

RCP 기후변화 시나리오에 따른 우리나라 계절 및 절기의 수문기상학적 특성 분석

오미주·김지은·이배성·김태웅*

한양대학교 대학원 건설환경시스템공학과

*한양대학교(ERICA) 건설환경공학과

Hydro-meteorological Characteristics in Season and Solar Term According to RCP Climate Change Scenarios

Miju Oh·Jieun Kim·Baesung Lee·Tae-Woong Kim*

Department of Civil and Environmental System Engineering, Hanyang University, Korea

**Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University (ERICA), Korea*

(Received : 30 June 2022, Revised : 22 September 2022, Accepted : 11 November 2022)

요약

산업화와 도시화가 광범위하게 진행되면서 온실가스 배출로 인하여 기후변화가 심해지고 있다. 우리나라는 기후변화로 인하여 평균기온이 상승하였으며, 연간 강수량도 증가하였다. 이러한 기후변화로 태양의 움직임에 맞춰 계절을 표현하는 절기의 의미도 무색해지고 있다. 따라서 본 연구에서는 제주권을 제외한 5개의 권역(수도권, 경상권, 충청권, 전라권, 강원권)을 대상으로 과거 관측자료 및 미래 대표농도경로(Representative Concentration Pathways, RCP) 기후변화 시나리오의 평균 온도 및 강수량 자료를 이용하여 계절 및 절기의 특성 변화를 비교·분석하였다. 계절길이를 분석한 결과, 전국적으로 여름의 길이가 길어지고 겨울의 길이가 짧아졌으며, 여름철 강수량은 대체적으로 증가하였다. 충청권의 경우, RCP 8.5 시나리오에서는 과거에 비해 여름의 길이는 46%, 강수량은 16.2% 증가하였으며, 겨울의 길이는 31.8% 감소하였다. 절기의 경우, 모든 절기에서 기온이 상승하였다. 특히, 충청권의 경우, RCP 8.5 시나리오에서는 과거에 비해 대서의 기온은 15.5%, 대한의 기온은 75.7% 증가하였다. 본 연구 결과를 통해 계절과 절기의 수문학적 특성을 권역별로 파악할 수 있었으며, 이는 우리나라 기후변화 대응정책을 마련하는데 기초자료로 사용될 수 있다.

핵심용어 : 강수량, 계절, 기후변화, 절기, RCP 시나리오

Abstract

As industrialization and urbanization progress extensively, climate change is intensifying due to greenhouse gas emissions. In Korea, the average temperature increased, and the annual precipitation also increased due to climate change. In addition, the meaning of the solar term, which expresses seasons according to the movement of the sun, is also being overshadowed. Therefore, this study investigated the seasonal changes and solar-term changes of average temperature and precipitation observed in the past as well as simulated for future RCP climate change scenarios for five major regions (Capital Region, Gyeongsang, Chungcheong, Jeolla, and Gangwon). For the seasonal length, the length of summer became longer, the length of winter became shorter nationwide, and the precipitation in summer generally increased compared to the past. In the Chungcheong area, under the RCP 8.5 scenario, the length of summer increased by 46%, precipitation increased by 16.2%, and the length of winter decreased by 31.8% compared to the past. For the solar term, the temperature rose in all seasons. In the Chungcheong area, under the RCP 8.5 scenario, the temperature of major heat increased by 15.5%, and the temperature of major cold increased by 75.7% compared to the past. The overall results showed that the hydrological characteristics of the season and solar term were identified by region, which can be used as basic

*To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University(ERICA), Korea

E-mail: twkim72@hanyang.ac.kr

- Miju Oh Department of Civil and Environmental System Engineering, Hanyang University / Graduate Student (omju99@hanyang.ac.kr)
- Jieun Kim Research Institute of Engineering and Technology, Hanyang University (ERICA) / Post-Doctoral Researcher (helloje2@hanyang.ac.kr)
- Baesung Lee Department of Civil and Environmental System Engineering, Hanyang University / Graduate Student (ce407@daum.net)
- Tae-Woong Kim Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University (ERICA) / Professor (twkim72@hanyang.ac.kr)

data to prepare policies to respond to climate change.

Key words : Precipitation, Season, Climate Change, Solar Term, Representative Concentration Pathways Scenarios

1. 서 론

우리나라는 중위도에 위치하여 대륙과 해양의 영향을 받아 계절의 변화가 뚜렷하지만, 지구온난화로 인한 기후변화의 영향으로 계절이 변해가고 있다(Gu and Kim, 2007). 기후변화는 일반적으로 기후계가 자연적 요인과 인위적 요인에 의하여 점차 변화하는 것을 의미하지만, 최근에는 인간의 활동에 의한 온실가스 증가가 일으키는 기후특성의 평균적인 변화를 말한다.

기후변화로 인해 가장 눈에 두드러지는 현상은 기후를 표현하는 계절 및 절기의 특성 변화이다. 전국적으로 여름 시작일이 빨라지고 여름 길어도 길어지고 있으며, 겨울의 기온은 다른 계절보다 훨씬 빠르게 상승하고 있다. 이와 같이 기후변화로 인한 계절과 절기의 변화는 농업, 산업, 일상생활 등에 많은 영향을 미친다. 최근에 우리나라의 자연 생태계에서는 이상기후로 인하여 다양한 현상이 발생하고 있다. 지구온난화에 따른 과일의 주산지를 1970~2015년까지의 농림어업 총조사 자료로 평가한 결과, 사과, 복숭아 등의 과실의 재배지가 이동하고 기온 상승으로 작물의 개화 시기가 빨라지고 있다. 현재 추세대로 온실가스를 배출하는 경우 사과, 배 등의 재배 적지는 점차 북상하다가 21세기 후반부터 급격히 감소할 것으로 전망되고 있다(Korea Statistics, 2018). 산림의 경우, 나무에서 잎과 꽃이 나오는 시기가 앞당겨지고 있다. 또한 이상기후로 인해 산림재해가 많이 발생하고, 기온 상승으로 아열대성 병해충의 발생이 증가하고 있으며, 앞으로도 그 빈도도 계속 증가할 것으로 예상되고 있다(Korea Forest Service, 2009). 해양의 경우, 어종이 달라지거나 어획량도 변화하고 있다(Kwon et al., 2007).

기후변화로 인한 계절의 시작일 및 길이의 변화 또는 강수량의 변화 등에 대한 분석은 여러 연구에서 수행된 바 있다(Lee, 1979; Chung and Yoon, 2000; Choi and Kwon, 2001; Yoo and Kang, 2002; Choi and Kwon, 2006; Kwon et al., 2007; Song et al., 2020). Lee (1979)는 30년 일 평균기온을 중심으로 일 최저기온 및 일 최고기온과 강수량의 특성을 고려하여 우리나라의 계절을 처음으로 구분하였다. Chung and Yoon (2000)에 의하면, 1974~1997년 동안 연간 평균기온이 약 0.96° C 증가하였으며, 1906~1997년 동안 연간 강수량이 증가하여 92년 기간 동안 182mm가 증가하였다. Choi and Kwon (2001)는 80년 이상 장기간 관측이 이루어진 우리나라 6개의 관측소(강릉, 서울, 인천, 대구, 전주, 부산)의 일 최고기온 등 기온 극값의 시계열에 나타난 추세를 파악하고, 자연 계절의 시작과 종료 시기를 분석하였다. 그 결과, 80년간(1920~1999) 겨울철 시작일이 늦어지고 종료일이 빨라져서 겨울의 길이가 22~49일 짧아졌고 봄이

나 여름의 경우 계절길이가 길어졌다. Yoo and Kang (2002)은 1909년부터 2000년까지 서울과 부산의 5일 평균기온 자료에서 나타나는 계절 전이와 관련된 특성을 파악하고, 계절 변화의 기후적 경향을 분석한 결과를 바탕으로 도시지역에서의 계절 전이가 있었다는 것을 보여주었다. Choi and Kwon (2006)은 61개 관측지점 자료를 바탕으로 사계절을 구분하고, 우리나라의 사계절의 개시일과 각 계절의 길이에 대한 공간적인 분포를 분석하였다. 1988년 이후로 평균적으로 겨울철 개시일이 4일 늦어지고 봄철 개시일이 6일 빨라져 겨울철 길이가 10일 줄어들었다. Kwon et al.(2007)은 67개 관측지점으로 확대하여 관측자료에 의한 현재의 계절 시작일 및 길이의 공간 분포 특성을 파악하였다. 그 결과, 겨울 길이는 모든 지역에서 감소하였다. 특히 위도가 낮을수록 겨울 길이가 짧아져서 중부지방에 비해 남부지방은 약 두 배 정도 짧아지는 추세였다. 하지만 여름 길이는 모든 지역에서 증가하였다. Song et al.(2020)은 17개 광역시·도별 미래 시나리오 전망자료(RCP 2.6 및 RCP 8.5)를 이용하여 기상청 기준(지속기간 10일)을 이용하여 계절길이 변화를 파악하였다. 전반적으로 다수의 광역시·도에서 봄과 여름의 계절 길이가 길어졌으며, 가을과 겨울의 계절 길이가 짧아졌다.

