



OSHRI

2018년 제5권 제1호(통권 9호)

RESEARCH TO PRACTICE

안전보건

연구실용화 REPORT

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



OSHRI

2018년 제5권 제1호(통권 9호)

안전보건
연구실용화
REPORT

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



Research to Practice

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

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

안전보건 연구실용화 REPORT 2018 Vol.5 No.1(통권 9호)

2018년 5월 30일 발행 | 발행처 산업안전보건연구원 | 발행인 김 장 호 | 편집인 김 장 호
등록 2018-연구원-321 | 주소 울산광역시 중구 종가로 400(북정동) | 전화 052-703-0813
홈페이지 oshri.kosha.or.kr | 인쇄 진영 프린텍 052-995-3713

〈안전보건 연구실용화 REPORT〉는 연구원 홈페이지 oshri.kosha.or.kr에서 다운 받으실 수 있습니다.

Contents



01

004 | LCD 제조사업장 작업환경관리 매뉴얼 개발 및 보급

정은교 연구위원 / 산업안전보건연구원 직업환경연구실

02

010 | 이상기압에 의한 건강장해예방 기준 강화

정은교 연구위원 / 산업안전보건연구원 직업환경연구실

강준혁 연구원 / 산업안전보건연구원 안전보건정책연구실

03

018 | 근골격계질환 유해요인조사 감독매뉴얼 개발 및 보급

박정근 연구위원 / 산업안전보건연구원 안전보건정책연구실

04

024 | 탄소나노튜브 취급 작업환경 노출농도 관리지침 개발 및 활용

이나루 부장 / 산업안전보건연구원 산업화학연구실

05

030 | '소변 중 니켈' 정도관리 표준 시료 개발로 중금속 생물학적 노출평가의 신뢰성 강화

이미영 부장 / 산업안전보건연구원 직업건강연구실

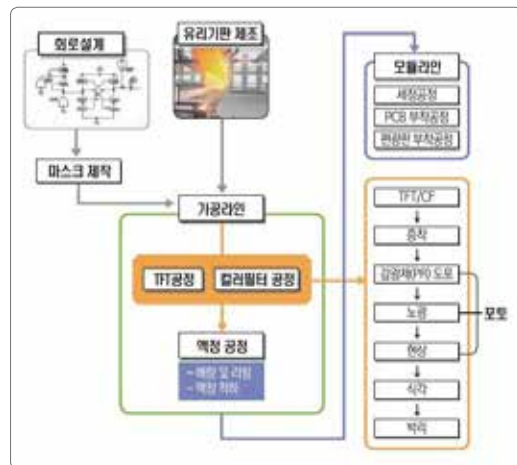
01

LCD 제조사업장 작업환경관리 매뉴얼 개발 및 보급

정은교 연구위원* / 산업안전보건연구원 직업환경연구실



LCD 제조사업장의 안전관리는 체계적으로 잘 마련되어 있으나 보건관리 측면에서 강화해야 할 부분이 있어 공정별 유해요인 특성을 고려하여 보건관리자에게 도움을 줄 수 있도록 하기 위한 「LCD 제조사업장 작업환경관리 매뉴얼」이 개발되었다. 이번에 개발된 LCD 제조공정에 대한 작업환경관리 매뉴얼은 보건관리자 등이 쉽게 이해하고 활용할 수 있도록 각 공정별로 핵심내용만 요약, 정리하여 공정별 유해인자 노출과 작업환경 관리요령을 쉽게 찾아볼 수 있도록 작성함으로써 LCD 제조사업장 보건관리자 등이 LCD 제조공정별 유해인자 노출특성을 이해하고, 근로자 건강장해 예방을 위한 지침서로 널리 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있다



LCD패널 제조 흐름도

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

I. 개요 및 배경



LCD 패널은 다양한 단위공정을 통해 만들어지며 각각의 공정에서는 많은 화학물질이 사용되고 있고 첨단설비들을 운용하는 과정에서 X-ray, UV 및 전자파 등이 발생되고 있어 이들 유해인자에 의한 노출 가능성을 배제할 수 없음



I-1. 배경

전자산업 반도체공장 노동자들의 잇따른 백혈병 발병에 이어, LCD공장에서 일했던 노동자가 자신이 걸린 뇌종양에 대해 직무 관련성을 인정해 달라며 산재요양을 신청하였다.(한겨레, 2009) 반올림(반도체 노동자의 건강과 인권 지킴이)은 기자회견을 열어 “LCD공장의 작업환경은 백혈병 환자가 발생한 반도체공장과 크게 다르지 않다”며 이와 유사한 LCD공장에 대해서도 작업환경의 유해요인에 대한 정밀조사 등을 요구하였다.(연합뉴스, 2013)

LCD 패널은 다양한 단위공정을 통해 만들어지며 각각의 공정에서는 유기용제, 가스, 무기산, 금속 등 많은 화학물질이 사용되고 있고, 첨단설비들을 운용하는 과정에서 X-ray, UV 및 전자파 등이 발생되고 있어 이들 유해인자에 의한 노출 가능성을 배제할 수 없다. 이러한 LCD 제조사업장의 안전관리는 체계적으로 잘 마련되어 있으나 보건관리 측면에서는 더 강화해야 할 부분들이 존재한다. 이에 공정별 유해인자와 발생특성을 고려하여 보건관리자에게 도움을 줄 수 있는 작업환경관리 매뉴얼을 개발할 필요가 있었다. 따라서 2014년부터 2016년까지 국내 LCD 제조회사들을 대상으로 실시한 「LCD 제조공정 유해요인 특성 연구」를 기초하여 LCD 제조업에서 근로자의 건강보호를 위해 활용 가능한 작업환경관리 매뉴얼을 연구하게 되었다

I-2. 주요 관련 정보

▶ 화학물질 관리

2014년에서 2016년까지 국내 LCD 제조사업장 2개소의 가공라인 4개 및 모듈라인 2개를 대상으로 연구한 결과, LCD 제조사업장으로부터 제공받은 CAS번호가 존재하는 화학물질의 종류는 사업장별로 다소 차이는 있으나 대략 120여종인 것으로 파악되었고, 이중에서 측정 및 관리대상 물질은 30여종이며, 사용화학물질의 유해성에 대한 정보를 충분히 파악하기



LCD 제조공정은 수십 개의 세분화된 공정을 통해 LCD 패널을 가공, 조립하는 과정에서 많은 화학물질을 사용하고 있으나 대부분의 공정이 자동화되어 있어 노출수준은 상당히 낮지만 영업비밀로 공개되지 않은 물질에 대해서는 회사 자체에서 해당물질을 분석하고 평가하여 지속적으로 관리해 나갈 필요가 있음



어려운 경우는 20여종인 것으로 파악되었다.

포스핀 등과 같은 독성이 강한 화학물질을 취급하는 작업에 대해서는 필요하다면 이동식 국소배기장치를 추가 배치하여 작업함으로써 근로자 노출을 최소한으로 줄여야 할 것으로 판단되었으며, 또한 시스템 이상 작동, 보충액 충전, 배관점검 등의 과정에서 화학물질 누출로 인해 급성중독 사고가 발생할 수 있으므로 안전한 방법에 따라 작업할 수 있도록 관리되어야 하고, 비상조치계획 등의 시스템 관리매뉴얼에 따라 잘 준수 되도록 해야 할 것이다.

LCD 제조공정은 수십 개의 세분화된 공정을 통해 LCD 패널을 가공, 조립하는 과정에서 많은 화학물질을 사용하고 있으나 대부분의 공정이 자동화되어 있어 노출수준은 상당히 낮으나 유지보수작업(Preventive Maintenance, PM) 등 작업의 특성에 따라 세정제, 잔류 가스, 부산물 등에 노출될 수 있으므로 장비내의 잔류물질을 충분히 배기하고, 적절한 개인보호구를 착용하여 작업할 필요가 있다. 또한, 영업비밀로 공개되지 않은 물질에 대해서는 회사 자체에서 해당물질을 분석하고 평가하여 지속적으로 관리해 나갈 필요가 있다고 판단되었다.



[그림 1] 박막트랜지스터 공정흐름도



[그림 2] 컬러필터 공정흐름도



저선량 이더라도
전리방사선은
발암인자로
해당지역에
대해서는
방사선
관리구역을
지정하여
운영하고,
수시로
방사선량을
측정하여
노출우려가
있는 경우에는
차폐를 하고
설비 틈새로부터
누출이 없도록
잘 밀폐하여
관리할
필요가 있음



[그림 3] 액정 공정 공정흐름도



[그림 4] 모듈 공정흐름도

▶ 전리 및 비전리 방사선 관리

LCD 제조사업장의 포토공정 등에서 정전기 방지를 위해 사용되는 이온나이저(Ionizer)는 전리방사선인 X-선을 방출한다. 비록 저선량 이더라도 전리방사선은 발암인자로 해당지역에 대해서는 「방사선 관리구역」을 지정하여 운영하여야 하며, 수시로 방사선량을 측정하여 노출우려가 있을 경우에는 차폐물의 재질 및 두께를 충분히 고려하여 차폐를 하고 설비 틈새로부터 누출이 없도록 잘 밀폐하여 관리할 필요가 있다.

