

청렴 **한국** 세상

부패 'ZERO' 청렴 'OSHRI'



# 국민행복시대를 열어갑니다!

**투명한 정부! 유능한 정부! 서비스 정부!**

공공정보를 공개하여 국민과 소통하겠습니다.

기관간 칸막이를 없애고 서로 협업하여

국민 한 분 한 분에게 맞춤형 서비스를 제공할 것입니다.



**OSHRI**

2015년 제2권 제1호

RESEARCH TO PRACTICE

안전보건

연구실용화 REPORT

산업재해예방  
안전보건공단  
산업안전보건연구원



OSHRI

2015년 제2권 제1호

안전보건  
연구실용화  
REPORT

RESEARCH TO PRACTICE

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



# Research to Practice

## 머 리 말

산업안전보건연구원은 설립 이후 산업현장 사고 예방과 직업병 예방 연구를 수행하는 공공 연구기관으로서의 역할을 충실히 수행했을 뿐만 아니라, 근로자의 삶의 질을 향상시키고 양질의 노동력을 보존하여 사회경제적 이익을 창출하기 위해 노력해왔습니다.

비록 지난 10년간 정체되어 있던 0.7%대 재해율이 2012년 이후 0.5%대로 진입하는 큰 성과를 거두었지만 산업현장의 고도화, 다양화로 인해 위험요소는 크게 증가하고 있으며, 새로운 유해화학물질로 인한 지속적인 직업병 발생, 선진국에 비해 높은 사망 만인율 등 아직도 안전보건 확보를 위해 해결해야 할 문제가 산적해 있습니다.

이에 우리 연구원에서는 산업안전보건 연구결과가 기계·기구 및 설비, 작업환경 등 산업현장에 적용되거나 산업안전보건 정책에 반영될 수 있도록 연구실용화(Research To Practice, R2P) 프로그램을 구축하여 운영하고 있습니다. 이 보고서는 R2P 사업의 일환으로 연구결과의 실용화를 통해 산업재해를 감소시키고자 연 2회 발간되고 있으며, 앞으로 이 보고서의 정보가 유용하게 활용되어 일하는 사람들의 생명과 건강을 지키는데 기여하기를 기대합니다.

산업안전보건연구원장 권혁면

### 안전보건 연구실용화 REPORT 2015년 제2권 제1호

2015년 4월 30일 발행 | 발행처 산업안전보건연구원 | 발행인 권혁면 | 등록 2015-연구원-302  
주소 울산광역시 중구 중가로 400(북정동) | 전화 052-7030-815 | [oshri.kosha.or.kr](http://oshri.kosha.or.kr)  
인쇄 (사) 한국장애인이워크협회 070-7842-5052

\* 본 보고서에 실린 내용은 각 필자 개인의 의견을 반영하는 것으로, 산업안전보건연구원의 공식 견해와 다를 수 있습니다.

<안전보건 연구실용화 REPORT>는 연구원 홈페이지 [oshri.kosha.or.kr](http://oshri.kosha.or.kr)에서 다운 받으실 수 있습니다.

# Contents



01

004 | 건설업 작업환경관리를 위한 노출 모델 및 도구 개발

송세욱 실장 / 산업안전보건연구원 직업환경연구실

02

012 | 스마트폰을 이용한 근로자 안전활동 감지 및 경보장치 보급

최상원 연구위원 / 산업안전보건연구원 안전연구실

03

017 | 용광로 사용 작업장의 래들 안전성 향상 방안 제시 및 활용

신운철 실장 / 산업안전보건연구원 안전연구실

04

021 | 비파괴 검사작업에 대한 원도급업체의 안전보건조치 의무 부여 및 적용

정은교 연구위원 / 산업안전보건연구원 직업환경연구실

05

027 | HDPE 분말의 화재·폭발 위험성평가 보고서 및 폭발특성자료의 활용

한우섭 연구위원 / 산업안전보건연구원 화학물질센터

# 01

## 건설업 작업환경관리를 위한 노출 모델 및 도구 개발

송 세 옥 실장\*/산업안전보건연구원 직업환경연구실



베이지안 통계분석기법을 이용하여 적은 수의 노출자료를 가지고 작업장의 유해물질 노출수준을 예측할 수 있는 한국형 노출모델이 개발되었다. 이 노출 모델은 안전보건공단 데이터베이스화된 작업환경측정 데이터를 활용하여 엑셀 스프레드시트 형태로 구현하였으며, 개발된 엑셀 프로그램은 작업환경측정 대상 작업 선정 및 예상 농도 범위에 따른 보호구 선정이 가능하고, 새로운 관리 방법 적용 시 노출모델을 통해 효과 예측에 활용할 수 있다.

\* 연락처 : TEL 052-703-900, s88093@kosha.net

## I . 개요 및 배경

### I-1. 배경

작업환경관리를 위해서 측정하는 표본의 수는 사용되는 화학물질의 수에 비해서 적은 편이며, 법적으로 관리가 요구되는 화학물질들에 대한 측정을 하는 경우에도 모집단의 모수들을 추정할 수 있을 만큼 많은 수의 시료를 채취하는 경우는 드물다. 이 점에 착안하여 유럽연합에서는 REACH(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) 제도를 도입하면서 실질적인 측정 없이 과거노출자료를 바탕으로 화학물질의 독성 및 사용방법에 따라 노출정도를 추정하여 위험성 평가(risk assessment)를 수행하거나, 적은 수의 측정자료를 가지고 베이지안 통계를 이용하여 예상되는 노출농도의 범위를 추정할 수 있도록 독려하고 있다.

건설업은 제조업과는 달리 연중 같은 작업이 매일 반복되는 경우가 드물고, 작업자도 수시로 바뀌며, 많은 작업들이 실외에서 이루어지는 특성이 있다. 따라서 유해인자 노출에 대한 측정 및 예측이 힘든 경우가 많다. 이제까지 축적된 유해인자 노출 측정자료 또한 같은 이유로 많이 한정되어 있다.

현대에 이르러서는 건설업의 많은 작업들이 표준화되어 있어 시공의 각 단계별로 노출되는 유해인자가 어느 정도 특정될 수 있다. 이를 이용하면 유럽연합에서 개발해서 활용하고 있는 노출모델처럼 공정의 특성만을 가지고도 유해물질 노출수준의 범위 및 대푯값들을 예측할 수 있다.

건설업에서 발견되는 이러한 작업환경측정의 특수성을 고려하여 베이지안 통계분석기법을 이용하면 적은 수의 노출자료를 가지고 작업장의 유해물질 노출수준을 예측할 수 있으므로 이에 기초하여 한국형 노출모델을 시험·개발하고자 하였다.

## 1-2. 주요 관련 정보

산업보건 분야에서 노출모델(exposure model)이란 어떤 유해인자에 대하여 작업자가 어느 정도 수준으로 노출되고 있는지를 추정하게 해주는 도구이다.