이와 같이 선행연구에서는 과거부터 현재까지 온도자료를 이용하여 사계절의 시작일 및 계절 길이를 중심으로 계절의 특성을 파악하고 공간 분포 변화를 분석하였다. 하지만 미래 기후변화 시나리오를 이용하여 미래의 계절의 시작일과 길이를 분석한 연구는 충분하지 않다. 이에 따라 우리 일상과 밀접하게 관련되는 계절의 과거부터 미래의 특성 변화를 파악하여 미래 기후변화에 대비할 필요성이 있다.

기후변화로 인해 기온이 점차 상승되면서, 자연계절과 일치하지 않지만 우리나라 고유의 산업 및 문화양식과 밀접하게 관련되어 있는 절기도 달라지고 있다. 우리나라는 각 계절당 여섯 개씩 24절기를 가지고 있다. 각 절기마다 다양한 특성이 존재하며, 우리나라는 절기의 특성을 고려하여 계절과 날씨를 대략적으로 예측한다. 또한 농업용수의 사용이 많은 우리나라에서 절기는 매우 중요하다. 농업용수는 강수나 하천수를 이용하고 있으며, 농업용수의 사용주기는 절기에 영향을 많이 받고 있다(Park, 2018). 하지만 기후변화에 따라 과거에 비해 절기의 특성을 잃어가고 있다.

Jin and Park (2015)은 전국 61개 관측소의 기온 자료를 이용하여 각 절기별 기온 변화 패턴을 파악하고 실제 기상 현상과의 부합도를 분석하였다. 그 결과, 대부분 관측소에서 각 절기에 해당하는 기상 현상은 실제 절기의 날짜와 상이하게 나타났다. Park and Lee (2019)가 최근 40년 동안 나타난 절기별 기온 변화를 분석한 결과, 18개 절기의 기온이 상승하였으며, 계절적으로는 가을과 겨울철을 중심으로 상승하였다.

위와 같은 연구들은 계절을 중심으로 분석하고 있으며, 미래 기후변화 시나리오를 이용한 절기에 대한 분석은 충분하지 않다. 우리나라 기후 특성과 변화를 이해하거나, 일상생활에 미치는 기후 관련 논의과정에서 절기 기준의 기온 변화 분석은 매우 유용한 수단이 될 수 있다. 또한 기상청에서는 6개(강릉, 서울, 인천, 대구, 전주, 부산) 지점을 대상으로 우리나라 과거(1912~2020년) 기온 및 강수량에 대한 기후변화 추세분석 결과를 발표하였다. 하지만, 기후변화로 인해 이상기후나 집중호우 등으로 인한 막대한 피해에 대비하기 위해서 과거부터 미래까지 전국을 대상으로 시공간적으로 유의미한 차이가 있는지에 대한 분석이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 1974~2099년의 계절 및 절기에 따른 수문기상학적 특성인 기온과 강수량을 기상청에서 제시한 기준에 따라 분석하고, 분석 결과의 통계적 유의성을 확인하였다. 또한 기후변화가 진행됨에 따라 전국적으로 계절과 절기의 기온과 강수량의 특성을 분석하였다. 즉, 전국에 대해 관측자료 및 기후변화 시나리오의 일 평균 온도 및 강수량 자료를 활용하여 과거, 현재 및 미래에 대한 계절 및 절기의 수문기상학적 특성 변화를 분석하였다. 계절의 경우 여름과 겨울을 중심으로, 절기의 경우 대서 및 대한을 중심으로 과거 및 미래의 계절길이, 계절시작일, 온도와 강수량 변화를 분석하였다.

2. 연구지역 및 자료

2.1 연구지역

우리나라는 일반적으로 여름에는 남쪽의 북태평양 기단의 영향으로 기온이 높고 강수량은 연평균 강수량의 약 70%를 차지한다. 겨울에는 북쪽의 시베리아 기단의 영향을 받아 매우 건조하고 기온이 낮다. 본 연구의 목적은 전국의 계절 및 절기를 구분하고 계절별 발생 시기 및 발생 일수와 절기의 특성 변화를 파악하는 것이다. 연구지역은 우리나라를 수도권(서울특별시, 인천광역시, 경기도), 경상권(경상북도, 경상남도, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시), 충청권(충청북도, 충청남도, 세종특별자치시), 전라권(전라북도, 전라남도, 광주광역시), 강원권 등 총 5개 권역으로 구분하였다. 제주도는 계절 기준에 따라 분석할 때 결측치가 많기 때문에 제외하였다. 권역 내 지점의 기온과 강수량의 차이가 크지 않기 때문에 개별 지점의 분석보다는 권역별 분석을 수행하였다.

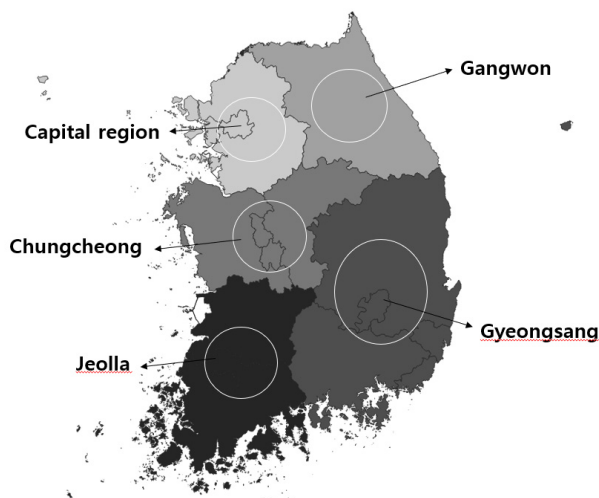


Fig. 1. Study area

도, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시), 충청권(충청북도, 충청남도, 세종특별자치시), 전라권(전라북도, 전라남도, 광주광역시), 강원권 등 총 5개 권역으로 구분하였다. 제주도는 계절 기준에 따라 분석할 때 결측치가 많기 때문에 제외하였다. 권역 내 지점의 기온과 강수량의 차이가 크지 않기 때문에 개별 지점의 분석보다는 권역별 분석을 수행하였다.

2.2 연구자료

본 연구에서는 과거의 특성을 분석하기 위해 1974~2020년까지의 기상청 관측소 자료인 일 평균 온도 및 강수량 자료를 사용하였으며, 미래의 특성을 분석하기 위해 기상청에서 제공하는 RCP 4.5 및 8.5 시나리오에 대한 HadGEM3-RA 모델의 일 평균 온도 및 강수량 자료(2021~2099년)를 사용하였다. 기후변화 시나리오는 기후변화로 인한 영향을 평가하고 피해를 최소화하는데 활용할 수 있는 선제적인 정보로 활용되며, 지역별 상세 기후변화 전망은 지자체별 기후변화 대응과 적응대책 수립을 위한 필수적인 정보이다. 이는 온실가스, 에어로졸의 변화 등 인위적인 원인에 따른 기후변화를 전망하기 위해서 미래 온실가스 농도와 기후변화 수치모델을 이용하여 계산한 미래 기후(기온, 강수, 습도, 바람 등) 전망 정보이다(KMA, 2018). 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 2013년에 발간된 5차 평가보고서에 대표농도경로(RCP) 온실가스 시나리오를 도입하였다. RCP 시나리오는 기후변화 대응정책과 연계하여 Table 1과 같이 4개(2.6/4.5/6.0/8.5)로 구성되어 있으며, 각 숫자는 2100년에 가정한 안정화되는 복사강제력(W/m^2)을 나타낸다(Baek et al., 2011). 또한 국립기상과학원은 IPCC 6차 평가보고서에 대응하고 국내 기후변화 정책 지원을 위해 기존 RCP에 공통사회경제 경로(Shared Socioeconomic Pathway, SSP)를 반영한 새로운 국가 기후변화 표준 시나리오를 산출하였다. SSP는 사회경제 변화를 기준으로 기후변화에 대한 완화와 노력에 따라 5개의 미래 시나리오로 구성되어 있다(Shim et al., 2021). RCP 시나리오는 순수하게 온실가스의 영향에 대한 기후변화 시나리오이며, SSP 시나리오는 RCP 시나리오를 배경으로 사회, 경제 전반을 고려한 기후변화 시나리오이다. 본 연구에서는 온전히 온실가스 영향에 따라 기온 및 강수량에 대한 기상의 변화가 계절과 절기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 RCP 시나리오를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 RCP 4.5 시나리오는 2100년 후에 약 $4.5W/m^2$ 에서 안정화되는 저농도 시나리오로서 온실가스 저감 정책이 상당히 실현된다고 가정하는 배출 시나리오이다. RCP 8.5 시나리오는 2100년에 복사강제력이 $8.5W/m^2$ 를 초과하는 고농도 시나리오로서 온실가스 저감없이 현재 추세로 배출되는 경우이다(Park et al., 2013).

