.0</b>	<b>+1.1</b>	<b>+1.5</b>	<b>+1.5</b>	<b>+1.1</b>	<b>+1.3</b>	<b>+2.2</b>	<b>+1.4</b>

Table 4. The annual minimum temperature (°C) and its trend (°C/40 years) over the last 40 years (1980 ~ 2019).

	Seoul	Gyeonggi	Gangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Jeju
1980 ~ 1989	-17.9	-22.4	-24.6	-22.3	-17.9	-19.4	-11.8	-18.9	-15.1	-4.4
1990 ~ 1999	-16.2	-17.8	-21.5	-20.2	-17.5	-18.8	-11.3	-18.3	-15.2	-3.7
2000 ~ 2009	-16.4	-17.7	-22.5	-19.9	-18.1	-17.6	-11.9	-17.3	-14.0	-3.0
2010 ~ 2019	-17.5	-18.8	-22.7	-21.5	-17.5	-17.3	-11.7	-18.8	-14.8	-3.6
<b>Trend</b>	<b>+1.5</b>	<b>+5.6</b>	<b>+2.6</b>	<b>+2.4</b>	<b>+1.2</b>	<b>+3.9</b>	<b>+0.2</b>	<b>+1.5</b>	<b>+1.2</b>	<b>+1.7</b>

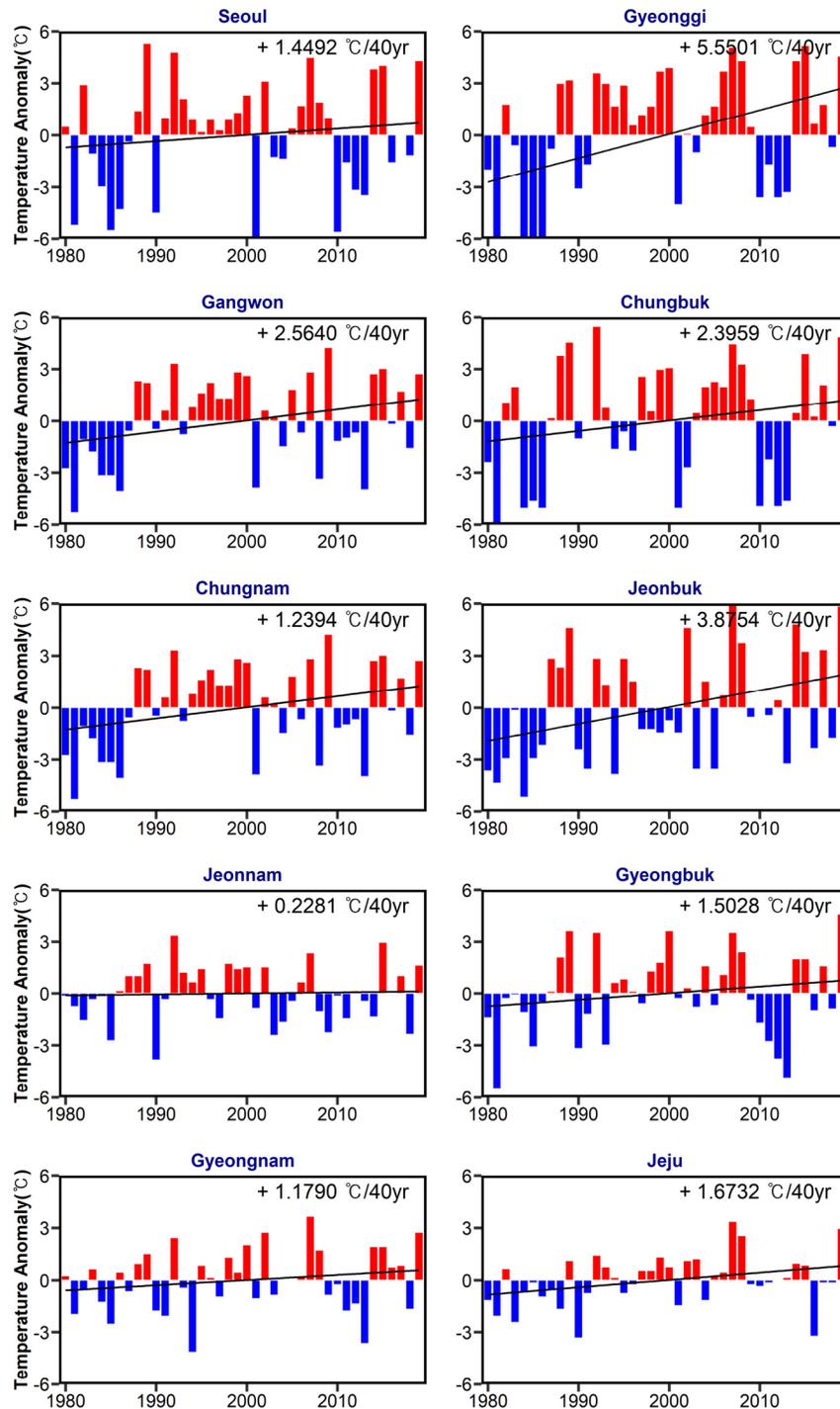


Fig. 2. The anomalies and trends of the annual minimum temperature over the last 40 years (1980 ~ 2019) over the 10 regions

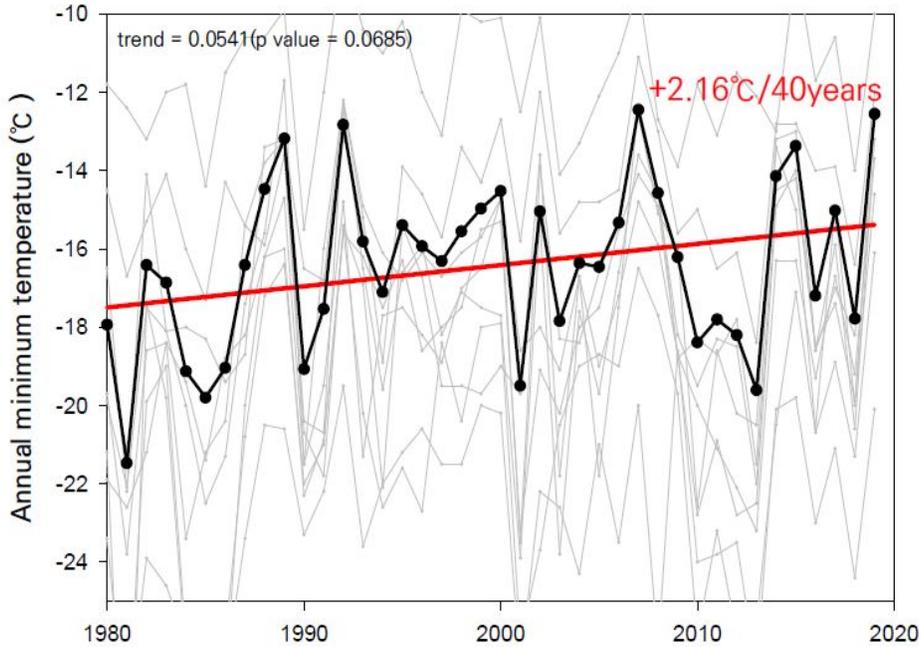


Fig. 3. The trends of the annual minimum temperatures over the last 40 years in South Korea (1980~2019). The bold line is national minimum temperature & the other grey lines in the background show minimum temperature trends over the 10 regions

