



OSHRI

2016년 제3권 제2호(통권 6호)

RESEARCH TO PRACTICE

안전보건

연구실용화 REPORT

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



안전보건
연구실용화
REPORT

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



Research to Practice

산업안전보건연구원은 1989년 설립 이후 일하는 사람의 생명과 건강 보호를 위해 산업 현장 사고 예방과 직업병 예방 연구를 수행하는 등 공공 연구기관으로서의 역할을 충실히 수행했을 뿐만 아니라, 실효성 있는 정책과 연구개발을 강화하여 산업안전보건 연구 및 전문사업 수행결과가 기계·기구 및 설비, 작업환경 등 산업현장에 적용되거나 산업안전보건 정책에 반영될 수 있도록 노력하고 있습니다.

우리 연구원에서는 연구실용화(Research To Practice, R2P) 사례를 지속적으로 발굴·홍보하여 연구결과의 현장 적용성을 강화하기 위해 「안전보건 연구실용화 REPORT」를 연 2회 발간하고 있습니다.

안전보건 연구실용화 REPORT 2016 Vol.3 No.2(통권 6호)

2016년 10월 30일 발행 | 발행처 산업안전보건연구원 | 발행인 김기식 | 등록 2016-연구원-708
주소 울산광역시 중구 종가로 400(북정동) | 전화 052-7030-815 | 홈페이지 oshri.kosha.or.kr
인쇄 (사) 한국장애인이워크협회 070-7842-5052

<안전보건 연구실용화 REPORT>는 연구원 홈페이지 oshri.kosha.or.kr에서 다운 받으실 수 있습니다.

Contents



산업화 부문

01

006 | 감정노동 근로자를 위한 심신 힐링 동영상 개발 및 보급

이새롬 연구위원 / 산업안전보건연구원 직업건강연구실

실용화 부문

01

016 | 건설업 보건관리 매뉴얼 및 직종별 One Point Lesson 기술자료 개발·보급

박현희 연구위원 / 산업안전보건연구원 직업환경연구실

02

023 | 탄소나노튜브 및 탄소나노섬유(원소탄소분석) 작업환경측정·분석 기술 개발 및 활용

이나라 부장 / 산업안전보건연구원 화학물질독성연구실

03

030 | 지하철 지하 작업 공간 라돈 측정 및 관리 가이드 개발·보급

정은교 연구위원 / 산업안전보건연구원 직업환경연구실

04

035 | 방사선 노출에 의한 암 발생 인과확률 평가 프로그램(KOSHA-PEPC) 개발 및 활용

이상길 연구위원 / 산업안전보건연구원 직업건강연구실

05

041 | 반도체 공정 저장캐비닛의 가스 실린더 보관에 관한 기술지침 제정 및 활용

이근원 소장 / 산업안전보건연구원 화학물질독성연구실

Research to Practice





안전보건 연구실용화 REPORT

산업화 부문



01

감정노동 근로자를 위한 심신 힐링 동영상 개발 및 보급

이새롬 연구위원*/산업안전보건연구원 직업건강연구실
박재오 연구원/산업안전보건연구원 직업건강연구실
김정상 과장/한국산업안전보건공단 교육미디어실



「감정노동 근로자를 위한 심신 힐링 프로그램 개발(2015년)」 연구결과를 토대로 안전보건공단 교육미디어실과 함께 감정노동자의 업무상 스트레스 예방과 심신치유에 도움을 주기 위한 힐링 프로그램을 가정, 사무실 등에서 쉽게 따라 할 수 있는 동영상 형태로 개발하였다. 이번에 제작된 '감정노동자 힐링 동영상'은 산업화를 위하여 스포테이너인 신수지(리듬체조 前 국가대표)씨가 모델로 참여했으며, 스트레스 대처 능력향상 등 3가지 주제로 총 10편을 제작하여 공단 페이스북, 블로그, 유튜브 계정 등을 통해 누구나 시청 가능하도록 하고, 공단 홈페이지에서 무료로 다운로드 받을 수 있도록 하여 스트레스 대처능력 향상 및 심신 이완으로 산재예방효과를 기대하고 있다.



* 연락처 : TEL 052-703-0875, romromrom@kosha.or.kr

I . 개요 및 배경



감정노동으로부터
발생하는
스트레스에 대한
예방과 감소
그리고
대처능력을
향상시키기
위해서는
뇌과학 메커니즘을
기반으로 할 때
보다 효과적인
방안을 개발할 수
있을 것이다.



I-1. 배경

감정노동으로 인한 스트레스는 개인적 문제인 동시에 사회적 문제로 대두되고 있으며 이러한 감정노동으로 인한 스트레스에 대한 건강관리 방안으로 다양한 프로그램들이 실시되고 있다. 선행 연구들의 스트레스 관리 프로그램은 공통적으로 근육이완법, 복식호흡, 자기조절훈련, 의사소통훈련, 스트레스 반응 조절하기, 스트레스에 대한 이해, 사회적 지지형성하기, 인지행동요법, 문제해결학습 등의 기법들과 함께 새롭게 응용된 프로그램들이 있다.

최근 뇌과학에 대한 연구가 활발하게 진행되면서 이완 및 명상의 심리생리적인 효과와 더불어 뇌과학적인 효과 검증이 다양하게 이루어지고 있다. 이 중 명상은 부교감신경을 활성화시켜서 혈압과 맥박수를 낮추며 호흡수를 느리게 하고 신체의 산소 소모량을 감소시키며, 심장박동 감소, 근육 긴장 감소, 뇌의 알파파 증가 등의 효과가 있는 것으로 밝혀지고 있다. 또한 기능성 자기공명영상장치를 이용한 명상자들의 뇌영상 연구에 따르면 명상은 좌측 전전두피질의 활성을 증가시키는데, 전전두피질의 활성화는 행복감 및 낙관적인 심리 상태와 관련이 있다(Chang, 2004). 반면 좌측 전전두피질의 활성이 감소되면 정서적 긴장과 불안 그리고 감정조절력 저하 등의 증상을 보인다(Eden AS 등, 2015). 조절기능 중추인 좌측 전전두피질과 감정중추인 대뇌변연계가 서로 밀접하게 연결되어 작용하기 때문에 명상의 효과는 좌측 전전두피질 뿐만 아니라 대뇌변연계에도 긍정적 영향을 미친다.

위와 같은 메커니즘에 기초할 때 감정노동은 스트레스를 증가시키고, 이 스트레스는 뇌의 좌측 전전두피질과 대뇌변연계의 기능에 부정적 영향을 미친다(Mann & Cowburn, 2005). 반면 정서를 인식하고 조절할 수 있는 능력을 나타내는 정서지능은 스트레스를 완화시키고 심리적 건강을 증진시키는 중재자로서의 역할을 수행한다(Sharma 등, 2015). 따라서 감정노동으로부터 발생하는 스트레스에 대한 예방과 감소 그리고 대처능력을 향상시키기 위해서는 이러한 뇌과학 메커니즘을 기반으로 할 때 보다 효과적인 방안을 개발할 수 있을 것이다.

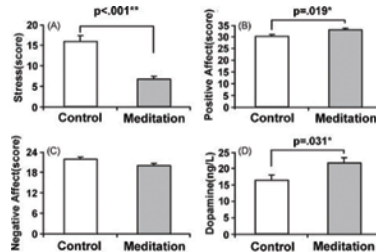
1-2. 주요 관련 정보

국내에서 보편적으로 수행하고 있는 감정노동으로 인한 스트레스 증상을 완화하는 방법은 근육이완법, 복식호흡, 긍정적으로 생각하기, 자신의 감정 털어 놓기, 자기 주장훈련 등이다. 국외의 스트레스 관리 프로그램도 국내의 프로그램과 유사한 내용으로 구성되어 있다. 인지적 재구성, 문제해결, 사회적지지, 신념 및 가치 확립 등의 스트레스 대응방법이 프로그램 구성 내용의 핵심을 이루며, 스트레스에 대한 이해 및 사회적 기술, 문제해결 기술훈련, 심호흡법, 명상, 이완훈련 등이 스트레스 관리법으로 구성되어 있다.

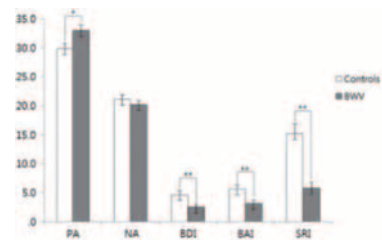
특히 명상은 최근 스트레스 완화와 대처능력 향상 관련 연구에서 그 결과들이 주목받고 있다. 명상은 외부의 자극보다 내부의 성찰적 훈련으로 집중과 자각을 통해 고요한 마음의 상태를 만들어내고 즐기는 과정이며, 이러한 명상의 효과는 심리 생리적 측면 뿐 아니라 뇌과학적 측면에서도 입증되고 있다. 마음-몸 훈련(mind-body training)의 뇌과학 및 의학적 효과는



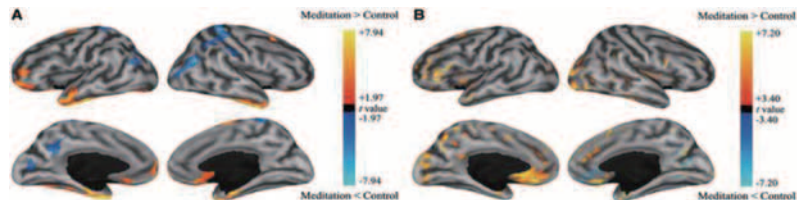
명상은
최근 스트레스
완화와 대처능력
향상 관련 연구에서
그 결과들이
주목받고 있으며,
명상의 효과는
심리 생리적 측면
뿐 아니라
뇌과학적
측면에서도
입증되고 있다.



명상 수행자에서 스트레스, 부정적 정동 감소효과 및 긍정적 정동, 도파민 증가 효과 (Jung 등, 2010)



뇌파진동(BWV) 훈련자에서 긍정적 정동(PA), 부정적 정동(NA), 벡의 우울척도(BDI), 벡의 불안척도(BAI), 스트레스 반응 척도(SRI) 차이 (Lee 등, 2015)



명상수련자와 대조군의 뇌 부위에 따른 피질 두께 및 분획이방성의 차이(Kang 등, 2013)

[그림 1] 명상(meditation) 및 마음-몸 훈련(mind-body training)의 긍정적 효과에 관한 연구

인지신경심리학적, 긴장완화 및 이완(relaxation), 정서지능(emotional intelligence) 증가 등으로 알려져 있다(그림 1).

II. 산업화 내용

「감정노동 근로자를 위한 심신 힐링 프로그램 개발(2015년)」 연구결과를 토대로 안전보건공단 교육미디어실과 함께 감정노동자의 업무상 스트레스 예방과 심신치유에 도움을 주기 위한 힐링 프로그램을 가정, 사무실 등에서 쉽게 따라 할 수 있는 동영상 형태로 개발하였다. 이번에 제작된 ‘감정노동자 힐링 동영상’은 산업화를 위하여 스포테이너인 신수지(리듬체조 前 국가대표)씨가 모델로 참여하여 신체이완증진, 정서이완증진, 스트레스 대처 능력향상 등 3가지 주제로 총 10편(1편당 10분 이내 분량)이 제작되었다.[표 1]

[표 1] 심신 힐링 동영상 편수 및 주제

구성요소 및 목표	교수방법	편수 및 주제	주제별 기대 효과
신체이완증진 (3종)	신체활동	① 두뇌이완체조1	목, 어깨근육 이완 및 신체 활력 증가
		② 두뇌이완체조2	혈액 순환, 유연성 증가
		③ 두뇌활력체조	장 기능 활성화, 면역력 향상, 척수흐름 원활
정서이완증진 (2종)	호흡	④ 이완호흡	산소 유입량 증가 및 긴장 이완
		⑤ 가슴호흡	호흡주기 조절, 호흡 기저점 하강, 심리불안 감소
스트레스 대처능력 향상 (5종)	명상	⑥ 몸내관 명상	두통, 고혈압, 불면증 감소, 신경근육 긴장완화
		⑦ 에너지집중 명상	뇌파 안정화, 정서적 긴장 해소, 집중력 향상
		⑧ 두뇌정화 명상	편도체 및 변연계 안정, 세로토닌 분비 촉진
		⑨ 뇌파조절 명상	도파민 증가, 신체의 전체적 이완
		⑩ 릴리즈 명상	해마의 섬유밀도 증가, 감정조절력 상승

“감정노동자의 업무상 스트레스 예방과 심신치유에 도움을 주기 위한 힐링 프로그램을 가정, 사무실 등에서 쉽게 따라 할 수 있는 동영상 형태로 제작되었다.”

