

# 20세기 한반도 중부지방의 여름철 기온 변화

최광용\* · 최종남\*\* · 김종욱\*\*\*

## The Temporal Variations of Summer Temperature in Central Area of Korea during the 20th Century

Gwang Yong Choi\* · Jong Nam Choi\*\* · Jong Wook Kim\*\*\*

**요약** : 본 연구에서는 지난 20세기 동안 한반도 중부 지방의 여름철 7월과 8월의 일최고기온과 일최저기온의 지역적 패턴을 조사하였다. 조사 결과 연구기간 동안 여름철 일최고기온의 평균 및 일정 임계치 이상의 고온특이일의 빈도가 감소하는 경향을 나타냈다. 반면, 여름철 일최저기온의 평균은 지속적으로 상승하여 결과적으로 이 지역의 여름철 일교차의 평균이 급격히 감소하는 경향을 보였다. 일최고기온의 감소 추세는 1950년대 이래로 진행되어온 조림사업으로 인한 삼림 임목 축적량의 증가와 관련성이 있는 것으로 추정되었다. 이 밖에도 본 연구에서는 현재의 도시화와 지구온난화가 지속된다는 가정 하에 기온극값 발생빈도의 장기적인 패턴변화를 예측하는 모델을 제시하였다.

**주요어** : 20세기, 한반도 중부지방, 여름, 일최고기온

**Abstract** : This paper presents temporal patterns of daily maximum and minimum temperatures in the central area of Korea during the 20th century. The annual average of daily maximum temperature and its frequencies equal to or above selected thresholds have been decreased in summer, July and August. The decrease of summer maximum temperature and the steep increase of summer minimum temperature were responsible for the decrease of diurnal temperature range. It is apparent that the annual forestry growing stock in the central area of Korea since 1950 has significantly contributed the temporal patterns of daily maximum temperatures. Linear regression model shows the possibility to predict the trends of occurrence of extreme temperature events in the cities, as global warming and urbanization continue.

**Key Words** : the 20th century, central area of Korea, summer, daily maximum temperature

### 1. 도입

지난 20세기 동안 산업화와 도시화로 인해 발생한 다량의 온실가스가 대기로 유입되어 북반구 중위도 지역을 중심으로 일최저기온은 급격한 상승을 보였으며, 일최고기온은 완만한 상승을 보였다. 그 결과 평균기온은 상승하고 일교차는 감소하였다(Karl *et al.*, 1993; DeGaetano, 1996). 그러나 IPCC(1995)는 지구온난화에 대한 기후변화 패턴은 지역에 따라 다양하게 전개되고 있다고 밝히고, 각 기후요소의 평균값의 분석보다는 기후극값의 분석이 기후변화의 연구를 위한 보다 나은 단서를 제공할 수 있다고 제시하였다. 국내의 기

후변화에 대한 연구들은 주로 기후요소의 평균값의 분석에 초점이 맞추어져 있었고(하주영, 1998; 이명인, 1996; 백희정 외, 1994), 특이기후현상에 관한 연구들(백지선 외, 1999; 이중희, 1984; 이장열, 1977)의 경우, 이들 특이기후와 다른 기후인자들간의 관계나 이를 바탕으로 한 특이기후현상의 예측에 관해서는 연구가 거의 이루어지지 않았다. 본 연구는 20세기 동안 한반도 중부지역의 여름철 기온 극값의 변화와 이에 영향을 주는 요소들과의 관계를 밝히는데 그 목적을 두었고, 이 관계를 통해 만들어진 회귀모델을 통해 일평균기온의 변화에 따른 일최고기온과 일최저기온의 극값 발생빈도를 예측하였다.

\* 서울대학교 지리교육과 석사과정(Graduate Student in Master Degree Program, Department of Geography Education, Seoul National University)

\*\* University of Georgia 지리학과 박사과정(Graduate Student in Doctoral Program, Department of Geography, University of Georgia)

\*\*\* 서울대학교 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, Seoul National University)

## 2. 연구자료 및 연구방법

강릉(37.75°N, 128.90°E, 해발고도 26m)과 서울(37.57°N, 126.97°E, 해발고도 85.5m)은 한반도 중부지방의 동서에 위치하고 있으며, 비교적 장기간에 걸친 기후자료를 축적하고 있는 도시이다. 본 연구에서는 한국전쟁을 겪으면서 발생한 강릉(1950~1951)과 서울(1951~1953)의 결측기간을 제외하고, 관측 이래 20세기의 강릉 86년(1912~1999), 서울 89년(1908~1999) 동안의 기후자료를 분석하였다. 강릉은 연구기간 동안 관측소의 이동이 없었으며, 서울의 경우에는 1933년 1월 종로구 운니동에서 송월동으로 이동을 한 기록이 있다(기상청, 1995). 그러나 본 연구는 한반도 중부지방의 장기간의 추세 분석에 초점을 두었으므로 연구기간 동안 비교적 짧은 거리를 이동한 서울의 기후자료가 연구결과에 미치는 영향이 거의 없을 것으로 추정된다. 그러나 이러한 관측소 이동에 의해 추세분석시 발생하는 오류를 피하기 위해 서울의 경우 1933년 이후의 자료 분석 결과도 필요시에는 제시하여 보았다. 본 연구는 기상청에서 관측한 7월과 8월의 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온, 일교차, 일평균운량, 일평균 대기 중 수증기압, 그리고 산림청에서 제공한 삼림의 임목 축적량을 이용하여 이루어졌다.

