



OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ISSUE REPORT

OSH 한국판진 등수리버비 ISSUE REPORT 2019 No.2
발행처 산업안전보건연구원 | 등록번호 바00003[2016.10.31] | 2019.Vol.13 No.02 | 통권 81호 | 2019.10.31

OSH

OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ISSUE REPORT

안전보건 이슈리포트

- 1 직업병 예방 전략의 미래
- 2 석탄화력발전소의 작업환경 특성과 관리방안
- 3 보육 종사자의 안전, 무엇이 문제인가?
- 4 연구결과로 살펴보는 미세먼지의 건강영향
- 5 기업의 투자는 산재예방에 효과가 있을까?



산업재해예방
안전보건공단
산업안전보건연구원

울산광역시 중구 중가로 400
www.oshri.kosha.or.kr
Tel. 052.703.0816
Fax. 052.703.0331

산업재해예방
안전보건공단
산업안전보건연구원

OSH

2019년 제2호 안전보건 이슈리포트

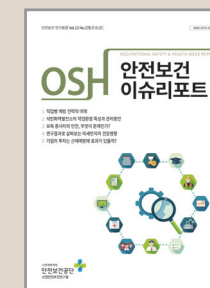
OCCUPATIONAL SAFETY &
HEALTH ISSUE REPORT



산업안전보건연구원은 안전보건 연구개발을 통해 산업재해 예방에 기여하고자 1989년에 설립한 산업재해예방 연구기관으로, 산업현장의 안전보건 문제를 해결하기 위한 정책개발, 안전보건 이슈와 법제도에 대한 연구활동을 통해 노동자의 삶의 질 향상과 생명보호를 위해 노력하고 있습니다.

「안전보건 이슈리포트」는 산업안전보건과 관련된 시급하고 중요한 국내·외의 다양한 정보와 동향을 선제적으로 파악하여 정부, 학계 등의 안전보건정책 의사 결정자에게 알리고, 안전보건 정책을 선도할 수 있는 선제적 연구과제를 발굴하여 단기 및 중·장기 안전보건 연구과제에 반영하기 위해 정기적으로 발행하고 있습니다.

Issue 01	직업병 예방 전략의 미래	02
Issue 02	석탄화력발전소의 작업환경 특성과 관리방안	16
Issue 03	보육 종사자의 안전, 무엇이 문제인가?	26
Issue 04	연구결과로 살펴보는 미세먼지의 건강영향	34
Issue 05	기업의 투자는 산재예방에 효과가 있을까?	44



안전보건 이슈리포트 (2019년 제2호)

[2019-연구원-1481]

발행일 초판 | 2019년 10월
발행인 고재철(산업안전보건연구원장)
발행처 산업안전보건연구원
울산광역시 중구 종가로 400(북정동)
문의처 052-703-0816
편집디자인 한결엠 02-852-7365

※본지에 게재된 내용은 필자의 개인적 견해이며, 우리 연구원의 공식 견해와 다를 수 있습니다.

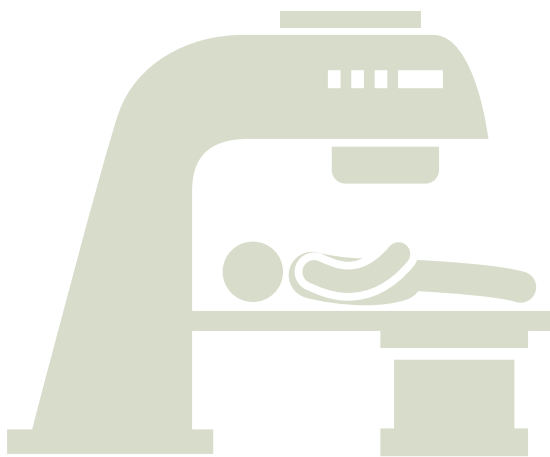
01

ISSUE

ISSUE
REPORT

직업병 예방 전략의 미래

직업건강연구실 김은아 실장

직업병
예방의 핵심,
특수건강진단제도

지난 수십 년 동안 우리사회의 직업병 예방 정책 대상은 양적으로 확대되어왔는데, 그 중심에 있는 제도는 작업환경측정과 특수건강검진이라고 볼 수 있다. 특수건강진단을 받은 노동자는 1972년 7만 9천여 명¹⁾에서 2017년 25배가 증가한 2,023,783명²⁾이 되었다. 작업환경측정제도를 통해 작업장에서 노출되는 위험이 파악되며, 특수건강진단제도에서는 그 위험요인에 노출되는 노동자가 건강진단을 받게 된다. 이 검진결과로부터 알게 된 이상소견을 보살피는 사후관리는 사업장 보건관리를 위한 가장 중요한 정보로 자리매김하고 있다. 사업주가 특수건강진단을 제공할 의무를 지는 '위험요인'은 1961년에 31개에서 출발, 현재 178종³⁾까지 확대되어 광범위한 유해요인으로부터 노동자 건강을 지키는 보호막 역할을 하고 있다.

백여 종이 넘는 유해요인을 200만 명이 넘는 노동자가 거의 매년 검진하고 있는 만큼 우리나라의 직업병 예방 인프라는 상당한 수준에 이르렀을 것으로 기대 할 수 있다. 그러나 이 제도에는 중요한 사각지대가 있다. 즉, 1980년 이후 사회적 이목을 끈 화학물질 중독 사례 중 상당수는 특수건강진단을 받지 못한 것이다. 1997년부터 2000년대 초반까지 매년 발생한 디메틸포름아미드 중독⁴⁾, 트리클로로에틸렌 중독⁵⁾, 또 2016년 메탄올 중독과 2017년 소화기제조업의 독성간염 등이 파견노동자, 소규모사업장, 임시직노동자 등에서 발생하였다는 것은 이들에게 특수건강진단제도가 작동하지 않는 사각지대임을 의미한다.

2000년대 이후 직업병의 주요 현안이 된 직업성 암의 경우도 형편이 다르지 않다. 1993년 석면에 의한 악성중피종이 보고된 후 폐암, 백혈병, 악성림프종 등 다양한 암 질환이 직업성 암으로 인정되는 수가 늘어나고 있다. 현재 178종의 특수건강진단 대상 위험요인 중 국제암연구소(international agency of research on cancer, IARC)가 선정한 그룹 2A이상의 발암물질은 총 37개(group 1 24개, group 2A 13개)로, 인간에게 암을 발생시킬 위험이 큰 물질 대부분은 특수건강진단대상 대상에 포함되어 있다. 따라서 특수건강진단을 통해 발암물질 대부분은 1년에 한 번 이상 검진을 받게 되어 직업성 암예방에 기여할 것으로 기대할 수 있지만 실제 그러한 사례는 찾아보기 어렵다. 왜냐하면 대부분의 암은 발생빈도가 낮고, 발암물질 노출 후 10년 이상 후에 발생하며, 현직에서가 아닌 퇴직 후 암으로 진단되는 경우가 대부분이어서 특수건강진단에서는 찾아보기 어렵기 때문이다.

1) 경향신문, 1973.08.24, 기사「전국 근로자 진단」

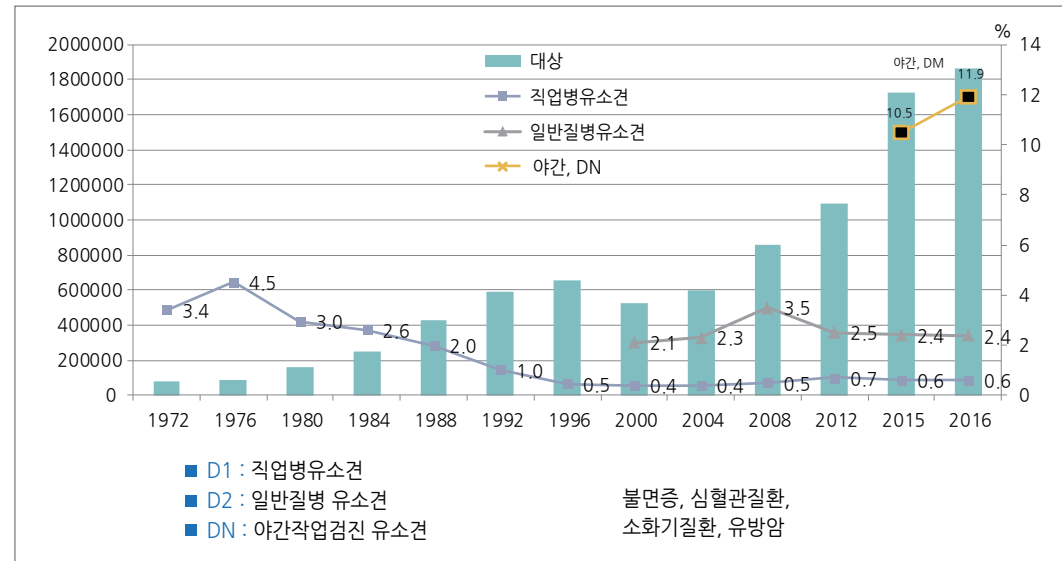
2) 2017년도 근로자건강진단 실시결과:
<http://www.kosha.or.kr/kosha/data>

3) 산업안전보건법 시행규칙 별표 12-2

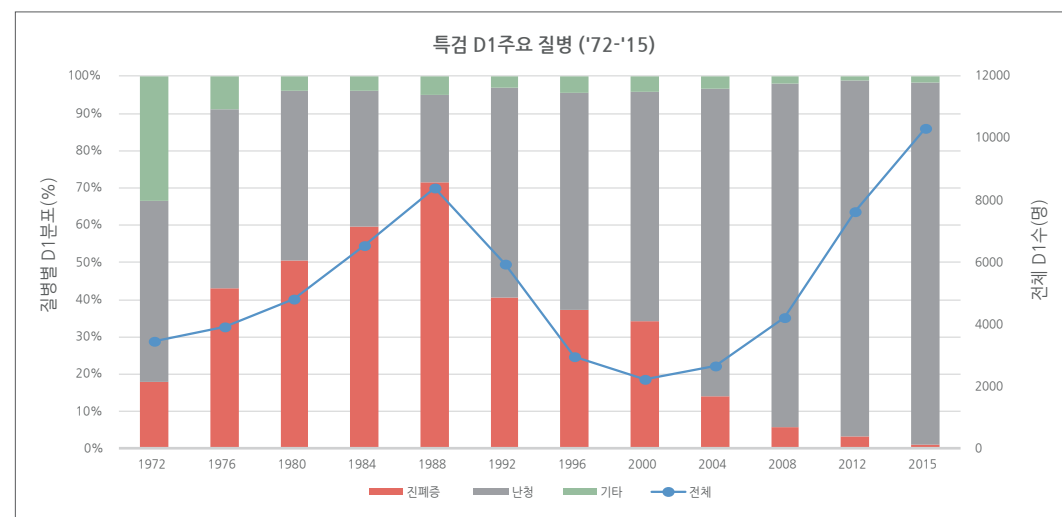
4) 산업안전보건연구원. 영세소규모제조업체와 중소근로자의 산업보건학적 취약성 원인과 대책. 산업안전보건연구원, 2016.

5) 김현주, 이지아. 한국의 급성중독성질환. EWHA MED J, 2016;39(4):99-103.

그렇다면, 중독이나 직업성 암 이외 다른 다양한 직업병들은 특수건강진단을 통해 발견되고 있을까? 한 해 약 200만 여 명이 건강검진을 받지만 직업병유소견자는 0.6%에 불과하며 그 중 97%가 직업성난청이다(그림 1, 2).



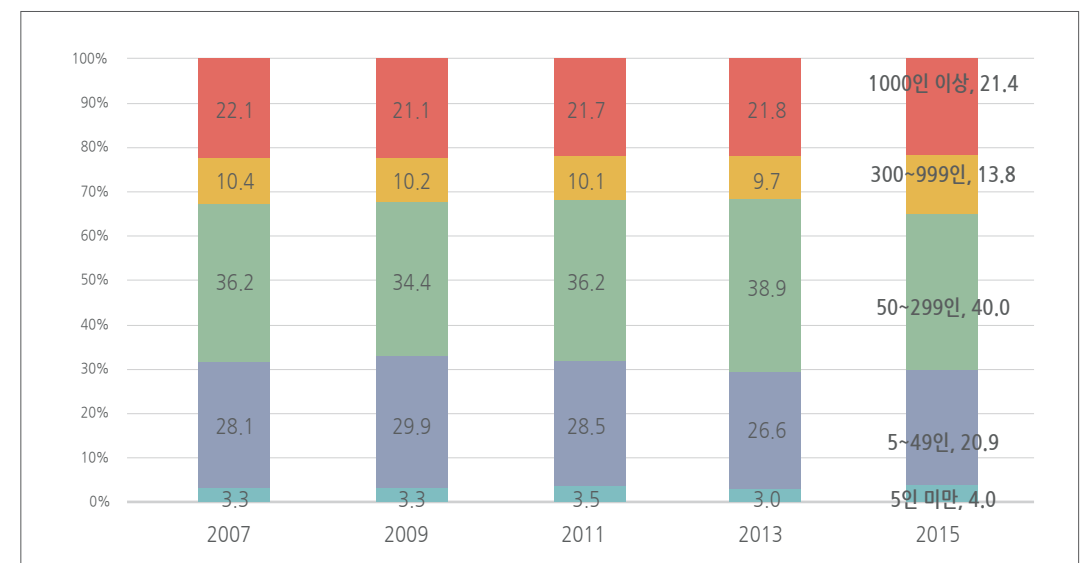
[그림 1] 특수건강진단의 직업병 유소견율



[그림 2] 특수건강진단 유소견자의 질병종류
Pneumoconiosis: 진폐, NHL: 소음성난청

또한 특수건강진단을 통해 화학물질 급성중독을 예방함에 있어 소규모 사업장 노동자는 이 제도에서 대부분 소외된 것으로 보이는데, 특수건강진단을 받은 노동자 중 5인 미만 사업장 소속은 5% 미만인 것으로 나타난다(그림 3).

즉, 1972년 이후 직업병 예방제도의 중심축인 특수건강진단 제도의 커버리지는 수십 배 확대 되었지만 직업병으로 진단되는 사람은 소수에 불과한데 그나마도 직업성 난청외의 질병은 매우 드물어 제도의 효율성이 의심되는 실정이다. 또한 검진제도의 보호를 받지 못하는 사각지대가 여전히 많아 직업병 예방정책을 위한 핵심 역할을 하는데 부족하다.



