

## 신규 고열 위험 업종 선정을 위한 우선순위 및 온열 위험 평가

신새미 · 이혜민<sup>1</sup> · 기노성<sup>1</sup> · 박정민<sup>2</sup> · 변상훈<sup>2\*</sup> · 김성호<sup>3</sup>

고려대학교 보건과학연구소, <sup>1</sup>고려대학교 보건과학대학 보건안전융합학과

<sup>2</sup>고려대학교 보건과학대학 보건환경융합과학부, <sup>3</sup>안전보건공단 산업안전보건연구원 직업환경연구실

## Prioritizing for Selection of New High-heat Risk Industries and Thermal Risk Assessment

Saemi Shin · Hea Min Lee<sup>1</sup> · Nosung Ki<sup>1</sup> · Jeongmin Park<sup>2</sup> · Sang-Hoon Byeon<sup>2\*</sup> · Sungho Kim<sup>3</sup>

*Research Institute of Health Sciences, Korea University*

<sup>1</sup>*Health and Safety Convergence Science Introduction, College of Health Science, Korea University*

<sup>2</sup>*Department of Health and Environmental Science, College of Health Science, Korea University*

<sup>3</sup>*Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency*

### ABSTRACT

**Objectives:** The climate crisis has arrived and heat-related illnesses are increasing. It is necessary to discover new high-heat risk industries and understand the environment. It is also necessary to prioritize risks of industries that have not been included in the management target to date. The study was intended to monitor and evaluate the thermal risk of high-priority workplaces.

**Methods:** A prioritization method was developed based on five factors: occurrence of and death due to heat-related illnesses, work environment monitoring, indoor work rate, small heat source, and limited heat dissipation. It was applied to industrial accidents caused by heat-related illnesses. Wet bulb temperature index and apparent temperature were measured in July and August at 24 workplaces in seven industries and assessed for thermal risk.

**Results:** The wet bulb temperature index was in the range of 23.8~31.9°C, and exposure limits were exceeded in the growing of crops, food services activities and accommodation, and building construction. The apparent temperature was in the range of 26.8~36.7°C, and exceeded the temperature standard for issuing heatwave warnings in growing of crops, food services activities and accommodation, warehousing, welding, and building construction. Both temperature index in growing of crops and building construction were higher than the outside air temperature.


**Conclusions:** In the workplace, risks in industries that have not been controlled and recognized through existing systems were identified. It is necessary to provide break times according to the work-rest time ratio required during dangerous time period.


**Key words:** apparent temperature, indoor, prioritization, wet bulb globe temperature


\*Corresponding author: Sang-Hoon Byeon, Tel: 02-3290-5693, E-mail: shbyeon@korea.ac.kr


Department of Environmental Health, College of Health Science, Korea University, 145, Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02841


Received: May 8, 2023, Revised: June 2, 2023, Accepted: June 30, 2023


 **Saemi Shin** <http://orcid.org/0000-0003-2473-3244>

 **Nosung Ki** <http://orcid.org/0000-0002-0618-933X>

 **Sang-Hoon Byeon** <http://orcid.org/0000-0001-8641-9352>

 **Hea Min Lee** <http://orcid.org/0000-0001-9257-6434>

 **Jeongmin Park** <https://orcid.org/0009-0006-3286-9204>

 **Sungho Kim** <https://orcid.org/0000-0002-0158-1244>

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

인간의 심부체온은 작업량 또는 대사율에 비례하여 증가하므로 덥고 습한 조건에서 작업하는 근로자는 온열질환 발생위험이 높아지게 된다(Armstrong et al., 2007). 또한 근로자의 고온 노출은 질병 발생에만 기여하는 것이 아니라 노동생산성 및 효율의 감소(Sett & Sahu, 2014)와 직업적 사고(Tawatsupa et al., 2013)도 유발할 수 있다.

한국 산업안전보건법제 상으로 작업 현장에서 사람에게 건강장해를 유발할 정도의 열은 산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 '안전보건규칙') 제558조에서 '고열'로 정의하여 관리대상으로 지정하고 있다. 다만 고열을 관리해야 할 의무가 모든 사업장에 부과되지는 않는다. 일정 수준의 관리를 요하는 작업들을 한정하여 제559조 상의 '고열작업'으로 지정하고 있으며, 이에는 주로 일중 연속 가동하는 강력하고 대형의 열원 주변의 작업이 포함되어 있다.

기후 위기가 심화되면서 제559조 상의 고열작업 범주만으로 고열로 인한 건강장해를 예방하는 데 한계가 있을 수 있다. 근로복지공단 산재보험 최초요양신청 승인데이터에 나타난 2016~2020년 산업재해 현황에서 고열에 의한 질환에서 기인한 산업재해 중 가장 높은 비율을 차지하는 업종은 제559조상의 고열작업으로 지정되어 있지 않은 건설업으로 확인된다(Shin et al., 2022).

기후 위기가 열 스트레스를 증가시키며, 옥외 작업자에게 더 크게 작용한다는 사실은 많은 연구를 통해 밝혀져 왔다(Lundgren et al., 2013; Acharya et al., 2018; Moda et al., 2019; Habibi et al., 2021). 2017년 안전보건규칙 개정을 통해 옥외에서의 폭염 노출에 의한 건강장해를 예방하는 조항이 고열작업 관련 조항과 별개로 추가되었고, 산업안전보건연구원에서 2014년과 2019년에 옥외 노동자를 대상으로 폭염 위험에 관한 연구를 수행하였다(Park et al., 2014; Lee et al., 2019b). 이처럼 국내에서의 행정조치와 정책연구 또한 근래 옥외 작업자를 위주로 이루어져 왔다.

그러나 고열작업과 옥외 작업의 범주에 들지 않는 산업 또한 온열환경 관리 필요성이 최근 확인되고 있다. 미국 산업안전보건청이 작업장의 특정 위험 요소에 대한 지원과 검사를 위해 운영하는 국가 강조 프로그램(National Emphasis Programs, NEP)(Long et al., 2011)에서 대상 사업장 목록에 고열작업을 포함하

는 업종과 옥외 작업을 포함하는 업종 외에 가열된 금속을 직접 취급하지 않는 다양한 제조업, 창고업, 음식점업 등 다양한 옥내 사업장이 포함되어 있다(OSHA, 2022). 해당 목록은 온열질환 발병 건수 또는 발병률, 높은 사망 또는 입원 건수 등의 온열질환 위험성을 기반으로 작성되었으며, 고열작업과 옥외 작업의 범주에 들지 않는 산업에서도 온열질환의 위험이 존재함을 추정할 수 있다.

고용노동부는 2021년 택배·물류사와 폭염 관련 긴급 간담회를 개최하는 등 옥내 사업장의 온열질환 위험에 대해 국내에서도 상당 부분 가시화되어 있으며, 2022년에는 폭염 노출에 연관된 안전보건규칙(제566조)을 개정하여, 폭염 노출에 의한 건강장해 예방에 적용되었던 옥외 단서를 삭제함으로써, 고열작업을 수행하지 않는 옥내 사업장이 온열환경 관리 대상으로 포함되게 하는 사전예방적 조치를 단행하였다.

한국에서 온열환경 관리 대상으로 새롭게 주목된, 고열작업을 수행하지 않는 옥내 작업장의 온열환경은 많은 부분이 미지의 영역으로 남아 있다. 고열작업의 경우 작업환경측정의 대상이 되며, 옥외 작업장은 통풍, 일사, 온도 등에 관한 작업장 내 국소환경의 영향이 옥내 작업장에 비해 적어 기상자료의 활용성이 높은 반면, 고열작업을 수행하지 않는 옥내 작업장의 온열환경 파악에 기여하는, 공적으로 생산 및 반출되는 데이터는 전무하다 볼 수 있다.

온열질환이 발생하는 업종, 그중에서도 고열작업을 수행하지 않는 옥내 작업장의 온열환경을 파악할 필요가 있으며, 작업장 내 국소환경에 대한 파악이 전혀 이루어지지 않았던 만큼 이는 현장 조사 및 온도 실측을 통해 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 고열 위험 업종의 신규 발굴을 위해 이제껏 관리의 대상에서 포함되지 못하였던 업종을 위주로 온열환경 측정 및 위험 평가를 실시하고자 하며, 이에 앞서, 조사 비용을 경감하고 조사를 효율화하는 목적으로 위험성과 측정 필요성이 높은 사업장을 선별하기 위해 우선순위를 선정하고자 하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

#### 1) 사업장 우선순위 선정

사업장 우선순위 선정에 국가승인통계인 2019년도 작

업환경실태조사(승인번호 제380003호), 2017년도 근로환경조사(승인번호 제380002호), 공공데이터인 최근 5년간의 근로복지공단 산재보험 최초요양신청 승인데이터(2016~2020년, 2022년 7월 기준)를 활용하였다.

## 2) 일부 사업장 온열환경 측정

2016~2020년 근로복지공단 산재보험 최초요양신청 승인데이터 상 온열질환(상병코드 중분류 T67) 발병자 수가 1명 이상인 업종(총 39종)을 온열환경 위험 신규 업종 및 온열환경 측정 및 평가 대상으로서 1차 선정하였다. 이 때 업종의 분류는 고용보험 및 산업재해보상보험의 보험료징수 등에 관한 법률에 따라 고용노동부장관이 연도별로 고시한 사업종류(이하 '산재업종') 사업세목에 따랐다.

1차 선정 대상 업종에 본 연구를 통해 개발한 우선순위 선정 방법을 적용해 온열환경 측정 및 평가 대상 7개 업종을 최종 선정하였다. 최종 선정 업종에는 산재업종 상 음식 및 주점업, 창고업, 건축건설공사, 작물생산업, 강선건조 또는 수리업, 국가 및 지방자치단체의 사업, 그리고 뿌리산업 진흥과 첨단화에 관한 법률에 따른 용접산업(강선건조 또는 수리업 제외)이 포함되었다. 7개 업종 24개소를 대상으로 2022년 7월 22일부터 8월 26일 사이에 온열환경 측정을 수행하였다.

업종별 공정 및 단위작업장소는 섭외 대상 사업장 관계자와의 논의를 통해 해당 사업장 내에서 열에 의한 위험이 추정되는 공정으로 선정하였다. 작물생산업은 수경재배 및 토경재배 공정에 대해 비닐하우스에서, 음식 및 숙박업은 조리 공정에 대해 조리실에서, 창고업은 지게차 운전 공정에 대해 하역장과 실온창고에서 측정하였으며, 용접산업은 용접 공정에 대해 용접 장소에서, 건축건설공사는 자재준비 공정에 대해 적재장에서, 국가 및 지방자치단체의 사업은 현업업무에 대해 노상 및 노외에서, 강선건조 및 수리업은 조립 공정에 대해 조립 공장과 하역 공정에 대해 하역장에서 측정을 실시하였다.

