

안전충남 이슈-브리프

석탄 화력발전소의 유해요인 실태와 관리방안

이윤근 노동환경건강연구소 소장 / 석탄화력발전소 특별노동안전조사위원회 안전기술 분과위원장
/ E-mail : lyk4140@hanmail.net

최근 5년간 국내 5대 발전사에서 20명의 산업재해 사망자가 발생하였다. 이러한 문제는 오늘날 우리가 안고 있는 노동안전보건의 모든 문제들이 그대로 들어나고 있다. 이를 위해 2019년 4월 1일 '석탄화력발전소 특별노동안전조사위원회'가 발족되었고 재해 발생원인과 재발방지 수립을 위한 권고안을 발표한 바가 있다. 본 내용은 석탄산업에서 문제되는 유해요인 현황과 관리실태, 문제점에 대해 노동자의 안전보건 차원에서 개선방안을 제시하고자 하였다.



석탄 화력발전소의 유해요인 실태와 관리방안

이윤근 소장 / 노동환경건강연구소

1. 들어가며

최근 5년간 국내 5대 발전사(한국남동발전·서부발전·중부발전·남부발전·동서발전)에서는 20명의 산업재해 사망자가 발생하였다¹⁾. 사망자 모두 하청노동자였다. 발전회사 전체로 확대한 산업재해 실태를 보면 재해자의 90% 이상이 하청노동자들이다. 국회에 제출된 자료에 의하면 5년(2014년~2018년) 동안 한국전력의 총 재해자가 562명이었는데 이 중에서 협력사 소속 재해자는 538명으로 95.7%를 보였고, 여타의 발전사들도 협력사 재해자 비율이 89.8%~100%에 달한다. 일하다가 다치거나 죽는 사람은 대부분이 하청노동자이다(표 1).

〈표 1〉 최근 5년(2014~2018년)간 발전사 하청 노동자 재해 현황

발전사	한전	한수원	남동발전	서부발전	중부발전	남부발전	동서발전
총재해자수	562	218	59	44	39	147	48
자사	24	18	6	2	1	0	1
협력사	538	200	53	42	38	147	47
협력사 비율(%)	95.7	91.7	89.8	95.2	97.4	100.0	97.9

출처: 국회 우원식 의원실

지난 2018년 12월 11일, 태안화력발전소에서 비정규직으로 일했던 꿈 많은 한 청년이 입사 3개월 만에 소중한 목숨을 잃었다. 故 김용균이다. 한 젊은이가 죽임을 당할 수밖에 없었던 환경을 보면 정의가 철저히 무시된 이른바 노동 환경의 부정의(不正義), 불평등 문제를 그대로 보여주고 있다. 비정규직, 하청노동자, 열악한 환경, 1인 작업, 안전시설 미흡, 노동자의 참여권 문제 등 오늘날 우리가 안고 있는 노동안전보건의 모든 문제들이 그대로 드러난 사고였다.

열악함을 넘어 처참한 하청노동자들의 노동환경 실태를 온 몸으로 보여준 김용균님의 사고는 노동자들의 안전보건 문제를 더 이상 방치할 수 없는 사회적 문제로 인식하게 되는 중요한 계기가 되었다. 이러한 문제들의 정확한 원인 분석과 재발 방지를 위해 2019년 4월 1일 국무총리 훈령으로 ‘고 김용균 사망사고 진상규명과 재발방지를 위한 석탄 화력발전소 특별노동안전조사위원회’ (약칭: 석탄화력발전소 특별 노동안전조사위원회)가 발족되었다.

이 위원회는 지난 8월 19일 그 동안의 조사 활동 결과발표를 통해 석탄 발전소의 재해 발생 원인과 재발방지 수립을 위한 권고안을 발표한 바 있다.

