

연구보고서

세척제 취급 작업의 위해요인 평가

서희경 · 이상길 · 최지형 · 최영화

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요 약 문

연구기간

2020년 01월 ~ 2020년 12월

핵심 단어

석유계 세척제, 벤젠 노출, 위험성 평가, 세척제

연구과제명

세척제 취급 작업의 위해요인 평가
- 석유계 제품 세척제의 벤젠 노출을 중심으로

1. 연구배경

- 2018년 사전 예방적 역학조사에서 위험성 평가 결과 위험성이 높은 8점 이상의 화학물질 15종 중 석유계 제품이 5종이었으며, 세척제 MSDS 확인 결과 0.4%~3%의 벤젠이 함유된 경질 나프타 제품이 조사된 바 있고, MSDS 상 확인되지 않은 경질 나프타 5개 제품 중 4개 제품에서 0.07%~0.93%의 벤젠이 검출되었다.
- 이번 연구에서는 경질 나프타 등 석유계 제품 세척제의 사용실태를 파악하고, 벤젠 함유량 및 노출 수준 등의 위험성 평가를 통하여 세척제 취급 근로자의 벤젠 노출 고위험군을 파악하고, 벤젠 노출 역학조사 근거자료로 활용하고자 하였다.

2. 주요 연구내용

(1) 연구결과

- 본 연구에서 석유계 제품 세척제는 유기용제 세척제로, 국내외 문헌 조사 등을 통하여 시기별 세척제 제품 내 벤젠 함량, 취급 근로자의 공기 중 벤젠 노출수준 등을 확인하였다.

- 벤젠 함유 석유계 제품 세척제 조사 대상 물질로는 경질 나프타, 톨루엔, 벤젠, N-헥산 및 혼합물질로 선정하였다.
 - MSDS 상 벤젠이 1% 미만 함유된 제품을 취급하는 사업장
 - MSDS 상 헥산이 100% 함유된 제품을 취급하는 사업장
 - MSDS 상 톨루엔이 100% 함유된 제품을 취급하는 사업장
 - MSDS 상 경질 나프타가 50% 이상 함유된 제품을 취급하는 사업장
 - MSDS 상 위 4개 물질이 혼합되어 있는 제품을 취급하는 사업장
- 총 30개 사업장을 대상으로 벌크시료 분석, 공기 중 벤젠 노출수준 평가, 작업환경 실태조사 등의 현장조사를 실시하였다.
 - 인쇄업 27개소, 금형제조업 1개소, LED제조업 1개소, 공작기계제조업 1개소로 COVID-19 등으로 인하여 조사 대상 업종이 제한적이었다.
 - 작업형태는 스프레이건 방식과 세척제 소분 후 거즈 등에 묻혀서 작업하는 수작업 방식이었고, 대부분의 사업장이 5인 미만의 영세 사업장으로 조사대상 사업장 중 14개 사업장에서 환기 설비를 제대로 갖추지 못했으며, 톨루엔과 경질 나프타를 사용하는 사업장이 다수였다.
 - 벌크 시료 분석결과, 벤젠 함유량은 혼합물질에서 최대 0.5569%(v/v)로 가장 높은 것으로 나타났고, 경질 나프타(50% 이상) 최대 0.1340%(v/v), 톨루엔(100%) 최대 0.0356%(v/v), 헥산(100%) 0.006%(v/v)로 분석되었으며, 모든 시료에서 벤젠이 검출되었다.
 - 공기 중 시료에서는 벤젠이 대부분 불검출로 나타났으나 2개 사업장 톨루엔(100%)에서 0.011ppm, 0.0474ppm으로 나타났고, 1개 사업장 혼합물질(나프타70%+톨루엔30%)에서 0.0173ppm으로 분석되었으며, 모두 고용노동부 노출기준(0.5ppm)의 10% 미만이었다.

(2) 시사점

- 벌크 시료 분석 결과 현장 조사대상 30개의 모든 사업장에서 벤젠이

검출된 점과 공기 시료의 경우 3개 사업장에서 검출되었고 해당 사업장들의 경우 국소배기시스템의 미설치 및 관리 소홀 등의 작업환경관리가 미비한 영세 사업장인 점을 고려하면 향후 이러한 사업장들에 대한 실질적인 관리 방안 설정이 요구되는 바이다.

- 톨루엔, 경질 나프타 등 석유계 제품 세척제 취급 시 MSDS 상에서 확인되지 않으나 벤젠이 미량 함유되어 있고 공기 중 노출이 가능하기 때문에 작업상황을 고려하여 벤젠 노출 고위험군으로 관리할 필요가 있다.
- 조사 결과 미국의 경우 함유량 1% 미만의 경우라도 0.1% 이상의 발암물질이 혼합되어 있는 경우에는 발암물질로 분류하여 제품 라벨과 SDS(Safety Data Sheet)에 위험 정보를 반드시 제공하는 점을 고려해 본다면, 벤젠 함유량이 1% 미만인 제품이라도 예방 차원의 지속적인 모니터링 과정이 필요하다고 판단된다.

3. 연구 활용방안

- 석유계 세척제 취급 근로자의 벤젠 노출을 추정하는 역학조사 자료로 활용 가능하다.
- 석유계 세척제 취급 근로자의 벤젠 노출을 방지하기 위한 작업환경관리 및 건강관리 방안 설정의 기초 자료로 활용 가능하다.

4. 연락처

- 연구책임자 : 산업안전보건연구원 직업건강연구실 서희경 차장
 - ☎ 052) 7030.872
 - E-mail class22@kosha.or.kr

차례

I. 서론	1
1. 연구 배경 및 필요성	1
2. 연구목적	3
3. 연구 내용	3
4. 연구 방법	4
II. 연구결과	9
1. 경질 나프타 등 석유계 제품 세척제 사용실태조사	9
2. 석유계 제품 세척제 취급 사업장 관리 실태조사	69
3. 벤젠 노출 현장 평가	82
4. CHARM 기법 적용에 따른 벤젠 위험성 평가	94
5. 세척작업 공정의 작업환경관리 방안	100
III. 결론	111
1. 벌크 시료 함유량 및 공기 시료 노출량	111
2. 종합의견	115
참고문헌	119
Abstract	123
부록	125
부록-1 현장조사 Check list	125

부록-2 현장조사표	127
부록-3 CHARM(화학물질 위험성평가) 기법	128

표 차례

〈표 1-1〉 벌크시료 분석기기 조건	6
〈표 1-2〉 공기시료 분석기기 조건	8
〈표 2-1〉 세척제 종류	10
〈표 2-2〉 MSDS 상 나프타 함유 세척제의 벤젠 함유량	12
〈표 2-3〉 나프타 함유 세척제의 GC/MS 정성분석을 통한 벤젠함량	13
〈표 2-4〉 각 제품별 벤젠함량	14
〈표 2-5〉 조사사업장의 업종별 분포	16
〈표 2-6〉 조사사업장의 업종별 세척제 종류 및 세척방법	17
〈표 2-7〉 2014~2016년 주요 업종별 세척제 작업환경측정 건수	19
〈표 2-8〉 2014~2016년 업종별, 물질별 노출 기준 초과 측정 건수	20
〈표 2-9〉 세척제 물질의 연도별, 반기별 초과 건수 및 전체 측정 건수에 대한 비율	20
〈표 2-10〉 2014~2016년 사업장 규모별, 물질별 노출기준 초과 건수 및 전체 측정건수, 초과 백분율	21
〈표 2-11〉 세척제 함유 물질별 취급 및 법적 규제현황	23
〈표 2-12〉 국외의 연도와 제품에 따른 벤젠함량	27
〈표 2-13〉 국내의 연도와 제품에 따른 벤젠함량	29
〈표 2-14〉 국내에서 석유화학제품 내 벤젠 함유량과 취급 근로자의 공기 중 노출 수준이 함께 보고된 자료	30
〈표 2-15〉 세척작업 시 공기 중 벤젠농도	34
〈표 2-16〉 용도와 제품에 따른 벤젠의 평균, 최소, 최대 함량	40
〈표 2-17〉 용도, 제품, 벤젠함량에 따른 8시간 작업 시 노출농도	41
〈표 2-18〉 유기용제 성분 분석 결과	46
〈표 2-19〉 2번, 4번, 10번 시료(래커 시너)의 분석 결과	47

〈표 2-20〉 래커 시너, 산업용제(인쇄), 분사도장 용제, 사진인쇄 용제의 각 성분계의 함량	50
〈표 2-21〉 주요 성분의 함량 구분 구성 비율	51
〈표 2-22〉 벤젠 관련 직업성 질환자의 업종 중 세척제와 관련된 공정	55
〈표 2-23〉 환자 발생을 중심으로 본 우리나라의 벤젠 관련 주요 업종과 직종	56
〈표 2-24〉 본 연구에서 세분류한 직업별 통합 벤젠 노출 수준(ppm)	56
〈표 2-25〉 국외 석유화학 제품별 벤젠 함유량(%)	57
〈표 2-26〉 석유화학제품 및 시기별 벤젠 함유량에 대한 국외 논문 분석결과 요약	58
〈표 2-27〉 국내 석유화학 제품별 벤젠 함유량(%)	61
〈표 2-28〉 유기용제 취급 사업장 작업환경측정 결과서	63
〈표 2-29〉 벤젠 함유 가능 납사 종류	64
〈표 2-30〉 벤젠이 검출된 제품 정보	65
〈표 2-31〉 벤젠 노출관련 국내외 문헌고찰 종합	66
〈표 2-32〉 국내 세척제 관련법	71
〈표 2-33〉 국외 세척제 관련법	74
〈표 2-34〉 연도별 세척/세정 공정 벤젠의 작업환경측정결과	76
〈표 2-35〉 업종별 세척/세정 공정 벤젠의 작업환경측정결과	77
〈표 2-36〉 벤젠의 특수건강진단 검사항목	79
〈표 2-37〉 연도별 세척/세정 공정 벤젠의 특수건강진단 결과	80
〈표 2-38〉 작업환경실태조사 세척/세정 공정 화학물질 취급 현황	81
〈표 2-39〉 국내 유통되는 시약 중 벤젠함량 조사 결과	83
〈표 2-40〉 사업장 취급 세척제 및 작업 현황	85
〈표 2-41〉 벌크시료 내 벤젠 함유량 및 공기 중 벤젠농도 1차 측정 결과 ...	92
〈표 2-42〉 벌크시료 내 벤젠 함유량 및 공기 중 벤젠농도 2차 측정 결과 ...	93
〈표 2-43〉 벤젠의 건강 유해성 정보	95

〈표 2-44〉 벤젠의 물리 화학적 특성	96
〈표 2-45〉 사업장 화학물질 위험성 평가 결과 (작업환경측정 결과가 있는 경우)	97
〈표 2-46〉 사업장 화학물질 위험성 평가 결과 (작업환경측정 결과가 없는 경우)	99
〈표 3-1〉 물질별 벌크 시료 함유량	112
〈표 3-2〉 물질별 공기 시료 노출량	112
〈표 3-3〉 업종별 측정 결과	113

그림 차례

[그림 1-1] 벌크 시료	5
[그림 1-2] 현장 공기 시료 측정	7
[그림 2-1] 벤젠함유 국외 제품의 비중	26
[그림 2-2] 벤젠함유 국내 제품의 비중	28
[그림 2-3] 벤젠이 0.1%(v/v)보다 낮은 그룹(A)과 그보다 높은 그룹(B)의 노출 농도	37
[그림 2-4] 평균 0.0058%(w/w)의 벤젠을 함유한 솔벤트를 기초로 한 미네랄 스피릿을 8시간 이상 사용한 가까운 영역(A)과 먼 영역(B)의 노출 농도 분포	38
[그림 2-5] 1974년에 쓰인 14종의 시너 제품에서의 톨루엔과 벤젠함량 간의 상관관계	43
[그림 2-6] 모든 석유 유래 제품(a), 시너 제품(b)의 1975~2013년의 최대 벤젠 함량 트렌드	44
[그림 2-7] 지역별 세척/세정 공정 벤젠의 작업환경측정 건수	78
[그림 2-8] 규모별 세척/세정 공정 벤젠의 작업환경측정 건수	78
[그림 2-9] 벤젠 1% 이상 함유 석유제품	83
[그림 2-10] 스프레이건 방식 세척제 사용	90
[그림 2-11] 수작업 시 소분용기 상태	90
[그림 2-12] 덕트배관 파손 및 국소배기 설치 위치 불량	91
[그림 3-1] 세척제 물질별 벌크 시료 내 벤젠 함유량	116
[그림 3-2] 세척제 물질별 공기 시료 내 벤젠 노출량	116

I. 서론

1. 연구 배경 및 필요성

세척제는 제조업, 건설업, 병원 및 건물 청소업 등 다양한 업종에서 널리 취급하고 있으며, 크롬산, 질산, 황산, 염산, 불산, 수산화나트륨 등의 산·염기 세척, 알콜류, 염화탄화수소계, 방향족탄화수소계 등의 유기용제 세척 등 수많은 화학물질들이 세척공정에서 사용되고 있다.

산·염기 세척은 도금공장에서 흔히 볼 수 있으며, 반도체 산업에서 웨이퍼 세척이나 전자산업에서 PCB 기판 부식용으로 사용되거나 자동차 공장, 철강제조공장, 그 밖에 금속을 코팅하는 공장에서도 볼 수 있다.

유기용제 세척은 금속, 플라스틱 등 표면의 그리스, 오일, 왁스 등의 오염물질을 제거하기 위해 도금 또는 도장작업 전 세척, 금속가공 작업 시 절삭유 등을 제거하기 위해 세척작업을 하며 다양한 업종에서 광범위하게 볼 수 있다. 세척제 종류로 이소프로필알코올(IPA), 에틸알코올, 염화메틸렌, 트리클로로에틸렌(trichloroethylene; TCE), 1,2-디클로로프로판(dichloropropane; DCP), 톨루엔, 크실렌 등 여러 유기용제들이 사용되어 왔다.

특히 TEC는 금속 기계부품의 탈지 세정제로 많이 취급되어 왔으나 TCE 세척제 노출로 인한 신장암 발생이나 스티븐스존슨증후군, 독성 간염 등을 유발할 수 있는 유해인자로 노출기준이 강화되면서 사업장들이 규제를 받지 않는 대체 물질을 사용하는 추세이다. 최근 작업환경측정 및 특수건강진단 비대상인자 분류 등 산업안전보건법에서 관리되지 않는 물질을 사용하는 새로운 세척제가 개발·공급되고 있으나, 이들 대체물질에 대한 유해성은 제대로 파악되지 않고 있다.

2017년 사전예방적 역학조사 『1,2-디클로로프로판 등 세척제 취급실태 조사 및 건강모니터링 체계 구축』 결과에서 세척공정에서 사용하는 세척제 111종 중 31개가 작업환경측정, 특수건강진단 비대상 물질이었고, 31개 중 TCE 대체 세척제로 사용되었던 1,2-DCP의 경우 일본 인쇄소 근로자에서 담관암 집단 발병 위험과 IARC(international agency for research on cancer) Group1로 분류되어 산업안전보건법상 관리 필요성을 제언하였고, 현재는 산업안전보건법에서 1,2-DCP를 작업환경측정 및 특수건강진단 대상 유해인자로 지정하고 있다.

2018년 사전예방적 역학조사 『세척제 취급실태 및 건강유해성 조사-작업환경측정, 특수건강진단 비대상 유해인자 중심으로』에서 세척제 위험성 평가 결과 위험성이 높은 8점 이상의 화학물질 15종 중 석유계 제품은 5종(솔벤트 나프타, 경질나프타, 액화 석유가스, 수소 처리된 경질 나프타(석유), 중질 나프타)이었다. 또한, 세척제 MSDS 확인 결과 0.4%~3%의 벤젠이 함유된 경질 나프타 제품이 조사된 바 있고, MSDS 상 확인되지 않은 경질 나프타 5개 제품 중 4개 제품에서 0.07%~0.93%의 벤젠 검출이 확인되었다. 세척공정의 위험성 평가 결과 위험성이 높고(8점) 노출기준이 설정된 화학물질의 관리 필요성과 석유계 세척제 사용 시 벤젠 노출 여부 확인 및 관리를 제언하고 있다.

경질 나프타는 작업환경측정 및 특수건강진단 비대상, 노출기준 미설정 물질 등으로 산업안전보건법에서 관리되지 않고 있으나, 경질 나프타 등의 석유계 제품에 포함된 벤젠은 국제암연구소에서 Group1로 발암성을 분류하고 있으며, 세척제 취급에 따른 벤젠 노출로 인한 백혈병, 비호지킨 림프종 등의 혈액암 관련 직업성질환 역학조사는 현재까지 지속적으로 수행되고 있다.

따라서 현재 국내에서 사용되고 있는 경질 나프타 등의 석유계 제품 세척제의 사용 실태를 파악하고, 벤젠 함유량 및 노출수준 등의 위험성 평가를 통하여 세척제 취급 근로자의 벤젠 노출 고위험군을 파악하고 작업환경관리 방안을 마련할 필요성이 있다.

2. 연구목적

국내에서 사용되는 석유계 제품 세척제 종류 및 사용실태를 파악하고 석유계 제품 세척제의 벤젠 노출 위험성 평가 결과를 역학조사 근거자료로 활용하고자 한다.

3. 연구 내용

1) 경질 나프타 등 석유계 제품 세척제 사용실태조사

- (1) 석유계 제품 세척제의 정의
 - 각 분야별 세척제 정의 조사
- (2) 국내 사업장에서 유통, 사용 중인 석유계 제품 세척제의 종류
 - 문헌조사와 통계자료를 통한 종류 파악
- (3) 석유계 제품 세척제의 과거 노출 및 평가 자료 조사
 - 문헌조사를 통한 국내·외 석유계 제품 내 벤젠 노출 조사
 - 벤젠 미량 함유 시 미치는 인체 독성 자료 조사

2) 석유계 제품 세척제 취급 사업장 관리 실태조사

- (1) 세척제 관리에 대한 국내·외 법규, 제도 조사
- (2) 작업환경측정 및 특수건강진단 결과

3) 벤젠 노출 위험성 평가 수행

- (1) 조사대상 세척제 선정
 - 선행연구와 문헌조사를 통한 세척제 선정
- (2) 현재 사용 중인 제품의 MSDS 상 벤젠 비 함유 세척제의 별크

시료 분석

- (3) 벤젠의 개인 노출 수준 평가
 - 현장 실제 측정을 통한 공기 중 노출량 조사

4) 화학물질 위험성평가(CHARM)

- (1) CHARM 기법
- (2) 벤젠의 특성 및 위험성
- (3) 화학물질 위험성 평가(CHARM) 결과

5) 세척작업의 작업환경관리 방안

4. 연구 방법

1) 문헌고찰 및 작업환경측정 등 자료 분석

- 벤젠 함유 석유계 제품의 국내·외 법규 및 제도, 연구사례 고찰
- 세척/세정 공정 벤젠의 작업환경측정 및 특수건강진단, 작업환경 실태조사 자료 분석

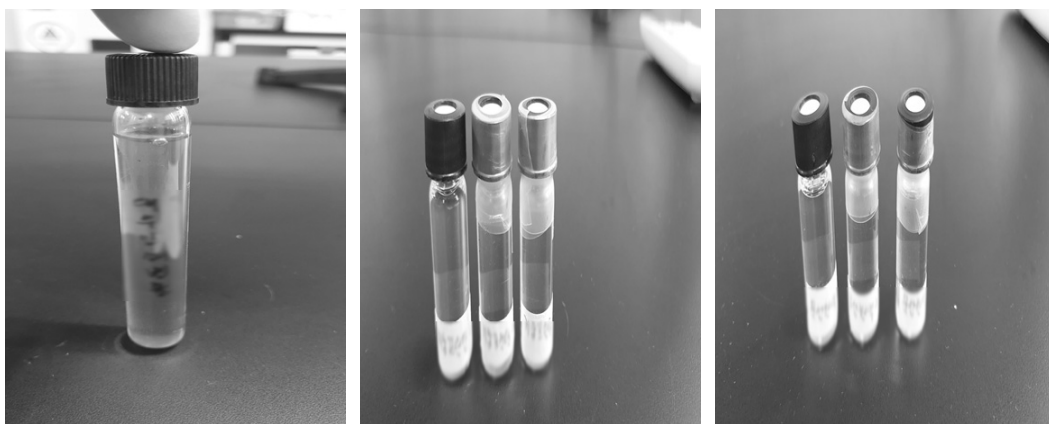
2) 석유계 제품 세척제 실태조사를 바탕으로 조사대상 세척제 선정

- Toxfree 자료, 작업환경측정 결과 및 특수건강검진 결과 DB, MSDS, 환경부 유통 실태조사 자료 등을 활용하여 세척제 현황 파악
- 연구자, 전문가 회의를 통해 벤젠 노출 위험도를 고려한 조사대상 석유계 제품 세척제 선정

3) 석유계 제품 세척제의 벌크 시료 분석 등 벤젠 함유량 조사

(1) 벌크시료 채취 방법

총 30개의 사업장을 방문하여 30개의 벌크시료를 채취하였다. 사업장 방문 시 실제 세척작업에 사용하는 세척제 확인 후 [그림 1-1]과 같은 유리 바이알에 약 20ml의 벌크를 채취한 후 마개로 1차 밀봉을 실시한다. 그 후 파라필름으로 2차 밀봉을 실시한 후에 분석실로 운반하여 분석을 실시하였다.



[그림 1-1] 벌크 시료

(2) 벌크시료 분석방법

시너, 세척제 등의 투명한 액상은 이황화탄소 또는 메탄올 등으로 희석하여 바로 분석이 가능하여 메탄올을 이용하여 100배 희석한 후 시료 1 μ l를 GC-MS에 주입하여 분석하였다. 공기 시료의 경우 부피비로 산출하고 액체 시료의 경우 무게비로 산출하여 이번 연구에서는 벌크 시료의 농도 값을 w/w로 산출하였다.

사용한 분석기기는 가스크로마토그래피-질량분석기(Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS)이다.

분석 장비 및 조건은 다음 <표 1-1>과 같다.

<표 1-1> 벌크시료 분석기기 조건

GC (Agilnet 7890B, U.S.A)		
Injector	type :	split/splitless injector
	inj. temp :	250°C
	column flow :	1 mL/min
	split ratio :	splitless
Oven	initial temp. :	35 °C
	hold time	5 min
	1 st rate :	15 °C/min, 60 °C
	2 nd rate :	20 °C/min
	final temp :	230 °C
	hold time :	4 min
	total time :	19.17 min
	carrier gas :	He(99.999%)
MS (Agilent G7081B, U.S.A)		
Ionization mode :		El (70 eV)
Ion source temp. :		230 °C
interface temp. :		200 °C
Acquisition type :		SIM mode (78 m/z)

4) 사업장 방문조사를 통한 작업환경 등 실태조사 및 벤젠 노출평가 수행

(1) 공기시료 채취 방법

벤젠에 대한 측정 시 산업안전보건공단의 벤젠에 대한 작업환경측정, 분석 기술지침(KOSHA GUIDE A-69-2019)[26]에 준하여 측정하였다(Table 3.2). 시료 포집 시간은 작업환경측정기준인 6시간 이상으로 하였다. 공기 시료의 경우 작업자 호흡기 반경 30cm에 개인 시료와 가장 많이 노출될 수 있을 것으로 추

정되는 작업자의 주 작업 위치에서 지역 시료로 구분하여 각각 30개씩 측정하였다. 측정 시 사용한 시료는 NIOSH의 공정시험법인 'NIOSH 1500'에 준하여 활성탄관(100mg/50mg, SKC, USA)을 사용하였다. 시료 채취 전, 후 Bio Drycal Defender 510-H(MesaLabs, USA)를 이용하여 개인시료채취용 저유량 펌프(Gilian, USA)의 유량을 보정 하였다([그림 1-2] 참조).



[그림 1-2] 현장 공기 시료 측정

(2) 공기시료 분석 방법

시료의 분석은 산업안전보건공단의 벤젠에 대한 작업환경측정, 분석 기술지침(KOSHA GUIDE A-69-2019)에 준하여 분석하였다. 활성탄관의 양끝을 절단하여 바이알에 CS₂를 1ml 넣고 마개를 완전히 밀봉한 다음 교반기를 이용하여 약 30분간 교반 후 약 30분간 정치하고 상층액 1 μ l를 분석기기에 주입하여 분석하였다. 분석 시 사용한 기기는 가스크로마토그래피 불꽃이온화 검출기 (Gas chromatography-Flame Ionization Detector, GC-FID)를 사용하였다. 분석 계산식은 아래의 계산식을 사용하여 농도를 검출하였으며, 기기의 분석조건은 <표 1-2>와 같다.

- 다음 식에 의하여 분석물질의 농도를 구한다.

$$C = \frac{(W_f + W_b - B_f - B_b)}{V \times DE} \times \frac{24.45}{MW} \quad [\text{ppm}]$$

- C : 분석물질의 농도(ppm)
 - W_f : 시료 앞 층의 양(μg)
 - W_b : 시료 뒤 층의 양(μg)
 - B_f : 공시료 앞 층의 양(μg)
 - B_b : 공시료 뒤 층의 양(μg)
 - V : 공기 채취량(L)
 - DE : 탈착효율
 - 24.45 : 정상상태(25℃ 1기압)에서의 공기 용적
 - MW : 분자량
- * 만일 뒤 층에서 검출된 양이 앞 층에서 검출된 양의 10%를 초과하면 ($W_b > W_f/10$), 시료 파과가 일어난 것이므로 이 자료는 사용할 수 없다

<표 1-2> 공기시료 분석기기 조건

분석기기	SHIMADZU GC-2010 Plus
칼럼	HP-INNOWAX
Carrier Gas	질소(N ₂)
Injection Temperature	200℃
Split Ratio	100:1
Detector Temperature	250℃
Oven	37℃ for 3min
	20℃ at 80℃/min
	60℃ at 200℃/min, for 2min
	Total Run Time 9.15min

II. 연구결과

1. 경질 나프타 등 석유계 제품 세척제 사용실태조사

1) 석유계 제품 세척제의 정의

세척이란 안전보건공단 안전보건 용어 사전(<http://www.kosha.or.kr>)에서 세정(洗淨, washing, cleaning)과 동일한 용어로 물이나 소독액 등으로 깨끗하게 씻는 행위, 가용성 물질을 제거해서 고체의 순도를 높이기 위해 행하는 세정 조작이라 정의하고 있다.

화학공학 분야에서의 세정(세척)이란 피세정물(substrate)에 부착된 오염물질들(soils)을 제거하여 원래의 순수한 피세정물의 형태를 갖는 것(김한성, 2004)을 말하며 세척력의 요소에 따라 화학 반응력(세척제 종류)과 물리력(세척방법)으로 구분하고 있다. 세척제의 종류는 크게 수계, 준용매계, 비수계로 구분하고 있으며 <표 2-1>과 같다(중소기업청, 2009).

작업환경측정 결과서 상의 세척 공정은 단순 공정으로 분류한 세척(28045), 기타세척(28063), 세척제거(28000), 세척액(용제)의 종류에 따라 산세척(28047), 알칼리세척(28048), 물세척(28049), 증류수세척(25050), 메탄올세척(28051), 유기용제세척(28052), TCE세척(28053) 세척방법에 따라 초음파세척(28054), 상자세척(28061) 피세정물에 따라 기관세척(28059), 렌즈세척(28060), 체인세척(28062) 등으로 세척제의 종류 및 방법을 혼재하여 사용하고 있다.

산업위생핸드북(<http://oshri.kosha.or.kr>)에서는 세척 공정을 산·염기 세척과 유기용제 세척작업으로 구분하고 있으며 유기용제 세척 작업 시 노출 가능한 유해인자는 트리클로로에틸렌(79-00-5), 1,1,1-트리클로로에탄(71-55-6), 메탄

올(67-56-1), 아세톤(67-14-1), 사염화탄소(56-23-5), 퍼클로로에틸렌(127-18-4) 등으로 비수계 세척제를 사용한다고 볼 수 있다.

<표 2-1> 세척제 종류

분류	종류	주성분
수계	계면활성제	음이온계
		비이온계
	준수계	순수
준용매계	터어핀계	리모넨
	실리콘계	저분자 실리콘
	무기알칼리계	수산화나트륨
	유기알칼리계	디에탄올아민
비수계	탄화수소계	이소파라핀계탄화수소
		지방족탄화수소
	저급알콜계	IPA
	고급알콜계	C5-C15

벤젠은 대부분의 산업용 제품에서 다른 유기 용제로 대체되었지만 혼합 석유 제품(예 : 광유, 페인트 희석제, 세정제, 탈지제)에는 미량 불순물 또는 잔류 성분으로 여전히 존재할 수 있다. 벤젠은 원유와 천연가스에서 자연적으로 발생하는 화합물이기 때문에, 원유를 정제한 일부 제품에는 낮은 농도의 벤젠이 남아 있을 수 있으며, 벤젠을 대체하기 석유 혼합 제품에는(예 : 광유, 페인트 희석제, 세정제, 탈지제)에는 미량 불순물 또는 잔류 성분으로 여전히 존재할 수 있다.

위에서 언급한 혼합 석유 제품이란 우리나라의 경우 석유 및 석유대체연료 사업법에서 “석유제품을 휘발유, 등유, 경유, 중유, 윤활유와 이에 준하는 탄화수소유 및 석유 가스로 규정”하고 있어, 본 연구에서 말하는 석유계 세척제란 석유제품을 함유한 세척제로 포괄적으로는 유기용제 세척제라 말할 수 있다.

외국의 경우 미량의 벤젠 노출을 평가한 석유제품을 petroleum-derived products(Williams et al, 2008), petroleum solvents(Hollins et al, 2013), petrochemical products(Kopstein et al, 2006) mineral spirits(Kopstein, 2011) 등으로 석유제품 함유 세척제, 석유계 세척제, 유기용제 세척제를 모두 동일한 의미로 간주해야 할 것으로 판단된다.

결론적으로 본 연구에서의 석유계 제품 세척제는 유기용제 세척제를 말한다.

2) 국내 벤젠 함유 제품 현황

2018년 사전 예방적 역학조사 『세척제 취급실태 및 건강유해성 조사-작업 환경측정, 특수건강진단 비대상 유해인자 중심으로』 결과 MSDS 상 나프타 함유 세척제의 벤젠 함유량이 최대 2%까지 함유되어 있었다(<표 2-2> 참조). 또한, MSDS 상 벤젠이 함유되지 않은 것으로 표기되었으나 GC/MS 분석 결과 0.07~0.93% 함유되어 있었다(<표 2-3> 참조).

“나프타(naphtha)”는 원유를 증류할 때 LPG와 등유 유분 사이에 유출되는 것으로 일반적으로 경질 나프타와 중질 나프타로 구분하고 있으며 국내(GS칼텍스) 생산 나프타의 MSDS에서 벤젠을 함유하고 있다(<표 2-4> 참조).

