

## 고온건강경보시스템 기준 설정에 관한 연구(Ⅱ) - 설정 기준 개선 -

정우식 · 박종길\* · 김은별 · 송정희\*\*

인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터,

\*인제대학교 환경공학부/대기환경정보연구센터,

\*\*국립환경과학원 환경건강위해성연구부 환경역학과

(2009년 4월 1일 접수; 2009년 5월 6일 수정; 2009년 5월 29일 채택)

## Study on the Establishment of Threshold Criteria for Heat Health Watch Warning System in Korea; Part Ⅱ: Improvement of Criteria

Woo-Sik Jung, Jong-Kil Park\*, Eun-Byul Kim and Jeong-Hui Song\*\*

*Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information  
Research Center, Inje University, Gimhae 621-749, Korea*

*\*School of Environmental Sciences Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center,  
Inje University, Gimhae 621-749, Korea*

*\*\*Environmental Epidemiology Division, Environmental Health Risk Research Department National Institute of  
Environmental Research Ministry of Environment, Environmental Research Complex, Incheon 404-170, Korea*

(Manuscript received 1 April, 2009; revised 6 May, 2009; accepted 29 May, 2009)

### Abstract

The current standard level of Heat Health Watch Warning System consider both daily maximum temperature and daily maximum heat index(HI), but current standard could not consider daily maximum HI due to the difficulties in forecasting when we consider both daily maximum temperature and daily maximum HI and no considering HI because relative humidity could not observed for some regions. So, Newly established standard level of Heat Health Watch Warning System is based on daily maximum temperature exceeding 30℃ for two consecutive days or daily minimum temperature exceeding 25℃ and daily maximum temperature exceeding 30℃. These days are called "extreme heat days". On extreme heat days, the standard of extreme heat advisory is based on daily maximum temperature among exceeding 32.7℃ and not exceeding 34.8℃, and extreme heat warning is based on daily maximum temperature exceeding 34.8℃. ANOVA analysis was carried out using the data of Seoul Metropolitan City in 1994 to check the robustness of the new standard level of Heat Health Watch Warning System from this study, in particular for mortality variable. The results reveal that the new standard specifies excess mortality well, showing significance level of 0.05 in the difference of excess mortality for each phase.

**Key Words :** Threshold Criteria, Heat Health Watch Warning System, Extreme heat

## 1. 서 론

최근들어 전세계적으로 지구온난화에 따른 기후 변화로 따른 폭염에 의한 피해 발생이 빈번해지고 있다. 특히 2000년도 초에 프랑스, 영국, 미국 등의 국가에서 폭염에 의해 사망자가 발생함에 따라 이에 대한 심각성이 대두되고 있고, 이와 관련된 연구의 필요성이 제기되고 있다. 또한 IPCC 보고서<sup>1)</sup>에서는 21세기에 전망된 지구온난화는 시나리오 종류와 상관없이 지난 수십 년간 관측된 지리적 분포와 유사한 패턴을 보이고, 온난화는 내륙과 북반구 고위도에서 가장 크고 남반구 해양과 북대서양 일부 해역에서 적은 것으로 전망한다. 이와 더불어 여러 가지 측면에서의 미래 기후 변화가 나타나겠지만, 특히 극한고온, 폭염, 호우사례는 빈발할 가능성이 매우 높음을 제시하고 하고 있다. 따라서 현재의 폭염에 의한 피해는 미래의 기후변화가 가속화함에 따라 더 심해질 가능성이 높으므로 폭염에 대한 연구와 적응대책은 매우 절실하다.

폭염과 관련된 선행연구<sup>2-5)</sup>에는 서울을 대상으로 한 기후분석을 통해서 최고기온과 최고열지수를 이용한 폭염발생기준을 설정한 연구가 있고, 박 등<sup>3)</sup>은 폭염이 발생하였을 때 기상요소와 초과사망자수와의 관련성을 통해서 인체가 받게 되는 영향을 대한 연구를 실시하였다. 김 등<sup>6)</sup>은 군집분석 방법을 이용하여 서울에서의 여름철 기단을 분류하여, 각 기단의 특성과 일사망자수와의 관련성을 조사하여 건강에 영향을 미치는 기단을 정의하였다. 이와 같은 연구들은 폭염 발생에 대한 정의와 고온에 의한 영향이 발생할 때의 기상상태에 대한 연구로서 폭염과 관련된 연구에서 기초적인 연구이다. 따라서 향후 빈발할 것으로 예상되는 폭염에 의한 피해를 방지하기 위해서는 국가차원에서의 고온건강경보 시스템(Heat Health Watch Warning System)의 개발이 필요하다<sup>2)</sup>.

다행히도 우리나라 기상청에서는 2007년 폭염특보제의 시험운동을 시작으로 2008년 폭염특보제를 시행하였다. 그러나 우리나라 폭염특보기준에는 폭염발생일을 선정할 때 일 최고기온이 30℃ 이상 2일간 지속되면서 폭염주의보(the excessive heat advisory) 나 폭염경보(the excessive heat warning)에 해당

되는 일 최고기온과 일 최고열지수의 기준을 동시에 만족하는 경우를 폭염발생일(extreme heat day)로 선정하였다. 그러나 현재의 예보시스템에서는 일 최고열지수를 산정 시 고려되는 변수 중 상대습도가 일부 관측되지 않는 지점이 있어 2007년 7월에 시범 시행된 폭염특보를 평가하고 문제점을 보완하고자 한다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1. 사망자료

본 연구에서 사용한 일사망자 자료는 통계청에서 제공하고 있는 사망원인통계 자료를 사용하였다. 자료의 기간은 1991년부터 2004년까지 14년간으로 하였으며 연구대상 지역은 박 등(2006)의 선행연구에서 폭염과 사망자 발생과의 연관성이 있다고 나타난 서울이다. 본 연구에서는 전체 사망자수 중에서도 사고나 자살 등의 사망원인을 제외한 질병에 의한 사망자수 자료를 사용하였다. 이때 질병에 의한 사망자수 분류는 1997년부터 2003년 동안에 통계청에서 사망의 원인을 7가지로 제공하고 있지만 연구 전 기간에 걸쳐 제공되는 값이 아니므로 자료 처리에 통일성을 주기 위해 질병에 의한 사망자수 분류는 의학계통의 선행연구에서 질병에 의한 사망이라고 정의하고 있는 ICD-10의 A00-R99에 해당되는 사망자수를 사용하였다<sup>7)</sup>.

### 2.2. 기상자료

본 연구에서 사용된 기상요소는 박 등<sup>3)</sup>의 선행연구에서 폭염기준 설정 시 사용된 기온과 상대습도이다. 2007년도 폭염특보제의 시험운영 결과의 검토를 위해 사용한 자료는 2007년도 기상자료이고, 기존의 고온건강시스템과 보완된 시스템의 비교를 위해서 1991년부터 2004년까지 14년간의 전 기상기상관측지점 자료를 사용하였다.

### 2.3. 열지수

기상요소가 일사망자수에 미치는 영향을 알아보기 위한 분석에서 사용된 열지수는 'Apparent Temperature' 라고도 부르며 NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration)에서 고온다습한 환경에 대한 대국민 경보를 더욱 효율적으로 제시하여 폭염에 미리 대처할 수 있는 체제를 개발하고자 하

는 목적에서 추진한 미국기상청 열지수 프로그램을 통해 개발되었다. 열지수는 평상복을 입고 있는 보통 인체 모델이 가볍게 그늘에서 걸어가면서 주변 환경과 열 교환하는 양을 계산하여 기온과 상대 습도의 두 요소로 요약한 체감 온도 지수이다. 열지수는 각 시간별 실시간 기온 및 상대습도 자료를 반드시 사용해야 하며, 약 26.7℃ 이상의 값을 가질 때 열지수로서의 그 의미를 지니게 된다. 같은 기온에서도 습도가 높아지면 대기의 온도보다 훨씬 높은 열지수를 나타내게 된다.

#### 2.4. 폭염발생기준

본 연구에서의 폭염발생기준은 선행연구<sup>3,8)</sup>에서 제시하고 있는 기준을 사용하였다. 기준에서는 폭염발생을 지역적으로 일 최고기온이 95 분위수에 해당하며, 열지수가 27℃ 이상인 날이 연속 2일 이상 폭염이 지속되는 경우로 정의한다.

