

고온건강경보시스템 기준 설정에 관한 연구(I) - 기준 설정 및 검증 -

박종길 · 정우식* · 김은별*

인제대학교 환경공학부/대기환경정보연구센터,
*인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터
(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 I : Establishment of Criteria and Verification

Jong-Kil Park, Woo-Sik Jung* and Eun-Byul Kim*

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

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

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

Abstract

This study investigates the standard, duration period and excess mortality of extreme heat using the standardized daily mortality data from 1991 to 2004, establishing a standard threshold Criteria for Heat Health Watch Warning System in Korea. It ultimately aims to provide the guidance in building up Heat Health Watch Warning System for Korea by suggesting the standard to quantify thermal stress from heat. The standard threshold Criteria for Heat Health Watch Warning System for Seoul metropolitan city takes into account both daily maximum temperature and daily maximum heat index(HI) and consists of four phases; caution, extreme caution, danger, and extreme danger. Extreme caution phase and danger phase are used as the advisory and warning of extreme heat, respectively. Since the nationwide distribution of the frequency of extreme heat day and the excess mortality rate shows little difference across regions, the standard threshold Criteria for Heat Health Watch Warning System for Seoul metropolitan city can be used for other regions.

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

1. 서 론

북극 기온과 얼음의 변화, 강수량, 해양염분, 바람

Corresponding Author : Woo-Sik Jung, Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 621-749, Korea
Phone: +82-55-320-3932
E-mail: wsjung1@inje.ac.kr

패턴의 광범위한 변화, 가뭄, 집중호우, 폭염 및 강한 열대저기압(허리케인, 태풍 포함)등 극한 기후의 다양한 장기적인 변화는 대륙과 지역 및 대양규모에서 관측되었다. 지난 100년간 북극지방의 평균 온도는 지구평균보다 거의 2배의 증가율을 보였으며, 1970년대 이후부터는 강하고 오랜 가뭄이 넓은 지역에서 관측되었고, 특히 열대와 아열대 지역에서

뚜렷이 나타났다. 이와 같이 증가된 건조화의 주된 원인은 높은 기온과 강수 감소에 있다¹⁾. 이와 같은 지구온난화가 진행됨에 따라, 추운 날과 밤은 줄어들고 더 따뜻해지거나, 더운 낮과 밤이 증가하고, 고온이나 열파(폭염)의 발생빈도는 증가하는 등, 지난 50년 동안 극한 기온의 광범위한 변화가 관측되었다(Table 1).

지구온난화에 도시열섬과 같은 도시화 현상이 가세되면서 지구촌 곳곳에서는 폭염으로 인한 인명피해 사례가 빈발하고 있으며, 기후변화와 더불어 폭염발생빈도와 지속시간이 계속 증가하고 그 강도 또한 심화될 것으로 예상된다.

또한 폭염과 같은 고온 현상은 고온과 관련한 질병을 일으킬 뿐만 아니라 인간의 심혈관계 및 뇌혈관계에 간접적으로 영향을 미치게 된다. 특히 고온에 장시간 노출될 경우 항상성 유지를 위한 체열조절 능력이 감소하게 되고 이로 인해 일사병(heat stroke), 열사병(heat exhaustion), 열실신(heat syncope), 열경련(heat cramps) 등의 고온과 관련된 질병이 발생하게 된다^{2~5)}.

특히 심장질환과 뇌졸중과 같은 질병의 사망률은 일평균기온이 27℃ 내지 30℃를 초과할 때 극적으로

증가하므로⁶⁾ 고온에 의한 열적 스트레스에 대한 조사가 함께 이루어져야 하며 이러한 결과 또한 고온 건강경보시스템(Heat Health Watch Warning System)에 적용되어야 할 것이다.

이와 관련된 국외의 사례를 살펴보면, 체코, 포르투갈(리스본), 말타 그리고 영국에서는 하루의 최고 기온이 일정 기준값을 넘어서게 되면 특보를 발령하고 있다. 그리고 그리스, 프랑스, 중국(상하이) 등의 나라에서는 기준값을 초과하는 날이 3일 이상 지속될 때 폭염특보를 발령하고 있다. 여기에서 영국의 기준값은 영국전체의 대표치를 제시하였지만, 실제 영국에서 특보를 발령하는 기준을 살펴보면 지역별로 1℃에서 3℃까지의 차이를 보이고 있었다. 단일 기온 요소를 사용하여 기준값을 설정하는 것 다음으로 많이 사용되는 방법이 기온과 습도를 함께 고려하는 것이다. 이를 살펴보면, 터키의 경우는 기온, 상대습도 각각의 기준 값을 제시하여 두 가지를 모두 만족하는 경우에 특보를 발령하고 있다. 반면에 루마니아와 미국의 경우에는 기온과 상대습도로 구성된 식을 개발하고 그 결과값에 따라 특보 발령기준을 정하고 있다. 독일에서는 지각온도라는 새로운 개념의 지수식을 개발하여 사용 중

Table 1. Recent trends, assessment of human influence on the trend, and projections for extreme weather events for which there is an observed late 20th century trend(after IPCC, 2007)

Phenomenon and direction of trend	Likelihood that trend occurred in late 20th century (Typically post 1960)	Likelihood of a human contribution to observed trend
Warmer and fewer cold days and night over most land areas	Very likely ^a	Likely ^b
Warmer and more frequent hot days and night over most land areas	Very likely ^c	Likely (nights) ^b
Warm spells/ Heat waves. Frequency increases over most land areas	Likely	More likely than not ^d
Heavy precipitation events. Frequency(or proportion of total rainfall from heavy falls) increases over most areas	Likely	More likely than not ^d
Area affected by droughts increases	Likely in many regions since 1970s	More likely than not
Intense tropical cyclone activity increases	Likely in some regions since 1970	More likely than not ^d
Increased incidence of extreme high sea level(excludes tsunamis)	Likely	More likely than not ^{d, f}

에 있으며 일본은 WBGT(Wet Bulb Globe Temperature)를 이용하여 기준값을 정하고 있다.

현재 국내에서 진행된 연구를 살펴보면, 박 등^{7,8)}은 폭염발생기준을 정의하고 그에 대한 영향을 분석하고 있다. 그러나 폭염으로 인해 나타나는 위험증상에 따른 고온건강경보시스템의 발령 단계에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 지구온난화가 진행됨에 따라 일어나는 극한 기상현상인 폭염이 우리나라에 미치는 인명·재산적 피해의 저감, 산업경제 활동의 지원, 건강을 생각하는 사회를 만들기 위하여 국외의 고온건강경보시스템에서 사용되고 있는 폭염의 기준, 지속시간, 초과사망률과 같은 인체에 미치는 영향인자들을 고려하여 우리나라에 맞는 고온건강경보시스템을 구축하고 검증하고자 한다.

2. 자료 및 방법

2.1. 사망자료

고온건강경보시스템의 단계 설정을 위해서 사용한 일사망자 자료는 통계청에서 제공하고 있는 사망원인통계 자료를 사용하였다. 자료의 기간은 1991년부터 2004년까지 14년간으로 하였으며 연구대상 지역은 박 등⁷⁾의 선행연구에서 폭염과 사망자 발생과의 연관성이 있다고 나타난 서울이다. 본 연

구에서는 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 사용하였다⁹⁾.