신체이완증진 분야(총 3편)는 두뇌의 긴장을 풀고 활력을 불어넣음으로써 신체활동을 원활히 하기 위한 체조 중심으로 구성되었고, 정서이완증진



힐링 동영상은
공단 페이스북,
블로그, 유튜브
계정 등을 통해
누구나 시청할 수
있으며,
안전보건공단
홈페이지
(안전보건자료실)에서
무료로 다운로드
받을 수 있다.



분야(총 2편)는 정서적 안정감을 얻기 위한 호흡법으로 구성되었으며, 스트레스 대처 능력향상 분야(총 5편)는 몸과 마음의 긴장을 풀기 위한 명상법으로 구성됐다. 특히, 동영상에는 [표 2]와 같이 두통이나 소화불량, 목·어깨결림, 호흡곤란 등 신체 이상 증상 개선을 위한 구체적인 방법이 수록되었다.

[표2] 증상개선을 위한 동영상 조합 및 효과

신체증상	해당편수	증상개선효과
두통	② 두뇌이완체조2	하체의 혈액순환 향상, 두통으로 인한 통증을 타 신체부위로 전이, 감정 조절력 향상을 통한 두통 치유
	⑥ 몸내관 명상	
	⑩ 릴리즈 명상	
소화불량	③ 두뇌활력체조	복부 자극과 명상을 통한 소화불량 해소
	⑧ 두뇌정화 명상	
	⑩ 릴리즈 명상	
목·어깨결림	① 두뇌이완체조1	목과 어깨근육 이완, 산소유입량 증가, 어깨 긴장도 완화로 인한 결림 증상 개선
	④ 이완호흡	
	⑨ 뇌파조절 명상	
호흡곤란	① 두뇌이완체조1	호흡 조절을 통한 호흡 주기 증가 등으로 정서적 긴장 해소
	⑤ 가슴호흡	
	⑦ 에너지집중 명상	

동영상은 질적 제고를 위해 제작업체와 단계별 협의 하에 제작되었으며, 촬영 시에는 연구수행자가 직접 참여하여 감수하였다. 배우는 대중에게 친숙한 전문모델을 활용하여 근로자의 흥미 및 관심을 유도할 수 있도록 하였고, 근로자가 동작을 쉽게 따라할 수 있도록 촬영 각도에 유의하여 컴퓨터그래픽, 자막 등을 활용하도록 하였다. 제작된 힐링 동영상은 안전보건공단 페이스북, 블로그, 유튜브 계정 등을 통해 누구나 시청할 수 있으며, 안전보건공단 홈페이지(안전보건자료실)에서 무료로 다운로드 받을 수 있다.

* 안전보건공단 홈페이지 : <http://www.kosha.or.kr>(홈페이지 내 안전보건자료실)

* 공단 유튜브 계정 : <https://www.youtube.com/user/koshamovie>

* 공단 페이스북 계정 : <https://www.facebook.com/koshanet/>

* 공단 블로그 계정 : <http://blog.naver.com/koshablog>

III. 산업화 노력

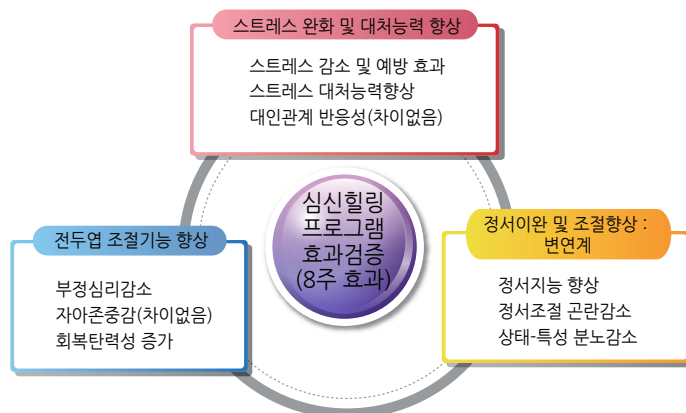
국내에서 일정 수준 이상 감정노동을 수행하고 있는 근로자는 대략 600만 명에 다다른 것으로 추정된다. 실제로는 이보다 더 많은 근로자들이 감정노동을 수행하고 있으며 이들을 대상으로 적절한 개입이 필요할 것으로 보인다. 기존에 여러 가지 프로그램들이 수행되고 있었으나 일부 사업장의 근로자에게만 적용되고 있는 제한점이 있었고, 근로자들이 현장에서 때와 장소에 관계없이 쉽게 접근할 수 있는 질 좋은 프로그램은 찾을 수 없었다. 이에 전문기관에서 제작한 저작권 및 초상권 등이 확보된 프로그램을 보급·전파함으로써 효과와 동시에 접근성을 확보하여 근로자의 정신건강 증진을 기대할 수 있을 것이다.



1. 산업현장 적용과정 및 결과

해당 프로그램은 실제 사업장 근로자들을 대상으로 4주에서 8주간 수행되었고, 동시에 효과를 검증하였다. 4주간 프로그램을 수행한 결과 내면행위(deep acting)에서 프로그램 수행군의 유의한 증가가 있었고, 감정표현의 다양성 또한 유의하게 증가하였다. 8주 이후부터는 프로그램을 수행한 군에서 표면행위 점수의 감소현상을 보였고 다음과 같은 효과가 나타났다(그림 2).

- 스트레스의 완화 및 스트레스 대처 능력 향상
- 분노의 감소, 정서조절곤란의 감소와 함께 정서지능의 향상 효과
- 부정적 심리의 감소, 회복탄력성의 증가 효과



[그림 2] 프로그램 효과 검증에 대한 종합결과(출처 : 2015년 연구보고서)

2. 현장 보급 및 전파의 용이성과 가능성

‘신수지와 함께하는 감정노동 근로자 힐링 동영상’은 안전보건공단 본부 및 산하기관, 그리고 2016년 감정노동 관련 사업수행 단체 7개 기관 등에 우선 배포되었다. 이 보급처 외에 공단 홈페이지(안전보건자료실)을 통해 무료로 다운로드 서비스를 제공하여 근로자가 필요할 경우 쉽게 접근할 수 있도록 하였다. 공단에서 운영하고 있는 네이버 블로그, 페이스북, 카카오톡에 게재하고 웹 매거진 구독자의 e-mail을 활용하여 보급(약 3만 3천명) 하도록 하였고, 12월 공단 모바일 어플리케이션 업그레이드 시기에 맞추어 힐링 동영상을 서비스할 예정이다. 개발된 프로그램은 누구나 쉽게 따라할 수 있고, 시간과 장소의 제약 없이 웹상에서 다운로드가 가능하여 현장 적용성이 용이하다는 장점이 있다.



12월 공단 모바일
어플리케이션
업그레이드
시기에 맞추어
힐링 동영상을
서비스할
예정이며,
성공적인
산업화를 위해
향후 요약 영상을
개발하여
대대적인
홍보 및 영상
보급에 주력할
예정이다.



3. 재해예방 또는 산업재해 감소 기여도

「감정노동 근로자를 위한 심신 힐링 동영상」은 정서지능 및 스트레스 대처능력 증가를 통해 근로자로 하여금 감정노동으로 인해 발생한 스트레스 및 부정적인 심리 요인들을 완화하여 정서조절 능력을 향상시킬 수 있고, 개인 내 긍정적 심리적 요인들의 상관 작용을 통해 스트레스의 완화 및 스트레스 대처능력의 향상, 분노의 감소, 정서조절 및 정서지능의 향상, 부정적 심리의 감소 및 회복탄력성 증가의 통합적 효과를 기대할 수 있다. 또한, 두뇌의 변연계 및 전두엽의 기능을 향상시켜 개인의 전반적인 심리적 건강을 증진시킬 수 있어 정신건강 보호를 통한 산재예방효과를 기대하고 있다. 성공적인 산업화를 위해 향후 대대적인 홍보 및 영상 보급에 주력하고 요약 영상 개발 등의 사항을 보완한 후 추가적으로 사업장, 언론, 소셜미디어 등에 보급할 예정이다.

| 참고문헌 |

1. 산업안전보건연구원, 감정노동 근로자를 위한 심신 힐링 프로그램 개발, 2015. 10.
2. 산업안전보건연구원, 감정노동 근로자의 감정노동 실태, 위험요인, 건강영향 연구, 2015. 11.
3. Chang HK. Therapeutic application of meditation to the stress-related disorders. Korean J Health Psychol 2004;9:471-492.
4. Eden AS, Schreiber J, Anwender A, et al. Emotion regulation and trait anxiety are predicted by the microstructure of fibers between amygdala and prefrontal cortex. J Neurosci 2015;35(15):6020-6027.
5. Kang DH, Jo HJ, Jung WH, et al. The effect of meditation on brain structure: cortical thickness mapping and diffusion tensor imaging. Soc Cogn Affect Neurosci 2013;8(1):27-33.
6. Lee DH, Park HY, Lee US, et al. The effects of brain wave vibration on oxidative stress response and psychological symptoms. Compr Psychiatry 2015;60:99-104.
7. Mann S, Cowburn J. Emotional labour and stress within mental health nursing. J Psychiatr Ment Health Nurs 2005;12(2):154-162.
8. Sharma J, Dhar RL, Tyagi A. Stress as a mediator between work-family conflict and psychological health among the nursing staff: Moderating role of emotional intelligence. Appl Nurs Res 2016;30:268-275.
9. Jung YH, Kang DH, Jang JH, et al. The effects of mind-body training on stress reduction, positive affect, and plasma catecholamines. Neurosci Lett 2010;479(2):138-142.

Research to Practice





안전보건 연구실용화 REPORT

실용화 부문



01

건설업 보건관리 매뉴얼 및 직종별 One Point Lesson 기술자료 개발·보급

박현희 연구위원*/산업안전보건연구원 직업환경연구실



건설업 보건관리자 선임의무 제도 시행(2015.1.1)에 맞추어 건설현장 근로자에 대한 체계적인 건강관리 및 교육이 이루어질 수 있도록 2014년 10월에 「건설현장 보건관리 매뉴얼」을 개발하였다. 제작된 매뉴얼 책자는 국내 1,000대 건설업체에 배포되었고, 안전보건공단 홈페이지(안전보건자료실-업종별 자료-건설업)에 기술자료로 게시하여 건설현장 안전보건관리자가 쉽게 다운로드 받아 활용할 수 있도록 하였다. 또한, 도장공, 용접공 등 건설현장 직종별 노출매트릭스를 구축하여 주요건강장해 및 예방조치, 작업 전 체크리스트 등으로 구성된 직종별 OPL(One Point Lesson) 7종을 개발함으로써 건설현장 근로자들의 건강관리에 도움이 될 것으로 기대하고 있다.



플랜트 배관용접 및 우레탄 프라이머 도포작업

* 연락처 : TEL 052-703-0907 , bioaerosol@kosha.or.kr

I . 개요 및 배경



2015년 1월 1일부터
건설현장 보건관리자
선임 의무제도가
시행됨에 따라
건설업 직종별
화학물질 노출
매트릭스 구축
연구를 통해
건설현장에서
쉽게 적용 가능한
보건관리 매뉴얼을
개발하게 되었다.



I-1. 배경

건설업 근로자는 다양한 화학물질, 분진, 소음 등에 노출되고 중량물 취급에 따른 근골격계 질환 발생 위험도가 매우 높은 업종이다(이인섭 등, 2011; 장재길 등, 2012). 또한, 건설일용 근로자의 망간중독, 근골격계 질환, 플랜트건설 일용 근로자의 화학물질 중독 등 건설업의 업무상 질병은 지속적으로 문제가 제기되어왔으나(권영준, 2005), 그동안 제조업과 다른 작업장 특성 상 보건관리에 어려움이 많았다. 건설업 근로자의 업무상 질병 발생현황을 국가별로 살펴보면, 건설업 근로자 100,000명당 미국은 132.5명, 일본은 31.1명으로 상당히 높은 수준이나 우리나라는 8.6명으로 매우 낮은 특성을 보이고 있어 우리나라 건설업 근로자의 업무상 질병 발견이 제대로 이루어지지 않고 내재되어 있을 가능성이 있다고 보고하였다(정무수 등, 2001).