국립기상연구소는 영국 기상청 해들리 센터의 전지구 대기-해양 결합모델인 HadGEM2-AO(coupled Atmosphere-Ocean model of Hadley Centre Global Environmental Model version 2)에 인위적 기후변화 강제력을 적용하여 분해능

Table 1. Overview of RCP scenarios

Type	Definition	CO ₂ Concentration in 2100
RCP 2.6	Carbon dioxide emissions start declining by 2020 and go to zero by 2100	420 ppm
RCP 4.5	Carbon dioxide emissions start declining by approximately 2045 to reach roughly half of the levels of 2050 by 2100	540 ppm
RCP 6.0	Carbon dioxide emissions peak around 2080, then decline	670 ppm
RCP 8.5	Carbon dioxide emissions continue to rise throughout the 21st century	940 ppm

Table 2. Meanings of seasons

Season	Meaning
Spring	The first day when the average daily temperature rises above 5 degrees and never drops again
Summer	The first day when the average daily temperature rises above 20 degrees and never drops again
Autumn	The first day when the average daily temperature falls below 20 degrees and then never falls again
Winter	The first day when the average daily temperature falls below 5 degrees and then never falls again

135 km인 전지구 기후변화 시나리오 자료를 생산하였고, HadGEM2-AO에 기초한 지역기후모델인 HadGEM3-RA (Atmospheric Regional climate model of HadGEM3)를 이용한 역학적 상세화로 분해능 12.5 km인 한반도 기후변화 시나리오 자료를 생산하였다(Park et al., 2013).

또한 과거부터 미래까지 변화의 경향을 쉽게 파악하기 위해 과거를 기준기간으로, 미래를 전망기간으로 설정하였다. 기준기간의 경우 과거 30년(1974~2003년) 및 신기후평년(1991~2020년), 전망기간의 경우 전반기(2021~2045년), 중반기(2046~2070년) 및 후반기(2071~2099년)로 나누었다. 기후통계지침(KMA, 2021)에 따르면 전국적인 평균은 1973년 이후 기상청의 관측지점 수가 급증하여 안정적으로 연속 관측이 가능하였다. 이에 과거 분석의 경우, 1974년 이후의 자료를 활용하였으며, 과거와 신기후평년을 각각 30년으로 맞추다 보니 약 13년의 기간이 겹치게 되었다.

본 연구에서는 우리나라를 권역마다 계절 및 절기의 격차를 파악하기 위해 5개의 권역으로 하여 관측자료에 의한 과거와 현재의 계절 시작일 및 계절 길이, 강수량, 절기의 특성을 파악하고 RCP 시나리오에 따라 생산된 2099년까지의 자료를 이용하여 과거, 현재, 미래를 비교함으로써 계절 및 절기의 수문기상학적 특성을 전망하였다.

3. 연구방법

본 연구에서는 과거 관측자료 및 미래 기후변화 시나리오의 일 평균 온도 및 강수량 자료에 대하여, 지역과 분석 기간이 계절 길이, 강수량, 절기의 기온에 서로 영향이 있는지 파악하기 위해 이원분산분석을 활용하여 통계학적 유의성을 확인하였다.

3.1 계절 및 절기의 정의

표준국어대사전에 따르면 계절은 규칙적으로 되풀이되는 자연 현상에 따라서 일 년을 구분하는 것이다. 일반적으로 온

대 지방은 기온의 차이를 기준으로 하여 봄, 여름, 가을, 겨울의 네 계절로 나누고, 열대지방에서는 강우량을 기준으로 하여 건기와 우기로 나눈다. 한국민족문화대백과에서는 계절을 분류하는 방법으로 천문학적, 생물학적 및 기후학적 방법이 있다. 천문학적 방법은 태양의 위치에 따라 계절을 구분하여 봄은 춘분점에서 하지점까지, 여름은 하지점에서 추분점까지, 가을은 추분점에서 동지점까지, 겨울은 동지점에서 춘분점까지로 나눌 수 있다. 생물학적 방법은 동물의 활동으로 계절을 구분하거나 식물의 발아, 개화, 낙엽 등 경관상으로 구분한다. 기상청에서는 제비, 기러기, 뱀, 개구리, 나비, 매미 등의 동물을 지정하여 동물계절을 관측하거나, 민들레, 백합, 국화, 매화, 개나리, 벚꽃, 복숭아꽃 등의 식물로 식물계절을 관측한다. 기후학적 방법은 기온, 일사, 강수량, 바람, 기압, 기단 등을 기준으로 구분하는 것이다. 이는 일 평균기온, 일 최고 및 최저기온, 강수량 중 각 계절의 특성을 선별하여 계절의 경계를 설정한다. 본 연구에서는 기상청에서 제시하는 기후학적인 방법(Table 2)을 이용하여 계절을 구분하였다.

기상청은 인천, 부산, 목포, 서울, 대구, 강릉 등 6곳에서 100년 이상의 일 평균기온을 이용하여 과거(1912~1940년)와 최근(1991~2020년)의 계절길이를 비교하였다. 과거에는 겨울이 109일로 길었고, 여름은 98일, 봄은 85일, 가을은 73일이었다. 하지만 최근에는 여름은 118일로 가장 길고, 봄은 91일, 겨울은 87일, 가을은 69일이었다. 즉, 여름이 20일 길어지고 겨울은 22일 짧아진 것이다(NIMS, 2021). 본 연구에서는 기상청에서 관측한 6곳을 포함하여 우리나라 전체에 대한 특성 분석을 위하여 5개의 권역으로 구분하여 분석하였다. 또한, 기상청에서 제시한 기준을 통해 산정된 계절 중 기후변화의 영향이 심한 여름과 겨울을 중점적으로 분석하였다. 여름은 일 평균기온이 20℃ 이상 올라간 후 다시 떨어지지 않는 첫날, 겨울은 일 평균기온이 5℃ 미만으로 떨어진 후 다시 올라가지 않는 첫날로 산정하였다. 여름과 겨울을 중심으로 과거 및 미래의 계절 길이 및 계절 시작일을 분석하였다. 또한 앞서 분석한 여름 길이에 해당하는 강수량을 총합하