## 2. 연구 방법

### 1) 온열환경 위험 업종 선정

온열환경 위험 업종 및 온열환경 측정 및 평가 대상의 최종 선정에는 온열질환에 대한 직업적 위험성에 관한 기존 연구들에서 이를 판별하는 기준으로 작용하여 온 발생 건수, 발생률, 사망 건수 등 건강 결과에 관한 요인을 기준으로 포함하였다. 또한 작업환경측정이라는 제도적 개입

의 우선순위 결정 측면에서, 정책우선순위 결정 시 고려 요인(Lee, 2007)을 선정 기준으로 도입하였다. 정책우선순위 결정 시 고려 요인 중 능률성(efficacy)과 시민통제(people control)에 대한 정부의 대응성에 대해, Lindblom(1980)은 정책 결정에 있어 이 두 가지 가치를 동시에 확보하는 것에 초점을 두어야 한다고 주장하였다. 본 연구에 당 개념을 적용하여 능률성은 본 연구의 측정 및 평가 활동 수행을 통한 작업환경 정보의 수집 효율이 극대화될 수 있도록 기존 제도의 접근성이 낮은 업종을 택하는 접근 취약성 요인으로, 시민통제에 대한 정부의 대응성은 이해당사자 또는 대중에 의한 정책 수요 요인으로 치환하였다.

이에 따라, 본 연구에 활용하는 우선순위 선정 요인은 크게 건강 영향 요인, 접근 취약성 요인, 정책 수요 요인으로 분류하였다. 각 요인 분류에 속하는 요인으로, 건강 영향 요인은 (1) 높은 온열질환 발병자 또는 사망자 수로 설정하였다. 사망의 발병에 대한 상대 가중치는 2로 설정하고 가중 합을 구한 후, 1차 선정 대상 업종의 전체 점수를 범위로 최대-최소 표준화를 실시하여 건강 영향 요인 점수로서 최종 산출하였다. 사망의 발병에 대한 상대 가중치는 산업안전보건법과 중대재해처벌에 관한 법률의 중대재해 정의상 사망자 1명과 중상자 2명의 가치가 동등한 것에 착안하여 제안하였다. 접근 취약성 요인은 (2) 작업환경측정 실시 여부, (3) 높은 옥내 작업률(기상데이터를 통한 온열환경 추정 어려움)로 동일 상대 가중치로 설정하였다. 작업환경측정 실시 여부는 산재업종 사업세목과 가장 유사한, 제10차 한국표준산업분류(통계청고시 제 2017-13호) 중분류를 1대 1 매칭하여, 해당 한국표준산업분류 중분류에 대해 2019년도 작업환경실태조사에서 '고열작업'으로 분류된 사업장이 10개소 이상인지를 기준으로 판단하였다.

옥내 작업률은 제5차(2017년) 근로환경조사의 'Q30. 다음의 장소를 봐 주십시오. 지난 12개월 동안 아래의 장소에서 주된 일을 얼마나 자주 했습니까?' 문항의 'D. 실외(건설 현장, 논/밭/과수원/비닐하우스/축사, 길거리 등' 세부 문항에서 ① 매일, ② 한 주에 여러 번을 택하였을 경우 옥외 작업자로, 결측치를 제외한 그 외의 문항을 옥내 작업자로 판정하고(Lee, 2022), 표준산업분류 중분류별 옥내 작업자 비율로서 산출하였다. 1차 선정 대상 업종 내에서의 옥내 작업률 순위 백분율을 0~10/10~30/30~50/50~70/90~100의 여섯 구간으로 범주화하여 0에서 5까지의 정수를 상대 가중치로 할당하였다.

정책 수요 요인은 언론보도 분석을 정책 결정이나 제안의 근거로 활용한 정책 연구 분야의 선행 연구들을 참조하여(Kim & Byeon, 2017; Song, 2018), 연구 목적에 해당하는 당해 정부, 노동조합, 업종 유관단체의 보도자료, 기자회견, 인터뷰에 포함된 작업 요인을 추출하고, 이를 열전달 개념에 따라 동일 상대 가중치의 (4) 열 발생 요인(대형 또는 집중화된 열원을 제외한), (5) 열 방출 억제 요인으로 분류하였다. 본 연구에서, 조리 또는 용접 작업을 열 발생 요인의, 비닐하우스 또는 물류창고를 열 방출 억제 요인의 결정 인자로 설정하였다. 조리 작업이 주력인 업종은 음식 및 숙박업, 용접 작업이 주력인 업종은 뿌리산업 진흥과 첨단화에 관한 법률에 따른 용접산업의 제10차 한국표준산업분류 세세분류를 포함하는 산재업종 사업세목 전체로, 비닐하우스에서의 작업이 이루어지는 업종은 작물생산업으로, 물류창고에서의 작업이 이루어지는 업종은 창고업으로 추정하였다.

요인별 가중치는 계층분석기법(Saaty, 1990)에 따라 동일 위계 요인 간의 상대적 중요성에 대해 쌍대비교 평가 척도를 도출하고 고유값(eigenvalue) 산출을 통해 통합 가중치를 산출하는 방식으로 이루어졌다. 연구진과 정부 부처 관계자의 논의를 통해, 건강 영향 요인 대 접근 취약성 요인의 상대적 중요성은 3:1, 건강 영향 요인 대 정책 수요 요인의 상대적 중요성은 1:2, 접근 취약성 요인 대 정책 수요 요인의 상대적 중요성은 1:6으로 설정하였으며, 통합하여 건강 영향 요인 30%, 접근 취약성 요인 각 5%, 정책 수요 요인 각 30%의 가중치를 부여하였다. 전체 우선순위 선정 과정을 Figure 1에 나타내었다. 기본적으로 요인 통합 점수 순으로 선정하되, 중복되는 업종을 제거하거나 통합하는 등의 조치를 거쳐 7개 업종을 확정하였다.

용접 주력 업종이 상위권에 중복해서 포진하여 타 특성의 업종의 측정 기회가 줄어드는 것을 조정하기 위해 작업 환경이 일반 제조업종과 크게 다른 조선업을 별도 분리하고, 나머지는 용접산업 명목의 한 업종 분류로 통합 대체하였다. 기타건설공사는 건축건설공사와의 유사성을 고려하여 제외하였고, 이에 따라 차순위인 국가 및 지방자치단체의 사업이 최종 선정 대상에 포함되었다.

## 2) 온열환경 측정 및 평가

사업장의 온열환경은 습구흑구온도지수(wet bulb globe temperature, WBGT)(Yaglou and Minaed, 1957)와 한국 기상청의 체감온도, 두 가지 수단으로 측정

하였다. 작업환경측정 및 정도관리 등에 관한 고시(고용노동부고시 제2020-44호) 제4장 제5절 고열에 따라 검·교정을 필한 습구흑구온도지수를 측정할 수 있는 기기(TM-188D, TENMARS, Taiwan)를 사용하여, 단위작업 장소에서 측정대상 근로자의 주 작업 위치에서, 측정기의 위치를 바닥 면으로부터 50cm 이상, 150cm 이하의 위치로 하고, 측정기를 설치한 후 충분히 안정화시킨 상태로 1일 작업시간 중 10시~17시 사이의 1시간을 10분 간격으로 연속하여 측정하는 조건을 충족하여 기온(건구온도), 흑구온도, 습구온도, 이슬점, 옥내외 WBGT 데이터를 확보하였다. 또한 측정과 동반하여 작업강도, 작업휴식시간비, 냉방 여부 및 냉방기 종류를 파악하였다. 체감온도의 경우, 2022.6.2. 기준 기상청 체감온도 산출식(식 1)(KMA, 2022)에 따라 온도 및 습도의 대푯값을 활용하여 산출하였고, 온도 및 습도의 대푯값으로, 1일 작업시간 중 10시~17시 사이의 1시간에 대해 10분 간격으로 측정 한 온도 및 습도의 시간가중평균값을 활용하였다.

체감온도(℃) =

$$-0.2442 + 0.55399T_w + 0.45535T_a - 0.0022T_w^2 + 0.00278T_wT_a + 3.0 \dots \dots \text{식 1}$$

\* $T_a$  : 기온(℃),  $T_w$  : 습구온도(Stull의 추정식<sup>†</sup> 이용),

RH : 상대습도(%)

$$^{\dagger}T_w = T_a \tan^{-1}\{0.151977(RH + 8.313659)^{1/2}\} + \tan^{-1}(T_a + RH) - \tan^{-1}(RH - 1.67633) + 0.00391838RH^{3/2} \tan^{-1}(0.023101RH)$$

WBGT는 시간가중평균값을 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호)의 고온 노출 기준에 따라 평가하였으며, 체감온도는 폭염특보의 온도 기준(주의보 33도, 경보 35도)을 기준으로 초과 여부를 평가하였다. 전체 공정의 WBGT 및 체감온도 측정 결과 별로, 최근접 방재기상관측지점의 온습도 정보를 활용하여, WBGT의 경우 기상청에서 개발한 경험식(Lee et al., 2019a)을 통해 추정하고 체감온도는 식 1을 통해 산출하였다. 전체 공정별로 측정 결과값에 대해 정규성 검정(Shapiro & Wilk, 1965; Lilliefors, 1967)을 실시하고, 정규성 검정 결과에 따라, 정규분포를 가정할 수 있는 경우 모수적 기법인 쌍체 t-검정을, 그러할 수 없는 경우 비모수적 기법인 윌콕슨 부호순위 검정을 통해 작업장과 외기 사이에 유의한 차이가 나타나는지 확인하였다. 통계 검정에서 유의한 차이의 판단 기준은  $p < 0.05$ 로 설정하였

