

근로환경조사 결과로 본 산업현장에서의 유해요인 다중노출 실태

조지훈*

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Multiple Exposure to Occupational Hazards in Workplace by Examining Korean Working Conditions Survey

Jihoon Jo*

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

ABSTRACT

Objectives: This study aimed to analyze patterns of multiple exposures to hazardous occupational factors using data from the 6th Korean Working Conditions Survey (KWCS) and to provide insights for improving workplace environments.

Methods: 'Multiple exposure' was defined as exposure to two or more hazardous factors, either concurrently or sequentially, during at least a quarter of working hours. Hazards analyzed included exposure to vibration, noise, hot or cold temperatures, inhalation of dust or vapors, skin contact with harmful substances, and musculoskeletal risk factors. Statistical analyses included χ^2 tests to compare groups and multivariate logistic regression to identify factors influencing multiple exposures with R software (version 4.3.1).

Results: Out of 50,538 original respondents, multiple exposure status could be determined for 50,405 individuals, and, after applying weights, 17,915 respondents (35.6%) were identified as being exposed to two or more hazardous factors (multi-exposure). A comparative analysis between multi-exposure and non-multi-exposure groups revealed statistically significant differences ($p < 0.05$) in variables of gender, age, employment status, type of employment, workplace size, and occupation. 471 combinations of hazardous factors in multiple exposure were identified. 'high temperature' + 'low temperature' and vapor + skin exposure combinations had correlation coefficients above 0.5. Characteristics such as 'male workers', occupation of 'those in skilled trades', and industries of 'manufacturing' and 'construction' were associated with higher tendencies for multi-exposure.

Conclusions: The findings highlight that many workers were exposed to two or more hazardous factors during their work, with certain occupations and industries showing particularly high tendencies for multiple exposures. When co-exposed, multiple factors may interact to adversely affect workers' health. Therefore, it is essential to pay attention to multiple exposures and establish and implement management strategies to address them.

Key words: additive-effect, combined-exposure, KWCS, multiple-exposure

I. 조사개요

국내 산업현장 근로자들은 다양한 설비와 원자재, 화

학물질을 취급하면서 동시에 여러 유해위험요인에 노출된다. 그럼에도 불구하고, 이러한 다중 노출에 대한 국내 연구는 매우 부족하며, 이를 고려한 안전보건체계나

*Corresponding author: Jihoon Jo, Tel: 010-4349-1274, E-mail: lmalone@kosha.or.kr
400, Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan, 44429, Republic of Korea

Received: April 14, 2025 Revised: July 31, 2025, Accepted: September 1, 2025

 Jihoon Jo <http://orcid.org/0000-0003-1418-7518>

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.

개입전략도 마련되어 있지 않다(Kang et al., 2023). 산업재해 예방을 위한 국가단위 또는 개별 사업장의 개입전략은 주로 산업재해의 원인을 파악하여 이를 제거하는 방식으로 실행되는데 비추어, 재해 발생원인의 확인에 있어 요인별 개별적이거나 독립적인 접근은 복수의 유해위험요인에 의한 문제의 양상의 중요한 일면을 간과하게 됨으로써 산재예방 개입전략의 효과성을 저해할 수 있다.

실제로 Ren et al.(2023)의 2023년 연구에서는 소음과 유기용제에 함께 노출되는 경우 소음과 유기용제에 단독으로 노출되는 경우 대비 비차비(odds ratio)가 각각 1.76배, 2.02배 높아 다중노출이 청력손실의 위험성을 증가시키는 것으로 보고하여 복수의 유해인자에 의한 건강영향은 개별 유해인자에 의한 영향과 다를 수 있음을 시사한다. 또한 다른 종류의 유해인자 또는 화학물질에 함께 노출되는 경우 상승작용(synergistic effect), 상가작용(additive effect), 길항작용(antagonistic effect), 잠재작용(potential effect) 등 개별 유해인자가 독립적으로 작용하는 것과 다른 양상을 보이는 작용의 개념을 설명하고 있는데, 2023년 반도체 제조 공정 연구에서 카테콜(catechol)과 디메틸설폭사이드(DMSO)의 혼합 노출 시 CYP450 효소가 비정상적으로 활성화 되어 단일물질 노출 시 2.3배 증가하던 산화스트레스 지표가 혼합 시 5.7배까지 상승하는 현상이 관찰된 것으로 실증된 바가 있다(Rim et al., 2023). 또한, 도료 산업에서 벤젠-톨루엔-자일렌(BTX) 혼합물은 증기압 상호작용으로 인해 개별 물질보다 40% 높은 기체상 농도를 형성하여 이는 단일물질 측정 시 기준치 미만으로 판정되더라도 실제 흡입량이 과소평가될 수 있음을 시사한다(Rim, 2022). 이를 고려하여 규제영역에서는 상가작용의 개념을 실제로 적용하고 있기도 하다. 고용노동부의 노출기준 고시에서는 화학물질이 2종 이상 혼재하는 경우 유해작용의 가중을 고려하여 혼합물에 대한 평가를 별도로 하도록 하고 있는 것이 그 예이다(고용노동부고시 제 2020-48호).

근로환경조사는 우리나라의 임금근로자 뿐 아니라 사업주와 자영업자를 포함한 노동자의 산업안전보건에 영향을 미치는 다양한 노동환경과 관련한 기초자료 수집을 목적으로 3년마다 실시되고 있다. 해당 조사의 설문 항목은 위험요인 노출정도를 비롯한 노동환경과 관련한 130여 개 문항으로 구성되어 산업보건 측면에서 실제

산업현장의 다양한 실태를 파악하는데 유용하다. 특히, 응답자를 대상으로 여러 유해위험요인에 대한 노출실태를 설문하고 있어 근로환경에서의 다양한 노출양상을 파악하는데 유용하다 할 수 있다. 이러한 배경에서 본 연구는 제6차 근로환경조사 자료를 활용하여 유해인자 다중노출 근로자의 특성을 분석하고, 산업현장에서의 위험요인 관리의 새로운 전략 마련에 필요한 기초자료를 제시하고자 한다.

II. 조사방법

1. 분석대상 자료원

본 연구는 산업안전보건연구원에서 실시한 제6차 근로환경조사(The 6th Korean Working Conditions Survey, KWCS)를 원시자료로서 분석하여 결과를 도출하였다. 제6차 근로환경조사에서는 2020년부터 2021년에 걸쳐 조사 시점 기준 지난 1주간 수입을 목적으로 1시간 이상 일한 자를 취업자로 규정하여 임금근로자 뿐 아니라 자영업자를 포함한 만 15세 이상 취업자 50,538명을 대상으로 종사상 지위 등 취업장 특성, 노동 강도, 직무 스트레스, 감정노동, 건강상태, 위험요인 노출정도 등 130여개 항목에 대해 조사되었다.

