

석탄화력발전소 작업자의 소음과 온열 스트레스에 대한 노출 평가

권지운^{1,3*} · 장광명^{2,3} · 김성호³ · 김세동³ · 장미연³ · 노지원³ · 박승현³

¹소방청 국립소방연구원, ²(주)대동, ³한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Evaluation of Occupational Exposure to Noise and Heat stress in Coal-fired Power Plants

Jiwoon Kwon^{1,3*} · Kwang-Myong Jang^{2,3} · Sungho Kim³ · Se-Dong Kim³ ·
Miyeon Jang³ · Jiwon Ro³ · Seunghyun Park³

¹National Fire Research Institute, National Fire Agency

²Daedong Corporation

³Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety & Health Agency

ABSTRACT

Objectives: This study evaluated occupational exposures to noise and heat stress during routine non-outage works in three coal-fired power plants in the Republic of Korea.

Methods: The data were collected during the summer of 2020. Full shift noise exposure of 52 workers were measured using noise dosimeters. Heat stress of 16 worksites were measured for 70 minutes using wet-bulb globe temperature monitors.

Results: The noise dosimetry results revealed time-weighted averages that ranged from 47.5 to 88.9 dBA. 2 out of 52 noise measurements exceeded 85 dBA. Based on the arithmetic mean, the coal service group showed the highest level at 80.2 dBA by job tasks. Noise exposures exceeding 85 dBA were measured in the coal service and plant operator group. Heat stress index measurements ranged from 20.3°C to 37.2°C. 1 out of 9 indices measured in coal facilities and 4 out of 7 indices measured in boiler house exceeded 1 hour TWA during moderate work. Heat stress indices measured from boiler houses were significantly higher than those measured from coal equipment.

Conclusions: The results show that overexposure to noise and heat stress may be encountered during routine non-outage work activities in coal-fired power plants. Appropriate actions should be taken to reduce future health outcome from occupational exposure to noise and heat stress in the industry.

Key words: coal-fired power plants, noise, heat stress, occupational exposure

I. 서 론


석탄화력발전소란 석탄의 연소 시 발생하는 열에너지를 이용해 발전기의 터빈을 구동시켜 전기를 생산하는


발전소를 말한다. 2022년을 기준으로 우리나라의 석탄 화력을 이용한 발전량은 164,270 GWh로, 석탄은 한 해 동안 우리나라 전체 발전량 중 가장 큰 비중을 차지한 발전 에너지원이었다(KEPCO, 2023).


*Corresponding author: Jiwoon Kwon, Tel: 041-559-0591, E-mail: jkwon7@korea.kr


376, Songak-ro, Songak-myeon, Asan-si, Chungcheongnam-do 31555


Received: October 31, 2023, Revised: December 1, 2023, Accepted: December 28, 2023


 Jiwoon Kwon <https://orcid.org/0000-0002-5556-7894>


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

 Miyeon Jang <https://orcid.org/0000-0002-3534-3279>

 Seung-Hyun Park <https://orcid.org/0000-0002-6515-4428>

 Kwang-Myong Jang <https://orcid.org/0000-0002-6452-0537>

 Se-dong Kim <https://orcid.org/0000-0001-8691-3545>

 Jiwon Ro <https://orcid.org/0000-0002-5946-0429>

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.

석탄화력발전소 노동자의 작업환경 중 유해인자에 대한 노출과 관련하여 현재까지 소수의 평가사례가 학계에 보고되었다(Yager et al., 1997; Bird et al., 2004; Hicks & Yager, 2006; Engelbrecht et al., 2012; Lee et al., 2023). 석탄화력발전소의 작업환경 중에 존재하는 주요 위험요인은 석탄분진 및 석탄재분진과 이들 분진에 함유된 결정체 산화규소와 비소와 같은 입자상 화학적 유해인자에 대한 노출이었다. 이러한 입자상 물질에 대한 노출수준은 계획예방정비 시가 일상운영기간의 유지관리작업 시에 비해 높았고, 작업자의 직종, 석탄과 석탄재에 함유된 결정체 산화규소와 금속의 함유율에 따라 차이를 보였다. 한편 석탄화력발전소에서 작업자는 화학적 유해인자 외에 보일러 및 터빈과 석탄설비를 가동 시 발생하는 소음과 고열에 노출될 수 있다. 석탄화력발전소 작업자의 물리적 유해인자 노출에 관하여 현재까지 미국 남서부의 석탄화력발전소를 대상으로 일상유지관리작업 시 작업자의 누적소음 노출과 고열 스트레스 지수의 일부 측정값이 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)의 권고기준(Threshold Limit Value, TLV)을 초과하였다는 학술논문 1건이 보고되었다(Bird et al., 2004).

