

최종보고서

석유계 제품 세척제 취급 근로자의 벤젠 노출 위험성 평가

김기연·김현수·임대성·안연순

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “석유계 제품 세척제 취급 근로자의 벤젠 노출 위험성평가”의 최종 연구결과 보고서로 제출합니다.

2020 년 11 월

연구기관 : 서울과학기술대학교 안전공학과 산업위생연구실

연구책임자 : 김기연 (서울과학기술대학교 안전공학과 교수)

공동연구원 : 김현수 (대한산업보건협회 산업보건환경연구원)

공동연구원 : 임대성 ((주)한성보건안전기술원)

공동연구원 : 안연순 (연세대학교 원주의과대학 교수)

연구보조원 : 김두영 (서울과학기술대학교 안전공학과 석사과정)

연구보조원 : 안우주 (서울과학기술대학교 안전공학과 석사과정)

요 약 문

연구기간

2020년 04월 ~ 2020년 11월

핵심 단어

석유계 세척제, 벤젠 노출, 위험성 평가

연구과제명

석유계 제품 세척제 취급 근로자의 벤젠 노출 위험성 평가

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 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

- 연구결과

- 측정 대상 세척제 물질로는 경질 나프타, 톨루엔, 벤젠, N-헥산으로 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
- 벌크 시료 분석에서 혼합물질(나프타+톨루엔)에서 0.5569%(v/v)로 가장 높은 것으로 나타났고 톨루엔에서 0.0016%(v/v)로 가장 낮은 것으로 나타났다. 벌크 시료에서 벤젠이 불검출된 시료는 없었다.
- 공기 시료 분석에서는 대부분 불검출로 나타났으나 2개 사업장 톨루엔에서 0.011ppm, 0.0474ppm으로 나타났고, 1개 사업장 혼합물질(나프타+톨루엔)에서 0.0173ppm으로 나타났다.
- 시 사 점
- 벌크 시료 분석 결과 30개의 모든 사업장에서 벌크 시료 내에서 벤젠이 검출되었다.
공기 시료에서는 대부분 불검출로 나타났지만 3개 사업장에서 검출이 되었으며, 벤젠이 검출된 사업장의 경우 불검출된 사업장에 비해 환기 여부나 작업환경이 미비한 것으로 나타났다.
- 3. 연구 활용방안
- 석유계 세척제를 취급 근로자의 벤젠 노출을 추정하는 역학조사 자료로 활용 가능하다.
- 석유계 세척제를 취급 근로자의 작업환경관리 및 건강관리 방안을 제시할 수 있다.

4. 연락처

- 연구책임자 : 서울과학기술대학교 안전공학과 교수 김기연
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 직업건강연구실 서희경 연구위원
 - ☎ 052) 7030.872
 - E-mail class22@kosha.or.kr

본 문 차 례

I. 서 론	1
1. 연구 배경 및 필요성	1
2. 연구목적	2
3. 연구 내용	2
4. 연구 방법	3
II. 연구결과	10
1. 경질 나프타 등 석유계 제품 세척제 사용실태조사	10
2. 석유계 제품 세척제 취급 사업장 관리 실태조사	59
3. 벤젠 노출 현장 평가 수행	70
4. 화학물질 위험성 평가(CHARM)	79
III. 결론	100
1. 벌크 시료 함유량 및 공기 시료 노출량	100
2. 조사 사업장의 작업 환경 특성	102
3. 종합의견	103
IV. 참고 문헌	107
V. 부록	112
부록 1. CHARM 기법 Check list	112
부록 2. 현장조사표	114

표 차례

<표 2-1> 세척제 종류	11
<표 2-2> MSDS 상 나프타 함유 세척제의 벤젠 함유량	14
<표 2-3> 나프타 함유 세척제의 GC/MS 정성분석을 통한 벤젠 함량	15
<표 2-4> 각 제품별 벤젠 함량	16
<표 2-5> 국외의 연도와 제품에 따른 벤젠 함량	18
<표 2-6> 국내의 연도와 제품에 따른 벤젠 함량	20
<표 2-7> 국내에서 석유화학제품 내 벤젠 함유량과 취급 근로자의 공기 중 노출 수준이 함께 보고된 자료	21
<표 2-8> 세척작업 시 공기 중 벤젠 농도	24
<표 2-9> 용도와 제품에 따른 벤젠의 평균, 최소, 최대 함량	32
<표 2-10> 용도, 제품, 벤젠 함량에 따른 8시간 작업 시 노출 농도 ..	33
<표 2-11> 유기용제 성분 분석 결과	38
<표 2-12> 2번, 4번, 10번 시료(래커 시너)의 분석 결과	40
<표 2-13> 래커 시너, 산업용제(인쇄), 분사도장용제, 사진인쇄용제의 각 성분계의 함량	43
<표 2-14> 주요 성분의 함량 구분의 구성 비율	44
<표 2-15> 벤젠 관련 직업성 질환자의 업종 중 세척제와 관련된 공정 48	
<표 2-16> 환자 발생을 중심으로 본 우리나라의 벤젠 관련 주요 업종과 직종	49
<표 2-17> 세분류 한 직업별 통합 벤젠 노출 수준(ppm)	49
<표 2-18> 국외 석유화학 제품별 벤젠 함유량(%)	50

<표 2-19> 석유화학제품 및 시기별 벤젠 함유량에 대한 국외 논문 분석 결과 요약	51
<표 2-20> 국내 석유화학 제품별 벤젠 함유량(%)	53
<표 2-21> 유기용제 취급 사업장 작업환경 측정 결과서	55
<표 2-22> 벤젠 함유 가능 납사 종류	57
<표 2-23> 벤젠이 검출된 제품 정보	58
<표 2-24> 국내 유통되는 시약 중 벤젠 함량 조사 결과	71
<표 2-25> 1차 측정 벌크 시료 내 벤젠 함량 및 공기 중 벤젠 농도 측 정 결과	73
<표 2-26> 2차 측정 벌크 시료 내 벤젠 함량 및 공기 중 벤젠 농도 측 정 결과	75
<표 2-27> 벤젠의 건강 유해성 정보	93
<표 2-28> 벤젠의 물리 화학적 특성	94
<표 2-29> 사업장 화학물질 위험성 평가 결과 (작업환경측정 결과가 있 는 경우)	95
<표 2-30> 사업장 화학물질 위험성 평가 결과 (작업환경측정 결과가 없 는 경우)	98
<표 3-1> 물질별 벌크 시료 내 벤젠 함유량	100
<표 3-2> 물질별 공기 시료 내 벤젠 노출량	101

그림 차례

[그림 1-1] 벌크 시료	4
[그림 1-2] 벌크 시료	4
[그림 1-3] 현장 공기 시료 측정	7
[그림 2-1] 벤젠 함유 국외 제품의 비중	17
[그림 2-2] 벤젠 함유 국내 제품의 비중	19
[그림 2-3] 벤젠이 0.1% v/v보다 낮은 그룹(A)과 그보다 높은 그룹(B)의 노출 농도	29
[그림 2-4] 평균 0.0058%(w/w)의 벤젠을 함유한 솔벤트를 기초로 한 미 네랄 스피릿을 8시간 이상 사용한 가까운 영역(A)과 먼 영역(B)의 노출 농도 분포	30
[그림 2-5] 1974년에 쓰인 14종의 시너 제품에서의 톨루엔과 벤젠 함량 간의 상관관계	35
[그림 2-6] 모든 석유 유래 제품(a), 시너 제품(b)의 1975~2013년의 최대 벤젠 함량 트렌드	36
[그림 2-7] 작업환경측정 혹은 특수건강검진 비대상 세척제 사업장 연 도별 분포	69
[그림 2-8] 벤젠 1% 이상 함유 석유제품	71
[그림 3-1] 세척제 물질별 벌크 시료 내 벤젠 함유량	105
[그림 3-2] 세척제 물질별 공기 시료 내 벤젠 노출량	105

I. 서론

1. 연구 배경 및 필요성

세척제는 제조업, 건설업, 병원 및 건물 청소업 등 다양한 업종에서 널리 취급하고 있으며, 세척제 종류의 대부분은 유기용제로 이소프로필알코올(IPA), 에틸알코올, 염화메틸렌, 트리클로로에틸렌(TCE), 톨루엔, 크실렌 등 여러 화학물질을 사용하고 있다.

최근 작업환경측정 및 특수건강진단 비대상 인자 분류 등 산업안전보건법에서 관리되지 않는 물질을 사용하는 새로운 세척제가 개발·공급되고 있으나, 이들 대체물질에 대한 유해성은 제대로 파악되지 않고 있다.

2018년 사전 예방적 역학조사 『세척제 취급실태 및 건강유해성 조사-작업환경측정, 특수건강진단 비대상 유해인자 중심으로』에서 위험성 평가 결과 위험성이 높은 8점 이상의 화학물질 15종 중 석유계 제품은 5종(솔벤트나프타, 경질나프타, 액화 석유가스, 수소처리된 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 벤젠이 검출되었다.

현재 국내에서 사용되고 있는 경질 나프타 등의 석유계 제품 세척제의 사용실태를 파악하고, 벤젠 함유량 및 노출 수준 등의 위험성 평가를 통하여 세척

제 취급 근로자의 벤젠 노출 고위험군을 파악할 필요성이 있다.

2. 연구목적

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

3. 연구 내용

1) 경질 나프타 등 석유계 제품 세척제 사용실태조사

- (1) 석유계 제품 세척제의 정의
- (2) 국내 사업장에서 유통, 사용 중인 석유계 제품 세척제의 종류
- (3) 석유계 제품 세척제의 과거 노출 및 평가 자료 조사

2) 석유계 제품 세척제 취급 사업장 관리 실태조사

- (1) 세척제 관리에 대한 국내외 법규, 제도 조사
- (2) 작업환경 측정 및 특수건강검진 현황

3) 벤젠 노출 위험성 평가 수행

- (1) 조사대상 세척제 선정
- (2) 현재 사용 중인 제품의 MSDS 상 벤젠 비 함유 세척제의 벌크
시료 분석
- (3) 벤젠의 개인 노출 수준 평가

4) 화학물질 위험성평가(CHARM)

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

4. 연구 방법

1) 문헌고찰

벤젠 함유 석유계 제품의 국내외 법규 및 제도, 연구사례 고찰

2) 석유계 제품 세척제 실태조사를 바탕으로 조사 대상 세척제 선정

- Toxfree 자료, 작업환경측정 결과 및 특수건강검진 결과 DB, MSDS, 환경
부 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

-벌크 시료 분석

(1) 채취 방법

- 유리로 된 바이알에 해당 시료를 휘발을 고려하여 20ml 정도 가득 담는다.
- 입구를 파라필름으로 밀봉하여 분석실로 이동한다.



[그림 1-1] 벌크 시료



[그림 1-2] 벌크 시료

(2) 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 분석 기기는 가스크로마토그래피-질량분석기(Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS)를 이용하여 분석하였다.

분석 장비 및 조건은 다음과 같다.

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 : EI (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

-벤젠의 공기 시료 노출 수준 평가

(1) 시료채취 방법

- 시료 채취

- a. 각 개인 시료채취 펌프를 하나의 대표적인 시료채취 매체로 보정한다.
- b. 시료채취 바로 전에 활성탄관 양 끝을 절단한 후 유연성 튜브를 이용하여 짧게 연결하고, 다시 유연성 튜브를 이용하여 펌프와 연결한다.
- c. 0.01~0.2 L/min에서 정확한 유량으로 5~30L 정도 시료를 채취한다.
- d. 시료채취가 끝나면 활성탄관을 플라스틱 마개로 막아 밀봉한 후 운반한다.