[그림 3] 검진수진자의 사업장 규모 백분율

한계 1. 직업병 규모 추정의 한계



위와 같은 결과를 해석함에 있어 작업환경이 오늘날에는 매우 향상되어 유해요인 농도가 현저히 낮아졌기 때문에 발생하는 질병도 줄어들었을 가능성도 있다. 실제 1970년대 이후 우리나라 제조업의 비중이 줄어들고 있으며, 따라서 작업장 유해물질 농도가 점점 감소했을 가능성도 있다. 이러한 가설을 뒷받침하기 위해서는 주기적으로 노출 수준을 평가하고 이를 질병 발생과 연결하는 연구가 뒷받침되어야 하는데 우리나라에서는 이러한 연구가 아직 부족한 실정이다.

한편, 연구자들은 사회에서 발생하는 질병 중 직업병에 해당하는 것은 얼마나 되는지 추정하는 연구를 수행하여⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾ 통계로 잡히지 않는 직업병의 규모를 추정함으로써 정책방향과 우선순위에 활용해 왔다. 이 수치들을 적용하여 우리사회에서 진단된 질병자들¹⁰⁾ 중 직업병일 가능성이 있는 환자수를 대략 추정해 보면 [표 1]과 같이 나타난다. 여기서는 전형적인 직업병으로 알려진 급성중독, 호흡기질환(진폐, 천식), 소음성난청과 더불어 폐암과 백혈병에 대해서 적용해 보았다. 2017년 건강보험공단을 통해 수진한 난청 중 소음성난청과 가장 유사한 항목인 전음성 및 감각신경성 난청 환자는 152,747명이었다. 선행연구들에 비춰 이 중 21%가 직업성일 가능성이 있다고 가정한다면 32,077명이 된다. 하지만 같은 해 특수건강진단에서 직업병 유소견(D1)으로 진단된 노동자는 11,730명이었고 난청 요관찰 (C1)이 126,577명으로 실제 추정치보다 4배 이상 많이 관리되고 있다. 즉, 난청의 경우 건강보험공단 보다는 특수건강진단 체계를 통해 우선적으로 커버되고 있으며, 진폐 역시 보상과 검진 제도를 통해 관리범주 안에 들어와 있음을 볼 수 있다. 그러나 화학물질 중독의 경우 특수건강진단에서 진단된 유소견은 173건, 산재보험에서 보상된 사례는 52건이었으나 건강보험공단에서 해당 질병으로 진료 받은 실 수진자(ICD 10 T51~T60, T65)수로 예측한 직업성중독자는 1,074명으로 특수건강진단 수를 훨씬 상회하고 있다.

[표 1] 건강보험 수진자와 특수건강진단 결과의 비교

	A: 추정(%)	B: 수진자 (명)	AxB: 예측(명)	*산재보험 (명)	**특검	
					유소견 (D1, 명)	난청 요관찰 (C1, 명)
소음성난청	21%	152,747	32,077	1,051	11,730	126,577
중독	급성	8.6%	12,495	1,074	46	173
	만성			6	173	10,772
호흡	천식	11%	595,421	65,496	1	
	진폐	100%	968	968	359 (전체 1,553)	203
암	모든 암	4~8%	229,180	9,167	218	
	폐암	8%	25,780	2,062	173	
	백혈병	2.3%	3,097	71	9	

A: 문헌에서 나타난 직업병 부담 %,
B: 2017년 국민건강보험공단 실 수진자 중 15~59세 인구수
중독: 화학물질 급만성중독
*2017년 산업재해분석 결과
**2017년 근로자 특수건강진단 결과

6) Blanc PD, et al., The Occupational Burden of Nonmalignant Respiratory Diseases. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Statement. Am J Respir Crit Care Med. 2019 Jun 1;199(11):1312-1334.

7) Pr ss-Ust n A1, Vickers C, Haefliger P, Bertolini R. Environ Health. 2011 Jan 21;10:9. doi: 10.1186/1476-069X-10-9. Knowns and unknowns on burden of disease due to chemicals: a systematic review.

8) Daniel Vancopsky, et al. The coast of occupational cancers in the EU28, Brussel, 2017.

9) Nelson DL, Nelson RY, Concha-Barrientos M, Fingerhut M. The global burden of occupational noise-induced hearing loss. Am J Ind Med. 2005 Dec;48(6):446-58.

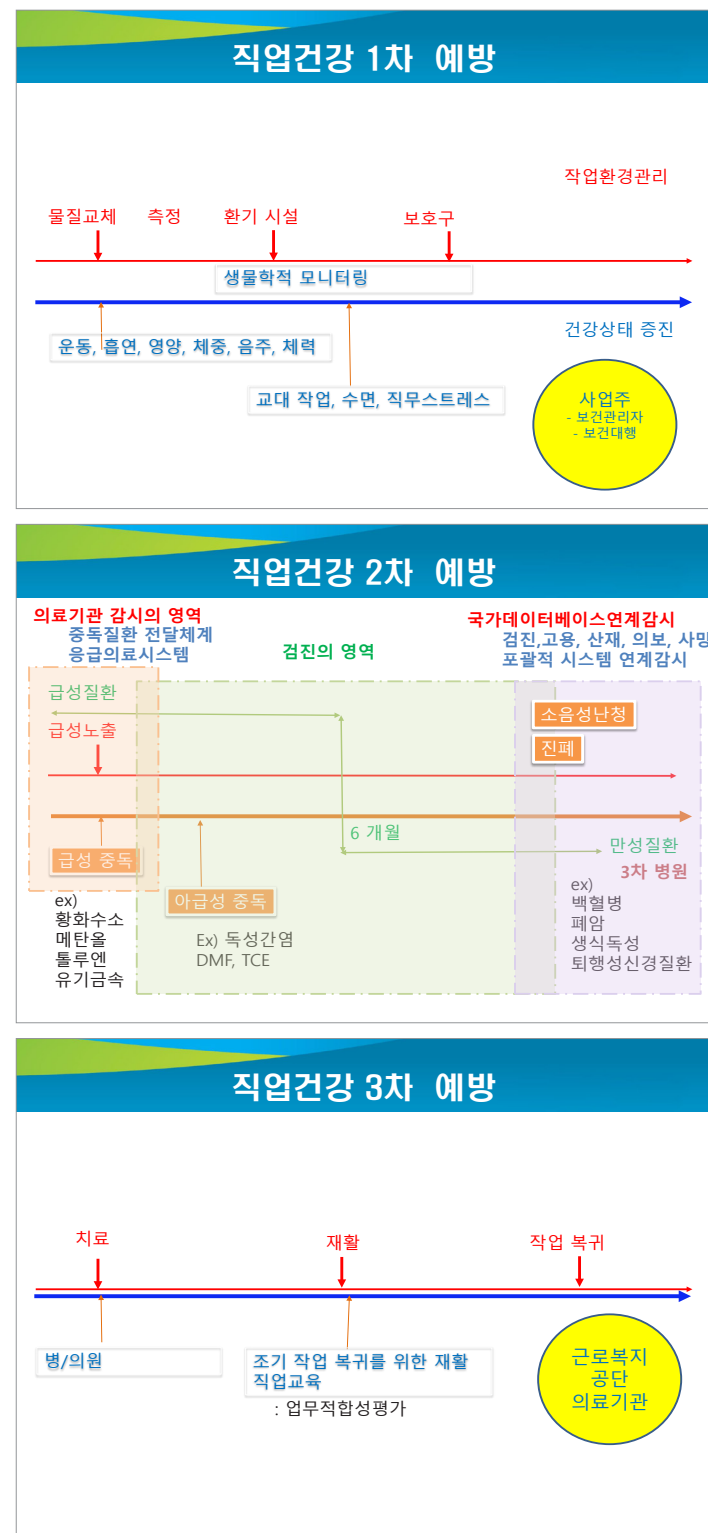
10) 심사평가원 보건의료빅데이터 개방시스템 <https://opendata.hira.or.kr>

한계 2. 집단검진으로는 밝혀내기 어려운 직업병



우리나라 직업병의 크기를 전체적으로 판단하려면 [표 1]과 같은 비교로는 오류가 많으므로 더 자세한 연구가 필요하다. 그러나 분명한 것은, 현행 검진제도로 예방하거나 조기진단 할 수 없는 질환이 더 많이 있을 것이라는 점이며, 현행 검진을 중심의 직업병 예방은 허점을 갖고 있다는 사실이다. 이러한 상황을 두고 제도는 훌륭하나 주체(검진기관, 사업주, 노동자)들의 부적절한 운영 때문이라는 생각을 할 수도 있으며, 더 강력한 규정과 점검을 통해 정확히 실행하도록 감시 감독하는 것이 필요하다고 생각할 수 있다. 그러나 현재 나타난 문제들은 현행 건강진단이라는 제도가 태생적으로 가진 한계 때문에 생기는 것이라고 생각한다. 왜냐하면 집단검진이라는 방법으로 관리할 수 있는 질환은 직업병의 일부에 불과할 수밖에 없기 때문이다.

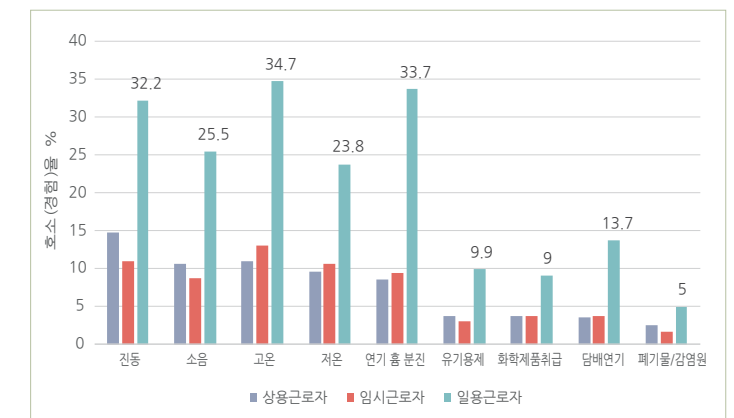
일반적으로 질병의 예방은 전반적인 건강을 증진시키고 위험을 제거하여 질병 발생 가능성을 낮추는 1차 예방, 질병을 조기에 진단하는 2차 예방, 진단된 질병을 치료하고 재활·보상하는 3차 예방의 영역으로 나눌 수 있다. 산업사회의 발달단계에서 직업병 예방정책은 대부분 보상, 즉 3차 예방에서 시작하여 2차 예방으로 확대되지만 결국 1차 예방, 즉 위험요인을 제거하고 포괄적인 건강관리에 무게를 두는 쪽으로 최종 이행하게 된다. 1차 예방은 사회경제, 문화적 인프라에 의해 영향을 받게 되는데, 근본적인 예방 제도를 위해서는 사회적 투입이 크기 때문일 것이다. 예방의 3단계를 우리나라 현 제도에 대입하자면, 1차 예방은 건강증진, 작업환경 측정이나 근골격계 유해요인 조사 등을 포함한 포괄적 보건관리라 할 수 있는데 이는 주로 사업장 보건관리자의 영역에 속해 있다. 2차 예방은 건강진단을 통한 조기진단이며 의료기관을 통해 수행된다. 3차 예방은 2차 예방에서 나온 검진결과를 활용하여 보건관리자가 수행하는 사후관리, 근로복지공단을 통한 보상과 재활 시스템으로 생각할 수 있다(그림 4).



[그림 4] 직업병 예방의 3단계

2차 예방의 주요 플레이어로서 특수건강진단은 생물학적 모니터링이라는 방법으로 1차 예방의 영역도 관여하며, 사후관리라는 제도를 통해 3차 예방 영역까지 연계되고 있어 현 직업병예방 시스템의 중요한 골격으로 작동하고 있다. 그러다보니 지금까지 직업병 발생 관련 사회적 이슈가 발생하면 가장 먼저 건강검진이 제대로 작동했는지를 살펴보고 강화 또는 보완을 요구하곤 했다.

그런데 집단검진에 적용할 수 있는 질환은 한정되어 있다. 직업병을 발생 시기에 따라 나누어 본다면, 위험요인에 노출된 지 1~2달 이내에 발생하는 급성질환, 2~6개월 사이에 발생하는 아급성질환, 그 이후에 발생하는 만성질환으로 나누어 볼 수 있는데, 현 특수건강진단에 진단 가능한 주요 질병은 아급성 질환 정도이기 때문이다. 현행 특수건강진단은 대부분 1년 주기로 실시하되 직무에 배치된 후 6개월 내에 첫 번째 검진을 하도록 되어 있다. 따라서 메탄올중독에 의한 실명, HCFC, 디엠에프 중독, 유기중금속 중독처럼 1~2달 내에 돌발적으로 발생하는 중독은 조기진단 할 기회가 적다¹¹⁾. 또, 급성 중독이 일어날 정도로 작업환경이 열악한 소규모 사업장, 비정규직/파견직 노동자가 일하는 작업장에 특수건강진단 실시율은 매우 낮게 추정되고 있다¹²⁾. 2017년 근로환경조사에 의하면, 상용직에 비해 임시직, 일용직에서 작업장의 유해요인 노출 경험이 높게 나타나고 있다(그림 5). 특수건강진단은 건강검진이 가장 필요한 곳에서 가장 닿기 어려운 제도가 되어버린 셈이다.



[그림 5] 고용형태별 작업장 노출(2017 근로환경조사)

11) 디메틸포름아미드 중독처럼 1달 이내에 주로 발생하는 화학물질은 검진주기가 배치 후 1개월로 정해져 있어서 비교적 급성 중독을 파악하기 용이하다. 2017년 화학물질 중독 D1 소견으로 보고된 사례는 대부분 디메틸포름아미드 중독 관련이었다.

12) 류향우 등. 작업환경측정 및 특수건강진단 대상 규모 추정 연구. 산업안전보건연구원 (2018)

아급성 질환(3~6개월 내 발병)의 경우 주기적인 집단검진에서 조기진단이 가능하다. 예를 들어 수 개월간 노출된 중금속 중독 등이다. 그런데 이런 질환은 대부분 특별한 증상이 없고, 몇 가지 의학적 검사에서 경미한 이상을 보여 일반인이라면 건강검진에서 별 이상을 보이지 않는다. 건강검진의 가장 중요한 목적은 질병의 조기발견이다. 따라서 경미한 이상 소견이 직업병의 조기 사인인지 판단하여 직업병관련 소견이 있는 사람(유소견) 또는 지켜봐야 할 사람(요관찰)을 가려내어야(스크리닝)한다. 이상 소견에 대해 조기진단의 목적을 달성하기 위해서는 작업장에서 노출의 수준과 함께 시간의 흐름에 따른 검사결과와 변화를 보아야 한다. 즉, 입사한 이후로 노동자의 건강을 계속 기록한 정보, 해당 부서 사람들의 비슷한 이상이 있는지 등을 보고 판단해야 한다. 그러나 검진기관에서 노동자의 건강진단결과를 연도별로 보유하고 있을 가능성은 낮다. 사업장별 검진기관이 자주 바뀌어 의료기록이 누적되지 않기 때문이다¹³⁾. 유해물질 노출농도가 높을 가능성이 커서 건강 이상이 뚜렷하게 보이는 경우라면 한해의 기록만으로도 쉽게 판단 가능하지만, 대부분의 검진대상에서는 경미한 검사이상의 변화양상이 일회적으로 관찰될 경우 직업병의 조기진단이 어려운 것이 당연하다. 당해 연도의 검진결과밖에 없더라도, 같은 일을 하는 동료노동자들의 검사결과를 살펴서 유해요인이 있는지 검토하는 방법도 있다. 그러나 다수의 노동자를 상대로 단시간 내에 실시하는 집단검사의 프레임에서 이런 검토를 할 수 있는 의료기관은 흔치 않다. 즉, 아급성 질환의 영역에서도 현행 특수건강진단은 조기진단의 성과를 충분히 달성하지 못하고 있다.

