

신평년(1991~2020년)에 기반한 우리나라 최근 기후특성과 변화에 관한 연구

최홍준^{1),6)} · 김정용^{1),7)} · 최영은^{2)*} · 허인혜¹⁾ · 이태민²⁾ · 김소정²⁾ ·
민숙주¹⁾ · 이도영^{2),8)} · 최다솜³⁾ · 성현민⁴⁾ · 권재일⁵⁾

¹⁾건국대학교 기후연구소, ²⁾건국대학교 지리학과, ³⁾기상청 기후변화감시과,
⁴⁾국립기상과학원 기후변화예측연구팀, ⁵⁾(주)포디솔루션 기업부설연구소,
⁶⁾울산과학기술원 지구환경도시건설공학과, ⁷⁾기상청 정보통신기술과,
⁸⁾서울대학교 지구환경과학부

(접수일: 2023년 8월 1일, 수정일: 2023년 9월 14일, 게재확정일: 2023년 9월 20일)

The Recent Climatic Characteristic and Change in the Republic of Korea based on the New Normals (1991~2020)

Hongjun Choi^{1),6)}, Jeongyong Kim^{1),7)}, Youngeun Choi^{2)*}, Inhye Hur¹⁾, Taemin Lee²⁾,
Sojung Kim²⁾, Sookjoo Min¹⁾, Doyoung Lee^{2),8)}, Dasom Choi³⁾,
Hyun Min Sung⁴⁾, and Jaeil Kwon⁵⁾

¹⁾Climate Research Institute, Konkuk University, Seoul, Korea

²⁾Department of Geography, Konkuk University, Seoul, Korea

³⁾Climate Change Monitoring Division, Climate Science Bureau, Korea Meteorological Administration,
Daejeon, Korea

⁴⁾Climate Change Research Team, National Institute of Meteorological Science, Jeju, Korea

⁵⁾Research Institute, 4D Solution, Seoul, Korea

⁶⁾Department of Civil Urban Earth and Environmental Engineering, UNIST, Ulsan, Korea

⁷⁾Information and Communication Technology Division, Observation Infrastructure Bureau,
Korea Meteorological Administration, Daejeon, Korea

⁸⁾School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea

(Manuscript received 1 August 2023; revised 14 September 2023; accepted 20 September 2023)

Abstract Based on the new climate normals (1991~2020), annual mean, maximum and minimum temperature is 12.5°C, 18.2°C, and 7.7°C, respectively while annual precipitation is 1,331.7 mm, the annual mean wind speed is 2.0 m s⁻¹, and the relative humidity is 67.8% in the Republic of Korea. Compared to 1981~2010 normal, annual mean temperature increased by 0.2°C, maximum and minimum temperatures increased by 0.3°C, while the amount of precipitation (0.7%) and relative humidity (1.1%) decreased. There was no distinct change in annual mean wind speed. The spatial range of the annual mean temperature in the new normals is large from 7.1 to 16.9°C. Annual precipitation showed a high regional variability, ranging from 787.3 to 2,030.0 mm. The annual mean relative humidity decreased at most weather stations due to the rise in temperature, and the annual mean wind speed did not show any distinct difference

*Corresponding Author: Youngeun Choi, Department of Geography,
Konkuk University, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05029,
Korea.
Phone: +82-2-450-3447, Fax: +82-2-450-3323
E-mail: yechoi3477@gmail.com

between the new and old normals. With the addition of a warmer decade (2011~2020), temperatures all increased consistently and in particular, the increase in the maximum temperature, which had not significantly changed in previous decades, was evident. The increasing trend of annual and summer precipitation by the 2010s has disappeared in the new normals. Among extreme climate indices, MxT30 (Daily maximum temperature $\geq 33^{\circ}\text{C}$ days), MnT25 (Daily minimum temperature $\geq 25^{\circ}\text{C}$ days), and PH30 (1 hour maximum precipitation ≥ 30 mm days) increased while MnT-10 (Daily minimum temperature $< -10^{\circ}\text{C}$ days) and W13.9 (Daily maximum wind speed ≥ 13.9 m/s days) decreased at a statistically significant level. It is thought that a detailed study on the different trends of climate elements and extreme climate indices by region should be conducted in the future.

Key words: Climatic characteristics, New climate normals (1991~2020), Climate elements, Extreme climate indices

1. 연구 배경과 목적

2017년에 세계기상기구(World Meteorological Organization)가 발간한 ‘WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals’에 따르면 특정 지역의 현재 기후 특성을 제시할 때는 최근 30년 평균값인 기후표준평년(Climatological Standard Normals)을 사용해야 한다. 기후표준평년은 연속적인 최신 3개의 10년을 이용하여 산출하고, 10년을 주기로 갱신하도록 권고하고 있다. 기후표준평년의 시작 기준은 1981년, 1991년과 같이 연도의 마지막이 1로 시작하는 해의 1월 1일이고, 종료 기준은 2010년, 2020년과 같이 0으로 끝나는 해의 12월 31일이다. 2020년까지는 기후표준평년으로 1981~2010년의 30년 평균값을 사용하였고, 2021년부터는 1991~2020년에 기반한 새로운 30년 기후 평균값을 사용해야 한다. 이에 맞춰 우리나라 기상청은 2021년 5월에 ‘新 기후 평년값(1991~2020년) 통계 방법 안내’를 포함하여 『기후통계지침(KMA, 2021a)』과 『한국기후표(1991~2020년)(KMA, 2021b)』를 발간하였다. 기후 평년값은 일, 월, 계절, 연의 시간 단위로 제공되며, 계절별 통계 기간은 봄, 여름, 가을에는 1991~2020년, 겨울은 1991년 12월부터 2021년 2월까지 자료를 활용하여 평년값으로 산출한다(KMA, 2021a). 1981~2010년 기후 평년값은 ASOS 73개 관측지점의 자료가 제공되었지만, 1991~2020년 평년값부터는 전국 기초지방자치단체의 공간 상세성을 확보하기 위해 ASOS 86개와 AWS 133개, 총 219개 지점으로 확대되었다(KMA, 2021a). 30년 기후자료가 충족되지 않아도 1991년 이후부터 연속적으로 10년 이상 관측된 지점(ASOS 23개 지점과 AWS 모든 지점)에서는 자료가 존재하는 기간을 평균하여 평년값으로 제공한다.

기후 평년값은 통계지침에 따라 산출되어 우리나라 기후를 대표하므로 일반적인 30년 평균값과는 차이가

있다. 새로운 평년값이 산출되면 최신자료를 이용하여 우리나라의 현재 기후 특성을 파악하기 위해 다양한 분석이 이루어진다. 최근 30년(1991~2020년) 평년 또는 평균값을 1981~2010년과 비교하여 기후형, 한파, 장마기간, 강수강도의 변화에 대한 분석이 이루어졌다. Kang et al. (2021)은 1991~2020년 신평년값을 이용하여 219개 지점으로 관측지점 확대와 최근 온난해진 기간(2011~2020년)의 추가가 우리나라 기후형에 미치는 영향을 파악하였다. 트레와다 기준을 적용했을 때, 1981~2010년과 같이 최근 우리나라는 4개 기후형인 Cfa (아열대습윤기후), Doa (온대해양성/더운 여름), Dca (온대내륙성/더운 여름), Dcb (온대내륙성/선선한 여름)가 나타났고, 일부 지점의 기후형이 기온 상승으로 변경되었다. 예를 들어, 울산이 Doa에서 Cfa로, 속초와 전주, 진주는 Dca에서 Doa로 바뀌어 각각 온대해양성에서 아열대습윤, 온대내륙성에서 온대해양성 기후형으로 변화하였다. 1991~2020년과 1981~2010년의 30년 평균을 비교한 Moon et al. (2020)은 1981~1990년의 기간이 제외되고, 최근 10년(2011~2020년)이 추가되어도 두 기간에서 장마기간은 큰 차이가 없다고 하였다. Moon and Kim (2021)은 동일 기간을 비교하여 최근에 가까울수록 극한 저온일의 강도가 유의하게 증가하였지만, 연중 일 최고기온과 일 최저기온 극값의 차이는 유의하게 감소 경향임을 확인했다. Park and Suh (2022)는 최근 30년(1991~2020년) 평균 극한 강수강도는 제주 남부와 남해안 지역에서 가장 강하고, 경상도 내륙과 동해안 지역에서 가장 약했다고 주장하였다. 극한강수일에 발생한 강수량은 제주도(서쪽 지역 제외)와 남해안, 중북부 지역에서 많았고 경상도 내륙지역과 동해안 지역에서 상대적으로 매우 적었다고 밝혔다. 즉, 제주 남부와 남해안 지역은 다른 지역들보다 극한 강수강도가 강할 뿐만 아니라 극한 강수량도 많은 특성을 보이고, 경상도 지역에서는 강도와 빈도 모두 다른 지역에 비해 약하고

적은 특성을 보인다고 하였다.

일부 기후요소의 1991~2020년 신평년값이나 1991~2020년 30년 평균을 분석한 연구가 일부 진행되었지만, 다양한 기후요소를 적용하여 우리나라의 최근 기후 특성과 그 변화를 종합적으로 파악하는 연구는 없었다. 이에 본 연구에서는 1991~2020년 신평년값을 이용하여 우리나라 기온, 강수, 바람, 상대습도 등 주요 기후요소와 극한기후지수의 특성과 공간분포와 이전 평년값(1981~2010년)과의 차이를 분석하여 우리나라 평균, 극한성, 변동성을 반영한 현재의 기후 특성과 변화를 파악하고자 한다.

2. 연구 자료와 방법

본 연구에서는 기온(평균기온, 최고기온, 최저기온),

강수량, 풍속, 상대습도 등 총 4개 기후요소와 그 극한성을 정의할 수 있는 극한기후지수의 1981~2010년과 1991~2020년의 연, 월, 계절 기후표준 평년값을 사용하였다. 평년값은 관측자료가 80% 이상이 있거나 대체 관측자료가 있는 경우 산출하고(KMA, 2021a), 일 통계값이 11일 이상 또는 5일 연속으로 누락된 경우 해당 월의 평년값은 산출하지 않으며, 1개월 이상 관측자료가 결측된 경우 해당 계절 및 연별 평년값은 산출하지 않는다(KMA, 2021a).

