

A1B 시나리오 자료를 이용한 우리나라 자연 계절 시작일 및 지속기간 변화 전망

권영아* · 권원태** · 부경온***

Future Projections on the Change of Onset Date and Duration of Natural Seasons Using SRES A1B Data in South Korea

Young-Ah Kwon*, Won-Tae Kwon**, Kyung-On Boo***

요약 : 본 연구에서는 기온 자료를 필터링 기법을 이용하여 특정 임계치 이상이 되는 날짜를 산출한 후 계절 시작일과 계절 지속기간 변화를 분석하였다. 7개 기상 관측지점의 80년간(1921-2000년)의 관측 자료와 A1B 시나리오를 이용한 2040년대와 2090년대의 모델 전망 자료로부터 계절 시작일과 지속기간의 변화를 분석한 결과 봄과 여름의 시작일은 빨라지고 가을과 겨울의 시작일은 늦어지는 경향을 보였다. 또한 이러한 경향은 2040년대보다 2090년대의 경우에 더 두드러질 것으로 전망되었다. 봄 시작일과 겨울 시작일의 변화 특성은 위도가 낮을수록 더 현저히 나타나고 여름 시작일은 해안보다는 내륙에서 더 빨리 진행되었다. 전 분석 지점에서 지구온난화 및 도시화에 의해 여름 지속기간은 증가하는 추세이고 겨울 지속기간은 감소하는 추세였다. 여름과 겨울 지속기간은 위도가 낮을수록 여름철이 겨울철보다 긴 특성을 보였으며, 여름 시작일이 가장 빨랐던 대구 지점이 가장 긴 여름 지속기간을 보였다. 특히, 1990년대부터 겨울 지속기간이 크게 감소하면서 여름과 겨울 지속기간의 차이는 더 커졌다. 비슷한 위도대의 경우 여름과 겨울 지속기간 차이는 내륙보다 해안지역에서 더 컸다. 특히, 남해안과 동해안에 위치한 강릉, 부산, 목포 지점들은 여름철은 길어지고 겨울철은 짧아지는 경향이었으며, 모델 자료에 근거한 2090년대에는 겨울철이 사라질 것으로 전망되었다.

주요어 : 필터링, 계절 시작일, 계절 지속기간, A1B 시나리오, 지구온난화

Abstract : This study examines long-term trends of onset dates and durations of season decomposed by applying a lowpass filtering using observed 80-year (1921-2000) data and projected 2040s and 2090s data based on the IPCC SRES A1B emission scenario in South Korea. As recent climate changes on seasonal cycles in South Korea, the onset dates of spring and summer began earlier after 1970s. But onset dates of autumn and winter were delayed. Winter duration was more shortened during the post-1990 period. Summer duration is longer and winter duration is shorter at southern and eastern coastal area. The different of summer duration and winter duration in coastal area was longer than over the inland. The reduction in winter duration in South Korea agrees with results in overall global warming trends as a climate change signal. Future model output data predict that winter will disappear in Gangneung, Busan and Mokpo in the 2090s

Key Words : filtering, onset date of season, duration of season, A1B emission scenario, global warming

* 기상청 국립기상연구소 기후연구팀 연구원(Researcher, Climate Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, KMA), yakwon71@metri.re.kr

** 기상청 국립기상연구소 기후연구팀장(Director, Climate Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, KMA), wontk@metri.re.kr

*** 기상청 국립기상연구소 기후연구팀 연구관(Senior Researcher, Climate Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, KMA), bko@metri.re.kr

1. 서론

우리나라는 열 교환이 활발한 중위도 유라시아 대륙 동안에 위치하고 있어서 계절 변화가 뚜렷하며, 계절마다 변하는 기후 특성은 우리 민족 고유의 다양한 생활 방식과 문화를 발달시켰다. 이에 우리 선조들은 예로부터 봄, 여름, 가을, 겨울의 기후 특성에 따라 의식주를 달리하였으며, 삶의 방식에도 계절의 특성을 적용시켜왔다. 즉, 계절의 변화는 우리의 일상과 밀접한 관련을 가지고 있고 우리 생활 방식을 결정짓는 기본 요인이라 할 수 있다.

계절 구분은 우리가 일상에서 고정된 3달 간격으로 (봄은 3-5월, 여름은 6-8월, 가을은 9-11월, 겨울은 12-2월) 나누는 것 외에도 목적에 따라 천문학적 계절, 기상학적 계절, 농사계절, 동·식물계절로 구분해 볼 수 있다(기상연구소, 2004b). 동양에서는 예로부터 춘·하·추·동의 사계(四季)와 24절기(節氣) 및 72후(候)와 같은 계절 구분이 일찍부터 행해져 왔다. 그러나 입춘, 입하 등의 24절기 72후는 일년을 통한 태양의 위치에 의해 결정된 천문학적 계절 구분이기 때문에 기후학적 방법에 의한 자연 계절 구분과는 일치하지 않는 점이 있다(이병설, 1979). 기후학적 계절 또는 자연 계절이라고 하는 기상학적 계절은 일사, 기온, 강수, 바람, 기압, 기단, 전선 등 여러 가지 기상현상이나 기압패턴 등의 기상 및 기후 요소를 토대로 구분하는 것이다(Lamb, 1950; Moon and Um, 1980; Trenberth, 1983; Kalnicky, 1987; Pielke *et al.*, 1987; Alsop, 1989; Ye *et al.*, 2003; Alpert *et al.*, 2004; Choi *et al.*, 2004; 이병설, 1979; 강만석, 1981; 이승호, 1995; 최광용·권원태, 2001; 유진호·강인식, 2002; 최광용 등, 2006).

이병설(1979)은 그 중 기온이 계절 변화를 가장 잘 나타내고 있다고 하였으며, 기온을 기준으로 초동(初冬), 엄동(嚴冬), 만동(晩冬), 조춘(早春), 춘(春), 만춘(晩春), 초하(初夏), 장마, 성하(盛夏), 만하(晩夏), 초추(初秋), 추(秋), 만추(晩秋)의 13개 소계절로 구분하였다. 이병설의 계절 구분 임계치는 계절 전이와 관련한 연구에서 자주 인용되고 있는 기준이다(최광용·권원

태, 2001; 최광용 등, 2006). 본 연구에서는 계절을 구분함에 있어서 고정된 3달 간격을 이용한 것은 실제 우리가 일상에서 느끼는 계절의 기간과는 차이가 있기 때문에 우리나라 기후 특성을 잘 반영하는 이병설의 계절 구분 임계치 기준에 근거하여 계절을 봄, 여름, 가을, 겨울로 구분하였다.

또한 계절의 전이에 대한 연구에서 중요한 것은 계절의 시작 시점을 선정하는 방법이다. 즉, 계절 구분의 기준이 되는 임계치가 있더라도 임계치를 적용시킬 계절 변화의 시점을 정하는 방법이 확립되어 있지 않아 현재 여러 가지 방법으로 모색 중이다. 이와 관련한 연구를 보면, 최광용·권원태(2001)는 자연 계절의 전이를 분석하기 위하여 1920년대와 1990년대의 각각 10년간의 일 평균값을 5일 이동평균 하였다. 5일 이동 평균한 추세선에서 특정 임계치를 적용하여 자연 계절 시작일과 종료일을 선정하였다. 그러나 이것은 변동에 의해 특정 임계치 이상에 해당하는 날짜를 산출하는데 어려움이 있다. 유진호·강인식(2002)은 서울과 부산을 대상으로 1909년부터 2000년까지 5일 평균 기온 자료를 분석하여 봄 시작이 빨라졌음을 언급하였다. 최광용 등(2006)은 계절의 시작일과 종료일을 선정하기 위하여 일 최저기온, 일 평균기온, 일 최고기온을 모두 합한 기온을 7일 이동 평균하여 소수점 아래 반올림한 값을 산출하였다. 본 연구에서는 계절의 시작 시점을 선정하기 위한 방법으로 기상학 연구에서 주기분석에 이용하고 있는 필터링(filtering) 기법을 적용하였다.

