

폭염 위험 작업장에서 위험성 평가와 체감온도를 활용한 작업과 휴식 관리 방안 설정에 관한 연구

김병훈^{1,2} · 이나은³ · 하권철^{1*}

¹창원대학교 생명보건학부, ²민주노총 경남지역본부, ³순천제일대학교

Development of a Work-Rest Management Framework Using Risk Assessment and Apparent Temperature in Heat-risk Workplaces

Byoung Hoon Kim^{1,2} · Naeun Lee³ · Kwonchul Ha^{1*}

¹*Department of Biochemistry and Health Science, Changwon National University*

²*Korean Confederation of Trade Unions KyeongNam Regional Council*

³*Suncheon Jeil College*

ABSTRACT

Objectives: This study aimed to develop a heat-risk classification and work-rest management framework using apparent temperature (AT) as a practical indicator for workplace heat-risk management. It goes on to evaluate its applicability in occupational settings.

Methods: A literature review of domestic and international heat-stress management guidelines was conducted, and workplace heat exposure was assessed using wet bulb globe temperature (WBGT), workload, clothing and respiratory protective equipment (RPE), and heat-exposure duration. Heat-hazard levels were classified according to workload and clothing/RPE, and these were combined with hourly heat-exposure levels to construct a four-level heat-risk classification matrix. The relationship between WBGT and AT was evaluated using literature and field measurement data. The proposed framework was subsequently applied to nine occupational settings to assess its practical applicability.

Results: Workload, clothing and RPE, and heat-exposure duration were identified as key determinants of occupational heat risk. Combining heat-hazard and exposure levels yielded four heat-risk classes (I-IV). AT showed a strong relationship with WBGT, with the regression model explaining 88.7% of the variation in WBGT ($R^2=0.8870$, $F=62.78$, $p<0.0001$). Based on this relationship and on existing heat-stress guidelines, temperature-specific work-rest criteria were established for each heat-risk class. When applied to nine occupational settings, the proposed framework identified all evaluated jobs as requiring work stoppage under the measured conditions, while the existing Ministry of Employment and Labor criteria for several jobs would have permitted continued work with specified rest periods.

Conclusions: The proposed framework integrates workload, clothing and RPE, heat-exposure duration, and environmental heat conditions to provide a more comprehensive approach to occupational heat-risk management. AT may serve as a practical indicator for work-rest decision-making where continuous WBGT monitoring is difficult. However, because AT does not directly account for radiant heat, WBGT measurements or additional assessment of radiant heat should be considered in workplaces with substantial radiant heat exposure.

Key words: Heat stress, apparent temperature, wet bulb globe temperature, workload, work-rest schedule, occupational heat exposure

*Corresponding author: Kwonchul Ha, Tel: 055-213-3553, E-mail: kcha@changwon.ac.kr
Department of Biochemistry and Health Science, Changwon National University, 20 Changwondaehak-ro, Uichang-gu, Changwon-si, Gyeongnam 51140

Received: August 31, 2026 Revised: September 16, 2026, Accepted: September 16, 2026

 Byoung Hoon Kim <http://orcid.org/0000-0002-5782-5340>

 Naeun Lee <http://orcid.org/0009-0000-3095-2705>

 Kwonchul Ha <http://orcid.org/0000-0001-7014-9466>

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.

I. 서 론

국제노동기구(International Labour Organization, ILO)는 기후 변화로 인해 전 세계 노동인구의 70%가 폭염(excessive heat)에 노출되어 있으며, 노동자들의 안전과 보건에 심각한 영향을 미치게 되어 약 2,285만 명이 심각한 부상과 함께 매년 18,970명이 사망한다고 하였다(ILO, 2024). 폭염이란 건강장해를 유발할 수 있는 더운 온도의 기상 현상으로 정의되며 폭염작업이란 체감온도가 31도 이상이 되는 작업장에서의 장시간 작업이라고 정의하고 있다(MoEL, 2025). 기상청(Korea Meteorological Administration)에 따르면 월별 폭염일 수가 2024년 6월 2.8일, 7월 4.3일, 8월 16.9일, 9월 6일로 2015년 이래로 4개월 연속 기록되었다(KMA, 2025). 고용노동부(Ministry of Employment and Labor, MoEL)에 따르면, 우리나라의 폭염 노출 사업장은 약 1,682,825개소로 추정되며, 폭염에 노출되는 노동자는 약 2,818,722명으로 추정하고 있다(MoEL, 2025).

작업 환경 중 열이 신체에 유입되어 열이 축적되면 열 스트레스가 발생하고, 더 나아가 체온 조절 기능이 상실되면 온열질환이 발생되어 심한 경우 사망에까지 이르게 된다(Kang et al., 2020). 질병관리청(Korea Disease Control and Prevention Agency, KDCA)은 2024년 5월 20일부터 9월 30일까지 전국의 온열질환자 수는 3,704명이며, 온열질환으로 인한 추정 사망자 수는 34명으로 2023년의 질환자 수 2,818명, 사망자 32명에 비해 증가하였다고 한다(KDCA, 2024). 우경숙 등은 고온에 대한 메타분석 결과 기온이 1℃ 증가할 때 사망위험이 5%, 비폭염기간에 비해 폭염 기간에 사망의 위험이 8% 증가한다고 하였다(Woo et al., 2019). 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)는 폭염으로 인한 온열질환은 열사병을 포함한 심장질환에도 영향을 미치며, 노출기준에 근접하면 물을 자주 마시고, 증상에 유의해야 한다고 하였다(ACGIH, 2026). 폭염으로 인한 급성심근경색 사망률의 통합 추정치는 1.639(95% CI: 1.087-2.470)로 약 60% 위험을 높이는 것이라고 하였으며(Gautam, 2022), 똑같이 높은 열에 노출되어 사망할 때도 관상동맥질환이 있었다면 전층심근경색이 발견될 경우가 많다는 보고도 있다(Sun et al., 2018). 특히, 업무 중 높은 노동강도는 체내 열 생산을 몇 배 이상 증가시키며, 열 조절이 되지 않으면 열 스트레스 위험이 있다고

하였다(Kenney et al., 2014).