[그림 1-3] 현장 공기 시료 측정

- 시료 전처리

- a. 흡착관의 앞 층과 뒤 층을 각각 다른 바이알에 담는다. 유리섬유와 우레탄폼 마개는 버린다.
- b. 각각의 바이알에 탈착액(CS₂) 1 ml를 넣고, 즉시 뚜껑을 닫는다.
- c. 가끔 흔들면서 30분 정도 방치한다.

(2) 시료 분석 방법

- a. 시료 농도가 포함될 수 있는 적절한 범위에서 최소한 5개의 표준물질로

검량선을 작성한다.

- b. 시료 및 공시료를 함께 분석한다.
- c. 다음 과정을 통해 탈착효율을 구한다.

- 탈착 효율 시험

a. 각 시료 군 배치당 최소한 한 번씩은 행하여야 하며 3개 농도 수준에서 각각 3개씩과 공시료 3개를 준비한다.

b. 탈착 효율 분석용 흡착관의 뒤 층을 제거한다.

c. 분석 물질의 원액 또는 희석액을 마이크로실린지를 이용하여 정확히 흡착관 앞 층에 주입한다.

d. 흡착관을 마개로 막아 밀봉하고, 하루 동안 상온에 놓아둔다.

e. 탈착시켜 검량선 표준용액과 같이 분석한다.

f. 다음 식에 의해 탈착 효율을 구한다.

탈착 효율(Desorption Efficiency, DE) = 검출량 / 주입량

- 가스크로마토그래피 제조회사가 권고하는 대로 기기를 작동시키고 조건을 설정한다. (분석 기기, 컬럼 등에 따라 적정한 분석 조건을 설정하며, 아래의 조건은 참고사항)

주입량		1 μ l
운반가스		질소 또는 헬륨, 24ml/min
온도	도입부	220℃
	컬럼	40℃ (5min) → 10℃/min, 200℃ (5min)
	검출부	250℃

- 시료를 정량적으로 정확히 주입한다. 시료 주입방법은 flush injection technique와 자동주입기를 이용하는 방법이 있다.

- 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

벌크 시료의 경우 유리 바이알에 약 20ml 정도 30개 채취하였고, 공기 시료의 경우 작업자 호흡기 반경 30cm에 개인 시료와 가장 많이 노출될 수 있을 것으로 추정되는 작업자의 주 작업 위치에서 지역 시료로 구분하여 각각 30 개씩 측정하였다.

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 분야에서는 세정(세척)이라 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 다음과 같다.(중소기업청, 2009)

<표 2-1> 세척제 종류

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

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), 메탄올(67-56-1), 아세톤(67-14-1), 사염화탄소(56-23-5), 퍼클로로에틸렌(127-18-4)

등으로 비수계 세척제를 사용한다고 볼 수 있다.

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 “석유제품”을 휘발유, 등유, 경유, 중유, 윤활유와 이에 준하는 탄화수소유 및 석유 가스로 규정하고 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. 또한, MSDS 상 벤젠이 함유되지 않은 것으로 표기되었으나 GC/MS 분석 결과 0.07~ 0.93% 함유되어 있었다.

“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.

- 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> MSDS상 나프타 함유 세척제의 벤젠 함유량

제조사	함유물질명	CAS No.	함량
A세척제	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
B세척제	경질나프타	64741-46-4	91%
	벤젠	71-43-2	2%
	톨루엔	108-88-3	5%
	자일렌	1330-20-7	2%
C세척제	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 벤젠 함량**

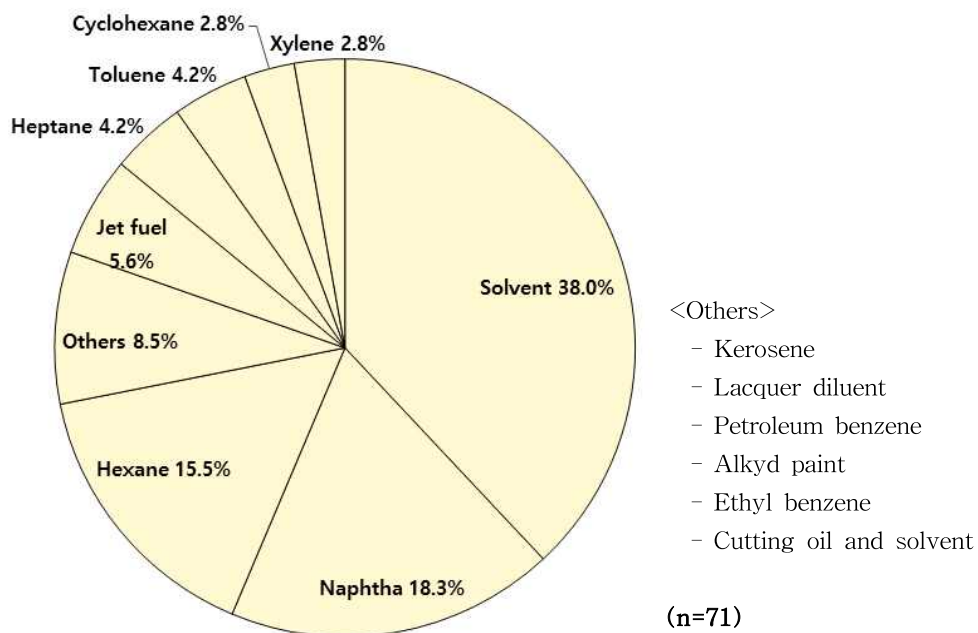
제조사	MSDS상 함유물질	CAS 번호	함량(%)	벤젠 함량(wt %)
A	경질나프타	64741-46-4	80~90	0.93
	톨루엔	108-88-3	0.3~10	
	크실렌	1330-20-7	0.3~10	
	영업비밀		0~10	
B	경질나프타	64741-46-4	98	0.21
	에틸벤젠	111-76-2	2	
C	T-naphtha	64741-46-4	50~60	0.17
	Heavy naphtha	64741-41-9	25~30	
	N-Hexane	110-54-3	5~20	
	톨루엔	108-88-3	1~6	
	자일렌	1330-20-7	1~6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

제품명		구성성분	CAS	함량	MSDS 최종 개정일자
Naphtha	경질나프타, LSR 납사(LSR Naphtha), 경나프타	경질 나프타(LIGHT STRAIGHT-RUN APHTHA)	64741-4 6-4	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)	64741-4 6-4	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 용 제(EXTRACTS(P ETROLEUM), HEAVY NAPHTHA SOLVE	64741-9 8-6	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 처리 된 경 증류물)	Distillates (petroleum), hydrotreated light	64742-4 7-8	100	2018. 08.03
Techsol 2 (방향족)	Techsol 2	Heavy naphtha solvent extracts (petroleum)	64741-9 8-6	>99	2019. 06.28
		벤젠	71-43-2	<1	

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

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



[그림 2-1] 벤젠 함유 국내 제품의 비중

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

벤젠 함유 제품에 대한 국외 자료 수집 결과 총 71개의 함유량 데이터 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.

<표 2-5> 국외의 연도와 제품에 따른 벤젠 함량

Product	<1980, %				1981~1999, %				≥2000, %				Total, %			
	N	WAM ¹⁾	Min	Max	N	WAM	Min	Max	N	WAM	Min	Max	N	WAM	Min	Max
Cyclohexane	2	2.1	0.01	4.2	0		NR	NR	0		NR	NR	2	2.1	0.01	4.2
Heptane	2	1.1	0.01	3.1	0		NR	NR	1	1.0	1.0	1.0	3	1.1	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	11	1.5	0.004	6.0
Jet fuel	0		NR	NR	2	0.3	0.02	0.5	2	0.002	0.0002	0.012	4	0.1	0.0002	0.5
Naphtha	7	2.1	0.1	9.3	3	0.7	0.1	1.0	3	0.4	0.1	1.0	13	1.5	0.1	9.3
Others	3	0.8	0.01	3.0	1	0.0029	0.0025	0.0033	2	0.3	0.03	1.0	6	0.4	0.0025	3.0
Solvent	7	0.8	0.01	7.0	13	0.9	0.002	4.2	7	0.3	0.0009	1.0	27	0.7	0.0009	7.0
Toluene	1	0.06	0.01	0.2	0		NR	NR	2	0.8	0.1	5.0	3	0.52	0.01	5.0
Xylene	1	0.04	0.01	0.1	0		NR	NR	1	0.1	0.1	0.1	2	0.06	0.01	0.1

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

Heptane : 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, 1995; ATSDR, 1998

Kerosene : Hillman, 1978

Lacquer diluent : Hillman, 1978

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

Petroleum benzene : NOISH, 1977

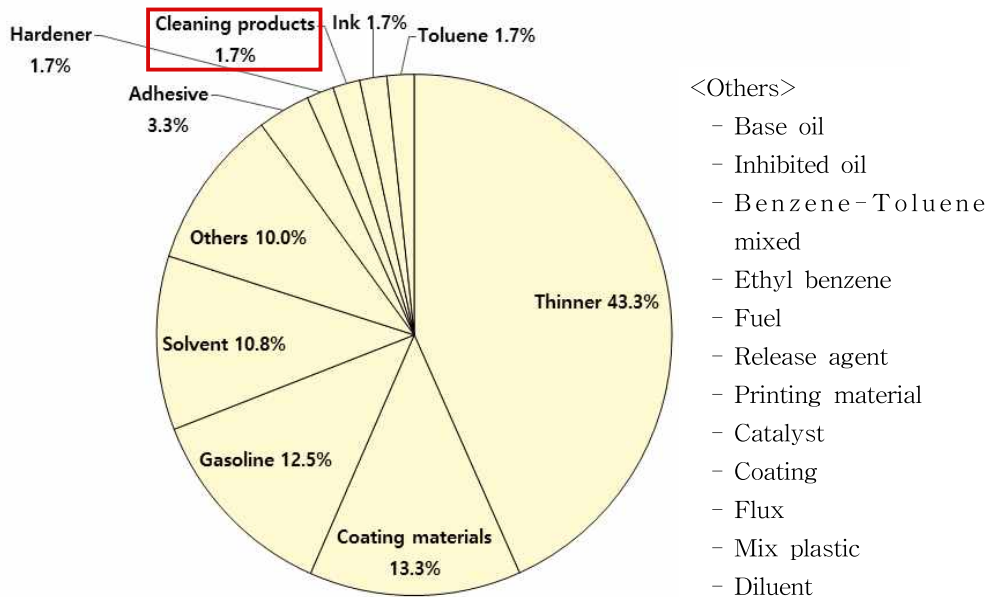
Solvent : ATSDR, 2002; Carpenter, 1975; Daniels, 1982; Elkins, 1956; Fedoruk, 2003; Hillman, 1978; IARC, 1989; Kasahara, 1987; Madl, 2002; Mehlman, 2004; NOISH, 1977; U.S. Coast Guard, 1993; WHO, 1996