6개월 이상에서 수년에 걸쳐 발생하는 만성질환의 경우는 어떠한가. 소음성난청과 진폐증은 업무와의 관련성을 판단하기 수월하지만, 만성 신장질환, 중추신경과 말초 신경계질환, 생식계 질환, 암 등 대부분의 질환은 작업장 유해요인의 영향인지 판단하기 매우 어렵다. 수년의 검진결과 변화 양상을 보고, 작업장 유해요인의 변화를 같이 검토해야 업무와 질병의 연관성을 파악할 수 있다. 즉, 누적된 자료가 없다면 연관성을 판단하기 어렵다. 더욱이 암 질환이나 중추신경질환처럼 발생이 흔치 않은 질병일 경우 개별 사업장이나 검진기관에서 이를 판단하는 것은 불가능에 가깝다. 만성질환의 경우 관련 데이터를 종합 연계한 상태에서 업종, 직종, 유해물질 노출군에 따라 특정 질병이 증감하는 경향을 시대적으로

13) 산업안전보건연구원에 보유한 특수건강진단 데이터베이스를 분석해 보면, 2년 이상 특수 건강진단을 받은 노동자 중 57%가 2개 기관 이상에서 검진 받았으며, 3개 이상의 기관에 걸쳐 검진 받은 노동자는 21%에 달한다.

직업병 예방의 방향: 1, 2, 3차 예방 돌아보기



관찰하는 것이 필요하다. 이러한 관찰을 통해 특이한 증상이 발생할 경우, 어떤 기준으로 '조기진단'을 할 것인지 지침을 개발하고, 지속적으로 업데이트하여 집단검진이 실제 만성질환의 2차 예방에 작동 가능하도록 해야 한다¹⁴⁾.

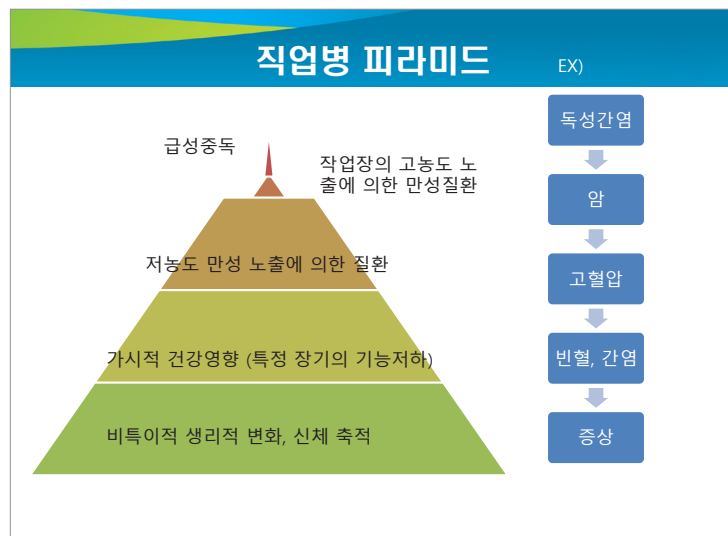
우리나라 직업병 예방 정책이 그간 노동자 특수건강진단에 과도한 위상과 역할을 부과해 왔던 것은 아닌지 검토가 필요하다. 현재 특수건강진단 결과는 1차 예방에 피드백을 제공하고, 2차 예방의 주체이자 3차 예방에 활용할 내용을 제공하고 있다. 그러나 앞서 논의한 바와 같이 현행 특수건강진단 제도는 2차 예방, 즉 질병의 조기진단에 적합한 틀로 짜여 있어 고위험군을 감지하는 1차 예방과 질병의 사후관리와 회복을 돕는 3차 예방에 도움을 주기에 쉽지 않다.

또한 2차 예방의 기본목표인 조기진단을 제대로 수행하기에도 부족한 구석이 많다. 소규모 사업장, 일용, 파견 근로 등 화학물질 노출 가능성이 높은 노동자군에는 이러한 시스템이 필요하나, 민간 의료기관 등 수익이 나지 않는 부문에 작동할 것으로 기대하기는 어렵다. 또한 화학물질 중독질환 중심의 현 특수건강진단 제도는 화학물질 노출수준이 매우 낮은 사업장에서는 그 효용성이 낮다. 급성중독성질환이나 수시로 발생하는 천식, 피부병, 수년에 한 번 발생하는 만성질환 등도 조기 진단이 어렵다. 2차 예방을 제대로 하기 위해서 만이라도 특수건강진단제도의 리모델링을 통해 검진의 목표, 방법, 주기, 대상 등을 새롭게 구축해야 한다.

사실 예방의 단계에서 가장 중요한 1차 예방, 즉 사업장 내의 보건관리가 튼튼하지 않으면 2차 예방인 집단검진을 충실히 해봐야 위험은 반복 될 수밖에 없다. 급성중독, 암 질환보다 훨씬 많은 숫자의 저농도 노출에 의한 만성질환, 장기의 기능저하, 질병 전의 피로나 어지러움 같은 증상 등 건강문제가 존재한다(그림 6). 이러한 건강문제를 포괄적으로 수행하기 위해서는 광범위한 보건관리 인프라가 필요하다. 포괄적 보건관리 제도를 설계하기 위하여 단시간 내 사회적 재원을 동원하는 것보다는 현재의 제도를 리모델링하는 것을 고민해보는 것이 합리적일 것이다.

14) 일반인도 흔한 만성질환의 유병이 특정직종, 특정유해물질, 특정 지역에서 어느 시기에 증가했는지 분석하는 일은 새로운 직업병의 발생동향을 모니터링 하는 것과 궤를 같이 한다.

현재 커버리지가 확대된 특수건강진단의 구조를 리모델링하여 1차 예방과 3차 예방을 아우르는 종합적 보건관리제도로 개조한다면 어떨까? 2차 예방의 조기진단용 스크리닝 제도로 구조화 되어 있는 특수건강진단 제도를 보건관리에 중심을 둔 포괄적 모니터링 제도로 재편해 현재의 획일적 집단 검진, 화학물질 중심의 방향을 수정하게 된다면 특수건강진단의 직업병 예방기능이 강화될 수 있다고 생각한다.



[그림 6] 직업병 피라미드

포괄적 직업건강 관리체계를 만들기 위해



미래의 직업병 예방을 위해 ①노동자 건강진단제도 재설계 ②소규모 사업장 건강관리 방안 ③중독질환 감시/중재센터 운영 ④직업건강 빅데이터 운영을 제안한다.

먼저, 집단검진이라는 형식에 맞지 않는 급성 중독성 질환, 암 등의 만성질환은 다른 제도로 관리하도록 하여 건강검진제도가 목표로 하는 질병 영역을 정리해야 한다. 건강진단제도는 사후관리와 사전조사를 강화하고, 노동환경 특성별로 차별화해 실제 1, 2, 3차 예방의 주역으로 작동하도록 섬세하게 재설계되어야 한다. 검진목표가 애매하거나 조기진단의 효과도 없고, 건강관리의 의미도 없는 항목들을 과감히 정리하고, 실제 노동자 건강에 가장 문제가 되는 검사로 재정비하는 것이 필요하다. 유해요인별로

일괄 선정하기 보다는 노동조건과 직종을 종합적으로 고려한 검진 디자인도 시도해보아야 한다. 특히 주기적으로 건강진단 각 부문의 비용효과 분석 등을 통해 효율성을 주기적으로 확인할 필요가 있다. 건강진단제도의 리폼은 노동자에게 필요한 검진이라는 원칙 속에서 중장기적 전망을 가지고 진행되어야 할 것이다.

민간기간이 주축이 되어 운영되는 현재의 건강검진이 소규모 사업장이나 비정규직, 임시직 노동자 등의 사각지대에서는 한계를 드러내고 있다. 그렇다면 어떤 인센티브를 부여해 검진기관을 이 영역으로 유인할 수 있는지, 혹은 공공의 비용지원이 확대되는 것은 바람직한 것인지 논의가 되어야 한다. 실제 노동자들에게 현실성이 없는 검진제도보다는 근로자 건강센터 등 공공기관을 통한 1차 의료의 강화가 더 바람직한 것은 아닌지에 대해서도 심도 있는 토론이 필요하다.



[그림 7] 직업병예방 핵심과제

급성중독성질환의 경우 의료기관을 통한 권역별 중독질환 감시체계의 운영이 필요하다. 2018년 산업안전보건연구원이 위탁 운영한 인천지역 급성중독성질환 감시체계의 결과, 총 312건의 중독질환을 발굴한 바 있는데¹⁵⁾, 이는 2017년 전국에서 진단된 화학물질중독 173건보다 더 많은 건수였다. 이는 의료기관을 통한 중독질환의 조기발견과 그 결과의 전파를 통해 더 많은 건의 중독사고를 예방할 수 있다는 가능성을 보여준 예시다. 의료기관의 중독질환 감시는 의사의 직업병 신고의무 등을 신설함으로써 보다 강력한 제도가 될 수 있다. 의료기관이 직접 중독질환을 모니터링할 수 있는 제도가 필요하다.

마지막으로 수년에 걸쳐 나타나는 만성질환의 경우, 직업건강 빅데이터를 구축하여 주기적으로 동향을 살펴야 한다. 빅데이터 감시는 직업병 예방에 유용할 뿐 아니라 산재예방 정책 수립에 근거를 제공하는 기반이 된다. 국민건강보험공단의 건강결과, 통계청의 사망결과, 안전보건공단의 각종 사업장 노출 현황, 고용노동부의 고용정보 등을 연계하면 만성질환의 증감 현황은 물론 새로운 직업병의 발생동향을 모니터링 할 수 있는 기반이 될 수 있다. 산업안전보건연구원은 2017년부터 건강보험공단의 의료보험 요양자료와 연구원의 노동자 정보를 연계한 빅데이터 분석 기반을 구축하고 있다¹⁶⁾.

직업건강 빅데이터 - 만성질환 동향 모니터링

□연도별 개인 검진현황 누적 관리

- 산재의심 사례에 대한 시스템의 안내

□직업건강 연구자료 개방 시스템 구축

- 안전보건연구원 '직업건강데이터센터' 설립
- 노동건강 연구 자료원 확대
- 근거중심 예방정책 개발

□새로운 직업병의 선제적 동향감시

- 야간작업의 유방암
- 초미세분진의 순환기 질환
- 용접흡의 폐렴 (감염성질환)
- 생식독성과 태아, 선천성기형

[그림 8] 직업건강 빅데이터 활용예시

사회적 이슈가 되는 화학물질 중독질환이 발생하면, 광범위한 전국조사를 통해 해당 원인의 취급실태를 조사하고, 작업환경측정, 특수건강진단의 항목을 늘리거나, 대상을 확대하는 등의 방법으로 기존의 시스템을 강화하는 것이 최근까지 흔히 보아왔던 직업병 발생 사후대책이었다. 그러나 이러한 방법은 현재 존재하는 시스템의 장점 뿐 아니라 문제점도 같이, 또는 (더 많이) 강화하는 결과를 초래할 것이다.

미래의 직업병은 점점 복잡한 양상을 갖게 될 것이다. 국제노동기구에서 선정했던 직업병의 종류는 1919년 3종으로 시작하여 2010년 80여 종으로 확대되었으며, 우리나라도 보상대상 직업병이 점점 확대되어 정신질환, 감정노동까지 범위에 포함되어 있다. 노동의 형태, 직업의 양상이 다양해질수록 미래의 직업병은 비 직업병과 구분이 어려워지며 직업병의 영역은 더 확대되어 갈 것이다. 직업병 예방 정책의 중심은 포괄적인 보건관리로 이동되어야 하며, 건강진단은 새롭게 변화하여 다양한 노동의 영역에 정착할 수 있어야 한다.

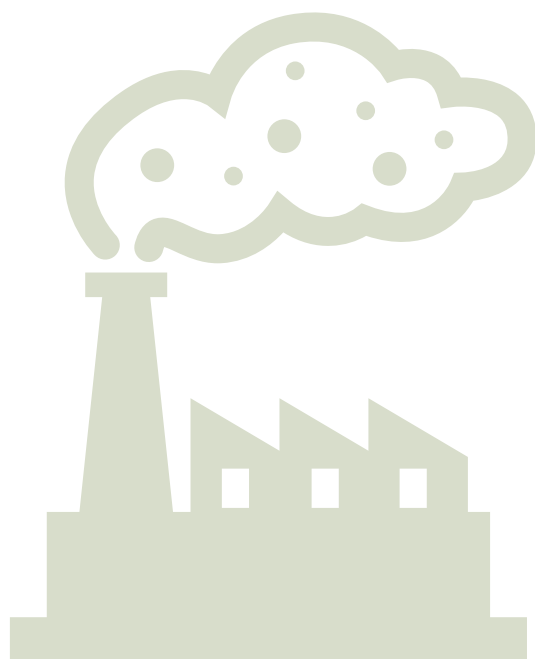
15) 강성규 등. 직업성 급성중독성 관리체계 시범 운영 II. 산업안전보건연구원, 2018

16) 이상길 등. 빅데이터를 활용한 직업성 질환 코호트 구축. 안전보건연구원, 2018

석탄화력발전소 작업환경 특성과 관리방안

노동환경건강연구소 **이윤근** 소장

(석탄화력발전소 특별노동안전조사위원회 위원)



들어가며



2018년 12월 11일, 태안화력발전소에서 비정규직으로 일했던 한 청년이 입사 3개월 만에 소중한 목숨을 잃었다. 故김용균이다. 열악한 하청노동자들의 노동환경 실태를 온몸으로 보여준 “김용균”사고는 노동자들의 안전보건 문제를 더는 방치할 수 없는 사회적 문제로 인식하게 되는 중요한 계기가 되었다. 사고의 정확한 원인 분석과 재발 방지를 위해 2019년 4월 1일 국무총리 훈령으로 “석탄화력발전소 특별노동안전조사위원회”가 발족되었고, 지난 8월 19일 최종 결과 발표를 통해 석탄발전소의 재해 발생 원인과 재발 방지 수립을 위한 권고안을 발표한 바 있다.