열 스트레스와 관련된 질병을 예방하기 위해서 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)와 ACGIH에서는 작업과 휴식 시간의 적절한 비율을 권장하고 있으며, 미 육군(U.S. Army Training and Doctrine Command, TRADOC)도 작업 강도와 온도에 따라 훈련과 휴식 그리고 음료 섭취 지침을 권고하고 있다(NIOSH, 2016; ACGIH, 2026; TRADOC, 2023). 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서는 열 위험 가이드를 쉽게 이용할 수 있도록 앱으로 배포하고 있으며, 위험도 계산 프로그램도 제공하고 있다(OSHA, 2025). 고용노동부도 폭염 영향 예보를 통해 주의, 경보, 위험 단계를 발령하며 휴식 및 작업 시간 조정을 권장하고 있으며, 고온 작업에 대해 작업 강도에 따른 휴식 시간을 정하고 있으며, 산업안전보건법 제139조 및 같은 법 시행령은 유해위험작업 시간 제한 규정을 통해 작업 시간과 휴식 시간을 조정하도록 하고 있다. 산업안전보건기준에 관한 규칙 제558조는 폭염을 근로자에게 열경련, 열탈진 또는 열사병 및 그 밖의 건강장해를 유발할 수 있는 고온의 기상 현상으로 정의하고, 제560조와 제562조에서 폭염 시 노동자에 대해 적절한 휴식 및 각종 냉방 대책을 마련하도록 하고 있다. 재난 및 안전관리 기본법(Ministry of the Interior and Safety, MOIS) 제3조에서는 폭염을 자연재난으로 정의하고, 예방 및 지원할 수 있도록 한다(MOIS, 2025). 우정사업본부(Korea Post)의 경우 위험 급지를 정하고 폭염 특보에 따라 업무 정지 및 해제 기준을 운영하고 있으며, 중대재해처벌 등에 관한 법률에서는 1년에 3명 이상 열사병이 발생하는 경우 중대산업재해로 규정하여 사업장의 안전보건관리체계 구축을 의무화하고 있다(MOLEG, 2025).

그러나 이러한 제도적 장치와 가이드는 실제 산업 현장에서의 실행력 확보에는 한계가 있다. 현행 지침은 강제성이 부족할 뿐만 아니라 획일적인 기준을 제시함으로써 작업 강도와 작업 특성을 충분히 반영하지 못하고 있다. 특히 열 환경 관리의 핵심 지표로 활용되는 습구흑구온도(wet-bulb globe temperature, WBGT)는 고가이고, 상시 모니터링의 어려움으로 인해 중소기업이나 이동 작업이 많은 현장에 적용하기에는 기술적·경제적 제약이 크다. 이에 기온과 습도를 기반으로 즉각 산출이 가능한 체감온도(apparent temperature,

AT)를 활용한 관리 체계를 구체화할 필요가 있다. 위험성평가의 핵심이 사업장 내 유해·위험 요인을 파악하고 관리하는 데 있다면, 폭염 위험도가 높은 장소와 공정을 체계적으로 분류하여 관리하는 것이 합리적이다. 이에 본 연구는 WBGT와 체감온도 간의 상관성을 분석하여 체감온도의 평가 지표로서의 타당성을 검토하고, 이를 기반으로 위험성평가 기법을 활용하여 폭염 위험 장소를 분류하고 위험도에 따라 구체적인 작업·휴식 기준을 제시하고자 한다. 나아가 실제 현장 노동자를 대상으로 한 적용 평가를 통해 제안된 기준의 현장 적용 가능성을 검증함으로써, 폭염 시 노동자의 건강권을 보장할 수 있는 실효성 있는 적정 휴식 시간 기준을 제시하는 것을 목적으로 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

폭염 노출 위험이 높은 조선소 노동자, 배달원, 환경미화원, 급식 종사자, 도로 보수원, 사출 제조업 노동자를 대상으로 작업 환경에서의 WBGT와 활동량에 따른 에너지 소비량을 측정하였다. 이를 바탕으로 적정 작업 및 휴식 시간 비율을 산출하였다.

2. 연구 방법

연구는 2024년 7월 1일부터 2025년 3월 25일까지 이루어졌다. 작업장 온도는 작업 환경측정 및 정도관리 등에 관한 고시의 고열 측정 방법에 따라 WBGT를 측정할 수 있는 기기(QUESTemp[°] 36 models)를 단위 작업 장소 측정 대상 노동자의 주 작업 위치에서 측정기의 위치를 바닥면으로부터 50cm 이상, 150cm 이하로 설치하고 기기를 안정화한 후 1시간 동안 10분 간격으로 연속 측정하였다(MoEL, 2020). 실내와 실외에서 번갈아 노출되는 일부 직종의 경우 ACGIH 기준에 따라 가중치를 적용하였다(Paik et al., 2004). 체감온도와 WBGT 온도와의 관련성을 확인하기 위해서 기상청에서 제공하는 공식을 이용해 SAS(ver. 9.4)를 사용하여 상관관계를 확인하였다. 또한, 작업을 수행하는 노동자의 노동 강도를 측정하기 위해서 동의를 받아 활동량 기기(Polar A(360))를 착용시키고, 에너지 소비량(kcal/hr)을 수집하여 폭염 위험 장소를 구분하였다. 그리고 실내 청소 노동자와 경비 노동자의 작업 환경 및 작업 강도 데이터는 민노총 경남지역본부를 통해 제공

받았다.

III. 결 과

1. 온열 및 폭염 관리에 관한 문헌 고찰

인체는 외부 환경 변화에 대응하여 일정 수준의 체온을 유지하려는 항상성을 가진다. 이러한 체온 조절은 기온, 습도, 풍속, 태양복사와 같은 기상 요인과 개인의 신진대사 능력, 작업 강도, 의복 특성 간의 끊임없는 열교환(증발, 복사, 대류 등)을 통해 이루어진다. 만약 이러한 열교환이 원활하지 못할 경우 신체에 열이 축적되는 열 스트레스(heat stress) 상태에 빠지게 된다.