- 경질납사(Light Straight Run Naphtha, LSR): 끓는점이 100℃ 이하
- 중질납사(Heavy Straight Run Naphtha, HSR): 100℃ 이상
- 수소처리된: 불순물(황화합물, 질소화합물, 금속화합물)을 제거하기 위하여 수소를 사용

<표 2-2> MSDS 상 나프타 함유 세척제의 벤젠 함유량

제조사	함유물질명	CAS No.	함량
A 세척제	벤젠	71-43-2	0.8%
	톨루엔	108-88-3	2% 이하
	노말 헥산	110-54-3	25% 이하
	크실렌	1330-20-7	2% 이하
	에틸벤젠	100-41-4	1% 이하
	중질나프타	64741-41-9	20% 이하
	경질나프타	64741-46-4	45% 이하
B 세척제	경질나프타	64741-46-4	91%
	벤젠	71-43-2	2%
	톨루엔	108-88-3	5%
	자일렌	1330-20-7	2%
C 세척제	T-naphtha	64741-46-4	50~60%
	Heavy naphtha	64741-41-9	25~30%
	N-Hexane	110-54-3	5~20%
	톨루엔	108-88-3	1~6%
	크실렌	1330-20-7	1~6%
	에틸벤젠	100-41-4	0.2~1%
	벤젠	71-43-2	0.1% 미만

<표 2-3> 나프타 함유 세척제의 GC/MS 정성분석을 통한 벤젠함량

제조사	MSDS상 함유물질	CAS 번호	함량(%)	벤젠함량(wt %)
A	경질나프타	64741-46-4	80~90	0.93
	톨루엔	108-88-3	0.3~10	
	크실렌	1330-20-7	0.3~10	
	영업비밀		0~10	
B	경질나프타	64741-46-4	98	0.21
	에틸벤젠	111-76-2	2	
C	T-naphtha	64741-46-4	50~60	0.17
	Heavy naphtha	64741-41-9	25~30	
	N-Hexane	110-54-3	5~20	
	톨루엔	108-88-3	1~6	
	자일렌	1330-20-7	1~6	
	에틸벤젠	100-41-4	1~3	
D	T-naphtha	64741-46-4	50~60	0.07
	Heavy naphtha	64741-41-9	25~30	
	n-Hexane	110-54-3	5~20	
	Toluene	108-88-3	1~6	
	Xylene	1330-20-7	1~6	
	Ethyl benzene	100-41-4	1~3	

<표 2-4> 각 제품별 벤젠함량

제품명	-	구성성분	CAS 번호	함량	MSDS 최종 개정 일자
Naphtha	경질나프타, LSR 납사 (LSR Naphtha), 경나프타	경질 나프타(LIGHT STRAIGHT-RUN APHTHA)	64741-46-4	97-99.6	2019. 06.28
		벤젠	71-43-2	0.4-3	
Light Straight Run Naphtha	Light Straight Run Naphtha	경질 나프타(LIGHT STRAIGHT-RUN NAPHTHA)	64741-46-4	97-99.6	2019. 05.17
		벤젠	71-43-2	0.4-3	
HSR (Heavy Straight Run Naphtha)	HSR 납사 (HSR Naphtha), 중나프타, Heavy Straight Run Naphtha	추출물 (석유), 중 나프타 용제(EXTRACTS(PETRO LEUM), HEAVY NAPHTHA SOLVE	64741-98-6	99	2019. 06.28
		벤젠	71-43-2	<0.5	
Kixxol D80 (방향족)	킵솔D80 (Kixxol D80) [AR0015], (이명 : 수소처리된 경질 정제유 (석유) ; 수소처리된 등유 ; 경질 정제 연료유 ; 히드로 처리된 경 증류물)	Distillates (petroleum), hydrotreated light	64742-47-8	100	2018. 08.03
Techsol 2 (방향족)	Techsol 2	Heavy naphtha solvent extracts (petroleum)	64741-98-6	>99	2019. 06.28
		벤젠	71-43-2	<1	

3) 문헌고찰을 통한 세척제 현황 및 석유계 제품 세척제의 과거 벤젠 노출 위험성 평가

(1) 국내 세척제 현황

선행연구(김영임 등, 2005)에서 조사한 유기용제를 취급하는 근로자 817명에 대해 유기용제 취급 현황에 대해 조사한 결과에 따르면 사용하는 유기용제 중 가장 많은 분포를 나타낸 것은 톨루엔으로 55%의 근로자가 톨루엔을 취급하고 있는 것으로 나타났다. 그 다음은 크실렌 51%, 석유나프타 29.5%, 노말헥산 9.9%로 나타났다.

다른 연구(차안정, 2004)에 따르면 우리나라에서 세정을 하는 업체의 구성 비율은 기계·금속 분야가 27%로 가장 많이 차지하고 있으며 CFC-113 및 1,1,1-TCE와 같은 오존층 파괴물질이 아닌 알콜계 및 염소계 세정제를 사용하는 비율이 50%로 나타났다.

다른 선행연구(정경숙 등, 2018)에서 조사한 세척제의 취급현황은 전체 업종 분포는 385종으로 구분되고 대부분이 제조업으로 구분되어 있어 유사한 업종을 통합하여 건설업, 금속제품 제조 및 가공, 도금업, 도장 관련 업종, 반도체 및 전자부품, 병원 및 건물청소, 인쇄업, 자동차 수리, 플라스틱·고무 제조 업종 및 기타 총 10개 업종으로 구분되었다(<표 2-5> 참조).

금속제품 제조 및 가공 관련 업종이 393공정 및 해당 공정 근로자수 378명으로 가장 많았으며 세척제의 월평균 사용량은 도장 관련 업종이 159.8L로 가장 많이 사용하는 것으로 조사되었다. 월 사용량이 가장 많은 12,000L를 사용하는 사업장은 자동차부품 제조 사업장으로 트리에탄올아민 15%, 물 80%, 기타 함유된 세척제를 사용하는 것으로 조사되었다.

<표 2-5> 조사사업장의 업종별 분포

업종	공정수	해당 공정 근로자수	월사용량(L) 평균(범위)
건설업	40	19	38.8(0.2~600)
금속제품 제조 및 가공	393	378	144.9(0.005~12,000)
도금업	55	55	101.9(0.2~1,000)
도장 관련 업종	37	36	159.8(0.1~1,000)
반도체 및 전자부품	127	119	42.4(0.01~1,260)
병원 및 건물청소	114	107	35.9(0.02~400)
인쇄업	41	39	72.0(0.2~600)
자동차 수리	38	38	24.4(0.002~200)
플라스틱, 고무, 제조 업종	98	93	87.8(0.1~1,400)
기타	53	43	53.7(0.04~800)

출처 : 세척제 취급실태 및 건강유해성 조사 - 작업환경측정, 특수건강진단 비대상 유해인자 중심으로

세척제의 종류를 물(물의 함량 70~80%), 산, 알카리 및 유기용제로 구분하여 업종별 현황을 조사한 결과 유기용제를 이용한 세척이 868건으로 전체의 87.1%로 가장 많았다. 다른 업종과 비교하여 병원 및 건물 청소(식당 청소 포함) 업종이 산 및 알카리를 포함한 세척제를 사용하여 손 세척작업을 하고 있는 것으로 조사되었다. 건설업의 경우 스프레이 형태의 세척제를 대부분 사용하고 있었으며 도금업종은 TCE를 이용한 초음파세척을 하는 것으로 조사되었다(<표 2-6> 참조).

전체 조사사업장에서 사용하는 세척제 제품의 종류(유사이름 포함)는 644개였으며, 세척제의 함유 물질별 가장 많이 취급하는 물질은 이소프로필 알코올로 185개소 공정에서 사용하고 있었으며, 다음 순으로 톨루엔 142개 공정으로 조사되었다.

<표 2-6> 조사사업장의 업종별 세척제 종류 및 세척방법

업종	세척제 종류				주 세척방법
	물	산	알카리	유기용제	
건설업				40	스프레이(38건)
금속제품 제조 및 가공	7	13	18	355	
도금업		3		52	TCE(초음파)(35건)
도장 관련 업종			1	36	
반도체 및 전자부품	1	4	2	120	
병원 및 건물청소	14	9	44	47	손 세척
인쇄업	1	1		39	
자동차 수리			2	36	
플라스틱, 고무, 제조 업종	1	1	1	95	
기타	1	3	1	48	

출처 : 세척제 취급실태 및 건강유해성 조사 - 작업환경측정, 특수건강진단 비대상 유해인자 중심으로

(2) Tox-free를 통해 조사한 결과

선행 연구(정경숙, 2018)에서 Tox-free 자료를 이용하여 조사한 결과 전체 조사 사업장은 66개소이었으며, 476개 공정이 세척(28045) 공정으로 나타났다. 전체 조사 사업장에서 사용하는 세척제 제품의 종류(유사이름 포함)는 391개였으며, 가장 많이 취급하는 공정의 세척제는 제품명으로 다용도 세척제 NB-1, MULTI CLEANER DC-3000 AAR, 석정반 세정제 ST-450, 차량용 및 산업용 PB-1, MOLD-11Q 및 MS-87으로 조사되었다.

세척제의 함유 물질별 가장 많이 취급하는 물질은 수산화나트륨이 64개소공정에서 사용하고 있었으며, 다음 순으로 1,1-디클로로-1-플루오로에탄 51개 공정으로 조사되었다.

(3) 2014~2016년 업종별 주요 세척제 작업환경측정 현황

선행연구(정경숙 등, 2018)에 따르면 세척공정에 사용되는 화학물질은 모두 111종이었고, 작업환경 측정 사업장 수가 60개 이상인 것은 톨루엔, 이소프로필 알코올, TCE, 크실렌, 디클로로메탄, 아세톤, 에틸벤젠, 메틸에틸케톤, 수산화나트륨, n-헥산, 메틸이소부틸케톤, 메탄올, 초산부틸, 초산에틸, 헵탄, 수산화칼륨, 2-부톡시에탄올, 메틸클로로포름이었고, 이는 전체 측정 물질의 75%를 차지하였다(<표 2-7> 참조).

TCE는 노출기준을 초과하는 비율이 2014년 상·하반기 각각 17.9%, 16.8%, 2015년 22.2%, 20.3% 2016년 21.0%, 10.1%이었고, 톨루엔, 디클로로메탄, n-헥산이 노출기준을 초과하는 사례가 있었다. 전체 58개 업종 343건이 2017년 기준의 노출기준을 초과하는 것으로 나타났고, 초과 건수가 가장 많은 업종은 도장 및 기타 피막처리업이고, 가장 초과 건수가 많은 물질은 TCE이었고, 10건 이상의 노출기준 초과 업종은 도장 및 기타 피막처리업 55건, 도금업 36건, 기타 자동차 부품제조업 32건, 기타 전자부품 제조업 28건, 자동차 차체용 부품제조업 18건, 기타 금속가공업 18건, 유선 통신장비 제조업 11건, 기타 일반목적용 기계 제조업이 10건이었다(<표 2-8>, <표 2-9>, <표 2-10> 참조).

<표 2-7> 2014~2016년 주요 업종별 세척제 작업환경측정 건수

화학물질	기타 자동차 부품제조업	기타 전자부품 제조업	도금업	도장 및 기타 피막처리업	자동차 차체용 부품 제조업
이소프로필 알코올	157	350	30	126	44
TCE	136	177	156	126	107
디클로로메탄	130	120	71	97	91
톨루엔	103	185	83	267	93
수산화칼륨	74	51	10	12	75
수산화나트륨	59	33	41	23	46
크실렌	57	88	48	189	63
아세톤	50	166	43	160	25
메틸에틸케톤	40	42	23	80	54
초산에틸	40	29	26	87	30
에틸벤젠	34	41	36	148	45
메탄올	34	75	0	71	50
n-헥산	27	62	20	76	10
메틸이소부틸케톤	27	14	25	119	38
헵탄	21	66	12	47	27
2-부톡시에탄올	16	23	10	70	13
초산부틸	14	14	21	141	28
1,2-DCP	10	0	0	0	1
메틸클로로포름	5	14	11	16	22
전체	1,034	1,550	666	1,855	862

출처 : 1, 2-디클로로프로판 등 세척제 취급실태 및 건강모니터링 체계 구축

<표 2-8> 2014~2016년 업종별, 물질별 노출 기준 초과 측정 건수

업종	톨루엔	TCE	디클로로메탄	n-헥산	혼합 유기 화합물	전 체
도장 및 기타 피막처리업	0	44	0	4	7	55
도금업	0	36	0	0	0	36
기타 자동차 부품 제조업	0	29	3	0	0	32
기타 전자부품 제조업	0	23	0	0	5	28
자동차 차체용 부품 제조업	0	18	0	0	0	18
기타 금속가공업	0	13	0	0	1	14
유선 통신장비 제조업	0	11	0	0	0	11
기타 일반목적용 기계 제조업	0	10	0	0	0	10
전체 (표에 표시되지 않은 업종 포함)	1	314	6	4	18	343

출처 : 1, 2-디클로로프로판 등 세척제 취급실태 및 건강모니터링 체계 구축

<표 2-9> 세척제 물질의 연도별, 반기별 초과 건수 및 전체 측정 건수에 대한 비율

측정 시기	세척제	노출 기준 (ppm)	2014			2015			2016		
			N	전체	%	N	전체	%	N	전체	%
상반기	톨루엔	50	1	525	0.2	0	547	0.0	0	512	0.0
	TCE	10	61	341	17.9	65	293	22.2	58	276	21
	디클로로메탄	50	3	308	1	1	321	0.3	0	320	0.0
	n-헥산	50	0	182	0.0	1	177	0.6	0	176	0.0
하반기	톨루엔	50	0	499	0.0	0	467	0.0	0	464	0.0
	TCE	10	49	291	16.8	55	271	20.3	26	257	10.1
	디클로로메탄	50	1	293	0.3	0	275	0.0	1	304	0.3
	n-헥산	50	0	164	0.0	2	184	1.1	1	161	0.6

출처 : 1, 2-디클로로프로판 등 세척제 취급실태 및 건강모니터링 체계 구축

<표 2-10> 2014~2016년 사업장 규모별, 물질별 노출기준 초과 건수 및 전체 측정건수, 초과 백분율

근로자 수 (인)	톨루엔			TCE			디클로로메탄			n-헥산			혼합유기화합물			전체		
	초과	전체	%	초과	전체	%	초과	전체	%	초과	전체	%	초과	전체	%	초과	전체	%
0-4	0	192	0.00	35	163	21.5	0	80	0	0	63	0	1	222	0.5	36	259	13.9
5-9	0	401	0.00	62	332	18.7	0	251	0	4	159	2.5	6	503	1.2	72	585	12.3
10-49	1	1177	0.08	159	829	19.2	4	759	0.5	0	442	0	4	1505	0.3	168	1677	10
50-99	0	451	0.00	28	152	18.4	2	253	0.8	0	146	0	0	599	0	30	629	4.8
100-499	0	594	0.00	25	215	11.6	0	393	0	0	196	0	7	1049	0.7	32	1089	2.9
500-999	0	72	0.00	4	25	16	0	17	0	0	9	0	0	169	0	4	173	2.3
1000 -	0	127	0.00	1	13	7.7	0	68	0	0	29	0	0	474	0	1	475	0.2
전체	1	3014	0.03	314	1729	18.2	6	1821	0.3	4	1044	0.4	18	4521	0.4	343	4883	7

출처 : 1,2-디클로로프로판 등 세척제 취급실태 및 건강모니터링 체계 구축

(4) 2018년도 세척제 취급실태 및 건강 유해성 조사

선행연구(정경숙 등, 2018)에서는 세척제 함유 물질별 취급 및 법적 규제현황 측면<표 2-11>에서 조사하였다. 조사한 세척제에 함유된 물질의 종류는 333개로 조사되었으며 작업환경측정 및 특수검진대상 물질은 49개, 작업환경측정만 대상인 물질은 13개 물질, 작업환경 측정 및 특수검진 모두 비대상인 물질은 271개로 조사되었다.

세척제의 함유물질 중 작업환경측정 및 특수검진대상 유해인자가 아닌 물질은 이염화프로필렌(1,2-디클로로프로판), 프로판, 부탄, 탄산 나트륨, 메타규산 나트륨, 펜타히드레이트, 메타규산 나트륨, 무수경질나프타, 다이에틸렌글리콜 모노뷰틸 에테르, Heavy naphtha, 미네랄스피릿, Nonylphenol polyethylene glycol ether, 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르, 트리에탄올아민, 삼폴리인산나트륨, 알파-도데실-오메가-하이드록시-폴리옥시에틸렌, 솔벤트 나프타(석유), 차아염소산나트륨, 액화석유가스, 수소처리된 중질 나프타, 로레트 황산 나트륨, 시트르산(CITRIC ACID) 등으로 조사되었다.

<표 2-11> 세척제 함유 물질별 취급 및 법적 규제현황

물질명	CAS No.	취급 공정수	평균 월 사용량(L)	측정 대상 유해인자	특수검진 대상 유해인자	노출기준 설정물질
이소프로필 알코올	67-63-0	185	63	O	O	O
톨루엔	108-88-3	142	67	O	O	O
아세톤	67-64-1	133	73	O	O	O
수산화나트륨	1310-73-2	111	76	O	X	O
에틸알코올	64-17-5	106	410	O	O	O
염화메틸렌	75-09-02	97	233	O	O	O
TCE	79-01-06	91	108	O	O	O
크실렌	1330-20-7	81	9	O	O	O
프로판	74-98-6	68	1	X	X	O
메틸알코올	67-56-1	52	82.00	O	O	O
이염화프로필렌(1,2-디클로로프로판)	78-87-5	52	78	X	X	10ppm 발암성 1A
2-부톡시에탄올	111-76-2	52	13	O	O	O
디메틸에테르	115-10-6	46	7	O	O	O
부탄	106-97-8	43	34	X	X	800ppm 발암성 1A
수산화칼륨	1310-58-3	42	108	O	X	O
탄산나트륨	497-19-8	37	24	X	X	X
메틸에틸케톤	78-93-3	35	203	O	O	O
메틸 이소부틸 케톤	108-10-1	35	80	O	O	O
헥산	110-54-3	32	22	O	O	O
메타규산 나트륨, 펜타히드레이트	10213-79-3	31	68	X	X	X
메타규산 나트륨, 무수	6834-92-0	30	27	X	X	X
경질나프타	64741-46-4	25	59	X	X	X
헵탄	432-82-5	22	15	O	O	O
다이에틸렌글리콜 모노부틸 에테르	112-34-5	22	11	X	X	10ppm
n-부틸 아세테이트	123-86-4	22		O	X	O
인산	7664-38-2	21	60	O	X	O
에틸벤젠	100-41-4	21		O	O	O

출처 : 세척제 취급실태 및 건강유해성 조사 - 작업환경측정, 특수건강진단 비대상 유해인자 중심으로

<표 2-11> 세척제 함유 물질별 취급 및 법적 규제현황(계속)

물질명	CAS No.	취급 공정수	평균 월 사용량(L)	측정 대상 유해인자	특수검진 대상 유해인자	노출기준 설정물질
Heavy naphtha	64741-41-9	20	51	X	X	X
미네랄스피릿	64742-47-8	18	41	X	X	X
조산메틸	79-20-9	18	11	O	X	O
Nonylphenol polyethylene glycol ether	9016-45-9	16	118	X	X	X
프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르	107-98-2	16	80	X	X	100ppm
1,1-디클로로-1-플루오르에탄	1717-00-6	16	30	O	O	O
트리에탄올아민	102-71-6	15	3157	X	X	X
황산	7664-93-9	15	202	O	O	O
삼폴리인산나트륨	7758-29-4	14	40	X	X	X
알파-도데실-오메가-하이드록시-폴리옥시에틸렌	9002-92-0	14	40	X	X	X
솔벤트 나프타(석유)	64742-95-6	14	32	X	X	X
차아염소산나트륨	7681-52-9	14	23	X	X	X
액화석유가스, SWEETENED	68476-86-8	14	8	X	X	X
수소처리된 중질 나프타	64742-48-9	13	199	X	X	X
로레트 황산 나트륨	9004-82-4	13	33	X	X	X
시트르산(CITRIC ACID)	77-92-9	13	11	X	X	X
염산	7647-01-0	12	253	O	O	O
질산	7697-37-2	12	210	O	O	O
2-메틸펜탄	107-83-5	12	25	X	X	500ppm 핵산이성체
시클로헥산	110-82-7	12	19	O	O	O
옥틸페녹시폴리	9036-19-5	11	107			X
에틸아세테이트	141-78-6	10	219	O	X	O
액화석유가스, SWEETENED	68476-85-7	10	176	X	X	1000ppm 부타디엔 0.1 함유 발암성 1A

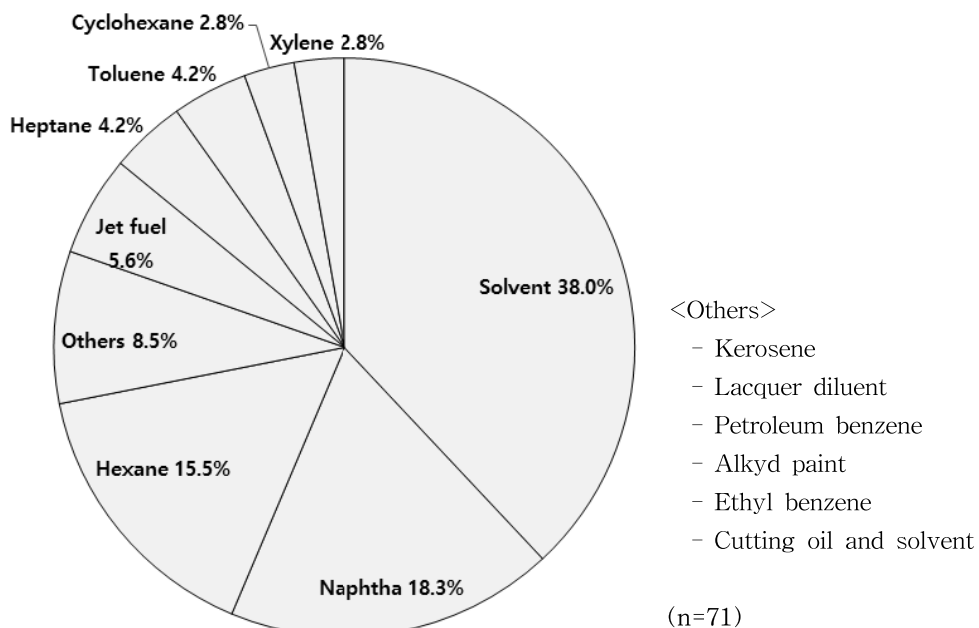
출처 : 세척제 취급실태 및 건강유해성 조사 - 작업환경측정, 특수건강진단, 비대상 유해인자 중심으로

<표 2-11> 세척제 함유 물질별 취급 및 법적 규제현황(계속)

물질명	CAS No.	취급 공정수	평균 월 사용량(L)	측정 대상 유해인자	특수검진 대상 유해인자	노출기준 설정물질
디프로필렌 글리콜메틸 에테르	34590-94-8	9	400	X	X	100ppm
피로인산칼륨	7320-34-5	8	200	X	X	X
과산화수소	7722-84-1	6	587	O	X	O
3,3-다이메틸펜탄 (3,3-DIMETHYLPENTANE)	562-49-2	5	128	X	X	X
퍼클로로에틸렌	127-18-4	4	234	O	O	O
아이소알칸, C8-10 (ISOALKANES, C8-10)	68551-15-5	4	200	X	X	X
에탄올아민	111-42-2	3	1250	O	X	O
3-메톡시-3-메틸-1-부탄올 (3-METHOXY-3-METHYL-1-BUTANOL)	56539-66-3	2	200	X	X	X
퍼옥시아세트산	79-21-0	2	200	X	X	X
가성소다	1310-73-2	2	150	O	X	O
폴리우레탄수지	9082-00-2	2	101	X	X	X
HEXAMETE SODIUM PHOSPHATE	10124-56-8	2	100	X	X	X
4급 암모늄 메틸 설페이트	68952-90-9	1	500	X	X	X
2-Hydroxy fatty alcohol alkoxylate	154248-98-3	1	400	X	X	X
1,1-Dichloro-1-fluoroethane	1717-00-6	1	200	O	X	O
Hydrofluoric acid	7664-39-3	1	150	O	O	O
소디움 메타바이설파이트	7681-57-4	1	150	X	X	5mg/m3
1,2-디클로로에틸렌	504-59-0	1	100	O	O	O
탄화수소혼합물	64642-89-8	1	100	X	X	X
질산칼륨	7757-79-1	1	100	X	X	X

출처 : 세척제 취급실태 및 건강유해성 조사 - 작업환경측정, 특수건강진단, 비대상 유해인자 중심으로

(5) 국내·외 문헌조사를 통한 석유계 세척제의 벤젠 노출 위험성 평가
벤젠함유 제품에 대한 국외 자료 수집 결과 총 71개의 함유량 데이터를 수집하였다. 국외 제품의 경우, 솔벤트(solvent, 38.0%), 납사(naphtha, 18.3%), 헥산(hexane, 15.5%) 순으로 조사되었고, 기타(8.5%)의 경우 등유, 래커 희석제, 석유 벤젠, 알키드 페인트, 에틸벤젠, 절삭유 및 용매를 포함한다([그림 2-1], <표 2-12> 참조).



[그림 2-1] 벤젠함유 국외 제품의 비중

출처 : 벤젠이 미량 함유된 석유화학제품 취급자의 직업적 노출 추정, 박수경, 2014

<표 2-12> 국외의 연도와 제품에 따른 벤젠함량

Product	<1980, %			1981~1999, %			≥2000, %			Total, %		
	N	WAM*	Min	Max	N	WAM	Min	Max	N	WAM	Min	Max
Cyclohexane	2	2.1	0.01	4.2	0		NR	NR	2	2.1	0.01	4.2
Heptane	2	1.1	0.01	3.1	0		NR	NR	1	1.0	0.01	3.1
Hexane	2	0.9	0.01	3.5	5	1.1	0.004	2.8	4	1.9	0.1	6.0
Jet fuel	0		NR	NR	2	0.3	0.02	0.5	2	0.002	0.0002	0.012
Naphtha	7	2.1	0.1	9.3	3	0.7	0.1	1.0	3	0.4	0.1	1.0
Others	3	0.8	0.01	3.0	1	0.0029	0.0025	0.0033	2	0.3	0.03	1.0
Solvent	7	0.8	0.01	7.0	13	0.9	0.002	4.2	7	0.3	0.0009	1.0
Toluene	1	0.06	0.01	0.2	0		NR	NR	2	0.8	0.1	5.0
Xylene	1	0.04	0.01	0.1	0		NR	NR	1	0.1	0.1	0.1

* WAM-Weighted Arithmetic Mean

NR : Not Reported

Ref. Alkyd paint : NIH, 2001

Cutting oil and solvent : Rondinelli, 1986

Cyclohexane : Elkins, 1963; Hillman, 1978

Ethyl benzene : Mehlman, 2004

Hepthane : Elkins, 1963; Hillman, 1978; OSHA, 2006

Hexane : ASTM, 2002; Elkins, 1956; Hillman, 1978; IPCS, 1991; Mears, 1983; Mehlman, 2004; OSHA, 2005; OSHA, 2006

Jet fuel : King, 2001; Egeghy, 2003; ATSDR, 1985; ATSDR, 1998

Kerosene : Hillman, 1978

Lacquer diluent : Hillman, 1978

Naphtha : Carpenter, 1975; Elkins, 1963; IARC, 1980; Pagnotto, 1961; Mehlman, 2004; NOISH, 1977; NOISH, 1989; NOISH, 1997; OSHA, 2005; OSHA, 2006; U.S. Coast Guard, 1993

Petroleum benzene : NOISH, 1977

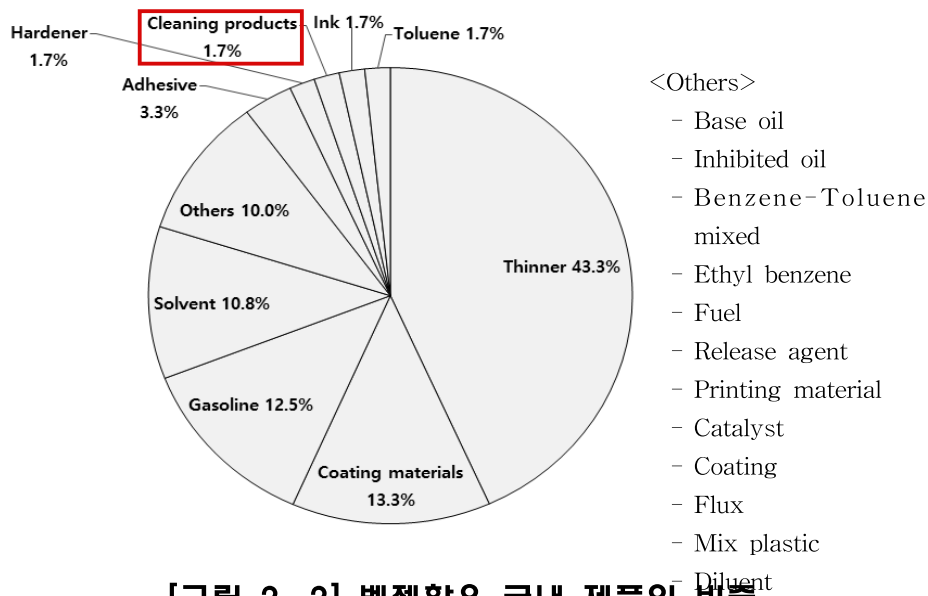
Solvent : ATSDR, 2002; Carpenter, 1975; Daniels, 1982; Elkins, 1956; Fedoruk, 2003; Hillman, 1978; IARC, 1980; Kasahara, 1987; Mead, 2002; Mehlman, 2004; NOISH, 1977; U.S. Coast Guard, 1993; WHO, 1996

Toluene : Hillman, 1978; Mehlman, 2004

Xylene : Hillman 1978; Mehlman, 2004

출처 : 벤젠이 미량 함유된 석유화학제품 취급자의 직업적 노출 추정(곽수경, 2014)

국내 벤젠 함유 제품의 경우, 120개의 제품 데이터를 분석하였다. 시너(43.3%), 도장 재료(13.3%), 가솔린(12.5%), 솔벤트(10.8%), 기타(10.0%) 순으로 나타났다. 기타는 기유, 방청유, 벤젠-톨루엔 혼합, 에틸벤젠, 연료, 이형제, 인쇄재료, 촉진제, 코팅제, 플렉스, 혼합 플라스틱, 희석제를 포함하였다. 이 외에도 경화제, 접착제, 세척제, 잉크, 톨루엔에 대한 벤젠 함유량이 나타났다([그림 2-2] 참조).



[그림 2-2] 벤젠함유 국내 제품의 비중

출처 : 벤젠이 미량 함유된 석유화학제품 취급자의 직업적 노출 추정(곽수경, 2014) (n=120)

1980년 이전에 사용된 제품 중 평균 벤젠 함유량이 0.1%를 초과한 제품은 시너(12.6%)였으며, 세척제의 경우 2000년대 이후부터 벤젠 함유량이 0.1%를 초과한 제품을 사용한 것이 확인되었다. 2개의 제품을 확인하였을 때 평균 0.8% 검출된 것을 확인할 수 있다(<표 2-13> 참조). 또한 <표 2-14>에서 국내에서 석유화학제품 내 벤젠 함유량과 취급 근로자의 공기 중 노출 수준이 함께 보고된 자료에 대해 정리하였다.