최근 들어 전 세계적으로 이상기후가 빈번하게 발생하면서 지구 온난화에 따른 기후 변화는 모든 사람들의 최대 관심사이다. 특히, 기후 변화에 따른 계절의 전이 및 미래 전망 자료는 의식주를 비롯하여 문화, 경제 등 우리 일상과 밀접한 관련을 가지고 있으므로 주요 연구 대상이며, 기후변화에 대한 적응 방안 및 대책을 강구해야 하는 의사 결정자들이나 기후를 활용하고 있는 사회, 경제 및 문화 관련 종사자들에게는 필수적인 정보이다. 그럼에도 불구하고 현재까지 미래 계절 변화를 전망한 연구는 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 장기간의 자료를 보유하고 있는 7개 기상 관측지점(서울, 인천, 강릉, 전주, 대구, 목포, 부산)을 중심으로 1921년부터 2000년까지 80년간

의 계절의 시작일의 변화와 계절 지속기간의 변화 특성을 분석하고, A1B 시나리오(현재 이산화탄소의 배출량이 점차 증가하여 2050년경에 정점에 도달한 다음 그 이후 다소 감소하는 시나리오로서 대기 중 이산화탄소 농도는 2100년경에 700ppm에 도달할 것으로 예상되는 시나리오)에 근거한 MM5 모델 자료를 이용하여 전망된 2040년대와 2090년대의 계절 시작일 및 계절 지속 기간과 비교함으로써 지구 온난화가 계절 전이에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

2. 연구 자료 및 방법

본 연구에 사용된 자료는 장기간의 기온 자료를 가지고 있는 서울(1908-2000), 인천(1905-2000), 강릉(1912-2000), 전주(1919-2000), 대구(1908-2000), 목포(1904-2000), 부산(1905-2000) 등 총 7개 기상 관측소의 일 최고기온, 일 평균기온, 일 최저기온이다. 7개 관측소는 부분적으로 관측소의 이동(서울, 부산, 목포)이 있었으나 기온 변화값이 유사한 지점들로의 이전이고, 모든 지점들이 1921년부터 2000년까지 80년 이상의 자료를 보유하고 있기 때문에 계절 전이의 시계열 변화를 분석하기에 적합하다. 물론 몇몇 지점들의 경우 한국 전쟁으로 인해 약간의 결측치가 있으나 10년 단위의 평균값을 이용하여 경향을 파악하였기 때문에 결측치가 있는 기간은 제외하고 사용하였다.

우선, 계절의 시작일을 선정하기 위한 임계치의 기준은 이병설(1979)의 계절 구분 임계치를 참고하였다. 이병설(1979)은 일 평균기온과 일 최저기온, 일 평균기온과 일 최고기온의 두 변수가 각각 독립적으로 연중 일정하다고 보고 임계치를 동시에 초과한 처음 또는 마지막 날을 각 계절의 시작일과 종료일로 정의하였다. 그는 일 최저기온 0°C 이상, 일 평균기온 5°C 이상을 봄의 시작일로, 일 평균기온 20°C 이상, 일 최고기온 25°C 이상을 여름의 시작일로, 일 평균기온 20°C 이하, 일 최고기온 25°C 이하를 가을철 시작일로, 일 최저기온 0°C 이하, 일 평균기온 5°C 이하를 겨울철 시작일로 정의하였다.

일 최저기온 0°C 이상은 물의 녹는점과 어는점으로 봄이 시작될 무렵, 겨울철에 쌓였던 눈이 녹아 없어지는 현상을 결정하는 지수이고 일 평균기온 5°C는 식생이 활력을 얻어 꽃과 잎을 피우도록 하는 식생의 생리적 영점, 지표 식생의 변화와 관련한 온량지수나 한랭지수, 식물의 성장계절기간 산정시에 널리 사용되는 기온 지수이다. 또한 일 최고기온 25°C는 전 세계적으로 여름날을 정의하는 임계치로 널리 사용되고 있는 기온 지수이다(최광용 등, 2006).

계절 구분을 위한 임계치 선정도 중요하지만, 특정 임계치를 적용시킬 계절 변화의 시점을 선정하는 것도 중요하다. 대기중에는 다양한 시간 규모(time scale)의 현상들이 존재하며 기상자료에서 특정한 시간 규모의 정량적인 묘사나 입력 시그널을 분석하려고 할 때 주파수(frequency)의 겹침과 간섭현상으로 인한 어려움이 따르게 된다(윤원태 등, 1998). 예를 들어, 일주일 간격으로 반복적으로 나타나는 고·저기압의 출현에 의해 기온자료에 나타나는 일시적인 상승이나 하강현상은 계절 구분 시점을 선정하는데 있어서 논란의 여지를 제공할 수 있다(최광용 등, 2006). 그러므로 연구 목적에 따라 기상관측자료에서 분석하고자 하는 시간 규모의 주기성분만을 분리하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 계절 변화의 시점을 선정하기 위하여 추출하고자 하는 주기내 파동의 진폭이 정확히 나타나도록 그 주기성분을 분리해 낼 수 있는 디지털 필터중의 하나이며, 기상 자료의 주기 분석에 많이 쓰이는 버터워스 필터(Butterworth filter)를 이용하였다(Stearns, 1984; 윤원태 등, 1998; 윤원태·부경은, 1999).

또한 필터 사용시 원하는 영역의 주기를 추출하기 위한 방식으로 기준보다 낮은 주파수 영역의 신호만 통과시키는 로패스필터(lowpass filter), 기준보다 높은 주파수 영역의 신호만 통과시키는 하이패스필터(highpass filter), 상한값과 하한값의 주파수를 조절하여 그 범위에 드는 주파수만 통과시키는 밴드패스필터(bandpass filter)가 있다. 계절 현상은 일반적으로 90일 정도의 주기성을 가지고 특징지어지므로 일별로 측정된 기온자료에서 계절변화를 살펴보기 위해서는 90일 이상의 긴 시간규모의 주기성분만을 분리하는 것이 계절의 지속기간 해석에 용이하다. 즉, 로패스필터

를 이용하여 90일 이하의 단주기는 통과시키고 계절의 특성을 나타낼 수 있는 장주기 성분만을 남겨두는 것이다. 따라서 본 연구에서는 일별 기온 시계열자료에서 버터워스 로패스 필터를 이용하여 일반적으로 계절의 주기가 되는 90일 이상의 장주기 성분만을 일 평균 기온, 일 최저기온, 일 최고기온 시계열 자료에서 추출하였다.

또한 2000년까지의 관측 자료에 의한 계절 지속기간의 변화 분석 외에 미래 계절 지속기간의 변화를 전망하기 위하여 모델에서 적분된 2040년대와 2090년대의 기온 시계열자료에서도 90일 이상의 장주기 성분만을 추출하였다. 사용된 미래 기후변화전망 자료는 기상연구소(2002, 2003, 2004a, 2005, 2006)에서 산출한 1971년부터 2100년까지의 일 평균, 일 최고, 일 최저 기온이다. 이 자료는 미국 국립기상연구소와 펜실베이니아 주립대학에서 공동개발한 중규모 기후모델인 MM5(Mesoscale Model Version 5)를 이용, 한반도를 중심(38°N, 125°E)으로 27km격자규모의 수평 해상도를 가지고, 약 123~131°E, 33~43°N영역에 대해 수치적분한 결과이다.

분석에 적용한 시나리오는 IPCC 배출 시나리오 특별보고서(Special Report on Emission Scenarios)의 A1B 시나리오를 사용하였다. 미래 기후를 전망하기 위해 사용한 모델과 시나리오는 권영아 등(2007)이 아열대 기후구를 전망하기 위한 연구에 사용한 것과 동일하다.

3. 결과 및 토의

1) 계절 시작일의 변화 및 전망

이병설(1979)의 계절 구분 임계치를 기준으로 기상 관측 자료로부터 1920년대부터 1990년대까지 봄, 여름, 가을, 겨울의 시작일을 선정하였으며, 모델 자료로부터는 2040년대와 2090년대의 계절 시작일을 선정하였다(표 1). 장기간의 자료를 보유하고 있는 7개 기상 관측 지점들의 분석 결과를 보면, 봄 시작일은 1920년

대부터 1950년대까지 점차 빨라지는 추세를 보이다가 1960년대에는 봄 시작 시기가 늦어졌다. 그러나 1970년대부터 봄 시작일은 다시 빨라지기 시작하였으며, 1980년대에서 1990년대로 갈수록 봄 시작 시기는 더 빨라졌다. 이러한 현상은 위도가 낮은 지역일수록 현저히 나타났다. 남부지방에 위치한 대구나 목포, 부산 지점 등은 1990년대의 경우 2월 중순이나 말부터 봄이 시작되며, 중부지방에 위치한 서울, 인천, 강릉 지점 등은 1990년대에는 3월 초순에 봄이 시작되어 일주일 정도 늦게 시작된다. 특히, 가장 봄이 빠르게 시작되는 부산 지점은 가장 늦게 시작되는 인천 지점에 비해 1990년대 기준으로 한달 정도 빠르다. 2090년대의 미래 전망 자료에 의하면 남부 지방의 경우는 봄 시작일이 1월 중순경으로 1990년대보다 한달 정도 더 빨라질 것으로 전망되었다.

여름 시작일은 해안 지역보다는 내륙 지역일수록 빨라지는 성향을 보이는데, 1990년대에는 대구 지점이 5월 중순으로 가장 빠른 여름 시작일을 보인다. 여름이 가장 늦게 시작되는 지점은 중부 서해안에 위치한 인천으로 대구 지점보다 20일 정도가 늦은 6월 초순에 시작된다. 미래 전망 자료에 의하면 2090년대에는 대구 지점은 4월말에 여름이 시작될 것이다.

가을 시작일은 1920년대부터 1960년대까지 비슷하거나 조금 늦어지는 경향을 보이다가, 1970년대 이후 점차 늦어지기 시작하여 1990년대에는 대부분 지점들이 9월 말에서 10월초에 가을이 시작된다. 미래 전망 자료에 의하면 2040년대와 2090년대로 가면서 가을 시작일은 점점 더 늦어질 것이다.