우리나라 평균 기후특성은 기상청 기준에 따라 62개 지점을 산술평균 하여 산출하였고, 상세 공간분포는 1981~2010년과 1991~2020년 기후 평년값이 존재하는 72개 지점을 사용하여 분석하였다(Fig. 1). KMA (2021a) 기준에 따르면 우리나라 평균 산출은 최근 30년 이상(1991~2020년)의 연속적인 관측자료가 존재하

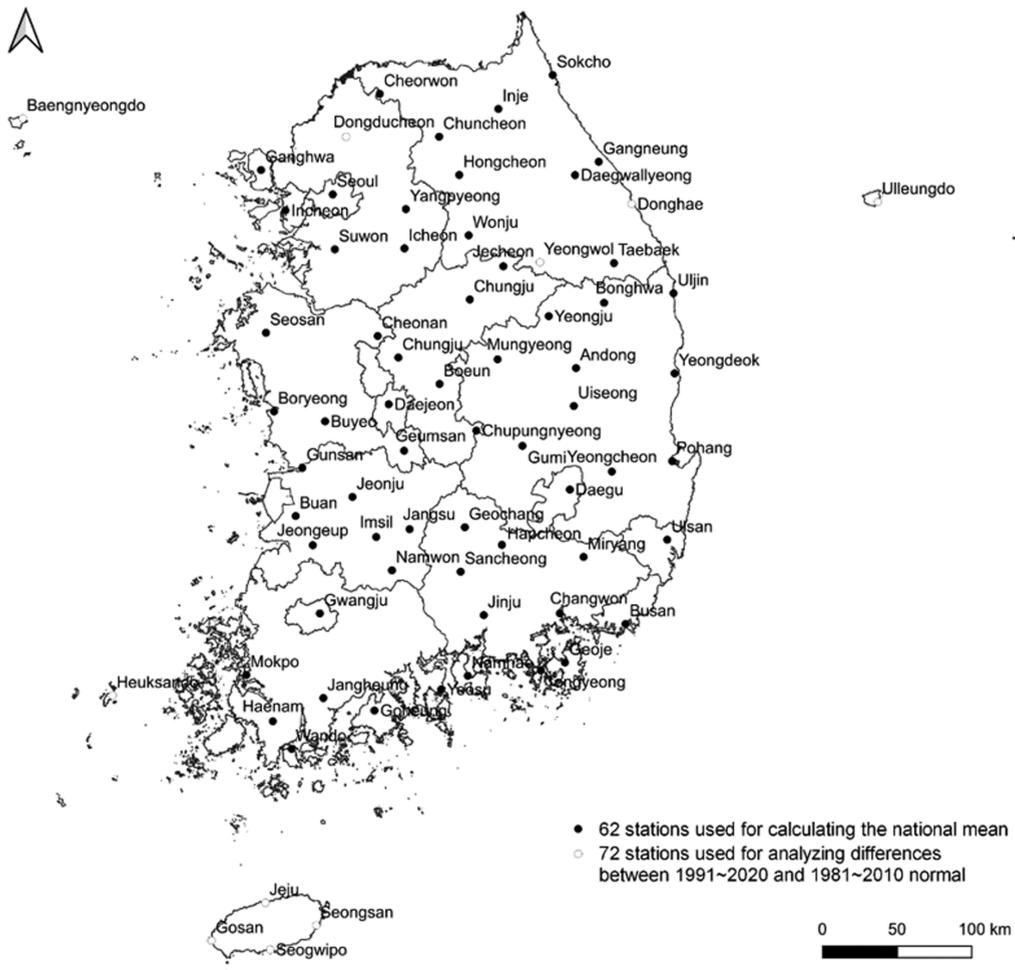


Fig. 1. Weather Stations used for this study (solid dots are 62 stations used for calculating the national mean while blank dots are 72 stations used for analyzing differences between 1991~2020 and 1981~2010 normal).

는 지점 중 지리적 균질성을 고려한 62개 기준 지점의 자료를 사용한다. 울릉도, 제주, 성산, 서귀포는 내륙에 위치하지 않아 우리나라 평균을 산출하는데 제외된다. 대구와 전주 지점은 각각 2015년 6월 12일과 2015년 7월 1일에 관측지점이 이동하여, 신암과 완산으로 명칭이 변경되고, 관측장비(ASOS)도 방재장비(AWS)로 변경되었지만 분석에 포함되었다. 지역별 기후 특성과 변화 파악에 사용된 지점은 1981~2010년 기후 평년값을 보유하고 있는 73개 지점 중 순천을 제외한 72개 지점이다. 순천은 ASOS 관측지점이면서 1981~2010년 평년값을 보유한 지점이었으나 2012년 12월 4일 관측장소를 옮기고 순천시 AWS 지점으로 변경된 후 평년값을 제공하지 않아 분석에서 제외하였다. 현재 기후 특성은 신평년(1991~2020년)을 기준으로 파악하였고, 변화는 신평년과 구평년(1981~2010년)의 차이로, 유의성 검정은 t-검정을 사용하였다. 상세 지역별 변화는 기온, 상대습도, 바람은 구평년에 대한 신평년의 편차로, 강수량은 변화 비율[(신평년값 - 구평년값)/구평년값 × 100]을 산출하여 파악하였다.

신평년(1991~2020) 한국기후표(KMA, 2021b)에는 극한성이 강한 계급별 일수가 새롭게 추가되었다. 이들 계급별 일수 중에 활용성이 높은 극한기후지수를 선정하여 공간분포와 변화를 분석하였다. 선정된 지수는 극한고온일수(일 최고기온 30/33/35°C 이상인 날, MxT30/33/35; 일 최저기온 25°C 이상인 날, MnT25), 극한저온일수(일 최저기온 -10°C 미만인 날과 일 최저기온 -12/-15°C 이하인 날, MnT-10/-12/-15), 일교차 10°C 이상인 날(DTR10), 일 강수량 100 mm 이상인 날(PD100), 1시간 최대 강수량 30 mm 이상인 날(PH30), 강풍일수(일 최대풍속 13.9 m s⁻¹ 이상인 날, W13.9) 등 11개 변수이다(Table 1). 이 중 5개 지수

(MxT33/35, MnT-12/-15, DTR10)는 신평년에 새롭게 추가된 계급별 일수로 구평년과의 차이를 비교할 수 없어 신평년값만 제시하였다(Table 1).

3. 신평년에 기반한 우리나라 평균기후의 특성과 변화

3.1 주요 기후요소의 특성과 변화

미국 해양대기청(NOAA)에 따르면 기후 평년값은 단순한 평균값이 아닌 현재의 기후를 대표하기 위해서 고안된 척도이다. 기후 평년값은 특정 지역의 기후 특성을 반영할 뿐만 아니라 매일의 기상 변화를 파악하는 기준이 된다(<https://www.noaa.gov/explainers/understanding-climate-normals>). 1991~2020년 기후평년값에 기반한 우리나라의 연평균 평균기온은 12.5°C, 최고기온은 18.2°C, 최저기온은 7.7°C, 강수량은 1331.7 mm, 풍속은 2.0 m s⁻¹, 상대습도는 67.8%이다(Table 2). 이들 값은 우리나라의 현재 기후 특성을 보여주는 대푯값이다. 1981~2010년과 비교하여 연평균 평균기온은 0.2°C, 최고와 최저기온은 0.3°C 상승했고, 강수량(0.7%)과 상대습도(1.1%)는 감소했으며, 평균 풍속은 변화가 없었다(Table 2). 연평균 평균기온, 최고기온, 최저기온은 통계적으로 유의미하게 증가했으며, 상대습도는 감소했으나 강수량의 변화는 유의미하지 않았다. 기온은 최근 10년의 온난한 기간이 추가되면서 모두 일관성 있게 상승하였고, 특히 과거 연구에서 유의한 변화가 없었던 최고기온의 상승이 뚜렷하게 나타났다. 상대습도의 감소는 기온 상승으로 인한 것으로 보인다(Cha and Suh, 2022). 우리나라에서 풍속은 지구온난화의 영향과 도시화가 진행되면서 감소하는 것으로 알려져 있지만(Chen et al., 2020), 평년

Table 1. Selected extreme climate indices for this study.

Index		
Temperature Extremes	Daily maximum temperature ≥ 30°C days (MxT30)	Hot days
	Daily maximum temperature ≥ 33°C days (MxT33)*	
	Daily maximum temperature ≥ 35°C days (MxT35)*	
	Daily minimum temperature ≥ 25°C days (MnT25)	Hot nights
	Daily minimum temperature < -10°C days (MnT-10)	Cold days
	Daily minimum temperature ≤ -12°C days (MnT-12)*	
Daily minimum temperature ≤ -15°C days (MnT-15)*		
Precipitation Extremes	Diurnal Temperature Range ≥ 10°C days (DTR10)*	Diurnal range
	Daily precipitation ≥ 100 mm days (PD100)	Heavy rain days
	1 hour maximum precipitation ≥ 30 mm days (PH30)	Localized rainfall
Wind Extreme	Daily maximum wind speed ≥ 13.9 m/s days (W13.9)	Strong winds days

*: New indices added for the new normals (1991~2020)

Table 2. New annual and seasonal climate normals for temperature, precipitation, wind speeds, and relative humidity based on the period of 1991~2020 and their differences from that of 1981~2010 in the Republic of Korea.

		Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual	
Temperature (°C)	Mean	Normals	11.9	23.7	14.1	0.5	12.5
		Diff.	+0.4**	+0.3**	+0.3**	+0.3**	+0.2**
	Maximum	Normals	18.1	28.5	20.1	6.0	18.2
		Diff.	+0.3**	+0.3**	+0.2**	+0.2**	+0.3**
	Minimum	Normals	6.0	19.9	9.2	-4.4	7.7
		Diff.	+0.2**	+0.4**	+0.3**	+0.2**	+0.3**
Precipitation (mm)	Normals	248.4	727.3	266.1	89.0	1331.7	
	Diff.	+3.8 (1.6%)*	-18.7 (-2.5%)**	+5.0 (1.9%)	-1.2 (-1.3%)	-9.3 (-0.7%)	
Wind Speed (m s ⁻¹)	Normals	2.2	1.8	1.7	2.1	2.0	
	Diff.	-0.05	0.00	-0.05	-0.05	-0.04	
Relative Humidity (%)	Normals	61.5	76.7	71.0	61.8	67.8	
	Diff.	-1.7**	-0.5**	-0.3*	-2.0**	-1.1**	

Difference: (1991~2020 normals) - (1981~2010 normals)

*: Significant at 0.05 level, **: Significant at 0.01 level

값의 비교에서는 연평균 평균 풍속의 변화가 탐지되지 않았다.

신평년값에 기반한 우리나라 계절별 기후요소의 값과 변화는 Table 2와 같다. 우리나라 봄, 여름, 가을, 겨울 평균기온은 11.9°C, 23.7°C, 14.1°C, 0.5°C로 1981~2010년과 비교하여 모든 계절에 0.3°C 상승했고, 이는 연평균기온 상승으로 이어졌다. 최고기온은 봄과 여름에 각각 18.1°C, 28.5°C로 각각 0.3°C 상승하고, 가을과 겨울에 20.1°C, 6.0°C로 각각 0.2°C 높아졌다. 최저기온은 봄과 여름에 6.0°C, 19.9°C로 각각 0.2°C, 0.4°C 상승하였고, 가을과 겨울에 9.2°C, -4.3°C로 각각 0.3°C 상승했다. 기온은 모든 계절에서 통계적으로 유의하게 0.2~0.4°C 상승하였다. 특히, 최근 여름철 최고기온의 상승이 뚜렷하게 나타나고 있어서 폭염의 빈도와 강도가 증가할 가능성이 커졌다. 2010년대 이전에 여름철 최고기온의 변화는 통계적으로 유의하지 않았다(NIMS, 2018). 여름철 최저기온은 0.4°C 상승하여 그 폭이 가장 크기 때문에 한반도 전체가 열대야를 포함한 야간 고온의 발생빈도가 증가하게 될 것이다. 신평년 계절 강수량은 봄에 248.4 mm, 여름에 727.3 mm, 가을에 266.1 mm, 겨울에 89.0 mm로 여름 강수량의 집중도가 54.6%로 여전히 높다. 우리나라 연 강수량의 감소는 통계적으로 유의하지 않지만, 계절별 강수량에서는 봄과 여름에 유의하게 변화였다. 봄에는 강수량이 증가하고, 여름에는 감소하였는데, 여름 강수량의 감소 폭이 더욱 커서 연 강

수량은 감소하고 있다. 변동성이 큰 우리나라 강수량의 특성상 이러한 계절별 강수량의 증가와 감소는 수자원 관리나 적응대책에서 고려되어야 할 사항이다. 봄 강수량의 증가는 절대적으로 건조한 시기에 농업이나 수자원 관리에서 도움이 될 수 있지만, 여름 강수량의 감소는 물순환을 변화시켜 수자원의 양적 관리를 어렵게 할 수 있다. 평균 풍속은 봄 2.2 m s⁻¹, 여름 1.8 m s⁻¹, 가을 1.7 m s⁻¹, 겨울 2.1 m s⁻¹로 모든 계절에서 뚜렷한 변동이 없었다. 상대습도는 봄에 61.5%, 여름에 76.7%, 가을에 71.0%, 겨울에 61.8%로 모든 계절에서 통계적으로 유의한 감소가 나타났다. 이는 계절별 기온 상승(Ko and Lee, 2013)과 강수량 변화와 밀접한 관련이 있을 것으로 판단된다. 봄에는 강수량이 증가하였지만, 기온의 상승 폭이 더 커서 상대습도가 감소한 것으로 추정되고, 여름에는 강수량의 감소와 기온의 상승이 상대습도 감소로 이어졌을 것이다. 또한 도시화로 인한 불투수층의 증가도 상대습도 감소에 크게 기여했을 것이다(Cha and Suh, 2022).