<표 2-13> 국내의 연도와 제품에 따른 벤젠함량

Product	<1980, %			1981~1999, %			≥2000, %			Total ³⁾ , %		
	N	WAM ¹⁾	Min	Max	N	WAM	Min	Max	N	WAM	Min	Max
Adhesive	0		NR	NR	1	0.3	0.3	0.3	3	2.1	0.13	5.7
Cleaning products	0		NR	NR	0		NR	NR	2	0.8	0.17	1.5
Coating materials	0		NR	NR	2	0.4	0.01	0.7	14	0.1	0.00018	1.3
Gasoline	0		NR	NR	8	3.3	1.0	5.9	6	2.2	0.44	6.0
Hardener	0		NR	NR	2	1.9	1.8	2.0	0		NR	2.0
Ink	0		NR	NR	2	0.4	0.21	0.5	0		NR	0.5
Others ²⁾	0		NR	NR	3	0.8	0.303	1.1	9	4.0	0.0026	30.1
Solvent	0		NR	NR	10	2.3	0.016	20.5	3	3.6	0.5	20.5
Thinner	14	12.6	4.0	26.8	8	3.5	0.01	56.7	23	0.3	0.00018	56.7
Toluene	0		NR	NR	1	0.0001	0.0001	0.0001	1	0.09	0.09	0.09

1) WAM-Weighted Arithmetic Mean

2) comprehensive of Base oil, Inhabited oil, Benzene · Toluene mixed, Ethyl benzene, Fuel, Release agent, Printing material, Catalyst, Coating, Flux, Mix plastic, Diluent

3) including data set which has no information on the time of the year

NR : Not Reported

Ref. Adhesive : OSHRI, 1999; OSHRI, 2002; OSHRI, 2007

Cleaning products : OSHRI, 2009; OSHRI, 2010

Coating materials : OSHRI, 1998; OSHRI, 1999; OSHRI, 2002; OSHRI, 2004; OSHRI, 2007; OSHRI, 2012

Gasoline : Shin, 1995; OSHRI, 2000; OSHRI, 2005; OSHRI, 2011; OSHRI, 2012; OSHRI, 2003; Song, 2000; Kang, 2005

Hardener : OSHRI, 1998; OSHRI, 1999

Ink : OSHRI, 1999

Others : OSHRI, 1997; OSHRI, 1998; OSHRI, 2002; OSHRI, 2005; OSHRI, 2010; OSHRI, 2011; OSHRI, 2012

Solvent : Jeong, 2003; OSHRI, 1997; OSHRI, 1998; OSHRI, 2002; OSHRI, 2005; OSHRI, 2011; Roh, 2001

Thinner : Ro, 1975; Zoh, 1997; Lee, 2003; Paik, 1998; OSHRI, 1999; OSHRI, 2000; OSHRI, 2002; OSHRI, 2004; OSHRI, 2005; OSHRI, 2007; OSHRI, 2009; OSHRI, 2011; OSHRI, 2012; Kim, 2006

출처 : 벤젠이 미량 함유된 석유화학제품 취급자의 직업적 노출 추정(곽수경, 2014)

<표 2-14> 국내에서 석유화학제품 내 벤젠 함유량과 취급 근로자의 공기 중 노출 수준이 함께 보고된 자료

USE	Product	Bulk content(10%)				Airborne concentration of benzene(ppm)							Reference	
		Notation	N	AM	NIN	MAX	Work	P/A	N	GM (GSD)	AM	MIN		MAX
Dilution or washing	Thinner	V/V	14	12.6	4.0	26.8	Thinner handling A	P	8		30	18.5	51	Ro, 1975
							Thinner handling B	P	8		10	7.8	13.2	
Tire manufacturing	Solvent	V/V	2	0.36	0.32	0.4	Extrude	P	14		0.55	0.31	0.84	OSHRI, 1997
	Release agent	V/V	1	0.3			Extrude	A	2		0.42	0.09	0.74	
						Stir	A	1		2.16				
Leather manufacturing	Coating materials	NR	1	0.7			Leather coating	P	7			0.02	0.05	OSHRI, 1998
	Solvent	NR	1	1.0										
	Catalyst	NR	1	0.9										
	Hardener	NR	1	2.0										
Parts of an automobile cluster DT	Gasoline	V/V	1	4.0			Cluster DT	P	2		5.09	3.5	6.68	OSHRI, 2000
								A			3.34	2.67	4.00	

<표 2-14> 국내에서 석유화학제품 내 벤젠 함유량과 취급 근로자의 공기 중 노출 수준이
함께 보고된 자료(계속)

USE	Product	Bulk content(10%)				Airborne concentration of benzene(ppm)							Reference	
		Notation	N	AM	NIN	MAX	Work	P/A	N	GM (GSD)	AM	MIN		MAX
Fuel	Gasoline	W/W	1	3.9			Gas station A	P	7	0.089		0.003	0.200	Song, 2000
								A	7	0.023		0.004	0.068	
		W/W	1	2.9			Gas station B	P	3	0.075		0.070	0.080	
								A	4	0.012		0.006	0.022	
		W/W	1	3.9			Gas station C	P	6	0.180		0.140	0.190	
								A	10	0.190		0.084	0.570	
		W/W	1	5.9			Gas station D	P	1	0.160				
								A	5	0.190		0.140	0.310	
		W/W	1	2.1			Gas station E	P	5	0.120		0.100	0.140	
								A	5	0.097		0.085	0.120	
Washing	Solvent	W/W	1	4.4			Gas station F	P	5	0.130		0.070	0.190	
								A	7	0.070		0.035	0.150	
		W/W	1	2.5			Gas station G	P	3	0.150		0.110	0.190	
								A	6	0.065		0.036	0.110	
		V/V	1	1.28			Laundry	P	17	1.43 (2.63)				Roh, 2001
								A	18	0.38 (2.94)				
								A	20	1.48 (3.09)				

<표 2-14> 국내에서 석유화학제품 내 벤젠 함유량과 취급 근로자의 공기 중 노출 수준이 함께 보고된 자료(계속)

USE	Product	Bulk content(10%)					Airborne concentration of benzene(ppm)							Reference
		Notation	N	AM	NIN	MAX	Work	P/A	N	GM (GSD)	AM	MIN	MAX	
Adhesive	Adhesive	A/A	2	2.9	0.13	5.66	Adhesive	P	1		0.05			OSHRI, 2002
								4	2		0.06	0.05	0.06	
Painting	Thinner	A/A	1	0.01			Painting	P	5		1.53	0.01	6.55	OSHRI, 2002
	Coating materials		1	0.05										
Printing	Flux	A/A	1	0.25			Flux coating	A	1		0.02			OSHRI, 2005
	Thinner	A/A	1	0.7										
Lubricant	Base oil	V/V	1	1.1			Filling	P	2		0.37	0.31	0.43	OSHRI, 2006
Painting	Thinner	NR	1	1.66			Car maintenance	P	1		0.05			OSHRI, 2009
								A	1		0.02			
Washing	Cleaning products	A/A	1	0.17			Injector cleaner	A	1		0.39			OSHRI, 2009

출처 : 벤젠이 미량 함유된 석유화학제품 취급자의 직업적 노출 추정(곽수경, 2014)

(6) 소량의 석유계 용제를 이용한 금속 표면 세척 시 공기 중 벤젠 노출 수준(Hollins et al., 2013)

<표 2-15>는 0.003, 0.008, 0.07, 1.4%의 벤젠이 소량 함유된 용제로 세척 작업을 하는 중에 공기 중 벤젠 노출 농도를 측정한 결과이다.

오른쪽 옷깃에서 샘플링한 것이 왼쪽 옷깃에서 샘플링한 것보다 상대적으로 노출량이 높았는데, 오른손으로 청소 동작을 실시했기 때문이라고 해석할 수 있다. 또한 비슷한 벤젠 함량과 사용량을 보이는 페인트 시너와 엔진 디그리서 중에선 엔진 디그리서 이용자의 노출량이 약간 높게 나타났다.

공기 중 벤젠 농도는 두 개의 석유계 용제(페인트 시너 및 엔진 그리스 제거제)로 표면 세척 중 환기가 되지 않는 작업 현장에서 측정되었다. 용매에 벤젠을 첨가하여 액체 중 0.001, 0.01, 0.1v%의 목표 농도를 얻었다. 18~32분의 시간가중평균으로 나타낸 벤젠의 평균 작업 호흡 구역 농도는 0.01ppm, 0.05ppm, 0.27ppm으로 용제에 약 0.003, 0.008, 0.07%의 벤젠을 함유하고 있었다.

분석 결과 용제 벤젠 농도, 도포된 부피, 취급 활동으로부터의 거리가 공기 중 농도에 가장 큰 영향을 미쳤다. 0.07% 벤젠(스파이크)을 함유한 연구용 제제품은 시험한 단기 노출 시나리오에서 현재 OSHA 허용 노출 한계치 1ppm(8시간 평균 이상) 또는 ACGIH 임계값 한계치 0.5ppm을 초과하지 않았다. 본 데이터는 이러한 용제 사용 시나리오에서 1978년 이후 미국에서 생산된 석유기반 용제 제품은 농도가 0.1% 벤젠 미만일 경우 측정된 것보다 공기 중 벤젠 농도가 높게 생성되지 않는다는 것을 시사한다.

<표 2-15> 세척작업 시 공기 중 벤젠농도

Event	Composition of solvent		Application technique		Study space characteristics		Airborne benzene concentrations(ppm) ^a [benzene vapor/liquid ratio(ppm/%)]								
	Type of solvent	Benzene content(%)	Method of application	Solvent Volume(ml)	Surface area cleaned(m ²)	ACH	Personal samples			Area sample locations(distance from table center)					
							Right lapel (0.1m)	Left lapel (0.1m)	Mean ^b	A front (0.3m)	B front (0.3m)	C front (0.9m)	D back (1.2m)	E front (1.5m)	F back (1.8m)
1	Paint thinner	0.003	Rag	50	0.09	4	0.01 [3.95]	0.009 [2.93]	0.01 [3.44]	0.003 [1.06]	0.004 [1.26]	0.003 [0.97]	0.005 [1.79]	0.002 [0.82]	0.005 [1.63]
2	Paint thinner	0.008	Rag	50	0.09	4	0.06 [7.29]	0.03 [4.11]	0.05 [5.70]	0.01 [1.39]	0.01 [1.44]	0.009 [1.08]	0.019 [2.36]	0.009 [1.09]	0.01 [1.82]
3	Paint thinner	0.071	Rag	50	0.09	4	0.31 [4.37]	0.14 [1.93]	0.22 [3.15]	0.07 [0.97]	0.07 [0.98]	0.07 [0.93]	0.09 [1.28]	0.05 [0.72]	0.06 [0.91]
4	Paint thinner	1.4	Rag	50	0.09	4	1.36 ^{d,e} [0.97]	0.73 ^c [0.52]	0.96 [0.69]	0.50 [0.35]	0.36 [0.26]	0.21 [0.15]	0.31 [0.22]	0.20 [0.14]	0.30 ^c [0.21]

<표 2-15> 세척작업 시 공기 중 벤젠농도(계속)

Event	Composition of solvent		Application technique		Study space characteristics		Airborne benzene concentrations(ppm) ^a [benzene vapor/liquid ratio(ppm/%)]								
	Type of solvent	Benzene content(%)	Method of application	Solvent Volume(ml)	Surface area cleaned(m ²)	ACH	Personal samples			Area sample locations(distance from table center)					
							Right lapel (0.1m)	Left lapel (0.1m)	Mean ^b	A front (0.3m)	B front (0.3m)	C front (0.9m)	D back (1.2m)	E front (1.5m)	F back (1.8m)
5	Paint thinner	0.071	Rag	50	0.84	4	0.17 [2.38]	0.17 [2.33]	0.17 [2.35]	0.09 [1.31]	0.10 [1.43]	0.08 [1.10]	0.12 [1.76]	0.06 [0.90]	N/A -
6	Paint thinner	0.071	Rag	100	0.09	4	0.47 [6.59]	0.40 [5.58]	0.43 [6.06]	0.15 [2.05]	0.19 [2.73]	0.12 [1.69]	0.15 [2.18]	0.10 [1.38]	0.15 [2.07]
7	Paint thinner	0.071	Rag	150	0.09	4	0.67 ^{d,f} [9.44]	0.63 ^{d,g} [8.87]	0.58 [8.17]	0.19 [2.61]	0.17 [2.45]	0.15 [2.08]	0.17 [2.38]	0.15 [2.09]	0.14 [1.96]
8	Paint thinner	0.071	Spatula	50	0.09	4	0.3 [4.23]	0.25 [3.50]	0.28 [3.94]	0.06 [0.84]	0.07 [0.93]	0.06 [0.86]	0.05 [0.77]	0.06 [0.80]	0.05 [0.70]
9	Engine degreaser	0.072	Rag	50	0.09	4	0.38 [5.26]	0.23 [3.23]	0.31 [4.31]	0.09 [1.29]	0.09 [1.26]	0.08 [1.05]	0.09 [1.19]	0.08 [1.14]	0.10 [1.40]
10	Engine degreaser	0.072	Rag	100	0.09	4	0.68 ^{d,h} [9.44]	0.18 [2.51]	0.39 [5.40]	0.12 [1.72]	0.13 [1.84]	0.14 [1.90]	0.13 [1.83]	0.14 [1.95]	0.15 [2.06]

<표 2-15> 세척작업 시 공기 중 벤젠농도(계속)

Event	Composition of solvent		Application technique		Study space characteristics		Airborne benzene concentrations(ppm) ^a [benzene vapor/liquid ratio(ppm/%)]									
	Type of solvent	Benzene content(%)	Method of application	Solvent Volume(ml)	Surface area cleaned(m ²)	ACH	Personal samples			Area sample locations(distance from table center)						
							Right lapel (0.1m)	Left lapel (0.1m)	Mean ^b	A front (0.3m)	B front (0.3m)	C front (0.9m)	D back (1.2m)	E front (1.5m)	F back (1.8m)	
11	Engine degreaser	0.072	Rag	50	0.84	4		0.25 [3.50]	0.22 [2.99]	0.23 [3.24]	0.10 [1.41]	0.09 [1.19]	0.10 [1.38]	0.08 [1.13]	0.10 [1.32]	0.09 [1.27]
12	Paint thinner	0.071	Rag	50	0.09	10		0.53 ^c [7.50]	0.15 [2.04]	0.34 [4.77]	0.05 [0.66]	0.07 [0.97]	0.03 [0.48]	0.05 [0.65]	0.04 [0.63]	0.05 [0.65]

ACH, air changes per hour: N/A, not available; -, not calculated; see Fig. 1 for locations of area samples A through F.

a Benzene concentrations were quantified by mass spectrometric detection using the m/z 63 ion results.

b Average of worker's right and left lapel samples as indicated in Fig. 1.

c The mass of benzene was between 3840 and 4224 ng/sample tube, approaching the upper limit of linear detector response: these benzene concentrations may be slightly underestimated (<10% negative deviation) but no data adjustments were made (see Supplemental material).

d The mass of benzene was above the upper limit for linear detector response of approximately 4224 ng/sample tube: these benzene concentrations may be moderately underestimated (10 - 20%) and linear regression was used to estimate a corrected value for 4 samples (see Supplemental material).

e Estimated value shown exceeds the measured concentration of 1.2 ppm by 13% (see Supplemental material).

f Estimated value shown exceeds the measured concentration of 0.59 ppm by 13% (see Supplemental material).

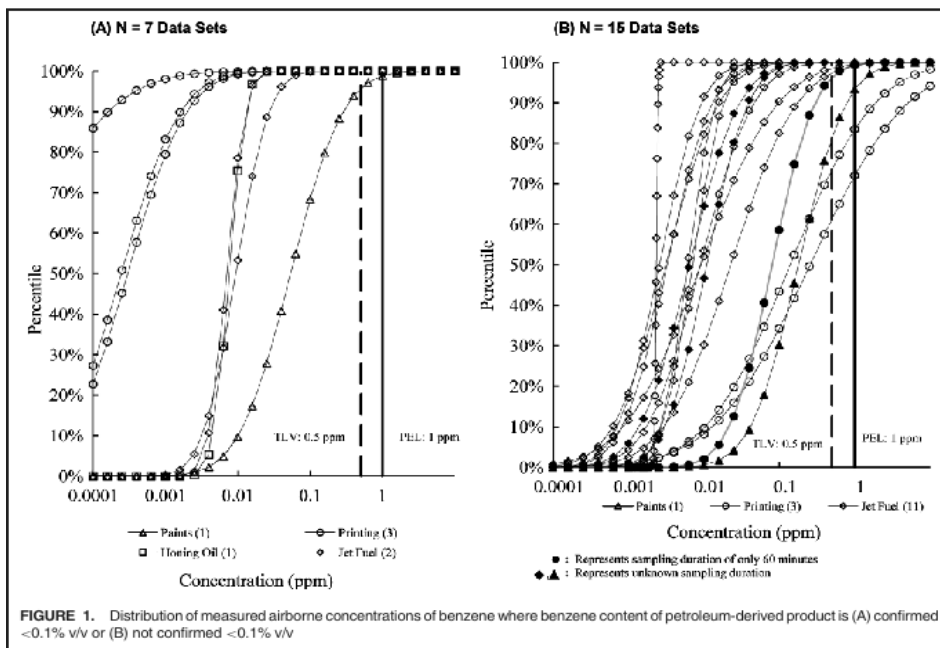
g Estimated value shown exceeds the measured concentration of 0.56 ppm by 13% (see Supplemental material).

h Estimated value shown exceeds the measured concentration of 0.60 ppm by 13% (see Supplemental material).

출처 : Airborne benzene exposures from cleaning metal surfaces with small volumes of petroleum solvents(Hollins et al., 2013)

(7) 미량의 벤젠을 함유하고 있는 석유계 유래 제품과 연관된 직업상 노출(Williams, 2008)

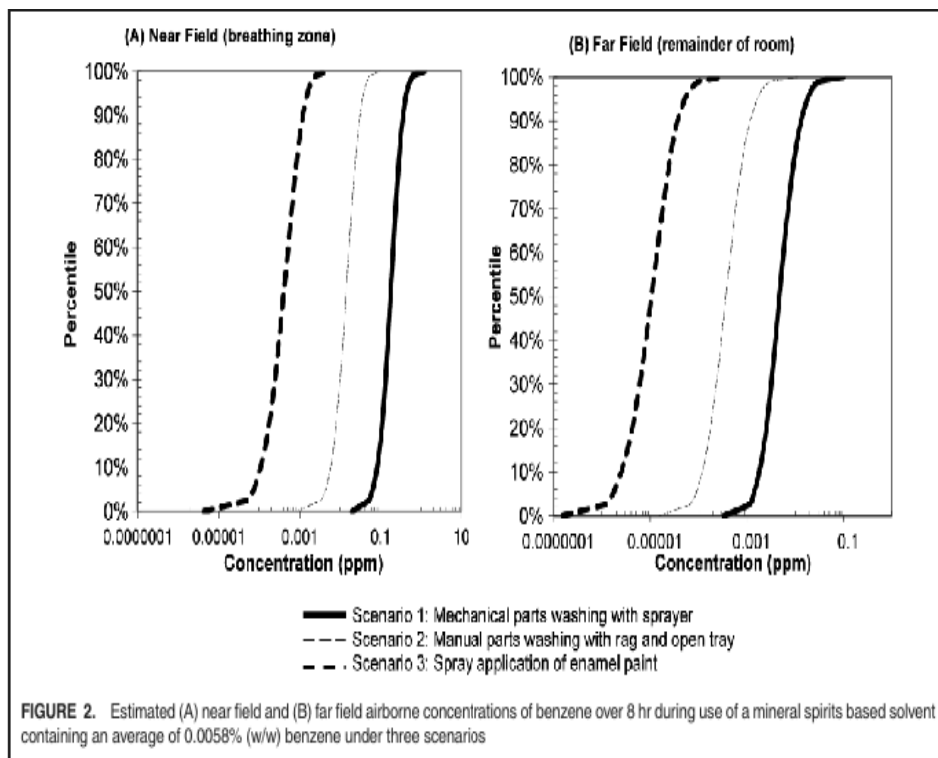
벤젠은 정제 공정으로 인해 혼합 석유 제품의 미량 불순물 또는 잔류 성분으로 존재할 수 있다. 분석 결과 일반적으로 0.1%(v/v) 미만의 벤젠을 함유한 제품, 페인트 용매, 인쇄 용매 및 잉크, 절삭 및 연마유, 접착제, 미네랄 스피릿 및 그리스 제거제, 호흡 구역 및 주변 공기에서 벤젠의 (TWA) 공기 중 농도는 평균 0.01ppm 미만에서 0.3 ppm이다. 제품의 벤젠 함량이 0.1% v/v 미만인 것으로 확인되지 않은 연구를 제외하고, 공기 중 벤젠 농도는 현행 직업상 노출기준(예: 노출기준 0.5ppm, 허용 노출기준 1ppm)보다 낮았다([그림 2-3] 참조).



[그림 2-3] 벤젠이 0.1%(v/v)보다 낮은 그룹(A)과 그보다 높은 그룹(B)의 노출농도

출처 : Occupational Exposures Associated with Petroleum-Derived Products Containing Trace Levels of Benzene(Williams et al, 2008)

Monte Carlo 기법을 사용한 노출 모델도 미네랄 스피릿과 관련된 3가지 가상의 용제 사용 시나리오에서 0.002~0.4ppm 범위의 8시간 TWA 근거리 대기 중 벤젠 농도를 예측했다. 전체 입증 가중치는 1978년 이후 미국에서 제조된 제품의 대다수가 0.1v% 미만의 벤젠을 함유하고 있으며, 제품 사용 시나리오 하에서 작업장에서의 TWA가 0.5ppm을 초과하지 않을 것으로 예상되는 것을 나타낸다([그림 2-3], [그림 2-4] 참조).



[그림 2-4] 평균 0.0058%(w/w)의 벤젠을 함유한 솔벤트를 기초로 한 미네랄 스피릿을 8시간 이상 사용한 가까운 영역(A)과 먼 영역(B)의 노출농도 분포

출처 : Occupational Exposures Associated with Petroleum-Derived Products Containing Trace Levels of Benzene(Williams et al., 2008)

(8) 1974년부터 2012년도까지 국내에서 사용된 석유계 유래 제품들의 잠재적 벤젠 위험성(Choi et al, 2018)

해당 연구는 국내에 보고된 문헌 검토를 통해 석유 유래 제품(petroleum-derived products, PDP)의 벤젠 함량을 평가하고 미량의 벤젠이 함유된 PDP를 취급하는 근로자의 벤젠 흡입 노출을 추정하기 위해 수행되었다. 2012년까지 한국에서 사용 가능한 벤젠 함유 제품에 대한 모든 데이터는 사전 연구, 보고서 및 역학 조사에서 수집되었다.

미량의 벤젠을 확인하기 위해 질량 분석기가 장착된 가스 크로마토그래피를 사용하여 총 32개 제품도 분석하였다. 마지막으로 벤젠 함량 정보에 대한 131개의 벌크 샘플이 포함된 총 112개의 데이터를 수집하였다.

시너는 1997년에 56.7%로 가장 높은 벤젠 함량을 보였고, 2005년 인쇄용제에서 30.1%, 자동차 유지 보수에 사용되는 용제 8.96%, 2002년 가솔린 6.0% 순으로 많은 양을 차지했다. PDP에 포함된 벤젠의 양은 해마다 감소 추세를 보였지만 0.1 % 미만의 벤젠이 함유된 시너를 사용한 근로자는 1ppm 이상의 농도에 노출된 것으로 밝혀졌다. 32개 시약 중 13개도 벤젠을 함유하고 있는 것으로 확인되었으며, 트리클로로에틸렌과 에틸벤젠 제품은 0.1 % 이상의 벤젠을 포함하였다(<표 2-16>, <표 2-17>, [그림 2-5], [그림 2-6]).

<표 2-16> 용도와 제품에 따른 벤젠의 평균, 최소, 최대 함량

Products	<1980, %			1981~1999, %			≥2000, %			Total, %						
	N	WAM ^b	Min	Max	N	WAM	Min	Max	N	WAM	Min	Max				
Adhesive					1	0.3	0.3	0.3	3	2.1	0.13	5.7	5.7			
Cleaning products									2	0.8	0.17	1.5	1.5			
Coating materials					2	0.4	0.01	0.7	21	0.16	0.00018	1.3	0.00018	1.3		
Diluent									8	0.04	0.0026	0.3	0.04	0.0026	0.3	
Gasoline					8	3.3	1	5.9	7	2.1	0.03	6	15	2.8	0.03	6
Hardener					2	1.9	1.8	2					2	1.9	1.8	2
Ink					2	0.4	0.2	0.5					2	0.4	0.21	0.5
Printing agent									2	15.2	0.25	30.1	2	15.2	0.25	30.1
Raw material									2	5.6	1.1	10	2	5.6	1.1	10
Solvent					9	0.3	0.016	1.0	3	3.6	0.5	9	12	1.14	0.016	9
Thinner	14	12.6	4	26.8	12	8.4	0.01	56.7	25	0.34	0.00018	2.1	51	5.7	0.00018	56.7
Others ^a					3	0.76	0.3	1.1	5	2.7	0.05	10.8	8	1.88	0.05	10.8
Total	14	12.6	4	26.8	40	3.2	0.01	56.7	78	1.53	0.00018	30.1	131	3.46	0.00018	56.7

a. Accelerant, anti-rusting oil, ethylbenzene, fuel, release agent, toluene, waste.

b. Weighted Arithmetic Mean.

출처 : Potential Risk of Benzene in Petroleum-Derived Products Used from 1974 to 2012 in Korea(Choi et al., 2018)

<표 2-17> 용도, 제품, 벤젠함량에 따른 8시간 작업 시 노출농도

Use	Product	Bulk content, %				Airborne concentration of benzene, ppm							Reference	
		Notation ^a	N	AM	MIN	MAX	Work	P/A ^b	N	GM(GSD)	AM	MIN		MAX
Dilution or Washing	Thinner	V/V	14	12.6	4	26.8	Thinner handling at workplace A	P	8		30	18.5	51	Ro, 1975
								P	8		10	7.8	13.2	
Fuel	Gasoline	W/W	1	3.9			Gas station A	P	7	0.089		0.003	0.2	Song <i>et al.</i> , 2000
								A	7	0.023		0.004	0.068	
		W/W	1	2.9			Gas station B	P	3	0.075		0.07	0.08	
								A	4	0.012		0.006	0.022	
		W/W	1	3.9			Gas station C	P	6	0.18		0.14	0.19	
								A	10	0.19		0.084	0.57	
		W/W	1	5.9			Gas station D	P	1	0.16				
								A	5	0.19		0.14	0.31	
		W/W	1	2.1			Gas station E	P	5	0.12		0.1	0.14	
								A	5	0.097		0.085	0.12	
		W/W	1	4.4			Gas station F	P	5	0.13		0.07	0.19	
								A	7	0.07		0.035	0.15	
		W/W	1	2.5			Gas station G	P	3	0.15		0.11	0.19	
								A	6	0.065		0.036	0.11	
Washing	Solvent	V/V	1	1.28			Laundry	P	17	1.43(2.63)				Roh <i>et al.</i> , 2001
								Ac	18	1.19(2.83)				
								Ad	20	1.48(3.09)				

<표 2-17> 용도, 제품, 벤젠함량에 따른 8시간 작업 시 노출농도(계속)

Use	Product	Bulk content, %					Airborne concentration of benzene, ppm							Reference
		Notation ^a	N	AM	MIN	MAX	Work	P/A ^b	N	GM(GSD)	AM	MIN	MAX	
Tire manufacturing	Solvent	V/V	2	0.36	0.32	0.40	Extrude	P	14		0.55	0.31	0.84	OSHRI, 2013
	Release agent	V/V	1	0.3			Extrude	A	2		0.42	0.09	0.74	
Leather manufacturing							Mixing	A	1		2.16 ^e			
	Coating materials	NR	1	0.7			Leather coating	P	7			0.02	0.05	OSHRI, 2013
	Solvent	NR	1	1										
	Catalyst	NR	1	0.9										
Parts of an automobile cluster development testing	Hardener	NR	1	2										
	Gasoline	V/V	1	4			Testing	P	2		5.09	3.5	6.68	OSHRI, 2013
Adhesive								A	2		3.34	2.67	4	
	Adhesive	A/A	2	2.9	0.13	5.66	Adhesive	P	1		0.05			OSHRI, 2013
Painting	Thinner	A/A	1	0.01				A	2		0.06	0.05	0.06	
	Coating materials		1	0.05			Painting	P	5		1.53	0.01	6.55	OSHRI, 2013
Lubricant	Base oil	V/V	1	1.1			Filling	P	2		0.37	0.31	0.43	OSHRI, 2013

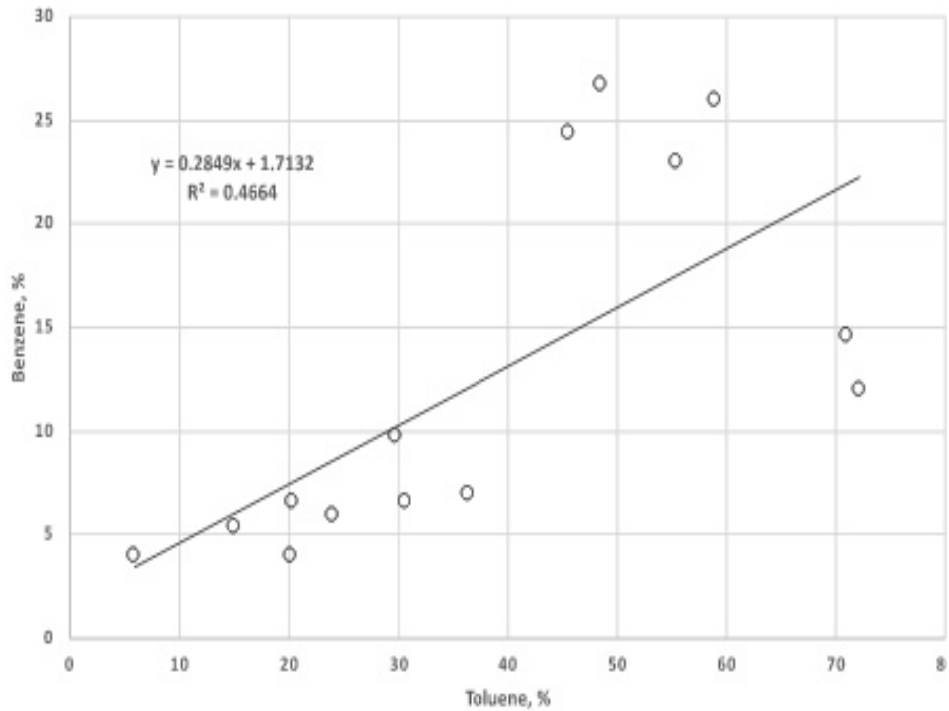
N, number of samples; GM, geometric mean; GSD, geometric standard deviation; AM, arithmetic mean; Min, minimum; Max, maximum.

a A/A-area ratio, V/V-volumetric ratio, W/W-weight ratio, NR-not reported, b P-Personal, A-Area

c Air sampling around work table, d Air sampling around dry cleaner.