특별조사위원회의 보고서를 통해 노동 환경의 정의가 철저히 무시된 이른바 부정의(不正義), 불평등 문제를 그대로 확인할 수 있었다. 비정규직 하청 노동자들의 고용과 인권문제, 위험의 외주화, 열악한 노동 환경, 안전시설 미흡, 노동자의 참여권 문제 등 오늘날 우리가 안고 있는 노동안전보건의 모든 문제가 그대로 드러났다(석탄화력발전소 특별노동안전조사위원회, 2019). 특히, 석탄발전소의 열악한 작업환경 문제는 그 심각성마저도 제대로 인지되지 못하고 있었으며, 이를 관리하기 위한 시스템도 갖추어지지 않은 것으로 나타났다.

본 내용은 특별조사위원회의 조사 결과 중 석탄발전 산업에서 문제되는 작업환경 특성과 관리 실태, 그리고 문제점에 대한 개선방안을 중심으로 내용을 재정리한 것이다.

석탄발전소의 유해인자



석탄발전소는 유연탄을 연소시켜 생기는 에너지를 이용하여 전기를 생산한다. 따라서 발전소의 모든 공정은 발전 연료인 석탄과 보일러에서 타고 남은 석탄찌꺼기(석탄재)와 관계되어 있다. 처음 석탄의 하역에서부터 이송, 저장, 분쇄(미분), 연소과정은 물론이고, 석탄재를 처리하는 마지막 회처리 작업까지 모든 공정에서 석탄분진에 노출될 수 있다.

유연탄을 수입할 때 첨부되는 입탄성적서(certificate of analysis, COA)와 물질안전보건자료(MSDS)를 보면 처음 석탄에는 3% 내외의 결정형 유리규산과 30% 내외의 휘발성 물질, 그리고 30~40% 정도의 탄소화합물(표 1)이 존재한다.

그러나 보일러 연소 공정을 거치면서 다량으로 함유된 휘발성 물질은 대부분 날아가고(이때 벤젠과 같은 발암물질이 발생한다), 찌꺼기인 석탄재만 남게 된다. 이 과정에서 유리규산과 수은, 납, 비소와 같은 중금속들은 더욱 농축되어 그 함량이 증가하게 된다(표 2). 궁극적으로 석탄재에 함유된 결정형 유리규산 함량은 처음 석탄에 비해 무려 20배 정도 증가한 60% 내외 정도로 높아져 그만큼 위험성이 커지게 된다.

[표 1] 유연탄의 물질안전보건자료(MSDS) 사례

Chemical ingredients	C.A.S. Number	% by Weight
Coal		
Carbon : Fixed	1333-86-4	32 - 41%
Volatiles	Not Applicable	28 - 35%
Moisture	Not Applicable	24 - 40%
Ash	Not Applicable	3 - 9%
Sulfur	7704-34-9	0.1 -1.1%
Silica	14808-60-7	1 - 3%

(출처 : The State of Queensland, 2018)

[표 2] 태안발전소에 2012년부터 2018년까지 입하된 탄 종류별 함량 특성

구 분	고열량탄(주탄)	중열량탄(보조탄)	저열량탄
평균 발열량(인수식), kcal/kg	6,125	5,636	5,076
평균 휘발분, %	31.2	36.1	39.4
평균 황 함량, %	0.50	0.64	0.52
평균 회분, %	14.9	8.1	6.8
평균고정탄소 양, %	51.1	47.6	40.6
회(Ash)의 평균 결정형 실리카(SiO2), %	57.6	47.6	47.8

(출처: 안전보건공단, 2019)

선행 연구 결과들을 종합해보면(표 3) 석탄발전소 노동자들은 결정형유리규산 등의 광물성 분진과 비소, 납, 수은, 니켈과 같은 중금속(Kalkreuth 등, 2006), 그리고 석탄의 보관 및 연소과정에서 발생하는 벤젠, 톨루엔, 일산화탄소와 같은 유해가스에 노출될 수 있다(Marcelo 등, 2016 ; León 등, 2007).

[표 3] 석탄과 석탄재로부터 발생 가능한 고독성 물질 현황

측정 물질	독성 구분*	주요 발생원
결정형유리규산	발암성1A	탄/회 분진
석면	발암성1A	보온재/배관 가스켓 등
수은	생식독성 1B,	탄/회 분진
비소	발암성1A	탄/회 분진
납	발암성 1B, 생식독성 1A	탄/회 분진, 용접작업
니켈(금속)	발암성 2	
벤젠	발암성 1A, 생식독성1B	탄 저장/연소 시설
톨루엔	생식독성 2	
일산화탄소	생식독성1A	

* 고용노동부 고시(제2018-24), 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준
(출처: 석탄발전소 특별노동안전조사위원회, 2019)

석탄발전소 특별노동안전조사위원회에서 조사한 제한된 결과이긴 하지만, 특별조사위원회에서 회 찌꺼기 처리작업을 대상으로 공기 중 결정형 유리규산을 측정한 결과 0.408 mg/m³로 노출기준을 8~16배 정도 초과하는 것으로 나타났다(표 4). 국내 연구 결과(Yeon & Choi, 2017)와 비교해 보면 석탄 광업(0.14 mg/m³), 기타 비금속 광물제품 제조업(0.111 mg/m³), 도자기 및 기타 요업 제품 제조업에서(0.108 mg/m³), 토목건설업(0.098 mg/m³), 그리고 금속 주조업(0.062 mg/m³)보다 높은 농도이다. 좀 더 대상을 확대해서 장시간 동안 정밀한 측정이 이루어져야 하겠지만 발암물질의 고농도 노출 가능성을 보여주는 결과이다.

[표 4] 회 찌꺼기 처리작업 공기 중(지역시료) 결정형유리규산 측정결과

분석결과	노출기준	
	한국(고용노동부)	미국(ACGIH)
0.408 mg/m ³	0.05 mg/m ³	0.025 mg/m ³

(출처: 석탄발전소 특별노동안전조사위원회, 2019)

국외 연구 결과(IARC, 1997; Naidoo 등, 2006; Hicks & & Yager, 2006)에서도 대부분이 노출기준을 초과하고 있다. Hicks & & Yager(2006)의 연구 결과를 보면 석탄재 관련 설비의 점검 및 보수 작업자의 비산하는 회분진 농도는 평균 1.8 mg/m³(범위: 0.008-96 mg/m³)로 측정되었고 전체 측정 시료의 60%가 노출기준(TLV)을 초과한 것으로 보고되고 있다. 호주에서 실시한 연구결과, 결정형

유리규산의 평균 노출 농도는 0.062 mg/m³로 나타나 우리나라 노출기준(0.05mg/m³)을 초과하는 것을 알 수 있다(The State of Queensland, 2018).

석탄에는 함량 기준으로 30~40% 정도의 휘발성물질이 포함되어 있으며, 이 물질들은 열에 약해 온도가 상승하게 되면 가스 상태로 공기 중으로 휘발된다. 즉, 석탄을 보관하는 과정에서 자연발화가 일어나거나 주변 온도가 상승하게 되면 휘발성 유기화합물(VOCs)이 공기 중으로 발생하여 작업자들에게 노출될 수 있음을 의미한다. 석탄에서 문제되는 휘발성유기화합물에서 가장 문제되는 물질은 알데히드(포름 알데히드 및 아세트 알데히드), 지방족 및 방향족 탄화수소 (톨루엔, 크실렌, 에틸벤젠, 벤젠), 염소화 탄화수소(테트라 클로로에텐) 등이다(Garcia 등, 1992). 뿐만 아니라 석탄의 주요 성분은 탄소로 이루어져 있어 불완전 연소 때문에 일산화탄소를 발생시키게 된다. 일산화탄소는 무취, 무미의 유독 가스로, 흡입하면 중추 신경계 손상 및 질식에 의해 사망에 이를 수 있는 위험한 급성 독성물질이다.

발암물질인 벤젠(benzene)과 질식사를 일으킬 수 있는 일산화탄소의 발생 가능성이 가장 높은 시설은 석탄을 실내에 보관하는 옥내 저탄장이다(그림 1). 옥내저탄장에서 자연발화가 일어나면 짧은 시간 동안 고농도의 일산화탄소가 발생할 수 있어 매우 위험한 상황에 직면할 수 있다.



[그림 1] 자연발화가 진행되고 있는 옥내저탄장 모습.
(출처: 석탄발전소 특별노동안전조사위원회, 2019).

삼척발전본부의 옥내저탄장을 대상으로 지난 2018년 1월 한 달 동안의 일산화탄소 측정 결과(석탄발전소 특별노동안전조사위원회, 2019)를 분석해 보면 8시간 노출기준(TWA)인 30ppm을 초과한 건수가 38.5%였으며, 15분 동안의 단시간 노출농도(STEL)를 초과한 건수도 한 달 동안에 28회(0.5%)나 되는 것으로 나타났다(표 5).

[표 5] 삼척발전본부 옥내저탄장 일산화탄소 측정 결과 요약

구분	총 측정횟수 (2018년 1.1-1.31일)	30ppm 초과횟수 (8시간 노출기준)	200ppm 초과횟수 (단시간 노출기준)
건수	1,116회	428회	28회
비율	100%	38.5%	2.5%

(출처 : 석탄발전소 특별노동안전조사위원회, 2019)

역시 제한된 측정결과이긴 하지만 백혈병과 같은 혈액암을 일으킬 수 있는 벤젠 노출도 확인되고 있다. 옥내저탄장 작업자 점검 통로에서 측정된 결과를 보면 벤젠은 노출기준의 25% 수준으로 측정되고 있으며(표 6), 생식독성 물질인 톨루엔도 검출되고 있어 추후 정밀한 평가가 필요하다(석탄발전소 특별노동안전조사위원회, 2019).

[표 6] 태안발전본부 옥내저탄장 공기 중 고독성물질 측정(지역시료) 결과

측정장소	측정 물질	측정결과	TWA	고용노동부 독성기준
옥내저탄장 (11 Cell 3F 중앙)	벤젠	0.12 ppm	0.5 ppm	발암성 1A, 생식세포 변이원성 1B
	톨루엔	0.14 ppm	50 ppm	생식독성 2

(출처 : 석탄발전소 특별노동안전조사위원회, 2019)

이와 같은 유해물질과 관련해 발전소 노동자들을 대상으로 한 연구 결과들을 종합해보면, 발전소 노동자는 주로 폐기종, 기관지염, 진폐증, 천식, 폐암 등의 건강문제(표 7)들이 있는 것으로 보고되고 있다(The State of Queensland, 2018). 발전소에서 직업적으로 유해물질에 노출된 작업자의 염색체 이상에 대한 유전학적 연구(말초림프구의 염색체 변화) 결과에서도 대조군에 비해 유전학적 손상이 뚜렷하게 나타난 바 있다 (Mustafa Celik 등, 2006).

[표 8] 석탄발전소의 주요 유해물질과 건강영향

건강영향	유해물질
진폐, 만성폐쇄성폐질환(COPD)	석탄분진, 석탄재
폐섬유증(규폐증 등)	석면, 결정형유리규산
중금속으로 인한 전신 독성영향	납, 마그네슘, 카드뮴, 아연 등
알레르기 및 과민반응	목재분진, 유기화합물질
암	크롬, 석면, 결정형유리규산
코와 목의 점막자극 각종 이비인후과 질환	산, 알칼리 성 화학물질

(출처 : The State of Queensland, 2018)

석탄화력발전소 유해물질 관리방안



특별노동안전조사위원회의 조사 결과를 요약하면 석탄을 원료로 하는 발전소는 다양한 1급 발암물질이 존재함에도 불구하고 적절한 관리가 이루어지지 않아 노동자 건강관리에 많은 문제가 있는 것으로 확인되었다.

작업과정에서 노출되는 유해화학물질에 의한 암 발생은 대부분 장기간 후에 나타난다. 따라서 지금은 문제가 없다 하더라도 향후 문제가 예측된다면 지금부터라도 적극적으로 예방관리를 시작해야 한다.

석탄발전소에서의 유해물질 관리를 위한 우선적 개선방향을 요약하면 다음과 같다.

1 발암물질 등 고독성 물질 (발암물질, 변이원성물질, 생식독성 물질)의 중점관리

석탄을 원료로 사용하는 발전소는 발암물질인 결정형유리규산, 수은, 비소, 니켈 등의 중금속과 벤젠, 톨루엔 등의 휘발성 유기화합물, 그리고 산소 결핍을 초래하여 급성 중독사를 일으킬 수 있는 일산화탄소에 노출될 가능성이 매우 높다. 그러나 지금까지 이러한 유해인자들은 측정되지 않았거나 부실하게 관리된 측면이 있다. 이들 유해물질을 발전소 중점 관리대상 물질로 선정하고 이에 대한 주기적인 측정과 관리가 이루어져야 한다.

2 정비작업에 특화된 작업환경 관리 시스템 도입 (수시측정 및 작업자 이력관리 등)

발전소의 정비 작업은(특히 Overhaul 작업) 평소 설비 가동 중에 발생한 유해물질들이 해체작업 과정에서 2차 오염을 통해 단시간 고농도 노출의 위험성이 대단히 높은 작업이다. 그러나 작업이 표준화되어 있지 않고, 대부분이 밀폐된 공간에서 진행되기 때문에 작업환경 측정 및 관리에 한계가 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 현재의 작업환경 측정방식이 특정 시기에만 진행되는 정기측정 방식에서, 문제되는 작업과 유해인자를 능동적으로 찾아 측정하는 수시측정 방식으로 전환되어야 한다.

정비 작업의 대부분은 밀폐된 장소에서 이루어진다. 그러나 환기는 거의 이루어지지 않고 작업자들은 방진마스크 하나에 의존하여 작업을 수행하게 된다. 이동식 환기장치 사용과 같은 공학적 개선을 통해 공기 중 유해물질 농도를 최대한 낮춘 상태에서 작업이 이루어지도록 개선해야 한다.

