

## PD2) 열환경평가를 위한 HI와 WBGT의 적용에 관한 연구

### Application of HI and WBGT for Estimate of Thermal Environment

박종길 · 정우식<sup>1)</sup> · 김은별<sup>1)</sup> · 김석철<sup>1)</sup>

인제대학교 환경공학부/대기환경정보연구센터,

<sup>1)</sup>인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

#### 1. 서 론

최근들어 증가하고 있는 폭염과 관련된 국외의 사례를 살펴보면 1995년 7월 12일에서 15일 사이 미국 시카고에서는 일최고기온이 40℃에 이르는 사상유례 없는 무더위로 400여명 이상의 사망자가 발생하였다. 또한 1980년대부터 2003년까지 10억 달러 이상의 경제적 피해를 일으킨 자연재해 중 폭염과 가뭄에 의한 재해 건수는 17.8%에 지나지 않았으나, 인명피해는 91.6%나 되었다. 미국뿐만 아니라 유럽에서도 폭염에 의한 큰 피해를 보았는데, 2003년 하계 유럽 대륙을 휩쓴 40℃를 넘는 폭염과 열대야가 이어지면서 프랑스, 독일, 스페인, 이탈리아, 영국 등 8개국에서 35,000명이 숨졌다(박종길, 2006; Boasch, 2004, Herrington, 2004).

이러한 폭염과 같은 고온현상은 고온과 관련된 질병을 일으킬 뿐만 아니라 인간의 심혈관계 및 뇌혈관계에 직·간접적으로 영향을 미치게 된다. 특히 우리나라의 경우 중위도 지역에 위치하고 있어 열대 지역보다 고온 환경에 적응이 되지 않아 최근에 나타나는 심화된 폭염에 취약하다. 또한 도시화에 따른 열섬효과로 도심지역 기온상승과 열대야 현상을 가속시키고 있어 폭염에 대한 연구의 중요성이 높아지고 있다. 이에 따라 국내에서도 폭염과 관련하여 여러 가지 연구가 진행 중이고 2007년도에는 기상청에서 폭염예비특보제가 실시되었다.

국내 선행연구에서는 폭염에 의한 건강 영향 정도를 최고기온이나, 미국기상청에서 개발된 열지수(Heat Index, 이하 HI)를 이용하여 평가하고 있다. 그러나 최고기온이나 HI 이외에도 고온환경을 평가하기 위해 제안되고 있는 다양한 온열지수가 있음에도 불구하고 지수 산정의 어려움 등을 이유로 HI 이외의 지수에 대한 연구는 전무한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 2005년도에 관측된 자료를 이용하여, 현재 기상청에서 제공 중인 HI와 국제표준화기구에서 실외의 열환경 지표로 정의하고 일본기상청에서 사용 중인 습구흑구온도(Wet Bulb Globe Temperature, 이하 WBGT)를 비교하여 우리나라에 보다 적합한 온열지수에 대한 검토를 실시해 보고자 한다.

#### 2. 연구 방법

본 연구에서 지수 검토를 위해서 사용한 기상자료는 인제대학교 창조관에서 관측한 건구온도, 상대습도, 흑구온도 자료이며, 이를 이용하여 HI와 WBGT를 비교하였다. HI는 고온다습한 환경에 대한 대국민 경보를 더욱 효율적으로 제시하여 폭염에 미리 대처할 수 있는 체제를 개발하고자 하는 목적으로 미국기상청에서 개발한 지수식으로 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} HI(^{\circ}F) = & -42.379 + 2.04901523 \times T + 10.14333127 \times R - 0.22475541 \times T \\ & \times R - 6.83783 \times 10^{-3} \times T^2 - 5.481717 \times 10^{-2} \times R^2 + 1.22874 \times 10^{-3} \\ & \times T^2 \times R + 8.5282 \times 10^{-4} \times T \times R^2 - 1.99 \times 10^{-6} \times T^2 \times R^2 \end{aligned} \quad (1)$$

여기에서 HI는 열지수(°F)이고, T는 기온(°F) 그리고 RH는 상대습도(%)이다.

