

남한의 체감 무더위의 기후학

최광용* · 최종남** · 김종욱*** · 손석우****

The Climatology of Perceived Sultriness in South Korea

Gwangyong Choi*, Jongnam Choi**, Jong-Wook Kim***, and Seok-Woo Son****

요약 : 본 연구에서는 지난 26년간 (1973~1998) 기온과 상대습도에서 산출한 열지수(Heat Index)를 분석하여, 남한에서 발생한 생리기후적 체감 무더위의 시·공간적 분포 특징을 살펴보았다. 그 결과, 공간적으로, 중서부 내륙지방, 남서부 내륙지방, 남동부 내륙 지방을 중심으로 주요 생리기후 임계치 이상을 기록한 무더위가 빈번하게 발생하였다. 특히, 남동부 내륙의 밀양 지역은 타 지역에 비해 보다 빈번하게 장기간에 걸친 높은 열지수를 기록하여 남한에서 가장 무더운 생리기후적 극서지임이 밝혀졌다. 시간적으로, 1990년대에 접어들어 대부분의 연구지역에서 각 생리임계치 이상을 기록한 무더위의 발생빈도가 많이 증가하였다. 특히, 1994년은 연구기간 중 각 생리임계치 이상의 무더위 발생빈도가 남한 전 지역에 걸쳐 가장 높게 나타난 해였다. 보편적으로 일년 중 40.6°C 이상의 열지수를 나타내는 강한 무더위는 주로 여름장마가 끝나는 7월 말에서 1-2일간의 작은 강수가 시작되는 8월 초순 사이에 발생하였다. 이러한 남한의 무더위 발생의 시·공간적 분포 패턴은 대규모의 기단의 움직임뿐만 아니라 국지적인 지형, 위도, 해발고도, 수체 또는 도시화, 산업화, 조림사업 등의 자연적·인위적 기후 인자의 영향을 받아 지역마다 다양하게 나타났다.

주요어 : 시·공간적 패턴, 생리기후적, 체감 무더위, 열지수(Heat Index), 자연적·인위적 기후 인자

Abstract : This study examined temporal and spatial patterns of bioclimatic perceived sultriness in South Korea by analyzing the climatology of heat index calculated from ambient temperature and relative humidity for the period of 26 years (1973-1998). As results, spatially, bioclimatic sultriness above all thresholds frequently occurred mainly in the central western inner area, the southwestern inner area, and the southeastern inner area of South Korea. Especially, Miryang in the southeastern inner area of South Korea was proved to be, bioclimatically, the sultriest area in South Korea that has recorded frequent high heat index. Temporally, frequency of sultriness in the contiguous South Korea significantly increased in the 1990s. Specifically, In 1994, frequencies of heat index exceeding each threshold was the highest all over South Korea. Normally, the sultriness with high heat index exceeding 40.6°C occurred mainly for the period of between the end of July generally after Summer Changma and the beginning of August before another small rainy season of years. These temporal-spatial distributions of bioclimatic sultriness in South Korea showed various patterns regionally, affected by physical and anthropogenic climatic factors such as topography, latitude, altitude, water bodies or afforestation, urbanization, and industrialization as well as movements of large-scale air masses.

Key Words : temporal and spatial patterns, bioclimatically, perceived sultriness, heat Index, physical and anthropogenic climate factors

1. 서론

지구상의 인간을 포함한 생물은 활동하기에 가

장 적합한 최적온도를 중심으로 일정 한계범위 내에서 주변환경의 온도 변화에 효율적으로 적응해 나간다. 따라서 이러한 한계온도를 초과하는 열과

* 러거스, 뉴저지 주립대 지리학과 박사과정(Graduate Student, Department of Geography, Rutgers, The State University of New Jersey)

** 웨스턴 일리노이 주립대 지리학과 조교수(Assistant Professor, Department of Geography, Western Illinois University)

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

**** 펜스테이트 주립대 기상학과 박사과정(Graduate Student, Department of Meteorology, Penn State University)

혹은 한파 등의 이상기후 현상이 발생하면, 생물은 열 적응시 생리학적 및 행동학적으로 심각한 스트레스를 받게 된다(Klinenberg, 1999; Kunkel et al., 1999; Meehl et al., 2000). 우리나라에서 매년 늦봄과 초가을 사이에 불규칙하게 발생하는 이상 고온 현상도 건조지역과는 달리 높은 습도를 동반하기 때문에 높은 체감온도(Apparent Temperature, Sensible Temperature, or Perceived Temperature)로 열 스트레스(Heat Stress)를 초래하는 이상기후 현상의 하나라고 할 수 있다. 비정상적으로 다습한 고온의 대기환경에서는 인체와 대기사이의 온도 및 습도의 경도가 줄어들어, 인체의 복사냉각작용과 수분의 증발에 의한 인체의 잠열 방출작용도 현저하게 둔화된다. 따라서 인체가 이러한 무더운 대기환경에 지속적으로 노출될 경우 체내에 열에너지가 과잉 축적된다. 이러한 체내 열에너지 과잉 축적이 지속되면 인체가 열 스트레스를 받는 수준을 넘어서서 열에너지 방출과 밀접하게 관련된 순환기관에 무리가 오고(Oke, 1987), 심지어 순환기관 관련 기관에 질병을 가진 환자들의 사망 가능성도 높아지게 된다(Tromp, 1980). 이러한 무더위는 건강한 사람들에게도 주간의 다양한 옥외활동을 제한할 뿐만 아니라, 심지어 야간에는 효율적인 숙면을 저해하여 스트레스를 더욱 누적시킬 수 있다. 또한 갑자기 발생하는 강한 무더위는 단기간 전력사용량을 증가시켜 공급을 마비시킬 수 있고, 원활한 수자원 공급에 문제를 야기하는 등 사회경제적 피해를 가져올 수 있다(조선일보, 1994, 7. 22).

1990년대 이래로 북아메리카를 비롯한 세계 곳곳에서 최소 2~3일 이상 매우 강한 무더위가 지속되는 열파(Heat Wave)가 자주발생하고 있다. 대표적으로 1995년 7월에 시카고를 중심으로 미국중부 발생하여 사회경제적 손실은 물론 500명 이상의 사망자가 발생한 사례를 들 수 있다(Centers for Disease Control and Prevention, 1995). 이러한 강한 무더위는 이웃나라 일본에서도 1994년에 발생하여 일사병 및 열사병 사망자를 급증시키기도 하였다(Nakai et al., 1999). 이와 같이 강한 무더위에 의해 초래되는 직간접적인 인적·물적 피해는 다른 기후재해와 비교하여 그 규모가 적지 않다고 평가한 연구 결과도 있다(Changnon et al., 1996). 한반도에서도 무더위는 거의 매년 불규칙적으로 예외없이

발생하는 현상으로, 특정 연도에는 한반도 전역에 걸쳐 전혀 없는 높은 체감온도를 동반한 무더위가 수일 동안 지속된 경우도 있다. 그중에서도 1994년 7월에 발생한 무더위는 매우 강한 강도를 지니며 20일 이상 지속된 결과, 대도시 서울의 사망자수가 다른때에 비해 2배 이상 급증하기도 하였다(권호장, 1997; 최광용 외, 2002).

20세기 후반에 접어들어 다른 나라에서는 기온과 습도를 동시에 고려한 지수를 활용하여, 열파에 의해 발생한 인명 피해 분석에 관한 연구 결과들이 활발하게 보고 되고 있다(Smoyer et al., 1998, 2000a, and 2000b; Matzarakis et al., 1997). 그러나, 국내에서는 이상고온에 관한 분석에 초점을 맞춘 연구도 부족할 뿐만 아니라, 이상고온과 더불어 동반되는 높은 습도의 시너지적 작용에 의해 더욱 상승되는 생리적 체감 무더위의 발생에 관한 기후학적 연구는 거의 전무하다. 무더위가 인체 및 인간 생활에 미치는 영향은 전술한 바와 같이 매우 지대하나 국내의 생리기후학은 거의 연구 초기 단계에 머물고 있다. 고온과 관련된 체감 온도에 관한 국내 연구로는 Terjung의 Comfort Index를 이용하여 연누적(年累積) 열긴장도 분포도를 제시한 이종범 외(1982)의 연구, Steadman의 Apparent Temperature를 이용하여 서울의 생활쾌적도를 평가한 윤진일 외(1987)의 연구 등이 있을 뿐이다. 그러나 이러한 선행 연구에서 장기간의 자료를 이용한 남한 전체의 체감 무더위의 보편적인 발생빈도, 강도, 지속기간에 따른 시공간적 분포 특징에 대한 분석은 이루어지지 못하였다. 따라서 본 연구는 최근 무더위를 정량화 하는 지수로 널리 이용되고 있는 열지수(Heat Index)를 이용하여, 지난 26년간 (1973~1998) 남한에서 시공간적으로 다양하게 발생한 생리기후적 무더위 발생분포의 지역적 보편성과 특이성을 밝히고자 한다.

