

높은 체감온도가 서울의 여름철 질병 사망자 증가에 미치는 영향, 1991-2000

최광용, 최종남¹⁾, 권호장²⁾

미국 럿거스 뉴저지 주립대 지리학과, 미국 웨스턴 일리노이 대학 지리학과¹⁾, 단국대학교 의과대학 예방의학교실²⁾

The Impact of High Apparent Temperature on the Increase of Summertime Disease-related Mortality in Seoul: 1991-2000

Gwang-yong Choi, Jong-nam Choi¹⁾, Ho-Jang Kwon²⁾

Department of Geography, Rutgers The State University of New Jersey, USA;
Department of Geography, Western Illinois University, USA¹⁾;
Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Dankook University²⁾

Objectives : The aim of this paper was to examine the relationship between the summertime (June to August) heat index, which quantifies the bioclimatic apparent temperature in sultry weather, and the daily disease-related mortality in Seoul for the period from 1991 to 2000.

Methods : The daily maximum (or minimum) summertime heat indices, which show synergetic apparent temperatures, were calculated from the six hourly temperatures and real time humidity data for Seoul from 1991 to 2000. The disease-related daily mortality was extracted with respect to types of disease, age and sex, etc. and compared with the time series of the daily heat indices.

Results : The summertime mortality in 1994 exceeded the normal by 626 persons. Specifically, blood circulation-related and cancer-related mortalities increased in 1994 by 29.7% (224 persons) and 15.4% (107 persons), respectively, compared with those in 1993. Elderly persons, those above 65 years, were shown to be highly susceptible to strong heat waves, whereas the other age and sex-based groups showed no significant difference in mortality. In particular, a heat wave episode on the 22nd of July 1994 (> 45°C daily heat index) resulted in double the normal number of

mortalities after a lag time of 3 days. Specifically, blood circulation-related mortalities, such as cerebral infraction, were predominant causes. Overall, a critical mortality threshold was reached when the heat index exceeded approximately 37°C, which corresponds to human body temperature. A linear regression model based on the heat indices above 37°C, with a 3 day lag time, accounted for 63% of the abnormally increased mortality ($\geq +2$ standard deviations).

Conclusions : This study revealed that elderly persons, those over 65 years old, are more vulnerable to mortality due to abnormal heat waves in Seoul, Korea. When the daily maximum heat index exceeds approximately 37°C, blood circulation-related mortality significantly increases. A linear regression model, with respect to lag-time, showed that the heat index based on a human model is a more dependable indicator for the prediction of hot weather-related mortality than the ambient air temperature.

J Prev Med Public Health 2005;38(3):283-290

Key words : Heat index, Heat waves, Mortality, Seoul.

서론

1990년대 이후에 뚜렷하게 나타나는 전 세계적 온난화 추세와 더불어 여름철 고온에 의한 사망자 발생이 자주 보고되고 있다. 1995년 7월 미국 시카고를 중심으로 한 중서부 지역과 2003년 7-8월에 유럽에서 발생한 열파(heat wave)에 의해 적게는 수백명에서, 많게는 수만명에 이르는 사망자가 단기간내에 발생하였다 [1,2]. 우

리나라가 위치한 동북아시아에서도 이러한 열파 발생에 의한 사망자 급증의 사례가 이웃나라 일본, 중국 등에서 보고되고 있다 [3-5]. 우리 나라에서도 서울 대도시 대기오염에 의한 사망자 연구에 따르면, 1994년의 경우에는 여름철 혹서에 의한 영향이 뚜렷하게 나타나고 있음을 추정하고 있다 [6]. 또한 Choi 등은 남한의 지난 26년간(1973-1998) 열지수(heat Index)를 분석하여 무더위가 장기간 자주 발생하는 지

역을 밝혔다 [7].

무더위가 발생하면 인체는 크게 세 가지의 생리적 반응을 보인다. 첫째, 체내 화학적 에너지 양을 줄이기 위해 음식물을 섭취 욕구가 줄어들어 든다. 둘째, 복사전도에 의한 열 방출을 늘리기 위해 혈관이 팽창하고 혈액 순환속도가 빨라지게 된다. 셋째, 체내 과잉 현열을 잠열로 효율적으로 발산하기 위해 땀을 자주 흘리게 된다 [8]. 한반도가 동북아시아 몬순체계에 속하여 여름철에 북태평양 기단의 영향을 받아서 보이는 고온 다습한 기후 특성은 이러한

접수: 2004년 9월 30일, 채택: 2005년 3월 2일

본 연구는 환경부의 차세대 핵심기술 개발 사업(Eco-technopia 21 project) 지원에 의해 수행되었음

책임저자: 최광용(54 Joyce Kilmer Ave. Piscataway, NJ, 08854, USA Tel: +1-732-763-4289, Fax: +1-732-445-0006, E-mail: tribute@rci.rutgers.edu)

인체의 생리 작용을 방해한다. 고온 다습한 기류는 인체와 주변 환경 사이의 온도 및 습도 경도를 줄임으로써 체내에 과잉 누적된 열에너지가 체외로 원활하게 방출하려는 작용을 방해한다. 장기간 강한 무더위가 발생할 경우, 체내에 열에너지가 과잉 축적되어 불쾌감을 주거나 심한 경우에는 일사병 열사병 등으로 사망까지 초래한다. 국내에서 여름철 무더위에 의한 건강한 사람이 일사병 혹은 열사병 등 직접적으로 사망하는 사례는 매우 드물게 보고 되고 있다. 그러나 이미 질병을 가지고 있는 환자들은 이러한 강한 무더위 때문에 질병이 악화되어 사망하기 쉽다.

지금까지 대부분의 우리나라 사망자 관련 연구들은 여름철 대기 오염과 관련된 연구가 주를 이루어왔다 [9-13]. 환경부에서 일부 기온 혹은 열지수와 사망자 간의 관계를 조사하였으나, 실시간 시간 기상 자료를 이용하지 않아 정량화된 열지수가 오류를 포함하고 있고, 무더위와 사망자 발생간의 lag time을 고려하지 않고 상관관계 결과를 제시하여 결과해석에 논의 여지를 남겨두었다 [14]. 따라서, 본 연구에서는 서울의 지난 10년 (1991-2000)간 6시간별 기후자료를 바탕으로 무더위를 정량화한 열지수와 서울의 일별 질병에 의한 사망자의 특성을 비교 분석하여 매우 강한 무더위가 사망자 증가에 미치는 영향을 평가하였다.