전통적인 빈도주의적 접근법과 구별되는 베이지안 접근법(Bayesian approach)의 가장 큰 특징은 사전확률분포(prior probability distribution)를 확률의 계산에 결합시킨다는 점이다. 이전의 측정자료, 모델 예측치, 전문가의 판단(professional judgement) 등이 사전확률분포로 활용될 수 있다. 그 이외에도 베이지안 통계에서는 모집단의 모수들에 대하여 일정한 분포를 가정하고 확률에 기초한 방법들(probabilistic techniques)을 사용하여 노출수준을 예측할 수 있다. 이런 확률에 기초한 방법들은 미국과 유럽연합 등지의 환경보건 분야에서는 이미 1990년대부터 개발되어 활용되어 오던 방법들이며 베이지안 통계(Bayesian statistics)는 그 중 하나이다.



개발된 노출모델은  
안전보건공단의  
데이터베이스화된  
작업환경측정  
데이터를 활용하여  
엑셀 스프레드시트  
형태로 구현하였다.

안전보건공단에는 유해물질을 사용하는 작업장에서 주기적으로 측정된 노출농도 자료가 데이터베이스로 구축되어 있다. 이 자료를 활용하여 Advanced REACH Tool(ART)에서 사용된 알고리즘을 이용하여 1 단계(tier 1) 노출모델을 엑셀 스프레드시트 형태로 구현하였다. ART 노출모델은 근로자와 오염원간의 거리에 따라서 근거리구역(near field)과 원거리구역(far field)으로 공간을 나누어 노출정도를 각각 계산하며 표면에서 재비산되는 물질로 인한 노출을 추가로 고려하였다.



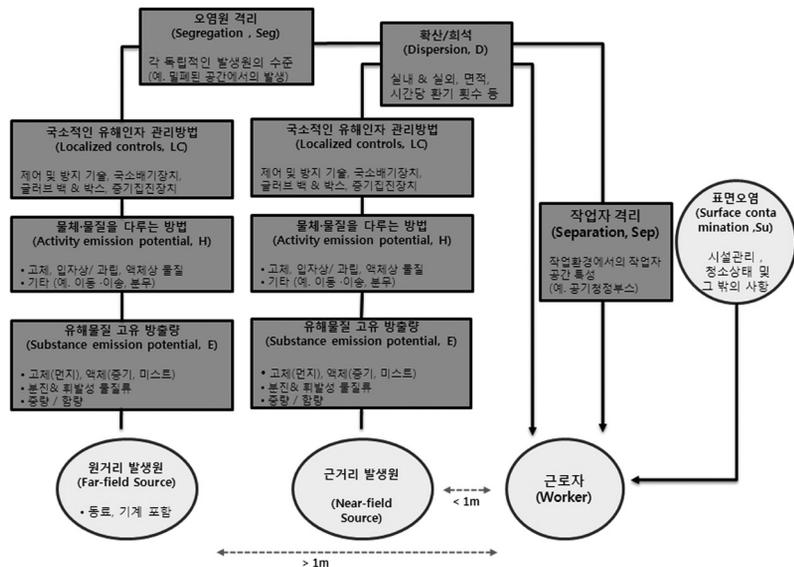
이 세 구역에서 노출되는 농도는 유해물질의 물리적 상태, 작업방식, 국소적인 관리장치, 환기상태 등에 의해서 노출수준이 달라지기 때문에 이들 각각을 보정계수(modifying factors)로 환산하여 노출점수(exposure score)를 계산하였다. 작업별로 계산되는 노출점수와 측정자료를 회귀분석하고 그 계수들을 사용하여 새로운 작업에 대해 노출점수를 계산한 후 노출수준을 예측하였다. 노출점수를 계산할 만한 정보가 부족한 경우

현장방문을 통해 보정계수들을 할당하여 회귀분석 계수들을 계산하였다.

이러한 과정을 거쳐 개발된 노출 모델 tier 1과 베이지안 통계를 결합하여 tier 2 모델을 개발하였다. tier 2 모델은 실측치와 모델의 예측치를 결합하여 더 좁은 범위의 노출예상범위를 제시하는 것이 가능하다.

## II. 실용화 내용

유럽연합 등에서 이미 개발되어 활용되고 있는 노출 모델들에 대하여 검토하여 모델들의 공통적인 요소와 모델들 간의 비교를 통해 본 연구에서는 ART 노출모델을 기초로 일부 변형을 시도했다. 본 연구에서 각 보정계수에 할당한 승수(multiplier)는 ART 모델에서 각 보정 계수에 따른 승수를 사용하였다. 예를 들면 오염물질 관리방법의 효율의 경우 관리하지 않는 경우 1, 국소배기나 다른 관리방법이 사용되고 있는 경우 0.3, 잘 설계되고 유지·보수되는 국소배기나 다른 고효율의 관리방법을 사용하는 경우 0.1을 사용한다. ART 노출모델의 보정계수들을 도식화 하면 [그림 1]과 같다.



[그림 1] ART에서 사용된 노출 모델의 순서도

노출모델의 알고리즘에 의하여 계산된 노출점수(예상농도)는 단위를 갖지 않는 값으로, 계산된 노출점수 그 자체로는 의미가 없고 승수(multiplier, 혹은 변경인자, modifying factor)가 알려진 상황에서 측정된 실측자료와의 비교를 통해서만 의미를 가질 수 있다. 이를 위하여 안전보건공단이 보유하고 있는 작업환경측정자료가 사용되었다. 작업환경측정자료 중 물리적인자와 유럽의 노출모델들이 커버하지 못하는 섬유상 물질 등이 제외되었다. 지역시료는 작업자와의 거리를 알 수 없으므로 이 거리를 이용해서 근거리와 원거리를 나누는 노출모델의 성격과 맞지 않아 배제하는 등 데이터를 정리하였다. 추려진 데이터를 가지고 우선 건설업의 각 공종별로 작업(activity)을 분석하고 작업에서 유해물질 발생이나 노출 정도에 영향을 미치는 인자들을 선별하여 노출 모델을 개발하였다.

건설 현장에서 실측된 자료들과 개발된 같은 상황에서 노출결정인자들을 이용하여 노출 모델로 예측한 값들을 비교하여 모델을 검증하였다. 모델 검증에 사용된 유해인자는 일반 건설현장에서 충분진 및 그 중 결정형 실리카 함유량 그리고 용접작업에서 철 및 기타 중금속이었다.

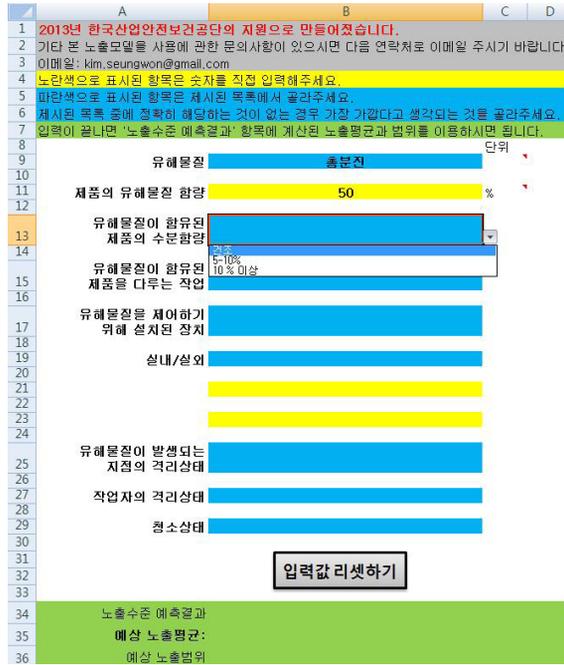
개발된 노출 모델과 베이지안 통계를 결합하여 tier 2 모델을 개발하였다. tier 2 모델은 실측치와 모델의 예측치를 결합하여 더 좁은 구간의 신뢰구간을 제시하는 것이 가능하다.