2. 연구 방법 및 연구 자료

Houghten et. al(1923)이 인체와 주변 환경간의 열교환 모델을 제시하고, 온도와 습도의 복합적 작용으로 체감되는 무더위를 정량화한 이래로 체감 온도를 지수화하려는 많은 연구들이 있었다

Temp(°C)	Relative Humidity(%)												
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
43	56.6												
42	53.7	57.5											
41	50.9	54.3	58.1										
40	48.3	51.3	54.8	58.5									
39	45.8	48.5	51.6	55.0	58.7								
38	43.4	45.9	48.6	51.6	55.0	58.6							
37	41.2	43.4	45.8	48.5	51.4	54.7	58.2						
36	39.1	41.0	43.1	45.5	48.1	51.0	54.2	57.5					
35	37.2	38.8	40.7	42.7	45.0	47.6	50.3	53.3	56.5				
34	35.4	36.8	38.4	40.2	42.2	44.4	46.8	49.4	52.2	55.2	58.4		
33	33.8	34.9	36.3	37.8	39.5	41.4	43.5	45.7	48.1	50.8	53.5	56.5	
32	32.3	33.2	34.4	35.6	37.1	38.7	40.4	42.3	44.4	46.6	49.0	51.5	54.2
31	30.9	31.7	32.6	33.7	34.8	36.2	37.6	39.2	40.9	42.7	44.7	46.8	49.0
30	29.7	30.3	31.0	31.9	32.8	33.9	35.0	36.3	37.7	39.1	40.7	42.4	44.2
29	28.6	29.1	29.7	30.3	31.0	31.8	32.7	33.7	34.7	35.9	37.1	38.4	39.7
28	27.7	28.0	28.4	28.9	29.4	30.0	30.7	31.4	32.1	32.9	33.7	34.7	35.6
27	26.9	27.1	27.4	27.7	28.1	28.5	28.9	29.3	29.7	30.2	30.7	31.3	31.8
26	26.2	26.4	26.6	26.7	26.9	27.1	27.3	27.5	27.7	27.9	28.0	28.2	28.4

Figure 1. Heat index chart(°C).

(Tromp, 1980; Quayle, 1981). 그 중에서 우리나라에 최근까지 가장 널리 사용된 무더위 체감 지수는 Thom(1959)이 개발한 후 미국의 National Weather Service(NWS)가 개량한 불쾌지수(Discomfort Index or Temperature Humidity Index)를 들 수 있다. 그러나 불쾌 지수는 습도의 변화에 둔감하며, 단위(%)가 일반인들에게 생소하여 그 값 자체에 뚜렷한 의미를 파악하기 어렵다는 단점이 지적되어왔다. 미국 NWS에서는 1980년대 중반부터 이미 Steadman(1979)에 의해 개발한 Apparent Temperature를 개량한 열지수(Heat Index)를 대중들을 위한 일기예보에 널리 이용하여 오고 있다. 우리나라 기상청에서도 2002년 1월부터 이 지수를 일부지역에 걸쳐 예보하기 시작하였으나, 아직은 열지수의 사용 가능한 유효 임계치 조차 제대로 파악하지 못하고 있는 실정이다. 이 열지수는 그늘

에 있는 평상복을 입은 표준체형의 인체모델을 상정하여, 다양한 인체 생리학적 및 열역학적 이론 및 실험을 통하여 주변 환경과의 열교환시 실제 인간이 느끼는 체감 온도를 나타낸다. 열지수는 다양한 생리 열역학적 현상을 Eq. 1과 같이 기온(°F)과 상대습도(%)로 두가지 요소로 요약된 방정식에서 산출된다(Rothfus, 1990).

$$\begin{aligned}
 HI = & -42.379 + 2.04901523 \times T + 10.1433127 \\
 & \times R - 0.22475541 \times T \times R - 6.83783 \times \\
 & 10^{-3} \times T^2 + 5.481717 \times 10^{-2} \times R^2 + \\
 & 1.22874 \times 10^{-3} \times T^2 \times R + 8.5282 \times \\
 & 10^{-4} \times T \times R^2 - 1.99 \times 10^{-6} \times T^2 \times R^2
 \end{aligned}
 \quad (\text{Eq. 1})$$

HI: 열지수(°F), T: 기온(°F), R: 상대습도(%)

이 열지수 방정식에 의해서 산출된 값을 정리한 열지수표(Fig. 1)에 따르면, 고온에서는 습도가 높아지면 인체가 체감하는 온도가 대기의 온도보다 훨씬 더 높아질 수 있음을 알 수 있다. 또한, 열지수에 따른 인체의 반응을 살펴본 실험 결과(Table 1)에 따르면, 인체가 26.7°C 이상 32.2°C 미만의 열지수에 지속적으로 노출되면, 인간은 불쾌감을 느끼거나 피로를 느낄 수 있다. 또한 인체가 32.2°C 이상 40.6°C 미만의 열지수에 장시간 노출되거나, 심한 육체 활동을 하게 되면 심하게 땀을 흘리고 피부가 창백하게 되는 등의 극도의 주의(Extreme Caution)가 필요한 상태가 발생 가능하다. 더욱 무더워져 40.6°C 이상의 열지수에 장시간 노출되면 피부가 고온 건조해지고 맥박이 빠르고 강해지며 구토, 기절 등의 위험한(Danger) 상태에 이르게 된다. 극히 드물지만 54.5°C 이상의 열지수의 환경에서는 짧은 시간의 노출에도 생명을 위협하는 일사병이나 열사병에 의해 무의식 상태에 빠지는 등 매우 위험한(Extreme Danger) 상태에 이를 수 있다(NOAA, 1980).

Table 1. Possible impacts of high heat Index on human body (NOAA, 1980).

Categories	Heat Index	Possible Symptoms
Caution	26.7~32.2°C	Fatigue with prolonged exposure and physical activity
Extreme Caution	32.2~40.6°C	Sunstroke, Heat cramps and heat exhaustion with prolonged exposure and physical activity under these conditions
Danger	40.6~54.5°C	Sunstroke, heat cramps or heat exhaustion are likely. Heatstroke with prolonged exposure and physical activity
Extreme Danger	Over 54.5°C	Heatstroke or sunstroke are imminent

본 연구에서는 26년간(1973-1998)의 남한 61개 지점(Fig. 2)에서 관측된 기온과 습도 자료를 바탕으로, 6시간별(LST 3h, 9h, 15h, and 21h)의 열지수를 계산한 후 일최고 열지수를 산출하였다. 방정식에서 사용되는 기온 및 열지수의 단위는 Eq. 2를 사용하여 최종 섭씨 단위(°C)로 전환하여 강도별 발생빈도를 시공간적으로 분석하였다.

$$C = 5/9 \times (F - 32) \quad (\text{Eq. 2})$$

C: 섭씨단위 기온 혹은 열지수(°C),

F: 화씨 단위 기온 혹은 열지수(°F).

열지수 방정식은 원래 기온 26.7°C 이상, 상대습도 40% 이상일 때에 유효하며, ± 0.7°C 이내의 오차를 갖고 있다고 알려져 있다(Rothfus, 1990). 그러나, 본 연구에서는 25.5°C의 기온에서도 습도가 80% 이상일 때에 26.7°C 이상의 열지수가 산출될 수 있는 점을 감안하여, 기온이 25.5°C 이상인 모든 경우의 열지수를 산출하였다. 산출한 열지수를 NOAA(1980)에서 제시한 생리적 인체 반응 결과(Table 1)를 토대로, 첫째 26.7°C와 32.2°C, 40.6°C,

54.5°C 이상을 각 임계치이상의 일최고 열지수의 월평균 또는 연평균 발생빈도 분포와 총 연구기간(1973~1998)의 그 변화 추세를 분석하였다. 둘째, 6시간별 자료를 바탕으로 야간의 생리기후학적 무더위 발생빈도의 분포와 연구기간 동안의 그 시계열의 일차 추세선 기울기를 산출하여 그 분포 특징을 분석하였다. 셋째, 26년 모든 연구기간 및 61개 모든 관측지점을 통해 나타난 각 생리 임계치별 일최고 열지수 장기간의 지속기록 중 상위 20개를 산출하여 무더위 강도와 지속 기간에 따른 시공간적 분포 특징을 분석하였다. 넷째, 비정상적으로 높은 열지수가 발생한 사례를 분석하고 그 발생원인을 살펴 보았다. 주요 열지수 발생빈도 및 추세 분포도 작성시에는 연구지역을 0.1°×0.1°로 나누고 장기간의 평균 데이터를 Kriging기법을 사용하여 공간의 균질성을 유지하도록 하였다.

3. 일최고 열지수의 연평균 발생 빈도의 공간적 분포 및 변화

NOAA에서 제시한 생리 체감도(Table 1)에 따르면, 남한의 여름철 7~8월동안에는 주의(Caution)를 요하는 26.7°C 이상의 일최고 열지수가 매년 약 47일 이상, 매우 주의(Extreme Caution) 수준인 32.2°C 이상의 열지수는 연평균 약 25일 이상 발생한다(Table 2). 연중 이 시기에는 심지어 기온으로는 기록하기 힘든 위험(Danger) 수준의 40.6°C 이상의 일최고 열지수도 월평균 약 2일정도 발생하는데, 연구기간중 1978년과 1990년, 1994년과 같은 해에는 광범위한 지역에 걸쳐 발생빈도가 훨씬 높게 나타나기도 하였다.

26년간 연평균 분포도를 살펴보면, 대표적으로 남한의 중서부 내륙지방과 남서부 내륙지역, 남동부 내륙지역은 특히 무더위가 자주 발생하는 지역들로 26.7°C 이상의 일최고 열지수 발생빈도가 연평균 85일 이상을 나타냈다(Fig. 3. a). 그중에서도 이 세 지역내에 위치한 전주와 광주, 대구 등의 대도시에서는 연평균 90일의 높은 발생빈도를 나타냈다. 32.2°C 이상의 일최고 열지수는 26.7°C 이상의 일최고 열지수 발생빈도를 보였던 세 지역을 포함하여 제주도를 중심으로 높은 발생빈도를 보

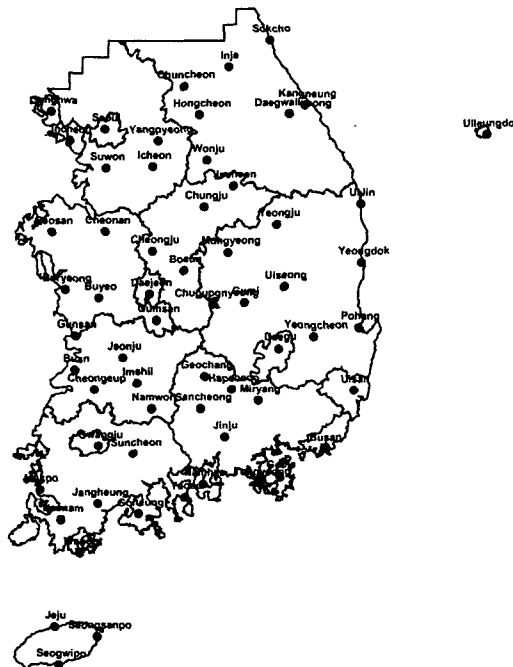


Figure 2. 61 weather stations included in this study with complete records over the period, 1973-1998.