겨울 시작일은 봄 시작일의 변화 경향과 비슷하게, 1920년대부터 1950년대까지와 1970년대부터 2000년대까지 겨울 시작일이 늦어지는 경향을 보였으며, 1960년대에만 일시적으로 겨울 시작일이 빨라지는 추세를 보였다. 특히, 1990년대에는 겨울 시작일이 늦어지면서 위도가 높은 서울과 인천 지점의 경우에만 11월 말에 겨울이 시작되고 그 외 지점은 12월 중순 이후에 시작되었다. 특히, 부산 지점의 경우는 위도도 낮고 수온이 높은 남동 해안지역에 위치하고 있어 겨울 시작일이 다음해 1월 초에 시작된다. 미래 전망 자료에 의하면 강릉, 목포, 부산 등 남해안과 동해안 부근에 인접

표 1. 7개 기상관측지점의 1921년부터 2000년까지의 계절 시작일의 변화

시작 일	관측 지점	1920 년대	190 년대	1940 년대	1950 년대	1960 년대	1970 년대	1980 년대	1990 년대	2040 년대	2090 년대	1990년대
		1921- 1930	1931- 1940	1941- 1950	1951- 1960	1961- 1970	1971- 1980	1981- 1990	1991- 2000	2041- 2050	2091- 2100	1920년대
봄	서울	3/18	3/19	3/16	3/15	3/16	3/14	3/11	3/8	3/11	3/8	-10
	인천	3/20	3/20	3/17	3/18	3/19	3/17	3/14	3/12	3/8	2/21	-8
	강릉	3/15	3/16	3/14	3/10	3/12	3/10	3/10	3/4	3/10	3/4	-11
	전주	3/14	3/15	3/11	3/9	3/10	3/9	3/9	3/6	3/2	2/8	-8
	대구	3/11	3/11	3/10	3/6	3/7	3/4	3/2	2/26	2/23	1/20	-13
	목포	3/8	3/10	3/5	3/4	3/7	3/5	3/4	2/27	2/22	1/19	-9
	부산	2/25	2/28	2/25	2/19	2/24	2/20	2/20	2/11	2/8	1/18	-14
여름	서울	6/3	6/3	6/	36/3	5/25	5/29	5/27	5/24	5/20	5/8	-10
	인천	6/11	6/9	6/11	6/13	6/8	6/9	6/6	6/5	6/2	5/18	-6
	강릉	6/10	6/10	6/13	6/8	6/3	5/31	6/3	5/31	5/23	5/8	-10
	전주	6/4	6/1	6/2	6/1	5/22	5/26	5/23	5/23	5/19	5/6	-12
	대구	5/30	5/26	5/30	5/29	5/22	5/22	5/16	5/16	5/9	4/28	-14
	목포	6/6	6/5	6/6	6/6	6/2	6/4	5/31	6/1	5/27	5/12	-5
	부산	6/1	16/10	6/14	6/11	6/7	6/5	6/5	6/2	5/26	5/5	-9
가을	서울	9/21	9/22	9/23	9/22	9/25	9/25	9/26	9/27	10/2	10/10	+6
	인천	9/24	9/25	9/25	9/23	9/25	9/24	9/25	9/26	10/2	10/11	+2
	강릉	9/18	9/19	9/19	9/19	9/19	9/20	9/22	9/24	10/1	10/11	+6
	전주	9/20	9/21	9/23	9/23	9/27	9/25	9/26	9/27	10/3	10/12	+7
	대구	9/23	9/22	9/23	9/23	9/25	9/26	9/27	9/30	10/7	10/15	+7
	목포	9/29	9/29	10/1	9/30	10/2	10/2	10/2	10/2	10/9	10/20	+3
	부산	9/29	9/29	10/1	10/1	10/2	10/4	10/3	10/7	10/16	10/26	+8
겨울	서울	11/20	11/22	11/23	11/25	11/25	11/26	11/27	11/29	12/4	12/26	+9
	인천	11/24	11/26	11/27	11/27	11/26	11/27	11/28	11/29	12/5	12/29	+5
	강릉	12/5	12/5	12/5	12/8	12/4	12/9	12/10	12/13	12/21	-	+8
	전주	11/30	12/1	12/1	12/4	12/2	12/2	12/3	12/6	12/23	12/31	+6
	대구	12/1	12/1	12/1	12/4	12/1	12/5	12/8	12/12	12/17	1/11	+11
	목포	12/20	12/15	12/16	12/16	12/12	12/16	12/17	12/21	12/21	-	+1
	부산	12/31	12/21	12/20	12/22	12/13	12/25	12/27	1/1	1/2	-	+1

한 지점들은 2090년대에는 겨울이 존재하지 않을 것으로 전망되었다. 즉, 강릉 지점은 연중 가장 낮은 일 평균기온이 5.5℃이고, 목포 지점은 6.7℃, 부산 지점은 7.8℃로 겨울 시작일의 기준이 되는 일 평균기온 5℃ 이하인 날이 없을 것이다.

봄 시작일과 겨울 시작일의 변화 경향에서 1960년대의 기온이 낮게 나타난 것은 세계적인 기온 변화 추세와도 일치하는데, 전 세계적으로도 1940년대를 정점으로 고온화 되던 것이 1950년대에는 차차 기온이 하강하다가 1960년대에는 현저한 한랭화를 나타냈으며,

1970년대에 들어와 다시 고온화되었다는 연구 결과와 일치한다(김연옥, 1987, 1998).

시계열별로 계절 시작일의 변화 추세를 파악하기 위하여 1920년대, 1990년대, 2040년대, 2090년대로 나누어 계절 시작일의 변화에 따른 증감 여부를 그림으로 표현하였다. 증감분 표현은 1920년대 대비 1990년대의 증감은 1990년대에 표기하였고, 1990년대 대비 2040년대의 증감은 2040년대에, 2040년대 대비 2090년대의 증감은 2090년대에 표시한 것이다.

서울 지점의 계절별 시작일을 보면, 봄과 여름은 점차 빨리 시작되어 1920년대에 비해 1990년대에는 10일 정도 앞당겨져 봄은 3월 상순에 여름은 5월 하순에 시작되었다. 반면, 가을 시작일은 일주일 정도 늦어지면서 여름 지속기간이 1920년대보다 1990년대에는 16일 증가하였다. 겨울은 시작 시기는 늦어지고 봄이 빨리 시작되어 1990년대에는 1920년대보다 19일정도 감소하였다. 2040년대와 2090년대 전망 자료에 의하면

여름철의 시작일은 5월 초순으로 빨라지고 종료일은 10월 중순까지 늦어져 1990년대보다 여름철이 한달 정도 더 길어질 것이다. 반면, 겨울철은 2090년대에는 12월 말로 늦어지고 봄 시작일이 2월 중순으로 빨라지면서 1990년대보다 한 달 반 이상 짧아질 것으로 전망되었다(그림 1).

서울과 비슷한 위도대에 위치한 인천 지점의 경우도 서울 지점과 비슷한 패턴을 보인다. 여름철의 경우, 인천 지점은 1920년대에는 6월 중순에 시작하던 것이 1990년대에는 6월 초순으로 일주일정도 빨라지면서 여름철 지속기간이 증가했다. 또한 2040년대에는 여름 시작일이 1990년대에 비해 3일정도 빨라지며, 2090년대에는 1990년대보다 18일정도 빨라질 것으로 전망되었다. 여름 시작일은 서울 지점보다 인천 지점이 10일정도 늦게 시작이 되는데, 이는 비열차에 따른 해양의 영향과 도시화에 의한 것으로 생각된다. 반면, 겨울 시작일은 해양의 영향이 적어 서울과 비슷하게 나타났는데