각 기후요소의 7월과 8월의 일평균 값들을 다시 평균하여 이를 각 기후요소의 여름철 평균으로 사용하였다. 각 기후요소의 여름철 평균과 일정 임계치를 기준으로 한 여름철 기온극값 발생빈도와와의 상관관계를 살펴보기 위하여 피어선 상관계수를 산출하였다. 또한, 각 기후요소의 여름철 평균과 1950년대 이래의 임목축적량의 경년변화를

살펴보았다. 이와 더불어, 회귀모형을 통하여 기후변동에 따른 강릉과 서울의 극값 및 극값발생 빈도의 변화를 예측하였다.

## 3. 한반도 중부 지방의 여름철 기온과 기온특이일 발생빈도의 경년변화

20세기 동안 한반도 중부지방의 두 도시 강릉과 서울에서 여름철 평균 일최고기온이 모두 감소하였다. 반면, 여름철 평균 일최저기온은 강릉과 서울 모두 상승하였다(표 1). 그 변화율은 여름철 평균 일최고기온은 관측이 시작된 이래 20세기 동안 강릉에서 0.98°C, 서울에서 0.84°C 감소하는 추세를 보였고, 여름철 평균 일최저기온은 강릉에서 0.82°C, 서울에서 1.22°C 상승하는 경향을 나타냈다. 서울의 경우 1933년 이후만의 자료를 사용한 경우에는 이러한 1999년까지의 일최고기온의 감소 경향이 1.82°C로 더욱 뚜렷하게 나타났다. 한편, 이와 같은 강릉과 서울의 일최고기온과 일최저기온의 일차 추세선은 87~99%이상의 통계적 유의성을 지닌 반면, 일평균기온의 일차 추세선은 67~80%의 낮은 유의성을 나타내었다. 이런 유의성의 결과를 통해서, 어떤 지역의 기온 변화는 계절 평균 기온보다는 일최고기온과 일최저기온과 같은 극값변화에서 보다 극명하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

이러한 추세선의 결과는 일반적으로 북반구 중위도에서 나타난 지구온난화가 주로 일최저기온의 강한 상승과 일최고기온의 약한 상승을 보이며 진행된다는 기존의 연구들(IPCC, 1995; Karl et al., 1993)과는 다른 양상을 보여주고 있다. 강릉

Table 1. The linear trends of temporal patterns for the average climatic variables in Kangnung(1912~1999) and Seoul (1908~1999), Korea in summer. The value in the parenthesis presents the trends for Seoul in the period of 1933~1999.

	강릉		서울	
	기울기	상수	기울기	상수
여름철 평균 일최고기온	-0.0098	28.757	-0.0084(-0.0182)	29.951(30.063)
여름철 일평균기온	0.0043	23.853	0.0050( 0.0046)	24.723(24.882)
여름철 평균 일최저기온	0.0082	20.361	0.0122( 0.0126)	20.950(21.325)
여름철 평균 일교차	-0.0180	8.396	-0.0206(-0.0308)	9.001( 8.739)
여름철 평균 운량(10)	-0.0006	7.199	-0.0026(-0.0077)	7.290( 7.408)
여름철 평균 수증기압	0.0028	23.620	0.0100( 0.0040)	24.202(24.768)

