

OSH 안전보건 이슈리포트 ISSUE REPORT

[안전보건 연구동향 Vol.9 No.2, 통권67호]

- 루게릭병의 직업적 위험요인, 어떻게 연구할 것인가?
- 실험실 안전환경 구축 가이드, 연구환경이 안전해진다!
- 밀폐공간에서의 죽음, '그 작업자가 그 곳에 있다는 것을 아무도 몰랐다'
- 수입 과일 방역작업에서 사용되는 메틸브로마이드(브롬화메틸) 중독의 위험성
- 폭발방지를 위한 전기설비의 국제적 기준과의 부합화 노력

산업재해예방
안전보건공단
산업안전보건연구원





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 사망만인율 등 아직도 안전보건 확보를 위해 해결해야 할 문제가 산적해 있습니다.

이에 우리 연구원에서는 산업안전보건과 관련된 시급하고 중요한 국내·외의 다양한 정보와 동향을 선제적으로 파악하여 정부, 학계 등의 안전보건정책 의사 결정자에게 알려드리고, 안전보건 정책을 선도할 수 있는 선제적 연구과제를 발굴하여 단기 및 중·장기 안전보건 연구과제에 반영하기 위한 목적으로 이슈리포트를 발간합니다.

산업안전보건연구원장 권혁면

OSH 안전보건 이슈리포트 ISSUE REPORT

[안전보건 연구동향 Vol.9 No.2, 통권67호]

OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH RESEARCH INSTITUTE



2015년 6월 30일 발행

발행처 : 산업안전보건연구원

발행인 : 권혁면

ISSN 1976-345X

052-703-0815

oshri.kosha.or.kr

CONTENTS

- 루게릭병의 직업적 위험요인, 어떻게 연구할 것인가?.....2
- 실험실 안전환경 구축 가이드, 연구환경이 안전해진다!.....10
- 밀폐공간에서의 죽음 ‘그 작업자가 그 곳에 있다는 것을 아무도 몰랐다’.....21
- 수입 과일 방역작업에서 사용되는.....29
메틸브로마이드(브롬화메틸) 중독의 위험성
- 폭발방지를 위한 전기설비의 국제적 기준과의 부합화 노력.....39

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

 본고는 <http://oshri.kosha.or.kr>에서 다운받아 보실 수 있습니다.

루게릭병의 직업적 위험요인, 어떻게 연구할 것인가?

직업건강연구실 김은아 실장

요 약 문

- **배경 및 문제점:** 최근 모 전자회사의 서비스 근로자에게서 발생한 루게릭병(Lou Gehrig's Disease)이 업무상 노출된 화학물질에 의해 발생한 것으로 우려하는 등 루게릭병의 직업적 위험요인에 대한 사회적 관심이 증가하고 있다. 루게릭병은 아직 원인을 알 수 없는 질환이며, 국외에서는 다수의 연구에도 불구하고 직업적 위험요인에 대한 명확한 결론이 아직 없는 질환이다. 인구 10만 명 당 2~3명의 유병률을 가진 희귀한 병이지만 일단 발병하면 호전되지 않고 계속 진행하여 치명적인 상태가 되므로 원인규명 연구의 중요성이 커지고 있다. 루게릭병은 희귀한 만큼 위험요인의 조사도 쉽지 않으므로 신중한 연구 설계가 필요하다.
- **목적:** 루게릭병에 대한 현재까지의 연구동향을 검토하여 화학물질 노출 등 직업적 루게릭병의 위험요인에 대한 과학적 견해를 정리하고, 우리나라 근로자의 루게릭병 위험요인을 조사하기 위해서는 어떤 연구가 필요한지를 제시하고자 한다.
- **조사 및 분석내용:** 다수의 역학연구들을 검토한 결과 가장 최근의 결론은 화학적 물리적 요인 중 루게릭병과 관련이 있는 확정적인 직업적 원인은 없는 것으로 나타났다. 다만 농업에서 농약의 노출이 관련성이 의심되는 정도의 강도를 보여주고 있으며, 금속 중 납의 고농도 노출이 일정 정도의 관련성을 보여 주었고 유기용제 등 다른 화학물질의 관련성이 낮았다. 유병률이 매우 낮은 루게릭병의 직업적 위험요인을 조사하기 위해서는 전생애 직업력과 위험요인 노출작업, 개인적 건강습관 등에 대한 자세한 면담조사가 포함된 환자-대조군 연구가 필요하며, 중장기연구로 기획해야 수행 가능하다.
- **정책제언:** 루게릭병의 직업적 위험요인 조사를 위해 환자-대조군 연구 3개년 기획이 필요하다. 이후 이 연구의 결과를 기반으로 루게릭병의 주요 위험산업에 대해 위험요인 노출평가 연구를 기획할 수 있다.



1. 배경 및 문제점

최근 모 전자회사 소속 서비스 근로자의 루게릭병(Lou Gehrig's Disease)이 산업재해로 인정되면서 루게릭병의 직업적 위험요인에 대한 사회적 관심이 증가되고, 이에 대한 예방 필요성이 국회에서 논의되는 등 루게릭병의 위험요인을 찾아 예방해야 한다는 목소리가 대두되었다.

다른 희귀성 질환과는 달리 루게릭병은 비교적 사회적으로 이름이 알려져 있다. 질병명 자체가 미국의 유명한 야구선수의 이름을 딴 병이기도 하지만, 물리학자 스티븐호킹이 이 병을 앓으면서 더욱 잘 알려졌다. 루게릭병은 뇌 속에 있는 운동신경세포가 점점 퇴화하는 질환이다. 인간이 움직이기 위해서는 뇌의 운동신경으로부터 척수로, 또 척수로부터 근육으로 운동명령이 전해져야 한다. 그런데 루게릭병은 뇌 속의 운동신경이 퇴화되어 뇌로부터 운동을 시작하라는 신호가 발생되지 않으며, 근육의 운동기능도 사라지게 된다. 인간이 자유자재로 말하고, 먹고, 움직이고 숨쉬기 위해서는 이러한 기능과 관련된 근육을 움직여야 하며, 관련된 뇌 속의 운동기능이 작동을 해야 하는데 루게릭병은 이러한 기능이 결국에는 불가능하게 되는 것이다. 루게릭병은 환자의 이러한 고통을 경험하면서 환자를 돕기 위한 사회적 분위기를 북돋우기 위해 'ice challenge' 운동이 일어나기도 했다.

한편, 루게릭병이 직업적인 위험요인과 관련이 있는지에 대한 우려를 확인하고자 비교적 오래전부터 연구가 진행되어왔다. 중금속, 유기용제, 분진 등의 화학적 요인에 노출된 근로자, 반복적 상해, 손상, 유해방사선 등 물리적 위험요인 등을 포함하여 학자들은 수십 년 간 연구를 진행해왔다. 그러나 루게릭병처럼 희귀한 질환의 경우 연구수행도 어렵지만, 연구에 영향을 미치는 요인이 많아 개별 연구 간의 차이가 크다.

따라서 대부분의 직업적 위험요인이 한두 번 이상 연구가 되었으나 이러한 연구결과들이 수렴되어 특정위험요인이 확실한 관련이 있다고 밝혀지기는 쉽지 않다. 장기간에 걸친 여러 연구결과를 종합하여 결론을 도출하는 연구방법으로서 메타분석이나 종합분석(pooled analysis)를 들 수 있다. 최근 수행된 메타분석결과에 의하면 과거 매우 관련성이 높다고 보고되던 유기용제나 납 등의 중금속 노출은 최근에 와서는 관련성이 낮은 것으로 정리되었다. 따라서 현재까지 루게릭병의 직업적 위험요인에 대해서는 정설로 내세울만한 과학적 논거가 없으며, 일부 위험요인이 비교적 관련성이 있어 보인다는 정도이다.



II. 목적

이 글에서는 루게릭병에 대한 현재까지의 연구동향을 검토하는 것을 목적으로 하였다. 특히 화학 물질 노출 등 직업적 루게릭병의 위험요인에 대한 문헌을 정리하여 알기 쉽게 요약함으로써 희귀한 신경퇴행성질환인 루게릭병에 대해 우리사회의 연구는 무엇이 필요한가를 고찰하고자 한다. 그리고 해외의 연구수행 사례들로 살펴보고 우리나라 근로자의 루게릭병 위험요인을 조사하기 위해서는 어떤 연구가 필요한지, 또, 실제 어떤 연구가 가능할지에 대해 요약하고자 하였다.



III. 조사 및 분석내용

1. 루게릭병의 개요

루게릭은 10만 명당 약 2~3명, 유병률은 4~5명이 발생하는 것으로 추정되는 희귀한 질환이다. 이러한 희귀질환은 따로 등록체계가 없는 한 별도의 연구를 통하지 않고 유병률이나 발생률을 추정하기는 어렵다. 국내에는 아직 루게릭병에 대한 정확한 유병이나 발생자료가 없는 상태이다. 국내에는 개별 연구자(손은희 등, 2013)가 수행한 루게릭병의 환자군 조사연구가 있었는데 이 연구에서 추정한 환자 수는 1년 6개월 동안 345명의 환자를 보고하였다. 홍콩에서 발표한 발생률(10만 명당 1명)을 참고할 경우 한국의 루게릭 환자의 발생률은 연간 약 500명이 발생하는 것으로 추정할 수 있다.

루게릭병의 원인과 병리기전은 아직 밝혀져 있지 않다. 현재까지 추정하는 원인 또는 기전으로는 유전자와 환경적 요인의 상호작용에 의해 신경계손상이 발생하지 않는가 하는 가설이다. 루게릭병은 크게 두 가지의 종류로 나눌 수 있다. 하나는 가족성 질환으로 전체 루게릭환자의 5~10%를 차지한다고 알려져 있다. 이 유형은 유전성을 나타내며 주로 47~52세에 발병하는데, 관련되어 있다고 밝혀진 유전자는 13개가량이다. 두 번째 유형은 산발성 루게릭인데 전체의 90%를 차지하며 58~63세에 발생한다. 이 유형은 정확한 발병기전을 모르는데, 쌍둥이 사이에서 발병빈도가 증가하고 가족 내에서 다른 신경질환의 빈도가 높아지는 것으로 보아 유전적인 요소가 어느 정도는 관여할 것으로 추정하고 있다.

유전자외의 영향요인으로 연구되어온 것들은 머리에 대한 손상, 군대복무, 약물복용, 신체적접촉이 많은 스포츠 경험 등이 있는데, 이러한 요인들의 영향은 결정적인 판단을 할 정도의 증거가 나타나지 않았다. 일부 과학자들은 뇌 속의 신경전달물질인 글루타메이트가 환자들에서는 높았다는 보고를 하기도 했는데 육상선수들의 경우 글루타메이트와 관련이 있는 아미노산이 풍부한 음식을 먹는다는 보고도 있었다. 다른 연구들에서는 전두엽과 측두엽 부위에 손상을 받는 경우 루게릭병의 발생이 증가한다는 보고가 있었으나 이 역시 확정적인 결론을 내리기 어려운 상태이다. 흡연은 활성산소를

발생시키기 때문에 루게릭병 발병과의 관련성이 많이 연구 되었고, 흡연과의 관련성을 제시한 결과들이 있었다¹⁾. 하지만, 명확한 관련성을 증명하기엔 불충분하며 더 제대로 된 연구가 필요한 상황이다.

2. 루게릭병의 직업적, 환경적 요인

루게릭병과 관련성이 연구되어온 직업적 요인들은 납, 전자기장(electromagnetic fields), 흡연, 유기인계살충제(organo-phosphates), 유기수은(methylmercury), 시아노박테리아(cyanobacteria), 셀레늄, 외상, 과도한 신체활동 등 매우 다양한 종류가 있었다. 하지만 이러한 요소들의 루게릭병과의 관련성은 아직도 불분명하였다²⁾. Sutedja 등(2009, A)³⁾은 메타분석을 통해 화학물질, 중금속 등과 루게릭병의 위험도를 종합분석한 결과 통계적으로 유의한 결과가 거의 없었다.

① 중금속

중금속의 경우 루게릭과 가장 오래 연구되어온 위험요인이었다. 그런데 대부분의 연구에서 중금속의 노출과 루게릭병의 기전을 밝혀내지 못하였다. 일부 연구자들은 개인의 유전적 구성간의 상호작용을 통해 질병을 일으킨다고 추정하기도 했지만 이는 추정일 뿐, 중금속의 노출 자체와 루게릭의 발병과의 관련성을 증명하는 데에는 근거가 충분하지 않았다.

중금속 중에서도 납을 비롯한 수은 셀레늄 같은 물질은 더 많이 연구되었는데, 특히 납과 관련된 연구가 많았다. Kamel 등은 2002년 1993-1996년 뉴잉글랜드 지역에서 환자-대조군 연구 결과, 납 노출 직업에 10회 이상 종사한 경우 오즈비는 1.9(95% 신뢰구간 = 1.1-3.3)로 나타났다. 특히 일생 납 노출 일수 2,000일(약 5.5년) 이상은 루게릭병 발생위험이 2.3배(95% 신뢰구간 = 1.1-4.9)나 되었다. Armon 등의 환자-대조군 연구에서도 용접 및 납땜 종사자 등에서 유의하게 환자가 많이 발생됨을 보았다⁴⁾. 영국 스코틀랜드의 환자-대조군 연구결과는 직업적인 납에 노출된 경우가 루게릭환자에서 대조군보다 5.7배(95% CI:1.6-30) 많았다⁵⁾. 2010년 Fnag 등은⁶⁾ 납이 루게릭병 위험을 1.9배 증가시킨다고 보고했다(95% CI : 1.3-2.7).

반면 납노출과 근위축성 측삭경화증과의 관련성이 없음을 보고한 연구들도 다수 있었다. 미국 전역에서 수행된 한 환자-대조군 연구에서는, 직업적인 납 노출력이 환자군과 대조군에서 유의한 차이를 보이지 않았다⁷⁾. 1985년 미국 캘리포니아 샌디에고의 연구는 9가지 중금속(알루미늄, 납, 알킬납, 마그네슘, 망간, 수은, 알킬수은, 니켈, 셀레늄) 중 어느 것도 루게릭병과 연관성이 없는 것으로 나타났다⁸⁾. 그 외 이탈리아, 스웨덴 등의 연구에서도 납노출은 루게릭과 관련성을 보여주지 못하였으며 일부 연구는 역의 상관관계를 보이기도 했다. 가장 최근의 연구로는 Wang 등(2014)⁹⁾에 의한 메타 분석연구가 있는데, 이 연구는 9개의 환자-대조군 연구를 종합한 결과 납 노출의 루게릭병 발병 위험이 1.81(1.39-2.36)이었다고 보고하였다. 결론적으로, 직업적인 납 노출과 근위

축성 측상경화증의 발생과의 관계에 대한 많은 역학적 연구가 진행되었으나 연구 결과의 일관성은 아직도 부족하였다.

② 농약

루게릭과 관련하여 납 다음으로 많이 연구된 직업적 요인은 농약노출이었다. McGuire 등(1997)¹⁰⁾이 환자-대조군 연구 결과, 여러 직업적으로 노출될 수 있는 물질들 중에 농약이 루게릭병의 위험을 통계적으로 유의하게 높인다는 결과를 보고하였다(오즈비=1.6, 95% CI 1.1-3.8). Burns 등(2001)¹¹⁾은 미국의 다우 화학회사에서 제초제인 2,4-D(2,4-dichlorophenoxyacetic acid)를 생산하는 근로자들로 이루어진 코호트 연구에서 루게릭병에 대한 비교위험도가 통계적으로 유의하게 증가했다고 보고하였다(RR=3.45, 95% CI 1.10-11.11). 그 외 호주 Morahan 등 (2007)은 연구결과에서 농약 혹은 제초제에 의한 노출이 통계적으로 유의하게 루게릭병의 위험을 높였으며(OR=1.57, 95% CI 1.03-2.41), 그 외 통계적 유의성을 보이지 않는 연구도 다수 있었으나 이들도 대부분 위험률은 증가하는 경향은 보여주었다.

③ 저주파자기장

극저주파자기장(extremely low-frequency electromagnetic fields)과 루게릭병의 관련성은 확정적인 결론이 아직 없다. 이 분야의 연구들에 대한 메타분석연구는 8개의 코호트 연구와 9개의 환자-대조군 연구를 모아 분석했는데, 전체적으로는 관련성이 있었지만(비교위험도=1.29, 95%CI=1.01-1.62), 연구 설계별로 나누어 코호트 연구만을 종합한 경우 유의한 증가를 보이지 않았으며(OR=1.16, 95%CI=0.80-1.69), 환자-대조군 연구만을 종합했을 경우에만 유의한 증가를 보였다(OR=1.39, 95%CI=1.05-1.84). 따라서, 극저주파자기장과 루게릭병의 관련성 여부를 확정지을 수 없고, 다른 변수와의 관련성 등을 추정할 수밖에 없다.