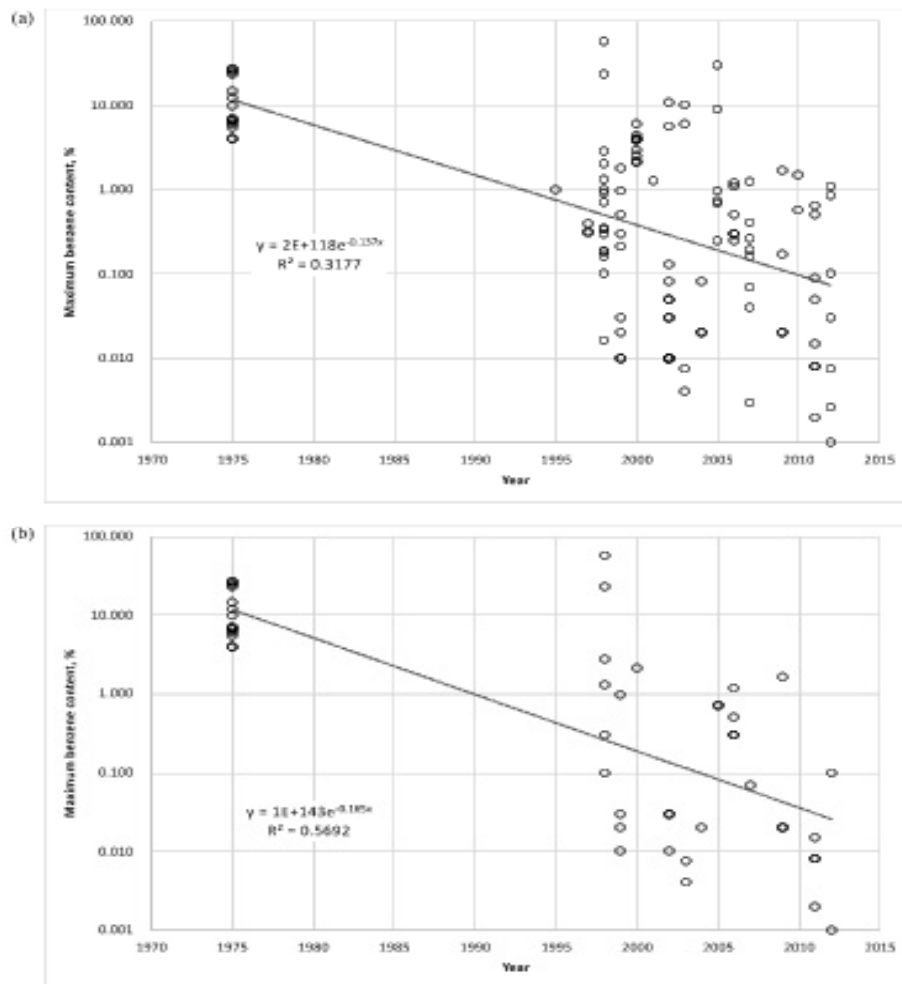
e Short-term area sampling

출처 : Potential Risk of Benzene in Petroleum-Derived Products Used from 1974 to 2012 in Korea(Choi et al., 2018)



**[그림 2-5] 1974년에 쓰인 14종의 시너 제품에서의
톨루엔과 벤젠함량 간의 상관관계**

출처 : Potential Risk of Benzene in Petroleum-Derived Products Used from 1974 to 2012 in Korea(Choi et al., 2018)



**[그림 2-6] 모든 석유 유래 제품(a), 시너 제품(b)의
1975~2013년의 최대 벤젠함량 트렌드**

출처 : Potential Risk of Benzene in Petroleum-Derived Products Used from 1974 to 2012 in Korea(Choi et al., 2018)

(9) 일본의 공업용 유기용제 사용의 실태에 대한 조사 연구(井上 et al, 1984)

일본 내 회석제, 페인트, 기름 제거기, 잉크, 접착제 등으로 사용되는 유기용제 제품 총 1,179개를 채취하여 분석하였다.

시료 당 용매 성분, 용매 성분의 주파수, 각 성분의 내용물을 용도에 따라 분석·분류하였다. 전체 시료의 77%, 페인트 93%, 회석제 85%, 접착제 73%, 그리스 제거제 52%가 혼합 유기용제를 함유하고 있었다. 표본당 평균 용제 성분수는 가솔린이 제외된 시너 4.14(최대 13), 페인트 2.29(최대 7), 잉크 2.23(최대 5), 접착제 2.19(최대 6), 그리스 제거제 1.71(최대 6) 이었다. 톨루엔, 자일렌, 메틸알코올, 이소프로필알코올, 에틸아세테이트, 메틸에틸케톤, 산업용 휘발유가 상기 제품에서 널리 사용되었다.

톨루엔, 자일렌, 산업용 휘발유가 주성분이었고 표본 당 함량은 매우 높았다. 용제 제품에서는 아세테이트, 알코올, 케톤, 글리콜 등이 자주 검출되었지만, 이러한 용제 성분은 보통 부하 용제로 사용되기 때문에 표본 당 함량이 상대적으로 낮았다. 그리스 제거제에는 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 1, 1, 1-트리클로로에탄, 산업용 가솔린 등 염소화 탄화수소가 가장 많이 사용되었으며 1, 4-디옥산 등이 비교적 많은 샘플에서 검출되었지만, 보통 1, 1, 1-리클로 정도의 첨가제로 사용되기 때문에 샘플당 함량은 매우 낮았다.

로테탄의 톨루엔은 잉크 용매에서도 가장 인기 있는 성분이었다. 또 잉크에서 이소프로필알코올, 메틸알코올, 메틸에틸케톤이 자주 검출됐다. 접착제에서도 톨루엔이 가장 많이 검출됐고, 이 성분에서도 노말 헥산이 자주 검출됐다. 벤젠, 클로로포름, 카본 테트라클로라이드, 1, 2-디클로로에탄, 1, 2, 2-테트라클로로에탄, 이황화탄소 등 독성이 강한 용제는 몇 가지 표본에서 검출되지 않았다.

아래 <표 2-18>은 맨 위에서부터 벤젠, 톨루엔, 크실렌, 에틸벤젠, 스티렌 순으로 나타낸 것이다.

<표 2-18> 유기용제 성분 분석 결과

유기용제 성분 분석 결과(비휘발성 물질을 포함하지 않은 제품)						
유기용제	시너		세정제		기타	
	N (%)	M (10~90% range)	N (%)	M (10~90% range)	N (%)	M (10~90% range)
방향족 탄화수소						
벤젠	-(-)	-	2(1)	98.5	-(-)	-
톨루엔	180(56)	45.1(4~68)	12(8)	48.3(3~99)	10(18)	59.7(6~99)
자일렌	105(33)	17.9(1~41)	10(7)	45.2(11~77)	2(4)	41.0
에틸벤젠	102(32)	16.3(1~38)	10(7)	24.3(9~47)	2(4)	11.0
스틸렌	2(1)	99.0	-(-)	-	-(-)	-

출처 : A NATIONWIDE SURVEY ON THE USE OF ORGANIC SOLVENTS IN JAPAN(井上 et al., 1984)

(10) 가스 크로마토그래피법을 이용한 래커 시너의 분석(Hikarui et al, 1966)

상업용 래커 희석제 46개와 유기용제를 10개 사용하는 교토시 소재 3개 사업장을 대상으로 조사하였고 벌크 시료 분석 결과, 각각의 크로마토그램에서 12~43개의 유기 성분이 확인되었다. 화학구조물별로 분류된 내용물의 평균 농도는 아로마틱스 36%, 아로마틱스 11%, 염소산염 및 알코올 10%, 아세테이트 7% , 케톤 1%, 알데히드 0.3%로 검출되었다.

검출할 수 있는 중요 성분의 평균 농도는 톨루엔(17%), 총 자일렌(12%), 벤젠(7%), 트리클로로에틸렌(6%), 부틸알코올(n.i.sec. tert.)(5%), 테트라클로로에틸렌(4%), 메틸메타크릴레이트(3%) 로 나타났다. 시료 용제 내 검출된 성분 중 벤젠의 농도는 최고(48%)로 나타났다.

총 56개의 시료를 분석하였으며 결과는 <표 2-19>, <표 2-20>, <표 2-21>과 같다.

<표 2-19> 2번, 4번, 10번 시료(래커 시너)의 분석 결과

시료 번호	No.10		시료 번호	No.2		시료 번호	N-4			
	Name	%	Peak No.	Name	%	Peak No.	Name	%	Peak No.	%
1	I-pentane	0.05	1	pentene-1	0.50	1	pentene-1	0.82	22	methyl acrylate 3.30
2	pentane-2	0.20	2	pentene-2	0.50	2	22-di Me butane	0.70	23	tetracarbochloride 1.21
3	hexane-1	1.10	3	2-Me pentane	0.20	3	23- di Me butane	0.60	24	acrylnitrile 2.21
4	n-hexane	1.70	4	2-Me hexane	0.20	4	n-pentene	0.55	25	benzene 1.45
5	hexane-2	1.01	5	cyclo-pentane	1.00	5	pentene-2	0.20	26	allyl alcohol 1.55
6	cyclo-pentane	1.08	6	n-heptane	0.50	6	2 Me -pentane	0.43	27	2 Me-octane 1.70
7	n-neptane	2.30	7	acetone	0.90	7	3 M e-pentane	0.41	28	trichloroethylene 4.03

<표 2-19> 2번, 4번, 10번 시료(래커 시너)의 분석 결과(계속)

시료 번호	No.10		시료 번호	No.2		시료 번호	N-4			
	Name	%	Peak No.	Name	%	Peak No.	Name	%	Peak No.	%
8	cycro-hexane	1.41	8	ethyl alcohol	0.73	8	hexene-1	0.20	29	l-butyl alcohol
9	vinyl-acetate	16.40	9	n-octane	4.50	9	n-hexane	0.30	30	n-nonane
10	n-octane	0.16	10	methyl acrylate	4.63	10	Me-cyclo -pentane	1.15	31	toluene
11	methyl acrylate	3.90	11	benzene	30.18	11	2 Me-hexane	0.65	32	?
12	ethyl acetate	2.51	12	trichloroethylene	4.52	12	cyclo-pentane	0.88	33	n-butyl alcohol
13	benzene	3.07	13	methyl methacrylate	1.00	13	n-hepatane	0.65	34	tetrachloroethylene
14	2 Me-octane	1.00	14	toluene	16.08	14	acetone	2.70	35	n-decane

<표 2-19> 2번, 4번, 10번 시료(래커 시너)의 분석 결과(계속)

시료 번호	No.10		시료 번호	No.2		시료 번호	N-4			
	Name	%	Peak No.	Name	%	Peak No.	Name	%	Peak No.	%
15	methyl methacrylate	2.35	15	acryl nitrile	2.43	15	cyclo-hexane	0.75	36	112 trichloroethane 1.06
16	I-butyl alcohol	1.26	16	ethyl acrylate	1.60	16	ethyl alcohol	1.50	37	I-amylalcohol 0.30
17	toluene	9.83	17	p-xylene	6.43	17	2 Me heptane	1.10	38	p-xylene 6.50
18	n-butyl alcohol	2.10	18	m-xylene	4.20	18	¹¹¹ trichloroethane	0.46	39	ethylbenzene 2.00
19	p-xylene	9.45	19	o-xylene	2.44	19	ethyl acetate	1.85	40	m-xylene 5.27
20	m-xylene	8.90				20	n-octane	2.18	41	o-xylene 4.35
21	o-xylene	4.10				21	I-propyl alcohol	2.00		

출처 : The gas chromatographic analysis of lacquer thinner(Hikarui et al., 1966)

<표 2-20> 레커 시너, 산업용제(인쇄), 분사도장 용제, 사진인쇄 용제의 각 성분계의 함량

제품	시료수	aliphatic	aromatic	alcohol	acrylate	acetate	chloride	aldehyde	ketone	합계
레커 시너	47	최소	40.50	60.37	47.44	38.23	24.28	33.99	4.16	93.86
		최대	0.00	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.88
		평균	10.43	37.96	10.23	6.17	8.82	9.60	0.20	84.31
산업 용제 (인쇄)	3	최소	17.77	33.46	18.40	39.66	40.55	40.21	2.20	91.44
		최대	4.20	10.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	72.80
		평균	9.95	21.60	6.48	13.22	13.52	13.78	1.20	80.94
분사 도장 용제	2	최소	22.98	51.46	4.33	0.00	0.00	36.45	2.14	80.63
		최대	6.43	28.40	3.33	0.00	0.00	0.00	1.06	78.70
		평균	14.71	39.93	3.88	0.00	0.00	18.23	1.60	79.70
사진 인쇄 용제	5	최소	31.28	46.86	27.57	8.51	21.39	20.63	0.00	93.12
		최대	10.60	15.03	4.13	0.00	1.85	0.00	0.00	77.84
		평균	16.42	31.78	12.66	5.48	8.05	11.82	0.00	87.29
총 평균	56		11.06	36.61	10.02	6.44	8.69	10.33	0.28	84.40

출처 : The gas chromatographic analysis of lacquer thinner(Hikarui et al., 1966)

<표 2-21> 주요 성분의 함량 구분 구성 비율

성분	함량구분	0.9% 이하	1.0~ 4.9%	5.0~ 9.9%	10.0~ 14.9%	15.0~ 19.9%	20.0~ 29.9%	30.0~ 39.9%	40.0~ 49.9%	시료 중의 최대치 %	평균 함량 %
aliphatic	n-hexane	66.1	28.6	5.4	0.0					7.40	0.90
	n-heptane	50.0	48.2	0.0	1.8	0.0				13.53	1.29
	n-octane	26.8	55.4	14.3	3.6	0.0				13.44	2.66
aromatic	benzene	8.9	46.4	21.4	14.3	3.6	0.0	3.6	1.8	48.46	6.97
	toluene	1.8	10.7	23.2	14.3	8.9	23.2	14.3	3.6	40.58	17.33
	total xylene	23.2	14.3	10.7	25.0	8.9	10.7	1.8	5.4	44.51	11.52
alcohol	ethylalcohol	76.8	17.8	0.0	1.8	3.6	0.0			19.33	1.33
	propylalcohol	80.4	16.1	1.8	0.0	1.8	0.0			16.40	1.07
	butylalcohol	50.0	16.1	16.1	7.1	5.4	1.8	3.6	0.0	35.40	5.40
chloride	trichloroethylene	46.4	25.0	7.1	7.1	1.8	7.1	5.4	0.0	34.05	5.64
	tetrachloroethylene	51.8	23.2	12.5	5.4	5.4	1.8	0.0		20.63	3.55
acetate	vinylacetate	67.9	21.4	5.4	1.8	1.8	0.0	0.0	1.8	40.55	2.22
	ethylacetate	51.8	32.1	7.1	5.4	1.8	1.8	0.0		20.41	2.75
	butylacetate	58.9	17.8	10.7	8.9	3.6	0.0			16.30	3.08
acrylate	acrylnitrile	80.4	10.7	8.9	0.0					9.88	0.77
	methylacrylate	47.7	41.1	7.1	1.8	0.0	1.8	3.6	0.0	33.66	3.45
	ethylacrylate	85.7	10.7	0.0	3.6	0.0				14.00	0.61
	methylmetacrylate	37.5	57.2	1.8	1.8	0.0	1.8	0.0		21.12	1.76
ketone	acetone	66.1	32.1	1.8	0.0					8.89	1.00

출처 : The gas chromatographic analysis of lacquer thinner(Hikarui et al., 1966)

(11) 산업적으로 개발된 발암성 물질들과 돌연변이원성 물질들의 잠재적 위험성(Fishbein, 2011)

소비자는 상용 제품의 사용을 통해 가정에서 자신도 모르게 노출될 수 있으며, 고무 시멘트, 브러시 클리너, 페인트 스트리퍼, 자전거 타이어 패치 화합물 등의 제품에서 벤젠을 10~100% 농도로 함유할 수 있다. 벤젠이 함유된 제품은 카뷰레터 청소기와 미술품 및 공예품이다.

(12) 인간에 대한 발암성 위험 평가에 관한 IARC 자료들(Pearce et al, 2015)

벤젠은 석유 및 가스의 생산과 정제, 석유제품의 유통, 판매 및 사용, 코크스 생산, 화학제품의 제조 및 사용, 자동차 수리, 고무 제조, 제화, 소방 등 여러 직종에서 노출될 수 있다.

벤젠은 이전에 페인트, 인쇄 잉크, 접착제를 포함한 다양한 제품의 용매 및 성분이었으며, 석유에서 나온 천연 성분이다. 1956~2005년 동안 중국에서 페인트를 사용하는 산업에서의 벤젠 노출은 스프레이 페인팅의 경우 $43.9\text{mg}/\text{m}^3$ (최대 $3212\text{mg}/\text{m}^3$), 브러시 페인팅의 경우 $58.2\text{mg}/\text{m}^3$ (최대 $3373.5\text{mg}/\text{m}^3$) 이었다. 인쇄 산업에서 벤젠은 1930년대부터 1960년대 초까지 미국에서 운전 그라비아(rotogravure) 공정에서 사용되었다. 보고된 평균 노출량은 미국의 경우 0.58ppm(2003)이고, 한국의 경우 0.017ppm(2005)이지만, 코호트 합동 데이터 집합에서 1949년부터 2000년 이후까지 동안 산술 기하 평균 $94.1\text{mg}/\text{m}^3$ 및 $8.2\text{mg}/\text{m}^3$ (GSD, 13.0)으로 보고되었다.

벤젠은 미네랄 스피릿, 제트연료, 탈지제, 기타 용매 등 석유 기반 제품의 잔류 성분(0.1% 미만)이다. 다양한 유형의 제트 연료 취급 중 벤젠 노출에 대해 보고된 값은 1ppm 초과 가능성을 나타낸다.

(13) 차량 및 장비 수리점의 벤젠, 납 및 소음 노출 평가(Sweeney,

Lynn, 2013)

노출평가는 미국 워싱턴 주 리치 랜드에 있는 에너지 헨포드 부지에서 운영되는 장비 및 차량 정비소에서 실시되었다. 자동차 차체 수리에서 수행되는 작업에는 차체 필러와 샌딩 도포와 관련된 도장 및 표면 준비 작업이 포함된다.

벤젠의 경우 8시간 평균 시료를 채취하였다. 벤젠 샘플링은 3MTM 3520 샘플링 배지를 사용해 이루어졌으며 휘발성 유기화합물이 추가로 검출되었다. 해당 유기화합물에는 아세톤, 에틸에테르, 톨루엔, 크실렌, VM&P 나프타, 메틸에틸케톤, 트리클로로에틸렌 등이 포함되었다.

벤젠, VM&P 나프타, 메틸에틸케톤, 트리클로로에틸렌은 모두 검출한계 미만이었다. 아세톤, 에틸에테르, 톨루엔, 크실렌의 공기 중 농도는 모두 작업 노출 기준의 10% 미만이었다.

(14) 액체 렌치의 일부 제형물들의 사용과 관련된 벤젠의 공기 중 농도(Williams et al, 2007)

액체 렌치 제품은 다양한 소비자 및 산업 환경에서 일반적으로 사용되는 다용도 침투제 및 윤활제이다. 연구는 1960년에서 1978년 사이에 사용된 비에어로졸 액상 렌치 제형과 유사한 물리·화학적 특성을 가지도록 여러 제품의 제형을 다시 제조하였다. 이러한 제품의 시뮬레이션을 진행하는 동안 벤젠과 기타 성분의 공기 중 농도는 다양한 조건에서 측정되었다.

11가지 제품 사용 시나리오에서 거의 200개의 호흡 구역과 영역 구경꾼 공기 샘플이 수집되었다. 평균 공기 중 벤젠 농도는 15분의 개인 시료의 경우 약 0.2 - 9.9mg/m³(0.08 - 3.8ppm), 1시간 경우 0.1 - 8mg/m³(0.04 - 3ppm), 1시간 지역 시료 경우 0.1 - 5.1mg/m³(0.04 - 2ppm) 이었다. 1시간짜리 개인 시료는 두 개의 15분짜리 제품과 30분 동안 작업 구역에서 5~10피트 이내에 서 있는 것으로 구성되었다.

측정된 벤젠의 공기 중 농도는 시험한 제형의 벤젠 함량(1%, 3%, 14%,

30%)과 실내 공기 교환 속도를 기준으로 크게 달라졌으나, 제품의 기본 제형이나 사용된 액상 렌치 양에 따라 크게 달라지지 않았다. 다른 휘발성 화학물질 5종(에틸벤젠, 톨루엔, 톨 자일렌, 사이클로헥산, 헥산)의 대기 농도도 측정하였으며, 결과는 시험제품 내 화학물질의 휘발성 및 농도와 일치하였다.

(15) 벤젠의 과거 노출 추정(Job-Exposure Matrices, JEM) 연구(박동욱 등, 2013)

1930년대에서 1960년대 초기까지 벤젠은 인쇄 산업에서 잉크의 주성분이었고, 시멘트와 접착제, 코팅과 페인트 시너, 탈지와 세척제(degreasing and cleaning agents), 유기물질용 용매로 사용되었다. 벤젠은 산업용 제품 중 혼합 석유 제품(mineral spirits, paint thinners, cleaning agent, degreasers)에 잔류 성분 또는 미량의 불순물로 들어있다.

<표 2-22>, <표 2-23>, <표 2-24>는 공정, 업종과 직종 및 직업별 벤젠 관련 직업성 질환자에 대한 정보이다. 또한 <표 2-25>는 1980년대 이전부터 2000년대 이후까지의 국외 석유화학 제품별 벤젠 함유량을 나타낸다.

**<표 2-22> 벤젠 관련 직업성 질환자의 업종 중 세척제와
관련된 공정**

업종과 직무	직무	벤젠 노출 직무, 공정 등	질환자 수(%)
Metal product plating services	Metal plating and cleaning	세척제	1
금속제 식탁용품 제조업 (Manufacture of table and kitchen ware of base metal)	제조관련 단순 종사원 (Production Related Elementary)	세척제	1
Manufacture of work trucks, lifting and handling equipment	Metal cleaners	세척제	2
Manufacture of optical instruments	cleaner	세척제	1
Sale of motor vehicles and warehousing	cleaner	세척제	1
Wireless telecommunications	Electrician	세척	1

출처 : 벤젠의 과거 노출 추정(Job-Exposure Matrices, JEM) 연구(Park et al., 2013)

**<표 2-23> 환자 발생을 중심으로 본 우리나라의 벤젠 관련 주요
업종과 직종**

업종	직종	벤젠노출
제강업 (Manufacture of basic steel, 24112)	제관원(Pipe makers, 74210)	세척제
도금업 (Plating and anodizing of metals, 25922)	도금 및 금속분무기 조작용(Metal plating and spray operators, 8422)	세척제
수동식 식품 가공기기 및 금속주방용기 제조업 (Manufacture of hand-operated kitchen appliances and metal ware, 25993)	제조관련 단순 종사원(Production related elementary workers, 9300)-세척	세척제

출처 : 벤젠의 과거 노출 추정(Job-Exposure Matrices, JEM) 연구(박동욱 등., 2013)

**<표 2-24> 본 연구에서 세분류한 직업별 통합 벤젠 노출
수준(ppm)**

세분류 직업	보고 건수	측정시료수	통합 노출수준	표준편차
제관원	1	6	0.22	해당 없음
도금 및 금속분무기 조작용	3	3	0.01	해당 없음
제조관련 단순 종사원	5	24	9.23	7.70

출처 : 벤젠의 과거 노출 추정(Job-Exposure Matrices, JEM) 연구(박동욱 등., 2013)

<표 2-25> 국외 석유화학 제품별 벤젠 함유량(%)

제품명	<1980		1981~1999		≥2000		Total	
	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대
솔벤트	0.01	7	0.002	4.2	0.0009	1	0.0009	7
납사	0.1	9.3	0.1	1	0.1	1	0.1	9.3
헥산	0.01	3.5	0.004	2.81	0.1	6	0.004	6
제트 연료	-	-	0.02	0.5	0.0002	0.012	0.0002	0.5
헵탄	0.01	3.1	-	-	1	1	0.01	3.1
톨루엔	0.01	0.2	-	-	0.1	5	0.01	5
시클로헥산	0.01	4.15	-	-	-	-	0.01	4.15
크실렌	0.01	0.1	-	-	0.1	0.1	0.01	0.1
등유	-	-	-	-	0.0002	0.012	0.0002	0.012
락커 회석제	0.01	0.11	-	-	-	-	0.01	0.11
석유 벤젠	3	3	-	-	-	-	3	3
절삭유 및 용매	-	-	0.0025	0.0033	-	-	0.0025	0.0033
알킬벤젠	-	-	-	-	-0.1	1	0.1	1
에틸벤젠	-	-	-	-	0.03	0.0887	0.03	0.0887

출처 : 벤젠의 과거 노출 추정(Job-Exposure Matrices, JEM) 연구(박동욱 등., 2013)

<표 2-26>에 나열된 물질 중 솔벤트에 해당하는 물질로는 140 flash aliphatic solvent, 32 Naphtha solvents, 8 Naphtha solvents, Printing solvent, Rubber solvent, Shell rubber solvent, stoddard solvent가 있다. 헥산은 commercial hexane, Hexane, Highly purified n-hexane, n-Hexane을 포함한다.

<표 2-27>은 1980년대 이전부터 2003년 이후까지의 국내 석유화학 제품별 벤젠 함유량(%)을 나타낸다.

**<표 2-26> 석유화학제품 및 시기별 벤젠 함유량에 대한
국외 논문 분석결과 요약**

제품명	벤젠 함유량(%)	시기
140 flash aliphatic solvent	0.07	1977
8 Naphtha solvents	0.6~7.0	1956
Alkyld paint	0.1~1.0	2001
Commercial hexane	2.81	1983
Commercial hexanes	0.1 이하	2002
Cutting oil and solvent	0.0025~0.0033	1986
Cyclohexane	4.15	1963
Cyclohexane	0.01 이하	1978
Ethyl benzene	0.03~0.887	2004
Hexane	3.7	2004
Hexane	1.5	1956
Highly purified n-hexane	0.05	1991
Jet fuel	ND~0.0004	2001
Jet fuel	0.0002~0.012	2003
Jet fuel	0.5	1995
Jet fuel	0.02	1998
Kerosene	0.01	1978
Lacquer diluent	0.01~0.11	1978
Mineral spirits	0.1~0.2	2004
Mineral spirits	0.001 이하	2002
Mineral spirits	0.0009	2003
Mineral spirits	0.01~0.03	1978
Naphtha	1~4	1956
Naphtha	1.5~9.3	1961
Naphtha	3	1963
Naphtha	3.5	1963
n-Heptane	3.1	1963
n-Heptane	1 이하	2006

**<표 2-26> 석유화학제품 및 시기별 벤젠 함유량에 대한
국외 논문 분석결과 요약(계속)**

제품명	벤젠 함유량(%)	시기
n-Heptane	0.01~0.4	1978
n-Hexane	1~6	2006
n-Hexane	0.3~3.7	2004
n-Hexane	0.01~3.5	1978
n-Hexane	1~6	2005
n-hexane	2.81	1983
n-hexane	0.004	1983
n-hexane	0.01	1983
Petroleum benzene	3	1977
Petroleum naphtha	1 이상	1993
Printing solvent	0.1 이하	1982
Printing solvent	0.09	2002
Rubber solvent	1.5	1977
Rubber solvent	1 이상	1993
Rubber solvent	1.5	1989
Shell rubber solvent	1	2004
Spot remover	4.2	1987
stoddard solvent	1	2000
stoddard solvent	0.1	1989
stoddard solvent	0.1	1975
stoddard solvent	0.1	1996
Stoddard solvent	0.1	1975
Stoddard solvent	1 이상	1993
Stoddard solvent	0.1	1977
Stoddard solvent	0.1	1989
Stoddard solvent	0.07	1975
Stoddard solvent	0.1	1977
Stoddard solvent	0.1	2004

**<표 2-26> 석유화학제품 및 시기별 벤젠 함유량에 대한
국외 논문 분석결과 요약(계속)**

제품명	벤젠 함유량(%)	시기
Stoddard solvent	0.1 이하	1996
Stoddard solvent	0.02 이하	1997
Stoddard solvent	0.002 이하	1996
Toluene	0.01~0.2	1978
Toluene	0.1~1	2004
Toluene	0.1~5	2004
Varsol 1	1 이상	1993
Varsol 18	1 이상	1993
Varsol 3	1 이상	1993
VM&P naphtha	0.1	1975
VM&P naphtha	0.1	1989
VM&P naphtha	1 이상	1993
VM&P naphtha	0.1	1977
VM&P naphtha	0.1	1989
VM&P naphtha	1 이상	1993
VM&P naphtha	0.1	1997
VM&P naphtha	0.1	1989
VM&P naphtha	0.1	1975
VM&P naphtha	1 이하	2005
VM&P naphtha	0.1	1977
VM&P naphtha	0.1	2004
VM&P naphtha	0.1 이하	2006
Xylene	0.01~0.1	1978
Xylene	0.1	2004

출처 : 벤젠의 과거 노출 추정(Job-Exposure Matrices, JEM) 연구(박동욱 등., 2013)

<표 2-27> 국내 석유화학 제품별 벤젠 함유량(%)

제품명	<1980년		1981~1999년		2000~2002년		≥2003년		Total	
	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대
시너류	4	26.8	0.01	56.66	0.00018	2.12	0.001	1.66	0.00018	56.7
가솔린류	-	-	1	24	4	6	0.03	0.96	0.03	24
도장재료	-	-	0.01	0.7	0.00018	0.05	0.003	1.25	0.00018	1.25
솔벤트	-	-	0.016	20.51	1.28	1.28	0.5	11	0.016	20.51
경화제	-	-	1.77	99	-	-	-	-	1.77	99
접착제	-	-	0.3	0.3	-	-	0.4	0.4	0.3	0.4
세척제	-	-	-	-	-	-	0.17	1.5	0.17	1.5
본드	-	-	-	-	0.13	5.66	-	-	0.13	5.66
잉크	-	-	0.21	0.5	-	-	-	-	0.21	0.5
톨루엔	-	-	0.0001	0.0001	-	-	0.09	0.09	0.0001	0.09
기타*	-	-	0.303	1.09	9.5	10.8	0.0026	30.096	0.0026	30.096

* 기유, 방청유, 벤젠·톨루엔 혼합, 에틸벤젠, 연료, 이형제, 인쇄재료, 축진제, 코팅제, 플럭스, 혼합플라스틱, 회석제 포함

** 년도가 표기되지 않은 제품 함량 포함

출처 : 벤젠의 과거 노출 추정(Job-Exposure Matrices, JEM) 연구(박동욱 등., 2013)

(16) 기관차 발전기 및 건인 모터 청소 중 벤젠 및 미네랄 스피릿
(Stoddard 용매)의 공기 중 농도(Madl et al, 2002)

Mineral Spirits(Stoddard solvent)은 탄화수소와 방향족 혼합물로 구성된 석유 증류 용매이다. 주로 페인트, 탈지 및 산업용 세정제, 가정에서는 화장품 등에 사용되었다(IARC, 1989). 1980년 초반에 쓰인 여러 문헌에서 미네랄 스피릿에 노출된 근로자에게 중추신경계 증상, 백혈병이 발생하여 벤젠 함유량에 대한 문제가 제기되었다. 1987년 OSHA에서 제품 내 벤젠의 농도가 0.1%를 초과하지 않도록 표준을 정하였다.

본 논문에서는 과거 트랙션 모터의 청소 과정에서 벤젠의 공기 중 농도를 추정하였다. 공기 중 미네랄 스피릿의 농도는 107ppm이었고, 개인 옷깃 샘플에 검출된 벤젠의 농도는 0.002~0.006ppm 이었다. 그 당시 벤젠의 노출 한계는 10ppm이었기 때문에 심각하다고 여기지 않았다. 매일 2시간 동안 미네랄 스피릿으로 모터와 발전기를 청소한 근로자는 8시간 평균 30.4ppm에 노출될 것으로 추측하였다.

(17) 공기 중의 벤젠에 대한 인쇄업 종사자의 과거에서 현재까지의
노출 수준 분석(Novick et al, 2013)

인쇄산업에서 벤젠은 잉크, 세척을 위한 솔벤트로 사용되었다. 개인 및 지역 시료를 모두 고려했을 때, 공기 중 벤젠 농도는 1930년대에서 1950년대까지 3~35ppm이었다. 1960~1970년대에는 1.3~16ppm, 1980년대에는 0.013~1ppm이었다.

(18) 혼합 유기용제 취급 작업장의 공정별 유기용제 구성성분 및 노출
농도(원정일 등, 2000)

작업환경측정기관 75개소의 98년도에 실시한 유기용제 취급 사업장의 작업 환경측정 결과서를 조사 대상으로 하였고 총 8개 공정에서 벤젠이 검출되었다(<표 2-28> 참조).