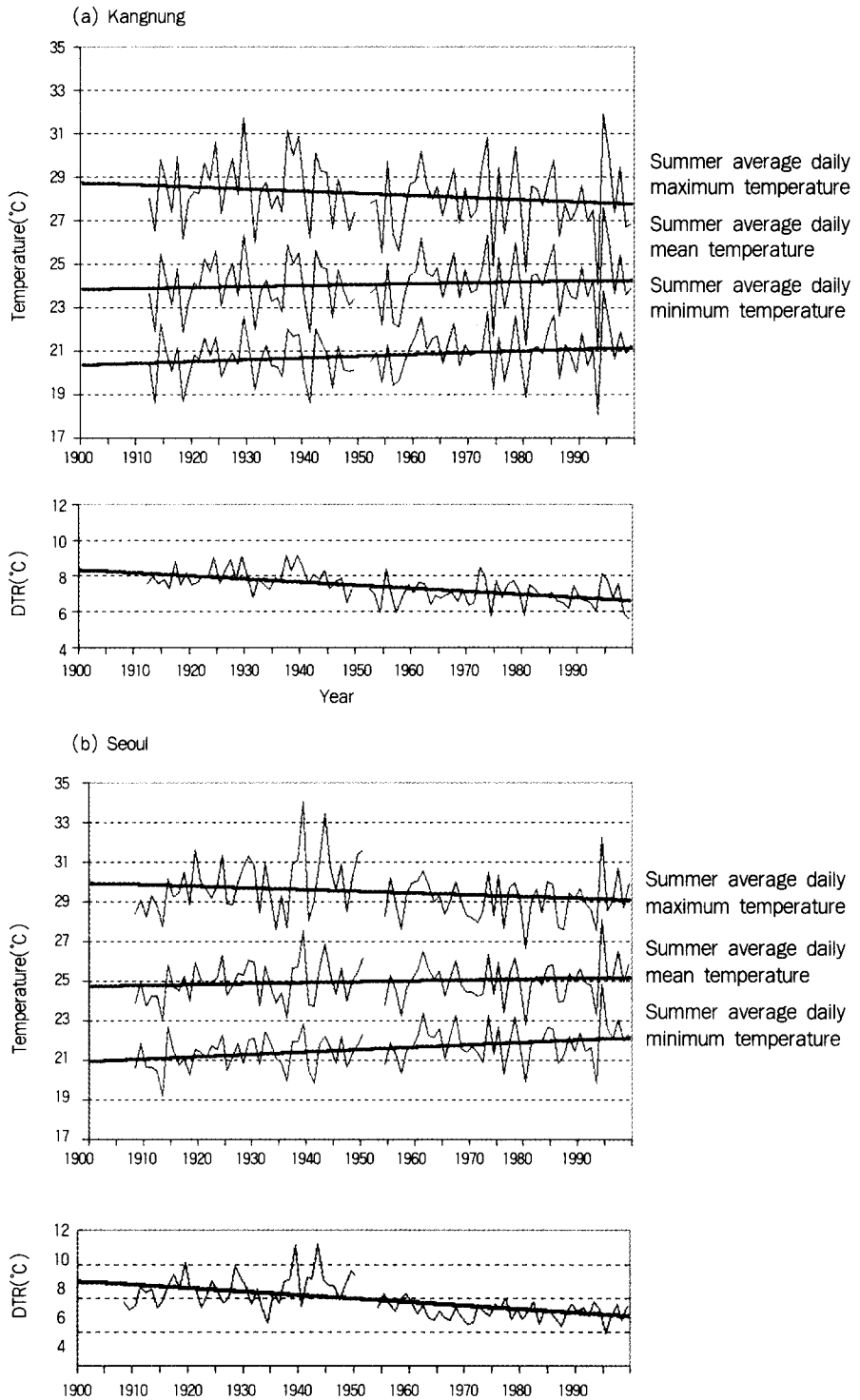


Figure 1. The temporal variations of average temperatures in summer during the 20th century. DTR means diurnal temperature range.

의 경우에는 일최고기온의 하강률이 일최저기온의 상승률보다 심지어 더 높게 나타나기도 하여 지구온난화는 지역적으로 다양하게 나타나고 있음을 제시하고 있다.

서울과 강릉 두 연구지역에서는 이와 같은 일최저기온의 급속한 상승과 약하지만 지속적으로 감소하는 일최고기온으로 인하여 급격하게 일교차가 줄어드는 경향을 보이고 있다(표 1과 그림 1). 여름철 연평균 일교차의 감소율은 강릉과 서울지역에서 지난 20세기 동안 각각 1.80°C와 2.06°C씩 나타났다. 특히 서울의 경우 1933년 이후의 일교차의 감소율은 3.08°C로 더욱 크다.

또한, 한반도 중부지역의 여름철 일교차, 일최고기온, 일최저기온의 상관관계를 살펴보았다. 일교차와 일최고기온의 상관계수가 강릉과 서울에서 각각 0.736과 0.723로, 강릉과 서울에서 각각 0.082와 -0.220로 나타난 여름철 일교차와 일최저기온과의 상관계수보다 보다 높게 나타났다(표 3). 이러한 결과는 연구지역에서 일교차의 변화가 일최고기온의 감소와 보다 밀접하게 관련을 가지고

있음을 나타낸다. 북반구 중위도지역의 온난화로 인한 일교차의 감소가 주로 일최저기온의 상승에 의해 이루어진 반면, 한반도 중부지역의 경우, 일최고기온의 감소추세가 일교차의 감소를 발생시키는 중요한 인자로 작용했음을 알 수 있다. 이러한 일최고기온의 감소현상과 일최저기온의 상승현상을 세부적으로 살펴보기 위해 각 기온의 평균에서 1.0, 2.0, 3.0 표준편차만큼 크거나 또는 작은 임계치를 중심으로 여름철 7~8월 62일간에 발생한 기온특이일 빈도의 경년변화를 살펴보았다. 여름철 기온특이일의 발생빈도의 경년변화를 살펴보면, 일최고기온의 고온특이일 및 일최저기온의 저온특이일의 발생빈도 역시 20세기 동안 두 도시에서 모두 감소하였다(그림 2).

이와 같은 일최고기온의 고온특이일과 일최저기온의 저온특이일 발생빈도의 감소현상은 서울과 강릉 두 지역 모두 1960년을 중심으로 두드러지게 나타난다. 특히, 이러한 1960년대 이후의 급격한 변화는 일최저기온의 저온특이일의 감소에서 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다. 표 2는 Mann-Whitney 검

