최종보고서

# 허용기준 설정대상 유해인자 선정을 위한 유해성·위험성평가 및 산업체 노출실태 평가 연구

김기연·변상훈·노영만·김치년

산업재해예방
안전보건공단
산업안전보건연구원

# 요 약 문

## 1. 연구제목 : 허용기준 설정대상 유해인자 선정을 위한 유해성 · 위험성 평가 및 산업체 노출실태 평가 연구

## 2. 연구 필요성 및 목적

노출기준 설정 물질의 제·개정에 대한 연구는 지금까지 상당 부분 수행된 반면, 허용기준 설정 물질의 경우 2006년 허용기준 도입 관련 연구 수행 이후 검토 관련 연구가 상대적으로 미진한 상황이다.

현재까지 수행된 허용기준 연구를 살펴보면 “허용기준 기 설정 대상 유해인자의 허용기준 개정을 위한 유해성·위험성 평가 및 사회성·경제성 평가(2014)”를 통해 13종 중 7종 에 대한 새로운 허용기준치가 제안되었다. 2015년의 경우 “허용기준 설정물질 확대 필요성 및 선정 기준에 관한 연구”를 통해 취급 근로자에게 건강장해를 유발할 수 있는 화학물질을 허용기준 설정물질로서 추가 확대하는 선정방안에 대해 검토하였고, 그 결과로 허용기준 설정대상 확대 후보 물질로서 71종을 선정하였다.

본 연구에서는 “허용기준 설정물질 확대 필요성 및 선정 기준에 관한 연구(2015)”에서 허용기준 설정대상 확대 후보 물질로 선정한 75종 중 1차 후보 물질로 제안된 15종 화학물질을 대상으로 유해성·위험성 평가, 노출실태 조사, 기술적 타당성 평가를 통해 산업안전보건법상 관리수준 변경에 필요한 사회경제성 평가 대상물질 선정의 과학적 근거를 제공하고자 한다.

## 연구 내용 및 방법

O 유해성·위험성 평가

유해성 확인의 경우 대상 화학물질 15종에 대한 유해성 및 물리·화학적 특성

정리, 선진국(EU, 미국)의 데이터베이스를 활용한 물리·화학적 특성 추가 조사, 선진국(유럽, 미국, 일본 등) 주요 기관의 유해성·위험성 평가 보고서 검토를 통해 실시하였다. 유해성 입증은 국내 사고사례 조사는 환경부 유해물질 사고사례집과 화학안전정보공유시스템(CSC)을 이용하였으며, 국외 사고사례 조사는 ACGIH TLV Documentation, 독일 MAK 자료를 활용하여 수행하였다. 근로자 노출평가는 작업환경 측정 결과를 국내외 노출기준과 비교하여 나타나는 초과율을 분석하여 수행하였다.

O 국내 취급실태 분석

환경부 화학물질 통계조사자료(2002년, 2006년), 고용노동부 작업환경실태조사 자료(2009년, 2014년), 한국무역협회 자료(2011~2015년)를 대상으로 검토하여 분석하였다.

O 국내외 노출기준 조사

연구대상 물질 15종에 대한 국내와 국외 주요 국가의 노출기준, 미국 OSHA의 허용기준(PEL), 국내 타 부처의 규제기준, GHS 분류결과의 비교 조사를 통해 수행하였다.

O 작업환경 측정 및 분석 방법 제시

현행 관련고시(고용노동부고시 제2016-39호) 제42조의2에 근거한 기존 화학물질의 측정 및 분석 방법의 적정성을 검토하여 작업환경 측정 및 분석 방법을 제안하였다.

O 사회성·경제성 평가 대상 물질 선정 절차 제안

본 평가 항목의 분석 결과를 종합화하여 사회성·경제성 평가 대상 물질의 선정 절차를 제안하였다.

## 연구결과

O 유해성·위험성 평가

유해성 확인은 국외 주요기관에서 발표한 유해성·위험성 평가 보고서에 근거하여 수행하였고, 추가적으로 TLV documentation을 고찰하여 실시하였다.

유해성 입증의 경우 국내외 직업병 진단사례 분석을 통해 실시하였다. 국내 직업병 진단사례 및 급성중독 발생사례 분석결과 직업병 진단사례는 톨루엔, 망간, 코발트 순으로, 급성중독의 경우 디클로로메탄, 메틸알코올, 톨루엔 수은, 트리클로로메탄 순으로 발생되는 것으로 조사되었다. 국외 직업병 사고사례 분석결과, 상위 3종은 일산화탄소, 아닐린과 아닐린동족체, 망간 및 그 무기화합물이며 하위 3종은 니켈카보닐, 시클로헥사논, 트리클로로메탄으로 분석되었다.

작업환경 측정결과에 근거하여 노출기준 초과율을 분석한 결과, 베릴륨 및 그 화합물이 가장 높았으며 니켈카보닐이 가장 낮은 것으로 분석되었다. Monte - Carlo Simulation 기법 적용시 망간 및 그 무기화합물이 가장 높았으며, 휘발성 콜타르피치, 니켈카보닐, 베릴륨 및 그 화합물, 아닐린과 아닐린동족체, 시클로헥사논이 가장 낮게 조사되었다.

O 국내 취급실태 분석

한국무역협회 자료를 검토한 결과, 수입량의 경우 전반적으로 시간이 경과함에 따라 증가하는 경향이 관찰되었고, 반대로 수출량은 감소하는 경향이 나타났다. 환경부 화학물질통계조사 및 고용노동부 작업환경실태조사 자료 모두 평가대상 물질 모두 시간이 경과함에 따라 제조량, 사용량, 유통량이 증가하는 경향이 관찰되었다.

O 국내외 노출기준 조사

15종 화학물질에 대한 국내와 국외 주요 국가의 노출기준들을 정리하였고, OSHA의 PEL에 대한 정보도 제시하였다. 동시에 GHS 분류 결과를 검토하여 연구대상 물질별로 비교하여 제시하였다(세부적인 연구결과는 본문 참조).

O 작업환경 측정 및 분석방법 제시

15종 화학물질에 대한 작업환경 측정 및 분석방법은 NIOSH, OSHA, KOSHA GUIDE 순으로 개별 작성하여 비교 분석하였고, “작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시(제2016-39호)” 별표 2에 근거하여 측정 및 분석방법을 제안하였다.

O 사회성·경제성 평가 대상 물질 선정 절차 제안

평가 항목들의 상호 조합에 따른 가중치 설정에 근거하여 사회성·경제성 평가 대상 물질 선정을 위한 절차 방법을 제안하였고, 본 프로세스에 따라 15종 물질에 대한 평가 우선 순위를 참고로 제시하였다.

## 활용방안 및 기대성과

본 연구에서는 2015년도에 수행된 연구결과를 근거로 선정된 15종 화학물질을 대상으로 화학물질 유해성·위험성 평가지침(KOSHA GUIDE W-6-2012)에 따른 유해성•위험성 평가, 근로자 취급실태 분석, 국내•외 노출기준 조사, 작업환경 측정 및 분석 방법의 고찰을 통해 허용기준 설정을 위한 사회성·경제성 평가 물질로서 권고될 것을 기대하는 바이다. 추후 본 연구 결과가 검토대상 화학물질의 허용기준 설정을 위한 기초자료로 유용하게 활용될 것이다.

## 중 심 어

허용기준, 유해성·위험성, 취급실태, 노출기준, 작업환경측정, 사회성·경제성

## 참고문헌 및 연락처

O 참고문헌 (후첨)

O 연락처

연구책임자 : 부산가톨릭대학교 산업보건학과 김기연 교수

(연구원 담당자 : 이권섭 부장)

연락처 : lks0620@hanmail.net

# 본 문 차 례

Ⅰ. 서 론 ····· 1
1. 연구배경 및 필요성 ····· 1
2. 관련 선행 연구에 대한 내용 분석 ····· 10
3. 연구목적 ····· 22

Ⅱ. 연구내용 및 방법 ····· 24
1. 연구내용 및 범위 ····· 24
2. 연구방법 ····· 27
3. 연구추진계획 ····· 64

Ⅲ. 연구결과 ····· 65
1. 유해성·위험성 평가 ····· 65
2. 국내 취급실태 분석 ····· 105
3. 국내외 노출기준 조사 ····· 118
4. 작업환경 측정 및 분석방법 제시 ····· 151
5. 사회성·경제성 평가 대상 물질 선정 절차 제안 ····· 194

Ⅳ. 결론 ····· 200

참 고 문 헌 ····· 209

부 록 ····· 276

# 표 차례

<표 I-1> 산업안전보건법상 화학물질 관리 조항 ····· 3
<표 I-2> 2005년 국내 직업병 및 사회적 물의 발생 물질 ····· 6
<표 I-3> 현 허용기준 설정대상 유해물질(산안법 제39조의2) ····· 7
<표 II-4> 물리화학적 특성 조사를 위한 항목 ····· 27
<표 II-5> 물리·화학적 특성 데이터베이스 ····· 28
<표 II-6> 산업안전보건법 제39조의2 제1항 개정 추진안 ····· 31
<표 II-7> 흡입단위위험도(IUR)값을 이용한 RfCwork 변환 방법 ····· 41
<표 II-8> 경구경사값(SF)의 흡입단위위험도(IUR) 변환 방법 ····· 42
<표 II-9> BMDL10 등 발암성 시험값을 이용한 RfCwork값 산정 방법 ····· 44
<표 II-10> 비발암성 물질의 용량-반응평가 적용 사례 -흡입독성 자료를 이용한 경우 ·· 46
<표 II-11> 비발암성 물질의 용량-반응평가 보정계수 통일화 지침 ····· 47
<표 II-12> 경구독성 시험에서 시험동물별 보정계수 ····· 48
<표 II-13> 미국 환경보호청의 RfC를 사용하여 RfCwork를 보정하는 방법 ····· 49
<표 II-14> 환경부 화학물질 통계조사 범위 ····· 51
<표 II-15> 산업안전보건법 제39조2(유해인자 허용기준의 준수) ····· 57
<표 II-16> 산업안전보건법 시행령 제31조(허용기준 이하 유지 대상 유해인자) ····· 58
<표 II-17> 산업안전보건법 시행규칙 제81조의4(허용기준) ····· 58
<표 II-18> 건강유해성 구분별 가중치 부여 기준 ····· 60
<표 II-19> 직업병 발생 평가 항목 가중치 부여 기준 ····· 61
<표 II-20> 노출가능성 고려한 가중치 부여기준 ····· 62
<표 II-21> 변동비율에 따른 가중치 부여기준 ····· 62
<표 II-22> 근로자 노출평가(초과율) 점수 부여 기준 ····· 63
<표 III-23> 연구대상물질의 GHS에 따른 유해성 및 물리·화학적 특성 정리 ····· 66
<표 III-24> 유해성 확인 단계 ····· 75
<표 III-25> 국내 직업병 사고사례 조사 결과 ····· 76
<표 III-26> 국내 급성중독 관련 사고사례 조사 결과 ····· 78
<표 III-27> 근로자 노출평가 결과 ····· 86

<표 III-28> 근로자 노출평가 결과(계속) ····· 87
<표 III-29> 근로자 노출평가 결과(계속) ····· 88
<표 III-30> 근로자 노출평가 결과(계속) ····· 89
<표 III-31> 근로자 노출평가 결과(계속) ····· 90
<표 III-32> Monte-Carlo simulation 기법을 이용한 근로자 노출평가 결과 ····· 95
<표 III-33> Monte-Carlo simulation 기법을 이용한 근로자 노출평가 결과(계속) ··· 96
<표 III-34> Monte-Carlo simulation 기법을 이용한 근로자 노출평가 결과(계속) ··· 97
<표 III-35> 연구대상 물질 대상 용량-반응 평가 및 위험성 결정 ····· 101
<표 III-36> 연구대상 화학물질(15종)의 화학물질 통계조사 분석결과 ····· 107
<표 III-37> 연구대상 화학물질(15종)의 화학물질 통계조사 분석결과 (계속) ····· 108
<표 III-38> 연구대상 화학물질(15종)의 작업환경실태조사 분석결과 ····· 111
<표 III-39> 연구대상 화학물질(15종)의 작업환경실태조사 분석결과 (계속) ····· 112
<표 III-40> 연구대상 화학물질(15종)의 한국무역협회 자료 검토결과 ····· 115
<표 III-41> 연구대상 화학물질(15종)의 한국무역협회 자료 검토결과 (계속) ····· 116
<표 III-42> 톨루엔(108-88-3)의 국내외 노출기준 ····· 118
<표 III-43> 수은(7439-97-6)의 국내외 노출기준 ····· 120
<표 III-44> 휘발성콜타르피치(65996-93-2)의 국내외 노출기준 ····· 121
<표 III-45> 일산화탄소(630-08-0)의 국내외 노출기준 ····· 122
<표 III-46> 베릴륨(7440-41-7) 및 그 화합물의 국내외 노출기준 ····· 124
<표 III-47> 니켈카보닐(13463-39-3)의 국내외 노출기준 ····· 126
<표 III-48> 아크릴로니트릴(107-13-1)의 국내외 노출기준 ····· 126
<표 III-49> 스티렌(100-42-5)의 국내외 노출기준 ····· 128
<표 III-50> 메틸알코올(67-56-1)의 국내외 노출기준 ····· 130
<표 III-51> 망간(7439-96-5) 및 그 무기화합물의 국내외 노출기준 ····· 132
<표 III-52> 아닐린과 아닐린 동족체(62-53-3)의 국내외 노출기준 ····· 134
<표 III-53> 시클로헥사논(108-94-1)의 국내외 노출기준 ····· 135
<표 III-54> 코발트(7440-48-4) 및 그 무기화합물의 국내외 노출기준 ····· 137
<표 III-55> 디클로로메탄(75-09-2)의 국내외 노출기준 ····· 139
<표 III-56> 트리클로로메탄(클로로포름)(67-66-3)의 국내외 노출기준 ····· 140
<표 III-57> 미국 OSHA의 허용기준(PEL) ····· 142
<표 III-58> 국내외 타 부처의 규제기준 ····· 143
<표 III-59> 한국산업안전보건공단 및 환경부의 GHS 분류결과 ····· 146
<표 III-60> 현행 허용기준 설정물질의 물질별 시료채취 및 분석방법 요약 ····· 152
<표 III-61> 현행 허용기준 설정물질의 물질별 시료채취 및 분석방법 요약(계속) · 153

<표 III-62> 현행 허용기준 설정물질의 물질별 시료채취 및 분석방법 요약(계속) · 154
<표 III-63> 시료채취 및 분석방법을 찾을 수 있는 홈페이지 ····· 156
<표 III-64> 연구대상 화학물질(15종)의 작업환경측정 및 분석법 ····· 158
<표 III-65> NIOSH Method 1501의 톨루엔 시료채취 및 분석방법 ····· 161
<표 III-66> OSHA Method 111의 톨루엔 시료채취 및 분석방법 ····· 162
<표 III-67> KOSHA GUIDE(A-72-2015)의 톨루엔 시료채취 및 분석방법 ····· 162
<표 III-68> NIOSH Method 6009의 수은 시료채취 및 분석방법 ····· 163
<표 III-69> OSHA Method ID 140의 수은 시료채취 및 분석방법 ····· 164
<표 III-70> KOSHA GUIDE(A-44-2015)의 수은 시료채취 및 분석방법 ····· 164
<표 III-71> OSHA Method 58의 휘발성 콜타르피치 시료채취 및 분석방법 ····· 165
<표 III-72> NIOSH Method 6604의 일산화탄소 시료채취 및 분석방법 ····· 166
<표 III-73> OSHA Method ID 210의 일산화탄소 시료채취 및 분석방법 ····· 167
<표 III-74> KOSHA GUIDE(A-1-46)의 일산화탄소 시료채취 및 분석방법 ····· 167
<표 III-75> NIOSH Method 7102의 베릴륨 시료채취 및 분석방법 ····· 168
<표 III-76> OSHA ID-125G의 베릴륨 시료채취 및 분석방법 ····· 169
<표 III-77> KOSHA GUIDE(A-7-2015)의 베릴륨 시료채취 및 분석방법 ····· 169
<표 III-78> NIOSH Method 6007의 니켈카르보닐 시료채취 및 분석방법 ····· 170
<표 III-79> KOSHA GUIDE(A-49-2015)의 니켈카보닐 시료채취 및 분석방법 ····· 171
<표 III-80> NIOSH Method 1604의 아크릴로니트릴 시료채취 및 분석방법 ····· 172
<표 III-81> OSHA Method 37의 아크릴로니트릴 시료채취 및 분석방법 ····· 173
<표 III-82> KOSHA GUIDE(A-96-2015)의 아크릴로니트릴 시료채취 및 분석방법 ··· 174
<표 III-83>NIOSH Method 1501의 스티렌 시료채취 및 분석방법 ····· 175
<표 III-84>OSHA Method 89의 스티렌 시료채취 및 분석방법 ····· 176
<표 III-85> KOSHA GUIDE(A-70-2015)의 스티렌 시료채취 및 분석방법 ····· 177
<표 III-86> NIOSH Method 2000의 메틸알코올 시료채취 및 분석방법 ····· 178
<표 III-87>OSHA Method 91의 메틸알코올 시료채취 및 분석방법 ····· 179
<표 III-88> KOSHA GUIDE(A-117-2014)의 메틸알코올 시료채취 및 분석방법 ····· 179
<표 III-89> NIOSH Method 7300의 망간 및 그 무기화합물 시료채취 및 분석방법 · 180
<표 III-90> OSHA Method ID 125G의 망간 및 그 무기화합물 시료채취 및 분석방법 · 181
<표 III-91> KOSHA GUIDE(A-5-2015)의 망간 및 그 무기화합물 시료채취 및 분석방법 · 181
<표 III-92> NIOSH Method 2017의 아닐린과 아닐린 동족체 시료채취 및 분석방법 182
<표 III-93> OSHA Method PV2079의 아닐린과 아닐린 동족체 시료채취 및 분석방법 · 183
<표 III-94> KOSHA GUIDE(A-91-2015)의 아닐린과 아닐린 동족체 시료채취 및 분석방법 183
<표 III-95> NIOSH Method 2555의 시클로헥사논 시료채취 및 분석방법 ····· 184

<표 III-96> OSHA Method 01의 시클로헥사논 시료채취 및 분석방법 ····· 185
<표 III-97> KOSHA GUIDE(A-109-2015)의 시클로헥사논 시료채취 및 분석방법 · 185
<표 III-98> NIOSH Method 7300의 코발트 및 그 무기화합물 시료채취 및 분석방법 · 186
<표 III-99> OSHA Method ID 125G의 코발트 및 그 무기화합물 시료채취 및 분석방법 · 187
<표 III-100> KOSHA GUIDE(A-15-2015)의 코발트 및 그 무기화합물 시료채취 및 분석방법 · 188
<표 III-101> NIOSH Method 1005의 디클로로메탄 시료채취 및 분석방법 ····· 190
<표 III-102> OSHA Method 59의 디클로로메탄 시료채취 및 분석방법 ····· 190
<표 III-103> OSHA Method 80의 디클로로메탄 시료채취 및 분석방법 ····· 191
<표 III-104> KOSHA GUIDE(A-19-2015)의 디클로로메탄 시료채취 및 분석방법 · 191
<표 III-105> NIOSH Method 1003의 트리클로로메탄 시료채취 및 분석방법 ····· 192
<표 III-106> OSHA Method 05의 트리클로로메탄 시료채취 및 분석방법 ····· 193
<표 III-107> KOSHA GUIDE(A-28-2015)의 트리클로로메탄 시료채취 및 분석방법 ·· 193
<표 III-108> 유해성 및 취급실태 등에 따른 우선순위 적용 결과 ····· 199
<표 IIII-109> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합 ····· 201
<표 IIII--110> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속) ····· 202
<표 IIII-111> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속) ····· 203
<표 IIII-112> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속) ····· 204
<표 IIII-113> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속) ····· 205
<표 IIII-114> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속) ····· 206
<표 IIII-115> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속) ····· 207
<표 IIII-116> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속) ····· 208

# 그림 차례

[그림 I-1] 산업안전보건법상 관리물질 현황 ····· 4
[그림 I-2] 연구 대상물질 선정 절차 ····· 9
[그림 II-3] 물질 및 연도별 작업환경측정결과 ····· 33
[그림 II-4] 근로자 노출평가 및 초과율 분석 ····· 34
[그림 II-5] Monte Carlo Simulation ····· 35
[그림 II-6] Monte Carlo Simulation 기법을 통한 근로자 노출평가 ····· 36
[그림 II-7] 용량-반응평가 모식도 ····· 38
[그림 II-8] 발암성물질의 용량-반응평가 절차 ····· 39
[그림 II-9] 환경부 화학물질 통계조사 ····· 50
[그림 II-10] 고용노동부 작업환경실태조사 자료 분석 ····· 52
[그림 II-11] 한국무역협회의 품목별 수출입 통계 ····· 53
[그림 II-12] 미국 OSHA 허용기준 검토 ····· 54
[그림 II-13] 연구대상 물질 대상 국내외 타부처 규제기준 고찰 ····· 55
[그림 II-14] 연구대상 물질 대상 안전보건단 및 환경부 GHS 분류결과 비교 조사 ··· 56
[그림 II-15] 연구추진체계도 ····· 64
[그림 III-16] 연구대상 화학물질에 대한 국내 직업병 발생현황 ····· 77
[그림 III-17] 국외 직업병 발생 사례 ····· 81
[그림 III-18] 연구대상 물질 15종에 대한 최근 5년간 수입량 경향 ····· 117
[그림 III-19] 연구대상 물질 15종에 대한 최근 5년간 수출량 경향 ····· 117
[그림 III-20] NIOSH Manual of Analytical Methods의 예 ····· 156
[그림 III-21] OSHA Sampling and Analytical Methods의 예 ····· 157
[그림 III-22] 작업환경측정·분석 기술지침의 예 ····· 157

# Ⅰ. 서 론

## 1. 연구배경 및 필요성

사회 생활수준 향상에 따라 인간의 욕구 또한 지속적으로 증대하고 있으며 이러한 욕구 충족을 위해 인류는 새로운 용도의 화학물질을 개발 및 생산하고 있다(이권섭. 2009). 사업장에서 사용되고 있는 화학물질들은 첨가제, 주원료, 부원료 등의 원료물질에서부터 공정상에서 발생되는 부산물 그리고 합성세제, 화장품, 염료 등과 같은 생산 제품에 이르기까지 다양한 형태로 존재한다. 이러한 화학물질의 사용은 산업혁명 이후 현재까지 꾸준히 증가되어 왔다. 현재 전 세계적으로 약 3,000만 여종의 신규 화학물질이 꾸준히 개발되어 시장에 생산되고 있으며 통계조사에 따르면 화학물질의 종류와 양은 앞으로도 증가 추세가 지속될 것으로 전망하였다(환경부, 2006). 약 10만 여종의 화학물질이 상업적으로 유통되고 있으며, 국내에는 약 45,000종의 화학물질이 유통되어 왔으며 매년 약 400종의 신규화학물질이 국내시장에 진입하고 있는 것으로 알려져 있다(GHS 합동위원회, 2006). CAS(Chemical Abstracts Service; A division of the American Chemical Society)에 따르면 2007년 10월 현재 전 세계적으로 상업적으로 유통되면서 규제되고 있는 화학물질(Regulated Chemicals)은 약 246,000종 이상이다(CAS, 2008). 국내 화학산업은 다른 분야에 비해 빠르게 성장하여 국내 제조업 생산액의 14%, 고용의 9%를 차지하고 있고, 특히 석유화학산업은 에틸렌 생산 규모가 세계 3위에 이르는 등 국제적으로도 큰 비중을 차지하고 있다(환경부, 2007). 따라서 경제발전에 있어 화학물질의 기여도는 매우 높다. 국내경제 뿐만 아니라 인류의 생명 연장, 식량의 획기적인 증산, 풍족한 의복생활을 통하여 인류복지를 증진시키고 생활수준을 개선하는데 많은 기여하였다는 점에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다(피영규, 2011). 이와 같이 화학물

질은 여러 가지 사용상의 이점에도 불구하고 그 유해·위험성으로 인하여 각종 직업병과 안전사고의 발생 및 환경오염으로 인체의 건강과 환경을 해치는 주원인으로 지목되고 있다(이권섭 등, 2008).

국내 화학물질 유통량 조사 자료에 따르면 제조 및 사용량에서 현재 약 4억 1,700만톤으로 작년과 비교시 약 2.4배 정도 증가하고 있는 추세이며, 그에 따른 건강상 영향도 다양해진다. 화학물질에 가장 주 노출 피해자는 작업장내 화학물질 취급 근로자이다. 국내 작업장에서는 매년 약 400여건의 중독 및 질식 등 유해화학물질로 인한 관련 사고들이 빈번히 발생되고 있으며, 약 30여명의 사망자가 발생됨에 따라 그 추세가 가파르게 진행되고 있다. 1992년부터 1999년까지 직업병으로 심의 의뢰된 사례의 유해인자별 분포를 조사한 결과 화학적 유해인자가 279건(73.6%)으로 가장 많았다. 또한 1992년부터 2001년 까지 직업병 심의 건의 유해요인 분포에서도 화학적 인자가 전체 616건 가운데 348건(56.5%)로 가장 많아 전체 직업병 발생 유해인자 가운데 화학적 인자가 차지하는 비중이 높다고 보고하였다(강성규, 2002). 2013년 여수 산업단지내 화학물질로 인한 폭팔 사고를 비롯해 2011년 국내 산업재해 중 폭팔 사고로 인해 전체의 2.64%(25명)가 재해를 당했다. 이중 18명이 제조업 종사자로 나타났으며, 유해화학물질로 인한 중독 및 질식사고 역시 27명으로 전체 2.85%를 차지한다는 보고가 있다. 2014년 산업재해 발생현황을 보면 총 재해자수가 90,909명으로 2013년(91,824명)보다 다소 감소하였으며, 이 중 사고 재해자수는 83.231명으로 전년 동기 대비 966명(1.1 %) 감소하였으나 질병 재해자수는 7,678명으로 전년 동기 대비 51명(0.7 %) 증가된 것으로 나타났다(고용노동부, 2014) 사망 및 재해자의 경우 사망자 수는 1,850명으로 전년 동기 대비 4.1 % 감소하였으며, 이 중 사고 사망자수는 992명으로 전년 동기 대비 9 % 감소하였고 질병 사망자수는 2.3 % 증가하였다(고용노동부, 2014). 2015년 안전보건공단 연구결과에 따르면 유기용제와 특정 화학물질에 의한 질병자 및 사망자수도 증가하는 것으로 나타났다(안전보건공단, 2015).

국내 화학물질로 인해 사고가 지속적으로 발생하고 있으며 대표적인 사건으로는 1980년 원진레이온의 이황화탄소 중독 사고부터, 1995년 국내 모전자회사의 2-브로모프로판에 의한 생식 기능 장애 사건, 1996년 DMF 사용 근로자의 급성독성 간염, 2005년 노말헥산에 의한 말초신경계 손상, 그리고 2006년 TCE에 의한 스티븐존슨 증후군, 2011년 가습기의 오염방지를 위해 사용된 살균제로 인하여 산모 등이 원인 미상 폐질환으로 100명 넘게 사망한 사건, 2012년 구미에서 발생한 불산 가스 누출사건으로 인해 피해규모 177억원, 근로자가 5명이 사망하고, 18명이 부상이 있었다. 이에 대해 고용노동부는 화학물질 노출로 인한 근로자의 건강장해 예방을 위해 아래 <표 I-1>과 같은 11개 법조항에 근거하여 화학물질을 분류하고 관리하도록 하고 있다.

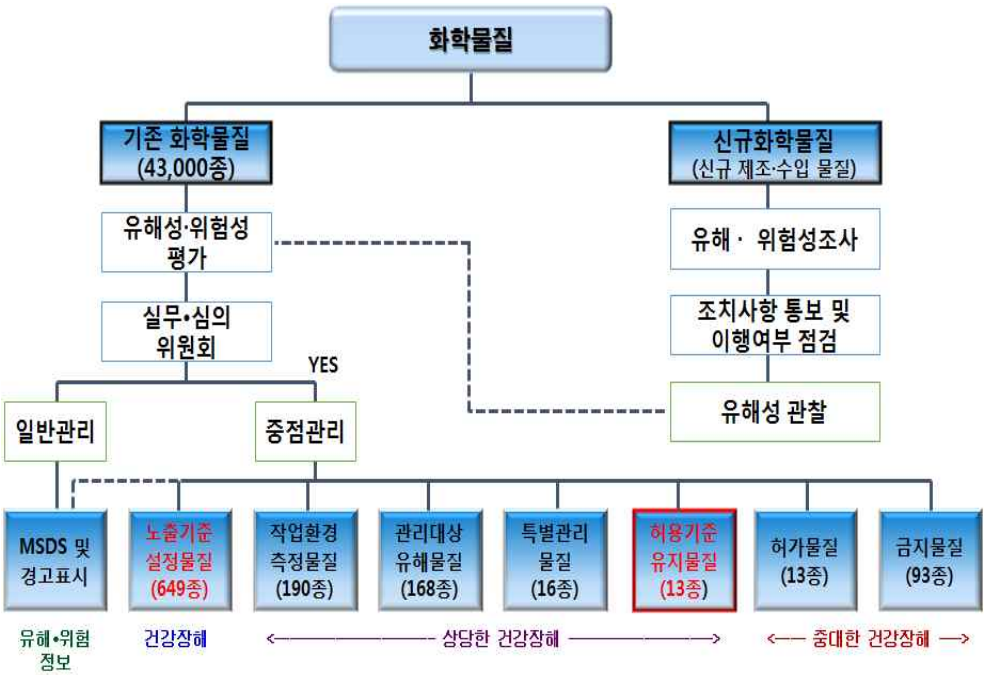
<표 I-1> 산업안전보건법상 화학물질 관리 조항

| 연번 | 근거조항 | 화학물질 분류 |
|---|---|---|
| 1 | 법 제24조 기준에 관한 규칙 420조 | 관리대상 유해물질 |
| 2 | | 특별관리물질 |
| 3 | 법 제37조 | 제조 등 금지물질 |
| 4 | 법 제38조 | 제조 등 허가물질 |
| 6 | 법 제39조 | 노출기준 설정대상 유해인자 |
| 7 | 법 제39조의2 | 허용기준 설정대상 유해물질 |
| 8 | 법 제41조 | 물질안전보건자료 및 . 경고표시 대상 유해인자 |
| 9 | 법 제42조 | 작업환경측정대상 유해인자 |
| 10 | 법 제43조 | 특수건강진단대상 유해인자 |
| 11 | 법 제44조 | 건강관리수첩 |

산업안전보건법 제39조(유해인자 관리 등) 및 시행규칙 제81조(유해인자의 분류·관리)에서는 제조 등 금지물질, 제조 등 허가물질, 노출기준 설정 대상

유해인자, 허용기준 설정 대상 유해인자, 작업환경측정 대상 유해인자, 관리대상 유해물질로 분류하고 있다. 그 밖에 10개 조항에서는 집행, 관리를 위한 세부 규정을 정하는 조항이다.

작업환경측정 대상 물질 191종, 관리대상 유해물질 168종, 허용기준 유지물질 13종, 특별관리물질 16종, 허가물질 12종으로 관리되고 있다. 이러한 화학물질의 관리수준 분류는 산업안전보건법 제39조 제1항부터 제4항, 시행규칙 제81조부터 제81조의 3까지의 규정, 고용노동부 예규 제66호에 근거한 유해·위험성 평가를 실시하여 유해성이 관찰될 경우 유해성 평가 위원회에서 결정하게 된다. 이후 사회성·경제성 평가 및 관리 필요성에 대해 판단 후 법적 관리방안을 검토한다. 현재 산업안전보건법에서 다루고 있는 관리물질 현황은 아래 [그림 I-1]과 같다.




[그림 I-1] 산업안전보건법상 관리물질 현황

2005년 10월 노동부는 작업환경측정 혁신(안)의 일환으로 국내에서 발암성 물질이나 직업병자 다수 발생 등으로 사회적 물의를 일으킨 물질에 대해서는 특별관리대상으로 지정하고 노출기준을 허용기준화 하여 사업주가 허용기준 미만의 작업환경을 항시 유지하여야 함을 법적으로 강제화 하였다. 당시 관리대상물질 168종의 유해인자 중 발암성이 있거나 국내에서 다수의 직업병자 발생시키는 등 특별히 관리가 필요시 되는 물질에 대해서는 특별관리물질로 별도 선정필요성이 있다고 판단하였다. 이는 미국의 법적 허용기준(PEL)의 개념에 따라 특별관리물질을 제조, 취급 또는 사용하는 사업주는 해당 작업장을 허용기준이하로 항시 유지하여야 함을 의무화하고 있는 것과 유사한 개념이다.

<표 I-2> 2005년 국내 직업병 및 사회적 물의 발생 물질

| 연번 | 물질명 | 발생년도 | 증상 |
|---|---|---|---|
| 1 | 이황화탄소 | 1987 | 중추신경 및 말초신경마비 |
| 2 | 2-브로모프로판 | 1995 | 생식독성, 폐암 |
| 3 | 망간 | 1997 | 파킨스씨병, 중추신경계장애 |
| 4 | 석면 | 1996 | 중피종, 폐암 |
| 5 | 벤지딘염료 | 1996 | 방광암 |
| 6 | 유리규산 | 1993 | 신부전증, 급성사구체신염 |
| 7 | 복합유기용제 | 1998 | 사구체질환, 신장질환 |
| 8 | 아크릴아미드 | 1997 | 말초신경염 사망 |
| 9 | 메틸브로마이드 | 2000 | 중추신경계 및 말초신경계 마비 |
| 10 | 아세토니트릴 | 1994 | 중추신경계마비 |
| 11 | 노르말헥산 | 2005 | 다발성신경장애 |
| 12 | 트리클로로에틸렌 | 2006 | 스티븐스존스증후군 |
| 13 | DMF | 1995/2006 | 간염, 간경화사망/간독성 |
| 14 | 니켈 | 2000 | 호산구성 폐렴 |
| 15 | 연 | 매년 발생 | 납중독 |
| 16 | 크롬 | 매년 발생 | 천식, 폐암, 비중격천공, 부비동염 |
| 17 | 수은 | 매년 발생 | 수은 중독 |
| 18 | TDI/MDI 등<br>이소시아네이트 류 | 2000 | 기관지 천식 |
| 19 | PAHs | 1999 | 폐암 |

2006년 “작업환경 허용기준 도입을 위한 유해물질 선정 및 허용기준수준에 관한 연구”를 통해 발암성 물질, 직업병 유발 물질, 사회적 물의 발생 물질 등 유해화학물질을 대상으로 특별관리를 위한 허용기준 설정 및 근거에 대하여 연구를 실시하였다(노영만 등, 2006). 해당 연구를 통해 현재 산업안전보건법 제

39조 제2항에 허용기준 설정대상 제도가 2009년 1월 1일 처음 도입되었다. 최초 설정물질은 석면, 포름알데히드, 벤젠, 카드뮴, 이황화탄소, 납, 트리클로로에틸렌, 6가 크롬 수용성 무기화합물, 6가 크롬 불용성 무기화합물, 디메틸포름아미드, 니켈(불용성 무기화합물), 노말헥산, 2-브로모프로판 이었다. 이후 6가 크롬 수용성 무기화합물, 6가 크롬 불용성 무기화합물을 통합하여 6가 크롬 화합물로서 개정 되었으며, 대신 톨루엔-2,4-디이소시아네이트가 추가로 설정되어 현재까지 동일한 물질로 관리되어지고 있다.

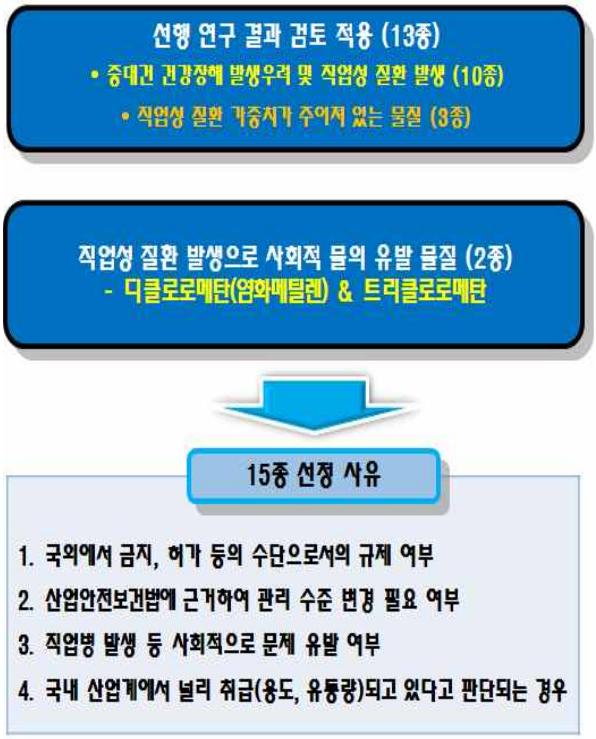
<표 Ⅰ-3> 현 허용기준 설정대상 유해물질(산안법 제39조의2)

| 유해인자 | | 허용기준 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 시간가중평균값 (TWA) | | 단시간노출값 (STEL) | |
| | | ppm | mg/㎥ | ppm | mg/㎥ |
| 1. 납 및 그 무기화합물 | | | 0.05 | | |
| 2. 니켈(불용성 무기화합물) | | | 0.2 | | |
| 3. 디메틸포름아미드 | | 10 | | | |
| 4. 벤젠 | | 0.5 | | 2.5 | |
| 5. 2-브로모프로판 | | 1 | | | |
| 6. 석면 | | | 0.1개/㎤ | | |
| 7. 6가크롬 화합물 | 불용성 | | 0.01 | | |
| | 수용성 | | 0.05 | | |
| 8. 이황화탄소 | | 1 | | | |
| 9. 카드뮴 및 그 화합물 | | | | | |
| 10. 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 톨루엔-2,6-디이소시아네이트 | | 0.005 | | 0.02 | |
| 11. 트리클로로에틸렌 | | 10 | | 25 | |
| 12. 포름알데히드 | | 0.3 | | | |
| 13. 노말헥산 | | 50 | | | |

최근 국외 산업보건 선진국에서는 유해성 평가에 근거한 유해화학물질의 규제수준 및 관리수준에 대해 재검토가 이루어지고 있는 추세이며, ACGIH의 경우 매년 새로운 화학물질의 기준 추가 및 변경에 대해 TLV booklet(TLVs for Chemical Substances and Physical Agents and BEIs) 형식으로 제안하고 있다.

국내에서도 노출기준 물질의 설정 및 변경에 대해서는 많은 연구가 수행되어 왔지만 반면에 허용기준 물질의 경우 2006년 허용기준 도입 관련 연구 수행 이후 실적이 미진하다.

현재까지 수행된 허용기준 연구를 살펴보면 2014년 “허용기준 기 설정 대상 유해인자의 허용기준 개정을 위한 유해·위험성 평가 및 사회·경제성 평가”를 통해 13종 중 7종 에 대한 새로운 허용기준치가(니켈: 0.3 ㎎/㎥(TWA); 벤젠: 0.5 ppm(TWA), 2.5 ppm(STEL); 포름알데히드 0.3 ppm(C); 이황화탄소 1 ppm(TWA); 카드뮴 및 그 화합물 0.01 ㎎/㎥(TWA); 트리클로로에틸렌 10 ppm(TWA), 50 ppm(STEL); 톨루엔 디이소시아네이트(혼합물) 0.005 ppm(TWA), 0.04 ppm(STEL)) 제안되었다. 2015년의 경우 “허용기준 설정물질 확대 필요성 및 선정 기준에 관한 연구” 등이 수행되어 취급 근로자에게 건강장해를 유발할 수 있는 화학물질을 허용기준 설정물질로서 추가 확대하는 선정 방안에 대해 검토 후 허용기준 설정대상 확대 후보물질로서 71종을 선정하였다. 71종 물질 중 중대한 건강장해 및 직업적 질환 발생 또는 발생 우려가 있는 화학물질 13종(톨루엔, 수은, 휘발성콜타르피치, 일산화탄소, 베릴륨 및 그 화합물, 니켈카보닐, 아크릴로니트릴, 스티렌, 망간 및 그 화합물, 아닐린과 아닐린 동족체, 시클로헥사논, 코발트 및 그 무기화합물, 메틸알코올)과 최근 사회적 물의가 발생한 2종(디클로로메탄, 트리클로로메탄)을 우선적으로 1차 허용기준 후보물질 대상으로 제안하였다.




| 연번 | 화학물질명 (CAS No.) |
|---|---|
| 1 | 톨루엔 (108-88-3) |
| 2 | 수은 (7439-97-6) |
| 3 | 휘발성콜타르피치 (65996-93-2) |
| 4 | 일산화탄소 (630-08-0) |
| 5 | 베릴륨 및 그 화합물 (7440-41-7) |
| 6 | 니콜커보닐 (13463-39-3) |
| 7 | 아크릴로니트릴 (107-13-1) |
| 8 | 스티렌 (100-42-5) |
| 9 | 메틸알코올 (67-56-1) |
| 10 | 망간 및 그 무기화합물 (7439-96-5) |
| 11 | 아닐린과 아닐린 동족체 (62-53-3) |
| 12 | 시클로헥사논 (108-94-1) |
| 13 | 코발트 및 그 무기화합물 (7440-48-4) |
| 14 | 디클로로메탄 (75-09-2) |
| 15 | 트리클로로메탄(클로로포름) (67-66-3) |

[그림 Ⅰ-2] 연구 대상물질 선정 절차

따라서 본 연구에서는 “허용기준 설정물질 확대 필요성 및 선정 기준에 관한 연구(2015)”에서 허용기준 설정대상 확대 후보 물질로 선정한 75종 중 1차 후보 물질로 제안된 15종 화학물질을 대상으로 유해성·위험성 평가, 노출실태 조사, 기술적 타당성 평가를 통해 산업안전보건법상 관리수준 변경에 필요한 사회경제성 평가 대상물질 선정의 과학적 근거를 제공하고자 한다.

## 2. 관련 선행 연구에 대한 내용 분석

### 1) 작업환경 허용기준 도입을 위한 유해물질 선정 및 허용기준 수준에 관한 연구 (2006년 8월)

#### ▶ 연구목적

본 연구의 목적은 노동부고시 제 2002-8호에 의거 698종의 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준과는 별도로 발암성 물질, 직업병 다수 유발 물질 등에 대한 특별관리를 위한 허용농도 설정 및 설정근거 제시하는데 있다.

#### ▶ 연구방법

허용기준 대상 물질 선정을 위해 대상물질 중 국내에서 직업병 발생우려 및 근로자 건강을 위하여 우선적으로 허용기준 설정이 필요한 대상물질을 다음과 같은 방법론으로 선정하였다. 우선적으로 다음과 같은 항목에 해당되는 물질을 선별한 후 측정 및 분석 방법, 법적 규제 대상 여부, 발암성 여부, 국내 · 외 직업병 발생 여부, 정량적/정성적 위험성 평가, 노출기준설정 국가 건수, 노출근로자수등의 항목에 따른 점수화를 부여하였다. 그러나, 각 항목별로 점수화된 결과를 가중치를 고려하지 않고 적용할 경우, 선정된 물질이 산술적 가치에 의해 선정될 수 있기 때문에, 우선순위 대상 물질 선정을 위한 최종 시나리오는 선정된 항목별 점수를 그대로 고려한 방안(1안)과 가중치를 둔 방안(2안)으로 나누어 선정하였다.

#### ▶ 연구결과

허용기준의 수준에 대하여는 첫째로 기존의 노출기준 수준을 유지하면서 노출기준 목록에서 허용기준물질로 전환하여 특별관리대상물질로 관리하는 방안

이 있고, 둘째로 본 연구에서 선정된 물질에 대하여 노출기준 수준 및 목록은 그대로 유지하면서 선정된 물질을 특별관리대상 물질화 하여 관리적 측면에서 허용기준화 하는 방안이 도입될 수 있을 것으로 판단되며 제조금지, 허가, 보건규칙의 관리대상물질등과 같은 축으로 설정될 필요성이 있다.

### 2) 화학물질 노출기준 제·개정(안) 연구 및 물질별 산업보건 편람 작성(Ⅱ) : 이황화탄소 (2008년 11월)

#### ▶ 연구목적

현재 우리나라의 이황화탄소( Carbondisulfide , CS2 )에 대한 노출기준은 1978년 미국산업위생전문가협의회( American Conference of Governmental Industrial Hygienists , ACGIH) 에서 제안한 8 시간 시간가중노출기준 ( TLV - TWA ) 인 10 ppm을 권고하고 있다. 특히 2009 년 1 월 1 일부터 시행 예정인 허용기준에서 이황화탄소의 허용기준을 1 0 ppm 으로 입법 예고하고 있어 이에 대한 재검토가 필요하다. 따라서 선진외국의 노출자료 검토와 작업환경측정을 통하여 노출실태를 파악하고, 노출원, 노출인원, 사용실태 등을 파악하여 국내 실정에 맞는 노출기준 개정( 안) 을 마련하고 근로자들의 건강보호에 필요한 기초 자료를 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

#### ▶ 연구방법

- 제조·수입·사용 실태, 발생원과 근로자의 노출원 조사
- 국내 작업장에서의 근로자 노출 실태 파악( 작업환경측정 포함)
- 장기·단기 노출 시 근로자 건강장해 및 직업병 사례 연구
- 이황화탄소의 물리화학적 특성, 독성·유해성 및 노출기준( 안) 제시
- 이황화탄소의 산업보건 편람 및 건강장해 예방지침
- 노출기준 개정 시에 요구되는 규제영향분석서 작성 등

- 조사결과 분석, 고찰, 개선방안 및 방양제시
- 산업안전보건법규의 관리내용 및 선진국의 관리기준 조사

### ▶ 연구결과

ACGIH 가 2006 년에 TLV - TWA 로 개정 권고한 1ppm 의 수준은 일부 문헌에서 1 - 3ppm의 노출농도가 신경학적 장해를 유발한다고 단정하기는 어렵다고 하여 불확실성이 포함되어 있는 수준이다. 이황화탄소는 현재 국내에서 10 ppm 으로 허용기준이 설정되어 있으며 미국과 독일의 허용기준인 20ppm, 5ppm과 비교할 때 중간 정도의 수준이다. 따라서 ACGIH 의 1ppm을 현재 수용하기는 다소 무리가 따른다. 따라서 흰쥐 대상의 아만성 흡입독성 실험에서 제시한 신경학적 LOEL을 이용하여 호흡독성 참고치( RfC ) 를 구한 후 국내 근로자들의 노출시간과 노출빈도를 적용하여 노출기준을 간접적으로 추정한 5.81ppm을 근거로 현재의 노출기준 10ppm보다는 엄격한 5ppm 을 권고하는 것이 타당하다.

## 3) 화학물질 노출기준 제·개정 연구(트리클로로에틸렌)(2006년 5월)

### ▶ 연구목적

화학물질에 의한 근로자의 건강장해를 예방하기 위한 것으로서 우리나라에서 사용하고 있는 트리클로로에틸렌(trichloroethylene; TCE; CAS No. 79-01-6)에 대한 광범위한 국내·외의 문헌검색과 사용실태 및 국내 작업장 근로자의 노출 실태파악 등을 통하여 그 노출기준의 적정성을 검토함으로써 필요한 경우 노출기준을 개정하는 근거(안)을 제공하고 예방지침을 작성하여 근로자 건강장해 예방에 기여하고자 함

▶ 연구방법

TCE의 물리·화학적 특성; 제조·수입·사용실태 및 발생원·노출원 등 국내 취급현황; 국내 작업장 근로자의 노출실태 파악; 장기·단기 노출시 근로자 건강장해(급·만성), 표적장기 및 체내 작용기전(흡수, 분포, 대하, 배설 등) 분석, 국내 직업병사례 연구 등을 포함한 인체 독성학적 영향; 및 우리나라 실정에 적합한 노출기준(필요시 생물학적 모니터링 기준 포함)을 제시한다. 또한 작업환경측정 및 분석방법제시; 산업안전보건법규의 관리내용 및 주요 선진국의 관리기준 조사; 노출기준 개정 시에 요구되는 규제영향 분석서 작성; 유해 물질별 산업보건 편람 및 예방지침 마련하고 조사결과를 분석,고찰 하여 개선방안 및 방향을 제시한다.

▶ 연구결과

※ 노출기준 개정(제정)안

8시간 시간가중평균(TWA) : 50ppm(270mg/㎥)

단시간 노출기준(STEL) : 100ppm(540mg/㎥)

생물할적 노출지표(BEI) :

요중 삼염화초산, 주 후반의 작업종료전 2시간이내, 100mg/g 크레아티닌

요중 총삼염화물, 주 후반의 작업종료전 2시간이내, 300mg/g 크레아티닌

### 4) 영국의 화학물질 노출기준에 관한 연구 (2012년 12월)

▶ 연구목적

우리나라에서는 영국의 작업장 노출기준(Workplaceexposure limits, WELs)에 대해 잘알려져 있지 않다. 본 연구의 목적은 영국의 화학물질의 작업장 노출기준인WEL, COSHH의 이해와 우리나라 노출기준과WEL의 비교를 통해 우리나라의 정책 및 제도개선에 활용할 점을 파악하는 것이다.

### ▶ 연구방법

- 영국 Health & Safety Executive(HSE) 등에서 발간한 문헌 조사
- HSE 등의 웹페이지를 검색하여 관련 정보 입수
- 국내외 전문가 자문, 컨설팅, 전문가 회의

### ▶ 연구결과

영국에는 있지만 우리나라에는 아직 TWA 노출기준이 물질의 수는 60여개이고, STEL노출기준의 경우는 120여종이었다. 영국의 TWA-WEL이 한국 TWA 노출기준 보다 더 엄격한 물질은 약60여종 이고 한국노출기준이 더 엄격한 물질은 30여종이었다. 우리나라에 노출기준이 없는 물질과 우리나라 노출기준이 높은물질에 대한 우선적인 리뷰가 필요 하다고 판단된다.

## 5) 허용기준 제정물질의 작업환경측정 및 분석에 관한 비교

## : 6가 크롬, 포름알데히드, TDI (2009년)

### ▶ 연구목적

- 6가 크롬

연구에서 기존의 6가크롬 분석방법을 비교평가하여 가장 적절한 6가크롬의 분석방법을제시하고 추가적으로 수용성과 불용성에 따른 측정 및 분석방법을 제시하고자 한다.

- 포름알데히드

포름알데히드에 대한 작업환경측정방법으로 현재관련 고시에서 제시하고 있는 자외선검출기가 장착된 고성능 액체크로마토그래피법(HPLC-UVD)이외에 질소인검출기가 장착된 가스크로마토그래피법GC/NPD)도 타당한지 여부를 규명하는 것이 주요 연구목적이다.

- TDI

비교대상 측정 및 분석법은 NIOSH Method 5522인임핀저450 μg/mL tryptamine/DMSO; 20 mL) 방법이다. 두 방법을 대상으로 허용기준평에 적합한 측정 및 분석방법을 제안하는 것이다.

## ▶ 연구방법

- 6가 크롬

흡광광도계UV-VIS)와 이온크로마토그래피IC) 방법의 정확한 회수율 검출한계 정확도및정밀도를비교평가하여적절한분석방법을제시한다

기존에제시된시료전처리방법또는취급시주의사항등을비교검토하여 가장 적합한 분석방법을 제안한다.

- 포름알데히드

미국NIOSH와OSHA에서 작업환경 측정방법 검증시 사용하고 있는 관련 항목평가의 가이드라인을 사용하여 실험실평가와 현장평가를 실시하였다

- TDI

미국 NIOSH와 OSHA에서 작업환경측정방법에 대한 검증시 사용하고 있는 가이드라인으로 비교평가를 하였다. 노동부고시시험법과 NIOSH Method 5522의 분석결과를 종합적으로 비교검토하고 허용기준판단을 위한 측정및분석방법으로 의타당성 및 실현가능성을 검증하고 허용기준 초과여부 측정방법으로 사용이 가능하도록 SAE를 포함한 표준작업환경측정방법을 제시하였다.

## ▶ 연구결과

- 6가 크롬

표준 작업환경측정방법은 일반적인 작업환경측정기관을 대상으로 한 것이 아니라 노동부 근로감독관 혹은 한국산업안전보건공단에서 작업장내의 6가 크롬화합물의 허용기준산업안전보건법제9조의2) 초과여부를 확인하기 위해 적용한다. 따라서 공기중 농도 평가를 하는데 있어 가장성능이 좋은 것으로 나타난

IC-VD를 이용한 측정 및 분석방법을 표준 작업환경 측정방법으로 제안한다.

- 포름알데히드

8시간 시간가중평균 허용기준0.5 ppm)의 0.1배이하의 수준에서도 포름알데히드를 측정가능한 수준으로 허용기준 초과여부를 판단하는데 전혀 문제가 없음을 알 수 있다. 또한 단시간노출기준1 ppm)를 평가하는데도 문제가 없다는 것을 확인할 수 있었다.

포름알데히드를 분석하는데 사용한 GC-NPD 분석방법과 HPLC-UVD 분석방법은 모두 정확도 측면에서 NIOSH의 가이드라인을 충분히 만족시키는 수준임을 확인할 수 있었다. HPLC-UVD 방법 역시 우수한 재현성 정밀도를 보여주었다.

- TDI

결론적으로 스프레이 도장공정측정시 필터법 작업환경측정 및 정도관리규정 별표) 측정보다는 임핀저법(NIOSH Method 5522) 측정결과가 높게 검출되었다. 그러나 노동부의허용기준은 개인노출을 가정하에 설정되어 있으므로 근로자가 작업하는 시간동안 개인시료로 채취하여 평가해야한다. 따라서 개인시료채취가 어려운 임핀저법보다는 현행“작업환경측정 및 정도관리규정” 별표에서 제시하는 필터법을 표준 작업환경 측정방법으로 활용하는 것이 바람직하다. 또한, 허용기준 초과여부 판정을 위한 SAE 적용도기존의 방법을 유지하면 된다.

### 6) 허용기준 기 설정 대상 유해인자의 허용기준 개정을 위한 유해성·위험성 평가 및 사회성·경제성 평가 연구 (2014년 11월)

#### ▶ 연구목적

본 연구는 화학물질 평가 실무위원회(공단연구원)에서 허용기준이 설정되어 있는 유해인자 13종(2008년에 개정) 중 허용기준의 강화가 필요한 6종(니켈(불용성화합물), 벤젠, 이황화탄소, 카드뮴 및 그 화합물, 트리클로로에틸렌, 포름알

데히드)과 본 연구진에서 허용기준 13종을 대상으로 고찰한 결과 추가로 선정한 TDIs를 선정하여 총 7종의 화학물질에 대하여 유해성·위험성 평가를 실시함과 동시에 허용기준 강화로 인해 예상되는 산업재해예방 효과 및 사업장에서 발생하는 경제적 부담 등 사회성·경제성 평가를 수행하여 이를 근거로 허용기준 개정안을 제시하는 데 첫 번째 목적이 있다. 두 번째 목적은 기존 허용기준 설정 유해인자 13종 외 본 연구진에서 제안한 허용기준 설정 근거 및 절차에 따라 허용기준 설정 가능 후보 물질을 선정하는 것이다. 마지막으로 유해성/위험성 평가 자료 및 국내/외 노출 재해 사례에 근거하여 TMAH의 노출기준 설정 필요성을 검토하고 RfCworker 산출 결과값에 근거하여 본 물질의 노출기준을 제안하는데 세 번째 목적이 있다.

### ▶ 연구방법

화학물질 평가 실무위원회(공단연구원)에서 선정 된 허용기준 이하 유지대상 6가지 물질(니켈(불용성화합물), 벤젠, 이황화탄소, 카드뮴 및 그 화합물, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드)과 TDIs 포함 총 7가지 물질을 연구 대상물질로 하였다.

GHS 분류 결과에 근거한 유해성·위험성 평가 실시 및 외국의 허용기준(노출기준) 비교를 통한 해당 화학물질(7종)의 허용기준 강화의 적정성을 ACGIH TLVs documents 형식으로 제시하였다. 공단 전산 자료에 의한 전국사업장 대상 작업환경측정 결과 및 국내 취급현황을 산업위생 통계기법으로 분석하고 새로이 선정된 개정안의 노출기중과의 초과율을 산출하여 사회-경제성 평가의 기초자료로 제공하였다.

허용기준 강화로 인해 예상되는 산업재해예방 효과 및 사업장에서 발생하는 경제적 부담 등 사회성·경제성 평가 실시하였다. 기존 허용기준 이하 유지 대상 유해인자 선정 방법과 기준 제시 및 추가적인 검토를 통해 허용기준 설정 가능 후보 물질을 선정하였다. TMAH(Tetramethyl ammonium hydroxide,

75-59-2) 유해성 평가 자료에 근거한 노출기준 설정의 필요성을 검토하고 및 권고(안) 제시하였다.

## ▶ 연구결과

허용기준 이하 설정 대상 물질 중 화학물질 평가 실무위원회(공단)에서 선정한 6가지 물질(니켈[불용성무기화합물], 벤젠, 이황화탄소, 카드뮴 및 그 화합물, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 톨루엔 디 이소시아네이트)과 본 연구진이 검토 및 고찰 결과 추가로 선정한 TDIs를 포함한 총 7가지 물질, 그리고 국내·외 노출사고로 산업재해를 유발하는 TMAH를 대상으로 하였다.

국외 노출 기준치 및 설정 방법을 검토하여 ACHIH TLV document 형식으로 제시하였으며, GHS/MSDS 분류체계에 근거하여 물리적·화학적 특성자료, 급성 독성, 생식세포 변이원성, 발암성, 생식독성, 특정표적장기 독성(1회 노출), 특정표적장기 독성(반복 노출), 흡인 유해성항목 등의 자료를 수집하였다. DB 자료에 근거하여 7가지 물질에 대해 RfCworker을 산출한 결과, 이황화탄소의 경우 3.7mg/㎥, TDI 0.002mg/㎥, 벤젠 0.1mg/㎥, TCE 0.1mg/㎥, 포름알데히드 0.03mg/㎥, 니켈 0.002mg/㎥, 카드뮴 및 그 화합물 0.0002mg/㎥로 나타났다. 또한 본 물질들에 대한 지난 10년간의 국내 작업환경측정 결과를 분석하여 기존 허용기준과 변경하고자 하는 기준에 대해 초과율 분석을 동시에 실시하였고, 최종적으로 허용기준 변경에 따른 사회/경제성 분석을 수행하여 니켈 0.2 mg/㎥, 벤젠 0.5 ppm, 포름알데히드 0.3 ppm, 이황화탄소 1 ppm, 카드뮴 및 그 화합물 0.01 mg/㎥, 트리클로로에틸렌 10 ppm, TDI(혼합물) 0.005 ppm으로 개정안을 제시하였다. 허용기준 설정 가능 후보 물질 선정의 경우 기존 허용기준 설정 물질 관련 선행 연구 결과 및 관계 법령을 고찰하였고, 이를 토대로 허용기준 설정 물질 근거(노출기준 설정 물질, 유해/위험성 정보, 직업병 발생 건수, 사회적 이슈, 취급 사업장 및 근로자 수 등)를 기반으로 설정 절차를 제시한 후 최종적으로 베릴륨 및 그 화합물, 브롬화 메틸, 아크릴아미드, 산화 규소(결

정체), 코발트(금속 분진 및 흄), 톨루엔, 톨루엔-2,6-디이소시아네이트, 스티렌의 8가지 물질을 추가 허용기준 후보 대상으로 선정하였다. TMAH의 경우 국내/외 사고 사례 조사, 유해/위험성 검토, 국내 취급 현황을 파악하였다. 또한 TMAH에 대한 RfCworker을 산출한 결과 0.1 mg/㎥, 0.2 mg/㎥, 2 mg/㎥ 나타났으며, 독성값이 유사한 산류(염산, 불산) 물질 및 주요 알칼리 물질의 노출기준을 고려하여 최종 제정안으로 1 mg/㎥을 제안하였다.

### 7) 허용기준 설정 물질 확대 필요성 및 선정 기준에 관한 연구 (2015년 11월)

#### ▶ 연구목적

허용기준 설정대상 유해인자는 산업안전보건법 제39조의2에 의해 발암성 등 근로자에게 중대한 건강장해를 유발할 우려가 있는 유해인자로 정의되고 있으며, 해당 유해인자는 작업장 내의 노출농도를 허용기준 이하로 유지하여야 한다. 고용노동부의 산업재해현황 분석결과에 따르면 2014년 유기용제와 특정 화학물질에 의한 질병자의 증가율이 100 %와 56 %로 높게 나타났으며, 사망자도 전년 동기 대비 증가하였다. 이와 같이 화학물질로 인한 재해가 계속해서 발생하는 가운데, 허용기준 설정 제도는 2009년 1월 시행 이후 추가적인 연구가 거의 이루어지지 않아 이에 대한 연구와 개정의 필요성이 제기되고 있다. 또한 현재 관리수준에 따른 화학물질의 관리범위가 명확하게 규정되어 있지 않고 산업안전보건법 상 정의와 한국산업안전보건공단의 KOSHA GUIDE 상 정의가 일치하지 않는 문제로 인해 이에 대한 보완도 필요하다. 이에 본 연구에서는 산업안전보건법령의 허용기준설정 제도의 타당성과 확대 필요성을 제시하고 규제 대상 확대를 위한 허용기준설정 유해인자의 선정 기준을 마련하고자 하였다.

## ▶ 연구방법

- 문헌조사

한국을 포함하여 미국, 프랑스 등 7개국의 산업안전보건 관련법과 화학물질 관리제도에 대해 조사하였다. 기존 허용기준 설정대상 유해인자의 선정 근거와 사회·경제성 평가의 선행연구 자료를 조사·고찰하였다.

- 직업병 발생 현황 파악

고용노동부의 산업재해현황분석자료와 안전보건공단의 직업병 진단사례집을 이용하여 허용기준설정대상유해인자 13종 및 그 외 화학물질로 인한 직업병 발생 현황과 그 사례를 파악하였다.

- 허용기준 설정 제도의 효과 분석

허용기준 설정 제도 도입에 대한 비용·편익 분석을 실시하였으며, 고용노동부의 작업환경측정결과를 이용하여 근로자의 노출수준 변화를 분석하여 허용기준 설정 제도의 효용성을 살펴보았다.

- 허용기준 설정 유해인자 13종의 위해성 수준 파악

작업환경측정대상물질 214종을 대상으로 KOSHA 선행연구(이은정 외, 2014)를 참고하여 위해성 순위를 산정하였다. 건강 유해성 평가 시 GHS 유해성 등급과 국내·외 직업병 발생여부 정보를 이용하였으며, 노출수준 평가 시에는 국내 취급장 수, 국내 노출근로자 수, 국내 취급량, 국내 유통량 정보를 이용하였다. 연구대상물질을 최대유해성 점수별로 그룹지어 해당하는 그룹 내에서의 우선순위를 산정하여 최종 우선순위를 결정해 현재 허용기준 설정 유해인자 13종의 위해성 수준을 파악하였다.

- 허용기준 설정 유해인자의 선정 기준 및 확대 후보물질 제안

허용기준 제도의 목적에 부합하며 명확한 정의안을 제시하고, 작업환경측정 대상물질에 대한 위해성 우선순위 목록을 바탕으로 이에 따른 선정 기준 및 확대 후보물질을 선정하여 제안한다.

▶ **연구결과**

- 허용기준 설정 도입에 대한 비용편익 분석에서, 시간이 지날수록 허용기준 설정에 대한 편익이 비용보다 더 커지는 것으로 나타났다. 또한, 작업환경측정 결과를 허용기준 설정 도입 전, 후로 비교했을 때, 도입 후에 유해인자에 대한 노출 수준이 감소하였다.

- 작업환경측정물질 214종의 건강위해성 우선순위 중 허용기준 설정 유해인자 13종(화합물 포함 20종)의 위험성 수준을 파악하였다. 20종 중 15종은 중대한 건강장해 제1그룹에, 2종은 제2그룹에 있었고, 3종은 상당한 건강장해 제1그룹의 위험성 수준을 가지고 있다.

- 허용기준 설정 유해인자 도입의 효과가 있는 것으로 확인되고, 위험성 측면에서 봤을 때 기존 13종 외에 더 큰 위험성을 갖는 유해인자가 다수 확인되어 허용기준 설정 유해인자의 확대 필요성이 제기된다.

- 허용기준 설정 유해인자에 대해 '발암성 또는 생식독성 등 근로자에게 중대한 건강장해를 유발하거나 직업병 발생 또는 발생할 우려가 있는 유해인자'로 정의하는 것을 제안하는 바이다. 이에 따라 71종의 확대 후보물질을 제시하였다.

## 3. 연구목적

본 연구는 2015년 수행된 “허용기준 설정물질 확대 필요성 및 선정 기준에 관한 연구” 결과에 근거하여 산업안전보건법상 관리수준 변경이 필요하다고 판단되는 15가지 물질을 대상으로 유해·위험성 평가, 허용기준 적용을 위한 기술적 타당성 평가, 근로자 노출실태 조사 등을 통해 사회경제성 평가 대상 물질 선정에 목표를 둔다.

세부적인 연구목표는 다음과 같다.

▶ 국내외 신뢰성 있는 문헌조사 등 연구자료 활용을 통해 대상 화학물질에 대한 유해성 확인, 용량-반응 평가, 노출평가, 위험성 결정 등 유해성·위험성 평가를 실시한다. (필요시 취급사업장을 직접 방문하여 작업환경측정 실시)

▶ 환경부 화학물질 통계조사, 고용노동부 작업환경실태조사 등 자료를 검토하여 대상물질의 노출 근로자 수, 제조·취급·사용량, 유통량 등 취급실태 분석결과에 따른 허용기준 산업체 적용을 위한 기술적 타당성을 평가한다.

▶ 대상 화학물질에 대한 행정처분 근거인 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시(고용노동부고시 제2013-39호) 등 노출농도 측정 및 분석방법을 검토한다.

▶ 미국, 일본, 독일, EU 등 선진외국 산업보건 영역의 화학물질 관리수준 조사·분석을 통하여 산안법의 화학물질 규제 타당성 검정 및 체계적이고 과학적인 규제기준을 검토한다.

▶ 연구대상 화학물질의 직업병 발생 사례, 유해위험성 평가 및 취급실태, 규제수준 검토 결과 등을 이용하여 사회경제성 평가 대상 후보물질 선정 절차에 적용하여 우선 관리 화학물질을 선정한다.

▶ 최종적으로 선정된 우선 관리 화학물질을 대상으로 전문가 자문회의를 통해 사회경제성 평가 후보물질 선정의 당위성을 최종 제안한다.

# Ⅱ. 연구내용 및 방법

## 1. 연구내용 및 범위

### 1) 유해성·위험성 평가

**○ 국내·외 문헌 조사 등 연구자료 활용을 통한 유해성 확인**

- 산업안전보건공단 물질안전보건자료(MSDS)를 이용하여 대상 화학물질 15종의 유해성 및 물리·화학적 특성 정리
- 선진국(EU, 미국)의 데이터베이스를 통한 물리·화학적 특성 추가 조사
- 선진국(유럽, 미국, 일본 등)의 주요 기관의 유해성·위험성 평가 보고서 검토를 통한 대상 화학물질 15종의 유해성 확인
- 선진국 및 국내의 인체 유해성·위험성 평가 사이트에서 대상 화학물질 15종에 대한 유해성 확인

**○ 국내·외 직업병 사고사례 조사를 통한 유해성 입증**

- 국내 사고사례 조사는 환경부 유해물질 사고사례집, 화학안전정보공유 시스템(CSC)을 이용하여 사고사례 분석
- 국외 사고사례 조사는 ACGIH TLV Documentation 및 독일 작업장 최대 허용농도(Maximum Concentration Value in the workplace)를 이용하여 사고사례 분석

**○ 근로자 노출평가 실시**

- 최근 5년간(2011~2015년)의 작업환경측정결과를 이용한 초과율 분석
- Monte-carlo 기법을 통한 근로자 노출평가 실시

- 고용노동부 및 국외 주요기관 기준치 적용에 따른 초과율 분석 결과 비교

**○ 용량-반응 평가 및 위험성 결정**

- 화학물질의 유해성·위험성 평가에 관한 규정(고용노동부예규 66호)에 근거하여 용량-반응 평가 및 위험성 결정을 수행
- ACGIH TLV, OECD SIDS, ECB, EPA IRIS, ATSDR 등 국외 자료를 통한 용량-반응 평가 실시
- 용량-반응 평가 결과를 이용하여 대상 화학물질의 작업장참고농도 (RfCworker, workplace reference concentration) 제시

### 2) 국내 취급실태 분석

- 연구대상 물질별 환경부 화학물질 통계조사자료(2002년, 2006년)를 이용한 제조, 수입, 수출, 사용량 등 유통현황 파악
- 고용노동부 작업환경실태조사(2009년, 2014년) 자료를 이용하여 대상 화학물질 업체규모, 근무형태, 취급 근로자수, 연간 취급량, 작업시간, 작업일수 등 취급현황 분석
- 한국무역협회에서 제공하는 수입량 및 수출량 자료 등 추가 분석을 통해 자료 검토

### 3) 국내외 노출기준 조사

- 연구대상 15종 화학물질에 대한 국내외 노출기준 조사
- 미국 OSHA의 허용기준(Permissible Exposure Limits) 검토
- 국내외 타 부처의 규제기준 고찰
- 안전보건공단 및 환경부의 GHS 분류결과 조사

### 4) 작업환경 측정 및 분석방법 제시

- 현행 관련고시(고용노동부고시 제2016-39호) 제42조의2의 근거한 기존 화학물질의 측정 및 분석방법 적절성 검토
- 연구 대상물질의 노출농도 측정 및 분석 방법 제안

### 5) 사회성·경제성 평가 대상 물질 선정 절차 제안

- 연구대상 물질 대상 유해위험성 평가 및 취급실태 분석, 규제수준조사 등의 결과를 근거로 한 사회경제성 평가 우선 관리 물질 선정 절차 제안
- 사회성·경제성 평가 우선 관리 물질 선정 절차 결과의 검토를 위한 전문가 자문회의 실시

## 2. 연구방법

### 1) 유해성·위험성 평가

#### (1) 국내외 문헌조사 등 연구자료 활용을 통한 유해성 확인

**○ 연구대상 화학물질 15종에 대한 물리·화학적 특성 정리**

안전보건공단 물질안전보건자료(MSDS)를 이용하여 연구대상 물질별 GHS 건강 유해성 분류, 물리·화학적 특성, 관리되고 있는 법 수준 등을 정리하였다.

<표 II-4> 물리화학적 특성 조사를 위한 항목

| 물리화학적 특성 항목 | | |
|---|---|---|
| 폭발성 물질<br>인화성 물질<br>물 반응성 물질<br>산화성 물질<br>고압가스<br>자기반응성 물질<br>자연발화성 물질 | 유기과산화물<br>금속부식성 물질<br>물리적 상태(성상/색/냄새)<br>용해도<br>끓는점/녹는점/어는점<br>인화점 | 증기압 및 증기밀도<br>비중<br>옥탄올/물 분배계수<br>자연발화 온도<br>점도<br>분자량 |

조사하는 22가지의 물리·화학적 특성은 다음 표는 EU, 미국의 물리·화학적 데이터베이스를 통해 선별할 수 있다.

<표 II-5> 물리·화학적 특성 데이터베이스

| 참고문헌명 | 설명 및 사이트 |
|---|---|
| EU EEC 67/548 Annex I | 4,133종에 대한 화학물질 분류표지정보 제공 |
| UN RTDG | 유엔 위험물 수송 권고로 국제연합의 위험물운송전문가 위원회의 권고이며,GHS 권고도 같은 위원회의 권고임 |
| International Chemical Safety Cards (ICSC) | 약 1 400물질에 대한 인화점 발화점 및 폭발 한계 등의 물리화학적 위험성 정보제공 http://www.inchem.org/ |
| HSDB | 미국 NLM(National Library of Medicine)에서 운영하는 사이트로 5,000여종에 대한 물리 화학적 특성, 운송정보 등 제공 http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB |
| The chemical database | Akron 대학에서 운영하는 사이트로 254,945종 화학물질의 물리화학적 특성,물리적 위험성 정보 제공 http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/ |

○ 유해성 확인

유해성 확인 과정에서 이들 자료를 우선적으로 검토할 수 있으며, 자료의 수집 및 검토는 아래 내용을 바탕으로 수행할 수 있다.

- 국내·외에서 개발되어 현재 독성연구기관 및 독성학자들이 보편적으로 이용하는 독성 데이터베이스를 이용하여 국내·외 독성실험 자료, 역학연구 자료 등을 선별하였다.

- OECD, IARC(International Agency for Research on Cancer), IPCS(International Program on Chemical Safety) 등 국제기구에서 발간되는 화학물질 위험성 평가 보고서를 검색하여 해당 자료를 수집하고 평가하였다.

- 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH), 유럽 화학물질청(ECHA), 일본 후생노동성 등 각 국가 정부보고서 및 데이터베이스를 검색하여 해당 자료를 수집하고 평가하였다.

- 국내 화학물질 관련 정부부처 및 산하기관의 보고서 및 데이터베이스를 이용하여 수집하고 평가하였다.

- 국내 GLP 인증기관의 자료 중 관련 자료의 유무를 검토하고 기업비밀과 무관한 경우 이에 대한 자료제공을 요청하여 수집하였다.

- 최근 학술지에 게재된 인체독성 관련 연구자료 또는 역학조사 결과보고서를 이용하여 수집하였다.

이용 가능한 유해성·위험성 평가 보고서가 없거나 추가적인 자료조사가 필요하다고 판단되는 경우에는 독성관련 데이터베이스 또는 유해성 평가 보고서 원문 자료 등을 조사하였다.

유해성 확인에서 경우 선호되는 자료는 근로자를 대상으로 한 인체자료이지만 앞서 설명한 바와 같이 인체자료를 활용하는 것에는 많은 제한적인 요소가 있지만 가장 확실한 자료이다. 따라서 대상 화학물질 15종에 대한 ACGIH의 2015년 TLV의 Human study, TLV Recommendation을 번역하여 대상 화학물질에 대한 유해성을 알아보았다.

### (2) 국내·외 직업병 사고사례 조사를 통한 유해성 입증

**○ 국내·외 사고사례 조사**

**▶ 국내 사고사례 조사**

- 1992년-2010년 국내 직업병 발생 물질자료(양정선 등, 2011)
- 2005년-2015년 안전보건공단 직업병 진단사례집
- 환경부 유해화학물질 사고사례집(2007)

화학물질 사고사례 목록(2000~2006)의 발생일자, 사고내용, 사고물질, 사고형태, 피해정도, 사고원인, 사고구분 등을 조사하여 유해성 확인의 근거를 마련

하고자 하였다.

- 화학안전정보공유시스템(CSC)

환경부 산하 화학물질안전원에서 만든 데이터베이스로 화학안전정보공유시스템의 사고사례정보 및 사고사례 물질별 통계를 이용하여 사고 물질 별 발생건수 및 발생형태, 사고원인, 사고유형, 사고지역, 업종, 피해상황 등을 조사해 유해성 확인의 근거를 마련하고자 하였다.

- 급성중독 사고사례 조사

최근 국내 핸드폰 부품 생산 사업장내 메탄올 증기를 흡입하여 취급 근로자에게서 실명 등 급성중독 사고사례가 4차례나 발생하였다. 일산화탄소의 경우 밀폐 작업장에서 급성 중독에 따른 뇌 손상과 같은 질식 재해 사례가 국내에서 뿐만 아니라 국외에서도 자주 보고되었다. 이에 고용노동부 및 안전보건공단에서는 동일 물질 및 동종 재해 재발방지를 위해 급성중독 발생 경보를 발령하는 등 사회적으로 큰 이슈가 되었다. 또한, 허용기준 기 설정대상 물질 인 디메틸포름아미드의 경우에도 1995년, 2006년 간염, 간경화, 간독성 등 급성중독으로 인해 사망사고가 발생된 바 있다.

과거부터 현재까지 화학물질 노출에 따른 급성중독 사고사례가 지속적으로 발생되고 있으며 사망사고로 연이어지는 경우도 빈번히 나타났다. 그리고 선행연구에서도 화학물질에 대한 관리수준 결정시 만성적인 중독보다는 급성중독을 중요한 유해성 항목으로 설정하기도 했다(김치년 등, 2013; 김형아 등., 2013). 2015년 선행연구에서는 허용기준 설정물질에 대해 직업성 질환의 발생 또는 발생할 우려가 있는 유해인자로 제안하였고, 최근 급성중독을 유발하는 물질에서 많은 직업성 질환이 발생하는 추세이기 때문에 허용기준 설정에 있어 급성 중독 항목을 반드시 고려해 볼 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 직업병 진단 사례 조사 외 추가적으로 연구대상 물질

15종에 대한 급성중독 사고사례도 함께 조사하였다.

<표 II-6> 산업안전보건법 제39조의2 제1항 개정 추진안

| 현행 | 개정(안) |
|---|---|
| 사업주는 발암성 물질 등 근로자에게 중대한 건강장해를 유발할 수 있는 유해인자로서(이하 생략) | 사업주는 발암성, 생식세포변이원성, 생식독성 물질 등 근로자에게 중대한 건강장해를 유발하거나 직업성 질환의 발생 또는 발생할 우려가 있는 유해인자로서(이하 생략) |

▶ 국외 사고사례 조사

- ACGIH TLV Documentation에서 국외 직업병 발생 여부를 조사

- 독일의 작업장 최대허용농도(Maximum Concentration Value in the workplace)를 이용한 사고사례 조사

### (3) 근로자 노출평가 실시

일반적으로 근로자 노출평가의 경우 미국산업위생학회에서 개발한 산업위생통계 스프레이트 시트를 이용하여 노출기준 초과확률, 95% 백분위수 점추정치(95th Percentile Point Extimate) 등을 분석하였다. 하지만 산업위생통계의 경우 분석 데이터수가 최대 50개로서 한정되어 있으며, 실질적인 현장측정 및 분석을 통해 나타난 결과값에 대한 통계분석을 실시할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 최근 5년간의 많은 수의 데이터를 기반으로 노출평가를 수행하였다.

제한적인 여건을 고려하여 본 연구진에서는 연구대상 물질 15종에 대한 근로자 노출평가의 경우 각 물질별 최근 5년간의 작업환경측정 결과를 이용하여 본 연구진에서 제안한 방법과 Monte-Carlo Simulation을 통해 노출평가를 실

시하였다. 연구대상 15가지 물질 중 국내 기준치와 국외(ACGIH TLV, MAK) 기준치가 상이한 물질의 경우 별도로 국외 기준치 적용에 따라 초과율 분석을 수행했다.

작업환경측정결과에서 불검출(N.D.; Not Detected), 미량(Trace) 등으로 표기된 자료의 경우 크게 세 가지 방법을 제안하고 있다. 첫째, 불검출을 검출한계 이하로 간주하여 농도를 제외시키는 것이다. 하지만 본 방법은 결과의 과대평가가 우려된다. 둘째, 불검출 자료를 0으로 적용하여 평가하는 방법으로 본 기법은 결과를 과소평가할 우려가 있다. 셋째, EPA(2000)에서 제안하는 최소값의 1/2값을 적용하여 처리하는 방법을 제안하고 있다. 하지만 본 연구에서는 실질적으로 노출량이 발생된 데이터만을 이용하여 근로자 노출평가를 실시하기 위해 불검출 데이터는 결과 값에서 제외하고 처리하였다.

### ○ 근로자 노출 평가 방법

#### ▶ 물질별 연도별 측정결과 정리

우선적으로 각 물질별 5년간의 측정결과를 N.D값을 제외하여 연도별로 분류하였다. 각 연도별 데이터를 이용하여 Excel 기술통계 분석을 통해 데이터에 대한 평균, 표준오차, 중앙값, 최빈값, 표준편차, 최대값, 최소값, 신뢰 수준 95% 등 각각 정리하였다.

| 업장관리 | 근로자수 | 부서 | 공정코드 | 공정명 | 단위작업장소 | 유해물질코드 | 유해물질명 | 측정치 | 노출기준 | 측정평가결과 | 단위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1E+10 | 28 | 3층석유화학 | 29016 | 분석 | 3층석유화학 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 90 | | 19083 | 1층사출성형 | 1층사출성형 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 1.6 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 42 | 검사 | 29014 | 전층/검사/세적 | 검사 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 265 | 연구동 | 10020 | ABS소재개발 | 가공Pilot | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 2335 | | 10020 | 기초소재(CSI) | 23305/지하압사출실 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 2335 | | 10020 | 기초소재(HBB) | 23406 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 2335 | | 10020 | 기초소재(HPL) | 23223/23320 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 2335 | | 10020 | 기초소재(ORT) | 23213 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 2335 | | 10020 | 응용_기반기술(가스첨가제분석) | 51314 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 2335 | | 29016 | 기초소재(HRR) | 23209 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 2335 | | 29016 | 기초소재(NSBR) | 21207/21209 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 2335 | | 29016 | 기초소재(TAD) | 23408 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 2335 | | 29016 | 응용_기반기술(유기분석) | 51218 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 2335 | | 29016 | Inkjet | 52316 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.1E+10 | 2812 | 도장작업장 | 26004 | 외주(요이함금)도장 | 도장작업장 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 36 | 코팅공정 | 26054 | 코팅공정 | 라미넹이팅 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | |
| 1.2E+10 | 36 | 코팅공정 | 26054 | 코팅공정 | UV코팅 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | |
| 1.2E+10 | 19 | | 19083 | 사출성형 | 사출성형 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 1.33 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 4 | | 19083 | 사출성형 | 사출성형기 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 4 | 사출반 | 19083 | 사출성형 | ABS사출 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | |
| 1.2E+10 | 8 | | 19082 | 혼합(계량)/압출/절단 | 압출부 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 8 | | 19082 | 혼합(계량)/압출/절단 | 압출부 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0.2915 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 8 | | 19083 | 사출성형 | 사출 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 30 | 사출 | 19083 | 사출 | 사출 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 1.6 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 45 | 사출팀(1층) | 19083 | 사출성형 | 사출 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 1.6 | 1 | |
| 1.2E+10 | 6 | ABS압출 | 19082 | 압출성형 | ABS압출 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 4 | 사출 | 19083 | 사출성형 | 사출 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 9 | | 19083 | 사출성형 | 사출 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 7 | | 19083 | 사출보새 | 사출보새 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 47 | 사출 | 19083 | 사출 | 사출 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 1.6 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 26 | | 15007 | 압출및포장 | 압출 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 1.6 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 26 | | 15007 | 압출및포장 | 압출 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0.2363 | 1.6 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 311 | 13.수지생산팀(공업) | 45027 | 13.수지생산팀(공업) | 2층 반응 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0.148 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 311 | 13.수지생산팀(공업) | 45027 | 13.수지생산팀(공업) | 2층 반응 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0.152 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 311 | 14.수지생산팀(저윤) | 12024 | 14.수지생산팀(저윤) | 1층 표장 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0.155 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 311 | 14.수지생산팀(저윤) | 12024 | 14.수지생산팀(저윤) | 1층 표장 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0.521 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 311 | 14.수지생산팀(저윤) | 12024 | 14.수지생산팀(저윤) | 2층 투입 반응 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0.163 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 311 | 14.수지생산팀(저윤) | 12024 | 14.수지생산팀(저윤) | 2층 투입 반응 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0.172 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 7 | | 16032 | 재단 | 재단 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 146 | 1공장 | 10020 | 실험실 | 품질관리팀 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | |
| 1.2E+10 | 146 | 3공장 | 10020 | 실험실 | 실험실 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | |
| 1.2E+10 | 18 | | 10020 | 실험실 | 실험실 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |
| 1.2E+10 | 18 | | 31000 | [유성부] | 반송/표장 | 21113 | 아크릴로니트릴 | 0 | 2 | 1 | ppm |

[그림 II-3] 물질 및 연도별 작업환경측정결과

### ▶ 근로자 노출평가 및 초과율 분석

각 물질에 대한 연도별 전체 측정시료수, 노출기준 설정 기관(고용노동부, 미국, 독일 등), 현재 설정된 노출기준치, 노출기준의 Action Level 수준 등으로 분류하였다. 연도별 노출기준과 Action Level 수준을 초과하는 사업장 수를 산출하였고, 전체 측정시료수 대비 기준치 초과사업장을 적용하여 초과율을 계상하였다.

| 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|---|---|---|---|---|
| 172.8787 | 300.787 | 267.9742 | 101.7816 | 185.1145 |
| 158.7499 | 209.849 | 124.9809 | 101.422 | 136.3918 |
| 142.6608 | 140.476 | 117.7179 | 99.3838 | 119.951 |
| 109.8879 | 119.766 | 95.2631 | 94.4895 | 119.7672 |
| 100.074 | 108.5674 | 94.564 | 94.0768 | 110.5658 |
| 98.7882 | 102.1862 | 91.5482 | 93.2104 | 107.1488 |
| 98.764 | 100.568 | 89.4078 | 92.6924 | 89.351 |
| 91.645 | 100.5409 | 88.0435 | 90.7723 | 85.731 |
| 89.9694 | 95.356 | 87.837 | 90.687 | 83.844 |
| 89.522 | 94.875 | 87.3401 | 87.5235 | 81.703 |
| 89.092 | 93.5761 | 86.7328 | 86.9 | 81.4077 |
| 89.092 | 86.98 | 85.48 | 84.787 | 80.08 |
| 89.092 | 83.3589 | 84.812 | 84.289 | 79.71616 |
| 89.092 | 82.906 | 84.465 | 80.822 | 78.4234 |
| 89.092 | 82.3371 | 83.7805 | 78.314 | 77.6378 |
| 89.092 | 82.071 | 83.709 | 78.3135 | 77.28011 |
| 88.87 | 81.8597 | 83.589 | 77.029 | 71.2196 |
| 88.0952 | 81.504 | 83.068 | 75.598 | 70.94748 |
| 88.007 | 81.144 | 81.212 | 74.392 | 70.581 |
| 83.615 | 80.226 | 79.5683 | 73.419 | 70.294 |
| 81.8281 | 77.6128 | 79.531 | 72.8191 | 65.93 |
| 81.291 | 77.12 | 78.0637 | 71.7566 | 65.214 |
| 81.169 | 76 | 78.03 | 71.7291 | 62.0573 |
| 80.7914 | 75.55754 | 75.877 | 70.88 | 61.8448 |
| 80.7914 | 74.6921 | 74.4169 | 70.515 | 60.8555 |
| 80.458 | 74.065 | 73.873 | 69.98 | 59.293 |
| 79.205 | 73.917 | 73.0253 | 69.453 | 59.1052 |
| 78.4776 | 73.85 | 71.502 | 69.03635 | 59.083 |
| 78.345 | 73.174 | 71.119 | 68.83041 | 58.833 |
| 77.64 | 70.808 | 70.973 | 68.616 | 57.07797 |
| 77.1527 | 70.115 | 70.745 | 67.813 | 55.7473 |

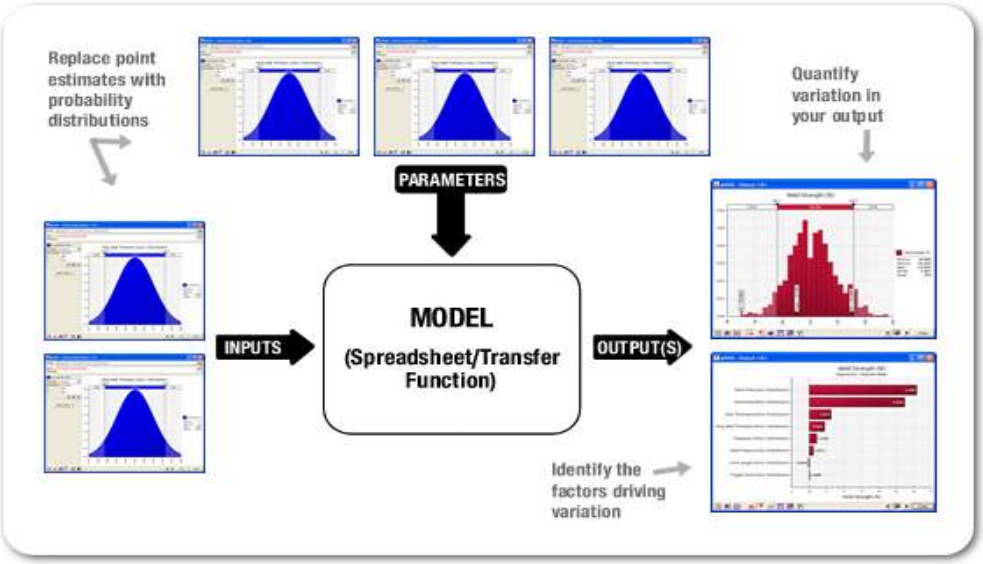
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 전체 측정 시료수 | 35,237 | 32,934 | 34,694 | 34,292 | 34,703 | 171860 |
| | 고용노동부 | | ACGIH | | AGS | |
| | C-L | AL | C-L | AL | C-L | AL |
| 2011 | 105 | 878 | 1390 | 3608 | 105 | 878 |
| 2012 | 73 | 687 | 1152 | 3277 | 73 | 687 |
| 2013 | 67 | 687 | 1196 | 3493 | 67 | 687 |
| 2014 | 54 | 661 | 1134 | 3194 | 54 | 661 |
| 2015 | 38 | 539 | 938 | 2980 | 38 | 539 |
| 종합 | 337 | 3452 | 5810 | 16552 | 337 | 3452 |
| | 고용노동부 | | ACGIH | | AGS | |
| | C-L | AL | C-L | AL | C-L | AL |
| 2011 | 0.298 | 2.492 | 3.945 | 10.239 | 0.298 | 2.492 |
| 2012 | 0.222 | 2.086 | 3.498 | 9.950 | 0.222 | 2.086 |
| 2013 | 0.193 | 1.980 | 3.447 | 10.068 | 0.193 | 1.980 |
| 2014 | 0.157 | 1.928 | 3.307 | 9.314 | 0.157 | 1.928 |
| 2015 | 0.110 | 1.553 | 2.703 | 8.587 | 0.110 | 1.553 |
| 종합 | 0.1961 | 2.0086 | 3.3807 | 9.6311 | 0.1961 | 2.0086 |

[그림 II-4] 근로자 노출평가 및 초과율 분석

### ○ Monte-Carlo 기법을 이용한 노출실태 평가

Monte-Carlo simulation은 불확실한 상황에서 의사결정을 위한 확률적 시스템을 이용한 모의실험을 말한다. 특정 변수의 미래를 예측하기 위해서는 이 변수와 이 변수에 영향을 주는 변수들간의 관계를 설정하는 모형이 필요하다. 이때 변수들간의 관계가 확실하여 예측치를 정확하게 찾을 수 잇는 모형을 확정모형(deterministic model)이라 하고, 결과를 정확하게 예측할 수 없는 모형을 확률모형(stochastic model)이라 한다. 일반적으로 확정모형에서는 분석적 해(analytic solution)를 찾는 것이 가능하다. 즉, 방정식으로 모형을 세우고 수학적으로 이를 계산하여 변수에 대한 해를 찾는 것이다. 그러나 확률모형에 대해서는 이러한 분석적인 방법으로 해를 찾는 것이 불가능한 경우가 대부분이다. 따라서 수치적인 방법(numerical method)으로 해를 찾아야 하며, 이를 위하여 확률모형의 모수(parameter)나 변수에 대하여 반복적으로 여러 수치를 시도하여 확률변수의 분포를 얻어내야 한다. 이때 이 분포를 시뮬레이션 하기 위하여

반복적으로 이용하는 수치를 일련의 난수(random number)로부터 얻을 때 이를 몬테카를로 시뮬레이션이라 한다.




[그림 II-5] Monte Carlo Simulation

### ▶ Monte-Carlos simulation을 통한 예측치 산출

Monte-Carlo simulation을 통해 예측치 산출의 경우 여러 요소들에 의해 결정된다. 우선 본 연구에서 예측치 산출의 기반이 되는 작업환경측정결과에서 물질별 평균, 표준편차, 최대값, 최소값 등의 변수를 나열한다. 작업환경측정결과를 통해 얻어진 변수를 기반으로 하여 정규분포 및 비정규분포 여부를 설정하고 신뢰구간을 설정한다. 그에 따른 난수(Random number) 시도 횟수를 입력하여 설정된 변수들에 의해 예측치를 최종 산출한다.

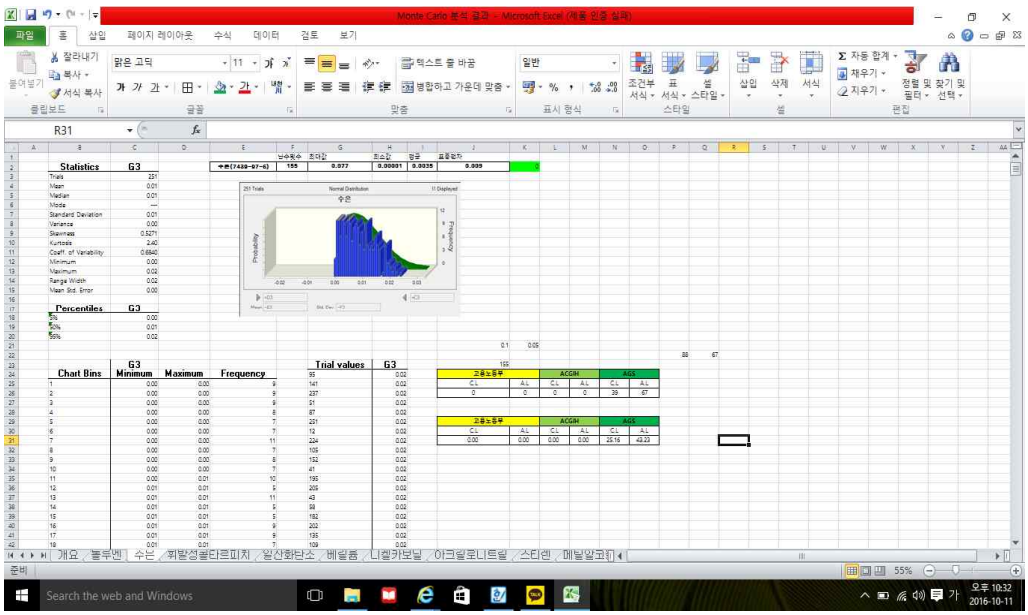
본 연구의 경우 물질별 작업환경측정결과에 대해 다음과 같은 가정으로 실시하였다.

- 측정결과는 정규분포를 한다.

- 신뢰구간 95%에서 예측치를 산출한다.
- 난수(Random number) 시도 횟수의 경우 각 물질의 5년간의 측정 시료 수를 설정한다.

### ▶ 산출된 예측치 근거 근로자 노출평가

Monte-carlo simulation을 통해 산출된 예측치의 경우 본 연구진의 제안방법과 동일하게 노출기준 설정 기관, 설정된 노출기준치와 노출기준의 Action Level 수준으로 분류하여 노출기준과 Action Level 수준을 초과하는 예측치를 산출하였다. 각 수준에 대해 초과되는 예측치의 경우 난수(Random number) 횟수와 비교하여 초과율을 산출하였다.



[그림 II-6] Monte Carlo Simulation 기법을 통한 근로자 노출평가

### (4) 용량-반응 평가 및 위험성 결정

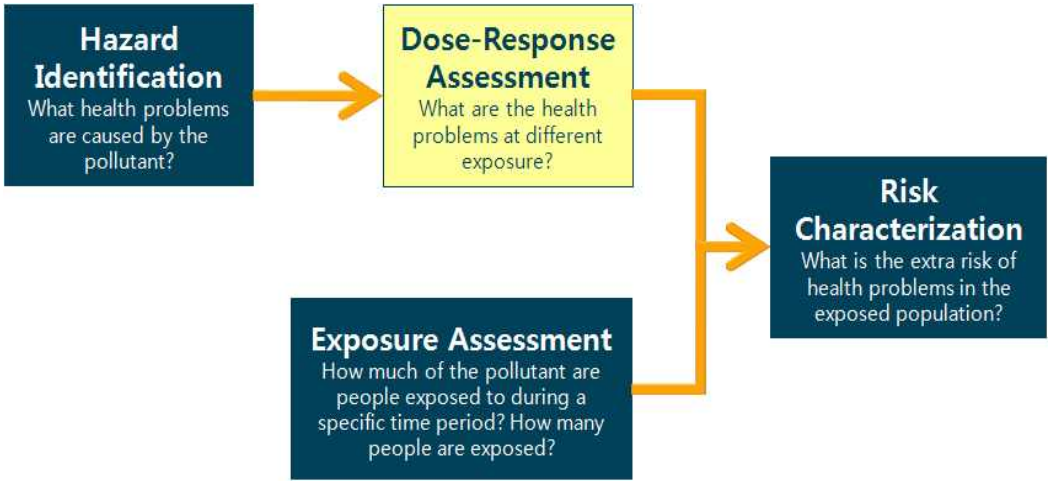
**○ ACGIH TLV 설정에 근거한 용량-반응 평가**

매년 ACGIH에서는 화학물질에 대한 정보를 TLV Documentation을 통해 공개하고 있으며 본 연구에서도 연구대상물질의 TLV Documentation을 검토하여 각 물질에 대한 정보 및 독성자료(물리화학적 특성, 주요용도, 동물연구(아만성, 만성/발암성, 생식독성, 유전독성 등), 약동학 및 대사연구(인간연구, 동물연구), 노출 메커니즘, 인간연구(급성, 만성, 물질관련 질병 등)를 확보하여 검토하였다.

**○ 15종 대상물질의 용량-반응 평가 자료의 최신화**

ECHA DB와 eChemportal의 DB를 활용하여 15종 대상물질의 무영향농도 값 등을 최신화하여 용량반응 평가에 적용하였다.

용량-반응 평가는 어떤 화학물질에 대해 유해성이 확인되었다면 그 물질이 과연 얼마만큼의 위험성(risk)을 나타내느냐를 수량적으로 표현하는 단계로서, 비발암성 물질과 발암성 물질에 대한 접근법이 서로 다르다. 평가대상 화학물질에 대하여 독성학적 역치(threshold)의 유무를 평가하여 독성학적 역치가 있는 경우(비발암성 물질의 경우) 무영향관찰용량(NOAEL), 최소독성량(LOAEL) 역치가 없는 경우(발암성 물질의 경우) 발암잠재력(CPF)을 추정하는 방법 등을 활용한다. 아래 [그림 Ⅱ-7]에 도식화 하여 나타냈다.




[그림 II-7] 용량-반응평가 모식도

수집된 기초자료 조사 정보를 이용하여 대상 화학물질의 독성 및 발암등급을 결정하고 수집된 독성 자료 중 정량적 정보를 재선정하여 정량적인 용량-반응평가를 실시하였다.

이를 위해서 조사된 자료를 중심으로 정량적인 용량-반응 결과(노출 대상자, 노출기간, 노출경로, 노출량, 유해영향 및 평가결과)가 명확하게 제시되어 있는 자료를 선정하였다. 선정된 자료에 의해 NOAEL, 독성참고치, 발암잠재력 등에 대한 정량적 독성 지표를 결정하였고, 이때 발암성 물질과 비발암성 물질을 구분하여 평가하였다.

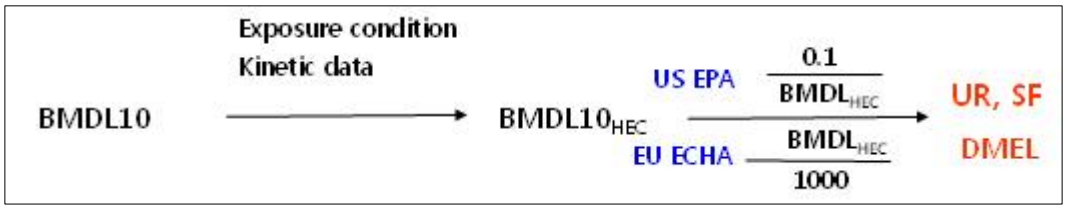
본 연구에서는 KOSHA GUIDE(W-6-2011) 화학물질의 유해성·위험성 평가 지침에 따라 평가 대상 물질의 인체 영향에 대한 용량-반응평가를 실시하였다.