작업자의 소음 노출은 청력 손실을 일으켜 직업성 난청을 발병시킨다. 최근에는 직업적 소음 노출이 고혈압 및 허혈성 심장질환과 안전사고로 인한 부상자 수의 증가와도 관련이 있다는 연구가 보고되었다(Choi et al., 2005; Cantley et al., 2015; Skogstad et al., 2016). 작업자가 고열에 노출되면 열경련, 열실신 또는 열사병이 발생할 수 있으며, 심하면 사망에 이를 수 있

다. 특히 계속되는 지구 온난화는 더운 작업장에서 일하는 작업자에게 고열로 인한 건강 영향을 더욱 가중시킬 수 있다(Gao et al., 2018).

석탄화력발전소 작업자의 소음과 고열에 대한 노출 가능성과 건강 유해성에도 불구하고 우리나라의 석탄화력발전소에서 작업자의 소음과 고열에 대한 노출수준을 평가한 사례는 현재까지 학계에 보고된 바 없다. 이에 이 연구는 우리나라 석탄화력발전소에서 일상운영기간의 유지관리작업 시 작업자의 소음과 고열에 대한 직업적 노출수준을 평가한 결과와 노출 특성을 고려한 관리방안을 제시하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

이 연구는 2020년 5월 기준 우리나라 석탄화력발전소 13개소 중 3개소를 대상으로 발전소 내의 소음과 고열 노출 가능성이 있는 직종과 작업장소를 대상으로 2020년 6월부터 9월까지 노출수준을 평가하였다(Table 1). 석탄화력발전소에서 석탄은 하역장부터 컨베이어를 통해 혼탄 및 미분기를 거쳐 보일러 호퍼 상부의 배탄설비까지 운반되고, 보일러에서 연소된 후 석탄재로 배출된다. 이때 보일러에서 발생한 열 에너지로 터빈을 가동하여 전기를 생산하고, 석탄이 연소된 분진이 포함된 가스는 탈질, 집진, 탈황설비를 거쳐 대기로 배출된다. 사업장 A는 유연탄을 원료로 사용하는 미분탄연소방식의 보일러를 가동하는 발전소로, 부두를 통해 입탄하고 옥외저탄장과 함께 옥내저탄장과 비산재를 처리하는 회처리설비를 운영하였다. 사업장 B는 무연탄을 원료로

Table 1. Plant and sample descriptions

	Plant A	Plant B	Plant C	Total number of samples
Coal type	Bituminous coal	Anthracite	Bituminous coal	
Coal storage	Indoor, outdoor	Indoor	Indoor	
Boiler	Pulverized coal-fired boiler	Fluidized bed boiler	Fluidized bed boiler	
Principal housekeeping method of coal equipment	Wet method	Dry method	Wet method	
Number of personal noise samples	26	10	16	52
Number of area heat stress samples	9	4	3	16

Table 2. Description of job task

Job task	Activity	Principal work location
Coal services	Removing coal dusts and residual ash, operating and maintaining coal and ash equipment	Coal and ash facilities, desulfurization facilities
Mechanics	Inspecting and maintaining mechanical parts of equipment	Boiler house
Electricians	Inspecting and maintaining electronic parts of mostly boiler and turbine equipment	Coal facilities, boiler house building, desulfurization facilities
Plant operators	Inspecting boiler and turbine equipment	Boiler house
Supervisors	Administrative works and supervising subcontract works	Office, boiler house

사용하는 유동층연소방식의 보일러를 가동하는 발전소로, 차량과 열차를 이용하여 입탄하고 옥내저탄장을 운영하였다. 사업장 C는 유연탄을 원료로 사용하는 유동층연소방식의 보일러를 가동하는 발전소로, 부두를 통해 입탄하고 옥내저탄장을 운영하였다.