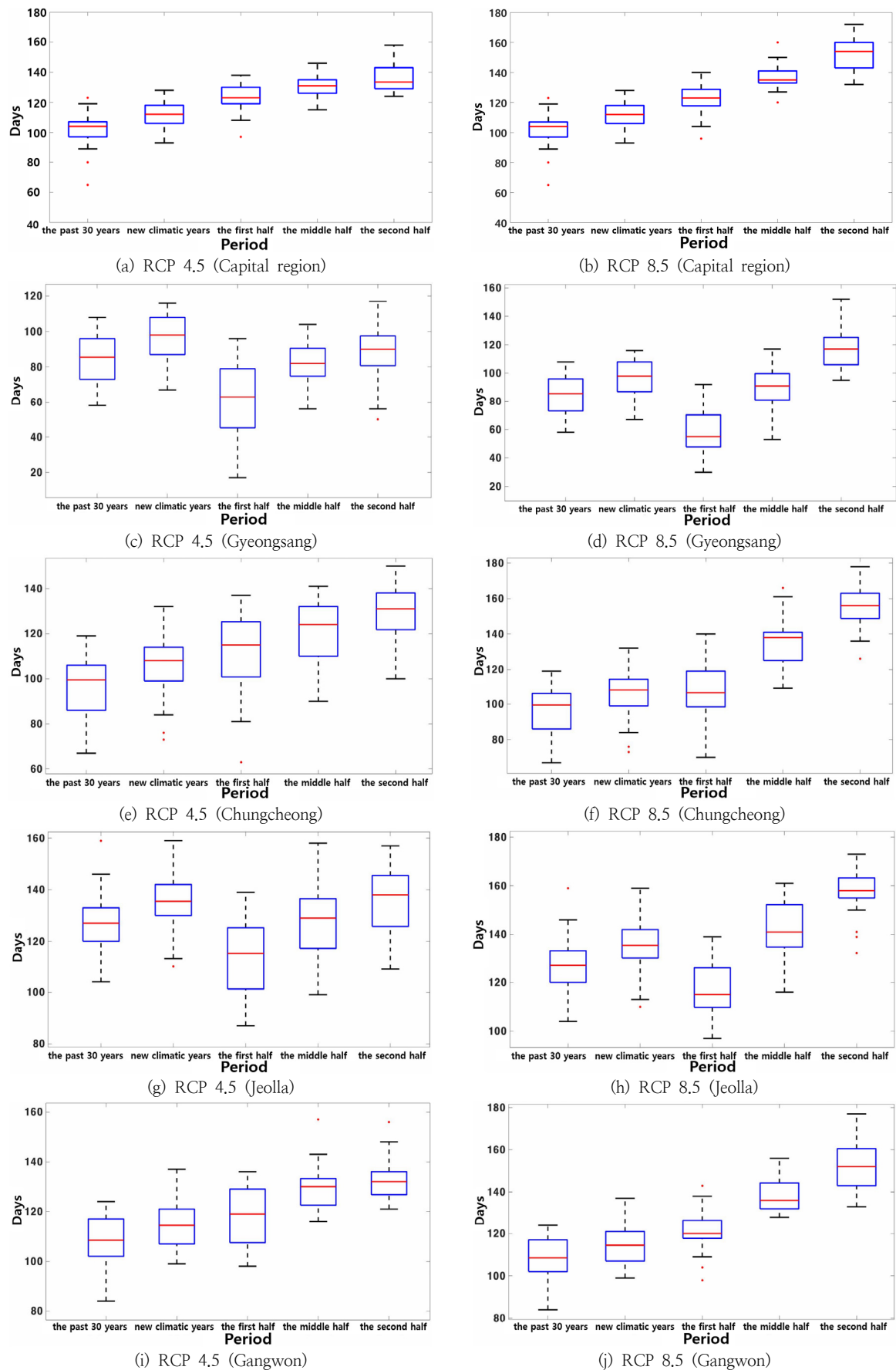


Fig. 2. Analysis of summer length (days)

Table 3. Meanings of 24 solar terms

Season	Name of Solar term	Date	Season	Name of Solar term	Date
Spring	Start of spring	2/3~4	Autumn	Start of autumn	8/7~8
	Rain water	2/18~19		Limit of heat	8/23~24
	Awakening of insects	3/5~6		White dew	9/7~8
	Vernal Equinox	3/20~21		Autumnal equinox	9/22~23
	Clear and bright	4/4~5		Cold dew	10/8~9
	Grain rain	4/21~21		Frost descent	10/23~24
Summer	Start of summer	5/5~6	Winter	Start of winter	11/7~8
	Growing grain	5/20~21		Minor snow	11/22~23
	Awning grain	6/5~6		Major snow	12/7~8
	Summer Solstice	6/21~22		Winter Solstice	12/21~22
	Minor heat	7/7~8		Minor cold	1/5~6
	Major heat	7/22~23		Major cold	1/21~21

Table 4. Calculations of two-way ANOVA

Factor	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean squares	F ratio
Independent variable 1 (A)	$SSA = nb \sum_{i=1}^a (\bar{y}_i - \bar{y})^2$	$a - 1$	$MSA = SSA / (a - 1)$	$F_A = MSA / MSE$
Independent variable 2 (B)	$SSB = na \sum_{j=1}^b (\bar{y}_j - \bar{y})^2$	$b - 1$	$MSB = SSB / (b - 1)$	$F_B = MSB / MSE$
Error (E)	$SSE = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2$	$ab(n - 1)$	$MSE = SSE / ab(n - 1)$	

여 여름 강수량의 변화를 분석하였다.

절기는 연중 태양이 움직이는 궤적인 천구의 황도상에서 춘분점을 기준으로 15°C 간격으로 24등분하여 태양이 각 등분점을 지나는 시점으로, 우리나라는 각 계절당 여섯 개씩 24절기를 가지고 있다(Park and Lee, 2019). 각 절기에 대한 기준일은 Table 3과 같이 기상청에서 제시하고 있다. 본 연구에서는 24절기 중에서 가장 더운 절기인 대서(major heat), 가장 추운 절기인 대한(major cold)의 특성을 분석하였다. 즉 분석대상 절기별로 과거와 기후변화 시나리오에 따른 미래의 기온 및 강수량의 변화를 비교하였다.

계절과 절기를 분류하는 기준에서 장기간의 자료를 분석하는데 많이 이용되는 이동평균 방법을 사용하였다. 이동평균 방법은 수치의 변화를 관찰하고 분석하는데 있어서 단기 변동을 평준화하고 장기동향을 파악하는데 적절하다. 이 방법을 통해 기상청 기준에 따라 계절의 경우 9일 이동평균을 적용하고, 절기의 경우 5일 이동평균을 적용하였다.

3.2 이원분산분석을 활용한 통계분석

본 연구에서는 계절 길이, 기온 및 강수량의 변화가 통계적으로 유의한 지를 확인하기 위해서 이원분산분석(two-way ANOVA)을 수행하였다. 기존 연구의 경우, Yoo and Kang (2002)은 5일 평균기온의 변화의 신뢰도를 검증하기 위해 T-test를 수행하였다. 이는 이전 5일 평균기온과 그 시점의 5일 평균기온 값에 차이가 있는지 검증하는 방법이다. Choi

and Kwon (2006)은 1988년 이전과 이후의 변수 평균들의 차이에 대한 유의성을 검증하기 위해 Mann-Whitney U검정을 이용하였다. T-test는 두 집단의 자료가 정규성을 만족하고 요인이 1개일 때 서로 독립된 두 집단간의 평균이 서로 차이가 있는지를 확인하기 위한 검정방법이며, Mann-Whitney U검정은 두 집단의 자료가 정규성을 만족하지 않거나 집단의 자료가 작을 때 두 집단의 차이를 분석하는 방법이다. 이원분산분석은 T-test와 비슷하지만, 요인이 2개라는 차이가 있다. 또한 이원분산분석은 상호작용효과를 고려하는 것이 가능하지만, Mann-Whitney U검정은 상호작용효과를 고려하는 것이 불가능하다. 상호작용효과는 한 독립변수가 '다른 독립변수가 종속변수에 미치는 영향'에 영향을 미치는 것을 의미한다. 본 연구에서의 요인은 지역과 기간이며, 이 요인들이 계절 길이, 강수량 및 절기의 기온에 상호작용영향을 받는지 파악하기 위해 이원분산분석을 진행하였다. 이원분산분석은 집단을 구분하는 독립변수가 두 개일 때 모집단 간 평균의 동일성을 검정하는 것을 의미한다. 여기서 독립변수(independent variable)는 다른 변수에 영향을 받지 않는 변수이며, 종속변수(dependent variable)는 의존적인 변수로서 독립변수에 따라 변화하는 변수이다. 귀무가설(null hypothesis)은 모집단의 특성에 대해 옳다고 제안하는 잠정적인 가설이며, 대립가설(alternative hypothesis)은 귀무가설이 거짓일 때 대안적으로 참이 되는 가설이다.