2. 변수정의 및 분석

1) 다중노출의 정의

미국 산업안전보건연구원 혼합노출팀(Mixed Exposure Team)의 2005년 혼합노출 연구의제(Mixed Exposures Research Agenda)에서는 혼합노출(mixed exposure)을 '화학물질 혼합물에 대한 노출, 서로 다른 시간에 다른 물질에 대한 노출, 여러 물질에 동시 노출, 또는 화학물질과 다른 스트레스 요인에 동시 노출'로 정의하고 있는 반면, 복합노출(multiple exposure)은 '시간 차원에서의 누적 특징'에 중점을 두어 '같은 물질에 반복적으로 노출되는 양상'을 의미하거나 '단일 물질에 장기간 또는 반복적으로 노출'되는 것으로 특징지어 둘을 구분하고 있으나, 그 둘이 완전히 분리된 개념은 아니다. 제6차 근로환경조사에서는 각 유해·위험요인에 동시에 노출되는지 또는 연속적으로 노출되는지 구분하여 조사하고 있지 않으므로 본 연구에서는 그 둘을 구분하지 않고 서로 다른 2종 이상의 유해·위험요인에 대해 근무시간의 25% 이상 동시·연속 노출이 있는 것으로 응답한 경우를 '다중노출(multiple exposure)'로 하여

분석하였다.

2) 다중노출의 측정

제6차 근로환경조사에서 노동환경의 유해·위험요인과 관련한 설문 중 Q28A부터 Q29F까지의 문항으로부터 진동, 소음, 높은 온도, 낮은 온도, 연기 등의 흡입(분진), 증기 흡입(증기), 피부 접촉(피부), 간접흡연, 감염물 취급 및 접촉(감염)을 비롯하여 피로하거나 통증을 주는 자세 등 근골격계질환 유발 유해요인에 관한 설문 결과를 분석하여 2종 이상 유해·위험요인에 노출된다고 답한 경우 다중노출로 인코딩하였다. 구체적으로는, Q28A부터 Q29F까지의 문항에 대한 답변 중 '1. 근무시간 내내', '2. 거의 모든 근무시간', '3. 근무시간 3/4', '4. 근무시간 절반', '5. 근무시간 1/4'를 선택한 경우 노출되는 것으로, '6. 거의 없음', '7. 전혀 없음'의 답변은 노출되지 않는 것으로, '8. 모름/무응답', '9. 거절' 답변은 확인되지 않은 것으로 인코딩하였다. 특히, 'Q29A. 피로하거나 통증을 주는 자세', 'Q29B. 사람을 들어 올리거나 옮김', 'Q29C. 무거운 물건을 끌거나, 밀거나, 옮김', 'Q29D. 계속 서 있는 자세', 'Q29E. 반복적인 손동작이나 팔 동작' 등의 질문에 대해 하나 이상 '1. 근무시간 내내', '2. 거의 모든 근무시간', '3. 근무시간 3/4', '4. 근무시간 절반', '5. 근무시간 1/4'를 선택한 경우 근골격계질환 유발 유해요인에 노출되는 것으로 인코딩하였다.

추가로 응답자의 나이는 임의로 '39세 이하', '40세 이상 49세 이하', '50세 이상 59세 이하', '60세 이상'의 범주형 변수로 인코딩 하였으며, 사업장 규모 또한 근로자수를 기준으로 '49명 이하', '50명 이상 299명 이하', '300명 이상'으로 인코딩하여 분석에 적용하였다.

3. 자료의 분석

제6차 근로환경조사의 설문은 50,538명을 대상으로 이루어졌으나, 다중노출과 관련된 자료의 분석을 위해 전처리한 결과, 유해인자 노출과 관련된 문항에 대해 '모름/무응답' 또는 '거절'만으로 답변하거나 1종의 유해인자에 노출된다는 응답과 함께 나머지 유해인자에는 '모름/무응답' 또는 '거절'만으로 답변한 응답자 133명을 제외하여 전체 50,538명의 응답자 중 50,405명이 이번 연구의 분석대상이 되었다. 이 중 2종 이상의 유해인자에 노출된다고 응답한 근로자(다중노출 근로자)는 17,163(34.1%)명이었다.

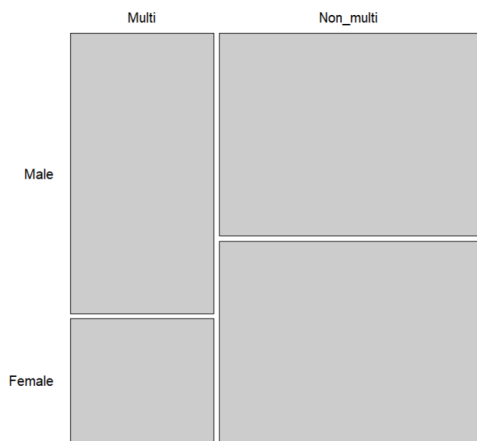
제6차 근로환경조사의 설문결과를 인코딩한 자료의 통계적 분석과 시각화는 R 프로그램(버전 4.3.1)을 이용하였다. 두 집단 간 차이를 확인하기 위하여 χ^2 test를 실시하였으며, 다중노출 유해·위험요인 간 상관관계 분석에는 피어슨 상관분석을 적용하였다. 추가로 다중노출에 영향을 주는 요인을 확인하기 위하여 다변수 로지스틱 회귀분석(multivariate logistic analysis)을 적용하였다. 별도의 기술이 없는 경우 통계적 유의수준은 양측검정 0.05로 하였다. 모든 빈도, 백분율, 회귀분석은 조사설계 가중치를 적용하여 실시하였다.

III. 조사결과

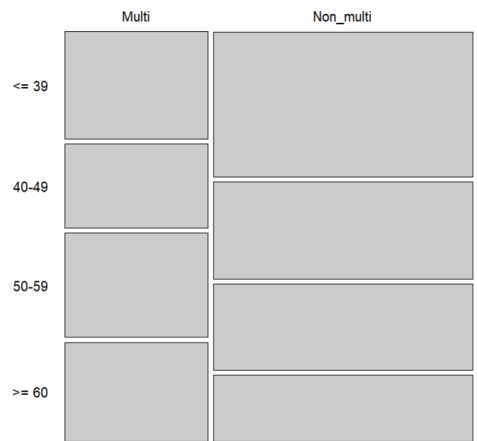
1. 연구대상의 일반적 특성

다중노출 근로자 중 69.6%가 남성, 30.4%가 여성인데 반해, 비 다중노출 근로자는 남성과 여성이 각각 50.4%와 49.6%로 구성되어 다중노출 근로자 집단은 남성의 비율이 높았고 비 다중노출 근로자 집단은 두 성별의 비율이 비슷했으며, 두 집단 간 성별에 따라 구성비율에 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.001$). 두 집단 간 연령에 따른 구성 차이를 분석한 결과, 다중노출 근로자 집단은 39세 이하가 27.2%로 가장 높은 비율을 차지했으나 연령 그룹 간 큰 차이가 없었다. 비 다중노출 근로자 집단 역시 '39세 이하'의 비율이 가장 높았으나, '39세 이하'의 비율이 월등히 높아 다중노출 근로자 집단과 비교하여 구성에서 차이가 있었다.

