



직업건강
가이드라인

작업 전 안전점검
당신의 생명을 지킵니다

조심조심
코리아

Occupational Safety & Health Guideline

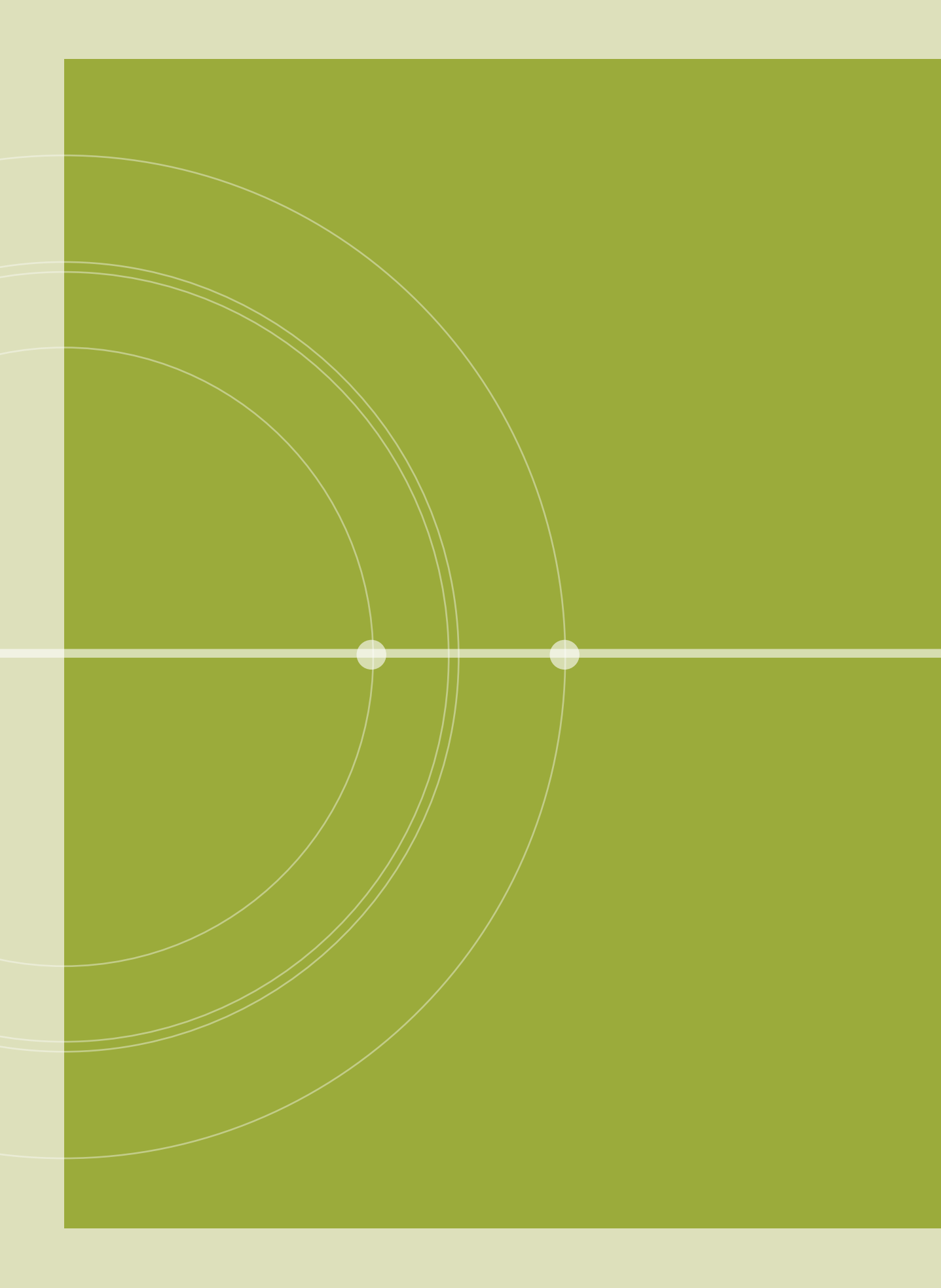
수은 취급근로자



고용노동부

산업재해예방
안전보건공단

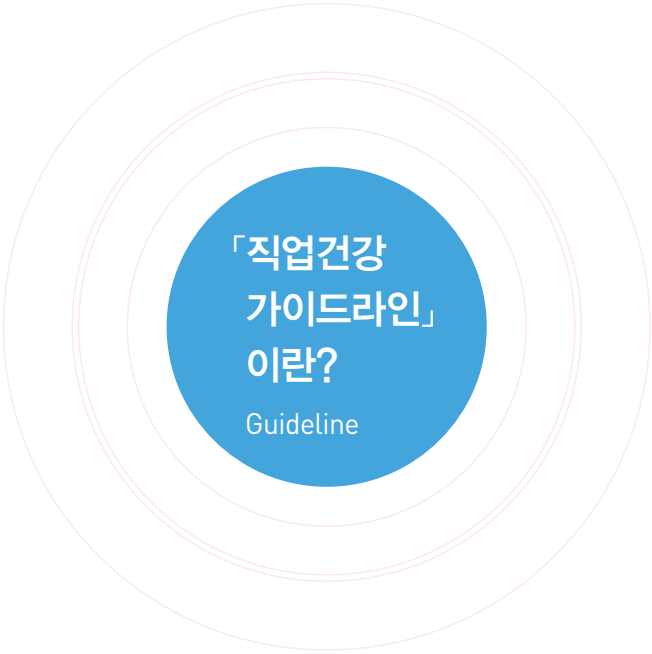






직업건강 가이드라인

수은 취급근로자



「직업건강 가이드라인」 이란?

Guideline

- KOSHA GUIDE*와는 달리 직업 활동을 통해 근로자들에게 발생할 수 있는 고유의 근무특성 및 작업방식까지 포함한 다양한 유해·위험요인을 파악하여, 이를 예방하고 관리하기 위한 사항에 대해 현장사진(삽화 등)을 수록하여 쉽고 상세하게 설명한 안내서입니다.

KOSHA
GUIDE*

- 법령에서 정한 사항보다 높은 수준의 안전보건 향상을 위해 참고할만한 광범위한 기술적인 사항을 제시한 것으로 사업장의 **자율적 안전보건수준 향상**을 지원하기 위한 지침

직업건강 가이드라인

수은 취급근로자

Occupational Safety & Health Guideline



들어가며

Prologue

안전보건공단에서는 근로자의 직종별 또는 주제별로 직업활동을 통해 나타날 수 있는 고유의 근무특성 및 작업방식을 포함한 다양한 건강 유해·위험요인을 파악하여, 이를 예방하고 관리하기 위한 방안을 제시하고자 「직업건강 가이드라인(이하 ‘가이드라인’)」을 개발하게 되었습니다.

가이드라인은 노·사·정 및 학계전문가 회의를 통해 개발대상 직종을 선정한 후, 가톨릭대학교와 성균관대학교 및 을지대학교 산학협력단(직업환경의학·간호·위생·안전분야 전문가로 구성된 팀)에 의뢰하여 2012년도에 10개, 2013년도에 10개, 2014년도 10개, 2015년도에 10개 및 2016년도에 10개의 주제와 직종에 대한 가이드라인을 개발하게 되었습니다.

• 2012년 개발 직종

- ① 환경미화원 ② 병원청소원 ③ 영양보호사^[시설요양원] ④ 간호사 ⑤ 택시운전원
- ⑥ 건물청소원 ⑦ 물류종사원^[창고업종] ⑧ 매장판매 종사자 ⑨ 사무종사자^[IT]
- ⑩ 보건관리자^[실무지침 개정]

• 2013년 개발 직종 및 주제

- ① 콜센터 종사원 ② 이미용 종사원 ③ 도장공 ④ 용접원 ⑤ 차량정비원
- ⑥ 항만하역 종사원 ⑦ 오페수시설 종사원 ⑧ 야간 및 교대작업 ⑨ 근로자 우울증
- ⑩ 외상 후 스트레스장애

• 2014년 개발 직종 및 주제

- ① 항공기 객실승무원 ② 음식서비스업 종사자 ③ 철도 기관사 ④ 네일샵 종사원
- ⑤ 유지보수작업 종사원 ⑥ 유류사고 방제 작업자 ⑦ 감정노동 종사자^[총괄]
- ⑧ 소음성난청 예방관리 ⑨ 건설업 보건관리자 역할 ⑩ 하절기 폭염대비

• 2015년 개발 직종 및 주제

- ① 아파트경비원 ② 톨게이트 요금수납원 ③ 출납창구사무원 ④ 패스트푸드원
- ⑤ 실험실연구원 ⑥ 버스운전원 ⑦ 전자제품수리종사자 ⑧ 방송출연 보조자
- ⑨ 고기압(잠수)작업자 ⑩ 발열성 질환 예방

• 2016년 개발 직종 및 주제

- ① 호텔종사자 ② 보육교사 ③ 수은 취급 근로자 ④ 메탄올 취급 근로자 ⑤ 건설업 방수작업자
- ⑥ 배달업무 종사자 ⑦ 근로자 자살예방 관리 ⑧ 제조업 파견근로자 ⑨ 사무실 실내 공기질 관리
- ⑩ 생식독성물질 취급 근로자

수은은 온도계, 혈압계, 각종 계측장비, 형광등, 아말감 등 우리 일상생활 속에서 흔하게 사용되고 있는 물질이지만, 매우 강한 독성을 갖고 있는 물질입니다. 수은이 공기 중에 노출될 경우 증발하여 공기 중 수은증기의 농도가 높아지고, 그 공기로 호흡하게 되면 온몸으로 흡수되어 호흡기계, 신경계, 신장 등에 독성을 나타냅니다. 뿐만 아니라 인간에 의해 인위적으로 사용된 수은이 적절하게 관리되지 못하여 환경에 버려지면 수은원소는 없어지지 않고 잔류하여 토양을 오염시키고, 결국 먹이 사슬을 통해 인체로 다시 유입됩니다. 가장 비극적인 역사적 사건이 2,000여명의 주민에게 유기수은중독을 일으킨 일본의 미나마타병이었습니다. 이 가이드라인은 ‘수은 취급근로자’들이 알아야 할 안전 보건에 관한 내용들을 충실하게 담고 있습니다. 수은이 함유되어 있는 물체, 수은의 유통·사용·폐기현황, 수은중독발생 사례, 수은 취급시의 안전보건수칙, 작업환경측정 및 특수 건강진단 실시 등을 다루고 있습니다.

‘수은’의 경우 최근에 모 형광등생산제조공정이 철거되는 과정에서 집단 수은중독 사건을 일으키면서 사회적 관심이 높아지고 있습니다. 수은은 단기간 고농도로 노출되었을 때, 급성증상과 만성후유증을 유발하기도 하지만, 지속적으로 장기간 노출되었을 때 건강에 유해하므로 직업건강과 환경보건 차원에서 포괄적으로 고려될 필요가 있습니다. 다만 이 가이드라인에서는 수은의 종류 중 ‘금속수은’에 초점을 맞추고 있습니다.

본 ‘수은취급근로자’의 가이드라인에서는 현장의 소리를 직접 확인하기 위하여 사업장을 방문하고, 수은취급근로자, 수은중독근로자들을 면담하였습니다. 또한 수은취급과 관련된 외국의 가이드라인과 관련 법령과 지침도 소개하고 있습니다.

이 가이드라인에 기술된 내용은 법령에서 정한 기준이 아닌 수은 취급근로자들의 건강 수준을 향상시키기 위해 권고할 수 있는 안내서입니다.

끝으로 가이드라인 개발에 많은 도움을 주신 수은중독 환자분들과 수은취급종사자 여러분들께 진심으로 깊은 감사의 말씀을 드리며, 이 가이드라인이 수은을 안전하게 다룰 수 있는 문화를 조성하는데 널리 활용되길 바랍니다.

01 Chapter

배경

1. 수은에 관한 미나마타 협약	12
2. 국내 형광등 생산공장 철거 시 집단수은중독 사건	14
3. 수은함유 제품군 현황	15
4. 국내 수은의 유통현황과 배출원	17

02 Chapter

수은의 건강 영향

1. 수은의 특징	20
2. 수은의 체내분포와 대사	23
3. 수은의 건강영향	26

03 Chapter

수은중독 발생 현황과 사례

1. 직업성 수은중독 현황 (국내, 국외)	32
2. 비직업성 수은중독 현황	33

04 Chapter

대표적인 수은 취급자 현황

1. 수은혈압계, 수은온도계를 사용하는 의료기관	36
2. 아말감을 사용하는 치과병의원	37
3. 폐형광등 재활용업	38
4. 형광등 제조 및 유통업	38
5. 수은함유건전지 재활용업	39
6. 클로르 알카리(chloralkali) 공정	40

05 Chapter

수은취급 근로자의 보건 관리방안

1. 작업환경측정	42
2. 건강검진	43
3. 작업환경관리	47
4. 개인보호구	50
5. 의학적 조치	53
6. 작업 유형별 보건관리방안	59
1) 폐형광등 재활용업의 보건관리	59
2) 치과병원에서의 보건관리	64
3) 수은 취급시설 철거·해체업무의 보건관리	70
4) 수은함유 제품의 파손 시 대처	75

06 Chapter

부록

1. 작업장에서 금속수은의 공기 중 노출 기준	84
2. 수은관련 고용노동부 예규 및 고시	85
3. 수은관련 고용노동부 KOSHA GUIDE	86

*연구팀

연구책임자 - 을지대 김숙영 교수

공동 연구원 - 가톨릭대 정혜선 교수, 김형아 교수, 경인여대 이윤정 교수, 성균관대 김수근 교수, 강북삼성병원 한복순 교수, 박소영 교수, 대전 선병원 김용규 소장, 조선대 송한수 교수, 을지대 갈원모 교수

표 차례

1. 수은 함유 제품군과 수은함량	15
2. 주요 수은 취급장 및 시설종류	17
3. 수은 함유 폐기물의 연간 수은 배출량	18
4. 금속수은중독의 계통별 증상	45
5. 금속수은증기노출: 용량반응관계	45
6. 요증수은별 임상증상과 예방대책	46
7. 국소배기장치 후드의 제어풍속	49
8. 착화치료의 효과에 관한 동물실험	57
9. 수은중독 착화치료제의 용량, 부작용	58
10. 대한치과의사협회 폐아말감수거 시스템 등록업체	64
11. 치과수술 시 공기 중 수은측정결과	65
12. 식약처의 아말감 우수관리지침	67
13. 아말감 사용에 따른 수은노출 경감을 위한 체크리스트	68
14. 수은누출 시 주의사항과 이유	77

그림 차례

1. 전세계 수은배출원의 변화	13
2. 수은의 유해성표시 (Hazard identification)	21
3. 수은의 흡수와 분포	25
4. 수은증기노출로 인해 급성호흡부전이 발생한 환자의 흉부방사선사진	34
5. 수은노출 저감을 위한 호흡보호구	52
6. 폐형광등 처리과정	59
7. 폐형광등 처리과정	59
8. 치과병원에서의 아말감 사용과 폐기 관리	69
9. 수은스필키트	76

01

chapter

배경

- 수은에 관한 미나마타 협약
- 국내 형광등 생산공장 철거 시 집단수은중독 사건
- 수은함유 제품군 현황
- 국내 수은의 유통현황과 배출원





1. 수은에 관한 미나마타협약

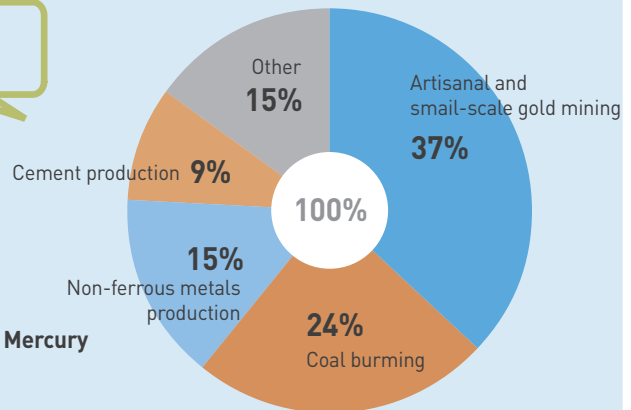


유엔환경계획(UNEP:United Nations Environment Programme)이 제정한 ‘수은에 관한 미나마타협약’이 2013년 10월에 채택되었다. ‘수은에 관한 미나마타협약(이하 협약)’은 전세계적으로 수은 사용을 근절하기 위해 수은의 생산부터 사용·배출·폐기까지 전과정을 관리하는 유엔 협약으로 50개국 비준 시 발효된다. 우리나라는 2014년 9월에 미나마타협약에 서명하였고, 협약 비준을 준비 중이다. 환경부는 ‘수은에 관한 미나마타협약’의 발효에 대비해 ‘탈수은 사회’로 전환할 수 있는 사회적 기반 마련을 위해 ‘수은관리 종합대책(2016~2020)’을 수립했다. 중점추진과제는 1) 환경 중 수은 모니터링, 2) 수은 배출저감 및 취급시설 환경, 안전관리강화, 3) 수은 원자재, 첨가제품 관리 및 친환경적 폐기, 수은 노출 저감, 기술개발, 국제협력 및 소통강화다. 수은·제품이 사양산업화됨에 따라, 수은 취급시설의 폐기·철거 시 안전조치와 잔류 수은의 적정 처리에 대한 엄격한 관리가 필요하다고 보고 있다. 또한 수은폐기물의 처리과정에서 종사자들에게 노출되거나 환경 오염의 가능성이 있어, 이에 대한 관리가 필요한 상태다. 전세계적으로 수은사용량과 노출원은 큰 변동이 있었다. 과거에는 클로르알칼리나 비닐 클로라이드 생산공정, 그리고 온도계, 형광등, 각종 계전기 등에 수은이 많이 사용되었으나, 수은의 위해성 때문에 대체물질을 사용하거나, 디지털화된 장비가 사용되면서 이 분야의 사용량이 크게 감소하였다. 반면 수공업적인 방식으로 운영되는 소규모 금광에서 사용되는 수은량이 크게 증가하고 있는 추세다.