이 연구는 대정비작업을 제외하고 일상적으로 발전설비를 가동하며 정상정비를 실시하는 일상운영기간 동안 송전을 제외한 공정에서 작업하는 운영공, 기계공, 전기공, 발전기술원, 사무감독원 5개 직종을 대상으로 노출 수준을 평가하였다(Table 2). 이 연구에서 평가한 운영공은 주로 컨베이어와 이송탑 등 석탄설비 및 석탄재 처리 설비와 탈황설비의 청소, 운전, 순회점검을 수행하였다. 기계공은 보일러건물의 기계설비 정비 및 점검을 수행하였다. 전기공은 석탄설비, 보일러건물, 탈황설비의 전기관련 설비 수리 및 점검을 수행하였다. 발전기술원은 보일러건물의 제어실에서 근무하며 주기적으로 보일러건물 내 순회점검을 수행하였다. 사무감독원은 사무실에서 근무하며 필요에 따라 보일러건물에서 이뤄지는 작업의 감독업무를 수행하였다.

2. 측정방법

소음은 누적소음측정기(SV 104IS, SVANTEC, Poland)를 작업자의 귀에서 30 cm 이내의 위치에 장착하여 개인의 하루 전체 작업시간 동안의 누적소음노출량을 측정하였다. 누적소음측정기의 설정은 고용노동부의 관련 고시에 따라 기준(criteria) 90 dB, 교환율(exchange rate) 5 dB, 역치(threshold) 80 dB로 하였으며, 매일 측정 전에 국가표준검정기관이 검정한 소음보정기로 누적소음측정기를 보정하여 사용하였다(MoEL, 2020b).

고열 스트레스는 습구흑구온도(wet-bulb globe temperature, WBGT) 지수를 측정하는 WBGT측정기(QUESTemp° 34, QUEST, USA)를 이용하여 지면으로부터 1.2-1.5 m 높이에서 70분 이상 측정하였다(MoEL,

2020). WBGT측정기는 변화된 환경에서 장치가 안정되는데 5-10분이 소요되므로, 장비의 매뉴얼에 따라 각 측정지점에서 측정 시작으로부터 10분 이후의 자료를 활용하여 WBGT를 산출하였다. WBGT측정기는 측정 당해년도에 국가표준검정기관이 검정한 장비를 사용하였다.

3. 자료의 처리

소음의 측정 결과는 고용노동부의 노출기준과 비교하고, 고열 스트레스의 측정결과는 ACGIH의 TLV와 비교하여 위해성을 평가하였다(MoEL, 2020a; ACGIH, 2022). 소음 측정 시 확인된 작업자의 점심시간은 시료채취시간에서 제외하였고, 휴식시간은 제외하지 않았다. 고열 스트레스는 보일러건물에서 일시간 중 순회점검 수준의 작업강도를 고려하여 중등작업(moderate work)의 작업휴식시간비와 비교하였다.

소음의 측정 결과는 직종과 주요 작업장소별로 구분하여 산술평균, 산술표준편차, 자료범위와 80 dBA 및 85 dBA를 초과한 자료 수로 제시하였다. 고열은 작업장소별로 구분하여 산술평균, 산술표준편차, 자료범위와 WBGT 29℃를 초과하는 자료의 수를 제시하였고, 상위 5개 측정값에 대해 습구, 흑구, 건구온도와 기상청의 당일 외기 평균온도를 제시하였다. 집단 간에 통계적인 차이가 있는지 확인하기 위해 2개인 집단에 대해 비모수적인 검정법인 Mann-Whitney 검정을 실시하였고, 3개 이상인 집단에 대해 Kruskal-Wallis 검정을 실시하였다. 통계분석은 version 28.0 SPSS 통계프로그램(SPSS Inc., USA)을 이용하였다.