<표 2-28> 유기용제 취급 사업장 작업환경측정 결과서

Workplace	Spray	Brushing	Printing	Adhesion	Washing	Mixing	Drying	Others	Total
Total No of samples	3,463	949	1,932	1,865	1,364	1,123	119	746	11,561
Solvents	N(%)	N(%)	N(%)	N(%)	N(%)	N(%)	N(%)	N(%)	N(%)
Aromatics hydrocarbons	8,284	1,886	3,221	2,637	1,962	1,760	240	1,333	21,323
Benzene	946 (27.3)	144 (15.2)	624 (32.3)	145 (7.8)	243 (17.8)	120 (10.7)	30 (25.2)	175 (23.5)	2,427 (21.0)
Ethyl benzene	920 (26.6)	125 (13.2)	167 (8.6)	137 (7.3)	149 (10.9)	120 (10.7)	22 (18.5)	77 (10.3)	1,717 (14.9)
Trimethyl benzene	312 (9.0)	115 (12.1)	99 (5.1)	40 (2.1)	29 (2.1)	59 (5.3)	2(1.7)	38 (5.1)	69 4(6.0)
Monochlorobenzene	11 (0.3)	4(0.4)	2(0.1)	7(0.4)	11 (0.8)	3(0.3)	-	2(0.3)	40 (0.4)
Styrene	213 (6.2)	181 (19.1)	41 (2.1)	72 (3.9)	28 (2.1)	92 (8.2)	2(1.7)	82 (11.0)	711 (6.2)
Toluene	3,224 (93.1)	780 (82.2)	1,622 (84.0)	1,676 (89.9)	1,048 (76.8)	927 (82.6)	112 (94.1)	633 (84.9)	10,022 (86.7)
Xylene	2,658 (76.8)	537 (56.6)	666 (34.5)	560 (30.0)	454 (33.3)	439 (39.1)	72 (60.5)	326 (43.7)	5,712 (49.4)
Alcohols	927	250	808	752	601	597	27	225	4187
n-Butyl alcohol	127 (3.7)	21 (2.2)	25 (1.3)	35 (1.9)	43 (3.2)	21 (1.9)	4(3.4)	10 (1.3)	286 (2.5)

출처 : 혼합 유기용제 취급작업장의 공정별 유기용제 구성성분 및 노출 농도(원정일 등., 2000)

(19) ‘자동차의 발암물질이 노동자·소비자·환경에 미치는 영향’ 중
발제문 ‘자동차 생산 과정에서 사용되는 화학물질의 문제와 대
책(김신범, 2010)

자동차 생산 과정에서 사용되는 물질 중 발암성 물질이 상당히 많은 편이다.
특히, 벤젠은 백혈병과 같은 혈액 암의 원인이 되는 물질이므로, 유럽에서는 세
척제나 이형제, 시너 등의 원료로 사용되는 나프타(벤젠 함유 가능성이 있기
때문)를 사용한 제품에 벤젠이 0.1 % 이상 함유되어 있는지 의무적으로 밝히도

록 하고 있다.

발암물질 조사 과정에서 벤젠이 함유될 수 있는 17종의 나프타를 확인하였다. 주로 사용되는 나프타는 솔벤트 나프타(64742-95-6)와 스토타드솔벤트(8052-41-3), 수소 처리된 중질 나프타(64742-48-9)였다(<표 2-29> 참조).

<표 2-29> 벤젠 함유 가능 납사 종류

CAS 번호	물질명	함유제품수(개)
008006-61-9	Gasoline, Natural; Low Boiling Point Naphtha	9
008030-30-6	Naphtha; Low Boiling Point Naphtha;	4
008032-32-4	Ligroine; Low Boiling Point Naphtha;	9
008052-41-3	Stoddard Solvent; Low Boiling Point Naphtha - Unspecified;	343
064741-41-9	Naphtha (Petroleum), Heavy Straight-Run; Low Boiling Point Naphtha;	6
064741-46-4	Naphtha (Petroleum), Light Straight-Run; Low Boiling Point Naphtha;	1
064741-65-7	Naphtha (Petroleum), Heavy Alkylate; Low Boiling Point Modified Naphtha;	9
064741-66-8	Naphtha (Petroleum), Light Alkylate; Low Boiling Point Modified Naphtha;	6
064741-84-0	Naphtha (Petroleum), Solvent-Refined Light; Low Boiling Point Modified Naphtha;	4
064741-92-0	Naphtha (Petroleum), Solvent-Refined Heavy; Low Boiling Point Modified Naphtha;	5
064742-48-9	Naphtha (Petroleum), Hydrotreated Heavy; Low Boiling Point Hydrogen Treated Naphtha;	107
064742-49-0	Naphtha (Petroleum), Hydrotreated Light; Low Boiling Point Hydrogen Treated Naphtha;	5
064742-82-1	Naphtha (Petroleum), Hydrodesulfurized Heavy; Low Boiling Point Hydrogen Treated Naphtha;	51
064742-89-8	Solvent Naphtha (Petroleum), Light Aliph.; Low Boiling Point Naphtha;	17
064742-95-6	Solvent Naphtha (Petroleum), Light Arom.; Low Boiling Point Naphtha - Unspecified;	843
068606-11-1	Gasoline, Straight-Run, Topping-Plant; Low Boiling Point Naphtha;	1
092045-53-9	Naphtha (Petroleum), Hydrodesulfurized Light, Dearomatized; Low Boiling Point Naphtha - Unspecified;	1

출처 : 자동차 생산 과정에서 사용되는 화학물질의 문제와 대책(Kim, 2010)

나프타가 들어있는 제품 중 현장에서 채취 가능한 제품과 MSDS가 없어서 벤젠 함유 여부를 알 수 없던 제품의 시료를 채취하였다. 총 79개의 시료 중 77개의 제품은 벤젠 함유 여부를 알 수 없었다(<표 2-30> 참조).

이상의 벤젠 노출관련 문헌조사 내용을 종합하면 <표 2-31>과 같다.

<표 2-30> 벤젠이 검출된 제품 정보

연번	용도	제품명	제조사	분석 결과(%)
1	도료 및 희석제	에나멜 시너	남양케미칼	0.83
2	이형제	KMOREX-X2C	에버-영 케미칼	0.75
3	기타	WI-UR-7000	일진유화공업(주)	0.59
4	이형제	청소용 솔벤트	일진유화공업(주)	0.56
5	도료 및 희석제	에나멜희석제 시너	대한화학	0.43
6	도료 및 희석제	시너(자료없음)	-	0.36
7	이형제	이형제 솔벤트	-	0.31
8	도료 및 희석제	하이큐 빠른투명(SC-2000) 주제	(주)디피아이	0.10
9	세척제	S-300	SK(주)	0.07
10	도료 및 희석제	에폭시 시너(희석제)	남양케미칼	0.04
11	도료 및 희석제	우레탄 플라스틱용 (속건)-유광 터치 업용 UT578(A)-I-XDB(NP)	(주)케이씨씨	0.03
12	도료 및 희석제	에폭시 시너(희석제)	영진유화산업	0.03
13	도료 및 희석제	시너(자료없음)	정보없음	0.03
14	도료 및 희석제	우레탄 플라스틱용 (속건) -유광 US578(A)-SLS(2)	(주)케이씨씨	0.02
15	도료 및 희석제	우레탄 플라스틱용 (속건) -유광 US578(A)-ZLB(외판)	(주)케이씨씨	0.02
16	희석제	thinner No.(번호지워짐)	-	0.01
17	세척제	톨루엔	-	0.006
18	방청제	RUSTOP P-SV(H) (러스톱 피-에스브이(에이치))	범우화학	0.006
19	도료 및 희석제	에나멜 시너(SKT-301)	유나이티드 코스팅	0.005
20	도료 및 희석제	KHP 세정 시너	(주)나노이앤씨	0.005
21	도료 및 희석제	K-223 시너	(주)케이디케이	0.005

출처 : 자동차 생산 과정에서 사용되는 화학물질의 문제와 대책(김신범, 2010)

<표 2-31> 벤젠 노출관련 국내외 문헌고찰 종합

구 분	주요 내용	참고문헌
	가스 크로마토그래피를 이용하여 래커 시너를 분석하였을 시 래커 시너의 성분 중 벤젠의 함량이 48%로 가장 많은 것으로 확인. 상업용 래커 시너에서 톨루엔(17%), 자일렌(12%), 벤젠(7%) 등의 성분이 함유되어 있었음.	(Hikarui et al., 1966)
1	미국 인쇄 산업에서 1930년대부터 1960년대 초까지 운전 그라비아 공정에서 벤젠이 사용되었음.	
9	당시 컬러 잉크에 사용되는 용제 내에 70~75%의 벤젠이 함유되었으며, 벤젠 함의 농도는 11t/1060ppm에서 다양하게 검출됨.	(Pearce et al., 2015)
0	1930년대부터 1960년대 초기까지 벤젠은 인쇄 산업에서 잉크의 주성분이었음.	(박동욱 등, 2013)
년 대	1960년대 이전에 보고된 벤젠 함량은 컬러 잉크의 경우 70~75%(미국), 시너의 경우 20~80%(미국), 잉크 시너의 경우 스웨덴에서 100% 함량을 가진 경우가 보고되었음. 1960년대 인쇄 산업에서 잉크 및 솔벤트의 공기 중 벤젠 농도는 3~35ppm이었으며, 이후 70년대까지 1.3~16ppm이었음.	(Novick et al., 2013)
	1960년에서 1978년 사이 사용된 액체 렌지(일반 윤활제)와 유사한 물리화학적 특성을 가지도록 하여 시물레이션을 진행한 결과, 15분 개인 시료에서 벤젠 농도는 0.2~9.99mg/m ³ , 1시간 개인 시료에서 0.1~5.1mg/m ³ 이었음.	(Williams et al, 2007)
	브러시 클리너, 페인트 스트리퍼 등 제품에서 벤젠이 10~100% 농도로 함유되어 있을 가능성을 확인함.	(Fishbein, 2011)
1	미국에서 벤젠의 86%는 스티렌(50%), 사이클로헥산(15%), 쿠멘(15%), 페놀을 생성함.	
9	1980년대 이전 국외 석유화학 제품 중 벤젠은 솔벤트(0.01~7%), 납사(0.1~9.3%), 헥산(0.01~3.5%), 크실렌(0.01~0.1%) 등에 함유되었으며 납사에서 함량이 가장 크게 나타남.	(박동욱 등, 2013)
7		
0	국내 세척작업에 사용되는 시너로 인한 공기 중유해물질 노출평가에서 벤젠이 농도 18.5~51ppm으로 가장 높았음.	(곽수경, 2014)
년 대	1974년에 쓰인 14종의 시너 제품에 대한 톨루엔-벤젠 함량 간의 상관관계를 나타낸 결과 $y=0.2849x+1.7132$ 로 톨루엔 함량이 많을수록 벤젠 함량도 많았다는 사실을 확인함. 석유 유래 제품 중 트리클로로 에틸렌 제품에서 0.166%, 에틸벤젠에서 0.146%의 벤젠이 함유되어 있었음.	(Choi et al., 2018)

구분	주요 내용	참고문헌
1980년대	국외 석유화학 제품 중 벤젠은 솔벤트(0.002~4.2%), 납사(0.1~1%), 핵산(0.004~2.81%) 등에 포함되어 있었으며, 솔벤트에서의 함량이 제일 크게 나타남.	(박동욱 등, 2013)
	국내 석유화학 제품 중 벤젠은 시너류(0.01~56.66%), 솔벤트(0.016~20.51%)에 대부분 포함되어 있었으며, 시너류에서 함량 최댓값이 발생하였음.	
	일본 내 시너, 페인트, 잉크 등으로 사용되는 유기용제 중 톨루엔, 자일렌 등 방향족 탄화수소가 주성분이었음.	(井上 et al., 1984)
	1980년 초반 미네랄 스피릿에 노출된 근로자에게 백혈병 등이 발생하였음.	
	1987년부터 OSHA에서 제품 내 벤젠이 0.1%를 초과하지 않도록 표준을 설정함.	
	NIOSH에서는 1977년 미네랄 스피릿이 80~86%의 포화 탄화수소, 1%의 올레핀, 13~19% 방향족 탄화수소, 0.1%의 벤젠으로 구성되어 있다고 발표함.	(Madl et al., 2002)
	매일 2시간 동안 미네랄 스피릿을 사용한 근로자는 평균 30.4ppm에 노출될 것이라고 추측함.	
	1970년대 잉크, 시너 및 세척제의 벤젠 함량은 자일렌에서 0.15%, 톨루엔에서 0.02~0.1%으로 기록됨.	(Novick et al., 2013)
	1980년대 인쇄 산업에서 잉크 및 솔벤트의 공기 중 벤젠 농도는 0.013~1ppm이었음.	
	국외 석유 유래 제품 중 시너에서 가장 높은 벤젠 함량(56.7%)이 확인됨.	(Choi et al., 2018)
1990년대	0.1% 미만(0.01~0.05%)의 벤젠이 함유된 시너를 사용한 근로자는 1ppm 이상(0.01~6.55ppm)의 농도에 노출됨.	
	98년도에 시행된 작업환경측정 중 유기용제 취급 사업장을 조사한 결과, 벤젠의 검출빈도는 스프레이 공정(946건)으로 가장 많은 양의 노출 건수를 기록하였으며, 그다음으로 인쇄 공정(624건), 세척 공정(243건) 순이었음.	(원정일 등, 2000)
	98년도에 시행된 작업환경측정 중 유기용제 취급 사업장을 조사한 결과, 에틸벤젠(920건), 톨루엔(3,224건), 자일렌(2,658건) 모두 스프레이 공정에서 노출 건수가 가장 많았음.	
	국내 근로자 817명에 대해 유기용제 취급현황에 대해 조사한 결과, 톨루엔 55% 취급하고 있었음.	(김영임 등, 2005)
	1956~2005년 동안 조사된 중국에서 페인팅 작업 중 벤젠 노출은 평균 43.9mg/m ³ (스프레이), 58.2mg/m ³ (브러시)이었음.	(Pearce et al., 2015)
	2001년부터 용제 내 벤젠 함량이 0.5% 미만이었으나, 그 이전의 벤젠 함량은 명시되어 있지 않음.	
	국외에서 1% 미만의 벤젠을 함유한 제품, 페인트 용매, 잉크 등을 사용 시 개인시료 및 지역시료의 벤젠 공기 중 농도는 대부분 0.3ppm 이하였음.	(Williams, 2008)

구 분	주요 내용	참고문헌
2010년대	벤젠이 함유될 가능성이 있는 17종의 나프타를 확인한 결과, 주로 사용되는 나프타는 솔벤트 나프타(843개), 스토타드솔벤트(343개), 수소처리된 중질 나프타(107개)였음.	(김신범, 2010)
	국의 소량의 석유계 용제(페인트 시너, 엔진 그리스 제거제)를 이용하여 금속 표면 세척 시 벤젠이 0.001%, 0.01%, 0.1%가 함유된 페인트 시너로 인한 노출량은 0.01ppm, 0.05ppm, 0.27ppm으로 ACGIH 기준(0.5ppm)을 초과하지 않았음.	(Hollins et al., 2013)
	용제의 벤젠 농도가 0.1% 미만일 경우 공기 중 벤젠 농도가 높게 생성되지 않는 것을 시사함.	
	차량 정비소에서 진행된 노출평가에서 벤젠, 아세톤, 톨루엔, 자일렌 등의 농도는 노출기준의 10% 미만이었으며, 그 외 나프타, 트리클로로에틸렌은 노출한계 미만이었음.	(Lynn, 2013)
	대부분 금속 도금, 금속제 식탁용품 제조업, 산업용 트럭 및 적재기 제조업에서 세척공정으로 인한 벤젠 노출로 직업성 질환자가 발생하였음.	(박동욱 등, 2013)
2010년대	국외 제품 중 솔벤트(38%), 나프타(18.3%), 헥산(15.5%) 순으로 벤젠 함유량이 많았음.	(곽수경, 2014)
	국내 제품은 시너(43.3%), 도장 재료(13.3%), 가솔린(12.5%), 솔벤트(10.8%) 순으로 벤젠 함유량이 많았음.	
	1975년 이후 국내 모든 석유제품 내 벤젠 함량이 1992년 6%, 1996년 5%, 1998년 4%, 2000년 2%, 2009년 0.7%로 낮아짐.	(Choi et al., 2018)
비 고	세척제 함유물질 중 가장 많이 사용되는 물질은 이소프로필 알코올이었음.	
	Tox-free로 조사한 결과, 세척제 내 수산화나트륨이 가장 많이 사용되는 것으로 확인됨.	(정경숙 등, 2018)
	작업환경 측정 결과 가장 자주 노출기준을 초과한 물질은 TCE이었음.	
비 고	국내 세정 업체 중 기계·금속 분야가 27%로 가장 많은 비중을 차지하였으며, 알콜계, 염소계 세정제를 주로 사용하였음.	(차안정, 2004)
	세척제 취급 실태 및 건강 유해성을 조사한 결과, 작업환경측정 및 특수검진대상 물질은 49개, 작업환경측정 및 특수검진 대상 물질은 미네랄 스피릿, heavy naphtha, 솔벤트 나프타, 수소처리된 중질 나프타 등 271개로 조사됨.	(정경숙, 2018)

2. 석유계 제품 세척제 취급 사업장 관리 실태조사

1) 세척제 관리에 대한 법규 및 제도 조사(국내)

(1) 용제 세척작업에 관련된 산업안전보건법규

가) 보건조치

산업안전보건기준에 관한 규칙 제420조에서 정한 관리대상 유해물질에 대해 건강장해를 예방하기 위해 필요한 조치를 해야 한다.

나) 물질안전보건자료

산업안전보건법 제104조에 따른 분류기준에 해당하는 물질을 제조하거나 수입하는 자는 물질안전보건자료를 작성하고 해당 물질을 양도하거나 제공하는 자는 해당 물질의 물질안전보건자료 역시 제공하여야 한다. 또한 해당 물질을 취급하려는 사업주는 물질안전보건자료를 해당 물질을 취급하는 근로자가 쉽게 볼 수 있는 장소에 게시하거나 갖추어 두어야 한다.

다) 작업환경측정

산업안전보건법 시행규칙 제186조에 따른 작업장은 산업안전보건법 제125조에 따라 작업환경측정을 하여야 한다.

라) 건강진단

산업안전보건법 제129조에 따라 사업주는 상시 사용하는 근로자의 건강관리를 위해 일반건강진단을 실시해야 한다. 더불어 시행규칙 제201조에 따른 유해인자에 노출되는 업무에 종사하는 근로자에 대해서는 산업안전보건법 제130조에 따라 특수건강진단을 실시하여야 한다. 또한 같은 유해인자에 노출되는 근로자들에게서 유사한 질병의 증상이 발생하는 경우 해당 근로자에게 임시건강

진단을 실시하여야 한다.

(2) 화학물질관리법

가) 유해화학물질의 취급기준

화학물질관리법 제2조에서 정한 유해화학물질을 취급하는 경우 동법 제13조에 따른 유해화학물질 취급기준을 지켜야 하며 동법 제14조에 따른 개인보호장구를 착용하여야 한다. 또한 동법 제15조에 따라 유해화학물질을 일정량 이상 진열, 보관 시 환경부장관의 확인을 받아야 한다.

나) 유해화학물질관리자

화학물질관리법 제32조에 따라 유해화학물질관리자를 선임하여야 하고 유해화학물질관리자 및 그 외 담당자는 동법 제33조에 따라 유해화학물질 안전교육을 이수하여야 한다.

(3) 화학물질의 등록 및 평가에 관한 법률

가) 유해성 심사

환경부장관은 등록한 화학물질에 대해 화학물질에 등록 및 평가에 관한 법률 제18조에 따라 유해성심사를 하여야 한다. 유해성심사 결과 유해성이 있는 화학물질은 동법 제20조에 따라 유독물질의 지정고시로 고시하여야 한다. 또한 동법 제24조에 따라 환경부장관은 제조, 수입되는 양이 연간 10톤 이상이거나 유해성심사 결과 위해성평가가 필요하다고 인정될 경우 위해성평가를 실시하여야 한다.

<표 2-32>는 국내 세척제 관련법에 대해 정리한 것이다.

<표 2-32> 국내 세척제 관련법

법령	세부	관련 법 조항	세부내용
산업안전 보건법	보건상의 조치	법 §39 규칙 §420	관리대상 유해물질에 대해 건강장해를 예방하기 위해 필요한 조치 규정
	물질안전 보건자료의 작성과 비치	법 §104, §110, §111, §114 시행령 §86 시행규칙 §141, §156, §157, §159, §164	유해인자를 제조, 수입하거나 양도, 제공 또는 취급 시에 물질안전보건자료의 작성, 제공, 게시 및 교육에 대한 규정
	작업환경 측정	법 §125, §127 시행규칙 §186, §187, §188, §189, §194, §202	작업환경측정 대상 유해인자에 노출되는 작업장에 대해 작업환경측정 실시
	건강진단	법 §129, §130, §131 시행규칙 §195, §196, §197, §200, §201, §202, §203, §205, §206, §207, §209, §221, §222	일반건강진단, 특수건강진단, 임시건강진단에 대한 규정
화학물질 관리법	유해화학 물질의 취급기준	법 §2, §13, §14, §15, §16, §17 시행규칙 §8, §9, §10, §11, §12 시행령 §8	유해화학물질 취급기준과 그에 맞은 개인보호장구 규정
	유해화학 물질 관리자	법 §32, §33 시행규칙 §33, §34, §35, §37 시행령 §13	유해화학물질관리자의 선임과 교육에 대한 규정
화학물질의 등록 및 평가에 관한 법률	유해성심사	법 §18, §19, §20, §24 시행규칙 §23, §24, §25, §26, §27, §28, §32, §34 시행령 §16, §18 유독물질의 지정고시	화학물질에 대한 유해성심사와 유해성이 있는 화학물질의 고시, 제조 및 수입되는 양이 많거나 위해성평가가 필요하다고 인정될 시 실시하는 위해성평가에 대한 규정

2) 세척제 관리에 대한 법규 및 제도 조사(국외)

(1) 일본 - 노동안전위생법

가) 위험물 및 유해물의 표시

노동안전위생법 제57조에 따라 노동자에게 위험을 줄 우려가 있는 물질이나 벤젠, 벤젠을 함유하는 제제 및 그 밖의 노동자에게 건강장애가 발생할 우려가 있는 물질의 용기 또는 포장에 명칭, 인체에 미치는 작용 등 표시하여야 한다.

나) 작업환경측정

노동안전위생법 제65조에 따라 사업자는 유해한 업무를 하는 실내작업장 및 그 밖의 작업장으로서, 정령으로 정하는 것에 대하여 후생노동성령으로 정하는 바에 따라 필요한 작업환경측정을 실시하고 그 결과를 기록하여야 한다.

다) 건강진단

사업자는 노동안전위생법 제66조에 따라 노동자에 대하여 후생노동성령으로 정하는 바에 따라 의사에 의한 건강진단을 실시해야 한다.

라) 유기 용제 중독 예방 규칙

유기용제의 관리, 측정, 보호구, 건강진단 등의 세척 등을 ‘유기 용제 중독 예방 규칙’을 통해 정하고 있다.

(2) 미국 Regulations (Standards - 29 CFR)

가) 작업환경측정

1910 Subpart Z - Toxic and Hazardous Substances에서 규정하고 있는 특별관리 물질 28종 중 11종(석면, 납, 벤젠, 산화에틸렌, 포름알데히드 등)에 대

해 작업환경측정 의무를 두고 있다.

(3) 미국 CFR: Title 40. Protection of Environment

가) 유기용제 사용규정

CFR: Title 40. Protection of Environment에서 유기용제 사용 시 대기로 배출하는 것에 대한 규정을 하고 있다.

(4) 유럽 REACH(Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals)규정

가) 특정 위험물질, 혼합물, 완제품의 제조와 시장출시 및 사용에 대한 제한사항

REACH 규정 부속서 XVII에 대한 제한 사항이 포함되어 있는 물질 자체 또는 혼합물이나 완제품에 포함된 물질은 해당 제한사항에 따른 조건을 준수하지 않는 한 제조, 시장출시 또는 사용될 수 없다.

(5) 독일 유해물질법

가) 작업환경측정

유해물질법 제18조에 따라 공기 중으로 발생하는 한 가지 또는 그 이상의 유해물질을 완전히 배제하지 못할 경우에는 그 양이 작업장 최대 허용농도보다 적은지 또는 초과하는지를 조사해야 함.

<표 2-33>은 국외 세척제 관련법에 대해 정리한 것이다.

<표 2-33> 국외 세척제 관련법

법령	세부	조항	세부내용
일본 - 노동안전 위생법	위험물 및 유해물의 표시	법 §57 시행령 §18	노동자에게 건강장애를 일으킬 수 있는 물질의 용기 또는 포장에 표시하여야 하는 항목 규정
	작업환경 측정	법 §65, §65의 2, §65의 3, §65의 4 시행령 §21	유해한 업무를 하는 작업장에 대해 실시하는 작업환경측정에 대한 규정
	건강진단	법 §66 시행령 §22	노동자에 대해 의사에 의한 건강진단을 실시하는 것에 대한 규정
	유기 용제 중독 예방 규칙		유기용제의 관리, 측정, 보호구, 건강진단 등의 세척
미국 - Regulations (Standards - 29 CFR)	작업환경 측정	1910 Subpart Z - Toxic and Hazardous Substances	특별관리 물질 28종 중 11종 (석면, 납, 벤젠, 산화 에틸렌, 포름알데히드 등)에 대해 작업환경측정 의무가 있음을 규정
미국 - CFR: Title 40. Protection of Environment	유기 용제 사용 규정	40 CFR § 52.1145 - Regulation on organic solvent use	유기용제 사용 시 대기 배출하는 것에 대한 규정
유럽 - REACH 규정	특정 위험물질, 혼합물, 완제품의 제조와 시장출시 및 사용에 대한 제한사항	법 §67	부속서 XVII에 제한 사항이 포함되어 있는 물질은 제한 사항을 준수하여야 제조 및 시장 출시가 가능
독일 - 유해물질법	작업환경 측정	법 §18	공기 중으로 발생하는 유해물질을 완전히 제거 못할 경우 그 양이 허용농도보다 적은지 조사

3) 국내 작업환경측정 및 특수건강진단 현황

(1) 세척/세정 공정의 벤젠 작업환경측정결과 분석

공단에서 보유하고 있는 작업환경측정 자료에서 2013년부터 2019년까지 7개년 벤젠의 작업환경측정 결과를 수집하여 부서명, 공정, 단위작업장소 중 ‘세척’ 또는 ‘세정’으로 검색된 공정을 대상으로 벤젠의 작업환경측정 결과를 분석하였다.

2013년~2019년 벤젠을 대상으로 실시한 작업환경측정 건수는 총 52,185건으로 이 중 ‘세척’ 또는 ‘세정’ 공정의 벤젠 측정 건수는 총 900건이었고, 측정값의 범위는 0.0000~1.6186ppm, 산술평균 0.0341ppm, 기하평균 0.0012ppm으로 나타났으며, 2018년 기타 기계 및 장비 제조업에서 최대값(1.6186ppm)이 확인되었다. 전체 측정결과에서 고용노동부 노출기준(TWA 0.5ppm)을 초과한 건수는 5건, 노출기준의 50% 초과건수는 30건, 노출기준의 10% 초과건수는 116건으로 나타났다.

업종별 작업환경측정결과를 살펴보면, 제조업이 전체 측정건수의 89.8%(808건)로 대부분이며, 협회및단체,수리및개인서비스업 4.8%(43건), 운수업 1.7%(15건), 전문,과학및기술서비스업 1.3%(12건) 등의 순으로 측정을 실시하였다. 측정값의 경우 보건업및사회복지서비스업에서 평균 0.2613ppm, 고무및플라스틱제품제조업 평균 0.0920ppm, 전기장비제조업 평균 0.0816ppm, 1차금속제조업 평균 0.0676ppm, 인쇄및기록매체복제업 평균 0.0638ppm, 기타기계및장비제조업 평균 0.0514ppm 등의 순으로 나타났다. 보건업및사회복지서비스업의 경우, 병원 유기용제 세척공정으로 평균값은 가장 높은 반면 전체 측정건수는 4건에 불과하다.

고용노동부 노출기준을 초과한 곳은 모두 제조업으로 금속가공제품제조업에서 2건, 플라스틱제품제조업, 전기장비제조업, 기타기계및장비제조업에서 각 1건으로 확인되었다. 고용노동부 노출기준의 50% 초과건수는 30건으로, 대부분

제조업에서 확인되었고, 보건업(병원)에서 2건 나타났으며, 노출기준 10% 초과건수는 116건으로 역시 대부분 제조업에서 확인되었고, 보건업(병원) 2건, 협회및단체,수리및개인서비스업(세탁업 등)에서 3건 확인되었다.