결론적으로 지금까지 제시된 납, 극저주파자기장, 흡연 등은 모두가 루게릭병과 관련성이 추정되는 위험인자들이지만, 명확한 기전이 불분명하다. 사실 대부분의 신경근육질환은 원인이 정확히 밝혀지지 않았는데, 유전적 요인, 독성물질, 자가면역, 감염 등의 복합적 영향에 의해 발병하는 것으로 추정되고 있다¹²⁾. 루게릭병도 다른 신경근육질환처럼 그러한 복합적 영향이 클 것으로 추정하고 있다. 정리해 보자면, 국외의 연구 결과를 바탕으로 의심되는 직업적인 원인으로는 유기용제, 중금속(납, 수은, 아연), 살충제, 전자기장, 격렬한 육체활동(운동선수) 등이 있는데, 대부분 충분한 인과관계가 확립되지 못하였다(표1).

[표1] 루게릭병의 직업환경적 요인

구 분	가능성 높음	가능성 제한적임
농업 관련 화학물질	복합노출로서의 농약	
금속류	납, 셀레늄(식이)	수은, 아연, 구리, 알루미늄, 카드뮴
유기용제		유기용제 (특정물질 보다 용도 중심으로)
물리적 인자	격렬한 육체 활동 (운동선수)	전자기장 (Co-exposure to Lead in electric worker)
복합노출	흡연 (금속 + 화학물질)	

한편, 우리나라 산재신청과 관련된 업무관련성 평가 역학조사에서는 국외의 연구결과에 따라 납, 농약 등에 의한 노출이 충분한 경우 업무관련성이 높다는 판단을 내린 사례가 있다. 전자기파의 경우 2001년에 한번 업무관련성이 높다는 판단을 내렸으나 이후의 메타연구의 결론을 참고하여 루게릭의 위험요인으로 간주하지 않고 있다(표2).

[표2] 루게릭병관련 우리나라 업무관련성평가 역학조사

구 분	구 분	구 분
2000	자동차부품 주물업	낮음
2000	알루미늄	낮음
2001	전자기파/전기공	높음
2004	납/실험실근로자	높음
2009	유기용제 등/자동차고무부품제조업	낮음
2010	농약/폐기물가공	높음
2011	납/산업폐기물	높음
2011	반도체 제조업 설비	낮음
2012	농약/폐기물	높음
2013	분진, 중금속/석유화학 건설	낮음

3. 루게릭병 위험요인 조사 방법

앞서 소개한 것처럼 루게릭병은 아직 기전이 명확히 밝혀지지 않는 신경질환으로, 현재에도 위험요인과 원인에 대한 연구가 진행 중인 상황이다. 직업적, 환경적 위험요인들의 경우 대부분 확정적인 위험이 아니라 ‘가능성이 높은 추정’ 정도의 요인이다. 따라서 국내에서 루게릭병의 직업적 위험요인을 찾는 것은 쉽지 않다.

관찰기법을 사용하는 역학적 연구에서 가장 신뢰도가 높은 연구형태는 전향적 코호트연구이다.

즉, 특정 위험요인에 노출된 사람들이 루게릭병이 발병할 때까지 관찰하는 것이다. 그런데 루게릭병은 10만 명당 2~3명 발병하는 만큼, 유해요인과의 관계를 볼 수 있을 정도로 충분한 수의 환자수를 확보하기 위해서는 수천만 명의 사람들을 오랫동안 관찰해야 하는데, 이러한 연구방법은 매우 경비가 많이 들고 현실적으로 실행하기 어렵다. 따라서 환자대조군연구라는 방법을 흔히 쓴다. 루게릭병이 발병한 환자군을 선정하고, 대조군을 선정하여 특정한 위험요인에 많이 노출되었는지, 특정 직업군이 많은지를 비교하는 방법이다. 물론 환자-대조군 연구 역시 한계가 존재하는데, 환자군으로 선정된 루게릭환자군과 대조군으로 선정된 비교군 내에서 우리가 목표로 한(또는 예상한) 위험요인이 매우 드물게 발생하는 경우, 즉, 원하는 위험요인이 매우 드문 현상인 경우 적절한 연구결과를 얻기 어려울 수도 있다. 또 조사하는 위험요인의 측정이 환자나 대조군의 기억에 의존하는데, 대부분의 위험요인에 대해 환자는 건강한 사람보다 더 잘 기억하는 경향이 있기 때문에 위험률이 과장될 가능성도 있다. 그러나 이러한 한계에도 불구하고 현재 우리나라의 루게릭병 환자들에서 직업적 위험요인을 조사하기 위해서 현실적으로 가능한 연구방법은 환자-대조군 연구이다.

환자-대조군연구 연구는 직업환경적 위험요인과 일반적 관련요인 및 개인적 사항을 상세한 면담을 통해 조사하게 된다. 그런데 대부분의 루게릭 환자는 건강상태가 좋지 못하므로 면담조사가 불가능한 경우가 많다. 또, 심리적으로 안정적이 못하여 연구활동에 대한 협조율이 높지 않다. 따라서 조사군과 대조군을 확보하고 협조를 구하는 데 매우 큰 노력이 들며, 적절한 수를 확보하기 어렵다. 환자-대조군 연구의 설계는 충분한 통계적 유의성을 확보해야 분석이 타당성을 가지므로, 환자 1인당 대조군 2-3인을 매칭하여 짝짓기조사로 기획하는 경우가 흔히 있는데, 환자의 협조율을 고려하여 4-5인까지 대조군을 매칭하는 계획을 수립하기도 하며, 연구 중간 단계에서 기획을 보완, 수정하기도 한다. 이러한 기획과정, 환자의 수급, 대조군의 확보를 위해 환자-대조군연구는 3년 이상의 충분한 연구기간을 갖는 것이 적절한데, 1차년도에는 연구기획과 환례 수집, 2차년도와 3차년도에 본격적인 면담조사를 계획하는 것이 필요하다. 따라서 기본적으로 중장기 연구로 계획하는 것이 필요하다.



IV. 정책제언

1. 중장기 연구과제로 환자-대조군연구의 수행

루게릭병의 직업적 위험요인을 밝히기 위해서는 중장기 조사 계획을 통해 환자대조군 연구를 체계적으로 수행하는 것이 필요하다.

2. 주요 위험 업종, 직군에 대한 위험요인 조사

환자대조군 연구를 통해 밝혀진 결과를 기반으로 순차적으로 주요 위험직종과 직군에 대한 상세한 현황조사를 수행하는 것이 권고된다.



V. 향후과제

루게릭병의 직업적 위험요인을 규명하고 예방대책을 수립하기 위해서는 체계적인 연구기획과 순차적인 연구수행이 필요하며, 이를 위한 중장기 연구기획이 중요하다. 2015년 안전보건연구원은 루게릭병의 환자-대조군연구 1단계를 수행하고 있다.



참고문헌

- 1) Kamel F, Umbach DM, Munsat TL, Shefner JM, Sandler DP. Association of cigarette smoking with amyotrophic lateral sclerosis. *Neuroepidemiology*. 1999;18(4):194-202.
- 2) Yu Y, Su F-C, Callaghan BC, Goutman SA, Batterman SA, et al. Environmental risk factors and amyotrophic lateral sclerosis: A case-control study of ALS in Michigan. *PLoS ONE* 2014;9(6):e101186.
- 3) Sutedja NA et al. Exposure to chemicals and metals and risk of amyotrophic lateral sclerosis: a systematic review. *Informa Healthcare* 2009;10(5-6):302-309.
- 4) Armon C, Kurland LT, Daube JR, O'Brien PC. Epidemiologic correlates of sporadic amyotrophic lateral sclerosis. *Neurology*. 1991;41(7):1077.
- 5) Chancellor AM, Slattery JM, Fraser H, et al. Risk factors for motor neuron disease: a case-control study based on patients from the Scottish Motor Neuron Disease Register. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1993;56:1200-6.
- 6) Fang F, Kwee LC, Allen KD, et al. Association between blood lead and the risk of amyotrophic lateral sclerosis. *Am J Epidemiol* 2010;171:1126-33.
- 7) Callaghan B, Feldman D, Gruis K, Feldman E. The association of exposure to lead, mercury, and selenium and the development of amyotrophic lateral sclerosis and the epigenetic implications. *Neurodegener Dis*. 2011 8(6):523-4.
- 8) Gresham LS, Molgaard CA, Golbeck AL, Smith R. Amyotrophic lateral sclerosis and occupational heavy metal exposure: a case-control study. *Neuroepidemiology* 1986 5(1):29-38.
- 9) Wang et al. A Meta-Analysis of Observational Studies of the Association Between Chronic Occupational Exposure to Lead and Amyotrophic Lateral Sclerosis. *J Occup Environ Med*. 2014 Dec; 56(12): 1235-1242.
- 10) McGuire V, Longstreth Jr. W, Nelson L et al. Occupational exposures and amyotrophic lateral sclerosis: a population-based case-control study. *Am J Epidemiol* 1997 145:1076-1088.
- 11) Burns CJ, Beard KK, Cartmill JB. Mortality in chemical workers potentially exposed to 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) 1945-94: an update. *Occup Environ Med* 2001 58(1):24-30.
- 12) Aiesha Ahmed, Matthew P. Wicklund. Amyotrophic lateral sclerosis: What role does environmental play? *Neurol Clin* 2011;29:689-711.

실험실 안전환경 구축 가이드, 연구환경이 안전해진다!

화학물질센터 위험성연구팀 이근원 팀장

요 약 문

- **배경 및 문제점:** 과학기술의 발달과 더불어 대학이나 연구기관에서의 연구개발 활동 및 실험실 업무 증가에 따라 연구실험실에서 여러 가지의 실험기계 기구들과 다양한 화학물질의 사용으로 실험실 사고 또한 증가하고 있다. 이에 사고발생시 인체에 치명적 영향을 끼칠 수 있는 유해물질이나 가연성·독성 가스 등에 의한 사고를 예방하기 위하여 실험실 안전성 확보가 시급하다. 대학·연구기관 등의 실험실에 직접 적용하여 활용할 수 있는「실험실 안전환경 구축 가이드」를 마련하여 실험실 안전환경을 구축할 필요가 있다.
- **목적:** 본 연구는 모든 대학이나 연구기관에서 쉽게 활용할 수 있도록 실험수행에 따른 실험실의 구조(배치, 공간분리, 대피통로 및 출입문 등) 및 설비(소방, 전기, 환기 등)의 안전기준 및 실험실내 화학물질의 보관·관리 등「실험실 안전환경 구축 가이드」를 제시하여 대학·연구기관 등의 실험실 사고를 예방하고자 한다.
- **조사 및 분석내용:** 정부(미래부, 교육부)에서 실험실 안전환경 구축사업의 일환으로 추진하고 있는「실험실 안전환경 구축 가이드」를 조사하였다. 첫째 실험실 안전환경을 확보하기 위한 가이드의 공통사항인 건축환경, 안전설비, 안전장비, 개인보호구 및 실험실 안전수칙 등 기타 필수요구 사항을 제시하였다. 둘째 가이드의 일반사항으로 건축일반, 전기설비, 소방설비, 공조설비, 가스설비 및 폐기물관리 등의 안전기준을 제시하였다. 이 가이드라인과 세부적인 안전기준에 따라 모든 대학·연구기관 등의 구성원들이 안전하게 교육·연구 할 수 있는 실험실 안전환경 구축 내용을 제시하였다.
- **정책제언:** 가이드를 준용한 실험실 안전환경 구축 작업 시 공통사항은 모든 실험실에 의무적으로 적용되어야 하며, 화학물질, 가스, 전기, 및 소방 등 관련 개별법에서 정하고 있는 사항에 따라 실험실 안전성 확보에 필요로 하는 안전기준에 대해서는 필수 및 권장 사항으로 적용하여 실험실 유형에 따라서 적절하게 활용하여야 한다.
- **향후계획:** 향후「실험실 안전환경 구축 가이드」는 개인보호구, 흡후드, 시약장 및 비상사위키 등 안전장비 가이드라인과 실험실 내 사고발생시 인체에 치명적인 영향을 끼칠 수 있는 생물·화학 등 실험실 유형별 디자인 가이드라인에 대한 안전환경 가이드를 제시할 필요가 있다. 이 가이드라인에 따라 모든 대학·연구기관 등의 구성원들이 안전하게 교육·연구 할 수 있도록 실험실 안전환경을 구축하여야 할 것이다.



I. 배경 및 문제점

과학기술의 발달과 더불어 대학이나 연구기관에서의 연구개발 활동 및 실험실 업무 증가에 따라 연구실험실에서 여러 가지의 실험기계 기구들과 다양한 화학물질의 사용으로 실험실 사고 또한 증가하고 있다. 이러한 연구실 사고를 미연에 방지하고 이들 사고로 인한 피해를 적절하게 보상 받을 수 있는 사고예방과 연구인력 자원 보호대책을 제도적으로 규제할 필요성이 대두되었다.

연구실 안전환경 조성에 관한 법률(이하 연구실안전법)이 2005년 제정되어 과학기술분야 연구실의 안전을 확보함과 동시에 연구실 사고로 인한 피해를 적절히 보상받을 수 있도록 2006년 4월 1일부터 본격적으로 시행되었다. 연구실안전법이 시행 된 이후 미래창조과학부가 발표한 사고통계에 따르면 연구실안전법 적용 대상기관 4,884개 기관에서 발생한 연구실 사고 발생 현황을 [표1]에 나타내었다. 연도별 연구실 사고 발생건수는 2007년 46건에서 2014년 164건으로 7년 사이 약 4배가 증가하였으며, 총 949건으로 집계되었다. 연구기관에서는 매년 연구실사고 건수는 크게 증가하지 않으나, 대학의 경우에는 2007년 31건에서 2014년 144건으로 약 5배가 증가하였다. 대학 실험실은 열악한 환경 속에서 실험내용이 복잡해지고 다양해짐에 따라 실험실사고 발생 빈도가 증가하는 등 안전 환경에 대한 요구가 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

[표1] 연구실사고 발생 현황

구분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	합계
4년제 대학	26	85	125	117	144	98	88	130	813
2~3년제 대학	5	7	6	1	6	4	6	14	49
연구기관	15	6	9	11	7	6	13	20	87
합계	46	98	140	129	157	108	107	164	949

사고발생시 인체에 치명적 영향을 끼칠 수 있는 유해물질이나 가연성·독성 가스에 의한 사고를 근절하기 위하여 실험실의 안전성 확보가 시급하다.

최근 교육부에서도 학생과 교수가 안전하게 교육·연구할 수 있는 환경 조성을 위하여, 2015년 처음으로 국립대학 실험실 안전환경 기반조성 사업에 1,606억원을 지원한다고 밝혔다. 특히, 사고 발생시 인체에 치명적 영향을 끼칠 수 있는 유해물질이나 가연성·독성 가스에 의한 사고를 근절하기 위하여 안전장비 확충에 우선 지원(883억원)한다고 하였다. 이에 실험실 사고예방을 위해 대학·연구기관 등의 실험실에 직접 적용하고 활용할 수 있는 「실험실 안전환경 구축 가이드」를 마련하여 실험실 안전 환경을 구축할 필요가 있다.



II. 목적

본 연구는 모든 대학이나 연구기관에서 쉽게 활용할 수 있도록 실험수행에 따른 실험실의 구조(배치, 공간분리, 대피통로 및 출입문 등) 및 설비(소방, 전기, 환기 등)의 기준 및 실험실내 화학물질의 보관·관리를 위한 실험실안전 기준 등을 조사하여 대학·연구기관 등의 실험실 사고를 예방하고자 「실험실 안전환경 구축 가이드」를 제시하였다.



III. 조사 및 분석내용

1. 실험실 안전환경 구축 가이드의 공통사항

1) 건축환경

유해화학물질 및 위험장비를 취급(보관, 저장, 사용)하는 실험실은 실험자의 건강 보호 및 안전을 위하여 실험공간과 연구(사무)공간으로 분리하여야 한다. 칸막이는 평상 시 실험실 내부 상황을 확인할 수 있도록 투시창(강화유리 등 실험특성에 맞는 재료사용)을 설치하고 난연성 및 내화학성을 만족하여야 한다. 실험실 출입문은 비상 시 내부를 확인할 수 있는 투시창 및 보안장치를 설치한다. 실험실은 구획된 공간이어야 하고 마감재료(바닥, 천장, 벽)는 난연성 및 내화학성을 만족하여야 한다. 위험기계·기구장치에는 안전덮개 등 위험기계·기구별 방호장치를 설치하고, 기계작동 반경을 고려한 울타리 및 바닥면에 안전구획을 표시하여 실험자를 보호하고 실험구역을 명확히 하여야 한다.

2) 안전설비

2.1) 화재 안전설비

유해물질이 발생하는 실험공간은 충분히 외부로 배출 가능한 환기설비를 설치한다. 환기설비는 전체 환기장치, 흡후드 등 국소배기장치 등 건물 및 실험실 환경조건에 맞는 설비를 설치하여야 한다. 흡후드를 설치하는 경우 유해물질이 발생하는 실험실 마다 설치하고, 유해인자의 발생원을 제어할 수 있는 구조로 설치하여야 하며, 후드(hood) 형식은 가능하면 포위식 또는 부스식 후드를 설치하여야 한다. 만일, 전체 환기장치를 설치하는 경우 송풍기 또는 배풍기는 가능하면 해당 분진 등의 발산원에 가장 가까운 위치에 설치하고, 송풍기 또는 배풍기는 직접 외부로 향하도록 개방하여 실외에 설치하는 등 배출되는 분진 등이 실험실로 재 유입되지 않는 구조로 하여야 한다. 분진이 발생하는 실험실 공간은 충분히 외부로 배출 가능한 집진장치 또는 국소배기장치 등 환기설비를 설치한다.