#### 2.5. 폭염특보제 정확도 평가

시험 시행된 폭염특보가 지점별로 어떠한 예보정확도와 민감도를 가지고 있는가를 알아보기 위하여 Table 1과 같은 방법으로 오분류표를 만들어 기상기상관측지점 76개에 대해 Table 2에 나타내었다.

폭염예보에 대한 정확도(accuracy)는 예측된 폭염일과 관측된 폭염일이 얼마나 잘 일치하는가에 나타낸 것으로  $\frac{(A+D)}{Total}$ 로 구할 수 있다. 민감도(sensitivity)는 관측된 폭염일이 얼마나 잘 예측되었나에 대하여 알아보는 것으로써,  $\frac{A}{(A+B)}$ 로 구할 수 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 2007년 폭염특보 평가

기상청에서 2007년 7월 1일부터 9월 30일까지 3개월간 폭염주의보와 폭염경보로 나누어 시험 실시

**Table 1.** Misclassification table from data set of forecast and observation for the extreme heat day during July-September, 2007

Forecast of extreme heat day	Observation			
		Yes	No	
	Yes	A	B	A+B
	No	C	D	C+D
		A+C	B+D	Total (A+B+C+D)

**Table 2.** List of extreme heat days and sites occurred the extreme heat from July to September, 2007

Date	Number of sites	Meteorological station
07/18	1	Hapcheon
07/25	4	Daegu, Hapcheon, Jinju, Ulsan
07/26	19	Daegu, Geochang, Geoje, Goheung, Gumi, Gwangju, Hapcheon, Imsil, Jangheung, Jinju, Miryang, Mmasan, Namhae, Namwon, Sancheong, Suncheon, Uiseong, Ulsan, Yeongcheon
07/27	21	Daegu, Donghae, Gangneung, Geochang, Geoje, Goheung, Gumi, Hapcheon, Jinju, Masan, Miryang, Namhae, Namwon, Pohang, Sancheong, Sokcho, Uiseong, Uljin, Ulsan, Yeongcheon, Yeongdeok
07/28	27	Daegu, Donghae, Gangneung, Geochang, Geoje, Goheung, Gumi, Gapcheon, Jinju, Masan, Miryang, Namhae, Namwon, Pohang, Sancheong, Sokcho, Uiseong, Uljin, Ulsan, Yeongcheon, Yeongdeok
07/29	15	Daegu, Geochang, Geoje, Goheung, Hapcheon, Jangheung, Jinju, Masan, Miryang, Namhae, Namwon, Sancheong, Suncheon, Wando, Yeongcheon
07/31	2	Hapcheon, Sancheong
08/01	21	Buan, Daegu, Donghae, Gangneung, Geochang, Geumsan, Gwangju, Hapcheon, Jeongeup, Jeonju, Jinju, Namwon, Pohang, Sancheong, Seogwipo, Suncheon, Uiseong, Uljin, Ulsan, Yeongcheon, Yeongdeok

Table 2. Continued

Date	Number of sites	Meteorological station
08/02	30	Andong, Boeun, Buan, Buyeo, Chungju, Daegu, Daejeon, Donghae, Gangneung, Geochang, Geumsan, Goheung, Gumi, Gwangju, Hapcheon, Hongcheon, Imsil, Jangheung, Jeongeup, Jeonju, Jinju, Masan, Miryang, Namwon, Sancheong, Sangju, Suncheon, Uiseong, Yeongcheon, Yeongdeok
08/03	26	Andong, Buan, Chungju, Daegu, Geochang, Geumsan, Goheung, Gumi, Gwangju, Hapcheon, Hongcheon, Icheon, Jangheung, Jeongeup, Jeonju, Jinju, Miryang, Mungyeong, Namhae, Namwon, Sancheong, Sangju, Suncheon, Uiseong, Yeongcheon, Yeongju
08/04	13	Daegu, Geochang, Gumi, Gwangju, Hapcheon, Jeju, Jeongeup, Namwon, Sancheong, Suncheon, Uiseong, Ulsan, Yeongcheon
08/07	1	Jeju
08/08	2	Buan, Jeju
08/09	1	Buan
08/10	9	Buan, Buyeo, Cheongju, Geumsan, Jeonju, Miryang, Pohang, Ulsan, Yeongcheon
08/11	20	Boryeong, Buyeo, Cheongju, Chuncheon, Chungju, Daegu, Daejeon, Dongducheon, Gangneung, Geumsan, Hapcheon, Hongcheon, Jeongeup, Jeonju, Jinju, Miryang, Uiseong, Wonju, Yangpyeong, Yeongcheon
08/15	1	Yeongcheon
08/16	27	Andong, Boeun, Buan, Buyeo, Chungju, Daegu, Daejeon, Geochang, Geumsan, Gumi, Gwangju, Hapcheon, Icheon, Imsil, Jeongeup, Jeonju, Masan, Miryang, Namwon, Pohang, Sangju, Uiseong, Ulsan, Wonju, Yeongcheon, Yeongdeok, Yeongju
08/17	35	Andong, Boeun, Buan, Buyeo, Chuncheon, Daegu, Geochang, Geoje, Geumsan, Goheung, Gumi, Gwangju, Hapcheon, Hongcheon, Icheon, Imsil, Jangheung, Jeongeup, Jeonju, Jinju, Masan, Miryang, Mungyeong, Namhae, Namwon, Sancheong, Sangju, Suncheon, Uiseong, Ulsan, Yangpyeong, Yeongcheon, Yeongdeok, Yeongju, Yeongwol
08/18	18	Andong, Daegu, Geochang, Geumsan, Goheung, Hapcheon, Imsil, Jeonju, Jinju, Miryang, Namhae, Namwon, Sancheong, Sangju, Suncheon, Uiseong, Ulsan, Yeongcheon
08/19	18	Boeun, Daegu, Geochang, Geumsan, Goheung, Gumi, Hapcheon, Hongcheon, Jeongeup, Jeonju, Miryang, Mungyeong, Namwon, Pohang, Sancheon, Uiseong, Ulsan, Yeongcheon
08/20	15	Buan, Buyeo, Daegu, Gangneung, Geochang, Geumsan, Haenam, Hapcheon, Miryang, Pohang, Suncheon, Uiseong, Ulsan, Yeongcheon, Yeongdeok
08/21	21	Buan, Daegu, Donghae, Gangneung, Geochang, Geumsan, Gumi, Hapcheon, Jeongeup, Jeonju, Jinju, Masan, Miryang, Namwon, Pohang, Sancheon, Uiseong, Ulsan, Yeongcheon, Yeongdeok
08/22	2	Hapcheon, Jinju
08/23	6	Buan, Hapcheon, Jeongeup, Miryang, Namwon, Suncheon
08/24	22	Boeun, Buan, Buyeo, Cheonan, Daegu, Geochang, Geumsan, Gumi, Hapcheon, Icheon, Imsil, Jeongeup, Jeonju, Jinju, Miryang, Namhae, Namwon, Sangju, Suncheon, Tongyeong, Uiseong, Yeongcheon
08/25	41	Andong, Boeun, Boryeong, Buan, Buyeo, Cheonan, Cheongju, Chungju, Daegu, Daejeon, Gangneung, Geochang, Geumsan, Gumi, Gunsan, Hapcheon, Hongcheon, Icheon, Imsil, Jeongeup, Jeonju, Jinju, Masan, Miryang, Mungyeong, Namhae, Namwon, Pohang, Sancheon, Sangju, Seoul, Sokcho, Suncheon, Suwon, Uiseong, Ulsan, Wonju, Yangpyeong, Yeongcheon, Yeongdeok, Yeongju
08/26	21	Buan, Daegu, Donghae, Geochang, Geumsan, Goheung, Gumi, Hapcheon, Jinju, Miryang, Namhae, Namwon, Pohang, Sancheon, Sangju, Suncheon, Uiseong, Ulsan, Yeongcheon, Yeongdeok
08/27	9	Hapcheon, Jeongeup, Jinju, Masan, Miryang, Namhae, Pohang, Seogwipo, Ulsan
09/20	2	Chungju, Geumsan
09/21	1	Daegu

하였다. 기상청에 실시한 폭염주의보는 박 등<sup>2)</sup>의 연구에 의한 고온건강경보시스템 4단계 기준에서 2단계인 ‘매우주의’ 단계에 해당하며, 폭염경보는 3단계인 ‘위험’ 단계에 해당한다.