엑셀 매크로와 비주얼 베이직 요소를 결합하여 개발된 도구들을 스프레드시트 상에 구현하였다. 사용자가 사용하는 엑셀 스프레드시트는 다음과 같이 두 개로 나누어진다.

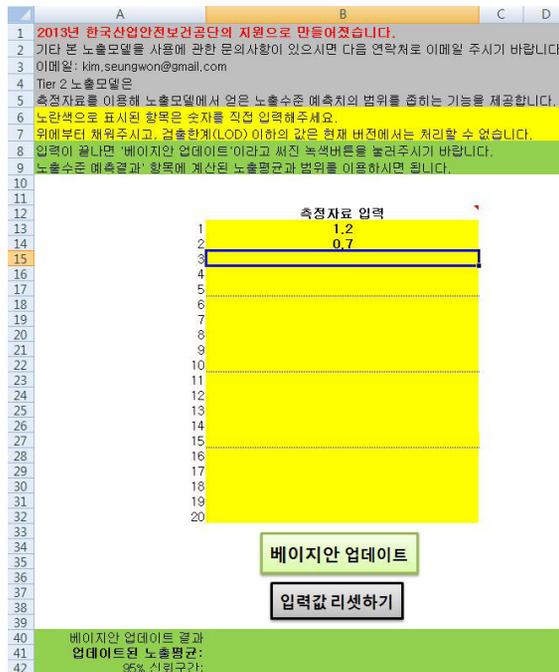
[그림 2]는 노출모델을 이용하여 측정자료 없이 노출수준을 예측하는 ‘노출모델-Tier 1’ 탭이고, [그림 3]은 측정자료와 노출모델의 결과를 결합하여 예측의 정확도를 높이는 ‘노출모델-Tier 2’ 탭이다. 다른 탭들은 내부의 계산을 위한 자료들이며 탭 숨기기 기능으로 숨겨져 있다.



개발된 엑셀 프로그램은 작업환경측정 대상 작업 선정 및 예상 농도 범위에 따른 보호구 선정이 가능하고, 새로운 관리방법 적용시 노출모델을 통해 효과 예측에 활용할 수 있다.



[그림 2] '노출모델-Tier 1' 탭



[그림 3] '노출모델-Tier 2' 탭

유해물질 함량의 경우 0-100범위의 숫자만 입력할 수 있으며, 실내/실외 항목에서 요구하는 숫자의 경우 0이나 이보다 작은 음수를 입력하는 경우 에러메세지가 보여지고 값을 입력할 수 없다. '입력값 리셋하기' 버튼을 누르면 입력값들이 초기화되어 입력값들을 한꺼번에 지울 수 있다.

[그림 3]과 같이 '노출모델-Tier 2' 탭에서는 20개까지 자료를 입력할 수 있도록 구성하였으며, 데이터 입력 후 초록색의 베이지안 업데이트 버튼을 누르면 업데이트된 노출평균과 95% 신뢰구간이 제시되어 더 정교한 예측치를 제시한다. '노출모델-Tier 2'는 '노출모델-Tier 1'을 먼저 입력해야만 계산결과를 얻을 수 있다. 이것은 '노출모델-Tier 1'의 결과를 가지고 측정 자료를 이용해서 예측범위를 줄여주기 때문이다. '노출모델-Tier 2' 기능은 매크로 사용을 허용해야 사용할 수 있다.

## 개발된 엑셀 프로그램은 다음과 같이 활용될 수 있다.

### ■ 작업환경측정 대상 작업 선정

작업환경을 측정할 수 있는 자원이 한정되는 경우 가장 노출농도가 높을 것으로 예상되는 작업을 개발된 프로그램을 통해 선정할 수 있다. 이것이 유럽에서 노출모델을 개발한 본래 목적이기도 하다.

### ■ 예상되는 농도의 범위를 예측하여 적정 보호구 선정

작업을 시작하기 전에 보호구를 미리 준비하기를 원하는 경우 예상되는 농도의 범위를 개발된 엑셀 프로그램을 통해서 예측할 수 있고, 그 범위에 맞는 호흡보호구를 준비할 수 있다. 노출 모델에서 제시하는 예측범위의 최대값은 신뢰구간 95%의 값이므로 이 수준에 맞추어 보호구를 선정하면 작업자에게 충분한 보호를 제공할 수 있다.

### ■ 새로운 관리방법 적용 시 효과 예측

일부 건설업 작업은 국소배기장치를 설치하는 등의 관리방법을 사용



개발된 엑셀 프로그램은 연구원 홈페이지에서 다운받아 사용할 수 있다.



하는 것이 가능하다. 예를 들면 건축 작업 시에 그라인더에 진공집진기를 연결하는 것을 들 수 있다. 이런 방법을 도입하는 경우 어느 정도의 관리효과를 얻을 수 있는지 노출모델을 통해 예측하는 것이 가능하다.

엑셀 프로그램은 CD형태로 제작되어 연구보고서와 함께 배포되었으며, 연구원 홈페이지에도 연구보고서와 함께 다운받을 수 있도록 게시되어 있다.

### | 참고문헌 |

1. Fransman W, Tongeren MV, Cherrie JW, et al. Advanced Reach Tool (ART): Development of the Mechanistic Model. *Annals of Occupational Hygiene* 2011;55(9):957-979
2. Tielemans E, Noy D, Schinkel J, et al. Stoffenmanager Exposure Model: Development of a Quantitative Algorithm. *Annals of Occupational Hygiene* 2008;52(6):443-454
3. 김승원 등. 건설업 유해화학물질 노출 모델의 개발 및 검증: Tier-1 노출 모델. *한국산업위생학회지*, 2014, 제24권(제2호);208-218.

# 02

## 스마트폰을 이용한 근로자 안전활동 감지 및 경보장치 보급

최 상 원 연구위원\*/산업안전보건연구원 직업환경연구실



스마트폰과 결합시킨 근로자 안전활동(움직임, 감전, VOC) 감지 및 경보장치가 개발되었다. 이 장치는 근로자의 안전활동 모니터링을 위하여 근로자가 일정시간 동안 움직이지 않을 경우(예; 의식을 잃을 정도의 질식/상해 사고 등)에는 현장책임자 및 감독자에게 휴대폰을 통하여 경보/경광 등으로 알려 주어 사망사고를 미연에 예방하는데 기여할 수 있도록 하였다.