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] 벤젠 함유 국내 제품의 비중

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

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 2-6> 국내의 연도와 제품에 따른 벤젠 함량

Products	<1980, %				1981~1999, %				≥ 2000, %				Total ³⁾ , %			
	N	WAM ¹⁾	Min	Max	N	WAM	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	4	2.1	0.13	5.7
Cleaning products	0		NR	NR	0		NR	NR	2	0.8	0.17	1.5	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	16	0.1	0.00018	1.3
Gasoline	0		NR	NR	8	3.3	1.0	5.9	6	2.2	0.44	6.0	15	2.7	0.44	6.0
Hardener	0		NR	NR	2	1.9	1.8	2.0	0		NR	NR	2	1.9	1.8	2.0
Ink	0		NR	NR	2	0.4	0.21	0.5	0		NR	NR	2	0.4	0.21	0.5
Others ²⁾	0		NR	NR	3	0.8	0.303	1.1	9	4.0	0.0026	30.1	12	3.4	0.0026	30.1
Solvent	0		NR	NR	10	2.3	0.016	20.5	3	3.6	0.5	9.0	13	2.6	0.016	20.5
Thinner	14	12.6	4.0	26.8	8	3.5	0.01	56.7	23	0.3	0.00018	2.1	52	5.8	0.00018	56.7
Toluene	0		NR	NR	1	0.0001	0.0001	0.0001	1	0.09	0.09	0.09	2	0.05	0.0001	0.09

1) WAM-Weighted Arithmetic Mean

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

1) 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 2-7> 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	
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 2-7> 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	
		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	
Washing	Solvent	V/V	1	1.28			Laundry	P	17	1.43 (2.63)				Roh, 2001
										0.38 (2.94)				
								A	20	1.48 (3.09)				

<표 2-7> 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		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)

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

<표 2-8> 세척작업 시 공기 중 벤젠 농도

E v e n t	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	Left	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)
							lapel (0.1m)	lapel (0.1m)							
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 2-8> 세척작업 시 공기 중 벤젠 농도(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	0.68d,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 2-8> 세척작업 시 공기 중 벤젠 농도(계속)

Ex- posed person	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)

<표 2-8>은 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 중엔 엔진 디그리서 이용자의 노출량이 약간 높게 나타났다.

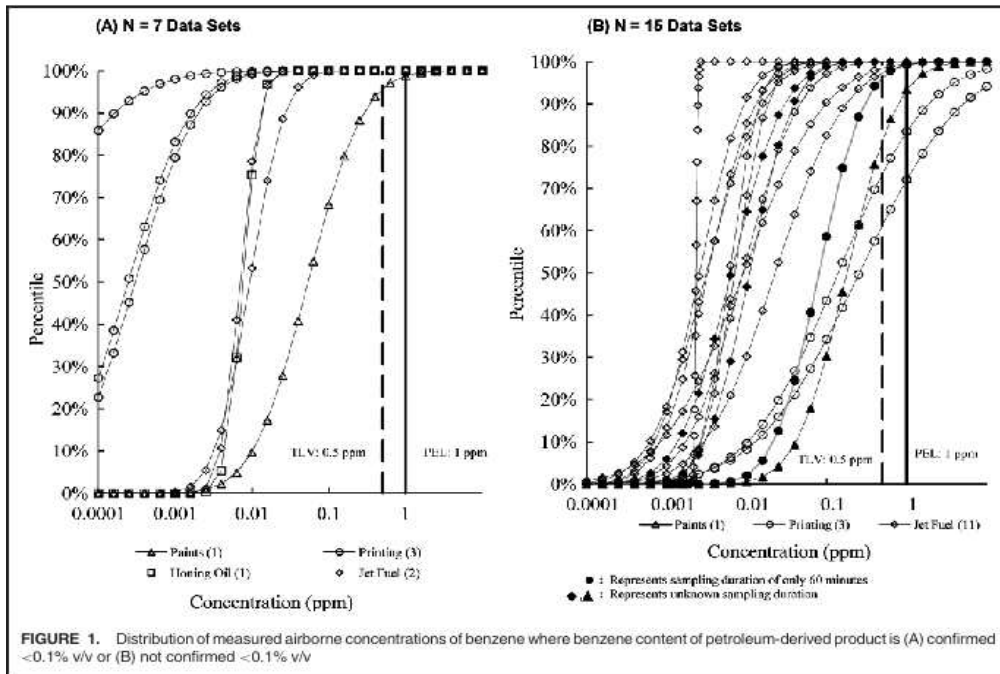
공기 중 벤젠 농도는 두 개의 석유계 용제(페인트 시너 및 엔진 그리스 제거제)로 표면 세척 중 환기가 되지 않는 작업 현장에서 측정되었다. 용매에 벤젠을 첨가하여 액체 중 0.001, 0.01, 0.1v%의 목표 농도를 얻었다. 18~32분의 시간가중평균으로 나타낸 벤젠의 평균 작업 호흡 구역 농도는 0.01ppm, 0.05ppm, 0.27ppm으로 용제에 약 0.003, 0.008, 0.07%의 벤젠을 함유하고 있었다.

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 석유 기반 용제 제품은 농도가 0.1% 벤젠 미만일 경우 측정된 것보다 공기 중 벤젠 농도가 높게 생성되지 않는다는 것을 시사한다.

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

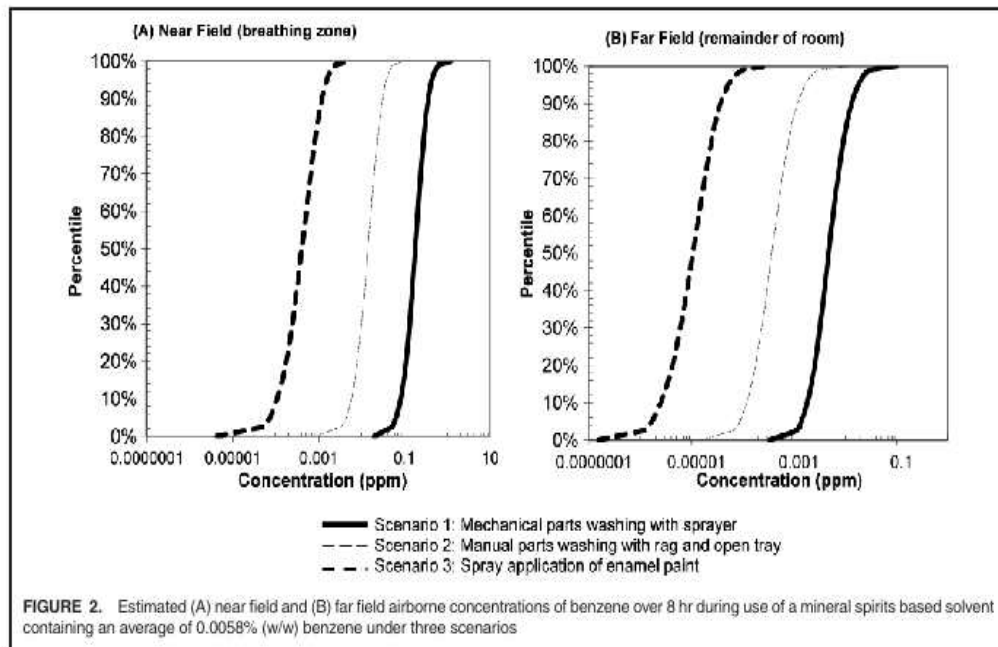
벤젠은 정제 공정으로 인해 혼합 석유 제품의 미량 불순물 또는 잔류 성분으로 존재할 수 있다. 분석 결과 일반적으로 0.1%(v/v) 미만의 벤젠을 함유한 제품, 페인트 용매, 인쇄 용매 및 잉크, 절삭 및 연마유, 접착제, 미네랄 스피릿 및 그리스 제거제, 호흡 구역 및 주변 공기에서 벤젠의 (TWA) 공기 중 농도는 평균 0.01ppm 미만에서 0.3 ppm이다. 제품의 벤젠 함량이 0.1% v/v 미만인 것으로 확인되지 않은 연구를 제외하고, 공기 중 벤젠 농도는 현행 직업상 노출기준 (예: 노출기준 0.5ppm, 허용 노출기준 1ppm)보다 낮았다(<그림 2-4> 참조).

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, 2-4> 참조).



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

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



**[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**

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

(4) 1974년부터 2012년도까지 국내에서 사용된 석유계 유래 제품들의 잠재적 벤젠 위험성(Choi et al, 2018)

본 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 2-9, 2-10, 그림 2-5, 2-6>).

<표 2-9> 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	N	WAM	Min	Max
Adhesive					1	0.3	0.3	0.3	3	2.1	0.13	5.7	4	1.6	0.13	5.7
Cleaning products									2	0.8	0.17	1.5	2	0.8	0.17	1.5
Coating materials					2	0.4	0.01	0.7	21	0.16	0.00018	1.3	23	0.18	0.00018	1.3
Diluent									8	0.04	0.0026	0.3	8	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 2-10> 용도, 제품, 벤젠 함량에 따른 8시간 작업 시 노출 농도

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
Fuel	Gasoline	W/W	1	3.9			Gas station A	P	8		10	7.8	13.2	Song <i>et al.</i> , 2000
								P	7	0.089		0.003	0.2	
							Gas station B	A	7	0.023		0.004	0.068	
								P	3	0.075		0.07	0.08	
							Gas station C	A	4	0.012		0.006	0.022	
								P	6	0.18		0.14	0.19	
							Gas station D	A	10	0.19		0.084	0.57	
								P	1	0.16				
							Gas station E	A	5	0.19		0.14	0.31	
								P	5	0.12		0.1	0.14	
							Gas station F	A	5	0.097		0.085	0.12	
								P	5	0.13		0.07	0.19	
Washing	Solvent	V/V	1	1.28			Gas station G	A	7	0.07		0.035	0.15	Roh <i>et al.</i> , 2001
								P	3	0.15		0.11	0.19	
							Laundry	A	6	0.065		0.036	0.11	
								P	17	1.43(2.63)				
								A ^c	18	1.19(2.83)				
							Ad	20	1.48(3.09)					

<표 2-10> 용도, 제품, 벤젠 함량에 따른 8시간 작업 시 노출 농도(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	
							Mixing	A	1		2.16 ^c			
Leather manufacturing	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										
	Hardener	NR	1	2										
Parts of an automobile cluster	Gasoline	V/V	1	4			Testing	P	2		5.09	3.5	6.68	OSHRI, 2013
development testing								A	2		3.34	2.67	4	
Adhesive	Adhesive	A/A	2	2.9	0.13	5.66	Adhesive	P	1		0.05			OSHRI, 2013
								A	2		0.06	0.05	0.06	
Painting	Thinner	A/A	1	0.01			Painting	P	5		1.53	0.01	6.55	OSHRI, 2013
	Coating materials		1	0.05										
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)

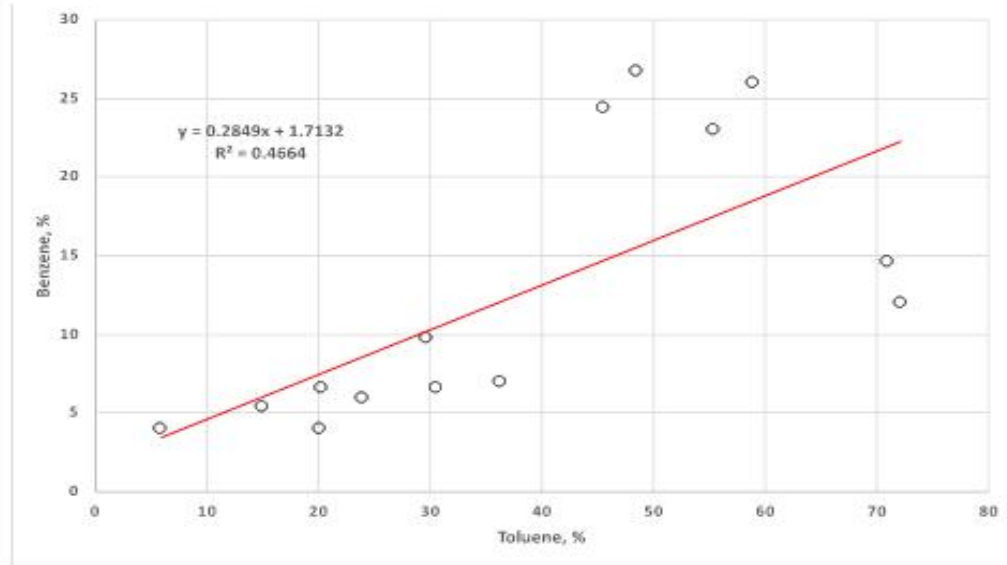


Fig. 1. Correlation between benzene and toluene content in 14 thinner products used in 1974 (Ro, 1975).