### 3.2 1980년-2019년 관측된 기후자료 분석 결과(강수)

우리나라의 강수량의 변화는 대부분의 지역에서 지난 40년간 뚜렷한 장기적 추세는 관찰되지 않았으나 각 지역 별로 특징적인 변화가 있었다(Fig. 4). 경상도(경북, +135.5 mm)와 제주(+206.4 mm)에서 40년간 강수량이 증가했으며, 나머지 지역에선 강수량이 감소했다(Table 5). 아노말리 분석결과 서울, 경기 등 중부지방의 2010년대 중후반의 강수량 감소가 공통된 특징으로 관찰되었다(Fig. 5). 2014년에 서울에서는 지난 40년 중 3번째로 적은 강수량(평년대비 62%)을 기록했고, 경기(평년대비 62%)와 강원(평년대비 69%) 지역은 지난 40년 중 2번째로 적은 강수량을 기록했으며 2015년은 서울(평년대비 54%), 경기(평년대비 57%), 강원(평년대비 65%) 지역 모두 지난 40년 중 가장 적은 강수량이 기록되었다. 그 후에도 중부지방에서는 2016년(평년대비 77%), 2017년(평년대비 84%)과 2019년(평년대비 73%) 모두 평년에 비하여 적은 강수량으로 40년간 연 누적강수량의 추세 감소에 기여했다(Fig. 4).

경기, 강원, 충북지역에서는 2010년대 중 후반 기상학적 가뭄으로 인해 40년간 강수량이 4~6% 감소하는 추세였으나 강수

일수는 2~5% 소폭 증가하였다. 이는 강수강도가 감소하였음을 의미한다. 경상도와 제주지역에서는 강수량과 강수일수가 각각 4~11%, 1~12% 증가했다. 경북(+12.4일)에서 강수일수가 가장 크게 증가했고 강수량(1820.7 mm)과 강수일수(127.0일)의 40년간 평균값은 제주도에서 가장 크게 나타났다(Table 5 and Table 6).

지역별로 우기(6월~9월)의 강수량은 연 누적강수량의 74%(강원)에서 57%(제주)로 나타났고 우기의 강수량은 대부분의 지역에서 감소하고 비우기의 강수량은 남부지방에서 소폭 증가하는 추세를 보였다(Table 5 and Fig. 5). 우리나라 우기의 강수량은 동아시아 지역의 여름몬순 장기변동성과 연관되어 2010년대 초반까지는 증가하는 경향을 보이기도 했으나 2010년대 중 후반부터 뚜렷이 줄어들었다. 이로 인해 서울을 제외한 나머지 지역은 우기의 강수량이 40년간 감소 추세가 나타났다. 강수량 감소의 사례로 2016년에 여름에 엘니뇨가 쇠퇴하고 인도양의 해수면 온도가 상대적으로 따뜻해진 탓에 북서태평양의 고기압이 강하게 발달하여 한반도보다 남쪽인 위도 32°N 부근에 장마전선을 활성화시켜 한반도에서는 우기의 강수량이 평년대비 79%로 지난 40년 중 4번째로 적었다(Kim et al., 2017). 역대 최고 기온을 기록한

2018년의 장마기간은 역대 2번째로 짧은 지속기간을 나타내는 등 우기의 강수량 감소는 여름철 폭염에도 영향을 줄 수 있다(KMA, 2020b). 비우기의 강수량은 전남(+130.2 mm), 경북(+183.2 mm), 경남(+164.6 mm), 제주(+225.6 mm) 지역에서 증가했다. 남부지방에서 비우기의 강수량이 뚜렷하게 증가하는 것은 엘니뇨현상과 연관이 있다는 연구결과가 있다(Jeong J. et al., 2016). 그 결과 대부분의 지역에서 우기와 비우기의 강수량 차이가 점점 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 5). 그러나 최근 2020년의 기록적인 장마와 폭우, 홍수가 심화되는 급격한 강수량의 변동성을 주목할 필요가 있다. 이는 기후변화가 진행됨에 따라 강수량의 연 진폭이 전 세계적으로 커진다는 선행연구와도 일치하는 결과이다(Chou et al., 2013).

### 3.3 극한기후지수의 변화

앞서 언급한 지난 40년간의 주요 극한기후지수에 대한 지역별 변화를 Table 6에 정리하였다. 겨울일수(Winter days)는 강원(-15.3일)에서 가장 큰 감소추세가 나타났으며 전남(-8.1일)에서 가장 작은 감소추세가 나타났다. 상대적으로 고위도 지역인 강원지역에서는 겨울일수의 40년 평균이 123.4일로 약 4달 가까이 나타났지만 저위도 지역인 제주도에서는 29.7일로 약 1달에 불과했다.

여름일수(Summer days)는 서울(+31.6일)에서 가장 크게 변화했다. 가장 작은 변화를 보인 충청남도(+12.0일)의 2배 이상으로 증가하였으며 주변 지역인 경기(+19.3일)와 강원(+19.4일)지역에 비해서도 크게 증가했다. 서울에서 지난 40년간 여름일수의 평균은 113.3일로 다른 지역에

비해 크지 않으나 2016년 138.5일, 2019년 137.5일 등 2010년대 중·후반에 들어 크게 증가한 것이 특징이다. 지역별 여름일수의 평균은 전라북도에서 122.3일로 가장 크게 나타났으며 강원지역에서 97.7일로 가장 작게 나타났다.

폭염일수(Heat wave days)는 경남(+11.3일), 경북(+9.2일), 서울(+10.8일)지역이 크게 증가했다. 서울은 비슷한 위도의 지역인 경기, 강원지역과 비교했을 때 폭염일수가 크게 증가했는데 그 원인은 토지피복 등 앞서 언급한 도시화에 의한 것으로 사료된다. 선행연구결과에 의하면 토지피복 유형과 폭염은 산림지역을 제외한 모든 유형에서 연관이 있는 것으로 알려졌다(Park et al., 2016). 40년간 평균 폭염발생일수는 경북에서 13.7일로 가장 빈번히 발생했으며, 전북(12.8일), 경남(12.2일)에서도 10일 이상의 폭염이 발생했다.

한파일수(Cold wave days)는 최저기온의 변동과 마찬가지로 중부지방인 경기(-10.9일)와 강원(-12.7일)지역에서 크게 감소했다. 강원지역은 40년간 한파일수가 평균 22.9일로 나타났다고 제주도는 40년간 기준을 만족하는 한파가 하루도 발생하지 않았고, 전남지역은 40년간 평균 0.1일로 남부지방은 한파의 영향을 거의 받지 않은 것으로 나타났다.

열대야일수(Tropical night days)는 제주도(+18.9일)에서 가장 크게 증가했다. 내륙지방인 충북(+4.3일)지역의 4배가 넘게 증가하였다. 그리고 제주도 다음으로 서울(+11.0일)에서 큰 증가추세가 나타났는데 이는 앞서 언급한 도시화 및 도시열섬현상에 대한 최저기온의 특성이 반영된 것으로 보인다(Pertalli et al., 2011; Koo et al., 2007; Baek and Kwon., 1994; Liu et al., 2007).