III. 결 과

1. 소음

3개 사업장에서 개인의 하루 작업시간 동안의 누적소음 측정값 52건을 확보하였다. 전체 소음 측정값의 기하

Table 3. Noise exposure levels by job tasks

(Unit : dBA)

Job task	N*	Mean(SD) [†]	Range	N>80 dBA	N>85 dBA	p-value
Coal services	11	80.2(3.9)	74.8-87.3	3	1	0.01
Mechanics	10	71.2(6.7)	59.5-81.6	1	0	
Electricians	14	70.6(9.8)	47.5-83.5	3	0	
Plant operators	8	78.9(5.6)	69.2-88.9	3	1	
Supervisors	9	64.7(9.7)	48.0-76.9	0	0	
Total	52	73.0(9.2)	47.5-88.9	10	2	

*N : number of samples

[†]Mean(SD) : arithmetic mean(standard deviation)

평균은 72.3 dBA였고, 범위는 47.5 dBA-88.9 dBA였다. 측정자료 중 2건이 85 dBA를 초과하였고, 90 dBA를 초과한 값은 없었다. 85 dBA를 초과한 값 중 가장 높은 값은 제어실에서 근무하며 보일러건물을 순회점검하는 발전기술원에서 측정되었고, 두 번째 높은 값은 회처리설비에서 청소 및 기계조작 등을 실시하는 운영공에서 측정되었다. 직종별 측정값은 기하평균을 기준으로 운영공 80.1 dBA(74.8-87.3 dBA), 발전기술원 78.7 dBA(69.2-88.9 dBA), 기계공 70.9 dBA(59.5-81.6 dBA), 전기공 69.9 dBA(47.5-83.5 dBA), 사무감독원 64.0 dBA(48.0-76.9 dBA) 순이었다(Table 3). 운영공과 발전기술원은 최고 측정값이 85 dBA를 초과하였다. 사무감독원을 제외한 모든 직종의 최고 측정값이 80 dBA를 초과하였으며, 사무감독원의 소음 노출수준은 운

영공, 기계공, 발전기술원에 비해 통계적으로 유의미하게 낮았다(각각 p value=0.002, <0.001, 0.002).

2. 고열

3개 사업장에서 지역 측정값 16건을 확보하였다. 전체 측정값의 기하평균은 26.4℃였고, 범위는 20.3℃-37.2℃였다. 측정자료 중 5건이 29℃를 초과하였고, 이 중 3건이 30℃를 초과하였다(Table 4). 측정값은 위치별 기하평균을 기준으로 보일러건물 30.4℃(24.9-37.2℃), 석탄설비 23.7℃(20.3-30.2℃) 순이었으며, 두 그룹의 WBGT 측정값은 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(p value=0.01). 29℃를 초과한 측정값 5건의 세부 시료채취 지역은 보일러건물 3건, 터빈실 1건, 분배기실 1건이었다(Table 5). 측정값 5건 중 1건(W3)를

Table 4. Heat stress index levels by worksites

(Unit : °C)

Worksite	N*	Mean(SD) [†]	Range	N>29℃	N>30℃	p-value
Coal equipment	9	23.8(3.0)	20.3-30.2	1	1	0.01
Boiler house	7	30.6(4.3)	24.9-37.2	4	2	
Total	16	26.8(4.9)	20.3-37.2	5	3	

*N : number of samples

[†]Mean(SD) : arithmetic mean(standard deviation)

Table 5. Samples with the highest heat stress indices (WBGT>29℃)

(Unit : °C)

Sample ID	Sample location	WBGT*	WT [†]	DT [‡]	GT [§]	OT	Principal factor influencing elevated levels
W1	Boiler house	37.2	29.9	47.2	54.1	17.6	Elevated temperature and radiant heat
W2	Boiler house	35.6	29.7	46.8	49.4	20.0	Elevated temperature
W3	Tripper room	30.2	30.1	30.1	30.3	20.0	Elevated temperature and high humidity
W4	Turbine room	29.8	25.2	39.4	40.7	17.6	Elevated temperature
W5	Boiler house	29.2	25.3	37.9	38.5	20.7	Elevated temperature

*WBGT : wet bulb globe temperature

[†]WT : wet bulb temperature

[‡]DT : dry bulb temperature

[§]GT : globe temperature

^{||}OT : mean outdoor temperature of the sampling day

제외한 4건은 습구온도와 건구온도가 큰 차이를 보였으며, WBGT가 가장 높은 측정값(W1)은 습구온도가 건구온도에 비해 크게 높았다.