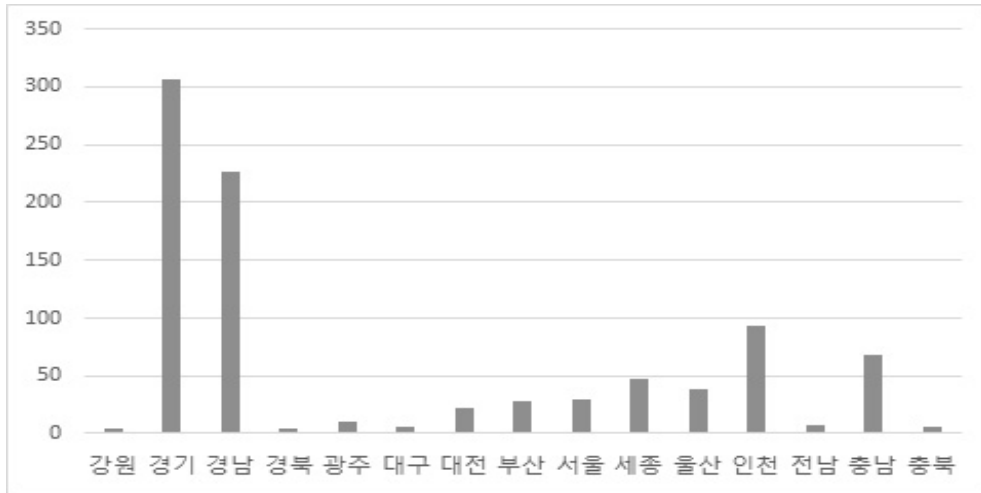
<표 2-34> 연도별 세척/세정 공정 벤젠의 작업환경측정결과

연도	측정건수	측정값(ppm)				노출기준 초과건수		
		산술평균	기하평균	최대	최소	10%	50%	초과
2013년	121건	0.0380	0.0014	0.5324	0.0000	16건	5건	1건
2014년	161건	0.0320	0.0010	0.7993	0.0000	14건	7건	1건
2015년	152건	0.0364	0.0012	0.7147	0.0000	17건	6건	2건
2016년	147건	0.0372	0.0016	0.4996	0.0000	25건	6건	-
2017년	125건	0.0204	0.0009	0.2511	0.0000	15건	1건	-
2018년	101건	0.0498	0.0013	1.6186	0.0000	14건	4건	1건
2019년	93건	0.0251	0.0010	0.3660	0.0000	15건	1건	-
전체	900건	0.0341	0.0012	1.6186	0.0000	116건	30건	5건

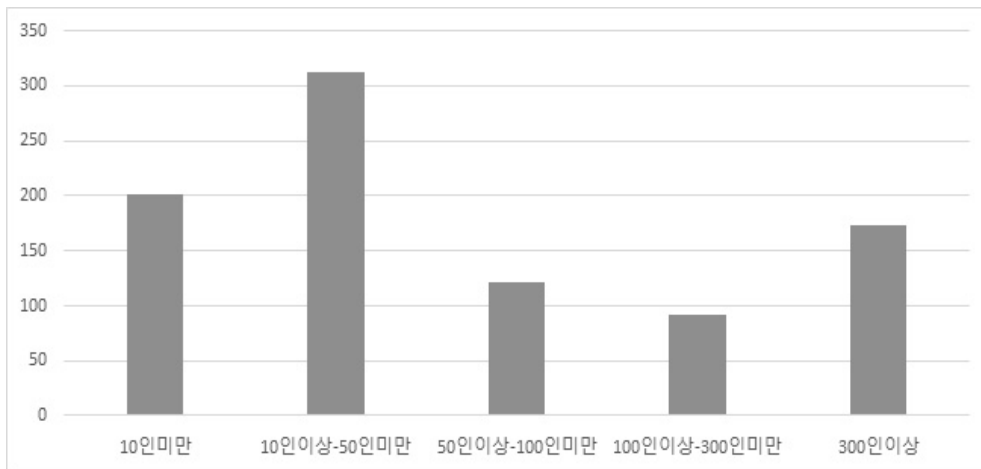
<표 2-35> 업종별 세척/세정 공정 벤젠의 작업환경측정결과

업종별		측정 건수	평균값 (ppm)	노출기준 초과건수		
				10%	50%	초과
건설업		7	0.0000	-	-	-
도매 및 소매업		2	0.0000	-	-	-
보건업 및 사회복지 서비스업		4	0.2613	2건	2건	-
부동산업 및 임대업		2	0.0000	-	-	-
사업시설관리 및 사업지원 서비스업		4	0.0000	-	-	-
운수업		15	0.0010	-	-	-
전문, 과학 및 기술 서비스업		12	0.0000	-	-	-
제조업	소계	808	0.0361	111건	28건	5건
	1차 금속 제조업	12	0.0676	2건	2건	-
	가구 제조업	31	0.0459	6건	2건	-
	가죽, 가방 및 신발 제조업	4	0.0000	-	-	-
	고무 및 플라스틱제품 제조업	30	0.0920	11건	1건	1건
	금속가공제품 제조업;기계 및 가구 제외	165	0.0371	26건	5건	2건
	기타 기계 및 장비 제조업	161	0.0514	27건	8건	1건
	기타 운송장비 제조업	8	0.0023	-	-	-
	기타 제품 제조업	35	0.0027	1건	-	-
	목재 및 나무제품 제조업;가구제외	44	0.0446	11건	1건	-
	의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	2	0.0000	-	-	-
	의료용 물질 및 의약품 제조업	19	0.0000	-	-	-
	인쇄 및 기록매체 복제업	6	0.0638	3건	-	-
	자동차 및 트레일러 제조업	79	0.0281	8건	3건	-
	전기장비 제조업	16	0.0816	-	-	1건
	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	20	0.0167	3건	2건	-
	코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업	55	0.0305	4건	3건	-
	화학물질 및 화학제품 제조업;의약품 제외	121	0.0147	9건	1건	-
하수 · 폐기물 처리, 원료재생 및 환경복원업		3	0.0000	-	-	-
협회 및 단체, 수리 및 개인 서비스업		43	0.0099	3건	-	-
전체		900	0.0341	116	30	5

해당 작업환경측정결과의 지역별, 규모별 분포는 그림과 같다. 지역별로 보면 경기 307건(34.1%), 경남 227건(25.2%), 인천 94건(10.4%), 충남 68건(7.6%) 등의 순으로 작업환경측정을 실시하였고, 규모별로 살펴보면 50인 미만 사업장에서 513건(57.0%)으로 가장 많았다.



[그림 2-7] 지역별 세척/세정 공정 벤젠의 작업환경측정 건수



[그림 2-8] 규모별 세척/세정 공정 벤젠의 작업환경측정 건수

(2) 세척/세정 공정의 벤젠 특수건강진단결과 분석

가) 벤젠의 특수건강진단 검사항목은 다음과 같다.

<표 2-36> 벤젠의 특수건강진단 검사항목

제1차 검사항목	제2차 검사항목
(1) 직업력 및 노출력 조사 (2) 주요 표적기관과 관련된 병력조사 (3) 임상검사 및 진찰 ① 조혈기계 : 혈색소량, 혈구용적치, 적혈구 수, 백혈구 수, 혈소판 수, 백혈구 백분율 ② 신경계 : 신경계 증상 문진, 신경 증상에 유의하여 진찰 ③ 눈, 피부, 비강, 인두 : 점막자극증상 문진	(1) 임상검사 및 진찰 ① 조혈기계: 혈액도말검사, 망상적혈구 수 ② 신경계: 신경행동검사, 임상심리검사, 신경학적 검사 ③ 눈, 피부, 비강, 인두: 세극등현미경 검사, KOH검사, 피부단자시험, 비강 및 인두 검사 (2) 생물학적 노출지표 검사 : 혈중 벤젠·소변 중 페놀·소변 중 묽콘산 중 택 1(작업 종료 시 채취)

나) 벤젠의 특수건강진단 현황 분석 결과

공단에서 보유하고 있는 특수건강진단 자료에서 2013년부터 2018년까지의 6개년 벤젠의 특수건강진단 결과를 수집하여 ‘세척’ 또는 ‘세정’으로 검색된 공정을 대상으로 벤젠의 특수건강진단 자료를 분석하였다.

그 결과 해당 공정의 벤젠 특수건강진단 수검자는 총 346명, 4,613건으로, 벤젠의 조혈기계, 신경계, 눈·피부·비강·인두 등 표적장기별 판정결과는 대부분 건강한 근로자인 A(4,432건, 96.1%)로 나타났고, C2(일반질병 요관찰자) 111건(2.4%), D2(일반질병 유소견자) 10건(0.2%) 확인되었으며, C1(직업병 요관찰자), D1(직업병 유소견자)은 확인되지 않았다.

<표 2-37> 연도별 세척/세정 공정 벤젠의 특수건강진단 결과

진단 시기	진단 건수	표적장기별 판정결과					
		A	C1	C2	D1	D2	U
2013년	810건	790건	-	10건	-	-	10건
2014년	410건	400건	-	10건	-	-	-
2015년	530건	510건	-	10건	-	10건	-
2016년	551건	511건	-	40건	-	-	-
2017년	921건	870건	-	21건	-	-	30건
2018년	1,391건	1,351건	-	20건	-	-	20건
계	4,613건	4,432건	-	111건	-	10건	60건

- A : 직업 건강상 사후관리 필요없는 근로자(건강한 근로자)
- C1 : 직업성 질병으로 진전될 우려가 있어 추적검사 등 관찰이 필요한 근로자(직업병 요관찰자)
- C2 : 일반질병으로 진전될 우려가 있어 추적관찰이 필요한 근로자(일반질병 요관찰자)
- D1 : 직업성 질병의 소견이 보여 사후관리가 필요한 근로자(직업병 유소견자)
- D2 : 일반 질병의 소견을 보여 사후관리가 필요한 근로자(일반질병 유소견자)
- U : 2차 검사 대상자 통보 후 10일 이내 검사가 이루어지지 않아 건강관리구분을 판정할 수 없는 자

4) 작업환경실태조사의 세척/세정 공정 화학물질취급 현황

공단에서 2019년 실시한 작업환경실태조사 결과에서 화학물질취급 현황을 검토한 결과, 전체 461,573건의 자료 중 공정 또는 용도에서 세척 또는 세정으로 검색된 자료는 총 26,391건으로 취급 화학물질은 308개였으며 대부분 유기화합물과 산염기 등의 물질이었다. 취급 건수가 많았던 상위 50가지 화학물질 현황은 다음과 같다(<표 2-38>).

<표 2-38> 작업환경실태조사 세척/세정 공정 화학물질 취급 현황

구분	화학물질	사용 건수	구분	화학물질	사용 건수
1	에탄올	3,390	26	1,2-디클로로프로판	215
2	수산화나트륨	2,266	27	헥산(n-헥산)	213
3	이소프로필 알콜	2,100	28	액화석유가스	212
4	톨루엔	1,467	29	헵탄(n-헵탄)	212
5	아세톤	1,420	30	에탄올아민	184
6	크실렌(오쏘, 메타, 파라 이성체)	831	31	초산메틸	170
7	수산화 칼륨	788	32	디에틸렌 글리콜 모노부틸 에테르	165
8	디클로로메탄	786	33	벤젠(중량비율0.1%이상)	157
9	메틸알코올	757	34	초산	156
10	2-부톡시에탄올	486	35	부탄	129
11	메틸에틸케톤	478	36	메틸시클로헥산	125
12	탄산나트륨	463	37	1,1-디클로로-1-플루오로에탄	122
13	신너(구성성분 파악불가)	452	38	시클로헥사논	108
14	인산	425	39	불화수소(불산)	99
15	과산화수소	408	40	디프로필렌글리콜메틸에테르	95
16	트리클로로에틸렌 (중량비율 0.1% 이상)	406	41	산화에틸렌 (중량비율 0.1% 이상)	83
17	황산(중량비율 0.1% 이상)	365	42	시클로헥산	82
18	질산	358	43	이산화탄소	82
19	염화수소	351	44	등유	80
20	글리세린	348	45	시아화합물	72
21	메틸이소부틸케톤	280	46	알루미늄및그화합물	68
22	프로필렌글리콜모노메틸에테르	274	47	에틸렌글리콜	60
23	초산부틸	266	48	탄산칼슘(석회석포함)	54
24	초산에틸	245	49	노말-부틸알콜	53
25	에틸벤젠	219	50	1-브로모프로판 (중량비율 0.3% 이상)	51

3. 벤젠 노출 현장 평가

1) 조사대상 세척제 선정

우선적으로 벤젠이 함유되어 있으나 1% 미만 함유되어 노출평가를 실시하지 않은 세척제를 대상으로 하였다([그림 2-9] 참조).

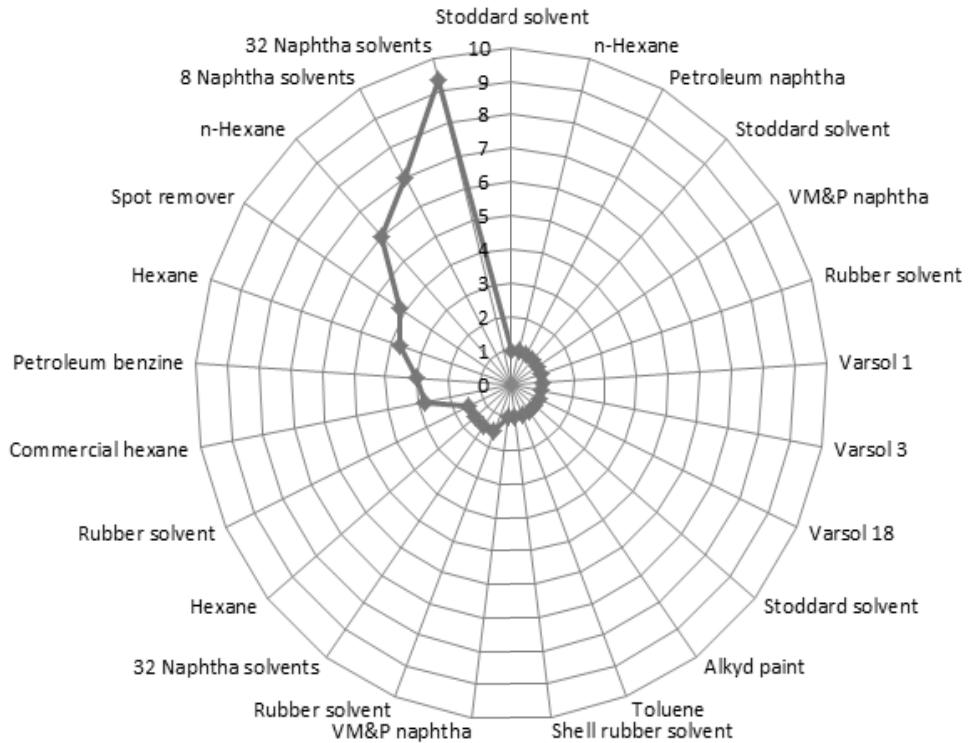
- 2018년 안전보건공단 연구과제 DB에서 확인한 자료 이용
- PS-101(벤젠 0.8%, (주)피에스산업), 에나멜희석제(벤젠 0.1% 미만, 울산화학), 에나멜 시너(벤젠 1% 미만, 그린아이)

두 번째로, 국내외 문헌조사를 통하여 벤젠을 함유한 석유제품을 대상으로 선정하여 벤젠 함량 여부를 조사 결과를 근거로 n-hexane, Toluene을 선정하였으며 국내 연구에서 n-hexane과 Toluene이 99% 이상에서 벤젠이 검출된 것을 고려하여 함량이 100%인 세척제를 조사대상으로 선정하였다(<표 2-39> 참조).

- 국외 자료 중 벤젠을 1% 이상 함유한 석유제품에는 naphtha, n-hexane, Toluene 등이었다(Williams et al, 2008).

세 번째로, 2018년 연구과제에서 naphtha 함유 제품에서 벤젠이 검출된 것을 근거로 naphtha 함량이 50% 이상(2018년 연구과제에서 naphtha 함량이 50% 이상이었음)인 세척제를 대상으로 선정하였다.

마지막으로, 국내외 문헌조사를 통해 혼합물에서도 벤젠이 검출된 것을 근거로 벤젠, 헥산, 톨루엔, 경질 나프타가 혼합되어 있는 세척제를 대상을 선정하였다.



[그림 2-9] 벤젠 1% 이상 함유 석유제품

<표 2-39> 국내 유통되는 시약 중 벤젠함량 조사 결과

제품명	N	벤젠함량 (v/v%)	제조년도
시클로헥산	1	0.003	2013
에틸벤젠	2	0.142 ~ 0.146	2010, 2013
노말헥산	1	0.004	2013
크실렌	3	0.006 ~ 0.009	2004, 2011
TCE	1	0.166	2004
톨루엔	5	0.004 ~ 0.064	2004, 2012, 2013

결론적으로, 조사대상 세척제 취급 사업장 범위는 다음과 같다.

- MSDS 상 벤젠이 1% 미만 함유된 제품을 취급하는 사업장
- MSDS 상 헥산이 100% 함유된 제품을 취급하는 사업장
- MSDS 상 톨루엔이 100% 함유된 제품을 취급하는 사업장
- MSDS 상 경질 나프타가 50% 이상 함유된 제품을 취급하는 사업장
- MSDS 상 위 4개 물질이 혼합되어 있는 제품을 취급하는 사업장

2) 사업장 세척제 취급 및 일반 현황

세척제 선정 후 작업환경실태조사 리스트를 이용하여 사업장에 연락 한 뒤 협조가 가능하다고 한 총 30개의 사업장을 선정하였다. 사용량의 경우 일일 사용량을 현장에서 알 수 있는 경우에는 직접 입력하고 그렇지 않은 경우에는 월 사용량에 작업일수를 나누어서 계산하였다. 인쇄 작업 중 스프레이세척을 제외한 나머지 작업들은 전부 수작업으로 실시하는 세척작업이었으며, 환기 여부는 국소배기를 제외한 전체 환기 등은 고려되지 않았다. 스프레이세척을 제외한 모든 사업장에서는 소분 용기 등에 세척제를 소분하여 사용하였다. 자세한 내용은 <표 2-40>과 같다.

<표 2-40> 사업장 취급 세척제 및 작업 현황(계속)

지 역	사업장	MSDS상 함유물질	CAS 번호	함량 (%)	업종	작업내용	작업 형태	월 사용량 (L)	당일 취급량 (L)	환기설비 설치여부	환기설비 사용여부	실제작업 장소 내 환기설비 배치
금 광	1	경질나프타	64742-73-0	50	공작 기계 제조업	세척작업 (표면 세척)	스프 레이	20	0.5	X	X	X
		중질나프타	64742-94-5	30								
		hexan	110-54-3	20								
북 광	2	벤젠	71-43-2	0.1	인쇄업	인쇄 작업 (수동세척)	수작업	15	0.5	O	O	O
	3	톨루엔	108-88-3	100	인쇄업	인쇄작업 그라비아인쇄	수작업	240	12	O	O	O
	7	톨루엔	108-88-3	100	인쇄업	블랑킷 세척	수작업	8500	400	O	O	X
	8	톨루엔	108-88-3	100	인쇄업	블랑킷 세척	수작업	3200	160	O	O	X
	9	경질나프타	64742-73-0	100	인쇄업	블랑킷 세척	수작업	420	20	O	O	O
	10	경질나프타	64742-73-0	100	인쇄업	블랑킷 세척	수작업	120	10	O	O	O
	11	경질나프타	64742-73-0	100	인쇄업	블랑킷 세척	수작업	360	30	O	O	X

지역	사업장	MSDS상 함유물질	CAS 번호	합량 (%)	업종	작업내용	작업 형태	월 사용량 (L)	당일 취급량 (L)	환기설비 설치여부	환기설비 사용여부	실제작업 장소 내 환기설비 배치
북부	12	경질나프타	64742-73-0	100	인쇄업	블랑켓 세척	수작업	420	20	○	○	○
	13	경질나프타	64742-73-0	100	인쇄업	블랑켓 세척	수작업	450	30	X	X	X
	14	톨루엔	108-88-3	100	인쇄업	블랑켓 세척	수작업	30	1.5	X	X	X
	15	톨루엔	108-88-3	100	인쇄업	블랑켓 세척	수작업	680	30	○	○	○
	16	톨루엔 경질나프타	108-88-3 64742-73-0	30 70	인쇄업	블랑켓 세척	수작업	75	4	○	○	X
북부	17	톨루엔	108-88-3	100	인쇄업	인쇄작업	수작업	1600	80	○	○	○
	18	톨루엔	108-88-3	100	인쇄업	블랑켓 세척	수작업	380	15	○	○	○
	19	톨루엔 경질나프타	108-88-3 64742-73-0	80 20	인쇄업	인쇄작업	수작업	120	5	X	X	X
	20	톨루엔 경질나프타	108-88-3 64742-73-0	50 50	인쇄업	인쇄작업	수작업	40	10	○	○	○
	21	톨루엔 경질나프타	108-88-3 64742-73-0	70 30	인쇄업	블랑켓 세척	수작업	800	40	○	○	○

표 2-40 > 사업장 규모별 취업자 및 고용률(계속)

지 역	사업장	MSDS상 함유물질	CAS 번호	함량 (%)	업종	작업내용	작업 형태	월 사용량 (L)	당일 취급량 (L)	환기설비 설치여부	환기설비 사용여부	실제작업 장소 내 환기설비 배치
과 과	22	톨루엔	108-88-3	100	인쇄업	블랑켓 세척	수작업	280	25	○	○	X
	23	경질나프타	64742-73-0	100	인쇄업	블랑켓 세척	수작업	370	30	○	○	X
	24	톨루엔	108-88-3	100	인쇄업	블랑켓 세척	수작업	20	1	○	○	○
	25	톨루엔	108-88-3	100	인쇄업	블랑켓 세척	수작업	1100	70	○	○	○
	26	톨루엔 경질나프타	108-88-3 64742-73-0	20 80	인쇄업	블랑켓 세척	수작업	2400	200	○	○	X

3) 조사 사업장의 작업환경 특성

방문한 사업장 30개소의 위치는 수도권(서울, 경기), 중부(충청권), 남부(영남, 호남권)로 나누었으며, 경북과 제주, 강원지역은 포함되지 않았다. 실제 측정한 사업장은 수도권 26곳, 중부지방 1곳, 남부지방 3곳이었다. 세부 업종은 인쇄업 27곳, 금형 제조업 1곳, LED 제조업 1곳, 공작기계 제조업 1곳으로 나타났다.

작업형태의 경우 스프레이건 방식과 수작업으로 나뉘었다. 스프레이건 방식을 사용하는 사업장 2곳을 제외한 나머지 사업장은 세척작업 시 수작업 형태로 작업을 진행하는 것으로 나타났다. 스프레이건 방식의 경우 세척제 보관용기에 스프레이건 호스를 연결([그림 2-10] 참조)하여 사용하였으나, 수작업의 경우 세척제를 소분하여 거즈 등에 묻혀서 작업을 하는 방식이었다. 소분용기를 사용하는 대부분의 사업장([그림 2-11] 참조)은 소분용기에 대한 관리가 이루어지지 않고 있었다. 또한 직접 접촉을 하기 때문에 호흡보호구의 화학물질전용장갑 등의 추가적인 보호구 지급이 필요하다고 판단되었다. 또한 단일물질을 사용한다고 표기하였으나 실제 사업장 방문 시 혼합물질을 사용하는 경우에는 해당 제품의 MSDS를 확인하여 혼합물질 종류와 구성성분을 표기하였다. 조사대상 사업장의 규모는 대부분을 차지하는 24곳이 5인 미만의 영세 사업장이었고, 5~9인 2곳, 10인 이상이 4곳으로 나타났다.

사용하고 있는 세척제 제품명은 애나멜, 톨루엔, n-헥산, 크리놀 501, Inselo2000, hs-wash b05, kaizen k-hb 등으로 조사되었다. 조사대상 사업장에서 사용하는 석유계 세척제 사용량은 월 최대 8500L로 나타났고, 하루 100L 이상의 세척제를 사용하는 사업장은 5곳으로 나타났다.



**[그림 2-10] 스프레이건 방식
세척제 사용**



**[그림 2-11] 수작업 시
소분용기 상태**

국소배기장치의 경우 현장에 설치되어 있더라도 배기설비의 덕트 배관 파손이나 포집 위치가 잘못된 경우([그림 2-12] 참조) 국소배기장치가 설치되어 있더라도 모두 환기 설비가 없다고 표기하였다. 총 30곳의 조사대상 사업장 중 14개의 사업장에서 환기 설비가 없다고 나타났다. 사용하는 세척제의 노출 제어에 대해서는 국소배기장치와 호흡 보호구 착용 외 별도의 설비나 보호구는 사용하지 않았다. COVID-19로 인하여 전용 호흡보호구 대신 비말용 마스크를 착용하며 작업하는 사업장이 대부분인 것으로 나타났다. 사용하는 물질은 벤젠 2곳, 톨루엔 13곳, 경질 나프타 6곳, 헥산 1곳, 혼합물질 8곳으로 조사되었다.

조사대상 사업장에 대해 정리하자면 다음과 같다.

- 석유계 세척제를 사용하는 업종의 경우 인쇄업이 대부분을 차지함
- 특히 톨루엔과 나프타를 사용하는 사업장이 대부분을 차지함
- 같은 인쇄업의 경우라도 공정과 사업장 규모에 따라 최대 1000배 이상 사용량의 차이가 있었음.
- 사업장 규모에 따라 환기시설의 효율성과 화학물질 제어 능력이 차이가 나며 영세 사업장일수록 환기 장치 설치율과 환기 필요성에 대한 이해도

가 낮게 나타남

- 대부분 사업장의 경우 유기용제용 마스크가 아닌 방진 마스크 또는 COVID 19로 인한 비말 차단용 마스크를 사용하고 있었음
- 제대로 밀폐가 가능한 소분 용기가 아닌 일반적인 플라스틱병에 세척제를 소분하여 사용하고 있는 사업장도 많이 발견되었음



[그림 2-12] 덕트배관 파손 및 국소배기 설치 위치 불량

4) 벌크 시료 벤젠 함량 분석 및 개인 노출량 평가 결과

우선적으로 7~8월 사이 11개 업체를 선정하여 사용하고 있는 세척제에 대해 1차 측정을 실시하였다. 그 후 함유량과 노출량을 바탕으로 4가지의 물질 중 벌크 함량이 높고 공기 중 검출이 가장 많이 된 나프타와 톨루엔을 중심으로 9~10월 2차 측정 19개 업체를 진행하였다. 모든 벌크시료에서 벤젠을 함유하고 있었고, 3개의 지역시료에서 벤젠이 측정되었다. 자세한 내용은 <표 2-41>, <표 2-42>와 같다.

**<표 2-41> 벌크시료 내 벤젠 함유량 및 공기 중 벤젠농도
1차 측정 결과**

지역	벤젠함량 % (W/W)	벌크시료 LOD (ppb)	지역시료 (ppm)	개인시료 (ppm)	공기시료 LOD
북부	0.0016	620.4	0.01834	N.D	0.0026
			0.0264		
			0.0110		
			0.0170		
	0.0046	620.4	N.D	N.D	0.0026
	0.1379	415.8	N.D	N.D	0.0136
	0.0064	415.8	N.D	N.D	0.0136
	0.0060	482.8	N.D	N.D	0.0136
	0.0046	482.8	N.D	N.D	0.0136
	0.0034	482.8	N.D	N.D	0.0136
중부	0.0034	482.8	N.D	N.D	0.0136
남부	0.5569	482.8	N.D	N.D	0.0016
	0.0046	482.8	N.D	N.D	0.0016
	0.0035	482.8	N.D	N.D	0.0016

**<표 2-42> 벌크시료 내 벤젠 함유량 및 공기 중 벤젠농도
2차 측정 결과**

지역	벤젠함량 % (W/W)	벌크시료 LOD (ppb)	지역시료 (ppm)	개인시료 (ppm)	공기시료 LOD
북부	0.0309	482.8	N.D	N.D	0.0016
	0.0356	482.8	N.D	N.D	0.0016
	0.0037	482.8	N.D	N.D	0.0016
	0.1340	482.8	N.D	N.D	0.0016
	0.0053	482.8	N.D	N.D	0.0016
	0.0239	482.8	N.D	N.D	0.0016
	0.0034	482.8	N.D	N.D	0.0016
	0.0067	518.0	N.D	N.D	0.0022
	0.0071	518.0	N.D	N.D	0.0022
	0.0068	518.0	N.D	N.D	0.0022
	0.0066	518.0	N.D	N.D	0.0022
	0.0076	518.0	N.D	N.D	0.0022
	0.2719	518.0	0.0173	N.D	0.0022
	0.0077	518.0	N.D	N.D	0.0022
	0.0072	518.0	N.D	N.D	0.0022
	0.0578	518.0	0.0474	N.D	0.0022
	0.0070	518.0	N.D	N.D	0.0022
	0.0070	518.0	N.D	N.D	0.0022
	0.0069	518.0	N.D	N.D	0.0022
	0.0239	415.8	N.D	N.D	0.0022

4. CHARM 기법 적용에 따른 벤젠 위험성 평가

1) 벤젠의 특성 및 위험성

벤젠은 휘발성 액체로 탄화수소로 콜타르를 증류, 정제하여 만든다. 가장 기본적인 방향족 화합물이고 무극성 액체이다. 여러 가지 무극성 용질에 대한 용기용매로 사용된다. 방향족성을 띠기 때문에 매우 안정적이다.

- 분자식 : C_6H_6
- 구조 : 6개의 탄소 원자가 동일 평면에 있는 정육각형 평면구조로, 결합각이 120° 이다. 여섯 개의 원자 간 결합길이는 모두 같으며, 그 길이는 이중결합과 단일결합의 중간으로 공명 구조를 이루고 있다. 벤젠의 구조를 표현하는 유니코드도 존재한다. 공명 구조의 유니코드는 U+23E3 (Ⓢ)이다. 공명 구조를 가지는 경우 그렇지 않은 분자들에 비해 에너지가 낮아 안정한 구조이다.
- 가능성 높은 노출 경로: 경피, 경구를 통해 노출되며, 흡입 노출이 가장 일반적인 노출경로이다.

자세한 내용은 <표 2-43>, <표 2-44>와 같다.

<표 2-43> 벤젠의 건강 유해성 정보

구분	내용	
급성 독성	경구	LD50 930mg/kg Rat (OECD TG 401)
	경피	LD50 > 8260 mg/kg Rabbit([LD50>9.4ml/kg], OECE TG 402)
	흡입	증기 LC50 43.8 mg/l 4 hr Rat (OECD TG 403)
피부 부식성 또는 자극성	구분 2, 피부 자극성 있음	
심한 눈 손상 또는 자극성	구분 2, 눈 손상 자극성 있음	
발암성 (구분 1A)	산업안전보건법	특별 관리 물질
	고용노동부고시	1A
	IARC(GROUP)	1
	ACGIH	A1
	NTP	K
	EU CLP	1A
생식세포 변이원성	고용노동부 고시: 1B	
생식독성	구분 2로 분류	
특정 표적장기 독성(반복노출)	구분 1, 표적장기: 혈관계, 인체에 후두염, 기관지염, 폐에서 출혈을 일으킴, 마취작용을 일으킴	
흡인유해성	구분 1, 액체를 삼키면 화학성 폐렴을 일으킬 위험이 있음 NLM. 점도 0.609 cP at 25°C	

<표 2-44> 벤젠의 물리 화학적 특성

구분	내용
외관(물리적 상태, 색 등)	무채색에서 노란색 액체
냄새	독특한 방향성 냄새를 지님
냄새역치	4.68ppm
녹는점/어는점	5.5°C
초기 끓는점과 끓는점 범위	80°C
인화점	-11°C
인화 또는 폭발 범위의 하한/상한	1.2% / 8.0%
증기압	94.8mmHg (25°C)
용해도	1790mg/ℓ (25°C)
증기밀도	2.8 (공기=1)
비중	0.88 (물=1)
n-옥탄올/물 분배계수 (Kow)	2.13
자연발화온도	498°C
분해온도	-3267.6°C(KJ/mo)
점도	604000 P(g/cm·s) (25°C, dynamic)
분자량	78.11

2) 벤젠 노출 위험성 평가 결과(작업환경측정 결과가 있는 경우)

CHARM 기법 적용에 따른 벤젠 위험성평가를 실시하였다.

작업환경측정 결과가 있는 경우에 화학물질 위험성 평가 결과 모든 사업장의 위험성 수준이 4로 나타났다. 모든 사업장의 노출 수준이 노출기준 10% 미만으로 검출되었다. 그러나 서울 소재의 인쇄업 사업장의 경우 0.047ppm으로 노출기준 10% 수치에 근접하기 때문에 추가적인 관리가 필요한 것으로 사료된다. 또한 이러한 점을 보완하기 위하여 추가적으로 현장조사 체크리스트를 실시하여 사업장의 구체적인 작업환경을 파악하였다. 자세한 내용은 <표 2-45>와 같다.

**<표 2-45> 사업장 화학물질 위험성 평가 결과
(작업환경측정 결과가 있는 경우)**

지역	사업장	공기 중 벤젠농도 (ppm)	유해성 (1A, 1B)	노출수준 (기준 0.5ppm)	위험성
북부	1	0.011~0.0264	4	1	4
	2	N.D	4	1	4
	3	N.D	4	1	4
	4	N.D	4	1	4
	5	N.D	4	1	4
중부	1	N.D	4	1	4
북부	6	N.D	4	1	4
	7	N.D	4	1	4
	8	N.D	4	1	4
	9	N.D	4	1	4
	10	N.D	4	1	4
	11	N.D	4	1	4
	12	N.D	4	1	4
	13	N.D	4	1	4

**<표 2-45> 사업장 화학물질 위험성 평가 결과
(작업환경측정 결과가 있는 경우)(계속)**

지역	사업장	공기 중 벤젠농도 (ppm)	유해성 (1A, 1B)	노출수준 (기준 0.5ppm)	위험성
북부	14	N.D	4	1	4
	15	N.D	4	1	4
	16	N.D	4	1	4
	17	N.D	4	1	4
	18	N.D	4	1	4
	19	0.0173	4	1	4
	20	N.D	4	1	4
	21	N.D	4	1	4
	22	0.0474	4	1	4
	23	N.D	4	1	4
	24	N.D	4	1	4
	25	N.D	4	1	4
	26	N.D	4	1	4
남부	1	N.D	4	1	4
	2	N.D	4	1	4
	3	N.D	4	1	4

4) 벤젠 노출 위험성 평가 결과 (작업환경측정 결과가 없는 경우)

작업환경측정결과가 있는 경우 공기시료에서 벤젠이 검출된 사업장 모두 노출기준 10% 미만으로 세척제별 벤젠의 위험성 등급이 모두 4등급으로 측정되어 변별력이 없었다. 세척제별 위험성의 변별력을 판단하기 위해 추가적으로 작업환경측정 결과가 없는 경우에 사용하는 정성평가 결과 과반수의 사업장이 위험성 수준이 4로 나타났다. 자세한 내용은 <표 2-46>과 같다.

