

연구보고서

포괄적 작업환경평가 제도 도입을 위한 시범 연구

이윤근·박정임·이정화·정태진·최영은·최인자·허승무

제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “포괄적 작업환경평가 제도 도입을 위한
시범 사업 연구”의 최종연구결과 보고서로 제출합니다.

2020년 11월

연구기관 : 원진직업병관리재단 노동환경건강연구소
연구기간 : 2020. 4. 29. ~ 2020. 11. 30.
연구책임자 : 이윤근 (노동환경건강연구소 소장)
공동연구원 : 박정임 (순천향대학교 환경보건학과 교수)
공동연구원 : 이정화 (주)사람과환경연구소 대표이사)
공동연구원 : 정태진 (주)EHS프렌즈 대표이사)
공동연구원 : 최영은 (노동환경건강연구소 화학물질센터 팀장)
공동연구원 : 최인자 (노동환경건강연구소 분석실장)
공동연구원 : 허승무 (노동환경건강연구소 인간공학팀장)
연구보조원 : 고지은 (순천향대학교 환경보건학과)
연구보조원 : 김성훈 (노동환경건강연구소 연구원)
연구보조원 : 민경두 (노동환경건강연구소 연구원)
연구보조원 : 이근탁 (노동환경건강연구소 연구원)
연구보조원 : 이영선 (노동환경건강연구소 연구원)
연구보조원 : 최시몬 (사람과환경연구소 본부장)

요 약 문

연구기간 2020년 4월 29일 ~ 2020년 11월 30일

핵심 단어 작업환경측정, 측정주기, 위험성평가

연구과제명 포괄적 작업환경평가 제도 도입을 위한 시범사업 연구

1. 연구배경

- 현행 작업환경측정 제도는 측정 대상(유해인자)과 측정 주기(6개월 주기)에 대한 문제점들이 지속적으로 지적되어 왔다.
- 문제의 핵심은 실제 작업자들이 요구하는 유해인자가 측정에서 누락되고 있고 위험도가 낮아 별로 문제되지 않는 유해인자만 매번 반복 측정한다는 점으로 작업자, 사업주, 전문가들 모두에게 신뢰를 얻지 못하고 있다.
- 이러한 문제점들을 개선하기 위해 최근 들어 작업환경측정 제도에 위험성평가 개념을 접목한 “포괄적 작업환경평가 제도” 도입이 검토되고 있다.
- 본 사업은 석탄화력발전소를 대상으로 작업환경측정 제도의 실효성을 높이기 위한 포괄적 측정제도의 모델을 만들어 시범 사업장에 적용해보고, 연차적인 연구를 통해 제도의 타당성 검증과 제도개선을 위한 법령, 고시 등에 반영하는 것을 최종 목표로 하고 있다.

2. 주요 연구내용

1) 시범 사업장 작업환경측정 문제점 평가

시범 사업장 작업환경측정의 문제점을 분석하기 위하여, 최근 7년 동안 진행한 작업환경측정 보고서 분석, 1,700여종 화학제품의 유해성 평가, 벌크 시료 및 고노출 상황에 대한 작업환경측정, 기타 작업장 순회 및 노사 간담회

를 통해 다음과 같은 문제점을 확인하였다.

(1) 작업환경측정 보고서 분석

- 최근 7년 동안의 작업환경측정 보고서를 분석한 결과 평가된 유해물질은 53종이었으며, 평가 결과 대부분(91.3%)이 노출기준 10% 미만 이었고, 노출기준을 초과한 건수는 하나도 없었다.
- 단위작업당 측정 시료수를 보면 작업당 측정 건수가 2개 이하인 측정이 전체 단위작업의 96.2%를 차지하였다. 시료수 1~2개만을 가지고 변화가 많은 노출 상황을 반영할 수 없어 정확한 노출 정도를 평가하기에는 한계가 있는 것으로 보인다.
- 작업환경측정 결과를 바탕으로 위험성평가를 실시한 결과 위험성이 허용 불가능으로 평가되어 향후 작업환경측정이 필요한 물질은 다음과 같이 제시되었다.
 - ① 입자상 물질은 그동안 7종이 측정되었으며, 이 중 석영, 목분진, 용접흄, 금속가공유 등 4가지 물질이 향후 측정이 필요한 물질로 제안되었다.
 - ② 금속류 물질 수는 총 15개 물질이 측정되었으나 향후 작업환경측정이 필요한 물질은 이산화티타늄 등 6가지 물질로 제안되었으며, 모두 노출수준은 낮았지만, 고독성물질로 분류된 물질들이다.
 - ③ 기타 화학물질은 총 31종이 측정되었으나 향후 작업환경측정이 필요한 물질은 디클로로메탄 등 총 13가지 물질로 제안되었으며, 이들 물질 모두는 노출 수준은 낮았지만, 고독성물질로 분류된 물질들이다.
 - ④ 기존 측정 물질은 총 53개였으나 위험성평가 결과를 반영하면 23개 물질로 대폭 감소할 것으로 평가되었다.

(2) 화학물질 사용 현황 분석

- 전체 화학제품은 총 1,725개였고, 시약이 265개(15%)로 가장 많았으며, 그 다음으로 용접 및 납땜 재료 247개(14%), 윤활유/그리스/작

동유 218개(13%), 세척제/세정제 180개(10%) 순이었다.

- 고독성물질을 하나 이상 함유하는 제품(이하 고독성제품)은 총 882개로 나타났으며, 용도별로 보면 용접 및 납땜 재료가 22.4%(198개)로 가장 높은 비율을 차지하였다. 기타 스프레이 윤활제/방청제 13.3%(117개), 접착제/실러/실런트 10.4%(92개), 윤활유/그리스/작동유 10.1%(89개) 순서로 나타났다.

- 이와 같은 고독성물질에 대해 유해성과 사용량 정보 등을 바탕으로 실시된 위험성평가 결과를 요약하면 다음과 같다.

- ① 허용불가위험 80개(37.7%), 중대한 위험 99개(46.8%), 상당한위험 31개(14.6%), 경미한위험 2개(0.9%)로 나타났다.

- ② 허용불가위험 제품 중 특수강 용접 작업 시 니켈과 크롬(6가크롬 포함)

- ③ 도장 작업 시(도료 및 안료, 신너/희석제 사용 작업) 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠

- ④ 세척 작업시 디클로로메탄, 1,3-부타디엔(함유 가능성이 높은 물질로 지속적인 확인 필요)

- 이러한 물질이 함유된 제품에 대해서는 작업환경측정은 물론이고 대체 가능한 제품 유무를 확인하는 등 지속적인 관리가 필요하다.

(3) 벌크시료 분석 결과

- 보일러 투입 이전의 석탄분진 중 가장 많은 함량을 보인 중금속은 알루미늄이었으며, 기타 아연, 망간, 구리, 크롬, 니켈, 납, 코발트 순서였다. 기타 카드뮴, 비소는 일부 시료에서만 미량 검출되었다.

- 보일러 연소 이후인 회분진도 석탄분진과 비슷한 중금속 분포를 보이고 있으나, 함량 농도는 다소 차이가 있었다. 크롬, 납, 니켈, 아연 등은 함량이 감소하였으며, 비소, 망간 농도는 상당 부분 증가하였다.

- 고형원료는 우드펠릿과 하수슬러지 모두에서 비소는 검출되지 않았고,

카드뮴은 우드펠릿에서는 검출되지 않았으나 하수슬러지에서는 미량 검출되었다. 기타 나머지 중금속들은 석탄 및 회분진의 구성성분과 비슷하였다. 다만 전체적으로 우드펠릿에 비해 하수슬러지의 중금속 함량 비율이 모든 항목에서 높은 수준을 보였다.

- 이와 같은 특성을 고려한다면 향후 고형원료 작업자를 대상으로 한 작업환경측정에서 중금속 노출 평가가 이루어져야 하며, 고형원료 구입 시 중금속 성분 분석 자료를 요구하여 독성학적인 평가를 거친 후 구매 여부를 결정해야 할 것으로 보인다.

(4) 보완적 작업환경 측정 결과

- 이번 보완적 측정은 극히 일부 작업을 대상으로 고독성물질에 한하여 이루어졌다. 석탄 및 회분진에 의한 중금속 노출은 매우 낮은 수준이었으나, 결정형 유리규산의 노출 농도는 ND-0.052 mg/m³의 범위를 보였다. 세척제에 의한 1,2-디클로로에틸렌 노출 농도는 51.62-86.77 ppm, 옥외저탄장 자연발화에 의한 벤젠 노출 농도는 ND-0.01 ppm이었다.
- 이번 보완적 측정을 통해 기존 작업환경측정에서 누락·제외되었거나, 노출 수준이 매우 낮았던(불검출 등) 유해인자의 고노출 가능성을 확인하였다. 그러나 일부 피측정자(작업자)의 경우, 작업 내용과 흡입된 분진의 흡착 상황으로 볼 때 고노출 가능 작업(worst case)이 선정되지 않았을 가능성이 매우 높다.
- 따라서 추후 피측정자 선정 전략을 달리하거나, 지역 시료 병행 측정을 통해 추가적인 평가가 이루어져야 할 것이다.

2) 관계자 의견수렴 결과

현행 작업환경측정 제도의 문제점 개선 방향 선정을 위해 노동조합, 경영자 단체, 측정기관, 전문가, 행정기관 등의 관계자를 대상으로 간담회를 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 노동단체와 일부 측정기관 관계자는 포괄적 측정제도 도입에 찬성하는 의견이 있다. 단, 새로운 제도에 작업자의 참여권 강화, 전문가(측정기관) 역할 강화(측정 대상 선정 등), 그리고 사업주 개입이 최소화되는 방향으로 개선되어야 한다는 추가 의견이 있다.
- 경영자 단체와 일부 측정기관 관계자는 현재의 측정 인프라(전문성, 사업장 개입 능력 등)를 고려할 때 포괄적 측정 제도 도입에 반대한다는 의견이다. 현행 제도에서 측정 결과 보고 의무 폐지, 측정 과정의 사업주 개입 최소화, 측정기관 역할 강화 등에 대한 추가 개선의견이 있다.
- 전문가는 측정제도가 개선되는 것에 대해 찬성하는 의견이다. 그러나 근본적인 한계점이 먼저 개선되어야 한다. 예를 들면 측정 주체, 계약 주체, 비용지불 주체는 모두 사업주가 가지고 있고, 실제 측정을 담당하는 측정기관은 제3자로 개입할 수 있는 여지가 거의 없어 이에 대한 개선이 우선되어야 한다는 의견이다.

3. 연구 활용방안

□ 제 언

1) 시범 사업장(석탄화력발전소) 작업환경측정 및 관리방안 제안

(1) 백화점식 측정을 지양하고 선택과 집종의 측정 전략 수립

최종적으로 집중해서 작업환경 측정이 필요한 물질은 35종(기존 측정은 53종)으로, 기타 주기적인(1~3년) 위험성 평가를 통해 측정 여부를 평가해야 할 물질로 27종을 제안한다.

(2) 위험성평가 결과를 근거로 측정 주기 조정

위험성 등급을 4단계(매우위험, 위험, 보통, 낮음)로 나누어 위험 등급에 따라 3개월, 6개월, 1년 주기로 제안하며, 위험도가 보통 혹은 낮은 물질에 대해서는 위험성평가로 대체한 후 일정 주기(1~3년) 후에 측정 여부를 재

평가하는 방안을 제안한다.

(3) 가장 열악한 작업조건이 측정에 반영되도록 측정 대상과 측정 시기를 조정
작업환경측정 대상자를 선정할 때의 기본 원칙인 ‘최고 노출 근로자’가 측정 대상에 반영되도록 측정 전략이 수립되어야 한다. 그러기 위해서는 측정 시기와 일정을 계획할 때 측정기관 중심이 아닌 현장 작업 일정 중심으로 계획되어야 한다. 이를 위해 특정 작업 일정에 맞춰 측정을 진행하는 수시측정 병행을 제안한다. 또한 측정대상자(작업자)를 선정할 때는 노동조합 혹은 작업자 대표가 참여하여 대상 작업에 열악한 작업 상황이 반영되도록 해야 한다.

(4) 측정 결과의 신뢰도를 높이기 위해 유사노출그룹(SEGs)을 대상으로 한 교차측정 방안 수립

작업환경측정 대상을 단위작업보다 좀 더 확대된 개념인 SEGs로 확대하여 해당 단위에 대해 반복하는 측정 전략이 필요하다. 이를 보완하기 위한 방법으로 동일한 작업 특성을 가지고 있는 1~8호기 발전설비를 대정비 일정에 맞춰 첫 번째 측정주기에 4개 호기와 주변 공정을 선정하여 측정하고, 그 다음 측정주기에 나머지 4개 호기를 측정하는 교차 측정방안을 제안한다. 단 교차 측정을 할 때는 측정 결과의 신뢰도를 높이기 위해 반복 측정을 통한 충분한 시료수를 확보하는 방안이 전제되어야 한다.

(5) 고열 측정 대상 작업 확대

고열이 발생하는 설비 작업은 물론이고, 높은 온·습도로 인한 열악한 온열 조건에 노출되는 밀폐작업(보일러 내부 정비작업 등)도 측정대상에 포함될 수 있도록 향후 측정 전략이 수립되어야 한다.

(6) 위험성평가를 접목한 작업환경측정 전략 수립

현재의 작업환경측정은 사전 위험성평가 없이 예년에 해왔던 측정대상과 항목을 그대로 답습하는 경우가 대부분이다. 사용하는 물질에 대한 유해성 평가 → 사용정보 파악 → 노출수준 예측 → 정밀 작업환경측정 등의 단계적 접근 전략을 반영해야 한다.

(7) 화학물질 관리 시스템 구축

제품의 구매 단계에서부터 유해성 평가를 실시하고, 사용정보, 노출정보, 법적 규정, 관리 방법, 대체 물질 정보 등 종합적인 정보를 만들어 작업자 및 업무 담당자들이 소통할 수 있는 관리시스템 구축을 제안한다.

2) 작업환경측정 제도개선 방향

현재 측정 대상 물질과 주기가 법적으로 정해져 있는 비효율적인 작업환경 측정 제도의 문제점을 개선하고, 측정 전략 수립 시 전문가 및 작업자들의 의견을 최대한 반영하기 위해 다음과 같은 포괄적 측정 제도가 병행될 수 있는 제도개선 방향을 제안한다.

(1) 측정 대상 물질 확대

법적인 측정 대상 물질에 국한하지 말고 위험성평가와 전문가 의견을 반영하여 측정이 가능한 모든 물질로 대상 물질을 확대해야 한다. 위험성이 낮지만, 관행적으로 측정해 왔던 물질은 일정 주기의 위험성평가를 통해 측정을 유예한 후 작업환경측정 여부를 재판단한다. 측정 대상 물질 확대가 실제 현장에서 반영되기 위해서는 측정의 계약 관계에 있어 전문가(측정기관)의 의견이 무시되고 사업주의 일방적인 요구에 의해 측정 대상 물질이 결정되는 현실적인 문제를 어떻게 할 것인지 고민되어야 한다. 또한 대상 물질 선정 시에는 급성중독 및 저농도 장기간 노출에 따른 건강영향 문제도 충분히 검토되어야 한다.

(2) 위험성 정도에 따른 측정 주기 조정 확대

위험성평가 및 작업환경측정 결과를 바탕으로 위험도를 산정한 후 위험성 등급에 따라 수시, 3개월, 6개월, 1년, 일정기간(1~3년) 측정유예 후 재평가 등 타당한 측정 주기를 탄력적으로 적용할 필요가 있다. 주기 조정 방향은 고독성물질은 측정 주기를 강화하고, 위험성이 낮은 물질은 측정 주기가 완화되어야 한다. 다만, 측정 주기를 결정함에있어 급성중독 및 저농도 장기간 노출에 따른 건강영향 문제를 충분히 검토해야 한다. 제품이 수시로 바뀌게

되는 화학물질에 대해서는 좀 더 촘촘한 측정 주기 설계가 필요하다.

(3) 가장 열악한 작업 조건이 반영된 측정 전략 수립

측정 일정을 수립할 때는 유지보수작업, 야간작업, 대정비 작업 등과 같이 최고 노출 상황으로 추정되는 작업일정을 고려한 측정전략 수립되어야 한다. 이를 위해서는 특정 작업 일정에 맞춘 수시측정 제도가 병행되어야 한다.

또한 측정 물질과 시료수 선정은 전문가에 일임하고, 피측정자 선정은 현장 (작업자 혹은 작업 대표)에 일임할 수 있도록 해야 한다. 그래야만 실질적 최고농도 수준이 측정에 반영될 수 있다. 사업주의 개입을 최소화하는 법률적 방안이 고려되어야 한다.

(4) 측정 결과의 신뢰도를 높이기 위한 전략 수립

측정 대상을 SEGs로 확대해서 특정 단위작업을 반복 측정하여 결과의 신뢰도를 확보한 후 그 결과를 동일 적용하는 전략을 수립해야 한다(SEGs가 여러 개일 때는 일정 주기로 교차 측정 실시).

(5) 위험성평가를 접목한 작업환경측정 전략 수립

작업환경측정에 앞서 기존 측정 결과 분석, 사용제품의 유해성 평가, 작업장 순회를 통한 노출특성 평가 등을 통해 사전 위험성평가를 실시한 후, 측정 대상 물질, 측정 대상 작업, 측정 주기 등 측정 전략을 수립한다. 이와 같은 선순환 방식의 평가 주기를 몇 년으로 할 것인지에 대해서는 좀 더 면밀한 검토가 필요하다.

(6) 제도 변화의 연착륙을 위한 측정제도 병행

포괄적 작업환경측정은 사업장의 자율성, 측정기관의 전문성, 그리고 작업자 (혹은 대표)의 참여권을 전제로 할 때 실효성 있는 제도로 정착할 수 있다. 만약 이와 같은 조건이 충족되지 않을 때는 최소한의 사전적 예방원칙에 근거한 현행 측정제도가 더 유용할 수도 있다. 따라서 새로운 제도가 도입된다면 사업장 조건에 맞게 기존 제도와 새로운 제도를 선택적으로 적용할 수 있도록 하는 일정기간 동안의 유예기간을 두고 두 제도가 병행되어야 하며, 각각의 이해 당

사자들의 우려하는 문제를 최소화하기 위한 연착륙 전략이 마련되어야 한다.

3) 행정적 제안

본 연구 결과를 시범 사업장에 적용하기 위해서는 현행 법적인 작업환경 측정 규정에 반하는 다음과 같은 행정적 문제가 해결되어야 한다.

(1) 측정 대상 물질 조정 문제

- 측정 물질 수가 53종에서 35종으로 조정
- 27종은 위험성 평가로 대체(1~3년 주기)

(2) 측정 주기 조정 문제

- 위험성 정도에 따라 수시, 3개월, 6개월, 1년, 일정기간(1~3년) 측정 유예 후 재평가

(3) 선택과 집중으로 문제되는 작업 중심의 반복 측정 문제

- 모든 부서를 매년 측정 --> SEGs로 묶어 선택과 집중하는 전략

□ 활 용

- 작업환경측정 제도 개선 방향 설정

4. 연락처

- 연구책임자 : 노동환경건강연구소 이윤근 소장
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 직업환경연구실 박해동 연구위원
 - Tel: 052-703-0885
 - E-mail: workenv@kosha.or.kr

차례

I. 서론	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 목표	3
II. 연구방법	5
1. 연구 대상	5
1) 작업 공정	6
2. 연구내용 및 범위	9
1) 1 단계 : 사업 준비 및 전략 수립	11
2) 2 단계 : 작업별 유해인자 분석 및 SEGs 설정	12
3) 3 단계 : 평가대상 작업과 유해인자 확정	13
4) 4 단계 : 보완적 작업환경 평가(최종 위험성 평가)	16
5) 5 단계 : 포괄적 작업환경측정 모델 제시	18
3. 연구 조직	20
4. 연구 윤리	20

Ⅲ. 연구결과	21
1. 문헌조사	21
1) 국내 작업환경측정 제도	21
2) 국외 작업환경측정 제도	27
3) 석탄 화력발전소의 작업환경	33
2. 작업환경측정 보고서 분석	39
1) 화학적 인자	39
2) 물리적 인자	56
3) 위험성 평가 결과	60
4) 소결	65
3. 화학물질 사용 현황과 유해성 평가	67
1) 조사방법	67
2) 화학제품 현황	70
3) 고독성제품 현황	75
4) 사용제품의 위험성평가 결과(고독성제품 중심)	81
5) 소결	90
4. 벌크시료 분석 결과	92
1) 분석 대상	92
2) 분석 결과	94
3) 소결	99

5. 보완적 작업환경측정 결과	100
1) 목적	100
2) 측정 대상	100
3) 측정 결과	102
4) 소결	110
6. 관계자 간담회 결과	111
1) 간담회 목적	111
2) 참여 대상	111
3) 논의 내용	112
4) 관계자 의견	113
 IV. 결론	 115
1. 요약	115
1) 측정 제도의 문제점	115
2) 시범 사업장 작업환경측정의 문제점	117
3) 관계자 의견 수렴 결과	120
2. 제언	121
1) 시범 사업장 작업환경측정 및 관리방안 제언	121
2) 작업환경측정 제도개선 방향	131
3) 행정적 제언	134

<표 차례>

<표 I -1> 획일적 작업환경측정 제도의 핵심적인 문제점 요약	2
<표 I -2> 세부 연구목표	4
<표 II -1> 연구 대상 요약	5
<표 II -2> 석탄 화력발전소 주요 공정별 유해인자	8
<표 II -3> 연구 내용 요약	10
<표 II -4> 노/사/연 연구 협의체 구성 및 역할	11
<표 II -5> 작업별 유해인자 분석을 위한 조사대상 및 내용	13
<표 II -6> 작업환경측정 대상 선정을 위한 위험성평가 기준(1)	15
<표 II -7> 작업환경측정 대상 선정을 위한 위험성평가 기준(2)	15
<표 II -8> 위험성평가 시 참고한 고독성물질 해당 여부 기준	16
<표 II -9> 석탄화력발전소에서 노출이 예상되는 주요 고독성물질	17
<표 II -10> 작업환경측정 및 관리 기준 (예시)	19
<표 III -1> 국내 작업환경측정 제도 주요 변천 내용 요약	23
<표 III -2> 2005년 작업환경측정 제도 혁신위원회 제도개선 주요 내용 요약 ·	26
<표 III -3> 주요 국가별 작업환경측정 주기 비교	28
<표 III -4> 일본의 작업환경측정 대상 작업장	29
<표 III -5> OSHA에서 작업환경측정을 법적으로 의무화한 특별관리 대상 물질 ·	31

<표 III-6> 유연탄의 물질안전보건자료(MSDS) 사례	34
<표 III-7> 태안발전소에 2012년부터 2018년까지 입하된 탄 종류별 함량 특성 ·	34
<표 III-8> 석탄과 석탄재로부터 발생 가능한 고독성물질 현황	35
<표 III-9> 회 찌꺼기 처리작업 공기 중(지역시료) 결정형 유리규산 측정결과 ·	36
<표 III-10> 삼척발전본부 옥내저탄장 일산화탄소 측정결과 요약	37
<표 III-11> 태안발전본부 옥내저탄장 공기 중 고독성물질 측정결과 ···	38
<표 III-12> 석탄화력발전소의 주요 유해물질과 건강영향	39
<표 III-13> 작업 부문별 작업환경측정 건수	40
<표 III-14> 유해물질별 측정 현황	42
<표 III-15> 금속류 물질 측정 현황	43
<표 III-16> 입자상물질 측정 현황	44
<표 III-17> 기타 화학물질 측정 현황	45
<표 III-18> 2020 년 상반기 작업환경측정 시료수	46
<표 III-19> 원하청 간 노출지수 비교	49
<표 III-20> 원하청 간 노출지수 세부 비교	50
<표 III-21> 작업 부문별 노출지수 비교	50
<표 III-22> 작업 부문별 노출지수 세부 비교	51
<표 III-23> 유해물질별 노출지수 비교	52
<표 III-24> 유해물질별 노출지수 세부 비교	52
<표 III-25> 입자상물질별 노출지수	53
<표 III-26> 금속류 물질별 노출지수	53
<표 III-27> 기타 화학물질별 노출지수	54

<표 III-28> 설비부문별 소음 측정 결과	56
<표 III-29> 소음 측정 대상 선정 시 고려 사항	57
<표 III-30> 중등도 작업조건일 때의 WBGT 노출기준 초과 현황	59
<표 III-31> 경작업 작업조건일 때의 WBGT 노출기준 초과 현황	59
<표 III-32> 작업환경측정 결과를 바탕으로 한 입자상물질의 위험성평가 결과 ..	60
<표 III-33> 작업환경측정 결과를 바탕으로 한 입자상물질의 위험성 허용 여부 ..	61
<표 III-34> 작업환경측정 결과를 바탕으로 한 금속류 물질의 위험성평가 결과 ..	61
<표 III-35> 작업환경측정 결과를 바탕으로 한 금속류 물질의 위험성 허용 여부 ..	62
<표 III-36> 작업환경측정 결과를 바탕으로 한 기타 화학물질의 위험성 허용 여부 ..	63
<표 III-37> 작업환경측정 결과를 바탕으로 한 기타 화학물질의 위험성평가 결과 ..	64
<표 III-38> 유해성 분류 기준	68
<표 III-39> 부서별 제품목록	69
<표 III-40> OO 발전소 각 사업장의 용도별 제품 현황	72
<표 III-41> 고독성물질 현황	75
<표 III-42> 고독성제품의 용도별 현황	79
<표 III-43> OO 발전소 각 사업장의 용도별 고독성제품 현황	80
<표 III-44> 협력사 E 위험성평가 결과	82
<표 III-45> 협력사 E 허용불가위험 제품(용접 및 납땜 재료 제외)	83
<표 III-46> 벌크 분석을 위한 작업장 내 퇴적분진 시료 채취 장소	93
<표 III-47> 벌크 분석을 위한 고형원료 시료 채취 현황	93
<표 III-48> 보일러 투입 이전의 퇴적분진(탄분진) 벌크시료 분석 결과 ..	95
<표 III-49> 보일러 투입 이후의 퇴적분진(회분진) 벌크시료 분석 결과 ..	96

<표 III-50> 고품원료 벌크시료 분석 결과	97
<표 III-51> 작업환경측정 대상 선정 기준	100
<표 III-52> 작업환경측정 대상 작업	101
<표 III-53> 공기 석탄 및 회분진 내 공기 중 중금속 노출농도 평가 결과 ..	103
<표 III-54> 결정형 유리규산 측정 결과	106
<표 III-55> 세척제(EMC-100A J 타입) 노출 작업의 보완적 작업환경측정 결과·	108
<표 III-56> 저탄장 휘발성유기화합물 노출 작업의 보완적 작업환경측정 결과·	109
<표 III-57> 간담회 참여 단위 및 인원	112
<표 IV-1> 입자상물질에 대한 향후 작업환경측정 항목 및 대상 작업 제안·	123
<표 IV-2> 금속류 물질에 대한 향후 작업환경측정 항목 및 대상 작업 제안·	124
<표 IV-3> 기타 화학물질에 대한 향후 작업환경측정 항목 및 대상 작업 제안·	125
<표 IV-4> 소음 측정 대상 작업 제안	126
<표 IV-5> 고열 측정 대상 작업 제안	127
<표 IV-6> 작업환경측정 주기 (예시)	128
<표 IV-7> 최고노출 상황(Worst Case)으로 추정되는 주요 작업	129

<그림 차례>

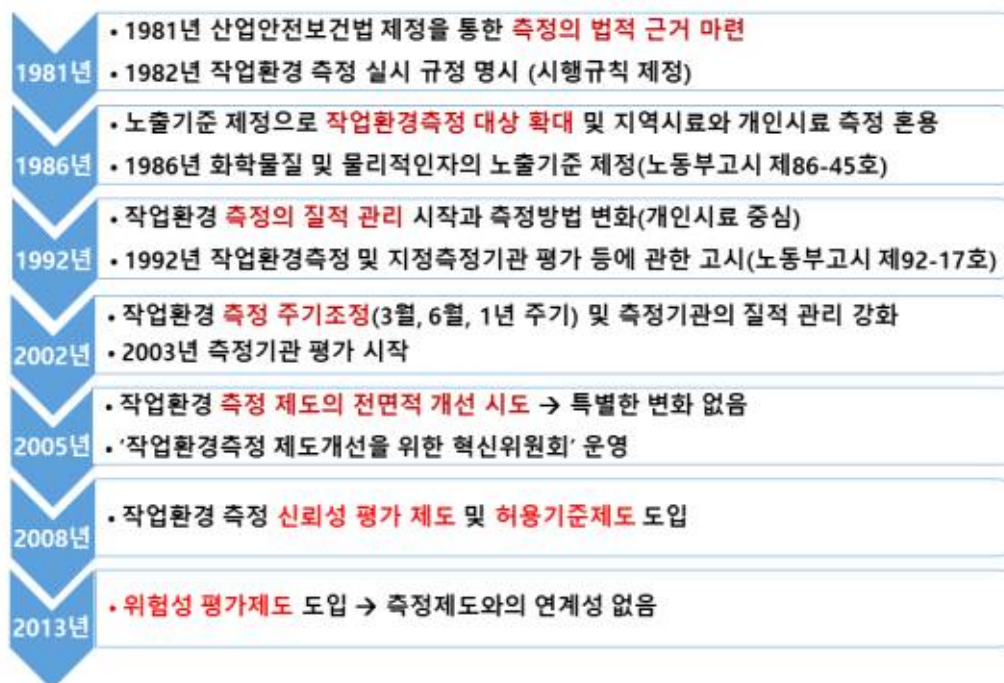
[그림 I-1] 국내 작업환경측정 제도개선 과정 요약	1
[그림 II-1] 석탄 화력발전소의 주요 공정	6
[그림 II-2] 사업 추진단계	9
[그림 II-3] 최종 평가 대상 작업 및 유해인자 선정 과정 요약	14
[그림 II-4] 작업환경 평가 내용 요약	16
[그림 II-5] 시범사업장 포괄적 작업환경측정 모델(안)	19
[그림 II-6] 연구 추진 체계(노/사/연 연구 협의체)	20
[그림 III-1] 작업환경측정에 대한 만족도	25
[그림 III-2] 작업환경측정 제도의 불만족 요인	25
[그림 III-3] 연도별 작업환경측정 건수	40
[그림 III-4] 원/하청간 작업자 수 및 측정 시료수 비중 비교	41
[그림 III-5] 단위작업당 측정 시료수 분포(2020년 상반기 작업환경측정 기준) ..	47
[그림 III-6] 노출지수 비교(최근 7년 동안의 측정결과)	49
[그림 III-7] 최근 7년 동안의 소음 측정 결과 분포(2013~2019년)	57
[그림 III-8] 위험성평가 결과를 반영한 측정 물질 수 변화 비교	66
[그림 III-9] 발전소 전체제품 용도별 현황	70
[그림 III-10] MSDS 작성년도 현황	74
[그림 III-11] 퇴적분진 특성에 따른 중금속 농도 비교	98

[그림 III-12] 고형원료 종류에 따른 중금속 농도 비교	98
[그림 IV-1] 위험성평가 결과를 반영한 측정 물질 수 변화 비교	122

I. 서론

1. 연구 배경

국내 작업환경측정 제도는 1981년 법적 근거가 처음 마련된 이후 40여 년 간 이어온 대표적인 산업보건 서비스 제도이다. 이 제도는 그동안 수차례 많은 변화가 있었으며, 주요 정책 변화 단계를 보면 ① 작업환경측정의 법적 근거 마련(1981년) → ② 작업환경측정 대상 확대(1986년) → ③ 측정의 질적 관리 시작(1992년) → ④ 측정 주기 조정(2002년) → ⑤ 측정제도의 질적 변화 시도(2005년 이후) 등으로 요약할 수 있다(그림 I-1).