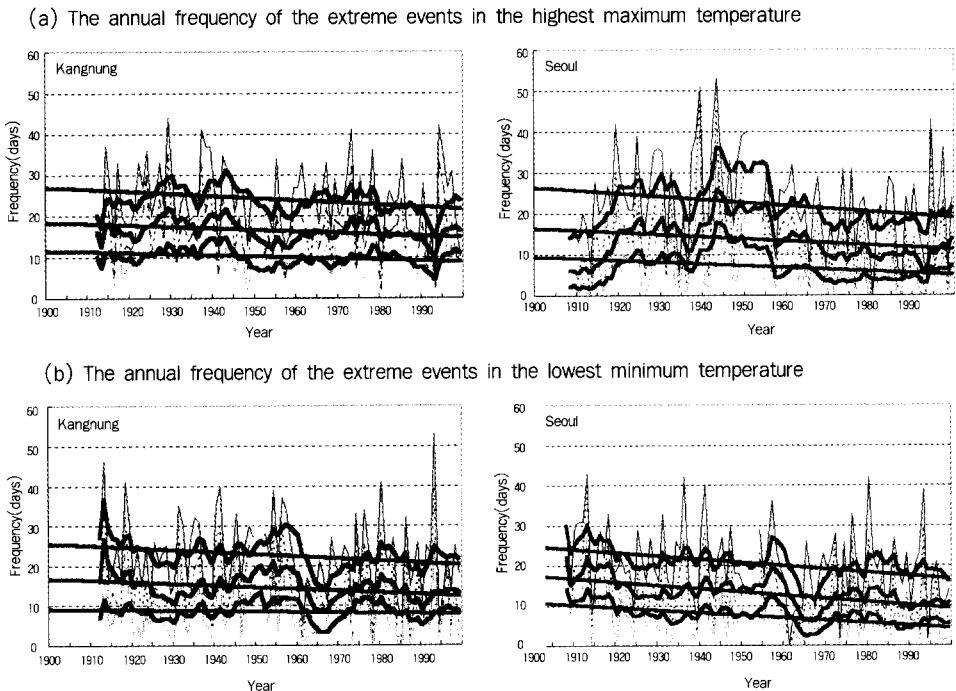


Figure 2. The annual frequency of extreme temperature events exceeding or under 1.0, 2.0, and 3.0 standard deviation from the long-term average value in summer from the upper part in each graph.

Table 2. The changes in temperature, cloud amount, and water vapour in Kangnung and Seoul in summer between two periods, before and after 1960.

지역	요 소	1960년 이전	1960년 이후	변화값	Mann-Whitney Sig.
강릉	일최고기온	28,321	28,066	-0.255	0,000
	일평균기온	23,912	24,305	+0.393	0,030
	일최저기온	20,566	21,128	+0.562	0,000
	일 교 차	7,755	6,937	-0.818	0,000
	운 량	7,230	7,090	-0.140	0,000
	수증기압(mb)	23,509	24,090	+0.500	0,000
서울	일최고기온	29,872	29,110	-0.762	0,000
	일평균기온	24,943	25,050	+0.107	0,192
	일최저기온	21,327	21,914	+0.587	0,000
	일 교 차	8,545	7,196	-1.349	0,000
	운 량	7,144	7,148	+0.004	0,004
	수증기압(mb)	24,494	25,011	+0.517	0,000

정을 통하여 1960년 이전과 이후의 일최고기온과 일최저기온의 변화를 비교한 결과이다. 1960년대 이후 연구지역의 여름철 일최고기온은 강릉에서 0.255°C, 서울에서 0.762°C씩 통계적으로도 유의하게 감소하였다. 한편, 여름철 일최저기온은 강릉에서 0.562°C, 서울에서 0.587°C 상승하였고, 이러한 결과는 95% 이상의 유의수준을 가지고 있다. 이러한 경향이 반영된 결과, 여름철 평균 일교차는 1960년대 이후, 강릉과 서울에서 각각 0.818°C와 1.349°C씩 감소하였다. 반면 일평균기온의 여름철 평균기온은 두 시기간에 강릉과 서울에서 0.393°C와 0.107°C 조금 상승한 것으로 나타나지만 통계적으로 유의하지는 않았다. 이러한 결과는 평균기온을 통한 기후 변동의 연구가 가지는 단점을 잘 지적해주고 있다.

#### 4. 한반도 중부지방 기온극값 변화의 요인

운량과 수증기압 모두 일교차의 변화에 영향을 주는 중요한 기후요소이며, 일최고기온과 일최저기온의 급격한 변화에 대한 완충작용을 한다(Karl et al., 1993; Oke, 1987). 구름은 지구대기로 들어오는 단파복사의 일부를 반사시켜 지표면에 도달하는 단파복사량을 감소시키므로 일최고기온의 상승을 억제한다. 또한 구름은 지표에서 방출되는 장파복사를 흡수한 후, 이를 다시 지표면으로 복사함으로써 일최저기온의 하강을 막는 작용을 한다. 대표적인 온실가스중의 하나인 대기중의

수증기도 구름과 마찬가지로 장파복사를 흡수하여, 이를 재복사함으로써, 복사냉각으로 인한 급격한 기온의 하강을 완화시키는 역할을 한다(Karl et al., 1993). 또한, 대기중 수분의 응결과 증발과 관련한 잠열의 유출입은 기온극값의 발생을 완화시키는 작용을 한다. 이처럼, 대기중의 운량과 수증기압은 기온의 변화뿐만 아니라, 일교차의 변화와도 밀접한 관련을 맺고 있다.

이러한 사실은 강릉과 서울의 기온의 변화와 이들 지역의 운량과 수증기압의 변화와의 상관관계 분석에서 확인할 수 있다. 여름철 일최고기온과 운량은 강한 음(-)의 상관관계를 나타내었고, 일최저기온과 수증기압과는 강한 양(+)의 상관관계를 보이고 있다(표 3). 강릉과 서울의 일최고기온과 운량과는 각각 -0.567, -0.545의 상관관계를 보이므로써 두 지역 일최고기온의 감소의 약 30% 정도는 운량의 증가로 설명가능하며, 일최저기온과 수증기압과는 강릉과 서울에서 각각 0.773, 0.706의 상관관계를 보이면서, 특히 강릉에서는 일최저기온의 상승의 원인으로 수증기압이 최고 60% 정도까지 작용하였음을 짐작할 수 있다. 기온과 운량, 수증기압과의 관계, 그리고 기온특이일의 발생빈도와 관련하여 연구한 결과들은 표 1에서 제시한 평균기온의 계절평균과의 일차 추세 분석을 통해서 찾아내기는 어렵다.

