

TECHNICAL NOTE

보건기상정보 제공을 위한 폭염특보 운영현황 및 개선방안 조사

황미경 · 강윤희 · 김성민¹⁾ · 김유근²⁾*

부산대학교 환경연구원, ¹⁾부산대학교 지구환경시스템학부, ²⁾부산대학교 대기환경과학과

Investigation of Operation and Improvement for Heat Watch Warning System to Provide Health-Weather Information

Mi-Kyoung Hwang, Yoon-Hee Kang, Sungmin Kim¹⁾, Yoo-Keun Kim²⁾*

The Institute of Environmental Studies, Pusan National University, Busan 46241, Korea

¹⁾*Division of Earth Environmental System, Pusan National University, Busan 46241, Korea*

²⁾*Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 46241, Korea*

Abstract

Heat watch warning systems are operating in Korea and several other countries (China, the United Kingdom, France, the United States, Germany, Australia, and Japan). The heat wave indices used in this system are the heat index, perceived temperature, the wet bulb globe temperature, and the daily maximum temperature. To improve the heat wave advisory and warning system, some suggestions have been made. The meteorological-health index (i.e., indirect index), has especially been proposed in previous studies. This information should be provided not only to vulnerable groups (seniors, infants, and children), but also to outdoor workers who may be particularly exposed to heat waves. In addition, to have sufficient preemptive response times, the need for an extension of the heat watch warning period was suggested. Finally, the subdivision of administrative units and risk stages was proposed.

Key words : Heat wave, Heat watch warning systems, Index of heat wave, Vulnerable group

1. 서 론

기후변화와 함께 폭염발생에 따른 인체(건강) 악영향에 대해 2003년 유럽 폭염발생이후 그 심각성이 부각되고 있다. 프랑스의 경우, 2003년 8월(20일간) 동안 평균 60%(약 15,000명) 초과사망이 발생한 후 고온건강경보 시스템(heat and health warning system)을 도입한 바 있다. 최근 2015년 폭염 시에도 인도에서 수천 명이 사

망하거나(Ratnam et al., 2016) 프랑스에서 사망 6.5% (약 3,300명)가 증가하였음이 보고된 바 있다(Le Monde.fr, 2015). 이에 국제기구인 WMO (World Meteorological Organization)와 WHO (World Health Organization)는 폭염과 건강 관련부분을 공유하고 고온경보시스템에 대한 가이드라인의 개발 및 보급에 힘쓰고 있다(McGregor, et al., 2015).

국내의 경우도 폭염발생과 관련하여 온열질환자수가

Received 11 September, 2018; Revised 23 November, 2018;

Accepted 3 December, 2018

*Corresponding author: Yoo-Keun Kim, Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 46241, Korea
Phone : +82-51-510-2282
E-mail: kimyk@pusan.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

전체적으로 증가추세에 있다. 질병관리본부의 KCDC (2016)에 따르면, 2016년에는 온열질환자수가 2,125명으로 2013년 최고치(2013년 기준 1,189명)를 갱신하였다. 하지만 전체 온열질환자 중 약 47%(1,820명)가 비폭염발생일에 발생하여, 현 국내 폭염특보의 한계가 지적되기도 하였다(Environmental Labor Committee, 2016).

폭염지수로 일최고기온 외에 다양한 온도지표가 이용되고 있다. 폭염과 관련된 열환경(또는 열스트레스)지수는 크게 직접지수(direct index)와 간접지수(indirect index)로 구분된다. 기존에는 기온, 습도 등 기상요소만을 사용한 직접지수가 사용되었지만, 최근에는 인체와 환경의 열 교환과정을 고려한 간접지수가 개발되어 적용되고 있다. 국내에서는 Kim et al.(2014)와 Kim and Kim(2017)은 다양한 열지수들을 비교 평가한 바 있으며, 국립기상과학원에서는 인지온도(perceived temperature, PT)를 산출하여 국내에 적용가능성을 평가하였고(Byon, 2008a, 2008b; Lee et al., 2010), Hwang et al.(2016)은 하계 항만근로자를 대상으로 열환경지수(예, 작업체감온도, 탈수위험도, 작업가능시간)를 산출하고 열환경정보 제공시스템을 구축한 바 있다.

본 연구에서는 현 폭염특보 개선을 위해 먼저 국내외 폭염특보 현황 및 지수를 조사하고, 여러 분야에서 제시된 국내 폭염특보제 개선안들을 수집/정리하였다. 이는 장기적으로 보건기상정보 제공을 위한 실효적이고 보다 구체적인 폭염 대응/대책 마련을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서 선행연구에서 제시된 국내외 폭염특보 관련 운영현황 및 제언을 조사하여 정리하였다. 자료수집 대상은 국내논문, 연구(용역)보고서, 폭염관련 포럼, 기고문, 뉴스기사 등 다방면의 자료를 포괄적으로 수집하였다. 이를 바탕으로 제시된 문제점과 해결/개선방안을 중심으로 정리하였다.