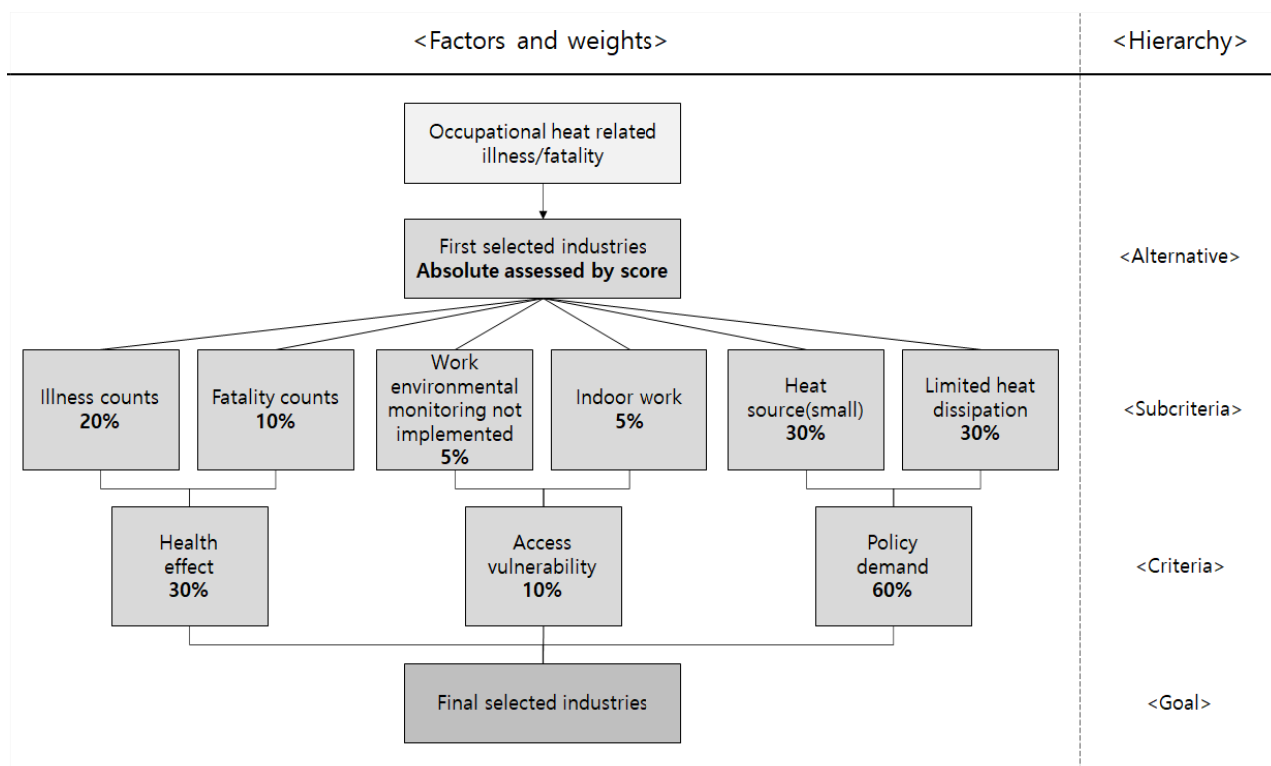


Figure 1. Process of industries selection for thermal environmental monitoring

다(Fisher, 1950). 본 연구의 모든 통계분석은 R(ver 4.2.1, R Foundation, Austria)을 통해 수행하였다.

### III. 결 과

#### 1. 온열환경 위험 업종 선정

1차 선정 업종에 대한 최종 선정 가중치 부여 근거 데이터를 Table 1에, 이를 통해 도출한 점수 및 순위를 Table 2에 나타내었다. 1차 선정 업종 중 온열질환 산재 발생 빈도는 건축건설공사(55건), 기타건설공사(20건), 국가 및 지방자치단체의 사업(16건) 순으로, 산재 사망 빈도는 건축건설공사(10건), 기타건설공사(5건), 위생 및 유사서비스업, 영림업(이상 2건) 순으로 나타났다. 고열작업이 사업장 수가 10건 미만인 업종은 전체 1차 선정 업종 39종 중 19종(48.7%)이며, 모두 비제조업종으로 구성되어 있고, 10건 이상인 업종은 39종 중 20종(52.3%)으로, 기타 개인 서비스업 1종을 제외한 모든 업종이 제조업종인 것으로 확인되었다. 옥내 작업 비율이 높은 산재업종은 영림업(61.9%), 작물생산업(61.6%), 건축건설공사 등(42.1%)으로 나타났다. 뿌리산업 진흥과 첨단화에 관한 법률상의

용접산업으로 분류 가능한 업종은 자동차부분품제조업, 각종기계 또는 동 부속품 제조업, 기타전기기계기구제조업, 건설용 금속제품 제조업, 강선건조 또는 수리업으로 확인되었다.

도출한 점수의 범위와 분포를 확인한 결과, 건강 영향 요인의 경우 0에서 30까지의 연속적인 값을 가지며 왜도 4.8, 첨도 25.7의, 최솟값 부근에 치우치고 평균 부근에 극도로 편중된 분포로 확인되었다. 점수 취약성 요인 중 작업환경측정 실시 여부는 0 또는 5의 값을 가지며, 왜도 -0.2, 첨도 -2.0의 치우침이나 편중이 없는 분포로 확인되었고, 옥내 작업률은 0에서 5까지의 정수값을 가지며, 왜도 -0.1, 첨도 -1.0으로 치우침이나 편중이 없는 분포로 확인되었다. 정책 수요 요인 중 열 발생 요인은 0 또는 30의 값을 가지며, 왜도 4.2, 첨도 16.8로 나타났다, 열 방출 억제 요인은 0 또는 30의 값을 가지며, 왜도 2.0, 첨도 2.1로서, 두 세부 요인 모두 최솟값 방향으로 치우치고 평균 부근에 편중된 분포로 확인된다.

도출한 점수의 총점에 따른 순위를 확인한 결과, 상위 10위 업종에 음식 및 숙박업, 창고업, 건축건설공사, 작물 생산업, 자동차부분품제조업, 각종기계 또는 동 부속품

**Table 1.** Heat-related illness and fatality, number of high-heat worksites and percentage of outdoors workers for prioritization weights

First selected industries	Evidence data for second selection						
	Heat-related illness	Heat-related fatality	Most similar KSIC* division code	Number of high-heat worksites	Percentage of outdoor workers (%)	Ranking of percentage of outdoor workers	Related welding industry – representative KSIC class code
Food service activities and accommodation	3	1	55~56	1	1.3	34	
Warehousing	1	0	52	0	10.4	17	
Building construction	55	10	41	2	42.1	5	
Growing of crops	2	0	01	1	61.6	2	
Manufacture of parts and accessories for motor vehicles	2	0	30	747	1.0	36	30201
Manufacture of other machinery and its parts	1	0	29	756	2.8	28	31202
Manufacture of other electrical equipment	1	0	28	405	1.9	32	26291
Manufacture of metal products for construction	2	0	25	3622	3.7	23	24132
Building, maintenance and repair services of steel ships	2	0	31	73	15.7	12	31111
Other construction	20	5	41	2	42.1	5	
Public laboring	16	0	41	2	42.1	5	
Sanitation and similar services	6	2	74	3	12.6	14	
Personal and household services	2	0	96	27	2.3	29	
Wholesale and retail trade, maintenance and repair services of household goods	4	0	45~47	8	3.5	26	
Silviculture activities	7	2	02	1	61.9	1	
Insurance and pension funding	1	1	65	0	2.8	27	
General management services of building, etc.	4	0	74	3	12.6	14	
Land cargo handling	2	1	52	0	10.4	17	
Transport via railways	1	0	49	0	11.5	16	
Land stevedoring in the port	1	0	52	0	10.4	17	
Construction of hydro power plant	1	1	41	2	42.1	5	
Business services	3	0	75	3	18.1	11	
Support activities for agriculture	2	1	01	1	61.6	2	
Construction headquarters	1	0	41	2	42.1	5	
Installation of machinery equipment for building	1	0	42	2	36.6	10	
Manufacture of fabricated plastics products	3	0	22	1163	0.6	37	
Animal production	1	0	01	1	61.6	2	
Manufacture of rubber products	1	0	22	1163	0.6	37	
Dyeing and finishing	1	0	13	681	0.6	39	
Casting of iron, steel and non-ferrous metals	2	0	24	1249	1.9	31	
Manufacture of meat and dairy products	1	0	10	885	2.1	30	
Manufacture of other chemical products	1	0	20	520	1.3	33	
Bookbinding or service activities related to printing	1	0	18	135	1.2	35	
Coating of metals	1	1	25	3622	3.7	23	
Other manufacturing	2	0	33	122	5.4	20	
Manufacture of stationery and artists' goods	1	0	33	122	5.4	20	
Manufacture of wood furniture	1	0	32	95	4.3	22	
Manufacture of other fabricated metal products	1	0	25	3622	3.7	23	
Manufacture of clay products for construction	1	0	23	817	13.8	13	

\*KSIC: Korean Standard Industrial Classification



**Table 2.** Scores and rankings for prioritization weights

First selected industries	Weight for second selection					Total weight	Weight ranking
	(1) Illness or fatality	(2) Whether to conduct WEM*	(3) Indoor work	(4) Heat source (small)	(5) Limited heat dissipation		
Food service activities and accommodation	1.6	5	4		30	40.6	1
Warehousing	0.0	5	2	30		37.0	2
Building construction	30.0	5	1			36.0	3
Growing of crops	0.4	5	0	30		35.4	4
Manufacture of parts and accessories for motor vehicles	0.4	0	5		30	35.4	4
Manufacture of other machinery and its parts	0.0	0	4		30	34.0	6
Manufacture of other electrical equipment	0.0	0	4		30	34.0	6
Manufacture of metal products for construction	0.4	0	3		30	33.4	8
Building, maintenance and repair services of steel ships	0.4	0	2		30	32.4	9
Other construction	11.8	5	1			17.8	10
Public laboring	6.1	5	1			12.1	11
Sanitation and similar services	3.6	5	2			10.6	12
Personal and household services	0.4	5	4			9.4	13
Wholesale and retail trade, maintenance and repair services of household goods	1.2	5	3			9.2	14
Silviculture activities	4.1	5	0			9.1	15
Insurance and pension funding	0.8	5	3			8.8	16
General management services of building, etc.	1.2	5	2			8.2	17
Land cargo handling	1.2	5	2			8.2	17
Transport via railways	0.0	5	2			7.0	19
land stevedoring in the port	0.0	5	2			7.0	19
Construction of hydro power plants	0.8	5	1			6.8	21
Business services	0.8	5	1			6.8	21
Support activities for agriculture	1.2	5	0			6.2	23
Construction headquarters	0.0	5	1			6.0	24
Installation of machinery equipment for building	0.0	5	1			6.0	24
Manufacture of fabricated plastics products	0.8	0	5			5.8	26
Animal production	0.0	5	0			5.0	27
Manufacture of rubber products	0.0	0	5			5.0	27
Dyeing and finishing	0.0	0	5			5.0	27
Casting of iron, steel and non-ferrous metals	0.4	0	4			4.4	30
Manufacture of meat and dairy products	0.0	0	4			4.0	31
Manufacture of other chemical products	0.0	0	4			4.0	31
Bookbinding or service activities related to printing	0.0	0	4			4.0	31
Coating of metals	0.8	0	3			3.8	34
Other manufacturing	0.4	0	3			3.4	35
Manufacture of stationery and artists' goods	0.0	0	3			3.0	36
Manufacture of wood furniture	0.0	0	3			3.0	36
Manufacture of other fabricated metal products	0.0	0	3			3.0	36
Manufacture of clay products for construction	0.0	0	2			2.0	39

\*WEM: Work Environment Monitoring

제조업, 기타전기기계기구제조업, 건설용 금속제품 제조업, 강선건조 또는 수리업, 기타건설공사가 해당하는 것으로 나타났다.

