

연구보고서

근로자의 플라스틱가소제 노출과 건강영향 연구 [최종보고서]

박정임, 배선영, 안진수, 이아람, 최소현, 김주영,
김수진, 박노을, 조희진, 이강현

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “근로자의 플라스틱가소제 노출과 건강영향 연구”의 최종보고서로 제출합니다.

2022년 11월

연구진

연구기관 : 순천향대학교 산학협력단
연구책임자 : 박정임 (교수, 순천향대학교)
연구원 : 배선영 (교수, 서울여자대학교)
연구원 : 안진수 (연구원, 명지산업안전보건연구소)
연구원 : 이아람 (연구원, 순천향대학교)
연구원 : 최소현 (박사과정생, 순천향대학교)
연구원 : 김주영 (석사과정생, 서울여자대학교)
연구원 : 김수진 (석사과정생, 서울여자대학교)
연구원 : 박노을 (석사과정생, 서울여자대학교)
연구원 : 조희진 (석사과정생, 서울여자대학교)
연구원 : 이강현 (학부생, 순천향대학교)

요약문

- 연구기간 2022년 05월 ~ 2022년 11월
- 핵심단어 프탈레이트, 작업환경, 노출평가
- 연구과제명 근로자의 플라스틱가소제 노출과 건강영향 연구

1. 연구배경

대표적인 플라스틱가소제 성분인 프탈레이트는 내분비계 장애물질로 잘 알려져있다. 제품 및 어린이용품 등에 프탈레이트 사용규제가 강화되고 있는 추세인 반면, 프탈레이트를 취급하는 근로자 노출관리는 관심이 부족한 실정이다. 우리나라 산업안전보건법은 4종의 프탈레이트(DMP, DEP, DBP, DEHP) 노출기준을 5 mg/m^3 로 설정하고 있지만, 작업환경측정 대상물질에 해당하지 않아 사업장 내 환경관리 및 근로자 노출관리는 이루어지지 못하고 있다. 이 중 DEHP와 DBP는 생식독성물질에 해당하는데, 최근 DBP가 특별관리물질로 추가되었다. 2022년 ACGIH는 프탈레이트의 노출기준(TLV-TWA)을 기존 5 mg/m^3 에서 남성생식독성을 근거로하여 0.1 mg/m^3 로 대폭 강화할 것을 예고하였다. 이에 우리나라의 프탈레이트 취급 근로자의 노출실태와 관리방안을 모색할 필요가 제기되었다.

2. 주요 연구내용

1) 프탈레이트 규제현황 및 국내외 관련 연구 문헌조사

국내외 근로자를 대상으로 한 프탈레이트 노출평가 관련 선행연구를

PRISMA protocol에 따라 체계적 문헌고찰을 하였다. 산업안전보건연구원에서 수행한 우리나라 근로자의 생식독성 물질 관리 연구에 관한 연구보고서 10건을 고찰한 결과, CMR 물질관리의 일환으로 생식독성 물질관리의 체계와 관리수준을 제안하는 정책연구가 주였음을 알 수 있었다. 지금까지 십여 년 동안 열 건의 연구를 통하여 생식독성 물질의 관리, 특별한 관리의 필요성에 동의하고, 체계적인 유해성평가의 필요성을 꾸준히 제기하였음에도 불구하고, 개별 생식독성물질의 노출평가 방법 개발과 노출 수준에 근거한 위험성평가 연구는 이루어지지 못했다는 한계를 확인할 수 있었다.

2) 우리나라 프탈레이트 취급 사업장 및 근로자 현황 추정

2018년 <환경부 화학물질안전원 화학물질 종합정보시스템>의 <화학물질 통계정보 공개>에 따르면 DMP, DEP, DBP, BBP, DEHP, DnOP, DiNP, DiDP, 총 8종의 프탈레이트를 취급하는 사업장은 총 1,338개소로 파악되었다. 세부 업종별로는 17개의 업종(기타제외)에서 프탈레이트를 사용하고 있었다. 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)에서 293개소로 가장 많았다. 취급하는 프탈레이트의 종류를 분석한 결과, 50 % 이상(n=697)의 사업장에서 DEHP를 사용하였다.

3) 환경 중 농도 측정을 위한 시료채취 및 분석방법 정립

공기시료 채취는 프탈레이트 가스상 및 입자상을 동시에 채취할 수 있는 Tenax TA OVS (part no. 226-56, SKC Inc)를 사용하였다. 표면시료는 공기시료 채취 주변의 설비표면을 wipe하는 방식으로 채취하였다. 공기시료와 표면시료에서 프탈레이트를 분석하는 전처리방법으로 용매 추출법(solvent extraction), 초음파 추출법(ultrasound-assisted extraction), 속실텐 추출(soxhlet extraction), 고체상 미량 추출법(solid-phase microextraction, SPME)을 검토하였다. 분석과정에서 오염 가능성이 적고, 용매사용이 없어 친환경적이며, 검출한계와 정량한계가 우수한 고체상 미량 추출법(SPME)을 Tenax OVS tube의 유리섬유 필터부분과 테낙스 흡착제

부분의 전처리 방법으로 결정하였다. 표면시료의 경우 거즈의 부피와 이소프로필알콜의 양 때문에 SPME를 적용할 수 없으므로, 초음파추출법을 적용하였다. 추출 후 시료는 GC-MS로 분석하였다.

4) 취급 사업장의 공기 중 농도와 표면 농도를 측정하여 취급 근로자의 노출가능성과 건강위험 추정

8개 사업장을 대상으로 75개의 공기시료와 100개의 표면시료를 채취하였다. 공기시료의 경우, DEHP에 대하여 ACGIH의 개정예고 노출기준인 $0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ 을 초과한 경우는 없었다. 표면시료의 경우 DEHP의 농도가 사업장에 따라 불검출에서 최고 $5,243 \text{ ng}/\text{cm}^2$ 로 천차만별이었으나, 비교가능한 기준값이 없으므로, 상대적인 오염정도만을 평가하였다. 공기시료 분석결과를 이용하여 호흡을 통한 인체노출량을 추정하고, 이를 RfD와 비교하여 HQ를 도출한 결과, 우려될만한 수준은 관찰되지 않았다. 모든 사업장과 공정에서 호흡을 통한 DEHP 발암위해도는 없는 것으로 나타났다.

3. 연구 활용방안

공기시료 및 표면시료 중 프탈레이트 분석은 통상적으로 수행되어 온 시료들에 비하여 샘플링, 전처리 및 분석방법이 까다로운으로, 아직 기준으로 삼을 만한 방법이 여의치 않다. 본 연구에서 제안한 시료채취 및 분석방법은 작업환경 중 프탈레이트 시료분석법 개발의 기초를 제공할 것이다. 또한 본 연구에서 다양한 업종에서 측정분석한 작업환경 중 노출평가 및 인체노출량 추정결과는 비록 우리나라 근로자 노출수준의 대표값은 아니나, 우리나라 프탈레이트 취급 근로자의 건강위험을 평가하고 관리해야 할 필요성을 제기하는 데에 활용될 수 있다. 향후 프탈레이트 취급 근로자의 JEM을 구축하는 데에 활용될 수 있고, 생식독성 및 내분비계 건강영향 등을 포함하여 프탈레이트의 근로자 건강피해 예방의 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

4 연락처

- 연구책임자 : 순천향대학교 교수 박정임
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 직업환경연구실 과장 김세동
 - ☎ 052) 703-0893
 - E-mail rlatpehd7@kosha.or.kr

목 차

I. 서 론	2
1. 연구배경 및 필요성	2
1) 플라스틱 가소제의 사용과 시장현황	2
2) 플라스틱 가소제의 유해성과 관리현황	7
2. 연구목적과 목표	15
II. 연구내용과 방법	17
1. 연구내용	17
2. 연구방법	18
1) 프탈레이트 규제현황 및 국내외 관련 연구 문헌조사	18
2) 우리나라 프탈레이트 취급 사업장 및 근로자 현황 추정	21
3) 근로자의 프탈레이트 노출 가능성과 건강위험 추정	23

Ⅲ. 연구결과 38

1. 프탈레이트 규제현황 및 국내외 관련 연구 문헌조사 38
 - 1) 국내외 프탈레이트 규제현황 조사 38
 - 2) 국내외 작업환경노출평가 문헌조사 55
 - 3) 국내외 프탈레이트 바이오모니터링 문헌조사 78
2. 우리나라 프탈레이트 취급 사업장 및 근로자 현황 추정 83
 - 1) 우리나라 프탈레이트 사업장 현황 및 노출근로자 규모 추정 83
3. 근로자의 프탈레이트 노출 가능성과 건강위험 추정 91
 - 1) 연구대상 프탈레이트 종류 선정 91
 - 2) 연구대상 사업장 선정 97
 - 3) 작업환경 시료 샘플링을 위한 예비조사 99
 - 4) 사업장별 공기시료 및 표면시료 분석결과 및 고찰 119
 - 5) 근로자 개인노출량 및 건강위험성 추정(비발암성, 발암성) 182

IV.결론 204

1. 연구결과 요약 204

1) 연구배경 204

2) 주요 연구결과 204

3) 연구 활용방안 206

2. 향후 제언 207

1) 관리대상 프탈레이트의 노출관리 207

2) 대체가소제의 노출관리 210

참고문헌 212

Abstract 225

감사의 글 229

부록 230

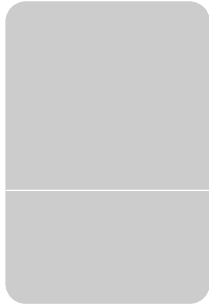


표 목차

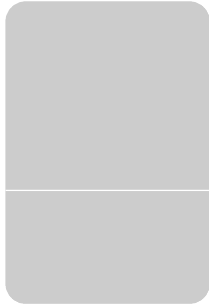
〈표 Ⅰ-1〉 산업에서 자주 쓰이는 프탈레이트 8종의 물리화학적 특성	4
〈표 Ⅰ-2〉 연구대상 프탈레이트 8종의 용도	6
〈표 Ⅰ-3〉 우리나라 프탈레이트의 작업환경 노출기준	11
〈표 Ⅰ-4〉 노출기준 고시의 생식독성 물질 44종과 관리현황	12
〈표 Ⅱ-1〉 연구내용	17
〈표 Ⅱ-2〉 국내 프탈레이트 사용현황을 위해 설정한 검색 옵션	22
〈표 Ⅱ-3〉 프탈레이트 시료채취 및 분석 공정시험법	27
〈표 Ⅱ-4〉 공기 및 표면시료 채취 및 보관방법	30
〈표 Ⅱ-5〉 Tenax TA OVS 시료 중 테낙스와 필터의 전처리 및 분석방법	32
〈표 Ⅱ-6〉 표면 시료의 전처리 및 분석방법	33
〈표 Ⅱ-7〉 프탈레이트의 oral chronic RfD	35
〈표 Ⅲ-1〉 국내외 DMP 노출기준	39
〈표 Ⅲ-2〉 국내외 DEP 노출기준	41
〈표 Ⅲ-3〉 국내외 DBP 노출기준	43
〈표 Ⅲ-4〉 국내외 DEHP 노출기준	45
〈표 Ⅲ-5〉 우리나라 노출기준 없는 6종 프탈레이트의 국내외 노출기준	47
〈표 Ⅲ-6〉 우리나라 정부 기관의 프탈레이트 규제 사례	52
〈표 Ⅲ-7〉 REACH SVHC list에 포함된 프탈레이트 가소제	54
〈표 Ⅲ-8〉 노출기준 고시의 생식독성 물질 44종	56

〈표 Ⅲ-9〉 생식독성 물질의 목록, 취급관리, 제도개선 등에 관한 KOSHA OSHRI 연구 목록	58
〈표 Ⅲ-10〉 우리나라 프탈레이트 근로자 노출평가 수행목록	60
〈표 Ⅲ-11〉 사업장 먼지/표면시료 중 프탈레이트 농도 문헌 고찰(국외)	63
〈표 Ⅲ-12〉 사업장 공기시료(active) 중 프탈레이트 농도 문헌 고찰(국외)-1	68
〈표 Ⅲ-13〉 사업장 공기시료(active) 중 프탈레이트 농도 문헌 고찰(국외)-2	73
〈표 Ⅲ-14〉 사업장 공기시료(passive) 중 프탈레이트 농도 문헌 고찰(국외)	76
〈표 Ⅲ-15〉 근로자의 프탈레이트 바이오모니터링 문헌 고찰(국내)	78
〈표 Ⅲ-16〉 근로자의 프탈레이트 바이오모니터링 문헌 고찰(국외)	80
〈표 Ⅲ-17〉 업종별로 사용하는 프탈레이트 종류와 사업장 수	87
〈표 Ⅲ-18〉 천안, 아산지역 프탈레이트 취급 사업장 현황	92
〈표 Ⅲ-19〉 작업환경 중 프탈레이트 측정 논문의 프탈레이트 검출율	94
〈표 Ⅲ-20〉 우선 대상 사업장 20곳의 프탈레이트 사용현황	98
〈표 Ⅲ-21〉 연구대상 사업장 규모 및 프탈레이트 생산량	101
〈표 Ⅲ-22〉 케이블 사업장 A에서 사용하는 프탈레이트 함유 제품	103
〈표 Ⅲ-23〉 페인트 제조 사업장 B에서 사용하는 프탈레이트 함유 제품	108
〈표 Ⅲ-24〉 합성섬유 제조 사업장 A에서 사용하는 프탈레이트 함유 제품	113
〈표 Ⅲ-25〉 자동차 제조 사업장 A에서 사용하는 프탈레이트 함유 제품	115

〈표 Ⅲ-26〉 연구대상 사업장 개요와 시료유형별 채취시료 수	119
〈표 Ⅲ-27〉 케이블 사업장 A의 공기시료 측정 개요	120
〈표 Ⅲ-28〉 케이블 사업장 A의 표면시료 측정 개요	122
〈표 Ⅲ-29〉 페인트 제조 사업장 A의 공기시료 측정 개요	123
〈표 Ⅲ-30〉 페인트 제조 사업장 A의 표면시료 측정 개요	125
〈표 Ⅲ-31〉 페인트 제조 사업장 B의 공기시료 측정 개요	127
〈표 Ⅲ-32〉 페인트 제조 사업장 B의 표면시료 측정 개요	128
〈표 Ⅲ-33〉 플라스틱 사출 사업장 A의 공기시료 측정 개요	129
〈표 Ⅲ-34〉 플라스틱 사출 사업장 A의 표면시료 측정 개요	131
〈표 Ⅲ-35〉 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 공기시료 측정 개요	133
〈표 Ⅲ-36〉 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 표면시료 측정 개요	135
〈표 Ⅲ-37〉 합성섬유 제조 사업장 A의 공기시료 측정 개요	137
〈표 Ⅲ-38〉 합성섬유 제조 사업장 A의 표면시료 측정 개요	139
〈표 Ⅲ-39〉 자동차 부품 제조 사업장 A의 공기시료 측정 개요	141
〈표 Ⅲ-40〉 자동차 부품 제조 사업장 A의 표면시료 측정 개요	143
〈표 Ⅲ-41〉 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 공기시료 측정 개요	146
〈표 Ⅲ-42〉 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 표면시료 측정 개요	147
〈표 Ⅲ-43〉 사업장별 공기시료 중 프탈레이트 농도 요약	150
〈표 Ⅲ-44〉 케이블 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도	153
〈표 Ⅲ-45〉 페인트 제조 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도	155
〈표 Ⅲ-46〉 페인트 제조 사업장 B의 공기시료 중 프탈레이트 농도	157

〈표 Ⅲ-47〉 플라스틱 사출 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도	158
〈표 Ⅲ-48〉 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도	160
〈표 Ⅲ-49〉 합성섬유 제조 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도	161
〈표 Ⅲ-50〉 자동차 부품 제조 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도 ·	163
〈표 Ⅲ-51〉 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도	164
〈표 Ⅲ-52〉 사업장 표면시료 중 프탈레이트 농도 요약	166
〈표 Ⅲ-53〉 케이블 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도	169
〈표 Ⅲ-54〉 페인트 제조 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도 ···	171
〈표 Ⅲ-55〉 페인트 제조 사업장 B의 표면시료 중 프탈레이트 농도 ···	173
〈표 Ⅲ-56〉 플라스틱 사출 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도	174
〈표 Ⅲ-57〉 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도	176
〈표 Ⅲ-58〉 합성섬유 제조 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도	178
〈표 Ⅲ-59〉 자동차 부품 제조 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도	179
〈표 Ⅲ-60〉 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도	181
〈표 Ⅲ-61〉 프탈레이트의 비발암성 독성영향 평가를 위한 oral chronic RfD	183

〈표 III-62〉 케이블 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD와 HQ ..	185
〈표 III-63〉 페인트 제조 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD와 HQ	187
〈표 III-64〉 페인트 제조 사업장 B의 프탈레이트 inhalation ADD와 HQ	188
〈표 III-65〉 플라스틱 사출 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD와 HQ	189
〈표 III-66〉 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD와 HQ	191
〈표 III-67〉 합성섬유 제조 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD와 HQ	192
〈표 III-68〉 자동차 부품 제조 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD와 HQ	194
〈표 III-69〉 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD와 HQ	195
〈표 III-70〉 프탈레이트 흡입 노출에 대한 HQ 몬테카를로 결과 요약	197
〈표 III-71〉 사업장 및 공정별 DEHP 초과발암위해도	199



그림목차

[그림 Ⅰ-1] 프탈레이트 기본 구조	2
[그림 Ⅰ-2] 산업에서 주로 쓰이는 프탈레이트 6종과 주요용도	3
[그림 Ⅰ-3] 프탈레이트의 일반적인 인체 노출경로	7
[그림 Ⅰ-4] 프탈레이트 노출과 건강영향	8
[그림 Ⅰ-5] 국내 및 EU의 플라스틱 가소제 규제/관리 비율	9
[그림 Ⅱ-1] 국내 문헌 조사를 위한 PRISMA flowchart	19
[그림 Ⅱ-2] 국외 문헌 조사를 위한 PRISMA flowchart	20
[그림 Ⅱ-3] 국내 프탈레이트 사용현황을 위해 활용한 환경부 화학물질 통계정보	21
[그림 Ⅱ-4] 사업장에 발송한 연구협조 공문	24
[그림 Ⅱ-5] 대상 사업장 선정 흐름도	25
[그림 Ⅱ-6] 흡입에 따른 인체노출량 추정 식	34
[그림 Ⅲ-1] 환경부 화학물질안전원 화학물질 종합정보 시스템을 활용한 프탈레이트 사용 사업장 검색	84
[그림 Ⅲ-2] 지역별 프탈레이트 사용 사업장 수	85
[그림 Ⅲ-3] 업종별 프탈레이트 사용 사업장 수	86
[그림 Ⅲ-4] 프탈레이트 종류별 사용 사업장 수(위)와 사업장별 사용하는 프탈레이트 가지 수(아래)	90
[그림 Ⅲ-5] 연구대상 프탈레이트 선정절차	91

[그림 Ⅲ-6] 최종 선정된 연구대상 프탈레이트 종류	96
[그림 Ⅲ-7] 우선 대상 사업장 선정절차	97
[그림 Ⅲ-8] 케이블 사업장 A 예비조사	102
[그림 Ⅲ-9] 케이블 사업장 A 공정도면 및 샘플링 위치	104
[그림 Ⅲ-10] 페인트 제조 사업장 A 공정도면 및 샘플링 위치	106
[그림 Ⅲ-11] 페인트 제조 사업장 모습 B	107
[그림 Ⅲ-12] 페인트 제조 사업장 B의 공정도면 및 샘플링 위치	109
[그림 Ⅲ-13] 플라스틱 사출 사업장 A의 공정도면 및 샘플링 위치	110
[그림 Ⅲ-14] 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 공정도면 및 샘플링 위치	112
[그림 Ⅲ-15] 합성섬유 제조 사업장 A의 공정도면 및 샘플링 위치	114
[그림 Ⅲ-16] 자동차 부품 제조 사업장 A의 공정도면 및 샘플링 위치	116
[그림 Ⅲ-17] 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 공정도면 및 샘플링 위치	118
[그림 Ⅲ-18] 공기시료 샘플링 모습 PVC 압출공정, 휴게실	121
[그림 Ⅲ-19] 표면시료 샘플링 모습 도장공정, 휴게실	122
[그림 Ⅲ-20] 공기시료 샘플링 모습 배합공정, 사무실	124
[그림 Ⅲ-21] 표면시료 샘플링 모습 배합공정, 사무실	126
[그림 Ⅲ-22] 공기시료 샘플링 모습 사출기, 원자재창고, 휴게실	130
[그림 Ⅲ-23] 표면시료 샘플링 모습 사출기, 원자재창고, 휴게실, 표면샘플링	132

[그림 Ⅲ-24] 공기시료 샘플링 모습 압축기, 커팅기계, 휴게실	134
[그림 Ⅲ-25] 표면시료 샘플링 모습 압축기, 커팅기계, 휴게실	136
[그림 Ⅲ-26] 공기시료 샘플링 모습 배합공정	138
[그림 Ⅲ-27] 공기시료 샘플링 모습 도장 데드너 부스, 도장 실러장, 조립 휴게실, 조립 화이날 공정	142
[그림 Ⅲ-28] 공기시료 샘플링 모습 도장 데드너 부스, 도장 실러장, 조립 휴게실, 도장 메탈리페어 공정	145
[그림 Ⅲ-29] 공기시료 샘플링 모습 파쇄 공정, 비중분리 공정	146
[그림 Ⅲ-30] 표면시료 샘플링 모습 파쇄공정	148
[그림 Ⅲ-31] 프탈레이트 흡입 노출에 대한 HQ 몬테카를로 시뮬레이션 결과	197
 [그림 Ⅳ-1] 플라스틱 가소제의 종류	210
[그림 Ⅳ-2] 플라스틱가소제의 종류별 사용량 추이	211

I. 서론

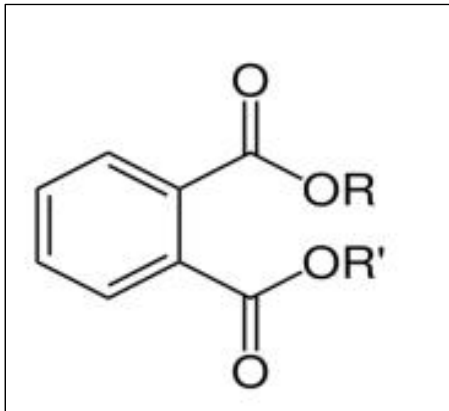
.....