또한, 방사선관리구역에서는 개인선량계인 TLD(Thermoluminescent Dosimeter) 등을 착용시켜 작업자에 대한 피폭관리를 실시하고 방사선 업무상 주의사항 등을 근로자가 보기 쉬운 장소에 게시하여야 한다. 자외선에 대해서는 현재 UV설비에 대해 차폐가 잘되어 있으나 교체 및 점검 등의 작업 시 일시적인 노출우려가 있을 때에는 UV설비가 작동되는 상태에서 설비에 근접하여 작업하는 것을 최소화할 필요가 있으며, 라디오파는 식각설비에서, 극저주파 자기장은 전류가 흐르는 모든 생산설비에서 발생되므로 사전예방의 원칙에 의거 고노출군을 선정하여 관리할 필요가 있다.

Ⅱ. 실용화 내용



이번에 개발된
매뉴얼은
각 공정별
유해인자
노출과
작업환경
관리요령을
쉽게 찾아 볼 수
있도록
작성함으로써
LCD 제조공정
근로자 건강장해
예방을 위한
지침서로 널리
활용될 수 있을
것으로 기대음



LCD 제조사업장의 안전관리는 체계적으로 잘 마련되어 있으나 보건 관리 측면에서 강화해야할 부분이 필요하였고, 공정별 유해요인 특성을 고려하여 보건관리자에게 도움을 줄 수 있도록 하기 위한 「LCD 제조사업장 작업환경관리 매뉴얼」이 개발되었다.

LCD 제조공정에 대한 작업환경관리 매뉴얼은 사업장 보건관리자 및 산업보건 관계자 등이 근로자 건강보호를 위한 교육 및 작업환경관리에 활용할 수 있도록 공정별 화학물질 노출특성, 건강영향, 예방대책 등을 기술하였고, 전리 및 비전리방사선에 대해서도 주요 유해인자별 건강영향, 예방 대책, 측정 및 평가방법 등을 설명하였다.

그리고 전문용어에 대해서는 각 페이지 및 부록에서 자세히 설명하였고, 각 대표공정별 사용물질에 대해서는 물질별 유해위험성 정보를 수록하였다. 이번에 개발된 LCD 제조공정에 대한 작업환경관리 매뉴얼은 보건관리자 등이 쉽게 이해하고 활용할 수 있도록 각 공정별로 핵심내용만 요약, 정리 하여 공정별 유해인자 노출과 작업환경 관리요령을 쉽게 찾아 볼 수 있도록 작성함으로써 LCD 제조 사업장 보건관리자 등이 LCD 제조공정별 유해인자 노출특성을 이해하고, 근로자 건강장해 예방을 위한 지침서로 널리 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있다.



【표 1】매뉴얼 구성 콘텐츠

본문 구성항목		주요내용
I	LCD 제조공정 개요	박막트랜지스터, 컬러필터, 액정, 모듈 각각 공정에 대한 공정흐름도 설명
II	공정별 화학물질현황 및 작업환경관리	박막트랜지스터, 컬러필터, 액정, 모듈 공정별세부 공정흐름에 따라 '공정개요', '공정 유해요인', '건강영향', '예방대책'으로 구분하여 화학물질 현황 및 작업환경 관리내용 설명
III	물리적 인자의 유해·위험성 및 작업관리	엑스선(X-ray), 레이저(Laser), 자외선(Ultraviolet), 라디오파(RF)(마이크로파 포함), 극저주파(ELF) 등의 물리적 인자의 유해·위험성 및 작업관리 방법 설명

| 참고문헌 |

1. 고용노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준. 고용노동부고시 제2016-41호, 2016.
2. 산업안전보건연구원. LCD 제조업 작업환경관리 매뉴얼 개발 연구. 산업안전보건연구원 연구보고서, 2017.
3. 산업안전보건연구원. LCD 제조공정 유해요인 특성 연구. 산업안전보건연구원 연구보고서, 2016.
4. 산업안전보건연구원. 반도체 제조 사업장에 종사하는 근로자의 작업환경 및 유해요인 노출특성 연구. 산업안전보건연구원 연구보고서, 2012.
5. 산업안전보건연구원. 반도체 제조업 작업환경관리 매뉴얼 개발 연구. 산업안전보건연구원 연구보고서, 2012.
6. 산업안전보건연구원. 난용성 인듐 화합물의 노출실태 및 관리방안 연구. 산업안전보건연구원 연구보고서, 2011-2012.
7. 한국디스플레이연구조합. 디스플레이 이해. 한국디스플레이산업협회 2016. Available from : <http://www.kdia.org/new/lib/theory02.jsp>
8. 한국산업안전보건공단. 산업안전보건법령집, 산업안전보건법. 2017.
9. 한국산업안전보건공단. 물질안전보건자료. 2017. Available from : <http://msds.kosha.or.kr/kcic/chemList.do>

02

이상기압에 의한 건강장해예방 기준 강화

정은교 연구위원 / 산업안전보건연구원 직업환경연구실
강준혁 연구원* / 산업안전보건연구원 안전보건정책연구실



2015년에 수행한 「잠수작업의 실태조사 및 비용편익분석 연구」 결과를 토대로 산업 안전보건기준에 관한 규칙 제3편 보건기준 제5장 이상기압에 의한 건강장해의 예방 분야 기준을 강화하여 개정·신설하였다. 호흡기체 공급원에 따른 잠수작업 분류, 개정·신설되었으며, 개정된 잠수작업 시 조치사항에서 호흡기체 공급원 차단에 대비한 비상 기체통 및 의식불명 후 지속적으로 호흡이 가능한 수중용 호흡장치와 감시인과 연락 할 수 있는 통화장치를 사업주가 제공할 것과 잠수작업 종사자가 착용할 것을 정함으로써 잠수작업 중 사망사고 감소에 기여할 것으로 기대된다.



* 연락처 : TEL 052-703-0814 , cronbach@kosha.or.kr

I. 개요 및 배경



잠수작업 노동자
사망사고 발생에도
불구하고
규칙 위반사례는
신호밧줄
미지급에
불과하여
사망사고 예방을
위한 근본적인
조치가 필요함



I-1. 배경

2016년 잠수작업 사망사고에 대하여 4건의 중대재해조사 사례가 보고되었다. 잠수작업에 종사하는 노동자의 추정치 약 3천명임을 고려하면 사망만인율은 같은 기간 건설업(1.76)보다 높다. 1990년 이후 이상기압에 대한 규칙이 있었으나 사망사고는 지속되었고, 공단 중대재해 조사보고서에 따르면 사망의 원인은 대개 익사였으며, 호흡기 결함, 호흡기체 차단, 호흡기체 오염, 외력 또는 불명확한 이유에 의한 의식불명으로 호흡기가 구강에서 탈락함으로써 익사하였다. 잠수작업자와 감시인이 의사소통할 수 있는 수단은 공기를 공급하는 호스이거나 스쿠버 장비를 이용하여 잠수하였을 때에는 위험을 알릴 수단을 갖고 있지 않았다. 중대재해사례에는 통화장치를 사용한 경우도 있었는데, 통화장치와 잠수호흡장치를 결합하는 과정에서 수밀이 불완전하여 파손되면서 잠수작업자가 사망한 경우도 있었다. 그럼에도 불구하고 해당 재해의 규칙 위반사례는 신호밧줄을 지급하지 않은 것에 불과하였기 때문에 잠수작업 사망사고 예방을 위한 조치가 필요하였다.

[표 1] 최근 5년간 중대재해조사 잠수작업 사망사고 현황

(단위: 명)

구분	2013	2014	2015	2016	2017	누적합계
사망사고	1	1	0	4	1	7

[표 2] 최근 5년간 중대재해조사 잠수작업 사망사고 원인(익사) 유발요인

(단위: 명)

구분	호흡기체 공급중단	호흡기 탈락*	호흡기 고장	호흡기체 오염	원인 불명	합계
사망사고	1	3	1	1	1	7

* 의식불명 또는 외력에 의해 구강 호흡기 이탈 후 회수 불능에 의한 익사

「잠수작업의 실태조사와 비용편익분석 연구」에서 해외 잠수관련 규칙을 검토하고 국내 규칙과 비교하여 잠수작업을 관리하는 자의 책임과 권한 강화, 잠수용 기압조절실 등을 포함하는 잠수장비의 도입 검토에 따른 비용편익분석을 수행하였다. 잠수작업 중 발생하는 사고로 인한 사회적 비용의 감소를 편익으로 가정하여 진행한 분석에서 안전보건관련 규제강화로

발생하는 비용보다 편익이 큰 것으로 조사되었으나, 잠수업계의 영세함과 관련 교육시스템 미숙 등 사회적 인프라의 미비로, 사망사고 예방을 위한 가장 필요한 조치를 우선 반영하였다.

1-2. 주요 관련 정보



제3편 보건기준
제5장 이상기압에
의한 건강장해
예방 기준에
관한 규칙
개정안은
호흡기체 차단,
잠수작업자가
의도하지 않은
수중 호흡장치의
이탈,
잠수작업자의
위험을 전달하고
도움을 요청할 수
있는 수단이 우선
고려되었다.



수중환경에서 호흡기체 공급중단, 호흡기 고장 또는 구강에서 이탈된 호흡기의 회수가 불가능할 때 잠수작업자는 익사할 수 있으며, 익사를 면하기 위해 수면으로 급히 상승하면 감압병에 이환되거나 환경압력의 급감으로 폐에서 빠르게 팽창한 기체로 인한 폐 손상 및 손상된 폐포로 기포가 동맥혈로 유입되면 사망할 수 있다.