## 2. 온열환경 측정 및 평가

업종 및 공정별 온열환경 측정 조건을 Table 3에 나타내었다. 각 사업장의 작업강도, 작업휴식시간비, 냉방 여부 및 냉방기 종류를 조사한 결과, 작업강도 면에서 작물 생산업(수경재배), 창고업(지게차 운전), 용접산업(용접), 강선건조업(조립, 하역)에서 큰 신체 동작 없이 주로 상지를 사용하는 경작업을 실시하고 있었고, 음식 및 숙박업

(조리)과 국가 및 지방자치단체의 사업(현업업무)에서 중량물을 다소 취급하는 중등작업을 실시하고 있었으며, 작물생산업(토경재배), 건축건설공사(자재준비)에서는 격렬한 신체 사용이 이루어지는 중작업을 실시하고 있었다. 작업휴식시간비는 조사한 사업장 전체에서 짧은 시간을 단위로 일정 비율의 휴식시간을 부여하지 않고 있어, 모두 계속작업에 해당하였다. 냉방은 음식 및 숙박업 3건 중 1건, 창고업(실온창고) 2건 중 2건, 용접산업 3건 중 2건에서 이뤄지고 있었으며, 용접산업 냉방 사업장 중 1건에서 냉방기로 에어컨을 사용하였고, 나머지 냉방 사업장은 선풍기를 사용하였다.

**Table 3.** Thermal environment monitoring conditions for each monitoring point

Monitoring unit	Industries	Process	Unit workplace	Counts	Work intensity	Work-rest ratio	In/outdoor	Cooling (counts)	Region	Date
A	Growing of crops	Water culture	Greenhouse	2	Light	Continuous work	Out.	–	Gyeongbuk	7.22
B		Soil culture	Greenhouse	3	Heavy	Continuous work	Out.	–	Chungbuk	7.25
C	Food service activities and accommodation	Cooking	Cuisine	3	Moderate	Continuous work	In.	Fan(1)	Seoul	7.26, 8.18
D	Warehousing	Driving forklift	Loading place	3	Light	Continuous work	Out.	–	Gyeonggi	8.3–8.4
E			Room temperature warehouse	2	Light	Continuous work	In.	Fan(1)	Gyeonggi	8.3–8.4
F	Welding industries	Welding	Welding place	3	Light	Continuous work	In.	Fan(1), Air con.(1)	Gyeonggi	8.4–8.5
G	Building construction	Material handling	Loading place	7	Heavy	Continuous work	Out.	–	Gwangju	8.16–8.19
H	Public laboring	Field work	Road/off road	2	Moderate	Continuous work	Out.	–	Seoul	8.24
I	Building, maintenance and repair services of steel ships	Assembly	Assembly factory	1	Light	Continuous work	In.	–	Busan	8.26
J		Loading	Loading place	1	Light	Continuous work	Out.	–	Busan	8.26

**Table 4.** Thermal environment monitoring results and the difference between these values and meteorological data

Monitoring unit	WBGT*				Apparent temperature				Difference between workplace and MOP			
	Workplace		MOP†		Workplace		MOP		WBGT		Apparent temperature	
	Average (range)	P†	Average (range)	P	Average (range)	P	Average (range)	P	Difference	p-value	Difference	p-value
A	26.6 (26.0–27.2)	<0.01	26.3 (26.1–26.7)	<0.01	31.2 (30.9–31.6)	<0.01	29.3 (29.1–29.7)	<0.01	0.3	1.00	1.9	0.50
B	32.4 (31.5–33.9)	0.30	28.0 (27.8–28.0)	0.08	35.9 (35.1–36.7)	0.73	31.0 (30.8–31.0)	0.08	4.4	0.04	4.9	0.02
C	26.6 (23.9–29.9)	0.67	27.1 (23.8–28.7)	<0.01	31.5 (28.3–35.4)	0.62	30.1 (26.8–31.7)	<0.01	–0.5	1.00	1.4	0.50
D	29.0 (28.6–29.2)	0.30	28.3 (28.1–28.6)	0.36	32.9 (32.1–33.5)	0.54	31.3 (31.1–31.6)	0.54	0.7	0.18	1.6	0.07



Table 4. Continued

Monitoring unit	WBGT*				Apparent temperature				Difference between workplace and MOP			
	Workplace		MOP†		Workplace		MOP		WBGT		Apparent temperature	
	Average (range)	P†	Average (range)	P	Average (range)	P	Average (range)	P	Difference	p-value	Difference	p-value
E	23.8 (23.8–23.8)	<0.01	28.2 (27.9–28.6)	<0.01	26.8 (26.8–26.8)	<0.01	31.2 (30.9–31.6)	<0.01	-4.4	0.50	-4.4	0.50
F	28.6 (27.7–29.6)	0.94	28.3 (27.2–28.8)	<0.01	33.5 (32.3–34.8)	0.96	31.3 (30.2–31.8)	<0.01	0.4	0.50	2.3	0.25
G	29.4 (28.2–30.6)	0.69	28.2 (27.4–29.7)	0.45	32.9 (31.3–34.3)	0.36	31.2 (30.4–32.7)	0.45	1.2	0.02	1.6	0.01
H	22.9 (22.9–23.0)	<0.01	24.7 (24.7–24.8)	<0.01	27.3 (27.2–27.4)	<0.01	27.7 (27.7–27.8)	<0.01	-1.8	0.35	-0.5	0.50
I	23.4	–	23.0	–	27.6	–	26.0	–	0.4	–	1.6	–
J	25.3	–	23.0	–	28.1	–	26.0	–	2.3	–	2.1	–

\*WBGT: wet bulb globe temperature

†MOP: meteorological observation point

†P: p-value of normality test

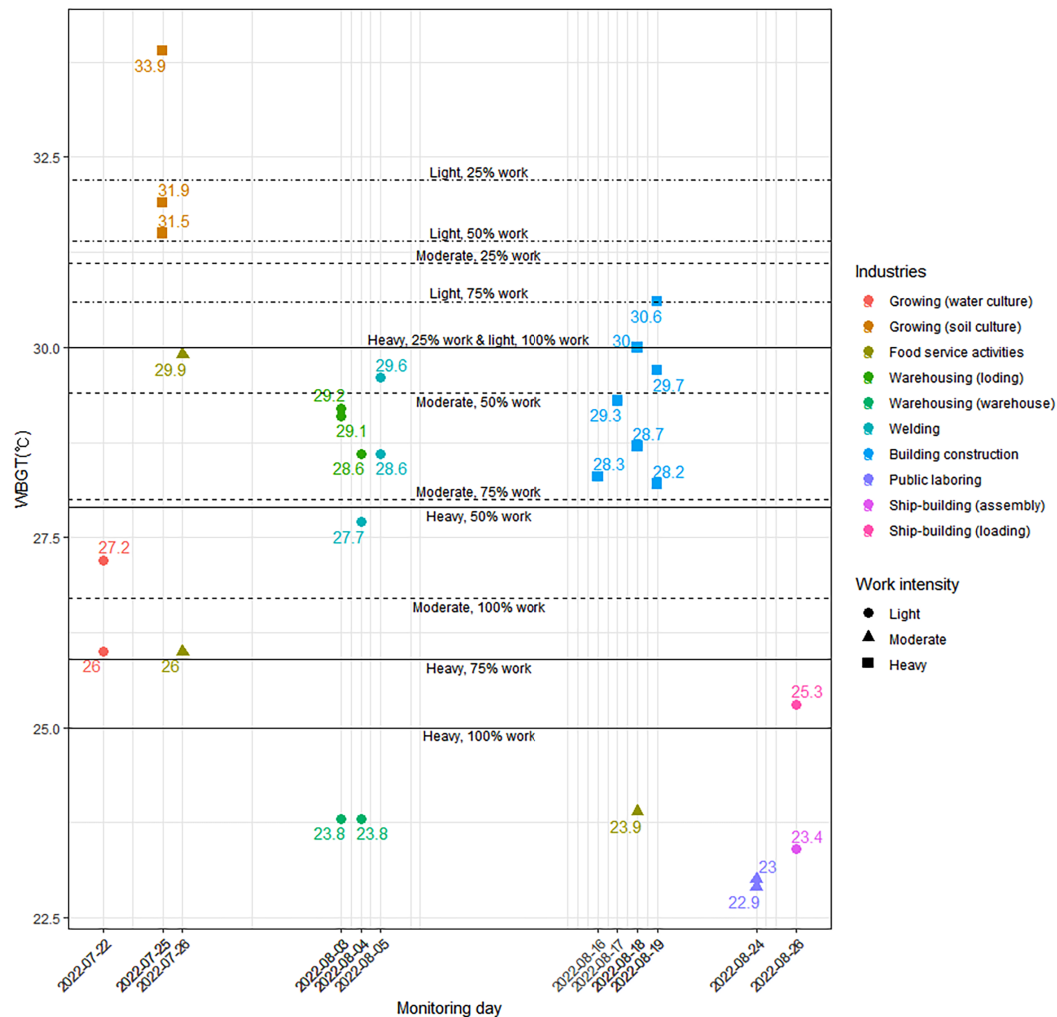


Figure 2. Monitored values, industry, occupational intensity and exposure limits of wet bulb globe temperature

측정이 실시된 지역은 총 6개 시도(서울, 부산, 광주, 경기, 충남, 경북)이며, 작물생산업은 7월 하순 경북(수경재배) 및 충남(토경재배)에서, 음식 및 숙박업은 7월 하순과 8월 중순 서울에서, 창고업과 용접산업은 8월 초순 경기에서, 건축건설공사는 8월 중순 광주에서, 국가 및 지방자치단체의 사업은 8월 하순 서울에서, 강선건설 및 수리업은 8월 하순 부산에서 측정을 실시하였다.

업종 및 공정별 온열환경 측정치와 해당 값의 기상자료와의 차이 및 유의성을 Table 4에 나타내었다. 또한 WBGT와 체감온도의 각 측정치 및 업종과 작업강도, 기준 초과 여부를 Figure 2와 Figure 3으로 시각화하였고, WBGT와 체감온도의 작업장 내 측정치와 외기 온도와의

차이를 각각 Figure 4와 Figure 5로 시각화하였다.