전세계 수은배출원의
변화 [그림1]

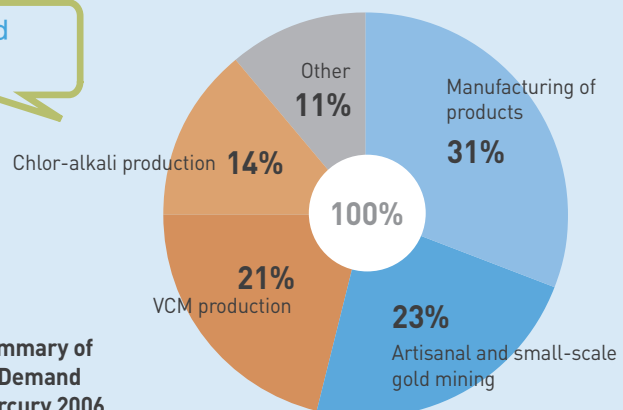
Global mercury emission Sources and demand sectors

Biggest sources of
air emissions 2010



Source : UNEP, Global Mercury Assessment 2013

Biggest demand
sectors 2005



Source : UNEP, Summary of Supply, Trade and Demand information on Mercury 2006

Total global anthropogenic emissions were estimated at 2,000 tonnes in 2010.

Total global demand was estimated at 3,500 tonnes in 2005.

* 출처 : UNEP 2013



2. 국내 형광등 생산공장 철거 시 집단수은중독 사건

- 2015년 3월부터 4월 사이 광주광역시 소재한 한 형광등 생산업체의 생산시설 철거 공사에 참여했던 근로자들에게서 수은중독이 발생하였다. 해당 공장은 형광등생산을 중단한지 1년이 지난 시점에서 생산설비를 철거한 후 물류시설을 만들 계획이었다. 당시 철거작업을 발주한 원청사는 하청 도급 사업체의 철거작업 근로자들에게 수은 취급 시설임을 알리지 않았고, 대부분 수은 노출 위험을 감지하지 못한 상태로 작업하다가 수은중독이 발생하였다. 철거작업 당시 대부분의 작업자들이 감기몸살, 피부발진과 같은 증상을 겪었으나, 수은중독 증상임을 의심하지 못했다. 뒤늦게 수은중독사실을 알게 된 후 최종적으로 12명이 산재로 인정되었다. 위 사업장은 2005년부터 2014년까지 4,370만 여개의 형광램프를 생산하면서 수은 약 2700kg을 사용한 것으로 조사되었으며, 공사과정에서 누출량은 약 400kg으로 추정되었다. 철거 작업 후 잔류수은과 폐기물을 지하 1층에 불법 매립한 후 콘크리트로 덮어 토양 및 수질 등 환경오염을 유발하여 환경오염사건으로 비화 되기도 하였다. 이 사건으로 고용노동부에서는 근로자 수은노출 우려 사업장 중심으로 지도·감독을 강화하고, 취락 사업장에 대한 보건관리 기술(작업환경측정 및 건강진단 비용 등)을 지원하기로 하였다.



철거직전 지하의 형광등 생산시설



철거작업 당시 작업현장에서 관찰된 수은

3. 수은함유 제품군 현황

표 1. 수은함유 제품군과 수은함량

제품군	수은함량
① 전지	산화수은전지 4.25mg
② 형광등	- 소형(30W미만): 5mg 초과 - 직선형(60W미만) 삼파장: 5mg 초과 - 직선형(40W이하) 단파장: 10mg 초과 - 환경마크인증 형광등: 5mg 이내
③ 고압수은 증기램프	- 고압수은램프 250mg - 메탈할라이드 램프 250mg - 고압나트륨램프 25mg - 아크램프 5-30mg
④ 수은함유 LCD램프	500mm 이하: 3.5mg 초과 500~1500mm 이하: 5mg초과 1500mm 초과: 13mg 초과
⑤ 스위치 및 계전기	스위치 및 계전기
⑥ 계측기기	- 온도계 - 혈압계 - 압력계, 기압계, 습도계
⑦ 농약, 약품	농약, 살생물제, 국소소독제
⑧ 화장품(비누 포함)	수은함량 1ppm 이상
⑨ 치과용 아말감	치과용 아말감
⑩ 전자제품	- LCD 모니터 23인치 냉음극형광램프 3.5mg - LCD TV 냉음극형광램프 5mg



- ① **약품** : 티오머살(thiomersal)은 백신의 보존제로 사용되어 왔으나, 현재 미국에서는 감기 예방 백신 외에는 6세 이상의 어린이용 백신에는 사용되지 않는다. 여러 수은 화합물들이 의약품으로 사용되었는데, 수은의 유해성이 알려진 후 사용되지 않고 있다.
- ② **화학산업** : 소금물을 전기분해시켜 염소와 가성소다(NaOH)를 생산할 때 수은은 음극(환원 전극)으로 사용된다. 그러나 최근에는 격막(diaphragm)을 사용하는 공정으로 대체되고 있다. 석탄에서 PVC의 단량체인 염화비닐 단량체(vinyl chloride monomer)를 생산할 때 촉매로 HgCl₂이 사용되었다. 그러나 대체공법이 도입되어 있다. 과거에 화학산업의 수은 사용량이 전세계 수은사용량의 30% 가량이 될 정도로 많은 비중을 차지하였으나, 대체 공법이 활용되면서, 화학산업에서의 수은사용량은 급감하였다.
- ③ **조명** : 수은은 수은등과 형광등(직관형, 환형)에서 사용되어 왔다. 수은 증기에 전류를 통과 시키면 수은에서 자외선이 나오고, 이것이 전등 내벽에 칠해진 형광체에 닿아 가시광선이 나오는 원리를 이용한다. 형광등에 충전되어 있는 수은의 함량은 10~50mg이다. 그러나 앞으로 조명은 전기효율이 좋고 생산가격이 낮아지고 있는 LED(발광다이오드로 전류가 흐를 때 빛을 발산하는 방식)로 대부분 대체될 것으로 예상된다.
- ④ **수은스위치** : 수은의 유동성 및 양호한 전도성과 접촉성을 이용한 소형 스위치이다. 유리관에 전극을 봉입하여 관속에 적당량의 수은을 넣고, 수소, 비활성 가스를 충전하여 밀봉하여 관의 경사에 의해 전류를 단속한다. 과거에는 자동차의 조명스위치, 가스레인지의 표시등에서 광범위하게 사용되었다. 최근에는 디지털장비로 교체되었다.
- ⑤ **수은을 사용하는 계측장비** : 온도계 기압계, 혈압계 등에 널리 사용되었으며, 액체 거울 망원경에도 사용되었다. 체온 측정기(Fever thermometers)는 0.5~1g의 수은을 함유하고 있다. 최근에는 이것을 대신해서 디지털 체온계가 사용되고 있다. 온도측정기(Laboratory thermometer)는 온도계의 크기에 따라 달라지겠지만 대략적으로 3g의 수은을 함유하고 있다. 온도측정기의 대체물로 수은을 함유하지 않은 알코올온도측정기, 디지털 온도측정기가 사용되고 있다. 압력계는 355g의 수은을 함유하고 있다. 그러나 최근에는 수은을 함유하지 않은 디지털압력계가 널리 이용되고 있다.
- ⑥ **수은전지** : 소형 전자 제품에서 사용되는 단추형 전지는 수은전지, 리튬전지, 알칼리망간전지, 공기아연전지 등으로 나뉜다. 망간/알칼리 전지의 경우 1993년부터 수은 1ppm 이하의 무수은 건전지가 시판되면서 유해폐기물 관리대상에서 제외되었다. 최근에는 수은에 의한 중금속 오염으로 사용이 제한되고 이 대신에 산화은 전지를 사용하고 있다. 2012년 국립환경과학원의 조사에 따르면 국내 폐건전지 중 수은이 함유된 건전지는 버튼형 알카라인건전지(개당 5.11-9.89mg), 공기아연 건전지(개당 2.98-4.36mg), 산화은건전지(개당 0.54-2.76mg)에서 상대적으로 높은 수준의 수은이 검출되었다.

4. 국내 수은의 유통현황과 배출원

- 수은의 배출원은 의도적 수은 배출원(intentional mercury sources) 및 비의도적 수은 배출원(unintentional mercury sources)으로 구분할 수 있다. 의도적 수은 배출원은 수은온도계와 형광등과 같이 수은을 인위적으로 첨가하여 사용한 경우, 폐기된 제품 등으로부터 발생하는 수은을 뜻하며, 비의도적 수은 배출원은 석탄, 아연광석이나 석회석 등에 불순물로 함유된 수은이 연소나 제련공정에서 배출되는 경우를 말한다.

표 2. 주요 수은 취급장 및 시설종류

구분	수은취급사업장 및 시설종류
수은유통시설	• 수은 및 수은화합물 수입, 판매 업체 및 시설
수은이용시설 (의도적 사용)	• 염소, 염화비닐, 아세트알데히드, 폴리머 생산시설 • 온도계, 스위치, 형광등, 전지, 농약, 의약품 압력계, 계량기 제조시설 • 치과용아말감, 실험실용 • 종교의식과 민간치료용품
수은발생시설 (비의도적 배출)	• 석탄발전소, 석유발전소, 바이오매스화력발전소, 석유추출·정제, 천연가스추출·정제, • 수은 및 금, 은, 아연, 구리, 납, 알루미늄, 철강, 비철금속 추출 및 가공시설 • 수은회수 및 재활용시설 • 시멘트생산시설, 펄프·종이생산시설, 석회생산시설, 카본블랙 생산시설, 코크스 생산시설 • 묘지, 화장시설 • 수은함유폐기물 매립, 소각시설



- 국립환경과학원이 2012년 5월부터 2014년 12월까지 조사한 ‘수은함유 폐기물 배출실태 조사결과’에 따르면 국내 수은함유 폐기물을 배출하는 곳은 총 25개 업종 169개 사업장이었고, 배출되는 폐기물 속에는 연간 총 33.5톤의 수은이 함유되어 배출되는 것으로 조사되었다. 업종별로 보면 비철 추출·가공업종에서 연간 배출되는 폐기물 속에 29.5톤의 수은이 함유되어 있어 전체 배출량 33.5톤의 약 88%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 폐기물 속에 연간 0.1톤 이상 수은이 함유되어 배출되는 업종으로는 철강 추출·가공(1.1톤/년), 생활폐기물 소각(1톤/년), 석탄 발전(0.8톤/년), 하·폐수처리(0.5톤/년), 의료 폐기물 소각(0.2톤/년) 순으로 나타났다. 우리나라에서는 폐기물의 수은 농도가 0.005 mg/L 이상일 경우, 폐기물관리법에 따라 지정폐기물로 분류되어 고형화처분한 후 관리형매립시설에 매립 등의 방법으로 처리하고, 지정폐기물 이외의 폐기물은 일반폐기물로 분류되어 소각, 안정화처분 등의 방법으로 처리된다.

표 3. 수은 함유 폐기물의 연간 수은 배출량

조사기간	조사대상 시설 수		수은 검출 범위	연간 수은 배출량
	현장조사	배출량 산정		
1차년('12)	30	28	0 ~ 477.5 mg/kg	1.0 ton/yr
2차년('13)	59	58	0 ~ 1,754.9 mg/kg	31.9 ton/yr
3차년('14)	80	79	0 ~ 15.7 mg/kg	0.6 ton/yr
합계	169	165	0 ~ 1,754.9 mg/kg	33.5 ton/yr

* 출처 : 환경부, 수은함유폐기물실태조사, 2015

02

chapter

수은의 건강영향

- 수은의 특징
- 수은의 체내분포와 대사
- 수은의 건강영향





1. 수은의 특징

수은(水銀, mercury)은 원자번호 80번 원소로 실온에서 액체인 유일한 금속이다. 수은은 진사(辰砂, cinnabar, HgS)라고 불리는 광석을 분쇄하여 부유선광법(flotation)으로 선별하여 600-700℃로 가열하여 수은증기를 발생시킨 후 이를 응축시켜 수은을 얻는다. 수은은 은백색을 띠며, 어는점은 -38.83℃이고 끓는점은 356.73℃로, 금속 중에서는 액체로 존재하는 온도범위가 가장 좁은 것 중의 하나이다. 녹음열(2.29kJ/mol)과 증발열(59.11kJ/mol)이 다른 금속들에 비해 작는데, 이는 금속 결합에 외각 전자만이 관여하여 그 결합이 약하기 때문이다. 증기에서는 단원자 형태로 존재하고, 증기압은 25℃에서 2×10^{-3} mmHg이다. 밀도는 20℃에서 13.543g/cm³로, 물의 13.567배이다. 표면장력 아주 크며, 쏟아지면 작은 방울들로 쉽게 나뉘어 진다. 금속 중에서는 열 및 전기전도도가 예외적으로 작은 편이나, 전극으로 사용할 만큼 비교적 좋은 전기전도체이다. 고체 결정은 6면체(rhombohedral) 구조를 하며, 반자기성(diamagnetic)이다.