Table 2. Monthly and annual average frequency of daily maximum heat index in South Korea (1973~1998).

	HI \geq 26.7°C	HI \geq 32.2°C	HI \geq 40.6°C	HI \geq 54.5°C
May	2.89	0.02	0	0
June	11.87	0.75	0*	0
July	21.69	11.01	0.85	0*
August	25.27	13.83	0.81	0*
September	10.12	1.20	0.01	0
October	0.52	0*	0	0
Annual	72.35	26.81	1.67	0*

*: 연평균 혹은 월평균 발생빈도는 0.01미만이지만, 연구기간 중 1회 이상 발생한 경우

였다. 특히 제주도는 32.2°C 이상의 일최고 열지수가 연평균 32일 이상으로 높은 발생빈도를 보였다 (Fig. 3. b). 제주도는 다른 지역에 비해 저위도에 위치하여 평균기온이 높고, 바다로 둘러싸여 비교적 상대습도가 높기 때문에 복합적인 작용에 의해 높은 열지수가 발생하기 쉽다. 그러나, 40.6°C 이상의 일최고 열지수의 연평균 발생빈도가 높은 지역은 26.7°C와 32.3°C의 일최고 열지수의 높은 발생빈도를 보였던 지역과 비교하여 해안이나 하천에 인접한 일부 지역에서만 나타났다. 특히 서해안에 인접한 부안, 금강과 낙동강에 인접한 부여와 밀양 지역은 40.6°C 이상의 열지수의 발생빈도가 연평균 3일 이상의 높은 발생빈도를 보였다 (Fig. 3. c).

일최고 열지수 26.7°C 및 32.2°C 이상의 연평균 발생빈도가 모두 높게 나타나는 남한의 중서부 내륙지방과 남서부 내륙지역, 남동부 내륙 등 세 지역은 공통적으로 한반도 지세도 (Fig. 3. d)와 중첩하여 보면, 남서 혹은 남동 기류가 유입하기 유리한 태백 산맥의 서쪽의 해발고도가 낮은 지역에 위치해 있다. 그 중에서도 더 높은 발생빈도는 같은 해발고도가 낮은 태백 산맥의 서쪽 지역이더라도 해안보다는 바다의 영향을 덜 받는 내륙 지역에서 나타났다. 이러한 태백산맥 서쪽의 해발고도 200m 이하의 지역들은 남쪽 혹은 남서쪽에서 다습한 공기덩어리가 내륙의 뜨거운 육지 위를 이류해 오면서 높은 태양에너지를 받아 기온이 더 높아진 공기 덩어리가 정체하기 쉬운 조건을 갖추고 있다. 또한 이 지역들은 무더운 공기가 특히 주로 저지대의 하천을 따라 이류하여 오면서 수증기를 공급받아 습도도 높아질 수 있는 유리한 조건도 갖추고 있다.

고 있다.

또한, 열지수 발생빈도가 높은 지역은 한반도의 지세의 영향을 받는 곳 뿐만 아니라 호소나 하천과 인접하여 수체의 영향을 받는 내륙지역에 위치하는 특징을 보이고 있다. 26.7°C 및 32.2°C 이상의 일최고 열지수가 자주 발생하는 남한의 중서부 및 남서부, 남동부 내륙지역은 모두 금강, 영산강, 섬진강, 낙동강 등의 대하천과 가까이 위치해 있다 (Figs. 3. a와 b). 또한 1960대 이래로 많은 인공호수가 조성된 춘천 지역과 남한강과 북한강이 가까이 있는 양평 지역도 26.7°C와 32.2°C 이상 일최고 열지수 연평균 발생빈도가 각각 75일 이상, 24일 이상으로 국지적으로 인근 지역에 비해 높게 나타났다. 호소 및 하천과 같은 수체는 증발작용을 일으켜 바로 주변지역에서는 냉량다습한 환경을 조성하나, 이 지역에서 일정 거리가 떨어진 상대적으로 고온건조한 지역은 습도경도를 줄이기 위해 수체와 바로 인접한 지역에서 이류해온 수증기의 영향으로 인해 점차 고온다습한 환경으로 변모되어 간다. 그러나 이러한 국지적인 수증기의 이류도 높은 산지 지형을 만나면 정체되는데, 가령 댐이 많은 춘천지역에서는 무더운 환경이 자주 조성되지만 바로 인접한 홍천 지역의 경우에는 높은 산악지형이 수증기의 이류작용을 차단시켜 그 높은 열지수의 발생빈도가 상대적으로 낮게 나타나고 있다.

반면, 열지수의 상승을 저해하는 기후인자로는 해발고도, 지형, 해양, 냉기단 등을 들 수 있다. 산악 지역에서는 해발고도가 높아지면 기온감율에 의해 기온이 낮아지고, 특히 산악의 동쪽은 무더운 공기의 이류의 영향을 덜 받으며, 해안지역에는 내

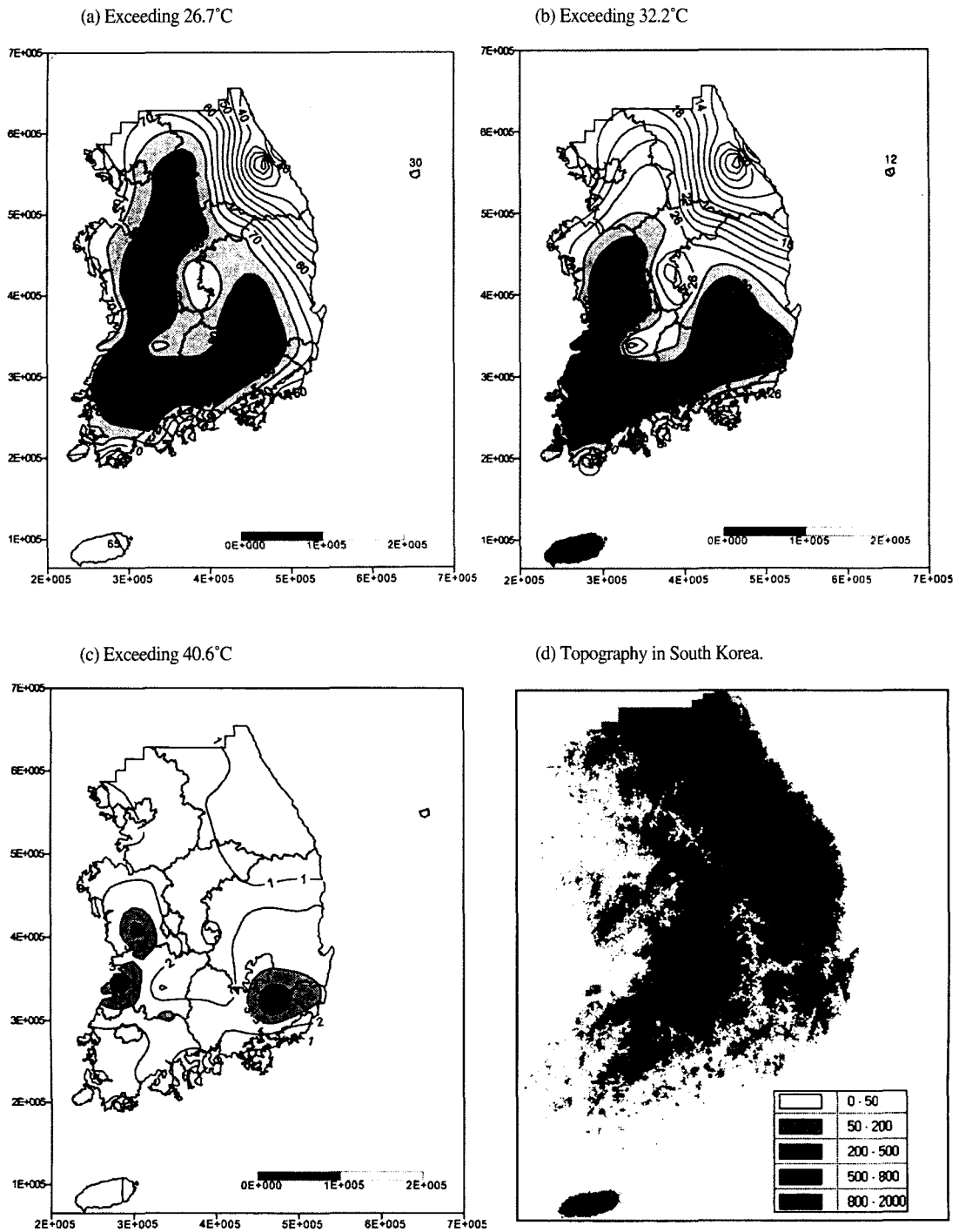


Figure 3. (a)-(c) Annual average frequencies of daily maximum heat index at each bioclimatic threshold for the period of record (1973~1998) and (d) topography in the contiguous South Korea.