2.2) 환기설비

유해물질이 발생하는 실험공간은 충분히 외부로 배출 가능한 환기설비를 설치한다. 환기설비는 전체 환기장치, 흡후드 등 국소배기장치 등 건물 및 실험실 환경조건에 맞는 설비를 설치하여야 한다. 흡후드를 설치하는 경우 유해물질이 발생하는 실험실 마다 설치하고, 유해인자의 발생원을 제어할 수 있는 구조로 설치하여야 하며, 후드(hood) 형식은 가능하면 포위식 또는 부스식 후드를 설치하여야 한다. 만일, 전체 환기장치를 설치하는 경우 송풍기 또는 배풍기는 가능하면 해당 분진 등의 발산원에 가장 가까운 위치에 설치하고, 송풍기 또는 배풍기는 직접 외부로 향하도록 개방하여 실외에 설치하는 등 배출되는 분진 등이 실험실로 재 유입되지 않는 구조로 하여야 한다. 분진이 발생하는 실험실 공간은 충분히 외부로 배출 가능한 집진장치 또는 국소배기장치 등 환기설비를 설치한다.

2.3) 전기설비

전기설비는 산업안전보건기준에 관한 규칙 및 전기설비기술기준 등 전기관련 규정에 따라 감전 위험, 화재위험 등이 없도록 시설하여야 한다. 모든 전기기계·기구에는 누전에 의한 감전의 위험을 방지하기 위해 확실하게 접지하고 충분한 전기적 용량을 확보하여야 하며, 절연처리, 분진침착 방지 등의 충분한 방호수단을 고려하여야 한다.

3) 안전장비

3.1) 가스안전

고압가스 보관량이 일정 저장능력을 초과하는 경우에는 저장설비의 기준을 갖춘 별도의 저장 공간에 보관하여야 한다. 가연성가스, 독성가스 및 산소는 각각 구분하여 한국가스안전공사에서 인증한 고압가스용 실린더 캐비닛에 보관하여야 하며, 누출사고 발생시 이를 신속히 감지하여 효과적으로 대응할 수 있는 조치를 하여야 한다. 액화석유가스(LPG)를 사용하는 설비에는 누출된 가스를 신속히 감지하여 자동으로 가스공급을 차단할 수 있는 가스누출경보차단장치를 설치하여야 한다. 수소화염 및 산소·아세틸렌을 사용하는 화염용접 또는 용단 작업용으로 사용하는 액화석유가스(LPG) 사용시설에는 가스가 역화 되는 것을 효과적으로 차단할 수 있는 역화방지장치를 설치하여야 한다.

3.2) 화학물질 안전

화학물질은 취급기준에 적합하게 관리하여야 하고, 성상별로 구분하여 적합한 성능을 갖춘 전용 시약장에 보관하여야 한다. 지정수량 이상의 위험물을 저장하고자 하는 경우에는 허가를 받은 위험물저장소에 저장하여야 한다. 모든 폐기물은 종류별(지정폐기물, 의료폐기물 등), 성상별(유기, 산, 알칼리 등 실험 특성별 구분)로 분리하여 수집 및 보관한다. 또한, 모든 화학폐기물은 화학

적으로 안정한 용기에 저장한다. 예를 들면, 불산이나 강한 알칼리 용액 등은 유리로 만든 용기에 담지 말아야 하며, 폐액용기의 뚜껑은 스크루타입이어야 하고, 액체는 부식성이 있는 양철통에 담지 않는다. 화학물질을 취급하는 실험실에는 고압멸균기, 생물안전작업대, 흡후드, 암후드, 비상 샤워기 및 세안기 등 실험특성에 맞는 안전장비를 구축한다.

4) 기타 필수 요구사항

실험실 내·외부에 건물 내 위치도, 안전대피도, 소화기 및 안전용품 위치도, 실험실 안전수칙, 물질안전보건자료, 생물안전표지, 안전보건표지 등 실험실 내 각종 안전정보를 게시 및 비치한다. 모든 실험·실습실 공간내에서는 보안경, 보호장갑, 보호복 등 실험특성에 맞는 보호구를 반드시 착용하여야 하며, 슬리퍼·샌들 등 착용을 금지한다.

2. 실험실 안전환경 구축 가이드의 일반사항

1) 건축일반

1.1) 실험실 공간분리

유해화학물질 및 위험장비를 취급·사용하는 실험실은 실험공간과 연구(사무)공간으로 분리한다. 특히, 유해화학물질이 사용되거나 저장되어 있는 실험실내에서는 음식섭취, 화장, 콘택트렌즈 취급 또는 껌을 씹는 등의 행위는 하지 않는다. 칸막이는 실험실을 내다볼 수 있는 투시창(강화유리 등)설치를 권장하고 난연성 및 내화확성을 만족해야 한다. 실험실 내 연구활동 종사자의 안전을 확보하고, 건강장해 예방을 고려하여 실험활동이 아닌 경우에는 실험공간의 출입을 제한하여야 한다. 실험공간과 연구(사무)공간으로 분리하는 경우 분리된 복도를 통하여 실험공간과 연구공간으로 직접 출입이 가능하여야 한다. 가스의 메인 밸브는 지진을 대비하여 자동 잠금장치가 장착되어야 하며, 실내에 장착된 수동형 밸브는 연구와 교육 공간 모두에 제공되어야 한다.



[그림1] 실험실 공간분리 예시

1.2) 실험실 공간배치

실험실을 유형 및 위험등급별로 분류하고 안전관리 및 공간의 효율적 활용, 장비공동 활용 등을 고려하여 「위험물안전관리법」, 「고압가스안전관리법」 등 관할기관의 허가를 득하여 가능한 한 집중 배치한다. 이 경우, 실험활동 및 비상 시 대피통로, 공간 등에 방해되지 않도록 배치하여 한다. 흡후드, 생물안전작업대 등은 기자재의 성능유지 및 작동 시 진동을 고려하여 벽과의 사이 및 기자재 상호간에는 적정 간격을 유지하여야 한다. 다만, 시설의 점검 및 보수에 지장이 없는 경우에는 그러지 아니한다. 실험대와 실험대 간격은 원활한 작업 영역의 확보 및 접근이 용이하도록 최소 1.5m이상의 간격을 유지하여야 한다. 피난 시 원활한 대피를 위하여 실험실 내 주 통로 간격은 0.9m이상을 확보하여야 한다. 바닥에 안전라인(황색)을 표시하여 선 안쪽으로 기자재나 적재물이 쌓이지 않도록 함으로써 피난동선을 항상 확보하도록 한다. 또한, 연구실 내의 실험대, 가구(furniture), 집기류(obstacle) 등은 주 대피로에서 최소 1.5m 거리를 두어 배치하여야 한다.



[그림2] 피난동선 확보 적정 사례

1.3) 벽 및 바닥

벽, 바닥은 실험실에서 사용하는 화학물질에 강해야하며 보수 및 청소가 용이하여야 한다. 벽과 바닥은 화학물질이 쏟아졌을 때 침투하지 못하도록 빈틈없이 시공하여야 한다. 바닥은 미끄러지기 쉬운 재료로 되지 않아야 하며 평탄하여야 한다. 바닥면은 실험실 특성에 맞는 내화학성 제품(비닐 바닥재, 에폭시 도장 등)으로 마감한다. 유해화학물질 및 위험장비를 취급(보관, 저장, 사용)하는 실험실의 천장의 마감재가 석면인 경우 철거하는 것을 권장한다.

1.4) 출입구

출입구는 비상시 신속한 대피가 가능하도록 유도등, 비상구, 출입구 표지 등이 부착되어 있어야 하고, 1.8m 이내에는 장애물을 비치하지 않아야 한다. 긴급 상황 발생 시 내부를 확인할 수 있는 투시창을 설치하고, 실험실로부터 원활한 대피가 가능하도록 주 출입구의 폭은 0.9m 이상이어야 한다. 출입구는 카드, 지문인식시스템 등 보안시스템을 설치하여 실험실 관계자의 출입을 제한하되, 비상시 외부인(관리자, 소방관 등)이 출입이 가능하도록 관리한다. 실험공간 출입문은 자동 닫힘 장치가 설치되어야 하며, 장애인의 출입을 위해 쉽게 개방이 가능한 구조가 되어야 한다. 바닥 면적 18.6m² 이상의 실험실은 반드시 별도의 2개의 비상구가 필요하다. 실험실의 모든 공간은 출입구로부터 반경 약 23m 내에 있어야 한다.



[그림3] 출입구 예시

1.5) 조명

실험실의 조명은 실험활동에 방해되지 않도록 눈부심이나 어두움, 깜빡거림이 없어야 하고 실험 특성에 맞는 조도가 되도록 조명을 설치하는 것을 권장한다. 광원이 직접 보이는 경우에는 빛을 분산시키는 조명기기로 교체하거나 광원이 보이지 않도록 조치한다. 색효과(color effect) 발생에 따라 사물의 표면이 다른 색으로 보임에 따라 안전상의 문제가 일어날 수 있다는 점을 고려하여 자연광에 가까운 광원을 사용하도록 한다.

[표2] 작업구분에 따른 조명기준

작업구분	조정밀작업	정밀작업	보통작업	그 밖에 작업
기준	750 lux 이상	300 lux 이상	150 lux 이상	75 lux 이상

2) 전기설비

전기분전반 주변에는 물품적재 및 인화성 등의 위험물질 비치를 금지하고, 문은 항상 닫혀있는 상태로 관리한다. 전기콘센트는 접지형을 사용하며, 멀티콘센트는 과부하 차단기가 설치된 것으로 사용한다. 전기 및 전열기구 주위에 인화성 등의 화학물질 취급을 금지한다. 전기콘센트는 실험실 바닥이나 통로에 방치되지 않도록 벽면 또는 천장(릴 타입)에 설치하여 관리한다. 전기기기는 손상, 과열, 접속 상태, 피복의 손상여부 등을 정기적으로 확인한다.

3) 소방설비

한 실험실 당 하나 이상의 화재 적응성이 있는 소화기의 비치를 원칙으로 하며 실험실 규모에 따라 바닥면적 33㎡마다 한 대씩 비치하여야 한다. 또한, 복도에는 소형소화기의 경우에는 20m마다, 대형소화기의 경우에는 30m마다 한 대씩 비치하고, 필요에 따라 추가 비치하도록 한다. 소화기는 화재시 신속히 사용할 수 있도록 다음 기준에 따라 비치하고 유지관리하여야 한다. 옥내소화전은 전원이 항상 ON상태가 되도록 점등된 상태로 유지하여야 하며, 소화호스는 꼬이지 않도록 수납·보관하여야 한다. 실험실 당 하나 이상의 화재감지기를 설치하고 화재 시 화재감지와 연동하여 자동으로 비상벨 등 경보가 울려야 한다. 피난구유도등 및 통로유도등은 상시 점등상태가 유지되어야 하며, 정전 시에는 상용전원에서 비상전원으로 자동 전환되어야 하며, 작동유무를 주기적으로 점검한다.

4) 공조설비

4.1) 환기

모든 실험실은 가능한 기계식 공조시스템을 설치하고, 실내공기를 100% 외기로 배출할 수 있는 구조가 되어야 하며, 흡후드로 공기가 재유입되지 않도록 한다. 공기공급 확산장치의 위치는 실험실 후드, 배출설비, 화재감지나 소화설비의 성능에 악 영향을 미치는 기류를 피해야 한다. 실험실 내의 공기유속으로 인해 흡후드 및 생물안전작업대의 성능을 저하시키지 않도록 하여야 한다. 양압을 필요로 하는 clean room 등의 실험실은 출입 전실과 clean room의 출입구가 동시에 개방되지 않도록 한다. 일반적으로 실험실은 시간당 최소 6회~20회의 환기횟수(자연 또는 기계식 방식)가 확보되도록 하여야 한다. 실험실 내의 공기의 유속은 흡후드의 성능을 저하시키지 않도록 한다. 외기 공급시스템은 외부공기 100%를 이용하여 공급하고 외부로 배출하는 것을 권장한다. 흡 후드는

실험 후 실험 잔존물이 없도록 청결함을 유지하여야 하고, 흡 후드 내부에는 필수 실험장비에는 불필요한 장비를 두지 않아야 한다. 특히, 폐기물 및 유해화학물질은 보관하지 않도록 한다. 실험실내 배기 시스템은 향후 확장을 대비하여 최소 25% 여유있는 용량으로 디자인되어야 한다.

4.2) 덕트 (duct)

배출설비는 액체의 침전물이나 응축 가능한 고체를 최소화하도록 유지하여야 한다. 덕트는 완전히 비연소성 물질로 설치하되, 연소성이 있는 건축물의 신축성(Flexible)덕트는 실험실 내에 최대한 지양한다. 덕트는 근무조건과 요구사항에 맞도록 적절한 길이와 강도를 유지하고, 기계적인 피해로부터 방호되어야 한다.

5) 가스설비

고압가스는 「고압가스안전관리법」에 의거 저장능력 산정기준 및 관련 규정에 적합하도록 관리하여야 한다. 가스용기 보관 장소는 직사광선을 피하고 통풍이 원활하여야 하며, 가스특성에 맞는 적절한 온도를 유지하여야 한다. 가연성가스, 독성가스 및 산소의 용기는 각각 구분하여 용기 보관장소에 놓는다. 용기보관 장소는 주위 2m 이내에 화기 또는 인화성 및 발화성 물질을 두지 않아야 한다. 가스설비 또는 저장설비는 그 외면으로부터 화기를 취급하는 장소까지 2m(가연성가스 또는 산소의 가스설비 또는 저장설비는 8m 이상) 이상의 우회거리를 유지해야 하고, 가스설비와 화기를 취급하는 장소와의 사이에는 그 가스설비로부터 누출된 가스가 유동하는 것을 방지하기 위한 적절한 조치를 하여야 한다. 가스설비 및 배관의 재료는 고압가스의 특성에 적합한 기계적·화학적·물리적 성질을 가져야 한다.

6) 폐기물관리

폐기물은 종류별(지정폐기물, 의료폐기물 등), 성상별(유기, 산, 알칼리)로 구분하여 밀폐 가능한 용기에 저장하고 필요시 외부에 별도의 폐액 저장소를 구축하여 관리하도록 한다. 화학폐기물의 수집 운반상의 일반적 주의사항은 실험실 안전보건에 관한 기술지침에 따른다. 폐기물 용기는 가득차면(용기의 80%정도) 즉시 실험실 외부로 반출하여 폐기물 보관 장소에 보관하여야 한다. 화학폐기물의 처리상의 기준은 안전보건공단 “실험실 안전보건에 관한 기술지침”에 따른다.



[그림4] 폐액보관통 사례

IV. 정책제언

실험실 안전환경 구축 가이드에서 제시한 공통사항은 모든 실험실 안전환경 구축 시 의무적으로 적용되어야 하며, 화학물질, 가스, 전기, 및 소방 등 관련 개별법에 따라 안전환경 조성 시 필요로 하는 안전기준에 대하여 필수 및 권장 사항으로 구분하여 적용하여야 한다. 대학·연구 기관 등에서는 실험실 환경을 고려하여 필요시 본 가이드보다 강화된 기준을 설정하는 등 실험실 안전환경 기준을 마련하여 활용할 수 있다. 여기서 제시하는 가이드의 공통사항은 반드시 충족 되도록 한다.

본 실험실 안전환경 구축 가이드에서 다루지 않는 사항에 대해서는 개별 관계법령이나 규정을 준수하여야 한다. 본 가이드는 실험실의 유형에 관계없이 실험실 구성원의 안전환경에 위험을 끼칠 우려가 있는 모든 실험실을 그 대상으로 하며, 특히 개별법으로 규정하는 유해화학물질, 유해인자, 고압가스에 해당되지 않더라도 동일한 위험소지가 있는 실험실에 대해서는 충분한 안전 조치를 취하여 활용해야 한다.

V. 향후과제

실험실 안전환경 구축 시에는 각 유형별 실험실에서 수행되는 교육·연구의 다양성과 환경 조건을 고려하여 초기단계부터 실험실의 배치 및 설계방향을 고려하여야 한다. 또한 안전성, 경제성, 보안성, 에너지 절약, 및 인체공학 등을 종합적으로 고려하여 실험특성에 따라 장비 및 기기의 설치·배치를 계획 초기단계부터 고려하여야 한다.

향후 「실험실 안전환경 구축 가이드」는 개인보호구, 흡후드, 시약장 및 비상샤워기 등 안전장비 가이드라인과 실험실 내 사고발생시 인체에 치명적인 영향을 끼칠 수 있는 생물·화학 등 실험실 유형별 디자인 가이드라인에 대한 안전환경 가이드를 제시할 필요가 있다. 이 가이드라인에 따라 모든 대학·연구기관 등의 구성원들이 안전하게 교육·연구 할 수 있도록 실험실 안전환경을 구축하여야 할 것이다.