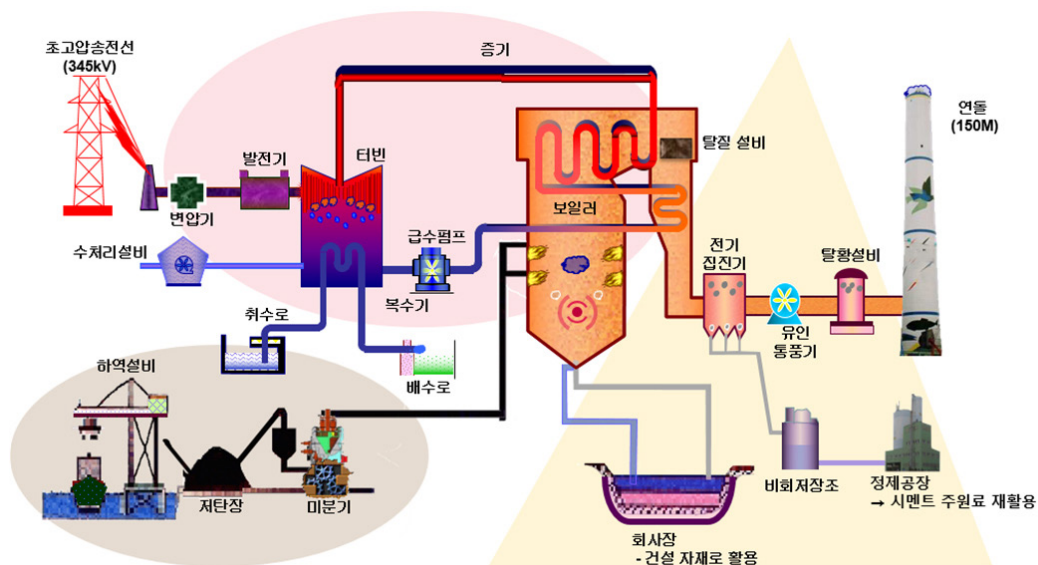
본 내용은 특별조사위원회의 조사 결과 내용 중 석탄발전 산업에서 문제되는 유해요인 현황과 관리 실태, 그리고 문제점에 대한 개선방안을 중심으로 내용을 재정리한 것이다.

1) 언론 보도 자료를 인용함 (연합뉴스 2019/02/06 보도)

2. 발전 원료인 석탄은 어떤 유해물질들을 포함하고 있는가?

발전 원료인 석탄은 발암물질 등 다양한 고독성 물질을 함유하고 있음

석탄발전소는 유연탄을 연소시켜 생기는 에너지를 이용하여 전기를 생산한다. 따라서 처음 석탄의 하역에서부터 이송, 저장, 분쇄, 연소과정은 물론이고 석탄재를 처리하는 회처리 공정까지 모든 공정(그림 1 참고)에서 석탄 분진이나 유해가스에 노출될 수 있다.



[그림 1] 석탄 화력발전소 계통도

유감스럽게도 석탄은 다양한 유해물질을 함유하고 있다. 주로 광물성 물질과 탄화수소가 혼합되어 있으며, 그 중 많은 것들이 발암물질로 알려져 있다(표 2 참고). 결정형유리규산, 비소, 벤젠 등이 대표적인 유해 화학물질로 이들 물질들은 국제암연구소(IARC)에서 발표한 1급 발암물질(Group 1, 발암확정물질)이다.

〈표 1〉 석탄과 석탄재로부터 발생 가능한 고독성 물질(발암물질, 변이원성, 생식독성물질) 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

폐암을 일으킬 수 있는 1급 발암물질인 결정형유리규산은 석탄재에 50% 이상 함유되어 있음

선행 연구들을 보면 석탄발전소의 생산 과정에서 노동자들은 결정형유리규산, 벤젠, 비소 등과 같은 다양한 발암 물질에 노출되는 것으로 알려져 있다²⁾. 실제로 유연탄을 수입할 때 첨부되는 입탄성적서(certificate of analysis, COA)를 보면(표 2) 탄의 열량과 수입국에 따라 다소 차이가 있지만 석탄재(ash) 성분 중 평균 47~57% 정도(많은 경우 70% 이상이 되는 경우도 있음)의 결정형유리규산이 함유되어 있는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 비소나 수은, 납과 같은 독성이 강한 중금속들도 함유되어 있다(표 3).

〈표 3〉 태안발전소에 2012년부터 2018년까지 입하된 탄 종류별 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
평균 고정탄소 양, %	51.1	47.6	40.6
회(Ash)의 평균 결정형 실리카(SiO_2), %	57.6	47.6	47.8

출처: 안전보건진단보고서. 고용노동부, 2019

2) 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>)

결정형 유리규산(혹은 이산화규소, SiO₂)은 대표적인 광물성 분진으로 대부분의 토양이나 암석에 포함되어 있다. 따라서 주로 금속 광이나 탄광, 채석과 석공, 내화벽돌, 유리 및 초자제조, 주물사를 사용하는 주물공장 노동자들에게 노출되어 폐암의 원인이 되는 대표적인 1급 발암물질이다. 이 물질은 광산에서 탄을 캐는 광부들에게 문제되는 진폐증이나 폐암의 원인물질이기도 하다. 즉, 석탄 발전소 노동자들은 광산에서 일하는 광부들과 유사한 환경에서(유해물질 노출 측면에서) 일하고 있다고 해도 과언이 아니다.

단편적인 결과이긴 하지만 특별조사위원회에서 회 찌꺼기 처리작업(보령7호기 1차 컨베이어 에어전시 슈트 상부)을 대상으로 공기 중 결정형 유리규산을 측정한 결과 0.408 mg/m³ 로 노출기준(고용노동부 : 0.05 mg/m³, 미국 ACGIH : 0.025 mg/m³)을 8~16 배 정도 초과하는 높은 수준으로 측정되었다(표 4). 좀 더 대상을 확대해서 장시간 동안 정밀한 측정이 이루어져야 하겠지만 발암물질의 고농도 노출 가능성을 보여주는 결과이다.