WBGT의 측정 결과는, 온도 기준 30.0℃의 경작업 계속작업 작업장 중 작물생산업(수경재배)에서 26.0~27.2℃, 창고업(하역장)에서 28.1~28.6℃, 창고업(실온창고)에서 23.8~23.8℃, 용접산업에서 27.2~29.6℃, 강선건설 및 수리업에서 23.4~25.3℃로 확인되었다. 온도 기준 26.7℃의 중등작업 계속작업 작업장 중 음식 및 숙박업에서 26.0~29.9℃, 국가 및 지방자치 단체의 사업에서 22.9~23.0℃로 확인되었고, 온도 기준 25.0℃의 중작업 계속작업 작업장 중 작물생산업(토경재배)에서 31.5~31.9℃, 건축건설공사에서 28.3~30.6℃로 나타났다.

온도 기준에 대비해 평가하였을 시, 작물생산업(토경재

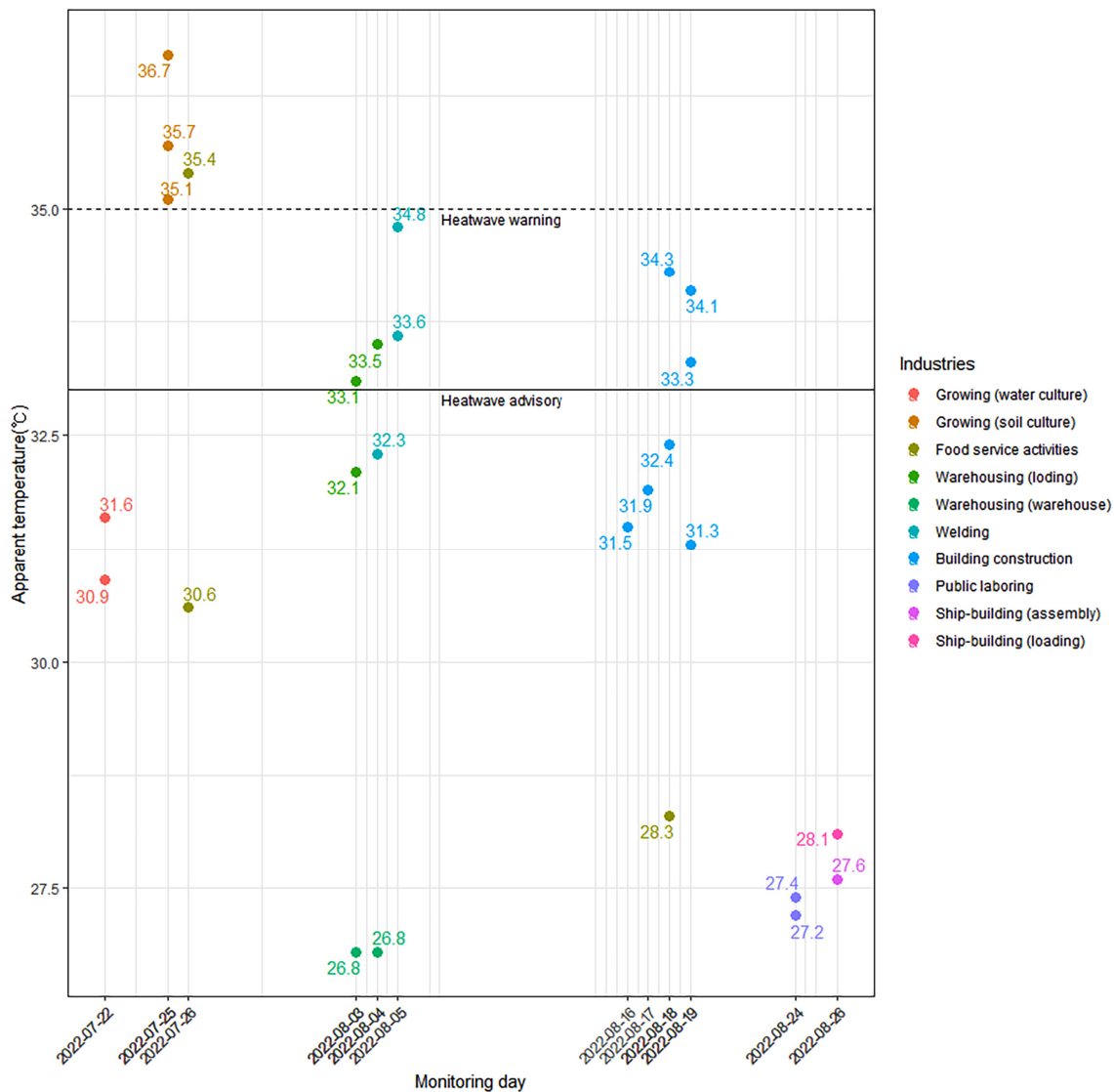


Figure 3. Monitored values, industry, occupational intensity and exposure limits of apparent temperature

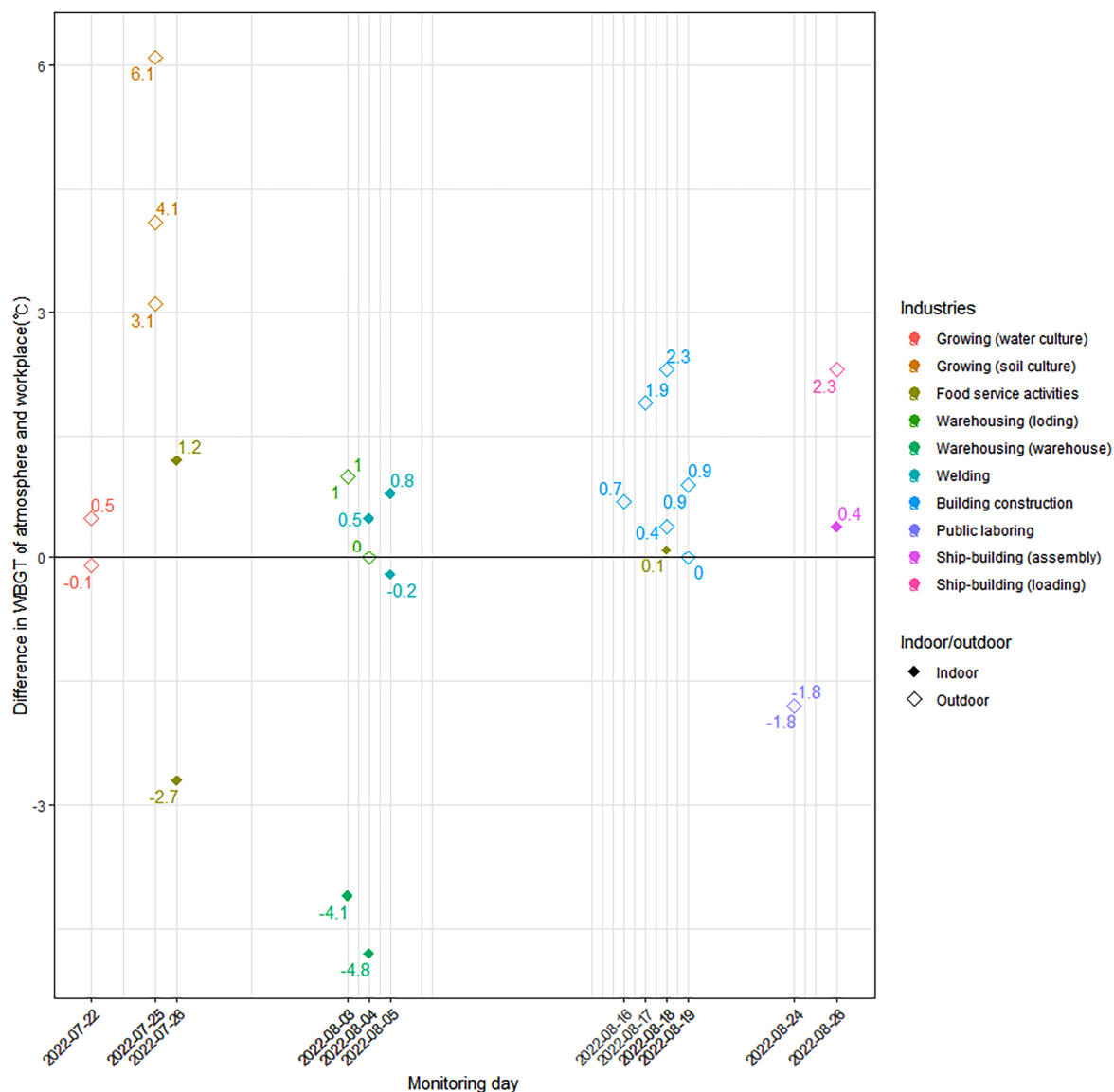


Figure 4. Average by industry and process and difference between the value and meteorological data of wet bulb globe temperature

배), 음식 및 숙박업, 건축건설공사 업종 및 공정에서 각 3건 중 3건, 3건 중 1건, 7건 중 7건이 해당 시간대에 한하여 WBGT 기준치를 초과한 것으로 확인되었다.

체감온도의 측정 결과는 작물생산업(수경재배)에서 30.9~31.6℃, 작물생산업(토경재배)에서 35.1~36.7℃, 음식 및 숙박업에서 28.3~35.4℃, 창고업(하역장)에서 32.1~33.5℃, 창고업(실온창고)에서 26.8~26.8℃, 용접산업에서 32.3~34.8℃, 건축건설공사에서 31.3~34.3℃, 국가 및 지방자치 단체의 사업에서 27.2~27.4℃, 강선건조 및 수리업에서 27.6~28.1℃로 나타났다.

특보 발령의 온도 기준에 대비해 평가하였을 시, 작물생산업(토경재배), 음식 및 숙박업, 창고업(하역장), 용접산업, 건축건설공사 업종 및 공정에서 각 3건 중 3건, 3건 중 1건, 3건 중 2건, 3건 중 2건, 7건 중 3건이 폭염주의보 발령 온도 기준치를 초과한 것으로 확인되었다. 이 중 작물생산업(토경재배)과 음식 및 숙박업은 3건 중 3건, 3건 중 1건이 폭염경보 발령 온도 기준치 또한 초과하였다.