Table 5. Annual and seasonal total precipitation (mm) and its trend (mm/40 years) over the 10 regions (1980~2019)

Annual precipitation	Seoul	Gyeonggi	Gangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Jeju
Mean	1323.7	1298.0	1378.4	1257.6	1275.6	1291.0	1403.6	1154.1	1492.8	1820.7
<b>Trend</b>	<b>-24.4</b>	<b>-59.4</b>	<b>-79.5</b>	<b>-54.6</b>	<b>-119.6</b>	<b>-46.5</b>	<b>-34.8</b>	<b>+138.5</b>	<b>+54.1</b>	<b>+206.4</b>
Seasonal precipitation (Monsoon)	Seoul	Gyeonggi	Gangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Jeju
Mean	955.7	949.7	1026.0	903.9	903.0	901.2	934.9	789.0	994.6	1038.5
<b>Trend</b>	<b>+3.3</b>	<b>-56.0</b>	<b>-98.7</b>	<b>-93.3</b>	<b>-113.5</b>	<b>-41.0</b>	<b>-155.1</b>	<b>-3.1</b>	<b>-103.0</b>	<b>-21.3</b>
Seasonal precipitation (Except monsoon)	Seoul	Gyeonggi	Gangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Jeju
Mean	368.0	386.8	488.3	408.5	431.0	455.4	535.4	668.9	562.7	811.7
<b>Trend</b>	<b>-27.7</b>	<b>-10.6</b>	<b>-30.7</b>	<b>+5.2</b>	<b>-25.3</b>	<b>-10.1</b>	<b>+130.2</b>	<b>+183.2</b>	<b>+164.6</b>	<b>+225.6</b>

※Summer monsoon season is defined from June to September

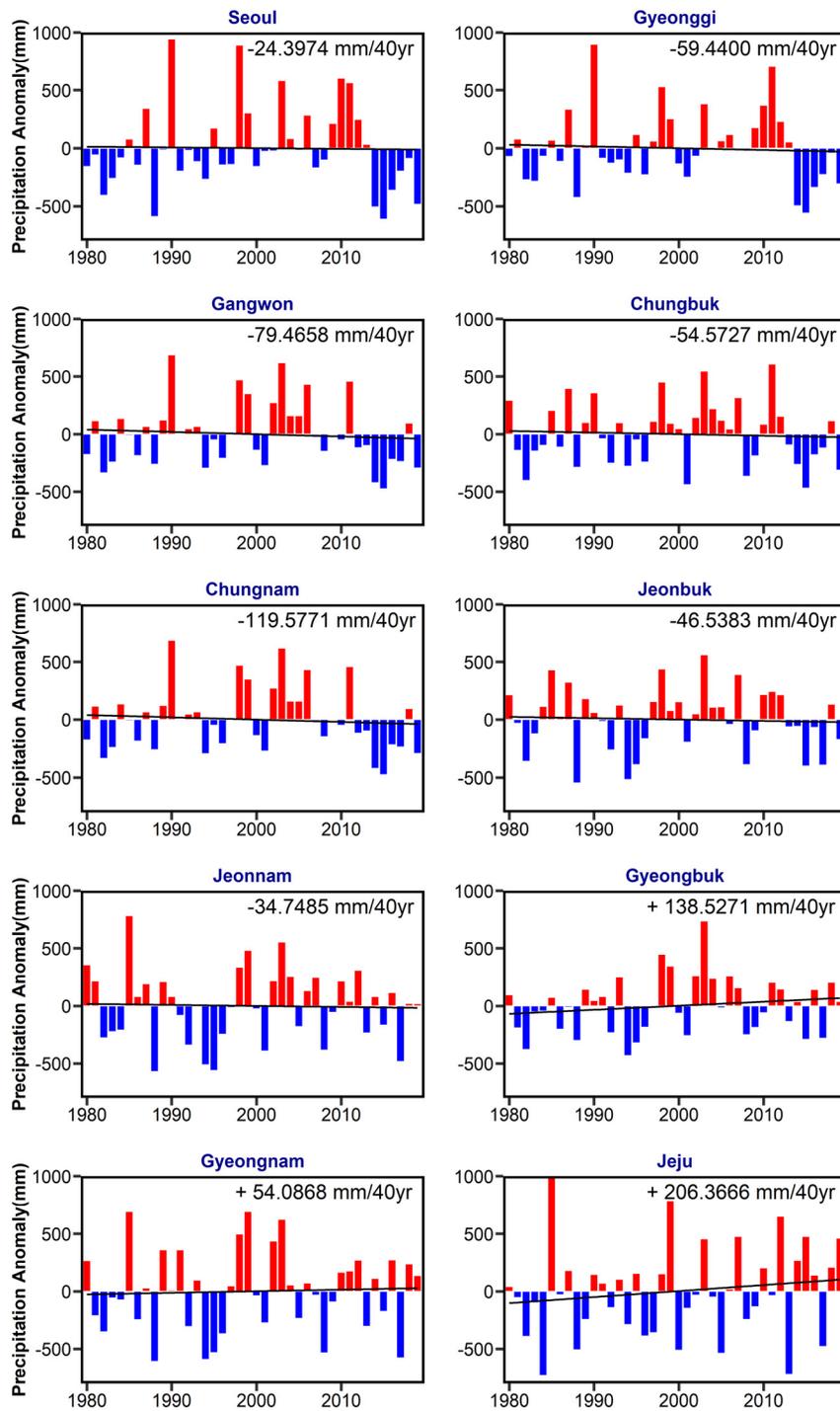


Fig. 4. The anomalies and trends of the annual precipitation over the last 40 years (1980~2019) over the 10 regions