3. 결과

3.1. 폭염특보 운영 시스템

3.1.1. 국내외 폭염특보 운영 현황

최근(2016년 기준)의 국내외 폭염특보 운영 현황을

각 국가별로 조사하였으며, 조사내용은 발령기관, 폭염특보 관련지수, 위험단계, 운영시기 등을 중심으로 각 국가별로 비교하여 Table 1에 정리하여 제시하였다. 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

국내 폭염특보는 기상청에서 2007년 폭염특보제의 시험운영을 시작으로 2008년 폭염특보제를 시행하였다(Jung et al., 2009). 예보된 일최고기온이 각각 33℃와 35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때에 대해 폭염주의보와 폭염경보로 나누어 발표된다. 개발 당시, 폭염단계는 초과사망자수와 일 최고기온, 최고열지수를 이용하여 4단계로 개발되었으나, 그 가운데 2, 3단계를 각각 폭염주의보와 폭염경보로 사용하고 있다(Park et al., 2008, 2009; Jung et al., 2009). 2008년부터 매년 6~9월(4개월간)에 대해서만 운영되다가, 최근 기후변화로 인한 이른 폭염의 횟수가 증가함에 따라 2015년부터 연중 운영되고 있다. 폭염특보는 기상청 웹페이지(KMA, 2018)의 ‘특보현황’에서 확인할 수 있으며 발표내용은 발표시각 및 발효시각, 대상지역이다.

미국은 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 산하 NWS (National Weather Service)에서 NWS reference guide (NOAA, 2011)에 따라 폭염특보를 3단계(watch/warning/advisory)로 구분하여 운영하고 있다. 각 단계에 대해 살펴보면 excessive heat watch는 24~72시간 이내 폭염발생가능성이 존재할 때 발령되며, excessive heat warning과 heat advisory는 Heat Index (HI)와 야간기온 임계치를 기준으로 심각한 폭염으로 정의되어 적극적 행동을 취해야하도록 규정하고 있다. 여기서 HI 임계치는 크게 북부/남부지역에 따라 다르며, 세부지역별 NWS에서 파트너 협력을 통해 기후/사회적 환경을 반영한 경보발령(단계)을 결정하며 각 단계별 임계치 및 발생예상기간은 자치주에 따라 차이(약 5°F)를 가진다. 추가적으로 excessive heat outlook 단계는 폭염 정보제공 및 대책수립을 위한 목적으로 3~7일 이내에 폭염발생 가능성이 존재할 때 적용되나(NOAA, 2011), NWS(2011)에는 이 단계가 존재하지 않는다.

영국은 Met Office에서 예보된 기온을 바탕으로 PHE (Public Health England)의 지원을 받아 잉글랜드 지역에 대해서만 ‘heat-health watch service’를 제공하고 있으며, Met Office 웹사이트의 ‘weather-heat health’

Table 1. Heat wave advisory and warming systems

Country	Administration	Heat wave advisory and warning	Period of operation	Level and criteria	Levels and trigger thresholds
Korea	Korea Meteorological Administration	Heat wave advisory and warning	January ~ December	daily maximum temperature, duration	Heatwave warning (T ≥ 35°C)
USA	NOAA, National weather service	Heat Watch vs. Warning service	May ~ September	maximum heat index temperature, night time air temperature, duration	Excessive Heat Watch (HI ≥ 100°F) Excessive Heat Warning (HI ≥ 105°F)
UK	Met office, Public Health England	Heat-Health Watch service	1 June ~ 15 September	maximum daytime and minimum night-time temperature	Alert* Heat wave (when the thresholds have been exceeded)
France	Meteo France	Vigilance Météo	June ~ August	daily maximum /minimum temperature during 3 days	Soyez attentifs Une vigilance absolue s'impose
Germany	Deutscher Wetterdienst	Heat Alerts	Not described	perceived temperature (PT)	Extreme heat stress (PT ≥ 38°C)
Austria	Bureau of Meteorology	Heatwave Service	November ~ March	excess heat factor (EHF)	Severe Heatwave (EHF ≥ Primary Thresholds) Low-intensity Heatwave Extreme Heatwave (EHF ≥ Secondary Thresholds)
China	China Meteorology Administration	Heat Wave Warning	Not described	daily maximum temperature and duration	Yellow (T ≥ 35°C) Orange (T ≥ 37°C) Red (T ≥ 40°C)
Japan	Japan Meteorological Agency Ministry of the Environment	High temperature warning information Heatstroke prevention information	April ~ October April ~ October	daily maximum temperature wet bulb globe temperature (WBGT)	High temperature warning (T ≥ 35°C) Alert (WBGT 25~28°C) Caution (WBGT 21 ~ 25°C) Strict vigilance (WBGT 28 ~ 31°C) Danger (WBGT 31°C ~)