3 직업성암 조기발견을 위한 '건강관리수첩제도' 확대 적용

대정비 작업의 대부분이 일용직 하청노동자들이기 때문에 건강관리 대상에도 누락되어 왔다. 비정규직 하청노동자의 건강관리를 위해서는 현행 '건강관리수첩제도'에서 규정한 관리대상 작업에 결정형유리규산을 포함하여 정비작업자들이 건강관리 대상에서 누락되는 일이 없도록 해야 한다. 건강관리수첩제도는 직업성 암 등의 조기발견과 조치를 목적으로 만들어진 제도로 현재 석면 등 15개 대상물질이 해당된다. 특정분진 작업으로 '옥내에서 동력을 사용하여 암석 또는 광물을 조각하거나 마무리하는 작업', '옥내에서 시멘트를 포장하는 작업' 등도 포함되어 있으나 시멘트의 원료로 사용되는 석탄재를 취급하는 작업은 제외되어 있다. 이번 특별조사위원회 측정결과를 보면 이들 작업의 결정형유리규산 농도는 건강관리수첩 교부 대상에 포함된 광산이나 광물, 주물사 등을 취급하는 작업보다 더 높은 고농도의 유리규산에 노출되는 것으로 확인되었다.

4 옥내저탄장의 작업환경 측정 및 유해가스 관리 방법 개선

발전 원료인 석탄에는 함량 기준으로 30~40% 정도의 휘발성분이 함유되어 있기 때문에 발암물질인 벤젠과 같은 휘발성 유기화합물과 일산화탄소 발생 가능성이 매우 높은 시설이다. 그러나 지금까지 벤젠 측정은 거의 이루어지지 않았으며, 일산화탄소의 위험성이 저평가되어 왔다. 또한 유해가스 관리방식이 고정된 측정 위치 중심으로 되어 있기 때문에 수시로 변하는 발화지점에서 발생하는 일산화탄소 농도를 반영하지 못하는 한계가 있다. 벤젠, 톨루엔 등 휘발성 유기화합물질을 반드시 작업환경측정 대상 물질에 포함시켜야 한다. 또한 옥내저탄장을 출입하는 모든 작업자에게 휴대용 가스측정기를 지급하여 수시로 변하는 가스농도를 실시간으로 확인할 수 있어야 한다.



참고문헌

- 석탄발전소 특별노동안전조사위원회(2019). 고 김용균 사망사고 진상조사결과 종합보고서 (ISBN 979-11-88896-12-7)
- 안전보건공단(2019). 한국서부발전(주) 태안발전본부 안전보건진단보고서
- ACGIH (2018). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, American Conference of Governmental Industrial Hygienists
- Cloud Peak Energy Resources (2015). Safety Data Sheet(Revision Date: July 2015)
- Garcia J.P., Beyne-Masclat S., Mouvie rG., Masclat P (1992). Emissions of volatile organic compounds by coal-fired power stations. Atmospheric Environment. Part A. General Topics 26(9) ; 1589-1597.
- Hicks J. & Yager J. (2006). Airborne Crystalline Silica Concentrations at Coal-Fired Power Plants Associated with Coal Fly Ash. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 3 ; 448-455.
- IARC (1997). Silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans. WHO Press: International Agency for Research on Cancer
- IARC (2018). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Volume 120 Benzene,
- John JS, Thomas MS, William RR, Donald RD, Rudolph MS.(1983). Robert AG., CHEMICAL AND TOXICOLOGICAL PROPERTIES OF COAL FLY ASH.ENVIRONMENTAL GEOLOGY NOTES
- Kalkreuth W, Holz M, Kern M, Machado G, Mexias A, Silva M.B, Willett J, Finkelman R, Burger H. (2006). Petrology and chemistry of permian coals from the Paraná basin: Santa Terezinha, Le o-Butiá and Candiota Coal fields, Rio Grande do Sul, Brazil. Intern. J. Coal Geol. 68 ; 79-116.
- León, G, Perez, L.E, Linares, J.C, Hartmann, A, Quintana M. (2007). Genotoxic effects in wild rodents (Rattus rattus and Mus musculus) in an open coal mining area. Mutat Res, 630 ; 42-9.
- Lin C.K., Lin R.T., Chen T., Zigler C., Wei Y., and Christiani D.C. (2019). A global perspective on coal-fired power plants and burden of lung cancer. Environmental Health, 18(9). <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0448-8>
- Marcelo Larramendy (2016). Environmental Health Risk Hazardous Factors to Living Species (Occupational Exposure to Coal, Genotoxicity, and Cancer Risk). IntechOpen; 192-209 (On line <http://dx.doi.org/10.5772/62486>)
- Mustafa Celik, Lale Donbak, Fatma Unal, Deniz Yüzbasioğlu, Hüseyin Aksoy, Serkan Yılmaz. Cytogenetic damage in workers from a coal-fired power plant. Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 627(2) ; 158-163
- Naidoo R., Seixas N. & Robins T. (2006). Estimation of Respirable Dust Exposure Among Coal Miners in South Africa. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 3 ; 293-300.
- NIOSH (2002). NIOSH Hazard Review: Health Effects of Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica. Cincinnati: NIOSH.
- The State of Queensland (2018). Managing respirable dust hazards in coal-fired power stations Code of Practice(PN12377)
- Yeon DE., Choi SJ. (2017). Evaluation of Crystalline Silica Exposure Level by Industries in Korea. Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, 27(4) : 398-422

보육 종사자의 안전, 무엇이 문제인가?

산업안전연구실 **임진석** 연구원



늘어나는 보육 종사자, 안전은?



맞벌이 부부의 증가에 따라 보육시설 운영업이 매년 증가하고 있다. 통계청 발표에 의하면 2018년 기준 전국에 약 40,000개소의 보육시설 운영업이 성행하고 있으며, 종사자 수는 약 33만 명으로 보건 및 사회복지업종의 종사자 약 146만 명 중 약 23%가 보육시설 운영업에 종사하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 보육시설 운영업의 대부분은 20인 미만의 소규모 사업장으로 보육종사자들의 근로조건은 열악하며, 이러한 근로환경이 아동 학대 및 아동 폭행을 유발하는데 직·간접적인 영향을 미치고 있다. 또한 소규모 사업장 특성상 안전관리 담당자가 없어 안전 사각지대에 놓여 있는 것이 현실이다.

현행법상 보육시설 운영업과 관련된 법령은 15개로 8개의 소관부처에서 소관업무별로 규제하고 있으며, 모든 규제의 주체는 보육(영유아) 중심으로 이루어지고 있다. 많은 규제를 받고 있지만 정작 보육 종사자의 안전은 언급조차 없는 것이 현실이다. 또한 보육시설 종사자의 열악한 근로환경이나 근로조건에 대한 논의나 연구도 빈약했다.

2003년부터 2018년까지 국내 보육시설 운영업의 안전에 관한 연구는 총 32건¹⁾으로, 이들 연구에 보육시설 운영업 종사자 안전 관련 내용을 다룬 연구는 없다. 대부분 연구들은 보육시설 실태와 영유아 안전실태 위주로 연구로 이루어져있다. 이러한 현실을 국가인권위원회(2014)는 지적하고 있는데, 2014년 보육교사 인권상황 실태조사 보고서에 의하면, 보육교사 총 1643명을 대상으로 조사한 결과 병의원 이용 시 어려운 이유로 병원 갈(치료할) 시간이 없음 1,024명(71%), “원장 및 동료 선생님 눈치가 보여서” 331명(22.9%), “치료비 부담” 33명(2.3%)을 응답하기도 했다. 또한 업무로 인한 질병 및 사고처리실태 관련하여 견딜만한 질병은 그냥 참고 넘어간다.” 1,014명(72.6%), “산재보험에 대해 잘 몰라서 교사 본인 자비 처리한다.” 163명(11.7%) “작은 질병 사고는 자체적으로 처리하고, 큰 질병은 사고는 산재처리한다.” 95명(6.8%)이 응답하기도 하였다.

보육 종사자의 안전을 논의하기 위해서는 우선 근로조건이나 근로환경을 파악해야 한다. 이를 통해 보육 종사자들에게 안전이 담보되기 어려운 원인과 실태를 파악해야 한다. 궁극적으로는 보육 종사자의 안전관리체계를 확보하고 이들을 위한 보호방안을 마련할

1) 보육시설 운영업 실태(9건), 보육시설 안전관리 프로그램 및 매뉴얼 관련(9건), 특수고용형태, 서비스업종 종사자 관련(4건), 취약계층 관련(4건), 보육교사 관련(6건) 총 32건.

보육 종사자에 대한
법적 검토



수 있을 것이다.

보육 종사자 안전 관리 방안 마련을 위해 보육 종사자의 안전과 관련한 현 실태를 법적 검토와 보육시설 운영업 안전 실태, 산재보험과 민간 상해보험 등 현황과 보육 종사자를 위한 안전교육 현황 등을 살펴보았다.

보육 종사자들은 안전관리에 있어 어떠한 위치에 있는지 살펴보기 위해 한국표준산업분류체계 및 한국표준직업분류체계를 검토했다. 또한 보육시설 운영업 종사자의 정의 및 종류, 보육시설 운영업 안전 관련 법적 근거, 보육시설 운영업 종사자 안전에 관한 법적 근거, 국외(호주, 미국) 보육시설 운영업 종사자 안전에 관한 법제도 등을 종합적 검토하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 보육시설 운영업(어린이집)의 경우 보육시설 운영업(어린이집) 설립주체에 따라 일부는 사회복지 서비스업에 해당하나, 일부는 그렇지 않아 설립주체가 모호하다.

둘째, 보육시설 운영업(어린이집) 종사자는 근로계약을 작성하는 근로자이며, 근로기준법에 명시되어는 모든 규정에 직접 적용되는 대상이다. 산업안전보건법에 직접 적용되는 대상이며, 어린이집 원장을 제외한 모든 종사자에게 안전의 권리가 보장된다.

셋째, 한국표준산업분류상의 사회복지 서비스업종에 해당하는 보육시설 운영업(어린이집)은 산업안전보건법 제31조(안전·보건교육) 제3항의 ‘특별교육만 적용 제외’되는 것으로 규정되어 있다. 즉 산업안전보건법에 직접 적용되는 업종이며, 보육시설 운영업(어린이집) 종사자 역시 안전이 담보되는 법적 보호대상이다.

보육시설 운영업
안전 실태



1) 국공립 보육시설 운영주체의 모호성

국공립 보육시설은 영유아보육법 제12조(국공립어린이집의 설치)에 따라 국가나 지방자치단체가 설치하고 운영토록 명시되어 있으나 영유아보육법 시행규칙 제24조 국공립어린이집의 운영위탁과 동법 제24조의2 국공립어린이 위탁업체 선정관리 기준 별표8의2에 따라 민간위탁이 가능하도록 규정하고 있다. 국공립 보육시설은 전체 보육시설 4만여 개소 중 약 10%인 3,175개소를 차지하고 있는데, 이 중 97%가 민간위탁 형태를 띠고 있다. 설립주체는 국공립이지만 실제 민간에 위탁하여 법인 또는 비영리법인 형태로 운용되고 있다. 운영주체 대부분이 위탁업체다보니 종사자의 안전에 대한 관리책임도 모호해질 가능성이 존재한다.

2) 민간 상해보험 처리 가능성

보육시설 운영업(어린이집)은 어린이집안전공제회의 보험가입이 법적 의무사항으로 규정되어 있다. 보건복지부의 2019 보육사업 안내에 의하면 2018년 기준으로 전체 98.2%가 보험에 가입된 것으로 나타났으며, 어린이집 안전공제회 보육교직원 상해가입 비율은 2018년 기준 54.1%로 확인되었다.

[표 1] 어린이집안전공제회 공제 종류별 가입 여부

단위 : %(개소)							
구 분	영유아 및 방과후	가스사고 배상책임	보증공제	보육교직원 상해	돌연사 증후군 특약	놀이시설 배상책임	(수)
전체	99.9	68.8	1.7	54.1	99.2	36.9	(3,400)
시설유형							
국공립	100.0	93.9	11.8	86.6	99.8	61.8	(490)
사회복지법인	100.0	95.2	0.8	76.4	99.7	98.5	(317)
법인단체등	100.0	93.3	0.0	79.0	99.2	77.9	(240)
민간	99.8	77.0	1.1	52.3	98.4	49.8	(959)
가정	100.0	54.3	0.5	45.0	99.6	15.4	(1,105)
직장	100.0	88.5	0.3	88.1	99.3	74.2	(289)
소재지							
대도시	100.0	75.8	2.7	61.8	99.5	38.8	(1,284)
중소도시	99.8	59.5	1.0	44.9	98.8	28.3	(1,306)
읍면지역	100.0	76.0	1.4	60.3	99.6	52.2	(810)
규 모							
20명 이하	100.0	54.7	0.8	45.9	99.6	15.6	(1,199)
21~39명	100.0	64.6	2.5	53.6	99.0	21.1	(532)
40~79명	99.8	87.1	2.7	65.2	98.7	60.7	(903)
80명 이상	99.8	93.8	2.3	66.6	98.8	88.4	(766)
2015년 조사	98.6	58.0	2.4	39.5	97.0	30.8	(4,046)

자료: 보육통합정보시스템 (2015, 2018)

(출처 : 보건복지부 전국 보육실태조사(2018) 인용)

근로기준법상 월 60시간(주 15시간) 이상 근무하는 근로계약을 작성하는 정규직 근로자의 경우 및 해당 사업주는 4대 보험 즉 국민연금, 건강보험, 고용보험, 산재보험을 의무 가입하도록 명시되어 있다. 또한 30일 이상 계속 근로 시에도 고용보험, 산재보험 가입대상이 된다. 그러나 보육교직원 상해보험에 가입함으로써 산재보험에 가입하지 않거나 안전사고로 상해 시 산재보험 처리가 아닌 어린이집 안전공제회의 상해보험으로 사고처리를 할 수 있어 정확한 산재집계 및 산재관리의 사각지대로 존재할 우려가 있다.

3) 보육교직원 안전교육



2019년 어린이집 보육교직원 안전교육 자료를 확인본 결과, 보육교직원이 아닌 영유아 안전에 관한 내용 위주로 작성된 것을 확인할 수 있다.

보육시설 종사자의 안전 보장을 위해



내용을 살펴보면, 어린이집 안전사고 현황과 안전사고 유형별 특성은 영유아 위주로 작성되어 있으며, 실내외 어린이집 안전사고 예방관리사항도 영유아 내용만 포함되어 있다. 어린이집 안전사고 대응관리는 안전사고 대처법과 사고유형으로 알아보는 응급처치가 있는 작성되어 있는데, 이 부분 역시 영유아 안전사고 대처법과 응급처치 방법 등으로만 구성되어 있다. 정작 보육교직원들의 안전사고 대처에 관한 자료는 없어 스스로의 안전에 관한 교육은 받지 못하고 있다.

