

OSH

Vol. 6 No. 2 (통권 54호)

2012 **2**

안전보건 연구동향

RESEARCH BRIEF

심포
지엄

나노물질로부터 근로자는
보호되고 있나?

시론

안전과 보건, 융합 속에서 그 진가를

연구동향

요양보호사 근골격계질환실태 및 예방관리방안

방사선에 의한 건강장해 예방제도 개선

주요 선진 외국과 국내 산업안전보건법상의 MSDS 영업비밀제도 비교 연구

산화규소 화합물의 노출기준 개정 연구

미끄러짐 저항의 지속 가능성 성능 평가

장시간근무 및 교대근무가 건강에 미치는 영향

유럽근로환경조사(EWCS)의 이해(V)

위생 및 유사 서비스업 재해

화학사고 조사 사례

정유 및 석유화학공정에서 발생하는 황화철의 잠재적 위험성 및 사고 사례

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원





세계 꼴찌를 목표로!

메모리 반도체산업은 16년간 세계 1위, 조선산업 세계 1위,
그밖에 LCD, 휴대전화 등 일일이 열거하기 힘들 정도의 많은 분야에서
대한민국은 세계 최고의 실력을 자랑하고 있다.
하지만 달지 않아도 될 불명예스러운 톱(Top) 타이틀까지
거머쥐고 있는 분야가 있다. 바로 산업재해다.
산업재해 분야만큼은 세계 꼴찌를 목표로 해야 한다.
대한민국 하면 안전한 이미지가 떠오를 수 있게 말이다.
산업재해율 0%를 달성해 산재왕국의 오명을 벗고
세계 속 일류 대한민국으로 재탄생할 날을 기대해보자.



- '안전한 나날을 그리다' 중에서

OSH RESEARCH BRIEF

Vol. 6 No. 2 (통권 54호)
2012. 02

시론 04 안전과 보건, 융합 속에서 그 진가를 · 박정선

심포지엄

나노물질로부터 근로자는 보호되고 있나?

- 06 나노물질 유해성 어디까지 밝혀졌나? · 임철홍
- 10 나노입자의 샘플링 · 안강호
- 16 나노물질의 노출관리 필요성과 관리방안 · 윤충식
- 22 나노물질의 유해 · 위험성에 대한 산업안전보건법의 대응 방향 · 피용호

연구동향

- 28 요양보호사 근골격계질환실태 및 예방관리방안 · 이상윤
- 34 방사선에 의한 건강장해 예방제도 개선 · 김수근
- 40 주요 선진 외국과 국내 산업안전보건법상의 MSDS 영업비밀제도 비교 연구 · 원창덕
- 46 산화규소 화합물의 노출기준 개정 연구 · 이영섭
- 52 미끄러짐 저항의 지속 가능성 성능 평가 · 김정수
- 56 장시간근무 및 교대근무가 건강에 미치는 영향 · 이신영
- 60 유럽근로환경조사(EWCS)의 이해(V) · 권오준
- 68 위생 및 유사 서비스업 재해 · 최상원

화학사고 조사 사례

- 70 정유 및 석유화학공정에서 발생하는 황화철의 잠재적 위험성 및 사고 사례 · 이정석

산업안전보건 국내 · 외 소식	79
산업안전보건연구원 활동 · 동정	80

게재된 내용은 원고 집필자의 개인적 견해이며, 우리 연구원의 공식 견해와 다를 수 있습니다.

제6권 2호(통권 54호) 간별 월간 발행일 2012년 2월 1일 등록번호 ISSN 1976-345X 발행처 산업안전보건연구원 (403-711)
인천광역시 부평구 무네미로 478(구산동) Tel. 032)5100-903 oshri.kosha.or.kr 편집위원장 박정선 편집위원 정진우, 강미진, 국원근, 이명구, 송재철,
정지연, 정진주, 배계완, 이경용, 신운철, 이인섭, 김은아, 정무수 편집·제작 (주)광고연합 Tel. 02)2264-7306

안전과 보건, 융합 속에서 그 진가를

사업장에서 안전보건경영시스템 구축 및
위험성 평가가 제대로 도입되어 실시되게 하려면
안전과 보건 간의 활발한 소통이 필요하다.
소통을 통해 융합을 하려면 먼저 개인과
작은 단위의 조직 이익을 내려놓아야 한다.
위험성 평가를 실시하면서 안전의 영역인지
보건의 영역인지 따져서는 될 일이 아니다.
전문가 입장에서 생각해서는 안 되고
오로지 고객의 입장에서 현장의 입장에서
생각해 볼 일이다.

2012년 올해는 용의 해이다.

용은 육십갑자 12지지를 이루는 띠 동물 중에서 유일한 상상의 동물이며 여러 동물의 특징을 결합하여 만든 것이라고 한다. 중국 송나라의 책에 용은 ‘뿔은 사슴, 머리는 낙타, 눈은 토끼, 목덜미는 뱀, 배는 이무기, 비늘은 물고기, 발톱은 매, 손바닥은 호랑이, 귀는 소’와 같은 모습이라고 했다고 한다. 이러한 이유로 이어령 선생은 ‘십이지신 용’이라는 책에서 용을 ‘융합’의 상징이라 칭하면서, 21세기에 가장 필요한 정신은 용과 같은 정신 즉 ‘융합의 정신’ 이라고 했다.

지식정보화시대의 융합과 소통

지식정보화시대인 오늘날, 우리 사회의 복잡성과 불확실성이 높아지면서 ‘융합과 소통’은 중요한 화두가 되고 있다.

문명 발달사가 농업사회, 산업사회를 거쳐 지식정보화시대로 이어져 오면서 분업화·전문화의 흐름 속에서 소통 부재의 문제가 발생하게 되었다고들 한다. 에너지, 환경, 기후 변화문제와 같이 단일 학문과 특정 분야 전문가로는 해결하기 어려운 많은 국가적·사회적 문제가 우리 앞에 놓여 있다.

이제 우리는 이처럼 복잡성과 불확실성으로 가득할 미래사회를 대비하여 가장 근본적인 문제를 해결할 수 있는 방안을 모색해야 할 것이다. 요즈음 과학계의 화두가 되고 있는 학제 간 융합 연구는 바로 우리에게 안겨진 이러한 복잡하고 불확실한 고난도의 문제를 해결하는 과정에서 보다 창조적이고 발전적인 해결방안을 제시할 수 있을 것이란 기대를 갖게 한다.



박정선 원장
산업안전보건연구원

기업의 복합적 리스크관리 요청

이러한 흐름은 산업안전보건에서도 그대로 반영되고 있다. 국제적으로 산업안전보건활동의 기준이 되고 있는 ILO의 노동안전보건 관련 협약의 성격을 살펴보면 뚜렷한 흐름을 볼 수 있다.

1919년 ILO 창설로부터 전후에 걸친 약 40년 동안에는 건설, 유해물질, 야간작업 등의 개별 유해조건에 대한 관리기준이 제정되었으나 1960년 이후에는 산업별 및 작업환경 전체에 대한 관리기준으로 그 폭을 확대하고 있다. 또 1980년대 이후에는 기업의 포괄적 관리 책임을 중심으로 관리기준의 방향을 완전히 바꾸어 더 이상 개별적인 유해인자관리에 대해서는 규정하지 않게 되었다.

즉, 1981년의 제155호 산업안전보건협약, 1985년의 제161호 산업보건서비스협약이 두 가지 근간 협약으로 제정되어 사용자의 포괄 책임, 근로자의 알 권리·참가할 권리를 기초로 한 복합적인 리스크 관리를 강조하고 있다. 다시 말해, 개별 유해인자에 대한 관리에서 복합적인 리스크 관리로 변화하고 있는 것이다.

KOSHA 18001과 같은 안전보건경영시스템도 단순히 산업안전 측면만 다루는 것이 아니라 산업보건 측면도 다루며 안전과 보건을 통합하여 위험성 평가를 수행하는 체제를 갖추는 것이 커다란 특징이다. 또한 오늘날 경제가 어려운 상황에서 떨어짐, 넘어짐, 유해물질 중독과 같은 전통적인 안전보건문제뿐만 아니라 감염증, 근골격계질환, 스트레스 영향 등 새로운 직업보건 위험이 부각되면서 국제적으로 확립된 안전보건경영시스템 기법에 따라 적절하게 전통적인 문제와 새로운 문제, 안전 요인과 보건요인들을 통합한 복합적인 위험성 평가를 실시하는 것이 기대를 모으고 있다.

안전보건경영시스템 구축을 바탕으로 안전 및 보건을 포괄적으로 다루는 1차 예방 중심의 활동은 대기업뿐만 아니라 중소기업에도 요청되며, 안전과 보건 및 재래적인 문제와 새로운 문제라는 복합적인 문제를 함께 다루면서 효율성 측면에서 그 진가를 더욱 발휘할 수도 있다.

지식정보화시대인 오늘날,
우리 사회의 복잡성과 불확실성이 높아지면서
‘융합과 소통’은 중요한 화두가 되고 있다.
이제 우리는 이처럼 복잡성과 불확실성으로 가득할
미래사회를 대비하여 가장 근본적인 문제를
해결할 수 있는 방안을 모색해야 할 것이다.
요즈음 과학계의 화두가 되고 있는 학제 간 융합 연구는
바로 우리에게 안겨진 이러한 복잡하고 불확실한
고난도의 문제를 해결하는 과정에서
보다 창조적이고 발전적인 해결방안을
제시할 수 있을 것이란 기대를 갖게 한다.
이러한 흐름은 산업안전보건에서도
그대로 반영되고 있다.
크게는 산업안전인들과 산업보건인들 간에,
작게는 안전보건공단 내의 안전 출신과
보건 출신의 전문인력들 간의 다양한 생각들이
서로 교환되면서 아이디어가 발전할 수 있는
문화가 조성되어야 한다.

안전과 보건 간의 칸막이 허물기

사업장에서 안전보건경영시스템 구축 및 위험성 평가가 제대로 도입되어 실시되게 하려면 안전과 보건 간의 활발한 소통이 필요하다. 크게는 산업안전인들과 산업보건인들 간에, 작게는 안전보건공단 내의 안전 출신과 보건 출신의 전문인력들 간의 다양한 생각들이 서로 교환되면서 아이디어가 발전할 수 있는 문화가 조성되어야 한다. 그리고 소통을 통해 융합을 하려면 먼저 개인과 작은 단위의 조직 이익을 내려놓아야 한다. 그래야만 안전과 보건이란 칸막이를 허물 수 있다.

위험성 평가를 실시하면서 안전의 영역인지 보건의 영역인지 따져서는 될 일이 아니다. 전문가 입장에서 생각해서는 안 되고 오로지 고객의 입장에서 현장의 입장에서 생각해 볼 일이다. 위험성 평가 제도의 전면적 실시를 앞두고 금년도에 마지막 시범사업을 실시한다고 하니 이런 점을 늘 염두에 두어야 하지 않나 싶어 이 글을 적어 보았다. 🌸

나노물질 유해성 어디까지 밝혀졌나?



임철홍 연구위원
산업안전보건연구원 화학물질센터

나노물질의 독성이 주목받기 시작한 것은 1990년 Oberdorster 등과 Ferin 등이 이산화티타늄과 산화알루미늄을 이용하여 나노물질이 큰 입자상 물질보다 독성이 크다는 것을 발표한 이후부터이다. 이후 여러 연구자, 국가, 나아가 OECD를 중심으로 한 지구적 차원에서 사람과 환경을 보호하기 위하여 나노 독성 연구가 광범위하게 이루어지고 있다. 하지만 아직까지 우리나라에서는 나노물질의 유해성·위험성 평가와 이를 통한 노출기준 및 규제 수준의 검토는 본격적으로 이루어지지 않고 있다. 나노물질의 유해성·위험성 평가를 위해서는 국내에서의 나노물질 취급실태, 나노물질 독성자료의 확보뿐만 아니라 국제적인 나노물질 유해성 평가활동에 적극 참여해야 한다.

들어가기

나노물질은 100nm 이하의 직경을 갖는 물질을 말한다. 입자의 직경이 100nm 이하로 작아지면 입자의 특성이 크게 변하여 전혀 새로운 성질을 가질 수 있다는 것이 밝혀진 이후 나노물질은 전자·전기, 에너지, 의학 등 거의 모든 산업에서 미래형 신소재로 각광받고 있다. 2001년 미국에서 국가나노기술개발전략(NNI; National Nanotechnology Initiative)을 발표한 뒤로 주요 선진국들은 나노기술을 선점하기 위하여 경쟁적으로 나노산업에 투자하고 있다. 우리나라에서도 2001년 나노기술종합발전계획이 수립되었으며, 2002년에는 나노기술개발촉진법이 제정되어 나노기술의 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.

한편, 입자의 직경이 작아짐에 따라 나노물질은 산업적으로 좋은 특성을 가지기도 하지만, 같은 이유로 사람과 환경에 치명적인 영향을 줄 수도 있다. 나노물질

의 독성이 주목받기 시작한 것은 1990년 Oberdorster 등과 Ferin 등이 이산화티타늄과 산화알루미늄을 이용하여 나노물질이 큰 입자상 물질보다 독성이 크다는 것을 발표하면서부터이다. 그 이후 여러 연구자 또는 국가, 나아가 경제협력개발기구(OECD)를 중심으로 한 지구적 차원에서 사람과 환경을 보호하기 위하여 나노 독성 연구가 광범위하게 이루어지고 있다.

나노물질의 특성과 유해성

나노물질은 큰 입자상 물질보다 표면적이 넓으며, 응집이 잘된다. 나노물질은 또한 단백질과 지질에 잘 흡착되며, 2차 장기로 잘 이동되는 특성을 가지고 있어 독성을 증가시키거나 큰 입자상 물질에서는 잘 나타나지 않는 새로운 독성을 일으킬 수 있다(표 1).

나노물질의 독성이 큰 이유는 먼저 표면적이 넓기 때문이다. 일반적으로 입자의 직경이 10배 작아지면 표면적은

100배 증가하게 된다. 즉, 입자의 직경이 10배 작아지면 독성은 10배 증가할 수 있다는 것이다. 한편, 나노물질이 응집되면 독성이 감소하는지에 대한 최근의 연구에서는 대부분의 나노물질은 응집이 되어도 표면적이 거의 변하지 않기 때문에 작업장환경에서 나타나는 응집은 나노물질의 독성에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타나고 있다.

입자의 크기가 작아지면 표면적이 증가할 뿐만 아니라 입자의 형태와 표면 활성, 그리고 전기적인 특성이 변하기도 한다. 이러한 성질은 전자·전기, 에너지, 의학 등의 분야에서 나노물질의 효용성을 증가시키기도 하지만, 한편으로는 나노물질의 독성을 증가시키는 원인이 되고 있다. 예를 들면, 카본블랙과 카본나노튜브는 모두 탄소로 만들어졌으나 카본나노튜브는 섬유상 형태를 가지면서 카본블랙과는 전혀 다른 표면 활성제기 때문에 카본블랙보다 훨씬 심한 독성을 일으킨다.

나노물질은 세포를 잘 통과하여 큰 입자에서는 나타나지 않는 새로운 독성을 일으키기도 한다. 심혈관계에 대한 영향은 큰 입자상 물질에서는 잘 나타나지 않는

나노물질 특이적인 독성으로 최근 활발히 연구되고 있으며, 이외에도 면역계 이상, 감각계 이상 등 다양한 장기에서 독성의 원인이 되기도 한다.

OECD 제2나노물질 작업반에서의 나노물질 유해성 평가

나노물질이 큰 입자상 물질보다 독성이 강할 뿐만 아니라 큰 입자상 물질에서는 나타나지 않는 새로운 독성을 일으킬 수 있다고 밝혀짐에 따라 나노물질을 미래의 소재로 개발하면서도 석면등과 같은 사회적 문제가 발생하지 않도록 늦기 전에 나노물질의 유해성 평가가 이루어져야 한다는 공감대가 전 세계적으로 형성되고 있다. 그러나 나노물질마다 물리화학적 특성이 다르듯이 나노물질마다 독성이 다르기 때문에 나노물질의 유해성 평가는 각각의 물질별로 이루어져야 한다.

여기서 문제가 되는 것은 비용과 시간이다. 하나의 나노물질에 대한 유해성을 평가하기 위해서는 수년간의 시험 기간과 수십억 원 이상의 비용이 요구된다. 이미 20가지 이상의 나노물질이 개발되고 있어 한 국가에서 나노물질의 유해성 평가를 수행하기는 불가능한 것이 현실이다. 따라서 현재 나노물질은 유해성 평가가 충분히 이루어지지 않은, 위험성이 우려되는 화학물질로 관리되고 있다.

OECD는 2006년 나노물질의 효율적인 유해성 평가를 위한 제2나노물질작업반(WPMN; Working Party on Manufactured Nanomaterial)을 구성하였다. 제2나노물질작업반에는 8개의 전략적 그룹이 만들어져 나노물질과 관련된 각종 현안을 논의하고 있다(표 2). 이 중 SG 3에서는 스폰서 프로그램을 통하여 나노물질의 유해성 평가를 담당하고 있다. SG 3에서는 우선적으로 평가해야 할 13종의 나노물질을 선정(표 3)하여 '① 나

〈표 1〉 입경의 크기가 100nm 이하인 물질과 500nm 이상인 물질의 특성 및 생체 영향 비교

대구분	세부구분	영향	
		나노입자(<100nm)	조입자(>500nm)
일반적 특성	표면적 / 질량 비율	높음	낮음
	응집	가능성 있음	가능성 적음
	호흡기 침착방법	확산	침강, 충돌 및 차단
	단백 / 지질 흡착(in vitro)	예	덜 중요함
2차 장기이동성	제거	예	일반적으로 아니오
	점액섬모를 통한 제거	가능성 있음	효과적임
	폐포 대식세포를 통한 제거	예	효과적임
	상피세포	예	주로 과용량에서 이동
	임파구 순환	예	과용량에서 이동
	혈액 순환	예	과용량에서 이동
	감각신경	예	아니오
	단백 / 지질 흡착(in vivo)	예	가끔
	세포 내 침투	예	주로 식작용
	미토콘드리아	예	아니오
	핵	예(<40nm)	아니오
	2차 장기에서의 영향	예	아니오
독성 등 영향	호흡기관에서의 영향	예	예
	염증	예	예
	산화적 손상	예	예
	신호 전달 활성	예	예
	1차 생식독성	가끔	아니오
	발암성	예	예

노물질 확인, ② 물리화학적 성질, ③ 환경 내 거동, ④ 환경독성, ⑤ 포유류 독성, ⑥ 안전성' 등의 6가지 항목이 포함된 유해성 평가를 수행하도록 하고 있다<표 4>.

2012년 6월에 개최되는 10차 회의에서 유해성 평가에 대한 1단계 보고서가 제출될 예정이다. 현재 산화티타늄, 탄소나노튜브, 풀러렌 등 일부 나노물질에 대해서는 유해성 평가가 완료단계에 있으나, 산화알루미늄, 텐드리머와 같은 나노물질은 아직 선도스폰서가 정해지지 않고 있으며, 금 나노물질은 나중에 평가대상에 포함되는 등 대부분의 나노물질은 유해성 평가가 이루어진 것보다 수행해야 할 부분이 더 많이 남아 있는 상태이다.

유해성 평가에 따른 나노물질의 노출기준 권고

초기 나노물질의 독성 연구가 나노물질이 가지는 일반적인 독성 기전 및 특성 연구를 중심으로 수행되었다면, 최근의 나노 독성 연구는 OECD를 중심으로 개별

나노물질에 대한 종합적인 유해성 평가 및 노출기준 제정 등의 관리지침 마련으로 방향이 전환되고 있다.

아직까지 많은 나노물질에 대한 유해성 평가자료가 절대적으로 부족하기는 하지만, 일부 나노물질에 대해서는 노출기준이 제시되는 등 가시적인 성과를 보이고 있다. 즉, 이산화티타늄은 초기 나노물질 독성기전 등의 연구를 통하여 많은 독성정보가 밝혀졌으며, 탄소나노튜브와 풀러렌은 미국과 일본에서 집중적으로 유해성 평가가 수행되어 이미 노출기준이 권고되고 있다<표 5>.

<표 5>에서와 같이 미국 NIOSH에서는 이산화티타늄의 경우, 흡입성 입자에 대해서는 2.4mg/m³, 나노물질에 대해서는 0.3mg/m³으로 권고 농도를 제시하여 나노입자가 흡입성 입자보다 8배 유해성이 강하다고 인정하고 있다. 일본 NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization, 독립행정법인 신에너지·산업기술종합개발기구)에서는 나노입자에 대하여 0.61mg/m³을 권고함으로써 흡입성 입자보다 1.6배, 총 분진에 비

<표 2> OECD 제조 나노작업반 구성

그룹	그룹명	활동 분야
SG 1	환경안전 연구 관련 데이터베이스(DB) 개발	나노 관련 사업을 DB화
SG 2	제조 나노물질 관련 사람의 건강 및 환경안전 연구전략	연구 우선 순위 권고(안)와 국제 협력 수행
SG 3	적절한 시험방법을 사용한 나노물질 시험	평가대상 제조 나노물질 목록 작성 및 시험 항목 선정
SG 4	제조 나노물질 및 시험지침 검토	물리화학적 특성, 보건 및 인체 영향, 환경 내 거동 및 축적 등에 대한 시험지침 개발의 필요성 확인
SG 5	자발적 제조 / 프로그램 협력	나노물질 규제 체계 검토
SG 6	위해성 평가 및 노출측정 분야 협력	위해성 평가전략 및 방법론 검토
SG 7	나노 독성에 관한 대체방법의 역할	대체방법 검토
SG 8	노출측정 및 노출 저감	노출도 평가 및 노출 경로 관련 가이드 제시

<표 3> 평가대상 나노물질 및 스폰서 그룹

연번	물질명	선도 스폰서	지원 스폰서	기여 스폰서
1	풀러렌	일본, 미국		덴마크, 중국
2	단층탄소나노튜브	일본, 미국		캐나다, 독일, 프랑스, 유럽연합(EU), 중국, BIAC
3	다층탄소나노튜브	일본, 미국	한국, BIAC*	캐나다, 독일, 프랑스, EU, 중국, BIAC
4	은	한국, 미국	독일, 캐나다, 호주, 북유럽이사회	프랑스, 네덜란드, BIAC, EU, 중국
5	철	중국	BIAC	캐나다, 미국, 북유럽이사회
6	이산화티타늄	독일, 프랑스	한국, 캐나다, 스페인, 미국, BIAC, 호주	덴마크, 중국, 일본, 영국
7	산화알루미늄			독일, 미국, 일본
8	산화세륨	미국, 영국, BIAC	네덜란드, 호주, 스페인	독일, 스위스, 덴마크, 일본, EU
9	산화아연	영국, BIAC	미국, BIAC, 호주	캐나다, 덴마크, 독일, 네덜란드, 스페인, EU
10	이산화실리콘	프랑스, EU	벨기에, 한국, BIAC	덴마크, 일본
11	텐드리머		스페인, 미국	한국, 호주
12	나노점토	BIAC		덴마크, 미국, EU
13	금	남아프리카공화국	미국	한국, EU

*BIAC: The Business and Industry Advisory Committee to the OECD, OECD 경제산업자문위원회

〈표 4〉 제조 나노물질 유해성 평가를 위한 필요 항목

A. Nanomaterial Information - Nanomaterial name (from list) - CAS Number - Structural formula - Composition of nanomaterial - Basic morphology - Description of surface chemistry - Major commercial uses - Known catalytic activity - Method of production	- Pour density - Porosity - Octanol-water partition coefficient - Redox potential - Radical formation potential - Other Physical-Chemical Properties	D. Environmental Toxicology - Effects on pelagic species - Effects on sediment species - Effects on soil species - Effects on terrestrial species - Effects on microorganisms - Effects on activated sludge - Other information
B. Physical-Chemical Properties - Agglomeration/ aggregation - Water solubility/ Dispersability - Crystalline phase - Dustiness - Crystallite size - Representative TEM picture(s) - Particle size distribution - Specific surface area - Zeta potential (surface charge) - Surface chemistry - Photocatalytic activity	C. Environmental Fate - Dispersion stability in water - Biotic degradability - Ready biodegradability - Inherent biodegradability - Simulation testing on degradation - Soil simulation testing - Sediment simulation testing - Sewage treatment simulation testing - Identification of degradation product - Further testing of degradation product - Abiotic Degradability and Fate - Adsorption-desorption - Adsorption to soil or sediment - Bioaccumulation potential - Other environmental fate information	E. Mammalian Toxicology - Pharmacokinetics/Toxicokinetics - Acute toxicity - Repeated dose toxicity - Chronic toxicity (If available) - Reproductive toxicity (If available) - Developmental toxicity (If available) - Genetic toxicity (If available) - Experience human exposure (If available) - Other relevant test data F. Material Safety (If available) - Flammability - Explosivity - Incompatibility

〈표 5〉 NIOSH 및 NEDO 권고 나노물질 허용기준

물질명	미국 NIOSH	일본 NEDO
이산화티타늄*	0.3mg/m ³	0.61mg/m ³
단층탄소나노튜브	0.007mg/m ³	0.03mg/m ³
다층탄소나노튜브	0.007mg/m ³	0.08mg/m ³
폴러렌	—	0.8mg/m ³

*우리나라 노출기준은 10mg/m³으로 지정되어 있음. NIOSH에서는 흡입성 분진에 대해 2.4mg/m³으로 권고하고 있음. 일본 산업위생학회에서는 흡입성 분진, 총분진에 대하여 각각 1mg/m³과 4mg/m³으로 허용 농도를 권고하고 있음

해서는 6.6배 낮은 허용 농도를 제시하고 있다.

한편, 같은 탄소 원소로 만들어졌지만, 흑연(또는 카본블랙)과는 전혀 구조가 다른 새로운 물질인 탄소나노튜브는 흑연보다 매우 낮은 허용 농도가 제시되고 있다. 즉, NIOSH는 탄소나노튜브에 대하여 흑연보다 286배 낮은 농도를 권고 농도로 제시하고 있으며, NEDO는 단층탄소나노튜브를 흑연보다 66.7배 낮은 0.03mg/m³, 다층탄소나노튜브의 경우 흑연보다 25배 낮은 0.08mg/m³으로 허용 농도를 제시하고 있다(흑연의 노출기준은 2mg/m³).

마무리

나노물질은 독특한 물질 특성과 작은 크기로 인하여 전자·전기, 에너지, 의학 등 거의 모든 산업에서 미래 소재

로 각광받고 있다. 그러나 같은 이유로 사람과 환경에 대한 위험이 되고 있다.

현재 OECD를 중심으로 이산화티타늄, 탄소나노튜브, 폴러렌 등 일부 나노물질에 대해서는 유해성 평가가 완료단계에 있지만, 나머지 물질에 대해서는 여전히 유해성 평가가 충분히 이루어지지 않은 상태이다. 우리나라는 나노산업을 국가 미래전략산업으로 지정하여 추진하고 있어 나노물질로 인한

근로자의 보건에 대한 위험이 다른 선진국에 비하여 낮다고 할 수 없다. 따라서 나노물질로부터 근로자를 보호하기 위해서는 나노물질의 취급실태, 나노물질의 작업환경측정, 나노물질의 관리지침 제공이 우선적으로 이루어져야 한다. 이와 함께 국내에서 많이 사용되는 나노물질에 대한 유해성·위험성 평가에 대한 노력도 등한시할 수 없다.

아직까지 우리나라에서는 나노물질의 유해성·위험성 평가와 이를 통한 노출기준 및 규제 수준의 검토는 본격적으로 이루어지지 않고 있다. 나노물질의 유해성·위험성 평가를 위해서는 국내에서의 나노물질 취급실태, 나노물질 독성자료의 확보뿐만 아니라 나노물질의 규제에 대한 국제적인 감각이 필요하다. 이를 위하여 OECD의 제로나노물질작업반(WPMN) 등 국제적인 나노물질 유해성 평가활동에 적극적으로 참여하여 나노물질의 유해성 평가에 기여하고, 다른 한편으로는 국제적 나노물질 유해성 평가활동을 통하여 얻은 노하우를 바탕으로 국내 작업장환경에 적합한 유해성 및 위험성 평가를 실시함으로써 국내에서 문제가 될 가능성이 있는 나노물질에 대하여 우선적으로 노출기준을 제정하거나 관리 수준을 결정하는 등 근로자 건강 보호를 위한 노력이 이루어져야 할 것이다. 🌈

나노입자의 샘플링



안강호 교수
한양대학교 기계공학과

나노입자는 일반적으로 입자의 크기가 $0.1\mu\text{m}$ (100nm) 이하의 물질로 정의한다. 입자가 작아지면 물질의 표면적이 매우 커져 화학반응이 쉽고 빠르게 일어난다. 나노입자는 인체에 유입되었을 때 벌크일 경우는 매우 안정한 물질이지만 나노입자로 되었을 경우는 쉽게 인체 흡수 또는 반응을 할 수 있어 최근에 나노물질의 위해성에 대해 많은 관심을 갖고 연구하고 있다. 본고에서는 대기 중에 부유하는 나노입자의 샘플링 특성에 대해 간단히 언급하고자 한다.

서론

나노입자는 일반적으로 입자의 크기가 $0.1\mu\text{m}$ (100nm) 이하의 물질로 정의한다. 2000년대부터 나노물질에 대한 연구가 비약적으로 증가하여 최근에는 나노물질을 이용한 공업제품의 출시가 이루어지고 있다. 따라서 나노물질의 연구 및 제조에 종사하는 사람들 뿐만 아니라 나노물질을 함유한 제품을 사용하는 소비자에게도 나노물질의 노출에 따른 문제가 발생할 수 있다. 특히 나노물질은 그 크기가 매우 작아 대기 중에 비산되었을 경우 장시간 부유할 수 있어 사람의 호흡기로 유입될 가능성이 매우 크다. 이에, 대기 중에 부유하는 나노입자의 샘플링 특성에 대해 간단히 언급하고자 한다.

나노입자의 특징

[그림 1]에서 보는 것과 같이 만약 직경 $1\mu\text{m}$ 인 입자와

같은 물질, 같은 질량을 갖는 직경 100nm의 입자의 개수는 1,000개가 된다. 마찬가지로 10nm로 작게 부서지면 100만 개의 입자로 된다. 이는 나노입자의 농도를 질량으로 측정하였을 때 큰 입자의 경우 질량측정에 매우 중대한 영향을 미친다는 것을 단적으로 말해주고 있다. 또한 그림에서 보듯이 입자가 작아지면 물질의 표면적이 매우 커져 화학반응을 쉽고 빠르게 할 수 있다.

우리가 일상생활에서 많이 사용하는 알루미늄 덩어리는 공기 중에 노출이 되도 표면만 산화되고 만다. 그러나 같은 알루미늄을 미세한 가루로 만들면 폭탄이나 로켓의 추진체로 사용할 수 있는 물질이 된다. 이는 물질의 표면적 증가로 화학반응이 얼마나 잘 일어나는지를 잘 설명해주고 있다. 따라서 나노입자는 인체에 유입되었을 경우 벌크일 경우는 매우 안정한 물질이었지만 나노입자로 되었을 경우는 쉽게 인체 흡수 또는 반응을 할 수 있어 최근에 나노물질의 위해성에 대해 많은 관

심을 갖고 연구하고 있다.

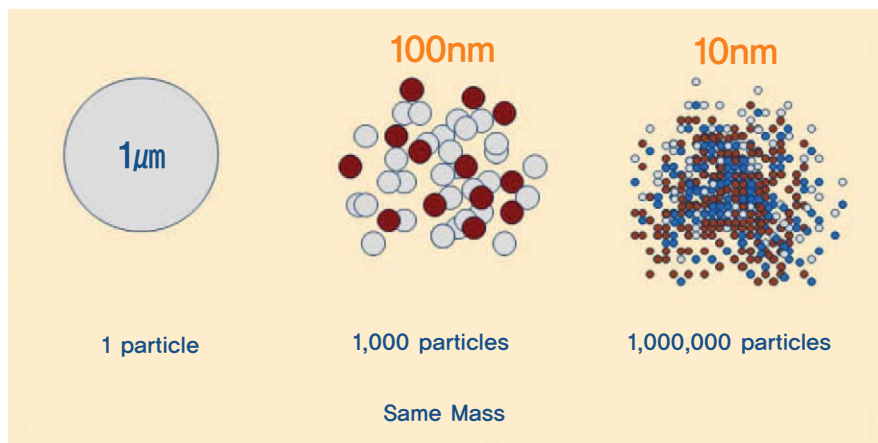
나노입자는 또한 주로 원자나 분자들의 화학반응에 의해 입자 생성이 되어 입자의 농도가 매우 높으며, 물리적 특성이 분자들의 특성과 매우 유사하다. 즉, 공기 중에서 나노입자의 움직임은 기체 분자의 운동과 같이 Brownian 운동을 하며 이에 의해 확산 현상이 매우 잘 일어난다. 나노입자는 중력에 의한 침강이나 관성

에 의한 운동에 비해 상대적으로 확산 운동이 매우 크다. 따라서 나노입자의 샘플링 시 입자의 확산에 대해 잘 이해할 필요가 있다.

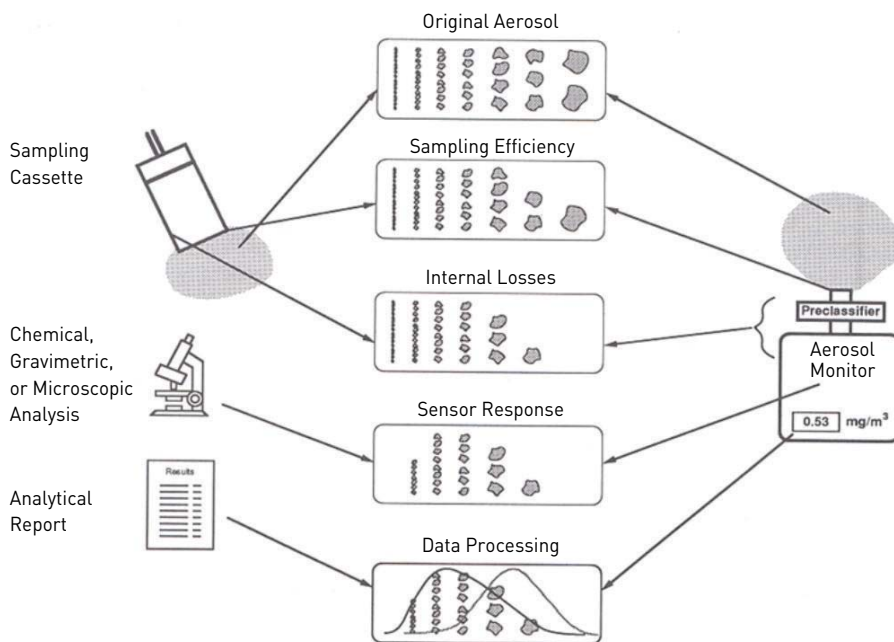
나노입자의 샘플링

입자의 샘플링은 주로 필터나 임팩터를 이용하여 샘플링을 하며 샘플링 전후의 무게 차이로 샘플링한 입자의 질량 농도를 측정한다. 이 방법은 많은 시간과 노력이 필요하여 최근에는 실시간측정이 가능한 방법을 사용하고자 여러 분야에서 노력을 하고 있다.

실시간 질량측정을 위한 방법으로는 Piezoelectronic Mass Sensing, Tapered Element Oscillating Microbalance 등이 있는데 이들의 기본 작동 원리는 입자를 포집함으로써 생기는 질량 변화에 따른 Natural Frequency 변화를 감지하여 이를 포집 질량으로 변환 표시하는 방법이다. 이외에 Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)를 이용하여 입자의 크기와 농도를 계수한 후 질량 농도로 환산하는 방법이 있다. 어떠한 장비를 사용하더라도 대기 중의 입자를 샘플링한 후 측정기 또는 포집기의 센서까지 이동시켜야 한다. 이 경우에 대기 중의 입자를 완벽하게 센서 또는 필터까지 이동시키기 위해서는 다음



[그림 1] 직경 1 μ m인 입자 1개와 같은 질량을 갖는 직경 100nm 또는 직경 10nm의 나노입자 개수



[그림 2] 대기 중의 입자 샘플링 및 분석 시 발생할 수 있는 오차에 대한 도식적 표현

과 같은 것들에 대해 잘 이해할 필요가 있다.

입자측정 오차

[그림 2]에서 보는 것과 같이 대기 중의 입자 분포 (Original aerosol)에서 입자측정을 하기 위해 샘플링을 진행하면 제일 먼저 샘플링 주입구에서 발생하는 흡입 유량의 속도에 의해 큰 입자들의 포집이 적게 될 수 있다. 이와 같은 오차를 Aspiration Efficiency라

한다. 두 번째로 발생할 수 있는 손실은, 샘플링 라인 내로 들어온 입자는 샘플링 튜브 내에서 이동 중에 중력 침강, 관성, 확산에 의해 질량이 큰 입자와 확산이 잘 일어나는 나노입자들이 샘플링 튜브 벽면에 부착되어 발생하게 된다.

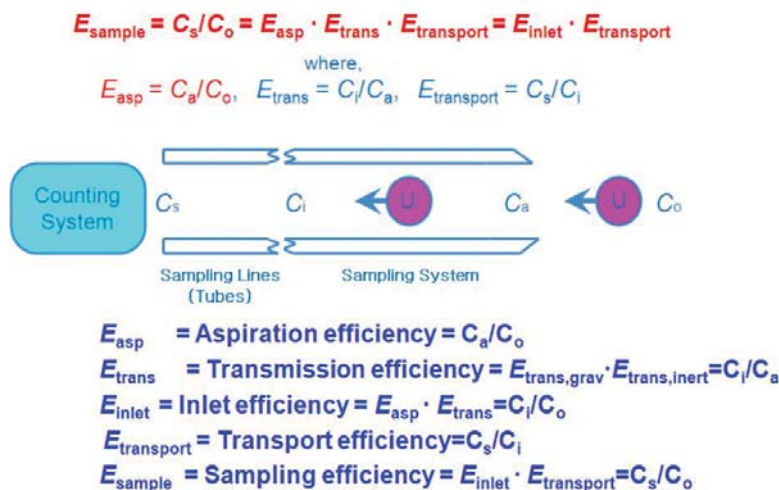
이와 같은 과정을 거쳐 센서까지 입자가 도달하게 되면 센서 특성에 따라 유입된 입자들 중 일부만 측정된다. 따라서 우리가 계측기로부터 건네받는 자료는 위의

여러 과정을 거쳐 획득한 자료이므로 계측기에서 제시하는 자료의 해석 시 이들 문제들을 복합적으로 고려하여 해석할 필요가 있다. 일부 계측기에서는 샘플링 시 발생하는 오차들을 고려하여 자료를 제시하는 경우도 있다.

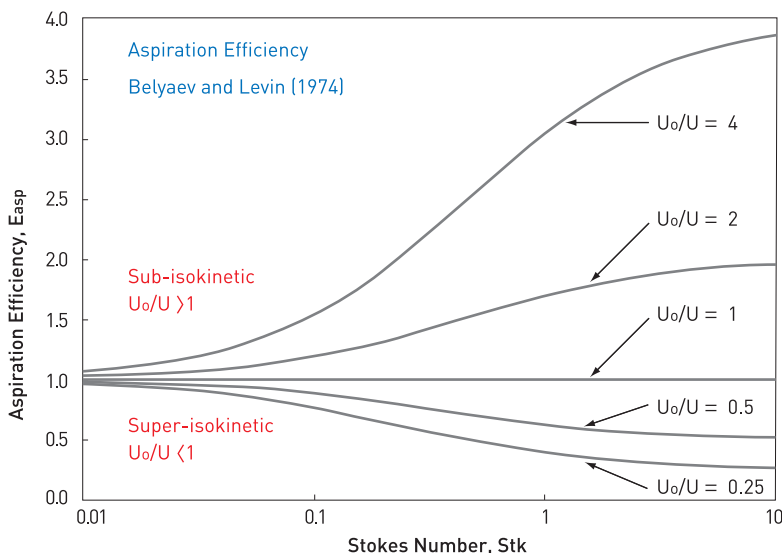
[그림 3]은 샘플링 시 발생하는 손실에 대한 정의를 표시하였다. 샘플링 효율은 대기 중의 입자를 포집할 때 샘플링 프로브 입구까지 도달한 입자의 농도비를 Aspiration 효율이라 하며, 샘플링 프로브 입구에서 샘플링 튜브 내로 유입된 입자의 농도비를 Ttransmission 효율, 샘플링 튜브 입구에서 계측기 센서까지의 입자 농도비를 Ttransportation 효율이라고 한다. 그리고 이들의 곱을 샘플링 효율이라 하며, 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$E_{\text{sample}} = \frac{C_s}{C_o} = E_{\text{asp}} \cdot E_{\text{trans}} \cdot E_{\text{transport}}$$

여기서 C_o 는 대기 중의 입자 농도, C_s 는 계측기 센서의 측정 입자 농도를 나타낸다.