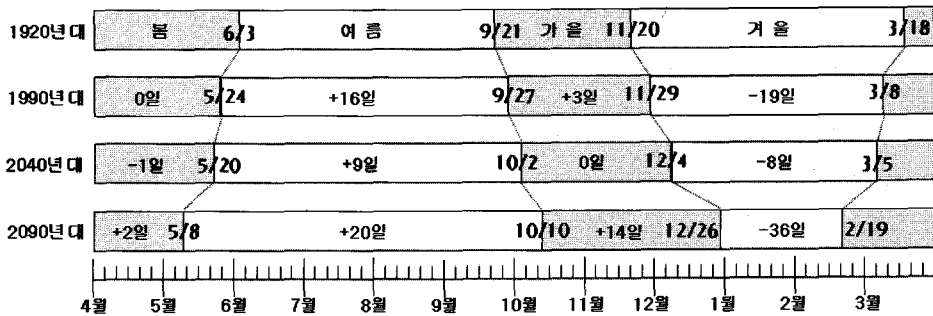


그림 1. 서울 지점의 계절 시작일과 계절 지속기간 변화

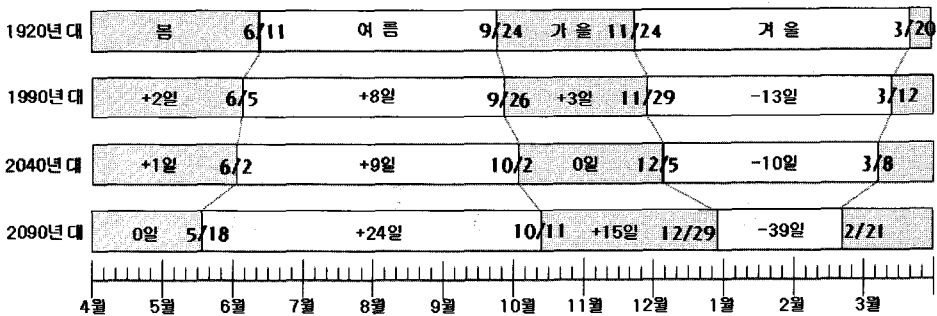


그림 2. 인천 지점의 계절 시작일과 계절 지속기간 변화

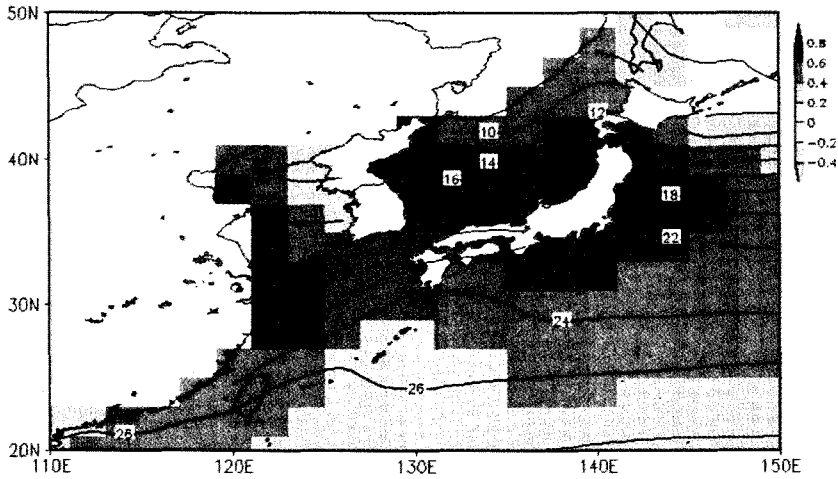


그림 3. 우리나라 부근의 해수면온도(SST)와 아노말리
(등치선: 1998-2005년의 평균 SST, 음영: 1971-2000년 평균에 대한 1996-2005년의 평균 SST 아노말리)
출처: lwf.ncdc.noaa.gov

이는 차가운 시베리아 기단의 영향을 직접적으로 받는 서해안에 위치하고 있기 때문으로 생각된다(그림 2).

서울이나 인천과 위도대는 비슷하나 동해안에 위치한 강릉 지점의 경우는 겨울철 지속기간의 감소폭이 서해안에 위치한 인천 지점보다 더 크게 나타났다. 해양에 인접해 있으나 여름 시작일은 대도시인 서울 지점과 비슷하며, 서해안에 인접한 인천 지점보다도 일주일 정도 빠르다. 반면, 겨울 시작일은 인천 지점보다 10-15일 정도 늦으며, 서울 지점보다도 15일 이상 늦게 시작되어 기온이 높음을 알 수 있다. 이것은 강릉이 서해안보다 수온이 높은 동해안에 인접해 있고 태백산

맥에 의한 지형의 영향을 받기 때문으로 생각된다. 특히, 최근 10년간은 지난 30년 평년값 대비 동해안의 수온 상승폭이 더 컸기 때문으로 생각된다(그림 3).

모델 예측 자료에 의하면 강릉 지점에서는 2090년대에 겨울 시작일의 기준인 일 평균기온 5℃ 이하인 날이 없어 겨울철이 사라질 것으로 전망되었다(그림 4). 즉, 2090년대에는 겨울의 기준이 되는 일 평균기온 5℃ 이하인 날이 없어짐에 따라 여름에서 가을로 기온이 점차 감소하는 추세이다가 1월 중순이후 5.5℃를 정점으로 다시 기온이 상승하는 추세를 보인다. 따라서 강릉 지점의 경우 2090년대의 봄 시작일의 기준은 기온 변

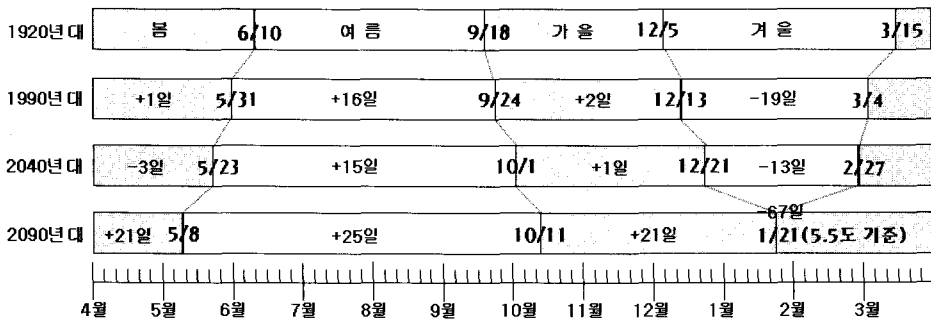


그림 4. 강릉 지점의 계절 시작일과 계절 지속기간 변화

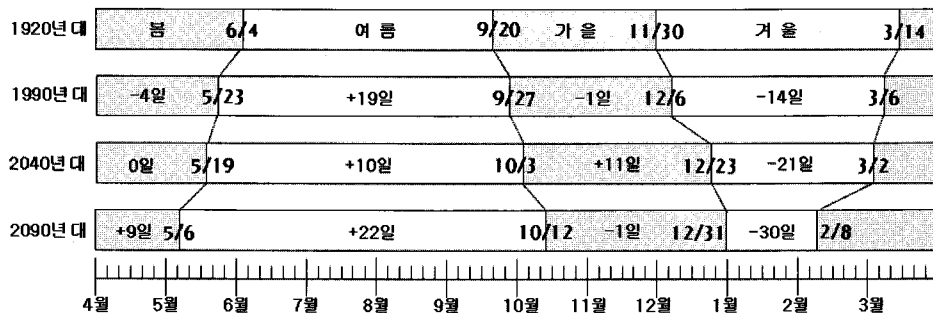


그림 5. 전주 지점의 계절 시작일과 계절 지속기간 변화

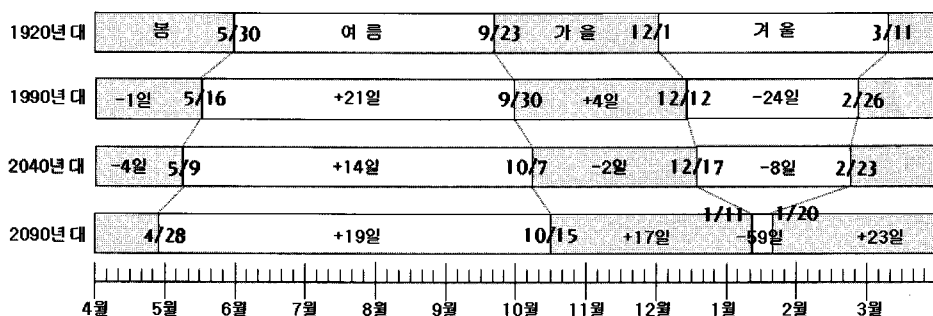


그림 6. 대구 지점의 계절 시작일과 계절 지속기간 변화

화 경향이 바뀌는 일 평균기온 5.5℃를 기준으로 가을에서 봄으로 계절이 바뀔 것으로 볼 수 있다.

위도가 낮고 대도시인 전주와 대구 지점을 보면, 전주 지점도 다른 지점들과 마찬가지로 1920년대보다 1990년대에는 봄과 여름 시작일은 빨라지고 가을과 겨울 시작일은 늦어지는 경향을 보였다. 봄의 시작은 앞당겨지고 가을과 겨울의 시작은 늦어지면서 여름철은 1920년대보다 1990년대에는 19일 증가한 반면, 겨울철은 14일 감소하였다. 전주 지점은 2090년대의 경우 겨울 지속기간에 영향을 미치고 있는 봄 시작일은 2월 초이며, 여름 지속기간에 영향을 미치는 여름 시작일은 5월 초로 전망되었다(그림 5). 이러한 전망 자료는 비슷한 위도대에 있는 대구 지점에 비해 봄 시작일은 20일 정도 늦은 것이며, 여름 시작일은 일주일 정도 늦은 것이다. 즉, 전주 지점은 대구 지점에 비해 여름 지속기간은 짧고 겨울 지속기간은 길게 되는데, 이는 전주 지점은 겨울철 시베리아 고기압의 영향권에 직접적

으로 노출되어 있는 반면, 대구 지점은 소백산맥의 영향을 받기 때문으로 생각된다.