통계청에서 발행한 사망원인통계 자료는 시단위의 행정구역으로 이루어져 있으나, 모든 시단위의 행정구역에 기상기상관측지점이 일대일로 대응하여 존재하지 않으므로, 기상요소와 일 사망자수사이의 상관 등 두 변수사이의 관계를 알아보기 위하여 사망자수의 행정구역을 기상관측지점의 행정구역과 일치시켰다. 이에 대한 예시는 Table 2와 같고 지면 관계상 일부 부분만 수록하였다.

2.2. 기상자료

고온건강경보시스템 구축을 위해서 사용된 기상요소는 박 등(2008)의 선행연구에서 폭염기준 설정 시 사용된 기온과 상대습도이다. 1991년부터 2004년까지 14년간으로 사망자료와 동일한 기간을 사용하였으며 전 기상기상관측지점 자료를 사용하였다.

Table 2. Division of the areas about the weather stations

Province	Weather station	Site No.	Districts
Seoul	Seoul	108	Jongnogu, Junggu, Yongsangu, Seongdonggu, Gwangjingu, Dongdaemungu, Jungnanggu, seongbukgu, Gangbukgu, Dobonggu, Nowonggu, Eunpyeonggu, Seodaemungu, Mapogu, Yangcheongu, Gangseogu, Gurogu, Geumcheongu, Yeongdeungpogu, Dongjakgu, Gwanakgu, Seochogu, Gangnamgu, Songpogu, Gangdonggu
Busan	Busan	159	Junggu, Seogu, Donggu, Yeongdogu, Pusanjingu, Dongraegu, Namgu, Bukgu, Haeundaegu, Sahagu, Geumjeonggu, Gangseogu, Yeonjegu, Suyounggu, Sasanggu, Gijanggu
Daegu	Daegu	143	Junggu, Donggu, Seogu, Namgu, Bukgu, Suseonggu, Dalseogu, Dalseonggun
}	}	}	}
Jeju	Geoje	294	Geoje city
	Seogwipo	189	Seogwipo city
	Gosan	185	Bukjeju gun
	Seongsanpo	265	Namjeju gun

기온과 상대습도 자료는 3시간 간격으로 측정되는 1일 8회 측정치(00LST, 03LST, 06LST, 09LST, 12LST, 15LST, 18LST, 21LST)를 사용하였다.

2.3. 열지수

기상요소가 일사망자수에 미치는 영향을 알아보기 위한 사용된 열지수는 'Apparent Temperature'라고도 부르며 NOAA/NWS (National Oceanic & Atmospheric Administration/National Weather Service)에서 고온다습한 환경에 대한 대국민 경보를 더욱 효율적으로 제시하여 열파에 미리 대처할 수 있는 체계를 개발하고자 하는 목적에서 추진한 미국기상청 열지수 프로그램을 통해 개발되었다. 보다 자세한 내용은 박 등⁸⁾에 제시하였다.

2.4. 폭염발생기준

본 연구에서의 폭염발생기준은 선행연구^{6,8)}에서 제시하고 있는 기준을 사용하였다. 기준에서는 폭염발생을 지역적으로 일최고기온이 95 분위수에 해당하며, 열지수가 27°C 이상인 날이 연속 2일 이상 폭염이 지속되는 경우로 정의한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 국외의 고온건강경보시스템

현재 고온건강경보시스템을 운영 중에 있는 국외의 사례를 살펴보면, 영국에서의 특보 발령은 인지(Awareness), 경보(Alert), 열파(Heat wave), 비상(Emergency)의 4단계로 이루어진다. 4단계의 기준을 살펴보면 주로 지역적인 특보발령 기준값을 고려하고 있으며 한 지역이상이라도 피해의 조짐이 예상될 때는 특보를 발령하고 있다. 또한 직접적인 피해가 발생하기 전에 해당되는 비교적 낮은 단계에서의 특보 발령은 주로 위험도가 어떠한지에 의해 살펴보고 있으며, 이러한 피해정도는 초과사망률을 이용하여 산정하고 있다. 미국은 영국과 유사하게 단계별 위험가능성을 4단계인 주의(Caution), 매우주의(Extreme caution), 위험(Danger), 매우위험(Extreme danger)로 제시한다. 이때 각 단계의 판단 요소를 기온이 아닌 열지수를 이용한다.

캐나다에서의 특보 발령은 고온경보(Heat alert)와 폭염경보(Extreme heat alert)의 두 단계로 이루어져

있다. 고온경보는 열적 기단에 의한 초과사망자수가 동일한 해의 전형적인 사망자수에 비해 65% 이상 일 때 발령하고, 폭염경보는 초과사망자수가 90% 이상일 때 발령한다. 앞서 영국의 경우 초과 피해정도가 50% 또는 80% 이상이라는 구체적인 수치를 제시하였지만 어떤 기준에서의 초과 피해인지가 정확히 명시되어 있지 않고, 미국의 경우 각 단계가 발생하였을 때 예상되는 인체 피해 사항을 열거하고 있지만 초기 기준 설정 단계 근거를 찾아 볼 수 없다. 그러나 캐나다의 경우 초과사망률 정도를 이용하여 단계별 특보를 발령하고 있어, 외국의 기준을 우리나라의 기준에 그대로 도입해서 사용하는 것이 아니라 한반도를 대상으로 하는 폭염 특보 단계를 설정한다면 캐나다의 사례는 좋은 예가 될 것이다.

중국의 경우 앞서 살펴본 영국이나 미국, 캐나다와는 달리 실제 지수 단계에 따라 폭염 특보를 시행하고 있지 않았다. 그러나 중국 기상청 홈페이지 내에서 기온에 따라 인체가 느끼거나 발생하는 증상을 제공하고 있다. 실제 예보를 실시하는 나라의 경우 대부분 4단계로 특보 단계를 구분하고 있는 반면 총 7단계에 거쳐 상세한 단계 구분을 하고 있고 각 단계별로 예측온도 뿐만 아니라 그에 따른 증상까지 상세히 기록하고 있다는 것이 특징이다. 이외에 중국 상하이시의 고온건강경보시스템을 구축하기 위한 연구를 살펴보면¹⁰⁾, 여기에서는 폭염이 발생했을 때의 위험도를 나타내기 위해 초과사망률을 이용하고 있다.

일본에서의 특보 발령은 앞서 살펴본 국가들과는 달리 WBGT를 이용해서 각 단계를 정의하고 있고 영국이나 캐나다, 중국과 같이 각 단계가 설정되는 기준을 제시하고 있지는 않다. 그러나 각 단계에 해당되는 행동대처요령을 상세하게 제공하고 있어 실제 발생할 수 있는 피해를 예방하는데 많은 도움이 될 것으로 생각된다.

3.2. 고온건강경보시스템 단계설정

3.2.1. 초과사망률에 대한 검토

1991년부터 2004년까지 14년 동안의 6월에서 9월까지 서울을 대상으로 발생한 초과사망률의 백분율을 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 초과사망률의 빈도분포는 왼쪽으로 약간 치우쳐 있지

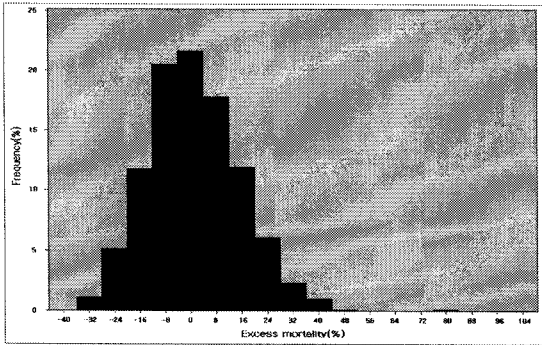


Fig. 1. Frequency distribution of the excess mortality rate(%) occurred at Seoul from June to September during 14 years(1991-2004).