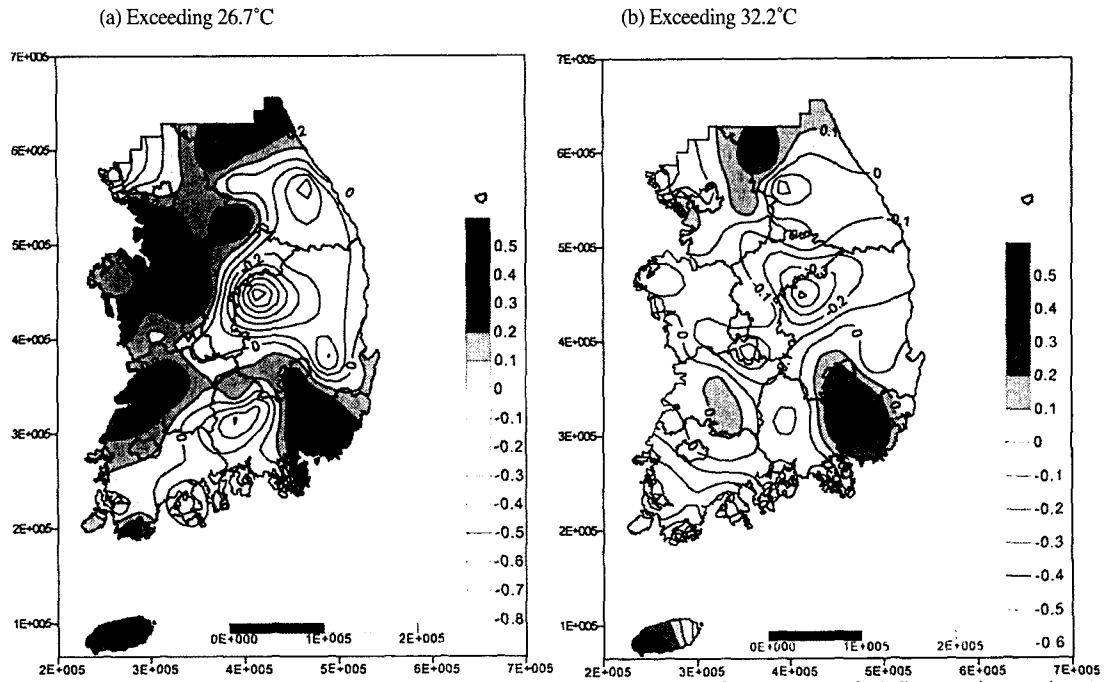


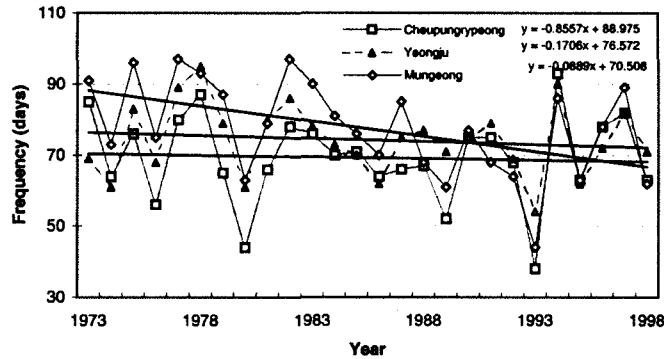
Figure 4. The spatial distributions of temporal trend of annual frequency of daily maximum heat index (a) exceeding 26.7°C and (b) exceeding 32.2°C in the contiguous South Korea for the period of record (1973~1998).

록에 비해 해양의 영향에 의해 습도는 높더라도 기온이 낮아서 열지수도 높게 올라가지 않는다. 본 연구에서도 이러한 지형의 차단효과에 의해 태백산맥을 경계로하여 동서지역의 일최고 열지수 연평균 발생빈도가 뚜렷한 차이를 나타내고 있다 (Figs. 3. a와 b). 해발고도 700m 이상의 남북 방향으로 가로지른 태백산맥 및 동해안 지역, 남부지역의 북동-남서 방향으로 가로지른 소백산맥 지역에서는 일최고 열지수 26.7°C 이상의 발생빈도가 60일 이하로 현저하게 낮게 나타났다. 주로 태백산맥 지역에서는 해발고도가 높아짐에 따라 나타나는 기온 감률로 인하여 각 임계치별 발생빈도가 낮아서 26°C 이상의 일최고 열지수 발생빈도가 남-북 방향의 분포 패턴을 보였다(Fig. 3. a). 그러나, 이러한 해발고도의 영향은 32.2°C 이상의 일최고 열지수 분포에서는 위도의 영향으로 약해져서 동-서 방향으로 변형되는 분포패턴을 보였다(Fig. 3. b). 특히, 동해안의 울진(36.98°N)은 서해안의 인천(37.47°N)에 비해 저위도에 위치함에도 불구하고, 26.7°C 이상의 일최고 열지수의 연평균 발생빈도는 인천이 57

일로 울진의 36일보다 현저하게 높게 나타났다. 이와 같이, 동해안 지역은 지형에 의해 무더운 기단의 이류가 차단될 수 있을 뿐 아니라, 서해안에 비해 수온이 낮은 동한해류가 연중 흐르고, 한랭다습한 오호츠크해 기단의 영향권에 속하여(박병익, 1996), 기온의 상승이 억제기 쉬워 열지수도 낮게 나타난다.

한편, 26.7°C 이상의 일최고 열지수 발생빈도 경년변화에 나타난 일차 추세선의 기울기를 구하여 보면, 연구기간 (1973~1998) 동안 남한 대부분의 지역에서 열지수의 발생빈도가 증가하는 추세를 보였다(Fig. 4. a). 26.7°C 이상의 일최고 열지수는 서해안의 대부분 지역과 제주도, 남동해안지역에서는 연구기간 동안 약 3일/10년 이상의 증가 추세를 보였다. 특히 밀양 지역은 약 5일/10년의 강한 증가 추세를 보였다. 반면, 경북내륙의 추풍령과 문경, 의성 등의 지역에서는 1981~1993년을 중심으로 감소 추세를 나타내었다(Fig. 5. a). 32.2°C 이상의 열지수 발생빈도는 다소 그 증가 추세가 완화되어 밀양과 제주, 춘천, 인천, 광주 등의 지역을

(a) The decreasing trend of annual frequencies of daily maximum heat index exceeding 26.7°C in the central eastern inner areas of South Korea



(b) The decreasing trend in Mungeong and increasing trend in Miryang of annual frequencies of daily maximum heat index exceeding 32.2°C.

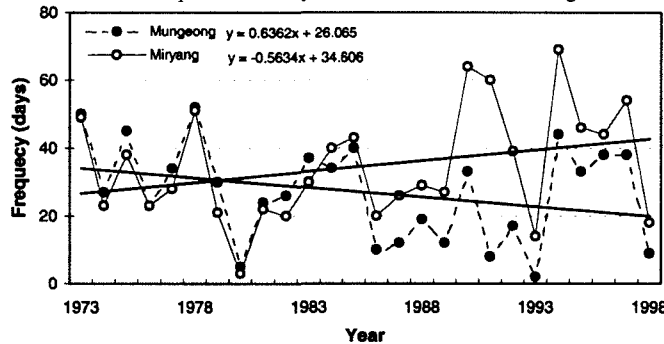


Figure 5. (a)-(b) Locally strong increasing or decreasing trend in annual frequencies of daily maximum heat index in South Korea for the period of record (1973~1998).

중심으로 약 2일/10년의 증가 추세를 보였다(Fig. 4. b). 특히 밀양 지역은 32.2°C의 경우, 약 6일/10년의 급격한 증가 추세를 보인 반면, 문경 지역은 5일/10년의 급격한 감소 추세를 나타내기도 하였다(Fig. 5. b).

그러나 해발고도가 높은 산악 지역을 중심으로 26.7°C와 32.2°C 이상의 일최고 열지수 발생빈도 증가율은 저지대에 비해 상대적으로 낮아졌다. 남한의 대부분의 산악지역은 1960년대 이후 정부의 여러번에 걸친 조림사업 추진 계획에 힘입어 1970년대 이래로 급격하게 임목축적량이 증가하였다(Choi, 2002). 산악 지역에 식생이 증가하면 증발산 작용도 활발해 지므로, 잠열 방출에 의해 고온 발생이 억제되고(Oke, 1987), 이러한 냉각 작용은 결과적으로 높은 임계치 이상의 일최고 열지수 연평균 발생빈도를 줄이게 된다.

4. 야간 열지수로 살펴 본 열대야 발생의 공간적 분포 및 경년 변화

지금까지 국내에서는 야간에 발생하는 무더위를 정량화하기 위해 일최저기온 25°C 이상일 때를 가리켜 “열대야(Tropical Night)”라고 정의하여 사용하여 왔다(기상연구소, 2001). 그러나 열대야의 임계치로 사용된 일최저기온은 열대지방에서 느껴지는 듯한 우리나라 여름철 무더운 야간에 높은 습도에 의해 공기의 온도보다 상승된 체감온도를 제대로 반영하지 못하는 단점을 지니고 있다. 열지수 표(Fig. 1)에 의하면 같은 기온에서도 습도에 따라 체감온도는 상승한다. 특히 야간에는 일반적으로 기온이 낮아지면, 상대습도는 상승하기 때문에 체감되는 무더위도 습도의 영향을 많이 받을 수 있다. 결과적으로, 열대야라는 용어가 온도와 습도가

모두 높은 열대지역의 야간서 느낄수 있는 것과 유사한 기후상태를 지칭한다는 점에서는 열지수가 열대야 정의시 해당 지표로 적합하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 높은 기온과 습도에 복합적 작용으로 나타나는 무더위에 의해 신체 건강한 보통 사람이 지속적으로 노출되거나 심한 육체 활동을 하면 피로를 느낄수 있다는 결과를 바탕으로, 열지수 26.7°C 이상일 때를 약한 열대야가 발생한 것으로 보았다.