따라서 독립변수의 평균에서 차이가 존재하면 통계적으로

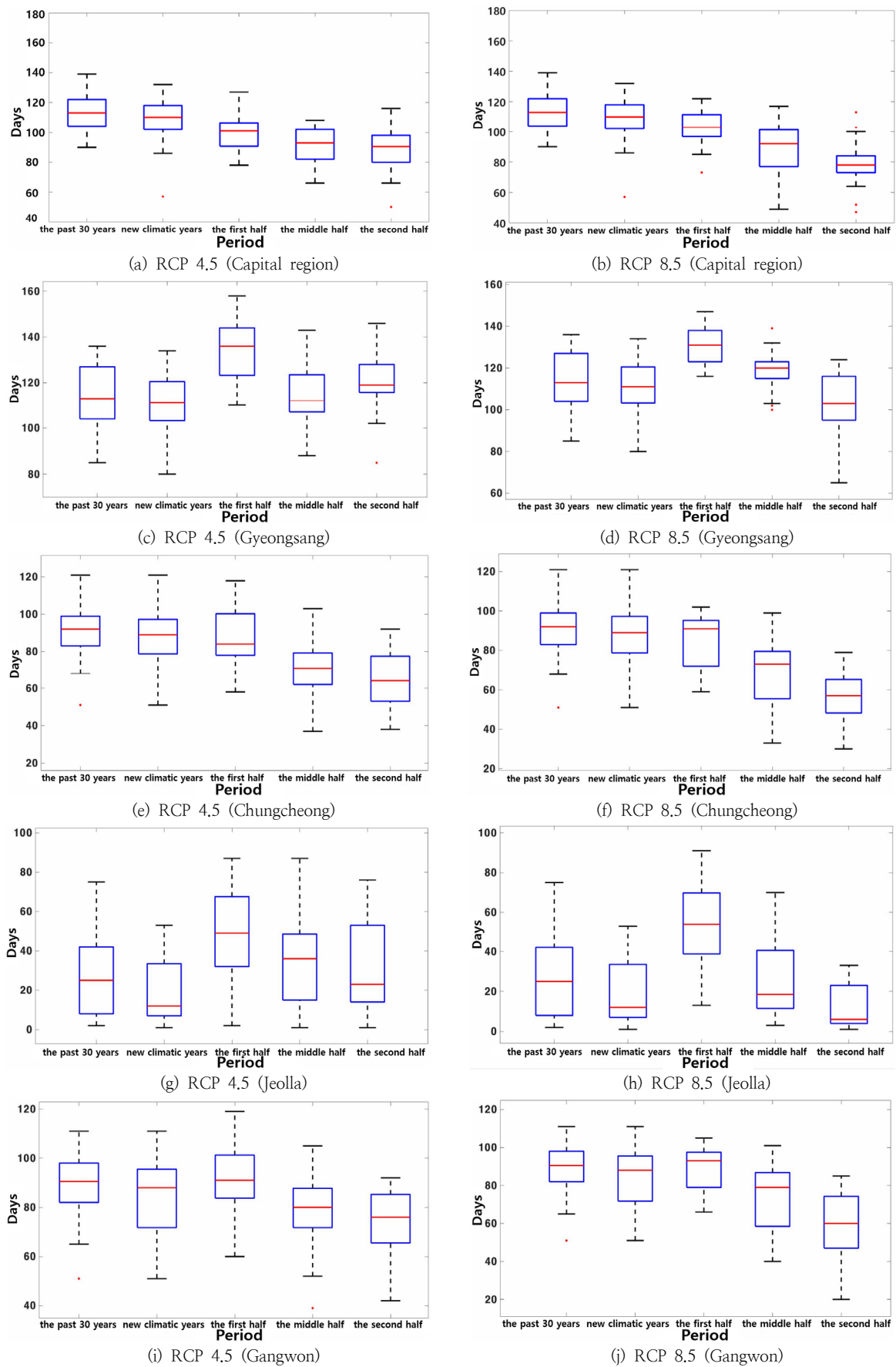


Fig. 3. Analysis of winter length (days)

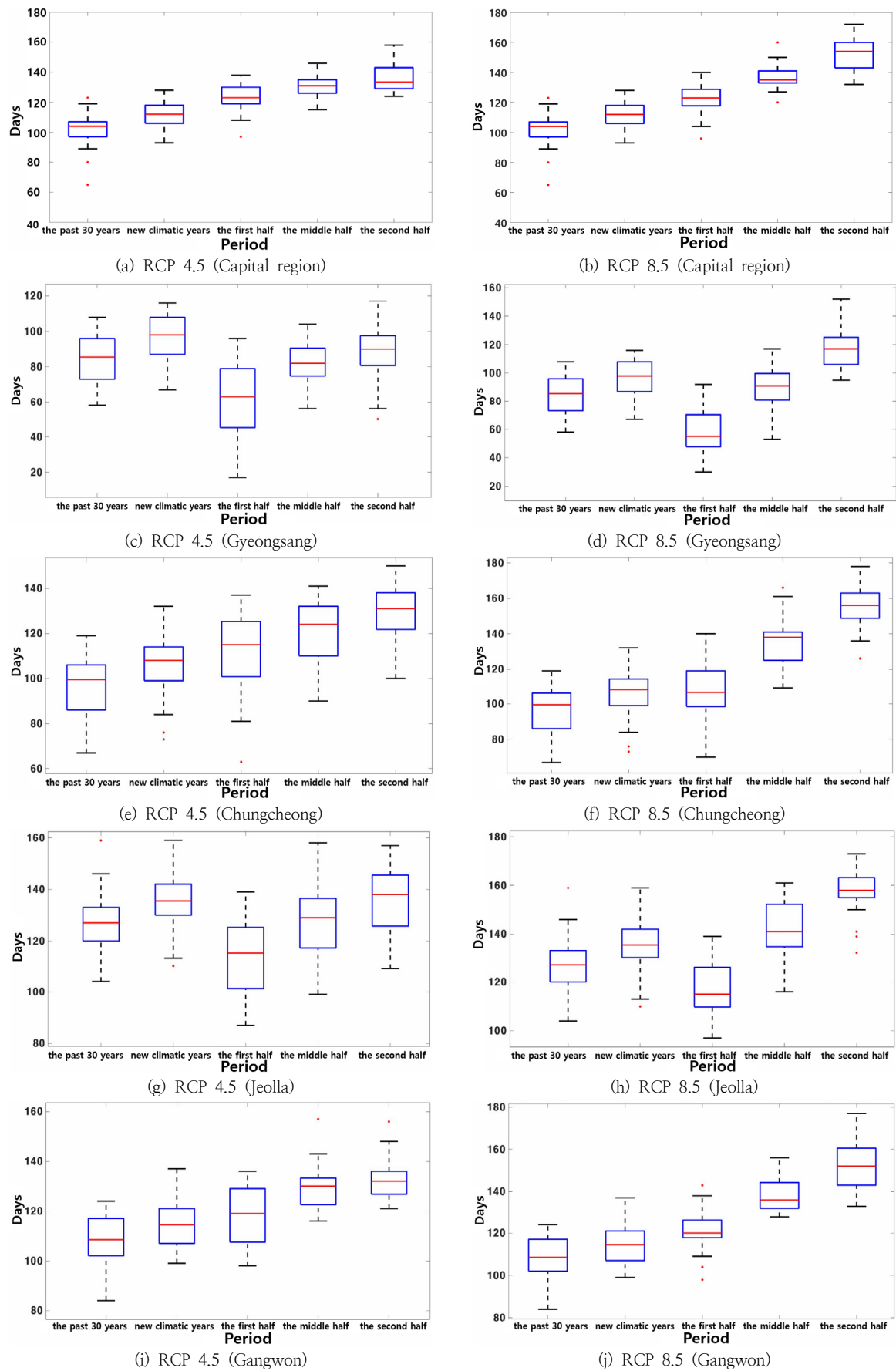


Fig. 2. Analysis of summer length (days)