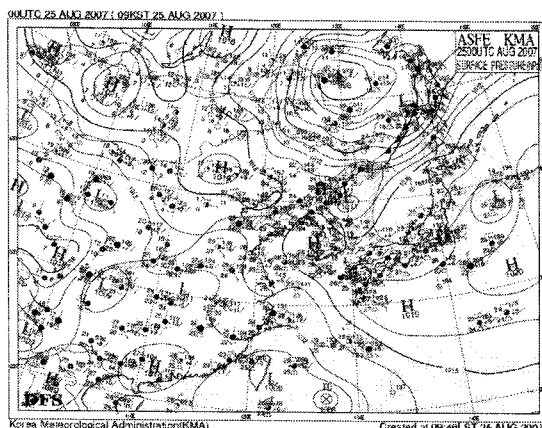
본 연구에서는 2007년 7월에 시범 시행되었던 폭염특보제를 평가하고 문제점을 보완하고자 한다. 현재의 폭염특보제는 일 최고기온과 열지수를 이용하여 주의보와 경보를 발령하도록 되어 있는바, 습도의 예보 및 관측이 요구된다. 그러나 국내 설치되어 있는 76개 기상관서에는 습도 관측이 이루어지고 있으나, 자동기상관측망에서는 습도가 관측되지 않는다. 따라서 본 연구에서는 습도 관측이 이루어지고 있는 76개 기상관서를 대상으로 예보 및 관측 결과를 비교 분석하였다. 2007년 7월부터 9월까지 폭염주의보와 경보에 해당한다고 관측되어진 폭염 발생일은 7월이 7일, 8월은 22일, 그리고 9월에는 2일이 발생하여 총 31일이 발생하였다.

폭염 발생지역을 일별로 살펴보면(Table 2), 50%(38개 지점)이상의 지점에서 폭염이 발생한 날은 8월 25일이었으며, 33.3%(25.33개 지점)이상에 해당하는 날은 7월 28일, 8월 2~3일, 8월 16~17일, 8월 25일로 나타나, 폭염이 발생한 지점이 많았던 날은 8월 25일, 8월 17일, 8월 2일 순으로 나타났다.

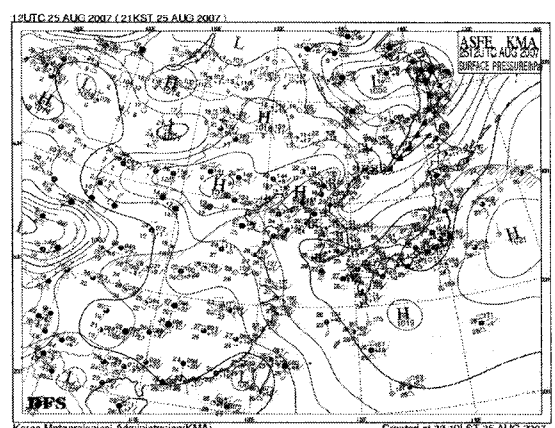
이 가운데 가장 많은 지점에서 폭염이 발생한 8월 25일의 지상일기도를 살펴보면(Fig. 1), 고온다습한 해양성 열대기단인 북태평양 고기압세력이 한반도 남동쪽에서 북서쪽으로 확장되면서 영향을 준

것으로 판단된다. 이 날은 폭염이 발생한 지역의 일 최고기온이 32.7~35.7℃ 범위를 나타내었고, 일 최고기온을 나타내었을 때의 상대습도는 40~63%로 나타나 높은 기온에 비해 상대습도가 높게 나타났다. 이는 폭염이 발생할 때 기온과 함께 상대습도가 인체에 영향을 미칠 수 있는 범위이므로 고온 관련 질병 발생을 예측할 수 있다. 이와 더불어 기온이 높음에도 상대습도가 높게 나타난 이유를 알아보기 위하여 850 hPa의 moist flux를 조사하였는데, Fig. 2에서도 알 수 있듯이 일중 한반도 남서쪽에서 고온다습한 습기가 유입되어 절대적인 습기량이 증가할 수 있었음을 알 수 있다. 이러한 기상 상태는 전형적인 해양성 열대기단의 영향으로 고온다습한 습기 유입이 강한 경우로 Kalkstein 등<sup>9)</sup>의 연구에서 제시하는 MT plus기단과 유사한 것으로 판단되고 폭염 발생 시의 중관 상태를 분석하고 있는 선행연구와도 일치되는 결과이다<sup>10,11)</sup>.

Table 3에서 제시하는 바와 같이 폭염일 예보의 정확도는 0.88~1.00 범위를 나타내어 높은 정확도를 나타내고 있으나, 민감도는 평균 0.3으로 정확도에 비해 낮게 나타났다. 폭염예보의 정확도 측면에서는 만족할 만하나, 폭염을 예측한 날보다 예측하지 않은 날이 정확도에 크게 기여하고 있으므로 실제 관측된 폭염일이 폭염 예측일과의 일치하는 정도를 높이기 위해서는 민감도를 개선할 필요가 있으며, 습도가 관측되지 않는 지점까지 폭염예보의 정확도와 민감도를 높이기 위해서는 기존의 열지수



(A) 00UTC Aug. 25, 2009



(B) 12UTC Aug. 25, 2009

Fig. 1. Surface weather charts of (A) 00UTC and (B) 12UTC August 25, 2009.

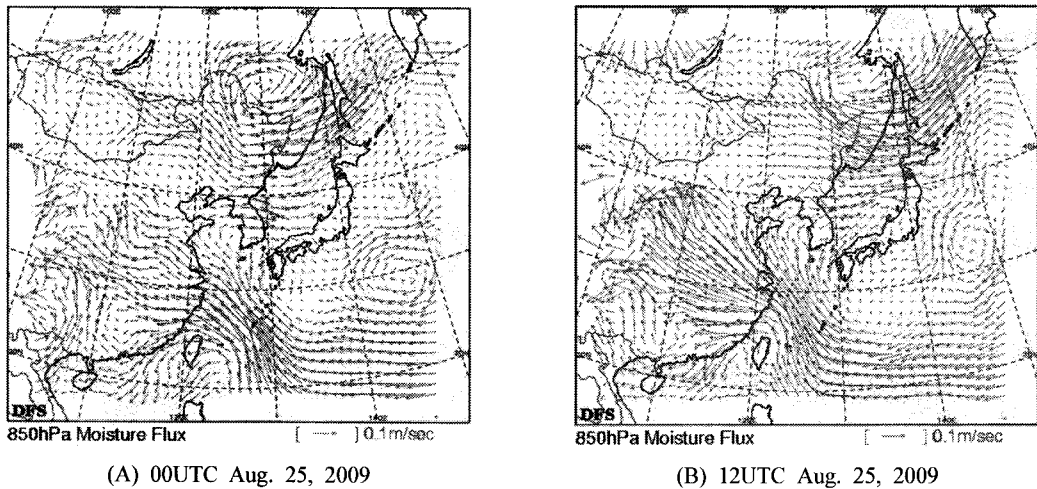


Fig. 2. 850 hPa moisture flux distribution of (A) 00UTC and (B) 12UTC August 25, 2009.

대신에 다른 요소를 고려할 필요가 있다.

### 3.2. 고온건강경보시스템 개선

#### 3.2.1. 일 최저기온의 적용

2007년 시행된 폭염 예비 특보를 평가한 결과, 상대습도의 관측이 이루어지지 않는 지점에 대한 일 최고열지수 예측이 어렵고, 폭염예보의 민감도를 높이기 위해 열지수 대신 새로운 요소를 고려한 기준에 대한 연구가 필요하다.

열대야가 지속될 경우 일 최고기온이 기준에 도달하지 않더라도 65세 이상의 취약집단에 대한 건강에 악영향을 미칠 수 있다고 판단하여, 열대야의 기준이 되는 일 최저기온 25℃를 일 최고열지수를 대신하여 고려하고자 한다. 여기서 사용 되는 일 최저기온이 사망자와 어떠한 관련이 있는가를 알아보기 위하여 다음과 같은 분석을 실시하였다.