많은 국가에서는 열 스트레스를 지수화하여 폭염 경보 시스템에 활용하고 있다. 이 시스템은 단순 기온뿐만 아니라 풍속, 복사열, 습도, 의복의 단열 효과, 활동량 등을 종합적으로 고려한다(Höppe, 1999; Kang et al., 2020). 특히 운동이나 작업 중 발생하는 대사열(metabolic heat production)은 심부 체온을 지속적으로 상승시켜 조절 불가능한 열 스트레스를 유발할 수 있다. 따라서 더위 적응 기간에는 가능한 보호장비를 최소화하여 열 발산을 촉진하는 것이 필수적이다(Armstrong et al., 2007). 의복과 환경 온도에 관한 연구에 따르면, 20대 인구는 낮은 체지방률과 높은 평균 피부 온도로 인해 의복 내 온도와 습도가 모두 높게 나타났다. 반면, 60대 인구는 열 조절 능력이 감소함에 따라 의복 내 습도가 상대적으로 낮게 측정되어 연령별 체온 조절 특성의 차이를 보였다(Lee et al., 2009).

전 세계적으로는 고열 환경으로부터 노동자를 보호하기 위해 WBGT 지표를 널리 사용하고 있다(ILO, 2024). 고용노동부 또한 작업 환경 관리 기준으로 WBGT 지수를 채택하고 있으며, 폭염 특보 시에는 기상청의 체감온도 기준을 병용하고 있다(MoEL, 2020; KMA, 2024). ACGIH는 작업 강도를 4단계(가벼운, 중등, 힘든, 매우 힘든 작업)로 세분화하여 업무와 회복 시간을 규정하며, 의복 종류에 따라 WBGT 지수를 보정할 수 있다(ACGIH, 2026). 일반 작업과 화학물질 취급 작업 시 착용하는 보호복에 따라 휴식 시간 비율을 차등 적용하며, 특히 고온 미순응 작업자에 대해서는 엄격한 감시기준(Action Limit, AL)을 적용하고, 신체적 취약 계층에게는 고강도 작업을 권고하지 않는 등 상세한 보호 방안을 제시하고 있다(NIOSH, 2016). 미

Table 1. Heat hazard matrix based on workload (A) and clothing and RPE (B)

Workload (A) Clothing and RPE (B)	Low (<200 kcal/h)	Moderate (200–350 kcal/h)	High (>350 kcal/h)
Low (1) Light clothing / No RPE	L ^{**}	M [†]	H [‡]
Moderate (2) Long-sleeve clothing / Half-face RPE	M	H	VH [§]
High (3) Non-ventilated clothing / Full-face RPE	H	VH	VH

*L: Low, †M: Moderate, ‡H: High, §VH: Very high, ||RPE: Respiratory protective equipment

육군(TRADOC)과 NATO 역시 작업 강도에 따라 위험 한계를 설정하고 있으며(TRADOC, 2023), 우리나라 국방부(MND, 2024) 또한 4단계(주의, 부분 제한, 제한, 중지) 온열 손상 예방 대책을 운영 중이다. 고용노동부와 산업안전보건공단(Korea Occupational Safety and Health Agency, KOSHA)은 고열 작업에 대해 작업 강도와 WBGT에 따라 작업과 휴식비를 제공하고 있으며, 작업복 종류에 따라 WBGT 지수를 조정하고 있다(KOSHA, 2017; MoEL, 2021). 이와 같이 국내외 지침을 종합할 때, 열 스트레스로부터 노동자를 보호하기 위해서는 작업 강도와 작업복 특성이 온열 위험 관리의 핵심 요소로 고려되어야 함을 알 수 있다.

2. 위험성평가 기반 폭염 위험작업장 구분

1) 폭염 유해도 등급 구분

열 스트레스 평가는 일반적으로 작업 환경의 기온이 27°C 이상이거나 작업자가 온열질환 관련 불편을 호소하는 경우 수행되어야 한다. 이때 작업 강도에 따른 대사율과 작업자가 착용하는 의복 및 개인보호구는 열 스트레스 발생에 영향을 미치는 핵심 변수로 작용한다. 특히, 다른 직업적 위험으로부터 신체를 보호하기 위해 착용하는 의복과 개인보호구는 체내에서 외부 환경으로의 열 방출 및 수분 증발을 제한함으로써 열 관련 질환 발생의 위험을 증가시키고, 심할 경우 부상 및 사망 위험을 높일 수 있다. 의복 및 개인보호구의 추가적인 무게, 부피, 단열 효과는 고온·다습한 환경에서 격렬한 작업을 수행할 경우 열 스트레스 발생을 더 촉진하는 요인으로 작용하며, 착용 방식과 밀폐 정도는 체내에서 생성되는 대사열의 축적에 직접적인 영향을 미친다(Morrissey et al., 2021).

ACGIH는 작업 강도에 따라 물질대사율을 5가지 범주로 구분하고, 의복의 형태에 따른 clothing adjustment

values(CAV)를 적용하여 WBGT에 보정값을 더한 WBGT_{eff}를 제시하고 있다. 구체적으로, 직물 소재의 반소매·반바지 착용 시 -1°C, 폴리에스테르 재질의 전신 보호복은 1°C, 이중 직물 작업복은 3°C, 두건이 포함된 일회용 방습 보호복은 11°C의 보정값을 적용하도록 권고하고 있다(ACGIH, 2026). KOSHA도 의복 형태에 따라 겨울 작업복 또는 이중 천 작업복은 4°C, 가벼운 수증기 방지복은 6°C, 두건과 장갑으로 밀폐된 전신 보호복의 경우 10°C의 온도 보정을 적용하고 있다.

이러한 국내외 연구 결과를 종합하여, 본 연구에서는 폭염의 유해도를 작업 강도(A)와 작업복 및 개인보호구 착용 수준(B)으로 구분하고, 두 요인의 조합을 통해 유해도를 분류하였다. 작업복 및 개인보호구에 따른 유해도는 도장·용접 작업 또는 밀폐공간 작업과 같이 전신 보호구 착용이 필수적인 경우를 ‘고유해(H)’로 분류하였으며, 반면형 마스크 등 일부 보호구를 착용하는 경우는 ‘중유해(M)’, 통풍이 원활한 일반 작업복을 착용하는 경우는 ‘저유해(L)’로 분류하였다(Table 1).