*a high chance that the threshold will be exceeded within the next few days

에서 확인가능하다(Met Office, 2018). 매년 6월 1일부터 9월 15일까지 운영되며 정해진 임계온도를 기준으로 4단계(레벨 1~4)로 발표된다. 임계온도는 지역에 따라 차이는 있으나 평균적으로 낮 최고기온 30℃, 야간 최저기온 15℃이다. heat-health watch service는 폭염과 그로 인한 건강영향만을 고려한다는 점에서 영국 전역의 다양한 위험기상정보 제공을 목적으로 하는 National Severe Weather Warnings Service(NSWWS)와 차이가 있다.

프랑스 기상청(Metro France)에서는 프랑스 기상경계(vigilance météo)를 통해 강풍, 홍수, 눈사태 등과 함께 폭염에 대한 정보를 4단계로 구분하여 색(초록, 노랑, 주황, 빨강)으로 제공하고 있다(Metro France, 2018). 초록은 보통상태, 노랑은 세심한 주의, 주황은 매우 주의, 빨강은 절대 경계를 의미하며, 여기서 주황과 빨강이 발표되는 경우, 노약자들에게 공고 및 행동상담을 실시한다. 프랑스 보건연구소(Institut de Veille Sanitaire, InVS)에서는 2004년부터 프랑스 기상청과 공동으로 폭염경보보건시스템(Le Système d'alerte canicule et santé, SACS)을 개발/운영하고 있다. SACS는 6~8월 동안 운영되며, 3일 동안의 최고/최저기온의 평균값(Pascal et al., 2006)이 폭염으로 인한 초과사망률이 높은 지역별 임계치인 생명기상 지표(biometeorological indicator)를 초과할 경우 폭염경보가 발령된다.

독일기상청(Deutscher Wetterdienst, DWD)에서는 'Heat alerts'를 제공하고 있다(Deutscher Wetterdienst, 2018). Heat alerts는 독일기상청 웹사이트의 'weather warnings'에서 확인가능하며, 4단계의 기상경보(weather warnings (Level 1), warning of significant weather (Level 2), warnings of severe weather (Level 3), warnings of extreme weather (Level 4)) 및 자외선경보(ultraviolet radiation warnings)가 함께 발표된다. Heat alerts는 인체가 느끼는 열스트레스 개념이 고려된 인지온도(PT)를 기준으로 2단계로 구분되며, 2일 연속 인지온도가 35℃ 이상일 때 'severe heat stress', 인지온도가 38℃ 이상일 때는 'extreme heat stress'가 발령된다.

호주기상청(Australian Government Bureau of Meteorology)에서는 매년 11월에서 3월까지 'Heatwave service'를 제공하고 있다(Australian Government Bureau of Meteorology, 2018). Heatwave service는 초과열

(excess heat)과 열스트레스(heat stress)를 고려하여 계산된 지수인 초과열지수(excess heat factor, EHF)에 따라 4단계로 발표되며, 열파가 없을 때는 'no heatwave', 약한 정도의 열파일 때는 'low-intensity heatwave', 초과열지수가 severe thresholds를 초과하는 경우에는 'severe heatwave', 초과열지수가 extreme thresholds를 초과하는 경우에는 'extreme heatwave'가 발령된다. 여기서 severe thresholds와 extreme thresholds는 경험적 누적함수 분포로 결정된다.

중국은 China Meteorology Administration에서 'Heat wave warning'을 운영하고 있으며, 중국기상청 웹사이트(China Meteorological Administration, 2014)의 'active warnings'에서 확인가능하다. Heat wave warning은 일최고기온과 지속시간을 기준으로 3단계(노랑/주황/빨강)로 구분하고 있으며 노랑은 2일 연속 일최고기온이 35℃ 이상일 때, 주황은 24시간 이내에 일최고기온이 37℃ 이상일 때, 빨강은 24시간 이내에 일최고기온이 40℃ 이상일 때 발표된다.