WBGT의 경우, 작물생산업(수경재배)의 측정일 간 평균 작업장 온도는 26.6℃, 평균 외기 온도는 26.3℃였으며 작업장의 온도가 0.3℃ 더 높았으나 유의하지 않았다

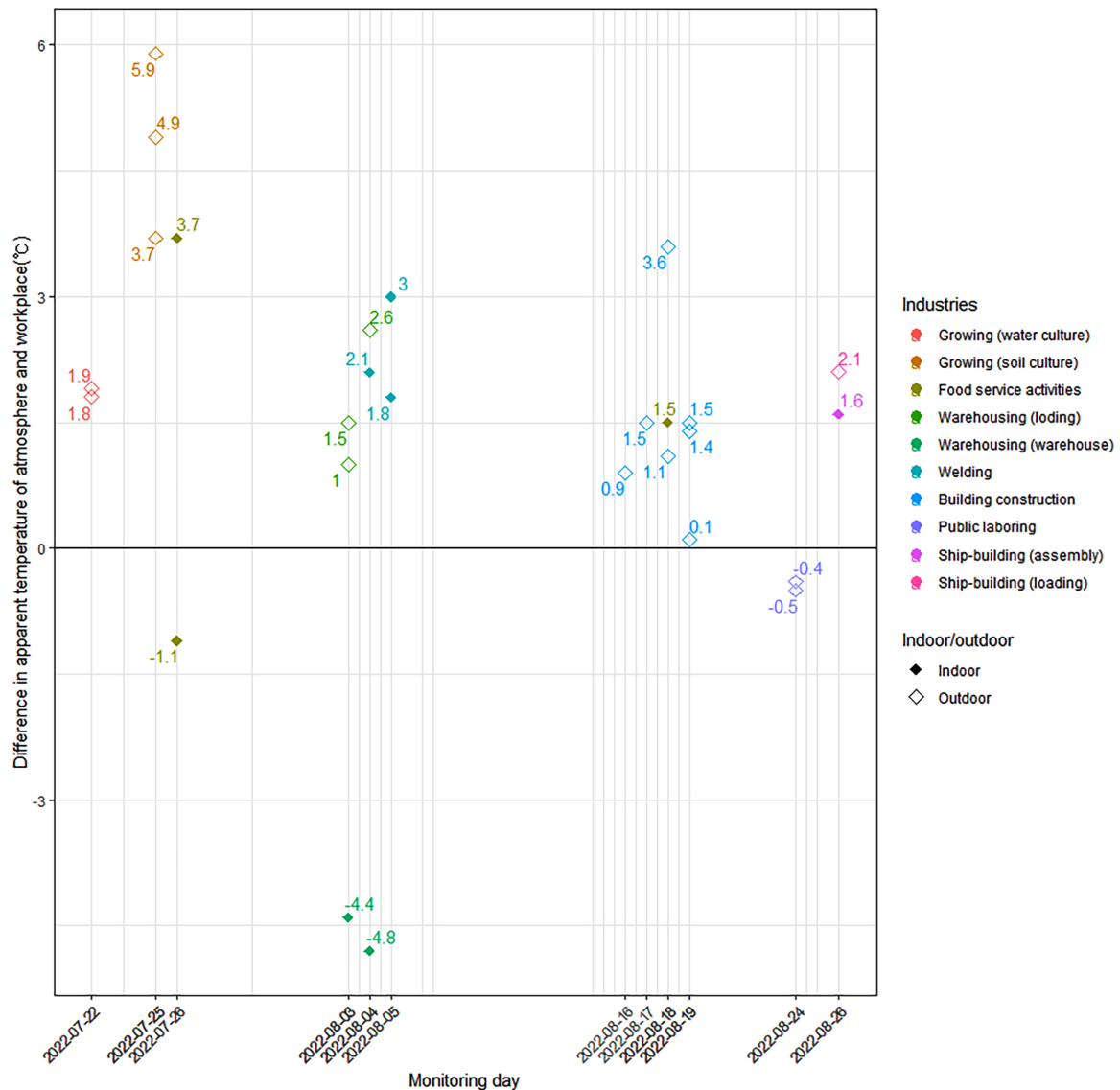


Figure 5. Average by industry and process and difference between the value and meteorological data of apparent temperature

( $p=1.00$ ). 작물생산업(토경재배)의 측정일 간 평균 작업장 온도는  $32.4^{\circ}\text{C}$ , 평균 외기 온도는  $28.0^{\circ}\text{C}$ 였으며 작업장의 온도가  $4.4^{\circ}\text{C}$  유의하게 높았다( $p=0.04$ ). 음식 및 숙박업의 측정일 간 평균 작업장 온도는  $26.6^{\circ}\text{C}$ , 평균 외기 온도는  $27.1^{\circ}\text{C}$ 였으며 외기 온도가  $0.5^{\circ}\text{C}$  더 높았으나 유의하지 않았다( $p=1.00$ ). 창고업(하역장)의 측정일 간 평균 작업장 온도는  $29.0^{\circ}\text{C}$ , 평균 외기 온도는  $28.3^{\circ}\text{C}$ 였으며 작업장의 온도가  $0.7^{\circ}\text{C}$  더 높았으나 유의하지 않았고( $p=0.18$ ), 창고업(실온창고)의 경우 측정일 간 평균 작업장 온도는  $23.8^{\circ}\text{C}$ , 평균 외기 온도는  $28.2^{\circ}\text{C}$ 였으며 외기

온도가  $4.4^{\circ}\text{C}$  더 높았으나 유의하지 않았다( $p=0.50$ ). 용접산업의 경우 측정일 간 평균 작업장 온도는  $28.6^{\circ}\text{C}$ , 평균 외기 온도는  $28.3^{\circ}\text{C}$ 로 작업장 온도가  $0.4^{\circ}\text{C}$  더 높았으나 유의하지 않았다( $p=0.50$ ). 건축건설공사의 측정일 간 평균 작업장 온도는  $29.4^{\circ}\text{C}$ , 평균 외기 온도는  $28.2^{\circ}\text{C}$ 로 작업장 온도가  $1.2^{\circ}\text{C}$  유의하게 높았다( $p=0.02$ ). 국가 및 지방자치 단체의 사업의 측정일 간 평균 작업장 온도는  $22.9^{\circ}\text{C}$ , 평균 외기 온도는  $24.7^{\circ}\text{C}$ 로 외기 온도가  $1.8^{\circ}\text{C}$  더 높았으나 유의하지 않았다( $p=0.35$ ). 강선건조 및 수리업은 1개 사업장에서 같은 측정 시간대에 2개 공정별로 1

회씩 측정하였으며 작업장 온도는 조립 공정의 경우 23.4℃, 하역 공정의 경우 25.3℃로 나타났고, 외기 온도는 23.0℃로 확인되었다.

체감온도의 경우, 작물생산업(수경재배)의 측정일 간 평균 작업장 온도는 31.2℃, 평균 외기 온도는 29.3℃였으며 작업장의 온도가 1.9℃ 더 높았으나 유의하지 않았다( $p=0.50$ ). 작물생산업(토경재배)의 측정일 간 평균 작업장 온도는 35.9℃, 평균 외기 온도는 31.0℃였으며 작업장의 온도가 4.9℃ 유의하게 높았다( $p=0.02$ ). 음식 및 숙박업의 측정일 간 평균 작업장 온도는 31.5℃, 평균 외기 온도는 30.1℃였으며 작업장 온도가 1.4℃ 더 높았으나 유의하지 않았다( $p=0.50$ ). 창고업(하역장)의 측정일 간 평균 작업장 온도는 32.9℃, 평균 외기 온도는 31.3℃였으며 작업장의 온도가 1.6℃ 더 높았으나 유의하지 않았고( $p=0.07$ ), 창고업(실온창고)의 경우 측정일 간의 평균 작업장 온도는 26.8℃, 평균 외기 온도는 31.2℃였으며 외기 온도가 4.4℃ 더 높았으나 유의하지 않았다( $p=0.50$ ). 용접산업의 경우 측정일 간 평균 작업장 온도는 33.5℃, 평균 외기 온도는 31.3℃로 작업장 온도가 2.3℃ 더 높았으나 유의하지 않았다( $p=0.25$ ). 건축건설공사의 측정일 간 평균 작업장 온도는 32.9℃, 평균 외기 온도는 31.2℃로 작업장 온도가 1.6℃ 유의하게 높았다( $p=0.01$ ). 국가 및 지방자치 단체의 사업의 측정일 간 평균 작업장 온도는 27.2℃, 평균 외기 온도는 27.2℃로 외기 온도가 0.5도 더 높았으나 유의하지 않았다( $p=0.50$ ). 강선건조 및 수리업은 1개 사업장에서 같은 측정 시간대에 2개 공정별로 1회씩 측정하였으며 작업장 온도는 조립 공정의 경우 27.6℃, 하역 공정의 경우 28.1℃로 나타났고, 외기 온도는 26.0℃로 확인되었다.

#### IV. 고 찰

기후 위기로 인해 종래의 관리 범위를 벗어나는 업종에서의 위험이 나타나고, 제도적 확장이 요구되고 있으나, 위험에 대한 실체적 접근은 부족한 상황이다. 이에 본 연구에서는 관리의 대상에 포함되지 못하였던 업종을 위주로 온열환경 측정 및 위험 평가를 실시하고, 조사 비용을 경감하고 조사를 효율화하는 목적으로 위험성과 측정 필요성이 높은 사업장을 선별하기 위해 우선 순위를 선정하고자 하였다.

선정된 7개 업종에서 측정한 결과치를 기준치와 비교한 결과, 작물생산업(토경재배), 음식 및 숙박업, 건축건

설공사는 WBGT 기준을, 상기 업종 및 창고업(하역장), 용접산업은 체감온도의 폭염특보 발령 온도 기준을 초과하여, 해당 업종 및 공정에서의 작업 시 열에 의한 건강 위험이 발생할 가능성이 확인되었다. 측정치를 외기 온도와 비교한 결과, 작물생산업(토경재배), 건축건설공사는 WBGT 및 체감온도의 작업장 온도가 외기 온도보다 유의하게 높아, 외기 온도가 기준을 초과하였을 시 작업장 온도 또한 기준을 초과할 가능성을 시사하였다.

본 연구에서 활용된 국내 고용노동부고시상의 일 최고기온 시간대로 작업장의 기준 초과를 판별하는 WBGT 평가 방법은 고열작업 지정에 전제되는 일중 열이 일정하게 발생하는 상태를 기반으로 열순화가 된 작업자를 대상으로 한 것이다. 이는, 작업장에 강력하고 연속적인 열 발생원이 없고 따라서 큰 일변이가 존재하게 될, 본 연구의 대상 사업장에 제한 없이 적용할 수 있는 것으로 볼 수는 없다. 본 연구에서는 ACGIH (2011)나 ISO(1989)에서 권장하는 바에 따라 일정 시간의 단속적 작업을 평가하는 방법으로서 해당 시간에 대한 시간가중평균을 도출하여 고시상 기준에 비교하였다. 즉, 본 연구의 기준치 대비 평가는 열순화된 작업자 대상으로 해당 시간대에 한정하여 이루어질 수 있다.