2) 폭염 노출 시간 등급 구분

폭염 위험을 결정하는 또 다른 요인은 작업자가 작업 중 폭염에 노출되는 시간이다. 그러나 실제 폭염 노출 시간은 작업 방법, 작업 조건 등 작업장 환경에 따라 달라지는 특성이 있다. 본 연구에서는 고온 노출 시간을 하루 전체의 누적시간이 아니라 한 시간 중 작업자가 고온환경에 실제로 노출된 시간의 비율로 정의하였다. 이는 고용노동부 고시의 매시간 작업·휴식 시간비와 ACGIH의 시간당 작업비율 개념을 반영하였다(MoEL, 2025; ACGIH, 2026). 고온작업장 내부에서의 대기시간은 신체활동이 없더라도 환경열 노출이 지속되므로 고온노출 시간에 포함하며, 냉방 또는 충분히 시원한 장소에서의 휴식만을 인정해야 한다.

Table 2. Exposure potential levels based on the exposure rate

Exposure level	Exposure rate (exposure time (min)/hr)
E1 (Low)	≤25% (0~15)
E2 (Moderate)	>25~50% (>15~30)
E3 (High)	>50~75% (>30~45)
E4 (Very high)	>75~100% (>45~60)

폭염 노출 수준은 Table 2와 같이 1시간의 작업시간을 기준으로 시간당 15분 미만, 15~30분, 30~45분, 45분 이상으로 구분하여 4단계로 분류하였다.

3) 폭염 위험 작업장 분류

작업 강도와 작업복·호흡보호구를 결합하여 산출한 열부하 등급(Table 1)과 매시간 고온환경 노출율(Table 2)을 조합하여 Table 3의 매트릭스를 통해서 작업 환경의 위험도를 I~IV등급으로 분류하였다. 열부하가 높고 시간당 고온환경에 노출되는 비율이 증가할수록 위험등급은 상승한다. 작업 환경의 위험등급이 높을수록 우선적인 개선 필요성을 나타내며, 실제 작업장에 적용되는 작업·휴식 시간의 기준은 당일 작업장 온도에 따라 결정된다.

4) WBGT와 체감온도(AT)의 관계

폭염 위험 등급이 높고 기온이 증가함에 따라 노동자의 작업 가능 시간은 감소하며, 이에 비례하여 휴식 시간의 확보가 요구된다. ISO(2017)와 NIOSH(2016)에 따르면, 열에 순응된 노동자가 일반 작업복을 착용한 상태에서 보통 수준의 육체노동을 수행할 경우, 작업 환경 온도가 28°C 이상에서부터 건강 위험이 유의하게 증가한다. 또한 ACGIH(2026)와 고용노동부(MoEL, 2020)는 고강도 작업의 허용 한계 온도를 30°C로 제시하고 있다.

폭염 위험 등급이 높아지고 기온이 상승할수록 노동자의 작업 가능 시간은 감소하며, 이에 비례하여 충분한 휴식 시간의 확보가 요구된다. 그러나 산업 현장에서는 WBGT 측정 장비를 상시로 설치·운영하기 어렵다는 현실적 한계가 존재하며, 이에 따라 제도적 기준의 현장 적용에 제약이 발생한다. 이러한 한계를 보완하기 위해 본 연구는 기상청의 공공 기상자료를 통해 산출이 용이한 체감온도를 대체 지표로 활용할 가능성에 주목하였다. 체감온도는 기온과 습도를 기반으로 산정되며,

기상청의 폭염 특보 발령 시 고용노동부가 작업 및 휴식 기준으로 활용하고 있다. 또한, 현장에서는 복잡한 계산 과정 없이 기온과 습도에 따른 표를 이용하여 체감온도를 직관적으로 파악하고 활용할 수 있다는 장점이 있다.

다만, 체감온도는 흑구온도를 직접 반영하지 못한다는 한계가 있으며(Equation 1), 직사광선 조건에서는 기온 대비 흑구온도가 최대 약 5.1~5.4°C까지 높게 나타날 수 있다는 선행 연구 결과가 보고된 바 있다(Park et al., 2008). 이에 본 연구에서는 일반적인 실외 환경과 산업현장의 다양한 열환경을 모두 반영하기 위하여 a1-a4 문헌자료 (d'Ambrosio Alfano et al., 2014)와 실측자료(a5-a14)를 활용하여 분석을 수행한 결과는 Table 4와 같다. 문헌자료와 실외 실측자료(a5-a9)는 ISO 7243에서 제시하는 실외 WBGT 산정식(Equation 2)을 적용하였으며, 실내 실측자료(a10-a14)는 태양복사가 없는 환경에 적용되는 WBGT 산정식(Equation 3)을 적용하였다. 이는 각 자료가 측정된 환경 특성을 최대한 반영하면서 체감온도와 WBGT 간의 관계를 종합적으로 평가하기 위한 것이다.

$$AT = -0.2442 + 0.55399Tw + 0.45535Ta - 0.0022Tw^2 + 0.00278TwTa + 3.0 \quad (1)$$

AT : Apparent temperature, °C

Ta : Air temperature, °C

Tw : Natural wet bulb temperature, °C

$$Tw = Ta \cdot \tan^{-1}[0.151977(RH+8.313659)^{1/2}] + \tan^{-1}(Ta+RH) - \tan^{-1}(RH-1.67633) + 0.00391838RH^{3/2} \cdot \tan^{-1}(0.023101RH) - 4.686035$$

RH : Relative humidity(%)

$$WBGT = 0.7Tw + 0.2Tg + 0.1Ta(out) \quad (2)$$

$$WBGT = 0.7Tw + 0.3Tg(in) \quad (3)$$

Ta : Dry-bulb temperature, °C

Tg : Black globe temperature, °C

Tw : Natural wet bulb temperature, °C

분석 결과, WBGT와 체감온도 간의 결정계수(R²)는

Table 3. Matrix of heat-related hazardous work environment classification based on health hazard level and exposure level

Health hazard level Exposure level	L	M	H	VH
E1	I	I	II	III
E2	I	II	III	IV
E3	II	III	IV	IV
E4	III	IV	IV	IV

0.8870으로 나타나 체감온도가 WBGT를 높은 수준으로 설명하는 것으로 확인되었으며($F = 62.78$, $p < 0.0001$), 이를 바탕으로 다음과 같은 회귀식을 도출하였다 (Equation 4).

$$\text{WBGT}(^{\circ}\text{C}) = -0.04783 + 0.83075 \times \text{AT}(^{\circ}\text{C}) \quad (4)$$

결정계수 0.8870은 체감온도가 WBGT 변동의 약 88.7%를 설명함을 의미한다. 이는 체감온도가 WBGT를 상당히 잘 반영하는 지표임을 보여주며, 특히 열 스트레스의 정밀한 생리학적 평가보다는 작업 중지, 작업 강도 조절 및 휴식 시간 부여와 같은 폭염 대응을 위한 관리적 의사결정을 목적으로 활용하기에 충분한 설명력을 갖는 것으로 판단된다. 또한 회귀모형은 통계적으로 유의하였으며, 체감온도가 WBGT의 유의한 예측변수임을 확인하였다. 이상의 결과를 종합하면, 체감온도는 고

가의 WBGT 측정장비를 상시 운용하기 어려운 현장에서 폭염 위험 수준을 신속하게 판단하고, 작업 제한, 작업시간 조정 및 휴식 여부를 결정하기 위한 실무적인 대체 지표로 활용될 가능성이 있음을 시사한다.