연구 자료 및 방법

우리나라 통계청에서는 사망자 신고서를 바탕으로 1982년 이래로 사망자 원인 통계 연보를 매년 발행해 오고 있다. 1990년대에 이전 사망자 원인 통계 자료는 사망 미신고, 사망 원인 분류상의 오류, 사망 시기의 불일치 등의 이유로 주로 월별 혹은 연도별 통계를 사용해 오고 있다. 따라서 본 연구에서는 1991년 이후 10년 동안의 여름철 6-8월의 지역코드 11로 시작되는 서울의 일별 사망자를 각 사망 원인별로 추출하여 사용하였다. 사망자 원인 기준은 1995년 이전자료는 세계보건기구(WHO)의 제9차 국제질병사인분류(ICD)

Temp (°C)	Relative Humidity (%)												
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
43	56.8												
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	51.8	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	47.8	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	55.4			
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	35.8	37.1	38.7	40.4	42.3	44.4	46.8	49.0	51.5	54.2
31	30.8	31.7	32.6	33.7	34.8	36.2	37.8	39.2	40.8	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 [7]

Table 1. Anomaly of mean, maximum, and minimum temperatures in June-August (1991-2000), deviated from the 30 year (1971-2000) normal in Seoul

Temp(°C)	Year	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Mean	June	0.7	-1.0	-0.6	0.9	-0.3	0.4	1.5	0.0	1.2	1.8
	July	-0.6	-0.1	-1.6	3.6	-0.4	-0.5	1.2	0.0	1.0	1.9
	August	0.1	-0.6	-2.2	2.2	0.6	0.6	1.4	-0.4	0.6	0.8
	summer	-0.2	-0.8	-1.7	2.0	-0.3	-0.1	1.1	-0.4	0.7	1.2
Max	June	0.7	-0.9	-1.1	1.3	-0.6	-0.4	1.6	-0.5	1.4	2.3
	July	-1.0	-0.4	-1.2	3.8	-1.0	-0.5	1.3	-0.2	1.2	2.2
	August	0.5	-0.6	-2.0	2.4	-0.3	0.3	1.8	-0.7	0.7	0.5
	summer	0.1	-0.6	-1.4	2.5	-0.6	-0.2	1.6	-0.5	1.1	1.7
Min	June	0.5	-1.4	0.0	0.3	-0.3	1.3	1.1	0.2	0.7	1.3
	July	-0.4	0.2	-2.0	3.5	-0.1	-0.6	1.0	0.1	0.5	1.3
	August	-0.5	-0.7	-2.3	2.3	1.3	0.8	1.1	0.0	0.2	0.8
	summer	-0.1	-0.6	-1.4	2.1	0.3	0.5	1.1	0.1	0.5	1.1

에 의거한 제2차 한국표준질병사인분류를 적용하였고, 1995년부터는 세계보건기구(WHO)의 제10차 국제질병사인분류(ICD)에 의거한 제3차 한국표준질병사인분류를 적용하였다. 전체 사망자 중에서 사고사를 제외한 사망자 (1995년 이전 사인코드 001-909, 1995년 이후 사인코드 A00-R99)를 질병에 의한 사망자로 정의하고, 질병종류, 연령, 성에 따른 여름철 일별 사망자를 추출하여 분석하였다. 월별 사망자 자료는 10년간의 인구변화를 고려하여 매년 총 인구수 (7월 1일 기준)로 나누어 표준화 한 뒤 서울의 인구를 10만 명으로 가정하여 비교 할 수 있도록 하였다.

무더위를 정량화 하기 위해 Steadman의 Apparent Temperature을 향상시켜 미국 기후국 (National Weather Service)에서 1990년대 이래로 사용하고 있는 열지수 (heat index)를 사용하였다. 열지수는 평상복을

입고 있는 보통 인체 모델이 가법계 그늘에서 걸어가면서 주변 환경과 열 교환하는 양을 계산하여 기온과 상대 습도의 두 요소로 요약한 체감 온도 지수이다 [15]. 열지수는 각 시간별 실시간 기온 및 상대 습도 자료를 반드시 사용해야 하며, 26.7 °C이상의 값을 가질 때에 그 의미를 지니게 된다. 같은 기온에서도 습도가 높아지면 대기의 온도보다 훨씬 높은 열지수를 나타내게 된다 [7](Figure 1). 따라서, 열지수는 우리나라와 같이 여름철에 기온뿐만 아니라 습도도 높은 몬순기후지역에 적합한 무더위 정량 지수이다. Equation 1에 화씨기온 (°F)과 상대습도 (%)를 넣어 열지수 (°F)를 산출한후, Equation 2를 이용하여 섭씨단위 (°C)의 열지수로 전환을 한다. 열지수는 기온 (°C)과 동일한 단위를 사용함으로써 불쾌지수(%)와 같은 다른 무더위 정량지수에 비해서 일반인들이 쉽

$$HI (^{\circ}F) = -42.379 + 2.04901523 \times T + 10.1433127 \times R - 0.22475541 \times T \times R - 6.83783 \times 10^3 \times T^2 - 5.481717 \times 10^2 \times R^2 + 1.22874 \times 10^3 \times T^2 \times R + 8.5282 \times 10^4 \times T \times R^2 - 1.99 \times 10^6 \times T^2 \times R^2 \text{----- Equation 1}$$

$$C = 5/9 \times (^{\circ}F - 32) \text{----- Equation 2}$$

HI: heat index (°F), T: air temperature (°F), RH: relative humidity (%)
 F: Fahrenheit, C: Celsius

게 인식할 수 있다.

이 열지수 방정식을 이용하여, 6시간별 열지수를 산출한후 최고(저)값을 취하여 일최고(저) 열지수의 시계열을 얻었다. 지난 10년간(1991-2000)의 여름철(6-8월) 일최고(저) 열지수와 일별 사인, 연령에 따른 사망자간의 상관성을 시계열 비교를 통해 분석하였다. 특히 매우 무더웠던 1994년과 상대적으로 서늘했던 1993년의 여름철 일별 사망자 자료와 일최고 열지수를 비교 분석하였다 (Table1). 연속된 두 해를 비교함으로써, 인구 구조의 변화에서 기인될 수 있는 오류를 최소화 하였다. 사인별 사망자 중에서 세부적으로 순환기계, 암, 내분기계, 호흡기계, 소화기계 질환에 의한 사망자를 분류하였다. 특히, 무더위로 과잉 누적된 열을 방출하는 혈관 팽창이나 혈액 순환과 관련된 심혈관계 사망자를 세부적으로 살펴 보았다. 또한 통계청의 구분 기준을 바탕으로 연령별(5세 미만, 5세 이상-15세 미만, 15세 이상-25미만, 25세 이상-35세 미만, 35세 이상-45세 미만, 45

세 이상-55세 미만, 55세 이상-65세 미만, 및 65세 이상) 및 성별로 나타나는 사망자수의 차이를 열지수의 변화를 고려하여 비교하였다. Lag time 을 고려한 일최고기온-사망자, 열지수-사망자간의 일차 단순 회귀 모델을 산출하였다.