〈표 4〉 회 찌꺼기 처리작업(보령7호기 1차 컨베이어 에어전시 슈트 상부) 중 공기 중(지역시료) 결정형유리규산 측정결과

측정대상	분석물질	분석결과	노출기준		비고
			한국(고용노동부)	미국(ACGIH)	
회찌꺼기 처리작업	결정형실리카	0.408 mg/m ³	0.05 mg/m ³	0.025 mg/m ³	기준치 8-16배 초과

출처: 석탄발전소 특별노동안전조사위원회, 2019

이와 같은 유해물질과 관련한 발전소 노동자들을 대상으로 한 연구 결과들을 종합해보면 폐기종, 기관지염, 진폐증, 천식, 폐암 등의 발생률이 높은 것을 알 수 있다³⁾. 뿐만 아니라 최근 연구에 의하면 한 국가에서 1인당 석탄 생산량이 1 kW 증가하면 폐암의 상대적 위험은 남성의 경우 59%, 여성은 85% 증가하는 것으로 알려져 있다⁴⁾.

석탄이 휘발되면서 백혈병을 일으킬 수 있는 벤젠(benzene)과 질식사를 일으킬 수 있는 일산화탄소(CO)가 발생됨

석탄에 함유된 유해물질은 결정형유리규산만 문제되는 것은 아니다. 석탄에는 함량 기준으로 30~40% 정도의 휘발성 물질이 포함되어 있다. 이 물질들은 열에 의해 온도가 상승하게 되면 가스 상태로 공기 중으로 날리게 된다. 즉, 석탄을 보관하는 과정에서 자연발화가 일어나거나 주변 온도가 상승하게 되면 휘발성 유기화합물(VOCs) 가스 상태로 공기 중으로 발생하게 된다(그림2 참고). 대표적인 물질이 혈액암(백혈병 등)의 원인물질로 알려진 벤젠이며, 이 물질 역시 국제암연구소에서 지정한 1급 발암물질이다. 뿐만 아니라 석탄의 주요 성분은 탄소로 이루어져 있다. 이와

3) 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>)

4) 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>

같은 탄소는 불완전 연소에 의해 일산화탄소를 생성하게 된다. 일산화탄소는 무취, 무미의 유독 가스로 흡입하면 중추 신경계 손상 및 질식에 의해 사망에 이를 수 있는 위험한 독가스다. 과거 연탄가스 중독의 원인이 되었던 물질이며, 지난 2018년 12월 강릉 펜션에서 발생한 고등학생들의 집단 중독사고(3명 사망, 7명 중독)의 원인물질이다. 발암물질인 벤젠과 질식사를 일으킬 수 있는 일산화탄소 발생 가능성이 가장 높은 작업은 석탄을 옥내 시설에 보관하는 옥내 저탄장이다. 특히, 자연발화가 발생하게 되면 짧은 시간 동안 고농도의 일산화탄소가 발생할 수 있어 매우 위험한 상황에 직면할 수 있다.



[그림 2] 자연발화가 진행되고 있는 옥내저탄장 모습. 이 과정에서 발암물질인 벤젠 등 휘발성 유기화합물과 질식사를 일으킬 수 있는 일산화탄소 발생량이 높아지게 된다.

실제 자연발화가 발생했던 옥내저탄장의 일산화탄소 측정 결과를 보면 8시간의 노출기준인 30ppm을 초과한 비율이 38.5%나 되며, 급성 중독 증상이 나타나기 시작하는 200ppm (15분 동안의 단시간 노출기준)을 초과한 경우도 2.5%나 된다(표 5 참고).

〈표 5〉 삼척발전본부 옥내저탄장 일산화탄소 측정 결과 요약

측정대상	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 : 발전회사 제출자료 재분석, 측정기간 : 2018년 1월

3. 무엇을 어떻게 개선해야 하나?

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 개선방안을 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 있어 다음과 같은 유해물질을 발전소 중점관리대상 물질로 선정하고 이에 대한 주기적인 측정과 관리가 이루어져야 한다.

〈표 6〉 발전소 작업현장에서 관리되어야 할 주요 유해물질

발전소 주요 관리대상 물질	주요 공정
결정형 유리규산	- 석탄 및 탄화가 분진으로 발생하는 모든 공정 (특히, 회처리 공정과 정비작업)
벤젠, 톨루엔 등 휘발성유기화합물	- 옥내저탄장 시설점검/보수/정비작업 - 기타 탄 저장장소 - 연소 가스 노출 작업(보일러 시설 등)
비소, 수은, 납, 니켈 등의 중금속	- 회처리 공정 - 분진이 발생하는 정비작업/기타 용접작업
석면	- 배관 등 보온재 교체 작업 - 정비작업
일산화탄소	- 옥내저탄장 - 기타 밀폐 공간

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 비 특이적으로 이루어지고 대부분이 밀폐된 공간에서 진행되기 때문에 작업환경 측정 및 관리에 한계가 있다. 뿐만 아니라 작업에 투입되는 작업자들이 상당 부분 일용직, 비정규직이기 때문에 건강관리 대상에도 누락되어 왔다.

