

# 대도시 사망자의 증가로 살펴본 자연재해로서의 무더위

최광용 · 최종남 · 김종욱

기상청 기상연구소 기후연구실 · Western Illinois University 교수 · 서울대 지리교육과 교수

## 1. 서론

20세기 후반부부터 뚜렷하게 나타나고 있는 지구온난화는 지구상의 여러지역에서 열파와 한파, 가뭄, 집중호우 등 다양한 이상기후를 발생시키고, 이로 인한 수많은 인명 및 재산 피해를 초래하고 있다 (IPCC, 2001). 특히, 이상고온과 높은 습도를 동반한 열파 (Heat Wave)는 그 발생 및 이로 인한 피해 사례가 아시아와 북아메리카, 남부 유럽 등 지구촌 곳곳에서 보고되고 있다 (Craig, 1994; Changnon et al., 1996; Matzarakis et al., 1997; Nakai et al., 1999; Smoyer et al., 1998, 2000a, and 2000b; MgGeehin et al., 2001). 이러한 열파는 다른 이상기후들을 훨씬 능가하는 인명피해를 초래하고 있다 (Posey, 1980; Changnon et al., 1996). 한국도 이러한 열파의 안전지대가 아니다. Gwangyong Choi et al.(2002)의 연구에 따르면 1990년대는 보다 높은 빈도의 열파가 발생하였고, 특히 1994년 여름 동북아시아일대에서 장기간에 걸쳐 발생한 열파는 생리기후학적으로 1970년대 이후 가장 극심한 무더위를 동반했다. 1994년 여름철 열파는 한국과 일본에서 대도시를 중심으로 열파로 인한 수많은 사망자를 발생시켰다 (권호장, 1997; Nakai et al., 1999).

본 연구는 열지수 (Heat index)를 이용하여 한반도에 발생하는 무더위의 강도에 따라 여름철 대도시 사망자수의 시계열변화를 살펴보았다. 특히, 20세기 후반에 여름철 이상저온과 이상 고온으로 대표되는 1993년 여름과 1994년 여름철 기간동안 대도시에서 발생한 사망자수의 시계열변화를 비교 평가하고, 열지수와 이슬점온도, 기온, 상대습도 등의 기후요소와의 상관관계를 살펴보았다.

## 2. 연구 방법 및 연구 자료

고온 다습한 환경은 인체의 수분증발에 의한 냉각작용을 둔화시킨다. 따라서 인체는 혈액순환증가 및 혈관팽창에 의한 열방출 작용을 이용하여 체내에 누적된 열 스트레스를 감소하려하고 이는 순환기 기관에 많은 무리를 가져온다 (Tromp, 1980). 따라서 본 연구는 무더위와 관련한 질병사에서 순환기 계통 사망자를 이용하였다. 본 연구는 통계청이 수집한 1993년과 1994년의 서울 특별시와 5대 광역시 (부산, 인천, 대구, 대전, 광주)의 총 사망자 원시자료를 이용하여 사고사를 제외한 일별 질병 사망자 자료중 순환기 관련 세부 항목별 사망자수를 추출하여 사용하였다. 1994년 이전의 사망자 구 분류중 순환기 관련 사망자 (390-459번) 및 세부 항목 중 1994년도 많은 발생을 보인 전도장애 및 심장성 부정맥 (426-429번), 뇌혈관 질환 (430-438번)의 일자료를 분석하였다.

무더위를 정량화하기 위해 사용된 열지수는 한국 기상청에서 26년간 (1973-1998) 전국 61개 지점에 걸쳐 관측한 기온과 상대습도 자료와 방정식 1 (Eq.1)을 이용하여 산출하였다. 열지수 (Heat Index)는 기온과 습도의 변화에 따라 느끼는 체감온도 (Apparent Temperature)를 지수화한 것이다.

이 열지수는 생체 반응에 따라서 주의, 매우 주의, 위험, 매우 위험의 범주로 구분되어 사용되고 있다 (Table 1). 이 열지수는 많은 나라에서 일기 예보에 활용되고 있을 뿐만 아니라, 우리나라의 경우에도, 2002년 1월부터 일부 지역 기후예보에 사용되기 시작하였다.