그동안 건설업은 안전관리자 선임의무만 있었고 보건관리자 선임의무는 없었으나, 2015년 1월 1일부터는 공사금액 800억 원 이상(토목공사 1,000억 원)인 건설현장의 경우 보건관리자 선임을 의무화 하도록 산업안전보건법 시행령이 개정되어(개정 2013.8.6), 건설업 보건관리를 체계적으로 시행할 수 있는 기초가 마련되었다. 이에 산업안전보건연구원에서는 「건설업 직종별 화학물질 노출 매트릭스 구축 연구」를 통해아파트 등 일반건축물 공사현장을 대상으로 공종별 주요 유해인자를 파악하여 정부, 사업주, 안전보건관리자, 근로자들의 관심을 유도하고 건설현장에서 쉽게 적용 가능한 보건관리 매뉴얼을 개발하게 되었다.

I-2. 주요 관련 정보

'14년 및 '15년에 수행한 건설업 직종별 화학물질 노출매트릭스 구축 연구에서 다양한 건설공사 중 공사가 가장 많은 아파트 등 일반건축물 공사현장을 대상으로 현장 실태평가를 통해 건설업 건강관리방안을 마련하였다. 일반 건축물 건설 공종을 기초파일공사에서부터 방수공사까지

유해인자 발생 빈도가 큰 주요 12개 공종으로 분류하였고, 개별 공종을 다시 작업순서에 따라 단위작업으로 분류하였다. 이러한 과정을 통해 분류된 단위작업별로 잠재 유해인자를 도출하고 개선대책을 정리하였다. 문헌고찰을 통해 공종별 유해요인을 파악하고 공종별로 공사현장을 직접 방문하여 공정을 관찰하는 한편 현장관리자와의 면담을 통해 잠재 유해요인을 확인하는 절차를 거쳤다.

| 공종별 유해인자 |

공종별 유해인자	작업내용	잠재유해인자	노출가능질병	노출직종
기초 파일공사	파일 항타 작업	충격소음, 전신진동, 차량기계 디젤배출물	소음성 난청 규폐증	파일공 장비기사
	두부정리 (콘크리트 파쇄)	파쇄(브래커) 소음, 콘크리트 분진, 산화규소(결정체) 전신 및 국소진동	소음성 난청 규폐증	콘크리트공 보통인부
굴착공사	굴착	차량기계 디젤배출물	호흡기질환	장비기사
	토사반출	세균 등 생물학적 인자	췌장기염 등	보통인부
발파공사	발파, 천공	폭발소음, 암석파쇄(브래커)소음 차량기계 전신진동	소음성난청	발파공
	버럭처리	암석 비산먼지 산화규소(결정체) 차량기계 디젤배출물	규폐증	발파공
흙막이 공사	토류벽 설치 (H-파일, 나무판 설치), (시멘트 및 벤토나이트 양생)	크레인 및 오거드릴 소음 차량기계 디젤배출물 시멘트 분진(6가크롬)	소음성난청 시멘트 피부질환	토공 장비기사
	토류벽면 가설받침대 설치	용접흠(중금속 노출) 자외선 등 유해광선	용접공폐, 눈 손상 중금속 중독	용접공
거푸집 공사	거푸집 제작	소음, 목분진	소음성난청 호흡기질환	목공 형틀공
	거푸집 설치, 해체	유성 바리제(유기용제류) 중량물 취급	신경계 질환 근골격계 질환	형틀공

건설업 근로자 신체부위별
근골격계질환 고위험 직종



[신체부위별 고위험 직종]

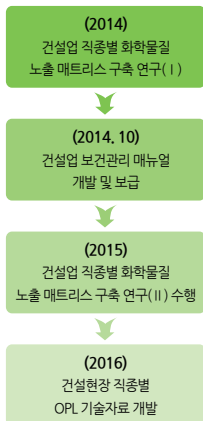
공종별 유해인자	작업내용	잠재유해인자	노출가능질병	노출직종
철근 공사	철근가공	소음, 중량물	소음성 난청 근골격계질환	철근공
	철근조립	소음, 중량물 소음성난청	근골격계 질환	철근공
콘크리트 공사	콘크리트 타설, 다짐	소음 적은 콘크리트 피부접촉 (강알칼리성, 6가크롬)	자극성 피부염 접촉성 피부염	콘크리트공
	콘크리트 양생	양생촉진제 (염화비닐계열, 휘발성 유기화합물)	신경계 질환 등	콘크리트공
철골 공사	철골부재 인양, 조립	용접흄(중금속 노출) 자외선 등 유해광선)	용접공폐, 눈 손상 중금속 중독	철골공
	철골데크플레이트 설치	중량물 취급	근골격계 질환	철골공
조적공사	시멘트, 모래 혼합 모르타르 작업	산화규소(결정체) 모르타르 피부접촉 중량물 취급 부적절한 자세	규폐증 피부질환 근골격계질환	조적공
미장공사	시멘트, 모래 혼합 모르타르 작업	산화규소(결정체) 모르타르 피부접촉 부적절한 자세	규폐증 피부질환 근골격계 질환	미장공
견출공사	견출작업	산화규소(결정체) 국소진동	규폐증 레이노드 현상	견출공
방수 도장공사	우레탄 수지 방수 에폭시 수지 도장	유기용제 증기 이소시아네이트	호흡기 자극, 발진 유기용제 중독 피부염, 천식 등	방수공 도장공

II. 실용화 내용

1. 건설업 보건관리 매뉴얼 개발 및 보급

건설현장의 작업공종별로 도출된 물리적 인자, 화학적 인자, 생물학적 인자, 작업관련성 질환 유발인자, 기타 밀폐공간 질식재해 등 18개 잠재유해요인에 대해 물질의 특성, 유해인자 정보, 법적 준수사항(노출기준, 산업안전보건법 준수사항, 특수건강검진 대상 등), 작업수칙 및 관리대책

등을 정리하여 「건설현장 보건관리 매뉴얼」을 개발하였다. 개발된 매뉴얼은 안전보건공단 「안전보건자료실-업종별 자료-건설업」에 게시하여 건설현장 안전보건관리자가 쉽게 다운로드 받아 활용할 수 있도록 하였고, 책자로 유인하여 국내 1,000대 건설업체에 배포함으로써 건설현장에서 유해인자별 보건 관리를 위해 어떤 준비를 해야 하는지에 대한 정보를 제공하였다.



화학적 인지 콘크리트 분진

○ ● 콘크리트 분진의 유해성

건설현장에서 콘크리트 분진에 노출되는 대표적인 작업

- 콘크리트를 그리안드하는 작업
- 색병매(Jackhammer)로 콘크리트를 파내는 작업
- 벽돌 사이 골라브를 제거하는 작업
- 가루질 설치 및 태핑하는 작업

○ ● 건설현장 콘크리트 분진 관리 이황제

콘크리트를 연마(그리안드)할 때 그림과 같은 국소배기 장치(local exhaust ventilation shroud)를 사용하여 분진노출을 최소 90% 이상 줄일 수 있고, 벽돌사이 골라브를 제거할 때 국소배기 장치(local exhaust ventilation shroud)를 사용하면 사용하지 않을 때와 비교하여 분진 노출을 5~20배까지 줄일 수 있다.

→ 콘크리트를 파헤칠 때 물분무 장치가 부착된 색병매(Jackhammer)를 사용할 경우 분진노출을 70~90% 정도 줄일 수 있다.

→ 콘크리트 노출이 무리한 작업(콘크리트 파쇄작업)을 지양(중지 Workstop)한다. (KOSHA 2009)

우리가 살고 있는 집을 비롯하여 도로, 다리, 초고층빌딩 등 도처에서 콘크리트 구조물을 볼 수 있는 만큼 건설현장에서 콘크리트의 사용은 절대적이다. 콘크리트는 시멘트를 물과 혼합하여 여러 크기의 골재(모래, 자갈과 모래)를 함유시켜 만든 구조재료 시멘트를 결합제로 해서 골재와 골재를 한 덩어리로 만든 것이다. 콘크리트 분진은 콘크리트를 연마하거나 파쇄 또는 절단 등의 작업 시 발생하는 분진으로 알칼리성 분진으로 분류된다. 토목 및 건축에서 콘크리트가 광범위하게 사용되는 점을 고려할 때 건설현장 보건관리 시 콘크리트 분진의 발생 및 노출수준의 저감노력이 필요하며 정기적인 건강진단, 호흡용 보호구 착용 등의 관리가 필요하다.

콘크리트는 시멘트, 모래, 자갈, 도라 등이 혼합되어 있으므로 콘크리트 분진은 시멘트, 산화규소 결정체와 같은 유해인자를 포함한다. 따라서 콘크리트 분진의 유해성은 주로 산화규소 결정체의 함량과 관련이 있다. 산화규소 결정체는 발암물질(VA)이며, 규폐증, 폐암, 신장 장애 및 폐 기능 장애 등의 원인이 된다. (※ VA: 사람에게 중대한 발암성 증가가 있는 물질)

규폐증 석탄을 캐는 광산에서 일반 광부에게서 나타나 알려진 직업병 중의 하나로 규산이 들어있는 먼지가 폐에 쌓여 규산의 기계적·화학적 작용에 의해 폐에 염증이 생기기 되고, 그 염증으로 인해 폐에 상처를 남기 시간이 지나 폐가 온 몸에서 산소를 공급하는데 문제를 일으키는 만성질환이다. 아직 규폐증을 치료할 수 있는 방법은 없으며 규산이 더 이상 노출되지 않도록 조치하거나 수산화암모니아를 흡입하는 등의 방법으로 규폐증의 진행 속도를 늦출 수는 있다. 따라서 규산에 최대한 노출되지 않도록 예방하는 것이 중요하며, 정기 검진을 통해 규폐증을 조기에 발견할 수 있도록 노력해야 한다.

콘크리트 분진의 유해성은 산화규소 결정체의 함량과 관련 있으며, 산화규소 결정체 0.1% 이상은 발암성 VA 물질, 호흡성 분진으로 석영, 크리스토파라이트, 트리디마이트, 트로펠라이트로 분류되고, 산화규소 결정체 1% 이상은 기타 분진으로 노출기준을 정하고 있다.

노출기준	-산화규소결정체 석영: 0.05 mg/m ³ -산화규소결정체 크리스토파라이트: 0.05 mg/m ³ -산화규소결정체 트리디마이트: 0.05 mg/m ³ -산화규소결정체 트로펠라이트: 0.1 mg/m ³ -기타 분진: 10 mg/m ³ (산화규소 결정체 1% 이내)
특수건강진단	콘크리트 분진에 노출되는 업무는 특수건강진단 대상업무(시행규칙 제38조, 정의에 의함)이다. 시행규칙별표 13의 동물성분진 항목에 대한 건강진단을 실시하여야 한다. ※ 특수건강진단 시기 및 주기: 배치 후 2개월 이내, 이후 2개월 주기이다. 1차 검사항목 - 작업역 및 노출역 조사 - 주요 표적기관과 관련된 병력조사 - 임상검사 및 진찰 ① 호흡기계: 청진, 흉부방사선(후전면), 객담배양검사, 폐활량검사 ② 눈, 피부, 비강, 인두, 청력자극음성 문진 2차 검사항목 - 임상검사 및 진찰 ① 호흡기계: 흉부방사선(후전면), 장해도발검사, 흉부 전산화 단층촬영 ② 눈, 비강, 비강 인두: 내시경검사(비강검사, 비강 내시경검사), 비강 및 인두검사
작업환경측정	콘크리트 분진에 노출되는 근로자가 있는 작업장은 작업환경측정 대상 작업장(시행규칙 제38조, 작업환경측정 대상 작업장)으로 총분진과 산화규소결정체(호흡성분진)에 대한 노출수준을 기록 실시하여야 한다. 총분진 30일 이내, 이후 6개월 주기이다. 실시

건설현장 콘크리트 분진에 대한 건강보호 및 작업환경개선대책

(가) 개인 보호구 착용: 방진 마스크 등 적절한 호흡용 보호구를 착용하고, 보건관을 설치하여 오염을 방지함으로써 실시 사용 가능하도록 한다.