우리나라 월 평균기온은 Table 3과 같으며, 월 평균기온의 변화는 1월과 3월에 0.4°C로 가장 크게 상승하였다. 8월 평균기온은 이전 평년보다 0.2°C가 높아져서 25.0°C를 넘어섰다. 유일하게 12월에 평균기온이 0.1°C 하강하였다. 1월은 0.4°C가 증가하고, 12월은 0.1°C가 감소하여 두 달의 기온 차이가 감소하였다. 4~10월까지 7개월 동안 월 평균기온은 10°C가 넘었다. 월평균 최고기온은 8월에 29.8°C로 가장 높았

Table 3. New monthly climate normals for temperature, precipitation, wind speeds, and relative humidity based on the period of 1991~2020 and their differences from that of 1981~2010 in the Republic of Korea.

		Temperature (°C)			Precipitation (mm)	Wind speeds (m s ⁻¹)	Relative humidity (%)
		Mean	Maximum	Minimum			
Jan.	Normals	-0.9	4.4	-5.7	26.2	2.1	62.0
	Diff.	+0.4**	+0.3**	+0.3**	-2.8(-9.7%)**	-0.1*	-1.8**
Feb.	Normals	1.2	7.0	-3.9	35.7	2.2	60.0
	Diff.	+0.3**	+0.4**	+0.2**	-0.2(-0.6%)	-0.1**	-2.4**
Mar.	Normals	6.1	12.2	0.5	56.5	2.3	60.0
	Diff.	+0.4**	+0.5**	+0.2**	-0.9(-1.6%)	0.0	-2.3**
Apr.	Normals	12.1	18.6	6.0	89.7	2.3	59.7
	Diff.	+0.1**	+0.1	+0.2**	+8.1(9.9%)**	0.0	-1.2**
May	Normals	17.3	23.5	11.6	102.1	2.1	64.8
	Diff.	+0.3**	+0.4**	+0.3**	-3.5(-3.3%)**	0.0	-1.6**
Jun.	Normals	21.4	26.7	16.8	148.2	1.8	72.0
	Diff.	+0.3**	+0.3**	+0.3**	-15.5(-9.5%)**	0.0	-0.9**
Jul.	Normals	24.6	28.9	21.2	296.5	1.8	79.5
	Diff.	+0.3**	+0.3**	+0.3**	-2.1(-0.7%)	0.0	-0.3*
Aug.	Normals	25.1	29.8	21.6	282.6	1.7	78.5
	Diff.	+0.2**	+0.2**	+0.3**	-1.1(-0.4%)	0.0	-0.3
Sep.	Value	20.5	25.9	16.1	155.1	1.6	75.6
	Diff.	+0.2**	+0.2**	+0.2**	-8.8(-5.4%)**	0.0	-0.3*
Oct.	Normals	14.3	20.7	9.0	63.0	1.7	70.3
	Diff.	+0.3**	+0.1**	+0.4**	+12.3(24.3%)**	0.0	-0.3
Nov.	Normals	7.6	13.6	2.5	48.0	1.8	67.0
	Diff.	+0.3**	+0.2**	+0.4**	+1.5(3.2%)**	-0.1**	-0.5**
Dec.	Normals	1.1	6.6	-3.6	28.0	2.0	63.7
	Diff.	-0.1*	-0.2**	0.0	+3.7(15.2%)**	-0.1	-1.6**

Difference.: (1991~2020 normals) - (1981~2010 normals)

*: Significant at 0.05 level, **: Significant at 0.01 level

고, 1월에 4.4°C로 가장 낮았으며 각각 0.3°C, 0.2°C 상승했다. 월평균 최고기온의 변화는 3월에 0.5°C 상승해 12.2°C로 가장 많이 상승하였고, 12월에 0.2°C 하강해 6.6°C로 유일하게 하강하였다. 12월 평균기온의 하강은 최고기온의 하강에 기인한다. 이는 상대적으로 온난해진 북극해의 영향으로 인한 중위도 환과 발생 시기와 빈도의 변화와 상관이 있어 보인다. 월평균 최저기온은 8월에 21.6°C로 가장 높았고, 1월에 -5.7°C로 가장 낮았다. 월평균 최저기온은 10월, 11월에 각각 0.4°C 상승해 9.0°C, 2.5°C로 가장 큰 상승폭을 보였고, 평균기온과 최고기온이 하강한 12월은

-3.6°C로 변화가 없었다. 종합하면 12월을 제외한 모든 월에 평균, 최고, 최저기온은 0.1~0.5°C 통계적으로 유의하게 상승했고, 12월은 평균과 최고기온이 하강했으며 최저기온은 변화가 없었다. 이는 12월 중순~1월 상순 북극 기온의 상승으로 인한 제트기류가 약해졌고, 우랄산맥 부근에 따뜻한 공기가 정체하면서 극의 찬공기가 중위도까지 남하하기 쉬운 조건이 형성되기 때문이다. 음의 북극진동과 블로킹의 빈번한 출현이 12월 기온 하강으로 이어진 것으로 보인다 (KMA, 2020).

신평년 월 강수량은 1월 26.2 mm, 2월 35.7 mm, 3

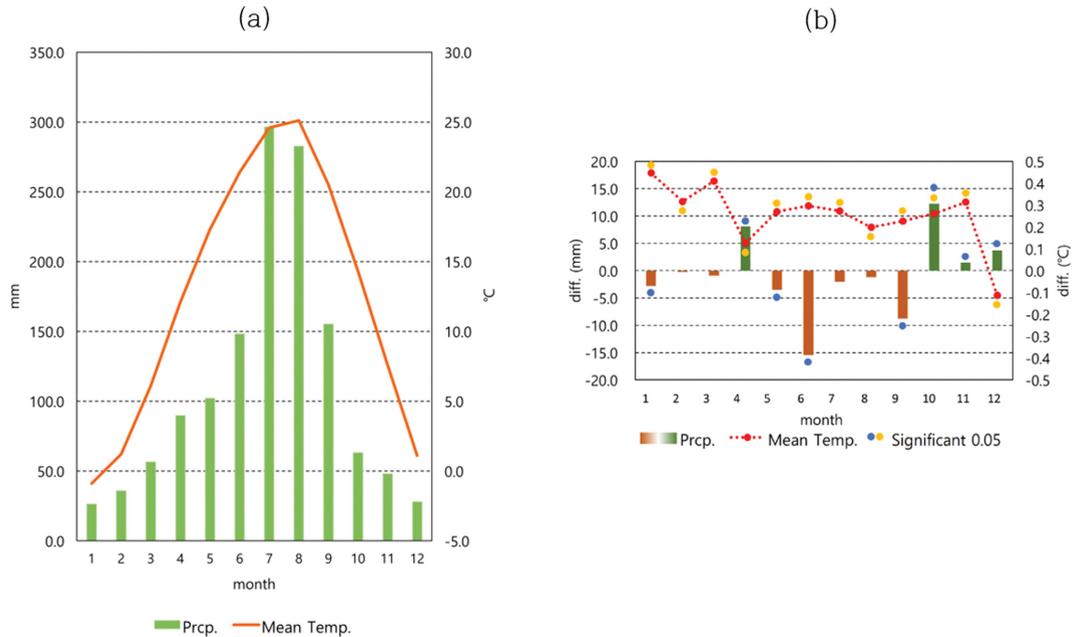


Fig. 2. New normals climograph for the Republic of Korea: (a) new normal monthly mean temperature and precipitation and (b) differences from that of 1981~2010.

월 56.5 mm, 4월 89.7 mm, 5월 102.1 mm, 6월 148.2 mm, 7월 296.5 mm, 8월 282.6 mm, 9월 155.1 mm, 10월 63.0 mm, 11월 48.0 mm, 12월 28.0 mm이다(Table 3). 월 강수량은 4월, 10월, 11월, 12월에 증가하였으나 1월, 2월, 3월, 5월, 6월, 7월, 8월, 9월에 감소하였다. 3월과 5월 강수량이 감소했음에도 불구하고 4월 강수량의 증가는 봄 강수량의 증가에 기여했다. 6월, 7월, 8월 강수량의 감소는 여름철 강수량의 감소로 이어졌고, 9월 강수량의 감소에도 10월과 11월 강수량이 증가하여 통계적으로 유의하지 않지만 가을 강수량이 증가하였다. 겨울철에는 12월 강수량이 증가하고, 1월과 2월은 감소하여 변화가 없었다. 6월(-15.5 mm) 강수량은 9.5% 감소하여 12개월 중 가장 많이 줄었고, 10월(12.3 mm)에 24.2% 증가하여 가장 많이 늘었다. 2월, 3월, 7월, 8월을 제외하고 모두 변화는 통계적으로 유의하였다(Fig. 2). 기온은 일관성 있게 연, 계절, 월별로 시간 규모의 변화 경향이 일치하지만, 강수량은 연, 계절, 월별로 변화 경향이 다르게 나타났다. 따라서, 정교하고, 효율적인 물관리와 적응대책 계획과 이행 시에 상세한 시간과 공간 규모의 변화양상에 대한 고려가 필요하다.