[그림 3] 도식적으로 표시한 샘플링 시 발생하는 손실들



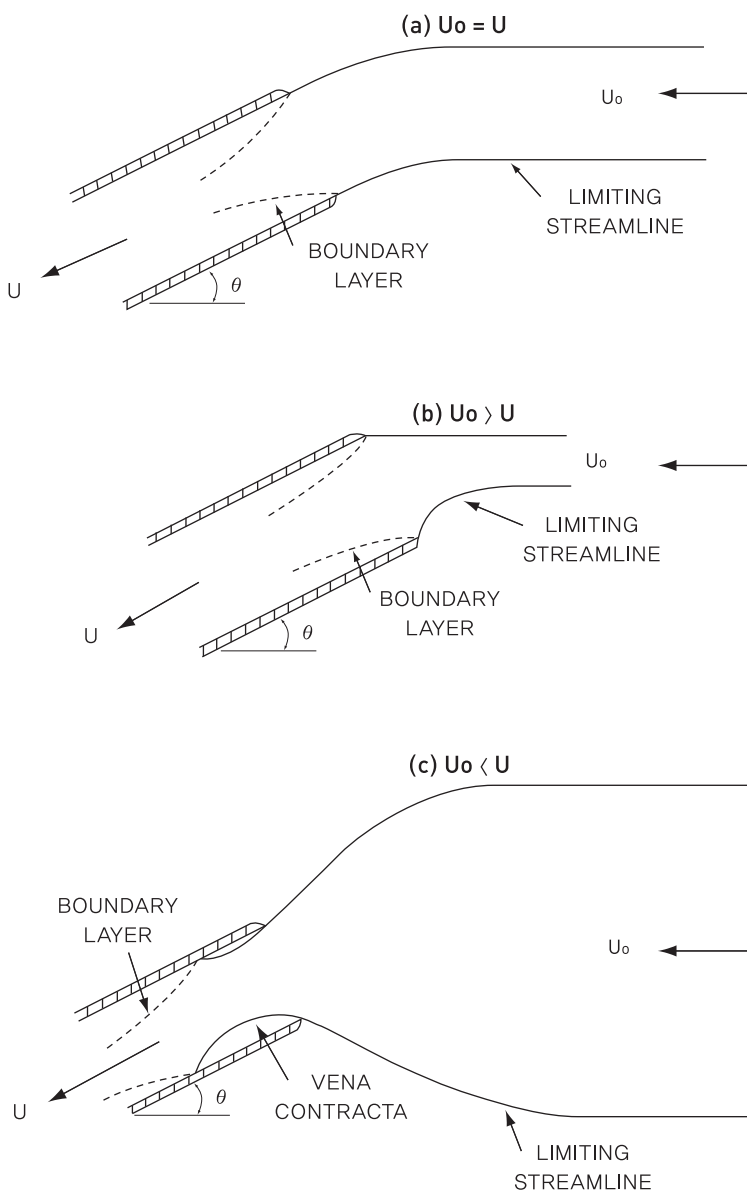
[그림 4] Aspiration Efficiency¹⁾

1) Belyaev, S. P. and L. M. Levin, Techniques for collection of representative aerosol samples, J. Aerosol Sci. 5:325-38, 1974

정체공기에서 샘플링

정체된 공기에서 입자를 샘플링할 때 중력, 관성 등에 의한 입자손실을 고려해야 한다. 여기서는 나노입자의 샘플링에 대해서만 언급하므로 중력과 관성에 의한 손실은 고려하지 않기로 한다. 그러므로 정체된 공기 중에서 나노입자를 샘플링할 경우 특별히 고려할 사항은 없으며, 단지 샘플링 프로브나 샘플링 튜브

가 정전기를 띄지 않는 금속성 재질을 사용하기 바란다. 나노입자의 경우 하전이 되어 있으면 매우 쉽게 정전기를 띤 샘플링 튜브 내부에 부착될 수 있다. 특히, 테플론(Teflon) 튜브의 경우 나노입자들은 테플론 튜브 내부에 잘 부착되어 계측기까지 도달하는 확률이 적다.



[그림 5] Aniso-axial sampling cases (a) iso-kinetic sampling, (b) sub-isokinetic sampling, (c) super-isokinetic sampling

흐르는 공기에서 샘플링

흐르는 공기 중에서 입자를 샘플링할 경우 샘플링 프로브 주위의 공기 흐름 속도와 프로브 내부의 공기 흐름 속도를 일치시켜서 샘플링하는 것이 좋다. 이와 같은 샘플링을 등속 샘플링(Iso-kinetic sampling)이라 한다. 그러나 나노입자의 경우 입자의 크기가 아주 작아 유속이 매우 빠른 특수한 상황이 아니고는 크게 신경을 안 써도 된다. 만약 유속이 매우 크면 입자의 Stokes Number($Stk = \frac{D_p^2 \rho_p C_c \cdot U}{18 \mu D}$)가 0.01 이하 되는 조건을 만들면 Aspiration efficiency가 거의 90% 이상이 된다.¹⁾ 여기서 D_p 는 입자의 직경, ρ_p 는 입자의 밀도, C_c 는 Cunningham slip correction factor, U 는 프로브 샘플링 공기의 평균 속도, μ 는 공기의 점성계수, D 는 샘플링 프로브의 직경이다. [그림 4]에서 U_0 는 흐르는 공기의 유속이다.

흐르는 공기에서 비등축 샘플링

[그림 5]는 흐르는 공기 중에서 샘플링 프로브가 공기의 흐름 방향과 일정한 각도를 유지하고 샘플링할 경우를 보여주고 있다. [그림 5] (a)

는 Aspiration Angle이 θ 이고 프로브 내의 유속과 프로브 주위의 유속이 동일한 Isokinetic 샘플링의 경우를 보여주고 있다. [그림 5] (b)의 경우는 Sub-isokinetic의 경우를, [그림 5] (c)의 경우는 Super-isokinetic의 경우를 보여주고 있다.

[그림 6]은 Aspiration 각도와 샘플링 유속에 따른 Aspiration Efficiency를 보여주고 있다. 이 연구결과에서도 볼 수 있듯이 Stokes Number가 0.01 이하면 거의 완벽한 Aspiration 효율을 얻을 수 있다. [그림 7]은 Aspiration Angle과 샘플링 유속의 변화에 따른

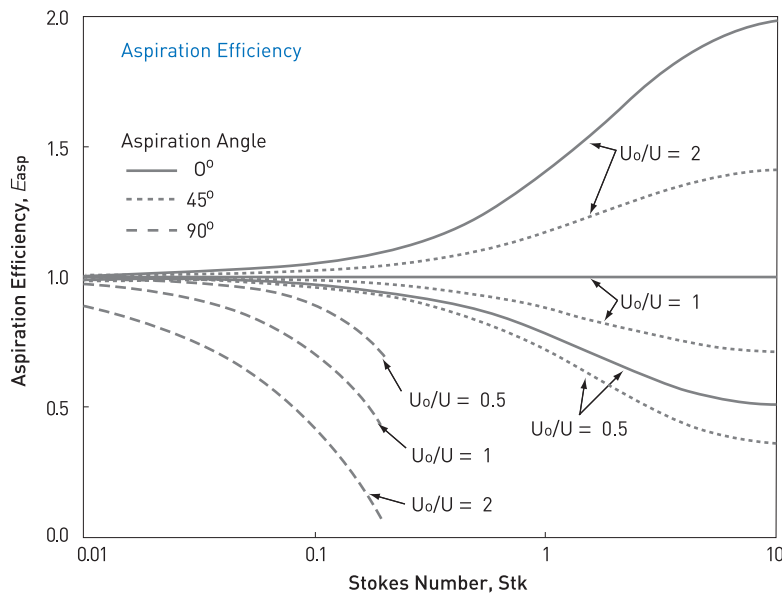
Transmission Efficiency의 변화를 보여주고 있다. 이 연구결과에서도 Stokes Number가 0.01 이하면 거의 완벽한 Transmission 효율을 얻을 수 있다.

샘플링 프로브 내 층류 유동에 의한 확산 손실

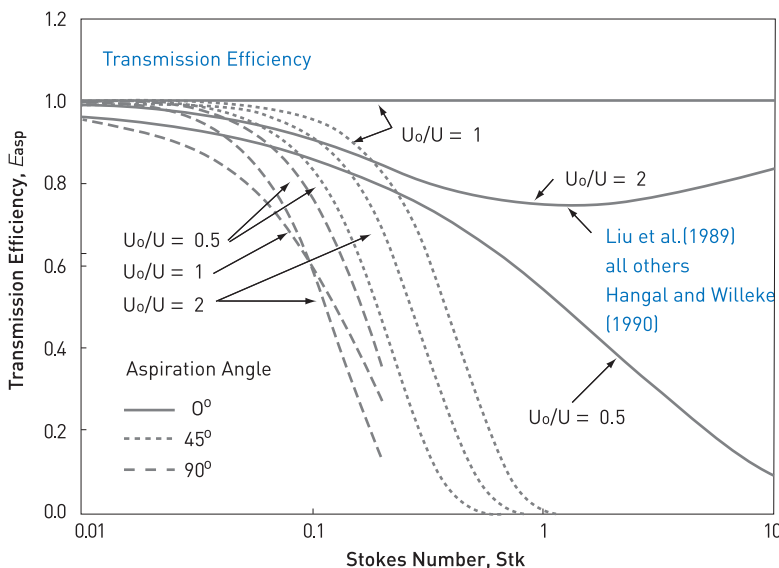
프로브 내의 유동에서 Reynolds 수가 2,000 이하가 되면 일반적으로 층류 유동이라 할 수 있다. 이때 발생할 수 있는 입자의 손실은 브라운 확산에 의한 벽면 침착에 의한 손실을 볼 수 있다. 브라운 운동에 의한 확산효과의 무차원 인자는 다음과 같이 정의된다.

$$\xi = \frac{D \cdot L}{\bar{V} \cdot R^2} = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{Q}$$

여기서 D 는 입자의 확산계수, L 은 유동 방향의 길이, $\bar{V}$ 는 튜브 내 평균유속, R 은 튜브의 반경이다. 만약 샘플링 튜브의 단면이 원형이라면 무차원 인자 ξ 는 튜브 내에 흐르는 유량 Q 와 튜브의 길이 L 만의 함수로



[그림 6] Aniso-axial sampling의 경우 Aspiration Angle과 프로브 내 샘플링 공기의 유속에 따른 Aspiration 효율²⁾



[그림 7] Aniso-axial sampling의 경우 Aspiration Angle과 프로브 내 샘플링 공기의 유속에 따른 Transmission 효율²³⁾

2) Hangal, S. and K. Willeke. Aspiration efficiency: Unified model for all forward sampling angles. Environ. Sci. Technol. 24:688-91, 1990

3) Liu, B. Y. H., Z. Q. Zhang, and T. H. Kuehn. A numerical study of inertial errors in anisokinetic sampling. J. Aerosol Sci. 20:367-380, 1989

〈표〉 입자 크기에 따른 샘플링 효율

Particle Diameter (μm)	C _c	Diffusion Coefficient D(cm ² /s)	Particle Relaxation Time τ(s)	Terminal Velocity V _{ts} (cm/s)	Stokes Number Stk	η _{asp} Aspiration	η _{trans, gray} Gravitation	η _{trans, inert} Inertia	η _{transport, diff} Diffusion	η _{transport, bend} Bend	η _{total}
0.01	22.616	5.3E-04	6.9E-09	6.8E-06	9.2E-07	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	9.9E+01	1.0E+00	9.9E-01
0.1	2.904	6.9E-06	8.9E-08	8.7E-05	1.2E-05	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
1	1.167	2.8E-07	3.6E-06	3.5E-03	4.8E-04	1.0E+00	9.9E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
10	1.017	2.4E-08	3.1E-04	3.0E-01	4.1E-02	1.2E+00	8.6E-01	9.5E-01	1.0E+00	9.4E-01	9.3E-01
100	1.002	2.4E-09	3.1E-02	3.0E+01	4.1E+00	2.1E+00	1.1E-02	7.6E-01	1.0E+00	0.0E+00	0.0E+00

표시된다. 따라서 튜브의 길이가 일정하고 튜브 내에 흐르는 샘플링 공기의 유량이 같다면 가는 튜브나 굵은 튜브나 튜브 내에서 일어나는 확산에 의한 손실량은 같다. [그림 8]은 샘플링 튜브 또는 Channel 내의 ξ 값 변화에 따른 Transport Efficiency를 보여주고 있다. ξ

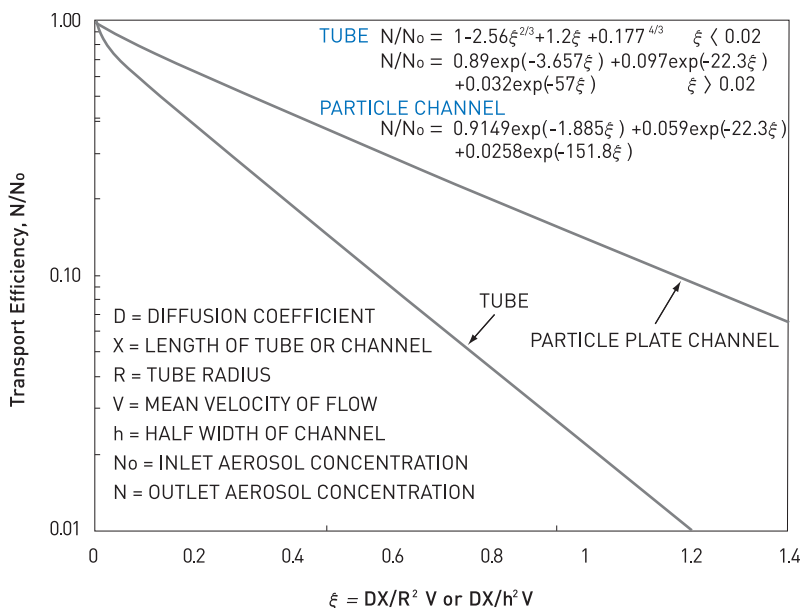
값이 0.4 이하가 되면 손실량이 매우 커지게 된다.

손실 계산 예

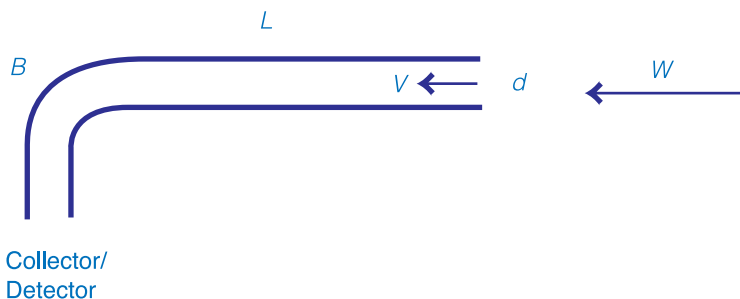
[그림 9]와 같이 프로브의 직경(D)이 1.5cm, 길이(L)가 100cm, 공기의 유속(W)이 440cm/s, 입자의 밀도(ρ)가 1g/cm³이고 샘플링 유속(V)가 200cm/s일 경우, 입자의 샘플링 효율을 계산하면 〈표〉와 같다. 계산결과에서 볼 수 있듯이 100nm 이하 입자의 경우 거의 완벽한 샘플링을 하는 것을 볼 수 있다. 단, 여기서 정전기에 의한 입자의 손실은 계산하지 않았다.

결언

앞에서 나노입자의 샘플링에 따른 효율에 관해 알아보았다. 나노입자는 질량이 매우 작아 관성이나 중력의 영향을 거의 받지 않으며, 분자와 같이 확산과 브라운 운동을 한다. 따라서 확산에 의한 손실만 잘 고려하면 샘플링하는데 큰 어려움은 없다. 그러나 정전기가 있는 상태에서는 입자의 크기가 작으므로 정전기력에 의해 매우 쉽게 이동할 수 있어 이에 대한 고려만 하면 나노입자를 샘플링하는데 다른 큰 문제는 없을 것으로 사료된다. 🌸



[그림 8] Tube와 Channel 내의 Transport Efficiency



[그림 9] 90° 굽어진 샘플링 라인을 사용하여 입자를 샘플링할 경우의 예시

나노물질의 노출관리 필요성과 관리방안



윤충식 교수
서울대학교 보건대학원

나노물질에 대한 과거의 연구가 주로 독성과 관련된 것이었다면 최근 산업보건 분야에서는 노출의 평가방법과 관리방법에 대한 관심이 증대되고 있다. 몇몇 나라에서는 나노물질의 특성에 맞게 관리기준을 도입하거나 제안하고 있으며 정확한 노출평가 및 관리방법에 대한 연구를 수행하고 있다. 우리나라 나노 안전종합관리계획에서 나노물질 취급자의 현황파악과 노출평가 및 관리를 위한 고용노동부의 적극적 역할이 필요하다. 관리방법은 사전주의 원칙을 기본으로 하면서 전통적인 관리방법도 동시에 고려하고 있다.

나노물질 어떻게 분류하며 어떤 크기를 측정하는가?

나노물질이 환경 및 산업보건의 이슈가 되는 이유는 이들의 작은 크기로 인한 건강 영향과 또 각 구성 화학성분의 건강 영향 때문이다. 나노 크기는 어떤 대상이 1~100nm 크기를 가지는 물질로 정의하고, 나노물체(Nano-objects)는 3차원의 외형치수 중 하나, 둘 또는 셋이 나노 크기의 물질을 의미한다[그림 1].

나노물질을 이렇게 정의해도 나노물질이 비산하게 되면 공기 중에서 응집체(Agglomerate, 나노물질이 반데르발스 힘 등으로 약하게 결합되어 표면적이 개별 구성체 표면적과 비슷) 또는 집합체(Aggregate, 강하게 결합되어 개별 입자보다 작은 표면적을 갖음)가 되고, 또한 공기 중 입자 분포가 100nm를 기준으로 명확히 구분되지 않으며, 연속적 분포를 하기 때문에 나노물질의 측정에서 엄밀히 100nm 이하의 크기만을 측정하기보다

는 그보다 큰 입자도 같이 고려하는 것이 일반적이다.

근로자가 노출되는 작업장에서 나노물질은 최근에 문제되는 공학적 나노물질(ENP; Engineered nano particle)뿐만 아니라 전통적 사업장이나 일반환경에서도 발견되어진다. 그럼에도 불구하고 현재의 나노물질의 건강 위해성과 노출 평가는 주로 공학적 나노물질에 초점을 맞추고 있는데 전통적 작업장의 나노물질 평가도 새로운 시각에서 추진될 필요가 있다. <표 1>은 나노물질의 생성방식에 따른 분류와 특히 최근에 문제되는 ENP를 분류한 것이다.

나노입자에 대한 산업보건학적 연구를 할 필요성이 있는가?

나노입자가 갖는 작은 크기의 독특한 성질로 인해 나노입자의 유용성이 주목 받으며 나노입자의 연구가 시작되었는데 동시에 이로 인한 건강 위험성도 염려되어

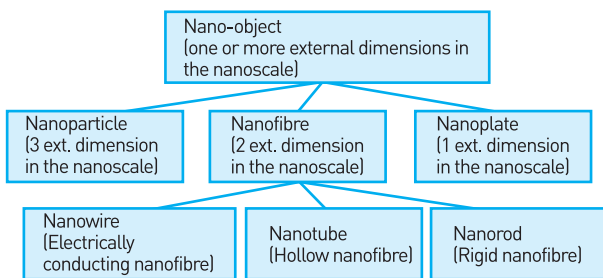
유해성에 대한 연구가 뒤따라 진행되었고, 현재까지 많은 연구결과가 위험의 가능성을 증명하고 있다.

예를 들어, 인체로 들어오는 경로 중 흡입과 피부 흡수가 특히 문제된다고 보고(Kandlikar et al., 2007)하였고, 나노입자는 크기가 작아 폐로 쉽게 들어올 수 있고 피부 흡수가 가능하며 다른 기관(뇌, 간, 혈액 시스템)으로의 이동이 가능하다[그림 2]. 들어온 입자의 건강 위험성은 입자의 직경이나 질량보다는 표면적과 더 상관성이 있는 것으로 나타났다. 또한 역학 연구결과 나노입자는 폐질환을 유발하고, 심장혈관에 영향을 끼치며, 면역 시스템에 손상을 준다고 하였다(Dockey and Pope, 1994; Hagdnagy et al., 1998; Oberdörster et al.

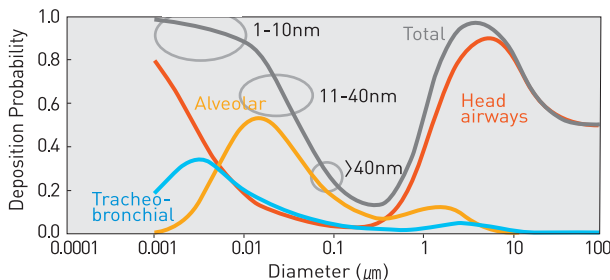
1996).

나노물질의 종류에 따라 특이한 유해성이 나타나는데 최근에는 Carbon Nanotubes(CNTs)는 석면처럼 표면적·물리적 특성, 외형상의 구조가 비슷하며 폐에 미치는 영향이 비슷하다는 것을 발표하기도 하였다. 한편, CdSe(Cadmium-Selenium) 같은 양자점은 주로 해당 금속의 독성 발현을 평가하였는데 입자의 크기뿐만 아니라 양자점을 둘러싼 외피가 금속의 독성 발현에 크게 영향을 준다고도 하였다(Hardman, 2006).

이러한 건강 유해성으로 볼 때 이들을 직접 취급하는 근로자의 노출 평가는 필요하다고 판단된다. 단지, 최근의 일부 연구에 의하면 사업장이나 연구소에서 이들 나노물질에 노출되는 농도가 동물실험 농도보다 낮기 때문에 실제 취급 작업자의 건강 유해성에 대한 의문을 제기하기도 하는데 아직은 명확한 역학자료가 없고, 또 8시간 작업보다는 각 직무(Task)별 노출이 심하게 변하여 이에 대한 평가는 필요하다고 본다. 미국, 유럽 선진국에서도 그간의 독성 연구에 비해 직업적 노출 평가자료가 매우 부족하였고, 또 노출 평가방법에 대한 다양한 방법이 혼재하여 지속적으로 산업보건학적 연구가 필요한 분야이다[그림 3]. 더구나 일반환경이나 시민에 대한 나노물질의 노출보다는 근로자의 노출이 훨씬 심각하므로 관련자료를 축적하는 것은 나노의 4대 강국인 우리나라에서 꼭 필요하다고 판단된다.



[그림 1] 나노물질의 ISO 및 KS 규격에 의한 분류(CATS, 2009, ISO 2008)



[그림 2] Particle diameter(including nanomaterial) and Deposition probability on the respiratory system (ICRP (1994) model: adult, nose breathing, at rest. Courtesy of CDC-NIOSH)

〈표 1〉 Classification of nano particle by production mode and ENP categories

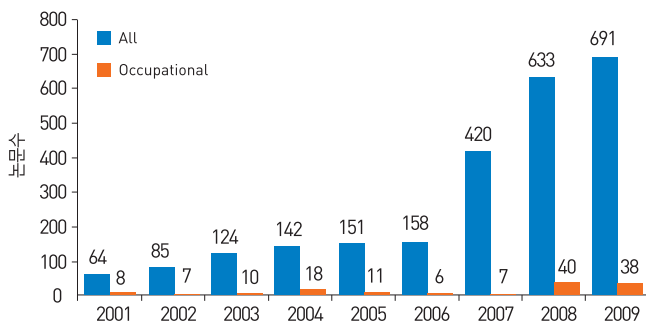
Classification	Category	Examples
Mode of production	Naturally Occurring	Volcanic ash, sea spray, combustion by-product
	Incidental	Welding fume, diesel exhaust
	Engineered nano particle	Nanotube, nanoscale titanium dioxide
ENP (Engineered Nano Particle)	Metals	Silver, Gold, Copper
	Metal oxide & Ceramics	Titanium dioxide, Zinc oxide, Cerium oxide
	Carbon-based	Fullerenes, Nanotubes
	Semiconducting (quantum dots)	CdSe, CdS, ZnS
	Organic	Polymer beads, Dendrimers

나노물질 생산산업의 규모와 노출 가능 근로자는?

나노물질과 관련된 산업은 기존의 산업 분류에서 여러 분야에 걸쳐 있고, 나노기술을 사용하는 산업이 'Nano Industry' 같은 공식적 산업 코드로 분류되어 있지 않기 때문에 나노물질이 산업계에서 정확히 얼마나 생산, 가공, 취급되고 있는지 규명하는 것은 매우 어렵다. 그러나 나

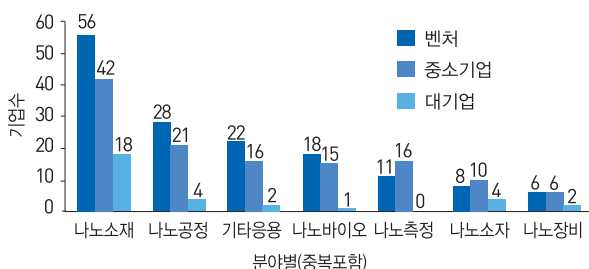
노 관련 산업이 향후 급성장하리라는 전망을 몇몇 연구소에서 하고 있는데 예를 들어 미국의 Lux Research 연구소는 2008년도 보고서에서 2007년도에 1,470억 달러의 나노 관련 시장이 형성되었고 이것이 2015년도에는 2조 5,000억 달러까지 성장하리라고 예상하였다. 하지만 이런 예상치도 연구소마다 큰 차이를 보이고 있어 실재 어느 정도 나노산업이 성장할지는 아직 미지수다.

나노 관련 산업을 정의하기도 어렵거니와 실제로 ENP에 노출 가능한 근로자를 추정하는 것은 더 어렵고 불확실성이 클 수밖에 없다. 몇몇 외국의 문헌을 보면 ENP 노



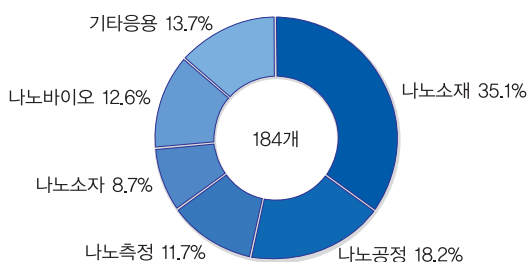
*Source : <http://icon.rice.edu/report.cfm>

[그림 3] Occupationally Relevant Research. Health and Safety for all peer-reviewed nano-EHS papers published between 2000-2009 (blue) and those papers that address some aspect of worker safety (red)



*나노기술연감 2008, 윤충식 등, 2010

[그림 4] 국내 기업 규모에 따른 나노기술 연구 분야 현황

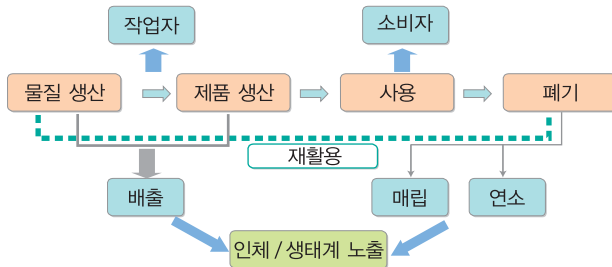


[그림 5] 2009년 국내 나노 기업의 연구 분야

출 근로자를 추정한 자료가 있는데 스위스는 총 근로자의 0.6%인 1,309명이 ENP에 노출이 되고, 취급 사업장에서 평균 2.9명이 노출된다고 추정하였다. 영국에서는 2,000여명 정도가 노출될 수 있다고 추정하였다. 전 세계적으로 2018년도에는 200만명이 노출될 것이라는 보고서도 있다(Schmid et al., 2010; Plunkett, 2009).

우리나라에서도 ENP 취급 사업장 규모와 취급근로자를 파악하는 것은 나노물질의 노출 평가 및 관리에서 매우 중요하다. 2010년도 자료(윤충식 등, 2010)에 의하면 그림 4에서 보는 것처럼 주로 중소기업이나 소규모 연구소에서 나노기술의 연구 분야가 활성화 되어 있고, 국내 나노관련 기업현황을 세부적으로 분류해보면(중복 포함), 연구분야 중 나노소재의 경우 벤처기업 56곳, 중소기업 42곳, 대기업 18곳에서 연구가 이루어지고 있었으며, 세 가지 기업형태 모두 나노소재분야에 가장 많은 기업이 참여하고 있었다. 나노공정의 경우 벤처기업 28곳, 중소기업 21곳, 대기업의 경우 4곳에서 연구가 이루어지고 있었다. 대기업의 경우 전체 업종 중 나노소재 18곳(16%), 나노공정 4곳(8%), 나노소자 4곳(8%), 나노장비 2곳(4%), 기타 응용 2곳(4%), 나노바이오 1곳(2%)에서 연구 활동이 이루어지고 있었다[그림 4].

현재 국내에서는 정확히 나노 관련 노출 가능 근로자가 어느 정도인지 파악되지는 않고 있다. 이는 특히 최근에 매년 나노산업의 생성과 소멸이 빠르고 한 사업장에서 실제 나노물질 취급 근로자의 파악이 어렵기 때문이다. 국내에서는 정부의 강력한 나노산업 육성 정책으로 연구기관의 나노 관련 연구도 활발한데 한국과학기술연구원(KIST), 한국기계연구원(KIMM), 한국표준과학연구원(KRISS), 한국화학연구원(SRICT) 등 18개 기관에서 나노 관련 연구인력이 1,400명 정도된다. 이 중 정규 및 초청·위촉 연구원 중 석사 이상의 학력을 지닌 연구인력의 규모는 1,199명이고, 박사 이상의 정규직 연구원은 478명으로 집계되었다. 또한 연구 장비 운영 등 기술인력을 합하면, 모두 1,483명의 연구자가 정부 출연 연구기관에서 나노기술 연구 개발에 종사하는 것으로 나타났다(윤충식 등, 2010).



[그림 6] 우리나라 나노 안전관리 종합계획상 나노 전주기 안전관리 개념도

우리나라 나노 안전관리 종합계획

우리나라는 NT의 4대 강국으로 나노제품으로는 세계 2위, 나노기술로는 세계 3위로 평가받고 있다. 이에 따라 범정부(교육과학기술부, 고용노동부, 지식경제부, 환경부, 식품의약품안전청)적으로 나노물질 안전관리 종합계획(2012-2016)을 2011년에 수립하였다. 범 정부적 차원에서는 UNEP(SAICM)에서 나노물질 이슈화, OECD, ISO 등 국제기구에서 나노 안전성 평가작업 및 국제 표준 설정, 주요 선진국의 규제 강화, 향후 제품 수출 시 무역 장벽 요인 등을 염두에 두고 있다. 그리고 전반적 국민 건강과 생태계를 보호하고 관련 산업 발전을 지원함을 목적으로 한다. 그러나 실제 1차적 보호대상은 근로자임을 간과하고 있으며, 이런 측면에서 고용노동부의 적극적 역할이 필요하다. [그림 6]은 국가의 나노 안전관리 종합계획에 나타난 나노 전주기 안전관리 개념도인데 실제로 고농도 노출로 인한 1차적인 피해 가능성이 있는 그룹은 근로자이다. 이에 대한 적극적 연구 및 관리방안이 논의되어야 하는데 종합계획에 보면 이에 대한 청사진이 매우 미흡하게 제시되어 있다.

나노물질에 대한 사업장 노출기준

현재 나노물질에 대한 직업적 노출기준을 설정하려는 노력이 이루어지고 있다. 그 예로, 미국의 NIOSH는 2011년에 미세 TiO_2 (호흡성 분진에 해당하는 크기)에 대해서는 REL(Recommended Exposure Limit)을 $2.4\text{mg}/\text{m}^3$, ENP를 포함한 초미세입자(Ultrafine)의 TiO_2 (100 nm 이하로

나노 크기를 의미함)에 대해서는 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 을 제시하였다. 발암성도 입자 크기에 따라 달라진다고 한 점이 독특한데 초미세 입자의 TiO_2 는 직업적 발암성 물질로 구분하고 있고, 미세 TiO_2 에 대해서는 증거가 불충분하다고 하였다(NIOSH, 2011). 이런 기준은 미국 OSHA의 TiO_2 에 대한 허용기준 PEL(Permissible Exposure Limit)인 $15\text{mg}/\text{m}^3$, 우리나라 노출기준인 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 에 비해 매우 낮은 것이다.

미국 NIOSH는 2010년도에는 카본나노튜브나 카본나노섬유의 기준을 $7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 제안했는데 이는 NIOSH 분석방법 5040으로 분석하는 탄소 원소(Elemental Carbon)의 8시간 평균의 정량한계였기 때문이다.

독일 연방직업안전보건연구소(BAuA; The German Federal Institute for Occupational Safety and Health)는 복사기에서 방출되는 입자 크기가 매우 작은, 토너 발생 입자에 대해서 호흡성 크기의 분진은 Tolerable risk 기준 $0.6\text{mg}/\text{m}^3$ 으로, Acceptable risk 기준 $0.06\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 설정하였다. 2018년에는 10배 낮은 수준인 $0.006\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 할 계획이다. 아울러 동 연구소는 나노 취급 사업장에서 배경 농도 이상으로 발생하여 근로자가 노출되는 것을 방지하고자 벤치마크 농도를 제안하였다. 즉, 밀도가 $6\text{g}/\text{cm}^3$ 이상인 경우 $20,000\text{개}/\text{cm}^3$ 를 초과하지 말고, 밀도가 이보다 작은 경우는 $40,000\text{개}/\text{cm}^3$ 를 초과하지 말도록 하였으며, 카본나노튜브(CNT)에 대해서는 $10,000\text{개}/\text{cm}^3$ 를 제안하였다.

영국에서는 건강 영향에 근거하지는 않았지만 벤치마크 기준으로 나노입자에 오염된 지역은 $20,000\text{ particles}/\text{cm}^3$ 를 제시하였고, 나노섬유에 대해서는 석면처럼 $10,000\text{ fibres}/\text{m}^3$ 를 제시하였다(BSI, 2007).

국내 연구진인 유일재 박사팀은 2011년 8월 OECD 제조 나노물질 작업반 회의와 2011 9차 OECD 제조 나노물질 작업반 위해성평가그룹 회의에서 은나노의 작업환경 노출기준을 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 제시하였다.

이상과 같이 최근 들어 나노물질의 직업적 노출에 대한 관심이 높아지고 작업자의 노출을 줄이기 위한 노출기준의 설정 및 관리방법에 노력을 쏟고 있음을 알 수 있다.

나노물질의 관리

전통적 관리방법

나노물질 노출관리의 기본 방향은 사전주의 원칙(Precautionary Principle)이 적용되어야 한다. 나노물질의 노출과 근로자의 건강 손상에 대한 인과관계가 학문적으로 뚜렷하지 않더라도 그 위험성에 대한 증거들이 증가하고 있고, 또한 사용량이 증가하고 있으므로 가능한 노출을 최소화하기 위한 정책이 취해져야 함을 의미한다.

나노물질 취급과 관련한 사전주의 원칙이란, 현재까지 잠재적 나노물질의 안전보건 위험성에 대한 과학적 지식이 불완전함으로 인해 완전한 과학적 증거가 나올 때까지 아무런 조치를 취하지 않고 기다린다는 것이 아니라 오히려 과학적 증거의 불확정성에 의해 모든 가능한 비용-효과적인 사전 조치를 취하는 것을 의미한다. 또한 사전주의 원칙은 안전보건에 관한 과학적 증거가 나올 때까지 나노물질 취급을 제한하는 것이 아니라 유해성에 대한 제한된 정보를 고려하여 작업자에게 적절한 보호대책을 제공하여야 함을 의미한다.

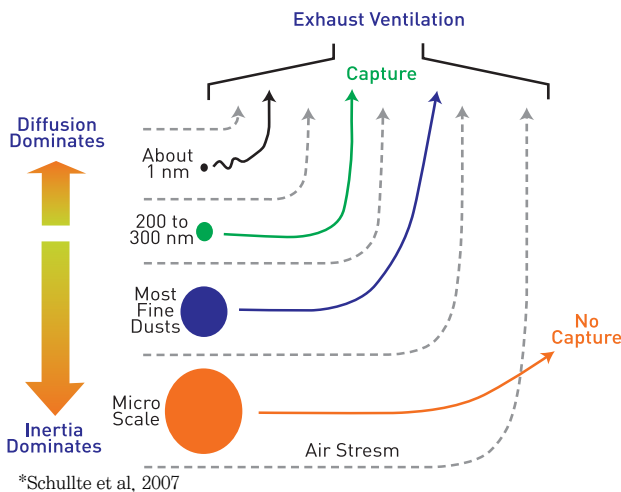
나노물질의 노출을 관리하는 순위는 설계단계에서의 고려사항 → 나노물질 발생의 최소화 → 발생원의 밀폐 및 격리 → 공학적 대책(국소배기 및 전체환기) 순으로 고려한다. 개인보호구는 원칙적으로 이 세 단계 방법을 적용해도 노출 가능성이 있을 때 사용할 수 있으며, 그

경우 개인보호구 착용방법을 잘 숙지하여야 한다. 더불어 나노물질에 대한 교육, 행정적 관리, 라벨링, 작업장 청결 유지 등의 방법은 위의 어느 단계에서든 동시에 고려되어야 한다. 특히 독성이나 건강 위험성이 잘 알려진 물질로부터 나노물질을 제조하는 경우에는 알려진 정보를 잘 활용하여 발생을 최소화한다.

설계단계에서의 고려사항이란 공장 부지의 선정, 공정의 배치, 생산, 포장, 저장, 운반 등 각 단계에서 노출 위험을 최소화할 수 있는 조치들이 설계단계에서 고려되어야 한다. 또한 일부 폭발성 금속나노분말에 대한 폭발 방지대책이 고려되어야 한다. 효과적인 설계는 추후 노출을 줄이는 데 드는 노력과 비용을 대폭 절감할 수 있다. 나노물질 발생의 최소화란 나노물질의 발생원에서 발생을 최소화하기 위하여 공기 중 비산을 억제하기 위한 작업방법으로의 대체, 공정의 변경을 강구하도록 한다.

예들 들어, 먼지의 비산이 많이 되는 개방 공간에서의 털기작업 억제, 배취작업의 연속공정으로의 대체, 건식작업의 습식작업으로의 대체 등은 발생을 최소화할 수 있는 방법이다. 나노물질의 공기 중 비산 가능성은 건조한 나노분말상태 > 나노입자의 용액 > 다른 거대 분자에 부착된 나노입자 순이다.

발생원의 밀폐 및 격리란, 가능한 나노물질 취급 장소나 공정을 완전 또는 부분 밀폐하여 공기 중으로 나노물질이 비산되지 않도록 하는 것을 말한다. 또한 작업자와



[그림 7] 입자 크기에 따른 국소배기장치의 포집 능력

Probability Score

	Extremely Unlikely (0-25)	Less Likely (26-50)	Likely (51-75)	Probable (76-100)
Severity Score				
Very High (76-100)	RL 3	RL 3	RL 4	RL 4
High (51-75)	RL 2	RL 2	RL 3	RL 4
Medium (26-50)	RL 1	RL 1	RL 2	RL 3
Low (0-25)	RL 1	RL 1	RL 1	RL 2

*RL 1: 일반 환기로 제어, RL 2: 흡후드나 국소배기장치 이용, RL 3: 완전 포위(밀폐), RL 4: 전문가의 조언

[그림 8] 위험도 점수(Severity Score)와 노출 가능성 점수(Probability Score)로 구성된 나노 밴드 매트릭스

발생원을 격리시키거나 운전 조작과 공정 라인을 격리시켜 불필요한 노출을 줄이도록 한다.

공학적 대책(환기)으로도 나노물질이 잘 관리된다는 보고가 많다. 국소배기장치나 전체환기장치를 설치하는데 전체환기장치보다는 국소배기장치를 우선시해야 하며, 배기장치의 성능은 산업안전보건법에서 규정하고 있는 입자상 물질을 제어하는 흡 후드, 글러브 박스 및 기타 후드의 성능에 준하도록 한다(그림 7). 나노물질을 제조하기 위한 화학반응 용기나 용융로는 반드시 국소배기장치가 되어 있어야 한다. 후드의 공기정화기는 반드시 HEPA 필터 이상의 여과 장치를 사용하여야 한다.

이상의 대책으로도 나노물질의 노출이 잘 관리되지 않으면 개인보호구를 착용하도록 한다. 사용되는 개인보호구로는 보호의, 방진마스크, 보호장갑, 보호안경, 안전화 등이 있으며, 이들의 착용방법 및 유지관리는 고용노동부 고시의 규정에 따른다. 호흡기 노출 가능 근로자는 '특급' 이상의 방진마스크를 착용하여야 한다.

이외에도 나노물질에 대한 근로자의 알권리 충족을 위한 교육, 행정적 대책, 작업장 청결 유지, 작업 장비 및 환기장치 유지관리, 개인 위생 및 나노물질의 안전한 저장 및 폐기방법 등이 고려되어야 한다.

나노 밴드들을 이용한 위험성 평가 및 관리방법

나노물질에 대해서는 노출 평가가 어렵고 관련 독성 정보가 명확하지 않은 면이 많다. 이런 불확실성이 있음에도 불구하고 관리의 필요성이 제기됨에 따라 개발된 것이 나노 밴드틀이다(그림 8). 나노 밴드틀은 영국의 COSHH(Control of Substance Hazardous to Health)에서 개발한 밴드틀을 미국의 Paik 등이 개발하여 발전시킨 것이다(Paik et al, 2008).

나노 밴드틀은 기본적으로 '4 X 4 위험성 매트릭스'로 구성되어 있다(그림 8). 매트릭스의 y축에는 나노물질의 독성에 기반을 둔 위중도(severity)가, x축에는 취급자의 노출 가능성(Probability)이 있고, 각 축은 4단계로 구성된다. 위중도와 노출 가능성은 각각 여러 범주의 평

가 항목으로 구성되며, 이를 모두 평가하여 가장 위험하거나 노출 가능성이 매우 높으면 최고 점수가 100점으로 구성되도록 하였다.