만, 초과사망률이 0일 때를 기준으로 정규분포를 나타내고 있으며 50%이내에 대부분의 초과사망률 빈도를 나타내고 있으며 80%에 다시 초과사망률의 빈도를 나타내는 특징을 보여주고 있다.

그러나 캐나다의 연구에서와 같이 초과사망률의 비율을 65%와 90%로 적용해서 주의보와 경보를 설정하면, 각 단계에 해당되는 사례의 수가 적어 판단하기 힘들다. 영국의 경우는 하계 폭염으로 인한 초과사망률이 대개 50%이내이나 50%를 초과할 때 인지단계로 보고 있으며 80%이상일 때 경보단계로 하고 있다. 우리나라의 경우에도 50%와 80%로 명확히 구분되어 나타나므로 영국과 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 중국의 경우는 초과사망률의 편차를 이용하고 있으므로 각 단계별 기준이 명확하지 않다⁷⁾.

본 연구에서는 Fig. 1에서 확인된 백분율이 어느 정도 분위수를 나타내는지에 대한 초과사망률의 통계적 분포를 알아보기 위해 SAS 9.1에서 univariate 분석을 실시하였다. Table 3에서 알 수 있듯이, 50 분위수에 해당되는 초과사망률의 추정값이 약 0.47, 75 분위수의 추정값이 10.3, 95 분위수의 추정값이 26.32, 그리고 99 분위수의 추정값이 39.00으로 나타났다. 이와 같은 결과를 통해 중위수 이상이 되는 경우부터는 초과사망률이 발생하기 시작해서 최고 103%까지 분포하게 되지만, 대부분의 초과사망률은 0~40%내의 범위 내에 모두 위치해 있음을 알 수 있었다.

따라서 여름철 고온으로 발생하게 되는 인체의

Table 3. Univariate analysis for the excess death rate of Seoul from 1991 to 2004

적률		기본 통계 속도	
N	1708	가중합	1708
평균	1.22446045	관측치 합	2091.42627
편차	14.9929114	분산	224.787391
분포수	0.7781878	평균	2.31765274
제곱평균	36272.004	수준의 제곱합	383712.076
제곱편차	1224.42244	표준편차	0.36277892
변이 속도			
위치 속도		변이 속도	
평균	1.224488	표준편차	14.99291
분포수	0.457418	분산	224.78739
		범위	145.07534
		사분위 범위	19.19229
위치모수 검정: Mu=0			
검정			
---통계량---			
스튜던트의 t	3.375302	Pr > t	0.0008
분위수	26	Pr > S	0.1832
순위	39809	Pr > S	0.0508
분위수 (정의 5)			
분위수		추정값	
100% 최대값	103.602358		
99%	39.003402		
95%	26.322984		
90%	19.980914		
75% Q3	10.348916		
50% 중위수	0.467418		
25% Q1	-8.833379		
10%	-16.955035		
5%	-21.340254		
1%	-28.434651		
0% 최소값	-41.472986		
극 관측치			
---작은값부터---		---큰값부터---	
값	관측치	값	관측치
-41.4730	641	71.5634	1031
-34.9251	716	79.5295	1025
-34.6039	705	82.1325	1028
-32.8796	778	93.7837	1026
-32.2495	627	103.6024	1027

건강 피해를 알아보고자 한다면 99 분위수 이상 초과사망률 값에서 그 단계를 조정하는 것이 적합하다고 판단된다. 또한 Fig. 2에서도 단계에 대한 구분이 명확하게 나타났으므로 폭염특보단계의 온도기준이 되는 초과사망률의 단계를 각각 50%, 80%로 조정하였다.

본 연구에서 최종적으로 고려한 초과사망률의 단계는 주의보, 경보에 해당하는 단계와 함께 폭염으로 인한 초과사망자 발생 전에 그에 대한 대비책을 마련할 수 있도록 하는 주의단계와 매우 위급한 상황에 대한 단계를 고려하여 총 4단계인 주위단계, 매우주위단계, 위험단계, 매우위험단계로 구분하였다. 각 단계에 대해서 살펴보면, 주의(caution)에 해당하는 단계는 앞서 제시한 폭염 특보 발령 기준에 해당하지만 초과 사망은 발생하지 않은 단계로 갑작스럽게 발생할 수 있는 상황에 대한 준비를 위한 단계로 설정하였다. 매우주의(extreme caution) 단계

는 초과사망률이 발생하여 정량적, 정성적으로 구분이 명확한 50%에 이르는 경우까지로 설정하였고, 이보다 높은 위험(danger) 단계는 초과 사망률이 50%이상에서 80%미만에 해당되는 단계로 많은 인명의 피해까지 우려되는 위급한 단계로 설정하였다. 마지막의 매우위험(extreme danger) 단계는 초과 사망률이 80% 이상이 되는 경우로 정의하였다. 이 단계의 경우에는 실제 과거 사례에서 해당되는 경우가 3회였지만, 큰 피해가 발생하므로 단계 설정시 고려하였다.

3.2.2. 초과사망률을 고려한 단계별 임계온도 설정 및 검토

폭염발생일 가운데 고온건강경보의 임계온도(criteria temperature)를 설정하기 위하여 초과사망률을 고려하여 구분한 4단계에 따라서 단계별 임계온

도를 구하고자 하였다. 4단계에 대해 서울지역을 대상으로 1991~2004년까지 선정된 폭염발생일에 대한 각 단계별 일 최고기온의 평균을 제시하였다(Table 4). 각 단계를 살펴보면 최고기온의 경우는 각 단계가 증가함에 따라 그 기준 값도 함께 증가하는 결과를 보였지만 열지수는 4단계에서 3단계 보다 낮게 나타나 단계가 낮을 때에는 열지수를 사용하는데 무리가 없으나 높은 단계에서는 열지수에 대한 충분한 검토가 필요하다.