마지막으로 일본의 폭염특보는 일본기상청(Japan Meteorological Agency)에서 운영하는 '고온주의정보(高温注意情報)'와 일본환경청(Ministry of the Environment)에서 운영하는 '열중증예방정보(熱中症預防情報)'로 두 종류로 구분된다. 기상청의 고온주의정보는 당일 혹은 내일의 일최고기온이 35℃ 이상이 예상될 경우 발령되는 반면(Japan Meteorological Agency, 2018), 환경청의 열중증예방정보는 기온 뿐 아니라 습도와 일사량까지 고려된 Wet Bulb Globe Temperature(WBGT)를 기준으로 5단계로 구분되어 발령된다(Japan Ministry of the Environment, 2018). 고온주의정보와 열중증예방정보 모두 매년 4월~10월로 운영기간은 동일하다.

이상의 조사결과를 분석해보면, 폭염지수의 경우, 선진국에서 일최고기온 뿐 아니라 인체 열 스트레스에 영향을 줄 수 있는 타 기상요소(예, 상대습도, 일사 등)까지 고려된 폭염특보 관련 지수(열지수, 인지온도, WBGT 등)의 사용을 확인할 수 있다. 또한 미국, 영국, 프랑스와 호주의 경우, 지수별 위험단계 임계치를 지역별로 차별화함으로써 지역기후 특성 및 사회적 환경을 반영할 수 있도록 하였다. 또한 야간기온 및 폭염 지속시간 등도 함께 고려하여 열대야 및 고온노출시간도 고려되었다.

폭염의 위험단계도 각 나라별로 차이점을 가짐을 확인할 수 있다. 우리나라는 독일과 유사하게 2단계(폭염 주의보와 폭염경보) 폭염특보를 발령하고 있다. 한편 미국을 비롯한 영국, 프랑스, 호주, 일본(환경성)은 세분화된 4단계의 위험단계를 가지고 있다. 이와 같은 세분화된 폭염단계는 폭염에 대한 선제적 대응시간을 마련하거나, 경각심을 가질 수 있도록 초기단계를 가지도록 하여 폭염피해를 최소화하는 목적을 가진다.

3.1.2. 폭염특보 관련 지수

국가별 폭염관련 지수는 기상·기후학적 특성을 반영하거나, 보건기상지수를 적용하고 있다. 대표적으로 열지수(HI), 초과열지수(EHF), 인지온도(PT), WBGT가 가장 대표적이며 각 지수에 대해 보다 구체적으로 살펴 보았다.

미국의 국가기상서비스에서 제공하는 열지수(HI)는 온도도와 상대습도를 고려하여 인간이 실제 느끼는 더위를 지수화 하여 나타낸 것이며, 단위는 기온과 같은 화씨(°F)이다. Lans P. Rothfus가 제안한 다중회귀분석방법을 사용하였으며, 기온과 상대습도를 입력받아 계산되는 열지수 산출식(NOAA, 2014)과 NOAA의 열지수표(NOAA, 2018)를 이용하여 그 단계를 확인할 수 있다.

독일기상청의 폭염특보에서 사용되는 인지온도(PT)는 인체가 저온 또는 고온 스트레스를 느끼는 기본환경에서의 기온을 지수화한 것으로 인체열수지모델로부터 계산된 평균값을 환산하여 기온과 같은 섭씨(°C)로 나타낸다(Jendritzky et al., 1979). 기온, 풍속, 습도, 일사의 기상요소를 입력하여 산출되며, 구체적인 산출방법은 Lee et al.(2010)에 제시되었다. 인지온도는 한랭~고온 범위를 포함하는 세분화된 9단계를 가진다.

호주기상청의 heatwave service에서 사용되는 초과열지수(EHF)는 폭염의 강도를 나타내는 지수로, 초과열과 열스트레스의 두 향으로 구성되어 있다(Nairn et al., 2015). 첫 번째 항인 초과열은 최근 3일의 기온이 지난 30년 동안의 평균기온보다 얼마나 높았는지를 나타내며, 두 번째 항인 열스트레스는 최근 3일의 기온이 지난 30일 동안의 평균기온보다 얼마나 높았는지를 의미한다. 초과열지수는 초과열과 열스트레스의 곱으로 계산된다.

일본환경성의 ‘열중증예방정보’에서 사용하고 있는 WBGT는 1954년 미군에서 열사병 예방을 목적으로 개발한 지수이다. WBGT 계산은 건구온도, 습구온도, 혹은

구온도를 사용하여 인체 열수지에 영향을 크게 주는 기온, 습도, 일사를 고려하였으며, 단위는 기온과 같은 섭씨(°C)로 제시된다(Japan Ministry of the Environment, 2018). 현재 일본 환경성에서 제공하고 있는 WBGT 상황 및 예보 정보로 지역별 WBGT 단계(거의 안전, 주의, 경계, 매우 경계, 위험)가 제시되어 있으며, 각 단계별 일상생활 및 운동 지침이 있다.