연구결과

지난 10년간 매년 인구 변화를 고려하여 표준화한 10만 명 기준서울의 여름철 6-8월의 질병에 의한 사망자수(실제 사망자수/ 총 인구수)는 1991년 7,093명(7,420명/10,461,122명)에서 2000년 7,995명(8,058명/10,078,434명)으로 약 902명(638명)이 증가하였다. 특히, 1994년의 표준화한 10만 명 기준 여름철 6-8월 질병에 의한 사망자수는 8,119명으로 연구기간 중 1994년을 제외한 연구기간 표준화 10만 명 기준 평균 사망자 보다 626명이 초과한 최고치를 기록하였다. 각 월별로 1994년의 6월의 표준화한 10만 명 기준 사망자는 2,391명으로

평균값 2,492명보다 작지만, 1994년 7월과 8월은 각각 3,089명과 2,639명으로 1994년을 제외한 평균치에 비하여 각각 601명, 136명씩 초과발생하였다. 2000년도의 8월 사망자수도 2734명으로 10년 평균치에 비하여 217명이 초과 사망하였다(Figure 2).

한편, 생리 기후학적으로 1994년 여름철은 주·야간 모두 매우 무더운 특징을 나타냈다. 30년 평균(1971-2000)에 비해 1994년 7월(8월)은 월평균 최고기온이 무려 +3.8(+2.4)°C나 높아 32.6(31.9)°C를 나타내었고, 월평균 최저기온도 평년에 비해 +3.5(+2.3)°C나 높아 25.3(24.4)°C를 나타내었다 (Table 1). 1994년 7월(8월) 체감온도를 정량화한 서울지역의 열지수는 1994년을 제외한 연구기간 평균 7월(8월) 열지수값 28.8(29.8)°C에 비하여 무려 +6.5(+3.9)°C가 높은 35.3(33.7)°C를 보였다 (Figure 2). 특징적인 것은 1994년 7월(8월) 월평균 일최고기온에 비하여 월평균 일최고 열지수가 +2.7(+1.8)°C높게 나타났다. 이것은 한반도는 동북아시아 몬순 체계에 속하여, 체감온도 상승에 일차적으로는 기온이 매우 중요한 요소이고, 이와 더불어 2차적인 높은 습도에 의해 실제 인체가 체감하는 온도는 주변 공기의 온도보다 높아진다는 사실을 알 수 있다.

연구기간(1991-2000) 동안 매년 서울의 여름철 일별 질병에 의한 사망자는 일최고 열지수가 매우 높게 나타날수록 증가하는 추세를 보이면서 변화하였다 (Figure 3). 서울의 여름 하루 평균 84명의 질병 사망자가 발생하였고, 여름 장마가 끝나고 장마 휴지기에 속하는 7월 하순은 장마기간 동안 내린 비로 인해 높은 습도와 북태평양 고기압의 확장으로 고온이 자주 발생하여 체감온도가 일년 중 가장 높게 나타나, 하루 평균 사망자가 89명으로 5명이 초과 사망하는 시기이다. 특히, 1994년의 경우에는 7월 14일부터 31일까지 평균적으로 매일 116명의 질병 사망자가 발생하여 하루에 32명씩이나 초과하여 사망하였다. 반면, 대부분의 열지수가 35°C미만을 보였던 1993년의 여름철의 경우에는 뚜렷한 질병사 사망자, 심혈관계 사망자 증가 현상이 나타나지 않았다 (Figure 4a).

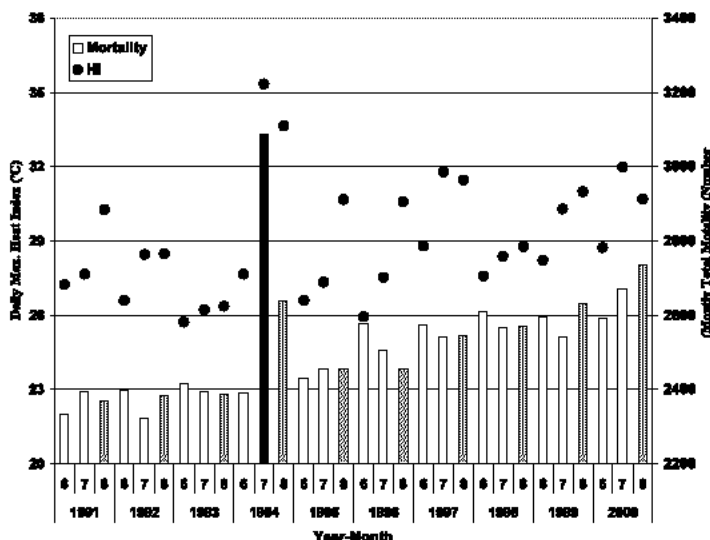


Figure 2. Monthly average values of daily maximum Heat Indices and normalized monthly disease-related deaths per 10 million persons in the summer, Seoul (1991-2000).