연평균과 계절별로는 유의한 변화가 없던 평균 풍속은 보다 상세한 시간 규모인 월평균 풍속에서는 유의한 변화가 나타났다(Table 3). 1월, 2월, 11월에 유의미하게 0.1 m s^{-1} 감소하는 경향이 나타난다. 풍력

과 관련된 재생에너지의 관리에서 풍속의 변화는 중요하게 고려되어야 할 상황이다. 월평균 상대습도는 1월 62.0%, 2월 60.0%, 3월 60.0%, 4월 59.7%, 5월 64.8%, 6월 72.0%, 7월 79.5%, 8월 78.5%, 9월 75.6%, 10월 70.3%, 11월 67.0%, 12월 63.7%이다(Table 3). 상대습도는 8월과 10월을 제외한 나머지 월에서 통계적으로 유의한 수준에서 감소하였다. 12~5월에 감소 폭이 1.2~2.4% 범위로 상대적으로 크고, 그 중 2월에 2.4%로 가장 크게 감소했다. 건조한 봄과 겨울의 상대습도 감소는 산불 대책과 관련하여 중요하게 다루어져야 한다. 6~11월의 감소 폭은 0.3~0.9% 범위로 나타났고 7월, 8월, 9월, 10월에 0.3%로 가장 작게 감소했다. 12월은 기온의 하강으로 건조한 공기의 유입이 탁월하여 크게 감소하였으며, 나머지 달은 기온의 상승으로 상대습도가 감소하였을 것으로 판단된다.

3.2 극한기후지수의 특성과 변화

극한기후지수와 관련된 기후현상은 빈번하지는 않지만, 발생하는 경우 실제 피해로 이루어지고(IPCC, 2021), 수문, 식생, 에너지 등 여러 부문에서 치명적인 영향을 미친다(Min et al., 2021). 과거 평년값 산출에서 제시되지 않았던 극한성이 강한 기후지수들이 신평년에 추가되었다. 현재는 발생빈도가 적지만, 미래에는 그 발생빈도가 더 잦아져서 적응대책 수립에 중요한 지표가 될 수 있다. 기온과 관련된 극한기후

Table 4. New annual normals of extreme climate indices and their differences from that of 1981~2010 in the Republic of Korea.

Indices	Frequencies (days)		
	Normal	Difference	
Temperature Extremes	MxT30	38.6	+2.7**
	MxT33 ⁺	11.0	-
	MxT35 ⁺	2.9	-
	MnT25	5.2	+1.7**
	MnT-10	12.4	-1.1**
	MnT-12 ⁺	6.9	-
	MnT-15 ⁺	2.3	-
DTR10 ⁺	188.8	-	
Precipitation Extremes	PD100	1.4	0.0
	PH30	1.9	+0.1**
Wind related Extreme	W13.9	1.7	-1.0**

+: Extreme climate indices first introduced in 1991~2020 normals,
 Difference: (1991~2020 normals) - (1981~2010 normals),
 *: Significant at 0.05 level, **: Significant at 0.01 level

지수 중에 고온의 강도를 보여주는 일 최고기온 30°C (MxT30), 33°C (MxT33), 35°C (MxT35) 이상인 날의 신평년 빈도는 각각 38.6, 11.0, 2.9일이다(Table 4). 이 중 구평년 값(1981~2010년)과 비교하여 MxT30은 35.9일에서 2.7일이 증가하였다. MxT33과 35는 현재 11.0일과 2.9일 발생하지만, 미래의 온난한 환경에서는 더 많이 발생하게 될 것이다. 일 최저기온 25°C 이상인 날(MnT25)은 5.2일로 1.7일 증가하였다. 일교차 10°C 이상인 날(DTR10)은 소아와 노인들의 건강에 중요한 지표가 되는 변수(Cheng et al., 2014)로, 연발생일은

188.8일이며, 월별로는 7.5~20.5일로 10월에 20.5일로 가장 많았고, 4월과 5월에 각각 20.2일과 20.1일로 20일을 초과하여 발생하였다. 장마가 포함되는 7월에 7.5일로 가장 적게 발생하였다. 저온의 강도를 보여주는 일 최저기온 -10°C 미만인 날(MnT-10), 일 최저기온 -12°C 이하인 날(MnT-12), -15°C 이하인 날(MnT-15)은 각각 12.4일, 6.9일, 2.3일이다. 이 중 구평년 값이 존재하는 MnT-10은 13.5일에서 1.1일 감소하였다. 극한 강수로 구분하고 있는 일 강수량 100 mm 이상인 날(PD100)의 빈도는 신평년에 1.4일로 구평년과 동일하였다. 1시간 최대 강수량 30 mm 이상인 날(PH30)의 빈도는 신평년에 1.9일이고 구평년에 비해 0.1일 증가하였다. 일 최대풍속 13.9 m s⁻¹ 이상인 날(W13.9)은 신평년에 1.7일로 구평년과 비교했을 때 1.0일 감소하였다. 온난화로 인한 기압경도의 감소와 도시 거칠기의 증가로 풍속은 감소한다. MxT30, MnT-10, MnT25, PH30, W13.9는 통계적으로 유의미한 수준에서 변화하였다.

4. 신평년에 기반한 지점별 기후 특성과 변화

4.1 주요 기후요소의 특성과 변화

기후변화 적응대책을 적절하게 세우려면 지역적으로 상세한 기후특성과 그 변화를 파악해야 한다. 72개 지점을 이용하여 연과 계절, 월별 기후요소의 신평년 값과 구평년 값의 편차를 제시하였다. 72개 지점의 신평년 연평균기온의 범위는 7.1~16.9°C로 크고, 기온이 가장 낮은 지역은 대관령이며 가장 높은 지역은 서귀포이다. 신평년과 구평년의 차이로 산출한 연평균기온의 변화는 -0.1~0.7°C 범위이며 70개 지점에서 연평균기온이 구평년(1981~2010년) 보다 높았다. 원주에서 0.7°C로 가장 크게 상승하였고, 2개 지점(창

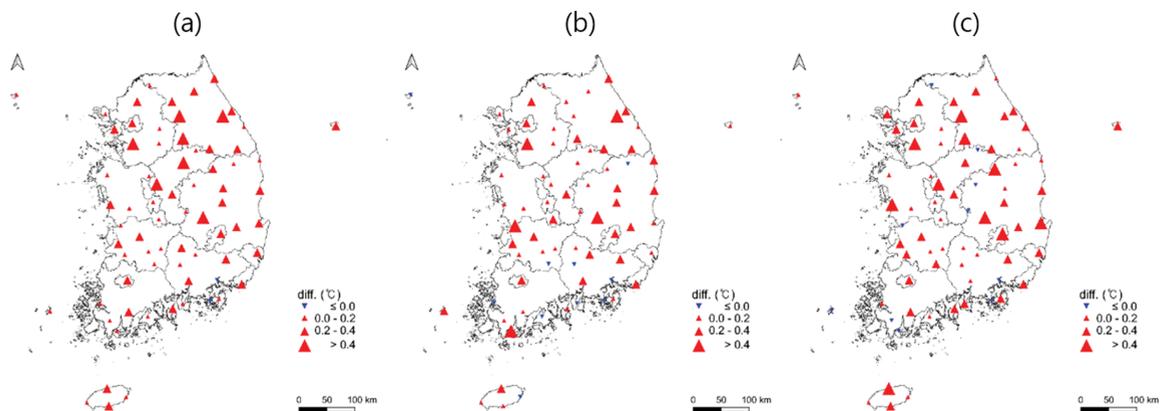


Fig. 3. The difference (°C) of new normal (1991~2020) (a) annual mean, (b) maximum and (c) minimum temperatures from 1981~2010 normals by weather stations.

원과 통영)만 감소하였다(Fig. 3a). 연평균 최고기온은 12.2~20.3°C로 서귀포와 밀양에서 가장 높고, 대관령에서 가장 낮게 나타났다. 연평균 최고기온의 변화는 -0.2~0.7°C이고 대관령에서 12.2°C로 가장 크게 상승하였고 목포와 통영에서 가장 크게 하강하였다(Fig. 3b). 연평균 최저기온의 범위는 2.3~13.9°C이고 대관령에서 가장 낮고, 그 다음 3.7°C로 봉화에서 낮게 나타났다으며, 서귀포는 가장 높은 값을 보였다. 연평균 최저기온의 변화 범위는 -0.1~0.9°C이, 원주와 청주에서 각각 0.9°C, 0.8°C로 가장 크게 상승하였으며, 해남, 완도, 창원에서 0.1°C 하강하였다(Fig. 3c). 기온의 모든 요소는 대부분 지점에서 신평년값이 구평년보다 상승하였고, 감소한 일부 지점에서도 그 폭은 매우 작았다. 신평년 연 강수량은 지역 변동성이 커서 범위가 787.3~2,030.0 mm로 성산에서 가장 많고, 그 다음은 1,989.6 mm인 서귀포이다. 연 강수량은 백령도에서 가장 적었고, 그 다음 1,011.2 mm가 내린 의성이다. 연 강수량의 변화율 범위는 -10.7~7.0%로 울릉도에서 1,480.6 mm로 7.0% 증가하였고, 대관령에서 1,695.1

mm로 10.7% 감소하였다(Fig. 4a). 대관령 강수량의 감소는 연평균 최고기온의 상승과 관련이 있어 보인다. 연 강수량은 지역적으로 변화 양상이 달라서 중부지역과 황해에 인접한 지역에서는 감소하고, 남동해안, 남해안, 제주도에서 증가하였다. 연평균 상대습도의 범위는 59.1~78.6%로 흑산도에서 가장 높았고, 대구에서 가장 낮았다. 구평년과 비교했을 때 58개 지점에서 상대습도가 감소하고, 2개 지점에서 변화가 없었으며, 12개 지점에서 증가하였다(Fig. 5a). 영월(68.1%)과 대관령(73.3%)에서는 변화가 없었고, 거제와 목포에서 1.5% 증가하였으며, 충주에서 67.3%로 구평년에 비해 4.6% 감소하였다. 상대습도를 변화시키는 요인은 다양하지만, 기온의 상승으로 대부분 지점에서 상대습도가 감소하였다. 연평균 풍속은 신평년과 구평년에 차이가 없었다. 계절별 평균기온의 범위는 봄 6.6~14.9°C, 여름 18.5~25.5°C, 가을 8.6~19.4°C, 겨울 -5.3~8.3°C이다. 여름에는 대구에서 가장 높았고, 나머지 계절에는 서귀포에서 가장 높았으며 모든 계절에서 대관령에서