서울지역을 대상으로 1991년부터 2004년 까지 일 최저기온이 25℃ 이상 발생한 날의 당일 사망자수, 하루 후 사망자수, 이를 후 사망자수 간의 지연상관을 살펴보았다(Table 4). 일 사망자수와 일 최저기온 사이의 상관관계는, 일 최저기온이 25℃ 이상 발생한 당일의 사망자와의 상관계수가 선행연구<sup>5,8,11)</sup>의 결과와 유사하게 0.41로 나타났고, 0.05 이상의 유의수준을 만족하고 있으므로, 일 최저기온 역시 사망자 발생에 영향이 미치고 있음을 알 수 있다.

따라서 상대습도의 관측 및 예측이 어려운 지점

은 일 최고열지수와 일 최고기온을 동시에 고려할 수 없으므로 일 최고열지수를 대신하여 1일 또는 2일 지연된 일 최저기온보다 당일의 일 최저기온을 고려하는 것이 더 타당할 것으로 생각되며, 이들 두 변수를 동시에 사용함에 있어 예보의 어려운 점을 보완하는 것도 중요하다고 생각된다.

#### 3.2.2. 새로운 고온건강경보시스템

열지수를 대체할 수 있는 기준에 대한 고찰을 통해 우리나라 고온건강경보시스템에 적합한 최고기온과 더불어 인체에 영향을 미친다고 판단되는 최저기온을 고려하였다. 특히, 일 최저기온이 25℃ 이상인 경우로 정의되는 열대야현상 발생 시, 고온이 발생할 때와 같이 인간의 생리기능에 스트레스를 부가하기 때문에 인간 건강에 악영향을 미친다고 판단하였다. 이에 따라, 새로운 고온건강경보시스템에서는 예보가 되지 않는 최고열지수 대신 최저기온을 사용하여 기준을 보완하였다.

새로운 고온건강경보시스템에서도 기존의 시스템과 동일하게 폭염발생일을 정의하고 폭염발생일을 대상으로 고온건강경보시스템 단계를 적용하였다. 새로운 고온건강경보시스템에 의한 폭염발생일의 정의는 기본적으로 최고기온이 30℃ 이상인 날이 연속적으로 2일 이상 지속되는 경우이다(이하 기준 1). 그리고 앞서 설명한 바와 같이 새로운 폭염특보 기준에는 최고열지수를 대신하여 고온건강경보시

**Table 3.** Distribution of accuracy and sensitivity for releasing the warning during July to September, 2007

Site	Observation and forecast of extreme heat day				Accuracy	Sensitivity
	A	B	C	D		
Andong	4	9	2	77	0.880	0.308
Baengnyeongdo	0	0	0	92	1.000	0.000
Boeun	5	3	1	83	0.957	0.625
Bongwhoa	0	9	0	83	0.902	0.000
Boryeong	1	8	1	82	0.902	0.111
Buan	7	5	7	73	0.870	0.583
Busan	0	14	0	78	0.848	0.000
Buyeo	5	4	3	80	0.924	0.556
Cheonan	2	6	0	84	0.935	0.250
Cheongju	1	7	2	82	0.902	0.125
Cheorwon	0	3	0	89	0.967	0.000
Chuncheon	1	6	1	84	0.924	0.143
Chungju	2	6	4	80	0.891	0.250
Chupungnyeong	0	11	0	81	0.880	0.000
Daegu	13	3	7	69	0.891	0.813
Daegwallyeong	0	3	0	89	0.967	0.000
Daejeon	2	7	2	81	0.902	0.222
Dongducheon	0	7	0	85	0.924	0.000
Donghae	3	5	3	81	0.913	0.375
Ganghwa	0	0	0	92	1.000	0.000
Gangneung	3	5	5	79	0.891	0.375
Geochang	13	4	4	71	0.913	0.765
Geoje	4	12	1	75	0.859	0.250
Geumsan	9	2	6	75	0.913	0.818
Goheung	7	6	3	76	0.902	0.538
Gosan	0	1	0	91	0.989	0.000
Gumi	10	5	3	74	0.913	0.667
Gunsan	1	8	0	83	0.913	0.111
Gwangju	6	12	2	72	0.848	0.333
Haenam	1	9	0	82	0.902	0.100
Hapcheon	15	2	9	66	0.880	0.882
Heuksando	0	8	0	84	0.913	0.000
Hongcheon	2	5	4	81	0.902	0.286
Icheon	4	4	1	83	0.946	0.500
Imsil	6	6	2	78	0.913	0.500
Incheon	0	1	0	91	0.989	0.000
Inje	0	6	0	86	0.935	0.000
Jangheung	6	13	0	73	0.859	0.316
Jangsu	0	6	0	86	0.935	0.000
Jecheon	0	8	0	84	0.913	0.000
Jeju	0	0	3	89	0.967	0.000
Jeongeup	8	5	6	73	0.880	0.615
Jeonju	7	3	5	77	0.913	0.700
Jindo	0	10	0	82	0.891	0.000

Table 3. Continued

Site	Observation and forecast of extreme heat day				Accuracy	Sensitivity
	A	B	C	D		
Jinju	11	6	5	70	0.880	0.647
Masan	9	8	1	74	0.902	0.529
Miryang	15	3	4	70	0.924	0.833
Mokpo	0	18	0	74	0.804	0.000
Mungyeong	2	7	2	81	0.902	0.222
Munsan	0	7	1	84	0.913	0.000
Namhae	8	8	2	74	0.891	0.500
Namwon	14	3	3	72	0.935	0.824
Pohang	9	7	2	74	0.902	0.563
Sancheong	10	7	4	71	0.880	0.588
Sangju	6	10	2	74	0.870	0.375
Seogwipo	1	3	2	86	0.946	0.250
Seongsanpo	0	5	0	87	0.946	0.000
Seosan	0	8	0	84	0.913	0.000
Seoul	1	6	0	85	0.935	0.143
Sokcho	3	5	0	84	0.946	0.375
Suncheon	13	6	2	71	0.913	0.684
Suwon	1	7	0	84	0.924	0.125
Taebaek	0	8	0	84	0.913	0.000
Tongyeong	1	15	0	76	0.837	0.063
Uiseong	12	4	5	71	0.902	0.750
Ulsan	4	8	1	79	0.902	0.333
Ulleungdo	0	6	0	86	0.935	0.000
Ulsan	12	3	4	73	0.924	0.800
Wando	0	10	1	81	0.880	0.000
Wonju	2	6	1	83	0.924	0.250
Yangpyeong	2	5	1	84	0.935	0.286
Yeongcheon	13	3	7	69	0.891	0.813
Yeongdeok	8	5	2	77	0.924	0.615
Yeongju	2	7	2	81	0.902	0.222
Yeongwol	1	7	0	84	0.924	0.125
Yoesu	1	15	0	76	0.837	0.063
Average					0.911	0.304

시스템을 정의 할 때 다음의 경우와 같이 최저기온도 함께 고려하였다. 연속 2일이상이라는 위의 조건을 만족하지 않지만, 어제 밤에 열대야가 발생하고(오늘 아침 최저기온이 25℃ 이상) 오늘 낮 최고기온이 30℃를 초과하는 경우를 폭염발생일로 정의한다(이하 기준2). 기준에서 제시되는 열대야의 발생은 당일의 최저기온이 25℃를 넘는 경우로 정의하였는데, 이는 1일 전 야간에 발생한 열대야의 영향이 당

Table 4. Correlation coefficients between daily minimum temperature of lagged day and daily death

Lagged day	correlation coefficient (P-value)
0 day	0.40548 (<0.0001)
1 day	0.31900 (0.0001)
2 day	0.30342 (0.0003)

일까지 계속된다고 판단하였기 때문이다. 마지막으로 당일을 기준으로 2일전과 당일의 최고기온이 30℃



를 초과하고 1일 전 최고기온이 30℃를 초과하지 않지만, 1일 전 최저기온이 25℃를 초과하는 경우에는 당일의 폭염발생일로 정의한다(이하 기준3). 이와 같은 경우는 연속적으로 최고기온이 30℃를 초과하지 않는지만, 1일 전 최저기온이 25℃를 초과하는 것은 열파(heat wave)가 지속적으로 인체에 영향을 미치는 경우라고 생각하여 당일의 폭염발생일로 정의하였다.