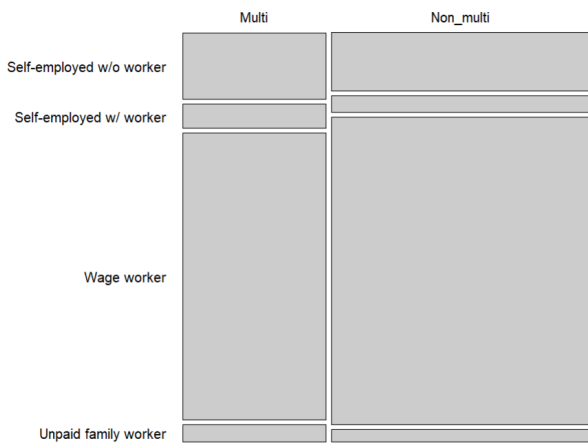
종사상 지위에 있어서는 다중노출 근로자와 비 다중노출 근로자 집단 모두 '임금근로자'의 비율이 가장 높았으며 각각 72.7%, 78.1%이었다. 임금근로자의 고용형태에 따라 세부적으로 보면, 두 집단 모두 '상용근로자', '임시근로자', '일용근로자' 순으로 많았고, 다중노출 근로자와 비 다중노출 근로자 집단에서의 '상용근로자' 비율은 각각 73.1%, 80.8%로 상당히 높은 비중을 차지했다. 사업장 규모를 근로자수 기준으로 비교한 결과 두 집단 모두에서 '49명 이하', '50-299명', '300명 이상'의 순으로 많았다. 이 중 두 집단 모두 '49명 이하' 규모의 사업장이 80%에 가까운 비율을 보였다. 마지막으로 직종 구성을 살펴본 결과, 다중노출 근로자 집단의 경우 '장치, 기계 조작 및 조립 종사자', '기능원 및 관련 기능 종사자', '단순노무 종사자'의 비율이 높은 반면, 비 다중노출 근로자 집단의 경우에는 '전문가 및 관련 종사자', '사무 종사자', '판매 종사자'의 비율



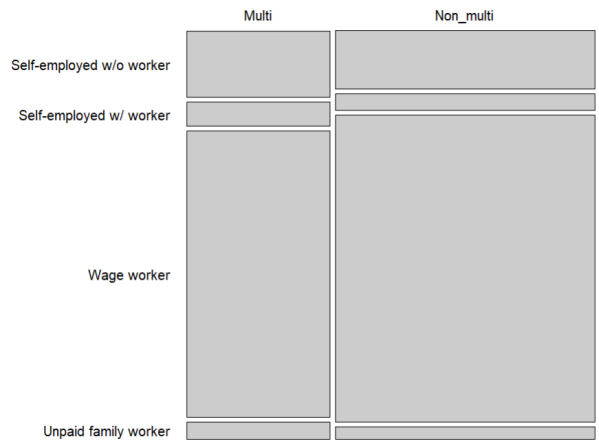
(a) Comparison by **gender** between multi- and non-multi- exposure group



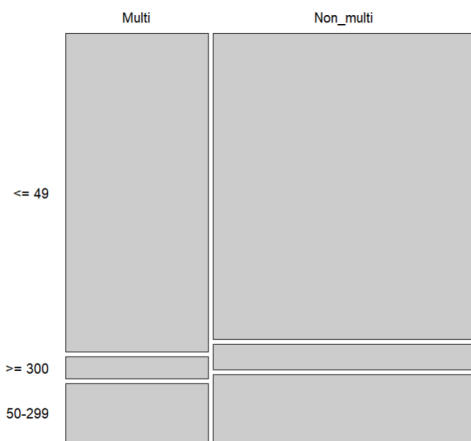
(b) Comparison by **age** between multi- and non-multi- exposure group



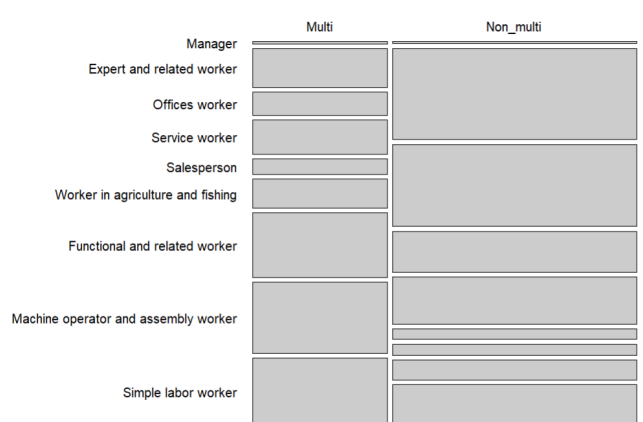
(c) Comparison by **employment type** between multi- and non-multi- exposure group



(d) Comparison by **employment status** between multi- and non-multi- exposure group



(e) Comparison by **workplace size** between multi- and non-multi- exposure group



(f) Comparison by **occupation** between multi- and non-multi- exposure group

Figure 1. Visualized comparison of workers exposed to multiple hazardous agents with workers otherwise

Table 1. Comparison of workers exposed to multiple hazardous agents with workers otherwise

Variables		Multi exposures (N [*] =17,915)		Non-multi exposure (N [*] =33,450)		χ^2 p-value
		n [†]	%	n [†]	%	
Gender	Male	12,468	69.6	16,340	50.4	742.306 α 0.001
	Female	5,447	30.4	16,110	49.6	
Age (year)	≤ 39	4,880	27.2	11,964	36.9	118.914 α 0.001
	40-49	3,813	21.3	7,967	24.6	
	50-59	4,739	26.5	7,110	21.9	
	≥ 60	4,483	25.0	5,408	16.7	
Employment type	Self-employed without worker	3,021	16.9	4,788	14.8	25.117 α 0.001
	Self-employed with worker	1,100	6.1	1,340	4.1	
	Wage worker	13,033	72.7	25,337	78.1	
	Unpaid family worker	761	4.2	984	3.0	
Employment status [‡]	Permanent worker	9,521	73.1	20,462	80.8	217.319 α 0.001
	Temporary worker	1,969	15.1	4,126	16.3	
	Daily worker	1,543	11.8	749	3.0	
Workplace size [§] (No. of workers)	≤ 49	13,445	79.9	23,633	76.7	11.196 α 0.001
	50-299	2,452	14.6	5,173	16.8	
	≥ 300	926	5.5	1,991	6.5	
Occupation classification	Manager	144	0.8	240	0.7	476.477 α 0.001
	Expert and related worker	2,003	11.2	8,535	26.3	
	Office worker	1,191	6.6	7,682	23.7	
	Service worker	1,783	10.0	3,814	11.8	
	Salesperson	797	4.4	4,420	13.6	
	Worker in agriculture and fishing	1,493	8.3	1,000	3.1	
	Functional and related worker	3,337	18.6	1,066	3.3	
	Machine operator and assembly worker	3,661	20.4	1,872	5.8	
Simple labor worker	3,506	19.6	3,821	11.8		