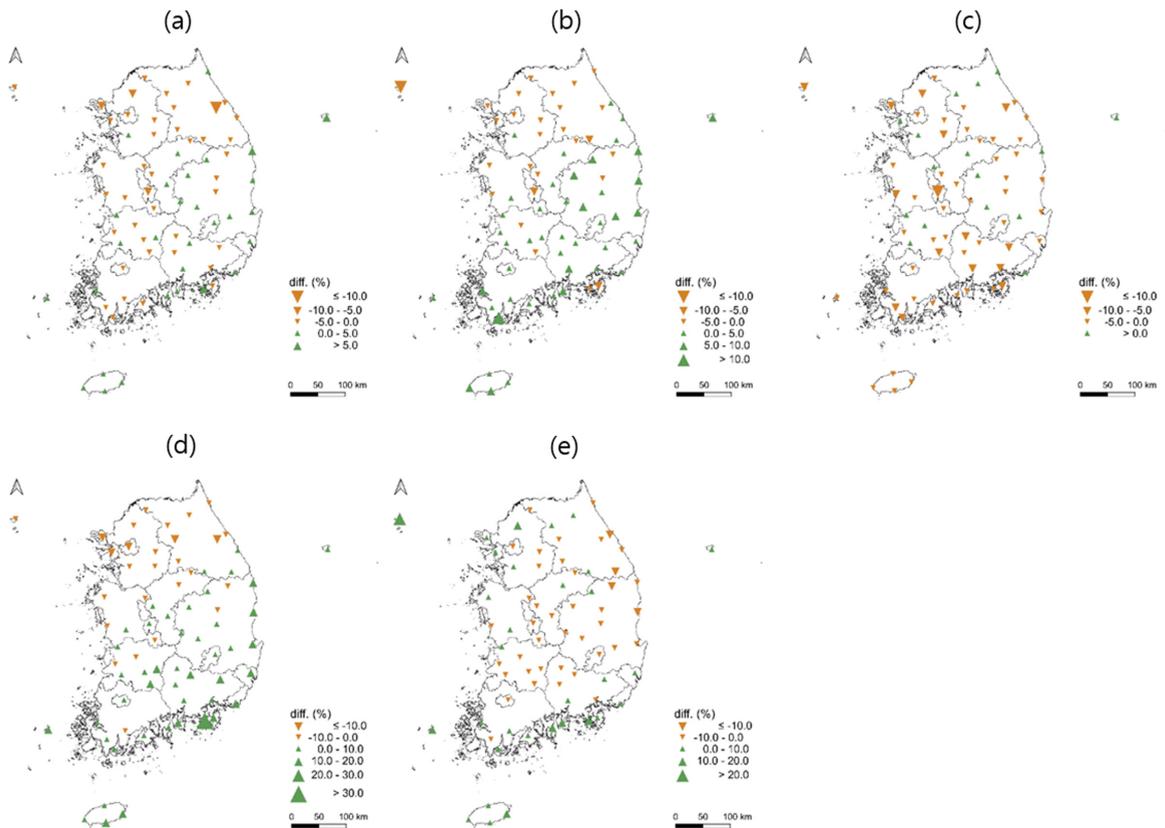


Fig. 4. The difference (%) of new normal (a) annual, (b) spring, (c) summer, (d) autumn and (e) winter precipitation from 1981~2010 normals by stations.

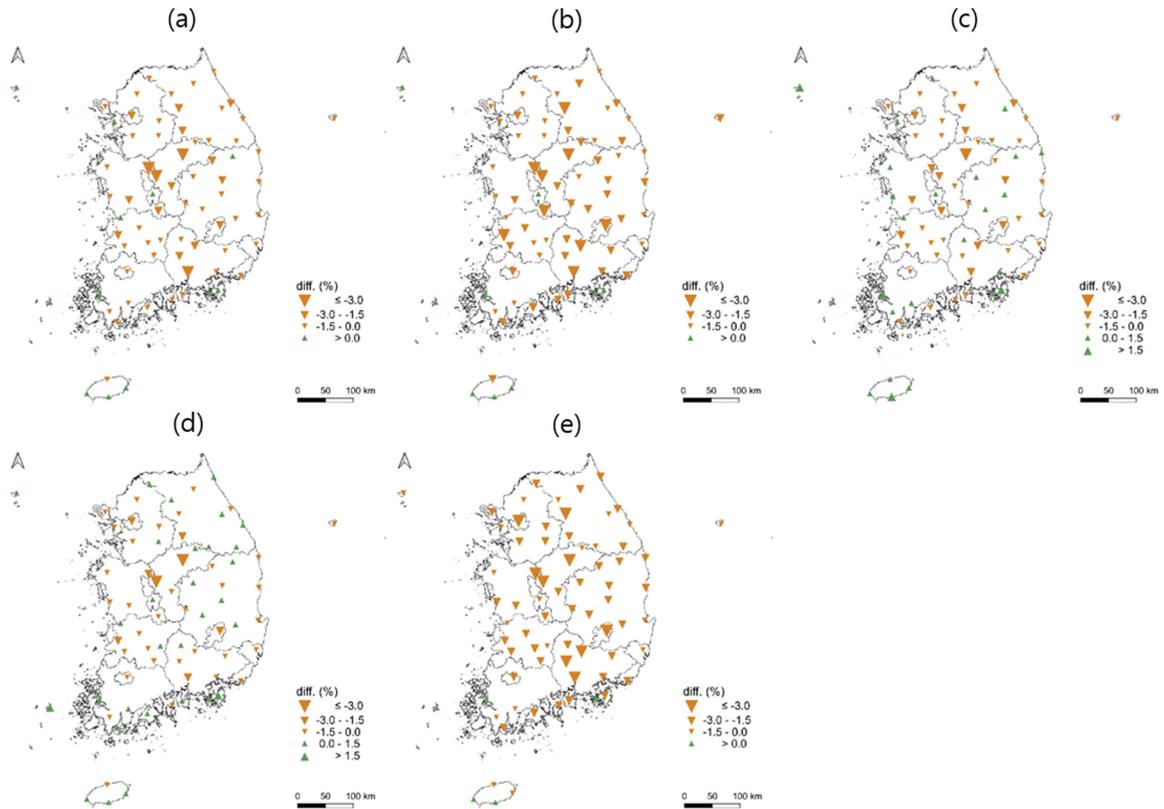


Fig. 5. The difference (%) of new normal (a) annual, (b) spring, (c) summer, (d) autumn and (e) winter relative humidity from 1981~2010 normals by stations.

가장 낮았다. 봄 평균기온은 창원(13.7°C), 통영(13.2°C)에서 구평년과 같아서 변화가 없었고, 나머지 70개 지점에서 상승하였다. 상승한 폭이 가장 높게 나타난 지점은 원주(11.9°C)로 0.7°C 상승하였다. 여름 평균기온은 창원(24.5°C), 통영(23.8°C), 고흥(23.8°C), 문경(23.1°C)에서 구평년과 같았으며 나머지 68개 지점에서 상승하였다. 여름 평균기온 상승 폭이 가장 큰 지점은 원주, 대관령, 홍천으로 0.6°C 상승하였다. 가을 평균기온이 가장 높게 나타난 지점은 서귀포(19.4°C)이고 다음으로 부산이 17.5°C로 높았으며, 가장 낮게 나타난 지점은 대관령(8.6°C)이고 그 다음이 태백으로 10.3°C이다. 가을 평균기온의 변화는 대전(14.5°C), 통영(17.1°C)에서 구평년과 동일하게 나타났고, 창원에서 17.1°C에서 16.9°C로 0.2°C 하강하였다. 나머지 69개 지점에서 상승하였으며 상승 폭이 가장 높은 지점은 원주(13.2°C)로 0.8°C 상승하였다. 겨울 평균기온이 가장 높은 지점은 서귀포와 부산으로 각각 8.3°C와 5.0°C, 가장 낮게 나타난 지점은 대관령과 철원으로 각각 -5.3°C, -3.7°C로 나타났다. 겨울철 평균기온은 목포(3.0°C), 완도(3.9°C), 장수(-1.5°C), 봉화(-2.5°C)에서

변화가 없었고, 철원(-3.7°C), 창원(4.0°C), 고산(7.1°C)에서 0.1°C 하강하였다. 나머지 65개 지점에서 상승하였고, 원주에서 -1.4°C로 구평년 -2.2°C에 비해 0.8°C 상승하여 폭이 가장 컸다. 1991~2020년 신평년 계절 평균기온은 극소수 지점에서 증가하거나 변화가 없기도 하지만, 구평년에 비하여 대부분 상승하였다. 특히, 원주는 모든 계절에서 평균기온 상승 폭이 가장 컸다. 계절별 평균 최고기온의 범위는 봄 12.3~20.3°C, 여름 22.8~30.3°C, 가을 13.8~23.1°C, 겨울 -0.2~11.9°C이고, 평균기온과 유사하게 서귀포에서 높고, 대관령에서 낮았다. 봄 평균 최고기온의 변화는 백령도(12.9°C), 통영(17.8°C), 남원(19.3°C), 고흥(18.6°C) 등 4개 지점에서 변화가 없었고, 목포는 17.2°C로 0.2°C 하강하였다. 나머지 67개 지점에서 상승하였고, 완도는 0.9°C 상승하여 17.7°C로 그 폭이 가장 컸다. 여름 최고기온이 가장 높게 나타난 지점은 대구, 가장 낮게 나타난 지점은 대관령이다. 여름 평균 최고기온의 변화는 서귀포(27.7°C), 강화(27.3°C), 봉화(27.7°C), 산청(29.1°C)에서 구평년과 같았고, 대관령에서 22.8°C로 구평년에 22.1°C인 것에 비해 0.7°C 상승하였다.

통영(27.3°C), 장흥(28.4°C), 고흥(28.3°C)에서는 0.1°C 하강하였다. 가을 평균 최고기온이 가장 높게 나타난 지점은 서귀포이고, 가장 낮게 나타난 지점은 대관령이다. 가을 평균 최고기온은 백령도(17.3°C), 대전(20.2°C), 울산(21.2°C), 성산(21.7°C), 양평(19.4°C), 입실(20.0°C), 정읍(20.8°C), 장흥(21.5°C), 고흥(21.6°C), 문경(19.2°C), 산청(21.1°C), 남해(21.3°C) 등 12개 지점에서 구평년과 동일하여 변화가 없었다. 창원(21.6°C), 통영(21.7°C), 목포(21.0°C), 남원(21.0°C), 봉화(18.7°C) 등 5개 지점에서는 구평년에 비해 가을 평균 최고기온이 하강하였으며, 나머지 55개 지점에서 상승하였다. 대관령에서 13.8°C로 0.6°C 상승하여 상승 폭이 가장 크게 나타났고, 목포에서 21.0°C로 0.3°C 하강하였다. 겨울 평균 최고기온이 가장 높게 나타난 지점은 서귀포이고, 가장 낮게 나타난 지점은 대관령이며 그 다음으로 태백에서 2.3°C로 낮았다. 겨울 평균 최고기온의 변화는 철원(2.6°C), 동해(6.7°C), 고산(9.7°C), 남원(6.7°C), 장수(4.8°C), 영덕(7.3°C)에서 구평년과 같았다. 4개 지점(창원, 목포, 고흥, 봉화)에서 하강하고, 62개 지점에서 상승하였다. 목포에서 0.4°C로 가장 크게 하강하였고, 원주와 구미에서 가장 크게 각각 0.4°C 상승하였다.

계절별 평균 최저기온은 봄 1.1~11.6°C, 여름 14.9~22.7°C, 가을 3.8~16.4°C, 겨울 -10.5~-5.1°C 범위에서 나타났다. 모든 계절에서 서귀포가 가장 높고, 대관령이 가장 낮았다. 봄 평균 최저기온은 철원(3.7°C), 서산(5.2°C), 대전(6.9°C), 통영(9.2°C), 제천(3.1°C), 문경(5.3°C) 등 6개 지점에서 변화가 없었다. 5개 지점(추풍령, 군산, 창원, 완도, 해남)에서 하강하고, 61개 지점에서 상승하였다. 원주와 청주에서 각각 0.8°C로 가장 크게 상승하였으며, 해남에서 0.2°C로 가장 크게 하강하였다. 여름 평균 최저기온은 창원(21.6°C), 통영(21.1°C) 등 2개 지점에서 변화가 없었고, 나머지 70개 지점에서 상승하였는데, 상승 폭이 가장 높은 지점은 원주로 19.4°C에서 20.1°C로 0.7°C 상승하였다. 가을 평균 최저기온은 대전(9.7°C) 군산(11.1°C), 창원(13.1°C), 통영(13.4°C), 흑산도(14.7°C) 등 5개 지점에서 변화가 없었다. 2개 지점(완도와 해남)에서 하강하였으며 65개 지점에서 상승하였다. 원주에서 0.9°C로 가장 크게 상승하였고, 완도에서 0.2°C로 가장 크게 하강하였다. 겨울 평균 최저기온의 변화는 속초(-2.5°C), 서산(-4.9°C), 장수(-7.1°C), 봉화(-9.0°C)에서 구평년과 같았다. 7개 지점(철원, 추풍령, 군산, 창원, 완도, 고산, 해남)에서 하강하였으며, 61개 지점에서 상승하였다. 통영에서 가장 크게 0.2°C 상승하였고, 창원에서 0.2°C 하강하였다. 원주에서 최저기온의 급격한 상승은 온난화와 함께 도시화가 급속하게 진행(2019년 환경부 토지 피복도 기준 관측 지점 1 km 이내 도시피복비율

이 93.7%)되고 있기 때문에 판단된다(ME, 2019).