### ▶ 발암성 물질에 대한 용량-반응평가

발암성 평가는 실험동물에서 얻은 발암 최소 영향값 또는 사람의 역학조사에서 얻는 상대 발암위험 등의 자료를 이용하여 위험성 결정에 사용될 수 있는

수치화된 정보를 제공하는 과정이다. 주로 동물실험에서의 얻은 발암 최소 영향값을 이용하여 수치화된 값을 구하는 데, 미국의 EPA에서는 흡입단위위험도(Inhalation unit risk) 또는 경구발암경사값(Oral slope factor)을 제공하고 있어 많은 나라 또는 기관에서 이 값을 기초로 하여 용량-반응평가를 실시하고 있다.

한편, 최근 유럽연합에서는 REACH 제도를 도입하여 화학산업계에 대량생산 및 고유려물질에 대하여 유해성·위험성 평가를 요구하고 있으며, 통일된 유해성·위험성 평가지침을 제공하고 있다. 미국 EPA에서 제공하는 단위위험도 및 경구경사 값을 구할 수 없는 경우에는 유럽연합에서 제공하는 방법을 준용하여 발암성 물질의 용량-반응평가를 실시할 수 있다. 아래 [그림 Ⅱ-8]에 발암성물질의 용량-반응평가 절차를 도식화 하였다.




[그림 Ⅱ-8] 발암성물질의 용량-반응평가 절차

- 흡입단위위험도(Inhalation Unit Risk)를 이용한 RfCwork 결정

미국 환경보호청(US EPA)에서 제공하는 흡입단위위험도(Inhalation Unit Risk ; IUR) 값을 이용 가능한 경우에는 이 값을 이용하여 발암성물질의 용량-반응평가를 실시한다. 다만, 단위위험도값은 70㎏의 성인이 1일 24시간 계속해서 70년간 (안정상태에서) 노출했을 경우의 위험도로 작업장 위험성평가에 작용하기 위해서는 변환이 필요하다.

국내 작업장에서의 위험도 평가를 위해 단위위험도값의 변환은 아래와 같이

2단계로 실시한다. 첫 번째 단계는 단위위험도 값을 작업장단위위험도로 변환하는 과정이며, 두 번째 단계는 작업장에서 허용 가능한 농도 즉, 위험도 10-4에서의 농도를 구하는 단계이다. 여기서는 작업장 유해성 평가값을 미국 EPA에서 사용하는 참고농도(RfC, Reference concentration), 유럽연합의 DNEL/DMEL과 구분하기 위하여 작업장참고농도(RfCwork, workplace reference concentration)라 지칭하였다.

<표 II-7> 흡입단위위험도(IUR)값을 이용한 RfCwork 변환 방법

| 단계 | 변환방법[1)] |
|---|---|
| 1단계<br>$UR_{workplace}$ | $IUR_{work}$ = IUR /CF<br>여기서 CF는 (Option 1)<br>$(\frac{\text{미국성인1일호흡량}}{\text{한국근로자8시간호흡량}} * \frac{\text{미국성인연노출일}}{\text{한국근로자연노출일}} * \frac{\text{미국성인노출기간}}{\text{한국근로자노출기간}}) / (\frac{\text{미국성인체중}}{\text{한국근로자체중}})$<br>$= (\frac{20m^3}{10m^3} * \frac{365days}{260days} * \frac{70years}{40years}) / (\frac{70kg}{60kg}) = 4.2$<br>따라서 $IUR_{work}$ = IUR / 4.2<br>예: unit risk가 1 x $10^{-6}$ per $\mu g/m^3$인 경우<br>$IUR_{work}$ = 1 x $10^{-6}$ / 4.2 per $\mu g/m^3$ = 2.4 x $10^{-7}$ per $\mu g/m^3$ |
| 2단계<br>$RfC_{work}$<br>carcinogen | $RfC_{work}$ = 1 x $10^{-4}$ / $IUR_{work}$<br>= 1 x $10^{-4}$ / (IUR /4.2)<br>예: inhalation unit risk가 1 x $10^{-6}$ per $\mu g/m^3$인 경우<br>$IUR_{work}$ = 2.4 x $10^{-7}$ per $\mu g/m^3$ 이므로<br>$10^{-4}$ 위험성 농도 = 1 x $10^{-4}$ /(2.4 x $10^{-7}$ per $\mu g/m^3$)<br>= 417 $\mu g/m^3$ = 0.4 $mg/m^3$ |

1) UR값의 변환에 있어서 체중에 대한 보정을 위해 2가지 Option을 제시하였다. Option 1은 체중에 별도의 변화식을 사용하지 않고 보정하는 것이며, Option 2는 체중에 대한 보정을 실시하지 않는 것이다. 동물에서의 자료를 사람에게 변환할 때 경구독성자료를 이용할 경우에는 일반적으로 체중의 3/4을 보정하고, 흡입독성자료를 이용하지 않을 경우에는 별도로 보정하지 않는데, 경구독성의 경우 체중의 비율을 반올림할 경우 60kg의 경우와 70kg의 경우의 차이는 거의 무시할 수 있기 때문에 Option 2도 같이 제시하였다.

- 경구경사(Oral slope Factor)값을 이용한 RfCwork 결정

경구경사값(Oral Slope Factor; SF)는 미국 환경보호청(US EPA)에서 제공하는 발암성 물질 평가값으로 발암성 물질을 경구로 흡수한 경우의 단위위험도를 나타낸다. 흡입 단위위해도(IUR)가 제공되지 않고 경구경사값(Oral Slope Factor)만 제공되는 경우에는 경구경사값(Oral slope factor)을 먼저 흡입단위위험도(Inhalation Unit Risk)로 변환한 후, 흡입단위위험도(IUR) 값을 이용한 RfCwork 결정 과정에 따라 작업장참고농도(RfCwork)값을 구한다. 아래 <표 II-8>에 공식이 정리되어 있다.

<표 II-8> 경구경사값(SF)의 흡입단위위험도(IUR) 변환 방법

| |
|---|
| IUR = ( SF * CF2 * IR) / BW<br><br>IUR : Inhalation Unit Risk (per ㎍/㎥)<br>SF : Oral slope factor (per ㎎/㎏-day)<br>IR: Inhalation rate per day (20㎥/day)<br>BW : Body weight (70㎏)<br>CF2 : Conversion Factor (0.001㎎/㎍)<br><br>※ 여기서 IR은 성인표준 안정시 호흡율로 20 ㎥/day가 적용되며, BW는 미국 성인 평균체중인 70㎏이 적용된다. |

- DNEL 값을 이용한 RfCwork 결정

DNEL값은 유럽연합에서 수행된 발암성 용량-반응평가값이다. DNEL은 작업장 근로자에 적용하기 위한 값과 일반인에게 적용하기 위한 값이 있을 수 있다. 작업장 근로자에게 적용하기 위한 DNELwork이 제공되는 경우에는 별도의 변환계수를 적용하지 않고 이 값을 RfCwork로 직접 적용할 수 있다. 다만, 이

경우에도 외삽비율을 확인하여 외삽비율이 1 : 104수준으로 변환하여 적용한다. DNELwork이 제공되지 않고 DNEL만 이용 가능한 경우에는 노출특성을 보정하고 외삽비율을 1 : 104 수준으로 변환하여 적용한다.

- BMDL10 값을 이용한 RfCwork 결정

평가 대상 물질에 대한 미국 환경보호청(US EPA), 유럽연합 ECHA 등의 신뢰성이 확보된 기관에서 제공하는 흡입단위위험도(IUR), 경구경사값(SF) 또는 DNEL값은 없으나, 발암성에 대한 용량-반응평가 자료가 존재하여 BMDL10 값을 추정할 수 있는 경우가 있다. 이와 같이 BMDL10 등의 값이 있는 발암성 물질에 대해서는 아래 <표 Ⅱ-9>에 나타난 방법에 준하여 작업장참고농도($RfC_{work}$)값을 구한다.

<표 II-9> BMDL10 등 발암성 시험값을 이용한 RfCwork값 산정 방법

| Steps | | T25 | $BMDL_{10}$ |
|---|---|---|---|
| POD | Relevant Dose descriptor | 20 ㎎/㎏/day (rat, oral) | 10 ㎎/㎏/day (rat, oral) |
| Step 1 | Route-specific bioavailability 50% oral / 100% inhalation | 0.5 | 0.5 |
| | Adjustment for route 0.8ℓ/min/㎏, 8h = 0.384 ㎥/㎏/8hr | 1/0.384 | 1/0.384 |
| | Activity rest/light activity | 6.7/10 | 6.7/10 |
| | Occupational lifetime exposure 7/5 * 70/40 = 2.45 | 2.45 | 2.45 |
| | Step 1 correction summary | 20 * 0.5 * 1/0.384 * 6.7/10 * 2.45 = 42.8 ㎎/㎥ | 10 * 0.5 * 1/0.384 * 6.7/10 * 2.45 = 21.4 ㎎/㎥ |
| Step 2 | allometric acalling | 4 | 4 |
| | low dose extrapolation($10^{-4}$ risk) 1/25,000 for T25 1/10,000 for DMDL10 | 2500 | 1000 |
| | Step 2 correction summary | 42.8 / (4 * 2500) = 0.004 ㎎/㎥ | 21.4 / (4 * 1000) = 0.005 ㎎/㎥ |

### ▶ 비발암성 물질에 대한 용량-반응평가

비발암성 물질의 용량-반응평가는 NOAEL/LOAEL 또는 BMD값을 이용하여 무영향기준농도를 정하는 과정이다. 비발암성 평가의 경우에도 발암성 평가에서와 유사하게 외국 기관에서 제공하고 있는 용량-반응평가값을 얻을 수 있다. 즉, 미국 EPA에서는 RfC 또는 RfD값을 제공하고 있으며, 유럽연합의 ECHA에서도 일부 물질에 대하여 DNEL 값을 제공하고 있다. 그러나 비발암성

평가의 경우에는 기관별로 보정계수의 적용시 기관별 차이가 발암성평가보다는 크기 때문에 외국기관에서 제공하는 용량-반응평가값의 직접적인 적용은 권고되지 않는다. 미국 EPA의 RfC값 계산방법, 유럽연합 ECHA의 DNEL 산정방법, 일본 후생노동성에서의 평가수준 산정방법이 서로 다르기 때문에 어떤 기관에서 제공하는 용량-반응평가값을 사용하는지에 따라 평가값이 달라지기 때문이다. 즉, 일반적으로 같은 NOAEL값을 사용하여 용량-반응평가를 실시하면 RfC보다 DNEL은 11.8배, 평가수준은 29.4배 높게 나게 됨을 알 수 있다. 이와 같이 나타나는 이유는 일차적으로 EPA에서는 70㎏의 일반인이 1일 24시간 365일간 (안정상태에서) 70년간 노출을 기준으로 RfC 또는 RfD를 구하고 있어 노출조건이 작업장 조건과 다르기 때문이다. 불확실성 계수의 적용에 있어서도 동물시험결과의 사람에 대한 외삽의 경우 미국, 유럽연합, 일본 모두 다른 값을 적용하고 있다. 사람간 감수성의 차이에 대한 보정에 있어서도 EPA는 10, 유럽연합은 5, 일본은 1을 적용하고 있으며, 시험기간에 대한 불확실성에 있어서도 기관별로 차이가 나타나고 있다. 아래 <표 Ⅱ-10>에 적용사례를 정리하였다.

<표 Ⅱ-10> 비발암성 물질의 용량-반응평가 적용 사례 -흡입독성 자료를 이용한 경우

| Step | | RfC | $DNEL_{workplace}$ | 평가수준 |
|---|---|---|---|---|
| POD | NOAEL | NOAEL 100 ㎎/㎥ (rat, inhalation) 1일 6시간, 주 5일 13주 반복 노출 | NOAEL 100 ㎎/㎥ (rat, inhalation) 1일 6시간, 주 5일 13주 반복 노출 | NOAEL 100 ㎎/㎥ (rat, inhalation) 1일 6시간, 주 5일 13주 반복 노출 |
| Quantitative correction | $NOAEL_{adj}$ | 6/24 * 5/7 * 0.83/0.83 = 0.17 | NOAEL * 6/8 * 5/5 * 0.83/1.25 = 0.5NOAEL | NOAEL * 6/8 * 5/5 * 0.83/1.25 = 0.5NOAEL |
| | NOAELhec | 1 (0.14 if affect on $ET_j$) | 1 (0.14 if affect on $ET_j$) | - |
| | $NOAEL_{correction}$ | 0.17NOAEL | 0.5NOAEL | 0.5NOAEL |
| Uncertain correction | Interspecies | 3 | 2.5 | 10 |
| | Intraspecies | 10 | 5 | 1 |
| | Duration | 3 | 2 | 1 |
| | Severity | 1 | 1 | 1 |
| | Quality | 1 | 1 | 1 |
| | Final | 0.17/100 * NOAEL | 0.5/25 * NOAEL | 0.5/10 * NOAEL |
| Result | | 0.17 ㎎/㎥ | 2 ㎎/㎥ | 5 ㎎/㎥ |

따라서 특히 비발암성 평가에 있어 연구자별 보정계수의 적용에 있어 통일된 기준의 제시가 중요하다. 여기서는 연구자간의 보정계수의 적용에 대한 편차를 줄이기 위하여 미국 EPA, 유럽연합 ECHA, 일본 후생노동성의 방법을 종합하여 우리나라에 적합한 기준농도를 제시하고자 한다.

KOSHA GIDE(W-6-2011) 화학물질의 유해성·위험성 평가지침에서는 작업장참고농도(RfCwork, workplace reference concentration)는 유럽연합의 DNEL을 기본으로 하여 미국 EPA 방식을 보완하여 아래 표의 방법을 기본으로 하여 전문가의 판단에 따라 구하는 것을 제안하고 있어, 본 연구에서도 이에 따라 수행한다.

<표 II-11> 비발암성 물질의 용량-반응평가 보정계수 통일화 지침

| Step | | | $RfC_{work}$ |
|---|---|---|---|
| POD | NOAEL | | NOAEL 100 ㎎/㎥ (rat, inhalation)<br>1일 6시간, 주 5일 13주 반복 노출 |
| Quantitative correction | $NOAEL_{adj}$ | | 6/8 * 5/5 * 0.83/1.25 = 0.5 |
| | NOAELhec | | 1 (0.14 if affect on $ET_j$) |
| Uncertain correction | Interspecies | | 3 |
| | Intraspecies | | 5 |
| | Duration | ≥ 4 week | 6 |
| | | ≥ 13 week | 2 |
| | | ≥ 6 month | 1 |
| | Severity | NOAEL, BMD | 1 |
| | | LOAEL | 5 |
| | Quality | | 1 |

위 표에 제시된 방법을 적용할 경우, NOAELadj값의 NOAELHec값으로의 환산은 노출이 경구로 이루어질 때와 흡입으로 이루어질 때 서로 다르다. 먼저 경구로 이루어질 경우 동물시험자료를 사람에 적용할 경우 독성물질의 동태학적 차이는 체중의 3/4승에 비례하는 것으로 알려져 있다. 따라서 즉,

$\frac{(BW_{hum}/BW_{ani})}{(BW_{hum}/BW_{ani})^{0.75}} = (\frac{BW_{hum}}{BW_{ani}})^{0.25}$ 에 따라서 적용된다. 시험동물별 보정계수(DAF)는 다음 <표 II-12>와 같다.

<표 II-12> 경구독성 시험에서 시험동물별 보정계수

| Species | Weight (kg) | 보정계수 (DAF) | 사람 체중 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 70kg | 60kg |
| Mouse | 0.03 | 7 | 6.95 | 6.69 |
| Rat | 0.25 | 4 | 4.09 | 3.94 |
| Hamster | 0.11 | 5 | 5.02 | 4.83 |
| Guinea Pig | 0.8 | 3 | 3.06 | 2.94 |
| Rabbit | 2 | 2.4 | 2.43 | 2.34 |
| Monkey | 4 | 2 | 2.05 | 1.97 |
| Dog | 18 | 1.4 | 1.40 | 1.35 |

흡입으로 노출될 경우에는 영향을 주는 장소에 따라서 보정계수가 달라진다. 예를 들어 화학물질이 Extrathoracic region(흉곽부위)에 영향을 줄 경우, $\frac{(VE/SA)_{ani}}{(VE/SA)_{hum}}$ 의 값이 0.14로 NOAELhec값을 구하기 위해 NOAELadj에 0.14를 곱해야 하지만, Tracheobronchial Region(기관지 주변)에 영향을 줄 경우와 Pulmonary Region(폐 주변)에 영향을 줄 경우에는 $\frac{(VE/SA)_{ani}}{(VE/SA)_{hum}}$ 의 값이 각각 1.4와 1.6으로 NOAELhec가 NOAELadj보다 높게 된다. 입자상 물질의 보정계수는 $\frac{(F*\ VE/SA)_{ani}}{(F*\ VE/SA)_{hum}}$ 이며, 전신독성을 일으키는 물질의 보정계수는 $\frac{(Hb/g)_{ani}}{(Hb/g)_{hum}}$ 으로 모두 기본값이 1이다.

미국 환경보호청(US EPA)에서 제공하는 RfC 값을 사용하여 RfCwork를 구하고자 하는 경우 특히 주의가 필요하다. 먼저 RfC는 70kg의 성인이 1일 24시간 계속해서 노출되었을 했을 경우의 무영향 농도이다. 따라서 우리나라 작업장에서 사용하기 위해서는 우리나라 실정에 따른 보정이 필요하다. 60kg의 근

로자가 1일 8시간 노출 시의 작업장 참고농도는 아래 표의 절차에 따라 산출한다. RfC를 국내 작업장 값으로 변환하였다면, 불확실성 계수의 적용에 대해서 다시 검토하여야 한다. 특히 최근 미국 EPA에서는 비발암성 평가에 대한 기준 및 적용이 달라지고 있어 이전에 평가한 화학물질에 대한 RfC의 사용은 더욱 신중하여야 한다. 아래 <표 Ⅱ-13>에 RfCwork를 보정하는 방법을 공식화 하였다.

<표 Ⅱ-13> 미국 환경보호청의 RfC를 사용하여 RfCwork를 보정하는 방법

$RfC_{work}$ = RfC * CF * UFC

여기서 CF 는

$$= \left(\frac{\text{미국성인1일호흡량}}{\text{한국근로자8시간호흡량}} * \frac{\text{미국성인연노출일}}{\text{한국근로자연노출일}}\right) / \left(\frac{\text{미국성인체중}}{\text{한국근로자체중}}\right)$$

$$= \left(\frac{20m^3}{10m^3} * \frac{365days}{260days}\right) / \left(\frac{70kg}{60kg}\right) = 2.4$$

or

$$= \frac{\text{미국성인1일호흡량}}{\text{한국근로자8시간호흡량}} * \frac{\text{미국성인연노출일}}{\text{한국근로자연노출일}}$$

$$= \frac{20m^3}{10m^3} * \frac{365days}{260days} = 2.8$$

UFC는 불확실성 계수 적용 보정

## 2) 국내 취급실태 분석

### (1) 환경부 화학물질 통계조사 분석

환경부 화학물질 통계조사 자료(2002년, 2006년)를 활용하여 연구대상 화학물질의 사업장 일반정보(업종, 업체명, 소재지, 유입수계), 취급량(제조, 수입, 사용, 판매량), 유통량(화학물질 입·출고량, 보관·저장량), 관련정보(취급시설 종류, 위치 및 규모 정보) 등을 분석한다.




[그림 II-9] 환경부 화학물질 통계조사

<표 II-14> 환경부 화학물질 통계조사 범위

| 구분 | 관련내용 |
|---|---|
| 조사 대상 | 1. 대기환경보전법(제23조 제1항) 및 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률(제33조 제1항)의 규정에 의한 배출시설 설치허가 및 신고사업장 중 조사대상 업종에 해당하는 사업장<br>2. 화학물질을 제조, 보관저장, 사용, 수·출입하는 사업장 |
| 조사 대상 물질 | 화학물질관리법 제2조제1호의 규정에 의한 화학물질 및 이를 함유한 혼합물질로서 제품별 취급량이 연간 1ton을 초과하는 단일·혼합물질<br>(단, 유해화학물질(유독물질, 허가물질, 제한물질 또는 금지물질, 사고대비물질)이 함유되어 있는 경우는 제품별 연간 취급량 100Kg 초과 시 조사대상에 포함 |
| 조사 제외 대상 | 1. 시험, 연구 또는 검사용으로 제한된 장소에서 조사·연구자에 한하여 사용되는 화학물질<br>2. 축전지와 같이 구입하여 사용하는 기계, 장치 내에 내장되어 있는 화학물질<br>3. 시설의 도색을 위한 페인트, 건축자재와 같이 사업장의 시설자체의 일부분인 화학물질<br>4. 사업장에서 운행 또는 가동하는 기기·장비의 가동과 유지에 사용되는 화학물질. 다만 별도의 저장·보관 시설을 가지고 있는 화학물질은 대상물질로 한다.<br>5. 사무기기, 약, 화장품 등 종업원이 개인용도로 사용하는 화학물질<br>6. 사업장에서 연간 취급하는 양이 1톤 이하인 화학물질. 단 법 제2조제8호의 유해화학물질(유독물질, 허가물질, 제한물질 또는 금지물질, 사고대비물질)은 연간 취급량이 100㎏ 이하인 경우에만 조사대상에서 제외한다.<br>7. 사업장의 연료(난방용)로 사용하는 화학물질<br>8. 고유의 형상(모양과 상태)을 가지면서 사용 중 형상이 변화되지 않는 완제품<br>9. 사업장 조경시설 등의 유지를 위해 사용되는 농약, 비료 등의 화학물질 |
| 조사 내용 | 1. 업종, 업체명, 사업장 소재지, 유입수계 등 사업자의 일반정보<br>2. 제조·수입·사용·판매 등 취급하는 화학물질의 종류와 제품명 및 취급량<br>3. 화학물질의 입·출고량, 보관·저장량 및 수출·입량 등의 유통량<br>4. 가정용품, 전지, 조명기구 등 비점오염원을 구분할 수 있는 관련정보<br>5. 화학물질 취급시설의 종류, 위치 및 규모 관련 정보 |

### (2) 고용노동부 작업환경실태조사 검토

작업환경실태조사(2009년, 2014년) 결과 검토를 통해 연구대상 화학물질의 화학물질 업체규모, 근무형태, 취급 근로자수, 연간 취급량 등 취급현황을 분석한다.




[그림 II-10] 고용노동부 작업환경실태조사 자료 분석

### (3) 한국무역협회 자료 검토

한국무역협회는 수출입신고서에 따라 화학물질의 수출·수입량에 대한 금액, 중량(kg), 수량, 증가율 정보를 년도별로 아래 [그림 II-11]과 같이 제공하고 있다. 본 연구에서는 연구대상물질 15종에 대한 최근 5년간(2011~2015)의 수출입 현황 자료를 검토한다.



한국무역통계 >품목별수출입> 품목의 수출입

품목 : HSK 2902200000 ? 벤젠

년월별

수출입 : 수출 수입구분 ====== 화면선택 : 금액,중량 당월/누계 : 누계 단위 : 천불, Kg

| 년도 | 금액 | 중량 |
|---|---|---|
| 2012 | 1,851,739 | 1,560,416,518 |
| 2011 | 1,550,068 | 1,425,365,509 |
| 2010 | 1,142,015 | 1,267,473,414 |
| 2009 | 813,880 | 1,252,504,546 |
| 2008 | 1,221,853 | 1,230,335,446 |
| 2007 | 1,182,847 | 1,165,091,153 |
| 2006 | 1,024,579 | 1,221,408,271 |
| 2005 | 997,308 | 1,179,327,678 |
| 2004 | 849,061 | 1,052,204,103 |
| 2003 | 379,250 | 877,972,904 |
| 2002 | 154,202 | 468,044,904 |
| 2001 | 152,046 | 536,677,453 |

| 월별 | 2011 | |
|---|---|---|
| | 금액 | 중량 |
| 01 | 118,692 | 115,745,133 |
| 02 | 240,803 | 227,265,693 |
| 03 | 409,888 | 374,335,598 |
| 04 | 571,078 | 512,047,221 |
| 05 | 755,512 | 670,571,011 |
| 06 | 841,453 | 747,529,267 |
| 07 | 976,550 | 870,748,045 |
| 08 | 1,103,357 | 983,153,214 |
| 09 | 1,239,674 | 1,108,737,554 |
| 10 | 1,337,960 | 1,208,113,199 |
| 11 | 1,437,565 | 1,310,597,547 |
| 12 | 1,550,068 | 1,425,365,509 |

[그림 II-11] 한국무역협회의 품목별 수출입 통계

### 3) 국내외 노출기준 조사

#### (1) 연구대상 15종 화학물질에 대한 국내외 노출기준 조사

연구대상 화학물질에 대한 국내 고용노동부를 포함한 국외 여러 국가(오스트레일리아, 오스트리아, 벨기에, 캐나다. 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 헝가리, 아일랜드, 라트비아, 뉴질랜드, 폴란드, 싱가폴, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국 등)들의 노출기준치를 TWA(Time Weighted Average)와 STEL(Short Term Exposure Limit)로 각각 분류하여 조사한다.

#### (2) 미국 OSHA의 허용기준(Permissible Exposure Limits) 검토

15종 화학물질에 대한 미국 OSHA의 허용기준(Permissible Exposure Limits)과 TWA(Time Weighted Average), STEL(Short Term Exposure Limit), C(Ceiling)를 함께 검토하여 비교 분석을 실시한다.




[그림 II-12] 미국 OSHA 허용기준 검토

#### (3) 국내외 타 부처의 규제기준 고찰

15종 연구대상물질에 대한 노동부의 산업안전보건법, 환경부 화학물질 관리법, 국민안전처 위험물 관리법, 환경부 폐기물 관리법내 규제기준을 고찰할 계

획이며, 국외 자료로는 미국관리정보 CECLA 규정, EPCRA 313규정 등을 조사한다.




[그림 II-13] 연구대상 물질 대상 국내외 타부처 규제기준 고찰

### (4) GHS 분류결과 조사

안전보건공단 및 환경부에서 각각 제안하는 연구대상물질의 GHS 분류결과를 비교 조사할 계획이다. 조상항목에는 건강유해성(급성독성(경구, 경피, 흡입), 피부부식성/자극성, 심한눈손상/자극성, 호흡기과민성, 피부과민성, 발암성, 생식세포변이원성, 생식독성, 특정표적장기독성(1회노출, 반복노출), 흡인유해성,), 환경유해성(수생환경독성(급성,만성)) 2가지 항목으로 분류하여 조사한다.




[그림 Ⅱ-14] 연구대상 물질 대상 안전보건단 및 환경부 GHS 분류결과 비교 조사

### 4) 작업환경 측정 및 분석방법 제시

#### (1) 현행 관련고시(고용노동부고시 제2013-39호) 제42조의2의 적정성 검토

고용노동부고시 제2016-39호(작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시) 제42조의2에 의한 허용기준 대상 화학물질과 관련된 법규는 다음 표와 같으며, 13종으로 설정되어있다.

본 연구에서는 허용기준 이하 유지 대상 유해인자에 대한 노출 농도 측정 및 분석 방법을 국내외의 측정·분석방법을 근거로 현행 관련고시의 재검토를 수행한다.

<표 II-15> 산업안전보건법 제39조2(유해인자 허용기준의 준수)

| |
|---|
| ① 사업주는 발암성 물질 등 근로자에게 중대한 건강장해를 유발할 우려가 있는 유해인자로서 대통령령으로 정하는 유해인자는 작업장 내의 그 노출 농도를 고용노동부령으로 정하는 허용기준 이하로 유지하여야 한다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 그러하지 아니하다<br>1. 시설 및 설비의 설치나 개선이 현존하는 기술로 가능하지 아니한 경우<br>2. 천재지변 등으로 시설과 설비에 중대한 결함이 발생한 경우<br>3. 고용노동부령으로 정하는 임시 작업과 단시간 작업의 경우<br>4. 그 밖에 대통령령으로 정하는 경우<br>② 제1항 단서에도 불구하고 사업주는 유해인자의 노출 농도를 제1항에 따른 허용기준 이하로 유지하도록 노력하여야 한다. |

<표 Ⅱ-16> 산업안전보건법 시행령 제31조(허용기준 이하 유지 대상 유해인자)

| |
|---|
| 법 제39조의2제1항 각 호 외의 부분 본문에서 “대통령령으로 정하는 유해인자”란 다음 각 호와 같다.<br>1. 납 및 그 무기화합물<br>2. 니켈(불용성 무기화합물로 한정한다)<br>3. 디메틸포름아미드<br>4. 벤젠<br>5. 2-브로모프로판<br>6. 석면(제조·사용하는 경우만 해당한다)<br>7. 6가크롬 화합물<br>8. 이황화탄소<br>9. 카드뮴 및 그 화합물<br>10. 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 또는 톨루엔-2,6-디이소시아네이트<br>11. 트리클로로에틸렌<br>12. 포름알데히드<br>13. 노말헥산 |

<표 II-17> 산업안전보건법 시행규칙 제81조의4(허용기준)

| |
|---|
| ① 법 제39조의2제1항 각 호 외의 부분 본문에서 “고용노동부령으로 정하는 허용기준”이란 별표 11의 3과 같다.<br>② 허용기준 설정 대상 유해인자의 노출농도 측정에 관하여는 제93조의 3을 준용한다. |

### (2) 연구대상 화학물질 15종에 대한 작업환경 측정 및 분석방법 제시

연구 대상물질인 톨루엔, 수은, 휘발성콜타르피치, 일산화탄소, 베릴륨 및 그 화합물, 니켈카보닐, 아크릴로니트릴, 스티렌, 메틸알코올, 망간 및 그 무기화합물, 아닐린과 아닐린 동족체, 시클로헥사논, 코발트 및 그 무기화합물, 디클로로메탄, 트리클로로메탄(클로로포름) 15종의 선진 외국의 측정·분석 방법은 다음

의 표와 같다. 필요시 국내 실정에 적합한 더 나은 측정 및 분석 방법을 검토한다. 필요 시 취급사업장을 직접 방문하여 예비조사 및 작업환경측정·분석하고 고용노동부고시 제2016-39호 제42조의2 적절성을 검토한다.

- 측정 및 분석 방법의 유무 조사를 위해서 NIOSH, OSHA, HSE 등에서 제안 된 측정방법 조사하여 동일한 조건을 적용하기 위해 제도의 실효성 확보 측면에서 검토를 필요로 한다.
- 선진 외국의 허용기준(노출기준)과 비교하여 허용기준의 강화에 대한 적정성을 제시하였다.
- 분석방법의 분석과정, 분석결과, 정확도, 정밀도, 검출한계, 정량한계를 제시함. 이는 NIOSH, OSHA, HSE 등의 문헌·자료와 산업보건 등 관련된 국내·외 전문학술지 문헌 조사·검토 등을 통해 과학적 근거 마련한다.
- 한국산업안전보건공단의 최근 개정된 안전보건기술지침(GUIDE)의 시료채취 및 분석지침(2015년 9월 일부개정)을 활용한다.
- 각 대상물질별 정확도, 정밀도, 검출한계, 실제 분석자료 크로마토그램(표준용액)을 반영하여 제안함으로써 실무에 직접 참고할 수 있도록 한다.

### 5) 사회성·경제성 평가 대상 물질 선정 절차 제안

#### (1) 건강유해성 구분별 가중치 부여

화학물질의 유해성위험성 평가 지침(KOSHA GUIDE, W-6-2012)에 의거, 건강유해성 항목별 아래 <표 II-18>에서 주어진 바와 같이 가중치를 부여하고 부여된 가중치 중 가장 높은 항목의 점수를 해당 물질의 유해성 가중치로 선정한다.

<표 II-18> 건강유해성 구분별 가중치 부여 기준

| 유해성 항목 | | 구분1 | | 구분 2 | 구분 3 | 구분 4 | 자료 없음 | 분류되지 않음 | 해당 없음 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1A | 1B | | | | | | |
| 급성경구(경구, 경피, 흡입) | | 5 | | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 자극성 (피부, 눈) | | 5 | | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 과민성 | 호흡기 | 6 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 피부 | 5 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 생식세포변이원성 | | 10 | 9 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 생식독성 | | 10 | 9 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 발암성 | | 10 | 9 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 표적장기독성(1회) | | 0 | | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 표적장기독성(반복) | | 6 | | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 흡인유해성 | | 4 | | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

#### (2) 직업병 발생 평가 항목 가중치

화학물질의 유해성위험성 평가 지침(KOSHA GUIDE, W-6-2012)에 근거하여 직업병 발생 평가 항목 가중치는 국내·외 직업병 발생 여부를 고려하여 <표 II-19>와 같이 중대한/상당한/일반 건강장해에 따라 10점, 7점, 2점으로 가중치를 부여하였다.

<표 II-19> 직업병 발생 평가 항목 가중치 부여 기준

| 건강장해 정도 | 분류 기준 | 가중치 |
|---|---|---|
| 중대한 건강장해 | 직업적 노출에 의한 국외 사망 사고 사례(ACGIH) | 10 |
| | 직업적 노출에 의한 국내 사망 사고 발생 사례 | |
| | 직업적 노출에 의한 비가역적 건강영향 보고사례(ACGIH) | |
| | 직업적 노출에 의한 국내 만성질환의 사례(암 등) | |
| 상당한 건강장해 | 직업적 노출에 의한 국내 만성질환의 사례(접촉성 피부염 등) | 7 |
| | 직업적 노출에 의한 가역적 건강영향 보고사례(ACGIH) | |
| 일반 건강장해 | 직업적 노출에 따른 급성질환 환의 사례 | 2 |

### (3) 노출가능성 고려한 가중치 부여

화학물질의 유해성위험성 평가 지침(KOSHA GUIDE, W-6-2012)에 근거하여 노출가능성 평가를 위한 가중치는 국내 취급사업장 수, 국내 노출근로자 수, 국내 취급량 및 유통량 자료를 이용하여 <표 II-19>와 같이 가중치를 부여하였다.

또한, 본 연구에서는 전년도 자료 대비 가장 최근 자료의 취급장 수와 노출근로자 수, 국내 취급량(유통량)의 변동율에 추가 가중치 부여기준을 설정하였다<표 II-20, II-21.>.

<표 II-20> 노출가능성 고려한 가중치 부여기준

| 구분 | 기준 | 구분 1 | 구분 2 | 구분 3 | 구분 4 | 구분 5 | 구분외 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 국내 취급장 수 | 취급장 수 (개소) | 300 이상 | 100 이상, 300 미만 | 50 이상, 100 미만 | 5 이상, 50 미만 | 5 미만 | - |
| | 가중치 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 |
| 국내 노출 근로자 수 | 노출 근로자 수 (명) | 300 이상 | 100 이상, 300 미만 | 50 이상, 100 미만 | 5 이상, 50 미만 | 5 미만 | - |
| | 가중치 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 |
| 국내 취급량 (또는 유통량) | 연간 취급량 (톤) | 1000 이상 | 10이상, 1000미만 | 1 이상, 10 미만 | 0.1 이상, 1 미만 | 0.1 미만 | |
| | 가중치 | 20 | 16 | 12 | 8 | 4 | 0 |

<표 II-21> 변동비율에 따른 가중치 부여기준

| 가중치 | 기준 (%) |
|---|---|
| 3 | ≥ 70 |
| 2 | 30 ≤ a < 70 |
| 1 | 1 ≤ a < 30 |
| 0 | < 1 |

### (4) 근로자 노출평가 결과 조사

본 연구에서는 근로자 노출평가 결과를 상기 항목들과 함께 고려하여 사회경제성 평가 우선 관리 물질 선정에 적용하였다. 각 가중치별 기준의 범위 선정의 경우 연구대상 화학물질의 모든 노출평가(초과율) 결과를 나열하여 해당 데이터에 대한 95% 신뢰구간내 10개 항목(10점: 95%, 9점: 85%, 8점: 75%, 7점: 65%, 6점 55%, 5점 45%, 4점 35%, 3점 25%, 2점 15%, 1점 5%)으로 표준잔차를 분류하여 각각 선정하였다.

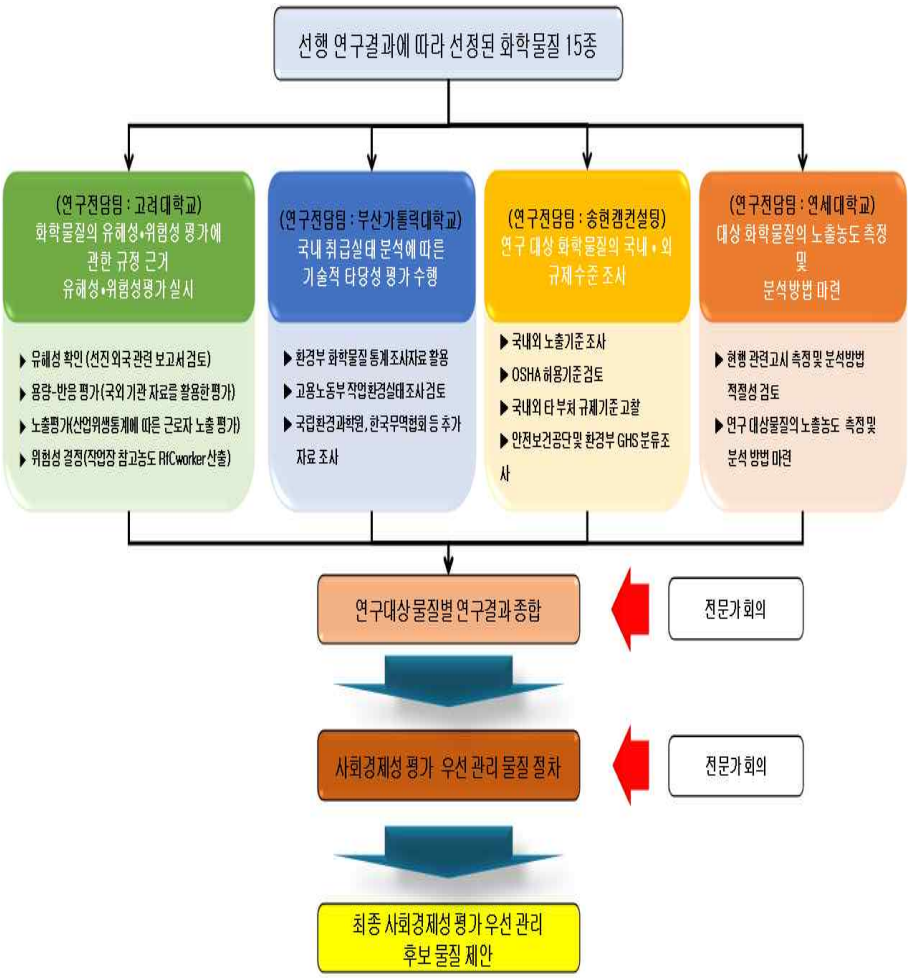
<표 II-22> 근로자 노출평가(초과율) 점수 부여 기준

| 가중치 | 기준 (%) |
|---|---|
| 10 (≥ 95%) | ≥ 85 |
| 9 (85% ≤ a < 95%) | 30 ≤ a < 85 |
| 8 (75% ≤ a < 85%) | 10 ≤ a < 30 |
| 7 (65% ≤ a < 75%) | 6 ≤ a < 10 |
| 6 (55% ≤ a < 65%) | 3 ≤ a < 6 |
| 5 (45% ≤ a < 55%) | 2 ≤ a < 3 |
| 4 (35% ≤ a < 45%) | 0.5 ≤ a < 2 |
| 3 (25% ≤ a < 35%) | 0.1 ≤ a < 0.5 |
| 2 (15% ≤ a < 25%) | 0.05 ≤ a < 0.1 |
| 1 (5% ≤ a < 15%) | 0.01 ≤ a < 0.05 |
| 0 (< 5%) | < 0.01 |

## 3. 연구추진계획

### 1) 연구추진체계

본 연구를 추진하기 위한 계획 체계도는 다음 [그림 II-15]와 같다.




[그림 II-15] 연구추진체계도

# III. 연구결과

## 1. 유해성·위험성 평가

### 1) 국내외 문헌조사 등 연구자료 활용을 통한 유해성 확인

#### (1) 연구대상 화학물질 15종에 대한 물리·화학적 특성 정리

대상 화학물질 15종을 산업안전보건공단 물질안전보건자료(MSDS)를 이용하여 물질명(CAS NO) 및 GHS 건강 유해성 분류, 물리·화학적 특성 등을 아래 <표 III-23>과 같이 정리하였다.

<표 III-23> 연구대상물질의 GHS에 따른 유해성 및 물리·화학적 특성 정리

<table>
<tr><th>번호</th><th>물질명<br>[CAS No]</th><th>GHS 건강유해성 분류</th><th>물리·화학적 특성</th></tr>
<tr><td>1</td><td>톨루엔<br>[108-88-3]</td><td>인화성액체 구분2, 급성독성(흡입: 증기) 구분4, 피부부식성/피부자극성 구분2, 심한 눈 손상성/눈 자극성 구분2, 생식독성 구분2, 특정표적장기독성(1회) 구분1, 특정표적장기독성(1회) 구분3(마취작용), 특정표적장기독성(1회) 구분3(호흡기계 자극), 특정표적장기독성(반복) 구분1, 흡인유해성 구분1<br><table><tr><td>IARC</td><td>Group 3</td></tr><tr><td>ACGIH</td><td>A4</td></tr><tr><td>NTP</td><td>자료없음</td></tr><tr><td>EU CLP</td><td>자료없음</td></tr></table></td><td>물질성상: 액체<br>분자량: 92.14<br>끓는점: 111℃<br>녹는점: -95℃<br>인화점: 4℃</td></tr>
<tr><td>2</td><td>수은<br>[7439-97-6]</td><td>급성독성(흡입: 증기) 구분1, 피부 부식성/피부 자극성 구분2, 심한 눈 손상성/눈 자극성 구분2, 피부 과민성 구분1, 생식독성 구분1B, 특정표적장기 독성(1회) 구분1, 특정표적장기독성(반복) 구분1, 만성 수생환경 유해성 구분4</td><td>물질성상: 점성 액체<br>분자량: 200.59<br>끓는점 357℃<br>녹는점: -39℃<br>인화점: 자료없음</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td><table>
<tr><td>IARC</td><td>Group 3</td></tr>
<tr><td>ACGIH</td><td>A4</td></tr>
<tr><td>NTP</td><td>자료없음</td></tr>
<tr><td>EU CLP</td><td>자료없음</td></tr>
</table></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td>휘발성콜타르피치<br>[65996-93-2]</td><td>발암성 1A, 피부 부식성/피부자극성 구분2, 심한 눈 손상성/눈 자극성 구분2, 특정표적장기 독성(1회) 구분3, 만성 수생환경 유해성 구분4<table>
<tr><td>IARC</td><td>Group 1</td></tr>
<tr><td>OSHA</td><td>자료없음</td></tr>
<tr><td>ACGIH</td><td>A1</td></tr>
<tr><td>NTP</td><td>자료없음</td></tr>
<tr><td>EU CLP</td><td>1A</td></tr>
</table></td><td>물질성상: 고체<br>분자량: 자료없음<br>끓는점: >250℃<br>녹는점: 30~180℃<br>인화점: >200℃</td></tr>
<tr><td>4</td><td>일산화탄소<br>[630-080-0]</td><td>인화성 가스 구분1, 고압가스 압축가스, 급성독성 구분 3, 생식독성 구분 1A, 특정표적장기 독성(1회) 구분1, 특정표적장기 독성(반복) 구분2<table>
<tr><td>IARC</td><td>자료없음</td></tr>
<tr><td>ACGIH</td><td>자료없음</td></tr>
</table></td><td>물질성상: 압축가스<br>분자량: 28.01<br>끓는점: -191℃<br>녹는점: -205℃</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td><table><tr><td>NTP</td><td>자료없음</td></tr><tr><td>EU CLP</td><td>자료없음</td></tr></table></td><td>인화점: 자료없음</td></tr>
<tr><td>5</td><td>베릴륨[7440-41-7] 및 그 화합물</td><td>인화성 고체 구분1, 호흡기 과민성 구분1, 피부 과민성 구분1, 발암성 구분1A, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1, 특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1, 만성 수생환경 유해성 구분4<table><tr><td>IARC</td><td>1</td></tr><tr><td>ACGIH</td><td>A1</td></tr><tr><td>NTP</td><td>K</td></tr><tr><td>EU CLP</td><td>1B</td></tr></table></td><td>물질성상: 고체, 분말<br>분자량: 9<br>끓는점: >2500℃<br>인화점: 자료없음<br>녹는점: 1287℃</td></tr>
<tr><td>6</td><td>니켈카보닐 [13463-39-3]</td><td>인화성 액체 구분2, 급성 독성(흡입: 증기) 구분1, 피부 부식성/피부 자극성 구분2, 심한 눈 손상성/눈 자극성 구분1, 호흡기 과민성 구분1, 발암성 구분1A, 생식독성 구분1B, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1<table><tr><td>IARC</td><td>자료없음</td></tr><tr><td>ACGIH</td><td>A3</td></tr><tr><td>NTP</td><td>자료없음</td></tr><tr><td>EU CLP</td><td>2</td></tr></table></td><td>물질성상: 휘발성 액체<br>분자량: 170.73<br>끓는점: 43℃<br>녹는점: -19℃<br>인화점: <-20℃</td></tr>
</table>

<table>
<tr>
<td>7</td>
<td>아크릴로니트릴<br>[107-13-1]</td>
<td>인화성 액체 구분2, 급성 독성(경구) 구분3, 급성 독성(경피) 구분2, 급성 독성(흡입: 증기) 구분2, 피부 부식성/피부 자극성 구분2, 심한 눈 손상성/눈 자극성 구분2, 피부 과민성 구분1, 발암성 구분1B, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분3(호흡기계 자극), 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분3(마취작용), 특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1
<table>
<tr><td>IARC</td><td>2B</td></tr>
<tr><td>ACGIH</td><td>A3</td></tr>
<tr><td>NTP</td><td>R</td></tr>
<tr><td>EU CLP</td><td>1B</td></tr>
</table>
</td>
<td>물질성상: 액체<br>끓는점: 77℃<br>녹는점: -84℃<br>인화점: -1.1℃<br>분자량: 53.06</td>
</tr>
<tr>
<td>8</td>
<td>스티렌<br>[100-42-5]</td>
<td>인화성 액체 구분3, 급성 독성(흡입: 증기) 구분4, 피부 부식성/피부 자극성 구분2, 심한 눈 손상성/눈 자극성 구분2, 발암성 구분2, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분3(호흡기계 자극), 특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1,흡인 유해성 구분1
<table>
<tr><td>IARC</td><td>2B</td></tr>
</table>
</td>
<td>물질성상: 액체<br>끓는점: 146℃<br>녹는점: -31℃<br>인화점: 31℃<br>분자량: 104.14</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td><table><tr><td>ACGIH</td><td>A4</td></tr><tr><td>NTP</td><td>R</td></tr><tr><td>EU CLP</td><td>자료없음</td></tr></table></td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td>메틸알코올<br>[67-56-1]</td><td>인화성 액체 구분2, 심한 눈 손상성/눈 자극성 구분2, 생식독성 구분1B, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1<br><table><tr><td>IARC</td><td>자료없음</td></tr><tr><td>ACGIH</td><td>자료없음</td></tr><tr><td>NTP</td><td>자료없음</td></tr><tr><td>EU CLP</td><td>자료없음</td></tr></table></td><td>물질성상: 액체<br>끓는점: 65℃<br>녹는점: -98℃<br>인화점: 12℃<br>분자량: 32.04</td></tr>
<tr><td>10</td><td>망간[7439-96-5] 및 그 무기화합물</td><td>생식독성 구분1B, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1, 특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1, 만성 수생환경 유해성 구분4<br><table><tr><td>IARC</td><td>자료없음</td></tr><tr><td>ACGIH</td><td>A4</td></tr></table></td><td>물질성상: 고체<br>끓는점: 1962℃<br>녹는점: 1244℃<br>인화점: 자료없음</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td><table><tr><td>NTP</td><td>자료없음</td></tr><tr><td>EU CLP</td><td>자료없음</td></tr></table></td><td>분자량: 54.94</td></tr>
<tr><td>11</td><td>아닐린과 아닐린 동족체<br>[62-53-3]</td><td>급성 독성(경구) 구분4, 급성 독성(경피) 구분3, 급성 독성(흡입: 증기) 구분2, 급성 독성(흡입: 분진/미스트) 구분4, 피부 부식성/피부 자극성 구분2, 심한 눈 손상성/눈 자극성 구분2, 피부 과민성 구분1, 생식세포 변이원성 구분2, 발암성 구분2, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1, 특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1, 급성 수생환경 유해성 구분1<br><table><tr><td>IARC</td><td>3</td></tr><tr><td>ACGIH</td><td>A3</td></tr><tr><td>NTP</td><td>자료없음</td></tr><tr><td>EU CLP</td><td>2</td></tr></table></td><td>물질성상: 유성 액체<br>끓는점: 184℃<br>녹는점: -6℃<br>인화점: 70℃<br>분자량: 93.13</td></tr>
<tr><td>12</td><td>시클로헥사논<br>[108-94-1]</td><td>인화성 액체 구분3, 급성 독성(경구) 구분4, 급성 독성(경피) 구분3, 급성 독성(흡입: 증기) 구분3, 피부 부식성/피부 자극성 구분2, 심한 눈 손상성/눈 자극성 구분2, 생식세포 변이원성 구분2, 발암성 구분2, 생식독성 구분2, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분3 (호흡기계 자극), 특정표적장기</td><td>물질성상: 액체<br>끓는점: 156℃<br>녹는점: -32.1℃<br>인화점: 44℃</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td>독성(1회 노출)구분3(마취작용), 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분2, 특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1<br><table><tr><td>IARC</td><td>3</td></tr><tr><td>ACGIH</td><td>A3</td></tr><tr><td>NTP</td><td>자료없음</td></tr><tr><td>EU CLP</td><td>자료없음</td></tr></table></td><td>분자량: 98.14</td></tr>
<tr><td>13</td><td>코발트[7440-48-4] 및 그 무기화합물</td><td>호흡기 과민성 구분1, 피부 과민성 구분1, 발암성 구분2, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분3(호흡기계 자극), 특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1, 만성 수생환경 유해성 구분4<br><table><tr><td>IARC</td><td>2B</td></tr><tr><td>ACGIH</td><td>A3</td></tr><tr><td>NTP</td><td>자료없음</td></tr><tr><td>EU CLP</td><td>자료없음</td></tr></table></td><td>물질성상: 자료없음<br>끓는점: 2870℃<br>녹는점: 1493℃<br>인화점: 자료없음<br>분자량: 58.93</td></tr>
<tr><td>14</td><td>디클로로메탄 [75-09-2]</td><td>급성 독성(경구) 구분4, 피부 부식성/피부 자극성 구분2, 심한 눈 손상성/눈 자극성 구분2, 발암성 구분2, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1, 특</td><td>물질성상: 액체<br>끓는점: 40℃</td></tr>
</table>

<table>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>정표적장기 독성(1회 노출) 구분3, (마취작용)특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1, 만성 수생환경 유해성 구분2<br><table><tr><td>IARC</td><td>2A</td></tr><tr><td>ACGIH</td><td>A3</td></tr><tr><td>NTP</td><td>R</td></tr><tr><td>EU CLP</td><td>2</td></tr></table></td>
<td>녹는점: -95℃<br>인화점: 자료없음<br>분자량: 84.93</td>
</tr>
<tr>
<td>15</td>
<td>트리클로로메탄<br>(클로로포름)<br>[67-66-3]</td>
<td>급성 독성(경구) 구분4, 피부 부식성/피부 자극성 구분1, 심한 눈 손상성/눈 자극성 구분1, 발암성 구분2, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1, 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분3, (마취작용)특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1, 만성 수생환경 유해성 구분2<br><table><tr><td>IARC</td><td>2B</td></tr><tr><td>ACGIH</td><td>A3</td></tr><tr><td>NTP</td><td>R</td></tr><tr><td>EU CLP</td><td>2</td></tr></table></td>
<td>물질성상: 휘발성 액체<br>끓는점: 62℃<br>녹는점: -64℃<br>인화점: 자료없음<br>분자량:119.38</td>
</tr>
</table>

### (2) 유해성 확인

유해성 확인은 어떤 화학물질에 노출되었을 경우 과연 유해한 영향을 유발시키는가를 결정하는 단계로서 아래 <표 Ⅲ-24>과 같이 그 물질에 대한 모든 동물실험자료, 사람에 대한 자료(역학연구) 및 생화학적 유사성에 대한 자료, 물리·화학적인 자료 등을 토대로 그 물질의 유해성 여부를 확인하는 정성적 평가 단계이다.

이에 최신 ACGIH의 TLV's Documents을 통해 15종 물질에 대한 유해성을 확인하였고, 동시에 각 물질별 노출기준의 설정 근거도 제시하였다.(부록-3 참조)

<표 III-24> 유해성 확인 단계

| 구분 | 주요 과정 | 세부조사내용 |
|---|---|---|
| 1단계 | 역학 연구 검색 | - 사람을 대상으로 원인물질과 영향간의 인과관계를 추론하는 역학 연구검색을 실행하여, 그 결과를 이용하여 동물 실험결과나 보조적 단기실험결과와 함께 그 물질의 독성을 확인한다.<br>- 사람에 대한 적절한 독성 종말점과 관련된 노출수준에 대한 정보가 있다면, 역학연구는 용량-반응평가의 근거자료로도 이용한다.<br>- 정량적인 역학연구 자료가 존재한다면 동물에서 사람으로의 외삽이 필요하지 않으며, 위험성 평가시 동물자료보다 우선순위에 두고 동물자료는 보충적인 정보로 이용한다. |
| 2단계 | 동물 실험 연구 검색 | - 만성독성이나 발암성에 대한 생체 내(In vivo) 연구 결과를 검색하여 그 물질이 발암성은 없으나 독성을 지니는 물질과, 독성과 발암성을 함께 지니는 물질로 구분한다.<br>- 동물 실험에서 독성 또는 발암성에 대해 양성으로 판정되면 항상 그렇지는 않지만 사람에게 있어서 동일한 독성이나 발암위험의 가능성을 갖는다고 추정할 수 있다.<br>- 대부분의 경우 역학 연구자료의 제한성 때문에 실험동물 결과를 통해 위험성을 유추하게 되는데. 실험 동물자료에서 적절한 독성 종말점(Toxic endpoint)에 대한 무영향관찰용량(NOAEL) 또는 최소독성량(LOAEL)에 관한 정보가 있다면, 정량적인 용량-반응 평가의 근거자료로도 이용한다. |
| 3단계 | 보충 연구 검색 | - 독성에 관한 보충적인 정보를 제공하는 것으로서, 시험관 내(In vitro) 실험 결과, 약물동력학적 연구, 구조-활성 상관관계(Structure-activity relationship) 연구결과 등을 검색한다.<br>- 대사작용 및 다른 약물동력학적 연구는 특정성분의 독성 작용기전(Mechanism of action)에 대한 정보를 제공. 동물과 사람의 대사작용을 비교하여 인체 독성 잠재성을 예측할 수 있고, 사람에 있어 동일한 독성을 나타내는 용량을 추정하는 것이 가능하다.<br>- 시험관 내(In vitro) 실험은 화학물질의 잠재적·생물학적 활성에 대한 정보를 제공하며, 임의의 화학물질과 구조적으로 관련성이 있는 다른 화학물질의 구조-활성 상관관계(Structure-activity relationship)는 대상 화학물질의 가능한 독성에 대한 정보를 얻을 수 있다. |
| 4단계 | 유해성 분류 | -역학연구, 실험동물연구 및 보충 연구 자료를 바탕으로 특정 화학물질의 인체 독성 유발 가능성을 GHS 분류 기준에 의해 분류한다. |

(출처: KOSHA GUIDE W-6-2012)

## 2) 국내·외 직업병 사고사례 조사 분석을 통한 유해성 입증

### (1) 국내 사고사례 조사

#### 가) 직업병 사고사례 조사

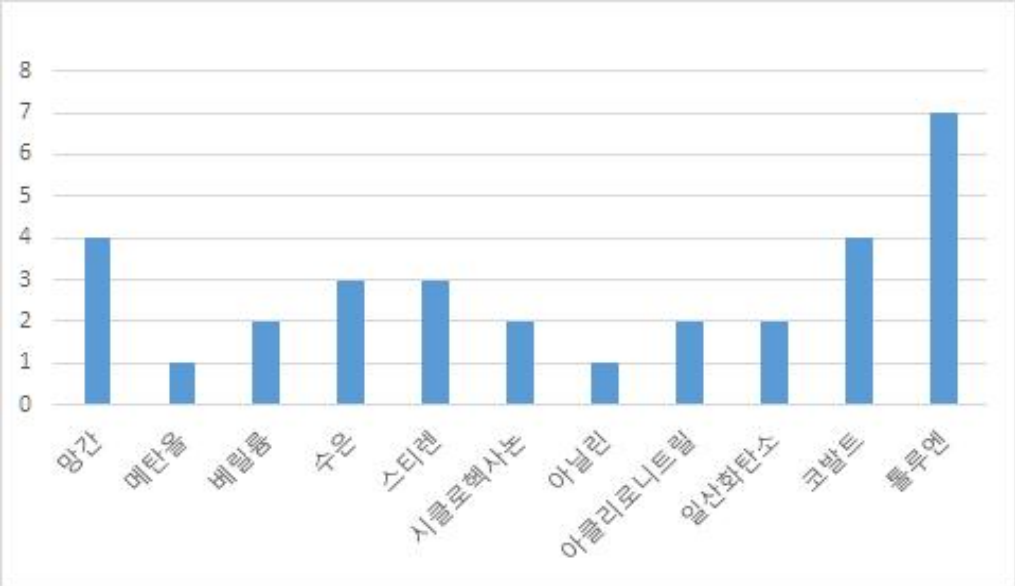
국내 직업병 발생 여부는 안전보건공단의 2005년-2016년 국내외 직업병 진단사례 결과를 토대로 조사한 결과 아래 <표 Ⅲ-25>와 같다.

<표 Ⅲ-25> 국내 직업병 사고사례 조사 결과

| 물질명 | 발생년도(년) | 총합(회) |
|---|---|---|
| 망간 | 97, 00, 02, 08 | 4 |
| 메탄올 | 99 | 1 |
| 베릴륨 | 03, 05 | 2 |
| 수은 | 00, 09, 15 | 3 |
| 스티렌 | 00, 02, 07 | 3 |
| 시클로헥사논 | 01, 09 | 2 |
| 아닐린 | 00 | 1 |
| 아크릴로니트릴 | 95, 08 | 2 |
| 일산화탄소 | 01, 02, 12, 13 | 4 |
| 코발트 | 01, 02, 05, 09 | 4 |
| 톨루엔 | 99~02, 07, 09, 16.8월 | 7 |

1992년부터 2016년까지 대상 화학 물질 15종 중 직업병 진단 사례가 보고된 11종에 대한 현황을 분석하면 톨루엔이 8건으로 가장 많이 보고되었다. 톨루엔으로 인한 직업병 발생은 우리나라에 1999년 처음 톨루엔으로 인한 전신성 경

화증에 걸린 여성 근로자에서 발견되었다. 그 이후 톨루엔 노출로 인한 직업병은 꾸준히 발생하고 있다. 그 다음으로 망간과 코발트 같은 중금속 노출로 인한 직업병이 4건으로 많은데 이는 주로 철강 산업 근로자에게 많이 발생하였다. 1997년 처음 망간으로 인해 포항지역 용접공에서 집단적으로 망간중독 사례가 발견되었다. 현재 노동부는 국내 용접공 수를 16만명이라고 추산하고 있는데, 망간에 노출될 우려가 있는 근로자가 많은 만큼 직업병 진단 확률이 더 높아 주의를 요한다. 코발트는 알러지, 호흡기계에 영향을 주고, 인체 발암성 가능 물질(IARC Group 2A)이기 때문에 더 주의가 필요하다. 수은과 스티렌은 직업병 진단 사례가 각각 3건 보고되었다. 그 외 6개 물질은 직업병 진단 사례가 1-2건으로 많지는 않지만 주의가 필요한 물질이라 사료된다.




[그림 III-16] 연구대한 화학물질 대한 국내 직업병 발생현황

### 나) 급성중독 관련 사고사례 조사

아래 <표 III-26>은 안전보건공단에서 제공하는 급성중독 발생현황을 추가적으로 조사하여 정리하였다.

<표 III-26> 국내 급성중독 관련 사고사례 조사 결과

| 직업병 유발물질 | 발생월 | 업종 (공정) | 노출 기간 | 재해 형태 | 주요 원인 및 특징 | 작업환경측정 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 디클로로메탄 | 09.7 | 축전지용 필름 제조 (코팅) | 1일 | 급성중독 사망(1명)<br>※ 코팅조 내부 점검 중 급성중독 | - 환기장치 미설치<br>- 방독마스크 등 보호구 미착용 | 실시 |
| 톨루엔 | 09.8 | 건설업 (터널 방수) | 1일 | 급성중독 사망(3명)<br>※ 터널 방수재 도포 작업중 급성중독 | - 환기장치 미설치<br>- 송기마스크 등 보호구 미착용 | 미실시 (비대상) |
| 클로로포름 | '10.5 | 의료기계기구제조업 (접착) | 40일 | 독성간염(3명)<br>※ 접착작업 중 황달 등 독성간염 및 피부병변 | - 클로로포름 유해성 미인지<br>- 국소배기장치 등 환기장치 미설치<br>- 방독마스크 등 보호구 미착용<br>- 특수검진 미실시 | 미실시 |
| 디클로로메탄 | '10.10 | 금속제품제조 (세척) | 1일 | 급성중독 사망(2명)<br>※ 탈지조 드레인 밸브에서 누출된 염화 | - 환기 불충분<br>- 디클로로메탄 유해성 인지 미흡 | 미실시 |

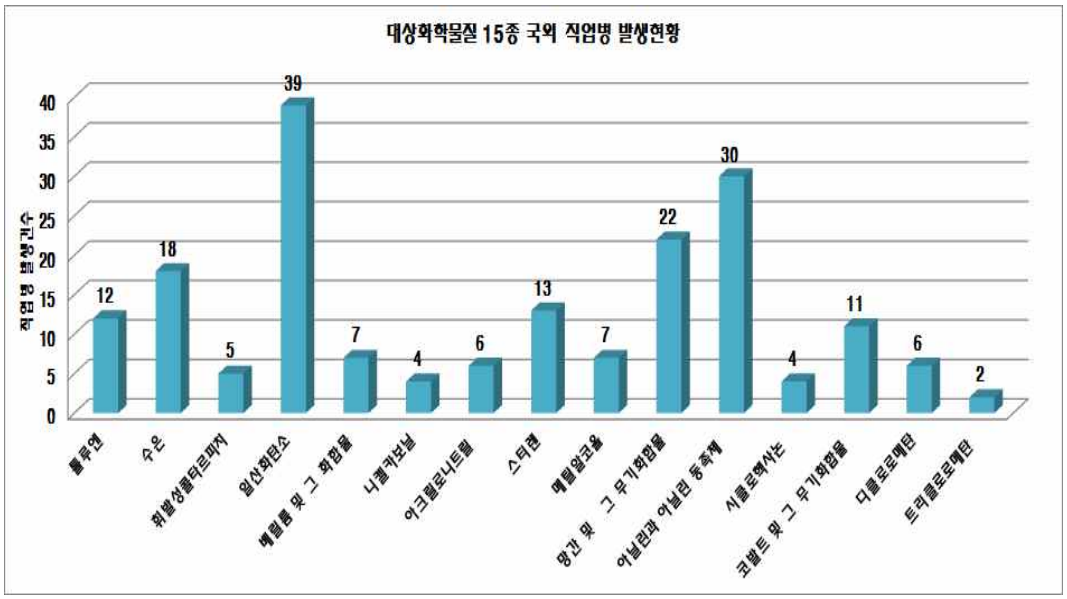
| 직업병<br>유발물질 | 발생월 | 업종<br>(공정) | 노출<br>기간 | 재해 형태 | 주요 원인 및 특징 | 작업환경측정 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 메틸렌<br>청소 중 중독·질식 | - 송기마스크 등 보호구 미착용 | |
| 디클로로메탄 | '12. 7 | 전자관 또는 반도체소자 제조업<br>(세척공정 ) | 3월 | 급성중독 사망(1명)<br>※ 초음파세척기 내부에 떨어진 반제품 회수 작업 중 급성중독 | - 환기 불충분<br>- 디클로로메탄 유해성 미인지<br>- 송기마스크 등 보호구 미착용 | 실시 |
| 디클로로메탄 | '14.2 | 위생 및 유사서비스업<br>(세척) | 1일<br>(20분) | 급성중독(2명)<br>※ 염화메틸렌(120ℓ)이 들어있는 디핑 세척조 내부의 슬러지 제거작업 중 중독 | - 환기 불충분<br>- MC(디클로로메탄) 유해성 미인지<br>- 적정 보호구(송기마스크) 미착용 | '13년도 실시 |
| 디클로로메탄 | '14.5 | 유기화학제품제조업<br>(세척) | 1일 | 급성중독(3명)<br>※ 콘루프탱크 내부에서 MC(세척제)를 이용한 세척작업 중 중독 | - 환기 불충분<br>- MC(디클로로메탄) 유해성 미인지<br>- 적정 보호구(송기마스크) 미착용 | 해당없음 |
| 수은 | '15.10 | 기타건설공사<br>(형광램프 생산설비 철거 공사) | 16일<br>('15.3.23 ~ 4.7) | 급성중독(12명)<br>※ (주)남영전구 광주공장 형광램프 생산설비 철거작업 중 수은에 중독 | - 원청의 안전보건정보(수은) 미제공<br>- 철거작업 전 잔류수은 폐기 부적절 및 노출차단조치 미흡<br>- 적정 보호구(방독마스크) 미착용 | 해당없음<br>(원청 : '13년도 실시) |
| 메틸알코올 | 15.12 | 금속제품 제조업 또는 금속 | 8일 | 급성중독<br>(실명 1명) | - 환기 불충분<br>- 적정 보호구(송기마스크) 미착용 | 미실시 |

| 직업병 유발물질 | 발생월 | 업종 (공정) | 노출 기간 | 재해 형태 | 주요 원인 및 특징 | 작업환경측정 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 가공업 (핸드폰부품가공) | | ※ CNC 절삭작업 중 고농도의 메탄올 증기에 중독 | - 메틸알코올 유해성 미인지 | |
| 메틸알코올 | 16.01 | 플라스틱가공제품 제조업 (핸드폰 부품 가공 및 검사) | 4개월 | 급성중독 (시력손상 2명: 외국인1명 ,시야결손 1명) ※ CNC 절삭작업 및 검사작업 중 고농도의 메탄올 증기에 중독 | - 환기 불충분<br>- 적정 보호구(송기마스크) 미착용<br>- 메틸알코올 유해성 미인지 | 미실시 |
| 메틸알코올 | 16.02 | 금속제품 제조업 또는 금속 가공업 (핸드폰부품가공) | 6일 | 급성중독 (시력손상 1명) ※ CNC 절삭작업 및 검사작업 중 고농도의 메탄올 증기에 중독 | - 환기 불충분<br>- 적정 보호구(송기마스크) 미착용<br>- 메틸알코올 유해성 미인지 | 미실시 |

### (2) 국외 사고사례 조사

연구대상 화학물질에 대한 ACGIH TLV documentation 의 Human study 직업병 발생 여부 조사, 독일의 MAK의 Human study를 이용하여 직업병 발생 여부를 조사하였다. 연구대상 물질별 직업병 사고사례를 조사하여 아래 [그림 Ⅲ-17]에 요약하여 나타냈다.

그 결과 톨루엔이 12건, 수은 18건, 휘발성콜타르피치 5건, 일산화탄소 39건, 베릴륨 및 그 화합물 7건, 니켈카보닐 4건, 아크릴로니트릴 6건, 스티렌 13건, 메틸알코올 7건, 망간 및 그 무기화합물 22건, 아닐란과 아닐린동족체 30건, 시클로헥사논 4건, 코발트 및 그 무기화합물 11건, 디클로로메탄 6건, 트리클로로메탄 2건으로 각각 조사되었다(세부적인 내용은 부록-4 참조).




[그림 Ⅲ-17] 국외 직업병 발생 사례

### 3) 근로자 노출 평가

#### (1) 근로자 노출 평가 결과

연구대상 물질 15종을 대상으로 본 연구진에서 제안하는 방법을 통해 최근 5년간의 작업환경측정결과 자료를 활용하여 근로자 노출평가 실시결과를 아래 <표 III-27, III-28, III-29, III-30, III-31>에 정리하였다.

톨루엔을 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 174,300개 시료를 측정하였으며 최대값은 267.97 ppm, 중앙값 0.30 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.1 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 1.09 %, ACGIH TLV 적용시 1.89 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 5.60 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.1 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 1.09 %로 조사되었다.

수은을 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 154개 시료를 측정하였으며 최대값은 0.077 ㎎/㎥, 중앙값 0.001 ㎎/㎥, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 1.69 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 1.69 %, 독일 AGS 기준치 적용시 6.50 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 18.12 %로 조사되었다.

휘발성콜타르피치를 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 610개 시료를 측정하였으며 최대값은 0.182 ㎎/㎥, 중앙값 0.02 ㎎/㎥, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 3.52 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %, ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 3.52 %로 조사되었다.

일산화탄소를 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 19,518개 시료를 측정하였으며 최대값은 1533.33 ppm, 중앙값 2 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.03 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 4.50 %,

ACGIH TLV 적용시 0.72 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 8.02 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.03 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 4.50 %로 조사되었다.

베릴륨 및 그 화합물를 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 27개 시료를 측정하였으며 최대값은 0.0018 ㎎/㎥, 중앙값 0.0001 ㎎/㎥, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 23.33 %, ACGIH TLV 적용시 81.39 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 86.11 %, 독일 AGS 기준치 적용시 74.72 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 86.11 %로 조사되었다.

니켈카보닐를 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 26개 시료를 측정하였으며 최대값은 0.0028 ppm, 중앙값 0 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 및 ACGIH TLV 적용시 초과율이 나타나지 않았다.

아크릴로니트릴를 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 511개 시료를 측정하였으며 최대값은 1.85 ppm, 중앙값 0.23 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 3.49 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 3.49 %, 독일 AGS 기준치 적용시 2.61 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 13.72 %로 조사되었다.

스티렌을 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 13,500개 시료를 측정하였으며 최대값은 127.86 ppm, 중앙값 0.25 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 1.12 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 5.76 %, ACGIH TLV 적용시 1.12 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 5.76 %, 독일 AGS 기준치 적용시 1.12 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 5.76 %로 조사되었다.

메틸알코올를 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 34,120개 시료를 측정하였으며 최대값은 344.06 ppm, 중앙값 2.38 ppm, 초과율은 고용노동부 노출

기준 적용시 0.03 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.78 %, ACGIH TLV 적용시 0.03 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 0.78 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.03 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 0.78 %로 조사되었다.

망간 및 그 무기화합물를 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 258,333개 시료를 측정하였으며 최대값은 22.06 ㎎/㎥, 중앙값 0.004 ㎎/㎥, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.73 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 2.73 %, ACGIH TLV 적용시 29.84 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 40.41 %, 독일 AGS 기준치 적용시 29.84 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 40.41 %로 조사되었다.

아닐린과 아닐린 동족체를 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 31개 시료를 측정하였으며 최대값은 1.07 ppm, 중앙값 0.05 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 2.22 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 2.22 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.00 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 2.22 %로 조사되었다.

시클로헥사논를 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 17,449개 시료를 측정하였으며 최대값은 31.97 ppm, 중앙값 0.0002 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.01 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.69 %, ACGIH TLV 적용시 0.09 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 1.14 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.09 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 1.14 %로 조사되었다.

코발트 및 그 무기화합물를 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 4,715개 시료를 측정하였으며 최대값은 0.15 ㎎/㎥, 중앙값 0.001 ㎎/㎥m, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 1.26 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 8.70 %, ACGIH TLV 적용시 1.26 %; ACGIH TLV의 Action Level

수준 적용시 8.70 %로 조사되었다.

디클로로메탄을 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 21,419개 시료를 측정하였으며 최대값은 230.93 ppm, 중앙값 0.28 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.35 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 3.28 %, ACGIH TLV 적용시 0.35 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 3.28 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.35 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 3.28 %로 조사되었다.

트리클로로메탄을 대상으로 근로자 노출평가를 수행한 결과, 957개 시료를 측정하였으며 최대값은 28.01 ppm, 중앙값 0.0005 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.32 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 6.81 %, ACGIH TLV 적용시 0.32 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 6.81 %, 독일 AGS 기준치 적용시 52.31 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 70.60 %로 조사되었다.

<표 III-27> 근로자 노출평가 결과

| 물질명 | 측정 년도 | 시료수 | 최대값 | 중앙값 | 초과율 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 고용노동부 | | ACGIH | | AGS | |
| | | | | | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level |
| 톨루엔 [TWA : 50 ppm] [미국(ACGIH) : 20 ppm] [독일(AGS) : 50 ppm] | 2011 | 35,237 | 98.78 | 0.82 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | 2012 | 35,170 | 95.36 | 0.81 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | 2013 | 34,692 | 267.97 | 0.76 | 0.19 | 1.98 | 3.45 | 10.07 | 0.19 | 1.98 |
| | 2014 | 34,498 | 101.78 | 0.72 | 0.16 | 1.92 | 3.30 | 9.30 | 0.16 | 1.92 |
| | 2015 | 34,703 | 185.12 | 0.68 | 0.11 | 1.55 | 2.70 | 8.59 | 0.11 | 1.55 |
| | 종합 | 174,300 | 267.97 | 0.3 | 0.10 | 1.09 | 1.89 | 5.60 | 0.10 | 1.09 |
| 수은 [TWA : 0.1 ㎎/㎥] [미국(ACGIH) : 0.1 ㎎/㎥] [독일(AGS) : 0.02 ㎎/㎥] | 2011 | 41 | 0.022 | 0.0011 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.44 | 12.20 |
| | 2012 | 34 | 0.071 | 0.001 | 0.00 | 5.88 | 0.00 | 5.88 | 8.82 | 8.82 |
| | 2013 | 39 | 0.077 | 0.002 | 0.00 | 2.56 | 0.00 | 2.56 | 5.13 | 12.82 |
| | 2014 | 23 | 0.023 | 0.004 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.35 | 39.13 |
| | 2015 | 17 | 0.024 | 0.002 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.76 | 17.65 |
| | 종합 | 154 | 0.077 | 0.001 | 0.00 | 1.69 | 0.00 | 1.69 | 6.50 | 18.12 |
| 휘발성콜타르피치 [TWA : 0.2 ㎎/㎥] [미국(ACGIH) : 0.2 ㎎/㎥] [독일(AGS) : 미설정] | 2011 | 17 | 0.036 | 0.015 | 0.00 | 5.88 | 0.00 | 5.88 | 0.00 | 5.88 |
| | 2012 | 26 | 0.086 | 0.016 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 2013 | 102 | 0.167 | 0.021 | 0.00 | 5.88 | 0.00 | 5.88 | 0.00 | 5.88 |
| | 2014 | 171 | 0.182 | 0.011 | 0.00 | 5.85 | 0.00 | 5.85 | 0.00 | 5.85 |
| | 2015 | 294 | 0.098 | 0.021 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 종합 | 610 | 0.182 | 0.02 | 0.00 | 3.52 | 0.00 | 3.52 | 0.00 | 3.52 |

<표 III-28> 근로자 노출평가 결과(계속)

| 물질명 | 측정년도 | 시료수 | 최대값 | 중앙값 | 초과율 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 고용노동부 | | ACGIH | | AGS | |
| | | | | | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level |
| 일산화탄소 [TWA : 30 ppm] [미국(ACGIH) : 25] [독일(AGS) : 30] | 2011 | 5,209 | 1533.3 | 3 | 0.02 | 6.74 | 0.83 | 9.45 | 0.02 | 6.74 |
| | 2012 | 3,421 | 29.4 | 3 | 0.00 | 5.73 | 0.64 | 10.67 | 0.00 | 5.73 |
| | 2013 | 3,559 | 39 | 2.2 | 0.08 | 3.23 | 0.70 | 6.69 | 0.08 | 3.23 |
| | 2014 | 3,824 | 30 | 2.2 | 0.03 | 3.03 | 0.63 | 6.43 | 0.03 | 3.03 |
| | 2015 | 3,505 | 29 | 2 | 0.00 | 3.77 | 0.80 | 6.88 | 0.00 | 3.77 |
| | 종합 | 19,518 | 1533.3 | 2 | 0.03 | 4.50 | 0.72 | 8.02 | 0.03 | 4.50 |
| 베릴륨 및 그 화합물 [TWA : 0.002 ㎎/㎥] [미국(ACGIH) : 0.00005 ㎎/㎥] [독일(AGS) : 0.00006 ㎎/㎥] | 2011 | 8 | 0.0005 | 0.0003 | 0.00 | 0.00 | 62.50 | 75.00 | 62.50 | 75.00 |
| | 2012 | 9 | 0.0007 | 0.0003 | 0.00 | 0.00 | 44.44 | 55.56 | 11.11 | 55.56 |
| | 2013 | 4 | 0.0018 | 0.0006 | 0.00 | 50.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| | 2014 | 3 | 0.0012 | 0.0009 | 0.00 | 33.33 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| | 2015 | 3 | 0.0015 | 0.0007 | 0.00 | 33.33 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| | 종합 | 27 | 0.0018 | 0.0001 | 0.00 | 23.33 | 81.39 | 86.11 | 74.72 | 86.11 |
| 니켈카보닐 [TWA : 0.001 ppm] [미국(ACGIH) : 0.05(C) ppm] [독일(AGS) : 미설정] | 2011 | 6 | 0.0003 | 0.0002 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - |
| | 2012 | 5 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - |
| | 2013 | 6 | 0.0028 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - |
| | 2014 | 5 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - |
| | 2015 | 4 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - |
| | 종합 | 26 | 0.0028 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - |

<표 III-29> 근로자 노출평가 결과(계속)

| 물질명 | 측정년도 | 시료수 | 최대값 | 중앙값 | 초과율 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 고용노동부 | | ACGIH | | AGS | |
| | | | | | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level |
| 아크릴로니트릴 [TWA : 2 ppm] [미국(ACGIH) : 2 ppm] [독일(AGS) : 1.2 ppm] | 2011 | 86 | 1.79 | 0.25 | 0.00 | 4.65 | 0.00 | 4.65 | 3.49 | 18.60 |
| | 2012 | 98 | 1.62 | 0.26 | 0.00 | 3.06 | 0.00 | 3.06 | 3.06 | 14.29 |
| | 2013 | 146 | 1.63 | 0.026 | 0.00 | 2.05 | 0.00 | 2.05 | 2.05 | 4.11 |
| | 2014 | 84 | 1.85 | 0.21 | 0.00 | 3.57 | 0.00 | 3.57 | 2.38 | 20.24 |
| | 2015 | 97 | 1.75 | 0.16 | 0.00 | 4.12 | 0.00 | 4.12 | 2.06 | 11.34 |
| | 종합 | 511 | 1.85 | 0.23 | 0.00 | 3.49 | 0.00 | 3.49 | 2.61 | 13.72 |
| 스티렌 [TWA : 20 ppm] [미국(ACGIH) : 20 ppm] [독일(AGS) : 20 ppm] | 2011 | 2,753 | 82.97 | 0.33 | 1.78 | 7.70 | 1.78 | 7.70 | 1.78 | 7.70 |
| | 2012 | 2,455 | 127.86 | 0.34 | 1.47 | 6.56 | 1.47 | 6.56 | 1.47 | 6.56 |
| | 2013 | 2,509 | 48.78 | 0.33 | 0.96 | 5.74 | 0.96 | 5.74 | 0.96 | 5.74 |
| | 2014 | 2,668 | 91.27 | 0.27 | 0.64 | 4.80 | 0.64 | 4.80 | 0.64 | 4.80 |
| | 2015 | 3,115 | 82.39 | 0.22 | 0.77 | 3.98 | 0.77 | 3.98 | 0.77 | 3.98 |
| | 종합 | 13,500 | 127.86 | 0.25 | 1.12 | 5.76 | 1.12 | 5.76 | 1.12 | 5.76 |
| 메틸알코올 [TWA : 200 ppm] [미국(ACGIH) : 200 ppm] [독일(AGS) : 200 ppm] | 2011 | 5,664 | 329.41 | 2.09 | 0.02 | 1.04 | 0.02 | 1.04 | 0.02 | 1.04 |
| | 2012 | 6,298 | 270.77 | 2.42 | 0.03 | 0.75 | 0.03 | 0.75 | 0.03 | 0.75 |
| | 2013 | 6,997 | 344.06 | 2.55 | 0.06 | 0.70 | 0.06 | 0.70 | 0.06 | 0.70 |
| | 2014 | 7,124 | 339.96 | 2.49 | 0.04 | 0.70 | 0.04 | 0.70 | 0.04 | 0.70 |
| | 2015 | 8,037 | 205.31 | 2.55 | 0.01 | 0.70 | 0.01 | 0.70 | 0.01 | 0.70 |
| | 종합 | 34,120 | 344.06 | 2.38 | 0.03 | 0.78 | 0.03 | 0.78 | 0.03 | 0.78 |

<표 III-30> 근로자 노출평가 결과(계속)

| 물질명 | 측정 년도 | 시료수 | 최대값 | 중앙값 | 초과율 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 고용노동부 | | ACGIH | | AGS | |
| | | | | | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level |
| 망간 및 그 무기화합물 [TWA : 1 ㎎/㎥] [미국(ACGIH) : 0.02 ㎎/㎥] [독일(AGS) : 0.02 ㎎/㎥] | 2011 | 58,399 | 10.92 | 0.008 | 0.87 | 3.32 | 34.85 | 46.11 | 34.85 | 46.11 |
| | 2012 | 48,884 | 4.71 | 0.006 | 0.99 | 3.48 | 31.79 | 42.54 | 31.79 | 42.54 |
| | 2013 | 51,124 | 6.94 | 0.006 | 0.83 | 2.71 | 29.94 | 40.53 | 29.94 | 40.53 |
| | 2014 | 43,844 | 22.06 | 0.005 | 0.48 | 2.24 | 28.36 | 39.07 | 28.36 | 39.07 |
| | 2015 | 56,082 | 3.25 | 0.004 | 0.47 | 1.90 | 24.28 | 33.81 | 24.28 | 33.81 |
| | 종합 | 258,333 | 22.06 | 0.004 | 0.73 | 2.73 | 29.84 | 40.41 | 29.84 | 40.41 |
| 아닐린과 아닐린 동족체 [TWA : 2 ppm] [미국(ACGIH) : 2 ppm] [독일(AGS) : 2 ppm] | 2011 | 3 | 0.39 | 0.23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 2012 | 5 | 0.57 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 2013 | 6 | 0.44 | 0.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 2014 | 9 | 1.07 | 0.26 | 0.00 | 11.11 | 0.00 | 11.11 | 0.00 | 11.11 |
| | 2015 | 8 | 0.47 | 0.29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 종합 | 31 | 1.07 | 0.05 | 0.00 | 2.22 | 0.00 | 2.22 | 0.00 | 2.22 |
| 시클로헥사논 [TWA : 25 ppm] [미국(ACGIH) : 20 ppm] [독일(AGS) : 20 ppm] | 2011 | 2,386 | 24.93 | 0.33 | 0.00 | 1.34 | 0.29 | 2.18 | 0.29 | 2.18 |
| | 2012 | 2,278 | 20.75 | 0.42 | 0.00 | 0.97 | 0.04 | 1.45 | 0.04 | 1.45 |
| | 2013 | 2,271 | 18.85 | 0.34 | 0.00 | 0.44 | 0.00 | 0.84 | 0.00 | 0.84 |
| | 2014 | 2,111 | 31.97 | 0.29 | 0.05 | 0.71 | 0.14 | 1.23 | 0.14 | 1.23 |
| | 2015 | 8,403 | 0.0003 | 0.0003 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 종합 | 17,449 | 31.97 | 0.0002 | 0.01 | 0.69 | 0.09 | 1.14 | 0.09 | 1.14 |

<표 III-31> 근로자 노출평가 결과(계속)

| 물질명 | 측정년도 | 시료수 | 최대값 | 중앙값 | 초과율 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 고용노동부 | | ACGIH | | AGS | |
| | | | | | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level |
| 코발트 및 그 무기화합물 [TWA : 0.02 ㎎/㎥] [미국(ACGIH) : 0.02 ㎎/㎥] [독일(AGS) : 미설정] | 2011 | 931 | 0.13 | 0.001 | 2.26 | 9.99 | 2.26 | 9.99 | - | - |
| | 2012 | 891 | 0.11 | 0.001 | 1.80 | 9.32 | 1.80 | 9.32 | - | - |
| | 2013 | 984 | 0.11 | 0.001 | 1.12 | 9.45 | 1.12 | 9.45 | - | - |
| | 2014 | 1,040 | 0.15 | 0.001 | 0.58 | 8.65 | 0.58 | 8.65 | - | - |
| | 2015 | 869 | 0.03 | 0.001 | 0.52 | 6.09 | 0.52 | 6.09 | - | - |
| | 종합 | 4,715 | 0.15 | 0.001 | 1.26 | 8.70 | 1.26 | 8.70 | - | - |
| 디클로로메탄 [TWA : 50 ppm] [미국(ACGIH) : 50 ppm] [독일(AGS) : 50 ppm] | 2011 | 3,551 | 132.32 | 2.28 | 0.73 | 4.70 | 0.73 | 4.70 | 0.73 | 4.70 |
| | 2012 | 3,783 | 103.17 | 1.99 | 0.63 | 4.04 | 0.63 | 4.04 | 0.63 | 4.04 |
| | 2013 | 4,213 | 127.32 | 1.67 | 0.19 | 2.73 | 0.19 | 2.73 | 0.19 | 2.73 |
| | 2014 | 5,155 | 230.93 | 1.67 | 0.16 | 2.23 | 0.16 | 2.23 | 0.16 | 2.23 |
| | 2015 | 4,717 | 85.65 | 1.85 | 0.06 | 2.71 | 0.06 | 2.71 | 0.06 | 2.71 |
| | 종합 | 21,419 | 230.93 | 0.28 | 0.35 | 3.28 | 0.35 | 3.28 | 0.35 | 3.28 |
| 트리클로로메탄 [TWA : 10 ppm] [미국(ACGIH) : 10 ppm] [독일(AGS) : 0.5 ppm] | 2011 | 201 | 8.33 | 0.32 | 0.00 | 8.46 | 0.00 | 8.46 | 44.78 | 55.22 |
| | 2012 | 170 | 8.78 | 0.48 | 0.00 | 7.06 | 0.00 | 7.06 | 48.82 | 69.41 |
| | 2013 | 179 | 28.01 | 0.49 | 1.12 | 5.59 | 1.12 | 5.59 | 52.51 | 78.77 |
| | 2014 | 199 | 9.56 | 1 | 0.00 | 9.55 | 0.00 | 9.55 | 67.34 | 79.90 |
| | 2015 | 208 | 10.63 | 0.49 | 0.48 | 3.37 | 0.48 | 3.37 | 48.08 | 69.71 |
| | 종합 | 957 | 28.01 | 0.0005 | 0.32 | 6.81 | 0.32 | 6.81 | 52.31 | 70.60 |

### (2) Monte-Carlo simulation 기법을 활용한 초과율 분석

연구대상 물질 15종을 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법을 통해 최근 5년간의 작업환경측정결과 자료를 활용하여 근로자 노출평가 실시결과를 아래 <표 III-32, III-33, III-34>에 정리하였다.

톨루엔을 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 171,860개 시료를 측정하였으며 최대값은 27.57 ppm, 중앙값 4.96 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.01 %, ACGIH TLV 적용시 0.27 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 19.91 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.00 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 0.01 %로 조사되었다.

수은을 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 155개 시료를 측정하였으며 최대값은 0.02 ㎎/㎥, 중앙값 0.01 ㎎/㎥, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.00 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 0.00 %, 독일 AGS 기준치 적용시 25.16 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 43.23 %로 조사되었다.

휘발성콜타르피치를 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 610개 시료를 측정하였으며 최대값은 0.09 ㎎/㎥, 중앙값 0.03 ㎎/㎥, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.00 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %, ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 0.00 %로 조사되었다.

일산화탄소를 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 19,518개 시료를 측정하였으며 최대값은 20.09 ppm, 중앙값 5.20 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.18 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 0.05 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.00 %; AGS의 Action Level 수준 적용

시 0.18 %로 조사되었다.

베릴륨 및 그 화합물를 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 27개 시료를 측정하였으며 최대값은 0.00 ㎎/㎥, 중앙값 0.00 ㎎/㎥, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.00 ㎎/㎥ %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 0.00 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.00 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 0.00 %로 조사되었다.

니켈카보닐를 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 26개 시료를 측정하였으며 최대값은 0.00 ppm, 중앙값 0.00 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.00 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 0.00 %로 조사되었다.

아크릴로니트릴를 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 511개 시료를 측정하였으며 최대값은 0.66 ppm, 중앙값 0.15 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.00 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 0.00 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.00 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 1.37 %로 조사되었다.

스티렌를 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 13,500개 시료를 측정하였으며 최대값은 16.33 ppm, 중앙값 2.64 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 1.36 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 1.36 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.00 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 1.36 %로 조사되었다.

메틸알코올를 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 35,590개 시료를 측정하였으며 최대값은 69.99 ppm, 중앙값 11.30 ppm, 초과율은 고용노동

부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.00 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 0.00 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.00 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 0.00 %로 조사되었다.

망간 및 그 무기화합물를 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 258,867개 시료를 측정하였으며 최대값은 0.87 ㎎/㎥, 중앙값 0.14 ㎎/㎥, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 1.26 %, ACGIH TLV 적용시 95.59 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 100.00 %, 독일 AGS 기준치 적용시 95.59 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 100.00 %로 조사되었다.

아닐린과 아닐린 동족체를 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 26개 시료를 측정하였으며 최대값은 0.41 ppm, 중앙값 0.11 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.00 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 0.00 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.00 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 0.00 %로 조사되었다.

시클로헥사논를 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 17,449개 시료를 측정하였으며 최대값은 6.46 ppm, 중앙값 1.17 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.00 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 0.00 %, 독일 AGS 기준치 적용시 0.00 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 0.00 %로 조사되었다.

코발트 및 그 무기화합물를 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 4,809개 시료를 측정하였으며 최대값은 0.03 ㎎/㎥, 중앙값 0.01 ㎎/㎥m, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.25 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 6.80 %, ACGIH TLV 적용시 0.25 %; ACGIH TLV의

Action Level 수준 적용시 6.80 %로 조사되었다.

디클로로메탄을 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 21,419개 시료를 측정하였으며 최대값은 35.98 ppm, 중앙값 6.25 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.35 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 0.35 %m, 독일 AGS 기준치 적용시 0.00 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 0.35 %로 조사되었다.

트리클로로메탄을 대상으로 Monte-Carlo simulation 기법 적용결과, 906개 시료를 측정하였으며 최대값은 5.19 ppm, 중앙값 0.84 ppm, 초과율은 고용노동부 노출기준 적용시 0.00 %; 고용노동부 노출기준의 Action Level 수준 적용시 0.11 %, ACGIH TLV 적용시 0.00 %; ACGIH TLV의 Action Level 수준 적용시 0.11 %, 독일 AGS 기준치 적용시 93.82 %; AGS의 Action Level 수준 적용시 100.00 %로 조사되었다.

<표 III-32> Monte-Carlo simulation 기법을 이용한 근로자 노출평가 결과

| 물질명 | 시료수 | 최대값 | 중앙값 | 초과율 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 고용노동부 | | ACGIH | | AGS | |
| | | | | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level |
| 톨루엔<br>[고용노동부 : 50 ppm ]<br>[미국(ACGIH) : 20 ppm] [독일(AGS) : 50 ppm] | 171,860 | 27.57 | 4.96 | 0.00 | 0.01 | 0.27 | 19.91 | 0.00 | 0.01 |
| 수은<br>[고용노동부 : 0.1 ㎎/㎥]<br>[미국(ACGIH) : 0.1 ㎎/㎥] [독일(AGS) : 0.02 ㎎/㎥] | 155 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 25.16 | 43.23 |
| 휘발성콜타르피치<br>[고용노동부 : 0.2 ㎎/㎥]<br>[미국(ACGIH) : 0.2 ㎎/㎥] [독일(AGS) : 미설정] | 610 | 0.09 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - |
| 일산화탄소<br>[고용노동부 : 30 ppm]<br>[미국(ACGIH) : 25 ppm] [독일(AGS) : 30 ppm] | 19,518 | 20.09 | 5.20 | 0.00 | 0.18 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.18 |
| 베릴륨 및 그 화합물<br>[고용노동부 : 0.002 ㎎/㎥]<br>[미국(ACGIH) : 0.00005 ㎎/㎥] [독일(AGS) : 0.00006 ㎎/㎥] | 27 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

<표 III-33> Monte-Carlo simulation 기법을 이용한 근로자 노출평가 결과(계속)

| 물질명 | 시료수 | 최대값 | 중앙값 | 초과율 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 고용노동부 | | ACGIH | | AGS | |
| | | | | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level |
| 니켈카보닐<br>[고용노동부 : 0.001 ppm]<br>[미국(ACGIH) : 0.05(C) ppm] [독일(AGS) : 미설정] | 26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - |
| 아크릴로니트릴<br>[고용노동부 : 2 ppm]<br>[미국(ACGIH) : 2 ppm] [독일(AGS) : 1.2 ppm] | 511 | 0.66 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.37 |
| 스티렌<br>[고용노동부 : 20 ppm]<br>[미국(ACGIH) : 20 ppm] [독일(AGS) : 20 ppm] | 13500 | 16.33 | 2.64 | 0.00 | 1.36 | 0.00 | 1.36 | 0.00 | 1.36 |
| 메틸알코올<br>[고용노동부 : 200 ppm]<br>[미국(ACGIH) : 200 ppm] [독일(AGS) : 200 ppm] | 35590 | 69.99 | 11.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 망간 및 그 무기화합물<br>[고용노동부 : 1 ㎎/㎥]<br>[미국(ACGIH) : 0.02 ㎎/㎥] [독일(AGS) : 0.02 ㎎/㎥] | 258,867 | 0.87 | 0.14 | 0.00 | 1.26 | 95.59 | 100.00 | 95.59 | 100.00 |

<표 III-34> Monte-Carlo simulation 기법을 이용한 근로자 노출평가 결과(계속)

| 물질명 | 시료수 | 최대값 | 중앙값 | 초과율 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 고용노동부 | | ACGIH | | AGS | |
| | | | | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level | Current Level | Action Level |
| 아닐린과 아닐린 동족체<br>[고용노동부 : 2 ppm]<br>[미국(ACGIH) : 2 ppm] [독일(AGS) : 2 ppm] | 26 | 0.41 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 시클로헥사논<br>[고용노동부 : 25 ppm]<br>[미국(ACGIH) : 20 ppm] [독일(AGS) : 20 ppm] | 17,449 | 6.46 | 1.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 코발트 및 그 무기화합물<br>[고용노동부 : 0.02 ㎎/㎥]<br>[미국(ACGIH) : 0.02 ㎎/㎥] [독일(AGS) : 미설정] | 4,809 | 0.03 | 0.01 | 0.25 | 6.80 | 0.25 | 6.80 | - | - |
| 디클로로메탄<br>[고용노동부 : 50 ppm]<br>[미국(ACGIH) : 50 ppm] [독일(AGS) : 50 ppm] | 21,419 | 35.98 | 6.25 | 0.00 | 0.35 | 0.00 | 0.35 | 0.00 | 0.35 |
| 트리클로로메탄<br>[고용노동부 : 10 ppm]<br>[미국(ACGIH) : 10 ppm] [독일(AGS) : 0.5 ppm] | 906 | 5.19 | 0.84 | 0.00 | 0.11 | 0.00 | 0.11 | 93.82 | 100.00 |

### 4) 용량-반응 평가 및 위험성 결정

아래 <표 III-35>는 화학물질의 유해성·위험성 평가 규정에 근거하여 연구대상 물질 15종에 대한 독성자료 및 $RfC_{worker}$ 산출결과를 정리하여 나타냈다. 휘발성콜타르피치, 니켈카보닐, 망간 및 그 무기화합물의 경우 독성자료를 습득할 수 없었다.

그 결과 톨루엔에 대한 용량-반응 평가 결과의 경우 흰쥐를 대상으로 2주간 6시간씩 흡입독성 실험 결과 발달독성이 유발되는 것으로 관찰되었으며 그에 따른 종말점은 NOAEL : 500 mg/kg bw/day으로 보정계수를 고려한 $RfC_{worker}$ 값으로 변환했을 경우 39 mg/㎥(10.35 ppm)로 산출되었다.

수은의 용량-반응 평가 결과 흰쥐를 대상으로 주에 5일씩, 104주 동안 경구독성 실험 결과 반복독성이 유발되는 것으로 관찰되었으며 그에 따른 종말점은 LOAEL : 2.5 mg/kg bw/day로 보정계수를 고려한 $RfC_{worker}$ 값으로 변환했을 경우 0.2 mg/㎥로 산출되었다.

일산화탄소에 대한 용량-반응 평가 결과의 경우 흰쥐를 대상으로 18일 동안 흡입독성 실험 결과 발달독성이 유발되는 것으로 관찰되었으며 그에 따른 종말점은 NOAEL : 65 mg/kg bw/day으로 보정계수를 고려한 $RfC_{worker}$ 값으로 변환했을 경우 3 mg/㎥(2.62 ppm)로 산출되었다.

베릴륨 및 그 화합물의 용량-반응 평가 결과 흰쥐를 대상으로 흡입독성 실험 결과 발암성이 유발되는 것으로 관찰되었으며 그에 따른 종말점은 IUR : 2.4 x 10-3 per ㎍/㎥으로 보정계수를 고려한 $RfC_{worker}$ 값으로 변환했을 경우 0.0002 ㎎/㎥로 산출되었다.

아크릴로니트릴에 대한 용량-반응 평가 결과의 경우 흰쥐를 대상으로 흡입독성 실험 결과 발암성이 유발되는 것으로 관찰되었으며 그에 따른 종말점은 IUR : 6.8 x 10-3 per ㎍/㎥으로 보정계수를 고려한 $RfC_{worker}$ 값으로 변환했을 경우 0.01 ㎎/㎥(0.005 ppm)로 산출되었다.

스티렌의 용량-반응 평가 결과 흰쥐를 대상으로 일 7시간씩, 16일 동안 흡입

독성 실험 결과 발달독성이 유발되는 것으로 관찰되었으며 그에 따른 종말점은 NOAEC: 2.556 mg/kg bw/day로 보정계수를 고려한 $RfC_{worker}$ 값으로 변환했을 경우 0.2 mg/㎥(0.05 ppm)로 산출되었다.

메틸알코올에 대한 용량-반응 평가 결과의 경우 생쥐를 대상으로 하루 19시간 씩, 18개월 동안 흡입독성 실험 결과 발암성이 유발되는 것으로 관찰되었으며 그에 따른 종말점은 NOAEC: 1.3 mg/kg bw/day로 보정계수를 고려한 $RfC_{worker}$ 값으로 변환했을 경우 0.3 mg/㎥(0.23 ppm)로 산출되었다.

아닐린과 아닐린동족체의 용량-반응 평가 결과 흰쥐를 대상으로 28일 동안 경구독성 실험 결과 반복독성이 유발되는 것으로 관찰되었으며 그에 따른 종말점은 NOAEL: 4 mg/kg bw/day로 보정계수를 고려한 $RfC_{worker}$ 값으로 변환했을 경우 0.3 mg/㎥(0.08 ppm)로 산출되었다.

시클로헥사논에 대한 용량-반응 평가 결과의 경우 생쥐를 대상으로 104주 동안 경구독성 실험 결과 발암성이 유발되는 것으로 관찰되었으며 그에 따른 종말점은 LOAEL: 3,300 mg/kg bw/day으로 보정계수를 고려한 $RfC_{worker}$ 값으로 변환했을 경우 175 mg/㎥(43.6 ppm)로 산출되었다.