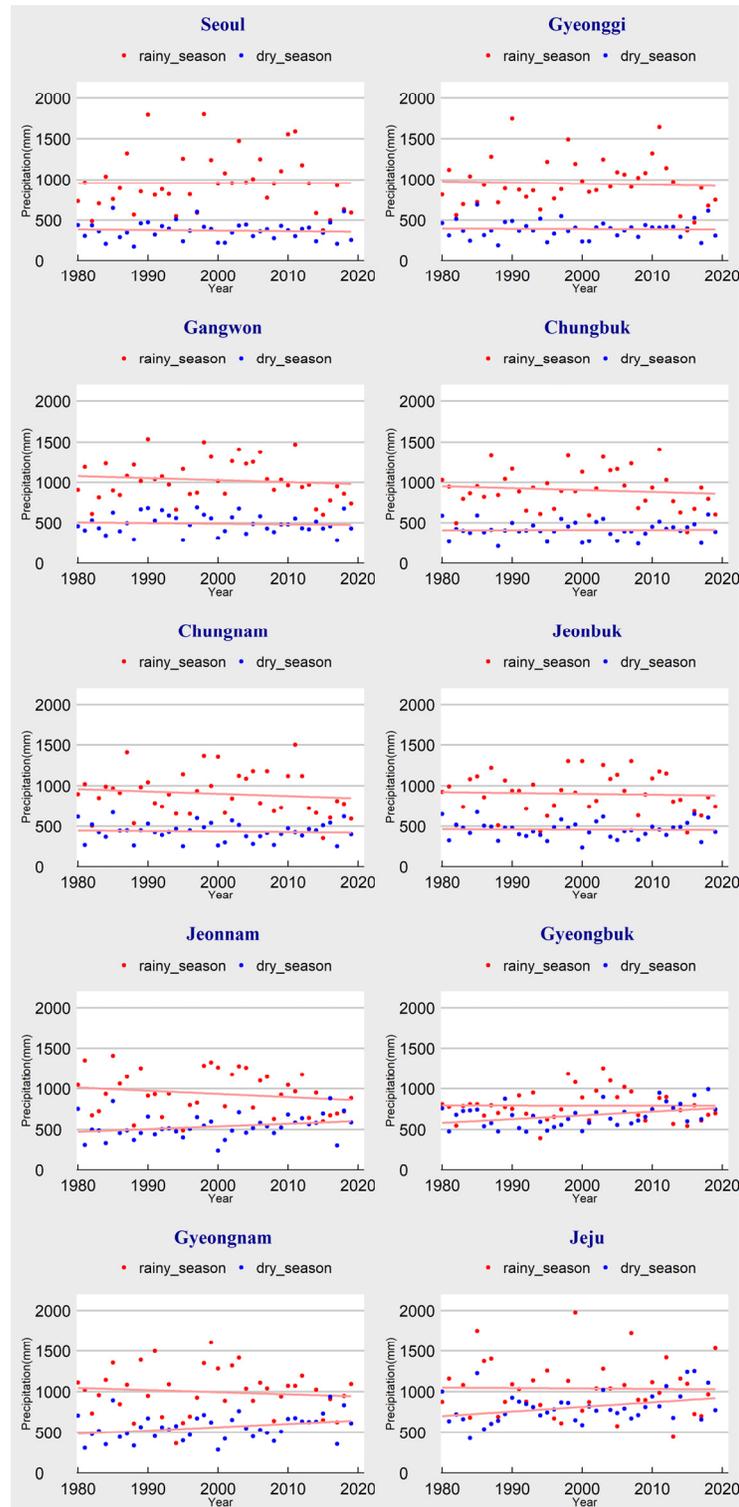


Fig. 5. The trends of the seasonal precipitation over the last 40 years over the 10 region. The rainy season (summer monsoon season) is defined from June to September and the dry season (non-monsoon season) is defined from October to May

Table 6. The Climate Extreme Indices (day) and its changes (day/40 years) over the 10 regions (1980 ~ 2019)

	Seoul	Gyeonggi	Gangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Jeju
Summer days	113.3	111.1	97.7	115.8	118.3	122.3	112.2	105.5	117.2	102.4
	+31.6	+19.3	+19.4	+15.7	+12.0	+18.0	+17.9	+16.3	+17.6	+16.3
Heat wave days	7.6	8.2	9.3	9.7	9.9	12.8	7.2	13.7	12.2	4.0
	+10.8	+6.5	+5.6	+7.2	+4.5	+9.8	+5.9	+9.2	+11.3	+5.6
Tropical night days	6.6	3.3	2.5	2.0	3.6	5.0	7.8	4.0	6.0	20.8
	+11.0	+7.0	+4.9	+4.3	+6.1	+7.2	+10.0	+5.7	+6.5	+18.9
Cold wave days	9.9	12.0	22.9	14.8	6.6	4.7	0.1	4.8	1.4	-
	-4.6	-10.9	-12.7	-10.2	-5.0	-3.7	+0.0	-3.8	-1.1	-
Winter days	110.4	114.4	123.4	117.6	109.1	102.9	78.8	96.3	80.8	29.7
	-9.4	-14.4	-15.3	-12.5	-11.1	-12.1	-8.1	-14.0	-13.2	-13.2
Rainy days	98.7	100.4	112.5	111.6	109.7	116.5	110.2	101.4	97.1	127.0
	-3.1	+5.0	+4.8	+1.9	-0.7	+0.0	-4.1	+12.4	+8.0	+1.6
Heavy rain days	2.8	2.7	2.6	1.9	2.2	1.9	2.7	1.6	3.1	4.0
	+0.1	-0.7	-0.4	-0.2	-0.4	+0.2	-0.1	+0.9	+0.6	+1.4

### 3.4 1980년 ~ 2019년 지역별 기온 변동성의 특성

우리나라는 작은 국토면적에도 불구하고 반도국가의 특성 등으로 지역별로 상이한 기온 변동성을 보여주고 있다. 지난 40년간 연교차의 평균은 강원(59.3°C)에서 가장 크며, 제주도(38.7°C)와 전남(47.3°C)지역에서 작게 나타났다(Table 7). 일반적으로 연교차는 저위도에서 고위도로 갈수록 크며, 같은 위도에서는 비열차이에 의하여 해안에서 내륙으로 갈수록 연교차가 크게 나타난다(An et al., 2017). 지난 40년간의 최고기온과 최저기온은 모두 상승했지만 연교차의 변화 경향은 지역별로 조금씩 차이가 있었다. 대부분의 지역에서 큰 경향성을 보이지 않았으나 경기(-4.2°C)와 강원(-1.7°C)지역 등 중부지방에선 최저기온의 가파른 상승으로 인해 연교차가 감소했고, 전남(+0.9°C)과 경남(+1.0°C)지역 등 남부지방에선 최고기온의 증가로 연교차가 증가하였다. 각 지역별 지난 40년간 연교차의 변화를 Fig. 6에 나타냈다.

최저기온의 증가로 인한 연교차의 감소는 식물 생태계와 농업 등에 변화를 유발할 수 있는데, 예로 산림지대가 많은 중부지방의 연교차 감소는 일부 종의 서식 범위를 확장시켜 외래종의 도입을 유발할 수 있으며 산림병원체의 분포에 영향을 주어 산림건강과 성장에 영향을 끼칠 수 있다(Smigaj, M. et al., 2015).

서울은 비슷한 위도에 위치한 경기, 강원지역과는 달리 연교차가 증가하였다. 이는 마찬가지로 최고기온의 증가폭이 큰 것과 관련이 있으며 서울이 도시화 등으로 인해 1980년대의 최저기온이 이미 다른 지역에 비해 높았기 때문에 최고기온의 증가가 연교차에 상대적으로 큰 영향을 끼쳤다.

남부지방에서는 최고기온의 상승으로 인하여 연교차가 증

가하였다. 경상내륙지역은 소백산맥의 지형적인 효과로 고온의 공기가 여름철 남서기류에 의해 정체되어 폭염이 빈발하는 특징과 관련이 있다(Jeong D et al., 2016; Kim and Lee, 2007).