따라서 지난해 4월 27일 고용노동부공고 제2017-183호로 입법예고 되어, 2017년 12월 28일자로 개정된 산업안전보건기준에 관한 규칙(이하, 기준에 관한 규칙으로 한다) 제3편 보건기준 '제5장 이상기압에 의한 건강장해의 예방'규칙은 호흡기체 차단, 잠수작업자가 의도하지 않은 수중 호흡장치의 이탈, 잠수작업자의 위험을 전달하고 도움을 요청할 수 있는 수단이 우선 고려되었다.

호흡기체 중단에 대비하여 표면공급식 잠수장비는 제530조(공기조)에서 예비공기조 또는 예비공기조 등의 설치를 정하고 있으나, 호스가 파손되면 호흡기체가 잠수작업자에게 공급되지 않을 수 있으므로 비상용 호흡기체의 휴대를 제안하였다. 호흡용 기체통을 휴대하는 스쿠버 잠수작업자도 호흡기체 고갈에 대비하여 비상기체통 휴대를 제안하였다. 잠수작업자에게 비상기체통이라 함은 제522조 6호의 정의에 따라 주된 기체공급장치와 다른 별개의 공급원을 말한다. 따라서, 2개 이상의 기체통을 연결하여 스쿠버 잠수를 하는 경우에도 비상기체통을 별도로 휴대하여야 한다.

잠수작업자의 건강을 고려하여 고농도 산소에 대한 재정의가 필요한 것으로 판단되었다. 개정 전 일본의 안전위생규칙에 따르면 고농도 산소는 산소의 농도가 100%인 순산소로 정의하고 있었으나, 개정 후 산소의 용량 농도(%)가 아닌 분압과 사용시간으로 제한하고 있다. 50%이상의 산소를 지속적으로 호흡할 때에는 폐기능 저하가 유발되는 것으로 알려져 있고,

분압이 1.6bar 이상인 산소를 호흡할 경우 경련과 같은 중추신경계 중독 증상을 보이는 것으로 알려져 있다.

II . 실용화 내용



제545조 규칙은
스쿠버 잠수작업 시
사업주에게
비상기체통을
제공케 하여
잠수작업자가
이를 휴대하게
하였고,
제547조
제2항의
잠수작업조건에서
비상기체통,
잠수용 호흡장비
통화장치 제공 및
휴대 의무를
정하였다.



2015년에 수행한 「잠수작업의 실태조사 및 비용편익분석 연구」 결과를 토대로 산업안전보건기준에 관한 규칙 제3편 보건기준 제5장 이상기압에 의한 건강장해의 예방분야 기준을 강화하여 제522조제3호 및 4호, 제6호를 개정·신설하였고, 제536조의2 신설, 제545조 및 제547조를 개정하였다. 잠수방법에 따라 취하여야 할 안전보건 조치사항이 다른 점을 고려하여 잠수작업의 유형을 표면공급식 잠수작업과 스쿠버 잠수작업으로 구분하고, 스쿠버 잠수작업을 하는 근로자에게는 사업주가 비상기체통을 제공하도록 하며, 잠수작업 시 사고 발생을 즉시 인지할 수 있도록 스쿠버 잠수작업의 경우 2명이 1조로 잠수하도록 하였다.

한편, 표면공급식 잠수작업 중 18미터 이상의 수심에서의 잠수작업 등 위험도가 높은 잠수작업의 경우 비상기체통, 잠수작업자와 감시인 간의 연락을 위한 통화장치 등을 제공하도록 하여 잠수작업자의 건강장해 및 잠수작업 시 사망사고를 예방할 수 있도록 하였다. 그리고 제536조의2(잠수기록의 작성·보존)를 신설하여 잠수작업의 조건, 잠수시간, 감압시에 적용된 감압표와 감압계획 등을 기록하여 보존케 함으로써 잠수작업 시 안전보건조치를 보다 구체화하여 잠수작업자의 건강관리를 위한 기초를 마련코자 하였다.

레저 활동을 목적으로 하는 스쿠버 잠수에서 사용되는 입에 무는 수중용 호흡기는 국내 잠수작업에서 광범위하게 사용되고 있다. 호흡기가 입에서 이탈된 후 외력이 커서 호흡기 회수가 불가능하거나, 잠수작업자가 의식을 상실한 채 호흡기가 탈락되어 익사하는 사례를 예방하기 위하여 비상기체 공급밸브 및 역지변(non return valve) 등과 연결된 잠수마스크 또는 잠수 헬멧을 착용할 수 있게 하였다. 비상기체공급밸브는 주된 기체공급원과 비상기체통을 분리하기 위한 밸브이며, 역지변은 호흡기체가 공급원에서 잠수작업자의 호흡기 방향으로 흐르게 하고 반대방향으로 역류하는 것을



2018년
고농도 산소의
허용범위를 정해
고압에서 고농도
산소의 위험을
관리하고,
효율적인 감압으로
근로자의 건강을
보호할 수 있는
고시 개정 예정



차단하는 밸브로써 기체공급호스의 파손위치가 잠수작업자의 위치보다 수압이 낮을 때 압력차로 발생하는 위험을 방지하기 위한 안전장치이다. 통화장치는 잠수작업자와 감시인이 음성을 송수신할 수 있으며, 작업의 효율을 높일 뿐 아니라, 잠수작업자가 위험에 처하거나 도움을 요청할 때 보다 신속하게 대응할 수 있도록 하는 안전장치이다. 2017년 12월에 개정된 내용들은 비록 사망재해를 예방하기 위한 최소한의 규제를 정한 것이나 현장 적용성을 강화하기 위해 고용노동부 고시「고기압 작업에 관한 기준」 개정 및 관련분야 안전보건기술지침(KOSHA Guide)을 제정할 예정이다.

이처럼 호흡기체 공급원에 따른 잠수작업 분류, 잠수기록의 작성 항목 및 보존연한, 분류된 잠수작업 시 조치사항 등이 개정·신설되었으며, 개정된 잠수작업 시 조치사항에서 호흡기체 공급원 차단에 대비한 비상기체통 및 의식불명 후 지속적으로 호흡이 가능한 수중용 호흡장치와 감시인과 연락할 수 있는 통화장치를 사업주가 제공할 것과 잠수작업 종사자가 착용할 것을 정함으로써 잠수작업 중 사망사고 감소에 기여할 것으로 기대된다.

| 참고문헌 |

1. 민병국. (2015). 잠수작업 실재조사 및 비용편익분석 연구. 산업안전보건연구원
2. 중대재해조사보고서(2013~2017)
3. 김병규. (2005). 잠수작업자 현황파악 및 건강장애에 관한 연구. 산업안전보건연구원

[별첨]

제3편 보건기준 제5장 이상기압에 의한 건강장해 예방 규칙' 주요 개정내용 비교

개정 전	개정 후
제522조(정의) 이 장에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.	제522조(정의) -----.
1. "이상기압"이란 압력이 제곱센티미터당 1킬로그램 이상인 기압을 말한다.	〈삭 제〉
2. "고압작업"이란 이상기압에서 잠함공법(潛函工法)이나 그 외의 압기공법(壓氣工法)으로 하는 작업을 말한다.	2. ----- 고기압(압력이 제곱센티미터당 1킬로그램 이상인 기압을 말한다. 이하 같다)-----.
3. "잠수작업"이란 물속에서 공기압축기나 호흡용 공기통을 이용하여 하는 작업을 말한다.	3. "잠수작업"이란 물속에서 하는 다음 각 목의 작업을 말한다. 가. 표면공급식 잠수작업: 수면 위의 공기압축기 또는 호흡용 기체통에서 압축된 호흡용 기체를 공급받으면서 하는 작업 나. 스쿠버 잠수작업: 호흡용 기체통을 휴대하고 하는 작업
4. "기압조절실"이란 고압작업에 종사하는 근로자가 작업실에 출입할 때 가압 또는 감압을 받는 장소를 말한다.	4. "기압조절실"이란 고압작업을 하는 근로자(이하 "고압작업자"라 한다) 또는 잠수작업을 하는 근로자(이하 "잠수작업자"라 한다)가 가압 또는 감압을 받는 장소를 말한다.
5. (생 략)	5. (현행과 같음)
〈신 설〉	6. "비상기체통"이란 주된 기체공급 장치가 고장난 경우 잠수 작업자가 안전한 지역으로 대피하기 위하여 필요한 충분한 양의 호흡용 기체를 저장하고 있는 압력용기와 부속장치를 말한다.
〈신 설〉	제536조의2(잠수기록의 작성·보존) 사업주는 근로자가 잠수 작업을 하는 경우에는 다음 각 호의 사항을 적은 잠수기록표를 작성하여 3년간 보존하여야 한다.
	1. 다음 각 목의 사람에 관한 인적 사항 가. 잠수작업을 지휘 감독하는 사람. 나. 잠수작업자 다. 감시인 라. 대기 잠수작업자 마. 잠수기록표를 작성하는 사람
	2. 잠수의 시작·종료 일시 및 장소
	3. 시계(視界), 수온, 유속(流速) 등 수중환경
	4. 잠수방법, 사용된 호흡용 기체 및 잠수수심
	5. 수중체류 시간 및 작업내용
	6. 감압과 관련된 다음 각 목의 사항 가. 감압의 시작 및 종료 일시 나. 사용된 감압표 및 감압계획 다. 감압을 위하여 정지한 수심과 그 정지한 수심에서의 도착시간 및 해당 수심에서의 출발시간(물속에서 감압하는 경우만 해당한다) 라. 감압을 위하여 정지한 압력과 그 정지한 압력을 가한 시작시간 및 종료시간(기압조절실에서 감압하는 경우만 해당한다)
	7. 잠수작업자의 건강상태, 응급 처치 및 치료 결과 등