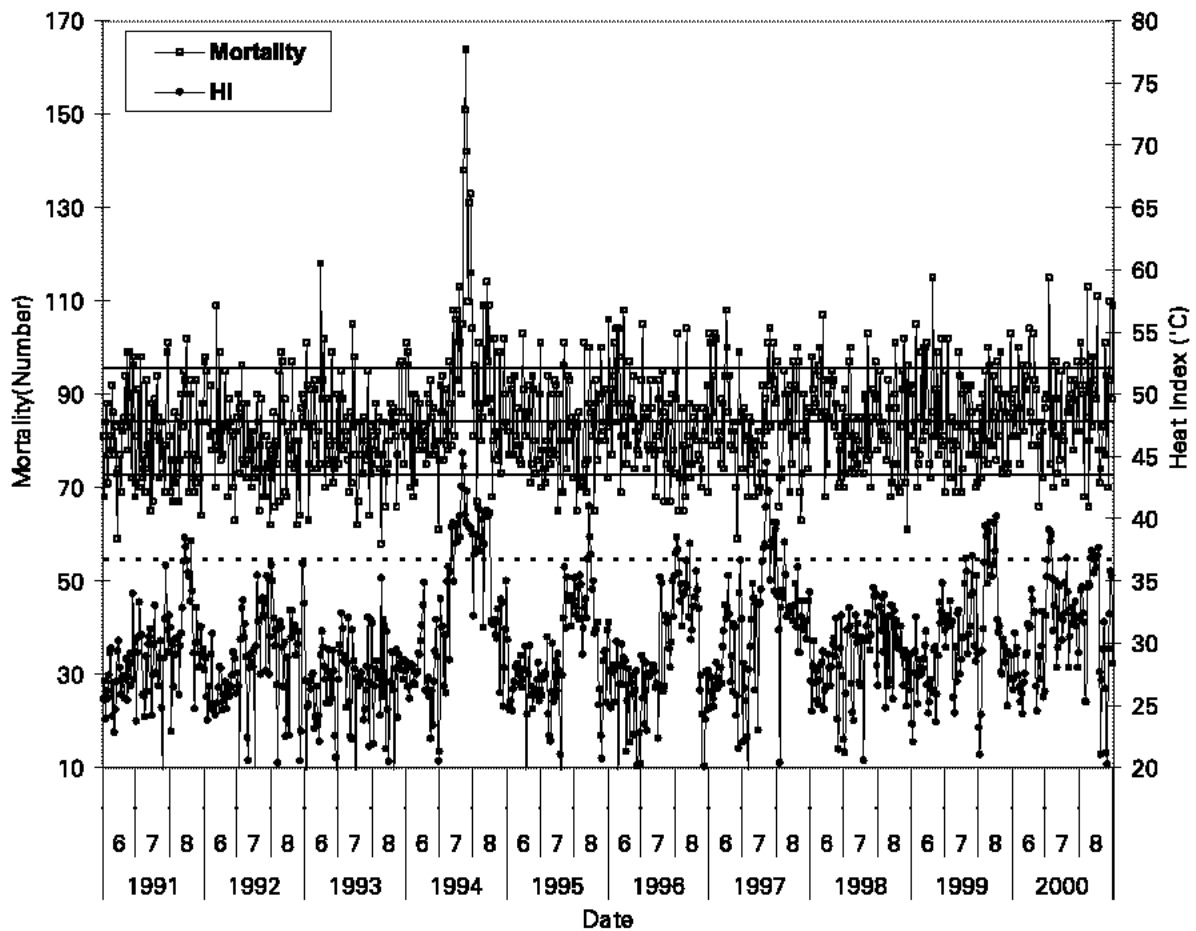


Figure 3. Variations of summertime daily mortality related to diseases and daily maximum heat indices in Seoul (1991-2000): Upper (Lower) string line denotes +2(-2) standard deviations from the mean (middle line) for mortality; dot line denotes 37°C of heat index.

1994년 7월 22일에는 일 최고 열지수가 무려 45.5°C로 매우 높게 나타났고, 3일후인 7월 25일에는 질병사망자가 164명으로 일평균 사망자의 거의 2배에 달하였다 (Figure 4b). Smoyer의 연구에 따르면, 미국 세인트루이스 지역의 사망자는 강한 열지수가 발생한후 4일의 lag를 두고 가장 높은 정점이 발생한다고 하는데 서울의 경우에도 가장 높은 열지수가 발생한 후 3일의 lag를 두고 질병사 사망자 최고 정점을 나타내는 특징을 보였다 [16]. 그러나 이러한 lag time의 경우는 각 발생시기별로 일정치 않아, 7월에 발생한 40°C 이상의 높은 열지수가 8월에 발생한 동일임계치 이상의 열지수보다 훨씬 많은 질병 사망자를 초래하였다. 이러한 특징은 주기적으로 높은 사망자수 발생 후 도시별 사망가능자의 수적 감소, 강한 무더위를 일차적으로 기후순응으로 극복하여 무더위 발생에 대한 내성증가, 7월말-8월초 휴가철기

간에 피서 레크레이션 활동 증가 패턴, 사회·경제 계층별 에어컨디션의 보급 정도 등의 다양한 사회 경제적 요인에 의해 영향을 받을 수 있기 때문이다 [1,17]. 총 질병에 의한 사망자중 1994년 7월 25일 심혈관계 질환사망자를 살펴보면 60명으로 평일에 비해 두배 이상 급증하였다 (Figure 4b). 특히, 고혈압성과 뇌혈관 질환 관련 사망자가 순환기 계통 사망자의 거의 대부분을 차지하였다. 강한 무더위가 발생하여 지속되면, 체내 과잉열을 발산하는 생리작용과 관련된 혈액순환 관련 기관에 무리가 가게 되고, 심혈관 관련 질환을 앓고 있는 환자가 사망에 이를 가능성이 높아지기 때문이다.

1994년의 무더위에 따른 사망자 변화 특징을 구체적으로 살펴보기 위해, 1994년 여름철 일별 열지수와 사망자의 변화를, 인구수와 구조 변화에 의한 사망률의 변화에 의해 초래될 수 있는 오류를 최소화

할 수 있는 전년 1993년의 자료와 비교 분석하였다. 비정상적으로 무더웠던 1994년과는 달리, 1993년은 기후학적으로 서늘한 여름을 보여, 서울의 7월 (8월)의 월평균 기온, 월평균 일최고기온, 월평균 일최저기온이 30년(1971-2000) 평균에 비하여 각각 -1.6(-2.2)°C, -1.2(-2.0)°C, -2.0(-2.3)°C 낮았다 (Table 1). 그 결과, 매우 강한 무더위가 자주 발생한 1994년 여름철 서울의 10만 명 기준으로 표준화한 질병사망자는 서늘한 여름철 기후 특징을 보인 1993년에 비하여 뚜렷하게 많이 발생하였다. 1993-1994년 평균적으로 순환기계통 사망자가 약 31.2%, 암에 의한 사망자가 약 28.7%, 소화기계통 질병사망자 약 7.3%, 호흡기계 사망자 5.3%, 내분비물에 의한 사망자가 4.2%로 전체 질병사망자의 약 76.7%를 차지한다. 1994년의 7-8월의 경우 전체적인 퍼센트는 큰 변화가 없지만 1993년과 비교한 절대적인 숫자와 그 변화비율은 뚜렷

한 차이를 나타낸다 (Table 2). 10만 명으로 표준화한 1994년의 여름철 7-8월 질병사 사망자가 1993년에 비해 무려 773명 초과 발생하였다. 특히, 7월 순환기계 사망자는 224명이 초과 발생하여 1993년 사망자를 기준으로 29.7%의 증가율을 보였으며, 암 관련 사망자도 107명 증가하여 15.4%의 높은 증가율을 보였다. 이 밖에도 7월에 소화기계, 호흡기계, 내분비계가 4-23명 증가하여 전체적으로 519명의 초과 사망자가 발생하였다 (Table 2).