즉, 일 최고 기온만으로 단계를 설정하는 경우 습도를 고려하지 못하게 되고, 열지수는 검증이 필요한 단계이므로 단독으로 사용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 일 최고 기온과 일 최고 열지수에 대한 두 가지 기준을 모두 만족하는 경우에만 각 단계에 맞는 특보를 발령하는 것이 적합하다고 판단하였다. 이렇게 설정된 고온건강경보단계에 대하여 본 연

Table 4. Criteria for the excess mortality, daily maximum temperature and daily maximum heat index at each category of heat health watch warning system

Categories	Index	Excess mortality	Type 3	HI _{MAX}
			T _{MAX} (°C)	HI _{MAX} (°C)
Caution	1	Less than 0	30.90-32.72	27-32
Extreme caution	2	0 - 50	32.73-34.82	32-41 (41.78)
Danger	3	50 - 80	34.83-37.09	41-54 (41.28)
Extreme danger	4	More than 80	37.10 or higher	54 or higher

Table 5. Misclassification table from data set of the excess mortality each rank of the heat health watch warning system during (a) 1991-2004 and (b) 2005 in Seoul

		(a) 1991-2004					(b) 2005						
		Excess mortality				Total	Excess mortality				Total		
		1	2	3	4		1	2	3	4			
Heat wave	1	70 27.1	107 41.5	0 0	0 0	177 68.6	Heat wave	1	6 50	1 8.33	0 0	0 0	7 58.3
	2	17 6.59	57 22.1	3 1.16	2 0.78	79 30.6		2	3 25	2 16.7	0 0	0 0	5 41.7
	3	0 0	0 0	1 0.39	1 0.39	2 0.78		3	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	4	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0		4	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Total		87 33.7	164 63.6	4 1.55	3 1.16	258 100	Total		9 75	3 25	0 0	0 0	12 100

Accuracy 0.50

Accuracy 0.67

구기간인 1991년부터 2004년까지의 6월에서 9월을 대상으로 폭염의 각 단계별 초과사망률 예측에 대한 평가를 실시하였으며 2005년도 폭염발생일을 대상으로 검증한 결과를 Table 5에 나타내었다. 정확도와 오차율이 각각 0.5로 높게 나타나지 않았으나, 4단계의 경우는 연구기간동안 실제 나타나지 않았고 예측도 되지 않았으며, 3단계의 경우 위험단계 이상의 예측이 가능하였고 주의 및 매우주의 단계는 조치가 잘 이루어져 있음을 알 수 있다.

2005년을 대상으로 검증한 결과 정확도는 0.67로 더 향상되어 높은 정확도를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 뿐만 아니라 정확도의 경우 설정된 4단계를 모두 정확히 맞추었을 경우만을 고려하여 제시된 것이지만, 실제 고온건강경보의 목적을 인체에 미치는 건강피해 저감을 두고 예보하고 조치사항을 각 단계를 검토한다면 더 높은 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

3.2.3. 고온건강경보시스템 운영 방안

국가적인 규모로 폭염특보를 발령하는 경우는 동일한 기상학적 특성을 가진 작은 국가에 해당된다. 아울러 벨로루시와 라트비아는 전체적으로 평평한 지형을 띄고 있으므로 국가적인 기준에 의해 특보를 발령하고 있으나, 터키와 같이 국가 내에서 이질적 기후를 나타낼 수 있는 복잡지형인 경우 국가 전체를 대상으로 하는 하나의 시스템은 적합하지 않다. 한반도의 경우 국가 내에서의 복잡한 지형으로 지역적인 기후의 차이가 발생한다. 따라서 본 연구에서 제시하고 있는 고온건강경보시스템은 인구가 가장 많은 서울을 대상으로 작성된 것으로 서울을 대상으로 고온건강경보시스템이 운영되는 것이 가장 이상적이라고 생각된다.

Table 6은 폭염 경보를 위한 유럽지역의 선행 시간을 보여준다. 경보는 각 언론매체에 의해 1일과 3일전 사이에 시민들에게 전달되게 된다. 이스라엘

은 3단계의 경보과정을 가지고 있는데, 첫 단계는 2~3일전에, 두 번째 단계는 1일 전에, 세 번째 단계는 예상피해가 나타나기 12시간 전에 경보를 발령하고 있다. 많은 국가들에서는 보건 및 시 방재당국에 의해 각기 분리되어 경보를 발령하고 있다.

앞서 제시한 폭염특보단계 설정 기준은 폭염으로 인한 사망자가 1일 지연되어 나타나는 것을 고려하였으며 기상청에서는 일 최고기온은 3일정도 예측을 하고 있으므로 우리나라는 유럽의 여러 나라와 같은 선행시간을 가지며 최소 3일전에 고온건강경보시스템의 각 단계를 발령할 수 있다(Fig. 2). 그림에서와 같이 일 최고기온이 30℃이상 지속되며 30.9℃이상, 열지수가 27℃이상으로 예상되는 3일전에 1단계 주의경보를 발령할 수 있으며, 그 상황이 지속될 것으로 판단되며 일 최고기온이 32.73℃, 열지수가 32℃를 초과할 것으로 예상될 때 매우주의 단계인 2단계 경보를 최소 2일전에 발령할 수 있다. 주의에 해당하는 단계는 앞서 제시한 고온건강경보시스템의 기준에 해당하지만 초과사망률이 동일한 기준 하에 일 최고기온이 34.83℃, 열지수가 41℃을 초과할 것으로 예상되는 1일전에 3단계인 위험경보를 발령할 수 있으며 일 최고기온이 37.1℃를 초과하고 열지수가 54℃를 초과할 것으로 예상되는 최소 12시간 전에 4단계인 매우위험 경보를 발령하고 그에 따른 조치를 시행하여야 할 것이다.

우리나라의 고온건강경보시스템은 폭염으로 인한 사망자수가 1일 지연되어 나타나는 것을 기준으로 하였으므로 최소 3일전에 폭염특보 단계를 발령할 수 있다. 기상청에서 일최고기온은 3일정도 예측을 하고 있으므로 일최고기온이 30℃이상 지속되며 30.9℃이상, 열지수가 27℃이상으로 예상되는 3일전에 1단계 주의경보를 발령할 수 있으며, 그 상황이 지속될 것으로 판단되며 일최고기온이 32.73℃, 열지수가 32℃를 초과할 것으로 예상될 때 매우주의

Table 6. Maximum lead-time for releasing the warning in the European countries surveyed (after WHO, 2004)

Lead-time for the warning	Countries
1 day or less	The Czech Republic, Kazakhstan, The republics of Latvia, Malta, Serbia, Montenegro, Slovenia, Turkey
1~2 days	Belarus, south-west in Germany, Spain
2~3 days	Israel, Greece, Portugal(Lisbon)

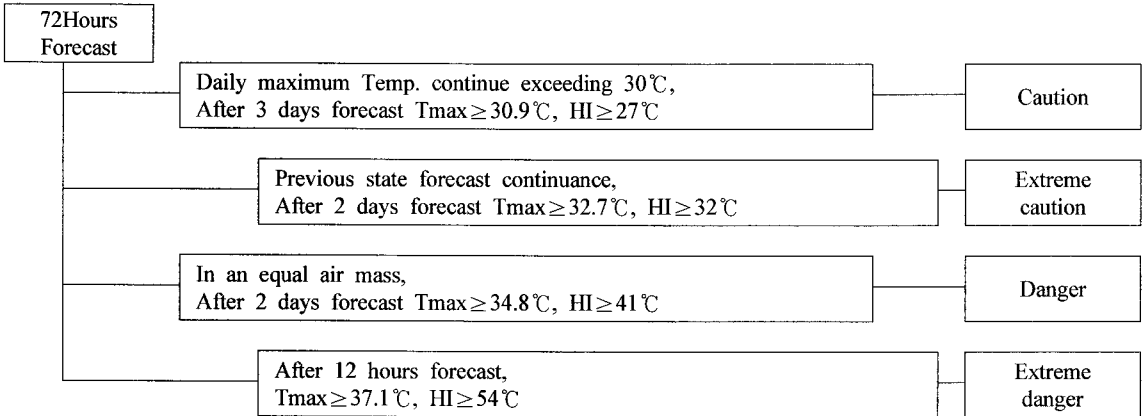


Fig. 2. Configuration of the Korea heat health watch warning system.