5) 폭염 위험 등급에 따른 작업/휴식 기준

ISO(2017)와 NIOSH(2016)에 따르면, 열에 순응된 노동자가 일반 작업복을 착용하고 중등 수준의 육체노동을 수행할 경우 작업 환경 온도가 28°C 이상에서 건강 위험이 유의하게 증가한다. 미 육군(TRADOC, 2023)의 작업·휴식 지침에 따르면, 경작업의 경우 최대 4단계까지 지속 작업이 허용되나, 중등 작업은 3단계까지만 허용되며, 최고 단계(5단계)에서는 훈련시간을 시간당 10분으로 엄격히 제한하고 있다. 또한 ACGIH(2026)와 고용노동부(MoEL, 2020)는 고강도 작업의 허용 한계 온도를 30°C 수준으로 제시하고 있다. 산업안전보건기

Table 4. Comparison of WBGT and AT according to condition

Condition	Ta* (°C)	Tg (°C)	RH† (%)	Tw† (°C)	WBGT‡ (°C)	AT§ (°C)
a1(Literature)	30	30	35	19.4	22.6	28.0
a2(Literature)	35	35	35	23.1	26.7	32.7
a3(Literature)	40	40	34	26.6	30.6	37.4
a4(Literature)	45	45	31	29.5	34.2	41.7
a5(Outdoor)	31.6	35.4	62	27.2	29.6	33.3
a6(Outdoor)	32.0	37.2	62	24.4	27.6	33.8
a7(Outdoor)	33.0	40.4	52	24.3	28.8	34.1
a8(Outdoor)	34.1	42.1	48	24.8	29.2	34.7
a9(Outdoor)	34.4	42.5	44	24.8	29.3	34.6
a10(Indoor)	31.6	31.8	67	27.8	28.90	32.7
a11(Indoor)	31.0	31.1	66	26.7	28.00	32.0
a12(Indoor)	30.6	30.9	68	26.6	27.90	31.7
a13(Indoor)	30.9	31.2	68	27.4	28.60	32.0
a14(Indoor)	31.1	28.5	70	24.4	25.7	33.7

*Ta: Air temperature, †Tw: Natural wet bulb temperature, †RH: Relative humidity, §AT: Apparent temperature,

‡WBGT: Wet Bulb Globe Temperature

Table 5. Work/rest (per hour) based on WBGT, AT, and class of heat-related hazardous work environment class

WBGT	AT	Work/rest (per hour)			
		Class I	Class II	Class III	Class IV
≤25.0℃	≤ 30.2℃	60/0	60/0	60/0	45/15
>25.0-25.9℃	>30.2-31.2℃	60/0	60/0	45/15	30/30
>25.9-26.7℃	>31.2-32.2℃	60/0	60/0	30/30	15/45
>26.7-27.9℃	>32.2-33.6℃	60/0	45/15	30/30	15/45
>27.9-28.0℃	>33.6-33.8℃	60/0	45/15	15/45	Work stoppage
>28.0-29.4℃	>33.8-35.5℃	60/0	30/30	15/45	Work stoppage
>29.4-30.0℃	>35.5-36.2℃	60/0	15/45	15/45	Work stoppage
>30.0-30.6℃	>36.2-36.9℃	45/15	15/45	Work stoppage	Work stoppage
>30.6-31.1℃	>36.9-37.5℃	30/30	15/45	Work stoppage	Work stoppage
>31.1-31.4℃	>37.5-37.9℃	30/30	Work stoppage	Work stoppage	Work stoppage
>31.4-32.2℃	>37.9-38.8℃	15/45	Work stoppage	Work stoppage	Work stoppage
>32.2℃	> 38.8℃	Work stoppage	Work stoppage	Work stoppage	Work stoppage

준에 관한 규칙에서는 체감온도 31℃ 이상을 폭염 작업으로 정의하고, 33℃ 이상일 경우 2시간당 20분 이상의 휴식 부여를 의무화하고 있다. 체감온도 기반의 폭염 대응 권고사항으로는 주의보 단계에서 10분 휴식, 경보 단계에서 15분 휴식 및 14시~17시 옥외작업 중지 권고, 위험 단계에서 15분 휴식 및 필수 작업을 제외한 옥외작업 중지가 포함된다(TRADOC, 2023; MoEL, 2025; ACGIH, 2026). WBGT와 AT의 상관성 분석에 따른 관계식과 국내외 제도적 기준을 종합하여

폭염 작업 환경에 대한 관리 기준은 Table 5와 같다. 폭염 위험 작업 환경 등급(I~IV급)에 따른 작업·휴식 시간을 제시하였다.