한편, 연령별로 5세 미만의 영아 계층, 5세 이상 65세 미만의 각 10살 당 유소년/청장년 계층, 65세 이상의 노인계층의 사망자를 비교해 보면, 65세 이상의 노인계층이 이러한 무더위에 따른 사망에 가장 뚜렷한 반응을 보였음을 잘 보여준다 (Figure 5). 다른 계층에 비해 시계열에서 높은 열지수가 발생한 후 65세 이상의 노인 계층 사망자가 뚜렷하게 증가하였고, 특히 7월 25일의 65세 이상 노인층의 사망자는 100명 이상 (10만명 기준 1993년 대비 50명 이상 초과발생)으로 월평균에 비해 사망자수가 2배 이상 급증하는 특징을 보였다. 반면, 5세 이상 65세 미만의 유소년/청장년 계층은 거의 1993년 1994년간에 사망자 차이를 나타내는 시계열에서 그 변화가 적게 나타났다. 5세 미만의 영아의 경우도 그 사망자수가 일별 5명 이하로 절대적 발생 수치 자체가 적게 나타났다. 성별에 따른 남성과 여성의 1993년과 1994년 여름철 질병 사망자의 차이는 뚜렷하지 않았다.

고찰

본 연구에서는 대기 오염에 의한 1차적 혹은 무더위와 대기 오염과의 2차적인 시너지적 효과에 의한 사망자에 대한 분석은 이루어 지지 않았다. 대기오염중 오존이 여름철 고온 발생과 관련이 있고, 오존에 의해서는 호흡기계 사망자가 증가한다는 결과들이 있다 [6,13]. 본 연구에서 1994년의 7월 호흡기계 사망자는 1993년에 비해서 약 17% (23명) 증가하였으나, 월평균 사망자를 비교하면 통계적으로 유의하지는 않았다. 반면, 1994년의 7월 혈액순환

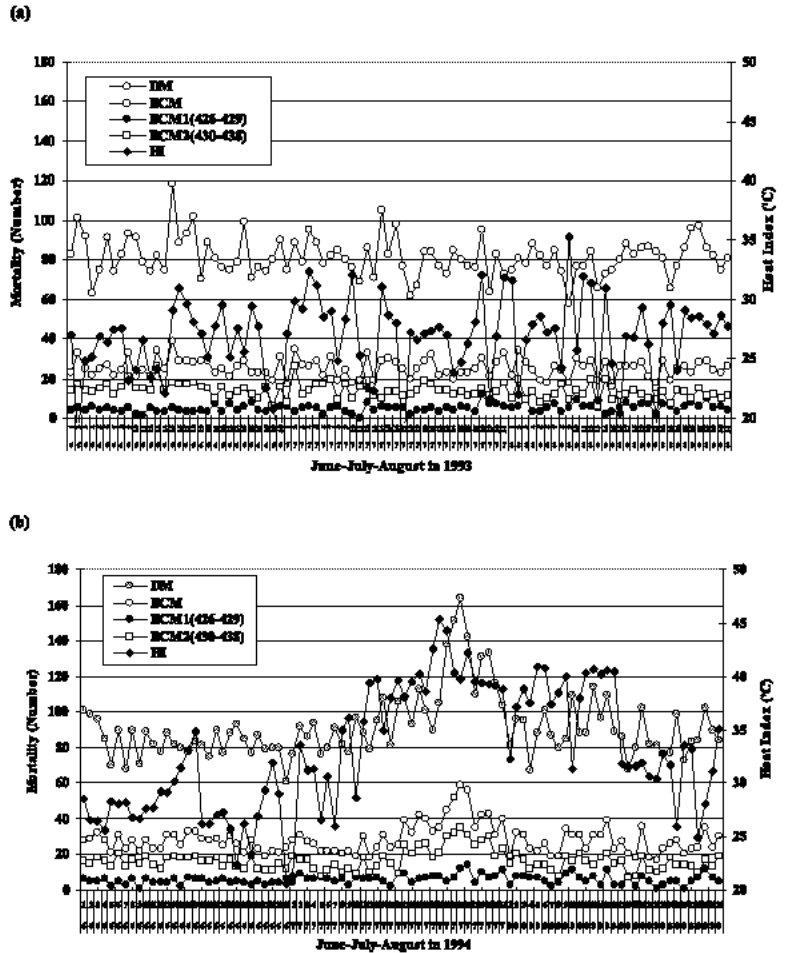


Figure 4. Variations of summertime daily maximum Heat Indices (HI) and daily mortality in 1993 (a) and 1994 (b): Disease-related Mortality (DM), Blood Circulation-related Mortality (BCM), Conduction disorders and Cardiac arrhythmias-related mortality (BCM1), and Cerebrovascular disease-related mortality (BCM2).

Table 2. Differences of total monthly normalized (out of 10 million populations) mortality for each disease type in July and August of 1993 and 1994, Seoul: BC (Blood Circulation-related mortality), CAN (CANCer-related mortality), DIG (DIGestion-related mortality), RES (RESpiratory-related mortality), END (ENDocrine-related mortality), and TD (Total Diseases-related mortality). P-value is the result of a Mann-Whitney U test for difference of daily mortality data (N=31) for each disease group between 1993 and 1994 (in July* and August*).

Year	Month	BC	CAN	DIG	RES	END	TD	
1993	July	753 (31.4%)	696(29.0%)	183(7.6%)	127(5.3%)	106(4.4%)	2396(100%)	
	August	725(30.4%)	717(30.1%)	179(7.5%)	137(5.8%)	105(4.4%)	2385(100%)	
1994	July	977(33.5%)	803(27.5%)	187(6.4%)	149(5.1%)	129(4.4%)	2916(100%)	
	August	773(29.3%)	740(28.0%)	202(7.7%)	131(5.0%)	95(3.6%)	2937(100%)	
1994-1993		224(+29.7%) ↑	107(+15.4%) ↑	4(+1.9%) ↑	23(+17.8%) ↑	23(+22.2%) ↑	519(21.7%) ↑	
Differences		P-value*	0.005	0.010	0.909	0.194	0.216	0.000
		August	49(+6.7%) ↑	23(+3.2%) ↑	24(+13.3%) ↑	-6(-4.6%) ↓	-9(-8.9%) ↓	254(10.7%) ↑
		P-value**	0.417	0.621	0.241	0.511	0.608	0.004

Table 3. Possible impacts of high heat Index on human body [18]

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

관련 사망자는 1993년 7월 총사망자에 비해 29.7% (224명)로 증가하여 수적 측면에서도 다수를 차지하고 있다 (Table 2). 이와 관련하여 무더위와 대기 오염의 상호 작용에 관한 차후 연구가 필요하다. 또한, 무더위에 관련하여서도 건강한 사람이 강한 열파에 의해 사망한 경우와 순환계 관련 질환을 가지고 있었던 사람들이 사망한 경우로 나누어 병원진찰 기록 등을 구체적으로 살펴볼 필요가 있다.