근로자 안전활동 감지장치

\* 연락처 : TEL 052-703-0853 , swchoi@kosha.or.kr

## I . 개요 및 배경

휴대폰은 전 국민의 숫자보다도 많이 보급되어 수많은 정보뿐만 아니라 국가재난안전센터의 '재난속보', 우리 안전보건공단에서도 '사고포착' 등의 앱을 개발·탑재하여 산업현장에서 가정에 이르기까지 안전한 생활과 작업을 위하여 휴대폰을 널리 활용하고 있는 실정이다. 아울러 그간 휴대폰을 활용한 당노 측정, 소음측정 등 계측분야에도 다수 적용되고 있었으나, 휴대폰을 활용한 작업자 안전활동 감지 및 경보기에 대한 검지, 통신 및 어플리케이션은 전무한 실정이었다. 근래 들어 비약적으로 발전하고 있는 휴대정보 단말기(태블릿 PC, PDA 등), RFID/USN/ICT, 데이터베이스 시스템 등의 IT를 활용한 안전보건관리 기법의 도입 필요성이 크게 대두었으며, 특히 건설현장의 감독자는 근로자의 위치를 파악하는 것이 작업 및 안전을 위한 최대의 관심사이며, 밀폐공간내에서의 질식사 예방을 위해서도 필요하게 되었다. 그러나 근로자의 가시적인 관리에 어느 정도의 제한성과 또한, 과거에도 IT를 활용한 근로자의 위치 정보를 확인하는 장치들이 개발되었으나 개인정보 보호 차원의 이유로 현장에 보급되는 것이 한계가 있었다.

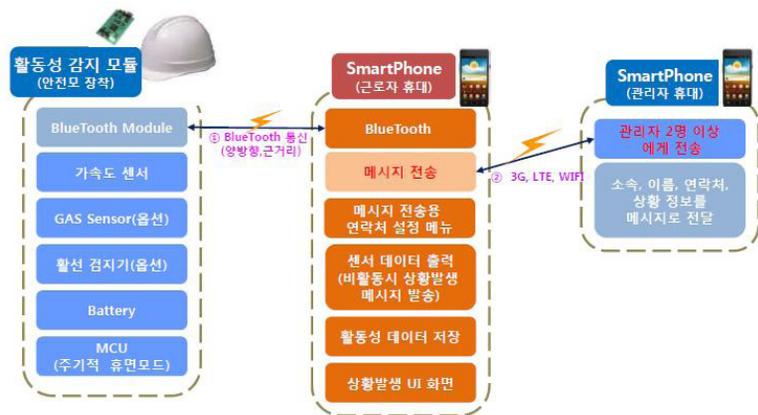
그러므로 작업의 개인정보 보호의 범위를 위축시키지 않는 범위에서 근로자의 안전활동(움직임, 감전, VOC)을 모니터링 하기 위하여 근로자가 일정시간 동안 움직이지 않을 경우(예; 의식을 잃을 정도의 질식/상해 사고 등)에는 현장책임자 및 감독자에게 휴대폰을 통하여 경보/경광 등으로 알린다면 사망사고를 미연에 예방하는데 크게 기여할 것으로 판단되어 "스마트폰을 이용한 근로자 안전활동 감지 및 경보장치"를 개발하게 되었다.

## II. 실용화 내용

기존의 휴대폰과 작업자 안전활동 감지 모듈 및 이를 수납하는 외장 케이스로 구성하여 근로자 움직임으로부터 인지된 활동/비활동 상태의 신호는 휴대폰으로 전송되어 이를 활동과 비활동의 신호를 판별한 후 비활동 상태인 경우 휴대폰 화면 및 스피커를 통하여 현장 책임자 또는 감독자에게 경고/경광을 내도록 구성하였으며, 이는 건설현장뿐 만 아니라 밀폐공간의 작업자/안전관리자에게 재해방지를 위한 유용한 안전 장치도 활용할 수 있다.

아울러 본 기술에 부가하여 활선검지 및 경보기, 유해가스 측정기술 또는 그 외의 물리/화학적 및 전기적 전압, 전류, 주파수 등 양을 휴대폰에서 측정/변화하여 표시/경보할 수 있는 기술에 모두 적용할 수 있다. 또한, 본 기술은 현재 범용상, 접근 편리상 안드로이드용을 대상으로 한 것이나 아이폰에도 적용 가능한 기술이다.

[그림 1]은 최종 개발된 스마트폰을 이용한 근로자 안전활동 감지 및 경보장치의 구성도를 나타낸 것이다. 활동성 감지 모듈, 스마트폰 연결용 MicroUSB 연결단자, 충전용 MicroUSB 연결단자, IC 3.3 V 전원용 Regulator, 스마트폰과 마이크로컨트롤러간 USBtoUART 통신 변환 IC, 마이크로컨트롤러, 검지기 연결단, 전원 스위치 및 통신 스위치로 구성된다.



[그림 1] 구성도



근로자의 안전활동을 위하여 근로자가 일정시간 동안 움직이지 않을 경우 관리감독자에게 휴대폰을 통하여 알려준다면 사망사고를 미연에 방지하는데 크게 기여 할 것으로 기대된다.



그 외 주요 기능으로는 연락처 등록, 소리설정, 검지간격, 활동성보기 기능이 있다.

[그림 2]는 최종 개발된 휴대폰 융합 근로자 안전활동 감지장치를 활용한 활동/비활동, 활선 검지 및 경보기와 유해가스 동작실험을 안드로이드용 휴대폰과 융합하여 실시한 것을 나타낸 것이다. 아울러 개발품의 대기/동작모드를 실증 실험을 한 결과, 10개의 시작품을 10대의 휴대폰에 탑재하여 실내외의 여러 환경에서의 실증 실험을 진행하였다.

과거에도 IT를 활용한 근로자의 위치 정보를 확인하는 장치들이 개발되었으나 개인정보 보호 차원의 이유로 현장에 보급되는 것이 한계가 있었다. 그러나 작업자의 개인정보 보호의 범위를 위축시키지 않는 범위에서 근로자의 안전활동을 위하여 근로자가 일정시간 동안 움직이지 않을 경우(예; 의식을 잃을 정도의 질식/상해 사고) 관리감독자에게 휴대폰을 통하여 경보/경광 등으로 알려준다면 사망사고를 미연에 방지하는데 크게 기여할 것으로 기대된다.



[그림 2] 개발품의 동작특성 실험

작업범위가 광활하거나 밀폐공간에서의 질식, 감전재해를 예방하기 위한 근로자 안전활동 모니터링을 위하여 센서/모니터링 기술 및 IT 융합기술에 부합되는 기술을 선점하였다. (실용신안출원; 2014. 10. 17, 출원번호; 20-2014-0007567)

#### | 참고문헌 |

1. IT를 활용한 안전기술 구축을 위한 실태조사 연구(최상원, 산업안전보건연구원, 2014)
2. 스마트폰 융합 근로자 안전활동 감지장치 개발 및 특성(최상원, 한국안전학회, 2014)
3. 실용신안출원서(최상원 등, 출원번호; 20-2014-0007567)

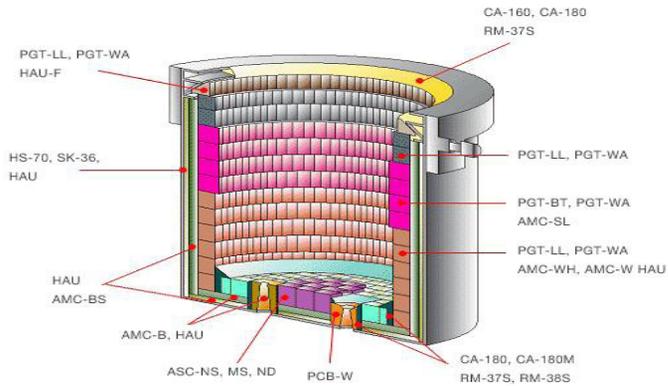
# 03

## 용광로 사용 작업장의 래들 안전성 향상 방안 제시 및 활용

신 운 철 실장\*/산업안전보건연구원 안전연구실



“철강업에 있어서 수증기 폭발 및 고열물 접촉 위험방지를 위한 기술상의 지침(고용노동부고시 제2012-91호)”의 이해하기 쉽지 않은 용어(“주형의 형틀 죄어붙임용 기구” → “주형의 형틀 고정용 기구”)를 개정하여 지침 사용 근로자의 이해부족에 의한 인적오류 발생을 예방하였다. 또한 주물작업장의 쇳물 운반용으로 쓰이는 래들에 대해 연구하여 기존의 래들의 무게중심이 불안정함을 밝혀 냈고, 래들의 반경과 초기 높이 등만으로 래들의 안전성을 확인할 수 있는 식을 제안하여 래들 사용의 안전성 향상에 기여하였다.