(나) 작업수칙
 - 물을 뿌리는 등 습식작업으로 실시한다.
 - 삽나작업장에서는 분진을 줄이기 위하여 밑배설이나 국소배기장치를 설치하고, 작업 전·후 청소를 실시한다.
 - 콘크리트 연마작업(그리안드) 또는 벽돌사이 골라브 제거작업 시 그리안더에 국소배기 장치(local exhaust ventilation shroud)를 설치하여 콘크리트 분진노출을 최소화한다. (※ 콘크리트 파쇄 작업 시 물분무 장치가 부착된 색병매(Jackhammer)를 사용한다. (※ 콘크리트 파쇄작업: 국소배기장치를 사용하여 작업용구 사용에 따른 분진발생이 적어지고 작업복을 자주 세탁하여 새로운 옷으로 갈아입도록 한다.)

(다) 교육: 콘크리트 분진 노출 근로자에게 콘크리트 분진의 유해성 및 대처방법, 보호구 착용법 등에 대한 교육을 통해 안전작업을 유도한다.



'14년 건설업
보건관리 매뉴얼
개발과 보급을 통해
건설현장에서
유해인자별
보건관리를 위해
어떤 준비를
해야 하는지에
대한 정보를
제공하였고,
'16년 건설현장
직종별 OPL
기술자료 7종을
개발하여
건설현장
근로자들의
건강관리에
도움이 될 것으로
기대하고 있다.



2. 건설현장 직종별 OPL(One Point Lesson) 기술자료 개발

도장공, 용접공 등 건설현장 직종별 노출매트릭스를 구축하여 주요작업 내용, 건강장해 및 예방조치, 작업 전 체크리스트 등으로 구성된 직종별 OPL(One Point Lesson) 기술자료 7종을 개발하였다. 대상직종은 플랜트 배관용접공, 일반건축물 배관용접공, 에폭시 수지 도장공(지하주차장), 우레탄 방수공, 콘크리트 건철공, 소각플랜트 보일러 제작공, 철골용접공의 7개 직종을 대상으로 하여 관련 직종의 건설현장 근로자들의 건강관리에 도움이 될 것으로 기대하고 있다.

건설현장 작업환경 관리방안		플랜트 배관 용접공 건강장해 예방
주요 작업 내용 ■ 화학플랜트 건설(설비제작, 배관연결 및 지지대 설치 등)의 대부분은 용접작업으로 이루어지는 특징이 있음. ■ 용접공, 배관공, 용접보조공으로 이루어진 3인 1조 형태로 설치에서 작업이 이루어짐. ■ 용접기법은 모든 용접작업에서 정밀도가 가장 높은 TIG(=GTAW: Gas tungsten arc welding) 용접기법을 적용하고 있으며, 스테인리스 스틸, 카본스틸, 합금 등 다양한 금속에 대한 용접을 시행함. ■ 설비누출 예방을 위해 용접작업 후 비파괴검사를 시행하는 특징이 있음. ■ 화학플랜트 보수작업(Turn-around)에서는 설비 내부에 채워져있는 유해물질(석유정제 설비의 경우 벤젠 노출 등)에 고농도로 노출될 가능성이 있음.		
* 건설현장 배관용접작업의 주요 건강장해 ■ 용접열 및 금속분 - 금속열, 금속분기를 흡입함으로써 일어나는 코열, 두통, 관절통, 기침, 가래 등. - 상부호흡기 자극, 폐손상 및 용접폐를 유발함. - 스테인리스 스틸 취급 시 크롬, 니켈 등 노출에 따른 철속성피부염, 안성비염, 비종결핵증, 폐암 등 발생위험. ■ 자외선(전기아크)으로 눈, 피부화상, 광각각막염, 백내장 등 유발함. ■ 용접플라즈마에 의한 안구손상, 열적 화상, 소음 등 유발함. ■ TIG 용접에서 비파괴 검사 시험 및 사용하는 텅스텐 용접봉 내에 브롬 함유 시 방사선 노출에 따른 건강장해 발생 위험. ■ 화학플랜트 보수(Turn-around)작업 시 설비내부에 남아있는 유해물질(벤젠 등)에 따른 건강장해 발생 위험.		
* 건설현장 배관용접작업에 의한 건강장해 예방조치 ■ 글래시 창기판을 사용하여 총 노출 최소화 ■ 마스크(용접모자에 크롬, 니켈 등 방출성 물질 함유 시 전용) 또는 1급 방진마스크 착용 ■ 차광보안경, 용접면, 용접보조구(귀마개, 귀덮개 등) ■ 용접작업자에 대한 안전보건교육 (MSDS 교육 포함) ■ 비파괴 검사 시 작업자 접근 금지 ■ 텅스텐 용접봉 구매 시 브롬 함유여부 확인 ■ 화학플랜트 보수작업 시, 충분한 퍼지(Purge) 실시		

| 참고문헌 |

1. 박현희, 건설업 직종별 화학물질 노출 매트릭스 구축 연구(I)-도장작업 노출 실태 조사 중심으로-, 한국산업안전보건연구원, 2014.
2. 박현희 등, 건설업 직종별 화학물질 노출 매트릭스 구축 연구(II)-용접작업 노출 실태 조사 중심-, 한국산업안전보건연구원, 2015.
3. 권영준 등, 건설현장 화학물질의 유해·위험성 평가 및 근로자 건강관리 방안 연구, 노동부, 2005.
4. 김용규 등, 건설업 근로자 직종별 건강진단 방안연구, 산업안전보건연구원, 2008.
5. 건설업 공종별 위험성 평가 모델, 한국산업안전보건공단, 2007.
6. 이인섭 등, 건설업에 적용 가능한 보건관리 매뉴얼 개발(1) - 일반 건축공사를 중심으로, 한국산업안전보건공단, 2011.
7. 유해·위험 방지 계획서 심사·확인을 위한 위험성 평가 연구(아파트공사 중심으로), 산업안전보건연구원, 2005.
8. 장재길 등, 건설업에 적용 가능한 보건관리 매뉴얼 개발 - 토목공사를 중심으로, 한국산업안전보건공단, 2011.
9. 정무수 등, 건설업 보건관리 및 작업환경관리 접근방안에 관한 연구, 산업안전보건연구원, 2001.
10. Construction, Workplace Solution, NIOSH, 2008
11. Water Spray Control of Hazardous Dust When Breaking Concrete with a Jackhammer, Workplace Solution, NIOSH, 2008

02

탄소나노튜브 및 탄소나노섬유 (원소탄소분석) 작업환경측정 · 분석 기술 개발 및 활용

이나루 부장*/산업안전보건연구원 화학물질독성연구실



국내에서 생산·사용되는 탄소나노튜브를 대상으로 실험실에서 탄소나노튜브 입자를 발생시켜 정확하게 분석할 수 있는 방법을 개발하였고, 이 기술로 작업현장에서 시료를 채취·분석한 결과를 근거로 하여 나노물질의 공기 중 노출을 평가하기 위한 「탄소나노튜브 및 탄소나노섬유(원소탄소분석)에 대한 작업환경측정 · 분석 기술지침 (KOSHA GUIDE, A-162-2016)」이 제정되었다. 이번에 제정된 기술지침은 공기 중 나노물질에 노출되는 양을 정확히 측정하여 분석 · 평가가 가능해짐에 따라 탄소나노튜브(CNT) 취급사업장 및 연구시설의 작업환경 노출평가에 사용될 것이며, 궁극적으로 나노입자에 노출되는 근로자의 건강장해 예방을 통해 나노테크놀로지 (NT) 산업의 지속가능한 발전에 기여할 것으로 기대하고 있다.



다양한 종류의 나노물질 측정기기



MWCNT를 칭량하는 사진

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

I . 개요 및 배경



탄소나노튜브는
21세기에
본격적으로
산업화가 이루어진
신소재 물질로,
탄소나노튜브에
대한 기대와 동시에
건강에 미치는
잠재적 유해성에
대한 우려가 높다.



I-1. 배경

탄소나노튜브는 1991년 일본의 Iijima가 최초로 발견한 제조나노물질이며, 21세기에 본격적으로 산업화가 이루어진 신소재 물질이다. 탄소나노튜브는 인장강도가 높고, 유연성이 뛰어나며 금속, 반도체성 등의 전기적 특성이 있어 신소재로서 그 활용 및 잠재성이 매우 크다. 그러나 탄소나노튜브에 대한 기대와 동시에 건강에 미치는 잠재적 유해성에 대한 우려가 높다. 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 탄소나노튜브의 발암성에 대한 고찰을 하였으나 일본 미쯔이 회사에서 생산한 'MWCNT-7' 만을 동물발암성이 인정된 물질(Group 2)로 지정하고, 다른 탄소나노튜브에 대해서는 실험 결과가 부족하다는 이유로 발암성 유무를 결정하지 않았다(Grosse et al., 2014). 그러나 IARC 발표 외에 다른 다중벽탄소나노튜브의 동물실험에서는 중피종을 발생시킨다는 보고가 있다(Rittinghausen et al., 2014).

탄소나노튜브는 가로가 100 nm 이하이며, 가로 대 길이의 비가 3:1 이상인 섬유형태인데, 석면과 유사한 이러한 섬유형태가 탄소나노튜브의 독성에서 가장 주목 받는 특징이다. 이러한 섬유형태의 나노물질은 구형의 입자상 물질을 가정하고 측정하는 주사이동 입자 측정기(Scanning Mobility Particle Sizer)가 정확하게 측정할 수 없다. 따라서 공기 중 탄소나노튜브의 측정 방법을 개발하기 위한 여러 연구들이 진행되고 있다.

탄소나노튜브를 제조하기 위해 금속 촉매 성분을 사용하고, 이러한 성분들이 탄소나노튜브에 남아 있다. 이러한 특성을 이용하여 공기 중 금속 농도를 측정하여 탄소나노튜브를 평가하는 방법을 제안하기도 하였다(Maynard et al., 2004). 그러나 이 방법은 탄소나노튜브에 함유된 금속 촉매 농도가 낮고, 제품마다 촉매 농도가 다르기 때문에 적용에 한계가 있다. 또 다른 방법으로 공기 중에 탄소 농도를 측정하는 방법이 제안되었다. 원래는 공기 중 디젤 배출물의 탄소원소를 측정하는 방법인 NIOSH 5040을 공기 중 탄소나노튜브 측정에 사용하도록 제안한 것이다. 이는 열광학적 분석방법을 이용해 유기탄소와 원소탄소를 구분해 분석하는 것이다. 그러나 이 방법은 공기 중 탄소나노튜브 적용에 대한 신뢰성 평가가 되어 있지 않고,

Ono-Ogasawara 등은 이 방법이 탄소나노튜브를 완전히 탄소화 할 수 없다는 문제점을 지적했다(Ono-Ogasawara et al., 2008).

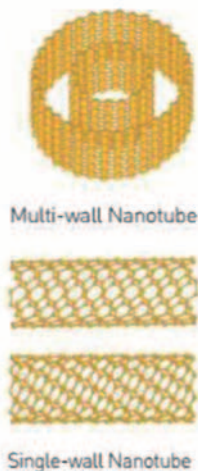
이에 우리 연구원에서는 국내에서 제조 혹은 사용되는 탄소나노튜브를 대상으로 공기 중에 입자를 발생시켜 기존의 방법으로 공기 중 탄소나노튜브를 정확하게 채취·분석할 수 있는지 평가하고, 기존의 방법으로 정확하게 시료를 채취·분석할 수 없다면 새로운 기술을 개발하고자 하였다(윤충식 등, 2015).

1-2. 주요 관련 정보

국내에서 탄소나노튜브를 생산하는 업체 중 4개 회사에서 7개의 제품(단일벽탄소나노튜브 시료 3종, 탄소나노섬유 1종, 다중벽탄소나노튜브 시료 3종)을 시료로 구매하였다. 시료의 특성을 파악하고자 원재료를 전자현미경으로 분석하여 섬유 형태를 확인하였고, 유도결합플라즈마 질량분석기로 원재료의 중금속 함량을 분석을 하였다. 분석결과 Ag, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Al, Pb, Cd, As, Ba이 검출되었으며, 검출된 금속 종류나 함량은 탄소나노튜브에 따라 다르게 나타났다.