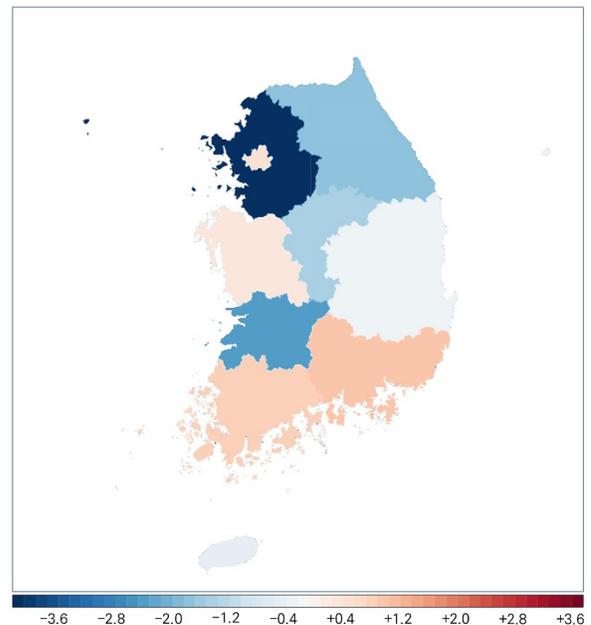


Fig. 6. Changes in annual temperature variabilities (1980 ~ 2019)

연교차 이외에도 계절 기온변화와 관련 있는 월별 기온차를 분석하여 Table 7에 나타내었는데 지난 40년간 지역별로 유의미한 변화가 있었다.

3월의 경우 지난 40년간 최고기온 상승으로 인하여 월교차

가 증가하였다. 지역별로 월교차의 변화는 +0.1℃(강원)에서 +3.6℃(서울)까지 다양하게 나타났다. 서울의 증가량이 가장 크게 나타났지만 그 외의 지역에서는 최고기온의 증가의 영향이 더 큰 남부지방에서 월교차의 상승이 뚜렷하게 나타났고, 최저기온의 증가의 영향을 많이 받는 중부지방에서는 월교차의 상승이 상대적으로 낮게 나타났다. 일교차의 보건학적 영향으로는 갑작스러운 온도변화가 인간의 면역력에 영향을 끼치고 호흡량을 변화시켜 호흡기 질환을 유발할 수 있다는 연구결과가 있다(Imai et al, 1998; Bull, 1980; Zhang et al, 2020). 특히, 감기, 독감 환자수의 증감에는 기온, 강수량 습도 등 기상 요소의 영향을 받는데, 그중 일교차가 1℃ 증가할 때 독감환자가 5% 증가했고(Pablo, 2004; Zhang et al, 2020), 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 인한 추가사망률이 1~3% 상승했으며 그 영향력은 65세 이상의 연령그룹에서 더 크게 나타났다(Shin, 2014). 월교차도 일교차와 마찬가지로 월중 갑작스러운 온도변화로 인해 유사한 보건 영향이 있을 것으로 추정된다. 따라서 우리나라의 봄철의 월교차 증가는 기후변화로 인한 봄철 건강

관리가 향후 중요해질 수 있음을 암시하고 있다.

여름철에도 3월과 마찬가지로 최고기온의 상승 영향으로 월교차가 증가하였다. 8월에는 제주도(-0.9℃)를 제외하고 지역별로 +0.8℃(전북)에서 +2.9℃(충북) 범위로 증가하며 내륙지방에서 월교차의 증가추세가 뚜렷하게 나타났다. 그중에서도 2010년대 후반 8월 최고기온의 상승이 뚜렷하게 나타났으며 폭염에 의한 건강영향의 대응이 요구되고 있다.

9월은 최저기온의 상승 영향으로 월교차가 감소했다. 지역별로 월교차는 -0.6℃(경남)에서 -3.5℃(제주)까지 나타났다. 제주도 외에는 주로 최저기온의 변화량이 큰 중부지방에서 감소추세가 뚜렷하게 나타났다. 이렇게 가을 환절기는 전국적으로 길어진 여름에 의한 최저기온 상승으로 기온차이가 감소하며 환절기의 강도가 소폭 감소한 것으로 추정된다. 이는 기후변화로 인해 봄철과는 상반되는 계절적 특징을 보여준다.

Table 7. The average (°C) and trend (°C/40 years) of monthly & yearly temperature variabilities over the 10 regions (1980 ~ 2019)

	Seoul	Gyeonggi	Gangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Jeju
Yearly	52.1	54.9	59.3	56.6	53.5	54.3	47.3	55.6	51.6	38.7
	<b>+0.5</b>	<b>-4.2</b>	<b>-1.7</b>	<b>-1.3</b>	<b>+0.3</b>	<b>-2.4</b>	<b>+0.9</b>	<b>-0.2</b>	<b>+1.0</b>	<b>-0.2</b>
Jan.	25.5	28.4	34.1	31.1	28.7	30.2	24.9	31.5	28.9	19.7
	<b>+1.4</b>	<b>-3.1</b>	<b>-1.9</b>	<b>-1.9</b>	<b>+0.2</b>	<b>-2.5</b>	<b>+0.9</b>	<b>-1.4</b>	<b>-0.5</b>	<b>-1.6</b>
Feb.	26.6	29.1	35.6	32.2	29.8	30.9	26.4	33.0	30.5	21.4
	<b>+1.0</b>	<b>-0.8</b>	<b>+0.6</b>	<b>+1.4</b>	<b>+1.0</b>	<b>-0.7</b>	<b>+0.5</b>	<b>-0.3</b>	<b>+1.0</b>	<b>+1.0</b>
Mar.	25.9	28.5	36.2	31.5	29.8	30.8	27.8	32.5	30.2	21.9
	<b>+3.6</b>	<b>+0.6</b>	<b>+0.1</b>	<b>+3.0</b>	<b>+3.4</b>	<b>+2.6</b>	<b>+2.9</b>	<b>+2.6</b>	<b>+2.1</b>	<b>+2.4</b>
Apr.	26.9	30.0	34.9	32.1	31.1	31.8	29.4	33.7	31.5	22.7
	<b>+1.8</b>	<b>-0.7</b>	<b>-1.5</b>	<b>+0.2</b>	<b>+0.1</b>	<b>+0.5</b>	<b>+0.7</b>	<b>+0.3</b>	<b>+1.2</b>	<b>-2.6</b>
May.	24.1	26.6	32.5	28.7	27.6	29.3	26.7	30.6	29.2	21.1
	<b>+2.1</b>	<b>-1.6</b>	<b>-0.8</b>	<b>+0.7</b>	<b>+0.4</b>	<b>+1.3</b>	<b>+2.0</b>	<b>+0.3</b>	<b>+2.0</b>	<b>-1.1</b>
Jun.	20.2	22.7	29.3	24.3	23.1	23.8	21.5	26.6	24.4	18.1
	<b>+0.2</b>	<b>-1.6</b>	<b>-0.2</b>	<b>-0.5</b>	<b>+0.3</b>	<b>-0.9</b>	<b>-2.4</b>	<b>-0.5</b>	<b>-0.6</b>	<b>-4.4</b>
Jul.	16.2	18.5	25.1	19.8	18.9	19.5	17.5	21.8	20.5	16.2
	<b>-0.2</b>	<b>-1.2</b>	<b>-3.2</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.9</b>	<b>-2.0</b>	<b>-1.1</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.3</b>	<b>-0.5</b>
Aug.	18.0	20.0	25.4	21.0	19.7	20.4	18.2	22.0	21.1	14.5
	<b>+1.9</b>	<b>+1.8</b>	<b>+2.0</b>	<b>+2.9</b>	<b>+2.1</b>	<b>+0.8</b>	<b>+1.1</b>	<b>+2.3</b>	<b>+2.3</b>	<b>-0.9</b>
Sep.	22.0	24.3	29.1	26.0	25.0	26.0	23.0	26.6	25.7	17.1
	<b>-2.1</b>	<b>-3.4</b>	<b>-2.4</b>	<b>-2.9</b>	<b>-1.9</b>	<b>-1.3</b>	<b>-2.2</b>	<b>-2.3</b>	<b>-0.6</b>	<b>-3.5</b>
Oct.	26.4	28.6	31.8	29.7	28.7	29.5	27.0	30.4	29.7	20.4
	<b>+1.3</b>	<b>-0.7</b>	<b>-3.8</b>	<b>-1.2</b>	<b>+0.4</b>	<b>-1.3</b>	<b>-0.6</b>	<b>-2.6</b>	<b>-1.6</b>	<b>-3.2</b>
Nov.	26.6	28.5	33.6	30.8	28.8	29.4	27.2	31.7	30.1	21.7
	<b>+1.8</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.5</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.1</b>	<b>-0.4</b>	<b>-1.8</b>	<b>-1.2</b>	<b>-0.8</b>
Dec.	25.5	28.1	33.8	30.7	28.8	30.3	26.1	31.7	29.6	21.0
	<b>+0.2</b>	<b>-2.8</b>	<b>-3.3</b>	<b>-3.0</b>	<b>-1.9</b>	<b>-4.4</b>	<b>-1.3</b>	<b>-2.2</b>	<b>-2.0</b>	<b>-2.0</b>