점수 할당에서 취급하는 특정 나노물질에 대한 위중도의 자료가 많지 않기 때문에 y축의 어느 단계에 포함시킬지 여부를 결정하는 것이 매우 어려운데 이용 가능한 정보를 이용하되 가중치를 주어 결정한다. 어느 항목에 잘 알려진 정보가 없는 경우(Unknown) 최고 점수의 75%를 주도록 하였다. 🌸

참고문헌

- 나노기술연감 2009, 한국과학기술정보연구정보원, 교육과학기술부, 2010.
- 윤충식, 나노물질의 측정전략의 주요 쟁점, 한국환경보건학회지, 37(1), 73-79, 2010.
- British Standard Institute (BSI), "Nanotechnologies - Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanoparticles," PD 6699-2:2007, UK, 2007.
- Dockey DW, Pope AC. Acute respiratory effects of particulate air pollution. Annu Rev Public Health; 15: 107-32, 1994.
- International Organization for Standardization (ISO) : ISO/TS 27687, Nanotechnologies-terminology and definitions for nano-objects-nanoparticle, nanofiber and nanoplate. International Organization for Standardization (ISO/TR 27628:2007 (E)). Switzerland, 1-5, 2008.
- Korean Agency for Technology and Standards (KATS) : Nanotechnologies-terminology and definitions for nano-objects-nanoparticle, nanofibre and nanoplate, KSA ISO TS 27687:2009, Korean Agency for Technology and Standards (CATS), 1-4, 2009.
- Hardman R. A toxicologic review of quantum dots: toxicity depends on physicochemical and environmental factors. Environmental Health Perspectives. 114:165-172, 2006.
- Hagdnagy W, Stiller-Winkler R, Kainka R, Ranft U, Idel H. Influence of urban air pollution on the immune system of children. J Aerosol Sci; 2: 997-8, 1998.
- NIOSH Current Intelligence Bulletin: Evaluation of Health Hazard and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide, 2011.
- Oberdörster G, Finkelstein J, Ferin J, Godleski J, Chang LY, Gelin R, Johnston C, Crapo ID. Ultrafine particles as a potential environmental health hazard. Studies with model particles. Chest; 109 (suppl.3):68-9, 1996.
- Plunkett, J. W. Nanotechnology & MEMS Industry Almanac 2009 [Electronic version], Plunkett Research Ltd, 2009.
- Schmid, K., Danuser B. & Riediker. Nanoparticle usage and protection measures in the manufacturing industry - A representative survey. J. Occupational and Environmental Hygiene. 7:224-232, 2010.
- Paik SY, Zalk DM, Swuste P. Application of a Pilot Control Banding Tool for Risk Level Assessment and Control of Nanoparticle Exposures. Ann. Occup. Hyg., 52(6):419-428, 2008.

나노물질의 유해 · 위험성에 대한 산업안전보건법의 대응 방향



피용호 교수(법학박사)
한남대학교 법과대학

나노기술의 급속한 발전에도 불구하고, 예컨대 탄소나노튜브를 흡입하게 되면 석면과 마찬가지로 폐암 발생 가능성이 매우 높아 유해 · 위험하므로 ‘제2의 석면’이 될 수 있다는 연구결과에서 파악되는 바와 같이 나노물질의 안전성이 끊임없이 의심받고 있다는 점은 결코 간과되어서는 아니 될 것이다. ‘사전 예방의 원칙’을 고려한다면 오히려 안전성이 증명될 때까지는 위험한 것이라는 시각과 그에 입각한 대처가 필요하다고 보아야 할 것인데, 나노기술을 둘러싼 진흥과 규제의 과학기술법제 사이에서 과연 산업안전보건법이 머뭇거릴 겨를이 있는 것인지 고민하지 않을 수 없다. 이러한 고민에서 비롯하여 나노물질을 취급하는 근로자 보호와 관련한 현행 산업법상의 미진함을 지적하고 그 대응 방향을 제시해 보았다.

들어가며

과학기술의 발달과 그로부터 비롯된 변화가 인간의 삶의 수준을 결정하는 중요한 요소가 된다는 점을 고려하여 볼 때, 불과 몇 해 전만하더라도 그 용어조차 생소하기 그지없었던 나노기술(Nanotechnology)의 급속한 발전과 이에 뒤따르는 긍정적 효과는 분명 환영할 만한 것이라 할 수 있다.¹⁾ 그러나 나노물질(Nanomaterial)이 인체에 흡수 · 축적되어 세포의 염증 반응을 유발하거나 호흡기를 통하여 신경계로 이동 또는 혈관벽을 통과하여 건강 피해를 일으킬 수 있고, 대기 · 토양 · 수질 오염, 생태계 파괴 등의 원인이 될 수 있다는 일련의 연구결과²⁾에 근거하여 나노물질의

안전성이 끊임없이 의심받고 있다는 점은 나노기술을 ‘제2의 산업혁명’³⁾이라 칭하며 그 기술 개발이 최우선이라고 주장하는 입장에서조차 결코 간과되어서는 아니 될 것이다. 특히 탄소나노튜브(CNT; Carbon Nanotube)를 흡입하게 되면 석면과 마찬가지로 폐암 발생 가능성이 매우 높아 유해 · 위험하므로 ‘제2의 석면’이 될 수 있다는 연구결과⁴⁾나 은나노 입자의 흡입 독성을 동물실험한 결과 폐와 간에 독성 영향을 미치게 된다는 실험결과⁵⁾ 등은 우리를 더욱 걱정스럽게 하기에 충분하다.

그렇다면 나노물질을 취급하는 근로자나 연구자에 대한 산업안전보건법(이하 ‘산안법’이라 함)적 보호는 작금 어떠한가? 현재 나노물질의 위험성에 관한 연구가 기초적인 수준에 머물고 있는 것으로 평가⁶⁾되고, 나노물질이 환경, 건강, 생태계 등에 미치는 영향에 관하여 학자에 따라 상당한 견해차를 보이고 있다.⁷⁾ 또한 위험성이 완벽하게 증명되지 않았다고 해서 절대로

* 이 글은 필자의 선행 연구[‘나노물질 취급 근로자 보호를 위한 노동법적 대응과 과제’, 동아법학 제50호, 동아대학교 법학연구소, 2011]에서 연구된 바를 글의 전개 방향에서 유의미하다고 판단되는 범위 내로 요약 · 정리한 것임을 밝힌다.

안전한 것이라고는 할 수 없다. 이는 매우 당연한 것이며, '사전 예방의 원칙'을 고려한다면 오히려 안전성이 증명될 때까지는 위험한 것이라는 시각과 그에 입각한 대처가 필요하다고 보아야 한다. 그런데도 나노기술을 둘러싼 진흥과 규제 과학기술법제 사이에서 과연 산안법이 머뭇거릴 겨를이 있는 것인지 고민하지 아니할 수 없다. 이러한 고민에서 비롯하여, 본고에서는 먼저 나노물질의 유해·위험성에 관하여 살펴보고, 나노물질을 취급하는 근로자 보호와 관련한 현행 산안법상의 미진함을 지적, 그 대응 방향을 제시해 보기로 한다.

나노물질의 유해·위험성

현재 나노물질의 위험성에 관하여 주로 언급되고 있는 것은 건강과 환경에 심각한 피해를 줄 수 있다는 점이다.⁸⁾ 나노입자가 피부를 통하여 흡수되거나, 입을 통한 경구 섭취, 또는 호흡 시 흡입을 통하여 인체에 충분히 들어갈 수 있는 크기라는 사실에 대해서는 논란의 여지가 없다고 본다. 그런데 그 크기가 워낙 작기 때문에 폐나 간 조직을 쉽게 통과할 수 있을 뿐더러 심지어 혈뇌장벽(Blood-brain barrier)을 통과하여 뇌세포를 건드릴 수 있다고 한다.⁹⁾ 뇌의 경우는 바로 그 혈뇌장벽이 있기 때문에 아무 물질이나 침투할 수 없으며, 따라서 뇌로는 혈액에 녹아서 뇌로 이동하는 특정 단백질에 결합하지 아니하면 결코 들어갈 수 없는 것으로 이해되어 왔다. 그러한 이해에 기초하는 경우 나노입자는 뇌에서 분해된 상태였어야 할 것이다. 그러나 연구의 결과는 그간의 이해와는 전혀 다르게, 나노입자가 후각 신경전달물질(후각물질을 포착해 뇌의 후각 담당 영역으로 신호를 전달함)과 함께 이동하여 뇌로 침투할 수 있다는 것을 보여주고 있다.¹⁰⁾

인근 마트에서도 쉽게 만날 수 있는 주름방지 크림, 스킨케어 파우더, 자외선차단제 등 나노 화장품은 그 시장 규모만 하여도 연간 최소 10억 달러 이상이다. 하

지만 나노물질이 피부를 통하여 인체에 흡수되어 그 독성 때문에, 특히 상처 난 부위에 바르게 되면 면역 체계나 피부세포의 DNA를 손상시킬 수 있다는 사실조차 소비자에게 제대로 알려지지 않은 채 점차로 시장점유율을 높여가고 있는 추세이다.¹¹⁾

인체의 조직 내부에서 병변을 일으킬 수 있다는 사실 자체만으로도 두렵지만, 더 놀라운 것은 인체 내 어디라도 이동이 가능하기 때문에 언제 어디서 문제를 일으키게 될는지 전혀 알 수가 없다는 점이다. 그보다도 독

1) 나노는 10억 분의 1을 나타내는 접두어로서, 그리스어의 난쟁이(nanos)에서 유래하였다고 한다[Gregory Mandel, Nanotechnology Governance, 59 Ala. L. Rev. 1323, 1328 (2008)]. 1나노미터(1nm)는 10억 분의 1미터(10^{-9} m)로서, 머리카락 굵기($10\sim50\mu\text{m}$)의 약 8~10만 분의 1 정도이며, 원자 3~4개에 해당하는 정도의 크기이다[한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2005년도 나노기술영향 평가 보고서, 2005. 12. 19쪽]. 적혈구보다 1,000배 정도 작으며, DNA 지름의 절반 정도에 해당하는 실로 작은 크기[*EPA, Nanotechnology White Paper*, p.5, 2007]. 나노기술이라는 표현은 바로 이 길이 내지 크기를 염두에 둔 것으로 이해된다. 한편, 영국 왕립협회(Royal Society)에 따르면 나노기술이라는 용어는 1974년 일본 동경대학의 연구원인 Noro Taniguchi가 '나노미터 수준으로 정교하게 물질을 만드는 능력'을 언급하면서 처음으로 사용되었다고 한다[*The United Kingdom Royal Society & The Royal Academy of Engineering, Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*, p.5, 2004]. 이후 나노기술에 대한 정의는 국가마다 조금씩 차이가 있지만, '나노미터 수준의 물질에 대한 이해와 제어를 가능하게 하는 과학기술'로 요약될 수 있을 것으로 보인다. 우리나라의 경우, 2002년 12월 26일 제정된 나노기술개발촉진법에 명시적 정의규정을 두고 있다(법제2조 제1호 참조).

2) J. Balbus et al., Getting Nanotechnology Right the First Time, 21 ISSUES IN SCI. & TECH., July 9, 2005, at 67; Robin Fretwell Wilson, Nanotechnology: The Challenge of Regulating Known Unknowns, 34 J.L. MED. & ETHICS 704, 708 (2006); Andrew D. Maynard & Eileen D. Kuempel, Airborne Nanostructured Particles and Occupational Health, 7 J. NANOPARTICLE RESEARCH 578, 607 (2005)

3) Gregory Mandel, supra note 1, at 1329

4) J. Peter Tomsasco, Comment, Manufactured Nanomaterials: Avoiding TSCA and OSHA Violations for Potentially Hazardous Substances, 33 B.C. ENVTL. AFF. L. REV. 205, 216 (2006); Barnaby J. Feder, Nanotechnology Has Arrived: A Serious Opposition is Forming, N.Y. TIMES, Aug. 19, 2002, at C3

5) 식품의약품안전청, 「나노물질의 흡입독성 평가기술 개발」(2007. 11), pp.132~134

6) KISTEP, 앞의 보고서, p.103

7) EPA, supra note 1, at 52

8) 각주 2) 참조

9) J. C. Davies, Woodrow Wilson International Center for Scholars, Managing the Effects of Nanotechnology, p.9 (2006)

10) 박마용, '나노기술 미래의 시한폭탄인가', 과학동아 2004년 3월호, p.96

11) A. Nel et al., Toxic Potential of Materials at the Nanolevel, 311 SCIENCE 622, 625 (2006)

성에 미치는 입자 크기의 역할에 관한 연구에 따르면 질량기준으로 보았을 때 초미세 크기나 나노 크기의 입자는 동일한 화학 조성을 가진 큰 크기의 입자에 비하여 보다 강한 독성을 가지게 된다는 보고¹²⁾나, 앞서 언급한 것처럼 탄소나노튜브 등의 흡입으로 인한 발암 가능성이 높다는 실험결과는 일종의 ‘공포’라고 하지 않을 수 없다.

아울러 나노물질은 대기, 토양, 수질 오염을 일으킬 수 있는 것으로 알려져 있는데, 특히 개별적으로는 불용성이지만 결합되면 수용성으로 성질이 변하여 살균·살충제와 같은 작용을 하게 된다고 하며,¹³⁾ 먹이사슬을 구성하는 박테리아를 사멸케 함으로써 생태계에 커다란 위협으로 인식될 수밖에 없다고 한다. 현재의 기술 수준으로는 이러한 오염원이 되는 나노물질을 걸러서 제거하기란 거의 불가능하고 신뢰하기 어려울 뿐더러 시도 자체에 상당한 비용이 소요되는 상태에 머물고 있다.¹⁴⁾¹⁵⁾

산업안전보건법의 대응과 과제

2010년 기준 우리나라의 나노기술 시장은 전체 산업 규모에서 약 5.5%를 차지하는 약 104조원에 달하며, 향후 10년 뒤에는 약 600조원대로 성장할 것이라고 전망되는 가운데,¹⁶⁾ 나노물질의 유해·위험성에 관한 논의 또한 점차로 확산되어 가는 분위기로 파악된다. 예컨대 고용노동부, 환경부 등 8개 부처가 공동으로 ‘국가화학물질관리 기본계획’을 마련하고 나노물질의 위해성·생태독성 평가 등을 강화해 나가기로 한 것은 늦은 감이 있으나 바람직하다고 할 수 있을 것이다.¹⁷⁾ 그러나 문제의 본질은 나노물질의 유해·위험성을 제대로 파악·인식하기도 전에 너무도 많은 나노제품이 무서운 속도로 생산되어 소비되고 있다는 점이다.

나노물질의 유해·위험성에 대한 경고에 아랑곳하지 않는 듯 하루가 다르게 각종 생활용품에서 어린이용품,

식품에 이르기까지 다양한 제품이 쏟아져 나오고 있지만, 나노물질의 유해·위험성으로부터 근로자의 안전을 책임져야 할 고용노동부 및 관련 부처에서는 나노물질을 취급하는 작업장 및 근로자의 실태조차 파악하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 실정에서 나노물질을 취급하는 근로자를 그 유해·위험성으로부터 사전적으로 보호할 수 있는 법적 장치는 근로자의 안전과 보건을 유지·증진함을 목적으로 하는 산안법이 유일하지만, 나노물질이라는 ‘새로운 강적’에 맞서기에는 여러 모로 역부족인 듯하다. 그 미진함과 대응 방향에 대하여 골자를 추려보면 다음과 같다.

최소한의 규제기준 마련 및 지속적 보완

산안법을 통하여 나노기술 연구자와 생산 근로자 등 소위 ‘직업형 노출’이 규제되려면 최소한 동법 시행규칙 ‘별표 11의 3 유해인자별 노출 농도의 허용기준’이 마련되어야 하고, 또한 작업환경측정이라도 할 수 있으려면 ‘별표 11의 4 작업환경측정대상 유해인자’에 해당되어야 한다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 나노물질의 유해·위험성 연구가 아직은 미흡한 때문



나노제품은 하루가 다르게 각종 생활용품에서 어린이용품, 식품에 이르기까지 다양한 제품이 쏟아져 나오고 있다.

인지 나노물질의 직업형 노출이 산안법상 규제될 수 있는 전제 조건인 최소한의 규제기준이 마련되지 못하고 있다. 뿐만 아니라 산화아연(Zinc oxide)이나 이산화티타늄(Titanium dioxide)은 그 대상으로 규정되어 있지만, 나노 크기가 되면 현재로서는 작업환경측정에 활용할 수 있는 측정장비도 없고, 따라서 허용기준도 제한적으로 밖에 마련될 수 없는 상황이다. 나노 크기가 되어서야 위험성을 띄게 되는 물질의 경우, 이에 대응할 수 없다는 것인데, 이것이 의미하는 바는 유해·위험한 나노물질을 취급하는 근로자를 현행 산안법상으로는 전혀 보호하지 못한다는 사실이다.

미국도 그다지 합리적으로 대응하고 있는 것으로 보이지 않는데, 직업안전보건관리국(OHSA)의 경우 직업안전보건법(Occupational Safety and Health Act)을 통하여 작업장에서의 유해·위험물질에 대한 규제권을 갖지만, 나노입자의 독성 노출 허용치를 결정하지 못하고 있는 실정이며, 기준을 정한다 하더라도 예산이 턱없이 부족하여 현실적인 규제는 불가능할 것이라는 예측이 지배적인 것으로 파악된다.¹⁸⁾

이러한 실정의 주된 원인은 1차적으로는 나노물질의 변화무쌍한 특성에 기인하는 것이겠지만, 다른 한편 유해·위험성 규제를 절대적으로 압도하는 개발 우선 정책을 지적하지 아니할 수 없다. 예컨대 미국의 경우, 2009년 국가나노기술발전계획(NNI: National Nanotechnology Initiative) 예산은 15억 달러에 이르지만 나노기술 관련 환경·보건·안전에 관한 R&D는 7,600만 달러에 그치고 있다.¹⁹⁾ 2005년 3,500만 달러였던 것에 비하면 약 두 배 이상 증액되기는 했어도 전체 예산의 약 5% 수준에 해당하는 상당히 적은 금액만이 배정되고 있음을 볼 때 개발 우선의 입장이 확실한 것으로 보인다.

우리나라의 경우는 국가과학기술위원회에 보고된 2008년 나노기술 분야 정부 투자액은 총 2,700억원이며, 식품의약품안전청에 나노물질 독성 기반 연구, 식품 안전성 제고, 의약품 안정성 제고 등의 목적으로 배

정된 40억원이 전부이다.²⁰⁾ 이는 환경부에 배정된 50억원 중 일부가 나노기술의 환경 노출 평가 및 안정성 확보를 위한 연구에 쓰인다고 하여도 터무니없이 부족한 것이며, 기술 개발과 안전성 확보가 별개일 수 없다고 보는 입장에서는 도무지 이해하기 어렵다.

현재 나노기술 분야 세계 4위 수준으로 평가되고 있는 우리나라가 2015년 나노기술 선진 3대국 진입이라는 목표를 진정 달성하기 위해서는 시급히 그 안전성 연구에 본격적으로 착수하여야 마땅하다. 나노기술 분야 정부 예산의 일정 비율을 나노물질의 위험성 내지 안전성 연구에 의무적으로 할당하는 방법도 고려해 볼 만하다고 생각된다. 국민의 보건과 안전에 관한 권리 내지 ‘알 권리’ 및 이를 충족시키는 방향으로의 접근도 매우 유용할 것으로 보인다.

나노물질의 위험성에 관한 연구가 활성화되면 현재의 수준보다는 상향된 정보를 구축할 수 있겠지만, 나노기술의 진보에 따라 끊임없이 새로 만들어지는 나노물질에 대한 완벽한 위험성 평가와 그 종결이 과연 가능한 것인가? 나노물질 취급 근로자 보호에 관한 산안법상의 공백을 메우려면 조속한 시일 내에 가능할 것으로 보이지 않는 그 언제인가를 무작정 기다리기보다는, 먼저 탄소나노튜브 등과 같이 유해·위험성이 확인된 나

12) S. Joyce, Tsuji et al., Research Strategies for Safety Evaluation of Nanomaterials, Part IV: Risk Assessment of Nanoparticles, 89 TOXICOLOGICAL SCI, 42, 43 (2006); Andre Nel et al., supra note 11, at 622-23

13) Balbus, supra note 2, at 66

14) A. Hett, Swiss Re, Nanotechnology: Small matter, many unknowns, p.30 (2004)

15) 한편, 나노물질의 위험성에 노출되는 경우를 유형별로 나누어 보면 나노기술 연구자와 제품 생산 근로자 등의 ‘직업형 노출’, 나노기술 작업장 인근 주민 및 나노제품 소비자 등의 ‘생활형 노출’, 그리고 나노기술 제품 생산의 전과정과 폐기 등으로 인한 환경 방출 및 잔존 등으로 인한 ‘환경형 노출’ 등으로 구분될 수 있을 것이다.

16) 메디컬투데이, 2010년 11월 8일자 보도 참조

17) 한국경제, 2011년 1월 17일자 보도 참조

18) J. C. Davies, supra note 9, at 5-6

19) <http://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/nni_fy09_budget_summary.pdf> (2012.1.13. 조회)

20) 국가과학기술위원회, ‘08년도 나노기술 발전 시행계획, 2008. 4, pp.22-26

노물질에 대하여 그 규제를 위한 최소한의 기준을 마련해야 한다. 그리고 본격화·활성화된 나노물질의 유해·위험성 연구결과에 따라 다시 유해·위험한 것으로 확인되거나 혹은 유해·위험하지 아니한 것으로 확인된 나노물질을 추가 또는 제거해 나가는 식의 지속적인 보완방법이 타당하다고 판단된다.

실현 가능한 조치에 대한 강행성 확보

유해·위험한 나노물질에 대한 관리와 모니터링은 현 시점에서 요원하게 느껴지지만, 근로자가 나노물질을 다루는 과정에서 분진과 유해가스 등을 흡입하였을 때 극도로 위험할 수 있다는 사실이 점차로 알려지기 시작하면서 나름 의미 있는 시도 또한 이루어지고 있는 것으로 파악된다. 2009년 5월 지식경제부 산하 기술표준원에서 나노물질 작업안전지침²¹⁾을 개발, 국가표준으로 제정·고시한 것이나, 2009년 12월 고용노동부 산하 안전보건공단에서 「나노물질 제조·취급 근로자 안전보건에 관한 기술지침」(이하 ‘나노물질 안전보건 기술지침’이라 함)²²⁾을 제정·고시한 것을 예로 들 수 있을 것이다.

이러한 지침 등은 나노물질의 유해·위험성을 고려하여 볼 때 상당히 늦은 것이지만, 최소한의 규제기준조차 마련되지 아니한 상황에서 그나마 실현 가능한 조치가 될 수 있다. 또한 나노작업장의 안전 확보를 위한 기틀을 마련하기 위한 시도로서 환영하지 아니할 이유가 없다. 그러나 문제는 이러한 실현 가능한 조치에 대하여 산안법이, 단지 나노물질에 한정된 문제는 아니지만 그 강행성을 확보하지 못하고 있다는 데 있다.

나노물질 안전보건 기술지침의 경우, 산안법 제23조(안전조치), 제24조(보건조치), 제25조(근로자의 준수 사항)에 의해 작업장에서 나노물질의 제조·취급에 따른 근로자의 건강장해 예방 및 안전을 위한 기준을 정함을 목적으로 하면서, ‘6. 나노물질의 취급 근로자 안전보건 조치사항’에서 작업환경관리, 작업관리, 건

2010년 기준 우리나라의 나노기술 시장은 전체 산업 규모에서 약 5.5%를 차지하는 약 104조원에 달하며, 향후 10년 뒤에는 약 600조원대로 성장할 것이라고 전망되는 가운데, 나노물질의 유해·위험성에 관한 논의 또한 점차로 확산되어 가는 분위기로 파악된다. 예컨대 고용노동부, 환경부 등 8개 부처가 공동으로 ‘국가화학물질관리 기본계획’을 마련하고 나노물질의 위해성·생태독성 평가 등을 강화해 나가기로 한 것은 늦은 감이 있으나 바람직하다고 할 수 있을 것이다. 그러나 문제의 본질은 나노물질의 유해·위험성을 제대로 파악·인식하기도 전에 너무도 많은 나노제품이 무서운 속도로 생산되고 소비되고 있다는 점이다.

장관리, 개인보호구, 안전관리, 안전보건교육, 저장 및 폐기 등에 관하여 그 실효성은 차치하고 비교적 세세한 내용을 규정하고 있다. 하지만 안전보건기술지침(Code & Guide)이 법적 구속력이 없는 것이기 때문에 이러한 지침은 다만 나노물질의 제조·취급 사업장에서 자율적으로 준수되거나 또는 참고에 그치게 된다.

WHO가 산하 국제암연구소(IARC)를 통하여 석면으로 인한 발암 가능성을 경고한 것은 1977년의 일이다. 그런데 1930년대부터 국내에서 제조·사용되기 시작하여 1970~1990년대까지 석면제품을 집중 사용해온 우리나라에서 처음으로 석면의 유해·위험성에 관한 입법적 조치를 취한 것은 1990년 7월 산안법 시행령 개정을 통해서였다. 이후 2009년 2월에 이르러서야 석면 관련 규정이 산안법에 신설되었다. 이를 감안해 본다면, 현행 유해·위험한 나노물질에 대한 미온적이고 느긋한 산안법의 태도는 상당히 장기화될 가능성이 있으며, 이것이 나노물질의 유해·위험성에 비추어 바람직하지 못하다는 것은 너무도 자명하다고 생각된다.

나노물질의 유해·위험성으로부터 근로자를 보호하

기 위하여 현 상황에서 실현 가능한 조치에 대해서는 적어도 산안법에 근거규정을 마련하고 강행성을 확보하여야 할 것이다. 입법론으로는, 산안법 제5조(사업주의 의무)상의 사업장 유해·위험요인실태 파악과 관리 개선조치 의무규정이 선언적인 것에 그치고 있으므로 그 위반에 대한 제재규정을 마련하여 사업주의 포괄적 의무규정으로서의 실효성을 확보하여야 할 것이고, 동법 제40조(신규 화학물질의 유해성·위험성 조사) 등을 대폭 개정하여 나노물질처럼 새로운 것뿐만 아니라 이후 더욱 새로운 물질의 유해·위험성에도 대응할 수 있도록 유연성을 확보하는 것도 타당한 방법 가운데 하나라고 본다.

근로자의 참여권 보장과 자율적 유해·위험성 통제

현행 산안법은 근로자의 안전과 보건을 유지·증진하려는 목적을 달성함에 있어 관련 법령에서 정한 안전보건기준을 이행토록 하고 그 불이행에 대하여 제재하는 방식을 취하고 있다. 특히 국가와 사업주의 공법적 관계에 초점이 맞춰진 결과, 사업주의 이행의무를 주로 규정하고 근로자에 대해서는 산안법 제6조(근로자의 의무)에서 산재 예방을 위한 기준을 준수하며 방지조치에 따라야 할 지극히 수동적인 의무만을 규정하였다. 따라서 스스로의 안전·보건을 확보하는 방향에서의 능동적이고 적극적인 권리를 제대로 보장하지 못하고 있다.

유해·위험한 나노물질에 관한 산안법적 규제가 아직은 전무한 실정에서 오로지 나노물질 취급 근로자가 취할 수 있는 방법은 스스로의 지식과 조치 가능한 범위 내에서 스스로를 보호할 수밖에 없을 것인데, 이렇듯 소박하고 약소한 것조차도 산안법상으로는 근로자의 법적 권리로 보장하지 못한다. 유해·위험한 나노물질로부터 근로자를 보호하려면 그로 인한 재해 예방의 주체로서 사업주만으로는 부족하고 근로자의 능동적이고 적극적인 참여권이 산안법상 보장되어야 한다. 그렇게

함으로써 나노물질을 취급하는 사업장의 산업안전보건 제도 결정과 개선에 근로자가 적극적으로 참여할 수 있게 될 것이다.

현재로서는 나노물질 취급 근로자 중 취급물질에 대한 인식이 없을 수 있는 단순 작업자 등 예외적인 경우가 아니라면 나노기술 연구자 및 나노물질 취급 근로자의 대다수는 그 취급 나노물질의 유해·위험성 인식이 평균인을 지극히 상회할 것으로 예측할 수 있다. 이러한 경우 현행 산안법상의 규제 공백을 메울 적절한 방법은 다른 아닌 근로자의 참여권이 보장된 형태로서의 자율규제방식(Voluntary self-regulatory regime)을 강화해 나가는 것이다. 특히 이러한 자율규제방식은 유해·위험한 나노물질을 취급하는 사업장에서 자율적으로 그 물질적·작업적 특성을 고려한 위험의 평가·관리가 가능하고, 이에 근거한 효과적인 유해·위험성 제거방법이 도출될 가능성이 높기 때문에 나노물질의 표준화나 유해·위험성 관리기준 등을 마련하는 데 상당히 유용한 자료가 축적될 수 있다고 판단된다.

입법론으로는, 산안법 제5조(사업주의 의무)에 사업주가 사업장 유해·위험요인실태 파악과 관리 개선조치 의무를 이행함에 있어 근로자의 참여를 보장하도록 규정하는 것이 바람직하다. 또한 자율규제방식의 실효성을 담보하기 위해서는 근로자의 참여를 의무로써 강제할 필요성도 긍정될 수 있으므로 동법 제25조(근로자의 준수사항)에서 자율규제에 적극적으로 참여하여야 할 의무를 규정하는 것을 고려해 볼 수 있겠다.

부족하나마 본고가 나노물질 취급 근로자 보호를 위하여 산안법적 논의를 활성화시키는 계기가 되기를 희망하며 글을 맺는다. 🌸

21) KSA 6202, 나노물질을 취급하는 작업장 / 연구실의 안전보건지침

22) KOSHA CODE W-10-2009

요양보호사 근골격계질환실태 및 예방관리방안



이상윤 과장
가천의학전문대학원
남동길병원 직업환경의학과

요양보호사의 업무는 대부분 육체적 힘을 필요로 하며, 반복적이고 근육과 관절에 부담을 주어 근골격계질환의 위험성이 높은 것으로 알려져 있다. 그러나 한국에서는 현재까지 이에 대한 실태 조사도 부족하고 예방관리방안 및 정책에 대한 논의도 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 전국 노인장기요양기관 중 표본을 추출하여 근골격계질환 위험요인 조사와 더불어 증상 조사를 실시하고 예방관리방안을 모색하였다. 조사결과 요양보호사의 근골격계질환 위험은 매우 높은 것으로 나타났고, 특히 입소시설 요양보호사가 방문요양 요양보호사보다 더 위험이 큰 것으로 나타났으며, 허리와 어깨 부위의 근골격계 위험이 큰 것으로 나타났다.

연구 필요성 및 목적

2008년 노인장기요양 제도가 시행되면서 장기요양 서비스를 제공하는 요양보호사 직군이 급격하게 증가하였고, 향후에도 지속적으로 증가할 전망이다. 요양보호사의 업무는 대부분 육체적 힘을 필요로 하며, 반복적이고 근육과 관절에 부담을 주는 것이 많은데다가, 대부분의 요양보호사가 40~50대 중년 여성으로 구성되어 근골격계질환 위험 부담이 높은 것으로 알려져 있다.

요양보호사의 근골격계질환은 개인 및 사회에 경제적·보건학적 부담을 지움에도 불구하고 제도 시행 초기에 따른 준비 부족 등의 이유로 이들의 근골격계질환 위험에 대한 평가와 예방관리방안 마련 등은 매우 부족한 실정이다. 이에 요양보호사의 실태 조사에 기반하여 작업 위험도를 평가하고, 그러한 위험으로 인한 근골격계질환을 예방하기 위한 방안을 모색하였다.

연구내용 및 방법

현황 및 문제점 파악

연구진 회의 및 공개 세미나 등을 통하여 관련 문헌을 검토, 정리하였다. 요양보호사 집단, 시설관리자 집단, 방문요양기관 관리자 집단 등을 대상으로 기본 현황 및 요구도 파악을 위한 초점집단 인터뷰를 실시하였다.

근골격계질환 유해요인 위험도 평가 및 실태 조사

■ 위험요인자가평가표 개발

요양보호사에 대한 표적집단 인터뷰를 통해 주요한 위험작업과 위험요인을 파악하고, 이에 근거하여 요양보호사들의 작업 특성을 반영한 자가평가표를 개발하였다.

■ 근골격계질환 위험요인 정밀 평가

주로 작업 자세가 문제되는 작업은 비디오 촬영을 실시

한 후 반복적인 리뷰를 통해 작업 자세를 관찰하고, REBA(Rapid Entire Body Assessment) 평가표를 이용한 자세 점수를 평가하였다. 환자의 체위 변경이나 이동 작업 시 요추부에 가해지는 디스크 압력은 요추 1번과 천추 1번(L5/S1) 사이에 가해지는 부하를 3DSSPP(3D Strength Prediction Program) 방법을 이용하여 평가하였다. 중량물 들기작업은 미국산업안전보건연구원에서 개발된 중량물 들기지수(NIOSH Lifting Guidelines)를 적용하여 평가하였다.

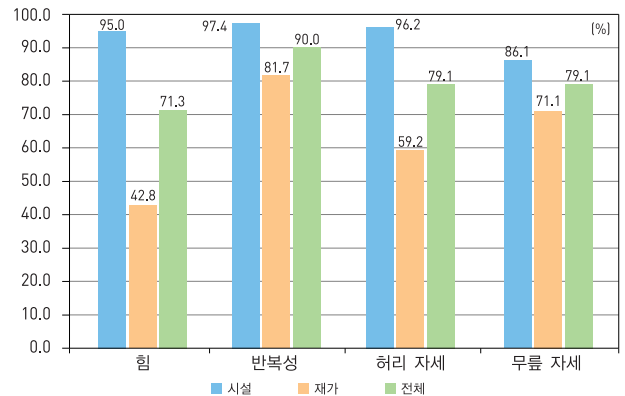
■ 근골격계질환 증상 및 관련 요인 조사

설문대상자 선정은 최대한 모집단(2010년 말 기준, 요양기관 소속 요양보호사 수는 24만여 명이며, 입소시설은 3,751개 소, 재가시설은 1만 9,947개 소)을 대표할 수 있도록 층화무작위 추출(Stratified random sampling)을 시행하였다. 최종적으로는 분석에 부적합한 설문지를 제외하고 시설 요양보호사는 501명, 방문 요양보호사는 442명 총 943명의 설문문에 대해 분석을 실시하였다.

연구결과

근골격계질환 위험요인자가평가표 개발

요양보호사들의 근골격계질환 위험요인 평가요소는 순간순간적인 힘이 문제되는 작업요소에 대한 빈도 평



[그림] 위험요소별로 노출 비중이 1일 2시간을 초과한 사람의 비율

가와 작업 자세 및 반복성이 지속되는 요소에 대한 작업 비중 평가의 두 가지로 구성하였다.

이 자가평가표를 활용하여 943명의 요양보호사에 대해 위험요인 노출 특성을 조사하였다. 각각의 위험요인에 노출되는 비중이 작업시간의 25% 이상 혹은 1일 2시간 이상에 해당되는 경우를 주요 관리대상자로 보고 이 기준을 초과하는 작업자의 비중을 신체 부위별로 분석하였다. 그 결과, 시설근무자의 위험성 초과비율이 모두 높게 나타났다[그림].

근골격계질환 위험요인 정밀 평가

■ 방문요양

방문요양은 교대제를 실시하는 시설과는 달리 교대작



2008년 노인장기요양 제도가 시행되면서 장기요양 서비스를 제공하는 요양보호사 직군이 급격하게 증가하였고, 향후에도 지속적으로 증가할 전망이다. 사진은 경기케어센터.

업에 대한 부담은 적으나, 집안 청소나 세탁, 설거지 등의 집안 일이 부가적으로 발생하고, 환자의 상태나 집의 구조적인 문제에 따라 노동 강도가 달라지는 특징이 있다. 요양보호사 1인이 일정시간 동안 환자 1인을 돌보는 경우로 작업 속도나 휴식 등을 스스로 조절할 수 있는 장점은 있지만, 요양보호사 혼자 모든 일을 처리해야 하는 부담과 돌발상황에 대처하기가 매우 힘들다는 단점이 지적된다.

기본적인 요양보호작업은 시설과 크게 다르지 않지만 작업환경과 조건에 대한 차이가 발생하고 있고, 이로 인해 해당작업별 노동 강도의 차이가 발생하고 있다. 이와 같은 작업 특성을 고려하여 위험요인 정밀 평가대상작업을 선정하였으며, 해당작업에 대해 환자 특성(침상 및 와상환자, 치매 등)을 고려하여 반복적인 평가를 진행하였다. 그 결과, 대표적인 위험작업으로 분류된 작업에

대해 요약하면 다음과 같다.

먼저, 환자 이동작업은 식사 및 목욕작업 시 수반되는 작업이다. 방문요양의 경우 환자를 부축하여 세우거나, 바닥에서 휠체어로 이동하는 작업이 주로 이루어진다. 요추부에 가해지는 순간적인 힘이 문제되는 작업으로 평가되었다.

부분목욕의 처음 준비작업과 구강관리작업은 별다른 위험요인이 없으나 면도작업은 허리 및 무릎 부위의 작업 자세, 그리고 손목 부위의 부적절한 작업 자세와 반복성 등이 문제될 수 있다.

전신목욕은 작업빈도는 많지 않으나 가장 위험도가 높은 작업이다. 특히 목욕하는 과정에서는 15분 이상 쪼그린 상태에서 허리를 45° 내외로 숙이거나 비트는 자세를 지속하게 되며, 환자를 이동할 때는 요추부에 가중되는 디스크 부하가 안전기준(3400N)을 초과하게 된다.

침상목욕은 작업빈도는 많지 않으나 위험도가 높은 작업이다. 특히 머리감기기 및 상체 목욕 시 허리를 60° 이상 숙인 자세를 지속하고 손목 부위에 지속적인 힘이 필요한 작업이다. 또한 목욕하는 과정 중 수차례에 걸친 체위 변경작업이 있어 요추부에 가중되는 디스크 부하가 매우 크다.

〈표 1〉 방문요양 환자 이동작업의 위험요인 평가결과

환자 이동작업				
구분		작업내용 및 주된 문제점		평가결과
작업 구성 요소	환자 부축 및 휠체어 이동작업	환자를 부축하여 일으켜 세우 거나 휠체어에 태우는 과정에 서 순간적인 힘을 필요로 하 는 위험한 동작이 발생함		L5/S1 부위에 3889 ±301N의 압력이 필 요한 것으로 예측되어 안전기준을 초과함
	휠체어 밀기	휠체어 이동 시 밀거나 당기 는 힘이 필요함		
작업 조건 특성		- 환자 1인 당 1일 2~3회 정도 반복됨		
최종 평가결과 요약		- 순간적인 힘의 사용으로 인한 요추부 부하량이 매우 높은 것으로 평가됨 - 전체 작업량과 요추부 부하량을 고려할 때 근골격계부담작업 제8호에 해당될 수 있음		

〈표 2〉 시설요양 체위 변경작업의 위험요인 평가결과

체위 변경작업			
구분	작업내용 및 주된 문제점		평가결과
작업 구성 요소	체위 변경	환자의 위치를 변경하기 위하여 상체 혹은 하체 부위를 움직여 체위를 변경하는 과정에서 순간적인 힘을 필요로 하는 위험한 동작이 발생함	L5/S1 디스크 압력이 안전기준을 초과함
작업 조건 특성		- 환자 1인 당 1일 2~3회 정도 반복됨	
최종 평가결과 요약		- 순간적인 힘의 사용으로 인한 요추부 부하량이 매우 높은 것으로 평가됨 - 전체 작업량과 요추부 부하량을 고려할 때 근골격계부담작업 제8호에 해당될 수 있음	

■ 입소 시설요양

시설마다 차이가 있지만, 입소 시설 요양보호사의 경우 요양보호사 1인이 담당하는 환자 수가 많고, 시간 단위로 정해진 스케줄을 따라야 하는 만큼 요양보호사들의 심적 부담이 매우 높다. 통상작업시간(낮시간 근무)을 기준으로 출근시부터 퇴근까지 대표적인 작업을 정리하였다. 그리고 작업 특성을 고려하여 위험요인 정밀 평가대상작업을 선정하여, 해당작업에 대해 시설 특성, 환자 특

성(침상 및 와상환자)을 고려하여 반복적인 평가를 진행하였다. 그 결과, 대표적인 위험작업으로 분류된 작업에 대해 요약하면 다음과 같다.

체위 변경작업은 요양보호사들이 빈번하게 수행하는 작업 중의 하나이다. 설문 조사결과, 시설 요양의 경우 1일 평균 14회 정도 반복되는 것으로 조사되었으며 순간적인 힘을 필요로 하는 위험한 동작이 발생한다.