I. 서론

1. 연구배경 및 필요성

1) 플라스틱 가소제의 사용과 시장현황

(1) 프탈레이트 생산량과 국내 사용추이



[그림 I-1] 프탈레이트 기본 구조

프탈레이트류(Phthalates)는 플라스틱을 부드럽게 하는 성분으로 폴리염화비닐(poly chloride, PVC)를 고온에서 쉽게 성형 및 가공해주는 첨가제 역할을 한다. 주로 전기전자제품, 의약품, 페인트 안료, 포장재 등 제조업에서 광범위하게 쓰이며(환경부, 2017), 연간 전 세계 생산량이 550만 톤 이상인 High Production Volume Chemicals로 세계적으로

우선 관리대상 화학물질로 분류된다(OECD, 2018).

국내 프탈레이트 취급사업장은 2018년 1,338개소로, 이들 사업장의 총 종사 근로자 수는 약 5만 6천여 명으로 추정할 수 있다(통계청 2018, 화학물질 배출량 정보공개 연도 2018).

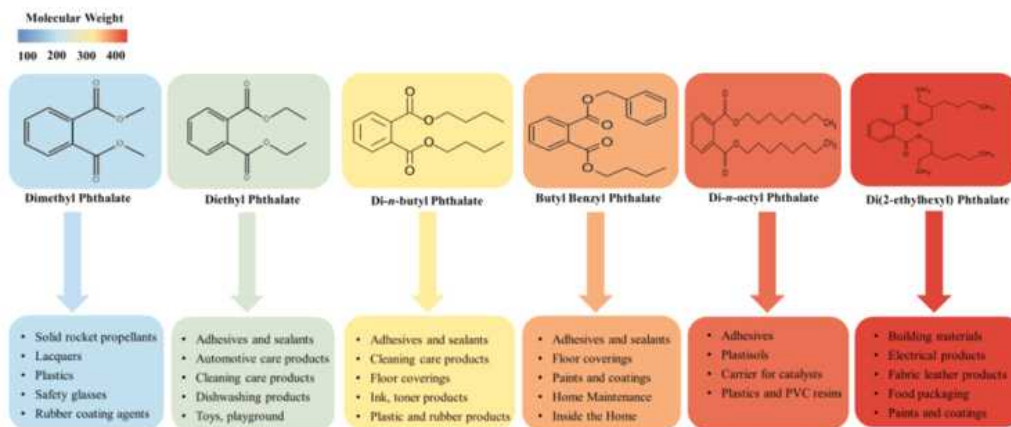
$$(\text{프탈레이트 취급 사업장} \times \frac{\text{전체 제조업 사업장 피고용인 수}}{\text{전체 제조업 사업체 수}} = 1338 \times \frac{2,928,000}{69,639})$$

국내 프탈레이트계 가소제를 취급하는 사업장은 아래 8종을 대상으로 CAS no로 검색함. Dimethyl phthalate(DMP), Diethyl phthalate(DEP), Dibutyl phthalate(DBP), Butyl benzyl phthalate(BBP), Diethylhexyl phthalate(DEHP), Di-n-octyl phthalate (DnOP), Di-isononyl phthalate(DiNP), Di-isodecyl phthalate(DiDP)

(2) 산업에서 주로 쓰이는 프탈레이트 종류 및 물리화학적 특성

산업에서 가장 많이 사용된다고 알려진 6종의 프탈레이트 [그림 I-2]와 우리나라 국가기관에서 규제기준이 있는 프탈레이트(DMP, DEP, DBP, BBP, DEHP, DnOP, DiNP, DiDP)의 합집합인 8종을 우선 고려하였다.

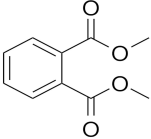
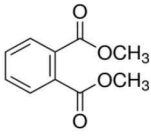
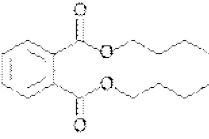
해당 프탈레이트의 물리화학적 특성을 ILO(International Labour Organization)의 Phthalates: Physicals & Chemicals Properties (<https://www.iloencyclopaedia.org/part-xviii-10978/guide-to-chemicals/item/1206-phthalates-physical-chemical-properties>)를 참고하여 정리하였다(표 I-1).

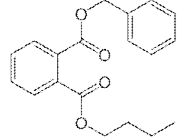
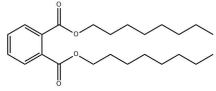
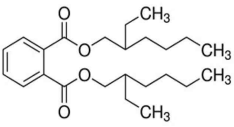
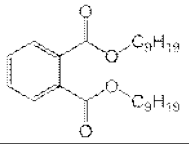
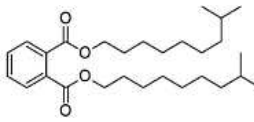


[그림 I-2] 산업에서 주로 쓰이는 프탈레이트 6종과 주요용도(Huang, L et al, 2021)

〈표 I-1〉 산업에서 자주 쓰이는 프탈레이트 8종의 물리화학적 특성

(International Labour Organization, Phthalates: Physicals & Chemicals Properties, 2011)

번호	프탈레이트	Cas No	구조	분자량 (g/mol)	끓는 점 (°C)	녹는 점 (°C)	용해도 (mg/ l)	실온에서의 성상
1	Dimethyl phthalate (DMP)	131-11-3		194.2	284	5.5	400 (25 °C)	liquid
2	Diethyl phthalate (DEP)	84-66-2		222.3	295 (101.3 kPa)	-40.5	932 (20 °C)	liquid
3	Dibutyl phthalate (DBP)	84-74-2		278.3	약 340	-35	약 11.4 (25 °C)	liquid (oil(액체류))

번호	프탈레이트	Cas No	구조	분자량 (g/mol)	끓는 점 (°C)	녹는 점 (°C)	용해도 (mg/ l)	실온에서의 성상
4	Butyl benzyl phthalate (BBP)	85-68-7		312.4	370	-35	2.69 (25 °C)	liquid (기름기 있는 액체)
5	Di-n-octyl phthalate (DnOP)	117-84-0		390.6	220 (5 mmHg)	-25	불용성	-
6	Di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)	117-81-7		390.6	384	-55	$2.70 \cdot 10^{-1}$ (25 °C)	liquid
7	Diisononyl phthalate (DiNP)	28553-12-0		418.6	224-252 (0.7kPa)	-	0.2 (20 °C)	liquid
8	Diisodecyl phthalate (DiDP)	26761-40-0		446.7	250-257 (0.5kPa)	-50	불용성	liquid (점성)

(3) 프탈레이트 종류별 주요용도

다음 <표 I -2>는 연구대상 후보로 선정된 프탈레이트 8종의 용도를 조사한 것이다. 공통적으로 PVC 플라스틱, 고무제품 등에 첨가제로 사용되는 것으로 나타났다. Low molecular weight 프탈레이트인 DMP, DEP, DBP, BBP는 각각 헤어스프레이, 청소제품, 윤활유, 가소제 등에 첨가제로 사용된다. DnOP, DEHP, DiNP, DiDP와 같은 High molecular weight 프탈레이트는 건축자재 또는 자동차 산업에서 광범위하게 사용된다.

<표 I -2> 연구대상 프탈레이트 8종의 용도

번호	프탈레이트	용도 ^{1),2)}	
1	DMP	• solid rocket propellants • 헤어스프레이	• 플라스틱 • 보안경 • 고무 코팅제
2	DEP	• 접착제, 실런트 • 청소제품 • 바닥 장판	• 잉크, 토너 제품 • 플라스틱, 고무제품
3	DBP	• 접착제, 실런트 • 페인트, 코팅 • 실험용도 • 바닥장판	• 가구 • 야광팔찌 등 • 윤활유 • 직물 및 가죽제품
4	BBP	• PVC 가소제	• 레진
5	DnOP	• 생활용품, 건축자재	• 음식 포장재
6	DEHP	• 건축자재 • 전자제품 • 직물, 가죽제품	• 음식 포장재 • 페인트, 코팅
7	DiNP	• PVC • 건축자재 • 자동차, 연료제품	• 접착제, 실런트 • 페인트, 코팅 • 전자제품 • 플라스틱, 고무제품
8	DiDP	• PVC • 건축자재 • 자동차, 연료제품 • 접착제, 실런트	• 페인트, 코팅 • 전자제품 • 플라스틱 고무제품

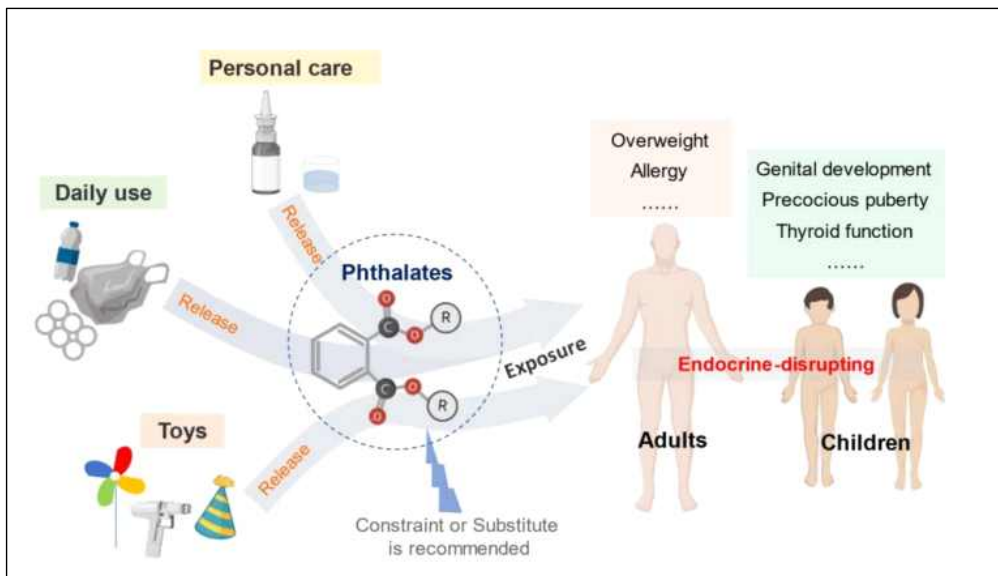
1) Huang, L et al., Phthalic Acid Esters; Natural Sources and Biological Activities. Toxins 2021

2) Wang Y et al., Phthalates and their impacts on human health, healthcare, 2021

2) 플라스틱 가소제의 유해성과 관리현황

(1) 프탈레이트의 건강영향

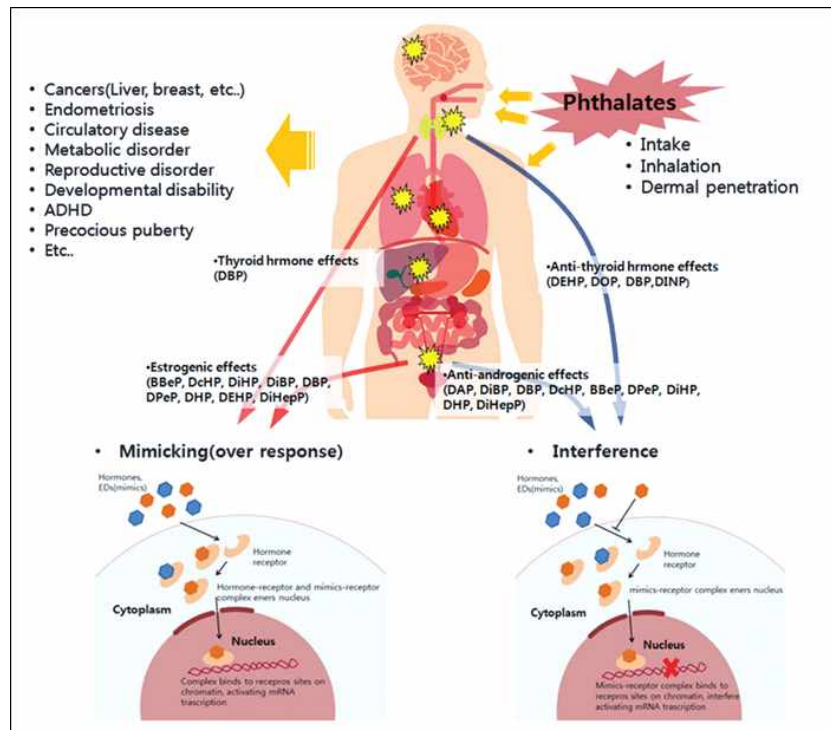
프탈레이트의 일반적인 노출경로는 개인용품, 일회용품, 장난감 등 다양하며 경구, 흡입, 피부를 통해 몸속으로 들어온다(Adibi et al. 2003; Rudel et al., 2003)[그림 I-3].



[그림 I-3] 프탈레이트의 일반적인 인체 노출경로(Wang Y et al., 2021)

프탈레이트는 내분비계 교란물질(endocrine disruptor)로 몸속에 들어오면 내분비계교란 작용을 일으키는데, 특히 에스트로젠(estrogen)과 안드로젠(androgen) 같은 스테로이드계 호르몬의 유사체 또는 억제제로 비정상적인 호르몬작용을 유도하거나 정상적인 호르몬작용을 방해한다(김웅·계명찬, 2017). 또한 남녀 모두에게서 생식능력 이상 증상이 나타나는데, 정자의 손상(Rozati et al. 2002), 여성의 경우 성조숙증 및 조기 사춘기를 유발하며(Chakraborty et al., 2012; Yum et al., 2013), 불임을 초래한다(Rozati et al., 2002; Tranfo et al., 2012). 프탈레이트 노출은 갑상선호르몬 교란

과도 연관이 있다(Ibhazehiebo and Koibuchi 2014; Choi S et al., 2020, Kim MJ et al., 2021)[그림 I-4]. 프탈레이트의 노출은 당뇨 등 대사질환, 유방암, 간암 등을 유발하는 것으로도 알려져 있다(Rusyn et al., 2006; López-Carrillo et al., 2010; Lee et al., 2019). 그 밖에 프탈레이트 노출은 임신부와 태아에게도 악영향을 주는데, 조산, 불임, 저체중아 출산, 태아의 선천적 장애를 일으킨다고 보고되었다(Latini et al., 2004; Swan et al., 2009; Adibi et al., 2009; Meeker et al., 2009; Ferguson 2014; Ferguson KK 2019).



[그림 I-4] 프탈레이트 노출과 건강영향(김웅·계명찬, 2017)

(2) 플라스틱 가소제에 대한 우리나라의 부족한 관리 실정

프탈레이트는 가공성 및 상용성의 효과는 우수하지만, 유해성 때문에 많은 나라에서 사용을 규제하고 있다. [그림 I-5]는 국내와 EU의 플라스틱 첨가물질 종류와 규제 및 관리비율을 비교한 것이다. 국내에서 확인된 플라스틱 첨가물질 총 412종 중 53종이 가소제였으며, EU는 418종 중 66종으로 우리나라보다 많았다. 가소제 규제 및 관리 비율은 EU가 54 %로 절반 이상이 규제 및 관리되는 반면, 국내는 EU보다 가소제 종류는 적음에도 규제 및 관리 는 매우 부족한 것으로 나타났다(한국환경정책·평가연구원, 2020).

〈표 4-1〉 플라스틱 첨가물질 국내(본 연구 대상 물질)와 EU 규제 및 관리 현황

기능	본 연구 대상 국내 첨가물질		EU 플라스틱 첨가물질	
	첨가물질 수(종)	규제/관리 비율(%)	첨가물질 수(종)	규제/관리 비율(%)
항산화제	29	24.1	26	65
정전기 방지제	11	45.5	16	43
난연제	44	31.8	40	67
조색제	3	0.0	5	20
가소제	53	28.3	66	54
안료	126	11.1	127	30
열 안정제	26	42.3	27	66
UV/광 안정제	15	13.3	16	62
기타 안정제	20	10.0	23	45
기타 기능	85	51.8	72	12
총합	412	27.7	418	41

자료: 국내 관리 현황 저자 작성 및 ECHA(2019), p.6 인용.

[그림 I-5] 국내 및 EU의 플라스틱 가소제 규제/관리 비율(한국환경정책·평가연구원, 2020)

(3) ACGIH와 우리나라의 프탈레이트 노출기준

프탈레이트 중 DEHP에 대하여 ACGIH는 기존 TLV-TWA 5 mg/m³에서 2020년에 0.5 mg/m³으로 개정할 것을 예고한 데에 이어(ACGIH, 2020 TLV), 2022년 0.1 mg/m³으로 개정할 것을 예고하였다(ACGIH, 2022 TLV). 기존의 기준이 호흡기 독성에 근거한 것이었다면, 새로 개정을 제안한 기준의 근거는 생식독성인 것은 눈여겨볼 만한 차이이다. 또한 피부를 통한 빠른 흡수와 전신작용에 대한 우려로 “skin” notation이 있고, A3(동물에게서 알려진 발암물질)로 구분하고 있다.

우리나라 산업안전보건법에는 4종의 프탈레이트(DMP, DBP, DEP, DEHP)에 대한 노출기준을 5 mg/m³으로 정하고 있으며, DBP와 DEHP는 생식독성 1B로 분류되었다(표 I-3). 2022년 10월, 노동부는 DBP를 포함한 생식독성 물질 8종을 관리대상 유해물질로 추가 지정하여 취급 근로자의 불임이나 난임, 자녀의 선천성 기형 등이 예방되도록 하는 내용으로 규칙 개정안을 공포하였다. DBP는 특별관리물질로 지정되었다.

〈표 I-3〉 우리나라 프탈레이트의 작업환경 노출기준
(화학물질 및 물리적인자의 노출기준, 고용노동부, 2020)

번호	CAS	프탈레이트 종류	노출기준				생식독성 /발암성
			TWA		STEL		
			ppm	mg/m³	ppm	mg/m³	
1	131-11-3	디메틸프탈레이트 DMP(Dimethylphthalate)	-	5	-	-	
2	84-74-2	디부틸 프탈레이트 DBP(Dibutyl phthalate)	-	5	-	-	생식 독성1B
3	84-66-2	디에틸프탈레이트 DEP(Diethyl phthalate)	-	5	-	-	
4	117-81-7	디(2-에틸헥실)프탈레이트 DEHP(Di(2-ethylhexyl) phthalate)	-	5	-	10	생식 독성1B 발암성2

하지만, 프탈레이트 4종은 노출기준이 설정되어 있을 뿐 작업환경측정대상 또는 특수건강진단 대상물질이 아니다. DEHP와 DBP는 모두 생식독성 1B로 분류되었는데, 이 중 DEHP는 관리대상물질, DBP는 특별관리대상물질이다 〈표 I-4〉. 2022년 10월, 노동부는 DBP를 포함한 생식독성 물질 8종을 관리대상 유해물질(7종: 특별관리물질, 1종: 관리대상물질)로 추가 지정하여 취급 근로자의 불임이나 난임, 자녀의 선천성 기형 등이 예방되도록 하는 내용으로 규칙 개정안을 공포하였다. 여기서 DBP는 특별관리물질로 지정되었다(산업안전보건기준에 관한 규칙 개정안 공포, 노동부, 2022.10.18.). 이 개정안은 2023년 10월 19일부터 유효하다.

〈표 I-4〉 노출기준 고시의 생식독성 물질 44종과 관리현황

(생식독성물질의 산업안전보건법 등 관리수준 검토를 위한 유해성 위험성 평가, 최상준 등, 2020)의 〈표 III-2-1〉을 보완함

No	CAS NO	노출기준이 있는 생식독성 물질(국문)	생식독성 분류	관리대상 유해물질	특별관리물질	작업환경측정	특수건강진단
1	7439-92-1	납 및 그 무기화합물	1A	✓	✓	✓	✓
2	75-26-3	2-브로모프로판	1A	✓	✓	✓	✓
3	127-19-5	N,N-디메틸아세트아미드	1B	✓	✓	✓	✓
4	109-86-4	2-메톡시에탄올	1B	✓	✓	✓	✓
5	111-15-9	2-에톡시에틸아세테이트	1B	✓	✓	✓	✓
6	110-80-5	2-에톡시에탄올	1B	✓	✓	✓	✓
7	106-94-5	1-브로모프로판	1B	✓	✓	✓	✓
8	7439-97-6	수은 및 무기형태	1B	✓	✓	✓	✓
9	110-49-6	2-메톡시에틸아세테이트	1B	✓	✓	✓	✓
10	96-18-4	1,2,3-트리클로로프로판	1B	✓	✓	✓	✓
11	556-52-5	글리시돌	1B	✓	✓	✓	✓
12	25321-14-6	디니트로톨루엔	2	✓	✓	✓	✓
13	79-06-1	아크릴아미드	2	✓	✓	✓	✓
14	7440-43-9	카드뮴 및 그 화합물	2	✓	✓	✓	✓

No	CAS NO	노출기준이 있는 생식독성 물질(국문)	생식독성 분류	관리대상 유해물질	특별관리물질	작업환경측정	특수건강진단
15	630-08-0	일산화탄소	1A	✓	.	✓	✓
16	98-95-3	니트로벤젠	1B	✓	.	✓	✓
17	68-12-2	디메틸포름아미드	1B	✓	✓	✓	✓
18	108-88-3	톨루엔	2	✓	.	✓	✓
19	100-42-5	스티렌	2	✓	.	✓	✓
20	110-54-3	노말-헥산	2	✓	.	✓	✓
21	1314-62-1	오산화바나듐	2	✓	.	✓	✓
22	75-15-0	이황화탄소	2	✓	.	✓	✓
23	591-78-6	메틸 노말-부틸케톤	2	✓	.	✓	✓
24	67-66-3	클로로포름	2	✓	.	✓	✓
25	106-92-3	알릴글리시딜에테르	2	✓	.	✓	.
26	117-81-7	디(2-에틸헥실)프탈레이트 (DEHP)	1B	✓	.	.	.
27	13463-39-3	니켈 카르보닐	1B	✓	✓	✓	✓
28	7758-97-6	크롬산 연	1A	✓	✓	✓	✓
29	81-81-2	와파린	1A	.	✓*	.	.
30	7784-40-9	아세네이트 연	1A	✓	✓	✓	✓

No	CAS NO	노출기준이 있는 생식독성 물질(국문)	생식독성 분류	관리대상 유해물질	특별관리물질	작업환경측정	특수건강진단
31	12179-04-3	붕소산 사나트륨염(오수화물)	1B	.	✓*		
32	1303-96-4	붕소산 사나트륨염(십수화물)	1B	.			
33	1303-86-2	산화 붕소	1B	.	✓*		
34	1330-43-4	붕소산 사나트륨염(무수물)	1B	.			
35	50-32-8	벤조 피렌	1B	.	✓*		
36	17804-35-2	배노밀	1B	.			
37	75-12-7	포름아미드	1B	.	✓*		
38	84-74-2	디부틸 프탈레이트 (DBP)	1B	.	✓*		
39	58-89-9	린데인	수유독성	.			
40	108-91-8	시클로헥실아민	2	✓*			
41	88-72-2	니트로톨루엔 (오쏘, 메타, 파라-이성체)	2	.	✓*		
42	61-82-5	3-아미노-1,2,4-트리아졸(또는 아미트룰)	2	.			
43	142-64-3	피페라진다하이드로클로라이드	2	.			
44	624-83-9	메틸 이소시아네이트	2	.			