겨울철에도 9월과 마찬가지로 최저기온의 상승으로 월교차가 감소하였다. 12월 서울(+0.2℃)에서만 월교차가 소폭 증가하였고 나머지 지역에서는 -1.3℃(전남)에서 -4.4℃(전북)까지 감소했다. 전반적인 온난화 경향과 더불어 겨울철 추위가 약해지는 경향을 반영하는 결과로 보인다.

#### 4. 결론 및 토의

본 연구에서는 지역별 기후변화의 특징을 분석하기 위해 1980년부터 2019년까지 전국 61개의 관측소를 10개의 지역에 따라 구분하고 각 지역별로 기온, 강수의 장기자료를 분석하였다. 분석기간동안 우리나라의 모든 지역의 평균기온이 1℃ 이상 증가했고, 그중 강원에서는 1.8℃, 경기에서는 1.7℃의 상승폭을 보여 중부지방의 기온상승이 특히 크게 나타났다. 이는 산업화 이후 온도상승 1.5℃ 이하 억제라는 기준에 비추어 봤을 때 매우 가파른 것으로 나타났다. 연 최고기온의 상승폭은 연 평균기온보다 더 컸으며 서울과 경남에서는 2.0℃ 이상의 상승이 나타났다. 서울에서는 여름일수가 지난 40년간 약 1달 증가하였고, 경기도와 강원도에서도 약 20일 증가하며 중부지방에서는 여름일수가 크게 증가했다. 남부지방에서는 경남에서 최고기온이 2.2℃ 증가하였다. 그 영향으로 경남에서 폭염일수가 11.3일 증가하는 등 2010년대 후반에 들어서 폭염이 심화되었다. 연 최저기온의 증가는 경기(+5.5℃) 등 중부지방에서 가장 뚜렷하게 관측되었는데 최저기온의 증가로 인한 식물 생태계와 농업 등의 영향에 대한 면밀한 분석과 대응이 필요한 것으로 사료된다.

월교차는 환절기인 3월과 9월 그리고 여름과 겨울에 상반되는 변화가 관찰되었다. 3월과 8월에는 최고기온의 증가로 인해 월교차가 증가하였다. 3월에는 월교차가 커지며 감기와 같은 환절기 관련 건강영향이 있을 수 있는 것으로 추정된다. 8월에는 앞서 언급한 폭염에 의한 영향이 있을 것이며, 따라서 65세 이상 고령층의 건강은 3월과 8월에 더욱 취약할 수 있는 것으로 사료되며 이러한 부분이 기후변화 적응대책에도 고려될 필요가 있을 것으로 판단된다.

9월과 12월에는 최저기온 증가의 영향으로 월교차가 감소했다. 12월 최저기온의 증가로 월교차가 감소하고 한파일수와 겨울일수는 강원에서 각각 12.7일, 15.3일 감소하는 등 중부지방에서 크게 감소하였다. 일반적으로 중위도 지역에서는 겨울철에 심혈관계, 호흡기 계통 질환자의 사망률이 증가하는데(Choi et al., 2007), 온난화로 인해 겨울과 한

파가 짧아지면 보건학적인 측면에서 긍정적으로 작용할 수 있다.

강수량의 경우 대부분의 지역에서 유의한 수준의 추세는 관찰되지 않았으나 각 지역별로 특징적인 변화를 나타냈다. 경상도와 제주도 지역은 강수량이 4~12% 소폭 상승하고, 나머지 지역에선 2~9% 감소하는 추세가 나타났다. 그중에서도 2010년대 중·후반의 중부지방의 강수량 감소가 특징적으로 나타났다. 장마기간이 역대 2번째로 짧았던 2018년에 관측 사상 최고기온을 기록하는 등 강수량의 감소는 최근 심해지는 폭염에도 영향을 끼치는 것으로 추측된다. 따라서 잠재적인 가뭄과 그로 인한 영향에 대응할 필요가 있다.

그러나 2010년대의 부분적 가뭄현상에도 불구하고 최근 2020년 7월 부산 관측소에서 약 800 mm, 8월 철원 관측소에서 약 900 mm의 월 누적강수량이 측정되고 중부지방(54일)과 제주도(49일)에서 1973년 이래 가장 긴 장마와 2011년 이후 최다인 약 50명의 사상자를 유발한 홍수 피해가 발생한 것은 기후변화에 따른 강우현상의 극단적인 모습을 보여주는 것이며 이러한 극단적 강수현상에 의한 수문학적 대응이 매우 중요해진 것으로 사료된다(Ko, 2020).

본 연구결과는 장기 관측자료를 통해 국내 지역에 따른 기후변화의 특징을 살펴보고자 하였다. 그러나 장기적 관측이 부족한 국내 산간지역, 특히 강원 내륙지역의 기후변화의 특징과 연안 일부지역과 남부내륙 등 일부지역의 지역적 기후변동성에 대한 특징을 분석하는 것에는 다소 한계가 있다(Table S1). 향후 확장된 기상기후관측망의 관측결과가 축적되고 풍속, 풍향 등 바람자료 등 중요한 기상요소에 대한 추가 분석도 이루어진다면 더욱 정교한 지역단위의 기후변화 특성을 파악할 수 있을 것이다. 또한 향후 주요 기후요소에 대한 변동성 자체 및 극한현상을 중심으로 한 지역차원의 분석은 국내 지자체 기후변화 대응을 위해서 필요할 것으로 사료된다.

본 연구결과는 상기와 같이 기후변화 변동성이 우리나라 지역에 따라 다소 상이한 특징을 나타냄을 보여주고 있다. 따라서 우리나라의 각 지역별로 기후변화의 영향과 취약성을 파악할 필요가 있으며 이러한 분석 결과는 향후 지자체별 기후변화 적응대책 세부시행계획 수립 등 기후변화 관련 정책 수립을 위한 과학적인 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 사사

본 논문은 환경부의 기후변화대응 환경기술개발사업(과제번호: 2014001310006)의 지원을 받아 환경정책·평가연구원 연구위원이 수행한 “부문별 기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 기반 구축 및 활용기술 개발(2020-010-05(R))” 과제의 일부 연구결과로 작성되었습니다. 또한 본 연구는 한국연구재단의 미세먼지국가전략프로젝트사업 (2017M3D8A1092026) 과 융복합연구(NRF-2019S1A5C2A03082527)의 지원을 받았습니다.