^{*}N : No of samples (respondents, weighted) [†]n : Subtotal of samples (respondents, weighted)
[‡]Sum of n of each employment status equal to n of wage worker in employment type
[§]Sum of n of each workplace size less than 17,163 due to answers of 'not knowing' and 'not responding'

이 높아 집단 간에 차이를 보였다($p < 0.001$).

성별을 비롯하여 연령, 종사상 지위, 임금근로자 고용형태, 사업장 규모, 직종 등 분석된 모든 변수에 대해 다중노출 근로자와 비 다중노출 근로자 집단 간 통계적으로 유의한 차이($p < 0.001$)가 있었다(Table 1).

2. 다중노출의 다양한 양상

다중노출 유해인자의 특징을 살펴보기 위해 다중노출 시 다중노출을 함께 구성하는 유해인자 조합의 빈도를 조사하였으며, 다중노출 유해인자 사이의 상관관계 분

석을 통해 유해인자 간의 특이적인 관련성을 살펴보았다. 또한 다중노출 근로자 집단의 성별, 연령의 사회인구학적 특성과 사업장 규모, 직종, 업종 등 직업적 양상을 살펴보기 위해 다중노출 여부를 종속변수로 하여 다변수 로지스틱 회귀분석(multivariate logistic analysis)을 실시하였다.

1) 다중노출 최빈 유해인자 조합

제6차 근로환경조사로부터 확인된 471개의 다중노출 유해인자의 조합 중 빈도수 상위 10개 조합은 (Table

Table 2. 10 most frequent combinations of hazardous agents in multiple exposures

Combinations of hazardous agents	Frequency	Ratio (%)
Erg.* factors + vibration	2,428.372	13.6
Erg.* factors + high temp.† + low temp.†	1,144.307	6.4
Erg.* factors + vibration + noise	1,141.751	6.4
Erg.* factors + dust	761.451	4.3
Erg.* factors + high temp.†	702.371	3.9
Erg.* factors + vibration + noise + high temp.† + low temp.† + dust	643.790	3.6
Erg.* factors + vibration + noise + dust	607.905	3.4
Erg.* factors + noise	590.209	3.3
Erg.* factors + vibration + dust	576.607	3.2
Erg.* factors + vibration + noise + high temp.† + low temp.†	471.825	2.6

* Erg. : Ergonomic † temp. : Temperature

2)와 같다. 다중노출 유해인자의 조합 중 최빈 조합은 진동과 근골격계질환 유발 유해요인에 함께 노출되는 경우로, 다중노출 근로자의 13.6%가 해당 조합에 노출되는 것으로 응답하였다.

근골격계질환 유발 유해요인에 대한 노출은 다중노출 유해인자 상위 10개 조합 모두에 포함되었다. 근골격계질환 유발 유해요인에 대하여 전체 응답자 중 84.2%가, 다중노출 응답자 중 98.1%가 근골격계질환 유발 유해요인에 노출된다고 답하여 다중노출과 비 다중노출 근로자 집단 모두에서 가장 높은 비율을 보인 유해인자였다. 진동은 전체 응답자 중 22.8%가, 다중노출 응답자 중 63.7%가 노출된다고 하였는데, 이는 근골격계질환 유발 유해요인을 제외하고 전체 응답자와 다중노출 응답자 모두에서 가장 높은 비율이었으며 전체 응답자 중에서 차지하는 비율과 다중노출 근로자에서 차지하는 비율과의 차이(40.9% = 63.7% - 22.8%)는 모든 유해인자 중에 가장 컸다.

소음의 경우 전체 응답자 중 15.4%가, 다중노출 응답자 43.0%가 노출된다고 답하였다. 높은 온도의 유해인자에 노출된다고 응답한 근로자는 전체 응답자 중 15.2%에 해당하였으며, 다중노출 근로자 중에는 그 비율이 42.6%로 증가하였다. 낮은 온도의 유해인자에 노출된다고 응답한 근로자는 높은 온도의 유해인자에 대한 응답과 유사한 양상을 보였는데, 전체 응답자 중 13.5%가, 다중노출 응답자의 37.7%가 노출된다고 답하였다. 이는 뒤에서 기술할 높은 온도에 노출과 낮은 온도에 노출 간의 상관관계가 높은 것과도 관련이 있다.

본진에는 전체 응답자와 다중노출 응답자 중에서 각

각 14.8%와 41.4%가 노출되는 것으로 응답하였다. 감염에는 전체 응답자와 다중노출 응답자 중에서 각각 3.1%와 8.8%가 노출되는 것으로 응답하여, 전체 응답자 중 5.2%와 다중노출 근로자 중 14.4%가 노출된다고 응답한 간접흡연과 함께 가장 낮은 비율의 근로자가 노출되는 것으로 응답하였다.

피부 접촉에는 전체 응답자 중 6.0%가, 다중노출 응답자 중 16.7%가 노출된다고 답하였으며, 증기에는 각각 전체 응답자와 다중노출 응답자 중에서 5.3%와 14.9%가 노출되는 것으로 응답하였다.

2) 다중노출 유해인자 간 상관관계 분석

다중노출되는 2종의 유해인자 간의 상관관계를 2차원 상관행렬에 상관계수와 함께 상관계수에 따른 도형의 크기와 색으로 <Figure 2>와 같이 표시하였다. 다중노출되는 2종의 유해인자 간 상관관계 분석을 통해 가장 높은 상관계수(0.59)를 보여주는 유해인자는 '높은 온도'와 '낮은 온도'였다. 이 외 상관계수가 0.5 이상인 다중노출 유해인자 조합은 상관계수가 0.52인 '증기'와 '피부노출'이 있었다.