**<표 2-46> 사업장 화학물질 위험성 평가 결과
(작업환경측정 결과가 없는 경우)**

지역	사업장	작업장 온도	하루 취급량 (L)	배기 설비	노출수준 (가능성)	유해성 (중대성)	위험성	하루 벤젠 취급량 (ml)
북부	1	25.2	15	X	2	4	8	0.24
	2	25.7	0.8	O	1	4	4	0.0368
	3	26	80	X	2	4	8	110.32
	4	24.3	200	X	2	4	8	4.8
	5	26.8	15	O	1	4	4	0.9
중부	1	23.2	60	O	1	4	4	2.04
	6	20.5	120	X	2	4	8	7.68
	7	19.8	400	X	2	4	8	123.6
	8	21.6	160	X	2	4	8	56.96
	9	22.4	20	O	1	4	4	0.74
북부	10	22.8	10	O	1	4	4	13.4
	11	21.7	30	X	2	4	8	1.59
	12	26.6	20	O	1	4	4	4.78
	13	22.4	30	X	2	4	8	1.02
	14	23.8	1.5	X	2	4	8	0.1005
	15	25.4	30	O	1	4	4	2.13
	16	26.1	4	X	2	4	8	0.272
	17	21.6	80	O	1	4	4	5.28
	18	20.8	15	O	1	4	4	1.14
	19	22.6	5	X	2	4	8	13.595
북부	20	24.1	10	O	1	4	4	0.77
	21	23.5	40	O	1	4	4	2.88
	22	24.5	25	X	2	4	8	14.45
	23	26.9	30	X	2	4	8	2.1
	24	27.1	1	O	1	4	4	0.07
	25	24.2	70	O	1	4	4	4.83
	26	26.3	200	X	2	4	8	47.8
	27	26.3	200	X	2	4	8	47.8
남부	1	30.7	0.5	X	2	4	8	2.7845
	2	31.3	0.5	O	1	4	4	0.552
	3	26.3	12	O	1	4	4	0.0175

5. 세척작업 공정의 작업환경관리 방안

세척작업 공정은 산, 알칼리, 유기용제 등의 세척제 취급에 따라 여러 종류의 유해물질에 노출되며, 용제를 적셔서 닦아내는 손세척이나 용제가 담긴 탱크 내 제품을 담그는 세척, 스프레이 세척, 기계세척 등 작업방식에 따라 세척액이 튀거나 다량의 세척액 증기와 미스트가 발생할 수 있기 때문에 세척작업 시 유해물질 노출을 최소화할 수 있도록 작업환경을 관리해야 한다.

1) 대체

- 대체 화학물질을 선정 시 물질안전보건자료(MSDS) 등을 검토하여 현재 사용하고 있는 물질보다 유해성이 적은 물질로 대체할 것
- 물질의 대체 외 공정의 변경이나 재설계 등으로 유해물질의 발생을 근본적으로 줄이거나 없앨 수 있는 방법을 고려할 것

2) 밀폐

- 대체 불가능할 때는 가능한 화학물질의 증기 혹은 미스트가 발생하는 공정이나 작업부위를 최대한 밀폐시키도록 할 것

3) 국소배기

세척시설이 완전히 밀폐되어 있지 않은 경우 적절한 형태의 국소배기장치를 설치해야 한다. 세척조의 국소배기장치는 푸쉬-풀(push-pull)이 좋으며, 그 외 상방배기형, 양측 하방배기형 등 설비의 형태나 상태에 따라 적절한 국소배기장치를 선택하여 설치하는 것이 바람직하다.

가) 산세조

- 탱크 표면을 가로지르는 기류는 적어도 0.5 m/s 이상이어야 한다.
- 탱크에는 공기 교반이 발생하지 않도록 한다.
- 공기를 교체할 때도 탱크를 균일하게 가로질러 공급한다.
- 탱크는 부분 덮개 설치를 고려한다.
- 덕트와 후드는 부식 방지 설비를 고려한다.
- 산성 증기나 알칼리성 연무와 같은 부적절한 가스는 분리시킨다.
- 탱크 표면에서 발생하는 증기나 연무를 감소시키기 위해 플라스틱 볼이나 구슬, 거품 방지장치나 도금할 조각도 적절한 종류를 사용할 것을 고려한다.
- 전기도금 조에는 전극 가스발생을 경감시킬 도금 용액을 선택한다.
- 가능한 작업장을 출입문, 창문, 도보에서 멀리 떨어진 곳에 위치시켜 외풍이 환기를 방해하여 미스트나 증기가 확산되지 않도록 한다.
- 공기가 배기된 만큼 치환될 수 있도록 작업장 내로 공기가 유입되게 한다.
- 덕트는 짧고 간단하게 시공하며 긴 부분이나 굴곡이 있는 덕트는 피한다.
- 대규모 탱크 표면을 가로지르는 제트 기류는 작업자로부터 떨어져서 증기나 연무로 바로 향하도록 한다.
- 배기 후드 개구부 기류는 10 m/s 이상이어야 한다. 이 기류는 공급된 기류의 속도보다 더 빨라야 한다.
- 장비의 작동 상태를 쉽게 확인할 수 있도록 압력계(압력게이지) 등을 제공한다.
- 배출 공기는 출입문, 창문, 공기 유입구로부터 멀리 떨어진 안전한 곳에 배출한다.

나) 증기 탈지

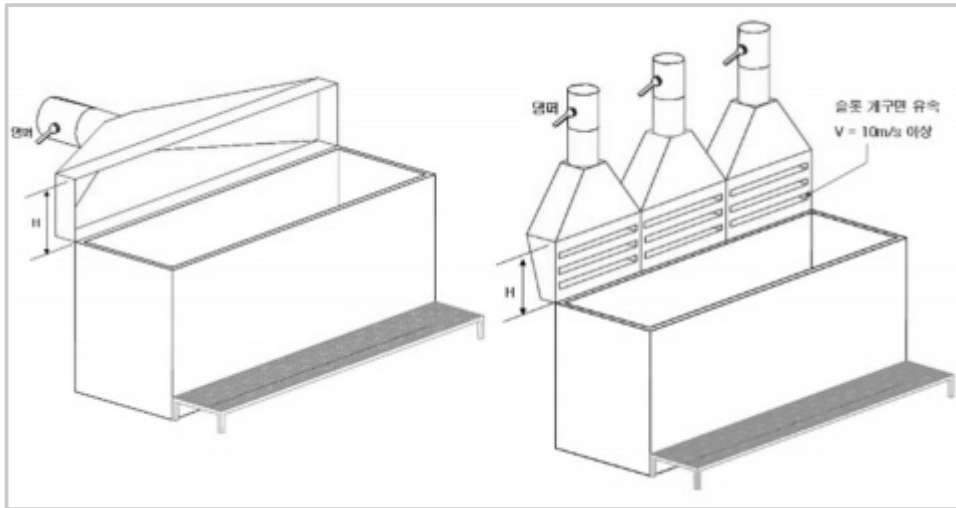
- 탈지 조 가장자리에 환기 설비가 되어 있는지 확인한다.
- 사용하지 않을 때는 조를 덮어둔다.
- 작업자가 조에서 너무 빨리 제품을 회수하지 않도록 한다. 그렇지 않으면 증기를 길게 끌게 된다.
- 조의 바닥에 유기용제를 제거하기 위한 배수 장치가 설비되어 있는지 확인한다.
- 조의 온도조절장치가 온열과 냉방 균형을 올바르게 유지하여 냉각 코일을 과적하지 않도록 한다.
- 가능한 작업장을 출입문, 창문, 도보에서 멀리 떨어진 곳에 위치시켜 외풍이 환기를 방해하여 미스트나 증기가 확산되지 않도록 한다.
- 공기가 배기된 만큼 치환될 수 있도록 작업장 내로 공기가 유입되게 한다.
- 덕트는 짧고 간단하게 시공하며 긴 부분이나 굴곡이 있는 덕트는 피한다.
- 장비의 작동 상태를 쉽게 확인할 수 있도록 압력계(압력게이지) 등을 제공한다.
- 배출 공기는 출입문, 창문, 공기 유입구로부터 멀리 떨어진 안전한 곳에 배출한다.

다) 초음파 세척

- 작업형태를 고려해 조 주변을 비닐커튼이나 미닫이용 샷시 문을 설치해 최대한 부스를 밀폐하여 후드의 필요 배기량을 최소화한다.
- 국소배기 후드의 설치 위치 및 덕트의 연결방향에 따라 작업자의 호흡영역을 보호할 수 없는 경우가 있기 때문에 반드시 작업자의 호흡영역을 보호할 수 있도록 배기 후드를 설치해야 한다.

- 초음파 세척기 개구면의 종횡비(W/L)를 고려해 최소 후드유량을 결정해야 할 것이다.
- 다음과 같은 표준 환기방안 사용을 권장한다.

• 환기방안 모식도



• 설계자료

- ① 후드 형태 : 측방형 배기후드 또는 측방형 다중 슬롯후드
- ② 설계 유량(Q) = 세척기 개구면적당 70 m³/min/m² 이상
- ③ 슬롯 개구면 유속 = 10 m/s 이상 유지(소음 고려 적절히 조절 가능)

• 유의사항

- ① 배기덕트에 댐퍼(damper)를 설치하여 배기유량 관리를 실시한다.
- ② 배기후드의 높이(H)는 가능한 작업자의 호흡영역보다 낮게 설치한다.
- ③ 세척기의 덮개는 배기후드에 간섭되지 않는 구조로 설치한다.
- ④ 방해기류가 발생하는 사업장은 배플(baffle)을 설치하는 것이 바람직하다.

라) 수동세척

- 작업자가 상체를 숙여 피작업 물체를 세척하기 때문에 작업자의 호흡영역을 보호할 수 있도록 국소배기 후드의 위치를 적절히 선정해야 한다.
- 작업 위치에 따라 후드를 이동해야 할 경우 작업자가 사용을 기피하는 경우가 많으므로 사용이 간편하도록 피작업 물체의 크기를 고려하여 고정식 후드를 설치하는 것이 바람직하다.
- 다음과 같은 표준 환기방안 사용을 권장한다.

• 환기방안 모식도



• 설계자료

- ① 후드 형태 : 측방형 다중 슬롯후드
- ② 설계 유량(Q) = 작업대 유효 면적당 40 m³/min/m² 이상
- ③ 슬롯 개구면 유속 = 10 m/s 이상 유지(소음 고려 적절히 조절 가능)
- ④ 후드의 높이(H) : 피세척물보다 높게 설계

• 유의사항

- ① 배기덕트에 댐퍼(damper)를 설치하여 배기유량 관리를 실시한다.
- ② 배기후드에 플랜지(flange)를 설치하는 것이 유리하다.
- ③ 방해기류가 있을 경우 배기유량 증가나 포위식 구조로 변화시킬 필요가 있다.

마) 디핑세척

- 컨베이어 시스템이 아닌 경우 작업자는 충분한 환기 후 세척물을 꺼내도록 할 것
- 세척조 표면을 가로지르는 기류는 적어도 0.5 m/s 이상이어야 함
- 배기후드의 높이는 작업자 호흡영역보다 낮게 설치할 것
- 세척조에서 공기 교반기는 사용하지 않을 것
- 순환공기는 세척조에 균일하게 공급되어야 함
- 배출가스를 산성 증기, 알칼리성 분무 등과 혼합하지 않는다. 아니면 서로 화학반응을 일으킬 수 있음
- 부식에 내성이 있는 덕트와 후드를 고려할 것
- 가능한 작업장을 출입문, 창문, 통로에서 떨어진 곳에 위치시켜 외부 기류가 환기를 방해하거나 오염을 확산시키는 것을 막을 것
- 플라스틱 공이나 구슬, 거품억제제 혹은 부스러기 억제제 등을 사용하는 것을 고려한다. 세척조 표면에서 증기와 분무 형성을 감소시킬 수 있음
- 배기 덕트는 짧고 간단하여야 하며, 길거나 구부리기 쉬운 덕트는 피할 것
- 작업 중 국소배기장치가 잘 작동하는지 쉽게 알 수 있도록 리본 끈과 같은 것을 흡입부에 부착할 수 있음
- 배출공기는 출입구나 창문, 공기 유입구에서 떨어진 안전한 곳에 배출한다. 배출공기가 주변에 영향을 주지 않도록 주의할 것

- 환기방안 모식도



4) 교육

- 취급 화학물질의 물질안전보건자료, 화학물질 정보카드 등을 이용하여 근로자들에게 취급하고 있는 화학물질로 인한 건강영향과 적절한 관리 방안, 주의사항, 지침서, 보호구 착용 등을 주기적으로 교육하도록 할 것
- 화학물질을 안전하게 취급하는 방법을 교육하고, 기계 조종 장치가 잘 작동하고 있는지를 확인하고 작업자들에게 뭔가가 잘못되고 있다면 어떻게 행동해야 하는지를 확실하게 주지시킬 것
- 근로자 및 작업장에 주지시킨 경고가 잘 지켜지고 있는지를 체크하는 예방체계를 만들 것

5) 개인보호구

가) 보호구 적격품의 선정

- 가스나 증기상의 화학물질에 노출될 가능성이 있을 경우에는 호흡용 보호구를 착용할 것

- 호흡보호장비는 일반적인 작업에서는 보통 필요하지 않을 수 있으나 누출된 것을 청소하거나 유지보수 작업 시 필요할 수 있음
- 피부나 눈에 손상을 줄 수 있는 화학물질인 경우 피부나 눈을 보호하기 위해 보안경, 불침투성 보호장갑, 보호의 등을 착용할 것
- 보호장갑은 화학작업용으로 제조된 것을 사용하는 것이 좋으며, 해당 물질에 대한 침투성 검사 결과가 우수한 재질을 사용하는 것이 좋음. 장갑 제품들은 제조회사에 따라 질이 매우 다양하므로 반드시 제품별 투과성 자료를 제조회사에 요구하여 검토하는 것이 좋음.
- 물질안전보건자료를 점검하거나 판매자에게 문의하여 어떤 개인보호구가 필요한 지 확인할 것

나) 작업별 적정보호구 선정

- 방독마스크의 경우 또한 작업부하의 경중 및 작업환경측정결과에 따라 반면식이나 전면식의 내용이 달라질 수 있다.

다) 보호구 착용지도

- 적합한 작업부서에 적절한 보호구를 지급한다. 즉 분진이 발생하는 곳에는 방진마스크, 유기용제 발생부서는 방독마스크를 착용한다. 가능한 종일 작업이 이루어지는 공정에는 국소배기 및 전체 환기 장치가 필요하고 배합이나 순간적인 폭로량이 높은 부서에 성능이 좋은 방독마스크를 착용하도록 하는 것이 좋다.

라) 보호구 비치·관리지도

- 보호구 지급은 사업주의 의무사항이며 보호구 착용은 근로자의 의무사항이다. 가능한 정기적인 보호구 지급이 필요하며, 보호구 사용 효율을 높이기 위해 작업장 내 보호구 지급대장 비치도 필요하다.

- 개인보호구를 항상 확인하고 사용하지 않을 때는 안전한 장소에 청결하게 보관할 것
- 보호구를 청결하게 보관하고 손상되었거나 유효기간이 경과한 경우 즉시 교체할 것

6) 유지관리 및 정리정돈

- 국소배기장치는 제대로 설계되어 작업자에게 폭로되지 않는가 확인
- 보호장갑, 보안면, 앞질러질 때를 대비하여 앞치마, 작업화를 착용
- 세척작업대 옆에 물을 준비
- 적절한 소화기를 준비해 둘 것
- 세척용기에 라벨을 붙여 그 독성의 정도를 알기 쉽게 파악하여 사용시 주의시킴
- 유기용제 사용 작업장에 설치한 국소배기장치 및 전체환기 장치의 마모, 부식 등 성능 유무를 수시로 점검하여 배기장치의 효율을 최적으로 유지시킬 것
- 유기용제를 사용하지 않을 시에는 용기 뚜껑을 닫아 두어 유기용제가 작업장에 휘발하는 것을 억제할 것
- 상시 사용하는 유기용제 용기는 입구가 좁은 용기를 사용하여 유기용제 휘발을 억제할 것
- 장비를 안전하게 작동하기 위해 필요한 모든 요인들에 대한 정보를 공급자에게 받도록 할 것
- 사용되는 장비가 모두 수리 상태가 좋은지 효율적인 작업을 위해 유지되어 있는지 확인할 것
- 국소배기장치 자체검사를 정기적으로 반드시 실시할 것
- 가동 중 국소배기장치가 작동하는지를 매일 체크할 것
- 적어도 일주일에 한 번은 덕트 시스템을 체크하고 손상 부위가 없는

지 점검하고 필요 시 즉시 수리할 것

- 작업장비와 작업영역은 매일 청소할 것. 다른 장비와 작업실은 일주일에 한 번 정기적으로 청소할 것
- 흘러나온 물질은 바로 처리할 것
- 포장재, 용기는 안전한 장소에 보관할 것
- 빈 포장재, 용기는 안전하게 폐기할 것
- 용기는 사용 후 반드시 뚜껑을 닫을 것
- 먼지는 건조한 빗자루나 압축공기로 청소하지 말고 진공청소기나 젖은 걸레로 닦아낼 것
- 당일 사용할 만큼의 재료만 작업장에 비치할 것
- 기계와 작업장 주변을 매일 청소할 것

Ⅲ. 결론

1. 벌크 시료 함유량 및 공기 시료 노출량

1) 물질별 벌크 시료 함유량

<표 3-1>에서 제시된 바와 같이 벌크 시료 분석결과, 혼합물질에서 최대 0.5569%(w/w)로 검출되었고, 톨루엔(100%)에서 0.0016%(w/w)로 가장 낮게 분석되었다. 벌크 시료에서 벤젠이 불검출된 시료는 없었다.

2) 물질별 공기 시료 노출 수준

<표 3-2>에 나타난 바와 같이 대부분의 시료에서 검출되지 않은 것으로 분석되었다. 하지만 2개 사업장 톨루엔(100%)에서 0.011ppm과 0.0474ppm으로 나타났다, 1개 사업장 혼합물질에서 0.0173ppm으로 나타났다.

3) 업종별 측정결과

30개 사업장 중 업종별 현황은 인쇄업 27곳, 금형 제조업 1곳, LED 제조업 1곳, 공작기계제조업 1곳이었다. 세부작업 내용으로는 인쇄업에서 블랑켓 세척, 수동세척, 그라비아 인쇄, 인쇄 작업 4가지 공정으로 조사되었고, 그 외 나머지 공정에서는 표면세척 공정으로 조사되었다. 표면세척의 경우 스프레이분사기를 이용한 세척제 도포 방식이었고, 나머지 세척작업들은 작업자들이 수작업으로 진행하는 세척형태의 작업이었다.

인쇄업의 경우 하루 작업량에 따라 세척제 사용량이 크게 달라지기 때문에 정확한 작업횟수를 파악하기 힘들었으나, 나머지 제조업의 경우 세척작업이 있

는 낮은 평균적으로 일 2~3회 작업을 실시하였다 그러나 COVID-19 작업량이 줄며 현재는 사용량이 점점 줄고 있는 추세로 조사되었다. 벌크시료가 가장 많이 함유되어 있던 업종은 0.5569%(w/w)로 공작기계 제조업(혼합물질)이었고, 공기 시료에서는 0.0474ppm으로 인쇄업종(톨루엔)에서 가장 높게 나타났다. 자세한 내용은 <표 3-3>과 같다.

<표 3-1> 물질별 벌크 시료 함유량

물질명	N	벤젠함량 (w/w%)	대표업종
벤젠(함유량 0.1%미만, 톨루엔 99%)	2	0.0046~0.0064	인쇄업
톨루엔(100%)	13	0.0016~0.0356	인쇄업
헥산(100%)	1	0.006	금형 제조업
경질 나프타(50% 이상)	6	0.0034~0.1340	인쇄업
혼합물질	8	0.0046~0.5569	인쇄업

<표 3-2> 물질별 공기 시료 노출량

물질명	구분	N	벤젠 노출량 (ppm)	대표업종
벤젠 (함유량 0.1% 미만, 톨루엔 99%)	개인	2	N.D	인쇄업
	지역	2		
톨루엔(100%)	개인	13	N.D	인쇄업
	지역	13(2)*	0.011~0.0474	
헥산(100%)	개인	1	N.D	금형 제조업
	지역	1		
경질 나프타(50% 이상)	개인	6	N.D	인쇄업
	지역	6		
혼합물질	개인	8	N.D	인쇄업
	지역	8(1)*	0.0173	

* () : 공기 중 벤젠 검출 사업장 수

<표 3-3> 업종별 측정 결과

업종	작업내용	지역 및 사업장	MSDS상 함유물질	월 사용량 (L)	벤젠 함량% (w/w)	개인시료 (ppm)	지역 시료 (ppm)
인쇄업	블랑켓 세척	북부-1	톨루엔	300	0.0016	N.D	0.01834
							0.0264
							0.0110
							0.0170
		북부-2	혼합물질 (나프타+톨루엔)	15	0.0046	N.D	N.D
		북부-3	혼합물질 (나프타+톨루엔)	1600	0.1379	N.D	N.D
		북부-4	벤젠	4000	0.0024	N.D	N.D
	블랑켓 세척	북부-6	톨루엔	3200	0.0064	N.D	N.D
		북부-7	톨루엔	8500	0.0309	N.D	N.D
		북부-8	톨루엔	3200	0.0356	N.D	N.D
		북부-9	경질나프타	420	0.0037	N.D	N.D
		북부-10	경질나프타	120	0.1340	N.D	N.D
		북부-11	경질나프타	360	0.0053	N.D	N.D
		북부-12	경질나프타	420	0.0239	N.D	N.D
		북부-13	경질나프타	450	0.0034	N.D	N.D
		북부-14	톨루엔	30	0.0067	N.D	N.D
		북부-15	톨루엔	680	0.0071	N.D	N.D
		북부-16	톨루엔 경질나프타	75	0.0068	N.D	N.D
		북부-18	톨루엔	380	0.0076	N.D	N.D
		북부-21	혼합물질 (나프타+톨루엔)	800	0.0072	N.D	N.D
		북부-22	톨루엔	280	0.0578	N.D	0.0474
		북부-23	경질나프타	370	0.0070	N.D	N.D
		북부-24	톨루엔	20	0.0070	N.D	N.D
		북부-25	톨루엔	1100	0.0069	N.D	N.D
		북부-26	혼합물질 (나프타+톨루엔)	2400	0.0239	N.D	N.D

<표 3-3> 업종별 측정 결과(계속)

업종	작업내용	지역 및 사업장	MSDS상 함유물질	월 사용량 (L)	벤젠 함량% (w/w)	개인시료 (ppm)	지역 시료 (ppm)
인쇄업	수동 세척	남부-2	벤젠	15	0.0046	N.D	N.D
	그라비아 인쇄	남부-3	톨루엔	240	0.0035	N.D	N.D
	인쇄 작업	북부-17	톨루엔	1600	0.0066	N.D	N.D
		북부-19	혼합물질 (나프타+톨루엔)	120	0.2719	N.D	0.0173
		북부-20	혼합물질 (나프타+톨루엔)	40	0.0077	N.D	N.D
금형제조업	-	북부-5	노말 헥산	120	0.0060	N.D	N.D
LED제조업	표면 세척	중부-1	톨루엔	520	0.0034	N.D	N.D
공작기계제조업	표면 세척	남부-1	혼합물질	20	0.5569	N.D	N.D

2. 종합의견

본 연구에서는 COVID-19로 인한 대부분의 사업장이 타지역 유입에 비협조적인 관계로 대부분이 수도권에 있는 사업장으로 조사가 진행되었다. 사업장 선정에 있어서 조사하고자 하는 해당 물질(벤젠, 톨루엔, 헥산, 나프타, 혼합물질)에 대하여 접근성이 있는 사업장을 선정하는 순서로 진행하다 보니 조사대상이 대부분 인쇄업으로 한정되는 제한점이 있었다.

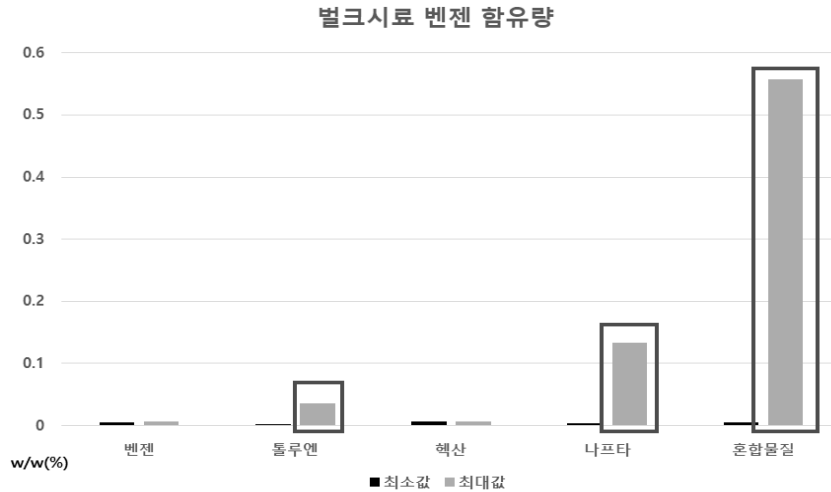
현장 조사 결과 검출된 3개의 사업장은 화학물질에 관한 국소배기장치가 구비되어있지 않거나, 구비되어 있더라도 후드가 유해물질 발생원에서 멀리 떨어져 있어 제어속도가 제대로 나오지 않아 환기 설비의 기능이 제대로 적용되지 못하고 있는 것으로 조사되었다. 또한 COVID-19 감염 방지를 위해 대부분의 작업자들이 비말차단용 마스크를 착용하고 화학물질 노출을 줄이기 위한 현장 상황에 적합한 호흡 보호구는 거의 착용하지 않고 있었다. 특히 사항으로는 공기 중 벤젠이 검출된 사업장 대부분은 영세사업장으로 환기시설 및 작업환경상태가 양호하지 못했다.

벌크 시료에서 벤젠이 검출된 세척제 취급 사업장을 대상으로 벤젠의 노출평가를 실시한 결과 30개 사업장 중 톨루엔 100% 함유 세척제를 사업장 2개소와 톨루엔 30%와 경질나프타 70% 함유 세척제를 사용하는 1개 사업장에서만 벤젠이 검출되었고 노출 수준은 노출기준의 10% 미만 수준으로 조사되었다.

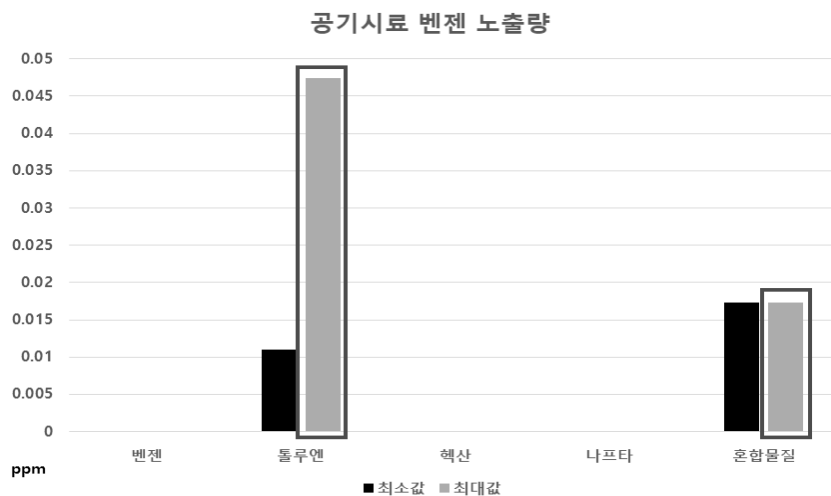
벌크시료에서 벤젠이 0.5569ppm으로 가장 높게 나온 사업장에서는 공기시료 중 벤젠이 검출되지 않았고, 벌크시료에서 벤젠이 0.0016ppm으로 낮은 수준의 세척제에서 공기시료 내 벤젠이 검출된 것으로 보아 벌크시료의 벤젠농도보다는 사업장의 관리상황, 작업량, 작업방식이나 형태 등 작업 환경적인 요인이 크게 작용하는 것으로 판단된다.

함량 기준에서는 벌크 시료에서 톨루엔(100%)와 경질 나프타(50% 이상), 혼합물질의 벤젠 함량이 가장 높았으며([그림 3-4] 참조), 공기 시료에서는 톨루

엔(100%)과 혼합물질에서 벤젠이 검출되었다([그림 3-5] 참조). 따라서 석유계 세척제 제품 중 벌크 시료와 취급하는 사업장의 공기 시료 모두에서 벤젠이 검출된 “톨루엔 함유 세척제”가 고위험군의 석유계 세척제인 것으로 보인다.



[그림 3-1] 세척제 물질별 벌크 시료 내 벤젠 함유량



[그림 3-2] 세척제 물질별 공기 시료 내 벤젠 노출량

본 연구에서 함량에는 차이가 있으나 석유계 세척제(유기용제 세척제)에는 벤젠이 미량 함유되어있는 것을 확인하였으며, 실제 작업장의 벤젠 위험성(risk)은 허용 가능한(acceptable) 수준으로 조사되었다. 그러나 과거에는 MSDS 상으로 표기되어 있지 않으나 불순물로 벤젠 함량과 공기 중 노출 수준이 높았을 가능성이 있는 것으로 추정되며 특히, 톨루엔, 헥산, 경질나프타 등을 세척제로 사용한 공정에서의 벤젠 노출 수준은 상대적으로 더 높았을 것으로 사료된다.

또한 미국에서는 함유량 1% 미만의 경우라도 0.1% 이상의 발암물질이 혼합되어 있는 경우에는 발암물질로 분류하여 제품 라벨과 SDS(Safety Data Sheet)에 위험 정보를 반드시 제공하는 점을 고려해 본다면, 벤젠 함유량이 1% 미만인 제품이라도 예방 차원의 지속적인 모니터링 과정이 필요하다고 판단된다(<https://www.osha.gov/laws-regs/standardinterpretations/2017-07-24>).

석유계 세척제를 취급하는 사업장의 경우 벤젠이 발암성 물질인 관계로 유해성(severity) 등급이 항상 4점이 부여되기 때문에 노출 수준이 1점이라도 모두 위험성 점수 4등급의 사업장으로 분석되었다. 따라서 4등급의 사업장은 주기적인 국소배기장치의 점검이나 개인 보호구 착용 등의 개선 계획 및 관리적인 차원의 대책 마련이 필요하다. 8등급 사업장의 경우 화학물질 위험성평가 결과, 국소배기 설비가 미비한 사업장의 경우 노출 가능성(possibility) 점수가 모두 2점으로 산출되기 때문에 공정 변경, 격리(차단 및 밀폐), 국소배기장치의 설치 등 공학적 대책 수립이 필요하다고 판단된다.

세척제 취급 사업장의 관리 방안으로 사업장 관리 측면으로는 작업환경측정 관리를 통한 국소배기장치 유지·관리, 노출평가, 화학물질 위험성평가를 통한 관리, 관리대상 선정물질을 통하여 유해물질을 관리하는 방법이 있으며, 건강관리 측면으로는 수시와 특수건강검진을 통한 사전예방적 관리와 사전, 사후에 이상 증상을 확인하여 상담을 통한 관리가 필수적이다. 유해화학물질 취급 사업장은 호흡 보호구 착용이 반드시 필요하며 MSDS를 통한 적절한 보호구의

선정, 호흡보호구 밀착도 점검, 공정 내 흡연이나, 음식물 섭취금지 등의 일반적인 사항의 관리도 필요하다.