분석방법의 개발을 위해 여러 농도의 탄소나노튜브 시료를 제조하였다. 원재료를 칭량하여 편찬한 필터에 떨어뜨린 후 증류수로 고정하여 시료를 제조하였다. NIOSH 5040 방법에서 열분석기의 최고 온도는 870 ℃로 그 방법에서 제안된 온도 조건에서는 다중벽탄소나노튜브의 회수율이 91.9%로 나타났으며, NIOSH 5040의 변형방법인 IMPROVE A 프로토콜에서 유기탄소의 최종 탄화온도가 550 ℃인 경우 실제로 유기탄소가 원소탄소 단계에서 탄화하기 때문에 원소 탄소의 농도가 과대평가되기도 하였다. 다만, 단일벽탄소나노튜브와 탄소나노섬유의 경우에는 기존의 NIOSH 5040 방법으로 분석했을 때 원소 탄소의 회수율이 97.7%로 나타났다. 반면, 새로운 열분석 조건을 개발하여 탄소나노튜브의 회수율을 평가하였을 때 회수율이 99.4%로 나타났다.

새로운 열분석 조건에 대한 신뢰성과 정확도를 평가하기 위해 실험실



탄소나노튜브의 분류
(KISTI, 2013)

챔버에서 탄소나노튜브 입자를 발생시켜 시료를 만들었으며, 이를 외부의 실험실에서도 분석하여 그 결과를 확인하였다. 또한 시료 채취 정확도를 평가하기 위해 25 mm 전도성 카세트와 37 mm 일반 카세트를 이용하여 비교 평가하였고, 이외에도 오픈 페이스, 클로즈드 페이스 등 시료 채취 조건에 대한 비교 시험을 수행하였다. 카세트의 표면 저항이 클수록 정전기가 발생할 가능성이 높아지는데 25 mm 전도성 카세트의 표면저항이 37 mm 보다 낮았다. 또, 카세트 벽면에 붙은 탄소나노튜브를 측정된 결과 25 mm 전도성 카세트 벽면에서는 탄소나노튜브가 검출되지 않았으나, 37 mm 카세트 벽면에서는 탄소나노튜브가 검출되었다. 연구를 통해 확립된 방법으로 탄소나노튜브 제조 사업장에서 원소탄소 농도를 측정된 결과 포장공정 작업이나 유지·보수 작업 시의 원소탄소 농도가 사무실 배경 농도보다 높게 나타났다.

II. 실용화 내용

국내에서 생산·사용되는 탄소나노튜브를 대상으로 실험실에서 탄소나노튜브 입자를 발생시켜 정확하게 분석할 수 있는 방법을 개발하였다. 이 기술은 탄소나노튜브 또는 탄소나노섬유를 취급하는 작업환경에서 공기 중 대상 입자상물질을 필터에 포집하여 열광학적 분석기기(불꽃이온화 검출기)로 분석하는 방법의 정확도와 신뢰도를 향상시키는 기술이다.

주요방법은 머플 퍼니스에서 전처리한 25 mm 석영필터를 전도성 카세트에 끼워 시료 채취기에 연결한 후 탄소나노튜브 입자가 발생하는 작업환경 중에서 대상 물질을 포집한다. 필터를 실험실에 옮긴 후 열광학적 분석기기(불꽃이온화 검출기)로 필터를 분석하는데, 첫 단계에서는 헬륨가스를 이용하여 증기화 시킨 후 유기탄소를 분석하고, 두 번째 단계에서는 헬륨/산소 복합 가스를 이용하여 원소탄소를 태워 메탄가스로 전환시킨 후, 불꽃이온화검출기(FID)로 메탄을 정량한다. 이때의 열광학적 분석기기의 온도 조건과 시간은 [표 1]과 같다. [그림 1]과 [그림 2]는 각각

단일벽 탄소나노튜브와 다중벽 탄소나노튜브 분석에서 얻어진 원소탄소의 서모그램(Thermogram)이다.

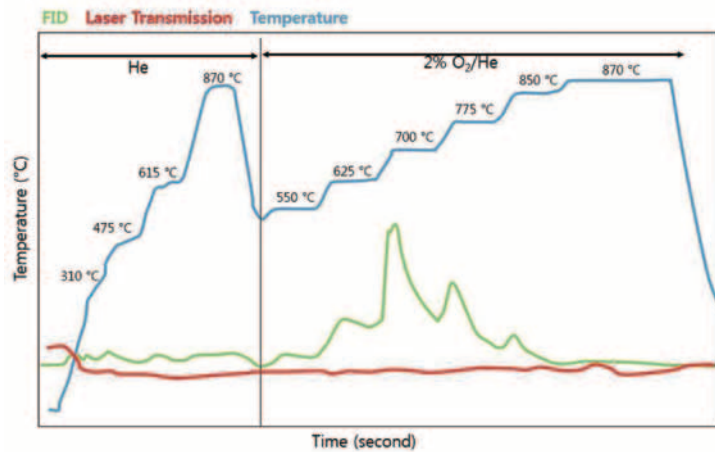


탄소나노튜브 또는
탄소나노섬유를
취급하는
작업환경에서
공기 중 대상
입자상물질을
필터에 포집하여
열광학적
분석기로
분석하는
탄소나노튜브 및
탄소나노섬유
작업환경측정·분석
기술이
개발되었다.



[표1] 탄소나노튜브 등을 분석하기 위한 열광학적 분석기기 온도와 시간 조건

운반 가스	단일벽탄소나노튜브 및 탄소나노섬유		다중벽탄소나노튜브	
	오븐 온도 (°C)	시간 (초)	오븐 온도 (°C)	시간 (초)
헬륨(He)	1	10	1	10
	310	80	310	80
	475	80	475	80
	615	80	615	80
	870	110	870	110
	550	45	550	45
헬륨/2% 산소 혼합	550	45	550	90
	625	45	625	90
	700	45	700	90
	775	45	775	90
	850	45	850	90
	870	110	870	120
	-	-	930	240
보정 산소	1	120	1	120
총시간	-	860초(14.3분)	-	1335초(22.25분)



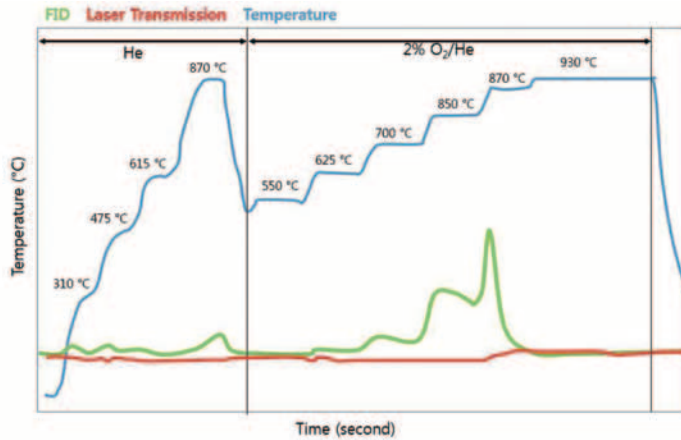
[그림 1] 원소탄소가 포함된 필터 시료의 서모그램(Thermogram)

※ 초록색 그래프가 원소탄소 피크이며, 실제 단일벽탄소나노튜브 분석에서 얻은 결과임.

“

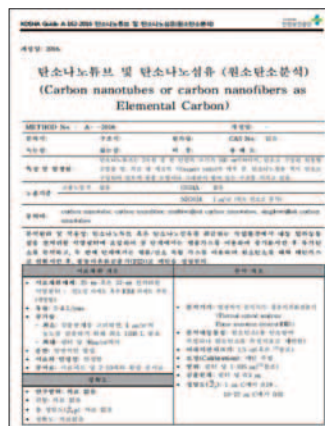
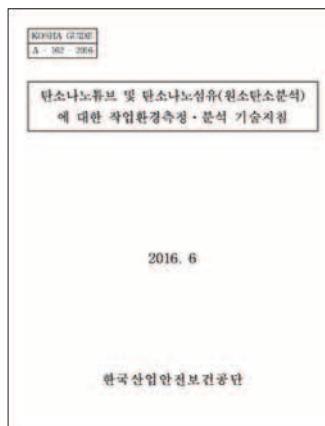
탄소나노튜브(CNT)
취급사업장의
노출 평가 결과를
이용하여
작업환경관리가
가능해짐에 따라
향후 나노입자에
노출되는 근로자의
건강장해를
예방하는데
도움이 될 것으로
기대하고 있다.

”



[그림 2] 원소탄소가 포함된 필터 시료의 서모그램(Thermogram)
※ 초록색 그래프가 원소탄소 피크이며, 실제 단일벽탄소나노튜브 분석에서 얻은 결과임.

이 기술을 이용하여 탄소나노튜브 및 탄소나노섬유(원소탄소분석)에 대한 작업환경측정·분석 기술지침(KOSHA GUIDE, A-162-2016)이 개발·제정되었다. 이 기술은 국내에서 탄소나노튜브 또는 탄소나노섬유를 제조하거나 사용하는 탄소나노튜브(CNT) 취급사업장에서 근로자 노출 평가에 사용할 수 있으며, 노출 평가 결과를 이용하여 작업환경관리가 가능해짐에 따라 향후 나노테크놀로지(NT) 산업에서 발생하는 나노입자의 안정성을 확보하고, 나노입자에 노출되는 근로자의 건강장해를 예방하는데 도움이 될 것으로 기대하고 있다.



| 참고문헌 |

1. 윤충식, 이승묵, 김부욱, 함승헌, 김승하, 이진호, 박은하, 황규진(2015). 탄소나노튜브 취급 사업장의 탄소나노튜브 노출 특성 및 측정 분석 방법 연구. 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원
2. NIOSH [2016]. Manual of Analytical Methods(NMAM). Diesel particulate matter (as elemental carbon) Method 5040, 5th Edition, NIOSH, Cincinnati, OH. DHHS (NIOSH) Publication
3. Grosse Y, Loomis D, Guyton KZ, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, Guha N, Scoccianti C, Mattock H, Straif K [2014]. International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group. Carcinogenicity of fluoro-edenite, silicon carbide fibres and whiskers, and carbon nanotubes. Lancet Oncol. 5(13):1427-8
4. Maynard AD, Baron PA, Foley M et al. [2004]. Exposure to carbon nanotube material: Aerosol release during the handling of unrefined single-walled carbon nanotube material. J Toxicol Environ Health A 67(1):87-107
5. Ono-Ogasawara M, Myojo T, Oyabu T et al. [2008]. Aerosol generation and measurement of multi-wall carbon nanotubes. J Nanopart Res 11(1):91-99
6. Rittinghausen S, Hackbarth A, Creutzenberg O, Ernst H, Heinrich U, Leonhardt A, Schaudien D [2014]. The carcinogenic effect of various multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) after intraperitoneal injection in rats. Part Fibre Toxicol. 20(11):59-7

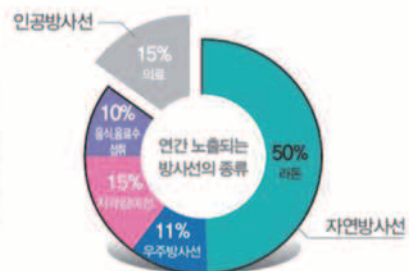
03

지하철 지하 작업 공간 라돈 측정 및 관리 가이드 개발·보급

정은교 연구위원*/산업안전보건연구원 직업환경연구실
김성철 부장/한국산업안전보건공단 직업건강실



지하철 지하 작업 공간에서 근로자에게 노출되는 라돈에 대한 측정방법 및 관리 기준을 마련하여 지하 공간의 라돈 발생에 따른 노출 근로자의 건강을 보호하기 위해 「지하철 지하 작업 공간 라돈 측정 및 관리 가이드」가 개발되었다. 2015. 9월 고용노동부 지침형태로 개발된 가이드는 라돈 노출에 따른 작업환경을 평가하는데 필요한 세부적인 내용까지도 포함하고 있어 지하철 지하 공간 작업 근로자뿐 만 아니라 안전보건관리자 등이 쉽게 이해하고 활용할 수 있을 것이다.



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

I . 개요 및 배경



최근 지하철
역무원의 라돈에
의한 폐암사망이
사회적으로
문제가 되어
환경단체뿐만
아니라
국회에서도
모든 지하시설에서
일하는 근로자를
대상으로
라돈 노출실태를
조사하라고
요구하고 있다.