앞서 서술한 바와 같이 다중노출 최빈 상위 10개 조합에는 모두 근골격계질환 유발 유해요인이 모두 포함된 것에 비해, 상관관계 분석에서는 근골격계질환 유발 유해요인과 함께 노출되는 경우 조합을 이루는 유해요인의 종류와 관계없이 모두 0에 가까운 상관계수를 나타내었다.

3) 다중노출 관련 영향요인

다중노출과 관계되는 사회인구학적 특성 및 직업적 특

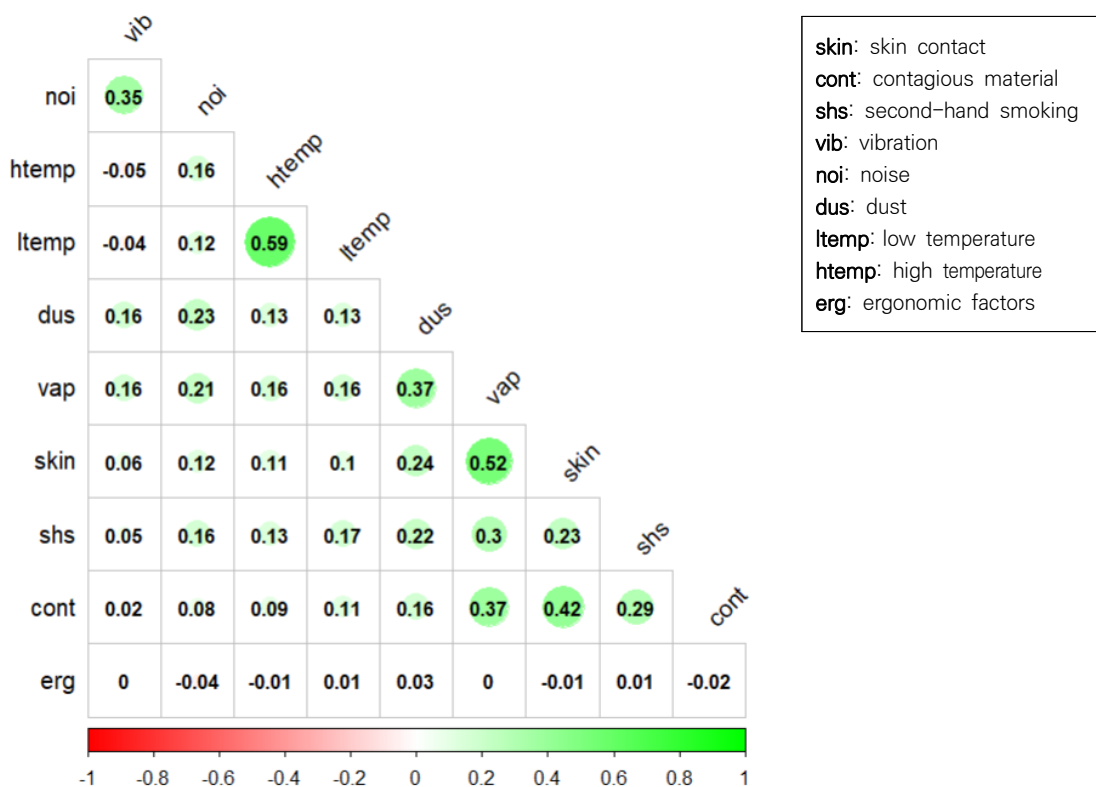


Figure 2. Correlation coefficients on each pair of hazardous agents in multiple exposures

성 요인을 확인하기 위해, 다중노출 여부를 종속변수로 하고 성별, 연령, 종사상 지위, 사업장 규모, 직종을 독립 변수로 하여 다변수 로지스틱 회귀분석(multivariate logistic analysis)을 실시한 뒤 비차비(odds ratio)를 구해 <Table 3>에 제시하였다.

통계적으로 유의한 차이($p < 0.05$)가 있는 변수는 다음과 같았다. 우선 성별 관점에서 다중노출을 살펴보면, 남성 대비 여성의 비차비는 0.692이었으며, 종사상 지위에 대해서는 ‘고용인이 없는 자영업자’ 대비 ‘무급가족종사자’, ‘고용인이 있는 자영업자’는 각각 1.376, 1.216이었다. 사업장 규모에 있어서 근로자수 ‘50-299명’ 집단의 비차비는 ‘49명 이하’ 집단 대비 0.814로 나타났다.

직종의 경우 ‘관리자’를 기준으로, ‘사무종사자’의 비차비는 0.562이었으며, ‘기능원 및 관련 기능 종사자’의 비차비는 4.057, ‘농림어업 숙련 종사자’의 비차비는 4.310, ‘장치, 기계 조작 및 조립 종사자’의 비차비는 3.029, ‘단순노무 종사자’의 비차비는 2.631, ‘서비스 종사자’의 비차비는 1.608이었다.

업종에 대해서는 ‘농업, 임업 및 어업’ 업종에 비해 ‘제조업’의 비차비는 2.429, ‘전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업’의 비차비는 2.090, ‘수도, 하수 및 폐기물처리, 원료 재생업’의 비차비는 3.608, ‘건설업’의 비차비는 3.480, ‘정보통신업’의 비차비는 0.524, ‘금융 및 보험업’의 비차비는 0.303, ‘부동산업’의 비차비는 0.452, ‘가구 내 고용활동 및 자가 소비 생산 활동’의 비차비는 0.051이었다.

IV. 고찰 및 결론

본 연구는 제6차 근로환경조사를 원시자료로 활용하여 우리나라 사업장에서 근무 중 2종 이상의 유해인자에 노출되는 다중노출 근로자 집단의 근로환경 특성을 2종 미만의 유해인자에 노출되는 것으로 응답한 근로자 집단의 것과 비교함으로써 다중노출 근로환경 특성의 실태를 확인하였다.