수은은 비교적 화학 반응성이 있는 금속이다. 실온의 건조한 공기 중에서는 비교적 안정하나, 습한 공기에서는 서서히 회색의 산화물이 표면에 생성된다. 약 350℃ 이상에서는 산소(O₂)와 반응하여 산화수은(HgO)이 되는데, HgO는 400℃ 이상에서 산소와 수은으로 분해된다. 수은은 묽은 황산을 비롯한 대부분의 산과는 반응하지 않으나, 일부 뜨거운 산이나 산화력이 있는 산(예로 진한 황산, 질산, 왕수)과는 반응한다. 은과 마찬가지로, 황화수소(H₂S)와 반응하며, 고체 상태의 황과도 반응한다. 이런 성질로 인해 쏟아진 수은을 처리하기 위해 흔히 황가루를 뿌린다. 수소, 탄소, 질소와는 반응하지 않으며, 할로겐과는 가열하면 반응한다. 금, 은, 주석, 알루미늄 등의 금속과 합금(아말감, amalgam)을 잘 만드나, 4주기 전이금속(망간, 구리, 아연 제외), 백금 등 몇 가지 금속들과는 합금을 잘 만들지 않는다. 수은의 원광석은 진사(cinnabar) 또는 경면주사, 광명사라고 불린다. 색깔은 주홍색 또는 적갈색이다. 수은은 납과 마찬가지로 수천년 전부터 인류가 사용해왔다. 기원전 300년경 로마에서 진사를 태워서 수은을 추출했다는 보고가 있고, 6세기 말경

부터는 금의 원광석에서 금을 추출하는데 이미 수은이 이용되었다. 수은은 고대부터 약재로도 사용되어 왔는데, 동의보감에서 진정작용이나 진경작용을 목적으로 사용하였다. 경면 주사는 가루로 만들어 부적의 글씨를 쓰는데 사용되고 있다. 붉은 색으로 귀신을 쫓는다고 믿어진다. 최근에도 종교의식용으로 사용되고 있어 주의가 필요하다.

수은의 유해성표시 (Hazard identification) [그림2]





수은의 물리화학적 특성 (Physicochemical properties)

- CAS 번호 : 7439-97-6
- 분자량 (Molecular weight) : 200.6
- 원소기호(Empirical formula) : Hg
- 일반 동의어(Common synonyms) : Quicksilver(빠르게 흐르는 은), liquid silver
- 실온에서의 상태(State at room temperature) : 액체(Liquid)
- 증기압(Vapour pressure) = 0.002 mm at 25°C
- 밀도(Relative density) : 13.5 at 25°C (water = 1)
- 증기압(Relative vapour density) : 6.93 (air = 1)
- 녹는점(1기압): -38.83 °C
- 끓는점(1기압): 356.73 °C
- 인화성(Flammability) : 연소되지 않는다(Not combustible)
- 수용성(Water solubility) : 물에 약간 녹는다 (Slightly soluble in water)
- 작용(Reactivity) : 대부분의 차가운 산과는 반응하지 않으나, 일부 뜨거운 산이나 산화력이 있는 황산이나 질산과는 반응한다. 은과 마찬가지로 황화수소(H₂S)와 반응하며, 고체상태의 황과도 반응한다. 금, 은, 주석 등 다른 금속과 합금(아말감, amalgam)을 잘 만드는데, 철과는 합금을 만들지 않아 수은은 흔히 철제 용기에 담아 보관되고 유통된다. 수소, 탄소, 질소와는 반응하지 않으며, 할로겐과는 가열하면 반응한다. 화합물에서의 산화상태는 주로 +1과 +2이다. 질산과 고온의 농축 황산과 반응한다. 습한 공기에서는 서서히 회색의 산화물이 표면에 현성된다.
- 특징 : 표면장력이 아주 크고, 쏟아지면 작은 방울들도 쉽게 나누어 진다.
- 냄새(Odour) : 무취(Odourless)

2. 수은의 체내분포와 대사

노출

수은이 인체로 들어오는 경로는 흡입(inhalation), 소화(ingestion), 피부흡수(skin absorption)이 있다. 금속수은의 주요 흡수경로는 호흡기를 통한 흡입이다. 흡입한 양의 80%는 체내 흡수된다. 공기 중 수은은 피부를 통해서도 일부 흡수되기도 하는데, 흡입을 통해 흡수되는 양의 약 2% 정도가 피부로 흡수된다. 반면 소화기관을 통한 흡수는 0.01%에 불과하지만, 분말형태로 섭취될 경우 더 많은 양이 흡수될 수 있다.

분포

흡수된 수은은 인체 내에서 넓게 분포된다. 특히 뇌, 신장, 간과 같은 몇몇 장기에 더 많은 수은이 침착된다. 특히 신장은 다른 장기에 비해 높은 농도를 보인다. 이는 금속 수은의 높은 지질 친화성 때문이다. 금속 수은(element mercury)는 혈액-뇌 장벽과 혈액-태반 장벽을 쉽게 통과한다. 금속 수은은 흡입 노출 후 24시간 이내에 최고 수준에 도달하며 뇌에서는 2~3일 내에 최고 수준에 도달한다. 흡입으로 노출된 금속 수은은 뇌에 가장 오래 잔류한다.

대사

호흡기를 통해 흡수된 수은은 혈액 내에서 산화되어 2가 수은이 된다. 2가 수은은 혈액-뇌장벽이나, 태반을 통과 하지 못하고, 대부분 신장조직 내 축적된다. 2가 수은 이온과



단백질 내 티올기 혹은 황화수소기와의 높은 친화결합력은 수은의 생물학적 활성도의 주요 기전으로 여겨진다. 원소 수은 상태는 친지질성을 보여 이러한 장벽을 잘 통과한다. 따라서 금속수은에 노출되면 흡수된 수은의 대부분은 산화되지만 산화되지 않은 일부가 장벽을 통과하고, 장벽을 통과한 원소 수은이 뇌조직 내에서 산화되면 다시 혈액-뇌장벽을 통과하지 못하고, 뇌조직에 축적된다.

독성기전

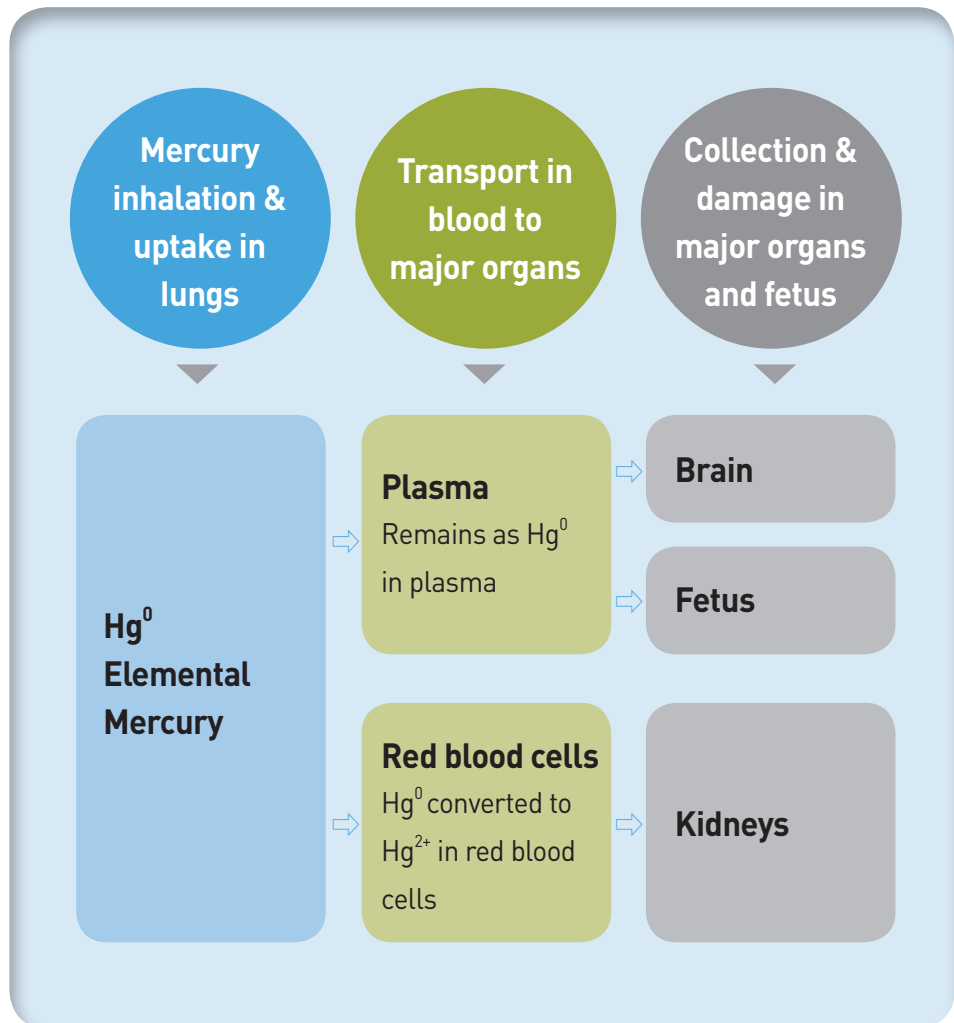
수은의 다양한 손상기전이 보고되었다. 대표적으로 산화 손상, 신경세포 미세튜브의 형성 방해, 뇌-혈관 장벽의 투과성 증대, 단백질 합성의 방해, 유전자 복제의 방해, 유전자 복제 효소의 활성도 감소, 신경 간극의 전달 저해, 막의 손상, 면역반응의 손상, 칼슘 항상성 유지의 방해 등이다. 이러한 손상은 단일 혹은 복합적으로 발생한다.

배설

수은은 소변, 대변, 땀, 호기 시 숨으로 배출된다. 소변과 대변은 주요 배출경로다. 호흡과 침, 땀을 통한 배출의 기여율은 매우 낮을 것으로 추정된다. 금속수은증기에 노출된 후 소변에서 금속수은이 빠르게 관찰되는데 수은이 혈액에서 사구체를 통해 직접적으로 여과되었기 때문이다. 그러나 소변의 수은은 이전에 신장에 존재하고 있었던 수은도 반영한다.



수은의 흡수와 분포
[그림3]





3. 수은의 건강영향

급성중독

금속수은증기에 노출되면, 소화기계통의 증상으로 인후두염(pharyngitis), 삼킴곤란(dysphagia), 복통, 메스꺼움과 구토가 생기면 심한 경우 설사와 속(shock)이 생길 수 있다. 어느 정도 시간이 지나면 침샘의 부종(swelling of the salivary glands), 구내염(stomatitis), 치아의 흔들림(loosening of the teeth), 잇몸통증, 과도한 침 흘림이 생긴다.

내부 장기 중 신장독성으로 인해 신장염(nephritis)과 간염(hepatitis)이 생길 수 있으며, 이 때문에 단백뇨, 핏뇨가 생기거나, 간효소가 증가한다.

피부증상은 홍반성의 가려움을 동반한 피부발진이 전신에 생기는 것이다. 땀 분비가 증가하고, 손과 발바닥의 피부가 벗겨지는 현상도 생긴다. 결막에도 영향을 주어 결막염이 생기거나, 눈이 붉어질 수 있다. 전형적으로 소아에서는 말단부위의 통증(acrodynia)이 생긴다.

만약 수 시간동안 1-3mg/m³ 정도의 고농도의 수은증기에 노출된다면, 호흡기계 자극증상이 나타나며, 심할 경우 급성 폐렴, 중추신경계 장애로 사망에 이를 수 있다.

만성건강영향

① 신경계증상

이 증상은 고농도의 수은증기 급성 흡입노출 이후 나타나기도 하고, 저농도에 장기간 노출된 후 나타나기도 한다. 과거부터 신경계증상은 수은에 의한 신경과민(Erethism)이라고 명명했으며, 대표적인 증상은 성미가 급함, 과도한 수줍음, 자신감 상실, 대인관계의 회피 등이다. 불면증은 초기부터 나타나는 가장 흔한 증상이며, 기억력저하, 집중력저하,

인지기능 감소가 나타난다. 신경 근육 변화도 특징적인데, 쉽게 근육의 피로를 느끼는 증상, 손의 떨림, 손가락의 협응력 저하, 말단의 감각이상, 갑작스러운 근육의 수축이나 실룩거림, 이로 인한 불안정한 걸음이 나타난다. 이러한 소견은 신경전도검사나 신경행동 검사 등에서 객관적으로 확인되기도 하지만, 그렇지 않은 경우도 있다. 일부 사례에서는 시야 흐림(blurred vision), 시력저하, 시각장애(시야 결손), 그리고 환각 등이 관찰되었다.

② 신장손상

신장은 금속 수은의 흡입 노출 이후 나타나는 독성에 민감한 표적 장기이다. 이 민감도는 신장에서 수은이 상대적으로 많이 축적되기 때문일 수 있다. 고농도 수은에 급성 흡입 노출된 경우 가볍고 일시적인 단백뇨가 관찰되거나 소변의 산 배설에 미세한 변화가 일어날 수 있다.

반면 심한 단백뇨, 혈뇨증과 빈뇨, 세뇨관 손상 또는 괴저로 인해 급성 신부전증이 나타난 사례도 있다. 단백뇨를 보이는 근로자를 대상으로 한 연구에서 신장 조직검사 결과 근위 세뇨관 손상과 사구체 경화증이 확인되었다. 노출수준에 따라 신장손상이 있을 수 있고, 고농도일수록 신장손상 가능성이 높다고 판단된다.

③ 피부증상

수은에 만성적 피부노출 시 발진이 흔하다. 구진성 홍반을 동반한 피부염이 피부노출 후 나타날 수 있다. 드물게 말단통증(acrodynia)이 나타날 수 있는데, 소아에서 더 많이 나타난다고 보고된다. 수은은 알레르기성 물질로 감작에 의한 알레르기 피부반응이 빈번하게 나타난다.



④ 기타 만성건강영향

호흡기계는 초기 호흡기계손상이 없다면 큰 영향은 없으나, 일부 연구에서 폐활량이 저하되었다는 보고가 있다. 뇌심혈관계의 경우 초기 급성노출 시 혈압과 심박동수가 증가한다는 보고는 있으나, 사망률이 초과로 증가한다는 증거는 부족하다. 급성노출 이후 생식능력의 저하가 있거나, 추후 출산 시 합병증이 증가하였다는 증거는 없었다. 수은은 발암성에 대해 IARC에서 Group 3로 평가하고 있다.



급성중독



신장손상



신경계증상



피부증상



만성건강영향

03

chapter

수은중독 발생현황과 사례

- 직업성 수은중독 현황 (국내, 국외)
- 비직업성 수은중독 현황





1. 직업성 수은중독 현황

국내

- 국내에서는 1988년부터 집단 수은중독 사건이 다발하였다. 당시 대표적인 사건이 문송면 군(당시 만 14세) 수은중독 사건이다. 문송면 군은 중학교를 졸업한 후 1987년 12월 5일 서울시 영등포구 소재의 한 온도계 제조업체에 일하다가 수은중독이 생겼으며, 1988년 3월 14일에 서울대학교병원에서 진단을 받았고 1988년 7월 2일 사망하였다. 당시 유사 수은중독 사건에 대한 언론보도를 종합하면 다음과 같다.



- ▶ 1988년 1월 경기도 이천군 성광조명공업 집단수은중독사건 발생
- ▶ 1988년 2월 서울 영등포구 양평동 협성계공 문송면 수은중독 사건, 같은 직장에서 4명 추가 발생
- ▶ 1988년 6월 강원도 춘천시 후평공단 유일계량기 제작소 온도계제조업체, 여성근로자 10명이 수은에 중독됨
- ▶ 1988년 7월 인천시 북구 일신동 광기업 형광등 생산업체, 10명의 수은중독 사건
- ▶ 1990년 5월 서울 구로 오리엔트전자 수은중독사건 : 서울시 구로공단 소재의 수은 스위치 제조업체(오리엔트 전자)에서 수은중독 환자 6명 산재인정

* 출처 : 네이버 뉴스라이브러리 : 동아, 경향, 한겨레

- 차철환 등에 따르면 1990년 전국의 형광등제조사업장 10개소 196개의 공기 중 수은농도 측정결과 평균 0.018-0.183mg/m³였다. 현재 노동부의 노출기준이 0.025mg/m³임을 감안 하면 상당수가 위험수준을 초과하고 있었던 것이다. 또한 총 815명의 근로자의 사업장별 평균 소변수은은 57.3-171.1μg/L였으며, 200μg/L를 초과하는 경우는 792개의 측정자 중 66명으로 8.4%였다. 이러한 연이은 수은중독사건의 발생이 지나간 후 형광등제조사업장에 대한 산업보건관리가 어느 정도 정착되면서 수은중독 사건은 한동안 발생하지

않았다. 그러다가 2000년 경북 안동 한 산업폐기물 재생업체의 은 회수공정에서 일했던 노동자 3명에서 수은중독이 확인되었다. 그리고 그 이후 수은중독사고는 없었다가, 2015년 4월 광주광역시 남영전구 형광등 생산공장 철거과정에서 20여명이 수은증기에 노출됨, 12여명이 수은중독으로 인정되었다.