I-1. 배경

2015년 3월 서울도시철도공사 5·8호선에서 설비 담당 역무원으로 근무한 근로자가 폐암으로 사망해 유족들이 산재를 신청하였으며, 근로복지공단 폐질환연구소가 역학조사를 실시한 결과, 발암물질인 라돈 등이 상당 원인으로 영향을 미친 것으로 보아 산재로 승인되었다. 지하철 터널작업장의 라돈 농도는 환경부 국내 다중이용시설의 권고기준치(148 Bq/m³)의 최고 10배를 초과하는 것으로 조사되었다.

지하철에 대한 공기 중 라돈농도 조사는 1기 지하철(1호선~4호선)을 대상으로 최초 실시하였고(김동술 등, 1993), 1991년 1월부터 1999년 5월까지 5호선 8개 역사, 7호선 9개 역사의 승강장, 대합실, 역무실, 외기 등에 대한 라돈 농도를 측정하였다(이철민 등, 2004). 또한, 서울대 보건대학원에서는 2001년부터 2003년까지 서울, 부산 및 대구 지하철을 대상으로 지하철역 공기 중 존재할 수 있는 라돈 등 발암성 물질에 대한 농도 분포를 조사하였으며(백남원 등, 2004), 서울시 보건환경연구원에서는 1998년부터 2004년까지 서울 지하철역 1호선~8호선 232개 역사를 대상으로 장기간 조사를 실시하였다(전재식 등, 2006). 그리고 2007년 산업안전보건 연구원에서 4개 지하철 공사의 117개역을 대상으로 터널 내 라돈 농도를 측정한 결과, 지하철 터널 내 라돈농도가 환경부 실내공기질 관리기준인 148 Bq/m³를 초과하는 측정개소는 22개이었고, 지하철 승강장 14개소에서 라돈농도가 관리기준을 초과하는 장소는 1개소이었다(임상혁 등, 2007). 산업안전보건연구원에서 실시한 라돈농도 실태조사를 제외하고는 거의 전부다 지하철 역사 내 승강장, 대합실, 역무실 등의 역무원 및 일반대중을 대상으로 하였고, 라돈농도 수준이 높은 터널, 배수펌프장, 환기실 등에서 작업하는 근로자에 대한 라돈농도 노출평가는 실시되지 않았다.

지하철 역무원의 라돈에 의한 폐암사망이 사회적으로 문제가 된 계기로 환경단체에서는 지하철 등과 같은 지하공간은 라돈 등 유해물질이 발생하면 쉽게 빠져나가지 못하는 구조이고 환기시스템이 적절치 못한 상태라며, 지하철 전 구간에 대한 공기의 질을 평가할 것을 요구하고 있다. 특히 라돈은 암석이나 지질층에 의해서만 판단할 것이 아니라 지하수나 환기상태 등도



국제방사선방호
위원회
(ICRP, 2007)에서는
직업적 노출기준은
1,000Bq/m³를
권고하고 있다.



고려해 평가할 것을 요구하고 있다. 더불어 국회 환노위에서도 모든 지하시설에서 일하는 근로자를 대상으로 라돈 노출실태를 조사하라고 요구하고 있어 고용노동부 및 안전보건공단에서는 전문가 회의, 지하철 운영사 라돈 간담회 등을 개최한바 있다.

1-2. 주요 관련 정보

선진국의 라돈관리 현황

미국 OSHA에서는 근로자가 연속된 7일 중 40시간 동안 100 pCi/L(3,700 Bq/m³)의 라돈에 노출되지 않도록 하고 있으며, 영국 HSE에서는 400 Bq/m³를 초과하지 않도록 하고 있다. 영국 HSE에서는 광산, 터널, 공익(수도, 전기, 가스 등)산업 등의 지하작업장은 지상보다 높은 라돈에 노출될 수 있으며, 건물의 경우에도 지하실이나 통풍이 좋지 않은 방에서 라돈이 높은 농도로 나올 수 있으므로 모든 지하 작업장소 또는 개방된 지하수가 있는 장소는 라돈 측정을 포함한 위험성평가를 실시하도록 안내하고 있다. 미국 NIOSH는 지하공간에서 근무하는 근로자의 건강장해 예방을 위해 지하에서 보내는 시간을 최소화하고, 지하의 환기시스템 가동을 권고하고 있으며, 미국 EPA에서는 집, 사무실, 학교 등 모든 장소에서 라돈이 방출되고 있고 라돈의 안전한 노출수준은 없으므로 환기, 밀폐(Sealing)등을 통해 라돈노출을 최소화하는 것이 필요하다고 안내하고 있다. 국제방사선방호위원회(ICRP)는 권고기준으로서 참조준위(Reference levels)란 용어를 사용하여 작업장에 대한 라돈의 권고기준으로 1,000 Bq/m³을 설정해 놓고 있다.

선진국의 라돈노출 저감대책

영국 PHE(Public Health England)에서는 실내의 라돈농도 저감을 위한 방법으로 ①배기라인에 팬(fan)을 장착하여 실내의 라돈농도를 저감시키는 라돈 집수갱 강제배기 방식(Radon sump), ②외부의 신선한 공기를 실내로 유입시켜 라돈의 농도를 희석시키는 양압장치(Positive ventilation) 방식,

③바닥면 아래공간에 자연적으로 공기가 유입되도록 하여 실내의 라돈농도를 감소시키는 지하층 자연환기 방식(Natural under-floor ventilation), 및 ④자연환기 시스템이 라돈농도 감소에 불충분할 때 팬(fan)을 장착하여 강제적으로 공기를 유입, 라돈농도를 감소시키는 지하층 강제환기 방식(Active under-floor ventilation) 등을 안내하고 있고, 미국 EPA에서도 영국과 마찬가지로 배기파이프 시스템과 팬(fan)을 활용하여 외부로 배기하도록 하고 있으며, 금(crack)이 간 틈새부분에 대해서도 밀폐(sealing)를 하도록 안내하고 있다.

II. 실용화 내용



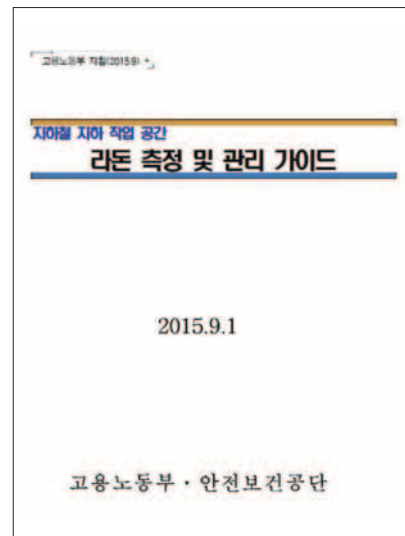
지하 공간의
라돈 발생에 따른
노출 근로자의
건강을
보호하기 위해
지하철 지하작업
공간 라돈 측정 및
관리 가이드가
개발되었다.



지하철 지하 작업 공간에서 근로자에게 노출되는 라돈에 대한 측정방법 및 관리 기준을 마련하여 지하 공간의 라돈 발생에 따른 노출 근로자의 건강을 보호하기 위해 「지하철 지하 작업 공간 라돈 측정 및 관리 가이드」가 개발되었다. 2015. 9월 고용노동부 지침형태로 개발된 라돈 측정 및 관리 가이드는 지하철 지하 공간 작업 근로자

뿐만 아니라 안전 보건관리자 등이 쉽게 이해하고 활용할 수 있도록 작성하였고, 산업위생기사 자격을 가진 보건관리자라면 누구나 그러한 작업환경을 자가 측정이 가능하도록 지침의 형태로 구성하였다. 가이드는 목적 및 적용범위, 라돈의 관리기준, 측정자와 측정방법 등 라돈 노출에 따른 작업환경을 평가하는데 필요한 세부적인 내용까지도 포함하고 있다.

그러므로, 측정가이드는 지하철 지하공간뿐만 아니라 일반 사업장 사무실의 라돈농도 평가 시에도 적용할 수 있도록 제시하고 있어 라돈



노출로 인한 근로자 건강장해를 예방하기 위한 측정 지침서로 널리 활용할 수 있을 것이다.

| 참고문헌 |

1. 정은교, 권지운, 김갑배, 김종규, 장재길, 송세욱. 라돈의 직업적 노출실태 및 평가 방안 연구, 산업안전보건연구원 2014-연구원-814, 2014. p. 1-95
2. Kim DS, Kim YS, Kim SD, Shin EB, Kim SC et al. Concentration distributions and a reduction strategy of airborne radon in Seoul metropolitan subway stations. J. KAPRA 1993;9(4):271-277
3. Lee CM, Kim YS, Kim JC, Jeon HJ. Distribution of radon concentration at subway station in Seoul, J Environ Health Sci. 2004; 30(5): 469-480
4. Paik NW, Chung MH. Assessment of underground air quality and identification of asbestos containing material. Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity(R01-2001-000-00227-0).; 2004. p. 1-40
5. Jeon JS, Kim DC. Distribution of radon concentration in Seoul subway stations. J of KSEE 2006; 28(6):588-595
6. Yim SH, Choi SJ, Lee YK. A study on radon exposure in air and management strategies for underground workers. Research Report of Occupational Safety and Health Research Institute(Pub. No. 2006-223-945).; 2007. p. 120-124

04

방사선 노출에 의한 암 발생 인과확률 평가 프로그램 (KOSHA-PEPC) 개발 및 활용

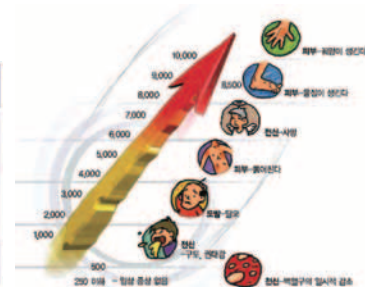
이상길 연구위원*/산업안전보건연구원 직업건강연구실



의료기관, 비파괴 검사업체, 연구기관, 원전 종사자 등 국내 방사선작업 종사자가 지속적으로 증가하는 가운데 이 직종에 종사하는 근로자들에 대한 방사선 노출에 의한 암 발생 인과확률을 평가할 수 있는 프로그램 KOSHA-PEPC(KOSHA-Program for Estimating the Probability of Causation for cancer after exposure to ionizing radiation)가 개발되었다. 인과확률 프로그램(KOSHA-PEPC)은 한국형 추정 모델을 윈도우 기반 프로그램 형태로 개발함으로써 업무관련성 평가를 수행하는 역학조사 및 연구자들이 쉽게 활용할 수 있도록 하여 발생한 암이 방사선 노출에 기인된 정도를 신속하게 평가하고, 중장기적으로 방사선에 의한 직업병 인정기준에 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

구분	방사선작업 종사자	수시종업자 및 운반종사자	일반인
유효선량한도	연간 50mSv를 넘지 않는 범위에서 5년간 100mSv	연간 12mSv	연간 1mSv
등가 선량 한도	수정제	연간 150mSv	연간 15mSv
	손, 발, 피부	연간 500mSv	연간 50mSv

연간 방사선 피폭선량 한도



방사선의 인체에 미치는 영향(mSv)

* 연락처 : TEL 052-703-0872 , twincokes@kosha.or.kr

I . 개요 및 배경

I -1. 배경

의료기관, 비과과 검사업체, 연구기관, 교육기관, 원전 종사자 등 국내 방사선작업 종사자 수가 지속적으로 증가하고 있다. 우리나라 국민의 암 발생률이 지속적으로 증가하는 상황에서 방사선작업 종사자에게서 발생한 암이 직업적 방사선 노출에 기인된 것인지 판단하기 위한 기준의 필요성이 점차 확대되고 있고, 이들 직종에 대한 방사선 노출에 의한 암 발생가능성 평가에 대한 요구도 또한 증가하고 있는 실정이다. 1985년 미국 국립보건원에서 처음 개발된 인과확률방법이 일부 수정되어 과학적 통계기법으로 국내 평가에 적용되고 있으나 관련 프로그램 사용이 어렵고, 한국의 역학적 자료가 반영된 평가방법이 확립되거나 검증되지 않은 상태이다.