제6차 근로환경조사에서는 전체 50,538명이 응답하였으나, 다중노출 실태 분석을 위해 ‘모름/무응답’ 제외

Table 3. Multiple logistic analysis of factors relevant to multiple exposures

Variables		Odds ratio	95% CI
Gender	Female	0.692*	0.640–0.748
	40–49	0.949	0.858–1.049
Age (year)	50–59	1.044	0.939–1.162
	≥ 60	0.951	0.841–1.075
Employment type	Self-employed with worker	1.216*	1.016–1.455
	Wage worker	1.083	0.973–1.205
	Unpaid family worker	1.376*	1.076–1.759
Workplace size (No of workers)	50–299	0.814*	0.689–0.961
	≥ 300	0.933	0.830–1.048
Occupation classification	Expert and related worker	0.701	0.443–1.108
	Office worker	0.368*	0.233–0.583
	Service worker	1.608*	1.012–2.556
	Salesperson	0.670	0.420–1.069
	Worker in agriculture and fishing	4.310*	2.204–8.430
	Functional and related worker	4.057*	2.561–6.427
	Machine operator and assembly worker	3.029*	1.909–4.806
	Simple labor worker	2.631*	1.665–4.157
Industry classification	Mining and quarrying	2.173	0.405–11.657
	Manufacturing	2.429*	1.454–4.058
	Electricity, gas, steam, and air conditioning supply	2.090*	1.065–4.102
	Water supply; sewage, waster management, materials recovery	3.608*	1.706–7.633
	Construction	3.480*	2.065–5.865
	Wholesale and retail trade	0.778	0.464–1.303
	Transportation and storage	1.160	0.685–1.964
	Accommodation and food service activities	0.914	0.545–1.531
	Information and communication	0.524*	0.299–0.919
	Financial and insurance activities	0.303*	0.171–0.538
	Real estate activities	0.452*	0.266–0.769
	Professional, scientific and technical activities	0.718	0.415–1.245
	Business facilities management and business support services; rental and leasing activities	1.291	0.770–2.165
	Public administration and defence; compulsory social security	0.805	0.479–1.355
	Education	0.621	0.364–1.060
	Human health and social work activities	0.843	0.500–1.422
	Arts, sports and recreation related services	1.127	0.638–1.990
Membership organizations, repair and other personal services	1.402	0.834–2.358	
Activities of households as employers; undifferentiated goods-and services-producing activities of households for own use	0.051*	0.018–0.143	
Activities of extraterritorial organizations and bodies	1.349	0.214–8.498	

* $p < 0.05$

등 전처리 결과 50,405명의 응답결과가 이번 연구의 분석대상이 되었다. 이 중 2종 이상의 유해인자에 노출된다고 응답한 근로자(다중노출 근로자)는 가중치를 적용한 결과 17,915(35.6%)명이었다.

다중노출 근로자 집단과 비 다중노출 근로자 집단을 비교분석한 결과, 두 집단은 성별, 연령, 종사상 지위, 임금근로자 고용형태, 사업장 규모, 직종 등 분석된 모든 변수에 대해 그 구성에 있어 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 구체적으로 다중노출 근로자의 근로환경에서는 비 다중노출 근로자와 비교하여 남성의 비율이 높았고, 연령별로는 두 집단 모두 '39세 이상'이 가장 높은 비율을 차지하였으나, 구성에서 두 집단이 차이가 있었다. 또한 직종에서는 다중노출 근로자 집단에서는 '장치, 기계 조작 및 조립 종사자' 구성이 가장 높은 반면, 비 다중노출 근로자 집단에서는 '전문가 및 관련 종사자' 직종이 가장 높은 비율을 보였다. 반면 종사상 지위에 있어 다중노출 근로자 집단과 비 다중노출 근로자 집단 모두 '임금근로자'의 비율이 가장 높았으며 '임금근로자'의 고용형태에 있어서도 두 집단 모두 '상용근로자'의 비율이 가장 높았다. 근로자 수에 따른 사업장 규모에서도 두 집단 모두 '49명 이하' 규모의 사업장이 80%에 가까운 비율로 가장 높았다.

본 연구에서 확인된 총 471개 다중노출 유해요인 조합 중, 가장 빈번하게 나타난 조합은 '진동'과 '근골격계 유해요인'의 동시 노출이었다. 특히 상위 10개 조합 모두에 근골격계 유해요인이 공통적으로 포함되어 있었으며, 이는 해당 요인이 산업 전반에서 매우 광범위하게 작용함을 시사한다. 근골격계질환 유발 유해요인에 대한 노출은 상위 10개 조합 모두에 포함되었는데, 근골격계질환 유발 유해요인에 노출된다고 응답한 근로자가 전체 응답자 중 84.2%로 그 비율이 압도적으로 높았던 것이 그 원인으로 생각된다. 이러한 특징은 다중노출 유해인자 사이의 상관관계 분석에서도 나타나는데, 다중노출 상위 10개 조합 모두에 근골격계질환 유발 유해요인이 포함되었음에도 근골격계질환 유발 유해요인과 다른 유해인자로 이루어진 다중노출 조합은 모두 0에 가까운 상관계수를 나타내어 근골격계질환 유발 유해요인을 포함하는 다중노출 유해인자 조합은 특이성이 낮은 것으로 나타났다. 근골격계질환 유발 유해요인을 제외하는 경우, '높은 온도'+ '낮은 온도', 진동+소음, 진동+소음+'높은 온도'+ '낮은 온도', 진동+분진 등 조합의 빈도가 높았다.

상관관계가 가장 높은 유해인자 조합은 '높은 온도'와 '낮은 온도'였으며, 이 외 상관계수가 0.5 이상인 조합은 증기와 피부노출의 유해인자 조합이었다. '높은 온도'와 '낮은 온도' 조합의 높은 다중노출 상관관계는 언뜻 모순적으로 보일 수 있으나, 설문에서 '높은 온도'는 금속제련 등과 같은 정도의 고온이 아닌 '일하지 않을 때조차 땀을 흘릴 정도로 높은 온도'를 의미하며, '낮은 온도'는 냉동창고 등과 같은 정도의 저온이 아닌 '실내/실외 관계없이 낮은 온도'를 의미하고 있어, 높은 온도와 낮은 온도에 동시에 또는 동일 작업일/매우 인접한 작업일 내 노출되는 것이 아닌 계절의 변화에 따라 여름과 겨울에 상온의 온도에 노출되는 것에 따른 것으로 보인다.

본 연구결과의 다중노출 관련 영향요인에서 살펴본 대로 성별, 종사상 지위, 사업장 규모, 직종, 업종 등 요인이 다중노출과 특별히 상대적으로 높은 관련이 있는 것으로 확인되었다. 그 중, 직종에 있어 '농림어업 숙련 종사자'의 다중노출은 '관리자' 대비 가장 높은 비차비를 보여 4.310배 높은 것으로 나타났다. '기능원 및 관련 기능 종사자', '장치, 기계 조작 및 조립 종사자', '단순노무 종사자'도 이에 못지않게 비차비가 높았는데 각각 4.057, 3.029, 2.631배 증가하는 것으로 분석되었다.

국외의 국민건강영양조사 자료를 분석한 선행연구(Nguyen et al., 2022)에 따르면 건설 근로자는 육체노동과 기계 사용으로 인한 인체공학적 위험과 함께 중금속, 유기용제 등 화학물질에 자주 노출된다고 보고하였으며, 농업 근로자는 건강장해를 일으킬 수 있는 화학적, 생체역학적, 물리적 위험에 노출되고 있다고 하였다. 세척작업자 역시 직업적 유해인자에서의 다중노출에 취약한데 세척 작업자는 화학적, 근골격계 질환 관련, 물리적 위험에 노출되고 있다(Zock, 2005).