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

HI: 열지수 (°F), T: 기온 (°F), R: 상대습도 (%)

무더위와 사망자수의 증가 사이에는 시간적인 지연현상 (lag)이 많이 보고되고 있다 (Smoyer et al., 1998, and 2000a). 따라서, 본 연구는 무더위와 관련한 각 기후요소가 대도시 사망자수의 증가에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 각 기후요소와 대도시 사망자수간의 시계열분석을 시도하였다. 이를 위해, 1993년과 1994년 여름철 (6-8월)에 각 지역별로 발생한 사망자수의 변화와 각 기후요소들 (열지수와 기온, 이슬점 온도, 상대습도)간의 피어선 상관계수를 구한 후, 이를 비교 분석하였다.

Categories	Heat Index Range	Possible Symptom
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 54.4°C	Heatstroke or sunstroke are imminent

<표 1> Possible Physiological Symptom in each Heat Index Range (NOAA, 1980)

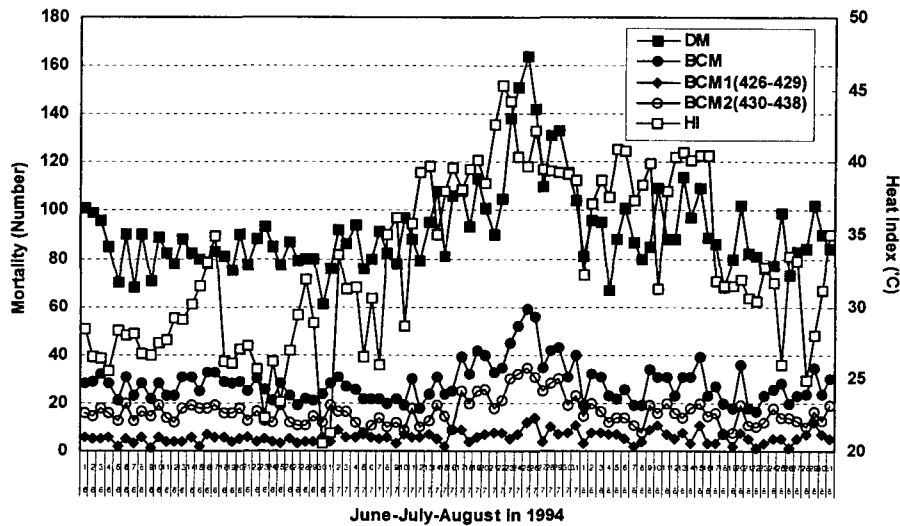
### 3. 결과 및 토론

대도시에서는 도시 피복에 의한 열섬현상과 복합적으로 작용하여 열파에 의한 피해에 많은 사람들이 노출되어 있다 (Kalkstein and Smoyer, 1993). 실제 우리 나라에서도 2000년 기준 총인구의 약 50% 정도가 서울특별시와 부산, 인천, 대구, 대전, 광주, 울산 등 6대 광역도시에 집중하여 있다 (통계청, 2001). 따라서 우리 나라도 도시화에 따라 갑작스런 무더위 발생에 많은 인구들이 한꺼번에 치명적인 영향을 받기 쉽다.

1983년 이후의 사고사를 제외한 우리나라 전체의 질병 사망자 수의 변화를 살펴보면 1980년대 후반에 약 190,000명 정도로 감소추세를 보이다가 다시 1990년대에는 증가추세를 보이고 있다. 특히 여름철 이상 저온과 이상고온으로 대표되는 1993년과 1994년은 연속된 해임에도 불구하고 사고사를 제외한 사망자 수가 각각 217,154 명, 230,677명으로 1990년대 평균 224,670명과 비교해볼 때 차이가 분명하게 나타난다. 특히 1994년은 순환기 계통 사망자 수가 68,886명으로 가장 높은 해였다. 연령별로는 1994년의 60세 이상의 질병사와 순환기 계통의 사망자 수가 1993년에 비하여 현저하게 증가하였다. 이는 열파가 4세 미만의 유아나 60세 이상의 노인들, 특히 순환기계통 질병을 앓고 있는 환자의 사망자수 증가와 밀접한 관계가 있다고 밝힌 다른 나라의 연구와 일치한다 (CDC, 1993; Semenaz, 1996; Patz et al., 2000).

26.7°C, 32.2°C 및 40.6°C 이상의 일최고 열지수는 26년 연평균에 비하여, 1993년에 각각 6-34일, 10-32일 및 1-4일 적게 발생한 반면, 1994년에는 각각 2-30일, 10-30일, 및 4-28일 많이 발생하였다. 특히, 1993년 여름철(6-8월)에는 서울 등의 대도시에 35°C 이상의 일최고 열지수가 거의 발생하지 않았지만, 1994년 여름철(6-8월)에는 서울, 인천 및 대전 등 중북부 대도시에서는 7월 10일부터 8월 15일 까지, 부산, 대구 및 광주 등의 중남부 대도시에서는 7월 1일부터 8월 15일까지 거의 연속적으로 35°C 이상의 일최고 열지수가 지속되었다. 1994년의 이 기간에는 습도의 영향으로 대전을 제외한 주요 대도시의 열지수는 기온보다도 훨씬 높게 나타났다.