개정 전	개정 후
제545조(호흡용 공기통을 사용하는 잠수작업) 사업주는 잠수작업자에게 호흡용 공기통(비상용은 제외한다. 이하 이 조에서 같다)을 지니게 한 경우에 다음 각 호의 조치를 하여야 한다. 1. 잠수작업자에게 해당 호흡용 공기통의 급기능력(給氣能力)과 상태를 잠수 전에 알릴 것 2. 잠수작업자의 이상 유무를 감시하는 사람을 배치할 것 제547조(감시인) 사업주는 공기압축기나 수동펌프에 의하여 공기를 보내는 잠수작업이나 압축공기통(잠수작업자에게 지니게 한 것은 제외한다)에서 급기하는 잠수작업을 하는 경우에 잠수작업자와의 연락을 담당하는 사람(이하 이 조 및 제548조에서 "감시인"이라 한다)을 잠수작업자 2명당 1명씩 배치하고 감시인에게 다음 각 호의 사항을 준수하도록 하여야 한다. 1. 잠수작업자를 적정하게 잠수시키거나 수면 위로 올라오게 할 것 2. 잠수작업자에 대한 송기조절을 위한 밸브나 콕을 조작하는 사람과 연락하여 잠수작업자에게 필요한 양의 공기를 보내도록 할 것 3. 송기설비의 고장이나 그 밖의 사고로 인하여 잠수작업자에게 위험이나 건강장해가 발생할 우려가 있는 경우에는 신속히 잠수작업자에게 연락할 것 4. 헬멧식 잠수기를 사용하는 잠수작업을 하는 경우에는 잠수 직전에 해당 잠수작업자의 헬멧이 본체에 결합되었는지를 확인할 것	제545조(스쿠버 잠수작업 시 조치) ① 사업주는 근로자가 스쿠버 잠수작업을 하는 경우에는 잠수작업자 2명을 1조로 하여 잠수작업을 하도록 하여야 하며, 잠수작업을 하는 곳에 감시인을 두어 잠수작업자의 이상 유무를 감시하게 하여야 한다. ② 사업주는 스쿠버 잠수작업(실내에서 잠수작업을 하는 경우는 제외한다)을 하는 잠수작업자에게 비상기체통을 제공하여야 한다. ③ 사업주는 호흡용 기체통 및 비상기체통의 기능의 이상 유무 및 해당 기체통에 저장된 호흡용 기체량 등을 확인하여 그 내용을 잠수작업자에게 알려야 하며, 이상이 있는 호흡용 기체통이나 비상기체통을 잠수작업자에게 제공해서는 아니 된다. ④ 사업주는 스쿠버 잠수작업을 하는 잠수작업자에게 수중시계, 수중압력계, 예리한 칼 등을 제공하여 잠수작업자가 이를 지니도록 하여야 하며, 잠수작업자에게 부력조절기를 착용하게 하여야 한다. ⑤ 스쿠버 잠수작업을 하는 잠수작업자는 잠수작업을 하는 동안 비상기체통을 휴대하여야 한다. 다만, 해당 잠수작업의 특성상 휴대가 어려운 경우에는 위급상황 시 바로 사용할 수 있도록 잠수작업을 하는 곳 인근 장소에 두어야 한다. 제547조(표면공급식 잠수작업 시 조치) ① 사업주는 근로자가 표면공급식 잠수작업을 하는 경우에는 잠수작업자 2명당 잠수작업자와의 연락을 담당하는 감시인을 1명씩 배치하고, 해당 감시인에게 다음 각 호에 따른 사항을 준수하도록 하여야 한다. 1. 잠수작업자를 적정하게 잠수시키거나 수면 위로 올라오게 할 것 2. 잠수작업자에 대한 송기조절을 위한 밸브나 콕을 조작하는 사람과 연락하여 잠수작업자에게 필요한 양의 호흡용 기체를 보내도록 할 것 3. 송기설비의 고장이나 그 밖의 사고로 인하여 잠수작업자에게 위험이나 건강장해가 발생할 우려가 있는 경우에는 신속히 잠수작업자에게 연락할 것 4. 잠수작업 전에 잠수작업자가 사용할 잠수장비의 이상 유무를 점검할 것 ② 사업주는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 표면공급식 잠수작업을 하는 잠수작업자에게 제3항 각 호의 잠수장비를 제공하여야 한다. 1. 18미터 이상의 수심에서 하는 잠수작업 2. 수면으로 부상하는 데에 제한이 있는 장소에서의 잠수작업 3. 감압계획에 따라 때 감압정지가 필요한 잠수작업 ③ 제2항에 따라 사업주가 잠수작업자에게 제공하여야 하는 잠수장비는 다음 각 호와 같다. 1. 비상기체통 2. 비상기체공급밸브, 역자밸브(non return valve) 등이 달려있는 잠수마스크 또는 잠수헬멧 3. 감시인과 잠수작업자 간에 연락할 수 있는 통화장치 ④ 사업주는 표면공급식 잠수작업을 하는 잠수작업자에게 신호발출, 수중시계, 수중압력계 및 예리한 칼 등을 제공하여 잠수작업자가 이를 지니도록 하여야 한다. 다만, 통화장치에 따라 잠수작업자가 감시인과 통화할 수 있는 경우에는 신호발출, 수중시계 및 수중압력계를 제공하지 아니할 수 있다.

개정 전	개정 후
제552조(잠수작업 설비의 점검 등) ① 사업주는 잠수작업을 하는 경우에 잠수 전에 다음 각 호의 잠수기구 등을 점검하여야 한다. 1. 잠수기, 송기관 및 신호발출(공기압축기에 의하여 공기를 보내는 잠수작업에만 해당한다) 2. 호흡용 공기통(비상용 및 잠수작업자에게 지니게 한 것은 제외한다)에서 공기를 보내는 잠수작업의 잠수기, 송기관, 신호발출 및 제531조에 따른 압력조정기 3. 잠수작업자가 호흡용 공기통(비상용은 제외한다)을 지니는 경우 잠수기 및 제531조에 따른 압력조정기 ② 사업주는 근로자가 잠수작업을 하는 경우에 다음 각 호에서 정하는 바에 따라 해당 설비를 점검하여야 한다. 1. 공기압축기에 의하여 공기를 보내는 잠수작업 가. 공기압축기나 수압펌프는 매주 1회 이상 나. 제548조에 따른 수중압력계는 매월 1회 이상 다. 제548조에 따른 수중시계는 3개월에 1회 이상 2. 호흡용 공기통(잠수작업자에게 지니게 한 것은 제외한다)에서 공기를 보내는 잠수작업 가. 제548조에 따른 수중압력계는 매월 1회 이상 나. 제548조에 따른 수중시계는 3개월에 1회 이상 다. 산소발생기는 6개월에 1회 이상	⑤ 제2항 각 호에 해당하는 곳에서 표면공급식 잠수작업을 하는 잠수작업자는 잠수작업을 하는 동안 비상기체통을 휴대하여야 한다. 다만, 해당 잠수작업의 특성상 휴대가 어려운 경우에는 위급상황 시 즉시 사용할 수 있도록 잠수작업을 하는 곳 인근 장소에 두어야 한다. 제552조(잠수작업 설비의 점검 등) ① 사업주는 잠수작업자가 잠수작업을 하기 전에 다음 각 호의 구분에 따라 잠수기구 등을 점검하여야 한다. 1. 스쿠버 잠수작업을 하는 경우: 잠수기, 압력조정기 및 제545조에 따라 잠수작업자가 사용할 잠수기구 2. 표면공급식 잠수작업을 하는 경우: 잠수기, 송기관, 압력조정기 및 제547조에 따라 잠수작업자가 사용할 잠수기구 ② 사업주는 표면공급식 잠수작업의 경우 잠수작업자가 사용할 다음 각 호의 설비를 다음 각 호에서 정하는 바에 따라 점검하여야 한다. 1. 공기압축기 또는 수압펌프: 매주 1회 이상(공기압축기에서 공기를 보내는 잠수작업의 경우만 해당한다) 2. 수중압력계: 매월 1회 이상 3. 수중시계: 3개월에 1회 이상 4. 산소발생기: 6개월에 1회 이상(호흡용 기체통에서 기체를 보내는 잠수작업의 경우만 해당한다)