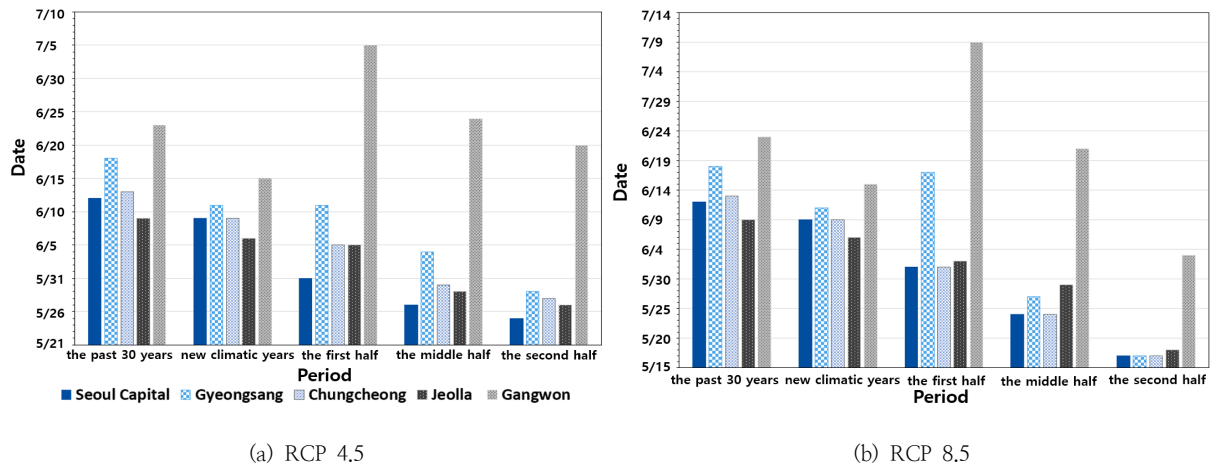


Fig. 4. Analysis of summer onset

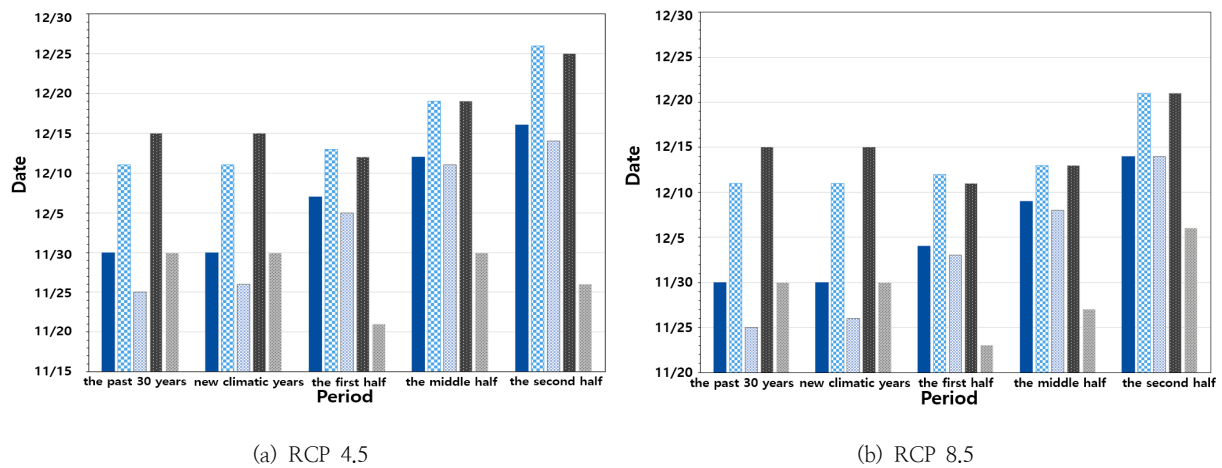


Fig. 5. Analysis of winter onset

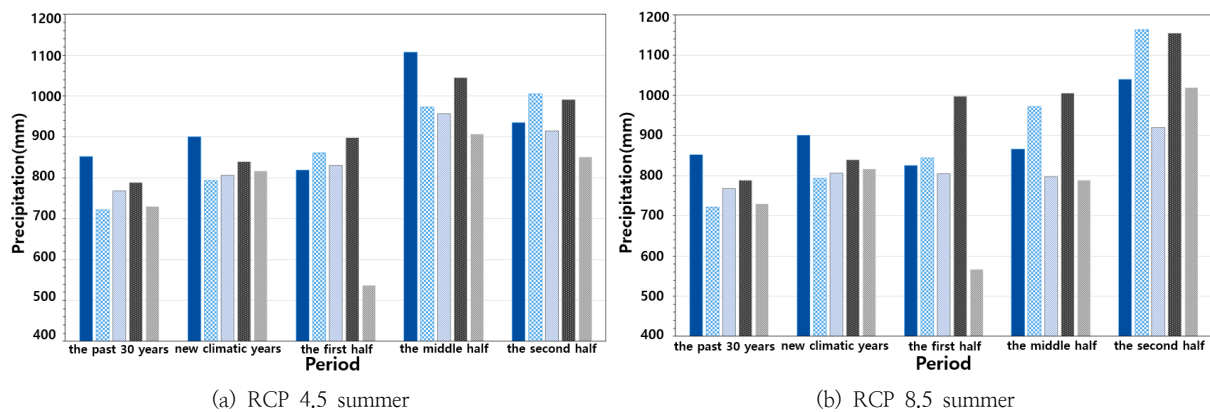


Fig. 6. Analysis of summer precipitation

유의하여 독립변수가 종속변수에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 독립변수를 지역과 기간(전반기, 중반기, 후반기)으로, 종속변수는 계절 길이와 기온으로 설정하였다. 계절의 경우 연구가설은 '지역에 대한 계절 길이는 기간에 따라 다를 것이다.'이며, 귀무가설을 '지역과 기간에 따라 계절 길이에 차이가 없다.', 대립가설은 '지역과 기간에 따라

계절 길이에 차이가 있다.'로 설정하였다. 절기의 경우 연구가설은 '지역에 대한 기온은 기간에 따라 다를 것이다.'이며, 귀무가설은 '지역과 기간에 따라 기온에 차이가 없다', 대립가설은 '지역과 기간에 따라 기온에 차이가 있다'로 설정하였다. 이원분산분석의 결과가 유의한 지를 확인하기 위해서 F 비의 값이 필요한데 이는 Table 4와 같이 구할 수 있다.

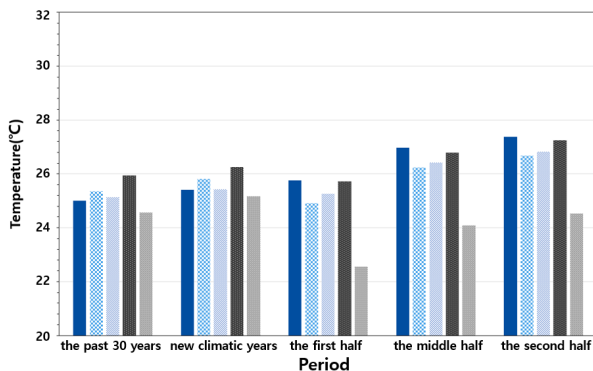
여기서, 유의수준 0.05일 때 대응하는 F값을 F기각치라 하며 $F_{비}/F_{기각치}$ (F ratio/F rejection value)가 1보다 크거나 p값이 0.05보다 작으면 귀무가설을 기각시킨다.

4. 연구결과

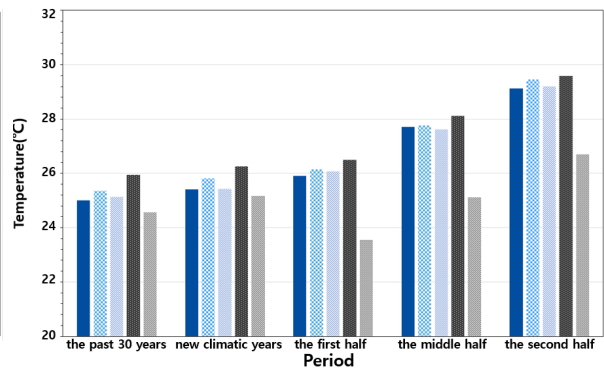
4.1 계절분석

계절 분석을 위해서 1974~2099년의 9일 이동평균된 기온 자료를 이용하여 기상청에서 제시한 기준에 따라 분석을 수행하였다. 분석결과는 상자그림(boxplot)을 이용하였다. 상자그림은 많은 자료를 눈으로 확인하기 어려울 때 자료의 분포 형태를 쉽게 확인할 수 있다. Fig. 2-3은 x축을 기간별로 과거 30년, 신기후평년, 미래의 전반기, 중반기, 후반기로 설정하였고 y축은 각 기간별로 여름과 겨울의 계절 길이를 boxplot으로 표시하였다. boxplot에서 상자 가운데 그려진 선은 중앙값을 나타낸다. 계절은 과거에 비해 여름의 길이는 늘어나고 겨울의 길이는 짧아지는 것을 확인할 수 있었고, 경상권과 전라권을 제외한 전 지역에서 계절 길이의 양상이 비슷한 모습을 보이는 것으로 나타났다. 경상권과 전라권의 경우 전반기와 중반기에는 과거보다 길이가 여름에는 감소하거