일반적인 래들의 구조

\* 연락처 : TEL 052-703-0850 , s88119@kosha.or.kr

## I . 개요 및 배경

우리나라의 철강산업은 2010년 5,891만톤을 생산하여 세계 6위의 철강생산국으로 성장하였다. 고용인원은 7만 9천여 명으로 우리나라 전체 고용의 3.2%를 차지하고 있다. 철강산업의 2006년~2010년 평균 재해율은 1.35%로 제조업 재해율(2009년, 1.04%)보다 그리 높지는 않지만 5년 평균 사망 만인율은 4.03%로 제조업 사망 만인율(2009년, 1.76%)보다 2.27배 높았다.

이러한 배경으로 철강산업의 재해감소를 위해 2011년『자동차·철강산업의 모기업-협력업체 안전보건모델 개발에 관한 연구』를 수행하게 되었다. 철강산업 관련한 국내·외 기술자료를 검토하는 과정에서 국내 철강산업에서 빈번히 발생하는 수증기 폭발 등에 대해 기준이 명확하지 않아 근로자의 이해 부족에 의한 인적오류 발생의 문제점을 찾게 되면서 “철강업에 있어서 수증기 폭발 및 고열물 접촉 위험방지를 위한 기술상의 지침(고용노동부고시 제2012-91호)”을 구체화·명확화할 필요가 있었다.

또한, 2010년 ‘당진의 용광로 추락사고’, 2012년 ‘정읍 래들 전복에 의한 사고’ 등 용광로 사용 사업장에서의 중대재해가 계속 빈발하여 용광로 사용 작업장의 사망률 감소를 위해 2013년 『금속제품제조업에서 래들의 안전성 향상 방안 연구』 및 『인적오류 방지를 위한 산업안전 적용 사례 연구』를 수행하게 되었다. 2013년 『금속제품제조업에서 래들의 안전성향상 방안 연구』에서 주물작업장의 쇳물 운반용으로 쓰이는 래들의 무게중심의 불안전함을 밝혀냈고, 래들의 무게중심의 위치에 대해 사업장에서 래들의 안전성을 확인할 수 있는 식을 제안하게 되었다.



철강산업의 5년 평균 사망 만인율은 4.03%로  
제조업 사망 만인율(2009년, 1.76%) 보다 2.27배  
높은 수치로 용광로 사용 작업장의 사망률 감소를  
위해 래들의 안전성 향상 방안 연구가 진행 되었다.



## II. 실용화 내용

2011년 『자동차·철강산업의 모기업-협력업체 안전보건모델개발에 관한 연구』수행 과정에서 철강산업 관련한 국내·외 기술자료를 검토하던 중 국내 철강산업에서 빈번히 발생하는 수증기 폭발 등에 대해 “철강업에 있어서 수증기 폭발 및 고열물 접촉 위험방지를 위한 기술상의 지침(고용노동부고시 제2012-91호)”의 기준 용어가 명확하지 않아 근로자의 이해 부족에 의한 인적오류 발생이 우려됨에 따라 해당 지침의 용어를 구체화·명확화하여 지침 사용 근로자의 이해를 도와 이해부족에 의한 인적오류 발생을 억제하려는 목적으로 해당 지침을 개정하게 되었다.

주요 개정내용은 『철강업에 있어서 수증기 폭발 및 고열물 접촉 위험방지를 위한 기술상의 지침(고용노동부고시 제2012-91호)』의 2조 ③항 6호의 “고정핏트에서는 그 측벽 또는 상면에 주형의 형틀 고정용 기구를 장치하여 둘 것”에서 “주형의 형틀 죄어붙임용 기구”를 “주형의 형틀 고정용 기구” 용어로 개정하여 지침 사용 근로자의 이해를 도왔다.

철강업에 있어서 수증기 폭발 및 고열물 접촉위험 방지를 위한 기술상의 지침  
고용노동부고시 제2012-91호

제 2장 핏트·수냉장치 및 광재처리장의 구조

제2조(핏트)

③ 주조용 토간입 핏트는 다음 각 호에 적합하여야 한다.

**6. 고정핏트에서는 그 측벽 또는 상면에 주형의 형틀 고정용 기구를 장치하여 둘 것**

2013년 『금속제품제조업에서 래들의 안전성향상 방안 연구』에서는 주물작업장의 쇳물 운반용으로 쓰이는 래들에 대해 연구하여 기존의 래들의 무게중심이 불안정함을 밝혀냈고, 래들의 반경과 초기 높이 등만으로 대략적이지만 래들의 안전성을 확인할 수 있는 식을 제안하였다.

$$L = \frac{2l_m^2 + r_m^2}{4l_m}$$

제안된 식에서 L은 용탕의 밑면으로부터 트러니온 축심까지의 최소 거리,  $l_m$ 은 용탕의 초기 높이,  $r_m$ 은 용탕의 반지름이다.

※ 트러니온 축심 : 래들이 회전할 수 있도록 하는 축



주물작업장의  
쇠물 운반용으로  
쓰이는 래들에  
대해서 기존 래들의  
무게중심이  
불안정함을 밝히고,  
래들의 안전성을  
확인할 수 있는  
식을 제안하여  
래들 사용의 안전성  
향상에 기여하였다.



또한, 2013년 산업안전보건강조주간에는 『인간중심 안전관리 접근의 필요성』이란 세미나를 개최하여 중대용광로 사용 작업장에서의 중대재해에서 보이는 인적오류와 근로자 행동을 기반으로 하는 안전관리 방법을 통한 사망 만인을 감소 접근법을 제안하였다. 그리고 용해로 보유 사업장이 밀집하여 있는 경남지사(120여개사)에서 용해작업 재해예방 세미나를 개최하여 용해작업의 안전의식 향상에 기여하였다.