국외

수공업적 소규모 금광에서 수은중독

- UNEP의 2012년 보고에 따르면 70여 개국의 약 1,500만명이 소규모 수공업적 금광업에 종사하고 있고, 이중 약 300만명은 여성과 어린이인 것으로 추정된다. 소규모의 수공업적 금광업으로 전 세계 금 생산의 약 20%가 생산되고 있는데, 수은을 이용한 아말감추출법이 사용되고 있다. 이 과정에서 아말감을 가열하여 수은을 증발시키기는 공정, 그리고 수은폐기물의 부적절한 취급으로 인해 직업성 노출뿐만 아니라 환경적 노출에 의한 수은중독의 위험성이 매우 높다. 2001년 Drake 등은 베네수엘라의 수공업적 금광에서 공기 중 수은량을 측정하였는데, 0.1-6.315 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 보였다. 소규모수공업적 금광산업(ASGM, Artisanal and small-scale gold mining)에서 사용되는 수은의 양은 UNEP의 2013년 보고에 따르면, 전 세계 수은배출량의 37%를 차지하고 있고, 2005년에서 2010년 사이에 그 양은 2배로 증가하였다. 다른 수은사용처에서 사용량이 감소되는 경향과 대조적이다. 이 과정에서 금 생산에 종사하는 사람뿐만 아니라 해당 지역사회의 자연환경이 수은에 오염되면서 문제가 되고 있다. 그럼에도 불구하고, 개발도상국에서 금생산은 커피, 바나나보다 더 나은 수익원이고 지역발전에 기여하고 있다. 이 때문에 UNEP에서는 수은의 위험성에 대해 교육하고, 다각도의 대책을 수립하여 수은노출 저감을 위해 노력하고 있다.



수공업적 소규모 금광

* 출처 : Sven Torfinn/Panos Pictures. Nature news



순금을 얻기 위해 수은을 증발시키는 과정

* 출처 : <http://ghanaiangold.weebly.com>

쏘어케미컬즈(Thor Chemicals, Inc, 영국)의 수은노출 사건

남아프리카 공화국 콰줄루-나탈(KwaZulu-Natal)의 동부지역에 소재한 영국의 다국적 회사 쏘어 케미컬즈(Thor Chemicals, Inc.)는 미국 및 일부 국가로부터 수은함유 폐기물을 수입하여 수은을 재생하여 재활용하는 세계적인 회사였다. 이 회사에 근무하던 4명의 흑인 노동자가 심한 뇌와 신경계 증상으로 고생하다가 사망하는 사건이 발생하였다. 이 회사는 영국의 HSE(보건안전청)으로부터 수은노출량초과로 반복적으로 경고를 받아왔었다.

결국 HSE의 압력 하에 이 회사는 1987년 영국에서 문을 닫은 적이 있다. 수은중독사건으로 산업보건기구(IHU)의 조사에 따르면 근로자의 87%가 안전 기준을 초과하는 수은을 체내에 축적하고 있으며, 이러한 수은 중독으로 인하여 근로자의 28%가 영구적인 건강 손상을 입은 것으로 보고되었다 (29명이 수은 중독, 4명 사망). 이 공장에서 처리 중이었던 수은 폐기물은 아직도 제거되지 않은 채 수천 톤이 남아 있으며, 주변 환경을 오염시켰다.

2. 비직업성 수은중독 현황

한 손가락의 수은을 가열한 결과

부모와 두 딸, 그리고 한 명의 아들이 피로, 메스꺼움과 구토, 열과 오한으로 입원하였다. 아버지가 전기기술자였는데, 그의 작업장과 연결된 주방에서 한 손가락 정도의 수은을 불 위에서 가열하였고, 생후 2년 6개월째인 그의 아들은 주방에, 다른 가족들은 다른 방에 있었다. 수은을 가열한 후 2시간째 증상을 호소하기 시작했다. 생후 2년 6개월째인 아들은 호흡곤란으로 중환자실에 입원하였다.

진사로 쓴 부적을 화장실에서 태우다가

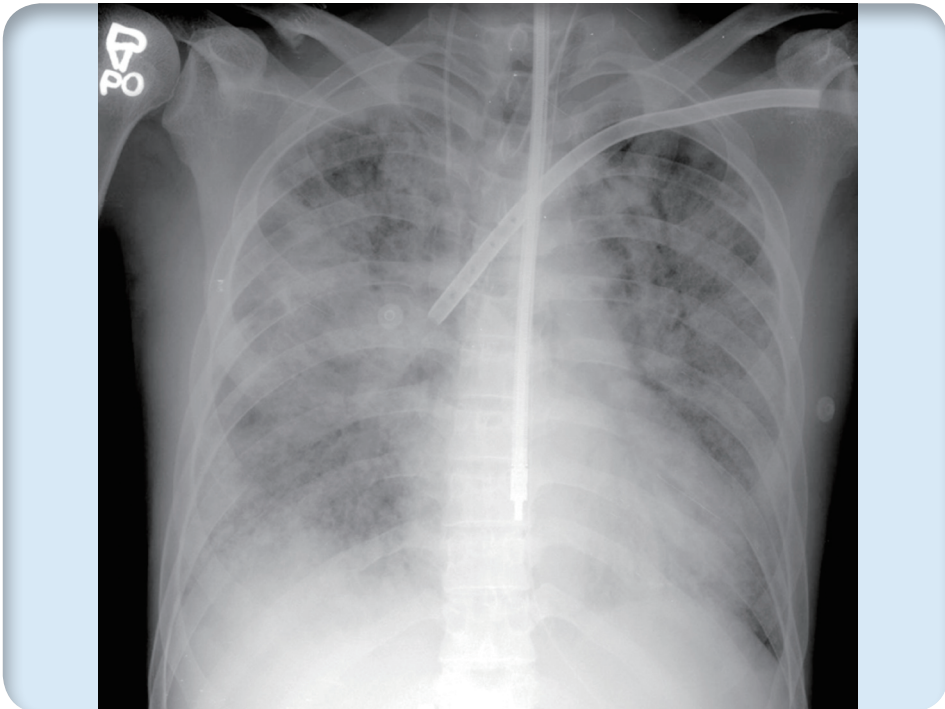
건강하던 46세 남자가 3일전부터 호흡곤란, 열감, 두통, 인후통, 기침, 가래가 발생하여 내원하였다. 환자는 내원 4일 전에 가족과 함께 화장실에서 부적 200여장을 태운 후 화장실문을 열어놓은 상태에서 혼자 화장실청소를 시행하였으며, 노출 후 1일 후부터 호흡곤란이 발생하였다. 부적을 만든 사람으로부터 부적의 글씨는 진사를 갈아서 만든 붉은 가루로 써진 것으로 확인되었다. 이로 인해 46세 남자 환자는 사망하였고, 4명의 가족들은 생존하였다.



학교에서 가져온 액체수은은 엽지른 후

12세 여자아이가 근육통과 관절통, 손발의 떨림, 사지의 차가워짐, 열을 동반한 체중감소로 병원을 방문했다. 처음에는 급성류마티스열로 진단을 받고 페니실린과 아스피린으로 치료를 받았다. 그런데 여자아이의 언니의 손발이 진한 분홍색으로 변하고, 통증과 함께 껍질이 벗겨지는 증상이 생겼으나 관절통은 없었고 전신의 근육통이 있었다. 뒤늦게 학교에서 액체수은을 집으로 가져와 가지고 놀다가 집안의 카페트와 가구 주변에 엽지른 사실을 알게 되었다.

수은증기노출로 인해 급성호흡부전이 발생한 환자의 흉부방사선사진 [그림4]



04

chapter

대표적인 수은 취급자의 현황

- 수은혈압계, 수은온도계를 사용하는 의료기관
- amalgam을 사용하는 치과병원
- 폐형광등 재활용업
- 형광등 제조 및 유통업
- 수은함유건전지 재활용업
- 클로르 알칼리(chloralkali) 공정





1. 수은혈압계, 수은온도계를 사용하는 의료기관

현재 국내에는 수은함유 체온계 및 혈압계를 제조하는 업체는 없으며, 전량 일본, 중국, 미국 및 독일 등지에서 수입되고 있는 것으로 확인되었다(국립환경과학원, 2012년). 다만, 국내 수은함유 체온계 및 혈압계를 수입하여 판매하는 업체는 총 14개 업체로 확인되었다.

파괴검사를 통해 수은함량을 확인한 결과, 개당 약 1.2g의 수은이 함유되어 있었고, 혈압계는 개당 약 47g의 수은이 함유된 것으로 조사되었다. 종합병원급이 33곳, 병원급이 18곳, 의원급이 1곳 등 총 53개 병원에 대해 수은함유 체온계 및 혈압계에 대한 관리현황을 조사하였는데, 종합병원급에서는 34%가 수거업체를 통해 수은함유 체온계 및 혈압계를 폐기하고 있었으며, 30%는 의료용 폐기물과 함께 배출하고 있었고, 24%의 병원에서는 자체 보관시설에 보관하고 있는 것으로 응답하였다.

병원에서 사용되는 수은은 밀봉된 상태이기 때문에, 깨지는 사고가 없다면, 수은에 노출될 가능성은 낮다. 그러나 공무부서에서 혈압계의 수은을 직접 주입하는 경우도 간헐적으로 있다. 수은 주입작업은 실린지를 열고 주사기로 수은을 주입하는 방식인데, 이 과정에서 었지르거나 노출될 가능성이 있으므로 주의가 필요하다.

2. 아말감을 사용하는 치과병의원

수은을 함유한 모든 합금을 아말감(amalgam)이라고 부르는데, 아말감 합금은 은(Ag)와 주석(Sn)을 주성분으로 하고 여기에 구리, 아연, 인듐, 팔라듐, 금, 수은을 첨가하여 제조한다. 대한치과의사협회 규격에 따르면 치과용 아말감합금에 대해 '미세한 분말로 이루어진 합금으로서 은, 주석, 구리를 주성분으로 하고 수은과 혼합하였을 때 치과용 아말감을 형성할 수 있는 것으로 정의하고 있다. 치과 아말감용 수은의 한해 소비량은 약 1톤을 차지하고 있다. 치과에서 사용하는 아말감용 수은은 치아우식 충전 재료에 사용하는 것으로 적정비율로 섞어 사용 하고 있다. 치과용 아말감 제품은 공급형태에 따라 분말형, 정제형, 일회용 캡슐형으로 분류되며, 최근 일회용 혼합캡슐이 보편화되고 있다.





3. 폐형광등 재활용업

폐형광등을 안전하게 처리하고 재활용하는 업체다. 가정에서 폐형광등이 배출되면, 지방자치단체에서 수거하고, 대량배출사업장은 폐형광등 재활용업체에서 회수하여 공장으로 가져온다. 지방자치단체에서는 일반시민들이 분리배출을 용이하게 할 수 있도록 수거함을 설치하여 관리 운영하고 있으며, 구청에서 직영하거나, 위탁운영하는 재활용업체 환경미화원을 통해 수거한다. 수집, 적재, 선별과정에서 깨지는 형광등에 의해 수은노출이 발생할 가능성이 있다. 또한 재활용 처리설비를 가동하는 근로자들의 경우 수은증기에 노출될 가능성이 있다. 또한 적재과정에서 파손으로 인한 노출이 있는데, 적재량이 많아 지거나, 부적절한 방법으로 적재하거나, 적재하기 곤란한 구형, 원형형태의 형광등일 경우, 그리고 적재장소에 대한 청소 및 환경관리가 부적절할 경우 수은노출이 증가할 수 있다.

4. 형광등 제조 및 유통업

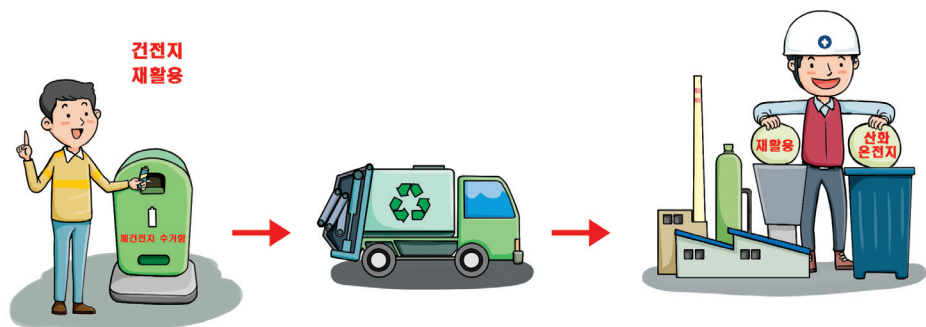
형광등은 다양한 크기를 갖고 있다. 표준적인 형태의 긴 형광등은 약 10mg의 수은이 있고, 새로운 삼인광(tri-phosphor) 형광등에는 5mg이하의 수은이 있다.

형광등 제조작업장은 형광등 초자관을 열처리한 후 수은을 주입하는 작업공정에서 수은 주입시 작업부주의로 수은을 바닥에 흘리거나, 수은이 주입된 형광등의 파손, 형광등 양단의 봉합작업, 형광등 내부공기의 진공배기과정 등에서 발생된 수은증기가 쉽게 근로자에게 폭로되는 작업조건을 갖고 있다. 특히 수은을 잘못 취급하여 작업장 바닥에 흘리게 되면 수은방울이 증발하여 중독을 일으킬 가능성이 높아진다. 그러나 2010년 이후 수은을 이용한 조명장치 생산업체는 점차 감소하였다.

현재 대부분의 업체에서는 형광등을 생산하지는 않고 있고, 수입한 형광등에 대한 물류를 담당하고 있는데, 이 과정에서 형광등의 파손이 발생할 수 있으며, 파손된 형광등을 부적절하게 처리하였을 때 수은에 노출될 수 있다. 그러나 그 빈도는 매우 적을 것으로 보여, 해당 업체의 수은노출에 의한 건강위험은 거의 없다고 봐도 무방할 것이다.

5. 수은함유 건전지 재활용업

수은 전지는 국내에서 제조 및 수입이 금지되고 있다. 또한 전지 중 가장사용량이 많은 망간/알칼리 전지의 경우 1996년 품질경영 촉진법의 전지안전검사기준에서 수은 1 ppm 이하, 카드뮴 10 ppm 이하로 규제한다. 가정에서 배출된 폐건전지는 폐건전지 수거함을 통하여 수거된 후 한국전지재활용협회(안성소재)로 운반, 한국전지재활용협회(2003년 창립)에서는 종류별로 전지를 선별(수선별)한 후 품목별 재활용업체에 위탁한다. 반면, 산화은전지는 개당 4.25mg정도의 수은이 함유되어 있으나, 국내 산화은전지의 유통에 관한 정확한 정보가 부족한 실정이다. 산화은전지는 유해폐기물로 재활용되지 않고 바로 폐기처분을 하고, 사용량이 많지 않기 때문에 재활용산업에서 작업자들에게 노출될 가능성은 낮을 것으로 추정된다.