새롭게 선정된 폭염발생일을 대상으로 고온건강경보시스템 단계를 적용하게 된다. 새로운 고온건강경보시스템에서는 최저기온으로 고려하여 폭염발생일을 선정하였으므로, 일 최고열지수는 고려하지 않았으며, 현업에 적용되는 폭염특보제(the excessive heat advisory and warning system)의 단계에만 적용하였다. 따라서 각 단계 값은 기존의 고온건강경보시스템에 의해서 제시되었던 2단계(주의보)와 3단계(경보)의 기준으로 사용된 최고기온만 사용하였다(Fig. 3).

### 3.3. 새로운 폭염특보기준의 검증

#### 3.3.1. 새로운 기준의 적합성 검증

새로운 기준에 의해서 선정된 폭염발생일이 실제로 인체에 영향을 미치는 날인지를 살펴보기 위해서 선행연구<sup>7,8,11,12)</sup>에서 의해서 폭염이 발생하였다고 제시하는 1994년 서울을 대상으로 일 최고기온

과 전체사망자수, 일 최고기온과 폭염에 민감한 집단인 65세 이상의 사망자수에 대한 상관분석을 실시하였다. 이때 폭염발생일이 유효하게 영향을 미치는 1일 지연된 사망자 발생수의 상관관계를 고려하여, 하루 지연된 전체 사망자수와 65세 이상의 사망자수 자료를 사용하였다. 그 결과(Table 5), 일 최고기온과 전체사망자수 간의 상관계수는 0.77673으로 높게 나타났으며, 일 최고기온과 65세 이상의 노인 사망자수 간의 상관계수 역시 0.72746로 높게 나타났다. 따라서 일 최고기온에 의해 선정된 폭염발생일의 경우도 일 사망자수와 매우 높은 상관을 나타내고 있으며, 특히 65세 이상의 고령자의 일 사망자수와도 높은 상관을 나타내어 65세 이상의 노인들의 조기 사망에 폭염이 영향을 미침을 확인하였다.

동일한 방법으로 서울지역을 대상으로 1991년에서 2004년까지 14년 기간 동안 폭염발생일에 대한 전체사망자수의 상관관계를 살펴본 결과를 Table로 제시하지 않았지만, 역시 유의수준을 만족하고 있었으며, 상관계수는 1994년 만을 고려한 경우보다 낮았지만 0.39852를 나타내어 양의 상관을 가지고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 결과를 통해 새롭게 설정된 폭염발생일 선정 기준이 연구기간 내 서울에서 의 폭염발생일이 일 사망자수를 적절히 설명할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

the extreme heat day

Daily maximum temperature exceeding 30℃ for two consecutive days or  
Daily minimum temperature exceeding 25℃ and daily maximum temperature exceeding 30℃ or  
Daily maximum temperature exceeding 30℃ of First day and daily minimum temperature exceeding 25℃ of second day and daily maximum temperature exceeding 30℃ of third day



On extreme heat days

releasing the warning

**Advisory** : Daily maximum temperature among exceeding 32.7℃ and not exceeding 34.8℃  
**Warning** : Daily maximum temperature exceeding 34.8℃

Fig. 3. The selection process of the extreme heat day and threshold criteria for the extreme heat advisory and warning system.

Table 5. Correlation coefficients between daily maximum temperature and all death, death of over 65 age in 1994, Seoul

Items	Correlation coefficient (p-value)
All Death	0.77673(0.0001)
Death of over the 65 age	0.72746(0.0001)

그러나 새로운 폭염발생일을 이용하여 열지수를 고려하지 않고 최고기온만으로 고온건강경보시스템의 단계를 설정하는 것이 적합한지에 대한 검토가 필요하다. 따라서 다음과 같이 3가지 조건을 설정하여, 각 기준을 검토하였다.

- type 1 : 일 최고기온만을 고려함
- type 2 : 일 최고열지수만을 고려함
- type 3 : 일 최고기온과 일 최고열지수를 함께 고려함 (2007년도 폭염예비특보기준)

설정된 조건에 따라서 연구기간 동안 서울지역을 대상으로 주의보, 경보가 발령되었을 때 실제 발생한 초과사망률의 위험단계를 잘 설명하고 있는지를 살펴보았다. 이때, type 1은 선정된 폭염발생일 가운데 일 최고기온이 32.7℃ 이상 34.8℃미만의 범위에 들면 폭염주의보, 34.8℃이상의 범위에 들면 폭염경보를 발령한다. type 2는 선정된 폭염발생일 가운데 일 최고열지수가 32.2℃이상 40.6℃미만의 범위에 들면 폭염주의보, 40.6℃이상의 범위에 들면 폭염경보를 발령한다. 마지막으로 type 3은 선정된 폭염발생일의 일 최고기온이 32.7℃이상 34.8℃미

만의 범위에 들고, 일 최고열지수가 32℃이상 41℃미만으로 두 가지 기준을 모두 만족하면 폭염주의보, 일 최고기온이 34.8℃이상, 일 최고열지수가 41℃이상인 두 가지 기준을 모두 만족하면 폭염경보를 발령한다. 단, type 3에서 일 최고기온과 열지수가 발령단계의 두 가지 단계를 동시에 만족하지 않는 경우에는 한 단계 낮은 단계로 특보가 발령된다(Table 6).

기존의 고온건강경보시스템에서는 초과사망률을 고려하였는데, 주의보는 초과사망률이 0%이상 50%미만이고, 경보는 초과사망률이 50%이상 80%미만이 될 때로 설정되었다. 이에 따라 폭염특보가 발령될 경우 초과사망률 또한 각 단계에서 요구되는 수준을 만족하는지에 대한 빈도수를 살펴보았다. 단, 여기에서 고려한 초과사망률은 폭염발생시 당일보다는 하루 지연되어 인체에 더 큰 영향을 미치게 된다고 하였으므로<sup>2~4)</sup>, 당일이 아닌 하루 지연된 날의 초과사망률을 사용하였다. 그 결과(Table 7), type별로 폭염특보 발령횟수가 가장 높은 것은 type 2로 주의보와 경보가 각각 206회와 18회로 나타났다. 초과사망률이 발생한 횟수 또한 type 2가 가장 높게 나타나고 있으며, type 1과 type 3의 경우에

**Table 6.** Threshold criteria of the excessive heat advisory and warning each types

	Threshold criteria			
	The excessive heat advisory		The excessive heat warning	
	$T_{max}^*(^{\circ}C)$	$HI_{max}^{**}(^{\circ}C)$	$T_{max}^*(^{\circ}C)$	$HI_{max}^{**}(^{\circ}C)$
type 1	32.7 ~ 34.7	-	Over the 34.8	-
type 2	-	32.2 ~ 40.5	-	Over the 40.6
type 3	32.7 ~ 34.7	32 ~ 41	Over the 34.8	Over the 41

$T_{max}^*$  : Daily maximum temperature,  $HI_{max}^{**}$  : Daily maximum Heat Index.

**Table 7.** The frequency of releasing the warning and their excess death and mortality rate each types

		Frequency of releasing the warning	Excess death and excess mortality rate(%)	
			Correct	
			Excess death	%
type 1	Advisory	72	52	72.22
	Warning	16	4	25.00
type 2	Advisory	206	123	59.71
	Warning	18	4	22.22
type 3	Advisory	76	57	75.00
	Warning	10	4	40.00

는 폭염특보 발령횟수와 초과사망률 발생횟수가 유사하게 나타났음을 알 수 있다. 단계에 따른 초과사망률 정도는 주의보단계에서 type 3이 75.00%를 나타내어 가장 높고, type 1이 72.22%, type 2가 59.71%의 순으로 나타났다. 경보단계에서는 type 3이 40.00%로 가장 높고, type 1이 25.0%, type 2가 22.22%로 나타났다.

이상의 결과를 종합해 보면, 일 최저기온과 일 최고기온을 함께 고려한 폭염발생일에서 기존의 고온건강경보시스템(type 3)과 일 최고기온을 대상으로 한 새로운 고온건강경보시스템(type 1)이 모두 초과사망률의 범위를 잘 만족하고 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서 정확한 상대습도의 간측 및 예측이 어려운 상태에서 일 최고열지수를 사용하는 현재의 폭염특보제보다 일 최저기온과 일 최고기온을 사용한 새로운 폭염특보제를 사용할 경우 고려할 기준 온도가 단순해지므로 예보현업에서는 도움이 될 것으로 판단된다.