IV. 고 찰

소음 측정값 중 고용노동부의 노출기준인 8시간 노출 기준 90 dBA를 초과한 값은 없었으나, 운영공과 발전 기술원에게서 각각 1개 측정값이 산업안전보건법에 따른 소음작업을 정의하는 기준이며 소음에 대한 특수건강진단 대상을 정하는 기준인 85 dBA를 초과하였다. Sriwattanatamma & Breysse(2000)는 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Agency, OSHA)의 기준에 따라 8시간 기준 90 dBA, 교환율 5 dB를 적용하여 소음을 측정한 결과가 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 기준에 따라 8시간 기준 85 dBA, 교환율 3 dB를 적용하여 측정한 결과에 비해 산술평균이 79.2 dBA(52.2-93.7 dBA)일 때 평균 6.6 dB가 낮았다고 보고하였다. Petrick et al. (1996)은 OSHA의 기준에 따른 측정결과가 ACGIH의 기준에 따라 교환율 3 dB를 적용한 결과에 비해 평균 4.6 dBA가 낮았다고 보고하였다. 따라서 이 연구에서 일부 측정값이 80 dBA를 초과한 운영공, 기계공, 전기공, 발전기술자는 ACGIH의 기준에 따라 적용하여 측정하였다면 최고 측정값이 ACGIH의 8시간 기준 TLV를 초과하였을 가능성이 있다.

미국 NIOSH(1984)는 미주리주의 석탄화력발전소의 일상운영작업 시 작업자의 개인 소음 노출수준을 측정하여 17개 측정값 중 7개(41.2%)가 85 dBA를 초과했다고 보고하였다. Bird et al.(2004)은 미국 남서부 5

개 석탄화력발전소의 일상운영작업 시 작업자의 개인 소음 노출수준을 측정하여 측정값의 18%가 85 dBA 이상, 4%가 90 dBA 이상이었으며, 지역에서의 측정값은 석탄설비 70-108 dBA, 보일러건물 내부 74-104 dBA였다고 보고하였다. 두 선행연구는 이 연구와 같이 교환율 5 dB를 적용하여 측정하였다. 이 연구의 85 dBA 초과율은 미국에서 보고된 두 선행연구에 비해 낮지만, 선행연구와 달리 주로 사무실에서 근무하는 사무감독원 9명이 이 연구의 측정대상에 포함되었음을 고려할 필요가 있다.

석탄화력발전소의 작업자 대부분은 하루 작업시간 동안 고정된 장소에서 작업하지 않고 장소를 이동하며 설비 점검 및 경상정비 작업을 수행한다. 따라서 고정된 장소에서 작업하지 않는 작업자의 누적 소음 노출량은 작업자가 출입하는 장소의 소음 발생 수준과 해당 장소에 머무는 시간과 관련이 있다. 이 연구에서 가장 높은 소음 노출수준을 나타낸 발전기술원은 대부분의 근무시간 동안 역치인 80 dBA 이하의 소음에 노출되었으나, 제어실을 떠나 보일러건물 내를 순회점검 시 역치를 초과하는 값에 노출되어 최고 120 dBA를 초과하는 높은 소음에 노출되었다(Figure 1). 이로 인해 발전기술원의 하루 작업 중 특정 시점의 높은 수준의 소음 노출이 누적 노출량의 대부분을 차지하였다. 따라서 소음 노출량을 관리하기 위해 작업자는 높은 소음이 발생하는 지역에 머무는 시간을 필요에 한해 최소화하고, 높은 소음이 발생하는 장소에 출입 시 소음 수준에 따라 적절한 차음을 제공하는 청력보호구를 착용할 필요가 있다.