한편, 도시화와 산업화, 그리고, 인위적인 환경의 변화와 관련하여 지표 환경의 변화가 여름철 기온의 극값 발생빈도에 영향을 미칠 수 있다. 지

Table 3. The Pearson correlation coefficients' matrix amid temperature, cloud amount and water vapour in Kangnung and Seoul in summer in the period of the 20th century.

		일최고기온	일평균기온	일최저기온	일교차	운량	수증기압
강 릉	일최고기온						
	일평균기온	0.939**					
	일최저기온	0.735**	0.887**				
	일교차	0.736**	0.495**	0.082**			
	운량	-0.545**	-0.430**	-0.190**	-0.612**		
수증기압	0.521**	0.634**	0.706**	0.061**	-0.035*		
서 울	일최고기온						
	일평균기온	0.880**					
	일최저기온	0.514**	0.816**				
	일교차	0.723**	0.344**	-0.220**			
	운량	-0.567**	-0.361**	0.026	-0.666**		
수증기압	0.277**	0.560**	0.773**	-0.307**	0.214**		

\*: significant at 0.05 level \*\* : significant at 0.01 level(2-tailed)

표에서 식생의 증발산은 지표면에 도달한 태양복사를 잠열의 형태로 방출함으로써 여름철 지표면 및 대기의 온도의 상승을 둔화시킬 수 있다(Oke, 1987). 예를 들어, 여름철 대도시의 공원이거나 녹지의 수목에서의 일최고기온은 일반적으로 주변지역의 그것보다 낮고, 일교차도 주변지역에 비해 크지 않다(Landsberg, 1981). 따라서 증가된 식생은 증발산을 증가시켜서 일최고기온의 급격한 상승을 줄일 수 있다. 이처럼 식생은 기후변화에 의해 직접적으로 영향을 받을 뿐만 아니라, 식생은 되먹임(feedback) 과정을 통하여 식생이 분포하는 지역의 기후에도 영향을 주게 된다(Karl et al., 1993). 예를 들면, 아마존 지역에서 삼림이 제거된 상태와 삼림이 현재의 상태와 같이 유지된 경우의 모델 산출결과를 비교한 연구결과에 의하면, 큰 규모의 삼림체가 넓은 지역에 걸쳐 기온상승을 억제하는 요소임을 알 수 있다(Carlos et al., 1991).

이러한 연구들과 관련된 결과를 한반도 중부 지방에서도 살펴볼 수 있다. 1960년대에서 현재에 이르기까지 지속된 조림사업으로 서울과 강릉이 위치한 경기도와 강원도의 임목축적량이 눈에 띄게 증가하였고, 1960년대 이후의 급격한 일최고기온의 고온특이일 발생빈도가 감소한 결과가 시기적으로 유사하다는 사실을 통해서 삼림의 기온상승 억제 효과를 추정할 수 있다. 넓은 지역에 걸쳐 삼림의 양은 점차 증가하여,

1960년대 초에 비해 1980년에는 임목축적량이 약 2~3배 가량이 증가하였고, 1990년대 말에는 무려 5~8배의 증가하였다(그림 3). 기온특이일의 발생빈도도 1960년대를 중심으로 하여 급격한 변화양상을 보였다. 본 연구에서 나타난 1960년대를 전후한 일최고기온의 감소는 이 시기를 중심으로 본격화된 국가적인 조림사업으로 인한 삼림의 증가와 밀접한 관련이 있을 것으로 추정된다. 즉, 삼림과 하천 등의 cool island는 이들이 분포하는 지역의 기온의 급격한 변화를 막는 완충작용을 한다. 이처럼, 삼림의 증가에 의한 기후변화는 단지 도시의 기상관측이 이루어지는 좁은 지역에만 국한되지 않고 상당히 넓은 지역에 영향을 주기도 할뿐더러, 이러한 영향은 장기간에 걸쳐 일어난다.

### 5. 여름철 기온극값 발생의 예상 모델 제시

여름철의 일정 고온 임계치 이상의 기온특이일의 발생빈도의 변화는 우리생활에 많은 영향을 미치고 있다. 예를 들면, 여름철 냉방장치 등의 사용과 관련된 에너지 소비량 변화, 노약자나 유아들의 옥외생활의 제한, 농촌의 비닐하우스나 도시의 공사장 내에서의 노동자들의 각종 고온과 관련된 질병의 유발 등은 여름철 기온특이일의 발생과 밀접한 관련이 있다(Kalkstein and Davis,