나 겨울에는 증가하다가 후반기에는 과거보다 여름의 길이는 증가하고 겨울의 길이는 짧아지는 것을 볼 수 있다. 이는 경상권과 전라권의 기초자료에서 전반적으로 신기후평년이 기후변화 시나리오의 전반기와 중반기보다 기온이 높았다. 여름의 경우, 신기후평년이 기후변화 시나리오의 전반기와 중반기보다 평균기온이 20도 이상인 날이 많았으며, 겨울의 경우 신기후평년이 기후변화 시나리오의 전반기와 중반기보다 5도 이하인 날이 적었다. 또한 RCP 4.5일 때에 비해 RCP 8.5는 여름 길이의 상승폭과 겨울 길이의 하락폭이 큰 것으로 나타났다. RCP 8.5에서 과거와 미래 후반기 여름 길이 차이의 경우, 수도권, 경상권, 충청권, 전라권, 강원권 순으로 49일, 25일, 52일, 27일, 41일로 나타났으며, 충청권에서 여름 길이가 가장 많이 늘어난 것을 확인할 수 있다. RCP 8.5일 때 과거와 미래 후반기 겨울 길이 차이의 경우, 수도권, 경상권, 충청권, 전라권, 강원권 순으로 31일, 9일, 34일, 6일, 30일이었으며, 충청권에서 겨울 길이가 가장 많이 줄어든 것으로 나타났다. 계절 길이를 분석한 결과, 모든 지역에서 겨울 지속 기간은 감소하였으며, 여름 지속 기간은 증가하였다(Choi and Kwon, 2001; Choi and Kwon, 2006; Kwon et al., 2007; Yoo and Kang, 2002).

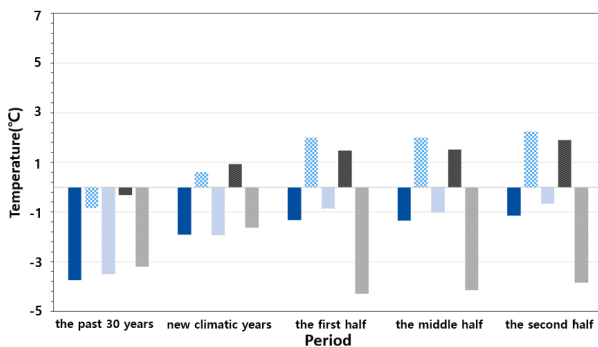


(a) RCP 4.5 major heat

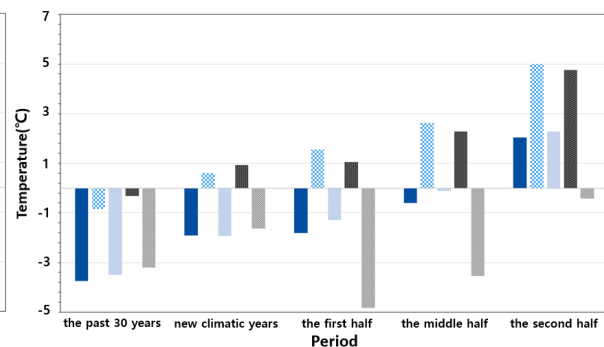


(b) RCP 8.5 major heat

Fig. 7. Analysis of solar term (major heat)



(a) RCP 4.5 major cold



(b) RCP 8.5 major cold

Fig. 8. Analysis of solar term (major cold)

계절 시작일 분석을 위해서는 계절 길이 분석방법과 마찬가지로 기상청 기준에 따라 분석하였다. 수도권의 여름 시작일은 과거 30년과 신기후평년에서 평균적으로 6월 9일에 시작하였으며, 겨울의 시작일은 평균적으로 11월 29일에 시작하였다. RCP 8.5 시나리오의 경우 수도권의 여름 시작일은 전반기, 중반기, 후반기 순으로 6월 1일, 5월 24일, 5월 17일이고, 겨울의 시작일은 12월 4일, 12월 9일, 12월 14일이다. RCP 4.5 시나리오의 경우 수도권의 여름은 5월 31일, 5월 27일, 5월 25일에 시작하였으며, 겨울의 시작일은 12월 7일, 12월 12일, 12월 16일이다. 이를 보면 RCP 4.5 또는 RCP 8.5에서는 과거보다 여름의 시작일이 빨라지고 겨울의 시작일은 점점 느려지는 현상을 볼 수 있다. 또한 RCP 8.5 시나리오가 RCP 4.5 시나리오보다 비교적 여름 시작일이 더 빠르고 겨울 시작일이 느린 것을 확인할 수 있다.

여름철 강수량 분석을 위해서 지역마다 각각 여름 길이에 해당하는 여름철 강수량을 산정하였다. Fig. 6을 보면 신기후평년은 과거 30년에 비해 강수량이 증가하였고, 미래에는 전반기에 과거에 비해 감소하다가 장기적으로 증가하는 것을

확인할 수 있다. RCP 8.5 시나리오의 경우 과거에 비해 강수량이 36.6% 증가하였으며, RCP 4.5 시나리오의 경우 과거에 비해 20.4% 증가하였다. 또한 RCP 8.5 시나리오의 경우 강수량의 증가량은 남부지역인 경상권, 전라권에서 42% 이상으로 나타났으며, RCP 4.5 시나리오의 경우 22% 이상으로 나타났다.

4.2 절기분석

절기 분석을 위해서 1974~2099년의 5일 이동평균된 기온 자료를 이용하여 기상청에서 제시한 각 절기의 날짜에 따라 분석하였다. 절기는 과거 30년 기온보다 신기후평년 기온이 0.3~1.8℃ 상승하였다. 특히, Fig. 7-8을 보면 겨울의 절기를 표현하는 대한에서 영상의 기온을, 여름의 절기를 표현하는 대에서 과거에 비해 미래에는 기온이 증가하는 것으로 나타났다. 또한, RCP 8.5일 때 절기의 기온은 RCP 4.5일 때에 비해 상승폭이 큰 것으로 나타났다. 상승폭이 제일 큰 RCP 8.5에서의 대에 대한 과거와 미래 후반기 기온 차이의 경우, 수도권, 경상권, 충청권, 전라권, 강원권 순으로

Table 5. ANOVA results for season length

Season	Scenario	Variable Factor	p-value	F ratio/ F rejection value	Null hypothesis result
Summer	RCP 4.5	period	1.46.E-03	2.31	rejection
		region	1.99E-06	5.96	rejection
	RCP 8.5	period	2.29E-07	8.31	rejection
		region	3.06E-06	5.64	rejection
Winter	RCP 4.5	period	2.30.E-02	1.25	rejection
		region	4.19.E-11	20.81	rejection
	RCP 8.5	period	3.26E-05	4.30	rejection
		region	7.64E-12	24.98	rejection

Table 6. ANOVA results for precipitation

Season	Scenario	Variable Factor	p-value	F ratio/ F rejection value	Null hypothesis result
Summer	RCP 4.5	period	1.26.E-05	4.92	rejection
		region	5.56.E-07	7.01	rejection
	RCP 8.5	period	1.60.E-05	4.76	rejection
		region	1.78.E-06	6.05	rejection

Table 7. ANOVA results for solar term

Solar term	Scenario	Variable Factor	p-value	F ratio/ F rejection value	Null hypothesis result
Major heat	RCP 4.5	period	1.10.E-03	2.43	rejection
		region	1.13.E-04	3.40	rejection
	RCP 8.5	period	2.70.E-10	18.17	rejection
		region	3.31.E-06	5.58	rejection
Major cold	RCP 4.5	period	6.89.E-03	1.68	rejection
		region	6.04.E-13	32.68	rejection
	RCP 8.5	period	3.13.E-08	10.56	rejection
		region	7.58.E-13	31.91	rejection

4.12°C, 4.10°C, 4.07°C, 3.65°C, 2.14°C였으며, 수도권에서 기온 차이가 가장 큰 것으로 나타났다. RCP 8.5에서의 대만에 대한 과거와 미래 후반기 기온 차이의 경우, 수도권, 경상권, 충청권, 전라권, 강원권 순으로 5.78°C, 5.84°C, 5.79°C, 5.07°C, 2.78°C였으며, 경상권에서 기온 차이가 가장 큰 것으로 나타났다.