즉, 정확히 예측되지 않는 열지수가 포함되는 기존의 고온건강경보시스템보다 일 최저기온과 일 최고기온으로 이용하는 새로운 고온건강경보시스템이 현 기준보다 적절하다고 판단된다. 하지만 폭염발생일을 선정하는 기준이 복잡하여, 이를 국가적 규모의 예보시스템에 적용할 때 혼란의 우려가 있으므로 이에 대한 검토가 필요하다고 판단하여 폭염발생일 선정에 대한 보완을 위해 추가적인 연구를 실시하였다.

### 3.3.2. 폭염발생일 기준 검토 및 보완

새롭게 제안된 고온건강경보시스템은 기존의 고

온건강경보시스템이 예보적인 측면에서 가지는 문제점을 보완하였고, 폭염발생일을 선정할 때 폭염에 의해서 건강피해가 발생할 가능성이 우려되는 모든 경우를 포함하고 있다. 그러나 폭염발생일의 정의가 다소 복잡하여 혼란의 여지가 있으므로, 국민에게 쉽게 홍보하고 이해시킬 수 있는 방향으로 제안한 폭염발생일 선정과정을 단순화시키고자 하였다.

이를 위하여 새로운 고온건강경보시스템에서 폭염발생일을 선정하기 위해 제시하였던 3가지 기준에 의해 선정된 폭염발생일을 비교하였다. 그 결과, 기준 3을 적용한 경우 선정된 폭염발생일은 전체 폭염발생일의 약 0.66%에 지나지 않았다. 이는 전체의 폭염발생일중에서 미비한 수준이므로, 고온건강경보시스템의 효율성 측면에서 기준 3을 제외하는 것이 타당하다고 판단하였다. 이상의 검토를 통해서 본 연구에서 최종적으로 제시하는 새로운 폭염특보 기준은 Fig. 4와 같다.

새로운 고온건강경보시스템이 전국적으로 발령되었을 때 지역별로 발생하였던 초과사망률의 발생빈도수가 새로운 폭염특보기준의 초과 발생일 빈도수와 유사하게 나타나는지에 대하여 알아보기 위하여 전국을 대상으로 주의보와 경보 단계에 따른 폭염발생의 빈도와 초과사망자수 분포를 살펴보았다(Fig. 5 와 6). 그림에서 알 수 있듯이 최종 보완된 폭염주의보와 폭염경보 단계별 폭염발생빈도 분포(Fig. 5)가 초과사망자 발생빈도 분포(Fig. 6)와 유사한 분포를 보이고 있음을 확인할 수 있었고, 보완된 새로운 폭염특보기준이 초과사망자의 발생을 설명

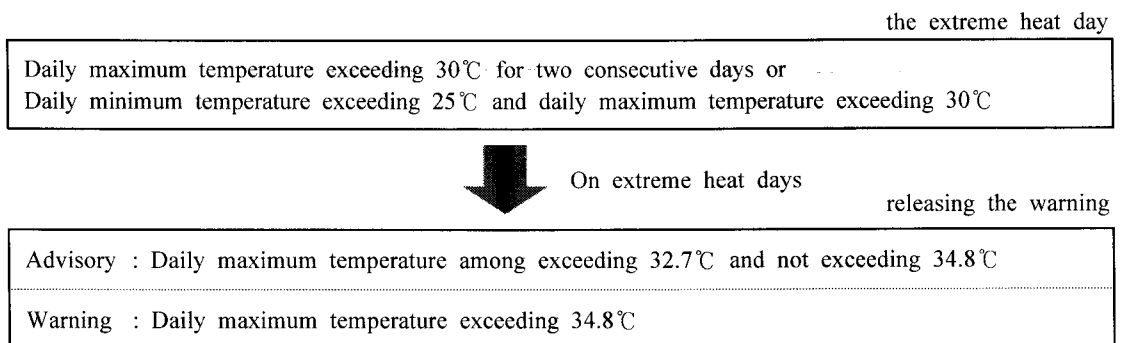


Fig. 4. The final selection process of the extreme heat day and threshold criteria for the excessive heat advisory and warning system.

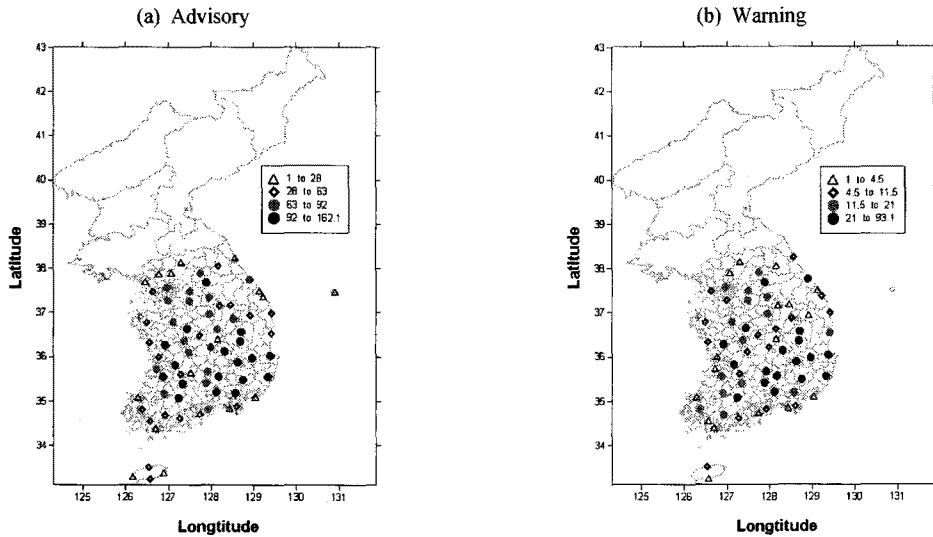


Fig. 5. A regional distribution of extreme heat day occurrence according to the new heat health watch warning system in Korea.

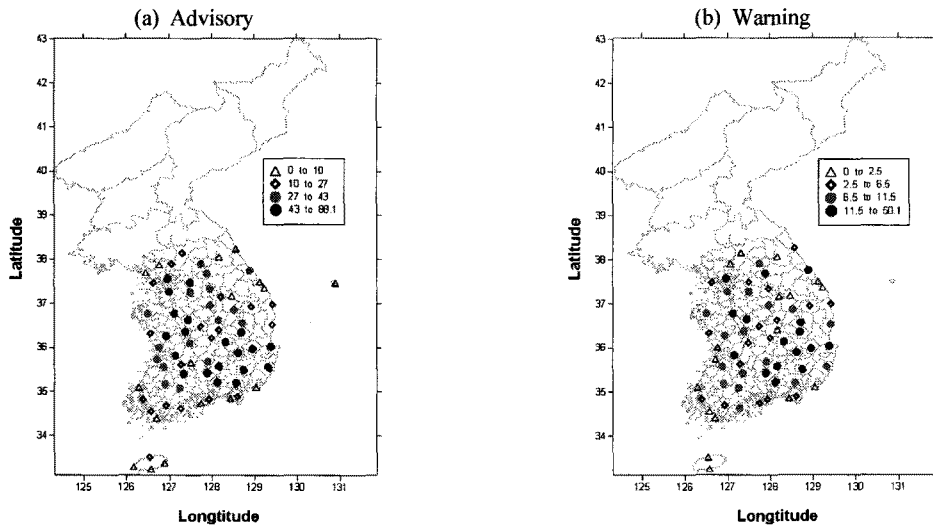


Fig. 6. A regional distribution of excess death occurrence according to the new heat health watch warning system in Korea.

하기에 적절하다고 판단하였다. 또한 주의보·경보 기준 모두 위·경도상의 큰 편차 없이 전국적으로 고른 분포를 보이고 있어 새로운 폭염특보기준에 전국적으로 적용되는 것이 적합하다고 판단된다.