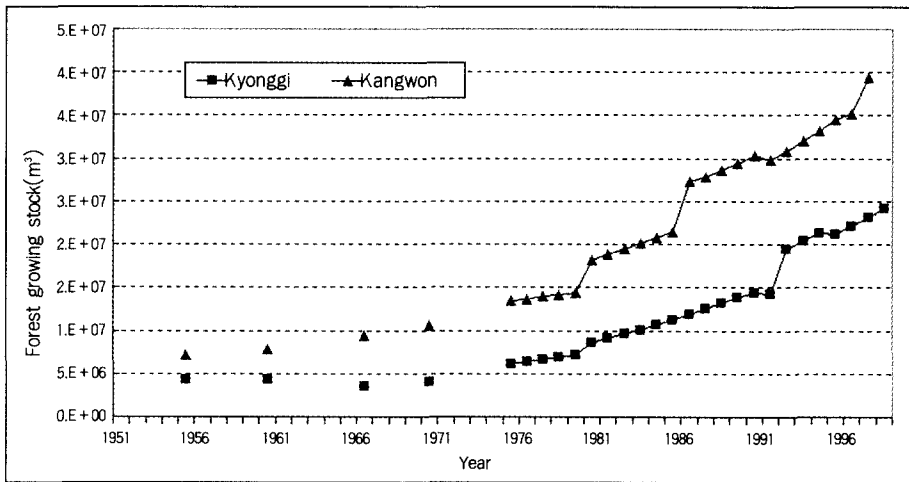


Figure 3. The annual forest growing stock of Kyonggi and Kangwon province in the central Korea since the 1950s.

1985). 따라서 여기서는 지난 20세기의 기후자료의 분석을 통해서, 기온특이일 발생빈도 변화의 장기적인 추세를 예측해 보고자 하였다.

표 4는 지난 20세기간의 강릉과 서울에서 일정 임계치를 기준으로 한 기온특이일이 평균적인 발생빈도와 평균기온, 수증기, 운량을 고려한 발생빈도의 예상지수를 나타내고 있다. 특히, 표의 가장 왼쪽의 발생빈도란에서는 각 임계치별 서울과 강릉 두 도시의 평균적인 발생빈도를 비교하여 많은 부분을 어둡게 표현을 해 보았다. 그 결과, 일반적인 해양과 인접한 도시의 기온편차가 크지 않을 것이라는 예상과는 다르게 일최고기온이 임계치 31~32°C 이상인 경우를 제외하고 모든 기온특이일의 발생빈도는 서울보다 강릉에서 더 높게 나타났다. 일반적인 추측과는 달리, 강릉이 서울보다 인접 해양과 가까움에도 불구하고, 여름철 기온특이일의 발생빈도가 보다 내륙에 위치한 서울보다 강릉에서 더 많이 발생하였다는 것은 매우 특이할 만한 일이다. 이러한 결과로 강릉의 기온특이일 발생빈도의 침도가 서울의 침도보다 작게 나타나는 것은 여름철 편서풍이 태백산맥을 넘으면서 발생하는 편현상 등 지형같은 국지적 요소와도 밀접한 영향 때문인 것으로 추정된다(김용상 외, 1996).

한편, 20세기간의 일최고기온과 일평균기온, 일최저기온, 운량, 수증기압 등의 장기간이 기후자료

를 이용하여 회귀모형을 구하였다. 표 4에서 제시한 S1의 값들은 매년 7~8월의 여름철 평균기온과 매년 각 임계치별 발생빈도간에 이루는 경험식의 기울기 값을 제시한 연구(Balling et al., 1990)를 보완하여 산출한 것이다. 여름철 특정 임계치별 발생빈도와 여름철 평균기온은 동일하더라도 7~8월간의 일평균기온은 해마다 다른 변화 경향성을 가지고 있으므로, 이러한 점을 고려하여 기존연구를 보완하기 위해 일평균기온의 표준편차를 모델에 반영하였다. 이러한 표준편차를 고려한 다중회귀모형은 Balling et al.(1993)의 일차 회귀모형 연구에서 지적한 기온특이일의 초과 예상치의 발생을 줄일 수 있었다. 또한, 기온극값의 발생에 영향을 주는 것으로 밝혀진 수증기와 운량을 고려한 지수(S2)의 경우에도 동일한 방법을 채택하였다. 본 연구는 각 임계치별로 95%의 유의수준에서 상관관계를 보이는 요소를 모두 고려한 다중회귀모형을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 회귀 모델은 아래와 같다.

$$y = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + e$$

- y : 특정 임계치의 기온특이일 발생빈도
- X<sub>1</sub>, X<sub>3</sub> : 매년 여름철 일평균기온 또는 운량 또는 수증기압의 7~8월 평균값
- X<sub>2</sub>, X<sub>4</sub> : 매년 여름철 일평균기온 또는 운량 또는 수증기압의 7~8월 표준편차

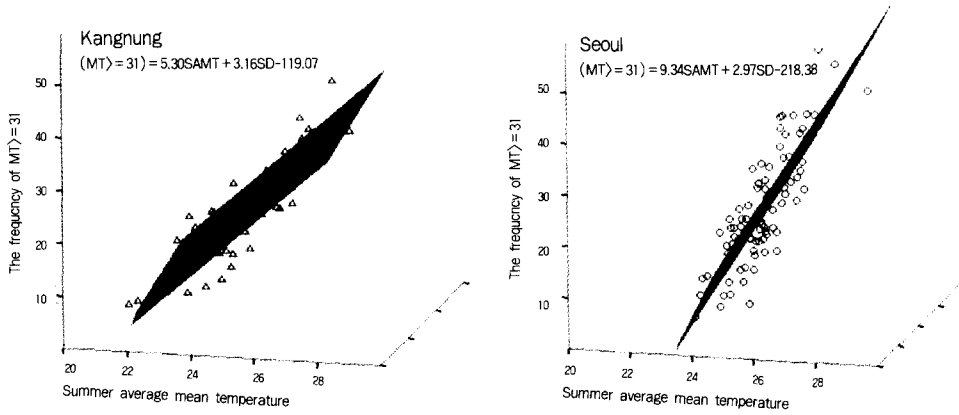


Figure 4. The result of linear regression model between the frequency of the extreme temperature events and the changing summer average mean temperature in the case of exceeding 31°C in maximum temperature.