이상 살펴본 바와 같이 보육시설 운영업(어린이집) 설립주체에 따라 일부는 사회복지 서비스업에 해당할 경우도 있으나, 그 설립주체가 명확하지 않아 문제의 소지가 존재한다. 그러나 보육시설 운영업(어린이집) 종사자는 근로계약을 작성하는 근로자이며, 근로기준법에 명시되어는 모든 규정에 직접 적용되는 대상이고, 산업안전보건법에도 직접 적용되는 대상이다. 따라서 보육시설 종사자를 위한 안전의 권리가 보장되어야 할 것이다. 나아가 고용계약을 작성하고 일하는 일부 어린이 원장의 경우 사업주가 아닌 근로자이지만 어린이집 원장이라는 지위로 인해 안전에 대한 권리를 보장받지 못하는 경우도 존재하고 있어 이에 대한 관심도 필요하다.

또한 어린이집 종사자의 경우 산재보험이 무엇인지, 산재처리를 어떻게 해야 하는지 등에 대한 사전 지식이나 정보가 전무하고, 어린이집 안전공제회의 보육교직원 상해처리보험(민간보험)으로 사고처리가 가능함에 따라 산재 관련 통계에서 누락될 우려가 존재한다.

마지막으로 한국표준산업분류상의 사회복지 서비스업종에 해당 하는 보육시설 운영업(어린이집)은 산업안전보건법 제31조(안전·보건교육) 제3항의 '특별교육만 적용 제외'되는 것으로 규정되어 있어 산업안전보건법 규정의 직접 적용되는 업종이다. 보육시설 운영업(어린이집) 종사자 역시 안전이 담보되는 법적 보호대상인 것이 명확하기 때문에 보육 종사자의 안전을 담보하기 위해 정부나 관련기관의 역할이 분명히 존재한다.

결과적으로 보육 종사자 안전이 담보되지 않은 근본적인 원인부터 파악하고 안전 사각지대 발생 원인과 해결방안 등을 마련하기 위한 추가적인 연구가 지속되어야 할 것이다. 직접적인 안전 사각지대 해소를 위한 안전보건 역할과 기관 협업 차원의 역할, 안전보건공단 지역본부 및 지사 차원의 역할, 관련 지침이나 매뉴얼 신설 등을 하기 위한 체계적인 연구가 진행되어야 하며, 이를 근거로 보육 종사자의 안전을 담보할 수 있는 방안을 모색하는 것이 필요하다.



참고문헌

- 국가인권위원회, 보육교사 인권상황 실태보고서, 2014
- 보건복지부, 전국 보육실태조사, 2018
- 보건복지부, 보육사업 안내, 2019
- Ackerman, D. J. (2006). The costs of being a child care teacher: Revisiting the problem of low wages. *Educational Policy*, 20(1), 85-112.
- Budig, M. J., & Misra, J. (2010). How care-work employment shapes earnings in cross-national perspective. *International Labour Review*, 149(4), 441-460.
- England, P., Budig, M., & Folbre, N. (2002). Wages of virtue: The relative pay of care work. *Social problems*, 49(4), 455-473.
- Folbre, N. (2006). Measuring care: Gender, empowerment, and the care economy. *Journal of human development*, 7(2), 183-199.
- Razavi, S., & Staab, S. (2010). Underpaid and overworked: A cross-national perspective on care workers. *International Labour Review*, 149(4), 407-422.

04

ISSUE

ISSUE
REPORT연구결과로 살펴보는
미세먼지의 건강영향

산업화학연구실 서동석 연구원



들어가며



미세먼지는 우리 눈에 보이지 않을 정도로 아주 가늘고 작은 먼지 입자이다. 대기 중 미세먼지는 PM2.5와 PM10으로 구분하며 공기역학적 지름이 2.5 μ m, 10 μ m 이하의 먼지를 의미한다. 작업장 내에서 초미세먼지를 이야기 할 때는 0.1~100nm(나노미터·1nm=10억분의 1m)의 입자를 말한다.

대기오염물질은 발생원에서 직접 배출되는 1차 대기오염물질과 대기에서 반응하여 생성되는 2차 대기오염물질로 구분된다. 일반적으로 지름이 2.5 μ m보다 큰 먼지는 마찰 등의 기계적인 기작에 의해 생긴다고 알려져 있다. 지름이 2.5 μ m보다 작은 먼지는 이와는 다르게 일반적으로 화학반응에 의해 생긴다고 알려져 있다.

미세먼지의 발생원의 예로는 디젤 엔진 배출 입자, 실내 환경의 요리, 난방 및 목재 연소 제품이 있으며, 최근에는 나노 기술을 사용하여 생성된 제품들이 있다. 이러한 미세먼지의 주요 성분과 반응물질 (전구물질)은 대기에서는 다음과 같으며, 작업장 내 환경의 미세입자는 산업체에 따라 매우 다양한 성분으로 구성되어 있다.

황산화물(SO₂)+산화제 → 황산염(SO₄-2)

이산화질소(NO₂)+산화제 → 질산염(NO₃-)

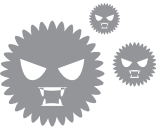
질소산화물+휘발성유기화합물+산화제 → 2차 유기 에어로졸

암모니아(NH₃)+산성 먼지(황산염, 질산염 먼지 등) → 암모늄(NH₄+)

최근에는 발암물질로 지정되어 있는 미세먼지가 사회적 문제로 부각되면서 국민들의 관심과 우려가 매우 증가하고 있다. 이와 더불어 옥외 작업자나 실내 작업자들에게도 미세먼지의 노출에 대한 우려 또한 증가하고 있다.

본 이슈리포트는 미세먼지에 노출 가능성이 높은 옥외 작업자나 실내 작업자들의 건강보호를 위하여 지금까지의 미세먼지에 대한 연구결과 검토를 통해 향후 미세먼지 관련 연구 방향성을 제시하고자 한다.

미세먼지의
독성 영향



미세먼지는 입자의 크기가 작을수록 독성의 영향이 커지며 입경의 사이즈에 따라 표적 장기에 대한 독성 영향이 다르게 나타난다. 미세먼지의 입경 사이즈별 독성 영향과 급성 및 만성적인 인체 영향은 [표 1]과 같다. 입경크기 5.0~10.0 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ 에서는 눈에 알레르기성 각막염을, 입경크기 2.0~5.0 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ 에서는 코에 알레르기성 비염을, 입경크기 1.0~2.0 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ 에서는 기관지염, 폐기종, 천식을, 입경크기 0.1~1.0 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ 에서는 폐포손상을 유발한다.

PM10이 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가 시에 급성영향으로는 기침이 3.6% 증가하고, 호흡기 질환관련 병원 입원율이 0.8% 증가하는 것으로 알려져 있다. 만성영향으로는 사망률이 10% 증가하고, 기관지염이 29% 증가하는 것으로 나타났다. PM2.5가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가 시 급성영향으로는 사망률이 1.5% 증가하고, 만성영향으로는 사망률이 14% 증가하는 것으로 나타났다.

입경크기($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	독성영향
5.0 ~ 10.0	눈: 알레르기성 각막염, 각막염
2.0 ~ 5.0	코: 알레르기성 비염
1.0 ~ 2.0	기관지: 기관지염, 폐기종, 천식
0.1 ~ 1.0	폐: 폐포 손상 유발

구분	PM10 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가시	PM2.5 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가시
급성영향	· 기관지 확장제 사용 3.1% 증가	· 사망률 1.5% 증가
	· 기침 3.6% 증가	
	· 하기도 질병 3.2% 증가	
	· 호흡기 질환관련 병원 입원율 0.8% 증가	
만성영향	· 사망률 0.7% 증가	
	· 사망률 10% 증가	· 사망률 14% 증가
	· 기관지염 29% 증가	· 기관지염 34% 증가
	· 어린이 강제호기량(FEV1 ¹⁾) 1.2% 감소	· FEV1 1.9% 감소

[표 1] 미세먼지 크기에 따른 독성 영향

(출처 : WHO, Evolution of WHO air quality guidelines: past, present and future, 2017)

1) FEV1: Forced expiratory volume in 1 second

미세먼지 연구결과



미세먼지가 미치는 건강영향에 대한 역학연구결과와 작업장 내 초미세먼지에 대한 동물실험 연구결과, 그리고 디젤 엔진 배출물에 대한 동물실험 연구결과는 다음과 같다.

1. 역학연구 결과

- 1) 초미세먼지는 화학적 성분에 따라 인체 위해의 정도가 다르다.
- 2) 초미세먼지의 노출과 총 사망, 허혈성 심질환 사망, 폐렴 사망 및 만성 폐쇄성 폐질환으로 인한 사망과 관련이 있다.
- 3) 황산염 성분과 석탄 연소의 배출은 사망률 증가시킨다.
- 4) 황산염과 도로이동 오염원의 배출은 인체 위해성이 있다.
- 5) 미세먼지와 초미세먼지의 농도증가는 전체 원인 및 심혈관계 사망에 영향이 있다.
- 6) 디젤 엔진 배출물에 노출된 근로자는 폐암의 위험이 높다.
- 7) 방광암의 위험이 있다는 증거가 몇 가지 있고, 근로자는 현기증, 졸음, 두통, 메스꺼움, 시력 감소 및 호흡량 감소를 유발한다.

2. 작업장 내 초미세먼지에 대한 동물실험 연구결과

- 1) 초미세 테프론을 동물에 급성 노출한 결과 폐에 악영향이 관찰되었다.
- 2) 폴리테트라 플루오로 에틸렌의 초극세 고분자 가스를 이용하여 랫드에서 연구한 결과 매우 높은 폐독성과 사망을 유발한다.
- 3) 초미세 탄소 입자는 경미한 염증 반응을 유도한다.
- 4) 폴리스티렌과 같은 저독성 물질로 구성된 초미립자의 넓은 표면적은 염증 촉진활성을 갖는다.
- 5) 프라임 LPS(lipopolysaccharide)와 오존을 동시에 노출 시 초미세 탄소에 대해 반응성이 증가했다.
- 6) 노쇠한 랫드의 폐는 초미세 입자에 의한 산화 스트레스의 위험이 증가했다.

- 7) 초미세입자와 미세 티타늄을 이용한 연구에서 동일 질량의 미립자보다 더 큰 염증 잠재력을 가진다.
- 8) 초미립자의 증가된 표면적은 생물학적 활동에 중요한 결정 요인이다.
- 9) 미세입자는 폐 외 조직으로 전신 분포가 가능하다.
- 10) 초미세입자는 PM2.5 및 PM10 미세입자보다 덜 연구되어 있다.
- 11) 낮은 용해도, 낮은 독성 물질로 만들어진 초미세 입자는 동일한 물질로 만들어진 미세 호흡성 입자보다 랫드의 폐에서는 더 많은 염증을 유발하였다.
- 12) 미세입자는 전이 금속의 방출과 관계없이 염증을 유발시킨다.
- 13) 초미세입자의 더 큰 염소 생성을 유도하는 특성은 알려지지 않았지만 입자 표면적과 관련이 있을 수 있고 산화 스트레스를 포함한다.
- 14) 대식세포의 Ca²⁺의 유입의 증가는 초미세 입자와 접촉된 막 Ca²⁺ 채널을 통해 일어나고, 산화 스트레스를 포함한다.
- 15) 초미세입자에 노출된 대식세포에 서 Ca²⁺가 증가하면 TNF α 와 같은 주요 염증 유발 유전자가 전사 된다.
- 16) 초미세입자는 대식세포의 식균작용을 통하여 다른 입자 제거 능력을 손상시킬 수 있다.
- 17) 자연발생 고혈압 쥐에 미세먼지와 초미세먼지를 노출하면 폐 및 전신에 경미한 영향을 미친다.
- 18) 신생아 및 젊은 성체 랫드의 폐에서 미세입자 물질의 독성기전 연구자료가 있다.
- 19) 초미세먼지와 나노 입자는 실험적 연구를 통해 천식 환자를 비롯한 사람의 건강에 해로운 결과를 초래할 수 있음을 확인하였다.
- 20) 흡입된 나노물질은 뇌에 도달하거나 뇌에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다.

3. 디젤 엔진 배출물에 대한 동물시험 연구결과

- 1) 랫드에 바이오 디젤 혼합물의 배출물을 노출한 결과 노출된 폐포 대식세포에서 프로스타글란딘 E2²⁾ 증가 되었다.
- 2) 디젤엔진 배기가스 및 카본블랙 입자를 랫드에 장기간 노출한 결과
 - 발암성 및 비발암성이 나타남이 입증되었다.
 - 염증, 세포 증식 및 섬유증을 비롯한 폐 조직 손상을 유발한다.
 - 폐조직 손상은 양이 많을수록 증가된다.
 - 랫드의 폐에 축적된 디젤 배출물과 카본블랙은 3개월 노출 후 정상적인 입자 제거 메커니즘이 손상됨을 확인하였다.
 - 동물에서 폐종양 유발 메커니즘에 대한 자세한 정보가 없다.
 - 폐의 입자에 대한 증식반응이 없는 조건하에서 입자 또는 입자 결합 발암 물질의 저농도로 장기간 노출된 결과가 없음으로 확인되었다.
- 3) 오존 처리된 디젤 엔진 배기가스는 주변 PM에 의한 폐 반응을 유도 할 수 있다.
- 4) 디젤 엔진 배출물에 대한 흡입 노출은 랫드의 뇌에서 특이적인 유전자 발현 변화가 폐에서 관찰되는 것과 유사하다.
- 5) 디젤 엔진 배출물에 노출된 고혈압 랫드는 심박수의 변화가 악화되고 염증성 변화가 유도되었다.
- 6) 교통관련 대기 오염, 특히 디젤 연료 연소와 관련된 대기 노출은 태아기와 출생 초기 마우스에서 자폐증 스펙트럼 장애(Autism spectrum disorder, ASD)관련 행동 변화를 일으킬 수 있다.
- 7) BALB/c 마우스가 2차 유기에어로졸(SOA, Secondary Organic Aerosol)에 일찍 노출되면 사회행동관련 유전자의 시상하부 발현에 영향을 줄 수 있으며, 신경독성을 유발하고 수컷의 사회적 행동을 손상시킬 수 있다.
- 8) 디젤 배기가스는 부신 피질의 호르몬 분비를 자극하고 생식선 자극 호르몬 방출 호르몬을 억제하며 쥐의 정자 형성을 억제한다.
- 9) 디젤 배기 입자와 세균성 지질 다당류(LPS)가 랫드의 폐에서 자유 라디칼 생성을 위해 상승 작용을 한다.