[그림 I-1] 국내 작업환경측정 제도개선 과정 요약

특히 2005년에는 그동안 지적되어온 작업환경측정 제도의 문제점을 개선하기 위한 ‘작업환경측정 제도개선 혁신위원회’가 운영된 바 있으며, 최종 혁신안으로 노출 농도에 따른 측정 주기 조정을 주요 핵심으로 제안한 바 있다. 그러나 혁신위원회의 제안은 측정 주기 조정 및 허용기준 제도 도입 등 일부만 반영되었을 뿐 농도가 낮은 작업(노출기준 10% 미만)의 측정면제 등은 제도에 반영되지 않았다.

이처럼 우리나라 작업환경측정 제도는 수차례 개선을 거치면서 법적 측정 항목이 확대되었고, 측정 주기는 다소 탄력적으로 변화된 측면은 있으나 현재까지 측정 대상과 주기를 법적으로 규정하고 있는 원칙은 단 한 번도 바뀐 적이 없다. 이에 따라 획일화된 측정 대상과 주기에 대한 문제점이 끊임없이 제기되어 왔다(최상준, 2008). 현행 작업환경측정 제도의 핵심적인 문제인 측정 대상(유해인자)과 주기에 대한 문제점을 요약하면 <표 I-1>과 같다.

<표 I-2> 획일적 작업환경측정 제도의 핵심적인 문제점 요약

주체	측정 대상(유해인자)의 문제	측정 주기의 문제
노동자	▶ 왜 위험성이 높은 유해인자인데 측정을 안하지?	▶ 왜 가장 위험한 작업 상황일 때는 측정하지 않지? --> 비특이적 작업, 대정비 작업, 야간 작업 등)
사업주	▶ 왜 별로 문제되지 않는 물질까지 측정해야 하지?	▶ 왜 별로 문제되지도 않는데 매년 반복적으로 측정해야 하지?
	▶ 왜 노동부는 문제되지도 않는 유해인자임에도 측정하지 않았다고 지적하지? (관리감독에 대한 부담)	
전문가	▶ 측정 대상과 주기를 정할 때 전문가 의견이 반영될 수는 없는가? ▶ 측정을 했는지 안했는지 보다 얼마나 잘 했는지가 관리감독의 기준이 될 수는 없는가?	
문제점	▶ 실제 작업자가 느끼는 위험성이 측정에 반영되지 않아 작업자들로부터 신뢰받지 못함 ▶ 형식적 측정이 매년 동일하게 반복됨에 따라 회사로부터 신뢰받지 못함 ▶ 획일적 측정으로 단순 기능의 측정만을 반복하도록 하는 현행 제도로 인해 전문가들로부터 신뢰받지 못함	

따라서 작업환경측정 제도의 핵심인 측정 대상(유해인자)과 측정 주기(6개월 주기)에 대한 문제점들은 여전히 존재하며, 문제의 핵심은 실제 작업자들이 요구하는 유해인자가 측정에서 누락되고 있고 위험도가 낮아 별로 문제되지 않는 유해인자만 매번 반복 측정한다는 점이다.

이러한 문제점들을 개선하기 위한 제도개선으로 최근 들어 현행 작업환경측정 제도에 위험성평가 개념을 접목한 “포괄적 작업환경평가 제도” 도입이 검토되고 있다.

40년이 경과한 작업환경측정 제도의 실효성을 높이기 위해서는 위험도가 높은 유해인자에 관리 역량을 집중할 수 있도록 하는 새로운 형태의 작업환경 관리 모델에 대한 정책변화가 요구되는 시점이다.

2. 연구 목표

본 연구는 시범 사업을 통해 작업환경측정 제도의 실효성을 높이기 위한 포괄적 측정제도의 모델을 만들고 연차적인 연구를 통해 제도의 타당성 검증과 제도개선을 위한 법령, 고시 등에 반영하는 것을 최종 목표로 하고 있다.

구체적인 연구 목표는 <표 I-2>와 같다.

<표 1-3> 세부 연구목표

최종 연구 목적(1년차 연구)	
시범 사업을 통해 "포괄적 작업환경평가 제도"의 모델을 제시하고자 함	
단계별 연구 목표	세부 목표 및 연구 영역
1. 사업 수행을 위한 전략 수립	① 사업방향 및 원칙 수립 ② 사업 단계별 세부목표 설정 ③ 사업 추진체계(협업체) 구성 ④ 국내외 측정제도 관련 자료 분석
2. 사전 위험성평가	① 부서별 작업 단위 구분 및 작업 특성 파악 ② 유해인자별 유사노출그룹(SEGs) 도출 ③ 기존 측정 자료 분석 및 유해물질 사용 현황과 독성 평가
3. 평가 대상 작업과 유해인자 확정	① 사전 위험성 평가를 통한 위험도 수준 예측 ② 부서별/작업 단위별 유해인자 확정 ③ 작업 일정을 고려한 측정 전략 수립
4. 작업환경 평가 (노출평가 병행)	① 노출수준 및 위험성 평가를 위한 보완적 측정 실시 ② 유사노출그룹(SEGs)별 최종 위험성평가와 측정 방향 확정 ③ 개선 등 사후관리 계획 마련
5. 포괄적 작업환경 측정 모델 제시	① 향후 작업환경측정 방향 제시(대상, 유해인자, 방법, 주기 등) ② 향후 작업환경 관리 방향 제시(작업환경 개선 및 노출자 관리 등)

II. 연구방법

1. 연구 대상

포괄적 작업환경측정 제도 시범 사업장은 비특이적인 작업(정비 작업 등) 비중이 높고, 다층적 고용구조로 인해 체계적인 작업환경 관리에 한계가 있을 수밖에 없는 석탄화력발전소로 선정하였다.

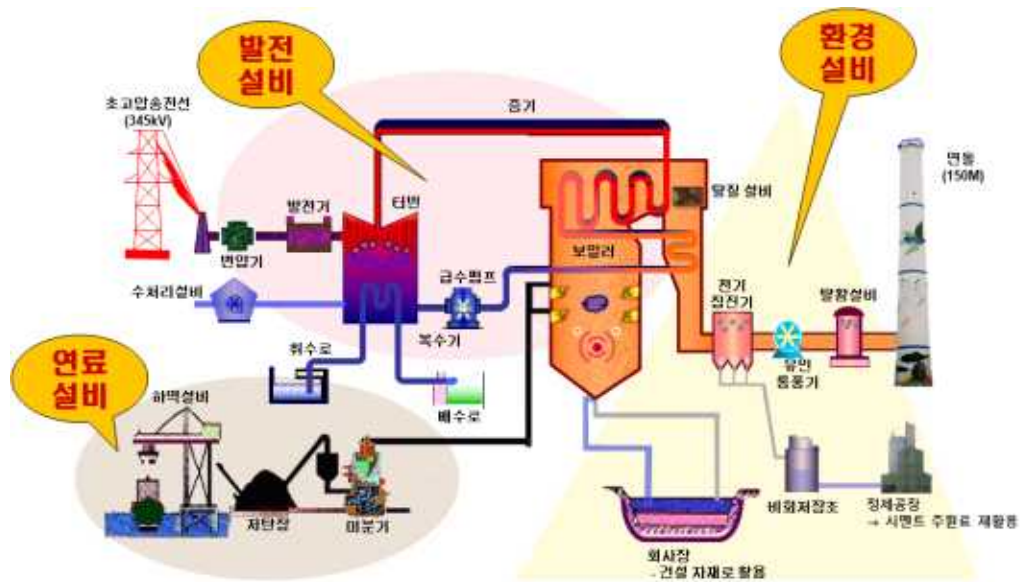
대상 사업장은 전력 생산 규모 면에서 메이저급 발전소로 다양한 작업환경 특성이 있고, 시범 사업 협조가 가능한 OO석탄화력발전소(기력 1~8호기)를 대상으로 하였으며, 구체적인 현황은 <표 II-1>과 같다.

<표 II-1> 연구 대상 요약

대상 사업장	주요 공정	주요 유해인자
OO석탄화력 발전본부 (2,400여명)	① 연료설비 : 석탄 하역 및 저탄 시설 등 ② 발전설비 : 보일러 터빈 등을 이용하여 전기를 생산하는 설비 ③ 환경설비 : 전기를 생산하는 과정에서 발생하는 유해가스 및 탄 찌꺼기를 처리하는 설비	▶ 석탄분진, 결정형 유리규산 등 광물성 분진 ▶ 벤젠, 톨루엔 등 휘발성유기화합물 ▶ 비소, 수은, 납, 니켈 등의 금속류 ▶ 암모니아 등 가스상 물질 ▶ 용접흄 ▶ 기타 세척제 등의 유기화학물질

1) 작업 공정

석탄 화력발전소의 작업 공정은 [그림 II-1]과 같이 세 가지 영역으로 나뉜다.



[그림 II-1] 석탄 화력발전소의 주요 공정

(1) 연료 설비

전기 생산의 처음 시작 공정인 연료설비는 외국에서 수입된 유연탄을 부두에서 저탄장에 하역 → 컨베이어 벨트를 이용한 이송 → 미분기를 이용한 분쇄 공정이 포함된다. 이 때 가장 중요한 유해인자 노출원은 석탄분진이며, 기타 설비 유지 보수 시 수시로 이루어지는 용접작업에서 발생하는 용접과 세척과정에서 노출되는 화학물질이다. 이와 같은 작업들은 대부분 협력사가 담당하고 있다(표 II-2).

(2) 발전 설비

분쇄된 석탄과 기타 고형원료(우드펠릿 등)를 보일러에 투입 --> 연소시킨 후 고온 증기를 이용하여 전기를 생산(터빈)하는 설비이다.

발전소의 가장 핵심적인 설비로 보일러 및 터빈 설비를 운전하는 영역(발전소 정규직이 담당)과 설비를 주기적으로 유지 보수하는 영역(협력사 담당)으로 나누어진다.

중요한 유해인자 노출원은 대부분 유지보수 과정에서 발생하며, 탄분진과 석탄이 타고 남은 회분진(fly ash), 그리고 유지 보수 시 부가적으로 행해지는 세척 작업으로 인한 유기용제, 용접 작업시의 용접흠 등이다. 기타 발전 설비를 운영하는 과정에서 각종 용수와 원료를 분석하는 과정에서 노출되는 화학물질이다(표 II-2).

(3) 환경 설비

전기를 생산하는 과정에서 발생한 유해 물질(황산화물, 질소산화물 등의 유해가스)과 석탄이 타고 남은 석탄재(fly ash)를 처리하는 공정으로 크게 두 가지 영역으로 나누어진다.

하나는 보일러에서 연소된 연소물질들을 탈질 공정을 거쳐 --> 전기 집진 --> 탈황 --> 굴뚝을 통해 배출하는 공정과 각종 수처리 공정 등이다.

다른 하나는 보일러에서 타고 남은 찌꺼기를 정제하여 시멘트 및 아스콘 원료 등을 생산하는 회처리 공정이다.

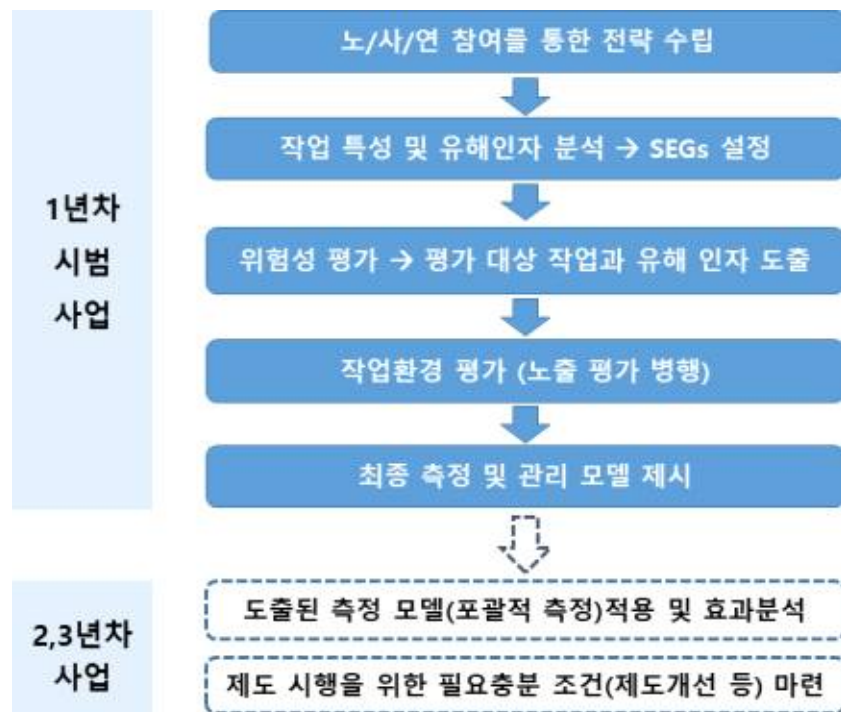
가장 중요한 노출원은 회분진이며, 기타 설비의 유지보수 과정에서 부수적으로 이루어지는 용접 작업과 세척 작업에서 발생하는 용접흠과 화학물질이다(표 II-2).

<표 II-2> 석탄화력발전소 주요 공정별 유해인자

구분	① 연료 설비	② 발전 설비	③ 환경 설비
주요 공정	■ 하역 설비 ■ 석탄 저장 설비 ■ 운탄 설비 ■ 미분 설비	■ 보일러 설비 ■ 터빈 설비	■ 탈질/탈황 설비 ■ 전기집진 설비 ■ 수처리 설비 ■ 회처리 설비
주요 유해인자	■ 석탄분진 ■ 결정형 유리규산 ■ 금속류 ■ 용접흙(정비작업) ■ 유기화합물(정비작업) ■ 소음	■ 석탄 및 회 분진 ■ 결정형 유리규산 ■ 목분진(우드펠릿) ■ 금속류 ■ 용접흙(정비작업) ■ 유기화합물(정비작업) ■ 가스상물질(유지보수) ■ 고열, 소음	■ 회 분진 ■ 결정형 유리규산 ■ 금속류 ■ 용접흙(정비작업) ■ 유기화합물(정비작업 및 수처리 공정) ■ 가스상물질 ■ 소음
취약작업	■ 유지보수 작업 ■ 대정비 작업	■ 유지보수 작업 ■ 대정비 작업	■ 유지보수 작업 ■ 분석 작업(시료) ■ 대정비 작업

2. 연구내용 및 범위

연구내용과 방법을 요약하면 [그림 II-2]와 <표 II-3>과 같다.



[그림 II-2] 사업 추진단계

<표 II-3> 연구 내용 요약

추진 단계	단계별 사업 목표	추진 방법
1. 사업 준비 및 전략 수립	① 사업방향 및 원칙 수립 ② 사업 단계별 세부목표 설정 ③ 사업 추진체계(협의체) 구성 ④ 국내외 측정제도 관련 자료 분석	▶노/사/연 연구협의체 운영 ▶문헌조사 ▶노사 (현업)담당자 간담회
2. 작업 특성 및 유해인자 분석과 SEGs 설정	① 부서별 작업 단위 구분 및 작업 특성 파악 ② 유해인자별 유사노출그룹 (SEGs) 정리	▶작업환경측정 보고서 분석 ▶관련 연구보고서 분석 ▶MSDS 자료 분석 및 사용정보 파악 ▶Walk through survey
3. 평가 대상 작업과 유해인자 도출	① 사전 위험성 평가를 통한 위험도 수준 예측 ② 부서별/작업 단위별 유해인자 확정	▶위험성 평가 기법 적용 ▶Walk through survey ▶노/사/연 연구 협의체 운영 ▶현업부서와의 간담회
4. 작업환경 평가 (노출평가 병행)	① 보완적 작업환경측정을 통한 노출수준 및 위험도 평가 ② 유해인자별 SEGs 최종 정리 ③ 개선 등 사후관리 계획 마련	▶기존 평가 결과와 비교분석 ▶노/사/연 연구협의체 운영 및 작업자 의견 수렴
5. 포괄적 작업환경 측정모델 제시	① 향후 작업환경측정 방향 제시 (대상, 유해인자, 방법, 주기 등) ② 향후 작업환경 관리 방향 제시 (작업환경 개선 및 노출자 관리 등)	▶관계자 간담회 및 토론회 ▶노/사 의견 수렴

1) 1단계 : 사업 준비 및 전략 수립

(1) 사업 준비 및 추진체계 구축

본 연구는 OO발전소 내에 있는 모든 협력업체를 포함하고 있다. 따라서 서로 다른 조직체계를 갖춘 여러 사업장들이 참여할 수밖에 없어 통합적인 사업 추진 체계가 필요하다.

이와 같은 조직 특성을 감안하여 노/사/연이 공동으로 참여하는 ‘연구협의체’를 구성하여 연구의 모든 단계에 참여할 수 있도록 하였다(표 II-4).

<표 II-4> 노/사/연 연구 협의체 구성 및 역할

구분	노동조합	회사	연구진
참여 단위	노동안전보건담당자	공정안전보건부/협력사 안전보건책임자	연구원
주요 역할	▶작업 정보 파악 ▶작업자 의견 수렴 ▶측정 대상 작업(자) 선정	▶각종 문서 및 자료 협조 ▶작업장 출입 및 측정 협조	▶자료 분석 ▶위험성 평가 ▶작업환경측정 및 관리 모델 제시
공동 역할	▶작업장 순회 및 작업자 의견 수렴 ▶측정 대상(자) 및 유해인자 선정 ▶위험성 평가 및 작업 정보 파악		
운영 방법	▶월 단위 점검회의 및 사안별 수시회의		

(2) 국내외 작업환경측정 제도 조사

선진 국가, 특히 미국, 일본, 유럽 국가들의 다음과 같은 측정제도 관련 규정 등을 조사하여 포괄적 측정제도 모델에 참고하였다.

- ▶ 작업환경측정 및 관리를 위한 사업주 의무사항(법적 규정)
- ▶ 작업환경측정 대상 물질
- ▶ 작업환경측정 시기 및 주기
- ▶ 측정 결과에 따른 관리기준

2) 2단계 : 작업별 유해인자 분석 및 SEGs 설정

두 번째 사업 단계는 기존 자료 분석과 작업장 순회를 통해 평가대상의 작업 정보와 유해요인 노출 특성을 파악하는 단계이다.

기존의 작업환경측정 결과 보고서와 개별적 연구보고서, 작업장 순회 및 작업자 면담을 통해 다음과 같은 구체적인 정보를 파악하였다.

- ▶ 작업 방법, 작업주기, 작업내용, 작업자 수 등 해당 작업의 기초 정보
- ▶ 작업별 유해인자 노출 특성
- ▶ 유해인자별 유사노출그룹(SEGs)의 범위

구체적인 조사대상 및 영역은 <표 II-5>과 같다.

<표 II-5> 작업별 유해인자 분석을 위한 조사대상 및 내용

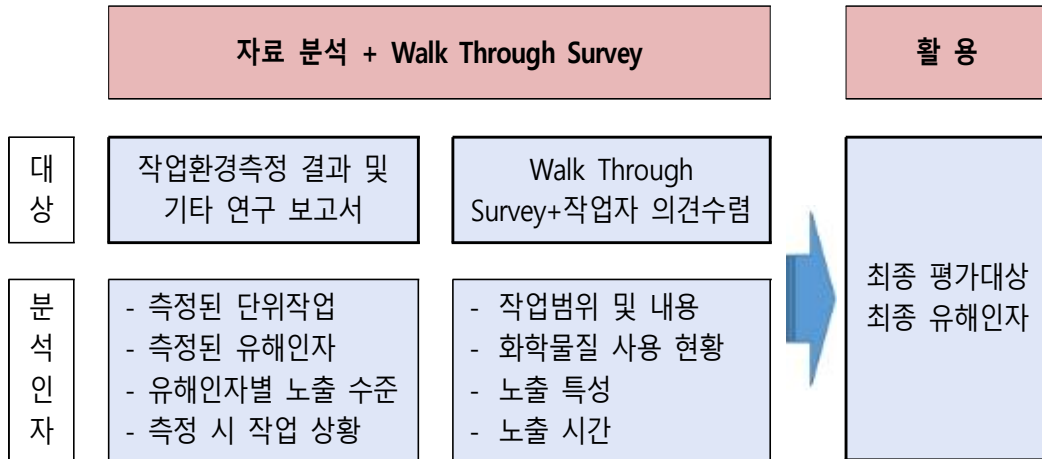
조사 방법	작업환경측정 보고서	연구 및 조사 보고서	작업장 순회	작업자 면담
분석 대상	▶ 7년간 작업환경측정 보고서 (2003-2019년)	▶ 故김용균 사망사고 진상조사 결과 종합보고서 (특별조사위원회, 2019) ▶ 태안발전본부 안전보건진단보고 (안전보건공단, 2019) ▶ 기타 국내외 자료	▶ 석탄 하역 및 저탄 시설 ▶ 운탄 시설 ▶ 연소 시설 ▶ 탈황 및 회처리 시설 ▶ 각종 정비작업	▶ 각 작업장 순회 때 해당 작업자 면담
분석 내용	▶ 단위작업 ▶ 유해인자 ▶ 노출 수준	▶ 주요 노출 유해인자 및 노출 수준	▶ 작업 방법, 작업주기, 작업내용, 작업자 수 등 ▶ 유해인자 노출 특성 ▶ SEGs의 범위	

3) 3단계 : 평가대상 작업과 유해인자 확정 (사전 위험성평가)

세 번째 사업 단계는 작업환경측정을 위한 최종 평가대상 및 유해인자를 선정하는 단계이다.

유해인자는 2단계 사업에서 분석된 결과를 바탕으로 사전위험성 평가를 통해 선정하였다(그림 II-3).

자료 분석을 통해 정리된 정보와 유해인자의 종류, 노출 수준, 노출시간, 기타 작업 특성을 고려하여 측정 대상 및 유해인자를 확정하였다.



[그림 II-3] 최종 평가 대상 작업 및 유해인자 선정 과정 요약

위험성평가는 ‘사업장 위험성평가에 관한 지침(고용노동부고시(제2017-36호))’에서 제시된 위험성계산법(곱셈법)과 위험수준 결정법에 따라 평가 결과 위험성이 4점 이상(허용 불가능한 작업)인 작업을 대상으로 추가적인 작업환경 측정 여부를 결정하였다(표 II-6, 7).

이 기준을 적용하는 이유는 향후 포괄적 작업환경측정 제도가 정책으로 반영될 경우를 대비해서 현재 각 사업장에서 포괄적으로 사용하고 있는 평가기법을 통일성 있게 적용하기 위한 목적이다.

다만, 고용노동부고시(제2017-36호)에서 제시하고 있는 유해성(중대성)결정방법 중 CMR 물질 해당 여부는 <표 II-8>과 같은 기준으로 확대 적용하였으며, EU에서 제시하고 있는 내분비계교란물질을 추가하여 유해성을 검토하였다.

<표 II-6> 작업환경측정 대상 선정을 위한 위험성 평가 기준 (1)
(출처: 고용노동부고시 제2017-36호)

노출수준 (가능성)	유해성 (중대성) 단계	최대	대	중	소
		4	3	2	1
최상	4	16	12	8	4
상	3	12	9	6	3
중	2	8	6	4	2
하	1	4	3	2	1

<표 II-7> 작업환경측정 대상 선정을 위한 위험성 평가 기준 (2)
(출처: 고용노동부고시 제2017-36호)

위험성 크기		허용 가능 여부	개선방법
12~16	매우 높음	허용 불가능	즉시 개선
5~11	높음		가능한 한 빨리 개선
3~4	보통	허용 가능 또는 허용 불가능*	연간계획에 따라 개선
1~2	낮음	허용 가능	필요에 따라 개선

* 허용 불가능 : 위험성 추정 결과가 4인 화학물질 중 직업병 유소견자가 발생(노출수준=4) 하였거나 해당 화학물질이 CMR 물질(유해성=4)인 경우

<표 II-8> 위험성 평가 시 참고한 고독성물질 해당 여부 기준

구분	발표 기관
발암성	- 고용노동부 - 국제암연구소(WHO IARC) - 유럽연합 화학물질 표시 및 포장에 관한 기준(EU CLP) - 미국정부산업위생전문가협회(ACGIH)
생식세포 변이원성	- 고용노동부 - 유럽연합 화학물질 표시 및 포장에 관한 기준(EU CLP)
생식독성	- 고용노동부 - 유럽연합 화학물질 표시 및 포장에 관한 기준(EU CLP)
내분비계교란성	유럽연합(EU)

4) 4단계 : 보완적 작업환경 평가(최종 위험성 평가)

4단계에서 실시되는 작업환경 평가는 [그림 II-4]와 같이 두 가지 목적으로 진행하였다.

평가 내용	목적	방법	활용
① SEGs별 유해인자 도출	포괄적 측정에서 반영되어야 할 유해인자 도출	- 과거 측정 결과 분석 - MSDS를 통한 유해성 평가 및 사용 정보 파악 - 문헌조사 - Bulk 시료 분석	 포괄적 작업환경 측정 대상 작업 및 유해인자 도출
② Worst Case 확인	포괄적 측정에서 반영되어야 할 작업 대상 도출	- 작업자 의견 수렴 - 대정비 일정을 반영한 보완적 측정	

[그림 II-4] 작업환경 평가 내용 요약

첫 번째는 과거의 작업환경측정에서 누락된 유해인자를 찾아내는 것이다. 석탄 원료와 부자재 중에는 발암물질(Carcinogenicity), 변이원성물질(Mutagenicity), 생식독성물질(Reproductive toxicity)과 같은 고독성물질(CMR)들이 상당 부분 포함되어 있다.

또한 석탄 연료는 보일러 연소 과정을 거치면서 이러한 물질들의 함량에 많은 변화가 생기는 것으로 알려져 있다. 발암물질로 확정된 결정형 유리규산 같은 물질이 대표적이다.

<표 II-9> 석탄화력발전소에서 노출이 예상되는 주요 고독성물질

주요 고독성물질	주요 공정
석영	- 석탄 및 석탄재가 분진으로 발생하는 모든 공정 (특히, 회처리 공정과 정비작업)
벤젠, 톨루엔 등 휘발성유기화합물	- 저탄장 시설점검/보수/정비작업 - 연소 가스 설비 유지보수 작업(보일러 시설 등)
크롬, 비소, 수은, 납, 니켈 등의 금속류	- 석탄 및 석탄재 취급 작업 - 분진이 발생하는 정비작업 - 용접작업
석면	- 배관 등 보온재 교체 작업 - 정비작업
기타 화학물질	- 정비 작업 시 각종 세척작업 - 시료 분석을 위한 화학 실험 작업 - 디젤 연소물 노출 작업(하역작업 등)

작업 과정에서 노출 가능한 모든 유해인자를 평가하기 위하여 과거의 측정 보고서와 모든 사용물질의 물질안전보건자료를 분석하였고, 실제 작업 과정에서의 노출 특성과 물질의 사용정보 등을 추가적으로 파악하였다. 또한 원료 내에 들어 있는 유해인자의 구성성분을 파악하기 위하여 다음과 같은 작업 현장에서 원시료(Bulk Sample)를 채취하여 물질별 함량 분석을 실시하였다.

- ① 작업 공정별 석탄 분진
- ② 작업공정별 탄회분진(석탄재)
- ③ 제품별 우드펠릿 원재료

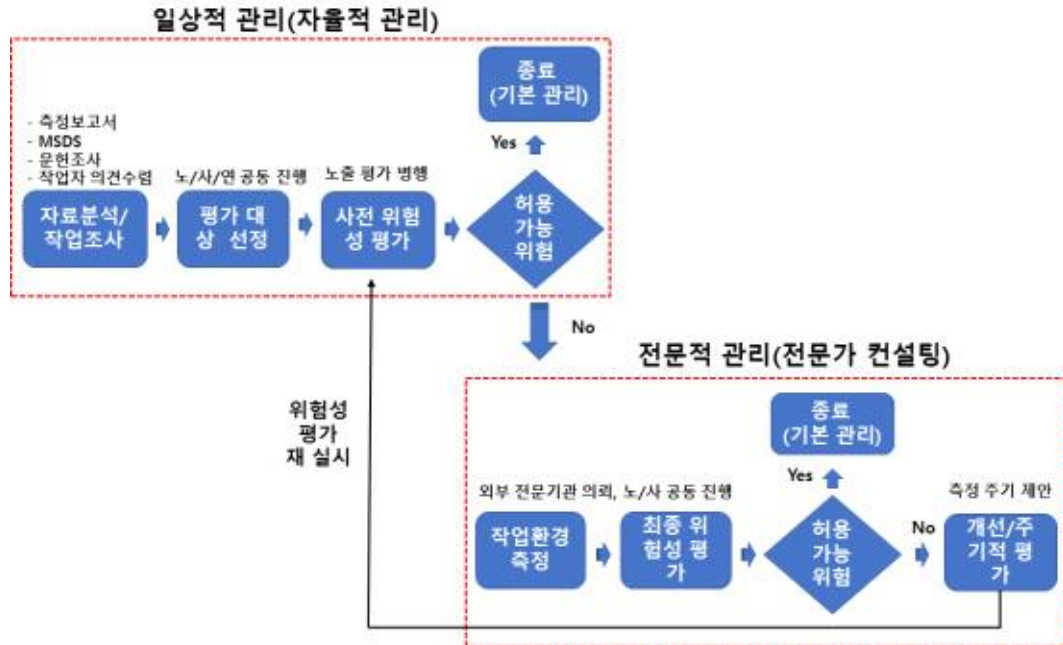
두 번째는 방대한 석탄화력발전 작업 중에서 혹시 그동안 측정되지 않았거나 저평가된 작업을 찾아내는 것이다. 즉, 작업환경측정에서 절대 간과되어서는 안되는 최고노출 상황(Worst Case)이 실제 측정에 반영되게 하기 위한 목적이다.

5) 5단계 : 포괄적 작업환경측정 모델 제시

4단계에서 진행된 최종 위험성평가 결과를 바탕으로 향후 측정해야 할 대상 작업과 유해인자, 측정 주기, 그리고 노출 농도에 따른 향후 작업환경 관리 방향을 도출하는 단계이다. 작업환경 관리 방향은 일상적 관리 수준과 심층관리 수준으로 나누어 두 가지로 제안할 예정이다(그림 II-5).

1단계인 일상적 관리는 사업장 내에서 위험성 평가를 통한 자율적 관리를 기본으로 하며, 유해인자의 위험도가 허용 가능한 범위 내에 있을 때 취해지는 관리 방향이다.

2단계인 심층관리는 유해인자의 위험도가 허용 가능한 범위를 초과할 때 전문가 컨설팅을 통한 작업환경측정이 필요한 단계를 의미한다. 선택과 집중해야 할 유해인자 중심의 관리단계이다.



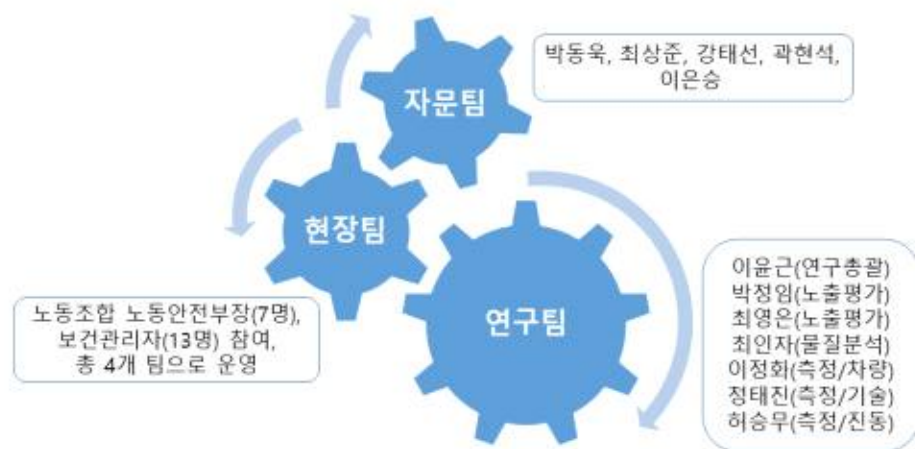
[그림 II-5] 시범사업장 포괄적 작업환경측정 모델(안)

<표 II-10> 작업환경측정 및 관리 기준(예시)

위험성	측정 주기	관리 단계	관리 수준
아주 높음	CMR 물질 : 3개월	중점관리 단계	즉시개선
	기타물질 : 6개월		
높음	CMR 물질 : 6개월	개선 단계	가능한 빨리 개선
	기타물질 : 1년		
보통	CMR 물질 : 1년	개선 단계	연간 계획에 따라 개선
	기타물질 : 측정 안함, 1년 내 위험성평가로 대체	관찰 단계	연간 계획에 따라 개선
낮음	측정 안함, 3년 내 위험성 평가로 대체	유지 단계	현 수준 유지 혹은 필요에 따라 개선

3. 연구 조직

위험성평가에서 가장 중요한 절차는 작업자 의견수렴을 통한 불편사항을 파악하는 것과 작업관찰을 통한 작업 특성을 파악하는 것이다. 따라서 본 연구는 노사 공동의 참여체계 구축을 기본으로 사업 진행 단계별로 노사 공동 참여를 전제로 진행하였다(그림 II-6).