그 결과, 열대야 현상은 남한에서 휴식 활동이 이루어지는 초저녁 뿐만 아니라 수면 활동이 이루어지는 새벽에도 발생하고 있음을 알 수 있다 (Table 3). 열지수 26.7°C 이상의 열대야 현상은 남한 전체 평균적으로 저녁 9시에 연평균 22일, 새벽 3시에 7일 발생하고 있었다. 특히, 여름철 7~8월의 야간의 경우 열지수 26.7°C 이상의 열대야 현상이 저녁 9시에 발생하는 것은 월 전체의 33%에 해당하는 약 10일 정도에 달하였고, 새벽 3시에도 약 10%에 해당하는 약 3~4일에 달하였다. 심지어 지속적으로 노출될 경우 매우 주의(Extreme Caution)가 요구되는 열지수 32.2°C 이상의 강한 열대야도 연구기간 동안 평균적으로 저녁 9시에 연평균 1일 발생한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 남한 전체의 평균 열대야 발생빈도를 나타내는 것으로 1994년의 7~8월과 같은 특정 무더위 시기에는 넓은 지역에 걸쳐 강한 열대야가 오래 지속되기도 하였다. 야간의 임계치별 열지수 연평균 발생빈도를 살펴 보면, 연구기간 (1973~1998)동안 새벽 3시의 26.7°C 이상 열지수는 제주도에서 무려 연평균 24

일이상 발생하고 있음을 알 수 있다(Fig. 6. a). 이는 제주도 지역이 남한에서 가장 야간의 숙면을 방해 받을 수 있는 지역임을 나타내는 것이다. 또한 남동해안과 남서해안, 남해안 등 저위도의 해안 인접지역은 내륙 지역에 비해 열지수 26.7°C 이상의 발생빈도가 연평균 10일 이상으로 열대야가 2~8일 더 자주 발생하는 지역이었다. 해안지역 및 도서지역은 무더운 여름철 야간에 해양으로부터 습도가 높은 기류가 직접적으로 쉽게 유입될 수 있기 때문에 열대야가 자주 나타나는 것이다. 한편, 국지적으로는 고위도 지역이라도 서울과 강릉, 속초, 광주, 포항, 부산, 목포 등과 같은 대도시에서도 인근 농촌 및 중소 도시지역에 비해 연평균 12일 이상의 높은 발생빈도를 보였다. 이러한 남한의 대도시에는 전체 인구의 1/2이상이 밀집되어 있어서 인근 농촌 지역에 비해 도시화 또는 산업화로 인한 인공열이 많이 방출되기 때문에 야간에도 무더운 생리기후를 나타내는 것으로 사료된다.

한편, 한국전쟁 이후 남한의 대부분의 대도시에서는 1960년대 후반에 시작된 이촌향도(移村向都) 현상으로 점차 인구가 급증하여왔고, 1990년대에 들어 인구 도시화의 최대 정점을 맞이하였다(Fig. 7). 도시화가 진행되면 피복이 아스팔트와 시멘트로 점차 바뀌어 과잉 열이 쉽게 저장되고, 도시 내부의 건물이 고층화를 이루면서 도시 내·외간의 국지적 바람 순환도 억제되어 주간에 과잉 공급된 열에너지가 야간에도 건물 주변에 남아 열섬 현상의 강도는 주간 보다는 일몰 후에 더욱 강해진다는 사실이 국제적인 대도시들을 대상으로한 도시

Table 3. Monthly and annual average frequency of heat index at LST 3h, 9h, 15h, and 21h in the contiguous South Korea (1973~1998).

	HI ≥ 26.7°C				HI ≥ 32.2°C			
	3 AM	9 AM	3 PM	9 PM	3 AM	9 AM	3 PM	9 PM
May	0*	0.02	3.55	0.02	0	0	0.02	0
June	0.06	0.46	11.93	0.61	0	0*	0.74	0*
July	2.93	10.50	21.20	9.64	0.07	2.48	10.86	1.33
August	3.72	12.97	24.71	10.75	0.16	2.85	13.62	1.30
September	0.36	1.19	10.07	0.75	0*	0.02	1.18	0.02
October	0	0*	0.55	0*	0	0	0*	0
Annual	7.07	25.16	65.75	21.76	0.23	5.46	22.38	2.65

* 연평균 혹은 월평균 발생빈도는 0.01미만이지만, 연구기간 중 1회 이상 발생한 경우

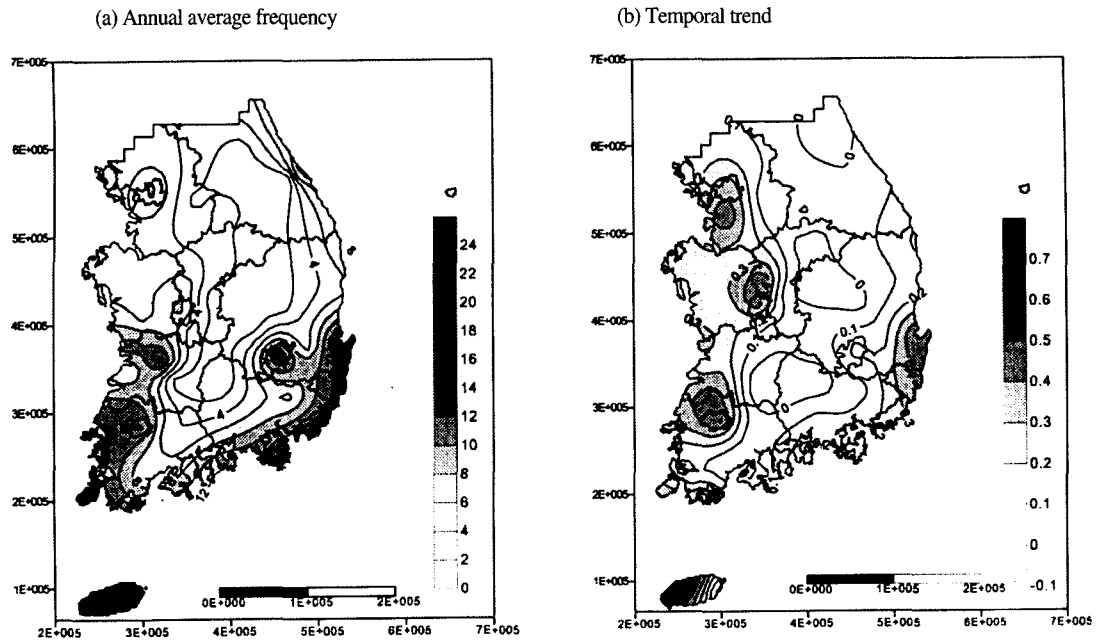
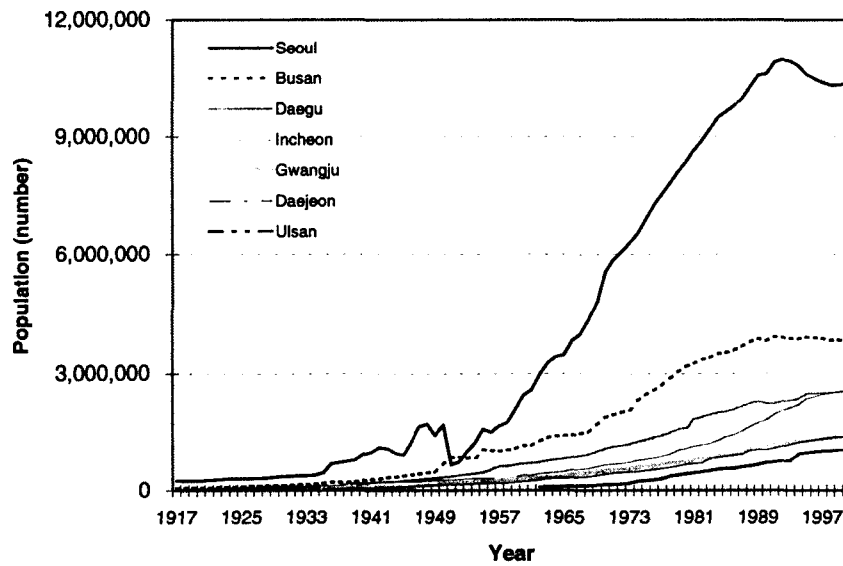


Figure 6. (a) The spatial distribution of annual average frequency and (b) temporal trend of annual frequency of heat index exceeding 26.7°C at LST 3h in the contiguous South Korea for the period of record (1973~1998).



Data: Ministry of Home Affairs of Korea, 2000, Municipal Yearbook of Korea.

Figure 7. The increase of population in big cities in South Korea during the 20th century (1917~1999).

기후 연구에서 밝혀졌다(Lansberg, 1981). 따라서 도시 내부는 다양한 인공열이 방출되고, 열에너지 남한에서도 20세기 후반에 들어 농촌지역에 비해 순환에 장애를 받을 수 있는 공간으로 자리잡게

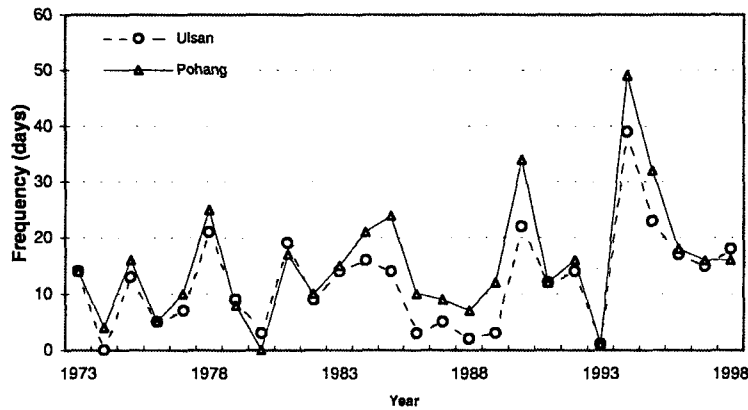


Figure 8. Temporal variations of annual average frequencies of heat index exceeding 26.7°C at LST 3h in Ulsan and Pohang (1973-1998).

되었다. 그 결과, 연구기간(1973~1998)동안 새벽 3시, 열지수 26.7°C 이상의 열대야 현상은 수원, 청주, 대전, 포항, 광주, 제주, 서귀포 등 도시화 또는 산업화가 진행된 대도시를 중심으로 4일/10년의 비율로 비교적 높은 증가 추세를 나타내었다(Fig. 6. b). 특히, 이 둘 지역 중 울산과 포항은 지난 20세기 후반동안 자동차, 철강, 조선 등 다양한 중공업이 발달한 지역으로, 20세기 후반으로 갈수록 각 산업 시설에서 내뿜는 열에너지가 도시내부의 주간 뿐 아니라 야간의 체감온도를 상승시킨 대표적인 산업 도시라고 할 수 있다(Fig. 8).