#### | 참고문헌 |

1. 이광길 등, “자동차 · 철강산업의 모기업-협력업체 안전보건모델개발에 관한 연구”, 산업안전보건연구원, 2011
2. 산업재해현황통계자료
3. 최승주 등, “금속제품제조업에서 래들의 안전성 향상 방안 연구”, 산업안전보건연구원, 2013
4. 박재희 등, “인적오류 방지를 통한 산업안전 적용 사례 연구”, 산업안전보건연구원, 2013

# 04

## 비파괴 검사작업에 대한 원도급업체의 안전보건조치 의무 부여 및 적용

정은교 연구위원\*/산업안전보건연구원 직업환경연구실



도급사업 시 같은 장소에서 작업을 할 때 생기는 산업재해를 예방하기 위해 이동식 방사선발생장치를 이용한 비파괴검사 업무가 상시 이루어지는 조선업, 건설업 등의 안전·보건조치 의무를 발주인, 수급인 및 도급인에 동시 부여하도록 시행규칙을 개정하여 방사선물질 및 방사선발생장치를 취급하는 근로자의 건강장해를 예방하는데 기여하였다. 그 주요 개정내용은 산업안전보건법 시행규칙 제30조(도급사업 시의 안전·보건조치 등)의 4항 “고용노동부령으로 정하는 산업재해 발생위험이 있는 장소”에 『방사선업무를 하는 장소』를 신설한 것이다.



이동용 방사선발생장치를 비파괴검사 현장

\* 연락처 : TEL 052-703-0902 , jungek60@kosha.or.kr

# I . 개요 및 배경

## I-1. 배경

2011년 4월 울산 소재 비파괴검사 업체 소속 검사원 3명에게서 방사선으로 인한 백혈병이 발생하였다. 비파괴검사(non-destructive testing)는 재료나 제품의 원형과 기능을 변형시키지 않고(파괴하지 않고) 물리적 에너지(방사선, 음파, 전기에너지 등)를 투과하여 재료의 조직 이상이나 결함을 찾아내는 품질검사방법이다. 비파괴검사는 대부분 철물의 용접상태에 대한 검사로 용접부분의 균열과 공동 등 내부결함을 검출하며, 가장 많이 사용되는 검사방법으로는 방사선 투과법과 초음파 탐상법이 있다.

국내 방사선작업 근로자의 안전보건과 관련된 법규들은 고용노동부의 산업안전보건법, 미래창조과학부의 원자력안전법, 보건복지부의 의료법에 명시되어 있지만, 병원 등 의료기관에서 진단용 방사선을 취급하는 ‘방사선관계종사자’의 직업상 노출선량은 “의료법 및 진단용 방사선 발생장치의 안전관리에 관한 규칙”에 따라 식품의약품안전처, 식품의약품안전평가원 및 보건복지부 산하 질병관리본부(Centers for Disease Control and Prevention, Korea CDC)에서 관리하고 있다. 진단용 X-선을 제외한 치료용 방사선발생장치 및 산업용으로 사용되는 방사선원을 취급하는 작업에서 직업상 노출되는 ‘방사선작업종사자’들의 노출관리는 원자력안전법에 따라 원자력안전위원회 및 한국원자력안전기술원(Korea Institute of Nuclear Safety, KINS) 등에서 관리하고 있다. 2012년 원자력안전연감에 따르면, 방사선동위원소 등을 이용하는 기관은 5,606개소이며, 이중 집중적인 규제대상인 허가기관은 1,337개소, 나머지 4,269개소가 신고기관이다. 방사선작업종사자는 원자력발전소 14,963명을 포함해 전체 42,226명으로 매년 증가추세에 있는 것으로 파악되었다.

또한 전체 평균선량은 1.59 밀리시버트(mSv)이고 비파괴검사업체가 3.43 mSv로 가장 높고 의료기관, 생산·판매업체, 원자력발전소 순으로 높았다(Nuclear Safety And Security Commission, 2013). 그런데, 의료기관의 진단용 방사선발생장치를 취급하는 종사자 62,935명을 포함하면

전체 방사선작업 종사자는 10만명이 넘는 것으로 조사되었다. 이것은 2010년 대비 44%이상 증가한 것이다(Korea CDC, 2013).

따라서, 산업안전보건법 및 원자력안전법에서 중복 규제하고 있는 방사선 관리 제도를 검토하여 비파괴검사작업 근로자에 대한 건강관리대책을 강구할 필요가 있다.

## 1-2. 주요 관련 정보



산업안전보건법  
시행규칙 제30조  
(도급사업시의  
안전·보건 조치 등)  
제4항 18호를  
신설하여  
이동식 방사선  
발생장치를  
이용하여  
비파괴검사  
업무가 이루지는  
조선업·건설업 등의  
안전보건조치  
의무를 원청업체에  
동시 부여하도록  
개정하였다.



산업안전보건법의 법적용은 “모든 사업 및 사업장”이지만, 원자력안전법은 원자력이용의 안전관리를 규정하여 학술의 진보와 산업의 진흥을 촉진함에 있다. 산업안전보건법에 일부적용 대상사업은 원자력안전법 적용사업으로 원자력발전설비를 이용하여 전기를 생산하는 사업장(비파괴검사업무 포함)에 한한다고 되어 있으므로, 일반 사업장의 방사선작업의 안전보건상 제반 문제는 산업안전보건법의 적용범위 내에 있다고 볼 수 있다.

산업안전보건법상 사업주는 비파괴검사 등 방사선업무와 관계되는 도급작업 등의 재해예방을 위하여 안전보건관리총괄책임자를 두고 관리감독자(또는 안전담당자)를 지정하며 보건관리자(또는 안전관리자)를 선임해야할 규정이 없다. 그러나, 산업안전보건법상 안전보건관리규정에는 사업주가 안전보건조치 즉, ‘산업재해예방, 작업환경측정, 건강진단’ 등을 실시해야할 책임과 의무가 있다.

원자력안전법에 의한 허가사용자 중심의 유해·위험물질의 안전보건관리로는 비파괴검사업무와 같은 이동사용업체에 대한 특성을 만족하는 안전보건관리가 이루어질 수 없다. 왜냐하면, 비파괴검사를 행하는 방사선취급작업이 위치한 장소가 발주한 사업장내에 있어 작업현장에서의 안전보건관리는 상호 분리하여 생각하기 때문이다. 또한, 비파괴검사자의 방사선 피폭을 줄이기 위해서는 개인피폭선량계를 철저히 착용하여 피폭관리가 이루어져야 하나, 작업근로자의 방사선 피폭선량이 분

기당 기준치를 초과하면 다른 업무로 작업전환 되어야 하므로 개인피폭 선량계 착용을 기피하는 실정이다(산업안전보건연구원, 2009).

## II. 실용화 내용

원자력안전법의 법적 범위와 한계로 산업안전보건법 제29조에서 명시하는 도급사업 시 안전보건조치사항을 규정하여 같은 장소에서 행해지는 사업의 일부를 도급에 의하여 행하는 사업의 사업주가 같은 장소에서 발생할 수 있는 산업재해예방을 위해 조치하도록 하는 규정이 없다.

따라서 도급사업 시 같은 장소에서 작업을 할 때 생기는 산업재해를 예방하기 위해 이동식 방사선발생장치를 이용한 비파괴검사 업무가 상시 이루어지는 조선업, 건설업 등의 안전·보건조치 의무를 발주인, 수급인 및 도급인에 동시 부여하도록 시행규칙을 개정하여 방사선물질 및 방사선발생장치를 취급하는 근로자의 건강장해를 예방하는데 기여하였다.

### \*산업안전보건법 시행규칙

제30조(도급사업 시의 안전·보건 조치 등)

① 도급인인 사업주는 법 제29조제2항제2호에 따라 작업장을 다음 각 호의 구분에 따라 순회점검하여야 한다.