코발트 및 그 무기화합물의 용량-반응 평가 결과 생쥐를 대상으로 일 6시간, 주5일, 총 105주 동안 흡입독성 실험 결과 발암성이 유발되는 것으로 관찰되었으며 그에 따른 종말점은 LOAEC : 1.24 mg/kg bw/day으로 보정계수를 고려한 $RfC_{worker}$ 값으로 변환했을 경우 0.1 mg/㎥로 산출되었다.

디클로로메탄에 대한 용량-반응 평가 결과의 경우 흰쥐를 대상으로 흡입독성 실험 결과 발암성이 유발되는 것으로 관찰되었으며 그에 따른 종말점은 IUR: $1x10^{-8}$per ㎍/㎥으로 보정계수를 고려한 $RfC_{worker}$ 값으로 변환했을 경우 42 ㎎/㎥(12.09 ppm)로 산출되었다.

트리클로로메탄의 용량-반응 평가 결과 흰쥐를 대상으로 흡입독성 실험 결과 발암성이 유발되는 것으로 관찰되었으며 그에 따른 종말점은 IUR: $2.3x10^{-5}$ per ㎍/㎥으로 보정계수를 고려한 $RfC_{worker}$ 값으로 변환했을 경우 0.02 ㎎/㎥

(0.0041 ppm)로 산출되었다.

연구 대상물질 15종에 대한 용량-반응 평가 및 $RfC_{worker}$ 산출 결과를 고찰해 보면 모든 물질에서 현재 국내 노출 기준치보다 엄격한 수준으로 산정되어 현재 국내 노출 기준치가 유해성 측면에서는 보다 완화된 수준으로 관리되어지고 있는 것으로 분석된다. 따라서 15종 물질 취급 근로자의 건강 예방적 측면을 고려하였을 때 현재의 국내 노출 기준치는 보다 상향 조정되어 관리되어야 한다고 사료된다.

<표 III-35> 연구대상 물질 대상 용량-반응 평가 및 위험성 결정

| 순번 | 물질명 (Cas No.) | Endpoint | 비고 | 노출경로 (표적기관) | 참고문헌 | $RfC_{worker}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 톨루엔 (108-88-3) | NOAEL : 500 mg/kg bw/day | OECD Guideline 416 (Two-Generation Reproduction Toxicity Study),GLP | inhalation (Toluene decreased foetal weight and increased skeletal variations) | ECHA | 39 mg/㎥ (10.35 ppm) |
| 2 | 수은 (7439-97-6) | LOAEL : 2.5 mg/kg bw/day | No guideline followed, GLP | oral (LOAEL based on effects on survival, increased kidney weights and severity of nephropathy as well as renal hyperplasia and forestomach epithelium hyperplasia in male rats.) | ECHA | 0.2 mg/㎥ |
| 3 | 휘발성콜타르피치 (65995-93-2) | 자료 없음 | 자료 없음 | 자료없음 | | - |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 일산화탄소<br>(630-08-0) | NOAEC :<br>65 mg/kg bw/day | OECD Guideline 414<br>(Prenatal Developmental Toxicity Study) | inhalation<br>(A small number of skeletal anomalies (lack of ossification) were observed in fetuses.) | ECHA | 3 mg/㎥<br>(2.62 ppm) |
| 5 | 베릴륨 및<br>그 화합물<br>(7440-41-7) | IUR : $2.4\times10^{-3}$ per<br>$\mu$g/m3 | 자료 없음 | inhalation<br>(Lung cancer) | US EPA<br>IRIS | 0.0002 mg/㎥ |
| 6 | 니켈카보닐<br>(13463-39-3) | 자료 없음 | 자료 없음 | 자료 없음 | 자료 없음 | - |
| 7 | 아크릴로니트릴<br>(107-13-1) | IUR : $6.8\times10^{-5}$ per<br>$\mu$g/m3 | 자료 없음 | inhalation<br>(Respiratory cancer) | US EPA<br>IRIS | 0.01 mg/㎥<br>(0.005 ppm) |
| 8 | 스티렌 | NOAEC : 2.556 | OECD Guideline 414 | inhalation | ECHA | 0.2 mg/㎥ |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (100-42-5) | mg/kg bw/day | (Prenatal Developmental Toxicity Study) | (certain skeletal variants such as lumbar spurs and delayed ossification of sternebrae and vertebral centra) | | (0.05 ppm) |
| 9 | 메틸알코올<br>(67-56-1) | NOAEC : 1.3 mg/kg bw/day | OECD Guideline 453 (Combined Chronic Toxicity / Carcinogenicity Studies) | inhalation<br>(papillary lung adenomas in males, adrenal phaeochromocytomas in females) | ECHA | 0.3 mg/㎥<br>(0.23 ppm) |
| 10 | 망간 및<br>그 무기화합물<br>(7439-96-5) | 자료 없음 | 자료 없음 | 자료 없음 | 자료 없음 | - |
| 11 | 아닐린과<br>아닐린 동소체<br>(62-53-3) | NOAEL :<br>4 mg/kg bw/day | OECD Guideline 407 (Repeated Dose 28-Day Oral Toxicity in Rodents), GLP | oral<br>(The mean absolute spleen weights were increased) | ECHA | 0.3 mg/㎥<br>(0.08 ppm) |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 시클로헥사논<br>(108-94-1) | LOAEL :<br>3300 mg/kg bw/day | EPA OPP 83-5<br>(Combined Chronic Toxicity / Carcinogenicity) | oral<br>(A dose-related decrease in weight gain was evident in both male and female rats. Only adenoma of the adrenal cortex in males.) | ECHA | 175 mg/㎥<br>(43.6 ppm) |
| 13 | 코발트 및<br>그 무기화합물<br>(7440-48-4) | LOAEC : 1.24 mg/kg bw/day | OECD Guideline 451 (Carcinogenicity Studies), GLP | inhalation<br>(increased incidences of alveolar/bronchiolar neoplasms of the lung (predominantly carcinoma), including multiple carcinoma.) | ECHA | 0.1 mg/㎥ |
| 14 | 디클로로메탄<br>(75-09-2) | IUR : $1\times10^{-8}$ per $\mu$g/m3 | 자료 없음 | inhalation<br>(Hepatocellular carcinomas or adenomas, bronchoalveolar carcinomas or adenomas) | US EPA IRIS | 42 mg/㎥<br>(12.09 ppm) |
| 15 | 트리클로로메탄<br>(67-66-3) | IUR : $2.3\times10^{-5}$ per $\mu$g/m3 | 자료 없음 | inhalation<br>(Hepatocellular carcinoma) | US EPA IRIS | 0.02 mg/㎥<br>(0.0041 ppm) |

## 2. 국내 취급실태 분석

### 1) 환경부 화학물질 통계조사 분석

아래 <표 Ⅲ-36>과 <표 Ⅲ-37>은 연구대상 15종 화학물질을 대상으로 2년간의 환경부 화학물질 통계조사 결과를 분석하여 나타냈다.

톨루엔의 경우 제조량은 2002년 1,913,026톤, 2006년 2,589,024톤으로 조사되었으며 사용량은 2002년이 1,400,278톤, 2006년이 2,125,900톤 나타났으며 유통량은 2002년 1,958,597톤, 2006년 2,934,440톤으로 각각 관찰되었다.

수은의 경우 제조량은 2002년 0톤, 2006년 2,623톤으로 조사되었으며 사용량은 2002년이 13톤, 2006년이 4톤 나타났으며 유통량은 2002년 14톤, 2006년 2,630톤으로 각각 관찰되었다. 휘발성콜타르피치의 경우 제조량은 2002년 77,142톤, 2006년 201,616톤으로 조사되었으며 사용량은 2002년이 13톤, 2006년이 4톤 나타났으며 유통량은 2002년 14톤, 2006년 2,630톤으로 각각 관찰되었다. 일산화탄소의 경우 제조량은 2002년 274,675톤, 2006년 442,177톤으로 조사되었으며 사용량은 2002년이 315,792톤, 2006년이 442,242톤 나타났으며 유통량은 2002년 275,054톤, 2006년 445,994톤으로 각각 관찰되었다.

베릴륨 및 그 화합물의 경우 제조량은 2002년 0톤, 2006년 0톤으로 조사되었으며 사용량은 2002년이 0톤, 2006년이 0.4톤 나타났으며 유통량은 2002년 0톤, 2006년 0.2톤으로 각각 관찰되었다. 니켈카보닐의 경우 제조량 및 사용량, 유통량 등 자료를 습득할 수 없었다. 아크릴로니트릴의 경우 제조량은 2002년 355,061톤, 2006년 513,932톤으로 조사되었으며 사용량은 2002년이 507,175톤, 2006년이 411,211톤 나타났으며 유통량은 2002년 499,256톤, 2006년 635,510톤으로 각각 관찰되었다.

스티렌의 경우 제조량은 2002년 3,370,632톤, 2006년 3,364,676톤으로 조사되

었으며 사용량은 2002년이 2,593,007톤, 2006년이 2,634,734톤 나타났으며 유통량은 2002년 3,967,820톤, 2006년 3,658,216톤으로 각각 관찰되었다. 메틸알코올의 경우 제조량은 2002년 34,648톤, 2006년 64,134톤으로 조사되었으며 사용량은 2002년이 1,065,750톤, 2006년이 1,355,624톤 나타났으며 유통량은 2002년 255,592톤, 2006년 1,414,553톤으로 각각 관찰되었다. 망간 및 그 무기화합물의 경우 제조량은 2002년 600톤, 2006년 3,454톤으로 조사되었으며 사용량은 2002년이 188,607톤, 2006년이 85,323톤 나타났으며 유통량은 2002년 38,138톤, 2006년 222,987톤으로 각각 관찰되었다.

아닐린과 아닐린 동족체의 경우 제조량은 2002년 109,722톤, 2006년 190,081톤으로 조사되었으며 사용량은 2002년이 130,425톤, 2006년이 205,961톤 나타났으며 유통량은 2002년 131,024톤, 2006년 192,425톤으로 각각 관찰되었다. 시클로헥사논의 경우 제조량은 2002년 103,993톤, 2006년 191,993톤으로 조사되었으며 사용량은 2002년이 149,212톤, 2006년이 256,374톤 나타났으며 유통량은 2002년 133,713톤, 2006년 252,780톤으로 각각 관찰되었다. 코발트 및 그 무기화합물의 경우 제조량은 2002년 0톤, 2006년 98톤으로 조사되었으며 사용량은 2002년이 236톤, 2006년이 635톤 나타났으며 유통량은 2002년 87톤, 2006년 621톤으로 각각 관찰되었다.

디클로로메탄의 경우 제조량은 2002년 44,268톤, 2006년 52,208톤으로 조사되었으며 사용량은 2002년이 74,081톤, 2006년이 152,978톤 나타났으며 유통량은 2002년 44,852톤, 2006년 60,522톤으로 각각 관찰되었다.

트리클로로메탄의 경우 제조량은 2002년 34,549톤, 2006년 36,668톤으로 조사되었으며 사용량은 2002년이 6,922톤, 2006년이 11,686톤 나타났으며 유통량은 2002년 40,615톤, 2006년 39,249톤으로 각각 관찰되었다.

2년간의 통계조사 분석 결과 전반적으로 모든 물질에서 제조량, 사용량, 유통량 등이 지속적으로 증가하는 추세가 관찰되었다.

<표 III-36> 연구대상 화학물질(15종)의 화학물질 통계조사 분석결과

| 연번 | 화학물질명 | 제조량(톤) | | 사용량(톤) | | 유통량(톤) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2002년 | 2006년 | 2002년 | 2006년 | 2002년 | 2006년 |
| 1 | 톨루엔 | 1,913,026 | 2,589,024 | 1,400,278 | 2,125,900 | 1,958,597 | 2,934,440 |
| 2 | 수은 | 0 | 2,623 | 13 | 4 | 14 | 2,630 |
| 3 | 휘발성콜타르피치 | 77,142 | 201,616 | 124,523 | 117,926 | 77,170 | 223,903 |
| 4 | 일산화탄소 | 274,675 | 442,177 | 315,792 | 442,242 | 275,054 | 445,994 |
| 5 | 베릴륨 및 그 화합물 | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 0 | 0.2 |
| 6 | 니켈카보닐 | - | - | - | - | - | - |
| 7 | 아크릴로니트릴 | 355,061 | 513,932 | 507,175 | 411,211 | 499,256 | 635,510 |
| 8 | 스티렌 | 3,370,632 | 3,364,676 | 2,593,007 | 2,634,734 | 3,967,820 | 3,658,216 |

<표 III-37> 연구대상 화학물질(15종)의 화학물질 통계조사 분석결과 (계속)

| 연번 | 화학물질명 | 제조량(톤) | | 사용량(톤) | | 유통량(톤) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2002년 | 2006년 | 2002년 | 2006년 | 2002년 | 2006년 |
| 9 | 메틸알코올 | 34,648 | 64,134 | 1,065,750 | 1,355,624 | 255,592 | 1,414,553 |
| 10 | 망간 및 그 무기화합물 | 600 | 3,454 | 188,607 | 85,323 | 38,138 | 222,987 |
| 11 | 아닐린과 아닐린 동족체 | 109,722 | 190,081 | 130,425 | 205,961 | 131,024 | 192,425 |
| 12 | 시클로헥사논 | 103,993 | 191,993 | 149,212 | 256,374 | 133,713 | 252,780 |
| 13 | 코발트 및 그 무기화합물 | 0 | 98 | 236 | 635 | 87 | 621 |
| 14 | 디클로로메탄 | 44,268 | 52,208 | 74,081 | 152,978 | 44,852 | 60,522 |
| 15 | 트리클로로메탄 (클로로포름) | 34,549 | 36,668 | 6,922 | 11,686 | 40,615 | 39,249 |

### 2) 고용노동부 작업환경실태조사 자료 검토

아래 <표 Ⅲ-38, Ⅲ-39>은 2009년, 2014년도에 실시된 작업환경실태조사 결과를 근거로 연구대상 물질별 용도, 취급근로자, 취급사업장수, 취급량 등을 정리하여 나타냈다.

톨루엔의 경우 주로 경화제, 몰딩제에 사용되며 취급근로자수는 2009년 61,205명, 2014년 93,278명, 취급 사업장은 2009년 7,050개소, 2014년 10,738개소, 취급량은 2009년 27,518,855톤, 2014년 25,428,021톤으로 조사되었으며 수은은 발광제, 보철재료, 소독제 등에 주로 이용되며 취급근로자수는 2009년 257명, 2014년 633명, 취급 사업장은 2009년 164개소, 2014년 55개소, 취급량은 2009년 22톤, 2014년 13,241톤이고 휘발성콜타르피치는 몰딩제, 표면처리제 제조시 이용되며 취급근로자는 2009년 231명, 2014년 85명, 취급사업장은 2009년 8개소, 2014년 18개소, 취급량은 2009년 473,550톤, 2014년 117,137톤으로 조사되었다.

일산화탄소는 세정제 및 연료, 용접제에 이용되며 취급 근로자는 2009년 408명; 2014년 9,589명, 취급사업장은 2009년 35개소, 2014년 52개소, 취급량은 2009년 137,265,668톤, 2014년 1,420,621,735톤 이고, 베릴륨 및 그 화합물은 원료 제조시 이용되며 취급근로자는 2009년 15명, 2014년 172명, 취급사업장 2009년 5개소, 2014년 14개소, 취급량 2009년 44톤, 2014년 136톤으로 분석되었다. 니켈카보닐은 니켈정련시, 석유, 플라스틱 촉매제에 이용되며 취급근로자, 취급사업장, 취급량 정보는 작업환경실태조사 자료에서 찾을 수 없었다.

아크릴로니트릴의 경우 pH 조절제, 도형제, 부원료 등에 이용되며 취급근로자는 2009년 4,643명, 2014년 6,790명, 취급사업장 2009년 46개소, 2014년 97개소, 취급량 2009년 641,710톤, 2014명 3,690,577톤 이고 스티렌은 가소제, 경화제, 발포제에 주로 사용되며 취급근로자는 2009년 4,643명, 2014년 6,790명, 취급사업장은 2009년이 930개소, 2014년이 934개소, 취급량은 2009년 7,060,651톤, 2014년 12,374,401톤으로 나타났다.

메틸알콜은 건조제, 경화제, 냉각제 제조시 이용되며 취급근로자 2009년

21,840명, 2014년 51,909명, 취급사업장 2009년 2,620개소, 2014년 5,217개소, 취급량 2009년 6,156,746톤, 2014년 35,838,930톤으로 조사되었고 망간 및 그 무기화합물은 건조 및 분리제, 용접제, 접착제 제조시 사용되며 취급근로자 2009년 3,643명, 2014년 104,058명, 취급사업장 2009년 291개소, 2014년 7,329개소, 취급량 2009년 2,275,340톤, 2014년 572,533,993톤으로 분석되었다.

아닐린과 아닐린 동족체의 주요용도는 세정제, 잉크, 안료, 도료, 원료 제조시 이용되며 취급근로자는 2009년 72명, 2014년 393명, 취급사업장수는 2009년 22개소, 2014년 43개소, 취급량은 2009년 375톤, 2014년 219,628톤이고 시클로헥사논은 가황제. 건조 및 분리제, 도포제, 세정제에 이용되고 취급근로자는 2009년 7,706명, 2014년 98,193명, 취급사업장은 2009년 504개소, 2104년 866개소, 취급량은 2009년 1,803,453톤, 2014년 256,955톤으로 나타났다.

코발트 및 그 무기화합물은 보조제, 주입제, 전기도금제에 사용되며 취급근로자 2009년 683명, 2014년 4,485명, 취급사업장 2009년 62개소, 2014년 301개소, 취급량 2009년 9.357톤, 2014년 156,639톤이고 디클로로메탄은 정돈제, 촉매제, 세정제에 이용되며 취급근로자는 2009년 2,206명, 2014년 8,519명, 취급사업장은 2009년 415개소, 2014년 1,414개소, 취급량은 2009년 1,671,780, 2014년 1,007,196톤으로 분석되었다.

트리클로로메탄은 고정제, 발포제, 세정제, 잉크 첨가제에 주로 이용되고 2009년은 472명이 취급하며, 2009년은 69개소에서 32,363톤을 취급하고 있는 것으로 나타났다. 2014년은 1,798명이 취급하며, 2014년은 201개소에서 130,793톤으로 취급하고 하고 있다.

고용노동부에서 4년마다 수행하는 작업환경실태조사 자료 검토시 2009년과 2014년의 조사결과 비교시 모든 물질에서 취급사업장수, 취급근로자수, 취급량이 증가하는 경향이 관찰되었다.

<표 III-38> 연구대상 화학물질(15종)의 작업환경실태조사 분석결과

| 연번 | 화학물질명 | 용도 | 취급사업장수 (개소) | | 취급근로자수 (명) | | 취급량 (톤) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 2009년 | 2014년 | 2009년 | 2014년 | 2009년 | 2014년 |
| 1 | 톨루엔 | 경화제, 몰딩제, 배합제, 세척제, 용매제, 첨가제에 사용 | 7,050 | 10,738 | 61,205 | 93,278 | 27,518,855 | 25,428,021 |
| 2 | 수은 | 발광제, 보철재료, 소독제, 열처리재, 의약품, 충진재, 표면처리재에 사용 | 164 | 55 | 257 | 633 | 22 | 13,241 |
| 3 | 휘발성 콜타르피치 | 몰딩제, 원료, 표면처리제 제조에 사용 | 8 | 18 | 231 | 85 | 473,550 | 117,137 |
| 4 | 일산화탄소 | 세정제, 연료, 용접제, 원료, 윤활유, 절삭유, 첨가제, 표면처리제 에 사용 | 35 | 52 | 408 | 9,589 | 137,265,668 | 1,420,621,735 |
| 5 | 베릴륨 및 그 화합물 | 원료 제조시 이용 | 5 | 14 | 15 | 172 | 44 | 136 |
| 6 | 니켈카보닐 | 니켈 정련시 중간정제물, 석유, 플라스틱 및 고무산업에서의 촉매제 | 정보없음 | | 정보없음 | | 정보없음 | |
| 7 | 아크릴로니트릴 | pH 조절제, 도형제, 부원료, 세정제, 안료, 도료, 접착제, 첨가제, 코팅제, 합성수지에 사용 | 46 | 97 | 403 | 2,125 | 641,710 | 3,690,577 |
| 8 | 스티렌 | 가소제, 경화제, 발포제, 원자재, 절연제, 접착제, 주입제, 첨가제, 합침제, 합성수지에 사용 | 930 | 755 | 4,643 | 6,790 | 7,060,651 | 12,374,401 |

<표 III-39> 연구대상 화학물질(15종)의 작업환경실태조사 분석결과 (계속)

| 연번 | 화학물질명 | 용도 | 취급사업장수 (개소) | | 취급근로자수 (명) | | 취급량 (톤) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 2009년 | 2014년 | 2009년 | 2014년 | 2009년 | 2014년 |
| 9 | 메틸알코올 | pH 조절제, 건조제, 경화제, 냉각제, 도형제, 몰딩제, 발열제, 부식제, 소독제에 사용 | 2,620 | 5,217 | 21,840 | 51,909 | 6,156,746 | 35,838,930 |
| 10 | 망간 및 그 무기화합물 | 건조 및 분리제, 연료, 용접제, 전기도금제, 접착제, 주원료, 첨가물, 코팅제에 사용 | 291 | 7,329 | 3,463 | 104,058 | 2,275,340 | 572,533,993 |
| 11 | 아닐린과 아닐린 동족체 | 세정제, 잉크, 안료, 도료, 원료, 점성조정체, 접착제, 주입제, 첨가제, 촉매에 사용 | 22 | 43 | 72 | 393 | 375 | 219,628 |
| 12 | 시클로헥사논 | 가황제, 건조 및 분리제, 도포제, 세정제, 안료, 도료, 용매제, 원자재, 첨가제, 코팅제, 표면처리제, 희석제에 사용 | 504 | 866 | 7,706 | 98,193 | 1,803,453 | 256,955 |
| 13 | 코발트 및 그 무기화합물 | 보조제, 원료, 원재료, 전기도금제, 주입제, 초경원재료, 촉매제, 코팅제, 표면 처리제에 사용 | 62 | 301 | 683 | 4,485 | 9,357 | 156,639 |
| 14 | 디클로로메탄 | 건조 및 분리제, 농약중간체, 박리제, 발포제, 세정제, 첨가제, 용매제, 원료혼합, 정돈제, 촉매등 공정조절제에 사용 | 415 | 1,414 | 2,206 | 8,519 | 1,671,780 | 1,007,196 |
| 15 | 트리클로로메탄 (클로로포름) | 고정제, 발포제, 세정제, 잉크 첨가제, 의약품, 접착제, 첨가제, 후처리제, 희석제에 사용 | 69 | 201 | 472 | 1,798 | 32,363 | 130,793 |

### 3) 한국무역협회 자료 검토

아래 <표 Ⅲ-40, Ⅲ-41>는 연구대상 물질별 한국무역협회에서 제공하는 수입, 수출량 현황을 최근 5년간의 정보를 정리하여 나타냈다. 휘발성콜타르피치, 일산화탄소, 베릴륨 및 그화합물, 니켈카보닐, 코발트 및 그 무기화합물, 트리클로로메탄(클로로폼) 등 6가지 물질은 관련된 정보를 찾을 수 없었다.

톨루엔의 수입량의 경우 2011년 163,305톤, 2012년 89,812톤, 2013년 108,271톤, 2014년 467,531톤, 2015년은 697,675톤이며 수출량은 2011년 958,461년, 2012년 1,141,400톤, 2013년 1,066,132톤, 2014년 743,111톤, 2015년은 419,772톤으로 조사되었다. 수은의 최근 5년간의 수입량, 수출량 조사결과 수입량의 경우 2011년 11톤, 2012년 2톤, 2013년 2톤, 2014년 2톤, 2015년 2톤, 수출량은 2011년 3톤, 2012년 1톤, 2013년 1톤, 2014년 1톤, 2015년 0톤으로 나타났다.

아크릴로니트릴의 수입량은 2011년 87,084톤, 2012년 113,472톤, 2013년 100,032톤, 2014년 90,358톤, 2015년은 105,260톤이며 수출량은 2011년 185,399톤, 2012년 201,085톤, 2013년 306,053톤, 2014년 276,410톤, 2015년 243,088톤으로 분석되었다. 스티렌의 수입량은 2011년 776,157톤, 2012년 803,873톤, 2013년 947,394톤, 2014년 845,789톤, 2015년 779,160톤이며 수출량은 2011년 1,230,524톤, 2012년 1,252,635톤, 2013년 1,265,591톤, 2014년은 1,246,952톤으로 조사되었다.

메틸알코올의 경우 2011년 5톤, 2012년 5톤, 2013년 5톤, 2014년 8톤, 2015년 6톤을 수입하였으며, 2011년 276톤, 2012년 148톤, 2013년 38톤, 2014년 10톤, 2015년 94톤을 수출하였다. 망간 및 그 무기화합물의 수입량은 2011년 114,986톤, 2012년 68,007톤, 2013년 49,164톤, 2014년 72,151톤, 2015년 84,489톤이며 수출량 2011년 449톤, 2012년 304톤, 2013년 563톤, 2014년 1,269톤, 2015년 12,971톤으로 분석되었다.

아닐린과 아닐린 동족체의 수입량은 2011년 17,157톤, 2012년 15,992톤, 2013년 35,210톤, 2014년 18,054톤, 2015년 24,458톤이고 수출량은 2011년 0톤, 2012

년 0톤, 2013년 242톤, 2014년 886톤, 2015년은 1,350톤으로 확인되었다. 시클로헥사논의 수입량 2011년 10,299톤, 2012년 17,281톤, 2013년 1,554톤, 2014년 1,163톤, 2015년 6,707톤이며 수출량은 2011년 42,411톤, 2012년 6,524톤, 2013년 12,845톤, 2014년 7,969톤, 2015년은 343톤으로 분석되었다. 트리클로로메탄의 수입량은 2011년 1,010톤, 2012년 675톤, 2013년 207톤, 2014년 61톤, 2015년 178톤이며 수출량은 2011년 15,740톤, 2012년 19,181톤, 2013년 16,956톤, 2014년 17,142톤, 2015년 12,267톤으로 나타났다.

연구대상 물질 15종을 대상으로 최근 5년간의 수입 및 수출량 분석결과 수입량과 수출량 모두 스티렌이 가장 많았으며, 수은이 가장 낮은 것으로 나타났다. 최근 5년간의 수입 및 수출량 추이 분석시 전반적으로 모든 물질에서 수입량의 경우 최근 증가하는 추세가 나타났으며 수출량은 시간에 따라 점차 감소하는 경향이 관찰되는 것으로 조사되었다.

<표 III-40> 연구대상 화학물질(15종)의 한국무역협회 자료 검토결과

| 연번 | 화학물질명 | 수입량 (톤) | | | | | 수출량 (톤) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2011년 | 2012년 | 2013년 | 2014년 | 2015년 | 2011년 | 2012년 | 2013년 | 2014년 | 2015년 |
| 1 | 톨루엔 | 163,305 | 89,812 | 108,271 | 467,531 | 697,675 | 958,461 | 1,141,400 | 1,066,132 | 743,111 | 419,722 |
| 2 | 수은 | 11 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 3 | 휘발성콜타르피치 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 |
| 4 | 일산화탄소 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 |
| 5 | 베릴륨 및 그 화합물 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 |
| 6 | 니켈카보닐 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 |
| 7 | 아크릴로니트릴 | 87,084 | 113,472 | 100,032 | 90,358 | 105,260 | 185,399 | 201,085 | 306,053 | 276,410 | 243,088 |
| 8 | 스티렌 | 776,157 | 803,873 | 947,394 | 845,789 | 779,160 | 1,230,524 | 1,252,635 | 1,265,591 | 1,473,655 | 1,246,952 |

<표 III-41> 연구대상 화학물질(15종)의 한국무역협회 자료 검토결과 (계속)

| 연번 | 화학물질명 | 수입량 (톤) | | | | | 수출량 (톤) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2011년 | 2012년 | 2013년 | 2014년 | 2015년 | 2011년 | 2012년 | 2013년 | 2014년 | 2015년 |
| 9 | 메틸알코올 | 5 | 5 | 5 | 8 | 6 | 276 | 148 | 38 | 10 | 94 |
| 10 | 망간 및 그 무기화합물 | 114,986 | 68,007 | 49,164 | 72,151 | 84,489 | 449 | 304 | 563 | 1,269 | 12,971 |
| 11 | 아닐린과 아닐린 동족체 | 17,157 | 15,992 | 35,210 | 18,054 | 24,458 | 0 | 0 | 242 | 886 | 1,350 |
| 12 | 시클로헥사논 | 10,299 | 17,281 | 1,554 | 1,163 | 6,707 | 42,411 | 6,524 | 12,845 | 7,969 | 343 |
| 13 | 코발트 및 그 무기화합물 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 |
| 14 | 디클로로메탄 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 | 정보없음 |
| 15 | 트리클로로메탄 (클로로포름) | 1,010 | 675 | 207 | 61 | 178 | 15,740 | 19,181 | 16,956 | 17,142 | 12,267 |

[그림 III-18] 연구대상 물질 15종에 대한 최근 5년간 수입량 경향



[그림 III-19] 연구대상 물질 15종에 대한 최근 5년간 수출량 경향

## 3. 국내외 노출기준 조사

### 1) 연구대상 15종 화학물질에 대한 국내외 노출기준 조사

연구대상 화학물질 15종에 대한 국내외 노출기준을 제시하면 아래와 같다.

▶ 톨루엔

<표 III-42> 톨루엔(108-88-3)의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | 50 | 188 | 150 | 560 |
| Australia | 50 | 191 | 150 | 574 |
| Austria | 50 | 190 | 100 | 380 |
| Belgium | 20 | 77 | 100 | 384 |
| Canada - Ontario | 20 | | | |
| Canada - Québec | 50 | 188 | | |
| Denmark | 25 | 94 | 50 | 188 |
| European Union | 50 | 192 | 100 | 384 |
| Finland | 25 | 81 | 100 (1) | 380 (1) |
| France | 20 | 76.8 | 100 | 384 |
| Germany (AGS) | 50 | 190 | 200 (1) | 760 (1) |
| Germany (DFG) | 50 | 190 | 200 | 760 |
| Hungary | | 190 | | 380 |
| Ireland | 50 | 192 | 100 (1) | 384 (1) |
| Italy | 50 | 192 | | |
| Japan | 20 | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Latvia | 14 | 50 | 40 (1) | 150 (1) |
| New Zealand | 50 | 188 | | |
| People's Republic of China | | 50 | | 100 (1) |
| Poland | | 100 | | 200 |
| Singapore | 50 | 188 | | |
| South Korea | 50 | 188 | 150 | 560 |
| Spain | 50 | 191 | 100 | 384 |
| Sweden | 50 | 192 | 100 (1) | 384 (1) |
| Switzerland | 50 | 190 | 200 | 760 |
| The Netherlands | | 150 | | 384 |
| USA - NIOSH | 100 | 375 | 150 (1) | 560 (1) |
| USA - OSHA | 200 | | 300 | |
| United Kingdom | 50 | 191 | 100 | 384 |

| Remarks | |
|---|---|
| European Union | Bold-type: Indicative Occupational Exposure Limit Values [2,3] and Limit Values for Occupational Exposure [4] (for references see bibliography) |
| Finland | (1) 15 minutes average value |
| France | Bold type: Restrictive statutory limit values |
| Germany (AGS) | (1) 15 minutes average value |
| Germany (DFG) | STV 15 minutes average value |
| Ireland | (1) 15 minutes reference period |
| Italy | skin |
| Latvia | (1) 15 minutes average value |
| People's Republic of China | (1) 15 minutes average value |
| Spain | skin |
| Sweden | (1) Short term value, 15 minutes average value |

| | |
|---|---|
| USA - NIOSH | (1) 15 minutes average value |

▶ 수은

<표 III-43> 수은(7439-97-6)의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | | 0.1 | | |
| Australia | 0.003 | 0.025 | | |
| Austria | | 0.02 | | 0.08 |
| Canada - Ontario | | 0.025 | | |
| Finland | | 0.02 (1) | | |
| Germany (AGS) | | 0.02 | | 0.16 (1) |
| Germany (DFG) | | 0.02 inhalable aerosol | | 0.16 inhalable aerosol (1) |
| New Zealand | | 0.025 (1) | | |
| People's Republic of China | | 0.02 | | 0.04 (1) |
| Poland | | 0.02 | | |
| Singapore | | 0.025 | | |
| South Korea | | 0.025 | | |
| Switzerland | 0.005 (1) | 0.05 (1) | 0.04 (1) | 0.4 (1) |
| USA - NIOSH | | 0.05 | | |
| Remarks | | | | |
| Finland | (1) calculated as Hg | | | |
| Germany (AGS) | (1) 15 minutes average value | | | |

| | |
|---|---|
| Germany (DFG) | (1) 15 minutes average value |
| New Zealand | (1) Exposure can also be estimated by biological monitoring. |
| People's Republic of China | (1) 15 minutes average value |
| Switzerland | (1) Vapour and aerosol |

### ▶ 휘발성콜타르피치

<표 III-44> 휘발성콜타르피치(65996-93-2)의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | | 0.2 | | |
| Belgium | | 0.2 | | |
| Canada - Ontario | | 0.2 (1) | | |
| Canada - Québec | | 0.2 | | |
| Denmark | | 0.2 | | 0.4 |
| France | | 0.2 | | |
| Japan | | 0.2 | | |
| People's Republic of China | | 0.2 | | |
| South Korea | | 0.2 | | |
| Spain | | 0.2 | | |
| Switzerland | | 0.2 inhalable aerosol | | |
| Remarks | | | | |
| Canada - Ontario | (1) as benzene soluble aerosol | | | |
| Japan | as benzene solubility | | | |

## ▶ 일산화탄소

<표 III-45> 일산화탄소(630-08-0)의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | 30 | 34 | 200 | 229 |
| Australia | 30 | 34 | | |
| Austria | 30 | 33 | 60 | 66 |
| Belgium | 25 | 29 | | |
| Canada - Ontario | 25 | | 100 | |
| Canada - Québec | 35 | 40 | 200 | 230 |
| Denmark | 25 | 29 | 50 | 58 |
| Finland | 30 | 35 | 75 (1) | 87 (1) |
| France | 50 | 55 | | |
| Germany (AGS) | 30 | 35 | 60 (1) | 70 (1) |
| Germany (DFG) | 30 | 35 | 60 | 70 (1) |
| Hungary | | 33 | | 66 |
| Ireland | 20 | 23 | 100 (1) | 115 (1) |
| New Zealand | 25 | | 400 (1) | |
| | | | 200 (2) | |
| | | | 100 (3) | |
| People's Republic of China | | 20 (1) | | 30 (1) (4) |
| | | | | 20 (2) |
| | | | | 15 (3) |
| Poland | | 23 | | 117 |
| Singapore | 25 | 29 | | |
| South Korea | 30 | 34 | 200 | 229 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Spain | 25 | 29 | | |
| Sweden | 35 | 40 | 100 (1) | 120 (1) |
| Switzerland | 30 | 35 | 60 | 70 |
| The Netherlands | | 29 | | |
| USA - NIOSH | 35 | 40 | 200 (1) | 229 (1) |
| USA - OSHA | 50 | 55 | | |
| United Kingdom | 30 | 35 | 200 | 232 |
| Remarks | | | | |
| Finland | (1) 15 minutes average value | | | |
| Germany (AGS) | (1) 15 minutes average value | | | |
| Germany (DFG) | (1) 15 minutes average value | | | |
| Ireland | (1) 15 minutes reference period | | | |
| New Zealand | (1) Ceiling limit value (2) 15 minutes average value (3) 30 minutes average value (4) 60 minutes average value | | | |
| People's Republic of China | (1) not in high altitude area (2) in high altitude area ( 2000-3000m) ceiling limit value (3) in high altitude area (> 3000m) ceiling limit value (4) 15 minutes average value | | | |
| Sweden | (1) Short-term value, 15 minutes average value | | | |
| USA - NIOSH | (1) Ceiling limit value | | | |

## ▶ 베릴륨 및 그 화합물

<표 III-46> 베릴륨(7440-41-7) 및 그 화합물의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | | 0.002 | | 0.01 |
| Australia | | 0.002 | | |
| Austria | | 0.002 | | 0.008 |
| Belgium | | 0.002 | | 0.01 |
| Canada - Ontario | | 0.002 | | 0.01 |
| Canada - Québec | | 0.00015 | | |
| Denmark | | 0.001 | | 0.002 |
| Finland | | 0.0001 | | 0.0004 (1) |
| France | | 0.002 | | |
| Germany (AGS) | | 0.00006 (1) | | 0.00006 (1)(3) |
| | | 0.00014 (2) | | 0.00014 (2)(3) |
| Hungary | | | | 0.002 |
| Ireland | | 0.0002 | | |
| Japan | | 0.001 | | |
| Latvia | | 0.001 | | |
| New Zealand | | 0.002 | | |
| People's Republic of China | | 0.0005 | | 0.001 (1) |
| Poland | | 0.0002 | | |
| Singapore | | 0.002 | | |
| South Korea | | 0.002 | | 0.01 |
| Spain | | 0.0002 inhalable | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | aerosol | | |
| Sweden | | 0.002 (1) | | |
| Switzerland | | 0.002 inhalable aerosol | | |
| USA - NIOSH | | 0.0005 (1) | | 0.0005 (1) |
| USA - OSHA | | 0.002 | | 0.005 |
| United Kingdom | | 0.002 | | |

| Remarks | |
|---|---|
| Austria | TRK value (based on technical feasibility) |
| Finland | (1) 15 minutes average value |
| Germany (AGS) | (1) Respirable fraction (2) Inhalable fraction (3) 15 minutes average value |
| People's Republic of China | (1) 15 minutes average value |
| Poland | inorganic compounds |
| Spain | sen |
| Sweden | (1) Total dust |
| USA - NIOSH | (1) not to exceed |

### ▶ 니켈카보닐

<표 III-47> 니켈카보닐(13463-39-3)의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | 0.001 | 0.007 | | |
| Finland | 0.001 | 0.007 | 0.003 (1) | 0.021 (1) |
| Remarks | | | | |
| Finland | (1) 15 minutes average value | | | |

### ▶ 아크릴로니트릴

<표 III-48> 아크릴로니트릴(107-13-1)의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | 2 | 4.5 | | |
| Australia | 2 | 4.3 | | |
| Austria | 2 | 4.5 | 8 | 18 |
| Belgium | 2 | 4.4 | | |
| Canada - Ontario | 2 | | 10 | |
| Canada - Québec | 2 | 4.3 | | |
| Denmark | 2 | 4 | 4 | 8 |
| Finland | 2 | 4.4 | 4 (1) | 8.8 (1) |
| France | 2 | 4.5 | 15 | 32.5 |
| Germany (AGS) | 1.2 (1) | 2.6 (1) | 9.6 (1)(3) | 20.8 (1)(3) |
| | 0.12 (2) | 0.26 (2) | | |
| Hungary | | | | 4,3 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ireland | 4 | 4.5 | | |
| Japan | 2 | | | |
| Latvia | | 0.5 | | |
| New Zealand | 2 | 4.3 | | |
| People's Republic of China | | 1 | | 2 (1) |
| Poland | | 2 | | 10 |
| Singapore | 2 | 4.3 | | |
| South Korea | 2 | 4.5 | | |
| Spain | 2 | 4.4 | | |
| Sweden | 2 | 4.5 | 6 (1) | 13 (1) |
| Switzerland | 2 | 4.5 | | |
| USA - NIOSH | 1 | | 10 (1) | |
| USA - OSHA | 2 | | 10 | |
| United Kingdom | 2 | 4.4 | | |

| Remarks | |
|---|---|
| Austria | TRK value (based on technical feasibility) |
| Finland | (1) 15 minutes average value |
| Germany (AGS) | (1) Workplace exposure concentration corresponding to the proposed tolerable cancer risk. (see background document: Germany AGS) (2) workplace exposure concentration corresponding to the proposed preliminary acceptable cancer risk . (see background document: Germany AGS) (3) 15 minutes average value |
| People's Republic of China | (1) 15 minutes average value |
| Spain | skin, sen |
| Sweden | (1) Short-term value, 15 minutes average value |
| USA - NIOSH | (1) Ceiling limit value |

▶ 스티렌

<표 III-49> 스티렌(100-42-5)의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | 20 | 85 | 40 | 170 |
| Australia | 50 | 213 | 100 | 426 |
| Austria | 20 | 85 | 80 | 340 |
| Belgium | 50 | 216 | 100 | 432 |
| Canada - Ontario | 35 | | 100 | |
| Canada - Québec | 50 | 213 | 100 | 426 |
| Denmark | 25 | 105 | 25 | 105 |
| Finland | 20 | 86 | 100 (1) | 430 (1) |
| France | 50 | 215 | | |
| Germany (AGS) | 20 | 86 | 40 (1) | 172 (1) |
| Germany (DFG) | 20 | 86 | 40 (1) | 172 (1) |
| Hungary | | 50 | | 50 |
| Ireland | 20 | 85 | 40 (1) | 170 (1) |
| Japan | 50 | | | |
| Latvia | | 10 | | 30 (1) |
| New Zealand | 50 | 213 | 100 | 426 |
| People's Republic of China | | 50 | | 100 (1) |
| Poland | | 50 | | 200 |
| Singapore | 50 | 213 | 100 | 426 |
| South Korea | 20 | 85 | 40 | 170 |
| Spain | 20 | 86 | 40 | 172 |
| Sweden | 10 | 43 | 20 (1) | 86 (1) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Switzerland | 20 | 85 | 40 | 170 |
| USA - NIOSH | 50 | 215 | 100 (1) | 425 (1) |
| USA - OSHA | 100 | | 200 | |
| United Kingdom | 100 | 430 | 250 | 1080 |

| Remarks | |
|---|---|
| Finland | (1) 15 minutes average value |
| Germany (AGS) | (1) 15 minutes average value |
| Germany (DFG) | (1) 15 minutes average value |
| Ireland | (1) 15 minutes reference period |
| Latvia | (1) 15 minutes average value |
| People's Republic of China | (1) 15 minutes average value |
| Sweden | (1) Short term value, 15 minutes average value |
| USA - NIOSH | (1) 15 minutes average value |

## ▶ 메틸알코올

<표 III-50> 메틸알코올(67-56-1)의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | 200 | 260 | 250 | 310 |
| Australia | 200 | 262 | 250 | 328 |
| Austria | 200 | 260 | 800 | 1040 |
| Belgium | 200 | 266 | 250 | 333 |
| Canada - Ontario | 200 | | 250 | |
| Canada - Québec | 200 | 262 | 250 | 328 |
| Denmark | 200 | 260 | 400 | 520 |
| European Union | 200 | 260 | | |
| Finland | 200 | 270 | 250 (1) | 330 (1) |
| France | 200 | 260 | 1000 | 1300 |
| Germany (AGS) | 200 | 270 | 800 (1) | 1080 (1) |
| Germany (DFG) | 200 | 270 | 800 | 1080 |
| Hungary | | 260 | | |
| Ireland | 200 | 260 | | |
| Italy | 200 | 260 | | |
| Japan | 200 | | | |
| Latvia | 200 | 260 | | |
| New Zealand | 200 | 262 | 250 | 328 |
| People's Republic of China | | 25 | | 50 (1) |
| Poland | | 100 | | 300 |
| Singapore | 200 | 262 | 250 | 328 |
| South Korea | 200 | 260 | 250 | 310 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Spain | 200 | 266 | 250 | 333 |
| Sweden | 200 | 250 | 250 (1) | 350 (1) |
| Switzerland | 200 | 260 | 800 | 1040 |
| The Netherlands | | 133 | | |
| USA - NIOSH | 200 | 260 | 250 (1) | 325 (1) |
| USA - OSHA | 200 | 260 | | |
| United Kingdom | 200 | 266 | 250 | 333 |

| Remarks | |
|---|---|
| European Union | Bold-type: Indicative Occupational Exposure Limit Values [2,3] and Limit Values for Occupational Exposure [4] (for references see bibliography) |
| Finland | (1) 15 minutes average value |
| France | Bold type: Restrictive statutory limit values |
| Germany (AGS) | (1) 15 minutes average value |
| Germany (DFG) | STV 15 minutes average value |
| Italy | skin |
| People's Republic of China | (1) 15 minutes average value |
| Spain | skin |
| Sweden | (1) Short-term value, 15 minutes average value |
| USA - NIOSH | (1) 15 minutes average value |

## ▶ 망간 및 그 무기화합물

<표 III-51> 망간(7439-96-5) 및 그 무기화합물의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | | 1 | | |
| Australia | | 1 | | |
| Austria | | 0.5 inhalable aerosol | | 2 inhalable aerosol |
| Belgium | | 0.2 | | |
| Canada - Ontario | | 0.2 | | |
| Canada - Québec | | 5 | | |
| Denmark | | 0.2 | | 0.4 |
| Finland | | 0.2 (1) | | |
| | | 0.02 (2) | | |
| Germany (AGS) | | 0.02 (1) | | 0.16 (1)(3)(4) |
| | | 0.2 (2) | | 1.6 (2)(3)(4) |
| Germany (DFG) | | 0.02 respirable aerosol | | 0.16 respirable aerosol (1)(3) |
| | | 0.2 inhalable aerosol | | 1.6 inhalable aerosol (2)(3) |
| Hungary | | 5 | | 20 |
| Ireland | | 0.2 (1) | | 3 (1)(2) |
| | | 0.2 (3) | | |
| Japan | | 1 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Latvia | | 0.1 (1) | | |
| New Zealand | | 1 | | |
| Poland | | 0.3 | | |
| Singapore | | 1 | | |
| South Korea | | 1 | | |
| Spain | | 0.2 | | |
| Sweden | | 0.2 total aerosol | | |
| | | 0.1 respirable aerosol | | |
| Switzerland | | 0.5 inhalable aerosol | | |
| USA - NIOSH | | 1 | | 3 (1) |
| USA - OSHA | | | | 5 |
| United Kingdom | | 0.5 | | |

| Remarks | |
|---|---|
| Finland | (1) Inhalable fraction (2) Respirable fraction |
| Germany (AGS) | (1) Respirable fraction (2) Inhalable fraction (3) 15 minutes average value (4) STV exceeding factor for permanganates: 1 |
| Germany (DFG) | (1) permanganates: STV 0,02 mg/m$^3$ , (2) permanganates: STV 0,2 mg/m$^3$ (3) 15 minutes average value |
| Ireland | (1) Manganese fume (2) 15 minutes reference period (3) Manganese and compounds as Mn |
| Latvia | (1) Welding aerosol |
| USA - NIOSH | (1) 15 minutes average value |

## ▶ 아닐린과 아닐린 동족체

<표 III-52> 아닐린과 아닐린 동족체(62-53-3)의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | 2 | 10 | | |
| Australia | 2 | 7.6 | | |
| Austria | 2 | 8 | 10 | 40 |
| Belgium | 2 | 7.7 | | |
| Canada - Ontario | 2 | | | |
| Canada - Québec | 2 | 7.6 | | |
| Denmark | 1 | 4 | 2 | 8 |
| Finland | 0,5 | 1.9 | 1.0 (1) | 3.9 (1) |
| France | 2 | 10 | | |
| Germany (AGS) | 2 (1) | 7.7 (1) | 4 (1)(2) | 15.4 (1)(2) |
| Germany (DFG) | 2 | 7.7 | 4 | 15.4 |
| Hungary | | 8 | | 32 |
| Ireland | 1 | 3.8 | | |
| Latvia | | 0.1 | | |
| New Zealand | 1 (1) | 4 | | |
| People's Republic of China | | 3 | | |
| Poland | | 5 | | 20 |
| Singapore | 2 | 7.6 | | |
| South Korea | 2 | 10 | | |
| Spain | 2 | 7.7 | | |
| Sweden | 1 | 4 | 2 (1) | 8 (1) |
| Switzerland | 2 | 8 | 4 | 16 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| USA - NIOSH | (1) | | | |
| USA - OSHA | 5 | 19 | | |
| United Kingdom | 1 | 4 | | |

| Remarks | |
|---|---|
| Finland | (1) 15 minutes average value |
| Germany (AGS) | (1) Inhalable aerosol and vapour (2) 15 minutes average value |
| Germany (DFG) | STV 15 minutes average value |
| New Zealand | (1) and homologues |
| Spain | skin |
| Sweden | (1) Short-term value, 15 minutes average value |
| USA - NIOSH | (1) lowest feasible concentration |
| USA - OSHA | The LV is listed as "Aniline and homologues" |

### ▶ 시클로헥사논

<표 III-53> 시클로헥사논(108-94-1)의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | 25 | 100 | 50 | 200 |
| Australia | 25 | 100 | | |
| Austria | 5 | 20 | 20 | 80 |
| Belgium | 10 | 40.8 | 20 | 81.6 |
| Canada - Ontario | 20 | | 50 | |
| Canada - Québec | 25 | 100 | | |
| Denmark | 10 | 40 | 20 | 80 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| European Union | 10 | 40.8 | 20 | 81.6 |
| Finland | 10 | 41 | 20 (1) | 82 (1) |
| France | 10 | 40.8 | 20 | 81.6 |
| Germany (AGS) | 20 | 80 | 20 (1) | 80 (1) |
| Hungary | | 40.8 | | 81.6 |
| Ireland | 10 | 40.8 | 20 (1) | 81.6 (1) |
| Italy | 10 | 40.8 | 20 | 81.6 |
| Japan | 20 | | | |
| Latvia | 10 | 40.8 | 20 (1) | 81.6 (1) |
| New Zealand | 25 | 100 | | |
| People's Republic of China | | 50 | | |
| Poland | | 40 | | 80 |
| Singapore | 25 | 100 | | |
| South Korea | 25 | 100 | 50 | 200 |
| Spain | 10 | 41 | 20 | 82 |
| Sweden | 10 | 41 | 20 (1) | 81 (1) |
| Switzerland | 25 | 100 | 50 | 200 |
| The Netherlands | | | | 50 |
| USA - NIOSH | 25 | 100 | | |
| USA - OSHA | 50 | 200 | | |
| United Kingdom | 10 | 39 | 20 | 78 |

| Remarks | |
|---|---|
| European Union | Bold-type: Indicative Occupational Exposure Limit Values [2,3] and Limit Values for Occupational Exposure [4] (for references see bibliography) |
| Finland | (1) 15 minutes average value |
| France | Bold type: Restrictive statutory limit values |

| | |
|---|---|
| Germany (AGS) | (1) 15 minutes average value |
| Ireland | (1) 15 minutes reference period |
| Italy | skin |
| Latvia | (1) 15 minutes average value |
| Spain | skin |
| Sweden | (1) Short-term value, 15 minutes average value |

### ▶ 코발트 및 그 무기화합물

<표 III-54> 코발트(7440-48-4) 및 그 무기화합물의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | | 0.02 | | |
| Australia | | 0.05 | | |
| Austria | | 0.1 | | 0.4 |
| Belgium | | 0.02 | | |
| Canada - Ontario | | 0.02 | | |
| Canada - Québec | | 0.02 | | |
| Denmark | | 0.01 | | 0.02 |
| Finland | | 0.02 | | |
| Hungary | | 0.1 | | 0.4 |
| Ireland | | 0.1 | | |
| Japan | | 0.02 (1) | | |
| Latvia | | 0.5 | | |
| New Zealand | | 0.05 (1) | | |
| People's Republic of China | | 0.05 | | 0.1 (1) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Poland | | 0.02 | | |
| Singapore | | 0.02 | | |
| South Korea | | 0.02 | | |
| Spain | | 0.02 | | |
| Sweden | | 0.02 (1) | | |
| Switzerland | | 0.05 inhalable aerosol | | |
| The Netherlands | | 0.02 | | |
| USA - OSHA | | 0.1 | | |
| United Kingdom | | 0.1 | | |

| Remarks | |
|---|---|
| Austria | TRK value (based on technical feasibility) |
| Finland | |
| Japan | (1) Cobalt and inorganic compounds |
| New Zealand | (1) Exposure can also be estimated by biological monitoring. |
| People's Republic of China | (1) 15 minutes average value |
| Spain | sen |
| Sweden | (1) cobalt and inorganic compounds |
| The Netherlands | Dust and fume |

## ▶ 디클로로메탄

<표 III-55> 디클로로메탄(75-09-2)의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | 50 | 175 | | |
| Australia | 50 | 174 | | |
| Austria | 50 | 175 | 200 | 700 |
| Belgium | 50 | 177 | | |
| Canada - Ontario | 50 | | | |
| Canada - Québec | 50 | 174 | | |
| Denmark | 35 | 122 | 70 | 244 |
| Finland | 100 | 350 | 250 (1) | 880 (1) |
| France | 50 | 178 | 100 | 356 |
| Germany (AGS) | 50 | 180 | 100 (1) | 360 (1) |
| Germany (DFG) | 50 | 180 | 100 (1) | 360 (1) |
| Hungary | | 10 | | 10 |
| Ireland | 50 | 174 | 150 (1) | 550 (1) |
| Japan | 100 | | | |
| Latvia | | 150 | | 150 (1) |
| New Zealand | 50 | 174 | | |
| People's Republic of China | | 200 | | |
| Poland | | 88 | | |
| Singapore | 50 | 174 | | |
| South Korea | 50 | 175 | | |
| Spain | 50 | 177 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sweden | 35 | 120 | 70 (1) | 250 (1) |
| Switzerland | 50 | 180 | | |
| USA - OSHA | 25 | | 125 | |
| United Kingdom | 100 | 350 | 300 | 1060 |
| Remarks | | | | |
| Finland | (1) 15 minutes average value | | | |
| France | Bold type: Restrictive statutory limit values | | | |
| Germany (AGS) | (1) 15 minutes average value | | | |
| Germany (DFG) | (1) 15 minutes average value | | | |
| Ireland | (1) 15 minutes reference period | | | |
| Latvia | (1) 15 minutes average value | | | |
| Sweden | (1) Short-term value, 15 minutes average value | | | |

### ▶ 트리클로로메탄(클로로폼)

<표 III-56> 트리클로로메탄(클로로포름)(67-66-3)의 국내외 노출기준

| Country | Limit value - Eight hours | | Limit value - Short term | |
|---|---|---|---|---|
| | ppm | mg/m³ | ppm | mg/m³ |
| 고용노동부 | 10 | 50 | | |
| Australia | 2 | 10 | | |
| Austria | 2 | 10 | | |
| Belgium | 2 | 10 | | |
| Canada - Ontario | 10 | | | |
| Canada - Québec | 5 | 24.4 | | |
| Denmark | 2 | 10 | 4 | 20 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| European Union | 2 | 10 | | |
| Finland | 2 | 10 | 4 (1) | 20 (1) |
| France | 2 | 10 | 50 | 250 |
| Germany (AGS) | 0.5 | 2.5 | 1 (1) | 5 (1) |
| Germany (DFG) | 0.5 | 2.5 | 1 (1) | 5 (1) |
| Hungary | | 10 | | 10 |
| Ireland | 2 | 9.8 | | |
| Italy | 2 | 10 | | |
| Japan | 3 | | | |
| Latvia | 2 | 10 | | |
| New Zealand | 2 | 9.9 | | |
| People's Republic of China | | 20 | | |
| Poland | | 8 | | |
| Singapore | 10 | 49 | | |
| South Korea | 10 | 50 | | |
| Spain | 2 | 10 | | |
| Sweden | 2 | 10 | 5 (1) | 25 (1) |
| Switzerland | 0.5 | 2.5 | 1 | 5 |
| The Netherlands | | 5 | | 25 |
| USA - NIOSH | | | 2 (1) | 9.78 (1) |
| USA - OSHA | | | 50 | 240 |
| United Kingdom | 2 | 9.9 | | |
| Remarks | | | | |
| European Union | Bold-type: Indicative Occupational Exposure Limit Values [2,3] and Limit Values for Occupational Exposure [4] (for references see bibliography) | | | |
| Finland | (1) 15 minutes average value | | | |
| France | Bold type: Restrictive statutory limit values | | | |

| | |
|---|---|
| Germany (AGS) | (1) 15 Minutes average value |
| Germany (DFG) | (1) 15 minutes average value |
| Italy | skin |
| Spain | skin |
| Sweden | (1) Short-term value, 15 minutes average value |
| USA - NIOSH | (1) 60 minutes average value |

### 2) 미국 OSHA의 허용기준(Permissible Exposure Limits) 검토

미국 OSHA의 PEL(Permissible Exposure Limits)검토 결과는 아래 <표 III-57>과 같다.

<표 III-57> 미국 OSHA의 허용기준(PEL)

| 물질명(CAS No.) | Regulatory Limits | |
|---|---|---|
| | OSHA PEL | Cal/OSHA PEL (as of 4/26/13)<br>8-hour TWA<br>(ST) STEL<br>(C) Ceiling |
| 톨루엔<br>(108-88-3) | 300 ppm | 10 ppm<br>(ST) 150 ppm<br>(C) 500 ppm |
| 수은<br>(7439-97-6) | 0.1 mg/m3 | 0.025 mg/m3 for metallic and inorganic |
| 휘발성콜타르피치<br>(65996-93-2) | 0.2 mg/m3 | 0.2 mg/m3 |
| 일산화탄소<br>(630-08-0) | 50 ppm<br>55 mg/m3 | 25 ppm<br>(C) 200 ppm |
| 베릴륨 및 그 화합물<br>(7440-41-7) | 5 μg/m3 | 0.2 μg/m3<br>(C) 25 μg/m3 |
| 니켈카보닐<br>(13463-39-3) | 0.001 ppm<br>0.007 mg/m3 | 0.001 ppm |
| 아크릴로니트릴 | - | 2 ppm |

| | | |
|---|---|---|
| (107-13-1) | | |
| 스티렌<br>(100-42-5) | 200 ppm | 50 ppm<br>(ST) 100 ppm<br>(C) 500 ppm |
| 메틸알코올<br>(67-56-1) | 200 mg/m3 | 260 |
| 망간 및 그 무기화합물<br>(7439-96-5) | (C) 5 mg/m3 | 0.2 mg/m3 |
| 아닐린과 아닐린 동족체<br>(62-53-3) | 5 ppm<br>19 mg/m3 | 2 ppm<br>(aniline only) |
| 시클로헥사논<br>(108-94-1) | 50 ppm<br>200 mg/m3 | 25 ppm |
| 코발트 및 그 무기화합물<br>(7440-48-4) | 0.1 mg/m3 | 0.02 mg/m3 |
| 디클로로메탄<br>(75-09-2) | - | 25 ppm<br>(ST) 125 ppm |
| 트리클로로메탄 (클로로포름)<br>(67-66-3) | (C) 50 ppm<br>(C) 240 mg/m3 | 2 ppm |

### 3) 국내외 타 부처의 규제기준 고찰

연구대상 물질 15종에 대한 국내외 타 부처의 규제기준 고찰 결과는 아래 <표 Ⅲ-58>과 같다.

<표 Ⅲ-58> 국내외 타 부처의 규제기준

| 물질명<br>(CAS No.) | 산안법 | 화관법 | 위험물 | 폐기물 | 국외 |
|---|---|---|---|---|---|
| 톨루엔<br>(108-88-3) | 작측<br>특검<br>관리<br>노출 | 유독<br>사고 | 4류<br>제1석유류(<br>비수용성액<br>체) | 지정<br>폐기물 | - 미국관리정보<br>(CERCLA규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 313규정) |
| 수은<br>(7439-97-6) | 작측<br>특검<br>관리<br>노출 | 유독 | - | 지정<br>폐기물 | - 미국관리정보<br>(CERCLA규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 313규정) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | -미국환리정보<br>(로테르담협약물질) |
| 휘발성콜타르피치<br>(65996-93-2) | 허가<br>작측<br>특검<br>노출 | - | - | - | |
| 일산화탄소<br>(630-08-0) | 작측<br>특검<br>관리<br>노출 | 사고 | - | - | |
| 베릴륨 및<br>그 화합물<br>(7440-41-7) | 허가<br>작측<br>특검<br>노출 | - | 제2류 5.<br>금속분 | | - 미국관리정보<br>(CERCLA규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 313규정) |
| 니켈카보닐<br>(13463-39-3) | 작측<br>관리<br>노출 | 유독 | 제4류<br>제1석유류 | 지정<br>폐기물 | -미구관리정보<br>(OSHA규정)<br>-미국관리정보<br>(CERCLA규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 302 규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 304 규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 313 규정) |
| 아크릴로니트릴<br>(107-13-1) | 작측<br>특검<br>관리<br>노출 | 유독<br>사고 | 4류<br>제1석유류(<br>비수용성액<br>체) | 지정폐<br>기물 | -미국관리정보<br>(CERCLA규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 302 규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 304 규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 313 규정) |
| 스티렌<br>(100-42-5) | 작측<br>특검 | - | 4류<br>제2석유류( | - | -미국관리정보<br>(CERCLA규정) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 관리<br>노출 | | 비수용성액<br>체) | | -미국관리정보<br>(EPCRA 313 규정) |
| 메틸알코올<br>(67-56-1) | 작측<br>특검<br>관리<br>노출 | 유독<br>사고 | 4류<br>알코올류 | 지정폐<br>기물 | -미국관리정보<br>(CERCLA규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 313 규정) |
| 망간 및<br>그 무기화합물<br>(7439-96-5) | 작측<br>특검<br>관리<br>노출 | - | - | - | -미국관리정보<br>(EPCRA 313 규정) |
| 아닐린과<br>아닐린 동족체<br>(62-53-3) | 작측<br>특검<br>관리<br>노출 | 유독 | 4류<br>제3석유류(<br>비수용성액<br>체) | 지정폐<br>기물 | -미국관리정보<br>(CERCLA규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 302 규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 304 규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 313 규정) |
| 시클로헥사논<br>(108-94-1) | 작측<br>특검<br>관리<br>노출 | - | 4류<br>제2석유류(<br>비수용성액<br>체) | - | -미국관리정보<br>(CERCLA규정) |
| 코발트 및<br>그 무기화합물<br>(7440-48-4) | 작측<br>특검<br>관리<br>노출 | - | - | - | -미국관리정보<br>(CERCLA규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 313 규정) |
| 디클로로메탄<br>(75-09-2) | 작측<br>특검<br>관리<br>노출 | - | - | - | |
| 트리클로로메탄<br>(클로로포름)<br>(67-66-3) | 작측<br>특검<br>관리<br>노출 | 유독 | - | 지정폐<br>기물 | -미국관리정보<br>(CERCLA규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 302 규정)<br>-미국관리정보 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | (EPCRA 304 규정)<br>-미국관리정보<br>(EPCRA 313 규정) |
| *산안법(산업안전보건법)<br>작측: 작업환경측정대상물질 / 특검: 특수건강진단대상물질/ 관리: 관리대상물질 /<br>노출: 노출기준설정물질 / 허가: 허가대상물질<br><br>*화관법(화학물질관리법)<br>유독: 유독물질 / 사고: 사고대비물질<br><br>*위험물(위험물안전관리법)<br><br>*폐기물(폐기물관리법) | | | | | |

## 4) GHS 분류결과 조사

연구대상물질을 대상으로 안전보건공단과 환경부의 GHS 분류결과 비교 조사하여 아래 <표 III-59>에 나타냈다.

<표 III-59> 한국산업안전보건공단 및 환경부의 GHS 분류결과

| 물질명 | 한국산업안전보건공단 | 환경부 |
|---|---|---|
| 톨루엔 | 인화성액체 구분2<br>급성독성(흡입: 증기) 구분4<br>피부 부식성/피부 자극성 구분2<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분2<br>생식독성 구분2<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1<br>특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1<br>흡입유해성 구분1 | 인화성액체 구분2<br>피부 부식성/피부 자극성 구분2<br>생식독성 구분2<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분3<br>특정표적장기 독성(반복 노출) 구분2<br>흡입유해성 구분1 |
| 수은 | 급성독성(흡입: 증기) 구분1<br>피부 부식성/피부 자극성 구분2<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분2 | 급성독성(흡입) 구분2<br>생식독성 구분1<br>특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1 |

| | | |
|---|---|---|
| | 피부과민성 구분1<br>생식독성 구분1B<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1<br>특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1<br>만성 수생환경 유해성 구분4 | 급성 수생환경 유해성 구분1<br>만성 수생환경 유해성 구분1 |
| 휘발성<br>콜타르피치 | 피부 부식성/피부 자극성 구분2<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분2<br>발암성 구분1A<br>특정표적장기 독성(1회 노출)<br>구분3(호흡기계자극)<br>수생환경(만성) 구분4 | - |
| 일산화탄소 | 인화성가스 구분1<br>고압가스 압축가스<br>급성독성(흡입:가스) 구분3<br>생식독성 구분1A<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1<br>특정표적장기 독성(반복 노출) 구분2 | 인화성가스 구분1<br>고압가스 구분1<br>급성독성(흡입) 구분3<br>생식독성 구분1<br>특정표적장기 독성(반복 노출) 구분2 |
| 베릴륨 및<br>그 화합물 | 인화성고체 구분1<br>호흡기과민성 구분1<br>피부과민성 구분1<br>발임성 구분1A Skin<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1<br>특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1<br>만성 수생환경 유해성 구분4 | - |
| 니켈카보닐 | 인화성액체 구분2<br>급성독성(흡입: 증기) 구분1<br>피부 부식성/피부 자극성 구분2<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분1<br>호흡기과민성 구분1<br>발암성 구분1A<br>생식독성 구분1B<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1 | 인화성액체 구분2<br>급성독성(흡입) 구분1<br>발암성 구분1<br>생식독성 구분1 |
| 아크릴로니트릴 | 인화성액체 구분2<br>급성독성(경구) 구분3<br>급성독성(경피) 구분2 | 인화성액체 구분2<br>급성독성(경구) 구분3<br>급성독성(경피) 구분2 |

| | | |
|---|---|---|
| | 급성독성(흡입: 증기) 구분2<br>피부 부식성/피부 자극성 구분2<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분2<br>피부과민성 구분1<br>발암성 구분1B<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1<br>특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1 | 급성독성(흡입) 구분2<br>피부 부식성/피부 자극성 구분2<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분1<br>피부과민성 구분1<br>발암성 구분1<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분3<br>만성 수생환경 유해성 구분2 |
| 스티렌 | 인화성액체 구분3<br>급성독성(흡입: 증기) 구분4<br>피부 부식성/피부 자극성 구분2<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분2<br>발암성 구분2<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1<br>특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1<br>흡입유해성 구분1 | - |
| 메틸알코올 | 인화성액체 구분2<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분2<br>생식독성 구분1B<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1 | 인화성액체 구분2<br>급성독성(경구) 구분3<br>급성독성(경피) 구분3<br>급성독성(흡입) 구분3<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분2<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1 |
| 망간 및<br>그 무기화합물 | 생식독성 구분1B<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1<br>특정표적장기 독성(반복 노출) 구분1<br>만성 수생환경 유해성 구분4 | - |
| 아닐린과<br>아닐린 동족체 | 급성독성(경구) 구분4<br>급성독성(경피) 구분3<br>급성독성(흡입: 증기) 구분2<br>급성독성(흡입: 분진/미스트) 구분4<br>피부 부식성/피부 자극성 구분2<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분2<br>피부과민성 구분1<br>생식세포변이원성 구분2<br>발암성 구분2 | 급성독성(경구) 구분3<br>급성독성(경피) 구분3<br>급성독성(흡입) 구분3<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분2<br>생식세포변이원성 구분2<br>발암성 구분2<br>특정표적장기 독성(반복 노출 구분1<br>급성 수생환경 유해성 구분1<br>만성 수생환경 유해성 구분1 |

| | | |
|---|---|---|
| | 특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1<br>특정표적장기 독성(반복 노출 구분1<br>급성 수생환경 유해성 구분1 | |
| 시클로헥사논 | 인화성액체 구분3<br>급성독성(경구) 구분4<br>급성독성(경피) 구분3<br>급성독성(흡입: 증기) 구분3<br>피부 부식성/피부 자극성 구분2<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분2<br>생식세포 변이원성 구분2<br>발암성 구분2<br>생식독성 구분2<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1<br>특정표적장기 독성(반복 노출 구분1 | - |
| 코발트 및<br>그 무기화합물 | 호흡기과민성 구분1<br>피부과민성 구분1<br>발암성 구분2<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분3<br>(호흡기계 자극)<br>특정표적장기 독성(반복 노출 구분1<br>만성 수생환경 유해성 구분4 | - |
| 디클로로메탄 | 급성독성(경구) 구분4<br>피부 부식성/피부 자극성 구분2<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분2<br>발암성 구분2<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1<br>특정표적장기 독성(반복 노출 구분1<br>만성 수생환경 유해성 구분2 | - |
| 트리클로로메탄<br>(클로로포름) | 급성독성(경구) 구분4<br>피부 부식성/피부 자극성 구분1<br>심한 눈 손상/눈 자극성 구분1<br>발암성 구분2<br>특정표적장기 독성(1회 노출) 구분1<br>특정표적장기 독성(반복 노출 구분1 | 급성독성(경구) 구분4<br>피부 부식성/피부 자극성 구분2<br>발암성 구분2<br>특정표적장기 독성(반복 노출 구분1 |

| | | |
|---|---|---|
| | 만성 수생환경 유해성 구분2 | |

## 4. 작업환경 측정 및 분석방법 제시

### 1) 현행 관련고시(고용노동부 고시 제2016-39호) 제42조의2의 적정성 검토

현행 산업안전보건법 제39조의2 허용기준 설정 물질의 분석법과 관련하여 「작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시」(고용노동부고시 제2013-39호) 별표2의 허용기준 대상 유해인자의 노출 농도 측정 및 분석 방법의 13종 물질에 대한 시료채취 및 분석방법을 검토하고 시료채취, 유량, 분석방법, 검출한계 그리고 인용한 타기관의 시료채취 및 분석방법을 요약하였다. 그 내용은 다음 <표 Ⅲ-60, Ⅲ-61, Ⅲ-62>에 나타내었다.

NIOSH와 OSHA는 대부분 각 물질에 대한 개별 혹은 물질 분류별 시료채취 및 분석법을 대부분이 갖고 있으나 HSE와 ISO에서는 각 물질에 대한 개별적인 방법을 갖고 있지 않고 여러 물질에 통합적인 방법만 가지고 있다. 따라서 정밀한 분석과 지역시료채취(area air sampling)가 아닌 작업자에 대한 개인시료채취(personal air sampling)가 필요한 작업장에서 HSE와 ISO 방법보다는 NIOSH나 OSHA 방법의 활용도가 더 우선한다고 하였다. 따라서, 모든 물질군에서 NIOSH 방법과 OSHA 방법을 준용하고 있다. 둘 중 NIOSH의 방법이 있을 경우에는 NIOSH의 방법을 우선적으로 준용하고 있으며 만약 NIOSH의 방법이 없는 경우에는 OSHA의 방법을 준용하고 있다. NIOSH 방법은 비교적 정밀도와 정확도 및 검출한계가 우수하고 다른 방법에 비해 간편하며, 정도 높은 방법으로서 실무를 담당하는 국내의 측정분석기관들에서도 가장 선호하는 방법이므로 현행의 방법을 따르는 것이 바람직할 것이다. 최종적으로 NIOSH, OSHA, KOSHA GUIDE의 세가지 방법을 검토한 결과 현행 허용기준 설정물질이 고용노동부 고시 제2016-39호에 준하는 KOSHA GUIDE에 근거하여 측정 및 분석 방법이 제정되었으므로, 향후 본 연구대상 물질 15종의 경우에도 동일한 방법이 적용되어 제안되어야 할 것으로 판단된다.

<표 III-60> 현행 허용기준 설정물질의 물질별 시료채취 및 분석방법 요약

| 연번 | 화학물질명 (CAS No.) | 시료 채취 및 분석방법 |
|---|---|---|
| 1 | 납 및 그 무기화합물 (7439-92-1) | · 시료채취기 : 막여과지(직경 : 37 ㎜, 공극 : 0.8 ㎛, cellulose ester membrane)와 패트(backup pad)가 장착된 3단 카세트<br>· 유량 : 1~3 L/min<br>· 분석 : 유도결합플라즈마분광광도계(ICP) 또는 원자흡광광도계(AAS)<br>· 검출한계 : 0.062 ㎍/시료(ICP), 2.6㎍/시료(AAS) |
| 2 | 니켈 (불용성 무기화합물) (7440-02-0) | · 시료채취기 : 막여과지(직경 : 37 ㎜, 공극 : 0.8 ㎛, cellulose ester membrane)와 패트(backup pad)가 장착된 3단 카세트<br>· 유량 : 1~3 L/min<br>· 분석 : 유도결합플라즈마분광광도계(ICP) 또는 원자흡광광도계(AAS)<br>· 검출한계 : 0.020 ㎍/시료(ICP), 0.16㎍/시료(AAS) |
| 3 | 디메틸포름아미드 (68-12-2) | · 시료채취기 : 실리카겔관(silica gel 150㎎/75㎎ 또는 동등 이상의 흡착성능을 갖는 흡착튜브<br>· 유량 : 0.01~1 L/min<br>· 분석 : 불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피<br>· 검출한계 : 50 ㎍/시료 |
| 4 | 벤젠 (71-43-2) | · 시료채취기 : 활성탄관(coconut shell charcoal, 길이 : 7㎝, 외경 : 6㎜, 내경 : 4㎜, 앞층 : 100㎎, 뒷층 : 50㎎, 20/40 mesh 또는 이와 동등성능 이상의 흡착성능을 갖춘 흡착관<br>· 유량 : 0.01~0.20 L/min<br>· 분석 : 불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피<br>· 검출한계 : 0.5 ㎍/시료 |

<표 Ⅲ-61> 현행 허용기준 설정물질의 물질별 시료채취 및 분석방법 요약(계속)

| 연번 | 화학물질명 (CAS No.) | 시료 채취 및 분석방법 |
|---|---|---|
| 5 | 2-브로모프로판 (75-26-3) | · 시료채취기 : 활성탄관(coconut shell charcoal, 길이 : 7㎝, 외경 : 6㎜, 내경 : 4㎜, 앞층 : 100㎎, 뒷층 : 50㎎, 20/40 mesh 또는 이와 동등성능 이상의 흡착성능을 갖춘 흡착관<br>· 유량 : 0.01~0.20 L/min<br>· 분석 : 불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피<br>· 검출한계 : 1.0㎍/시료 |
| 6 | 석 면 | · 시료채취기 : 셀롤로오즈 에스테르 막여과지(공극 : 0.45~1.2㎛, 직경 : 25㎜)와 패드가 장착된 길이가 약 50 ㎜의 전도성 카울(extension cowl)이 있는 3단 카세트(직경 25㎜)를 사용<br>· 유량 : 0.5~16L/min<br>· 분석 : 위상차현미경(PCM, phase contrast microscope)<br>· 검출한계 : 7개/㎟ |
| 7 | 6가 크롬화합물 (7440-47-3) | · 시료채취기 : PVC 여과지(직경 : 37㎜, 공극 : 5.0 ㎍, polyvinyl chloride membrane)와 패드(backup pad)가 장착된 3단 카세트를 사용<br>· 유량 : 1~4 L/min<br>· 분석 : 전도도 또는 분광 검출기가 장착된 이온크로마토그래피<br>· 검출한계 : 3.5 ㎍/시료 |
| 8 | 이황화탄소 (75-15-0) | · 시료채취기 : 건조관(길이 7 ㎝, 외경 : 6 ㎜, 내경 : 4 ㎜, 270 ㎎의 황산나트륨, 22 ℃의 상대습도 100%인 공기 6L를 완전 제습할 수 있는 성능을 가질 것)과 활성탄관(coconut shell charcoal, 길이 : 7 ㎝, 외경 : 6 ㎜, 내경 : 4 ㎜, 앞층 100㎎, 뒷층 50 ㎎ 20/40 mesh 또는 이와 동등성능 이상의 흡착성능을 갖는 흡착관)<br>· 유량 : 0.01~0.20 L/min<br>· 분석 : 불꽃광전자검출기(FPD)가 장착된 가스크로마토그래피<br>· 검출한계 : 0.02 ㎎/시료 |

<표 Ⅲ-62> 현행 허용기준 설정물질의 물질별 시료채취 및 분석방법 요약(계속)

| 연번 | 화학물질명 (CAS No.) | 시료 채취 및 분석방법 |
|---|---|---|
| 9 | 카드뮴 및 그 화합물 (7440-43-9) | · 시료채취기 : 막여과지(직경 : 37 ㎜, 공극 : 0.8 ㎛, cellulose ester membrane)와 패트(backup pad)가 장착된 3단 카세트<br>· 유량 : 1~3 L/min<br>· 분석 : 유도결합플라즈마분광광도계(ICP) 또는 원자흡광광도계(AAS)<br>· 검출한계 : 0.0075 ㎍/시료(ICP), 0.05 ㎍/시료(AAS) |
| 10 | 2,4-톨루엔디이소시아네이트 (584-84-9) | · 시료채취기 : 1-2PP(1-(2-pryridyl)piperazine))이 코팅된 유리섬유여과지가 장착된 37 ㎜ 3단 카세트 홀더를 사용<br>· 유량 : 1~2 L/min<br>· 분석 : 자외선-가시광선 검출기 도는 형광 검출기가 장착된 고성능액체크로마토그래피를 사용<br>· 검출한계 : 19 ng/시료 |
| 11 | 트리클로로에틸렌 (79-01-6) | · 시료채취기 : 활성탄관(coconut shell charcoal, 길이 : 7㎝, 외경 : 6㎜, 내경 : 4㎜, 앞층 : 100㎎, 뒷층 : 50㎎, 20/40 mesh 또는 이와 동등성능 이상의 흡착성능을 갖춘 흡착관<br>· 유량 : 0.01~0.20 L/min<br>· 분석 : 불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피<br>· 검출한계 : 0.01㎎/시료 |
| 12 | 포름알데히드 (50-00-0) | · 시료채취기 : 2,4-디니트로페닐히드라진(2,4-DNPH, 2,4-dinitrophenylhydrazine이 코팅된 실리카겔관(60/100 mesh) 또는 카트리지<br>· 유량 : 0.03~1.5 L/min<br>· 분석 : 자외선-가시광선 검출기 도는 형광 검출기가 장착된 고성능액체크로마토그래피를 사용<br>· 검출한계 : 0.07㎍/시료 |
| 13 | 노말헥산 (110-54-3) | · 시료채취기 : 활성탄관(coconut shell charcoal, 길이 : 7㎝, 외경 : 6㎜, 내경 : 4㎜, 앞층 : 100㎎, 뒷층 : 50㎎, 20/40 mesh 또는 이와 동등성능 이상의 흡착성능을 갖춘 흡착관<br>· 유량 : 0.01~0.20 L/min<br>· 분석 : 불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피<br>· 검출한계 : 0.4 ㎍/시료 |

### 2) 연구대상 화학물질(15종)의 작업환경 측정 및 분석 방법 제안

여러 국가의 정부 및 국제규격 제정기관에서 작업환경 공기 중 시료채취 및 분석방법 매뉴얼 발간하고 있다. 다음의 <표 Ⅲ-63>에 시료채취 및 분석방법을 찾을 수 있는 홈페이지를 제시하고 있다. 여러 방법 중 적절한 해당 물질의 시료채취 및 분석방법을 선택할 수 있다. 무엇보다 중요한 것은 분석방법에 어떤 방법을 사용하였는지 명시하는 것이 필요하다. 향후 법 개정 시 OSHA 방법을 추가적으로 보완하여 적용하는 것을 제안한다.

연구대상 화학물질인 톨루엔, 수은, 휘발성콜타르피치, 일산화탄소, 베릴륨 및 그 화합물, 니켈카보닐, 아크릴로니트릴, 스트렌, 메틸알코올, 망간 및 그 무기화합물, 아닐린과 아닐린 동족체, 시클로헥사논, 코발트 및 그 무기화합물, 디클로로메탄, 트리클로로메탄(클로로포름) 15종의 선진 외국의 측정·분석 방법은 다음의 <표 Ⅲ-64>와 같다. 연구대상 화학물질별 국내외 시료채취 및 분석방법을 비교·분석하고, 필요시 국내 실정에 적합한 더 나은 측정 및 분석 방법으로 제시하고 활용하였다.

시료채취 및 분석방법을 선택할 때는 정확도와 정밀도가 검증된 방법을 선택하여야 한다. 미국 OSHA에서는 95% 신뢰수준으로 노출기준 수준에서 참값의 ±25%이내의 정확도와 정밀도가 검증된 방법을 선택할 것을 권고한다.

작업 환경에 대한 지식과 시료채취분석의 화학에 대한 전반적인 안목이 시료채취 및 분석방법을 선택하는데 중요한 요소가 된다. 공기 중의 물질의 농도가 낮을 때는 측정 및 분석방법의 민감도를 반드시 고려하여 허용 가능한 최대한의 유속으로 권고되는 공기유량을 최소한 이상으로 공기를 포집하여야 한다. 습도가 높고, 공기 중 농도가 높을 때는 파과를 고려하여야 한다.

<표 III-63> 시료채취 및 분석방법을 찾을 수 있는 홈페이지

| 기관명 | 시료채취 및 분석방법 | 홈페이지 |
|---|---|---|
| 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 | 작업환경측정·분석 기술지침 | http://www.kosha.or.kr/board.do?menuId=4833 |
| National Institute for Occupational and Health (NIOSH) | NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) | www.cdc.gov/niosh/nmam |
| Occupational Safety and Health Administration (OSHA) | OSHA Sampling and Analytical Methods Manual | www.osha.gov/dts/sltc/methods/index.html. |



[그림 III-20] NIOSH Manual of Analytical Methods의 예

[그림 III-21] OSHA Sampling and Analytical Methods의 예



[그림 III-22] 작업환경측정·분석 기술지침의 예

<표 III-64> 연구대상 화학물질(15종)의 작업환경측정 및 분석법

| 연번 | 화학물질명 | CAS No. | 측정 및 분석법 | 분석기기 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 톨루엔 | 108-88-3 | KOSHA(A-72-2015), NIOSH 1500, NIOSH 1501, NIOSH 3800, NIOSH 4000, OSHA 111 | GC/FID, GC/ECD |
| 2 | 수은 | 7439-97-6 | KOSHA(A-44-2015), NIOSH 6009, OSHA ID 140, OSHA ID 145 | AA |
| 3 | 휘발성콜타르피치 | 65996-93-2 | OSHA 58 | HPLC/FL |
| 4 | 일산화탄소 | 630-08-0 | KOSHA(A-1-046), NIOSH 6604, OSHA ID 209, OSHA ID 210 | Sensor |
| 5 | 베릴륨 및 그 화합물 | 7440-41-7 | KOSHA(A-7-2015), NIOSH 7102, NIOSH 7300, NIOSH 7301, NIOSH 7303, NIOSH 7306, NIOSH 9102, OSHA ID 125G | ICP/AES AA/GF |
| 6 | 니켈카보닐 | 13463-39-3 | KOSHA(A-49-2015), NIOSH 6007 | AA/GF |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 7 | 아크릴로니트릴 | 107-13-1 | KOSHA(A-96-2015), NIOSH 1604, OSHA 37 | GC/FID, GC/NPD |
| 8 | 스티렌 | 100-42-5 | KOSHA(A-70-2015), NIOSH 1501, OSHA 09,<br>OSHA 89, OSHA 1014 | GC/FID, HPLC/UV |
| 9 | 메틸알코올 | 67-56-1 | KOSHA(A-117-2014), NIOSH 2000, NIOSH 3800,<br>OSHA 91 | GC/FID<br>GC/ECD |
| 10 | 망간 및 그 무기화합물 | 7439-96-5 | KOSHA(A-5-2015), NIOSH 7300, NIOSH 7301,<br>NIOSH 7306, NIOSH 9102, OSHA ID 121, OSHA ID 125G | ICP/AES<br>AA or AES |
| 11 | 아닐린과 아닐린 동족체 | 62-53-3 | KOSHA(A-91-2015), NIOSH 2002, NIOSH 2017,<br>NIOSH 8317, OSHA PV2079 | GC/FID<br>HPLC/ECD |
| 12 | 시클로헥사논 | 108-94-1 | KOSHA(A-109-2015), NIOSH 1300, NIOSH 2555,<br>OSHA 01 | GC/FID |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 13 | 코발트및 그 무기화합물 | 7440-48-4 | KOSHA(A-15-2015), NIOSH 7027, NIOSH 7300, NIOSH 7301, NIOSH 7303, NIOSH 7306, NIOSH 7327, NIOSH 9102, OSHA ID 121, OSHA ID 125G, OSHA ID 213 | ICP/AES FAAS |
| 14 | 디클로로메탄 | 75-09-2 | KOSHA(A-19-2015), NIOSH 1005, OSHA 59, OSHA 80 | GC/FID |
| 15 | 트리클로로메탄 (클로로포름) | 67-66-3 | KOSHA(A-28-2015), NIOSH 1003, OSHA 05 | GC/FID |

### (1) 기관별 시료채취 및 분석방법 비교표

#### ▶ 톨루엔(108-88-3)

톨루엔 시료채취 및 분석법은 OSHA 111, NIOSH 1501, KOSHA A-72-2015에서 시험법이 권고되고 있다. OSHA 111 방법과 NIOSH 1501 방법, KOSHA A- 72-2015 방법 모두 charcoal tube로 시료를 채취하여 $CS_2$로 탈착하고 GC/FID를 사용하여 톨루엔을 분석하는 방법이다.

<표 III-65> NIOSH Method 1501의 톨루엔 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착튜브<br>(Coconut shell charcoal, 100㎎/50㎎)<br>3) 시료채취유량 : 0.2 L/min<br>4) 공기량 : 최소 - 1 L<br>최대 - 8 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료안정성 : 5℃에서 30일<br>4. 공시료 : 시료의 10% | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법 : $CS_2$ 1mL을 넣고, 30분 동안 교반<br>3. 주입량<br>4. 칼럼 : Capillary, fused silica, 30 m x 0.32 mm ID; 1.00 um film 100% dimethyl polysiloxane 또는 그와 유사한 것<br>5. 범위 : 0.024~4.51 ㎎/시료<br>6. 검출한계 : 0.7 ug/시료<br>7. 정밀도 : 0.022 |

NMAM #1501 by NIOSH (2003)

<표 III-66> OSHA Method 111의 톨루엔 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제: 흡착튜브<br>(Coconut shell charcoal tube)<br>2.채취유량: 50 mL/min (240분)<br>최대: 12 L<br>3. 운반: 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착액 : DMF/CS2(60/40) 1mL<br>3. 온도 : 칼 럼 - 60 ℃ (등온)<br>도입부 - 250 ℃<br>검출부 - 275 ℃<br>4. 운반가스 : hydrogen (carrier) - 2.5 mL/min<br>5. 칼럼 : A 30-m × 0.32-mm i.d. fused silica XTI-5 (bonded 5% phenyl- 95% dimethylsiloxane) capillary column with a 1.0-$\mu$m df from Restek Corporation |

#111 by OSHA (1998)

<표 III-67> KOSHA GUIDE(A-72-2015)의 톨루엔 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착튜브<br>(Coconut shell charcoal, 100㎎/50㎎)<br>3) 시료채취유량 : 0.2 L/min 이하<br>4) 공기량 : 최소 - 1L<br>최대 - 8L<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료의 안정성 : 5℃에서 30일<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~5개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법 : $CS_2$ 1mL, 30분 동안 교반<br>3. 주입량 : 1uL<br>4. 온도 : 도입부 - 220℃<br>검출부 - 250℃<br>칼 럼 - 40℃(3 min) - 10℃/min - 200℃<br>5. 칼럼 : Capillary, fused silica, 30 m x 0.32 mm ID; 1.00 um film 100% dimethyl polysiloxane 또는 그와 유사한 것<br>6. 검출기 : FID<br>7. 범 위 : 0.024~4.51 mg/sample<br>8. 검출한계 : 0.7 ug/sample<br>9. 정밀도 : 0.022 |

#A-72-2015 by KOSHA (2015)

### ▶ 수은(7439-97-6)

수은 시료채취 및 분석법은 OSHA ID 140과 NIOSH 6009, KOSHA A-44-2015에서 시험법이 권고되고 있다. OSHA ID 140, NIOSH 6009, KOSHA A-44-2015 모든 방법이 수은을 흡착튜브에 채취하여 농질산과 염산으로 전처리한 다음 시료용액을 제조한 후 AAS-cold vapor system으로 분석한다. 따라서 현재 많이 이용되고 있는 NIOSH Method을 기준으로 흡착튜브를 사용하여 시료채취를 하는 분석법을 작성하는 것이 적절하다고 판단된다.

<표 III-68> NIOSH Method 6009의 수은 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착튜브<br>(Hopcalite in single section, 200㎎)<br>3) 시료채취유량 : 0.15~0.25 L/min<br>4) 총량 : 최소 2L(AT 0.5㎎/㎥)<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료안정성 : 25℃에서 30일<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 필요 | 1. 분석기술 : 원자흡광광도계법<br>(Atomic Absorption Spectrophotometer, Cold vapor)<br>2. 파장 : 253.7 nm<br>3. 분석대상물질 : 수은(Hg)<br>4. 전처리 : 흡착튜브의 흡착제를 50mL 용량플라스크에 옮긴 후 질산 25 mL를 넣고, 그다음 염산 25mL를 넣는다.(순서주의)<br>검은 흡착제가 녹을 때까지 방치(1시간 정도).<br>증류수를 가하여 50mL가 되게 함.<br>5. 최종용액 : BOD병에 위 용액 20mL와 80mL 증류수를 넣은 용액 100mL.<br>6. 범위 : 0.1~1.2 ug/시료 |

NMAM #6009 by NIOSH (1994)

<표 III-69> OSHA Method ID 140의 수은 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착튜브<br>(Hopcalite in single section, 200㎎)<br>3) 시료채취유량 : 0.2 L/min<br>4) 공기량 : 최대 - 100 L<br>최소 - 3L<br>2. 운반 : 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 대상물질을 흡착튜브에 채취하여 산으로 희화시킨 다음 시료용액을 조제하여 원자흡광광도계를 이용하여 정량 분석<br>2) 기기 : 원자흡광광도계(AAS)<br>2. 전처리 : 질산, 염산<br>3. 범위 : 0.01~0.02 ug<br>4. 검출한계 : 0.02 ug<br>5. 정밀도 : 0.039 |

#140 by OSHA (1979)

<표 III-70> KOSHA GUIDE(A-44-2015)의 수은 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착튜브<br>(Hopcalite in single section, 200㎎)<br>3) 시료채취유량 : 0.15~0.2 L/min<br>4) 공기량 : 최대-100 L<br>최소- 2 L(AT 0. 5㎎/㎥)<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료의 안정성 : 25℃에서 30일<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 필요 | 1. 분석기술 : 원자흡광광도계법<br>(Atomic Absorption Spectrophotometer, Cold vapor)<br>2. 파장 : 253.7 nm<br>3. 분석대상물질 : 수은(Hg)<br>4. 전처리 : 흡착튜브의 흡착제를 50mL 용량플라스크에 옮긴 후 질산 25 mL를 넣고, 그다음 염산 25mL를 넣는다.(순서주의)<br>검은 흡착제가 녹을 때까지 방치(1시간 정도).<br>증류수를 가하여 50mL가 되게 함.<br>5. 최종용액 : BOD병에 위 용액 20mL와 80mL 증류수를 넣은 용액 100mL.<br>6. 범위 : 0.1~1.2 ug/시료 |

#A-44-2015 by KOSHA (2015)

### ▶ 휘발성 콜타르피치(65996-93-2)

휘발성 콜타르피치 시료채취 및 분석법은 OSHA 58에서 시험법이 권고되고 있다.

<표 III-71> OSHA Method 58의 휘발성 콜타르피치 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 여과채취법<br>2) 기구 및 채취제 : 유리섬유 필터를 포함하는 카세트 (GFF)<br>3) 시료채취유량 : 2 L/min<br>4) 총량 : 960 L<br>2. 운반 : 각 GFF는 샘플링 후 별도의 섬광 유리병에 밀봉된 유리병에 전송 | 1. 원리<br>1) 원리 : 샘플링된 시료를 벤젠으로 추출 후 중량으로 추출 후 중량분석<br>2) 전자저울<br>2. 전자저울<br>1) 사용 : 시료채취 전과 후에 사용되는 저울은 반드시 동일한 저울을 사용해야 함<br>2) 보정 : 주기적으로 검·교정 실시 |

#58 by OSHA (1991)

### ▶ 일산화탄소

일산화탄소 시료채취 및 분석법은 OSHA ID 210과 NIOSH 6604, KOSHA A-1-46에서 시험법이 권고되고 있다. 기존의 KOSHA A-1-46 방법의 가스셀이 장착된 IR 보유기관이 많지 않은 실정으로 적용이 어렵다고 보이고, GC-DID를 보유한 기관도 많지 않아 OSHA-210 방법의 적용도 힘든 실정이다. 따라서, NIOSH 6604 방법이 현재 비교적 적용이 가능할 것으로 보인다. 즉 벨리데이션(검증)이 수행된 직독식 장비를 이용하여 주기적으로 검교정을 실시하고 해당 필터를 자주 교체하여 주는 방식으로 제안한다.

<표 III-72> NIOSH Method 6604의 일산화탄소 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 시료채취매체 : PotableDirect (Reading Co monitor)<br>2. 공기량 : 장비적인 특성<br>- 최대: 없음<br>- 최소:<br>3. 운 반 : 장비의 일반적인 운반<br>5. 시료의 안정성 : 최소7일 25℃에서<br>6. 공시료 : 신선한 공기 또는 압축 CO가 없는 실린더 | 1. 분석기술 : electrochemical sensor<br>2. 분석대상물질 : Carbon monoxide(CO)<br>3. 기기보정 :<br>-영점 : 일산화탄소가 없는 공기<br>-SPAN : 스팬가스의 표준 실린더의 원하는 범위<br>4. 범위 : 0 ~ 200 ppm<br>5. 검출한계 : 1ppm<br>6. 정밀도 : 0.035(20ppm)<br>0.012(50ppm)<br>0.008(100ppm) |

NMAM #6604 by NIOSH (1996)

<표 III-73> OSHA Method ID 210의 일산화탄소 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 여과채취법<br>2) 기구 및 채취제 : five-layer aluminized gas sampling bag<br>3) 시료채취유량 : 0.01~0.05 L/min<br>4) 총량 : 2~5 L<br>2. 운반 : 샘플 수집 후 2주 이내에 분석 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 샘플링루프를 통해 들어온 가스를 GC에 주입하고 DID검출기로 분석<br>2) 기기 : DID가 장착된 GC<br>2. 기기조건 : 컬럼 90℃<br>밸브오븐 60℃<br>검출부 190℃<br>3. 운반가스 : 헬륨<br>4. 칼럼 : A 4-foot × 1/8-inch stainless steel, 60-80 mesh, Hayesep Q column and a 12-foot × 1/8-inch stainless steel, 60-80 mesh, molecular sieve 5A column<br>5. 정밀도 : 0.025 |

# ID 210 by OSHA (1991)

<표 III-74> KOSHA GUIDE(A-1-46)의 일산화탄소 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>(1) 방법 : 직접채취<br>(2) 기구 및 채취제 : 테드라 백(5L)<br>(3) 시료채취 유량:<br>(4) 총량 : 5L<br>2. 운반 : 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 테드라백에 직접 채취하여 10 meter pathlenth 가스셀에 넣어 적외선 분광광도계로 분석<br>2) 기기 : IR<br>2. 정도 :<br>1)범위 : 10 - 500 ppm<br>2)정밀도 : ± 10% |

#A-1-46 by KOSHA (1997)

### ▶ 베릴륨(7440-41-7) 및 그 화합물

베릴륨 및 그 화합물 시료채취 및 분석법은 OSHA ID 125G와 NIOSH 7102, 7300, KOSHA A-7-2015에서 시험법이 권고되고 있다.

<표 III-75> NIOSH Method 7102의 베릴륨 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 여과 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 막여과지 (MCE)<br>3) 시료채취유량 : 1~4 L/min<br>4) 공기량 : 최대 - 2,000 L<br>최소 - 10 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료의 안정성 : 안정함<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 필요 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 여과지를 산으로 회화시킨 후 원자흡광 시료 용액을 조제하여 광도계(AAS)를 이용하여 정량<br>2) 기기 : 원자흡광광도계(AAS)<br>2. 파장 : 234.9 nm<br>3. 전처리 : 진한질산($HNO_3$) 10 mL<br>진한황산($H_2SO_4$) 1mL<br>4. 최종용액 : 2%$Na_2SO_4$/3%$H_2SO_4$ 10mL<br>5. 검량선 : $Be^{2+}$표준용액 in 2%$Na_2SO_4$/3%$H_2SO_4$<br>6. 주입량 : 10 ㎕<br>7. 범위 : 0.05 ~ 1 ㎍/sample<br>8. 검출한계 : 0.005 ㎍/sample<br>9. 정밀도 : 0.008 |

NMAM #7102 by NIOSH (1994)

<표 III-76> OSHA ID-125G의 베릴륨 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 여과 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 막여과지 (MCE)<br>3) 시료채취유량 : 2 L/min<br>4) 공기량 : TWA 480L<br>STEL 30L<br>Ceiling 30L<br>2. 운반 : 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : Argon 가스를 주입하여 전자가 방출하는 에너지로부터 파장을 감지하여 성분의 양을 분석<br>2) 기기 : 유도결합플라즈마(ICP-AES)<br>2. 전처리 : 질소, 황산, 과산화수소 (촉진제 : 염산)<br>3. 추출 : 전처리를 실시한 필터를 핫플레이트를 이용해 증발시켜 불용성 미립자를 제거한 후 증류수를 이용하여 분석물질 추출<br>4. 기기조건<br>1) 사용가스: 아르곤<br>2) Gas 유량 : plasma 12-16 L/min<br>3) 전력 : 1.1kw<br>4. 범위 : 0.12-0.48 ㎍/sample<br>5. 검출한계 : upper limit 5㎍<br>Qual Det Limit 0.013 ㎍<br>Quan Det Limit 0.043 ㎍<br>6. 정밀도 : 0.010 |

#ID125G by OSHA (2002)

<표 III-77> KOSHA GUIDE(A-7-2015)의 베릴륨 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 여과 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 막여과지 (MCE) 혹은 PVC 필터<br>3) 시료채취유량 : 2 L/min<br>4) 공기량 : TWA - 480 L<br>STEL - 30 L<br>Ceiling - 30L<br>2. 운반 : 여과지의 시료포집 부분이 위를 향하도록 하고 마개를 닫아 밀폐된 상태에서 운반<br>3. 시료의 안정성 : 안정함<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 필요 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 여과지를 산으로 회화시킨 후 원자흡광 시료 용액을 조제하여 광도계(AAS)를 이용하여 정량<br>2) 기기 : 원자흡광광도계(AAS)<br>2. 파장 : 234.9 nm<br>3. 전처리 : 진한질산($HNO_3$) 10 mL<br>진한황산($H_2SO_4$) 1mL<br>4. 최종용액 : 2%$Na_2SO_4$/3%$H_2SO_4$ 10mL<br>5. 검량선 : $Be^{2+}$표준용액 in 2%$Na_2SO_4$/3%$H_2SO_4$<br>6. 범위 : 0.05 ~ 1 ㎍/sample<br>7. 검출한계 : 0.005 ㎍/sample<br>8. 정밀도 : 0.008 |

#A-7-2015 by KOSHA (2015)

### ▶ 니켈카보닐(13463-39-3)

니켈카보닐 시료채취 및 분석법은 NIOSH 6007, KOSHA GUIDE A-49-2015에서 시험법이 권고되고 있다. KOSHA GUIDE와 NIOSH 6007 방법은 전처리와 방법면에 있어서 동일하다. 니켈카보닐을 프리필터 및 고체흡착관에 채취하여 3% 질산으로 회화시킨 다음 시료용액을 조제하여 원자흡광광도계(AAS-graphite furnace)를 이용하여 분석한다.