5. 일최고 열지수의 장기간 연속 발생의 시공간적 특성

열지수의 연평균 분포도와는 달리 특정 연도의 열지수는 특정 지역과 특정 시기에 장기간동안 연속적으로 발생할 수 있다. 남한에서도 연구기간(1973~1998) 동안 전 관측 지점(61개)에 걸쳐 일최고 열지수가 장기간 연속 발생한 상위 20개 기록을 그 임계치별로 정리한 결과, 인체 활동에 약하게 영향을 주지만 오래 노출되면 피로가 누적될 수 있는 정도의 무더위가 장기간 연속 기록과 이 보다는 기간은 짧지만 무더운 정도가 강한 장기간 연속기록은 시공간적으로 다르게 나타났다(Tables 4와 5). 일최고 열지수 26.7°C 이상의 무더위가 70

일 이상 장기간 연속 발생한 기록은 연구기간 중에서 특히, 1975년과 1978년, 1985년, 1994년, 1998년 7~8월에 걸쳐서 나타났다. 이 중에서 특히 장기간 연속 발생한 상위 20개 기록 중 1/2 이상은 1994년에 나타났다. 또한, 일최고 열지수 32.2°C 이상이 30일 이상 연속으로 나타난 지속 기록은 모두 1990년대에 나타났다. 이러한 결과는 1990년대가 무더위의 강도 및 지속기간이 모두 증가했던 기간이었고, 특히 1994년이 생리기후학적으로도 무더웠던 해임을 지적하는 것이다.

한편, 열 지수 40.6°C 이상의 장기간 연속 지속 기록은 주로 1978년과 1983년, 1986년, 1990년, 1994년에 발생하였다(Table 5). 이러한 연중 40.6°C의 일최고 열지수가 장기간 지속된 날짜의 시작일과 종료일을 종합하여 보면, 대부분 7월 하순 여름장마가 종료될 무렵부터 8월 초순 1~2일에 걸친 작은 강수가 시작되기 전에 오랫동안 지속되었음을 살펴 볼 수 있다. 이 시기는 장마전선이 만주지역으로 북상하여 북태평양 고기압의 무더운 기단이 한반도에 자리잡아 강수량이 줄어들고 고온을 유지하는 성하기(盛夏期)로 인식되어 왔다(송호열, 1985). 생리기후학적으로도 이 시기에는 북태평양 고기압이 확장하여 무더운 기단이 한반도에 자리잡아 기온이 높아지고, 이전의 여름 장마로 충분히 공급된 토양의 수분이 대기에 공급되어 습도도 높은 매우 무더운 상태가 지속될 수 있다. 결과적으로 생리기후학적 성하기도 여름장마가 끝나고 늦

Table 4. The long duration records of daily maximum heat index exceeding 26.7°C and 32.2°C in the contiguous South Korea for the period of record (1973~1998).

HI ≥ 26.7°C				HI ≥ 32.2°C			
NO	Station	Duration(days)	Year	NO	Station	Duration(days)	Year
47143	Daegu	79	1994	47184	Jeju	51	1990
47184	Jeju	77	1978	47189	Seogwipo	50	1990
47184	Jeju	77	1975	47265	Seonsanpo	48	1990
47265	Seongsanpo	76	1985	47192	Jinju	48	1990
47184	Jeju	76	1985	47156	Gwangju	47	1994
47265	Seongsanpo	75	1975	47156	Gwangju	44	1990
47245	Jeongeup	75	1994	47260	Jangheung	43	1990
47189	Seogwipo	75	1978	47245	Jeongup	41	1994
47156	Gwangju	75	1994	47247	Namwon	40	1994
47133	Daejon	75	1994	47189	Seogwipo	39	1994
47138	Pohang	74	1994	47165	Mokpo	38	1994
47131	Cheongju	74	1994	47288	Miryang	37	1996
47265	Seongsanpo	73	1978	47278	Uiseong	37	1996
47245	Jeongeup	73	1998	47146	Jeonju	37	1996
47184	Jeju	73	1994	47143	Daegu	37	1995
47152	Ulsan	73	1994	47108	Seoul	37	1994
47146	Jeonju	73	1998	47285	Hapcheon	36	1996
47288	Miryang	72	1994	47143	Daegu	36	1996
47285	Hanpcheon	72	1994	47284	Geochang	35	1996
47281	Yongcheon	72	1994	47279	Gumi	35	1996

Table 5. The long duration record of daily maximum heat index to equal to or exceeding 40.6°C in the contiguous South Korea during the period of record (1973~1998).

HI ≥ 40.6°C								
NO	Station	Duration (days)	Onset			End		
			Year	Month	Date	Year	Month	Date
47288	Miryang	22	1994	7	3	1994	7	24
47288	Miryang	17	1990	7	22	1990	8	9
47278	Uiseong	12	1990	7	27	1990	8	7
47152	Ulsan	9	1983	7	30	1983	8	7
47232	Cheonan	9	1986	7	26	1986	8	3
47238	Gumsan	9	1983	7	30	1983	8	7
47247	Namwon	9	1996	7	29	1996	8	6
47256	Suncheon	9	1996	7	29	1996	8	6
47260	Jangheung	9	1994	7	14	1994	7	22
47114	Wonju	8	1994	7	12	1994	7	19
47143	Daegu	8	1995	8	1	1995	8	8
47143	Daegu	8	1983	7	31	1983	8	7
47146	Jeonju	8	1983	7	30	1983	8	6
47156	Gwangju	8	1983	7	30	1983	8	6
47288	Miryang	8	1994	8	2	1994	8	9
47236	Buyeo	8	1984	8	6	1984	8	13
47236	Buyeo	8	1978	7	21	1978	7	28
47243	Buan	8	1994	8	2	1994	8	9
47243	Buan	8	1984	8	3	1984	8	10
47245	Jeongeup	8	1978	7	21	1978	7	28

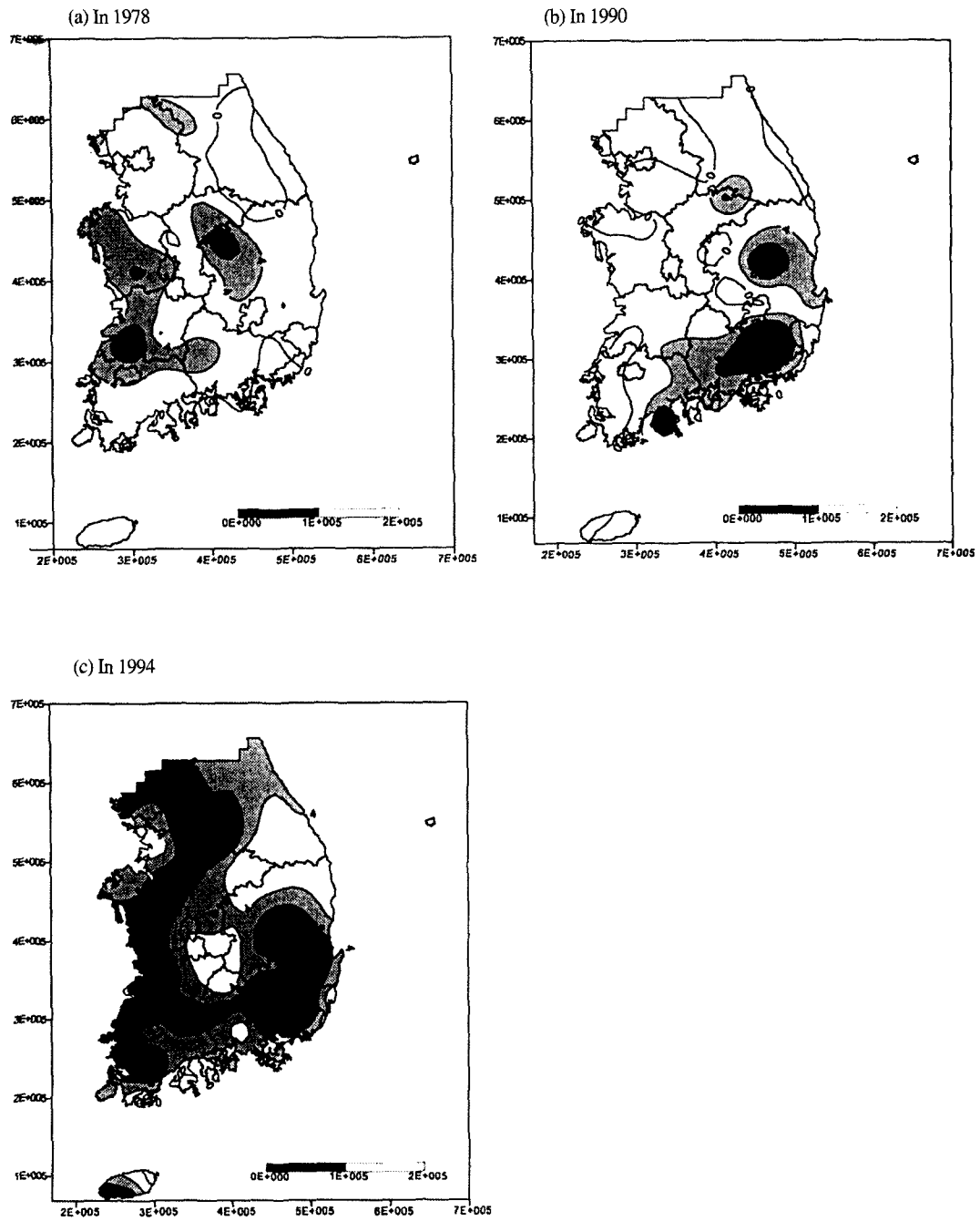


Figure 9. Anomalies of annual frequency of daily maximum heat index exceeding 40.6°C in the muggy years of the contiguous South Korea: (a) in 1978, (b) in 1990, and (c) in 1994.