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

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

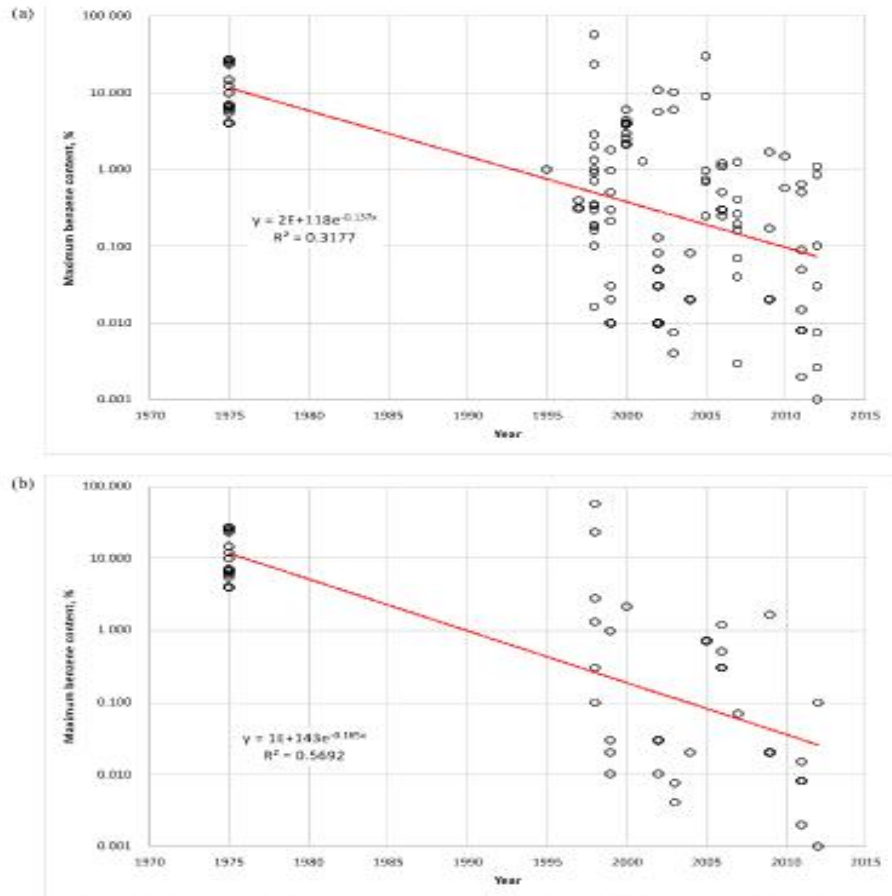


Fig. 2. Annual trends of the maximum benzene content in (a) all petroleum-derived products and (b) thinner products reported from 1975 to 2013 in Korea.

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

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

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

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

시료당 용매 성분, 용매 성분의 주파수, 각 성분의 내용물을 용도에 따라 분석·분류하였다. 전체 시료의 77%, 페인트 93%, 희석제 85%, 접착제 73%, 그리스 제거제 52%가 혼합 유기용제를 함유하고 있었다. 표본당 평균 용제 성분 수는 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 표본당 함량은 매우 높았다. 용제 제품에서는 아세테이트, 알코올, 케톤, 글리콜 등이 자주 검출되었지만, 이러한 용제 성분은 보통 부하 용제로 사용되기 때문에 표본당 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.

로데탄의 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 <2-11>은 맨 위에서부터 벤젠, 톨루엔, 크실렌, 에틸벤젠, 스티렌 순으로 나타낸 것이다.

<표 2-11> 유기용제 성분 분석 결과

주6. 유기용제 성분 분석 결과(비 휘발성 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
스티렌	2(1)	99.0	-(-)	-	-(-)	-

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

(6) 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 <2-12~14>과 같다.

<표 2-12> 2번, 4번, 10번 시료(래커 시너)의 분석 결과

시료번호	No.10		시료번호	No.2		시료번호	N-4				
Peak No.	Name	%	Peak No.	Name	%	Peak No.	Name	%	Peak No.	Name	%
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	tetracarbon chloride	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 Me-pentane	0.41	28	trichloroethylene	4.03

<표 2-12> 2번, 4번, 10번 시료(래커 시너)의 분석 결과(계속)

시료번호	No.10		시료번호	No.2		시료번호	N-4				
Peak No.	Name	%	Peak No.	Name	%	Peak No.	Name	%	Peak No.	Name	%
8	cycro-hexane	1.41	8	ethyl alcohol	0.73	8	hexene-1	0.20	29	I-butyl alcohol	2.20
9	vinyl-acetate	16.40	9	n-octane	4.50	9	n-hexane	0.30	30	n-nonane	3.00
10	n-octane	0.16	10	methyl acrylate	4.63	10	Me-cyclo-pentane	1.15	31	toluene	9.13
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	3.90
13	benzene	3.07	13	methyl methacrylate	1.00	13	n-hepatane	0.65	34	tetrachloroethylene	3.60
14	2 Me-octane	1.00	14	toluene	16.08	14	acetone	2.70	35	n-decane	1.00

<표 2-12> 2번, 4번, 10번 시료(래커 시너)의 분석 결과(계속)

시료번호	No.10		시료번호	No.2		시료번호	N-4				
Peak No.	Name	%	Peak No.	Name	%	Peak No.	Name	%	Peak No.	Name	%
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 2-13> 래커 시너, 산업용제(인쇄), 분사도장용제, 사진인쇄용제의 각성분계의 함량

	시료수		aliphatic	aromatic	alcohol	acrylate	acetate	chloride	aldehyde	ketone	합계
래커 시너	47	최소	40.50	60.37	47.44	38.23	24.28	33.99	4.16	8.89	93.86
		최대	0.00	1.12	0.00	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	0.94	84.31
산업 용제 (인쇄)	3	최소	17.77	33.46	18.40	39.66	40.55	40.21	2.20	2.44	91.44
		최대	4.20	10.10	0.00	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	1.20	80.94
분사 도장 용제	2	최소	22.98	51.46	4.33	0.00	0.00	36.45	2.14	1.95	80.63
		최대	6.43	28.40	3.33	0.00	0.00	0.00	1.06	0.80	78.70
		평균	14.71	39.93	3.88	0.00	0.00	18.23	1.60	1.38	79.70
사진 인쇄 용제	5	최소	31.28	46.86	27.57	8.51	21.39	20.63	0.00	2.70	93.12
		최대	10.60	15.03	4.13	0.00	1.85	0.00	0.00	0.00	77.84
		평균	16.42	31.78	12.66	5.48	8.05	11.82	0.00	1.08	87.29
총 평균	56		11.06	36.61	10.02	6.44	8.69	10.33	0.28	0.98	84.40

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

<표 2-14> 주요 성분의 함량 구간의 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)

(7) 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.

(8) 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 윤전 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.

(9) 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, 메틸에틸 케톤, 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.

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

액체 렌치 제품은 다양한 소비자 및 산업환경에서 일반적으로 사용되는 다용도 침투제 및 윤활제이다. 연구는 1960년에서 1978년 사이에 사용된 비에어로졸 액상 렌치 제형과 유사한 물리·화학적 특성을 가지도록 여러 제품의 제형

을 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 15분 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, 톨루올, 자일렌, 사이클로헥산, 헥산)의 대기 농도도 측정하였으며, 결과는 시험제품 내 화학물질의 휘발성 및 농도와 일치하였다.

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

1930년대에서 1960년대 초기까지 벤젠은 인쇄산업에서 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 2-15> 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 2-16> 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 조작원(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 2-17> 본 연구에서 세분류 한 직업별 통합 벤젠 노출
수준(ppm)**

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

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

<표 2-18> 국외 석유화학 제품별 벤젠 함유량(%)

제품명	<1980		1981~1999		≥2000		Total	
	최솟값	최댓값	최솟값	최댓값	최솟값	최댓값	최솟값	최댓값
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	-	-	0.02	0.5	0.0002	0.012	0.0002	0.5
연료								
헵탄	0.01	3.1	-	-	1	1	0.01	3.1
톨루엔	0.01	0.2	-	-	0.1	5	0.01	5
시클로								
헥산	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								
밋	-	-	0.0025	0.0033	-	-	0.0025	0.0033
용매								
알킬	-	-	-	-	-0.1	1	0.1	1
벤젠								
에틸	-	-	-	-	0.03	0.0887	0.03	0.0887
벤젠								

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

<표 2-19>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 2-19> 석유화학제품 및 시기별 벤젠 함유량에 대한
국외 논문 분석 결과 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
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
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 2-20> 국내 석유화학 제품별 벤젠 함유량(%)

제품명	<1980년		1981~1999년		2000~2002년		≥2003년		Total	
	최솟값	최댓값	최솟값	최댓값	최솟값	최댓값	최솟값	최댓값	최솟값	최댓값
시너류	4	26.8	0.01	56.66	0.000 18	2.12	0.001	1.66	0.000 18	56.7
가솔린 류	-	-	1	24	4	6	0.03	0.96	0.03	24
도장재 료	-	-	0.01	0.7	0.000 18	0.05	0.003	1.25	0.000 18	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	-	-	0.000 1	0.000 1	-	-	0.09	0.09	0.000 1	0.09
기타*	-	-	0.303	1.09	9.5	10.8	0.002 6	30.09 6	0.002 6	30.09 6

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

** 년도가 표기되지 않은 제품 함량 포함

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

(12) 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.

(13) 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 3~35ppm 이었다. 1960~1970년대에는 1.3~16 ppm, 1980년대에는 0.013~1 ppm 이었다.

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

작업환경측정기관 75개소의 98년도에 실시한 유기용제 취급 사업장의 작업 환경측정 결과서를 조사대상으로 하였다. 8개 공정에서 벤젠이 검출되었다.

<표 2-21> 유기용제 취급 사업장 작업환경측정 결과서

Workplace	Spray	Brush ing	Printi ng	Adhes ion	Washi ng	Mixin g	Dryin g	Other s	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									
hydrocarbon s	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 (6.0)
Monochlorob enzene	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(8 (2.6)	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)

(15) 「자동차의 발암물질이 노동자·소비자·환경에 미치는 영향」 중 발제문 ‘자동차 생산 과정에서 사용되는 화학물질의 문제와 대책(김신범, 2010)

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

발암물질 조사 과정에서 벤젠이 함유될 수 있는 17종의 나프타를 확인하였다. 주로 사용되는 나프타는 솔벤트나프타(64742-95-6)와 스토타드솔벤트(8052-41-3), 수소처리된 중질 나프타(64742-48-9)였다.