[그림 II-6] 연구 추진 체계(노/사/연 연구 협의체)

4. 연구 윤리

본 연구에 사용된 작업환경측정 자료는 개인 정보와는 무관한 자료로 「생명윤리 및 안전에 관한 법률」 제2조 및 동법 시행규칙 제2조(인간 대상 연구의 범위)에 의한 윤리위원회 심의대상에 해당되지 않는다. 또한 작업환경측정의 행위도 동법 시행규칙 제2조 1항에서 정한 ‘인간 대상 연구’의 세 가지 범주에 해당되지 않는다. 따라서 본 연구는 「생명윤리 및 안전에 관한 법률」에 의한 ‘심의’ 혹은 ‘심의 면제신청’ 대상에 해당되지 않아 생명윤리 심의 절차를 생략하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 문헌조사

1) 국내 작업환경측정 제도

(1) 측정 제도의 변천 과정

우리나라에서 법적 근거에 의한 작업환경측정이 처음 시작된 것은 산업안전보건법이 제정된 1981년 12월 31일 이후이다. 이전에는 몇몇 대학병원에서 연구자 중심의 단편적인 측정이 이루어져 오다가 「산업안전보건법」 “제4장 근로자보건관리” 제31조(작업환경 등의 측정)에 측정 근거가 마련된 것이다.

1982년에는 시행규칙 제정을 통해 구체적인 측정 방법과 대상이 만들어졌으며, 1986년에는 노출기준이 제정되면서 측정 대상이 확대되었다. 80년대 후반에는 지역시료 중심의 측정 방법이 개인시료 중심으로 바뀌는 획기적인 변화가 있었다.

1990년대에는 정도관리 제도가 도입되면서 측정의 질적 관리에 큰 변화가 있었으며, 1992년에는 산업안전보건법 개정을 통해 측정주기가 6개월에 1회로 강화되었다.

2002년에는 6개월로 획일화되었던 측정주기가 노출 농도에 따라 3개월 혹은 1년으로 조정할 수 있는 제도가 도입되어 현재까지 변화되지 않고 있다.

2005년에는 ‘작업환경측정 제도개선을 위한 혁신위원회’가 가동되면서 정책 변화를 시도했으나 큰 성과를 거두지 못했다.

2008년에는 작업환경측정 신뢰성 평가 제도가 도입되었다. 이 제도는 다음과 같은 특이적 상황이 발생할 때 대상 사업장과 측정기관을 대상으로 그동안의

작업환경측정 결과에 대해 신뢰성을 평가하는 제도이다.

- ① 측정결과가 노출기준 미만인데도 직업병 유소견자가 발생한 경우
- ② 공정 설비, 작업 방법 또는 사용 화학물질의 변경 등 작업 조건의 변화가 없는데도 유해인자 노출수준이 현저히 달라진 경우
- ③ 작업환경측정방법을 위반하여 측정을 한 경우

이 제도를 통해 측정 유해인자 누락은 없는지, 노출기준 적용 및 측정농도 평가 과정의 오류, 측정 위치, 시료 수 등 작업환경측정의 질적인 평가를 실시해오고 있다.

한편, 2009에는 미국 OSHA의 허용농도(PEL) 제도가 국내에도 도입되어 총 13개 항목의 허용농도가 설정되었다(이후 38종으로 확대).

2013년에는 위험성평가 제도가 도입되면서 작업환경측정 제도와 함께 사업장 중심의 실효성 있는 유해물질 관리를 시도해 왔으나 별다른 성과를 거두지 못하고 있다. 위험성 평가와 측정제도가 독립적으로 진행되면서 기대했던 시너지 효과를 거두지 못한 채 현재에 이르고 있다.

<표 III-1> 국내 작업환경측정 제도 주요 변천 내용 요약

시기	주요 내용	주요 제도 변화
80년 이전	▶ 특수건강진단 대상자 선정 등을 목적으로 대학병원 중심으로 측정	• 법적 근거 없음
1980 년대	▶ 작업환경측정을 위한 법적 기준 마련	• 1981년 산업안전보건법 제정 • 1982년 시행규칙 제정 (작업환경측정 대상 명시)
	▶ 측정대상 확대 ▶ 지역시료와 개인시료 측정 혼용	• 1986년 화학물질 및 물리적인자의 노출기준 제정 (노동부고시 제86-45호)
1990 년대	▶ 개인시료 측정 중심으로 변화 ▶ 측정 주기 강화(6월에 1회) 및 정도관리 등 질적 관리 시작	• 1992년 작업환경측정 및 정도관리 규정 제정 (노동부고시 제92-17호)
	▶ 작업환경 컨설팅(지도사) 제도 도입 ▶ 알권리 및 화학물질 관리 강화	• 1995년 산업안전보건법 개정 (MSDS제도, 설명회, 지도사 제도 도입 등)
2000 년대	▶ 측정주기 조정(3월,6월,1년 주기) ▶ 측정기관 정도관리 강화	• 2002년 산업안전보건법 개정 • 2003년 측정기관 평가 시작
	▶ 작업환경측정제도 개선 시도 (3년 주기의 포괄적 측정제도 제안)	• 2005년 작업환경측정제도 개선 기본 방향 발표 --> 이후 이행되지 않음
	▶ 작업환경측정 신뢰성 평가 제도 도입	• 2008년 산업안전보건법 개정
	▶ 허용기준제도 도입(13종, 현재는 38종)	• 2008년 허용기준 설정 대상 유해인자 공표(2009년부터 적용)
2010년 이후	▶ 위험성 평가제도 도입과 측정제도의 질적 변화 시도	• 2013년 6월 산안법 개정 (위험성평가)

(2) 측정 제도의 문제점

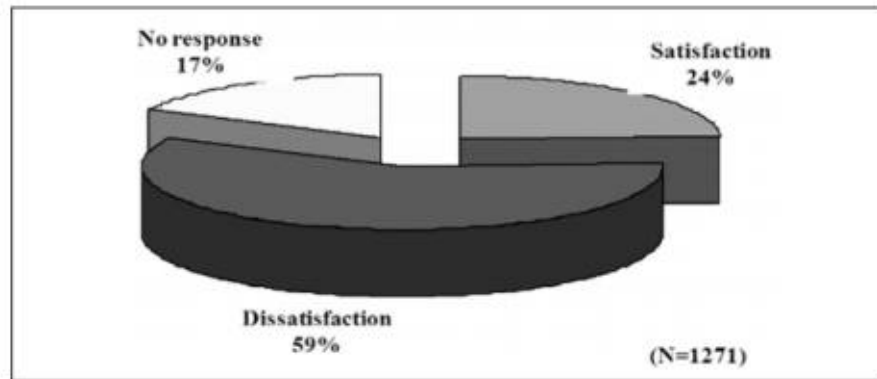
그동안 크고 작은 제도개선이 있어 왔으나 여러 문제점들이 끊임없이 지적되어 왔다. 최상준(2008)의 연구에 의하면 우리나라 작업환경측정의 문제점을 다음과 같이 분석하고 있다.

첫째, 현행 측정제도에서는 법에 의해 규정된 대상 물질에 대해 측정 후 노출기준 초과 여부만을 기계적으로 판단하는 획일적인 측정 서비스만을 제공하고 있어 현장의 안전보건 관리를 수행하고자 하는 사업주와 내가 일하는 환경에 대해 알고자 하는 현장 노동자들 양자 모두에게 도움을 주지 못하고 있다.

둘째, 작업환경측정을 의뢰하고 비용을 지불하는 주체는 사업주이고, 측정 대상은 현장 노동자들이지만 실제로 현장을 조사하고 측정 결과를 보고하는 주체는 외부의 지정측정기관이며, 보고된 측정 결과를 심사하고 평가하는 기관은 서비스의 실제 수혜자가 아닌 제3자인 지방 노동관서가 된다. 따라서 현재의 작업환경측정제도에서는 어느 주체도 측정제도 전체를 책임지지 못하는 기형적인 구조를 갖고 있다. 특히 실질적인 작업환경측정 서비스의 혜택을 가져야 할 현장 노동자의 주체적 참여 기회가 제한되어 있다.

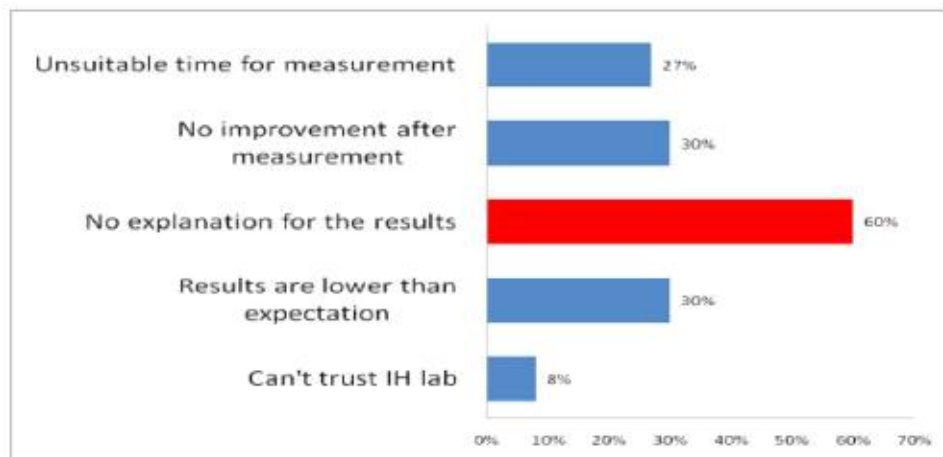
셋째, 획일적인 측정 항목과 대상 공정, 측정 주기, 측정 및 분석 방법 등으로 인해 현재의 측정기관들은 큰 차별성 없이 동일한 측정 서비스를 제공하게 되고, 측정기관들의 질 관리는 서비스 수혜자인 사업주와 현장 노동자들에 의해서 이루어지지 못하고 제3자인 노동관서에 의해 장비 및 인력에 대한 기준 적합 여부와 분석에 대한 정도관리를 통해 이루어지고 있어 실질적인 측정기관 인력의 자질 향상과 서비스 질 향상을 기대하기 힘들다.

이와 같은 문제점으로 인해 측정제도에 대한 작업자들의 만족도는 매우 낮은 것으로 알려져 있다. 석유화학 업종에 종사하는 노동자 1,271명을 대상으로 작업환경측정에 대한 만족도를 조사한 결과 59%가 불만족스럽다고 답하여 측정에 대한 만족도가 매우 낮게 나타났다(그림 III-1).



[그림 III-1] 작업환경측정에 대한 만족도(최상준 등, 2007)

구체적인 불만족 요인을 보면 측정 결과에 대한 설명 부족(60%)이 가장 많으며, 기타 측정 후 개선이 이루어지지 않는 점(30%), 기대치보다 측정 농도가 낮게 나오는 점(30%), 측정 상황이 실제 작업 특성을 반영하지 못한 문제(27%) 등이다(그림 III-2).



[그림 III-2] 작업환경측정 제도의 불만족 요인(최상준 등, 2007)

(3) 작업환경측정 제도개선 연구

그동안 끊임없이 지적되어 온 측정 제도의 문제점들을 개선하기 위해 2005년에 ‘작업환경측정 제도개선 혁신위원회’가 운영된 바 있다.

혁신위원회에서 제안한 제도개선의 핵심 내용은 작업환경의 유해성을 파악하기 위해 3년마다 포괄적인 작업환경평가를 실시하고 결과에 따라 반드시 장단기 개선대책을 세우도록 한다는 것이다. 기존의 작업환경측정은 작업환경 모니터링으로 하여 6개월 주기로 실시하되, 일정 수준의 노출기준을 초과하는 유해물질에 대해서만 선택과 집중으로 측정을 실시한다는 안이다.

최종 혁신안으로 노출농도에 따른 측정 주기 조정을 <표 III-2>와 같이 제안하였다.

<표 III-2> 2005년 작업환경측정 제도 혁신위원회 제도개선 주요 내용 요약

측정 결과	측정 주기	관리 단계	관리내용
노출기준 10% 미만	실시하지 않음	현상유지	현상유지
노출기준 10% 초과 ~ 50% 미만	6개월 주기	관찰	지속적인 관찰
노출기준 50% 초과	6개월 주기	개선	원인분석 후 개선
노출기준 초과			의무적 개선

측정제도 혁신위원회에서는 기타 주요 제도개선으로 다음과 같은 내용을 제안한 바 있다.

- 측정은 노출기준 10% 이상인 공정만 측정. 단, 발암물질은 노출수준 관계없이 측정
- 3개월 측정 주기 폐지(발암물질 노출기준 초과, 비발암물질 노출기준 2배 초과)
- 측정 시료수 조정 : 단위작업장소 당 4~5개 이상
- 측정 대상물질(191종)과 측정 권고물질(기타 노출기준이 있는 물질)로 구분
- 작업환경 개선 방향을 3단계로 구분(단기 : 3개월 이내, 중기: 3개월~1년 이내, 장기 : 1년 이상)

- 사업장의 자율 관리 기회 확대 : 자율적인 위험성평가(risk assessment) 후 정밀 평가가 필요할 때 외부 전문기관에 의뢰
- 작업환경 허용기준 도입
- 작업형태나 물질의 특성에 따라 STEL/Ceiling의 측정 실시

그러나 이와 같은 혁신위원회의 제안은 허용기준 제도 도입(2008년) 등 일부만 반영되었을 뿐 농도가 낮은 작업(노출기준 10% 미만)의 측정면제를 포함한 측정 주기의 제안은 제도에 반영되지 않았다.

2) 국외 작업환경측정 제도

일정 주기를 기준으로 사업장이 주관해서 작업환경을 의무적으로 실시하는 경우는 일본과 우리나라를 비롯한 극히 일부 국가에서만 존재하는 것으로 알려져 있다(표 Ⅲ-3).

<표 III-3> 주요 국가별 작업환경측정 주기 비교

국가	측정 대상	측정 주기
한국	- 작업환경측정대상 유해인자 191종에 노출되는 근로자가 있는 옥·내외 작업장	- 기본적 측정 주기: 6개월 ※ 측정 주기 조정 가능 - 발암물질 노출기준 초과, 비발암물질 노출기준 2배 이상: 3개월 - 2회 연속 노출기준 미만: 1년(발암물질 제외)
일본	- 제1류물질, 제2류물질, 유기용제, 납, 방사성물질 등 별도로 정한 물질	- 물질에 따라 1개월(방사선 업무 등), 6개월 (대부분의 화학물질), 1년 주기(옥외 납 취급 작업)로 매우 세분화됨
미국	- PEL 설정 물질(11종)	- 유해물질과 노출농도 수준에 따라 1개월~ 1년에 1회 이상의 주기로 개별적으로 적용
독일	- MAK (작업장 최대 허용농도 : 8TWA 규정물질 : 400여종) - TRK 규정물질 : 56종 (발암물질, 발암추정물질)	- 허용농도의 1배 이상: 개선 후 재측정 - 허용농도의 1/2~1배: 16주 이내 - 허용농도의 1/4~1/2배: 32주 이내 - 허용농도의 1/4배 이하: 64주 이내 혹은 영구적 안전 예상 시 측정 면제 (설비나 공정 변경 시에는 재 측정 실시)
영국	- 노출기준 설정 물질 - VCM(염화비닐), 6가 크롬	- VCM과 6가 크롬을 제외한 물질에 대해서는 측정주기를 구체적으로 명기하고 없음
필리 핀 ¹⁾	- 화학물질(암모니아, 염소, 포름알데하이드, 시안화물) - 분진, 석면, 유기용제, 중금속 - 기타 화학물질(수은, 페놀) - 물리적 유해인자(고열, 조명, 소음, 진동, 온/습도)	
뉴질 랜드 ²⁾	- 작업장 상황 모니터링 - 노동자 생물학적모니터링	- 노출에 영향을 미칠 수 있는 중요한 변화가 작업장 내에 있을 때 적절한 주기로

(출처 : 김승원 등(2014)의 연구 결과를 재정리함, 필리핀과 뉴질랜드 추가함)

1) Rule 1077 of the Occupational Safety and Health Standards(Philippine),
<http://www.oshc.dole.gov.ph/updates/wem>2) EXPOSURE MONITORING UNDER THE HEALTH AND SAFETY AT WORK (GENERAL
RISK AND WORKPLACE MANAGEMENT, GRWM) REGULATIONS 2016

(1) 일본

일본은 노동안전위생법 제65조(작업환경측정)에 근거해서 사업주의 작업환경 측정 의무가 부여된다. 즉, 측정은 사업주의 의무이며, 위반할 시에는 일정 수준의 징역 혹은 벌금에 처할 수 있다(작업환경측정제도혁신위원회, 2005).

측정 대상은 <표 Ⅲ-4>와 같이 10개 작업장으로 규정하고 있다. 대부분 6개월 주기로 이루어지고 있으며 물질에 따라 1개월(방사성물질), 6개월(대부분의 화학물질), 1년(납 취급 옥내작업장)으로 구분되어 있다(김승원 등, 2014).

<표 Ⅲ-4> 일본의 작업환경측정 대상 작업장

작업장종류			측정종류	측정횟수	보존 기간 (년)
1	토석, 암석, 광물, 금속 또는 탄소분진을 현저히 발생하는 옥내작업장		공기 중 분진농도 및 분진 중 유리규산 함유율	6월 1회	7
2	고온, 한랭 또는 다습한 옥내작업장		기온, 온도, 복사열	15일 이내 1회	3
3	현저한 소음이 발생하는 옥내작업장		등가소음레벨	6월 1회	3
4	갱내 작업장	① 탄산가스가 정체하는 작업장	탄산가스 농도	1월 1회	3
		② 28℃를 초과하는 작업장	기온	15일 이내 1회	3
		③ 통기설비가 있는 작업장	통기량	15일 이내 1회	3
5	중앙관리방식의 공기조화설비가 설치되어있는 건축물의 사무실에서 사무용 장소		일산화탄소 및 탄산가스 함유율, 실내·외 온·습도 (상대습도)	2월 이내 1회	3
6	방사선 업무를 행하는 작업장	① 방사선 업무를 행하는 관리구역	외부방사선에 의한 선량당량율	월 1회	5
		② 방사선 물질 취급 작업실	공기 중 방사선물질의 농도	1월 1회	5
		③ 갱내 핵연료 물질의 채취업무를 행하는 작업장			
7	특정화학물질등(제1류물질 또는 제2류물질)을 제조 또는 취급하는 옥내작업장		제1류물질 또는 제2류물질 공기 중 농도	6월 1회	3 (특정 물질 30년)

작업장종류		측정종류	측정횟수	보존 기간 (년)
8	납 취급 업무를 행하는 옥내작업장	공기 중 납 농도	1년 1회	3
9	산소결핍위험장소에서 작업을 행하는 작업장	제1종 산소결핍 위험 작업에 따른 공기 중 산소 농도	작업시작 전	3
		제2종 산소결핍 위험 작업에 따른 작업장에는 공기 중 산소 및 황화수소 농도	작업시작 전	3
10	제1종 유기용제 또는 제2종 유기용제를 제조 또는 취급업무를 행하는 옥내작업장	당해 유기용제 농도	6월 1회	3

(2) 미국

미국은 우리나라나 일본과 같은 별도의 측정주기 없이 물질별로 관리하는 특징이 있다. 특히, 특별관리물질 중 11종에 대해서만 법적 측정 의무를 정하고 있으며, 측정 주기는 물질에 따라 노출농도가 PEL 혹은 AL값 초과 여부에 따라 최소 1개월에서 1년까지의 측정 주기가 부여된다(표 III-5).

법적 의무가 있는 11종 이외의 물질에 대해서는 구체적인 측정 의무와 주기가 부여되지는 않으나 사업주에게 근로자의 노출농도가 PEL을 넘지 않도록 규정하고 있으므로 사업주는 자신의 작업장이 이 기준을 충족하는지를 확인하기 위하여 자율적으로 측정을 할 수밖에 없다(작업환경측정제도혁신위원회, 2005).

<표 III-5> OSHA에서 작업환경측정을 법적으로 의무화 한 특별관리 대상 물질

연번	Code No.	측정물질명	측정 주기
1	1910-1001	Asbestos	▪ PEL 초과: 6개월 1회 이상 ▪ PEL 미만 : 측정 면제
2	1910-1017	Vinyl chloride	▪ AL 이상: 3개월 1회 이상 ▪ PEL 초과: 1개월 1회 이상 ▪ 5일 이상 간격 2회 연속 측정 결과가 AL 이하: 측정면제
3	1910-1018	Inorganic arsenic	▪ PEL 초과: 3개월 1회 이상 ▪ AL 초과, PEL 이하: 6개월 1회 이상
4	1910-1025	Lead	▪ 7일 이상 간격 2회 연속측정결과 AL이하: 측정면제
5	1910-1028	Benzene	▪ PEL 초과: 6개월 1회 이상 ▪ AL이상, TWA 이하인 경우: 1년 1회 이상
6	1910-1029	Coke oven emissions	▪ 농도에 관계 없이 3개월 1회 이상
7	1910-1043	Cotton dust	▪ PEL 초과: 6개월 1회 이상 ▪ PEL 이하: 1년 1회 이상
8	1910-1024	1,2-dibromo-3-chloropropane	▪ PEL 초과: 1개월 1회 이상 ▪ 7일 이상 간격 2회의 측정치가 PEL 이하: 3개월/1회 이상
9	1910-1045	Acrylonitrile	▪ PEL 초과 : 1개월 1회 이상 ▪ AL 이상, PEL 이하인 경우: 3개월 1회 이상 ▪ 7일 이상 간격 2회 측정치가 AL 이하: 측정면제
10	1910-1047	Ethylene oxide	▪ PEL 초과 : 3개월 1회 이상 ▪ AL이상, PEL 이하인 경우 : 6개월 1회 이상 ▪ 7일 간격 2회 측정치가 AL이하: 측정면제
11	1910-1048	Formaldehyde	▪ STEL 이하: 1년 1회 이상 ▪ AL 이상: 6개월 1회 이상 ▪ 7일 이상 간격 2회의 측정치가 AL, STEL 이하: 측정면제

(3) 독일

독일은 유해물질법에 의해 “공기 중으로 발생하는 한 가지 또는 그 이상의 유해물질을 완전히 배제하지 못할 경우에는 그 양이 작업장 최대 허용농도보다 적은지 또는 초과하는지를 조사해야 한다”로 규정하고 있어 이를 준수하기 위한 기본적인 측정을 실시하고 있다(작업환경측정제도혁신위원회, 2005).

측정 주기는 노출농도에 따라 달라지며, 16주에서 64주까지 매우 다양하다.

- 허용농도의 1배 이상 : 개선 후 재측정
- 허용농도의 1/2~1배 : 16주 이내
- 허용농도의 1/4~1/2배 : 32주 이내
- 허용농도의 1/4배 이하 : 64주 이내 혹은 영구적 안전 예상 시 측정 면제
(설비나 공정 변경 시에는 재측정 실시)

(4) 영국

영국은 건강유해물질관리시행규칙(Control of Substances Hazardous to Health Regulations)에 의해 사업주로 하여금 근로자의 유해물질 노출 수준이 적절히 관리 및 유지되고 있다는 것을 확인하기 위한 적절한 절차로 노출평가를 실시하고, 그 결과를 기록 보존토록 하고 있다(작업환경측정제도혁신위원회, 2005).

측정 주기는 Vinyl Chloride Monomer(주기는 별도 규정)와 6가 크롬(14일마다)에 대해서는 구체적으로 명시하고 있으나 기타 노출기준이 설정된 물질에 대해서는 측정 주기를 별도로 정하고 있지 않다. 그러나 노출기준 설정 물질의 경우 최소한 년 1회 정도는 측정하여 노출 수준이 적절히 관리되고 있음을 보이도록 하고 있다.

3) 석탄화력발전소의 작업환경

(1) 석탄 원료와 유해물질

석탄화력발전소는 유연탄을 연소시켜 생기는 에너지를 이용하여 전기를 생산한다. 따라서 발전소의 모든 공정의 유해물질은 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 석탄 혹은 회분진에 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 휘발성물질, 그리고 30~40%의 탄소화합물이 존재한다(표 Ⅲ-6).

그러나 석탄은 보일러 연소 공정을 거치면서 다량으로 함유된 휘발성물질은 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. 궁극적으로 타고난 석탄재에 함유된 결정형 유리규산 함량은 처음 석탄에 비해 무려 20배 정도 증가한 50~60% 내외 정도로 높아져 그만큼 위험성이 커질 수밖에 없다(표 Ⅲ-7).

<표 III-6> 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 III-7> 태안발전소에 2012년부터 2018년까지 입하된
탄 종류별 함량 특성**

구분	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: 안전보건공단, 2019)

(2) 주요 고독성물질

선행 연구 결과들을 종합해보면(표 Ⅲ-8) 석탄화력발전소 노동자들은 결정형 유리규산 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 Ⅲ-8> 석탄과 석탄재로부터 발생 가능한 고독성 물질 현황

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

* 고용노동부 고시(제2018-24), 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준

(출처: 석탄발전소 특별노동안전조사위원회, 2019)

석탄화력발전소 특별노동안전조사위원회(2019)에서 회 찌꺼기 처리작업을 대상으로 공기 중 결정형 유리규산을 측정한 결과 0.408 mg/m³로 노출기준 8~16배 정도 초과하는 높은 수준으로 측정되었다(표 Ⅲ-9). 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), 토목 건설업(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 III-9> 회 찌꺼기 처리작업 공기 중(지역시료) 결정형 유리규산 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 대부분의 유해물질이 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 보고하였다. 호주에서 측정된 결정형 유리규산의 평균 노출 농도는 0.062 mg/m³로 나타나 우리나라 노출기준(0.05 mg/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 휘발성유기화합물(VOCs)이 공기 중으로 발생하여 작업자들에게 노출될 수 있음을 의미한다. 석탄에서 문제되는 휘발성유기화합물에서 가장 문제되는 물질은 알데히드(포름알데히드 및 아세트알데히드), 지방족 및 방향족 탄화수소(벤젠, 톨루엔, 크실렌, 에틸벤젠), 염소화 탄화수소(테트라클로로에텐) 등이다(Garcia 등, 1992). 뿐만 아니라 석탄의 주요 성분은 탄소로 이루어져 있어 불완전 연소 때문에 일산화탄소를 발생하게 된다. 일산화탄소는 무취, 무미의 유독 가스로, 흡입하면 중추 신경계 손상 및 질식에 의해 사망에 이를 수 있는 위험한 급성독성 물질이다.

발암물질인 벤젠(benzene)과 질식사를 일으킬 수 있는 일산화탄소의 발생 가능성이 가장 높은 시설은 석탄을 실내에 보관하는 옥내저탄장이다(시범 사업 대상인 OO발전소는 옥내저탄시설이 없음). 옥내저탄장에서 자연발화가 일어나면 짧은 시간 동안 고농도의 일산화탄소가 발생할 수 있어 매우 위험한 상황에 직면할 수 있다. 삼척발전본부의 옥내저탄장을 대상으로 지난 2018년 1월 한 달 동안의 일산화탄소 측정 결과(석탄발전소 특별노동안전조사위원회, 2019)를 분석해 보면 8시간 노출기준(TWA)인 30 ppm을 초과한 건수가 38.5%였으며, 15분 동안의 단시간 노출기준(STEL)를 초과한 건수도 한 달 동안에 28회(2.5%)나 되는 것으로 나타났다(표 Ⅲ-10).

<표 Ⅲ-10> 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)

제한된 측정 결과이긴 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 Ⅲ-11), 생식독성 물질인 톨루엔도 검출되고 있어 추후 정밀한 평가가 필요한 부분이다(석탄발전소 특별노동안전조사위원회, 2019).

**<표 III-11> 태안발전본부 옥내저탄장 공기 중 고독성물질
측정(지역시료) 결과**

측정장소	측정 물질	측정결과	노출기준	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)

(3) 건강영향

발전소 노동자들을 대상으로 한 연구 결과들을 종합해보면(표 III-12) 주로 폐기종, 기관지염, 진폐증, 천식, 폐암 등의 건강문제들이 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 III-12> 석탄화력발전소의 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).

2. 작업환경측정 보고서 분석

안전보건공단 K2B 자료를 이용하여 최근 7년(2013~2019년) 동안의 작업환경측정 데이터를 분석하였다. 분석 대상 사업장은 OO화력발전본부(복합화력은 제외)와 협력사를 대상으로 하였다.

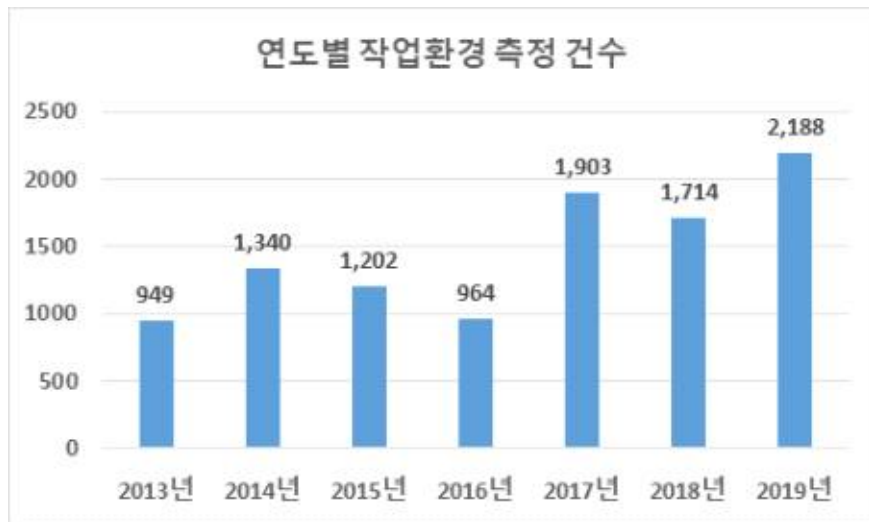
측정값 중 불검출, 미검출, ND, Trace, LOD 미만 등으로 표시된 값은 '0'으로 처리하여 분석하였다.

1) 화학적인자

(1) 전체 측정 현황

소속과 작업 내용, 물질명 등이 불분명한 데이터를 제외하고 최종 분석에 이용된 측정건수는 총 10,260건이었다. 연도별로 보면 2013년에는 949건에 불과했

던 것이 점차 증가하여 2017년에는 1,903건, 최근 2019년에는 2,188건으로 가장 많았다(그림 Ⅲ-3).



[그림 Ⅲ-3] 연도별 작업환경측정 건수

7년 동안 측정된 물질 수는 총 53종이었으며, 작업 공정에 따라 많은 차이가 있었고, 연료 환경 설비를 담당하는 업체의 측정물질 수가 47종으로 가장 많았다.