이상저온을 보였던 1993년과는 달리 이상고온을 보였던 1994년 여름철 (6-8월)의 사망자 수와 열지수의 시계열 변화를 살펴보면, 높은 일최고 열지수가 발생한 이후 일정 시간 격차를 두고 사망자가 뚜렷하게 급증하는 특징을 나타냈다. 일례로, 서울의 경우 7월 22일에는 45℃이상의 열지수가 발생하고 3일이 지난 7월 25일에 사고사 제외 사망자 및 순환기 계통 사망자가 각각 약 180명과 60명 이상으로 최소 2 배 이상 급증하는 모습을 나타냈다. 특징적으로, 1994년 8월 초순에도 40℃가 넘는 열지수가 발생하지만 7월 25일 전후의 사망자 수보다는 적게 나타났다 (Fig. 1). 즉, 여름철에 최초로 나타난 40℃이상의 강한 열지수를 나타내는 시기가 실제 대도시 사망자에 가장 큰 영향을 주고 있으면 그 효과는 시간이 지날수록 줄어들고 있음을 알 수 있다. 한편, 이와 같은 열지수 상승에 따라 사망자가 급증하는 시기는 대도시별로 다양하게 나타났다. 서울, 보편적으로 대구 0일, 서울과 인천은 3일, 광주는 4일, 부산은 6일, 대전은 7일 이후에 각각 사고사 제외 및 순환기 계통 사망자가 급증하여 외국 사례연구 (Smoyer, 1998, 2000a, and 2000b )와는 다른 결과를 보여 주었다.



<그림 1> Heat Index and Mortality in Seoul, June-August 1994: Daily Maximum Heat Index (HI), Disease-related Mortality (DM), Blood Circulation-related Mortality (BCM), Conduction disorders and Cardiac arrhythmias-related Mortality (BCM1), and Cerebrovascular Disease-related Mortality (BCM2)

이와 같이 도시별로 나타난 열지수 발생 후 사망자가 급증하는 시간 지연 현상을 고려하여 1994년 여름철 (6-8월)의 대도시 사망자수와 기온, 습도, 이슬점 온도 및 열지수의 피어슨 상관계수를 구하여 비교하여 보면 지역별로 그 상관 정도가 다양하게 나타났다. 서울의 경우 질병 (DM) 및 순환기 계통 (BCM)의 사망자 수는 상대습도 (R)>열지수 (HI)>기온 (T)의 순으로 95%이상의 유의수준에서 높은 상관성을 보였다. 그 중에서 순환기 계통 중 전도장애 및 심장성 부정맥 (BCM1)과 뇌혈관 질환 (BCM2)은 상대습도(R)와 높은 상관성을 보였다. 인천 지역의 경우에는 질병 (DM), 순환기 계통 (BCM) 그리고 전도장애 및 심장성 부정맥 관련 (BCM1) 사망자는 열지수(HI)> 기온(T)> 이슬점 온도 (DT) 혹은 상대습도 (R)순으로 유의미한 상관성을 나타내었다. 부산의 경우, 질병 사망자 (DM)의 경우에는 상대습도(R)와 상관성을 나타내었고, 순환기 계통 사망자(BCM)는 이슬점 온도 (DT)>열지수 (HI)>기온 (T)의 순서로 높은 상관성을 나타내었다. 대구의 경우에는 질병 사망자 (DM), 순환기 계통 사망자 (BCM), 특히 뇌혈관 질환 (BCM2) 사망자는 열지수 (HI)>기온 (T)의 순으로 높은 상관성을 보여주었

다. 그러나, 대전 및 광주 의 경우에는 질병 사망자 (DM)는 열지수(HI)와 높은 상관성을 보였다. 이러한 결과에 따르면, 여름철 강한 무더위는 순환기 계통 사망자에 지대한 영향을 미치고 있으며, 특히, 열지수는 다른 기후 요소보다도 무더위가 대도시 사망자에 미치는 영향을 가장 잘 반영하는 체감 지수임을 알 수 있다.