<표 2-22> 벤젠 함유 가능 납사 종류

카스번호	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 벤젠이 함유 여부를 알 수 없던 제품의 시료를 채취하였다. 총 79개의 시료 중 77개의 제품은 벤젠 함유 여부를 알 수 없었다.

<표 2-23> 벤젠이 검출된 제품 정보

연번	용도	제품명	제조사	분석결과(%)
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)

2. 석유계 제품 세척제 취급 사업장 관리 실태 조사

1) 세척제 관리에 대한 법규 및 제도 조사(국내)

(1) 용제세척작업에 관련된 산업안전보건법규 (전면개정 전 -> 전면개정 후)

a. 보건상의 조치

산업안전보건법 §24 -> §39

b. 물질안전보건자료의 작성과 비치

산업안전보건법 §41 -> §110, §111, §114

시행령 §32의 2 -> §86

시행규칙 §92의 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 -> §156, §157, §159, §164

c. 작업환경측정

산업안전보건법 §42 및 §42의 2 -> §125, §127

시행규칙 §93 및 §93조의 2, 3, 4 -> §186, §187, §188, §189, §194, §202

d. 건강진단

산업안전보건법 §43 및 §43의 2 -> §129, §130, §141

시행규칙 §98, §98의 2, 3, §99, §99의 2, 4, §100 -> §195, §196, §197, §200, §201, §202, §203, §205, §206, §209, §221, §222, §223

(2) 식품의약품안전처 고시(위생용품의 기준 및 규격)

- 개별기준 및 규격

a. 적용 범위: 야채, 과일, 식품의 기구·용기, 식품 제조·가공용 기구 등을 씻는 용도로 사용되는 제제(製劑)에 적용.

b. 위생용품의 유형

1종 세척제는 사람이 그대로 먹을 수 있는 야채, 과일 등을 씻는데 사용되는 세척제를 말한다.

2종 세척제는 가공 기구, 조리기구 등 식품 기구(자동 식기세척기 포함)·용기를 씻는데 사용되는 세척제를 말한다.

3종 세척제는 식품의 제조 장치, 가공장치 등 제조·가공용 기구 등을 씻는데 사용되는 세척제를 말한다.

세척제에 사용할 수 있는 성분은 별표와 같다. 다만, 식품위생법에 따른 식품 첨가물이거나 식품 성분으로 인정된 경우에는 사용할 수 있다.

(3) 위생용품관리법

제2조(정의): 1. "위생용품"이란 보건위생을 확보하기 위하여 특별한 위생관리가 필요한 용품으로서 다음 각 목의 구분에 따른 용품을 말한다.

세척제로서 다음의 어느 하나에 해당하는 것

a. 야채, 과일 등을 씻는 데 사용되는 제제(製劑)

b. 식품의 용기나 가공 기구, 조리기구 등을 씻는 데 사용되는 제제(이하 하략)

2) 세척제 관리에 대한 법규 및 제도 조사(국외)

(1) 미국 환경보건국 - Control Techniques Guidelines: Industrial Cleaning Solvents

CTG는 최소 6.8kg/day(15lb/day)의 휘발성 유기화합물을 방출하는 혼합 용기(탱크), 스프레이 부스, 부품 세척기와 같은 세척 단위공정 용도로 유기 용제를 사용해야 하는 산업에 적용된다.

이물질을 제거하기 위한 세척 활동에는 닦기, 플러싱, 스프레이와 같은 동작(활동)이 포함된다.

규정은 작업 실무기준을 조합하여 사용하는 용제의 VOC 함량을 제한함으로써 산업용 세정용제의 VOC 배출량을 감소시키는 것을 목적으로 한다.

또한, 미시간 주, 플로리다 주, 뉴저지 주, 인디애나 주 규칙을 검토했다. 4개의 주 규칙에는 VOC 용량의 한계가 요구되지 않는다. 대신 장비 표준, 작업 관행, 기록 보관이 소스별로 요구된다.

산업용 세정용제의 사용·보관·처분에 따른 VOC 배출 억제를 위한 권고안은 작업 실무기준, 세정제의 VOC 함량 제한 등이 있다.

(2) 미국 펜실베이니아 환경보호국 - BUREAU OF AIR QUALITY CONTROL

이 규정은 VOCs(휘발성유기화합물) 배출량을 줄이기 위해 용제 세정 기계로부터 VOCs(휘발성유기화합물)의 시험, 평가 및 제한 요건을 정하고 장비 및 운전 표준에 대한 최소 요건을 설정한다.

A. 적용 가능성.

원격 저장 장치 콜드 클리닝 기계, 콜드 클리닝 기계, 배치 증기 클리닝 기계 및 인라인 증기 클리닝 기계를 포함한 모든 신규 및 기존 용제 클리너에 적용되어야 한다.

B. 제외사항

- a. 20°C(68°F)에서 1.00mmHg 이하 증기압의 세척 용제를 2L(68oz) 미만 사용하는 세척제
- b. Wipe cleaning
- c. 중량에 따른 VOCs 5% 이하를 함유한 용제를 사용한다

일본에서 세척제(세정제)에 대해서 다루고 있는 법은 노동안전위생법, 식품위생법이 있다. 노동안전위생법에서는 산업용 세척제, 식품위생법에서는 가정용이나 식당용 세척제를 다루고 있다.

(3) 일본 식품위생법

제62조 제2항: 제6조 및 제13조 제1항, 제2항의 규정은 세정제로서 채소나 과일, 또는 음식기의 세정용으로 사용되는 것에 대하여 준용한다.

제6조: 다음에 열거한 식품 또는 첨가물은 이를 판매하거나(불특정 또는 다수인에게 수여하는 판매 이외의 경우를 포함한다. 이하 동일.) 또는 판매용으로 제공하기 위해 채취, 제조, 수입, 가공, 사용, 조리, 저장 또는 진열해서는 안 된다.

- a. 부패하거나 변패한 것, 또는 덜 익은 것. 단, 일반적으로 사람의 건강을 해칠 우려가 없고 음식에 적합하다고 인정되는 자는 예외로 한다.
- b. 유독하거나 유해한 물질이 포함 또는 부착되거나 의심스러운 것. 단, 사람

의 건강을 해칠 우려가 없는 경우로서 후생노동대신이 정하는 경우에는 그러하지 아니하다.

c. 병원미생물에 의하여 오염되거나 의심이 있으며 사람의 건강을 해칠 우려가 있는 것.

d. 불결, 이물질의 혼입 또는 첨가 및 기타 사유로 인해 사람의 건강을 해칠 우려가 있는 것.

제13조 제1항: 후생노동성 장관은 공중위생의 관점에서 약사식품위생심의회 의 의견을 들어 판매용으로 사용하는 식품 또는 첨가물의 제조, 가공, 사용, 조리 또는 보존 방법에 관한 기준을 정하거나 판매용으로 사용하는 식품 또는 첨가물의 성분에 대하여 규격을 정할 수 있다.

제2항: 전항의 규정에 따라 기준 또는 규격이 정해진 때에는 그 기준에 맞지 않는 방법으로 식품 또는 첨가물을 제조, 가공, 사용, 조리, 보존하고, 그 기준에 맞지 않는 방법에 의한 식품 또는 첨가물을 판매하거나 수입하거나 그 규격에 맞지 않는 식품 또는 첨가물을 제조, 수입, 가공, 사용, 조리, 보존, 판매하여서는 아니 된다.

(4) 일본 노동안전위생법

제28조(기술상의 지침 등의 공표) 제3항: 후생노동장관은 다음 화학물질로서 후생노동장관이 정하는 것을 제조하거나 취급하는 사업자가 해당 화학물질에 의한 노동자의 건강장애를 방지하기 위한 지침을 공표한다.

a. 제57조의 4 제4항의 규정에 따른 권고 또는 제57조의 5 제1항의 규정에 따른 지시에 관한 화학물질

b. 전호에 열거한 화학물질 이외의 화학물질로서 암 및 기타 중증 건강장애

를 노동자에게 발생할 우려가 있는 것

제57조의 4(화학물질의 유해성 조사) 제1항: 화학물질에 의한 노동자의 건강 장애를 방지하기 위하여 기존의 화학물질로서 정령으로 정하는 화학물질(제3항의 규정에 따라 그 명칭이 공표된 화학물질을 포함한다.) 이외의 화학물질(이하 이 조에서 "신규화학물질"이라 한다.)을 제조하거나 수입하고자 하는 사업자는 미리 후생노동성령으로 정하는 바에 따라 유해성 조사(해당 신규화학물질이 노동자의 건강에 미치는 영향에 관한 조사를 말한다. 이하 이 조에서 동일)를 실시하고, 해당 신규화학물질의 명칭, 유해성 조사 결과 및 기타 사항을 후생노동 장관에게 신고하여야 한다.

단, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 때 및 그 밖에 법령으로 정하는 경우는 예외로 한다.

- a. 해당 신규화학물질에 관하여 후생노동성령으로 정하는 바에 따라 해당 신규화학물질에 대하여 예정되어 있는 제조 또는 취급 방법 등으로 보아 노동자가 해당 신규화학물질에 노출될 우려가 없다는 취지의 후생노동장관의 확인을 받았을 때.
- b. 해당 신규화학물질에 관하여 후생노동성령으로 정하는 바에 따라, 이미 얻은 지식 등에 근거하여 후생노동성령으로 정하는 유해성이 없다는 취지의 후생노동장관의 확인을 받은 때.
- c. 해당 신규 화학물질을 시험 연구를 위해 제조하거나 수입하려는 경우.
- d. 해당 신규화학물질이 주로 일반 소비자의 생활용으로 사용되는 제품(해당 신규화학물질을 함유하는 제품을 포함)으로 수입되는 경우로서 후생노동성령으로 정하는 경우.

제2항: 유해성 조사를 실시한 사업자는 그 결과에 기초하여 해당 신규화학물

질에 의한 노동자의 건강장애를 방지하기 위하여 필요한 조치를 신속하게 강구하여야 한다.

제3항: 후생노동대신은 제1항의 규정에 따른 신고가 있는 경우(동항 제2호의 규정에 따른 확인을 한 경우를 포함)에는 후생노동성령으로 정하는 바에 따라 해당 신규화학물질의 명칭을 공표한다.

제4항: 후생노동장관은 제1항의 규정에 따른 신고가 있는 경우에는 후생노동성령으로 정하는 바에 따라 유해성 조사의 결과에 대하여 학식경험자의 의견을 듣고, 해당 신고와 관련된 화학물질에 의한 노동자의 건강장애를 방지하기 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 시설 또는 설비의 설치 또는 정비, 보호구의 비치 및 그 밖의 조치를 강구할 것을 권고할 수 있다.

제5항: 전항의 규정에 따라 유해성 조사의 결과에 관하여 의견이 요구된 학식경험자는 해당 유해성 조사의 결과에 관하여 알게 된 비밀을 누설하여서는 아니 된다. 다만, 노동자의 건강장애를 방지하기 위하여 부득이한 경우에는 그러하지 아니하다.

제57조의 5 제1항: 후생노동장관은 화학물질로서 암 및 그 밖의 중증 건강장애를 노동자에게 발생할 우려가 있는 것에 대하여 해당 화학물질에 의한 노동자의 건강장애를 방지하기 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 후생노동성령으로 정하는 바에 따라 해당 화학물질을 제조, 수입하거나 사용하고 있는 사업자 및 그 밖에 후생노동성령으로 정하는 사업자에 대하여 법령으로 정하는 유해성 조사(해당 화학물질이 노동자의 건강장애에 미치는 영향에 관한 조사를 말한다.)를 실시하고, 그 결과를 보고할 것을 지시할 수 있다.