한편, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration; 1980)는 열파 발생에 대비하기 위하여 열지수의 강도에 따라 나타나는 증상들을 보고한 바 있다 [18] (Table 3). 그러나 결정하는 임계치에 대해서 인종별, 지역별 기후순응과 관련된 논쟁들이 있어왔다 [19]. 따라서, 10년 (1991-2000) 동안의 각 연도별, 임계치별 서울의 여름철 6-8월 일최고 열지수 발생 빈도를 분석하여 앞의 결과에서 보여주었

던 1994년 여름 증가된 사망자를 초래하였던 체감온도의 임계치를 살펴볼 필요가 있다.

인체의 평균 온도 (37 °C) 이상의 일최고 열지수가 월평균적으로 7월 (8월)에는 약 3일 (3일) 정도 발생하였다. 그러나, 1994년의 경우에는 체온보다 높은 열지수가 무려 19일 (14일)이나 발생하여 평년에 비해 6배 (5배) 이상 증가하였다 (Figure 3). 사망자의 뚜렷한 증가를 보인 1994년의 여름철에는 37 °C 이상 열지수가 발생빈도가 뚜렷하게 다른해에 비해서 높았다 (Figure 6). 1994년 여름철에는 37-39 (39-41) °C 열지수가 10회 (19회)로 평균에 비해 3배 (6배) 가 넘게 발생하였다. 사망자가 급증하는 임계치를 보다 구체적으로 살펴보기 위해, 3일간의 누적 사망자를 구한후에 3일 전의 열지수와 짝을 지어 열지수를 기준으로 내림차순으로 정리한후 그 변화를 살펴보았다 (Figure 7). 특히, 21개 자료의 이동 평

균 사망자의 추세를 살펴보면, 열지수가 35.5 °C에서 사망자가 약간 증가 추세를 보이다가, 37 °C 이상에서는 뚜렷하게 사망자가 증가 하는 것을 볼 수 있다. 이것은 서울의 경우 신체의 평균 온도와 일치하는 일최고 열지수 37 °C가 주변 열환경과의 이르고 있는 열균형을 무너뜨려서 사망자를 증가시키는 임계치임을 알 수 있다.

1997년의 경우에도 37 °C 이상의 열지수가 12회 발생하였고, 특히 41 °C 이상이 무려 3회나 발생했지만, 사망자의 증가 정도는 1994년의 경우에 비해서 낮게 나타났다 (Figure 6). 이러한 결과는 일최고 열지수뿐만 아니라 높은 열지수의 지속 시간, 즉 일최저 열지수의 변화가 중요한 변수로 작용함을 시사하고 있다. 실제로, 1994년과 1997년의 6시간별 열지수중에서 일최저 열지수를 산출한후 사망자의 변화 경향과 비교하면, 1997년의 여름철 일최저 열지수

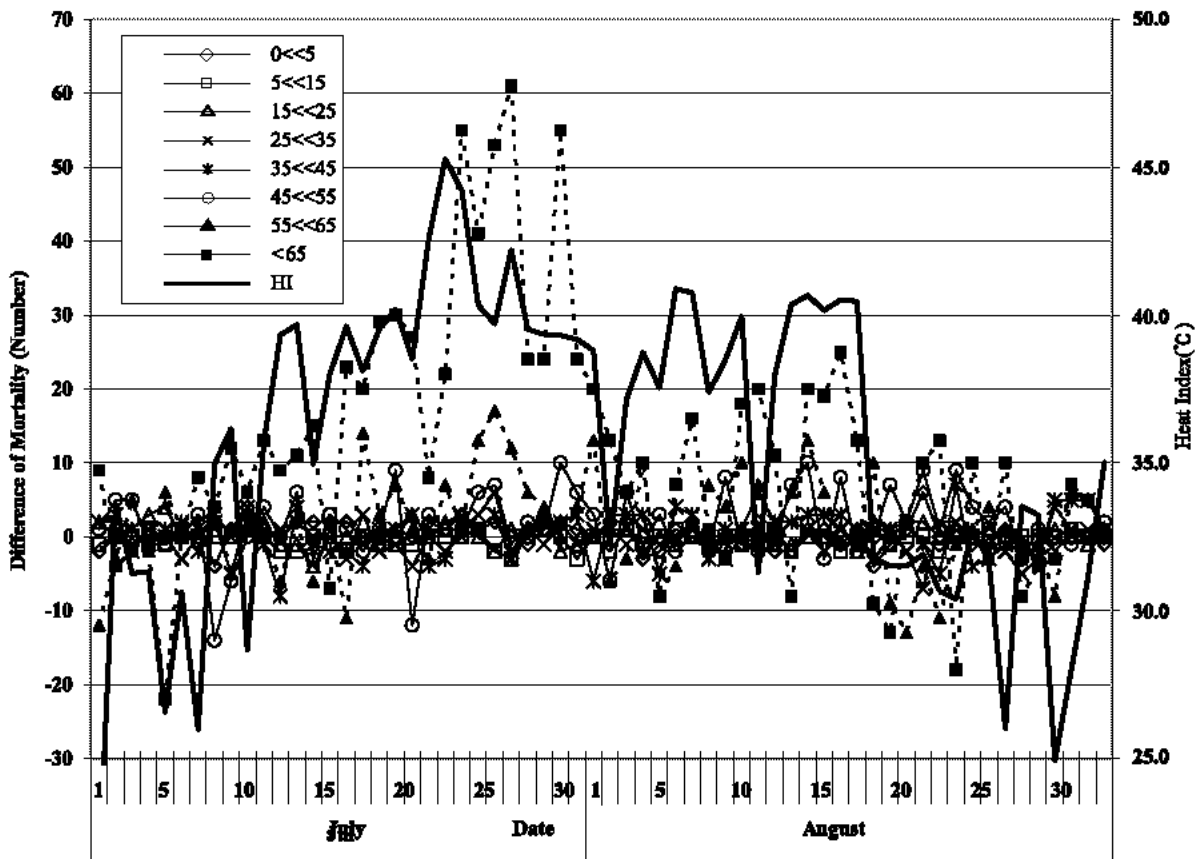


Figure 5. Summertime (July-August) normalized (out of 10 million populations) mortality differences of each age cohort in 1994 from those in 1993, Seoul; for instance, 5<<15 age cohort indicates people equal to or greater than 5 and below 15 years. HI with the thick line denotes daily maximum heat index. Summertime daily mortality differences between 1993 and 1994 are significant only for both 45<<55 and < 65 age cohorts at 99% of significance level and for 55<<65 age cohort at 95% of significance level according to a Mann-Whitney U test (N=62).