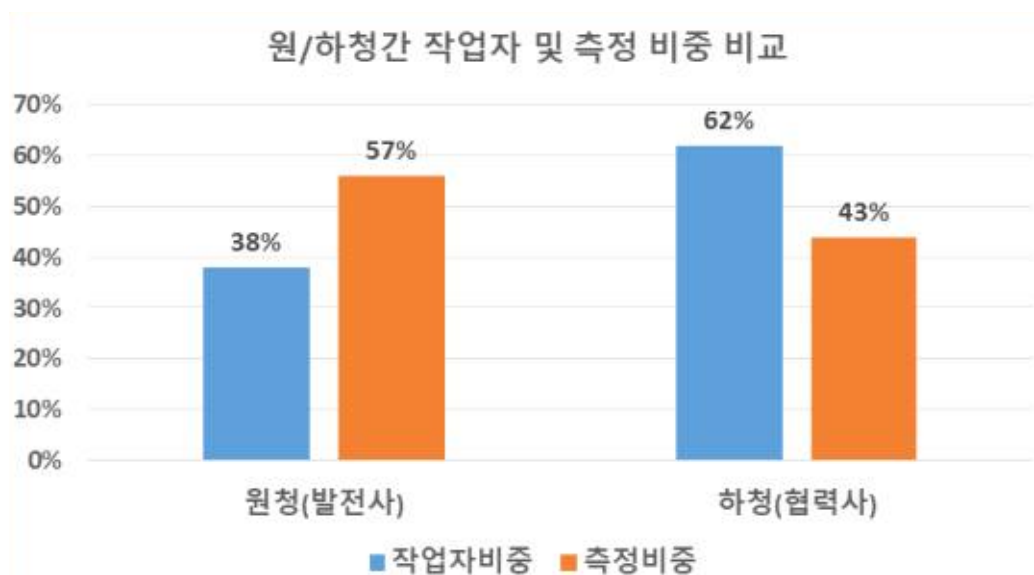
사업장별 측정 건수를 보면 원청인 발전본부가 5,839건으로 전체 측정 건수의 56.9%를 차지하였다. 기타 연료 환경 설비 운전과 발전 설비의 유지보수를 담당하는 협력업체의 측정 건수는 43.1%였다(표 Ⅲ-13).

<표 Ⅲ-13> 작업 부문 별 작업환경측정 건수

구분	작업자수	공정 분류	측정건수	비율	측정물질 수
발전소 (원청)	900여명 (38%)	발전 설비 운영(발전본부)	5,839	56.9%	28개
협력사 (하청)	1,500명 (62%)	발전 설비 유지보수	2,700	26.3%	35개
		연료환경 설비 유지보수	1,104	10.8%	47개
		운탄 설비	617	6.0%	12개
합계			10,260	100.0%	53종

통상적으로 발전본부 소속인 원청 작업자는 설비 운전과 관련된 작업(주로 실내 작업)이 다수를 차지하며, 기타 설비 점검을 위한 현장 작업은 단시간 혹은 부분적으로 이루어진다. 이와 반면 하청업체인 협력사 직원들은 대부분이 일상적인 유지 보수를 위한 현장 작업과 정기적인 대정비 작업에 투입되기 때문에 작업환경이 상대적으로 열악할 수밖에 없다.

이와 같은 작업환경 특성을 고려할 때 협력사의 작업환경측정 비중이 다소 적다고 해석할 수 있다(그림 Ⅲ-4).



[그림 Ⅲ-4] 원/하청간 작업자 수 및 측정 시료수 비중 비교

(2) 유해물질별 측정 건수

유해물질별 측정 현황을 보면 산화철, 알루미늄과 같은 금속류 물질이 5,175건으로 전체 측정 건수의 50.4%를 차지하였으며, 그 다음이 광물성 분진 및 용접흄 등과 같은 입자상 물질이 3,440건으로 전체 측정건수의 33.5%, 유기 화합물을 포함한 기타 화학물질은 16.0%를 차지하였다(표 Ⅲ-14).

이는 석탄 및 회분진과 같은 분진 작업과 유지 보수 과정에서의 용접 작업이 대부분을 차지하는 발전소 작업 특성이 반영된 결과로 해석된다.

다만 가장 중요한 유해인자 노출원인 석탄 분진 및 회분진과 관련된 입자상 물질의 측정 건수가 상대적으로 적은 것은 문제점으로 지적될 수 있다.

<표 III-14> 유해물질별 측정 현황

물질 구분	물질종류	빈도	비율
금속류	15종	5,175	50.4%
입자상물질(용접흄, 광물성분진, 금속가공류 등)	7종	3,440	33.5%
기타 화학물질(유기화합물, 산알칼리, 가스상물질)	31종	1,645	16.0%
합계	53종	10,260	100.0%

가) 금속류

알루미늄 측정 건수가 전체 금속류 물질 측정 건수의 26.9%로 가장 많은 비중을 차지하였다. 그 다음으로 이산화티타늄과 산화마그네슘, 산화철 성분이 16.0~19.5%였다. 기타 니켈, 납, 카드뮴과 같은 고독성물질의 측정 건수는 1.1~4.5%로 측정 비중이 낮은 편이다(표 III-15).

이와 같은 금속류의 측정은 대부분이 용접 작업을 대상으로 이루어졌으며, 석탄분진과 회분진 내에 잔류한 중금속 측정은 미흡한 측면이 있다. 특히, 일부 문헌에서 지적되고 있는 수은, 카드뮴, 납, 비소와 같은 고독성물질은 측정되지 않아 향후 측정 전략 수립 시 고려되어야 할 부분이다.

<표 Ⅲ-15> 금속류 물질 측정 현황

물질명		고독성 구분			빈도	비율
		발암성	변이원성	생식독성		
1	알루미늄	-	-	-	1,395	26.9%
2	이산화티타늄	2	-	-	1,009	19.5%
3	산화마그네슘	-	-	-	873	16.9%
4	산화철	-	-	-	827	16.0%
5	크롬(금속)	-	-	-	359	6.9%
6	니켈(금속)	2	-	-	231	4.5%
7	망간	-	-	-	204	3.9%
8	구리	-	-	-	91	1.8%
9	납	1B	2	1A	64	1.2%
10	산화아연	-	-	-	59	1.1%
11	카드뮴	1A	2	2	49	0.9%
12	은	-	-	-	6	0.1%
13	수은	-	-	1B	4	0.1%
14	몰리브덴	2	-	-	2	0.0%
15	바륨	-	-	-	2	0.0%
전체		6종			5,175	100.0%

나) 입자상물질

석탄 분진과 유리규산이 전체 입자상 물질 측정 건수의 87.1%로 나타나 이 두 가지 물질이 절대 다수를 차지하였다.

기타 용접흙(195건, 5.7%)과 유연탄에 고형원료로 혼합하여 사용하는 우드 펠릿에서 발생하는 목 분진이 총 35건으로 전체 측정건수의 1%를 차지하였다 (표 Ⅲ-16).

특히 목분진의 경우 1급 발암물질로 알려져 있어 향후 좀 더 확대된 측정이 이루어져야 할 것으로 보인다.

<표 III-16> 입자상물질 측정 현황

입자상 물질		고독성 구분	측정건수	비율
1	석탄분진	-	1,648	47.9%
2	석영	발암성 1	1,348	39.2%
3	용접흄	발암성 2	195	5.7%
4	기타 광물성분진	-	168	4.9%
5	목분진	발암성 1	35	1.0%
6	규산염	-	28	0.8%
7	금속가공유	-	18	0.5%
계		3종	3,440	100.0%

다) 기타 화학물질

유기화합물 등 기타 화학물질 측정 현황을 보면 수산화나트륨이 372건으로 전체 측정건수의 22.6%로 가장 많은 비중을 차지하였다. 기타 황화수소(8.0%), 암모니아(7.7%), 황산(6.7%), 인산(6.3%) 순이었는데 대부분이 수처리 과정에서 단시간 동안 사용하는 물질들이다(표 III-17).

반면 유연탄의 구성성분 중 대표적인 휘발성유기화합물(VOCs)로 알려진 벤젠, 톨루엔, 크실렌 등의 측정은 소수에 불과하여 향후 측정에서 검토되어야 할 부분이다.

<표 III-17> 기타 화학물질 측정 현황

물질명		고독성 구분	측정건수	비율
1	수산화나트륨	-	372	22.6%
2	염화수소	-	131	8.0%
3	암모니아	기타: 호흡기과민성 구분 1	127	7.7%
4	황산	발암성 1A	110	6.7%
5	인산	-	104	6.3%
6	1,1-디클로로-1-플루오로에탄	-	91	5.5%
7	질산	-	82	5.0%
8	이소프로필 알콜	-	77	4.7%
9	톨루엔	생식독성 2	68	4.1%
10	n-헵탄	-	68	4.1%
11	크실렌	-	64	3.9%
12	메틸알코올	-	62	3.9%
13	디클로로메탄	발암성 1B	52	3.1%
14	아황산가스	기타: 호흡기과민성 구분 1	48	2.9%
15	아세톤	-	32	1.9%
16	1-브로모프로판	발암성 1B, 생식독성 1B	27	1.6%
17	1,2-디클로로에틸렌	발암성 2	20	1.2%
18	n-헥산	생식독성 2	14	0.9%
19	메틸클로로포름	-	12	0.7%
20	트리클로로에틸렌	발암성 1A, 변이원성 2	12	0.7%
21	초산부틸	-	10	0.6%
22	메틸에틸케톤	-	8	0.5%
23	시클로헥산	-	8	0.5%
24	초산메틸	-	8	0.5%
25	글루타르알데히드	-	6	0.4%
26	메틸이소부틸케톤	발암성 2	6	0.4%
27	수산화칼륨	-	6	0.4%
28	초산에틸	-	6	0.4%
29	2-부톡시에탄올	발암성 2	4	0.2%
30	에틸벤젠	발암성 2	4	0.2%
31	초산	-	4	0.2%
합계		10종	1,643	100.0

(3) 단위작업별 측정 시료수

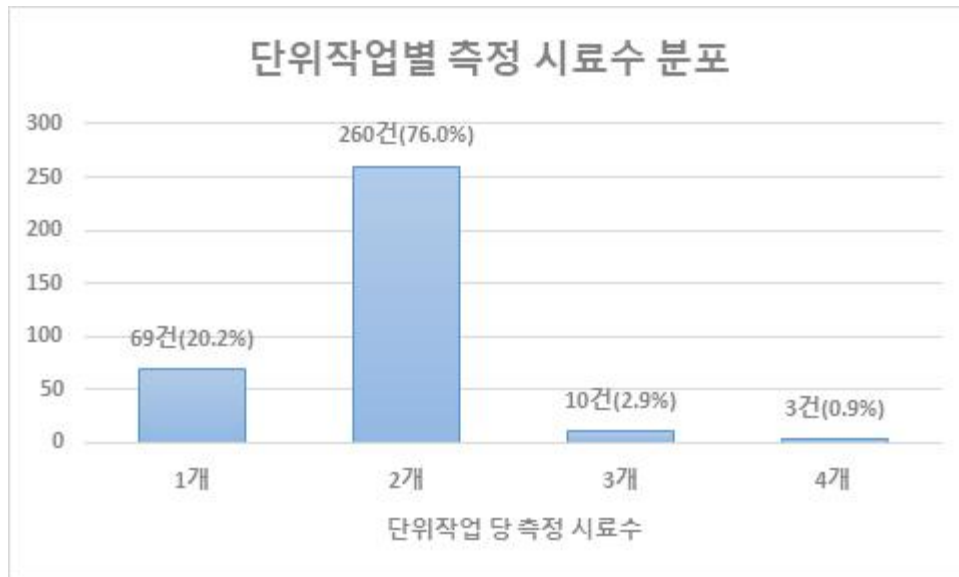
단위작업별 측정 시료수의 적절성 여부를 평가하기 위하여 최근의 작업 상황을 가장 정확하게 반영할 수 있는 2020년 상반기 작업환경측정 보고서를 별도로 분석하였다. 분석 대상은 가장 많은 측정 비중을 차지하고 있는 발전본부, 그리고 협력사 중 가장 많은 작업 비중을 차지하고 있는 특정 협력업체를 대상으로 하였다.

<표 III-18> 2020년 상반기 작업환경측정 시료수

구분	측정 단위작업수	단위작업별 평균 작업자수 (범위)	단위작업별 평균 측정 시료수 (범위)
발전본부	240	5.0(1-8)	1.79(1-3)
협력사E	102	5.6(1-18)	1.97(1-4))

주로 발전시설의 운전을 담당하는 발전본부는 총 240개 단위작업을 대상으로 측정이 이루어졌으며, 단위작업당 측정 시료수는 평균 1.79개였다. 협력사의 단위작업당 측정 시료수는 1.97개로 발전본부에 비해 다소 많은 편이다(표 III-18).

단위작업별 측정 시료수를 좀 더 세분화해서 보면 한 작업단위에서 시료수가 1개만 측정된 경우 20.2%, 2개만 측정된 경우가 76.0%로 단위작업당 측정 시료수가 매우 적다는 것을 알 수 있다(그림 III-5).



[그림 Ⅲ-5] 단위작업당 측정 시료수 분포
(2020년 상반기 작업환경측정 기준)

물론 현행 작업환경측정 규정(고용노동부고시 제2020-44호)을 보면 ‘최고 노출 근로자 2명 이상에 대하여 동시에 측정’으로 되어 있고(근로자가 1명인 경우에는 1명만 측정), ‘동일 작업 근로자수가 10명을 초과하는 경우에는 매 5명당 1명 이상 추가’ 하도록 되어 있다. 따라서 현재의 측정 시료수는 법적 측정 규정을 벗어나지는 않는다. 그러나 매일 작업내용에 따라 노출 농도가 변하는 유지보수 작업 특성을 고려한다면 한 작업 단위에서 1~2개의 측정 결과만을 가지고 그 작업의 유해물질 노출 수준을 평가하는 데는 많은 한계가 있다. 이러한 문제는 현행 작업환경측정 제도가 가지고 있는 한계점으로 향후 제도개선을 통해 보완되어야 할 부분이다.

(4) 노출농도 수준(노출지수 비교)

유해물질의 노출농도 수준이 어느 정도인지를 상대적으로 비교하기 위하여 다음과 같은 공식으로 노출지수를 산출하여 비교하였다.

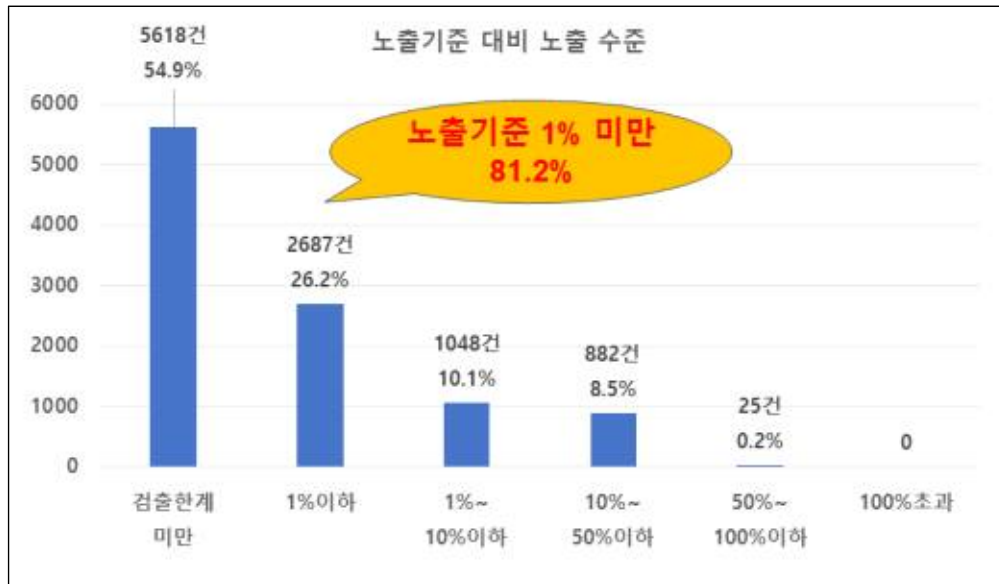
$$\text{※ 노출지수}(\%) = \text{노출농도} / \text{노출기준} \times 100$$

전체 측정 건수를 기준으로 보면(그림 III-6) 검출한계 미만이 5,618건으로 54.9%로 나타났고 노출기준의 1% 미만인 측정이 26.0%, 10% 이하가 10.1%로 7년 동안 측정된 전체 건수의 91.3%가 노출기준의 10% 이하인 것으로 나타났다.

노출기준 10%~50% 기준에 해당되는 측정건수 비중은 8.5%, 작업개선 등 적극적인 관리가 필요한 노출기준 50%를 초과한 측정건수는 0.2%에 불과하였다. 노출기준을 초과한 측정값은 단 한건도 없었다.

즉, 그동안 7년 동안 진행된 총 10,260건 중 노출기준을 초과한 경우는 한 건도 없었으며, 일반적으로 작업개선 등 적극적인 관리기준으로 제시하고 있는 노출기준 50% 이상 초과 건수도 25개(0.2%)로 극히 소수에 불과하였다.

작업환경측정 결과만을 가지고 현재의 작업환경을 평가한다면 거의 문제되지 않은 쾌적한 사업장으로 평가할 수 있다. 그러나 실제 관찰되는 현장의 작업 내용과 2019년 발표된 '석탄발전소 특별노동안전조사위원회'의 보고서를 보면 고독성 물질의 고농도 노출 가능성을 지적하고 있어 향후 작업환경측정에서 이를 평가하기 위한 정밀한 측정이 이루어져야 할 것으로 보인다.



[그림 Ⅲ-6] 노출지수 비교(최근 7년 동안의 측정결과)

가) 원·하청간 노출 수준 비교

원·하청간 노출 수준의 차이를 분석한 결과(표 Ⅲ-19, 20) 협력사의 노출지수(평균 3.7%)가 발전본부(평균 1.7%)에 비해 2배 이상 높은 것으로 나타났으나, 두 그룹 모두 노출지수가 절대적으로 낮은 수치여서 큰 의미는 없었다.

<표 Ⅲ-19> 원·하청간 노출지수 비교

구분	측정건수	노출지수(노출농도/노출기준*100), %		
		평균	최대값	p값
발전본부	5,839	1.7	70.3	<0.001
협력사	4,421	3.7	86.1	
합계	10,260	2.6	86.1	

<표 III-20> 원·하청간 노출지수 세부 비교

구분		측정 건수	노출지수(노출농도/노출기준*100) 구분, %					
			검출 안됨	1%≤	>1%~ 10%≤	>10%~ 50%≤	>50%~ 100%≤	>100%
발전사	빈도	5,839	3,366	1,574	591	302	6	-
	비율	100.0%	57.6%	27.0%	10.1%	5.2%	0.1%	
협력사	빈도	4,421	2,252	1,113	457	580	19	-
	비율	100.0%	50.9%	25.2%	10.3%	13.1%	0.4%	
전체	빈도	10,260	5,618	2,687	1,048	882	25	-
	비율	100.0%	54.8%	26.2%	10.2%	8.6%	0.2%	

나) 작업공정별 노출지수

석탄화력발전소의 작업 공정을 크게 ① 석탄을 운반하는 운탄설비 영역, ② 보일러 및 터빈 등의 발전설비 운전영역, ③ 발전설비의 유지보수 영역, 그리고 ④ 연소 후 발생된 각종 부산물을 처리하는 환경설비 영역으로 나누어 각각의 노출지수를 비교하였다. 그 결과 주로 실내작업 특성을 가지고 있는 원청회사인 발전설비 운영영역의 노출지수가 평균 1.7%로 여타의 현장 작업 영역에 비해 낮은 것으로 나타났다(표 III-21, 22).

<표 III-21> 작업 부문별 노출지수 비교

공정	측정건수	노출지수(노출농도/노출기준*100), %		
		평균	최대값	p값
운탄설비	617	4.5	59.9	<0.001
발전설비 운전	5,839	1.7	70.3	
발전설비 유지보수	2,700	3.7	72.6	
환경설비	1,104	3.3	86.1	
전체	10,260	2.6	86.1	

<표 III-22> 작업 부문별 노출지수 세부 비교

공정		측정 건수	노출지수(노출농도/노출기준*100) 구분, %					
			검출 안됨	1%≤	>1%~ 10%≤	>10%~ 50%≤	>50%~ 100%≤	>100 %
운탄설비	빈도	617	302	129	68	116	2	-
	비율	100.0%	48.9%	20.9%	11.0%	18.8%	0.3%	-
발전설비 운전	빈도	5,839	3,366	1,574	591	302	6	-
	비율	100.0%	57.6%	27.0%	10.1%	5.2%	0.1%	-
발전설비 유지보수	빈도	2,700	1,277	764	299	351	9	-
	비율	100.0%	47.3%	28.3%	11.1%	13.0%	0.3%	-
환경설비	빈도	1,104	673	220	90	113	8	-
	비율	100.0%	61.0%	19.9%	8.2%	10.2%	0.7%	-
전체	빈도	10,260	5,618	2,687	1,048	882	25	-
	비율	100.0%	54.8%	26.2%	10.2%	8.6%	0.2%	-

다) 물질별 노출지수 비교

노출지수를 물질별로 비교하였다(표 III-23, 24). 석탄 분진이 다수를 차지하는 입자상물질의 노출지수가 7.1%로 가장 높게 나타났으며, 중금속, 유기용제 등 화학물질의 노출지수는 0.1~0.8% 수준으로 매우 낮은 수준이었다. 노출지수가 50%를 초과하는 경우를 보면 입자상물질이 총 25건(0.7%)으로 나타났으며 금속류 및 기타 화학물질에서는 노출기준을 50% 초과하는 측정 건수는 하나도 없었다.

<표 III-23> 유해물질별 노출지수 비교

물질 구분	측정건수	노출지수(노출농도/노출기준*100), %		
		평균	최대값	p값
입자상물질	3,440	7.1	86.1	<0.001
금속류	5,175	0.1	41.0	
기타 화학물질	1,645	0.8	49.6	
전체	10,260	2.6	86.1	

<표 III-24> 유해물질별 노출지수 세부 비교

구분		측정 건수	노출지수(노출농도/노출기준*100) 구분, %					
			검출 안됨	1%≤	>1%~ 10%≤	>10%~ 50%≤	>50%~ 100%≤	>100 %
입자상 물질	빈도	3,440	1,650	92	838	835	25	-
	비율	100.0%	48.0%	2.7%	24.4%	24.3%	0.7%	-
금속류	빈도	5,175	2,856	2,219	89	11	-	-
	비율	100.0%	55.2%	42.9%	1.7%	0.2%	-	-
기타 화학물질	빈도	1,645	1,112	376	121	36	-	-
	비율	100.0%	67.6%	22.9%	7.4%	2.2%	-	-
전체	빈도	10,260	5,618	2,687	1,048	882	25	-
	비율	100.0%	54.8%	26.2%	10.2%	8.6%	0.2-%	-

세부 물질별 노출지수는 <표 III-25~27>에 정리하였다. 노출기준 10%를 초과하는 고독성물질을 기준으로 보면 목재분진(29건), 규산(35건), 황산(16건), 납(1건), 크롬(1건), 디클로로메탄(1건) 정도가 문제되는 것으로 나타났다.

<표 III-25> 입자상물질별 노출지수

물질명	측정 건수	노출지수 ¹⁾ , %		>10% ~50%이하		>50% ~100%이하		100%초과	
		평균	최대값	건수	비율	건수	비율	건수	비율
목재분진	35	22.8	82.5	28	80.0%	1	2.9%	-	-
용접흄	197	14.8	59.9	132	67.0%	1	0.5%	-	-
금속가공유	18	13.4	44.4	9	50.0%		-	-	-
규산염	26	11.5	44.3	13	50.0%		-	-	-
석탄 분진	1,648	10.5	86.1	567	34.4%	19	1.2%	-	-
기타광물성 분진	168	9.6	36.9	55	32.7%		-	-	-
활석	2	7.2	7.5	-	-		-	-	-
규산	1,346	0.8	72.6	31	2.3%	4	0.3%	-	-
전체	3,440	7.1	86.1	835	24.3%	25	0.7%	-	-

¹⁾ 노출지수=노출농도/노출기준*100

<표 III-26> 금속류 물질별 노출지수

물질명	측정 건수	노출지수 ¹⁾ , %		>10% ~50%이하		50% 초과	
		평균	최대값	건수	비율	건수	비율
납 및 무기화합물	64	0.9	30.9	1	1.6%	-	-
망간 및 무기화합물	204	0.5	23.1	3	1.5%	-	-
구리(흄)	91	0.4	3.5	-	-	-	-
크롬과 무기화합물	359	0.3	18.0	1	0.3%	-	-
산화철분진	827	0.3	41.0	3	0.4%	-	-
알루미늄 및 화합물	192	0.2	10.1	1	0.5%	-	-
니켈(금속)	231	0.2	9.2	-	-	-	-
카드뮴 및 화합물	49	0.1	2.0	-	-	-	-

물질명	측정 건수	노출지수 ¹⁾ , %		>10% ~50%이하		50% 초과	
		평균	최대값	건수	비율	건수	비율
산화알루미늄	1,203	0.0	10.2	1	0.1%	-	-
바륨 및 가용성화합물	2	0.0	0.1	-	-	-	-
이산화티타늄	1,009	0.0	10.0	-	-	-	-
산화마그네슘	873	0.0	10.0	1	0.1%	-	-
은(금속)	6	0.0	0.1	-	-	-	-
산화아연(흙)	59	0.0	0.1	-	-	-	-
몰리브덴(불용성화합물)	2	0.0	0.0	-	-	-	-
수은(원소 및 무기형태)	4	0.0	0.0	-	-	-	-
전체	5,175	0.1	41.0	11	0.2%	-	-
¹⁾ 노출지수=노출농도/노출기준*100							

<표 III-27> 기타 화학물질별 노출지수

물질명재분류	측정 건수	노출지수 ¹⁾ , %		>10%~50%≤		>50%	
		평균	최대값	건수	비율	건수	비율
황산	110	4.9	49.6	16	14.5%	-	-
메틸알코올	62	2.8	49.6	6	9.7%	-	-
아황산가스	48	2.2	27.3	3	6.3%	-	-
톨루엔	68	1.2	19.9	3	4.4%	-	-
인산	104	1.0	43.2	3	2.9%	-	-
염화수소	131	0.9	14.3	2	1.5%	-	-
디클로로메탄	50	0.8	24.3	1	2.0%	-	-
암모니아	127	0.8	4.2	34	26.8%	-	-
질산	82	0.5	9.4	-	-	-	-
에틸벤젠	4	0.4	1.7	-	-	-	-
염화메틸렌	2	0.3	0.6	-	-	-	-
1,1-디클로로-1-플루오로에탄	91	0.3	12.9	2	2.2%	-	-

¹⁾ 노출지수=노출농도/노출기준*100

2) 물리적인자

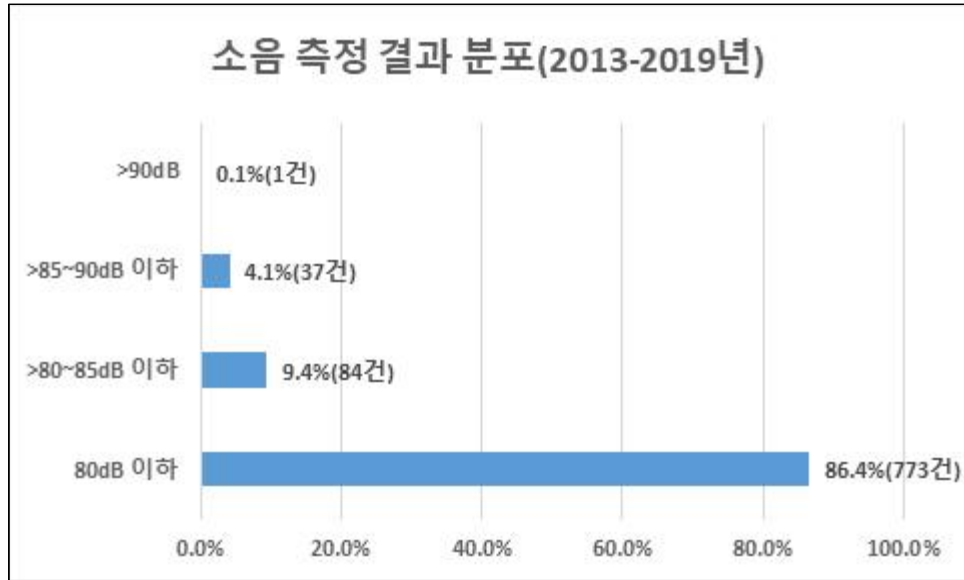
(1) 소음

소음은 지난 7년 동안 총 895건이 측정되었다.

노출수준을 보면 설비별로 다소 차이가 있지만, 전체 측정건수의 86.4%가 80dB(A) 이하이며, 소음성난청을 예방하기 위해 적극적 관리가 필요한 85dB(A) 이상은 총 38건(4.2%)에 불과하였다(표 Ⅲ-28, 그림 Ⅲ-7).

<표 Ⅲ-28> 설비부문별 소음 측정 결과

설비 구분		소음 노출 수준 구분, 단위: dB(A)					전체
		75이하	>75~ 80이하	>80~ 85이하	>85~ 90이하	>90	
운탄설비	빈도	179	22	17	2	1	221
	비율	81.0%	10.0%	7.7%	0.9%	0.5%	100.0%
발전설비 유지보수	빈도	279	81	52	21	0	433
	비율	64.4%	18.7%	12.0%	4.8%	0.0%	100.0%
환경설비 운영 및 유지보수	빈도	168	44	15	14	0	241
	비율	69.7%	18.3%	6.2%	5.8%	0.0%	100.0%
전체	빈도	626	147	84	37	1	895
	비율	70.0%	16.4%	9.4%	4.1%	0.1%	100.0%



**[그림 Ⅲ-7] 최근 7년 동안의 소음 측정 결과 분포
(2013~2019년)**

소음성 난청 예방 차원에서 80dB(A) 이상으로 측정 대상을 선정한다면 향후 측정대상에 반영되어야 할 단위작업은 <표 Ⅲ-29>와 같다.

<표 Ⅲ-29> 소음 측정 대상 선정 시 고려 사항

구분	협력사	순 번	단위작업	소음 노출수준(dB(A))		측정 건수
				최고	범위	
측정값이 한번이라도 85dB을 초과한 작업을 기준으로 할 때	협력사A	1	유지보수(기계1,2팀)	92.1	80.5~92.1	17
	협력사E	2	전기	89.9	80.9~89.9	18
		3	용접	89.6	80.5~89.6	10
		4	회처리	89.3	80.2~89.3	8
		5	보일러	89.3	80.1~89.3	11
		6	터빈	87.7	80.4~87.7	10
		7	미분	86.7	80.3~86.7	5

구분	협력사	순 번	단위작업	소음 노출수준(dB(A))		측정 건수
				최고	범위	
		8	기계	86.2	80.1~86.2	5
		9	운탄	85.7	82.1~85.7	2
	협력사F	10	회처리 운영	89.9	80.5~89.9	14
		11	낙탄	88.7	82.0~88.7	4
		12	석탄취급	86.0	80.6~83.7	2
측정값이 한번이라도 80dB을 초과한 작업을 기준으로 할 때 추가 작업	협력사A	1	현장 점검	80.9	80.1~80.9	2
	협력사E	2	세척	83.7	83.7	1
		3	하역 송탄설비 관리	82.3	80.9~82.3	2
		4	계측제어	82.0	81.2~81.2	2
	협력사F	5	탈황운영	82.1	80.2~82.1	2
		6	시료채취원	81.7	81.7	1
		7	정비	80.3	80.2~84.9	6
	계					122

(2) 고열

7년 동안 WBGT 지수를 이용한 고열작업 측정이 이루어진 시료 수는 총 410개였다. 이중 측정값이 0으로 기재된 156개를 제외하고 최종 254개를 분석하였다.