고열 스트레스는 측정값 16건 중 5건이 ACGIH가 중등작업 시 1시간 중 50%-75% 작업을 권고하는 수준인 29℃를 초과하였다. 따라서 작업자가 29℃를 초과한 장소에서 1시간 중 45분을 초과하여 연속으로 작업하

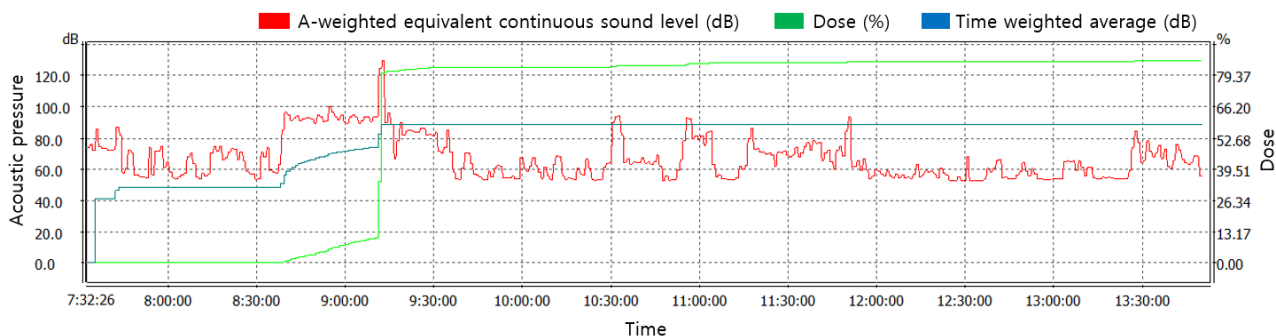


Figure 1. Plant operator's noise exposure over time

고 같은 장소에서 휴식하면 ACGIH의 권고기준을 초과하여 고열 스트레스에 노출될 수 있다. 다만 ACGIH의 권고기준은 작업장에서 휴식하는 것을 기준으로 설정되었으므로, 작업자가 시원하고 건조한 별도의 장소에서 휴식하는 경우 휴식시간 대비 작업시간의 비율을 보다 증가시킬 수 있다. 작업강도 관점에서 발전기술원의 작업강도는 순회점검이 주를 이루므로 중등작업 수준으로 평가하는 것이 적절하지만, 기계공, 전기공, 운영공이 청소나 정비작업을 할 때의 작업강도는 중등(heavy) 수준 이상이다. 특히 기계공, 전기공, 운영공은 작업 시 방진복을 착용하는 경우가 많으며, 방진복은 땀의 배출을 통한 체온 발산을 방해하므로 이 경우 휴식시간 대비 작업시간을 더 단축할 필요가 있다.

Bird et al.(2004)은 미국 남서부 2개 석탄화력발전소의 일상운영작업 시 작업자의 고열 스트레스 노출수준을 측정한 결과, 한 사업장의 WBGT는 26.2℃-35.7℃였으며, 다른 사업장의 WBGT는 26.9℃-44.3℃였다고 보고하여, 가장 높은 측정값을 이번 연구와 비교 시 한 사업장은 유사한 수준이었고 다른 한 사업장은 크게 높았다.