참고문헌

- 미래창조과학부, “ 2015년도 연구실안전환경구축사업 시행계획”, 2015
- 교육부, “대학 실험실 안전환경 구축 가이드”, 2015
- 안전보건공단, “KOSHA CODE G-95-2012 산업현장의 안전디자인 적용에 관한 기술지침”, 2012
- 안전보건공단, “KOSHA CODE P-76-2011 화학물질을 사용하는 실험실 내의 작업 및 설비안전 기술지침”, 2011
- 안전보건공단, “KOSHA CODE G-85-2013 작업장의 통로 및 계단 설치에 관한 기술지침”, 2013
- 안전보건공단, “KOSHA CODE E-89-2013 정전기 재해 예방에 관한 기술지침”, 2013
- 안전보건공단, “KOSHA CODE G-82-2012 실험실 안전보건에 관한 기술지침”, 2012
- 안전보건공단, “KOSHA CODE P-57-2012 사업장의 방화문 및 내화창 안전관리 기술지침”, 2012
- NFPA, “NFPA99: Health Care Facilities Handbook”, 2005
- European Standard(French standard), “NF EN 14727: Storage units for laboratories Requirements and test methods”, 2006
- European Standard(French standard), “NF EN 15154-1: Emergency safety showers”, 2006
- Australian/New Zealand Standard, “AS/NZS 2243.1: Safety in Laboratories”, 2005
- University of California, “Environment, Health & Safety(EH&S) Laboratory Safety Design Guide”, 2007
- Stanford University, “Stanford Laboratory Standard & Design Guide”, 2014
- The University of Hong Kong, “Laboratory Design Guide”, 2013
- OSHA(Occupational Safety and Health Administration U.S. Department of Labor), “Laboratory Safety Guidance”, 2011

밀폐공간에서의 죽음 ‘그 작업자가 그 곳에 있다는 것을 아무도 몰랐다’

화학물질센터 독성연구팀 이나루 연구위원

요 약 문

- **배경 및 문제점:** 정부는 매년 밀폐공간의 위험과 대책 방안을 국민들에게 알리고 있으나 밀폐공간에서 일어나는 재해자수는 계속적으로 증가하고 있다. 밀폐공간의 위험과 대책 방안에 대한 내용은 형식적으로는 매우 완벽하나 실제 작업장에서 ‘밀폐공간의 위험을 인지하고 있는지’, ‘예방을 위한 대책은 어떻게 수행되고 있는지’, 실제로 현장에서 ‘밀폐공간 재해예방 대책이 제대로 작동되고 있지 않다면 무엇이 걸림돌인지’ 알려지지 않고 있으며, 관련 연구 또한 드물었다.
- **목적:** 본 보고서에서는 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration)이 밀폐공간 사망 재해를 조사한 사례를 통해 밀폐공간의 사망을 예방하기 위해 실제로 강조하고 있는 안전보건조치가 무엇인가 알아보고자 한다. 또, 밀폐공간 전문가인 Neil McManus가 기고한 밀폐공간에 관련한 자료 등을 통해 밀폐공간의 위험성에 대한 내용을 자세히 알아보고, 실제적인 대책 방안을 고민해 보고자 한다.
- **조사 및 분석내용:** 미국 밀폐공간 사고 조사 사례를 보면 OSHA는 교육의 실제적인 측면과 용역업체 직원에 대한 탱크 트레일러 소유주의 책임문제를 조사하여 탱크 트레일러 소유주에게 벌금을 부과하였고, 희생자 가족들은 용역업체 사용자인 탱크 트레일러 소유주를 대상으로 소송을 제기하였다. Neil McManus가 기고한 자료들을 이용하여 밀폐공간 재해의 여러 측면들을 살펴보았다. McManus는 산소농도 규제의 근거의 불확실성 및 밀폐 공간에 들어가자마자 의식을 잃는 사고의 원인, ‘밀폐공간’의 특징을 제시하였다. 또, 지표면에서 일어난 밀폐공간의 사고는 원인을 밝히기 어려웠는데, 이러한 공간에서 왜 사고가 일어나는지에 대한 추론이 제시되어 있다. McManus는 원천적인 밀폐공간 재해 예방을 위해서는 공학적 설계를 강조하고 있고, 황화합물에서 황화수소 발생하는 발생 기전을 설명하며, 밀폐공간 재해 예방 교육에서 강조되어야 하는 의사 소통문제, 의사 결정권자와 실행의 문제를 논의하고 있다.
- **정책제언:** 밀폐공간 재해 전문가 McManus에 의하면 밀폐공간 재해 예방은 비용이 많이 드는 활동이며 재해 예방이 쉽지 않다고 한다. 국내에서도 밀폐공간 위험성 및 관리 대책에 대해 대상별 정교한 정보 제공이 필요하다. 또, 실제 작업자들이 ‘유능’해지는 밀폐공간 재해 예방 교육이 이루어지고 있는 지에 대한 확인도 필요하다.
- **향후계획:** 밀폐공간의 위험은 그 위험성이 일정하지 않고, 시시각각 변할 수 있고, 공간마다 위험요인이 다르다는 점에서 안전보건 분야의 위험 요인 중 어느 분야보다 많은 정보가 체계화될 필요가 있다. 또, 밀폐공간 관리대책을 세심하게 검토하여 정부의 지원이 필요한 분야를 밝혀내고, 좋은 공학적 설계 모델을 제시할 필요가 있다. 작업장의 다른 위험요인에 비해 밀폐공간 위험에 대한 현 실태 등에 대한 자료가 부족하다. 밀폐공간 재해를 예방하기 위해 현실적인 문제점과 대책 수행의 걸림돌, 해결 방안을 찾는 연구가 선행되어야 할 것이다.



I. 배경 및 문제점

밀폐공간에서 일어나는 재해자수와 사망자수가 2009년에서 21건에서 2013년 44건으로 매년 증가하고 있다. 밀폐공간에서 일어나는 사고는 사망사고가 많고, 재해자를 구하기 위해 들어간 구조자도 역시 사망하는 경우가 많다. 재해자수는 상대적으로 적지만, 예방의 필요성이 매우 높은 사고이다. 정부에서 매년 밀폐공간의 위험과 대책 방안을 국민들에게 알리고 있으나 밀폐공간에서 일어나는 재해자수는 계속적으로 증가하고 있다. 밀폐공간의 위험과 대책 방안은 형식적으로 완벽하나 실제 작업장에서 ‘밀폐공간의 위험을 인지하고 있는지’, ‘예방을 위한 대책은 어떻게 수행되고 있는지’, 실제로 현장에서 ‘밀폐공간 재해예방 대책이 제대로 작동되고 있지 않다면 무엇이 걸림돌인지’ 알려지지 않고 있으며, 관련 연구 또한 드물었다.

밀폐공간에서의 사고는 대개 산소부족 혹은 유해가스에 의한 영향이라고 알고 있을 뿐 사고가 일어나는 기전, 평상 시 문제가 없다가 어느 순간 사고가 생기는 상황에 미생물 활동이 미치는 영향 등은 알려져 있지 않다. 미국에서도 1993년 밀폐공간의 위험을 예방하기 위해 기준을 제정하였지만, 여전히 밀폐공간에서 사망사고가 발생하고 있다. 이는 실제 현장에서 밀폐공간 예방대책이 제대로 작동하지 않을 수 있음을 나타낸다.



II. 목적

본 보고서에서는 미국 산업안전보건청(OSHA, Occupational Safety and Health Administration)의 밀폐공간 사망재해 조사한 사례를 통해 밀폐공간의 사망재해 예방에서 실제로 강조하고 있는 안전보건조치가 무엇인가 알아보고, 밀폐공간 전문가인 Neil McManus가 기고한 밀폐공간에 관련한 자료 등을 통해 밀폐공간의 위험성과 실제적인 대책 방안을 고민해 보고자 한다.

※ Neil McManus는 밀폐공간 사고 조사 및 대책 방안 연구 등을 30년 이상 수행한 밀폐공간 전문가임



III. 조사 및 분석내용

1. 미국 사고 조사 사례에서 나타난 밀폐 공간 사고의 문제점

2000년 3월 어느 날 가르시아는 7000갤런의 탱크 트레일러를 청소하기 위해 탱크 안에 혼자서 들어갔다가 사망하였다. 호흡보호구와 보호의가 작업 현장 가까이에 비치되어 있었음에도 불구하고, 가르시아는 호흡보호구와 보호의를 착용하지 않은 상태였다. 가르시아는 탱크 트레일러 소유주인 레이놀드사의 정규직원이 아니고 레이놀드사의 용역회사인 멕시코 회사 소속의 영어를 잘 못하는 멕시코인이었다.

OSHA가 이 사건을 조사 할 때 가장 핵심적으로 본 것은 탱크 트레일러의 소유주인 레이놀드사가

“허가가 필요한 밀폐공간”에 출입인가를 받은 사람만이 들어갈 수 있다는 것을 가르시아에게 충분히 교육을 시켰냐는 점이었다. 사업주들은 흔히 교육을 잘못시켰기 때문이 아니라 작업자들이 멋대로 행동했기 때문에 문제가 발생한다고 주장하는데, 레이놀드사 역시 가르시아가 배운 대로 하지 않고 마음대로 탱크 트레일러에 들어갔기 때문에 이 사고는 가르시아의 잘못에 의한 것이라고 주장하였다.

가르시아는 원래 탱크 트레일러의 외부만을 청소하기로 되어 있었기 때문에 밀폐공간 위험에 대한 교육은 받았지만, 밀폐공간에 들어갈 수 있는 출입인가는 받지 못했다. 따라서 레이놀드사는 밀폐공간에 혼자서 들어간 가르시아의 무책임한 행동에 대해 주장했지만, OSHA는 29 CFR 1910.146의 규정인 교육을 충분히 시키지 않았다고 판단했고, 사업주가 밀폐공간에 대한 작업 규정을 만들어 이에 대한 시행 절차가 있고, 장비를 제공하여 작업자가 교육을 마쳤다는 것을 증명할 수 있을 때만 작업자의 무책임한 행동을 인정하였다.

22년간 밀폐공간의 위험에 대해 연구한 한 전문가 역시 가르시아는 밀폐공간의 위험을 알고 있었지만 탱크에 들어가지 않고서는 작업을 할 수 없었을지도 모른다고 지적하였다. OSHA에서는 사업주가 “허가가 필요한 밀폐공간”을 보유하고 있다면 작업자가 출입허가 없이 밀폐공간에 들어가지 못하도록 시건장치 등의 조치를 하여야 한다고 규정하고 있다.

가르시아 사건에 대해 OSHA는 탱크 트레일러의 소유주인 레이놀드사가 용역회사 직원에 대해서도 책임을 져야 한다고 판단했다. OSHA 규정에 레이놀드사가 밀폐공간에 대한 문서화된 프로그램 수립·시행하지 않았다고 지적하였다. 레이놀드사는 문서화된 프로그램을 갖고는 있었으나 OSHA가 레이놀드사에 도착한 날 근무중인 매니저가 문서화된 프로그램을 찾지 못했기 때문에 OSHA는 밀폐공간에 대한 프로그램을 수립·시행하지 않았다고 판단했다.

결국 OSHA는 작업자의 밀폐공간 위험에 대한 불충분한 교육과 밀폐공간에 대한 프로그램 미수립을 이유로 레이놀드사에 벌금을 부과하였고, 가르시아의 가족들은 레이놀드사를 상대로 소송을 벌였다. 가르시아의 가족은 OSHA 감독과는 별개로 소송을 제기하였는데, 돈이 없는 멕시코 회사가 아닌 레이놀드사를 상대로 소송을 제기하였다. 이 조사 사례에서 중요한 이슈는 교육과 용역업체 직원에 대한 탱크 트레일러 소유주의 책임문제였다.

2. Neil McManus가 본 밀폐 공간 사고 예방을 위한 논점들

1) 산소: 건강 효과와 규제 농도

산소 농도에 따른 건강 영향이 여러 문헌에서 언급된 것을 보면, 대기압하에서 정상적인 산소 농도는 20.9%이고, 16%이하가 되면 심박과 호흡속도가 빨라지고, 12%이하가 되면 구토 등이 나타나고, 4%이하에서는 즉시 의식을 잃는다. 이에 대한 객관적인 과학적 증거는 찾기 힘들다. 따라서 밀폐공간 사고를 예방하기 위해 규제해야 할 적절한 산소 농도에 대해서 논란이 있다. 대개 밀폐 공간에서 허용할 수 있는 법적인 기준은 19.5%가 많으나 이 기준의 근거는 명확하지 않다.

16%의 산소에서도 호흡기 보호가 필요하지 않다는 근거를 대면서 산소 농도 12.5%를 주장하는 사람들도 있다. 대부분 산소농도로 규제를 하지만, 산소 수준은 날씨, 습도, 고도, 대기성분에 영향을 받기 때문에 외부 환경에 영향을 덜 받는 산소부분압을 이용하여 기준 설정을 하고자 하는 경우도 있다. 실제 신체는 농도가 아니라 산소부분압에 대해 반응한다.

산업위생학 관점에서 밀폐 공간 공기의 성분은 사고의 원인 파악과 예방 조치 수립에 있어서 매우 중요하여 일어난 사고의 공기 성분을 알고 싶어 하지만, 사고 조사 보고서에는 공기의 성분이 정확히 명기 되지 않은 경우가 많다. 밀폐 공간에서 사고는 작업자가 공간에 들어가자마자 희생이 되고, 곧이어 구조하러 들어간 사람도 희생이 되는 경우가 많다. 이는 매우 빠른 시간에 작용하는 급성 독성 효과를 보인다는 것을 의미한다. 일산화탄소와 유기용제는 이렇게 까지 급성 독성을 나타내지는 않는다. 카복시헤모글로빈 포화가 50~60 %에 도달했을 때 일산화탄소에 의한 의식손실이 일어나는데, 약 1000 ppm 농도에서 180분 가량 걸린다.

황화수소는 높은 농도에서 급성 독성을 일으킨다. 대개 사고 현장에서 황화수소 농도를 측정하면 50 ppm 정도 나오는데, 이는 눈 자극을 일으키는 농도일 뿐이다. 그러나 이러한 결과는 신뢰할 수 없거나 사건 즉시 발생원이 사라져서 나타난 결과일 뿐이다. 사건이 발생한 당시의 황화수소 농도는 알기는 매우 어렵다. 산소 결핍 현장에서 의식 손실이 대개 일어나는데 5% 산소 농도에서는 의식손실이 12초 만에 일어나고, 6.5% 산소 농도에서는 30초 만에 의식 손실이 일어난다.

작업환경에서 질식성 물질을 많이 사용하는데 질식성 물질은 몸에 산소 공급이나 사용을 방해하여 저산소증(Hypoxia)을 일으킨다. 아세틸렌, 아르곤, 에틸렌, 수소, 헬륨, 네온, 질소, 프로필렌, 증기 등이 그 자체로서는 인체에 독성이 없으나 질식 작용을 한다. 산소 부족에 의해 유발된 저산소증의 특징적인 반응은 숨을 깊게 쉬고, 숨 쉬는 횟수가 빨라지는 것이다.

2) 패러다임 발전 : 특징을 묘사하기 어려운 작업장, 밀폐공간

대부분의 실내 작업장에는 사람이 일한다는 사실을 반영하여, 지붕, 벽, 창문, 매끄러운 바닥, 조명, 적절한 공기, 휴식 공간 등이 있다. 그 외의 작업장은 실외라서 자외선, 열, 비바람을 사람이 맞아야 한다. 실내와 실외 공간이 아닌 세 번째 형태의 작업 공간이 있다. 대정비 및 장비 보수와 같은 일시적 상태에 의해 생겨나거나 장비를 해체하여 작업장이 만들어 질 수 있다. 이러한 작업장은 계획되어 있지 않고, 도면에도 나타나지 않을 수 있으며 정상적인 작업장보다 더 큰 위험을 가지는 경우가 많다. 이 때 밀폐공간이 형성되는 경우도 많다.

‘밀폐공간’이란 용어 자체가 크기, 모양, 작업 활동의 특성을 나타내지는 못한다, 이 중 일부는 누구나 밀폐 공간임을 인식하지만, 어떤 경우는 인식하기 어렵다. 정상과 밀폐 공간을 구분하는 주요한 것은 공간의 기능이다. 밀폐공간은 사람들이 일하는 장소가 아니다. 일부 사람들은 밀폐 공간에서 매일 일하지만, 대부분의 사람들은 그 공간에 들어가지 않을 것이다. 화학공정이 포함된

공간, 물질을 저장하는 공간처럼 공간 본래의 기능이 있어, 정상 작동 상황에서는 그 공간에 들어갈 수 없다. 그러나 정비와 부품 교체 등의 이유로 들어가야 하는 경우가 생긴다.

밀폐공간에서 일어나는 사고는 매우 발생하기 힘든 사건이다. 그래서 예측하기 어렵고, 예방하는데 비용이 많이 들고, 사소한 실수는 큰 사고를 일으킨다. 일반적인 작업장에서 사소한 실수는 결과가 미미할 수 있으나 밀폐공간 안에서 실수는 큰 희생으로 연결될 수 있다. 또한 사고가 일어나고 나면 그 후에는 아무 일도 없었던 상태로 되돌아간다.