추가적으로 세척작업 중 수작업으로 작업을 진행하는 경우에는 호흡기의 피부 노출이 가능하기 때문에 호흡 보호구외에 물질에 맞는 장갑 및 보호복 등의 조치가 필요하다. 스프레이건을 사용하는 형태의 작업은 앞서 말한 보호구 외에도 전체환기 시 바람의 방향이나 작업 중에 다른 작업자가 근처에 지나가지 않도록 주의하여야 한다.

본 연구에서는 30개의 적은 사업장 수와 COVID-19로 인한 사업장의 비협조적인 태도, 7~9월 이라는 짧은 기간 등의 한계점을 가지고 있다. 일부 석유계 세척제 취급 사업장을 대상으로 1회성 벌크 시료 정성 분석 및 노출평가를 실시하였지만, 측정 데이터의 신뢰도 확보를 위해 향후 다양한 제품의 정성 분석 및 사업장 노출 평가가 요구되는 바이다.

참고문헌

- 곽수경, 벤젠이 미량 함유된 석유화학제품 취급자의 직업적 노출 추정, 2014, 대구가톨릭대학교 학위 논문
- 김영임, 김순례, 이성은 등, 유기용제 취급 근로자의 건강장해 예방프로그램 개발 및 사업장 감시체계 구축. 2005
- 김한성. 수계/준수계 세정제의 개발 및 응용 연구, 수원대학교 대학원 화학공학과 박사학위논문. 2004
- 박동욱, 강동묵, 김수근, 윤충식, 최상준, 하권철, 연구보고서; 벤젠의 과거노출 추정(Job-Exposure Matrices, JEM) 연구, 산업안전보건공단 산업안전보건연구원, 2013
- 원정일, 김기환, 신창섭. 혼합 유기용제 취급작업장의 공정별 유기용제 구성성분 및 노출농도, 대한환경위생공학회, 2000;15(3):75-87
- 전국금속노동조합 녹색연합 여성환경연대 환경운동연합 환경정의 노동환경건강연구소. 「자동차의 발암물질이 노동자·소비자·환경에 미치는 영향」 중 발제문 ‘자동차 생산 과정에서 사용되는 화학물질의 문제와 대책’
- 정경숙, 안연순, 김현수 등, 세척제 취급실태 및 건강유해성 조사-작업환경측정, 특수건강진단 비대상 유해인자 중심으로, 2018
- 정경숙, 안연순, 김현수 등, 1,2-디클로로프로판(1,2-dichloropropane)등 세척제 취급 실태조사 및 건강모니터링 체계 구축, 2017
- 중소기업청, 중소기업진흥공단. 세척제의 시장 기술 보고서. 2009
- 차안정, 시판 수계/준수계세정제의 세정성 및 환경성 평가 연구. 수원대학교대학원 석사논문. 2004

- Amy K Madl, Dennis J Paustenbach. Airborne Concentrations of Benzene and Mineral Spirits (Stoddard Solvent) During Cleaning of a Locomotive Generator and Traction Motor, J toxicol environ health A, 2002, 13;65(23): 1965-1979
- Dana M. Hollins, Brent D. Kerger, Kenneth M. Unice et al. Airborne benzene exposures from cleaning metal surfaces with small volumes of petroleum solvents, Int J Hyg Environ Health, 2013;216(3):324-332
- Hikaru Shoji, Takeo Yamamoto, Konosuke Nishida. The gas chromatographic analysis of lacquer thinner, Japanese Journal of industrial Health, 1966;20(6): 364-376
- Hollins DM1, Kerger BD, Unice KM et al. Airborne benzene exposures from cleaning metal surfaces with small volumes of petroleum solvents. Int J Hyg Environ Health. 2013;216(3):324-332.
- Kopstein M1. Potential uses of petrochemical products can result in significant benzene exposures: MSDSs must list benzene as an ingredient. J Occup Environ Hyg. 2006;3(1):1-8.
- Kopstein M1. Estimating airborne benzene exposures from air monitoring data for mineral spirits. J Occup Environ Hyg. 2011;8(5):300-309.
- L. Fishbein, Potential Industrial Carcinogens and Mutagens, 2011
- N Pearce, A Blair, P Vineis et al, IARC Monographs: 40 Years of Evaluating Carcinogenic Hazards to Humans, Environmental Health Perspectives 2015;123 (6): 507-514
- Pamela R. D. Williams, Julie M. Panko, Ken Unice, et al. Occupational Exposures Associated with Petroleum-Derived Products Containing

- Trace Levels of Benzene, J Occup Environ Hyg, 2008;5(9):565-574
- Pamela R.D. Williams, Jeffrey S. Knutsen, Chris Atkinson et al. Airborne Concentrations of Benzene Associated with the Historical Use of Some Formulations of Liquid Wrench, J Occup Environ Hyg, 2007;4(8):547-561
- Rachel M Novick, James J Keenan, Sherilyn A Gross et al. An Analysis of Historical Exposures of Pressmen to Airborne Benzene (1938-2006), Annals of Occupational Hygiene, 2013;57(6):705-716
- Sangjun Choi, Sugyeong Kwak, Donguk Park et al. Potential Risk of Benzene in Petroleum-Derived Products Used from 1974 to 2012 in Korea, Aerosol and Quality Research, 2018; 19(3):548-558
- Sweeney, Lynn C. Exposure Evaluation for Benzene, Lead and Noise in Vehicle and Equipment Repair Shops. United States: 2013
- Williams PR1, Panko JM, Unice K et al. Occupational exposures associated with petroleum-derived products containing trace levels of benzene. J Occup Environ Hyg. 2008 Sep;5(9):565-574.
- Williams PR, Julie M, Panko JM et al. Occupational Exposures Associated With Petroleum-Derived Products Containing Trace Levels of Benzene. J Occup Environ Hyg. 2008;5(9):565-574.
- 井上 俊, 池田 正之, 緒方 正名 et al. わが国における工業用有機溶剤使用の実態に関する調査研究, Japanese Journal of industrial Health, 1984;26:518-538

Abstract

Assessment of hazardous factors in cleaners handling work -
focusing on benzene exposure of petroleum products cleaners

Objectives:

Various washing agents are used in many industries. Recently, petroleum-based cleaning agents have been found to contain benzene. This study identified the type and use of cleaning agents of petroleum products used in Korea and conducted a risk assessment of benzene exposure of petroleum-based cleaning agents.

Methods:

The targeted cleaning agents were selected based on the literature review regarding benzene exposure in work environment. The test method of KOSHA was referred to for measuring benzene. Bulk samples were collected to check the benzene content and the exposure assessment of benzene was conducted with personal and area samples

Results:

As a result of bulk sample analysis, benzene was detected in all the samples. Three of personal air samples were found to contain benzene. Most of the small businesses did not have ventilation systems installed for

preventing benzene exposure.

Conclusion:

It appears that workers using petroleum-based cleaning agents may be exposed to benzene. In addition, for most small businesses, engineering improvements such as process change, isolation and local ventilation system in work environment are needed to reduce workers' exposure to benzene.

Key words:

Petroleum-based product, Cleaning agent, Benzene exposure, Risk assessment, Work environment

부록

부록-1 현장조사 Check list

구분	작업환경 관리상태 평가내용	가능여부 (대상여부)	현재 상태
물질의 유해성 (3)	◆ 현재 취급하고 있는 물질보다 독성이 적은 물질(노출기준 수치가 높은)로 대체 가능한가?		
	◆ 현재 발암성 물질을 취급하고 있다면 비발암성 물질로 대체 가능한가?		
	◆ 현재의 유해물질 취급 공정의 폐쇄가 가능한가?		
물질 노출 가능성 (11)	◆ 현재 사용하는 화학물질의 사용량을 줄일 수 있는가?		
	◆ 분진 등 고체상 물질의 경우 습식작업이 가능한가?		
	◆ 유해물질 취급 공정의 완전 밀폐가 가능한가?		
	◆ 유해물질 발생 지점에 국소배기장치의 설치가 가능한가?		
	◆ 국소배기장치 후드가 부스 형으로 설치 가능한가?		
	◆ 국소배기장치 후드를 유해물질 발생원에 현재보다 좀 더 가까이 설치가 가능한가?		
	◆ 후드의 위치가 근로자의 호흡기 영역을 보호하고 있는가?		
	◆ 포집 효율을 높이기 위한 Flange 설치가 가능한가?		
	◆ 국소배기장치의 제어풍속이 법적기준을 만족하는가?		
	◆ 국소배기장치 성능을 주기적으로 점검하는가?		
	◆ 전체환기장치(Fan)를 병행하여 설치 가능한가?		

구분	작업환경 관리상태 평가내용	가능여부 (대상여부)	현재 상태
작업 방법 (5)	◆ 유해물질 취급 공정을 인근 공정 및 작업장소와 격리하여 작업할 수 있는가?		
	◆ 유해물질 취급 공정과 인근 작업 장소 사이의 공기 이동을 차단하기 위한 차단벽 설치가 가능한가?		
	◆ 현재의 유해물질 취급 작업을 자동화 또는 반자동화로의 공정 변경이 가능한가?		
	◆ 유해물질 용기를 별도의 저장장소에 보관 가능한가?		
	◆ 유해물질을 직접적인 접촉 없이 취급 가능한가?		
관리 방안 (11)	◆ 특수건강진단을 정기적으로 실시하고 있는가?		
	◆ 작업환경측정을 정기적으로 실시하고 있는가?		
	◆ 취급 화학물질에 대한 근로자 교육을 실시하는가?		
	◆ 개인전용의 호흡용 보호구가 적절하게 지급되는가?		
	◆ 근로자가 작업 중 호흡용 보호구를 착용하고 있는가?		
	◆ 호흡용 보호구의 성능이 적절하게 관리되는가?		
	◆ 작업장에 호흡용 보호구 착용 표지판을 설치했는가?		
	◆ 보호구 보관함이 설치되어 청결하게 관리되고 있는가?		
	◆ 화학물질 취급 공정에 대한 청소 상태는 적절한가?		
	◆ 취급 화학물질의 물질안전보건자료를 비치.게시했는가?		
	◆ 취급 화학물질 용기.포장에 경고표지를 부착했는가?		

부록-2 현장조사표

현장 조사표

1. 사업장 및 측정 개요

구분	내용	구분	내용
사업장명		업종	
주생산품		작업자 수	
온도(°C)		습도(%)	

* 대상 인자 : 톨루엔

2. 작업환경측정 및 현장 조사(개인시료)

공정명	작업형태/ 용도	작업 시간	작업 빈도	국소 배기 시설	국소 배기 유량	월 사용량	측정 당일 사용량	호흡용 보호구 착용

* 특이사항

3. 관련사진

-	-
-	-

부록-3 CHARM(화학물질 위험성평가) 기법

1. 배경

화학물질 관리의 요체는 유해성에 대해 근로자의 알 권리를 충족시키고 화학물질의 노출수준을 관리하는 것

- 물질안전보건자료(MSDS) 제도에 기반한 유해성 정보 제공(법 제41조)
- 작업환경측정제도를 통한 화학물질 노출평가 및 작업환경관리(법 제42조)

국내에서 사용되는 화학물질은 4만 여종이며, 개발된 MSDS는 5만 여종에 이르나,

- 작업환경측정 대상 물질 182종, 노출기준 설정 물질 721종 한정
- 사업주가 근로자에게 노출되는 모든 화학물질을 관리하기에는 한계, 화학물질의 유해성 및 노출수준과 연계한 종합적인 화학물질 위험성평가 도구가 마련되어 있지 않아 화학물질로 인한 근로자 건강보호에 어려움 상존

CHARM(Chemical Hazard Risk Management): 영국 HSE의 Control Banding 등 선진 외국의 위험성평가 기법 참조

화학물질의 유해성과 노출 실태를 토대로 정성적 위험성평가 기법과 관리대책을 온라인으로 제공하는 프로그램 (소규모 사업장용)

2. 방법

1) 용어 정의

노출기준 : 산안법 제39조(유해인자의 관리)

- 정의 : 근로자가 유해인자에 노출되는 경우 노출기준 이하 수준에서는 거의 모든 근로자에게 건강상 나쁜 영향을 미치지 아니하는 기준
- 종류
 - ① 시간 가중 평균 노출기준(Time Weighted Average, TWA) : 1일 8시간 작업을 기준
 - ② 단시간 노출기준(Short Term Exposure Limit, STEL) : 근로자가 1회에 15분간 유해인자에 노출되는 경우의 기준
 - ③ 최고 노출기준(Ceiling, C) : 근로자가 1일 작업시간 동안 잠시라도 노출되어서는 아니 되는 기준
- 기준 관련 고시(고용노동부고시 제2012-31호)
 - 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준
 - 현재 721종이 설정되어 있음

물질안전보건자료(MSDS) : 산안법 제41조

- 정의 : 화학물질 및 화학물질을 함유한 제제(대상 화학물질)의 명칭, 구성 성분, 안전·보건상의 취급 주의 사항, 인체 및 환경에 미치는 영향 등을 기록한 자료(총 16개 항목으로 구성)
- GHS란?
 - 화학물질의 분류 및 표지에 관한 세계조화시스템으로 전 세계적으로 통일된 형태의 경고표지 및 MSDS 정보를 전달하는 방법

- GHS : Globally Harmonized System of classification and labelling of chemicals
- 경고 표시 구성항목
 - 명칭, 그림문자, 신호어, 유해·위험 문구(H-code), 예방조치문구(P-code), 공급자 정보
- 관련 고시(고용노동부 고시 제2012-14호)
 - 화학물질의 분류·표시 및 물질안전보건자료에 관한 기준
 - GHS MSDS 및 경고 표시 예시
- 위험성 : 근로자가 화학물질에 노출됨으로써 건강장해가 발생할 가능성 (노출수준)과 건강에 영향을 주는 정도(유해성)의 조합
- 노출수준 : 화학물질이 근로자에게 노출되는 정도(빈도)
 - 작업환경측정 결과, 하루 취급량, 비산성/휘발성 등의 정보 활용
- 유해성 : 인체에 영향을 미치는 화학물질의 고유한 성질(강도)
 - 노출기준(TLV), 위험 문구, 유해·위험 문구 등의 정보 활용
- 위험 문구(R-phrase) : 유럽연합(EU)의 Dangerous Substances Directive (67/548/EEC) 규정에 따라 화학물질 고유의 유해성을 나타내는 문구
- 유해·위험 문구(H-code) : GHS 기준의 유해성·위험성 분류 및 구분에 따라 정해진 문구로서, 적절한 유해 정도를 포함하여 화학물질의 고유한 유해성을 나타내는 문구

2) CHARM 단계

<1단계 : 사전 준비>

- 위험성을 평가하기 위한 부서 또는 공정(작업)을 구분하고, 평가대상 선정,

MSDS, 작업환경측정 결과표 및 특수건강진단 결과표 등의 자료를 확보하는 단계

■ 위험성평가 단위 구분

- 위험성평가를 실시하기 쉽도록 평가단위를 구분한다.
- 위험성평가의 기본적인 구분은 공정도와 작업표준서를 참고로 하여 작업 부서별로 나눈다.
- 작업환경측정을 실시한 경우에는 측정 결과표의 측정 단위를 확인하여 [부서 또는 공정] 혹은 [단위작업 장소]로 구분할 수 있다.

■ 위험성평가 대상 선정

- 위험성평가 단위에 대하여 따로 정해진 방법은 없으므로, 유해요인(화학 물질)이 누락되지 않도록 하고, 현실적으로 위험성평가를 수행하기 쉬운 평가단위를 사업장별로 선정한다.
- 향후 더 실제적인 방법이 발견되면 그때그때 수정 가능할 수 있다.

■ 자료의 확보

- 사업장에서 취급하는 화학물질의 MSDS, 작업환경측정 및 특수건강진단 결과표 등 위험성평가에 필요한 각종 자료를 확보한다.

<2단계 : 유해 위험요인 파악>

■ 사전에 확보된 MSDS 등을 이용하여 위험성평가 대상으로 선정된 단위 공정별로 유해 위험요인(화학물질)의 종류, 취급량, 물질 특성 등을 파악하는 단계

■ 단위공정별 화학물질 취급현황 파악

- 화학물질에 대한 원·부자재 입출고 현황 등을 확인, 평가대상 단위공정별로 사용하고 있는 화학물질을 목록화 한다.

- 화학물질 목록은 사용 부서 또는 공정명, 화학물질명(상품명), 제조/사용 여부, 사용용도, 월 취급량, 유소견자 발생 여부 및 MSDS 보유현황 등의 내용을 포함한다.
 - 작업환경측정 결과표를 참조하여 작성한다.
- 불확실 유해인자
- 화학물질에 대한 MSDS, 측정 및 특검 결과표 등이 확보되지 않아 유해성 정보를 알 수 없는 불확실 유해인자는 해당 정보가 확보될 때까지 가급적 사용을 금지하거나 동일 사용 목적에 맞는 저 독성 물질로 대체할 것을 권고한다.
- 평가대상 화학물질의 작업환경측정 결과 및 물질 특성 등 파악
- 작업환경측정 결과표에서 [나-1. 단위작업 장소별 작업환경측정 결과(소음 제외)]의 금회 측정치(TWA)를 파악한다.
 - 화학물질의 MSDS 등을 확인하여 사업장에서 사용하는 화학물질의 노출 기준, 물질 특성 및 유해성·위험성 정보 등을 파악한다.
- MSDS에서 유해성·위험성 및 물질 특성 정보 제공 위치
- 노출기준 정보 : MSDS의 [8. 노출 방지 및 개인보호구] 확인
 - 물질 특성 정보 : MSDS의 [9. 물리화학적 특성] 확인
 - 고시에 따른 CMR 정보 : GHS MSDS의 [11. 독성에 관한 정보] 확인
 - * CMR : 발암성(Carcinogenicity), 생식세포 변이원성(Mutagenicity), 생식독성(Reproductive toxicity) 물질로서 각각 1A, 1B, 2로 구분
- ① 발암성 물질 : 암을 일으키거나 그 발생을 증가시키는 물질
 - ② 생식세포 변이원성 물질 : 자손에게 유전될 수 있는 사람의 생식세포에 돌연변이를 일으킬 수 있는 물질
 - ③ 생식독성 물질 : 생식기능, 생식능력 또는 태아의 발생·발육에 유해한 영향을 주는 물질

- 위험 문구(R-phrase) 정보 : MSDS의 [15. 법적 규제현황] 확인
- 유해·위험 문구(H-code) 및 GHS 분류 정보 : GHS MSDS의 [2. 유해성·위험성] 확인
- * 기존 MSDS에는 H-code 및 GHS 분류 정보가 없음

<3단계 : 위험성 추정>

- 작업환경측정 결과나 노출기준 등을 이용하여 노출수준과 유해성의 등급을 결정하고, 결정된 노출수준과 유해성을 조합하여 위험성을 추정하는 단계
- 위험성 추정은 노출수준(가능성)과 유해성(중대성)을 곱하여 산출
 - 노출수준 및 유해성 등급은 “노출수준 등급 결정 방법”과 “유해성 등급 결정 방법”을 통해 각각 결정
- 노출수준 등급은 다음과 같이 세 가지 방법에 의해 결정되며, “방법 1 > 방법 2 > 방법 3”의 우선순위로 적용

구분	방법 1	방법 2	방법 3
평가 기준	직업병 유소건자	작업환경 측정결과	하루 취급량 및 비산성/휘발성
평가 방법	직업병 유소건자 발생 노출수준 = 4등급	노출수준으로 4단계 분류 $\left(\frac{\text{측정결과}}{\text{노출기준}}\right) \times 100$	하루 취급량 및 비산성/휘발성 조합 후 밀폐·환기 상태 고려하여 4단계 분류

[방법 1] 직업병 유소건자 발생 여부 확인

- 특수건강진단 결과표를 확인하여 직업병 유소건자(D1) 발생 여부 파악
- 직업병 유소건자(D1) 발생 : 노출수준 4등급

[방법 2] 작업환경측정 결과 확인

화학물질별 측정 결과를 활용하여 노출수준 등급 분류

등급	내 용
1	화학물질의 노출수준이 10% 이하
2	화학물질의 노출수준이 10% 초과 50% 이하
3	화학물질의 노출수준이 50% 초과 100% 이하
4	화학물질의 노출수준이 100% 초과(노출기준 초과)

[방법 3] 하루 취급량 및 비산성/휘발성 확인

- 화학물질의 하루 취급량과 비산성/휘발성을 조합하여 노출수준 분류

① 하루 취급량 : 하루 동안 취급하는 화학물질량의 단위에 따라 분류

등 급	1(저)	2(중)	3(고)
하루 취급량	g, ml 단위	kg, l 단위	ton, m ³ 단위

② 비산성 : 화학물질의 발생형태가 분진, 흡인 경우

등급	등급 특성(비산정도)
1(저)	부스러지지 않는 고체로 취급 중에 거의 먼지가 보이지 않는 경우
2(중)	결정형 입상으로 취급 시 먼지가 보이거나 쉽게 가라앉는 경우
3(고)	미세하고 가벼운 분말로 취급 시 먼지, 구름이 형성되는 경우

③ 휘발성 : 화학물질의 발생형태가 가스, 증기, 미스트 등인 경우

등급		1(저)	2(중)	3(고)
끓는점	20℃	150 초과	50~150	50 미만
	20℃ 외	(5X+50) 초과	(2X+10)~(5X+50)	(2X+10) 미만

④ 하루 취급량과 비산성/휘발성을 조합하여 노출수준 등급 분류

하루 취급량	비산성(분진, 흙 상태)			휘발성(액체, 가스상태)		
	3(고)	2(중)	1(저)	3(고)	2(중)	1(저)
3(대)	4	4	2	4	3	2
2(중)	3	3	2	3	3	2
1(소)	2	1	1	2	2	1

⑤ 밀폐 · 환기상태 : 밀폐 · 환기상태에 따라 점수 부여

구분	밀폐 · 환기상태
2(매우 양호) 1(양호)	원격조작 · 완전 밀폐 국소배기장치 설치

⑥ 최종 노출수준 : 하루 취급량과 비산성/휘발성을 이용하여 분류된 노출수준에 밀폐 · 환기상태를 고려하여 최종 결정

- 유해성 등급은 다음과 같이 세 가지 방법에 의해 결정되며, “방법 1 > 방법 2 > 방법 3”의 우선순위로 적용

구분	방법 1	방법 2	방법 3
평가 기준	CMR 물질	노출기준	위험문구/유해 · 위험문구
평가 방법	CMR 물질 유해성 = 4등급	노출기준 값에 따라 4단계 분류	위험문구 또는 유해 · 위험문구에 따라 4단계 분류

[방법 1] CMR 물질(1A, 1B, 2) 해당여부 확인

- 고용노동부시 제2012-31호(2012.3.26.) 및 MSDS에서 제공되는 발암성, 생식세포 변이원성 및 생식독성(CMR) 정보 해당여부 확인

[방법 2] 화학물질의 노출기준 확인

- 화학물질별 발생형태(분진 또는 증기)에 따라 노출기준을 적용

유해성 등급	노출 기준	
	분진(mg/m ³)	증기(ppm)
1 소	1 초과 10 이하	50 초과 500 이하
2 중	0.1 초과 1 이하	5 초과 50 이하
3 대	0.01 초과 0.1 이하	0.5 초과 5 이하
4 최대	0.01 이하	0.5 이하

- ① 단시간노출기준(STEL) 또는 최고노출기준(C)만 규정되어 있는 화학 물질이나 노출기준이 10mg/m³(분진) 또는 500ppm(증기)을 초과하는 경우에는 [방법 3] 또는 [방법 4] 적용
- ② 노출기준은 화학물질의 유해성(독성)의 정도에 따라 설정된 것으로서 노출기준 값에 따라 유해성 등급 분류

[방법 3] MSDS의 위험 문구(R-phrase)/유해·위험 문구(H-code) 확인

- MSDS의 위험 문구(H-code)를 활용

- ① 유해성이 E등급인 경우에는 유해성을 4등급으로 분류
- ② B~E 그룹에 해당하지 않는 위험 문구는 “유해성 = 1등급”으로 분류

- MSDS의 유해·위험 문구(H-code)를 활용

- ① 유해·위험 문구(H-code)는 [방법 3]의 위험 문구(R-phrase)를 EU

CLP 규정에 따라 동일한 유해·위험성으로 변환한 것

② 2개 이상의 유해·위험문구(H-code)가 있는 경우에는 모든 H-code가 있을 때만 동일한 유해성 등급으로 분류

* EU CLP : 유럽연합의 분류·표시에 관한 규칙(European Regulation on the Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures)

* 단, “H330/H331”은 “H330”이나 “H331” 중 하나만 해당되어도 분류 가능

<4단계 : 위험성 결정>

- 위험성 추정 결과에 따라 허용할 수 있는 위험인지, 허용할 수 없는 위험인지를 판단하는 단계
 - 혼합물질의 위험성 결정 : 혼합물질에서 노출되는 유해인자에 대한 위험성 추정 결과 가장 높은 값을 혼합물질의 위험성으로 결정
- 위험성 결정
 - 위험성 추정 결과와 사업장에서 자체적으로 설정한 허용 가능한 위험성의 기준을 비교하여 허용 가능 여부 판단
 - 위험성 결정을 위한 허용 여부 판단 시 참고 자료

위험성 크기		허용 가능 여부	개선방법
12~16	매우 높음	허용 불가능	즉시 개선
5~11	높음		가능한 한 빨리 개선
3~4	보통	허용 가능 또는 허용 불가능*	연간계획에 따라 개선
1~2	낮음	허용 가능	필요에 따라 개선

* 허용 불가능 : 위험성 크기가 4인 화학물질 중 직업병 유소견자가 발생(노출수준 = 4등급)하였거나 해당 화학물질이 CMR물질(유해성 = 4등급)인 경우

<5단계 : 위험성 감소 대책 수립 및 실행>

- 위험성을 결정한 후 개선 조치가 필요한 위험성이 있는 경우 감소 대책을 수립하고, 우선순위를 정하여 실행하는 단계
- 위험성 크기에 따라 감소 대책 수립·시행
 - 위험성 크기가 보통 이상인 경우 구체적인 작업환경 개선 대책을 수립하여 실행
 - 작업환경 개선이 완료된 이후에는 위험성의 크기가 허용 가능한 위험성의 범위에 들어갈 수 있도록 조치
- ‘화학물질 취급 사업장의 작업환경 관리 상태 체크리스트’ : 구체적인 작업환경개선 대책 수립 시 활용
 - ① 작업환경 관리 상태 평가 내용이 적용 가능한지 혹은 대상이 되는지 결정
 - ② ①에서 가능 혹은 대상으로 확인된 평가 항목에 대하여 현재 실시 또는 적용하고 있는지를 확인 체크
 - ③ ①에서 가능 혹은 대상으로 확인된 평가 항목 중 ②에서 현재 실시 또는 적용하지 않고 있는 작업환경개선 대상 목록 작성
- 작업환경개선 대상 목록 작성 시 우선순위 : 화학물질 제거 → 화학물질 대체 → 공정 변경(습식) → 격리(차단, 밀폐) → 환기장치 설치 또는 개선 → 보호구 착용 등 관리적 개선

3) 위험성평가 방법

[제1방법] 작업환경측정 결과가 있는 경우

- 위험성 추정 방법
 - 위험성(Risk) = 작업환경측정결과(1~4등급) × 노출기준(1~4등급)

■ 노출수준 등급 결정

- ① 평가대상 화학물질로 인한 직업병 유소견자(D1) 발생여부 확인
 - 직업병 유소견자(D1)가 확인되면 노출수준 4등급
- ② 작업환경측정결과 확인

노출수준 등급	내 용
1	화학물질의 노출수준이 10% 이하
2	화학물질의 노출수준이 10% 초과 50% 이하
3	화학물질의 노출수준이 50% 초과 100% 이하
4	화학물질의 노출수준이 100% 초과

- 화학물질의 노출수준 = (측정치/노출기준) × 100 [%]

■ 유해성 등급 결정

- ① CMR 물질(1A, 1B, 2) 해당 시 유해성 4등급
 - 고용노동부 고시 제2012-31호(2012.3.26.) 및 MSDS 참조
- ② 화학물질의 노출기준 확인

유해성 등급	노 출 기 준	
	분진(mg/m ³)	증기(ppm)
1	1 초과 10 이하	50 초과 500 이하
2	0.1 초과 1 이하	5 초과 50 이하
3	0.01 초과 0.1 이하	0.5 초과 5 이하
4	0.01 이하	0.5 이하

- ③ MSDS의 위험 문구(R-phrase) 확인
- ④ MSDS의 유해·위험 문구(H-code) 확인

[제2방법] 작업환경측정 결과가 없는 경우

■ 위험성 추정 방법

① 노출기준이 있는 화학물질

- 위험성(Risk) = 하루 취급량, 비산성/휘발성 조합(1~4등급) × 노출 기준(1~4등급)

② 노출기준이 없는 화학물질

- 위험성(Risk) = 하루 취급량, 비산성/휘발성 조합(1~4등급) × MSDS 위험 문구/유해·위험 문구(1~4등급)

■ 노출수준 등급 결정

① 평가 대상 화학물질로 인한 직업병 유소견자(D1) 발생여부 확인

- 직업병 유소견자(D1)가 확인되면 노출수준 4등급

② 하루 취급량 및 비산성/휘발성 확인

- 화학물질의 하루 취급량과 비산성/휘발성을 조합하여 노출수준 분류

■ 유해성 등급 결정

① CMR 물질(1A, 1B, 2) 해당 시 유해성 4등급

- 고용노동부 고시 제2012-31호(2012.3.26.) 및 MSDS 참조

② 화학물질의 노출기준 확인

유해성 등급	노출기준	
	분진(mg/m ³)	증기(ppm)
1	1 초과 10 이하	50 초과 500 이하
2	0.1 초과 1 이하	5 초과 50 이하
3	0.01 초과 0.1 이하	0.5 초과 5 이하
4	0.01 이하	0.5 이하

③ MSDS의 위험 문구(R-phrase) 확인

④ MSDS의 유해·위험 문구(H-code) 확인

〈〈연 구 진〉〉

연 구 기 관 : 산업안전보건연구원

〈자체연구원〉

연구책임자 : 서회경 (차장, 직업건강연구실)

공동연구원 : 이상길 (부장, 직업건강연구실)

공동연구원 : 최지형 (과장, 직업건강연구실)

공동연구원 : 최영화 (대리, 직업건강연구실)

〈위탁연구원〉

연구책임자 : 김기연 (교수, 공학박사, 서울과학기술대학교)

책임연구원 : 김현수 (부장, 보건학박사, 대한산업보건협회)

공동연구원 : 임대성 (대표이사, 공학박사, 한성보건안전기술원)

공동연구원 : 안연순 (교수, 보건학박사, 연세대학교 원주의과대학)

〈〈연 구 기 간〉〉

2020. 01. 01 ~ 2020. 12. 31

본 조사에서 (석유계 제품 세척제 취급 근로자의 벤젠 노출 위험성 평가)는 위탁조사로 수행되었습니다.

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

세척제 취급 작업의 위해요인 평가

(2020-산업안전보건연구원-935)

발 행 일 : 2020년 12월
발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 고재철
연구책임자 : 산업안전보건연구원 직업건강연구실 서회경
발 행 처 : **안전보건공단 산업안전보건연구원**
주 소 : (44429) 울산광역시 중구 중가로 400
전 화 : (052) 7030-872
팩 스 : (052) 7030-335
누 리 집 : <http://www.kosha.or.kr>