<표 III-78> NIOSH Method 6007의 니켈카르보닐 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 프리필터 및 고체흡착관<br>(low Ni charcoal, 120㎎/60㎎<br>0.8 um cellulose ester membrane)<br>3) 시료채취유량 : 0.05~2 L/min<br>4) 공기량 : 최대- 80 L<br>최소- 7 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료의 안정성 : 실온에서 17일 저장시 95% 안정함<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 필요 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 여과지에 채취하여 산으로 회화시킨 다음 시료용액을 조제하여 원자흡광광도계를 이용하여 정량한다<br>2) 기기 : 원자흡광광도계(AAS)<br>2. 파장 : 232 nm<br>3. 전처리 : 3% 질산 1mL를 넣고 30분간 초음파 처리<br>4. 주입량 : 20㎕<br>5. 보정 : 3% 질산(w/v)에서 $Ni^{2+}$의 표준용액<br>6. 범위 : 니켈(Ni) 0.05~0.6 ㎍/sample<br>7. 검출한계 : 니켈(Ni) 0.01 ㎍/sample<br>8. 정밀도 : 0.028 at 니켈(Ni) 0.08~0.5㎍/sample |

NMAM #6007 by NIOSH (1994)

<표 Ⅲ-79> KOSHA GUIDE(A-49-2015)의 니켈카보닐 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 프리필터 및 고체흡착관<br>(low Ni charcoal, 120㎎/60㎎<br>0.8 um cellulose ester membrane)<br>3) 시료채취유량 : 0.05~2 L/min<br>4) 공기량 : 최대 - 80 L<br>최소 - 7 L<br>2. 운반 : 여과지(시료포집 부분이 위를 향하도록 함)와 고체흡착관의 마개를 닫아 밀폐된 상태에서 운반<br>3. 시료의 안정성 : 실온에서 17일 저장시 95% 안정함<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 필요 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 여과지에 채취하여 산으로 회화시킨 다음 시료용액을 조제하여 원자흡광광도계를 이용하여 정량한다<br>2) 기기 : 원자흡광광도계(AAS)<br>2. 파장 : 232 nm<br>3. 전처리 : 3% 질산 1mL를 넣고 30분간 초음파 처리<br>4. 보정 : 3% 질산(w/v)에서 $Ni^{2+}$의 표준용액<br>5. 범위 : 니켈(Ni) 0.05~0.6 ㎍/sample<br>6. 검출한계 : 니켈(Ni) 0.01 ㎍/sample<br>7. 정밀도 : 0.028 at 니켈(Ni) 0.08~0.5㎍/sample |

#A-49-2015 by KOSHA (2015)

## ▶ 아크릴로니트릴(107-13-1)

아크릴로니트릴의 시료채취 및 분석법은 OSHA 37과 NIOSH 1604, KOSHA A-96-2015에서 시험법이 권고되고 있다. KOSHA 방법은 흡착관 (코코넛 껍질 활성탄, 100㎎/50㎎), 1mL 2%(v/v; 아세톤/이황화탄소)를 넣고 30분간 방치, GC를 이용하여 분리한 후 FID로 검출을 사용하고 있는 방법으로 NIOSH 방법과 동일하다. 현행의 방법을 그대로 유지하는 것을 제안한다

.

<표 III-80> NIOSH Method 1604의 아크릴로니트릴 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착튜브 (Coconut shell charcoal, 100㎎/50㎎)<br>3) 시료채취유량 : 0.01~0.2 L/min<br>4) 공기량 : 최대- 20 L<br>최소- 3.5 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료의 안정성 : 25℃에서 최소 7일 이상<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 필요 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 활성탄관으로 채취하여 2%v/v 아세톤/이황화탄소로 탈착 후 일정량을 가스 크로마토그래프에 주입하여 정량한다.<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 전처리 : 1mL 2%v/v 아세톤/이황화탄소를 넣고 30분간 방치<br>3. 컬럼 : 3-m x 3-mm stainless steel, 20% SP-1000 on 80/100 Chromosorb WHP<br>4. 기기조건 : 주입구 200℃<br>검출기 200℃<br>컬 럼 85℃<br>5. 운반가스 : 질소 또는 헬륨 25mL/min<br>6. 주입 : 2㎕<br>7. 검량선 : 1-1000㎕/sample<br>8. 범위 : 15~1000 ㎍/sample<br>9. 검출한계 : 1㎍/sample<br>10. 정밀도 : 0.06 at 16㎍/sample |

NMAM #1604 by NIOSH (1994)

<표 III-81> OSHA Method 37의 아크릴로니트릴 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법: 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제: 흡착관<br>(Coconut shell charcoal, 100㎎/50㎎)<br>3) 시료채취유량: 0.2 L/min<br>4) 총량: 20 L<br>2. 운반: 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리: GC를 이용하여 분리한 후 NPD로 분석<br>2) 기기: NPD 검출기가 부착된 GC<br>2. 기기조건 : 주입구 - 200℃<br>검출기 - 200℃<br>컬 럼 - 100℃<br>3. 탈착 방법: Propionitrile (Acetone containing 0.1 μL/mL)<br>4. 주입량: 1 uL<br>5. 운반 가스: $N_2$ 20 mL/min<br>6. 칼럼: 20-ft × 1/8-in. stainless steel column packed with 10% SP-1000 on 80/100 Supelcoport |

#37 by OSHA (1982)

<표 Ⅲ-82> KOSHA GUIDE(A-96-2015)의 아크릴로니트릴 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착튜브<br>(Coconut shell charcoal, 100㎎/50㎎)<br>3) 시료채취유량 : 0.01~0.2 L/min<br>4) 공기량 : 최대 - 20 L<br>최소 - 3.5 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료의 안정성 : 25℃에서 최소 7일 이상<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 필요 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 활성탄관으로 채취하여 2%v/v 아세톤/이황화탄소로 탈착 후 일정량을 가스 크로마토그래프에 주입하여 정량한다.<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 전처리 : 1mL 2%v/v 아세톤/이황화탄소를 넣고 30분간 방치<br>3. 컬럼 : Capillary, DB-wax, fused silica capillary column 30m×0.25㎜×0.25㎛ 또는 동등 이상의 컬럼<br>4. 기기조건 : 주입구 200℃<br>검출기 200℃<br>컬 럼 85℃.<br>5. 운반가스 : 질소 또는 헬륨 25mL/min<br>6. 주입 : 2㎕<br>7. 검량선 : 1-1000㎕/sample<br>8. 범위 : 15~1000 ㎍/sample<br>9. 검출한계 : 1㎍/sample<br>10. 정밀도 : 0.06 at 16㎍/sample |

#A-96-2015 by KOSHA (2015)

### ▶ 스티렌(100-42-5)

스티렌 시료채취 및 분석법은 OSHA 89, NIOSH 1501, KOSHA A-70-2015에서 시험법이 권고되고 있다.

<표 III-83>NIOSH Method 1501의 스티렌 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착관<br>(Coconut shell charcoal, 100㎎/50㎎)<br>3) 시료채취유량 : 1 L/min 이하<br>4) 공기량 : 최대- 14 L<br>최소- 1 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료의 안정성 : 5℃에서 30일<br>4. 공시료 : 시료의 10% | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 활성탄관으로 채취하여 이황화탄소로 탈착시킨 후 일정량을 가스크로마토그래프에 주입하여 정량한다.<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착액 : 이황화탄소 1mL, 30분 동안 방치<br>3. 컬럼 : Capillary, fused silica, 30 m x 0.32 mm ID 1.00 um film 100% dimethyl polysiloxane 또는 동등이상의 컬럼<br>4. 기기조건 : 주입구 220℃<br>검출기 250℃<br>컬 럼 40℃.<br>5. 운반가스 : 질소 또는 헬륨 1~2 mL/min<br>6. 주입 : 1㎕<br>7. 범위 : 0.181~8.49 ㎍/sample<br>8. 검출한계 : 0.4㎍/sample<br>9. 정밀도 : 0.014 |

NMAM #1604 by NIOSH (1994)

<표 III-84>OSHA Method 89의 스티렌 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착관 (coconut shell charcoal coated with 4-tert-butylcatechol)<br>3) 시료채취유량: 0.05 L/min<br>4) 총량 : 12 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 기기조건 : 주입구 200℃<br>검출기 300℃<br>컬 럼 100℃<br>3. 탈착 방법 : 250 $\mu$L of an appropriate internal standard to 1 L of toluene. n-Hexyl benzene (reagent grade)<br>4. 주입량 : 1 uL<br>5. 운반가스 : $N_2$ 33 mL/min<br>6. 칼럼 : A 60-m × 0.32-mm i.d. DB-5 (1.0-$\mu$m film thickness) capillary column (J & W Scientific) |

#89 by OSHA (1991)

<표 III-85> KOSHA GUIDE(A-70-2015)의 스티렌 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착관<br>(Coconut shell charcoal, 100㎎/50㎎)<br>3) 시료채취유량 : 1 L/min 이하<br>4) 공기량 : 최대- 14 L<br>최소- 1 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료의 안정성 : 5℃에서 30일<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~5개의 현장 공시료 필요 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 활성탄관으로 채취하여 이황화탄소로 탈착시킨 후 일정량을 가스크로마토그래프에 주입하여 정량한다.<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착액 : 이황화탄소 1mL, 30분 동안 방치<br>3. 컬럼 : Capillary, fused silica, 30 m x 0.32 mm ID 1.00 um film 100% dimethyl polysiloxane 또는 동등이상의 컬럼<br>4. 기기조건 : 주입구 220℃<br>검출기 250℃<br>컬 럼 40℃.<br>5. 운반가스 : 질소 또는 헬륨 1~2 mL/min<br>6. 주입 : 1㎕<br>7. 범위 : 0.181~8.49 ㎍/sample<br>8. 검출한계 : 0.4㎍/sample<br>9. 정밀도 : 0.014 |

#A-70-2015 by KOSHA (2015)

### ▶ 메틸알코올(67-56-1)

메틸알코올 시료채취 및 분석법은 NIOSH 2000과 KOSHA(A-117-2014), OSHA 91에서 시험법이 권고되고 있다. NIOSH 2000 방법은 실리카겔로 시료를 채취하고 물로 탈착한 후 FID 검출기를 부착한 GC로 분석하는 방법이며, OSHA Method 91은 두 개의 Anasorb 747® 튜브(6-nm I.d 유리튜브, 400/200 ㎎)를 연속적으로 연결하여 시료를 채취하고 50/50 이황화탄소와 DMF 용액으로 1시간 동안 탈착한 후 FID 검출기를 부착한 GC로 분석한다. OSHA에서 제시한 Anasorb 747®를 이용한 시료채취방법은 시료채취과정에서 메탄올의 시료채취 후 이동을 적게 할 수 있으며 메탄올을 시료 채취하는 과정에서 얻은 다른 분석물질들에 대한 분석이 가능하다는 장점이 있다.

<표 III-86> NIOSH Method 2000의 메틸알코올 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 :<br>SOLID SORBENT TUBE<br>(silica gel, 100/50 mg)<br>3) 시료채취유량 : 0.02~0.2 L/min<br>4) 총량: 최소 - 1 L (200 ppm)<br>최대 - 5 L<br>2. 운반: 안전하게 포장 하여 5℃에 보관<br>3. 시료안정성 : 30일 안정(5℃)<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법 : 1 mL water/isopropanol (95:5)<br>3. 주입량 : 1 uL<br>4. 온도 : 도입부 - 250 ℃<br>검출부 - 300 ℃<br>칼 럼 - 50 to 90 ℃ at 8 ℃/min<br>(Split Ration 10:1)<br>5. 운반가스 : 헬륨, 2.6 mL/min<br>6. 칼럼: capillary, 30 m x 0.53-mm ID; 3-μm film<br>35% diphenyl-65% dimethyl polysilozane, RtxTM35 or equivalent 또는 유사한 것<br>7. 검출기 : FID<br>8. 범위 : 2.2 ~ 6000 ㎍/sample<br>9. 검출한계 : 0.7 ug/sample<br>10. 정밀도 : 0.030 |

NMAM #2000 by NIOSH (1998)

<표 III-87>OSHA Method 91의 메틸알코올 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법: 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제:<br>흡착튜브 + 흡착튜브<br>(2 Coconut shell Anasorb 747® tube)<br>3) 시료채취유량: 0.05 L/min<br>4) 총량: 5 L<br>2. 운반: 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리: GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기: FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법: 3 mL $CS_2$/DMF (50:50)인 용액<br>3. 주입량: 1 uL<br>4. 온도 : 도입부 - 200 ℃<br>검출부 - 250 ℃<br>칼 럼 - 40 ℃<br>5. 가스: $N_2$, 33 mL/min<br>6. 칼럼: 60-m × 0.32-mm i.d., 1-m df Stabilwax fused silica capillary column<br>7. 정밀도 : 0.0048 |

#91 by OSHA (1991)

<표 III-88> KOSHA GUIDE(A-117-2014)의 메틸알코올 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착관<br>(2개의 Anasorb747®튜브, 앞 400㎎,<br>뒤 200㎎ 튜브를 실리콘 튜브로 연결)<br>3) 시료채취유량 : 0.05 L/min<br>4) 공기량 : 최소 - 0.75 L (100 ppm)<br>최대 - 5 L<br>권장 - 3 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료의 안정성 : 18일 (회수율 88%)<br>4. 공시료 : 총 시료 수의 10% 이상<br>또는 시료 세트 당 2-10개 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법 : $CS_2$ 1 mL을 넣고, 30분간 방치<br>3. 주입량 : 1 uL<br>4. 온도 : 도입부 - 220-225 ℃<br>검출부 - 250-300 ℃<br>칼 럼 - 50℃ (2min) - 200℃(5℃/min)<br>5. 운반가스 : Helium, 2.4 mL/min<br>6. 칼럼 : 60 m × 0.32 mm ID 1 ㎛ Fused silica capillary 컬럼 또는 동등이상<br>7. 검출기 : FID<br>8. 범위 : 1 ~ 2600 ㎍/sample<br>9. 검출한계 : 0.93 ㎍/sample<br>10. 정밀도 : 0.0048 |

#A-117-2014 by KOSHA (2014)

### ▶ 망간(7439-96-5) 및 그 무기화합물

망간 및 그 무기화합물의 시료채취 및 분석법은 OSHA 121, OSHA ID 125G와 NIOSH 7300, 그리고 KOSHA GUIDE A-5-2015에서 시험법이 권고되고 있다. OSHA의 두 가지 방법은 망간 이외의 다른 금속도 같이 분석할 수 있는 방법으로 작업환경측정 중의 여러 금속을 일반적으로 채취 분석하는 방법이다. ID 121방법은 원자흡광분석기(AAS)를 사용하고, ID 125G는 유도결합플라스마(ICP)를 이용한다. OSHA 방법의 장점은 OSHA에 의해 완전히 검증된 방법으로 검출한계, 정밀도 등이 제시되어 있고 그 백업 자료도 같이 제시되어 있어 좋은 정보원 역할을 하고 있는 점이고 단점으로는 여러 가지 금속 및 금속화합물에 대해 한 방법 내에서 설명하고 있으므로 그 내용이 매우 많고 장황하다는 점이다.

<표 Ⅲ-89> NIOSH Method 7300의 망간 및 그 무기화합물 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 여과지 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 막여과지<br>(MCE Filter, PVC Filter)<br>3) 시료채취유량 : 1~4 L/min<br>4) 총량 : 최소 - 5 L<br>최대 - 200 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료안정성 : 안정됨<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 아르곤 가스를 주입하여 전자가 방출하는 에너지로부터 파장을 감지하여 성분의 양을 분석<br>2) 기기 : ICP-AES<br>2. 전처리 : HNO3/HClO4 (4:1), 5 mL<br>(필요에 따라 2 mL씩 추가)<br>3. 온도 : 실온에서 30분간 150 ℃<br>4. 파장 : 257nm<br>5. 최종용액 : 4% HNO3, 1% HClO4, 25 mL<br>6. 범위 : 요소에 따라 다양함<br>7. 검출한계 : 0.005 ug/Filter<br>8. 정밀도 : 1.77 |

NMAM #7300 by NIOSH (2003)

<표 Ⅲ-90> OSHA Method ID 125G의 망간 및 그 무기화합물 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 여과지 채취<br>2) 기구 및 채취제 : MCE Filter (0.8-$\mu$m pore size, cellulose backup pads, andcassettes, 37-mm diamete)<br>3) 시료채취유량 : 2 L/min<br>4) 총량 : TWA - 480 L<br>STEL - 30 L<br>Ceiling - 30 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 아르곤 가스를 주입하여 전자가 방출하는 에너지로부터 파장을 감지하여 성분의 양을 분석<br>2) 기기 : ICAP-AES<br>2. 전처리 : 질소, 황산, 과산화수소 (촉진제: 염산)<br>3. 추출 : 비커에 전처리를 실시한 필터를 핫플레이트를 이용해 증발시켜 불용성 미립자를 제거한 후, 증류수를 이용하여 분석물질 추출<br>5. 기기 조건<br>1) 사용 가스 : 아르곤<br>2) 가스 유량 : 12 - 16 L/min<br>3) 전력 : 1.1kW<br>6. 범위 : 75 - 300 ug/Filter<br>7. 검출한계 : 15ug/mL (상한치)<br>8. 정밀도 : 0.032 |

#ID125G by OSHA (2002)

<표 Ⅲ-91> KOSHA GUIDE(A-5-2015)의 망간 및 그 무기화합물 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 여과지 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 막여과지 (MCE Filter, PVC Filter)<br>3) 시료채취유량 : 2 L/min<br>4) 공기량 : 최대- 960 L<br>최소- 480 L<br>2. 운반 : 여과지의 시료포집 부분이 위를 향하도록 하고 마개를 닫아 밀폐된 상태에서 운반<br>3. 시료의 안정성 : 안정함<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 대상물질을 여과지에 채취하여 산으로 회화시킨 다음 시료용액을 조제하여 원자흡광광도계(AAS)를 이용하여 정량 분석<br>2) 기기 : 원자흡광광도계법<br>2. 전처리 : 진한질산(HNO3) 3-5 mL<br>3. 최종용액 : 4% HNO3, 25 mL<br>4. 검량선 : Mn 표준용액 in 4% HNO3<br>5. 범위 : 0.01~3 $\mu$g/mL<br>6. 검출한계 : 0.002 $\mu$g/mL<br>7. 정밀도 : 0.044 |

#A-5-2015 by KOSHA (2015)

## ▶ 아닐린과 아닐린 동족체

아닐린과 아닐린 동족체의 측정 및 분석법은 OSHA PV2079, 그리고 NIOSH 2017 및 KOSHA(A-91-2015)에서 시험법이 권고되고 있다.

<표 Ⅲ-92> NIOSH Method 2017의 아닐린과 아닐린 동족체 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 :<br>Filter + SOLID SORBENT<br>(glass fiber filter, sulfuric acid treated + silica gel sorbent tube, 520/260 mg)<br>3) 시료채취유량 : 0.2 L/min<br>4) 총량: 최소 - 5 L<br>최대 - 50 L<br>2. 운반: 일반적인 방법<br>3. 시료안정성 : 7일 안정(5℃)<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법 : 1 mL Ethanol<br>3. 주입량 : 1 uL<br>4. 온도 : 도입부 - 250 ℃<br>검출부 - 300 ℃<br>칼 럼 - 35 ℃ - 150℃ (8 ℃/min)<br>5. 운반가스 : 헬륨, 2.4 mL/min<br>6. 칼럼: capillary column, 30 m, 0.32-mm ID, 1-μm film, (Rtx-5, or equivalent)<br>7. 검출기 : FID<br>8. 범위 : 31 ~ 255 ㎍/sample<br>9. 검출한계 : 4 ug/sample<br>10. 정밀도 : 0.016 |

NMAM #2017 by NIOSH (1998)

<표 Ⅲ-93> OSHA Method PV2079의 아닐린과 아닐린 동족체 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법: 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제: 흡착튜브 (XAD-7 tube)<br>3) 시료채취유량: 0.2 L/min<br>4) 총량: 30 L<br>2. 운반: 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리: GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기: FID 검출기가 부착된 GC<br>2.탈착방법: 메탄올/1-헥사놀, 수산화암모늄 (25uL:각각 0.2N) 1 mL<br>3. 주입량: 1 uL<br>4. 온도 : 도입부 - 200 ℃<br>검출부 - 250 ℃<br>칼 럼 - 120 ℃<br>5. 운반가스 : 헬륨, 2.6 mL/min<br>6. 칼럼: 60 m RTX-5, 1.0 μm film thickness, 0.32- mm i.d. |

#PV2079 by OSHA (1994)

<표 Ⅲ-94> KOSHA GUIDE(A-91-2015)의 아닐린과 아닐린 동족체 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착관 (실리카겔, 150/75㎎)<br>3) 시료채취유량 : 0.02 - 0.2 L/min<br>4) 공기량 : 최소 - 5 L<br>최대 - 30 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료의 안정성 : 7일 이상 안정<br>4. 공시료 : 시료 세트 당 2~10개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법 : 1 mL Ethanol (1시간 초음파)<br>3. 주입량 : 5 uL<br>4. 온도 : 도입부 - 250 ℃<br>검출부 - 300 ℃<br>칼 럼 - 35 ℃ - 150 ℃ (8 ℃/min)<br>5. 운반가스 : 헬륨 또는 질소, 25 mL/min<br>6. 칼럼 : stainless steel, 0.6 m x 3 ㎜ OD, packed with 80/100 mesh Chromosorb 103<br>7. 검출기 : FID<br>8. 범위 : 0.1 - 3 ㎍/sample<br>9. 검출한계 : 0.01 ㎍/sample<br>10. 정밀도 : 0.013 |

#A-91-2015 by KOSHA (2015)

### ▶ 시클로헥사논(108-94-1)

시클로헥사논의 시료채취 및 분석법은 OSHA 01, 그리고 NIOSH 1300, NIOSH 2555 및 KOSHA(A-109-2015)에서 시험법이 권고되고 있다. OSHA 01 방법은 활성탄관 대신 chromosorb 106 흡착제를 사용하도록 규정하고 있다. 흡착제를 활성탄을 사용하지 않는다는 점 이외에는 다른 유기용제 측정분석방법과 유사하다.

<표 III-95> NIOSH Method 2555의 시클로헥사논 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착튜브<br>(Anasorb CMS, 150 mg/75 mg)<br>3) 시료채취유량 : 0.01 - 0.2 L/min<br>4) 총량: 최소 - 1 L<br>최대 - 10 L<br>2. 운반: 냉장보관 후 운반<br>3. 시료안정성 : 30일 안정(5℃)<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법 : 1 mL CS2 (30분간 탈착)<br>3. 주입량 : 1 uL<br>4. 온도 : 도입부 - 250 ℃<br>검출부 - 300 ℃<br>칼 럼 - 40℃(1min) - 200℃(8℃/min)<br>5. 운반가스 : 헬륨, 1 mL/min<br>6. 칼럼: Capillary, fused silica, 30 m x 0.53-mm ID, 3.00-μm film crossbonded® 35% diphenyl - 65% dimethyl polysiloxane<br>7. 검출기 : FID<br>8. 범위 : 3 ~ 273 ㎍/sample<br>9. 검출한계 : 1 ug/sample<br>10. 정밀도 : 0.006 |

NMAM #2555 by NIOSH (2003)

<표 III-96> OSHA Method 01의 시클로헥사논 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법: 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제: 흡착튜브 (SorbentTubes, Chromosorb-106)<br>3) 시료채취유량: 0.05 - 0.2 L/min<br>4) 총량: 10 L<br>2. 운반: 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리: GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기: FID 검출기가 부착된 GC<br>2.탈착방법: CS2, 1 mL<br>3. 주입량: 1 uL<br>4. 온도 : 도입부 - 200 ℃<br>검출부 - 250 ℃<br>칼 럼 - 125 ℃<br>5. 운반가스 : 헬륨, 25 mL/min<br>6. 칼럼: 10-ft × 1/8-in. stainless steel, 20% SP2100, 0.1% CW 1500 on 100/120 Supelcoport |

#01 by OSHA (1979)

<표 III-97> KOSHA GUIDE(A-109-2015)의 시클로헥사논 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착관 (Coconut shell charcoal, 100㎎/50㎎)<br>3) 시료채취유량 : 0.01 - 0.2 L/min<br>4) 공기량 : 최소 - 1 L<br>최대 - 10 L<br>2. 운반 : 냉장보관 후 운반<br>3. 시료의 안정성 : -<br>4. 공시료 : 시료 세트 당 2~10개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법 : 1 mL $CS_2$ (30분간 방치)<br>3. 주입량 : 1 uL<br>4. 온도 : 도입부 - 250 ℃<br>검출부 - 300 ℃<br>칼 럼 - 50 ℃ -170 ℃ (10 ℃/min)<br>5. 운반가스 : 헬륨 또는 질소, 25 mL/min<br>6. 칼럼 : Capillary, DB-wax, fused silica capillary column 30 m×0.25 ㎜×0.25 ㎛ 또는 동등이상의 컬럼<br>7. 검출기 : FID<br>8. 범위 : 0.06 - 10 mg/시료<br>9. 검출한계 : 0.02 mg/시료<br>10. 정밀도 : 0.025 |

#A-109-2015 by KOSHA (2015)

### ▶ 코발트(7440-48-4) 및 그 무기화합물

코발트 및 그 무기화합물 시료채취 및 분석법은 OSHA ID 125G과 NIOSH 7300, 그리고 KOSHA A-15-2015에서 시험법이 권고되고 있다. 시료채취 원리는 작업환경 중의 분석대상 물질을 여과지에 채취하여 전처리 용액으로 회화시킨 후 시료용액을 제조하여 AAS(원자흡광분석기, Atomic Absorption Spectroscpy)나 ICP(유도결합플라즈마, Inductively Coupled Plasma)를 이용하여 정량한다.

<표 Ⅲ-98> NIOSH Method 7300의 코발트 및 그 무기화합물 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 여과지 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 막여과지 (MCE Filter, PVC Filter)<br>3) 시료채취유량 : 1~4 L/min<br>4) 총량 : 최소 - 5 L<br>최대 - 200 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료안정성 : 안정됨<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 아르곤 가스를 주입하여 전자가 방출하는 에너지로부터 파장을 감지하여 성분의 양을 분석<br>2) 기기 : ICP-AES<br>2. 전처리 : $HNO_3/HClO_4$ (4:1), 5 mL (필요에 따라 2 mL씩 추가)<br>3. 온도 : 실온에서 30분간 150 ℃<br>4. 파장 : 257nm<br>5. 최종용액 : 4% HNO3, 1% HClO4, 25 mL<br>6. 범위 : 요소에 따라 다양함<br>7. 검출한계 : 0.005 ug/Filter<br>8. 정밀도 : 1.77 |

NMAM #7300 by NIOSH (2003)

<표 Ⅲ-99> OSHA Method ID 125G의 코발트 및 그 무기화합물 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 여과지 채취<br>2) 기구 및 채취제 : MCE Filter (0.8-$\mu$m pore size, cellulose backup pads, andcassettes, 37-mm diamete)<br>3) 시료채취유량 : 2 L/min<br>4) 총량 : TWA - 480 L<br>STEL - 30 L<br>Ceiling - 30 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 아르곤 가스를 주입하여 전자가 방출하는 에너지로부터 파장을 감지하여 성분의 양을 분석<br>2) 기기 : ICP-AES<br>2. 전처리 : 질소, 황산, 과산화수소 (촉진제: 염산)<br>3. 추출 : 비커에 전처리를 실시한 필터를 핫플레이트를 이용해 증발시켜 불용성 미립자를 제거한 후, 증류수를 이용하여 분석물질 추출<br>5. 기기 조건<br>1) 사용 가스 : 아르곤<br>2) 가스 유량 : 12 - 16 L/min<br>3) 전력 : 1.1kW<br>6. 범위 : 75 - 300 ug/Filter<br>7. 검출한계 : 15ug/mL (상한치)<br>8. 정밀도 : 0.032 |

#ID125G by OSHA (2002)

<표 Ⅲ-100> KOSHA GUIDE(A-15-2015)의 코발트 및 그 무기화합물 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 여과지 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 막여과지 (MCE Filter, PVC Filter)<br>3) 시료채취유량 : 2 L/min<br>4) 공기량 : 최대- 960 L 최소- 480 L<br>2. 운반 : 여과지의 시료포집 부분이 위를 향하도록 하고 마개를 닫아 밀폐된 상태에서 운반<br>3. 시료의 안정성 : 안정함<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : 대상물질을 여과지에 채취하여 산으로 회화시킨 다음 시료용액을 조제하여 원자흡광광도계(AAS)를 이용하여 정량 분석<br>2) 기기 : 원자흡광광도계법<br>2. 전처리 : 진한질산(HNO3) 3-5 mL<br>3. 최종용액 : 4% HNO3, 25 mL<br>4. 검량선 : Mn 표준용액 in 4% HNO3<br>5. 범위 : 0.01~3 ㎍/mL<br>6. 검출한계 : 0.002 ㎍/mL<br>7. 정밀도 : 0.044 |

#A-15-2015 by KOSHA (2015)

### ▶ 디클로로메탄(75-09-2)

디클로로메탄 시료채취 및 분석법은 OSHA 59, OSHA 80 그리고 NIOSH 1005 및 KOSHA(A-19-2015)에서 시험법이 권고되고 있다. OSHA 59 방법은 디클로로메탄을 흡착튜브(Coconut shell charcoal, 350㎎)로 채취하여 $CS_2$로 탈착시킨 후 일정량을 가스크로마토그래피(GC/FID)에 주입하여 정량하는 방법이다.

NIOSH 1005 방법은 작업환경 중 디클로로메탄을 2개의 흡착튜브(2 coconut shell charcoal tubes, 100㎎/50㎎)을 연결한 시료채취기로 채취하여 $CS_2$로 탈착시킨 후 일정량을 가스크로마토그래피(GC/FID)에 주입하여 정량한다. 디클로로메탄의 시료 채취 및 분석방법은 2개의 고체 흡착튜브(2 coconut shell charcoal tubes, 100㎎/50㎎)을 이용한 NIOSH 방법을 제시한다. 이 방법은 시료 채취 방법이 간단하고 습도가 낮은 지역에서는 시료 채취 효율이 높고 분석의 감도가 좋은 장점이 있다. 하지만 상대습도가 80% 이상인 지역에서는 시료의 채취 효율이 급격히 떨어지기 때문에 적용할 수 없다. 따라서 시료 채취 지역의 환경조건에 따라 다른 종류의 시료 채취 매체를 사용하여 채취하여야 한다. OSHA 59 방법은 NIOSH에서 제시한 시료 채취방법의 단점(파과현상, 시료 이동)을 보완하고 습도가 높은 곳에서도 시료의 채취 효율을 높이기 위해서이다. 또한 넓은 농도 범위의 디클로로메탄의 시료 채취 및 분석이 가능하고 측정이 정확하고 분석의 감도가 좋은 장점이 있다.

<표 III-101> NIOSH Method 1005의 디클로로메탄 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 :<br>흡착튜브+흡착튜브<br>(2 Coconut shell charcoal tubes)<br>3) 시료채취유량 : 0.01~0.2 L/min<br>4) 총량: 최소 - 0.5 L (500 ppm)<br>최대 - 2.5 L<br>2. 운반: 앞, 뒤 층의 활성탄관을 분리하여 운반<br>3. 시료안정성 : 30일 안정(5℃)<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법 : $CS_2$ 1 mL<br>3. 주입량 : 1 uL<br>4. 온도 : 도입부 - 250 ℃<br>검출부 - 300 ℃<br>칼 럼 - 80 to 150 ℃ at 10 ℃/min<br>5. 운반가스 : 헬륨, 2.4 mL/min<br>6. 칼럼: capillary, 30m × 0.32mm ID × 0.25 um film polyethylene glycol, Stabilwax, 또는 그와 유사한 것<br>7. 검출기 : FID<br>8. 범위 : 1.4 ~ 2600 $\mu$g/sample<br>9. 검출한계 : 0.4 ug/sample<br>10. 정밀도 : 0.026 |

NMAM #1005 by NIOSH (1998)

<표 III-102> OSHA Method 59의 디클로로메탄 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법: 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제:<br>흡착튜브 + 흡착튜브<br>(2 Coconut shell charcoal tube)<br>3) 시료채취유량: 0.05 L/min<br>4) 총량: 10 L<br>2. 운반: 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리: GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기: FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법: $CS_2$ 1 mL<br>3. 주입량: 1 uL<br>4. 가스: $N_2$ 25 mL/min<br>5. 칼럼: 20-ft × 1/8-in o.d. stainless steel, 10% SP-1000 on 80/100 mesh Supelcoport |

#59 by OSHA (1986)

<표 III-103> OSHA Method 80의 디클로로메탄 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법: 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제:<br>흡착튜브 + 흡착튜브<br>(2 Coconut shell charcoal tube)<br>3) 시료채취유량: 0.05 L/min<br>4) 총량: 3 L<br>2. 운반: 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리: GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기: FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법: $CS_2$ 1 mL<br>3. 주입량: 1 uL<br>4. 가스: $N_2$ 25 mL/min<br>5. 칼럼: 30 m × 0.32-mm i.d. capillary SUPELCOWAX 10(0.25 ㎛ film thickness) column |

#80 by OSHA (1990)

<표 III-104> KOSHA GUIDE(A-19-2015)의 디클로로메탄 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 활성탄관+활성탄관<br>(2개 Coconut shell charcoal tube)<br>3) 시료채취유량 : 0.01~0.2 L/min<br>4) 공기량 : 최대- 2.5 L<br>최소- 0.5 L (500 ppm)<br>2. 운반 : 앞, 뒤 층의 활성탄관을 분리하여 운반<br>3. 시료의 안정성 : 30일간 안정(5℃)<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법 : $CS_2$ 1 mL을 넣고, 30분간 방치<br>3. 주입량 : 1 uL<br>4. 온도 : 도입부 - 250 ℃<br>검출부 - 300 ℃<br>칼 럼 - 80 ℃ - 10 ℃/min - 150 ℃<br>5. 운반가스 : Helium, 2.4 mL/min<br>6. 칼럼 : capillary, 30m × 0.32mm ID × 0.25 um film polyethylene glycol, Stabilwax, 또는 그와 유사한 것<br>7. 검출기 : FID<br>8. 범위 : 1.4 ~ 2600 ㎍/sample<br>9. 검출한계 : 0.4 ㎍/sample<br>10. 정밀도 : 0.026 |

#A-19-2015 by KOSHA (2015)

### ▶ 트리클로로메탄(클로로포름)(67-66-3)

트리클로로메탄(클로로포름) 시료채취 및 분석법은 OSHA 05와 NIOSH 1003, KOSHA GUIDE A-28-2015에서 시험법이 권고되고 있다. OSHA 05 방법과 NIOSH 1003 방법, KOSHA GUIDE A-28-2015 방법 모두 동일한 방법으로 흡착튜브(Coconut Shell Charcoal, 100㎎/50㎎)로 시료를 채취하여 CS2로 탈착하고 FID가 장착된 GC를 이용하여 트리클로로메탄을 분석하는 방법이다. 이 방법은 시료 채취 면에서 안정적인 저장성과 높은 탈착효율을 나타내고, 분석면에서도 일반적으로 실험에서 가장 많이 사용하는 GC/FID를 사용하여 접근이 용이하고 낮은 검출한계를 얻을 수 있다는 장점이 있다.

<표 III-105> NIOSH Method 1003의 트리클로로메탄 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착튜브 (Coconut shell charcoal tube)<br>3) 시료채취유량 : 0.01~0.2 L/min<br>4) 총량 : 최소 - 1 L (50 ppm)<br>최대 - 50 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료안정성 : 30일<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법 : $CS_2$ 1 mL을 넣고, 30분간 방치<br>3. 주입량 : 1 uL<br>4. 온도 : 도입부 - 200 ℃<br>검출부 - 250 ℃<br>칼 럼 - 35 ℃<br>8℃/min 승온 150℃ (hold 3min)<br>5. 운반가스 : 헬륨, 2.6 mL/min<br>6. 칼럼 : capillary, fused silica, 30m × 0.32-mm ID; 1.80-㎛ film diphenyl/dimethyl polysiloxane, Rtx®-502.2 또는 그와 유사한 것<br>7. 검출기 : FID<br>8. 범위 : 2 - 190 ppm (50 L)<br>9. 검출한계 : 0.8 ug/sample<br>10. 정밀도 : 0.035 |

NMAM #1003 by NIOSH (2003)

<표 III-106> OSHA Method 05의 트리클로로메탄 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착튜브<br>(Coconut shell charcoal tube)<br>3) 시료채취유량 : 0.2 L/min<br>4) 총량 : 10 L<br>2. 운반 : 일반적인 방법 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법 : $CS_2$ 1 mL을 넣고, 30분간 방치<br>3. 주입량 : 10 uL<br>4. 가스 : 헬륨, 수소, 공기<br>5. 칼럼 : 10-ft × 1/8-in. stainless steel 0.1% SP-1000 coated on 80/100 mesh Carbopack C<br>6. 검출한계 : 5.3 ng/injection |

#05 by OSHA (1979)

<표 III-107> KOSHA GUIDE(A-28-2015)의 트리클로로메탄 시료채취 및 분석방법

| 시 료 채 취 | 분 석 개 요 |
|---|---|
| 1. 채취<br>1) 방법 : 고체 채취<br>2) 기구 및 채취제 : 흡착튜브<br>(Coconut shell charcoal tube)<br>3) 시료채취유량 : 0.01~0.2 L/min<br>4) 공기량 : 최대- 50 L<br>최소- 1 L (50 ppm)<br>2. 운반 : 일반적인 방법<br>3. 시료의 안정성 : 30일<br>4. 공시료 : 시료 세트당 2~10개의 현장 공시료 | 1. 원리 및 기기<br>1) 원리 : GC를 이용하여 분리한 후 FID로 분석<br>2) 기기 : FID 검출기가 부착된 GC<br>2. 탈착 방법 : $CS_2$ 1 mL을 넣고, 30분간 방치<br>3. 주입량 : 1 uL<br>4. 온도 : 도입부 - 225 ℃<br>검출부 - 250 ℃<br>칼 럼 - 35 ℃<br>8℃/min 승온 190℃ (hold 3min)<br>5. 운반가스 : $N_2$, 1 mL/min<br>6. 칼럼 : capillary, fused silica, 30m × 0.32-mm ID; 1.80-㎛ film diphenyl/dimethyl polysiloxane, Rtx®-502.2 또는 그와 유사한 것<br>7. 검출기 : FID<br>8. 범위 : 2 - 190 ppm (50 L)<br>9. 검출한계 : 0.8 ug/sample<br>10. 정밀도 : 0.035 |

#A-28-2015 by KOSHA (2015)

### (2) 허용기준 설정대상 유해인자의 작업환경 측정 및 분석방법 제시

허용기준 설정대상 유해인자 15종에 대하여 「작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시」 별표2의 허용기준 대상 유해인자의 노출 농도 측정 및 분석 방법(제42조의2 관련)의 양식에 맞춰 노출 농도 측정 및 분석방법을 제시하고자 한다.

연구대상 화학물질 15종에 대한 작업환경 측정 및 분석방법의 경우 <부록 5>에 나열하여 나타냈다.

## 5. 사회성·경제성 평가 대상 물질 선정 절차 제안

아래 <표 III-108>은 선행연구결과에 근거하여 건강유해성 점수를 3등급(10점, 9점, 7점)으로 분류했으며 물질별 직업병 발생, 노출 가능성, 근로자 노출평가의 가중치 부여기준 적용에 따른 결과를 정리하여 나타냈다(이은정 등, 2014).

건강유해성 가중치 10점을 부여받은 물질들의 선정 절차에 근거한 평가 결과, 휘발성콜타르피치의 항목별 가중치는 건강유해성 가중치 22점, 직업병 가중치 10점, 취급장 수 및 변동율 가중치 4점, 2점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 18개소 , 전년도 대비 변동율 : 55.6%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 6점, 0점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 85명, 전년도 대비 변동율 : -171.8%), 취급량 및 변동율 가중치 20점, 0점(2014년도 기준 취급량 : 117,137톤, 전년도 대비 변동율 : -304.3톤), 노출평가 가중치 4점(초과율 : 1.76%)으로 합계 68점으로 산출되었다.

일산화탄소의 경우 건강유해성 가중치 17점, 직업병 가중치 7점, 취급장 수 및 변동율 가중치 6점, 2점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 52개소, 전년도 대비 변동율 : 32.7%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 10점, 3점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 9,589명, 전년도 대비 변동율 : 95.7%), 취급량 및 변동율 가

중치 20점, 3점(2014년도 기준 취급량 : 1,420,621,735톤, 전년도 대비 변동율 : 90.3%), 노출평가 가중치 5점(초과율 : 2.26%)으로 합계 73점으로 산출되었다.

베릴륨 및 그 화합물은 건강유해성 가중치 27점, 직업병 가중치 7점, 취급장 수 및 변동율 가중치 4점, 2점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 14개소, 전년도 대비 변동율 : 64.3%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 8점, 3점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 172명, 전년도 대비 변동율 : 91.3%), 취급량 및 변동율 가중치 16점, 2점(2014년도 기준 취급량 : 136톤, 전년도 대비 변동율 : 67.6%), 노출평가 가중치 8점(초과율 : 11.67%)으로 합계 77점으로 산출되었다. 니켈카보닐의 항목별 가중치는 건강유해성 가중치 39점, 직업병 가중치 7점, 취급장 수, 노출 근로자 수, 취급량, 노출평가 가중치 모두 0점으로 합계 46점으로 산출되었다.

건강유해성 가중치 9점을 부여받은 물질들의 선정 절차에 근거한 평가 결과, 수은은 건강유해성 가중치 34점, 직업병 가중치 10점, 취급장 수 및 변동율 가중치 6점, 0점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 55개소, 전년도 대비 변동율 : -198.2%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 10점, 2점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 633명, 전년도 대비 변동율 : 59.4%), 취급량 및 변동율 가중치 20점, 3점(2014년도 기준 취급량 : 13,241톤, 전년도 대비 변동율 : 99.8%), 노출평가 가중치 4점(초과율 : 0.84%)로 합계 89점으로 산출되었다.

아크릴로니트릴의 경우 건강유해성 가중치 38점, 직업병 가중치 7점, 취급장 수 및 변동율 가중치 6점, 2점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 97개소, 전년도 대비 변동율 : 52.6%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 10점, 3점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 2,125명, 전년도 대비 변동율 : 79.8%), 취급량 및 변동율 가중치 20점, 3점(2014년도 기준 취급량 : 3,690,577톤, 전년도 대비 변동율 : 82.6%), 노출평가 가중치 4점(초과율 : 1.75%)으로 합계 93점으로 산출되었다.

메틸알코올의 항목별 가중치는 건강유해성 가중치 13점, 직업병 가중치 10점, 취급장 수 및 변동율 가중치 10점, 2점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 5,217개

소, 전년도 대비 변동율 : 49.8%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 10점, 2점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 51,909명, 전년도 대비 변동율 : 57.9%), 취급량 및 변동율 가중치 20점, 3점(2014년도 기준 취급량 : 35,838,930톤, 전년도 대비 변동율 : 82.8%), 노출평가 가중치 3점(초과율 : 0.41%)로 합계 73점으로 산출되었다.

망간 및 그 무기화합물의 경우 건강유해성 가중치 15점, 직업병 가중치 7점, 취급장 수 및 변동율 가중치 10점, 3점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 7,329개소, 전년도 대비 변동율 : 96.0%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 10점, 3점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 104,058명, 전년도 대비 변동율 : 96.7%.), 취급량 및 변동율 가중치 20점, 3점(2014년도 기준 취급량 : 572,533,993톤, 전년도 대비 변동율 : 99.6%), 노출평가 가중치 4점(초과율 : 1.73%)로 합계 75점으로 산출되었다.

건강유해성 가중치 7점을 부여받은 물질들의 선정 절차에 근거한 평가 결과, 톨루엔의 경우 건강유해성 가중치 26점, 직업병 가중치 10점, 취급장 수 및 변동율 가중치 10점, 2점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 10,738개소, 전년도 대비 변동율 : 34.3%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 10점, 2점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 93,278명, 전년도 대비 변동율 : 34.4%), 취급량 및 변동율 가중치 20점, 0점(2014년도 기준 취급량 : 25,428,021톤, 전년도 대비 변동율 : -8.2%), 노출평가 가중치 4점(초과율 : 0.6%)로 합계 84점으로 산출되었다.

스티렌은 건강유해성 가중치 26점, 직업병 가중치 7점, 취급장 수 및 변동율 가중치 10점, 0점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 755개소, 전년도 대비 변동율 : -23.2%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 10점, 2점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 6,790명, 전년도 대비 변동율 : 31.6%), 취급량 및 변동율 가중치 20점, 2점(2014년도 기준 취급량 : 12,374,401톤, 전년도 대비 변동율 : 42.9%), 노출평가 가중치 6점(초과율 : 3.44%)으로 합계 83점으로 산출되었다.

아닐린과 아닐린 동족체는 건강유해성 가중치 40점, 직업병 가중치 7점, 취

급장 수 및 변동율 가중치 4점, 2점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 43개소, 전년도 대비 변동율 : 48.8%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 10점, 3점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 393명, 전년도 대비 변동율 : 81.7%), 취급량 및 변동율 가중치 20점, 3점(2014년도 기준 취급량 : 219,628톤, 전년도 대비 변동율 : 99.8%), 노출평가 가중치 4점(초과율 : 1.11%)로 합계 93점으로 산출되었다.

시클로헥사논의 항목별 가중치는 건강유해성 가중치 40점, 직업병 가중치 7점, 취급장 수 및 변동율 가중치 10점, 2점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 866개소, 전년도 대비 변동율 : 41.8%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 10점, 3점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 393명, 전년도 대비 변동율 : 81.7%), 취급량 및 변동율 가중치 20점, 0점(2014년도 기준 취급량 : 256,955톤, 전년도 대비 변동율 : -601.9%), 노출평가 가중치 3점(초과율 : 0.35%)로 합계 95점으로 산출되었다.

코발트 및 그 무기화합물의 경우 건강유해성 가중치 24점, 직업병 가중치 7점, 취급장 수 및 변동율 가중치 10점, 3점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 301개소, 전년도 대비 변동율 : 79.4%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 10점, 3점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 4,485명, 전년도 대비 변동율 : 84.8%), 취급량 및 변동율 가중치 20점, 3점(2014년도 기준 취급량 : 156,639톤, 전년도 대비 변동율 : 94.0%), 노출평가 가중치 6점(초과율 : 4.98%)로 합계 86점으로 산출되었다.

디클로로메탄은 건강유해성 가중치 22점, 직업병 가중치 10점, 취급장 수 및 변동율 가중치 10점, 3점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 1,414개소, 전년도 대비 변동율 : 70.7%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 10점, 3점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 8,519명, 전년도 대비 변동율 : 74.1%), 취급량 및 변동율 가중치 20점, 0점(2014년도 기준 취급량 : 1,007,196톤, 전년도 대비 변동율 : -66.9%), 노출평가 가중치 4점(초과율 : 1.82%)로 합계 82점으로 산출되었다.

트리클로로메탄의 항목별 가중치는 건강유해성 가중치 24점, 직업병 가중치

7점, 취급장 수 및 변동율 가중치 8점, 2점(2014년도 기준 취급사업장 수 : 201개소, 전년도 대비 변동율 : 65.7%), 노출 근로자수 및 변동율 가중치 10점, 3점(2014년도 기준 노출 근로자 수 : 1,798명, 전년도 대비 변동율 : 73.7%), 취급량 및 변동율 가중치 20점, 3점(2014년도 기준 취급량 : 130,793톤, 전년도 대비 변동율 : 75.3%), 노출평가 가중치 6점(초과율 : 3.56%)로 합계 83점으로 산출되었다.

각 건강유해성 등급별 총 합계 가중치 점수를 높은 물질 순으로 나열한 결과, 10점으로 분류된 4가지 물질들의 경우 1. 베릴륨 및 그 화합물, 2. 일산화탄소, 3. 휘발성콜타르피치, 4. 니켈카보닐 순으로 나타났다. 9점으로 분류된 물질들의 경우 1. 아크릴로니트릴, 2. 수은, 3. 망간 및 그 무기화합물, 4. 메틸알코올 순으로 조사되었다. 건강 유해성 7점으로 분류된 물질들의 경우 1. 시클로헥사논, 2. 아닐린과 아닐린동족체, 3. 코발트 및 그 무기화합물, 4. 톨루엔, 5. 스티렌, 트리클로로메탄, 7. 디클로로메탄 순으로 분석되었다.

<표 III-108> 유해성 및 취급실태 등에 따른 우선순위 적용 결과

| 물질명 | 건강 유해성 | | 직업병 | 작업환경 실태조사 | | | | | | 근로자 노출평가 | 합계 | 후보 물질 순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 최고점 | 총점 | | 취급장 수 | 변동율 | 노출 근로자수 | 변동율 | 취급량 | 변동율 | | | |
| 휘발성콜타르피치 | 10 | 22 | 10 | 4 | 2 | 6 | 0 | 20 | 0 | 4 | 68 | 3 |
| 일산화탄소 | | 17 | 7 | 6 | 2 | 10 | 3 | 20 | 3 | 5 | 73 | 2 |
| 베릴륨 및 그 화합물 | | 27 | 7 | 4 | 2 | 8 | 3 | 16 | 2 | 8 | 77 | 1 |
| 니켈카보닐 | | 39 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46 | 4 |
| 수은 | 9 | 34 | 10 | 6 | 0 | 10 | 2 | 20 | 3 | 4 | 89 | 2 |
| 아크릴로니트릴 | | 38 | 7 | 6 | 2 | 10 | 3 | 20 | 3 | 4 | 93 | 1 |
| 메틸알코올 | | 13 | 10 | 10 | 2 | 10 | 2 | 20 | 3 | 3 | 73 | 4 |
| 망간 및 그 무기화합물 | | 15 | 7 | 10 | 3 | 10 | 3 | 20 | 3 | 4 | 75 | 3 |
| 톨루엔 | 7 | 26 | 10 | 10 | 2 | 10 | 2 | 20 | 0 | 4 | 84 | 4 |
| 스티렌 | | 26 | 7 | 10 | 0 | 10 | 2 | 20 | 2 | 6 | 83 | 5 |
| 아닐린과 아닐린 동족체 | | 40 | 7 | 4 | 2 | 10 | 3 | 20 | 3 | 4 | 93 | 2 |
| 시클로헥사논 | | 40 | 7 | 10 | 2 | 10 | 3 | 20 | 0 | 3 | 95 | 1 |
| 코발트 및 그 무기화합물 | | 24 | 7 | 10 | 3 | 10 | 3 | 20 | 3 | 6 | 86 | 3 |
| 디클로로메탄 | | 22 | 10 | 10 | 3 | 10 | 3 | 20 | 0 | 4 | 82 | 7 |
| 트리클로로메탄 | | 24 | 7 | 8 | 2 | 10 | 3 | 20 | 3 | 6 | 83 | 5 |

# Ⅳ. 결론

연구대상 화학물질 15종에 대한 연구결과를 종합하여 아래 <표 Ⅲ-109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116>에 정리하여 나타냈다.

전반적으로 모든 연구대상 물질들이 GHS 분류 결과에 근거시 높은 수준의 건강유해성이 있는 것으로 조사되었으며, 국내외적으로 상당 부분 직업병 진단 및 급성중독사고의 발생 사례가 있는 조사되었다.

고용노동부 작업환경실태조사 및 환경부 화학물질통계 조사 결과에 따르면 전년도 대비 취급사업장, 취급근로자, 취급량 등이 지속적으로 증가하는 경향이 나타났고, 작업환경 측정결과를 바탕으로 근로자 노출평가를 수행한 결과 노출기준과 Action Level 수준 모두 일정 수준의 초과율이 나타나는 것으로 분석되었다.

모든 평가 항목의 분석 결과를 종합 고찰해 보았을 때, 본 연구대상 화학물질 15종의 경우 허용기준 설정을 위한 사회성·경제성 분석 평가 대상 물질로 우선 고려되어야 한다고 판단된다.

<표 IIII-109> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합

| 연번 | 화학물질명 (CAS No.) | GHS 분류결과 | 직업병 사례 | 국내 취급현황 | 노출 평가 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 톨루엔 (108-88-3) | 생식독성 2<br>급성독성(흡입) 4<br>피부자극성 2<br>눈자극성 2<br>흡인유해성 1<br>특정표적장기독성 (1회) 1<br>특정표적장기독성 (반복) 1 | 국내<br>: 10건<br><br>국외<br>: 12건 | 작업환경 실태조사*)<br>○ 취급사업장<br>: 10.738개소<br>○ 취급근로자<br>: 93,273명<br>○ 취급량<br>: 25,428,021톤<br><br>환경부 유통량 조사**)<br>○ 제조량<br>: 2,589,024톤<br>○ 사용량<br>: 2,125,900톤<br>○ 유통량<br>: 2,934,440톤 | 노출기준 초과<br>: 0.10%<br><br>Action Level***) 초과<br>: 1.09% |
| 2 | 수은 (7439-97-6) | 생식독성 1B<br>급성독성(흡입) 1<br>피부자극성 2<br>눈자극성 2<br>피부과민성 1<br>특정표적장기특성 (1회) 1<br>특정표적장기독성 (반복) 1 | 국내<br>: 15건<br><br>국외<br>: 18건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: 55개소<br>○ 취급근로자<br>: 633명<br>○ 취급량<br>: 13,241톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: 2,623톤<br>○ 사용량<br>: 4톤<br>○ 유통량<br>: 2,630톤 | 노출기준 초과<br>: 0.00%<br><br>Action Level 초과<br>: 1.69% |

*) 2014년 고용노동부 작업환경실태조사
**) 2006년 환경부 화학물질 통계조사 결과
***) 대상 화학물질별 노출기준의 1/2 수준

<표 IIII--110> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속)

| 연번 | 화학물질명 (CAS No.) | GHS 분류결과 | 직업병 사례 | 국내 취급현황 | 노출 평가 |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 휘발성 콜타르피치 (65996-93-2) | 발암성 1A<br>피부자극성 2<br>눈자극성 2<br>특정표적장기독성 (1회) 3 | 국내<br>: 0건<br><br>국외<br>: 5건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: 18개소<br>○ 취급근로자<br>: 85명<br>○ 취급량<br>: 117,137톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: 201,616톤<br>○ 사용량<br>: 117,926톤<br>○ 유통량<br>: 223,903톤 | 노출기준 초과<br>: 0.00%<br><br>Action Level 초과<br>: 3.52% |
| 4 | 일산화탄소 (630-08-0) | 생식독성 1A<br>급성독성(흡입) 3<br>특정표적장기독성 (1회) 1<br>특정표적장기독성 (반복) 2 | 국내<br>: 4건<br><br>국외<br>: 39건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: 52개소<br>○ 취급근로자<br>: 9,589명<br>○ 취급량<br>: 1,420,621천톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: 442,177톤<br>○ 사용량<br>: 442,242톤<br>○ 유통량<br>: 445,994톤 | 노출기준 초과<br>: 0.03%<br><br>Action Level 초과<br>: 4.50% |

<표 IIII-111> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속)

| 연번 | 화학물질명 (CAS No.) | GHS 분류결과 | 직업병 사례 | 국내 취급현황 | 노출 평가 |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 베릴륨 및 그 화합물 (7440-41-7) | 발암성 1A<br>호흡기과민성 1<br>피부과민성 1<br>특정표적장기독성(1회) 1<br>특정표적장기독성(반복) 1 | 국내<br>: 2건<br><br>국외<br>: 7건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: 14개소<br>○ 취급근로자<br>: 172명<br>○ 취급량<br>: 136톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: 0톤<br>○ 사용량<br>: 0.4톤<br>○ 유통량<br>: 0.2톤 | 노출기준 초과<br>: 0.00%<br><br>Action Level 초과<br>: 23.33% |
| 6 | 니켈카보닐 (13463-39-3) | 발암성 1A<br>생식독성 1B<br>급성독성(흡입) 1<br>피부자극성 2<br>심하눈손상성 1<br>특정표적장기독성(1회) 1 | 국내<br>: 0건<br><br>국외<br>: 4건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: - 개소<br>○ 취급근로자<br>: - 명<br>○ 취급량<br>: - 톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: - 톤<br>○ 사용량<br>: - 톤<br>○ 유통량<br>: - 톤 | 노출기준 초과<br>: 0.00%<br><br>Action Level 초과<br>: 0.00% |

<표 IIII-112> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속)

| 연번 | 화학물질명 (CAS No.) | GHS 분류결과 | 직업병 사례 | 국내 취급현황 | 노출 평가 |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 아크릴로 니트릴 (107-13-1) | 발암성 1B<br>급성독성(경구) 3<br>급성독성(경피) 2<br>급성독성(흡입) 2<br>피부자극성 2<br>눈자극성 2<br>피부과민성 1<br>특정표적장기독성(1회) 1<br>특정표적장기독성(반복) 2 | 국내<br>: 2건<br><br>국외<br>: 6건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: 97개소<br>○ 취급근로자<br>: 2,125명<br>○ 취급량<br>: 3,690,577톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: 513,932톤<br>○ 사용량<br>: 411,211톤<br>○ 유통량<br>: 635,510톤 | 노출기준 초과<br>: 0.00%<br><br>Action Level 초과<br>: 3.49% |
| 8 | 스티렌 (100-42-5) | 발암성 2<br>급성독성(흡입) 4<br>피부자극성 2<br>눈자극성 2<br>흡인유해성 1<br>특정표적장기독성(1회) 1<br>특정표적장기독성(반복) 1 | 국내<br>: 3건<br><br>국외<br>: 13건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: 755개소<br>○ 취급근로자<br>: 6,790명<br>○ 취급량<br>: 12,374,401톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: 3,364,676톤<br>○ 사용량<br>: 2,634,734톤<br>○ 유통량<br>: 3,658,216톤 | 노출기준 초과<br>: 1.12%<br><br>Action Level 초과<br>: 5.76% |

<표 IIII-113> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속)

| 연번 | 화학물질명 (CAS No.) | GHS 분류결과 | 직업병 사례 | 국내 취급현황 | 노출 평가 |
|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 메틸알코올 (67-56-1) | 생식독성1B<br>눈자극성 2<br>특정표적장기독성(1회) 1 | 국내<br>: 5건<br><br>국외<br>: 7건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: 5,217개소<br>○ 취급근로자<br>: 51,909명<br>○ 취급량<br>: 35,838,930톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: 63,134톤<br>○ 사용량<br>: 1,355,624톤<br>○ 유통량<br>: 1,414,553톤 | 노출기준 초과<br>: 0.03%<br><br>Action Level 초과<br>: 0.78% |
| 10 | 망간 및 그 무기화합물 (7439-96-5) | 생식독성 1B<br>특정표적장기독성(1회) 1<br>특정표적장기독성(반복) 1 | 국내<br>: 4건<br><br>국외<br>: 22건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: 7,329개소<br>○ 취급근로자<br>: 104,058명<br>○ 취급량<br>: 572,533,933톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: 3,454톤<br>○ 사용량<br>: 85,323톤<br>○ 유통량<br>: 222,987톤 | 노출기준 초과<br>: 0.73%<br><br>Action Level 초과<br>: 2.73% |

<표 IIII-114> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속)

| 연번 | 화학물질명 (CAS No.) | GHS 분류결과 | 직업병 사례 | 국내 취급현황 | 노출 평가 |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | 아닐린 과 아닐린동족체 (62-53-3) | 발암성 2<br>생식세포변이원성 2<br>급성독성(경구) 4<br>급성독성(경피) 3<br>급성독성(흡입) 2<br>피부자극성 2<br>눈자극성 2<br>피부과민성 1<br>특정표적장기독성(1회) 1<br>특정표적장기독성(반복) 1 | 국내<br>: 1건<br><br>국외<br>: 30건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: 43개소<br>○ 취급근로자<br>: 393명<br>○ 취급량<br>: 219,628톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: 190,081톤<br>○ 사용량<br>: 205,961톤<br>○ 유통량<br>: 192,425톤 | 노출기준 초과<br>: 0.00%<br><br>Action Level 초과<br>: 2.22% |
| 12 | 시클로헥사논 (108-94-1) | 발암성 2<br>생식세포변이원성 2<br>생식독성 2<br>급성독성(경구) 4<br>급성독성(경피) 3<br>급성독성(흡입) 3<br>피부자극성 2<br>눈자극성 2<br>특정표적장기독성(1회) 1<br>특정표적장기독성(반복) 1 | 국내<br>: 2건<br><br>국외<br>: 4건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: 866개소<br>○ 취급근로자<br>: 98,193명<br>○ 취급량<br>: 256,955톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: 191,993톤<br>○ 사용량<br>: 256,374톤<br>○ 유통량<br>: 252,780톤 | 노출기준 초과<br>: 0.01%<br><br>Action Level 초과<br>: 0.69% |

<표 IIII-115> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속)

| 연번 | 화학물질명 (CAS No.) | GHS 분류결과 | 직업병 사례 | 국내 취급현황 | 노출 평가 |
|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 코발트 및 그 무기화합물 (7440-48-4) | 발암성 2<br>호흡기과민성 1<br>피부과민성 1<br>특정표적장기독성(1회) 3<br>특정표적장기독성(반복) 1 | 국내<br>: 4건<br><br>국외<br>: 11건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: 901개소<br>○ 취급근로자<br>: 4,485명<br>○ 취급량<br>: 156,639톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: 98톤<br>○ 사용량<br>: 635톤<br>○ 유통량<br>: 621톤 | 노출기준 초과<br>: 1.26%<br><br>Action Level 초과<br>: 8.70% |
| 14 | 디클로로메탄 (75-09-2) | 발암성 2<br>급성독성(경구) 4<br>피부자극성 2<br>눈자극성 2<br>특정표적장기독성(1회) 1<br>특정표적장기독성(반복) 1 | 국내<br>: 9건<br><br>국외<br>: 6건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: 1,414개소<br>○ 취급근로자<br>: 8,519명<br>○ 취급량<br>: 1,007,196톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: 52,208톤<br>○ 사용량<br>: 152,978톤<br>○ 유통량<br>: 60,522톤 | 노출기준 초과<br>: 0.35%<br><br>Action Level 초과<br>: 3.28% |

<표 IIII-116> 연구대상 물질 15종에 대한 연구결과 종합(계속)

| 연번 | 화학물질명 (CAS No.) | GHS 분류결과 | 직업병 사례 | 국내 취급현황 | 노출 평가 |
|---|---|---|---|---|---|
| 15 | 트리클로로메탄 (67-66-3) | 발암성 2<br>급성독성(경구) 4<br>피부자극성 1<br>눈자극성 1<br>특정표적장기독성(1회) 1<br>특정표적장기독성(반복) 1 | 국내<br>: 3건<br><br>국외<br>: 2건 | 작업환경 실태조사<br>○ 취급사업장<br>: 201개소<br>○ 취급근로자<br>: 1,798명<br>○ 취급량<br>: 130,793톤<br><br>환경부 유통량 조사<br>○ 제조량<br>: 36,668톤<br>○ 사용량<br>: 11,686톤<br>○ 유통량<br>: 39,249톤 | 노출기준 초과<br>: 0.32%<br><br>Action Level 초과<br>: 6.81% |

# 참 고 문 헌

1) 강성규. 업무상질병 인정 표준화를 위한 자문의사 워크샵 발표자료. 2002

2) 고용노동부 (2013) 산업안전보건법

3) 고용노동부 (2013) 산업안전보건기준에 관한 규칙

4) 고용노동부 (2013) 산업안전보건법 시행 규칙

5) 고용노동부 (2013) 산업재해통계

6) 고용노동부 (2014) 작업환경실태조사 자료

7) 고용노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(고용노동부 고시 2013-31호)

8) 고용노동부. 전국 제조업체 작업환경 일제조사. 2014

9) 고용노동부. 산업재해예방 안전보건공단 - MSDA/GHS 정보검색. http://www.kosha.or.kr/msds/msdsMain.do?menuId=69

10) 고용노동부. 산업안전보건법(시행령, 시행규칙). 2015.

11) 고용노동부. 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시(고용노동부고시 제2013-39호). 2013.

12) 김치년, 노재훈, 최호춘, 정지연, 황병문, 김기연. 허용기준 제정물질의 작업환경측정 및 분석에 관한 비교 “6가 크롬, 포름알데히드,

TDI". 한국산업안전공단 연구보고서. 2009

13) 김치년, 노재훈, 원종욱, 김현수, 김기연, 고한종. 화학물질 노출기준 제개정(안) 연구 및 물질별 산업보건 편람 작성(Ⅱ). 안전보건공단 연구보고서. 2008

14) 김치년, 노재훈, 양지연, 김기연, 배문주, 김현수, 정우진. 노출기준 설정 화학물질의 산안법 관리수준 결정을 위한 유해성 평가(Ⅰ). 안전보건공단 연구보고서. 2013

15) 김형아, 박용규, 양원호, 이채관. 노출기준 설정 화학물질의 산안법 관리수준 결정을 위한 유해성 평가(Ⅱ). 안전보건공단 연구보고서. 2013

16) 김기연, 노영만, 김화일, 김태윤, 정우진. 허용기준 기 설정대상 유해인자의 허용기준 개정을 위한 유해성위험성 평가 및 사회성경제성 평가 연구. 안전보건공단 연구보고서. 2014

17) 노영만, 김치년, 홍종호, 김기연, 이철민. 작업환경 허용기준 도입을 위한 유해물질 선정 및 허용기준수준에 관한 연구. 안전보건공단 연구보고서. 2006

18) 변상훈, 이은정, 김우영, 심상효. 허용기준 설정물질 확대 필요성 및 선정 기준에 관한 연구. 안전보건공단 연구보고서. 2015

19) 신용철, 박세진, 김정원. 영국의 화학물질 노출기준에 관한 연구. 안전보건공단 연구보고서. 2012

20) 이세훈, 김형아. 임현우, 정혜선, 김형렬. 화학물질 노출기준 제·개정 연구(트리클로로에틸렌). 안전보건공단 연구보고서. 2006

21) 이권섭, 임철홍, 이종한, 이혜진, 양정선, 노영만, 국원근. GHS 화학물질 분류기준과 분류결과의 비교 및 화학물질 정보자료의 활용방법 연구. 한국산업위생학회지. 18(1):62-71, 2008

22) 이권섭, 조지훈, 최진희, 신현화, 양정선. 산업안전보건법에 의한 관리대상 유해물질 선정의 타당성 연구. 한국산업위생학회지. 2009;19(2);13 9-155

23) 피영규, 최상준, 정종현, 국원근, 정춘화, 심상효, 임무혁. 산업안전보건법 상 화학물질 규제수준별 기준 마련 및 선정 타당성 등에 관한 연구. 안전보건공단 연구보고서. 2011

24) 한국산업안전보건연구원. 화학물질의 유해성·위험성 평가 지침(KOSHA GUIDE W-6-2011). 한국산업안전보건연구원. 2011.

25) 환경부. 제3차 화학물질 유통량 조사. 2007

26) Amor AJ: Bericht über den Internationalen Kongress für Unfallmedizin und Berugskrankheiten, Vol 2. Frankfurt AM 1938. Thieme, Leipzig 1939.

27) American Industrial Hygiene Association: Hygienic Guide Series - Aniline. AIHA, Akron, OH 1955.

28) Ayres, S. M., S. Gianelli Jr., R. G. Armstrong: Science 1965. 149, 193

29) Axelrod J; Daly J: Pituitary gland. Enzymic formation of ethanol from S-adenosyl methionine. Science 1965. 150:892 - 893

30) Ayres, S. M., H. S. Mueller, J. J. Gregory, S. Gianelli, J. L.

Penny: Arch. environm. Hlth 1969. 18, 699

31) Ayers, S.M.; Gianelli, S.J.; Mueller, H.S.: Myocardial and Systemic Responses to Carboxyhemoglobin. Ann. N.Y. Acad. Sci. 1970. 74(1):268 - 293

32) Anderson, E. W., J. M. Strauch, J. Knelson, N. Fortuin: Circulation 1971. 44, 135

33) Aronow, W. S., C. N. Harris, M. W. Isbell, S. N. Rokaw, B. Imparato: Ann. intern. Med. 1972. 77, 669

34) Anderson, E.W.; Andelman, R.J.; Strauch, J.M.; et al.: Effect of Low-Level Carbon Monoxide Exposure on Onset and Duration of Angina Pectoris. Ann. Intern. Med. 1973. 79:46 - 50

35) Aronow, W. S., M. W. Isbell: Ann. intern. Med. 1973. 79, 392

36) Anderson, E. W., R. A. Andelman, J. M. Strauch, N. J. Fortuin, J. H. Knelson: Ann. intern. Med. 1973. 79, 46

37) Alarie, Y.: Sensory Irritation of the Upper Airways by Airborne Chemicals. Toxicol. Appl. Pharmacol. 1973. 24:279 - 297

38) Aronow, W. S., E. A. Stemmer, M. W. Isbell: Circulation 1974. 49, 415

39) Angelini G, Rantuccio F, Meneghini CL Contact dermatitis in patients with leg ulcers.Contact Dermatitis 1975. 1: 81 - 87

40) Alexandersson, R.: Studies on Effects of Exposure to Cobalt. II.

Reactions of the Res piratory Organs to Various Exposure Levels in the Hard Metal Industry. Arbete och Halsa No. 2 (in Swedish with English summary) 1979.

41) Alexandersson, R.: Studies on Effects of Exposure to Cobalt. VI. Exposure, Uptake and Pulmonary Effects of Cobalt in the Hard Metal Industry. Arbete och Halsa No. 10 (in Swedish with English summary) 1979.

42) Alexandersson, R.; Hedenstierna, G.: Studies on the Effects of Exposure to Cobalt. III. Ventilation Capacity, Distribution of Inhaled Gas, and Closing of Respiratory Passages During On-Going Work and After Periods of Non-Exposure. Arbete och Halsa No. 7 (in Swedish with English summary) 1979.

43) Alexandersson, R.; Atterhog, J.M.: Studies of the Effects of Cobalt in the Swedish Hard Metal Industry. VII. Arbete och Halsa No. 9 (in Swedish with English summary) 1980.

44) Andersson, H.C.; Tranberg, E.A.; Uggla, A.H.; et al.: Chromosomal Aberrations and Sister-Chromatid Exchanges in Lymphocytes of Men Occupationally Exposed to Styrene in a Plastic Boat Factory. Mutat. Res. 1980. 73:387 - 401

45) Alarie, Y.: Bioassay for Evaluating the Potency of Airborne Sensory Irritants and Predicting Acceptable Levels of Exposure in Man. Food Cosmet. Toxicol. 1981. 19:623 - 626

46) Albers, J.W.; Cavender, G.D.; Levine, S.P.; Langolf, G.D.:

Asymptomatic Sensomotor Polyneuropathy in Workers Exposed to Elemental Mercury. Neurology 1982. 32:1168 - 1174

47) Adams, C.R.; Ziegler, D.; Lin, J.: Mercury Intoxication Simulating Amyotrophic Lateral Sclerosis. JAMA 1983. 250:642 - 643

48) Alexandersson, R.; Atterhog, J.M.: Comparison of Electrocardiograms Among Wet Grinders in Swedish Hard Metal Industry Before and After Four Weeks Holiday. Arbete och Halsa No. 18 (in Swedish with English summary) 1983.

49) Abraham, J.E.; Svare, C.W.; Frank, C.W.: The Effect of Dental Amalgam Restoration on Blood Mercury Levels. J. Dent. Res. 1984. 63:71 - 73

50) Atkins, E.H.; Baker, E.L.: Exacerbation of Coronary Artery Disease by Occupational Carbon Monoxide Exposure: A Report of Two Fatalities and a Review of the Literature. Am. J. Ind. Med. 1985. 7:73 - 79

51) Ahlborg, G.; Bjerkedal, T.; Egenaes, J.: Delivery Outcome Among Women Employed in the Plastics Industry in Sweden and Norway. Am. J. Ind. Med. 1987. 12:507 - 517

52) Albers, J.W.; Kallenbach, L.R.; Fiine, L.J.; et al.: Neurological Abnormalities Associated with Remote Occupational Elemental Mercury Exposure. Ann. Neurol. 1988. 24:651 - 659

53) Alcser, K.H.; Brix, K.A.; Fine, L.J.; et al.: Occupational Mercury Exposure and Male Reproductive Health. Am. J. Ind. Med. 1989.

15:517 - 529

54) Allred, E.N.; et al.: Short-Term Effects of Carbon Monoxide Exposure on the Exercise Performance of Subjects with Coronary Artery Disease. N. Engl. J. Med. 1989. 321:1426 - 1432

55) Auchincloss, J.H.; Abraham, J.L.; Gilbert, R.; et al.: Health Hazard of Poorly Regulated Exposure During Manufacture of Cemented Tungsten Carbides and Cobalt. Br. J. Ind. Med. 1992. 49:832 - 836

56) American Conference of Governmental and Industrial Hygienists: Carbon Monoxide－Recommended BEI 1996.

57) Anttila A; Pukkala E; Riala R; et al.: Cancer incidence among Finnish workers exposed to aromatic hydrocarbons. Int Arch Occup Environ Health 1998. 71:187 - 193

58) Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR): Toxicological Profile for Manganese. US Department of Health and Human Services. Pub 2000. No PB2000108025

59) Antonini JM: Health effects of welding. Crit Rev Toxicol 2003. 33:61 - 103

60) American Conference of Governmental industrial Hygienists. Threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices. Cincinnati OH. 2005~2006

61) A division of the American Chemical Society(CAS).

CHEMLIST(Regulated Chemicals). Avalilable from: http://www.cas.org/index.html 2008.8.

62) Axelsson G; Lutz C; Rylander R: Exposure to solvents and outcome of pregnancy in university

63) Bonnevie P Aetiologie und Pathogenese der Ekzemkrankheiten (Etiology and pathogenesis of dermatitis) (German), JA Barth, Leipzig, 1939. 217

64) Brieger H, Rieders F, Hodes WA Acrylonitrile; spectrophotometric determination, acute toxicity, and mechanism of action. Arch Ind Hyg 1952. 6: 128 - 140

65) Beck, A.O.; Kipling, M.D.; Heather, J.C.: Hard Metal Disease. Br. J. Ind. Med. 1962. 19:239 - 252

66) Browning E: Toxicity and Metabolism of Organic Solvents, Elsevier Publishing Co, Amsterdam 1965. pp 311 - 323

67) Beard, R. R., G. A. Wertheim: Amer. J. publ. Hlth 1967. 57, 2012

68) Bomski, H.; Sobolewska, A.; Strakowski, A.: Toxic Damage of the Liver by Chloroform in Chemical Industry Workers. Arch. Gewerbepath. u. Gewerbehyg. 1967. 24:127 - 134

69) Bomski, H.; Sobolewska, A.; Strakowski, A.: Toxic Damage of the Liver by Chloroform in Chemical Industry Workers. Arch. Gewerbepath. u. Gewerbehyg. 1967. 24:127 - 134

70) Bruin, A. de: Arch. environm. Hlth 1967. 15, 384

71) Berger, M.; Fodor, G.G.: CNS Disorder Under the Influence of Air Mixtures Containing Dichloromethane. Zentralbl. Bakteriol. 1968. 215:517

72) Brody, J. S., R. F. Coburn: Science 1969. 164, 1297

73) Bass M: Sudden sniffing death. JAMA 1970. 212:2075 - 2079

74) Beard, R. R., N. Grandstaff: New York Academy of Sciences Conference on Biological Effects of Carbon Monoxide. New York City 1970.

75) Bayliss DL; Lainhart WS; Crally LJ; et al.: Mortality patterns in a group of former beryllium workers. In: Proceedings of the American Conference of Governmental Industrial Hygienists 33rd Annual Meeting, Toronto, Canada, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH®), Cincinnati, OH 1971. pp 94 - 107.

76) Bender, W., M. Göthert, G. Malorny: Staub-Reinhalt. Luft 1972. 32, 175

77) Balda BR Acrylnitril als Kontaktallergen (Acrylonitrile as a contact allergen) (German). Hautarzt 1975. 26: 599 - 601

78) Boor JW; Hurtig HI: Persistent cerebellar ataxia after exposure to toluene. Ann Neurol 1977. 2:440 - 442

79) Barber, R.E.: Inorganic Mercury Intoxication Reminiscent of Amyotrophic Lateral Sclerosis. J. Occup. Med. 1978. 20:667 - 669

80) Becker, L.D.; Haak, Jr., E.D.: Augmentation of Myocardial Ischemia by Low-Level Carbon Monoxide Exposure in Dogs. Arch. Environ. Health 1979. 34(4):274 - 279

81) Bidstrup, P.L.: Toxicity of Mercury and Its Compounds. Elsevier Publishing Company, London 1980.

82) Buchet, J.P.; Roels, H.; Bernard, A.; et al.: Assessment of Renal Function of Workers Exposed to Inorganic Lead, Cadmium or Mercury Vapor. J. Occup. Med. 1980. 22:741 - 751

83) Beard, R.R.; Noe, J.T.: Aromatic Nitro and Amino Compounds. In: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd Rev. ed., Vol. 2A, Toxicology, John Wiley & Sons, New York 1981. pp. 2413 - 2459

84) Baelum J; Andersen IB; Lundqvist GR; et al.: Response of solvent-exposed printers and unexposed controls to six-hour toluene exposure. Scand J Work Environ Health 1985. 11:271 - 80

85) Brodsky, J.B.; Cohen, E.N.; Whitcher, C.; et al.: Occupational Exposure to Mercury in Dentistry and Pregnancy Outcome. J. Am. Dent. Assoc. 1985. 111:779 - 780

86) Brugnone F; De Rosa E; Perbellini L; Bartolucci GB: Toluene concentrations in the blood and alveolar air of workers during the workshift and the morning after. Br J Ind Med 1986. 43:56 - 61

87) Brugnone F; De Rosa E; Perbellini L; Bartolucci GB: Toluene

concentrations in the blood and alveolar air of workers during the workshift and the morning after. Br J Ind Med 1986. 43:56 - 61

88) Barber, T.E.; Wallis, G.: Correction of Urinary Mercury Concentration by Specific Gravity, Osmolality, and Creatinine. J. Occup. Med. 1986. 28:355

89) Bunn, W.B.; McGill, C.M.; Barber, T.E.; et al.: Mercury Exposure in Chloroalkali Plants. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1986. 47:249 - 254

90) Bigner, D.D.; Bigner, S.H.; Burger, P.C.; et al.: Primary Brain Tumours in Fischer 344 Rats Chronically Exposed to Acrylonitrile in Their Drinking Water. Food Chem. Toxicol. 1986. 24:129 - 137

91) Berode, M.; Boillat, M.A.; Droz, P.O.; et al.: Effect of Alcohol on the Kinetics of Styrene and Its Metabolites in Volunteers and in Workers. Appl. Ind. Hyg. 1986. 1:25 - 28

92) Benignus, V.A.; Muller, K.E.; Barton, C.N.; Prah, J.D.: Effect of Low Level Carbon Monoxide on Compensatory Tracking and Event Monitoring. Neurotoxicol. Teratol. 1987. 9:227 - 234

93) Burton, E.M.; Weaver, D.L.: Repeated Systemic Mercury Embolization. South. Med. J. 1988 81:1190 - 1192

94) Berglund, A.; Pohl, L.; Olsson, S.; Bergman, M.: Determination of the Rate of Release of Intra-Oral Mercury Vapor from Amalgam. J. Dent. Res. 1988. 67:1235 - 1242

95) Barregard, L.; Hultberg, B.; Schutz, A.; Sallsten, G.: Enzymuria in Workers Exposed to Inorganic Mercury. Int. Arch. Occup. Environ. Health 1988. 61:65 - 69

96) Bunnell, D.E.; Horvath, S.M.: Interactive Effects of Physical Work and Carbon Monoxide on Cognitive Task Performance. Aviat. Space Environ. Med. 1988. 59:1133 - 1138

97) Bond, J.A.: Review of the Toxicology of Styrene. Crit. Rev. Toxicol. 1989. 19(3):227 - 249

98) Baelum J: Toluene in alveolar air during controlled exposure to constant and to varying concentrations. Int Arch Occup Environ Health 1990. 62:59 - 64

99) Barregard, L.; Sallstern, G.; Jarvholm, B.: Mortality and Cancer Incidence in Chloralkali Workers Exposed to Inorganic Mercury. Br. J. Ind. Med. 1990. 47:99 - 104

100) Bakker JG, Jongen SMJ, van Neer FCJ, Neis JM Occupational contact dermatitis due to acrylonitrile. Contact Dermatitis 1991. 24: 50 - 53

101) Bergmark E, Calleman CJ, He F, Costa LG Determination of hemoglobin adducts in humans occupationally exposed to acrylamide. Toxicol Appl Pharmacol 1993. 120: 45 - 54

102) Blair, A.; Stewart, P.A.; Zaebst, D.D.; et al.: Mortality Study of Industrial Workers Exposed to Acrylonitrile. Scand. J. Work Environ. Health 1998. 24(Suppl. 2):25 - 41

103) Bond, J.A.; Medinsky, M.A.: Assessing Interactive Effects from Exposures to Chemical Mixtures. CIITActivities 1993. 13:1 - 5

104) Bukowski JA: Review of the epidemiological evidence relating toluene to reproductive outcomes. Regul Toxicol Pharmacol 2001. 33:147 - 156

105) Bast-Pettersen R; Ellingsen DG; Hetland SM; et al.: Neuropsychological function in manganese alloy plant workers. Int Arch Occup Environ Health 2004. 77:277 - 287

106) Bowler RM; Gysens S; Diamond E; et al.: Manganese exposure: neuropsychological and neurological symptoms and effects in welders. Neurotoxicology 2006. 27:315 - 326

107) Bouchard M; Mergler D; Baldwin M; et al.: Neuropsychiatric symptoms and past manganese exposure in a ferro-alloy plant. Neurotoxicology 2007. 28:290 - 297

108) Bouchard M; Mergler D; Baldwin M; et al.: Neurobehavioral functioning after cessation of manganese exposure: a follow-up after 14 years. Am J Indust Med 2007. 50: 831 - 840

109) Blond M; Netterstrom B: Neuromotor function in a cohort of Danish steel workers. Neurotoxicology 2007. 28:328 - 335

110) Blond M; Netterstrom B; Laursen P: Cognitive function in a cohort of Danish steel workers. Neurotoxicology 2007. 28:336 - 344

111) Carpenter, C.P.; Shaffer, C.B.; Weil, C.S.; Smyth, Jr., H.F.: Studies on the Inhalation of 1,3-Butadiene with a Comparison of Its Narcotic Effect with Benzol, Toluol, and Styrene, and a Note on the Elimination of Styrene by the Human. J. Ind. Hyg. Toxicol. 1944. 26:69 - 78

112) Curtis GH: Cutaneous hypersensitivity due to beryllium. Arch Dermatol Syphilol 1951. 64:470 - 482

113) Chief Inspector of Factories: Annual Report of the Chief Inspector of Factories for the year 1950, HMSO, London 1952. p 145

114) Challen, P.J.R.; Hickish, D.E.; Bedfor, J.: Chronic Chloroform Intoxication. Br. J. Ind. Med. 1958. 15:243 - 249

115) Clayton, G. D., W. A. Cook, W. G. Fredrick: Amer. industr. Hyg. Ass. J. 1960. 21, 46

116) Coburn, R.F.; Forster, R.E.; Kane, P.B.: Considerations of the Physiological Variables that Determine the Blood Carboxyhemoglobin Concentration in Man. J. Clin. Invest. 1965. 44(1):1899 - 1910

117) Chevalier, R. B., R. A. Krumholz, J. C. Ross: J. Amer. med. Ass. 1966. 198, 1061

118) Chovin, P.: Environm. Res. 1967. 1, 198

119) Coburn, R.F.: Endogenous Carbon Monoxide Production. N.

Engl. J. Med. 1970. 282(4):207 - 209

120) Cohen, S. I., G. Dorion, J. R. Goldsmith, S. Permutt: Arch. environm. Hlth 1971. 22, 47

121) Coates, E.O.; Watson, J.H.L.: Diffuse Interstitial Lung Disease in Tungsten Carbide Workers. Ann. Inter. Med. 1971. 75:709 - 716

122) Chmielewski, J.; Mikulski, P.; Uselis, J.; et al.: Rating of the Exposure to Styrene of Persons Working at the Production of Polyester Laminates. Biull. Inst. Med. Morskiej Gdansku 1973. 24:57 - 209

123) Coates, E.O.; Watson, J.H.L.: Pathology of the Lung in Tungsten Carbide Workers Using Light and Electron Microscopy. J. Occup. Med. 1973. 15:283 - 286

124) Chmielewski, J.; Renke, W.: Clinical and Experimental Research into the Pathogenesis of the Toxic Effects of Styrene. III. Morphology, Coagulation and Fibrinolysis Systems of the Blood in Persons Exposed to the Action of Styrene During Their Work. Biull. Inst. Med. Morskiej 1975. 26:299 - 302

125) Calas E, Castelain PY, Piriou A Epidemiologie des dermatoses de contact a Marseille (Epidemiology of contact dermatitis in Marseilles) (French). Ann Dermatol Venereol (Paris) 1978. 105: 345 - 347

126) Cherry, N.M.; Waldron, H.A.; Wells, G.G.; et al.: An Investigation of the Acute Behavioural Effects of Styrene on

Factory Workers. Br. J. Ind. Med. 1980. 37:234 - 240

127) Cherry N, Venables H, Waldron HA, Wells GG Some observations on workers exposed to methylene chloride. Br J Ind Med 1981. 38: 351 - 355

128) Cherry, N.; Venables, H.; Waldron, H.A.: The Acute Behavioral Effects of Solvent Exposure. J. Soc. Occup. Med. 1983. 33:13 - 18

129) Cherry N, Venables H, Waldron HA The acute behavioural effects of solvent exposure. J Soc Occup Med 1983. 33: 13 - 18

130) Cragle, D.; Hollis, D.; Qualters, J.; et al.: A Mortality Study of Men Exposed to Elemental Mercury. J. Occup. Med. 1984. 26:817 - 821

131) Chikasue F; Okamoto I; Miyazaki T; et al.: A case of death after glue sniffing. Hiroshima J Med Sci 1985. 34:419 - 423

132) Campbell, J.R.; Clarkson, T.W.; Omar, M.D.: The Therapeutic Use of 2,3-Dimercaptopropane-1-sulfonate in Two Cases of Inorganic Mercury Poisoning. JAMA 1986. 256:3127

133) Chia SE; Tan KT; Kwok SK: A study on the health hazard of toluene in the polythene printing industry in Singapore. Ann Acad Med Singapore 1987. 16:294 - 299

134) Curtis, H.A.; Ferguson, S.D.; Kell, R.L.; Samuel, A.H.: Mercury as a Health Hazard. Arch. Dis. Child. 1987. 62:293 - 295

135) Cullen MR; Kominsky JR; Rossman MD; et al.: Chronic beryllium disease in a precious metal refinery. Clinical epidemiologic and immunologic evidence for continuing risk from exposure to low level beryllium fume. Am Rev Resp Dis 1987. 135:201 - 208

136) Contrino, J.; Marucha, P.; Ribaudo, R.; et al.: Effects of Mercury on Human Polymorphonuclear Leukocyte Function in vitro. Am. J. Pathol. 1988. 132:110 - 118

137) Cherry, N.M.; Gautrin, D.: Neurotoxic Effects of Styrene: Further Evidence. Br. J. Ind. Med. 1990. 47:29 - 37

138) Centers for Disease Control: Acute and Chronic Poisoning from Residential Exposures to Elemental Mercury Michigan, 1989 - 1990. Morbidity and Mortality Weekly Report 1991.06.14. 40(23):393 - 395

139) Cordier, S.; Deplan, F.; Mandereau, L.; Hemon, D.: Paternal Exposure to Mercury and Spontaneous Abortions. Br. J. Ind. Med. 1991. 48:375 - 381

140) Checkoway, H.; Costa, L.G.; Camp, J.; et al.: Peripheral Markers of Neurochemical Function Among Workers Exposed to Styrene. Br. J. Ind. Med. 1992. 49:560 - 565

141) Chia SE; Ong WH; Phoon WH; et al.: Neurobehavioral effect on workers in a video tape manufacturing factory in Singapore. Neurotoxicology 1993. 14:51 - 56

142) Coggon, D.: Epidemiological Studies of Styrene- Exposed Populations. Crit. Rev. Toxicol. 1994. 24(S1):S107 - S115

143) Campagna, D.; Mergler, D.; Huel, G.; et al.: Visual Dysfunction Among Styrene-Exposed Workers. Scand. J. Work Environ. Health 1995. 21(5):382 - 390

144) Calabrese, G.; Martini, A.; Sessa, G.; et al.: Otoneurological Study in Workers Exposed to Styrene in the Fiberglass Industry. Int. Arch. Occup. Environ. Health 1996. 68:219 - 223

145) Campagna, D.; Gobba, F.; Mergler, D.; et al.: Color Vision Loss Among Styrene-Exposed Workers Neurotoxicological Threshold Assessment. Neurotoxicology 1996. 17(2):367 - 373

146) Crump KS; Rousseau P: Results from 11 years of neurological health surveillance at a manganese oxide and salt producing plant. Neurotoxicology 1999. 20:287 - 298

147) Cavalleri A; Gobba F; Nicali E; Fiocchi V: Doserelated color vision impairment in toluene-exposed workers. Arch Environ Health 2000. 55:399 - 404

148) Clewell HJ; Lawrence GA; Calne DB; et al.: Determination of an occupational exposure guideline for manganese using the benchmark method. Risk Anal 2003. 23:1031 - 1046

149) Cerosismo MG; Koller WC: The diagnosis of manganese induced Parkinsonism. Neurotoxicology 2006. 27:340 - 346

150) Cummings KJ; Deubner DC; Day GA; et al.: Enhanced preventative programme at a beryllium oxide ceramic facility reduces beryllium sensitisation among new workers. Occup Environ Med 2007. 64:134 - 140

151) Campagna D; Stengel B; Mergler D; et al.: Color vision and occupational toluene exposure.

152) Dudley, H.C.; Neal, P.A.: Toxicology of Acrylonitrile (Vinyl Cyanide). I. A Study of the Acute Toxicity. J. Ind. Hyg. Toxicol. 1942. 24:27 - 36

153) Doll R: Cancer of the lung and nose in nickel workers. Br J Ind Med 1958. 15:217 - 223

154) Dutkiewicz, T.: The Absorption and Metabolism of Aniline in Man. Societias Scientiarum Lodziensis, Lods, Poland 1962.

155) Drinkwater, B.L.; Raven, P.D.; Horvath, S.M.; et al.: Air Pollution, Exercise, and Heat Stress. Arch. Environ. Health 1974. 28:177 - 181

156) Doll R; Mathews JD; Morgan LG: Cancer of the lung and nasal sinuses in nickel workers: A reassessment of the period of risk. Br J Ind Med 1977. 34:102 - 105

157) Dick RB; Setzer JV; Wait R; et al. Effects of acute exposure of toluene and methyl ethyl ketone on psychomotor performance. Int Arch Occup Environ Health 1984. 54:91 - 109

158) Dolara, P.; Caderni, G.; Lodovici, M.; et al.: Determination of Styrene in the Urine of Workers Manufacturing Polystyrene Plastics. Ann. Occup. Hyg. 1984. 28:195 - 199

159) Demedts, M.; Gheysens, B.; Nagels, J.; et al.: Case Reports — Cobalt Lung in Diamond Polishers. Am. Rev. Respir. Dis. 1984. 130:130 - 135

160) DeJong, G.; van Sittert, N.J.; Natarajan, A.T.: Cytogenetic Monitoring of Industrial PopulationsPotentially Exposed to Genotoxic Chemicals and of Control Populations. Mutat. Res. 1988. 204:451 - 464

161) Dosemeci, M.; Coddo, P.; Gomez, M.; et al.: Effects of Three Features of a Job-Exposure Matrix on Risk Estimates. Epidemiology 1994. 5:124 - 127

162) DeRosa, E.; Cellini, M.; Sessa, G.; et al.: The Importance of Sampling Time and Coexposure to Acetone in the Biological Monitoring of Styrene- Exposed Workers. Appl. Occup. Environ. Hyg. 1996. 11:471 - 475

163) Deubner D; Kent M: Keeping beryllium workers safe: An enhanced preventative model. J Occup Environ Hyg 2007. 4:D23 - D30

164) Eriksen SP; Kulkarni AB: Methanol in normal human breath. Science 1963. 141:639 - 640

165) Esso Research and Engineering Co: Acute inhalation and human

sensory irritation studies on cyclopentanone, isophorone, dihydroisophorone, cyclohexanone, and methyl isobutyl ketone. NTIS/OTS 02206266; cited in reference 1965.

166) El-Sadik, Y.M.; El-Dakhakhny, A.A.: Effects of Exposure of Workers to Mercury at a Sodium Hydroxide Producing Plant. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1970. 31:705 - 710

167) Engstrom, K.; Harkonen, H.; Kalliokoski, P.; et al.: Urinary Mandelic Acid Concentration after Occupational Exposure to Styrene and Its Use as a Biological Exposure Test. Scand. J. Work Environ. Health 1976. 2:21 - 26

168) Ebner H, Lindemayr H Ulcus cruris und allergisches Kontaktekzem (Leg ulcer and allergic eczematous contact dermatitis) (German). Wien Klin Wochenschr 1977. 89: 184 - 188

169) Engstrom, J.; Astrand, I.; Wigaeus, E.: Exposure to Styrene in a Polymerization Plant. Uptake in the Organism and Concentration in Subcutaneous Adipose Tissue. Scand. J. Work Environ. Health 1978. 4:324 - 329

170) Eberhartinger C Beobachtungen zur Haufigkeit von Kontaktallergien (Comments on the incidence of contact allergy) (German). Z Hautkr 1984. 59: 1283 - 1289

171) Edling, C.; Ekberg, K.: No Acute Behavioral Effects of Exposure to Styrene: A Safe Level of Exposure? Br. J. Ind. Med. 1985. 42:301 - 304

172) Enders F frequency of patch test reactions in 12993 patients of the dermatological clinic and outpatient department of the iniversity munich from 1986. 1977-1983

173) Echeverria D; Fine L; Langolf G; et al.: Acute neurobehavioural effects of toluene. Br J Ind Med 1989. 46:483 - 495

174) Erfurth, E.M.; Schutz, A.; Nilsson, A.; et al.: Normal Pituitary Hormone Response to Thyrotrophin and Gonadotrophin Releasing Hormones in Subjects Exposed to Elemental Mercury Vapour. Br. J. Ind. Med. 1990. 47:639 - 644

175) Ehrenberg, R.L.; Vogt, R.L.; Smith, A.B.; et al.: Effects of Elemental Mercury Exposure at a Thermometer Plant. Am. J. Ind. Med. 1991. 19:495 - 507

176) Eguchi, T.; Kishi, R.; Harabuchi, I.; et al.: Impaired Colour Vision Among Workers Exposed to Styrene: Relevance of a Urinary Metabolite. Occup. Environ. Med. 1995. 52:534 - 538

177) Evers, A.S.: Cellular and Molecular Mechanisms of Anesthesia. In: Clinical Anesthesia. P.G. Barash, et. al., Eds. Lippincott - Raven Publishers, Philadelphia 1996.

178) Eisenbud M; Kotin P; Miller F; et al.: Is beryllium carcinogenic in humans? J Occup Environ Med 1997. 39:205 - 208

179) Ellingsen DG; Konstantinov R; Bast-Pettersen R; et al.: Neurobehavioral study of current and former welders exposed to manganese. Neurotoxicology 2008. 29:48 - 59

180) Forbes, W. H., D. Dill, H. Silva, F. H. Deventa: J. industr. Hyg. 1937. 19, 598

181) Flinn RH; Neal PA; Reinhart WH; et al.: Chronic Manganese Poisoning in an Ore-Crushing Mill. US Public Health Service (PHS) Bulletin No 247. US PHS, Washington, DC 1940.

182) Fairhall LT; Neal PA: Industrial Manganese Poisoning. National Institutes of Health (NIH) Bulletin. NIH, Washington, DC 1943. No 182

183) Fairhall, L.T.: Industrial Toxicology. The Williams & Wilkins Co., Baltimore, MD 1949.

184) Fairhall, L.T.; Keenan, R.G.; Brinton, H.P.: Cobalt and the Dust Environment of the Cemented Tungsten Carbide Industry. Pub. Health Rep. 1949. 64:485 - 490

185) Freiman DG; Hardy HL: Beryllium disease. The relation of pulmonary pathology to clinical course and prognosis based on a study of 130 cases from the US Beryllium Case Registry. Hum Pathol 1970. 1(1):25 - 44

186) Forni A: Chromosome studies in workers exposed to benzene or toluene or both. Arch Environ Health 1971. 22:373-378

187) Fodor, G. G., G. Winneke: Staub-Reinhalt. Luft 1972. 32, 169

188) Foa, L.; Caimi, L.; Amante, L.; et al.: Patterns of Some Lysosomal Enzymes in the Plasma and of Proteins in Urine of

Workers Exposed to Inorganic Mercury. Int. Arch. Occup. Environ. Health 1976. 37:115 - 124

189) Fawer, R.F.; DeRibaupierre, Y.; Guillemin, M.P.; et al.: Measurement of Hand Tremor Induced by Industrial Exposure to Metallic Mercury. Br. J. Ind. Med. 1983. 40:204 - 208

190) Foulds, D.M.; Copeland, K.; Franks, R.: Mercury Poisoning and Acrodynia. Am. J. Dis. Child. 1987. 141:124 - 125

191) Foo SC; Jeyaratnam J; Koh D: Chronic neurobehavioural effects of toluene. Br J Ind Med 1990. 47:480 - 484

192) Fallas, C.; Fallas, J.; Maslard, P.; et al.: Subclinical Impairment of Colour Vision Among Workers Exposed to Styrene. Br. J. Ind. Med. 1992. 49:679 - 682

193) Fischbein, A.; Jun - Chyuan, J.L.; Solomon, S.J.; et al.: Clinical Findings Among Hard Metal Workers. Br. J. Ind. Med. 1992. 49:17 - 24

194) Filley CM; Halliday W; Kleinschmidt-DeMasters BK: The effects of toluene on the central nervous system. J Neuropathol Exp Neurol 2004. 63:1 - 12

195) Fitsanakis VA; Zhang N; Avison MJ; et al.: The use of magnetic resonance imaging (MRI) in the study of manganese neurotoxicity. Neurotoxicology 2006. 27:798 - 806

196) Grabski DA: Geriatric in-patients. the precipitating cause of

admittance to the state hospital. Calif Med 1961. 94:178 - 180

197) Grudzinska, B.: Folia med. Cracov 1963. 5, 493

198) Groll-Knapp, E., H. Wagner, H. Hauck, M. Haider: Staub-Reinhalt. Luft 1972. 32, 185

199) Gamberale, F.; Hultengren, M.: Exposure to Styrene. II. Psychological Functions. Work Environ. Health 1974. 11:86 - 93

200) Gamberale F, Annwall G, Hultengren M Exposure to methylene chloride. II. Psychological functions. Scand J Work Environ Health 1975. 2: 95 - 103

201) Gamberale, F.; Lisper, H.O.; Olson, B.A.: The Effect of Styrene Vapour on the Reaction Time of Workers in the Plastic Boat Industry. In: Adverse Effects of Environmental Chemicals and Psychotropic Drugs, M. Horvath et al., Eds. Elsevier, Amsterdam 1976. pp. 135 - 148

202) Gatti, G.L.; Macri, A.; Silano, V.: Biological and Health Effects of Mercury. In: Trace Metals: Exposure and Health Effects, pp. 73 - 89. E. deFerranta, Ed. Proceedings of the Research Seminar held at the University of Surry, Guildford, United Kingdom. Commission of the European Communities. Pub. EUR 6389 en. Pergamon Press, New York 1979.