본 연구에서는 국내외적으로 작업장 온열환경을 평가하는 표준적인 수단인(Lemke & Kjellstrom, 2012) WBGT 외에 고용노동부에서 고열작업을 수행하지 않는 사업장을 행정적으로 관리하는 수단인 체감온도에 대해서도 측정 및 평가를 실시하였다. 기상청에서 2019년까지 사용하던 더위체감지수, 2020년 이후로 사용하며 현재 폭염특보 발령 기준으로 활용되고 있는 체감온도 모두 WBGT를 기반으로 만들어진 온도지수로, WBGT 측정의 난해함을 해소하고자 현존하는 기상 관측자료를 활용해 계산 가능한 경험식이다(KMA, 2022). 현재 산업안전보건법제상에 체감온도에 기반한 강행 규정은 존재하지 않으며, 재난 및 안전관리 기본법 제66조 및 그 위임명령인 자연재난 구호 및 복구 비용 부담기준 등에 관한 규정에 따라, 특보가 발효된 지역에서 폭염이 직접적인 원인이 되어 발생한 사망 또는 산업재해보상보험법 시행령 제53조에 따른 장해등급 14급 이상의 부상에 대해 재난보상금을 지원하고 있어, 특보 발령 기준이 효력을 가진 관리기준으로 적용되고 있다. 이에 따라 본 연구에서도 특보 발령 기준에 대하여 초과 여부를 판단하였다. 기상청 체감온도는 기상의 일변이를 반영하여 3시간 단위로 산출되며, 본 연구에

서 측정된 체감온도는 측정 시간대의 위험성을 나타내는 결과로 해석할 수 있다.

본 연구를 통해 기준치를 초과하고 이에 따른 위험 가능성을 판정한 업종들의 경우, 연구 대상 사업장이 해당 시간대에 대하여 상당성이 있는 위험 기준을 초과한 의미가 있다. 또한 해당 업종들은 작업환경측정 대상이 아니며, 음식 및 숙박업, 창고업 및 용접산업은 옥내 작업률이 높은 업종에 해당한다. 현존하는 제도나 모니터링 수단을 통해 관리 및 확인이 불가능한 업종의 위험 가능성을 확인하였다는 점에서 본 연구의 의의를 확인할 수 있다.

측정 부문에 있어 선행 연구 검토 시, 건설업, 조선업 및 비닐하우스 작업환경의 경우 국내 작업환경을 대상으로 한 연구가 존재하였다. Kim et al.(2016)는 2015년 울산 조선소의 4개 공정에서 8월 하순~9월 초순에 5일 연속으로 대구 건설현장의 3개 공정에서 9월 초순에 6일 연속으로, WBGT 측정을 9시부터 16시 30분까지 30분 간격으로 실시하였다. 22℃를 기준으로 모든 측정 대상의 측정일 전체에서, 28℃를 기준으로 조선소는 모든 공정의 측정일 전체에서 초과하였고, 건설현장은 모든 공정에서 2~4일 간 초과하였다. Jung & Kim(2021)은 2020년과 2021년 한국의 비닐하우스 작업장 두 곳에서 연도별로 6월부터 9월까지 8시부터 19시까지 1분 간격으로 측정하여 1시간 단위로 평균값을 산출하였다. 12시에서 13시 사이의 최고 평균 WBGT는 2020년과 2021년에 각각  $33.1 \pm 4.7$ 과  $32.7 \pm 3.8$ ℃로 나타나 해당 연구에서 평가 기준으로 설정한 28℃를 초과하였다.

해외에서 고열작업을 실시하지 않는 옥내 작업에 대한 WBGT 실측 연구가 여러 작업환경에 대해 수행되었다. 미국 조리실(Ierardi & Pavlonis, 2020), 인도네시아 자동차 제조 공장(Chaniago, 2020), 이탈리아 온실(Marucci et al., 2012) 등 고열작업을 수행하지 않는 옥내 작업장에 관한 실측 연구가 이루어졌으며, 미국에선 조리실 10곳에서 측정된 평균 WBGT는 25℃로 초과율은 경작업 0%, 중등작업 0%, 중작업 30%로 확인되었고, 인도네시아 자동차 제조 공장의 열 환경 조건은 안전하지 않은 것으로 평가되었으며, 이탈리아에선 2010년 9월부터 2011년 6월까지 한 농장에서 측정을 실시한 결과 4~6월에 초과 건수가 발생한 것으로 보고하였다.

선행 연구와 본 연구의 결과를 대조할 때, 건설업, 조

리실, 비닐하우스, 용접 작업의 경우 기준을 초과하거나 안전하지 않다고 평가한 결과가 일치하지만, 조선소의 경우 본 연구와 선행 연구의 평가가 배치된다. 본 연구에 활용 가능한 일자, 시간대, 일기, 지역의 범위가 충분히 특정되지 않아서, 매 업종-공정 단위에 적용되는 외부의 열 조건이 동일하게, 혹은 일정 범위로 특정되지 않은 한계가 발생하였고, 업종 내 공정이나 작업조건의 선정이 충분히 고려되지 않은 문제도 있다. 외부온도가 WBGT의 경우 최대 23.0℃에서 29.7℃까지, 체감온도의 경우 26.8℃에서 32.7℃까지 분포하는 등 해당 기간 내 일자 간의 일기 차이가 크다. 본 연구의 조선소 측정의 경우 본 연구의 수행 기간 중 외기 온도가 가장 낮은 일자 및 지역에서 측정하여 그 영향을 받았을 것으로 추정된다.

우선순위 선정 부문에서 선행 연구 검토 시, 작업환경측정 제도나 측정 대상을 선정하는 연구가 직접적으로 수행된 적은 없으며, 해외에서 온열질환에 의한 산재 현황을 국가 또는 지역 단위로 분석하여 위험한 업종을 제시하는 방식의 연구가 다수 수행된 것을 확인하였다. 미국의 경우 2000~2010년에는 사망률을 기반으로 농업과 건설업(Gubernot et al., 2015), 2011~2019년에는 부상/질병 수와 비율을 기반으로 농림어업, 수리업 및 건설업이 주요 위험 업종인 것으로 확인되었다(Hawkins et al., 2023). 지역 단위의 연구에서 주요 위험 업종은, 미국 워싱턴에서 질병 발생률을 바탕으로 건설과 공공행정(Bonauto et al., 2007), 미국 캘리포니아에서 질병 발생률을 바탕으로 농림어업과 공공행정(Heinzerling et al., 2020), 미국 온타리오에서 질병 발생률을 바탕으로 공공행정, 농업 및 건설(Fortune et al., 2013), 미국 남동부에서 응급실 및 입원 환자 비율을 바탕으로 농림어업, 건설업, 추출업, 운송 및 창고업(Harduar et al., 2015), 남호주의 경우 질병 발생률을 바탕으로 광업, 전기, 가스, 수도업으로 나타났다(Xiang et al., 2015).

그러나 본 연구에서 우선순위 선정을 위해 건강 영향만을 사용할 경우, 국내에서 건설업을 제외한 업종에 대해서는 변별력이 낮아지며, 고열작업과 옥외 작업 범주를 벗어나는 작업장을 선정하고자 하는 목적에 부합하는 작업장을 선정할 수 없고, 신청주의에 기초한 산재보상제도를 보유하고 있으며(Kim, 2022), 산재 은폐를 감소시키는 역할을 하는(Kim, 2021) 노동조합의 조직률도 다른 경제개발협력기구 국가들에 비해 낮은



(Ahn & Jeong, 2012) 국내 특성상 위험이 인지되지 않은 업종에서 온열질환 산재 질병 발생률 또는 사망률이 실재를 반영하지 못할 가능성이 있을 것으로 판단하였다. 이에 따라 본 연구에서는 Lindblom(1980)이 제안한 정책 결정 시 목표하여야 할 가치를 본 연구에 적용하여 개발한 우선순위 선정 방법을 제안하였다.

본 연구 수행을 통해 선정된 업종들은 연구 목적에 부합하는 특성을 보유하고 있으며, 해당 업종에서 여태 관측되지 않았던 위험을 확인하였다는 의의가 존재한다. 다만 우선순위 선정 과정에서 몇 가지 한계가 존재하여, 후속 연구 등을 통해 이의 보완이 필요할 것으로 판단된다.

첫째로, 일부 가중치 요인의 점수에 편중이 발생하여, 해당 요인이 강한 우선순위 결정력을 가지는 경향이 관측된다. 가중치 점수의 왜도와 첨도 분석 시, 건강 영향 요인, 열 발생 요인, 열 방출 억제 요인에서 높은 왜도와 첨도가 나타났다. 요인별 점수의 총점수에 대한 결정계수를 산출했을 때, 높은 왜도와 첨도가 나타난 건강 영향 요인, 열 발생 요인, 열 방출 억제 요인은 각각 0.09, 0.18, 0.55이며, 왜도 및 첨도가 낮은 작업환경 측정 여부와 옥내 작업률은 각 0.01에 미치지 못하여, 각 요인에 부여한 가중치와 실제 우선순위 결정력 간의 격차가 존재하는 것으로 확인되었다.

둘째로, 정책 수요 요인이 이해당사자의 수요 전체를 포괄하는 것으로 해석할 수 없다. 고열작업에 해당하지 않는 옥내의 열 발생 요인에 소형 열 생산 기계설비, 열 코팅 기구 등도 해당할 수 있고, 열 방출 억제 요인에도 작업 여건상 냉방 또는 환기가 불가한 작업 등이 추가될 수 있다. 정책 분야에서 언론매체 분석은 정책 결정의 중요한 수단으로 인식되고 있으나(Song, 2018; Kim & Byeon, 2021), 산업안전 관련 노동운동은 필연적으로 전문성의 정치를 핵심으로 하는 사회운동이며(Lee, 2012), 과학저널리즘과 위험 커뮤니케이션 부문에서 기사의 획일화와 언론의 전문성 약화 현상이 나타나는(Lee et al., 2016) 등 산업안전보건 관련 정책 수요를 언론을 통해 의제로 형성하는 것은 난해한 일이어서, 차후 온열환경 위험에 관련된 정책 수요 요인 발굴은 이해당사자에 보다 밀착한 방식이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 바탕으로 산업안전보건법 제128조의 작업환경측정, 안전보건규칙 제560조의 냉방·환기 장치 설비 등 고열작업에 부과되는 강행규정을 본 연구

대상 업종에 도입하도록 제안하는 것은 이해당사자 수요 파악에 관한 연구 결과의 편향 및 비용 효율에 대한 정보의 부족으로 인해 타당성이 떨어지는 것으로 판단된다. 다만 이들 업종에 대해 위험이 확인되었으므로 관리적인 개선이 필요하다. 본 연구에서 에어컨을 설비한 공정에서 체감온도 기준을 초과한 측정 결과를 일례로 냉방 장치의 존재만으로 위험을 예방할 수는 없으며, 열 발생량을 넘어서는 냉방 용량을 확보하거나, 작업휴식시간비를 조정하여 신체에 가해지는 열 부하량을 줄이는 것이 합리적이다. 특히 본 연구의 모든 대상 사업장이 적절한 휴식 시간 비율을 확보하지 않은 채 계속작업을 실시하고 있고, 현재 기상청 및 고용노동부에서 지침을 통해 폭염특보 발령 또는 해당 온도 기준 초과 시 일정 시간 간격의 휴식과 무더위 시간대의 옥외 작업 중단을 권고하고 있음(KMA, 2022; MoEL, 2022)을 고려할 때, 휴식 시간의 전향적인 확보가 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 관리의 대상에 포함되지 못하였던 업종을 위주로 위험성과 측정 필요성이 높은 사업장을 선별하기 위해 우선순위를 선정하고, 선정 대상 업종에 대해 온열환경 측정 및 위험 평가를 실시하였다. 그 결과 정책우선순위 결정 시 고려 요인을 포함한 새로운 우선순위 기법을 개발하였고, 작물생산업, 음식 및 숙박업, 건축건설공사, 창고업, 용접산업과 같은 현존하는 제도나 모니터링 수단을 통해 관리 및 확인이 불가능한 업종의 위험 가능성을 확인하였다. 위험이 확인된 업종에 대하여 작업휴식시간비를 조정하여 신체에 가해지는 열 부하량을 줄일 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 2022년 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 학술용역 지원 사업에 의해 수행되었다.