3. 폭염 위험 작업 장소에 대한 평가 결과

작업 현장의 온도와 노동자의 작업 강도를 측정한 결과를 바탕으로 폭염 위험 환경을 평가한 결과는 Table 6에 제시하였다. 총 9개 직종을 대상으로 폭염 위험 장소 등급에 따른 작업·휴식 시간을 산정하고 이를 고용

Table 6. Assessment of heat stress and work-rest regimens based on WBGT and AT measurements

Year	Date	Area	WBGT (℃)	A.T. (℃)	Workload	Excessive heat risk intensity	Actual work time	Result (class)	Work/Rest (per hour)	MoEL code work/rest (per hour)
2024	7.22	Delivery (Out)	31.4	37.85	Heavy	H	E2	III	Work stoppage	Work stoppage
2024	7.23	Road cleaner (Out)	31.4	37.85	Heavy	VH	E3	IV	Work stoppage	Work stoppage
2024	7.25	Engine room - painter (In)	28.1	33.9	Heavy	VH	E4	IV	Work stoppage	15/45
2024	7.30	Cook (In)	30.7	37.01	Moderate	H	E4	IV	Work stoppage	15/45
2024	8.8	Road maintenance (Out)	34.1	41.10	Heavy	VH	E2	IV	Work stoppage	Work stoppage
2024	8.12	Construction (Out)	32.4	39.05	Heavy	H	E4	IV	Work stoppage	Work stoppage
2024	8.13	Injection (In)	29.1	35.08	Moderate	M	E4	IV	Work stoppage	30/30
2022	8.17	Building cleaner (In)	30.1	36.29	Moderate	M	E3	III	Work stoppage	15/45
2022	8.18	Building security guard (Out)	31.6	38.09	Light	L	E3	II	Work stoppage	15/45

노동부의 작업·휴식 기준과 비교하였다. 사업장별 규모와 공학적 제어설비 수준에는 차이가 존재하였으나, 환경적 변수를 최소화하기 위해 모든 현장 측정은 폭염 노출이 가장 높은 시간대인 12:00~14:00에 수행하였다. 이를 통해 사업장 간 환경 차이에 따른 영향을 최소화하고 폭염 위험 장소 평가기준의 현장 적용성을 비교하였다. 평가 결과, 본 연구 결과 기준을 적용하면 전체 9개 직종 모두가 작업 중지 대상으로 판정되었다. 고용노동부 고시 기준과 일치하는 직종은 배달 작업, 도로 청소 및 유지보수 작업 그리고 건설 작업이었다. 반면, 선박 엔진실 도장, 조리, 사출, 건물 청소 및 건물 경비 등 5개 직종은 고용노동부 기준에서는 각각 15/45분 또는 30/30분의 작업·휴식이 가능한 것으로 평가되었다. 특히, 사출 작업은 WBGT 29.1℃의 중등작업으로서 고용노동부 기준에서는 시간당 30분 작업과 30분 휴식이 적용되지만, 본 연구에서는 작업 강도, 보호구 부담 및 기존 노출 비율을 종합한 결과 IV급 장소로 분류되어 작업 중지 대상으로 평가되었다. 이러한 차이는 온도와 작업 강도만을 중심으로 판단하는 기존 기준과 달리 작업복·호흡보호구 및 실제 노출 비율을 선행적으로 반영하기 때문에 나타난 결과라 볼 수 있다. 따라서, 본 기준은 복합적인 열 부담이 존재하는 작업을 보다 보수적으로 판별하여 기존 기준에서 발생할 수 있는 관리 공백을 줄일 가능성이 있음을 시사한다.

IV. 고 찰

본 연구는 폭염 위험 장소를 구분하여 사업장에서 관리할 수 있는 방법론을 제시하고, 실제 현장 평가를 통해 그 적용성을 확인하고자 수행되었다. 기존의 WBGT 기반 관리는 고가의 측정 장비와 전문적인 측정 절차로 인해 모든 사업장에서 실시간으로 위험을 감지하고 즉각 대응하기에는 현실적인 한계가 존재해 왔다. 이러한 한계를 보완하기 위해 본 연구에서는 온열 지표 중 체감온도(AT)를 최종 평가지표로 선정하였다. 특히 기후변화로 인해 국내 작업 환경이 점차 고온다습해짐에 따라 기온뿐만 아니라 상대습도를 중요하게 반영하는 체감온도는 인체가 실제로 느끼는 열 부담을 평가하는 데 매우 효과적이다. 체감온도는 기상청 등 공공 데이터를 통해 별도의 고가 장비 없이도 실시간 확보가 가능하며, 이러한 접근성은 현장 관리자가 폭염 위험에 대해 즉각적인 의사결정을 내릴 수 있게 한다는 점에서 관리

적 실효성이 매우 크다. 현재 고용노동부는 고열 작업장에 대해 작업과 휴식 시간의 비를 고시로 정하고 있으나 해당 고시는 신규근무자와 온열 적응자와의 차이가 고려되지 않고 있으며, 이 규정은 ACGIH 노출기준의 순응자와 미순응자의 중간값을 취하고 있다(Ma et al., 1999). 또한, 이 기준은 사업장 내 작업 환경측정 기준으로 사용하고 있으나 작업과 휴식 시간을 구분하는 기준으로는 사용하지 않고 있다. 산업안전보건법 개정으로 인해 폭염에 대한 위험 관리 의무를 사업주에게 부여하고 있으며, 산업안전보건기준에 관한 규칙 개정안이 논의되고 있는 현실이다. 하지만, 사업장 규모 및 노동자들이 일하는 장소 그리고 노동자들의 업무 특성을 고려하지 않고 일괄적 기준을 정하여 휴식 시간을 배분하거나 관리하는 것은 매우 비합리적이라고 할 수 있다. 따라서, 사업장에서 폭염 위험 장소 및 직무를 우선 파악하고 이에 따라 적절히 관리하는 것은 매우 중요하다. 고온에 노출된 노동자와 그렇지 않은 노동자와 위험 관리 차이가 없었다고 하였으며, 이를 위해서는 업무별로 작업 강도를 표준화하고 환경 및 작업자 요인 변수에 따라 위험성평가를 강화해야 한다고 하였다(Sim, 2024).