203) Greener Y; Martis L; Indacochea-Redmond N: Assessment of the toxicity of cyclohexanone administered intravenously to Wistar and Gunn rats. J Toxicol Environ Health 1982. 10:385 -

396

204) Gosselin RE; Smith RP; Hodge HC: Clinical Toxicology of Commercial Products, Section III, Therapeutics Index, Williams & Wilkins, Baltimore 1984. pp 275 - 279

205) Gosselin RE; Smith RP; Hodge HC: Clinical Toxicology of Commercial Products, Section III, -Therapeutics Index, Williams & Wilkins, Baltimore 1984. pp 275 - 279

206) Ginsberg, M.D.: Carbon Monoxide Intoxication: Clinical Features, Neuropathology and Mechanisms of Injury. Clin. Toxicol. 1985. 23(4 - 6):281 - 288

207) Guillemin, M.P.; Berode, M.: Biological Monitoring of Styrene. A Review. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1988. 49:497 - 505

208) Guillemin, M.P.; Berode, M.: Biological Monitoring of Styrene. A Review. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1988. 49:497 - 505

209) Greenberg, G.N.; Levine, R.J.: Urinary Creatinine Excretion Is Not Stable: A New Method for Assessing Urinary Toxic Substance Concentrations. J. Occup. Med. 1989. 31:832 - 838

210) Grigoreva IK Study of the activities on membrane-bound leukocyte enzymes in chronic acrylonitrile intoxication under experimental and industrial conditions. Gig Tr Prof Zabol 1990. 11: 8 - 31

211) GDCh-Advisory Committee on Existing Chemicals of

Environmental Relevance: Styrene (Ethenylbenzene). BUA Report 48. Beratergremium fur Umweltrelevante Altstoffe. VCH Publishers, New York 1990.

212) Gobba, F.; Galassi, C.; Imbriani, M.; et al.: Acquired Dyschromatopsia Among Styrene-Exposed Workers. J. Occup. Med. 1991. 33:761 - 765

213) Gobba, F.; Cavalleri, A.: Kinetics of Urinary Excretion and Effects on Colour Vision After Exposure to Styrene. In: Butadiene and Styrene: Assessment of Health Hazards, M. Sorsa, K. Peltonen, H. Vainio, and K. Hemminki, Eds. IARC Scientific Publications No. 27. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France 1993. pp. 79 - 88

214) Gibbs, G.W.; Amsel, J.; Soden, K.: A Cohort Mortality Study of Cellulose Triacetate-Fiber Workers Exposed to Methylene Chloride. J. Occup. Environ. Med. 1996. 38(7):693 - 697

215) Gibbs JP; Crump KS; Houck DP; et al.: Focused medical surveillance: a search for subclinical movement disorders in US workers exposed to low levels of manganese dust. Neurotoxicology 1999. 20:299 - 314

216) Grahm DG: Letter to the editor. Environ Res 2000. 82(SecA):181 - 183

217) Gobba F; Cavalleri A: Color vision impairment in workers exposed to neurotoxic chemicals. Neurotoxicology 2003. 24:693 -

702

218) GHS Editorial Group. Globally Harmonized System of Classification and Labelling Chemicals. 2006

219) Henderson Y; Haggard HW: Noxious Gases, Reinhold Publishing Corp, New York 1943. p 218.

220) Henderson, Y.; Haggard, H.W.: Noxious Gases, 2nd ed. Reinhold Publishing Corp., New York 1943.

221) Holstein, E.: Arch. Gewerbepath. u. Gewerbehyg. 1955. 13:522

222) Henson EV: The toxicology of some aliphatic alcohols, Part II. J Occup Med 1960. 2:497 - 502

223) Hamilton, A.; Hardy, H.L.: Industrial Toxicology, 3rd ed. Publishing Sciences Group, Action, U.K. 1974.

224) Hunter D: The Diseases of Occupations, 5th ed, English Universities Press, London 1975. p 428

225) Hogstedt, B.; Hender, K.; Mark-Vendel, E.; et al.: Increased Frequency of Chromosome Aberrations in Workers Exposed to Styrene. Scand. J. Work Environ. Health 1979. 5:333 - 335

226) Hogstedt, B.; Akesson, B.; Axell, K.; et al.: Increased Frequency of Lymphocyte Micronuclei in Workers Producing Reinforced Polyester Resin with Low Exposure to Styrene. Scand. J. Work Environ. Health 1983. 9:241 - 246

227) Hansteen, I.L.; Jelmert, O.; Torgrimsen, T.; et al.: Low Human Exposure to Styrene in Relation to Chromosome Breaks, Gaps and Sister-Chromatid Exchanges. Hereditas 1984. 100:87 - 91

228) Heseltine, E.; Peltonen, K.; Sorsa, M.; et al.: Assessment of the Health Hazards of 1,3-Butadiene and Styrene. J. Occup. Med. 1993. 35:1089 - 1095

229) Hemminki, K.; Franssila, E.; Vainio, H.: Spontaneous Abortions Among Female Chemical Workers in Finland. Int. Arch. Occup. Environ. Health 1980. 45:123 - 126

230) Harkonen, H.; Holmberg, P.C.: Obstetric Histories of Women Occupationally Exposed to Styrene. Scand. J. Work Environ. Health 1982. 8:74 - 77

231) Hillerdal, G.; Hartung, M.: On Cobalt in Tissues from Hard Metal Workers. Int. Arch. Occup. Environ. Health 1983. 53:89 - 90

232) Hearne, F.T.; Grose, F.; Pifer, J.W.; et al.: Methylene Chloride Mortality Study: Dose - Response Characterization and Animal Model Comparison. J. Occup. Med. 1987. 29(3):217 - 228

233) Hearne, F.T.; Pifer, J.W.; Grose, F.: Absence of Adverse Mortality Effects in Workers Exposed to Methylene Chloride: An Update. J. Occup. Med. 1990. 32(3):235 - 240

234) Huang CC; Lu CS; Chu NS; et al.: Progression after chronic manganese exposure. Neurology 1993. 43:248 - 249

235) Huang CC; Chu NS; Lu CC; et al.: Long-term progression in chronic manganism: Ten years of follow-up. Neurology 1998. 50:698 - 700

236) Henneberger P; Goe S; Miller W; et al.: Industries in the United States with airborne beryllium exposure and estimates of the number of current workers potentially exposed. J Occup Environ Med 2004. 1:648 - 659

237) Health and Safety Executive (U.K). Methods for the Determination of Hazardous Substances (MDHS) guidance. www.hse.gov.uk/pubns/mdhs.

238) Iyer, K.; Goldgood, J.; Eberstein, A.; et al.: Mercury Poisoning in a Dentist. Arch. Neurol. 1976. 33:788 - 790

239) International Programme on Chemical Safety (IPCS): Manganese. Environmental Health Criteria 17. World Health Organization, Geneva 1981.

240) Iregren A: Effects on psychological test performance of workers exposed to a single solvent (toluene) - a comparison with effects of exposure to a mixture of organic solvents. Neurobehav Toxicol Teratol 1982. 4:695 - 701

241) International Agency for Research on Cancer: IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Suppl. IARC, Lyon, France 1982. 4, pp. 25 - 27

242) International Agency for Research on Cancer: IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Suppl. IARC, Lyon, France 1982. 4, pp. 25 - 27

243) IARC Monographs, 1984. 34,37-64

244) Insogna, S.; Warren, C.A.: The Effects of Carbon Monoxide on Psychomotor Function. In: Trends in Ergonomics/Human Factors I. A. Mital, Ed. Elsevier, North-Holland 1984.

245) IARC Monographs, 1985. 35,83-159

246) Iregren A: Psychological test performance in foundry workers exposed to low levels of manganese. Neurotoxicol Teratol 1990. 12:673 - 675

247) International Agency for Research on Cancer: Consensus report. In: Species Differences in Thyroid, Kidney, and Urinary Bladder Carcinogenesis. IARC Scientific Pub. IARC, Lyon, France 1998. No. 147.

248) IVDK (Informationsverbund Dermatologischer Kliniken) Datenbankauszug (database excerpt) (German), IVDK, Gottingen, 2005.

249) Jobs, H.; Ballhausen, C. Vertrauensarzt 8:142 1940. cited by Farrell et al. in reference

250) Kesic B; Hausler V. Hematological investigation on workers

exposed to manganese dust. Arch Ind Hyg Occup Med 1954. 10:336 - 343

251) Kingsley WH; Hirsch FC. Toxicologic considerations indirect process spirit duplicating machines. Compen Med 1955. 40:7 - 8

252) Knox JW; Nelson JR. Permanent encephalopathy from toluene inhalation. N Engl J Med 1966. 275:1494 - 1496

253) Koos, B.J.; Longo, L.D. Mercury Toxicity in the Pregnant Woman, Fetus, and Newborn Infant. Am. J. Obstet. Gynecol. 1976. 126:390 - 409

254) Kahn A; Blum D. Methyl alcohol poisoning in an 8-month-old boy. An unusual route of intoxication. J Pediatr 1979. 94:841 - 843

255) Kjellberg, A.; Wigaeus, E.; Engstrom, J. et al.: Long-Term Effects of Styrene Exposure in Plastic Industry. Arbete Och Halsa 1979. 18:1 - 25 (in Swedish)

256) Kindwal, E.P. Zenz, C.: Developments in Occupational Medicine, pp. 85 - 92. C. Zenz, Ed. 1980. Yearbook Medical Publishers

257) Kjuus, H., Andersen, A. & LangÏird, S. 1986 Incidence of cancer among workers producing calcium carbide. Br. J. ind. Med., 43, 237-242

258) Kavet R; Nauss KM. The toxicity of inhaled methanol vapors. Crit Rev Toxicol 1990. 21:21 - 50

259) Kreiss LS; Mroz MM. Zhen B; et al. Epidemiology of beryllium sensitization and disease in nuclear workers. Am Rev Respir Dis 1993. 148:985 - 991

260) Kreiss K; Wasserman S; Mroz MM. et al. Beryllium disease screening in the ceramics industry. J Occup Med 1993 35:267 - 274

261) Kogevinas, M. Ferro, G.; Saracci, R.; et al. IARC Multicentric Cohort Study of Workers Exposed to Styrene. International Symposium on Health Hazards of Butadiene and Styrene, p. 63 1993. innish Institute of Occupational Health, Helsinki

262) Kreiss K; Mroz MM. Newman LS; et al. Machining risk of beryllium disease and sensitization with median exposures below 2 μg/m3. Am J Ind Med 1996. 30:16 - 25

263) Kreiss K; Mroz MM; Zhen B; et al.: Risks of beryllium disease related to work process at a metal, alloy, and oxide production plant. Occup Environ Med 1997. 54:605 - 612

264) Kreiss K; Mroz MM; Zhen B; et al.: Risks of beryllium disease related to work process at a metal, alloy, and oxide production plant. Occup Environ Med 1997. 54:605 - 612

265) Kogevinas, M. Ferro, G.; Saracci, R.; et al. IARC Multicentric Cohort Study of Workers Exposed to Styrene. International Symposium on Health Hazards of Butadiene and Styrene, p. 63 1993. innish Institute of Occupational Health, Helsinki

266) Lehmann, K.B.; Flury, F..Toxicology and Hygiene of Industrial Solvents. 1943 Williams & Wilkins Company, Baltimore

267) Lloyd Davies TA. Manganese pneumonitis. Br J Ind Med 1946. 3:111 - 135 1946.

268) Longley EO; Jones AT; Welch R; Lomaev O. Two acute toluene episodes in merchant ships. Arch Environ Health 1967. 14:481 - 487

269) Lauwerys, R.P.; Buchet, J.P. Occupational Exposure to Mercury Vapors and Biological Action. Arch. Environ. Health 1973. 27:65 - 68

270) Lorimer, W.V.; Lilis, R.; Nicholson, W.J. et al Clinical Studies of Styrene Workers. Initial Findings. Environ. Health Perspect. 1976. 17:171 - 181

271) Langolf, G.D.; Chafin, D.B.; Henderson, R. Whittle, H.P.:Evaluation of Workers Exposed to Elemental Mercury Using Quantitative Tests of Tremor and Neuromuscular Functions. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1978. 39:976 - 984

272) Levine, S.; Cavender, G.D.; Langolf, G. Early Detection of Subclinical Mercury Neuropathy. Acta. Neurologia Scand. 1979.60(Suppl. 73):257

273) Lilis, R.; Lorimer, W.V.; Diamond, S. et al.: Neurotoxicity of Styrene in Production and Polymerization Workers. Environ. Res. 1978. 15:133 - 138 1978.

274) Lien, D.C.; Todoruk, D.N.; Rajani, H.R. et al.: Accidental Inhalation of Mercury Vapour: Respiratory and Toxicologic Consequences. Can. Med. Assoc. J. 1983. 129:591 - 595

275) laboratory employees. Br J Ind Med 41:305 - 312 1984.

276) Lindbohm, M.L.; Hemminki, K.; Kyyronen, P. Spontaneous Abortions Among Women Employed in the Plastics Industry. Am. J. Ind. Med. 1985.8:579 - 586

277) Lauwerys, R.; Roels, H.; Genet, P.; et al. Fertility of Male Workers Exposed to Mercury Vapor or to Manganese Dust: A Questionnaire Study. Am. J. Ind. Med 1985. 7:171 - 176 1985..

278) Lilis, R.; Miller, A.; Lernan, Y. Acute Mercury Poisoning with Severe Chronic Pulmonary Manifestation. Chest 1985. 82:306 - 309 1985.

279) Lijinsky W; Kovatch RMJ. Chronic toxicity study of cyclohexanone in rats and mice. J Natl Cancer Inst 1986.77:941 - 949 1986.

280) Langan, D.C.; Fan, P.L. Hoos, A.A. The Use of Mercury in Dentistry: A Critical Review of the Recent Literature. J. Am. Dent. Assoc. 1987. 115:867 - 879 1987.

281) Levin, M.; Jacobs, J.; Polos, P.G. Acute Mercury Poisoning and Mercurial Pneumonitis from Gold Ore Purification. Chest 1988.94:554 - 556

282) Larsen F; Leira HL Organic brain syndrome and long-term exposure to toluene: a clinical, psychiatric study of vocationally active printing workers. J Occup Med 1988. 30:875 - 878

283) Lemasters, G.K.; Samuels, S.J.; Morrison, J.A. et al.: Reproductive Outcomes of Pregnant Workers Employed at 36 Reinforced Plastics Companies. II. Lowered Birth Weight. J. Occup. Med. 1989.31:115 - 120

284) Lanes, S.F.; Cohen, A.; Rothman, K.J. et al. Mortality of Cellulose Fiber Production Workers. Scand. J. Work Environ. Health 1990. 16:247 - 251

285) Lindbohm ML; Taskinen H; Sallmen M. Hemminki K. Spontaneous abortions among women exposed to organic solvents. Am J Ind Med 1990. 17:449 - 463

286) Lash, A.A.; Becker, C.E. So, Y.; et al. Neurotoxic Effects of Methylene Chloride: Are They Long Lasting in Humans Br. J. Ind. Med. 1991. 48:418 - 426

287) Lucchini R; Apostoli P; Perrone C. et al. Long-term exposure to “low levels” of manganese oxides and neurofunctional changes in ferroalloy workers. Neurotoxicology 1999. 20:287 - 298

288) Luderer U; Morgan MS; Brodkin CA. et al. Reproduc-tive endocrine effects of acute exposure to toluene in men and women. Occup Environ Med 1999. 56:657-666

289) Laohaudomchok W; Yin X; Herrick RF. et al.: Neuropsychological effects of low-level manganese exposure in welders. Neurotoxicology 2011.32:171 - 179 2011.

290) McFarland, R. A., F. J. W. Roughton, M. H. Halperin, J. J. Niven: Aviation Med. 1944 15, 381

291) Miller, C.W.; Davis, M.W. Goldman, A.; Wyatt, J.P. Pneumoconiosis in the Tungsten-Carbide Tool Industry. AMA Arch. Ind. Hyg. Occup. Med. 1953. 8:453 - 465

292) McAllister RG. Exposure to methanol from spirit duplicating machines. Am Ind Hyg Assoc Q 1954. 15:26 - 28

293) Morgan JG. Some obervations on the incidence of respiratory cancer in nickel workers. Br J Ind Med 1958. 15:224 - 234

294) Meneghini CL, Rantuccio F, Riboldi A 1963 Klinisch-allergologische Beobachtungen bei beruflich ekzematosen Kontakt-Dermatosen (Clinical allergological observations on occupational eczematous contact dermatitis) (German). Kontakt-Dermatosen 11: 280 - 293

295) Malten KE 1969 Results of an additional standard series patch testing series in 1000 patients. Contact Dermatitis Newslett 6: 139

296) Mancuso TF. el-Attar AA: Epidemiological study of the beryllium industry. Cohort methodology and mortality studies. J Occup Med 1969. 11:422 - 434 1969

297) Mikulka, P., R. O'Donnel, P. Hennig, J. Theodore: Fifth Annual Conference on Atmospheric Contamination in Confined Spaces, Air Force Aerospace Medical Research Laboratory. 1969 Wright-Patterson Air Force Base. Dayton, Ohio

298) Mancuso TF. Relation of duration of employment and prior respiratory illness to respiratory cancer among beryllium workers. Environ Res 1970 .3:251 - 275

299) Morgan, A.; Black, A.; Belcher, D.R. Studies on the Absorption of Halogenated Hydrocarbons and Their Excretion in Breath Using 38Cl Tracer Techniques. Ann. Occup. Hyg. 1972. 15:273 - 282

300) McFarland, R. A.: Arch. environm. Hlth 1973. 27, 355

301) Malten KE, Kuiper JP, van der Staak WBJM 1973 Contact allergic investigations in 100 patients with ulcus cruris. Dermatologica 147: 241 - 254

302) Meretoja, T.; Vainio, H. Sorsa, M.; et al. Occupational Styrene Exposure and Chromosomal Aberrations. Mutat. Res .1977. 56:193 - 197

303) Meretoja, T. Jarventaus, H.; Sorsa, M.; et al. Chromosome Aberrations in Lymphocytes of Workers Exposed to Styrene. Scand. J. Work Environ. Health 1978. 4:259 - 264

304) McFarland, R.B.; Reigel H. Chronic Mercury Poisoning from a Single Brief Exposure. J. Occup. Med. 1978. 20:532 - 534

305) Moriearty PL, Pereira C, Guimaraes NA 1978 Contact dermatitis in Salvador, Brazil. Contact Dermatitis 4: 185 - 189

306) Mancuso TF. Occupational lung cancer among beryllium workers. In: Dust and Disease, pp 1979. 463. Pathotox Publishers, Park Forest, IL

307) Mancuso TF. Mortality study of beryllium industry workers' occupational lung cancer. Environ Res 1980. 21:48 - 55

308) Markowitz, L.: Schaumburg, H.H. Successful Treatment of Inorganic Mercury Neurotoxicity with N-Acetyl-Penicillamine Despite an Adverse Reaction. Neurology 1980. 30:1000 - 1001

309) Mihevic, P.M.; Gliner, J.A.; Horvath, S.M. Carbon Monoxide Exposure and Information Processing During Perceptual - Motor Performance. Int. Arch. Occup. Environ. Health 1983. 51:355 - 363

310) Meyer, B.R.; Fischbein, R.; Rosenman, K. et al. Increased Urinary Enzyme Excretion in Workers Exposed to Nephrotoxic Chemicals. Am. J. Med. 1984. 76:989 - 990

311) Mackert, J.R. Factors Affecting Estimation of Dental Amalgam Mercury Exposure from Measurements of Mecury Vapor Levels in Intra-Oral and Expired Air: J. Dent. Res. 1987. 66:1775 - 1780

312) Maltoni, C.; Ciliberti, A.; Cotti, G.; Perino, G. Experimental Research on Acrylonitrile Carcinogenesis. Princeton Scientific Publication Co., Princeton, 1987. NJ

313) Mergler, D.; Blain, L.; Lagace, J.P. Solvent Related Colour Vision Loss: An Indicator of Neural Damage. Int. Arch. Occup. Environ. Health 1987. 59:313 - 321

314) Mraz J; Galova E; Nohova H; et al.: Effect of ethanol on the urinary excretion of cyclohexanol and cyclohexanediols, biomarkers of the exposure to cyclohexanone, cyclohexane, and cyclohexanol in humans. Scand J Work Environ Health 25:233 - 237 (1999). Fiorentini, E. Tani, A. Retrobulbar Neuritis in a Worker Exposed to Vinylbenzene (Styrene). Med. Lav.1987. 78:380 - 385

315) McDonald JC; Lavoie J; Cote R; McDonald AD. Chemical exposures at work in early pregnancy and congenital defect: a case-referent study. Br J Ind Med 1987. 44:527 - 533

316) Muijser, H.; Hoogendijk, E.M.G.; Hooisma, J. The Effect of Occupational Exposure to Styrene on High-Frequency Thresholds. Toxicology 1988. 49:331 - 340

317) Melkonian, R.; Baker, D. Risks of Industrial Mercury Exposure in Pregnancy. Obstet. Gynecol. Surv. 1988. 43:637 - 641

318) Mercury Elemental and Inorganic. Recommended Biological Exposure Indices. Appl. Occup. Environ. Hyg. August 1990. 5(8):545 - 552

319) Meulenbelt J; de Groot G; Savelkoul TJ. Two cases of acute toluene intoxication. Br J Ind Med 1990. 47:417 - 420

320) Morbidity and Mortality Weekly Report June 14, 1991.40(23):393 - 395 Maki-Paakkanen, J.; Walles, S.; Osterman-Golkar, S.; et al. Single-Strand Breaks, Chromosome Aberrations, Sister-Chromatid Exchanges and Micronuclei in Blood Lymphocytes of Workers Exposed to Styrene During the Production of Reinforced Plastics. Environ. Mol. Mutagen. 1991 17:27 - 32 1991.

321) Mergler, D.; Campagna, D. Belanger, S.; et al. Neurotoxic Effects Among Styrene-Exposed Workers. II. Neurophysiological and Behavioral Changes. Travail et Sante 1992. 8(2):S16 - S21

322) MacMahon B. The epidemiological evidence on the carcinogenicity of beryllium in humans. J Occup Med 1994. 36:15 - 24

323) Muttray A; Wolters V; Mayer-Popken O. et al. Effect of subacute occupational exposure to toluene on color vision. Int J Occup Med Environ Health 1995. 8:339 - 345

324) Mosconi, G. Leghissa, P.Mraz,J; Galova E; Nohova H; Vitkova D. 1,2- and 1,4-Cyclohexanediol: major urinary metabolites and biomarkers of exposure to cyclohexane, cyclohexanone, and cyclohexanol in humans. Int Arch Occup Environ Health 1998. 71:560 - 565

325) Mraz,J; Galova E; Nohova H; Vitkova D. 1,2- and 1,4-Cyclohexanediol: major urinary metabolites and biomarkers of exposure to cyclohexane, cyclohexanone, and cyclohexanol in

humans. Int Arch Occup Environ Health 1998. 71:560 - 565

326) Muttray A; Wolters V; Jung D; Konietzko J. Effects of high doses of toluene on color vision. Neurotoxicol Teratol 1999. 21:41 - 45

327) Mraz J; Galova E; Nohova H; et al. Effect of ethanol on the urinary excretion of cyclohexanol and cyclohexanediols, biomarkers of the exposure to cyclohexanone, cyclohexane, and cyclohexanol in humans. Scand J Work Environ Health 1999.25:233 - 237

328) Maier LA. Beryllium health effects in the era of the beryllium lymphocyte proliferation test. Appl Occup Environ Hyg 2001. 16:514 - 520

329) Myers JE; Thompson ML; Ramushu S. et al. The utility of biological monitoring for manganese in ferroalloy smelter workers in South Africa. Neurotoxicology 2003a. 24:875 - 883

330) Myers JE. Thompson ML; Ramushu S; et al. The nervous system effects of occupational exposure of workers in a South African manganese smelter. Neurotoxicology 2003b. 24: 885 - 894

331) Madl AK; Unice K; Brown J; et al. Beryllium sensitization and chronic beryllium disease in a beryllium metal machining plant: analysis of beryllium exposure and implications for an occupational exposure limit. J Occup Environ Hyg 2007. 4(6):448

- 466

332) Nordenson, I. Beckman, L. Chromosomal Aberrations in Lymphocytes of Workers Exposed to Low Levels of Styrene. Hum. Hered. 1984. 34:178 - 182 1984.Nelson KW. Ege JF; Ross M. et al. Sensory response to certain industrial solvent vapors. J Ind Hyg Toxicol 1943. 25:282 - 285

333) Nielsen Kudsk, F. Uptake of Mercury Vapour in Blood in vivo and in vitro from Hg-Containing Air. Acta Pharmacol. Toxicol. 1969.27:149 - 160 1969.

334) Ng TP; Foo SC. Yoong T. Risk of spontaneous abortion in workers exposed to toluene. Br J Ind Med 1992. 49:804 - 808 1992.

335) Newman LS. Mroz MM Maier LA; et al. Efficacy of serial medical surveillance for chronic beryllium disease in a beryllium machining plant. J Occup Environ Med 2001. 43(3):231 - 237

336) Newman LS. Mroz MM Balkissoon R; et al. Beryllium sensitization progresses to chronic beryllium disease: a longitudinal study of disease risk. Am J Respir Crit Care Med2005b .171(1):54 - 60

337) National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH Manual of Analytical methods(NMAM®), 4th ed, www.cdc.gov/niosh/nmam.

338) Nakatsuka H. Watanabe T; Takeuchi Y; et al.: Absence of

blue-yellow color vision loss among

339) Ott, M.G. Skory, L.K. Holder, B.B.. et al.:Health Evaluation of Employees Occupationally Exposed to Methylene Chloride Twenty Four Hour Electrocardiographic Monitoring. Scand. J. Work Environ. Health 1983.9(Suppl. 1):26 - 30

340) Ott, M.G.. Skory, L.K.. Holder, B.B. et al.:Health Evaluation of Employees Occupationally Exposed to Methylene Chloride: Clinical Laboratory Evaluation. Scand. J. Work Environ. Health 9 1983. (Suppl 1):17 - 25 1983.

341) Ott, M.G.. Skory, L.K.. Holder, B.B.; et al.: Health Evaluation of Employees Occupationally Exposed to Methylene Chloride: Clinical Laboratory Evaluation. Scand. J. Work Environ. Health1983 9(Suppl 1):17 - 25

342) Ott, M.G.. Skory, L.K.. Holder, B.B.; et al.: Health Evaluation of Employees Occupationally Exposed to Methylene Chloride- General Study Design and Environmental Considerations. Scand. J. Work Environ. Health 1983 9(Suppl. 1):1 - 7

343) Ott, M.G.. Skory, L.K.. Holder, B.B.; et al.: Health Evaluation of Employees Occupationally Exposed to Methylene Chloride Mortality. Scand. J. Work Environ. Health 1983 9(Suppl. 1):8 - 16

344) Olson BA; Gamberale F. Iregren A. Coexposure to toluene and p-xylene in man: central nervous functions. Br J Ind Med 1985

42:117 - 122

345) Olstad, M.L.; Holland, R.I.;Wandel, N. Hensten Pettersen, A. Correlation Between Amalgam Restoration and Mercury Concentrations in Urine. J. Dent. Res. 1987. 66:1179 - 1182

346) Okabe, T.; Ferracane, J.; Cooper, C.; et al. Dissolution of Mercury from Amalgam into Saline Solution. J. Dent. Res. 1987. 66:33 - 37 1987.

347) Olsson, S.; Berglund, A.; Pohl, L. Bergman, M.: Model of Mercury Vapor Transport from Amalgam Restoration in the Oral Cavity. J. Dent. Res. 1989. 68:504 - 508

348) Orbaek P; Nise G. Neurasthenic complaints and psychometric function of toluene-exposed rotogravure printers. Am J Ind Med 1989. 16:67 - 77

349) Oltramare, M. Desbaumes, E.;Imhoff, C. et al. Toxicology of Styrene Monomer. Experimental and Clinical Studies in Man. Editions Medicine et Hygiene, Geneva

350) Ogata, M. Kenmotsu, K.; Hirota, N.; et al. Mercury Uptake in vivo by Normal and Acatalasemic Mice Exposed to Metallic Mercury Vapor (203Hg) and Injected with Metallic Mercury or Mercuric Chloride (203HgCl2). Arch. Environ. Health 1985. 40:151 - 154

351) Occupational Safety and Health Adminstration (U.S.A). Sampling and Analytical method,

www.osha.gov/dts/sltc/methods/index.html.

352) Peterson, J.E.; Stewart, R.D. Predicting the Carboxyhemoglobin Levels Resulting from Carbon Monoxide Exposures. J. Appl. Physiol. 1975.39:633 - 638

353) Pearson MA. Hoyme HE; Seaver LH; Rimsza ME. Toluene embryopathy: delineation of the phenotype and comparison with fetal alcohol syndrome. Pediatrics 1994. 93:211 - 215

354) Paramei GV; Meyer-Baron M. Seeber A. Impairments of colour vision induced by organic solvents: a metaanalysis study. Neurotoxicology2004. 25:803 - 816

355) Pero, R.W.; Bryngelsson, T. Hogstedt, B. et al. Occupational and in vitro Exposure to Styrene Assessed by Unscheduled DNA

356) Pambor M (1971) Ein p-Phenetidin-haltiges Antioxydans als berufliches Ekzematogen bei der Herstellung von Spezialfuttermischungen (A p-phenetidine-containing antioxidant as an occupational eczematogenic agent in the manufacturing of special feed mixtures) (German). Berufsdermatosen 19: 285 - 291

357) Rodier J. Manganese poisoning in Moroccan mines. Br J Indust Med 1955 12:21 - 35

358) Ray, A. M., T. H. Rockwell: Ohio State University, Dept. of Industrial Engineering. Columbus. Report Number IE-i, August 1967.

359) Ramsey, J. M.: Arch. environm. Hlth 1967. 15, 580

360) Roels, H. Lauwerys, R. Buchet, J.P. et al. Comparison of Renal Function and Psychomotor Performance in Workers Exposed to Elemental Mercury. Int. Arch. Occup. Environ. Health 1982. 50:77 - 93

361) Roels, H.;Gennart, J.-P. Lauwerys, R. et al. Surveillance of Workers Exposed to Mercury Vapor: Validation of a Previously Proposed Biological Threshold Limit Value for Mercury Concentration in Urine. Am. J. Ind. Med. 1985. 7:45 - 71

362) Rudzki E, Kleniewska D 1970. The epidemiology of contact dermatitis in Poland. Br J Dermatol 83: 543 - 545

363) Rudzki E, Kleniewska D 1971. Cross reactions between parabens and the para group. Contact Dermatitis Newslett 9: 199

364) Rudzki E, Grzywa Z 1975. Contact sensitivity in atopic dermatitis. Contact Dermatitis 1: 285 - 287

365) Roe, F.J.C.; Palmer, A.K.; Warden, A.N.: Safety Evaluation of Toothpaste Containing Chloroform. I. Long-Term Studies in Mice. J. Environ. Pathol. Toxicol. 2:799 - 819 (1979).

366) Rowe VK; McCollister SB. Alcohols. In: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd Rev ed, Vol 2C, Toxicology, pp 4528 - 4541. GD Clayton, FE Clayton, (Eds). John Wiley & Sons, New York 1982.

367) Roto, P.: Asthma, Symptoms of Chronic Bronchitis, and Ventilatory Capacity Among Cobalt and Zinc Production Workers. Scand. J. Work Environ. Health 1980. 6(Suppl. 1):1 - 49

368) Rosenman, K.D. Valciukas, J.A. Glickman, L.;et al. Sensitive Indicators of Inorganic Mercury Toxicity. Arch. Environ. Health 1986. 41:208 - 215

369) 3Roels H. Lauwerys R. Buchet JP. et al. Relationship between external and internal parameters of exposure to manganese in workers from a manganese oxide and salt producing plant. Am J Ind Med1987b. 11:297 - 305

370) Roels H. Lauwerys R; Buchet JP. et al.. Epidemiological survey among workers exposed to manganese: effects on lung, central nervous system, and some biological indices. Am J Ind Med 11:307 - 327 (1987a). [Erratum Am J Ind Med 1987. 12:119 - 120

371) Roels, H. Abdeladim, S. Ceulemans, E. Lauwerys, R. Relationships Between the Concentrations of Mercury in Air and in Blood or Urine in Workers Exposed to Mercury Vapor. Ann. Occup. Hyg. 1987. 31:135 - 145

372) Roels, H. Abdeladim, S. Braun, M. et al. Detection of Hand Tremor in Workers Exposed to Mercury Vapor: A Comparative Study of Three Methods. Environ. Res. 1989. 49:152 - 165

373) Rothman, K.J. Cancer Occurrence Among Workers Exposed to

Acrylonitrile. Scand. J. Work Environ. Health 1994. 20:313 - 321

374) Roels H; Ghyselen P. Buchet JP. et al. Assessment of the permissible exposure level to manganese in workers exposed to manganese dioxide dust. Br J Ind Med 1992. 49: 25 - 34

375) Rahill AA. Weiss B; Morrow PE; et al. Human performance during exposure to toluene. Aviat Space Environ Med 1996. 67:640 - 647

376) Roels HA. Ortega Eslava MI. Ceulemans E; et al.. Prospective study on the reversibility of neurobehavioral effects in workers exposed to manganese dioxide. Neurotoxicology 1999. 20:255 - 272 1999

377) Rosenman K; Hertzberg V; Rice R; et al.: Chronic beryllium disease and sensitization at a beryllium processing facility. Environ Health Perspect 2005. 113:1366 - 1372

378) Rosen, I.; Haeger-Aronsen, B.; Rehnstrom, S.; et al.:

379) Roberts LG; Bevans AC; Schreiner CA. Developmental and reproductive toxicity evaluation of toluene vapor in the rat. I. reproductive toxicity. Reprod Toxicol 2003. 17:649 - 658

380) Sasa M; Igarashi S; Miyazaki T; et al.: Equilibrium disorders with diffuse brain atrophy in long-term toluene sniffing. Arch Otorhinolaryngol 1978:221:163 - 169

381) Satran R; Dodson VN: Toluene habituation: report of a case. N

Engl J Med 1963:268:719 - 721 (1963).

382) Stengel B; Cenee S; Limasset JC; et al.: Immunologic and renal markers among photogravure printers exposed to toluene. Scand J Work Environ Health 1998:24:276 - 284

383) Svensson BG; Nise G; Erfurth EM; et al.: Hormone status in occupational toluene exposure. Am J Ind Med 1992:22:99 - -107

384) Svensson BG; Nise G; Erfurth EM; Olsson H: Neuroendocrine effects in printing workers exposed to toluene. Br J Ind Med 1992:49:402 - 408

385) Seaton, A.; Bishop, C.M.: Acute Mercury Pneumonitis. Br. J. Ind. Med. 1978:35:258 - 265 (1978).

386) Sauder, P.; Livardjani, F.; Jaeger, A.; et al.: Acute Mercury Chloride Intoxication. Effects of Hemodialysis and Plasma Exchange on Mercury Kinetic. J. Toxicol. Clin. Toxicol. 26(3 - 4):189 - 197 (1988).

387) Smith, R.G.; Vorwald, A.J.; Patil, L.S.; Mooney, T.F.: Effects of Exposure to Mercury in the Manufacture of Chlorine. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1970:31:687 - 700 (1970).

388) Schuckmann, F.: Study of Preclinical Changes in Workers Exposed to Inorganic Mercury in Chloralkali Plants. Int. Arch. Occup. Environ. Health 1979:44:193 - 200

389) Stonard, M.D.; Chater, B.R.; Duffield, D.P.; et al.: An Evaluation

of Renal Function in Workers Occupationally Exposed to Mercury Vapor. Int. Arch. Occup. Environ. Health 1983:52:177 - 189

390) Smith, P.J.; Langolf, G.D.; Goldberg, J.; et al.: Effects of Occupational Exposure to Elemental Mercury on Short-Term Memory. Br. J. Ind. Med. 1983:40:413 - 419

391) Singer, R.; Valciukas, J.A.; Rosenman, K.D.: Peripheral Neurotoxicity in Workers Exposed to Inorganic Mercury Compounds. Arch. Environ. Health 42(4):181 - 184 (July/August 1987).

392) Sikorski, R.; Juskiewicz, T.; Paszkowski, T.; et al.: Women in Dental Surgeries: Reproductive Hazards in Occupational Exposure to Metallic Mercury. Intl. Arch. Occup. Environ. Health 1987:59:551 - 557

393) Snapp, K.R.; Boyer, D.B.; Peterson, L.C.; Svare, C.W.: The Contribution of Dental Amalgam to Mercury in Blood. J. Dent. Res. 1989:68:780

394) Silverstein, M., Maizlish, N., Park, R. & Mirer, F. (1985) Mortality among workers exposed to coal tar pitch volatiles and welding emissions: an exercise in epidemiologic triage. Am. J. public Health, 75, 1283-1287

395) Sjostrand, T.: Scand. J. Clin. Lab. Invest. 1949:1:201 - 214

396) Stewart, R.D.; Baretta, E.D.; Platte, L.R.; et al.:

Carboxyhemoglobin Levels in American Blood Donors. JAMA 1974:229(9):1187 - 1195 (1974).

397) Sheps, D.S.; et al: Lack of Effect of Low Levels of Carboxyhemoglobin on Cardiovascular Function in Patients with Ischemic Heart Disease. Arch. Environ. Health 1987:42:108 - 116

398) Sievers, R.F.; Edwards, T.I.; Murray, A.L.: Public Health Bull. No. 278. U.S. Government Printing Office, Washington, DC (1942).

399) Stern, F.B.; et al.: Heart Disease Mortality Among Bridge and Tunnel Officers Exposed to Carbon Monoxide. Am. J. Epidemiol. 1988:128:1276 - 1288

400) Shephard, R.J.: Carbon Monoxide - The Silent Killer. Charles C. Thomas, Springfield, IL (1980).

401) Stewart, R. D., P. E. Newton, M. I Hosko, I E. Peterson: Arch. environm. Hlth 27, 155 (1973)

402) Stewart, R. D., J. E. Peterson, E. D. Baretta, R. T. Bachand: Arch. environm. Hlth 21, 154, (1970)

403) Stewart, R. D., J. E. Peterson, E. D. Baretta: Report Contract CRC-APRAC: Project No. CAPM-3-68. Coordinating Research Council Inc., 1969

404) Stewart, R. D., J. E. Peterson, T. N. Fisher, M. J. Hosko, E. D. Baretta, H. C. Dodd, A. A. Herrmann: Arch. environm. Hlth 26,

1 (1973)

405) Sievers, R. R, T. I. Edwards, A. L. Murray: National Institute of Health, Industrial Hygiene Division. Washington DC, PHS Bulletin Number 278. 1942

406) Sievers, R. F., T. I. Edwards, A. L. Murray, H. H. Schenk: J. Amer. med. Ass. 118, 585 (1942)

407) Stanton ML; Henneberger PK; Deubner DC; et al.: Sensitization and chronic beryllium disease among workers in copper-beryllium distribution centers. J Occup Environ Med 2006:48:204 - 211

408) Schuler CR; Kent MS; Deubner DC; et al.: Process-related risk of beryllium sensitization and disease in a copperberyllium alloy facility. Am J Ind Med 2005:47:195 - 205

409) Stange AW; Hilmas DE; Furman FJ; et al.: Beryllium sensitization and chronic beryllium disease at a former nuclear weapons facility. Appl Occup Environ Hyg 2001:16:405 - 471

410) Stange AW; Furman FJ; Hilmas DE: The beryllium lymphocyte proliferation test: Relevant tissues in beryllium health surveillance. Am J Industrial Med 2004:46:453 - 462

411) Sackett HM; Maier LA; Silveira LJ; et al.: Beryllium medical surveillance at a former nuclear weapons facility during cleanup operations. J Occup Environ Med 2004:46(9):953 - 961

412) Steenland K; Ward E: Lung cancer incidence among patients with beryllium disease: A cohort mortality study. J Natl Cancer Inst 1991:83:1380 - 1385

413) Sanderson WT; Ward EM; Steenland K; et al.: Lung cancer case-control study of beryllium workers. Am J Ind Med 2001:39:133 - 144

414) Schubauer-Berigan MK; Deddens JA; Steenland K; et al.: Adjustment for temporal confounders in a reanalysis of a case-control study of beryllium and lung cancer. Occup Environ Med 2008:65:379 - 383

415) Sunderman FW; Kincaid JF; Donnelley AJ; et al.: Nickel poisoning. IV. Chronic exposure of rats to nickel carbonyl: a report after one year of observation. AMA Arch Ind Health 1957:16(6):480 - 5

416) Seet RCS; Johan A; Teo CES; et al.: Inhalational nickel carbonyl poisoning in waste processing workers. Chest 128:424 - 429 (2005).

417) Shi ZC: Study on lung function and blood gas analysis of nickel carbonyl. Sci Tot Env 1994:148:299 - 301

418) Shi Z: Long-term effects of exposure to low concentrations of nickel carbonyl on workers' health, pp 273 - 279 in Nickel and Human Health: Current Perspectives. E Nieboer, JO Nriagu (Eds). Wiley, New York (1992).

419) Sakurai, H.; Kusumoto, M.: Epidemiologic Study of Health Impairment Among Acrylonitrile Workers. J. Sci. Labour (Tokyo) 1972:48:273 - 282

420) Stewart, R.D.; Dodd, H.C.; Baretta, E.D.; Schaffer, A.W.: Human Exposure to Styrene Vapor. Arch. Environ. Health 1968:16:656 - 662

421) Sandell, J.; Parkki, M.G.; Marniemi, J.; et al. Effects of Inhalation and Cutaneous Exposure to Styrene on Drug Metabolizing Enzymes in the Rat. Res. Commun. Chem. Pathol. Pharmacol. 1978:19:109 - 21

422) Seppalainen, A.M.; Harkonen, H. Neurophysiological Findings Among Workers Occupationally Exposed to Styrene. Scand. J. Work Environ. Health 1976:2:140 - 146

423) Seppalainen, A.M. Neurotoxicity of Styrene in Occupational and Experimental Exposure. Scand. J. Work Environ. Health 1978:4(Suppl. 2):181 - 183

424) Scott, D.: A Critical Review of the Cytogenetic Effects of Styrene with an Emphasis on Human Population Monitoring: A Synopsis. Crit. Rev. Toxicol. 1994:24(S1):S47 - S48

425) Sen S; Flynn MR; Du G; et al.: Manganese accumulation in the olfactory bulbs and other brain regions of "asymptomatic" welders. Toxicol Sci 2011:121:160 - 167.

426) Scarpa C, Ferrea E. Group variation in reactivity to common

contact allergens. Arch Dermatol 1966:94:589 - 591

427) Schultheiss E, Gummi und Ekzem (Rubber and dermatitis) (German), Editio Cantor, Aulendorf. 1959

428) Schwarz A, Gottmann-Luckerath J (1982) Allergenhaufigkeit bei Kontaktallergien in der Universitats-Hautklinik Koln (1970 - 1971 und 1976 - 1979) (The incidence of contact allergens at the Department of Dermatology of the University of Cologne (1970 -1971 and 1976-1979)) (German). Z Hautkr 57: 951 - 960

429) Sanmartin O; De La Cuadra J: Occupation contact dermatitis from cyclohexanone as a PVC adhesive. Contact Dermatitis 1992:27:189 - 190

430) Schaper M: Development of a database for sensory irritants and its use in establishing occupational exposure limits. Am Ind Hyg Assoc J 1993:54:488 - 544

431) Smyth, Jr., H.F.; Carpenter, C.P.; Weil, C.S.; et al.: Range Finding Toxicity Data: List VII. Am . Ind. Hyg.Assoc. J. 1969:30:470 - 476

432) Sprince, N.L.; Chamberlin, R.I.; Hales, C.A.; et al.: Respiratory Disease in Tungsten Carbide Workers. Chest 1984:86:549 - 556

433) Stewart, R.D.; Forster, H.V.; Hake, C.L.; et al.: Human Responses to Controlled Exposure to Methylene Chloride Vapor. Report No. NIOSH-MCOWENVM- MC-73-7. 1973.

434) Schwetz, B.A.; Leong, B.J.K.; Gehring, P.J. Embryo and Fetotoxicity of Inhaled Chloroform in Rats. Toxicol. Appl. Pharmacol. 1974;28:442 - 451

435) Tahti H; Karkkainen S; Pyykko K; et al.: Chronic occupational exposure to toluene. Int Arch Occup Environ Health 1981:48:61 - 69

436) Taskinen H; Kyyronen P; Hemminki K; et al.: Laboratory work and pregnancy outcome. J Occup Med 1994:36:311 - -319 (1994).

437) Taskinen H; Anttila A; Lindbohm ML; et al.: Spontaneous abortions and congenital malformations among the wives of men occupationally exposed to organic solvents. Scand J Work Environ Health 1989:15:345 - 352

438) Tunnessen, W.W.; McMahon, K.J.; Baser, M.: Acrodynia: Exposure to Mercury from Fluorescent Light Bulbs. Pediatrics 1987:79:786 - 789

439) Tubbs, R.; Gordon, D.; Gephardt, N.; et al.: Membranous Glomerulonephritis Associated with Industrial Mercury Exposure. Am. J. Clin. Pathol. 1982:77:409 - 413

440) Tinkle SS; Antonini JM; Rich BA; et al.: Skin as a route of exposure and sensitization in chronic beryllium disease. Environ Health Perspect 2003:111:1202 - 1208

441) Thiess, A.M.; Fleig, I.: Analysis of Chromosomes of Workers Exposed to Acrylonitrile. Arch. Toxicol. 1978:41:149 - 152

442) Triebig, G.; Schaller, K.H.; Valentin, H.: Investigations on Neurotoxicity of Chemical Substances at the Workplace. VII. Longtudinal Study with Determination of Nerve Conduction Velocities in Persons Occupationally Exposed to Styrene. Int. Arch. Occup. Environ. Health 1985:56:239 - 247

443) Truchon, G.; Ostiguy, C.; Drolet, D.; et al.: Neurotoxic Effects Among Styrene-Exposed Workers. I. Environmental and Biological Monitoring of Exposure. Travail et Sante 1992:8(2):S11 - S14

444) Thiess, A.M.; Friedheim, M.: Morbidity Among Persons Employed in Styrene Production, Polymerization and Processing Plants. Scand. J. Work Environ. Health 4(Suppl. 1978:2:57 - 214

445) Tanaka S; Lieben J: Manganese poisoning and exposure in Pennsylvania. Arch Environ Health 1969:19:674 - 684

446) Tjalve H; Mejare C; Borg-Neczak K: Uptake and transport of manganese in primary and secondary olfactory neurons in pike. Pharmacol Toxicol 1995:77:23 - 31

447) Tjalve H; Henriksson J; Tallkvist J; et al.: Uptake of manganese and cadmium from the nasal mucosa into the central nervous system via olfactory pathways in rats. Phamacol Toxicol 1996:79:347 - 356

448) Tjalve H; Henriksson J: Uptake of metals in the brain via olfactory pathways. Neurotoxicology 1999:20:181 - 196

449) Treon JF; Crutchfield Jr WE; Kitzmiller KV: The physiological response of animals to cyclohexane, methylcyclohexane and certain derivatives of these compounds. II. inhalation. J Ind Hyg Toxicol 1943:25:323 - 347

450) Torkelson, T.R.; Oyen, F.; Rowe, V.K.: Toxicity of Chloroform as Determined by Single and Repeated Exposure of Laboratory Animals. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1976:37:697 - 705

451) U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Toxicological Profile for Toluene (Update); online at: http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp56.html

452) U.S. National Toxicology Program. Toxicology and carcinogenesis studies of toluene (CAS No. 108-88-3) in F344/N rats and B6C3F1 mice (inhalation studies). NTP TR 371; DHHS (NIH) Pub No. 90-2826. NTP, Research Triangle Park, NC (1990).

453) U.S. National Institute for Occupational Safety and Health: Fatal accident circumstances and epidemiology: confined space incident kills two workers - company employee and rescuing fireman. NTIS Pub.No.86-224-219. FACE-85-5-1. National Technical Information Service, Springfield, VA (1984).

454) U.S. Environmental Protection Agency. AP 42, Chap. 4: Evaporation Loss Sources, Vol 1, 5th ed., 9.2-1-4.9.2-6. 1-31-2005. USEPA Office of Air Quality Planning & Standards. 6-5-2005; online at:

http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch04/final/c4s09-2.pdf.

455) U.S. Department of the Air Force: Physiology of Flight, p. 209. U.S. Air Force Pamphlet 161 - 16. USAF, Washington, DC (April 1968).

456) U.S. Environmental Protection Agency: Health Assessment Document for Acrylonitrile. Final Report EPA 600/8-82-007F; NTIS No. PB-84-149152. U.S. National Technical Information Service, Springfield, VA (October 1983).

457) U.S. National Institute for Occupational Safety and Health: Criteria for a Recommended Standard C Occupational Exposure to Acrylonitrile. DHEW (NIOSH) Pub. No. 78-116. In: NIOSH Criteria Documents Plus CD-ROM. DHHS (NIOSH) Pub. No. 97-106; NTIS Pub. No. PB-502-082. U.S. National Technical Information Service, Springfield, VA (1997).

458) U.S. National Toxicology Program: Draft Toxicology and Carcinogenesis Studies of Acrylonitrile (CAS NO. 107-13-1) in B6C3F1 Mice (Gavage Studies). TR 506. DHHS (NIH) Pub. No. 01-4440. Scheduled Peer Review May 2001. Abstract online at: http :// nieh s.nih.g ov/cgi/ iH_Index es /Res_Stat/iH_Res_Stat_Frames.html.

459) U.S. National Institute for Occupational Safety and Health: Criteria for a Recommended Standard -Occupational Exposure to Styrene. DHHS (NIOSH) Pub. No. 83-119; NTIS Pub. No. PB-84-148-295. U.S. National Technical Information Service,

Springfield, VA (1983).

460) U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Toxicological Profile for Styrene. TP-91/25. ATSDR, U.S. Public Health Service, Atlanta, GA (September 1992).

461) U.S. Environmental Protection Agency: Health Advisory. Styrene. Office of Drinking Water, U.S. EPA, Washington, DC (September 30, 1985).

462) US National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Criteria for a Recommended Standard – Occupational Exposure to Methanol. DHEW (NIOSH) Pub No 76-148 1976. In: NIOSH Criteria Documents Plus CD-ROM. DHHS (NIOSH) Pub No 97-106; NTIS Pub No PB-5022-08. US National Technical Information Service, Springfield, VA (1997)

463) U.S. National Cancer Institute: NCI Bioassay of Aniline Hydrochloride for Possible Carcinogenicity. NCI-CGTR- 130. DHEW (NIH) Pub. No. 78-1385. NCI, Bethesda, MD (1978).

464) US Environmental Protection Agency: Assessment of thyroid follicular cell tumors. Report EPA/630/R- 97/002. Risk Assessment Forum, Washington, DC (1998)

465) U.S. National Toxicology Program: Toxicology and Carcinogenesis Studies of Dichloromethane (Methylene Chloride) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Inhalation Studies). U.S. Department of Health and Human Services, Public Health

Service, Centers for Disease Control, National Institutes of Health, Research Triangle Park, NC (1986).

466) U.S. National Cancer Institute: Report on Carcinogenesis Bioassay of Chloroform. NTIS Pub. No. PB-264-018. U.S. National Technical Information Service, Springfield, VA (March 1, 1976).

467) Vrca A; Bozicevic D; Bozikov V; et al.: Brain stem evoked potentials and visual evoked potentials in relation to the length of occupational exposure to low levels of toluene. Acta Med Croatica 1997:51:215 - 219

468) Vrca A; Bozicevic D; Karacic V; et al.: Visual evoked potentials in individuals exposed to long-term low concentrations of toluene. Arch Toxicol 1995:69:337 - 340

469) Vrca A; Karacic V; Bozicevic D; et al.: Brainstem auditory evoked potentials in individuals exposed to long-term low concentrations of toluene. Am J Ind Med 1996:30:62 - 66

470) Vrca A; Karacic V; Bozicevic D; et al.: Cognitive evoked potentials V EP P300 persons occupationally exposed to low concentrations of toluene. Arh Hig Rada Toksikol 1997:48:277 - 285

471) Vroom, F.Q.; Greer, M.: Mercury Vapor Intoxication. Brain 1972:95:305 - 318

472) Verberk, M.M.; Salle, H.J.A.; Kemper, C.H.: Tremor in Workers

with Low Exposure to Metallic Mercury. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1986:47:559 - 562

473) Vimy, M.J.; Lorscheider, F.L.: Serial Measurements of Intral-Oral Air Mercury: Estimation of Daily Dose from Dental Amalgam. J. Dent. Res. 1985:64:1072 - 1075

474) Vimy, M.J.; Luft, A.J.; Lorscheider, F.L.: Estimation of Mercury Body Burden from Dental Amalgam: Computer Simulation of a Metabolic Compartmental Model. J. Am. Dent. Res. 1986:65:1415 - 1419

475) Vimy, M.J.; Lorscheider, F.L.: Intra-Oral Mercury Released From Dental Amalgam. J. Dent. Res. 1985:64:1069 - 1071

476) Visnjevac, V.; Mikov, M.: Smoking and Carboxyhemoglobin Concentrations in Mothers and Their Newborn Infants. Human Toxicol. 1986:5(3):175 - 177

477) Vorwald AJ; Reeves AL; Urban ECJ: Experimental beryllium toxicology. In: Beryllium: Its Industrial Hygiene Aspects, pp 201 - 234. HE Stokinger (Ed). Academic Press, New York (1966).

478) Von Oettingen, W.F.: The Aromatic Amino and Nitro Compounds: Their Toxicity and Potential Dangers. U.S. Public Health Service Bulletin No. 271 (1941)

479) Wilkins-Haug L: Teratogen update: toluene. Teratology 1997:55:145 - 151

480) World Health Organization. Toluene. Environmental Health Criteria 52. World Health Organization, Geneva (1985).

481) Winek CL; Wecht CH; Collom WD. Toluene fatality from glue sniffing. Pa Med 1968:71:81

482) World Health Organization, International Programme on Chemical Safety (IPCS): Inorganic Mercury. Environmental Health Criteria 118. WHO, Geneva (1991).

483) Wide, C. Mercury Hazards Arising from the Repair of Sphygmomanometers. Br. J. Med 1986:293:1409 - 1410

484) Williamson, A.M.; Teo, R.K.C.; Sanderson, J.: Occupational Mercury Exposure and Its Consequences for Behavior. Int. Arch. Occup. Environ. Health 1982:50:273 - 286

485) Wright, G.; Randell, P.; Shephard, R.J.: Carbon Monoxide and Driving Skills. Arch. Environ. Health 1973:27:349 - 354

486) Wright, G., P. Randell, R. J. Shepard: Arch. environm. Hlth 27, 349 (1973)

487) Wagoner JK; Infante PF; Bayliss DL: Beryllium: An etiologic agent in the induction of lung cancer, non neoplastic respiratory disease, and heart disease among industrially exposed workers. Environ Res 1980:21:15 - 34

488) Ward E; Okun A; Ruder A; et al.: A mortality study of workers at seven beryllium processing plants. Am J Ind Med

1992:22:885 - 904

489) Willhite, C.C.; Smith, R.P.: The Role of Cyanide Liberation in the Acute Toxicity of Aliphatic Nitriles. Toxicol. Appl. Pharmacol. 1981:59:589 - 602

490) Ward, C.E.; Starr, T.B.: Comparison of Cancer Risks Projected from Animal Bioassays to Epidemiologic Studies of Acrylonitrile -Exposed Workers. Reg. Toxicol. Pharmacol. 1993: 18 : 214 - 232

491) WHO (World Health Organization) (1983) Acrylonitrile. IPCS - Environmental health criteria 28, WHO, Geneva, Switzerland

492) Wilson, H.K.; Robertson, S.M.; Waldron, H.A.; et al.: ffect of Alcohol on the Kinetics of Mandelic Acid xcretion in Volunteers Exposed to Styrene Vapor. Br. J. Ind. Med. 1983:40:75 - 80

493) Wedler FC: Biochemical and Nutritional Role of Manganese: An Overview. In: Manganese in Health and Disease, pp 1 - 36. DJ Klimis-Tavantzis (Ed). CRC Press, Boca Raton, FL (1994).

494) Wennberg A; Iregren A; Struwe G; et al.: Manganese exposure in steel smelters a health hazard to the nervous system. Scand J Work Environ Health 1991:17:255 - 262

495) Wennberg A; Hagman M; Johansson J: Preclinical neurophysiological signs of Parkinsonism in occupational manganese exposure. Neurotoxicology 1992:13:271 - 274

496) Ward, E.; Carpenter, A.; Roberts, D.; Halperin, W.: Excess Bladder Cancer in Workers Exposed to ortho- Toluidine and Aniline. J. Natl. Cancer Inst. 1991:83:501 - 506

497) Winneke, G.: Behavioral Effects of Methylene Chloride and Carbon Monoxide as Assessed by Sensory and Psychomotor Performance. In: Behavioral Toxicology Early Detection of Occupational Hazards. C. Xintaras, B.L. Johnson, and I. de Groot, Eds. National Institute for Occupa-tional Safety and Health, Washington, DC (1974).

498) Winneke G (1981) The neurotoxicity of dichloromethane. Neurobehav Toxicol Teratol 3: 391 - 395

499) Young T; Myers JE; Thompson ML: The nervous system effects of occupational exposure to manganese—measured as respirable dust—in a South African manganese smelter. Neurotoxicology 2005:26:993 - 1000

500) Zavalic M; Mandic Z; Turk R; et al. Quantitative assessment of color vision impairment in workers exposed to toluene. Am J Ind Med 1998:33:297 - 304

501) Zeller H, Hofmann HT, Thiess AM, Hey W (Toxicity of nitriles [results of animal experiments and 15 years of experience in industrial medicine]) (German). Zentralbl Arbeitsmed 1969:19:225 - 238

502) Zielhuis, R.L.: Systemic Toxicity from Exposure to Epoxy

Resins, Hardners, and Styrene. J. Occup. Med. 1961:3:25 - 29

503) Zundel W (1936) Erfahrungen mit Hautfunktionsprufungen an 2000 Patienten (Experiences with skin function testing in 2000 patients) (German). Arch Dermatol Syph 2000:173: 435 - 472

# 부 록

## [부록-1] 연구대상물질 15종 관련 국내 직업병 사례 조사 결과

| 순번 | 발생년도 | 물질명 | 노출량 | 성별 | 나이 | 직종 | 발생 직업병 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2006년~2007년 | 톨루엔 | 3년 10개월 근무, 노출수준이 상당함, 환기 불량 | 여 | 51세 | 전기기기 제조공 | 다발성신경병증 |
| 2 | 2006년~2007년 | 톨루엔 | 12년 근무, 퇴직후 증상호전, 잉크, 경화제, 신너 등의 유기용제는 만성 후두염 초래가능성 있음 | 여 | 53세 | 고무제품 제조업 | 만성유기용제 중독 |

| 순번 | 발생년도 | 물질명 | 노출량 | 성별 | 나이 | 직종 | 해부학적 분류 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 2006년~2007년 | 일산화탄소 | 노출기준을 매우 초과하는 고농도의 일산화탄소에 노출되어 지연성 저산소성뇌증이 발생 | 남 | 57세 | 보일러기사 | 저산소성뇌증 |
| 4 | 2006년~2007년 | 망간 | 10년간 주철공장에서 고농도 노출, 용해작업근로자에서 급성흡입손상을 동반한 폐렴, 급성 호흡곤란증후군이 발생할수있다는 보고 존재 | 남 | 50세 | 용해작업 | 급성호흡곤란증후군, 폐렴 |
| 5 | 2008년 | 톨루엔 | 환기 미비, 신나의 톨루엔 함량 4.419% | 남 | 44세 | 고무벨트 제조업 | 소뇌실조증 및 MSA 의증 |

| 순번 | 발생년도 | 물질명 | 노출량 | 성별 | 나이 | 직종 | 해부학적 분류 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 2009년 | 톨루엔 | 13년간 페인트 품질관리 업무, 유기용제 노출이 파킨슨증후군의 원인으로 보고됨 | 남 | 55세 | 도료 제조업 | 파킨슨병 |
| 7 | 2009년 | 톨루엔 | 20년 9개월 간 세척작업, 고농도의 TCE와 톨루엔 노출이 사용됨 | 남 | 48세 | 전기기계기구 제조업 | 소뇌위축증 |
| 8 | 2011년 | 톨루엔 | 11년간 가죽코팅 공장의 코팅 및 접착기계 운전자, 만성 유기용제 노출에 의해서 소뇌위축과 신경계질환이 증가하는것으로 알려짐, 10년이상 유기용제에 기중, 피부로 반복 노출됨 | 남 | 50세 | 코팅 및 접착기계 운전 | 소뇌성 운동실조의증 |

# [부록-2] 연구대상물질 15종 관련 국내 화재/폭발/누출 사고 사례집

## ▶ 톨루엔

| 순번 | 사고일자 | 사고원인 | 피해정도 | 사고형태 | 사고구분 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2000.1.31 | 정전기 제거 또는 발생 완화대책 미흡 | 부상1명, 재산피해 7,000만원 | 화재 | 고정시설 |
| 2 | 2000.8.19 | 작업방법 부주의로 톨루엔 탱크 공급배관 연결부에서 톨루엔 누출 | 사망 1명 | 누출 | 고정시설 |
| 3 | 2002.5.29 | 정전기에 의한 스파크로 톨루엔 폭발 | 부상 6명 | 폭발 | 고정시설 |
| 4 | 2003.5.29 | 정전기에 의한 이형제 제조업체에서 주입 펌프를 이용하여 소형용기로 주입하던 중 화재 | 부상 3명, 사망 1명 | 화재 | 고정시설 |
| 5 | 2004.4.10 | 중 건조기 내부에서 폭발안전관리 미흡으로 | 부상 2명, 사망 1명 | 폭발, 화재 | 고정시설 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 고무코팅 원단을 생산하기 위해 합성섬유 원단에 톨루엔을 코팅하던 | | | |
| 6 | 2004.6.6 | 유증기에 마찰에 의한 정전기가 발생하여 착화 | 부상 1명, 사망2명, 재산피해 4,652.1만원 | 화재 | 고정시설 |
| 7 | 2004.11.19 | 작업중 유증기가 정전기 등에 의해 착화 발화하여 인근 섬유 및 볼트 제조 회사 등 4개 업소에 번짐 | 부상9명, 재산피해 18,700만원 | 폭발, 화재 | 고정시설 |
| 8 | 2005.7.16 | 안전관리 미흡으로 드레인 밸브 개방 | 부상 70명 | 누출 | 고정시설 |
| 9 | 2005.12.24 | 유증기 누출로 인한 폭발 | 부상3명,재산피해 2,869.7만원 | 폭발, 화재 | 고정시설 |
| 10 | 2006.3.8 | 정전기로 추정되는 원인으로 용제를 받던 드럼통에서 폭발 발생 | 부상1명, 재산피해 5,891.3만원 | 폭발, 화재 | 고정시설 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | 2013.1.11 | 제어장치 오작동으로 폭발 | 사망 1명 | 폭발 | 고정시설 |
| 12 | 2013.7.10 | 한국생산기술연구원 308호(고분자 나노융합 실험실)에서 후드 내부에서 톨루엔 정제과정(가열) 중 톨루엔 용기(500ml) 과열로 화재발생 | 부상 5명 | 화재 | 고정시설 |
| 13 | 2015.1.16 | 경부고속도로 영천IC 부근 교통사고로 인한 탱크로리(톨루엔) 차량이 추락하여 톨루엔 유출(유출량 약 200L) | 부상 1명 | 누출 | 차량 |
| 14 | 2015.4.22 | 울산 웅촌면 부림인터내셔널 공장내 “PVC 타일 제조공정”에서 ‘퍽’하는 소리와 동시에 폭발, 화재가 발생.사업장 옥내 공장내 인화성액체 드럼 폭발, 화재로 사업장 외 인근 피해 없음 | 사망 1명 | 화재 | 고정시설 |
| 15 | 2015.9.23 | 톨루엔 저장탱크(50㎥)에서 소용기(18ℓ)로 소분작업 중 정전기 스파크 발생(소방서 추정)으로 유증기에 발화되어 연소 확대된 | 부상 1명 | 화재 | 고정시설 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 화재 | | | |
| 16 | 2015.10.7 | 유해화학물질 보관하는 옥내저장소에서 원인미상의 화재가 발생하여 주변 옥외저장소 등으로 연소 확대된 사고 | 부상 1명, 재산피해 15,000만원 | 화재 | 고정시설 |
| 17 | 2015.10.28 | 야간 작업자가 공장동 내부 1톤 용기에 톨루엔을 담는 과정에서 쇠막대기가 넘어지면서 발생한 불티가 체류된 유증기에 착화되어 폭발 및 화재가 발생 | 부상 1명 | 화재, 폭발 | 고정시설 |
| 18 | 2016.2.9 | 분말소화기 제조 공장 저장탱크 용접 작업중 톨루엔 유증기(추정)에 착화되어 탱크가 폭발 | 부상 2명, 사망 1명 | 폭발 | 고정시설 |

## ▶ 일산화탄소

| 순번 | 사고일자 | 사고원인 | 피해정도 | 사고형태 | 사고구분 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2015.1.30 | 압력배출용 밸브 오픈되면서 대기 누출되면서 공급펌프 정지로 반응기 내에 있던 미 반응한 일산화탄소 상부 배기관을 통해 누출 추정 | 부상 5명 | 누출 | 고정시설 |

### ▶ 아크릴로니트릴

| 순번 | 사고일자 | 사고원인 | 피해정도 | 사고형태 | 사고구분 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2013.8.12 | 유독물 운반차량(탱크로리, 용량 25톤)에 아크릴로니트릴을 싣고 운행 중이던 운전자가 탱크로리 배관 이상 발견, 고속도로 갓길에 차량 정차 후 배관 균열 확인, 약 80L의 아크릴로니트릴 누출, 누출물질 톱밥 등으로 확산방지 및 흡착, 인근 하천 등 유출 없음 | 부상 1명 | 누출 | 차량 |

### ▶ 메틸알코올

| 순번 | 사고일자 | 사고원인 | 피해정도 | 사고형태 | 사고구분 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2000.11.2 | 메탄올 저장탱크의 폭발 | 사망 4명 | 폭발 | 고정시설 |
| 2 | 2004.5.25 | 역화 방지기 미 설치에 의한 메틸알코올 저장탱크 지지철물 설치 작업중 용접 불꽃에 의해 폭발 | 사망 2명, 재산피해 400만원 | 폭발 | 고정시설 |
| 3 | 2004.9.30 | 메탄올 저장 플라스틱 폭발하여 화재발생 | 부상 3명, 사망 2명, 재산피해 728.7만원 | 폭발 | 고정시설 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 2005.12.24 | 화학물질 혼합중 혼합기의 안전압력 이상으로 내압이 상승되어 안전장치인 압력파쇄기가 작동, 분출된 유증기가 다른 점화원에 의해 폭발, 화재발생 | 부상 3명, 재산피해 2,869.7만원 | 폭발, 화재 | 고정시설 |
| 5 | 2014.10.11 | 발안산업단지 공장에서 메탄올 공급 배관 이상으로 공사를 하기 위해 탱크 내 메탄올 3톤을 옮기던 중 화재발생 | 부상 1명, 재산피해 15,000만원 | 화재 | 고정시설 |
| 6 | 2015.10.7 | 유해화학물질보관하는 옥내저장소에서 원인미상의 화재가 발생하여 주변 옥외저장소 등으로 연소 확대된 사고 | 부상 1명, 재산피해 15,000만원 | 화재 | 고정시설 |

# [부록-3] 연구대상물질 15종 관련 국외 직업병 발생 사례조사

## ▶톨루엔

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|
| 42명의 대학생 | 3일 각각 7시간동안 75ppm, 150ppm | 패턴기억과 패턴인지를 포함한 많은 수의 4가지 시험들을 포함한 행동과 인지시험에서 감소 | Echeverria D et al.(1989)[21] |
| 43명의 인쇄공 | 6시간 30분동안 100ppm | 피로, 졸림, 취한느낌, 육체능력감소, 색구별 능력감소, 테스트에서 시각에서 정확도감소 | Baelum J et al.(1985)[22] |
| 18명의 지원자 | 4시간동안 100ppm | 민첩도와 정신운동기능의 28가지 측정들을 시험받았고 시각적-경계시험에서 약간의 장애 | Dick RB et al. (1984)[4] |
| 싱가폴의 54명 인쇄공 | 246 mg/m$^3$ (65ppm) | 톨루엔의 평균혈액수준은 0.63mg/L; 피부염은 대조군에서 1.9%인 것과 비교하여 인쇄공들에게는 38.9% | Chia SE et al. (1987)[38] |
| 남성작업자 30명 | 12년 이상 50에서 80ppm | 수용능력, 기억, 배움 감소로 나타난 지적기능의 장애 | Larsen F et al. (1988)[39] |
| 싱가폴의 | 88ppm | 손재주, 시각, 그리고 언어적 기억의 감소 | Foo SC et al. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 여성 30명 | | | (1990)[40] |
| 그라비어인쇄공과 고무공장 작업자 | 36 과 42ppm | 잠재적인 파랑-노랑 색각변화; 노출되지 않은 제본업자의 그룹(N=19)와 비교했을 때 72명의 인쇄공과 공장에서의 34명 작업자에게서 색각변화 | Campagna D et al. (2001)[45] |
| 로토그라비아인쇄공장과 신발공장 작업자 | 66ppm과 250ppm | 공기 중 톨루엔, 혈액 중 톨루엔 그리고 orthocreosol 또는 소변의 마뇨산의 수준과 연관된 색각 변화 | Zavalic M et al.(1988)[48] |
| 남성 로토그라비어 인쇄공 20명 | | 여포자극호르몬follicle stimulating hormone (FSH), 황체형성호르몬luteinizing hormone (LH) 그리고 테스토스테론에서 가역적 변화; FSH, LH의 혈장수준은 더 낮았고 활성테스토스테론을 보였다 | Svensson BG et al.(1992)[49] |
| 독일에서 톨루엔에 노출된 150명의 남성과 90명의 여성 | 과거에 노출된 수준은 10ppm에서 200ppm까지 다양 | 남성에게 위험률이 증가하지 않았지만, 여성의 생식력은 절반쯤 감소 | Plenge-Bonig A et al.(1999)[51] |
| 55명의 기혼여성 | 평균 88ppm(범위, 50-150ppm) | 자연유산이 대조그룹(4.5%)에 비교하여 톨루엔에 노출된 그룹(12.5%)에게서 높게 발견 | Ng TP; Foo SC et al. (1992)[55] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 300명의<br>기형아 | 2년 | 톨루엔에 의해 영향 받은 노출과 방향족 용매에서의 직업적 노출의 내력이 있는 여성들에게서 선천성기형의 위험률은 증가; 기형은 주로 위장과 신장-소변에서의 기형 | McDonald JC et al. (1987)[57] |

## ▶수은

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|
| 2명의 남자와 2명의 여자(40-88) | 노출이후 11에서18일간 1층에서는 912 μg/$m^3$ 지하층에서는 786 μg/$m^3$ | 메스꺼움, 설사, 숨가쁨, 비 특이성 가슴고통, 그리고 진행성의 호흡곤란과 폐 동맥판 폐쇄부전증; 수은증기에 노출된 후 11-24일 이내에 모든 환자들이 사망 4명의 환자들 중 3명의 소변수은수준은 94-423 μg/L 4명의 환자들 중 2명의 혈청수은수준은 127-161μg/L | Morbidity and Mortality Weekly Report 40(23):393-395 (June 14, 1991). |
| | | 림, 정서불안정과 성급함, 말초신경장애, 치은염, 구강병, 신경과민, 시각과 색각변화, 청각상실, 그리고 신경장애를 나타낸다. 이 영향들은 아릴화합물을 포함하여 금속수은, 무기수은화합물, 그리고 유기수은화합물에 노출된 사람에게 관찰됨 | Bidstrup, P.L.(1980)[8] |
| | | 수은에 노출된 모든 사람에게 호흡곤란, 폐렴, 그리고 떨림이 나타남 | Seaton, A. et al.(1978)[12] Lien, D.C. et al.(1983)[13] Lilis, R. et al.(1985)[14] Levin, M. et al.(1988)[15] |
| 18개월의 남자아이 | 한 달간 노출 | 말단동통증(핑크병; 고통, 팽창, 그리고 손가락과 발가락 그리고 | Curtis, H.A. et al. (1987)[20] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 카페트에서 300 μg/m$^3$<br>방안 어린이 침대에서 10 μg/m$^3$ | 때때로, 볼과 코끝의 핑크착색을 특징으로 하는 수은독성)<br>소변수은수준은 350 nmol Hg/L(거의 700μg Hg/L) | |
| 여자아이 | 2달간 노출 | 말단동통증;<br>소변수은수준은 214μg Hg/L | Foulds, D.M. et al. (1987)[21] |
| 수은중독인 작업자의 아들 | | 말단동통증; 소변수은수준은 182μg/g 크레아틴 | Wide, C. (1986)[23] |
| 40명의 생화학기술자 | 5년이하<br>작업자42% 10μg Hg/m$^3$이하<br>작업자 80% 40μg Hg/m$^3$이하 | 평균 혈장 갈락토시다아제와 카탈라아제활성은 상당히 증가하였고 적혈구 콜린에스테라아제는 대조군의 수치와 비교하여 감소 | Lauwerys, R.P. et al. (1973)[34] |
| 클로랄칼리공정 작업자 | 0.06-0.3 mg/m$^3$ | β-galactosidase, β-glucuronidase, N-acetyl-β-glucosaminidase (NAG), and β-glucosidase의 혈청수준 높음; 사구단백뇨 15명 | Foa, L. et al. (1976)[35] |
| 63명의 클로랄칼리작업자 | | 사구체 기능장애 증가, 혈액 속과 소변 중 β-Galactosidase 증가; 혈청과 소변 속 β$_2$u-globulin의 증가 | Buchet, J.P. et al.(1980)[39] |
| 형광튜브생산 공장21명의 작업자 | | 손가락 떨림<br>소변수은수준 20μmol Hg/mol 크레아틴(거의 36μg/L) | Verberk, M.M. et al.(1986)[40] |
| 12명의 작업자 | 노출기간범위(3개월-8년) | 상당히 뒤떨어진 시각추적, 많은 떨림, 그리고 단기기억능력들의 감소; 소변수은수준: 5명-200 μg/L 초과, 5명-100-200 μg/L 1명-103 μg/L이하 1명-100 μg/L이하 | Williamson, A.M. et al.(1982)[41] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 18명의 클로랄칼리작업자 | | 평균소변수은수준: 290μg/L<br>5명-비정상적인 신경행동속도<br>3명-장기적인 말단잠재성<br>1명-장기적인운동과 말단감각잠재성 | Levine, S.P. et al.(1982)[44] |
| 화학공장의 35명 작업자 | | β-glucosaminidase배출량 증가 | Meyer, B.R. et al.(1984)[49] |
| 270명 남성과 106명 여성 | | CNS와 신장의 영향;<br>CNS영향(기억곤란, 우울한 감정, 피로, 그리고 과민성)<br>남성 작업자에게서 손 떨림 스펙트럼에서 변화<br>소변 중 β-galactosidase활성과 렌티날 결합단백질의 배출증가 | Roels, H. et al.(1985)[53] |
| 247명의<br>작업자 | 노출범위:20년-35년 | 잠재적인 신경계이상, 신경학적 이상, 다발성신경장애 | Albers, J.W. et al.(1982)[54] |
| 온도계제조 시설의<br>84명의 여성 | 9.3-75.6μg $Hg/m^3$ | 정지 시 떨림과 발끝걸음걸이의 어려움, 숙면어려움, 쇠맛, 높은 NAG와 β2u-globulin | Ehrenberg, R.L. et al.(1991)[59] |
| 폴란드치과에서의 여성 | | 월경이상과 불임 | Sikorski, R. et al.(1987)[65] |
| 6명의 남성 | 최대노출 44.3 $mg/m^3$ | 성급함, 떨림, 피로 같은 만성수은독성의 증상, 비가역적인 성기능 손상 | McFarland, R.B. et al.(1978)[66] |

## ▶휘발성콜타르피치

국외 휘발성콜타르피치 직업병 발생여부 조사결과

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|
| 연료작업자들 | | 사례 보고서의 많은 수는 콜타르와 콜타르피치에 노출된 작업자들에서 피부암(음낭암 포함)발견 | IARC Monographs, 35,83-159, 1985[1] |
| 용광로와 유지보수 작업자들 | | 폐와 방광암 발생 | IARC Monographs, 34,37-64, 1984[2] |
| 지붕을 수리하는 사람들(미국) | | 구강암, 후두암, 식도암, 위암, 피부암, 방광암 그리고 백혈병의 발생증가 | |
| 인쇄출판공장의 기계수리기술자와 용접공 | | 백혈병, 폐암 그리고 소화장기의 암발생 | Kjuus, H. et al. (1986)[3] |
| 타르를 증류하는 사람들과 연료 작업자들 | | 방광암, 신우암 발생 | |

## ▶일산화탄소

국외 일산화탄소 직업병 발생여부 조사결과

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | CO-Hb % | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|---|
| 4명의 건강한 남성(16-25) | 10-15분 | ≤20 | 4-5% CO-Hb로부터 높은 CO-Hb수준에서 시각장애의 심각성 증가 | Halperin, M. H. et al. (1959)[28] |
| 체력이 좋은 남성(16-25) | | 5-20 | 5% CO-Hb 시각한계점변화 | McFarland, R. A. et al. (1944)[29] |
| 3명의 어린남성 | | 0, 10, 20 | 10과 20%CO-Hb: 야간운전능력감소 | Ray, A. M. et al. (1967)[30] |
| 10명의 시험대상(남,여) | 0.5-100-150 /110분 | | 연속적으로 증가된 CO용량으로 청각상태시험에서 손상수준, 심지어 0.5ml/$m^3$에서 손상된 각성 | Groll-Knapp, E., H. et al. (1972)[31] |
| 18명의 학생, 비흡연자 | 0, 50, 100, 175, 200 | | | Beard, R. R., G. A. et al. (1967)[32] |
| 9명의 남성(19-22) | 0(3시간), 50(3시간) | 0.96 | 다양한 정신검사의 결과들에서 아무 영향없음 | Mikulka, P., R. et al. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 125(3시간) | | | (1969)[33] |
| 비흡연자들 | | 2.98<br>6.64 | | |
| 5<br>3 | 200 250 | 10.35<br>12.37 | 다양한 정신검사의 결과들에서 아무 영향없음<br>한사람에게 약간의 두통 | Beard, et al.<br>(1970)[34] |
| 7<br>4 | 50(64분)<br>0, 50, 150, 250(1시간) | | 손상된 시간판단능력<br>50ml/m3로부터 손상된시각; 폐포의CO에서감소된<br>것보다 빠르게 회복 | Stewart, R. D. et al.<br>(1970)[36] |
| 건강한 성인인 27명의<br>남성과 여성 | < 2, 50, 100, 200, 500<br>/≤5시간 | ≤20 | 시간간격 구별과 판단능력의 손상을 보이지<br>않음(Beard-Wertheim, Marquette) | Stewart, R. D. et al.<br>(1973)[35] |
| 18명의<br>건강한남성(24-42),<br>비흡연자 | < 1, 25, 50, 100, 200,<br>500, 1000 /0.5-24 | ≤30 | 8시간동안 100ml/$m^3$로 휴식때 CO-Hb11-13%:<br>시험결과에서 아무런 증상과 영향을 보이지 않음;<br>CO-Hb가 15-20%일 때: 두통, 시각반응 변화,<br>육체조직손상 | Stewart, R. D. et al.<br>(1970)[36] |
| 18명의 건강한<br>남성(24-42), 비흡연 | < 1, 25, 50, 100, 200,<br>1000 /≤8시간 | | 1-100ml/$m^3$(11-13% CO-Hb): 증상을 보이지않으며,<br>생리지수 또는 혈액상태에서 변화없음<br>200ml/$m^3$(24.8% CO-Hb): 두통, 정상혈액수치등,<br>하지만 시각반응에서 변화를 유발 | Stewart, R. D. et al.<br>(1969)[37] |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 500ml/$m^3$(22-24.5% CO-Hb): 200ml/$m^3$에서보다 심각한 변화와 증상<br>1000ml/$m^3$(31.8% CO-Hb): 심각한 두통, 임상적 화학 또는 ECG변화가 없음, 시각측정 손상이 없지만 눈에 띄는 시각반응변화 유발 | |
| 50명의 남성과 여성(17-66) | 인공호흡기에서 80ml 100% /45분 | 5.6-7.0 | 3.4%에서 6.3%까지 CO-Hb의 증가에서 다양한 실험적 정신운동시험에서 보이는 운동능력에서의 약간감소 | Wright, G., P. et al. (1973)[38] |
| 10명의 성인(21-32) | 26(평균)/ 111(최고) /2시간 | 6.6 | 111ml/$m^3$(6.6% CO-Hb)에서 시각활동장애, 심장박동수 또는 분당 호흡기량 변화 없음 | Horvath, S. M. et al. (1971)[39] |
| 12명 비 흡연자, 남과여 | 50 / 5시간 | | 90분뒤 지연반응과 청각활동시험에서 문제, 정신장애는 없음 | Fodor, G. G. et al. (1971)[40] |
| 5명의 어린남성, 비 흡연자 | 0-100 / 4시간 | | 시각시험결과에서 아무런 영향 없음 | Hanks, T. B. et al. (1970)[41] |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 42명의 시험자<br>(27명 남, 15명 여) | 100 / 3시간 | 7 | 다양한 심리시험에서 인지능력과 지능의 약간의 장애 | Bender, W. et al.<br>(1972)[42] |
| 60명의 작업자 | ≤100 / 8시간 | 7 | 3%의 CO-Hb로 컨트롤그룹과 비교했을 때,<br>신경쇠약증후군빈도증가(63%와 40%)와 두통의 증가,<br>일반적으로 허약해짐, 그리고 EEG에서 α-rhythm으로<br>낮은 전압곡선 | Grudzinska, B. et al.<br>(1963)[43] |
| 49명의 건강한<br>남성(25-55) | 100 / 300 | ≤20.4 | 측정한 생리지수와 CO-Hb사이의 연관성이 보이지<br>않음; 일련의 심리시험의 결과는 상당히 일치; 5%의<br>CO-Hb에서 첫 번째로 영향이 나타남 | Schulte, J. H. et al.<br>(1963)[44] |
| 28명의 건강한<br>사람(20-50) | 700 | 6-11-17 | 6% CO-Hb는 운전능력에 영향을 끼치지않음; 11%와<br>17% CO-Hb는 심각한 장애의 원인이 되지 않지만<br>몇몇의 통계적으로 상당한 영향이 있음 | McFarland, R. A. et al.<br>(1973)[45] |
| 언급되지 않은 3명 | 200 /4시간 | 24.8 | 정상범위의 임상적화학적 한도에서 약간의 두통;<br>유발된 시각반응 변화 | Stewart, R. D. et al. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | (1969)[37] |
| - | 500(2시간), 1000(2시간) | 22-25.4<br>31.8 | 위의 영향들이 증가<br>심각한 두통, ECG또는 임상적화학적 한도에서 변화 없음; 시간측정의 손상 없음 | Stewart, R. D. et al. (1969)[37] |
| 6명의 건강한 남성(31-46), 비 흡연 | 1000-35600 /10분45초 | - | 9.1% 또는 11.6% CO-Hb에서 급격한 증가는 즉각적인 두통의 원인이됨; | Stewart, R. D. et al. (1973)[46] |
| 8명의 건강한 남성 | - | ≤30<br>45 | 모의 실험으로부터 정상적인 결과<br>모의 실험으로부터 심한 영향을 받음; 신경쇠약 | Forbes, W. H. et al. (1937)[47] |
| 협심증을 가진 10명의 환자(40-56) | 90분 | 5.08 | 협심증 증상이 발달되기 전에 활동시간 감소; 수축기혈압, 맥박수와 호흡감소 | Aronow, W. S, et al. (1972)[48] |
| 협심증을 가진 10명의 성인남성 | 50, 100<br>5일동안 하루당 4시간 | 2.9<br>4.5 | 두 농도에서 고통이 발달되기 전에 트레드밀 운동 가능기간 감소;100ml/m3에서 고통지속 증가 | Anderson, E. W. et al. (1973)[49] |
| 협심증을 가진 10명의 환자(40-55) | 50, 하루 2시간 2일 | 2.68 | 협심증 증상이 발달되기 전 운동량 감소 수축기혈압과 맥박수 감소 | Aronow, W. S, et al. (1973)[50] |
| | 50 | 2.27 | 파행이 생기기전에 운동시간의 상당한 감소 | Aronow, W. S. et al. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 간헐성 파행을 가진 10명의 남성(33-58) | 2시간 | | | (1974)[51] |
| 언급되지 않은 9명 | | 0-14 | 승모판 협착증, 관상 동맥성심장 또는 기종을 가진 환자에서 3% CO-Hb로부터 심근물질대사 감소 | Brody, J. S. et al. (1969)[52] |
| 12명의 남성(21-36) 임상적으로 정상인 남성(41-60) | 100 4시간 | 6.4 | 운동이 있든 없든, 운동하는 동안 7명에게 검출가능한 병적인 변화는 없고, CO노출 이후 심근 허혈증의 증상이 더 심각해짐 | Anderson, E. W. et al. (1971)[53] |
| 언급되지 않은 5명 | 4000 0.5-2분 | | CO-Hb가 5-10%일 때 정맥혈과 동맥에서 산소분압감소 | Ayres, S. M. et al. (1965)[54] |
| 10명의 비 흡연자 | 5000 2.5-3.5분 | 3.95±1.87 | 3.95±1.8% CO-Hb에서 9명의 흡연자와 비교했을 때, 호흡량 상당한변화 | Chevalier, R. B. et al. (1966)[55] |
| 언급되지 않은 26명 | 50000 | | 관상동맥성 심장 또는 기종이 있는 사람에게 5% | Ayres, S. M. et al. (1969)[56] |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0.5-2분 | | CO-Hb로부터 호흡과 혈액변화 | |
| 언급되지 않은 970명 | 몇 년 | ≤10 | 432명의 컨트롤그룹과 비교했을 때 만성 CO중독 또는 질병의 증상의 발병률 증가를 보이지 않음 | Lindgren, S. A. et al. (1961)[57] |
| 경찰과 운전자 | -<br>일하는 날 | 7.3-9.3 | 노출되지 않은 컨트롤군보다 CO-Hb수준이 높음 | Bruin, A. de (1967)[58] |
| 331명의 교통경찰 | 10-12<br>/하루 5시간 | | 작업을 시작할 때 3-8% CO-Hb수준이 노출 이후에 약간 변화; 20ml/$m^3$ CO는 CO-Hb+1.6%, 10ml/$m^3$ CO는 CO-Hb+0.7% | Chovin, P. (1967)[59] |
| 20명의 세관사 | 13.8/8시간(8.00-16.00)<br>65.6/8시간(16.00-24.00)<br>114.4/8시간(24.00-8.00) | | 배출된 CO로부터 계산된 CO-Hb:<br>모든 3시트에서의 평균:<br>비 흡연자에게 1.5%에서 3.6%까지의 CO-Hb증가<br>흡연자에게 4.8%에서 6.4%까지의 CO-Hb증가<br>나머지 2시트에서의 평균:<br>비 흡연자에게 1.4%에서 4.0%까지의 CO-Hb증가<br>흡연자에게 3.8%에서 7.6%까지의 CO-Hb증가 | Cohen, S. I. et al. (1971)[60] |
| 경찰 2명 | | | 흡연자 3.1-3.9% CO-Hb, | Clayton, G. D. et al. (1960)[61] |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 평균 17 최고치 120 /8시간 | | 비흡연자 0.8-1.2% CO-Hb | |
| 68명의 검차원 | 10-150/하루 8시간 | 3.74 | Hb수준이 흡연자 컨트롤 그룹보다 상당히 증가 (2.67 CO-Hb) | Hofreuter, D. H. et al. (1962)[62] |
| 38명의 차고 작업자 | 59/하루 8시간 | | 컨트롤군보다 CO-Hb와 Hb가 상당히 증가 | Ramsey, J. M. et al. (1967)[63] |
| 터널에서 교통경찰관 | 70, 최대 200 / 하루 2시간 | 0.5-13.1% | 증상이 없고, Hb수준과 요중 단백질, 당수치 정상 | Sievers, R. R, T. I. et al.(1942)[64] Sievers, R. F. et al. (1942)[65] |

## ▶베릴륨 및 그 화합물

국외 베릴륨 및 그 화합물 직업병 발생여부 조사결과

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|
| 16명의 작업자 | -/- | 16명 중 8명에게 피부 과민성이 나타남 | Curtis GH, 1951[6] |
| - | -/- | 베릴륨만성 질환 124 명 중 11 %는 CBD의 발병 이전에 하나 또는 두 가지의 베릴륨급성 질환이 있었다. | Freiman and Hardy , 1970[10] |
| 베릴륨 정밀 가공공장의 작업자 | 노출 LTW- 0.2μg Be/$m^3$이상 | 조사한 작업자 235명 중 22명에게 비정상적 BeLPT수치가 확인되었고, 22명 중 13명은 CBD로 진단되고 2명은 CBD일 가능성을 가졌으며, 4명은 BeS로 진단됨(3개월 이내에 공장에 고용된 사람) | Kelleher et al., 2001[1] |
| 베릴륨 세라믹 공장의 8명 직원 | 0.8μg Be/$m^3$이하 기계공정 작업자들은 2μg/$m^3$이하 | 8명 중 6명은 CBD로 진단(전체 발생률의 4.4%); 기계공정 작업자들의 BeS는 14.3% 발생률을 가짐 | Kreiss et al, 1996[16] |
| 구리베릴륨합금유통센터 작업자 1명 | 중앙값은 0.03μg Be/$m^3$ 산술평균은 0.05μg Be/$m^3$ | 주괴를 재포장하는 동안 피부접촉으로 인하여 BeS와 | Stanton et al., 2006[3] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 97%샘플들은 0.2μg Be/$m^3$이하 | CBD증상을 보임 | |
| 베릴륨합금 정제&교정 회사 작업자 5명 | 1960년대 중-1980년대 초<br>용광로: 0.50 ± 0.44 μg/$m^3$<br>금속파괴: 2.7 ± 7.2 μg/$m^3$ | 4명은 용광로 근처에서 작업<br>1명은 금속파괴/분리 작업;<br>CBD증상 | Cullen et al., 1987 (24) |
| 베릴륨공정의 9225명 남성 (7개의 공장) | -/- | 기도, 기관지 그리고 폐암의 상당한 증가(표준사망률[SMR]: 1.26; 95%신뢰구간[CI]: 1.12-1.42) | Ward et al., 1992 (32) |

## ▶니켈카보닐

국외 니켈카보닐 직업병 발생여부 조사결과

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|
| 46세의 남성 | | 소변 중 니켈수준은 172μg/dL<br>초기증상은 약간의 어지러움, 두통, 가쁜 숨, 흉부고통 그리고 기력부족 | Kurta et al. (1993)[5] |
| 니켈공장 근처 쓰레기처리공장 작업자 7명 | | 고열, 오한, 흉골 늑막염 흉통 그리고 운동성 호흡곤란, 백혈구증가와 흉부방사선침투의 확산(3명 사망, 4명생존) | Seet et al. (2005)[6] |
| 64명의 남성 / 48명의 여성 | 0.007-0.52 mg/m$^3$ | 최대호기유량비율, 최대호기중간유량(MMF),<br>강제폐활량(FVC)감소-폐기능악화 | Shi (1994)[7] |
| 남쪽Wales, Clydach 니켈정련소 작업자 | | 비부비동과 폐암의 높은 발생률 | Amor, (1939)[9]<br>Doll, (1958)[10]<br>Morgan, (1958)[1]<br>Chief Inspector of Factories, (1952)[10] |

## ▶아크릴로니트릴

국외 아크릴로니트릴 직업병 발생여부 조사결과

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|
| - | 장기적인 피부접촉/- | 황달, 빈혈 그리고 불확실한 일반적인 증상들과 메스꺼움, 구토, 두통과 어지러움이 발생, 수포형성을 일으키고 몇 시간동안의 노출이후는 불타는 듯한 감각과 홍반발생 | Brieger et al. 1952[17], Zeller et al. 1969[18] |
| 작업자 | 10년이상/- | 말초혈액의 백혈구에서 산성인산효소, 미엘로퍼록시다아제, 숙신산탈수소효소의 활성이 감소,글리코겐량은 증가 | Grigoreva 1990[19] |
| 아크릴아미드 생산 작업자 41명 | -/아크릴로니트릴-헤모글로빈 부가물수준은 0.02~66nmol/g 헤모글로빈 | - | Bergmark et al. 1993[20] |
| - | 피부노출/- | 노출 후 5분 뒤에 피부에서 타는 듯한 감각이 느껴졌고 하루 뒤에는 수포형성이 일어남 | WHO 1983[21] |
| 아크릴로니트릴 생산 작업자 5명 8명의 대조군 | 피부 첩포시험 수행 | 0.1%의 아크릴로니트릴이 용해된(99.5%는 순수) 첩포시험에서 모든 환자들은 3+의 심각성으로 반응하였다. 8명의 대조군은 피부에서 어떠한 반응도 보이지 않았음 | Bakker et al. 1991[23] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 섬유소공장의 중합공정<br>작업자 470명 | 5년/- | 아크릴로니트릴에 잠재적 노출이 있던 작업자들<br>사이에서 폐와 결장암에서의 증가된 위험률,<br>16명의 암환자(사망자와 생존자 포함)를 발견 | |

## ▶스티렌

국외 스티렌 직업병 발생여부 조사결과

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|
| 스티렌 노출 작업자 | 1-40ppm | 말초임파구계획에 없던 DNA합성[UDS]의 증가 | Pero, R.W.; (1982).[20] |
| 6명의 작업자 | 12-74ppm | 말초임파구에서 염색체이상의 빈도증가 | Hogstedt, B.; et al. (1983)[21] |
| 36명의 작업자 | 2.8-154ppm | 말초임파구에서 염색체이상의 빈도증가 | Andersson, H.C.; et al. (1980)[22] |
| 15명의 작업자 | 27ppm | 말초임파구에서 염색체이상의 빈도증가 | Nordenson, I.; Beckman, L. (1984)[23] |
| 플라스틱 제조공장 6명 작업자 | | 말초임파구에서 염색체이상의 빈도증가 | Maki-Paakkanen, J.; et al. (1991)[24] |
| 18명의 작업자 | 50ppm이하 | 말초임파구에서 염색체이상의 빈도증가 | Hansteen, I.L.; et al. (1984)[25] |
| 강화 플라스틱 제조공장 26명 작업자 | 1-140ppm | 염색체이상유발, 비정상적 임파구 | Meretoja, T. (1977) Meretoja, T. (1978)[27] |
| | | 자발적 낙태가 지역의 전체 비율과 비교하여 2배로 나타남 | Hemminki, K |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 스티렌/비스코스 레이온 산업, 9000명의 여성작업자 | | | (1980)[31] |
| | | 작업자들 사이에서 색각구별에서의 통계적으로 상당한 감소 | Gobba, F et al. (1991)[51]<br>Gobba, F et al. (1993)[52]<br>Eguchi, T.et al. (1995).[53]<br>Campagna, D.et al (1995).[54] |
| 34명의 남성 41명의 여성 | 8시간 TWA<br>스티렌농도: 16ppm | 파랑-노랑 범위에 영향을 주는 색각 예리함에 상당한 감소 | Gobba, F et al. (1991)[51] |
| 60명의 남성<br>조선업자(평균나이29) | 평균 작업장 주변<br>농도 24ppm | 빨강-초록 또는 파랑-노랑 결함증가($p<0.05$)로 발달,<br>높은 요 중 만델산과 페닐글리옥시산을 배출 | Fallas, C et al. (1992)[48] |
| 9명의 사람 | 7시간동안 50, 100, 216, 376ppm에 노출 | 1시간동안 50ppm: 자각증상 또는 비정상적인 결과 보이지 않음.<br>100ppm: 일시적인 자각반응 376ppm: 불쾌, 자각증상과<br>신경장애가 나타남 | Stewart, R.D.; (1968)[1] |
| 폴리에스테르 수지에서 스티렌에 노출된 9명의 작업자 | | 감마 글로불린에서의 약간의 증가, 9명의 작업자 중 한명은 감지할 수 있는 간과 몇몇의 약간의 종양 | Zielhuis, R.L. (1961).[59] |

## ▶메틸알코올

국외 메틸알코올직업병 발생여부 조사결과

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|
| - | -/- | 한정된 공간에서 작업으로 기인한 몇 몇 사례가 있다. 예를 들면 맥주통 니스 칠하기 | McNally, 1937[5] |
| 1명의 여성근로자 | 12시간 /4,000-13,000ppm | 흡입으로 인한 직업적 메탄올 중독 | Browning, 1965[6] |
| 1명의 근로자 | 4년 /1,200-8,000ppm | 시력이 현저히 감소했다. 그 밖의 주변의 근로자는 영향을 받지 않음 | Henson, 1960 |
| 다수의 근로자 | -/300ppm | 메탄올에 노출된 근로자들에게서 나타난 두통 | Henson, 1960[7] |
| 스피릿 복사 근로자 | -/400-10,000ppm | 증상이나 통증에 대한 아무런 보고가 없었으나 이런 농도는 과도한 노출로 여겨짐 | McAllister, 1954[8] |
| 다수의 근로자 | -/200-375 ppm | 심각한, 재발되는 두통 | Kingsley and Hirsch (1955)[9] |
| 45 %의 스피릿 복사기계 작동자들 | 20분/1330 mg/$m^3$ | 메탄올 독성과 일치하는 몽롱한 시야, 두통, 멀미, 어지럼증, 시각장애를 경험 | NIOSH ,1990[13] |