따라서 한반도에 적용될 폭염특보의 대상지역을 전국적으로 확대하며, 일 최고기온이 이를 연속 30℃를 초과할 것으로 예상되거나, 이를 연속은 아니지

만, 일 최저기온이 25℃ 이상이며 당일의 일 최고기온이 30℃를 초과할 것으로 예상될 경우 폭염발생일(extreme heat day)로 선정하고, 선정된 폭염발생일 가운데 일 최고기온이 32.7(약 33)℃를 초과할 것으로 예상되는 경우 폭염주의보 그리고 일 최고기온이 34.8(약 35)℃를 초과할 것으로 예상되는 경우 폭염경보를 발령할 수 있는 폭염특보제가 적합하다

고 판단된다. 아울러 폭염특보 발령이후 보건복지부와 소방방재청, 각 지자체 등의 유관기관에 폭염특보 발령을 통보하고 폭염에 따른 예방 및 조치사항을 실시할 수 있도록 고온건강경보시스템을 운영하는 것이 바람직하다고 판단된다.

하지만 폭염의 영향은 기온과 상대습도와 같은 대기환경과 개인에 따라 그 영향이 달라 나타나므로 이를 정량화할 수 있는 열적스트레스와 실제 폭염 영향에 의한 사망자수를 고려한 고온건강경보시스템에 대한 추가적인 검토가 반드시 요구된다.

### 3.3.3. 고온건강경보시스템 내 단계에 대한 검토

고온건강경보시스템이 폭염에 의해 발생한 사망자를 잘 나타내고 있는지를 검토하기 위해서, 선행연구에서 폭염이 발생하였다고 제시하는 1994년 서울지역을 대상으로 초과사망률의 평균과 표준편차를 구했다. 그 결과(Table 8), 폭염특보가 발령되지 않은 날과 폭염주의보가 발령된 날의 경우는 초과사망률의 범위를 만족하였지만, 폭염경보의 경우 초과사망률이 50%의 범위에 조금 미치지 못한 결과를 확인할 수 있었다. 이와 같은 오차는 폭염 경보시의 초과사망자수가 폭염에 의해서만 발생한 사망자수가 아닌 전체 질병 사망자수라는 자료의 제한성에 의해서 발생한 것으로 사료된다. 그러나 예보의 목적에서, 폭염경보는 국민들에게 고온으로 인한 위험성을 알리는 특보의 마지막 단계이다. 따라서 실제 발생한 초과사망률이 결과적으로 주의보이라고 하더라도 초과사망률이 평균적으로 50%보다 높게 발생할 가능성이 있는 온도 영역에서 경보를 발령하는 것이 적합하다고 판단된다.

각 단계에 따른 평균 초과사망률이 과연 유의한 차이를 보이는 것인지를 알기 위하여 분산분석(ANOVA)을 실시한 결과, 폭염특보가 발령되지 않은 날, 폭염주의보, 폭염경보가 발령되는 날의 초과사망률의 차이가 F 검정량통계량의 값에 해당되는

F분포의 우측꼬리 확률을 나타내는 p값이 0.05보다 작으므로 귀무가설을 만족된다. 따라서 폭염특보가 발령되지 않은 날, 폭염주의보, 폭염경보가 발령되는 날들 간의 유의할 만한 차이를 갖는 것으로 해석된다.

그러나 이와 같은 분산분석은 이들 기준간의 평균이 모두 동일하다고 볼 수 없다는 결정을 내려주었을 뿐 과연 이들 기준간의 어느 특정한 두 개의 모집단 사이에서 유의적 차이가 있는지를 밝혀주지 못하고 있다. 따라서 특정한 두 개의 표본집단간의 차이가 중요한 의미를 가지므로, 집단간의 차이유무를 확인하기 위하여 다중비교도 함께 실시하였다. 그 결과, 폭염특보가 발령되지 않은 날, 폭염주의보, 폭염경보가 발령되는 날들을 각각 a, b, c로 두고 그들 간의 유의한 차이를 살펴본 결과, Fig. 7에서와 같이 모두 0.05 이하의 유의수준을 만족하며 유의한 차이를 보임을 확인할 수 있었다.

이것이 다른 해에도 동일하게 적용되는 결과인가에 대하여 확인하기 위하여 폭염이 많이 발생한 1994년, 1997년, 2004년을 대상으로 동일한 분석을 시행한 결과, 1994년의 결과와 유사한 결과가 도출되었다.

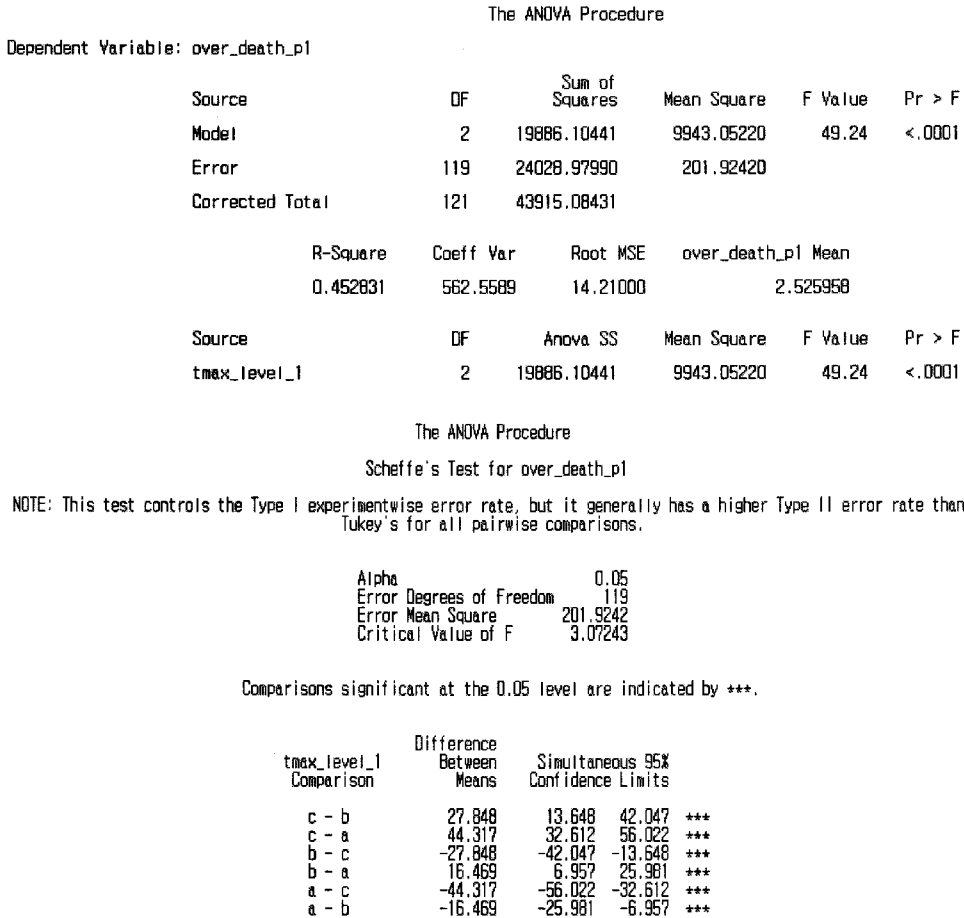
따라서 보완된 고온건강경보시스템이 폭염이 일어났던 서울의 초과사망률을 적절히 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

## 4. 결론 및 요약

기존의 고온건강경보시스템은 폭염발생일을 선정할 때 일 최고기온과 일 최고열지수 기준을 동시에 만족하는 경우를 폭염발생일로 정의되어 있으나, 열지수를 산정 시 고려되는 변수 중 상대습도가 일부 관측되지 않는 지점이 있어 2007년에 시행된 폭염예비특보를 평가하고 문제점을 보완하고자 하였다.

**Table 8.** Occurrence frequency, excess mortality and its standard deviation of day for releasing the warning or not. in 1994, Seoul

	Frequency	Excess mortality	STD
Normally day	96	-3.2664	12.0447
Advisory	16	13.2026	14.7679
Warning	10	41.0503	27.8399



**Fig. 7.** Comparisons of the excess mortality for normally day, extreme heat advisory and warning day using the ANOVA procedure in 1994, Seoul.