밀폐공간을 다른 작업장과 구분하는 결정적인 점은 ‘경계선이 있는 표면’이다. 표면에 경계가 있으면 탈출하기가 어렵고, 위험한 상태를 확대시킬 수 있다. 표면의 경계는 보이지 않을 수도 있다. 법에서 정의하는 밀폐공간의 요건에 맞는 공간도 있지만, 드럼 금형, 허리 높이 페인트 혼합통, 식품용 승강기 수직 통로, 모래 혼합 기계, 빈 드럼통 등 요건과 맞지 않는 공간에서 사고가 일어날 수도 있다. 공기 공급 덕트와 공기 히팅기 덕트에서 유사한 사고도 일어날 수 있다. 이러한 곳에서 문은 팬 상단에서는 밖으로 열리고, 하단에서는 안으로 열린다. 문을 못 열어 갇히는 경우도 발생한다.

밀폐공간에서 일어나는 사고는 너무 다양해서 각 공간의 위험요인과 대책이 다양하다는 점이 문제이다. 경험이 없으면 밀폐공간 존재에 대한 인지도 어렵고, 그 공간의 위험요인과 대책을 명확히 알기가 어렵다.

전통적으로 밀폐공간 정의는 상태 보다는 구조의 형태에 초점을 맞추었다. 이러한 정의로는 ‘밀폐공간은 정확히 무엇이며 위험한 상태를 어떻게 관리해야 하는가?’를 알기 어렵다. 현재 모든 형태의 밀폐공간을 포괄하는 정의를 하는 것은 어렵다. 밀폐공간 관리의 가장 큰 어려움은 문제가 되는 유체의 특성이다. 보기에 사소한 변화 혹은 간과하기 쉬운 문제, 장비 유지 및 작업 활동이 무해한 상태에서 위험한 상태로 바꿀 수 있다.

3) 토양 가스 : 지표면에서 일어난 사고에서 몰랐던 사실을 추론 해보기

시설물 안에서 일어나는 전형적인 밀폐공간 사고는 지표면이 콘크리트로 되어 있고, 사고 없이 자주 드나들던 곳에서 어느 날 사고가 일어난 것이다. 사고 조사 내용을 보면 당시 이산화탄소, 메탄이 외부에 비해 농도가 높고, 황화수소는 없고, 물이 있었다. 물은 부식과 산화와 같은 무기화학 반응과 유기물과 관련된 미생물활동에 필수적이다. 유기물은 균류와 박테리아와 같은 미생물의 성장을 돕는다. 산소가 많이 있으면 유기물은 미생물의 성장을 도와 이산화탄소를 발생시키고, 혐기성 상태에서는 메탄, 황화수소, 암모니아, 아민, 이산화탄소를 발생시켜 산소 결핍 상태를 만든다.

하수도와 지하의 전기실 등의 파이프는 공기를 전달하는 역할을 한다. 지표면 구조의 벽, 바닥, 꼭대기가 자연발생적 물질 혹은 인위적 물질로 채워져 있는데 대개 기공성이라서 가스, 증기가 이동된다. 하나의 이동 경로만 있는 경우 외부 공기를 빨아들이고, 산소가 부족하거나 오염된 공기

를 내보는 역할을 한다. 아버지와 아들이 모래땅에 판 두 개의 우물에서 사망한 사건이 있었는데 우물 바닥에 있던 흙이 산소와 반응하여 산소 부족 현상이 일어났고, 콘크리트를 통해 확산되어 일어난 사건이었다. 농장 지표면에 위치한 공간에서 일어난 사건인데 지하 공간에는 수원(이중 파이프 형태)과 펌핑 장비, 압력 탱크가 있었다. 대개 겨울에 어는 것을 예방하기 위해 공간을 둘러싸 놓는데 가족들은 겨울에 이 공간에 야채를 보관해 왔고, 25년 동안은 사고가 없었다. 어느 날 그 공간에 가족들이 들어가서 사망한 사고가 일어났다. 사고 당시 그 공간은 질소 91%, 산소 8.5%, 이산화탄소 0.6%인 것으로 추정되었다. 두 파이프의 공간을 막아주던 가스켓이 떨어져 그 공간의 공기가 두 파이프 사이의 공기와 인접하게 된 것이다. 미생물 활동은 토양 가스에 중요한 역할을 한다. 흙은 미네랄, 유기물, 미생물 등이 혼합되어 있고, 물이 잘 빠지는 공간에서 더 빠른 공기 이동이 일어난다.

4) 공학적 설계 : 밀폐 공간 안전의 중요한 핵심사항

사람이 살거나 일하는 공간은 거주를 고려하여 공간의 크기, 위치, 개구면의 형태와 크기가 정해지고, 빛과 공기 순환이 고려된다. 사람이 거주할 필요가 없는 공간은 이러한 사항을 고려하지 않기 때문에 안전이 위협받는 상황에 처할 수 있다.

밀폐 공간의 구조적인 특징은 경계가 쳐진 공간이다. 이러한 공간은 입구와 출구가 정해져 있고, 구조를 상당히 지연시킬 수도 있다. 밀폐공간은 첫째 작업자가 일할 수 있도록 내부 구조가 안전하게 설계 되어야 한다. 건축물의 라이프 사이클을 예상하여 수리가 필요한 경우 사람이 안에 들어가서 작업 할 것을 염두에 두고 건축되어야 한다. 대개 소방 요건은 반영하지만, 현재 밀폐공간 설계에 사람이 작업할 것을 고려하지 않는 경우가 많다. 두 번째는 출입할 필요가 없도록 설계되어야 한다. 하수도 검사에 밸브 휠, 외부 창, 비디오 조사 등을 이용하거나 로봇 장비를 이용해 잔여물 청소와 제거를 할 수 있다. 반드시 공간에 출입해야 한다면 내부 레이아웃과 외부 출입구를 변경하여 위험을 줄일 수 있다.

5) 황화수소- 비뉴튼유체와 거품 형성: 죽음의 배합

농업에서 설명할 수 없는 이유로 사고가 나기도 하는데, 비료 보관·취급·균질화·이송 및 바를 때 발생한다. 사고는 전형적인 밀폐공간에서 뿐 아니라, 축사, 헛간에서도 사고가 발생한다. 유기물질과 관련된 미생물 활동이 있는 곳에서 사고가 많은데 추후에 메탄, 이산화탄소, 산소 부족이 원인으로 지적된다. 유기물질은 호기성 상태에서 진균과 박테리아 증식을 도와서 이산화탄소를 생성하게 한다. 혐기성 상태에서 미생물이 증식하면 메탄가스, 황화 수소, 머captan, 암모니아, 아민, 이산화탄소가 발생한다.

맥주, 와인, 사이다 제조 및 발효 공정에서 발효되는 동안 표면에 거품을 형성하기 때문에 액체에 이산화탄소를 가두어 놓는데, 이로 인해 사고가 나기도 한다. 버섯 퇴비를 만드는 곳에서 밀폐공간

사고가 난 적이 있다. 펌프와 배관을 보관하는 지표면에 방과 물을 모아 놓는 피트가 있었는데 이곳의 황화수소 농도가 높았다. 버섯 재배에 석고, 닭 비료 등을 사용하고 물을 재활용하기 때문에 물에 영양분이 많이 함유되어 있었다. 황화수소는 환경 중 박테리아가 황산염을 황화수소로 바꾸었기 때문에 발생하였다.

6) '앗차'하는 순간이 안전에 미치는 영향

의사 결정과 이행에는 결정하는 사람과 그것을 실행하는 사람이 있다. 의사결정이 모든 상황을 고려하여 현명하게 이루어져야 하지만 가끔은 위험을 인지하지 못 한 채 이루어진다. 특히 예외적인 상황에서 이루어지는 의사결정은 정보의 불완전성으로 인해 더욱 부적절하게 이루어질 수 있다.

밀폐공간 사고를 조사해 보면 사고는 지식·관리·인간에 대한 이해 부족, 필요한 작업의 불편함, 의사소통이 실패하여 비롯된 경우가 많았다. 지식 부족은 여러 가지의 모습으로 나타나는데 알고 있었지만 절차를 따르지 않은 경우, 문제점을 알고 있었지만 어떻게 관리해야 하는지 몰랐던 경우 등이 있다. 이러한 문제는 단기 근로자 혹은 비정규 근로자, 용역 근로자에서 더 자주 나타나는데, 그 이유는 이들 작업자들이 작업 공간에 익숙하지 않아 잘 모르기 때문이다.

두 번째 관리 영역은 의사결정 부족 문제이다. 특히 단기 근로자 혹은 비정규 근로자, 용역 근로자는 관리에 대한 의사 결정에서 정규직 근로자에 비해 불리하다. 조직 내에 있지 못 해 위험을 인지하더라도 어떤 방식으로 거부할 수 있는지 알지 못한다.

세 번째는 정보를 처리하는 인간 뇌의 한계이다. 뇌의 중심이 안전보다 작업(일)에 맞춰져 있다. 따라서 경험 있고 안전을 인식할 수 있는 동료가 함께 작업을 해야 한다. 작업을 할 때 소음, 오가는 사람들 등으로 정신이 분산된다.

네 번째는 안전 조치가 작업의 불편함을 초래하는 경우이다. 위험을 알고 있더라도 안전 조치를 지키지 않은 경우 그 이유가 작업이 불편하기 때문 일 수 있다.

다섯 번째는 작업 상태가 정상적이지 않아 안전 조치를 취하는데 실패하는 경우이다. 중대 사고는 종종 작동을 멈춘 장비 등을 재가동하다가 발생한다.

의사를 결정하는 사람과 실행하는 사람이 이용 가능한 정보가 달랐을 때 문제가 발생한다. 현장에서 결정하는 사람이 문책 없이 자유롭게 결정할 수 있어야 한다. 열린 의사소통을 만드는데 중요한 것은 의사소통이 제대로 되지 않았을 때 일어날 경우를 인지하는 것이다.

사업주는 유해·위험한 상황을 인식하고 관리하도록 작업자를 훈련시켜야 한다고 법에서 명시하고 있다. 교육과 훈련, 그리고 연습을 통해서 획득 가능한 유능함이 뜻밖의 사건이 일어나지 않도록 하는 전략에서 중요한 요소이다.



IV. 정책제언

밀폐공간 재해는 매년 발생하며, 그 규모는 좀처럼 감소하지 않고 있다. 밀폐공간 작업 질식 재해 예방 매뉴얼(고용노동부, 2014)은 작업장에 밀폐공간 작업이 있음을 명확히 인지하고 있으며, 구체적인 실행 방법을 찾을 때 매우 유용한 정보이다. 그러나 밀폐공간을 인지하지 못하거나 밀폐공간에 대한 정보를 여러 단계를 거쳐 전달하는 과정에서 의사소통이 실패하는 경우는 별로 효과적이지 못한 것 같다.

밀폐공간 재해예방 활동은 대개 팜플렛 등을 이용한 홍보 및 장비 대여 등으로 대국민 혹은 다수를 대상으로 동일한 정보를 제공하면서 이루어졌다. 국내에서는 밀폐공간의 위험성 등에 대한 다양한 논의나 자료들을 찾기가 어렵다. 밀폐공간 재해 전문가 Neil McManus에 의하면 밀폐공간 재해 예방은 비용이 많이 드는 활동이며 재해예방이 쉽지 않다고 한다. 국내에서도 밀폐공간 위험성 및 관리 대책에 대해 대상별 정교한 정보 제공이 필요하다. 또, 실제 작업자들이 '유능'해지는 밀폐공간 재해 예방 교육이 이루어지고 있는 지에 대한 확인도 필요하다.



IV. 향후과제

밀폐공간의 위험성은 그 위험성이 일정하지 않고, 시시각각 변할 수 있고, 공간마다 위험요인이 다르다는 점에서 안전보건 분야의 위험요인 중 더욱 많은 정보가 체계화될 필요가 있다. 또한 밀폐공간 관리대책을 세심하게 검토하여 정부의 지원이 필요한 분야를 밝혀내고, 좋은 공학적 설계 모델을 제시할 필요가 있다. 또, 다른 위험요인에 비해 밀폐공간 위험에 대한 현 실태 등에 대한 자료가 부족하다. 밀폐공간 재해를 예방하기 위해 현실적인 문제점과 대책 수행의 걸림돌, 해결 방안을 찾는 연구가 선행되어야 할 것이다.



참고문헌

밀폐공간 작업 질식재해예방 매뉴얼 고용노동부 2014. 6

No one knew he was there: death in a confined space, 2002, http://ehstoday.com/safety/confined-spaces/ehs_imp_35065

Neil McManus, Oxygen: Health effects and regulatory limits Part I : Physiological and toxicological effects of oxygen deficiency and enrichment 2009, www.nwohs.com

Neil McManus, Oxygen: Health effects and regulatory limits Part II : Consensus and regulatory standards and realities of oxygen measurement 2009, www.nwohs.com

Neil McManus, Advancing the paradigm: Confined spaces and the uncharacterized workplace 2010, www.nwohs.com

Neil McManus, H₂S, non-newtonian fluids and froth formation: A deadly combination. 2011, www.nwohs.com

Neil McManus, Engineering design: The key to safety in confined spaces. 2011, www.nwohs.com

Neil McManus, Soil gases: The missing link in accidents involving subsurface structures? 2011, www.nwohs.com

Neil McManus, The 'uh-oh moment' and its impact on safety 2012, www.nwohs.com

수입 과일 방역작업에서 사용되는 메틸브로마이드(브롬화메틸) 중독의 위험성

화학물질센터 독성연구팀 임경택 연구위원

화학물질센터 독성연구팀 임철홍 팀 장

요 약 문

- ◎ **배경 및 문제점:** 2015년 2월말 방역업체 근로자 1명이 수입 과일 방역작업 중에 메틸브로마이드(Methyl Bromide)에 의한 독성뇌병증 발병 및 동료 근로자 3명이 유사 중독 증세를 보여 총 4명의 집단 발병이 일어났다. 수입된 곡물이나 과일이 국내에 유통되기 위해 반드시 방역작업을 거쳐야 하는데 특히 식품류는 병해충을 제거하기 위해 단기간 노출돼도 사망에 이를수 있는 강력한 독성을 가진 물질인 브롬화메틸(메틸브로마이드, Methyl Bromide)로 훈증소독을 하게 된다. 하지만 수입과일 하역 및 운반, 방역작업을 하는 업체의 근로자들이 강력한 독성을 가진 브롬화메틸이 얼마만큼 위험한 지를 인식하지 못하고 있다.
- ◎ **목적:** 메틸브로마이드(브롬화메틸, CH₃Br)의 특성 및 작업자에게 미치는 건강영향을 살펴보고, 메틸브로마이드에 의한 근로자 건강장해 예방조치, 정책제언 및 향후과제 등을 제시하고자 하였다.
- ◎ **조사 및 분석내용:** 메틸브로마이드의 물리화학적 특성 및 근로자 건강영향, 훈증 작업의 정의 및 작업 시 유해요인들을 조사하였다. 훈증작업 시 메틸브로마이드에 의한 재해 사례를 조사하였고, 메틸브로마이드에 의한 근로자 건강장해의 예방을 위해 필요한 조치사항들을 요약하였다.
- 정책제언:** 훈증작업 근로자의 건강장해 예방을 위해 지속적인 사업장 안전보건 모니터링 및 중대한 사고 발생 시 발생 경보 등의 신속한 알림 및 보호조치가 뒤따라야 하며, 훈증작업을 실시하는 사업주는 메틸브로마이드로 소독작업을 할 때 근로자들이 물질에 노출되지 않도록 누출 방지조치 및 충분한 환기 실시, 작업환경측정 및 특수건강진단 실시, 개인보호구를 지급하고 반드시 착용토록 관리, 취급 작업장 내에 물질안전보건자료(MSDS) 게시·비치 및 경고표지 부착 등의 근로자 건강장해 예방조치를 철저히 해야 한다. 또한 취급 노동자가 건강에 이상이 생겼을 경우 반드시 산업의학·신경과전문의와 상의하고, 해당 작업력에 대해 설명해야 한다.
- ◎ **향후과제:** 수입과일 하역 및 운반, 방역작업을 하는 업체의 관리감독자와 근로자들은 메틸브로마이드가 인체에 위해하다는 것을 알고는 있었지만, 얼마만큼 위험한 지는 인식하지 못하고 있었다. 국내 메틸브로마이드 중독 환자 발생은 이번이 처음이 아니며 2000년에서 2004년까지 8차례의 중독 사례가 발생한 바 있다고 한다. 그럼에도 불구하고 메틸브로마이드에 대한 관련 업종 관리자와 노동자들의 위험성 인식 수준은 아직도 낮은 상태로, 향후 산업보건 전문가들이 메틸브로마이드의 유해성·위험성을 교육하고, 해당업체 및 작업자를 대상으로 예방조치 방안을 알리는데 더욱 노력하는 것이 필요한 시점이다.