② ~ ③ (생략)

④ 법 제29조제3항에서 “고용노동부령으로 정하는 산업재해 발생 위험이 있는 장소”란 다음 각호의 어느 하나에 해당하는 장소를 말한다.

1. ~ 17. (생략)

〈신 설〉

제30조(도급사업 시의 안전·보건 조치 등)

① 도급인인 사업주는 법 제29조제2항제2호에 따라 작업장을 다음 각 호의 구분에 따라 순회점검하여야 한다.

② ~ ③ (현행과 같음)

④ (현행과 같음)

1. ~ 17. (현행과 같음)

18. 안전보건규칙 제574조 각 호에 따른 방사선업무를 하는 장소

산업재해예방을 위한 안전보건 조치사항의 범위가『안전보건규칙 제 574조 각 호에 따른 방사선업무를 하는 장소』로 확대됨에 따라 일반 사업장에서 다루는 대부분의 방사성물질 및 방사선발생장치는 근로자의 건강장해를 예방하기 위한 다음과 같은 필요한 조치를 해야 할 의무대상이 되었다.

제574조(방사성물질의 밀폐 등) 사업주는 근로자가 다음 각 호에 해당하는 방사선업무를 하는 경우에 방사성물질의 밀폐, 차폐물(遮蔽物)의 설치, 국소배기장치의 설치, 경보시설의 설치 등 근로자의 건강장해를 예방하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.

1. 엑스선 장치의 제조·사용 또는 엑스선이 발생하는 장치의 검사업무
2. 선형가속기(線形加速器), 사이크로트론(cyclotron) 및 싱크로트론(synchrotron) 등 하전입자(荷電粒子)를 가속하는 장치(이하 "입자가속장치"라 한다)의 제조·사용 또는 방사선이 발생하는 장치의 검사 업무
3. 엑스선관과 케노트론(kenotron)의 가스 제거 또는 엑스선이 발생하는 장비의 검사 업무
4. 방사성물질이 장치되어 있는 기기의 취급 업무
5. 방사성물질 취급과 방사성물질에 오염된 물질의 취급 업무
6. 원자로를 이용한 발전업무
7. 갱내에서의 핵원료물질의 채굴 업무
8. 그 밖에 방사선 노출이 우려되는 기기 등의 취급 업무

이에 따라 본부, 지역본부 및 지사에서는 방사선 의료기기 제조·수입·사용업체 및 비과과검사업체를 대상으로 방사선장비(기기) 취급 근로자의 노출실태 파악, 개인선량계 착용 및 특수건강진단 실시 여부, 방사선에 의한 건강장해예방 기술자료 보급 및 교육 등의 산업보건 전문기술 지원 사업을 전개하도록 제안하였다.

### | 참고문헌 |

1. 정은교, 방사선 누출 근로자 건강관리 강화방안, 산업안전보건연구원 직업환경 연구실(고용노동부 보고자료), 2012.
2. 주광태 등, 비파괴검사작업 방사선 노출 저감방안 연구, 산업안전보건연구원 연구보고서, 한국산업안전보건공단, 2012.
3. 김광중 등, 방사선 및 방사성 동위원소 취급 사업장의 보건관리 실태조사, 산업안전보건연구원 연구보고서, 한국산업안전보건공단, 2007.
4. 한국방사선의학재단, 진단용 방사선 안전관리책임자를 위한 실무 핸드북, 식품의약품 안전청, 2009.

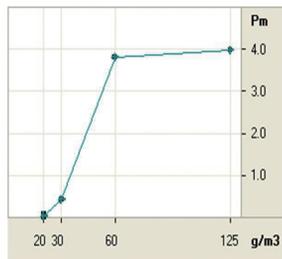
# 05

## HDPE 분말의 화재·폭발 위험성평가 보고서 및 폭발특성자료의 활용

한 우 섭 연구위원\*/산업안전보건연구원 화학물질센터



고밀도폴리에틸렌(HDPE) 폭발사고의 과학적인 원인규명과 재해예방대책을 제시하기 위하여 폭발사고 현장에서 채취한 HDPE 분진의 폭발특성자료를 실험적으로 조사하였고, 이를 토대로 HDPE 분진의 화재·폭발 위험성평가 보고서를 작성하였다. 플라스틱 분진 취급사업장에 폭발특성에 관한 안전 기술자료와 HDPE 분진폭발특성을 고려한 안전대책을 제공하여 활용하게 함으로써 동종재해를 예방하는데 기여하였다.



HDPE의 폭발하한농도 측정결과

항 목	측정 결과
평균입경	61.6 [μm]
폭발하한계(LEL)	30 [g/m³]
최대폭발압력(Pmax)	7.3 [bar]
최대폭발압력상승속도 [(dP/dt)max]	218.9 [bar/s]
폭발지수(Kst)	59.4 [m·bar/s] (St 1 해당)

HDPE 분진의 폭발특성 측정 결과

\* 연락처 : TEL 042-869-0321 , hanpaule@kosha.or.kr

# I . 개요 및 배경

## I-1. 배경

2013년 3월 14일 20시 50분 경에 전남 여수시 화치동에 소재하고 있는 석유화학 사업장 내의 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 제조공장 분진 제품을 저장하고 있던 사일로 2층에서 정비보수 업체 소속의 근로자들이 사일로 하부 측면에 맨홀 설치를 위해 구멍을 뚫은 후에 맨홀을 용접하는 작업 과정에서 사일로 내부에 잔존한 HDPE 분진이 용접 불꽃에 착화되어 폭발사고가 발생하였다. 이 폭발사고로 인하여 사일로 상부에서 플랫폼 설치작업을 하고 있던 협력업체 근로자 9명 중에서 5명이 사망하고 4명이 중상을 입었다. 또한 지상으로부터 약 8 m의 높이에 위치하고 있는 사일로 중간층에서는 맨홀 설치 작업 중이던 근로자 6명 중에서 1명이 사망하고 5명이 부상을 입었다. 원청업체인 소속의 작업감독자는 지상과 중간층에서 각각 1명씩 있었는데 2명 모두가 함께 작업을 하다가 부상을 당하였으며, 이 폭발사고로 인한 총 재해자 수는 사망 6명과 부상 11명이 발생하였다.

HDPE 분진은 쇼핑백, 식품 포장필름 등에 사용되는 인체에 무해한 플라스틱 제품을 만드는 원료이다. HDPE 생산 공정은 원료인 에틸렌과 촉매를 섞어 1차 반응기에서 반응시키고 제품 후처리에서 미반응 가스를 회수해 중간제품인 사일로에 모아 압출과정을 거친다. 이후 압출시킨 제품은 최종제품 저장소를 거쳐 포장 출하되는데 HDPE의 중간제품인 분말상태를 저장하는 사일로 저장조의 내부 검사를 위해 2층 맨홀을 설치 과정에서 보강판을 용접하던 중에 폭발사고가 발생하였다.

이에 HDPE 분진 폭발사고의 과학적인 원인규명 및 재해예방대책 강구를 위해서 폭발특성자료가 우선적으로 요구됨에 따라 폭발사고 현장에서 채취한 HDPE 분진의 폭발특성자료를 실험적으로 조사하게 되었다.