환자 이동작업은 주로 목욕 및 화장실 이용 시 수반되는 작업이다. 시설 요양의 경우 환자를 부축하여 세우거나, 침대에서 휠체어로 이동하는 작업이 주로 이루어진

〈표 3〉 전체 요양보호사의 근골격계질환 증상 호소율

증상 유무	응답자(명)	백분율(%)
있다	925	98.09
없다	18	1.91
합계	943	100.00

〈표 4〉 전체 요양보호사의 신체 부위별 근골격계질환 증상호소율

신체 부위	아니오	예	합계
	명(%)	명(%)	명(%)
목	284(30.12)	659(69.88)	943(100.00)
어깨	148(15.69)	795(84.31)	943(100.00)
팔 / 팔꿈치	288(30.54)	655(69.46)	943(100.00)
손 / 손목 / 손가락	212(22.48)	731(77.52)	943(100.00)
허리	142(15.06)	801(84.94)	943(100.00)
다리 / 무릎	230(24.39)	713(75.61)	943(100.00)

〈표 5〉 타업종과의 근골격계질환 증상호소율 비교

신체 부위	증상호소자*				
	환경미화원 (2010년) ¹⁾	VDT작업 (2008년) ²⁾	건설노동자 (2009년) ³⁾	병원 (2010년) ⁴⁾	요양 보호사 ⁵⁾
조사대상자	1,055명	2,410명	2,793명	3,171명	943명
목	37.3%	53.3%	31.4%	46.9%	69.9%
어깨	55.1%	61.5%	42.5%	53.5%	84.3%
허리	56.7%	50.7%	44.3%	49.9%	84.9%
다리 / 무릎	54.2%	-	40.3%	45.5%	75.6%
팔 / 팔꿈치	-	21.4%	31.1%	22.6%	69.5%
손 / 손목 / 손가락	-	34.9%	34.2%	36.0%	77.5%
1부위 이상 증상 호소자	79.1%	75.0%	67.6%	71.0%	98.1%

* 근골격계질환 증상호소자 기준 : 증상이 적어도 1주일 이상 지속되거나 혹은 지난 1년간 1달에 1번 이상 증상이 발생한 경우

- 1) 노동환경건강연구소, 환경미화원의 근골격계질환 예방을 위한 토론회 자료집, 2010
- 2) 노동환경건강연구소, 손해보험 근무자의 근골격계질환실태 조사보고서, 2008
- 3) 안전보건공단, 건설 근로자의 근골격계질환 증상 및 위험요인 노출 특성, 2009
- 4) 서울대학교병원, 서울대학교병원 근골격계질환 유해요인진단보고서, 2010
- 5) 보건복지자원연구원, 요양보호사 근골격계질환실태 조사 및 예방 매뉴얼 개발, 2011



다. 요추부에 가해지는 순간적인 힘이 문제되는 작업으로 평가되었다.

트레이를 활용한 환자 목욕작업은 위험도가 높은 작업

이다. 특히 목욕하는 과정에서는 허리를 45° 내외로 숙이거나 비트는 자세를 지속하게 되며, 환자를 이동할 때는 요추부에 가중되는 디스크 부하가 (61kg 환자기준) L4-L5는 3770N, L5-S1은 3851 ± 285 N의 압력으로 계산되어 안전기준(3400N)을 초과하게 된다.

휠체어에서의 전신목욕은 목욕하는 과정에서는 허리를 60° 이상 숙이거나 비트는 자세를 지속하게 되며, 환자를 이동할 때는 요추부에 가중되는 디스크 부하가 안전기준(3400N)을 초과하게 된다.

요양보호사 근골격계질환 설문 조사결과

근골격계 자각 증상 설문에 응답한 전체 요양보호사는 총 943명이었다. 그 중 시설 요양보호사는 501명이었고, 방문 요양보호사는 442명이었다. 직업과 관련하여 근골격계질환 자각 증상이 적어도 1주일 이상 지속되거나 혹은 지난 1년 동안 1달에 1번 이상 발생한 경우를 중

법 제도적 측면에서 개선사항을 살펴보면, 현재 요양시설은 산업안전보건법상 '보건업 및 사회복지 서비스업'으로 분류되어 안전보건관리 체제, 안전보건관리규정, 안전보건교육, 관리책임자교육 등의 법 조항 적용대상이 아닌 상태이다.

이들의 안전보건 위험이 크므로

이들의 안전보건관리 의무와 관련된 업종 분류가 개선되어 관련 법이 적용되도록 하는 것이 필요하다.

한편, 요양시설의 특성상 시설 자체적으로는

근골격계질환 예방관리를 위한

의학적 관리 프로그램을 실시하기 힘든 조건이다.

따라서 지역보건센터를 설립하여

이곳에서 요양보호사 근골격계질환에 대한

의학적 관리가 이루어질 수 있도록

하는 방안도 고려해 볼 만하다.

입소시설에 적합한 근골격계질환 예방관리

가이드라인을 제작하여 보급하고,

이를 활용하여 자체적인 예방관리활동이 되도록

적극적으로 홍보하고 교육할 필요도 있다.



입소시설 요양보호사의 경우 요양보호사 1인이 담당하는 환자 수가 많고, 시간 단위로 정해진 스케줄을 따라야 하는 만큼 요양보호사들의 심적 부담이 매우 높다.

상호소자로 분류하였다. 근골격계질환 자각 증상 설문
에 응답한 전체 요양보호사 중에서 이 기준에 따라 적어
도 한 부위 이상에서 증상호소자로 분류된 빈도는 전체
943명 중 925명(98.1%)으로 나타났다.

전체 요양보호사에서 증상호소자의 빈도를 신체 부위
별로 살펴보면 허리와 어깨가 각각 84.9%와 84.3%로
높았고, 그 다음으로 손 / 손목 / 손가락(77.5%), 다리 /
무릎(75.6%), 목(69.9%), 팔 / 팔꿈치(69.5%) 순이었다.
요양보호사 형태별로 비교하면 입소시설 요양보호사의
증상호소율이 방문요양 요양보호사의 증상호소율에 비
해 높았다.

근골격계 증상호소율을 최근 조사된 타업종과 비교하
면, 요양보호사가 타업종에 비해 상대적으로 높은 근골
격계질환 증상호소율을 보이고 있음을 알 수 있다.

요양보호사 근골격계질환 예방관리방안

법 제도적 측면에서 개선사항을 살펴보면, 현재 요양
시설은 산업안전보건법상 ‘보건업 및 사회복지 서비스
업’으로 분류되어 안전보건관리 체제, 안전보건관리규
정, 안전보건교육, 관리책임자교육 등의 법 조항 적용대
상이 아닌 상태이다. 이들의 안전보건 위험이 크므로 이
들의 안전보건관리 의무와 관련된 업종 분류가 개선되
어 관련 법이 적용되도록 하는 것이 필요하다.

행정사항 개선 등의 방법으로, 요양보호사 근골격계질
환 예방관리를 할 수 있는 방안으로는 입소시설 요양보
호사의 경우 CLEAN 사업을 활용하여 시설 개선이 이
루어지도록 적극적인 행정을 펼 필요가 있다. 한편, 근
로자 건강증진 활동비용 지원사업을 요양시설에도 적극
적으로 홍보하여, 이 비용으로 근골격계질환 유해요인
조사나 예방관리교육 등 예방관리활동이 이루어질 수
있도록 할 필요도 있다. 요양시설 관리자나 사업주에게
산안안전보건법 준수 의무를 고지하고 교육하여 이를
준수하도록 할 필요도 있다.

요양시설의 특성상 시설 자체적으로는 근골격계질

환 예방관리를 위한 의학적 관리 프로그램을 실시하
기 힘든 조건이다. 따라서 근로자건강센터를 설립하
여 이곳에서 요양보호사 근골격계질환에 대한 의학적
관리가 이루어질 수 있도록 하는 방안도 고려해 볼 만
하다. 입소시설에 적합한 근골격계질환 예방관리 가
이드라인을 제작하여 보급하고, 이를 활용하여 자체
적인 예방관리활동이 되도록 적극적으로 홍보하고 교
육할 필요도 있다. 🌸

참고문헌

- 노동부, 근골격계질환 예방 의무 해설(제2판), 고용노동부 산업보건환경
과, 2004.
- 노동환경건강연구소, 손해보험 근무자의 근골격계질환실태 조사보고서,
2008.
- 노동환경건강연구소, 환경미화원의 근골격계질환 예방을 위한 토론회 자
료집, 2010.
- 보건복지자원연구원, 요양보호사 노동조건 및 근골격계질환실태 조사결
과 발표 토론회 자료집, 2010.
- 서울대학교병원, 서울대학교병원 근골격계질환 유해요인진단 보고서,
2010.
- 안전보건공단, 건설 근로자의 근골격계질환 증상 및 위험요인 노출 특
성, 2009.
- 안전보건공단, 요양보호사 안전보건 현황과 개선방안, 2011.
- 안전보건공단 경인지역본부, 요양보호직종 근골격계질환 예방 매뉴얼,
2011.
- European Agency for Safety and Health at Work, European
Good Practice Awards 2007, Prevention of work-related MSDs
in practice, 2007.
- European Agency for Safety and Health at Work, Work-related
musculoskeletal disorders: prevention report, 2008.
- Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid entire body
assessment(REBA), Applied Ergonomics, 31, 201-205, 2003.
- HSE, Handling home care, 2001.
- HSE, Health and safety in care homes, 2001.
- McAtamney, L. and Corlett, E. N., RULA: a survey method for
the investigation of work-related upper limb disorders, Applied
Ergonomics, 24(2), 91-99, 1993.
- NIOSH, Safe Lifting and Movement of Nursing Home Residents,
2006.
- University of Michigan, Center for Ergonomics, 3D Static
Strength Prediction Program Version 5.0.4, User's Manual,
University of Michigan, 2005.
- US OSHA, Guidelines for Nursing Homes Ergonomics for the
Prevention of Musculoskeletal Disorders, 2009.

방사선에 의한 건강장해 예방제도 개선



김수근 교수
성균관대 산업의학교실
강북삼성병원 산업의학과

우리나라의 산업안전보건법에서는 원자력법이나 의료법과의 중복 규제를 피하기 위하여 방사선에 의한 근로자들의 건강 장해를 예방하기 위한 사항들을 달리 규정을 하고 있지 않다. 그러나 최근 비파괴검사업체에서 과도한 방사선 피폭으로 인하여 백혈병이 발생하고 사망에까지 이르는 등 예방관리에 문제가 드러났다. 특히 근로자의 건강 보호를 목적으로 하는 산업안전보건법과 달리 원자력법에 의한 사업장관리와 근로자의 사후조치는 어려움이 있는 것으로 판단된다. 따라서 산업안전보건법에서 방사선에 의한 근로자의 건강장해를 예방하기 위한 제도 개선방안을 제안해본다.

서론

방사선 및 방사성동위원소는 원자력 발전 분야 외에도 의료 분야, 연구, 교육, 비파괴검사, 각종 산업 등에서 지속적으로 사용되고 있다. 방사선은 사업장에서 다양하게 활용되어 인간 생활에 편리를 제공하고 있다. 방사선은 양면성을 가지고 있어서 적절하게 관리될 때는 유용하게 사용되지만, 관리에 소홀하거나 방심하면 방사선을 취급하는 사람들에게 피폭에 의한 건강장해가 발생할 수 있다.

방사선작업종사자의 건강장해 방지는 산업안전보건법(이하 산안법), 원자력법 및 의료법에 따르고 있다. 그러나 각 법 간의 중복과 실효성에 문제가 있다. 따라서 법 간의 중복에 대한 조정과 사각지대를 보완하는 것이 필요하다.

근로자의 건강 보호와 유지 및 증진을 목적으로 하는 산안법에는 방사선작업종사자에 대한 피폭(노출) 평가

와 선량한도 등의 기준과 근거가 없어서 사업장의 지도·감독에 한계가 있다. 따라서 산안법상의 규제내용·항목 등이 근로자 건강 보호를 위하여 충분한 것인지 등에 대한 검토가 필요하다. 특히 최근에 조선소에서 비파괴검사업무를 하던 근로자들 중에 집단적으로 백혈병 등 혈액암이 발생하였으나¹⁾ 이에 대하여 고용노동부에서 산안법에 따른 사후관리 및 재발 방지를 위한 적절한 조치를 취하기 어려웠던 점을 고려할 때 산안법의 개선이 조속히 이루어져야 할 것이다.

이에 방사선작업종사자의 건강장해 방지를 위해서 필요한 사항을 산안법에 규정하는 방안을 제시하고자 하였다. 이를 위해서 방사선 및 방사성동위원소에 의한 건강장해 예방을 위한 원자력법, 의료법 및 산안법의 관련 사항을 건강장해 예방조치별로 비교하였다. 비교는 산안법의 다른 건강 유해인자에 대한 예방조치와 동일한 항목으로 각 법에서 규정하고 있는 법의 적용대상과 범위, 안전보건관리 체제와 안전·보건관리자, 안전보건

교육, 작업환경측정, 개인피폭관리와 선량한도, 그리고 건강진단 등에 대하여 검토해서 산안법의 제도 개선방안을 제시하였다.

방사선에 의한 건강장해 예방제도 비교

원자력법의 적용대상이 되는 방사선과 방사성동위원소 이용기관은 2009년 말 현재 4,157개이며, 방사선작업종사자는 약 3만 6,986명이었다.²⁾ 방사성동위원소를 취급하는 과정에서 예기치 않게 발생한 중대한 사건은 작업종사자의 방사능 누출, 방사선 작업관리 구역 내의 화재 및 방사선원 분실 등 사건 수가 1972년부터 2010년도까지 39년 동안 65건이 발생하였다.³⁾

식품의약품안전청의 피폭선량관리센터에 따르면 의료기관에서 방사선 관계 종사자로 있는 경우가 2009년에 5만 885명이었다.

2004년도 전리방사선에 대한 특수건강진단을 받은 근로자는 1만 7,404명으로 이 가운데 방사선 개인피폭선량을 측정하지 않은 자는 1만 3,422명⁴⁾이고, 의료기관 종사자를 제외하면 제조업의 근로자가 93.8%로 대부분을 차지하였다.⁵⁾ 2009년도 특수건강진단 실시결과에 의하면 유해 광선으로 수검한 사업장이 4,908개소, 근로자가 7만 999명이었다. 이 중에는 자외선에 의한 건강진단이 다수를 차지하고 있었으며, 전리방사선에 대한 특수건강진단을 받은 경우를 구분할 수 없었다.⁶⁾

방사선작업종사자의 건강장해 예방을 위하여 산안법, 원자력법 및 의료법에 따라 각기 다른 정부 부처에서 관리하기 때문에 적용대상을 일관성 있고 포괄적으로 파악하지 못하고 있으며, 특히 건강관리는 전국적인 실태를 파악할 수 없는 실정이었다.

근로자 건강 보호를 위한 국가의 역할과 사업주의 의무를 규정하고 있는 산안법에서 규정하고 있는 방사선에 의한 건강장해 예방제도는 다음과 같다.

사업주는 산업안전보건관리 체제를 구축하여 건강 유해인자에 대한 유해 위험 방지조치를 취하도록 하고 있다.

즉, 산안법 제24조 제1항 제2호에 방사선에 의한 건강장해 예방조치를 취하도록 규정하고 있다. 그리고 법 제31조에 방사선업무종사자는 특별안전보건교육을 받도록 되어 있으며, 정기적으로 방사선에 대한 특수건강진단을 받도록 되어 있다. 그러나 방사선업무종사자에 대한 건강진단이 원자력법과 의료법에 중복되어 있어, 앞에서 살펴본 바와 같이 적절하게 이행되지 않고 있었다. 방사선에 피폭 가능성이 있는 근로자들에 대한 안전보건교육도 규정되어 있으나 중복 규정이고, 이에 대한 관리를 고용노동부에서 별도로 하고 있지는 않다. 또한 산안법에는 방사선량과 방사성동위원소에 대한 작업환경측정과 개인피폭관리 및 선량한도에 대한 규정은 없다.

방사선 및 방사성동위원소에 대한 산안법을 원력법 및 의료법과 비교하면 다음과 같다.

적용대상 및 범위

산안법 제3조에 따라 모든 사업 또는 사업장을 법의 적용대상으로 하고 있으며, 산업안전보건기준에 관한 규칙 제573조에 방사선, 방사성 물질 및 방사선관리 구역에 대한 정의를 하고 있다. 반면에 원자력법은 원자력 관계 사업자를, 의료법은 의료기관을 적용대상으로 하고 있어서 산안법만이 포괄적인 적용 범위를 채택하고 있다. 그러나 방사선관리 구역에 대해서는 원자력법⁷⁾이나 의료법과 같이 구체적으로 정의를 하고 있지는 않다. 한편, 원자력법에서는 방사선과 방사성동위원소의 사용 또는 수량 이하의 밀봉된 방사성동위원소 및 용량 이하의 방사선 발생 장치에 대해서는 신고대상으로 분류하였다.

1) 강경흠, 비파괴검사 노동자들 잇단 백혈병, 내일신문 2011. 9. 28 오후
[http://www.naeil.com/News/economy/ViewNews.asp?nnum=626508&sid=E&tid=4\(2012년 1월 10일 접속\)](http://www.naeil.com/News/economy/ViewNews.asp?nnum=626508&sid=E&tid=4(2012년 1월 10일 접속))

2) 교육과학기술부, 2010 원자력안전백서, 2010

3) 사이버방사선안전정보센터, <http://rasis.kins.re.kr/rasis/index.jsp>

4) 원자력법에 의하여 신고대상사업장인 경우에는 의무적으로 개인피폭선량을 측정하도록 되어 있지 않다.

5) 고동희 외, 방사선 취급사업장 및 종사자 안전보건관리실태 연구, 산업안전보건연구원, 2006

6) 고용노동부, 2009년도 건강진단 실시결과, 2010

그리고 법 적용을 허가대상과 신고대상으로 하여, 신고 대상에 대해서는 건강장해 예방조치를 면제하고 있다.

이밖에 2008년에 산업안전보건연구원의 보고서⁸⁾에 따르면 원자력법에 의한 신고대상 사업장 153개 소를 대상으로 방사선량을 측정한 결과, 원자력법상 신고 사업장의 외부 방출선량 기준인 10 μ Sv/hr를 초과하는 곳이 12개소(7.8%)인 것으로 보고 되었다. 이와 함께 신고 대상 사업장 소속 근로자들의 지속적인 방사선에 의한 질병 발생 의심으로 산재요양신청이 이루어지고 있는 점을 고려할 때 산안법에서 다른 건강 유해인자와 동일한 수준으로 건강장해 예방제도를 갖추어 모든 사업과 사업장 가운데 방사선 또는 방사성동위원소를 사용하는 사업장을 대상으로 적용하는 것이 필요하겠다.

안전관리 체제 및 안전·보건관리자

산안법은 안전보건관리 체제를 구축하여 사업장마다 안전·보건관리자를 두도록 하였으며, 건설업의 경우에는 안전관리 담당자를 두도록 하고 있다. 원자력법에서는 방사선안전관리자를, 의료법에는 방사선안전관리 책임자를 두도록 하고 있다. 이 점을 고려해서 산안법이 건설업에 대해서 건설기술관리법에 따른 안전관리 담당자를 두도록 하여 법 간의 일관성을 갖도록 한 것과 같이 원자력법과 의료법에 의한 방사선안전관리자와 방사선안전관리 책임자를 산안법상의 안전보건관리 체제에 포함시켜 규정하는 것이 필요하다. 또한 방사선업무의 특수성을 고려하여 이들의 직무는 원자력법 및 의료법과 같이 하면 될 것이다.

7) 방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙(교육과학기술부령 제24호) 제3조에 방사선관리 구역은 다음 각 호에 정하는 기준 이상인 경우로 규정하고 있다.

1. 외부방사선선량률 : 1주당 400mSv
2. 공기 중의 방사성물질의 농도 : 유도 공기 중 농도
3. 물체 표면의 오염도 : 허용 표면 오염도

8) 방사선 및 방사성 동위원소 취급 사업장의 보건관리실태 조사, 2008, 산업안전보건연구원

9) 방사선 업무에 종사하는 자를 원자력법에서는 방사선작업종사자로 의료법에서는 방사선관계종사자라고 하고 있다.

안전보건교육 및 훈련

산안법 제31조에 안전보건교육을 규정하고 같은 법 시행규칙 제33조에 방사선업무종사자에 대하여 매년 16시간 이상 방사선의 유해·위험 및 인체에 미치는 영향, 방사선의 측정기기 기능의 점검에 관한 사항, 방호거리·방호벽 및 방사선물질의 취급 요령에 관한 사항, 응급처치 및 보호구 착용에 관한 사항 및 그 밖의 안전·보건관리에 필요한 사항으로 특별안전보건교육을 실시하도록 규정하고 있다.

원자력법에서는 방사선작업종사자와 방사선관리 구역에 수시로 출입하는 자에 대하여 작업 종사 전 교육·훈련은 20시간 이상, 정기적 교육·훈련은 매년 6시간 이상 원자력 시설 이용에 따른 안전관리, 방사성 물질 등의 취급, 방사선 장해 방어, 방사선안전관리규정 및 관계 법령, 그리고 기타 필요한 경우에는 이용업체의 특성에 따른 교육을 실시하도록 하고 있다.

의료법에는 방사선안전관리 책임자에 대한 교육은 정기적으로 실시하도록 하고 있으나, 방사선 관계 종사자⁹⁾에 대해서는 방사선안전관리 책임자가 실시하는 것으로만 규정하고 있다.

이상과 같이 3개 법에는 각각 교육대상자, 교육내용 및 시간의 차이가 있다. 특히 방사선에 의한 인체의 영향 등 건강장해 예방에 대한 교육내용은 산안법에서만 구체적으로 명시하고 있다. 따라서 사업장에서는 방사선업무종사자들에 대한 안전보건교육에 대해서도 법령마다 달리되어 있는 규정을 모두 파악하고, 각각의 규정에 부합될 수 있도록 하게 되어 있다. 한편, 이러한 상황으로 인하여 오히려 타 법령에 미루어서 관리감독의 사각지대가 발생하는 문제가 있다.

개인 피폭관리 및 선량한도

산안법에서는 방사선에 대한 개인피폭선량과 선량한도에 대한 규정을 두고 있지 않다. 원자력법과 의료법에서 모두 개인선량피폭관리를 규정하고 있으며, 선량한도를 규정하고 있다. 특히 원자력법에서는 국가 방사선작업

〈표〉 선량한도(원자력법 시행령 제2조 제5호 관련)

구분		방사선작업 종사자	수시 출입자 및 운반 종사자	일반인
1. 유효선량한도		연간 50밀리시버트를 넘지 아니하는 범위에서 5년간 100밀리시버트	연간 12밀리시버트	연간 1밀리시버트
2. 등가선량 한도	수정체	연간 150밀리시버트	연간 15밀리시버트	연간 15밀리시버트
	손·발 및 피부	연간 500밀리시버트	연간 50밀리시버트	연간 50밀리시버트

1. 위 표에서 '5년간' 이라 함은 임의의 특정 연도부터 계산하여 매 5년씩의 기간(예 : 1998~2002)을 말한다. 다만, 1998년도 이전의 기간에는 이를 적용하지 아니한다.
2. 일반인의 경우 5년간 평균하여 연 1밀리시버트를 넘지 아니하는 범위에서 단일한 1년에 대하여 1밀리시버트를 넘는 값이 인정될 수 있다.
3. 방사선작업 종사자 중 임신이 확인된 자와 일반인 중 방사성동위원소 등을 제한적 또는 일시적으로 사용하는 자에 대하여는 교육과학기술부 장관이 따로 정하여 고시하는 바에 의한다.

종사자 안전관리센터, 의료법에서는 식약청에 피폭선량관리센터를 두어 각각 해당 법령의 적용을 받는 방사선업무 종사자의 개인피폭선량을 관리하고 있다. 원자력법에서 정하고 있는 선량한도¹⁰⁾는 〈표〉과 같다.

방사선 오염 조사 및 측정

산안법 제42조에 사업장의 주요 유해인자에 대해서는 작업환경측정을 하도록 규정하고 있으나 전리방사선에 대해서는 규정을 두고 있지 않다.

원자력법에서는 방사선 장애의 우려가 있는 장소에 대한 방사선량 및 방사성 물질 등에 의한 오염상황을 측정하도록 하고 있다. 방사선량 및 방사성 물질 등에 의한 오염상황의 측정 장소, 측정 주기 및 측정방법에 대하여 상세하게 규정하고 있다.

의료법에서는 진단용 방사선 발생 장치의 안전관리에 관한 규칙¹¹⁾ 제4조에 방사선 발생 장치의 검사와 측정에 대한 규정을 두고 있다. 이에 따라서 의료기관은 방사선 방어 시설 검사기준에 맞춰 해당 진단용 방사선 발생장치를 사용하기 전에 검사기관의 검사를 받아야 한다.

건강진단

산안법에서는 사업주로 하여금 방사선업무종사자에 대하여 시행규칙 제100조 제4항과 관련하여 다음과 같이 건강진단을 실시하도록 규정하고 있다.

방사선에 관한 특수건강진단·배치전 건강진단·수시 건강진단의 검사 항목(제100조 제4항 관련, 별표 13)은 다음과 같다.

• 1차 검사

- (1) 직업력 및 노출력 조사
- (2) 주요 표적기관과 관련된 병력 조사
- (3) 임상검사 및 진찰

① 조혈기계 : 혈색소량, 혈구용적치, 적혈구 수, 백혈구 수, 혈소판 수, 백혈구백분율

② 눈, 피부, 신경계, 조혈기계 : 관련 증상 문진

③ 심폐기능 등 담당의사가 필요하다고 인정하는 검사

• 2차 검사 : 임상검사 및 진찰

① 조혈기계 : 혈액도말검사, 망상적혈구 수

② 눈 : 세극등현미경검사

원자력법에서는 최초 방사선작업에 종사하기 전, 방사선작업에 종사 중인 자에 대하여는 매년(다만, 전년도 건강진단 이후 12월간의 피폭방사선량이 일반인에 대한 선량한도를 초과하지 아니한 경우에는 이를 생략할 수 있음), 방사선작업종사자에 대한 선량한도를 초과한 때에는 다음 항목의 건강진단을 받도록 하고 있다.¹²⁾

1. 말초혈액 중의 백혈구·적혈구의 수 및 혈색소의 양
 2. 심폐기능 등 담당의사가 필요하다고 인정하는 검사
- 의료법에서는 법 제37조에 따라서 진단용 방사선 발생 장치의 안전관리에 관한 규칙 제13조에 방사선 관계 종사자에 대하여 2년마다 건강진단을 실시하도록 규정하고 있고, 검사 항목은 다음과 같다.

1. 문진사항

가. 방사선 피폭 증상의 유무

10) '선량한도'라 함은 외부에 피폭하는 방사선량과 내부에 피폭하는 방사선량을 합한 피폭방사선량의 상한값을 말한다. 원자력법 시행령 제2조(정의)

11) 일부 개정 2011. 6. 27 부령 제66호

12) 원자력법 제97조, 시행령 제299조, 시행규칙 제115조(건강진단)

나. 방사선 피폭 증상이 있는 자는 그의 작업 장소 · 작업내용 · 작업 기간 · 피폭선량 방사선 장해 유무

다. 그 밖의 방사선에 의한 피폭 증상

2. 검사 항목

가. 말초혈액 중의 혈색소량 · 적혈구 수 및 백혈구 수

나. 그 밖에 의사가 필요하다고 인정하는 검사

원자력법에서는 산안법에 없는 심폐기능검사 항목을 두고 있는데, 이는 방사선작업종사자들의 호흡보호구 착용 등이 필요하여 업무 적합성을 판단하는 자료로 활용하기 위한 것이다. 따라서 산안법에서도 이 항목을 추가하는 것이 필요하다고 본다. 특히 산안법은 다른 법에 비하여 건강진단 수행 체계와 사후관리 체계 등이 잘 되어 있으므로 앞으로 산안법에 따라서 방사선업무종사자의 건강진단과 사후관리가 이루어질 수 있도록 조정하는 것이 필요하다.

건강장해 예방조치별 산안법의 제도화 방안

산안법은 원자력법이나 의료법보다 나중에 제정된 것이며, 제정 당시에 이미 상당 부분 관련 예방조치들이 다른 법에 규정되어 있었기 때문에 이들 법에 위임하는 방식을 채택하였다. 그러나 최근 잇따른 방사선업무종사자에게서 업무상 질병 발생과 전리방사선에 의한 것을 의심하여 산재요양신청이 지속되고 있어서 산안법에서 전리방사선에 대한 예방제도를 갖추 필요성이 증가하고 있다.

특히 다른 법에 비하여 포괄적으로 사업장과 근로자의 접근성 및 지도와 관리감독이 용이한 고용노동부의 조직을 활용하여 예방제도를 운영하는 것이 바람직하다는 판단에서 더욱 필요성이 커지고 있다.

따라서 산안법의 취지, 사업장에 대한 고용노동부의 지도와 관리감독의 상대적 수월성, 예방과 산재 보상 등 사후관리의 일체성 등은 물론, 원자력법과 의료법의 관리대상 면제 사업장에서 지속적으로 전리방사선에 의

한 업무상 질병의 문제 제기, 원자력법의 신고대상 사업장에서 신고기준을 초과하는 방사선량 등의 발생 및 최근 비파괴검사업체의 집단 발생 백혈병에서 드러난 문제들을 고려하여 산안법을 중심으로 하는 장해 예방제도가 갖추어질 수 있도록 개선방안을 다음과 같이 제시하였다.

- 적용대상 및 범위 : 산안법에서 전리방사선에 대한 적용 범위는 관련 시설(원자로, 방사선 발생장치, 방사성 물질 생산설비), 재료(방사성 물질), 장소(방사선관리 구역), 근로자(방사선작업종사자) 및 해당업무에 대한 법 적용대상을 규정하여야 한다. 이는 원자력법과 의료법의 규정을 포괄할 수 있어야 하며, 최근의 기술 발전을 반영하여야 한다.
- 방사선 안전관리 체계 : 산안법에서는 안전 · 보건관리를 두도록 하고 있으나, 원자력법과 의료법에서는 방사선안전관리(책임)자를 두도록 한 것과 비교해보면 보완이 필요하다. 이와 관련해서는 일본의 노동안전위생법에서 작업 주임자를 두도록 한 것과 산안법에서 건설업의 경우에 안전관리 담당자를 두도록 한 것 같은 방식으로 개정하여 일관성을 갖추는 것이 필요하다. 그리고 안전보건 총괄 책임자를 지정하여야 하는 사업으로 '전리방사선 또는 방사성 물질을 이용하여 행하는 사업'을 추가한다.
- 안전보건교육 : 산안법에는 방사선업무종사자에 대한 특별안전보건교육을 규정하고 있으나 의료 및 실험용으로 방사선업무에 종사하는 경우에는 면제를 하고 있다. 방사성 물질에 오염되었을 경우에 응급처치에 관한 사항이나 보호구에 관한 사항, 측정기기의 기능 점검 등에 관한 사항 등은 모든 방사선업무종사자에게 필요한 교육이다. 그러므로 교육내용별로 충분한 지식 및 기능을 가지고 있다고 인정되는 경우에는 해당교육시간만을 면제하는 것으로 개정하는 것이 필요하다.
- 방사선 오염 조사 및 측정 : 산안법의 작업환경측정제도에서 전리방사선은 제외되어 있다. 따라서 방사

선업무를 하는 작업장에 대한 측정을 시행규칙 제93조에 추가로 규정하는 것이 필요하다.

- 개인피폭관리 및 선량한도 : 산안법에서는 방사선업 무종사자와 방사선 관리구역 수시 출입자의 개인피폭관리 및 선량한도에 대한 규정이 없으나, 원자력법과 의료법에 의해서 잘 관리되고 있다. 따라서 산안법에서는 개인피폭관리 제도를 도입하고, 방사선업무종사자의 피폭관리를 할 수 있도록 양 법과의 조정 및 협조가 필요하다. 선량한도는 ICRP의 권고에 따라서 원자력법과 의료법에서 채택하고 있는 선량한도를 산업안전보건기준에 관한 규칙 제573조에 추가로 규정하는 것이 필요하다.
- 건강진단 : 산안법에는 건강진단규정과 수행 및 사후관리 체제가 잘 갖추어져 있으므로 원자력법과 의료법에 의한 건강진단을 산안법에 준해서 시행하도록 양 법에서 조정하는 것이 필요하다. 그리고 원자력법에는 있는 1차 검사 항목에 '심폐기능 등 담당의사가 필요하다고 인정하는 검사'를 추가하는 것이 필요하다.
- 원자력법과 의료법과의 관계 : 산안법의 개정으로 원자력법과 의료법에 의한 건강장해 예방조치 중에 상호 조정이 필요하다. 이러한 사항을 명확하게 하기 위하여 산안법에 조정에 관한 조항을 신설하는 것이 필요하다.

결론 및 제언

산안법은 근로자의 건강 보호와 유지 및 증진을 위한 독립적인 권위를 가진 법이다. 그러나 앞에서 살펴본 바와 같이 산안법에서는 전리방사선의 특수성을 고려하여 원자력법과 의료법에 근로자 건강 보호의 역할을 위임한 상태이다.

한편, 원자력법과 의료법은 관련 종사자들의 안전보건 관리만을 목적으로 하는 법 제도가 아니다. 관련 시설과 재료 등에 대한 안전관리와 환경오염 방지 및 일반 대중

을 보호하는 역할도 담당하고 있다. 이들 법은 관련 시설과 재료를 사용하는 기관이나 사업자에 대한 인·허가 및 규제를 위하여 필요한 사항 중에 하나로 종사자에 대한 안전관리를 채택하고 있다. 그리고 근로자의 기본적인 근로조건이나 피해 발생 시의 보상에 대해서는 연계가 없이 예방조치만을 규정하고 있어서 종합적인 대응에 한계가 있다.

예를 들어, 원자력법이나 의료법에서는 전리방사선의 피해 보상문제와 관련된 제도가 없기 때문에 결국 산업재해보상보험법으로 이것을 대응해야 하며, 이때에는 해당 근로상황에 대한 이해와 조사 및 파악이 필요하게 된다. 그러나 산안법에 예방조치에 관한 규정이 없으므로 이를 원활하게 수행하기 어렵다. 이러한 사실은 최근에 전리방사선에 의한 업무상 질병을 주장하는 산재 보상 청구가 지속되면서 더욱 부각되고 있다.

산안법은 취지 자체가 근로자 보호인 것이다. 또한 그 근거가 근로기준법에서 출발하였고, 산업재해보상보험법과 연계되는 일관성을 가지고 있기 때문에 산안보건법에서 규정하고 있는 각종 유해인자에 대한 예방조치와 동일한 수준과 체계로 전리방사선에 대한 제도를 갖추는 것이 필요하다.

이 목적을 달성하기 위해서는 앞에서 제시한 '법의 적용대상 및 범위, 사업장에서 전리방사선에 대한 안전관리 체계 및 관리자 선임과 임무 부여, 노출되는 근로자들을 위한 안전보건교육, 피폭관리 및 방지조치, 방사선 오염 조사 및 측정, 개인피폭관리, 건강진단' 등에 대하여 일관성을 가지고 체계적으로 법을 규정하는 것이 필요하다.

이를 위하여 적용대상, 안전관리 체계, 안전보건교육, 방사선량측정 및 오염도 조사, 개인피폭선량관리, 건강진단 및 산안법과 원자력법 및 의료법과의 관계에 대한 제도화 방안을 제시하였다. 🌸

주요 선진 외국과 국내 산업안전보건법상의 MSDS 영업비밀제도 비교 연구



원창덕 소장(이학박사)
페로스환경연구소

국내 산업안전보건법상에는 영업비밀로서 보호할 가치가 있다고 인정되는 화학물질 및 이를 함유한 제재를 구체적으로 식별 가능한 정보는 물질안전보건자료(MSDS)에 기재하지 않을 수 있으나, 산업안전보건법상에 영업비밀을 허용하는 것이 MSDS의 신뢰성을 저하시키는 동시에 근로자의 건강 및 안전을 위협하는 주요 원인 중의 하나로 제기되고 있다. 정당하고 합리적인 이유로 영업비밀에 해당될 경우에만 MSDS상에 구성 성분 및 함유량에 대한 정보를 비공개로 관리하도록 하여 기업의 경제적인 이익을 보장하고, 그 외의 경우에는 MSDS를 통하여 모든 정보가 공개되어 근로자의 안전과 건강 보호를 위한 알 권리를 상시 보장하는 양측 권리의 조화가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

연구 필요성 및 목적

물질안전보건자료(MSDS)제도는 화학물질로부터 인간의 건강 및 환경을 보호하기 위한 실천의 일환으로 화학물질 취급자에게 유해 위험성 정보를 포함한 화학물질에 대한 여러 정보를 제공함으로써 취급자 자신의 안전과 보건은 물론 작업환경까지 보호할 수 있도록 하는 목적에서 도입되었다.¹⁾ 그러나 현재 유통되고 있는 MSDS는 형식의 불일치, 정보내용의 신뢰성 미흡 등에 대한 문제점으로 이러한 기능을 충분히 발휘하지 못하고 있는 실정이다.²⁾

특히 유럽연합(EU)의 REACH³⁾ 규제는 MSDS 제도에서 크게 영향을 미칠 것으로 예상되고 있기 때문에 이에 대응할 수 있는 체계를 구축하기 위해 기존에 관리·보급되던 MSDS에 대한 점검 및 관리방식의 변화가 필수적으로 요구되고 있다. 이와 같은 화학물질관리를 위한 규제 증대 및 강화에 따라 관련한 다양한 요구가 이루어

지고 있다.

이에 본 연구에서는 국내 사업장에서 작성 및 관리하고 있는 MSDS의 신뢰성 확보를 위하여 선진 외국의 영업비밀 관련 규정 적용 및 운영 사례를 검토해서 산업안전보건법상 MSDS의 영업비밀 관련 규정에 대한 개선 방안을 도출함으로써 제도 개선에 필요한 정책자료의 제공과 화학물질 취급 근로자의 알 권리를 통한 안전 사용 유도로 산업재해 예방에 기여하고자 한다.

연구내용 및 방법

본 연구에서는 미국, 캐나다, 일본, EU에서 시행되고 있는 MSDS 영업비밀에 대한 관련 규정을 문헌 및 인터넷을 통하여 분석하고, 이와 관련하여 법령 및 하위규정 등을 조사·분석하였다. 또한 주요 선진 외국의 운영 사례를 분석하여 산업안전보건법 내에서의 적용방안을 주기적으로 정부, 근로자, 학계 등의 전문가 회의를 통해



물질안전보건자료(MSDS) 제도는 화학물질 취급자에게 유해 위험성 정보를 포함한 화학물질에 대한 여러 정보를 제공함으로써 취급자 자신의 안전과 보건은 물론 작업환경까지 보호할 수 있도록 하는 목적에서 도입되었다.

도출하였고, 도출된 제안에 대한 타당성을 점검하여 제시하도록 하였다. 동시에 MSDS 영업비밀 주관 부서인 고용노동부에서 운영하는 TF와 연구진 및 전문가를 연계하여 이해 관계자들의 입장을 고려하면서 다양한 개선방안을 검토하였으며, 합리적이고 효율적으로 구축할 수 있도록 개선방안을 제안하였다.

연구결과 및 개선방안

미국, 캐나다, 일본, EU 등 선진 외국의 MSDS 영업비밀 관련 법령 및 하위규정과 운영 사례를 분석하여 주관 기관, 관련 법령, 영업비밀대상, 제외대상, 보호 절차 및 공개대상을 비교·분석하였다.

최종적으로 MSDS 영업비밀제도 개선방안으로는 현행 산업안전보건법상의 문제점을 파악하고 개선대상을 선정하여 개선안을 제안하였다.

본 연구의 진행과 병행하여 고용노동부에서는 그간

‘MSDS 영업비밀제도 개선 T/F’를 설치하여 국내·외 실정 검토 및 제도 개선방안을 구상하여 왔다. 이에 따라 개선대상과 관련한 사항 중 법률 개정이 필요한 사항에 대하여 2011년 7월 25일 공포된 산업안전보건법 일부 개정 시 우선적으로 반영하였다. <표 1>은 MSDS 영업비밀과 관련한 주요 법률 개정사항의 요약이다.

따라서 동 개정 법률에 반영된 MSDS 영업비밀에 관한 제도 개선의 기본 틀을 다시 정리하고, 개정 법률이 시행되는 2012년 1월 26일 이전에 추진하여야 할 사항(본 연구가 수행된 2011년 기준)과 이에 따른 행정적 후속조치 등에 대하여 제도 개선 방안으로 제시하였다.

1) 고용노동부, 화학물질 분류·표지 및 물질안전보건자료(MSDS)의 작성, 고용노동부고시 제2009-68호, 2009

2) 이종한·이권섭·박진우 등, MSDS의 영업비밀 적용실태 조사 및 제도 개선 연구, 안전보건공단 2009

3) European Parliament and Council, REGULATION (EC) No 1907/2006, Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH). 2006

〈표 1〉 물질안전보건자료(MSDS) 영업비밀 관련 주요 법률 개정사항(요약)

산업안전보건법 [법률 제10339호, 2010. 6. 4, 타법 개정]	산업안전보건법 [법률 제10968호, 2011. 7. 25, 일부 개정]
제41조(물질안전보건자료의 작성·비치 등)	제41조(물질안전보건자료의 작성·비치 등)
① 제조·수입·사용·운반 또는 저장 사업주는 MSDS 기재 및 취급 근로자 대상 게시	① 양도·제공하는 자는 MSDS 기재 및 양도·제공받는 자에 제공
② 사업주는 영업비밀의 경우 고용노동부령에서 정하는 바에 따라 제1항의 기재 및 게시 제외	② 양도·제공하는 자는 영업비밀의 경우 고용노동부령에서 정하는 바에 따라 제1항의 기재 및 게시 제외
(제1항 분리)	③ 취급 사업주는 제공받은 MSDS를 취급 근로자 대상 게시
제72조(과태료) ④ 500만원 이하 과태료 부과	제72조(과태료) ④ 500만원 이하 과태료 부과
1. 제41조 제1항 위반 MSDS 갖춰두지 않거나 미 게시	1. 제41조 제3항 위반 MSDS 미게시
(제1항 이전)	2. 제41조 제1항 위반 MSDS 미제공

MSDS 기재 의무대상 개선

사용 사업주는 제조·수입 사업주로부터 화학제품을 단순히 구매하여 사용하고 있어 해당제품의 MSDS 관련 정보의 취득이 현실적으로 곤란한 경우가 많다. 그러므로 화학물질의 제조·수입 사업주에게 MSDS 기재 의무를 부여하고, 사용 사업주는 근로자의 건강과 안전을 위해 MSDS를 제조·수입 사업주로부터 제공받아 취급 주의사항 등을 게시하도록 의무를 부여하는 2원화된 관리 체계로의 전환이 현실적으로 타당할 것이다.