Table 4. The frequency of extreme summer temperature events and its predicted variations at each threshold considering summer mean temperature, cloud cover, and water vapor in the central Korea. (MT: maximum temperature, mT: minimum temperature, S1: the predicted change of extreme events' frequencies associated with summer mean temperature, S2: same as S1 with cloud cover, and water vapor)

	발생빈도		표준편차		S1		S2	
	강릉	서울	강릉	서울	강릉	서울	강릉	서울
MT ≥ 36	1.23	0.97	2.12	2.63	0.89*	1.43*	-1.40/ -	-1.46/ -
MT ≥ 35	2.98	2.31	3.74	4.58	1.86*	2.80*	-2.80/ -	-2.85/ -
MT ≥ 34	5.64	4.62	4.65	6.17	2.80**	4.35**	-3.81/0.81*	-4.27/ -
MT ≥ 33	9.60	8.78	6.06	8.11	3.99**	6.31**	-4.60/1.49*	-5.05/1.71*
MT ≥ 32	13.91	14.36	6.87	9.76	4.65**	8.10**	-4.80/1.76*	-6.71/2.58*
MT ≥ 31	18.16	21.16	7.50	11.01	5.30**	9.34**	-5.89/2.14**	-7.39/3.53*
mT ≥ 27	1.16	0.19	1.80	1.29	0.64*	0.46	-1.33/ -	-0.51/0.33
mT ≥ 26	2.74	0.80	2.61	2.90	1.37**	1.26	-2.44/0.41*	-1.47/1.00*
mT ≥ 25	5.10	3.47	3.96	4.96	2.43**	3.06**	-4.07/0.86**	-3.74/2.09**
mT ≥ 24	9.06	9.61	5.72	7.84	3.89**	5.39**	-5.80/1.83**	-5.74/4.03**
mT ≥ 23	14.98	18.80	7.90	9.76	5.59**	7.63**	-7.23/2.94**	-6.61/5.49**
mT ≤ 20	25.00	15.51	9.64	8.25	-6.93**	-7.26**	5.24/-4.92**	4.49/-3.69**
mT ≤ 19	17.52	8.30	9.24	5.91	-6.19**	-4.75**	5.06/-4.40**	2.97/-2.10**
mT ≤ 18	10.64	4.21	7.35	3.92	-4.41**	-2.77**	2.70/-3.27**	- /-1.28*
mT ≤ 17	5.93	1.90	5.16	2.35	-2.72**	-1.38*	- /-2.14**	- /-0.61*
mT ≤ 16	3.26	0.70	3.51	1.32	-1.58**	-0.68*	- /-1.24**	- /-0.23
mT ≤ 15	1.47	0.24	2.06	0.88	-0.88**	-0.37	- /-0.65*	- /-0.16
mT ≤ 14	0.48	0.09	1.11	0.44	-0.38	-0.17	- /-0.26	- /-

\*: 0.30 ≤ r < 0.50, \*\*: 0.50 ≤ r < 2

- a : X<sub>1</sub>의 변화에 따른 특정 임계치 기온특이일 발생빈도의 장기적인 평균 변화율
- c : X<sub>3</sub>의 변화에 따른 특정 임계치 기온특이일 발생빈도의 장기적인 평균 변화율
- e : 잔차

이 회귀모델은 비교적 장기간(80년 이상)에 걸친 기후자료를 바탕으로 구해졌기 때문에, 일평균 기온의 여름철 평균의 변화에 따른 기온특이일의 발생빈도의 추세를 반영하는 데에는 무리가 없다고 할 수 있다. 이 회귀모델에 따르면, 일최고기온



이 31°C 이상인 고온특이일의 발생빈도는 여름철 평균기온이 1°C 상승하면 강릉에서는 약 5일, 서울에서는 약 9일씩 각각 증가하는 것으로 나타났다(그림 4). 반면에 일최저기온이 18°C 이하인 저온특이일의 발생빈도는 여름철 평균기온이 1°C 상승하면 강릉에서는 약 4일, 서울에서는 약 3일씩 각각 줄어드는 것으로 나타났다. 예상지수의 강릉과 서울의 지역적인 편차는 일최고기온의 고온특이일의 1~4일로 나타나 일최저기온의 저온특이일의 편차 0~1일보다 크게 나타나고 있다. 특히 서울의 일최고기온 31~33°C 이상인 고온특이일이 많이 증가할 것이라는 것을 예측할 수 있다. 한편, 이러한 모델의 사용에는 계절평균을 사용할 때 발생하는 일평균기온의 추세선의 낮은 유의수준이 문제가 될 수도 있다. 그러나 궁극적으로 일평균기온이 상승하면 일정 임계치 이상의 고온특이일 발생빈도가 증가할 것이라는 것은 한반도 중부지역의 보편적인 기후특색으로서, 가장적인 평균기온 상승의 시나리오에 따른 그 구체적인 기온극값 발생빈도의 증가정도를 예상할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