대구 지점은 여름 시작일이 7개 기상관측 지점 중에서 가장 빨랐는데, 1920년대에는 5월 말에 시작했던 것이 1990년대에는 5월 중순으로 15일 정도 앞당겨졌다. 겨울 시작일의 경우는 1920년대에는 12월 초에 시작한 것이 1990년대에는 12월 중순으로 10일정도 늦어진 반면, 봄 시작일은 1920년대에는 3월 11일이었던 것이 1990년대에는 2월말로 15일 정도 빨라졌다. 2040년대와 2090년대의 전망 자료에서는 여름 시작일은 더욱 빨라지고 가을 시작일은 늦어지면서 여름철 지속기간의 증가분은 더 커질 것이다. 그러나 겨울 시작일은 늦어지면서도 봄 시작일이 빨라짐에 따라 겨울철 지속기간은 짧아져 2090년대에는 약 9일정도만이 겨울이 될 것으로 전망되었다(그림 6).

위도가 낮으면서 남서해안에 위치한 목포 지점과 남동해안에 위치한 부산 지점의 경우는 계절 시작일의

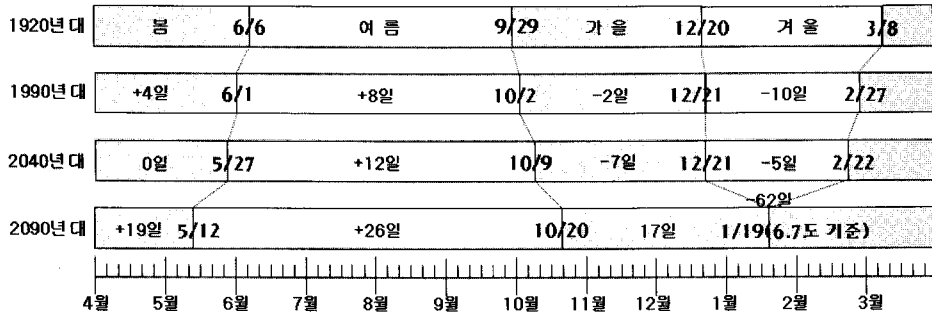


그림 7. 목포 지점의 계절 시작일과 계절 지속기간 변화

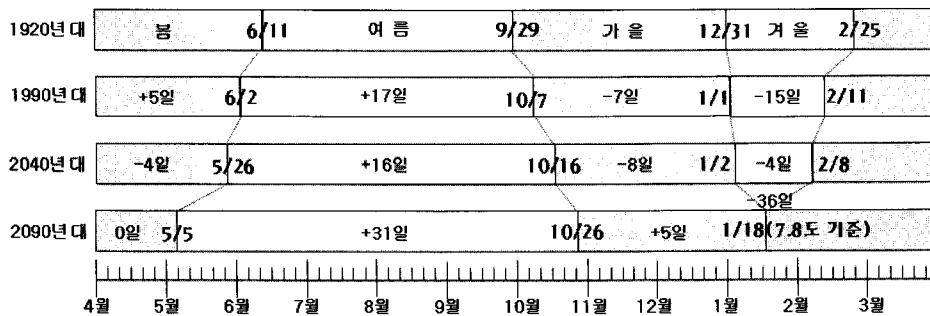


그림 8. 부산 지점의 계절 시작일과 계절 지속기간 변화

변화 패턴은 유사하나 부산 지점이 목포 지점보다 봄 시작일이 1920년대, 1990년대, 2040년대 모두 15일 정도 빠르게 나타났다. 1920년대와 1990년대의 여름 시작일은 목포 지점의 경우 5일 빨라지고 가을 시작일은 3일 늦어진 반면, 부산 지점은 여름 시작일은 9일 빨라지고 가을 시작일은 8일 늦어져 여름 기간의 증가분은 목포 지점보다 2배 이상이다. 2040년대와 2090년대에 도 마찬가지로 부산 지점이 목포 지점보다 기온 상승 폭이 크다. 또한 두 지점 모두 2090년대에는 겨울이 사라지는 것으로 전망되었는데, 목포 지점은 일년 중 가장 낮은 온도인 일 평균기온 6.7℃, 부산 지점은 일 평균기온 7.8℃를 기준으로 기온 변화 경향이 바뀌기 때문에 1월 중순에 계절이 바뀌는 것으로 전망되었다(그림 7과 8).

이상에서 보면, 모든 분석 지점에서 미래의 계절 지속기간 증감분은 2040년대보다 2090년대에 더 폭으로 변하는 것을 알 수 있다. 이는 2090년대의 기온 증가폭

이 2040년대의 기온 증가폭에 비해 2배 정도 크기 때문이다. 즉, 미래 기온 변화 전망 자료에 의하면, 2040년대에는 일 평균기온이 현재보다 2.0℃ 높아질 것이나 2090년대에는 4.3℃정도 높아질 것으로 전망되었다(그림 9).

지점의 특성에 따라 차이가 있지만 대체로 전 지점에서 봄 시작일과 여름 시작일은 빨라지고 있으며, 가을 시작일과 겨울 시작일은 늦어지고 있다. 이러한 계절 시작일의 변화는 현상일수의 변화와 밀접한 관련을 가지고 있으며, 그 중 봄 시작일의 변화는 꽃이나 작물의 개화시기에 큰 영향을 미치고 있다. 이승호·이경미(2003)는 벚꽃의 개화시기는 기온의 변화 경향과 유사한 변화 경향을 보이고 있으며, 기온과 높은 상관성을 가진다고 하였다. 특히, 3월의 평균 기온이 벚꽃의 개화시기에 가장 큰 영향을 미친다고 하였으며, 대부분의 지역에서 개화시기가 빨라지는 경향이라고 하였다. 또한 권영아(2006)의 연구에 의하면, 기후변화에

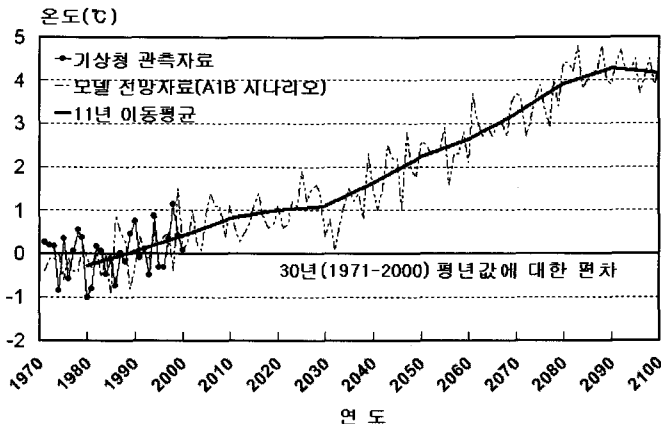


그림 9. 기상청 관측 자료 및 MM5 모델 전망 자료

따른 기온 상승의 영향으로 우리나라 대부분의 기상 관측 지점에서 서리 종료일이 빨라지는 경향을 보이기 는 하지만 이상 난동현상으로 작물의 개화시기가 앞당겨지고 있기 때문에 서리에 의한 피해는 더 커질 것이라고 하였다. 또한 작물의 개화시기가 앞당겨지면서, 과수(果樹)의 자연 수정이 어려워지는 등 농가의 피해는 커지고 있다.

2) 여름과 겨울 지속기간의 변화 및 전망

계절 시작일의 변화는 계절 지속기간에 영향을 미치는데, 1920년대, 1990년대, 2040년대, 2090년대의 계절 시작일의 변화에 따른 계절 지속기간을 보면, 여름 지속기간은 길어지고, 겨울 지속기간은 짧아질 것으로 분석되었다. 봄과 가을의 지속기간은 2090년대에는 늘어날 것으로 전망되었으나 그 전에는 뚜렷한 경향을 보이지 않는다. 따라서 여름과 겨울 지속기간의 변화를 1920년대부터 1990년대까지의 10년 단위로 관측 자료를 분석하고 2040년대와 2090년대의 모델 자료를 이용하여 전망하였다.

서울 지점은 1920년대에는 겨울철이 여름철보다 6일 정도 더 길었으나 점차 겨울철의 지속기간은 감소하고 여름철은 증가하는 추세를 보이면서, 1990년대에는 여름철은 4개월 이상, 겨울철은 3개월 이상으로 여름철이 겨울철보다 한달 정도 더 길어졌다. 즉, 1950년대까지 여름철과 겨울철의 지속기간은 비슷하다가 서

울지역의 개발이 시작된 1960년대 이후 여름철 지속기간이 점차 길어지기 시작하면서 겨울철보다 여름철이 더 길어졌다. 또한 도시화와 더불어 지구온난화의 영향을 받았던 1980년대와 1990년대에는 여름철은 지속기간이 증가한 반면, 겨울철은 지속기간이 큰 폭으로 감소해 여름철과 겨울철의 지속기간의 차이는 더 벌어졌다. 지구온난화를 고려하여 미래를 전망한 자료에서는 2040년대에는 여름철은 4개월 반, 겨울철은 3개월인 것이 2090년대에는 여름철이 5개월 이상이고 겨울철은 2개월 미만이 될 것으로 분석되었다(그림 10).