다중노출 집단 내에서 '기능원 및 관련 기능 종사자' 직종의 남성 비율은 87.3%로 다중노출 집단의 남성 비율 69.6%보다 현저히 높았다. 다중노출 되는 '기능원 및 관련 기능 종사자' 직종에서의 업종구성을 살펴보면 '건설업' 42.6%, '제조업' 28.7%로 다중노출 집단의 '제조업'(25.0%), '건설업'(14.1%)의 구성 비율보다 높았다. 남성 성별과 '제조업', '건설업'의 업종 특성은 높은 다중노출 특성과 관련이 있었다.

'농업, 임업 및 어업' 업종 대비 다중노출 비차비가 높은 업종을 살펴보면, '수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업'(3.608)배, '건설업'(3.480배), '제조업'(2.429배) 순

이었다. 반대로 다중노출 비차비가 두드러지게 낮은 업종은 ‘가구 내 고용활동 및 자가 소비 생산 활동 업종’(0.051배), ‘금융 및 보험업’(0.303배), ‘부동산업’(0.452) 등이 있었으며, ‘교육 서비스업’(0.621배), ‘전문, 과학 및 기술 서비스업’(0.718배), ‘공공 행정, 국방 및 사회보장 행정’(0.805배), ‘보건업 및 사회복지 서비스업’(0.843배) 등의 업종에서도 비차비가 낮았다. 이들 업종에서의 낮은 다중노출 비차비는 직종 중 사무 종사자에서 0.368배로 다중노출이 감소하는 것과 관련 있는 것으로 보인다.

제조업에서 근로자는 아크릴아마이드 및 중금속 등 여러 화학물질에 노출되는 경우가 많고, 주요 생체지표에서 기준을 초과하는 경우가 있음이 확인(Nguyen et al., 2022) 되었으며, Barbey et al.(2024)의 2024년 연구에서는 의료 종사자에서 화학적(마취 가스, 세척제 등), 생물학적(병원균), 인체공학적 유해요인이 혼합되어 호흡기 및 신경학적 문제를 일으킬 수 있다고 보고하였다.

또한, 금속 산업의 근로자는 일산화탄소, 오존, 금속과 같은 화학물질과 높은 소음 수준에 노출된다(Reinhold & Pallon, 2014). 터키에서는 섬유, 화학, 식품, 금속 제품 및 목공 산업에서 상당한 소음 및 인체공학적 위험이 보고되고 있기도 하다(Soytaş, 2006). 연마 산업에서는 근로자들이 여러 화학적 및 물리적 위험에 노출되어 생화학적 및 혈액학적 영향이 확인(El-Gazzar et al., 2002) 되기도 하였으며, 광산업 역시 유해인자에의 다중노출이 두드러지는 업종으로 물리적, 화학적, 생물학적, 인체공학적, 심리사회적 위험을 포함한 다양한 위험을 내포하고 있다(Donoghue, 2004).

다중노출 집단의 남성 비율은 69.6%인데 비해, 다중노출되는 ‘건설업’에서의 남성 비율은 94.5%로 압도적으로 높은 비율을 보였으며, 다중노출되는 ‘수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업’에서의 남성 비율 역시 83.2%로 높은 비율을 보였다. 다중노출 ‘건설업’에서는 ‘기능원 및 관련 기능 종사자’의 비율(56.3%)이 다중노출 집단 전체의 비율(18.6%)보다 현저히 높았으며, 다중노출되는 ‘수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업’에서는 ‘단순노무 종사자’의 비율이 38.5%로 다중노출 전체 집단의 해당 각 업종의 비율(19.6%)보다 높았다. 남성 성별과 더불어 ‘기능원 및 관련 기능 종사자’와 ‘단순노무 종사자’ 역시 높은 다중노출 특성을 보이는 직종 요인이다.

분석대상 요인 중 연령, 종사상 지위, 사업장 규모의

각 세부 요인에 따라서는 비차비가 1과 가까운 값이거나 통계적으로 유의한 차이가 있지 않았다.

산업현장에서 다수의 유해인자에 함께 노출되는 경우 단일인자에 노출되는 경우에 비해 건강장해 발생 위험도를 높인다. Mandanach et al.(2024)은 2024년 연구에서 다년간 용접작업을 하며 복수의 유해인자에 노출되는 용접자에게 폐암을 비롯한 심각한 호흡기 장해 발생사례를 보고하였으며, 근로자 건강진단 코호트 연구(Kang et al., 2023)에서는 소음과 다양한 화학물질에 노출되는 경우 특히 야간작업 근로자에 대사 증후군의 위험이 심각하게 증가한다고 하였다. 또한, Occupational Safety and Health Administration(이하 OSHA) 데이터를 분석한 연구(Sarazin et al., 2024)에서는 화학물질에의 다중노출로 인해 종종 과다노출이 발생하고 이로 인해 하부 기도 손상과 중추신경에의 영향에 대한 위험을 확인하였다. 이외에도 자동차 산업에서 소음, 진동, 화학물질 등에 다중노출되어 근로자들에 만성폐쇄성폐질환과 같은 질환의 발생 위험도가 상당한 정도 있는 것으로 나타났다(Valeeva et al., 2024).

본 연구는 다중노출 근로자의 특성과 노출 조합을 확인함으로써, 산업현장에서의 유해요인 관리가 단일 요인 중심의 접근으로는 한계가 있음을 강조한다. 다중노출 간 상호작용은 종종 건강위험을 증폭시키므로, 노출 특성에 기반한 다중위험 관리 전략 수립이 시급하다(Barbey et al., 2024).

본 연구에서는 몇 가지 제한점이 있는데, 첫째, 응답자의 설문에 의존하고 있으므로 응답자의 주관적인 인지 정도에 영향을 받을 수 있고 이에 따라 응답자마다 설문에 대한 응답의 정도가 다를 수 있다는 점이다. 예를 들어, 같은 작업상황에서 특정 유해인자에의 노출 여부 또는 노출시간과 관련하여 응답자간 서로 다른 답을 할 가능성이 있다. 두 번째는 유해인자의 노출강도에 관한 조사가 없으므로 응답자의 유해인자 노출에의 교차검증이 어려운 한편, 노출강도에 따른 가중치를 부여할 수 없으므로 안전보건 개입전략 수립 시 우선순위를 적용하기 어렵다는 점이다. 이러한 제한점에도 불구하고 근로환경 내에서 다중노출과 관련된 특성을 확인함으로써 다중노출과 관련한 산업현장 작업환경 개선을 위한 기초자료를 제공하였다는 점에서 본 연구의 의의가 있다.