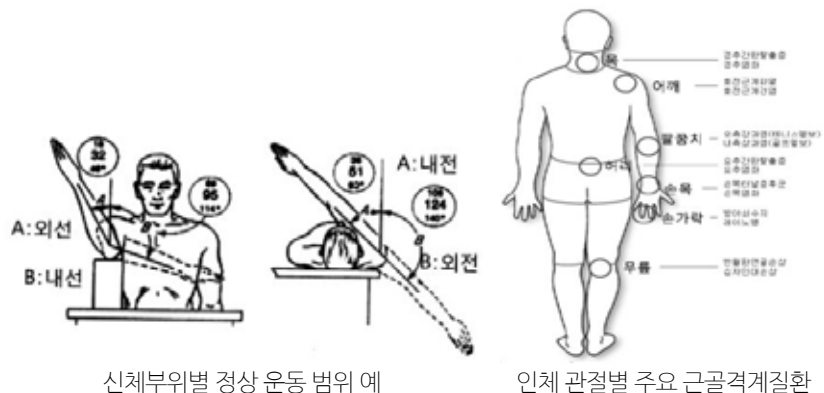
03

근골격계질환 유해요인조사 감독매뉴얼 개발 및 보급

박정근 연구위원*/산업안전보건연구원 안전보건정책연구실



2017년 「근골격계부담작업 유해요인조사의 실효성 강화방안 연구」 결과를 토대로 근골격계부담작업 유해요인조사 관련 감독업무를 수행할 때 산업안전보건 분야 기술직뿐만 아니라 행정직 직렬의 초보 감독관도 쉽게 이해하여 활용될 수 있도록 「근골격계부담작업 유해요인조사 감독매뉴얼」이 개발되었다. 이번에 개발된 매뉴얼은 법규, 감독의 절차 및 내용, 조사방법, 사례 등 기본적인 정보가 쉽게 이용할 수 있도록 제공되어 산업현장에서 유해요인조사 업무에 활용될 경우 근골격계부담작업 유해요인조사 감독업무의 전문성 향상 및 근골격계질환 예방에 도움이 될 것으로 기대하고 있다.



* 연락처 : TEL 052-703-0832 , jkpark@kosha.or.kr

I. 개요 및 배경



2016년 12월말
기준 산업재해
통계자료에
따르면
업무상 요양자 중
근골격계질환
노동자가 차지하는
비율이 71.1%이며,
보상급여 총지급액은
1,279억 정도로
업무상 질병 중
진폐, 뇌혈관질환에
이어 상위 세 번째
순위 차지



I-1. 배경

최근 여러 해를 거쳐 작업관련성 근골격계질환(Musculoskeletal disorders)의 관리에 대한 논란이 지속되면서 근골격계부담작업 유해요인조사 감독을 위한 매뉴얼 개발에 관심이 높았다. 근골격계부담작업 유해요인 조사는 근골격계질환 예방제도의 중요한 요소로서 근거 법규가 2002년 12월 산업안전보건법(이하 산안법이라 한다)에 신설되었고, 2003년 7월에 시행되기 시작하였다. 유해요인조사는 산안법 제24조, 같은 법 산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 안전보건규칙이라 한다) 제656조~제662조, 고용노동부고시 제2018-13호에 규정되어 있으며, 세부적인 가이드라인은 한국산업안전보건공단 기술지침(Korea Occupational Safety and Health Agency, KOSHA, Guide)으로 제시되어 있다.

2016년 12월말 기준으로 우리나라 산업재해 통계자료에 의하면, 업무상 질병 요양자 중 근골격계질환 노동자가 차지하는 비율이 71.1%이었는데 이렇게 70%를 초과하는 현상은 이미 10여년 가까이 이어지고 있는 실정이다. 경제적·사회적 손실 또한 적지 않다. 2015년 산재보험 보상급여 자료에 의하면, 근골격계질환의 경우 보상급여 총지급액은 1,270억 정도로서 업무상 질병 중 진폐, 뇌혈관질환에 이어 상위 세 번째 순위였다.

사업주는 산안법에 따른 근골격계부담작업을 보유하고 있을 경우 유해요인조사를 정기적(매3년)으로 또는 수시로 실시해야 하나, 2007년 및 2014년 보고된 자료에 의하면 전국적으로 각각 52.4%, 19%의 유해요인 조사가 실시되었다. 유해요인조사를 실시한 경우 조사결과에 따라 요구되는 작업환경 개선, 의학적 조치, 유해성 주지 등의 후속 조치가 적절하게 이루어지지 않았다. 특히, 유해요인조사 미실시 사업장이나 실시했더라도 법적 후속조치를 하지 않는 사업장에 대한 감독 또는 처벌이 미흡하다는 논란도 있었다. 이는 유해요인조사 법규위반 여부를 감독하기 어려운 점과 관계될 것이다. 근골격계부담작업을 보유하고 있는지, 유해요인조사 대상인지, 조사 방법 및 내용이 적절한지, 조사결과에 대한 후속 조치가 타당한지 여부 등에 대해 판단이 어렵기 때문이다. 유해요인조사의 실시율이 낮고, 실시되었다 하더라도 조사 결과에 따른 후속조치가 적절하게 이루어지지



지금까지
근골격계부담작업
유해요인조사
감독업무를
효율적으로
수행하거나
개선하기 위한
연구는 없었고,
현행 근로감독관
직무규정에
감독을 실시할 때
확인할 주요
서류목록에 누락된
근골격계부담작업
유해요인조사를
포함시킬 필요성
제기



않아 제도의 실효성 문제로 논란되었던 것이다.

이런 실정에서 산업안전보건연구원은 근골격계부담작업 유해요인조사의 실시율을 높이고 제도의 실효성을 강화시키기 위한 제도개선 및 정책적 자료를 마련하기 위해 2016년 및 2017년 「근골격계부담작업 유해요인조사의 실효성 강화방안」을 주제로 연구 과제를 수행하였다. 그 중 2017년 연구결과를 토대로 감독관이 유해요인조사 업무를 수행할 때 필요한 ‘근골격계부담작업 유해요인조사 감독매뉴얼’을 개발하여 제도개선의 근거자료로 제시하였다.

1-2. 주요 관련 정보

산업안전보건감독은 산안법에 따른 감독상의 조치 등을 위하여 감독 대상 사업장이 위반한 법령사항을 조사하는 활동이라 할 수 있다. 감독관은 사업장의 안전보건에 관한 업무를 감독할 때 고용노동부훈령 ‘근로감독관 직무규정(산업안전보건)’에 따라 실시한다. 이 직무규정은 감독관이 근골격계 부담작업 유해요인조사 업무를 감독할 경우에도 사용한다. 현행 직무규정(고용노동부 제186호)은 근로감독관의 직무, 직무교육, 사업장 감독, 재해 조사 등을 포함하고 있으나 근골격계부담작업 유해요인조사 측면에서 보면 이 훈령의 일부를 개선할 필요가 있다. 예를 들면, 감독을 실시할 때 확인할 주요 서류목록(집무규정 별표1)에 누락된 근골격계부담작업 유해요인조사를 포함시킬 필요가 있다.

지금까지 근골격계부담작업 유해요인조사 감독업무를 효율적으로 수행하거나 개선하기 위한 연구는 없었다. 유해요인조사용 근로감독관 직무규정 해설서 또는 감독매뉴얼이 없는 이유이다. 대신 근골격계질환 예방을 위해 포괄적으로 정리하여 감독관들이 활용할 수 있는 기술자료 ‘근골격계 질환 예방을 위한 편람’은 있었다. 이 편람은 산안법, 안전보건규칙 및 고용노동부고시에서 정한 근골격계질환 예방 규정을 쉽게 이해할 수 있도록 구체적인 기준과 행정해석을 다룬 기술적 자료이며, 고용노동부가 2004년에 마련한 자료를 안전보건공단에서 2014년에 보완하면서 재편집한 것이다.

Ⅱ. 실용화 내용



2017년
「근골격계부담작업
유해요인조사의
실효성 강화방안
연구」 결과를
토대로
근골격계부담작업
유해요인조사
관련 감독업무를
수행할 때 쉽게
활용될 수 있는
「근골격계부담작업
유해요인조사
감독매뉴얼」이
개발되었다.

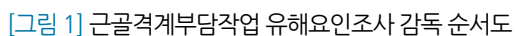


2017년 「근골격계부담작업 유해요인조사의 실효성 강화방안 연구」 결과를 토대로 근골격계부담작업 유해요인조사 관련 감독업무를 수행할 때 산업 안전보건 분야 기술직뿐만 아니라 행정직 직렬의 초보 감독관도 쉽게 이해하여 활용될 수 있도록 「근골격계부담작업 유해요인조사 감독매뉴얼」이 개발되었다. 감독매뉴얼의 개발은 문제점 파악, 조사분석, 매뉴얼 구조 설계, 그리고 매뉴얼 작성 과정을 거쳐 근골격계부담작업 유해요인조사와 산업안전보건 감독의 현황과 문제점을 파악하였다. 현장에서 이루어지는 감독 업무 수행 중 절차와 내용을 관찰하였으며, 산업안전보건감독관을 대상으로 실시한 설문조사에 응답(60명)한 자료를 통해 매뉴얼 구조, 체계, 사용성(Userbility) 등에 필요한 사항을 모색하였다. 또한 매뉴얼의 체계에 따라 작성한 초안을 표적집단인터뷰(Focus group interview, FGI) 참여 감독관(6명)을 통해 검증하면서 실용성을 높였다. 감독매뉴얼은 총 12 단계로 이루어져 있으며[표 1], 이 단계들은 안전보건규칙 제657조~제662조과 함께 논리적으로 순서도를 구성하였다[그림 1].