인천 지점은 1970년대까지는 오히려 여름보다 겨울 지속기간이 더 길거나 비슷한 유형을 유지하다가 1980년대로 들어서면서 여름 지속기간은 증가한 반면, 겨울 지속기간은 감소하면서 여름철이 겨울철보다 길어졌다. 1920년대에는 여름철이 3달 반, 겨울철이 약 4달 정도를 차지했으나, 1990년대에는 반대로 여름철이 약 4달, 겨울철이 3달 반 정도를 보였다. 2090년대에는 서울 지점과 마찬가지로 겨울 지속기간이 급격히 감소하여 겨울철이 2달 미만이 될 것으로 전망되었다(그림 11).

서울과 비슷한 위도대에 위치한 영동지역의 강릉 지점은 1940년대까지 여름철과 겨울철이 3개월을 조금 넘는 유사한 지속기간을 보였으며, 1950년대 이후 겨울 지속기간은 큰 변화가 없으나 여름 지속기간이 증가하는 추세를 보여 1980년대에는 여름철이 겨울철보다 20일 이상 길었다. 1990년대로 들어서면서 겨울 지

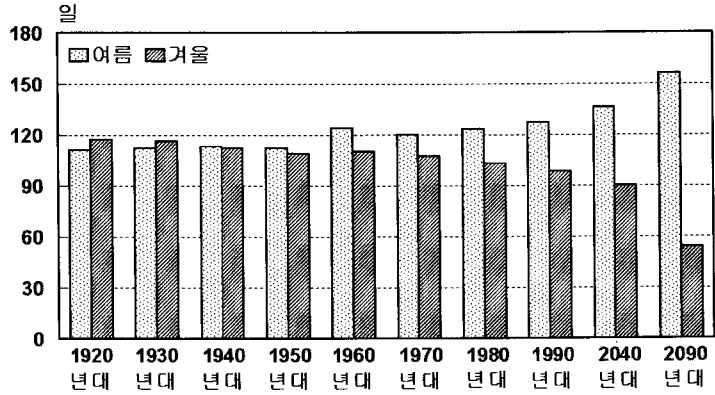


그림 10. 서울 지점의 여름과 겨울 지속기간의 변화

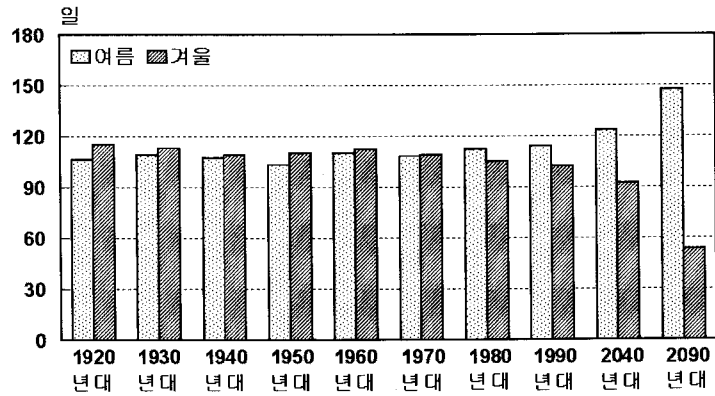


그림 11. 인천 지점의 여름과 겨울 지속기간의 변화

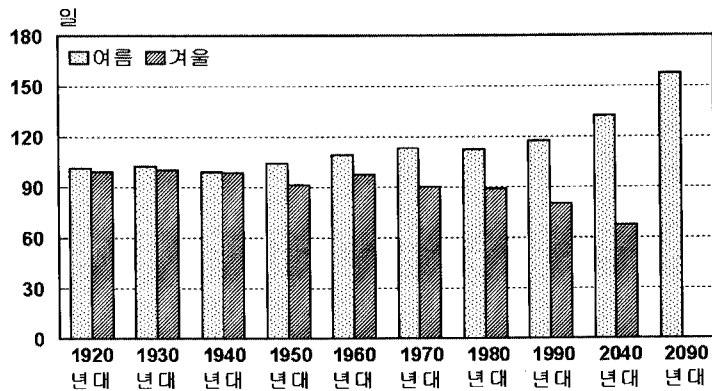


그림 12. 강릉 지점의 여름과 겨울 지속기간의 변화

속기간은 크게 감소하여 여름철이 겨울철보다 한 달 이상 길게 나타났다. 2040년대에는 여름철이 겨울철에 비해 2배 이상 긴 지속기간을 보이며, 2090년대에는

연평균기는 5°C 이하인 날이 없어 겨울철로 구분되는 기간이 없을 것으로 전망되었다(그림 12).

위도가 낮은 전주, 대구, 목포, 부산 지점의 경우는

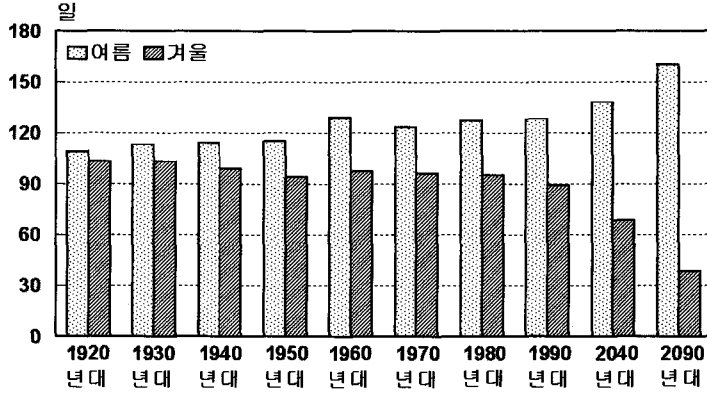


그림 13. 전주 지점의 여름과 겨울 지속기간의 변화

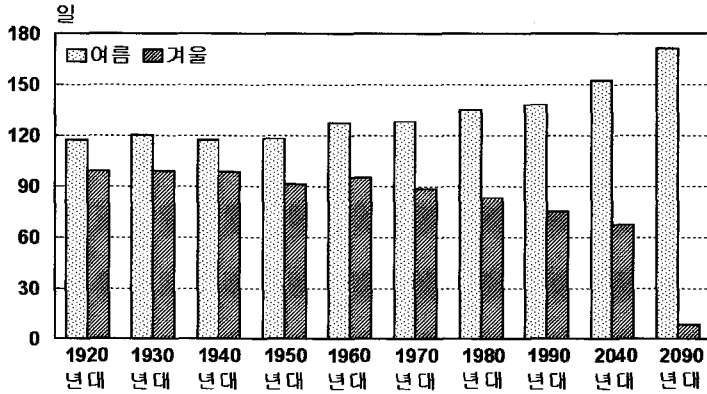


그림 14. 대구 지점의 여름과 겨울 지속기간의 변화

위도가 높은 서울이나 인천 지점의 경우와는 달리 1920년대부터 여름 지속기간이 겨울철보다 더 긴 특성을 보였다. 전주 지점은 1960년대부터 여름 지속기간이 겨울 지속기간보다 한달 이상 길었으며, 1990년대의 경우에는 겨울철은 3달, 여름철은 4달 이상이었다. 미래 전망 자료에 의하면 2040년대에는 여름철이 겨울철의 2배가 될 것이며, 2090년대에는 겨울철은 40일정도인 반면, 여름철은 5개월이 넘을 것이다(그림 13).

대구 지점은 1940년대까지 여름철이 겨울철보다 20일 정도가 더 긴 추세를 지속적으로 유지하다가 1950년대 이후 여름철은 증가하고 겨울철은 감소하여 1990년대에는 여름철은 4달 반 이상이고 겨울철은 2달 반으로 여름철이 겨울철에 비해 거의 두 달 이상 더 긴 지속기간을 보였다. 대구 지점은 7개 관측 지점 중에서 1970년대부터 1990년대까지 가장 긴 여름 지속기간을

가진다. 미래 자료에서는 2040년대에는 여름철이 5달 정도로 긴 반면, 겨울철은 2달이 조금 넘는 기간으로 긴 여름과 짧은 겨울을 가질 것으로 전망되었다. 2090년대에는 겨울철은 10일 정도로 매우 짧아지고 여름철은 6개월 정도 지속될 것이다(그림 14).