2011년 7월 25일 공포되어 2012년 1월 26일 시행되는 개정 산업안전보건법에서는 제조·수입 사업주를 대상 화학물질의 '양도·제공하는 자'로, 사용 사업주를 '양도·제공받는 자'로 구분하였다. 그리고 양도·제공하는 자에게 MSDS의 기재 및 양도 의무를 부여하고, 양도·제공받는 자에게 MSDS의 게시 의무를 부여하여 2원화된 관리의 법률적 체계를 구축하였다.

이에 따라 MSDS 기재사항의 적정성에 대하여는 기존에 사용 사업주 중심의 지도감독에서 제조·수입 사업

주(양도·제공하는 자) 지도감독 체계로 전환하여 관리하여야 한다. 또한 근로자의 취급 주의에 대해서는 사용 사업주(양도·제공받는 자) 중심으로 지도감독을 강화하여 법 집행 절차의 합리적 개선을 실현하는 행정적 조치가 필요하다.

MSDS 기재에 대한 의무 부여가 양도·제공하는 자로 축약됨으로써 종전에 양도·제공받는 자가 영업비밀을 이유로 MSDS 기재를 부실하게 하거나 허위로 작성하는 우려가 개선되었다. 아울러 양도·

제공하는 자는 MSDS 정보의 주체자이기 때문에 정보 취득의 어려움으로 인한 MSDS 부실 기재의 명분을 줄일 수 있는 2중의 효과를 얻을 것으로 기대된다. 〈표 2〉는 MSDS 기재 및 취급의 의무대상 및 범위에 대한 요약표이다.

MSDS 영업비밀대상 명확화

기존 산업안전보건법상에서 MSDS를 기재하지 않을 수 있는 경우는 영업비밀에 해당하는 경우로만 정해져 있지만 영업비밀의 구체적인 대상을 규율하고 있지는 않다. 따라서 그 대상을 어느 범위로 정하느냐는 것이 영업비밀제도의 실효성을 얻을 수 있는 관건이다.

2011년 7월 25일 개정된 산업안전보건법에서 영업비밀로 분류할 수 있는 의무 주체를 대상 화학물질을 양도·제공하는 자로 국한하였고, 구체적인 대상은 기존의 법률과 동일하게 고용노동부령으로 위임하고 있다.

이로써 개정된 법률은 영업비밀과 관련하여 대상 선정의 불명확성에 대한 그간의 문제점을 크게 개선하였다. MSDS 기재 의무자를 양도·제공하는 자로 정하고 있어 사용 사업주와 같이 정보 취득 한계에 따른 기재 부실 등의 문제점을 우선적으로 해소했다고 할 수 있다. 사용 사업주가 파악하기 어려울 수 있던 영업비밀의 기재를 기재 의무자인 양도·제공하는 자가 정보 부재를 이유로 불실하게 해태하기 어려운 점이 그 이유라 하

〈표 2〉 MSDS 기재 및 취급의 의무 개선사항

구분	양도·제공하는 자	양도·제공받는 자
MSDS	기재 및 제공	취급 주의 게시
영업비밀	MSDS에 기재	필요한 경우 취득
지도감독	MSDS 내용 중심	MSDS 관리 중심

겠다. 결국 양도·제공자로 하여금 영업비밀대상을 명확히 정하여 기재하도록 한다면 법 집행상의 문제점은 해소될 수 있다고 본다.

다만, 부정 경쟁 방지 및 영업비밀 보호에 관한 법률⁴⁾ 제2조 제2호에서는 ‘영업비밀’에 대한 정의를 별도로 규율하고 있으므로 이에 대한 법률상 충돌을 어떻게 해소할 것인가에 대한 문제가 남게 된다. 본 연구에서 여러 선진 외국 사례를 통해 살펴본 바와 같이 MSDS 관련 법률과 영업비밀에 관한 공정 거래 관련 법률은 상호 충돌이 아닌 운영상 조화를 이루는 것이 법률의 안정성 측면에서도 가장 바람직할 것으로 판단된다.⁵⁾

결국 영업비밀로 분류하는 주체를 양도·제공하는 자로 정하였으므로 그 대상과 범위를 법률에서 위임한 바와 같이 고용노동부령으로 정하는 것이 필요하다. 따라서 영업비밀의 대상을 위임한 고용노동부령은 관계 법률 등을 고려하여 영업비밀의 대상을 명확히 개선하여야 한다. 본 연구에서는 고용노동부령의 개정안에 대하여 다음의 방안을 제시하고자 한다.

첫째, 영업비밀로 정할 수 있는 대상을 기존의 ‘화학물질의 명칭·성분 및 함유량’에서 ‘화학물질의 구성 성분 및 함유량’으로 변경하는 것이다. 이는 MSDS 기재 항목 중 영업비밀로서 보호 가치가 있는 정보는 구성 성분과 함유량이 중요하고, 명칭은 기업에서 명명한 제품명에 불과하므로 영업비밀 제외가 법률의 취지에 맞는다.

둘째, 영업비밀에 대한 정의를 명확히 하는 것이다. 현행 부정 경쟁 방지 및 영업비밀 보호에 관한 법률에서 법률적·사회적 통념상의 영업비밀에 대한 정의를 이미 내리고 있으므로 이를 인용하여 영업비밀에 해당하는 합리적인 대상을 법령상 구체화하여야 한다.

셋째, 영업비밀에 해당되는지 여부를 밝히고, 그 명확한 사유에 대하여 최소한의 소명을 MSDS에 기재하는 것이

산업안전보건법은 사업주의 영업비밀을 보호하면서도

근로자의 건강과 안전을 또한 보호하기 위하여

물질의 정보를 공개하도록 요구하고 있다.

산업안전보건법은 사업주의 영업이익이라는

사익(私益)과 근로자의 건강과 안전(산업안전보건)이라는

공익(公益)을 조정하면서 근로자의 건강과 안전이

우선한다는 점을 밝히고 있다.

이는 산업안전보건법이 근로자의 건강과 안전을

보호하기 위한 법이므로 당연한 귀결이라 생각되지만,

영업비밀이라는 사업주의 이익과의 균형점을

찾아야 하는 과제에도 직면하게 된다.

즉, 작업장에서의 화학물질 유해성에 대한

취급 근로자의 알 권리와 업계가 필요로 하고

당연히 보호되어야 하는 영업비밀 정보가

균형을 이루어야 한다.

필요하다. 이상의 방안에 대한 고용노동부령 개정(안)을 <표 3>과 같이 제시하고자 한다.

참고로, <표 3>에서 제시한 영업비밀 관련 산업안전보건법 시행규칙 개정(안) 중 제2항의 ‘(영업비밀로 분류하는 사유)’를 정하는 방안은 본 연구에서는 유보하기로 하겠다. 영업비밀대상에 대하여 의무 주체자가 미리 소

4) 부정 경쟁 방지 및 영업비밀 보호에 관한 법률[법률 제10810호, 2011. 6. 30, 일부 개정, 소관 부처 : 특허청]

5) 이관섭·이종한·조진희 등, 사업장 MSDS 작성관리의 신뢰성 향상방안 연구, 안전보건공단, 2007.

<표 3> 영업비밀 관련 산업안전보건법 시행규칙 개정(안)

현행	개정안
제92조의 2 (물질안전보건자료의 적은 사항 등)	제92조의 2 (물질안전보건자료의 적은 사항 등)
① (생략)	① (현행과 같음)
② 법 제41조 제2항에 따라 물질안전보건자료에 적지 아니할 수 있는 정보는 법 제41조 제1항 제1호에 따른 화학물질의 명칭·성분 및 함유량으로 한다. 이 경우 사업주는 그 정보가 영업비밀임을 물질안전보건자료에 분명하게 밝혀야 한다.	② 법 제41조 제2항에 따라 물질안전보건자료에 적지 아니할 수 있는 정보는 법 제41조 제1항 제1호에 따른 기재사항 중 구성 성분 및 함유량으로서 「부정 경쟁 방지 및 영업비밀 보호에 관한 법률」 제2조 제2호에 따른 영업비밀이라는 합리적인 이유가 있는 것으로 한다. 이 경우 대상 화학물질을 양도하거나 제공하는 자는 그 정보가 영업비밀임과 (영업비밀로 분류하는 사유)를 물질안전보건자료에 분명하게 밝혀야 한다.

명하여 기재하는 것이 별도의 인·허가과정이 없는 상태에서 합리적일 수 있는 반면, 영업비밀의 근원적인 보장을 저해할 소지도 있을 수 있는 등 상호 장·단점을 내포하고 있으므로 법령 입안과정에서 추가로 검토할 필요가 있어 두 가지 대안으로 제시하고자 한다.

아울러 이같은 법령상 규정화 이외에도 실제 지도감독 과정에서 개정 시행규칙 및 영업비밀 관련 법령상 영업비밀로서 인정할 수 있는 지도감독 사례와 영업비밀과 관련된 판례 등을 분석하여 가이드라인 또는 편람 등을 제작·배포함으로써 양 법률의 충돌을 최소화하면서 조화롭게 할 수 있는 행정 집행상 운영의 묘를 살리는 방안도 병행할 필요가 있다고 본다.⁶⁾

영업비밀 관련 MSDS 허위·부실 기재 처벌 강화

2011년 7월 25일 개정된 산업안전보건법에서 MSDS

작성 의무자인 양도·제공하는 자의 미기재 행위와 MSDS 게시 의무자인 양도·제공받는 자의 미게시 행위에 대하여 벌칙조항을 두고 있어 의무 주체자의 2원화에 따른 법 집행상의 요건은 확립되었다. 다만, 영업비밀을 빌미로 MSDS를 허위 또는 부실하게 기재하였을 경우에 대한 처벌 근거가 명확하다는 문제에 대해서는 추가로 검토할 필요가 있다.

대부분의 행정법령에서 문서상 허위 기재 행위는 미기재와 동일하게 간주하여 별도로 허위 기재에 대한 처벌조항을 두고 있지 않는 경우가 많다. 따라서 지도감독에서 영업비밀과 관련하여 허위 기재가 사실로 밝혀질 경우에 미기재 사항으로 조치하는 데 문제가 없을 것이다.

반면, 부실 기재의 경우는 광의로 볼 때 미기재 행위로 볼 수 있으나, 이를 명확히 규율화할 필요성이 있다. 영업비밀의 미기재에 대한 처벌규정은 현행 및 개정 법률



중대한 건강장해 우려 시 또는 근로자의 치료에 필요한 경우에는 의사, 산업보건직, 보건관리자 및 근로자 대표가 사업주와 해당 화학물질의 양도 제공자에게 영업비밀의 제공을 요구하면 근로자의 권리를 최대한 보호하도록 해야 한다.

에서 모두 과태료 처분대상으로 규정되어 있어 처분의 정도는 행정청의 판단이 필요한 사항이다. 때문에 부실 기재 소지가 있는 경우에는 행정청에서 미기재의 영역으로 처분하되, 그 위반의 정도에 따른 합당한 처분을 할 수 있는 근거를 마련하는 것이 법 집행의 안정성을 위해서 바람직하다. 이는 법령상 미기재, 허위 기재뿐만 아니라 부실 기재의 경우도 그 행위별로 처벌규정을 뚜렷이 구분함으로써 법 집행의 효율성을 사전에 담보하기 위함이다.

이를 위해서 대통령령의 '과태료 처분기준'에 미기재, 허위 기재 및 부실 기재 행위에 대해서도 명확히 구분하여 정하는 것이 바람직하다. 이 때 고의적 허위 기재, 단순 미기재, 의무 해태에 따른 불성실 기재 등 행위의 정도에 따라 과태료 부과금과 처분차수를 차등 적용함으로써 영업비밀을 이유로 한 MSDS 허위·부실 기재의 유형과 처분 근거를 명확히 밝혀 법 집행의 실익을 얻을 수 있다.

이외에도 산업안전보건법상 의무 주체의 합리화와 현실화되어 기존 양도·제공받는 자(사용 사업주) 중심의 지도감독에서 양도·제공하는 자(제조·수입 사업주) 중심의 MSDS 지도감독 체계로 전환하게 되므로 종전에 화학물질 사용 사업장에 집중된 지도감독을 제조·수입자 중심으로 전환해야 할 필요가 있다.⁷⁾ 이에 따라 제조·수입자를 대상으로 MSDS 작성·제공 의무 이행 여부에 대한 점검을 지속적으로 실시하여 영업비밀 관련 허위·부실 기재를 근원적으로 방지하도록 이행 여부에 대한 점검도 강화하여야 한다.

영업비밀 해당 여부와 관련해서도 제조, 수입자의 주관적 판단이 아닌 객관적이고 합리적으로 영업비밀 요건에 부합하는 경우에 그 대상이 되도록 MSDS 영업비밀 적용을 위한 기준에 따른 해석에 대한 지도 및 교육

또한 필요하다.

결국 영업비밀에 대한 적극적인 해석뿐만 아니라 기재 적정성, 처벌규정 등의 지도감독과 심도 있는 교육·홍보의 병행이 필요하다고 할 수 있다.

결론

산업안전보건법은 사업주의 영업비밀을 보호하면서도 근로자의 건강과 안전을 또한 보호하기 위하여 물질의 정보를 공개하도록 요구하고 있다. 산업안전보건법은 사업주의 영업이익이라는 사익(私益)과 근로자의 건강과 안전(산업안전보건)이라는 공익(公益)을 조정하면서 근로자의 건강과 안전이 우선한다는 점을 밝히고 있다. 이는 산업안전보건법이 근로자의 건강과 안전을 보호하기 위한 법이므로 당연한 귀결이라 생각되지만, 영업비밀이라는 사업주의 이익과의 균형점을 찾아야 하는 과제에도 직면하게 된다.

즉, 작업장에서의 화학물질 유해성에 대한 취급 근로자의 알 권리와 업계가 필요로 하고 당연히 보호되어야 하는 영업비밀정보가 균형을 이루어야 한다. 정당하고 합리적인 이유로 영업비밀에 해당될 경우에만 화학물질의 구성 성분과 함유량에 대한 정보만 비공개로 관리하여 기업의 경제적 이익을 보장하고, 그 이외의 유해성, 위험성과 취급 주의사항에 대해서는 MSDS에 반드시 기재하여야 한다. 그리고 중대한 건강장해 우려 시 또는 근로자의 치료에 필요한 경우에는 의사, 산업보건의, 보건관리자 및 근로자 대표가 사업주와 해당 화학물질의 양도 제공자에게 영업비밀의 제공을 요구하면 지체 없이 제공해야 하는 규정의 실효적인 운영을 통하여 기업의 MSDS 영업비밀제도에 따른 근로자의 권리를 최대한 보호하도록 해야 한다. 🌸

6) 김수근, 물질안전보건자료(MSDS)에서의 영업비밀, 안전보건 연구동향 Vol 5, No 8, 2011년 8월호 pp.38-45

7) 김강윤·조기홍·이용학 등, REACH에 대응한 물질안전보건자료 신뢰성 향상방안, 안전보건공단 2007

산화규소 화합물의 노출기준 개정 연구



이영섭 교수
서울과학기술대학교
안전공학과

산화규소는 무기입자 분자인 규소(Si)에 산소 2개가 결합하여 붙어 있는 구조물로 화학식은 SiO_2 (유리규산)이다. 규소는 지각 표면의 28.5%를 차지하는 물질이며, 산소 다음으로 풍부하게 존재하는 물질이다. 산화규소 화합물에는 결정형과 비결정형이 있다. 결정형은 석영, 크리스토파라이트, 트리디마이트, 트리폴리로 구분되고, 비결정형은 용융된 규소, 규조토, 침전된 규소, 실리카겔로 구분된다. 결정형의 경우에는 암 유발물질로 관리되고 있다. 본고에서는 산화규소 화합물에 대한 선진 외국의 직업적 노출기준 등의 정보를 확인하고, 우리나라 노출 사업장 평가를 수행하여 근로자의 건강을 보호하며, 국내 실정에 적합한 노출기준을 제안하고자 하였다.

서론

분진은 체내에 흡입되어 폐포 혈관으로 흡수됨으로써 인체에 독성 작용을 일으키는 무기화합물질이다. 무기입자 분자인 규소(Si)는 지각 표면의 28.5%를 차지하는 물질로서 산소(O) 다음으로 풍부하게 존재하

며,¹⁾ 각종 규산염 속에서 결정형(Crystalline)과 비결정형(Amorphous)의 두 가지 형태로 존재한다. 규산염 광물은 지각 표면의 80%를 구성하며, 결정형 산화규소의 가장 대표적 형태인 석영(Quartz)이 12%를 구성한다.²⁾

산화규소 화합물의 노출로 인하여 발생될 수 있는 인체 영향은 대부분 결정형이 원인이 되며, 그 종류로는 진폐, 폐섬유화 및 폐암 등이 있다.

현재 우리나라 산화규소 화합물과 관련된 노출기준은 총 8종인데 결정형 4종(석영, 크리스토파라이트, 트리디마이트, 트리폴리)과 비결정형 4종(용융된 규소, 규조토, 침전된 규소, 실리카겔)으로 구분³⁾되어 상당히 복잡하게 운용되고 있다.

전 세계적으로도 직업적 노출기준은 다양하게 설정되어 있으며, 미국과 일본의 경우는 산화규소 화합물의 노출기준을 계산식으로 제시하고 있다. 미국산업위생전문가협회(ACGIH)에서는 2006년 노출 근로자의 폐섬유

1) Armichael, R, S. (1989). Practical Handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals, Boca Roton, FL, CRC Press

2) Hogan T.J. (1995). "Particulates. In : Plug BA, Niland J, Quinlan PJ, editors". Fundamentals of industrial hygiene, 4th ed, by B.A. Plog, Itasca, Illinois, National Safety Council

3) 우리나라 산화규소 노출기준 현황

유해물질 명칭	노출기준 (TLV-TWA)	비고
산화규소(결정체 석영)	0.05 mg/m ³	호흡성 분진
산화규소(결정체 크리스토파라이트)	0.05 mg/m ³	호흡성 분진
산화규소(결정체 트리디마이트)	0.05 mg/m ³	호흡성 분진
산화규소(결정체 트리폴리)	0.1 mg/m ³	호흡성 분진
산화규소(비결정체 규소, 용융된)	0.1 mg/m ³	호흡성 분진
산화규소(비결정체 규조토)	10 mg/m ³	
산화규소(비결정체 침전된 규소)	10 mg/m ³	
산화규소(비결정체 실리카겔)	10 mg/m ³	

화 및 규폐 발생의 사전 예방 차원에서 석영 및 크리스토파이트의 노출기준을 0.05mg/m³보다 대폭 강화하여 0.025mg/m³로 하였다. 이처럼 산화규소 화합물에 대한 직업적 노출기준과 그 수준이 강화됨을 감안하여 각국의 노출기준을 비교·검토하고, 우리나라 노출 사업장 조사를 통해 현행 산화규소 화합물의 노출기준을 전반적으로 연구하고자 하였다.

연구내용

■ 각 선진 외국의 노출기준 확인

방법은 미국의 경우 OSHA PEL(Permissible Exposure Limits), ACGIH TLV(Threshold Limit Values), NIOSH REL(Recommended Exposure Limits)을, 일본은 후생노동성의 노동안전위생법상 관리 농도, 일본산업위생학회에서 권고하는 기준, 그리고

영국 WEL(Workplace Exposure Limits)에 대한 기준 제시와 설정 근거를 파악하였다.

■ 산화규소 화합물 노출 평가를 위한 노출 사업장 현장 조사 및 설문 조사

사업장의 실태를 파악하기 위하여 사업장 5개소를 선정한 후 직접 방문하여 작업환경측정을 실시하였으며, 각 사업장의 작업환경측정방법 및 분석결과와 전년도 작업환경측정자료, 사업장정보 등도 수집하였다. 설문 조사는 전국에 지정 작업환경측정기관 161개 소를 대상으로 실시하였다. 조사 항목은 광물성 분진 중 규산 측정, 호흡성 분진 채취 및 분석, 산화규소 노출기준 등에 대한 인지도, 규정의 명확도, 규정의 준수율, 지정측정기관별 광물성 분진 채취 및 분석방법, 장비 보유 현황, 노출기준 적용 현황, 노출기준 적용 시 어려운 점과 광물성 분진 측정대상 사업장, 시료수 예측 등이었다.

〈표 1〉 미국 OSHA 의 산화규소에 대한 PEL

Substance	mppcf*	mg/m ³
Silica:		
Crystalline		
Quartz (Respirable)	250 %SiO ₂ +5	10 mg/m ³ % SiO ₂ +2
Quartz (Total Dust)		30 mg/m ³ % SiO ₂ +2
• Cristobalite: Use 1/2 the value calculated from the count or mass formulae for quartz.		
• Tridymite: Use 1/2 the value calculated from the formulae for quartz.		
Amorphous, including natural diatomaceous earth	20	80 mg/m ³ %SiO ₂
Silicates (less than 1% crystalline silica):		
Mica	20	
Soapstone	20	
Talc (not containing asbestos)	20 ^c	
Talc (containing asbestos) Use asbestos limit		
Tremolite, asbestiform (see 29 CFR 1910.1001)		
Portland cement	50	
Graphite (Natural)	15	
Coal Dust:		
Respirable fraction less than 5% SiO ₂		2.4 mg/m ³
Respirable fraction greater than 5% SiO ₂		10 mg/m ³ SiO ₂ +2
Inert or Nuisance Dust:		
Respirable fraction	15	5 mg/m ³
Total dust	50	15 mg/m ³

* millions of particles per cubic foot

연구결과

선진 외국의 노출기준 현황

■ 미국

- OSHA : PEL(Permissible Exposure Limits) - 미국 산업안전보건청(Occupational Safety & Health Administration)에서는 산화규소 화합물에 대한 허용 노출기준 공식을 이용하고 있다. 석영의 경우 총 분진에 대한 허용 노출기준도 계산식으로 제시되어 있으며, 크리스토파라이트와 트리디마이트는 석영 기준의 1/2 수준을 제시하고 있다.
- ACGIH : TLV(Threshold Limit Values) - 미국 정부 산업 위생 전문가 협의회(The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)는 비결정형 산화규소 및 결정형 산화규소 8종에 대하여 설정된 노출기준내용을 2004년에 대폭 수정하여 석영과 크리스토파라이트만 호흡성 분진으로 채취하고, 노출기준은 $0.025\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 낮추어 권고하였다. 석영과 크리스토파라이트를 제외한, 이전에 권고된 나머지 물질들은 자료가 불충분하다는 이유로 2005년 트리디마이트에 이어



산화규소 화합물의 노출로 인하여 발생할 수 있는 인체 영향 종류로는 진폐, 폐섬유화 및 폐암 등이 있다.

2006년에 나머지 물질들의 권고를 철회하였다. 이는 비결정형 규조토의 경우 단일물질로 노출된 자료가 불충분하며, 대부분이 결정체 규산과 함께 노출된 자료만 존재하기 때문이며(Insufficient data on single-substance exposure, most are co-exposures with crystalline silica), 비결정형 산화규소 흡, 비결정형 용융된 산화규소, 비결정형 침전된 산화규소는 노출자료가 불충분(Insufficient data)해서 노출기준이 철회되었다.⁴⁾

- NIOSH : REL(Recommended Exposure Limits) - 미국국립산업안전보건연구원(NIOSH)의 권고 노출

기준은 크게 결정형과 비결정형으로 구분하고 있으며, 결정형은 우리나라와 동일하게 호흡성 분진 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 규정하고 있고, 비결정형은 $6\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 제시하고 있다.

■ 일본

일본후생노동성 노동안전위생

〈표 2〉 현재 ACGIH의 산화규소에 대한 노출기준

유해물질 명칭	TLV	Notation	비고
산화규소(결정체 석영)	$0.025\text{mg}/\text{m}^3$	A2	호흡성 분진
산화규소(결정체 크리스토파라이트)	$0.025\text{mg}/\text{m}^3$	A2	호흡성 분진

〈표 3〉 미국 NIOSH의 산화규소에 대한 TLV

Silica, crystalline (as respirable dust)	Formula: SiO ₂	CAS#: 14808-60-7	RTECS#: VV7330000	IDLH: Ca [25 mg/m ³ (cristobalite, tridymite); 50 mg/m ³ (quartz, tripoli)]
Conversion:	DOT:			
Synonyms/Trade Names: Cristobalite, Quartz, Tridymite, Tripoli				
Exposure Limits: NIOSH REL: Ca TWA 0.05 mg/m ³ See Appendix A				Measurement Methods (see Table 1): NIOSH 7500, 7601, 7602 OSHA ID142
OSHA PEL: See Appendix C (Mineral Dusts)				
Silica, amorphous	Formula: SiO ₂	CAS#: 7631-86-9	RTECS#: VV7310000	IDLH: 3000 mg/m ³
Conversion:	DOT:			
Synonyms/Trade Names: Diatomaceous earth, Diatomaceous silica, Diatomite, Precipitated amorphous silica, Silica gel, Silicon dioxide (amorphous)				
Exposure Limits: NIOSH REL: TWA 6 mg/m ³ OSHA PEL: TWA 20 mppcf [(80 mg/m ³)/%SiO ₂]				Measurement Methods (see Table 1): NIOSH 7501
Physical Description: Transparent to gray, odorless powder. [Note:] Amorphous silica is the non-crystalline form of SiO ₂ .				

〈표 4〉 일본의 JSOH의 산화규소에 대한 OEL(요약)

I. Respirable crystalline silica OEL-C 0.03 mg/m ³		
II. Dusts other than I		
	Dusts	OEL (mg/m ³)
		Respirable dust Total dust
Class 1	Activated charcoal, Alumina, Aluminum, Bentonite, Diatomite, Graphite, Kaolinite, Pagodite, Pyrites, Pyrite cinder, Talc	0.5 2
Class 2	Dusts containing less than 10% free silica, Bakelite, Carbon black, Coal, Cork dust, Cotton dust, Iron oxide, Grain dust, Joss stick material dust, Marble, Portland cement, Titanium oxide, Wood dust, Zinc oxide	1 4
Class 3	Limestone Inorganic and organic dusts other than Classes 1 and 2	2 8

법의 경우 토석, 암석, 광물, 금속 또는 탄소의 분진에 대하여 관리 농도를 $E = 3.0 / (1.19Q^{0.5}) + 1$ 의 공식으로 규정하고 있다. 일본 노동안전위생법 제65조에서 정한 분진 농도의 측정은 분진장해 예방 규칙 제25조에 ‘토석, 암석, 광물, 금속 또는 탄소분진을 현저하게 발산하는 옥내 작업장’에 대하여 실시하도록 규정하고 있으며, 분진장해 예방규칙 제26조 제2항에는 분진 농도의 측정 시에는 유리규산(SiO₂) 함유율을 반드시 측정하도록 규정하고 있다. 따라서 석영의 함유량을 파악해야 관리 농도 초과 여부를 파악할 수 있다. 이는 결정형규산 함유율이 변동하면 측정치가 동일하여도 평가는 달라질 수 있다는 것이다.⁶⁾

아울러 일본산업보건협회(JSOH)의 직업적 권고노출기준(Recommendation of Occupational Exposure Limits)에서는 호흡성 결정형 산화규소에 대한 기준으로 0.03mg/m³을 제시하고 있다. 그리고 결정형 이외의 분진은 1종, 2종, 3종으로 구분하되, 총분진과 호흡

성 분진에 대한 기준이 구분 설정되어 있다.

■ 영국

영국의 경우는 Health and Safety Executive(HSE)의 독성물질평가실무그룹(WATCH; Working Group on the Assessment of Toxic Chemicals)에서 기록을 검토하기 시작, 작업장 노출기준(WELs; Workplace Exposure Limits)

은 크게 비결정형, 결정형, Fused로 구분하였다. 그 중 비결정형 산화규소는 흡입성과 호흡성에 대한 노출기준을 규정하고 있고, 결정형의 경우는 호흡성으로서 0.1mg/m³으로 규정하고 있다.

산화규소 화합물 노출 사업장의 현장 조사 및 설문 조사

■ 현장 조사결과

산화규소 화합물의 5개 사업장에 방문하여 현장 조사 및 작업환경을 측정하였다.

작업환경측정은 공기 중 호흡성 분진을 채취·분석하였는데, 세계적으로 공인된 미국국립산업안전보건연구소의 공정시험법(NIOSH method, 7602)과 안전보건공단 Method No.83을 이용하여 실시하였다.

그 결과, 고용노동부의 노출기준인 0.05mg/m³를 초과하는 사업장은 석재, 요업의 2개 소였고, ACGIH의 TLV를 초과하는 사업장은 폐주물, 석재, 요업, 유리 등 총 4개 소로 나타났다. 다만, 초과공정의 경우 고용노동부 노출기준을 초과하는 공정은 3개에 불과했지만, ACGIH TLV를 적용할 경우 6개의 공정에서 노출기준

〈표 5〉 영국의 산화규소에 대한 WEL(요약)

Substance	WEL(mg/m ³)
Silica, amorphous	
inhalable dust	6
respirable dust	2.4
Silica, respirable crystalline	0.1
Silica, fused respirable dust	0.08
Silicon	
inhalable dust	10
respirable dust	4

4) American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2010)

5) 해당 분진의 유리규산 함유율(단위 percent)

6) 일본 후생노동성 (2000), 노동안전위생법

초과가 발생하며, 요업과 석재 사업장은 모든 시료가 초과하는 것으로 나타났다.

〈표 6〉 산화규소 화합물 노출기준 초과 현황

업종	공정	노출 농도 (mg/m ³)	고용노동부 노출기준	ACGIH TLV
폐주물	투입 및 선별	0.0187	미만	미만
(경북 영천)		0.0263	미만	초과
석재	가공	0.0468	미만	초과
(경북 경주)		0.2704	초과	초과
주물	조형	0.01275	미만	미만
(경남 창원)		0.000932	미만	미만
요업	투입	0.0546	초과	초과
(울산시 울주)		0.0952	초과	초과
유리	배합	0.0324	미만	초과
(경기도 포천)		0.0198	미만	미만

■ 설문 조사결과

2011년을 기준으로 고용노동부 지정 총 161개 작업환경측정기관에 설문지를 배포하였으며 82개 기관에서 응답하였다.

설문 분석결과, 광물성 분진 중 규산측정, 호흡성 분진 채취 및 분석, 산화규소 화합물의 노출기준에 대한 인식도는 90%로 내외로 전반적으로 높게 파악되었다. 관련 규정의 경우 호흡성 분진 규정에 대한 인식도가 가장 높았고, FTIR(Fourier transform infrared spectroscopy) 또는 XRD(X-ray Diffraction)로 분석하는 규정에 대해서는 인식도가 낮은 것으로 조사되었다.

광물성 분진 중 규산측정, 호흡성 분진 채취 및 분석, 산화규소 노출기준에 대한 규정의 준수율은 각각 76.8%, 84.1%, 70.7%, 77.8%로 나타나 산화규소 화합물의 분석 관련 준수율이 가장 낮았고, 호흡성 분진으로 채취하는 경우의 준수율이 가장 높았다.

산화규소 화합물을 분석할 수 있는 장비로 X-선 회절 분석기는 1개소에서 구비하고 있었고, FTIR은 9개소가 보유하고 있었다. 시료를 의뢰하여 분석하고 있는 기관은 37개소였으며, 총 1,268건의 시료가 1년간 5개의 지정측정기관에 의뢰되고 있었다. 그리고 광물성 분진 발생 화합물 수는 1,022개소, 분석해야 할 시료 수는



A 사업장(폐주물) - A 사업장의 투입 및 선별과정



B 사업장(석재) - B 사업장의 가공과정



C 사업장(주물) - C 사업장의 주물공정과 조형 합형과정



D 사업장(요업) - D 사업장의 분쇄 및 원료 투입과정



E 사업장(유리 제조) - E 사업장의 원료 분쇄 전 투입 및 원료 분쇄과정

3,806건으로 예측되었다.

산화규소 화합물 노출기준 적용 시 어려운 점으로는, 너무 다양하고 복잡한 산화규소 노출기준을 비롯하여 분석장비를 보유하고 있지 않은 것 등의 이유가 많았다. 현장에서 복잡한 산화규소 노출기준으로 인해 적용에

어려움이 따른다면 노출기준을 간소화할 필요성을 제시하고 있다고 판단된다. 또한 분석장비의 미보유로 인해 기준 적용에 어려움을 느끼고 있다고 나타났다. 그렇지만 다른 설문 문항에서는 산화규소 화합물 분석을 위한 장비기준은 현재처럼 선택 장비로 유지시키거나, 시료를 외부기관에 의뢰해도 괜찮다는 의견이 대부분(85.6%)을 차지하였다.

고찰 및 제언

산화규소 화합물의 직업적 노출기준으로 OSHA PEL과 일본의 관리 농도는 그 기준을 계산식으로 제시하고 있으며, 미국산업위생전문가협회의 노출기준(Threshold Limit Values)과 캐나다의 TWAEV(Time-Weighted Average Exposure Values)는 결정체로서 석영과 크리스토파라이트에 대해서만 각각 $0.025\text{mg}/\text{m}^3$ 로 규정하고 있다.

국내·외 광물성 분진 연구를 고찰한 결과, 국내에서 수행된 모든 논문은 석영에 대한 부분만 노출 평가가 이루어져 있다. 외국의 경우도 결정형 산화규소 연구결과가 대부분 석영에 대한 결과만 제시되어 있다. 또한 설문 조사결과도 복잡한 산화규소 노출기준에 대한 문제점이 나타나 있다.

이러한 점들을 감안할 때 현행 우리나라의 결정체 트리디마이트, 결정체 트리폴리, 비결정체규소(용융된) 및 비결정형 산화규소 화합물의 노출기준은 삭제해도 무방할 것으로 판단된다. 또한 산화규소 화합물의 결정체에 대한 국제적인 공인분석방법(NIOSH 7500/XRD, Quartz, NIOSH 7602/IR, Quartz, OSHA 142/XRD, Quartz · Cristobalite)도 그 대상물질이 석영과 크리스토파라이트로 한정된 점을 감안하면 석영과 크리스토파라이트만 유지되는 것이 타당하다고 판단된다.

다만, 결정체 크리스토파라이트와 결정체 트리폴리는 별도로 공인된 분석방법은 없지만 결정형으로서 규폐, 폐기능 감소 등의 원인이 될 수 있는 점을 감안하여 존

국내·외 광물성 분진 연구를 고찰한 결과,
국내에서 수행된 모든 논문은 석영에 대한
부분만 노출 평가가 이루어져 있다.
외국의 경우도 결정형 산화규소 연구결과가
대부분 석영에 대한 결과만 제시되어 있다.
또한 설문 조사결과도 복잡한
산화규소 노출기준에 대한 문제점이 나타나 있다.
이러한 점들을 감안할 때
현행 우리나라의 결정체 트리디마이트,
결정체 트리폴리, 비결정체규소(용융된) 및
비결정형 산화규소 화합물의 노출기준은
삭제해도 무방할 것으로 판단된다.
또한 산화규소 화합물의 결정체에 대한
국제적인 공인분석방법도
그 대상물질이 석영과 크리스토파라이트로
한정된 점을 감안하면 석영과 크리스토파라이트만
유지되는 것이 타당하다고 판단된다.

치시키는 것도 바람직하다고 보인다.

한편, 산화규소 화합물(결정체 석영)에 대한 5개 사업장의 노출 평가결과 현행 고용노동부의 노출기준을 30% 초과하였고, 석영의 기준을 $0.025\text{mg}/\text{m}^3$ 로 강화할 경우 60%가 초과됨에 따라 노출기준 강화는 단계적으로 이루어져야 할 것이다. 현재는 최소한의 혼란을 감소시키기 위해서 현행의 노출 수준 유지가 권장된다. ✚

미끄러짐 저항의 지속 가능성 성능 평가

— 미끄러짐 위험성 평가의 새로운 패러다임



김정수 연구원
산업안전보건연구원
안전연구실

‘미끄러짐 저항의 지속 가능성(Sustainable slip resistance)’이라 함은 특정 바닥재 마찰 성능 시험방법이며, 동시에 미끄러짐 사고와 넘어짐 사고를 최소화하기 위해 바닥재의 수명 동안 우수한 마찰공학적 특성들을 유지하는 미끄러짐 저항성 바닥재를 사용하기 위한 선택기준도 된다. 건축물에 바닥재가 설치되기 전후 바닥재에 대한 평가는 건물주에게 안전한 바닥재가 선택되었고 의도된 사용에 맞게 설치되었다는 것을 확신시킬 수 있다. 맥도날드 레스토랑 체인에 의해 개발되어 현재 많은 기업(Westfield, Aldi, Toyota 등)에 의해 채택된 이러한 시험법은 젖은 바닥의 미끄러짐 저항에 가벼운(바닥재 표면의 거칠기가 일정해진 상태) 마모가 미치는 영향을 평가할 수 있게 한다. 또한 이 시험법은 젖은 바닥에서 미끄러짐 저항 성능을 급격히 잃어버리는 바닥재를 구별할 수 있게 한다.

‘미끄러짐 저항의 지속 가능성’ 성능 평가의 필요성

미국의 법률이나 건축법규뿐만 아니라 설계에서 널리 인정되는 안전의 원리는 바닥재가 설치될 당시뿐만 아니라 바닥재의 수명 동안 우수한 미끄러짐 저항 특성을 유지해야 한다는 것이다. 종종 미국에서 정지마찰계수로만 평가한 안전기준은 젖은 바닥이나 다른 오염물질이 있는 장소에서 너무나도 자주 빗나간 예측을 한다.

독일과 호주에서는 특정상황(수영장 바닥, 식당 부엌, 화장실 등)에 맞추어 150가지 이상의 안전기준을 만들어왔다. 그러나 이 기준은 현장에서 직접 사용할 수 없는 실험실용 측정 장치인 경사로 시험 장치 등에 기초하고 있다. 휴대용 ASTM(American Standard Test Method) 시험법 장치인 진자형(pendulum) 시험기는 보행자의 잠재적인 마찰력을 평가하기 위해 적어도 1971년부터 성공적으로 사용되어 왔다. 또한 4개 대륙

48개 나라에서 보행자 미끄러짐 위험성 평가를 위해 국가 표준으로 사용하고 있다.

‘미끄러짐 저항의 지속 가능성(Sustainable slip resistance)’ 평가는 진자형 시험기로 사용 전후에 바닥재 표본을 측정함으로써 이루어진다. 몇몇 건축가와 건물 소유주는 안전한 바닥재를 선정하고 검증하기 위해 특별한 안전기준과 이 진자형 시험기를 조합하여 사용하고 있다. 만일 바닥재가 쉽게 젖는 지역 또는 다른 오염물질(공중에 날리는 튀김용 기름, 자동차 그리스 등)로 쉽게 미끄러워지는 지역에 사용된다면 이러한 조건에서 미끄러짐 저항 특성이 평가되어야 미끄러짐 사고가 예방될 수 있다.

미국 장애인보호법(ADA: Americans with Disabilities Act)은 장애인의 접근성이 용이하도록 바닥재가 미끄러짐 방지기능을 갖도록 요구하고 있다. 이때 바닥재의 미끄러짐 방지기능은 건축물이 건립될 때뿐만 아니라 바닥재의 내용 수명 동안 유지되어야 한다. 미국에서 전형

적인 건축규정은 다음과 같이 규정하고 있다.

‘모든 기존 건물, 구조물, 부지 또는 그것의 일부는 건축규정과 법적 승인기관에서 제시하는 기준에 맞추어서 건축할 때와 사용할 때에도 유효하게 유지되어야 한다.’ ‘모든 기존 건물, 구조물 또는 그것의 일부는 안전한 상태여야 하고 적절한 유지보수로 안전한 상태를 유지하여야 한다.’ ‘복원될 때, 모든 기존 건물, 구조물 또는 그것의 일부분의 모든 물리적 요소들은 그것들이 기존에 승인될 때 요구되었던 조건을 합리적인 수준에서 가능하면 최대한 근접하게 맞추어져야 한다.

만일 건물 소유주가 수년의 기간 동안 건축물에 설치된 바닥재의 미끄러짐 저항 성능이 유지되는 것을 확실하게 된다면 이는 보행자의 안전을 확보할 뿐만 아니라 바닥재에 대한 과도한 투자와 영업 정지도 막을 수 있다.

미끄러짐 저항의 지속 가능성(SSR) 시험법은 맥도날드 레스토랑의 의뢰를 받아 마모나 다른 부적절한 유지보수로 인하여 발생하는 미끄러짐 저항 감소에 민감하지 않는 바닥재를 찾고자 호주 연구자 Strautins에 의해 개발되었다. 이 시험법과 적절한 선정기준은 비용이 많이 드는, 치명적 사고와 건강관리비용의 증가를 막을 뿐만 아니라 부적절한 바닥재에 대한 불필요한 투자를 막는 데 도움을 줄 수 있다. 본고에서는 이러한 방법을 설명하고, 이 방법이 바닥재 안전을 향상시키기 위해 어떻게 사용될 수 있는지를 설명하고자 한다.

국제적인 시험방법들과 안전기준

독일과 호주는 10년 넘게 약 150가지의 구체적인 상황들에 기초하여 상세한 바닥재 미끄러짐 저항 표준을 만들어왔다. 즉, 이러한 구체적인 상황들에는 외부 보행로, 수영장 바닥, 수영장 계단, 상업용 부엌, 병원수술실 등이 있다. 유럽의 다른 지역에 있는 건축가들은 비공식적으로 이러한 기준을 채택하여 왔다.

통상 미끄러짐 저항 등급은 표준 신발을 신거나 또는 맨발로 실험실용 경사로(재현성이 광범위하게 보고되고

있음)에 기름이나 물을 뿌려놓고 바닥재 표본 위를 사람이 걸어서 얻어지는 결과로 판정한다. 그러나 이러한 측정결과는 단지 바닥재가 현장에 설치되기 전의 새로운 바닥재에 대한 상태만을 나타낸다.