여름부터 강해지는 또다른 1-2일간의 작은 강수가 시작되는 이 시기에 나타나게 된다.

이상과 같이 제시된 열지수 26.7°C와 32.2°C, 40.6°C 이상이 오래 지속된 기록들을 종합하여 보면, 연구기간 중 특히 넓은 지역에 걸쳐 무더위가 오래 지속된 기록들은 1978년과 1990년, 1994년에 나타났음을 알 수 있다. 특히, 이 세 연도의 40.6°C 이상의 일최고 열지수 총 발생빈도에서 연구기간 동안의 평균값을 제거한 발생빈도 편차를 살펴보면, 1978년에는 중서부 지역을 중심으로, 1990년에는 남동부 지역을 중심으로 평년에 비해 무려 4~20일 이상씩 발생빈도가 더 높았던 것으로 나타났다(Figs. 9. a와 b). 또한, 1994년에는 1978년과 1990년과는 달리 특정 지역에 국한된 것이 아니라 전국에 걸쳐 평년보다 무려 4~28일씩 더 높은 발생빈도 분포를 보인 생리기후학으로도 매우 무더웠던 해였음을 알 수 있다(Fig. 9. c). 특히, 1994년 7월 한반도에서는 북태평양 고기압의 이상확장 및 정체로 인해 일찍부터 고온이 발생하여 26.7°C 이상의 약한 열지수 뿐만 아니라 40.6°C 이상의 강한 열지수도 오래 지속되었다. 또한, 1994년에는 예년에 비해 중부 해안지역의 부안과 청주, 남동부 내륙의 밀양과 영천 그리고 북부 중부의 양평, 이천, 원주를 중심으로 40.6°C 이상의 일최고 열지수가 무려 12일 이상씩 더 많이 발생하였다. 심지어 북부 내륙에 위치한 원주지역에서도 1994년 7월 중순에 40.6°C 이상의 일최고 열지수가 무려 8일 동안이나 지속되는 경이적인 기록을 나타내었으며, 남동부 내륙의 밀양 지역에서도 1994년 7월 3일에서 7월 24일까지 무려 22일간이나 지속되는 전례드문 기록을 나타내기도 하였다(Table 5).

6. 한반도 생리기후적 극서지(極暑地)와 비정상적인 열지수 극값의 발생

지금까지 기후 지역을 나눌 때 대구 지역은 특수기후 지역으로 분류되어 특히 여름철에 기온이 가장 높은 한반도의 서극(署極)으로 알려져 왔다(김광석 외, 1973). 대구를 중심으로 한 남한 남동부 내륙 지역은 기온이 높아서 일최고 열지수 26.7°C와 32.2°C의 연평균 발생빈도도 타지역에 비해 높게 나

타났다(Figs. 3. a와 b). 그러나 40.6°C 이상의 일최고 열지수의 연평균 발생빈도는 대구보다는 인근에 위치한 밀양지역에서 더 높게 나타났다(Fig. 3. c). 연중 월평균 기온이 가장 높은 8월의 30년(1971~2000) 평균 일최고기온은 대구가 30.9°C로 밀양지역의 30.6°C에 비하여 약간 높게 나타나지만, 월평균 상대습도는 밀양이 78.7%로 대구의 74%에 비하여 훨씬 더 높게 나타났다(기상청, 2001).

연구기간중 강한 무더위가 나타난 시기에 대구와 밀양 지역의 생리기후학적 조건을 비교하기 위해, 매우 무더웠던 1994년의 7~8월 동안 두 지역의 기온과 일최고 열지수의 변화를 살펴보았다(Fig. 10). 그 결과, 1994년 7~8월 동안 기온은 대구 지역이 밀양 지역에 비해 거의 모든 날짜에 걸쳐 더 높게 나타났지만, 오히려 일최고 열지수는 밀양 지역이 대구지역에 비해 훨씬 더 높게 나타났다. 이 시기에 기온이 높음에도 대구지역이 밀양 지역에 비해 열지수가 낮게 나타난 것은 여름철 이루어지는 무더운 기단이 함유한 높은 습도가 지형에 차단되기 때문이었을 것으로 추정된다. 대구 지역은 북쪽에 금오산-보현산과 남쪽에 가야산-비슬산-최정산-선의산-주사산-단석산등에 둘러싸인 분지를 이루어 다소 폐쇄적인 지형의 특징을 지니고 있는 반면, 밀양 지역은 대구 이남의 저지대에 위치하여 무더운 기단이 남쪽으로 흐르는 낙동강을 거슬러 이루어 습도가 높아질 수 있는 개방적인 지형의 특성을 지니고 있다. 따라서 밀양지역은 대구 지역보다 기온은 약간 낮지만 상대습도가 훨씬 더 높아 일최고 열지수도 현저하게 더 큰 값을 나타낼 수 있을 것으로 사료된다. 결론적으로, 26.7°C와 32.2°C, 40.6°C 이상의 연평균 기온과 상대습도, 일최고 열지수의 발생빈도 및 극서사례를 비교하여 종합하면 남한에서 기온이 가장 높게 나타나는 고온지(高溫地)는 대구 지역이지만, 생리기후학적 측면의 무더위를 정량화한 열지수가 높은 극서지(極暑地)는 밀양 지역임을 알 수 있다.

한편, 전 연구기간동안 심지어 54.5°C 이상의 전례드문 높은 열지수가 한반도에서도 발생하기도 하였다(Figs. 11. a와 b). 첫번째 사례는 동해안의 영덕 지역에서 1973년 8월 29일 오후 3시, 기온 34.3°C, 상대습도 83%로 열지수가 55.3°C를 나타내었다. 두 번째 사례는 중부 내륙의 대전지역에서

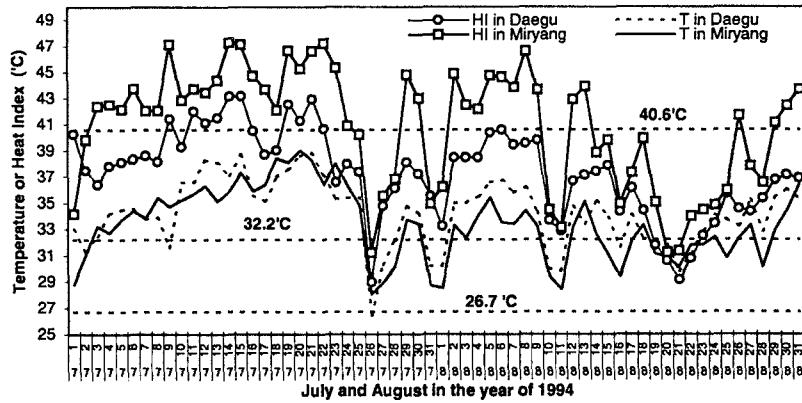
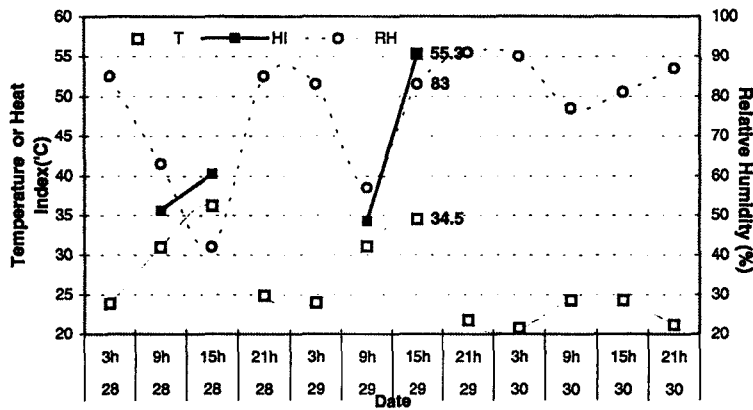


Figure 10. Variations of daily maximum heat index and real time ambient temperatures in Miryang and Daegu from July to August in 1994.

(a) Yeongdoek in August, 1973



(b) Daejeon in July, 1977

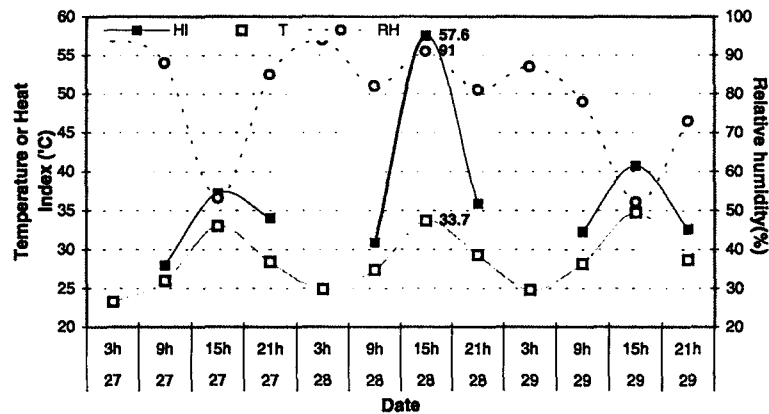


Figure 11. Cases of extremely high heat index exceeding 54.5°C (a) in Yeongdoek and (b) in Daejeon: heat index (HI), temperature (T), and relative humidity (RH).

1977년, 7월 28일 오후 3시, 기온 33.7°C 이고 상대 습도 91%로 열지수가 무려 57.6°C에 달하였다. 일 기상자료의 검토 결과, 열지수가 높게 발생하기 전 후일의 시계열 변화에서도 일반적으로 기온이 높 으면 상대습도는 떨어지는 것이 일반적이나, 두 사 례 모두 기온이 높은 상태에서 국지적인 폭우가 내리기 직전에 매우 높은 상대습도의 환경이 조성 되어 열지수가 급상승한 것임을 알 수 있었다. 이 러한 열지수 54.5°C 이상의 상태가 오래 지속될 때 에는 열사병과 일사병에 의한 사망자가 쉽게 발생 할 수 있는 매우 위험(Extreme Danger)한 상태로 알려져 있다(NOAA, 1980).