## ▶망간 및 그 무기화합물

국외 망간 및 그 무기화합물 직업병 발생여부 조사결과

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|
| 광산과 산업현장의 근로자 | -/평균 망간농도 210 mg/$m^3$ | 망간과 그 화합물의 고농도의 먼지와 흄을 흡입한 근로자에게서 폐렴에 대해 높은 유병률이 관찰됨 | Lloyd Davies, 1946[13] |
| 총 34명의 광석 근로자 | -/망간의 최고 수치가 170mg/$m^3$이고 평균농도가 47mg/$m^3$ | 11/34(32 %)의 광석 근로자가 망간중독증,30 mg/$m^3$보다 낮은 농도에 노출된 근로자들에게는 아무 증상이 없음 | Flinn, 1940[12] |
| 유고슬라비아의 공장 근로자 | -/7 - 63 mg/$m^3$ | 망간중독증 사례 보고 | Kesic and Hausler, 1954[15] |
| 광부 | -/ 5 mg/$m^3$ | 광부들의 만성적인 망간중독 중 공기샘플의 1/3만이 5 mg/$m^3$이상 | Schuler, 1957[16] |
| 75개 펜실베니아 공장의 144명의 근로자 | -/5 mg/$m^3$ | 망간흄과 분진의 농도가 5 mg/m3를 초과한 144명의 근로자 중 망간중독증의 7건의 확실한 사례와 15건의 모호한 사례를 보고했다. 7건의 확실한 사례 중 4건은 망간 분진에 노출되었고 3건은 망간 흄에 노출 | Tanaka and Lieben, 1969[17] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 펜실베니아 철 공장 근로자 71명 | -/평균 노출은 13.3 mg/$m^3$ | 5건의 망간중독증, 5건중 3건은 망간철 흄으로 인한 노출이다. 3건 중 2건은 모래성형공정 주입구에서 5년간 흄에 노출, 나머지 1건은 주입공정, 나머지 2건은 망간 철 중쇄작업과 스크리닝 작업 | Smyth, 1973[18] |
| 141명의 남성근로자들 대조군은 망간에 노출되지 않은 104명의 근로자들 | 근무기간은 1-19년이고, 평균 7.1년/망간 먼지의 TWA농도(개인시료)의 범위는 0.07에서 8.61 mg Mn/$m^3$ | 망간 노출군에서 유의미하게 추운 날씨에 기침의 높은 이환율, 운동 중 호흡장애, 급성기관지염을 발견,이러한 증상의 발생규모와 이환율은 혈중, 소변의 망간농도, 노출의 기간과는 연관성이 없음간에 노출된 근로자들에 수행된 정신운동에 대한 테스트는 더 긴 평균반응시간, 음성-언어적 단기기억 테스트에서 훨씬 낮은 수행력, 대조군과 유의미한 차이를 보이는 눈과 손의 조화성, 손 안정화 매개변수를 보여줌 | Roels, 1987a, b [19][20] |
| 알칼라인 건전지 공장의 102명의 남성근로자 대조군은 104명 | 노출기간은 02-17.7년, 평균 5.3년/망간 농도의 중앙값은 0.71 mg Mn/$m^3$(총 에어로졸) 18 mg Mn/$m^3$(호흡성 입자) | 혈중, 소변의 망간 농도는 망간에 노출된 그룹이 대조군에 비해 유의미하게 높음, 대조군과 망간 노출군 사이 호흡기 증상의 이환율에 대해 통계적인 차이를 보이지 않음, 망간 노출군이 수행한 몇 가지 신경행동학적 테스트가 대조군이 수행한 것보다 | Roels and Lauwerys,1992 [21] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 뒤떨어짐 | |
| 알칼라인 건전지 공장의 102명의 남성근로자 대조군은 104명 | 8년/1987년 0.80 mg $Mn/m^3$에서 1995년 0.25 mg $Mn/m^3$ | 대부분 노출된 부분군(중간군과 높은군)은 시간이 지남에 따라 망간노출이 감소하자 장애가 부분적으로 가역적,전 임상적인 EHC 수행장애가(망간 중독증의 중요한 전조증상) 초기에 관찰되고 낮은 직업적 망간 노출에서만 관찰되는 눈과 손의 조화는 망간 노출이 감쇄되는 경우에만 실질적으로 개선 | Roels, 1999[22] |
| 2개의 주조공장에서 총 30명 | 1-35년, 평균 9.9년/0.02 - 1.40mg $Mn/m^3$ | 단순반응시간, 반응시간의 표준편차, 주된 손의 수지력 검사에 대한 중요함 차이점이 망간 노출군과 대조군간에서 발견 | Iregren, 1990[23] |
| 2개의 주조공장에서 총 30명 | 1-35년, 평균 9.9년/0.02 - 1.40mg $Mn/m^3$ | 자기 기입식 설문지에서 발견되는 건강문제의 비율이 늘었으며, 비정상적인 뇌파, 느린 뇌간청각 유발전위 잠복기, 느린 길항반복이 노출된 근로자에서 발견 | Wennber, 1991, 1992[24][25] |
| 실리코망간 산업에서 근무하는 74명의 근로자 | -/호흡성 에어로졸은 0.225 mg $Mn/m^3$, 총 분진의 범위는 0.014 - 11.48mg $Mn/m^3$ | 질문지에 있는 안 좋은 증상에 대한 비 일치쌍이 46개 항목 중 33개에서 통계적으로 유의, 망간 합금 근로자들은 대조군과 인지유연성과 정서 상태, 후각 인지의 차이가 뚜렷 | Mergler and colleagues, 1994[26] |
| 실리코망간 산업에서 근무하는 58명의 근로자 | -/- | 신경운동기능과(루리아 동작척도), 일정기분(화, 적개심, 혼란스러움, 어리둥절함)과 관련 있었으며, 노출군과 대조군 사이의 인지 테스트 차이가 시간이 지날수록 증가,망간 노출이 신경행동학적, 신경 정신병학적 범위와 관련 있고, 망간의 직업적 | Bouchard et al., 2007a, b[27][28] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 노출이 중단된 후에도 오랜 기간 지속 | |
| 합금철 공장에서 근무하는 61명의 공장 근로자와 근처 병원에 있는 87명의 대조군 | -/용광로실은 1981년 1.60 mg $Mn/m^3$에서 1987년 0.24 $mg/m^3$으로 떨어짐. 주조실은 0.15에서 0.26 mg $Mn/m^3$으로 평균적으로 증가, 용접작업은 평균적으로 0.17에서 0.055 mg $Mn/m^3$으로 감소 | 합금 노동자에서 신뢰할 수준의 과민성, 어지럼증, 강직성에 대한 높은 증상 비율이 관찰 | Lucchini, 1999[29] |
| 북 미시시피 금속공장의 75명의 미국 근로자 대조군: 망간 노출이 없는 75명의 근로자 | -/노출 평균은 0.066 mg $Mn/m^3$ | 눈과 손의 조화, 복잡반응시간, 수지력 실험에서 나이가 증가함에 따라 수행능력이 감소했다. 망간 노출로 인한 우울증, 불안, 피로, 수면장애, 집중력, 기억력, 기분변화, 조병, 떨림, 불균형에 대한 분명한 증상이 없음 | Gibbs, 1999 (30) |
| 남부 아프리카의 망간 제련공장 근로자 589명 대조군은 전기어셈블리 공장의 망간에 노출되지않은 67명의 근로자 | -/0.82±1.04 $mg/m^3$ | 제련근로자와 대조군사이에 (Santa Ana)운동수행, 벤톤의 시각기억검사, 숫자 외우기와 숫자부호의 테스트에서 유의한 차이가 존재, 주된 손과 주되지 않은 손의 수지력 검사는 제련 노동자와 노출되지 않은 대조군 사이에 차이 | Myers.2003a, b[31][32] |
| 100명의 망간 합금 공장 | -/호흡성 입자 0.301 mg | | Bast-Pettersen, |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 근로자와 대조군 100명 | $Mn/m^3$, 흡입성 입자0.036 mg $Mn/m^3$ | 증가하는 수전증에 관해 망간 노출군은 대조군에 비해 유의한 차이를 보임. 이 연구는 수전증에 대한 망간 관련 효과가 기하평균 노출 0.036 mg $Mn/m^3$(호흡성 입자 분율)에서 이뤄진다고 밝힘 | 2004[33] |
| 60명의 철강 근로자 | -/- | 공기 중 납 노출도 존재해서 신경행동학적 테스트에서 망간노출로 인한 변화에 관한 평가가 매우 어려웠다. 그럼에도 불구하고 양 팔뚝의 회내-회외의 점진적 감소가 철강 근로자에게는 관찰되었으나 대조군에서는 관찰되지 않았고 이는 철강 노동자에서 망간의 효과와 일치 | Blond et al., 2007; Blond and Netterstrom, 2007) [34][35] |
| 43명의 다리 용접공 | -/0.01 - 0.38 mg $Mn/m^3$(총분진) | 용범위에서 망간의 CEI와 혈중망간 농도에 신경 심리적 테스트가 연관이 있다는 중요한 노출반응곡선이 나타났다. 이 연구는 용접공들이 실제로 망간과 관련된 부작용을 겪는다는 것을 보여주나 이 그룹의 노출농도는 너무 높아 용접공을 보호할 수 있는 노출한계 설정이 힘듬 | Bowler, 2006 [37] |
| 96명의 러시아 용접공, 96명의 연령 매칭된 대조군 | 평균 13.5년/0.12 mg $Mn/m^3$( | 가장 많이 노출된 그룹에서 수지력 검사와 숫자부호테스트 수행의 감소가 관찰 | Ellingsen,2008[38] |
| 도제 용접공 근로자 | -/- | 망간 노출 증가에 따라 반응시간의 증가와 글쓰기 테스트의 퇴보를 보여줌 | Laohaudomchok,2011[39] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 7명의 용접공과 7명의 대조군 | 24.1±15.5년/0.88±0.57 (SD) mg Mn/$m^3$-year | 대조군에 비해 용접공은 후각신경구, 전두백질, 담창구, 피각에 축적, 운동수행능력이 주된손, 주되지 않은 손 모두 용접공에서 대조군에 비해 안좋음 | SEN, 2011[40] |
| 선광의 85명의 망간염 제조 근로자 | -/0.07 - 8.61 mg Mn/$m^3$(총 분진) | 질문지를 이용해 남성 근로자의 불임을 조사, 노출군의 16-25, 26-35 연령 그룹 자녀출생은 기대보다 낮음. 연구는1mg Mn/$m^3$이 남성의 생식독성을 일으키는데 충분, 망간의 노출된 자녀 출생 수에 큰 감소를 시킨다고 결론을 내림 | Lauwerys et al., 1985[41] |

## ▶아닐린과 아닐린 동족체

국외 아닐린과 아닐린 동족체 직업병 발생여부 조사결과

| 실험 인구 수 | 실험농도 | 실험결과 | 실험기간 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|---|
| 아래쪽 다리에 피부염이 있는 113명의 환자 | 5% (바셀린) | 113명중 10명이 양성 (8.9%) | 테스트 기간:1970-1973 306명의 환자 중 113명이 아닐린 테스트를 함 | Angelini el al. 1975[11] |
| 접촉성 피부염이 있는 139명의 환자 | 25% (양모유 연고) | 139명중 0명이 양성 | 테스트 기간: 명시되지 않음 | Bonnevie 1939[12] |
| 500명의 환자 | 10% (아몬드 오일) | 4.9%가 양성 | 테스트 기간: 명시되지 않음. 모든 환자들이 안닐린 테스트를 함 | Calas et al .1978[13] |
| 손에 습진이 있는 206명의 환자; 아래쪽 다리에 습진이 있는 205명의 환자 | 명시되지 않음 | 206명중 4명이 양성(1.9%) 205명 중 6명이 양성(2.9%) | 테스트 기간:1969-1975 | Eberhartinger 1984 [14] |
| 다리에 궤양이 있는 200명의 환자 | 5% (바셀린) | 200명중 8명이 양성 (4%) | 테스트 기간: 명시되지 않음 | Ebner and Lindemayr, 1977[15] |
|  | 1% (명시되지 않음) | 111명중 0명이 양성 | 테스트 기간:1977-1983 | Enders 1986[16] |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 111명의 환자 | | | 인쇄업자에 대한 규격으로 실험을 진행함 | |
| 148명의 환자 | 1%<br>(명시되지 않음) | 148명중 0명이 양성 | 테스트 기간:1977-1983<br>가죽업자에 대한 규격으로 실험을 진행함 | Enders 1986[16] |
| 191명의 환자 | 1%<br>(명시되지 않음) | 191명중 1명이 양성(0.5%) | 테스트 기간:1977-1983<br>페인터업자들에 대한 규격으로 실험을 진행함 | |
| 1119명의 환자 | 1%<br>(바셀린이나<br>양모유 연고) | - | 테스트 기간:1992-6/2005<br>어떤 환자들은 높은 농도나 다른 수단으로도<br>실험이 진행됐으나 모든 반응은 바셀린이나<br>양모유 연고의 1%아닐린으로 실험함 | IVDK 2005[17] |
| 1000명의 환자 | 5%<br>(올리브 오일) | 1.9%가 양성 | 테스트 기간: 명시되지 않음 | Malten 1969[18] |
| | 0.5% | 100명중 10명이 양성(10%) | 테스트 기간: 명시되지 않음 | Malten et al. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 다리에 궤양이 있는 100명의 환자 | (올리브 오일) | | | 1973[19] |
| 196명의 도색작업자와 페인터 | 명시되지 않음 | 196명중 15명이 양성(7.7%) | 테스트 기간:1960-1962 | Meneghini et al. 1963[20] |
| 129명의 화학자 | | 129명중 10명이 양성(7.8%) | 테스트 기간:1960-1962 | |
| 합성 수지 공장에서 근무하는 80명의 근로자 | 명시되지 않음 | 80명중 3명이양성(3.8%) | 테스트 기간:1960-1962 | Meneghini et al. 1963[20] |
| 섬유산업에서 근무하는 77명의 근로자 | | 77명중 9명이 양성(11.7%) | 테스트 기간:1960-1962 | |
| 70명의 목수와 도색작업자 | | 70명중 1명이 양성(1.4%) | 테스트 기간:1960-1962 | |
| 56명의 헤어디자이너와 미용전문가 | 명시되지 않음 | 56명중 5명이 양성(8.9%) | 테스트 기간:1960-1962 | Meneghini et al. 1963[20] |
| 고무산업에서 근무하는 51명의 | | 51명중 3명이 양성(5.9%) | 테스트 기간:1960-1962 | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 근로자 | | | | |
| 그래픽 산업에서 근무하는 45명의 근로자 | 명시되지 않음 | 45명중 3명이 양성(6.7%) | 테스트 기간:1960-1962 | Meneghini et al. 1963[20] |
| 가죽 공정에서 근무하는 43명의 근로자 | | 43명중 1명이 양성(2.3%) | 테스트 기간:1960-1962 | |
| 536명의 환자 | 2% (파라핀 오일) | 536명중 1명이 양성(0.2%) | 테스트 기간:1976 | Morieatry et al. 1978[21] |
| 70명의 환자 | 2% (명시되지 않음) | 70명중 3명이 양성 | 테스트 기간:1970 | Pambor 1971[22] |
| 아토피 피부염의 93명의 환자 | 5% (명시되지 않음) | 93명중 0명이 양성 | 테스트 기간: 명시되지 않음 | Rudzki and Grzywa 1975[23] |
| 600명의 환자 | 5% (황색 바셀린) | 3.6%가 양성 | 테스트기간: 9/1967-1/1970 | Rudzki and Kleniewska 1970[24] |
| 1057명의 환자 | 5% (바셀린) | 1057명중 32명이 양성(3.0%) | 테스트 기간: 명시되지 않음 | Rudzki and Kleniewska 1971[25] |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 3105명의 환자 | 10%<br>(아몬드 오일) | 3105중 269명이<br>양성(8.7%) | 테스트 기간:1956-1965 | Scarpa and Ferrea<br>1966[26] |
| 737명의 환자 | 5%<br>(양모유 연고) | 737명중 62명이<br>양성(8.4%) | 아닐린에 관한 표준 실험을 진행함, 24시간을 적용했을 때 62명이 양성으로 나왔고 48시간 후 추가로 11명의 약한 반응과 점점 약한 반응이 관찰됐고 28명의 의심스러운 반응이 관찰됨 | Schultheiss<br>1959[27] |
| 1000명의 환자 | 명시되지 않음 | 3.2%가 양성 | 테스트 기간<br>:8/1970-12/1971 | Schwarz and Gorrmann Luckerath 1982[28] |
| 1000명의 환자 | 명시되지 않음 | 1.9%가 양성 | 테스트 기간:<br>5/1976-1/1979 | |
| 1529명의 환자 | 10%<br>(명시되지 않음) | 1529명중 154명이<br>양성(10.1%) | 테스트 기간:1933-4/1935 | Zundel 1936[29] |

## ▶시클로헥사논

국외 시클로헥사논 직업병 발생여부 조사결과

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|
| 실험 지원자 | 3-5분/50 ppm, 75 ppm, 8시간 7분/70 ppm, 90 ppm | 0 ppm에서 노출되었을 때 목에 염증이 발생했고 75 ppm에 3-5분간 노출될 때 눈, 코, 목 모두 염증이 발생하고 하루 8시간 동안 견딜 수 없다고 판단, 7분간 노출 된 실험에서 코의 염증이 70 ppm에서 보고되었고 눈과 목의 염증이 90 ppm에서 보고됨 | Nelson et al. 1943(1) |
| 비디오테이프 제조공장 근로자 | 메틸에틸케톤, 테트라 하이드로 퓨란, 사이클로헥사논, 톨루엔이 6:2:2:1의 비로 혼합된 유기용제 | 시각-운동 통합 능력과 단기기억의 행동점수의 감소를 보고 | Chia et al ,1993(3) |
| 가구 공장 근로자 | -/41-92 ppm | 눈과 호흡기의 염증, 두통, 기분장애, 기억장애, 골통과 기타 다른 증상들이 보고 | Grahm, 2000(4) |
| 실험 지원자 | -/50ppm | 어떠한 증상도 보고되지 않음 | Mraz et al.1998, 1999(5)(6) |

## ▶코발트 및 그 화합물

국외 코발트 및 그 화합물 직업병 발생여부 조사결과

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|
| 27명의 초경합금 공장 | 2년/- | 2명의 폐에 관한 X-ray 변화를 발견 | Jobs, Ballhausen, 1940[1] |
| 미국의 텅스텐 카바이드 초경공구 산업 | -/- | 3건의 진폐증을 보고. 3가지 사례는 “특이한(독특한) 타입의 폐의 반응과 고글로불린 혈증”으로 판단. 연구자는 이 병이 코발트로 인한 것이라 추측 | Miller et al. 1953[3] |
| 영국의 255명의 초경합금 노동자 | -/0.30 and 0.34mg/$m^3$ | 6건의 중금속 질병에 대한 사례를 발견,연구진들은 코발트가 중금속질병의 작용물질이라 추측 | Beck et al. 1962[4] |
| 1500명의 텅스텐 카바이드 그라인딩 근로자 | 1달-28년, 평균12.6/- | 2명에게서 미만성 간질성 폐렴이 발생했다고 보고,12명 중 8명은 죽었고, 그 8명 중 4명의 폐조직 표본은 섬유조직의 소결절 간질성 침윤 반응을 보임 | Coates Watson, 1971[5] |
| 3명의 텅스텐 카바이드 근로자 | -/- | 한 명은 임상적으로 증상이 없고 정상적인 폐의 기능을 가졌다. 또 한명은 아급성의 간질성 폐렴으로 그라인더였고, 마지막 한명은 간질성 섬유증의 초기 | Coates Watson, 1973[6] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 스웨덴의 초경합금 산업 근로자 | -/0.06 mg/$m^3$ | 폐쇄성 폐질환이 0.06 mg/$m^3$의 평균농도에 노출된 근로자에게서 나타남<br>0.06 mg/$m^3$의 평균 코발트 농도에 노출된 근로자는 호흡성 과민을 호소했다. 소변과 혈중 코발트 농도와 코발트 노출사이에 양의 상관관계가 존재 | 1)Alexandersson,[7][8]<br>2)Alexandersson, Hedenstierna[9]<br>3)Alexandersson Atterhog[10][11] |
| 두 텅스텐 카바이드Plant A에서 150명, Plant B에서 140명의 근로자를 대상 | -/ 0.5 mg/$m^3$ | 90명 중 11명은 간질성 침윤,텅스텐 카바이드 제조 공정의 많은 단계에서 0.5 mg/$m^3$을 초과 | Sprince, 1984[13] |
| 미국의 텅스텐 카바이드산업의 41명의 근로자 | -/- | 호흡기계 증상에 대한 높은 발생률과(41명 중 34명이 호흡장애), 방사선학적 이상(41명 중 13명), 폐기능 이상(41명 중 23명)을 보임 | Fischbein et al, 1992[14] |
| 텅스텐 카바이드 근로자 42명 | 2년/0.14에서 16 mgcobalt/$m^3$ | 4명의 근로자가 거세포성 간질설 폐렴을 보였고 상당한 농도의 텅스텐 카바이드가 발견. 연구대상 중 16건이 비정상적인 흉부 X-ray를 보였고 폐 기능 변화를 보임 | Auchincloss,1992[15] |
| 벨기에 다이아몬드 연마공 | -/- | 생체 검사 중 조직병리학적 검사 샘플을 채취한 5건중 4건은 Coates와 Watson이 서술한(5) 중금속 흡입으로 인한 것,노출을 중지 한 후, | Demedts et al.1984[16] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 보고되어진 증상은 빠르게 진정됐고, 방사선학적 흉부 음영이 퇴행했고, 폐 기능은 정상으로 호전됐다. 일을 재개하자 증상이 되돌아갔고, 상태가 진행 | |
| 21명의 코발트에 노출된 천식 근로자, 천식없는 55명의 근로자 | -/- | 상대 위험도가 통제군에 비해 코발트에 노출된 근로자가 4.1배 높다고 보고했다. 어떤 코발트 근로자는 이산화황에 노출됐다고 언급,천식의 위험이 0.1 mg/m3이하 농도의 황산 코발트에 노출된 근로자가 5배 높다 | Roto,1980 (17) |

## ▶디클로로메탄

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|
| 남성 6, 여성 6<br>(18-40살 범위) | 노출기간: 4시간<br>대조군:0 ml/$m^3$에 노출<br>남성 실험군:200 ml/$m^3$에 80분씩 3번 노출<br>여성 실험군:70 ml/$m^3$에 80분씩 3번 노출 | CO-Hb: 대조군: 노출 전 1.6%, 노출 후 1.4%<br>남성 실험군: 노출 전 1.5%, 노출 후 4.85%;<br>두 가지 검사(추적 검사 및 시각신호감지 검사):추적 오류 증가, 반응시간 증가(마지막 2시간 노출 후)<br>경계력 검사: 반응에 대한 정확성 감소, 반응시간 증가<br>여성 실험군: 노출 전 1.35%, 노출 후 5.1%<br>추적 오류 증가, 반응시간 증가, 반응에 대한 정확성 감소, 반응시간 증가 | putz et al.1979[24] |
| 6-14명의 남성,20명의 대조군 | 노출시간: 4시간<br>300,500,800ml dichloromethane/$m^3$에 노출 | 300ml/㎥과 그 이상의 농도에서: 플리카 빈도, 집중 수행력, 정신운동 수행력 모두 유의한 변화 있음 | winneke 1981[25] |
| 14명의 남성, | 870,1740,2600,3470 mg/$m^3$에 노출(246,493,737,983 ml dichloromethane/$m^3$에 노출) | 덧셈 과제 수행능력, 단순반응속도, 단기기억과 음향 경고 신호에 대한 유의한 변화 없음<br>983ml/㎥: 반응시간 변화에 대한 유의한 증가가 | gamberale et al. 1975[26] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 30분씩 4번 노출 | 있음(단순반응) | |
| 46명의 남성<br>대조군:12명의 노출되지 않은 남성<br>추적조사:46명의 노출된 남성중 29명 조사<br>대조군:29명 | 75-100 ml/$m^3$에 노출(9:1비율로 디클로로메탄과 메탄올이 혼합된 유기용제),추적조사가 이뤄진 29명의 남성은 10년간 노출됨. 나머지 17명은 10년보다 노출기간이 적음 | 12달이 지난 후(질문지를 통해 조사) 노출된 대조군 12명중 1명과 46명중 20명이 신경학적 증상이 나타남(두통, 어지럼증, 균형 상실, 기억 장애, 손발의 저림과 아림)<br>추적조사: 심전도 검사, 신경전도검사, 신경학적 증사, 점찍는 검사, 숫자잇기 검사, 시각 검사, 독해력 검사, 기억력 검사에서 노출군과 대조군 사이에 유의한 차이가 없음 | cherry et al.1981[27] |
| 56명의 남성<br>대조군:36명 | 28-173 ml/$m^3$에 노출 | 시각통증척도, 숫자기호 대체시험, 단순반응시간 검사: 노출군과 대조군 사이에 유의한 차이가 없음<br>숫자기호 대체시험의 저하와 신체 상태(졸림, 육체적 피로, 정신적 피로)가 혈중 디클로로메탄 농도와 연관이 있음 | cherry et al. 1983[28] |
| 46명의 은퇴한 항공정비사 | 97-236 ml/$m^3$에 노출<br>노출기간은 최소한 6년 | 수지력 검사, 단순반응, 선택반응, 복합선택 반응에서 노출군과 통제군 사이에 유의한 차이가 없음 | Lash et al. 1991[29] |

## ▶트리클로로메탄

| 노출 근로자(인구) 수 | 노출기간 / 노출농도 | 건강상 영향 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|
| 노출 근로자 | -/80-240 ppm, 20-70 ppm | 0-240 ppm에 노출된 근로자들에서 몇 가지 심각한 증상을 보고했고(피로, 소화장애, 정신장애), 20-70 ppm에 노출된 근로자에서 덜 심각한 증상을 보고 | Challen, 1958[1] |
| 68명의 근로자 | 1-4년/10-20 ppm | 25 %는 간이 비대해짐 | Bomski H, 1967[2] |

# [부록-4] 연구대상물질 15종에 대한 ACGIH TLV DOCUMENTATION 고찰 결과

## ▶ 톨루엔

CAS number: 108-88-3
동의어: Aantisal 1a; Methacide; Methyl-benzene; Methylbenzol; Methyl-benzene; Monomethyl benzene; Phenyl methane; Tol, Toluol; Tolu-sol
분자식: $C_7H_8$

화학구조:

TLV - TWA, 20 ppm (75 mg/$m^3$)
A4 – 사람발암물질로 분류되지 않음

• Human Studies(역학 연구)

*case reports(사례보고)*

톨루엔 또는 톨루엔남용의 사고노출들 이후 의식 잃음, 질병률, 사망률의 출판된 몇몇 보고서들이 있다. 의식 잃음은 수용성톨루엔혼합물 속 찌꺼기를 다룬 두 남성[8], 타일을 설치하는 두 명의 다른 사람[9], 톨루엔이 포함된 방녹페인트가 발려진 공간에서의 몇몇 판매자들[10], 그리고 배에서 톨루엔기반 살충제의 분무에 노출된 3명의 사람들[10]이 보고되었다. 메스꺼움, 어지러움, 그리고 두통은 이러한 사고들에서 의식 잃음 후[6] 그리고/또는 전에 종종 보고하였다.

의심되는 톨루엔 노출에 기인하는 죽음은 사고노출과 증기호흡으로 의도적인 남용으로 발생된다. 10,000갤런의 톨루엔저장창고[11]에 들어간 남성은 의식 잃음으로써의 사망하였다. 의도적인 남용으로 인한 죽음이 보고되었다[12-14]. WHO(World Health Organization)[7]은 1시간동안 4000 ppm또는 10000에서 30000 ppm에서 몇 분간의 노출은 죽음으로 이끌 수 있다고 판단했다. 2년에서 10년까지의 잠재적 톨루엔 남용은 뇌 위축과 소뇌, 대뇌피질 분산과 연관된 여러 종류의 CNS증상을 야기한다고 보고하였다.[15-19] 증상은 두통, 비정상적 언어능력, 기억상실 인지결함, 운동실조(몸과 팔다리), 경기, 졸림, 색각변화, 눈 떨림(빠르게, 무의식적 눈의 움직임), 청각상실, 경도치매, 수전증 그리고 후각상실이다. 톨루엔 남용으로 인한 뇌병증은 치매의 특징이 있다.[6] 몇몇 심장, 신장, 간, 그리고 혈액독성들 또한 톨루엔 남용자들에게 발견할 수 있다.[1, 7] 태아 알콜 증후군과 비슷한 선척적인 장애들도 톨루엔남용의 결과로 보고되었다.[5, 20]

*Experimental(실험연구)*

톨루엔을 흡입한 지원자들의 CNS증상을 시험한 몇몇 연구들이 있다.

3일 각각 7시간동안 75와 150 ppm의 톨루엔에 노출된 42명의 대학생들에게 많은 양의 기억을 하게하였는데, 이들에게 패턴기억과 패턴인지를 포함한 많은 양의 4가지 시험들을 포함한 행동과 인지시험에서 감소하는 것으로 나타났다.[21]

43명의 인쇄공들은 6시간 30분동안 100 ppm의 톨루엔에 노출되었고 대조군들과 짝지어 분석하였다. 노출군은 피로, 졸림, 취한느낌 등이 나타났고, 육체능력감소, 색구별 능력감소, 테스트에서 시각에서 정확도감소가 나타났다.[22] 같은 저자의 그 이후 연구[23]에서 7시간동안 100 ppm에 노출한 지원자들에게서 색깔테스트에서 아무런 영향을 보이지 않았

다.

16명의 지원자들에게 10, 40, 100 ppm의 톨루엔에 6시간동안 노출시켰을 때, 그들은 통계적으로 20개의 변수로 측정된 8가지 행동능력시험에서 통계적으로 상당한 영향력이 없었다. 이 연구에서, 100 ppm에 노출된 사람들은 시험이 더 힘겹고, 두통, 어지러움, 취한 느낌을 더 자주 보고한 것으로 보고되었다.

6명의 건강한 성인들은 30분의 운동시간을 포함하여 6시간동안 100 ppm의 톨루엔에 노출되었고 혈액수치, 폐 기능, 신경심리, 그리고 행동검사들을 시험하였다.(24) 폐 기능은 변하지 않았지만 신경심리와 행동검사는 감소하였다. 이 결과들은 운동에 의해 향상되었다.

100 ppm에 4시간동안 노출된 18명의 지원자들은 민첩도와 정신운동기능의 28가지 측정들을 시험받았고  시각적-경계시험에서 약간의 장애가 있었다.(4)

3시간동안 50 ppm의 톨루엔에 노출된 11명의 여성과 5명의 남성의 혈청호르몬(FSH & LH)수준이 조사되었다. 비정상적인 LH 또는 FSH 이력은 보이지 않았다.(25)

4시간동안 80 ppm에서, 13명의 지원자들의 행동검사들은 노출에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.(26)

*Epidemiology(역학자료)*

인쇄공장이나 다른 작업장에서 톨루엔 수준은 1950년대(27) 이래로 일반적으로 감소하였고, 4가지 요소에 의해 TLV도 계속해서 감소하고 있다. 이 요소는 몇몇 후향적 역학연구들의 해석을 복잡하게 한다. 이러한 많은 역학연구들은 톨루엔은 휘발성 화합물로만 노출되기 때문에 로토그라비어인쇄공의 인구에게 집중하였다.(28) 이 로토그라비어공정들에서, 그림은 톨루엔 기반의 잉크로 회전하는 원통에 새겨지는데, 그림이 건조기에 통과하기 전에 움직이는 종이웹에 칠해진다. 칠해지는 잉크는

75%에서 80%의 톨루엔으로 되어있고, 잉크가 건조되면서 노출이 야기된다.[29] 이 인쇄소 연구들의 해석의 문제점은 노출수준인데, 그 이유는 1969년부터 1980년까지의 공기측정 데이터의 모음집에 따르면 작업 노출은 한 자릿수이상으로 낮아진 것이 측정되었기 때문이다(1770 ppm에서 43-157 ppm까지).[27] 1980년대에 출판된 많은 역학연구들은 10년간 노출된 인구를 조사하였다. 그러므로 이 기간의 조사에서 사용된 톨루엔 노출수준은 실제 노출보다 상당히 과소평가되었을 수 있고 이것이 보고된 영향들을 야기했을 수 있다.

*Organ-Related Toxicity(장기관련 독성)*

92명의 로토그라비어인쇄공들과 74명 대조군들을 비교한 장기 연구에서 50 ppm에서 발견할 수 있는 신장기능에 장애는 없었다.[30] 46명의 공장작업자들은 32명의 노출되지 않은 작업자들과 비교하였고 피에서 백혈구 수치를 제외하고 혈액 또는 소변 이상은 없었고 정상적인 범위를 유지하였다.[31] 1987년에서 1983년 동안 작업데이터베이스에서 관찰된 Finnish직원들의 연구에서 0.18 mg/L의 평균혈액수치에서 톨루엔에 노출된 직원들의 암 위험률은 증가하지 않는 것으로 나타났다.[32] 이탈리아에서 34명 로토그라비어작업자들의 말초혈액임파구의 염색체연구에서 대조그룹과 비교했을 때 차이가 나타나지 않았다.[33]

*Neurobehavioral(신경행동학적 증상)*

30명의 스웨덴 인쇄공의 1989년 연구는 설문지와 정신측정시험으로 높은 비율의 인쇄공들이 피로, 단기기억문제들, 집중장애 그리고 심리장애를 보고한 것을 제안하였다.[27] 다른 가게에서 일한 이 인쇄공들의 평균노출수준은 43 $mg/m^3$(11 ppm)과 157 $mg/m^3$(42 ppm)이고 평균노출기간은 29년이었다. 노출수준은 각각의 가게에서 일주일간 5명의 개인 샘플러로 측정을 하였다. 저자는 1980년 전의 높은 주위노출수준들과

그들의 고용기간을 고려하여 각각 개인의 누적노출지수를 계산하였다. 그 노출수준범위는 600에서 45,900 mg/m$^3$×years까지였다. 13가지의 정신측정시험을 하기 전에 월요일아침에 혈액 중 톨루엔을 측정하였다. 정신측정시험은 나이와 언어로 보정을 하였고, 다른 산업에서 종사하는 72명의 참조그룹과 비교를 하였고 하나의 시험(비교그룹보다 인쇄공이 더 높음)에서 상당한 차이가 나타났다(cylinder board). 측정된 노출수준은 시험결과들과 약하게 연관되어있다. 시험하기 전 정맥혈액수준은 높은 시험점수와 함께 높게 나타났다. 누적노출지수는 하나의 시험에서 긍정적으로 나타났고 나머지 다른 시험에서는 부정적으로 나타났다. 저자는 설문지와 정신측정시험에서 유해한 차이들이 나타나지 않은 것은 기억교란이 있었을 것이라고 제시했다.

잠재성을 불러일으키는 청각, 인지, 시각은 평균 22년간 톨루엔에 노출된 49명의 인쇄기 작업자들과 어느 것도 노출되지 않은 59명의 모르는 작업자들과 비교하여 조사되었다.[34-37] 노출수준은 말초혈액 속 톨루엔 측정으로 평가하였고, 교대 후 소변의 마뇨산을 기반으로 노출은 40에서 60 ppm으로 측정되었다. 이 저자는 각각의 시험에서 톨루엔 노출그룹의 진폭과 발생할 잠재성의 잠재기에 변화들을 발견하였다.

싱가폴에서 54명 인쇄공들과 대조군을 짝지은 한 연구는 인터뷰, 임상검사, 그리고 신경행동학적 시험들을 포함하였다.[38] 그 연구는 사례군과 대조군에서 신경행동학적 시험 또는 간 기능에서 큰 차이가 없었다. 측정된 노출수준은 246 mg/m$^3$(65 ppm)이고 톨루엔의 평균혈액수준은 0.63 mg/L였다. 피부염은 대조군에서 1.9%인 것과 비교하여 인쇄공들에게는 38.9%이었다.

남성작업자의 블라인드 정신감정은 12년 이상 노출되고 조사기간에 50에서 80 ppm에 노출된 30명과 노출이 없는 대조군으로 행해졌다.[39] 저자는 수용능력, 기억, 배움 감소로 나타난 지적기능의 장애를 톨루엔

노출작업자들이 좀 더 가진다고 발견하였다.

그 당시 TLV(80 ppm)에 노출된 것으로 측정된 34명의 스웨덴 로토그라비어인쇄공들은 종합적인 정신감정이 행해졌다.[28] 대조그룹과 비교했을 때, 톨루엔에 노출된 그룹의 결과는 좋지 않은 반응시간을 제외하면 다르지 않았고, 이것을 저자는 급성노출영향으로 해석하였다.

신경행동학적 시험들은 88 ppm의 노출수준을 가진 싱가폴의 30명 여성에게 행하였다.[40] 통계적으로 상당한 차이들은 손재주(grooved peg board), 시각주사(trail making, visual reproduction, Benton visual retention, and digit symbol), 그리고 언어적 기억 (digit span)에서 나타났다. 각각 이러한 테스트들에서 결과는 공기 중 톨루엔의 TWA노출농도와 연관이 있다. 혈액 톨루엔 수준은 1.25 mg/L이었다.

*Color Vision(색각증상)*

색각의 몇몇 시험들이 있다: Lanthony의 새로운 색깔시험에서, Farnsworth-Munsell 100 hue, 그리고 Lanthony의 채도를 낮춘panel D-15. 이것은 나중에 화학적 노출 때문에 색각에서 가장 예민하게 변화할 것이다.[41] 한 시간이내의 톨루엔 급성노출[42]과 1주노동시간의 노출동안[43] 색각의 변화를 보이지 않았다. 색각변화는 또한 최근에 46 ppm의 톨루엔에 노출된 111명의 여성과 63명의 남성에게 보이지 않았다.[44]

잠재적인 파랑-노랑 색각변화는 각각36 과 42 ppm에 노출된 그라비어인쇄공과 고무공장 작업자에게서 관찰되었다. 프랑스에서 그라비어인쇄공장의 최근연구에서, 노출되지 않은 제본업자의 그룹(N=19)와 비교했을 때 72명의 인쇄공과 공장에서의 34명 작업자에게서 색각변화를 발견했다.[45] 호흡영역에서 8시간동안 개인 공기 샘플링은 인쇄공이 평균 36 ppm에 노출되고 있음을 보여주었다. 이 인쇄공들의 공장에서 평균 고용기간은 18년이었다. 저자는 현재노출, 누적노출, 그리고 과거 총 탄화수소노출과 연관된 색각에서 감소를 발견하였다. 16명의 대조군과 비

교하여 공장에서 10년 덜 일한 42 ppm(소변의 수준을 기반으로)에 노출된 33명의 고무 작업자들의 연구에서 또한 소변에서 톨루엔의 수준이 아닌 누적 용제 노출과 연관된 색각의 장애를 발견했다.(46) 두 연구에서 색각의 상실은 혁신적이고 지속되는 노출에 필요하다고 제안하였다. 그러나 다른 Lanthony D-15색 식별테스트를 사용한 4가지연구에서의 메타분석은 반응의 가변성 때문에 색각의 지속적인 부정적인 영향을 보여주는데 실패하였다.(47)

66 ppm과 250 ppm의 톨루엔에 노출된 로토그라비어인쇄공장과 신발공장 작업자들의 이전 연구에서 교대 이후 공기 중 톨루엔, 혈액 중 톨루엔 그리고 오르토크레졸 또는 소변의 마뇨산의 수준과 연관된 색각 변화를 보였다.(48)

*Reproductive(생식력)*

남성 로토그라비어인쇄공들의 혈액 중 호르몬수치 평가는 여포자극호르몬follicle stimulating hormone (FSH), 황체형성호르몬luteinizing hormone (LH) 그리고 테스토스테론에서 가역적 변화를 보였다. 20명의 인쇄공들은 대조 그룹의 44명 보다 FSH, LH의 혈장수준은 더 낮았고 활성테스토스테론을 보였다.(49) 더 큰 그룹의 47명 인쇄공들은 감소된 LH, 테스토스테론과 노출농도(5에서 45 ppm)에 연관성을 보였다.(50) 이 연구에서 혈액농도의 범위는 0.17에서 0.736 mg/L이다. 이 영향이 급성이고 가역적이라고 추측하는 과거 누적노출과의 연관성을 발견할 수 없었다.

독일에서 톨루엔에 노출된 150명의 남성과 90명의 여성에서 생식력을 관찰한 한 연구는 다른 산업에서의 작업자들과 그들을 비교하였다.(51) 어떠한 노출 수준에서도 남성에게 위험률이 증가하지 않았지만, 여성의 생식력은 절반쯤 감소하였다. 과거 노출수준은 10에서 200까지 다양하다.

증가된 자연유산의 비율은 몇몇 연구들에서 보고되었다. 이러한 4가지 연구들에서 스칸디나비아 여성의 비슷한 그룹들을 평가하였다. 이 사례대조군연구들은 1960년대부터 1983년에 일한 스칸디나비아 여성의 임신내력을 조사하였고, 그 당시 톨루엔 노출은 연구의 시기보다 거의 10에서 35배 높았다. 782명의 스웨덴 실험실직원들은 임신내력과 직업적 노출에 대해 조사되었다.[52] 톨루엔 노출이 자연유산에 기여하는 비율은 10.2 %였다. 의학적으로 진단된 자연유산과 직업적 노출사이의 연관성은 몇몇 유기용제들을 위해 연구되었다.[53] 그들은 톨루엔에 노출된 신발작업자들의 작은 그룹에서 자연유산비율은 거의 9배 증가한 것을 발견했다. 9000명 이상의 마무리 여성 작업자의 사례대조군연구는 일주일에 3일 이상 노출된 여성의 부분집합만이 톨루엔에 의한 자연유산의 위험률이 증가한 것을 보여주었다.[54]

노출수준에 대한 가장 좋은 정보를 제공한 연구는 싱가폴의 오디오스피커 공장에서 행한 한 연구이다. 이 연구에서는, 55명의 기혼여성들에게 개인 인터뷰와 설문지로 자연유산의 비율을 결정하였다.[55] 이 여성들은 평균 88 ppm의 톨루엔에 노출되었다(범위, 50-150 ppm). 자연유산의 더 높은 비율은 외부 공동체인 대조그룹(4.5 %)에 비교하여 톨루엔에 노출된 그룹(12.5 %)에게서 발견되었다.

이러한 연구들의 리뷰에서, Bukowski[56]는 자연유산이 톨루엔남용 때문에 높게 노출된 여성의 문제에 대해 문서화 되지 않은 것에 대해 지적하였다. 그는 또한 회상과 선택교란뿐만 아니라 이 연구들에서는 교란변수가 존재한다고 제시하였다.

*Developmental(발달장애)*

톨루엔노출이 선천성 기형에 끼치는 영향에 대해 조사한 두 연구가 있다. 1982년과 1984년 사이 기형의 300명의 경우들은 Montreal 지역에서 답사실천과 직업적 노출회상을 엄마에게 물어봄으로써 조사되었

다.[57] 톨루엔에 의해 영향 받은 노출과 방향족 용매에서의 직업적 노출의 내력이 있는 여성들에게서 선천성기형의 위험률은 증가하였다. 이 연구에서의 기형은 주로 위장과 신장-소변에서의 기형이다. 1965년과 1983년 사이 Finland에서 유기용매에 노출된 남자의 자식들에 대한 한 연구에서 보통 유기용매로부터 위험률이 증가하지 않음을 발견했지만 톨루엔에서 유의미하지 않은 증가가 발견되었다.[58]

### ▶ 수은

CAS number: 7439-97-6 (elemental mercury)
실험식: Hg
Skin
TLV - TWA, 0.1 mg/m$^3$, as Hg – Aryl compounds
TLV - TWA, 0.025 mg/m$^3$, as Hg – Inorganic forms including metallic mercury
A4 – Not Classifiable as a Human Carcinogen – Inorganic forms, including
metallic mercury

• Human studies(역학 연구)

병력을 통해 수은화합물의 사람에 대한 독성은 인식되어왔다. Bidstrup[8]에 의한 이전 문헌의 리뷰는 다양한 수은 화합물에서 만성과 급성의 많은 노출의 영향력에 대해 자세하게 논한 것이 제시되어있다. 고전적인 징후와 증상들은 떨림, 정서불안정과 성급함, 말초신경장애, 치은염, 구강병, 신경과민, 시각과 색각변화, 청각상실, 그리고 신경장애를 나타낸다. 이 영향들은 아릴화합물을 포함하여 금속수은, 무기수은화합물, 그리고 유기수은화합물에 노출된 사람에게 관찰된다.

사람에게 수은노출자료의 많은 리뷰들은 1972년에 Friberg and Vostal[1]에 의해 행해졌다. 이 리뷰는 수은과 수은화합물의 흡수, 분배, 누적, 그리고 영향에 대한 정보를 포함하고 있다.

수은노출로부터 인간영향에 관한 문헌에서, 연구들의 과반수는 혈액 중 수은(HgB) 또는 소변 중 수능(HgU)에 관한 생물학적 수준을 보고하였다. 소변은 샘플을 얻기 쉽기 때문에 흔히 사용된다. 소변샘플들은 소변의 24시간수집 또는 점적샘플일 것이다. 소변샘플링은 다양한 요소들에 의해 영향을 받을 것이다.[9,10] 수은은 Biological Exposure Indices (BEIs)가 권고되어지고 소변샘플링에 영향을 주는 요소로 문제가 되고 있는 물질이다.[11] 비교적 짧은 기간의 시간동안 높은 수은증기농도의 흡입은 폐렴, 기관지염, 가슴고통, 호흡곤란, 기침, 구내염, 치은염, 타액 분비, 그리고 설사의 원인이 될 수 있다.

Seaton and Bishop[12], Lien et al.[13], Lilis et al.[14], and Levin et al.[15]은 급성수은중독의 원인에 대해 보고하였다. 노출된 모든 사람에게 호흡곤란, 폐렴, 그리고 떨림이 나타났다. 소변수은수준은 그들의 범위는 200에서 900μg Hg/L이기 때문에 병의 좋은 예측변수가 아니다. Lien et al.[13]은 급성노출들의 2-구획 모델을 제시하였다: 첫 번째 구획 모델은 이틀의 반감기와 두 번째 구획모델은 팔일의 반감기이다.

1989년 5월부터 1990년 11월까지, 미국 학교 또는 개인 거주지에서 수은원소노출의 8가지 사건이 ATSDR[16]에 보고되었다. 하나의 노출사건은 아말감으로부터 은을 찾아내기 위해 개인 사유지의 지하층에서 치과용 아말감의 용광로 주물의 용해로부터 40부터 88세의 범위에 있는 2명의 남자와 2명의 여자에게 일어났다. 용해작업동안 방출된 수은 흄은 분명히 지하층으로 들어갔을 것이고 집 전체를 순환하였을 것이다. 메스꺼움, 설사, 숨가쁨, 비 특이성 가슴고통, 그리고 진행성의 호흡곤란과 폐 동맥판 폐쇄부전증의 사건과 병원격리에 따라, 수은증기에 노출된

후 11-24일 이내에 모든 환자들이 사망하였다. 4명의 환자들 중 3명의 소변수은수준의 범위는 94에서 423 μg/L이고 4명의 환자들 중 2명의 혈청수은수준은 127과 161 μg/L이였다. 노출이후 11에서18일간 수은의 주위실내공기농도의 측정들은 1층에서는 912 μg/$m^3$이고 주택의 지하층에서는 786 μg/$m^3$만큼 높았다.

Burton and Weaver[17]와 Sauder et al.[18]에 의해 보고된 시도된 두 연구들과 성공적인 연구들에서 소변 중 수은은 개인의 흡수용량의 신뢰할만한 지표가 아니라고 나타냈다. 수은에 의해 생긴 환각으로 인해 고통받던 한 환자는 디메르카프롤로 치료하기 전에 45μg Hg/L을 배설하였다. 수은의 피부흡수는 수은의 노출경로로 오랫동안 인식되었다. Friberg and Vostal[1]은 이 측면을 자세하게 논의하였다. Hursh et al.[19]은 5명에게서 공기 중 수은증기로부터 피부흡수연구를 실행하였고 피부를 통한 흡수의 비율은 폐를 통한 비율의 2.2%였다고 보고하였다. 그 조사자[19]들은 옷에 튀긴 수은방울의 영향들 또는 피부에 액체수은 원소의 흡수 비율을 측정하지 않았다. 그들은 옷에 튀긴 수은이 포화도에 다다르는 수은수준에 피부가 노출될 수 있는 원인이 되기 때문에 그 상태를 더 심각한 유해성으로 제기된다고 믿었다.

수은에 의한 아급성 독성은 직업적 그리고 비직업적 환경에서 일어난다. 어린이는 아급성 노출로부터의 독성에 대해 유용한 정보를 주는 사례이다. 아이들은 또한 작업자들의 옷에서 수은의 이동에 의한 집의 오염을 막아야 하는 가장 필요한 이유이다.

Curtis et al.[20]은 침실에서 오염된 카펫으로부터 야기된 수은증기에 한 달간 노출된 18개월의 남자아이의 말단동통증(핑크병; 고통, 팽창, 그리고 손가락과 발가락 그리고 때때로, 볼과 코끝의 핑크착색을 특징으로 하는 수은독성)을 보고하였다. 카페트에서 300 μg/$m^3$의 수준과 방안 어린이 침대에서 10 μg/$m^3$수준의 노출이 측정되었다. 자라는 유아는

아마도 바닥을 기어갈 때 높은 노출을 받았을 것이다. 어린이의 소변배출수준은 350 nmol Hg/L(거의 700μg Hg/L)였다.

Foulds et al.[21]은 또한 압력계로부터의 수은이 엎어진 것을 불충분하게 청소하여 2달간 노출된 것으로 야기된 유아소녀의 말단동통증을 보고하였다. 그 어린이의 24시간 소변은 214μg Hg/L였다. 그 저자는 또한 수은독성을 위한 Reinsch 시험 검사방법의 불확실성을 나타냈다.

어린이들은 작업으로부터 집으로 가져오는 수은에 오염된 옷으로부터 노출을 받는다. Hudson et al.[22]은 온도계공장 작업자의 어린이들은 대조군의 어린이보다 5배 높은 소변 중 수은이 평가된 것으로 보고하였다. Wide[23]는 수은중독을 가진 작업자의 아들 또한 말단동통증에 걸린 것으로 보고하였다. 그 아들의 소변 중 수은수준은 182μg/g 크레아틴이었다.

Tunnessen et al.[24]은 형광전구의 부서진 통으로부터의 수은에 노출된 23개월 유아를 포함한 경우를 보고하였다. 증상이 나타나기 5개월 전에, 아기방에 인접한 헛간에서 전구는 부서졌다. 수은과 유리는 제거되었지만, 유아는 계속해서 그 지역에서 놀았다. 연구당시에 영향을 받은 어린이의 소변 중 수은의 농도는 73μg Hg/L이였다. 그 어린이의 엄마의 소변 중 수은 농도는 137μg Hg/L이였다. 형제의 침실에서 가장 높은 농도(54μg/$m^{3)}$였다. 치료 후 3개월 뒤, 영향 받은 어린이는 명백한 증상 없이 소변 중 농도는 19 μg/L이였다. 문헌 속에서 수은중독 경우들은 많다. 이들은 의사[25], 장비와 계량기 수리 직원[23,26], 그리고 carbide bits 재활용으로부터 수은에 노출된 작업자들을 포함한다.[27]

이전의 많은 연구들[28-33]은 소변 중 수은수준과 신경계와 신장손상의 대략적인 측정에 의해 수은노출인구들을 특징화하였다. 그들은 손가락 떨림 같은 세심한 측정을 사용하지 않았다. Smith et al.[31], El-Sadik and El-Dakhakhny[32], 그리고 Vroom and Greer[33]는 모두 100μg Hg/L

이상의 노출과 연관된 건강영향들에 대해 보고하였다. 생식의 영향들은 연구되지 않았다.

Lauwerys and Buchet[34]은 금속수은에 노출된 40명 생화학 기술자에 대해 보고하였다. 80%의 작업자들은 5년 이하로 노출되었다. 작업장 대기에서 측정된 수은농도가 42%는 10μg Hg/$m^3$이하로 80%는 40μg Hg/$m^3$이하로 노출되었다. 평균수은수준은 노출된 기술자들의 소변과 혈액 샘플들에서 높았다. 평균 혈장 갈락토시다아제와 카탈라아제활성은 상당히 증가하였고 적혈구 콜린에스테라아제는 대조군의 수치와 비교하여 감소하였다. Lauwerys and Buchet[34]은 리소좀과 페록시소몰 효소의 방출과 함께 세포 내 막 투과성에서 수은에 의한 변화로부터 야기된 증가된 효소활성을 가설하였다.

Foa et al.[35]은 클로랄칼리공정 작업자들을 연구하였고 β-galactosidase, β-glucuronidase, N-acetyl-β-glucosaminidase (NAG), and β-glucosidase의 혈청수준은 수은에 노출된 작업자들에게 높다는 것을 발견하였다. 대기 중 수은농도의 범위는 0.06에서 0.3 mg/$m^3$이다. 노출의 정도는 혈청수준의 상승과 연관되어있다. 뚜렷한 사구단백뇨의 15경우들을 발견하였다. 이 경우들 중 5명은 이전에 신경장애를 가지고 있었다. 이들 중 4명은 고혈압과 사구단백뇨를 가지고 있었다.

Langolf et al.[36]은 떨림, 근전도 검사(electromyelogram-EMG), 그리고 심리운동검사를 이용하여 클로랄칼리작업자들을 연구하였다. 작업자들의 수은노출과 연관된 잠재적인 영향들을 발견하였다. 변화들은 소변 중 수은수준이 이전년도동안 0.5 mg/L을 초과한 작업자들과 가장 연관되어있었다.

Levine et al.[37]은 수은증기에 노출된 신경장애 진단이 없는 작업자들의 연구를 보고하였다. 다중선형회귀분석들은 느린 운동전도속도, 말초운동잠재성, 그리고 말초감각잠재성이 소변 중 수은수준과 연관되어있

음을 보여주었다. 최대운동상태속도와 소변 중 수은수준 사이에 상당한 연관성은 존재하지 않는다.

Schuckmann[38]은 7년이상 수은에 노출된 39명의 클로랄칼리공정작업자들을 보고하였다. 전체 2800개의 공기측정들을 채취하였다; 3분의 2는 30과 90μg Hg/$m^3$사이이고 평균은 75.1 μg/$m^3$이였다. 300과 500 μg/$m^3$ 사이에서 7개의 피크들이 확인되었다. 평균 소변 중 수은의 수치들은 124.4(1970), 73.1(1975), 그리고 87.2(1976) μg/L이였다. Schuckmann[38]은 노출된 작업자들과 대조군 작업자들 사이에서 차이점을 발견하지 못하였다;

Buchet et al.[39]은 63명의 클로랄칼리작업자들을 연구하였고 수은노출과 연관되어 있는 증가된 사구체 기능장애를 발견하였다. 높은 분자량 단백질의 배출과 소변의 높은 $\beta_2$u-globulin농도에서 수반되는 변화 없이 혈청 속 $\beta_2$u-globulin의 높은 발병률이 관찰되었다. 혈액 속과 소변 중 β-Galactosidase활성 또한 증가하였다. 이 발견들은 50μg Hg/g 크레아틴보다 높은 소변 중 수은수준을 가진 작업자들에서 더 높았다.

Verberk et al.[40]은 형광튜브생산 공장에서 21명의 작업자들의 떨림에 관한 연구를 보고하였다. 평균 소변 중 수은배출은 20μmol Hg/mol 크레아틴(거의 36 μg/L)이었다. 이전년도의 평균 소변 중 수은은 18.9μmol Hg/mol 크레아틴(33 μg/L)이었다. 손가락의 떨림은 소변 중 수은에 의해 나타난 수은노출과 연관되어있다. 그 저자[40]는 20μmol Hg/mol 크레아틴이 거의 현재TLV(0.05 mg/$m^3$)의 삼분의 일인, 17μg Hg/$m^3$의 대기 중 노출과 거의 일치한다고 여겼다. 대조군은 피부노출이 확인되지 않았다.

Williamson et al.[41]은 다양한 형태의 수은에 노출된 12명의 작업자들을 연구하였다; 8명은 수은기반의 살균제를 제조하는 화학공장의 작업자들이였다. 그들의 일은 염화 제2수은과 메톡실수은아세테이트에 노출

되었다. 나머지 4명의 노출된 작업자들은 아말감에 사용되는 수은의 금정제를 하였다. 노출기간의 범위는 3개월에서 8년이다. Williamson et al.[41]은 단기간 기억과 손안전성을 포함한 다양한 행동검사들을 이용하였다. 24시간 소변 채취를 사용한 현재 소변 중 수은수치의 범위는 10에서 670 μg/L이었다. 연구된 작업자들의 대다수는 5년 전 소변 중 수은데이터를 가지고 있었다. 12명 중 5명은 이전 또는 현재 소변 중 수은 수준은 200 μg/L을 초과하였고, 5명은 100과 200사이, 1명은 미미하게 100이하였고, 1명은 103이하의 현재 단일 배출측정결과를 가지고 있었다. 하지만, 마지막 1명의 이전데이터는 없다. 소은에 노출된 작업자들은 상당히 뒤떨어진 시각추적, 많은 떨림, 그리고 단기기억능력들의 감소를 가지고 있었다. 몇몇 검사들에서, 수은노출 작업자들의 대부분은 충분히 잘 시험된 일에 대해 배우지 못하였다. 그 감소는 손 떨림을 제외하고 소변 중 수은과 연관되지 않았다. Williamson et al.[41]은 노출의 단일측정은 실제체내축적유해물질의 지표로 불충분하다고 여겼다. Roels et al.[42]은 수은아연 아말감공장과 클로랄칼리공장으로부터 42명의 작업자들을 보고하였다. 증가된 단백뇨와 단백뇨증은 대조군에서 보다 수은에 노출된군에서 더 널리 퍼져있었다. 정신운동의 기능은 대조군과 비교하여 손상되어 있었다. 비정상적인 정신운동기능의 유병률과 혈액 또는 소변 중 수은수준 사이의 관계는 분명하지 않았다. 정신운동기능의 잠복기는 신장영향과는 관계가 없다. 비정상적인 정신운동의 증가된 유병률수치는 혈액 중 수은수준은 1과 2μg Hg/dl사이였고 소변 중 크레아틴은 50과 60μg/g사이였다.

Albers et al.[43]은 188명의 클로랄칼리작업자들을 연구하였다. 18명은 경미한 감각의 다발성신경장애를 가지고 있는 것으로 발견하였다. 이들은 감소된 임상, 말단, 진동, 그리고 핀의 감각, 감소된 말단의 힘, 그리고 증가된 팔의 떨림을 가지고 있었다. 그들은 또한 시험들에서 차이점

이 조사되었다. 그들은 또한 접촉압력, 두 지점구별, 진동, 그리고 핀-고통감각의 시험들에서 차이점이 조사되었다. 임상적으로 정상적인 작업자들은 더 적은 노출연수를 가지고 있었다(8년 대 비정상 노출자의 13년). 가벼운 신경장애를 가진 작업자들은 지속적으로 36개월 이상 소변에서 120μg Hg/L이상의 평균을 나타냈다. 그들은 또한 정상적인 작업자들보다 500μg Hg/L이상의 peak로 상당히 많은 개월 수를 보냈다. Albers은 이 수은노출수준은 증상이 없지만 임상적으로 분명한 하나의 축삭돌기형태인 감각운동의 다발성신경장애와 연관되어있다고 결론지었다. 이는 크고 작은 신경섬유기능이 포함된다.

Levine et al.[44]은 또한 18명의 클로랄칼리작업자들을 신경행동검사들을 사용하여 연구하였다. 평균 소변 중 수은농도는 290μg Hg/L이었다. 5명의 작업자는 비정상적인 신경행동속도를 가지고 있었으며, 3명은 장기적인 말단잠재성을 가지고 있었고, 그리고 한명은 장기적인 운동과 감각 말단잠재성을 가지고 있었다. 신경감각의 결함들은 250또는 500이상의 수준에서 반 개월 이상을 보내는 것과 월간 평균소변 중 수은이 440이상이었다.

87명의 클로랄칼리작업자 연구에서, Stonard et al.[45]은 클로랄칼리작업자의 평균소변 중 수은수준은 67μg Hg/g크레아틴인 것을 발견하였다. 수은노출그룹은 소변 중 $\beta_2$u-oglobulin의 농도는 대조군보다 더 낮았다. 소변 중 NAG효소의 높은 활성들과 감마 글루타밀 전이 효소의 유병률에서 약간의 증가는 소변 중 수은의 농도가 100μg Hg/g크레아틴을 초과할 때 관찰되었다. 높은 NAG활성은 또한 10년 이상 노출되었을 때 보였다. Fawer et al.[46]은 형광튜브공장, 클로랄칼리공장, 그리고 화학공장으로부터 금속수은에 노출된 26명의 작업자들을 연구하였다. 평균대기 중 개인노출은 26μg Hg/$m^3$이였다. 평균소변 중 수은은 11.3μmol/mol 크레아틴이었다(거의 40.6μg Hg/L). Fawer et al.[46]은 노출된

작업자들은 손 떨림 스펙트럼에서 대조군과 상당히 다르다는 것을 발견하였다. 손 떨림의 가장 중요한 예측변수는 노출기간이다.

Smith et al.[47]은 단기간 기억에 대해 수은원소의 영향을 보고하였다. 86명의 클로랄칼리작업자들은 두 연구그룹으로 나누어 연구되었다. 정확한 연속기억의 작업자 50 %임계값을 측정하는 검사를 사용하여, 저자[47]는 수은원소노출의 증가로 단기 수용력의 통계적으로 상당한 감소를 발견하였다. 첫 번째 그룹에서 소변 중 수은의 평균은 200μg Hg/L이고 두 번째 그룹에서는 100μg Hg/L이였다. 대조군은 이용되지 않았다.

Cragle et al.[48]은 농축된 리튬의 생산에서 리튬동이원소의 분리로부터 수은원소에 노출된 2133명의 남성의 사망률연구를 실행하였다. 수은의 노출은 병 또는 수은의 타겟이된 장기라 생각된 장기의 암으로부터 (예를 들어, 간, 폐, 중앙신경계[CNS], 신장) 어떠한 죽음의 초과와 연관되어 있지 않다.

Meyer et al.[49]은 수은 화합물, 주로 아세트산페닐수은과 염화 제2수은을 생산하는 뉴저지화학공장에 포함된 35명의 작업자들을 연구하였다. Meyer과 공동연구자들은 높은 β-glucosaminidase배출은 대조군과 비교하여 수은 작업자들에서 상당히 높은 것을 발견하였다. 150μg Hg/L이상의 소변 중 수은수준을 가진 작업자는 150μg Hg/L이하의 수은수준을 가진 작업자들보다 상당히 높은 배출비율을 가졌다.

Roels et al.[50]은 수은아연아말감과 수은원소에 노출된 270명의 남성과 106명의 여성을 연구하였다. 147μg Hg/g크레아틴인 95번째 백분위수를 가진 남성의 평균소변 중 수은은 52μg Hg/g크레아틴이었다. 63μg Hg/g크레아틴인 95번째 백분위수를 가진 여성의 평균소변 중 수은은 37μg Hg/g크레아틴이었다. 이 수준들은 CNS와 신장의 영향들을 향상시켰다. CNS와 관련된 증상들은 알려져 있다(기억곤란, 우울한 감정, 피로, 그리고 과민성).

손 떨림 스펙트럼에서 변화들은 수은에 노출된 남성들에게서만 발견되었다. 떨림은 10년 이상 노출된 남성작업자들에게 더 유효했다. 수은에 노출된 남성과 여성들은 증가된 소변 중 β-galactosidase활성과 증가된 렌티날 결합 단백질의 배출을 가지고 있었다. 이러한 잠복기의 신장영향들은 소변 중 수은수준이 50μg Hg/g크레아틴을 초과할 때 주로 검출된다. 여성 수은 작업자들은, 평균노출기간이 남성작업자들보다 길었고 여성의 평균소변 중 수은은 50μg Hg/g크레아틴(37μg Hg/L) 이하 이고, 떨림을 보이지 않았지만, 반면에 더 짧은 노출의 남성들의 평균 수은은 50μg Hg/L보다 높았고 떨림[50]이 관찰되었다. 이러한 이유로, Roels et al.[50]은 50크레아틴은 수은증기에 노출되는 작업자들의 생물학적 임계점이라고 결론지었다.

Bunn et al.[51]은 대기 중 0.05와 0.10 Hg/$m^3$사이의 수은농도에 노출되는 작업자들에게 공공연한 수은증상들의 흔적이 있는 231명의 클로랄칼리작업자를 연구하였다. 이 경우는 공공연한 수은중독이 발견되지 않았다.

Rosenman et al.[52]은 신경, 신장, 안구의 독성을 위해 산화수은, 수은염, 페닐 수은 아세테이트를 포함하여 무기수은화합물을 생산하는 화학공장으로부터 40명의 작업자들을 연구하였다. 50 %는 소변 중 수은수준이 2500이상이었고, 23.7 %은 1000과 2500사이의 수준이었으며, 26 %는 1000의 수준을 가졌다. 40명 중 31명은 신경학적 증상들이 보고되었다. 5명은 그들의 사지에 고통과 마비가 있었다. 이들 중 3명은 운동과 신경전도기능속도가 느려지는 것이 발견되고 조사되었다. 15명의 작업자만이 시각영향들이 조사되었다. 모든 15명은 눈에서 불투명함을 가졌다. 15명의 경우에서 불투명함은 피질과 세포핵에서 관찰되고 두드러졌다. Rosenman et al.[52]은 일반적인 인구에서 이러한 불투명함은 관찰되지 않는다고 언급하였다. Saccadic안구검사에서 연구된 작업자들과 대

조군 사이에 상당한 차이들이 관찰되었다. 신경행동학적 검사수치는 대조군과 비교하여 감소되었지만 수은수지와 연관성이 없었다. 신장증후군의 한 경우가 확인되었다. 대기 중 노출, 혈액 중 수은수준, 그리고 소변 중 수은수준들은 수은아연 아말감에 노출된 10명의 작업자들에서 Roels et al.[53]에 의해 5일 동안 관찰되었다. 이것을 기반으로, 교대작업 끝과 다음날아침 소변에서 하루대기 중 노출과 혈액 중 수은수준사이에 강한 연관성이 발견되었다. Roels et al.[53]은 공기 중 수은(μg/$m^3$): 혈액 중 수은(μg/dl): 소변 중 수은비율(μg/g 크레아틴)은 1:0.045:1.22인 것을 발견하였다. 그러므로, 조사자들은 소변 중 50μg Hg/g크레아틴은 공기 중에서40μg Hg/$m^3$이고 혈액 중에서 1.8μg Hg/dl인 생물학적 TLV을 결론지었다. 조사자들은 작업자들이 노출될 피부접촉의 정도에 대해서는 논의하지 않았다.

Albers et al.[54]은 520명의 작업자들을 연구하였고, 그들 중 247명은 이전에 20년에서 35년간 직업적 수은노출을 가지며 잠재적으로 신경계 이상과 연관된 것을 확인하였다. 수은 노출은 강화리튬으로부터 야기되었다. Albers et al.[54]은 대조군과 비교하여 노출된 작업자들에게 떨림의 수가 상당히 증가한 것을 발견하였다. 그 집단이 두 그룹으로 나뉘었을 때(즉, 하나의 집단은 600μg Hg/L이상의 피크를 하나 또는 그이상이고, 다른 집단은 600μg Hg/L이상의 피크를 가지지 않는다.), 상당한 차이를 발견하였다. 대부분의 신경학적 측정으로, 적어도 600μg Hg/L이상의 하나의 peak를 가지는 그룹에서 행동이 악화되고 신경학적 이상의 유병률이 더 높았다. 높은 노출그룹은 더 나뉘고 분석되었다. 대상자의 28%는 신경장애의 임상적증거가 있는 850μg Hg/L이상의 peak를 가졌다. 또한, 600μg Hg/L이상의 피크를 두 개 또는 그 이상을 가진 사람들은 피크가 없는 사람들보다 상당히 더 이상이 있었다. 600μg Hg/L이상의 피크를 세 개 또는 그 이상을 가진 사람들은 없는 사람들

보다 여전히 상당히 이상이 있었다. 다발성신경장애를 가진 대상자들은 일반사람들보다 높은 수은노출이 있었다. 노출기간은 다발성신경장애의 유무와는 연관이 없었다. 나이에 의해 노출그룹이 분석되었을 때, 대조집단과 높고, 낮은 노출그룹 사이에 차이가 두드러졌다. 조사자들은 그 데이터는 나이와 연관된 신경학소모의 결과로 드러나게 되는 것을 보여준다고 여겼다.

Barregard et al.[55]은 41명의 클로랄칼리작업자들을 연구하였고 50μg/L보다 높은 소변 중 수은에서 NAG의 소변 중 배출이 높은 것을 발견하였다. 다중선형회구는 소변 중 NAG는 소변 중 수은과 통합적인 양은 연관되어있지만 혈액 중 수은수준과는 연관되어있지 않음을 보여주었다.

Piikivi and Ruokonen[56]은 노출의 지표로써 혈액 중 수은수치를 사용하여 60명의 남성 염소-알칼리작업자들을 연구하였다. 수은노출은 최소 5년이었다. 혈액 중 수은수치를 사용하여 대기 중 노출을 이끌어내고, Piikivi and Ruokonen[56]은 대기 중 노출은 거의 25μg $Hg/m^3$라고 결론지었다. 노출된 작업자들에서 사구 또는 관의영향 어느 것도 관찰되지 않았다.

Singer et al.[57]은 산화수은, 수은염, 그리고 페닐수은산에 노출된 작업자들에서 중앙 운동, 중앙센서, 그리고 비복신경의 신경행동속도를 연구하였다. 중앙운동신경의 느려짐은 소변과 신경학적 증상들에서 증가된 수은수준과 연관되어있는 노출된 작업자들에게서 발견되었다. 평균 소변 중 수은수치는 거의 508 μg/L이었다.

Roels et al.[58]은 가속도계와 두 개의 정신운동시험들을 사용하여 세 개의 공장으로부터 수은에 노출된 54명의 남성작업자들을 연구하였다. 이 연구에서는 흡연과 커피 그리고 술의 섭취가 고려되었다. 손의 안정성검사와 눈과 손의 협응검사는 자세와 의식적인 떨림에서 잠재적인 변화들을 나타냈고, 반면에 가속도계에 의해 나타난 변화들은 통계적으로

중요하지 않았다. 수은에 노출된 그룹은 75μg Hg/g 크레아틴의 스폿소변과 평균7.7년의 노출기간을 가졌다. Roels와 공동연구자들은 노출초기의 어린작업자들에게서 더 높은 비정상적 손 수치의 유병률을 발견하였다. Roels와 동료들은 생물학적 제한수치인 50가 어린작업자들을 보호하기에 충분하게 높은지에 대해 의문점이 있는 그들의 생각을 다시 한 번 언급하였다.

Ehrenberg et al.[59]은 온도계 제조 시설에서 84명의 수은에 노출된 작업자들(대부분 여성)을 연구하였다. 소변 중 수은수준의 평균과 중앙값은 100 μg/g크레아틴 이하였다. 노출된 작업자들은 정지 시 떨림과 발끝걸음걸이의 어려움에 대한 유병률이 특히 높았다. 그들은 반사저하일 가능성이 덜 있다. 이러한 증상들이 있는 작업자들은 노출지수에서 상당하게 높은 수치를 가지고 있었다. 증상조사에서, 숙면어려움과 쇠맛은 노출그룹과 상당히 연관되어 있었다. 노출된 작업자들은 또한 소변 중 수은수준과 연관된 NAG와 β2u-globulin의 높은 수준의 유병률을 가지고 있었다. Ehrenberg와 동료들[59]은 이 연관성은 소변 중 수은은 β2u-globulin에 의해 나타나는 만성영향보다 급성영향(NAG에 의해 나타나는)과 연관되어 있기 때문에 존재한다고 제안했다. 수은노출측정들은 과거노출들이 고려되지 않았고 조사때 취해진 측정들은 제한되었다. 평균공기 중 농도는 9.3에서 75.6μg Hg/$m^3$범위에 있다. 피부노출은 논의되지 않았다.

Piikivi and Tolonen[60]은 41명 클로랄칼리작업자들의 뇌파검사(electroen-cephalographs EEGs)을 연구하였다. EEGs의 컴퓨터분석에서, 알파주파수, 전체 주파수, 그리고 실효치(root mean square-RMS)에 의해 영향 받은 신호의 진폭수치에서 통계적으로 상당한 차이들이 관찰되었다. 노출된 그룹의 평균소변 중 수은은 11.6 μmol/mol크레아틴이었다. Piikivi and Tolonen은 Roels비율을 사용하여 25μg Hg/$m^3$인 대기

중 노출을 계산하였지만, 실제 대기 중 샘플들을 측정하지 않았다.

Piikivi[61]는 남성클로랄칼리작업자들에서 심장혈관반사를 연구하였다. 저자는 30 μg/m$^3$에서 장기간노출은 자율신경계에 부정적인 영향의 원인이 되지 않는다고 결론지었고 이 연구는 25 μg/m$^3$의 WHO수은노출권고사항을 지지하였다.[2]

Barregard et al.[62]은 클로랄칼리작업자들에게서 사망률과 암발생률을 연구하였다. 그들은 흡연을 할 때 여겨지는 심장혈관사망률에서 설명되지 않는 증가를 발견하였다. 그들은 뇌 또는 신장 또는 뇌와 신장종양의 질병으로부터 사망률에서 증가하지 않았다.

Piikivi and Hanninen[63]은 대기 중의 평균농도인 25 μg/m$^3$에 장기간 노출된 작업자들에서 인지, 운동, 기억, 또는 배움 능력에서 이상들을 발견할 수 없었다.

메틸수은에 대한 동물 또는 사람생식의 수은영향에 대한 광범위한 문헌을 이용할 수 있음과 달리, 금속수은 또는 무기수은 노출로부터 사람생식영향들에 대한 정보는 적다.

Friberg and Vostal[1]은 매독에 대비한 수은연고에 노출된 여성의 사산아에서 검출될 수 있었던 1928년 수은에 대해 언급하였다. 임신한 여성, 태아, 그리고 신생아에서 수은독성의 Koos and Longo[3]리뷰는 낙태를 시도하려고 2.5그램의 수은염이 주입된 여성에서 수은중독 경우를 보고하였다. 주입 후 13일 뒤, 그녀는 자발적으로 태아를 낙태시켰다.

Lien et al.[13]은 집에서 수은금아말감의 난방으로부터 야기된 수은증기의 높은 농도에 단일 노출된 임신한 여성의 경우를 보고하였다. 그녀는 호흡의 고통과 메스꺼움의 증상을 보였다. 처음 24시간 소변 중 수은수치는 거의 200μg Hg/L이었다. 그녀는 노출 뒤 26일후 만삭아를 출산하였다. 병원에서 일주일간 아이는 건강하였고 이상들은 보이지 않았다. 태어났을 때, 엄마의 혈액 중 수은수준은 3.7 μg/dl이었고, 반면에

아이의 혈액 중 수은수준은 3.2 μg/dl이었다. 두 수준은 태어나고 32일 뒤에 마지막측정을 했을 때 2μg/dl의 수치를 도달할 때까지 계속하여 떨어졌다.

Melkonian and Baker[64]은 수은독성을 위하여 조사된 15주된 임신한 여성에 대하여 보고하였다. 그녀는 2년간 직업적으로 수은에 노출되었었다. 초기 소변 중 수은수준은 875 μg/L이다; 혈액 중 수은은 5.4 μg/dl이었다. 그 환자들은 약간의 신경장애를 가졌다. 그 엄마는 예정일에 정상적인 남자신생아를 출산하였다. 탯줄은 23.0mg Hg/g을 포함하였고, 제대혈은 0.4μg Hg/dl를 포함하였으며 태반은 2.4μg Hg/dl를 포함하였다. 신생아의 소변 중 수은은 2.5 μg/L이었고, 2달이 되었을 때 3.0 μg/L이었다.

Sikorski et al.[65]은 폴란드 치과에서 여성을 연구하였고 두피와 음모에서 관찰된 전체수은과 연관된 월경이상과 불임을 발견하였다. 머리카락에서 관찰된 수은의 범위는 최소한 대조군의 5배였다. 대기 중, 소변, 또는 혈액수준은 주어져있지 않다.

McFarland and Reigel[66]은 남성 생식영향들의 6가지 경우들을 보고하였다. 남성은 1965년에 단일 급성 수은노출을 받았었다; 사고 후 첫날 24시간 소변 중 수은수준의 범위는 46에서 3280μg Hg/L이었다. 대기 중 측정들은 취해지지 않았다; 하지만 작업자들의 이론적인 최대 노출은 44.3 mg/$m^3$만큼 높을 것이다. 모든 6명의 남성들은 급성 호흡 고통의 증상들을 가지고 있었고 나중에는 성급함, 떨림, 피로 같은 만성수은 독성의 증상들로 발전하였다. 모든 6명의 남성들은 손상된 성기능을 가지고 있었고 이것은 비가역적이었다. McFarland and Reigel[66]은 손상된 성기능은 종종 간과되는 수은중독의 양상이라고 여겼다.

Cordier et al.[67]은 잘 설계된 연구에서 아버지의 노출과 생식결과를 평가하였다. 이 연구는 아버지의 소변에서 수은의 증가된 농도와 자연

유산의 비율의 증가를 관찰하였다. 50 μg/L이상의 소변 중 수은수준에서, 자연유산의 위험률은 2배였다. 설문지는 남편과 아내 둘에게 주어졌다. 노출은 작업범주와 과거 생물학적 모니터링자료에 의해 결정되었다.

Alcser et al.[68]은 1953년에서 1963까지 수은을 다룬 미국의 에너지시설부서에서 아버지의 노출로의 생식결과들을 연구하였다. 그 생식결과들은 아버지의 기억으로만 결정되었다. 수은노출과 감소된 생식력 또는 심각한기형의 비율증가 또는 심각한 아동기질환 사이에 연관성들은 보이지 않았다. 이전의 유산병력으로 제어 후, 수은원소노출은 저자에 의해 상당한 위험요소 또는 유산의 예측변수로 여겨지지 않았다. 하지만, 그들은 100 μg/L소변의 노출에서 증가는 최대 18%로 유산결과를 가지는 가능성이 증가할 수 있다는 것을 언급하였다.

Erfurth et al.[69]은 수은에 노출된 남성작업자들에게서 뇌하수체호르몬에 변화가 없다는 것을 발견하였다. 소변 중 수은평균은 26 nmol/mmol 크레아틴이었다.

Lauwerys et al.[70]은 수은증기에 노출된 남성작업자들의 생식력을 연구하였다. 소변 중 수은농도의 범위는 5.1에서 272.1 μg/g 크레아틴이었다. 관찰된 출생수와 대조그룹의 생식경험에 근거하여 예상한 출생수 사이에 통계적으로 상당한 차이가 관찰되지 않았다.

Brodsky et al.[71]은 29,514명의 치과의사들과 30,272명의 여성 치과보조원들을 연구하였다. 수은에 노출된 사람들은 두 그룹으로 나뉘었다: 주마다 0에서 40아말감 수복물을 준비하거나 사용하는 그룹하나와 주마다 40아말감 수복물 이상을 준비하거나 사용하는 그룹하나. 의사들의 아내는 그들의 남편들에 따라 분류되었다. 조사자[71]들은 낮고 높은 노출비율사이에 차이를 발견하지 못하였다. 수은에 노출되지 않은 대조군은 없다.

### ▶ 휘발성 콜타르피치

CAS number: 65996-93-2

TLV-TWA, 0.2 mg/$m^3$, Benzene Solubles

A1 – Confirmed Human Carcinogen

• Human Studies 관련 연구수행 실적 없음

### ▶ 일산화탄소

CAS number: 630-08-0

분자식: CO

TLV - TWA, 25 ppm (29 mg/$m^3$)

• Human Studies(역학 연구)

*background(배경)*

일산화탄소의 주요독성작용은 흡입노출에 따른 세포산화의 제어이다. 일산화탄소는 폐포, 모세혈관, 그리고 태반에 걸쳐 빠르게 확산되고 그것은 역으로 헴단백질의 하나와 결합한다. 헤모글로빈과 결합하여 흡수된 일산화탄소의 약 80-90 %는 혈액의 산소운반능력이 감소하게 된다. 하지만, 주로 독성이 일어나는 장소는, 미트콘드리아 호흡의 직접적인 억제를 일으키는 cytochrome $a^3$산화효소와 결합한 일산화탄소를 포함하고 있다.(1) 다른 헴단백질과 결합한 일산화탄소의 나머지, 예를 들어, 심기능과 근육산소운반에 압박의 원인이 되는, 미오글로빈; 아마 산소 라디칼로 세포에 타격을 주는 원인인, 하이드로퍼록시데이스; 그리고 시토크롬 P-450.

적은양의 일산화탄소는 주로 헤모글로빈의 이화작용으로부터 내부적으로 생산된다. 움직이지 않는 노출이 없는 건강한 몸에서 0.4-0.7 %

carboxyhemoglobin(COHb)가 나타난다.[2] 일반적인 인구에서 배경수준(0.5-1.5 %)은 환경적 노출 때문에 더 높다. 임신동안에는, 산모의 COHb는 0.4-2.6 %까지 증가된다고 보고되었다.[3] 비슷하게, 비 흡연 산모의 태아 COHb는 0.7-2.5 %로 보고되었다; 하지만, 흡연산모와 흡연경험이 있는 산모의 64명 신생아의 연구에서 COHb의 범위는 1.1-4.3 %인 것을 발견했다.[4] 과신진대사, 특정약물, 그리고 용혈성 빈혈은 4-6 %까지 COHb의 내적생산을 증가시킬 수 있다.[5] 담배흡연은 인구의 가장 크게 노출되는 비산업적 부분이다. 하루에 한 갑을 소비하는 사람의 COHb의 범위는 4-20 %이고, 평균은 5-6 %였다.[6]

일산화탄소의 흡수와 제거는 수학적으로 묘사되었다.[7,8] COHb수준결정에서 가장 영향력 있는 변수들은 일산화탄소의 농도, 노출기간, 그리고 폐포 환기이다. 예를 들어, 35 ppm의 일산화탄소농도에서 6-8시간동안 가벼운 작업의 수준에서 평균성인은 거의 혈액에서 5% COHb수치로 예상된다.

*Cardiovascular Studies(심혈관 연구)*

이전에 많은 연구들은 5%이하의 COHb의 증가는 운동부하에서의 급성감소,[9,10] 동맥과 혼합정맥의 산소장력 감소,[11] 그리고 안정적인 협심증을 가진 남자에게서 협심증발생기간 감소 같은 일반적인 지원자들에게서 심혈관에 영향을 주는 것을 발견했다.[12] 비록 이러한 발견들은 항상 재발견되진 않지만,[13] 두 연구는 심장동맥 질병을 가진 환자에게서 이 발견들을 확인하였다. 63명의 남성에게서 0.6에서 2 % 그리고 3.9 % COHb수준의 상승은 심근허혈과 협심증 시간에서 감소의 원인이 되고,[14] 그리고 평균COHb수준이 2.9 %일 때 협심증의 발생과 함께 운동부하의 상당한 감소를 야기했다.[15] 이러한 발견들은 동물 실험들에 의해 지지받고 있다. 5 %의COHb포화는 개에게서 급성 심근경색과 연관된 심근허혈의 상승을 야기하였다.[16]

Holland Tunnel에서의 작업자들 중 한 직원은 평균 70 ppm의 일산화탄소 농도인 터널에서 2시간동안 일하고, 2시간마다 터널 밖으로 교대하며, 8시간 교대근무를 하였다. 이 작업자들은 평균 5 %의 COHb이고 아무도 10 %을 넘지 않았다. 평균노출은 거의 35 ppm이였고, 어떠한 증상이나 부정적인 건강영향은 관찰되지 않았다.(17) 반면에, 후향적 연구에서 일산화탄소에 노출된 5 %이하의COHb인 1212명의 터널직원들은 죽상경화심질환으로부터 상당히 높은 사망위험률을 가지는 것을 발견했다.(18)

이전에 관상동맥질병에 걸린 두 명의 직원은 약 25 %COHb가 생산되기에 충분한 일산화탄소에 노출된 이후에 사망하였다. 이 수준은 15분간 가벼운 작업으로 약 2000 ppm의 일산화탄소에서 노출된 이후에 이를 수 있는 수준이다.(19)

*Neurologic/Psychomotor Studies(신경/심리 증상 연구)*

일산화탄소중독에 의해 생산된 산소결핍은 급성 신경학적 결함뿐만 아니라 극심하고 종종 지체되는 신경학적 후유증을 발생한다는 것은 잘 알려져 있다. 10 %이상의 COHb수준의 원인이 되는 충분한 일산화탄소의 흡수는 두통과 같은 증상에 의해 알아차려진다. 많은 연구들은 심리적 일의 근무에서 낮은 수준의 일산화탄소 노출(2-5 %COHb)의 영향에 대해 보고하였다. 비록 모순된 결과들이 보고되었지만, 심리적 기능에서의 감소는 3-4 %의 COHb에서 관찰되었다.(20)

모순되는 결과들의 한 가지 이유는 심리적일이 오랜 기간일 때 종종 긍정적인 결과들이 관찰되는 것이다.(21) 예를 들어, 3.4 %의 COHb증가는 “운전조심”(22)만큼 높은 상당한 결함을 야기하고, 2또는4 % COHb는 비디오게임을 줄이는 것과 연관성이 있으며,(21) 그리고 5 %의 COHb에서는 집중검사에서 감소를 야기한다.(23) 행동시험에서 5 %COHb가 발생할 만큼 충분한 일산화탄소에 노출된 사람은 어려운“이중으로 하는

일"시험들에서만 운동수행에 미미한 영향이 있었다.[24] Bunnell and Horvath의 보고서[25]에서는 7 %에서 인지적 수행에서의 미미한 영향은 확실히 관찰되었고 신체적 작업 이후에 악화된 것을 나타냈다.

*background(배경)*

일산화탄소의 주요독성작용은 흡입노출에 따른 세포산화의 제어이다. 일산화탄소는 폐포, 모세혈관, 그리고 태반에 걸쳐 빠르게 확산되고 그것은 역으로 헴단백질의 하나와 결합한다. 헤모글로빈과 결합하여 흡수된 일산화탄소의 약 80-90 %는 혈액의 산소운반능력이 감소하게 된다. 하지만, 주로 독성이 일어나는 장소는, 미트콘드리아 호흡의 직접적인 억제를 일으키는 cytochrome $a^3$산화효소와 결합한 일산화탄소를 포함하고 있다.[1] 다른 헴단백질과 결합한 일산화탄소의 나머지, 예를 들어, 심기능과 근육산소운반에 압박의 원인이 되는, 미오글로빈; 아마 산소 라디칼로 세포에 타격을 주는 원인인, 하이드로퍼록시데이스; 그리고 시토크롬 P-450.

적은양의 일산화탄소는 주로 헤모글로빈의 이화작용으로부터 내부적으로 생산된다. 움직이지 않는 노출이 없는 건강한 몸에서 0.4-0.7 % carboxyhemoglobin(COHb)가 나타난다.[2] 일반적인 인구에서 배경수준(0.5-1.5 %)은 환경적 노출 때문에 더 높다. 임신동안에는, 산모의 COHb는 0.4-2.6 %까지 증가된다고 보고되었다.[3] 비슷하게, 비 흡연 산모의 태아 COHb는 0.7-2.5 %로 보고되었다; 하지만, 흡연산모와 흡연경험이 있는 산모의 64명 신생아의 연구에서 COHb의 범위는 1.1-4.3 %인 것을 발견했다.[4] 과신진대사, 특정약물, 그리고 용혈성 빈혈은 4-6 %까지 COHb의 내적생산을 증가시킬 수 있다.[5] 담배흡연은 인구의 가장 크게 노출되는 비산업적 부분이다. 하루에 한 갑을 소비하는 사람의 COHb의 범위는 4-20 %이고, 평균은 5-6 %였다.[6]

일산화탄소의 흡수와 제거는 수학적으로 묘사되었다.[7,8] COHb수준결

정에서 가장 영향력 있는 변수들은 일산화탄소의 농도, 노출기간, 그리고 폐포 환기이다. 예를 들어, 35 ppm의 일산화탄소농도에서 6-8시간동안 가벼운 작업의 수준에서 평균성인은 거의 혈액에서 5% COHb수치로 예상된다.

*Cardiovascular Studies(심혈관 연구)*

이전에 많은 연구들은 5%이하의 COHb의 증가는 운동부하에서의 급성감소,[9,10] 동맥과 혼합정맥의 산소장력 감소,[11] 그리고 안정적인 협심증을 가진 남자에게서 협심증발생기간 감소 같은 일반적인 지원자들에게서 심혈관에 영향을 주는 것을 발견했다.[12] 비록 이러한 발견들은 항상 재발견되진 않지만,[13] 두 연구는 심장동맥 질병을 가진 환자에게서 이 발견들을 확인하였다. 63명의 남성에게서 0.6에서 2 % 그리고 3.9 % COHb수준의 상승은 심근허혈과 협심증 시간에서 감소의 원인이 되고,[14] 그리고 평균COHb수준이 2.9 %일 때 협심증의 발생과 함께 운동부하의 상당한 감소를 야기했다.[15] 이러한 발견들은 동물 실험들에 의해 지지받고 있다. 5 %의COHb포화는 개에게서 급성 심근경색과 연관된 심근허혈의 상승을 야기하였다.[16]

Holland Tunnel에서의 작업자들 중 한 직원은 평균 70 ppm의 일산화탄소 농도인 터널에서 2시간동안 일하고, 2시간마다 터널 밖으로 교대하며, 8시간 교대근무를 하였다. 이 작업자들은 평균 5 %의 COHb이고 아무도 10 %을 넘지 않았다. 평균노출은 거의 35 ppm이였고, 어떠한 증상이나 부정적인 건강영향은 관찰되지 않았다.[17] 반면에, 후향적 연구에서 일산화탄소에 노출된 5 %이하의COHb인 1212명의 터널직원들은 죽상경화심질환으로부터 상당히 높은 사망위험률을 가지는 것을 발견했다.[18]

이전에 관상동맥질병에 걸린 두 명의 직원은 약 25 %COHb가 생산되기에 충분한 일산화탄소에 노출된 이후에 사망하였다. 이 수준은 15분

간 가벼운 작업으로 약 2000 ppm의 일산화탄소에서 노출된 이후에 이를 수 있는 수준이다.[19]

*Neurologic/Psychomotor Studies(신경/심리 증상 연구)*

일산화탄소중독에 의해 생산된 산소결핍은 급성 신경학적 결함뿐만 아니라 극심하고 종종 지체되는 신경학적 후유증을 발생한다는 것은 잘 알려져 있다. 10 %이상의 COHb수준의 원인이 되는 충분한 일산화탄소의 흡수는 두통과 같은 증상에 의해 알아차려진다. 많은 연구들은 심리적 일의 근무에서 낮은 수준의 일산화탄소 노출(2-5 %COHb)의 영향에 대해 보고하였다. 비록 모순된 결과들이 보고되었지만, 심리적 기능에서의 감소는 3-4 %의 COHb에서 관찰되었다.[20]

모순되는 결과들의 한 가지 이유는 심리적일이 오랜 기간일 때 종종 긍정적인 결과들이 관찰되는 것이다.[21] 예를 들어, 3.4 %의 COHb증가는 "운전조심"[22]만큼 높은 상당한 결함을 야기하고, 2또는4 % COHb는 비디오게임을 줄이는 것과 연관성이 있으며,[21] 그리고 5 %의 COHb에서는 집중검사에서 감소를 야기한다.[23] 행동시험에서 5 %COHb가 발생할 만큼 충분한 일산화탄소에 노출된 사람은 어려운"이중으로 하는 일"시험들에서만 운동수행에 미미한 영향이 있었다.[24] Bunnell and Horvath의 보고서[25]에서는 7 %에서 인지적 수행에서의 미미한 영향은 확실히 관찰되었고 신체적 작업 이후에 악화된 것을 나타냈다.

### ▶ 베릴륨 및 그 화합물

CAS number: 7440-41-7

TLV - TWA, 0.00005 mg/m$^3$ (0.05 μg/m$^3$), 흡입성 입자 물질

A1 – 사람에 대한 발암성이 확인된 물질

수용성 화합물

피부 자극성(dermal sensitizer-DSEN)

불용성 화합물
호흡 과민성(respiratory sensitizer-RSEN)

• Human Studies(역학 연구)

베릴륨과 그 화합물의 직업적 노출은 세 가지의 증상과 관련이 있다. 1)급성 베릴륨 질병은 높은 농도의 베릴륨에 단기 노출에 의한 것이다. 2)BeS and CBD는 몇 주에서 몇 년까지의 잠복기 이후에 발생하는 면역매개성 반응이다. 3) 그리고 폐암

*Acute Beryllium Disease*

급성 베릴륨 질환은 비염, 인두염, 기관 기관지염 및 폐렴을 일으키는 기도에 어느 수준에 영향을 미칠 수 있습니다. 급성 폐렴은 잠재적으로 높은 수준의 수용성 베릴륨 염에 급성 노출된 가장 심각한 결과이다. 이것은 큰 노출 뒤 3일 이내에 폭발적인 질병 또는 화합물의 낮은 수준에서의 장기간 노출 이후에 발생할 수 있다. 가장 주된 증상은 호흡곤란이다. 불안감, 식욕부진, 체중감소는 일반적인 증상들이다. 급성 벨릴륨 질병은 치명적일 수 있다. 섬유증은 각각의 살아남은 질병사이에서 생길 수 있다(Vorwald et al., 1966).[9] 급성 벨릴륨 질병을 가진 사람은 또한 만성 질환으로 될 수 있다. Freiman and Hardy (1970)[10]의 보고서에는 만성 질환 124 명 중 11 %는 CBD의 발병 이전에 하나 또는 두 가지의 급성 질환이 있었음을 보고했다.

*Beryllium Sensitization (BeS) and Chronic Beryllium Disease (CBD) (베릴륨감작증상과 만성베릴륨질병)*

임상적 CBD는 운동성 호흡곤란, 체중감소, 마른기침, 피로, 흉통, 식욕부진 및 쇠약이 특징이다. 이것은 증상의 심각도 증가와 함께 장기간 진행된다. 증가된 사례에서는 손가락 발수 및 섬유증 결합과 활성 간질성염이 나타난다. 폐 심장증이 나타날 수 있고 매우 증가된 경우에서

죽음의 원인이 된다. 임상 CBD가 나타나는 잠복기간은 20년 이상일 수 있다. 베릴륨에 노출된 개체의 일부(2 % -19 %)만이 베릴륨 감작이 나타난다(Kreiss et al., 1993a, b, 1996, 1997; Newman et al., 2001, 2005b; Kelleher et al., 2001; Maier, 2002; Sackett et al., 2004; Schuler et al., 2005; Stange et al., 2001, 2004).[4,11,12,14-21] 그러나 베릴륨에 최소한의 노출에도 일부는 감작이 나타나거나 CBD가 발생한다(Newman et al., 2001; Kelleher et al., 2001).[1,19] 감작은 항상 CBD진행의 원인은 아니다. 분류된 작업자의 50 %까지 질병의 증거없이 감작이라고 나타내었다(Maier, 2002).[21] 하지만 감작으로부터 진행되는 질병은 입증되었다(Newman et al., 2001, 2005a, b; Stange et al., 2001; Henneberger et al., 2004).[11,13,19,20] 그러므로, 베릴륨에 대한 면역적 과민성을 나타내는 개인는 잠재성 및 임상적 CBD 발생에 대한 위험률이있을 수 있습니다.

Curtis (1951)[6]은 베릴륨 유발성 피부염과 작업자들에게서 피부 과민성을 보고했다. 이 연구에서는 베릴륨에 노출되지 않은 16명의 "대조" 군은 가용성 베릴륨 염에 대한 알레르기 반응 검사를 하였다. 16 중 8명에게서 피부 과민성이 나타났고, 이것은 베릴륨의 감작이 피부 노출로부터 생길 수 있음을 시사했다. Tinkle et al. (2003)[7]은 난용성 베릴륨의 피부감작을 쥐를 통해 BeS를 입증하였다. 노출된 작업자들에서 새로운 사례의 관찰은 공기 중 농도 저하에도 불구하고 또한 피부 노출이 중요한 기여를 하고 있음을 시사하고 있다.

*Studies Evaluating the Relationships between Beryllium Exposure and BeS and CBD(베릴륨 노출과 BeS와 CBD증상 사이의 연관성 평가연구)*

4개의 공장작업 범주(rod 와 wire 생산, strip 금속생산, 생산 지원, 관리)를 포함한, CBD의 유병율(7 %, 6/81)은 지금까지 rod와 wire 생산 쪽에서 일한 사람은 유의하게 높았다($p<0.05$). 이 작업범주 내에서 점과

모서리, 번선, 피클링 그리고 신선하위범주에서 일하는 사람을 포함한 CBD발생률은 각각 21 %(3/14), 10 %(4/39) 그리고 10 %(4/42)이다. 이러한 발생률은 모든 해당되는 비노출 대조 그룹에 비하여 유의하게 컸다. 이 같은 하위범주에서는 베릴륨에 감작된 개인의 발생률은 각각 21 %(3/14), 13 %(5/40), 14 %(6/44)였다. 점과 모서리, 번선과 피클링, 그리고 신선하위범주에서의 총 베릴륨 노출의 중앙값은, 0.03μg Be/$m^3$(범위 0.01-1.58이하), 0.12μg Be/$m^3$(범위 0.01-7.80), 그리고 0.06μg Be/$m^3$(범위 0.01-0.38). 0.2μg Be/$m^3$을 초과하는 샘플의 비율은 점과 모서리, 번선과 피클링, 그리고 신선하위 작업 각각 6 %, 54 %, 그리고 13 % 이다. wire 와 rod생산, strip 금속 생산, 생산 지원 및 관리 내에서 모든 다른 작업들의 베릴륨 노출 수준의 중앙값은 0.02-0.11μg/$m^3$이다. 이러한 범주에서 샘플들 비율의 상한값이 0.2μg/$m^3$을 초과하는 것은 7%이하다.

전반적으로, BeS 또는 CBD의 통계적으로 유의한 발생률은 노출 농도의 중앙값 범위가 0.03-0.12μg/$m^3$이고 대략 25%의 개인노출 샘플이 0.2 μg/$m^3$을 초과하는 작업범주와 연관이 있다. 그에 비해, 통계적으로 유의하지 않는 위험률은 노출농도의 중앙값이 0.02-0.11μg/$m^3$이고 0.2μg/$m^3$을 초과하는 샘플들의 비율이 7%이하인 작업 범주와 연관이 있었다.

베릴륨 노출과 Bes와 CBD사이에서의 연관성은 베릴륨 정밀 가공공장에서 작업자들의 집단안에서 조사했다(Kelleher et al., 2001).[(1)] 공장의 작업은 1696년에 시작하였고, 베릴륨 금속, 산화물, 합금을 사용하고 있다. 1995년에서 1997년에 초기 작업자(235명) 분류가 실행되었다. 후속 분류는 초기 분류 이후 다음 2년마다 원래235명 중 187명으로 실행했다. 그 그룹은 제조공장에 취업한지 평균 11.7년이었다(범위 1달-29년). 235명 중 60명은 그들의 초기혈액 분류는 공장에 고용된지 일년

이내였다.

초기분류에서 235명 중 15명은 비정상적인 혈액 BeLPT 결과가 확인되었다. 2년 뒤 후속추적은 추가적인 5명의 비정상적인 BeLPT가 확인되었고, 1999년에 시행된 두 번째 후속추적은 2명의 추가적인 비정상적인 BeLPT가 확인되었다. 비정산적 BeLPT의 22명 중 19명은 임상적 추적을 하였다. 19명 중 13명은 CBD를 진단받았고, 2명은 CBD일 가능성을 가졌으며, 4명은 베릴륨에 감작으로 진단받았다. BeS 또는 CBD인 4명은 3개월 이내에 공장에 고용된 사람이었다. BeS 또는 CBD인 작업자는 거의 기계공으로 일하고 있었다(odds ratio, 4.4; 95% 신뢰구간 [CI], 1.1-17.6).

베릴륨노출과 BeS/CBD 발생 사이의 관계를 결정하기 위해, 작업자들을 두가지 그룹으로 나누었다: BeS/CBD로 확인된 작업자(“사례들”로 칭함)그리고 병이 없는 작업자(“대조”로 칭함). 처음 두 번의 조사(1995년과 1997년)에서 BeS/CBD로 확인된 20명은 사례로 포함되었다. 남아있는 감작이 검출되지 않거나 병이 없는215명 중 206명은 “대조”그룹에 포함되었다. 작업자들의 인터뷰에 기반하여, 각각의 직책으로 할당하였다. 사례그룹에 있는 20명중 18명은 공장에서 기계공으로 일한 경험이 있는 것으로 보고되었다.

개인 캐스케이드 충격기 샘플들은 베릴륨 가공이 일어나는 지역(59개)와 베릴륨 가공과 연관성이 없는 지역(41개)개를 수집하였다. 샘플들은 작업자의 호흡영역으로부터 채취하였다. 노출측정은 각각 작업 범주에서 전체 베릴륨 노출, 6 μm이하의 입자에서 노출, 1 μm이하의 공기역학적 입자 사이즈에서 노출 샘플들로부터 계산되었다. 이 연구의 일부인 1995년부터 1997년에 채취한 베릴륨 공기 중 농도와 1981-1984년으로부터의 과거 수치 비교에서 통계적으로 차이를 보이지 않았다.

사례와 대조 그룹에서의 각각 작업자의 직업적 베릴륨 노출 계산은

아래와 같이 계산되었다.

각각의 베릴륨 노출 평균LTW은 직책으로 간주된 각각의 누적 노출로 나누어 계산되고, 공장에서 고용된 총 연도 수에 의해 μg/$m^3$-years로 표현된다(μg Be/$m^3$).