몇몇 바닥재의 경우에 건물이 준공된 후 단지 수주일 내에 초기에 우수했던 젖은 미끄러짐 저항 특성을 잃어버리는 경우가 있다. 따라서 경사로 시험기는 실제 조건에 노출된 현장 바닥재의 안전성을 평가하는 데 사용할 수 없다. 다만, 적절한 바닥재 마모장치로 마모시키거나 실제 현장의 바닥재를 이용하여 평가할 경우 경사로 시험기의 결과는 충분히 활용될 수 있다.

1971년부터 영국은 휴대용 시험법인 진자형측정기에 기초한 잘 만들어진 미끄러짐 저항 표준을 사용하여 왔다. 이 시험법은 1940년대에 미국 국립표준국(National Bureau of Standard)에서 보행자의 접지력을 측정하기 위해 개발하였고, 이후 영국에서 추가적으로 개선하였다. 영국에서는 25년 이상 3,500개 소의 실제 공공장소 보행 구역을 측정한 결과와 사고 조사기록을 이용하여 진자형 시험기의 안전기준과 함께 진자형 시험기를 1971년도에 보행자 접지력측정기로 승인하였다. 원래 표준은 미국 ASTM 표준(E303)이고 영국에서는 보행자 접지력을 측정하기 위해 약간 개정하였다.

ASTM C1028와 진자형 시험기

미국의 경우, 평지의 젖은 구역에 대한 잠재적 위험성을 예방하기 위해 건축가와 설계자는 일반적으로 ASTM C1028을 이용하여 젖은 상태에서 정지마찰계수가 0.6 이상 나오는 바닥재를 선택한다. 이러한 방법은 사실상 젖은 상태에서 몇몇 매우 미끄러운 바닥재 표본을 ‘안전한 상태’로 평가하게 되는 혼란스러운 결과를 낳게 될 수 있다. 현재 이 방법은 ASTM 미국세라믹타일연구소(Ceramic Tile Institute of America) 및 북미타일위원회(Tile Council of North America)에 의해 안전을 평가하기에 부적절한 것으로 인식되고 있다.

ASTM C1028은 오래된 시험법이고 미국의 건축가나 건물 소유주에게도 잘 알려져 있지 않다. 검토 중인 보다 유용한 시험법과 안전 표준(안전 평가)은 진자형 시험기를 기준으로 하고 있다. 진자형 시험기는 4개 대륙에 있는 48개국에서 보행자 미끄러짐 저항을 위한 표준 시험법으로 채택하고 있고, 미국 세라믹타일연구소는 2001년도 이후에 공식적인 측정법으로 채택하고 있다.

가속 마모 시험법의 개발

가속 마모 시험법을 개발하기 위해 Gardco 12VFI(선형 내세정성 및 마모 시험기)가 사용되었다. 이 장치는 그동안 나일론으로 만든 뺏뺏한 솔을 이용하여 도장면의 마모 정도를 평가하는 데 사용되어 왔다. 이 장치는 정해진 구간 내에서 좌·우로 움직이는 $100 \times 100\text{mm}$ 크기의 마찰편을 갖고 있다. 이 마찰편에는 다양한 종류의 연마 물질이 고정되어 좌우로 300mm의 구간을 분당 50회 반복하도록 되어 있다. 이 때 젖은 바닥재에 가해지는 압력은 마찰편에 올려지는 무게추에 의해 조절된다.

처음에는 연마물질과 가해지는 압력의 영향을 조사하기 위해 가압 성형된 시유(Glazed) 세라믹 타일을 이용하였다. 이러한 연구를 위해 4종류의 3M 나일론 패드가 사용되었다. 이 패드는 연마 성능을 색깔로 표시하고 있다(흰색 - 경작업용 No.98, 옅은 파란색 - 파워패드 No.2000, 녹색 - 중작업용 No.86, 짙은 파란색 - 초·중작업용 No.88).

이 연마패드는 500g, 1,000g, 2,000g의 무게추와 조합하여 사용되었다. 400번 사포로 조절된 4-S고무(Slider

96) 미끄럼편을 장착한 진자형 시험기를 이용하여 AS/NZS 4586 기준에 따라 한 개의 배치(Batch)에서 나온 40개의 세라믹 타일을 시험하였다. 측정된 동마찰계수(DCOF; Dynamic Coefficient of Friction)가 0.59인 타일이 가속 마모 시험에 사용되었다. 동마찰계수는 전체 1,000회 반복 시험 동안 매 50회마다 측정되었다.

또 다른 타일에 대하여 추가적으로 가속 마모 시험이 수행되었다. 이 두 가지 타일은 식당 내에서 보행자의 이동이 가장 빈번한 곳에 사용되고 있었다. 사용자의 의견을 설문한 결과, 첫 번째 타일의 미끄러짐 저항성은 허용될 수 있는 수준인 것으로 판단되었고(1년 사용 후 동마찰계수가 0.35 정도임), 반면 두 번째 타일은 짧은 기간의 사용 후에 위험해지는 것으로 나타났다(1년 사용 후 동마찰계수는 0.20).

연마 동안 접촉압력의 영향을 평가하기 위해 새로운 세라믹 타일 시험편을 녹색 3M Scotch Brite 연마 패드를 이용하여 100, 500, 1,000 및 5,000회 가속 마모 시험을 수행하였다. 시험결과, 동마찰계수는 녹색과 짙은 파란색 패드로 연마한 타일이 가장 빨리 감소하였고 두 가지 패드의 영향은 거의 나타나지 않았다. 또한 압력의 영향으로 1,000g과 1,500g에서 동마찰계수가 가장 빨리 감소하였고 두 가지 무게추에 의한 차이는 거의 나타나지 않았다.

일반적으로 미끄러짐 저항의 감소는 초기 50회에서 가장 크게 나타났고, 실제로 식당에서 1년간 사용한 타일과 비교하였을 때 500회 이후 거의 유사하게 나타났다.

따라서 평가된 식당과 유사한 보행자수와 유사한 오염 물질이 발생하는 곳에 대한 바닥재의 미끄러짐 저항의 지속 가능성 성능 평가 시 최대 500회의 가속 마모 시험을 하여 평가한 결과가 동마찰계수로 0.35를 넘게 되면 적어도 1년간은 안전한 것으로 평가할 수 있다.

미끄러짐 저항의 지속 가능성 시험 절차

미끄러짐 저항의 지속 가능성 시험 절차로는, 첫째 새



Gardco linear washability and wear tester



Pendulum slip resistance tester

바닥재를 전자형시험기로 젖은 상태에서 시험, 둘째 1kg의 표준 하중과 50cycle/min의 표준 속도로 표준 연마패드(100 × 100mm 3M green scotch brite)로 수천 회(Cycle)까지 젖은 상태에서 연마, 셋째 연마 후 전자형 시험기로 젖은 상태에서 시험이 있다.

만일 시험구역이 단단한 걸창을 가진 신발로 보행하고 동시에 맨발이나 부드러운 걸창 신발로 보행하는 장소라면, 단단한 고무 미끄럼판(#96, shore A 경도 96)과 부드러운 고무 미끄럼판(#55, TRRL, shore A 경도 55) 둘 다(또는 시험용 발) 사용되어야 한다. 연마는 손으로 하거나 Gardco 12VFI를 이용하여 자동으로 수행한다.

일반적으로 5,000회까지 미끄러짐 저항성이 유지되어야 하나 약 85%에서 500회 이후부터 미끄러짐 저항성이 감소하였다. 바닥재 구매자의 상황에 따라 다르지만, 만일 500회 이후에 젖은 바닥에서 측정한 진자형 시험기의 측정값(BPN; British Pendulum Number)이 35 이상이면 평지 바닥이 미끄러짐 저항의 지속 가능성을 갖고 있는 것으로 고려할 수 있다. 실험실에서 500회 연마한 결과는 번잡한 맥도날드 레스토랑의 현장 바닥을 측정했을 때와 비교하면 대략 6개월에서 12개월 정도의 마모된 상태와 비슷한 것으로 나타났다. 500회 연마기준은 2006년 10월 호주에 있는 맥도날드 레스토랑에서 채택하였다. Westfield,¹⁾ Aldi,²⁾ Toyota³⁾ 및 주요 유람선회사와 소유주 및 선주들도 유사한 기준을 채택하여 왔다.

몇몇 표준의 경우, 앞서 언급한 경사로 시험기 관련 표준들과 동일하게 미끄러짐 저항의 지속 가능성 표준들을 모든 곳에 적용할 수 있기보다는 특정상황에 맞추어 사용한다. 따라서 연마된 바닥을 젖은 상태에서 측정하였을 때, BPN값이 최소 35라고 한 것은 호텔이나 병실 바닥재에서 요구되는 값이다. 동일한 상태에서 BPN값이 최소 45(단단한 고무 미끄럼판을 사용했을

때)라는 것은 사용 중 젖게 되는 계단코에 적용할 수 있다. 한편, 최소 54라는 값은 식당 부엌과 실외 급경사로에 적용된다.

만일 바닥재가 설치된 후 도장(페인트를 칠하거나 또 다른 도포제의 사용)이 된다면 실험실에서 실험할 경우는 동일한 도장 후에 실험하여야 한다. 건물 소유주가 예상되는 오염물질(가까운 지역의 진흙, 커피, 와인, 케첩 등)에 대한 세정성을 실험할 경우, 최종 바닥재 선정 이전에 하는 것이 바람직하다. 청소 방법은 바닥재 설치 전 미리 계획되어야 한다.

맺음말

선진국은 이미 바닥재의 사용 장소에 따라 성능기준을 매우 세분화시켜 명문화하고 있고, 더욱이 바닥재의 마모에 따른 평가방법, 교체 주기 등을 고민하고 있다. 이에 비해 국내의 경우 바닥재의 미끄러짐 저항 성능 평가방법이 법적으로 명문화된 것도 없을 뿐만 아니라 이에 대한 평가기준조차 없는 실정이다.

이러한 문제를 계속 방치하게 된다면 미끄러짐 사고는 지속적으로 증가할 것이고, 그로 인한 비용은 사회적인 부담으로 작용하게 될 것이다. 또한 바닥재를 해외에 수출하고자 한다면 외국의 기준에 맞추어 생산해야 하며, 제품의 미끄러짐 저항 성능을 평가하기 위해 비싼 비용을 지불하고 외국기관 또는 업체에 평가를 받아야 한다. 그뿐만 아니라 FTA가 발효된다면 국내업체의 부담은 더욱 가중될 것이 예상된다. 따라서 지금이라도 바닥재에 대한 미끄러짐 위험성 평가기준, 평가방법, 노후화에 따른 성능 감소를 평가할 수 있는 시험법을 개발하여야 국내 산업을 보호하는 한편 해외 수출도 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다. ✿

1) Westfield : 미국에 본사가 있는 다국적 쇼핑몰

2) Aldi : 독일에 본사가 있는 초저가 슈퍼마켓 체인

3) Toyota : 일본 자동차 업체

장시간근무 및 교대근무가 건강에 미치는 영향



이신영 연구원
연세대학교 의과대학
산업보건연구소

최근 한국의 근로자 1명 당 주 당 평균 근무시간이 2000년 51.1시간에서 2009년 46.6시간으로 감소하는 추세를 보이긴 하지만, 여전히 OECD 국가 중에서 터키 다음으로 가장 높은 수준을 보이고 있다. 이렇듯 장시간 근무환경에 노출되어 있는 한국의 근로자들에게서 장시간 근무와 교대제에 의한 휴식 부족, 수면 방해 및 생체 리듬의 변화에 따른 근로자들의 부정적 건강 영향과의 관련성을 파악하는 것은 의미 있는 연구라고 판단된다. 이 연구는 한국의 임금 근로자들에게 장시간근무와 교대제가 건강에 미치는 영향을 파악하고 성별에 따른 차이가 있는지를 확인하고자 하였다.

서론

장시간근무와 밤근무 및 교대근무(Extended work shift)제는 의료 및 보건산업, 서비스 산업이나 운송산업에서 피할 수 없는 근무제이다.¹⁾

최근 교대근무와 장시간근무가 건강에 미치는 영향(The effect of longtime work and shift work on perceived health outcomes)에 관한 연구가 활발하게 진행되어 왔어도 많은 방법론적 단점으로 인해 합의된 결론이 도출되지 않고 있으며,²⁾ 업무 스케줄 관련 특성의 건강 및 안전 영향에 대한 연구는 거의 없다고 보고하고 있고,³⁾ 성별에 따른 건강 영향에서 일관된 결과를 보이지 않고 있다.⁴⁾

최근 한국의 근로자 1명 당 주 당 평균 근무시간이 감소 추세를 보이고 있지만 여전히 OECD 국가 중에서 터키 다음으로 가장 높은 수준을 보이고 있다.⁵⁾ 이렇듯 장시간근무환경에 노출되어 있는 한국의 근로자들에게서

장시간근무와 교대제에 의한 휴식 부족, 수면 방해 및 생체 리듬의 변화에 따른 부정적 건강 영향과의 관련성을 파악하는 것은 의미있는 연구라고 판단된다.

이 연구는 한국의 임금 근로자들에게 장시간근무와 교대제가 건강에 미치는 영향을 파악하고 성별에 따른 차이가 있는지를 확인하는 데 그 목적이 있다.

연구내용 및 방법

이 연구에서는 안전보건공단 산업안전보건연구원이 2006년 실시한 근로환경 조사자료를 사용하였다. 이는 EWCS(European Working Conditions Surveys) 설문지의 한국어 번역본이다. 전국 16개 시·도의 만 15세 이상 64세 미만 경제활동인구를 대상으로 표본 조사하였으며, 1만 43명의 조사대상자 중 자영업자와 고용주를 제외한 임금 근로자 7,075명(남성 4,597명, 여성 2,478명)을 대상으로 단면 연구를 실시하였다. 개인 특성에는 성, 나

이, 교육 수준, 흡연, 음주, 스포츠 등 여가활동이 포함되었다. 직업 특성에는 직업, 근무기간, 현직장 근속년수, 고용형태가 포함되었다. 장시간근무 여부는 주 45시간을 기준으로 하였고, 교대제의 여부로 나누어 연구대상자를 다음과 같은 근무형태(Work type)로 분류하였다.

- 주 45시간 미만 주간근무(Reference group) / 주 45시간 이상 주간근무 / 주 45시간 미만 교대근무 / 주 45시간 이상 교대근무

근무시간과 형태가 건강에 미치는 부정적인 영향을 알아보기 위해서는 건강 이상 항목을 신체적 건강 이상, 정신적 건강 이상, 전체적 건강 이상 등으로 구분하였다.

신체적 건강 이상은 다음의 항목에 한 개 이상 체크하였을 때로 정의하였다: 1) 청력 손실, 2) 시력 저하, 3) 요통, 4) 두통, 5) 위통, 복통 등(속이 아픔), 6) 어깨, 목, 상지, 하지 근육통, 7) 호흡곤란, 8) 심장질환, 9) 전신피로, 10) 알레르기. 정신적 건강 이상은 다음의 항목들에 한 개 이상 체크하였을 때로 정의하였다: 1) 스트레스, 2) 불면증(수면문제), 3) 불안, 4) 우울. 전체적 건강 이상은 신체적 건강 이상의 10가지 항목과 정신적 건강 이상의 4가지 항목 및 기타 항목에 한 개 이상 해당되었을 경우로 정의하였다.

연구대상자의 근무형태가 전반적인 건강 이상, 신체적 건강 이상, 정신적 건강 이상에 영향을 미치는지의 여부를 확인하기 위해 성별로 층화하여 로지스틱 회귀 분석(Logistic regression analysis)을 실시하였다. 모든 자료는 SAS 9.2(Korean version) 프로그램을 사용하여 분석하였다.

연구결과

연구대상자들의 특성을 보면 남성 근로자의 평균 연령은 40.3세(표준 편차: 9.8)로 여성 근로자의 평균 연령인 38.2세(표준 편차: 10.7)보다 높았고, 교육 수준, 흡연율, 음주율, 여가시간에서 높은 양상을 보였다. 남성 근로자에게서 45시간 이상 근무가 2,656명으로 남성 근로자의 57.8%인

반면, 여성 근로자에게서의 45시간 이상 근무는 1,195명(여성의 48.2%)으로 나타났으며, 근무 기간 또한 남성이 더 길었다. 교대근무 여부에서는 남성 근로자의 13.4%인 614명과 여성 근로자의 8.3%인 205명이 교대근무를 한다 고 응답하여 성별에 따른 차이가 있음을 알 수 있다.

근무형태가 주관적인 건강 이상에 미치는 영향은 <표 1>과 <표 2>에 제시하였다. Model 1은 근무형태가 신체적·정신적 및 전반적인 건강 이상에 미치는 관련성을 아무것도 통제하지 않은 결과이고, Model 2에서는 개인 특성(연령, 교육 수준, 흡연, 음주, 여가활동)을 보정한 결과이며, Model 3은 개인 특성 및 직업 특성(직업, 근무기간, 현직장 근속년수, 고용형태)을 보정한 결과이다.

남성에서는 개인 특성, 직업 특성을 모두 보정한 뒤에도 근무형태가 신체적·정신적 및 전반적인 건강 이상에 유의하게 영향을 미치고 있었는데, 주 45시간 미만 주간 근로자에 비해 45시간 이상 주간 근로자의 신체적·정신적, 전체적 건강 이상에 대한 위험은 각각 1.53배, 1.63배, 1.47배였고, 45시간 미만 교대 근로자는 각각 1.62배, 1.78배, 1.56배로 주관적인 건강 이상에 근무시간보다 좀 더 크게 영향을 미치는 양상을 보였다. 주 45시간 미만 주간 근로자에 비해 45시간 이상 교대 근로자의 신체적·정신적·전체적 건강 이상에 대한 위험은 각각 2.03배, 2.56배, 2.00배였다(<표 1>).

반면, 여성에서는 근무시간이 신체적·정신적 및 전반

1) Akerstedt T, Kecklund G. The future of work hours – the European view. *Ind Health*. 2005;43:80–84

2) M. van der Hulst. Long workhours and health. *Scand J Work Environ Health*. 2003 29(3):171–188

3) Caruso CC, Hitchcock EM, Dick RB, Russo JM, Schmit JM. Overtime and Extended Work Shifts: Recent Findings on Illnesses, Injuries, and Health Behaviors. National Institute for Occupational Safety and Health(2004)

4) Artazcoz L, Cortás I, Escriba-Agüir V, Cascant L, Villegas R. Understanding the relationship of long working hours with health status and health-related behaviours. *J Epidemiol Community Health*. 2009 Jul;63(7):521–7

5) OECD. Average annual working time(Hours per worker). <http://dx.doi.org/10.1787/20752342-2010-table8>, 3 January 2011 updated

적인 건강 이상에 유의하게 영향을 미치고 있었는데, 주 45시간 미만 주간 근로자에 비해 45시간 이상 근로자의 신체적·정신적·전체적 건강 이상에 대한 위험은 각각 1.40배, 1.53배, 1.42배였다. 주 45시간 미만 주간 근로자에 비해 45시간 미만 교대 근로자는 각각 1.41배, 1.41배, 1.40배였지만, 통계적으로 유의하지 않았다. 따라서 여성 근로자에서는 근무시간이 주관적인 건강 이상에 좀 더 크게 영향을 미치는 양상을 보였다. 주 45시간 미만 주간 여성 근로자에 비해 45시간 이상 교대 여성 근로자의 신체적·정신적·전체적 건강 이상에 대한 위험은 각각 1.87배, 2.49배, 1.88배였다(표 2).

고찰 및 결론

이 연구는 장시간근무와 교대근무가 근로자들의 건강에 미치는 영향을 성별로 구분하여 알아보고자 하였고, 그 결과를 보면 남성 근로자에서는 교대근무가 신체적·정신적 및 전반적인 건강 이상에 상대적으로 더 큰 영향을 미친 반면, 여성 근로자에서는 근무시간이 좀 더 유의한 영향을 미치는 양상을 보였다.

이전의 연구들은 장시간근무가 고혈압,⁶⁾ 심혈관질환⁷⁾이나, 근골격계질환,⁸⁾ 흡연, 음주, 신체활동의 감소 등의 부정적인 건강 행동,⁴⁾ 어휘검사와 추리력검사

〈표 1〉 Association between work type and perceived health outcomes in male

[OR = Odds Ratio, 95% CI = 95% Confidence Interval]

Work type		Model 1 ^a		Model 2 ^b		Model 3 ^c	
		OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI
Physiological ill health	Day-work <45hrs	1		1		1	
	Day-work ≥45hrs	1.60	1.37-1.86	1.57	1.34-1.83	1.53	1.30-1.81
	Shift-work <45hrs	1.89	1.34-2.66	1.87	1.33-2.65	1.62	1.12-2.32
	Shift-work ≥45hrs	2.44	1.94-3.09	2.21	1.74-2.81	2.03	1.58-2.61
Psychological ill health	Day-work <45hrs	1		1		1	
	Day-work ≥45hrs	1.66	1.40-1.97	1.66	1.39-1.98	1.63	1.36-1.95
	Shift-work <45hrs	1.93	1.33-2.79	1.94	1.34-2.82	1.78	1.21-2.62
	Shift-work ≥45hrs	2.67	2.08-3.43	2.67	2.07-3.45	2.56	1.96-3.35
Overall ill health	Day-work <45hrs	1		1		1	
	Day-work ≥45hrs	1.54	1.32-1.78	1.50	1.29-1.75	1.47	1.26-1.73
	Shift-work <45hrs	1.85	1.33-2.58	1.82	1.30-2.54	1.56	1.10-2.22
	Shift-work ≥45hrs	2.42	1.93-3.04	2.17	1.72-2.75	2.00	1.56-2.56

^a Model 1: Simple logistic regression / ^b Model 2: Logistic regression adjusted by age, education, smoking, drinking, avocation / ^c Model 3: Logistic regression adjusted by model 2 + occupation, working period, working period in the present company, type of employment

〈표 2〉 Association between work type and perceived health outcomes in female

[OR = Odds Ratio, 95% CI = 95% Confidence Interval]

Work type		Model 1 ^a		Model 2 ^b		Model 3 ^c	
		OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI
Physiological ill health	Day-work <45hrs	1		1		1	
	Day-work ≥45hrs	1.38	1.13-1.69	1.41	1.15-1.74	1.40	1.14-1.73
	Shift-work <45hrs	1.33	0.79-2.24	1.49	0.88-2.52	1.41	0.83-2.42
	Shift-work ≥45hrs	1.76	1.15-2.68	1.88	1.22-2.89	1.87	1.20-2.91
Psychological ill health	Day-work <45hrs	1		1		1	
	Day-work ≥45hrs	1.48	1.18-1.85	1.54	1.23-1.93	1.53	1.22-1.93
	Shift-work <45hrs	1.30	0.73-2.33	1.42	0.79-2.57	1.41	0.78-2.57
	Shift-work ≥45hrs	2.17	1.40-3.37	2.38	1.52-3.74	2.49	1.57-3.96
Overall ill health	Day-work <45hrs	1		1		1	
	Day-work ≥45hrs	1.40	1.15-1.70	1.44	1.18-1.75	1.42	1.16-1.75
	Shift-work <45hrs	1.31	0.78-2.18	1.47	0.88-2.48	1.40	0.83-2.38
	Shift-work ≥45hrs	1.76	1.16-2.66	1.89	1.24-2.89	1.88	1.22-2.90

^a Model 1: Logistic regression(crude model) / ^b Model 2: Logistic regression adjusted by age, education, smoking, drinking, avocation / ^c Model 3: Logistic regression adjusted by model 2 + occupation, working period, working period in the present company, type of employment

(Reasoning test)를 포함한 인지기능,⁹⁾ 수면 부족,¹⁰⁾ 우울 및 불안,¹¹⁾ 피로,¹²⁾ 전반적인 건강 느낌¹³⁾에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다. 또한 교대근무에 관련된 연구에서는 심혈관질환,¹⁴⁾ 고혈압,¹⁵⁾ 여성 근로자에서의 유방암¹⁶⁾과 유산,¹⁷⁾ 근골격계질환,¹⁸⁾ 스트레스 호르몬,¹⁹⁾ 수면 부족,²⁰⁾ 체중 증가²¹⁾ 등에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다.

장시간근무가 전반적인 건강에 미치는 영향에 대한 이전 연구들의 결과는 장시간근무가 정기적이고 자발적인 전문가 그룹과 비정기적이고 비자발적인 교육 수준이 낮은 그룹으로 양분되어 있는데 비정기적이고 비자발적인 장시간근무가 스트레스와 피로 같은 급성 반응, 흡연과 같은 부정적인 건강 행동, 심혈관계 질환이나 근골격계 질환 같은 만성 질병과의 관련성을 밝히고 있다.²²⁾

본 연구결과, 여성 근로자의 경우 주 45시간 미만의 교대근무군에서는 통계적으로 유의한 건강 영향을 미침을 확인하지 못하였다. 이는 연구에 참여한 주 45시간 미만의 교대근무하는 여성 근로자 그룹의 수가 부족해서일 가능성이 있다. 이와는 달리, 주 45시간 이상 낮근무를 하는 장시간근무군에서는 통계적으로 유의하게 부정적인 건강 영향을 미침을 확인하였다.

Wong 등에 따르면 일정하지 않거나 순환되는 교대근무에 의한 손해가 일정한 교대근무에 의한 손해보다 더 많다고 보고하고 있다. 이는 예측 가능한 교대근무 스케줄은 일정한 수면과 업무에 순응하게 하고, 육아 등의 가사에 할애할 시간을 계획할 수 있기 때문이라고 밝히고 있는데,²³⁾ 우리의 연구결과도 비슷한 맥락에서 이해할 수 있을 것으로 사료된다. 🌸

6) Yang H, Schnall PL, Jauregui M, Su T-C, Baker D. Work hours and self-reported hypertension among working people in California. *Hypertension* 2006;48:744-750

7) Virtanen M, Ferrie JE, Singh-Manoux A, Shipley MJ, Vahtera J, Marmot MG, Kivimäki M. Overtime work and incident coronary heart disease: the Whitehall II prospective cohort study. *Eur Heart J*. 2010 Jul;31(14):1737-44

8) Grosch JW, Caruso CC, Rosa RR, Sauter SL. Long hours of work in the U.S.: associations with demographic and organizational characteristics, psychosocial working conditions, and health. *Am J Ind Med*. 2006 Nov;49(11):943-52

9) M. Virtanen, A. Singh-Manoux, J. E. Ferrie, D. Gimeno, Michael G. Marmot, M. Elovainio, M. Jokela, J. Vahtera and M. Kivimäki. Long Working Hours and Cognitive Function(The Whitehall II Study). *American Journal of Epidemiology* 2009 169(5):596-605

10) Virtanen M, Ferrie JE, Gimeno D, Vahtera J, Elovainio M, Singh-Manoux A, Marmot MG, Kivimäki M. Long working hours and sleep disturbances: the Whitehall II prospective cohort study. *Sleep*. 2009 Jun 1;32(6):737-45

11) Kleppa E, Sanne B, Tell GS. Working overtime is associated with anxiety and depression: the Hordaland Health Study. *J Occup Environ Med*. 2008 Jun;50(6):658-66

12) Dahlgren A, Kecklund G, Akerstedt T. Overtime work and its effects on sleep, sleepiness, cortisol and blood pressure in an experimental field study. *Scand J Work Environ Health*. 2006 Aug;32(4):318-27

13) Nagashima S, Suwazono Y, Okubo Y, Uetani M, Kobayashi E, Kido T, Nogawa K. Working hours and mental and physical fatigue in Japanese workers. *Occup Med (Lond)*. 2007 Sep;57(6):449-52. Epub 2007 Aug 8

14) Puttonen S, Hørma M, Hublin C. Shift work and cardiovascular disease—pathways from circadian stress to morbidity. *Scand J Work Environ Health*. 2010 Mar;36(2):96-108

15) Stevens RG, Hansen J, Costa G, Haus E, Kauppinen T, et al. Considerations of circadian impact for defining 'shift work' in cancer studies: IARC Working Group Report. *Occup Environ Med*. 2011 Feb;68(2):154-62

16) Wagstaff AS, Sigstad Lie JA. Shift and night work and long working hours—a systematic review of safety implications. *Scand J Work Environ Health* 2011;37(3):173-185

17) Whelan EA, Lawson CC, Grajewski B, Hibert EN, Spiegelman D, Rich-Edwards JW. Work schedule during pregnancy and spontaneous abortion. *Epidemiology*. 2007 May;18(3):350-5

18) Caruso CC, Waters TR. Rotating night shift work and the risk of ischemic stroke. *Ind Health*. 2008 Dec;46(6):523-34

19) Thomas C, Hertzman C, Power C. Night work, long working hours, psychosocial work stress and cortisol secretion in mid-life: evidence from a British birth cohort. *Occup Environ Med*. 2009 Dec;66(12):824-31

20) Akerstedt T, Wright KP. Sleep Loss and Fatigue in Shift Work and Shift Work Disorder. *Sleep Med Clin*. 2009 Jun 1;4(2):257-271

21) Zhao I, Bogossian F, Song S, Turner C. The Association Between Shift Work and Unhealthy Weight: A Cross-Sectional Analysis From the Nurses and Midwives' e-Cohort Study. *J Occup Environ Med*. 2011 Feb;53(2):153-8

22) Johnson JV, Lipscomb J. Long working hours, occupational health and the changing nature of work organization. *Am J Ind Med*. 2006 Nov;49(11):921-9

23) Wong IS, McLeod CB, Demers PA. Shift work trends and risk of work injury among Canadian workers. *Scand J Work Environ Health* 2011;37(1):54-61

유럽근로환경조사(EWCS)의 이해(V)



권오준 과장
산업안전보건연구원
재해통계분석팀

본고는 유럽근로환경조사(EWCS)의 소개를 목적으로 지금까지 유럽근로환경조사의 소개와 주요결과(Ⅰ), 고용형태와 교육 수준(Ⅱ), 노동시간(Ⅲ)에 관하여 다뤘고, 지난 호에서는 산재 예방사업 추진에서 참고자료로 활용이 기대되는 물리적 위험요인(Ⅳ)에 관하여 알아보았다. 이번 호에서는 작업장에서의 폭력, 괴롭힘, 그리고 차별을 중심으로 하여 주요 분석결과를 살펴보고자 한다.

작업장에서 폭력, 괴롭힘, 그리고 차별

최근에 국가단위의 근로환경조사에서 강조하는 것은 업무와 관련된 건강문제 중에서도 정신적 건강문제가 증가하고 있다는 점이다. 정신적 불건강에 영향을 미치는 중요한 요인이 괴롭힘 또는 왕따, 폭력이나 폭력의 위협, 그리고 다양한 형태의 차별이다. 이같은 행동이 체크되지 않고 내버려진다면 개인의 웰빙에 악영향을 미치며, 그것을 당한 개인의 생활에도 악영향을 미치게 된다. 또한 근로환경에도 악영향을 미치며, 전체적인 사회 및 경제활동에도 악영향을 미치게 된다.

이러한 행동들이 적게 보고되는 이유는 유럽인의 근로 생활에서 정상적이라기보다는 예외적인 상황이기 때문이다. 20명의 근로자 중 1명이 지난 12개월 동안 괴롭힘 또는 왕따를 당했다고 답변하였으며, 비슷한 비율로 폭력을 당했다고 답변하였다. 100명 중 1명만이 종교, 민족 또는 성적 정체성과 관련된 차별을 당했다고 보고하

였다.

여기서 주의해야 할 것은 편견 때문에 제대로 보고되지 않을 수 있다는 사실이다. 예를 들어, 심각한 물리적 또는 정신적 학대를 당했거나 차별을 당한 경우에는 더 이상 근무하기가 어려워 조사대상이 취업자 집단에서 제외되는 경우이다. 또 다른 예로, 종교·민족이나 성적 정체성, 국가 등과 관련된 차별을 당할 수 있는 집단은 매우 제한된 소수여서 이들에게서는 차별의 경험이 매우 높을 수 있다. 하지만 본 조사의 샘플링 과정에서 그 중 일부만이 포함되기에 실제 이러한 차별의 피해는 더 클 수 있다. 그러므로 차별과 관련된 조사결과는 신중하게 판단해야 한다.

경향을 살펴보면, 작업장에서의 폭력, 왕따, 그리고 차별은 지난 10년간 비교적 안정적인 발생률을 보이고 있다. 하지만 EU 15개 국에서 폭력의 경우에는 1995년에 4%에서 2005년에는 6%로 증가하였다.

일부 문항의 표현에는 변화가 있었다. 기존에 ‘협박

〈참고〉

2005년 제4차 유럽근로환경조사 참여 국가 그룹 분류 및 표기

- 대륙 국가 : 오스트리아(AT), 벨기에(BE), 독일(DE), 프랑스(FR), 룩셈부르크(LU)
- 아일랜드(IE)와 영국(UK)
- 동부 유럽 국가 : 체코(CZ), 에스토니아(EE), 헝가리(HU), 리투아니아(LT), 폴란드(PL), 라트비아(LV), 슬로베니아(SI), 슬로바키아(SK), 키프로스(CY)
- 남부 유럽 국가 : 그리스(EL), 스페인(ES), 이탈리아(IT), 몰타(MT), 포르투갈(PT)
- 스칸디나비아 국가와 네덜란드 : 덴마크(DK), 핀란드(FI), 네덜란드(NL), 스웨덴(SE)
- 가입 예정국 : 불가리아(BG), 루마니아(RO)
- 가입 후보국 : 크로아티아(HR), 터키(TR)
- 유럽자유무역연합(EFTA; European Free Trade Association) : 스위스(CH), 노르웨이(NO)

〈참고〉

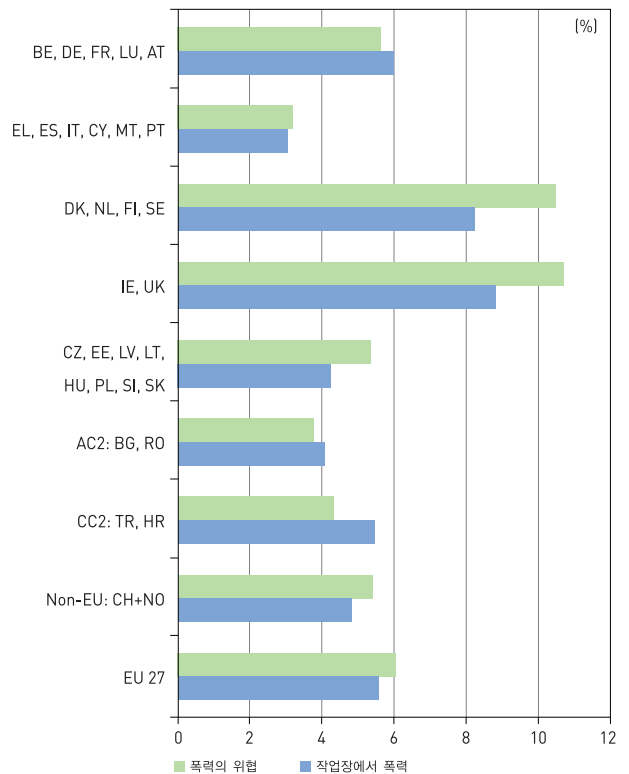
국가 표기

- EU 15 : 2004년 이전의 EU 회원국 15개국
- NMS : 2004년 가입한 새로운 회원국 10개국
- EU 25 : 기존의 15개국과 새로 가입한 10개국
- EU 27 : 25개 EU 회원국에 가입 예정인 2개국
- AC2 : 2007년 EU에 가입한 2개국 - 불가리아, 루마니아
- CC2 : 가입후보국 - 터키, 크로아티아

(Intimidation)에 노출되는지'를 '괴롭힘 / 왕따(Harassment / Bullying)'로 바꾸었다. 또한 보기 문항 중에 '물리적 폭력의 위협'도 새로 추가하였다. 조사결과 폭력보다는 폭력의 위협을 받았다는 응답자가 매우 많았다.

물리적 폭력

작업장에서 육체적 폭력의 경험은 전체 취업자 중 소수에 해당된다. 20명 중 1명(5%)꼴로 다른 동료로부터의 폭력 경험을 보고했다. 평균보다 높은 국가는 네덜란드



[그림 1] 국가 그룹별 폭력 또는 폭력의 위협에 대한 경험

〈표 1〉 사업장에서 폭력, 왕따, 차별 발생률

(단위 : %)

지난 12개월 동안 사업장에서 다음의 경험을 해보았습니까?	1995 EU 15	2000 EU 15	2005 EU 25	2005 EU 15	2001 NMS	2005 NMS	2001 AC2	2005 AC2
물리적 폭력의 위협	-	-	6	6	-	5	-	4
물리적 폭력								
작업장 내에서	4	2	2	2	1	1	1	1
작업장 밖에서		4	4	5	3	4	3	3
물리적 폭력(작업장 내 또는 밖에서)	4	5	5	6	3	4	4	4
협박	8	9	-	-	7	-	7	-
왕따 / 괴롭힘	-	-	5	5	-	4	-	4
성 차별	2	2	1	1	1	1	<1	1
원하지 않는 성적 관심	2	2	2	2	2	2	2	1
연령 차별	3	3	3	3	3	3	3	3
국가에 대한 차별	1	1	1	1	<1	1	1	1
민족에 대한 차별	1	1	1	1	<1	1	1	1
종교에 대한 차별	-	-	1	1	-	<1	-	<1
장애에 대한 차별	1	1	<1	<1	1	<1	1	<1
성적 정체성에 대한 차별	-	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1

드(10%), 프랑스와 영국(9%), 아일랜드(8%)이다. 일반적으로 폭력에 대한 노출 또는 폭력의 위협이 높은 곳은 북부 유럽이며, 낮은 곳은 남부 유럽이다.

1995년부터 2005년까지 EU 15개 국에서의 육체적 폭력 수준은 4%에서 6%로 증가했으며, 이와 같은 현상은 대부분의 국가에서 관찰되었다. 작업장의 외부에서 다른 사람들로부터 폭력의 경험(4%)이 작업장 내부에서 동료로부터 폭력의 경험(2%)보다 높다. 실제적인 폭력의 행사보다 폭력의 위협을 경험한 경우가 6%로 조금 높았다.

비록 직종 및 업종별로 폭력 경험의 차이가 관찰되지만, 성별·고용형태별로 폭력에 대한 노출의 유의한 차이가 관찰되지는 않았다. 작업장에서 물리적 위험에 대한 노출과는 반대로 폭력, 괴롭힘, 차별에 대한 노출은 생산직(4%)보다는 사무직(6%)에서 더 높았다.

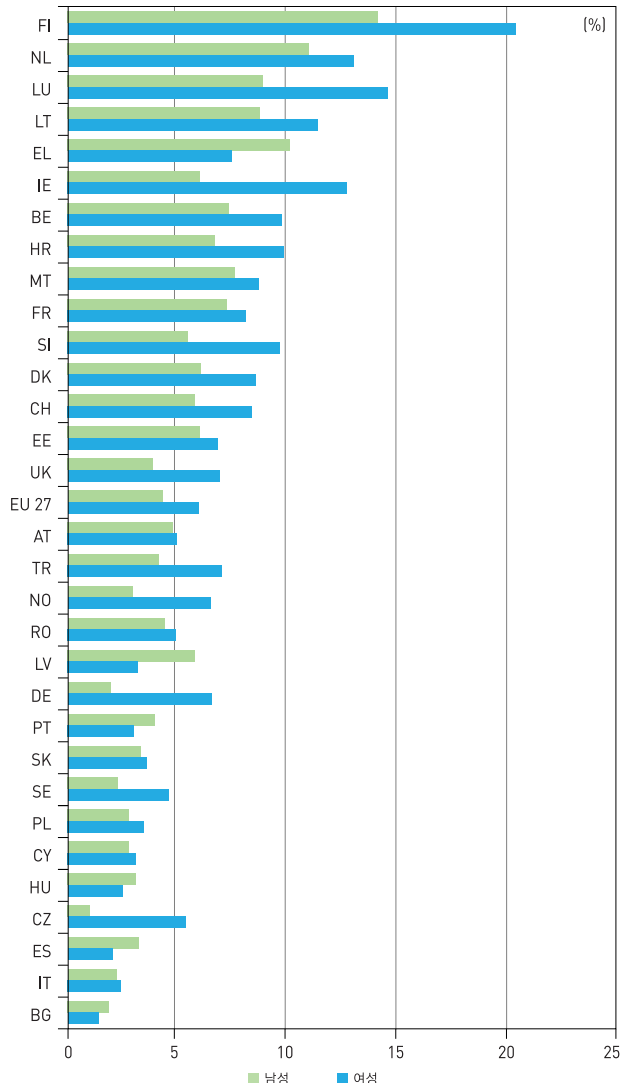
괴롭힘(Harassment)

이번 조사에서는 괴롭힘을 두 가지 종류로 파악하였다. ‘왕따 / 괴롭힘’과 ‘성폭력(원하지 않는 성적 관심)’으로 구분하였다.