제2항: 전항의 규정에 따른 지시는 화학물질에 대한 유해성 조사에 관한 기술 수준, 조사를 실시하는 기관의 정비 상황, 해당 사업자의 조사능력 등을 종합적으로 고려하여 후생노동장관이 정하는 기준에 따라 한다.

제3항: 후생노동장관은 제1항의 규정에 따른 지시를 하려는 경우에는 미리 후생노동성령으로 정하는 바에 따라 학식경험자의 의견을 청취해야 한다.

제4항: 제1항의 규정에 따른 유해성 조사를 실시한 사업자는 그 결과에 기초하여 해당 화학물질에 의한 노동자의 건강장애를 방지하기 위하여 필요한 조치를 신속하게 강구하여야 한다.

제5항: 제3항의 규정에 따라 제1항의 규정에 따른 지시에 대하여 의견이 요구된 학식경험자는 해당 지시에 관하여 알게 된 비밀을 누설하여서는 아니 된다. 다만, 노동자의 건강장애를 방지하기 위하여 부득이한 경우에는 그러하지 아니하다.

(5) 노동안전위생법에서의 화학물질 관리 규제의 추이

1972년 노동안전위생법의 제정 시 규정(유해성의 조사 등)

제58조: 사업자는 화학약품, 화학약품을 함유하는 제제 및 그 밖의 물질로서 노동자의 건강장애가 발생할 우려가 있는 것에 대해서는 미리 이들 물질의 유해성 등을 조사하고, 이 법률 또는 이에 따른 명령의 규정에 따른 조치를 강구하는 외에, 이들 물질에 의한 노동자의 건강장애를 방지하기 위하여 필요한 조치를 강구하도록 노력하여야 한다.

1976년 화학물질의 유해성 조사 신설(사업자가 실시해야 하는 조사 등)

제58조: 사업자는 화학물질, 화학물질을 함유하는 제제 및 기타 물질로서 노동자의 건강장애가 발생할 우려가 있는 것에 대해서는 미리 이들 물질의 유해성 등을 조사하고, 이 법률 또는 이에 기초한 명령의 규정에 따른 조치를 강구하는 외에 이들 물질에 의한 노동자의 건강장애를 방지하기 위하여 필요한 조치를 강구하도록 노력하여야 한다.

1999년 안전데이터시트(SDS) 교부 제도 창설, 노동위생안전 관리 시스템 공시(사업자가 실시해야 하는 조사 등)

제58조 - 제1항 : (위와 같음.)

제2항 : 후생노동장관은 제 28조 제1항 및 제3항에 규정된 것 외에 전 항의 조치에 관해 적절하고 유효한 실시를 도모하기 위하여 필요한 지침을 공포한다.

제3항 : 후생노동장관은 전 항의 지침에 따라 사업자에 대하여 필요한 지도, 원조 등을 할 수 있다.

2005년 위험성평가 대상 범위의 확대(사업자가 실시해야 하는 조사 등)

제28조의 2 : 사업자는 후생노동성령으로 정하는 바에 따라 건설물, 설비, 원재료, 가스, 증기, 분진 등에 의한 또는 작업 행동 및 그 밖에 업무에 기인하는 위험성 또는 유해성 등을 조사하고, 그 결과에 기초하여 이 법률 또는 이에 기초한 명령의 규정에 따른 조치를 강구하는 외에 노동자의 위험 또는 건강장애를 방지하기 위하여 필요한 조치를 강구하도록 노력하여야 한다. (이하, 생략)

2014년 화학물질에 관한 위험성평가의 의무화, 라벨 표지 대상 물질 확대(제57조 제1항의 법령에서 정한 물건 및 통지 대상물에 대하여 사업자가 실시하여야 하는 조사 등)

제57조의 3 : 사업자는 후생노동성령으로 정하는 바에 따라 제57조 제1항의 법령에서 정한 물질 및 통지 대상물에 의한 위험성 또는 유해성 등을 조사해야 한다.

(6) 라벨 표지

노동안전위생법 제57조, 노동안전위생법 시행령 제18조

표시 의무 물질: 유해물 + 위험물 총 119종 물질

표시사항: 명칭, 성분, 인체에 미치는 작용, 저장 또는 취급상의 주의, 그림 표시, 주의환기어, 안정성 및 반응성에 관한 사항 등

(7) SDS(안전 데이터 시트)의 교부

노동안전위생법 제57조의 2, 시행령 별표 제9

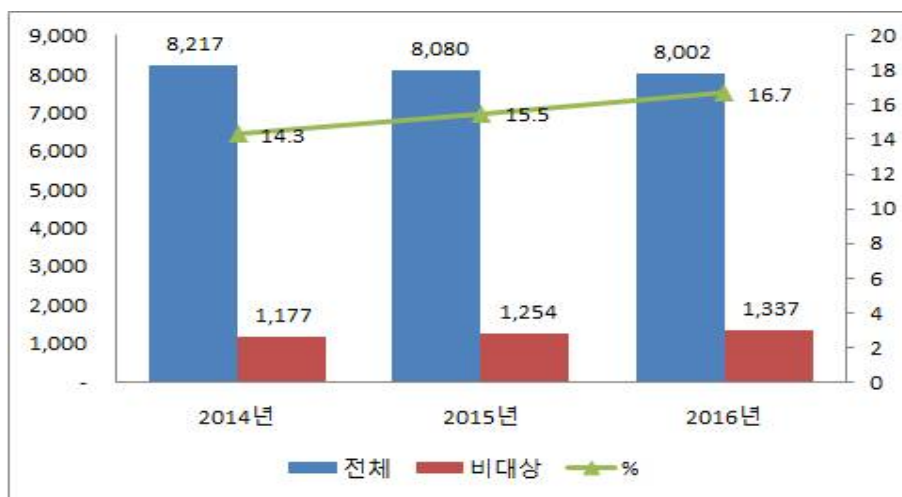
표시 의무 물질: 유해물 + 위험물 총 640종 물질

표시 사항: 명칭, 성분 및 함유량, 물리 화학적 성질, 인체에 미치는 작용, 위험성 및 유해성의 요약, 안정성과 반응성에 관한 사항, 적용되는 법령 등

환경, 보건 부분에서의 세척제는 대부분 유해, 위험물 등 산업용 세척제를 포함하고 있으나 식품위생분야에서의 세척제는 대부분 식기 세척제 등 가정용 세척제를 이야기하고 있다.

3) 작업환경 측정 및 특수건강검진 현황

2014-2016 작업환경측정 결과 자료에서 작업환경측정 및 특수건강검진 대상 세척제를 사용하는 사업장은 2014년 14.3%, 2015년 15.5%, 2016년 16.70%로 증가하고 있다.



**[그림 2-7] 작업환경측정 혹은 특수건강검진
비대상 세척제 사업장 년도별 분포**

전체: 연도별 측정사업장 수

비대상: 전체 중 작업환경측정 및 특수건강검진 대상 세척제를 사용하는 사업장 수

%: 비대상/전체*100

그림 [2-7]에서와 같이 2016년도까지의 작업환경 측정 사업장과 특수건강검진 사업장은 점점 추가하는 추세를 보이고 있다.

3. 벤젠 노출 위험성 평가 수행

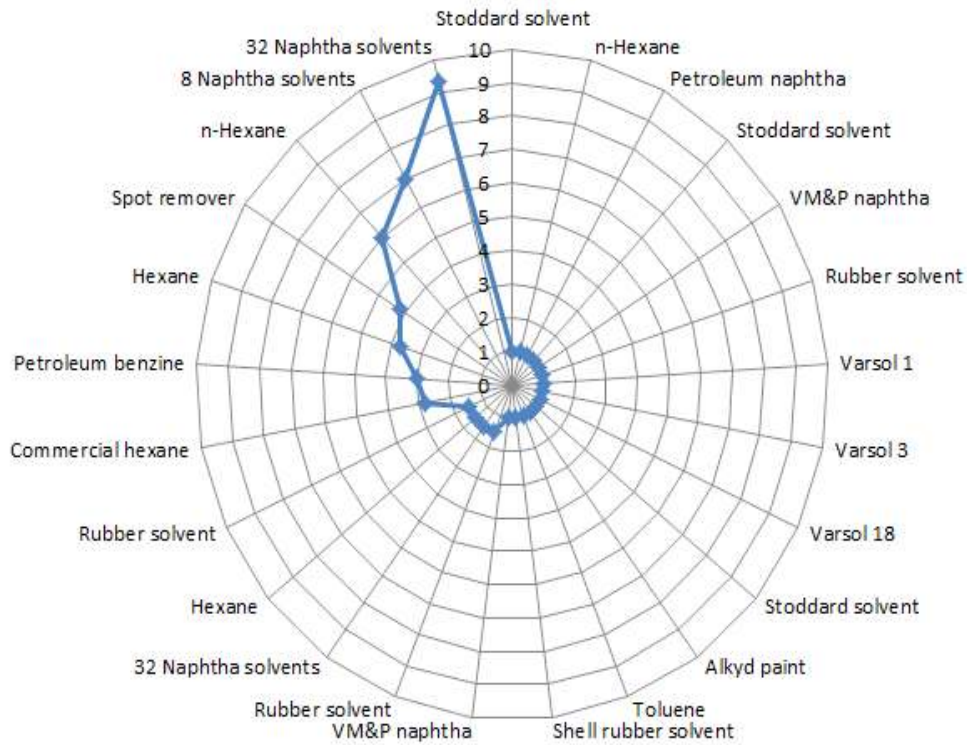
1) 조사대상 세척제 선정

우선적으로 벤젠이 함유되어 있으나 1% 미만 함유되어 노출평가를 실시하지 않은 세척제를 대상으로 하였다.

- 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.

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



[그림 2-8] 벤젠 1%이상 함유 석유제품

<표 2-24> 국내 유통되는 시약 중 벤젠 함량 조사 결과

제품명	N	벤젠 함량 (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

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.

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

2) 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.