7. 요약 및 결론

본 연구는 열지수(Heat Index)를 이용하여 26년 간 (1973~1998) 남한에서 발생한 무더위 발생빈도의 공간적 분포패턴 및 시간적 변화 경향에 대해 살펴보았다. 그 결과 남한의 무더위는 지형, 해 발고도, 수체와의 인접성 등의 자연적 기후인자와 인구 증가에 따른 도시화와 기술 발달에 따른 산 업화, 정부의 인공조림사업 등의 인위적 기후 인자 의 영향을 받아 다양한 시·공간적 패턴과 변화 추세를 나타내었다. 그 주요한 내용들을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 남한에서 일최고 열지수 26.7°C와 32.2°C 이상이 되는 무더위는 무더운 기단이 대하천을 따 라 이루어지면서 고온 다습한 공기 덩어리가 정체되 기 쉬운 태백 산맥 서쪽의 중서부 내륙, 남서부 내 륙, 그리고 남동부 내륙 지역 등 해발고도 200m 미만 저지대에서 자주 발생하였다. 반면, 태백과 소백산맥에서 해발고도 700m 이상의 산악지역과 대규모의 수체의 영향을 받는 해안 지역, 특히 동 한해류 및 오호츠크해의 북동부 해안 지역에서는 각 임계치별 열지수 연평균 발생빈도가 낮게 나타 났다.

둘째, 야간 열지수 26.7°C 이상을 보이는 열대야 현상은 제주도에서 가장 많이 발생하였고, 남해안 인접 지역에서도 비교적 높은 발생빈도를 보였다. 또한 고위도 지역이더라도 1970년대 이후 도시화 가 심화된 서울, 대전, 광주, 대구 지역과 중공업이

급성장한 포항, 울산 등의 산업도시를 중심으로 열 대야 현상이 인근 농촌 지역에 비해 자주 발생하 였다.

셋째, 연구기간 동안 일최고 열지수 26.7°C의 발 생빈도는 일부 문경, 영주 등의 중동부 내륙 지역 을 제외한 전국의 대부분 지역에서 증가하는 경향 을 나타냈다. 특히 밀양 지역에서는 26.7°C 및 32.2 °C 이상의 일최고 열지수가 연구 기간 동안 약 5 일/10년의 비율로 빠르게 증가하는 추세를 보였다. 야간의 열지수 26.7°C이상의 열대야 발생빈도는 주 로 도시화 산업화가 이루어진 수원, 대전, 광주, 울 산, 포항 등의 대도시와 제주도 지역을 중심으로 높은 증가 추세를 보였다

넷째, 1990년대에 주로 높은 열지수의 장기간 연 속 기록도 많아졌고, 특히 1994년은 전국에 걸쳐 매우 높은 열지수가 오랫동안 지속된 매우 무더운 해였다. 일반적으로 40.6°C 이상의 높은 일최고 열 지수는 여름장마 후 북태평양 고기압이 만주지역 까지 확장하고 토양수분이 많아 대기중 증발이 일 어나는 고온 다습한 7월말에서 1~2일에 걸친 작 은 강수가 발생하기 전의 8월 초순 사이에 오래 지속되었다.

다섯째, 일최고 열지수 26.7°C, 32.2°C 및 40.6°C 이상의 연평균 발생빈도 및 장기간 지속 기록을 종합하면, 남한의 생리기후적 극서지(極暑地)는 남 동부 내륙 지역에서 낙동강에 인접하여 온도뿐만 아니라 습도도 높은 밀양 지역이라고 할 수 있었 다. 또한 매우 위험한 54.5°C 이상의 열지수가 연구 기간 동안 1973년 8월 29일 15시 영덕과 1977년 7 월 28일 오후 3시 대전에서 호우직전의 국지적 고 온다습한 조건하에서 발생한 기록이 있다.

이러한 우리나라의 생리기후학적 무더위의 발생 의 시·공간적인 정보는 지역별 혹서에 의한 피해 를 줄이기 위한 기초 정보로서 그 중요성을 가진 다. 체감 무더위의 기후학적 특성을 규명하는 것은 여름철 건강 관리 뿐만 아니라 이와 관련된 냉방 에너지 혹은 수자원 공급에 중요한 지역별 지표로 서 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 특히, 20세기 후반으로 올수록 무더위의 강도와 지속기간이 증 가하였으므로 이를 둔화시키기 위해 필요한 우리 생활과 관련된 다양한 세부 분석이 시급하다. 가 령, 도시 내의 주간외 과다한 냉방 장치 사용은 오

히려 야간의 열대야의 강도를 강화시키는 역효과를 초래하는지, 에너지의 과다 소모로 인한 도시 인프라 네트워크의 부하를 가져올 수 있는지, 도시 내 산림 녹지 조성으로 무더위가 얼마나 경제적으로 저감될 수 있는지 등을 연구한다면, 지속가능한 도시의 관리차원에서 보다 효율성을 도모할 수 있을 것이다. 차후에는 눈에 보이지 않는 갑작스런 무더위 발생으로 야기될 수 있는 재해를 줄이기 위해서 예방의학, 도시계획, 에너지 관리 등 인간 생활과 관련된 다양한 피해 가능 양상들을 찾아내고 이를 정량화 할 수 있는 방제 예측 모델을 구축하여 나가야 할 필요성이 있다.

文 獻

- 권호장, 1997, 서울시의 대기오염과 일별 사망의 관련성에 대한 시계열적 연구, 서울대학교 박사학위 논문.
- 기상연구소, 2001, 온실가스 저감 기술 개발 사업: 기후변화 시그널 검출 기술 개발, MR-J-CG-01-B-19.
- 기상청, 2001, 한국기후표 (1971-2000).
- 김광식, 권봉래, 김상원, 김성삼, 김정국, 김진석, 노재식, 박찬호, 이광호, 이두행, 이석우, 이영택, 이찬, 정창희, 한동욱, 1973, 한국의 기후, 일지사.
- 박병익, 1996, "한국의 하계 기온 분포형과 냉하형에 관하여," 지리교육논집, 35, 14-22.
- 송호열, 1985, 우리나라 성하계의 기후학적 특성, 서울대학교 석사학위논문.
- 윤진일, 봉종현, 1987, "Apparent Temperature에 의한 서울 지방의 여름철 생활 쾌적도 평가," 기상연구소 논문, 79-87.
- 이종범, 전상호, 1982, "쾌적 지수에 의한 한국의 기후 구분에 관한 연구," 한국기상학회지, 18, 48-52.
- 조선일보, 1994년 7월 27일자 사회면.
- 최광용, 최종남, 김종욱, 2002, "대도시 사망자로 살피본 자연 재해로서의 무더위," 2002년 춘계 대한지리학회 초록집, 162-166.
- Centers for Disease Control and Prevention, 1995, Heat-related mortality - Chicago, July 1995, *Morbidity and Mortality Weekly report*, 44, 1-4.
- Changnon, S. A., Kunkel, K. E., and Reinke, B. C., 1996, Impacts and responses, to the 1995 heat wave: a call to action, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(7), 1497-1506.
- Choi, G., 2002, The Geography of Bioclimatic Heat Stress in South Korea: 1973-1998, Master's Thesis, Seoul National University.
- Klinenberg, E., 1999, Denaturalizing disaster: a social autopsy of the 1995 Chicago heat wave, *Theory And Society*, 28, 239-295.
- Kunkel, K. E., Pielke, R.A., and Changnon, S.A, 1999, Temporal fluctuations in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts: A review, *Bulletin Of The American Meteorological Society*, 80, 1077-1098.
- Landsberg, H. E., 1981, Urban Climate, Academic press.
- Matzarakis, A. and Mayer, H., 1997, Heat stress in Greece, *International Journal of Biometeorology*, 41(1), 34-39.
- Meehl, G. A., Karl, T., Easterling, D. R., Changnon, S., Pielke, R. Jr., Changnon, D., Evans, J., Groisman, P. Y., Knutson, T. R., Kunkel, K. E., Mearns, L. O., Parmesan, C., Pulwarty, R., Root, T., Sylves, R. T., Whetton, P., and Zwiers, F., 2000, An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), 413-416.
- Ministry of Home Affairs of Korea, 2000, Municipal Yearbook of Korea.
- Nakai, S., Itoh, T., and Morimoto, T., 1999, Deaths from heat-stroke in Japan: 1968-1994, *International Journal of Biometeorology*, 43(3), 124-127.
- NOAA, 1980, Heat Stress. Asheville, NC; NOAA/NCDC.
- Oke, T. R., 1987, Boundary Layer Climate(2nd ed.),

- Routledge.
- Quayle, R., and Doehring, F., 1981, Heat stress: a comparison of indices, *Weatherwise*, 34(3), 120-123.
- Rothfus, L. P., 1990, The heat index equation(or, more than you ever wanted to know about heat index). NWS Southern Region Technical Attachment, SR/SSD 90-23, Fort Worth, TX.
- Smoyer, K. E., 1998, A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis, Missouri - 1980 and 1995, *International Journal of Biometeorology*, 42(1), 44-50.
- Smoyer K. E., Daniel, G. C. R., and Hewko, J. N., 2000a, Heat-stress-related mortality in five cities in Southern Ontario: 1980-1996, *International Journal of Biometeorology*, 44(4), 190-197.
- Smoyer, K. E., Kalkstein, L. S., Greene, J. S., and Ye, H., 2000b, The impacts of weather and pollution on human mortality in Birmingham, Alabama and Philadelphia, Pennsylvania, *International Journal of Climatology*, 20(8), 881-897.
- Steadman, R. G., 1979, The assessment of sultriness Part II; effects of wind, extra radiation, and barometric pressure on apparent temperature, *Journal of Applied Meteorology*, 18, 874-884.
- Tromp, S. W., 1980, *Biometeorology: the impact of the weather and climate on humans and their environment(animals and plants)*, London: Heyden.

원 고 접 수 일 2002. 9. 9

최종원고접수일 2002. 11. 18