계절별 강수량은 변동성이 크고 일관성 있는 변화 양상이 나타나지 않았다. 봄 강수량은 140.0~540.9 mm, 여름 강수량은 431.5~935.1 mm, 가을 강수량은 163.5~465.4 mm, 겨울 강수량은 53.2~340.0 mm의 공간분포를 보였다. 최다 강수량 지점은 계절에 따라 다르게 나타났지만, 강수량은 겨울(의성)을 제외한 나머지 계절에서 모두 황해에 위치하는 백령도에서 가장 적게 나타났다. 봄, 여름, 가을 강수량이 가장 많은 지점은 서귀포, 거제, 성산으로 나타났다. 겨울 강수량은 강설량이 많은 울릉도에서 가장 많고, 의성에서 가장 적었다. 신평년 계절별 강수량에서 구평년값을 빼서 편차를 산출하여 변화로 제시하였다(Fig. 4). 봄 강수량은 중부지역에서 감소하고, 남부지역과 강원 동해안 지역에서 증가하는 추세가 나타났다. 지점별로는 봄 강수량이 45개 지점에서 증가하고 27개 지점에서 감소하였다. 백령도에서 140.0 mm로 10.8% 감소하였지만, 완도에서는 392.4 mm로 12.1% 증가하였다(Fig. 4b). 여름 강수량은 대부분 지역에서 감소하였고, 일부 내륙과 전라북도, 서해안과 인접한 경기도 일부 지역에서 증가하는 추세가 나타났다. 서울(892.1 mm)에서는 강수량의 변화가 없었고, 16개 지점에서 증가하였으며 55개 지점에서 감소하였다. 대전에서 774.0 mm로 구평년보다 11.0% 감소하였고, 속초에서 683.1 mm로 구평년에 비해 4.2% 증가하였다(Fig. 4c). 가을 강수량은 중부지역에서 감소하고, 남부지역에서 증가하는 추세가 나타났다. 보령(249.0 mm)에서는 가을 강수량의 변화가 없었고 45개 지점에서 증가, 26개 지점에서 감소하였다. 대관령에서 416.6 mm로 구평년보다 18.2% 감소하였고, 통영에서 302.1 mm로 구평년에 비해 31.0% 증가하였다(Fig. 4d). 겨울 강수량은 내륙지역과 강원도 동해안 지역에서 감소하는 추세가 두드러졌으며, 제주도와 남해안에서 증가하는 추세가 나타났다. 영천(65.6 mm)에서는 변화가 없었고, 31개 지점에서 증가하고 40개 지점에서 감소하였다. 태백에서 73.2 mm로 구평년보다 16.9% 감소하였고, 백령도에서 54.0 mm로 구평년에 비해 25.6% 증가하였다(Fig. 4e). 강수량은 여름에 대부분 지역에서 감소하였고 겨울에는 내륙지역과 강원도 동해안 지역에서 감소하는 추세가 두드러졌다.

계절별 상대습도는 봄에 52.1~77.3%, 여름에 69.2~90.2%, 가을에 62.4~77.5%, 겨울에 47.1~73.0%로 나타났다. 봄에는 흑산도에서 77.3%로 가장 높았고, 대구에서 52.1%로 가장 낮았다. 구평년과 비교했을 때 인천(65.9%)과 군산(72.4%)에서는 변화가 없었고 목포에서 70.9%로 1.5% 증가하였으며, 충주에서 57.6%로 5.9% 감소하였다(Fig. 5b). 61개 지점에서 상대습도가 감소하고, 2개 지점에서 상대습도의 변화가 없

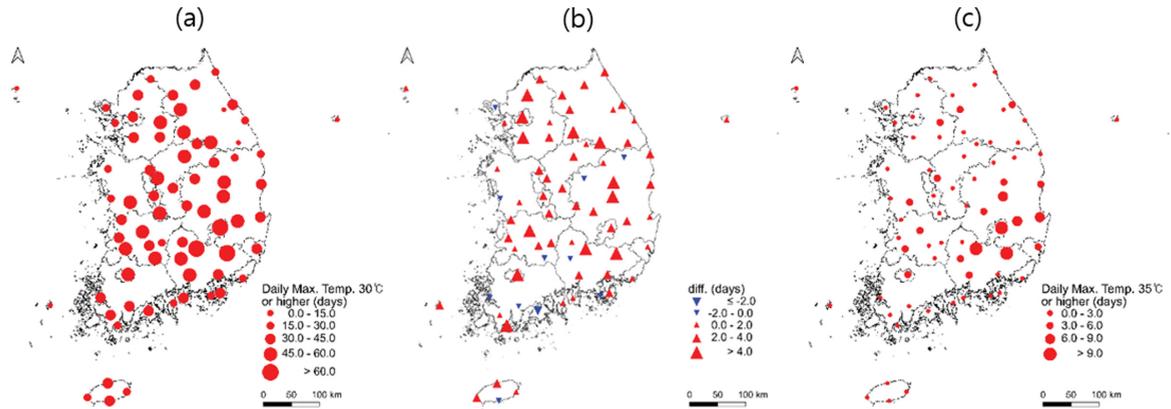


Fig. 6. (a) Daily maximum temperature $\geq 30^{\circ}\text{C}$ days (MxT30) for the new normal (1991~2020), (b) the difference (days) of new MxT30 from 1981~2010 normals and (c) Daily maximum temperature $\geq 35^{\circ}\text{C}$ days (MxT35) for the new normal (1991~2020) by stations.

었으며, 9개 지점에서 상대습도가 증가하였다. 상대습도의 감소는 기온의 상승과 관련이 있어 보인다. 여름 평균 상대습도가 가장 높게 나타난 지점은 흑산도로 90.2%, 가장 낮게 나타난 지점은 대구로 69.2%로 차이가 크다. 봄과 마찬가지로 여름 평균 상대습도가 높게 나타난 지점 중 도서 지역의 특성을 고려해 제외하면 대관령에서 84.3%로 가장 높았다. 속초(81.1%), 울산(76.6%), 여수(80.6%), 장수(79.3%), 남해(76.6%)에서 변화가 없었고 백령도에서는 84.0%로 구평년에 비해 2.4% 증가하였으며, 충주에서는 72.1%로 구평년에 비해 3.3% 감소하였다(Fig. 5c). 전체 지점 중 42개 지점에서 상대습도가 감소하였고, 5개 지점에서 변화가 없었으며, 25개 지점에서 증가하였다. 가을 상대습도는 장수, 대관령에서 77.5%로 가장 높았고, 강릉에서 62.4%로 가장 낮았다. 가을 상대습도는 울진(70.1%), 울산(67.6%), 영덕(68.9%)에서 변화가 없었고 거제에서 68.1%로 2.3% 증가하였으며, 청주에서 67.7%로 구평년에 비해 3.5% 감소하였다(Fig. 5d). 39개 지점에서 상대습도가 감소하였고, 3개 지점에서 변화가 없었으며, 30개 지점에서 증가하였다. 겨울 상대습도는 부안에서 73.0%로 가장 높았고 강릉에서 47.1%로 가장 낮았다. 겨울 상대습도는 목포에서 70.3%로 구평년에 비해 1.3% 증가하였고 청주에서 61.9%로 4.5% 감소하였다. 겨울에는 67개 지점에서 상대습도가 감소하고, 5개 지점에서 증가하였다(Fig. 5e). 신평년 지점별 상대습도는 감소 경향이 지배적이고 충주와 청주와 같은 내륙에서 감소 폭이 크고 목포와 거제와 같은 해안지역에서는 감소 폭이 작거나 증가하였다.

4.2 극한기후지수의 특성과 변화

한국기후표의 계급별일수와 현상일수를 기반으로

신평년 극한성을 보여줄 수 있는 지수와 구평년에도 제공되었던 지수 등 11개 변수를 분석하였다. 고온의 기준인 일 최고기온 30°C 이상인 날(MxT30)은 해안보다는 내륙, 특히 태백산맥 서쪽을 중심으로 많이 나타났다. 대구에서 61.9일, 함천에서 61.3일로 가장 많고, 대관령에서 2.1일, 백령도에서 4.2일로 가장 적게 나타나서 지역 차가 매우 크다(Fig. 6a). MxT30은 신평년에서 72개 지점 중 61개 지점에서 증가하였고 문경에서 변화가 없었으며, 나머지 10개 지점에서 감소하였다. MxT30은 완도에서 신평년에 29.9일로 구평년과 비교하여 8.2일 증가하였고, 고흥에서 35.5일로 2.8일 감소하였다(Fig. 6b). MxT33은 대구에서 27.6일, 함천에서 24.3일로 가장 많이 나타나고, 대관령에서는 나타나지 않았다. 백령도에서는 0.2일로 대관령의 뒤를 이어 발생 빈도가 낮았다. MxT30과 같이 MxT33도 경상남북도 내륙에서 많이 발생하고, 해안지역에서 적게 발생하였다. MxT35도 지역적으로는 대구에서 11.7일로 가장 많이 나타나고 밀양과 함천에서 9.1일로 그 뒤를 이었다. 대관령, 백령도, 흑산도에서는 35°C 이상인 날이 발생하지 않았다(Fig. 6c). 현재 MxT35는 경상남북도 내륙과 대구를 제외하면 많지 않지만, 발생만으로도 포장도로의 유형을 포함한 지역 인프라에 심각한 영향을 미칠 수 있으므로 감시가 필요한 지수이다(Chinowsky et al., 2013).