특이한 점은 협력사를 대상으로 측정된 시료는 한 건도 없었으며, 모두 발전기별 Feed Water Tank, 히터 등을 점검하는 발전본부 소속 작업만을 대상으로 측정이 이루어졌다는 점이다.

이는 현재 법적인 고열 측정 대상 작업이 고열에 노출되는 12개 작업만을 대상으로 한정되어 있고 온·습도를 고려한 여타의 온열 취약 작업은 제외되어 있기 때문으로 해석된다.

고열이 발생하는 설비 작업은 물론이고 높은 온습도로 인한 열악한 온열 조

건에 노출되는 밀폐작업(보일러 내부 정비작업 등)도 열적 부담이 큰 작업이므로 측정대상에 포함될 수 있도록 향후 측정 전략이 수립되어야 한다.

그동안 진행된 고열측정 결과를 요약하면 <표 III-30, 31>과 같다.

<표 III-30> 중등도 작업조건¹⁾일 때의 WBGT 노출기준 초과 현황

휴식시간 조건	1시간이상 연속 작업일 때 (노출기준 : WBGT 26.7℃)		시간당 15분 휴식일 때 (노출기준 : WBGT 28.0℃)	
	빈도	비율	빈도	비율
노출기준 이하	116	45.7%	203	79.9
노출기준 초과	138	54.3%	51	20.1
¹⁾ 중등도 작업 : 몸 전체를 사용하면서 작업공구를 이용한 정비 작업을 수행할 때 (200~350kcal/hr의 에너지 소비)를 가정				

<표 III-31> 경작업 작업조건¹⁾일 때의 WBGT 노출기준 초과 현황

휴식시간 조건	1시간이상 연속 작업일 때 (노출기준 : WBGT 30.0℃)		시간당 15분 휴식일 때 (노출기준 : WBGT 30.6℃)	
	빈도	비율	빈도	비율
노출기준 이하	250	98.4%	249	98.0%
노출기준 초과	4	1.6%	5	2.0%
¹⁾ 경작업 : 일상적인 순회 점검(200kcal/hr 미만의 에너지 소비)을 가정				

3) 위험성 평가 결과

7년 동안 진행된 작업환경측정 결과를 바탕으로 모든 측정인자에 대해 위험성 평가를 실시하였다.

위험성 평가는 고용노동부고시(제2017-36호)로 제정된 ‘사업장 위험성평가에 관한 지침’에서 제시된 곱셈법(표 II-6 참고)을 적용하였으며, 평가 결과 위험성이 4점 이상(허용 불가능한 작업)인 유해물질을 향후 작업환경측정 유해인자로 제안하였다.

(1) 입자상물질

7년 동안 측정된 입자상 물질 수는 총 7종류였다. 이 중 석영, 목분진, 용접흄이 고독성물질로 분류되고, 노출지수가 10% 이상을 초과하고 있어 위험도 수준이 높음으로 평가되었고, 금속가공유는 노출 수준은 낮았지만, 불순물 여부에 따라 발암물질이 함유될 가능성이 있어 향후 작업환경측정이 필요한 물질로 분류하였다(표 III-32, 33).

<표 III-32> 작업환경측정 결과를 바탕으로 한 입자상물질의 위험성 평가 결과

No	물질명	시료수 (개)	유해성	노출수준	위험성
1	석영	1,348	4	2	8
2	용접흄	195	4	2	8
3	목분진	35	4	2	8
4	금속 가공유	18	2	2	4
5	석탄분진	1,648	2	2	4
6	기타광물성분진	168	1	1	1
7	규산염	26	1	1	1

**<표 III-33> 작업환경측정 결과를 바탕으로 한 입자상물질의
위험성 허용 여부**

위험도 구분(점수)	위험성 허용 여부	해당 물질 수 (개)	해당물질 명
매우 높음 (12~16점)	허용불가능	-	-
높음(5~11점)	허용불가능	3	석영, 용접흙, 목분진
보통(3~4점)	허용불가능(CMR)	1	금속가공유 (불순물 여부에 따라 판단)
	허용가능	1	석탄분진
낮음(1~2점)	허용가능	2	기타 광물성분진, 규산염

(2) 금속류

지금까지 측정된 금속류 물질 수는 총 15종이었다. 이 중 이산화티타늄 등 6가지 물질이 노출 수준은 낮았지만 고독성 물질로 분류되어 향후 작업환경측정이 필요한 물질로 분류하였다(표 III-34, 35).

**<표 III-34> 작업환경측정 결과를 바탕으로 한 금속류 물질의
위험성 평가 결과**

No	물질명	시료수 (개)	유해성	노출수준	위험성
1	이산화티타늄	1,009	4	1	4
2	니켈(금속)	231	4	1	4
3	납	64	4	1	4
4	카드뮴	49	4	1	4
5	수은	4	4	1	4
6	몰리브덴	2	4	1	4
7	크롬	359	2	1	2

No	물질명	시료수 (개)	유해성	노출수준	위험성
8	구리	91	2	1	2
9	은	6	2	1	2
10	바륨	2	2	1	2
11	알루미늄	1,203	1	1	1
12	산화마그네슘	873	1	1	1
13	산화철	827	1	1	1
14	망간	204	1	1	1
15	산화아연	59	1	1	1

**<표 III-35> 작업환경측정 결과를 바탕으로 한 금속류 물질의 위험성
허용 여부**

위험도 구분(점수)	위험성 허용 여부	해당 물질 수 (개)	해당물질명
매우 높음 (12~16점)	허용불가능	-	-
높음(5~11점)	허용불가능	-	-
보통(3~4점)	허용불가능(4점)	6	이산화티타늄, 니켈(금속), 납, 카드뮴, 수은, 몰리브덴
	허용가능(3점)	-	-
낮음(1~2점)	허용가능	9	크롬, 구리, 은, 바륨, 알루미늄, 산화마그네슘, 산화철, 망간

(3) 기타 화학물질

지금까지 측정된 기타 화학물질 수는 총 31종이었다. 이 중 디클로로메탄 등 총 13가지 물질은 노출 수준은 낮았지만 고독성물질로 분류되어 향후 작업환경 측정이 필요한 물질로 분류하였다(표 III-36, 37).

**<표 III-36> 작업환경측정 결과를 바탕으로 한 기타 화학물질의
위험성 허용 여부**

위험도 구분(점수)	위험성 허용 여부	해당 물질 수 (개)	해당물질명
매우 높음 (12~16점)	허용불가능	-	-
높음(5~11점)	허용불가능	-	-
보통(3~4점)	허용불가능(4점)	13	암모니아, 황산, 톨루엔, 디클로로메탄, 아황산가스, 1-브로모프로판, 1,2-디클로로에틸렌, n-헥산, 트리클로로에틸렌, 글루타르알데히드, 메틸이소부틸케톤, 2-부톡시에탄올, 에틸벤젠
	허용가능(3점)	6	수산화나트륨, 염화수소, 인산, 1,1-디클로로-1-플루오로에탄, 질산, 수산화칼륨
낮음(1~2점)	허용가능	11	이소프로필, 알콜, n-헵탄, 크실렌, 메틸알코올, 아세톤, 메틸클로로포름, 초산부틸, 메틸에틸케톤, 시클로헥산, 초산메틸, 초산에틸, 초산

**<표 III-37> 작업환경측정 결과를 바탕으로 한 기타 화학물질의
위험성 평가 결과**

No	물질명	시료수 (개)	유해성	노출수준	위험성
1	암모니아	127	4	1	4
2	황산	110	4	1	4
3	톨루엔	68	4	1	4
4	디클로로메탄	52	4	1	4
5	이황산가스	48	4	1	4
6	1-브로모프로판	27	4	1	4
7	1,2-디클로로에틸렌	20	4	1	4
8	n-헥산	14	4	1	4
9	트리클로로에틸렌	12	4	1	4
10	글루타르알데히드	6	4	1	4
11	메틸이소부틸케톤	6	4	1	4
12	2-부톡시에탄올	4	4	1	4
13	에틸벤젠	4	4	1	4
14	수산화나트륨	372	3	1	3
15	염화수소	131	3	1	3
16	인산	104	3	1	3
17	1,1-디클로로-1-플루오로에탄	91	3	1	3
18	질산	82	3	1	3
19	수산화칼륨	6	3	1	3
20	이소프로필 알콜	77	1	1	1
21	n-헵탄	68	1	1	1
22	크실렌	64	1	1	1
23	메틸알코올	62	1	1	1
24	아세톤	32	1	1	1
25	메틸클로로포름	12	1	1	1
26	초산부틸	10	1	1	1
27	메틸에틸케톤	8	1	1	1
28	시클로헥산	8	1	1	1
29	초산메틸	8	1	1	1
30	초산에틸	6	1	1	1
31	초산	4	1	1	1

4) 소결

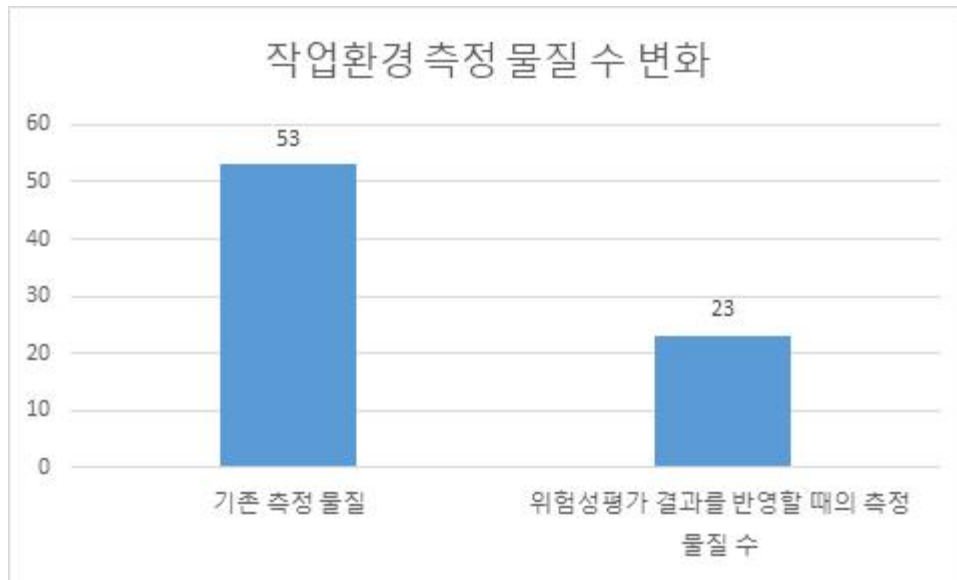
(1) 최근 7년 동안의 작업환경측정 보고서를 분석한 결과 평가된 유해물질은 53종이었으며, 평가 결과 대부분(91.3%)이 노출기준 10% 미만이었고, 노출기준을 초과한 건수는 하나도 없었다.

(2) 측정 대상 작업은 상대적으로 유해물질 노출 가능성이 적은 발전본부(원청) 중심으로 진행되었으며(작업자 비중은 62%인 반면 측정 건수 비중은 57%), 하청업체에서 담당하는 노출 가능성이 높은 설비 유지보수 및 대정비 작업은 측정에서 상당 부분 소외된 측면이 있었다.

(3) 단위작업당 측정 시료 수를 보면 작업당 측정 건수가 2개 이하인 측정이 전체 단위작업의 96.2%를 차지하였다. 시료 수 1~2개만을 가지고 변화가 많은 노출 상황을 반영할 수 없어 정확한 노출 정도를 평가하기에는 한계가 있는 것으로 보인다.

(4) 작업환경측정 결과를 바탕으로 위험성평가를 실시한 결과 위험성이 허용 불가능으로 평가되어 향후 작업환경측정이 필요한 물질은 다음과 같이 제시되었다.

- ① 그동안 측정된 입자상 물질 수는 총 7종이었다. 이 중 석영, 목분진, 용접흄, 금속가공유 등 4종이 향후 측정이 필요한 물질로 분류되었다.
- ② 금속류 물질 수는 총 15종이 측정되었으나, 향후 작업환경측정이 필요한 물질은 이산화티타늄 등 6종으로 제안되었으며, 모두 노출 수준은 낮았지만, 고독성물질로 분류된 물질들이다.
- ③ 기타 화학물질은 총 31종이 측정되었으나, 향후 작업환경측정이 필요한 물질은 디클로로메탄 등 총 13종으로 제안되었으며, 이들 물질 모두는 노출 수준은 낮았지만, 고독성물질로 분류된 물질들이다.
- ④ 전체적으로 보면 기존 측정 물질은 53종이었으나, 위험성평가 결과를 반영하면 23종 물질로 대폭 감소할 것으로 평가되었다.



[그림 III-8] 위험성 평가 결과를 반영한 측정 물질 수 변화 비교

3. 화학물질 사용 현황과 유해성 평가

1) 조사방법

(1) 화학제품 데이터베이스(제품DB) 구축

발전소에서 사용하는 화학제품 현황을 파악하기 위해 발전본부와 주요 협력사 7곳의 안전보건담당자로부터 화학제품 인벤토리 및 MSDS를 취합하였고, 톡스프리(toxfree.kr)를 사용하여 제품DB를 구축하였다.

제품 DB는 위험성평가를 위해 부서별로 구축하였고, 모든 결과는 부서별 제품으로 각각 평가하였다. 제품 DB에는 제품명, 제조사명, 제품용도, 구성성분 및 함량, MSDS 제·개정일 정보가 포함되어 있다.

(2) 유해성 평가

유해성은 다음의 국내외 화학물질 독성정보 데이터베이스를 활용하여 유해·위험문구(H-code)로 표준화한 후 1-4등급으로 분류하였다(표 III-38).

- ① 발암성: 고용노동부, 세계보건기구 국제암연구소(WHO IARC), 유럽연합 화학물질 표시 및 포장에 관한 기준(EU CLP), 미국정부산업위생 전문가협회(ACGIH)
- ② 변이원성: 고용노동부, 유럽연합 화학물질 표시 및 포장에 관한 기준(EU CLP)
- ③ 생식독성: 고용노동부, 유럽연합 화학물질 표시 및 포장에 관한 기준(EU CLP)
- ④ 내분비계교란성: 유럽연합(EU)

<표 III-38> 유해성 분류 기준

유해성 등급	유해·위험문구(H-code)
1	H304, H315, H319, H225
2	H302, H312, H332, H371
3	H301, H311, H314, H317, H318, H331, H335, H370, H373
4	H300, H310, H330, H351, H360, H361, H362, H372, H999*
	H334, H340, H341, H350
*H999: 내분비계교란물질에 대해 임의로 H-code를 부여함	

(3) 사용정보 조사

위험성평가를 위해 부서별 제품목록을 작성하여 사용여부, 제품의 성상, 사용량(일평균, 일최대), 사용주기, 월 사용시간 정보를 요청하였다(표 III-39).

협력사 중 사용제품 수가 가장 많은 협력사E의 경우 현장순회를 통해 실제 사용정보를 재확인하였다.

<표 III-39> 부서별 제품목록

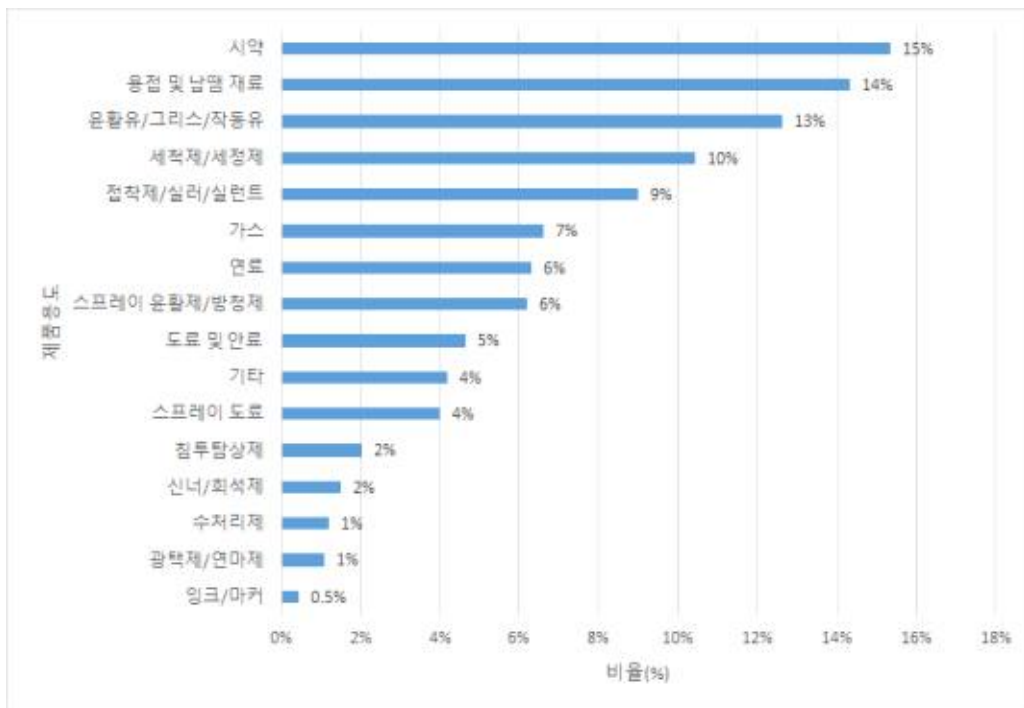
부서명: 2발전소 전기기술부											
번호	제조사	제품	제품 용도	MSDS 확보 여부	MSDS 제개정일	사용 여부 ① 사용 ② 폐기	선상 ① 고체 ② 액체 ③ 기체 ④ 스프레이	일평균사용량 ① 소(g/mL) ② 중(kg/L) ③ 대(ton/MS)	일 최대사용량 ① 소(g/mL) ② 중(kg/L) ③ 대(ton/MS)	사용주기 ① 일1회이상 ② 주1회이상 ③ 월1회이상 ④ 연1회이상 ⑤ 아무가름	발사용시간 ① 10시간미만 ② 10시간이상
1	3M	Silver Zinc Coat	스프레이 용활제/발청제	확보	2016-11-10						
2	GASTRON	HQ 1000 ppm-N2	가스	확보	2017-10-12						
3	GS칼텍스	일화성유가스(AE-0008)	액체	확보	2012-08-28						
4	KJ커미컬	DEC-150	세정제/세정제	확보	자료없음						
5	Malco Product, Inc.	PPI STOP Oil Treatment	윤활유/그리스/각종유 (스프레이 제품 제외)	확보	2013-06-20						
6	Wacker Chemicals Korea	LUCKY-SILICONE LC 908S 배선	접착제/실러/실란트	확보	2017-02-02						
7	나바렘	DUST BLOWER DB-1000	세정제/세정제	확보	2018-03-08						
8	나바렘	DUST BLOWER DB-55	세정제/세정제	확보	2018-01-10						
9	나바렘	GLUB 10M	스프레이 용활제/발청제	확보	2012-01-28						
10	나바렘	NABAEM L-840	스프레이 용활제/발청제	확보	2019-01-04						
11	나바렘	보글레크 BC-100	가스	확보	2018-03-27						
12	나바렘	힐프코8(1:1) NBH-3	세정제/세정제	확보	2018-05-02						
13	남양ONA	EMC-100A J Type	세정제/세정제	확보	2018-01-11						
14	남양ONA	MULTI-CLEANER DC-3000	세정제/세정제	확보	2017-06-07						
15	남양ONA	Silicone Varnish S-830 / 실리콘발연보호제	접착제/실러/실란트	확보	2016-09-07						
16	남양ONA	LC-100	스프레이 용활제/발청제	확보	2012-08-29						
17	남양ONA	ZINCOT N-50	스프레이 용활제/발청제	확보	2012-01-28						
18	남양ONA	웨인트 리무버 PR-80A	세정제/세정제	확보	2013-01-28						
19	남양ONA	웨인트 리무버 PR-80P	세정제/세정제	확보	2013-01-28						
20	노루웨인트	에나멜 신나 DR-308 KSM-6060 (1종) (신나)	신나/촉매제	확보	2018-09-11						
21	대진물활제 미칼	가스레크 D9-R08	가스	확보	2016-07-20						
22	대진물활제 미칼	D-508	접착제/실러/실란트	확보	2016-07-21						
23	전기산업	전기 용가 스프레이(절삭상)	스프레이 제품	확보	2015-04-28						
24	텍스인원보퍼레이션	VD-40 에어블록관	스프레이 용활제/발청제	확보	2015-08-17						

2) 화학제품 현황

(1) 사용 현황

발전본부와 협력사 7곳에서 사용하고 있는 전체 화학제품은 총 1,725개였고, 화학제품을 용도별로 구분한 결과는 [그림 III-9]와 <표 III-40>과 같다.

시약이 265개(15%)로 가장 많았고, 그 다음으로 용접 및 납땜 재료 247개(14%), 윤활유/그리스/작동유 218개(13%), 세척제/세정제 180개(10%), 접착제/실러/실런트 155개(9%), 가스 114개(7%), 연료 109개(6%), 스프레이 윤활제/방청제 107개(6%), 도료 및 안료 80개(5%), 기타 72개(4%), 스프레이 도료 69개(4%), 침투탐상제 35개(2%), 신너/희석제 26개(2%), 수처리제 21개(1%), 광택제/연마제 19개(1%), 잉크/마커 8개(0.5%) 순이었다.



[그림 III-9] 발전소 전체제품 용도별 현황

운탄 설비 사업장 중 협력사A는 윤활유/그리스/작동유, 용접 및 납땜 재료, 접착제/실러/실런트 순으로 사용제품이 많았다. 협력사G는 선내 하역 운전(엔로더, 도저) 작업만 수행하는 곳이라 워낙 사용하는 화학제품이 적었고, 대부분 윤활유/그리스/작동유였다.

발전 운영 사업장인 OO발전본부의 사용제품은 시약이 가장 많았고, 세척제/세정제, 가스 순이었다.

발전 설비 유지보수 사업장인 협력사B, C, E는 용접 및 납땜 재료, 세척제/세정제, 윤활유/그리스/작동유, 접착제/실러/실런트 순으로 사용제품이 많았다.

연료환경 설비 사업장인 협력사F은 윤활유/그리스/작동유와 연료 순으로 사용제품이 많았다.

청소용역 사업장인 협력사D의 사용제품은 대부분 세척제/세정제였다.

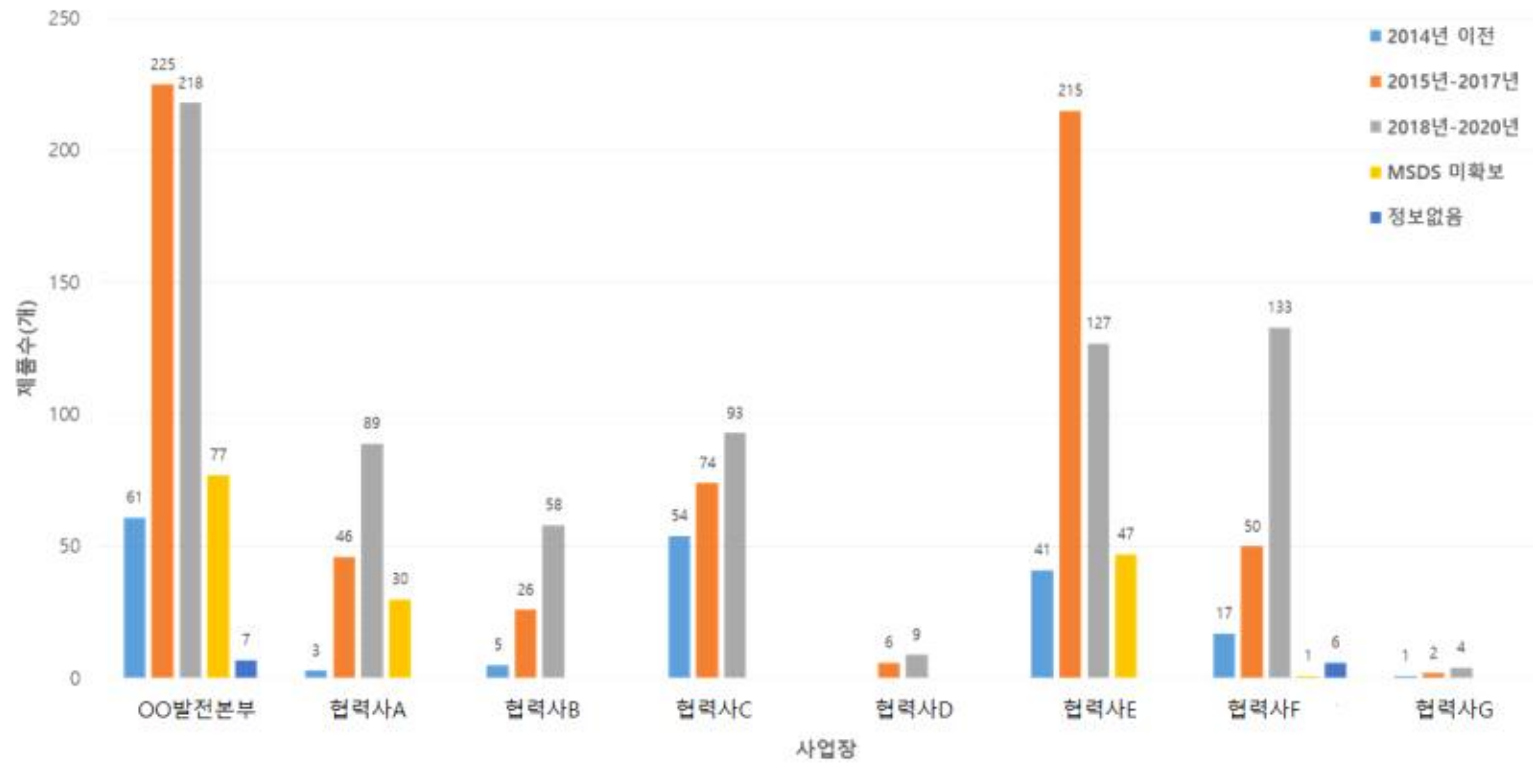
<표 III-40> OO발전소 각 사업장의 용도별 제품 현황

제품용도	OO발전 본부	협력사A	협력사B	협력사C	협력사D	협력사E	협력사F	협력사G	계
가스	42	14	7	28	0	16	7	0	114
광택제/연마제	0	0	0	0	1	18	0	0	19
기타	44	2	0	1	2	6	17	0	72
도료 및 안료(스프레이 제품 제외)	22	11	0	2	0	37	8	0	80
세척제/세정제	50	10	8	37	12	46	17	0	180
수처리제	16	0	0	0	0	0	5	0	21
스프레이 도료	16	22	0	9	0	17	5	0	69
스프레이 윤활제/방청제	27	13	4	21	0	32	10	0	107
시약	250	0	0	2	0	1	12	0	265
신너/희석제	8	1	0	1	0	11	5	0	26
연료	37	18	0	5	0	10	38	1	109
용접 및 납땜 재료	3	24	55	21	0	130	14	0	247
윤활유/그리스/작동유(스프레이 제외)	38	29	7	45	0	34	59	6	218
잉크/마커	0	0	0	0	0	8	0	0	8
접착제/실러/실런트	30	24	5	34	0	54	8	0	155
침투탐상제	5	0	3	15	0	10	2	0	35
계	588	168	89	221	15	430	207	7	1,725

(2) MSDS 작성년도 현황

MSDS가 작성된 년도별 현황은 [그림 Ⅲ-10]과 같다. MSDS의 작성년도가 없는 제품이 전체 1,725개 제품 중 13개(1%)였고, 최근 3년 이내에 MSDS가 작성된 제품은 731개(42%)였다. 나머지 644개(37%) 제품은 MSDS가 2015년부터 2017년 사이에 작성된 것이었고, 182개(11%) 제품은 MSDS가 2014년 이전에 작성된 것이었다.

74..... 포괄적 작업환경평가 제도 도입을 위한 시범 사업 연구



[그림 III-10] MSDS 작성년도 현황

3) 고독성제품 현황

OO발전소에서 사용하는 화학제품 중 발암성, 변이원성, 생식독성, 내분비계 교란성 물질(이하 고독성물질) 함유 현황은 <표 Ⅲ-41>과 같다. 고독성물질은 벤젠 등 89종으로 나타났고, 고독성물질을 하나 이상 함유하는 제품(이하 고독성제품)은 총 882개로 나타났다.

<표 Ⅲ-41> 고독성물질 현황

연 번	카스번호	물질명	발암성	변이 원성	생식 독성	내분비계 교란성
1	100-41-4	에틸벤젠	2			
2	100-42-5	스티렌	1B			✓
3	10043-35-3	보린산			1B	✓
4	101-68-8	4,4'-메틸렌 디(비스)페닐 디이소시아네이트	2			
5	106-97-8	부탄	1A****	1B****		
6	106-99-0	1,3-부타디엔	1A	1B		
7	107-06-2	이염화에틸렌	1B			
8	108-10-1	메틸 이소부틸 케톤	2			
9	108-88-3	톨루엔			2	
10	110-54-3	헥산			2	
11	111-76-2	2-부톡시에탄올	2			
12	115-02-6	아자시린	2			
13	117-81-7	디(2-에틸헥실)프탈레이트	1B		1B	✓
14	12174-11-7	규산 알루미늄 마그네슘	2			
15	127-18-4	퍼클로로에틸렌	1B			
16	1303-96-4	붕소산 사나트륨염(십수화물)			1B	
17	1317-36-8	산화 납	1B		1A	
18	1333-86-4	카본블랙	2			
19	1344-37-2	C.I. Pigment yellow 34	1A		1A	
20	13463-67-7	이산화티타늄	2			
21	14807-96-6	소우프스톤	1A*			
22	14808-60-7	산화규소(결정체 석영)	1A			
23	2429-74-5	C.I. 직접 블루 15	2			

연 번	카스번호	물질명	발암성	변이 원성	생식 독성	내분비계 교란성
24	25036-25-3	비스페놀 A-비스페놀 A 디글리시딜 에테르 중합체				✓
25	25154-52-3	노닐페놀류				✓
26	25155-23-1	인산 다이메틸페놀			1B	
27	26447-40-5	메틸렌 디(비스)페닐 디이소시아네이트	2			
28	288-32-4	이미다졸			1B	
29	37300-23-5	C.I. 색소 황색 36	1A			
30	409-21-2	실리콘 카바이드	1B			
31	5470-11-1	히드록실아민 수화염화물	2			
32	556-67-2	옥타메틸사이클로테트라실록산				✓
33	56-23-5	사염화탄소	1B			
34	64-17-5	에탄올	1A ^{*****}			
35	64741-41-9	중질 나프타	1B ^{**}	1B ^{**}		
36	64741-46-4	경질 나프타	1B ^{**}	1B ^{**}		
37	64741-66-8	경질 알킬화 나프타	1B ^{**}	1B ^{**}		
38	64741-88-4	솔벤트-정제된 중질 파라핀 정제유 (석유)	1B ^{***}			
39	64741-89-5	솔벤트-정제된 경질 파라핀 정제유 (석유)	1B ^{***}			
40	64741-92-0	솔벤트-정제된 중질 나프타 (석유)	1B ^{**}	1B ^{**}		
41	64741-96-4	솔벤트-정제된 중질 나프텐 정제유 (석유)	1B ^{***}			
42	64742-46-7	수소처리된 중간 정제유 (석유)	1B			
43	64742-48-9	수소처리된 중질 나프타 (석유)	1B ^{**}	1B ^{**}		
44	64742-52-5	수소처리된 중질 나프텐 정제유 (석유)	1B ^{***}			
45	64742-53-6	수소처리된 경질 나프텐 정제유 (석유)	1B ^{***}			
46	64742-54-7	수소처리된 중질 파라핀 정제유 (석유)	1B ^{***}			
47	64742-55-8	수소처리된 경질 파라핀 정제유 (석유)	1B ^{***}			
48	64742-56-9	솔벤트-탈락스된 경질 파라핀 정제유 (석유)	1B ^{***}			
49	64742-57-0	수소처리된 잔사유 (석유)	1B ^{***}			
50	64742-62-7	솔벤트-탈락스된 잔사유 (석유)	1B ^{***}			
51	64742-65-0	솔벤트-탈락스된 중질 파라핀 정제유 (석유)	1B ^{***}			
52	64742-71-8	높게 정제된 촉매작용 파라핀을 제거한 LIGHT 피트롤리엄 파라핀 기름	1B ^{***}			
53	64742-73-0	수소탈황화된 경질	1B ^{**}	1B ^{**}		

연 번	카스번호	물질명	발암성	변이 원성	생식 독성	내분비계 교란성
54	64742-82-1	수소탈황화된 중질 나프타 (석유)	1B**	1B**		
55	64742-89-8	솔벤트 나프타 (석유), 경질 지방족화합물	1B**	1B**		
56	64742-93-4	산화아스팔트	1B			
57	64742-95-6	솔벤트 나프타 (석유), 경질 방향족화합물	1B**	1B**		
58	67-66-3	트리클로로메탄	1B			
59	68334-30-5	디젤 연료 1번	2			
60	68476-85-7	액화 석유가스	1A****	1B****		
61	68476-86-8	액화석유가스	1A****	1B****		
62	68477-23-6	Tar acids, residues, distillates, first-cut Distillate Phenols	1B****	1B****		
63	70657-70-4	아세트산 2-메톡시-1-프로필			1B	
64	71-43-2	벤젠	1A	1B		
65	72623-85-9	유탄유 (석유), C20-50, 고점성 수소처리된 중성 오일	1B***			
66	72623-87-1	유탄유(석유), C20-50	1B***			
67	7439-92-1	납	1B		1A	
68	7439-98-7	몰리브덴	2			
69	7440-02-0	니켈	2			
70	7440-48-4	코발트	1B			
71	7487-94-7	염화 수은	2	2		
72	75-09-2	디클로로메탄	1B			
73	75-28-5	아이소뷰테인	1A****	1B****		
74	75-28-5	2-Methylpropane	1A****	1B****		
75	75-56-9	1,2-에폭시프로판	1B	1B		
76	7664-93-9	황산	1A			
77	77-09-8	페놀프탈레인	1B	2		✓
78	7789-00-6	Potassium chromate	1A	1B		
79	7803-49-8	히드록실아민	2			
80	78-87-5	1,2-디클로로프로판	1A			
81	8008-20-6	케로젠	2			
82	8009-03-8	페트롤라툼	1B			
83	8032-32-4	브이엠 및 피 나프타	1B**	1B**		
84	8052-41-3	스토다드 솔벤트	1B**	1B**		

연 번	카스번호	물질명	발암성	변이 원성	생식 독성	내분비계 교란성
85	9016-45-9	Nonylphenol ethoxylate				✓
86	91-20-3	나프탈렌	1B			
87	96-29-7	2-부타논 옥심	2			
88	98-82-8	큐멘	1B			
89	99-76-3	메틸 파라벤				✓
*석면 함유인 경우, **벤젠 0.1% 이상 함유인 경우, ***PAHs 함유인 경우, ****벤조[a]파이렌 함유인 경우, *****1,3-부타디엔 0.1% 함유인 경우, *****알코올 음료인 경우						

고독성물질을 하나 이상 함유하는 제품(이하 고독성제품)은 총 882개로 나타났다. 용도별로 보면 용접 및 납땜 재료가 22.4%(198개)로 가장 높은 비율을 차지하였다. 기타 스프레이 윤활제/방청제 13.3%(117개), 접착제/실러/실런트 10.4%(92개), 윤활유/그리스/작동유 10.1%(89개) 순서로 나타났다(표 III-42).