*산업안전보건기준에 관한 규칙 일부개정안, 관리대상 유해물질 생식독성 물질 8종 추가안 (제449조 및 별표 12)

2. 연구목적과 목표

본 연구의 목적은 잘 알려진 건강위험성에도 불구하고, 적절한 노출관리의 대상이 되지 못하고 있는 프탈레이트 취급 사업장의 작업환경 중 프탈레이트 농도를 평가함으로써, 우리나라 프탈레이트 취급근로자의 노출관리 강화 필요성의 근거를 제시하는 것이다. 이를 위하여 본 연구의 구체적인 목표는 다음과 같다.

첫째, 프탈레이트의 직업적 노출관리에 관련된 국내외 규제현황과 선행연구를 체계적으로 고찰한다.

둘째, 우리나라 프탈레이트 취급 사업장 및 근로자 현황을 추정한다.

셋째, 작업환경 중 프탈레이트 시료 채취 및 분석방법을 정립한다.

넷째, 다양한 업종의 프탈레이트 취급 사업장에서 공기 및 표면 환경시료를 채취, 분석함으로써, 프탈레이트 취급 사업장 환경의 프탈레이트 오염을 확인한다. 호흡을 통한 근로자의 프탈레이트 노출량을 추정함으로써 근로자의 프탈레이트 노출과 건강위험을 평가한다.

II. 연구내용과 방법

.....

II. 연구내용과 방법

1. 연구내용

본 연구의 주요 내용은 <표 II-1>과 같다.

<표 II-1> 연구내용

연구내용	세부내용
1. 프탈레이트 규제현황 및 국내외 관련 연구 문헌조사	• 국내외 프탈레이트 규제현황 조사 • 국내외 작업환경노출평가 문헌조사 • 국내외 프탈레이트 바이오모니터링 문헌조사
2. 우리나라 프탈레이트 취급 사업장 및 근로자 현황 추정	• 우리나라 프탈레이트 사업장 현황 및 노출근로자 규모 추정
3. 근로자의 프탈레이트 노출 가능성과 건강위험 추정	• 연구대상 프탈레이트 선정 • 연구대상 사업장 선정 • 작업환경 시료 샘플링을 위한 예비조사 • 사업장별 공기시료 및 표면시료 분석결과 및 고찰 • 근로자 개인노출량 및 건강위험성 추정(비발암성, 발암성)
3-1. 작업환경 중 프탈레이트 시료채취 및 분석방법 개발	• 공기시료 채취와 분석, 표면시료 채취와 분석, 실험과정 교차오염 가능성 평가(해당내용은 부록 참조)

2. 연구방법

1) 프탈레이트 규제현황 및 국내외 관련 연구 문헌조사

(1) 국내외 프탈레이트 규제현황 조사

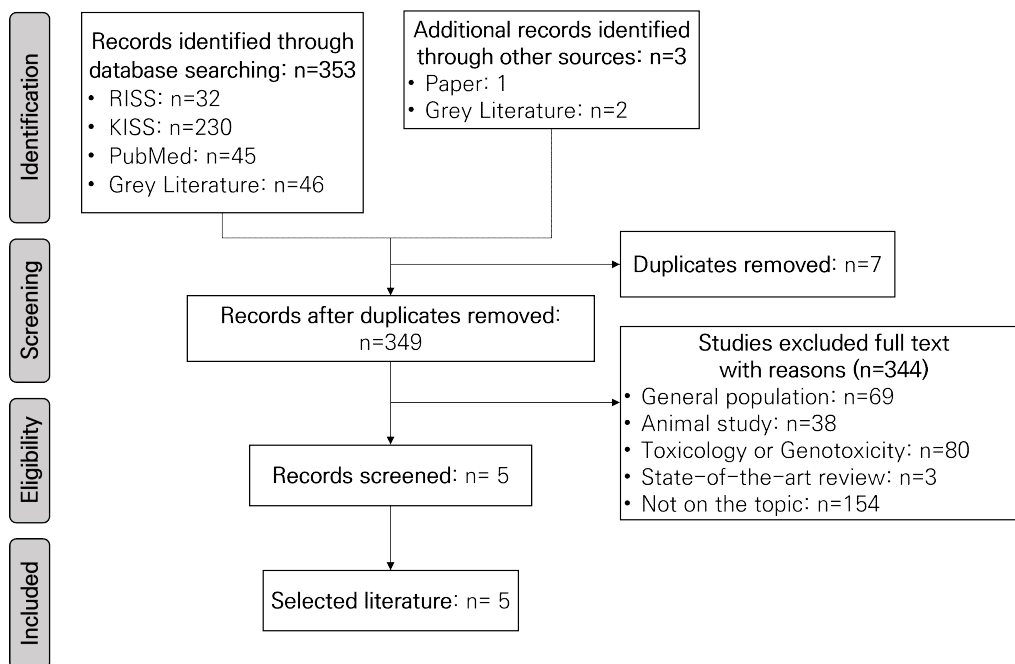
우리나라 고용노동부고시 제2020-48호 [별표 1]의 화학물질의 노출기준, 미국 ACGIH TLVs, 유럽의 GESTIS International limit values (www.dguv.de/ifa/gestis-database)를 활용하여 우리나라, 미국, 유럽 각국의 프탈레이트 노출기준을 비교하였다. 또한 미국, 일본, 유럽 등의 타부처(식약처, 환경부 등)의 프탈레이트 규제현황을 조사, 비교하였다.

(2) 국내외 작업환경노출평가 문헌조사(PRISMA systematic review)

국내외 프탈레이트류의 노출평가에 관련한 연구 현황을 조사하기 위하여 PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic review and Meta-Analysis) 가이드라인에 따라 문헌을 고찰하였다[그림 II-1], [그림 II-2].

국내 데이터베이스 학술연구정보서비스(RISS)와 한국학술정보(KISS), 국외 데이터베이스 PubMed, 구글스칼라를 이용하여 2022년 8월까지 검색하였다. 국내 데이터베이스 검색어는 "프탈레이트", "플라스틱", "가소제"를 1차 검색어로, "노동자", "근로자", "플라스틱 제조업", "위해성평가", "먼지", "노출평가", "사업장", "작업환경"을 2차 검색어로 하였다. 국외 데이터베이스 검색어는 "phthalate", "phthalate acid", "phthalate metabolites" AND "occupational", "plastic", "plastic recycling", "worker", "plastic worker"로 하였다. RISS와 KISS를 통해 각각 32편, 230편 그리고 PubMed를 통해 45편의 문헌이 검색되었으며 추가적으로 회색문헌 46편까지 총 353편의 문헌이 검색되었다. 데이터베이스 외의 구글스칼라 검색을 통해 총 3편

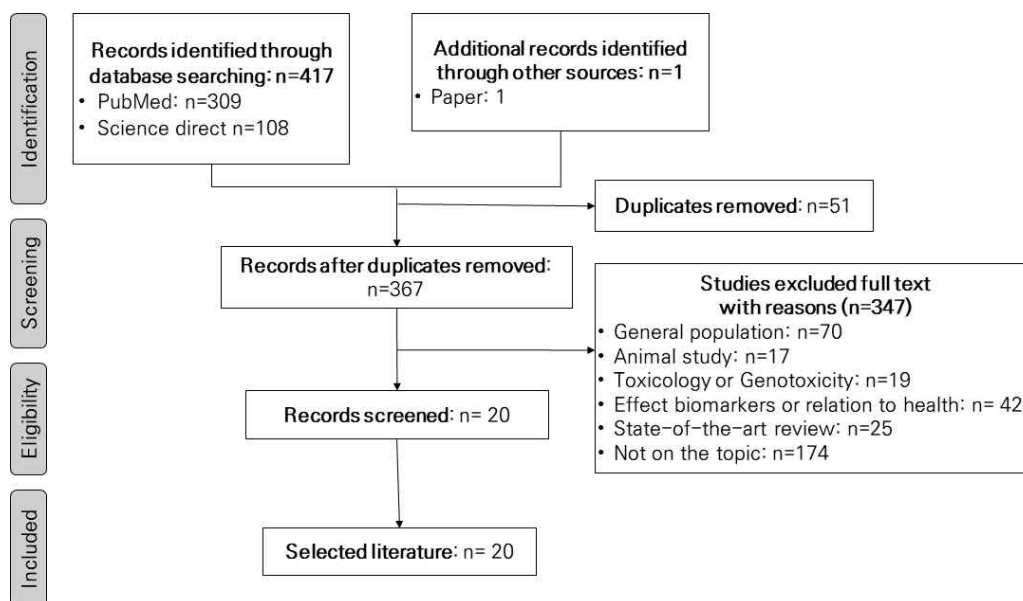
의 문헌(논문 1건, 회색문헌 2건)이 추가적으로 검색되었다. 검색된 문헌에 대해 1차적으로 중복문헌 7편을 제외하였고, 2차적으로 일반인구 대상(n=69), 동물 연구(n=38), 독성학 또는 유전학(n=80), 리뷰(n=3), 본 연구의 주제와 맞지 않는 문헌(n=154)을 기준으로 제외하였다. 최종적으로 356편의 문헌 중 5편이 선정되었다.



[그림 II-1] 국내 문헌 조사를 위한 PRISMA flowchart

국외 문헌 검색은 PubMed와 Sciencedirect를 활용하였다[그림 II-2]. 키워드는 ("phthalic acid" OR "phthalates") AND ("occupational" OR "plastic recycling" OR "worker" OR "plastic worker" OR "occupation" OR "workplace" OR "working" OR "working environment")으로 설정하였다. 검색일은 2022년 8월 15일이었으며, 검색 기간은 전체기간, 검색 필터

는 설정하지 않았다. PRISMA 절차에 맞게 대상 논문은 분류, 선별 및 고찰 하였다. PubMed와 Sciencedirect를 통해 각각 309편, 108편의 문헌이 검색되었으며 데이터베이스 외의 구글스칼라 검색을 통해 총 1편의 논문이 추가적으로 검색되었다. 검색된 문헌에 대해 1차적으로 중복문헌 51편을 제외하였고, 2차적으로 일반인구 대상(n=70), 동물 연구(n=17), 독성학 또는 유전학(n=19), 리뷰(n=25), 건강영향 관련(n=42), 본 연구의 주제와 맞지 않는 문헌(n=174)을 기준으로 제외하였다. 최종적으로 417편의 문헌 중 20편이 선정되었다.



[그림 II-2] 국외 문헌 조사를 위한 PRISMA flowchart

(3) 국내외 근로자의 프탈레이트 바이오모니터링 문헌조사

PRISMA를 통해 선별된 국내외 프탈레이트 작업환경노출평가 문헌에서 근로자의 생체시료(소변, 혈액) 중 프탈레이트를 분석한 문헌을 선별하였다. 국내 3건(1건 프탈레이트 농도를 제시하지 않음) 국외 7건의 문헌에서 근로자의 프탈레이트 바이오모니터링 결과를 제시하였다.

2) 우리나라 프탈레이트 취급 사업장 및 근로자 현황 추정

우리나라 산업의 프탈레이트 사용현황을 조사하기 위하여 환경부의 화학물질 통계 정보공개(<https://icis.me.go.kr/search/searchType6.do>)를 활용하였다. “화학물질 취급정보”에 프탈레이트를 대상물질로 하여 사용 업체명 목록을 확인하였다. 해당 사이트는 2014년, 2016년, 2018년도의 자료를 제공하고 있으며, 지역별, 업종별, 산업단지별로 선택하여 엑셀 데이터로 다운로드할 수 있다. 본 연구는 우리나라 프탈레이트 사용현황을 파악하기 위해 연도는 가장 최근인 2018년도로 설정하였으며, 검색항목에서 국문 및 영문 물질명이 아닌 cas. no로 각각의 프탈레이트를 검색하였다. 자세한 검색옵션은 <표 II-2>와 같다.

The screenshot displays the '화학물질취급정보' (Chemical Substance Handling Information) search page. It features a search bar with '일반검색' (General Search) and '상세검색' (Detailed Search) tabs. Below the tabs, there are several search criteria sections:

- 연도 (Year):** Set to '2018년'.
- 지역 (Region):** Set to '전체지역' (All Regions).
- 물질 (Substance):** '물질그룹' (Substance Group) is set to '전체물질' (All Substances). '검색항목' (Search Item) is also set to '전체물질'.
- 업종 (Industry):** '대분류 선택' (Major Category Selection) is set to '전체산업단지' (All Industrial Complexes). '중분류' (Sub-category), '소분류' (Minor Category), and '세분류' (Detailed Category) are also set to '전체' (All).
- 업체명 (Company Name):** Set to '전체업체명' (All Company Names).

 At the bottom, there are '검색' (Search) and '초기화' (Reset) buttons.

[그림 II-3] 국내 프탈레이트 사용현황을 위해 활용한 환경부 화학물질 통계정보

〈표 II-2〉 국내 프탈레이트 사용현황을 위해 설정한 검색 옵션

검색사이트	화학물질안전원화학물질종합정보시스템	
세부검색옵션	화학물질 통계 정보공개 > 화학물질취급정보 > 상세검색	
검색연도	2018년	
검색지역	전체지역	
검색물질그룹	전체물질	
검색업종	전체업종	
검색산업단지	전체산업단지	
검색 프탈레이트 (CAS No.)	DMP	131-11-3
	DEP	84-66-2
	DBP	84-74-2
	DEHP	117-81-7
	BBP	85-68-7
	DnOP	117-84-0
	DiNP	28553-12-0; 68515-48-0
	DiDP	26761-40-0

3) 근로자의 프탈레이트 노출 가능성과 건강위험 추정

(1) 연구대상 프탈레이트류 선정

연구대상 프탈레이트는 1) 산업안전보건법상 노출기준이 있는 프탈레이트 4종(DMP, DEP, DBP, DEHP)을 우선 포함하고, 2) 천안, 아산지역의 제조업 중 프탈레이트 유통량 및 사용량을 고려하고, 3) 프탈레이트 노출평가에 관한 선행 논문에서 보고된 프탈레이트를 중심으로 선정하였다.

(2) 연구대상 사업장 선정

환경부 화학물질종합정보시스템의 화학물질 통계 정보공개(2018, <https://icis.me.go.kr/search/searchType6.do>)를 이용하여 천안, 아산지역의 프탈레이트 원료 제조, 생산, 취급사업장에 대한 세부 업종, 취급 화학물질, 양, 근로자 수 등을 분석하였다. 근로자 수 및 사용 프탈레이트 종류와 양을 고려하여 선정한 우선 대상 사업장 20여 곳에 연구협조 공문을 발송하였다. 사업장 보건관리 담당자에게 연구내용을 설명하고 연구참여에 대한 동의를 구하였다[그림 II-4].



[그림 II-5] 대상 사업장 선정 흐름도

(3) 작업환경 시료 샘플링을 위한 예비조사

사업장별로 프탈레이트 노출 특성과 고노출이 예상되는 공정 및 설비를 예비조사하였다. 이를 바탕으로 사업장별 노출 우려가 있는 공정 및 위치를 미리 선정하는 등 샘플링 전략을 수립하였다. 예비조사를 위한 사업장 방문이 불가능한 경우, 사업장의 공장 도면, 사용물질의 MSDS 등을 구하여 검토하였다.

(4) 사업장별 공기시료 및 표면시료 분석

사업장별 공기시료와 표면시료 중 프탈레이트 농도를 분석하였다. 사업장별 공정별 프탈레이트 농도수준을 비교하였다.

가) 공기시료 및 표면시료 중 프탈레이트 채취 방법

작업환경 중 프탈레이트 시료채취 및 분석방법을 결정하기에 앞서 NIOSH 5020 (1994), OSHA 104 (1994), KOSHA A-164-2018 (2018)의 프탈레이트 시료채취 및 분석법을 비교하였다<표 II-3>.

NIOSH 5020은 DBP, DEHP를 대상물질로 한다. 시료 채취는 MCE 필터($0.8\mu\text{m}$ MCE)를 사용하고, 시료 채취유량은 $1\text{--}3\text{ l/min}$, 총량은 $10\text{--}200\text{ l}$ 이다. CS₂로 30분간 초음파 탈착한 후, GC-FID로 분석한다.

OSHA 104는 DMP, DEP, DBP, DEHP, DnOP를 대상물질로 한다. 시료는 OVS-Tenax tube를 사용하여 채취한다. 시료 채취 유량은 1 l/min 이고, 총량은 240 l 이다. Toluene으로 탈착하고, GC-FID로 분석한다. OSHA의 초기 방법은 ethylene glycol로 시료채취를 하였다가, MCE filter를 거쳐, Tenax GC를 흡착제로 사용한 고체흡착관을 사용하기도 하였다. 이후 OVS (OSHA Versatile Sampler)를 설계하여, 흡착제로 XAD를 사용하였으나 XAD 자체가 다루기 힘든 문제가 있어 Tenax TA로 흡착물질을 변경한 것이 현재 방법이다.

KOSHA guide는 2018년에 제안되었는데, 기본적으로 OSHA 104를 적용한 것으로 여겨진다. 시료 채취는 OVS-Tenax tube를 사용하는데, 다만 OSHA 104의 유량이 1 l/min 인 것과 달리 $0.2\text{--}2\text{ l/min}$ 으로 한다.

〈표 II-3〉 프탈레이트 시료채취 및 분석 공정시험법

시험법/ 물질명	구분	상세내용
NIOSH (5020) DBP, DEHP	시료 채취	1. 채취 1) 방법: 여과포집법 2) 기구 및 채취제: MCE 필터 (0.8 μ m MCE) 3) 시료채취유량: 1-3 ℓ /min 4) 총량: 10 (at 5 mg/m ³)-200 ℓ 2. 운반: 일반적인 방법 3. 시료안정성 1) DBP: 6일 이상 (at 25 $^{\circ}$ C) 2) DEHP: not known 4. 공시료: 시료의 10 % (2개 이상)
	분석	1. 기기: GC/FID 2. 탈착 방법: 2 ml CS ₂ 넣고 30분간 초음파 3. 주입량: 5 μ l 4. 온도: 주입구: 300 $^{\circ}$ C 검출부: 300 $^{\circ}$ C 컬럼: 200-250 $^{\circ}$ C 5. 운반가스: He 30 ml/min 6. 칼럼: 5 % OV-101 (2 m*3 mm O.D stainless steel) 7. 범위: 0.05-0.5 mg/sample 8. 검출한계: 0.01 mg/sample

시험법/ 물질명	구분	상세내용
OSHA (104) DMP, DEP, DBP, DEHP, DNOP	시료 채취	1. 채취 1) 방법: 고체흡착관 2) 기구 및 채취제: OVS-Tenax tube 3) 시료채취유량: 1 ℓ/min 4) 총량: 240 ℓ 2. 공시료: 시료 세트당 1개의 공시료
	분석	1. 기기: GC/FID 2. 탈착 방법: toluene 4 mL와 넣고 30분간 쉐이킹 3. 주입량: 1 μℓ 4. 온도: 주입구: 270 °C 검출부: 275 °C 컬럼: 75-270 °C 5. 운반가스: He 5.53 mL/min, N ₂ 30 mL/min 6. 칼럼: HP-1 (5 m, 0.53 mm i.d., 2.65 μm film) 7. 범위: 300 μg/mL STD solution으로 타겟 농도범위 선정 8. 검출한계(μg/sample): - DMP: 6.5; DEP: 4.8; DBP: 2.4; DEHP: 3.9; DnOP: 3.3
KOSHA (A-164- 2018) DEHP	시료 채취	1. 채취 1) 방법: 고체흡착관 2) 기구 및 채취제: OVS-Tenax tube 3) 시료채취유량: 0.2-2 ℓ/min 4) 총량: 10-600 ℓ 2. 운반: 일반적인 운반 3. 시료안정성 상온과 냉장보관에서 모두 15일 이상 안정함 4. 공시료: 총 시료수의 10 %이상 또는 시료 세트 당 2-10개의 현장 공시료
	분석	1. 기기: GC/FID 2. 탈착 방법: 2-4 mL toluene 넣고, 30분 방치 3. 주입량: 1 mL 4. 온도: 주입구: 270 °C 검출부: 275 °C 컬럼: 75-270 °C 5. 운반가스: N ₂ 0.5-3 mL/min 6. 칼럼: HP-1 (30 m*0.25 mm*0.25 μm) 7. 범위: 0.6-2.5 mg/sample 8. 검출한계: 3.9 μg/sample

〈표 II-4〉는 본 연구에서 최종적으로 적용한 공기 및 표면 샘플링 방법 및 보관방법이다. 공기시료 채취는 프탈레이트 가스상 및 입자상을 동시에 채취할 수 있는 Tenax TA OVS (part no. 226-56, SKC Inc)를 사용하여 2 l/min 유량으로 포집하였다. 표면시료는 공기시료 채취 주변의 설비표면을 wipe하는 방식으로 채취하였다. 공기 시료 샘플링 시, OVS (Osha Versatile Sampler) 샘플러 방향은 최대한 공정과 가깝게 위치시켰다. 스탠드를 설치할 수 없는 경우 최대한 근로자의 호흡기 위치에 맞는 공간에 샘플러를 설치하였다.