일 최저기온 -10°C 미만인 날(MnT-10)은 대관령에서 53.7일로 가장 많았고, 철원이 그 뒤를 이어 44.0일 발생하였다. 일부 남부 해안지역과 도서 지역에서는 -10°C 미만의 추위는 발생하지 않아 흑산도, 완도, 제주, 고산, 성산, 서귀포 6개 지점에서 0일로 나타났다(Fig. 7a). MnT-10의 변화는 임실(19.9일)에서 1.7일로 구평년에 비해 가장 크게 증가하였고, 원주(22.4일)

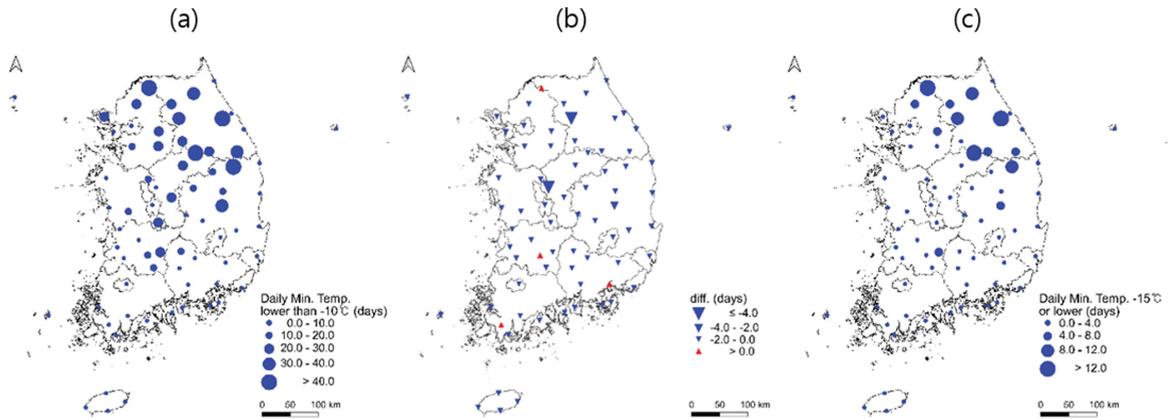


Fig. 7. (a) Daily minimum temperature $< -10^{\circ}\text{C}$ days (MnT-10) for the new normal (1991~2020), (b) the difference (days) of new MnT-10 from 1981~2010 normals, (c) daily minimum temperature $\leq -15^{\circ}\text{C}$ days (MnT-15) for the new normal (1991~2020).

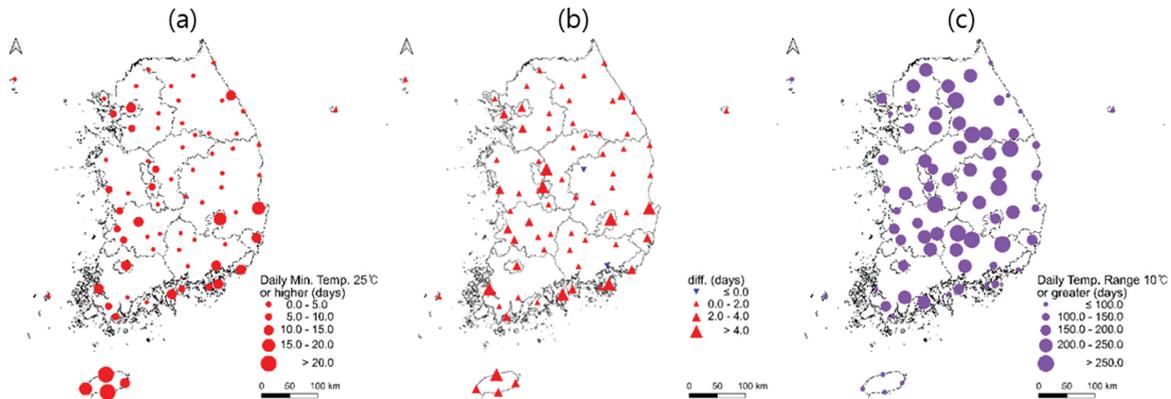


Fig. 8. (a) Daily minimum temperature $\geq 25^{\circ}\text{C}$ days (MnT25) for the new normal (1991~2020), (b) the difference (days) of MnT25 from 1981~2010 normals, and (c) diurnal temperature range $\geq 10^{\circ}\text{C}$ days (DTR10) for the new normal (1991~2020).

에서 6.1일로 가장 크게 감소하였다. 신평년에 0일로 MnT-10이 발생하지 않았던 6개 지점과 함께 발생 일수가 0.1~1.6일로 적은 울릉도, 울진, 포항, 부산, 통영, 목포, 여수, 거제에서는 변화가 나타나지 않았다 (Fig. 7b). MnT-10은 우리나라 많은 지점에서 감소하며, 특히, 중부 내륙에서 크게 줄어들었다. 일 최저기온 -12°C 이하인 날(MnT-12)은 대관령에서 38.8일로 가장 많이 나타나고 철원이 32.2일, 제천이 27.3일로 그 뒤를 이었다. 울릉도, 광주, 부산, 통영, 목포, 여수, 흑산도, 완도, 제주, 고산, 성산, 서귀포, 거제, 남해 14개 지점에서는 발생하지 않았다. 일 최저기온 -15°C 이하인 날(MnT-15)은 대관령에서 20.1일로 가장 많이 나타나고 철원 16.3일, 제천 12.3일로 그 뒤를 이었다. MnT-15가 발생하지 않는 지역은 MnT-12가 나타난 지역에 비해 내륙과 동해안으로 확대되어 MnT-12가 나

타나지 않은 14개 지점과 더불어 울진, 포항, 군산, 대구, 울산, 창원, 장흥, 해남, 고흥, 영덕, 밀양, 산청 총 26개 지역에서 발생하지 않았다(Fig. 7c).

열대야일로 정의되는 일 최저기온 25°C 이상인 날(MnT25)은 서귀포에서 28.8일로 가장 많이 발생하였고 제주와 고산은 각각 27.2일, 19.3일로 그 뒤를 이었다. 제주를 제외하면 포항에서 16.4일로 가장 많이 발생하였다. 대관령, 태백, 장수, 봉화, 거창 등 5개 지점에서는 MnT25가 발생하지 않았다(Fig. 8a). MnT25의 변화는 제주에서 신평년에 27.2일로 구평년에 비하여 6.2일 증가하였다. 대관령, 추풍령, 태백, 임실, 장수, 봉화, 영주, 거창에서는 변화가 없었으며, 창원에서 신평년 14.1일로 구평년에 비해 1.2일 감소하였다. MnT25는 최근 온난했던 10년 자료의 추가로 해안을 포함하여 62개 지점에서 크게 증가하였다(Fig.

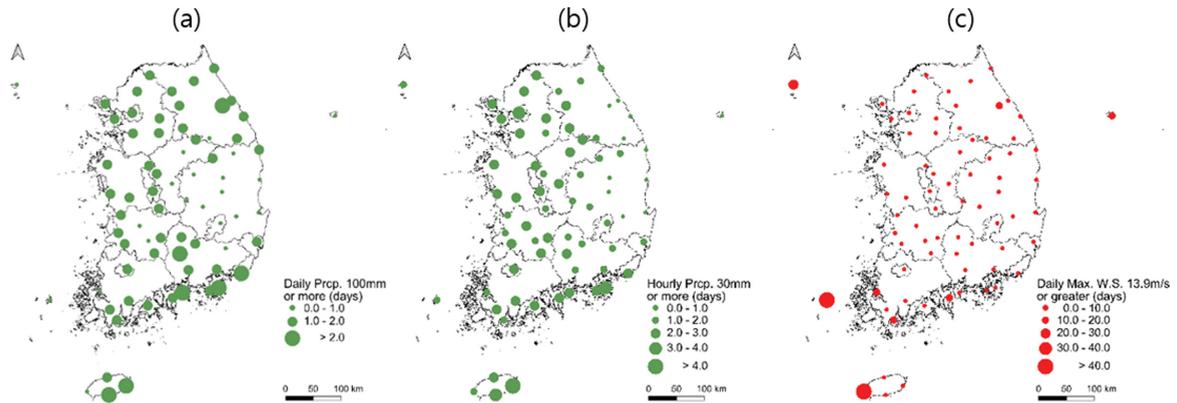


Fig. 9. (a) Daily precipitation ≥ 100 mm days (PD100), (b) one-hour maximum precipitation ≥ 30 mm days (PH30), and (c) daily maximum wind speed ≥ 13.9 m/s days (W13.9) for the new normal (1991~2020).

8b). 일교차 10°C 이상인 날(DTR10)은 신평년에서 새롭게 추가된 현상일수이다. 의성에서 288.0일로 가장 많이 발생하였고 봉화, 함천에서 274.8일, 261.6일로 그 뒤를 이었으며 흑산도에서 9.8일로 가장 적게 발생하였다. 주간 가열과 야간 냉각이 급속하게 일어나는 내륙, 특히 비도시에서 빈번하게 발생하고 해안지역에서 적게 발생하고 있다(Fig. 8c). DTR10은 호흡기계 질환을 앓는 환자들에게 중요한 지수로 Hwang et al. (2015)에 따르면 일교차가 10°C 이상일 때, 호흡기계 질환(특히 폐렴)에 의한 사망률이 유의하게 증가한다.

일 강수량 100 mm 이상인 날(PD100)은 여름 강수량이 가장 많은 거제에서 3.2일로 가장 많이 발생하였다. 서귀포와 남해가 3.1일로 그 뒤를 이었고 의성에서 0.3일로 가장 적게 발생하였다(Fig. 9a). PD100의 변화는 울진에서 1.1일로 구평년에 비해 0.4일 증가하였고, 의성에서 0.3일로 0.2일 감소하였다. PD100은 발생빈도가 많지 않지만, 발생만으로도 피해를 줄 수 있어서 감시와 대책이 필요한 지수이다. 구평년과 비교했을 때, PD100은 속초(1.6일), 백령도(0.4일), 동해(1.4일), 수원(1.5일), 대구(0.6일), 인제(1.5일), 태백(1.2일), 보은(1.0일), 천안(1.1일), 영덕(0.7일), 영천(0.6일), 밀양(1.0일) 등의 지점에서 변화가 없었다. 1시간 최대 강수량 30 mm 이상인 날(PH30)은 성산에서 4.1일로 가장 많이 발생하였고 서귀포와 거제에서 3.7일, 3.4일로 다음으로 많았다. 동해, 울진, 포항에서는 0.6일로 가장 적게 발생하였다(Fig. 9b). PH30의 변화는 군산(1.9일), 충주(2.1일)에서 0.6일 증가하였고, 이천에서 1.9일로 구평년에 비해 0.5일 감소하였다. 철원(2.1일), 강릉(0.8일), 동해(0.6일), 원주(2.4일), 울릉도(0.9일), 서산(2.2일), 추풍령(1.1일), 포항(0.6일), 전주(2.3일), 울산(1.5일), 여수(2.3일), 제주(2.2일), 홍천(2.3

일), 부여(2.2일), 금산(1.7일), 부안(1.9일), 임실(2.0일), 장수(2.1일), 영천(0.8일), 거창(1.4일) 등 20개 지점에서는 구평년과 비교하여 변화가 없었다.

일 최대풍속 13.9 m s^{-1} 이상인 날(W13.9)은 고산에서 89.4일로 가장 많이 발생하였고 흑산도와 백령도에서 각각 51.5일, 21.7일로 그 다음으로 많았다. 내륙에 위치한 춘천, 원주, 충주, 청주, 안동, 양평, 이천, 인제, 홍천, 제천, 보은, 금산, 임실, 정읍, 장수, 봉화, 의성, 구미와 울산, 진주, 강화 등 21개 지점에서는 발생하지 않았다(Fig. 9c). W13.9의 변화는 산청에서 0.3일로 구평년에 비해 0.1일 증가하였고, 춘천, 충주, 청주, 안동, 울산, 진주, 강화, 양평, 이천, 인제, 구미 등 11개 지점에서 신평년에 0일로 감소하였다. 46개 지점에서 감소하여 그 경향이 뚜렷하게 나타났다.