4. 고찰

본 장에서는 폭염특보 예보 개선관련 제언을 크게 폭염특보 지수 개선, 취약계층 중심의 정보제공, 폭염특보 예보기간의 확대, 폭염특보 행정단위 및 위험단계의 세분화로 분류하여 정리하였다.

4.1. 폭염특보 지수 개선

하계의 질병관리본부의 온열질환자 발생 분포를 통해 폭염특보의 한계점을 확인할 수 있다. 2011년~2015년(8월 15일까지) 동안, 온열질환자(3,877명 대상) 발생시 폭염특보 발효유무를 분석한 결과, 온열질환자의 약 47%가 폭염특보 미발효일에 발생함으로써 현재 폭염특보의 한계점이 지적된 바 있다(Environmental Labor Committee, 2016). 이는 폭염특보지수 및 폭염단계의 문제점과 연결된다. 폭염특보 지수인 일최고기온의 경우, 인체에 미치는 영향이 고려되지 못한 기준이며 이를 전국민에게 일률적 기준으로 적용함으로써 한계점이 존재할 수 있다.

개선안으로 기온, 풍속, 일사량 등의 기상요소를 비롯한 신체에너지수지를 이용한 간접지수 적용 필요성이 제시된 바 있다(Byun, 2005; Park, 2009; Rha, 2015). 간접지수는 Predicted Mean Vote (PMV; Fanger, 1970), PT, Physiological Subjective Temperature (PST; Blazejczyk, 2005), physiological equivalent temperature (PET; Hoppe, 1999), universal thermal climate index (UTCI; Jendritzky et al., 2009) 등이 알려져 있으며, 다양한 노출환경(폭염/한파, 실내/실외, 노동강도 등)에 맞게 개발된 에너지수지모델에서 생성가능하다. 이상의 지수는 기상조건 뿐 아니라 신진대사나 착의 특성을 고려하므로, 목적에 따라 적합한 간접지수를 선택하고 국내실정에 적용가능성을 검토할 필요가 있다.

우리나라는 간접지수 도입단계로, Byon et al.(2008a,

2008b)은 독일의 폭염특보(간접)지수인 인지온도의 예보가능성을 평가한 바 있으며, Kim et al.(2014)은 직/간접 폭염특보지수를 이용하여 열쾌적성을 분석하였다. 최근 Hwang et al.(2016)와 Yun et al.(2016)은 항만 특수작업환경에 최적화된 항만작업지수를 산출하여 열환경 정보를 제공하고자 하였다.

폭염특보관련 지수 개선을 위해서는 폭염정보 제공대상의 범위(범국민, 특종직종, 취약계층 등)를 설정하고, 구체적 노출환경 조사, 보건자료를 이용한 간접지수의 평가를 통해 적합한 간접지수 선정과정이 요구된다. 특히 지수에 따라 실내/실외, 신체 및 연령, 노동강도 등 구체적 적용범위가 다르므로 세밀한 조사가 요구된다.

4.2. 취약계층 중심의 정보 제공

취약계층 또는 직종, 지역기후 및 기후순응도 등을 고려한 특보기준이 필요함도 제시되었다(NDMI, 2013). 폭염은 인체의 생리적 변화와 연관되어 유병률 또는 사망률과 관련을 가지지만, 기후에 대한 적응능력의 정도에 따라 달라질 수 있다. 건강영향에 미치는 임계온도(일 최고기온의 증가에 따라 사망률이 증가하기 시작하는 온도)는 지역적 차이를 보이며 열적 기후순응도를 이용하여 나타낸다(Kim et al., 2009; Chae et al., 2012). 이는 정량적으로 지역적으로 최대 2°C 이상 (인천 25.8°C, 광주 28.1°C) 차이가 나타날 수 있음이 확인된 바 있다(Chae et al., 2012). 지역적 기후순응도의 차는 폭염특보 기준의 설정과 밀접한 관련을 가질 수 있으며, Rha(2015)은 우리나라에 맞는 더위 기준값 개발이 필요함을 제시한 바 있다.

폭염특보지수(예로 기온)와 온열질환관련 건강영향은 임계온도 이상에서 급격하게 증가하는 패턴이지만, 이 임계온도는 연령, 지역별로도 차이를 보인다. 향후 인구(초)고령화에 따른 노령인구 증가로 취약계층의 증가는 분명한 사실로 받아들여지며, 취약계층(고령층)맞춤정보의 중점 확대가 요구된다. 더불어 사회적 배려자, 유아/어린이를 비롯한 다양한 직종의 옥외근로자에게도 맞춤형 폭염관련 기상정보 및 대응방안의 제공이 필요하다.