단계인 2단계 경보를 최소 2일전에 발령할 수 있다.

동일한 기단 하에 일최고기온이 34.83°C, 열지수가 41°C을 초과할 것으로 예상되는 1일전에 3단계인 위험경보를 발령할 수 있으며 일최고기온이 37.1°C를 초과하고 열지수가 54°C를 초과할 것으로 예상되는 최소 12시간 전에 4단계인 매우위험 경보를 발령하고 그에 따른 조치를 시행하여야 할 것이다. 각 단계별 발령 절차는 Fig. 2와 같다.

3.3. 고온건강경보시스템의 적합성 검토

서울을 대상으로 설정된 고온건강경보시스템이 외국과 같이 절대적 기준으로써 우리나라 전체를 대상으로 적용이 가능한지에 대한 검토가 필요하다. 따라서 상기 기준에 의한 폭염 발생빈도 분포와 그에 따른 사망자 발생빈도 분포를 비교 검토하고자 한다. 아울러 폭염발생빈도가 특히 높게 나타나는 특이 지역에 대한 실제 사망자 발생수도 같은 분포를 나타내는지 검토하고자 한다.

3.3.1. 한반도 폭염발생의 지역분포 특성 조사

고온건강경보시스템의 기준 설정은 지역별로 설정된 것이 아니라, 우리나라에서 가장 인구가 많은 대도시인 서울을 대상으로 일 최고기온과 일 최고 열지수를 초과사망률 단계에 따라 설정한 것이다. 본 기준을 한반도 전체에 적용할 경우 상대적으로 저위도에 위치한 남부지역의 경우 지역적인 특성이 아니라 단순히 해당 지역의 지리적인 특성에 의해 폭염특보 발령 빈도수가 높아지게 될 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 한국형 고온건

강경보시스템을 이용하여 각 지역별 발생 빈도를 살펴보고, 지금까지 기상청에서 제공해 왔던 열지수기준과의 비교·검증을 통해서 서울을 대상으로 설정된 현재 기준이 전국적으로 적용가능한지에 대하여 그 적합성을 살펴보았다.

한반도의 폭염 발생빈도의 전국적 분포를 알아보기 위해 1991년부터 2004년까지 6월에서 9월사이의 지상 기상관측지점의 기온과 습도 자료를 이용하여 폭염특보와 열지수의 단계별 기준초과빈도수를 분석하여 Fig. 3과 4에 나타내었다.

자료를 작은 값부터 크기 순서에 따라 나열하였을 경우 전체를 4등분 하여 각 구분점이 되는 값을 지칭하게 되는데, 자료를 네 개의 똑같은 크기의 집단으로 나누었을 때의 각 집단을 사분위라 한다. 이때 4등분하는 위치에 있는 수를 사분위수(quartile)라 하며 그림에 제시된 표시법은 사분위수를 사용하였다¹¹⁾. 이와 같은 사분위수를 기준으로 4등분함으로써 빈도수의 많고 적음을 나타낼 수 있을 뿐 아니라, 각 지점별 빈도수가 전체의 집단에서 어느 정도의 분위수에 해당하는 집단에 속하는 지를 함께 가늠할 수 있다.

그림 속에 제시된 기호의 의미를 살펴보면, 삼각형은 전체에서 0~24%범위에 속하는 빈도수를 가지는 지점, 마름모는 25~49%, 회색 원은 50~74%, 검은 원은 75~100%로 각 범위에 속하는 빈도수를 가지는 지점에 해당하는 색이 표현하였으므로 원의 모양일수록 그 집단에서 높은 값의 범위에 해당되는 값을 가진 것이라고 판단한다.

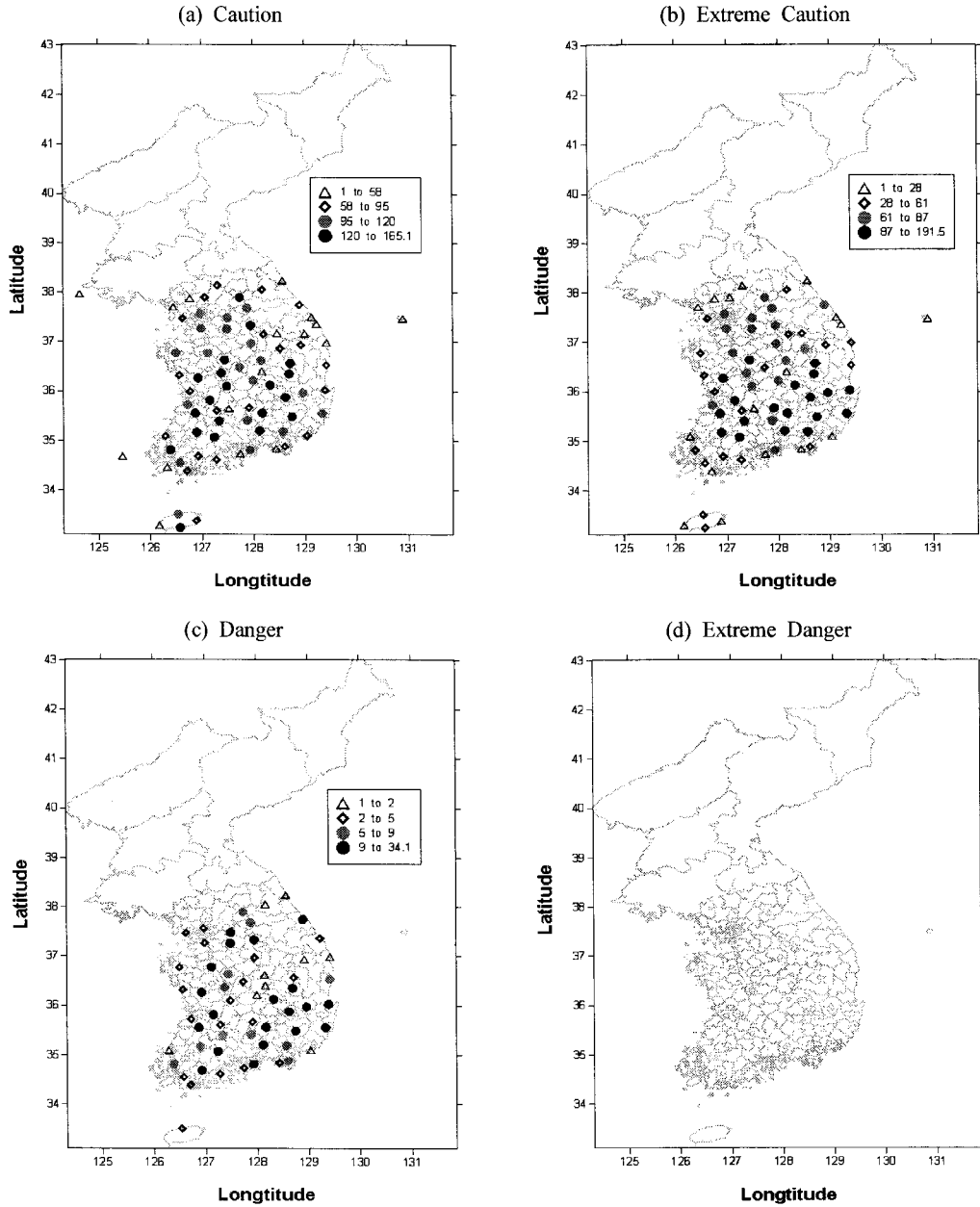


Fig. 3. Distributions of extreme heat day occurrence according to the heat health watch warning system in Korea.