수집된 100개의 개인 임팩터 베릴륨 샘플들의 총 베릴륨 노출의 중앙값은 0.13 μg/$m^3$(범위는 0.006-22.62)이고, 50개의 샘플들은 0.2μg/$m^3$이하로 나타났고 9개의 샘플들은 2μg/$m^3$이상으로 나타났다. 그것들은 사례그룹과 대조그룹의 누적노출(μg/$m^3$-years)의 사이에서는 통계적으로 차이를 보이지 않았다. 사례그룹의 평균LTW는 대조그룹의 평균LTW와 비슷하였다. 노출중앙값 또는 총 베릴륨입자의 평균농도는 사례그룹과 대조그룹 모두 0.25 μg/$m^3$이다. 사례그룹과 대조그룹의 6μm이하의 입자 노출농도는 각각 0.20, 그리고 0.14 μg/$m^3$이다. 각각 사례그룹과 대조그룹의 6μm이하의 입자 노출농도는 0.13과 0.11이다.

20명의 사례그룹 중 12명은 노출 LTW가 0.2μg Be/$m^3$이상이다. 16명 사례는 총 미립자질량 노출LTW가 0.1μg Be/$m^3$이상 이었다. 4명의 사례는 노출값이 0.02-0.1μg Be/$m^3$사이였다. 주목할 점은 고용 3달 이내의 4명 작업자와 이전에 베릴륨에 노출되지 않은 작업자들이 BeS또는 생체검사에서 CBD로 진단받았다는 것이다(n=2).

Madl et al. (2007)[(2)]은 Kelleher et al. (2001)[(1)]에 의해 조사된 같은 베릴륨 기계공 공장의 노출평가를  더 포괄적으로 하였다. 더 많은 1980-1995년 과 1995-1999기간 동안의 개인(N=3831)과 지역(N=616)샘플은 Kelleher[(1)]에 의해 보고된 잠재적인CBD와 BeS의 20명 사례들의

평균노출LTW을 계산하기 위해 사용되었다. 더 나아가, 2000-2005년도의 노출평가 데이터는 새로 잠재적 CBD를 가지고 있거나 베릴륨에 감작된 것으로 확인된 추가적인 7명의 작업자들 노출 LTW를 계산하는데 사용되고 보고되었다. 1995년과 1999년 사이의 기간동안 청소하는데 사용된 가압공기호스제거, dry sweeping제거, 이물질제거공정 폐쇄 제작, 몇몇 부서에서의 국소배기설치, 유니폼의 의무적 착용, air shower가 사용되는 생산구역의 접근 수정, 작업화정책의 실행과 진공장치의 설치 등을 포함하여 작업자들의 베릴륨 노출을 감소시키기 위한 많은 개선책이 만들어졌다. 세 개의 기간 동안의 노출 재구성은 중앙값, 평균, 95번째 백분위수 추정, 0.02와 0.2 그리고 2 μg/$m^3$ 초과분율 계산을 포함하고 다섯 가지의 다른 접근법을 사용하는 것을 수용했다.

보충데이터와 함께 각각의 직책에서 일한 모든 년도의 데이터를 사용하여 공장에 있는 BeS또는 잠재적 CBD를 가진 27명 중 1명의 총 베릴륨입자중량의 중앙값은 0.02와 0.05 μg/$m^3$사이에 있고, 6명의 LTW은 0.05와 0.1 μg/$m^3$사이, 8명의 LTW은 0.1과 0.2 μg/$m^3$사이, 5명의 LTW은 0.2와 0.4 μg/$m^3$사이에 있고 나머지 7명의 LTW은 0.4 μg/$m^3$이상이다.

중앙값보다 노출농도의 평균값을 기반으로 LTW을 계산할 때, 데이터가 더 높은 값 때문에 약간 왜곡된다. 다음을 확인하였다: 아무도 0.05 μg/$m^3$이하의 LTWs을 가지지 않았고, 3명의 LTWs은 0.05와 0.1μg/$m^3$사이였고, 7명의 LTWs은 0.1과 0.2 μg/$m^3$사이였으며, 3명의 LTWs은 0.2와 0.4 μg/$m^3$사이고, 8명의 LTWs은 0.4와 0.8 μg/$m^3$사이, 2명의 LTWs은 0.8과 1.6 μg/$m^3$사이, 그리고 나머지 4명의 LTWs은 1.6 μg/$m^3$이상이었다.

95번째 백분위수로, 27명의 사례들 중 1명의 LTW만이 0.1과 0.2 μg/$m^3$사이였다. 나머지는 0.2 μg/$m^3$이상이었다. 이러한 관찰은 저자를

노출을 95%확률로 0.2이하로 낮춘다면 BeS와 CBD를 예방할 수 있을 것 이라고 결론짓도록 한다.

Johnson et al. (2001)[22]은 Cardiff Wales, U.K.에 있는 Cardiff Atomic Weapons Establishment 공장의 체험을 보고하였다. 이 시설은 1961년과 1997년 사이에 400명 이상의 직원을 고용했다. 금속성의 베릴륨을 주로 사용하였다. 게다가 대규모의 공기모니터링과 공장에서의 산업위생 프로그램 또한 표면오염제어, 엔지니어링, 작업자, 그리고 베릴륨노출감소의 물질적 제어에 이용되고 있다. 전자 데이터베이스는 101개 지역에서 지역 샘플링 367,757개 그리고, 1981년에서 1979년 기간에 걸친 194명의 직원으로부터 개인 옷깃 샘플링 217,681개를 포함하고 있다. 전체 작업자의 연도개인샘플링농도의 범위는 0.11에서 0.72 μg/$m^3$사이이다. 주조공장 작업자는 가장 높은 농도인 평균 0.87 μg/$m^3$이였다. 모든 지역의 연도지역샘플농도의 평균의 범위는 0.02에서 0.32 μg/$m^3$사이이다. 입자사이즈분포에 대한 자료는 없었다. 운영기간동안, 공장에는 만성 CBD의 사례밖에 없었는데 이를 저자는 호흡노출보다 상처노출에 의해 발생된 것이라 추측하였다.

그러나 저자는 discussion부분에서 "...비록 Cardiff 장소는 현존하는 모든 베릴륨시설 중 가장 대규모의 작업장 측정 데이터베이스 이지만 이 측정은 실제 작업자 노출을 반영하는데 불필요하다는 것을 강조하는 것은 중요하다. 예를 들어, 개인 샘플링이 실행되는 동안 Cardiff 작업자들은 공통적으로 호흡보호구를 사용하였고, 우리는 이 요소를 설명하는 공기 샘플링 결과를 보정하지 못하였다."라고 언급하였다. 특정 개체, 특정 작업, 호흡보호구사용 데이터는 없었다.

Kreiss et al. (1997)[17]은 순수한 금속, 산화물, 합금들, 세라믹을 생산하는 베릴륨제조공장에서 작업공정과 연관된 베릴륨질병과 감작의 위험률요소를 평가하였다. 조사대상공장은 1953년에 오픈하고 그것의 개방

과 조사실행(1993-1995)사이에 약 2274명의 직원들이 고용되었다. 세라믹생산 공정은 1984년에 다른 시설로 이주되었다.

1984년 이후로 작업을 시작한 직원 중, 다른 모든 공정에서의 직원들의 0.7 % 유병률(1/140)인것과 비교하여 베릴륨 금속생산 공정(특히 pebble plant와 진공용해공정)에서 BeS와 CBD의 8 % 유병률(4/50)인 것을 발견했다. 게다가, 1983년 이후로 고용된 사람들은, 공장의 다른 부분보다 pebble 공정 부분에서 일한 직원들에서 좀 더 많은 비정상적인 혈액검사결과가 있었다(46.2 % 대 20.5 % 다른 장소를 포함하여). pebble 공정에서의 일반적 지역시료측정, 호흡영역측정, lapel시료들의 베릴륨 농도측정의 중앙값은 0.4, 1.1, 0.9 μg/$m^3$이고, 1990년에서 1992년 후기에만 수집되었다. 2 μg/$m^3$TWA 또는 5 μg/$m^3$STEL값을 초과하는 일반적 영역, 호흡영역, lapel샘플들 각각의 샘플의 비율은 6.4, 11, 27.5였다.

Kreiss et al. (1996)[16]은 1980년 이래로 영업한 베릴륨 세라믹 공장에서의 작업자들의 BeS와 CBD의 유병률을 조사하였다. cohort연구는 136명의 직원들로 구성되었다. 작업일의 매일가중평균Daily weighted average(DWA)노출은 공식적으로 포함된 대부분의 작업시간 연구들을 기반으로 일반적인 영역, 교대영역, 호흡영역측정들을 이용하여 분기별로 측정되었다. 공식적인 DWA는 수년간 공장 내에서 변화된 작업으로 수정되었다. DWA값은 3개 직책으로부터는 1/81에서 12/82, 6개 직책으로부터는 1/83에서 9/85, 14개 직책으로부터는 10/85에서 3/88 그리고 19개 직책으로부터는 4/88에서 9/91을 얻을 수 있었다. 데이터가 없는 작업 기간은 추정을 하였다.

8명의 베릴륨에 감작된 직원들이 확인되었다(5.9 % 발생률).8명중 6명은 CBD로 진단받았다(전체 발생률은 4.4 %). 기계공들은 다른 직원들 중 1.2 %의 전체적 비율에 비교하여 14.3 %의 감작률을 가지고 있었다.

10/85에서 3/88기간 동안의 주요공정의 일반적 영역과 호흡영역측정들은 0.8μg Be/$m^3$이하였다.

이 연구의 결과는 BeS의 odds ratio가 14.3인 결과의 대부분은 2 μg/$m^3$이하라고 제시했다.

Cummings et al. (2007)[23]은 2000년과 2004년 사이에 상당한 노출제어개선을 실행한 베릴륨 산화세라믹 제조시설의 갱신된 BeS의 유병률을 제공했다. 그들은 1993년과 1998년 사이에 고용된 직원들과 2000년에서 2004년으로부터 고용된 직원들의 감작률을 비교했다. 대기중 베릴륨 수준은 이 두기간의 중앙값, 기하평균, 95번째 백분위수 상위 잔류허용량한계수치는 비슷하였고, 각각 1994년부터 1999년 까지는 0.2, 0.21, 1.25μg Be/$m^3$ 그리고 2000년부터 2003년 까지는 0.18, 0.18그리고 1.66이다. 감작발생률 측정은 1993년부터 1998년은 8.7 % 2000년부터 2004년은 단지 1 %였고, 작업절차와 다른 제어들 사이의 대기수준을 줄이는 것은 BeS을 제어하는데 중요하다고 제시된다. 피부노출을 막는 것은 특히 중요하다고 여겨진다.

Rosenman et al. (2005, corrected in 2006)[5]은 혼합된 노출뿐만 아니라 입자사이즈(흄 대 먼지)와 다른 형태(수용 대 불수용)의 베릴륨 혼합물의 노출과 BeS와 CBD발생의 연관성을 베릴륨공정시설로부터 577명 이상의 작업자로부터 평가하였다. 확실하거나 잠재적CBD의 유병률은 7.6 %이고 BeS는 7.0 %로 비록 평균과 노출피크 또한 높은 다른 보고된 연구에 비하여 더 높았다. 불용성 Be입자의 평균과 노출피크의 범위는 각각 1.6-1.7μg Be/$m^3$와 5.1-6.1μg Be/$m^3$이다. 수용성 입자의 해당하는 범위는 각각 0.8-0.9μg Be/$m^3$와 1.1-3.3μg Be/$m^3$이다. 먼지의 평균과 노출피크의 범위는 각각 1.5-1.6μg Be/$m^3$와 5.1-6.6μg Be/$m^3$이고, 흄의 평균과 노출피크의 범위는 각각 0.5-0.9μg Be/$m^3$와0.8-3.3μg Be/$m^3$이다. BeS나 CBD의 증거가 없는 개인들에게서 노출의 차이는 없

었다. 병의 발생은 또한 각각의 일의 교대동안 소비된 시간의 양과 일에 기반한 샘플링을 이용하여 계산된 DWA노출농도와 비교하였다. DWAs가 0.02에서 0.2μg Be/$m^3$이하의 범위에서 확실하거나 잠재적인 CBD의 사례는 없었고, 33명의 경우는 DWAs의 범위는 0.2부터 2μg Be/$m^3$이하이었고 7경우의 DWAs는 2μg Be/$m^3$이상이었다. DWAs가 0.02에서 0.2μg Be/$m^3$이하의 범위인 확실하거나 잠재적인 BeS의 경우는 없었고, 24명의 경우는 DWAs의 범위는 0.2부터 2μg Be/$m^3$이하이었고 13명의 경우는 DWAs 2μg Be/$m^3$이상이었다.

Stanton et al. (2006)[3]은 세 개의 구리베릴륨합금유통센터에서의 100명의 직원들을 교차조사를 수행하였다. 한명의 작업자만이 감작되었음을 발견하였고 유병률은 1 %이다. 교대 개인 lapel 샘플농도의 중앙값은 0.03μg Be/$m^3$이고 산술평균은 0.05μg Be/$m^3$이고 97 %의 샘플들은 0.2μg Be/$m^3$이하였다. BeS/CBD인 작업자는 제작지원 직책으로 22년간 일했고 트레일러차량이 나가고 들어오는 동안 외부오염과 베릴륨파편을 포함한 BeO 파우더의 드럼을 다루었다. 그는 또한 무게측정과 먼지투성이인 주괴를 재포장하는 동안 피부접촉이 있었다.

Cullen et al. (1987)[24]은 시간이 지남에 따라 다양한 구성물질을 가지게 된 베릴륨과 베릴륨 합금을 포함한 많은 산업파편물질로부터 중요한 물질의 정제와 교정에 종사하는 회사에서 5명의 CBD환자들을 포함하여 측정된 140명의 작업자들을 확인하였다. CBD에 걸린 작업자들은 1960년대 중부터 1980년 초 동안에 노출되었었다. 4명은 용광로 구역에서 일하였고, 한명은 주로 금속 파괴/분리 구역에서 일하였다. 1983년에, 6가지 직책에서의 개인샘플링은 CBD에 걸린 작업자들의 베릴륨노출을 측정하기 위해 실행되었다. 노출평가의 타당성은 CBD에 걸린 작업자들의 지지를 받은 공장에서의 작업은 그 기간 동안 변하지 않았고 사실 에어샘플링을 하는 동안 사용된 파편의 종류는 이전에 사용된 것

보다 높은 베릴륨농도를 포함하고 있을 것 이라는 직원에 의해 주장된 것에 의해 수년 뒤에 실행되었다. 베릴륨 농도는 용광로 작업자들로부터의 샘플들에서는 0.50 ± 0.44 $\mu g/m^3$ (n = 29)이였고, 금속 파괴 작업자들로부터는 2.7 ± 7.2 $\mu g/m^3$ (n = 36)이였다. 저자는 용광로 구역에서는 주로 흄(열에 의해 생산된 산화물0이고 파괴구역에서는 금속합금 먼지(기계공정으로부터)인 대기중금속으로 표시했다. BeS, CBD와 베릴륨에 노출되는 것 사이의 관계에 대한 추가적인 통찰은 베릴륨시설 근처에 거주하는 주민들의 연구로부터 나타냈다. Maier et al. (2008)은 잠재적인 지역 후천적 CBD인 16명의 사례들의 평가를 보고하였다. 그들은 베릴륨에 직업적 또는 보조적으로 노출되지 않은 주민들에게서 8명의 CBD 사례들을 확인할 수 있었다. 8명의 사례들 중 3명은 가족인 것으로부터 CBD의 유전적 요소의 중요성을 강조하였다. 사례들은 평균적으로, 시설로부터 0.37miles(범위는 0.1-1.05mile)에 살았다. 1958년으로부터 모니터링된 자료에 근거하여, 주위 베릴륨 농도는 0.0155-0.028μg $Be/m^3$의 범위였다. 몇몇 노출들은 0.35μg $Be/m^3$를 초과하였다.

*Cancer*

수많은 역학연구들은 대기 중 베릴륨에 노출된 작업자들에게서 기도종양의 원인인 베릴륨의 잠재성에 대해 조사하였다. 이 연구들의 대부분은 베릴륨공정시설에서 노출된 작업자들의 후향적cohort연구를 하였다. 공장들은(n=7) Ohio와 Pennsylvania에 위치하였고 몇 번이고 분석하고 재분석되었다. 초기연구동안은 혼란되는 요소에 대해 잘 컨트롤되지 않았고(Mancuso, 1970, 1979, 1980; Mancuso and el-Attar, 1969; Bayliss et al., 1971; Wagoner et al., 1980)[26-31], 좀 더 최근연구들은 담배와 같은 혼란요소와 적절한 대조인구들을 적절하게 다루는 증진된 기술을 이용하였다(Ward et al., 1992; Steenland and Ward, 1991; Sanderson et al., 2001)[32-34]. 이 연구들의 몇몇 결론은 또한 연구 설계

와 담배와 같은 혼란요소의 불충분한 고려에 대한 걱정에 근거하여 심문받았다(MacMahon, 1994; Eisenbud et al., 1997; Levy et al., 2002)[35-37]. Eisenbud et al. (1997)[36]은 또한 공장지역에서의 작업자들을 포함한 관찰된 폐암의 높은 SMR에 대한 Lorain공장에서 높은 수준 황산증기의 잠재적 공헌에 대해 거론하였다.

Ward et al. (1992)[32]은 7개의 베릴륨공정에서의 9225명 남성에 대해 분석을 실시하였고 모든 결합된 7개의 공장에서 기도, 기관지 그리고 폐암의 상당한 증가(표준사망률[SMR]: 1.26; 95%신뢰구간[CI]: 1.12-1.42)를 관찰하였다. 이 결과들은 9225명의 남성 작업자들을 포함하고 있다. 이 공장에서 공장으로의 cohort 분석들은 Lorain(SMR=1.69)에서 관찰하고 공장들에서 나타난(SMR=1.24)상당한 결과를 보여주었다. 전체 공장 분석들에서, 고용기간이 아닌, 고용된 시점 이래로, 폐암의 죽음과 상당한 연관성이 있었다. 작업자들의 30년 이상인 종양잠재기(고용시작시점이래로)는 SMR(1.46)에서 상당한 높이를 가지고 있었다. 중요하게, 작업자들이 10년간 작업한 것은 폐암위험률의 증가와 상당한 연관성이 있다. 노출 수준은 1930년대와 1940년대에 상당한 증가를 하였고(1949년에 설립된 엄격한 노출수준을 따르면서 노출수준의 감소는 시작), 1950년과 1960년 십년동안 폐암의 SMR에 대한 증가는 더 이상 관찰되지 않았다. Lorain과 다른 공장들에서 나타난 SMRs는 각각 1.49(1.13-1.03)과 1.08(0.91-1.31)로 감소하였고, 몇몇 조정은 흡연으로 인해 만들어졌다. Lorain의 Ohio작업자들의 SMR만이 상당하게 증가하고 있다.

IARC (1993)은 베릴륨의 cohort연구들의 평가와 실험실 동물들에게서 베릴륨 발암현상에 대한 연구결과를 기반으로 사람들과 실험적인 동물에게서 충분한 증거들로 베릴륨은 발암성이라는 결론을 지었다. 몇몇 베릴륨 cohort연구들의 측면들은 작업자들의 증가하는 폐암위험률과 베

릴륨금속과 합금의 정제, 가공, 생산을 포함한 작업환경이 원인적으로 연관성이 있다는 IARC's의 결론을 지지하였다. 이것들을 포함: 1)많은 수의 폐암사례들은 사망률의 안정적인 측정결과들을 제공하였다; 2)대부분의 베릴륨공장들에서 폐암의 일관성은 초과했다; 3) 1950년 이전에 고용된 작업자들에서 상당한 초과를 하였고, 그 이후에 작업장 노출들은 낮아지고 더 제어되었다; 4)베릴륨 사례등록소에 기록된 사례들을 포함하여 급성베릴륨폐렴의 사례들의 최적비율을 가진 공장에서 폐암의 위험률은 증가했다; 5)가장 높은 폐암 위험률이 일어난 공장에서는 폐렴과 다른 호흡성질병들의 위험률이 가장 높게 나타났다. 흡연에 의한 잠재적 교란은 몇몇 방법으로 대처하고 베릴륨작업자들에게서 증가하는 폐암위험률을 설명할 정도로 나타나지 않는다. 폐암의 증가에서 베릴륨 용량의 역할에 대한 좀 더 많은 정보들은 Pennsylvania Reading공장에서 제한된 베릴륨작업자들의 사례대조군연구인 Sanderson et al. (2001)[34]에 의해 제공되었다. 이 연구는 각각 142명의 폐암사례들을 5개의 짝지어진 대조 사례들로 조사하였다. 이 연구의 한 가지 목표는 누적, 평균, 그리고 최대 베릴륨노출농도에 관한 폐암에 대해 평가하는 것이었다. Reading공장에서의 전체적인 폐암사망률은 증가하였다 (SMR=1.22; 95%신뢰수준=1.03-1.43). 중요하게, 사례들과 대조들의 사망은 1940년대 동안 제어되지 않은 노출수준동안에 고용부터 시작했다. 누적, 평균, 그리고 최대 노출레벨이 측정되지 않은 동안 사례들과 대조들은 상당하게 차이가 없었지만, 도입 이후 10 또는 20년의 기간에서의 분석들은 사례들의 베릴륨 노출수준은 거의 대조들보다 두 배였고 상당하게 차이를 보였다.

NIOSH 조사관들(Schubauer-Berigan et al., 2008)[38]은 로그변환조정의 대안사용과 출생년도와 고용시점에 맞는 조정들로 조건부로지스틱회귀를 사용한 그들의 재분석들로 응답했다. 높은 폐암위험률은 더 이상

누적노출과 연관성이 없지만 10년뒤 측정된 때의 평균 그리고 최대노출은 상당히 연관성이 있었다.

### ▶ 니켈카보닐

CAS number: 13463-39-3

동의어: Nickel tetracarbonyl; Tetracarbonylnickel; (T-4)-Nickel tetracarbonyl

분자식: Ni(CO)4

TLV - Ceiling, 0.05 ppm (0.12 mg/$m^3$), as Ni

A3 – 사람에게 적합한지 모르며 동물발암성이 확인됨.

• Human Studies(역학 연구)

340분간 30 ppm의 니켈카르보닐은 사람에게 치명적일 것으로 예측된다. 주된 급성노출의 영향은 폐에 끼쳐진다. 사람에게서의 두통, 메스꺼움, 흉부압박, 그리고 어지러움의 초기증상 뒤에 노출 후 12에서 36시간에 낮은 수준의 열과, 폐부종, 청색증, 가쁜 호흡의 증상이 지연된다. 소변 중 니켈수준의 측정은 급성직업노출의 심각성을 평가하는데 도움이 된다. 소듐 디에틸디티오카르밤산염(Sodium diethyldithiocarbamate-dithiocarb)은 니켈카르보닐에 노출된작업자들의 치료에 적용되었다(AIAH-1968).

*Case Reports(사례보고)*

Kurta et al. (1993)[5]은 니켈몰드를 생산하는 동안 갑작스럽게 니켈카르보닐에 노출된 46살의남성의 경우를 보고하였다. 유도관을 수리하는 동안, 작업자의 작업복은 오염이 되었고 호흡보호구가 제거되었을 때 노출의 근원이 되었다. 초기증상은 약간의 어지러움, 두통, 가쁜 숨, 흉부고통 그리고 힘없음이다. 입원 중에 그는 폐 관련증상을 가지고 산소를 필요로 하였다. 초기 소변 중 니켈수준은 172 µg/dL이었다(몇몇 독

성은, > 50 μg/dL).

처음에 치료는 디설피람으로 하였고, 이것이 효력이 있었을 때, 디티오카브, 산소기도내압, 항생제, 그리고 메틸프레드니솔론으로 호전되었고 그는 18일에 퇴원을 할 수 있었다. 3개월간의 평가에서, 그는 폐 기능테스트와 그의 흉부 X-ray가 정상적이라는 것을 발견하였다.

Seet et al. (2005)[6]은 니켈의 중화반응이 진행 중인 공장과 4시간거리로 근접한 쓰레기처리 공장에서 일하는 7명의 싱가폴 남자들에게서 돌발적인 노출을 보고하였다. 그들은 직접적으로 니켈폐기물과 직접적인 접촉이 없었고 먼지안면마스크를 착용하였다. 그 남성들은 3일간 12시간 내에 병원에서 고열, 오한, 흉골 늑막염 흉통 그리고 운동성 호흡곤란이 나타났다. 그리고 그 환자들은 백혈구증가와 흉부방사선침투의 확산에서 두드러진 결과가 나타났다. 모든 환자들은 호흡기의 도움을 받았다: 3명은 죽고, 그리고 4명은 생존했으며 입원 후 15-20일 뒤에 퇴원을 하였다. 차후조사에서 사고의 원인은 오래된 착화제, 적절하게 보관되지 않고 6개월 이내로 사용되지 않으면 TMTD제와 다른 황, 일산화탄소, 이산화탄소같은 분해생성물을 생성하는 Metalplex의 사용을 시사했다. 조사자들은 일산화탄소가 니켈카르보닐로부터 공정되어 생긴 니켈과 반응한다고 상정했다.

*Epidemiology(역학자료)*

Shi (1994)[7]는 112명의 니켈카르보닐 작업자(64명의 남성과 48명의 여성)와 니켈카르보닐에 직업적으로 노출되지 않은 75명의 대조군들을 단면적 폐활량측정 연구를 시행하였다. 노출된 작업자들은 두 그룹으로 나누었다: 그룹A는 각각, 평균18.8년과 16.6년간 노출된 32명의 남성과 20명의 여성, 20명의 남성과 20명의 여성대조군들로 구성되었다; 그룹B는 각각, 평균 2.5년과 3.8년간 노출된 32명의 남성과 28명의 여성, 19명의 남성과 16명의 여성대조군들로 구성되었다. 니켈카르보닐 노출농도

범위는 가스크로마토그래피방법으로 측정하여 0.007-0.52 mg/$m^3$이였다. 그 결과에서 14년 이상 더 노출된 남성작업자들에게서 평균 폐활량의 50%와 25%($V_{50}$과$V_{25}$)에서 최대호기유량비율, 최대호기중간유량(MMF), 강제폐활량(FVC)에서 1초율($FEV_1$)의 비는 대조군에 비해 상대적으로 상당히 감소한 것을 관찰할 수 있었다. 10년 이상 더 노출된 여성작업자들에게서 $FEV_1$, 최대호기속도(PEFR), V50과V25는 대조군에 비해 상대적으로 상당히 감소하였다. 8년보다 짧게 노출된 작업자들은, MMF와 V50에서만 상당히 낮았다. 동맥혈가스에서는 노출된 작업자들과 대조군 사이에 차이를 보이지 않았다. 저자는 0.52 mg/$m^3$ 또는 그 이하에서 노출된 작업자들에게, 니켈카르보닐의 만성적으로 낮은 수준의 노출은 소규모의 기도기능장애와 함께 방해되는 패턴에 의해 특징지어지는 폐 기능악화를 일으킬 수 있다고 결론지었다. 심각도는 노출기간과 연관되어 있다. 이 연구에서 인구집단을 구성하는 것과 아마 같은 작업자집단에서 Shi (1992)[8]에 의해 보고된 이전연구에서 주어진 노출수치와 연구된 작업자의 수가 다르기 때문에 노출수치의 신뢰도에 관한 몇몇 질문이 있다.

남쪽Wales, Clydach 니켈정련소에서 몬드법(니켈 광석에서 니켈을 채취하기 위한 정련 방법)은 1902년 이래로 사용되었고, 작업자들은 비부비동과 폐암의 높은 발생률을 경험하였다(Amor, 1939; Chief Inspector of Factories, 1952; Doll, 1958; Morgan, 1958)[1,19,10,11]. 이러한 처음 관찰들은 니켈카르보닐이 의심되는 사람발암물질인 것을 결론을 이끌어냈다. 하지만, 폐의 증가된 위험과 부비강암은 제련공정에서 니켈카르보닐을 사용하지 않는 다른 니켈정제공장으로부터 보고되었다. 그러므로, 비록 니켈카르보닐의 생산과 분해가 1957년까지 작업자수가 같고 기본적으로 공정기술의 변화 없이, Doll et al. (1977)[2]은 1930년에 비해 호흡성암의 발생률이 상당히 감소한 것을 발견하였다. Mond니켈정제공정작

업자들에 대한 그의 논문인, Morgan (1958)[1]에서 용광로흄에서의 노출이 위험한 노출로 결론지었다.

### ▶ 아크릴로니트릴

CAS number: 107-13-1
동의어: Propenenitrile; Vinyl cyanide
분자식: C3H3N
구조식: H2C=CH - CºN
피부
TLV - TWA, 2 ppm (4.3 mg/$m^3$)
A3 – 사람에게 적합한지 모르며 동물발암성이 확인됨.

• Human studies(역학 연구)

아크릴로니트릴의 산업적 사용이 합성고무의 생산과 급격이 증가한 1940년대에 인간에 대한 아크릴로니트릴의 급성 독성 효과에 대한 보고들이 시작됐다.[4] 아크릴로니트릴의 공학적 제어 수단들은 직업적 노출을 줄였고 급성 인체 독성의 경우는 그 이후에 보고되지 않았다. 사람에 대한 급성 아크릴로니트릴 유독성과 중독은 요약되어왔다.[1,4]

훈증에 사용된 사염화탄소 또는 염화메틸렌에 대한 아크릴로니트릴 혼합물에 의한 중독의 많은 치명적이고 치명적이지 않은 경우들은 서술되어졌다.[4] 몇 사람의 죽음은 피나 다른 조직에 시안화물(청산가리) 형성과 연관되어져 있다. 아크릴로니트릴은 더 이상 훈증약(소독·살충에 이용)으로서 사용되지 않는다.

아크릴로니트릴에 대한 피부 노출은 염증, 화상, 물집을 유발한다.[4] 게다가 아크릴로니트릴에 대한 피부 노출은 침투성의 유독성과 치명성을 초래할 수 있다. 만성적인 영향들 또한 아크릴로니트릴 증기 또는

액체에 대한 노출 후에 발생할 수 있다. 다양한 영향들은 5에서 20 ppm 정도의 아크릴로니트릴에 노출된 576명 작업자들 코호트연구에서 두통, 불면증, 일반적인 약함, 피로, 메스꺼움, 구토, 코피, 호흡 곤란 그리고 비정상적인 간 기능을 포함하여 보고되었다.[9] 그러나 이 노동자들은 또한 다른 화학작용제에 노출되었고, 오로지 아크릴로니트릴뿐 만의 노출은 보고된 영향에 책임이 있는지 불확실했다.

Thiess 과 Fleig[10]은 평균 15.3년동안 아크릴로니트릴에 노출된 18명의 노동자들로부터 림프구들의 세포 유전학 분석을 실시했다. 1963과 1974년 사이에 아크릴로니트릴 5 ppm의 평균 작업장 공기 농도와 1975년과 1977년 사이의 아크릴로니트릴 1.5 ppm 수준에서 대기의 모니터링을 실시했다. 100개의 중기(유사 분열에서 염색체가 적도면(赤道面)에 나열하여 방추체를 완성하는 시기.)들은 염색체 이상에 대한 각 피 실험자로부터 조사되었고, 연령을 맞추고, 노출되지 않은 대조군으로부터 얻은 표본과 비교하였다. 아크릴로니트릴에 노출된 그룹에서 염색체 이상들의 빈도들은 노출되지 않은 대조군에 피 실험자와 다르지 않았다.

아크릴로니트릴에 노출된 노동자들에 대한 많은 전염병학 연구들은 공개되었다. 폐와 전립선암의 과잉을 보고한 뒤퐁작업자들의 O'Berg[11] 연구를 제외하고 1994년 이전에 공개된 12개의 연구들은 부정적이었다. 그러나 뒤퐁의 코호트 연구에서 암초과율은 5년 이후 같은 추가의 코호트연구에서 발견되지 않았다.[12] 각 12개의 보고된 아크릴로니트릴 전염병학 연구들은 작은 집단 크기, 불완전한 노출 평가, 불완전한 이후연구, 그리고 다른 화학물질에 대한 노출을 포함한 불충분한 점에 시달렸다.[13,14] 12개의 전염병학 연구들의 메타 분석(단일 주제를 조사한 많은 연구들에 걸쳐서 요약하는 비교적 객관적인 기법) 아크릴로니트릴에 노출된 노동자들의 암으로 인한 사망의 초과율은 발견되지 않았다. (표준화된 사망률 비율, 1.03, 90% 신뢰구간[CI], 0.92-1.15).[15] 이 전염병학

연구들의 통계적인 분석들은 이 연구들은 초과율이 존재한다면 아크릴로니트릴 작업자들에 대한 암 초과율를 검출하는데 충분한 힘(>80%)을 가졌다고 제시했다.[13]

NCI(U.S. National Cancer Institute)는 미국에서 8개의 아크릴로니트릴 공장들에 고용한 58,460명 작업자들의 치사율 연구를 하였다.[16] 작업자들은 1950년대에서부터 1983까지 고용되었고, 건강상태와 죽음의 원인에 대해 1989까지 연구를 했다.

과거 아크릴로니트릴의 양적 추정들은 행해졌고, 흡연에 대한 정보를 얻었다. 다양한 (방사선) 선량계의 노출 (축적되는[ppm-years], 평균, 정점, 강도, 지속기간, 낮아진 노출)은 노출된 작업자들에 암의 일관된 초과율에 드러나지 않았다. 폐암으로부터 사망률은 축적된 노출 (비교적 위험, 1.5; 95% CI, 0.9-2.4)의 가장 높은 5분위 수에 올라갔다고 나타났다. 하지만 10분위수 카테고리에 의해 노출량 추정 분석은 농도-반응 관계를 보이지 않았다. 이 큰 코호트 연구의 결과들은 아크릴로니트릴에 대해 노출된 작업자들에게 암의 증가된 위험률과 연관되어 있지 않았다.

### ▶ 스티렌

CAS number: 100-42-5

동의어: Cinnamene; Ethenylbenzene; Ethylbenzol; Phenylethylene; Vinylbenzene

분자식: $C_8H_8$

구조식:

TLV - TWA, 20 ppm (85 mg/m$^3$)

TLV - STEL, 40 ppm (170 mg/m$^3$)

A4 – 사람의 발암물질로 분류되지 않음.

• Human Studies(역학 연구)

많은 저자들은 스티렌에 노출된 작업자들의 말초임파구에서 증가된 염색체 이상들(소핵, 염색체 간격 또는 파손들, 핵결합, 그리고 계획에 없던 DNA합성[UDS])을 보고하였다; 그러나, 말초임파구와 관계있는 염색체이상과 비교적 소규모의 연구된 집단은 스티렌이 생산하는 사람 유전적독성의 장애에 대한 정보를 해석할 수 있었다.[18,19] Pero et al.[20]은 1에서 40 ppm의 스티렌에 노출된 작업자들에게 말초임파구UDS의 증가를 발견하였고, Hogstedt et al.[21]은 12에서 74 ppm의 스티렌에 노출된 6명의 작업자들로부터 수집한 말초임파구에서 염색체이상의 증가된 빈도를 보고하였다. 2.8에서 154 ppm스티렌[22]에 노출된 36명의 작업자들, 27 ppm[23]에 노출된 15명의 작업자들, 플라스틱 제조공장[24]에 고용된 6명의 작업자들, 50 ppm이하의 대기에 있는 스티렌에 노출된 18명의 작업자들의 말초임파구의 조사에서 비슷한 결과들이 있었다.[25] Meretoja와 동료[26,27]들은 강화플라스틱 제조공장에서 종사하는 동안 1에서 140 ppm스티렌에 노출된 26명 남성의 말초임파구에서 스티렌에 의해 생성된 염색체이상유발을 발견하였다; 관계된 다른 남성에서 비정상적인 임파구는 1에서 4%인 것에 비교하여 이 남성들로부터 조사된 임파구의 10%에서 26%는 비정상으로 분류되었다.

비록 IARC의 스티렌 코호트 연구에서 폐 또는 상피함, 또는 비 호지킨 림프종에서의 전체 사망률에 상당한 초과율을 보이지 않았고, 1년 이상 고용된 사람에게서 백혈병과 림프종에서의 가능한 초과 위험율은 확인되었지만,[29] 노출-반응패턴은 일관되지 않았다.[30] 여기 부정적 임신 결과로 가능한 위험에 대한 직업적 스티렌 노출의 잠재적 영향에 관한 5가지 적절한 연구가 있다.

Hemminki et al.[31]은 스티렌/비스코스 레이온 산업에 종사하는 9000명의 여성작업자들 중 자발적 낙태가 지역의 전체 비율과 비교하여 2배 비율인 것을 발견하였다. Harkonen와Holmberg[32]는 67명의 라커작업자들과 그 산업에 고용되지 않은 연령대를 맞춘 67명의 여성들과 비교하였고 스티렌에 노출된 작업자들 중 자발적 낙태의 증가된 위험을 발견하지 못하였다. Lindbohm와 그의 동료[33]들 또한 스티렌 플라스틱 제조업에 고용된 여성들 중 자발적 낙태의 증가된 위험을 발견하지 못하였다. 직업적 스티렌 노출의 기록을 가진 1397명의 스웨덴과 282명의 노르웨이 여성의 임신의 사례대조군평가에서 선천적 기형, 배아/태아의 죽음, 또는 출생률 감소에서의 증가를 발견할 수 없었다.[34] 80 ppm의 스티렌 공기  중 농도에서의 라미네이트 작업에 고용된 여성의 신생아의 몸무게가 스티렌에 노출된 기록이 없는 여성의 신생아에 비해 감소했다(4%).[35] 그러나, 위에서 인용된 논문에서, 작업장 스티렌 농도는 측정되지 않았거나 스티렌과 작업장의 다른 화학약품들이 부적절하게 문서화되어 있다.

작업자의 뇌파도(EEG)기록의 변화[41-43]과 연관된 직업적 스티렌 노출의 많은 평가결과들은 작업자의 말초신경전도속도에서 가변적인 감소(2%-8%)를 보였다.[44-46] NIOSH는 급성 그리고 반복된 스티렌 노출에 기인된 뇌 위축, 소뇌신경 이상, 신경염, 그리고 비정상적인 반사신경의 경우들을 요약하였다.

스티렌 작업자의 최소노출그룹과 최대노출그룹간의 비교에서 높은 빈도의 청력역치[49]의 차이가 있었지만, 100 ppm 스티렌[47, 50] 이내에서 노출된 사람들 중에서 측정 가능한 다른 청각시스템의 영향(순음, 고실측정, 소리반사)을 발견할 수 없었다.

스티렌에 노출된 작업자들 사이에서 색각구별에서의 통계적으로 상당한 감소를 보였다.[51-54]

색 인식을 확인하는 채도 D-15 panel방법을 사용하여 Gobba와 그의 동료들[51,52], Eguchi et al.[53], 그리고 Campagna et al.[54]에 의한 연구들은 이러한 현상들에 대한 상당한 증거를 제공하였다.

Gobba와 그의 동료들[51]은 색인식의 정량적 평가와 연관된 16 ppm (범위: 0.7-126 ppm)의 8시간 TWA 스티렌농도에서 노출된 34명의 남성과 41명의 여성에서 요 중 스티렌농도와 대사산물 농도를 연구하였다. 암면산업에 고용된(스티렌에 노출되지 않은) 연령대를 맞춘 34명의 남성과 26명의 여성을 비교하였고, 이 연구에서 나이와 연관된 상당한 감소와 50 ppm이상의 작업장 대기 중 TWA스티렌 농도에 노출된 사람들 중에서 주로 파랑-노랑 범위에 영향을 주는 색각 예리함에 상당한 감소가 있었다. 근무교대 마감에서의 소변 중 스티렌 농도와 후천적 색각식별력손상(색각이상) 유형Ⅲ사이의 선형상관이 나타났다. 비슷한 조사에서, Fallas et al.[48]은 강화유리섬유 설치동안에 스티렌에 노출(평균 작업장 주변 농도 24 ppm)되는 60명의 남성 조선업자(평균나이29)를 평가하였다; 이 남성들은 나이, 흡연, 민족, 사회적 매개변수로 보일러 제작자와 창고작업자 60명과 매칭되어 비교되었고 빨강-초록 또는 파랑-노랑 결함증가($p<0.05$)로 발달되고 높은 요 중 만델산과 페닐글리옥시산을 배출하였다.

Gobba와 Cavalleri[52]는 36명의 대조군과 매칭한 추가된 36명의 스티렌작업자들을 평가하였다. 대조 군과 비교하여, 15 ppm의 평균 작업장 대기농도에 노출된 스티렌 작업자들 중 색 식별력의 상당한 감소를 관찰할 수 있었다.

평균 18.5 ppm(범위: 6.6-35.4 ppm)의 농도로 스티렌에 노출된 남성작업자들 중 더 낮게 노출된 개인 또는 대조군에 비해 높게 노출된 그룹에서 색 식별력의 상당한 감소가 있었다.

이전에 연구된 강화 섬유유리 플라스틱작업자인 67명의 캐나다인과

51명의 이탈리아인 중 스티렌에 의해 얻어진 색각이상과의 농도반응관계의 최대 가능성 재분석에서 Campagna et al.[57]은 4 ppm(상위 95%신뢰구간=26 ppm)이상의 8시간 TWA스티렌 노출로 상당한 색각의 장애(잠재적이지만)을 발견하였다.

Carpenter et al.[58]은 스티렌의 감각기와 신경계역할을 다른 탄화수소와 비교하였고 4시간동안의 800 ppm의 스티렌노출은 비슷한 농도의 톨루엔보다 더 해롭고 신경계에 영향이 있다는 것을 발견했다. 눈과 기도의 자극은 200 ppm이상의 농도에서 일어난다. 350 ppm에서의 2시간노출은 그러한 영향을 보이지 않았다;[36] 그러나 50-100 ppm[37]에서의 제어된 스티렌 흡입 또는 92 ppm[39]의 평균농도에서 작업장노출은 신체와 심적피로에 대한 불평들의 확연한 증거의 원인이 된다. 그러한 불평들은 10 ppm[40] 또는 35 ppm[38]의 스티렌 평균농도에서 노출된 작업자들에게서는 없었다.

Stewart와 그의 공동연구원들[1]은 일정치 않은 기간에 7시간동안 50, 100, 216 그리고 376 ppm의 스티렌증기농도를 9명의 사람에게 노출시켰다. 1시간동안 50 ppm에 노출시긴 사람들에게 어떠한 자각증상 또는 비정상적인 임상결과들이 없었다. 그러나, 100 ppm의 노출증기는 노출시킨 사람의 반에게 일시적인 자각반응이 나타났다. 376 ppm에서는, 대부분 불쾌해했고, 자각증상과 신경장애의 확연한 증상을 나타냈다. 재노출은 시행하지 않아서, 최소수준의 시험에서 변화반응에 대한 질문에 답할 수 없다.

Zielhuis[59]는 폴리에스테르 수지에서 스티렌에 노출된 9명의 작업자로된 한 그룹을 연구하였다. 졸림에 대한 불평은 많은 직원들에 의해 등록되었고 감마 글로불린에서의 약간의 증가를 보였다. 9명의 작업자 중 한명은 감지할 수 있는 간과 몇몇의 약간의 종양을 가졌다. 스티렌증기의 측정은 이루어지지 않았지만, 1개월 동안 한사람 당 약 4kg을 사용

하여 이 공정에서 사용된 스티렌양은 비교적 적었다. 여기서 스티렌의 증상에 대한 설명은 트리에틸렌테트라아민에 수반되는 노출에 의해 교란되었다. 200-700 ppm에서 흡입한 작업자들 중 "스티렌 질병"(졸림, 메스꺼움, 두통, 피로, 그리고 어지러움)이 있었다.(60)

## ▶ 메틸알코올

CAS number: 67-56-1

Synonyms: Carbinol; Methyl alcohol; Methyl hydroxide, Wood alcohol; Wood spirits,

Columbian spirits

Molecular formula: CH4O

Structural formula: H3COH

TLV - TWA, 200 ppm (262 mg/㎥)

TLV - STEL, 250 ppm (328 mg/㎥)

Skin

• Human Studies(역학 연구)

사람에게서 메탄올의 독성은 자세히 연구되고 있다(ATSDR, 1993; Gosselin et al., 1984). 사람에게 치명적인 경구 투여량은 2-8 온스이다(Gosselin et al., 1984).(1) 메탄올은 보통 날숨에서 발견할 수 있으며(Eriksen and Kulkarni, 1963)(2), 내생적으로 형성된다 (Axelrod and Daly, 1965).(3) Henderson과 Haggard (1943)에 따르면, 메탄올은 몸에서 천천히 제거 된다; 반복 노출은 혈액 및 조직에서 메탄올 농도를 증가시킨다.(4) McNally (1937)는 직업적 메탄올 중독은 사람에게 빈번하게 사망이나 실명을 일으킨다고 서술한다. 한정된 공간에서 작업으로 기인한 몇 몇 사례가 있다. 예를 들면 맥주통 니스 칠하기이다.

두통과 시력장애는 자주 보고된 증상이었다. 그는 8 g의 메탄올 흡수는 눈에

심각한 영향을 준다고 보고했고, 메탄올 8g의 흡수는 8시간 동안 800-1000 ppm의 메탄올 흡입으로 인한 결과이다.(5) Browning (1965)은 메탄올 증기의 반복적인 노출로 인한 만성중독의 사례를 언급했는데 결막염, 두통, 현기증, 불면증, 소화장애, 양안실명이 뚜렷했다. 흡입으로 인한 직업적 메탄올 중독의 한 가지 치명적인 사례는 12시간 동안 노출 된 한 여성근로자이다. 사건 이후 한 연구에서 메탄올 증기의 범위가 4,000-13,000 ppm이었다는 것이 밝혀졌다.(6)

Henson (1960)은 메탄올 중독으로 인한 만성적인 한 케이스를 언급했는데, 이 케이스는 4년간 1,200에서 8,000 ppm의 노출로 인해 시력이 현저히 감소했다. 그 밖의 주변의 근로자는 영향을 받지 않았다. Henson (1960)은 또한 복사기를 사용하는 과정에서 300 ppm의 메탄올에 노출된 근로자들에게서 나타난 두통에 대한 보고를 기록했다.(7)

McAllister (1954)는(8) 스피릿 복사(화상전사에 알코올을 사용) 과정에서 400-10,000 ppm 범위의 농도의 노출을 보고했다. 증상이나 통증에 대한 아무런 보고가 없었으나 이런 농도는 과도한 노출로 여겨진다. Kingsley and Hirsch (1955)의 보고는 200-375 ppm 범위 농도의 메탄올에 노출된 근로자에서 심각한, 재발되는 두통을 나타냈다.(9)

대부분의 메탄올 중독의 심각한 케이스는 술로 착각해 메탄올을 마신 것으로 보고됐다 Rowe and McCollister, 1982.(대부분의 사람들이 사망했고 : 일부는 영구적이거나 일시적인 시력 손실을 겪었다.)(10) 사람에서 메탄올의 흡수와 배설비에 대한 연구 후, Leaf와 Zatman(1952)는 몸에 축적이 발생하는 농도는 3,000 ppm이고 직업적 노출이 일어나도 최대로 안전한 농도는 300 ppm이라고 결론지었다.(11)

메틸알코올로 피부를 반복적으로 문지른 결과 사람에게 나타나는 영구장애와 실명은 Rowe와 McCollister (1982)에 의해 리뷰된 두 연구에서 보고됐다.(10) 그러나 피부 흡수가 노출의 주요 원인이지만 메탄올 흡입에 대한 것도 배제할 수 없다(Kahn and Blum, 1979).(12)

NIOSH는 워싱턴대의 45 %의 스피릿 복사기계 작동자들이 메탄올 독성과 일치하는 몽롱한 시야, 두통, 멀미, 어지럼증, 시각장애를 경험한다는 것을 보고했다. NIOSH가 공기 중 메탄올 농도를 20분간 복사기 근처에서 창문과 문을 열고 측정하였을 때 평균농도는 1330 mg/㎥이었다(NIOSH Health Hazard Evaluation Report, HETA 81-177 1981 as cited in Kavet and Nauss, 1990).[13] 미국 국립기관 NIOSH의 메탄올에 대한 기준문서에 따르면 메탄올 중독 특성에 관한 증상과 징후 대부분이 뚜렷한 시각장애와 대사성산증이라고 밝혔다(NIOSH, 1997).[14] 완전한 실명을 피한다하더라도 영구적인 손상(잔여암체)이 발생할 수 있다. 초기 심각한 대사성 산증에서 살아남은 환자들이 언어능력 장애와 운동후유증으로 인해 고통 받고 있다. NIOSH의 보고는 직장환경의 한계에 관한 역학적인 조사를 밝히는데 실패했다.

## ▶ 망간 및 그 무기화합물

CAS number: 7439-96-5

TLV - TWA, 0.02 mg/㎥, 호흡성 입자

0.1 mg/㎥, 흡입성 입자

A4 – 인간에게 발암을 유발하지 않음

• Human Studies(역학 연구)

망간은 사람과 많은 동물들의 영양에 필수적인 원소이다. 망간은 결합조직과 뼈 형성에 관여하고 있으며, 탄수화물과 지질 대사와 몇 가지 대사경로에 촉매로 쓰인다(Wedler, 1994). 인간에서 망간 결핍에 대해 명확하게 정의된 증상은 없다.[1]

사람에서 망간의 부작용에 대한 여러 보고서들이 있다. (e.g.. ATSDR, 2000; Clewell et al., 2003; Oliguy et al., 2003).[2][3][4] 만성 망간중독의 심한 형태(망간중독증)는 중추신경계에 영향을 미친다. 추체외로계의 관여는 파킨슨병과

(PD) 비슷한 임상적 장애를 일으킨다. 망간은 상자기성 물질이라 뇌에 망간이 축적되면 MRI를 통해 발견 할 수 있다(Fitsanakis et al., 2006).[5] 사람에서 망간은 우선적으로 담창구에 축적되며, 흑색치밀부분 신경세포를 따라 선조체, 솔방울샘, 후각신경구, 흑질치밀부에 축적된다. 이것은 흑질치밀부에 먼저 축퇴되는 파킨슨병과 대조된다. 또한 망간중독증은 파킨슨병과 달리 GABA와 관련된 경로에 장애를 일으킨다. 망간중독증은 도파민 경로와 관련있다. 파킨슨병이 도파민 대사에 심각한 장애가 있으나 L-dapa의 투여로 개선되는 것과 달리 망간중독증은 L-dopa로는 치료되지 않는다(Cerosismo and Koller, 2006; Roth and Garrick, 2003).[6][7] 망간중독증으로 인한 신경학적 손상은 망간노출이 중단되어 몇 년 후 혈액과 조직의 망간 농도가 정상으로 돌아온다고 해도 지속되고 진행된다(Huang et al., 1993, 1998).[8][9] 망간중독증은 19세기 이후부터 알려졌다. Fairhall and Neal (1943)는[10] 1837년과 1940년 사이 12개 나라에서 353건의 망간중독증에 대한 보고서를 수집했다. Hunter (1975)에[11] 따르면 1968년에는 118건 이상의 케이스가 보고되었다. 초기의 망간중독증의 증상은 무기력함, 가면 같은 얼굴, 정서장애(조절 안 되는 웃음), 경련성 걸음걸이(발꿈치를 들고 걸음), 가볍게 밀면 뒤로 나가떨어지는 경향이 좀 더 망간중독증이 진행됐을 때 발견되었다(Fairhall and Neal, 1943; Flinn et al., 1940).[10][12] 또한 망간과 그 화합물의 고농도의 먼지와 흄을 흡입한 근로자에게서 폐렴에 대해 높은 유병률이 관찰되었다(Lloyd Davies, 1946).[13] 공기 중의 망간농도는 임상적인 케이스가 발견된 광산과 산업현장에서 매우 높았다. Rodier (1955)는[14] 망간의 농도를 100 - 900 mg/㎥라고 기록했고, < 100 mg/㎥의 농도가 합리적으로 안전한 수준이라고 봤다. Flinn과 그의 동료들이(1940) 조사한 보고서에는[12] 망간의 최고 수치가 170mg/㎥이고 평균농도가 47 mg/㎥에 노출된 11/34(32 %)의 광석 근로자가 망간중독증이라고 보고했다. 30 mg/㎥보다 낮은 농도에 노출된 근로자들에게는 아무 증상이 없었다. 그러나 다른 연구에서 더 현대적인 설비와 국소배기장치가 설치된 곳의 광석 분광에서 분진작업을 하는 근로자들에서

망간의 평균 농도가 2.3 mg/㎥, 6 mg/㎥이라고 보고됐다.

Lloyd Davies(1946)는[13] 평균 망간농도 210 mg/㎥에 노출되면 폐렴에 걸린다고 보고했다.

Kesic and Hausler(1954)는[15] 유고슬라비아의 공장에서 이산화망간의 농도가 7-63 mg/㎥일 때 망간중독증의 사례를 보고했다. 그러나 농도가 3-9 mg/㎥일 때 중독된 사람의 비율이 낮았다.

이와 대조적으로 Schuler와 그의 동료들은(1957)[16] 광부들의 만성적인 망간중독 중 공기샘플의 1/3만이 5 mg/㎥이상이었다. Tanaka and Lieben (1969)는[17] 75개 펜실베니아 공장에서 일어난 망간흄과 분진의 농도가 5 mg/㎥를 초과한 144명의 근로자 중 망간중독증의 7건의 확실한 케이스와 15건의 모호한 케이스를 보고했다. 7건의 확실한 케이스 중 4건은 망간 분진에 노출되었고 3건은 망간 흄에 노출되었다. 5 mg/㎥이하의 대기 중 흄과 에어로졸 농도에 노출된 48명의 근로자에게서는 아무런 영향이 없었다.

펜실베니아 철 공장에 대한 조사와(1965) Smyth와 그의 동료들의(1973) 조사는[18] 5/71(7 %)의 근로자들이 만성의 망간중독증이라고 보고했다. 5건중 3건은 망간철 흄으로 인한 노출이다. 3건 중 2건은 모래성형공정 주입구에서 5년간 흄에 노출된 근로자로 그들의 평균 노출은 13.3 mg/㎥이다. 3번째 작업자는 (나머지 1건) 주입공정에서 망간의 공기 중 농도가 1 mg/㎥이하였다. 나머지 둘은 공기 중 농도가 대략 30-50 mg/㎥인 곳에서 망간 철 중쇄작업과 스크리닝 작업을 했다가 질병에 걸렸다. 망간중독증의 전개 과정을 더 잘 이해하기 위해, 임상전의 전조증상을 더 잘 이해하기 위해 연구자들은 다양한 신경학상, 신경행동학적인 증상에 집중했다. 노출-반응 관계는 이러한 테스트의 결과로 얻어졌다.

• *Neurological/Neuropsychological Studies(신경학적/신경심리 연구)*

Roels와 그의 동료들은(1987a, b)[19][20] 횡단적 단면연구를 수행해 망간광석에서 유래된 산화망간과 염에 노출된 141명의 남성근로자들에 대한 연구를 수행

했다. 평균나이는 34.3살이다. 근무기간은 1-19년이고, 평균 7.1년이다. Roels et al. (1987a)는[19] 망간이 폐, 중추신경계에 미치는 영향과 생체적 지표를 보고했다. 결과는 대조군의 104명의 근로자들과 짝지어 비교했다. 공기 중 망간 먼지의 TWA농도(개인시료)의 범위는 0.07에서 8.61 mg Mn/㎥, 총 에어로졸(전체적인 평균값과 중앙값은 1.33과 0.97 mg Mn/㎥) 입자사이즈 분포와 먼지의 순도는 보고되지 않았다. 호흡기관의 영향에 대한 결과 보고에서 Roels와 그의 동료들은(1987b)[20] 망간 노출군에서 유의미하게 추운 날씨에 기침의 높은 이환율, 운동 중 호흡장애, 급성기관지염을 발견했다. 폐의 영향이란 면에서 최대호기의 유량, 강제폐활량, 1초간 강제 폐의 부피가 망간에 노출된 흡연자들이 망간에 노출되지 않은 흡연자들에 비해 약간 감소했다. 이러한 증상의 발생규모와 이환율은 혈중, 소변의 망간농도, 노출의 기간과는 연관성이 없었다. 연구자들은 폐의 영향과 관련된 요인과 망간 노출과 흡연에 대해 어떠한 상승작용도 관찰하지 못했다. 중추신경계에 대한 망간의 초기 영향을 탐지하기 위해 Roels와 그의 동료들은(1987b)[20] 설문지를 이용해 표준화 된 신경학적 실험을 수행했고, 몇 가지 정신운동성의 테스트를 실시했다(손 떨림, 단기기억, 단순반응시간). 표준화 된 신경학적 실험은 실험군과 망간 노출 근로자의 몸통의 경직에 대한 차이를 밝혔다. 망간에 노출된 근로자들에 수행된 정신운동에 대한 테스트는 더 긴 평균반응시간, 음성-언어적 단기기억 테스트에서 훨씬 낮은 수행력, 실험군과 유의미한 차이를 보이는 눈과 손의 조화성, 손 안정화 매개변수를 보여줬다. 이 연구는 0.96 mg Mn/㎥이 노출기간이 20년 이하인 몇몇 근로자의 중추신경계와 폐에 해로운 임상효과를 유발한다고 보여주었다. Roels과 그의 동료들은(1992)[21] 두 번째 횡단적 단면 역학 연구를 알칼라인 건전지 공장에서 이산화망간에 노출된 102명의 남성 근로자를 연구해 그들의 첫 번째 연구(Roels et al. 1987a, b)에서[19][20] 유도된 결론의 타당성을 평가하고자 했다. 그리고 더 나은 무기망간 화합물의 노출한계를 정의하기 위해 이 연구를 수행했다. 근로자들의 평균 나이는 31.3세, 노출의 평균기간은 5.3년이었다(0.2-17.7

년). 결과는 평균 나이가 29.3인 실험군 104명 근로자와 비교했다. 개인시료에 의해 측정된 공기 중 망간 농도의 중앙값은 0.71 mg Mn/㎥(총 에어로졸) 18 mg Mn/㎥(호흡성 입자)였다. 입자사이즈와 순도는 제공되지 않았으나 호흡성 입자의 절단간(cut-point)의 중앙값은 5 μm이다. 총 분진과 호흡성 먼지의 농도는 상관성이 높았고 ($R^2$=0.81) 호흡성 파편에 망간의 양은 평균적으로 총 에어로졸의 25 %였다. 직업성의 전 생애 종합적인 망간 노출은 현재 공기 중 망간의 농도에 근로자의 직무분류별로 근무기간을 곱하고(산술적으로) 결과를 더하여 각각의 직문에서 근로자가 노출된 양을 구했다. 직업성 전 생애 종합적인 총 에어로졸 농도의 기하평균은 3.51 mg Mn/m㎥-year (범위: 0.19 - 27.5 mg Mn/㎥-year)였다. 근로자들의 집단으로 보았을 때, 혈중, 소변의 망간 농도는 망간에 노출된 그룹이 대조군에 비해 유의미하게 높았다. 그러나 개개인을 보았을 때 혈중망간농도와 소변 중 망간농도와 다양한 노출인자(노출기간, 망간의 노출이력과 현재 노출 여부 등)간의 통계적으로 유의한 상관관계가 없었다. 이 발견은 Roels et al. (1987a, b)의 초기 연구와[19][20] 일치했다. 호흡기 증상에 대한 자기기입식 설문지가 이용되었고 흡연자, 비흡연자를 따로 분석하고 두 그룹을 묶어서도 분석했다. 분석은 대조군과 망간 노출군 사이에 호흡기 증상의 이환율에 대해 통계적인 차이를 보이지 않았다. 신경학적 증상에 대한 질문지의 분석은 대조군과 망간 노출군에 있어 보고된 증상들에 대해 유의미한 이환율 차이를 보이지 않았다. 그러나 망간 노출군이 수행한 몇 가지 신경행동학적 테스트와 평가가 대조군의 근로자들이 수행한 것보다 뒤떨어졌다. 망간 노출군이 대조군보다 테스트 기간 동안 반응시간이 훨씬 길었다. 5가지 눈과 손의 조화에 대한 지표들에 대한 결과가 대조군보다 망간 노출근로자에서 더 불안정했으며, 떨린 테스트(손 안정성)에서 망간 노출군이 대조군에 비해 체계적으로 더 높은 떨림 점수를 받았다. 비록 망간 노출 근로자들이 음성언어적 단기기억 테스트에서 대조군에 비해 떨어지는 결과를 보였지만, 단어를 인식하거나 정확하게 기억하는 점수의 평균은 두 그룹 간 유의미한 차이가 없었다. 저

자들은 로지스틱 회귀모델을 사용해 데이터를 분석했으며, 손 떨림(손 안정성)이 역치값을 정하는데 가장 민감한 측정법이었다(Roels et al., 1992).[21] 전생애 종합적입 총 망간 분진 노출(LIRD)에 대한 데이터인 3.58 mg Mn/㎥-year와 전생애 종합적인 호흡성 망간 분진 노출(LIRD)는 0.73 mg Mn/㎥-year(0.036mg Mn/㎥에 20년간 노출된 것에 상당함)를 넘은 이 데이터는 떨림의 위험을 증가시킨다. 다르게 보자면, 비 정상적인 손의 안정화 확률(p)에 대한 로지스틱 모델은 다음과 같이 LIRD와 관계를 보여준다.

ln [p/(1-p)] = 1.8615 × log10 [LIRD] - 7.5197,

p값에 0.05를 대입하면 0.287 mg Mn/㎥-year에 대한 LIRD에 대한 값이 나온다. 망간 취급 근로자들의 평균 노출 기간을 5.3년이라고 감안한다면, 5 %의 근로자에서 손 안정화의 비정상이 생길것이라 예상되는 노출 농도는 0.054 mg Mn/㎥이다. 망간 독성에 대한 국제적인 심포지움에서 Roels and Lauwerys (1992)는[21] 망간의 신경독성으로부터 40년간 노동수명동안 다수(95 %)의 노출 근로자를 보호하기 위해 공기 중 망간의 8시간 TWA가 총분진에서 0.090 mg Mn/㎥, 호흡성 분진에서 0.018 mg Mn/㎥을 넘지 말아야 한다고 권고했다.

횡단적 단면 연구의 추적조사에 따르면, Roels et al. (1999)는[22] 눈과 손의 조화, 손 안정화, 단순 반응 시간에 대한 초기 효과가 가역적인가를 결정하기 위해 동일한 코호트에 대해 8년간 종적인 조사를 수행했다. 관찰 기간인 1988년부터 1995년동안 망간에 대한 총 분진 샘플이 매달 채취됐고, 1300개가 넘는 개인시료가 채취됐다. 총 분진 측정은 싸이클론 샘플러(SIMPEDS)로 했고, 싸이클론에 집진된 총 분진의 질량과 관통된 총 분진의 질량을 더해서 계산했다. Roels et al. (1999)는[22] 총 공기 중 망간의 값이 총 분진의 표준에 따르지 않는다고 경고했다. SIMPEDS 샘플러의 측정값은 1.9 - 2.0 L/min의 유량으로 샘플링 할 때 영국 의학자 Council이 권고한 호흡성 응답 곡선에 충족하지만, 불행하게도 Roels의 연구는 유량 1.5 L/min에서만 측정했고, 샘플 된 중량은 과대평가됐다. 몇 년 간 이산화망간 에어로졸에 대한 노출은 해마다 망간 농도의

기하 평균의 꾸준한 감소를 보여준다. 시간 추세 분석은 1987-1995년에 망간 노출의 유의미한 감소를 나타내며, 특히 1991-1992년 이후 현저한 감소를 나타냈다. 총 에어로졸의 농도는 1987년 0.80 mg Mn/㎥에서 1995년 0.25 mg Mn/㎥으로 감소했다. Roels와 그의 동료들은(1999)[22] 그들의 전향적 연구를다음과 같이 결론지었다.

1. 종적인 연구 디자인을 따져봤을 때 신경행동학적 작용에 대한 망간의 준임상적인 독성효과의 평가의 전제조건인 눈과 손의 조화(EHC), 손 안정화(HST), 단순반응시간(VRT) 테스트에 관한 표준화된 적용이 좋은 신뢰도로 수행됐다.

2. 1987-1995년 종적인 연구는 밝히길 과거 심각한 만성적인 이산화망간 노출은 장애의 기준선으로(평균적으로 10~30 %) 손과 전완의 움직임의 정확성에 의해 결정되고, 노출이 감소되면 다음의 개선 패턴이 결정된다. 대부분 노출된 부분군(중간군과 높은군)은 시간이 지남에 따라 망간노출이 감소하자 장애가 부분적으로 가역적이었다.

; 낮은 노출 그룹에서 EHC 테스트 결과가 연구가 끝날 무렵 평균 MnT 초기 농도보다 30%나 떨어졌고, 완전히 정상으로 돌아왔다. 이 결과는 시간이 지남에 따라 공기 중 이산화망간 입자의 농도가 감소한다는 것을 보여준다; “건강 노동자 효과” 메카니즘이 종적인 연구에 영향을 미칠 개연성이 낮다. 그러나 HST와 VRT 테스트의 시간적 변화는 비가역적인 변화와 개선의 부재를 보여준다.

3. 1987년 처음 실험한 지 10년 후, 대조군군을 다시 실험한 결과, 나이는 현재 실험해서 얻은 EHC, HST, VRT 실험 결과의 혼란변수가 아니었다.

4. 망간 작업자였던 그룹의 추적조사는 EHC, HST, VRT테스트 결과의 시간적 변화라는 종적인 연구 결과를 확증한다. 그리고 EHC 행동에 대해 중요한 개선이 증명되었고, HST와 VRT결과에 대해서는 노출을 멈춘 저번 실험군과

3년 이상 망간 노출이 거의 없었던 추적조사군과 유의한 차이가 없었다.

5. 이 연구는 전 임상적인 EHC 수행장애가(망간 중독증의 중요한 전조증상) 초기에 관찰되고 낮은 직업적 망간 노출에서만 관찰되는 눈과 손의 조화는 망간 노출이 감쇄되는 경우에만 실질적으로 개선된다.

Iregren (1990)은[23] 2개 스웨덴 주조공장에서 망간에 노출된 근로자를 평가했다(각 공장에서 15명씩). 노출은 1-35년 동안(평균 9.9년)이고, 총 분진의 범위는 0.02 - 1.40 mg Mn/㎥(평균 0.25 mg Mn/㎥; 중앙값 0.14 mg Mn/㎥)이었다. 각각의 공장에서의 공기노출 측정은 노출이 18년 전과 달라진 게 없음을 보여준다. 각각 노출된 근로자는 나이, 지리적 지역, 일의 종류를 망간이 존재하지 않는 다른 공장과 매치시켰다. 단순반응시간, 반응시간의 표준편차, 주된 손의 수지력 검사에 대한 중요함 차이점이 망간 노출군과 대조군간에서 발견됐다. 게다가 덧셈 암산도, 단기기억 숫자 외우기, 단어 이해력이 유의하게 노출군과 대조군군에서 차이가 있었다. 단어 이해력 차이는 그룹 간에 일반적 인지능력이 잘 매칭 되지 않았음을 시사한다. 그럼에도 불구하고 언어적 행위는 추가적인 매칭 기준으로 사용됐고 단순반응시간, 반응시간의 표준편차, 주된 손의 수지력 검사는 두 그룹간의 유의한 차이가 있었다. 게다가 언어적 테스트 점수를 공변량으로 사용한 분석은 3가지 신경행동학적 기능에 대한 측정이 노출군과 대조군 사이에 다름을 보여준다. 노출된 그룹에서 용량반응 관계를 수립하기 위한 노출매개변수의 유의한 상관관계를 찾을 수 없었다.

Wennberg와 그의 동료들은(1991, 1992)[24][25] 같은 근로자에서 추가적인 신경행동학적, 전기생리학적 평가를 보고했다. 자기 기입식 설문지에서 발견되는 건강문제의 비율이 늘었으며, 비정상적인 뇌파, 느린 뇌간청각 유발전위 잠복기, 느린 길항반복이 노출된 근로자에서 발견되었다.

작은 샘플 크기 때문에 망간 노출군과 관계 사이에 유의한 차이가 없었다. Mergler and colleagues (1994)는[26] 실리코망간 산업에서 일하는 74명의 망간

노출군과 대응-짝 대조군에 대한 결과를 보고했다. 지역시료의 노출농도의 기하 평균은 0.035 mg Mn/㎥였고, 호흡성 에어로졸은 0.225 mg Mn/㎥, 총 분진의 범위는 0.014 - 11.48mg Mn/㎥이다. 대응-짝에는 증상이 없는 자기기입식 질문지에 있는 안 좋은 증상이 근로자에 대한 비 일치쌍이 46개 항목 중 33개에서 통계적으로 유의했다: 피로, 정서 상태, 기억력, 집중력, 집중장애, 악몽, 신체 운동 중 땀이 나지 않는 증상, 성기능 장애, 하부요통, 관절 통증, 이명 등. 망간 중독증의 더 악화되는 증상(수전증, 필적변화, 돌 때 균형상실, 고정점에 도달하기 어려움)은 망간 노출근로자와 대조군에서 유사했으며 보고된 증상은 망간근로자에서 대한 바이어스 때문은 아니라고 추측된다. 신경행동학적 기능에서 큰 차이점이 길항반복과 빠르게 움직이는 움직임 같은 테스트에서 보고됐다. 근로자는 신경심리학적 동작 척도에 관한 적성검사뿐 아니라 손안정화, 수평선 긋기 행동, 빠르게 알아보는 능력, 알파벳 문자를 식별하고 표시할 수 있는 능력이 크게 악화됐다. 망간 합금 근로자들은 매치된 대조군과 인지유연성과 정서 상태, 후각 인지의 차이가 뚜렷했다. 전반적으로, 신경행동학적 테스트의 결과는 망간 합금 근로자들이 대조군과 보고된 증상에 대하여(정서 상태, 특정한 운동기능, 손안정성, 후각인지, 인지유연성에서)차이가 있었다. 이 자료의 기하 평균을 이용해 US E.P.A(1993)은 LOAEL값 0.035 mg Mn/㎥(호흡성 에어로졸)을 설정했다.

Mergler et al. (1994)가[26] 연구한 망간노출 근로자들이 일한 공장이 1990년도에 문을 닫았고, 2004년 이 근로자들은 (Bouchard et al., 2007a, b)에[27][28] 의해 재평가 되었다. 살아남은 근로자들 중 78%의 망간노출근로자와 67%의 대조군에서 재실험이 진행됐다. 지속된 이상 증상이 몇 가지 테스트에서 이전 망간 노출군에서 있었다. 특히 신경운동기능과(루리아 동작척도), 일정기분(화, 적개심, 혼란스러움, 어리둥절함)과 관련 있었으며, 노출군과 대조군 사이의 인지테스트 차이가 시간이 지날수록 증가했다(Bouchard et al., 2007b).[28]

생존 근로자에 수행된 신경정신병학 변화에 대한 실험이 자세하게 이뤄졌다

(Bouchard et al., 2007a)[27]. 이전 망간 노출 근로자들은 대조군보다 지속적으로 우울증과 불안감에 높은 평균을 기록했다. 누적되는 망간 노출은 신경정신병학적 변화를 33개까지 분류한 후, 대조군과 비교했을 때에 대한 노출반응관계가 (우울증, 불안감, 적개심, 신체화 장애) 뚜렷이 나타났다. 이 데이터는 망간 노출이 신경행동학적, 신경 정신병학적 범위와 관련 있고, 망간의 직업적 노출이 중단된 후에도 오랜 기간 지속된다고 말했다.

Lucchini 와 그의 동료들(1999)은[29] 61명의 합금철 공장 근로자와 근처 병원은 87명의 대조군에 대한 연구를 보고했다. 그들은 신경행동적성검사와 기분상태점수(POMS)같은 질문지를 이용했다. 총 분진에 대한 개인시료와 지역시료를 얻을 수 있었다. 총 분진에 대한 평균(기하평균) 망간 농도 변화는 1981-1997년 사이 지역에 따라 변화가 있었다: 용광로실은 1981년 1.60 mg Mn/㎥에서 1987년 0.24 mg/㎥으로 떨어짐. 주조실은 0.15에서 0.26 mg Mn/㎥으로 평균적으로 증가, 용접작업은 평균적으로 0.17에서 0.055 mg Mn/㎥으로 감소했다. 각각의 근로자에 대해 CEI가 계산됐다. 총 분진의 망간농도와 혈중 망간농도사이에서 양의 상관관계가 관찰됐으나(N = 55; R2=0.13 P=0..007) CEI와 혈중, 소변 중간의 상관관계는 관찰되지 않았다.

합금 노동자에서 신뢰할 수준의 과민성, 어지럼증, 강직성에 대한 높은 증상비율이 관찰됐다. 중추파동, 분산같은 수전증의 척도가 노출군과 대조군에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 급속회외회내운동과 기억작용같은 운동기능에 대한 장애가 망간 노출군에서 관찰됐다. CEI와 몇몇 테스트 결과에 대한 용량-효과 관계가 관찰되었다. 안전한 노출 농도를 추정하기 위해 종래의 LOAEL기반 접근 방식을 따라, 연구자들은 중간 노출군의 총분진 CEI의 기하평균을 (1.11 mg Mn/㎥-year), 노출기간의 기하평균(11.51년)으로 나눠 총분진에 대한 평균 노출값인 0.097 mg Mn/㎥를 수율 2.6으로 나눈 호흡성 입자 값인 0.038 mg Mn/㎥을 동등한 LOAEL노출로 본다.

Gibbs와 그의 동료들은(1999)[30] 북 미시시피의 금속공장에서 망간에 노출된

75명의 미국 근로자에 대한 의학적 조사에 관한 보고를 했다. 노출된 근로자는 망간에 직업적 노출이 없는 75명의 근로자와 짝지었다. 그 공장은 일반적인 의료, 안전, 산업위생 서비스를 공유했다. 공기 중 망간 농도는 설비에 따라 12항목으로 나뉘어져 평가됐고, 총 분진과 호흡성 분진에 대한 전 작업시간동안 개인시료를 채취했다. 작업장의 노출 평균은 0.066 mg Mn/㎥이고 호흡성 에어로졸에서, (중앙값은 0.051 mg Mn/㎥) 총 에어로졸에서는 0.180 mg Mn/㎥이었다(중앙값은 0.086 mg Mn/㎥). 최근 몇 년간 장비와 업무실습이 변화된 것도 평가됐으며, 그 결과도 노출에 평가됐다. 이 자료에 근거해 75명의 근로자의 호흡성 망간의 총 평균 전 생애 누적 노출은 1.04 mg Mn/㎥-year였다.

망간 노출군과 대조군 모두 눈과 손의 조화, 손 안전성, 복잡반응시간, 수지력에 대한 테스트가 평가됐다. 질문지가 신경정신학적 상태를 평가하기 위해 사용됐다. 눈과 손의 조화, 복잡반응시간, 수지력 실험에서 나이가 증가함에 따라 수행능력이 감소했다. 망간 노출로 인한 우울증, 불안, 피로, 수면장애, 집중력, 기억력, 기분변화, 조병, 떨림, 불균형에 대한 분명한 증상이 없었다. 이 연구는 음성적 연구로 노출된 근로자의 중앙값은 0.05 mg Mn/㎥(호흡성 에어로졸)의 낮은 농도의 망간에 노출되었다.

Myers와 그의 동료들은(2003a, b)[31][32] 남부아프리카에서 망간 제련공장 근로자들 589명을 전기어셈블리 공장의 망간에 노출되지 않은 67명의 근로자와 비교했다. 노출 측정은 10M 흡입성 샘플러를 이용해 310명의 공기 중 개인시료를 채취했고(Myers et al., 2003b)[32], 망간 분석을 위한 필터가 사용됐다. 각각의 근로자에 대한 CEI가 계산됐고, 평균 노출 세기(INT)가 개개인의 CEI를 공장에서 일한 시간으로 나눠 구해졌다.

제련 근로자에서 호흡성 입자에 대한 평균 CEI는 16.0±22.4 (SD) mg Mn/㎥-year, INT의 평균은 0.82±1.04 mg/㎥였다. 대조군은 근로현장에서 망간이 검출되지 않았으며, 평균적으로 제련근로자들보다 더 젊었고(38.6 versus 45.1 years), 학교에 더 오래 다녔다(8.0 versus 4.2 years). 제련근로자와 대조군사이

에 (Santa Ana)운동수행, 벤톤의 시각기억검사, 숫자 외우기와 숫자부호의 테스트에서 유의한 차이가 있었다. 숫자외우기와 숫자 부호 테스트는 CEI농도가 증가함에 따른 중요한 경향 있었다. 주된 손과 주되지 않은 손의 수지력 검사는 제련 노동자와 노출되지 않은 대조군 사이에 차이를 보여주나 CEI와는 미미한 관련이 있었다. 평균 시각 반응시간은 노출군과 비노출군 사이에 차이가 없었다.

CEI의 측정이 INT보다 의미하는 것은 실제 노출 농도를 직접적으로 평가할 수 없다는 것이다. 이것은 노출 반응 곡선에서 높은 CEI에서도 감소하는 경향을 보여주는 이유이다. 이것은 장기간의 노출은 주로 낮은 농도에서 이뤄진다는 걸 반영하나, 뒤바뀐 관계의 다른 원인은 선택편향의 일종으로 높은 노출지역에서 낮은 노출 지역으로 이주하거나 노동자들이 더 적게 영향 받는 곳으로 떠나는 것이다. 어떤 이유던 간에 CEI의 이용은 노출반응 곡선이 숫자외우기와 숫자부호 테스트에서만 올라가고 주된손과 주되지 않은 손의 수지력 검사에서는 모호한 결과를 보여줬다.

Bast-Pettersen와 그의 동료들은(2004)[33] 100명의 망간 합금 공장 근로자와 100명의 나이를 짝지은 대조군에 대해 조사했다. 연구자들은 신경행동학적 적성검사와 공기 중 측정으로 노출을 조사했고, 망간에 대한 혈중, 소변 중 검사도 수행했다. 노출에 대한 기하 평균은 호흡성 입자에서 0.301 mg Mn/㎥, 흡입성 입자에서 0.036 mg Mn/㎥이었다. 증가하는 수전증에 관해 망간 노출군은 대조군에 비해 유의한 차이를 보였다. 하지만 인지 속도/시각주사, 집중/단기기억력, 수면장애 증상, 피로, 기억력/집중력, 정서적 가변성, 신체증상 호소, 운동인지능력 변화 테스트에서는 아니었다. 이 연구는 수전증에 대한 망간 관련 효과가 기하평균 노출 0.036 mg Mn/㎥(호흡성 입자 분율)에서 이뤄진다고 밝혔다.

1989와 1995년에 이뤄진 92명의 철강 근로자 중, 2003년 60명을 재조사 하였다(Blond et al., 2007; Blond and Netterstrom, 2007).[34][35] 인지 및 신경 운동 기능 평가가 각 조사마다 이뤄졌고, 혈중 망간과 납 농도가 비교됐다. 이 연구의 결과는 망간의 노출-반응 관계에 관해서는 설명하기 힘들다. 망간에 대한 공기 중 노출 측정이 지역시료와 개인시료로 측정됐지만, 각각의 노출평가는 이뤄지지 않았다. 망간 노출에 대한 노출-반응 모델링이 보고되지 않았다. 이 작업환경에서는 공기 중 납 노출도 존재해서 신경행동학적 테스트에서 망간노출로 인한 변화에 관한 평가가 매우 어려웠다. 그럼에도 불구하고 양 팔뚝의 회내-회외의 점진적 감소가 철강 근로자에게는 관찰되었으나 대조군에서는 관찰되지 않았고 이는 철강 노동자에서 망간의 효과와 일치한다. 공기 중 농도의 중앙값은 1970년대와 1990년대에 각각 0.11 mg Mn/㎥, 0.03 mg Mn/㎥(총 에어로졸)로 측정되었다.

143명의 호주 합금철 노동자들에 대한 신경 정신적 조사는 몇 가지 신경행동학적 테스트를 수행했는데, 누적된 망간 노출이 3.51 mg Mn/㎥-year(흡입성 에어로졸), 1.20mg Mn/㎥-year(호흡성 에어로졸)이었다. 평균 노출은 0.38 mg

Mn/㎥(흡입성, 범위 0.01-3.90), 0.12 mg Mn/㎥(호흡성, 범위 0-0.90)이었다.

연구는 대조군이 결여됐으나 노출된 근로자의 분석은 누적된 호흡성 입자의 노출과 몇 가지 측정의 유의한 연관성을 보여주었다. (숫자-기호 바꿔쓰기, 길 만들기 검사, 스트룹검사-색깔 및 단어 검사) 위계선형모형을 사용하여, 연구자들은 누적된 망간 노출뿐 아니라 전체 지능지수, 교육수준, 나이까지 측정하는 평가를 포함했다. 작지만 통계적으로 유의한 망간 평균 효과가 관찰되었고, 이것은 교육수준의 기여와 유사한 규모였다.

용접공과 인근의 근로자는 매우 미세하고 호흡성 입자인 용접 흄 망간에 노출된 다른 그룹들이다. Antonini(2003)는[36] 용접작업에 대해 자세하게 검토했고 용접작업의 유해성에 대해 연구했다.

Bowler와 그의 동료들은(2006)[37] 망간 노출군을 조사했는데, 비좁은 공간에서 용접하고 거의 호흡보호구를 착용하지 않는 43명의 다리 용접공에서 신경행동학적 테스트와 폐의 기능을 연구했다. 평균 노출의 범위는 0.01 - 0.38 mg Mn/㎥(총분진)였고, 절반이상이 0.2 mg Mn/㎥보다 큰 평균을 가진 그룹의 평균은 0.21±0.08 (SD) mg Mn/㎥(총분진)였다. 작용범위에서 망간의 CEI와 혈중 망간 농도에 신경 심리적 테스트가 연관이 있다는 중요한 노출반응곡선이 나타났다. 이 연구는 용접공들이 실제로 망간과 관련된 부작용을 겪는다는 것을 보여주나 이 그룹의 노출농도는 너무 높아 용접공을 보호할 수 있는 노출한계 설정이 힘들다. 그러나 총 분진에서 노출한계 0.2 mg Mn/㎥은 용접공을 망간의 유해 작용으로부터 보호하기에는 너무 높은 수치다.

Ellingsen와 그의 동료들은(2008)[38] 96명의 러시아 용접공과 96명의 연령 매칭된 대조군에서 신경행동학적 테스트를 수행했다. 용접공의 노출의 기하평균은 0.12 mg Mn/㎥(respirable aerosol, range: 0.007 - 2.23)이고, 평균 13.5년 일했다. 근로자들은 노출 수준에 의해 3개의 유사집단으로 나뉘었다. 가장 많이 노출된 그룹에서 수지력 검사와 숫자부호테스트 수행의 감소가 관찰됐다. (노출 기하 평균:0.42 mg Mn/㎥)

도제 용접공에 대한 신규연구에서 Laohaudomchok와 그의 동료들은(2011)[39]근무 교대 전 후의 몇 가지 신경행동학적 테스트와 기분상태를 조사하고 이것들을 같은 작업시간의 호흡성 망간 입자의 농도와 관련시켰다. 그들은 망간 노출 증가에 따라 반응시간의 증가와 글쓰기 테스트의 퇴보를 보여줬다. N수가 작지만 > 0.02 mg Mn/㎥의 농도에 노출된 근로자는 ≤ 0.02 mg Mn/㎥인 근로자보다 테스트 결과의 큰 비율의 저하를 보여줬다(5 of 6 versus 9 of 17, respectively).

7명의 용접공과 7명의 대조군에 대한 자세한 연구에서 SEN과 그의 동료들은(2011)[40] MRI스캔을 수행하고 몇 가지 신경행동학적 테스트를 해 뇌에 망간이 축적됐는지 검사하고 이것이 신경행동학적 테스트와 어떤 상관관계가 있나 살펴보았다. 대조군에 비해 용접공은 후각신경구(OB), 전두백질(FWM), 담창구(GP), 피각에 축적됐다. 운동수행능력이 주된손, 주되지 않은 손 모두 용접공에서 대조군에 비해 안 좋았다. 주된 손의 변화는 FWM, GP, 피각, 전두 회백질의 MRI강도와 연관이 있으며 주되지 않은 손의 점수는 FWM과 가장 상관성이 크다. 평균 누적 농도는 0.88±0.57 (SD)

mg Mn/㎥-year이고 평균 노출기간은 24.1±15.5년이다. (호흡성 에어로졸) 실험자의 수는 적지만, 데이터는 만성적 노출이 뇌에서 망간 발견을 가능하게 하며, 이 망간의 만성적 노출은 신경행동학적 변화와 상관관계가 있다. 평균 노출 강도는 0.03-0.04mg Mn/㎥범위에서 위의 효과가 서술된 다른 연구와 일관된다.(호흡성 에어로졸)

• *Reproductive Studies in Humans(사람에서 생식연구)*

망간은 불임, 성욕상실, 발기부전 같은 남성 생식문제를 일으킨다. 또한 동물실험에 근거해 시상하부는 망간의 축적장소로 시상하부 뇌하수체 고환축 호르몬의 장애가 있을 수 있다.

Lauwerys et al., (1985)와 그의 동료들은[41] 선광의 85명의 망간염 제조 근로자들의 불임을 조사했다. 개인 시료에서 공기 중 망간의 농도는 0.07 - 8.61

mg Mn/㎥(총 분진)이었고, 산술중앙값, 기하평균은 1.33, 0.97와 0.94 mg Mn/㎥이었다. 연구자들은 Levine과 그의 동료들인 사용한(1980) 질문지를 이용해 남성 근로자의 불임을 조사했다. 질문지는 근무기간, 거주, 흡연여부, 물을 마시는 습관 등이 포함됐다. 대조군은 망간에 노출되지 않은 81명의 남성근로자이다. 실험군과 대조군 사이에 근로자연령, 아내연령, 결혼한 연령, 부인과의 나이차, 근무기간, 흡연습관, 술을 마시는 양, 교육수준, 배우자의 추업여부는 큰 차이가 없었다. 망간 노출군의 16-25, 26-35 연령 그룹의 자녀출생은 기대했던 것보다 낮았다. 망간 이외에 대조군과 노출군 사이에 현저한 차이를 설명할 지표가 없다. 이 연구는 망간의 TWA노출 1 mg Mn/㎥(총 에어로졸)이 남성의 생식독성을 일으키는데 충분하고 망간의 노출된 자녀 출생 수에 큰 감소를 시킨다고 결론을 내렸다.

## ▶ 아닐린과 아닐린 동족체

CAS number: 62-53-3

Molecular formula: C6H5NH2

Skin

TLV - TWA, 2 ppm (7.6 mg/㎥)

A3 – 동물에게 발암성이 확인되나 사람에게서는 알 수 없음

• Human Studies(역학 연구)

직업적 아닐린 중독은 꽤 흔하다. 과도한 노출의 결과, 메트헤모글로빈 형성에 의한 급성독성은 청색증을 유발하며 질식으로 죽음에 이르게 된다. 그러나 이러한 효과가 단지 메트헤모글로빈의 형성 때문인지에 대한 의문이 제기됐다.[(1)(2)] 한 가지 치명적인 케이스에서 간경변증과 간 위축증이 발견됐다.[(3)] 만성독성은 주로 중추신경계 증상이 보고되나[(4)] 다른 연구자들은 만성 아닐린 중독의 존재를 부정하기도 한다.[(5)]

아닐린과 그 화합물의 독성은 Beard와 Noe (1981)에 의해 보고되었다.[(6)] Henderson과Haggard가 인용한 데이터 (1943)는 7-53 ppm의 아닐린 증기에 몇 시간 노출되면 경미한 증상을 일으키고 100-160 ppm 농도에 1시간동안 흡입 시 심각한 장애를 일으킨다고 제시했다.[(7)] Dutkiewicz (1962)는 증기노출에 의한 피부흡수를 보고했다. 그는 허용 가능한 최대 일일노출량으로 35mg을 제안했고, 이는 가벼운 활동에서 8시간동안 1 ppm에 노출된 것과 상응한다.[(8)] 미국 NIOSH는 아닐린과 방향족 아민(o-toluidine)의 직업적 노출이 근로자들에서 방광암을 통계적으로 유의하게 증가시킨다는 역학연구를 보고했다.[(9)]

## ▶ 시클로헥사논

CAS number: 108-94-1

Synonyms: Cyclohexyl ketone; Ketohexamethylene; Pimelic ketone

Molecular formula: C6H10O

TLV - TWA, 20 ppm (80 mg/㎥)

TLV - STEL, 50 ppm (200 mg/㎥)

Skin

A3 –동물에게 발암성이 확인되나 사람에게서는 알 수 없음

• Human Studies(역학 연구)

Nelson et al. (1943)은[1] 쾌적한 작업농도를 정하기 위해 많은 산업유기용제에 대한 감각역치를 보고했다. 지원자는 챔버에서 3-5분동안 사이클로헥사논에 노출됐다: 지원자는 눈, 코, 목에 대한 유기용제의 영향에 대해 구분하여 질문을 받았다. 50 ppm에서 노출되었을 때 목에 염증이 발생했고 75 ppm에 3-5분간 노출될 때 눈, 코, 목 모두 염증이 발생하고 하루 8시간 동안 견딜 수 없다고 판단됐다. 지원자들이 사이클로헥사논에 7분간 노출 된 실험에서 코의 염증이 70 ppm에서 보고되었고 눈과 목의 염증이 90 ppm에서 보고됐다.[2] 2주후 같은 지원자에게 동일한 테스트를 한 결과 136 ppm에서 목의 염증만 발견되었고 이는 순응의 결과이다.

Chia et al .(1993)은[3] 두통, 눈과 목에 대한 염증의 유병률이 증가한다고 보고했고 비디오테이프 제조공장에서 4가지 유기용제에 노출된 근로자들의 시각-운동 통합 능력과 단기기억의 행동점수의 감소를 보고했다. 근로자들은 메틸에틸케톤, 테트라 하이드로 퓨란, 사이클로헥사논, 톨루엔이 6:2:2:1의 비로 혼합된 유기용제에 노출됐다. 모든 측정된 공기 중 농도는 TLVs 이하이나 각각 유기용제 농도의 합은 어떤 지역에서 개개의 TLVs를 초과했다. 혼합된 유기용제에 노출되었기 때문에 증상에 대한 사이클로헥산의 기여는 측정하기 힘들었다.[2] 41-92 ppm 사이 농도의 사이클로헥사논에 노출된 가구 공장에서 일하는 근로자들에게 눈과 호흡기의 염증, 두통, 기분장애, 기억장애, 골통과 기타 다른 증상들이 보고됐다. 이 심사되지 않은 논문은 또한 사이클로헥사논, 아세톤, 메틸에틸케톤이 n-헥산과 유사하게 말초신경전도를 느리게 한다고 보고했으나 방법론적 근거에 대해 이해하기 어렵다는 비판이 있다.[4]

2가지 소실 연구에서 Mraz et al.(1998, 1999)[5]은 지원자들을 50 ppm의 사이클로헥사논에 노출시켜 약동학적 연구를 진행했다; 어떠한 증상도 보고되지 않았다. 페인트와 헤어스프레이 래커의 사용으로 인한 사이클로헥사논 수지의 사람의 과민증에 관한 2가지 케이스가 보고되었다. 사이클로헥사논 수지의 증감

제의 분석은 아직 이루어지지 않았으나 이량체, 중합체를 형성할 때 사이클로헥사논은 수지를 형성하기 위해 농축된다. 첩포검사에서 사이클로헥사논 그 자체가 아닌 사이클로헥사논 수지에 의한 과민증에 대한 케이스가 보고되었다. 100 %의 사이클로헥사논이 포함된 PVC 접착제를 사용한 환자에 관한 한 건의 사이클로헥사논에 대한 과민증이 보고되었다; 첩포 검사를 통해 과민증을 확인했다.(7)

## ▶ 코발트 및 그 무기화합물

CAS: 7440-48-4 (elemental)

Molecular formula: Co

TLV - TWA, 0.02 mg/㎥,

as Co A3 – 동물에게 발암성이 확인되나 사람에게서는 알 수 없음

• Human Studies(역학 연구)

코발트는 인간에게 필수적인 원소이다. 코발트는 비타민B12 분자의 일부를 형성한다. 비타민B12 의 부족은 다양한 비타민 결핍증상을 야기하고 이는 적절한 적혈구 생성과 관련돼있다. 코발트를 포함하는 비타민B12 의 부족은 빈혈을 유발한다. 또한 코발트 복합체가 특정 포유류의 효소 시스템에 필수적인 역할을 한다는 강력한 증거가 있다.

*Cemented Tungsten Carbide Industry(탄화 텅스텐 초경합금 산업)*

초경합금의 코발트 비율은 3-25 %까지 다양하다. 가공된 초경합금의 내구성은 다이아몬드의 90‘95 %정도의 단단함을 가지고 내마모강이다. 폐에 대한 영향의 첫 번째 보고서(초경합금 노동자에 관한)는 1940년 Jobs와 Ballhausen의 보고서다. 이 연구자들은 초경합금 고장에서 2년동안 근무한 27명의 근로자를 조사했으며 2명의 폐에 관한 X-ray 변화를 발견했다.(1)

1949년 Fairhall et al.는 미국의 3곳의 텅스텐 초경합금공장에서 현장연구를 수행했다. 연구팀은 1000개의 샘플링을 수행했으며 분석절차를 거쳤다. 분진노출이 Table 1에 요약되있고 1940년대 분말과정절차에서 유의하게 높은 노출이 일어남을 알 수 있었다.(2)

Miller et al.는 1952년 미국의 텅스텐 카바이드 초경공구 산업에 관한 연구에서 3건의 진폐증을 보고했다. 3가지 사례는 “특이한(독특한) 타입의 폐의 반응과 고글로불린 혈증”으로 판단됐다. 연구자는 이 병이 코발트로 인한 것이라 추측했다.(3)

Beck et al.은 영국의 255명 초경합금 노동자에 대한 연구를 착수했다. 연구자들은 255명의 근로자중 6건의 중금속 질병에 대한 사례를 발견했다. 분말형성과 가공실에서 부유분진의 농도는 0.30 and 0.34mg/㎥이었다. 코발트에 대한 분석은 없었으나 연구진들은 코발트가 중금속질병의 작용물질이라 추측했다.(4)
.

1971년 Coates와 Watson은 1500명이 고용된 텅스텐 카바이드의 그라인딩이나 제조를 하는 근로자 중 12명에게서 미만성 간질성 폐렴이 발생했다고 보고했다. 12명 중 9명은 제조자였고 3명은 그라인더였다. 평균노출기간은 12.6년(1달에서 28년)이었다. 증상의 발현은 마른기침이나 날숨의 가쁨이다. 12명 중 8명은 죽었고, 그 8명 중 4명의 폐조직 표본은 섬유조직의 소결절 간질성 침윤반응을 보였고, 피복상피의 화생, 박리된 크고 비어있는 단일세포가 허파꽈리에 있다. 연구자들은 폐조직 분석은 소량의 코발트가 함유된 텅스텐 카바이드의 존재를 보여줬다. 병의 심각도와 폐조직의 코발트 존재량은 상관관계가 없었으나 연구자들은 이것을 조직액의 코발트의 용해도와 연관지었다.(5)

1973년 Coates와 Watson은 3명의 텅스텐 카바이드 근로자의 폐의 병리학적인 측면을 서술했다. 한 명은 임상적으로 증상이 없고 정상적인 폐의 기능을 가졌다. 또 한명은 아급성의 간질성 폐렴으로 그라인더였고, 마지막 한명은 간질성 섬유증의 초기였다. 이력을 살펴보고, 임상소견, 흉부 X-ray, 광현미경, 전

자현미경 관찰을 검토했을 때 연구자들은 “증거비중은 미세한 대기 중 코발트를 악화인자로 본다”고 서술했다. 폐 생체검사 시료는 폐의 격벽의 콜라겐과 탄성조직의 축적을 보여주는데 이는 “보통 매우 단단한 다면의 크리스탈과 연관이 있고, 조직을 찢으며, 텅스텐 카바이드로 생각된다. 미세한 핀같은 크리스탈 리소좀과 대식세포에서 발견됐다.(6)

Alexandersson,(7)(8) Alexandersson와 Hedenstierna(9) Alexandersson와 Atterhog(10)(11)는 초경합금 산업의 스웨덴의 근로자에 대해 얼마간의 연구를 수행해 다음과 같은 건강영향을 보고했다.

●폐쇄성 폐질환이 0.06 mg/㎥의 평균농도에 노출된 근로자에게서 나타났다.

●0.06 mg/㎥의 평균 코발트 농도에 노출된 근로자는 호흡성 과민을 호소했다. 소변과 혈중 코발트 농도와 코발트 노출사이에 양의 상관관계가 존재했다.

●코발트 농도  0.06 mg/㎥에 노출된 후, 노출원을 제거한지 4주가 지나도 폐기능 손상이 4주간 지속됐다.

●0.01 mg/㎥의 코발트에 노출된 습식분쇄에 종사하는 근로자들은 심전도 변화가 있었지만 연구자들은 이를 직업관련성이라 보지 않았다. 후속 연구는 이 심전도 변화가 일을 그만 둔 지 4주후 가역적이라 보았다.

Hillerdal와 Hartung는 통제군과 비교해 2가지 경우의 중금속 질병에 대한 폐의 코발트 성분을 분석했다. 2가지 경우 모두 연삭가공과 관련된 업무였고, 폐속 코발트 농도는 폐 조직에서 0.14에서 1.01 ㎍/g이었고, 통제군은 0.0052 ㎍/g이었다. 가장 코발트가 높게 발견된 곳은 종격 림프절이었다(3.28 ㎍/g이고

통제군은 0.002 ㎍/g이었다.)(12)

Sprince와 그의 동료들은 1984년에 559명(Plant A), 950명(Plant B)근로자가 근무하는 두 텅스텐 카바이드 산업에 관한 의학적, 산업위생학적 연구를 보고했다. 연구를 위해 선택된 연구집단은 노출의 기간과 공기 중 분진에 포함된 코발트 노출 정도에 따라 결정됐다. 연구 규모는 Plant A에서 150명, Plant B에서 140명의 근로자를 대상으로 이뤄졌다. 290명의 지원군은 호흡성 질병의 이력에 대해 설문지를 작성했고 폐기능 테스트를 받았고, 흉부 X-ray를 받았다. 연구에서 290명 중 11명은 간질성 침윤을 보였다. 게다가 2명의 비흡연자에게서 폐쇄성 폐질환이 발견됐다. 연구자들은 간질성, 폐쇄성 폐 질환을 텅스텐 카바이드 산업에 고용된 근로자의 명백한 질병이라고 결론내렸다. “코발트는 주요 독성 요인이다”라고 서술했다. 후에 연구자들은 다음과 같이 서술하며 단서를 달았다. “가산, 상승적이거나 텅스텐 카바이드의 다른 작용이거나, 알 수 없는 금속이 첨가됐을 가능성이 있다” 공기포집이 실험의 일환으로 진행됐고, 코발트의 피크 농도는 텅스텐 카바이드 제조 공정의 많은 단계에서 0.5 mg/㎥을 초과했다.(13)

Fischbein et al.는 중금속 근로자의 호흡기계 질병에 관한 임상적인 발견을 보고했다.(14) 연구자들은 미국의 초경합금 텅스텐 카비이드 산업에 근무하는 41명의 근로자에 대해 연구했다. 그들은 호흡기계 증상에 대한 높은 발생률과(41명 중 34명이 호흡장애), 방사선학적 이상(41명 중 13명), 폐기능 이상(41명 중 23명)을 보였다. 10년이상 근무한 중금속 제조자들의 흉부 X-ray의 절반이상이 비정상으로 판명됐다. 폐에 대한 생체 검사에서 2명의 근로자가 거세포성 간질성 폐렴과 섬유증을 보였다. 연구자들은 노출데이터는 제시하지 못했으나 스웨덴 중금속 고장에서 60 ㎍/㎥이상의 공기에 노출된 근로자에 관한 호흡기 영향에 대한 스웨덴 연구(7)를 첨부했다

Auchincloss와 그의 동료들은 텅스텐 카바이드와 코발트에서 wndrmathnr을 제조하는 공장의 근로자 125명중 42명을 연구했다. 공장은 1982년 문을 닫았고

연구는 1983년부터 1985년까지 이뤄졌다. 폐에 대한 생체검사에서 4명의 근로자가 거세포성 간질설 폐렴을 보였고 상당한 농도의 텅스텐 카바이드가 발견됐다. 연구대상 중 16건이 비정상적인 흉부 X-ray를 보였고 폐 기능 변화를 보였다. 제한된 공기 포집이 실시됐다. 1970년 분말실 기계 운전자가 0.14에서 16 mgcobalt/㎥에 노출됐다. 1981년 OSHA에 의한 공기포집은 0.05 mg/㎥ 이하의 결과를 보여줬다. 연구자들은 이러한 공기 포집 데이터의 신뢰성에 대해 의문을 가졌다.(15)

*Cemented Diamond Polishing(초경합금 다이아몬드 연마)*

1985년 Demedts et al.은(16) 다이안몬드 연마가 주 산업인 벨기에 플랑드르의 다이아몬드 연마공에서 나타난 소위 “cobalt lung”이라 불리는 5가지 케이스를 서술했다. 플랑드르에는 공식적으로 등록된 10-100개의 작업대가 있는 다이아몬드 연마 작업실이 많다. 연마공들은 작업대를 빌리고, 대부분은 그들의 연삭공구를 가지고 위임을 받고 일한다. 그래서 작업환경이 매우 차이 난다. 이 다이아몬드 연마공들은 빠른 속도의 다이아몬드-코발트 연삭숫돌을 사용한다. 깍인면은 코발트로 고결화 된 미세 다이아몬드를 포함한다. 연구자들은 환경영향에 대한 데이터를 제시하지 않았지만 다이아몬드 연마공에서 점점 많이 나타나는 “중금속 질병”이라 는 직업관련성 통증을 서술했다. 연구자들은 이런 케이스가 다이아몬드-코발트 연삭숫돌로 인한 코발트 노출이 기여한다고 본다. 생체 검사 중 조직병리학적 검사 샘플을 채취한 5건중 4건은 Coates와 Watson이 서술한(5) 중금속 흡입으로 인한 것이다. 병변은 대략적으로 2종류로 세분된다. ①수년간의 노출로 인한 아급성의 섬유성 폐렴과 거대세포의탈피와 다핵성이 특징이다. ②수년 이상의 노출로 인한 만성적인 벌집모양의 폐 섬유증

노출을 중지 한 후, 보고되어진 증상은 빠르게 진정됐고, 방사선학적 흉부 음영이 퇴행했고, 폐 기능은 정상으로 호전됐다. 일을 재개하자 증상이 되돌아

갔고, 상태가 진행됐다. 연구자들은 케이스들의 노출이 텅스텐 카바이드가 아닌 코발트 때문이고 초경합금 산업의 금속 카바이드와 연관이 있다고 언급했다.