표면 샘플링은 공정시험법이 없으므로 연구진이 수행한 기존 연구(인체유해물질 노출량 측정을 통한 개인보호장비 개선방안 마련 사전연구, 2017, 국립소방과학원)에서 개발한 시료 채취 프로토콜을 적용하였다. 멸균거즈에 아이소프로필알콜 70 %를 적셔 설비표면을 표준화된 방향과 횡수에 따라 닦아내는 방식이다. 표면 샘플링은 10 x10 cm 템플릿을 만들어 모든 샘플링의 해상도가 같게 하였다. 표면 샘플링 프로토콜에 맞게 아이소프로필 70 %가 적셔진 거즈로 wipe하여 시료를 수집하였다. 각각의 시료 채취 시의 교차오염을 줄이기 위해 장갑을 매번 교체하였고, 샘플링 도구들을 아이소프로필 70 %로 세척하였다.

수집한 Tenax TA OVS는 앞뒤를 마개로 잘 막고 테플론으로 OVS와 마개틈을 감싸 아이박스에 넣어 운반하였다. 표면시료는 시료채취 후 입구를 캡으로 막고 크림퍼를 이용해서 밀봉하였다. 표면시료의 캡과 vial 부분은 다시 테플론으로 잘 감싸 아이스박스에 넣어 운반하였다. 운반된 모든 시료는 분석 전까지 -20 ℃에서 보관되었다.

〈표 II-4〉 공기 및 표면시료 채취 및 보관방법

종류	샘플링 방법	보관방법
공기 (호흡노출)	• Sampler: Tenax TA OVS (part no. 226-56. SKC Inc) • Flow rate: 2 l/min • 프탈레이트 free Tygon tube  OVS (SKC, 226-56) Air sample pump	• OVS tube의 앞뒤 cap과 테플론으로 밀봉 • 아이스박스에 넣어 실험실로 이동한 후 -20°C에 분석전까지 보관함  프탈레이트 free tygon tube (SAINT-GOBAIN)
설비표면 (피부 및 섭취노출)	• 설비표면 시료 Wipe을 이용 • 살균된 거즈(5x5 cm)를 아이소프로필알코올 70 % 용액 2 ml에 적심  표면시료 채취 프로토콜	• Vial(프탈레이트 free)에 옮겨 밀봉 보관  표면시료 채취용 vial 표면시료 채취용 wipe(성진양행) 아이소프로필알코올 (SAMCHUN)

나) 공기 및 표면시료 중 프탈레이트 분석법 수립

본 연구에서는 분석과정에서 오염 가능성이 적고, 용매사용이 없어 친환경적이며, 검출한계와 정량한계가 우수한 고체상 미량 추출법(SPME)을 Tenax OVS tube의 유리섬유 필터 부분과 테낙스 부분의 전처리 방법으로 결정하였다(표 II-5).

표면시료의 경우 거즈의 부피와 아이소프로필의 양 때문에 SPME를 적용할 수 없으므로, 다른 추출방법을 모색하였다. 최종적으로 시료의 농도와 정량한계가 우수하고 분석에 많이 사용하는 초음파 추출법(UAE)을 적용하였다(표 II-6).

본 연구과정에서 개발된 분석법을 적용하여 사업장별로 field blank 시료와 작업환경 중 공기시료, 표면시료를 분석하였다. 공기시료는 Tenax TA OVS 흡착관의 유리섬유 필터와 테낙스 앞과 뒷층을 구분하여, SPME 전처리 후 GC-MS를 이용하여 분석하였다. 표면시료는 UAE로 탈착 후 GC-MS로 분석하였다.

고체상미량 추출법의 추출효율에 영향을 주는 파이버(fiber) 종류, 포화온도와 흡착온도, 흡착시간, 탈착시간, 탈착온도 조건을 최적화하였다. 최적 조건에서 개발된 분석법을 검증하기 위해 검출한계(limit of detection, LOD), 정량한계(limit of quantitation, LOQ), 직선성(linearity), 재현성(reproducibility), 민감성(sensitivity), 회수율(recovery)을 계산하였다.

본 연구에서 개발한 작업환경 중 프탈레이트 시료채취와 분석방법은 보고서 부록에 상세히 제공하였다

〈표 II-5〉 Tenax TA OVS 시료 중 테낙스와 필터의 전처리 및 분석방법

시료 분리	시료 분석
세척한 50 mL vial에 tweezer를 사용해 각각을 분리해 옮김	- 분리한 시료를 225 °C sand bath에서 5분간 포화 진행 - 이어서 225 °C sand bath에서 45분간 흡착 진행 - GC/MS inlet에서 3분간 탈착한 후 분석 진행

공기

시료

분석법

공기 샘플 중 Tenax와 Filter 프로토콜

1) Deep freezer (-70°C)에 보관한 시약을 30분 동안 냉장 (-19°C) 보관

2) 샘플링한 OVS를 50 mL vial에 Filter와 Tenax를 분리해 옮기기

3) 5분간 225°C sand bath에서 포화

4) 45분간 225°C sand bath 에서 SPME로 흡착

5) GC/MS inlet에서 3분간 탈착한 후 분석 진행

① Deep freezer (-70°C)에 보관한 시약을 30분 동안 냉장 (-19°C) 보관

② 샘플링한 OVS를 50 mL vial에 Filter와 Tenax를 분리해 옮기기

③ 5분간 225°C sand bath에서 포화

④ 45분간 225°C sand bath 에서 SPME로 흡착

⑤ GC/MS inlet에서 3분간 탈착한 후 분석 진행

	SPME
Saturation temp. / time	225 °C / 5 min
Adsorption time	45 min
Desorption time	3 min
Volume	30 μ l
Fiber	PDMS/DVB

〈표 II-6〉 표면 시료의 전처리 및 분석방법

	시료 추출	시료 농축
	- 세척한 70 mL vial에 거즈를 넣은 후, 추출 용매인 acetone 20 mL를 추가 - 초음파 추출 15 분 진행 - tweezer로 거즈를 최대한 짜기	- 추출된 시료를 100 mL round bottom flask로 옮긴 후 60 °C에서 약 2 분 30 초 간 회전 증발 농축기로 농축 진행 1 mL acetone에 녹인 후 1 분간 sonication 진행 - 실린지 필터링 후 vial에 보관
표면 시료 분석법	표면시료 프로토콜 1) Deep freezer (-70°C)에 보관한 시약을 30분 동안 냉장 보관 2) 2 mL 아이소프로필 알코올을 적힌 거즈에 20 mL 아세톤 추가 3) 1분 동안 vortexing 후, 15분 간 초음파 추출 진행 4) 핀셋을 이용해 거즈를 짤 5) 회전증발농축기 에서 60°C, 2분 30초간 농축 6) 1 mL 아세톤을 넣고 1분간 sonication으로 용해시킨 뒤, GC/MS로 분석 진행	① Deep freezer (-70°C)에 보관한 시약을 30분 동안 냉장 (-19°C) 보관 ② 20 mL 아세톤 추가 ③ 초음파 추출 진행 [15 min] ④ 핀셋으로 거즈 짜기 ⑤ 100 mL 둥근 바닥 플라스크에 추출된 시료 옮기기 ⑥ 회전증발농축기 진행 [60°C, 2 min 30 s] ⑦ 1 mL 아세톤 추가 ⑧ Sonication [1 min] ⑨ 시린지 여과 진행 [0.45 µm, Nylon membrane] ⑩ GC/MS 분석
	추출에 사용한 초자 및 기구 (70 mL vial, tweezer, round bottom flask(with cork, septum), auto-sampler vial, syringe filter)	아세톤(99.7%)

(5) 근로자 개인노출량 및 건강위험성 추정(비발암성, 발암성)

가) 비발암성 추정

사업장 내 공기 흡입을 통한 프탈레이트 노출량(dose) 추정은 점추정치와 통계적 추정치를 모두 도출하였다. 노출량 추정의 모형은 성인 남성 기준으로 아래 식과 같이 계산하였다. 평생동안 노출의 일평균 노출량을 추정하는 식인 [그림 II-6]에서의 노출기간, 노출빈도, 노출이 평균되어지는 기간은 본 연구 결과를 활용하는 추정식에는 적용하지 않았다.

- 호흡률(m³/day): 전체 남자 평균으로 가정 16.21 ± 2.93 m³/day (국립환경과학원, 2018)
- 체중 (kg): 한국 성인 남자의 평균 체중 71.5 ± 11.74 kg (국립환경과학원, 2018)
- Inhalation ADD (Average daily dose, 일일 평균 노출량) (mg/kg/day)
= 농도(μg/m³) x 호흡률(m³/day)/ 체중(kg)

$$InhalationADD (mg/kg/day) = \frac{C_{air} \times RR \times IR \times EF \times ED \times ABs}{BW \times AT}$$

- Cair (Concentration): 입자상 물질 또는 가스상 물질의 오염도(μg/m³)
- RR (Retention Rate): 폐에 남아있는 정도
- IR (Inhalation Rate): 호흡률(m³/day)
- EF (Exposure Duration): 노출 빈도(days/year)
- ED (Exposure Duration): 노출 기간(years)
- Absorption Factor (ABs): 흡수율, 흡수율이 결정되지 않은 물질은 인체에 노출된 양의 100%가 흡수된다고 가정
- BW (Body Weight): 평균 체중(kg)
- AT (Averaging Time): 노출량이 평균되어지는 기간(days)

[그림 II-6] 흡입에 따른 인체노출량 추정 식(환경보건학회, 환경위해관리, 2019)

프탈레이트 흡입 노출로 인한 Hazard quotient는 <표 II-7>의 RfD를 활용하여 계산하였다.

<표 II-7> 프탈레이트의 oral chronic RfD

Chemical	abbreviation	Oral Chronic RfD (mg/kg-day)	Reference
Dimethyl phthalate (131-11-3)	DMP	1 x 10 ⁻¹ Subchronic Basis:Increased absolute and relative liver weight; Decreased serum and testicular testosterone Target organ:Liver; Clinical chemistry	RAIS
Diethyl phthalate (84-66-2)	DEP	8 x 10 ⁻¹ Basis:Decreased growth rate, food consumption and altered organ weights Target organ:Whole body	EPA IRIS / RAIS (Basis, Target organ)
Dibutyl phthalate (84-74-2)	DBP	1 x 10 ⁻¹ Basis:Increased mortality Target organ:Whole body	EPA IRIS / RAIS (Target organ)
Bis(2-ethylhexyl) phthalate (000117-81-7)	DEHP	2 x 10 ⁻² Basis:Increased relative liver weight Target organ:Liver	EPA IRIS / RAIS (Target organ)

- 유해지수(Hazard Quotient) = 추정된 노출량(mg/kg/day)/RfD (EPA, IRIS)

나) Monte Carlo simulation을 활용한 통계적 추정

프탈레이트 노출량의 점추정치는 공기시료 각각의 농도에 우리나라 성인남성의 평균 몸무게와 호흡량을 적용하여 계산하였다. 통계적 추정치는 Monte Carlo simulation (Crystal ball software 11.1.2.4 ver., Decisioneering, Inc.) 기법을 사용하였다. Monte Carlo simulation 분석은 가정변수를 필요로 하며 각 변수의 분포를 입력해야 한다. 본 연구에서는 국립환경과학원(2018)에서 제시한 한국 성인 남성의 평균과 분포를 가정하였다. 시행횟수는 10,000회로 하였고, 프탈레이트 종류별로 노출수준을 추정하였다.

다) 발암성 추정

DEHP는 동물실험에서 발암성인 것으로 나타났으며(Becker K et al., 2004), 미국 환경보호청(U.S.EPA)에서는 발암가능물질(Probable human carcinogen(B2))로 분류하고 있으며, 발암력(cancer potency factor; CPF)은 $1.41 \times 10^{-2}(\text{mg/kg/day})$ 로 제안하고 있다(EPA.,1987,1989).

발암력(cancer potency factor; CPF)은 $1.41 \times 10^{-2}(\text{mg/kg/day})$ 로 설정하였다(EPA.,1987,1989). 초과발암위해도는 아래 식을 통해 계산하였으며, 초과발암위해도가 1×10^{-4} 이상인 경우 위해가 있으며, 1×10^{-6} 이하인 경우 위해가 없다고 판단하였다(화학물질 위해성평가의 구체적인 방법 등에 관한 규정, 국립환경과학원고시 제2021-13호).

$$\text{ECR} = \text{ADD}(\text{mg/kg bw-day}) \times \text{CPF}$$

- ECR: Excess Cancer Risk
- ADD: Average Daily Dose (mg/kg bw-day)
- CPF: Cancer Potency Factor

Ⅲ. 연구결과

.....

III. 연구결과

1. 프탈레이트 규제현황 및 국내외 관련 연구 문헌조사

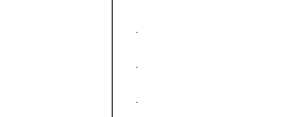
1) 국내외 프탈레이트 규제현황 조사

(1) 국내외 프탈레이트 노출기준 조사

작업환경 중 프탈레이트류에 대하여 미국 (ACGIH, NIOSH, OSHA)을 포함하여 세계 각국의 노출기준을 비교하였다<표 III-1~5>. 노출기준에 포함된 프탈레이트는 모두 10종이다. 확인된 바로는 국가별로 노출기준이 설정되어 있는 프탈레이트 종류에 차이가 있으나, 노출기준 값 자체는 큰 차이없이 비슷한 수준이다.

DMP의 노출기준을 설정하고 있는 나라는 22개국이었다. 우리나라 8-hr TLV-TWA는 5 mg/m³으로, 대부분의 나라에서 같은 기준을 설정하고 있다. 5 mg/m³ 와 다른 기준을 제시한 경우, 0.3, 3, 10 mg/m³ 등이 있다. 우리나라는 DMP에 대하여 STEL을 정하지 않으나, 스웨덴 등 6개국은 STEL 역시 5 mg/m³으로 정하는 한편 일부 국가에서는 6 mg/m³ 또는 10 mg/m³ STEL을 정하고 있다.

〈표 III-1〉 국내외 DMP 노출기준

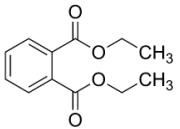
phthalate (CAS)	8-hour TLV-TWA (mg/m^3)		STEL (mg/m^3)	
	$5 \text{ mg}/\text{m}^3$	$5 \text{ mg}/\text{m}^3$ 외	$5 \text{ mg}/\text{m}^3$	$5 \text{ mg}/\text{m}^3$ 외
DMP (Dimethyl phthalate) 131-11-3 	South Korea Australia Belgium Canada - Ontario Canada - Québec Finland France Ireland New Zealand Poland ^s Singapore South Africa Mining Spain Switzerland ⁺⁺ USA – NIOSH USA – OSHA United Kingdom	0.3 mg/m^3 ³ Latvia 3 mg/m^3 Denmark Norway Sweden 10 mg/m^3 South Africa	Sweden**	6 mg/m^3 Denmark 10 mg/m^3 Finland** Ireland ^q South Africa Mining** United Kingdom

*0.05ppm, [†]Inhalable aerosol and vapour, [‡]Inhalable fraction and vapour, [§]Inhalable fraction, ^{||}0.1ppm, [¶]15 minutes reference period,

^{**}15 minutes average value, ⁺⁺Inhalable aerosol

DEP의 우리나라 8-hr TLV-TWA는 5 mg/m^3 으로, 미국, 영국, 일본 등 총 16개국에서 같은 기준을 설정하고 있다. 5 mg/m^3 TLV-TWA가 아닌 국가는 6개국이었다. 우리나라는 대개 많은 나라들과 마찬가지로 DEP의 STEL은 설정하지 않고 있다. 오스트리아와 스웨덴, 2개국이 5 mg/m^3 로 설정하였으며, 그 외 5개국이 5 mg/m^3 외로 설정하고 있었다.

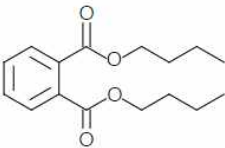
〈표 III-2〉 국내외 DEP 노출기준

Phthalate	8-hour TLV-TWA(mg/m ³)		STEL (mg/m ³)	
	5 mg/m ³	5 mg/m ³ 외	5 mg/m ³	5 mg/m ³ 외
DEP (Diethyl phthalate) 84-66-2 	South Korea Australia Belgium Canada - Ontario Canada - Québec Finland France Ireland Japan (JSOH) New Zealand Poland Singapore South Africa Mining Spain Switzerland ⁺⁺ USA - NIOSH United Kingdom	0.5 mg/m ³ Latvia 3 mg/m ³ Austria, Denmark, Norway, Sweden 10 mg/m ³ South Africa	Austria Sweden	6 ppm Denmark 10 ppm Finland, Ireland, United Kingdom, South Africa Mining ^{**}

*0.05ppm, † Inhalable aerosol and vapour, ‡ Inhalable fraction and vapour, § Inhalable fraction, || 0.1ppm, ¶ 15 minutes reference period, **15 minutes average value, ++inhalable aerosol

DBP의 노출기준을 설정하고 있는 나라는 27개국이었다. DBP의 우리나라 8-hr TLV-TWA는 5 mg/m^3 으로, 미국, 영국, 일본 등 총 15개국에서 같은 기준을 설정하고 있다. 5 mg/m^3 TLV-TWA가 아닌 국가는 11개국이다. 우리나라는 대개 많은 나라들과 마찬가지로 DBP의 STEL은 설정하지 않고 있다. 로마니아와 스웨덴, 2개국이 5 mg/m^3 로 설정하였으며, 그 외 7개국이 5 mg/m^3 이외로 설정하고 있었다.

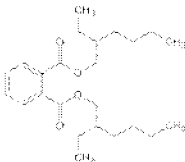
〈표 III-3〉 국내외 DBP 노출기준

phthalate	8-hour TLV-TWA (mg/m³)		STEL (mg/m³)	
	5 mg/m³	5 mg/m³ 외	5 mg/m³	5 mg/m³ 외
DBP (Dibutyl phthalate) 84-74-2 	South Korea Australia Austria Belgium Canada - Ontario Canada - Québec France Ireland Japan (JSOH) Poland [§] Singapore South Africa Mining Spain USA - NIOSH USA - OSHA United Kingdom	0.5 mg/m³ Latvia 0.58 mg/m³ Germany (AGS) ^{*†} Germany (DFG) ^{*‡} New Zealand [*] 0.8 mg/m³ Switzerland [*] 2 mg/m³ Romania 2.5 mg/m³ People's Republic of China 3 mg/m³ Denmark Norway Sweden 10 mg/m³ South Africa	Romania ^{**} Sweden ^{**}	1.16 mg/m³ Switzerland Germany (AGS) ^{‡ ¶} Germany (DFG) ^{‡ ¶} 6 mg/m³ Denmark 10 mg/m³ Ireland [¶] South Africa Mining ^{**} United Kingdom

*0.05ppm, † Inhalable aerosol and vapour, ‡ Inhalable fraction and vapour, § Inhalable fraction, || 0.1ppm, ¶ 15 minutes reference period, **15 minutes average value, ++inhalable aerosol

DEHP의 노출기준을 설정하고 있는 나라는 24개국이었다. 우리나라 8-hr TLV는 5 mg/m³으로, 총 13개국에서 같은 기준을 설정하고 있었다. 5 mg/m³ 이외에 다른 국가는 11개국이었으며, 각각 1, 2, 3, 10 mg/m³으로 설정하였다. 우리나라의 Short term TLV는 10 mg/m³이었고, 4개국에서 5 mg/m³로 설정하였다. 13개국이 5 mg/m³ 외로 각각 4, 6, 10 mg/m³으로 Short term TLV를 설정하고 있었다.

〈표 III-4〉 국내외 DEHP 노출기

Phthalate	8-hour TLV-TWA (mg/m³)		STEL (mg/m³)	
	5 mg/m³	5 mg/m³ 외	5 mg/m³	5 mg/m³ 외
DEHP (Di(2-ethylhexyl) phthalate) 117-81-7 	South Korea	1 mg/m³	Poland	4 mg/m³
	Australia	Norway, Poland	Austria	Hungary ^{† † **}
	Belgium		Canada – Ontario	Germany (AGS) ^{§ † † **}
	Canada – Québec	2 mg/m³	Sweden ^{§§ **}	Germany (DFG) ^{§ † † **}
	Finland	Hungary ^{† †}		6 mg/m³
	France	Switzerland [§]		Denmark
	Ireland	Germany (AGS) ^{§ † †}		10 mg/m³
	Japan (JSOH)	Germany (DFG) ^{§ † †}		Australia
	New Zealand	3 mg/m³		Belgium ^{**}
	South Africa Mining	Austria		Finland ^{**}
	Spain	Canada–Ontario		Ireland [¶]
	USA – NIOSH	Sweden ^{§§}		New Zealand
	USA – OSHA	Denmark		South Africa Mining ^{**}
				South Korea ^{**}
	United Kingdom	10 mg/m³		USA–NIOSH ^{**}
		South Africa		United Kingdom
				Canada–Québec ^{**}

*0.05ppm, † Inhalable aerosol and vapour, ‡ Inhalable fraction and vapour, § Inhalable fraction, || 0.1ppm, ¶ 15 minutes reference period, **15 minutes average value, ++5 inhalable aerosol, †† Skin, §§The same limit value, expressed in mg/m³, shall also be applied to phthalates for which no limit values have been defined, || || There are a number and variety of dioctyl phthalates (DOPs). Di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) is the commonest industrial octyl phthalate and, like other octyl phthalates, is also rather vaguely termed DOP. The designation disec-octyl phthalate often refers to DEHP, which from a chemical viewpoint is not entirely correct.