4.3. 폭염특보 예보기간의 확대

폭염특보는 기상현상으로 인하여 중대한 재해가 발생될 것이 예상될 때 이에 대하여 주의를 환기하거나 경고를 위협이다. 다시 말해, 폭염 대응을 위해 충분한 시간이

확보되어야 한다. 하지만 우리나라 폭염특보제는 선행시간은 2일 뿐이라 선제적 대응이 어려운 실정이다(Yun, 2016).

본 연구에서 폭염특보제가 실시된 2008년부터 2016년까지 7개 대도시를 대상으로 폭염특보 발효 및 발표 시간의 차를 조사하였다(Fig. 1). 그 결과 평균 8시간 13분의 선행시간을 가졌으며, 최대 19시간을 나타내었다. 이는 단 하루의 선행시간 조차도 주어지지 못함으로서 폭염 대응시간의 부족을 정량적으로 재확인할 수 있었다.

국외의 경우, 유럽전역의 3일~10일 후 폭염발생 확률에 대한 정보를 제공하고 있으며, 미국의 경우도 기상청에서 최소 3일에서 최대 7일까지의 폭염위험도 정보를 제공하고 있어 폭염강도증가에 대해 좀 더 민감하게 반응할 수 있도록 체계를 갖추고 있다(Yun, 2016). 이는 우리나라 대부분 부처의 대응방안은 폭염발생 후속대응 중심으로 선제적 예방책 부재로 귀결될 수 있다.

폭염특보 예보기간의 확대는 폭염대응 선행시간의 증가와 직접적으로 연관된다. 이는 폭염부처별 선제적 대응시간을 증으로서 폭염의 인적/물적 피해를 감소시키는 데 기여할 수 있을 것이다. 하지만 예보정확도 향상이 뒷받침되어야 할 부분으로 중/장기적인 예보개선이 이루어져야 할 부분이다.

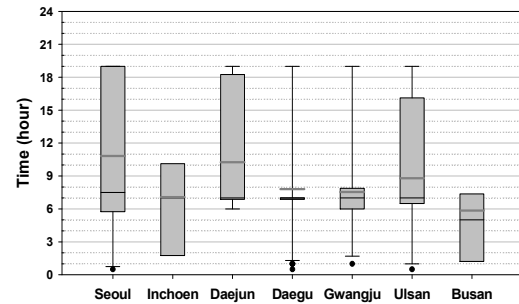


Fig. 1. Predicted period for heat wave advisory and warning in major cities in Korea (Gray solid line in box plot is average value).

4.4. 폭염특보 행정단위 및 위험단계의 세분화

일반적으로 폭염특보 발효 시, 기준지점은 각 광역/시 단위의 기상관측망을 기준으로 설정하고 있다. 하지만 폭염에 노출되는 인구분포는 (주간)인구밀도와 비례할 것이며, 이는 곧 폭염 집중노출지는 다양한 열원이 존재

하는 도시환경이다. 이는 폭염특보 발효시 예보된 기온과 실제 노출된 기온은 상당한 차이를 나타낼 수밖에 없다.

Kim et al.(2016)은 대로변의 기온을 측정하고 기상청 종관기상관측장비(Automated Synoptic Observing System, ASOS) 기온과 비교한 결과, 대로변 기온이 6℃나 더 높게 나타나며, 고온에 노출되는 시간대도 길게 나타남을 제시하였다. Chae et al.(2016)은 열화상 카메라로 주요 폭염 발생지역의 복사열을 측정한 결과, 장소별 최저 복사열은 22℃, 최고 복사열은 23℃ 차이가 나타남을 확인한 바 있다. 특히 동일한 기상조건과 인구 특성조건에서도 고층고밀화된 도시구조에서 폭염피해가 증가할 수 있어, 도시구조에 따른 열환경 조사와 예측이 필요함을 제시된 바 있으며, 이와 관련하여 Lee et al.(2015)는 BioCAS를 이용하여 상세기온 모의 및 실내 폭염 위험도 분석을 수행하였다. 앞으로 폭염특보 행정 단위의 세분화(광역시의 경우, 구 단위로) 요구는 동네예보 활용 및 AWS지점 기온자료를 활용함으로써 일부 가능할 것으로 사료된다.

국내 폭염특보의 위험단계는 2단계로 운영되고 있는 반면, 국외의 경우 보다 세밀한 위험단계를 설정하고 있다(Table 1 참조). Park et al.(2009)은 폭염특보 위험단계의 세분화(4단계)를 제시하였다. 여기서 위험단계는 주의, 매우주의, 위험, 매우위험 단계로 구성을 제안하였으며, 특히 폭염발생일에는 포함이 되나 초과사망률이 발생하지 않은 단계로 갑작스럽게 발생할 수 있는 상황에 대한 주의단계(안)를 설정하였다. 이는 미국 폭염단계의 Outlook 단계와 유사하다고 볼 수 있다. 추가적으로 위험단계의 임계치는 피해자(특히 취약계층)의 특성, 기후조건에 따라 발생가능질병 또는 사망자발생여부에 따라 세분화(NDMI, 2013)가 필요함이 제시되었다.