이번 연구 결과 폭염 위험 장소 등급에 따라 적정 작업시간과 휴식 시간을 고용노동부 고시와 비교해 보면 차이가 있음을 알 수 있다. 예를 들어 사출 작업은 중등작업, 폭염 유해도(M) 및 실제 노출등급(E4)의 조합에 따라 폭염 위험 장소 IV급으로 분류되었다. 측정 WBGT는 29.1℃로, 본 연구 기준에서는 작업 중지 대상으로 판정되었으나 고용노동부 기준에서는 시간당 30분 작업과 30분 휴식이 적용된다. 또한, 9개 직종 중 5개에서 작업·휴식 기준이 다르게 나타났으며, 고용노동부 기준보다 보수적으로 평가되었다. 다만, 관리적 대책 전에 폭염 위험 장소에서 냉각 장치 등의 공학적 개선으로 실내 온도를 낮추는 것이 중요하다. 공학적 개선이 어려운 상황이라면 작업과 휴식 시간의 적절한 배분을 통해 노동자 건강을 보호해야 한다. NIOSH (2016)는 휴식 시간의 중요성에 대해서 더 짧은 시간 동안 일하고 적절한 휴식을 취하면 신체의 열 축적이 느려지므로 열 통제를 위해서는 작업과 휴식 시간 조절이 필요하다고 하였다(NIOSH, 2016). Parajuli et al.(2025)은 더 잦은 휴식은 열 관련 질환의 위험을 크게 줄일 수 있어 규정된 열 관련 휴식을 반드시 이행한다. 따라서, 화장실 이용 접근성은 수분 섭취 및 배출을

도와 열질환 예방에 중요한 요소이지만, 그들 공간과 가까이 붙어 있으면 오히려 노동자가 그늘에서 쉬는 것을 꺼리게 되어 회복에 방해가 될 수 있다고 하였다 (Parajuli et al., 2025).

OSHA(2024)는 2017년부터 2022년까지 211건의 열 관련 문제로 발생한 노동자 사망을 조사한 결과 증상이 발생한 노동자를 방지하는 경우나 휴식 시간을 허용하지 않은 경우, 작업장에서 충분한 식수를 제공하지 않은 경우 및 냉각 조치가 없었던 경우라고 하고 있어 공학 및 관리적 대책이 적극적으로 요구된다. 특히, 전 지구적인 기후 변화로 인해 폭염의 강도와 빈도가 급증하는 상황은 더 이상 일시적인 자연현상이 아닌 노동자의 생존을 위협하는 상시적인 위험 요소로 인식되어야 한다. 이러한 기후 위기 상황에서 사업장 내 폭염 위험 관리 예방 프로그램의 도입은 필수적이다. 신새미 등 (2023)은 한 개의 유해요인을 관리하기 위해서는 다양한 규정을 하나의 프로그램으로 묶을 필요가 있으며, 폭염 노출 평가를 통해 사업장에서 일련의 위험성 자율 관리를 수행하게 하는 프로그램 방식이 높은 실효성이 있을 것이라 하였다(Shin et al., 2022).

이번 연구는 폭염 위험 장소를 선정하기 위한 것으로 고온 미순응자에게 적용할 수가 없는 한계가 있다. 감시기준을 통해 고온 미순응자에 대해서는 별도의 권고 기준을 제시하고 있으며(NIOSH, 2016; ACGIH, 2026) 고온에 적응하기 위한 프로그램 도입이 필요하다(Armstrong et al., 2007). 폭염과 관련한 생리학, 직업보건, 의학 전문가 51명이 모여 현장 노동자를 보호하기 위한 권고사항을 40개로 만들고 그것을 8개로 분류하였는데 이 중 신규 작업자에 대해서는 5~7일의 적응 계획을 수립하여 시행하고, 고온 적응의 이점에 대해 교육을 할 것을 권고하였다(Margaret et al., 2021). 또한, 고령자를 포함한 온열질환 취약군에 대해서는 추가적인 휴식 시간 부여가 요구된다. 지역에 따라 열 노출 및 적응 수준이 다르기 때문에, 각 지역에 맞는 WBGT 임계값은 서로 다를 수 있으며, 그에 따라 초과 빈도와 휴식 시간도 달라질 수 있다고 하였다 (Parajuli et al., 2025). 이는 향후 연구 과제이기도 하다. 본 연구에서 도출된 WBGT와 체감온도(AT) 간의 회귀식은 결정계수 0.8870으로 높은 설명력을 보였으나, 분석에 사용된 시료수(n=14)가 한정적이라는 한계점이 있다. 이는 특정 환경 조건 하에서의 결과이므로 향후 보다 다양한 기상 조건과 광범위한 현장 데이터를

확보하여 해당 회귀식의 범용성을 검증하는 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 체감온도는 기온과 습도를 기반으로 산정되는 지표로서 혹우온도에 의한 복사열 영향을 직접 반영하지 못하므로 용광로·주조·가열공정 등 복사열이 강한 작업 환경에서는 WBGT 측정 또는 혹우온도를 고려한 추가적인 평가와 함께 활용하는 것이 바람직하다. 그럼에도 불구하고, 이미 산업안전보건법 및 관련 가이드에서 폭염 대응 기준으로 체감온도를 채택하여 사용하고 있다는 점을 고려할 때 본 연구의 결과는 현재 법령에서 시행 중인 체감온도 기반의 관리체계를 실제 사업장 내 작업 환경과 업무 특성에 맞춰 위험을 관리할 수 있는 근거가 될 수 있다. 이는 향후 관련 규칙 개정 시 이론적 기준에 머물지 않고 현장 관리자가 즉각적으로 실행 가능한 실질적인 폭염 대응 정책을 수립하는 데 핵심적인 근거 자료로 활용될 수 있을 것이다.

V. 결 론

본 연구는 산업 현장의 폭염 노출 노동자를 보호하기 위해 체감온도를 활용한 현실적인 폭염 관리 방안을 제시하고자 수행되었다. 연구를 통해 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

첫째, 작업 강도, 작업복 및 보호구 착용 유무 그리고 노출 시간을 종합적으로 반영하여 사업장 내 폭염 위험 장소를 4단계 등급으로 구분하였다. 이는 일괄적인 기준 적용의 한계를 극복하고 장소별 맞춤형 위험 관리를 가능하게 한다. 둘째, 고가의 측정 장비가 필요한 WBGT 대신, 현장에서 실시간으로 산출할 수 있는 체감온도를 평가지표로 도입하여 위험 등급별 적정 작업 및 휴식 시간 기준을 수립하였다. 셋째, 현장 평가 결과 노동자의 실제 작업 강도와 보호구 착용 상태에 따라 위험 등급과 휴식 시간이 차이가 있음을 확인하였다. 이는 기존 고용노동부 가이드라인보다 현장 실정을 상세히 반영하여 온열질환 예방의 실효성을 높일 수 있음을 시사한다. 결론적으로, 폭염이라는 기후 재난으로부터 노동자의 건강권을 확보하기 위해서는 사업장 내 위험 장소를 사전에 분류하고 등급별로 위험을 관리하는 것이 합리적이며 타당하다.

감사의 글

이 논문은 2025~2026년도 국립창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.