우리나라는 BBP, DnOP, DiNP, DiDP, DiBP, DCHP의 노출기준을 설정하고 있지 않다. BBP의 노출기준을 설정하고 있는 나라는 11개국이었다. 4개국에서 8-hr TLV를 5 mg/m³로 기준을 설정하고 있었다. 8-hr TLV 5 mg/m³ 이외로 설정하고 있는 국가는 7개국이었다. STEL은 2개국에서 5 mg/m³로 설정하였으며 그 외 4개국이 5 mg/m³ 이외로 설정하고 있었다.

DnOP의 노출기준을 설정하고 있는 나라는 5개국이었다. 2개국에서 8-hr TLV를 5 mg/m³로 설정하고 있었다. 5 mg/m³ 이외로 설정하는 나라는 3개국이었으며, 2, 3 mg/m³으로 설정하였다. STEL은 1개국에서 0.1 ppm으로 설정하였으며 그 외 1개국이 0.3 ppm으로 설정하고 있었다.

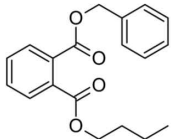
DiNP의 노출기준을 설정하고 있는 나라는 5개국이었다. 4개국에서 8-hr TLV 노출기준을 5 mg/m³로 설정하고 있었다. 8-hr TLV에 5 mg/m³ 이외에 다른 국가는 1개국이었으며, 3 mg/m³로 설정하였다. STEL은 1개국이 5 mg/m³ 외로 6 mg/m³으로 Short term TLV를 설정하고 있었다.

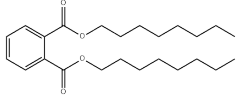
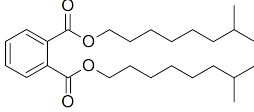
DiDP의 노출기준을 설정하고 있는 나라는 8개국이었다. 5개국에서 8-hr TLV 노출기준을 5 mg/m³로 기준을 설정하고 있었다. 8-hr TLV에 5 mg/m³ 이외에 다른 국가는 3개국이었으며, 3 mg/m³으로 설정하였다. STEL은 2개국이 5 mg/m³으로 설정하고 있으며, 1개국이 5 mg/m³ 외로 6 mg/m³으로 설정하고 있었다.

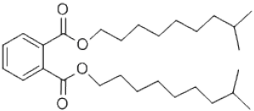
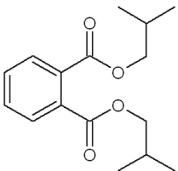
DiBP의 노출기준을 설정하고 있는 나라는 6개국이었다. 4개국에서 8-hr TLV 노출기준을 5 mg/m³로 기준을 설정하고 있었다. 8-hr TLV에 5 mg/m³ 이외에 다른 국가는 2개국이었으며, 1, 3 mg/m³으로 설정하고 있었다. STEL은 1개국이 5 mg/m³ 외로 6 mg/m³으로 설정하고 있었다.

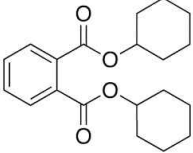
DCHP의 노출기준을 설정하고 있는 나라는 6개국이었다. 5개국에서 8-hr TLV 노출기준을 5 mg/m³로 기준을 설정하고 있었다. 8-hr TLV에 5 mg/m³ 이외에 다른 국가는 1개국이었으며, 3 mg/m³으로 설정하였다. STEL은 1개국이 5 mg/m³외로 6 mg/m³으로 설정하고 있었다.

〈표 III-5〉 우리나라 노출기준 없는 6종 프탈레이트의 국내외 노출기준

phthalate	8-hour TLV-TWA (mg/m³)		STEL (mg/m³)	
	5 mg/m³	5 mg/m³ 외	5 mg/m³	5 mg/m³ 외
BBP (Benzylbutyl phthalate) 85-68-7 	New Zealand Poland South Africa Mining United Kingdom	1 mg/m³ Norway 3 mg/m³ Austria Denmark Sweden 10 mg/m³ Switzerland 20 mg/m³ Germany(AGS) Germany(DFG)	Austria Sweden	6 mg/m³ Denmark 20 mg/m³ Switzerland 40 mg/m³ Germany(AGS) Germany(DFG) . . .

phthalate	8-hour TLV-TWA (mg/m ³)		STEL (mg/m ³)	
	5 mg/m ³	5 mg/m ³ 외	5 mg/m ³	5 mg/m ³ 외
DnOP (Di-n-octyl phthalate) 117-84-0 	Austria Singapore	2 mg/m ³ Romania 3 mg/m ³ Norway Sweden 0.1ppm Romania	Romania Sweden	0.3 ppm Romania . .
DiNP (Diisononyl phthalate) 28553-12-0 	Ireland New Zealand South Africa Mining United Kingdom	3 mg/m ³ Denmark		6 mg/m ³ Denmark

phthalate	8-hour TLV-TWA (mg/m ³)		STEL (mg/m ³)	
	5 mg/m ³	5 mg/m ³ 외	5 mg/m ³	5 mg/m ³ 외
DiDP (Diisodecyl phthalate) 26761-40-0 	Canada - Ontario Ireland New Zealand South Africa Mining United Kingdom	 3 mg/m ³ Austria Denmark Sweden	Austria Sweden	6 mg/m ³ Denmark
DiBP (Diisobutyl phthalate) 84-69-5 	Ireland New Zealand South Africa Mining United Kingdom	1 mg/m ³ Latvia 3 mg/m ³ Denmark		6 mg/m ³ Denmark

phthalate	8-hour TLV-TWA (mg/m ³)		STEL (mg/m ³)	
	5 mg/m ³	5 mg/m ³ 외	5 mg/m ³	5 mg/m ³ 외
DCHP (Dicyclohexyl phthalate) 84-61-7 	Austria Ireland New Zealand South Africa Mining United Kingdom	3 mg/m ³ Denmark		6 mg/m ³ Denmark

(2) 우리나라 타부처의 프탈레이트 규제현황

수액세트 등 의료기기, 방향제, 요가매트, 놀이방 매트 등 바닥재, 유아용 욕조, 어린이용 플라스틱 제품, 학용품 등에서 프탈레이트가 검출되었다는 뉴스가 끊이지 않는다. 일반 시민의 우려 때문인지 우리나라 정부기관의 프탈레이트 규제는 주로 일반인들이 사용하는 제품 중 함유량을 기준으로 이루어지고 있다(표 III-6). 기구 및 용기포장의 기준 및 규격(식품위생법 2021), 전지, 전자제품 및 자동차에 프탈레이트 등 유해물질 제한 확대(전기, 전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률, 2020), 어린이제품 공통 안전기준 개정(2021)이 있다. 또한 식약처는 [의료기기 허가신고심사 등에 관한 규정]에서 기존에 수액세트에 프탈레이트 3종(DEHP, DBP, BBP)을 사용금지(2015.7)한 것에 이어, 인공신장기용 혈액회로에도 이들 프탈레이트를 사용제한 하였다(식약처, 2021). 어린이제품이 지켜야하는 유해물질 규제는 기존에 산업통상자원부와 환경부가 중복규제하고 있었으나, 2021년 이후 산업통상자원부의 소관으로 일원화되었다. 산업통상자원부의 「어린이제품안전특별법」에 따라 기존에는 입에 넣어 사용할 용도의 어린이제품은 6종의 프탈레이트계 가소제를, 입에 넣어 사용할 용도가 아닌 어린이제품은 3종의 프탈레이트계 가소제를 규제하고, 환경부는 「환경보건법」에 따라 2종의 프탈레이트계 가소제 사용을 어린이용품에 대하여 규제하고 있었다. 2021년 이후에는 입에 넣는 유무에 상관없이 6종의 프탈레이트의 총합 기준을 준수하면 된다. 신체접촉 및 인체노출 우려가 있는 제품에 대한 함유량 기준이 강화되는 것과 달리, 직업적 노출에 대해서는 ACGIH TLV를 차용하여 노출기준을 제시할 뿐, 사업장 화학물질 노출관리 및 건강위험관리에는 포함된 바 없다.

〈표 III-6〉 우리나라 정부 기관의 프탈레이트 규제 사례

No	프탈레이트	노동부 ¹⁾	식약처 ²⁾	환경부 ³⁾	산업통상 자원부 ⁴⁾
1	DMP (Dimethyl phthalate) 131-11-3	5 mg/m ³	-	-	-
2	DEP (Diethyl phthalate) 84-66-2	5 mg/m ³	-	-	-
3	DBP (Dibutyl phthalate) 84-74-2	5 mg/m ³	0.3 mg/ℓ 이하	0.1 wt % 미만	총합 0.1 % 이하
4	DEHP (Di(2-ethylhexyl)phthalate) 117-81-7	5 mg/m ³	1.5 mg/ℓ 이하	0.1 wt % 미만	
5	BBP (Benzyl butyl phthalate) 85-68-7	-	30 mg/ℓ 이하	0.1 wt % 미만	
6	DnOP (Di-n-octyl phthalate) 117-84-0	-	5 mg/ℓ 이하	-	
7	DiNP (Diisononyl phthalate) 28553-12-0; 68515-48-0	-	총 합 9 mg/ℓ 이하	-	
8	DiDP (Diisodecyl phthalate) 26761-40-0	-		-	
9	DiBP (Diisobutyl phthalate) 84-69-5	-	-	0.1 wt % 미만	

1) 산업안전보건법, 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준, 2020

2) 식품위생법, 기구 및 용기 포장의 기준 및 규격, 2021

3) 전기, 전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률, 전기, 전자제품에 프탈레이트 등
유해물질 제한 확대, 2020

4) 어린이제품 안전 특별법, 공통안전기준 개정, 2021

(3) 국외 프탈레이트 규제현황 및 우리나라와 비교

가) RoHS II 물질 추가 개정

전기전자제품 내 유해물질 사용금지에 관한 규정(Directive 2015/863/EU on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, RoHS)에서는 기존에 일부 전자제품에 제한하던 6가지 유해물질(Pb, Cd, Hg, Cr⁶⁺, PBBs, PBDEs)에 추가하여 프탈레이트 4종(DBP, DEHP, BBP, DIBP)을 모든 전지, 전자제품에 대하여 규제대상 유해물질로 추가하였다. 이들 프탈레이트의 최대허용 농도는 0.1 (wt%)로, 2019년 7월부터 시행되었다.

(나) REACH regulation

프탈레이트 화합물은 REACH의 Candidate list of substances of very high concern for Authorisation(고위험성 우려물질)에 포함되어있고, 그 종류가 늘어나는 추세이다<표 III-7>. 목록에 올라온 모든 프탈레이트는 생식 독성이 있고, DBP, BBP, DEHP, DiBP 등 6종은 인체 내분비계 교란물질인 것이 목록에 포함된 배경이다.

〈표 III-7〉 REACH SVHC list에 포함된 프탈레이트 가소제(중간대사체 제외)

Substance name	Reason for inclusion	Date of inclusion
Dibutyl phthalate (DBP)	Toxic for reproduction (Article 57c) #Endocrine disrupting properties (Article 57(f) – human health)	28-Oct-2008
Benzyl butyl phthalate (BBP)	Toxic for reproduction (Article 57c) #Endocrine disrupting properties (Article 57(f) – human health)	28-Oct-2008
Bis (2-ethylhexyl)phthalate (DEHP)	Toxic for reproduction (Article 57c) #Endocrine disrupting properties (Article 57(f) – environment) #Endocrine disrupting properties (Article 57(f) – human health)	28-Oct-2008
Bis(2-methoxyethyl) phthalate	Toxic for reproduction (Article 57c)	19-Dec-2011
Dicyclohexyl phthalate	Toxic for reproduction (Article 57c) #Endocrine disrupting properties (Article 57(f) – human health)	27-Jun-2018
Dihexyl phthalate	Toxic for reproduction (Article 57c)	16-Dec-2013
Diisobutyl phthalate	Toxic for reproduction (Article 57c) #Endocrine disrupting properties (Article 57(f) – human health)	13-Jan-2010
Diisohexyl phthalate	Toxic for reproduction (Article 57c)	16-Jan-2020
Diisopentyl phthalate	Toxic for reproduction (Article 57c)	19-Dec-2012
Dipentyl phthalate (DPP)	Toxic for reproduction (Article 57c)	20-Jun-2013
n-pentyl-isopentyl phthalate	Toxic for reproduction (Article 57c)	19-Dec-2012

2) 국내외 작업환경노출평가 문헌조사

(1) 우리나라 근로자의 생식독성 물질 관리 연구

아래 <표 III-8>은 노출기준 고시의 생식독성 물질 44종 목록이다. 생식독성물질은 생식기능, 생식능력 또는 태아 발생 발육에 유해한 영향을 주는 물질을 말한다(고용노동부, 고용노동부고시 제2020-130호). 생식독성물질은 생식독성1A, 생식독성1B, 생식독성2, 수유독성으로 구분된다. 1A는 사람에게 성적기능, 생식능력이나 발육에 악영향을 주는 것으로 판단할 정도의 사람에게서의 증거가 있는 물질, 1B는 사람에게 성적기능, 생식능력이나 발육에 악영향을 주는 것으로 추정할 정도의 동물시험 증거가 있는 물질, 생식독성2는 사람에게 악영향을 주는 것으로 의심할 정도의 사람 또는 동물시험 증거가 있는 물질로 정의하고 있다. 수유독성은 잠재적으로 유독한 수준으로 모유에 존재할 가능성을 보이거나, 동물에 대한 1세대 또는 2세대 연구결과에서 모유를 통해 전이되어 자손에게 유해영향을 주거나, 모유의 질에 유해영향을 준다는 명확한 증거가 있거나, 수유 기간 동안 아기에게 유해성을 유발한다는 사람에 대한 증거가 있는 물질로 정의된다. DEHP(디(2-에틸헥실) 프탈레이트)와 DBP(디부틸 프탈레이트) 모두 생식독성 1B로 구분된다.

〈표 Ⅲ-8〉 노출기준 고시의 생식독성 물질 44종

No	CAS no	물질명	분류	No	CAS no	물질명	분류
1	7439-92-1	납 및 그 무기화합물	1A	23	591-78-6	메틸 노말-부틸케톤	2
2	75-26-3	2-브로모프로판	1A	24	67-66-3	클로로포름	2
3	127-19-5	N,N-디메틸아세트아미드	1B	25	106-92-3	알릴글리시딜에테르	2
4	109-86-4	2-메톡시에탄올	1B	26	117-81-7	디(2-에틸헥실)프탈레이트	1B
5	111-15-9	2-에톡시에틸아세테이트	1B	27	13463-39-3	니켈 카르보닐	1B
6	110-80-5	2-에톡시에탄올	1B	28	7758-97-6	크롬산 연	1A
7	106-94-5	1-브로모프로판	1B	29	81-81-2	와파린	1A
8	7439-97-6	수은 및 무기형태	1B	30	7784-40-9	아세네이트 연	1A
9	110-49-6	2-메톡시에틸아세테이트	1B	31	12179-04-3	붕소산 사나트륨염(오수화물)	1B
10	96-18-4	1,2,3-트리클로로프로판	1B	32	1303-96-4	붕소산 사나트륨염(십수화물)	1B
11	556-52-5	글리시돌	1B	33	1303-86-2	산화 붕소	1B
12	25321-14-6	디니트로톨루엔	2	34	1330-43-4	붕소산 사나트륨염(무수물)	1B
13	79-06-1	아크릴아미드	2	35	50-32-8	벤조 피렌	1B
14	7440-43-9	카드뮴 및 그 화합물	2	36	17804-35-2	배노밀	1B
15	630-08-0	일산화탄소	1A	37	75-12-7	포름아미드	1B
16	98-95-3	니트로벤젠	1B	38	84-74-2	디부틸프탈레이트	1B
17	68-12-2	디메틸포름아미드	1B	39	58-89-9	린데인	수유독성
18	108-88-3	톨루엔	2	40	108-91-8	시클로헥실아민	2
19	100-42-5	스티렌	2	41	88-72-2	니트로톨루엔(오쏘, 메타, 파라-이성체)	2
20	110-54-3	노말-헥산	2	42	61-82-5	3-아미노-1,2,4-트리아졸(또는 아미트롤)	2
21	1314-62-1	오산화바나듐	2	43	142-64-3	피페라진디하이드로클로라이드	2
22	75-15-0	이황화탄소	2	44	624-83-9	메틸 이소시아네이트	2

작업환경에서 생식독성물질 관리와 관련하여 수행된 산업안전보건연구원 주관의 연구보고서는 <표 III-9>와 같다. 2007년 홍윤철 등의 <여성근로자에 영향을 미치는 화학물질의 관리방안 연구>를 시작으로 2014년 김은아 등의 <여성 근로자 생식독성 역학연구 설계를 위한 기초조사 연구>, 2015년 박정근 등의 <임산부 등 사용금지 직종 확대를 위한 연구> 등 여성근로자들을 대상으로 하는 생식독성 물질 관리과 연구설계 등이 수행되었다. 화학물질 관리 체계의 일환으로 생식독성물질의 관리를 검토한 과제로는 2008년 피영규 등의 <발암성, 생식독성, 변이원성물질에 대한 관리체계 연구>, 2011년 임경택 등의 <특별관리대상 유해물질 관리시스템 구축에 관한 연구-발암성, 변이원성, 생식독성물질을 중심으로->, 2012년 최상준 등의 <관리대상 화학물질의 안전보건기준 연구> 등이 있었다. 남녀 성별 구분없이 생식독성물질 전반에 대한 관리실태와 제도개선의 필요성을 제기한 과제로는 2014년 김종규 등의 <사업장 생식독성 화학물질 취급 및 노출 실태 조사 연구>, 2015년 김은아 등의 <근로자 생식보건 역학연구(I)>, 최상준 등의 <국내외 생식독성 화학물질 등의 유해인자 규제관리 실태분석 및 제도개선 연계방안 연구, 2017>와 <생식독성물질의 산업안전보건법 등 관리수준 검토를 위한 유해성 위험성 평가, 2020>이 있다. 작업환경 시료를 수집하고 근로자의 프탈레이트 위해성평가를 진행한 연구는 김치년 등의 <유해화학물질의 위해도 평가>가 유일했다.

요약하자면, 2011년 유해화학물질의 위해도 평가를 제외하고 CMR 물질관리의 일환으로 생식독성 물질관리의 체계와 관리수준을 제안하는 정책연구가 주로였음을 알 수 있다. 생식독성의 대상을 여성근로자로 제한하여 연구하던 것을 벗어나 근로자 전체의 생식독성으로 확대한 것은 바람직한 방향으로 여겨진다. 다만, 지금까지 십여 년 동안 열건의 연구를 통하여 생식독성 물질의 관리, 특별한 관리의 필요성에 동의하고, 체계적인 유해성평가의 필요성을 꾸준히 제기하였음에도 불구하고, 개별 생식독성물질의 노출평가 방법 개발과 노출 수준에 근거한 위험성 평가 연구는 이루어지지 못했다는 한계를 확인할 수 있었다.

〈표 III-9〉 생식독성 물질의 목록, 취급관리, 제도개선 등에 관한
KOSHA OSHRI 연구 목록

번호	보고서 제목	연구자, 수행년도
1	생식독성물질의 산업안전보건법 등 관리수준 검토를 위한 유해성 위험성 평가	최상준 (2020)
2	국내외 생식독성 화학물질 등의 유해인자 규제관리 실태분석 및 제도개선 연계방안 연구	최상준 (2017)
3	근로자 생식보건 역학연구(Ⅰ)	김은아 (2015)
4	임산부 등 사용금지 직종 확대를 위한 연구	박정근 (2015)
5	사업장 생식독성 화학물질 취급 및 노출 실태 조사 연구	김종규 (2014)
6	여성 근로자 생식독성 역학연구 설계를 위한 기초조사 연구	김은아 (2014)
7	관리대상 화학물질의 안전보건기준 연구	최상준 (2012)
8	유해화학물질의 위해도 평가	김치년 (2011)
8	특별관리대상 유해물질 관리시스템 구축에 관한 연구-발암성, 변이원성, 생식독성물질을 중심으로-	임경택 (2011)
9	발암성, 생식독성, 변이원성물질에 대한 관리체계 연구	피영규 (2008)
10	여성근로자에 영향을 미치는 화학물질의 관리방안 연구	홍윤철 (2007)

(2) 국내 작업환경노출평가 문헌조사

국내 사업장 및 근로자를 대상으로 한 프탈레이트 노출평가 관련 선행연구를 고찰하였다. 대상 문헌은 PRISMA protocol에 따라 아래 <표 III-10>과 같이 선정하였다. 5건의 문헌 중 3건이 작업환경 중 프탈레이트를 분석하였다. 작업환경 중 프탈레이트는 오직 DEHP만을 분석하였고 다른 프탈레이트류는 분석하지 않았다. 가장 최근 작업환경 중 프탈레이트 노출평가를 수행한 문헌은 Kim HY et al. (2016)으로 DEHP 취급 및 제조업의 공기 중 DEHP 농도를 측정하였으며, 기하평균 0.014 mg/m^3 였다. 발암위해도평가 결과 기하평균 발암위해도가 1.3으로 기준치인 1을 초과하였다. 노동환경건강연구소 (2013)에서는 PVC 사업장 내의 공기시료와 장갑, 작업자 손, 제품표면의 먼지 중 DEHP를 분석하였다. 일부 근로자를 대상으로 소변을 수집하였으며, 이들 시료 중 DEHP 대사체를 분석하였다. 산업안전보건연구원 (2011) 보고서에서는 PVC 제조공정에서 공기 중 DBP를 측정 및 분석하였으며, DBP 위해성평가결과 위해성이 없거나 낮은 것으로 나타났다.