## References

- An HY, Kim Y-K, Jeong J-H. 2017. Impacts of land cover change of tidal flats on local meteorology in gyeonggi bay, west sea of korea. *Atmosphere*. 27(4):399-409. (in Korean with English abstract)
- Baek H, Kwon W. 1994. Trend of surface air temperature due to urbanization in korea. *Journal of Atmospheric Research*. 11(1):12-26.
- Bull G. 1980. The weather and deaths from pneumonia. *The Lancet*. 315(8183):1405-1408.
- Capelli de Steffens A, Piccolo MC. 2002. Monthly mortality changes related temperature in bahía blanca, argentina.
- Choi B-C, Kim J, Lee D-G, Kysely J. 2007. Long-term trends of daily maximum and minimum temperatures for the major cities of south korea and their implications on human health. *Atmosphere*. 17(2):171-183. (in Korean with English abstract)
- Chou C, Chiang JC, Lan C-W, Chung C-H, Liao Y-C, Lee C-J. 2013. Increase in the range between wet and dry season precipitation. *Nature Geoscience*. 6(4):263-267.
- Han J, Shim C, Kim J. 2018. Variance analysis of rcp 4.5 and 8.5 ensemble climate scenarios for surface temperature in south korea. *J Clim Change Res*. 9(1):103-115. (in Korean with English abstract)
- Ho C, Lee M, Park T, Lee S. 2011. A review of observed climate change in korean peninsula. *Clim Change Res*. 2(4):221-235. (in Korean with English abstract)
- Hong J-W, Hong J, Kwon EE, Yoon D. 2019. Temporal dynamics of urban heat island correlated with the socio-economic development over the past half-century in seoul, korea. *Environmental Pollution*. 254:112934.
- Imai Y, Nobuoka S, Nagashima J, Awaya T, Aono J, Miyake F, Murayma M. 1998. Acute myocardial infarction induced by alternating exposure to heat in a sauna and rapid cooling in cold water. *Cardiology*. 90(4):299-301.
- IPCC, 2013, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC. 2018. *Global warming of 1.5°C: An ipcc special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, edited by: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner H-O, Roberts D, Skea J, Shukla P, Pirani A, Moufouma-Okia W, Péan C, Pidcock R, World Meteorological Organization Geneva, Switzerland.
- Je M-H, Jung S-H. 2018. Urban heat island intensity analysis by landuse types. *The Journal of the Korea Contents Association*. 18(11):1-12. (in Korean with English abstract)
- Jeong D, Lem S, Kim D, Lee W. 2016. The effects of climate elements on heat-related illness in south korea. *J Clim Change Res*. 7(2):205-215. (in Korean with English abstract)
- Jeong J-H, Park T-W, Choi J-H, Son S-W, Song K, Kug J-S, Kim B-M, Kim H-K, Yim S-Y. 2016. Assessment of climate variability over east asia-korea for 2015/16 winter. *Atmosphere*. 26(2):337-345. (in Korean with English abstract)
- Kim E-B, Park J-K, Jung W-S. 2014. A study on the occurrence characteristics of tropical night day and extreme heat day in the metropolitan city, korea. *Journal of Environmental Science International*. 23(5):873-885. (in Korean with English abstract)
- Kim J, Lee S. 2007. The distribution of heat waves and its cause in south korea. *Journal of the Korean Geographical Society*. 42(3):332-343. (in Korean with English abstract)
- Kim J-Y, Seo K-H, Yeh S-W, Kim H-K, Yim S-Y, Lee

- H-S, Kwon M, Ham Y-G. 2017. Analysis of characteristics for 2016 changma rainfall. *ATMOSPHERE-KOREA*. 27(3):277-290. (in Korean with English abstract)
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2014. Korean Climate Change Assessment Report 2014.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2018, Korean climate change prospects analysis report.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2019, 2019 Climatological statistics guide.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2020a, 2019 abnormal climate report.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2020b, Korean Climate Change Assessment Report 2020.
- Ko J-T. 2020 Aug 11. 2020 monsoon season ties record for longest at 49 days. *The Korea Herald*. [accessed 2020 Sep 25]; <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20200811000727>.
- Koo G-S, Boo K-O, Kwon W-T. 2007. The estimation of urbanization effect in global warming over Korea using daily maximum and minimum temperatures. *Atmosphere*. 17(2):185-193. (in Korean with English abstract)
- KOSIS (Korean Statistical Information Service), 2019, Statistics of Urban Plan [dataset]. Korea Land & Housing Corporation; [updated 2019 Dec; accessed 2020 Sep 28]. [http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=315&tblId=TX\\_315\\_2009\\_H1440](http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=315&tblId=TX_315_2009_H1440).
- Liu W, Ji C, Zhong J, Jiang X, Zheng Z. 2007. Temporal characteristics of the Beijing urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*. 87(1-4):213-221.
- MOLIT (Ministry of Land Infrastructure and Transport), 2020, National Geographic Information Statistics List [dataset]. Planning Geographic Data Monitoring Department, MOLIT; [updated 2020 May; accessed 2020 Nov 26]. <http://stat.molit.go.kr/portal/cate/statView.do?hRsId=24&hFormId=1246&hSelectId=1246&sStyleNum=1&sStart=2002&sEnd=2019&hPoint=00&hAppr=1>
- NIMS (National Institute of Meteorological Sciences), 2018, Climate change in the Korean peninsula for 100 years.
- OEH (NSW Office of Environment and Heritage). 2015. Urban Heat Climate Change Impact Snapshot.
- Pablo F. 2004. Climate, weather and flu diagnoses incidence in the region of Santander (northern Spain) during the 1999-2000 epidemic diffusion period. Kluwer Academic Publishers. 20:223-228.
- Park CY. 2015. The classification of extreme climate events in the Republic of Korea. *Journal of the Korean Association of Regional Geographers*. 21(2):394-410. (in Korean with English abstract)
- PARK K-H, SONG B-G, PARK J-E. 2016. Analysis on the effects of land cover types and topographic features on heat wave days. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 19(4):76-91. (in Korean with English abstract)
- Petralli M, Massetti L, Orlandini S. 2011. Five years of thermal intra-urban monitoring in Florence (Italy) and application of climatological indices. *Theoretical and Applied Climatology*. 104(3-4):349-356.
- Shin J-H. 2014. The Effect of Diurnal temperature range on Cardiovascular and Respiratory Mortality in East Asia (Korea, China, Japan, Taiwan), M.S dissertation, University of Seoul, Seoul. (in Korean with English abstract)
- Smigaj M, Gaulton R, Barr S, Suárez J. 2015. UAV-borne thermal imaging for forest health monitoring: Detection of disease-induced canopy temperature increase. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 40(3):349.
- Son J-H, Seo K-H. 2012. Dominant modes of the East Asian summer monsoon using equivalent potential temperature. *Atmosphere*. 22(4):483-488. (in Korean with English abstract)
- Tamarin-Brodsky T, Hodges K, Hoskins BJ, Shepherd TG. 2020. Changes in northern hemisphere temperature variability shaped by regional warming patterns. *Nature Geoscience*. 1-8.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2016, Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session.
- Zhang Y, Ye C, Yu J, Zhu W, Wang Y, Li Z, Xu Z, Cheng J, Wang N, Hao L. 2020. The complex associations of climate variability with seasonal influenza A and B virus transmission in subtropical Shanghai, China. *Science of the Total Environment*. 701:134607.
- Zhao L, Lee X, Smith RB, Oleson K. 2014. Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature*. 511(7508):216-219.