그림에서 알 수 있듯이 고온건강경보시스템에 의한 폭염발생빈도의 특성을 살펴보면, ‘주의’, ‘매우주의’, ‘위험’ 단계는 모두 위도에 크게 관계없이 전국적으로 고르게 폭염이 발생 분포하는 경향을 나타내었으며, 4단계인 ‘매우위험’ 단계는 나타나지

않았다. 그러나 열지수가 기준인 경우에는 2단계인 ‘매우주의’의 발생빈도가 위도에 따라 다소 남쪽으로 편향되는 경향을 보이며, 폭염의 발생빈도는 폭염특보기준에 의한 것에 비해 약 5배 정도 높은 빈도수를 보이고 있어 열지수를 기준으로 설정한 경

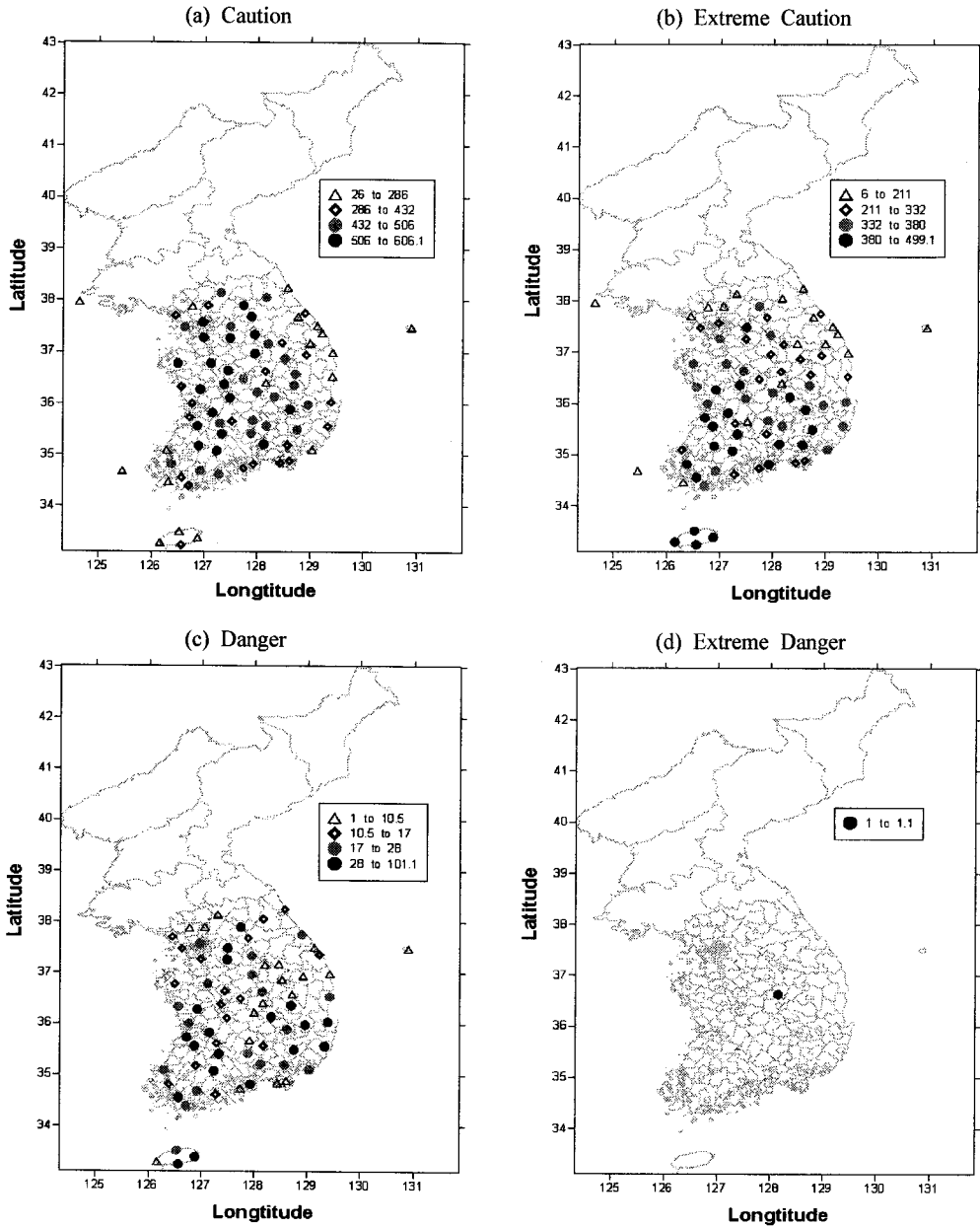


Fig. 4. Distributions of extreme heat day occurrence according to the heat index.

우가 전체적으로 폭염이 더 빈번하게 발생하는 것을 알 수 있다.

따라서 우리나라 고온건강경보시스템의 기준이 서울을 기준으로 작성되었음에도 불구하고 위도에 따라 편향되는 경향을 보이지 않으며 각 단계에서

열지수기준과 일부 유사하거나 열지수기준보다 더 높은 전국적 분포 경향을 보임을 알 수 있었다.

3.3.2. 초과사망자 발생빈도의 분포

열지수기준과 한국형 고온건강경보시스템에서의 폭염발생빈도를 비교한 결과, 전체적인 분포 경

향은 유사하였으나, 빈도에서 큰 차이를 보이고 있었다. 그러나 두 가지 기준 중 어떤 것이 더 적절한지는 빈도만으로 판단할 수 없다. 특히 열지수기준이 현재 미국에서 사용 중인 단계를 그대로 적용하여 사용하는 것이기 때문에 이에 대한 검증이 매우 어렵지만 한국형 고온건강경보시스템은 초기 단계를 설정할 때 서울지역의 초과사망자수를 근거로 하고 있다. 이에 따라 한국형 고온건강경보시스템 기준의 적합성과 지역별 폭염특보기준을 전국적으로 동일하게 적용해도 되는지를 판단하기 위해서 고온건강경보시스템 기준이 발령되었을 때 지역별로 각 단계별 초과사망률이 실제 발생한 폭염발생 빈도와 유사하게 발생하는 지에 대하여 분석을 실시하였다. 이를 위하여 1991년에서 2004년까지 14년 기간 동안, 폭염이 발생하는 6월에서 9월까지 자살과 사고사를 제외한 질병에 의한 사망자 자료를 이용하였는데, 우리나라 고온건강경보시스템 단계 설정 시 고려한 초과사망률의 범위를 살펴보면, 폭염일에는 포함이 되지만 초과사망률이 발생하지 않은 '주의' 단계를 1단계로 설정하였으며, 2단계는 초과사망률이 0%이상에서 50%미만인 경우, 3단계는 초과사망률이 50%이상에서 80% 미만인 경우, 4단계는 초과사망률이 80% 이상에서 100% 인 경우이다. 이에 따라 본 연구에서 분석한 초과사망자 발생의 전체 빈도는 우리나라 고온건강경보시스템의 각 단계를 만족하면서 초과사망률의 발생 범위 또한 위의 범위 안에 포함되는 경우의 빈도를 구하여 표출하였다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 초과사망자 발생빈도의 지역분포는 각 단계별 폭염일 발생 빈도와 전국적으로 비슷한 분포를 가지고 있음을 알 수 있다.