*Production of Cobalt Metal and Compounds(코발트 금속 및 그 화합물 산업)*

1980년 Roto는 핀란드의 코발트와 아연 산업의 근로자의 만성기관지염의 증상이 천식과 환기기능에 장애에 대한 주요 연구를 출간했다. 코발트 산업은 해마다 0.5 %의 코발트를 함유한 240000 톤의 황철광으로부터 1000-1200 톤의 금속코발트를 생산한다. 이 산업은 1966년부터 시작됐고, 산업의학자는 매년 1-2건의 새로운 기관지 천식을 발견했다. 코발트 산업은 코발트 배소과정, 용해 정제, 침출, 환원과정으로 구성된다. 코발트 배소과정의 총 분진 농도는 8에서 19 mg/㎥이다. 먼지는 0.5-1.0 %의 수용성 코발트를 포함한다. ROTO는 또한 21명의 코발트에 노출된 천식을 가진 근로자와 55명의 천식이 없는 무작위로 선정된 근로자를 이용한 비교-대조군 연구를 수행했다. 근로자 중 6개월 이상 코발트 산업에 근무한 사람을 코발트 근로자라 분류했다. 이 연구는 상대위험도가 통제군에 비해 코발트에 노출된 근로자가 4.1배 높다고 보고했다. 어떤 코발트 근로자는 이산화황에 노출됐다고 언급했다. 연구자들은 천식의 위험이 0.1 mg/㎥이하 농도의 황산 코발트에 노출된 근로자가 5배 높다고 보고했다.(17)

## ▶ 디클로로메탄

CAS number: 75-09-2

Synonym: Methylene chloride

Molecular formula: CH2Cl2

TLV - TWA, 50 ppm (174 mg/㎥)

A3 – 동물에게 발암성이 확인되나 사람에게서는 알 수 없음

• Human Studies(역학 연구)

Hearne et al.은(1) 디클로로메탄을 사용하는 이스트먼 코닥에서 1964-1970년 동안 적어도 1년 이상 근무한 1013명의 풀타임, 남성의, 시간당 임금을 받는 근로자에 대한 후향적 연구를 수행했다. 평균 지속기간은 30년이었고(노출의 시작부터 추적 종료까지 흐른 시간), 평균 노출 기간은 22년이었다. 노출 측정은 1945-1986년동안 전 작업시간동안 개인의 시료와 지역시료를 측정했다. 디클로로메탄 노출의 평균 8시간 TWA는 전체 코호트에서 26 ppm이었다. 코호트는 9개의 다른 그룹으로 나눠졌는데 그 기준은 누적 메틸렌 노출과 지속기간이었다. 분석에 사용된 노출 지수는 각각의 근로자의 작업에서 노출에 관하여 평가하고 관련된 디클로로메탄의 노출을 계산한 것이다. 대조군은 1964-1984년의 디클로로메탄의 노출이 없었던 40000명의 이스트먼 코닥의 남성근로자들과 뉴욕주 북부의 남성들(1965-1980년 동안의)이다. 사망에 대한 가정된 원인은 폐암, 간암, 협심증이고, 가정되지 않은 원인에 대해서는 1984년까지 연구를 토대로 결정됐다. 기대한 것보다 사망자 수가 적었으며, 사망은 주로 가정되었던 폐암, 소화기계암이었다. 사망의 원인에 대한 용량반응 관계를 그릴 수 없었다. 총 코호트의 췌장암의 수는 준거집단에서 예측된 수를 초과했다. (3.2, 3.1)(2) 하지만 췌장암은 디클로로메탄 노출과 관련이 없었다. 2명은 당뇨, 다른 한명은 알코올 중독, 7명은 흡연자였다. 게다가 이 증상은 디클로로메탄의 양과도 관련성이 없었다-직업적 디클로로메탄 노출의 범위는 5-200 ppm-years였다.

셀룰로오스 디 아세테이트, 트리아세테이트 공장에서 고용된 디클로로메탄에 노출된 근로자들에 대한 코호트가 Ott et al.에(3)(4)(5)(6)(7) 의해 처음 연구됐다. 이 연구의 초기 목적은 가능한 한 직접적으로 조혈계와 순환계에 대한 디클로로메탄의 노출로 인한 카복시헤모글로빈 매개에 대한 영향을 평가하는 것이었다. 산업위생에 근거해 개인시료를 채취했으며, 공장 내 시설지역에서 디클로로메탄 노출을 3가지 카테고리로 분류했다: 낮음(140 ppm), 중간(280 ppm), 높음(475 ppm)

근로자들은 메탄올(디클로로메탄의 1/10수준)과 아세톤(100-1000ppm)에도 노출됐다. 노출 인구 집단은 1954-1976년 사이 3달 이상 디클로로메탄이 존재한 지역에서 근무한 근로자 1271명이다. 추적은 1977년 6월까지였다. 준거집단은 디클로로메탄의 노출이 일어나지 않았다고 확인된 아세테이트 공장의 근로자 948명이다. 사망의 원인은 사망진단서를 통해 결정이 됐다. 노출된 집단에서 54명의 사망자가 준거집단에서 24명의 사망자가 확인됐다. 준거집단과 비교했을 때, 협심증으로 인한 사망률이 증가했다: 하지만 이것은 준거집단과 비교했을 때 노출된 집단의 지역 내 심혈관계 질환의 비가 상대적으로 높기 때문이라고 추정할 수 있다.

세 번째 디클로로메탄 노출 근로자에 대한 코호트 연구가 Gibbs et al.에(8) 의해 수행됐다. 코호트를 구성하는 근로자는 3211명의 백인 근로자들이고(남성 2187명, 여성 1024명), 셀룰로오스 트리아세테이스 섬유회사에 고용된(메릴랜드, 컴벌랜드), 1970년 1월 1일부터 3개월 이상 근무한 근로자들이다. 회사가 1981년에 문을 닫았기 때문에 디클로로메탄에 노출된 최대기간은 11년이다. 직업이력으로 작업들을 높음(350-700 ppm), 낮음(50-100 ppm), 노출 없음으로 카테고리화 했다. 이 연구에서 과도한 췌장암, 간암은 관찰되지 않았다. 남성 근로자 사이에 전립선 암이 노출된 그룹에서 높은군, 낮은군 모두에서 높게 나타났다. 여성 근로자에서 자궁경부암으로 인한 사망률이 낮은 노출군에서 증가하는 경향을 보였다. 디클로로메탄에 높게 노출된 근로자는 협심증에 대한 노출기간과 반비례 관계를 보였다.

이 연구는 모순된 결론을 내렸다. 췌장암의 증가는 직업적 디클로로메탄 노출과 연관이 있으나 이 연구에서 노출기간의 최고기간은 11년이었다. 이전에 관찰된 2건의 디클로로메탄 노출 근로자에게서 나타난 췌장암에 대한 보고에서(9)(10) 노출기간은 20년,28년이었다. 이 연구에서 노출을 췌장암과 연관시키기에는 노출기간이 짧다.

디클로로메탄과 성상세포뇌종양 사이에 암시적 증거가 사례-대조군 연구에

서 보고됐다.(11) 특정시기 루이지애나, 뉴저지, 필라델피아에서 뇌종양이나 중추 신경계암으로 죽은 대조군을 사망진단서를 얻은 741명의 백인남성과 비교했다. 그중 300명에 대해 과거 직업적 노출 이력을 얻을 수 있었다. 디클로로메탄이 특정 직업이나 산업에서 어떻게 사용됐는지에 대한 발생가능성과 노출의 세기를 통해 직무노출 매트릭스가 구해졌다. 연구자들은 결론내리길 "성상세포 뇌종양의 위험은 발생가능성과 평균 노출 강도가 증가함에 따라 증가하고, 디클로로메탄의 노출된 직업군의 근무기간에 따라 증가하고, 누적노출에 의해 증가하지 않는다. 이러한 경향은 다른 유기용제의 노출양상과는 다르다" 연관된 실험에서(12) 연구자들은 가중치를 평가하기 위해 디클로로메탄 노출을 갖는 것으로 간주되는 업종·직종에 대한 발생가능성을 3가지 수준으로 분배하고, 정성적으로(예 혹은 아니오) 10년 단위 산업코드내 디클로로메탄의 노출을 평가하거나, 디클로로메탄과 관련된 특정산업에 대한 산업코드를 조사한다. 성상세포 뇌종양에 대한 오즈비는 이러한 특성을 고려하지 않았을 때 1.47, 높은 발생가능성과 특정산업의 직업적 코드를 고려했을 때 2.47, 3가지 특성을 모두 고려했을 때 6.08이다. 그러나 이러한 연구의 한계는 케이스에 관한 노출정보가 제시되지 않는다는 것이다. 따라서 디클로로메탄을 성상세포 뇌종양과 명확히 연관짓는 결론을 내리기는 불가능하다.

## ▶ 트리클로로메탄(클로로폼)

CAS number: 67-66-3

동의어: Formyl trichloride; Methane trichloride, Methenyl trichloride;

Trichloroform;

Trichloromethane

Molecular formula: CHCl3

TLV - TWA, 10 ppm (49 mg/㎥)

A3 – 동물에게 발암성이 확인되나 사람에게서는 알 수 없음

• Human Studies(역학 연구)

이 유기용매가 산업계에서는 제한적으로 사용되기 때문에 클로로포름의 직업성 중독에 대해 매우 적은 보고서가 기록되었다.

Challen과 그의 동료들은 80-240 ppm에 노출된 근로자들에서 몇 가지 심각한 증상을 보고했고(피로, 소화장애, 정신장애), 20-70 ppm에 노출된 근로자에서 덜 심각한 증상을 보고했다.(1) 보고된 화학공장에서 클로로포름을 다루는 68명의 근로자 중 25 %는 간이 비대해졌다. 근무기간은 1-4년이고, 공기 중 클로로포름의 농도는 10-20 ppm이다.(2)

# [부록-5] 연구대상물질 15종 대한 작업환경 측정 및 분석방법 제시

## ○ 제1절 톨루엔

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 톨루엔[$C_7H_8$, CAS No. 108-88-3] 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

활성탄관(Coconut shell charcoal, 길이 : 7 ㎝, 외경 : 6 ㎜, 내경 : 4 ㎜, 앞층 : 100 ㎎, 뒷층 : 50 ㎎, 20/40 mesh 또는 이와 동등성능 이상의 흡착성능을 갖는 흡착관)을 사용한다.

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(0.01~0.2 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(0.01~0.2 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전 활성탄관의 양 끝단을 절단한 후 유연성튜브를 이용하여 활성탄과 펌프를 연결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고

시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 펌프유량 및 채취총량은 다음 표의 정보를 참고하여 시료 채취할 때 활성탄관의 파과가 일어나지 않도록 펌프의 유량 및 시료채취 시간을 조절하여 시료채취를 한다.

※ 작업장 공기 중의 습도가 과도하게 높으면 활성탄관안에서 수분의 응축현상이 발생하게 된다. 응축된 수분은 톨루엔이 활성탄관에 흡착되는 것을 방해하므로 수분의 응축현상이 발생한 시료는 측정시료로 사용하지 말아야 한다.

| 시료채취 | | |
|---|---|---|
| 유량(L/분) | 총 량(L)[1] | |
| | 최소 | 최대 |
| 0.01~0.2 | 1 | 8 |

[1] 8시간 시간가중평균으로 50 ppm 톨루엔 농도 기준임

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 활성탄관의 마개로 완전히 밀봉한 후 상온, 상압 상태에서 운반하며, 시료보관시의 시료안정성은 5℃에서 약 30일이다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~5개를 준비한다.

※ 현장공시료는 시료채취에 사용하지 않는 활성탄관의 양 끝단을 절단한 후 즉시 마개로 막아 두어야 하며, 시료채취에 활용되지 않은 점만 제외하고 모두 현장시료와 동일하게 취급·운반한다.

※ 톨루엔의 분석을 방해하거나 방해할 수 있다고 의심되는 물질이 작업장 공기 중에 존재한다면 관련정보를 시료분석자에게 시료전달시 제공하여야 한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피를 사용한다.

나. 시약

크로마토그래피 분석등급의 이황화탄소와 톨루엔을 사용한다.

※ 표준용액 및 시료 전처리는 반드시 후드 안에서 작업을 수행해야 한다.

다. 탈착효율 검증시료 제조

탈착효율 검증용 시료분석은 시료 배치(batch)당 최소한 한 번씩은 행해져야 하며, 탈착효율 검증용 시료조제는 다음과 같은 요령으로 조제하여 사용하도록 한다.

1) 3개 농도수준(저, 중, 고농도)에서 각각 3개씩의 활성탄관과 공시료로 사용할 활성탄관 3개를 준비한다.
2) 마이크로실린지를 이용하여 탈착효율 검증용 용액(stock solution)의 일정량(계산된 농도)을 취해 활성탄관의 앞층 활성탄에 직접 주입한다. 탈착효율 검증용 저장용액은 1)에서 언급한 3개의 농도수준이 포함될 수 있도록 톨루엔원액 또는 이황화탄소에 희석된 톨루엔용액을 말한다.
3) 탈착효율 검증용 저장용액을 주입한 활성탄관은 즉시 마개로 막고 하룻밤 정도 실온에 놓아둔다.

라. 시료 전처리

1) 활성탄관 앞층과 뒷층의 활성탄을 각각 다른 바이엘에 담는다.
2) 각 바이엘에 피펫으로 1.0 ㎖의 이황화탄소를 넣고 즉시 마개로 막는다.
3) 가끔 흔들어 주면서 실온에서 최소한 30분 이상 놓아둔다.

마. 검량선 작성과 정도관리

1) 검출한계에서 정량한계의 10배 농도범위까지 최소 5개 이상의 농도수준을 표준용액으로 하여 검량선을 작성한다. 표준용액의 농도 범위는 현장시료 농도범위를 포함해야 한다.
2) 표준용액의 조제는 적당량의 톨루엔을 취해 이황화탄소에 넣어 혼합시킨 후 이를 이황화탄소로 연속적으로 희석시켜 원하는 농도 범위의 표준용액을

조제하는 희석식 표준용액 조제방법을 사용한다.

3) 표준용액 검증용 표준용액(standard matching solution) : 조제된 표준용액이 정확히 만들어졌는지 이를 검증할 수 있는 표준용액 2개를 만들어 검증하도록 한다.
4) 작업장에서 채취된 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료를 분석한다.
5) 분석된 탈착효율 검증용 시료를 통해 아래와 같이 탈착효율을 구한다.
탈착효율(DE, desorption efficiency) = 검출량/주입량

바. 기기분석

가스크로마토그래피를 이용한 톨루엔의 분석은 머무름 시간이 동일한 방해물질 및 다른 화학물질의 존재여부에 따라 칼럼의 종류와 분석기기의 분석조건 등을 다르게 하여 분석하도록 한다. 다음에 예시된 기기분석 조건을 참조하여 톨루엔분석이 용이하도록 가스크로마토그래피를 최적화 시킨다.

1) 분석조건

2) 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료의 톨루엔에 해당하는 피크 면적 또는 높이를 측정한다.
3) 검출한계 및 시료채취분석오차
이 방법의 검출한계는 0.7 ㎍/시료이며, 시료채취분석오차는 0.109이다.

사. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 톨루엔의 농도를 계산한다.

$$C, ppm = \frac{(W_f^{1)} + W_b^{2)} - B_f^{3)} - B_b^{4)}) \times 24.45^{5)}}{V^{6)} \times DE^{7)} \times 92.14^{8)}}$$

[1] : 시료 앞층에서 분석된 톨루엔의 질량, ㎍

[2] : 시료 뒷층에서 분석된 톨루엔의 질량, ㎍

[3] : 공시료들의 앞층에서 분석된 톨루엔의 평균질량, ㎍

[4] : 공시료들의 뒷층에서 분석된 톨루엔의 평균질량, ㎍

[5] : 작업환경표준상태(25 ℃, 1 기압)에서 공기부피

[6] : 시료채취 총량, L

[7] : 평균 탈착효율

[8] : 톨루엔의 분자량

## ○ 제2절 수은

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 수은[Hg, CAS No. 7439-97-6] 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

고체흡착튜브(Hopcalite in single section, 200 ㎎)를 사용한다.

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(0.15~0.25 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(0.15~0.25 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전 흡착튜브의 양 끝단을 절단한 후 유연성튜브를 이용하여 활성탄과 펌프를 연결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고 시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 펌프유량 및 채취총량은 다음 표의 정보를 참고하여 시료 채취할 때 펌프의 유량 및 시료채취 시간을 조절하여 시료채취를 한다.

| 시료채취 | | |
|---|---|---|
| 유량 (L/분) | 총 량(L)[1] | |
| | 최소 | 최대 |
| 0.15~0.25 | 2 | 100 |

1) 작업장의 공기 중 수은의 농도가 0.1 ㎎/㎥ 존재 시 시간가중평균농도의 평가를 위한 기준임

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 흡착관의 마개로 완전히 밀봉한 후 상온, 상압 상태에서 운반하며, 시료보관시의 시료안정성은 25 ℃에서 약 30일이다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~10개를 준비한다.

※ 현장공시료는 시료채취에 사용하지 않은 시료채취기로 마개를 막아 두어야 하며, 시료채취에 활용되지 않은 점만 제외하고 모두 현장시료와 동일하게 취급·운반한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

원자흡광광도계법(AAS)를 사용한다.

나. 표준용액

1,000 ㎍/㎖의 표준용액 또는 동등 이상의 수은 표준용액을 사용한다.

다. 전처리 시약

1) 흡착튜브의 흡착제를 50 mL 용량플라스크에 넣는다.
2) 질산 2.5 mL를 넣은 후 염산 2.5 mL를 넣는다(순서에 주의).
3) 흡착제가 녹을 때까지 1시간 정도 방치한다(검은 갈색용액으로 변함).
4) 증류수를 가하여 최종용량이 50 mL가 되게 한다(Blue Green색을 띰).
5) 위 용액 20 mL를 취하여 80 mL 증류수가 들어있는 BOD 병에 넣는다.

마. 검량선 작성과 정도관리

1) 시료농도(0.01~0.5 ug/aliquot 정도)가 포함될 수 있는 적절한 범위에서 최소 5개 이상의 농도수준을 표준용액으로 하여 검량선을 작성한다. 표준용액의 농도 범위는 현장시료 농도범위를 포함해야 한다.
2) 표준용액을 공시료 및 시료와 함께 분석한다.
3) 표준용액 제조시 표준원액(stock solution)을 단계적으로 희석시키는 방법(희석식)과 표준원액에서 일정량씩 줄여 가면서 만드는 방법(배치식)이 있다.
4) 작성한 검량선에 따라 보통 10개의 시료를 분석한 후, 표준용액을 이용하여 분석기기 반응에 대한 재현성을 점검하도록 한다.
5) 작업장에서 채취된 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료를 분석한다.
6) 분석된 탈착효율 검증용 시료를 통해 아래와 같이 탈착효율을 구한다.
   탈착효율(DE, desorption efficiency) = 검출량/주입량

바. 기기분석

1) 원자흡광광도계(AAS)의 기기를 작동시켜 최적화시킨 후 253.7 ㎚에서 배경보정상태로 수은 흡광도를 측정하도록 한다.
   만일 방해물질이 존재할 경우 253.7 ㎚ 이외의 다른 파장을 선택하여 분석한다.
2) 표준용액, 공시료, 현장시료, 그리고 회수율 검증시료를 흡입시켜 수은의 흡광도를 측정한다.
3) 검출한계 및 시료채취분석오차
   이 방법의 검출한계는 0.03 ㎍/시료이다.

사. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 수은의 농도를 계산한다.

$$C,\ mg/m^3 \ = \ \frac{W^{1)} + \frac{V_s^{2)}}{V_a^{3)}} - B^{4)}}{V^{5)} \times DE^{6)}}$$

1) : 시료 중 수은의 양, $\mu g$

2) : 최초 시료의 부피, mL, 전처리 3번에서 만들어진 용량, 50 mL

3) : 분석에 사용한 시료의 부피, mL, 전처리 4번에서 사용된 용량, 20 mL

4) : 공시료 중의 수은의 양, $\mu g$

5) : 시료공기 채취 총량, L

6) : 평균 탈착효율

## ○ 제3절 휘발성콜타르피치

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 휘발성콜타르피치[CAS No. 65996-93-2] 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

PTFE membrane filter(2 ㎛ pore size, 37 ㎜)을 사용한다.

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(1~4 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(1~4 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전 시료채취기의 마개를 열고 유연성튜브를 이용하여 시료채취기와 펌프를 연결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고 시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 채취총량은 휘발성콜타르피치 추정농도를 고려하여 펌프의 유량 및 시료채취 시간을 조절하여 시료채취를 한다.

| 시료채취 | | |
|---|---|---|
| 유량 (L/분) | 총 량(L) | |
| | 최소 | 최대 |
| 1~4 | 500 | 2,400 |

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 카세트를 마개로 막고 알루미늄 호일 등으로 감싸 햇빛을 차단하여 운반한다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~10개를 준비한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

벤젠, Cyclohexane등의 용매로 추출한 후 정밀저울로 정량한다.

나. 시약

가) 용매 : 벤젠, cyclohexane

나) Dichromic acid cleaning solution

다) Acetone

라) Hexane

다. 시료 전처리

1) 핀셋을 사용하여 필터를 조심스럽게 시험관에 옮긴 후 용매 5 ml를 가한 후 마개를 막는다.

※ 벤젠은 발암물질로 추정되고 있으므로 cyclohexane이 추출용매로 권장함

※ 이 추출법은 벌크시료에도 적용할 수 있다.

2) 20분간 초음파 처리 한다.

3) 용액을 0.5 ㎛ 여과지를 사용하여 여과하게 되는데 여과액은 미리 무게를 단 컵등에 담는다. 여과후의 여과지는 버린다.

라. 기기분석

1) 분석기기

정밀저울로 정량하는 중량분석법을 사용한다.

2) 분석조건

가) 시료추출물 1.0 ㎖를 미리 달아놓은 컵에 옮긴다.

나) 40 ℃로 미리 가열한 진공오븐에 옮긴다. 이 오븐내의 압력은 7~27 kPa(50~200 mmHg)의 범위내에 둔다.

다) 용매를 2 시간 동안 증발 시킨다.

라) 화학정밀저울이 설치된 방의 온도와 습도를 적어도 30 분간 일정하게 유지 시킨 후 ㎍ 까지 무게를 단다.

2) 검출한계

이 방법의 검출한계는 0.05 ㎎/시료이다.

마. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 휘발성콜타르피치의 농도를 계산한다.

$$C, mg/m^3 = \frac{(W^{1)} - B^{2)}) \times 5}{V^{3)}}$$

[1] : 시료 1 ㎖에서 측정된 잔유물의 양, ㎍

[2] : 공시료 1 ㎖에서 측정된 잔유물의 양, ㎍

[3] : 채취 공기량(ℓ)

5 : 전체시료(5 ㎖) 중의 잔유물양으로 전환하기 위한 계수

## ○ 제4절 일산화탄소

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 일산화탄소[CO, CAS No. 630-08-0] 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

테드라 백(5ℓ)을 사용한다.

나. 시료채취

테드라백의 밸브를 열거나 시료채취 펌프를 사용하여 채취한다. 진공펌프는 기름기 제거를 위해 출구에 필터장치를 한다.

다. 시료운반

시료채취 후 백을 밀봉하여 운반한다 채취된 시료들의 압력이 저하되면 누설된 것으로 간주한다.

### 3. 분석

가. 분석기기

10 meter pathlenth 가스셀에 넣어 적외선 분광광도계를 사용한다.

나. 시약

1) 염화칼슘, 일산화탄소
2) 건조 질소 탱크 또는 일산화탄소가 없는 공기(Hopcalite absorbtion trap을 사용하여 만들 수 있다.

다. 검량선 작성과 정도관리

1) 10 미터 가스셀의 부피는 표준방법에 의해 결정한다. 가스셀의 공기를 다

빼 다음 보정된 습식 유량보정기(Wet-test meter)를 통해 공기를 대기압과 같게 가스셀로 넣는다. 이 때 들어간 공기의 부피는 유량보정기에 나타난 눈금이 된다.

2) 부피가 확인 되면 가스셀안의 공기를 다시 다 빼고 가스타이트 실린지를 이용하여 알고 있는 부피의 일산화탄소를 가스셀의 입구에 부착된 고무마개를 통하여 주입한 후 가스셀 안의 공기압력이 대기압과 같이 되도록 일산화탄소가 없는 공기를 주입한다.
3) 흡수도를 4.67 u(2,143 ㎝$^{-1}$)에서 측정한다(1.0 ㎖의 일산화탄소를 3.85 L의 가스셀에 넣었다면 이 때의 일산화탄소 농도는 260 ppm이 된다. 즉 260 ppm의 일산화탄소의 흡수도를 측정하는 것이다).
4) 이러한 식으로 측정하고자 하는 시료의 농도가 포함될 수 있도록 검량선을 작성한다.

라. 기기분석

적외선분광광도계(IR)를 사용한다.

1) 10 미터 path-lengh 가스셀은 T 자 연결관을 사용하여 압력계와 연결한다.
2) 테드라백안의 공기는 염화칼슘을 거쳐 가스셀로 들어가게 되며 가스셀의 압력이 1.0 mmHg에 도달하면 배출된다.
3) 가스의 안정을 위하여 분석하기 전 15분동안 기다린다.
4) 스펙트럼을 4~6 u(2,500 ~ 1,670 ㎝$^{-1}$)로 스캔하고 4.67 u(2,143 ㎝$^{-1}$)에서 흡수도를 측정한다.

마. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 일산화탄소의 농도를 계산한다.

$$C,\ ppm \ = \ \frac{Volume\ of\ CO added(ul)}{Volume\ of\ IR\ cell(L)}$$

## ○ 제5절 베릴륨 및 그 화합물

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 베릴륨[Be, CAS No. 7440-41-7] 및 그 화합물 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

1) MCE 막여과지(직경 : 37 ㎜, 공극 : 0.8 ㎛, cellulose ester membrane)와 패드(backup pad)가 장착된 3단 카세트를 사용한다.
2) PVC 여과지(직경 : 37 ㎜, 공극 : 5.0 ㎛, polyvinyl chloride membrane)와 패드(backup pad)가 장착된 3단 카세트를 사용한다.

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(1~4 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(1~4 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전 시료채취기의 마개를 열고 유연성튜브를 이용하여 시료채취기와 펌프를 연결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고 시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 펌프유량 및 채취총량은 다음 표의 정보를 참고하여 시료 채취할 때 여과지에 채취된 먼지의 무게가 2 ㎎을 초과하지 않도록 펌프의 유량 및 시료채취 시간을 조절하여 시료채취를 한다.

※ 과도하게 시료채취가 되는 경우 시료채취기 내부 벽에 분석대상물질이 포함된 먼지 등이 흡착되는 경우가 발생할 수 있다.

| 시료채취 | | |
|---|---|---|
| 유량(L/분) | 총 량(L)[1)] | |
| | 최소 | 최대 |
| 0.05~0.2 | 7 | 80 |

[1)] 작업장의 공기 중 베릴륨의 농도가 0.002 ㎎/㎥ 존재 시 시간가중평균농도의 평가를 위한 기준임

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 여과지의 시료포집 부분이 위를 향하도록 하고 마개를 닫아 밀폐된 상태에서 운반하며, 상온에서 보관하여도 안정하다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~10개를 준비한다.

※ 현장공시료는 시료채취에 사용하지 않은 시료채취기로 마개를 막아 두어야 하며, 시료채취에 활용되지 않은 점만 제외하고 모두 현장시료와 동일하게 취급·운반한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

원자흡광광도계법, 흑연로법(AAS, Graphite Furnace)을 사용한다.

나. 회화장비

가열판(Hot plate) 또는 마이크로웨이브(Microwave) 회화기를 사용한다.

다. 표준용액

1,000 ㎍/㎖의 표준용액 또는 동등 이상의 베릴륨 표준용액을 사용한다.

라. 전처리 시약

1) 가열판 전처리

가) 회화용액 : 진한질산과 진한황산

나) 희석용액 : 회화용액을

※ 모든 산은 취급할 때 흄후드 내에서 행해야 하며, 피부 및 눈에 산 접촉을 방지하기 위해 보안경, 보호장갑 등을 착용하고 작업을 수행해야 한다.

마. 회수율 검증시료 제조

1) 회수율 시험을 위한 첨가량을 결정한다. 첨가량은 현장시료의 베릴륨 농도를 모두 포함하는 범위이어야 한다.

2) 베릴륨 표준용액을 이용하여 계산된 첨가량이 될 수 있도록 적당량을 미량주사기로 취해 시료채취 시와 동일한 막여과지에 떨어뜨린다. 동일 첨가량을 가진 각기 다른 여과지에 떨어뜨려 동일 농도수준에서 총 3개의 회수율 검증용 시료를 조제하도록 하고, 서로 다른 세 가지 농도수준에서 동일한 요령으로 회수율 검증시료를 조제하도록 한다.

※ 일반적으로 저농도, 중농도, 그리고 고농도의 각 농도수준에서 각각 동일한 첨가량으로 3개의 첨가시료를 조제하기 때문에 총 9개의 회수율 검증용 첨가시료가 조제된다.

3) 하룻밤 정도 실온에서 놓아둔다.

바. 시료 전처리

1) 가열판을 이용한 시료 전처리

가) 시료채취기로부터 막여과지를 핀셋 등을 이용하여 비이커에 옮긴다.

나) 여과지가 들어간 비이커에 제조한 회화용액 5 ㎖를 넣고 유리덮개로 덮은 후 실온에서 30분 정도 놓아둔다.

다) 가열판 위로 비이커를 옮긴 후 120 ℃에서 회화용액이 약 0.5 ㎖ 정도가 남을 때까지 가열시킨다.

라) 유리덮개를 열고 회화용액 2 ㎖를 다시 첨가하여 가열시킨다. 비이커 내

의 회화용액이 투명해 질 때까지 이 과정을 반복한다.

마) 비이커 내의 회화용액이 투명해지면 유리덮개를 열고 비이커와 접한 유리덮개 내부를 초순수로 헹구어 잔여물이 비이커에 들어가도록 한다. 유리덮개는 제거하고 비이커 내의 용액량이 거의 없어져 건조될 때 까지 증발시킨다.

바) 희석용액 2~3 ㎖를 비이커에 가해 잔유물을 다시 용해시킨 다음 10 ㎖ 용량플라스크에 옮긴 후 희석용액을 가해 최종용량이 10 ㎖가 되게 한다.

※ 최종 용량은 시료내의 베릴륨 농도를 고려하여 20 ㎖ 또는 25 ㎖로 만들어 사용해도 된다.

사. 검량선 작성과 정도관리

1) 분석기기(AAS)의 감도 등을 고려하여 5개의 농도수준을 표준용액으로 하여 검량선을 작성한다. 이때 표준용액의 농도 범위는 현장시료 농도범위를 포함하는 것이어야 한다.

※ 가열판을 이용한 전처리 시료의 표준용액 제조는 희석용액을 사용한다.

2) 검량선 작성용 표준용액 시료와 공시료를 이용하여 검량선을 작성한다. 한번 작성한 검량선에 따라 10개의 시료를 분석한 후, 분석기기 반응에 대한 재현성을 확인하기 위해 1개의 표준용액 시료를 분석하여 그 재현성을 점검하도록 한다.

3) 작업장에서 채취된 현장시료, 회수율 검증시료, 현장공시료 및 공시료를 분석한다.

4) 분석된 회수율 검증시료를 통해 아래와 같이 회수율을 구한다.

회수율(RE, recovery) = 검출량/첨가량

아. 기기분석

1) 원자흡광광도계(AAS)의 기기를 작동시켜 최적화시킨 후 234.9 ㎚에서 배경보정상태로 베릴륨 흡광도를 측정하도록 한다. 만일 방해물질이 존재할 경우 234.9 ㎚ 이외의 다른 파장을 선택하여 분석한다.

2) 표준용액, 공시료, 현장시료, 그리고 회수율 검증시료를 흡입시켜 베릴륨의 흡광도를 측정한다.

3) 검출한계 및 시료채취분석오차

이 방법의 검출한계는 0.005 ㎍/시료이며, 시료채취분석오차는 0.124이다.

자. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 베릴륨 및 그 화합물의 농도를 계산한다.

$$C,\ ug/m^3 \ = \ \frac{(A^{1)} - A_b{}^{2)}) \times C_s{}^{3)} \times V_s{}^{4)} \times 10^3}{(A_s{}^{5)} - A_r{}^{6)} \times V^{7)}}$$

1) : 시료에서의 흡광도

2) : 공시료의 평균 흡광도

3) : 표준용액에 의해 분석된 시료의 농도, ug/㎥

4) : 시료를 희석한 총량, mL

5) : 표준용액의 흡광도

6) : Sulfate 시약에 의한 평균 흡광도(reagentblank)

7) : 공기 채취량, L

## ○ 제6절 니켈카르보닐

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 니켈카르보닐[$Ni(CO)_4$, CAS No. 13463-39-3] 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

프리필터 및 고체흡착관(low Ni charcoal, 120 ㎎/60 ㎎; 0.8 ㎛ cellulose ester membrane)을 사용한다.

※ 프리필터(Prefilter) : 막여과지(Cellulose ester filter, 공극 0.8 ㎛, 직경 37 ㎜), 카세트홀더

※ 흡착튜브 : 길이 8 ㎝, 외경 6 ㎜, 내경 4 ㎜, 플라스틱 캡으로 끝이 밀봉됨, 산처리 된 활성탄(앞 120 ㎎, 뒤 60 ㎎)이 2 ㎜ 우레탄 폼으로 나누어짐. 글라스울 플러그가 앞부분에 있고, 3 ㎜ 우레탄 폼 플러그가 뒷부분에 있음. 유량 1 L/min에서 압력손실이 3.4 kPa 이하이어야 함

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(0.05~0.2 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(0.05~0.2 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전에 흡착튜브의 양 끝을 깨고, 프리필터를 장착한다. 흡착튜브와 프리필터를 시료채취펌프에 유연성튜브를 이용하여 시료채취기와 펌프를 연

결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고 시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 펌프유량 및 채취총량은 다음 표의 정보를 참고하여 시료 채취할 때 펌프의 유량 및 시료채취 시간을 조절하여 시료채취를 한다.

| 시료채취 | | |
|---|---|---|
| 유량(L/분) | 총 량(L)[1)] | |
| | 최소 | 최대 |
| 0.05~0.2 | 7 | 80 |

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 여과지를 시료포집 부분이 위를 향하도록하고, 고체흡착관의 마개를 닫아 밀폐된 상태에서 운반하며, 상온에서 17일 저장시 95% 안정하다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~10개를 준비한다.

※ 현장공시료는 시료채취에 사용하지 않은 시료채취기로 마개를 막아 두어야 하며, 시료채취에 활용되지 않은 점만 제외하고 모두 현장시료와 동일하게 취급·운반한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

원자흡광광도계법, 흑연로법(AAS, Graphite Furnace)을 사용한다.

※ 흑연로 : 건조(110℃, 30초), 회화(800℃, 15초), 원자화(≥2,700℃, 10초)

나. 표준용액

1) 니켈용액(1,000 ug Ni/mL) : 1 g 순수 니켈 금속을 최초 소량의 70% 질산에서 용해시킨 후, 3% 질산으로 희석시킴

2) 표준용액( 50 ug Ni/mL) : 10 mL 용량플라스크에 니켈용액(1,000 ug/mL) 0.500 mL를 넣고 3% 질산으로 희석시킴. 폴리에틸렌 병에 넣어 보관함(1주일 정도 안정).

다. 시료 전처리

1) 흡착관의 앞부분과 뒷부분 흡착제를 각각 바이알에 담는다. 글라스울과 우레탄폼 플러그는 버리고, 프리필터는 버리거나 입자상 니켈을 분석한다.
2) 각각의 바이알에 3% 질산 1.0 ㎖를 넣고, 뚜껑을 닫는다.
3) 초음파 수욕조에서 30분 동안 초음파 처리한다.

라. 검량선 작성과 정도관리

1) 최소한 5개 표준용액으로 매일 보정한다.
   가) 일정량의 표준용액을 10 mL 용량플라스크에 넣고, 3% 질산으로 눈금까지 희석한다. 일련의 희석을 통하여 필요한 농도를 만든다(0.01~0.6 ug/mL 농도범위의 니켈이온 포함). 폴리에틸렌 병에 보관하고 매일 만든다(하루 동안 안정).
   나) 표준용액을 공시료 및 시료와 함께 분석한다.
   다) 검량선 그래프를 작성한다(흡광도 vs 표준용액(ug $Ni^{2+}$)).
2) 시료채취매체(고체흡착튜브)에 알고 있는 양의 분석대상물질을 주입한 시료(spike 시료)로 아래와 같이 탈착효율(Desorption Efficiency) 시험을 실시하여 현장 시료 분석값을 보정한다.
3) 검량선 그래프와 회수율 그래프의 재현성 점검을 위해 미지의 spike 시료 3개와 analyst spike 시료 3개를 분석한다.

마. 기기분석

1) 원자흡광광도계(AAS)의 기기를 작동시켜 최적화시킨 후 232 ㎚ 또는 341.5 ㎚에서 배경보정상태로 니켈카르보닐 흡광도를 측정하도록 한다. 만일 방해물질이 존재할 경우 232 ㎚ 또는 341.5 ㎚ 이외의 다른 파장을 선택하여 분석한다.
2) 오토샘플러 또는 피펫으로 주입한다.
3) 피크높이를 측정한다. 각각의 시료 세트를 분석하기 전과 후에 일련의 표준용액을 분석하고 각 10개 시료 분석마다 한 개의 중간수준 표준용액을 분

석한다. 흡착튜브 공시료와 공시료를 포함한 모든 시료용액을 3번씩 분석한다.

4) 검출한계 및 시료채취분석오차

이 방법의 검출한계는 니켈(Ni) 0.01 ㎍/시료이며, 시료채취분석오차는 0.264이다.

바. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 니켈카르보닐의 농도를 계산한다.

$$C,\ mg/m^3 = \frac{(W_f^{1)} + W_b^{2)} - B_f^{3)} - B_b^{4)}) \times 2.91}{V^{5)} \times DE^{6)}}$$

[1] : 흡착튜브의 앞부분에서 검출된 분석물질의 양(㎍)

[2] : 흡착튜브의 뒷부분에서 검출된 분석물질의 양(㎍)

[3] : 공시료의 앞부분에서 검출된 분석물질의 양(㎍)

[4] : 공시료의 뒷부분에서 검출된 분석물질의 양(㎍)

[5] : 공기 채취량(L)

[6] : 탈착효율

※ 2.91 = 니켈(Ni)을 니켈카보닐($Ni(CO)_4$)로 변환하는 화학양론의 변환계수

## ○ 제7절 아크릴로니트릴

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 아크릴로니트릴[$C_3H_3N$, CAS No. 107-13-1] 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

활성탄관(Coconut shell charcoal, 길이: 7 ㎝, 외경: 6 ㎜, 내경: 4 ㎜, 앞층: 100 ㎎, 뒷층: 50 ㎎, 20/40 mesh 또는 이와 동등성능 이상의 흡착성능을 갖는 흡착관)을 사용한다.

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(0.01~0.2 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(0.01~0.2 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전 활성탄관의 양 끝단을 절단한 후 유연성튜브를 이용하여 활성탄과 펌프를 연결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고 시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 펌프유량 및 채취총량은 다음 표의 정보를 참고하여 시료 채취할 때 활성탄관의 파과가 일어나지 않도록 펌프의 유량 및 시료채취 시간

을 조절하여 시료채취를 한다.

※ 작업장 공기 중의 습도가 과도하게 높으면 활성탄관안에서 수분의 응축현상이 발생하게 된다. 응축된 수분은 아크릴로니트릴이 활성탄관에 흡착되는 것을 방해하므로 수분의 응축현상이 발생한 시료는 측정시료로 사용하지 말아야 한다.

| 시료채취 | | |
|---|---|---|
| 유량(L/분) | 총 량(L) | |
| | 최소 | 최대 |
| 0.01~0.2 | 3.5 | 20 |

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 활성탄관의 마개로 완전히 밀봉한 후 상온, 상압 상태에서 운반하며, 시료보관시의 시료안정성은 25℃에서 최소 7일 이상이다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~10개를 준비한다.

※ 현장공시료는 시료채취에 사용하지 않는 활성탄관의 양 끝단을 절단한 후 즉시 마개로 막아 두어야 하며, 시료채취에 활용되지 않은 점만 제외하고 모두 현장시료와 동일하게 취급·운반한다.

※ 아크릴로니트릴의 분석을 방해하거나 방해할 수 있다고 의심되는 물질이 작업장 공기 중에 존재한다면 관련정보를 시료분석자에게 시료전달시 제공하여야 한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피를 사용한다.

나. 시약

크로마토그래피 분석등급의 1 mL 2%v/v 아세톤/이황화탄소와 아크릴로니트릴을 사용한다.

※ 표준용액 및 시료 전처리는 반드시 후드 안에서 작업을 수행해야 한다.

다. 탈착효율 검증시료 제조

탈착효율 검증용 시료분석은 시료 배치(batch)당 최소한 한 번씩은 행해져야 하며, 탈착효율 검증용 시료조제는 다음과 같은 요령으로 조제하여 사용하도록 한다.

1) 3개 농도수준(저, 중, 고농도)에서 각각 3개씩의 활성탄관과 공시료로 사용할 활성탄관 3개를 준비한다.
2) 마이크로실린지를 이용하여 탈착효율 검증용 용액(stock solution)의 일정량(계산된 농도)을 취해 활성탄관의 앞층 활성탄에 직접 주입한다. 탈착효율 검증용 저장용액은 1)에서 언급한 3개의 농도수준이 포함될 수 있도록 아크릴로니트릴원액 또는 이황화탄소에 희석된 아크릴로니트릴용액을 말한다.
3) 탈착효율 검증용 저장용액을 주입한 활성탄관은 즉시 마개로 막고 하룻밤 정도 실온에 놓아둔다.

라. 시료 전처리

1) 활성탄관 앞층과 뒷층의 활성탄을 각각 다른 바이엘에 담는다.
2) 각 바이엘에 피펫으로 1.0 ㎖의 이황화탄소를 넣고 즉시 마개로 막는다.
3) 가끔 흔들어 주면서 실온에서 최소한 30분 이상 놓아둔다.

마. 검량선 작성과 정도관리

1) 검출한계에서 정량한계의 10배 농도범위까지 최소 5개 이상의 농도수준을 표준용액으로 하여 검량선을 작성한다. 표준용액의 농도 범위는 현장시료 농도범위를 포함해야 한다.
2) 표준용액의 조제는 적당량의 아크릴로니트릴을 취해 이황화탄소에 넣어 혼합시킨 후 이를 이황화탄소로 연속적으로 희석시켜 원하는 농도 범위의 표준용액을 조제하는 희석식 표준용액 조제방법을 사용한다.
3) 표준용액 검증용 표준용액(standard matching solution) : 조제된 표준용액이 정확히 만들어졌는지 이를 검증할 수 있는 표준용액 2개를 만들어 검증하도록 한다.
4) 작업장에서 채취된 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료를

분석한다.

5) 분석된 탈착효율 검증용 시료를 통해 아래와 같이 탈착효율을 구한다.

탈착효율(DE, desorption efficiency) = 검출량/주입량

바. 기기분석

가스크로마토그래피를 이용한 아크릴로니트릴의 분석은 머무름 시간이 동일한 방해물질 및 다른 화학물질의 존재여부에 따라 칼럼의 종류와 분석기기의 분석조건 등을 다르게 하여 분석하도록 한다. 다음에 예시된 기기분석 조건을 참조하여 아크릴로니트릴분석이 용이하도록 가스크로마토그래피를 최적화 시킨다.

1) 분석조건

| | |
|---|---|
| 컬럼 | Capillary, DB-wax, fused silica capillary column 30 m × 0.25㎜ × 0.25㎛ 또는 동등이상의 컬럼 |
| 시료주입량 | 2 ㎕ |
| 운반가스 | 질소 또는 헬륨가스, 1 mL/min |
| 온도조건 | 시료도입부 : 200℃ |
| | 검출기 : 200℃ |
| | 오븐 : 85℃ |

2) 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료의 아크릴로니트릴에 해당하는 피크 면적 또는 높이를 측정한다.

3) 검출한계 및 시료채취분석오차

이 방법의 검출한계는 1 ㎍/시료이며, 시료채취분석오차는 0.141이다.

사. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 아크릴로니트릴의 농도를 계산한다.

$$C,\ mg/m^3 = \frac{W_f^{1)} + W_b^{2)} - B_f^{3)} - B_b^{4)}}{V^{5)} \times DE^{6)}}$$

[1] : 시료 앞층의 양, $\mu g$

[2] : 시료 뒷층의 양, $\mu g$

[3] : 공시료 앞층의 양, $\mu g$

[4] : 공시료 뒷층의 양, $\mu g$

[5] : 채취공기량, L

[6] : 탈착효율

## ○ 제8절 스티렌

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 스티렌[$C_8H_8$, CAS No. 100-42-5] 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

활성탄관(Coconut shell charcoal, 길이: 7 ㎝, 외경: 6 ㎜, 내경: 4 ㎜, 앞층: 100 ㎎, 뒷층: 50 ㎎, 20/40 mesh 또는 이와 동등성능 이상의 흡착성능을 갖는 흡착관)을 사용한다.

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(0.01～1 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(0.01～1 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전 활성탄관의 양 끝단을 절단한 후 유연성튜브를 이용하여 활성탄과 펌프를 연결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고 시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 펌프유량 및 채취총량은 다음 표의 정보를 참고하여 시료 채취할 때 활성탄관의 파과가 일어나지 않도록 펌프의 유량 및 시료채취 시간

을 조절하여 시료채취를 한다.

※ 작업장 공기 중의 습도가 과도하게 높으면 활성탄관안에서 수분의 응축현상이 발생하게 된다. 응축된 수분은 톨루엔이 활성탄관에 흡착되는 것을 방해하므로 수분의 응축현상이 발생한 시료는 측정시료로 사용하지 말아야 한다.

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 활성탄관의 마개로 완전히 밀봉한 후 상온, 상압 상태에서 운반하며, 시료보관시의 시료안정성은 5 ℃에서 30일 이상이다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~5개를 준비한다.

※ 현장공시료는 시료채취에 사용하지 않는 활성탄관의 양 끝단을 절단한 후 즉시 마개로 막아 두어야 하며, 시료채취에 활용되지 않은 점만 제외하고 모두 현장시료와 동일하게 취급·운반한다.

※ 스티렌의 분석을 방해하거나 방해할 수 있다고 의심되는 물질이 작업장 공기 중에 존재한다면 관련정보를 시료분석자에게 시료전달시 제공하여야 한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피를 사용한다.

나. 시약

크로마토그래피 분석등급의 이황화탄소와 스티렌을 사용한다.

※ 표준용액 및 시료 전처리는 반드시 후드 안에서 작업을 수행해야 한다.

다. 탈착효율 검증시료 제조

탈착효율 검증용 시료분석은 시료 배치(batch)당 최소한 한 번씩은 행해져야 하며, 탈착효율 검증용 시료조제는 다음과 같은 요령으로 조제하여 사용하도

록 한다.

1) 3개 농도수준(저, 중, 고농도)에서 각각 3개씩의 활성탄관과 공시료로 사용할 활성탄관 3개를 준비한다.
2) 마이크로실린지를 이용하여 탈착효율 검증용 용액(stock solution)의 일정량(계산된 농도)을 취해 활성탄관의 앞층 활성탄에 직접 주입한다. 탈착효율 검증용 저장용액은 1)에서 언급한 3개의 농도수준이 포함될 수 있도록 톨루엔원액 또는 이황화탄소에 희석된 스티렌용액을 말한다.
3) 탈착효율 검증용 저장용액을 주입한 활성탄관은 즉시 마개로 막고 하룻밤 정도 실온에 놓아둔다.

라. 시료 전처리

1) 활성탄관 앞층과 뒷층의 활성탄을 각각 다른 바이엘에 담는다.
2) 각 바이엘에 피펫으로 1.0 ㎖의 이황화탄소를 넣고 즉시 마개로 막는다.
3) 가끔 흔들어 주면서 실온에서 최소한 30분 이상 놓아둔다.

마. 검량선 작성과 정도관리

1) 검출한계에서 정량한계의 10배 농도범위까지 최소 5개 이상의 농도수준을 표준용액으로 하여 검량선을 작성한다. 표준용액의 농도 범위는 현장시료 농도범위를 포함해야 한다.
2) 표준용액의 조제는 적당량의 스티렌을 취해 이황화탄소에 넣어 혼합시킨 후 이를 이황화탄소로 연속적으로 희석시켜 원하는 농도 범위의 표준용액을 조제하는 희석식 표준용액 조제방법을 사용한다.
3) 표준용액 검증용 표준용액(standard matching solution) : 조제된 표준용액이 정확히 만들어졌는지 이를 검증할 수 있는 표준용액 2개를 만들어 검증하도록 한다.
4) 작업장에서 채취된 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료를 분석한다.
5) 분석된 탈착효율 검증용 시료를 통해 아래와 같이 탈착효율을 구한다.
   탈착효율(DE, desorption efficiency) = 검출량/주입량

바. 기기분석

가스크로마토그래피를 이용한 스티렌의 분석은 머무름 시간이 동일한 방해물질 및 다른 화학물질의 존재여부에 따라 칼럼의 종류와 분석기기의 분석조건 등을 다르게 하여 분석하도록 한다. 다음에 예시된 기기분석 조건을 참조하여 스티렌분석이 용이하도록 가스크로마토그래피를 최적화 시킨다.

1) 분석조건

| | |
|---|---|
| 컬럼 | Capillary, fused silica, 30 m ×0.32㎜ ID; 1.00 ㎛ film 100% dimethyl polysiloxane 또는 동등이상의 컬럼 |
| 시료주입량 | 1 ㎕ |
| 운반가스 | 질소 또는 헬륨가스, 1~2 mL/min |
| 온도조건 | 시료도입부 : 220℃ |
| | 컬럼 : 40℃(3 min) - 10℃/min - 200℃ |
| | 검출기 : 250℃ |

2) 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료의 스티렌에 해당하는 피크 면적 또는 높이를 측정한다.

3) 검출한계 및 시료채취분석오차

이 방법의 검출한계는 0.4 ㎍/시료이며, 시료채취분석오차는 0.167이다.

사. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 스티렌의 농도를 계산한다.

$$C, ppm = \frac{(W_f^{1)} + W_b^{2)} - B_f^{3)} - B_b^{4)}) \times 24.45^{5)}}{V^{6)} \times DE^{7)} \times 104.15^{8)}}$$

[1] : 시료 앞 층의 양, ㎍

[2] : 시료 뒷 층의 양, ㎍

[3] : 공시료 앞 층의 양, ㎍

[4] : 공시료 뒷 층의 양, ㎍

[5] : 정상상태(25℃, 1기압)의 공기 1 mole이 차지하는 용적

[6] : 채취공기량, L

[7] : 탈착효율

[8] : 스티렌의 분자량

## ○ 제9절 메틸알코올

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 메틸알코올[$CH_4O$, CAS No. 67-56-1] 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

흡착관(두 개의 Anasorb 747튜브, 앞 400 ㎎, 뒤 200 ㎎ 튜브를 실리콘 튜브로 연결)을 사용한다.

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(0.01~1 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(0.01~1 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전 흡착관의 양 끝단을 절단한 후 유연성튜브를 이용하여 활성탄과 펌프를 연결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고 시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 펌프유량 및 채취총량은 다음 표의 정보를 참고하여 시료 채취할 때 흡착튜브의 파과가 일어나지 않도록 펌프의 유량 및 시료채취 시간을 조절하여 시료채취를 한다.

| 시료채취 | | |
|---|---|---|
| 유량(L/분) | 총 량(L) | |
| | 최소 | 최대 |
| 0.01～1 | 0.75 | 5 |

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 흡착튜브의 마개로 완전히 밀봉한 후 상온, 상압 상태에서 운반하며, 시료보관시의 시료안정성은 회수율 88%(18일)이다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~5개를 준비한다.

※ 현장공시료는 시료채취에 사용하지 않는 흡착튜브의 양 끝단을 절단한 후 즉시 마개로 막아 두어야 하며, 시료채취에 활용되지 않은 점만 제외하고 모두 현장시료와 동일하게 취급·운반한다.

※ 메틸알코올의 분석을 방해하거나 방해할 수 있다고 의심되는 물질이 작업장 공기 중에 존재한다면 관련정보를 시료분석자에게 시료전달시 제공하여야 한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피를 사용한다.

나. 시약

크로마토그래피 분석등급의 이황화탄소와 메틸알코올을 사용한다.

※ 표준용액 및 시료 전처리는 반드시 후드 안에서 작업을 수행해야 한다.

다. 탈착효율 검증시료 제조

탈착효율 검증용 시료분석은 시료 배치(batch)당 최소한 한 번씩은 행해져야 하며, 탈착효율 검증용 시료조제는 다음과 같은 요령으로 조제하여 사용하도록 한다.

1) 3개 농도수준(저, 중, 고농도)에서 각각 3개씩의 활성탄관과 공시료로 사용

할 활성탄관 3개를 준비한다.

2) 마이크로실린지를 이용하여 탈착효율 검증용 용액(stock solution)의 일정량(계산된 농도)을 취해 활성탄관의 앞층 활성탄에 직접 주입한다. 탈착효율 검증용 저장용액은 1)에서 언급한 3개의 농도수준이 포함될 수 있도록 메틸알코올원액 또는 이황화탄소에 희석된 메틸알코올용액을 말한다.
3) 탈착효율 검증용 저장용액을 주입한 흡착관은 즉시 마개로 막고 하룻밤 정도 실온에 놓아둔다.

라. 시료 전처리

1) 시료 튜브의 내용물을 4 mL 바이엘로 옮긴다. 글라스 울과 폼 마개는 버린다.
2) 탈착용액 3 mL를 각 바이알에 첨가한다. PTFE 마개로 막는다.
3) 1시간 동안 탈착한다. 탈착하는 동안 수차례 힘차게 흔든다.

마. 검량선 작성과 정도관리

1) 시료 당 0.01~2600 ㎍의 메틸알코올을 포함하는 최소 5개 이상의 농도수준을 표준용액으로 하여 검량선을 작성한다. 표준용액의 농도 범위는 현장시료 농도범위를 포함해야 한다.
2) 표준용액의 조제는 적당량의 메틸알코올을 취해 이황화탄소에 넣어 혼합시킨 후 이를 이황화탄소로 연속적으로 희석시켜 원하는 농도 범위의 표준용액을 조제하는 희석식 표준용액 조제방법을 사용한다.
3) 표준용액 검증용 표준용액(standard matching solution) : 조제된 표준용액이 정확히 만들어졌는지 이를 검증할 수 있는 표준용액 2개를 만들어 검증하도록 한다.
4) 작업장에서 채취된 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료를 분석한다.
5) 분석된 탈착효율 검증용 시료를 통해 아래와 같이 탈착효율을 구한다.
탈착효율(DE, desorption efficiency) = 검출량/주입량

바. 기기분석

가스크로마토그래피를 이용한 메틸알코올의 분석은 머무름 시간이 동일한 방해물질 및 다른 화학물질의 존재여부에 따라 칼럼의 종류와 분석기기의 분석조건 등을 다르게 하여 분석하도록 한다. 다음에 예시된 기기분석 조건을 참조하여 메틸알코올분석이 용이하도록 가스크로마토그래피를 최적화 시킨다.

1) 분석조건

| | |
|---|---|
| 컬럼 | 60 m × 0.32 ㎜ ID 1 ㎛ Fused silica capillary 컬럼 또는 동등이상 |
| 시료주입량 | 1 ㎕ |
| 운반가스 | 질소 또는 헬륨가스, 2 mL/min |
| 온도조건 | 시료도입부 : 200℃ |
| | 검출기 : 250℃ |
| | 오븐 : 35℃(1 min)-10℃/min-240℃(2 min) |

2) 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료의 메틸알코올에 해당하는 피크 면적 또는 높이를 측정한다.

3) 검출한계 및 시료채취분석오차

이 방법의 검출한계는 0.93 ㎍/시료이며, 시료채취분석오차는 0.103이다.

사. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 메틸알코올의 농도를 계산한다.

$$C, ppm = \frac{(W_f^{1)} + W_b^{2)} - B_f^{3)} - B_b^{4)}) \times 24.45^{5)}}{V^{6)} \times DE^{7)} \times 32.04^{8)}}$$

1) : 시료 앞층의 양, ㎍

2) : 시료 뒷층의 양, ㎍

3) : 공시료 앞층의 양, ㎍

4) : 공시료 뒷층의 양, ㎍

5) : 정상상태(25℃, 1기압)의 공기 1 mole이 차지하는 공기용적

[6] : 채취공기량, L

[7] : 탈착효율

[8] : 메틸알코올의 분자량

## ○ 제10절 망간 및 그 무기화합물

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 망간[Mn, CAS No. 7439-96-5] 및 그 무기화합물 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

막여과지(직경 : 37 ㎜, 공극 : 0.8 ㎛, cellulose ester membrane)와 패드(backup pad)가 장착된 3단 카세트를 사용한다.

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(1~3 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(1~3 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전 시료채취기의 마개를 열고 유연성튜브를 이용하여 시료채취기와 펌프를 연결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고 시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 펌프유량 및 채취총량은 다음 표의 정보를 참고하여 시료 채취할 때 여과지에 채취된 먼지의 무게가 2 ㎎을 초과하지 않도록 펌프의 유

량 및 시료채취 시간을 조절하여 시료채취를 한다.

※ 과도하게 시료채취가 되는 경우 시료채취기 내부 벽에 분석대상물질이 포함된 먼지 등이 흡착되는 경우가 발생할 수 있다.

| 시료채취 | | |
|---|---|---|
| 유량(L/분) | 총 량(L)[1] | |
| | 최소 | 최대 |
| 1~3 | 480 | 960 |

[1] 작업장의 공기 중 망간의 농도가 1㎎/㎥ 존재 시 시간가중평균농도의 평가를 위한 기준임

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 여과지의 시료포집 부분이 위를 향하도록 하고 마개를 닫아 밀폐된 상태에서 운반하며, 상온에서 보관하여도 안정하다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~10개를 준비한다.

※ 현장공시료는 시료채취에 사용하지 않은 시료채취기로 마개를 막아 두어야 하며, 시료채취에 활용되지 않은 점만 제외하고 모두 현장시료와 동일하게 취급·운반한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

원자흡광광도계법(AAS)을 사용한다.

나. 회화장비

가열판(Hot plate) 또는 마이크로웨이브(Microwave) 회화기를 사용한다.

다. 표준용액

1,000 ㎍/㎖의 표준용액 또는 동등 이상의 망간 표준용액을 사용한다.

라. 전처리 시약

1) 가열판 전처리

가) 회화용액 : 진한질산과 진한염산

나) 희석용액 : 회화용액을

※ 모든 산은 취급할 때 흄후드 내에서 행해야 하며, 피부 및 눈에 산 접촉을 방지하기 위해 보안경, 보호장갑 등을 착용하고 작업을 수행해야 한다.

마. 회수율 검증시료 제조

1) 회수율 시험을 위한 첨가량을 결정한다. 첨가량은 현장시료의 망간 농도를 모두 포함하는 범위이어야 한다.

2) 망간 표준용액을 이용하여 계산된 첨가량이 될 수 있도록 적당량을 미량주사기로 취해 시료채취 시와 동일한 막여과지에 떨어뜨린다. 동일 첨가량을 가진 각기 다른 여과지에 떨어뜨려 동일 농도수준에서 총 3개의 회수율 검증용 시료를 조제하도록 하고, 서로 다른 세 가지 농도수준에서 동일한 요령으로 회수율 검증시료를 조제하도록 한다.

※ 일반적으로 저농도, 중농도, 그리고 고농도의 각 농도수준에서 각각 동일한 첨가량으로 3개의 첨가시료를 조제하기 때문에 총 9개의 회수율 검증용 첨가시료가 조제된다.

3) 하룻밤 정도 실온에서 놓아둔다.

바. 시료 전처리

1) 가열판을 이용한 시료 전처리

가) 시료채취기로부터 막여과지를 핀셋 등을 이용하여 비이커에 옮긴다.

나) 여과지가 들어간 비이커에 제조한 회화용액 5 ㎖를 넣고 유리덮개로 덮은 후 실온에서 30분 정도 놓아둔다.

다) 가열판 위로 비이커를 옮긴 후 120 ℃에서 회화용액이 약 0.5 ㎖ 정도가 남을 때까지 가열시킨다.

라) 유리덮개를 열고 회화용액 2 ㎖를 다시 첨가하여 가열시킨다. 비이커 내의 회화용액이 투명해 질 때까지 이 과정을 반복한다.

마) 비이커 내의 회화용액이 투명해지면 유리덮개를 열고 비이커와 접한 유리

덮개 내부를 초순수로 헹구어 잔여물이 비이커에 들어가도록 한다. 유리덮개는 제거하고 비이커 내의 용액량이 거의 없어져 건조될 때 까지 증발시킨다.

바) 희석용액 2~3 ㎖를 비이커에 가해 잔유물을 다시 용해시킨 다음 10 ㎖ 용량플라스크에 옮긴 후 희석용액을 가해 최종용량이 10 ㎖가 되게 한다.

※ 최종 용량은 시료내의 망간 농도를 고려하여 20 ㎖ 또는 25 ㎖로 만들어 사용해도 된다.

사. 검량선 작성과 정도관리

1) 분석기기(AAS)의 감도 등을 고려하여 5개의 농도수준을 표준용액으로 하여 검량선을 작성한다. 이때 표준용액의 농도 범위는 현장시료 농도범위를 포함하는 것이어야 한다.

※ 가열판을 이용한 전처리 시료의 표준용액 제조는 희석용액을 사용한다.

2) 검량선 작성용 표준용액 시료와 공시료를 이용하여 검량선을 작성한다. 한번 작성한 검량선에 따라 10개의 시료를 분석한 후, 분석기기 반응에 대한 재현성을 확인하기 위해 1개의 표준용액 시료를 분석하여 그 재현성을 점검하도록 한다.

3) 작업장에서 채취된 현장시료, 회수율 검증시료, 현장공시료 및 공시료를 분석한다.

4) 분석된 회수율 검증시료를 통해 아래와 같이 회수율을 구한다.

회수율(RE, recovery) = 분석값/첨가량

아. 기기분석

1) 원자흡광광도계(AAS)의 기기를 작동시켜 최적화시킨 후 279.5 ㎚에서 배경보정상태로 망간 흡광도를 측정하도록 한다. 만일 방해물질이 존재할 경우 279.5 ㎚ 이외의 다른 파장을 선택하여 분석한다.

2) 표준용액, 공시료, 현장시료, 그리고 회수율 검증시료를 흡입시켜 망간의 흡광도를 측정한다.

3) 검출한계 및 시료채취분석오차

이 방법의 검출한계는 0.002 ㎍/㎖이다.

자. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 베릴륨 및 그 화합물의 농도를 계산한다.

$$C, mg/m^3 = \frac{C_s^{1)} V_s^{2)} - C_b^{3)} V_b^{4)}}{V^{5)}}$$

1) : 시료에서의 분석물질의 농도, ㎍/㎖

2) : 공시료에서의 분석물질의 농도, ㎍/㎖

3) : 시료에서 희석한 최종용량, ㎖

4) : 공시료에서 희석한 최종용량, ㎖

5) : 공기 채취량, L

## ○ 제11절 아닐린

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 아닐린[$C_6H_7N$, CAS No. 62-53-3]과 아닐린 동족체 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

실리카겔관(silica gel 150 ㎎/75 ㎎, 또는 동등 이상의 흡착성능을 갖는 흡착튜브)을 사용한다.

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(0.02~0.2 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(0.02~0.2 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전 흡착관의 양 끝단을 절단한 후 유연성튜브를 이용하여 활성탄과 펌프를 연결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고 시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 펌프유량 및 채취총량은 다음 표의 정보를 참고하여 시료 채취할 때 실리카겔관의 파과가 일어나지 않도록 펌프의 유량 및 시료채취 시

간을 조절하여 시료채취를 한다.

| 시료채취 | | |
|---|---|---|
| 유량(L/분) | 총 량(L) | |
| | 최소 | 최대 |
| 0.02~0.2 | 5 | 30 |

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 실리카겔관의 마개로 완전히 밀봉한 후 상온, 상압 상태에서 운반하며, 시료보관시의 시료안정성은 7일 이상이다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~10개를 준비한다.

※ 현장공시료는 시료채취에 사용하지 않는 실리카겔관의 양 끝단을 절단한 후 즉시 마개로 막아 두어야 하며, 시료채취에 활용되지 않은 점만 제외하고 모두 현장시료와 동일하게 취급·운반한다.

※ 아닐린의 분석을 방해하거나 방해할 수 있다고 의심되는 물질이 작업장 공기 중에 존재한다면 관련정보를 시료분석자에게 시료전달시 제공하여야 한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피를 사용한다.

나. 시약

크로마토그래피 분석등급의 95% 에탄올과 아닐린을 사용한다.

※ 표준용액 및 시료 전처리는 반드시 후드 안에서 작업을 수행해야 한다.

다. 탈착효율 검증시료 제조

탈착효율 검증용 시료분석은 시료 배치(batch)당 최소한 한 번씩은 행해져야 하며, 탈착효율 검증용 시료조제는 다음과 같은 요령으로 조제하여 사용하도록 한다.

1) 3개 농도수준(저, 중, 고농도)에서 각각 3개씩의 실리카겔관과 공시료로 사

용할 실리카겔관 3개를 준비한다.

2) 마이크로실린지를 이용하여 탈착효율 검증용 용액(stock solution)의 일정량(계산된 농도)을 취해 실리카겔관의 앞층 활성탄에 직접 주입한다. 탈착효율 검증용 저장용액은 1)에서 언급한 3개의 농도수준이 포함될 수 있도록 아닐린원액 또는 이황화탄소에 희석된 아닐린용액을 말한다.
3) 탈착효율 검증용 저장용액을 주입한 흡착관은 즉시 마개로 막고 하룻밤 정도 실온에 놓아둔다.

라. 시료 전처리

1) 실리카겔관 앞층과 뒷층의 실리카겔을 각각 다른 바이알에 담는다.
2) 각 바이알에 1 ㎖의 95% 에탄올을 넣고 즉시 마개를 닫는다.
3) 바이알을 초음파수조에 넣고 1시간 이상 초음파 처리를 한다.

마. 검량선 작성과 정도관리

1) 검출한계에서 정량한계의 10배 농도범위까지 최소 5개 이상의 농도수준을 표준용액으로 하여 검량선을 작성한다. 표준용액의 농도 범위는 현장시료 농도범위를 포함해야 한다.
2) 표준용액의 조제는 적당량의 아닐린을 취해 이황화탄소에 넣어 혼합시킨 후 이를 이황화탄소로 연속적으로 희석시켜 원하는 농도 범위의 표준용액을 조제하는 희석식 표준용액 조제방법을 사용한다.
3) 표준용액 검증용 표준용액(standard matching solution) : 조제된 표준용액이 정확히 만들어졌는지 이를 검증할 수 있는 표준용액 2개를 만들어 검증하도록 한다.
4) 작업장에서 채취된 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료를 분석한다.
5) 분석된 탈착효율 검증용 시료를 통해 아래와 같이 탈착효율을 구한다.
탈착효율(DE, desorption efficiency) = 검출량/주입량

바. 기기분석

가스크로마토그래피를 이용한 아닐린의 분석은 머무름 시간이 동일한 방해물질 및 다른 화학물질의 존재여부에 따라 칼럼의 종류와 분석기기의 분석조건 등을 다르게 하여 분석하도록 한다. 다음에 예시된 기기분석 조건을 참조하여 아닐린분석이 용이하도록 가스크로마토그래피를 최적화 시킨다.

1) 분석조건

| | |
|---|---|
| 컬럼 | stainless steel, 0.6 m × 3 ㎜ OD, packed with 80/100 mesh Chromosorb 103 |
| 시료주입량 | 5 ㎕ |
| 운반가스 | 질소 또는 헬륨가스, 25 ㎖/min |
| 온도조건 | 주입구 : 230℃ |
| | 검출기 : 245℃ |
| | 오븐 : 165℃ |

2) 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료의 아닐린에 해당하는 피크 면적 또는 높이를 측정한다.

3) 검출한계 및 시료채취분석오차

이 방법의 검출한계는 0.01 ㎎/시료이며, 시료채취분석오차는 0.151이다.

사. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 톨루엔의 농도를 계산한다.

$$C, ppm = \frac{(W_f^{1)} + W_b^{2)} - B_f^{3)} - B_b^{4)}) \times 10^3 \times 24.45^{5)}}{V^{6)} \times 93.13^{7)}}$$

1) : 시료 앞층의 양, ㎍

2) : 시료 뒷층의 양, ㎍

3) : 공시료 앞층의 양, ㎍

4) : 공시료 뒷층의 양, ㎍

5) : 정상상태(25℃, 1기압)의 공기 1 mole이 차지하는 공기용적

6) : 채취공기량, L

[7] : 아닐린의 분자량

## ○ 제12절 시클로헥사논

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 시클로헥사논[$C_6H_{10}O$, CAS No. 108-94-1] 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

활성탄관(Coconut shell charcoal, 길이: 7 ㎝, 외경: 6 ㎜, 내경: 4 ㎜, 앞층: 100 ㎎, 뒷층: 50 ㎎, 20/40 mesh 또는 이와 동등성능 이상의 흡착성능을 갖는 흡착관)을 사용한다.

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(0.01~0.2 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(0.01~0.2 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전 활성탄관의 양 끝단을 절단한 후 유연성튜브를 이용하여 활성탄과 펌프를 연결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고 시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 펌프유량 및 채취총량은 다음 표의 정보를 참고하여 시료 채취할 때 활성탄관의 파과가 일어나지 않도록 펌프의 유량 및 시료채취 시간

을 조절하여 시료채취를 한다.

※ 작업장 공기 중의 습도가 과도하게 높으면 활성탄관안에서 수분의 응축현상이 발생하게 된다. 응축된 수분은 시클로헥사논이 활성탄관에 흡착되는 것을 방해하므로 수분의 응축현상이 발생한 시료는 측정시료로 사용하지 말아야 한다.

| 시료채취 | | |
|---|---|---|
| 유량(L/분) | 총 량(L) | |
| | 최소 | 최대 |
| 0.01~0.2 | 1 | 10 |

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 활성탄관의 마개로 완전히 밀봉한 후 상온, 상압 상태에서 운반한다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~10개를 준비한다.

※ 현장공시료는 시료채취에 사용하지 않는 활성탄관의 양 끝단을 절단한 후 즉시 마개로 막아 두어야 하며, 시료채취에 활용되지 않은 점만 제외하고 모두 현장시료와 동일하게 취급·운반한다.

※ 시클로헥사논의 분석을 방해하거나 방해할 수 있다고 의심되는 물질이 작업장 공기 중에 존재한다면 관련정보를 시료분석자에게 시료전달시 제공하여야 한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피를 사용한다.

나. 시약

크로마토그래피 분석등급의 1 mL 이황화탄소와 시클로헥사논을 사용한다.

※ 표준용액 및 시료 전처리는 반드시 후드 안에서 작업을 수행해야 한다.

다. 탈착효율 검증시료 제조

탈착효율 검증용 시료분석은 시료 배치(batch)당 최소한 한 번씩은 행해져야 하며, 탈착효율 검증용 시료조제는 다음과 같은 요령으로 조제하여 사용하도록 한다.

1) 3개 농도수준(저, 중, 고농도)에서 각각 3개씩의 활성탄관과 공시료로 사용할 활성탄관 3개를 준비한다.
2) 마이크로실린지를 이용하여 탈착효율 검증용 용액(stock solution)의 일정량(계산된 농도)을 취해 활성탄관의 앞층 활성탄에 직접 주입한다. 탈착효율 검증용 저장용액은 1)에서 언급한 3개의 농도수준이 포함될 수 있도록 시클로헥사논원액 또는 이황화탄소에 희석된 시클로헥사논용액을 말한다.
3) 탈착효율 검증용 저장용액을 주입한 활성탄관은 즉시 마개로 막고 하룻밤 정도 실온에 놓아둔다.

라. 시료 전처리

1) 흡착관의 앞층과 뒷층의 활성탄을 각각 다른 바이엘에 담는다.
2) 각 바이엘에 피펫으로 1.0 ㎖의 이황화탄소를 넣고 즉시 마개로 막는다.
3) 가끔 흔들어 주면서 실온에서 최소한 30분 이상 놓아둔다.

마. 검량선 작성과 정도관리

1) 검출한계에서 정량한계의 10배 농도범위까지 최소 5개 이상의 농도수준을 표준용액으로 하여 검량선을 작성한다. 표준용액의 농도 범위는 현장시료 농도범위를 포함해야 한다.
2) 표준용액의 조제는 적당량의 시클로헥사논을 취해 이황화탄소에 넣어 혼합시킨 후 이를 이황화탄소로 연속적으로 희석시켜 원하는 농도 범위의 표준용액을 조제하는 희석식 표준용액 조제방법을 사용한다.
3) 표준용액 검증용 표준용액(standard matching solution) : 조제된 표준용액이 정확히 만들어졌는지 이를 검증할 수 있는 표준용액 2개를 만들어 검증하도록 한다.
4) 작업장에서 채취된 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료를 분석한다.

5) 분석된 탈착효율 검증용 시료를 통해 아래와 같이 탈착효율을 구한다.
탈착효율(DE, desorption efficiency) = 검출량/주입량

바. 기기분석

가스크로마토그래피를 이용한 시클로헥사논의 분석은 머무름 시간이 동일한 방해물질 및 다른 화학물질의 존재여부에 따라 칼럼의 종류와 분석기기의 분석조건 등을 다르게 하여 분석하도록 한다. 다음에 예시된 기기분석 조건을 참조하여 시클로헥사논분석이 용이하도록 가스크로마토그래피를 최적화 시킨다.

1) 분석조건

| | |
|---|---|
| 컬럼 | Capillary, DB-wax, fused silica capillary column 30 m × 0.25 ㎜ × 0.25 ㎛ 또는 동등이상의 컬럼 |
| 시료주입량 | 1 ㎕ |
| 운반가스 | 질소 또는 헬륨가스, 25 mL/min |
| 온도조건 | 시료도입부 : 250℃ |
| | 검출기 : 300℃ |
| | 오븐 : 50℃~170℃ |

2) 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료의 시클로헥사논에 해당하는 피크 면적 또는 높이를 측정한다.

3) 검출한계 및 시료채취분석오차
이 방법의 검출한계는 0.02 ㎎/시료이다.

사. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 시클로헥사논의 농도를 계산한다.

$$C,\ mg/m^3 = \frac{(W_f^{1)} + W_b^{2)} - B_f^{3)} - B_b^{4)})}{V^{5)} \times DE^{6)}} \times 10^3$$

[1] : 시료 앞층의 양, ㎎

[2] : 시료 뒷층의 양, ㎎

[3] : 공시료 앞층의 양, ㎎

[4] : 공시료 뒷층의 양, ㎎

[5] : 채취공기량, L

[6] : 탈착효율

## ○ 제13절 코발트 및 그 무기화합물

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 코발트[Co, CAS No. 7440-48-4] 및 그 무기화합물 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

막여과지(직경 : 37 ㎜, 공극 : 0.8 ㎛, cellulose ester membrane)와 패드(backup pad)가 장착된 3단 카세트를 사용한다.

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(1~3 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(1~3 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전 시료채취기의 마개를 열고 유연성튜브를 이용하여 시료채취기와 펌프를 연결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고 시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 펌프유량 및 채취총량은 다음 표의 정보를 참고하여 시료 채취할 때 여과지에 채취된 먼지의 무게가 2 ㎎을 초과하지 않도록 펌프의 유

량 및 시료채취 시간을 조절하여 시료채취를 한다.

※ 과도하게 시료채취가 되는 경우 시료채취기 내부 벽에 분석대상물질이 포함된 먼지 등이 흡착되는 경우가 발생할 수 있다.

| 시료채취 | | |
|---|---|---|
| 유량(L/분) | 총 량(L)[1)] | |
| | 최소 | 최대 |
| 1~3 | 30 | 1,500 |

[1)] 작업장의 공기 중 코발트의 농도가 0.02㎎/㎥ 존재 시 시간가중평균농도의 평가를 위한 기준임

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 여과지의 시료포집 부분이 위를 향하도록 하고 마개를 닫아 밀폐된 상태에서 운반하며, 상온에서 보관하여도 안정하다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~10개를 준비한다.

※ 현장공시료는 시료채취에 사용하지 않은 시료채취기로 마개를 막아 두어야 하며, 시료채취에 활용되지 않은 점만 제외하고 모두 현장시료와 동일하게 취급·운반한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

원자흡광광도계법(AAS)을 사용한다.

나. 회화장비

가열판(Hot plate) 또는 마이크로웨이브(Microwave) 회화기를 사용한다.

다. 표준용액

1,000 ㎍/㎖의 표준용액 또는 동등 이상의 코발트 표준용액을 사용한다.

라. 전처리 시약

1) 가열판 전처리

가) 회화용액 : 진한질산과 진한염산

나) 희석용액 : Co 1 g을 소량의 왕수에 첨가하고, 5 % 질산을 가해 1L로 희석시킴

※ 모든 산은 취급할 때 흄후드 내에서 행해야 하며, 피부 및 눈에 산 접촉을 방지하기 위해 보안경, 보호장갑 등을 착용하고 작업을 수행해야 한다.

마. 회수율 검증시료 제조

1) 회수율 시험을 위한 첨가량을 결정한다. 첨가량은 현장시료의 코발트 농도를 모두 포함하는 범위이어야 한다.

2) 코발트 표준용액을 이용하여 계산된 첨가량이 될 수 있도록 적당량을 미량주사기로 취해 시료채취 시와 동일한 막여과지에 떨어뜨린다. 동일 첨가량을 가진 각기 다른 여과지에 떨어뜨려 동일 농도수준에서 총 3개의 회수율 검증용 시료를 조제하도록 하고, 서로 다른 세 가지 농도수준에서 동일한 요령으로 회수율 검증시료를 조제하도록 한다.

※ 일반적으로 저농도, 중농도, 그리고 고농도의 각 농도수준에서 각각 동일한 첨가량으로 3개의 첨가시료를 조제하기 때문에 총 9개의 회수율 검증용 첨가시료가 조제된다.

3) 하룻밤 정도 실온에서 놓아둔다.

바. 시료 전처리

1) 가열판을 이용한 시료 전처리

가) 시료채취기로부터 막여과지를 핀셋 등을 이용하여 비이커에 옮긴다.

나) 여과지가 들어간 비이커에 제조한 회화용액 5 ㎖를 넣고 유리덮개로 덮은 후 실온에서 30분 정도 놓아둔다.

다) 가열판 위로 비이커를 옮긴 후 120 ℃에서 회화용액이 약 0.5 ㎖ 정도가 남을 때까지 가열시킨다.

라) 유리덮개를 열고 회화용액 2 ㎖를 다시 첨가하여 가열시킨다. 비이커 내의 회화용액이 투명해 질 때까지 이 과정을 반복한다.

마) 비이커 내의 회화용액이 투명해지면 유리덮개를 열고 비이커와 접한 유리덮개 내부를 초순수로 헹구어 잔여물이 비이커에 들어가도록 한다. 유리덮개는 제거하고 비이커 내의 용액량이 거의 없어져 건조될 때 까지 증발시킨다.

바) 희석용액 2~3 ㎖를 비이커에 가해 잔유물을 다시 용해시킨 다음 10 ㎖ 용량플라스크에 옮긴 후 희석용액을 가해 최종용량이 10 ㎖가 되게 한다.

※ 최종 용량은 시료내의 코발트 농도를 고려하여 20 ㎖ 또는 25 ㎖로 만들어 사용해도 된다.

사. 검량선 작성과 정도관리

1) 분석기기(AAS)의 감도 등을 고려하여 5개의 농도수준을 표준용액으로 하여 검량선을 작성한다. 이때 표준용액의 농도 범위는 현장시료 농도범위를 포함하는 것이어야 한다.

※ 가열판을 이용한 전처리 시료의 표준용액 제조는 희석용액을 사용한다.

2) 검량선 작성용 표준용액 시료와 공시료를 이용하여 검량선을 작성한다. 한번 작성한 검량선에 따라 10개의 시료를 분석한 후, 분석기기 반응에 대한 재현성을 확인하기 위해 1개의 표준용액 시료를 분석하여 그 재현성을 점검하도록 한다.

3) 작업장에서 채취된 현장시료, 회수율 검증시료, 현장공시료 및 공시료를 분석한다.

4) 분석된 회수율 검증시료를 통해 아래와 같이 회수율을 구한다.

회수율(RE, recovery) = 분석값/첨가량

아. 기기분석

1) 원자흡광광도계(AAS)의 기기를 작동시켜 최적화시킨 후 240.7 ㎚에서 배경보정상태로 코발트 흡광도를 측정하도록 한다. 만일 방해물질이 존재할 경우 240.7 ㎚ 이외의 다른 파장을 선택하여 분석한다.

2) 표준용액, 공시료, 현장시료, 그리고 회수율 검증시료를 흡입시켜 코발트의

흡광도를 측정한다.

3) 검출한계 및 시료채취분석오차

이 방법의 검출한계는 0.6 ㎍/시료이며, 시료채취분석오차는 0.180이다.

자. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 코발트 및 그 무기화합물의 농도를 계산한다.

$$C, mg/m^3 = \frac{C_s^{1)} V_s^{2)} - C_b^{3)} V_b^{4)}}{V^{5)}}$$

1) : 시료에서의 분석물질의 농도(㎍/㎖)

2) : 공시료에서의 분석물질의 농도(㎍/㎖)

3) : 시료에서 희석한 최종용량(㎖)

4) : 공시료에서 희석한 최종용량(㎖)ㄴ

5) : 공기 채취량(L)

## ○ 제14절 디클로로메탄

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 디클로로메탄[$CH_2Cl_2$, CAS No. 75-09-2] 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

2개의 활성탄관(Coconut shell charcoal, 길이: 7 ㎝, 외경: 6 ㎜, 내경: 4 ㎜, 앞층: 100 ㎎, 뒷층: 50 ㎎, 20/40 mesh 또는 이와 동등성능 이상의 흡착성능을 갖는 흡착관)을 사용한다.

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(0.01~0.2 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(0.01~0.2 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전 활성탄관의 양 끝단을 절단한 후 유연성튜브를 이용하여 활성탄과 펌프를 연결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고 시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 펌프유량 및 채취총량은 다음 표의 정보를 참고하여 시료 채취할 때 활성탄관의 파과가 일어나지 않도록 펌프의 유량 및 시료채취 시간

을 조절하여 시료채취를 한다.

※ 작업장 공기 중의 습도가 과도하게 높으면 활성탄관안에서 수분의 응축현상이 발생하게 된다. 응축된 수분은 디클로로메탄이 활성탄관에 흡착되는 것을 방해하므로 수분의 응축현상이 발생한 시료는 측정시료로 사용하지 말아야 한다.

| 시료채취 | | |
|---|---|---|
| 유량(L/분) | 총 량(L) | |
| | 최소 | 최대 |
| 0.01~0.2 | 0.5 | 2.5 |

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 활성탄관의 마개로 완전히 밀봉한 후 상온, 상압 상태에서 운반한다. 시료보관시의 시료안정성은 5 ℃에서 약 30일이다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~10개를 준비한다.

※ 현장공시료는 시료채취에 사용하지 않는 활성탄관의 양 끝단을 절단한 후 즉시 마개로 막아 두어야 하며, 시료채취에 활용되지 않은 점만 제외하고 모두 현장시료와 동일하게 취급·운반한다.

※ 디클로로메탄의 분석을 방해하거나 방해할 수 있다고 의심되는 물질이 작업장 공기 중에 존재한다면 관련정보를 시료분석자에게 시료전달시 제공하여야 한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피를 사용한다.

나. 시약

크로마토그래피 분석등급의 1 mL 이황화탄소와 디클로로메탄을 사용한다.

※ 표준용액 및 시료 전처리는 반드시 후드 안에서 작업을 수행해야 한다.

다. 탈착효율 검증시료 제조

탈착효율 검증용 시료분석은 시료 배치(batch)당 최소한 한 번씩은 행해져야 하며, 탈착효율 검증용 시료조제는 다음과 같은 요령으로 조제하여 사용하도록 한다.

1) 3개 농도수준(저, 중, 고농도)에서 각각 3개씩의 활성탄관과 공시료로 사용할 활성탄관 3개를 준비한다.
2) 마이크로실린지를 이용하여 탈착효율 검증용 용액(stock solution)의 일정량(계산된 농도)을 취해 활성탄관의 앞층 활성탄에 직접 주입한다. 탈착효율 검증용 저장용액은 1)에서 언급한 3개의 농도수준이 포함될 수 있도록 디클로로메탄원액 또는 이황화탄소에 희석된 디클로로메탄용액을 말한다.
3) 탈착효율 검증용 저장용액을 주입한 활성탄관은 즉시 마개로 막고 하룻밤 정도 실온에 놓아둔다.

라. 시료 전처리

1) 2개의 활성탄관 앞층과 뒷층의 활성탄을 각각 다른 바이엘에 담는다.
2) 각 바이엘에 피펫으로 1.0 ㎖의 이황화탄소를 넣고 즉시 마개로 막는다.
3) 가끔 흔들어 주면서 실온에서 최소한 30분 이상 놓아둔다.

마. 검량선 작성과 정도관리

1) 검출한계에서 정량한계의 10배 농도범위까지 최소 5개 이상의 농도수준을 표준용액으로 하여 검량선을 작성한다. 표준용액의 농도 범위는 현장시료 농도범위를 포함해야 한다.
2) 표준용액의 조제는 적당량의 디클로로메탄을 취해 이황화탄소에 넣어 혼합시킨 후 이를 이황화탄소로 연속적으로 희석시켜 원하는 농도 범위의 표준용액을 조제하는 희석식 표준용액 조제방법을 사용한다.
3) 표준용액 검증용 표준용액(standard matching solution) : 조제된 표준용액이 정확히 만들어졌는지 이를 검증할 수 있는 표준용액 2개를 만들어 검증하도록 한다.

4) 작업장에서 채취된 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료를 분석한다.

5) 분석된 탈착효율 검증용 시료를 통해 아래와 같이 탈착효율을 구한다.
탈착효율(DE, desorption efficiency) = 검출량/주입량

바. 기기분석

가스크로마토그래피를 이용한 디클로로메탄의 분석은 머무름 시간이 동일한 방해물질 및 다른 화학물질의 존재여부에 따라 칼럼의 종류와 분석기기의 분석조건 등을 다르게 하여 분석하도록 한다. 다음에 예시된 기기분석 조건을 참조하여 디클로로메탄분석이 용이하도록 가스크로마토그래피를 최적화 시킨다.

1) 분석조건

| | |
|---|---|
| 컬럼 | capillary, 30 m × 0.32 ㎜ ID × 0.25 ㎛ film polyethylene glycol, Stabilwax, or equivalent |
| 시료주입량 | 1 ㎕ |
| 운반가스 | 질소 또는 헬륨가스, 2.4 mL/min |
| 온도조건 | 시료도입부 : 250℃ |
| | 검출기 : 300℃ |
| | 컬럼 : 80 ℃ - 10℃/min - 150℃ |

2) 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료의 디클로로메탄에 해당하는 피크 면적 또는 높이를 측정한다.

3) 검출한계 및 시료채취분석오차
이 방법의 검출한계는 0.4 ㎍/시료이며, 시료채취분석오차는 0.158이다.

사. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 디클로로메탄의 농도를 계산한다.

$$C,\ ppm = \frac{(W_f^{1)} + W_b^{2)} - B_f^{3)} - B_b^{4)}) \times 24.45^{5)}}{V^{6)} \times DE^{7)} \times 84.94^{8)}}$$

[1] : 시료 앞 층의 양, $\mu g$

[2] : 시료 뒷 층의 양, $\mu g$

[3] : 공시료 앞 층의 양, $\mu g$

[4] : 공시료 뒷 층의 양, $\mu g$

[5] : 정상상태(25 ℃, 1 기압)에서의 공기용적

[6] : 채취공기량, L

[7] : 탈착효율

[8] : 디클로로메탄의 분자량

## ○ 제15절 트리클로로메탄

### 1. 적용범위

이 방법은 산업안전보건법 제39조의2에 따라 작업장 내 트리클로로메탄[$CHCl_3$, CAS No. 67-66-3] 노출 농도의 허용기준 초과여부를 확인하기 위해 적용한다.

### 2. 시료채취

가. 시료채취기

활성탄관(Coconut shell charcoal, 길이: 7 ㎝, 외경: 6 ㎜, 내경: 4 ㎜, 앞층: 100 ㎎, 뒷층: 50 ㎎, 20/40 mesh 또는 이와 동등성능 이상의 흡착성능을 갖는 흡착관)을 사용한다.

나. 시료채취용 펌프

작업자의 정상적인 작업 상황에서 작업자에게 부착 가능해야 하며, 적정유량(0.01~0.2 L/분)에서 8시간 동안 연속적으로 작동이 가능해야 한다.

다. 유량보정

시료채취기와 펌프를 유연성튜브로 연결한 후, 비누거품 유량보정기를 사용하여 적정유량(0.01~0.2 L/분)으로 보정한다. 유량보정은 시료채취 전·후에 실시한다.

라. 시료채취

시료채취 직전 활성탄관의 양 끝단을 절단한 후 유연성튜브를 이용하여 활성탄과 펌프를 연결한다. 개인시료 채취의 경우 펌프를 근로자에게 장착시키고 시료채취기는 근로자의 호흡영역에 부착하여 시료를 채취한다.

마. 시료채취량

시료채취 시의 펌프유량 및 채취총량은 다음 표의 정보를 참고하여 시료 채취할 때 활성탄관의 파과가 일어나지 않도록 펌프의 유량 및 시료채취 시간

을 조절하여 시료채취를 한다.

※ 작업장 공기 중의 습도가 과도하게 높으면 활성탄관안에서 수분의 응축현상이 발생하게 된다. 응축된 수분은 트리클로로메탄이 활성탄관에 흡착되는 것을 방해하므로 수분의 응축현상이 발생한 시료는 측정시료로 사용하지 말아야 한다.

| 시료채취 | | |
|---|---|---|
| 유량(L/분) | 총 량(L) | |
| | 최소 | 최대 |
| 0.01~0.2 | 1 | 50 |

바. 시료운반, 시료안정성, 현장공시료

채취된 시료는 활성탄관의 마개로 완전히 밀봉한 후 상온, 상압 상태에서 운반한다. 시료보관시의 시료안정성은 약 30일이다. 현장공시료의 개수는 채취된 시료세트 당 2~10개를 준비한다.

※ 현장공시료는 시료채취에 사용하지 않는 활성탄관의 양 끝단을 절단한 후 즉시 마개로 막아 두어야 하며, 시료채취에 활용되지 않은 점만 제외하고 모두 현장시료와 동일하게 취급·운반한다.

※ 트리클로로메탄의 분석을 방해하거나 방해할 수 있다고 의심되는 물질이 작업장 공기 중에 존재한다면 관련정보를 시료분석자에게 시료전달시 제공하여야 한다.

## 3. 분석

가. 분석기기

불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피를 사용한다.

나. 시약

크로마토그래피 분석등급의 1 mL 이황화탄소와 트리클로로메탄을 사용한다.

※ 표준용액 및 시료 전처리는 반드시 후드 안에서 작업을 수행해야 한다.

다. 탈착효율 검증시료 제조

탈착효율 검증용 시료분석은 시료 배치(batch)당 최소한 한 번씩은 행해져야 하며, 탈착효율 검증용 시료조제는 다음과 같은 요령으로 조제하여 사용하도록 한다.

1) 3개 농도수준(저, 중, 고농도)에서 각각 3개씩의 활성탄관과 공시료로 사용할 활성탄관 3개를 준비한다.
2) 마이크로실린지를 이용하여 탈착효율 검증용 용액(stock solution)의 일정량(계산된 농도)을 취해 활성탄관의 앞 층 활성탄에 직접 주입한다. 탈착효율 검증용 저장용액은 1)에서 언급한 3개의 농도수준이 포함될 수 있도록 트리클로로메탄원액 또는 이황화탄소에 희석된 트리클로로메탄용액을 말한다.
3) 탈착효율 검증용 저장용액을 주입한 활성탄관은 즉시 마개로 막고 하룻밤 정도 실온에 놓아둔다.

라. 시료 전처리

1) 활성탄관 앞 층과 뒤 층의 활성탄을 각각 다른 바이엘에 담는다.
2) 각 바이엘에 피펫으로 1.0 ㎖의 이황화탄소를 넣고 즉시 마개로 막는다.
3) 가끔 흔들어 주면서 실온에서 최소한 30분 이상 놓아둔다.

마. 검량선 작성과 정도관리

1) 검출한계에서 정량한계의 10배 농도범위까지 최소 5개 이상의 농도수준을 표준용액으로 하여 검량선을 작성한다. 표준용액의 농도 범위는 현장시료 농도범위를 포함해야 한다.
2) 표준용액의 조제는 적당량의 트리클로로메탄을 취해 이황화탄소에 넣어 혼합시킨 후 이를 이황화탄소로 연속적으로 희석시켜 원하는 농도 범위의 표준용액을 조제하는 희석식 표준용액 조제방법을 사용한다.
3) 표준용액 검증용 표준용액(standard matching solution) : 조제된 표준용액이 정확히 만들어졌는지 이를 검증할 수 있는 표준용액 2개를 만들어 검증하도록 한다.

4) 작업장에서 채취된 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료를 분석한다.

5) 분석된 탈착효율 검증용 시료를 통해 아래와 같이 탈착효율을 구한다.
탈착효율(DE, desorption efficiency) = 검출량/주입량

바. 기기분석

가스크로마토그래피를 이용한 트리클로로메탄의 분석은 머무름 시간이 동일한 방해물질 및 다른 화학물질의 존재여부에 따라 칼럼의 종류와 분석기기의 분석조건 등을 다르게 하여 분석하도록 한다. 다음에 예시된 기기분석 조건을 참조하여 트리클로로메탄분석이 용이하도록 가스크로마토그래피를 최적화 시킨다.

1) 분석조건

| | |
|---|---|
| 컬럼 | capillary, fused silica, 30 m × 0.32 ㎜ ID × 1.80 ㎛ film diphenyl/ dimethyl polysiloxane, Rtx® -502.2 or equivalent |
| 시료주입량 | 1 ㎕ |
| 운반가스 | 질소가스, 1 mL/min |
| 온도조건 | 시료도입부 : 225℃ |
| | 검출기 : 250℃ |
| | 컬럼 : 35 ℃(3 min) - 8 ℃/min - 190℃ |

2) 현장시료, 탈착효율 검증시료, 현장공시료 및 공시료의 트리클로로메탄에 해당하는 피크 면적 또는 높이를 측정한다.

3) 검출한계 및 시료채취분석오차
이 방법의 검출한계는 0.8 ㎍/시료이며, 시료채취분석오차는 0.180이다.

사. 농도

다음 식에 의해 작업장의 공기 중 트리클로로메탄의 농도를 계산한다.

$$C,\ ppm = \frac{(W_f^{1)} + W_b^{2)} - B_f^{3)} - B_b^{4)}) \times 24.45^{5)}}{V^{6)} \times DE^{7)} \times 119.39^{8)}}$$

[1] : 시료 앞 층의 양, $\mu g$

[2] : 시료 뒷 층의 양, $\mu g$

[3] : 공시료 앞 층의 양, $\mu g$

[4] : 공시료 뒷 층의 양, $\mu g$

[5] : 정상상태(25 ℃, 1 기압)에서의 공기용적

[6] : 채취공기량, L

[7] : 탈착효율

[8] : 트리클로로메탄의 분자량

## <<연 구 진>>

연 구 기 관 : 부산가톨릭대학교 산학협력단

연구책임자 : 김 기 연 (교수, 공학박사, 부산가톨릭대학교)

연 구 원 : 변 상 훈 (교수, 공학박사, 고려대학교)

노 영 만 (교수, 보건학박사, 송현켐컨설팅)

김 치 년 (교수, 보건학박사, 연세대학교)

연구보조원 : 오 성 업 (연구원, 이학석사, 부산가톨릭대학교)

조 만 수 (연구원, 박사수료, 부산가톨릭대학교)

서 수 지 (연구원, 석사과정, 고려대학교)

이 혜 림 (연구원, 석사과정, 고려대학교)

최 희 진 (연구원, 공학석사, 송현켐컨설팅)

김 홍 관 (연구원, 보건학석사, 연세대학교)

김 성 훈 (연구원, 석사과정, 연세대학교)

박 철 희 (연구원, 보건학사, 연세대학교)

최 현 우 (연구원, 보건학석사, 연세대학교)

연구상대역 : 이 권 섭 (연구위원, 화학물질센터)


## <<연 구 기 간>>

2016. 5. 29 ~ 2016. 10. 31

본 연구는 산업안전보건연구원의 2016년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

**산업안전보건연구원장**

# 허용기준 설정대상 유해인자 선정을 위한 유해성·위험성 평가 및 산업체 노출실태 평가 연구

(2016-연구원-780)


- 발 행 일 : 2016. 10
- 발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 직무대리 김 기 식
- 연구책임자 : 부산가톨릭대학교 교수 김 기 연
- 발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원
- 주　　소 : (680-230) 울산광역시 중구 종가로 400
- 전　　화 : 052-7030-824
- F A X : 1644-4549
- Homepage : http://oshri.kosha.or.kr