2) E2: 평활근 수축, 말초혈관 확장, 발열 및 통각 전달, 뼈신생골 흡수작용

- 10) 디젤 배기 입자의 장기간 폐 노출은 아데닌으로 유발 된 만성 신부전 마우스의 신장 산화 스트레스, 염증 및 DNA 손상을 악화시킨다.
- 11) 자궁 내에 디젤 배기가스가 노출되면 마우스의 대기 오염이 태반 손상을 촉진하여 체중 증가, 혈압 및 생존 태아의 심부전을 오래 지속시키는 효과를 보였다.
- 12) 랫드에 디젤 배기가스를 장기간 노출시키면 갑상선 활동이 증가한다.
- 13) UVA의 조사(照射)는 동물에서 디젤 엔진 배출물의 독성을 상승시킨다.
- 14) 가솔린 발전기의 지속적인 노출은 생화학적 변화와 암을 유발할 수 있다.
- 15) 디젤 배기가스의 흡입은 혈전형성 및 혈소판 활성을 증가시킨다.
- 16) 디젤 배기가스의 노출은 동맥 경화 증가와 관련하여 급성 혈관 이벤트를 유발한다.
- 17) 디젤 엔진 입자 투여는 생체 내 혈관확장제(소듐 니트로프루시드)의 반응에서 추가적인 손상을 유발한다.
- 18) 마우스를 대상으로 디젤 배기에서 나온 공기 중 입자의 임신성 노출은 자궁 내 DNA를 변형시키고 성인 심장 마비의 감수성을 증가시키는 유전자 발현을 변화시킨다.

연구결과의 시사점



이상의 연구결과를 활용하기 위해서는 우선 미세먼지의 종류는 대기 중 미세먼지와 작업장 내 초미세먼지로 분류해야 한다. 대기 중 미세먼지의 주요 원인 물질은 디젤 엔진 배출물이며, 작업장 내 미세먼지는 어떤 특별한 대표성이 없어 작업장별로 연구할 필요성이 있다. 대기 중 미세먼지는 입경크기에 따라 PM2.5와 PM10으로 구분되나, 작업장 내 초미세먼지의 입경크기는 0.1~100nm로 크기가 매우 작기 때문에 인체 노출, 침착 및 전위에 영향을 줄 수 있으며, 고유한 물리화학적 특성과 다양한 건강 문제 유발이 가능하다.

디젤 엔진 배출물은 매우 복잡한 혼합물이고, 기체상과 입자상 사이에 분포되는 광범위한 유기 및 무기 화합물로 구성되어 있으며, 다음과 같은 공중 보건적 우려로 인하여 독성영향에 대해 많은 연구가 되어 있다.

- 디젤 배출물의 입자의 90%는 1 μ m미만으로 호흡하기 쉽다.
- 많이 알려진 또는 의심되는 돌연변이 유발물질 및 발암물질을 포함하여 표면에 흡착된 수백 가지 화학물질을 가지고 있다.
- 기체상에는 많은 자극물과 독성화학물질을 함유하고 있다.
- 오존 전구체인 질소 산화물은 기체상의 연소 생성물 중 하나이다.
- 주변 환경과 직업 환경에서 사람이 디젤배출가스 또는 대기 변환 제품에 노출 될 가능성이 있다.

초미세먼지와 나노 입자의 부작용 및 작용 메커니즘의 이해는 최근 진전이 있었음에도 불구하고 인간의 건강에 미치는 나노 수준의 오염 물질에 대한 노출 효과를 명확히 밝히는 데는 여전히 부족하다. 최근 디젤 엔진 배출물은 생체 내 활성, 메커니즘, 천식 등의 질환에 대한 악영향 연구 및 생리활성 물질에 대한 연구가 진행되고 있다. 나노물질의 연구와 작업장 내 초미세먼지의 연구는 같은 종류의 연구이다.

미세먼지 건강영향에 관한 향후 연구과제



나노기술은 산업 발전과 더불어 계속해서 발전하고 새로운 물질들이 지속적으로 나올 것으로 예상되므로 물리화학적 특성 및 독성규명이 필요한 나노물질 및 신규 나노물질에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 최근 연구에 따르면 뇌에 영향을 주는 나노물질이 있는 것으로 밝혀져 뇌혈관장벽 (Blood-Brain Barrier) 또는 태반 장벽(placental barrier)을 통과하는 물질에 대한 물리화학적 특성분석(characterization) 연구가 필요하다.

나노물질은 입자가 작고 다른 조직으로의 전이 가능성이 많으므로 In vitro³⁾ 대체 시험법을 통한 나노물질의 발암성 연구가 필요하다. 최근 디젤엔진 배출물은 생리활성, 천식 등의 질환에 악영향을 가속시키는 등 생체에 다양한 영향이 있다는 연구 결과가 있다. 그러므로 이러한 영향에 대한 독성발현 경로(Adverse Outcome Pathway, AOP)를 밝히는 연구가 요구된다.

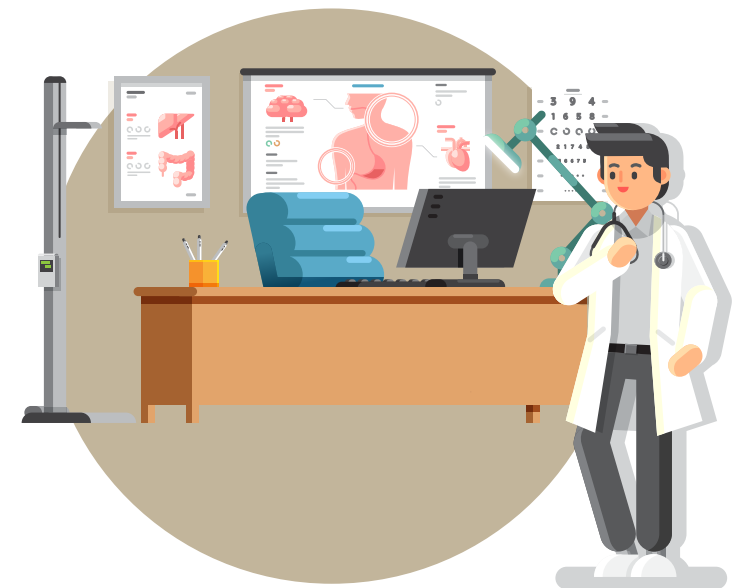
3) In vitro : 살아있는 생명체 내부가 아니라 시험관이나 페트리 디쉬와 같이 제어가 가능한 환경에서 수행되는 실험 과정을 의미



참고문헌

- Seinfeld, J.H. and S.H. Pandis (2016) Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, third edition, John Wiley & Sons Inc, Hoboken, New Jersey, USA.
- Oberdörster G1, Finkelstein JN, Johnston C, Gelein R, Cox C, Baggs R, Elder AC (2000) Acute pulmonary effects of ultrafine particles in rats and mice. Res Rep Health Eff Inst. 96:5-74; disc. 75-86.
- Günter Oberdörster (2000) Toxicology of ultrafine particles: in vivo studies. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, <https://doi.org/10.1098/rsta.2000.0680>.
- C. TERZANO, F. DI STEFANO, V. CONTI, E. GRAZIANI, A. PETROIANI (2010) Air pollution ultrafine particles: toxicity beyond the lung. European Review for Medical and Pharmacological Sciences 14: 809-821.
- David B. Warheit Thomas R. Webb Christie M. Sayes Vicki L. Colvin Kenneth L. Reed (2006) Pulmonary Instillation Studies with Nanoscale TiO2 Rods and Dots in Rats: Toxicity Is not Dependent upon Particle Size and Surface Area. Toxicological Sciences, Volume 91, Pages 227-236.
- K Donaldson, V Stone, A Cloutier, L Renwick, W MacNeeb (2001) ULTRAFINE PARTICLES. Occup Environ Med 2001;58:211-216.
- Karin Sorig Hougaard, Anne Thøustrup Saber, Keld Alstrup Jensen, Ulla Vogel and Hkan Wallin (2009) Diesel Exhaust Particles: Effects on Neurofunction in Female Mice. Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology, 105, 139-143.
- D. M. Brown, M. R. Wilson, W. MacNee, V. Stone, and K. (2001) Donaldson Size-Dependent Proinflammatory Effects of Ultrafine Polystyrene Particles: A Role for Surface Area and Oxidative Stress in the Enhanced Activity of Ultrafines. Toxicology and Applied Pharmacology 175, 191-199.
- Kristal A. Rychlik, Jeremiah R. Secrest, Carmen Lau, Jairus Pulczinski, Misti L. Zamora, Jeann Leal, Rebecca Langley, Louise G. Myatt, Muppala Raju, Richard C.-A. Chang, Yixin Li, Michael C. Golding, Aline Rodrigues-Hoffmann, Mario J. Molina, Renyi Zhang, and Natalie M. Johnson (2018) In utero ultrafine particulate matter exposure causes offspring pulmonary immunosuppression. PNAS. 116(9), 3443-3448.
- Laya Bhavaraju1, Jonathan Shannahan, Aaron William, Robert McCormick, John McGee4, Urmila Kodavanti, and Michael Madden (2014) Diesel and biodiesel exhaust particle effects on rat alveolar macrophages with in vitro exposure. Chemosphere. 104, 126-133.
- Mauderly JL, Snipes MB, Barr EB, Belinsky SA, Bond JA, Brooks AL, Chang IY, Cheng YS, Gillett NA, Griffith WC, et al. (1994) Pulmonary toxicity of inhaled diesel exhaust and carbon black in chronically exposed rats. Part I: Neoplastic and nonneoplastic lung lesions. Res Rep Health Eff Inst. 1-75; discussion 77-97.
- Joe L Mauderly, M Burton Snipes, Edward Barr, Steven A Belinsky, James A Bond, Antone L Brooks, Yiin Chang, Yung S Cheng, Nancy A Gillett, William C Griffith, Rogene F Henderson, Charles E Mitchell, Kristen J Nikula (1994) Pulmonary Toxicity of Inhaled Diesel Exhaust and Carbon Black in Chronically Exposed Rats. Part I: Neoplastic and Nonneoplastic Lung Lesions. HEI HEALTH EFFECTS INSTITUTE. Research Report Number 68.
- Virginia L. Bass1, Mette C. Schladweiler, Abraham Nyska, Ronald F. Thomas, Desinia B. Miller, Todd Krantz, Charly King, M. Ian Gilmour, Allen D. Ledbetter, Judy E. Richards, and Urmila P. Kodavanti. (2015) Comparative cardiopulmonary toxicity of exhausts from soybased biofuels and diesel in healthy and hypertensive rats. Inhal Toxicol. 2015 ; 27(11): 545-556.

- Damien van Berlo, Catrin Albrecht, Ad M. Knaapen, Flemming R. Cassee, Miriam E. Gerlofs, Nijland Ingeborg M. Kooter, Nicola Palomero-Gallagher, Hans-Jürgen Bidmon, Frederik-Jan van Schooten, Jean Krutmann, Roel P. F. Schins (2010) Comparative evaluation of the effects of short-term inhalation exposure to diesel engine exhaust on rat lung and brain. Archives of Toxicology. Volume 84, Issue 7, pp 553-562.
- Irina N. Krivoshto, BA, John R. Richards, MD, Timothy E. Albertson, MD, MPH, PhD, and Robert W. Derlet, MD (2008) The Toxicity of Diesel Exhaust: Implications for Primary Care. JABFM Vol. 21 No. 1.
- JeanClare Seagrave and Joe L. Mauderly, Barbara Zielinska and John Sagebiel, Kevin Whitney, Douglas R. Lawson, Michael Gurevich (2000) Comparative Toxicity of Gasoline and Diesel Engine Emissions. SAE TECHNICAL PAPER SERIES, 2000-001-2214.
- Workplace exposure to dusts and aerosols - diesel exhaust. https://oshwiki.eu/wiki/Workplace_exposure_to_dusts_and_aerosols_-_diesel_exhaust
- Jôse Mára Brito Luciano Belotti Alessandra C. Toledo Leila Antonangelo Flávio S. Silva Débora S. Alvim Paulo A. Andre Paulo H. N. Saldiva Dolores H. R. F. Rivero (2010) Acute Cardiovascular and Inflammatory Toxicity Induced by Inhalation of Diesel and Biodiesel Exhaust Particles. Toxicological Sciences, Volume 116, Issue 1, Pages 67-78.



05

ISSUE

ISSUE
REPORT기업의 투자는 산재예방에
효과가 있을까?정책제도연구부 **박선영** 연구위원**이창훈** 연구원산재예방 투자
효과성 분석의
필요성

산업재해는 근로자의 영구적인 노동력 상실로 가족 생계유지에 영향을 미치며, 기업의 이미지 하락 및 경제적 손실을 초래한다. 산재를 줄이고자 하는 투자는 개인의 삶의 질 향상 및 사업체의 경쟁력 확보와 국가의 잠재성장률을 극대화하는데 도움이 된다.(고용노동부, 2000; 박선영 2017; 오원기, 2008). 그러나 근로자 및 사업체의 안전에 대한 관심이 증가하는 것에 비해 산업재해 예방을 위한 투자비용 부담은 소극적인 실정이다. 안전에 대한 투자는 기업에게 수익을 즉각적으로 발생시키는 비용이 아니므로 지출에 있어서는 후순위로 밀릴 가능성이 크며, 투자가 아닌 손실로서의 비용으로 인식하고 있기 때문이다. 산재예방투자에 대해 체계적으로 분석하여 정확한 근거를 제시하지 않는다면 인본주의에 호소하는 수준에 그쳐 산재예방투자를 이끌어내기 힘들 것이다. 산재예방투자비용의 효과성 분석에 대한 객관적인 연구를 통해 자발적인 투자를 유도할 필요가 있다.(경인지방노동청, 2000; 안흥기, 2015; 심충진, 2016).

본 이슈리포트는 언급했듯이 산재예방 투자가 재해율 감소에 긍정적인 영향을 미치는가에 대한 효과성을 분석하기 위해 2018년 실시한 산업안전보건 실태조사 결과를 토대로 알아보고자 한다.

효과분석을 위한
연구 설계



산업안전보건 실태조사는 3년 주기로 진행되며, 고용보험 가입 상시근로자 50인 이상 규모의 사업장 중 제조업 2,000개, 건설업 1,000개, 기타산업 2,000개를 대상으로 안전보건 현황 파악 및 관련 정책 수립의 기초자료 마련을 위해 실시되고 있다. 주요 설문 항목으로는 사업장의 일반현황, 조직구성, 위험인자의 분포, 안전보건 조직 및 관리, 안전보건활동, 근로자 참여 및 의사소통, 심리사회적 위험요인, 업무변화, 사업장 안전보건 문화, 안전보건정책 등으로 구성되어 있으며 사업장 안전보건활동 항목에 산재예방을 위한 투자설문이 포함되어 있어 이를 활용하였다.