## References

- Acharya P, Boggess B, Zhang K. Assessing heat stress and health among construction workers in a changing climate: a review. *Int J Environ Res Public Health*

- 2018; 15(2):247 (<https://doi.org/10.3390/ijerph15020247>)
- Ahn J, Jeong J. Exclusion and Segmentation of the Representative Rights of Trade Unions : An Analysis of the Differences in Union Organization Rates among Groups of Workers in Korea and Britain. *Korean Journal of Labor Studies* 2012;18(2):1-32
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposures indices, 2011. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.; 2011. p. 1-307
- Armstrong LE, Casa DJ, Millard-Stafford M, Moran DS, Pyne SW et al. American college of sports medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39: 556-572 (<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31802fa199>)
- Bonauto D, Anderson R, Rauser E, Burke B. Occupational heat illness in Washington State, 1995-2005. *Am J Ind Med* 2007;50(12):940-950 (<https://doi.org/10.1002/ajim.20517>)
- Chaniago L. Evaluasi Termal Welding Shop Dan Assembly Shop Di Perusahaan Otomotif. Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. 2020. p. xxiv
- Fisher RA. Statistical methods for research workers. 11th ed. Biological monographs and manuals. No. V. Edinburgh: Oliver and Boyd; 1950. p. 1-354
- Fortune MK, Mustard CA, Etches JJ, Chambers AG. Work-attributed illness arising from excess heat exposure in Ontario, 2004-2010. *Am J Ind Med* 2013; 104:e420-e426 (<https://doi.org/10.17269/cjph.104.3984>)
- Gubernot DM, Anderson GB, Hunting KL. Characterizing occupational heat-related mortality in the United States, 2000-2010: An analysis using the census of fatal occupational injuries database. *Am J Ind Med* 2015;58(2):203-211 (<https://doi.org/10.1002/ajim.22381>)
- Habibi P, Moradi G, Dehghan H, Moradi A, Heydari A. The impacts of climate change on occupational heat strain in outdoor workers: A systematic review. *Urban Clim* 2021;36:100770 (<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100770>)
- Harduar Morano L, Bunn TL, Lackovic M, Lavender A, Dang GTT. Occupational heat-related illness emergency department visits and inpatient hospitalizations in the southeast region, 2007-2011. *Am J Ind Med* 2015; 58(10):1114-1125 (<https://doi.org/10.1002/ajim.22504>)
- Hawkins D, Ibrahim M. Characteristics of occupational environmental heat injuries/illnesses, Survey of Occupational Injuries and Illnesses, 2011 to 2019. *J Occup Environ Med* 2023;10:1097 (<https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000002794>)
- Heinzerling A, Laws RL, Frederick M, Jackson R, Windham G et al. Risk factors for occupational heat-related illness among California workers, 2000-2017. *Am J Ind Med* 2020;63(12):1145-1154 (<https://doi.org/10.1002/ajim.23191>)
- Ierardi AM, Pavilonis B. Heat stress risk among New York City public school kitchen workers: a quantitative exposure assessment. *J Occup Environ Hyg* 2020; 17(7-8):353-363 (<https://doi.org/10.1080/15459624.2020.1776300>)
- International Organization for Standardization(ISO). Hot environments - estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature) - ISO 7243 Standard. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.; 1989. p. 1-9
- Jung W, Kim H. Evaluation of Heat Stress Levels Inside Greenhouses during Summer in Korea. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19(19):12497 (<https://doi.org/10.3390/ijerph191912497>)
- Kim J. How the Labor Unions Affect the Occurrence and Concealment of Industrial Accidents. *Korean Journal of Labor Studies* 2021;27(1):103-134
- Kim TH, Byeon JW. A Study on Tourist Resource Activation Through The Analysis of Press Reports : Focusing on Big Data Analysis. *KJHA* 2017;26(2):19-33 (<https://doi.org/10.24992/KJHT.2017.02.26.02.19>)
- Kim YH, Oh I, Lee JH, Kim JH, Chung I et al. Evaluation of Heat Stress and Comparison of Heat Stress Indices in Outdoor Work. *JEHS* 2016;42(2):85-91 (<http://dx.doi.org/10.5668/JEHS.2016.42.2.85>)
- Kim YM. A Study on the Principle of Application in Industrial Accident Insurance. *Studies of Social Security Law* 2022;46:117-155
- Korea Meteorological Administration(KMA). Appaent temperature. KMA [cited 2022 Jun 2]; Available from: UTL:[https://www.weather.go.kr/plus/life/li\\_asset//HELP/basic/help\\_05\\_01.jsp](https://www.weather.go.kr/plus/life/li_asset//HELP/basic/help_05_01.jsp). Accessed May 4, 2023.
- Lee BI. Characteristics and Health Status of Outdoor Workers Exposed to High Temperature. *Korean J Occup Health Nurs* 2022;31(2):95-103 (<https://doi.org/10.1002/ajim.22504>)

- doi.org/10.5807/kjohn.2022.31.2.95)
- Lee JS, Kim KR, Cho CB. Evaluating the accuracies of the WBGT estimation models and their onsite applicability in Korea. *J Korean Soc Hazard Mitig* 2019; 19(4):53-63 (<https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2019.19.4.53>)
- Lee WH, Yoon JH, Kang SG, Choi WJ, Ham SH et al. Research for the outdoor workers' health management related with climate change. Ulsan; Occupational Safety and Health Research Institute. Korea Occupational Safety and Health Agency.; 2019. p. 36
- Lemke B, Kjellstrom T. Calculating workplace WBGT from meteorological data: a tool for climate change assessment. *Ind health* 2012; 50(4):267-278 (<https://doi.org/10.2486/indhealth.MS1352>)
- Lilliefors HW. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *JASA* 1967;62(318):399-402 (<https://doi.org/10.2307/2283970>)
- Lindblom CE. The Policy-Making Process. 2nd ed. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall, Inc.; 1980. p. 1-164
- Long LA, Marshall ML, Lay J. Update on OSHA's PSM national emphasis programs. *Process Safety Progress* 2011;30(4):303-306 (<https://doi.org/10.1002/prs.10481>)
- Lundgren K, Kuklane K, Gao C, Holmer I. Effects of heat stress on working populations when facing climate change. *Ind Health* 2013;51(1):3-15 (<https://doi.org/10.2486/indhealth.2012-0089>)
- Marucci A, Pagniello B, Monarca D, Cecchini M, Colantoni A et al. Heat stress suffered by workers employed in vegetable grafting in greenhouses. *J Food Agric Environ* 2012;10:1117-1121
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Post heat stroke prevention guideline, etc. [cited 2022 May 27]; Available from: UTL:[https://www.moel.go.kr/policy/policydata/view.do?bbs\\_seq=20220501306](https://www.moel.go.kr/policy/policydata/view.do?bbs_seq=20220501306). Accessed May 4, 2023.
- Moda HM, Filho WL, Minhas A. Impacts of climate change on outdoor workers and their safety: some research priorities. *Int J Environ Res Public Health* 2019; 16(18):3458 (<https://doi.org/10.3390/ijerph16183458>)
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). National Emphasis Program – Outdoor and Indoor Heat-Related Hazards. OSHA Directive CPL 03-00-024 [serial online]. OSHA [cited 2022 Apr 8]; Available from: UTL: [https://www.osha.gov/sites/default/files/enforcement/directives/CPL\\_03-00-024.pdf](https://www.osha.gov/sites/default/files/enforcement/directives/CPL_03-00-024.pdf). Accessed May 4, 2023.
- Park JS, Kim YH, Park JS, Jeong IS. Occupational health protection strategies for outdoor workers exposed to heat, cold, and fine particles. Ulsan; Occupational Safety and Health Research Institute. Korea Occupational Safety and Health Agency.; 2014. p. 17-20
- Saaty TL. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *Eur J Oper Res* 1990;48(1):9-26 ([https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I))
- Shapiro SS, Wilk MB. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 1956; 52(3-4):591-611 (<https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>)
- Sett M, Sahu S. Effects of occupational heat exposure on female brick workers in West Bengal, India. *Glob Health Action* 2014;7(1):21923 (<https://doi.org/10.3402/gha.v7.21923>)
- Shin S, Lee HM, Ki N, Chae JS, Byeon S-H. Estimation of Extreme Heat Exposure at Outdoor Construction Sites through Wet Bulb Globe Temperature Modeling. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2022; 32(4):402-413 (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2022.32.4.402>)
- Song T. A Study on the Effects of Media Coverage on the Policy Decision of Public Opinion – A Study on the Decision Process of the Public Open Method of Sin-Gori Units 5 and 6. *Social Economy & Policy Studies* 2018;8(2):149-189 (<https://doi.org/10.22340/seps.2018.06.8.2.149>)
- Tawatsupa B, Yiengprugsawan V, Kjellstrom T, Berecki-Gisolf J, Seubsman S et al. The association between heat stress and occupational injury among Thai workers: finding of the Thai Cohort Study. *Ind Health* 2013;51:34-46 (<https://doi.org/10.2486/indhealth.2012-0138>)
- Xiang J, Hansen A, Pisaniello D, Bi P. Extreme heat and occupational heat illnesses in South Australia, 2001-2010. *Occup Environ Med* 2015;72(8):303-306 (<http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2014-102706>)
- Yaglou CP, Minaed D. Control of heat casualties at military training centers. *Arch Indust Health* 1957; 16(4): 302-16

#### <저자정보>

신새미(연구교수), 이혜민(연구원), 기노성(연구원), 박정민(연구원), 변상훈(교수), 김성호(연구원)