5. 요약과 결론

본 연구는 신평년(1991~2020년) 기후값을 이용하여 우리나라의 현재 기후특성을 파악하였다. 우리나라 평균 기후값은 기상청에서 선정한 62개 지점을 이용하여 산출하였고, 구평년(1981~2010년)과의 차이를 이용하여 변화를 파악하였다. 지역별 상세기후는 72개 지점을 이용하여 우리나라 지역별 기후특성과 그 변화를 파악하였다. 분석대상 기후요소는 기온(평균, 최고, 최저), 강수량, 상대습도, 풍속을 선정하였고, 연, 계절, 월 분포와 변화를 파악하였다. 극한기후지수는 극한고온일수(일 최고기온 $30/33/35^{\circ}\text{C}$ 이상인 날, MxT30/33/35; 일 최저기온 25°C 이상인 날, MnT25), 극한저온일수(일 최저기온 -10°C 미만인 날과 일 최저기온 $-12/-15^{\circ}\text{C}$ 이하인 날, MnT-10/-12/-15), 일교차 10°C 이상인 날(DTR10), 일 강수량 100 mm 이상인 날(PD100), 1시간 최대 강수량 30 mm 이상인 날

(PH30), 강풍일수(일 최대풍속 13.9 m s^{-1} 이상인 날, W13.9) 등 11개 변수를 분석하였다.

1991~2020년 기후 평년값에 기반한 우리나라의 연평균 평균기온은 12.5°C , 최고기온은 18.2°C , 최저기온은 7.7°C , 강수량은 $1,331.7 \text{ mm}$, 풍속은 2.0 m s^{-1} , 상대습도는 67.8% 이다(Table 2). 1981~2010년과 비교하여 연평균 평균기온은 0.2°C , 최고와 최저기온은 0.3°C 상승했고, 강수량(0.7%)과 상대습도(1.1%)는 감소했으며, 평균 풍속은 변화가 없었다. 연평균 평균기온, 최저기온, 최고기온은 통계적으로 유의미하게 증가했으며, 상대습도는 감소했으나 강수량의 변화는 유의미하지 않았다. 기온은 최근 10년의 온난한 기간이 추가되면서 모두 일관성 있게 상승하였다. 특히, 과거 연구에서 유의한 변화가 없었던 최고기온의 상승이 뚜렷하게 나타났다. 상대습도의 감소는 기온 상승으로 인한 것으로 보인다.

모든 계절에서 평균기온, 최고기온, 최저기온은 통계적으로 유의하게 $0.2\sim 0.4^\circ\text{C}$ 상승하였다. 특히, 여름철 최고기온의 상승이 뚜렷하게 나타나고 있어서 폭염의 빈도와 강도 증가로 진행될 가능성이 커졌다. 2010년대 이전에 여름철 최고기온의 변화는 통계적으로 유의하지 않았다. 연 강수량의 감소는 통계적으로 유의하지 않지만, 계절별 강수량에서는 봄과 여름에 유의하게 변화하였다. 봄에는 강수량이 증가하고, 여름에는 감소하였는데, 여름 강수량의 감소 폭이 더욱 커서 연 강수량은 감소했다. 변동성이 큰 우리나라 강수량의 특성상 이러한 계절별 강수량의 증가와 감소는 수자원 관리나 적응대책에서 고려되어야 할 사항이다. 상대습도는 모든 계절에서 통계적으로 유의한 감소가 나타났다. 이는 계절별 기온 상승과 수증기 유입량, 강수량 변화와 밀접한 관련이 있을 것으로 판단된다. 월별로는 12월을 제외한 나머지 11개월에 평균, 최고, 최저기온은 $0.1\sim 0.5^\circ\text{C}$ 통계적으로 유의하게 상승했고, 12월은 평균과 최고기온은 하강했으며 최저기온은 변화가 없었다. 월 강수량은 변화 양상이 매우 복잡했다. 1월, 4월, 10월, 11월, 12월에는 통계적으로 유의한 수준에서 증가하였고, 5월, 6월, 9월에는 감소하였다. 특히, 6월 강수량 감소는 여름철 강수량 감소로 이어졌다. 기온은 12월을 제외하면 연, 계절, 월별로 변화 경향이 상승하여 일관성이 있지만, 강수량은 연, 계절, 월별로 변화 경향이 다르게 나타났다. 연과 계절에서 변화가 없던 풍속도 월 단위에서는 1월, 2월, 11월에 유의미하게 감소하는 경향이 나타난다. 상대습도도 8월과 10월을 제외한 모든 달에 통계적으로 유의하게 감소하였다. 극한기후지수 중 MxT30, MnT25, PH30는 통계적으로 유의한 수준에서 증가하고, MnT-10, W13.9는 감소하였다.

72개 지점의 신평년 연평균기온의 범위는 $7.1\sim 16.9^\circ\text{C}$

로 크고, 기온이 가장 낮은 지역은 대관령이며 가장 높은 지역은 서귀포이다. 신평년과 구평년의 차이로 산출한 연평균기온의 변화는 $-0.1\sim 0.7^\circ\text{C}$ 범위이며 70개 지점에서 연평균기온이 구평년(1981~2010년) 보다 높았다. 연 강수량은 지역적 변동성이 커서 공간 범위가 $787.3\sim 2,030.0 \text{ mm}$ 이고 성산에서 강수량이 가장 많았으며 백령도에서 가장 적었다. 연 강수량의 변화를 범위는 $-10.7\sim 7.0\%$ 로 울릉도에서 가장 크게 증가하였고, 대관령에서 가장 크게 감소하였다. 기온의 상승으로 대부분 지점에서 연평균 상대습도가 감소했고, 연평균 풍속은 신평년과 구평년에 차이가 없었다.

온난해진 10년(2011~2020년)이 추가되며 신평년(1991~2020년)에서 기온은 일관성 있게 증가하는 추세를 보여주고, 강수량의 변화 양상은 더욱 복잡해졌다. 2010년대까지 증가 경향을 보여준 연 강수량과 여름철 강수량의 증가 경향이 사라졌다. 지역별로 기후 요소와 극한기후지수의 변화 경향이 다르게 나타나는 것에 대한 자세한 연구가 추후 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문의 개선을 위해 좋은 의견을 제시해 주신 두 분의 심사위원께 감사를 드립니다. 이 연구는 기상청 「기후 및 기후변화 감시·예측 정보 응용 기술개발 사업」(KMI2021-00911)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Cha, S. Y., and M. S. Suh, 2022: Spatio-temporal distribution characteristics and clustering of relative humidity in the Korean Peninsula. *J. Climate Res.*, **17**, 135-153, doi:10.14383/cri.2022.17.3.135 (in Korean with English abstract).
- Chen, X., S. J. Jeong, H. Y. Park, J. W. Kim, and C.-R. Park, 2020: Urbanization has stronger impacts than regional climate change on wind stilling: A lesson from South Korea. *Environ. Res. Lett.*, **15**, 054016, doi:10.1088/1748-9326/ab7e51.
- Cheng, J., Z. Xu, R. Zhu, X. Wang, L. Jin, J. Song, and H. Su, 2014: Impact of diurnal temperature range on human health: A systematic review. *Int. J. Biometeorol.*, **58**, 2011-2024, doi:10.1007/s00484-014-0797-5.
- Chinowsky, P. S., J. C. Price, and J. E. Neumann, 2013: Assessment of climate change adaptation costs for the U.S. road network. *Global Environ. Change*, **23**, 764-773, doi:10.1016/j.gloenvcha.2013.03.004.
- Hwang, K. S., S. A. Lee, H. J. Kim, and J.-L. Kim, 2015: Analysis of sex, age and seasonal mortality accord-

- ing to diurnal temperature range (DTR). *Korean J. Sci. Criminal Investigation*, **9**, 30-37 (in Korean with English abstract).
- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, doi: 10.1017/9781009157896.001.
- Kang, K. M., Y. Choi, Y. J. Kim, S. J. Min, D. Choi, K. Y. Kim, and D. Y. Lee, 2021: The classification of climate types and the delineation of their climatic characteristics using new normals (1991~2020) in the Republic of Korea. *J. Climate Res.*, **16**, 179-195, doi:10.14383/cri.2021.16.3.179 (in Korean with English abstract).
- Kim, H. H., K. Mizuno, and W. S. Kong, 2022: Climate characteristics of South Korean Island region analyzed with AWS observation data. *J. Climate Change Res.*, **13**, 399-408, doi:10.15531/KSCCR.2022.13.4.399 (in Korean with English abstract).
- KMA, 2020: *Korean Climate Change Assessment Report 2020*. Korea Meteorological Administration, 42 pp (in Korean).
- _____, 2021a: *Climatological Statistics Guide*. Korea Meteorological Administration, 83 pp (in Korean).
- _____, 2021b: *Climatological Normals of Korea*. Korea Meteorological Administration, 1018 pp (in Korean).
- _____, 2022: *Changma White Book*. Korea Meteorological Administration, 396 pp (in Korean).
- _____, 2023: *Climate Characteristics Report 2022*. Korea Meteorological Administration, 97 pp (in Korean).
- Ko, J. W., M. J. Lee, Y. H. Kim, and W. T. Kwon, 2009: Analysis on characteristics of climate and its trends of changes in the southwestern region of Korea. *J. Climate Res.*, **4**, 14-29, (in Korean with English abstract).
- Ko, M. C., and S. H. Lee, 2013: A study on the change of humidity by city size In South Korea. *J. Korean Geogr. Soc.*, **48**, 19-36 (in Korean with English abstract).
- Lee, S. H., 2012: A study on the change of wind speed in South Korea: In case of January and August. *J. the Korean Geogr. Soc.*, **47**, 347-358 (in Korean with English abstract).
- ME, 2019: *Land*. Ministry of Environment.
- Min, S. J., Y. Choi, J. Y. Moon, Y. J. Kim, M.-K. Kim, D. Choi, and H. S. Moon, 2021: Examination on the spatial coverage change and future projection of Climate Extreme Events during Summer and Winter in South Korea using a combined Climate Extreme Index. *J. Climate Res.*, **16**, 53-69, doi:10.14383/CRI.2021.16.1.53 (in Korean with English abstract).
- Moon, J.-Y., K.-Y. Kim, Y. Choi, and S. J. Min, 2020: The characteristics of Changma rainfall in South Korea during the new climatological Period of 1991-2020. *J. Climate Res.*, **15**, 139-152, doi:10.14383/cri.2020.15.3.139 (in Korean with English abstract).
- _____, and _____, 2021: Trends in Extreme Temperature over the republic of Korea based on new climatology. *J. Climate Res.*, **16**, 109-121, doi:10.14383/cri.2021.16.2.109 (in Korean with English abstract).
- NIMS, 2018: *100 Years of Climate Change Report on the Korean Peninsula*. National Institute of Meteorological Sciences, 31 pp (in Korean).
- NOAA, 2021: "What are climate normals?" National Oceanic and Atmospheric Administration. [Available online at <https://www.noaa.gov/explainers/understanding-climate-normals>].
- Park, I. G., and M. S. Suh, 2022: Current status and trends of Extreme Precipitation characteristics during the last 30 years (1991~2020) over Korea. *J. Climate Res.*, **17**, 69-87, doi:10.14383/cri.2022.17.2.69 (in Korean with English abstract).
- WMO, 2017: *WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals*. World Meteorological Organization, 29 pp.