<표 2-25> 1차 측정 벌크시료내 벤젠 함량 및 공기 중 벤젠 농도 결과

지역	사업장	MSDS상 함유물질	CAS 번호	함량 (%)	벤젠 함량 W/W (%)	지역시료 (ppm)	개인 시료 (ppm)	업종	작업내용	월사 용량 (L)	환기설 비 설치여 부	환기설 비 사용여 부	실제작업 장소 내 환기설비 배치
북부	1	톨루엔	108-88-3	100	0.0016	0.01834	N.D	인쇄업	인쇄작업 (블랑켓 세척)	300	설치	사용	토출부 설치
						0.0264							
						0.0110							
						0.0170							
	2	경질나프타	64742-73-0	60-80	0.0046	N.D	N.D	인쇄업	인쇄작업 (블랑켓 세척)	15	설치	사용	토출부 설치
		톨루엔	108-88-3	20-40									
	3	수소처리된 경질나프타	64742-47-8	40-60	0.1379	N.D	N.D	인쇄업	인쇄작업 (블랑켓 세척)	16000	O	X	X
		중질나프타	64742-94-5	25-45									
		톨루엔	108-88-3	3~7									
	4	톨루엔	108-88-3	99.9이상	0.0024	N.D	N.D	인쇄업	인쇄작업 (블랑켓 세척)	4000	O	X	X
		벤젠	71-43-2	0.1이하	0.0064								
	5	노말 헥산	110-54-3	100	0.0060	N.D	N.D	금형 제조업	-	120	O	O	O

<표 2-25> 1차 측정 벌크시료내 벤젠 함량 및 공기 중 벤젠 농도 결과(계속)

지역	사업장	MSDS상 함유물질	CAS 번호	함량 (%)	벤젠 함량 W/W (%)	지역시료 (ppm)	개인 시료 (ppm)	업종	작업내용	월사 용량 (L)	환기설 비 설치여 부	환기설 비 사용여 부	실제작업 장소 내 환기설비 배치
북부	6	톨루엔	108-88-3	100	0.0046	N.D	N.D	인쇄업	인쇄작업 (블랑켓 세척)	3200	O	X	X
중부	1	톨루엔	108-88-3	100	0.0034	N.D	N.D	LED 제조업	세척작업 (표면 세척)	520	O	O	O
남부	1	경질나프타	64742-73-0	50	0.5569	N.D	N.D	공작 기계 제조업	세척작업 (표면 세척)	20	X	X	X
		중질나프타	64742-94-5	30									
		헥산	110-54-3	20									
	2	벤젠	71-43-2	0.1	0.0046	N.D	N.D	인쇄업	인쇄작업 (수동세 척)	15	O	O	O
	3	톨루엔	108-88-3	100	0.0035	N.D	N.D	인쇄업	인쇄작업(그라 비아인쇄)	240	O	O	O

<표 2-26> 2차 측정 벌크시료 내 벤젠 함량 및 공기 중 벤젠 농도 결과

지역	사업장	MSDS상 함유물질	CAS 번호	함량 (%)	벤젠 함량 W/W (%)	지역시료 (ppm)	개인 시료 (ppm)	업종	작업내용	월사 용량 (L)	환기설 비 설치여 부	환기설 비 사용여 부	실제작업 장소 내 환기설비 배치
북부	7	톨루엔	108-88-3	100	0.0309	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	8500	O	O	X
	8	톨루엔	108-88-3	100	0.0356	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	3200	O	O	X
	9	경질나프타	64742-73-0	100	0.0037	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	420	O	O	O
	10	경질나프타	64742-73-0	100	0.1340	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	120	O	O	O
	11	경질나프타	64742-73-0	100	0.0053	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	360	O	O	X

<표 2-26> 2차 측정 벌크시료 내 벤젠 함량 및 공기 중 벤젠 농도 결과(계속)

지역	사업장	MSDS상 함유물질	CAS 번호	함량 (%)	벤젠 함량 W/W (%)	지역시료 (ppm)	개인 시료 (ppm)	업종	작업내용	월사 용량 (L)	환기설 비설치 여부	환기설 비사용 여부	실제작업 장소 내 환기설비 배치
북부	12	경질나프타	64742-73-0	100	0.0239	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	420	O	O	O
	13	경질나프타	64742-73-0	100	0.0034	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	450	X	X	X
	14	톨루엔	108-88-3	100	0.0067	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	30	X	X	X
	15	톨루엔	108-88-3	100	0.0071	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	680	O	O	O
	16	톨루엔	108-88-3	30	0.0068	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	75	O	O	X
경질나프타		64742-73-0	70										

지역	사업장	MSDS상 함유물질	CAS 번호	함량 (%)	벤젠 함량 W/W (%)	지역시료 (ppm)	개인 시료 (ppm)	업종	작업내용	월사 용량 (L)	환기설 비설치여 부	환기설 비사용여 부	실제작업 장소 내 환기설비 배치
북부	17	톨루엔	108-88-3	100	0.0066	N.D	N.D	인쇄업	인쇄작업	1600	O	O	O
	18	톨루엔	108-88-3	100	0.0076	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	380	O	O	O
	19	톨루엔	108-88-3	80	0.2719	0.0173	N.D	인쇄업	인쇄작업	120	X	X	X
		경질나프타	64742-73-0	20									
	20	톨루엔	108-88-3	50	0.0077	N.D	N.D	인쇄업	인쇄작업	40	O	O	O
		경질나프타	64742-73-0	50									
	21	톨루엔	108-88-3	70	0.0072	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	800	O	O	O
		경질나프타	64742-73-0	30									

지역	사업장	MSDS상 함유물질	CAS 번호	함량 (%)	벤젠 함량 W/W (%)	지역시료 (ppm)	개인 시료 (ppm)	업종	작업내용	월사 용량 (L)	환기설 비설치여 부	환기설 비사용여 부	실제작업 장소 내 환기설비 배치
북부	17	톨루엔	108-88-3	100	0.0066	N.D	N.D	인쇄업	인쇄작업	1600	O	O	O
	18	톨루엔	108-88-3	100	0.0076	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	380	O	O	O
	19	톨루엔	108-88-3	80	0.2719	0.0173	N.D	인쇄업	인쇄작업	120	X	X	X
		경질나프타	64742-73-0	20									
	20	톨루엔	108-88-3	50	0.0077	N.D	N.D	인쇄업	인쇄작업	40	O	O	O
		경질나프타	64742-73-0	50									
	21	톨루엔	108-88-3	70	0.0072	N.D	N.D	인쇄업	블랑켓 세척	800	O	O	O
		경질나프타	64742-73-0	30									

4. 화학물질 위험성평가(CHARM)

1) CHARM 기법

(1) 배경

화학물질 관리의 요체는 유해성에 대해 근로자의 알 권리를 충족시키고 화학물질의 노출 수준을 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 노출 수준과 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

가) 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 시간가중평균노출기준(Time Weighted Average, TWA) : 1일 8시간 작업을 기준
 - ① 단시간노출기준(Short Term Exposure Limit, STEL) : 근로자가 1회에 15분간 유해인자에 노출되는 경우의 기준
 - ① 최고노출기준(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 (노출 수준)과 건강에 영향을 주는 정도(유해성)의 조합
- 노출 수준 : 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

나) 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 선정
 - 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 확보

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 단위공정 별로 사용하고 있는 화학물질을 목록화
 - 화학물질 목록은 사용 부서 또는 공정명, 화학물질명(상품명), 제조/사용 여부, 사용 용도, 월 취급량, 유소건자 발생 여부 및 MSDS 보유현황 등의 내용을 포함
 - 작업환경측정 결과표를 참조하여 작성

- 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 권고
- 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 노출기준, 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
 - ① 생식세포 변이원성 물질 : 자손에게 유전될 수 있는 사람의 생식세포에 돌연변이를 일으킬 수 있는 물질
 - ① 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 노출 수준과 유해성을 조합하여 위험성을 추정하는 단계
- 위험성 추정은 노출 수준(가능성)과 유해성(중대성)을 곱하여 산출
 - 노출 수준 및 유해성 등급은 “노출 수준 등급 결정 방법”과 “유해성 등급 결정 방법”을 통해 각각 결정
- 노출 수준 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 유소견자	작업환경 측정결과	하루 취급량 및 비산성/휘발성
평가 방법	직업병 유소견자 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 유소견자 발생 여부 확인

- 특수건강진단 결과표를 확인하여 직업병 유소견자(D1) 발생 여부 파악
- 직업병 유소견자(D1) 발생 : 노출 수준 4등급

[방법 2] 작업환경측정 결과 확인

- 화학물질별 측정 결과를 활용하여 노출 수준 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 노출 수준 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

① 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

① 휘발성 : 화학물질의 발생형태가 가스, 증기, 미스트 등인 경우

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

① 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

① 밀폐·환기상태 : 밀폐·환기상태에 따라 점수 부여

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

① 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	노출기준값에 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 화학물질이나 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

stances 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

다) 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 유소건자(D₁) 발생여부 확인
 - 직업병 유소건자(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) × 노출기준 (1~4등급)

② 노출기준이 없는 화학물질

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

위험 문구/유해·위험 문구(1~4등급)

- 노출 수준 등급 결정
 - ① 평가 대상 화학물질로 인한 직업병 유소견자(D₁) 발생여부 확인
 - 직업병 유소견자(D₁)가 확인되면 노출 수준 4등급
 - ② 하루 취급량 및 비산성/휘발성 확인
 - 화학물질의 하루 취급량과 비산성/휘발성을 조합하여 노출 수준 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	노출 기준	
	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

2) 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.

<표 2-27> 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 (구분1A)	산업안전보건법	특별관리물질
	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℃	

<표 2-28> 벤젠의 물리 화학적 특성

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

3) 벤젠 노출 위험성 평가 결과(작업환경측정 결과가 있는 경우)

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.

**<표 2-29> 사업장 화학물질 위험성 평가 결과
(작업환경측정 결과가 있는 경우)**

지역	사업장	공기 중 벤젠 농도 (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

<표 2-29> 사업장 화학물질 위험성 평가 결과
(작업환경측정 결과가 있는 경우)(계속)

지역	사업장	공기 중 벤젠 농도 (ppm)	유해성 (1A, 1B)	노출수준 (기준 0.5ppm)	위험성
북부	13	N.D	4	1	4
	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)

작업환경측정 결과가 없는 경우에 화학물질 위험성 평가 결과 과반수의 사업장 위험성 수준이 4로 나타났다. 그러나 14개 사업장의 위험성 수준이 8로 나타났는데, 여기는 영세사업장으로 환기설비가 설치되지 않고 운용되고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 위험성 수준을 8에서 4 이하(허용 가능한 보통 수준)으로 감소시키기 위해서는 유효 환기 설비 및 적정 보호구 착용 등 해당 근로자에 대한 작업환경 개선이 필요한 것으로 판단된다.

<표 2-30> 사업장 화학물질 위험성 평가 결과
(작업환경측정 결과가 없는 경우)

지역	사업장	작업장 온도	하루 취급량 (L)	배기설비	노출수준 (가능성)	유해성 (중대성)	위험성
북부	1	25.2	15	O	1	4	4
	2	25.7	0.8	O	1	4	4
	3	26	800	X	2	4	8
	4	24.3	200	X	2	4	8
	5	26.8	15	O	1	4	4
중부	1	23.2	60	O	1	4	4
북부	6	20.5	120	X	2	4	8
	7	19.8	400	X	2	4	8
	8	21.6	160	X	2	4	8
	9	22.4	20	O	1	4	4
	10	22.8	10	O	1	4	4
	11	21.7	30	X	2	4	8
	12	26.6	20	O	1	4	4
	13	22.4	30	X	2	4	8
	14	23.8	1.5	X	2	4	8
	15	25.4	30	O	1	4	4
	16	26.1	4	X	2	4	8
	17	21.6	80	O	1	4	4
	18	20.8	15	O	1	4	4

**<표 2-30> 사업장 화학물질 위험성 평가 결과
(작업환경측정 결과가 없는 경우)(계속)**

지역	사업장	작업장 온도	하루 취급량	배기설비	노출수준 (가능성)	유해성 (중대성)	위험성
북부	19	22.6	5	X	2	4	8
	20	24.1	10	O	1	4	4
	21	23.5	40	O	1	4	4
	22	24.5	25	X	2	4	8
	23	26.9	30	X	2	4	8
	24	27.1	1	O	1	4	4
	25	24.2	70	O	1	4	4
	26	26.3	200	X	2	4	8
남부	1	30.7	0.5	O	1	4	4
	2	31.3	12	O	1	4	4
	3	26.3	0.5	X	2	4	8

Ⅲ. 결론

1. 벌크 시료 함유량 및 공기 시료 노출량

1) 물질별 벌크 시료 함유량

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

<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(나프타+톨루엔)	8	0.0046~0.5569	인쇄업

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 나타났다고, 1개 사업장 혼합물질(나프타+톨루엔)에서 0.0173ppm으로 나타났다.