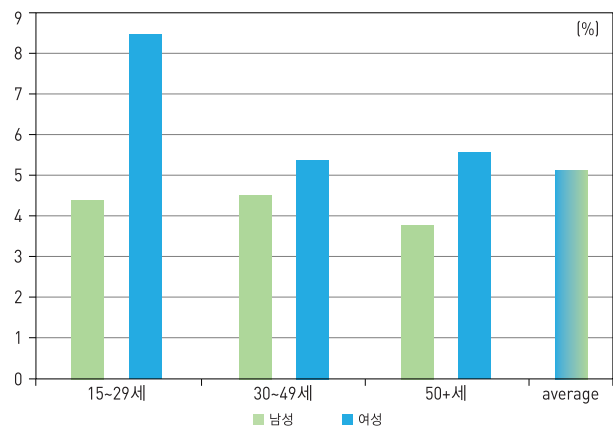
■ 왕따와 괴롭힘(Bullying and Harassment)

2005년 조사에서는 ‘작업장에서의 왕따 / 괴롭힘을 당했다’고 응답한 경우는 20명 중에 1명(5%)에 해당되었다. 하지만 이러한 낮은 평균은 실상 국가마다 다양한 차이를 감추고 있다. 예를 들어, 핀란드에서는 17%에 해당되고, 네덜란드에서는 12%에 해당된 반면, 이탈리아와 불가리아는 2%에 해당된다. 이러한 차이는 실제 발생 크기의 차이도 있지만 이에 대한 문화적인 인식 / 감성의 차이도 관련이 있는 것으로 판단된다. 또한 관련 문항 중 협박이라는 단어가 바뀌었지만, 핀란드와 네덜란드의 경우 2000년과 비교했을 때 경험률에서는 차이가 없었다.

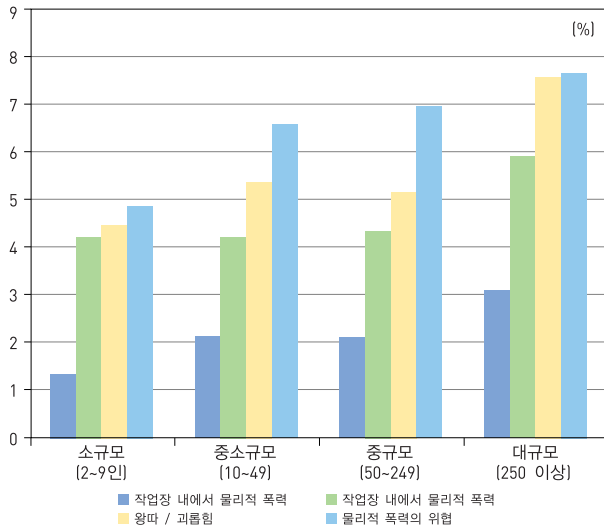
여성(6%)이 남성(4%)보다 왕따 / 괴롭힘을 더 많이 받는 것으로 파악되었으며, 특히 30세 미만의 젊은 여성에서



[그림 2] 성별·국가별 왕따 / 괴롭힘



[그림 3] 전체 성별·연령별 왕따 / 괴롭힘



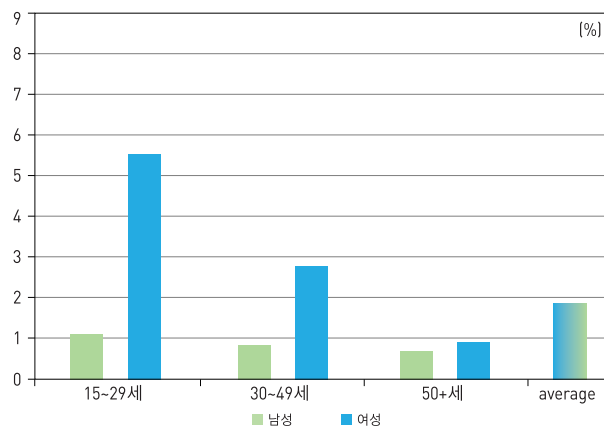
[그림 4] 전체 사업장 크기별 폭력 / 괴롭힘

높았다. 자영업자(3%)보다는 근로자(6%)에게서 왕따 / 괴롭힘을 받는 빈도가 높았으며, 고용형태별로 차이는 없었다.

사업장의 크기별로 왕따 / 괴롭힘을 받는 빈도가 차이가 있었는데 250인 이상의 큰 사업장에서 높았다(8%). 업종별로는 교육업, 보건 및 사회 서비스업, 숙박 및 음식점업에서 평균보다 높았다.

■ 성폭력

성폭력(원하지 않는 성적 관심)의 빈도는 2% 미만이었다. 하지만 남성보다 여성(6%)이 3배 이상 높았다. 체첸



[그림 5] 전체 성별 · 연령별 성적 괴롭힘

폭력과 괴롭힘은 업종별로 차이가 나타났다.

물리적 위험요인이 높은 업종(농업, 건설업, 제조업)의 경우에는 비교적 폭력과 괴롭힘이 적었다.

그 반대로 물리적 위험요인이 낮은 업종에서는 정신적 위험요인이 높았다.

보건업종의 경우 제조업보다 물리적 폭력의 위험 경험이 8배 이상 높았다.

중요한 것은 이러한 업종별 차이가 육체적 폭력, 폭력의 위험, 왕따 / 괴롭힘, 그리고

성폭력(원하지 않는 성적 관심) 등 정신적 위험요인과 관련된 문항에서 고루 관찰된다는 점이다.

폭력과 괴롭힘의 경험이 가장 높은 업종은 보건업과 교육업뿐만 아니라 공공 정부와 직업군인이며,

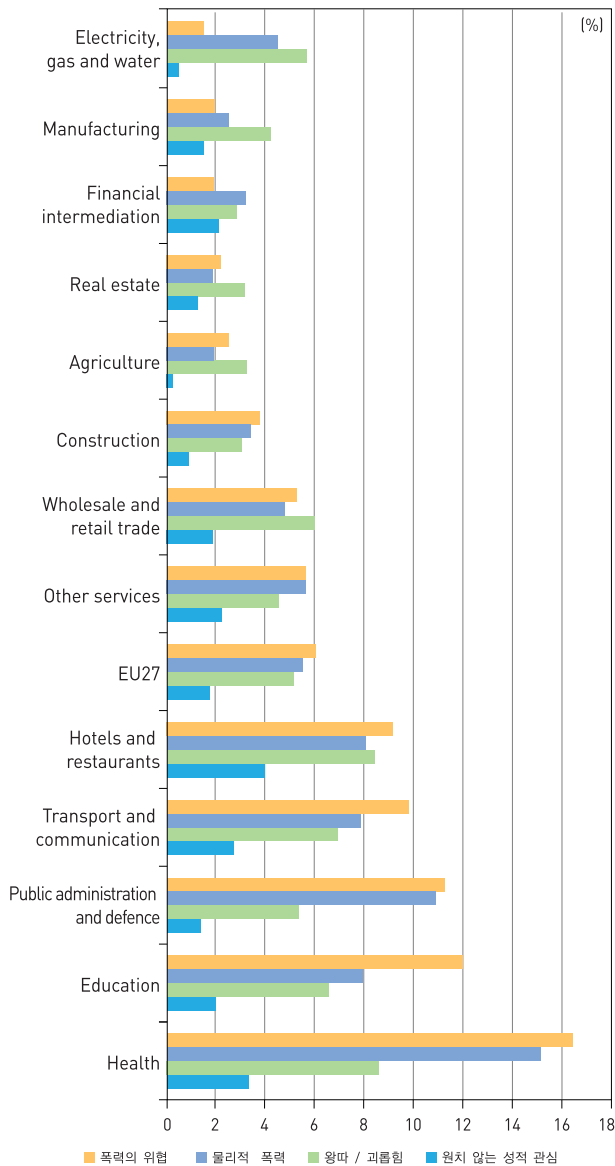
폭력과 괴롭힘에 대한 경험이 비교적 낮지만 평균보다는 높은 것은 운수 및 통신업, 숙박 및 음식점업으로 분석되었다.

공화국(10%), 노르웨이(7%), 터키 / 크로아티아(6%), 덴마크 / 스웨덴 / 리투아니아 / 영국(5%)이 평균보다 높았다. 반면, 남부 유럽의 경우에는 거의 없었는데 이탈리아, 스페인, 몰타, 키프로스는 1% 미만이었다. 자영업자보다는 근로자에서 높았고, 여성의 경우 고용형태별로 차이가 있는데 무기계약직(2%)보다는 계약직 또는 임시직(5%)에서 높았다.

업종과 직종별 폭력 및 괴롭힘의 발생률

폭력과 괴롭힘은 업종별로 차이가 나타났다. 물리적 위험요인이 높은 업종(농업, 건설업, 제조업)의 경우에는 비교적 폭력과 괴롭힘이 적었다. 그 반대로 물리적 위험요인이 낮은 업종에서는 정신적 위험요인이 높았다. 보건업종의 경우 제조업보다 물리적 폭력의 위험 경험이 8배 이상 높았다. 중요한 것은 이러한 업종별 차이가 육체적 폭력, 폭력의 위험, 왕따 / 괴롭힘, 그리고 성폭력(원하지 않는 성적 관심) 등 정신적 위험요인과 관련된 문항에서 고루 관찰된다는 점이다.

폭력과 괴롭힘의 경험이 가장 높은 업종은 보건업과 교육업뿐만 아니라 공공 정부와 직업군인이며, 비교적

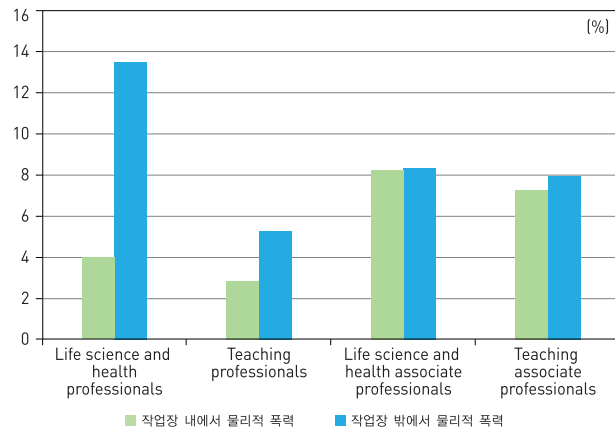


[그림 6] 전체 업종별 폭력 / 괴롭힘

[표 2] 작업장에서 폭력이 가장 많이 발생하는 업종·직종(EU 27)

(단위 : %)

업종		직종	
Health and social work	15.2	Life science and health professionals	15.3
Land transport; transport via pipelines	11.5	Personal and protective services workers	14.6
Public administration and defence	10.8	Life science and health associate professionals	13.4
Hotels and restaurants	8.1	Drivers and mobile plant operators	9.5
Education	7.9	Customer services clerks	8.2
Other service activities	5.2	Teaching professionals	7.6



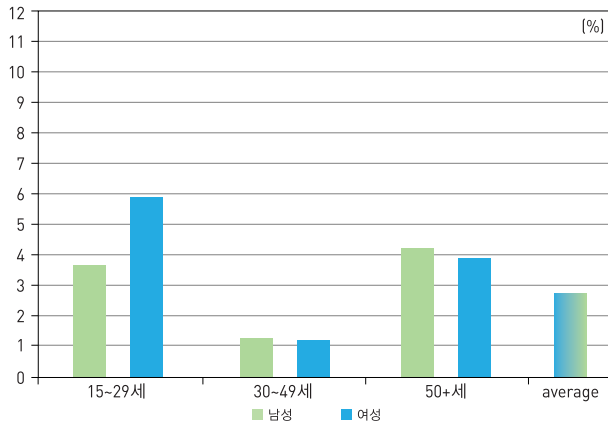
[그림 7] 전체 보건과 교육업종에서의 폭력 - 직종별 분류

낮지만 폭력과 괴롭힘에 대한 경험이 평균보다는 높은 것은 운수 및 통신업, 숙박 및 음식점업으로 분석되었다. 보건 및 사회 서비스업과 관련된 직종인 생명과학, 보건전문직, 기타 관련 전문직(의사, 치과의사, 간호사, 치과위생사 등)은 이에 대한 경험이 어떤 업종보다도 높았다.

높은 수준의 직능 전문성은 폭력 노출 관점에서 보호를 제공받지 못하는 것으로 나타났다. 폭력 노출에 있어서는 오히려 전문가들이 준전문가들보다 더욱 영향을 받고 있었다.

작업장에서의 폭력을 동료로부터의 폭력, 그리고 작업장 외의 사람들로부터의 폭력으로 구분하여 추가 분석을 실시하였다. 보건과 교육 전문가에서 직종별 수준에 따라 흥미로운 차이가 관찰되었다. 전문가(일반적으로 보다 높은 직급의 전문가)는 동료 이외의 사람으로부터 폭력 경험이 높고, 동료로부터의 폭력 경험은 낮다. 하지만 준전문가의 경우에는 동료와 동료 이외의 사람으로부터의 폭력 경험이 비슷하다.

공공 부문에서의 왕따 / 괴롭힘 경험은 6%로 민간 부문보다 높다. 작업장에 폭력과 관련된 질문에서 모두 민간 부문보다 공공 부문에서 경험률이 약 2배 이상 높았다. 공공 부문에서 높은 폭력 경험의 이유는 동료보다는 민원인과의 많은 접촉에서 폭력의 위협 또는 실제 폭력이 발생하기 때문인 것으로 판단된다. 공공 부문 취업자



[그림 8] 성별·연령별 연령에 대한 차별

의 절반인 50%가 근무시간의 3/4 이상을 동료 이외의 사람(고객, 학생, 환자 등)을 직접 대면한다고 응답하였으며, 이는 민간 부문의 38%보다 높았다.

차별

이번 조사에서는 다양한 형태의 차별을 분석하였다.

성, 종교, 연령, 국가, 민족, 장애, 성적 정체성과 관련된 차별을 파악하였다. 일반적으로 작업장에서의 차별 수준은 낮다. 종교, 민족, 성적 정체성과 관련된 차별은 1% 미만이었다. 국가, 성, 장애와 관련된 차별은 1%였다. 2000년과 비교하여 비슷한 수준이다.

연령과 관련된 차별은 비교적 높았다(3%). 이는 국가마다 차이가 있는데 스페인은 1%인 반면, 체첸공화국은 6%로 다양하였다. 또한 50세 이상(4%)보다는 30세 미만(5%)에서 연령과 관련된 차별을 더 많이 경험한 것으로 파악되었다. 특히 30세 미만의 여성에서 가장 높았다.

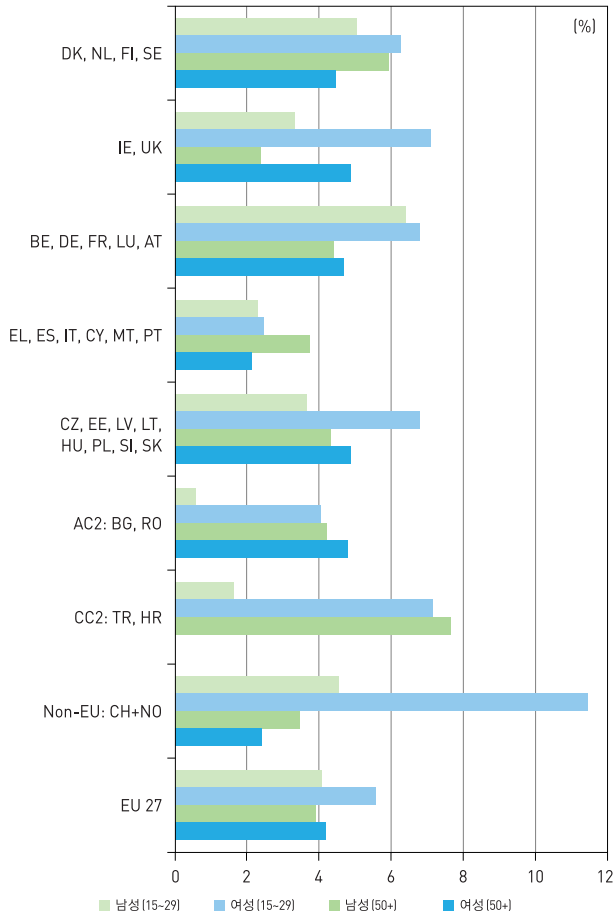
국가 그룹별로 연령에 대한 차별은 성 및 연령 그룹별로 흥미로운 차이가 관찰된다. 스칸디나비아와 네덜란드의 경우에는 성 및 연령 그룹별로 연령에 대한 차별에 차이가 없다. 하지만 영국 및 아일랜드와 동부 유럽의 경우에는 젊은 여성에게서 연령에 대한 차별 경험이 높았으며, 이는 비 EU 국가인 노르웨이와 스위스에서 가장 높았다.



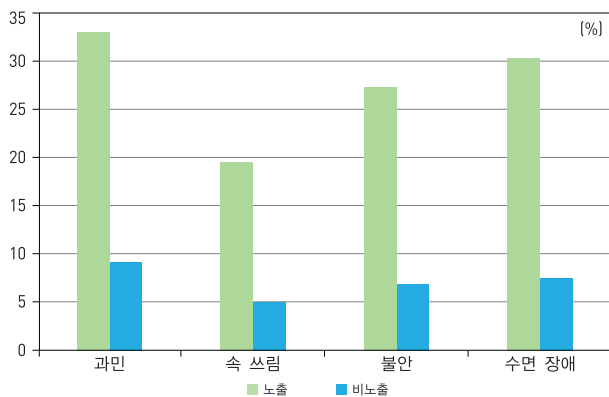
작업장에서 물리적 위험에 대한 노출과는 반대로 폭력, 괴롭힘, 차별에 대한 노출은 생산직(4%)보다는 사무직(6%)에서 더 높았다.

작업장에서의 폭력과 괴롭힘의 영향

회사에서 폭력 또는 괴롭힘을 당한 피해자에게서 업무 관련 건강문제 호소율이 높았다. 특히 주목할 것은 정신



[그림 9] 국가 그룹별 · 성별 · 연령별 연령에 대한 차별

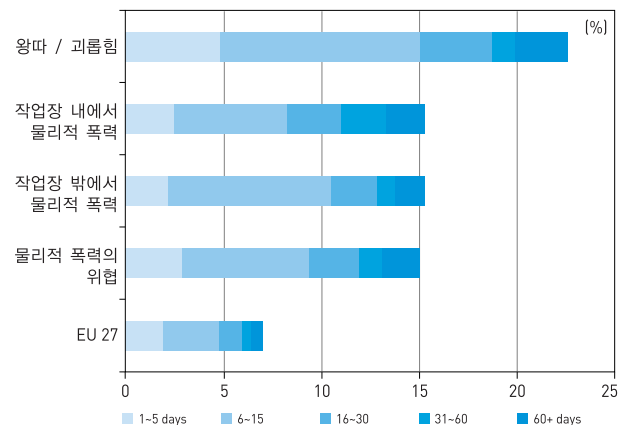


[그림 10] 전체 왕따 / 괴롭힘과 관련된 건강문제

최근에 국가단위의 근로환경조사에서 강조하는 것은 업무와 관련된 건강문제 중에서도 정신적 건강문제가 증가하고 있다는 점이다. 정신적 불건강에 영향을 미치는 중요한 요인이 괴롭힘 또는 왕따, 폭력이나 폭력의 위협, 그리고 다양한 형태의 차별이다. 이같은 행동이 체크되지 않고 내버려진다면 개인의 웰빙에 악영향을 미치며, 그것을 당한 개인의 생활에도 악영향을 미치게 된다. 또한 근로환경에도 악영향을 미치며, 전체적인 사회 및 경제활동에도 악영향을 미치게 된다. 이러한 행동들이 적게 보고되는 이유는 유럽인의 근로 생활에서 정상적이라기보다는 예외적인 상황이기 때문이라는 것을 뜻한다.

과적 문제와 관련된 증상(수면 장애, 불안, 흥분 등) 호소율이 폭력 또는 괴롭힘을 경험하지 못한 경우보다 4 배 가까이 높았다. 그러나 폭력 또는 괴롭힘으로 인한 피해는 단지 정신과적 문제만이 아니다. 피해자에게서 육체적 문제와 관련된 증상(예 : 속 쓰림 등) 호소율도 높았다. 그리고 왕따를 경험한 응답자 중 많은 경우가 업무와 관련된 다양한 건강문제로부터 고통 받고 있다고 답하였다.

설문에서는 열 일곱 가지의 증상을 물었고, 이 중 여섯 가지 이상의 증상을 호소하는 경우가 40%였다. 이는 전체 응답자의 평균이 15%인 것에 비해 높은 빈도였다. 또



[그림 11] 폭력 / 괴롭힘 때문의 결근율과 결근일



유럽의 근로자들은 흡연, 감염물질, 소음 등 전통적인 물리적 위험요인 이외에 폭력, 괴롭힘 등 간접적인 위험요인에도 적지 않은 영향을 받는 것으로 확인되었다.

한 흥분, 불안, 수면 장애, 속 쓰림과 같은 건강문제보다 많지 않았지만 높은 수준의 스트레스도 관찰되었다. 작업장에서 폭력 또는 폭력의 위협을 경험한 경우에도 위와 비슷한 건강문제를 보였다. 흥분, 불안, 수면 장애, 속 쓰림은 폭력 또는 폭력의 위협을 경험하지 못한 경우보다 매우 높았다.

전체적으로 23%의 취업자가 지난 12개월 동안 건강문제로 결근을 하였다. 이 중 업무와 관련된 건강문제로 결근한 것은 7%이다. [그림 11]은 정신과적 위험요인에 노출된 응답자에서 결근을 한 경우가 일반적인 업무 관련 건강문제로 결근한 평균보다 매우 높은 것을 보여준다. 특히 주목할 점은 왕따 / 괴롭힘을 경험한 경우에 좀 더 긴 결근일을 보여주었으며, 이들에게서 지난 12개월 동안 업무와 관련된 문제로 결근한 일수가 60일을 넘는 경우가 가장 많았다.

왕따 또는 폭력의 경험과 업무 관련 건강문제로 결근한 일수의 증가 간에 인과관계가 꼭 필요한 것은 아니다. 개별적인 응답자 수준에서 건강문제로 결근한 경우,

이에 기여한 여러 가지 요인이 있을 것으로 예상된다.

본고에서는 산업재해 예방사업에 다양한 활용이 기대되는 물리적 위험요인을 중심으로 살펴보았다. 유럽의 근로자들은 흡연, 감염물질, 소음 등 전통적인 물리적 위험요인 이외에 폭력, 괴롭힘 등 간접적인 위험요인에도 적지 않은 영향을 받는 것으로 확인되었다. 산업구조가 변화하고 기대수명이 늘어나는 등 근로환경과 노동시장에 다양한 변화가 이루어지고 있는 우리나라에서도 주목해야 할 부분이라고 보여진다. 지금까지 5회에 걸쳐서 유럽근로환경조사의 이해를 돕고자 조사개요 및 주요결과에 대한 내용을 살펴보았다. 근로환경조사는 일하고 있는 환경과 더불어 근로자 개인의 특성, 사회심리학적 인자들을 포괄적으로 파악하여 다양한 분석이 가능한 조사이다. 특히 산재보험보상자료 기반의 산업재해율 등 기존의 산업안전보건 분야 통계자료를 보조할 수 있는 자료원으로 적지 않는 내용과 가치를 담고 있기 때문에 지속적인 조사를 통한 발전이 추진되어야 할 것으로 보인다. 🌸

위생 및 유사 서비스업 재해

– ‘사회적 일자리 사업’의 재해부터 줄여가야 한다



최상원 연구위원
산업안전보건연구원
안전연구실

신세계그룹이 올해 창사 이래 최대 규모인 1조 9,000억원을 투자하고 신규 일자리 8,000개를 창출하며, 이마트는 경기도 안성시 공도읍 일대 50만㎡에 약 4,000억원 규모의 국내 최대 물류단지를 조성하여 일자리 1,000개를 창출한다고 밝혔다. 행정안전부는 2011년 희망근로, 전국 지자체 일자리 사업 등을 통하여 약 70여 만명의 일자리를 지원하였다고 한다. 올해도 정부 예산의 조기 집행을 위해 벌써부터 일자리 지원자를 전국적으로 모집중에 있다. 이같은 일자리 창출에 따라 서비스업의 재해도 증가가 예상된다. 본고에서는 중앙 정부 및 지방자치단체가 실시하는 ‘사회적 일자리 사업’에서의 재해를 줄이기 위한 방안을 강구해 본다.

사회적 일자리 사업의 재해 발생

2011년도 ‘서비스업 세부 직종별 안전보건실태 조사 연구’ (연구 책임자 : 최상원 연구위원)에 따르면, 정부의 ‘사회적 일자리 사업’인 ‘지역 공동체 일자리 사업’, ‘희망근로 사업’, ‘노인 일자리 사업’, ‘자활근로 사업’을 통하여 2010년도 전체 559명의 재해자가 발생하였다. 이는 동년 ‘위생 및 유사 서비스업’ 전체 재해자 2,953명의 약 20%에 해당된다<표>.

위생 및 유사 서비스업의 산업재해 감소를 위해서는 중

앙 정부 및 지방자치단체가 실시하는 ‘사회적 일자리 사업’의 재해를 반드시 줄여야만 한다. 특히, ‘사회적 일자리’에서 일하는 사람들이 사회적으로 저소득·약자·소외 계층이기 때문에 이들에게 산업재해라는 가혹한 멍에를 덧씌워서는 아니 된다. 또한 동년 재해 발생을 사업 개시월로 분류하면 ‘사회적 일자리 사업’이 개시되는 3월에 455건이나 집중적으로 발생되었다. 사업 개시월 등 확인 불가(1,776명)를 제외하면 ‘위생 및 유사 서비스업’ 재해 전체의 약 50%가 3월 중에 발생되었다[그림].

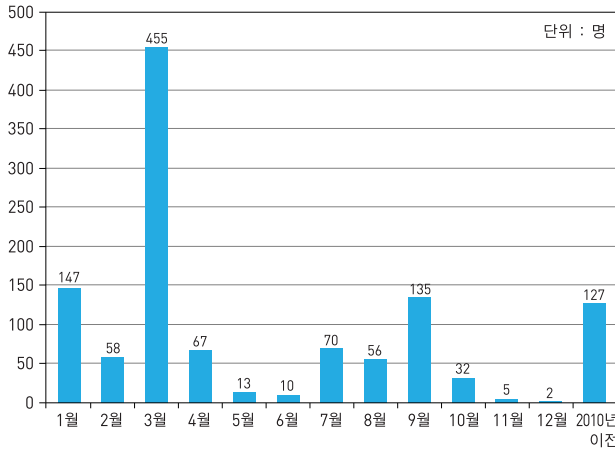
위생 및 유사 서비스업의 사업장 및 근로자 증가는 지방자치단체의 ‘사회적 일자리 사업’ 시기와 재해자 증가 시기에 일치하고, 특히 사업이 시작되는 3월에 재해가 높게 나타남을 알 수 있다.

<표> 중앙·지방자치단체의 사업 종류 및 재해

사업명	근로자수 및 사업장수	재해자
희망근로 사업	58,649명(413개 사업장)	316명
노인 일자리 사업	33,381명(284개 사업장)	73명
어르신 일자리 사업	1,489명(16개 사업장)	3명
지역 공동체 사업	18,843명(517개 사업장)	123명
자활근로 사업	10,554명(198개 사업장)	44명
합계	122,916명(1,428개 사업장)	559명

사회적 일자리 사업의 재해 감소방안

중앙 정부 및 지방자치단체가 실시하는 ‘사회적 일자리



* 2010년 위생 및 유사 서비스업에서 발생한 재해자의 발생 월별로 나타낸 것임. 전체 재해자 2,953명 중 사업 개시월을 확인할 수 없는 1,776명을 제외한 재해자를 대상으로 나타내었음. 재해통계자료상 사업 개시 및 종료 월이 확인 가능한 부분은 대부분 지방자치단체에서 직접 발주하는 사업에서 확인됨

[그림] 재해 발생 월별 구성 분포

사업'에서의 재해를 줄이기 위한 방안은 다음과 같다.

첫째, 안전보건공단 등 안전 관련 단체가 '사회적 일자리' 사업과 관련하여 근로 능력 판별 및 심사과정인 근로자 모집단계에서부터 지원자의 안전 관련 의식, 지식 확인을 비롯해 자료 제공, 홍보 등 사업 시작 전 단계부터 적극적으로 개입하여야 한다. 최소한의 후속조치로는 사업 개시 월에 집중적인 안전교육이 필요하며, 채용 이전에 안전 관련 지식을 사전 습득하는 자율 또는 의무 제도(가칭 '근로 능력 유자격자')의 도입도 고려해 볼만하다.

둘째, 안전 관련 정부, 공공기관의 한정된 인력으로 재해를 감소시키는 것이 어려운 현실에서 안전보건공단 자체에서도 타 기관과의 상호 업무 협약을 통하여 한정된 인력의 한계를 극복하고 있으므로, '사회적 일자리 사업'은 정부와 지자체가 주관인 만큼 사회적 서비스 기업의 육성이 필요하다.

예를 들어, 정부와 지자체 부분은 재해율이 낮은 근로자수 상위 그룹인 복지관, 시니어 클럽, 노인회를 사회적 서비스 기업으로 육성하여 재해율이 높은 하위 그룹을 리드할 수 있게 하는 것이 필요하다. 민간 부분은 거점기업으로서 사회적 일자리 서비스 기업을 발굴해서

안전보건 수준을 높일 수 있다.

이를 위하여 전국의 각 지역별·업종별로 최근 몇년간의 재해율 및 근로자수 비교, 교육 이수 등의 현황을 고려하여 선별하고 자금, 교육 지원 등을 정책적으로 지원하는 것이 필요하다. 그 결과, 재해 감소에 기여함은 물론 이들 기업에게 지자체의 장 등이 인정하는 특정의 자격 인정을 부여하여 타 기업을 선도하는 리더기업이 되도록 한다.

셋째, '사회적 일자리' 등 지자체의 사업 증가가 위생 및 유사 서비스업의 재해율을 증가시키는 원인을 제공하고 있으므로 의무규정은 없으나 이들 일자리 업무를 담당하는 전담 공무원(하나의 기초단체 당 적어도 2~3개 부서의 약 1,000여 명으로 추산)들에 대하여 2011년 실시한 '서비스업 안전보건지킴이 양성교육' 등과 유사한 교육과정을 안전보건공단 교육원 등에서 실시하는 것이 바람직하며, 특히 '사회적 일자리 사업'이 시작되는 달에 재해가 높게 나타나기 때문에 반드시 사업 시작 전에 교육이 이루어지고 담당 공무원이 '사회적 일자리'에 참여하는 근로자에게 전달교육을 하도록 하는 것이 필요하다.

이를 위하여 행정안전부와의 협력 또는 타법령에 의한 직무교육을 할 때 안전보건공단 등이 전국 지자체 '사회적 일자리' 전담 공무원에 대한 안전보건교육을 실시하는 것이 바람직하다.

넷째, 위생 및 유사 서비스업에서의 재해 예방을 위하여 기존의 직능단체인 한국폐기물협회와의 업무 협약뿐만 아니라 민간 부분에서 발생하는 재해 예방을 위하여 직종단체인 전국환경미화원연합회 등 40여 직종·직능단체를 활용한 예방활동을 강화하여 한다.

끝으로, 안전보건공단에서 관리하는 사업장이나 재해 관련 데이터베이스(DB)로는 위생 및 유사 서비스업 관련 공무원수나 직종 등 현황 확보가 어려우므로 행정안전부와의 협력 또는 지자체와의 업무 협약 등을 통하여 이러한 자료가 지속적으로 공유되는 것이 필요하다. 🌸

정유 및 석유화학공정에서 발생하는 황화철의 잠재적 위험성 및 사고 사례



이정석 연구원
화학물질센터 위험성연구팀

‘황화철’은 유화철(硫化鐵)이라고도 불리며 황과 철의 화합물을 통칭하는 것으로 황이 함유된 유체를 취급하는 정유 및 석유화학공정에서 주로 발생된다. 이러한 황화철은 공기 중에 노출되면 자연 발화하는 특성을 갖고 있다. 때문에 정기 유지·보수 및 검사 등을 위하여 관련 공정 내 해당 설비가 공기 중에 노출되면 화재 폭발사고를 일으키기도 한다. 본고에서는 이러한 황화철의 화재 폭발에 대한 잠재적 위험성을 살펴보고, 관련 사고 사례의 원인 규명을 위해 수행된 위험성 평가결과를 소개함으로써 황화철의 위험성에 대한 취급자의 주의 환기와 유사한 사고의 재발 방지 및 대책 수립에 도움을 주고자 한다.

서론

일반적으로 석유화학공정 특히 원유를 정제하는 공정에서는 원료에 포함된 황으로 인하여 처리과정에서 황화수소가스가 발생하며, 장기간 연속 운전되는 공정의 특성에 의해 공정 내 배관 및 장치 표면에 존재하는 산화철과 발생한 황화수소가스가 반응하여 다양한 형태의 황화철을 형성할 수 있다.

이렇게 형성된 황화철은 장치 내 사각지대(Dead space) 혹은 하위공정(Down-stream)의 저장조 등에 누적될 수 있는데, 정상 운전 조건에서는 공기의 유입 우려가 거의 없기 때문에 자연 발화에 의한 화재나 폭발의 위험이 낮은 것으로 알려져 있다. 그러나 해당 설비가 유지·보수 및 검사를 위하여 대기에 노출되어 산소(공기)가 지속적으로 공급되는 조건이 만족되면 산화반응에 기인된 열의 축적에 의해서 황화철의 자기 발화(Self-ignition) 혹은 자연 발화적 산화(Pyrophoric

oxidation)가 발생할 수 있다.

만일 해당 설비 내에 황화철 이외의 가연물이 존재할 경우에는 화재 및 휘발성 탄화수소의 증발에 의한 폭발 범위 형성으로 인한 2차 폭발 발생의 위험성이 있다. 이러한 황화철에 의한 자연 발화 및 잠재적 화재 위험에 의한 사고는 해당 장비의 손상과 에너지 손실을 야기함은 물론 발생하는 이산화황가스로 인하여 주변 환경 및 근로자의 건강에도 손상을 입히게 된다. 따라서 황화철의 누적이 의심되는 설비를 대기 중에 개방하는 경우에는 사전에 충분한 불활성화를 통해 황화철의 반응성을 경감 내지 제거시켜야 하며, 스팀 세정(Steaming-out) 등에 의한 설비 내 가연성 물질 제거도 동반 실시되어야 한다.

황화철의 특성 및 잠재적 위험성

산화철과 황화수소의 반응에 의해서 형성되는 황화철은

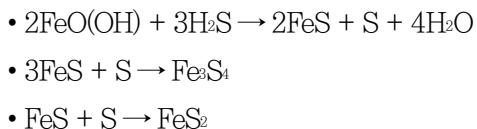
산화철의 종류 및 기하학적인 구조와 반응조건에 따라서 다양한 형태로 형성될 수 있다. <표 1>은 온도 조건별로 황화철이 형성되기에 유리한 조건을 요약한 것이다.

<표 1> 온도에 따른 황화철이 형성되기 쉬운 조건

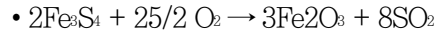
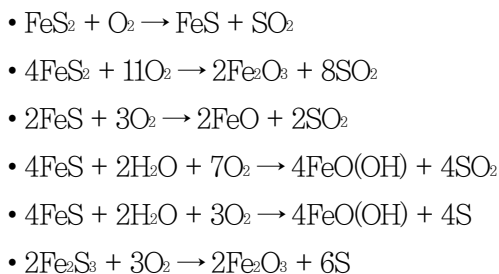
낮은 온도	높은 온도
- 산화철 층의 형성이 선행 - 형성된 산화철을 적실 수 있는 수분이 필요 - 공정조건에서 최소 0.2mol%의 황화수소가 존재 - 산소농도는 1.0mol% 이하 - 시아나이드(cyanides) or NH_4HS or 1ppm의 용존 산소에 의해 가속화 가능	- 황화수소 혹은 유기황이 존재 - 크롬 성분이 낮은 탄소강 260°C 이상의 온도

일반적으로 낮은 온도에서는 막키나와이트(Mackinawite : FeS)를 형성하고, 높은 온도에서는 그레이자이트(Greigite : Fe_3S_4)와 황철석(Pyrite : FeS_2)의 혼합물을 형성한다. 또한 형성된 황화철은 조건에 따라서 다른 형태로 변화가 일어날 수 있는데, 저장 탱크 등에서 숙성 반응(Aging reaction)에 의하여 막키나와이트와 그레이자이트가 황철석으로 변화되는 것이 대표적이다.

앞서 언급한 바와 같이 황화철은 유래가 되는 산화철의 종류에 따라서 다양한 형태로 형성될 수 있으며, 대표적인 황화철 형성의 화학반응식은 다음과 같다.



형성된 산화철이 공기 중에 노출되면 산화반응이 발생하며, 그 반응 정도 및 발열 경향은 반응에 참여하는 황화철의 종류와 입자 크기 등의 물리적 특성은 물론 습도 및 온도와 같은 주변환경에 따라서 변화될 수 있다. 다음은 대표적인 산화반응에 대한 화학반응식을 나타낸다.



황화철은 구조적으로 부드럽고 미세한 입자형태로 넓은 표면적에 기인한 높은 반응성을 가지며, 다공성 구조로 인한 낮은 열전도도를 갖는다. 이러한 특성 때문에 산소와의 반응에 의해서 열이 발생되면 외부로 배출되지 않고 내부에 축적되어 자연 발화의 위험성은 더욱 증가하게 된다.

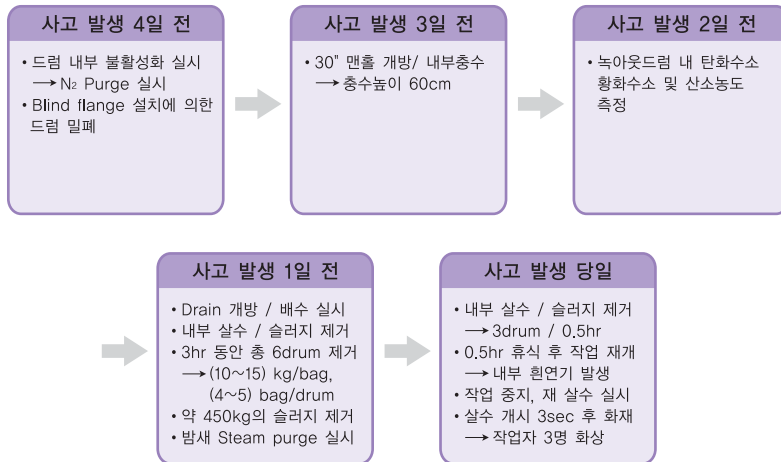
황화철의 자연 발화 현상을 제어하기 위하여 가장 일반적으로 사용하는 방법은 물에 의한 침적이다. 그러나 정유 및 석유화학공정에서 발생하는 황화철은 오랜 기간 압밀(Compaction) 작용으로 인하여 황화철 퇴적층의 내부까지 물이 침투하지 않을 가능성이 있으며, 취급 유체인 유분 때문에 외부 표면만 물에 젖고 내부 황화철 알갱이는 그대로 건조한 분진상태로 남아 있을 가능성도 있다. 따라서 침적에 의한 불활성화방법을 사용할 경우에는 황화철 슬러지의 충분한 습윤상태 여부를 지속적으로 관찰, 유지할 필요가 있다.

사고 사례 및 원인 규명 위험성 평가

황화철 관련 화재 폭발 사고 사례

황화철과 관련하여 국내에서는 2009년 6월, 울산광역시 소재 정유업체에서 발생한 화재 폭발사고가 있었다. 이 사고는 원유정제공정의 상압증류(Crude distillation unit)공정 및 아로마틱(Aromatic)공정에서 배출되는 배기가스(Off-gas)와 안전 밸브의 토출가스를 처리하는 플레어 녹아웃드럼(Flare knock-out drum)에서 발생되었다. 일반적으로 녹아웃드럼은 액체상태의 배출물질에 의한 플레어 운전의 불안정성을 해소하기 위하여 플레어스택 전단에 설치하며, 상위공정(up-stream)에서 배출된 물질 중에 포함된 액체와 슬러지 등의 물질들이 녹아웃드럼에서 제거된다.

사고 조사의견서에 의하면 사고는 녹아웃드럼 내 존재하는 슬러지를 제거하는 과정에서 발생하였으며, 녹아웃드럼 입구에서 소화 호스를 이용하여 드럼 내부로 물



[그림 1] 녹아웃드럼 화재 폭발사고 개요

을 분사하던 중 분출된 화염에 의해 작업자 3명이 화상을 입었다. 해당 사업장의 경우 통상 2년에 한 번씩 슬러지를 제거하였으나 사고 발생 당시에는 6년 만에 개방되어 비교적 많은 양의 슬러지가 딱딱한 적층형태로 드럼 내부에 존재했던 것으로 조사되었다.

[그림 1]은 해당 녹아웃드럼의 개방부터 폭발사고가 발생하기까지의 사고 발생 개요를 조사의견서를 토대로 하여 작성한 모식도이다. 사고는 드럼 내부 슬러지 제거 작업 개시일이 아닌 다음날에 발생하였으며, 재해 발생

사업장 관계자의 진술에 의하면 작업 개시일 저녁에 드럼에서 하얀 연기가 발생되어 사고 당일 새벽까지 스팀 퍼지를 실시한 것으로 되어 있다.

(사진 1)은 사고가 발생한 후에 내부 슬러지가 제거되기 전·후의 드럼 내부를 나타내며, (사진 2)는 사고 발생 당시 피해자의 위치 및 맨홀을 통해 분출된 녹아웃드럼 주변의 화염 흔적을 보여준다.

화재 폭발사고 원인 규명을 위한 위험성 시험 평가

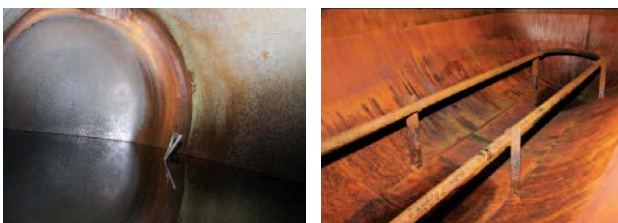
사고 원인 규명을 위한 위험성 평가는 다음의 세 가지 분야로 구분하여 실시하였다.