임계치별로 구한 값들을 종합적으로 추세를 분석해 보면, 현재 수준의 지구온난화와 도시화가 지속된다고 가정하면, 일최고기온과 일최저기온의 고온특이일의 발생빈도는 평균기온의 상승에 따라 강릉보다는 서울에서 더 높게 나타날 것임을 예상할 수 있다. 같은 방법으로 운량과 수증기압을 이용한 다중 회귀모델은 운량과 수증기압의 변화에 따른 임계치별 기온특이일 발생빈도 장기적인 변화의 추세를 예상 가능하게 해 준다. 이렇게 운량과 수증기압을 고려한 기온특이일의 발생빈도 변화 예상지수(S2)에서는 유의수준이 95% 이상이고,  $r^2$  값이 0.30 이상인 경우에만 산출하였고, 그 이하의 경우에는 분석에서 제외하였다. 그 결과 수증기압 1mb의 증가함에 따라서 일최저기온 19°C 이하인 저온특이일의 발생빈도는 강릉에서는 약 4일, 서울에서는 약 2일 줄어들 것으로 예상할 수 있다. 반면에 일최고기온이 31°C 이상인 고온특이일의 발생빈도는 강릉에서는 약 2일, 서울에서는 약 4일 증가하는 추세를 예상할 수 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 지난 20세기 동안 한반도 중부지방 여름철 기온극값의 경년변화를 조사하였다. 분석한 내용을 종합하면 다음과 같다.

첫째, 연구기간 동안 일최고기온의 여름철 평균 및 일정 임계치 이상(33~36°C)의 일최고기온의 고온특이일의 발생빈도가 한반도 중부지역에서 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 1960년대 이후에 뚜렷하게 나타났다. 특히, 일최고기온의 감소는 일최저기온의 급속한 상승과 더불어 일교차의 급속한 감소를 유발했다. 이러한 일최고기온의 감소 경향은 기존의 북반구 중위도 지역의 연구 결과와는 다르게 나타났다.

둘째, 운량은 일최고기온의 하강과 수증기압은 일최저기온의 상승과 밀접한 상관성을 지니고 있다는 것이 확인되었다. 아울러 한반도의 일최고기온의 하강은 1950년대 이래로 급속히 증가된 산림 임목 축적량과 밀접한 관련이 있을 것으로 추정되었다.

셋째, 여름철 기온특이일의 발생빈도는 강릉이 오히려 서울보다 더 높았다.

넷째, 제시된 모델에서 산출된 지수들은 일평균기온과 기온특이일의 발생빈도, 운량이나 수증기압과 기온특이일의 발생빈도간의 관계를 밝힘으로써 지구온난화와 도시화에 의한 지난 20세기의 기온극값의 변화를 토대로 여름철 기온특이일의 장기적인 변화추세를 예상 가능함을 알 수 있었다.

## 文獻

- 기상청, 1995, 기상관측환경편람.  
 김용상·홍성길, 1996, "늦봄 또는 초여름에 영동지방에서 나타나는 유사핀 현상에 관한 연구," 한국기상학회지, 32(4), 593-600.  
 백지선·손건태·김백조·오재호·이용희·백희정, 1999, "한반도 여름철 최고기온과 강우량에 나타난 특이사건의 장기변동분석," 한국기상학회 1999년 가을학술발표회집, 245-248.  
 백희정·권원태, 1994, "도시화로 인한 한반도 기온의 변화경향 분석," 기상연구논문집, 11(1), 12-26.  
 이명인, 1996, 한반도 기온변동성과 온난화, 서울대학

- 교 석사학위논문.
- 이장열, 1977, "남한에 있어서 하계 일최고기온의 출현특성에 관한 연구," *지리학과 지리교육*, 7, 43-65.
- 이중희, 1984, 韓國의 冬季氣溫의 變動 構造, 경북대학교 석사학위논문.
- 하주영, 1998, 한반도 기후 변동성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
- Balling, R. C., Skindlov, J. A. and Phillips, D. H., 1990, The impact of increasing summer mean temperatures on extreme maximum and minimum temperatures in Pheonix, Arizona, *Journal of Climate*, 3, 1491-1494.
- Carlos, A. N., Sellers, P. J. and Shukla, J., 1991, Amazonian deforestation and regional climate change, *Journal of Climate*, 4, 957-988.
- DeGaetano, A. T., 1996, Recent trends in maximum and minimum temperature threshold exceedences in the Northeastern United-States, *Journal of Climate*, 9, 1646-1660.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1995, *Climate 1995; The Science of Climate Change*.
- Kalkstein, L. S. and Davis, R. E., 1985, The development of a weather/mortality model for environmental impact assessment, *Proceedings of the 7th Conference of Biometeorologi and Aerobiology*, 334-336.
- Karl, T. R., Jones, P. D., Knight, R. W., Kukla, G., Plummer, N., Razuvayev, V. N., Gallo, K. P., Lindsay, J., Charlson, R. J. and Peterson, T. C., 1993, A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature, *Bulletin of American Meteorological Society*, 74, 1007-1023.
- Landsberg, H. E., 1981, *Urban climate*, Academic Press.
- Oke, T. R., 1987, *Boundary Layer Climate* (2nd ed.), Routledge.