6. 클로르 알칼리 (chloralkali) 공정

산업안전보건공단에서 시행한 화학물질 유통, 사용 실태조사(수은)에 따르면 우리나라에서 염소를 액체 또는 기체로 제조하는 업체는 총 11개소였다. 또한 염소를 단일물질로 사용하는 업체는 총 195개사인 것으로 나타났다. 위 업체들은 수은막 대신 니켈 막을 사용하고 있어 국내에서 염소를 생산하는 공정에서는 수은막이 사용되지 않은 것으로 판단된다.

염화비닐 생산공정 중 수은을 사용하는 공정은 아세틸렌 공정으로 알려져 있는데 염화제 이수은을 흡착시킨 활성탄을 촉매로 하여 아세틸렌과 염화수소의 혼합기체를 150-220℃에서 통과시킴으로 염화비닐을 생산한다. 우리나라 염화비닐 생산업체를 대상으로 수은 촉매사용여부를 조사한 결과 염화비닐 생산업체 모두 수은을 촉매로 사용하지 않는 에틸렌법을 이용하는 것으로 조사되었다. 따라서 국내 염화비닐제조공장에서는 수은을 사용하지 않음을 확인할 수 있었다. 폴리우레탄 생산공정, 비닐아세테이트 생산공정에서도 수은이 촉매로 사용될 수 있다.

우리나라에서는 폴리우레탄을 생산하는 업체는 9개소인 것으로 나타났으나 폴리우레탄을 제조할 때 촉매가 수은이 아닌 아민 또는 주석이 사용되는 것으로 나타났다. 비닐아세테이트의 경우에도 국내 생산량의 98% 이상을 1개 업체가 생산하는 것으로 조사되었으며 에틸렌기상공법을 적용하고 있어 촉매는 수은이 아닌 백금을 사용하고 있었다. 따라서 우리나라의 폴리우레탄, 비닐아세테이트 생산공정에서는 수은을 사용하지 않는 것으로 판단된다.

05

chapter

수은 취급 근로자의 보건관리방안

- 작업환경측정
- 건강검진
- 작업환경관리
- 개인보호구
- 의학적 조치
- 작업 유형별 보건관리방안





1. 작업환경측정

수은노출 모니터링

모니터링은 크게 3가지로 구분된다. 초기 모니터링(initial monitoring), 정기 모니터링(periodic monitoring), 진단적 모니터링(diagnostic monitoring)이 있다.

초기 모니터링(initial monitoring)

- 초기 모니터링은 직업적 노출한계를 잘 준수하고 있는지를 평가하기 위해 시행한다. 첫 단계의 평가로 적은 수의 측정만으로도 충분하다. 측정 결과를 보고 더 진행할지 마칠지 결정한다.

정기 모니터링(periodic monitoring)

- 정기 모니터링은 노출수준을 평가하여 받아들일 수 있을지를 평가하는 것이다. 측정 빈도는 노출수준에 따라 결정된다. 정기모니터링은 개인 시료 측정이 적합한 방법이다.

진단적 모니터링(diagnostic monitoring)

- 진단적 모니터링은 노출원, 단위작업, 생산율과 같은 다양한 노출변수에 따라 평가하는 것이다. 만약 노출원이 고정된 곳이라면 지역시료측정이 적합할 것이다. 만약 노출원이 노동자에 따라 이동하거나, 개인의 작업특성에 따라 달라진다면 개인 시료 측정이 적합할 것이다.

작업환경측정제도

- 수은을 취급하는 사업장에서는 6개월에 1회 이상 정기적으로 작업환경을 측정해야 한다. 작업환경 측정 결과가 노출기준의 2배를 초과하면 작업환경 측정을 3개월에 1회 이상 해야 한다. 최근 1년간 작업공장에서 작업환경 측정 결과에 영향을 주는 변화가 없으며, 최근 2회 연속 노출기준 미만이면 작업환경측정을 1년에 1회 이상 할 수 있다. 또한 특수 건강진단은 12개월에 1회 이상 정기적으로 실시하고, 근로자를 특수건강진단 대상 업무에 배치하기 전, 배치 전 건강진단을 실시해야 한다. 배치 후에는 6개월 이내에 첫 번째 특수건강진단을 하도록 한다. 작업환경 중 환기장치는 가스·증기 또는 분진의 발산원을 밀폐하는 설비 또는 국소배기장치를 설치하고, 적정 제어풍속이 유지되도록 관리해야 한다. 유기화합물취급 특별장소에서 해당 물질을 취급하는 경우에는 전체환기 장치를 설치하고 적정 환기량이 유지되도록 한다. 작업환경측정은 허가받은 작업환경 측정기관에 의뢰하여 시행할 수 있다.

2. 건강검진

특수건강진단

건강진단주기 및 대상자

- 수은과 그 화합물에 노출되는 작업 부서 전체 근로자에 대한 특수건강진단 주기는 1년에 1회 이상으로 한다.



집단적 주기단축 조건

- 수은노출수준이 높아지거나, 수은에 의한 건강영향이 우려된다면 검진 주기를 단축할 필요가 있다. 예를 들어 다음의 어느 하나에 해당하는 경우 특수 건강진단 기본주기를 1/2로 단축한다.
 - 당해 건강진단 직전의 작업환경 측정결과 수은 및 그 화합물 농도가 노출기준 이상인 경우
 - 수은과 그 화합물에 의한 직업병유소견자가 발견된 경우
 - 건강진단 결과 수은과 그 화합물에 대한 특수건강진단 실시주기를 단축하여야 한다는 의사의 판정을 받은 근로자

건강진단항목

1차 검사항목

- ① **작업력 및 노출력 조사**
- ② **과거병력조사 : 주요 표적장기와 관련된 질병력 조사**
- ③ **자각증상조사 : 문진표 작성내용 확인 포함**
- ④ **임상진찰 및 검사 : 비뇨기·신경계·눈·피부·비강·인두·구강·간·신장에 유의하여 진찰**
 - 비뇨기계 : 소변검사 10종, 혈압측정
 - 신경계 : 신경계 증상 문진, 신경증상에 유의하여 진찰
 - 눈·피부·비강·인두 : 점막자극증상 문진
- ⑤ **생물학적 노출지표 검사 : 소변 중 수은**

2차 검사항목

- ① **임상검사 및 진찰**
 - 비뇨기계 : 단백뇨 정량, 크레아티닌, 요소질소, 베타2마이크로글로불린
 - 신경계 : 신경행동검사, 임상심리검사, 신경학적 검사
 - 눈·피부·비강·인두 : 세 극 등 현미경검사, KOH검사, 피부단자시험, 비강 및 인두검사
- ② **생물학적 노출지표 검사 : 혈중 수은**

표 4. 금속수은중독의 계통별 증상

계통	증상
중추신경계증상	• 불면증, 불안장애, 수면행동장애, 신경과민증상
근육신경계증상	• 피로감, 근육통, 사지의 감각이상
피부와 점막증상	• 피부발진, 피부색소 변화(백반증, 착색)
신장 및 간독성	• 단백뇨, 핏뇨, 신장염, 간효소 증가

표 5. 금속수은증기노출: 용량반응관계

노출	소변수은	효과
80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과	100 $\mu\text{g}/\text{g creat.}$	진전(tremor), 수은성신경쇠약(erethism), 단백뇨(높은 가능성)
25-80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	30-100 $\mu\text{g}/\text{g creat.}$	객관적으로 진전(tremor), 정신운동행동장애, 신경전도속도의 감소, 피로, 식욕부진, 과민성
	25-35 $\mu\text{g}/\text{g creat.}$	전기생리학적으로 진전이 기록됨, 단백뇨(드물다)
	<30 $\mu\text{g}/\text{g creat.}$	민감한 개인에게서 가벼운 증상이 생길 수 있음을 배제할 수는 없음

* 출처 : WHO: environmental health criteria 118: Inorganic mercury. Geneva: World Health Organization, 1991:168



생물학적 표지자의 수준에 따른 조치

표 6. 요중수은별 임상증상과 예방대책

생물학적 모니터링	임상증상	예방을 위한 행동
1수준(1st level) U-Hg < 35 µg/g.crt or 50 µg/L	임상적증상이 나타나지 않는다.	개입은 필요하지 않다.
2수준(2nd level) U-Hg 35-75 µg/g.crt or 50-100 µg/L	약간의 사소한 임상증상이 타나날 수 있다.	유사노출집단에 대한 의학적 감시가 이루어져야 한다.
3수준(3rd level) U-Hg > 75-100 µg/g.crt or 100-130 µg/L	신경정신적 임상증상이 나타나지만, 명확한 독성은 보이지 않을 수 있다. 임상검사에서 약간의 이상소견이 나타날 수 있다.	의학적 감시의 빈도를 늘려야 한다. 위험성평가를 시행하고, 문제점을 개선해야 한다.
4수준(4th level) U-Hg > 100 µg/g.crt or 130 µg/L	명확한 임상증상이 나타난다. 하지만 이러한 증상은 가역적이다.	노출을 중단시키고, 검사와 치료를 위해 의뢰되어야 한다. 노출위험 평가를 시행하고, 노출위험요인을 개선해야 한다.
5th level U-Hg > 150 µg/g.crt or 200 µg/L	가역적인 변화가 진행되면서 손상을 유발할 수 있다.	즉각적인 노출중단과 치료가 필요하다.

* 출처 : Guidelines to physicians in conducting mercury medical surveillance programs. edition 1, 1998. the chlorine institute, Inc

* 한국고용노동부의 기준은 근로자 기준 200µg/L이고(일반인구는 3.5µg/L), 요중크레아티닌으로 보정한 요중수은 값은 별도로 제시되어 있지 않음

3. 작업환경관리

설비 및 공정의 배치

- 기술적으로 가능한 한 밀폐 시스템 안에서 수은을 사용하도록 해야 한다. 밀폐 시스템이 기술적으로 가능하지 않을 경우, 근로자의 노출 수준을 낮추기 위하여 물질의 상태에 따라 적합한 국소배기장치를 설치하여야 한다. 작업장 내에 수은을 취급하는 작업공정은 분산 배치되지 않도록 하고 가능한 한 타 작업장과 격리시킨다. 예측하지 못한 결과 또는 사고로 인하여 수은의 노출을 신속하게 인지할 수 있도록 모니터링할 수 있는 설비를 제공하도록 한다.

발산원의 밀폐 등 조치

수은취급 업무를 행하는 작업장에는 다음과 같이 발산원을 밀폐하는 조치를 하여야 한다.

- 작업상 필요한 개구부를 제외하고는 완전히 밀폐시킨다.
- 수은의 보관 장소의 내부는 음압으로 유지
- 밀폐실 내부를 음압으로 유지하는 것이 곤란한 경우 또는 개구부 등을 통하여 수은 누출 되는 경우에는 해당 부위에 국소배기장치를 설치하여 수은증기의 발산을 최소화



국소배기장치의 설치 및 관리

조직적 관리방안

수은 취급 업무를 행하는 작업장에 국소배기장치를 설치하는 경우에는 다음의 사항을 고려하여 설치

- ① 국소배기장치의 후드는 기준 이상의 제어풍속이 되어야 한다. 발생하는 부위나 공정에 밀폐된 배기대 상방에 상방형 국소배기장치를 설치하여 수은의 작업장 확산을 줄여야 함
 - 후드는 발산원마다 설치
 - 포위식 또는 부스식 후드를 설치하는 것을 원칙
 - 포위식 또는 부스식 후드를 설치하기가 곤란한 경우에는 외부식 또는 레시바식 후드를 설치하되 수은증기가 발생하는 발산원에서 가장 가까운 위치에 설치
- ② 국소배기장치의 덕트 길이는 가능한 한 짧게 하고 굴곡부의 수를 적게 하여 압력손실을 최소화
- ③ 국소배기장치는 후드, 덕트, 공기정화장치, 배풍기, 배기구의 순으로 설치하는 것이 원칙
- ④ 국소배기장치에 공기정화장치를 설치하는 경우에는 고체흡착 방식, 연소 방식 또는 이와 동등 이상의 성능을 가진 장치를 설치
- ⑤ 국소배기장치의 배기구는 직접 외부로 향하도록 하며, 배기구의 높이는 지붕으로부터 1.5m이상이거나 공장건물 높이의 0.3~1배 이상으로 하여 배출된 수은이 당해 작업장으로 재유입되거나 인근의 다른 작업장으로 확산되지 않는 구조로 함

표 7. 국소배기장치 후드의 제어풍속

물질의 상태	후드 형식	제어풍속(m/sec)
가스 상태	포위식 포위형	0.4
	외부식 측방흡인형	0.5
	외부식 하방흡인형	0.5
	외부식 상방흡인형	1.0

* "제어풍속"이란 국소배기장치의 모든 후드를 개방한 경우의 제어풍속으로서 다음 각 목에 따른 위치에서의 풍속을 말한다.

가. 포위식 후드에서는 후드 개구면에서의 풍속

나. 외부식 후드에서는 해당 후드에 의하여 관리대상 유해물질을 빨아들이려는 범위 내에서 해당 후드 개구면으로부터 가장 먼 거리의 작업위치에서의 풍속

국소배기장치의 정상 가동

- ① 국소배기장치는 작업 중 계속 가동되어야 하며, 작업시작전과 종료 후 일정시간 가동
- ② 국소배기장치는 근로자의 건강, 화재 및 폭발, 가스 등의 유해·위험성에 대하여 기능적으로 안전하게 가동
- ③ 제조 및 시공자의 지침에 따라 조작하고, 공기정화장치의 성능 저하 시에는 즉시 청소, 보수, 교체조치
- ④ 배풍기와 전동기의 베어링 등 구동부에는 주기적으로 윤활유를 주유하고, 벨트가 파손되거나 느슨해진 경우에는 벨트를 교체

국소배기장치의 관리

- ① 덕트 및 배풍기 내부의 유해물질 퇴적 상태 점검
- ② 덕트 접속부의 이완 유무 점검
- ③ 흡기 및 배기 능력의 적정성
- ④ 공기정화장치 내부의 유해물질 퇴적상태 점
- ⑤ 공기정화장치 내부 충전물 등의 파손여부 점검
- ⑥ 소음·진동 및 성능 유지에 필요한 사항 점검
- ⑦ 배풍기의 회전 방향 및 정압, 배기 유량 점검
- ⑧ 기타 국소배기장치의 성능 유지를 위해 필요한 사항



4. 개인보호구

보호신발 (footwear)

- 발에 잘 맞는 신발 지급
- 작업화는 공장 및 작업장 내에서만 신어야함 (신발을 집으로 가져가서는 안됨)
- 신발세척은 오염을 피할 수 있는 별도의 장소에서 시행

보호장갑 (gloves)

- 보호장갑은 수은이 침투하지 않고 부식에 저항이 있는 재질
- 장갑은 주기적으로 교체되어야 함
- 오염정도가 정기적으로 확인되어야 함
- * 가죽장갑은 수은을 흡수하므로 사용해선 안된다.

호흡보호구

- ① 공기정화호흡보호구(chemical cartridge)를 사용
- ② 호흡보호구는 수은이 없는 환경에서 보관
- ③ 예상되는 수은농도를 고려하여 반면형 호흡보호구 또는 전면형 호흡보호구 사용

④ 필터는 최소한 Hg-P3 filter를 사용

- 만약 작업과정에서 다른 물질에 함께 노출될 수 있는 경우, 가령, 클로로알칼리 공장에서 염소(chlorine)와 수은이 동시에 노출되는 경우라면 B-Hg-P3 filter를 사용

⑤ 호흡보호구는 수은의 농도이외에 다른 요인들을 확인한 후 적합한 보호구가 지급되어야 한다.