먼저, 사고 발생의 원인물질로 추정되는 잔류 슬러지(황화철 혼합물)에 대하여 기본적인 특성을 평가하고 그 결과를 기초로 잔류물질에 의한 드럼 내부의 폭발 분위기 형성 가능성 및 착화원으로 작용할 수 있는 황화철의 산화반응에 의한 자연 발화 가능성을 검토하였다.

■ 잔류 슬러지의 기본 특성 평가

평가를 위한 시료는 사고 현장에서 채취한 것으로 산화반응을 우려하여 물에 침적된 형태로 운송·보관되었으며, 기본적인 특성을 평가하기 전에 원심분리 및 여과에 의한 고-액 분리를 실시하였다. 황화철의 반응성은 입자의 크기에 크게 의존하기 때문에 기본적으로 입자 특성과 열 분석을 실시하였으며, 그 결과는 [그림 2]와 같다.

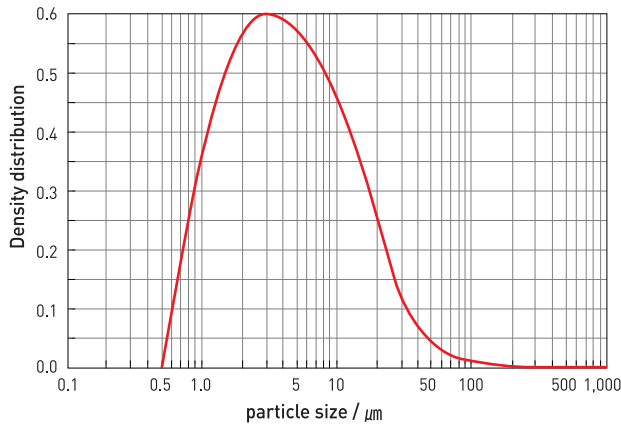
시험 평가대상 시료인 황화철 슬러지의 입도는 레이저 회절을 이용한 습식방식과 건식방식의 두 가지 방법으로 측정하였다. 본 테스트에서 사용한 습식측정방법은 분산매(Dispersion medium)에 희석·분산된 시료를 순환시키는 방식으로, 결과값은 입자의 밀도 및 용매 내 분산 정도에 영향을 받는다. 반면에 건식방법은 밀도 및 분산의 영향은 적으나 시료의 전처리과정인 건조과정에



a. 잔류 슬러지 제거 전
b. 잔류 슬러지 제거 후
(사진 1) 재해 발생 녹아웃드럼의 잔류 슬러지 제거 전·후의 모습



a. 사고 당시 피해자 위치
b. 화염 분출 흔적(드럼 전방 약 2m)
(사진 2) 사고 발생 당시 피해자의 위치 및 화염 분출 흔적

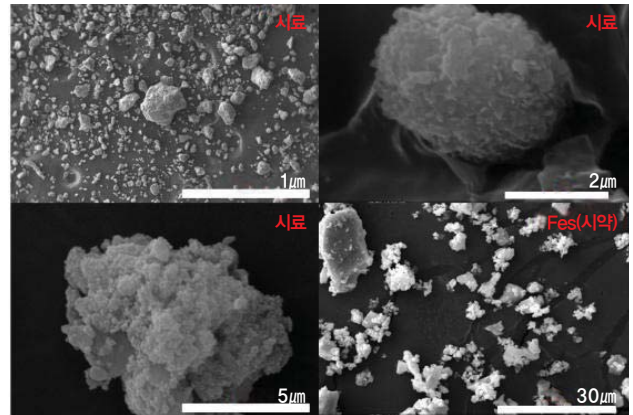


a. 순수 FeS와의 DSC 비교 분석결과

[그림 2] 황화철 슬러지 잔사의 기본 특성 평가

서 입자가 응집에 의해 발생하는 2차 입자(Secondary particle)의 형성 때문에 1차 입자(Primary particle)의 입도 분석에 어려움이 있다.

[그림 2]의 a는 이후 진행될 산화성 평가 등을 고려하여 건식방식으로 측정된 입도 분석결과를 나타낸다. 2차 입자의 영향을 배제하기 위하여 수평균 입도를 사용하였다. 그 결과, 전체 입도분포(Particle size distribution)에서 측정된 입자 누적 50% 이하의 평균값(X_{50})을 지칭하는 중간값(median)을 기준으로 습식 분석은 $0.16\mu\text{m}$, 건식 분석은 $9.94\mu\text{m}$ 의 평균 입도를 보였다. 참고로 [그림 2]의 b는 전처리 시료와 시중에서 시판되는 황철석(FeS : 순도 = 99.09%)의 주사전자현미경(SEM; Scanning Electron Microscopy) 측정결과를 나타낸다.



b. 시료의 SEM 측정결과

〈표 3〉은 시차주사열량(DSC; Differential Scanning Calorimetry) 분석결과를 시료별로 상세하게 요약한 것으로, 두 종류 모두 대표적인 반응성 물질인 과산화물의 분해열¹⁾과 비교했을 때 상당한 발열량을 보였다.

특히 전처리 시료는 순수 FeS보다 낮은 온도에서 발열이 개시되었으며, 최대 45% 정도 많이 발열하였다.

이상의 결과로부터 평가대상인 황화철 슬러지 잔사는 시료 내 포함된 유기물질(탄화수소류로 추정됨)에 의한 저온 영역의 발열을 배제하더라도 300°C 이상의 고온에서 보이는 열적 변화형태가 순수한 FeS 형태의 황화철 혼합물은 아닌 것으로 판단할 수 있으며, 평균적으로 작은 입자를 포함하여 비교적 반응성이 높은 물질로 추정된다.

〈표 2〉 분석방식에 따른 황화철 슬러지의 입도 분석결과

구분	습식 분석			건식 분석		
	X_{10}	X_{50}	X_{90}	X_{10}	X_{50}	X_{90}
수평균 입도[μm]	0.12	0.16	0.26	2.39	9.94	17.94
체적 평균 입도[μm]	0.18	0.84	1.97	64.19	684.66	828.44
비고	시료 투입 전 전처리 : Sonic 60 min 분산매 : Water 분산제 : Sodium pyrophosphate			시료 투입 전 전처리 : 미실시 분산 압력 : 4.0 barG		

〈표 3〉 시료 및 시약(FeS)에 대한 시차주사열량 분석결과

구분	1 st Peak			2 nd Peak		
	$T_0[^\circ\text{C}]$	$T_{\text{peak}}[^\circ\text{C}]$	$Q[\text{J/g}]$	$T_0[^\circ\text{C}]$	$T_{\text{peak}}[^\circ\text{C}]$	$Q[\text{J/g}]$
시료	115.8	174.4	443.58	324.2	336.2	2,490.8
시약(FeS)	141.7	144.5	-12.1	455.5	499.9	1,712.6

■ 녹아웃드럼 내 폭발 분위기 형성 가능성 검토

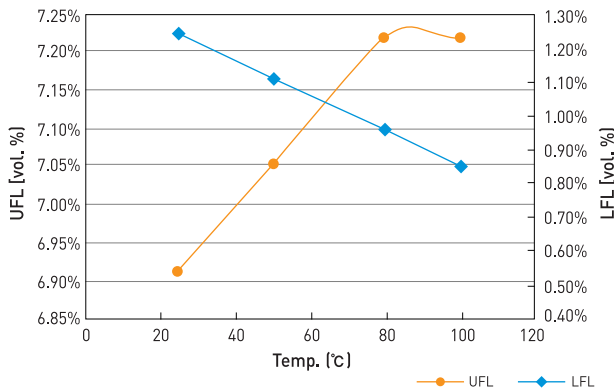
성분 분석 및 열중량 분석결과와 전처리과정에서의 물질수지를 바탕으로 슬러지 잔사 내 가연성 물질의 폭발한

1) 과산화물의 분해열(Benzoyl peroxide = 1,043.38 J/g, Lauroyl peroxide = 1,095 J/g)

2) 폭발한계 : 측정값(CPH), 연소열 : 25°C 에서 연소열(CHP), 증발열 : 끓는 점에서 증발잠열, CPH: Chemical Properties Handbook(McGraw-Hill, 1999)

〈표 4〉 폭발한계 추정을 위해 결정된 가연성 물질의 기본 특성치²⁾

구분	Benzene	Toluene	Xylene	Octane	Nonane
분자량 [g/mol]	78.11	92.14	106.16	114.22	128.2
끓는 점[°C]	80.09	110.58	139	125.68	150.82
연소열[kJ/mol]	3,135.6	3,733.9	4,331.8	5,074.1	5,685.1
증발열[kJ/mol]	30.75	33.59	36.33	34.77	37.15
폭발하한[%]	1.4	1.2	1.1	0.8	0.7
폭발상한[%]	7.1	7.1	6.0	6.5	5.6



〔그림 3〕 녹아웃드럼 내 가연성 혼합물질의 폭발 범위

계 및 드럼 내 잔류량을 추산하였으며, 이를 위한 기본 물질의 종류 및 특성을 〈표 4〉에 나타내었다.

사고 현장에서 수거·채취된 시료는 다량의 물이 포함되어 있었으며, 분석을 위한 시료의 분취과정에서도 물에 의한 불활성화(희석)가 이루어졌기 때문에 해당 시료를 이용하여 사고 발생 당시의 슬러지에 포함되었던 가연성 물질의 함량을 정확히 계산할 수 없다. 그러나 희석 시료를 기준으로 추정된 결과는 위험성에 대한 보수적 평가 관점에서 볼 때 희석 전 시료의 위험성을 정성적으로 평가하는 기준이 될 수 있다. 〈표 4〉에 표기된 물질들은 크로마토그래피를 이용한 성분 분석결과에서 분석기기의 검출한계를 고려하고 열중량 분석에서 끓는 점이 150°C 이하인 물질을 기준으로 선정한 것이다. [그림 3]은 〈표 4〉에 기재된 각 물질들의 폭발한계를 이용하여 온도에 따른 가연성 혼합물의 폭발 범위를 추산한 결과이다.

일반적으로 혼합물질의 폭발한계는 불활성 물질의 양에 따라서 영향을 받

지만 상기결과와는 사고 당시 드럼 내에 존재했을 것으로 추정되는 또 다른 가연성 물질인 황화수소와 불활성 물질인 수분의 영향을 배제하고 녹아웃드럼 내에서 슬러지 상부로 증발된 가연성 혼합물이 이상기체 거동을 보인다는 가정 하에 산출하였다. 폭발하한값은 연소

열, 온도 및 폭발하한치의 관계식에 의해서 산출된 값이며, 폭발상한값은 실험적으로 유도된 폭발한계와 온도와 관계(100°C 증가 시 8%씩 증가)를 사용하였다. 폭발하한값은 온도에 따라서 0.857%(100°C)에서 1.240%(25°C)의 범위를 보였으며, 폭발상한값은 6.914%(25°C)에서 7.219%(100°C)의 범위를 보였다.

추산된 폭발 범위는 사고 당시 녹아웃드럼 내 잔류 휘발성 물질의 폭발 범위 형성 가능성을 판단하는 기준으로 활용할 수 있으며, 이를 위해서는 사고 당시 잔류 슬러지의 양과 슬러지 내 가연성 탄화수소의 양을 추산하여야 한다. 사고 조사보고서에 의하면 사고 발생 후 제거된 슬러지가 9드럼(드럼 당 추정 투입량은 40~75kg)으로 화재 발생 전 설비 내부에는 최소 360kg에서 최대 675kg의 슬러지가 존재했을 것으로 추정된다. 그리고 원심분리기 및 열중량 분석(Thermogravimetry analysis)결과를 이용한 슬러지 내 잔류 유분은 약 5.7%로 사고 전 녹아웃드럼 내부의 잔류 유분은 최소 20kg에서 최대 39kg으로 추산할 수 있다. 슬러지 내 잔류 유분 함량은 화재사고에 의한 영향을 배제하기 위하여 사고 발생 전 채취한 시료를 이용하였으며, 추산을 위한 처리과정은 [그림 4]와 같다.

설계 사양에 의한 녹아웃드럼의 체적은 약 31m³이며, 폭발 범위 형성을 위한 드럼 내 상부 유효체적은 28m³



〔그림 4〕 슬러지 내 유효 잔류 유분 함량 분석

으로 잔류 슬러지 양과 슬러지의 밀도(1.63kg/L)로부터 계산된 충전 체적 및 충수에 의한 체적 감소를 고려하였다. 드럼 상부에 잔류하는 가연성 증기를 이상기체로 가정하고, 앞서 계산된 폭발 범위를 이용하여 사고 발생 전 녹아웃드럼 상부에 잔류하는 가스량은 약 1.5kg에서 8.5kg으로 추정된다. 이는 앞서 추산된 슬러지 내 최소 잔류 유분을 기준으로 7.5%에서 42%에 해당하는 양이다.

물론 사고 발생 전 슬러지를 침적하고 있었던 물의 상태, 슬러지의 부분적인 대기 노출 정도에 대한 정보와 드럼 내·외부로 환기정도가 정확하지 않다. 때문에 제한적인 실험결과 및 이론적 가정을 전제로 하여 추산된 결과가 사고 발생 당시 녹아웃드럼의 모든 상황을 대변한다고 할 수는 없다. 그러나 실제 열 분석 및 분리 등의 실험과정에서 수행된 무게측정 중 상온에서도 상당히 빠른 속도로 휘발되는 성분이 있는 것이 정성적으로 관찰되었으며, 이는 실제적으로 열중량 분석에서 분석되지 않은 휘발성이 더 높은 물질이 슬러지 내에 존재함을 나

황화철은 구조적으로 부드럽고 미세한 입자형태로 넓은 표면에 기인한 높은 반응성을 가지며, 다공성 구조로 인한 낮은 열전도도를 갖는다. 이러한 특성 때문에 산소와의 반응에 의해서 열이 발생되면 외부로 배출되지 않고 내부에 축적되어 자연 발화의 위험성은 더욱 증가하게 된다. 황화철의 자연 발화 현상을 제어하기 위하여 가장 일반적으로 사용하는 방법은 물에 의한 침적이다. 그러나 정유 및 석유화학공정에서 발생하는 황화철은 오랜 기간 압밀(Compaction) 작용으로 인하여 황화철 퇴적층의 내부까지 물이 침투하지 않을 가능성이 있으며, 취급 유체인 유분 때문에 외부 표면만 물에 젖고 내부 황화철 알갱이는 그대로 건조한 분진상태로 남아 있을 가능성도 있다. 따라서 침적에 의한 불활성화방법을 사용할 경우에는 황화철 슬러지의 충분한 습윤상태 여부를 지속적으로 관찰, 유지할 필요가 있다.

타낸다.

추정을 위해 사용된 시료가 희석시료이며, 물의 증발



황화철에 의한 자연 발화 및 잠재적 화재 위험에 의한 사고는 해당 장비의 손상과 에너지 손실을 야기함은 물론 발생하는 이산화황가스로 인하여 주변 환경 및 근로자의 건강에도 손상을 입히게 된다.

에 의한 폭발 특성 감소 영향이 있기는 하지만 폭발 분위기 형성을 위한 탄화수소가 드럼 내에 충분히 존재했을 가능성은 완전히 배제할 수 없다. 또한 맨홀의 개방이나 다른 조작(살수에 의한 내부 강제 순환)으로 인하여 외기의 공기가 순간적으로 유입되면 국부적으로 폭발 분위기가 형성될 수 있기 때문에 사고 발생 당시 잔류 슬러지 내 유분에 의한 드럼 내부 폭발성 분위기 형성의 가능성은 충분하다고 판단된다.

■ 황화철의 산화 반응성 검토

황화철 슬러지의 산화 반응성을 평가하여 황화철의 자연 발화가 화재 폭발사고의 착화원으로 작용했을 가능성을 검토하였다. 사고 설비의 황화철 슬러지에는 불활성화를 위해서 다량의 물이 투입되었으며, 제거작업 1일째에는 아무 문제가 없었던 사실로부터 물에 의한 침적은 산화 및 발화의 가능성을 충분히 저감시킬 수 있다고 판단된다. 그러나 조사 의견서에 기술된 고형물의 퇴적 상태(철제 삽에 의한 정도로 압밀되어 있었음)로 추정하건데 드럼 내 모든 잔류 슬러지에 대한 불활성화가 완전하게 이루어졌다고 단정할 수는 없다.

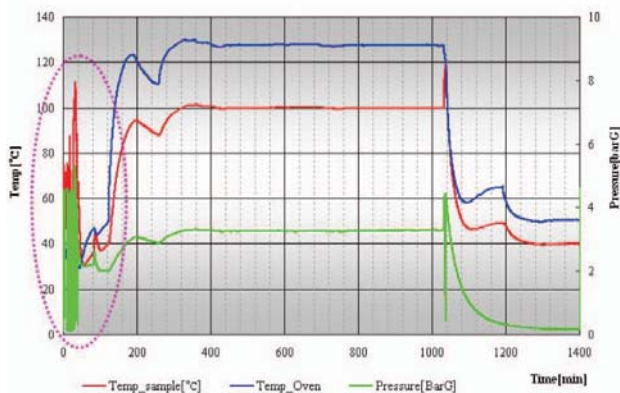
아울러 앞서 실시된 기본 특성 평가에서 평가대상 슬러지 내 고형분이 순수한 FeS가 아닌 것으로 판단되기 때문에 평가대상 시료가 공기 중에서 FeS와 동일한 반응 특성을 보인다고 볼 수도 없다. 따라서 물에 의한 불



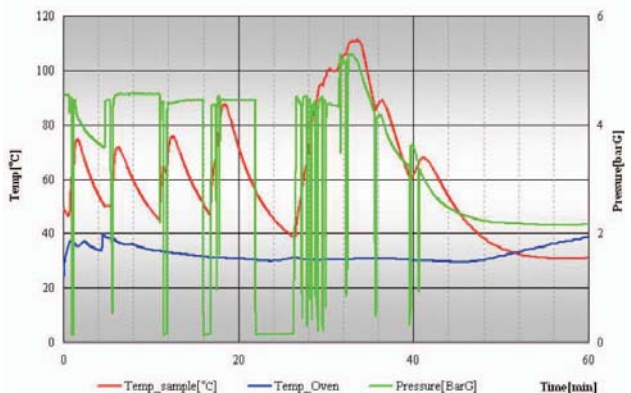
[그림 5] 황화철 슬러지의 산화 반응성 평가를 위한 전처리과정

활성 효과를 배제한 슬러지 내 고형분의 반응 특성을 평가하기 위하여 별도의 전처리를 [그림 5]와 같이 실시하고, 전처리 후 시료를 대상으로 산화 반응성을 검토하였다. 전처리과정에서 여과는 8μm의 여과지(Filter paper)를 사용하였으나 침층여과(Depth filtration)효과로 인하여 사전 입도 분포에서 보였던 미분입자의 유출은 유출액(Filtrate)에서 무시 가능한 수준이었다. 여과 처리된 Wet cake는 진공 건조장치에서 30분간 건조를 실시한 후 고압시차주사열량계(High pressure differential scanning calorimeter), 열안정성 시험기(Reactive system screen tool) 및 개방산화 시험을 통해서 산화 반응성을 평가하였다.

고압시차주사열량계를 이용한 평가에서는 별다른 특성을 보이지 않았으나 [그림 6]에서 보는 바와 같이 열안정성 시험에서는 조건에 따라서 강한 발열 특성을 보였다. [그림 6]의 a는 40℃에서 공기로 가압된 상태에서 일정 기간 동안 시료의 온도 및 온도 변화 속도를 나타내는 것이고, b는 동일한 온도 조건에서 내부 압력 변화(가압-해압)에 의한 결과를 보여준다. 두 경우에서 모두 압력 변화가 발생했을 때는 상당한 정도의 발열(최대 30℃/min)을



a. 온도 · 압력 분포



b. 온도 · 압력 분포(Purge 구간 확대)

[그림 6] 전처리 시료의 산화 반응성 검토를 위한 열안정성 시험결과



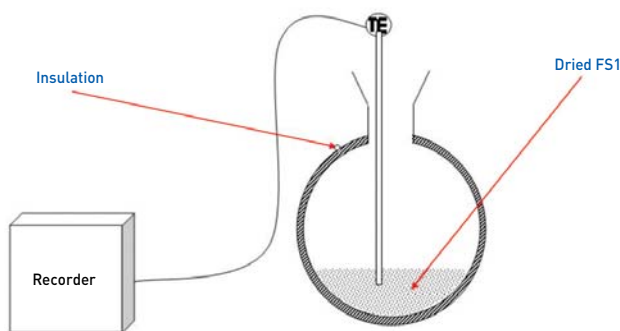
석유화학공정 특히 원유를 정제하는 공정에서는 설비 내에 황화철을 비롯한 가연물이 존재할 수 있다.

나타내었다.

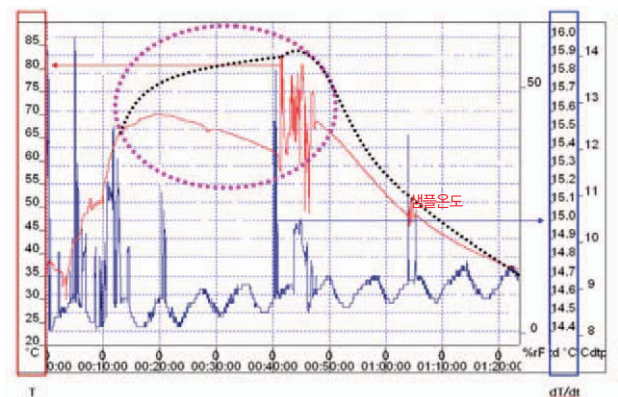
특이한 것은 고압을 일정하게 유지하면 초기를 제외하고 급격한 온도 변화를 볼 수 없지만, 압력 변화를 반복 실시할 경우에는 계속해서 온도가 상승하는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 앞서 황화철의 산화 반응성이 산소와의 접촉 가능성(입자 크기에 따른 표면적)에 영향을 받는 것과 유사한 이유에 기인하는 것으로 판단된다. [그림 7]은 열안정성 시험기에서 보인 결과를 바탕으로 비교적 많은 시료(열안정성 시험기의 10배)를 대기에 개

방하여 산화반응에 의한 내부 온도 변화를 측정한 시험 장치 및 그 결과를 나타낸다.

[그림 7]에서 붉은 선은 실제측정된 시료의 온도 변화 분포를 나타낸다. 대기 개방 후에 열안정성 시험결과와 유사하게 초기에 급격한 온도 상승을 보이다가 서서히 내려오는 경향을 나타냈다. 분홍색 원안의 불규칙한 온도 변화는 시험 중 온도 센서의 위치 이동에 의한 것으로, 장치 내에서도 위치에 따라서 큰 온도 변화(반응성의 차이)를 보였다. 검정색 선은 센서의 이동에 의한 온



[그림 7] 전처리 시료의 개방 산화성 시험 및 결과



도 변화를 무시하고 10분 후 재관측된 온도와 초기 온도 변화 곡선을 연결하여 시험 시작 후 내부 온도 분포 변화를 가정한 것이다. 순간적인 최대 온도 상승 속도는 약 16℃/min로 열안정성 시험의 약 50% 수준에 해당되었으며, 약 50℃의 온도 상승을 보였다.

결론

지금까지 황화철의 잠재적 위험성과 국내에서 발생한 사고 사례 및 해당 사고의 원인 규명을 위한 위험성 평가와 관련된 내용을 살펴보았다. 원인 규명을 위한 위험성 시험 평가결과, 사고 발생 당시 녹아웃드럼의 상태(잔류물의 양 및 슬러지의 침적된 형태)에 따라서 변화가 있을 수 있지만 열 분석결과에서와 같은 발열 반응이 발생한다면 황화철 슬러지 잔사의 산화반응에 의한 휘발성 물질들의 증발이 이루어질 수 있으며, 이로 인한 녹아웃드럼 내의 폭발성 분위기의 형성이 가능하다고 판단된다.

특히, 사고 발생 당일 전에 침적시켰던 물을 밤새 배출 시킴으로써 불활성화 효과의 감소로 인하여 드럼 내 폭발성 분위기 형성의 가능성은 더욱 증가하였을 것으로 추정된다. 또한 황화철 슬러지의 자연 발화가 화재사고의 착화원으로서 작용했을 가능성은 낮은 것으로 판단된다. 그러나 사고 당시 드럼 내 상태에 대한 정보가 부족하고 함습률 및 공기와의 접촉 특성에 따라서 해당 슬러지의 산화반응 특성이 변화되기 때문에 발화원의 가능성을 완전히 배제할 수는 없을 것으로 보인다.

따라서 원유정제공정에서 사용되는 녹아웃드럼의 유지·보수작업은 제거대상이 되는 황화철 자체의 위험성을 충분히 인지하여 되도록이면 유지·보수 기간을 짧게 하여 드럼 내 적층되는 슬러지의 양을 최소화하고, 가능하다면 작업시간을 단축하여 해당 슬러지가 공기에 노출될 수 있는 시간을 최소화할 필요가 있다. 또한 산화반응은 상당한 정도의 발열을 동반하기 때문에 드럼 내 휘발성 물질의 농도 및 슬러지의 온도를 관리할 필요가 있다.

원유정제공정에서 사용되는 녹아웃드럼의

유지·보수작업은 제거대상이 되는 황화철 자체의

위험성을 충분히 인지하여 되도록이면

유지·보수 기간을 짧게 하여 드럼 내 적층되는

슬러지의 양을 최소화하고, 가능하다면

작업시간을 단축하여 해당 슬러지가 공기에

노출될 수 있는 시간을 최소화할 필요가 있다.

또한 산화반응은 상당한 정도의 발열을 동반하기 때문에

드럼 내 휘발성 물질의 농도 및 슬러지의 온도를

관리할 필요가 있으며, 특히 하루 이상의 제거작업이

예상되는 경우에는 야간에 드럼 내 슬러지의

산화반응에 의한 축열 현상이 발생하지 않도록

불활성화(질소 치환, 물에 의한 완전 침적 등)를 재실시하고,

익일 입조작업을 실시하기 전에 드럼 내 휘발성 물질의

농도 및 슬러지 온도를 확인하는 등

추가적인 안전조치가 필요하다.

며, 특히 하루 이상의 제거작업이 예상되는 경우에는 야간에 드럼 내 슬러지의 산화반응에 의한 축열 현상이 발생하지 않도록 불활성화(질소 치환, 물에 의한 완전 침적 등)를 재실시하고, 익일 입조작업을 실시하기 전에 드럼 내 휘발성 물질의 농도 및 슬러지 온도를 확인하는 등 추가적인 안전조치가 필요하다. 🌸

참고문헌

- ZHAO Xue'e et al., "Spontaneous combustion tendency of iron sulfide in natural environment,"
- Roling et al., "Inhibition of pyrophoric iron sulfide activity," US Patent No. 6328943, 2001.
- Robert walker et al., "Pyrophoric nature of iron sulfides," Ind. Eng. Chem. res., Vol. 35, pp. 1747-1752, 1996.
- Philip A. et al., "Improved cleaning method safely removes pyrophoric iron sulfide," Oil & gas journal, pp.65-68, Feb. 24, 1997.
- Robert walker et al., "Deactivation of Pyrophoric iron sulfides," Ind. Eng. Chem. res., Vol. 36, pp. 3662-3667, 1997.
- Fractionation research Inc., "Causes and prevention of packing fires," Chemical engineering, pp.34-42, July 2007.
- 이정석, "녹아웃드럼 내 황화철 슬러지 잔사의 화재 폭발 위험성 평가," 연구원 2010-4-78, pp.233-291, 안전보건공단 산업안전보건연구원, 2010.
- 안전보건공단 부산지역본부 작성, 사고 조사 의견서.

산업안전보건 국내 · 외 소식

국제 안전보건 단신

호주 WorkSafe BC, 나홀로 근무자를 위한 안전보건 규정 개정

본 개정안은 밤에 혼자 근무하는 근로자(소매업 등)를 보호하기 위해 마련된 법안이다. 이에 따라 고용주는 늦은 밤에 꼭 필요하지 않은 현금 및 복권 등을 특수금고에 보관, 근무지 입구를 환하게 유지, 외부인의 접근을 가급적 제한, CCTV를 설치하여 드나드는 사람을 감시'하는 등의 추가조치를 통해 근로자를 보호해야 한다. 동 규정은 2012년 4월 15일부터 발효될 예정이다.

〈출처 : http://www.worksafebc.com/news_room/news_releases/2011/new_11_12_08.asp〉

싱가포르 산업안전보건부, 건설안전 검사 시스템 개발

싱가포르는 건설안전 검사 시스템(ConSASS)을 개발하여 현장 적용을 계획하고 있다. ConSASS는 작업 현장의 안전보건관리 시스템을 평가할 수 있는 톨로서 각 근로 현장에서 안전보건 발전상태를 명확히 보여주고, 수준을 평가하는 데 유용하며, 안전보건 효율성 향상을 위한 안전보건관리 자원 분배에도 도움이 된다.

〈출처 : <http://www.wshc.sg/wps/portal/consass>〉

ECHA, 고위험물질 관련 권고사항 제출

유럽 화학물질청(ECHA; European Chemical Association)은 13개 고위험물질(SVHC; Substances of Very High Concern)에 대해 앞으로 승인 없이는 절대 사용할 수 없도록 하는 권고안을 유럽위원회에 제출하였다. 유럽위원회 검토 후 허가가 날 경우, 13개 고위험 물질은 승인된 범위 내에서만 사용이 가능하다.

〈출처 : <http://echa.europa.eu/web/guest/addressing-chemicals-of-concern/authorisation/recommendation-for-inclusion-in-the-authorisation-list/previous-recommendations/3rd-recommendation>〉

독일, 2012년 신규 감독관 직무규정 시행

독일에서는 2012년 1월 1일자로 새로운 감독관 직무규정이 시행되었다. 신설 직무규정은 사회고용부 근로감독관의 활동과 조직, 근로 임금감독, 사회 조사정보 서비스를 통합하여 모든 사람이 건강하고 안전한 작업을 할 수 있도록 하였다.

〈출처 : <https://www.inspectieszw.nl/>〉

영국의학저널(BMJ), 인지 능력 감소에 관한 연구 발표

BMJ에서는 기존의 60세보다 이른 45세에 이미 인지기능이 약해지기 시작한다고 발표하였다. 지난 10년여 동안 세 번에 걸쳐 7,000명의 45~70세 영국인을 대상으로 기억, 추리, 단어, 언어적 능력을 실험한 결과, 단어를 제외한 나머지 영역의 점수는 모두 나이에 따라 감소하는 것으로 나타났다.

〈출처 : <http://www.bmj.com/content/344/bmj.d7622>〉

HSE, 유해 화학물질에 대한 작업 노출 기준(2011년도 버전)

영국 HSE에서는 유해 화학물질에 대한 작업 노출기준을 화학물질별로 정리한 테이블을 만들어 제공하고 있다. 이는 장·단시간의 노출 한계, 노출 수준 계산방법, 노출 수준 모니터링, 혼합물질의 노출 등에 대한 내용을 다루고 있는데 무료 다운로드가 가능하다.

〈출처 : <http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/eh40.pdf>〉

프랑스 교통부, 매년 10% 이상의 전문 운전자들이 작업장에서 상해를 입는다고 발표

프랑스 교통부는 전문 운전자들을 대상으로 직접 면담과 전화 면담을 통해 2006~2008년까지 수집된 운전자들의 작업환경 등에 대한 조사보고서를 펴내면서 10명 중 1명 이상(2006년 : 12%, 2007년, 2008년 : 11%)이 상해로 교통 받고 있다고 밝혔다. 또한 80%의 사고는 상·하차 중에 발생되는 것으로 발표되었다.

〈출처 : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-conditions-de-travail-des.html>〉

OSHA, 겨울철 눈폭풍 대비 당부

미국 산업안전보건청(OSHA)은 눈폭풍이 발생하는 겨울철 사고의 70%는 자동차 사고이므로 차량 정비, 차내 비상용 장비 구비를 권고하였다. 또한 겨울철 사고 및 질병에 대한 예방조치를 제시하였다.

〈출처 : <http://www.osha.gov/dts/weather/winter-storm/index.html>〉

아시아 태평양 ISSA, 우수 사례 대상 (Good Practice Award) 개최 계획

ISSA(International Social Security Association)에서는 사회 보장조직과 기관의 운영 및 행정의 효율성을 증대시킬 수 있다는 전제 하에 매 3년마다 지역별로 우수 사례 대상 대회를 개최하고 있다. 금년도에는 오는 10월에 서울에서 아시아 태평양 지역 사회 보장 포럼 개최 시 우수 사례 대상 대회를 실시한다고 밝혔다.

〈출처 : <http://www.issa.int/News-Events/News2/The-ISSA-Good-Practice-Award-for-Asia-and-the-Pacific>〉

ACTU, 안전보건을 위한 '목소리를 높여라' 캠페인 전개

호주 무역연합협회(ACTU)는 새롭게 구성된 안전보건법의 의무와 관련하여 사업주의 의무와 근로자들의 권리를 알리기 위하여 국가적인 캠페인을 실시하였다. 근로자들은 작업장에서 안전보건 관련 문제가 발생했을 때 안전보건 담당자와 유기적인 관계를 통한 해결이 가능할 것으로 기대된다.

〈출처 : <http://www.safeatwork.org.au/speak-up-campaign>〉

영국, 혹한 대비 계획안 발표

영국 보건부(DH)와 보건의로 서비스(NHS)는 추운 날씨로 인한 국민 및 국가 피해를 최소화하기 위한 '혹한 대비 계획안(Cold weather plan for England)'을 발표하였다.

〈출처 : www.dh.gov.uk/prod_consum_dh/groups/dh_digitalassets/documents/digitalasset/dh_130926.pdf〉

산업안전보건연구원 활동 · 동정

국내 행사 · 회의

2012년 한국비교노동법학회 동계학술대회

일 자 : 1월 31일(화)
장 소 : 경북대학교 법학연구소(대구)
내 용 : 현대노동법 및 사회보장법의 제문제

2012년 산업안전보건연구원 워크숍

일 정 : 2월 2일(목)~2월 3일(금)
장 소 : 롯데인재개발원(오산)
내 용 : 연구원 역량 강화 워크숍

한국과 대만의 근로자 건강진단제도 세미나

일 자 : 2월 16일(목)
장 소 : 정책연구팀 회의실
내 용 : 대만의과대학 Dr. Leon 교수와 양국의 근로자 건강진단제도 비교 및 논의

산업안전연구 활성화 방안 간담회

일 자 : 2월 17일(화)
장 소 : 안전보건공단 본부 대청마루
내 용 : 고객의 Needs에 부응하는 안전 연구 수행을 위한 토론

국내 · 외 안전보건 행사

2012년 한국산업경영학회 동계학술대회

일 자 : 2012. 2. 24(일)
장 소 : 계명대학교 경영대학

2012년 한국산업위생학회 동계학술대회

일 정 : 2012. 3. 15~3. 16(2일)
장 소 : 제주대학교 국제교류관

영국산업안전보건협회 2012 컨퍼런스 및 전시회(OSH 2012 Conference & Exhibition)

일 정 : 2012. 3. 6~3. 7(2일)
장 소 : 영국 런던
주 관 : 영국산업안전보건협회(OSH)

미국독성학회 제51회 학술대회 및 전시회(The SOT 51st Annual Meeting & ToxExpo 2012)

일 정 : 2012. 3. 11~3. 15(5일)
장 소 : 미국 샌프란시스코
주 관 : 미국독성학회

2012 제30회 국제산업보건대회(30th International Congress on Occupational Health)

일 정 : 2012. 3. 18~3. 23(6일)
장 소 : 멕시코 칸쿤
주 관 : 국제산업보건위원회(ICOH)

제8차 공정안전 세계대회(8th Global Congress on Process Safety)

일 정 : 2012. 4. 1~4. 4(4일)
장 소 : 미국 휴스턴
주 관 : AIChE

INRS 산업보건연구 컨퍼런스(INRS Occupational Health Research Conference)

일 정 : 2012. 4. 2~4. 4(3일)
장 소 : 프랑스 낭시
주 관 : 프랑스산업보건연구원(INRS)

ISSA 재해예방특별위원회 회의(Special Commission)

일 정 : 2012. 4. 12~4. 13(2일)
장 소 : 오스트리아 비엔나
주 관 : 국제사회보장협회(ISSA)

2012 인간공학 및 인적 요인 세미나(13th International Conference on Information and Communication Technology in Social Security)

일 정 : 2012. 4. 16~4. 19(4일)
장 소 : 영국 블랙폴
주 관 : 인간공학 및 인적요인협회

미국질량분석학회 제60회 컨퍼런스(The 60th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics)

일 정 : 2012. 5. 20~5. 24(5일)
장 소 : 캐나다 밴쿠버
주 관 : 미국질량분석학회

안전보건 관련 자료 · 보고서 · 발간물

EU-OSHA, 건설 · 보건 의료 · 호텔·음식업의 안전보건에 대한 보고서 발간

유럽 산업안전보건청(EU-OSHA)에서 발간한 『건설 · 보건 의료 · 호텔·음식업 안전보건 향상을 위한 혁신방안』 보고서는 각 사업장의 상황에 따라 적용할 수 있게끔 구성되어 있다. 또한 건설 · 보건 의료 · 호텔·음식업 등 업종별 위험군을 파악하여 인간, 조직, 기술(HOT: Human, Organization, Technology)에 중점을 두고 해법을 제시(사업장에서 적용 가능한 체크리스트 포함)하였다.
(바로그기 : <http://osha.europa.eu/en/publications/reports/innovative-solutions-OSHRisks/view>)

ILO, 산업 스트레스 예방 체크포인트 매뉴얼 발간

국제노동기구(ILO)에서는 직장 내 스트레스가 순환계질환, 소화기질환에서부터 정신적 질환, 대인관계 기피까지 유발할 수 있고 이는 결국 업무 효율성 하락, 높은 산재율, 생산성 하락 등으로 이어질 수 있으므로 근로환경 및 조직 최적화를 위해 산업 스트레스 예방 체크포인트 매뉴얼을 발간하게 되었다.
(바로그기 : http://www.ilo.org/global/publications/ilo-bookstore/order-online/books/WCMS_168053/lang-en/index.htm)

상해와 질병 예방 프로그램에 관한 OSHA 백서 발간

미국 OSHA는 홈페이지에 상해와 질병 예방 프로그램에 대한 백서를 게시하였다. 이 프로그램은 사업주들에게 근로자들이 다치기 전에 능동적으로 작업장의 위험성을 찾고 개선할 수 있도록 한 것으로, 사고, 질병, 사망재해 등의 감소를 위한 효과적인 방법이 되고 있다.
(바로그기 : <http://www.osha.gov/dsg/InjuryIllnessPreventionProgramsWhitePaper.html>)

ILO · IEA, 농업에서 인간공학적 체크포인트 공동 발간

국제노동기구(ILO)와 국제인간공학회(IEA)는 공동 협력을 통하여 최소의 비용으로 농업에서 실제적인 인간공학 개선을 할 수 있는 100가지의 예를 정리하였다.
(바로그기 : http://www.ilo.org/global/publications/ilo-bookstore/order-online/books/WCMS_168042/lang-en/index.htm)

WHO, 여성과 남성 근로자의 건강하고 평등한 작업장 설계 발간

국제보건기구(WHO)에서는 사업주와 근로자 대표를 대상으로 주로 여성에게 영향을 미칠 수 있는 요인들을 가지고, 여성과 남성의 건강하고 평등한 작업장 설계를 위한 문서를 발간하였다.
(바로그기 : http://www.who.int/occupational_health/publications/Protecting_Workers_Health_Series_No_11/en/index.html)

일본 중앙노동재해방지협회, 연차보고서 작성 및 배포

일본 중앙노동재해방지협회에서는 해외 안전보건기관 관계자를 비롯한 다양한 이용자에게 협회의 활동을 알리기 위하여 2011년도 연차보고서를 제작 · 게시하였다.
(바로그기 : <http://www.jisha.or.jp/international/AnnualReport.html>)

핀란드, 아시아-태평양 및 아프리카 등의 최신 뉴스레터 제작

핀란드는 싱가포르의 산업안전보건 프레임워크, 한국의 산업안전보건 프로그램, 중국의 산업안전보건 실천, 몽골의 산업안전보건에 대한 현재 상황 및 향후 목표 등을 다룬 뉴스레터를 제작하였다.
(바로그기 : http://www.ttl.fi/en/news/Pages/Afr_Bar_Newsletters.aspx)

〈원고를 모집합니다〉

SH@W

Safety and Health at Work

안전보건 국제학술지

산업안전보건과 관련된 국내·외 최신 학술정보를 제공하고 있는
국제학술지 『SH@W』(영문, 계간)에서 여러분의 논문을 기다립니다.
세계 산업안전보건분야의 전문가들과 공유하고 싶은 논문이 있으시면
언제든지 투고를 부탁드립니다.

■ 무료 웹사이트를 이용한 투고

<http://www.e-shaw.org> (※현재 접수중)

■ 문의사항

논문 투고와 관련한 문의사항은 안전보건공단 산업안전보건연구원
안전경영정책연구실로 연락하시면 됩니다.

• 담당자 : 안상현 과장 Tel. (032)5100-904, e-mail : shaw@e-shaw.org

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



“더 가까이 국민과 함께 하겠습니다”

「안전보건공단」으로 모습과 각오를 새롭게 다집니다.

일하는 사람의 생명과 건강을 위해
지난 20여 년간 노력해온 한국산업안전보건공단이
새 모습 새 각오로 새롭게 출발합니다.

더욱 안전하고 건강한 사회
국민과 함께하는 산업재해예방 중심·전문기관—
「안전보건공단」이 실현해 가겠습니다.

산업재해예방

안전보건공단