WBGT는 Yaglou and Minard(1957)가 제안한 것으로 태양복사열의 영향을 받는 실외환경평가에 사용하는 개념으로 고안된 것으로 인체가 느끼는 감각적 온도를 구체적인 수치로 표현한 것으로 실외에서 인간 활동에 대한 판단기준으로 체육분야, 군사훈련분야, 노동 분야에서 주로 사용되는 기준식으로 식(2)와 같이 일사를 고려한 경우와 그렇지 않은 경우로 구분된다.

실외에서 일사가 있는 경우

$$WBGT=0.7\text{ NWB}+0.2\text{ GT}+0.1\text{ NDB} \quad (2)$$

실내에서 일사가 없는 경우

$$WBGT=0.7\text{ NWB}+0.3\text{ GT}$$

여기서 NDB는 자연 대기에 노출된 건구온도이며, GT는 흑구온도, NWB는 복사열을 막아 자연 대기에 노출된 습구온도이다.

위의 두 지수는 인체가 받는 영향에 따라 HI는 4단계, WBGT는 5단계로 구분하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 지수의 각 단계에 따른 발생빈도와 평균사망자수가 어떻게 나타나는지에 대한 분석을 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

기상요소, WBGT 그리고 HI의 분포 경향을 살펴본 결과(그림 1), 흑구온도(GT)와 HI는 큰 변동성을 보이고, 습구온도(WT)와 WBGT는 변동성이 적게 나타나고 있었다. 일반적인 기온을 나타내는 건구온도와 비교해보면, HI는 전체적으로 높은 값을 나타내고 있지만, WBGT는 건구온도에 비해 낮게 나타나는 경향을 보이고 일사를 고려하는 경우보다 고려하지 않는 경우에 더 낮은 값을 보이고 있었다. HI와 WBGT 단계별 평균사망자수의 발생 경향을 살펴보면, HI에서는 주의 단계와 매우 주의 단계에 해당되는 경우만 나타났고, 단계에 따른 사망자수의 차이를 찾아보기 힘들었다. WBGT는 빈도수가 낮은 1단계와 5단계를 제외한 중간 단계에서는 단계가 증가함에 따라 사망자수도 증가하는 경향을 보이고 있었지만, 각 단계에 따라 큰 차이를 나타내지는 않고 있었다. 이는 2005년이 1994년과 같이 뚜렷하게 폭염이 발생하지 않은 해라는 점과 본 연구에서 사용한 사망자 자료가 폭염에 의해서 영향을 받은 경우 외의 사례도 포함되었기 때문에 분석 시 발생하는 한계에 의한 것이라고 판단된다. 따라서 2005년 한 해를 대상으로 해서 우리나라에 적합한 온열지수를 선정하는 것은 힘들겠지만, 5년 또는 10년 정도의 장기간의 자료를 확보하거나, 현재 우리나라에서 측정하지 않는 흑구온도를 정확히 추정해 낼 수 있는 추정식을 개발함으로써 점차 그 오차를 줄여갈 수 있을 것이라 사료된다.

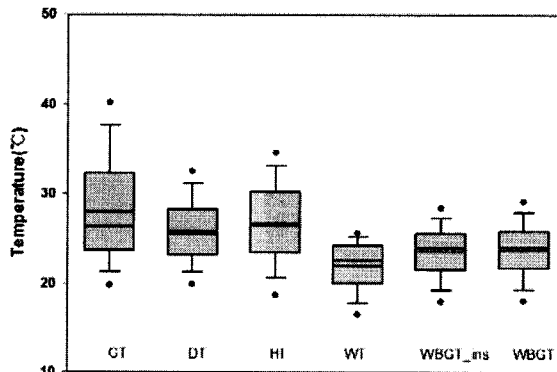


Fig. 1. Box plot of meteorological elements(2005).

### 참고 문헌

- 마성준, 이내우, 설수덕, 이진우 (2000) WBGT지수를 이용한 온열작업장 근로자의 열과지수에 관한 연구, 한국산업안전학회지, 15(1), 112-120.
- 박종길, 정우식, 김은별, 최효진, 김석철, 송정희, 황소정, 박창희 (2006) 폭염특보에 관한 연구(I), 기상청, 83pp.
- 환경성 (2006) 열중증, 보건지도 매뉴얼 2006, 2006년 6월 개정판, 환경성, 56pp.