이 연구에서 WBGT 29℃를 초과한 5개 측정값 중 3건은 보일러건물 내 보일러 주변, 1건은 배탄기실, 1건은 터빈실에서 측정되었다. 배탄기실은 보일러 호퍼 상부에 석탄을 공급하는 곳으로 보일러건물의 상부에 위치하며, 터빈실은 일반적으로 보일러건물의 3층에 위치한다. 따라서 이 연구에서 29℃를 초과한 모든 측정값은 보일러건물 내에서 측정되었다. 가장 높은 측정값 W1은 건구온도가 높고 흑구온도는 건구온도보다 6.9℃ 더 높아서, 보일러건물 내부의 높은 공기 온도와 함께 보일러로부터 방출되는 복사열이 고열 스트레스 지수를 높인 원인이었다. 측정값 W2, W4, W5는 건구온도와 흑구온도가 유사하고 습구온도는 상대적으로 낮아서 보일러건물 내부의 높은 공기 온도가 고열 스트레스 지수를 높인 원인이었다. 측정값 W3은 건구온도와 습구온도가 같아서 배탄기실 내의 높은 습도가 고열 스트레스 지수를 높인 원인이었다. 배탄기실에서는 미분탄을 운반하여 보일러에 투입하는 과정에서 작업장 바닥 등에 표면에 미분탄이 축적되므로 주기적으로 청소작업을 실시한다. 배탄기실에서 방진복을 착용하고 습식으로 청소하는 경우 습도가 상승하여 보일러에서 발생하는 높은 온도의 공기와 함께 높은 고열 스트레스 지수의 원인이 되므로 작업 시 온열질환 발생에 대한

주의가 필요하다.

석탄화력발전소의 운영공, 기계공, 전기공, 발전기술원은 일반적으로 고정된 위치에서 작업하지 않고 장소를 이동하며 설비 점검 및 경상정비 작업을 수행하는 경우가 흔하므로 작업내용에 따른 노출량의 변화가 크다. Lee et al.(2023)은 우리나라 석탄화력발전소 작업자의 호흡성분진과 호흡성 결정체 산화규소에 대한 노출을 평가한 자료를 통해, 수시측정 방법을 활용 시 고용노동부의 기존 작업환경측정 방법과 같이 특정일에 측정하는 것에 비해 검출한계 미만인 자료를 최소화하고 최고노출 상황을 측정한 결과에 잘 반영할 수 있었다고 보고하였다. 이 연구에서 측정한 소음과 고열 스트레스의 자료 수는 제한적이므로, 발전소에서 발생할 수 있는 모든 노출 상황이 이 연구결과에 반영되지 않았을 수 있다. 시료 수의 한계로 인해 이 연구에서 석탄화력발전소의 특성별 차이에 따른 비교 분석 결과, 통계적 차이는 확인할 수 없었다. 향후 보다 많은 수의 시료를 활용하여 석탄화력발전소의 특성을 고려한 심도 있는 후속 연구가 필요해 보인다. 고열의 경우 여름에 측정하였으나, 측정일의 외기의 평균온도가 17.6℃-20.7℃로 폭염 기간의 고열 스트레스 지수는 이 연구에 반영되지 않았다. 따라서 이 연구결과는 폭염기간이 아닌 기간에도 보일러건물의 고열 스트레스 지수가 높음을 시사하며, 폭염기간의 고열 스트레스 지수는 이 연구의 결과보다 높을 수 있다.

V. 결 론

우리나라의 석탄화력발전소에서 일상운영기간 중에 일부 작업자는 산업안전보건법에 따른 특수건강진단 대상이며 소음작업의 기준인 85 dBA를 초과하여 소음에 노출될 수 있다. 소음 노출수준은 직종별로 운영공, 발전기술원, 기계공, 전기공, 사무감독원 순으로 높았다. 작업자의 청력보호를 위해 작업장소를 이동하는 작업자에 대해 높은 소음이 발생하는 지역에 머무는 시간을 필요에 한해 최소화하고, 현장에서 발생하는 소음 수준에 따라 적절한 차음성능을 제공하는 청력보호구를 착용하도록 조치하며, 주기적인 소음 노출평가와 건강검진을 실시할 필요가 있다.

석탄화력발전소의 보일러건물 내 현장에서 작업자가 1시간 중 45분을 초과하여 연속으로 작업하고 같은 장소에서 휴식하면 ACGIH의 권고기준을 초과하여 고열

스트레스에 노출될 수 있다. 작업자의 고열 스트레스 노출을 완화하기 위해 보일러건물 내에서 작업 시 신체 회복을 위해 휴식시간과 장소를 제공하고, 자주 휴식을 취하도록 조치할 필요가 있다.