**Table 9.** Occurrence frequency, excess mortality and its standard deviation of day for releasing the warning or not. in 1994, 1997 and 2004, Seoul

	Frequency	Excess mortality	STD
Normally day	319	1.2798	13.9855
Advisory	34	14.9625	12.3928
Warning	13	33.7982	28.1202

따라서 상대습도가 관측되지 않는 지점의 일 최고열지수와 일 최고기온을 동시에 고려할 수 없는 경우 일 최고열지수를 대신하여 1일 또는 2일 지연된 일 최저기온보다 당일의 일 최저기온을 고려하는 것이 더 타당할 것으로 생각되며, 이들 두 변수를 동시에 사용함에 있어 예보의 어려운 점을 보완하

는 것도 중요하다고 생각된다.

2007년 7월 1일부터 9월 30일까지 3개월간 폭염 주의보와 폭염경보로 나누어 시범 실시된 폭염주의보는 4단계 폭염특보 기준에서 2단계인 ‘매우주의’ 단계에 해당하며, 폭염경보는 3단계인 ‘위험’ 단계에 해당하며, 시범 시행 기간 중 폭염주의보와 경보

## The ANOVA Procedure

Dependent Variable: over\_death\_pl

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	17957.99369	8978.99694	42.46	<.0001
Error	363	76756.40741	211.45016		
Corrected Total	365	94714.40130			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	over_death_pl Mean
0.189502	392.3858	14.54133	3.705874

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
tmax_level_1	2	17957.99369	8978.99694	42.46	<.0001

## The ANOVA Procedure

## Scheffe's Test for over\_death\_pl

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than Tukey's for all pairwise comparisons.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	363
Error Mean Square	211.4502
Critical Value of F	3.02059

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by \*\*\*.

tmax_level_1 Comparison	Difference Between Means	Simultaneous 95% Confidence Limits
c - b	18.836	7.181 30.490 ***
c - a	32.518	22.406 42.631 ***
b - c	-18.836	-30.490 -7.181 ***
b - a	13.683	7.235 20.131 ***
a - c	-32.518	-42.631 -22.406 ***
a - b	-13.683	-20.131 -7.235 ***

Fig. 8. Comparisons of the excess mortality for normally day, extreme heat advisory and warning day using the ANOVA procedure in 1994, 1997 and 2004, Seoul.

에 해당한다고 관측되어진 폭염발생일은 7월이 7일, 8월은 22일, 그리고 9월에는 2일이 발생하여 총 31일의 폭염발생일을 기록하였으며, 8월이 가장 많이 발생하였다.

76개 기상관측소 가운데, 가장 많은 지점에서 폭염이 발생한 8월 25일은 고온다습한 해양성 열대기단인 북태평양 고기압세력이 한반도 남동쪽에서 북서쪽으로 확장되면서 영향을 준 것으로 높은 기온에 비해 상대습도가 높았으며 850 hPa의 moist flux에서 이를 뒷받침하고 있었다. 이는 한반도에 나타나는 전형적인 해양성 열대기단의 영향으로 고온다습한 습기 유입이 강한 경우로 Kalkstein et al.(1996)의 MT plus기단과 유사한 기단으로 생각된다<sup>10,11)</sup>.

시험 시행된 폭염특보가 지점별로 어떠한 예보정확도와 민감도를 살펴본 결과, 폭염일 예보의 정확

도는 0.88~1.00 범위로 높은 정확도를 나타내었으나, 민감도는 평균 0.3으로 낮게 나타났다. 폭염예보의 정확도 측면에서는 만족할 만하나, 폭염을 예측한 날보다 예측하지 않은 날이 정확도에 크게 기여하고 있으므로 실제 관측된 폭염일이 폭염 예측일과의 일치하는 정도를 높이기 위해서는 민감도를 개선할 필요가 있으며, 습도가 관측되지 않는 지점까지 폭염예보의 정확도와 민감도를 높이기 위해서는 기존의 열지수 대신에 다른 요소를 고려할 필요가 있음을 알 수 있다.

일 최저기온과 일 최고기온을 함께 고려한 폭염 발생일에서 현재의 폭염기준과 일 최고기온을 대상으로 한 고온건강경보시스템의 기준이 모두 초과사망률을 잘 만족하고 있는 것을 확인할 수 있고, 일 최고열지수가 아닌 일 최저기온과 일 최고기온을

이용하여 폭염특보기준을 설정하는 것도 적합할 것이라 판단되었으며, 일 최저기온을 고려한 폭염발생일에 대한 일 최고기온으로 고온건강경보시스템을 정하는 방법은 습도문제와 고려할 변수를 줄여 현 기준보다 적절하다고 판단된다 하지만 폭염의 영향은 기온과 상대습도와 같은 대기환경과 개인에 따라 그 영향이 달리 나타나므로 이를 정량화할 수 있는 열적스트레스와 실제 폭염 영향에 의한 사망자수를 고려한 고온건강경보시스템에 대한 추가적인 검토가 반드시 요구된다.

따라서 한반도에 적용될 폭염특보는 대상지역을 전국으로 하며, 일 최고기온이 이를 연속 30℃를 초과할 것으로 예상되거나, 이를 연속은 아니지만, 일 최저기온이 25℃이상이며 당일의 일 최고기온이 30℃를 초과할 것으로 예상될 경우 폭염발생일(extreme heat day)로 선정하고, 선정된 폭염발생일 가운데 일 최고기온이 32.7(약 33)℃를 초과할 것으로 예상되는 경우 폭염주의보 그리고 일 최고기온이 34.8(약 35)℃를 초과할 것으로 예상되는 경우 폭염경보를 발령할 수 있는 고온건강경보시스템이 적합하다고 판단된다.

그러나 이들 기준간의 모집단 사이에서 유의적 차이를 밝히기 위해 있는 다중비교를 실시한 결과, 폭염특보가 발령되지 않은 날, 폭염주의보, 폭염경보가 발령되는 날들이 모두 0.05 이하의 유의수준을 만족하며 유의한 차이를 보임을 확인 할 수 있었으며, 폭염이 많이 발생한 1994년, 1997년, 2004년의 3개년을 대상으로 동일한 분석을 시행한 결과 1994년과 유사한 결과를 도출하여 새롭게 보완된 폭염특보가 초과사망률을 적절히 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-3303)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- 1) IPCC, 2007, Climate Change 2007 : The Physical Science Basis, Summary for Policymakers, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., 1-21.
- 2) 박종길, 정우식, 김은별, 2008a, 고온건강경보시스템 기준 설정에 관한 연구(I) - 기준 설정 및 검증, 한국환경과학회지, 18(7), 767-780.
- 3) 박종길, 정우식, 김은별, 2008b, 폭염이 일사망자수에 미치는 영향에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 24(5), 523-537.
- 4) 박종길, 정우식, 김은별, 2008c, 폭염발생 기준 설정에 관한 연구, 한국환경과학회지, 17(6), 657-669.
- 5) 김은별, 2007, 고온현상과 대기오염물질이 일사망자수에 미치는 영향, 석사학위논문, 대기환경정보공학과, 인제대학교, 김해.
- 6) 김지영, 이대근, 최병철, 박일수, 2007, 클러스터 분석을 통한 종관기단분류 및 서울에서의 일 사망률과의 관련성 연구, 대기, 17(1), 45-53.
- 7) 권호장, 1998, 서울시의 대기오염과 일별사망의 관련성에 대한 시계열적 연구, 박사학위논문, 예방의학과, 서울대학교, 서울.
- 8) 박종길, 정우식, 김은별 등, 2006, 폭염특보에 관한 연구(I), 인제대학교 산학협력단, 대기환경정보연구센터, 기상청, 83.
- 9) Kalkstein, L. S., Barthel C. D., Greene J. S., Nichols M. C., 1996, A New Spatial Synoptic Classification: Application to Air Mass Analysis, International Journal of Climatology, 16(8), 983-1004.
- 10) Park J. K., Lee D. G., 2006, Correlation between daily mortality and temperature of Seoul, in Summer. Proceedings of the 99th Annual Meeting of AWMA, New Orleans, LA. Paper No. 06-A-384-AWMA.
- 11) 이대근, 2006, 한반도 일 사망률에 영향을 미치는 기상요소의 특성과 상관성에 관한 연구, 석사학위논문, 대기환경정보공학과, 인제대학교, 김해.
- 12) 성주헌, 김호, 조수현, 2001, 1994년 하절기의 심혈관계 및 호흡기계 초과사망 - 이상고온 및 대기오염의 영향을 중심으로-. 예방의학회지, 34(4), 316-322.