I. 배경 및 문제점

최근 방역업체 근로자 1명이 수입 과일 방역작업을 하면서 메틸브로마이드(Methyl Bromide)에 의한 독성뇌병증이 발병하였다. 이 사례를 조사하면서 동료 근로자 3명이 유사 중독 증세를 보임에 따라 총 4명이 근로자가 메틸브로마이드에 중독된 것으로 보인다. 육류나 곡물·과일에 이르기까지 수입농산물이 우리 식탁에서 차지하는 비중이 점점 커지고 있다. 수입된 곡물이나 과일이 국내에 유통되기 위해 반드시 거쳐야 하는 과정이 방역이다. 특히 식품류는 병해충을 제거하기 위해 살균 가스를 뿌리는 훈증소독을 하는데 이때 사용되는 화학물질이 메틸브로마이드(Methyl Bromide)다. 브롬화메틸이라고도 불리는 메틸브로마이드는 단기간 노출돼도 사망에 이를 수 있는 강력한 독성을 가진 물질이다.



II. 목적

이 보고는 메틸브로마이드(브롬화메틸, CH₃Br)의 특성 및 작업자에게 미치는 건강영향을 살펴보고, 메틸브로마이드에 의한 근로자 건강장해 예방조치, 정책제언 및 향후과제 등을 제시하고자 하였다.



III. 조사 및 분석내용

1. 메틸브로마이드(브롬화메틸, CH₃Br)의 특성 및 건강영향

곡물이나 과일 같은 농산물은 수입 직후 배송 과정에서 제품이 상하거나 벌레가 슬지 않게 전문 방역업체가 훈증을 실시하도록 돼 있다. 이때 주로 사용하는 훈증소독제가 메틸브로마이드(브롬화메틸, CH₃Br)라는 매우 독성이 강한 화학약품이다. 훈증제(소독·살충제), 메틸화제(methylation agent) 등으로 사용하는 무색·무취 극인화성 가스, 고압가스로 가열하면 폭발할 수 있으며, 삼키거나 흡입하면 매우 유독하다. 피부와 눈에 심한 자극을 일으키며, 또한 유전적인 결함을 일으킬 것으로 의심된다. 신체 중 신경계, 호흡기, 신장, 부신에 손상을 일으키고, 장기간 또는 반복노출 되면 신체 중 신경계에 손상을 일으킬 수 있으며, 수생생물에도 매우 유독하다. 중독 시에는 어지럼증, 두통, 구토, 시력장해, 손 떨림, 손발 저림, 경련 등이 발생하며, 심하면 사망에 이를 수도 있다. 피부 노출 시에는 홍반, 부종이 생기며 고농도로 노출 시에는 화상을 입거나 수포가 발생한다. 또 신경 독성작용에 의해 중추 및 말초신경 장애를 일으키며 호흡기, 신장, 부신 등 여러 신체부위의 손상도 불러온다. 장기간 또는 반복노출 되면 유전적인 결함을 야기할 수도 있는 것으로 알려져 있다. 수입된 곡물이나 과일이 국내에 유통되기 위해 반드시 거쳐야 하는 과정이 방역이다. 특히 식품류는 병해충을 제거하기 위해 살균가스를 뿌리는 훈증소독을 하는데 이때 사용되는 화학물질이 브롬화메틸이라고도 불리는 메틸브로마이드(Methyl Bromide)로 단기간 노출돼도 사망에 이를 수 있는 강력한 독성을 가진 물질이다.

[표1] 메틸브로마이드(브롬화메틸, CH₃Br)의 특성 및 건강영향

용 도	훈증제(소독 · 살충제), methylation agent 등으로 사용
일반적 특성	무색 · 무취의 가스
유해성 · 위험성 	극인화성 가스. 고압가스 포함 ; 가열하면 폭발할 수 있음. 삼키거나 흡입하면 유독함. 피부에 자극 및 눈에 심한 자극을 일으킴. 유전 적인 결함을 일으킬 것으로 의심됨. 신체 중 (신경계, 호흡기, 신장, 부신)에 손상을 일으킴. 장기간 또는 반복노출 되면 신체 중 (신경계)에 손상을 일으킴. 수생생물에 매우 유독함.
건강영향	▶ 신경 독성작용에 의해 중추 및 말초신경 장애를 일으키며 만성노출 시 영구장 애 가능성 있음 ▶ 중독 시 어지럼증, 두통, 구토, 시력장애, 손떨림, 손발저림, 경련 발생. 심하면 사망 ▶ 호흡기 및 피부 노출을 통한 흡수 발생, 피부 노출시 홍반, 부종이 생기며 고농도 노출 시 화상 및 수포 발생

메틸브로마이드에 노출되면,

- ▶ 신경 독성작용에 의해 중추 및 말초신경 장애를 일으키며 만성노출 시 영구 장애 가능성이 있고,
- ▶ 중독 시 어지럼증, 두통, 구토, 시력장애, 손떨림, 손발저림, 경련이 발생하고 심하면 사망에 이를 수 있으며,
- ▶ 호흡기 및 피부 노출을 통해 흡수하고 피부 노출 시 홍반, 부종이 생기며 고농도 노출 시 화상 및 수포가 발생하게 된다.
- ▶ 메틸브로마이드는 무색무취의 투명한 액체로 상온에서는 가스 상태로 존재한다. 메틸브로마이드 가스나 액체가 눈에 닿으면 결막염을 일으키고 피부에 닿으면 붉은 반점이 나타난다. 반복해서 접촉하면 비듬이나 가려움증을 동반한 피부염을 일으키고 피부화상이나 물집이 생기기도 한다.
- ▶ 급성중독 증상으로는 대개 두통과 구토·언어장애·경련을 일으키고 고농도로 노출되면 의식을 잃고 사망한다.
- ▶ 만성노출 시 팔다리의 감각이상·정신착란·의식상실 등의 증상이 나타난다. 회복된 이후에도 현기증·우울증·근심 등 중추신경장애가 오랫동안 지속되는 등 치명적인 손상을 일으킨다.

2. 훈증 작업의 정의 및 작업 시 유해요인

훈증 작업이란 유독 가스로 살충·살균하는 작업을 뜻한다. 훈증 작업에는 위험물질로 분류되는 ‘메틸브로마이드’가 사용된다. 메틸브로마이드는 유독성의 기체로 무색, 무취이며, 만약 사람이 흡입하면 두통, 구토, 복통, 정신적 혼란, 혼수, 호흡·순환계 장애를 일으켜 사망에 이르기도 한다. 주로 선박, 창고, 곡류, 생과실의 해충구로 세계적으로 널리 쓰인다. 사용량과 훈증시간은 훈증시설, 훈증대상, 화물이 차지하는 용적률, 계절에 따라 규정이 각각 다르다.

작업은 보통 4~5명이 한조를 이뤄서 진행되며, 승합차 두 배가 넘는 높이로 적재된 곳에서 작업이 진행되다보니 추락사고의 위험도 크다. 작업이 진행되는 순서는 먼저, 크레인이 원목 위에 천막을 올려놓으면 현장 인력들이 수십 미터 높이의 나무 위에 올라가 천막을 펼친다. 작업장의 규모가 워낙 넓다보니 투입되는 천막만 하더라도 3~4장에 달한다. 각 천막의 이음새에 테이프를 붙여 빈틈이 없도록 막고, 천막의 아랫부분도 모래주머니로 누르거나 흙으로 덮어 빈틈이 없도록 꼼꼼하게 밀폐시킨다. 원목이 밀폐되면 본격적으로 메틸브로마이드를 투입한다. 액체상태의 메틸브로마이드는 밀폐된 공간으로 기화되면서 회충을 사멸한다. 메틸브로마이드의 양은 나무의 면적에 따라 차이가 있다. 보통 작업 면적은 1,000 m² 규모로 4~5명이 함께 조를 이뤄 진행하는데 약 1시간이 소요된다. 비용은 1m²을 작업하는데 평균 2,000원 수준이다. 작업이 끝나고 24시간이 지나면 농림축산검역본부에서 잔류약품 검사를 실시하며, 이 때 평균 잔류약품이 15%를 유지해야 검사를 통과한다. 훈증은 곡류나 생과실의 해충구제로 널리 사용되는데, 잔류약품은 인체에 유해하지 않은 것으로 알려졌다.

전 세계적으로 메틸브로마이드를 사용하고 있지만, 이 제품은 환경을 파괴하는 물질로 분류되고 있어 논란을 불러왔다. 최근 국내 업체가 ‘EDN(Ethanedinitrile)’이라는 품목을 개발하고 있는데, 약효 시험 결과 살충·살균 등에 탁월한 효과를 입증한 것으로 확인됐다. 더구나 유독물질이 없어 안전하다. 하지만 이 약품이 상용화가 되기까지는 다소 시간이 걸릴 것으로 예상된다. 지금 이 순간에도 물류업계 곳곳에서 ‘훈증’이라는 다소 위험한 작업을 수행하고 있다. 이들의 숨은 노고가 없다면, 원활한 수출입도 불가능하다.

3. 훈증작업 시 메틸브로마이드에 의한 재해 사례

■ 사례 1

2015년 2월말 방역업체 근로자 1명이 수입 과일 방역작업 시 메틸브로마이드(Methyl Bromide)에 의한 독성뇌병증이 발병함에 따라, 동 사례를 조사하는 과정에서 동료 근로자 3명이 유사 중독 증세를 보여 총 4명의 집단 발병이 일어났다.

■ 사례 2

바나나와 파인애플 등 수입과일을 방역·소독하는 업체에서 일하던 노동자 6명이 소독약에 집단 중독된 사실이 뒤늦게 밝혀졌다. 집단중독 사고는 방역업체의 실수로 외부와 공기차단이 제대로 되지 않아 2차 소독을 실시하는 과정에서 발생했다. 회사는 두 차례 소독작업으로 작업시간이 지연되자 정상적인 환기절차를 무시하고 직원들을 바로 투입해 작업을 시켰다. 특히 무더위가 시작된 7월부터 냉장온도가 적정하게 유지되지 않자 일부 창고만 개방해 소독으로 인한 가스가 남아 있었던 것이 원인이 됐다. 제품 소독 후 출고하는 과정에서도 방독마스크 등 제대로 된 보호구를 착용하지 않은 것으로 조사됐다.

■ 사례 3

인천항에서 이 농약에 중독돼 갑자기 쓰러진 근로자 L모 씨는 K방역에서 아르바이트를 한 지 한 달 후 말을 더듬고 몸에 힘이 빠지다가 같은 해 2개월 후에는 어지럼증 등으로 일어서지 못할 만큼 증세가 악화돼 부산의 한 병원에서 치료를 받았다. 또 L모 씨와 함께 아르바이트를 했던 P모 씨 등 2명도 걸음을 걷기가 힘들 정도로 상태가 나빠져 입원치료를 받았다. 안전보건공단 산업역학조사센터는 K방역의 정규직 근로자 6명을 대상으로 조사한 결과 이들의 리터(ℓ)당 혈중 메틸브로마이드 농도가 평균 21.0 mg으로 정상인(4.1 mg)에 비해 5배가량 높은 것으로 드러났다.

■ 사례 4

C씨는 수입컨테이너 방역작업을 했다. 작업은 준비·훈증·해체·검역작업 순으로 진행됐고, 먼저 수입컨테이너 안쪽에 송풍기를 설치한다. 메틸브로마이드를 컨테이너 안에 확산하기 위해서다. 그리고 메틸브로마이드 투입 호스와 농도확인용 호스를 설치한다. 이어 컨테이너 문을 폐쇄하고 테이프로 밀봉한다. 이때 LPG가스를 이용해 물을 가열시켜 메틸브로마이드를 기체 상태로 만든 후 컨테이너에 투입한다. 과일의 경우 2시간 정도 훈증을 한다. 제대로 훈증이 됐는지 농도확인 호스를 통해 잔류농도를 확인한 후 한 시간 정도 컨테이너 문을 개방한다. 마지막으로 송풍기·호스 등을 해체하고 검역소 직원이 검역작업을 실시했다. C씨가 주로 방역작업에 참여했던 품목은 수입오렌지였다. 하루 8시간씩 주 6일을 근무했고 매일 40개 정도의 컨테이너 작업을 했다. 해체 작업은 컨테이너 개방 후 한 시간이 지난 후 작업을 해야 하지만 물량이 많을 때는 컨테이너 문을 개방하자마자 해체작업을 했다. 작업을 할 때 방독면도 착용하지 않았다. C씨는 훈증에 사용되는 물질이 무엇인지도 몰랐고, 그것이 인체에 해로울 것이라고는 생각하지 못했다. C씨가 몸에 이상을 느낀 것은 일을 한지 보름이 조금 지난 2000년 4월 중순경였다. 말을 더듬기 시작했고 많이 피로했다. 4월말부터는 어지럼증이 심해졌다. 남이 깨워주지 않으면 일어나지 못할 정도로 깊은 잠에 빠졌다. 5월 9일에는 증상이 심해져 먹지도 못하고 잠만 잤다. 같은 달 12일 손이 떨리는 증상이 심해

밥을 먹을 수 없었다. C씨는 결국 병원에 입원했다. 당시 C씨와 함께 일을 했던 친구 3명 중 2명도 말을 더듬거나 보행이 곤란한 증상이 발생했다. 평소 질병이 없었던 C씨는 결국 메틸브로마이드에 의한 뇌병증(뇌손상)이라는 진단을 받았다. C씨가 방역회사에서 일한 기간은 겨우 한 달 정도였다.

■ 사례 5

살충제인 메틸브로마이드는 컨테이너에 실린 곡물과 과일류의 방역작업에 주로 쓰이는데 일부 근로자는 안전장구를 제대로 착용하지 않거나 이 농약을 컨테이너에 뿌린 뒤 환기가 될 때까지 기다리지 않고 작업을 하다 중독되는 것으로 알려져 있다.

4. 메틸브로마이드에 의한 근로자 건강장해 예방조치

농산물 수입량이 매년 큰 폭으로 늘고 있음에도 불구하고 수입 농산물의 방역·소독을 담당하는 노동자들의 건강관리는 허술한 것으로 나타나 대책마련이 시급하다. 재해가 발생하는 사업장은 주로 환기가 제대로 안 된 상태에서 적절한 보호구 착용 없이 고농도의 메틸브로마이드에 노출돼 집단 중독 증상이 나타난 것으로, 메틸브로마이드는 주로 토양이나 저장식품의 훈증제로 이용되는데, 사람에게 노출되면 경련이나 어지럼증·무력감·전신마비 등 신경독성 증상을 일으킨다. 고농도 메틸브로마이드에 잠시라도 노출되면 사망까지 이를 수 있다.

따라서, 메틸브로마이드에 의한 근로자 건강장해를 예방하려면 다음과 같은 예방조치가 필요하다.

첫째, 누출 방지조치 및 충분한 환기를 실시해야 한다. 메틸브로마이드 주입 및 소독 중 가스누출 유무를 점검 등 누출 방지조치 강구해야 한다. 또한 방역작업 완료 후에는 활짝 개방하여 환기를 충분히 하고, 근로자는 방제기술자에 의해 안전여부(안전허용농도 1 ppm 이하)를 확인 받은 후 작업 장소에 출입해야 한다.

둘째, 작업환경측정 및 특수건강진단을 실시해야 한다. 6개월에 1회 이상 작업환경측정(메틸브로마이드 노출기준 1 ppm)을 실시하여야 하며, 호흡기계, 신경계 및 눈·피부·비강·인두 검사 등의 특수건강진단을 정기적으로 실시해야 한다.

셋째, 작업관리 및 보호구를 착용해야 한다. 전면형 방독마스크(유기화합물용), 불침투성 보호복, 보호장갑, 보호장화 등 개인보호구 지급하고 반드시 착용하고, 특히 방독마스크 착용 후에는 작업장에 들어가기 전 안면부 밀착도 자가점검 등을 실시해야 한다.

넷째, 취급 작업장 내에는 물질안전보건자료(MSDS)를 게시·비치하고 용기·포장 등에 경고 표지를 부착하여야 한다. 취급 근로자에 대한 MSDS(물질 특성 및 인체에 미치는 영향 등) 교육도 실시해야 한다.

다섯째, 메틸브로마이드를 사용해 훈증소독을 할 경우 작업 과정에서 소독제 누출을 철저히 막고 환기를 충분히 해야 하며, 작업하는 근로자는 방독마스크 등 보호구를 착용하고 건강이상 증상이 나타날 경우 즉시 산업의학전문의나 신경전문의와 상담해야 한다.

[표2] 메틸브로마이드(브롬화메틸)에 의한 근로자 건강장해 예방조치

○ 누출 방지조치 및 충분한 환기 실시

- 메틸브로마이드 주입 및 소독 중 가스누출 유무 점검 등 누출 방지조치 강구
- 방역작업 완료 후 개방 시 환기를 충분히 실시하고, 근로자는 방제기술자에 의해 안전여부(안전허용농도 1 ppm 이하)를 확인 받은 후 작업장소에 출입

○ 작업환경측정 및 특수건강진단 실시

- 6개월에 1회 이상 작업환경측정 실시(노출기준 1 ppm)
- 호흡기계, 신경계 및 눈.피부.비강.인두 검사(특수건강진단)를 정기적으로 실시

○ 작업관리 및 보호구 착용 등

- 전면형 방독마스크(유기화합물용), 불침투성 보호복, 보호장갑, 보호장화 등 개인보호구 지급.착용
※ 방독마스크 착용 후 작업장에 들어가기 전 안면부 밀착도 자가점검 등 실시
- 취급 작업장내 MSDS 게시.비치, 용기.포장 등에 경고표지 부착
- 취급 근로자에 대한 MSDS(물질 특성 및 인체에 미치는 영향 등) 교육 실시
※ 수출입식품검역소독처리규정(농림축산검역본부 고시 제2014-35호)에 의한 위해방지 조치 실시(별표1~4 참조)



IV. 정책제언

훈증작업 근로자의 건강장해 예방을 위해 안전보건공단은 지난 3월 23일 수입 과일 방역작업을 하던 근로자들에게서 메틸브로마이드(Methyl Bromide)에 의한 독성뇌병증이 발병하자 ‘메틸브로마이드(브롬화메틸, CH₃Br) 중독사고 발생 정보’를 발령하였다. 이와 같은 근로자 안전보건 확보를 위한 지속적인 사업장 안전보건 모니터링과 중대한 사고 발생 시 발생 정보 등의 신속한 알림 및 보호조치가 뒤따라야 추후 집단 발병이 일어나지 않도록 할 수 있을 것이다.