3.3.3. 고온건강경보시스템 기준의 상관성 검증

우리나라 고온건강경보시스템이 한반도의 초과사망 발생수를 적절히 설명하고 있는가를 분석하기 위하여, 고온건강경보시스템 발령 시, 고온에 영향을 받아 발생하게 되는 초과사망 빈도수에 대하여 상관성 분석을 실시하였다. 1991년에서 2004년의 기간을 대상으로 고온에 따른 영향을 확인하기 위하여, 일 최고기온이 30℃를 넘는 날이 이틀이상 지속된 날의 빈도수를 Tabel 7에 나타내었다. 그 결과 1994년이 2,653회로 가장 많은 빈도수를 나타내고

있으며, 그 다음은 2004년, 1997년이 각각 1,660회, 1,617회로 많은 빈도수를 나타내고 있었다.

연도별 빈도수가 비교적 높게 나타난 1994년 외에 1997년과 2004년의 3개년을 대상으로, 폭염특보 발령 시 고온의 영향을 받아 발생하게 되는 초과사망자 발생빈도수와 폭염발생일 빈도수에 대하여 상관관계를 살펴보았다. 그 결과 '주의' 단계는 0.82266 ($p<0.0001$), '매우주의' 단계는 0.91063 ($p<0.0001$), 그리고 '위험' 단계는 0.82708 ($p<0.0001$)의 높은 상관계수와 유의 수준을 만족하고 있어, 고온건강경보시스템의 기준이 초과사망자 발생을 잘 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

이상의 결과를 통해서 한국형 고온건강경보시스템은 서울을 대상으로 설정되었지만, 전국을 대상으로 발생한 초과사망자수와의 상관성이 높게 나타나 제시된 단계별 기준을 전국적으로 사용하기에 적합하다고 판단할 수 있다. 열지수의 경우 초과사망자수를 대상으로 설정된 값이 아니므로 직접적인 검증을 실시하지는 않았지만 우리나라의 특성을 고려하지 않고 도입된 열지수기준보다는 한반도의 기후와 초과사망자수를 동시에 고려하여 설정된 고온건강경보시스템이 한반도에 적합한 폭염특보기준이라고 판단된다. 그러나 구미, 대구, 영천, 전주, 밀양과 같은 지역(이후 특이지역이라 명함)은 세 가지의 단계 중 2단계 이상 75 분위수를 나타낸 지역으로써, 이 지역들만의 새로운 기준설정이 필요한지 폭염발생빈도수가 많은 만큼 사망자수도 많은지 검토가 필요하다.

이와 더불어 고온건강경보시스템은 4단계로 설정 제시하였지만, 기상청에서 폭염특보제(the excessive heat warning system) 운영을 위해 현업에 적용할 때는 초과사망률이 50% 미만인 '매우주의' 단계를 폭염주의보(the excessive heat advisory), 초과사망률이 50%이상 인 '위험' 단계를 폭염경보(the excessive heat warning)로 설정하여 사용하고 있는데, 여기서 각 단계별 기준온도 값은 반올림하여 주의보인 경우 기온은 33℃, 열지수는 32℃이며, 경보는 기온이 35℃, 열지수는 41℃를 사용하고 있다. 그러나 폭염으로 인한 인명과 재산상의 피해를 줄이기 위해서는 인간 생활 및 모든 산업분야에 단계별 적절한 지침을 개발하여 시행하는 4단계 고온건강경

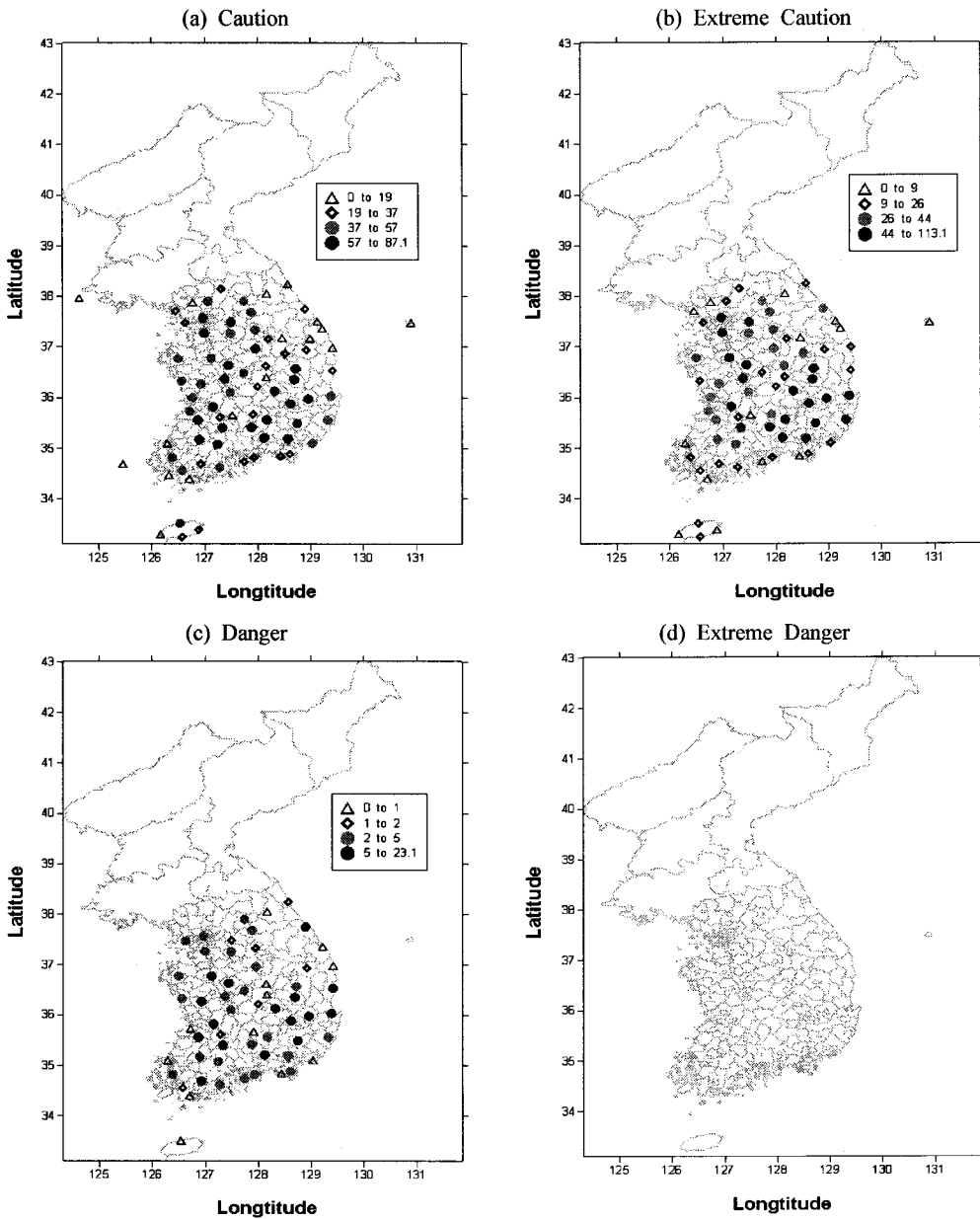


Fig. 5. Distributions of excess mortality occurrence according to the heat health watch warning system in Korea.