한편, 1994년 여름철(6-8월) 대도시 열지수와 사망자수 사이의 산포도를 분석하여 보면, 체온 36.7℃보다 높은 열지수를 나타낼 때 사망자가 급증하는 특징이 잘 나타나고 있다. 이것은 평균 체온 이하로 장기간 지속되는 열지수보다는 지속기간은 짧더라도 평균 체온 이상의 높은 열지수가 대도시 사망자에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 잘 보여주는 것이다.

#### 4. 결론

본 연구는 이상저온과 이상고온의 해로 대표되는 1993년과 1994년의 대도시 사망자수와 무더위와의 상관관계를 분석하였다. 무더위는 여름철 질병 사망자수중 순환기 계통 사망자수에 밀접한 관련을 가진 것으로 평가되었다. 특히 짧지만 강한 무더위가 사망자수와 관련성이 높고, 무더위가 사망자수의 증가에 미치는 시간 격차는 지역별로 0-7일까지 다양하게 나타났다. 또한, 열지수는 기온과 이슬점온도, 습도 등의 다른 기후 요소보다 질병 사망자 및 순환기계통 사망자수와 더 높은 상관관계를 보였다. 이는 열지수가 특히 순환기 계통 질병을 가지고 있는 환자들에게 유의미한 정보로 활용될 수 있다는 것을 나타내는 것이다. 따라서 본 연구결과는 차후 발생 가능한 무더위로 인한 인명피해 예측모델 및 병원들의 진료계획의 기초자료로 사용되어질 수 있다.

#### 참고문헌

- 권호장, 1997, 대기오염과 일별 사망자 시계열 분석에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문  
통계청, 2001, 2000 인구주택 총 조사 보고서  
CDC, 1993, Heat-related deaths: United States, 1993, Centers for Disease Control and Prevention, Morbidity and Mortality Weekly Report, 42, 558-560  
Changnon Stanley A., Kenneth E. Kunkel, and Beth C. Reinke, 1996, impacts and responses, to the 1995 Heat Wave: A Call to Action, Bulletin of the American Meteorological Society, 77(7), 1497-1506  
Craig R. Whitney, "Europe Wilts, Records Fall in Heat Wave," NEW YORK TIMES August 3, 1994, pg. A5  
Gwangyong Choi, Jongnam Choi, Jongwook Kim, and Seokwoo Son, 2002, The temporal trends and spatial patterns of bioclimatic heat stress in South Korea, Proceedings of Korean Meteorological Society 2002 Spring Conference, Atmosphere, 12(1). 445-447  
IPCC, 2001, Climate Change 2001; Impacts, Adaption, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.  
Kalkstein, L. and K. Smoyer, 1993, The impact of climate change on human health: some international implications, Experientia, 49, 969-979  
Matzarakis Andreas, H. Mayer, 1997, Heat stress in Greece, International Journal of Biometeorology, 41(1), 34-39  
McGeehin MA, Mirabelli M., 2001, The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States, Environ Health Perspec., 109, 185-190  
Nakai S., T. Itoh, T. Morimoto, 1999, Deaths from heat-stroke in Japan: 1968-1994, International Journal of Biometeorology, 43(3), 124-127  
NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 1980, Heat Stress, Asheville, NC;

NOAA/NCDC

- Patz, J.A., M.A. McGeehin, S.M. Bernard, K.L. Ebi, P.R. Epstein, A. Grambsch, D.J. Gubler, and P. Reiter, 2000, The potential health impacts of climate variability and change for the United States: executive summary of the report of the health sector of the U.S. National Assessment . *Environmental Health Perspectives*, 108, 367-376
- Posey, C., 1980, Heatwave , *Weatherwise*, 33(3), 112-116
- Semenza J C, Rubin CH, Falter KH, 1996, Heat-related deaths during the 1995 heat wave in Chicago . *N Engl J Med* , 335, 84-90
- Smoyer Karen. 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 Karen. E., Daniel G. C. Rainham, Jared N. Hewko, 2000a, Heat-stress-related mortality in five cities in Southern Ontario: 1980-1996, *International Journal of Biometeorology*, 44(4), 190-197
- Smoyer Karen E., Laurence S. Kalkstein, J. Scott Greene, and Hengchun Ye, 2000b, The impacts of weather and pollution on human mortality in Birmingham, Alabama and Philadelphia, Pennsylvania , *International Journal of Climatology*, 20(8), 881-897
- Tromp, S.W, 1980, *Biometeorology: The impact of the weather and climate on humans and their environment( animals and plants )*, London: Heyden