4.3 통계분석

분석 결과가 통계적으로 유의한 지를 확인하기 위한 이원 분산분석에서는 귀무가설을 ‘지역과 기간에 따라 기온(강수량, 계절길이) 차이가 없다’로 설정하고, 대립가설을 ‘지역과 기간에 따라 기온(강수량, 계절길이) 차이가 있다’로 설정하였다. 여기서 귀무가설이 기각되면 대립가설이 유의한 것으로 판단한다. 판단 기준은 F비/F기각치(F ratio/F rejection value)가 1보다 크면 귀무가설이 기각되어 대립가설은 유의하다. Table 5-7은 분산분석 결과이다.

따라서, 계절 길이, 강수량 및 절기에 대한 분산분석에서 모두 F비/F기각치가 1보다 크므로 귀무가설이 기각되어 대립가설이 유의하다. 즉, 독립변수인 기간 및 지역이 종속변수인 계절 길이, 기온 및 강수량에 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 RCP 기후변화 시나리오를 이용하여 우리나라 5개 권역의 여름과 겨울의 계절 길이, 계절 시작일, 여름철 강수량 및 절기의 변화를 분석하였다. 1974~2020년까지의 계절을 분석한 결과, 신기후평년의 여름의 길이는 과거 30년보다 5일 빨라졌으며, 겨울의 길이는 1일 늦어졌다. 기상청의 결과에서도 최근 30년의 여름의 길이는 과거 30년보다 11일 빨라졌으며, 겨울의 길이는 5일 늦어졌다. 본 연구 결과 및 기상청 결과에서 모두 과거 30년에 비해 신기후평년에는 여름의 길이가 늘어나고 겨울의 길이가 짧아졌으며, 여름철 강수량이 증가하였다. 충청권의 경우, 계절 길이는 평균적으로 RCP 4.5일 때 여름 길이는 신기후평년보다 38일 늘어났으며, RCP 8.5일 때 여름 길이는 57일 늘어났다. RCP 4.5일 때 겨울 길이는 신기후평년보다 16일 줄어들었으며, RCP 8.5일 때 겨울 길이는 25일 줄어들었다. 또한 가장 더운 절기인 대서와 가장 추운 절기인 대한에서의 온도가 증가하였다. RCP 4.5 시나리오보다 RCP 8.5 시나리오에서의 차이가 더욱 뚜렷하게 나타났다. 따라서, RCP 4.5 시나리오에서보다 RCP 8.5 시나리오에서의 계절 길이, 계절 시작일, 강수량 및 절기의 시기적인 변화가 큰 것으로 나타났다. 또한 공간적인 변화의 경우, RCP 8.5 시나리오 및 4.5 시나리오에서 남부지역인 경상권과 전라권에서 강수량은 다른 권역에 비해 평균 이상으로 증가하였다. 대서는 수도권에서 가장 큰 기온 차이가 나며, 대한은 경상권에서 가장 큰 기온 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

본 연구 결과를 통해 권역별 계절 및 절기의 기온과 강수량의 시공간적 특성을 파악하였으며, 미래 기후변화 시나리오를 이용하여 계절과 절기의 수문기상학적 특성의 변화를 파악하였다. 계절과 절기는 우리 일상과 밀접하게 관련되어 있으므로, 계절과 절기의 시공간적인 특성을 파악하면 폭염이나 한파와 같은 기상재해가 발생할 가능성 있는 지역을 확인하고 기후변화에 대한 대응정책을 마련하는데 기초자료로 활용될 수 있다. 또한 기후변화로 인한 강수의 증가와 기온의 상승은 홍수나 가뭄 등 물 관련 재해의 규모를 크게 증가시킬 것으로 예상된다. 따라서, 미래의 계절별 기온과 강수량을 파악하여 홍수나 가뭄 등과 같은 극심한 자연재해에 대한 대비책을 마련해야 한다.

감사의 글

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단(No. 2020R1A2C1012919) 및 행정안전부 극한재난대응기반기술개발사업(2020-MOIS33-006)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Baek, HJ, Cho, CH, Kwon, WT, Kim, SK, Cho, JY, and Kim, YS (2011). Development strategy for new climate change scenarios based on RCP, *J of Climate Change Research*, 2(1), pp. 55-68. [Korean Literature]
- Choi, GY, and Kwon, WT (2001). The shift of natural seasons and changes of life temperature indices in South Korea during the 20th century, *J of Geography Education*, 45, pp. 14-25. [Korean Literature]
- Choi, GY, and Kwon, WT (2006). Seasonal onset and duration in South Korea, *J. of the Korea Geographic Society*, 41(4), pp. 435-456. [Korean Literature]
- Chung, YS and Yoon, MB (2000). Interpretation of recent temperature and precipitation trends observed in Korea, *Theoretical Applied Climatology*, 67, pp. 171-180. [Korean Literature]
- Encyclopedia of Korean Culture (1991). <http://encykorea.aks.ac.kr/>
- Gu, HS, and Kim, KH (2007). Distribution characteristics and changing trends of natural seasons in Korea, *J. of Climate Research*, 2(2), pp. 105-117. [Korean Literature]
- Jin, MJ, and Park, SY (2015). Temperature changes of climatic solar terms and their spatiotemporal characteristics in South Korea, *J. of the Korea Geographic Society*, 50(1), pp. 23-36. [Korean Literature]

- Korea Forest Service (2009). *Climate change and forest*, Korea Forest Service. [Korean Literature]
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2018). *A case study on climate change scenario*, Korea Meteorological Administration (KMA). [Korean Literature]
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2021). *Climatological statistics guide : 2021*, Korea Meteorological Administration (KMA). [Korean Literature]
- Korea Statistics (2018). *Movement status of major crops according to climate change*, Korea Statistics. [Korean Literature]
- Kwon, YA, Kwon, WT, and Boo, KO (2007). Future projections on the change of onset date and duration of natural seasons using SRES A1B data in South Korea, *J. of the Korea Geographic Society*, 42(6), pp. 835–850. [Korean Literature]
- Lee, BS (1979). A study of natural seasons in Korea, *J. of the Korea Geographic Society*, 14(2), pp. 1–11. [Korean Literature]
- National Institute of Korean Language Standard Korean dictionary (2008). <https://stdict.korean.go.kr/main/main.do>
- National Institute of Meteorological Sciences(NIMS). (2021). *Climate change analysis report for Korea's 109 years (1912–2020)*, Korea Meteorological Administration(KMA). [Korean Literature]
- Park, CY, Choi, YE, Kwon, YA, Kwon, JI, and Lee, HS (2013). Studies on changes and future projections of subtropical climate zones and extreme temperature events over South Korea using high resolution climate change scenario based on PRIDE model, *J. of the Korean Association of Regional Geographers*, 19(4), pp. 600–614. [Korean Literature]
- Park, KB (2018). A study on the change of precipitation and temperature with 24 season by moving average method, *J of Environmental Science International*, 27(12), pp. 1227–1239. [Korean Literature]
- Park, SY and Lee, SK (2019). Climatic changes and geographical characteristics of solar term temperatures in the Korean peninsula, *J of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 22(3), pp. 65–81.
- Shim, SB, Kim, JS, Sung, HM, Lee, JH, Kwon, SH, Sun, MA and Kim, YH (2021). Future changes in extreme temperature and precipitation over East Asia under SSP scenarios, *J of Climate Change Research*, 12(2), pp. 143–162.
- Song, MS, Im, AY, Oh, JE, and Lee, EG (2020). Prospects of seasonal length in Korea, Proceedings of the KGS Conference, p. 129. [Korean Literature]
- Yoo, JH, and Kang, IS (2002). Temperature variation related to seasonal transition and secular trend of season in Korea, *J of the Korean Meteorological Society*, 12(1), pp. 107–110. [Korean Literature]