[표 1] 근골격계부담작업 유해요인조사 감독의 단계

단계	감독내용	안전보건규칙 조항
1	감독을 위한 사전 준비를 한다	-
2	근골격계부담 작업을 보유한 사업장인가?	고시 2018-13호
3	정기 유해요인조사를 실시했는가?	제657조제1항
4	수시 유해요인조사 실시 대상 사업장인가?	제657조제2항
5	수시 유해요인조사를 실시했는가?	제657조제2항
6	유해요인조사 방법은 적절했는가?	제658조
7	작업환경 개선 조치를 하였는가?	제659조
8	유해요인조사 결과에 대한 유해성을 주지시켰는가?	제661조
9	예방관리 프로그램 수립 대상 사업장인가?	제662조
10	예방관리 프로그램을 수립하였는가?	제662조
11	근로자의 근골격계 기능손실에 대한 통지가 있었는가?	제660조제1항
12	근골격계질환 근로자에 대한 조치를 취하였는가?	제660조제2항

이번에 개발된
감독매뉴얼을
산업현장에서
유해요인조사
업무에
활용할 경우
근골격계부담작업
유해요인조사
감독업무의
전문성 향상 및
근골격계질환
예방에 도움이
될 것으로
기대



단계별 감독매뉴얼 내용의 주요 구성요소는 [그림 2]와 같다. 감독관은 해당 사업장이 법규를 적절하게 준수했는지 여부를 판단할 때 이 감독 매뉴얼을 활용하여 결정하도록 하였다.

* 표식이 있는 경우는 법령 또는 고시항목인데 없는 경우는 권고 항목임. Q는 Question, C는 Check임.

[그림 2] 단계별 감독매뉴얼 내용의 주요 구성요소

또한 각 단계에 따라 필요한 설명과 자료를 제공하였고, 각 단계에서 판단을 요구하는 내용에 대한 보조 자료는 간단한 체크리스트를 제공하여 이해를 돕고자 하였다. 감독매뉴얼은 소책자 또는 전자책 형태로 제작되어 감독관들이 현장에서 용이하게 사용할 수 있다. 유해요인조사 감독매뉴얼(안)은 고용노동부의 검토 및 재편집 과정을 거쳐 「근골격계질환 예방 감독매뉴얼」로 제작된 후 전국 노동관서에 종사하는 340여명의 산업안전보건감독관에게 보급되었다. 따라서 보급된 감독 매뉴얼이 산업현장에서 유해요인조사 업무에 활용될 경우 근골격계 부담작업 유해요인조사 감독업무의 전문성 향상 및 근골격계질환 예방에 도움이 될 것으로 기대하고 있다.



| 참고문헌 |

1. 고용노동부, 근골격계질환 예방 감독매뉴얼, 2018
2. 박정근, 최준혁, 근골격계부담작업 유해요인조사의 실효성 강화방안 연구(Ⅲ), 산업안전 보건연구원 2017-연구원-1072, 2017
3. 안전보건공단, 근골격계질환 예방 업무편람, 2014

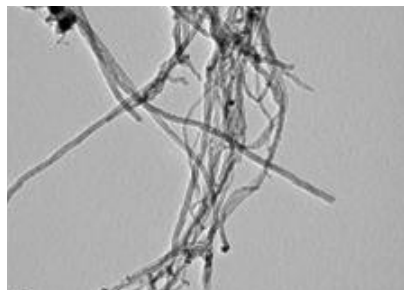
04

탄소나노튜브 취급 작업환경 노출농도 관리지침 개발 및 활용

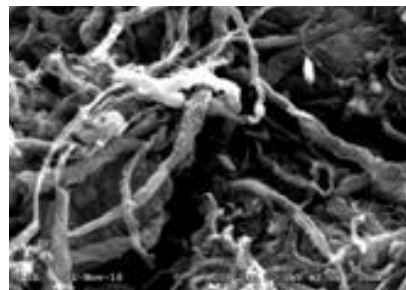
이나루 부장* / 산업안전보건연구원 산업화학연구실

실용화 요약

탄소나노튜브가 공기 중으로 비산되어 노동자가 영향을 받을 잠재적인 위험이 있는 작업장에서 작업환경관리를 할 때 적용할 수 있는 탄소나노튜브 노출농도를 권고하기 위해 2017년 11월에 「탄소나노튜브 취급 작업환경 노출농도 관리지침 (KOSHA GUIDE, W-25-2017)」을 개발·제정하였다. 탄소나노튜브는 현재 국내에서 작업환경 측정 대상물질은 아니지만, 건강 유해성이 우려되는 물질로, 본 지침에서 공기 중 탄소나노튜브 노출 기준($10\mu\text{g}/\text{m}^3$, 원소탄소 농도 기준)을 제시하여 탄소나노튜브를 취급하는 작업장에서 탄소나노튜브 노출을 평가하고, 이를 제안된 노출농도와 비교하여 활용함으로써 탄소나노튜브 취급 사업장 및 연구시설의 작업환경관리를 효과적으로 가능하게 할 것으로 기대한다.



공기 중 탄소나노튜브 다발
(투과전자현미경 사진)



공기 중 탄소나노튜브 다발
(주사전자현미경 사진)

* 연락처 : TEL 042-869-0311 , naroollee@kosha.or.kr

I. 개요 및 배경



탄소나노튜브가
인체에 미치는
영향의
인과관계는
아직은
분명하지
않으나
동물실험의 의한
연구결과를 보면
폐에 악영향을
미치는 육아종 및
폐섬유증이
보고된 바 있다.



I-1. 배경

탄소나노튜브는 다른 나노물질에 비하여 독성연구가 활발히 이루어지고 있으며, 중피종 발생 등 건강 유해성에 대한 보고가 증가하고 있다. 2008년 Ken Donaldson 등은 탄소나노튜브와 석면의 건강상영향이 비슷하다는 연구 결과를 발표하였다. 탄소나노튜브가 인체에 미치는 영향의 인과관계는 아직은 분명하지 않으나 동물실험에 의한 연구결과를 보면, 폐에 악영향을 미치는 육아종 (54개 연구 중 27개 연구) 및 폐 섬유증 (54개 연구 중 25개 연구)이 보고된 바 있다 (NIOSH, 2013).

탄소나노튜브 노출기준은 2007년 BSI에서 최초로 0.01 fiber/cm³로 제안하였고, Nanocyl에서 2009년 2.5 µg/m³으로 제안하였다. 2009년 카본나노튜브 제조사인 Bayer에서 생산하는 다중벽 카본나노튜브인 Baytube® 경우, 자체적으로 0.05mg/m³으로 노출기준을 정하였다. 미국 NIOSH에서는 REL을 1 µg/m³으로 제안하고 있다. 우리나라의 경우 국내 탄소나노튜브 대량생산 사업장의 경우 주요 공정에서 미국 NIOSH 노출기준(1µg/m³)을 초과하는 결과를 보였다. 그러나 미국 NIOSH 노출 기준은 일반 대기에서도 초과되는 경우가 많아 이를 국내 노출기준으로 적용하기에는 현실적 어려움이 있다.

탄소나노튜브에 대한 공기 중 노출기준이 제안되고 있으나, 실행을 위해서는 측정 및 평가 방법에 대한 고려도 필요하다. 따라서 탄소나노튜브 노출기준 제정에 대한 과학적인 검토를 하고, 국내 사업장에서 실행 가능한 탄소나노튜브 노출 기준을 제정할 필요가 있어 지침을 제정하게 되었다.

I-2. 주요 관련 정보

탄소나노튜브 노출 농도를 질량농도 기준으로 제안하고 있는 곳은 미국 국립산업안전보건연구소(NIOSH, 1µg/m³), 일본 산업기술종합연구소(AIST, 30µg/m³), 나노실 회사(Nanocyl, 2.5µg/m³), 바이엘 회사(Bayer, 50 µg/m³), 국내에서는 김중범 등(142µg/m³)이 있다. 영국 BSI(British Standard Institution)과 독일 IFA(Instytut for Auslandsbeziehungen)에서는 탄소나노튜브 노출 농도를 입자 계수 농도 기준으로 0.01 개/cm³로 제안

하고 있다. 탄소나노튜브에 대한 노출기준은 각 국가별 혹은 연구자별로 제정하는 방법과 그 기준이 다르다.

2010년 나노물질 유통량자료에 따르면, 우리나라에는 8개 사업장에서 연간 4,878 kg의 탄소나노튜브를 제조 및 수입하고 있고, 18개 업체에서 1,273 kg을 사용하고 있다(환경부, 2012). 자료를 종합해보면 우리나라에서 생산 및 응용이 늘어남에 따라 노출 가능한 근로자의 수도 증가하게 되고, 노출가능성이 많아진다는 것을 알 수 있다.

또한, 2015년 사업장에서 측정한 원소탄소 농도를 보면 총 7개 사업장 중 3개의 사업장에서 NIOSH REL ($1 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하는 농도를 보였고, 정비작업, 포장공정, 칭량, 배합 등 공정에서 주로 노출이 높게 나타났다. 최근 일본의 탄소나노튜브 노출 평가 연구를 보면 원소탄소농도가 $2\sim 16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 노출 수준이 국내와 비슷하다.

II. 실용화 내용



본 지침에서는
공기 중
탄소나노튜브의
노출기준을
 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (원소탄소
농도 기준)으로
제시



2016년 「카본나노튜브 노출기준 설정에 관한 연구」 결과를 토대로 탄소나노튜브가 공기 중으로 비산되어 노동자가 영향을 받을 잠재적인 위험이 있는 작업장에서 작업환경관리를 할 때 적용할 수 있는 탄소나노튜브 노출 농도를 권고하기 위해 2017년 11월에 「탄소나노튜브 취급 작업환경 노출 농도 관리지침 (KOSHA GUIDE, W-25-2017)」을 개발·제정하였다.