부록

Table S1. The information of observation sites

Region	Location (Site number)	Observation start date	Observation end date	Latitude / Longitude / Altitude(m)		
Seoul	서울 (108)	2010-08-16	.	37.5714	126.9658	85.67
	김포공항 (110)	1961-01-01	.	37.5569	126.7975	11.38
Gyeonggi	인천 (112)	2013-10-22	.	37.4777	126.6249	68.99
	인천 (112)	1904-08-29	2013-10-22	37.4776	126.6244	68.15
	수원 (119)	2019-07-24	.	37.2575	126.9830	39.81
	수원 (119)	1964-01-01	2019-07-24	37.2723	126.9853	34.84
	강화 (201)	1972-01-11	.	37.7074	126.4463	47.84
	양평 (202)	1972-01-11	.	37.4886	127.4945	47.26
	이천 (203)	1972-01-11	.	37.2640	127.4842	80.09
Gangwon	속초 (90)	1968-01-01	.	38.2509	128.5647	17.53
	대관령 (100)	2006-11-07	.	37.6771	128.7183	772.43
	대관령 (100)	1971-07-15	2006-11-06	37.6869	128.7587	842.52
	춘천 (101)	1966-01-01	.	37.9026	127.7357	75.82
	강릉 (105)	1911-10-03	.	37.7515	128.8910	27.12
	원주 (114)	1971-09-06	.	37.3375	127.9466	150.11
	인제 (211)	1971-12-01	.	38.0599	128.1671	201.78
Chungbuk	홍천 (212)	1971-09-27	.	37.6836	127.8804	140.20
	충주 (127)	1972-01-01	.	36.9705	127.9525	114.85
	청주 (131)	1967-01-01	.	36.6392	127.4407	58.70
	추풍령 (135)	1937-01-11	.	36.2203	127.9946	244.98
Chungnam	제천 (221)	1972-01-11	.	37.1593	128.1943	264.62
	보은 (226)	1972-01-09	.	36.4876	127.7342	171.31
	서산 (129)	1968-01-01	.	36.7766	126.4939	25.25
	대전 (133)	1969-01-01	.	36.3720	127.3721	70.22
	천안 (232)	2016-04-01	.	36.7624	127.2927	81.50
	천안 (232)	1972-01-08	2016-04-01	36.7796	127.1213	21.30
	보령 (235)	1972-01-24	.	36.3272	126.5574	9.98
Jeonbuk	부여 (236)	1972-01-09	.	36.2724	126.9208	13.42
	금산 (238)	1972-01-09	.	36.1056	127.4818	172.69
	군산 (140)	2003-12-31	.	36.0053	126.7614	23.20
	군산 (140)	1968-01-01	2003-12-01	35.9930	126.7057	25.57
	전주 (146)	2015-07-01	.	35.8408	127.1190	61.40
	전주 (146)	1918-06-23	2015-07-01	35.8215	127.1550	53.40
	부안 (243)	1972-03-01	.	35.7295	126.7166	11.96
	임실 (244)	1970-06-02	.	35.6120	127.2856	247.04
	정읍 (245)	2016-11-01	.	35.5631	126.8392	69.84
Jeonnam	정읍 (245)	1970-01-05	2016-11-01	35.5632	126.8661	44.60
	남원 (247)	2017-08-25	.	35.4213	127.3965	132.50
	남원 (247)	2013-08-01	2017-08-25	35.4023	127.3967	127.48
	광주 (156)	1939-05-01	.	35.1729	126.8916	72.38
	목포 (165)	1904-04-08	.	34.8169	126.3812	38.00
	여수 (168)	1942-03-01	.	34.7393	127.7406	64.64
	완도 (170)	1971-01-31	.	34.3959	126.7018	35.24
Jeonnam	장흥 (260)	1972-01-21	.	34.6888	126.9195	45.02
	해남 (261)	1971-02-03	.	34.5538	126.5691	16.36
	고흥 (262)	2017-08-25	.	34.6183	127.2757	51.91
	고흥 (262)	1972-01-22	2017-08-25	34.6182	127.2757	53.12

Region	Location (Site number)	Observation start date	Observation end date	Latitude / Longitude / Altitude(m)		
Gyeongbuk	울릉도 (115)	1938-08-10	.	37.4813	130.8986	222.40
	울진 (130)	1971-01-12	.	36.9918	129.4128	48.98
	포항 (138)	1943-01-01	.	36.0320	129.3800	3.94
	대구 (143)	2017-08-25	.	35.8780	128.6530	54.27
	대구 (143)	1907-01-31	2017-08-25	35.8282	128.6522	53.40
	영주 (272)	1972-11-28	.	36.8718	128.5169	211.32
	문경 (273)	1973-01-01	.	36.6273	128.1488	173.01
	영덕 (277)	1972-01-03	.	36.5334	129.4093	40.71
	의성 (278)	1973-01-01	.	36.3561	128.6886	81.44
	구미 (279)	1973-01-01	.	36.1306	128.3206	49.17
Gyeongnam	영천 (281)	1972-01-21	.	35.9774	128.9514	96.12
	울산 (152)	2017-08-25	.	35.5825	129.3347	82.00
	울산 (152)	2016-04-01	2017-08-25	35.5826	129.3344	82.00
	울산 (152)	1932-01-06	2016-04-01	35.5601	129.3203	34.57
	부산 (159)	1904-04-09	.	35.1047	129.0320	69.56
	통영 (162)	1968-01-01	.	34.8455	128.4356	32.30
	진주 (192)	2005-11-23	.	35.1638	128.0400	30.21
	진주 (192)	1969-03-01	2005-11-23	35.2084	128.1191	21.32
	거창 (284)	2011-03-04	.	35.6674	127.9090	225.95
	거창 (284)	1972-01-24	2011-03-04	35.6712	127.9110	221.40
Jeju	합천 (285)	1973-01-01	.	35.5650	128.1699	32.00
	밀양 (288)	1973-01-01	.	35.4915	128.7441	11.21
	산청 (289)	1972-03-30	.	35.4130	127.8791	138.07
	거제 (294)	1972-01-24	.	34.8882	128.6045	45.40
	남해 (295)	1972-01-24	.	34.8166	127.9264	45.71
	제주 (184)	1923-05-01	.	33.5141	126.5297	20.79
	성산 (188)	2008-09-04	.	33.3868	126.8802	20.34
	성산 (188)	1971-07-15	2008-09-04	33.3868	126.8804	18.40
	서귀포 (189)	2010-11-09	.	33.2462	126.5653	51.86
	서귀포 (189)	1961-01-01	2010-11-09	33.2461	126.5653	50.40