석탄화력발전소 작업자의 소음과 고열에 대한 직업적 노출은 작업일의 작업 내용, 작업 위치, 고위험지역에 머문 시간 등 다양한 변수의 영향을 받는다. 따라서 석탄화력발전소에서는 작업상황에 따라 이 연구에서 나타나지 않은 높은 수준의 노출이 발생할 수 있으므로, 정기적인 작업환경측정 외에도 자율적으로 고위험 작업 시의 노출수준을 평가하고 위험을 관리할 필요가 있다.

References

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). 2022 TLVs and BEIs – Based on the documentation of the Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents and Biological Exposure Indices. Ohio: ACGIH; 2022. p. 132, 233
- Bird MJ, MacIntosh DL, Williams PL. Occupational exposure during routine activities in coal-fired power plants. *J Occu Environ Hyg* 2004;1:403–413. (<http://doi.org/10.1080/15459620490453346>)
- Cantley LF, Galusha D, Cullen MR, Dixon-Ernst C, Tessier-Sherman B et al. Does tinnitus, hearing asymmetry, or hearing loss predispose to occupational injury risk?. *Int J Audiol* 2015;54(sup1): S30–S36 (<http://doi.org/10.3109/14992027.2014.981305>)
- Choi SW, Peek-Asa C, Sprince NL, Rautiainen RH, Donham KJ et al. Hearing loss as a risk factor for agricultural injuries. *Am J Ind Med* 2005;48(4): 293–301 (<http://doi.org/10.1002/ajim.20214>)
- Engelbrecht J, Tau P, Hongoro C. Occupational health hazards of fabric bag filter workers' exposure to coal fly ash. *JTEHS* 2012;4(3):57–64
- Gao C, Kuklane K, Östergren PO, Kjellstrom T. Occupational heat stress assessment and protective strategies in the context of climate change. *Int J Biometeorol* 2018;62:359–371 (<http://doi.org/10.1007/s00484-017-1352-y>)
- Hicks J, Yager J. Airborne crystalline silica concentrations at coal-fired power plants associated with coal fly ash. *J Occu Environ Hyg* 2006;3:448–455 (<http://doi.org/10.1080/15459620600802747>)
- Korea Electric Power Corporation(KEPCO). 2022 Statistics of electric power in Korea. KEPCO; 2023. p. 20
- Lee ES, Lee YK, Shin DI. A Study on occupational environment assessment strategies for respirable particulate matter at coal-fired power plants. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2023;33(3):375–383 (<http://doi.org/10.15269/JKSOEH.2023.33.3.3>)
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical agents(MoEL Public Notice No. 2020–48).; 2020
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Notification on the measurement of work environment and quality control(MoEL Public Notice No. 2020–44).; 2020.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Health Hazard Evaluation Report. HETA 82–093–1453. NIOSH; 1984. p. 15
- Petrick ME, Royster RH, Royster JD, Reist P. Comparison of daily noise exposures in one workplace based on noise criteria recommended by ACGIH and OSHA. *Am Ind Hyg J* 1996;57:924–928 (<https://doi.org/10.1080/15428119691014440>)
- Skogstad M, Johannessen HA, Tynes T, Mehlum IS, Nordby KC. Systematic review of the cardiovascular effects of occupational noise. *Occup Med* 2016; 66(1):10–16 (<http://doi.org/10.1093/occmed/kqv148>)
- Sriwattanatamma P, Breysse P. Comparison of NIOSH noise criteria and OSHA hearing conservation criteria. *Am J Ind Med* 2000;37:334–338 ([https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0274\(200004\)37:4<334::AID-AJIM2>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(200004)37:4<334::AID-AJIM2>3.0.CO;2-Z))
- Yager JW, Hicks JB, Fabianova E. Airborne arsenic and urinary excretion of arsenic metabolites during boiler cleaning operations in a Slovak coal-fired power plant. *Environ Health Perspect* 1997;105(8):836–842 (<https://doi.org/10.1289/ehp.97105836>)

<저자정보>

권지운(보건연구원), 장광명(과장), 김성호(차장), 김세동(과장), 장미연(과장), 노지원(차장), 박승현(실장)