References

- American College of Sports Medicine, Armstrong LE, Casa DJ, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(3): 556–572. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31802fa199>
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). 2026 TLVs and BEIs: threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices. Cincinnati, OH: ACGIH; 2026. p. 239–242
- d'Ambrosio Alfano FR, Malchaire J, Palella BI, Riccio G. WBGT index revisited after 60 years of use. *Ann Occup Hyg* 2014;58(8):955–970 <https://doi.org/10.1093/annhyg/meu050>
- Gautam Biswas, Recent Advances in Forensic Medicine & Toxicology vol 3. Chapter 8. Autopsy Diagnosis of Death from Heat Stroke, 2022
- Höppe P. The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int J Biometeorol* 1999;43(2):71–75 <https://doi.org/10.1007/s004840050118>
- International Labour Organization(ILO). Heat at work: implications for safety and health: a global review of the science, policy and practice. Geneva: ILO; 2024. p. 1–89
- ISO, Ergonomics of the thermal environment — Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index(Edition 3, 2017)
- Kang MS, Belorid M, Kim KR. Development of impact-based heat health warning system based on ensemble forecasts of perceived temperature and its evaluation using heat-related patients in 2019. *Atmosphere* 2020;30(2):195–207 <https://doi.org/10.14191/Atmos.2020.30.2.195>
- Kenney WL, Craighead DH, Alexander LM. Heat waves, aging, and human cardiovascular health. *Med Sci Sports Exerc* 2014;46(10):1891–1899 <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000325>
- Korea Disease Control and Prevention Agency(KDCA). 2024 annual report on heat-related illness surveillance due to heatwaves. Cheongju: KDCA; 2025
- Korea Meteorological Administration(KMA). Apparent temperature[Internet]. Daejeon: KMA, National Climate Data Center; c2015 [cited 2024 08 13]. Available from: <https://data.kma.go.kr/climate/windChill/selectWindChillChart.do>
- Korea Meteorological Administration(KMA). Glossary of terms for climate change monitoring. Seoul: KMA; 2017
- Korea Meteorological Administration(KMA). Number of heatwave days[Internet]. Daejeon: KMA, National Climate Data Center; c2015 [cited 2025 03 13]. Available from: <https://data.kma.go.kr/climate/heatWave/selectHeatWaveMixChart.do?pgmNo=674>
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). Guidelines for managing high-temperature work environments(KOSHA GUIDE W-12-2017). Ulsan: KOSHA; 2017. p. 1–12
- Lee JS, Song MK, Kim HE. Physiological responses and subjective sensations by age through seasonal condition. *J Korean Soc Cloth Ind* 2009;11(5): 833–839
- Ma SJ, Lee NW, Seul SD, Lee JW. A study of heat stress characteristics on workers in hot workplace by WBGT index. *J Korean Soc Saf* 2000;15(1):112–120
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical agents(MoEL Public Notice No. 2020-48). Sejong: MoEL; 2020
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Ministry of Employment and Labor[Internet]. Sejong: MoEL; c2021 [cited 2025 03 12]. Available from: <https://www.moel.go.kr/index.do>
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Occupational Safety and Health Act. Sejong: Ministry of Government Legislation; 2025
- Ministry of Government Legislation(MOLEG). Serious Accidents Punishment Act. Sejong: MOLEG; 2025
- Ministry of National Defense(MND). Ministry of National Defense Facebook[Internet]. Seoul: MND [cited 2025 03 12]. Available from: <https://www.facebook.com/MNDKOR>
- Ministry of the Interior and Safety(MOIS). Framework Act on the Management of Disasters and Safety. Sejong: Ministry of Government Legislation; 2025
- Morrissey, Margaret C et al. “Heat Safety in the Workplace: Modified Delphi Consensus to Establish Strategies and Resources to Protect the US Workers.” *GeoHealth* vol. 5,8 e2021GH000443. 1 Aug. 2021, doi:10.1029/2021GH000443
- National Institute for Occupational Safety and

- Health(NIOSH). Criteria for a recommended standard: occupational exposure to heat and hot environments. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, NIOSH; 2016. DHHS(NIOSH) Publication No. 2016-106
<https://doi.org/10.26616/NIOSH-PUB2016106>
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Heat injury and illness prevention in outdoor and indoor work settings; proposed rule. Fed Regist 2024;89(169):70698-71073
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Heat-hazard recognition[Internet]. Washington, DC: U.S. Department of Labor, OSHA [cited 2025 03 13]. Available from:
<https://www.osha.gov/heat-exposure/hazards>
- Paik NW. Introduction to industrial hygiene. 2nd ed. Seoul: Shinkwang Publishing; 2003
- Parajuli SP, Biggs T, Lopez Galvez N, Quintana P, Ciborowski H, et al. Heat-related rest-break recommendations for farmworkers in California based on wet-bulb globe temperature. Commun Earth Environ 2025;6:359
<https://doi.org/10.1038/s43247-025-02327-9>
- Park JK, Jung WS, Kim SC, Park GU. On the characteristics of globe temperature variation observed at downtown in summer season. J Environ Sci Int 2008;17(8):907-918
<https://doi.org/10.5322/JES.2008.17.8.907>
- Shin SM, Byun SH, Shim SH. A study on measures to improve prevention of health disorders due to heatwaves and cold waves. Ulsan: Occupational Safety and Health Research Institute; 2022
- Sim HT. A study on factors influencing heat stress among maintenance workers at a thermal power plant. Master's thesis, Catholic University of Pusan, Busan. 2025
- Sun Z, Chen C, Xu D, Li T. Effects of ambient temperature on myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis. Environ Pollut 2018;241:1106-1114
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.045>
- U.S. Army Training and Doctrine Command(TRADOC). TRADOC Regulation 350-29: prevention of heat and cold casualties. Fort Eustis, VA: Headquarters, U.S. Army Training and Doctrine Command; 2023
- Woo KS, Kim DE, Chae SM. High temperature-related mortality in Korea: a meta-analysis of the empirical evidence. Health Soc Welf Rev 2019;39(2):10-36
<https://doi.org/10.15709/hswr.2019.39.2.10>

<저자정보>

김병훈(민주노총 경남지역본부), 이나은(순천제일대학교 교수), 하권철(국립창원대학교 첨단바이오학부 교수)