## 1-2. 주요 관련 정보

### ■ HDPE의 화재폭발위험성 정보의 확보가 필요

사일로 정비작업을 위하여 공장에서 취급 중인 에틸렌을 비롯한 대부분의 위험물은 제거되었으나 사일로 내부에 일부 제거되지 않은 HDPE 분진이 폭발하였다. 작업전에 제거하고 남아 있던 HDPE 분진의 양은 적어 폭발규모가 크지는 않았지만 보다 근본적인 원인은 HDPE 분진의 화재폭발위험성 정보 부재로 인해 화재폭발예방을 위한 적절한 사전대책이 부족하였던 것이라 할 수 있다.

### ■ 화기작업 전에 사일로 내 분진 존재의 확인이 필요

사일로에서는 가연성인 HDPE분진을 취급하기 때문에 내부가 분진폭발위험지역으로 구분되어 있고 정상운전 중에는 폭발방지를 위하여 질소를 채운 상태에서 운전되고 있었다. 그러나 사일로 맨홀 설치작업 시 사일로 내부에 공기가 유입되어 있는 상태에서 퇴적 분체를 제거하지 않고 화기작업을 실시함으로써 화재폭발이 발생하게 된 직접적인 원인이 되었다.

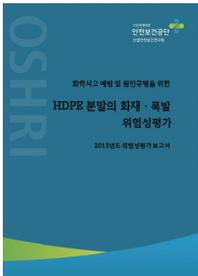
### ■ 취급 화학물질의 위험성정보의 공유가 필요

사일로 내에 존재하고 있던 HDPE분진에 대한 화재폭발위험성과 피해저감대책 등에 대한 안전기술정보를 사전에 공사업체에 전달하였더라면 화기작업 전에 사일로 내부의 가연물을 제거한 뒤에 작업을 진행하거나 용접 불꽃이 사일로 내부에 유입되지 않도록 충분한 예방대책을 강구할 수 있었지만 이를 원청업체에서 위험성정보의 공유가 정확히 이루어지지 않았다.

### ■ 안전기술자료를 활용한 사전 안전교육이 필요

공정에서 취급하는 화학물질의 위험성을 작업 전에 안전교육을 통하여 작업자 에게 알려줌으로써 작업 시에 발생할 수 있는 재해를 사전에 예방하고 예기치 못한 사고에도 신속히 대응하도록 하는 것이 중요하다.

## II. 실용화 내용



[그림 1] 공단 홈페이지를 통해 제공된 위험성평가보고서

HDPE 분진폭발사고의 과학적인 원인규명 및 재해예방대책 강구를 위해서 폭발특성자료가 우선적으로 요구됨에 따라 현장에서 채취한 HDPE 분진의 폭발특성자료를 실험적으로 조사하고, [그림1]과 같은 HDPE 분말의 화재·폭발 위험성평가보고서를 작성하여 플라스틱 분진 취급사업장에 폭발특성에 관한 안전기술자료와 HDPE 분진폭발 특성을 고려한 안전대책을 제공하였다.<sup>1</sup>

위험성평가보고서는 HDPE 분진폭발사고의 원인규명을 과학적으로 접근하기 위한 기초자료를 제공하는 것뿐만 아니라, HDPE 분말취급 동종업종에 폭발특성에 관한 정보를 제공함으로써 향후 발생할 수 있는 동종재해를 예방하고자 하였다. [표 1]은 HDPE분진의 화재폭발 특성시험의 목적과 평가결과를 분석한 내용을 정리한 것이다.

[표 1]. HDPE분진의 주요 화재폭발평가 및 결과분석

시험 항목	평가 목적	결과 및 분석
입도분석	분진폭발특성 변동에 커다란 영향을 주는 평균입경 및 입도분포를 조사	평균입경은 61.6 μm이지만 시료는 0.1~10 μm 범위 내의 미세 입자가 매우 많이 포함되어 있는 것으로 조사되어 착화위험성이 높을 것으로 추정
열분석(TGA) 시험 및 열안정성분석	일정 온도 환경에서 퇴적분진의 열적 분해특성을 통해 발화위험성 조사	시료가 고온 표면에 퇴적되어 있는 경우에는 약 440°C 근처에서 발화 위험성이 있음
분진폭발 압력특성	공기 중에 분산되어 있는 부유분진이 착화되었을 때의 폭발위험성을 조사	- 최대폭발압력은 7.2 bar임(▶ 폭발예방을 위해 Silo의 용기 내압은 최대폭발압력보다 커야 함) - 폭발하한농도 20g/m <sup>3</sup> 임(▶ 폭발하한농도 이상에서 폭발위험성이 있음)
최소점화 에너지(MIE)	어느 정도 크기의 점화에너지에서 착화하여 폭발하는가를 조사	- 최소점화에너지는 1mJ 이하로 나타남 - 대부분 분진은 1mJ 이상인데, MIE가 너무 작아 시험규격상 정확한 값의 표기가 곤란 - 가스를 착화시킬 정도로 매우 작은 에너지로도 착화되어 착화 위험성이 높음 ※ 프로판 가스의 최소점화에너지는 0.3mJ임
부유분진의 최저발화 온도(MIT)	공기 중에 분산되어 있는 부유분진이 착화원 없이도 발화되는 최소의 분위기 온도를 조사	- 부유분진의 최저발화온도(MIT)는 560°C임 - 발화위험성을 예방하기 위해 공정 내의 분위기는 최저발화온도(MIT)보다 작게 관리되어야 함



HDPE분말의  
화재·폭발 위험성  
평가보고서를  
전국 지역본부 및  
지사에 배포하여  
화재·폭발사고  
예방을 위한  
자료로 활용하도록  
하였다.



[표 2]. HDPE 분진폭발특성을 고려한 안전대책 예

동종재해 예방을 위한 안전대책 예	
1.	HDPE분진의 최대폭발압력은 7.2 bar로서 프로판가스보다는 다소 작지만 폭발에 따른 충격파(Shock wave)에 의해 작업자 및 장치에 피해를 줄 수 있는 폭발압력을 가지고 있으므로 장치나 설비의 피해최소화 대책이 요구됨 ※ 프로판가스의 폭발압력: 약 9 bar
2.	HDPE제조공정 중의 분진은 0.1~10 μm 범위 내의 미세 입자가 많이 포함되어 있으므로 폭발민감도가 높으므로 착화 및 발화 위험성에 대한 주의가 필요함
3.	HDPE분진은 1mJ 이하의 작은 에너지에도 쉽게 착화될 수 있는 위험성을 가지고 있으므로 착화원 관리에 주의가 필요하다.

“HDPE분말의 화재·폭발 위험성평가보고서”는 사업장, 공단 지사 등에 배포하여 화재폭발사고예방을 위한 자료로서 활용되도록 하였으며, 또한 동종사고예방을 위해 개최된 여수국가산단 안전기술 세미나(2013년12월11일)를<sup>2</sup> 통하여 HDPE를 비롯한 플라스틱 분진의 폭발위험성에 대한 관련 사업장의 안전의식 고취 및 안전문화 향상에도 활용되었다.

**| 참고문헌 |**

1. 한우섭 등, “화확사고 예방 및 원인규명을 위한 HDPE 분말의 화재폭발 위험성평가보고서”, 산업안전보건연구원, 2014-연구원-158, 2014.
2. 한우섭, “분진 화재폭발사고 대응방안”, 2013년 여수국가산단 안전기술 세미나, pp.51-80, 2013.



# Research to Practice