위도가 낮은 서해안에 위치한 목포 지점의 경우는 1920년대부터 1970년대까지 여름철이 겨울철보다 한달 이상 많은 경향을 유지하다가 1980년대 이후로 겨울 지속기간이 감소하고 여름철이 증가하면서 1990년대에는 여름철은 4달 반, 겨울철은 2달이 조금 넘게 되어 거의 두 배 이상 긴 여름철을 가진다. 대체로 1950년대까지 여름 지속기간은 변화가 거의 없다가 1960년대 이후로 약간 길어졌으나 증가폭도 적고 1990년대까지 변화 경향이 유사하다. 그러나 겨울 지속기간은 1980년대 이후 크게 감소하였으며, 2090년대에는 부

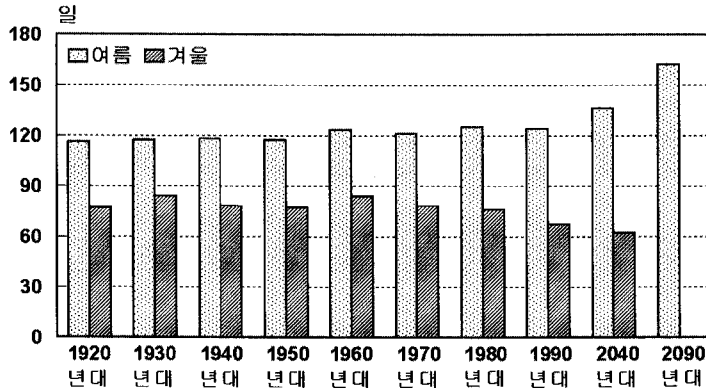


그림 15. 목포 지점의 여름과 겨울 지속기간의 변화

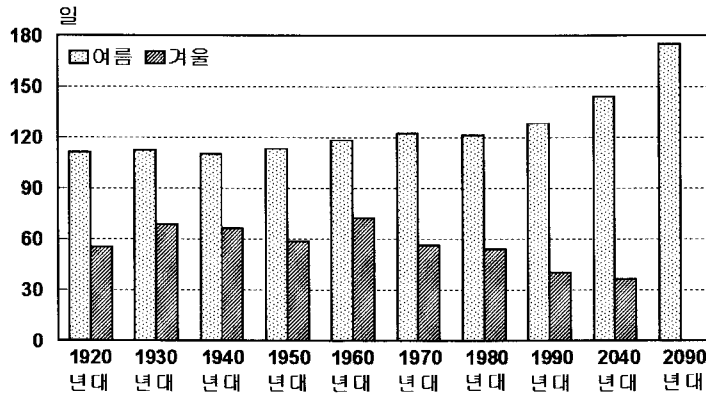


그림 16. 부산 지점의 여름과 겨울 지속기간의 변화

산, 강릉 지점과 마찬가지로 겨울이 사라질 것으로 전망되었다(그림 15).

부산 지점의 경우는 대구 지점보다 여름 지속기간이 겨울 지속기간보다 더 긴 특성을 보이는데, 1920년대에는 겨울철은 약 4달 정도인 반면, 여름철은 두 달이 조금 넘었다. 부산 지점도 대구 지점과 마찬가지로 1950년대까지는 비슷한 경향을 유지하다가 1960년대 이후 여름철이 증가하는 추세를 보였다. 1970년대로 들어서면서 겨울철의 감소 폭이 커지면서 여름 지속기간이 겨울 지속기간의 2배가 되었다. 1990년대에는 여름철은 4달이 넘는 반면, 겨울철은 한달 반 정도로 짧은 겨울철과 긴 여름철의 특성을 보였다. 겨울 지속기간은 점차 감소하여 2090년대 자료에서는 강릉 지점과 마찬가지로 겨울철이 존재하지 않을 것으로 전망되었다(그림 16).

이상에서와 같이 1960년대 이후부터 지속적으로 여름 지속기간은 길어지고 겨울 지속기간은 짧아지고 있으며, 2090년대 미래 자료에서는 강릉, 부산, 목포 등 남·동해안쪽으로 위치한 지점들에서는 겨울이 사라질 것으로 전망되었다. 특히, 여름과 겨울의 지속기간은 냉난방과 밀접한 관련을 가지고 있으므로 에너지 관련 분야에서는 주요 관심사이다. 기후변화와 관련하여 여러 국가에서 에너지 소비율이나 패턴을 추정하고자 할 때 빈번하게 사용되는 것으로는 난방도일과 냉방도일이 있다(Choi, 2005). 따라서 정부에서 난방을 권장하는 온도인 일 평균기온 18℃를 기준으로 하여 지난 80년간(1921-2000년)의 난방도일의 시계열 변화를 분석한 결과, 7개 기상관측지점에서 모두 난방도일은 통계적으로 유의한 범위 내에서 감소 경향을 보였다(그림 17). 즉, 지구온난화에 의해 겨울철이 짧아짐

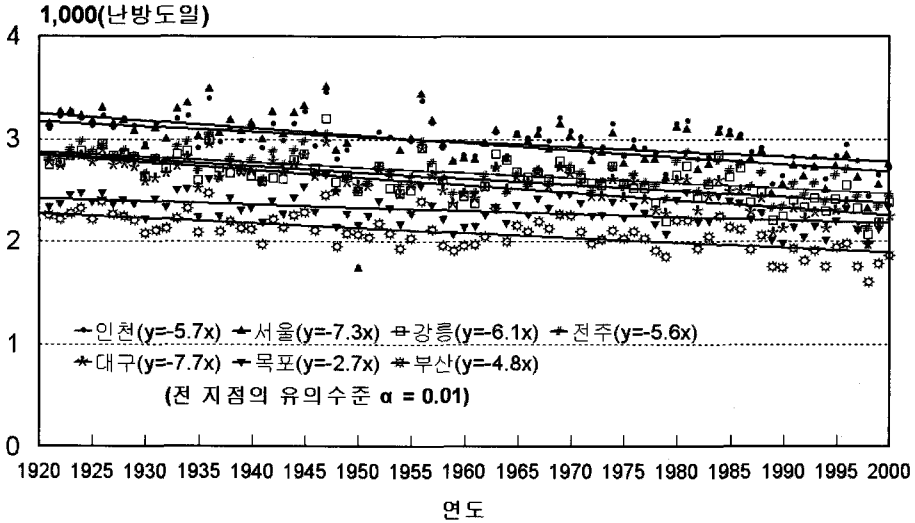


그림 17. 7개 기상관측지점의 난방도일의 시계열 변화

에 따라 난방을 필요로 하는 일수도 감소하게 되기 때문이다. 또한 본 연구에서 사용한 기후 시나리오와는 다른 A2 시나리오에 의한 것이지만 김지혜·서승직(2006)의 연구에 의하면 미래 난방도일의 변화를 가지고 에너지 수요량을 예측한 결과, 난방도일은 20세기보다 21세기에 더 급격하게 감소할 것으로 예상하였으며, 미래 에너지 수요량이 매우 크게 변화할 것이라고 하였다.

4. 결론

계절의 변화는 우리의 의식주에 직접적인 영향을 미치며, 산업, 경제, 문화 등 여러 분야에서 관심의 대상이다. 특히, 최근 들어 산업 마케팅에서는 계절 시작일이나 여름 및 겨울 지속기간의 변화에 따라 생산해 내는 물량의 조절이나 아이템 개발, 수요 증가에 대비한 대책을 마련해야하므로 계절 변화 전망은 필수적인 정보이다. 또한 지자체에서도 만약 앞으로 여름철은 점차 증가하고 겨울철이 감소하거나 존재하지 않게 된다면, 각 지역의 특성에 맞추어 주민 편의나 복지 시설을 준비해야하며, 관광사업의 종류를 개선해야 할 것이다. 그 외에도 계절 지속기간의 변화에 따라 농작물의

종류와 수확 기간이 달라지고, 생태계의 변화도 생기므로 농업, 수산업, 임업과 같은 분야에서도 이에 대한 대책을 마련해야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 1921년부터 2000년까지 장기간의 자료를 보유하고 있는 7개의 기상관측지점의 계절 시작일 및 계절 지속기간의 변화 및 전망을 분석하였다.

계절 시작일의 변화는 1920년대부터 1950년대까지는 대체로 봄과 여름의 시작일은 빨라지고 가을과 겨울의 시작일은 늦어지는 경향을 보이다가 전 세계적으로 한랭기였던 1960년대에는 봄 시작일은 늦어지고 겨울 시작일은 빨라지는 특성을 보였다. 그러나 여름과 가을의 시작일은 1960년대 한랭기의 영향을 크게 반영하지 않는 특징을 보였다. 1970년대 이후부터는 다시 봄 시작일은 늦어지고 겨울 시작일은 빨라지는 경향을 보였다.

봄 시작일은 위도가 낮을수록 빨라졌으며, 가장 봄이 빠른 부산 지점과 가장 늦은 인천 지점의 1990년대 봄 시작일은 한달 정도 차이가 난다. 2090년대에는 남부 지역에 위치한 지점들은 봄 시작일이 1990년대보다 한달 정도 빠른 1월 중순경이 될 것으로 전망되었다.

여름 시작일은 위도가 낮으면서 해안 지역보다는 내륙 지역일수록 빨라지는 성향을 보이는데, 여름이 가장 빨리 시작되는 대구 지점의 경우 여름 시작일이

1990년대에는 5월 중순이던 것이 2090년대에는 4월말 이 될 것으로 전망되었다.