<표 III-42> 고독성제품의 용도별 현황

제품용도	제품수(개)	비율(%)
가스	9	1.0
광택제/연마제	3	0.3
기타	6	0.7
도료 및 안료(스프레이 제품 제외)	73	8.3
세척제/세정제	68	7.7
수처리제	2	0.2
스프레이 도료	77	8.7
스프레이 윤활제/방청제	117	13.3
시약	43	4.9
신너/희석제	30	3.4
연료	38	4.3
용접 및 납땜 재료	198	22.4
윤활유/그리스/작동유(스프레이제품 제외)	89	10.1
잉크/마커	0	0.0
접착제/실러/실런트	92	10.4
침투탐상제	37	4.2
계	882	100.0

사업장별로 고독성제품 현황을 살펴보면(표 III-43), 운탄 설비 사업장(협력사A, 협력사G)은 용접 및 납땜 재료와 윤활유/그리스/작동유, 발전 운영 사업장(OO발전본부)은 시약, 발전 설비 유지보수 사업장(협력사B, C, E)은 용접 및 납땜 재료, 연료환경 설비 사업장(협력사F)은 윤활유/그리스/작동유, 청소 용역 사업장(협력사D)은 세척제/세정제가 가장 높은 비율을 차지하고 있었다.

그러나, 고독성물질 중 33종은 특정 물질이 특정 함량 이상 함유한 경우(예: 부탄은 1,3-부타디엔 0.1% 이상 함유인 경우 발암성 1A)에 발암성이나 변이원성으로 분류되는 것이므로, 향후 위험성평가에서 33종 물질에 대해 고려할 필요가 있다.

<표 III-43> OO발전소 각 사업장의 용도별 고독성제품 현황

제품용도	OO발전 본부	협력사A	협력사B	협력사C	협력사D	협력사E	협력사F	협력사G	계
가스	5	1	1	1	0	1	0	0	9
광택제/연마제	0	0	0	0	0	3	0	0	3
기타	2	1	0	0	0	3	0	0	6
도료 및 안료(스프레이 제외)	19	10	0	2	0	34	8	0	73
세척제/세정제	14	5	4	15	2	23	5	0	68
수처리제	2	0	0	0	0	0	0	0	2
스프레이 도료	16	22	0	9	0	25	5	0	77
스프레이 윤활제/방청제	28	13	5	21	0	40	10	0	117
시약	43	0	0	0	0	0	0	0	43
신너/희석제	7	1	0	1	0	16	5	0	30
연료	13	3	0	5	0	8	8	1	38
용접 및 납땜 재료	2	24	47	20	0	92	13	0	198
윤활유/그리스/작동유(스프레이제외)	15	9	5	14	0	11	32	3	89
잉크/마커	0	0	0	0	0	0	0	0	0
접착제/실러/실런트	20	9	0	27	0	31	5	0	92
침투탐상제	5	0	3	15	0	12	2	0	37
계	191	98	65	130	2	299	93	4	882

4) 사용제품의 위험성평가 결과(고독성제품 중심)

OO발전소 내 협력사 중 다양한 종류의 화학제품을 가장 많이 사용하고 있는 협력사E를 선정하여 고독성제품에 한하여 위험성평가를 실시하였다. 고용노동부고시(제2017-36호)에 따라 노출수준과 유해성의 곱셈법으로 위험수준을 결정하였고, 노출수준은 ‘방법 3(하루 취급량 및 비산성/휘발성 조합)’을 적용하였다.

협력사E 7개 부서의 고독성제품은 총 299개였고, 사용현황을 재확인한 결과, 현재 사용 중 제품 217개, 보관 중 25개, 폐기예정 15개, 현장에 없는 제품이 41개로 파악되었다.

따라서 위험성평가는 고독성제품이면서 현재 사용 중인 217개 제품에 대해 실시하였다. 고독성제품이 아니어도 협력사E에서 주로 사용하는 화학제품을 위험성평가 대상으로 추가하고자 하였으나, 주요 사용제품이 고독성제품에 해당되어 별도로 추가하지 않았다. 현재 사용 중인 217개 제품 중 5개 제품의 사용량 정보가 파악되지 않아 제외하였으며, 최종 212개 제품에 대하여 위험성평가를 실시하였다.

협력사E는 일상 작업 시 화학물질을 간헐적으로 소량 사용하지만, 대정비시 하루 사용량이 ‘중(kg, L 단위 사용)’까지 많아지는 것으로 파악되었다. 따라서 화학물질의 최고노출 상황을 평가하고자 하루 최대 사용량 정보로 위험성평가를 실시하였다. 그 결과, 허용불가위험 80개(37.7%), 중대한 위험 99개(46.8%), 상당한 위험 31개(14.6%), 경미한 위험 2개(0.9%)로 나타났다(표 III-44, 45).

<표 III-44> 협력사E 위험성평가 결과

제품용도	경미한 위험	상당한 위험	중대한 위험	허용불가 위험	계
광택제/연마제		3			3
기타			1		1
도료 및 안료		10	8	4	22
세척제/세정제			11	4	15
스프레이 도료			17	5	22
스프레이 윤활제/방청제			28	2	30
신너/희석제	2	3		3	8
용접 및 납땜 재료			23	61	84
윤활유/그리스/작동유		3			3
접착제/실러/실런트		12	2	1	15
침투탐상제			9		9
계	2	31	99	80	212

허용불가 위험 제품 중 대부분은 용접 및 납땜 재료였으며, 이는 대정비시 니켈과 크롬 함량이 높은 스테인리스 용접 등 특수강 용접재료를 많이 사용하는 작업 특성이 반영된 결과이다. 향후 특수강 용접 작업 시 니켈과 크롬(6가 크롬 포함)에 대한 작업환경측정이 이루어져야 한다.

도료 및 안료 3개 제품과 신너/희석제 2개 제품은 사용빈도가 매우 낮지만 (아주 가끔 사용), 한 번 사용 시 하루 최대 사용량이 ‘중’에 해당되고, 벤젠 함유 의심 물질(석유정제산물)이 함유된 제품이 있어 작업환경측정 시 벤젠 노출을 확인하는 것이 필요하다.

신너/희석제 중 연1회 이상 사용하는 에나멜 신나는 구성성분이 거의 모두 고독성물질에 해당되며, 그 함량은 벤젠 0.1-0.5%, 벤젠 함유 의심 석유정제산물 40-45%, 톨루엔 1-5%, 에틸벤젠 0.1-1%, 헥산 1-5%이다. 에나멜 신나는 하루 사용량도 ‘중’으로 많아 제품 대체 등 즉각적인 조치가 필요하다.

<표 III-45> 협력사E 허용불가위험 제품(용접 및 납땜 재료 제외)

제품용도	제조사	제품	카스번호	물질명	함량(%)	발암성	변이 원성	생식 독성	내분비계 교란성
도료 및 안료 (스프레 이 제품 제외)	케이씨씨	PC280(TYPE1)-GREY (하절)(SJ)	100-42-5	스티렌	15-15.6	1B			✓
			13463-67-7	이산화티타늄	1-1.2	2			
			136-52-7	옥토산 코발트	<0.5				
			14807-96-6	소우프스톤	52-52.6	1A*			
			영업비밀	영업비밀	29-31				
		센스멜골드-백색	108-10-1	메틸 이소부틸 케톤	0.1-<0.3				
			13463-67-7	이산화티타늄	25-25.6	2			
			616-38-6	다이메틸 카르보네이트	5.469				
			64742-82-1	수소탈황화된 중질 나프타 (석유)	30-40	1B**	1B**		
			68605-22-1	Fatty acids, soya polymers with benzoic acid, glycerol, pentaerythritol and phthalic anhydride	30-40				
			96-29-7	2-부타논 옥심	<0.5				
			영업비밀	영업비밀	1-10				
		센스멜조합-적갈색	108-10-1	메틸 이소부틸 케톤	0-0.1				
			1309-37-1	산화철	1-7.7				
			1317-65-3	탄산칼슘	10-19.2				
			136-52-7	옥토산 코발트	0-0.1				
			64742-48-9	수소처리된 중질 나프타 (석유)	0-1	1B**	1B**		

제품용도	제조사	제품	카스번호	물질명	함량(%)	발암성	변이 원성	생식 독성	내분비계 교란성
			64742-82-1	수소탈황화된 중질 나프타 (석유)	30-40	1B**	1B**		
			68552-41-0	지방산, 소아, 폴리머 위드 벤조 산, 펜타에트리올, 프탈 무수물 앤드 트리메틸올레탄	30-40				
			96-29-7	2-부타논 옥심	0-1	2			
			영업비밀	영업비밀	1-10				
세척제/ 세정제	경도엔터프라이즈	Super Dye-Check Remove KD-RT(R1-3)	106-97-8	부탄	10-20	1A*****	1B*****		
			142-82-5	헵탄	50-60				
			74-98-6	프로페인	30-40				
	남방CNA	EMC-100A	108-87-2	메틸시클로헥산	10-20				
			142-82-5	헵탄	1-2				
			2452-99-5	1,2-Dimethylcyclopentane	1-5				
			2453-00-1	1,3-다이메틸사이클로펜탄	1-5				
			589-34-4	3-메틸헥산	5-15				
			591-76-4	2-메틸헥산	5-15				
			64742-47-8	수소처리된 경질 정제유 (석유)	10-20				
			75-09-2	디클로로메탄	25-35	1B			
	남방CNA	MEGA CHECK 세척액 (CLEANER)	106-97-8	부탄	30-40	1A*****	1B*****		
			108-87-2	메틸시클로헥산	15-25				
			142-82-5	헵탄	1-2				
			2452-99-5	1,2-Dimethylcyclopentane	1-5				

제품용도	제조사	제품	카스번호	물질명	함량(%)	발암성	변이 원성	생식 독성	내분비계 교란성
			2453-00-1	1,3-다이메틸사이클로펜탄	1-5				
			589-34-4	3-메틸헥산	10-20				
			591-76-4	2-메틸헥산	5-15				
			74-98-6	프로페인	5-15				
	남방CNA	P-840	106-97-8	부탄	25-35	1A ^{*****}	1B ^{*****}		
			13674-84-5	1-클로로-2-프로판올 인산	1-3				
			61790-48-5	설펜산 바륨 석유	1-5				
			64742-47-8	수소처리된 경질 정제유 (석유)	40-50				
			64742-54-7	수소처리된 중질 파라핀 정제유 (석유)	1-10	1B ^{***}			
			74-98-6	프로페인	5-15				
스프레이 도료	럭키산업	럭키 Lacquer Spray (백색)	108-88-3	톨루엔	1-5			2	
			111-76-2	2-부톡시에탄올	1-2	2			
			115-10-6	다이메틸 에테르	30-40				
			123-86-4	초산 부틸	1-3				
			13463-67-7	이산화티타늄	10-15	2			
			67-64-1	아세톤	10-15				
			74-98-6	프로페인	1-5				
			79-20-9	초산 메틸	1-5				
			9004-70-0	나이트로셀룰로스	1-5				
			자료없음	Alkyd resin	10-15				

제품용도	제조사	제품	카스번호	물질명	함량(%)	발암성	변이 원성	생식 독성	내분비계 교란성
	럭키산업	럭키 Lacquer Spray (은색)	108-88-3	톨루엔	20-30			2	
			115-10-6	다이메틸 에테르	30-40				
			64742-16-1	석유탄화수소 수지	10-15				
			7429-90-5	알루미늄	10-15				
			74-98-6	프로페인	5-10				
	럭키산업	럭키 Lacquer Spray (황색)	108-88-3	톨루엔	1-5			2	
			111-76-2	2-부톡시에탄올	1-2	2			
			115-02-6	아자시린	30-40	2			
			123-86-4	초산 부틸	1-3				
			13463-67-7	이산화티타늄	1-5	2			
			5567-15-7	C.I. 색소 황색 83	1-5				
			67-64-1	아세톤	10-15				
			68526-21-6	지방산, 2분자 중합체	10-15				
			74-98-6	프로페인	1-5				
			7727-15-3	브로민화 알루미늄, 무수물	1-5				
			79-20-9	초산 메틸	1-5				
			9004-70-0	나이트로셀룰로스	1-5				
	럭키산업	럭키 Lacquer Spray (흑색)	108-88-3	톨루엔	1-5			2	

제품용도	제조사	제품	카스번호	물질명	함량(%)	발암성	변이 원성	생식 독성	내분비계 교란성
			111-76-2	2-부톡시에탄올	1-2	2			
			115-10-6	다이메틸 에테르	30-40				
			123-86-4	초산 부틸	1-3				
			1333-86-4	카본블랙	10-15	2			
			67-64-1	아세톤	10-15				
			68526-21-6	지방산, 2분자 중합체	10-15				
			74-98-6	프로페인	1-5				
			79-20-9	초산 메틸	1-5				
			9004-70-0	나이트로셀룰로스	1-5				
	럭키산업	럭키 락카 스프레이(진청)	111-76-2	2-부톡시에탄올	0-5	2			
			115-10-6	다이메틸 에테르	25-30				
			123-86-4	초산 부틸	0-5				
			1330-20-7	크실렌	5-10				
			13463-67-7	이산화티타늄	0-5	2			
			2429-74-5	C.I. 직접 블루 15	0-5	2			
			74-98-6	프로페인	10-15				
			79-20-9	초산 메틸	25-30				
			9004-70-0	나이트로셀룰로스	0-5				
			자료없음	Alkyd resin	10-15				
			자료없음	Other	0-5				

제품용도	제조사	제품	카스번호	물질명	함량(%)	발암성	변이 원성	생식 독성	내분비계 교란성
스프레이 윤활제/ 방청제	나바캠	G-LUB 10M	106-97-8	부탄	65-75	1A ^{*****}	1B ^{*****}		
			108-87-2	메틸시클로헥산	15-25				
			63148-62-9	폴리다이메틸실록산	5-15				
	벡스인터코퍼 레이션	WD-40 에어로졸 캔	106-97-8	부탄	28-32	1A ^{*****}	1B ^{*****}		
			64742-47-8	수소처리된 경질 정제유 (석유)	35-45				
			64742-65-0	솔벤트-탈락스된 중질 파라핀 정제유 (석유)	10-15	1B ^{**}			
			74-98-6	프로페인	8-12				
신너/희 석제	노루페인트	에폭시 신나 DR-100L	100-41-4	에틸벤젠	1-10	2			
			108-88-3	톨루엔	60			2	
			111-76-2	2-부톡시에탄올	13	2			
			64742-95-6	솔벤트 나프타 (석유), 경질 방향족화합물	8	1B ^{**}	1B ^{**}		
			71-36-3	n-부틸알코올	10				
	신동페인트 공업	에나멜 신나	100-41-4	에틸벤젠	0.1-1	2			
			108-88-3	톨루엔	1-5			2	
			110-54-3	헥산	1-5			2	
			1330-20-7	크실렌	1-5				
			64741-46-4	경질 나프타	40-45	1B ^{**}	1B ^{**}		
			64742-48-9	수소처리된 중질 나프타 (석유)	40-45	1B ^{**}	1B ^{**}		
			71-43-2	벤젠	0.1-0.5	1A	1B		

*석면 함유인 경우, **벤젠 0.1% 이상 함유인 경우, ***PAHs 함유인 경우, ****벤조[a]파이렌 함유인 경우, *****1,3-부타디엔 0.1% 함유인 경우, *****알코올 음료인 경우

세척제/세정제 중 협력사E의 주요 사용제품이기도 한 EMC-100A는 디클로로메탄을 25-35% 함유하고 있고, 사용량이 많아('중') 허용불가 위험으로 평가되었다. 그러나 이미 현장에서는 디클로로메탄이 함유되지 않은 다른 제품(EMC-100A J타입)으로 대체된 상태였고, MSDS를 최신화하지 않아 사용 중인 제품으로 간주된 사례였다. 그러나 제품명이 매우 흡사하여 이전 제품이 현장에서 사용될 수 있으므로, 대체 제품만 사용될 수 있도록 관리가 필요하다.

나머지 제품 중 5개 제품은 부탄(1,3-부타디엔 0.1% 함유인 경우)과 석유정제산물(PAHs 함유인 경우)로 인해 위험수준이 높게 평가된 경우로 제조사에 해당물질 함유 여부 확인 후 재평가하는 것이 바람직하다.

5) 소결

발전소 내에서 사용하는 모든 화학제품 인벤토리 및 MSDS를 취합한 후 톡스프리(toxfree.kr)를 사용하여 제품DB를 구축하여 유해성 평가를 실시한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 발전본부와 협력사 7곳에서 사용하고 있는 전체 화학제품은 총 1,725개였고, 시약이 265개(15%)로 가장 많았으며, 그 다음으로 용접 및 납땜 재료 247개(14%), 윤활유/그리스/작동유 218개(13%), 세척제/세정제 180개(10%) 순이었다.

(2) 사용하는 화학제품 중 발암성, 변이원성, 생식독성, 내분비계교란성 물질(이하 고독성물질) 함유 여부를 평가한 결과 고독성물질의 종류는 벤젠 등 89종으로 나타났다. 그러나 이 중 33종은 특정 물질이 특정 함량 이상 함유한 경우(부탄: 1,3-부타디엔 0.1% 이상 함유인 경우 발암성 1A)에 발암성이나 변이원성으로 분류되는 것이어서 실제 작업과정에서 문제될 수 있는 고독성 물질은 대폭 줄어들 것으로 추정된다.

(3) 고독성물질을 하나 이상 함유하는 제품(이하 고독성제품)은 총 882개로 나타났으며, 용도별로 보면 용접 및 납땜 재료가 22.4%(198개)로 가장 높은 비율을 차지하였다. 기타 스프레이 윤활제/방청제 13.3%(117개), 접착제/실러/실런트 10.4%(92개), 윤활유/그리스/작동유 10.1%(89개) 순서로 나타났다.

(4) 이와 같은 협력사E를 대상으로 고독성 물질에 대해 유해성과 사용량 정보 등을 바탕으로 실시된 위험성 평가결과를 요약하면 다음과 같다.

- ① 허용불가 위험 80개(37.7%), 중대한 위험 99개(46.8%), 상당한 위험 31개(14.6%), 경미한 위험 2개(0.9%)로 나타났다.
- ② 허용불가 위험 제품 중 특수강 용접 작업 시 니켈과 크롬(6가 크롬 포함),
- ③ 도장 작업시(도료 및 안료, 신너/희석제 사용 작업) 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠
- ④ 세척 작업시 디클로로메탄(대체되었으나 지속적인 확인 필요), 1,3-부타디엔에 대한 측정과 지속적인 관리(대체 제품 고려)

4. 벌크시료 분석 결과

1) 분석 대상

벌크시료 분석은 석탄화력발전소의 전반적인 작업과정에 발생하는 분진의 유해성분을 분석하기 위한 목적이다. 이를 통해 향후 작업환경측정에서 공기 중 노출평가 항목의 미진한 부분을 보완할 수 있을 것이다.

석탄화력발전소의 가장 중요한 유해물질 발생원은 유연탄이다. 또한 보일러에 투입되기 직전 원료로 고형화된 우드펠릿이나 하수슬러지가 투입된다. 이러한 특성을 고려하여 벌크시료는 크게 석탄분진(보일러 투입 이전의 퇴적분진)과 회분진(보일러 연소 이후의 퇴적분진), 그리고 고형원료로 구분하여 채취하였다 (표 III-46, 47).

<표 III-46> 벌크 분석을 위한 작업장 내 퇴적분진 시료 채취 장소

시료 ID	설비명	채취장소	노출 상황	비고
B-1	저탄장 B/C #14	저탄장 B/C #14 하부 퇴적분진	컨베어 점검 시 노출	보일러 투입 이전의 탄분진
B-2	브랜딩 빌딩-02	B/C-#26F 하부	상탄할 때 노출됨	
B-7	2발전소 보일러 4-5호기	콜사일로 상부층 B/C #28하부 퇴적분진	컨베어 점검 및 유지보수 작업	
B-8		트리퍼룸 바닥 퇴적분진1	"	
B-9		트리퍼룸 바닥 퇴적분진2	"	
B-10		트리퍼룸 도어 입구쪽 B/B하부 퇴적분진	"	
B-11	3발전소 7-8호기	8호기 집진기 1층 퇴적 분진	"	보일러 연소 이후의 회분진
B-12		7호기 집진기 호퍼 내부	바닥 청소 및 유지보수 시 노출	
B-13		보일러 7호기 bottom ash 저장소	시료채취 시 노출	
B-14		7,8호기 fly ash 저장소(시료1)	호퍼에서 수송차량 상차 시 노출	
B-15		7,8호기 fly ash 저장소(시료2)		

<표 III-47> 벌크 분석을 위한 고품원료 시료 채취 현황

시료 ID	제품명	회사명	용도
B-3	우드펠릿	와이앤알	보일러 고품원료로 사용
B-4		선이루핀	
B-5	하수슬러지	골든	
B-6		진에어택	

2) 분석 결과

(1) 퇴적분진

보일러 투입 이전의 석탄분진 중 가장 많은 함량을 보인 중금속은 알루미늄으로 평균 4,398 mg/kg으로 나타났다. 다음으로 아연(343.37 mg/kg), 망간(114.94 mg/kg), 구리(54.43 mg/kg), 크롬(22.09 mg/kg), 니켈(15.27 mg/kg), 납(12.22 mg/kg), 코발트(4.66 mg/kg) 순이었다. 기타 카드뮴, 비소는 극히 일부 시료에서만 미량 검출되었다(표 III-48).

보일러 연소 이후인 회분진도 석탄분진과 비슷한 중금속 분포를 보이고 있으나, 함량 농도는 다소 차이가 있었다. 크롬, 납, 니켈, 아연 등은 함량이 감소하였으며, 비소, 망간 농도는 상당 부분 증가하였다. 특히 비소는 탄분진에서는 1개 시료를 제외한 모든 시료에서 불검출이었으나 회분진 시료에서는 미량이지만 대부분 검출되었다(표 III-49).

(2) 고형원료

고형원료의 경우 우드펠릿과 하수슬러지 모두에서 비소는 검출되지 않았고, 카드뮴은 우드펠릿에서는 검출되지 않았으나 하수슬러지에서는 2.52 mg/kg으로 미량 검출되었다. 기타 나머지 중금속들은 탄 및 회분진의 구성성분과 비슷하였다. 다만 전체적으로 우드펠릿에 비해 하수슬러지의 중금속 함량 비율이 모든 항목에서 높은 수준을 보였다(표 III-50).

이와 같은 특성을 고려한다면 향후 고형원료 작업자를 대상으로 한 작업환경측정 시에는 중금속 노출평가가 이루어져야 하며, 고형원료 구입 시 중금속 성분 분석 자료를 요구하여 독성학적인 평가를 거친 후 구매 여부를 결정해야 할 것으로 보인다.

<표 III-48> 보일러 투입 이전의 퇴적분진(탄분진) 벌크시료 분석 결과

시료 ID	시료채취장소		농도 (mg/kg)										
			Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Fe
B-1	저탄장 B/C #14	저탄장 B/C #14 하부 퇴적분진	1,270.67	ND	ND	5.84	5.22	13.60	144.26	6.74	8.97	20.66	1.15
B-2	브랜딩 빌딩-02	B/C-#26F 하부	13,746.51	ND	0.83	3.86	75.33	216.81	191.59	40.09	25.05	528.58	1.26
B-7	2발전소	콜사일로 상부층 B/C #28 하부 퇴적분진	2,665.96	1.41	ND	4.13	13.81	27.13	83.52	12.20	8.32	90.82	0.93
B-8	보일러	트리퍼룸 바닥 퇴적분진1	4,181.46	ND	ND	4.88	17.31	31.95	103.61	11.98	13.59	687.21	1.15
B-9	4-5호기	트리퍼룸 바닥 퇴적분진2	3,180.02	ND	ND	4.30	15.49	25.28	98.72	11.69	11.18	704.67	1.09
B-10		트리퍼룸 도어 입구 쪽 B/B 하부 퇴적분진	1,345.32	1.58	ND	4.93	5.39	11.79	67.91	8.94	6.18	28.27	0.62
평균			4,398.32	0.50	0.14	4.66	22.09	54.43	114.94	15.27	12.22	343.37	1.03
LOD(검출한계)			23.80	1.05	0.19	0.18	0.39	0.44	1.37	0.15	0.37	0.47	0.0025

<표 III-49> 보일러 투입 이후의 퇴적분진(회분진) 벌크시료 분석 결과

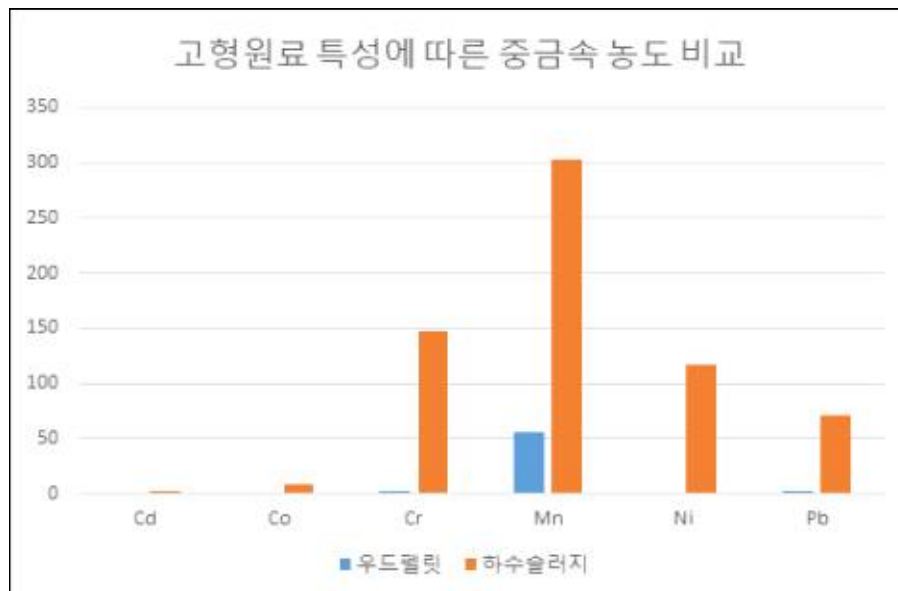
시료 ID	시료채취장소		농도 (mg/kg)										
			Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Fe
B-11	3발전소 7-8호기	8호기 집진기 1층 퇴적 분진	8,123.74	2.88	ND	3.38	7.14	14.36	177.71	8.86	1.77	24.42	1.18
B-12		7호기 집진기 호퍼 내부	7,855.75	21.53	ND	4.72	12.80	29.77	217.28	12.80	5.34	29.60	1.66
B-13		보일러 7호기 bottom ash 저장소	1,090.66	ND	ND	0.91	ND	8.15	80.30	3.15	0.52	2.42	0.50
B-14		7,8호기 fly ash 저장소(시료 1)	8,597.42	12.35	ND	7.04	7.87	27.89	237.19	12.02	8.87	44.18	1.38
B-15		7,8호기 fly ash 저장소(시료 2)	8,891.51	12.57	ND	7.06	8.00	28.50	240.97	11.70	8.77	44.92	1.43
평균			6,911.82	9.87	0.00	4.62	7.16	21.73	190.69	9.71	5.05	29.11	1.23
LOD(검출한계)			23.80	1.05	0.19	0.18	0.39	0.44	1.37	0.15	0.37	0.47	0.0025

<표 III-50> 고휘원료 벌크시료 분석 결과

시료 ID	시료채취장소		농도 (mg/kg)										
			Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Fe
B-3	우드펠릿	와이앤알	253.73	ND	ND	ND	1.31	2.55	48.42	ND	2.76	11.71	0.11
B-4		선이루핀	457.36	ND	ND	0.43	2.28	3.43	64.73	1.63	2.46	17.84	0.11
평균			355.55	ND	ND	0.22	1.80	2.99	56.58	0.82	2.61	14.78	0.11
B-5	하수슬러지	골든	33323.79	ND	1.15	4.39	96.25	428.59	305.28	67.66	25.90	1,144.63	2.06
B-6		진에어택	8205.35	ND	3.88	13.85	198.79	595.59	300.65	167.28	117.31	1,249.57	1.72
평균			20,764.57	ND	2.52	9.12	147.52	512.09	302.96	117.47	71.61	1,197.10	1.89
LOD(검출한계)			23.80	1.05	0.19	0.18	0.39	0.44	1.37	0.15	0.37	0.47	0.0025



[그림 III-11] 퇴적분진 특성에 따른 중금속 농도 비교



[그림 III-12] 고형원료 종류에 따른 중금속 농도 비교

3) 소결

(1) 보일러 투입 이전의 석탄분진 중 가장 많은 함량을 보인 중금속은 알루미늄이었으며, 기타 아연, 망간, 구리, 크롬, 니켈, 납, 코발트 순서였다. 기타 카드뮴, 비소는 일부 시료에서만 미량 검출되었다.