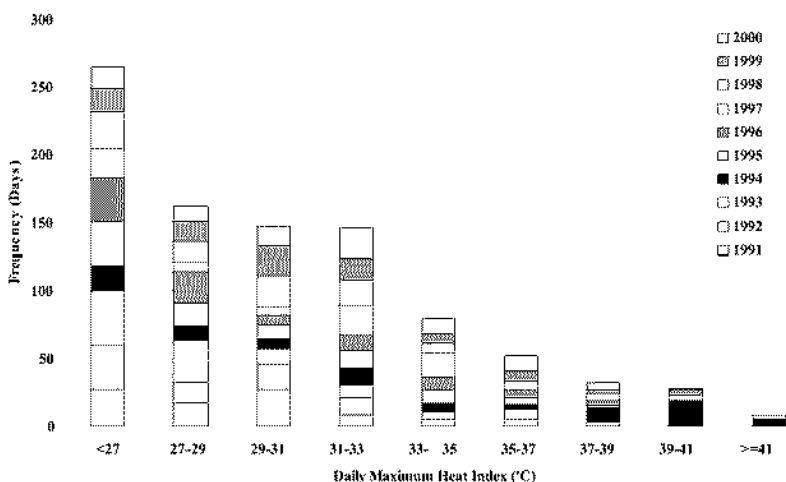


Figure 6. Frequency of summertime (June-August) daily maximum heat indices in each category in Seoul (1991-2000).

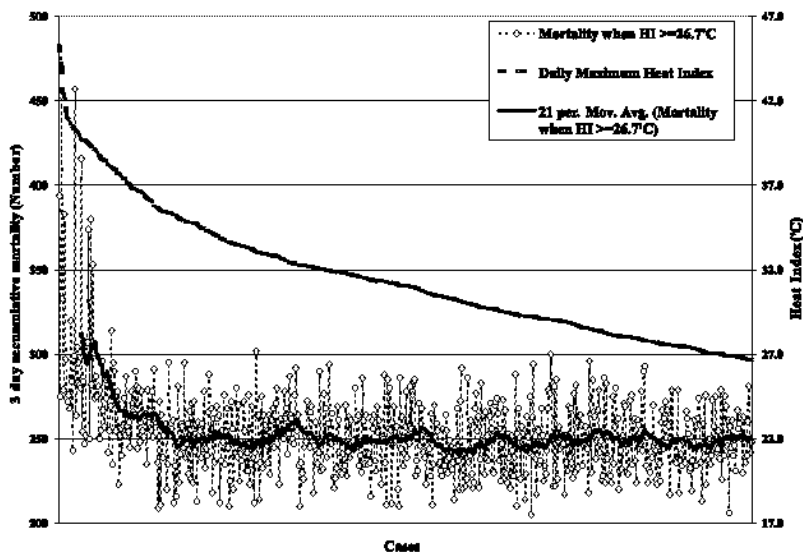


Figure 7. Descending variations of heat indices and the daily mortality 3 day after occurrences of each heat index. Thick line along the mortality values represents the variation of 21 case moving average.

Table 4. Linear regression models between Heat Indices ($HI \geq 37^\circ C$) and lagged Mortality ($M \geq 96$); r^2 is square value of Pearson correlation coefficient, and N is the number of cases during the period of study (1991-2000)

Lag time	X-Y variables	Regression models	r^2	N
0 day	HI-M	$Y = 3.0229X - 8.1767$	0.09	28
	MT-M	$Y = 8.3822X - 179.05$	0.52*	
1 day	HI-M	$Y = 2.7267X - 2.4238$	0.09	29
	MT-M	$Y = 2.7276X + 2.4238$	0.49*	
2 day	HI-M	$Y = 5.9784X - 124.6$	0.52*	30
	MT-M	$Y = 6.5915X - 116.45$	0.44*	
3 day	HI-M	$Y = 7.6963X - 192.25$	0.63*	27
	MT-M	$Y = 5.668 X - 81.416$	0.30*	
4 day	HI-M	$Y = 3.4672 X - 26.211$	0.13	21
	MT-M	$Y = 3.275 X - 1.0457$	0.10	

*: 0.01 significans level (two-tailed)

는 1994년의 경우에 비하여 현저하게 낮았다. 가령, 1994년에는 $28^\circ C$ 이상의 일최저 열지수가 발생하면 사망자수가 급증하였다. 따라서 국내 현실에 맞는 열파에 따른 인명피해를 줄이기 위한 경보 시스템을 구축하기 위해서는 일최고 열지수 뿐만 아니라 일최저 열지수 즉 높은 열지수의 지속시간을 고려할 필요가 있음을 알 수 있다.

또한 연구기간 동안 일단위로는 가장 높은 사망자수가 발생한 1994년 7월 25일의 각 원인별 사망자수를 살펴보면, 노쇠에 의한 사망자 (ICD-4; 797)를 제외하면 7월 일평균에 비하여 순환기계 사망자가 약 2배 증가하였다. 특히, 뇌경색증 (ICD-4; 434)이나 급성이나 불명확한 뇌혈관 질환 (ICD-4; 436)과 관련된 사망자가 두드러지게 많이 발생하였다.

한편, 사망자가 96명 이상 (2SD 이상, 10년 평균 기준)이고 열지수가 $37^\circ C$ 이상 (1994년 사망자 증가에 영향을 미친 임계치) 인 경우를 lag time을 고려하여 열지수와 사망자간의 회귀모델을 산출하여 보았다. Lag time을 각각 0일 1일 2일 3일 그리고 4일로 고려하여 단순 일차회귀선을 구하여 본 결과, 3일의 lag time을 고려한 회귀모델의 설명력이 63%로 가장 높게 나타났다 (Table 4). 3일의 lag time을 고려한 열지수와 사망자 모델에 따르면, $37^\circ C$ 이상의 높은 열지수가 $1^\circ C$ 씩 증가할 때 마다 약 8명씩 사망자가 증가한다는 것을 추정할 수 있다. Lag time 0일의 경우에도 일최고 온도와 상관정도가 높으나, 실제 분포를 보면 가장 높은 사망자 발생시에 오히려 다른 때보다 기온이 낮게 나타나 논리에 맞지 않는 결과를 보인다. 즉, 실제 체감온도에는 온도뿐만 아니라 순간 순간의 습도가 매우 중요한 역할을 함을 알 수 있다. 따라서 기온뿐만 아니라 습도의 복합적인 영향을 고려한 인체모델을 바탕으로 한 열지수는 한반도 무더위에 따른 사망자를 추정하는데 유용한 지수임을 알 수 있다.