보시스템이 2단계의 폭염특보제 운영보다는 실질적인 실효성을 거둘 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

고온건강경보시스템 구축을 위해 외국의 폭염의

기준과, 지속시간, 사망률과 같은 인체에 미치는 영향을 고려하여 일 최고기온이 95 percentile에 해당하는 30.9℃와 열지수(heat index, HI)가 27℃를 초과하는 날이 연속 2일 이상 되는 경우 폭염일로 정의하고, 초과사망률에 따라 ‘주의’, ‘매우주의’, ‘위험’, 그리고 ‘매우위험’의 4단계로 고온건강경보시스템

Table 7. The annual total number of extreme heat day which daily maximum temperature is expected to exceed 30°C for two consecutive days at 76 meteorological stations from 1991 to 2004 in Korea

Year	Number of extreme heat day	Year	Number of extreme heat day
1991	615	1998	630
1992	923	1999	826
1993	44	2000	1494
1994	2653	2001	1504
1995	1189	2002	641
1996	1571	2003	346
1997	1617	2004	1660

단계를 설정하였다.

이렇게 설정된 단계에 대하여 1991년부터 2004년까지의 6월에서 9월을 대상으로 각 단계별 초과사망률 예측에 대한 테스트를 실시하고 2005년도를 대상으로 검증한 결과를 정확도는 테스트에서 0.5였으나, 2005년 검증에는 0.67로 나아졌으며, 오차율도 0.5에서 0.33으로 줄어들어 높은 정확도를 나타내고 있었다. 뿐만 아니라 정확도의 경우 설정된 4단계를 모두 정확히 맞추었을 경우만을 고려하여 제시된 것이지만, 실제 폭염예보의 목적을 인체에 미치는 건강피해 저감을 두고 예보하고 조치사항을 각 단계를 검토한다면 더 높은 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

고온건강경보시스템은 초과사망률이 발생하지 않은 주의 단계는 일 최고기온이 30.9°C 이상이고 열지수가 27°C를 초과하는 날이 2일 이상 지속될 경우이며, 초과사망률이 발생하여 50%에 이르는 매우주의 단계는 폭염이 2일 이상 지속되며, 일 최고기온이 32.73°C, 열지수가 32°C를 초과할 것으로 예상될 때이다. 그리고 초과사망률이 50%이상에서 80%미만에 해당하는 위험 단계는 폭염이 2일 이상 지속되며, 일 최고기온이 34.83°C, 열지수가 41°C를 초과할 것으로 예상될 경우이며, 마지막으로 초과사망률이 80% 이상이 되는 매우위험 단계는 폭염이 2일 이상 지속되며 일 최고기온이 37.1°C를 초과하고 열지수가 54°C를 초과할 것으로 예상되는 경우이다.

고온건강경보시스템은 폭염으로 인한 사망자수가 1일 지연되어 나타나는 것을 기준으로 하였으므로 최소 3일전부터 폭염특보를 발령할 수 있으며 현

재 기상청에서는 일 최고기온을 포함한 기상요소를 3일정도 정확한 예측을 하고 있으므로 각 단계별 충분한 선행시간을 확보하여 폭염특보를 발령하고 그에 따른 조치를 시행하여야 할 것이다.

고온건강경보시스템의 적합성을 검토하기 위해 폭염특보기준에 따른 폭염발생일 분포를 살펴본 결과, 폭염특보기준이 서울을 기준으로 작성되었음에도 불구하고 위도에 따라 편향되는 경향을 보이지 않으며 각 단계에서 열지수기준과 일부 유사하거나 열지수기준보다 더 고른 전국적 분포 경향을 보임을 알 수 있었다. 또한 초과사망자 발생빈도의 지역 분포도 각 단계별 폭염일 발생 빈도와 전국적으로 비슷한 분포를 가지고 있음을 알 수 있다.

폭염특보기준에 따른 초과사망자수와의 상관성이 각 단계별로 0.82415 ($p < 0.0001$), 0.90982 ($p < 0.0001$), 0.83423 ($p < 0.0001$)로 높게 나타나 특보기준이 초과사망자수를 잘 설명하고 있으며, 제시된 단계별 기준을 전국적으로 사용하기에 적합하다고 판단할 수 있다. 열지수의 경우 초과사망자수를 대상으로 설정된 값이 아니므로 직접적인 검증을 실시하지는 않았지만 t-test를 통해 열지수기준이 한국형 폭염특보기준과는 다른 것을 알 수 있으며 한국형 폭염특보기준이 우리나라에서 발생하는 폭염을 잘 설명하고 있다고 할 수 있음을 알 수 있었다.

따라서 현행 폭염특보 발령기준은 서울특별시를 대상으로 설정되어 있으나, 서울을 포함한 전국을 대상으로 기 설정된 일 최고기온과 열지수, 초과사망률을 절대적 폭염기준으로 활용하여도 문제가 없음을 알 수 있다. 다만 지역별 초과사망자수를 예측

할 경우 지역마다 인구수와 기상조건 및 대기질이 다르므로 폭염주의보 발령이후 향후 지역에 맞는 초과사망자수를 예측하여 폭염경보를 발령하고 그에 따른 조치활동을 할 수 있도록 기단을 포함한 여러 기상요소 및 대기질을 고려한 초과사망자수 예측모형 개발이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 기상청 “폭염특보에 관한 연구(I)”과제의 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) Park J. K., Cho D. H., Yoon S. H., Lee J. T., Seok K. H., Jung W. S., Kim E. B., Jeon G. D., 2006, Development of Weather-Related Health Impact Index for the Cutaneous disorder, Proceedings of the 15th IUAPPA Regional Conference, Lille, France. Paper No. 021609.
- 3) 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.
- 4) 박종길, 윤숙희, 조대현, 이종태, 석경하, 엄상화, 정우식, 김경혜, 2005, 보건기상정보 산출기술 개발(II), 인제대학교 대기환경정보연구센터, 기상청, 119pp.
- 5) Cinar Y., Senyol A. M., Duman K., 2001, Blood viscosity and blood pressure : role of temperature and hyperglycemia, American Journal of Hypertension, 14, 433-438.
- 6) Hardy J. T., 2003, Climate Change : Cause, Effects, and Solutions, John Wiley & Sons, Ltd., 230pp.
- 7) 박종길, 정우식, 김은별 등, 2006, 폭염특보에 관한 연구(I), 인제대학교 산학협력단, 대기환경정보연구센터, 기상청, 83pp.
- 8) 박종길, 정우식, 김은별, 2008, 폭염발생 기준 설정에 관한 연구, 한국환경과학회지, 17(6), 657-669.
- 9) 권호장, 1998, 서울시의 대기오염과 일별사망의 관련성에 대한 시계열적 연구, 박사학위논문, 예방의학과, 서울대학교, 서울.
- 10) Tan J., Kalkstein L. S., Huang J., Lin S., Yin H., Shao D., 2004, An operational heat/health warning system in shanghai, International Journal of Biometeorology, 48(3), 157-162.
- 11) 이종원, 최현집, 2003, SAS를 이용한 통계분석. 4판. 박영사, 300-301, 316-329, 335, 409-410.