가을 시작일은 1970년대 이후 점차 늦어지기 시작하여 1990년대에는 대부분 지점들이 9월 말에서 10월초에 가을이 시작된다. 미래 전망 자료에 의하면 2040년대와 2090년대로 가면서 가을 시작일은 점점 더 늦어져 2090년대에는 10월 중순쯤으로 전망되었다.

겨울 시작일은 봄 시작일의 변화와 비슷한 경향으로 1990년대에는 대부분 12월 중순 이후에 겨울이 시작되었다. 특히, A1B 시나리오 자료에 근거한 모델 예측 자료에 의하면 강릉, 목포, 부산 등 남해안과 동해안 부근에 인접한 지점들은 2090년대에는 겨울이 존재하지 않을 것으로 전망되었다.

여름과 겨울 지속기간의 변화 특성은 위도별, 내륙·해안 지역별로 구분되었는데 위도가 낮은 지역일수록 기온이 높아 여름철이 겨울철보다 긴 특성을 보였다. 1960년대 이후 분석 지점들에서 여름 지속기간은 점차 증가하는 추세이고 겨울 지속기간은 감소하는 추세였다. 대도시 지역일수록 지구온난화와 도시화로 인한 증감폭은 더 큰 경향을 나타냈다. 1990년대부터 겨울 지속기간이 크게 감소하면서 여름과 겨울 지속기간은 더 큰 차를 보여 대구, 부산, 목포 지점 등은 여름철이 겨울철보다 2배가량 길게 나타났다.

비슷한 위도대의 경우 여름과 겨울 지속기간 차이는 내륙지역보다 해안지역에서 더 컸다. 특히, 30년 평년 값 대비 최근 10년간의 수온 상승률이 큰 남해안과 동해안에 위치한 지역일수록 여름철은 길어지고 겨울철은 짧아지는 특성을 보였다. 미래 전망 자료의 결과에서도 2090년대에는 강릉, 부산, 목포 등 남해안과 동해안에 인접한 지점들에서는 겨울철이 없어지는 경향을 보였다. 이러한 결과로부터 생각해 볼 수 있는 것은 권영아 등(2007)이 트레와다 기준에 의해 전망한 2071-2100년의 아열대 기후 지역에는 강화, 인천 지점 등을 포함한 중위도 서해안 지역이 포함되었으나, 본 연구 결과에 의하면 2090년대에 중위도 서해안 지역은 시베리아 기단의 영향으로 추운 겨울이 2달 이상 존재하는 것으로 전망되었기 때문에 중위도 서해안 지역을 남해안이나 동해안 지역과 같은 기후 지역으로 분류하기에는 무리가 있다.

본 연구도 27km의 해상도를 가지고 있는 모델로부터 미래 기후 전망 자료를 산출한 것이기 때문에 지역적인 규모로 접근하기에는 아직도 부족한 점이 많다. 그러나 국가적 차원의 정책이나 경제, 사회 분야에서는 장기적인 인프라를 구축해야 하기 때문에 현재 개발된 모델의 한계점에도 불구하고 모델을 이용하여 미래 기후를 모의하고 전망하는 일은 필요하다. 따라서 앞으로 지속적으로 관측 자료를 기반으로 장기적인 변화 추세를 주지하고, 좀 더 지역적인 규모에서 미래 기후를 전망할 수 있도록 다양한 고해상도의 모델을 개발하고 발전시켜야 할 것이다. 또한 미래 기후 전망과 관련된 연구들은 지속적으로 수정이 이루어져야 할 것이다.

謝辭

본 연구는 기상청 국립기상연구소 사업 “metri-2007-B-5”의 지원으로 수행되었으며, 국립기상연구소의 기후변화 시나리오를 사용하였다.

文獻

- 강만석, 1981, “한국의 자연계절구분에 관한 종관기후학적 연구,” 효성여대는문집, 23(3), 1303-1367.
- 권영아, 2006, “최근 한국의 서리 현상의 공간 분포와 계절 변화 경향,” 대한지리학회지, 41(3), 361-372.
- 권영아·권원태·부경은·최영은, 2007, “A1B 시나리오 자료를 이용한 우리나라 아열대 기후구 전망,” 대한지리학회지, 42(3), 82-95.
- 기상연구소, 2002, 기후변화협약 대응 지역기후시나리오 산출기술개발(I), 기상연구소.
- 기상연구소, 2003, 기후변화협약 대응 지역기후 시나리오 산출기술개발(II), 기상연구소.
- 기상연구소, 2004a, 기후변화협약 대응 지역기후 시나리오 산출기술개발(III), 기상연구소.
- 기상연구소, 2004b, 한국의 기후, 두솔, 서울.
- 기상연구소, 2005, 기후변화협약 대응 지역기후시나리오 활용기술 기발 (I), 기상연구소.
- 기상연구소, 2006, 기후변화협약 대응 지역기후시나리오 활용기술 기발 (II), 기상연구소.

- 김연옥, 1987, 기후학개론, 정익사, 서울.
- 김연옥, 1998, 기후변화-한국을 중심으로-, 민음사, 서울.
- 김지혜 · 서승직, 2006, "기후 온난화의 영향에 의한 건물 의 냉 · 난방에너지 수요량 예측," 한국태양에너지 학회 논문집, 26(3), 119-125.
- 유진호 · 강인식, 2002, "계절전이와 관련된 기온변동과 계 절의 장기 변화 경향," 대기, 12(1), 107-110.
- 윤원태 · 부경은 · 김래선 · 조하만, 1998, "동아시아지역 여름철 주기파의 성향과 북태평양고기압의 변동," 한국기상학회지, 34(3), 365-375.
- 윤원태 · 부경은, 1999, "엘니뇨해와 관련한 중위도 일시파 의 특성," 한국기상학회지, 35(1), 146-155.
- 이병설, 1979, "우리나라의 자연계절에 관한 연구," 지리 학, 14(2), 1-11.
- 이승호, 1995, "한반도 주변의 기압배치형에 의한 한국의 자연 계절 구분," 지리학연구, 26, 65-78.
- 이승호 · 이경미, 2003, "기온변화에 따른 빙꽃 개화시기의 변화 경향," 환경영향평가학회지, 12(1), 45-54.
- 이현영, 1980, "남한 주요도시의 난방도일," 지리학, 22, 10-22.
- 최광용 · 권원태, 2001, "20세기 우리나라 자연계절 전이와 생활기온지수의 변화," 지리교육논집, 45, 14-25.
- 최광용 · 권원태 · David A. Robinson, 2006, "우리나라 사 계절 개시일과 지속기간," 대한지리학회지, 41(4), 435-456.
- Alpert, P., Osetinsky, I., Ziv, B., and Shafir, H., 2004, A new seasons definition based on classified daily synoptic systems: an example for the eastern Mediterranean, *International Journal of Climatology*, 24, 1013-1021.
- Alsop, T. J., 1989, The natural seasons of Western Oregon and Washington, *Journal of Climate*, 2(8), 888-896.
- Choi, G., Kwon, W. T., and Robinson, D. A., 2004, Changes of seasonality in South Korea, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(4), 504.
- Choi, Y., 2005, Temporal and spatial variability of heating and cooling degree-days in South Korea, 1973-2002, *Journal of the Korean Geographical Society*, 40(5), 584-593.
- Giles, B. D. and Flocas, A. A., 1984, Air temperature variations in Greece, Part 1. persistence, trend, and fluctuations, *Journal of Climatology*, 4, 531-539.
- Kalnicky, R. A., 1987, Seasons, singularities, and climatic changes over the midlatitudes of the Northern Hemisphere during 1899-1969, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, 1496-1510.
- Lamb, H. H., 1950, Types and spells of weather around the year in the British Isles, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 76, 393-438.
- Moon, S. E. and Um, H. H., 1980, The divisions of the natural seasons of Korea, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 16(1), 45-54.
- Pielke, R. A., Garstang, M., Lindsey, C., and Gusdorf, J., 1987, Use of a synoptic classification scheme to define seasons, *Theoretical and Applied Climatology*, 38, 57-68.
- Stearns, S. D., 1984, *Digitale verarbeitung analoger Signale*, R. Oldenbourg Verlag Muenchen.
- Trenberth, K. E., 1983, What are the seasons?, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 64, 1276-1282.
- Ye, D., Jiang, Y., and Dong, W., 2003, The northward shift of climatic belts in China during the last 50 years and the corresponding seasonal responses, *Advances in Atmospheric Sciences*, 20, 959-967.
- Youn, Y. H., Oh, I. S., Park, Y. H., and Ahn, J. B., 2004, Long-term variabilities of air temperature in the Korean peninsula, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 40(3), 361-368.
- 교신: 권영아, 156-720, 서울시 동작구 신대방동 460-18번지, 기상청 국립기상연구소 기후연구팀 (이메일: yakwon71@hotmail.com)
- Correspondence: Young-Ah Kwon, Climate Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, KMA, Sindaebang-dong, Dongjak-gu, Seoul, 156-720, Korea (e-mail: yakwon71@hotmail.com)

최초투고일 07. 08. 28.

최종접수일 07. 11. 29.