인과확률(Probability of Causation, PC)은 개인에게 발생한 암에 대해 방사선 노출의 기여도를 평가하기 위해 1985년 미국 국립보건원에서 처음 개발된 통계적 측도로 방사선작업 종사자의 업무상질병(암) 판정 시 과학적인 판단근거로 이용되고 있다. 발생한 암이 방사선 노출에 기인된 정도를 신속하게 평가하기 위해서는 한국인 고유의 인과확률 프로그램이 필요하며, 이 연구를 통해 국제 기준에 부합하면서 한국인의 기저 암 발생 특성을 반영하는 인과확률 프로그램을 개발하고자 한다.

I -2. 주요 관련 정보

방사선에 노출된 후 발생한 암의 방사선 인과도를 평가하기 위한 인과 확률 모형은 1985년 미국 국립보건원(NIH)에 의해 처음으로 발표되었다. 이후 BEIRV 보고서(1990), UNSCEAR 보고서(2000) 등에서 여러 모형들이 발표되었으나, 일본 원폭생존자의 사망률 자료에 근거하여 추정되었거나 인과확률의 추정에 따르는 다양한 불확실성 요인들에 대한 충분한 고려가 이루어지지 않았다. 이후 일본 원폭생존자들에 대한 추적조사 기간이 늘어나고 방사선과 암 위험의 관계에 대한 연구에서의 발전이 있었으며, 암 위험도 모형의 분석기법에도 큰 진전이 있었다. 이런 결과를 반영하여 2003년



KOSHA-PEPC는
방사선 노출에 의한
암 발생 인과확률
평가 프로그램으로
암 발생자의
개인정보와
방사선노출 이력이
입력되면
인과확률 분포가
산출되고,
단일암
뿐만 아니라
다중 암에 대한
인과확률 계산이
가능하도록
하였다.



미국 국립암연구소(NCI)와 질병예방통제센터(CDC)의 연구진은 개정된 인과확률 연구보고서(Land et al., 2003)를 발표하였다. 미국 국립암연구소(NCI)는 개정된 인과확률 보고서(Land et al., 2003)에 근거하여 미국인에 적합한 인과확률 프로그램 NCI-IREP를 개발하였고, 미국 산업안전보건연구원(NIOSH)은 이를 업데이트한 NIOSH-IREP2 프로그램을 운영하고 있다. 2010년에 국제원자력기구(IAEA), 국제노동기구(ILO), 세계보건기구(WHO)는 공동으로 업무상 방사선노출에 의한 암 발생의 보상기준으로 인과확률을 이용하도록 권고하였다(IAEA, ILO, and WHO, 2010). 국내는 2004년에 미국 NCI-IREP의 평가방법을 한국인에 적용하여 한국인에 적합한 인과확률의 추정치와 그 불확실성 분포를 평가하는 인과확률 프로그램(RHRI-PEPC)이 개발되었다(방사선보건원, 2004).

이번 프로그램 개발 연구를 통해 우리나라 방사선작업 종사자에게 발생한 암의 방사선 기여도를 평가하기 위한 인과확률 평가법을 구축하였다. 인과확률을 평가하기 위한 모형은 기본적으로 미국 국립암연구소에서 제시한 NCI-CDC의 모형을 채택하고 있으나, 우리나라의 현실여건을 반영하여 적절한 수정·보완을 거쳐 최종적으로 한국인에 적합한 인과확률 평가법을 확정하였다.

인과확률 프로그램(KOSHA-PEPC) 개발을 위해 먼저, 인과확률 및 불확실성을 평가하기 위한 원시프로그램을 개발하였다. 불확실성 요인들을 통합하기 위하여 Monte Carlo 방법을 이용하였으며, 암 발생자의 개인정보(이름, 성별, 출생년도, 암 진단년도, 암 종류, 폐암의 경우 흡연범주 및 세포종류)와 방사선노출 이력(노출년도, 노출유형, 노출선량)이 입력되면 인과확률의 분포(제 50, 90, 95, 99백분위수)가 산출되도록 하였다. 또한, 단일암 뿐만 아니라 다중 암에 대한 인과확률 계산이 가능하도록 하였다. 이번에 개발된 인과확률 프로그램은 KOSHA-PEPC (KOSHA-Program for Estimating the Probability of Causation for cancer after exposure to ionizing radiation)로 명명하였다.

II. 실용화 내용



방사선 노출에 의한
암 발생가능성
추정을 위한
한국형 인과확률
평가 프로그램을
개발하여
업무관련성
역학조사 및
연구자들이
쉽게 활용토록
함으로써
방사선 노출에 의한
암 발생
인과확률의
신속한 평가가
가능해졌다.



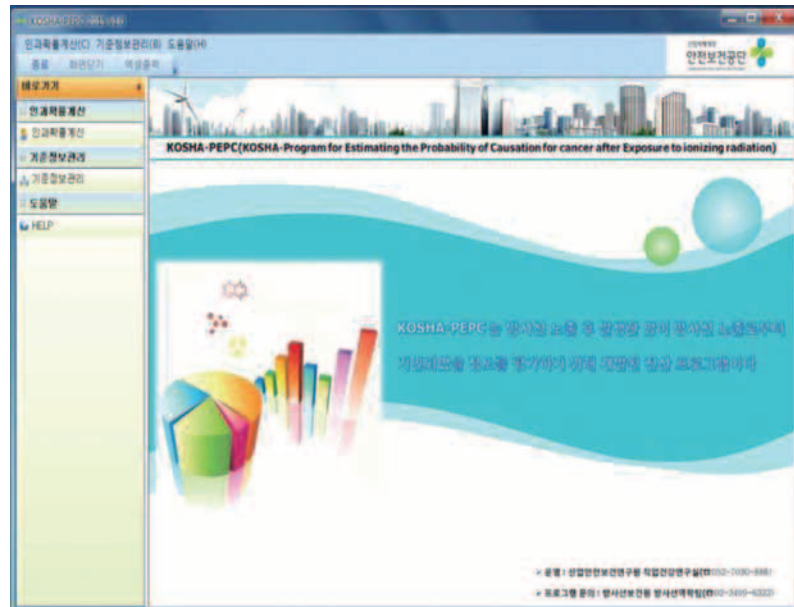
인과확률 평가 프로그램(KOSHA-PEPC) 개발 및 활용

방사선작업 종사자들에 대한 방사선 노출에 의한 암 발생 인과확률을 평가할 수 있는 프로그램 KOSHA-PEPC(KOSHA-Program for Estimating the Probability of Causation for cancer after exposure to ionizing radiation)가 개발되었다. 이번 개발된 인과확률 프로그램(KOSHA-PEPC)은 한국형 추정 모델을 윈도우 기반 프로그램 형태로 개발하여 업무관련성 평가를 수행하는 역학조사 및 연구자들이 쉽게 활용할 수 있도록 하였다.

현재 역학조사는 내부 인력뿐만 아니라 근로복지공단으로부터 의뢰된 역학조사의 전국적 분포, 지역 등을 고려하여 각 지역에 분포한 객원연구원 7명과 함께 수행하고 있다. 객원연구원들은 서울 키톨릭대학교, 조선대학교, 부산대학교, 인제대학교, 한양대학교, 단국대 등에서 교수로 재직하고 있으며, 관련대학 20여명의 연구자들에게도 본 프로그램이 배포되었다. 이들은 현재 방사선 관련 역학조사 및 직업성 암 연구에 본 프로그램을 활용하고 있으며, 산업안전보건연구원은 본 프로그램이 원활히 운영될 수 있도록 온라인 지원을 하고 있다.

인과확률 프로그램의 윈도우 화면은 인과확률 계산, 기준정보 관리, 도움말로 3개의 탭으로 구성되어 인과확률 계산 화면에서 기본 정보를 입력하거나 파일로 업로드 할 수 있도록 구성되어 있다. 또한 2개 이상의 1차 암이 발생한 경우 전체 인과확률을 산출할 수 있도록 다중 1차 암 계산 탭을 제공한다. 기준정보 관리 화면에서 관리되는 기저암발생률 자료는 방사선보건연구원에서 매년 국립암센터에서 제시하는 기저암발생률을 받아서 입력되며, 현재는 2004년~2012년까지의 우리나라 기저암발생률이 등록되어 있다.

[자료: 한국원자력안전기술원]



[그림 1] KOSHA-PEPC의 초기 화면

기본정보 등록			노출정보 등록		
[개인정보(Personal Information)]					
☐ 성명(Memo)	홍길동				
☐ 성별(Gender)	남자	☐ 출생년월일(Birth Year)	2015		
☐ 암종류(Cancer Model)	I. 구강암 및 인두암				
☒ 진단년도(Year of Cancer Diagnosis)	2015	☐ 치료와 병행년도	2004		
☐ 흡연양구(Smoking Category)	흡입보통형				
[노출정보(Exposure Information)]					
☒ 노출년도	2015	☐ 노출유형	I. 만성	☐ 노출선량(Organ dose/mSv)	1.00
선택	노출년도(Exposure Year)	노출유형(Exposure Class)	노출선량(Organ Dose/mSv)		
				+ 추가	- 삭제

인과확률 계산

[그림 2] 인과확률 계산 및 결과 화면

KOSHA-PEPC 역학조사 적용 사례

2016년에 수행한 역학조사에서 인과확률 프로그램(KOSHA-PEPC)을 적용한 사례는 [표 1]과 같이 9월 현재 총 3건으로 외부에서 1건, 내부에서 2건에 활용되었다. 향후 개발된 인과확률 프로그램을 활용하여 발생한 암이

방사선 노출에 기인된 정도를 신속하게 평가하고, 중장기적으로 방사선에 의한 직업병 인정기준에 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

[표1] 2016년 역학조사 인과확률 프로그램 적용사례

연번	내 용	평가 결과
1	OO병원 수술실 간호사의 급성골수성 백혈병	방사선의 업무관련성 있음
2	OO산업 비파괴검사 및 용접자의 급성골수성 백혈병	방사선의 업무관련성 낮음
3	OOOO병원 방사선사의 갑상선유두암	심의 예정

| 참고문헌 |

정미선, 임현술, 김수근 등. 방사선 노출에 의한 암 발생가능성 추정을 위한 인과확률 프로그램 개발 연구, 산업안전보건연구원, 2015.

05

반도체 공정 저장캐비닛의 가스 실린더 보관에 관한 기술지침 제정 및 활용

이근원 소장*/산업안전보건연구원 화학물질독성연구실



반도체 산업에서 주로 사용되는 공정가스의 위험성을 미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)와 EPA에서 개발한 CRW(Cheical Reactivity Worksheet) 3.0 프로그램을 사용하여 공정가스의 반응성을 고찰한 결과를 토대로 반도체 관련 기술연구를 수행하거나 작업에 사용되는 저장캐비닛에 가스를 보관할 때 함께 보관해도 되거나 분리해서 보관하도록 하기 위한 기술지침(KOSHA GUIDE, P-149-2016)을 개발하였다. 이번에 제정된 기술지침은 안전보건공단 홈페이지를 통해 반도체 관련 사업장에 보급·활용되어 반도체 공정의 가스 혼합에 의한 화학사고를 예방하는데 기여할 것으로 기대하고 있다.



연락처 : TEL 042-869-0310, leekw@kosha.or.kr

I . 개요 및 배경



반도체 산업에서
많은 종류의
화학물질
사용으로 인한
화학물질간의
혼합에 따른 화재,
폭발 및 독성물질 등
에 의한
위험성이
증가하고 있다.



I-1. 배경

최근 반도체 산업에서 화학물질 누출로 인한 화학사고의 증가와 많은 종류의 화학물질 사용으로 인한 화학물질간의 혼합(합)에 따른 화재, 폭발 및 독성물질 등에 의한 위험성이 증가하고 있다. 화학물질의 혼합에 따른 반응 위험성을 평가하는데 실험적 방법이 가장 신뢰성이 있지만, 모든 화학물질을 실험을 통하여 평가하는 것은 시간적, 비용적인 제한이 있다. 따라서 국제표준화기구(ISO) 등에서 채택된 원칙에 따른 반응위험성을 추정하는 CRW(Cheical Reactivity Worksheet) 프로그램을 활용하여 평가하고 있다. CRW 프로그램은 미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)에서 1988년에 소개된 이래 반응성 화학물질의 위험성을 예측하는 프로그램으로 활용되고 있다. 이 프로그램은 화학물질이 서로 혼합되어 일어날 수 있는 반응위험성을 예측하는 프로그램으로 비상대응이나 계획 설계자에게 유용하며, 6,000종 이상의 화학물질에 대한 반응성 정보를 가진 데이터베이스(DB)를 제공하고 있다. 그러나 국내에서는 CRW 프로그램을 이용한 화학물질의 반응위험성 평가에 관한 선행 기술이 거의 없다.