- 근로자의 육체적 강도의 수준(worker exertion level)
- 카트리지 변이성(cartilage variability)
- 온도와 습도
- 다른 오염물질의 존재

⑥ Air purifying respirator 마저도 보호해줄 수 없는 상황

- 산소농도가 19% 미만일 경우
- 즉각적으로 생명과 건강을 위협하는 상황인 경우, 예를 들어 고농도의 누출사고
- 일산화탄소 농도가 25ppm을 초과할 경우

⑦ 작업방식을 고려한 충분한 착용연습

- 만약 호흡보호구의 면체가 안면에 정확하게 밀착되지 않는 경우, 마스크 내에 음압이 형성되면서 외부 오염물질이 유입될 수 있다.
- 작업자들은 사전에 호흡보호구 적합성 훈련을 받아야 한다.
- 육체적 강도가 심한 작업을 불가피하게 수행해야 할 경우, 공기공급식 호흡보호구(air supplied respirators)를 착용하도록 해야 한다.

⑧ 수은농도별로 착용해야할 보호구

- 0.025~0.050 mg/m³ Hg 일 경우 반면체마스크 (type Hg-P3 filter)
- 0.050~0.250 mg/m³ Hg 일 경우 전면체마스크 (type Hg-P3 filter)
- 0.250 mg/m³ Hg 초과인 경우 공기공급식 전면체 마스크



수은노출 저감을 위한
호흡보호구 [그림5]



3M 6200
with 6009 anti-mercury vapor



전면형 마스크



반면형 마스크



공기공급형 마스크

5. 의학적 조치

의학적 조치가 필요한 경우

- 수은체온계나 수은혈압계가 파손되는 사건으로 인해 수은에 노출된 즉시 대피한 경우라면 의학적 평가가 필요하지는 않음
- 수은이 개방된 공간에 있었고, 수은이 흩어져 있거나, 가열되는 상황이 아니었다면 의학적 평가는 필요하지 않음
- 수은에 오염된 공간이 비교적 공기순환이 이루어지지 않은 밀폐된 공간이었고, 머물렀던 시간이 장시간이었거나, 수은의 양이 다량이었을 경우, 그리고 만약 조금이라도 불확실한 상황이라면 직업환경의학과 전문의와 상담
- 수은에 노출된 후 증상이 있다면, 즉시 응급실로 가야 함. 특히 호흡곤란, 기침, 가래, 열감, 두통, 근육통, 전신발진이 있는 경우 응급상황일 수 있음

수은에 노출되었을 때 응급조치

치료자들의 보호조치

- 수은액체가 흩뿌려져 있을 가능성을 감안하여 마스크를 착용하고, 고무글러브를 착용해야 함. 보호복도 착용하길 권장
- 적절한 보호장비가 없이 오염제거를 시행해서는 안됨
- 오염제거와 응급조치는 환기가 잘되는 구역에서 시행



오염제거(decontamination)

- 소생술 시행 후 오염제거를 수행
- 오염제거는 반드시 환기가 잘되는 곳에서 시행
- 오염된 의복은 벗고, 이중 포장을 한 후 밀봉하여 분리되고 통제되는 안전구역에 보관
- 오염제거는 열린 상처가 있는 부분을 우선적으로 시행해야 하며, 노출되지 않는 피부가 오염되는 것을 피해야 함
- 피부에 어떤 분진물질이 붙어 있다면 제거되어야 하고, 최소 10-15분간 낮은 압력의 물로 충분하게 샤워
- 특히 점막, 피부의 접히는 부위, 손톱, 귀 등에 주의

피부노출에 대한 대처

- 피부에 많은 노출이 있다는 것은 상당한 양의 수은증기에 노출되었을 가능성을 시사
- 위의 오염제거원칙에 따라 오염제거를 시행

안구노출에 대한 대처

- 콘택트렌즈를 끼고 있다면 즉시 제거
- 0.9% 식염수(saline) 1,000mL로 노출된 눈에 즉각적으로 세척 : 국소마취제로 눈을 마취한 후 세척(irrigation)한다. 마취가 즉각적으로 어렵다고 해서 세척이 지연되어서는 안됨
- 마취를 해야 할 경우 모르간렌즈(Morgan lens)를 사용할 수 있음
- 일반적으로 10-15분간 시행하는데, 결막에 리트머스 시험지로 평가하여 PH 7.5-8.0에 도달할 때까지 시행
- 각막손상이 있는 환자는 즉각적으로 안과전문의를에게 의뢰

흡입한 경우에서 대처

- 맑은 공기를 적절한 환기방법으로 흡입
- 산소를 보충
- 산소포화도, 혈압, 맥박수, 체온, 호흡수, 의식을 모니터링

먹은 경우에서 대처

- 특별한 임상적조치가 요구되지는 않음
- 폐흡인(aspiration)이 있는 경우, 흡인성 폐렴에 준하여 치료
- 필요시 다른 보존적 치료

생체 내 수은 모니터링

수은노출현장에서 즉각적으로 수은증기량을 평가하는 것은 현실적으로 어렵다. 생체수은 모니터링은 수은노출수준을 평가할 수 있는 효과적인 방법이다.

혈액수은

- 수은증기가 호흡기로 흡입되면, 빠르게 흡수되어 혈중수은이 급격히 증가하여 노출당일 최대치가 된다. 반감기는 초기와 후기로 나누어 지는데, 초기 단계(fast phase)에서는 평균 3.1일, 후기 단계 (slow phase)에서는 평균 18일의 반감기를 보인다. 노출이 중단 되면 초기 단계(fast phase)에서 혈중수은의 80%가 제거된다. 혈액수은은 금속수은, 무기수은, 유기수은을 모두 반영한다. 일반인구집단에서는 생선의 섭취가 혈액수은 상승의 가장 중요한 원인이다.



소변수은

- 혈액으로 흡수된 수은은 2가 수은으로 산화되어 단백질에 결합한다. 신장에 대부분이 축적되고, 소변을 통해 주로 배설된다. 따라서 소변수은은 최근 수은증기의 흡수량을 가장 잘 반영한다. 소변수은의 최대치는 노출중단 후 19일인데, 이는 신장에 축적되었다 배설되는 시기를 반영한다. 반감기는 단기노출자의 경우는 평균 40일 정도 장기 노출자는 평균 90일 정도이다. 그러나 반감기는 개인적 특성에 따라 편차가 크다는 점을 감안해야 한다. 직업적인 노출이 아니라면, 소변수은이 5 $\mu\text{gHg/g}$ creatinine을 초과하는 것은 극히 드문 일이다. 만약 수은에 직업적으로 노출되지 않은 사람이 35 $\mu\text{gHg/g}$ creatinine을 초과하였다면, 반드시 노출요인을 찾아 문제를 해결해야 한다.

모발수은

- 모발수은은 주로 메틸 수은농도를 반영하며, 수은증기노출을 평가하는 것은 부적절한 것으로 여겨졌다. 그러나 최근 연구에 따르면 수은증기는 모발에 직접 흡착되는 것으로 밝혀졌다. 따라서 모발수은도 어느 정도 당시 금속 수은 노출량을 반영한다. 다만 모발은 1개월에 평균 13mm정도 자라기 때문에 이를 감안하여 분석해야 한다.

착화치료

- 수은중독에서 착화치료로 사용할 수 있는 약물은 D-penicillamine, DMPS (Sodium 2,3-dimercaptopropane-1-sulfonate, 상품명 Dimaval)와 DMSA (meso-2,3-dimercaptosuccinic acid, 상품명 Succimer)가 있다. 둘 다 알약(tablet)으로 되어 있어 경구복용으로 편리하게 복용할 수 있다. DMPS는 BAL(British Anti-Lewisite)의 수은에 높은 친화성을 가진 유사체이다. 독일에서는 지난 50년간 폭넓게 사용되어 오면서 안정성을 인정받았다. DMPS는 흡수되면 빠르게 이황화(disulfide)되고, 산화된 수은과

결합하여 소변으로 배출될 수 있도록 한다. DMSA는 수은중독 치료 시 어린이에게 사용할 수 있도록 FDA에서 승인을 받은 유일한 약물이다. 그러나 몇몇 연구에서는 수은증기에 의한 중독에서 DMSA의 치료의 분명한 임상적 의미를 발견하지 못했다. DMSA는 심한 메틸수은중독에서 가장 빈번하게 사용된다. 착화치료는 부적절하게 처방되었을 때 부작용이 있을 수 있으므로 주의를 요한다.

쥐를 이용한 동물실험에서 14일간 수은에 노출시킨 후 7일 후에 DMSA와 DMPS를 투입하였는데, 둘 다 모두 신장 내 수은을 효과적으로 감소시켰으며, DMPS가 DMSA보다 더 나은 배출 효과를 보였다. 그러나 뇌조직에서의 수은은 제거하지는 못했다. 또한 DMPS와 DMSA가 고농도의 수은노출 후 신장손상을 완화시킬 수 있는지는 아직까지 명확하지 않다.

표 8. 착화치료의 효과에 관한 동물실험

실험 쥐집단	수은농도 ($\mu\text{g}/100\text{g}$ 조직)	
	신장	뇌
수은 (n=8)	2.78 ± 0.60	0.088 ± 0.017
수은 + DMSA (n=8)	0.46 ± 0.20	0.076 ± 0.008
수은 + DMPS (n=8)	0.10 ± 0.02	0.098 ± 0.030
대조군 (n=4)	0.17 ± 0.15	0.0022 ± 0.0005

* 출처 : Toxicology 54:323-333. J Med Toxicol. 2013 Dec; 9(4): 347-354(재인용).

- 착화치료 시 고려해야할 부작용이 있다. 탈수, 칼슘저하, 신장손상, 간효소 증가, 알레르기 반응, 필수 미네랄의 감소 등이다. 가급적 빠른 시일 내에 착화치료가 이루어지는 것이 좋으나, 착화치료가 늦어지면, 체내 수은의 재분배가 일어나는 과정에서 부작용이 생길 가능성이 높아진다.



표 9. 수은중독 착화치료제의 용량, 부작용

착화치료제	용량	부작용
D-penicillamine	10 mg/kg/d for 7 days with a possibility of a prolonged treatment during 2 to 3 weeks, P.O.	과민성피부반응, 백혈구감소증, 혈소판 감소증, 신장염, 위장관 장애
DMSA (Succimer)	10 mg/kg (or 350 mg/m ²) q 8 h for 5 days, then 10 mg/kg q 12 h for 14 days (a total of 19 days), P.O.	위장관 장애, 간수치의 상승
DMPS (Dimaval)	5 mg/kg q 6~8 h, P.O., I.M., I.V., SQ Children: 5-day courses of 200 or 400 mg of DMPS per m ² surface area per day	요통, 위장관 장애, 피부발진, 피로, 과민성피부반응

* 출처 : Ann Occup Environ Med. 2016;28:5

6. 작업 유형별 보건관리 방안

폐형광등 재활용업에서의 보건관리

- 폐형광등은 발생처에서 분리배출되도록 하고 있으며, 지방자치단체는 일반시민이 폐형광등의 분리배출을 용이하게 할 수 있도록 수거함을 설치하고 관리하고 있으며, 운송 과정에 대해 책임이 부여되고 있다. 다만 대형건물, 공장의 경우 사업장에서 깨지지 않게 보관하였다가 일정량(300개 이상)이 모이면 한국조명재활용공사(주)를 통해 처리를 의뢰하게 된다.

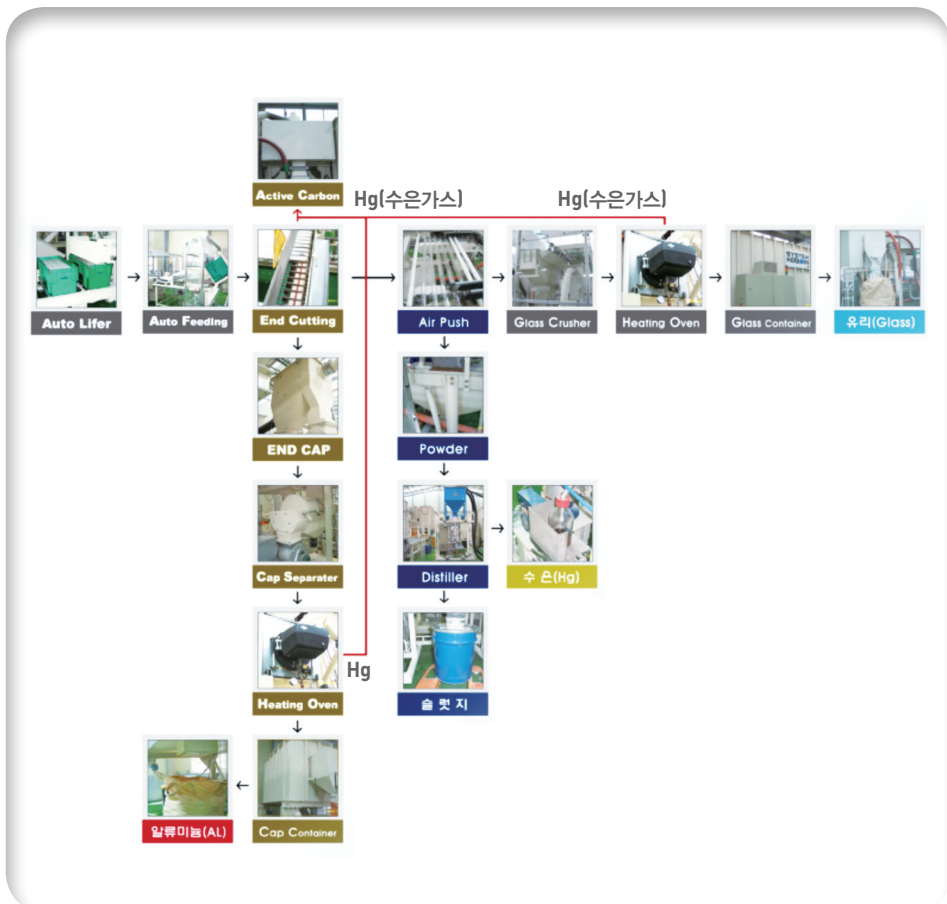
폐형광등처리 과정 [그림6]





- 형광등을 파쇄하면, 유리가 대부분을 차지하며(전체 중량의 70-80%), 플라스틱, 형광분말, 기타물질(알루미늄, 구리, 철, 주석, 납, 세라믹, 수은 등)로 구성된다. 형광등이 파쇄된 후 잔류 수은이 기화되고 나면 대부분의 수은은 형광분말에 함유되어 있다. 따라서 재활용 공정은 폐형광등을 투입하여 분리하고 파쇄한 후 가열 및 증류를 통해 수은을 수집한다.