이러한 문제들을 해결하기 위해서는 현재의 작업환경 측정 방식이 특정 시기에만 진행되는 정기 측정 방식에서, 문제되는 작업과 유해인자를 능동적으로 찾아 측정하는 수시 측정 방식으로 전환되어야 한다.

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

또한 보건관리 대상에서 제외되어 있는 비정규직 하청노동자의 건강관리를 위해서는 현행 ‘건강관리수첩제도’⁵⁾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. 특정 분진 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.

3) 옥내저탄장의 작업환경 측정 및 유해가스 관리 방법 개선

발전 원료인 석탄에는 함량 기준으로 30~40% 정도의 휘발성분이 함유되어 있기 때문에 발암물질인 벤젠과 같은 휘발성유기화합물과 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 휘발성유기화합물질을 반드시 작업환경측정 대상 물질에 포함시켜야 한다. 또한 옥내저탄장을 출입하는 모든 작업자에게 휴대용 가스측정기를 지급하여 수시로 변하는 가스농도를 실시간으로 확인할 수 있어야 한다.

4. 지방정부는 어떤 역할을 해야 하나?

현재로서는 지방정부가 노동안전보건에 대한 정책을 수립, 시행하는 데에 많은 한계가 있다. 왜냐하면 산업안전보건 정책은 모두 산업안전보건법에 근거해서 집행되고 있으며, 이와 관련된 관리감독의 모든 권한을 중앙정부(고용노동부)가 가지고 있기 때문이다. 그 동안 정부의 안전보건 감독 기능의 일부만이라도 지방정부에 이관해야 한다는 지적이 있었으나 아직은 논의조차 되고 있지 않다. 따라서 현시점에서 충청남도가 석탄화력발전소에서 문제되는 노동자 안전보건 문제에 개입할 수 있는 내용은 극히 제한적일 수밖에 없다.

그러나 다행스럽게도 충청남도는 우리나라 지방정부 최초로 2012년에 충남도 ‘환경보건종합계획’(1기, 2012~2016년)을 수립한 바 있다. 이후 2017년에는 종합계획 제 2기(2017~2020년) 계획을 수립하여 5가지 추진 전략을 기본으로 총 29개 사업에 대한 추진계획을 발표하였다. 이 중 ‘추진전략4. 환경오염에 의한 취약지역 계층의 건강 격차 해소’ 전략이 있으며, 세부 계획으로 석탄화력발전소 주변 지역 어린이와 지역주민 건강역학조사 사업이 있다.

5) 건강관리수첩제도는 산업안전보건법 제44조 및 동법시행규칙 108조에 의거하여 장기간의 잠복기를 거쳐 발병하는 직업성 암 등을 조기에 발견 및 조치토록 하기 위한 제도이다.

이미 많은 연구들을 통해 석탄발전소 노동자들은 물론이고 지역주민들의 호흡기질환 문제가 제기된 지 오래다. 이러한 측면에서 충청남도가 계획하고 있는 석탄발전소 주변 어린이와 지역주민 역학조사 계획은 매우 의미 있는 사업이다.

현재 우리나라의 경우 공장에서 발생하는 유해물질이 담장 안(노동자)과 밖(지역주민)으로 구분되어 이를 적용하는 법률체계와 행정부처가 달라지는 게 현실이다. 담장 안에서 일하는 노동자들의 건강문제와 담장 밖에서 생활하는 지역주민의 건강 문제를 동시에 접근할 수 있는 유일한 방법이 지방정부의 개입이다.

지역 주민 역학조사는 조사 대상을 발전소 근무자, 발전소 주변 지역 주민, 제3의 대조지역 주민과 같이 조사 대상을 구분해서 진행한다면 공장 안과 밖의 문제를 모두 조사할 수 있는 좋은 연구 모델이 될 수 있을 것이다.

충청남도 공주시 연수원길 73-26(금흥동)

TEL 041.840.1296 FAX 041.840.1199

<http://www.cni.re.kr> 발행일 | 2019.7 발행인 | 윤 황

편집인 | 조 성 편집디자인 | 경성문화사(044.868.3537)

※이 책에 대한 저작권은 충남재난안전연구센터에 있으며 무단으로 사용하는 것을 금합니다.



충청남도재난안전연구센터
Center for Disaster & Safety Research

안전충남
이슈-브리프

2019 July

Vol.18