5. 결론

본 연구에서는 한국의 폭염특보 개선을 위한 기반연구로, 국내외 폭염특보 운영시스템을 조사하고 다방면의 선행연구에서 제시된 현 폭염특보의 한계와 개선요구사항을 조사하였다. 국외폭염특보를 바탕으로 제안된 내용은 폭염특보 지수, 대상 계층, 예보기간, 위험단계(임계치 및 개수) 등으로 나뉘를 수 있었다. 기상예보에서 영

향예보로 전환되고 있는 시점에 본 연구는 폭염대응 영향예보를 위한 유용한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대한다. 특히 인체중심 영향예보로 전환하기 위해서는 기상-보건분야의 융합연구가 긴밀하고 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 기상청 <미래유망 민간기상서비스 성장기술크발>(KMI2018-04210)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Australian Government Bureau of Meteorology, 2018, <http://www.bom.gov.au/australia/heatwave/index.shtml>.
- Blazejczyk, K., 2005, MENEX_2005: The updated version of man-environment heat exchange model, https://www.igipz.pan.pl/tl_files/igipz/ZGiK/opracowania/indywidualne/blazejczyk/MENEX_2005.pdf.
- Byun, H. R., 2009, Development of the heat warning index and the current status of use in foreign countries, Second monthly forum "Climate change, Is there any way to prevent health damage?", Climate change and health forum, Seoul, 1-18.
- Byon, J. Y., Kim, J. S., Kim, J. Y., Choi, B. C., Choi, Y. J., Graetz, A., 2008a, A Study on the characteristics of perceived temperature over the Korean Peninsula during 2007 summer, Atmos., 18(2), 137-146.
- Byon, J. Y., Kim, J. Y., Choi, B. C., Choi, Y. J., 2008b, Forecast and verification of perceived temperature using a mesoscale model over the Korean Peninsula during 2007 summer, Atmos., 18(3), 237-248.
- Chae, Y. R., Ahn, Y. J., Kim, D. S., 2016, Improvement of the effectiveness of heat wave shelter for heat wave, KEI Focus 4(1), Korea Environment Institute, Sejong city, 3-21.
- Chae, Y. R., Cho, H. J., Choi, S. Y., 2012, Economic analysis of climate change in Korea, ISBN 978-89-8464-629-2 93530, Korea Environment Institute, Sejong city, 58-66.
- China Meteorological Administration, 2014, <http://www.cma.gov.cn/en2014/weather/Warnings/>.