〈표 III-10〉 우리나라 프탈레이트 근로자 노출평가 수행목록

no	구분	연구 대상	주요결과	참고 문헌
1	바이오모니터링	사업장 근로자	근로자 소변 중 프탈레이트 대사체와 아토피, 천식의 발생과 연관이 있었음 아토피 & MCPPOR: 8.928 천식 & 5-oxo-MEHP OR:2.257, & MBzPOR:2.550	강양원 2017 (학술대회 초록)
2	환경농도	PVC 근로자	DEHP 취급 및 제조업 공기 중 DEHP기하평균농도는0.014 mg/m ³ 였음. 근로자의 평균 발암 위험도는 1.3, 누적 95%는 7.9로 기준인 1을 초과하였음	Kim HY 2016 (논문)
3	작업환경측정	PVC 근로자	공기, 장갑, 작업자 손, 제품표면 등 다양한 시료 중 프탈레이트 노출수준을 평가함•PVC 관련 작업자의 작업 후의 소변 중 프탈레이트 대사체 농도가 증가하였음 작업전 vs 작업후 기하평균 농도($\mu\text{g}/\ell$, Cr)- MEHP: 4.02 vs 5.75 / MEHP: 12.86 vs 13.64 / MEOHP: 8.72 vs 8.95 / MECPP: 37.98 vs 39.30	노동환경 건강연구소 2013 (보고서)
4	환경농도 위해성평가 (보고서)	PVC 근로자	PVC 제조공정에서 공기 중 DBP는 검출되지 않음 프탈레이트의 용량반응 평가에서는 위해성이 없거나 낮은 수준으로 평가됨	산업안전보건연구원 2011 (보고서)
5	바이오모니터링	치과 실험실 근로자	치과실험실 근로자의소변 중 프탈레이트는 작업후가더 높았음 작업전 vs 작업후 기하평균 농도($\mu\text{g}/\ell$, Cr)- MEHP: 2.23vs 3.10 / MEHHP: 3.54 vs 4.37 / MEOHP: 2.65 vs 3.40 프탈레이트 대사체와 혈장 호르몬과의 연관성은 없었음	Park M et al., 2010 (논문)

(3) 국외 작업환경노출평가 문헌조사

가) 먼지/표면

국외 근로자를 대상으로 한 프탈레이트 노출평가 관련 선행연구를 체계적으로 문헌고찰 하였다. 대상 문헌은 PRISMA protocol에 따라 <표 III-11>과 같이 선정하였다. 우리나라 산업에서 자주 쓰이는 8종의 프탈레이트 (DMP, DEP, DBP, BBP, DEHP, DnOP, DiNP, DiDP)을 중심으로 정리하였다.

작업환경 중 먼지/표면 중 프탈레이트를 분석한 문헌은 중국 2건, 미국 1건으로 총 3건이었으며 2017년부터 2022년까지 비교적 최근에 이루어졌다 <표 III-11>. Hoang AQ et al. (2022)에서 폐기물 재활용 사업장 및 자동차 처리장 5곳을 대상으로 30개, 대조군인 가정집을 대상으로 32개의 먼지시료를 분석하였다. 프탈레이트별 중앙값은 DEHP (33000 ng/g), DnBP (4500 ng/g), DiBP (2370 ng/g), DnOP (2240 ng/g), BBP (2180 ng/g), DnHP (161 ng/g), DPP (63.3 ng/g), DMP (59.9 ng/g), DEP (62 ng/g) 순으로 검출되었으며, 저분자 프탈레이트보다 고분자 프탈레이트에서 높은 농도를 보였다. 대조군인 가정집과 비교했을 때 폐기물 재활용 사업장 및 자동차 처리장이 1.5~4.8배 높은 농도를 보였으며, DPP가 4.8배 차이로 가장 큰 차이를 보였다.

전자폐기물 재활용 사업장 41곳에서 각각 하나씩의 먼지시료를 수집하고, 전자폐기물 재활용 사업장 인근 가정집(n=25)과 멀리 떨어진 가정집(n=21)으로 나누어 대조군 시료를 채취하였다(Man Deng et al., 2021). 전자폐기물 재활용 사업장에서 프탈레이트별 중앙값은 DiNP (860 µg/g), DEHP (390 µg/g), DnBP (18 µg/g), DiBP (11 µg/g), DnOP (11 µg/g), BBP (1 µg/g), DnHP (0.49 µg/g), DMP (0.23 µg/g), DEP (0.2 µg/g) 순으로 검출되었으며, 고분자이고 안정적인 DiNP, DEHP 등이 저분자 프탈레이트보다 높은 농도를 보였다. 대조군과 비교했을 때 저분자 프탈레이트는 대조군에서 더 높은 농도를 보였지만, 고분자 프탈레이트인 DEHP, DnOP, DiNP는 사업장에서 채취한

먼지시료가 각각 2.3, 4.1, 16.9배 높았다. 대조군의 먼지시료를 분석했을 때 프탈레이트 농도는 사업장과의 거리에 따라 높고 낮아지는 경향성은 관찰되지 않았다.

Subedi B et al. (2017)은 5개의 미용실에서 먼지시료 각각 하나씩 총 5개를 수집하였다. 중앙값으로 DEHP (643 $\mu\text{g/g}$), DOP (154.5 $\mu\text{g/g}$), BBP (68.2 $\mu\text{g/g}$), DBP (8.92 $\mu\text{g/g}$), DiBP (5.74 $\mu\text{g/g}$), DEP (2.09 $\mu\text{g/g}$), DMP (0.11 $\mu\text{g/g}$) 순으로 검출되었다. 대조군인 가정집의 먼지 중 프탈레이트와 비교했을 때, DOP를 제외하고 1.3~2.8배까지 높은 농도를 보였다.

〈표 III-11〉 사업장 먼지/표면시료 중 프탈레이트 농도 문헌 고찰(국외)

Ref	Occupational setting	Sampling method	Matrix	N	unit	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DnOP	DiNP	Extra
Hoang AQ et al., 2022 (China)	Waste recycling workshops & end-of-life vehicle processing workshops	Vacuum or sweeping	Dust	30	ng/g	59.9	62.0	-	2180	33000	2240	-	DPP 63.3 DiBP 2370 DnBP 4500 DnHP 161
	Control: homes	Vacuum or sweeping	Dust	32	ng/g	21.4	41.3	-	658	13500	640	-	DPP 13.1 DiBP 1500 DnBP 1130 DnHP 48.5
Man Deng et al., 2021 (China)	E-waste recycling workshops	Vacuum	Dust	41	μg/g	0.23	0.20	-	1	390	11	860	DiBP 11 DnBP 18 DnHP 0.49
	Control: home a: adjacent to E-waste site; b: far way from E-waste site	Vacuum	Dust	a:25; b:21	μg/g	a: 0.67; b:1.0	a:0.29; b:0.66	-	a:0.12 ; b: 0.38	a:170; b:410	2.7(a), 2.6(b);	a:51; b:78	DiBP 29(a), 26(b), DnBP 38(a), 34(b) DnHP 0.069(a), 0.076(b)
Subedi B et al., 2017* (USA)	Salons	Vacuum	Dust	5	μg/g	0.11	2.09	8.92	68.2	643		-	DOP 154.5 DiBP 5.74
	Control: homes	Vacuum	Dust	11	μg/g	0.04	1.05	3.54	51.8	73.1			DOP 74.9 DiBP 4.08

제시된 값 모두 median, 단위는 ug (or ng) phthalate /g dust. 먼지/표면 시료 중 DiDP 분석결과 없었음. *개별 값만 제시되어 있음. 중앙값을 계산하여 입력함. 미용실별 개별 먼지 중 프탈레이트 수준은 논문에서 찾을 수 있음.

나) 사업장 공기시료(active)

작업환경 공기시료 중 pump를 이용해 프탈레이트를 수집, 분석한 문헌은 8개국에서 13건이었다<표 III-12, 13>. 대만에서 3편으로 가장 많았으며, 그 뒤로 중국, 캐나다, 네덜란드 각각 2편씩이었다. 사업장 공기시료(active) 중 프탈레이트 노출평가 논문은 업종에 따라 1) PVC 등 프탈레이트에 직업적으로 노출될 우려가 있는 환경<표 III-12>, 2) 미용실, 네일샵, 백화점 등 비교적 일상적인 공간의 근로자들<표 III-13>을 대상으로 나눌 수 있었다. 사업장 내의 프탈레이트 노출평가 논문을 정리한 것으로 총 8건이었다. 미용실, 네일샵 등 일상적인 근무공간의 프탈레이트 노출평가는 총 5건이었다.

Porras SP et al. (2020)은 케이블, 플라스틱, PVC 텍스타일, 방수포제조 사업장을 대상으로 각 사업장에서 사용하는 프탈레이트류를 공기 중에서 측정하였다. 대부분 고분자 프탈레이트인 DiNP, DiDP, DPHP 등이었으며, 모든 사업장에서 농도수준이 <LOQ으로 저농도 수준이었다.

폴란드의 고무, 플라스틱, PVC·PP·배수관 제조 사업장 세 곳에서 공기 중 가스상, 입자상, 호흡상 프탈레이트를 측정하였다(Szewczyńska M et al., 2019). 고무 제조 사업장에서 가스상 프탈레이트의 중앙값은 DBP ($1.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DEP ($1.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DMP ($0.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순이었다. 입자상과 호흡상 프탈레이트는 DBP와 DEHP를 측정하였는데, 입자상 각각 $0.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.675 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 가스상 각각 $2.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 플라스틱 제조 사업장에서 가스상 프탈레이트의 중앙값은 DEP ($1.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DBP ($0.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$) DMP ($0.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$)였다. 입자상과 프탈레이트는 DEHP ($0.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DBP ($0.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DEP ($0.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$), BBP ($0.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DnOP ($0.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DMP ($0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 DEHP가 가장 높았다. 호흡상 프탈레이트 또한 DEHP가 $3.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았으며, DBP ($0.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$), BBP ($0.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DnOP ($0.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DEP ($0.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DMP ($0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순이었다.

Wang W et al. (2015) 연구에서는 PVC 공장 세 곳과 대조지역 한 곳에서 DEHP를 측정 분석하였다. PVC 공장은 크기별로 3가지로 나뉘었으며, 공장의 크기순으로 공기 중 DEHP 농도가 높아졌다($233 \mu\text{g}/\text{m}^3 < 291 \mu\text{g}/\text{m}^3 < 707 \mu\text{g}/\text{m}^3$). 대조지역의 DEHP 농도는 $0.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 작은 공장의 DEHP 농도와 약 2,700여 배 차이가 났다.

이후 1985년~2014년까지 수행된 작업환경 공기 중 프탈레이트 노출평가 논문은 personal air로 수집되었으며, Gromiec JP et al. (2002)을 제외하고 DEHP만을 측정 분석하였다. Fong JP et al. (2014) 등의 논문에서 PVC 생산 공장의 근로자의 공기 중 DEHP($32.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)가 관리직 근로자($5.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 약 6.20 배 높았다. PVC pellet 공장은 저노출과 고노출 두 가지 경우의 근로자 공기 중 DEHP를 측정하였으며, 저노출군이 $7.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 고노출군이 $56.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 고노출군이 7.1배 높았다. 폴란드의 자동차 수리점 근로자들의 공기 중 DBP $0.014 \mu\text{g}/\text{m}^3$ DEHP는 $0.001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. Dirven HA et al. (1993)에서 부츠와 케이블 공장 근로자들의 공기 중 DEHP 농도를 분석하였는데, 부츠공장에서는 믹싱공정이 $261 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 압출 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높았고, 케이블 공장에서는 압출 공정이 $239 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 믹싱공정이 $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 압출공정이 더 높게 나왔다.

Nguyen LV et al., (2022)에서 네일샵 근로자들의 공기 중 프탈레이트 농도를 측정하였다, 프탈레이트의 중앙값은 DEP ($471 \text{ ng}/\text{m}^3$), DiBP ($337 \text{ ng}/\text{m}^3$) DnBP ($331 \text{ ng}/\text{m}^3$), DMP ($43 \text{ ng}/\text{m}^3$), DEHP ($36 \text{ ng}/\text{m}^3$), DEHP ($15 \text{ ng}/\text{m}^3$)였으며, DnOP, DiNP, DiDP와 같은 무거운 프탈레이트들은 발견되지 않았다. 미용실 환경 중 DBP를 분석한 논문에서 DBP 농도가 $21 \text{ ng}/\text{m}^3$ 이었다(Kaikiti C et al., 2022).

도로에서 TSP (Total Suspended Particulate)를 측정한 논문에서 14종의 프탈레이트를 분석하였으며, 지역과 관계없이 다양한 프탈레이트가 검출되었다(Lu L, Rong et al., 2019). Jiulongpo의 프탈레이트 농도는 DBEP (346 ng/m³), DEHP (279.5 ng/m³), DCHP (273 ng/m³), DBP (20.69 ng/m³), DiBP (6.23 ng/m³), DMP (2.41 ng/m³), DMEP (1.89 ng/m³), DnOP (1.55 ng/m³), DEEP (1.50 ng/m³), DNHP (0.78 ng/m³), BBP (0.7 ng/m³), DPP (0.47 ng/m³), BMPP (0.40 ng/m³), DEP (0.33 ng/m³) 순이었다. Wuxi 지역은 DCHP (36 ng/m³), DEHP (35.23 ng/m³), DBP (3.04 ng/m³), DMEP (1.66 ng/m³), DMP (1.46 ng/m³), DnOP (0.83 ng/m³), DEEP (0.77 ng/m³), DPP (0.36 ng/m³), DBEP (0.33 ng/m³), BMPP (0.31 ng/m³), BBP (0.25 ng/m³), DNHP (0.25 ng/m³), DiBP (0.20 ng/m³), DEP (0.18 ng/m³) 순이었다.

Chang CJ et al. (2018)은 태국 미용실의 공기 중 프탈레이트를 분석하였으며, 직무에 따라 4가지 공간으로 나뉘었다. 작업 영역에서 프탈레이트의 평균은 DMP (1.37 µg/m³), DEP (1.1 µg/m³), DEHP (0.76 µg/m³), DBP (0.69 µg/m³), BBP (0.03 µg/m³)였다. 씻는 영역에서 프탈레이트의 평균은 DMP (4.96 µg/m³), DEP (1.2 µg/m³), DEHP (0.98 µg/m³), DBP (0.72 µg/m³), BBP (0.005 µg/m³) 순이었다. 파마 등을 작업하는 영역에서 DMP가 평균 2.49 µg/m³로 가장 많았으며, DEHP (1.85 µg/m³), DEP (1.57 µg/m³), DBP (0.77 µg/m³), BBP (0.41 µg/m³) 순이었다. 대기실에서 프탈레이트의 중앙값은 DEP (1.05 µg/m³), DEHP (0.95 µg/m³), DBP (0.82 µg/m³), DMP (0.13 µg/m³), BBP (0.005 µg/m³) 순이었으며, 나머지 세 구역에 비해 특히 DMP가 낮은 수준으로 검출되었다.

Huang PC et al. (2018)은 대만 백화점에서 공기 중 프탈레이트를 분석하였으며, 화장품, 향수, 의류매장에서 각각 측정하였다. 화장품 매장에서 프탈레이트의 중앙값은 DEHP (2.41 µg/m³), DEP (1.77 µg/m³), DBP (0.7 µg/m³), BBP (0.19 µg/m³), DMP (0.09 µg/m³) 순이었다. 향수 매장에서 프탈레이

트의 중앙값은 DEHP ($6.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DEP($1.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DBP($0.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$), BBP($0.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DMP ($0.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$)였다. 의류매장에서 프탈레이트의 중앙값은 DEHP ($2.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DEP ($0.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DBP ($0.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$), BBP ($0.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$), DMP ($0.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$)였다. 모든 매장에서 DEHP가 가장 높은 농도를 보였으며, DEP, DBP, BBP, DMP 순이었다. 매장 종류에 따른 프탈레이트 조성의 차이는 보이지 않았다.

〈표 III-12〉 사업장 공기시료(active) 중 프탈레이트 농도 문헌 고찰(국외)-1

Ref	Occupational setting	Matrix	N	unit	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DiNP	DiDP	DnOP	Extra
Porras SP et al., 2020 (Filand)	Cable factory	Area Air	2	mg/m ³	-	-	-	-	-	-	0.07 0.02	ND	DPHP<0.01 & 0.15
	plastic producing company	Area Air	3	mg/m ³	-	-	-	-	-	<LOQ	<LOQ	-	DPHP<LOQ
	PVC coated textiles	Area Air	6	mg/m ³	-	-	-	-	-	<LOQ	<LOQ	-	DPHP<LOQ
	tarpaulin producer	Area Air	1	mg/m ³	-	-	-	-	-	-	<0.02	-	-

* Median; ** GM; *** AM

Ref	Occupational setting	Matrix	N	unit	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DiNP	DiDP	DnOP	Extra
Szewczyńska M et al., 2020* (Poland)	Comapany V (related rubber)	Area Gas phase	3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.16	1.23	1.60	–	–	–	–	–	–
		Area Respirable fraction	3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	–	–	0.58	–	0.675	–	–	–	–
		Area Inhalable fraction	3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	–	–	2.13	–	2.23	–	–	–	–
	Company A (Manufacture of plastic)	Area Gas phase	3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.19	1.49	0.39	–	–	–	–	–	–
		Area Respirable fraction	3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.08	0.24	0.26	0.21	0.77	–	–	0.20	–
		Area Inhalable fraction	3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.07	0.16	0.32	0.21	3.22	–	–	0.20	–
	Company D (PVC, PP and drainage pipes)	Area Gas phase	3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.12	0.51	2.20	–	–	–	–	–	–
		Area Respirable fraction	3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	–	–	0.08	–	0.00	–	–	–	–
		Area Inhalable fraction	3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	–	–	1.42	–	0.95	–	–	–	–

* Median; ** GM; *** AM

Ref	Occupational setting	Matrix	N	unit	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DiNP	DiDP	DnOP	Extra
Wang W et al., 2015* (China)	PVC manufacturing facilities (Large sized)	Area Air	360	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	–	–	–	–	233	–	–	–	–
	PVC manufacturing facilities (Medium sized)	Area Air	360	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	–	–	–	–	291	–	–	–	–
	PVC manufacturing facilities (Small sized)	Area Air	360	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	–	–	–	–	707	–	–	–	–
	PVC manufacturing facilities (Control)	Area Air	360	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	–	–	–	–	0.26	–	–	–	–

* Median; ** GM; *** AM

Ref	Occupational setting	Matrix	N	unit	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DiNP	DiDP	DnOP	Extra
Fong JP et al., 2014** (Taiwan)	PVC produce factories (All workers)	Personal Air	89	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	-	20.4	-	-	-	-
	PVC production workers	Personal Air	66	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	-	32.7	-	-	-	-
	Administrative staff	Personal Air	23	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	-	5.27	-	-	-	-
Huang LP et al., 2011*** (Taiwan)	PVC pellet plants (Low exposed)	Personal Air	23	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	-	7.9	-	-	-	-
	PVC pellet plants (High exposed)	Personal Air	23	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	-	56.3	-	-	-	-
Gromiec JP et al., 2002*** (Poland)	Repair shop	Personal Air	13	mg/m^3	-	-	0.014		0.001	-	-	-	-

* Median; ** GM; *** AM

Ref	Occupational setting	Matrix	N	unit	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DiNP	DiDP	DnOP	Extra
Dirven HA et al., 1993 (Netherlands)	Boot- Mixing	Personal Air	16	µg/m³	–	–	–		261	–	–	–	–
	Boot- Extruder	Personal Air	11	µg/m³	–	–	–		120	–	–	–	–
	Cable- Mixing	Personal Air	8	µg/m³	–	–	–		180	–	–	–	–
	Cable- Extruder	Personal Air	13	µg/m³	–	–	–		239	–	–	–	–
Liss GM et al., 1985 (Netherlands)	PA and DEHP production areas	Personal Air	50	µg/m³	–	–	–		71	–	–	–	–

* Median; ** GM; *** AM

〈표 III-13〉 사업장 공기시료(active) 중 프탈레이트 농도 문헌 고찰(국외)-2

Ref	Occupational setting	Matrix	N	unit	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DnOP	DiNP	DiDP	Extra
Nguyen LV et al., 2022* (Canada)	Nail Salon Workers	Personal Air	60	ng/m ³	43	471	-	-	36	ND	ND	ND	DiBP 337 DnBP 331 DEHP 15
Kaikiti C et al., 2022*** (Cyprus)	Hair salon	Area Air	30	μg/m ³	-	-	21	-	-	-	-	-	-
Lu L., Rong et al., 2019*** (China)	Road (Jiulongpo district average)	TSP (Area)	3	ng/m ³	2.41	0.33	20.69	0.77	279.5	1.55	-	-	DMEP 1.89 BMPP 0.40 DEEP 1.50 DPP 0.47 DNHP 0.78 DBEP 346 DCHP 273 DiBP 6.23
	Road (Wuxi average)	TSP (Area)	3	ng/m ³	1.46	0.18	3.04	0.25	35.23	0.83	-	-	DMEP 1.66 BMPP 0.31 DEEP 0.77 DPP 0.36 DNHP 0.25 DBEP 0.33 DCHP 36.0 DiBP 0.20

* Median; ** GM; *** AM

Ref	Occupational setting	Matrix	N	unit	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DnOP	DiNP	DiDP	Extra
Chang CJ et al., 2018 ^{***} (Taipei)	Hair salons (working area)	Area Air	29	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.37	1.1	0.69	0.03	0.76	–	–	–	–
	Hair salons (washing area)	Area Air	29	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	4.96	1.2	0.72	0.005	0.98	–	–	–	–
	Hair salons (technical area)	Area Air	29	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2.49	1.57	0.77	0.41	1.85	–	–	–	–
	Hair salons (reception area)	Area Air	29	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.13	1.05	0.82	0.005	0.95	–	–	–	–
Huang PC et al., 2018 [*] (Taiwan)	Department store (cosmetic)	Area Air	16	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.09	1.77	0.7	0.19	2.41	–	–	–	–
	Department store (perfume)	Area Air	8	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.11	1.75	0.72	0.19	6.98	–	–	–	–
	Department store (clothing)	Area Air	8	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.09	0.89	0.84	0.29	2.16	–	–	–	–

^{*} Median; ^{**} GM; ^{***} AM

다) 사업장 공기시료(passive)

사업장 공기 중 프탈레이트를 passive sampler로 분석한 논문은 총 4건으로 2018년부터 2022년까지 비교적 최근에 이루어졌다<표 III-14>.