이에 「화학물질 혼합위험성 결정을 위한 반응성 매트릭스 개발(II)」(2015년) 연구에서는 화학물질의 혼합(화)에 따른 반응위험성을 추정하기 위해 미국 NOAA와 EPA에서 개발한 CRW 3.0 프로그램을 사용하여 반도체 산업에서 주로 사용되는 공정가스의 반응 위험성을 추정하여 반응 매트릭스를 작성하고, 「반도체 공정 저장캐비닛의 가스 실린더 보관에 관한 기술지침」(안) 을 제시하였다. 외국의 경우 반도체 제조회사협회 등에서 가이드라인을 제시하여 반도체 공정가스의 혼합에 따른 안전성을 확보하고 있었다. 그러나 국내의 경우 반도체 관련 회사 자체규정에 따른 안전기준은 보유하고 있으나, 캐비닛에 보관하는 가스 실린더의 보관에 관한 체계화된 안전기준은 없었다.

※ 국외 반도체 제조산업에서 화학물질에 의한 재해사례

재해일자	사업장명	피해현황	사고원인(물질)	사고개요
90.12.13	일본 ○○반도체	사망 1명, 부상 3명	모노실란	모노실란가스 누출로 인한 폭발
91.08.27	일본 ○○통신 회사연구소	사망 1명	질소	액체질소 배분 작업 시 환기 불충분으로 인한 질식
92.10.02	일본 ○○사	사망 2명, 부상 3명	모노실란	모노실란가스 봄베사용 중 폭발
05.11.23	대만 M사	사망 1명, 부상 10명 약 13억	실란가스	실란가스 누출로 인한 폭발사고

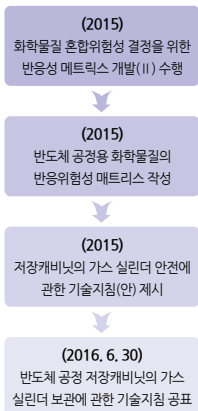
1-2. 주요 관련 정보

화학물질의 분류

화학물질의 특성에 관한 정보는 측정을 통해 얻거나 MSDS 같은 문헌으로부터 구할 수 있다. 두 종류 이상의 화학물질 혼합에 따른 특성은 실험적으로 결정하거나, ISO나 KS 등에서 채택된 원리(방법)를 사용하여 추정할 수 있다. 본 지침에서는 반도체 산업에서 일반적으로 사용되는 화학물질의 종류에 따른 분류 정보를 다음과 같이 제시하였다.

[표1] 화학물질 종류에 따른 분류

Gas	Cas no.	Classification
Perfluoropropane	76-19-7	I
Dimethyl zinc	544-97-8	C--P-UR-WR
Diborane	19287-45-7	T-IRR-P-WR
Diethyl zinc	557-20-0	C-P-UR-WR
Dichlorodifluoromethane	75-71-8	I
Dichlorosilane	4109-96-0	C-P-T-WR
Arsenic pentafluoride	7784-36-3	C-T-OHH-WR
Carbon tetrachloride	56-23-5	OHH



Gas	Cas no.	Classification
Boron trifluoride	7637-07-02	C-T-WR
Boron trichloride	10294-34-5	C-WR
Argon	7740-37-1	I
Arsenic trihydride	7784-42-1	F-T-OHH
Ammonia	7664-41-7	C-F
Chlorine	7782-50-5	C-O-T
Carbon dioxide	124-38-9	I
Trichlorofluoromethane	75-69-4	I
Oxygen	7782-44-7	O
Silane	7803-62-5	P
Silicon tetrachloride	10026-04-7	C-WR
Silicon tetrafluoride	7783-61-1	C-T-WR
Phosphorous pentafluoride	7647-19-0	C-T-WR
Trimethyl indium	3385-78-2	P
Triethyl indium	923-34-2	P
Trimethyl gallium	1445-79-0	P
Trimethyl arsine	593-88-4	F-T
Trimethyl antimony	594-10-5	F-T
Trimethyl aluminum	75-24-1	P
Trimethyl phosphine	122-52-1	F-T
Triethyl aluminum	97-93-8	P
Trichlorosilane	10025-78-2	C-F-UR
Phosphine	7803-51-2	T-P
Tungsten hexafluoride	7783-82-6	C-TWR
Sulfur hexafluoride	2551-62-4	I

※ F: 인화성, P: 자연발화성, C: 부식성, T: 독성, O: 산화제, I: 불활성, IRR: 자극성,
WR: 물 반응성, UR: 불안전 또는 반응성, OHH: 그 밖의 건강 위험성

화학물질의 분리·보관



화학물질이 정확히 같은 분류기호를 가지지 않는다면 서로 다른 가스 캐비닛에 보관하여야 하며, 불활성 가스를 제외하고 각 화학물질을 별도의 분리된 캐비닛에 보관하여야 한다. 불활성(I) 가스는 다른 화학물질과 분리·보관하지 않아도 된다. 자극성(IRR) 화학물질은 자극성이 없는 화학물질과 함께 하나의 가스 캐비닛에 보관할 수 있다. 가스 저장실내에 분리 조건은 [표 1]에 따라 각 실린더를 분리하여야 하며, 서로 혼합할 수 없는 물질은 [표 2]의 화학물질의 혼합 위험성 매트릭스에 따라 저장 캐비닛에 실린더를 분리·보관하여야 한다.

[표2] 화학물질의 혼합 위험성 매트릭스

Chemical Name	AMMONIA, ANHYDROUS	ARGON	ARSINE	BORON TRICHLORIDE	BORON TRIFLUORIDE	BROMOTRIFLUOROMETHANE	CARBON DIOXIDE	CARBON TETRACHLORIDE	CHLORINE	CHLOROPENTAFLUOROETHANE	CHLOROTRIFLUOROMETHANE	DIBORANE	DICHLOROFLUOROMETHANE	DICHLOROSILANE	GERMANE	HELIUM	HEXAFLUOROETHANE	HYDROGEN	HYDROGEN CHLORIDE, ANHYDROUS	HYDROGEN FLUORIDE, ANHYDROUS	HYDROGEN SULFIDE	METHYL CHLORIDE	METHYL FLUORIDE	NITRIC OXIDE	NITROGEN	NITROGEN TRIFLUORIDE	NITROUS OXIDE	OCTAFLUOROPROPANE	OXYGEN	PHOSPHINE	REFRIGERANT GAS R-22	REFRIGERANT GAS R-23	SILANE	SILICON TETRACHLORIDE	SULFUR HEXAFLUORIDE	TRICHLOROFLUOROMETHANE	TRICHLOROSILANE	TRIMETHYL PHOSPHITE	TUNGSTEN HEXAFLUORIDE			
AMMONIA, ANHYDROUS	Y																																									
ARGON	Y	Y																																								
ARSINE	Y	Y	Y																																							
BORON TRICHLORIDE	Y	Y	Y	Y																																						
BORON TRIFLUORIDE	Y	Y	Y	Y	Y																																					
BROMOTRIFLUOROMETHANE	Y	Y	Y	Y	Y	Y																																				
CARBON DIOXIDE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																																			
CARBON TETRACHLORIDE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																																		
CHLORINE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																																	
CHLOROPENTAFLUOROETHANE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																																
CHLOROTRIFLUOROMETHANE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																															
DIBORANE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																														
DICHLOROFLUOROMETHANE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																													
DICHLOROSILANE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																												
GERMANE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																											
HELIUM	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																										
HEXAFLUOROETHANE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																									
HYDROGEN	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																								
HYDROGEN CHLORIDE, ANHYDROUS	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																							
HYDROGEN FLUORIDE, ANHYDROUS	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																						
HYDROGEN SULFIDE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																					
METHYL CHLORIDE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																				
METHYL FLUORIDE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																		
NITRIC OXIDE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																	
NITROGEN	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y																
NITROGEN TRIFLUORIDE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y															
NITROUS OXIDE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y														
OCTAFLUOROPROPANE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y													
OXYGEN	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y												
PHOSPHINE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y												
REFRIGERANT GAS R-22	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y											
REFRIGERANT GAS R-23	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y										
SILANE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y										
SILICON TETRACHLORIDE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y									
SULFUR HEXAFLUORIDE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
TRICHLOROFLUOROMETHANE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
TRICHLOROSILANE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
TRIMETHYL PHOSPHITE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
TUNGSTEN HEXAFLUORIDE	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		

Chart Legend

Y: Compatible
No hazardous reactivity issues expected.

N: Incompatible
Hazardous reactivity issues are expected.

C: Caution
May be hazardous under certain conditions.

SR: Self- Reactive
Potentially Self- Reactive (e.g., polymerizable).

Chart Legend

Y : Compatible
No hazardous reactivity issues expected.

N : Incompatible
Hazardous reactivity issues are expected.

C : Caution
May be hazardous under certain condition

SR : Self-Reactive
Potentially Self-Reactive (e.g., polymeriza

II. 실용화 내용

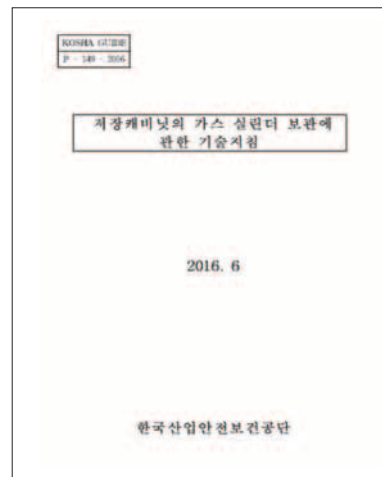


반도체 가스
취급 및 사용
연구자나
근로자에게
위험정보를
제공하고,
근로자의
화학물질(가스)
혼합에 의한
화학사고를
예방하고자
반도체 공정
저장캐비닛의
가스 실린더
보관에 관한
기술지침이
제정되었다.



반도체 산업에서 주로 사용되는 공정가스의 위험성을 미국 NOAA와 EPA에서 개발한 CRW 3.0 프로그램을 사용하여 공정가스의 반응성을 고찰한 결과를 토대로 반도체 관련 기술연구를 수행하거나 작업에 사용되는 저장캐비닛에 가스를 보관할 때 함께 보관해도 되거나 분리해서 보관하도록 하기 위한 안전보건기술지침(KOSHA GUIDE, 2016.06.30, P-149-2016)을 개발하였다. 이 지침은 기체 또는 액체 화학물질이 들어있는 내용적이 1,000 L까지의 모든 형태의 실린더에 적용 가능하다. 또한, 독성물질이나 인화성물질을 취급하는 반도체 공정 등에서 실린더 가스를 사용하거나 나누어 주는데 적용되며, 실린더에서 공급되는 퍼지가스에도 적용된다.

이 지침은 안전보건공단 홈페이지(정보마당-법령/지침정보-안전보건 기술지침)를 통해 제공되고 있으며, 반도체 공정용 가스의 혼합에 의한 화학물질 분류와 반도체 가스 취급·사용 연구자나 근로자에게 위험성 정보를 제공하여 근로자의 화학물질(가스) 혼합에 의한 화학사고를 예방하는데 기여할 것으로 기대하고 있다. 또한, 반도체 산업뿐만 아니라 연구 등에서 주로 사용되고 있는 화학물질을 중심으로 혼합에 따른 반응위험성 편람 등을 제작하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.



| 참고문헌 |

1. 이근원 등, “화학물질 혼합위험성 결정을 위한 반응성 매트릭스 개발(II)”, 산업안전 보건연구원, 2015.
2. SEMI S4-92, “Safety Guideline for the Segregation/Separation of Gas Cylinders Contained in Cabinets”, SEMI, 1992.
3. SEMI S-0304, “Safety Guideline for the Separation of Chemical Cylinders Contained in Dispensing Cabinets”, SEMI, 2004.
4. KFPA, “반도체공업의 위험관리”, 2012.



Research to Practice



일터안전을 위한 첫 단추, 작업 전 안전점검으로 채우세요

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.



고용노동부

산업재해예방

안전보건공단



청렴^韓 세상

부패 'ZERO' 청렴 'OSHRI'

안전^韓 동행



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