산업현장은 다양한 기계·기구, 화학물질 등을 사용하여 작업을 수행하는 곳으로 자연스럽게 복수의 유해인

자에 노출되기 마련이다. 기존의 단일 위험별 평가에서는 관리기준 이하로 과소평가될 수 있지만 화학물질, 소음, 진동 등 여러 위험에 대한 다중노출은 복합적인 상호작용의 결과로 건강장해를 유발할 수 있다. 따라서 이러한 노출을 통제하는 것은 산업보건 영역에서 근로자의 건강을 유지하고 증진하는 데 중요하다.

향후 건강진단 결과 등 근로자 건강장해와 관련한 지표와 다중노출 사이의 연관성을 과학적으로 규명하는 연구를 통해 유해인자에의 다중노출 위험성을 재확인하고 이에 따라 단일요인에 주목해서는 규명이 어려운 영역에 산업보건 관리 자원을 배분하는 등 산업현장에서 유해인자에 의한 산재예방 개입전략의 효과성을 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

제6차 근로환경조사를 원시자료를 살펴본 결과 우리나라 사업장에서 2종 이상의 유해인자에 노출된다고 응답한 근로자(다중노출 근로자)는 최초 응답자 50,405명에서 가중치 적용결과 35.6%인 17,915명이었다. 다중노출 근로자 집단과 비 다중노출 근로자 집단을 비교분석한 결과, 두 집단은 성별, 연령, 종사상 지위, 임금근로자 고용형태, 사업장 규모, 직종 등 변수에 대해 그 구성에 있어 통계적으로 유의한 차이($p < 0.05$)가 있었다. 다중노출 유해인자 조합을 분석한 결과, 확인된 471개의 다중노출 유해인자의 조합 중 진동과 근골격계질환 유발 유해요인에 함께 노출되는 경우를 최빈 조합으로 하여 다중노출 상위 10개 조합 모두에 근골격계질환 유발 유해요인이 포함되었으며, '높은 온도'+ '낮은 온도', 진동+소음, 진동+소음+'높은 온도'+ '낮은 온도', 진동+분진 등 조합의 빈도가 높았다. 다중노출 유해인자 조합 중 '높은 온도'와 '낮은 온도', 증기와 피부노출의 유해인자 조합의 상관관계가 0.5 이상이었으며, 근골격계질환 유발 유해요인을 포함하는 다중노출 조합은 모두 0에 가까운 상관계수를 나타냈다. 남성 성별과 직종에서의 '기능원 및 관련 기능 종사자', 그리고 '제조업', '건설업'의 업종 등은 높은 다중노출 특성과 관련이 있었다. 연구결과 다수의 근로자가 근무 중에 2종 이상의 유해인자에 노출되고 있었으며, '기능원 및 관련 기능 종사자', '농림어업 숙련 종사자', '장치, 기계 조작 및 조립 종사자', '단순노무 종사자' 등 직종과 '건설업', '수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업', '제조업' 등 업종에서 다중노출과의 관련이 특히 높았다. 유해인자별 개별평가에서 적정한 경우라도 유해요인에 함께 노출되는 경우 상호작용의 결과로 근로자에 건강영

향을 줄 수 있으므로 다중노출에 대한 관심과 함께 그에 대한 관리전략을 수립하고 적용하는 것이 필요하다.

References

- Barbey C, Bonvallet N, Clerc F. Health outcomes related to multiple exposures in occupational settings: a review. *Safety and Health at Work* 2024; 15(4): 382-395 (10.1016/j.shaw.2024.10.004)
- Donoghue AM. Occupational health hazards in mining: an overview. *Occupational medicine* 2004;54(5): 283-289 (10.1093/OCCMED/KQH072)
- El-Gazzar R, Abdel-Hamid HA, El-Said KF. Hematological and Biochemical Changes among Workers in Polishing Industry. *Journal of High Institute of Public Health* 2002;32(2):297-304 (10.21608/jhiph.2002.208869)
- Kang D, Lee ES, Kim TK, Kim YJ, Lee S, et al. Association with Combined Occupational Hazards Exposure and Risk of Metabolic Syndrome: A Workers' Health Examination Cohort 2012-2021. *Safety and Health at Work* 2023;14(3):279-286 (10.1016/j.shaw.2023.08.006)
- Mandanach C, Angelescu C, Handra CM. Multiple occupational hazards, multiple occupational diseases - a study case. *Romanian Journal of Occupational Medicine* 2024;75(1):6-11 (<https://doi.org/10.2478/rjom-2024-0001>)
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical Agents(MoEL Public Notice No. 2020-48).; 2020. p. 2
- Nguyen VK, Colacino J, Patel CJ, Sartor M, Jolliet O. Identification of occupations susceptible to high exposure and risk associated with multiple toxicants in an observational study: National Health and Nutrition Examination Survey 1999-2014. *Exposome* 2022;2(1):osac004 (10.1093/exposome/osac004)
- Reinhold K, Pallon L. Metal Workers: Exposure to Chemicals and Noise Caused by Using Incorrect Safety Measures. *Iranian Journal of Public Health* 2014;43(Supple 3):186-193
- Ren J, Xie H, Hu Y, Hong Y, Zou H et al. Occupational Hearing Loss Associated with the Combined Exposure of Solvents and Noise: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Safety* 2023;9(4):71 (10.3390/safety9040071)

- Rim KT. Exposure of chemical mixtures at work and their application to the prevention of occupational disease. Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI), KOSHA. 2022 Apr 7.
- Rim KT, Lee H, Kim Y, Park J, Choi J, et al. Occupational exposure to mixtures and toxic pathways prediction for workers' health. Mol Cell Toxicol. 2023;19(4):775-788 (10.1007/s13273-022-00306-1)
- Sarazin P, Sauve JF, Labreche F, Ho V, Pomerleau M, et al. 128 Assessing potential health risks from multi-exposure to chemicals in U.S. workplaces: findings from the OSHA database. Annals of Work Exposures and Health 2024;68:1-1 10.1093/annweh/wxae035.060. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxae035.060>
- Soytaş U. Physical and ergonomic hazards in the textile, chemical, food, metal products, and woodworking industries in Turkey. International journal of occupational and environmental health 2006; 12(1): 35-41 (10.1179/oeh.2006.12.1.35)
- Valeeva ET, Galimova RR, Distanova AA, Shastin, AS, Saitova AF. Workplace Hazards and Occupational Risk Assessment for Automotive Industry Workers. ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ И СРЕДА ОБИТАНИЯ - ЗНиСО / PUBLIC HEALTH AND LIFE ENVIRONMENT 2024. (<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-2-58-65>)
- Zock JP. World at work: cleaners. Occupational and environmental medicine 2005;62(8):581-584 (10.1136/oem.2004.015032)

<저자정보>

조지훈(연구위원)