폐형광등 처리 공정 [그림7]



폐형광등 수거장소에서의 관리

- 폐형광등은 안전하게 봉합되어 보관 : 빗물이 세어들거나, 수은증기가 빠져나가는 것을 최소화할 수 있는 견고한 장소에 보관
- 깨짐을 방지하기 위한 적재 보관방법
 폐형광등을 싣거나, 꺼내는 과정에서 깨질 가능성을 최소화하기 위해 전용 보관함(container)에 보관
 - 비정형적인 형태의 램프(irregular shaped lamps)는 깨지는 것을 최소화하기 위해 직선형태의 형광등(straight tubes)과 분리하여 저장
 - 램프의 종류에 따라 보관함은 적절한 크기를 갖도록 해야 함
 - 큰 보관함보다는 작은 보관함이 다루기 쉽기 때문에 권장
 - 파이프형태의 보관함을 사용하는 경우 떨어지거나 굴러가지 않도록 조치
- 폐형광등 수거장소 : 봉인된 배출장치(sealed drainage)를 가진 불침투성의 표면위에 저장
- 수거장소의 수은 모니터링 : 작업장의 노출한계 이해로 관리되도록 해야 한다. 만약 관리범위를 초과할 경우 문제를 확인하여 즉각적으로 조치를 취함으로써 근무자들의 수은노출을 최소화해야한다.
- 오염구역에서의 위생조치 : 손 씻기, 안전화(footwear protection)과 같은 최소한의 위생조치가 취해져야 함
- 누출시 대응장비와 매뉴얼 : 저장장소에서 램프가 깨지거나, 누출되는 문제를 적절하게 다룰 수 있는 장비와 매뉴얼이 갖추어져 있어야 한다. 수은필터를 가진 산업용 진공청소기 사용을 권장, 빗자루를 사용하는 것은 권장하지 않음
- 기온이 높을수록 깨진 램프로부터 수은증기가 더 많이 나오게 되므로 온도에 대한 모니터링과 적절한 대처가 필요

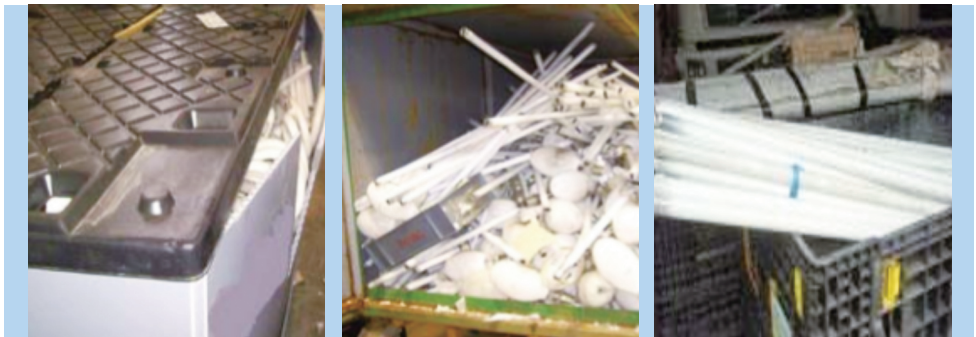


폐형광등 분쇄과정에서의 관리

조절되지 않는 수은증기와 분진이 이동용 또는 고정용 분쇄기로 램프를 분쇄하는 과정에서 발생할 수 있다. 분쇄기(crusher)는 전체 램프를 운반하는 동안 사고에 의해 깨지는 것을 예방하고, 용량(bulk)을 감소시킬 목적으로 사용된다.

- 수은증기와 인/유리분진을 효과적으로 담을 수 있는 장비가 사용되어야 함
- 분쇄된 재료는 안전한 보관함에 저장되어야 한다. 보관을 위한 백은 불투습성의 플라스틱 재질이어야 하고, 견고해야 하며, 찢어지거나, 파손될 위험이 적은 것이어야 함
- 수은증기와 분말의 배출을 예방하기 위해 뚫리거나 찢어진 백은 제 2의 봉합된 보관함에 넣거나 또는 이중으로 적절하게 포장되어야 함
- 모든 백과 드럼(All bags/ drums) 내용물과 수은함유여부에 관한 사항을 라벨에 적도록 해야 함
- 분쇄단위는 효과적으로 포장되고, 분진과 증기를 빨아들일 수 있는 국소환기장치 아래서 조작, 모든 밀봉된 포장은 정기적으로 확인
- 수은증기가 흡수될 수 있도록 먼지(dust)와 탄소(carbon)에 대한 HEPA 필터, 활성탄 필터가 장착되어야 함. 필터의 교체 시기는 상품마다 다양하나, 만약 수은노출이 확인 되는 상태라면 일반적으로 6개월에 한번 씩은 교체가 필요
- 오염된 필터는 수은폐기물이므로 포장하여 절차에 따라 폐기해야
- 정기적으로 분쇄기 주변에 방출되는 수은이 허용기준을 초과하는지 측정. 노출 수준이나 장비의 활용횟수에 따라 적절한 점검 간격을 설정
- 드럼과 백을 교체하는 과정이 가장 높은 일상적인 직업성노출을 보임. 분쇄기 안으로 투입하는 과정에서 튜브가 깨지거나, 팍 들어차면서 노출량이 증가할 수 있음
- 분쇄기를 조작하는 동안 적절한 개인보호장비를 착용하는 것은 필수적
- 분쇄된 램프는 가공 및 분리 공정으로 가기 전 수은의 확산과 노출을 예방하기 위해 적절한 보관함에 저장

- 어떤 분쇄작업도 봉인된 배출장치가 있는 불투습성의 표면 위에서 적절한 장비와 방법으로 시행



형광등 저장 방식의 잘못된 사례



파손을 최소화하기 위한 램프의 저장방법의 좋은 사례



작은 이동용 분쇄기의 수은필터



비전형적 작업조건으로 인해 노출위험이 커질 수 있는 상황

- 폐형광등 수거처리과정에서 한꺼번에 처리물량이 몰리면서, 폐형광등이 정리되지 않고 장시간 적재되어 있는 경우
- 수거체계의 문제로 인해, 폐형광등이 올바른 적재방식을 지키지 않은 상태로 들어왔을 때
- 폐형광등 재활용장비가 수용하기 어려운 비정형적인 모양의 형광등이 들어왔을 때

치과병원에서의 보건관리

- 치과병원에서 아말감(amalgam)의 사용과정에서 수은에 노출될 가능성이 있다. 아말감은 오랫동안 치아의 충전제로 사용되어온 물질이며, 수은이 45-55%, 은 30%, 구리, 주석, 아연과 같은 기타 금속의 혼합물로 이루어져 있다. 현재는 수은이 없는 다른 충전제를 사용할 수 있음에도 불구하고, 아말감은 사용하고 쉽고, 친숙하며, 내구성이 좋고, 가격이 저렴하여 전 세계적으로 가장 폭넓게 사용되는 재료다. 우리나라에서는 치과 아말감용으로 사용되기 위해 수입되는 수은의 양은 약 1톤 정도이며 대한치과의사 협회에 의해 폐금과 함께 폐아말감 수거 시스템을 운영하고 있다.

표 10. 대한치과의사협회 폐아말감수거 시스템 등록업체

업 체 명	연 락 처	비 고
한국아사히프리트텍	02) 551-7449	폐아말감, 폐금 처리업체
정석리파인	031) 877-2845	폐아말감, 폐금 처리업체
(주)도성금속	1644-2845	폐아말감, 폐금 처리업체
다산금속	053) 526-2845	폐아말감, 폐금 처리업체
에닉스	032) 574-0025	폐아말감, 폐금 처리업체
(주)시온금속	032) 875-0711	폐아말감, 폐금 처리업체
(주)한국피지엠	031) 313-2691	폐아말감, 폐금 처리업체
상일금속(주)	1544-2264	폐아말감, 폐금 처리업체

노출될 수 있는 사람

- 치과의사, 치과보조원, 치위생사

노출될 수 있는 상황

- 수은을 다루던 중 었지를 때
- 아말감을 준비할 때
- 아말감 혼합 직후 피부접촉에 의해
- 아말감을 치아충전제로 사용하면서 표면을 연마하거나 광택을 낼 때
- 오래된 아말감 충전제를 제거하거나 복구하는 과정
- 아말감 잔여물 청소, 작업도구, 작업공간을 청소하는 과정
- 작업공간에 누적된 잔여물이 있을 때
- 쓰고 버려진 아말감이나 수은의 처리 과정에서

고농도노출 상황

- 오래된 아말감 치아충전물을 떼어내기 위해 드릴작업을 할 때
- 직접 수작업으로 아말감을 교반할 때
- 수은을 었지르는 사고가 발생하였으나, 적절하게 제거되지 않았을 때

표 11. 치과수술 시 공기 중 수은측정결과

위 치	측정수	공기 중 수은측정결과		
		평균	중앙값	기준치
		25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 시간가중평균값		(25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)초과 %
개인측정(호흡위치)	53	29.2	15.0	29%
의자아래	180	28.9	16.3	38%
수은저장소 아래	180	38.9	21.2	44%
아말감제조기 아래	110	37.8	21.0	42%
폐아말감처리장소 위	163	10.7	8.3	6%
아말감준비구역	179	10.4	8.0	4%
지역측정	112	6.5	5.7	0%

* 출처 : Ritchie, 2004 : Occupational exposure to elemental mercury in odontology/dentistry. University of Massachusetts Lowell; Lowell, Massachusetts, USA. 2012 (재인용)



- 위 결과에 따르면 치과수술과정에서 치과의사의 호흡위치와 아말감제조와 폐아말감 처리영역에서 공기 중 수은은 노출기준을 초과하였다. 이러한 노출의 영향으로 치과의사의 요중수은은 Ritchie의 2004년 논문에서는 2.58, Baelum 의 2007년 논문에서는 3.1 $\mu\text{g/g.cr}$ 으로 일반인구집단에 비해 다소 높았다. 최근, 고성능흡인기가 사용되고 있고, 아말감의 사용빈도가 줄어들어 치과의사 및 치위생사의 수은노출수준은 더 낮을 것으로 추정된다. 일부 치과병원 종사자와 면담결과 2015년과 2016년 아말감 사용횟수는 평균 한 달에 1-2회이고, 아말감제거는 한 달에 4-5회 정도였다. 따라서 노출은 되더라도, 현재 관리시스템이 적절하게 유지된다면 노출위험은 낮을 것으로 예상된다.

치과에서 수은노출경감을 위한 권고

- 수은사용을 최대한 줄여라 : 가능하면 수은 대신 다른 충전제를 사용
- 공학적인 수은노출경감방법을 적용하라 : 적절한 환기장치를 갖추고, 아말감 분리기 (amalgam separators)를 사용하고, 수은누출을 최소화하는 도구를 사용
- 작업체계를 향상시켜라 : 아말감 캡슐을 사용하고, 노출가능성을 줄여주는 저장상자 (container)를 사용.
- 개인보호구를 사용하라 : 글러브, 고글, 가운을 착용하여 액체수은과 아말감 분진으로 부터 보호



표 12. 식약처의 아말감 우수관리지침

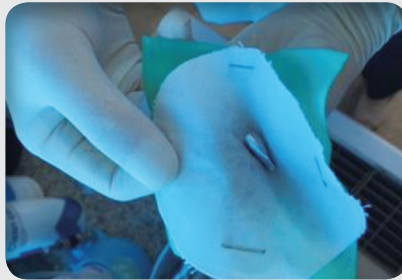
해야 할 것	해서는 안 될 것
미리 캡슐로 싼 합금을 사용하고 다양한 크기의 캡슐을 갖춘다	벌크 형태의 수은을 사용하지 않는다.
사용한 일회용 아말감 캡슐을 재활용	사용한 일회용 아말감 캡슐을 생물유해성 및 감염성 폐기물 용기 또는 일반 쓰레기통에 넣지 않는다
비접촉(스크랩) 아말감을 수집, 저장 및 재활용	비접촉 아말감 폐기물을 생물 유해성 및 감염성 폐기물 용기 또는 일반쓰레기통에 넣지 않는다
제거 후 수복물에서 (접촉) 아말감 조작을 수집하고 아말감 폐기물을 재활용	접촉 아말감 폐기물을 생물 유해성 및 감염성 폐기물 용기 또는 일반 쓰레기통에 넣지 않는다
체어사이드 트랩, 진공펌프필터, 아말감 분리기를 사용하여 아말감을 보존하고 내용물을 재활용	배수관이나 개수대에서 아말감을 함유한 기기를 세척하지 않는다
아말감 수복물을 함유한 치아를 재활용한다. ※주의: 아말감 수복물을 함유한 발치 치아를 살균해야 하는지의 여부는 재활용 처리자에게 문의	아말감 수복물을 함유한 발치 치아를 생물유해성 및 감염성 폐기물 용기, 예기용(sharps) 용기 또는 일반 쓰레기통에 넣어 처리하지 않는다
가능한 재활용을 통해 아말감 폐기물을 관리	배수관이나 변기로 아말감 폐기물을 씻어 내리지 않는다
아말감의 용해를 최소화하는 라인 클리너를 사용	표백제나 염소를 함유한 클리너를 사용해 폐수라인을 세척하지 않는다



표 13. 아말감 사용에 따른 수은노출 경감을 위한 체크리스트

점검항목	확인
1. 아말감을 사용하기 전, 아말감 관리지침서를 읽는다	
2. 수은 등 중금속에 관한 환경유해 물질에 관한 교육을 정기적으로 받는다	
3. 진료 전 아말감메이터(치과용 아말감 제조기)를 사용하기 전, 뚜껑이 안전한지, 캡슐의 뚜껑이 잘 밀폐 되어 있는지, 캡슐이 잘 꽂혀 있는지 점검 한다	
4. 독성에 예민한 어린이, 임산부의 경우 아말감 사용에 주의 한다	
5. 아말감을 잔여수은제거할 때, 맨손으로 하지 않고 핀셋 등을 이용 한다	
6. 아말감 취급 시 마스크와 진료용 장갑을 착용 한다	
7. 잉여 아말감을 제거하기 위하여 썬션을 사용한다	
8. 진료 후 '남아 있는 아말감을 수거 해 가기 전, 뚜껑이 있는 용기에 보관 한다	
9. 아말감 충전이 끝난 후 착용하였던 의료용 장갑은 매번 폐기 한다	
10. 아말감 충전 후, 매번 손을 씻는다	
11. 아말감 사용 후, 남아있는 아말감을 폐기물관리법에 의해 처리 한다	
12. 아말감을 취급할 때는 진료실내에 통풍이 잘 되도록 한다	
13. 아말감을 취급할 때는 환자에게 러버댐(방습)을 장착 한다	
14. '아말감 사용 후, 실내공기를 환기 시킨다'	

치과병원에서의 아말감
사용과 폐기 관리 [그림8]



① 만들어진 아말감



② 남은 아말감이나 아말감 폐기물을 수거하는 폐아말감 및 잉여수은 수거함을 사용하고, 뚜껑을 닫아 보관함



③ 밀폐구조의 아말감 자동교반기를 사용하여 필요한 양을 정확하게 만듦



④ 수은은 정해진 용기에 보관하며, 용기는 실수로 누출되지 않도록 설계된 것을 사용

치과병원에서 사용되는 마스크와
일회용 전면마스크





수은 취급시설 철거·해체업무의 보건관리

남영전구 수은중독 사고는 수은을 취급하던 사업장에서의 통상적인 노출이 아니라, 시설의 철거과정에서 발생한 사고였다. 이처럼, 사용이 중단된 설비, 시설, 기구를 철거 및 폐기하는 과정에서 수은에 노출되는 사고가 발생하는 바 이에 대한 예방대책을 수립할 필요가 있다.

수은취급시설 철거 시 수은중독사고의 주요 발생원인

- 유해물질에 대한 사전정보 부족
- 안전한 작업방법에 대한 교육과 훈련 부족
- 수은 취급시설을 안전하게 해체하는 순서 무시
- 파이프나 기계설비의 위험물질은 사전배출, 퍼지작업 무시 및 소홀
- 공정을 멈추지 않은 상태에서 유지 보수작업을 함
- 만약의 누출을 대비한 환기조치 미흡 또는, 밀폐공간에서 작업
- 만약의 누출을 대비한 안전설비, 포집시설, 처리설비 미비
- 만약의 누출을 대비한 감지 및 경보설비 미비
- 최대노출수준을 고려한 적합한 보호장비가 지급되지 않음
- 위험상황시 작업중단 권한과 책임을 가진 관리감독자가 부재함
- 경험이 부족한 위험작업에서 안전성검증체계가 부재

사전조사수행 및 작업계획서 작성

철거작업 전 화학물질 정보 및 배출공정 확인을 위해 사전 검토해야 할 정보의 목록은 다음과 같음

- 기존에 제출한 화학물질 배출량 보고
- 구매기록표
- 제고품 목록표
- 물질안전보건자료
- 공정도
- 작업환경측정기록, 대기 및 수질 측정기록
- 제조사 발생 성분내역서
- 시험성적서
- 배출시설 및 방지시설 운영기록부
- 폐수 위수탁 확인서
- 사업장 폐기물관리대상
- 폐기물 배출 및 처리실적 보고서
- 사고기록부
- 생산실적 보고서
- 유해화학물질 실적보고서
- 유해화학물질 관리대장
- 유해화학물질 성상과 독성 및 관리정보

작업계획서 작성

관리책임자는 해체방법 및 순서를 담은 작업계획서 작성해야 한다. 작업계획서에는 작업자의 안전을 위해 다음과 같은 내용이 단계마다 포함되어 있어야 한다.