훈증작업을 실시하는 사업주는 메틸브로마이드로 소독작업을 할 때 노출되지 않도록 조치를 취해야 한다. 소독이 완료된 후에도 환기를 충분히 하고, 방제기술자의 확인 뒤 노동자들이 소독 장소를 출입하도록 해야 한다. 훈증작업에 종사하는 근로자 및 사업주는 메틸브로마이드에 의한 신경질환은 일반 신경질환과 구분하기가 어려우므로, 취급 노동자가 건강에 이상이 생겼을 경우 반드시 산업의학·신경과전문의와 상의하고, 해당 작업력에 대해 설명해야 한다.

메틸브로마이드에 의한 건강장해를 예방하기 위해서는 우선 메틸브로마이드 주입 및 소독작업 중에는 가스누출 유무 점검 등 누출 방지조치를 강구해야 한다. 방역작업 완료 후 개방 시에는 환

기를 충분히 실시하며, 근로자는 방제기술자에 의해 안전여부(안전허용농도 1 ppm 이하)를 확인 받은 후 작업 장소에 출입해야 한다. 또한 6개월에 1회 이상 작업환경측정(노출기준 1 ppm)을 실시하고, 호흡기계, 신경계, 눈·피부·비강·인두 검사(특수건강진단)를 정기적으로 실시해야 하며, 관련 작업을 할 때는 전면형 방독마스크(유기화합물용)와 불침투성 보호복, 보호장갑, 보호장화 등 개인보호구를 지급·착용해야 한다. 특히 방독마스크 착용 후 작업장에 들어가기 전에는 안면부 밀착도 자가점검 등을 필히 실시해야 한다.



V. 향후과제

수입과일 하역 및 운반, 방역작업을 하는 업체의 관리감독자와 근로자들은 메틸브로마이드가 인체에 위해하다는 것을 알고는 있었지만, 얼마만큼 위험한 지는 인식하지 못하고 있었다. 국내 메틸브로마이드 중독 환자 발생은 이번이 처음이 아니며 2000년에서 2004년까지 8차례의 중독 사례가 발생한 바 있다고 한다. 그럼에도 불구하고 메틸브로마이드에 대한 관련 업종 관리자와 노동자들의 위험성 인식 수준은 아직도 낮은 상태로, 향후 산업보건 전문가들이 메틸브로마이드의 유해성·위험성을 교육하고, 해당 업체 및 작업자를 대상으로 예방조치 방안을 알리는데 더욱 노력하는 것이 필요한 시점이다.



참고문헌

- 수출입식품검역소독처리규정(농림축산검역본부 고시 제2014-35호)에 의한 위해방지 조치 실시(별표1~4 참조)
김은아. 방역소독사업장 근로자의 메틸브로마이드 중독사례. 안전보건연구동향 2008년 10월호
안전보건공단 물질안전보건자료, Methyl bromide (CAS No. 74-83-9)
- 출처 링크 <http://msds.kosha.or.kr/kcic/msdsdetail.do>
안전보건공단 메틸브로마이드(브롬화메틸) 중독사고 발생 경보. 2015년 3월 23일
- 출처 링크 <http://www.kosha.or.kr/www/boardView.do?contentId=359657&menuId=894&boardType=A>

참고 1. 방제업자 또는 수출입자가 훈증소독 위해방지를 위하여 조치할 사항 (수출입식물검역소독처리규정(농림축산검역본부 고시 제2014-35호 참조))

1. 방제업자 또는 수출입업자는 훈증소독작업에 종사하는 자 또는 관련하는 자에 대하여 훈증제의 특성, 중독현상, 구급 조치방법, 작업순서, 안전작업기준 등에 관하여 교육을 시키는 등 위해방지에 철저를 기하도록 한다.
2. 방제업자는 검역본부장에게 신고한 검역용 약제보관창고에 대하여 관리책임자를 지정, 농약취급제한기준과 농약 라벨상의 안전 및 주의사항을 지켜 관리하고, 창고 출입구에는 별지 제14호서식의 “접근금지표시”를 부착하여 사람의 접근을 막고, 창고 내에는 별지 제15호서식에 의한 “약제보관수량 현황판”을 게시하여 약제관리 사항을 점검하여 약제관리에 철저를 기하고, 또한 훈증약제의 수송, 이전 등에 철저를 기한다.
3. 방제업자는 훈증소독작업에 필요한 가스검지기 등을 수시 점검하고 결함이 있는 때에는 즉시 정비, 보완하거나 교체하여야 한다.
4. 방제업자는 방독면과 정화통의 사용자를 지정하고 사용내역을 기록 관리하여야 한다. 또한 정화통의 중량이 사용 전보다 5% 이상 증가하였거나 제조일로부터 2년 또는 사용 개시일로부터 6개월이 지난 것은 사용을 제한한다. 다만 제조사로부터 유효기간이 정해진 것은 그에 따른다.
5. 방제업자는 가스농도측정기에 충전제를 염화칼슘, 소다라임 순으로 결합하고, 충전제의 교체는 염화칼슘이 1/3 조해된 시점에 하여야 한다.
6. 방제업자는 소독작업 시 작업자가 방독면을 착용하도록 하여야 하며, 투약부터 개방 후 안전이 확보될 때까지는 소독 장소에 감시원을 배치하고, 별지 제17호서식의 소독처리현황판, 출입금지표시판 및 접근금지표시줄(표시판)을 설치하여 외부인이 출입하지 못하도록 하여야 한다. 또한 수출입자 및 하역업자 등은 작업자가 하역이나 출고작업 등을 하는 경우에는 소독감시원 등으로부터 안전 여부를 확인받은 후에 할 수 있도록 조치한다.(안전허용농도 이하에서만 작업)
- 6-1. 훈증약제별 안전허용농도는 메틸브로마이드의 경우 1 ppm, 인화수소는 0.3 ppm, 청산은 C4.7 ppm, 에틸포메이트는 100 ppm이다.
주) 청산의 경우는 최고노출기준(C)으로 근로자가 1일 작업시간동안 잠시라도 노출되어서는 아니되는 기준을 말함.
7. 의료기관을 지정하여 1년마다 훈증소독 종사자에 대하여 건강진단을 실시하고 건강상태가 좋지 않거나 노약자 또는 중독자 등은 훈증소독작업에 참여시키지 말아야 한다.
8. 훈증소독과 관련하여 부상·중독·사망 등의 사고가 발생한 경우에는 사고원인 및 내용을 즉시 관할 지역본부장 또는 사무소장에게 통보하여야 한다.
9. 훈증소독을 실시하는 장소에는 위급사항 발생 시 신속한 조치를 할 수 있도록 지정병원 및 관할 지역본부 연락처, 사고 시 응급조치 요령 등이 명기된 ‘위급사항 발생 시 대처요령 매뉴얼’을 비치하여야 한다.
10. 참고 4의 소독장소별 훈증소독 위해방지를 위하여 조치할 사항 중 해당 주의사항을 준수토록 한다.

**참고 2. 훈증소독시설자(관리자 포함)가 훈증소독 위해방지를 위하여 조치 할 사항
(수출입식물검역소독처리규정(농림축산검역본부 고시 제2014-35호 참조))**

1. 훈증소독 위해방지를 위하여 방제업자, 방제기술자가 지시하는 사항을 준수하여야 한다.
2. 사이로, 선박 등 훈증시설에 대하여 평상시 철판의 부식, 구멍 등 누출부위를 파악하여 훈증소독 시 방제업자에게 누출정보를 알려주는 등 위해사고 예방에 적극 협조하여야 한다.
3. 방제업자가 지시하는 소독일정, 훈증실시방법, 가스의 특성, 중독증상, 긴급사태 발생 때의 조치(응급처치, 의사의 연락 등) 등 위해방지 상 필요한 사항에 대하여 훈증시설관리자는 작업실시 전 보안요원, 작업요원 등에게 충분히 주의 촉구 및 설명하고 사고예방을 하여야 한다.
4. 의리기관을 지정하여 두고 긴급사태 발생 시에는 즉시 구급조치를 취하여야 한다.
5. 건강상태 불량자, 노약자, 음주자 등은 작업 및 보안요원으로 참여시키지 말아야 한다.
6. 투약부터 개방 후 방제기술자에 의해 안전이 확인될 때까지는 작업자가 훈증소독장소에 출입하지 못하도록 하여야 한다.
7. 참고 4의 소독장소별 훈증소독 위해방지를 위하여 조치할 사항 중 해당 주의사항을 준수토록 한다.

**참고 3. 하역(출고)업자(하역책임자 포함)가 훈증소독 위해방지를 위하여 조치 할 사항
(수출입식물검역소독처리규정(농림축산검역본부 고시 제2014-35호 참조))**

1. 훈증소독 위해방지를 위하여 방제업자, 방제기술자가 지시하는 사항을 준수하여야 한다.
2. 하역(출고)실시에 앞서 작업원에게 훈증제의 특성, 작업상의 주의사항, 가스중독 증상 등에 관하여 교육 시키는 등 위해방지에 철저를 기하도록 한다.
3. 방제기술자의 지시가 있을 때까지는 작업자를 훈증시설에 접근시키지 말아야 한다.
4. 하역(출고)작업 중에는 하역(출고)시설 내의 환기를 계속 실시하여야 한다. 또한, 하역(출고)작업자의 안전을 위해 곡류 등에 대하여는 가급적 흡입 장치, 버켓이 달린 기중기 등의 장비를 사용하여 하역(출고)하여야 하고 방독면을 착용하여 작업자의 안전을 도모하여야 한다.
5. 선창, 거주장소 및 화물을 쌓아 놓는 곳의 가스농도가 허용농도 이하인지를 방제기술자가 확인을 하여 안전이 확인된 후 하역(출고)을 시켜야 한다.
6. 의리기관을 지정하여 두고 긴급사태 발생 시에는 즉시 구급조치를 취하여야 한다.
7. 건강상태 불량자, 노약자 및 음주자 등을 하역(출고)작업에 참여시키지 말아야 한다.
8. 작업자의 위해방지 상 필요하다고 판단될 때에는 방제기술자에게 가스농도 측정을 요청할 수 있다.
9. 참고 4의 소독장소별 훈증소독 위해방지를 위하여 조치할 사항 중 해당사항을 준수토록 한다.

참고 4. 소독장소별 훈증소독 위해방지를 위하여 조치 할 사항은 수출입식물검역소독처리규정(농림축산검역본부 고시 제2014-35호) 별표4에 따른다.

폭발방지를 위한 전기설비의 국제적 기준과의 부합화 노력

안전연구실 최상원 연구위원

요 약 문

- **배경 및 문제점:** WTO/TBT 체제하에서 방폭기기의 국가 간 기술무역 장벽을 타파하여 국제 무역을 원활히 촉진시키기 위해 1996년 7월 IECEx Scheme 제도가 발족되었으나, 유럽지역은 다시 유럽만을 위한 방폭기기를 위하여 새로운 ATEX Directive를 운영하고 있으며, 더욱이 북미지역에서는 IECEx Scheme 제도에 가입되어 있음에도 불구하고 아직까지 NEC, NFPA, API 기준을 고집하고 있는 실정이다.
- **목적:** 한국의 방폭성능평가에 대한 현황, 방폭관련 기술기준의 세계적 추세 및 한국의 사정을 통해 국제 기준과의 부합화 노력을 살펴보고, IEC 기준과의 부합화 및 아시아지역 공동 기준/인증을 위한 지역 공동체적인 협의체 구성 방안 등을 제시하고자 한다.
- **조사 및 분석내용:** 방폭성능평가에 대한 국내의 관련법 및 현황 등을 소개하고, 서로 다른 폭발위험장소의 표기방법, 보호방법 표기, 폭발위험장소, 가연성 물질의 분류를 비교하였다. 또한 인화성 물질(가스·증기) 및 가연성 분진과 점화원으로부터 폭발방지를 위하여 IEC TC 31(Explosive atmospheres)의 폭발위험 장소에 사용되는 전기기기의 안전을 위한 국제적 기준을 제정·개정된 내용을 바탕으로 국내에서 국제표준에 국내기준과의 부합화를 추진한 내용을 소개하였다. 이러한 전기설비로부터의 폭발방지를 위한 한국에서의 사정과 함께 현재 진행 중인 한국의 KS IEC 표준부합화에 따른 일치화 현황과 국제적 부합화를 위한 개선 및 문제점을 파악하였다.
- **정책제언:** 방폭관련 시험 및 인증을 실시함에 있어서 방폭기기의 국가 간 기술무역 장벽 타파 및 국제무역을 원활히 촉진시키기 위해 1996년 7월에 IECEx Scheme 제도가 발족되었으나, 아직까지도 자국 및 지역의 기준·제도를 고집하고 있는 실정이다. 이에 현실대에 대응하기 위해 방폭분야에서 후발적으로 따르고 있는 아시아에서, 특히 한국에서의 폭발방지를 위한 국제적 기준의 부합화를 위하여 한국으로의 방폭 전기기기·부품을 수입, 수출하는 회사는 KCs Mark를 획득하도록 하고, IEC 기준과의 부합화 및 아시아지역 공동 기준/인증을 위한 지역 공동체적인 협의체를 구성하여 대처해야 함을 제안한다.
- **향후계획:** 자국 및 지역의 기준·제도를 고집하고 있는 실정이극동아시아의 정기적인 모임을 통하여 IEC 기준과의 부합화 및 아시아지역 공동 기준/인증을 위한 지역 공동체적인 토의·모임 등의 협의체를 추진하고자 한다.



I. 배경 및 문제점

대기 상태에서 발화·소비되지 않은 혼합물로 연소가 계속될 수 있는 가스, 증기, 미스트 또는 분진상태의 인화성 물질이 혼합되어 있는 상태의 폭발분위기에서는 전기기계·기구(이하 "전기기기"라 한다.)를 설치·사용함에 있어 특별한 주의를 요하거나 공적인 기관에서의 입증된 서류를 필요로 하며, 이를 '방폭형 전기기기'라 한다.

폭발분위기에서의 폭발방지를 위하여 전기기기에 부가되는 방폭성능을 갖추어 이를 평가하는 일은 전 세계적으로 국가의 주요한 임무이다. 그 만큼 폭발재해는 물질·인적 피해가 크기 때문에 사전에 예방하지 않으면 안 된다는 것이다.

화학공장 등 위험성이 상존하는 장소에 사용되는 방폭 전기기기는 사용 및 제작상의 문제로 위험성을 항상 내포하기 때문에 세계 각국에서는 각국의 기준으로 강제 규정화하여 안전성이 확보된 제품을 사용 및 유통이 가능하도록 하고 있으며, 자국 산업 및 국민을 보호하기 위하여 자국에서 정한 기준에 따라 시험 및 인증을 실시하고 있다.

이에 세계화에 대한 각국 제조업체의 단일시험 요구에 부응하기 위해 제도적인 장치의 필요성이 대두되었고, 세계무역기구(WTO)/무역기술장벽(TBT) 체제하에서 방폭기기의 국가간 기술무역 장벽을 타파하여 국제무역을 원활히 촉진시키기 위해 1996년 7월 IECEX Scheme 제도가 발족되었다. 그러나, 유럽 지역은 다시 유럽만을 위한 방폭기기를 위하여 새로운 ATEX Directive를 운영하고 있으며, 더욱이 북미지역에서는 IECEX Scheme 제도에 가입되어 있음에도 불구하고 아직까지 NEC, NFPA, API 기준을 고집하고 있는 실정이다.



II. 목적

본 보고서에서 한국의 방폭성능평가에 대한 현황, 방폭관련 기술기준의 세계적 추세 및 한국의 사정을 통해 국제 기준과의 부합화 노력을 살펴보고, IEC 기준과의 부합화 및 아시아지역 공동 기준/인증을 위한 지역 공동체적인 토의·모임 방안 등을 제시하고자 한다.



III. 조사 및 분석내용

1. 방폭성능평가에 대한 국내의 관련법 및 현황

1) 관련법/시행령/시행규칙 등

폭발방지를 위한 관련법은 한국은 일본과 매우 유사하게 광산용, 선박용, 일반산업용으로 구분하여 규제하고 있다. 이들의 관련 조문 및 상세 내용은 아래와 같다.