(2) 보일러 연소 이후인 회분진도 석탄분진과 비슷한 중금속 분포를 보이고 있으나 함량 농도는 다소 차이가 있었다. 크롬, 납, 니켈, 아연 등은 함량이 감소하였으며, 비소, 망간 농도는 상당 부분 증가하였다.

(3) 고품원료는 우드펠릿과 하수슬러지 모두에서 비소는 검출되지 않았고, 카드뮴은 우드펠릿에서는 검출되지 않았으나 하수슬러지에서는 미량 검출되었다. 기타 나머지 중금속들은 탄 및 회분진의 구성성분과 비슷하였다. 다만 전체적으로 우드펠릿에 비해 하수슬러지의 중금속 함량 비율이 모든 항목에서 높은 수준을 보였다.

(4) 이와 같은 특성을 고려한다면 향후 고품원료 작업자를 대상으로 한 작업환경측정 시에는 중금속 노출평가가 이루어져야 하며, 고품원료 구입 시 중금속 성분 분석 자료를 요구하여 독성학적인 평가를 거친 후 구매 여부를 결정해야 할 것으로 보인다.

(5) 결론적으로 벌크시료에서 확인된 중금속 성분 중 비소와 코발트는 그동안 측정되지 않았고, CMR 물질에 해당되는 고독성물질이므로 향후 작업환경 측정 항목에 반영되어야 할 것으로 보인다.

5. 보완적 작업환경측정 결과

1) 목적

법적인 규정에 의한 기존 작업환경측정과 달리 보완적 측정은 다음과 같은 목적으로 진행하였다.

- 벨크시료에서 분석된 유해인자들이 실제 작업 중 작업자에게 노출되는지 확인
- 기존 작업환경측정에서 낮은 농도로 측정된 대부분의 유해인자들이 고노출 상황으로 추정되는 작업과정에서도 낮은 농도로 노출되는지 확인
- Worst case로 추정되는 작업 상황이 실제 작업환경측정에 반영되는지 확인
- 이와 같은 결과들을 바탕으로 포괄적 측정에 반영되어야 할 측정전략 제안

2) 측정 대상

측정 대상은 유해인자 발생원 측면에서 탄분진, 회분진, 용접흄, 세척제에 노출되는 작업, 그리고 작업 특성 측면에서는 일상점검 및 유지보수작업과 대정비작업이 반영되도록 선정하였다(표 III-51).

<표 III-51> 작업환경측정 대상 선정 기준

유해인자 발생원	작업영역	분석 물질
일상점검 및 유지보수작업	▪ 탄분진 노출 작업 ▪ 회분진 노출 작업 ▪ 자연발화 진화 작업	▪ 결정형 유리규산 ▪ 각종 중금속(수은 제외) ▪ 휘발성유기화합물
대정비 작업	▪ 탄분진 노출 작업 ▪ 회분진 노출 작업 ▪ 세척 작업	▪ 결정형 유리규산 ▪ 각종 중금속(수은 제외) ▪ 각종 유기화합물

그러나 실제 측정 당일에는 용접 작업이 없어 측정하지 못하였으며, 저탄장 자연발화 진화 작업을 대상으로 휘발성유기화합물을 측정하였다.

각각 작업 단위는 가능한 최고노출 상황을 고려하여 선정하였다(표 Ⅲ-52).

<표 Ⅲ-52> 작업환경측정 대상 작업

구분	석탄분진 노출작업	회분진 노출작업	유기화합물 노출작업	
			세척제	기타
일상 점검 및 보수 작업	▪ 갤러리 및 트리퍼 점검 ▪ 상탄 및 낙탄 관리 ▪ 상탄라인 벨트 화기 (용접) 및 고소 작업	-	▪ 모터 세척 작업	▪ 옥외저탄장 자연발화 진화 작업
대정비 작업	-	▪ 블로어 분해 및 세척 작업 ▪ 크러셔타워 안전관리 ▪ A/H 호퍼 내부 점검 ▪ 슈트 블로어(Soot blower) 정비 작업 ▪ Lance tube 두께 측정	-	-

3) 측정 결과

(1) 석탄 및 회분진 노출 작업

가) 중금속

석탄 및 회분진에 노출되는 공기 중 중금속 분석 결과는 <표 III-53>과 같다.

공기 중 노출평가의 목적은 벌크시료에서 확인된 유해인자가 실제 작업자에게도 노출되는지를 평가하는 것이다. 석탄의 보일러 투입 이전과 이후로 구분하여 석탄분진 및 회분진에 노출될 가능성이 높은 작업을 선정하여 측정하였다.

측정 결과 벌크시료에서 미량이나마 확인되었던 비소, 카드뮴, 코발트, 납 등은 검출되지 않거나 극히 일부 시료에서 극미량(μg 단위)의 노출 농도가 확인되었다. 기타 철 성분을 제외한 니켈, 크롬, 아연, 망간 등의 중금속들은 대부분의 시료에서 검출되었으나 노출농도는 매우 낮은 수준이었다.

이와 같은 측정 결과는 석탄분진이나 회분진 모두 동일한 경향을 보였다. 처음에 우려했던 것처럼 고독성 중금속인 비소, 코발트, 카드뮴, 니켈, 납 등의 작업자 노출수준이 매우 낮을 가능성이 높을 것으로 추정된다.

그러나 이번 연구에서 이루어진 보완적 측정은 극히 일부 작업을 대상으로 측정이 이루어졌고, 피측정자(작업자)의 작업 내용과 필터에 흡착된 분진 상황으로 볼 때 고노출 가능 작업(worst case)이 선정되지 않았을 가능성이 매우 높다.

따라서 고독성 중금속 노출 가능성에 대한 결론은 추후 피측정자 선정 전략을 달리하거나 보완적인 지역 시료 병행 측정 등을 통해 추가적인 평가가 이루어져야 할 것이다.

<표 III-53> 공기 석탄 및 회분진 내 공기 중 중금속 노출농도 평가 결과

단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

구분	공정	작업내용	공기량 (L)	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
석탄분진 노출 작업	2발전소 상탄라인	갤러리 점검	401.6	30.354	ND	ND	0.020	0.339	ND	50.847	0.844	0.065	0.164	1.967
			419.6	1.954	ND	ND	ND	0.184	ND	4.934	0.098	ND	ND	0.353
			405.6	40.506	ND	ND	0.037	0.301	ND	75.909	1.233	0.072	0.049	2.712
			423.8	2.926	ND	ND	ND	0.243	ND	7.292	0.380	ND	ND	0.630
		상탄 관리	838.0	2.315	ND	ND	ND	0.122	ND	4.976	0.099	ND	ND	0.149
			827.2	4.606	ND	ND	ND	0.120	ND	9.260	0.191	ND	ND	0.490
		낙탄 관리	853.6	7.416	ND	ND	ND	0.118	ND	14.269	0.238	ND	ND	0.292
			853.4	6.340	ND	ND	ND	0.128	ND	11.460	0.200	ND	ND	0.266
		상탄 벨트라인 일상정비 - 화기작업(용접)	599.4	4.271	ND	ND	ND	0.287	0.038	44.645	0.592	0.093	ND	3.797
			621.7	1.769	ND	ND	ND	0.200	ND	9.458	0.175	0.032	ND	0.725
			607.0	4.695	ND	ND	ND	0.295	ND	32.736	0.465	0.064	0.188	2.265
	3발전소 상탄라인	상탄 벨트라인 일상정비 - 고소작업	619.8	8.647	ND	ND	ND	0.266	ND	14.004	0.418	0.058	ND	1.365
			592.9	5.549	ND	ND	ND	0.186	ND	8.922	0.151	ND	ND	0.648

단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

구분	공정	작업내용	공기량 (L)	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
회분진 노출 작업	8호기 보일러	블로어 분해 및 세척	787.1	1.588	ND	ND	ND	0.212	0.341	41.581	0.327	0.055	ND	0.643
		크러셔타워 안전관리	820.8	8.614	ND	ND	ND	0.259	ND	24.380	0.386	0.066	0.034	1.376
		A/H 호퍼 내부 점검	777.5	16.541	ND	ND	ND	0.152	0.061	15.885	0.302	0.036	ND	0.765
		Soot blower 정비	642.0	5.654	ND	ND	ND	0.033	0.125	7.641	0.129	0.043	0.067	1.780
			639.9	8.388	ND	ND	ND	0.031	0.229	12.239	0.217	0.076	0.098	3.134
		Lance tube 두께 측정	628.5	8.735	ND	ND	0.014	0.075	0.108	12.903	0.218	0.072	0.124	3.254
			609.5	7.301	ND	ND	ND	0.061	0.094	9.647	0.166	0.062	0.102	2.742
		LOD(검출한계)				0.035	0.083	0.012	0.014	0.009	0.022	0.060	0.005	0.028

나) 결정형 유리규산

석탄 및 회분진에 노출되는 공기 중 결정형 유리규산 측정 결과는 <표 III-54>와 같다. 기존 작업환경측정에서는 결정형 유리규산을 FTIR법으로 분석하였고, 대부분 '불검출'로 나타났다. 그러나 FTIR법으로 정량분석시 비결정형 유리규산, 크리스토파라이트, 고령석 등에 간섭을 받을 수 있다는 연구결과를 참고하여 본 연구에서는 XRD법(NIOSH Method 7500)으로 분석하였다.

그 결과, 석탄분진 노출 작업에서는 결정형 유리규산의 농도가 ND-0.052 mg/m³의 범위를 보였고, 회분진 노출 작업에서는 대부분의 시료가 검출한계 미만이었으며, 2개 시료에서만 0.007, 0.021 mg/m³로 검출되었다.

석탄분진의 경우 상탄 벨트라인 작업에서 가장 높게 나타났는데, 노출기준의 38-104% 수준이었다. 그 외 갤러리 점검, 상탄 및 낙탄 관리 작업에서는 노출기준의 14-28% 수준이었다. 회분진의 경우 크러셔타워 안전관리는 14%, A/H 호퍼 내부 점검 작업은 42%로 나타났다. 크러셔타워 안전관리는 직접 보일러 점검 작업을 하는 것이 아니라, 중량작업으로 인해 배치된 것이었다. 다른 작업자들과 함께 보일러 내부에 상주하지만, 대정비 작업자들에 비해 노출수준은 상대적으로 낮을 것이다. 그럼에도 불구하고, 결정형 유리규산이 노출기준의 14%에 해당하는 수준으로 검출되었다. 직접 대정비 작업을 수행한 작업자들은 안전관리 작업자보다 고농도로 노출되었을 가능성이 높다.

본 연구에서 이루어진 보완적 측정은 극히 일부 작업을 대상으로 측정이 이루어졌고, 특히 회분진 노출 작업의 경우 피측정자(작업자)의 작업 내용과 필터에 흡착된 분진 상황으로 볼 때, 고노출 작업(worst case)이 선정되지 않았을 가능성이 매우 높다.

따라서 고노출 가능성에 대한 결론은 추후 피측정자 선정 전략을 달리하거나 지역 시료 채취 병행 등을 통해 추가 평가가 이루어져야 할 것이다.

<표 III-54> 결정형 유리규산 측정 결과

구분	공정	작업내용	공기량 (L)	농도(mg/m³)	노출지수 (%)
탄분진 노출 작업	2발전소 상탄라인	갤러리 점검	1046.0	0.014	28
			1041.0	0.013	26
		상탄 관리	1041.7	ND	-
			1035.4	0.009	18
		낙탄 관리	1105.2	0.007	14
			1121.9	0.011	22
			상탄 벨트라인 일상정비 - 화기작업(용접)	783.9	0.028
		754.4		0.052	104
		779.4		0.019	38
	3발전소 상탄라인	상탄 벨트라인 일상정비 - 고소작업	780.6	0.021	42
			754.3	0.027	54
회분진 노출 작업	8호기 보일러	블로어 분해 및 세척	974.4	ND	-
		크러셔타워 안전관리	1004.4	0.007	14
		A/H 호퍼 내부 점검	1020.6	0.021	42
		슈트블로어(Soot blower) 점검	783.6	ND	-
			765.7	ND	-
		Lance tube 두께 측정	772.4	ND	-
			765.7	ND	-
※ 검출한계(mg/sample): 0.005					
※ 고용노동부 노출기준(mg/m³): 0.05					

(2) 세척제 노출 작업

모터 세척시 사용된 제품은 “EMC-100A J타입”이었으며, 사전 위험성평가 결과와 법적 측정 대상 물질, 측정 및 분석 방법을 고려하여 1,2-디클로로에틸렌(트랜스), 메틸시클로hex산, 헵탄을 대상으로 선정하였다.

측정 대상 작업은 탈황 전기 설비를 점검하고 수리하는 과정에서 전기모터를 해체한 후 세척하는 작업으로 측정 당일 약 5시간 동안 진행되었다. 작업은 해체한 모터를 작업장 바닥에 놓고 세척제 용기(20 L)에 스프레이건을 연결하여 분사한 후 걸레로 닦거나 에어건으로 마무리하는 형태였다. 작업시간 동안 약 30-40 L의 세척제를 사용하였다. 워크샵이 별도로 설치되어 운영되고 있으나, 대정비 기간 등의 사유로 측정 당일에는 작업장 내에서 진행되었다.

세척 작업 시간 동안 작업자에게서 개인시료 1개와 작업위치에서 지역시료 1개를 채취하였고, 그 결과는 <표 Ⅲ-55>와 같다.

1,2-디클로로에틸렌(트랜스)는 개인 및 지역시료에서 각 51.62 ppm, 86.77 ppm으로 검출되었고, 노출기준(200 ppm)의 약 26%, 43% 수준이었다. 메틸시클로hex산은 개인시료 0.015 ppm, 지역시료 0.027 ppm으로 노출기준의 1% 미만 수준으로 나타났다. 헵탄의 경우 모두 검출한계미만(ND)이었다.

기존 작업환경측정(2020년 상반기)에서 해당 제품을 사용한 세척 작업을 대상으로 측정한 것인지는 알 수 없지만, 모든 시료에서 1,2-디클로로에틸렌은 ‘불검출’이었으며, 메틸시클로hex산과 헵탄은 측정되지 않았다.

이번 보완적 작업환경측정을 통해 기존 측정에서 매우 낮은 농도(불검출)였던 1,2-디클로로에틸렌(트랜스)의 고노출 가능성을 확인하였다. 작업자에 따르면, 측정 당일에는 모터 해체와 세척을 함께 진행했지만, 세척만 하루 종일 하는 경우가 있어 이때는 훨씬 더 고농도로 노출될 가능성이 높다.

**<표 III-55> 세척제(EMC-100A J타입) 노출 작업의
보완적 작업환경측정 결과**

물질명	카스번호	함량 (%)	사전 위험성평가 결과				보완적 작업환경측정 결과	
			유해 성	노출 수준	위험수준		측정치 (ppm)	노출 지수 (%)
1,2-디클로로 에틸렌(트랜스)	156-60-5	25-35	2	2	4	상당한위험	51.62	25.81
							86.77	43.38
메틸시클로 hex산	108-87-2	25-35	1	1	1	경미한위험	0.015	0.004
							0.027	0.007
3-메틸hex산	589-34-4	10-20	3	1	3	상당한위험	-	-
2-메틸hex산	591-76-4	10-20	3	1	3	상당한위험	-	-
1,2-다이메틸 사이클로펜탄	2452-99-5	1-5	1	1	1	경미한위험	-	-
1,3-다이메틸 사이클로펜탄	2453-00-1	1-5	-	1	-	평가불가	-	-
헵탄	142-82-5	1-3	3	1	3	상당한위험	ND	-
							ND	-

※ 검출한계(μg/sample): 1,2-디클로로에틸렌 9.6, 메틸시클로hex산 1.8, 헵탄 2.0
 ※ 고용노동부 노출기준(ppm): 1,2-디클로로에틸렌 200, 메틸시클로hex산 400, 헵탄 400

(3) 저탄장 휘발성유기화합물 노출 작업

저탄장에서는 발암물질인 벤젠을 포함한 휘발성유기화합물이 발생할 가능성이 높다. 2019년 석탄발전소 특별노동안전조사위원회의 조사에서 옥내저탄장의 벤젠과 톨루엔 발생이 확인되었고, 특히 벤젠은 노출기준의 25% 수준(0.12 ppm)으로 검출되었다.

본 연구의 시범 사업장의 경우 옥외저탄장으로 옥내저탄장에 비해 노출수준이 낮을 것으로 예상되나, 옥외시설이라는 이유로 기존 작업환경측정에서 제외되어 보완적 작업환경측정을 통해 노출수준을 확인할 필요가 있었다. 측정기간 동안 저탄장의 대정비 작업은 없었고, 일상적 작업인 자연발화 진화 작업이 있었다. 석탄 원료가 쌓여있는 동안 자연발화가 일어나는데, 불도저로 자연발화가 발생한 지점의 석탄을 뒤집는 작업 형태였다. 자연발화가 보통 아침 시간에 심한 편이라 오전 작업시 상당한 노출이 있을 것으로 예상되었다.

측정은 이틀 동안 작업자 개인시료 2개와 불도저 지역시료 3개를 채취하였고, 측정 첫날은 오전까지 비가 와서 오후 작업만, 둘째 날은 오전부터 전체 작업시간 동안 측정하였다. 작업자에 따르면 측정기간 동안의 자연발화는 평소보다 양호한 편이었다(작업량이 적음). 측정 결과는 <표 Ⅲ-56>과 같으며, 전반적으로 매우 낮은 수준으로 검출되었다.

**<표 Ⅲ-56> 저탄장 휘발성유기화합물 노출 작업의 보완적
작업환경측정 결과(단위: ppm)**

구분	측정위치	공기량(L)	벤젠	톨루엔	자일렌
오후 작업	작업자1	32.6	0.0030	0.004	ND
	지역(불도저 밖)	31.8	ND	ND	ND
종일 작업	작업자2	62.8	0.0104	0.0050	ND
	지역(불도저 밖)	65.0	0.0085	0.0027	ND
	지역(불도저 안)	69.4	0.0099	0.0047	ND
※ 고용노동부 노출기준(ppm): 벤젠 0.5, 톨루엔 50, 자일렌 100					

그러나 발암물질인 벤젠 노출이 확인되었다. 측정기간 중 비가 왔고, 작업량이 적었음에도 불구하고, 벤젠은 노출기준의 약 1-2% 수준으로 검출되었다. 향후 작업환경측정에서 옥외시설이라는 이유로 벤젠을 대상에서 제외시키지 않아야 하며, 저탄장에서의 벤젠 노출을 지속적으로 모니터링 할 필요가 있다.

4) 소결

이번 연구에서 보완적 작업환경측정은 극히 일부 작업을 대상으로 고독성물질에 한하여 이루어졌지만, 기존 작업환경측정에서 누락·제외되었거나, 노출 수준이 매우 낮았던(불검출 등) 유해인자의 고노출 가능성을 확인하였다.

그러나 일부 피측정자(작업자)의 경우, 작업 내용과 흡입된 분진의 흡착 상황으로 볼 때 고노출 가능 작업(worst case)이 선정되지 않았을 가능성이 매우 높다. 따라서 추후 피측정자 선정 전략을 달리하거나, 지역 시료 병행 측정을 통해 추가적인 평가가 이루어져야 할 것이다.

6. 관계자 간담회 결과

1) 간담회 목적

본 간담회는 구체적인 제도개선 내용을 논의하는 자리가 아니라 제도개선 방향을 설정하기 위한 목적으로 사전 의견 수렴을 위해 다음과 같은 목적으로 진행되었다.

- 현행 측정제도의 포괄적인 문제점(측정 대상, 주기, 주체 등)에 대한 각 관계 단위의 입장을 확인
- 만약, 제도개선이 필요하다면 개선해야 할 주요방향에 대한 의견 수렴
- 만약, 포괄적 측정 제도를 도입한다면 각 단위의 입장과 우려되는 사항 수렴

이를 통해 향후 제안할 포괄적 작업환경측정 제도 개선 방향 설정에 참고하였다.

2) 참여 대상

참여 단위는 작업환경측정과 관계된 사업장, 노동조합, 측정기관, 전문가, 행정기관을 대상으로 총 13명이 참여하였다(표 Ⅲ-57).

<표 III-57> 간담회 참여 단위 및 인원

참여 단위	참여단위	참여인원
1. 노동조합 관계자	- 민주노총 노동안전실 - 한국노총 산업안전본부	3명
2. 사용자측 관계자	- 한국경총 산업안전본부 - 사업장 보건관리자	3명
3. 측정기관 관계자	- 대한산업보건협회 - 작업환경측정기관협회	3명
4. 전문가	- 대학교수	1명
5. 정부기관	- 고용노동부산업보건과 - 안전보건공단 산업보건연구원	3명
총인원		13명

3) 논의 내용

관계자 의견 수렴은 현행 측정제도에서 지적되고 있는 문제점으로 한정하였으며, 구체적인 개선 방향에 대해서는 차후 연구에서 다루어야 할 영역으로 논의 내용에서는 제외하였다.

의견 수렴 영역은 다음과 같다.

- 현행 작업환경측정제도는 개선이 필요한가?
 - 개선이 필요하다면 핵심적인 내용은 무엇인가?
- 측정대상 물질을 법적으로 규정하는 것에 대한 문제점은 없는가?
 - 문제가 있다면 대상물질은 어떻게 선정하면 좋은가?(포괄적 기준)
 - 위험성 평가를 작업환경측정에 접목하는 것에 대한 의견은?
- 측정 주기를 법적으로 규정하는 것에 대한 문제점은 없는가?
 - 문제가 있다면 주기를 어떻게 정할 것인가?
- 현행 측정은 단기간 내에 측정이 진행됨으로 인해 고노출 상황(worst case)

이 제대로 반영되지 않는데 이에 대한 생각은?

- 큰 틀에서 포괄적 측정제도 도입에 대해 어떻게 생각하는가?
 - 제도개선에 대한 의견은(찬성, 반대, 혹은 부분적 시행)?
- 각각의 입장에서 만약 제도개선이 이루어진다면 우려되는 지점은?

4) 관계자 의견

포괄적 작업환경측정 제도 도입 및 개선 방향에 대한 각 관계 단위의 의견을 요약하면 다음과 같다.

노동단체와 일부 측정기관 관계자는 측정 제도 도입에 찬성하는 의견이 있다. 단, 새로운 제도에 작업자의 참여권 강화, 전문가(측정기관) 역할 강화(측정 대상 선정 등), 그리고 사업주 개입이 최소화되는 방향으로 개선되어야 한다는 추가 의견이 있다.

경영자 단체와 일부 측정기관 관자는 현재의 측정 인프라(전문성, 사업장 개입 능력 등)를 고려할 때 포괄적 측정 제도 도입에 반대한다는 의견이다. 현행 제도에서 측정결과 보고 의무 폐지, 측정 과정의 사업주 개입 최소화, 측정기관 역할 강화 등에 대한 추가 개선의견이 있다.

전문가는 측정제도가 개선되는 것에 대해 찬성하는 의견이다. 그러나 근본적인 한계점이 먼저 개선되어야 한다. 예를 들면 측정 주체, 계약 주체, 비용 지불 주체는 모두 사업주가 가지고 있고, 실제 측정을 담당하는 측정기관은 제3자로 개입할 수 있는 여지가 거의 없어 이에 대한 개선이 우선되어야 한다는 의견이다.

IV. 결론

1. 요약

1) 측정 제도의 문제점

1981년 법적인 작업환경측정 제도 도입 이후 그동안 수차례의 제도 개선이 있어 왔으나, 여전히 측정제도에 대한 문제점 지적이 있으며, 핵심적인 문제를 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 측정 대상의 문제

측정 대상이 191종 항목으로 법적으로 정해져 있어 실제 위험성이 높은 물질임에도 측정 대상 물질에서 제외되거나 반대로 위험성이 낮은 물질임에도 매년 반복적으로 측정해야 하는 문제가 있다.

(2) 측정 주기의 문제

현재 법적인 측정 주기는 6개월에 1회를 기준으로 노출농도에 따라 3회 주기로의 단축 혹은 1년 주기로의 연장 등으로 조정이 가능하도록 되어 있다.

그러나 법적인 측정 대상 물질을 일정 기준(허용소비량) 이상 사용하게 되면 위험성 정도와 관계없이 최소 1년에 1회 이상 측정해야 한다.

따라서 위험성이 낮은 물질임에도 불구하고 매년 반복적으로 측정이 이루어지면서 측정의 효율성이 매우 낮다는 지적이 있다. 백화점식 측정을 지양하기 위해 위험성이 낮은 물질에 대해서는 측정제외 혹은 측정 주기 완화 등의 문제가 제기되고 있다.

(3) 가장 열악한 작업조건이 측정에 반영되지 않는 문제

작업환경측정은 최고 노출농도가 예측되는 가장 열악한 작업자를 대상으로 측정하는 것이 기본 원칙이다. 그러나 현행 측정 방식은 대부분이 측정 대상 사업장의 작업 특성을 고려치 않고, 계약된 특정기간(대부분 1주일 미만, 많은 경우 수 주 정도)에 측정을 마치고 그 결과가 해당 단위작업의 노출농도를 대변하게 된다.

따라서 비특이적으로 이루어지는 설비 수리작업이나 대정비 작업, 야간작업 등은 대부분이 측정에서 제외되면서 작업자들이 피부로 느끼는 위험성이 반영되지 않는 문제가 있다.

(4) 제한된 측정 건수로 인한 측정결과의 신뢰도 문제

현행 작업환경측정 시료 수는 2인 이상을 동시에 측정하도록 되어 있다(1인 일 때는 1명, 10인 이상일 때는 5명당 1명 추가). 또한 단위작업당 작업자수가 5인 미만인 경우가 대부분이다. 따라서 6개월 혹은 1년 단위로 측정된 2건 내외의 측정 결과를 가지고 그 작업의 노출 농도를 평가할 수밖에 없어 최고농도의 노출 상황 혹은 통상적인 노출 상황이 반영되지 않기 때문에 평가의 신뢰도 문제가 지적되고 있다.

(5) 위험성평가 제도가 작업환경측정에 활용되지 않는 문제

2013년에 위험성평가 제도가 도입되었으나 작업환경측정과 서로 독립적으로 실시되고 있다. 따라서 대부분의 사업장들이 사전 위험성평가 없이 예년에 해왔던 측정 대상과 항목을 그대로 답습하는 문제가 있어 두 제도간의 시너지 효과가 없다.

2) 시범 사업장 작업환경측정의 문제점

(1) 작업환경측정보고서 분석

최근 7년 동안의 작업환경측정 보고서를 분석한 결과 평가된 유해물질은 53종이었으며, 평가결과 대부분(91.3%)이 노출기준 10% 이만 이었고 노출기준을 초과한 건수는 하나도 없었다.

단위작업당 측정 시료수를 보면 작업당 측정 건수가 2개 이하인 측정이 전체 단위작업의 96.2%를 차지하였다. 시료수 1~2개만을 가지고 변화가 많은 노출 상황을 반영할 수 없어 정확한 노출 정도를 평가하기에는 한계가 있는 것으로 보인다.

작업환경측정 결과를 바탕으로 위험성평가를 실시한 결과 위험성이 허용불가능으로 평가되어 향후 작업환경측정이 필요한 물질은 다음과 같이 제시되었다.

- 입자상 물질은 그동안 7종이 측정되었으며, 이 중 석영, 목분진, 용접흄, 금속가공유 등 4종이 향후 측정이 필요한 물질로 제안되었다.
- 금속류 물질 수는 총 15개 물질이 측정되었으나 향후 작업환경측정이 필요한 물질은 이산화티타늄 등 6종으로 제안되었으며, 모두 노출 수준은 낮았지만, 고독성물질로 분류된 물질들이다.
- 기타 화학물질은 총 31종이 측정되었으나 향후 작업환경측정이 필요한 물질은 디클로로메탄 등 총 13종으로 제안되었으며, 이들 물질 모두는 노출수준은 낮았지만, 고독성물질로 분류된 물질들이다.
- 전체적으로 보면 기존 측정 물질은 53종이었으나, 위험성평가 결과를 반영하면 23종 물질로 대폭 감소할 것으로 평가되었다.

(2) 화학물질 사용 현황 분석

발전본부와 협력사 7곳에서 사용하고 있는 전체 화학제품은 총 1,725개였고, 시약이 265개(15%)로 가장 많았으며, 그 다음으로 용접 및 납땜 재료 247개(14%), 윤활유/그리스/작동유 218개(13%), 세척제/세정제 180개(10%) 순이었다.

사용하는 화학제품 중 발암성, 변이원성, 생식독성, 내분비계교란성 물질(이하 고독성물질) 함유 여부를 평가한 결과 고독성물질의 종류는 벤젠 등 89종으로 나타났다.

고독성물질을 하나 이상 함유하는 제품(이하 고독성제품)은 총 882개로 나타났다으며, 용도별로 보면 용접 및 납땜 재료가 22.4%(198개)로 가장 높은 비율을 차지하였다. 기타 스프레이 윤활제/방청제 13.3%(117개), 접착제/실러/실런트 10.4%(92개), 윤활유/그리스/작동유 10.1%(89개) 순서로 나타났다.

이와 같은 고독성 물질에 대해 독성과 사용량 정보 등을 바탕으로 실시된 위험성 평가결과를 요약하면 다음과 같다.

- ① 허용불가위험 80개(37.7%), 중대한위험 99개(46.8%), 상당한위험 31개(14.6%), 경미한위험 2개(0.9%)로 나타났다.
- ② 허용불가 위험 제품 중 특수강 용접 작업 시 니켈과 크롬(6가크롬 포함),
- ③ 도장 작업시(도료 및 안료, 신너/희석제 사용 작업) 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠
- ④ 세척 작업시 디클로로메탄, 1,3부타디엔(함유 가능성이 높은 물질로 지속적인 확인 필요)

이러한 물질이 함유된 제품에 대해서는 작업환경측정은 물론이고 대체 가능한 제품 유무를 확인하는 등 지속적인 관리가 필요하다.

(3) 별크시료 분석 결과

보일러 투입 이전의 석탄분진 중 가장 많은 함량을 보인 중금속은 알루미늄이었으며, 기타 아연, 망간, 구리, 크롬, 니켈, 납, 코발트 순서였다. 카드뮴, 비소는 일부 시료에서만 미량 검출되었다.

보일러 연소 이후인 회분진도 석탄분진과 비슷한 중금속 분포를 보이고 있으나 함량 농도는 다소 차이가 있었다. 크롬, 납, 니켈, 아연 등은 함량이 감소하였으며, 비소, 망간 농도는 상당 부분 증가하였다.

고형원료는 우드펠릿과 하수슬러지 모두에서 비소는 검출되지 않았고, 카드뮴은 우드펠릿에서는 검출되지 않았으나 하수슬러지에서는 미량 검출되었다. 기타 나머지 중금속들은 탄 및 회분진의 구성성분과 비슷하였다. 다만 전체적으로 우드펠릿에 비해 하수슬러지의 중금속 함량 비율이 모든 항목에서 높은 수준을 보였다.

이와 같은 특성을 고려한다면 향후 고형원료 작업자를 대상으로 한 작업환경측정 시에는 중금속 노출 평가가 이루어져야 하며, 고형원료 구입 시 중금속 성분 분석 자료를 요구하여 독성학적인 평가를 거친 후 구매 여부를 결정해야 할 것으로 보인다.

(4) 보완적 작업환경측정 결과

이번 연구에서 보완적 작업환경측정은 극히 일부 작업을 대상으로 고독성물질에 한하여 이루어졌지만, 기존 작업환경측정에서 누락·제외되었거나, 노출 수준이 매우 낮았던(불검출 등) 유해인자의 고노출 가능성을 확인하였다.