- 해체순서에 따른 위험요인과 위험발생 시 대처방법
- 만약의 위험발생을 대비하기 위한 방호 및 환기설비
- 해체된 위험물질의 안전한 처리방법과 절차
- 각 작업단계 별 착용해야할 개인보호장비



작업자 안전교육

작업자에게 수은취급시설 해체 및 철거 시 수은 및 수은화합물 취급 및 처리요령을 교육하고 훈련해야 한다.

이론교육

- 수은 및 수은폐기물의 정의
- 수은의 화학적 특성
- 수은의 인체 및 환경영향 : 수은중독 시 나타나는 증상
- 수은으로부터 작업자의 안전과 건강을 보호하는 방법
- 노출 최소화를 위한 기술적 차단 및 확산방지 방법
- 수은노출 시 응급처치

실습교육

- 잔류되어 있는 수은오염을 제거하는 방법
- 수은 및 수은오염물 처리방법
- 개인보호구 착용방법
- 개인보호구 사용 후 처리방법
- 응급상황에 대비한 모의 훈련



취급시설 가동정지 및 작업 전 조치

- 운전정지 후 잔여물 확인
- 누출감지 및 경보설비 설치
- 응급사고 발생 시 비상연락망 확보
- 폐기물의 임시 보관 장소 확보
- 외부통제 (필요시 음압유지)
- 수은저감 설비 설치

행정절차

- 수은취급시설 운영자는 휴폐업신고서를 유역(지방) 환경청에 제출
- 수은취급시설운영자는 “도급계획 및 화학사고 안전관리계획서”를 유역(지방) 환경청에 제출 : 처리해야할 수은폐기물의 명확하게 명시
- 이에 따라 유역(지방) 환경청에서 신고서를 접수하고, 검토 및 현지 확인 절차를 통해 확인증이 발급되면 이후 해체 및 철거작업을 진행

수은오염제거 및 시설해체

- 관리감독자 (또는 안전관리자)는 주기적으로 위험발생을 확인
- 작업자들의 안전수칙준수 및 개인보호장구 착용 적절성 확인
(개인보호장구의 착용이 적절하지 않은 경우, 원인을 파악하여 재안전교육, 적절한 개인보호장구로 교체 등의 조치)
- 주기적으로 작업장 공기를 측정하여 누출여부를 확인
- 폐기물의 반출이 적절하게 이루어지고 있는지 점검
- 우발적 오염상황이 있는지 확인하고, 개선조치를 시행

수은폐기물 처리 및 정리정돈

- 철거작업 후 발생된 폐기물(철거과정에서 나온 폐기물, 공구, 작업복 포함)을 임시 보관 장소에 밀폐하거나, 제염처리하여 보관
- 전문폐기물업체를 통해 폐기
- 작업종료 후 철거환경에 대한 주기적인 환경모니터링을 실시
- 작업종료 후 작업자들의 건강영향을 평가.(증상확인, 소변수은검사)



수은오염지역 수은 회수작업 시 개인보호구착용모습



수거한 바닥을 플라스틱용기에 소분하여 밀봉

수은함유 제품의 파손 시 대처

수은의 안전한 제거의 중요성

수은은 매우 독성이 강한 액체로 된 금속이다. 만약 수은이 누출되었을 때, 방울형태로 흩어지며, 표면적이 증가하여 공기와 접촉면이 증가되면, 공기 중으로 방출되는 증기가 많아진다. 만약 환기가 적절하지 않은 경우 수은증기가 공기 중에 포화될 때까지 증가될 수 있으며, 수은이 적절한 방법으로 제거되지 않는다면 오염구역에서 일하는 노동자나 방문자들은 고농도의 수은에 노출될 수 있다. 적은 양의 수은이라도 수은중독을 일으킬 수 있으며, 특히 어린이들의 경우 심각할 수 있다. 수은증기가 확산되더라도 냄새도 색깔도 없기 때문에 인지하기 어렵다. 만약 기온이 올라가면 더 많은 증기가 방출된다. 실내온도가 10도 상승하면 수은의 증발률은 거의 2배가 된다.

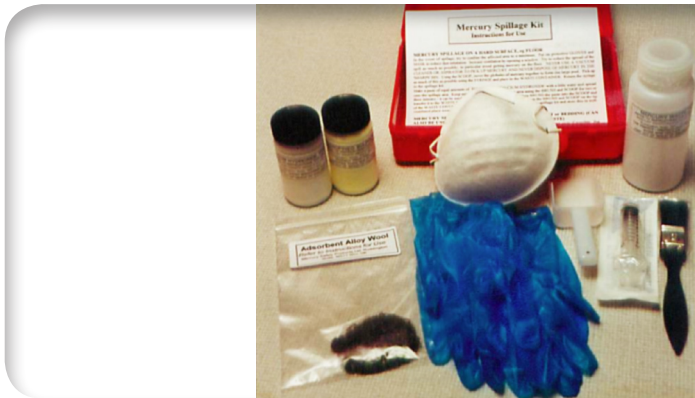
엃지름 사고 대응체계

사업장의 특성에 맞게 다음과 같은 사항들에 대한 대응매뉴얼이 마련되어 있어야 한다.

1. 보고체계
2. 오염구역 통제 및 확산차단 방법
3. 엃지름 사고가 매우 광범위하고, 위험할 경우 대응책
4. 오염제거에 활용할 수 있는 장비 준비(수은스필키트)
5. 오염제거에 투입되는 인력의 사전 훈련(장비, 보호구사용)
6. 오염된 작업자의 오염제거
7. 수은과 수은에 오염된 물체를 폐기하는 방법
8. 오염제거 완료 후 공간재사용의 원칙(공기 중 수은을 평가하여 이를 근거로 결정)

수은스필키트(Mercury Spillage Kit)와 사용법

수은을 사용하거나, 수은이 함유된 기구를 사용하는 모든 곳에서는 수은스필키트는 적은 양의 수은이 누출되었을 때 짧은 시간 내 처리가 가능하다는 전제조건 하에 사용되어야 한다. 수은 스피키트는 상용화된 제품을 온라인상으로 구입할 수 있으며, 가격대는 50,000-60,000원 선이다.

수은스필키트
[그림9]

수은스필키트의 기본구성품

- 1) 개인보호구 : 마스크, 글로브 2쌍, 보안경
- 2) 폐수은수거용기 : 플라스틱통, 비닐지퍼백
- 3) 수거용 도구: 소형 쓰레발기, 붓, 50cc 실린지, 뾰뚱한 종이, 접착테이프, 쇠수세미 조각 (Alloy Wool)
- 4) 황 분말, 소석회(수산화칼슘)
- 5) 손전등

수은온도계나 혈압계가 파손되었을 때

가장 먼저 해야 할 일

사람들이 오염 가능한 구역으로 들어오지 못하게 해야 함

표 14. 수은누출 시 주의사항과 이유

주의사항	이유
수은을 손으로 만지지 마세요.	수은은 피부에 흡수될 수 있고, 손으로 다른 사물을 만져서 2차 오염을 일으킬 수 있다.
진공청소기로 빨아들이지 마세요.	진공청소기를 오염시킬 뿐만 아니라, 수은입자와 증기가 확산되게 만든다.
빗자루나 붓으로 쓸어내지 말아야 합니다.	수은을 더 작은 알갱이로 만들고, 사방에 흩어지게 하고, 확산시키거나 오염시킨다.
하수구에 버려서는 안됩니다.	수은은 사라지지 않고 생태계에 잔류하여, 먹이사슬을 통해 사람에게 다시 전달된다.
소각로에 버려서는 안됩니다.	수은에 열이 가해지면 수은증기가 다량 발생하여 위험한 상황이 발생할 수 있다.
가정용 세척제로 수은을 청소 하지 말아야 합니다.	세척제에 함유되어있는 염소계나 암모니아류가 수은과 급격히 반응하여 독성 가스를 만들 수 있다.

소량누출 시 대응방법

초동조치

- 수은누출정도의 파악
- 누출지역에 들어오지 못하도록 통제

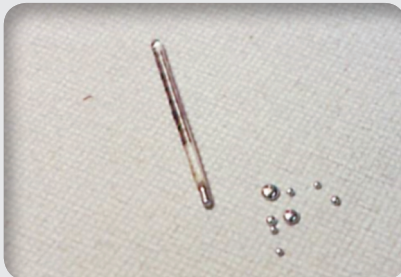


- 노출된 수은에 대한 최초 조치, 확산억제
- 누출지역에 있는 사람을 대피
- 수은증기를 확산시키는 요소 차단 (바람, 온도, 사물의 움직임)
- 환기를 통해 수은농도 희석
- 수은 처리 준비

수은응급처리키트가 없을 경우

- 플라스틱 카드를 통해 육안으로 보이는 수은 제거
- 손전등과 접착테이프를 통해 미세 수은 액적 제거

대처사례 1. 딱딱한 바닥에 수은온도계를 떨어뜨려 깨진 경우



① 수은스필키트를 꺼내 장갑과 마스크를 착용한다. 깨진 온도계 유리를 수거통에 집어넣는다.



② 소형 쓰레받기로 수은방울을 모아 큰 방울로 만든다. 그리고 담아서 수거통에 집어넣는다.



③ 쓰레받기로 처리하기 어려운 작은 방울은 실린지로 흡입할 수 있다.



④ 소석회, 황을 담은 용기의 뚜껑을 연다.



⑤ 황분말과 소석회분말을 잔류 수은에 뿌린다.
이 때 황가루가 갈색으로 변한다.



⑥ 소형 쓰레받기로 분말과 수은을 섞는다.
황과 수은이 반응하도록 문지른다. 황분
말을 수은증기가 발생하지 않도록 만든다.



⑦ 조심스럽게 오염된 분말을 쓰레받기에
담는다.



⑧ 쓰레받기에 담은 분말을 수거통에 조심
스럽게 넣는다.

딱딱한 바닥에 수은온도계가 깨졌을 때 처리절차



대처사례 2 - 카페트나 패브릭 소재의 바닥에 수은 온도계가 깨져 수은이 흘러졌을 때



① 글러브를 착용하고, 깨진 유리조각을
줍는다.



② 소형 쓰레받기와 실린지를 이용하여 수은
방울을 크게 만든 후 수거한다.



③ 수거한 수은을 수거통에 넣는다.



④ 금속스펀지를 적당한 크기로 떼어낸다.
작은 방울 하나당 지름 2.5cm의 조각을
쓴다고 보면 된다.



⑤ 잔류한 수은을 금속스펀지로 흡착해낸다.



⑥ 수은이 금속스펀지에 흡착되는지 확인한다.



⑦ 흡착된 수은을 금속스펀지와 함께 수거통에 버린다.

⑧ 완벽하게 제거되지 않은 카펫나 패브릭은 폐기처분한다.

카펫에 수은이 흩어졌을 때 처리절차

기타 상황에서의 대처

- 흡습성이 있거나, 틈새에 수은이 스며든 경우
: 틈새표면을 에폭시 페인트, 폴리우레탄으로 밀봉
- 싱크대나 하수구에 흘렸을 경우
: 배관형태확인(P자, S자) 후, 꺾인부분의 배관을 분리하여 밀폐용기에 담아 폐기처분 후 새로운 관을 설치
- 물속에 흘렸을 경우
: 수은방울이 흩어지지 않게 주의하여 작은 컵 등으로 물 모두 제거, 밀폐용기에 수은방울 회수한 뒤 남은 물 배수



• 형광등 파손시

: 파손된 공간은 즉시 환기하고, 유리와 잔재물은 보호장갑을 사용해 밀폐용기에 담아 폐기

• 옷이나 신발에 수은이 묻었을 때

: 제거할 수 없거나, 다 제거했는지 확실하지 않은 상태라면 폐기



06

chapter

부록

- 작업장에서 금속수은의 공기 중 노출 기준
- 수은관련 고용노동부 예규 및 고시
- 수은관련 고용노동부 KOSHA GUIDE





부록 1. 작업장에서 금속수은의 공기 중 노출 기준

구 분	노출한계	비 고
NIOSH IDLH	10 mg/m ³	수은증기의 25℃에서의 최대포화농도는 18 mg/m ³
OSHA PEL	0.1 mg/m ³ TWA	
NIOSH REL	0.05 mg/m ³ TWA skin	
ACGIH TLV	0.025 mg/m ³	
한국 TWA	0.025 mg/m ³	(= 25μg/m ³)
유럽 TWA	0.02 mg/m ³	
WHO limit for public exposure	0.001 mg/m ³ (=1μg/m ³)	30μg/m ³ 에 노출된 근로자에서 떨림(tremor)이 보고되었고, 15μg/m ³ 에서도 세뇨관손상지표의 이상이 있었다.
EPA RfC	0.0003 mg/m ³	2007년 국립환경과학원의 대기 중 수은 실태조사에서 서울 5개 지역의 대기중 수은농도는 3.74ng/m ³ (범위 3.35-4.37ng/m ³)이었다. (=0.0037μg/m ³)
ATSDR MRL	0.0002 mg/m ³	

※ IDLH: Immediately Dangerous To Life or Health Concentration
 PEL: Permissible Exposure Limit. 작업 중 초과하지 말아야 할 노출수준
 REL: Recommended Exposure Limit
 TLV: Threshold Limit Value
 TWA: 8 hours time weighted average
 MRL: Inhalation Minimal Risk Level
 RfC: Inhalation Reference Concentration

부록 2. 수은관련 고용노동부 예규 및 고시

구분	번호	구분
고용노동부 예규	제2015-88호	근로자 건강진단 관리규정
	제2014-66호	화학물질의 유해성·위험성 평가에 관한 규정
고용노동부 고시	제2016-23호	근로자 건강진단 실시기준
	제2016-41호	화학물질 및 물리적 인자의 노출기준
	제2016-18호	산업재해예방시설자금 융자 및 보조지원사업 운영규정
	제2016-17호	사업장 위험성평가에 관한 지침
	제2014-65호	산업안전·보건교육규정
	제2016-14호	신규화학물질의 유해성·위험성 조사 등에 관한 고시



부록 3. 수은관련 KOSHA GUIDE

구 분	번 호	제 목
KOSHA GUIDE	A-44-2015	수은에 대한 작업환경측정, 분석기술 지침
	H-15-2011	수은의 생물학적 노출지표물질 분석에 관한 지침
	H-147-2014	특별관리물질 취급 근로자 작업환경관리 지침
	W-6-2013	화학물질의 유해성·위험성 분류 지침
	G-32-2012	임산부의 작업 시 안전보건에 관한 기술지침
	H-82-2012	호흡용 보호구의 사용 지침
	P-51-2012	경고표지를 이용한 화학물질 관리에 관한 기술지침
	W-6-2012	화학물질 유해성·위험성 평가 지침
	W-14-2012	경고표지 작성 지침
	W-15-2012	물질안전보건자료 작성 지침
	H-42-2011	피부보호구의 사용 지침- 보호용 장갑

[연구진]

연구기관	을지대학교 산학협력단
연구책임자	김숙영 (교수, 을지대학교 간호대학)
연구원	송한수 (교수, 조선대학교 의과대학)
연구상대역	이상희 (차장, 안전보건공단 직업건강실)

[연구기간]

2016. 6. ~ 11.

2017-직업건강-886

「수은 취급근로자」의 직업건강가이드라인

- 발 행 일 : 2017년 10월
- 발 행 인 : 안전보건공단 이사장 이영순
- 연구책임자 : 을지대학교 김숙영
- 발 행 처 : 안전보건공단 직업건강실
- 주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400(북정동)
- 전 화 : (052) 7030-640
- 팩 스 : (052) 7030-317
- Homepage : <http://www.kosha.or.kr>

산업재해예방

안전보건공단



안전보건공단 울산광역시 중구 종가로 400(북정동)