요약 및 결론

본 연구는 고온다습한 한반도 여름 몬순

에 따른 체감온도를 효율적으로 정량화 하는 열지수 (heat index)를 사용하여 지난 10년간 (1991-2000) 여름철에 (6-8월) 발생한 체감 무더위가 서울의 일별 질병 사망자에 미치는 영향을 분석하였다. 6시간별 열지수에서 추출된 일최고(저) 열지수는 일별 질병사 사망자 특히, 여름철 주요 사망자수를 차지하는 호흡기, 순환기, 암, 소화기, 내분비계통의 일별 사망자 시계열 자료와 비교·분석되었다. 일별 사망자 자료는 질병 대분류별 뿐만 아니라 연령, 성별로도 분류되어 체감 무더위를 정량화 한 일별 혹은 월평균 열지수와 lag time 을 고려하여 비교되었다.

그 결과, 열지수가 평균적으로 높게 나타났던 1994년에 질병사 사망자가 다른해에 비하여 비정상적으로 매우 높게 나타났다. 1994년의 7월은 37°C 이상의 일최고 열지수가 자주 발생하여 2-4일의 lag time 을 가지고 사망자 수가 급증하였다. 특히, 1994년 7월 22일의 일최고 열지수가 45.5°C에 이르고, 3일 후인 7월 25일에는 사망자와 일평균에 비하여 무려 두배 (164명)로 급증하였다. 1994년의 사망자를 1993년의 경우와 비교하여 본 결과, 1994년 7-8월에 혈액 순환기 계통 환자가 특히 급증하였다. 또한, 1994년 무더웠던 기간동안 남녀 성별로는 큰 차이가 없었으나, 연령별로는 65세 이상의 노인계층에서 눈에 띄게 사망자가 급증하였다.

한편, 사망자가 급증하는 열지수의 임계치를 살펴본 결과, 평균 체온과 일치하는 37°C 이상의 열지수가 발생하였을 때 사망자가 급증하였다. 또한, 열지수 37°C 이상의 매우 무덥고 사망자가 많았던 사례들을 모아 열지수와 사망자 혹은 일최고 기온과 사망자의 회귀 모델을 살펴본 결과, 3일의 lag time 을 고려한 열지수-사망자 모델이 가장 높은 설명력 (63%)을 보였다. 이것은 신체 열교환에는 높은 기온뿐만 아니라 습도에 의한 부가적인 체감 온도 상승이 매우 중요하기 때문에, 기상학적 기온보다는 체감온도를 나타내는 열지수가 여름철 열파에 의한 사망자수를 예측하는 데 더 유용한 지표임을 보여준다.

본 연구 결과는 다양한 기상 재해 중 태풍 또는 호우뿐만 아니라 눈에 보이지 않

는 체감 무더위도 많은 인명 피해를 가져오는 자연 재해로 인식되어야 한다는 점을 밝히고 있다. 특히, 차후에 열파 인명 피해 방제 모델을 개발을 하기 위해서는, 온도와 습도를 조절할 수 있는 생리 기상연구실을 갖추어 연령별로 우리나라 인체에 맞는 체감 온도 상승에 따른 신체 반응을 조사하는 것이 급선무라고 판단된다.

참고문헌

1. Changnon SA, Kunkel KE, Reinke BC, Impacts and responses to the 1995 heat wave: a call to action, *BAMS* 1996; 77(7); 1497-1506
2. United Nations Environmental Programs (UNEP), Impacts of summer 2003 heat wave in Europe, A series of Early Warning on Emerging Environmental Threats 2004; 1-3
3. Nakai S, Itoh T, Morimoto T, Deaths from heat stroke in Japan: 1968-1994, *Int J biometeorol* 1999; 43(3); 124-127
4. Piver WT, Ando M, Ye F, Portier CJ, Temperature and air pollution as risk factors for heat stroke in Tokyo, July and August 1980-1995, *Environ Health Pers* 1999; 107(11); 911-916
5. Tan J, Kalkstein LS, Huang J, Lin S, Yin H, Shao D, An operational heat/health warning system in Shanghai, *Int J Biometeorol* 2004; 48(3); 157-162
6. Kwon HJ, Cho SH, Air pollution and daily mortality in Seoul, *Korean J Prev Med* 1999; 32(2); 191-199 (Korean)
7. Choi G, Choi J, Kim JW, Son SW, The climatology of perceived sultriness in South Korea, *J Kor Geogra S* 2002; 37(4); 385-402 (Korean)
8. Tromp SW, Biometeorology: the impact of the weather and climate on humans and their environment (animals and plants). London: Heyden; 1980; 54-87
9. Hong YC, Leem JH, Ha EH, Christiani, CD, PM₁₀ exposure, gaseous pollutants, and daily mortality in Incheon, South Korea, *Environ Health Pers* 1999; 107; 873-878
10. Lee JT, Shin D, Chung Y, Air pollution, daily mortality in Seoul and Ulsan, Korea, *Environ Health Pers* 1999; 107; 149-154
11. Lee JT, Kim H, Hong YC, Kwon HJ, Schwartz J, Christiani DC, Air pollution and daily mortality in seven major cities of Korea, 1991-1997, *Environ Res [A]* 2000; 84; 247-254
12. Kim H, Kim Y, Hong YC, The lag-effect pattern in the relationship of particulate air pollution to daily mortality in Seoul, Korea, *Int J Biometeorol* 2003; 48(1); 25-30
13. Sung J, Kim H, Cho SH, Summertime heat

waves and ozone: an interaction on cardiopulmonary mortality? - Based on the 1994 heat wave in Korea, *Korean J Prev Med* 2001; 34(4); 316-322 (Korean)

14. 환경부, 한반도 기후변화 영향평가 및 적응 프로그램 마련-기후변화로 인한 건강 피해 가능성 조사 및 피해 저감 정책 방향에 관한 연구, NO.11-1480000-000685-01; 2003; (119-131)
15. Rothfus LP, The heat index equation (or more than you ever wanted to know about heat index), NWS Southern Region Technical Attachment, 1990; SR/SSD-90-23, Fort Worth, TX; 1-2
16. Smoyer KE, A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis, Missouri, 1980 and 1995, *Int J Biometeorol* 1998; 42(1); 44-50
17. Sheridan SC, Kalkstein LS, Progress in heat watch-warning system technology, *BAMS* 2005; 85(12); 1931-1941
18. NOAA, *Heat stress*. Asheville, NC; NOAA/NCDC; 1980
19. Robinson PJ, On the definition of a heat wave, *J Appl Meteorol* 2001; 40; 762-775