캐나다 미용실에서 브로치와 손목밴드를 이용해 공기 중 브로치를 이용한 프탈레이트 시료를 수집하였으며(Nguyen L.V. et al., 2022), DEHP (211 ng/dm²/h), DiNP (100 ng/dm²/h), DnOP (89 ng/dm²/h), DnBP (74 ng/dm²/h), DEP (72 ng/dm²/h), DiBP (70 ng/dm²/h), DMP (68 ng/dm²/h), DiDP (67 ng/dm²/h), DEHP (ND) 순이었다. 반면에 손목밴드에서는 브로치에서 ND였던 DEHP가 5800 ng/dm²/h으로 가장 높게 나타났다으며, DEHP (8770 ng/dm²/h), DiNP (3230 ng/dm²/h) 등 순이었다.

Craig J.A et al. (2019)는 네일샵에서 옷깃과 손목에 SWB (Silicone Wrist bands)를 이용하여 작업환경 공기 중 프탈레이트류를 분석하였다. DMP, DEP, DBP, BBP와 같은 저분자 프탈레이트는 media에 상관없이 ND였다. 옷깃 SWB는 DEHP 251 ng/g DiNP 200 DEHP 81.9 ng/g 등 순이었으며, 손목 SWB는 DiNP 50.7 ng/g, DEHP 42.4 ng/g, DEHP 20.8 ng/g 등으로 비교적 고분자 프탈레이트류가 검출되었다.

Anh H.Q et al. (2019) 퍼프에서 passvie 샘플링하였으며, ELV (End-of-Life Vehicle)과 폐기물 재활용 지역, 도시지역의 가정집에서 공기 중 프탈레이트를 측정하였으며, 대조지역은 시골 가정집이었다. 대체로 도시 가정집의 공기 중 프탈레이트가 사업장인 ELV, 폐기물 재활용 지역보다 높게 검출되었으며, 특히 DBP는 normal 150 ng/m³, iso 200 ng/m³, DEHP 300 ng/m³으로 높았다.

사무실에서 PDMS (polydimethylsiloxane) brooch에서 공기 중 프탈레이트 농도를 분석한 연구(Okeme J.O. et al., 2018)에서 DEHP 465 ng/m³, DiBP 423 ng/m³과 같은 고분자 프탈레이트류의 농도가 높게 나왔다. 그 뒤로 DEP (283 ng/m³), DnBP (219 ng/m³), BBP (17 ng/m³) 순이었다.

〈표 III-14〉 사업장 공기시료(passive) 중 프탈레이트 농도 문헌 고찰(국외)

Ref	Occupational setting	Matrix	N	unit	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DnOP	DiNP	DiDP	Extra
Nguyen L.V. et al., 2022 (Canada)	Canadian Nail Salon Workers/ Salon	Brooch	58	ng/dm ² /h	68	72	-	-	211	89	100	67	DiBP 70 DnBP 74 DEHP ND
		Wristband	60	ng/dm ² /h	16	156	-	-	8770	93	3230	2140	DiBP 292 DnBP 453 DEHP 5800
Craig J.A. et al., 2019 (USA)	Nail salon	Lapel SWB	9	ng/g	ND	ND	ND	ND	251	-	200	-	DiBP ND DEHA 5 TOTM 2.2 DEHP 81.9
		Wrist SWB	9	ng/g	ND	ND	ND	ND	42.4	-	50.7	-	DiBP ND DEHA 2.3 TOTM 1.4 DEHP 20.8

Ref	Occupational setting	Matrix	N	unit	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DnOP	DiNP	DiDP	Extra
Anh H.Q. et al., 2019 [*] (Vietnam) [*]	Control rural house	PUF-PAS	1	ng/m ³	1	1.8	normal: 32 iso:15	-	ND	ND	-	-	DCHP ND DMT 1.2 DPP ND DPrP ND
	ELV ^{***} dismantling workshops		9	ng/m ³	1.2	2.1	n: 55 iso: 33	-	ND	ND	-	-	DCHP ND DMT 1.5 DPP ND DPrP ND
	Urban houses		3	ng/m ³	12	ND	n: 150 iso:200	-	300	ND	-	-	DCHP 310 DMT 14 DPP ND DPrP 1.1
	Waste recycling cooperative		3	ng/m ³	4.7	ND	n: 49 iso:34	-	130	ND	-	-	DCHP 130 DMT 5.7 DPP ND DPrP 5.7
Okeme J.O. et al., 2018 [*] (Canada)	Office	PDMS brooch	3	ng/m ³	-	283	-	17	465	-	-	-	DiBP 423 DnBP 219

제시된 값 모두 median

^{*} 개별값만 제시되어 있음. 중앙값을 계산하여 입력함

^{**}n: normal, iso: iso

^{***} End-of-Life Vehicle

3) 국내외 프탈레이트 바이오모니터링 문헌조사

(1) 국내 프탈레이트 바이오모니터링 문헌조사

국내 문헌 5건 중 프탈레이트 바이오모니터링이 포함된 문헌은 3건이었다. 3건의 문헌 중 강양원 (2017)은 소변 중 DEHP 대사체를 분석했지만, 농도수준을 제시하지 않았다. 총 2건의 문헌을 정리하였다. 2건의 문헌 모두 DEHP 대사체만을 분석하였고 이외의 프탈레이트 대사체는 분석하지 않았다.

〈표 III-15〉 근로자의 프탈레이트 바이오모니터링 문헌 고찰(국내)

Ref	노동환경건강연구소, 2013	Park M et al., 2010
Participants	PVC workers	Workers in dental laboratories
N	9	25
unit	μg/g Cr	μg/g Cr
value	Median	Median
DEHP		
MEHP	18.59	8.00
MEHHP	33.45	31.07
MECPP		
MEOHP	17.28	13.49
MCEPP	36.00	

Median

* 근무 후 값 제시

* 노출군 근무 후 값 제시

(2) 국외 프탈레이트 바이오모니터링 문헌조사

다음 <표 III-16>는 국외 프탈레이트 바이오모니터링 문헌조사이다. 작업환경 중 프탈레이트 노출평가 논문 중 7건에서 근로자의 프탈레이트 바이오모니터링 값을 제시하고 있었으며, 6건의 논문은 소변에서, 1건의 논문은 혈액에서 프탈레이트를 분석하였다. 대부분의 연구에서 DEHP의 대사체를 분석하였다.

〈표 III-16〉 근로자의 프탈레이트 바이오모니터링 문헌 고찰(국외)

Contents	Urine						
Ref	Meleah D. Boyle et al., 2021 (USA)		Jean-Bernard Henrotin et al., 2020 (France)	Craig J.A. et al., 2019 (USA)	Po-Chin Huang et al., 2018 (Taiwan)		
Workers	Hair dressers	Office worker	Worker in plastic factories	Nail salon worker	Clothing sale clerk	Cosmetic sale clerk	Perfume sale clerk
N	23	17	97	10	9	23	4
unit	ng/mL-SG		μg/g-cr	μg/g-cr	μg/g-cr		
value	GM		median	GM	median		
DMP	.	.	.	.	.	.	.
MMP	.	.	.	.	33.4	34.4	26.6
DEP	.	.	.	.	.	.	.
MEP	161.4	15.3	.	37.9	29.9	91.4	93.2
DBP	.	.	.	.	.	.	.
MBP	.	.	.	8.7	154	220.9	197
BBP	.	.	.	.	.	.	.
MBzP	0.9	0.9	.	1.9	12.5	19.7	17.3
DEHP	.	.	.	.	.	.	.
MEHP	0.9	0.3	1.1	.	35.5	53.3	47
MEHHP	7.2	2.2	.	5.1	.	.	.
MECPP	7.5	2	5.7	8.7	.	.	.
MEOHP	4.2	1.2	.	3.3	.	.	.

Contents	Urine						
Ref	Meleah D. Boyle et al., 2021 (USA)		Jean-Bernard Henrotin et al., 2020 (France)	Craig J.A. et al., 2019 (USA)	Po-Chin Huang et al., 2018 (Taiwan)		
Workers	Hair dressers	Office worker	Worker in plastic factories	Nail salon worker	Clothing sale clerk	Cosmetic sale clerk	Perfume sale clerk
N	23	17	97	10	9	23	4
unit	ng/mL-SG		μg/g-cr	μg/g-cr	μg/g-cr		
value	GM		median	GM	median		
OH-MEHP	-	-	6.2	-	-	-	-
OXO-MEHP	-	-	3.3	-	-	-	-
DiNP	-	-	-	-	-	-	-
MiNP	-	-	-	-	-	-	-
OH-MINP	-	-	7.5	-	-	-	-
CX-MINP	-	-	5.6	-	-	-	-
OXO-MINP	-	-	2.4	-	-	-	-
MCOP	-	-	-	4.2	-	-	-
DiDP	-	-	-	-	-	-	-
MCNP	-	-	-	1.2	-	-	-

* 산술평균으로 제시

** n=54

〈표 III-16〉 근로자의 소변과 혈액 중 프탈레이트 노출 수준 문헌 고찰(계속)

Contents	Urine			Blood	
Ref	Fong JP et al., 2014 (Taiwan)	H.A.A.M Dirven et al., 1993 (Netherlands)		Lu et al., 2019 (China)	
Participants	PVC production worker	Boot factory worker	Cable factory worker	Traffic patrol policemen : metropolis (Jiulongpo)	Traffic patrol policemen : suburban (Wuxi)
N	89	9	6	60	
unit	ug/g-cr	nmol/mmol		ug/L	
value	GM	Median		median	
DMP	.	.	.	107.55	68.92
DEP	.	.	.	3.46	1.56
DBP	.	.	.	167.98*	131.23*
BBP	.	.	.	17.72**	9.74**
DEHP	.	.	.	176.6	191.46
MEHP	22.5	48.9	34.5		
MEHHP	84.6	54	25.9		
MECPP	.	.	.		
MEOHP	66.4	24.2	16.6		
MCEPP	.	37.9	15.1		
DiNP	.	.	.	21.37*	19.54*

* 산술평균으로 제시

**n=54

2. 우리나라 프탈레이트 취급 사업장 및 근로자 현황 추정

1) 우리나라 프탈레이트 사업장 현황 및 노출근로자 규모 추정

(1) 우리나라 프탈레이트 사용 업종 및 프탈레이트 종류

다양한 종류의 프탈레이트가 산업에 쓰는데, 그 중 우리나라 산업에서의 프탈레이트 사용현황을 조사하기 위해 조사대상 프탈레이트의 종류를 제한할 필요가 있다. 노출기준이 있는 물질을 중심으로 산업에서 가장 많이 사용하는 것으로 알려진 6종, 그리고 노동부 이외의 정부 부처에서 규제하고 있는 물질 등을 포함하여, DMP, DEP, DBP, BBP, DEHP, DnOP, DiNP, DiDP, 총 8종으로 하였다. 프탈레이트 취급 사업장 정보는 2018년 <환경부 화학물질안전원 화학물질 종합정보시스템>의 <화학물질 통계정보 공개>를 이용하였다. 사업장 소재지와 업종 제한은 두지 않았다[그림 III-1].

화학물질 통계 정보공개
사업장의 화학물질 취급정보를 검색하실 수 있습니다.

화학물질 통계조사는 [화학물질관리법](#) 제12조에 따라 화학물질 통계조사결과를 사업장별로 공개합니다.

화학물질취급정보 화관범위반사업장

일반검색 **상세검색**

연도: 2018년 지역: 전제지역 전제지역

물질: 물질그룹 전제물질 검색항목: CAS No. 131-11-3

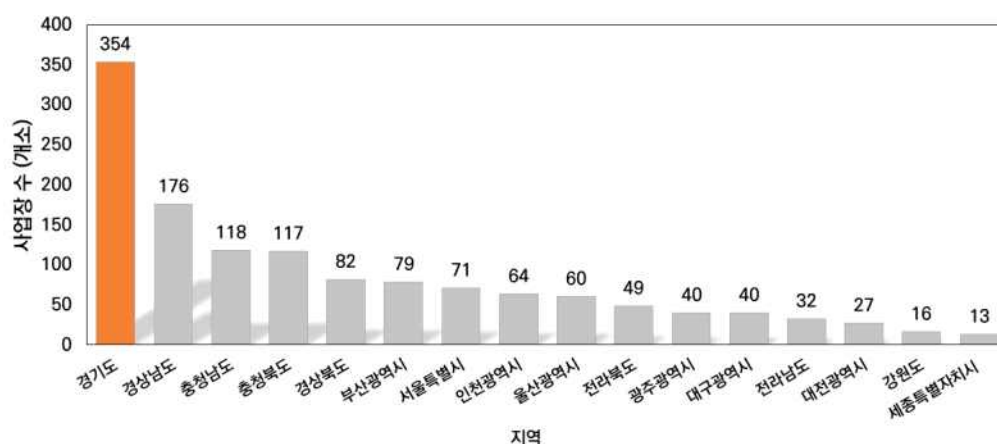
업종: 대분류 선택 중분류 소분류 세분류

산업단지: 전제산업단지 업체명: 업체명을 입력하세요.

검색 초기화

[그림 III-1] 환경부 화학물질안전원 화학물질 종합정보 시스템 (<https://icis.me.go.kr/main.do>)을 활용한 프탈레이트 사용 사업장 검색

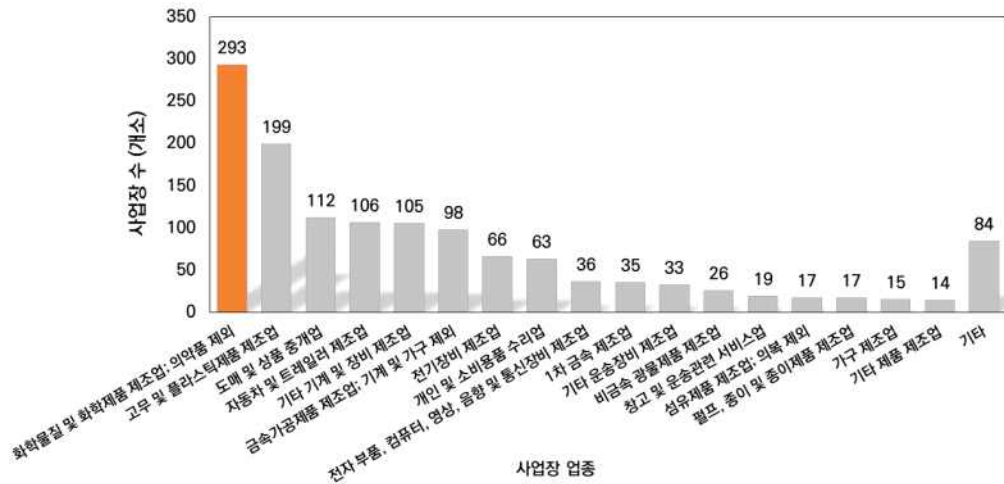
검색결과 8종의 프탈레이트를 취급 및 사용하는 사업장은 총 1,338개소였다. 지역별로는 경기도에 354개소로 다른 지역에 비해 압도적으로 많았다. 그 뒤로 경상남도, 충청북도, 충청남도의 프탈레이트 사용 사업장이 100개 이상 분포하였다[그림 III-2].



[그림 III-2] 지역별 프탈레이트 사용 사업장 수(2018, 화학물질안전원 화학물질 종합정보시스템)

업종별 프탈레이트 사용현황을 조사하기 위해 한국표준산업분류를 적용하였다. 한국표준산업 대분류로는 제조업(n=1,114)에서의 프탈레이트 사용이 가장 많았으며, 도매 및 소매업(n=125), 협회 및 단체, 수리 및 기타 개인 서비스업(n=63), 운수 및 창고업(n=20), 건설업(n=8), 수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료재생업(n=4)이었고 그 외 전기, 가스, 증기 및 공기 조절 공급업, 광업, 보건업 및 사회복지 서비스업, 부동산업은 각각 1개의 사업장이었다.

세부 업종별로는 17개의 업종(기타제외)에서 프탈레이트를 사용하고 있었다. 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)에서 293개소로 가장 많았으며, 고무 및 플라스틱제품 제조업(n=199), 도매 및 상품 중개업(n=112), 자동차 및 트레일러 제조업(n=106) 순이었다[그림 III-3].



[그림 III-3] 업종별 프탈레이트 사용 사업장 수(2018, 화학물질안전원 화학물질 종합정보시스템)

〈표 III-17〉는 업종별로 사용하는 프탈레이트 종류와 수이다. 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)에서 BBP를 제외한 6종의 프탈레이트(DMP, DEP, DBP, DEHP, DiNP, DiDP)를 가장 많이 사용하는 것으로 나타났다. BBP는 개인 및 소비용품 수리업 21곳에서 사용하고 있었다. DnOP를 취급 및 사용하는 사업장은 없었다(2018년도 기준).

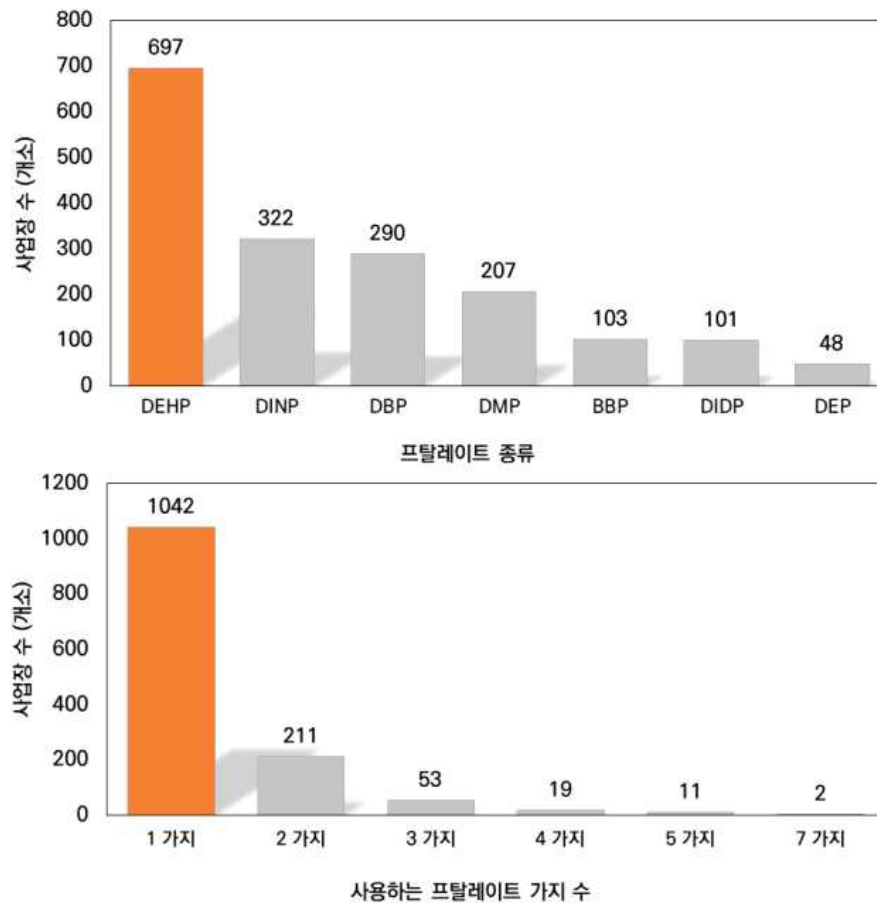
〈표 III-17〉 업종별로 사용하는 프탈레이트 종류와 사업장 수

업종(한국표준산업분류)	표준분류 번호	사업장 수	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DiNP	DiDP
화학물질 및 화학제품 제조업; 의약품 제외	20	293	38	19	71	3	112	41	9
고무 및 플라스틱제품 제조업	22	199	14	2	17	0	123	42	1
도매 및 상품 중개업	46	112	12	4	21	2	48	20	5
자동차 및 트레일러 제조업	30	106	10	2	17	3	39	33	2
기타 기계 및 장비 제조업	29	105	11	1	19	6	60	6	2
금속가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외	25	98	37	0	13	1	43	3	1
전기장비 제조업	28	66	1	1	9	2	18	27	8
개인 및 소비용품 수리업	95	63	20	0	9	21	12	1	0
전자 부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	26	36	9	2	9	1	13	2	0
1차 금속 제조업	24	35	9	1	4	4	15	1	1
기타 운송장비 제조업	31	33	11	0	4	0	18	0	0

업종(한국표준산업분류)	표준분류 번호	사업장 수	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DiNP	DiDP
비금속 광물제품 제조업	23	26	8	0	3	3	6	5	1
창고 및 운송관련 서비스업	52	19	4	0	3	0	7	4	1
섬유제품 제조업; 의복 제외	13	17	0	1	1	0	11	4	0
펄프, 종이 및 종이제품 제조업	17	17	2	0	9	0	2	4	0
가구 제조업	32	15	3	0	9	0	2	1	
기타 제품 제조업	33	14	4	0	2	1	6	0	1
기타* 총합	-	84	14	8	21	2	31	7	1

* 사업장 10개 이하는 기타로 분류함. 담배 제조업부동산업비금속광물 광업; 연료용 제외사회복지 서비스업산업용 기계 및 장비 수리업육상 운송 및 파이프 라인 운송업전기, 가스, 증기 및 공기 조절 공급업종합 건설업하수, 폐수 및 분뇨 처리업코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업폐기물 수집, 운반, 처리 및 원료 재생업의료용 물질 및 의약품 제조업식료품 제조업전문직별 공사업가죽, 가방 및 신발 제조업목재 및 나무제품 제조업; 가구 제외소매업; 자동차 제외의료, 정밀, 광학 기기 및 시계 제조업인쇄 및 기록매체 복제업

취급하는 프탈레이트의 종류를 분석한 결과, 50 % 이상(n=697)의 사업장에서 DEHP를 사용하였다. 그 뒤로 DiNP, DBP, DMP, BBP, DiDP, DEP 순이었다. 이는 치환기의 탄소수가 6개 이하인 Low Molecular Phthalates (C1-C6, LMP)보다 7개 이상인 heavy phthalates (DEHP, DiNP)가 더 많이 쓰이는 세계적인 추세와 비슷한 것으로 여겨진다(European Plasticisers, 2021). 대부분의 사업장에서 1가지 종류의 프탈레이트를 사용하였고 (n=1,042), 2가지 이상의 프탈레이트를 사용하는 경우는 전체의 22 % (n=296개소)였다. 2개의 사업장에서는 7가지의 프탈레이트를 사용하기도 하였다[그림 III-4].