<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 (나프타+톨루엔)	개인	8	N.D	인쇄업
	지역	8(1)	0.0173	

* () : 공기 중 벤젠 검출 사업장 수

2. 조사 사업장의 작업 환경 특성

- 대부분 제조업의 경우 TCE와 IPA를 세척제로 많이 사용함
- 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 이해도가 낮게 나타남
- 대부분 사업장의 경우 유기용제용 마스크가 아닌 방진 마스크 또는 COVID 19로 인한 비말차단용 마스크를 사용하고 있었음
- 제대로 밀폐가 가능한 소분 용기가 아닌 일반적인 플라스틱병에 세척제를 소분하여 사용하고 있는 사업장도 많이 발견되었음

3. 종합의견

현재 CHARM 기법 적용을 통한 벤젠 노출 위험성평가를 실시할 경우 현장 조사된 대부분의 사업장이 노출기준 10% 이하여서 위험도(risk)가 4점으로 추정되었다. 따라서 추가적인 조사를 위해 현장조사표를 별도로 사용하여 사업장 작업환경 실태를 조사하였다.

현장 조사 결과 검출된 3개의 사업장 중 영세사업장 2곳은 화학물질에 관한 국소배기 설비 시설이 구비되어 있지 않거나, 구비되어 있더라도 후드가 유해 물질 발생원에서 멀리 떨어져 있어 유효한 제어 속도가 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 작업환경 상태가 양호하지 못했다.

작업환경측정을 실시하고 있는 사업장 중 세척 공정에서 사용하고 있는 석유계 세척제(유기용제 세척제) 중 문헌고찰을 통하여 벤젠이 함유되어 있을 것으로 판단되는 벤젠 함유량 0.1% 미만, 톨루엔 100%, 헥산 100%, 경질나프타 50% 이상 및 경질나프타와 톨루엔이 혼합된 세척제의 벌크 시료를 정성 분석한 결과, 벤젠 함량의 차이는 있었으나 분석한 30시료 모두 벤젠이 검출되었다.

벌크 시료에서 벤젠이 검출된 세척제 취급 사업장을 대상으로 벤젠의 노출평가를 실시한 결과 30개 사업장 중 톨루엔 100% 함유 세척제를 사업장 2개소

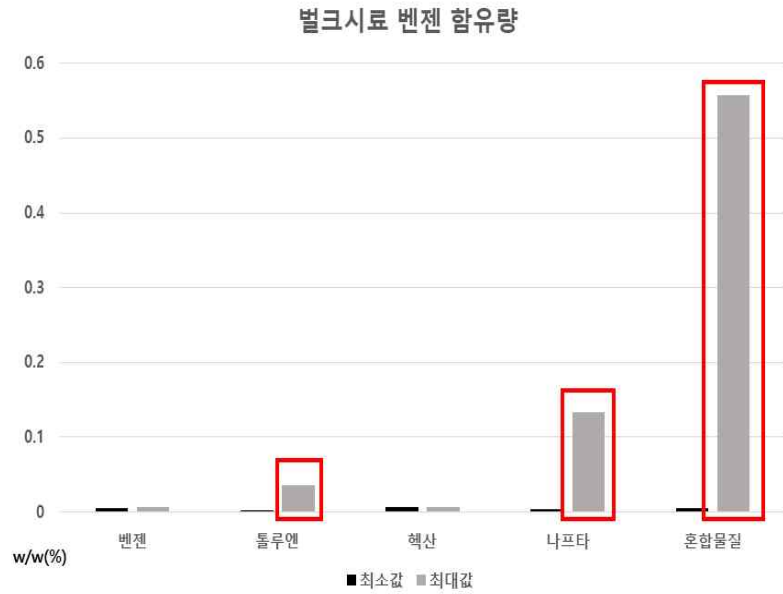
와 톨루엔 30%와 경질나프타 70% 함유 세척제를 사용하는 1개 사업장에서만 벤젠이 검출되었고 노출 수준은 노출기준의 5% 미만 수준으로 조사되었다.

화학물질위험성평가(CHARM)에서는 작업환경측정 결과를 이용하여 벤젠 위험성(risk)을 추정하면 노출 수준이 모두 1등급으로 위험성평가 결과 모든 사업장이 4점으로 추정되어 사업장별 위험성 구분이 되지 않았다.

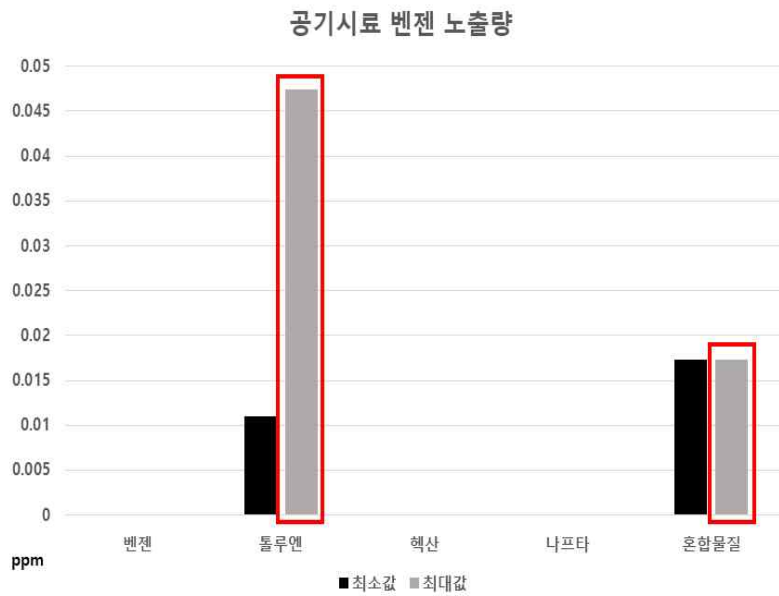
정성적 평가에서는 배기 설비 유무에 따라 벤젠 위험성이 4등급과 8등급으로 평가되었다. 위험성의 크기를 1-16등급으로 구분할 때 4등급은 연간 계획에 개선 방안을 설정해야 하는 단계이고, 8등급은 가능한 한 빨리 개선을 해야 하는 단계이다.

본 연구에서 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 국소배기 설비의 점검이나 개인 보호구 착용 등의 개선 계획 및 관리적인 차원의 대책 마련이 필요하다. 8등급 사업장의 경우 화학물질 위험성평가 결과, 국소배기설비가 미비한 사업장의 경우 노출 가능성(possibility) 점수가 모두 2점으로 산출되기 때문에 공정 변경, 격리(차단 및 밀폐), 국소배기설비의 설치 등 공학적 대책 수립이 필요하다고 판단된다.

함량 기준에서는 벌크 시료에서 톨루엔(100%)와 경질 나프타(50% 이상), 혼합물질(나프타+톨루엔)의 벤젠 함량이 가장 높았으며(<그림 3-1> 참조), 공기 시료에서는 톨루엔(100%)과 혼합물질(나프타+톨루엔)에서 벤젠이 검출되었다(<그림 3-2> 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 차이는 있으나 석유계 세척제(유기용제 세척제)에는 벤젠이 미량 함유되어 있는 것을 확인하였으며, 실제 작업장의 벤젠 위험성(risk)은 허용 가능한(acceptable) 수준으로 조사되었다. 그러나 과거에는 MSDS 상으로는 표기되어 있지 않으나 불순물로 벤젠 함량과 공기 중 노출 수준이 높았을 것으로 추정되며 특히, 톨루엔, 헥산, 경질나프타 등을 세척제로 사용한 공정에서의 벤젠 노출 수준은 상대적으로 더 높았을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 일부 석유계 세척제 취급 사업장을 대상으로 1회 성 벌크 시료 정성 분석 및 노출평가를 실시하였지만, 측정 데이터의 신뢰도 확보를 위해 향후 다양한 제품의 정성 분석 및 사업장 노출 평가가 요구되는 바이다.

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>).

IV. 참고 문헌

- 곽수경, 벤젠이 미량 함유된 석유화학제품 취급자의 직업적 노출 추정, 2014, 대구가톨릭대학교 학위 논문
- 박동욱, 강동묵, 김수근, 윤충식, 최상준, 하권철, 연구보고서; 벤젠의 과거노출추정(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’
- 김한성. 수계/준수계 세정제의 개발 및 응용 연구, 수원대학교 대학원 화학공학과 박사학위논문. 2004
- 중소기업청, 중소기업진흥공단. 세척제의 시장 기술 보고서. 2009
- 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
- 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

- 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
- Hikaru Shoji, Takeo Yamamoto, Konosuke Nishida. The gas chromatographic analysis of lacquer thinner, Japanese Journal of industrial Health, 1966;20(6):364-376
- 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
- Sweeney, Lynn C. Exposure Evaluation for Benzene, Lead and Noise in Vehicle and Equipment Repair Shops. United States: 2013
- 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
- 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

-
- 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
 - 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.
 - 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.
 - 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 benzene exposure risk for workers handling petroleum products cleaning agents

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 samples. Three of personal samples were found to contain benzene. Most of the small businesses did not have ventilation systems installed.

Conclusion: It appears that workers using petroleum-based cleaning agents are able to 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

V. 부 록

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?		
작업방 (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 반자동		

	화로의 공정 변경이 가능한가?		
	○ 유해물질 용기를 별도의 저장장소에 보관 가능한가?		
	○ 유해물질을 직접적인 접촉 없이 취급 가능한가?		
관 리 방 안 (11)	○ 특수건강진단을 정기적으로 실시하고 있는가?		
	○ 작업환경측정을 정기적으로 실시하고 있는가?		
	○ 취급 화학물질에 대한 근로자 교육을 실시하는가?		
	○ 개인전용의 호흡용 보호구가 적정하게 지급되는가?		
	○ 근로자가 작업 중 호흡용 보호구를 착용하고 있는가?		
	○ 호흡용 보호구의 성능이 적정하게 관리되는가?		
	○ 작업장에 호흡용 보호구 착용 표지판을 설치했는가?		
	○ 보호구 보관함이 설치되어 청결하게 관리되고 있는가?		
	○ 화학물질 취급 공정에 대한 청소 상태는 적정한가?		
	○ 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 사용 량	측정 당일 사용 량	호흡용 보호구 착용

* 특이사항

-
-

3. 관련사진

-	-
-	-

〈〈연 구 진〉〉

연 구 기 관 : 서울과학기술대학교 산학협력단

연구책임자 : 김 기연 (교수, 공학박사, 서울과학기술대학교)

연 구 원 : 김 현수 (부장, 보건학박사, 대한산업보건협회)

임 대성 (대표이사, 공학박사, 한성보건안전기술원)

안 연순 (교수, 보건학박사, 연세대학교 원주의과대학)

연구상대역 : 서 회경 (연구위원, 직업건강연구실)

〈〈연 구 기 간〉〉

2020. 04.16 ~ 2020. 11. 30

본 연구는 산업안전보건연구원의 2020년도 위탁연구 용역사업
에 의한 것임

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

산업안전보건연구원장

**석유계 제품 세척제 취급 근로자의
벤젠 노출 위험성 평가**
(2020-연구원-)

발 행 일 : 2020년 11월 30일
발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 고재철
연구책임자 : 서울과학기술대학교 안전공학과 교수 김 기 연
발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원
주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400
전 화 : (052) 7030-872
F A X : (052) 7030-335
Homepage : <http://www.kosha.or.kr>