그러나 일부 피측정자(작업자)의 경우, 작업 내용과 흡입된 분진의 흡착 상황으로 볼 때 고노출 가능 작업(worst case)이 선정되지 않았을 가능성이 매우 높다. 따라서 추후 피측정자 선정 전략을 달리하거나, 지역 시료 병행 측정을 통해 추가적인 평가가 이루어져야 할 것이다.

3) 관계자 의견 수렴 결과

작업환경측정과 관계된 사업장, 노동조합, 측정기관, 전문가, 행정기관을 대상으로 향후 측정제도 개선방향에 대한 의견 수렴 결과를 요약하면 다음과 같다.

노동단체와 일부 측정기관 관계자는 측정 제도 도입에 찬성하는 의견이 있다. 단, 새로운 제도에 작업자의 참여권 강화, 전문가(측정기관) 역할 강화(측정 대상 선정 등), 그리고 사업주 개입이 최소화되는 방향으로 개선되어야 한다는 추가 의견이 있다.

경영자 단체와 일부 측정기관 관계자는 현재의 측정 인프라(전문성, 사업장 개입 능력 등)를 고려할 때 포괄적 측정 제도 도입에 반대한다는 의견이다. 현행 제도에서 측정결과 보고 의무 폐지, 측정 과정의 사업주 개입 최소화, 측정기관 역할 강화 등에 대한 추가 개선의견이 있다.

전문가는 측정제도가 개선되는 것에 대해 찬성하는 의견이다. 그러나 근본적인 한계점이 먼저 개선되어야 한다. 예를 들면 측정 주체, 계약 주체, 비용지불 주체는 모두 사업주가 가지고 있고, 실제 측정을 담당하는 측정기관은 제3자로 개입할 수 있는 여지가 거의 없어 이에 대한 개선이 우선되어야 한다는 의견이다.

2. 제언

1) 시범 사업장 작업환경측정 및 관리방안 제언

지금까지 진행된 과거 작업환경측정 보고서 분석, 화학물질 사용제품 유해성 평가, 주요 유해물질 발생원에 대한 벌크시료 분석, 최고노출 상황을 고려한 보완적 작업환경측정 결과를 바탕으로 OO발전소의 향후 작업환경측정 전략에 반영되어야 할 내용을 요약하면 다음과 같다.

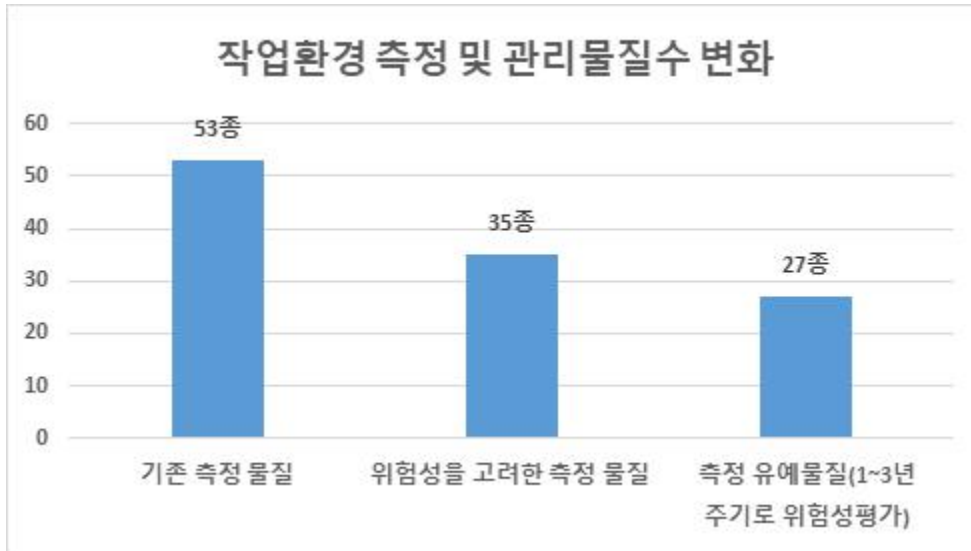
(1) 백화점식 측정을 지양하고 선택과 집중의 측정 전략 수립

기존 작업환경측정은 약 유해물질 53종을 대상으로 매년 동일한 측정을 1~2회 정도 반복 측정하고 있으나 측정 결과 대부분(91.3%)은 노출기준 10% 미만에 해당되어 상당수는 일상적 관리 수준에서 위험성 평가로 대체 가능한 수준이다.

따라서 위험성 평가를 바탕으로 집중해야 할 유해인자를 설정하고 이를 정밀 측정하는 전략을 제안한다.

물론 현재의 측정 제도상으로는 법적으로 정해진 191개 항목만 측정해도 문제가 없기 때문에 사업주가 동의하지 않는 한 측정기관이 측정 물질을 추가하는 데는 한계가 있다. 반대로 노출 농도가 낮다고 하더라도 일정량 이상의 물질을 사용하게 되면 최소 1년에 1회 이상 측정해야 한다. 만약 측정에서 누락되면 산업안전보건법 위반이 된다. 따라서 선택과 집중 측정 전략이 반영되기 위해서는 고용노동부의 행정적 지원이 필요한 부분이다.

그동안의 작업환경측정 보고서, 사용하는 화학물질의 위험성평가, 보완적인 작업환경측정을 통해 최종적으로 선택과 집중해야 할 유해인자를 정리하면[그림 IV-1]과 같다.



[그림 IV-1] 위험성평가 결과를 반영한 측정 물질 수 변화 비교

최종적으로 작업환경측정이 필요한 물질은 35종(기존 측정은 53종)으로, 기타 주기적인(1~3년) 위험성평가를 통해 측정 여부를 평가해야 할 물질로 27종이 제안되었다.

구체적인 유해물질과 해당되는 작업은 다음과 같다(표 IV-1~5).

① 입자상 물질

<표 IV-1> 입자상물질에 대한 향후 작업환경측정 항목 및 대상 작업 제안

No	물질명	위험성	측정대상 작업	측정 주기	비고
1	석영	8	탄 및 회분진 노출 작업	6개월	일상정비 및 대정비 작업 중심
2	용접흄	8	일상정비 및 대정비 용접 작업	6개월	-
3	목분진	8	우드펠릿 관련 시설 작업	6개월	-
4	금속가공유	4	가공작업	1년	1년 내 위험성평가 후 재판단
5	디젤연소물질	4	석탄 하역작업	1년	1년 내 위험성평가 후 재판단
6	석면	4	석면 잔존 시설 해체 및 보수 작업	수시 측정	해당 작업시 수시 측정
7	석탄분진	4	탄분진 노출 작업	유예	1년 내 위험성평가 후 재판단

② 금속류

**<표 IV-2> 금속류 물질에 대한 향후 작업환경측정 항목 및 대상
작업 제안**

No	물질명	위험성	측정대상 작업	측정 주기	비고
1	이산화티타늄	4	▪ 탄 및 회분진 노출 작업 ▪ 용접 작업 ▪ 고형원료 취급 작업	1년	▪ 1년 내 일상정비 및 대정비 작업 중심으로 측정 후 재판단 ▪ 노출 농도는 미량 이나 고독성물질 임을 고려 ▪ 피측정자는 고노출 가능자를 대상으로 선정하며, 지역측정 병행
2	니켈(금속)	4			
3	납	4			
4	카드뮴	4	▪ 탄분진 취급 작업 ▪ 고형원료 취급 작업		
5	수은	4	▪ 탄 및 회분진 노출 작업 ▪ 용접작업 ▪ 고형원료 취급 작업		
6	몰리브덴	4			
7	비소	4	▪ 회분진 취급 작업 ▪ 고형원료 취급 작업		
8	코발트	4	▪ 탄 및 회분진 노출 작업 ▪ 용접 작업 ▪ 고형원료 취급 작업		
10	크롬(6가크롬)	4	▪ 용접 작업 (특히 대정비 특수용접)		
11	크롬(금속)	2	▪ 탄 및 회분진 노출 작업 ▪ 용접 작업 ▪ 고형원료 취급 작업	유예	3년 내 위험성평가 후 판단
12	구리	2			
13	은	2			
14	바륨	2			
15	알루미늄	1			
16	산화마그네슘	1			
17	산화철	1			
18	망간	1			
19	산화아연	1			

③ 기타 화학물질

**<표 IV-3> 기타 화학물질에 대한 향후 작업환경측정 항목 및 대상
작업 제안**

No	물질명	위험성	측정 대상 작업	측정 주기	비고
1	암모니아	4	▪ 분석업무 ▪ 수처리 작업	1년	▪ 사용제품에 따라 선택적으로 측정 ▪ 노출 농도는 미량이나 고독성물질임을 고려 ▪ 피측정자는 고노출 가능자를 대상으로 선정하며, 지역측정을 병행
2	황산	4			
3	톨루엔	4	▪ 분석 업무		
4	디클로로메탄	4	▪ 세척 작업		
5	아황산가스	4	▪ 탈황 업무		
6	1-브로모프로판	4	▪ 세척 작업 (도장 작업 일부)		
7	1,2-디클로로에틸렌	4			
8	n-헥산	4			
9	트리클로로에틸렌	4			
10	글루타르알데히드	4			
11	메틸이소부틸케톤	4			
12	2-부톡시에탄올	4			
13	에틸벤젠	4			
14	디클로로메탄	4			
15	1,3 부타디엔	4			
16	벤젠	4	▪ 도장 작업	1년	
17	톨루엔	4			
18	헥산	4			
19	수산화나트륨	3	▪ 분석 업무	유예	1년 내 위험성평가 후 재판단
20	염화수소	3			
21	인산	3			
22	1,1-디클로로- 1-플루오로에탄	3	▪ 세척 작업		
23	질산	3	▪ 분석 업무		
24	수산화칼륨	3	▪ 수처리 작업		

No	물질명	위험성	측정 대상 작업	측정 주기	비고
25	이소프로필 알콜	1	■ 세척 작업	유예	3년 내 위험성평가 후 판단 - 사용 제품에 따라 선택적으로 측정
26	n-헵탄	1			
27	크실렌	1			
28	메틸알코올	1			
29	아세톤	1			
30	메틸클로로포름	1			
31	초산부틸	1			
32	메틸에틸케톤	1			
33	시클로헥산	1			
34	초산메틸	1			
35	초산에틸	1			
36	초산	1			

④ 소음

소음성 난청 예방 차원에서 80dB(A) 이상으로 향후 측정 대상을 선정한다면, 다음과 같은 단위작업들이 측정되어야 한다.

<표 IV-4> 소음 측정 대상 작업 제안

구분	협력사	순번	단위작업	기존 측정결과(dB,A)		측정 주기
				최고치	범위	
측정값이 한번이라도 85dB을 초과한 작업	협력사A	1	유지보수	92.1	80.5~92.1	6개월
	협력사E	2	전기	89.9	80.9~89.9	
		3	용접	89.6	80.5~89.6	
		4	회처리	89.3	80.2~89.3	
		5	보일러	89.3	80.1~89.3	
		6	터빈	87.7	80.4~87.7	
		7	미분	86.7	80.3~86.7	

측정값이 한번이라도 80dB을 초과한 작업		8	기계	86.2	80.1~86.2	
		9	운탄	85.7	82.1~85.7	
	협력사F	10	회처리운영	89.9	80.5~89.9	
		11	낙탄	88.7	82.0~88.7	
		12	석탄취급	86.0	80.6~83.7	
	협력사A	13	현장점검	80.9	80.1~80.9	1년
	협력사E	14	세척	83.7	83.7	
		15	송탄설비 관리	82.3	80.9~82.3	
		16	계측제어	82.0	81.2~81.2	
	협력사F	17	탈황운영	82.1	80.2~82.1	
		18	시료채취원	81.7	81.7	
		19	정비	80.3	80.2~84.9	

⑤ 고열

WBGT 온열지수를 이용한 온열 평가는 고열이 발생하는 설비 작업은 물론이고 높은 온습도로 인한 열악한 온열 조건에 노출되는 밀폐작업(보일러 내부 정비작업 등)도 열적 부담이 큰 작업이므로 측정 대상에 포함되어야 한다.

측정 대상은 그동안 진행된 고열측정 대상 작업에 다음과 같은 정비 작업 및 일상점검 작업이 추가되어야 한다.

<표 IV-5> 고열 측정 대상 작업 제안

고열 측정 추가작업 (기존 측정 대상 작업에 추가)	측정 주기
- 터빈(3층 이상)과 보일러(7층 이상)의 상층부 작업 - 보일러 튜브 긴급 복구작업 - 보일러 슈트블루 작업	본 측정 실시 시기에 맞춰 조정

(2) 위험성 평가 결과를 근거로 측정 주기 조정

위험성 등급을 4단계(매우위험, 위험, 보통, 낮음)로 나누어 위험 등급에 따라 3개월, 6개월, 1년 주기로 제안하며, 위험도가 보통(1년 주기) 혹은 낮은 물질(3년 주기)에 대해서는 위험성 평가로 대체한 후 일정 주기 후에 측정 여부를 재평가하는 방안을 다음과 같이 제안한다.

<표 IV-6> 작업환경측정 주기 (예시)

위험성	측정 주기(기존 대비)	참고자료	비고
아주 높음 (12~16점)	CMR 물질 : 3개월(강화)	OSHA: PEL을 초과하는 일부 고독성 물질	- 노출지수 50% 초과 - 기존규정은 노출기준초과
	기타물질 : 6개월(동일)	고용노동부: 기본 주기	- 기존 규정과 동일
높음 (5~11점)	CMR 물질 : 6개월(동일)	고용노동부: 기본 주기	- 노출지수10%~50% 이하 - 기존 규정과 동일
	기타물질 : 1년 (동일)	고용노동부: 유예기준	- 기존 규정과 동일
보통 (3~4점)	CMR 물질 : 1년(완화)	OSHA: TWA 이하 일부 고독성 물질	- 노출지수 10% 이하 - 기존 규정은 6개월
	기타물질 : 측정유예, 1년 내 위험성 평가로 대체	독일: 허용기준의 25% 이하(64주 이내 혹은 면제)	- 신규적용 : 유예기준 확대
낮음 (1~2점)	측정 유예, 3년 내 위험성 평가로 대체		

(3) 가장 열악한 작업 조건이 측정에 반영되도록 측정 대상과 측정 시기를 조정

지금까지의 측정 대상 작업을 보면 상당 부분이 상대적으로 유해물질 노출 가능성이 적은 발전본부(원청) 중심으로 진행되어왔다. 반면, 노출 가능성이 높은 설비 유지보수 작업은 측정에서 상당 부분 소외된 측면이 있다. 특정 기간에 집중해서 이루어지는 대정비 작업이 대표적인 작업이다. 작업환경측정 대상을 선정할 때의 기본 원칙인 '최고 노출 근로자'가 측정 대상에 반영되도록 측정 전략이 수립되어야 한다. 그러기 위해서는 측정 시기와 일정을 계획할 때

측정기관 중심이 아닌 현장 작업 일정 중심으로 계획되어야 한다.

이를 위해 특정 작업 일정에 맞춰 측정을 진행하는 수시측정 병행을 제안한다. 또한 측정대상자(작업자)를 선정할 때는 노동조합 혹은 작업자 대표가 참여하여 대상 작업에 열악한 작업 상황이 반영되도록 해야 한다.

3차에 걸친 작업장 순회와 현장 작업자 및 노/사 담당자와의 간담회를 통해 확인된 최고 노출 상황에 해당될 수 있는 작업을 요약하면 <표 IV-7>과 같다.

<표 IV-7> 최고노출 상황(Worst Case)으로 추정되는 주요 작업

구분	단위작업	주요 유해인자
일상점검 및 유지보수 작업	- 운탄 2발 갤러리 점검 작업 - 크레셔 타워 점검 및 수리 작업 - EP(우드펠릿) 호퍼 내부 작업	- 결정형 유리규산 등 광물성분진 - 탄내 함유 가능한 금속류
대정비 작업	- 보일러 burner windbox 청소 - 보일러 비계 해체작업 - 탈황부속 설비 청소작업 - fly ash 호퍼 점검 작업	- 결정형 유리규산 등 광물성분진 - 석탄재 내 함유 가능한 금속류
	보일러 튜브 용접 작업	- 용접흄 - 결정형 유리규산 등 광물성분진 - 용접흄 내 함유 가능한 금속류
	보일러 밸브 분해 조립	결정형 유리규산, 석면 등 광물성분진
	세척 작업(PT체크 작업, 전기 설비, 발전기, 전동기, 압소버 분해작업)	유기용제 등 유기화합물 및 가스상 물질
고열 작업	- 터빈(3층 이상)과 보일러(7층 이상)의 상층부 작업 - 보일러 튜브 긴급 복구 작업 - 보일러 슈트 블루 작업	온열지수

최고노출 가능 작업자를 선정할 때는 반드시 현장 작업자와 노동조합, 측정기관 전문가의 의견을 반영해서 선정해야 한다.

(4) 측정 결과의 신뢰도를 높이기 위해 유사노출그룹(SEGs)을 대상으로 한 교차측정 방안 수립

지금까지의 단위작업 당 측정 시료수를 보면 작업 당 측정 건수가 2개 이하인 측정이 전체 단위작업의 96.2%를 차지한다. 단위작업 당 작업자 수가 적은 경우(2명 내외인 경우가 상당 부분 있음)는 어쩔 수 없다고 하지만 시료 수 1~2개만을 가지고 변화가 많은 노출 상황을 반영할 수 없어 정확한 노출정도를 평가하기에는 한계가 있다.

이를 개선하기 위해서는 작업자 수가 적은 단위 작업에 대해서는 반복측정하는 전략이 필요하다. 또한 측정 대상을 단위작업보다 좀 더 확대된 개념인 유사노출그룹(SEGs) 확대하여 해당 단위에 대해 반복하는 측정 전략이 필요하다.

이를 보완하기 위한 방법으로 동일한 작업 특성을 가지고 있는 1~8호기 발전설비를 대정비 일정에 맞춰 첫 번째 측정 주기에 4개 호기와 주변 공정을 선정하여 측정하고, 그 다음 측정 주기에 나머지 4개 호기를 측정하는 교차 측정 방안을 제안한다. 단 교차 측정을 할 때는 측정 결과의 신뢰도를 높이기 위해 반복 측정을 통한 충분한 시료 수를 확보하는 방안이 전제되어야 한다.

(5) 위험성평가를 접목한 작업환경측정 전략 수립

현재의 작업환경측정은 사전 위험성평가 없이 예년에 해왔던 측정 대상과 항목을 그대로 답습하는 경우가 대부분이다.

사용하는 물질에 대한 유해성평가 --> 사용정보 파악 --> 노출 수준 예측 --> 정밀 작업환경측정 등의 단계적 접근 전략을 반영해야 한다.

만약 위험성평가 제도와 작업환경측정 제도를 접목한다면 측정 필요성은 없지만, 법적으로 어쩔 수 없이 측정해야 하는 저노출 유해인자 등은 작업환경측정 없이 위험성평가만으로도 충분히 자율적 관리가 가능할 수 있다.

(6) 화학물질 관리 시스템 구축

발전소에서 약 1,700여종 제품의 화학물질을 사용하고 있다. 현재 이 제품들을 구매하기 위한 구매 시스템은 구축되어 있으나 물질의 독성 및 관리를 위한 정보는 구축되어 있지 않다.

제품의 구매 단계에서부터 유해성평가를 실시하고, 사용정보, 노출정보, 법적 규정, 관리 방법, 대체 물질 정보 등 종합적인 정보를 만들어 작업자 및 기타 담당자들이 소통할 수 있는 관리시스템 구축을 제안한다.

2) 작업환경측정 제도개선 방향

현재 측정 대상 물질과 주기가 법적으로 정해져 있는 비효율적인 작업환경 측정 제도의 문제점을 개선하고, 측정 전략 수립 시 전문가 및 작업자들의 의견을 최대한 반영하기 위해 다음과 같은 포괄적 측정 제도가 병행될 수 있는 제도개선 방향을 제안한다.

(1) 측정 대상 물질 확대

법적인 측정 대상물질에 국한하지 말고 위험성평가와 전문가 의견을 반영하여 측정이 가능한 모든 물질로 측정 대상을 확대해야 한다.

위험성이 낮지만, 관행적으로 측정해 왔던 물질은 일정 주기의 위험성평가를 실시한 후 작업환경측정 여부를 재판단한다.

측정 대상물질 확대가 실제 현장에서 반영되기 위해서는 측정의 계약 관계에 있어 전문가(측정기관)의 의견이 무시되고 사업주의 일방적인 요구에 의해 측정 대상 물질이 결정되는 현실적인 문제를 어떻게 할 것인가가 고민되어야 한다. 또한 측정 대상 물질 선정 시에는 급성중독 및 저농도 장기간 노출에 따른 건강영향 문제도 충분히 검토되어야 한다.

(2) 위험성 정도에 따른 측정 주기 조정 확대

현행 제도는 유해물질의 측정 주기가 대부분 6개월을 기준으로 노출농도 수준에 따라 3개월 혹은 1년으로 주기를 조정하는 방식이다. 그러나 실제 사업장에서는 고용노동부 근로감독에 대한 부담감으로 노출수준에 관계없이 측정 대상에 포함된 물질이면 일률적으로 6개월 주기로 측정하고 있다. 뿐만아니라 농도에 관계없이 노출되는 해당 작업자 모두를 특수건강진단 대상에 포함하는 비효율적인 측정과 검진을 반복하고 있다.

위험성평가 및 작업환경측정 결과를 바탕으로 위험도를 산정한 후 위험성 등급에 따라 수시, 3개월, 6개월, 1년, 일정기간(1~3년) 측정유예 후 재평가 등 타당한 측정 주기를 적용할 필요가 있다. 주기 조정 방향은 고독성물질은 주기를 강화하고, 위험성 정도가 낮은 물질은 측정 주기가 완화되어야 한다.

다만 측정 주기를 결정함에 있어 급성중독 및 저농도 장기간 노출에 따른 건강영향 문제를 충분히 검토한 후 결정되어야 한다. 제품이 수시로 바뀌게 되는 화학물질에 대해서는 좀 더 촘촘한 측정 주기 설계가 필요하다.

(3) 가장 열악한 작업 조건이 반영된 측정 전략

상당 부분의 측정에서 가장 열악한 작업상황이 반영되지 않으며, 이는 현장 작업 일정보다는 측정 주체(측정기관 및 사업장) 중심의 일정 수립과 피측정자(작업자) 선정 시 작업자 의견이 반영되지 않은 문제로 기인한다고 평가할 수 있다.

측정일정을 수립할 때는 유지보수작업, 야간작업, 대정비 작업 등과 같이 최고 노출 상황으로 추정되는 작업 일정을 고려한 측정 전략 수립되어야 한다. 이를 위해서는 수시측정 제도가 병행되어야 한다.

또한 측정 물질과 시료수 선정은 전문가에 일임하고, 피측정자 선정은 현장(작업자 혹은 작업 대표)에 일임할 수 있도록 해야 하며, 사업주의 개입을 최소화하는 법률적 방안이 고려되어야 한다.

(4) 측정 결과의 신뢰도를 높이기 위한 전략

현재의 작업환경측정은 유사노출그룹(SEGs)을 대상으로 단위작업을 선정하고, 해당 작업자 수를 기반으로 최소 2인 이상을 측정하도록 되어 있다. 그러나 단위작업에 해당되는 작업자수가 대부분 10인 미만이어서 시료수 2개 정도의 측정 결과가 해당 단위작업의 노출수준으로 대변되어 심각한 신뢰도 문제가 지적되고 있다.

이를 개선하기 위한 전략으로 측정 대상을 유사노출그룹(SEGs)으로 확대해서 특정 단위 작업을 반복 측정하여 측정결과의 신뢰도를 확보한 후 그 결과를 동일 적용하는 방안도 검토될 필요가 있다(유사노출그룹(SECs)이 여러 개일 때는 일정 주기로 교차 측정 실시).

(5) 위험성평가를 접목한 작업환경측정 전략 수립

현재의 작업환경측정은 사전 위험성평가 없이 예년에 해왔던 측정 대상과 항목을 그대로 답습하는 경우가 대부분이다.

작업환경측정에 앞서 기존 측정 결과 분석, 사용제품의 유해성 평가, 작업장 순회를 통한 노출 특성 평가 등을 통해 사전 위험성평가를 실시 한 후 측정 대상 물질, 측정 대상 작업, 측정 주기 등 측정 전략을 수립한다.

이와 같은 선순환 방식의 평가 주기를 몇 년으로 할 것인지에 대해서는 좀 더 면밀한 검토가 필요하다.

(6) 제도 변화의 연착륙을 위한 기존 측정 제도 병행

포괄적 작업환경측정은 사업장의 자율성, 측정기관의 전문성, 그리고 작업자(혹은 대표)의 참여권을 전제로 할 때 실효성 있는 제도로 정착할 수 있다. 만약 이와 같은 조건이 충족되지 않을 때는 최소한의 사전적 예방원칙에 근거한 현행 측정제도가 더 유용할 수도 있다.

따라서 새로운 제도가 도입된다면 사업장 조건에 맞게 기존 제도와 새로운 제도를 선택적으로 적용할 수 있도록 유예기간을 두고 두 제도가 병행되어야 하며, 각각의 이해 당사자들의 우려하는 문제를 최소화하기 위한 연착륙 전략이 마련되어야 한다.

3) 행정적 제안

본 연구 결과를 시범 사업장에 적용하기 위해서는 현행 법적인 작업환경측정 규정에 반하는 다음과 같은 행정적 문제가 해결되어야 한다.

(1) 측정 대상 물질 조정 문제

- 측정 물질 수가 53종에서 35종으로 조정
- 27종은 위험성 평가로 대체(1~3년 주기)

(2) 측정 주기 조정

- 위험성 정도에 따라 수시, 3개월, 6개월, 1년, 일정기간(1~3년) 측정 유예 후 재평가

(3) 선택과 집중으로 문제되는 작업 중심의 반복 측정 문제

- 모든 부서를 매년 측정 --> SEGs로 묶어 선택과 집중하는 전략

참고문헌

- 김승원, 최상준, 피영규 등. 작업환경측정에 있어서 위험성평가 기법 적용에 관한 연구. 산업안전보건연구원;2014
- 석탄발전소 특별노동안전조사위원회. 고 김용균 사망사고 진상조사결과 종합보고서. 석탄발전소 특별노동안전조사위원회;2019.
- 안전보건공단. 한국서부발전(주) 태안발전본부 안전보건진단보고서. 안전보건공단;2019.
- 작업환경측정제도혁신위원회. 작업환경측정제도혁신(안). 작업환경측정제도혁신위원회;2005.
- 최상준. 작업환경측정 제도 운영 실태에 관한 고찰. 한국산업위생학회지 2008;18(4):282-292
- ACGIH. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. American Conference of Governmental Industrial Hygienists;2018.
- Cloud Peak Energy Resources. Safety Data Sheet(Revision Date: July 2015). Cloud Peak Energy Resources;2015.
- Garcia J.P., Beyne-Masclet S., Mouvier G., Masclet P. Emissions of volatile organic compounds by coal-fired power stations. Atmospheric Environment 1992;26(9):1589-1597.
- Hicks J. & Yager J.. Airborne Crystalline Silica Concentrations at Coal-Fired Power Plants Associated with Coal Fly Ash. Journal of Occupational and Environmental Hygiene 2006;3: 448-455.
- IARC. 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;1997.
- IARC. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Volume 120 Benzene. IARC;2018.
- John JS, Thomas MS, William RR, Donald RD, Rudolph MS. Robert AG., Chemical and toxicological prosperities do coal fly ash. ENVIRONMENTAL GEOLOGY NOTES;1983.
- Kalkreuth W, Holz M, Kern M, Machado G, Mexias A, Silva M.B, Willett J, Finkelman R, Burger H. Petrology and chemistry of permian coals from the Paraná basin: Santa Terezinha, Leão-Butiá and Candiota Coal fields, Rio Grande do Sul, Brazil. Intern. J. Coal Geol 2006;68:79 - 116.
- León, G, Perez, L.E, Linares, J.C, Hartmann, A, Quintana M. Genotoxic effects in wild rodents (*Rattus rattus* and *Mus musculus*) in an open coal mining area. Mutat Res. 2007;630: 42 - 9.
- Lin C.K., Lin R.T., Chen T., Zigler C., Wei Y., and Christiani D.C.. A global perspective on coal-fired power plants and burden of lung cancer. Environmental Health 2019;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 2016;192-209 (On line <http://dx.doi.org/10.5772/62486>)
- Mustafa Celik, Lale Donbak, Fatma Unal, Deniz Yüzbaşıoglu, Hüseyin Aksoy, Serkan Yılmaz. Cytogenetic damage in workers from a coal-fired power plant. Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis.

2007;627(2):158-163

Naidoo R., Seixas N. & Robins T. Estimation of Respirable Dust Exposure Among Coal Miners in South Africa. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2006;3:293-300.

NIOSH. NIOSH Hazard Review: Health Effects of Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica. Cincinnati: NIOSH;2002.

The State of Queensland. Managing respirable dust hazards in coal-fired power stations Code of Practice(PN12377). The State of Queensland;2018.

Yeon DE., Choi SJ. (2017). Evaluation of Crystalline Silica Exposure Level by Industries in Korea. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene* 2018;27(4):398-422

Abstract

A Pilot Project for the “Integrated Assessment and Monitoring for Workplace Environment”

Objectives:

This pilot project was performed to examine the feasibility of the strategy of integrated assessment and monitoring for workplace environment (hereafter, IamWe), which can be the basis of proposing a direction for system improvement in Korea.

Methods:

A comprehensive risk analysis was conducted for a coal-fired power plant. Workplace environment monitoring reports for recent years and the MSDSs for substances used in the plant were thoroughly reviewed. A working environment monitoring for a part of the plant was also performed. Based on these activities, we suggested a list of target hazardous chemicals, tasks with priorities and an appropriate monitoring interval. for the plant.

Results:

A direction of the improvement of workplace environment monitoring system was suggested as follows:

- (1) target chemicals should be expanded as many as sampling and analytical methods are available
- (2) risk-based adjustment is necessary for determining monitoring intervals
- (3) a sampling strategy should be warranted to reflect the worst-case scenarios
- (4) sample size should be increased for obtaining more reliable results
- (5) sampling strategy should be connected to risk assessment
- (6) accommodating the current practices is also necessary for soft-landing on workplace environment monitoring system

Conclusions:

The current system of workplace environment monitoring practices has caused distrust among employers, employees, as well as professionals in this field. It has been also criticized for its inefficiency. This pilot study made a suggestion for the improvement of the current system, so called, “Integrated Assessment and Monitoring for Workplace Environment, IamWE”

Key words:

workplace environment monitoring, monitoring intervals, risk assessment

〈〈연 구 진〉〉

연 구 기 관 : 원진직업병관리재단 노동환경건강연구소

연구책임자 : 이윤근 (노동환경건강연구소 소장)

연 구 원 : 박정임 (순천향대학교 환경보건학과 교수)

이정화 (주)사람과환경연구소 대표이사)

정태진 (주)EHS프렌즈 대표이사)

최영은 (노동환경건강연구소 화학물질센터 팀장)

최인자 (노동환경건강연구소 분석실장)

허승무 (노동환경건강연구소 인간공학팀장)

연구상대역 : 박해동 (직업환경연구실 연구위원)

〈〈연 구 기 간〉〉

2020. 04. 29 ~ 2020. 11. 30.

본 연구는 산업안전보건연구원의 2020년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

산업안전보건 연구보고서

(2020-산업안전보건연구원-837)

발행일	: 2020년 11월
발행인	: 산업안전보건연구원 원장 고재철
연구책임자	: 노동환경건강연구소 이윤근
발행처	: 안전보건공단 산업안전보건연구원
주소	: (44429) 울산광역시 중구 종가로 400
전화	: (052) 703-0885
팩스	: (052) 703-0337
누리집	: http://www.kosha.or.kr/oshri