■ 광산보안법

제5조(광업권자 또는 조광권자의 의무) ① 광업권자나 조광권자는 다음 각 호의 목적을 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.

1. 생략
2. 낙반(落盤), 붕괴, 용수(湧水), 가스의 누출, 가스·탄진(炭塵)의 폭발, 자연발화, 화재의 방지 및 통기(通氣)의 유지

제9조(성능검사 등) 광업권자나 조광권자는 대통령령으로 정하는 광업시설의 설치공사 또는 변경공사가 완료된 때와 공사 완료 후 일정한 기간이 지날 때마다 산업통상자원부장관의 검사를 받아야 하고, 검사에 합격하지 아니하면 그 시설을 사용할 수 없다.

■ 선박안전법

제4조(선박시설 기준의 적용) 선박에 설치된 선박시설이나 선박용물건이 이 법에 따라 설치하여야 하는 선박시설의 기준과 동등하거나 그 이상의 성능이 있다고 인정되는 경우에는 이 법의 기준에 따른 선박시설이나 선박용물건을 설치한 것으로 본다.

18조(형식승인 및 검정) ① 해양수산부장관이 정하여 고시하는 선박용물건 또는 소형선박을 제조하거나 수입하고자 하는 자가 해당 선박용물건 또는 소형선박에 대하여 제6항의 규정에 따라 검정을 받고자 하는 때에는 미리 해양수산부장관의 형식에 관한 승인(이하 "형식승인"이라 한다)을 얻어야 한다.

■ 산업안전보건법

제23조(안전조치) ① 사업주는 사업을 할 때 다음 각 호의 위험을 예방하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.

1. 생략
2. 폭발성, 발화성 및 인화성 물질 등에 의한 위험

제34조(안전인증) ① 고용노동부장관은 유해하거나 위험한 기계·기구·설비 및 방호장치·보호구의 안전성을 평가하기 위하여 그 안전에 관한 성능과 제조자의 기술 능력 및 생산 체계 등에 관한 안전인증기준을 정하여 고시할 수 있다. 이 경우 안전인증기준은 유해·위험한 기계·기구·설비 등의 종류별, 규격 및 형식별로 정할 수 있다.

2) 성능평가기관

폭발방지에 관한 법을 집행하는 정부부처가 다르기 때문에 폭발방지를 위한 방폭형 전기기기기에 대한 성능평가 기관도 다르게 된다. 표 1은 관련법에 따른 방폭 성능평가기관(공적인 기관)을 현황을 나타낸 것이다.

[표1] 방폭 성능평가기관

관 렾 법	광산보안법	선박안전법	산업안전보건법
소관부처	산업통상자원부	국토해양부	고용노동부
평가 기관명	한국기계연구원	(구) 한국기계연구원 (현) IECEx Scheme	한국산업안전보건공단 한국산업기술시험원 한국가스안전공사
업무 개시일자	1985. 7. 16	1986. 6. 16	1993. 7. 15
평가 방법	형식검정/개별검사	개별검사	강제/임의인증
평가 기준	폭발방지검사업무처리규칙	선급 및 강선규칙 (한국선급협회)	방호장치_의무안전인증_고시 (고용노동부고시_제2013-54호)

2. 국제 기준과의 부합화 노력

1) 방폭관련 기술기준의 세계적 추세

폭발위험장소에 사용되는 방폭 전기기기는 사용 및 제작상의 문제로 위험성을 항상 내포하기 때문에 세계 각국에서는 각국의 기준으로 강제 규정화하여 안전성이 확보된 제품을 사용 및 유통하고 있으며, 자국 산업 및 국민을 보호하기 위하여 자국에서 정한 기준에 따라 시험 및 인증을 실시하고 있다. 세계화에 대한 각국 제조업체의 단일시험 요구에 부응키 위한 제도적인 장치의 필요성 대두 및 세계보건기구(WTO)/무역기술장벽(TBT) 체제하에서 방폭기기의 국가 간 기술무역장벽을 타파하여 국제무역을 원활히 촉진시키기 위해 1996년 7월 IECEx Scheme 제도(2014년 현재 가입국가; 24개국)가 발족되었다.

한국에서도 "World-wide acceptance of a single standard, a single certificate and single mark" 캐치프레이즈에 부응하기 위하여 2000년 6월 회원국내에서는 5번째로 한국산업안전보건공단(KOSHA)가 ACB 및 ExTL로 지정을 받았으며, 2002년 10월 서울에서 KOSHA 주관으로 IECEx-KR를 개최하였다.

이러함에도 불구하고 유럽지역은 다시 유럽만을 위한 방폭기기를 위하여 새로운 ATEX Directive 운영하고 있으며, 더욱이 북미지역에서는 IECEx Scheme 제도에 가입하고 있음에도 불구하고 아직까지 NEC 기준을 고집하고 있는 실정이다.

표 2는 방폭관련 유럽, 북미 두 부류의 기준과 함께 국제기준과 한국기준의 부합화를 비교한 것이다. 표 3은 방폭 전기기기 표기방법을, 표 4는 폭발위험장소 구분, 표 5는 가연성 물질의 분류 나타낸 것이다.

[표2] 폭발위험장소의 표기방법

Standard	Area	Symbol	Type	Group	Temperature
IEC	Class I, Zone 0	Ex	ia	IIC	T6
NEC	Class I, Division 1	AEx	ia	IIC	T6
EC	Class I, Zone 0	EEx	ia	IIC	T6
KOREA	Class I, Zone 0	Ex	ia	IIC	T6

[표3] 보호방법 표기

Protection Method	Symbol			
	IEC	NEC	EC	KOREA
Explosion-Proof	IEC	IEC	IEC	IEC
Intrinsic Safety	IEC	IEC	IEC	IEC
Encapsulation	IEC	IEC	IEC	IEC
Pressurization	IEC	IEC	IEC	IEC
Non-Incendive	IEC	IEC	IEC	IEC
Powder Filling	IEC	IEC	IEC	IEC
Sand Sealing	IEC	IEC	IEC	IEC
Factory Sealing	IEC	IEC	IEC	IEC

[표4] 폭발위험장소

Materials	IEC	NEC	EC	KOREA
Gas or Vapor (Class I)	Zone 0		Zone 0	Zone 0
	Zone 1	Division 1	Zone 1	Zone 1
	Zone 2	Division 2	Zone 2	Zone 2
Dust (Class II)	Zone 20		Zone 20	Zone 20
	Zone 21	Division 1	Zone 21	Zone 21
	Zone 22	Division 2	Zone 22	Zone 22
Fiber (Class III)	Zone 20		Zone 20	Zone 20
	Zone 21	Division 1	Zone 21	Zone 21
	Zone 22	Division 2	Zone 22	Zone 22

[표5] 가연성 물질의 분류

IEC/KOREA		EC		NEC/UL	
Group I		Class I		Class I	Group A, B, C, D, E, F, G
Group II	IIA	Class II	IIA	Class II	
			IIB		
			IIC		
	IIB	Class III	IIIA	Class III	
			IIIB		
	IIC		IIIC		

폭발위험장소의 전기기기에 대한 다른 국가 표준 중 요구 사항에 대한 개요 예를 들어, 가스 그룹, 온도 분류, 보호의 심볼, 폭발위험장소를 비교하여 본 결과, 한국은 석유화학산업의 폭발 가능성이 있는 환경에서 사용하기 위한 전기기기에 적용되는 보호 방법에 대한 중대한 혼란과 결정을 필요로 하게 되었다.

2) 한국의 사정

국가사회의 모든 분야에서 정확성, 합리성 및 국제성 제고를 위하여 국가에서 통일적으로 준용하는 과학적·기술적 공공기준으로 측정표준, 참조표준, 성문표준 등을 관련법규에서 규정하고 있으며, 이중 한국산업표준(Korean Industrial Standards)은 성문표준으로 산업표준화법에 의거 산업표준심의회 심의를 거쳐 기술표준원장이 고시함으로써 확정되는 국가표준이며 보통 KS로 표시하고 있다.

1961년 공업표준화법의 제정으로 1962년 3,000종을 시작으로 국가표준이 제정·보급되기 시작하여 2011년 12월 현재 23,923종의 한국표준이 제정·운용되고 있으며 이중 국제표준(ISO/IEC등)과 부합화 대상 표준은 15,384종이다.

국제표준과 대응되는 부합화 대상 15,384종의 KS 중 국제표준과 일치(IDT: Identical)하는 표준이 14,225종이며, 국제표준을 일부 수정하여 부합화된 수정(MOD: Modified) 표준이 1,140종으로 부합화 대상만을 기준으로 한 KS의 부합화 실적은 99.9%에 이르렀다.

세계보건기구(WTO)/무역기술장벽(TBT)협정과 APEC/SCSC에서의 권고에 따라 국가표준인 KS를 2011년까지 국제표준과 일치 또는 수정 부합화 시키기 위한 노력을 지속 추진하였으며, 2003년부터는 국제표준을 직 도입하여 KS 제정 작업도 병행하여 추진하고 있다.

특히, 인화성 물질(가스·증기) 및 가연성 분진과 점화원으로부터 폭발방지를 위하여 IEC TC 31(Explosive atmospheres)의 폭발위험 장소에 사용되는 전기기기의 안전을 위한 국제적 기준을 제정·개정된 내용을 바탕으로 국내에서는 국제표준에 국내기준과의 부합화를 추진하였다.

가스·증기 폭발위험장소용에서는 24종이 부합화를 실시하였으나 아직도 10종의 부합화하여야 할 기준이 남아 있으며, 분진폭발위험장소 관련 국제기술표준은 당초 IEC 61241 시리즈에서 제·개정되었으나 차츰 IEC 60079 시리즈와의 병합화되어 가고 있으며, KS 기준도 이와 부응하여 차츰 폐지되어 갈 것이다.



IV. 정책제언

방폭관련 시험 및 인증을 실시함에 있어서 세계화에 대한 각국 제조업체의 단일시험 요구에 부응하고, 방폭기기의 국가간 기술무역 장벽을 타파하여 국제무역을 원활히 촉진시키기 위해 1996년 7월에 IECEx Scheme 제도가 발족되었으나, 여전히 세계지역에서는 자국 또는 지역의 기준·제도(유럽지역-ATEX Directive, 북미지역-NEC, NEPA, API)를 고집하고 있는 실정이다. 이에 현실태에 대응하기 위해 방폭분야에서 후발적으로 따르고 있는 아시아에서, 특히 한국에서의 폭발방지를 위한 국제적 기준의 부합화를 위하여 아래와 같이 제안해 본다.

- Division과 Zone 시스템 사이의 선택문제는 초기 설치 때보다 사용하고 있는 설비에서의 문제가 훨씬 크다. 그 이유는 Division과 Zone을 변경하거나 유지하는 것이 경제적, 작업자 훈련, 유지보수, 사용상의 편리성에 문제가 있기 때문이다.
- 한국에서 Division과 Zone 시스템 사이의 선택문제는 근본적으로 혼용이 허락되지 않지만 기존의 건물 Zone내에서의 Division 구분은 기술적으로 가능하다.
- 한국으로의 방폭 전기기기·부품을 수입/수출하는 회사는 KCs Mark를 획득하여야 한다.
- "World-wide acceptance of a single standard, a single certificate and single mark"에 부응하기 위하여 예를 들면 "극동아시아의 정기적인 모임; FAR EAST ASIA REGULAR MEETING"을 통하여 IEC 기준과의 부합화 및 아시아지역 공동 기준/인증을 위한 지역 공동체적인 토의·모임 등의 협의체를 구성하여 대처해야 함을 제안한다. 세계화는 지역주의를 전제조건으로 하며, 안전은 생명을 다루는 것이기에 각국의 편협적인 지역주의를 기초로 해서는 안된다.



참고문헌

IEC 60079-10-1,-2, Classification of areas – Explosive gas atmospheres, 2009.

Sang-Won CHOI, "Harmonization with International Standards to Prevent Explosion of Hazardous Area in Korea", Korean Institute of Fire Investigation 2015.

Sang-Won Choi, "The outlook for global unity of hazardous area in Korea", WISH 2014 Program, Japan, 2014.

Sang-Won CHOI and Hee-Chul PARK, "THE OUTLOOK FOR GLOBAL UNITY OF HAZARDOUS AREA IN KOREA", Asia Pacific Symposium on Safety 2011.

Sang-Won CHOI, "The Outlook for Global Unity of Hazardous Area in Korea", International Symposium on Safety and Health at Work 2011.

NFPA 497 2010, Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Area: NFPA.

UL 698: Standard for Industrial Control Equipment for Use in Hazardous (Classified) Locations.

ATEX GUIDELINE, Guidelines on the application of council directive 94/9/EC of 23 March 1994 on the approximation of the laws of the member states concerning equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres, July 2005.

ANSI/API RP500 1997, Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division 1 and Division 2 : API.

NEC 2011 HANDBOOK, National Electrical Code, NFPA.



작업 전 안전점검
당신의 생명을 지킵니다



작업 전 안전점검으로 산업재해도 스트라이크

한 해 산업재해 사망자 약 2천명, 재해자 9만여 명

일터에서 매일 5명이 목숨을 잃고 250명이 다치는 셈입니다.

산업재해는 기본적인 안전수칙만 준수한다면 충분히 예방할 수 있습니다.

일하기 전 보호구는 제대로 착용했는지? 위험장소에 안전보건표지는 부착되어 있는지?
안전교육은 실시했는지? 위험요소가 있는 공정에 안전작업절차는 마련되어 있는지?
꼼꼼한 확인이 필요합니다.

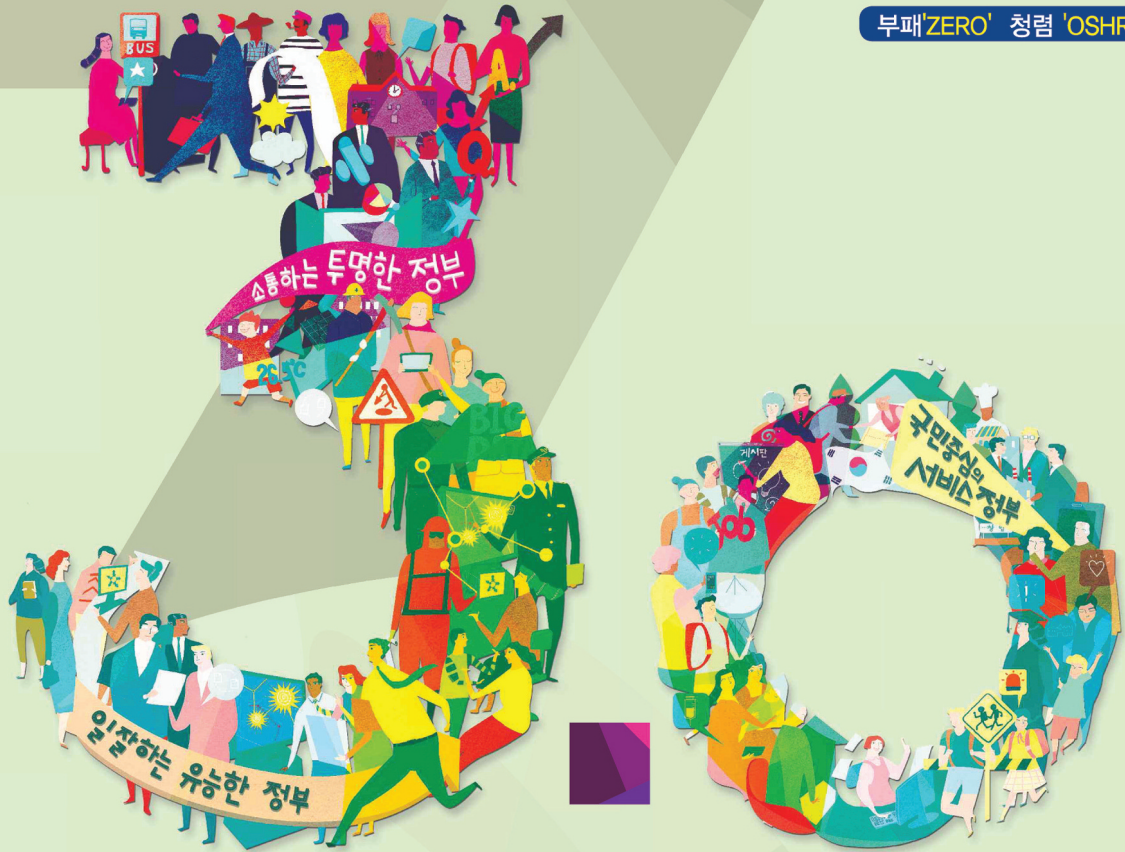
작업 전 안전점검이
안전한 일터, 건강한 근로자, 행복한 대한민국의 시작입니다.





1분기호 발간 내용 안내

- ☛ 양질의 일자리는 근로자의 건강을 보호할 수 있는가?
- ☛ IT를 활용한 안전기술과의 융합 방안
- ☛ 건설업 근로자 업무상 질병 발생 특성
- ☛ 만성흡입독성 시험시설을 이용한 발암물질 확인 및 평가체계 구축 방안
- ☛ 나노기술의 사회적윤리적 책무성과 작업장에서의 제조나노 물질 유해도 관리



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.

행복한
대한민국을 여는
정부 3.0



안전행정부
www.gov30.go.kr