1. 탄소나노튜브 노출 농도 설정 단계

- 1) 원소탄소 농도를 기준으로 탄소나노튜브 노출 농도를 설정하였다.
탄소나노튜브 측정 및 분석은 “탄소나노튜브 및 탄소나노섬유(원소탄소분석)에 대한 작업환경측정·분석 기술지침(KOSHA GUIDE A-162-2016)”을 사용하였다.
- 2) 독성 평가자료 선택
가) 무영향관찰용량(NOAELR) $0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ 선택
현재까지 보고 된 탄소나노튜브에 대한 동물 시험 결과는 [표 1]과 같다. 본 지침에서는 그 중 가장 낮은 농도의 무영향관찰용량(No Observed Adverse Effect Level) $0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ 을 기초 자료로 선택하였다.

Wistar rats을 사용한 독성시험으로부터 나온 결과이며, 동물 기관지 폐포 세척액 (Bronchoalveolar lavage fluid)의 호중구 수 증가를 건강에 미치는 영향으로 보고 결정한 농도이다.

[표 1] 동물을 이용한 시험에서 탄소나노튜브의 물리·화학적 특성과 독성 값

연구기관 및 연구진	Nanocyl(Ma-Hock, 2009)	일본 AIST(NEDO project 2011, 2015)	Bayer (Pauluhn, 2010)	Kim Jong Bum at al., (2016)	
시험법	OECD 413				
종류	MWCNT	SWCNT	MWCNT	MWCNT	MWCNT
시험물질 수	1	2	5	1	1
직경(nm)	5-15	8.2	44	10-15	358.46 (GMD)
길이(nm)	100-10,000	230	940(long 3,400)	200-1,000	-
N2-BET 비표면적(m2/g)	250-300	1,064, 1,000	69, (13-440)	257	
시험물질 농도 (mg/ml)	0.1, 0.5, 2.5	0.03, 0.13	0.37	0.1, 0.4, 1.62, 5.98	0, 0.2, 0.5, 1.0
MMAD (μm)	0.8-2.0			2.2-2.9	
NOAELR(mg/ml)	0.1	0.13	0.37	0.1	0.98



탄소나노튜브가 공기 중으로 비산되어 노동자가 영향을 받을 잠재적인 위험이 있는 작업장에서 작업환경관리를 할 때 적용할 수 있는 「탄소나노튜브 취급 작업환경 노출농도 관리지침 개발·제정



3) 불확실성 계수(Uncertainty factor, UF) 결정

가) 동물 실험 결과를 인체에 적용하기 때문에 이에 대한 불확실성 계수 3을 선택하였다.

나) 국내에서 사용되는 탄소나노튜브의 물리적·화학적 특성이 다양하므로 제품에 대한 불확실성 계수 4를 선택하였다.

[표 2] KOSHA GUIDE 및 국외 연구에서 사용 된 불확실성 계수

연구기관 및 연구진	KOSHA GUIDE	일본 AIST (NEDO, 2011)	김종범 등 (2016)
동물 → 사람 (Interspecies TK)	3	3	12
아급성(subacute) (4주) → 아만성(subchronic) (13주)	2	2	
독성동태학적 계수		1	3
카본나노튜브 특성의 다양성	4		
총	24	6	3

“

탄소나노튜브를
취급하는
작업장에서
탄소나노튜브
노출을 평가하고,
이를 제안된
노출농도와
비교하여
활용함으로써
탄소나노튜브
취급 사업장 및
연구시설의
작업환경관리를
효과적으로
가능하게
할 것으로
기대

”

4) 탄소나노튜브 노출 농도(NOAEHL) 설정

가) 체중은 우리나라 성인 체중 70.6 kg를 사용하였다.

나) 호흡률은 일하는 성인 남자의 호흡률 17.9 m³/day를 사용하였다.

다) 노출계수를 반영한 계산식은 아래 [그림 1]과 같다.

$$\begin{aligned}
 OAEL &= 0.10 \times \frac{1}{2} [mg/m^3] \\
 &\times \frac{(6 \times 7/5 [min/day]) \times (0.189 \times 10^{-3} [m^3/min]) \times 70.6 [kg]}{(8 \times 7/5 [min/day]) \times (12.4 \times 10^{-3} [m^3/min]) \times 0.3 [kg]} \\
 &\times \frac{1}{3} \times \frac{1}{4} = 0.011 [mg/m^3]
 \end{aligned}$$

[그림 1] 노출 기준 계산식

2. 작업환경관리를 위한 탄소나노튜브 노출 농도, 10μg/m³ 제안

1) 탄소나노튜브 노출 농도, 10μg/m³는 원소탄소 농도를 기준으로 하여야 한다.

2) 계산 값이 11μg/m³인데 10μg/m³으로 제안하는 이유는 탄소나노튜브의 순도가 100%가 되지 않고 90% 정도 수준임을 감안하여야 하며, 탄소나노튜브의 원소탄소 농도를 분석하기 때문이다.

3) 10μg/m³은 동물(랫트) 기관지 폐포 세척액의 호중구 수 증가를 근거로 한 것이다. 탄소나노튜브가 발암성물질로 의심되거나 이에 대한 영향을 고려한다면, 노동자의 탄소나노튜브 노출을 낮출 수 있는 가장 낮은 농도로 작업환경을 관리할 것을 권고한다.

탄소나노튜브는 현재 국내에서 작업환경측정 대상물질은 아니지만, 건강 유해성이 우려되는 물질로, 본 지침에서 공기 중 탄소나노튜브 노출 기준(10μg/m³, 원소탄소 농도 기준)을 제시하여 탄소나노튜브를 취급하는 작업장에서 탄소나노튜브 노출을 평가하고, 이를 제안된 노출농도와 비교하여 활용함으로써 탄소나노튜브 취급 사업장 및 연구시설의 작업환경관리를 효과적으로 가능하게 할 것으로 기대한다.



| 참고문헌 |

1. 김중범, 김경환, 최병길, 송경석, 배귀남 [2016]. 국내 일부 다중벽탄소나노튜브의 직업 노출기준 추정. 한국환경과학회지, 25권 4호
2. 윤충식 등 [2016]. 카본나노튜브 노출기준 설정에 관한 연구, 산업안전보건연구원
3. BSI[2007]. Nanotechnologies—Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials, London: BSI Group;6699(2)
4. Nakanishi J (ed)[2011]. Risk assessment of manufactured nanomaterials: “Approaches” —Overview of approaches and results, Final report issued on August 17, 2011. NEDO project (P06041) “Research and Development of Nanoparticle Characterization Methods.”
5. Nakanishi J (ed)[2011]. Risk assessment of manufactured nanomaterials: carbon nanotubes (CNTs), NEDO project (P06041) “Research and development of nanoparticle characterisation methods.”
6. Nanocyl, Responsible care and nanomaterials case study Nanocyl, Presentation at European Responsible Care Conference, Prague, Brussels, Belgium: The European Chemical Industry Council (CEFIC) [cited 2016 Oct 11] Available from: URL:http://www.cefic.org/Documents/ResponsibleCare/04_Nanocyl.pdf
7. Pauluhn J [2010]. Subchronic 13-week inhalation exposure of rats to multiwalled carbon nanotubes: toxic effects are determined by density of agglomerate structures, not fibrillar structures. Toxicol Sci 113(1):226–242

-
- 1) Ma-Hock, Lan, et al. "Inhalation toxicity of multiwall carbon nanotubes in rats exposed for 3 months." Toxicological Sciences 112.2 (2009): 468-481
 - 2) 카본나노튜브 노출 기준 설정에 관한 연구에서 권고한 불확실성 계수를 본 지침에서 사용

05

‘소변 중 니켈’ 정도관리 표준 시료 개발로 중금속 생물학적 노출평가의 신뢰성 강화

이미영 부장* / 산업안전보건연구원 직업건강연구실



2017년 「생물학적 노출평가 표준시료 개발(2)」 연구를 통해 특수건강진단 생물학적 노출 평가 2차 항목인 ‘소변 중 니켈’ 표준시료를 조제하고, 균질성과 안정성을 확인하여 특수건강진단 분석정도관리 신규 항목을 개발하였다. 2015년 ‘소변 중 비소’ 항목을 개발하여 특수건강진단 분석정도관리에 활용한 이후, 2017년의 연구 결과를 근거로 개발된 ‘소변 중 니켈’을 포함하여 2018년에 분석정도관리 항목으로 총 7항목의 무기 분석 표준시료를 특수건강진단 분석정도관리 사업에 활용하고 있다. 2018년부터 정도 관리항목에 ‘소변 중 니켈’을 추가하여 정도관리가 실시됨으로써 중금속 생물학적 노출 평가의 신뢰성 강화에 기여할 것으로 기대하고 있다.



* 연락처 : TEL 052-703-0873 , cookmom@kosha.or.kr

I. 개요 및 배경



화학물질
노출 근로자의
생물학적
노출평가의
신뢰성 향상과
이를 통한
근로자의
건강보호를 위해
생물학적
노출평가
표준시료 개발
연구가
지속적으로
필요



I-1. 배경

지금까지 우리나라의 산업보건분야 생물학적 모니터링용 표준물질 개발 현황을 살펴보면, 1995년에 산업안전보건연구원에서 특수건강진단 분석 정도관리를 주관하게 되면서 우선 소변 중 마노산과 혈액 중 납 표준시료를 개발하였다(양정선, 1995). 이후 특수건강진단 분석정도관리를 계속하면서 추가 항목들이 개발되었다[표 1].