1) 변수 및 분석대상

독립변수는 안전비용투자 설문항목에 대해 2017년보다 2018년에 증가하였다라고 답했다면 증가, 감소시켰다면 감소, 투자비용이 변함이 없었다라고 하면 변동없음으로 범주화 시켰다. 종속변수는 산업재해 중 사고재해자를 근로자수로 나누어 종업원 1인당 사고재해율로 정하였다. 그 외 사고재해율에 영향을 줄 수 있을 것으로 생각되는 업종(제조업, 기타산업)¹⁾, 규모 등은 통제변수로 처리하였다.

2) 분석모형

안전보건투자가 사고재해에 미치는 영향을 분석하기 위해 포아송 회귀분석을 이용하였다. 앞서 설정한 변수에 따라 2017년에서 2018년의 안전투자비용 변동이 사고율에 미치는 영향을 알아보는 분석모형은 다음과 같다.

$$\log\left(\frac{E(Y|X)}{\text{종근로자수}}\right) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{업종} + \beta_2 \cdot \text{규모} + \beta_3 \cdot \text{안전투자비용}$$

1) 건설업은 전체 공사금액에서 안전보건투자에 일정 비율을 지출하도록 법률로 강제되어 있어 분석에서 제외하였다.

안전투자비용
증감 현황



분석대상이 되는 2018년 산업안전보건 실태조사에 포함된 사업장 규모별로 사고재해율을 산출하면 다음 표와 같다. 제조업 및 서비스업 전체 사고율은 2016년 0.3383%, 2017년 0.3133%, 2018년 0.3081%로 감소하는 추세로 나타났다. 제조업의 사고율은 2016년 0.3199%, 2017년 0.3256%, 2018년 0.3245%로 증가하다 감소하는 추세로 나타났다. 서비스업의 사고율은 2016년 0.2289%, 2017년 0.2015%, 2018년 0.214%로 감소하다 증가하는 추세로 나타났다.

제조업의 규모에 따른 사고율은 50-99인의 경우 2016년 0.3911%, 2017년 0.3793%, 2018년 0.3587%로 감소하는 추세로 나타났다. 100-299인의 경우 2016년 0.2163%, 2017년 0.2497%, 2018년 0.2643%로 증가하는 추세로 나타났다. 300인 이상의 경우 2016년 0.1718%, 2017년 0.2037%, 2018년 0.3009%로 증가하는 추세로 나타났다.

서비스업의 규모에 따른 사고율은 50-99인의 경우 2016년 0.2867%, 2017년 0.2488%, 2018년 0.2586%로 감소하다 증가하는 추세로 나타났다. 100-299인의 경우 2016년 0.1613%, 2017년 0.1442%, 2018년 0.1621%로 감소하다 증가하는 추세로 나타났다. 300인 이상의 경우 2016년 0.0857%, 2017년 0.09%, 2018년 0.1025%로 증가하는 추세로 나타났다.

【표 1】업종별 규모에 따른 사고율 현황

구 분		사고율(%) 평균			
업종	규모	N	2016년	2017년	2018년
제조업	50-99인	1173	0.3911	0.3793	0.3587
	100-299인	612	0.2163	0.2497	0.2643
	300인 이상	136	0.1718	0.2037	0.3009
	총 계	1921	0.3199	0.3256	0.3245
서비스업	50-99인	1200	0.2867	0.2488	0.2586
	100-299인	591	0.1613	0.1442	0.1621
	300인 이상	205	0.0857	0.0900	0.1025
	총 계	1996	0.2289	0.2015	0.2140
전 체		3917	0.3383	0.3133	0.3081

2017년 대비 2018년에 사업장의 안전투자비용이 증가한 사업장은 총 308개이고, 285개의 사업장에서 감소한 것으로 조사결과 나타났다. 업종별로 살펴보면 제조업의 경우 50-99인 규모의 사업장은 124개에서 증가하고 98개의 사업장에서 감소하였다. 100-299인의 경우 63개의 사업장에서 증가하고 53개의 사업장에서 감소하였으며, 300인 이상의 경우 12개의 사업장에서 증가하고 10개의 사업장에서 감소하였다.

서비스업의 규모에 따른 안전투자비용 변동은 50-99인의 경우 53개의 사업장에서 증가하고 69개의 사업장에서 감소하였다. 100-299인의 경우 39개의 사업장에서 증가하고 37개의 사업장에서 감소하였다. 300인 이상의 경우 17개의 사업장에서 증가하고 17개의 사업장에서 감소하였다.

[표 2] 2017년 대비 2018년 안전투자비용 변동 현황

구 분		안전투자비용 변동			
업종	규모	N	변동없음	감소	증가
제조업	50-99인	1,120	898	98	124
	100-299인	597	481	53	63
	300인 이상	135	113	10	12
	총 계	1,852	1,492	162	198
서비스업	50-99인	1,033	911	69	53
	100-299인	520	444	37	39
	300인 이상	190	156	17	17
	총 계	1,743	1,511	123	109
전 체		3,596	3,003	285	308

안전투자비용
변동에 따른 영향



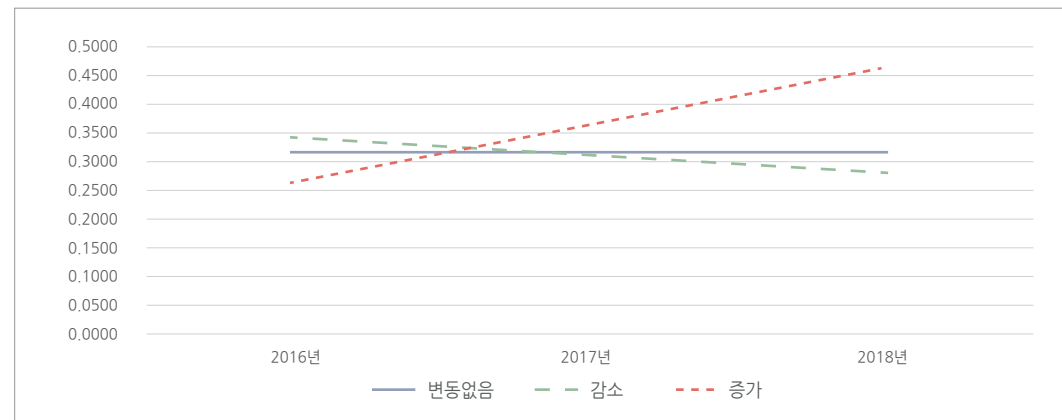
안전투자비용 변동이 사고율에 미치는 영향을 분석한 결과는 [표 3]과 같다. 분석결과, 2017년 대비 2018년에 안전투자비용에 변동이 없거나 증가시킨 사업장에서 사고율이 통계적으로 유의하게 감소하는 것으로 나타났으며($p<0.05$), 투자비용을 증가시킨 사업장의 사고율이 투자비용 변동 없는 사업장보다 사고율이 더 많이 감소하는 것으로 나타났다.

업종별로 살펴보면, 제조업의 경우 투자비용에 변동이 없거나 증가시킨 사업장에서 사고율이 통계적으로 유의하게 감소하는 것으로 나타났으며($p<0.05$), 투자비용이 변동 없는 사업장의 사고율이 투자비용을 증가시킨 사업장보다 사고율이 더 많이 감소하는 것으로 나타났다. 서비스업은 투자비용을 증가시킨 사업장에서 사고율이 통계적으로 유의하게 감소하는 것으로 나타났다($p<0.05$).

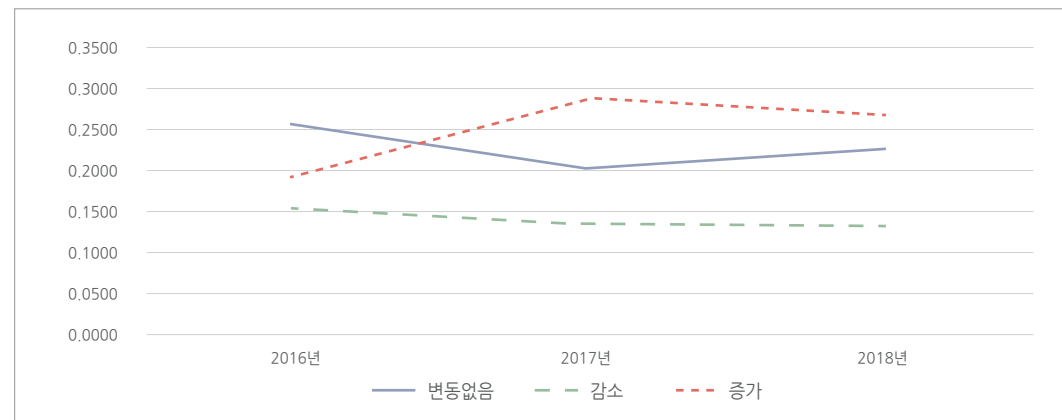
[표 3] 업종별 안전투자비용 변동에 따른 사고율 포아송 회귀분석

구분	Variable	B	S.E	95% CI		p
제조업	안전투자비용	감소	ref			
		증가	-0.464	0.1593	-0.776 -0.152	0.004**
		변동없음	-0.533	0.1128	-0.754 -0.312	0.000***
서비스업	안전투자비용	감소	ref			
		증가	-0.730	0.3046	-1.327 -0.133	0.017*
		변동없음	-0.136	0.1826	-0.494 0.222	0.456
전체	안전투자비용	감소	ref			
		증가	-0.498	0.1406	-0.773 -0.222	0.000***
		변동없음	-0.419	0.0956	-0.606 -0.231	0.000***

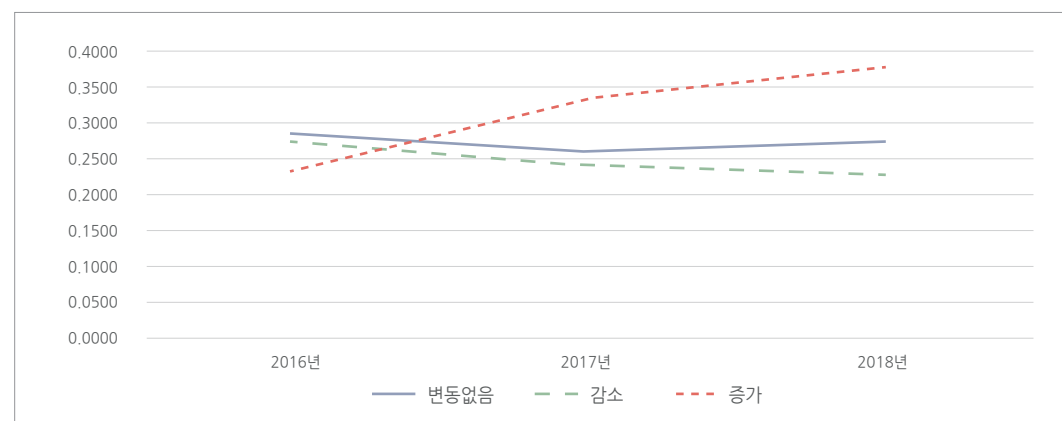
$P<0.05^*$ $P<0.01^{**}$ $P<0.001^{***}$



[그림 1] 제조업 안전투자비용변동에 따른 사고율



[그림 2] 서비스업 안전투자비용변동에 따른 사고율



[그림 3] 전체 안전투자비용변동에 따른 사고율

결론



본 이슈리포트는 2018년에 실시한 산업안전보건 실태조사 결과를 토대로 산재예방을 위한 안전보건 지출비용 등 사업장 안전보건 투자액과 산재예방 투자 및 지출비용이 산업재해에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 업종별로 사업 규모별 사고율, 안전투자비용 현황과 2017년에서 2018년의 안전투자비용 변동, 2016부터 2018년의 사고율 변동에 따라 그룹을 나누어 빈도 분석 및 기초통계량을 통해 사업장 안전보건 투자에 대해 파악하였다. 최종적으로 안전투자비용 변동에 따라 사고율에 미치는 영향을 포아송 회귀분석을 실시하여 예방투자 및 산재로 인한 지출비용의 효과를 파악하였다. 이는 안전투자비용의 효과성 검증 및 인식전환과 자발적인 투자를 유도하기 위한 기초자료가 될 것이다.

분석 결과, 2017년보다 2018년에 안전투자비용이 증가한 사업체가 감소한 사업체들에 비해 사고율이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 사업체들의 안전투자비용에 대한 인식 재고 및 투자 장려를 위한 객관적 자료로 활용될 수이다. 하지만 본 연구는 다음과 같이 여러 한계점이 있다. 효과적인 연구를 위해서는 동일한 사업체를 대상으로 반복 측정을 통해 체계적이고 지속적인 접근이 요구된다. 또한 교육 및 설비, 인력투자비 등 세부 항목들에 대한 추가적인 분석을 시행할 때 보다 개선된 결과를 얻을 수 있을 것이다.



참고문헌

- 경인지방노동청 (2000). 건설업 산업재해로 인한 재해손실비용과 안전관리비 투자효과
- 고용노동부 (2002). 산업재해분석
- 박선영, 조운호, 김경우, 장유리, 우수경 (2017). 기업의 안전보건비용투자 및 재무상태와 산업안전보건과의 연관성 분석. 산업안전보건연구원. 심충진, 구자은 (2016). 기업의 규모업종별 안전보건 투자에 따른 세액공제 제도 개선방안. 한국세무학회, 17(6), 143-173
- 안흥기, 김혜란 (2015). 안전의 사회적 가치와 비용부담 방향. 국토연구원, 516.오원기, 김형수, 엄창수, 장성훈, 이건설, 정최경희, 김근희, 이관형 (2008). 제조업사업장의 산업안전보건 비용. The Korean Society Of Occupational And Environment, 20(1), 25-36

OSH

OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ISSUE REPORT

안전보건 이슈리포트



안전보건 연구동향 Vol. 13 No. 1 [통권 80호] 내용 안내



- 1 문화로 만드는 새로운 안전보건 :
'신뢰' 선행지표를 통한 예방문화 전략
- 2 레질리언스 엔지니어링에 대한 고찰
- 3 '위험의 외주화' 근절을 위한 도급승인제도
주요내용과 과제
- 4 의료기관 종사자의 방사선 노출현황
-방사선 중재기술(intervention)을 중심으로
- 5 미세플라스틱의 건강영향 및 노출 가능성
- 6 연구자와 연구환경의 안전관리는 누구의 몫인가?



2018년 하반기호 안전보건 이슈리포트는
연구원 홈페이지(<http://oshri.kosha.or.kr> - 안전보건이슈리포트)에서
다운받아 보실 수 있습니다.