- Deutscher Wetterdienst, 2018, http://www.dwd.de/EN/weather/warnings/warnings_node.html.
- Environmental Labor Committee, 2016, Audit report on state affairs in Korea 2015, 193.
- Fanger, P. O., 1970, Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering. Danish Technical Press, Copenhagen.
- Hoppe, P., 1999, The physiological equivalent temperature-a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. J. Biometeorol.*, 43(2), 71-75.
- Hwang, M. K., Yun, J. A., Kim, H. S., Kim, Y. J., Lim, Y. J., Lee, Y. M., Kim, Y. N., Yoon, E. K., Kim, Y. K., 2016, Heat stress assessment and the establishment of a forecast system to provide thermophysiological indices for harbor workers in summer, *J. Environ. Health Sci.*, 42(2), 92-101.
- Japan Meteorological Agency, 2018, <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/kouon/index.html>.
- Japan Ministry of the Environment, 2018, <http://www.WBGT.env.go.jp>.
- Jendritzky, G., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E., 2009, Towards a universal thermal climate index UTCI for assessing the thermal environment of the human being, Final Report COST Action 730, Freiburg.
- Jendritzky, G., Sönning, W., Swantes, H. J., 1979, Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt-und Landschaftsplanung ("Klima-Michel-Modell"), *Beitrage Akademie für Raumforschung und Landesplanung*, Beitrage 28.
- Jung, W. S., Park, J. K., Kim, E. B., Song, J. H., 2009, Study on the establishment of threshold criteria for heat health watch warning system in Korea; part II : Improvement of criteria, *J. Environ. Sci.*, 18(7), 781-796.
- KCDC (Korea Center for Disease Control and Prevention), 2016, Thermal Disease Monitoring System, <http://www.cdc.go.kr/>.
- Kim, H. D., Kim, J. H., Choi, S. H., 2016, Evaluation of the thermal environment on the road side in Daegu during summer using field observation, *Proceedings of the Autumn Meeting of KMS*, 438-439.
- Kim, J. H., Kim, H. D., 2017, Comparison of several heat stress indices for the 2016 heat wave in Daegu, *J. Environ. Sci. Int.*, 26(12), 1399-1405.
- Kim, J. Y., Lee, D. G., Kysely, J., 2009, Characteristics of heat acclimatization for major Korean cities, *Atmos.*, 19(4), 309-318.
- Kim, Y. J., Kim, H. S., Kim, Y. K., Kim, Y. M., Kim, J. K., 2014, Evaluation of thermal environments during the heat waves of summer 2013 in Busan metropolitan area, *J. Environ. Sci. Int.*, 23(100), 1929-1941.
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2018, <http://www.kma.go.kr>.
- Lee, D. G., Byon, J. Y., Choi, Y. J., Kim, K. R., 2010, Relationship between summer heat stress (perceived temperature) and daily excess mortality in Seoul during 1991~2005, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 26(3), 253-264.
- Lee, J. S., Kim, K. R., Lee, C. Y., Cho, C. B., Kim, B. C., 2015, Simulation of detailed temperature and risk analysis of indoor heat using BioCAS, *Proceedings of the Autumn Meeting of KMS*.
- Le Monde.fr, 2015, https://www.lemonde.fr/sante/article/2015/10/09/3-300-deces-supplementaires-en-france-pendant-la-canicule-de-l-ete-2015_4786653_1651302.html.
- McGregor, G. R., Bessemoulin, P., Ebi, K., Menne, B., 2015, Heat waves and health: Guidance on warning system development, 1142, *World Meteorological Organization and World Health Organization*, 2-96.
- Met Office, 2018, <http://www.metoffice.gov.uk/public/eather/heat-health/#?tab=heatHealth>.
- Metro France, 2018, <http://vigilance.meteofrance.com/>.
- Nairn, J. R., Fawcett, R. J. B., 2015, The excess heat factor: A Metric for heat wave intensity and its use in classifying heatwave severity, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12, 227-253.
- NDMI (National Disaster Management Research Institute), 2013, A Study on extreme temperature disaster management, 363.3492-14-11, Ministry of the Interior and Safety, 1-135.
- NWS (National Weather Service), 2018, <http://www.ws.noaa.gov/om/heat/ww.shtml>.
- NWS (National Weather Service) Weather Prediction Center, 2018, http://www.pc.ncep.noaa.gov/html/heatindex_equation.shtml.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration),

- 2011, National weather service reference guide, <http://www.nws.noaa.gov/om/guide/>.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 2014, The heat index equation, http://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex_equation.shtml.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 2018, Heat index, <https://www.weather.ov/safety/heat-index>.
- Park, J. K., Jung, W. S., Kim, E. B., 2008, A Study on the influence of extreme heat on daily mortality, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 24(5), 523-537.
- Park, J. K., Jung, W. S., Kim, E. B., 2009, Study on the establishment of threshold criteria for heat health watch warning system in Korea; Part I: Establishment of criteria and verification, *J. Environ. Sci.*, 18(7), 767-780.
- Pascal, M., Laaidi, K., Ledrans, M., Baffert, E., CaserioSchönemann, C., Le Tertre, A., Manach, J., Medina, S., Rudant, J., and EmpereurBissonnet, P., 2006, France's heat/health watch warning system, *Int. J. Biometeorol.*, 50, 144-153.
- Ratnam, J. V., Behera, S. K., Ratna, S. B., Rajeevan, M., Yamagata, T., 2016, Anatomy of Indian heatwaves. *Scientific reports*, 6, 24395.
- Rha, D. K., 2015, Weather characteristic and heat warning in summer 2015, 2015 Daegu international heat wave response forum, Airforce Club, Daegu, 1-35.
- Yun, J. A., Hwang, M. K., Kim, Y. K., 2016, A Study on optimization of thermophysiological indices for harbor workers in summer: Improvement of MENEX model's input data considering the work environment, *J. Environ. Sci.*, 25, 951-961.
- Yun, Y. S., Lee, S. K., An, H. H., 2016, A Long-term counterproposal of Heat wave damage measures for climate change, *J. Disaster Prevention*, 18(5), 24. Korea Disaster Prevention Association, 12-35.

-
- 황미경, 부산대학교 환경연구원 연수연구원
hmk1001@pusan.ac.kr
 - 강윤희, 부산대학교 환경연구원 연수연구원
yhkang@pusan.ac.kr
 - 김성민, 부산대학교 지구환경시스템학부 대학원생
tjdals339@naver.com
 - 김유근, 부산대학교 대기환경과학과 교수
kimyk@pusan.ac.kr