[표 1] 특수건강진단 분석정도관리 표준시료 개발 현황

연도	분석정도관리 추가 항목
1995	소변 중 마노산; 혈액 중 납
1996	소변 중 만델산, 메틸마노산; 혈액 중 카드뮴
1997	소변 중 페닐글리옥살산; 혈액 중 망간
1999	소변 중 엔메틸포름아미드(NMF); 소변 중 수은
2000	소변 중 삼염화초산, 총삼염화물
2004	소변 중 유콘산, 2,5-헥산디온; 소변 중 카드뮴
2008	소변 중 엔메틸아세트아미드(NMAC)
2015	소변 중 비소
2016	소변 중 페놀

따라서 2017년 「생물학적 노출평가 표준시료 개발(2)」 연구에서는 우리나라 근로자건강진단 실무지침에 제시된 생물학적 노출지표검사 항목이면서 아직 표준물질이 개발되지 않은 항목에 대한 표준물질을 개발하고자 하였다. 본 연구에서는 니켈과 그 화합물의 노출지표로 지정된 소변 중 니켈을 선정하여 개발을 진행하였다. 소변 중 니켈은 생물학적 노출평가의 2차 노출지표물질이며, 아직 국내 정도관리를 위한 표준물질이 개발되어 있지 않다. 개발한 표준물질은 실험실간 비교를 통한 외부정도관리 및 실험실의 일상적인 분석 시 내부정도관리를 위해 사용되는 것을 목적으로 하였다. 개발한 표준물질은 자체 또는 일상 표준물질(In-house or working reference material)에 해당하며, 연구진은 표준시료의 균질성과 안정성을 입증하여 정도관리 표준시료로서의 신뢰도를 확인하고자 연구를 수행하였다.



국내에서는
니켈 및 화합물의
생물학적 노출을
소변 중 니켈
80 μ g/L 수준으로
관리하고 있으나
니켈의 발암성이
심각한 문제이고
노출기준이
외국 기준보다
크게 높아
기준 개정에
대한 검토가
필요



1-2. 주요 관련 정보

특수건강진단 분석정도관리는 1995년에 소변 중 마노산, 혈액 중 납 등 2개 항목으로부터 시작하여 산업안전보건연구원 주관으로 2018년까지 39회의 정도관리를 실시하였으며, 2018년에 정도관리에 참가한 85개소의 기관 중 96%의 기관이 무기분석에서 적합 평가를 받았다.

특수건강진단 통계자료 중 소변 중 니켈은 2013년부터 2015년까지 총 263건의 결과가 보고되었으며, 2013년 니켈에 노출된 근로자에게서 노출 기준을 초과하거나 노출기준의 1/2을 초과한 결과를 보인 사례가 있어 니켈에 노출된 근로자의 건강보호를 위한 주의가 필요하다고 판단하였다.

[표 2] 니켈의 생물학적 노출 평가 기준 초과 건수

(단위: 건수)

연도	계	국내노출기준 (80 μ g/L) 초과	국내노출기준의 1/2 (40 μ g/L) 초과	독일 BAT (2 μ g/L) 초과
2013년	54	1	3	43
2014년	133	-	2	123
2015년	76	-	-	66

2015년까지 국내에서 규정한 니켈(불용성 무기화합물)의 공기 중 노출 기준은 0.5 ppm이었으나 2016년에 기준이 0.2 ppm으로 강화되었다. 한편, 니켈 및 그 화합물의 국내 생물학적 노출기준은 80 μ g/L로, 독일의 노출기준인 2 μ g/L에 비해 40배 높은 수준이다. 불용성 무기화합물로 존재하는 니켈은 황화니켈, 아황화니켈과 함께 발암성 물질로 규정되어 있으며, 미국에서는 니켈의 생물학적 노출 기준에 관한 자료가 불충분하여 생물학적 노출 지표에서 제외하였다. 국내에서는 니켈 및 그 화합물의 생물학적 노출을 소변 중 니켈 80 μ g/L수준에서 관리하고 있으나, 니켈의 발암성이 심각한 문제이고, 노출 기준이 외국 기준보다 크게 높아 기준 개정에 대한 검토가 필요하다.

[표 3] 니켈 및 그 화합물의 생물학적 노출기준

국가	제정기관	유해 인자	소변 중 니켈		혈액 중 니켈	
			노출기준 ($\mu\text{g/L}$)	시료채취 시기	노출기준 ($\mu\text{g/L}$)	시료채취 시기
한국	고용노동부 (2016)	니켈 및 황화니켈	80	주말	-	-
독일	DFG ¹⁾ (BAT, 2009)	니켈	2	-	0.2	-
유럽	SCOEL ²⁾ (BGV, 2011)	니켈	3	-	-	-

1) 독일연구재단(Deutsche Forschungsgemeinschaft) 생물학적 노출허용기준(Biologischer Arbeitsstoff-Toleranz-Wert, biological tolerance value for occupational exposures)

2) 유럽 직업성 노출기준 과학위원회(Scientific committee on occupational exposure limits) 생물학적 노출지침기준(Biological guidance value)

니켈의 노출 기준이 외국 노출 기준 수준으로 낮아질 경우, 2015년 특수건강진단 통계에서 나타나듯이 국내 니켈의 생물학적 노출 기준을 초과하는 사례가 87%로 급증하므로[표 2], 본 연구에서 개발한 분석정도관리 표준시료의 활용은 니켈 노출 평가에 매우 중요하게 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

II. 실용화 내용

2017년 「생물학적 노출평가 표준시료 개발(2)」 연구를 통해 특수건강진단 생물학적 노출 평가 2차 항목인 소변 중 니켈¹⁾ 표준시료를 조제하고, 균질성과 안정성을 확인하여 특수건강진단 분석정도관리 신규 항목을 개발하였다.

특수건강진단 정도관리 항목 개발과 생물학적 노출평가 실용성을 고려하여 특수건강진단 생물학적 노출 평가 2차 항목인 소변 중 니켈을 본 연구의 표준시료 개발 대상으로 선정하였다. 정도관리 표준시료 제조용 소변에 니켈 표준용액을 첨가하여 조제한 소변 중 니켈을 원자흡광광도기로 분석하여 니켈 표준 시료의 균질성과 안정성을 조사하였다. 이번 연구에서 설정한 3가지 농도의 표준시료는 모두 균질하게 조제하였음을 확인하였다. 시료를 조제한 후 25 °C, 4 °C, -20 °C, -80 °C에서 1주일, 1개월이 경과한



2017년 「생물학적
노출평가
표준시료 개발(2)」
연구를 통해
“소변 중 니켈”
표준시료를
개발, '18년부터
특수건강진단
분석정도관리
항목으로
추가되어
정도관리가
실시됨으로써
중금속 생물학적
노출평가의
신뢰성 향상 기대



시점의 안정성을 조사한 결과, 모든 표준시료는 1개월까지 큰 농도 변화를 보이지 않아 시료 배송부터 정도관리 결과 제출까지의 1개월 동안 안정하였으므로 정도관리 사업 활용을 위한 실용성을 확인할 수 있었다.

2015년 소변 중 비소' 항목을 개발하여 특수건강진단 분석정도관리에 활용한 이후, 2017년의 연구 결과를 근거로 개발된 소변 중 니켈'을 포함하여 2018년에 분석정도관리 항목으로 총 7항목의 무기분석 표준시료를 특수건강진단 분석정도관리 사업에 활용하고 있다.

2018년부터 정기 정도관리항목에 소변 중 니켈을 추가하여 정도관리 참가기관의 중금속 생물학적 노출평가 선택의 폭을 넓히는데 기여하고, 앞으로 니켈 노출 근로자의 생물학적 노출평가를 수행할 기관의 분석 능력 검증을 통한 분석 신뢰도 향상에 중요한 역할을 할 것으로 기대하고 있다.

| 참고문헌 |

1. 한국산업안전보건공단 (2017). 근로자건강진단실무지침
2. 양정선, 이미영, 강성규, 노중 유기용제 대사 산물의 분석을 위한 표준시료의 제조방법, 10-0165621-0000, 1998
3. 이미영, 이혜지, 생물학적 노출평가 표준시료 개발(2) 특수건강진단 정도관리 항목 개발-소변 중 니켈, 산업안전보건연구원, 2017



일터안전을 위한 첫 단추, 작업 전 **안전점검**으로 채우세요

한 해 산업재해 사망자 약 2천명, 재해자 9만여 명

일터에서 매일 5명이 목숨을 잃고 250명이 다치는 셈입니다.

산업재해는 기본적인 안전수칙만 준수한다면 충분히 예방할 수 있습니다.

일하기 전 보호구는 제대로 착용했는지? 위험장소에 안전보건표지는 부착되어 있는지?

안전교육은 실시했는지? 위험요소가 있는 공정에 안전작업절차는 마련되어 있는지?

꼼꼼한 확인이 필요합니다.

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

국민의 나라 정의로운 대한민국

국정지표

국민이 주인인 정부
더불어 잘사는 경제
내 삶을 책임지는 국가
고르게 발전하는 지역
평화와 번영의 한반도