[그림 Ⅲ-4] 프탈레이트 종류별 사용 사업장 수(위)와
사업장별 사용하는 프탈레이트 가지 수(아래)

3. 근로자의 프탈레이트 노출 가능성과 건강위험 추정

1) 연구대상 프탈레이트 종류 선정

연구대상 프탈레이트를 선정하기 위해 [그림 III-5]와 같이 세 가지 기준을 설정하였다. 우선 1) 산업안전보건법상 노출기준이 있는 프탈레이트 4종을 포함시켰으며, 2) 지리적 접근성이 좋고, 프탈레이트 취급 사업장이 많은 천안, 아산지역의 제조업의 프탈레이트 취급현황을 고려하고, 3) 프탈레이트 노출평가 논문을 검토하여 검출율이 높은 프탈레이트를 고려하였다.



[그림 III-5] 연구대상 프탈레이트 선정절차

(1) 우리나라(천안, 아산) 제조업에서의 프탈레이트 사용현황

우리나라 제조업에서 사용하는 프탈레이트 종류와 사용량을 조사하기 위해 2018년도 환경부 화학물질정보통계조사를 이용하였다. 지역은 연구진이 실제 샘플링 할 것을 고려하여 접근 가능성이 좋은 천안, 아산지역으로 설정하였다. <표 III-18>은 천안, 아산지역의 프탈레이트 사용 사업장에 대한 프탈레이트 사용현황이다. 총 8가지의 프탈레이트(DMP, DBP, DEHP, DiNP, DiDP, DEP, BBP, DTDP)를 취급하는 천안, 아산지역의 사업장 총 71개소 중 DEHP를 사용하는 사업장이 30곳으로 가장 많았고, DiNP, DBP, DiDP, DMP 순이었다. DEP, BBP, DTDP는 각각 1개소로 사용하는 사업장이 거의 없었다. 사용 사업장 수가 5개소 이상인 프탈레이트는 DMP, DBP, DEHP, DiNP, DiDP였으며, 연간 입고량과 사용 및 판매량 등 취급량이 평균 연간 1~2.5 톤 이상인 물질은 DMP, DEHP, DiNP, DiDP였다.

<표 III-18> 천안, 아산지역 프탈레이트 취급 사업장현황

No	프탈레이트	사업장 수	연간 입고량 [§]			연간 사용·판매량 [§]		
			평균	최소	최대	평균	최소	최대
1	DMP	6	4	1	7	4	1	7
2	DBP	10	2	1	4	2	1	3
3	DEHP	30	4	1	9	4	1	9
4	DiNP	15	5	1	8	5	1	8
5	DiDP	7	7	3	8	6	1	8
6	DEP	1	2	2	2	2	2	2
7	BBP	1	4	4	4	4	4	4
8	DTDP	1	1	1	1	1	1	1

§ unit: 중량(톤/년); 1: 0.1 미만; 2: 0.1~0.5; 3: 0.5~1.0; 4: 1~2.5; 5: 2.5~5.0; 6: 5~20; 7: 20~200; 8: 200~1,000; 9: 1,000~5,000; 10: 5,000 이상

(2) 프탈레이트 노출평가 논문검토

프탈레이트 노출평가 논문 중 대부분은 DEHP 한 물질만을 대상인 경우가 많았다. <표 III-19>는 작업환경에서 여러 가지 프탈레이트를 측정, 분석한 논문이다. Porrass SP et al., (2020) 연구에서는 DiDP, DiNP, DPHP를 측정하였으며, 케이블 사업장에서 DiDP가 0.07 mg/m³, DPHP 0.15 mg/m³로 검출되었다. Hoang AQ et al., (2022)의 연구에서 베트남의 자동차 수리 사업장 및 폐기물 재활용 사업장에서 표면시료 중 10종의 프탈레이트를 분석하였으며, 모든 시료에서 무었의 검출율이 100 %였다. 네일 샵에서 프탈레이트 노출평가를 진행한 Nguyen LV et al., (2022) 연구에서 공기 중 9종의 프탈레이트를 측정 및 분석하였으며, DiNP, DiDP, DnOP 등 비교적 high molecular weight 프탈레이트를 제외하고 87 %~100 %까지 검출율을 보였다.

〈표 III-19〉 작업환경 중 프탈레이트 노출평가 논문의 프탈레이트 검출율

번호	연구	사업장 작업환경	매체	프탈레이트 검출율 (LOD %)		농도 수준 (공기 : mg/m ³ , 표면 : ng/g)
1	Porras SP, et al., 2020	케이블 사업장 / 압출기 1	공기 (지역, n=1)	DPHP (-) DiDP (-)		DPHP: <0.01 DiDP : 0.07
		케이블 사업장 / 압출기 2	공기 (지역, n=1)	DPHP (-) DiDP (-)		DPHP: 0.15 DiDP : <LOQ
		플라스틱 제조 사업장	공기 (지역, n=1)	DiNP (-) DPHP (-)		DiNP: <LOQ DPHP: <LOQ
2	Hoang AQ et al., 2022	자동차 수리 사업장 / 폐기물 재활용 사업장 (Hanoi 지역)	먼지 (n=7/6)	DEHP (100/100) DMP (100/100) DEP (100/100) DnOP (100/100) DBP (100/100)	DPP (100/100) DiBP (100/100) DnHP (100/100) BzBP (100/100)	DEHP (GM: 44925/22929) DMP (GM: 57/147) DEP (GM: 60/300) DnOP (GM: 2830/873) DBP (GM: 7349/3605) DPP (GM: 33/114) DiBP (GM: 3895/5542) DnHP (GM: 28/392) BzBP (GM: 389/16977)

번호	연구	사업장 작업환경	매체	프탈레이트 검출율 (LOD %)		농도 수준 (공기 : mg/m ³ , 표면 : ng/g)
3	Nguyen LV et al., 2022	네일 샵	공기 (지역, n=60)	DEHP (87) DMP (100) DEP (100) DBP (100)	DiBP (100) DEHP (83) DiNP (ND) DiDP (ND) DnOP (ND)	ng/m ³ DMP (Median: 43) DEP (Median: 471) DiBP (Median: 337) DBP (Median: 331) DEHP (Median: 36) DnOP (Median: ND) DiNP (Median: ND) DEHP (Median: 15) DiDP (Median: ND)

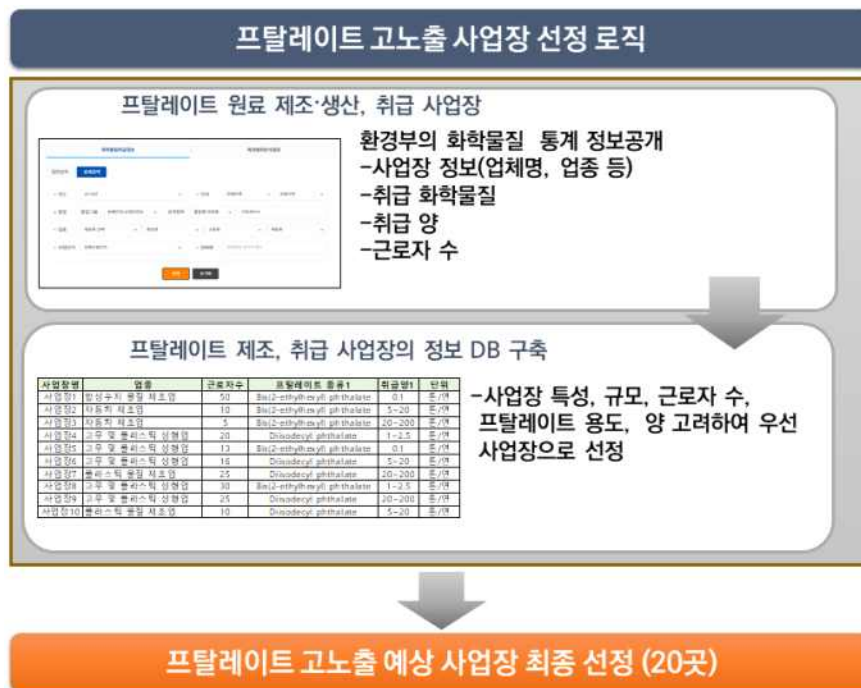
[그림 III-6]과 같이 6가지의 프탈레이트(DMP, DEP, DBP, DEHP, DiNP, DiDP)를 본 연구의 연구대상 물질로 선정하였다.



[그림 III-6] 최종 선정된 연구대상 프탈레이트 종류

2) 연구대상 사업장 선정

앞서 선정한 6종의 프탈레이트에 고농도로 노출될 우려가 있는 사업장을 [그림 III-7]에 따라 선정하였다. 2018년 환경부 화학물질 통계 정보공개를 이용하여 프탈레이트 원료 제조, 생산, 취급사업장에 대한 세부 업종, 취급 화학물질, 양 및 근로자 수 등을 Data base화 하였다. 구축된 Data base에서 근로자 수, 프탈레이트 사용 수 및 양을 고려하였다. 우선 대상 사업장으로 선정된 20곳은 1) 2종 이상의 프탈레이트를 사용하고, 2) 연간 입고량이 1톤 이상이며, 3) 근로자 수가 40명 이상을 기준으로 선정하였다.



[그림 III-7] 우선 대상 사업장 선정절차

(1) 우선선정 사업장 20개소의 프탈레이트 사용현황

다음 <표 Ⅲ-20>은 우선 대상 사업장 20곳의 프탈레이트 사용현황이다.

<표 Ⅲ-20> 우선 대상 사업장 20곳의 프탈레이트 사용현황

번호	업종	근로자 수	프탈 레이트	연간 입고량 [§]	연간사용 판매량 [§]
1	승용차 및 기타 여객용 자동차 제조업	4000	DEHP	1	1
			DiNP	7	7
			DiNP	8	8
2	그 외 자동차용 신품 부품 제조업	290	DEHP	7	7
			DINP	7	7
3	그 외 자동차용 신품 부품 제조업	180	DEHP	2	2
4	자동차용 엔진 제조업	350	DBP	1	1
5	일반용 도로 및 관련제품 제조업	384	DEHP	7	7
			BBP	4	4
			DBP	4	3
			DINP	7	7
			DMP	7	7
6	기타 절연선 및 케이블 제조업	305	DEHP	6	6
			DiDP	8	8
			DiNP	7	7
			DiNP	7	7
7	기타 절연선 및 케이블 제조업	218	DiDP	7	7
			DiNP	7	7
8	고무패킹류 제조업	47	DEHP	6	6
9	산업용 그 외 비경화 고무제품 제조업	47	DEHP	7	7
			DiDP	8	8
10	PVC 나선히스 제조	40	DEHP	8	8
			DiNP	7	7
11	위생용 및 산업용 도자기 제조업	230	DEHP	4	4
12	플라스틱 합성피혁 제조업	40	DEHP	9	9
13	플라스틱 시트 및 판 제조업	65	DEHP	7	7
14	다이오드, 트랜지스터 및 유사 반도체소자 제조업	870	DMP	7	7
15	자동차 차체용 신품 부품 제조업	86	DiNP	5	5
			DiNP	7	7
16	합성수지 및 기타 플라스틱 물질 제조업	82	DiDP	7	7
17	벽지 및 장판지 제조업	44	DiNP	9	9
18	기타 인쇄업	136	DiNP	9	9
19	플라스틱 필름 제조업	125	DiNP	8	8
20	합성고무 제조업	61	DEHP	6	6

§ unit: 종량(톤/년); 1: 0.1 미만; 2: 0.1~0.5; 3: 0.5~1.0; 4: 1~2.5; 5: 2.5~5.0; 6: 5~20; 7: 20~200; 8: 200~1,000; 9: 1,000~5,000; 10: 5,000 이상

3) 작업환경 시료 샘플링을 위한 예비조사

(1) 사업장별 개요 및 프탈레이트 사용특성

우선선정 사업장 20개소에서 2개의 사업장이 제외되었고, KOSHA 충남본부의 도움으로 6개 사업장을 추가하여 최종 8개 사업장의 작업환경 중 프탈레이트 시료 채취 및 분석을 진행했다.

〈표 III-21〉은 최종 선정된 8개의 사업장별 근로자 수 및 주요 생산품과 프탈레이트 연간입고량을 정리한 것이다. 연간입고량은 2018년 환경부 화학물질 통계 정보공개를 활용하였다. 총 8개의 사업장 중 우선 대상 사업장은 케이블 사업장 A와 페인트 사업장 B 두 곳이었다. 7개 사업장은 충남지역에, 1개 사업장은 경기도에 위치하였다.

가) 케이블 사업장 A

케이블 사업장 A는 DEHP, DiDP, DiNP (0028553-12-0), DiNP 혼합물 (0068515-48-0)을 사용하는 사업장이다. 프탈레이트 종류별 연간입고량(또는 사용량)은 DiDP 200~1000 톤, DiNP (0028553-12-0) 20~200 톤, DiNP (0068515-48-0) 20~200 톤 DEHP 5~20 톤 순이었다. 주요 생산품은 전선, 절연 광섬유케이블, 전구, 램프 등이다.

나) 페인트 사업장 A

페인트 사업장 A는 유성페인트, 수성페인트, PCM 도료 등을 주로 생산하는 사업장으로 DMP, DBP, BBP, DEHP, DiNP (0068515-48-0)를 사용한다. 프탈레이트 종류별 연간입고량(또는 사용량)은 DEHP 200~1000 톤, DBP 20~200 톤, DiNP(0068515-48-0) 20~200 톤, DMP 20~200 톤, BBP 0.1~0.5 톤 순이었다.

다) 페인트 사업장 B

페인트 사업장 B는 DMP, DBP, BBP, DEHP, DiNP(0028553-12-0), DiNP 혼합물(0068515-48-0) 및 DMP를 사용하였다. 연간입고량(또는 사용

량)은 DEHP 20~200 톤, DiNP 혼합물(0068515-48-0) 20~200 톤, DMP 20~200 톤, BBP 1~2.5 톤, DBP 1~2.5 톤, DiNP(0028553-12-0) 0.1 톤 미만 순이었다.

라) 플라스틱 사출 사업장 A

플라스틱 사출 사업장 A는 자동차부품 등의 사출, 도장, 조립 및 각종 금형 제작 및 이중사출을 하는 사업장이었다. 해당 사업장은 환경부의 화학물질 통계 정보공개에서 연간입고량(또는 사용량) 정보를 찾을 수 없었다.

마) 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A

합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A는 DEHP를 사용하는 사업장이었다. 프탈레이트 종류별 연간입고량(또는 사용량)이 20~200 톤 이상이 물질은 없었다.

바) 합성섬유 제조 사업장 A

합성섬유 제조 사업장 A의 주요 생산품목은 비닐 재생품(비닐시트)이다. 해당 사업장은 환경부의 화학물질 통계 정보공개에서 연간입고량(또는 사용량) 정보를 찾을 수 없었다.

사) 자동차 부품 제조 사업장 A

자동차 부품 제조 사업장 A의 주요 생산품목은 승용차 및 기타 여객용 자동차로, DiNP (0028553-12-0) 및 DiNP 혼합물(0068515-48-0)을 주로 사용하는 사업장이다. 연간입고량(또는 사용량)은 DiNP 혼합물(0068515-48-0) 200~1000 톤, DiNP (0028553-12-0) 20~200 톤 순이었다.

아) 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A

플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A는 프탈레이트를 직접 사용하는 사업장은 아니지만, 프탈레이트가 함유된 플라스틱 제품을 다루기 때문에 입자상 프탈레이트에 노출될 가능성이 있어 대상 사업장으로 선정하였다. 해당 사업장은 프탈레이트를 직접 사용하는 사업장이 아니기 때문에 환경부의 화학물질 통계 정보공개에서 연간입고량(또는 사용량) 정보를 찾을 수 없었다.

〈표 III-21〉 연구대상 사업장 규모 및 프탈레이트 생산량

No	업종	근로자수(명)	주요 생산품	연간입고량 [§]
1	케이블 사업장 A	305	전선, 절연광섬유케이블, 전구 및 램프, 전자부품, 컴퓨터, 영상,음향 및 통신장비, 측정, 시험, 항해, 제어 및 기타 정밀, 기타 건축	DEHP: 06; DiDP: 08 DiNP(0028553-12-0): 07 DiNP(0068515-48-0): 07
2	페인트 사업장 A	900	유성페인트, 수성페인트, PCM 도료 제조	DMP: 07; DBP: 07 DEHP: 08; BBP: 02; DiNP(0068515-48-0): 07
3	페인트 사업장 B	384	자동차용도료, 플라스틱용도료, 공업용 도료, 보수용도료, 코일도료, 알루미늄도료, 전자가전용도료, 선박용도료, 제관용도료	DMP: 07; DBP: 04 DEHP: 07; BBP: 04 DiNP(0028553-12-0): 01 DiNP(0068515-48-0): 07
4	플라스틱 사출 사업장 A	30	사출, 도장, 조립 및 각종 금형제작 및 이중사출품 (자동차 부품 등)	자료없음
5	합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A	12	합성수지, 재생섬유소, 유도체	DEHP: 05
6	합성섬유 제조 사업장 A	9	비닐 재생품(비닐시트)	자료없음
7	자동차 부품 제조 사업장 A	1480	승용차 및 기타 여객용 자동차	DiNP(0028553-12-0): 07 DiNP(0068515-48-0): 08
8	플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A	10 명 내외	플라스틱 재활용	자료없음
총합	-	-	-	-

[§]unit: 중량(톤/년); 1: 0.1 미만; 2: 0.1~0.5; 3: 0.5~1.0; 4: 1~2.5; 5: 2.5~5.0; 6: 5~20; 7: 20~200; 8: 200~1,000; 9: 1,000~5,000; 10: 5,000 이상
(환경부 화학물질 통계 정보공개, 2018)

(2) 사업장별 작업내용 및 샘플링 위치 선정

사업장별 프탈레이트에 노출될 작업내용과 프탈레이트를 함유하는 제품의 MSDS를 조사하였다. 해당 조사를 통해 프탈레이트에 고농도로 노출될 공정을 선별하고 샘플링 전략을 수립하였다.

가) 케이블 사업장 A

○ 프탈레이트 사용 작업내용

[그림 III-8]은 케이블 사업장 A의 예비조사 시 모습이다. 케이블 사업장 A는 대형 선박의 케이블을 제조 및 포장하는 사업장으로 프탈레이트 노출 우려 공정은 고무 압출, 도장, PVC 테이핑, 케이블 연합이 있었다.



[그림 III-8] 케이블 사업장 A 예비조사

○ 프탈레이트 함유 제품 MSDS 현황

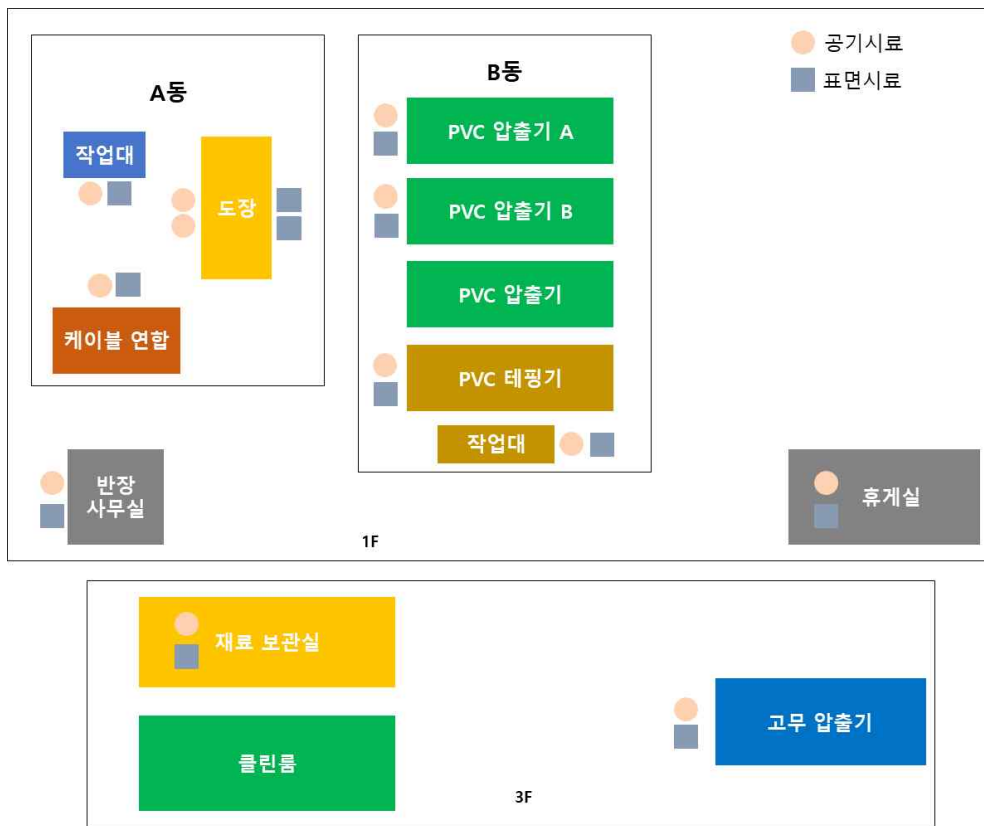
케이블 사업장 A에서 프탈레이트가 함유된 제품을 파악하였다<표 III-22>. 사업장에서 사용하는 15 개의 제품에 프탈레이트류가 함유되어 있었다. 본 연구대상 프탈레이트는 DEHP, DiNP, DiDP가 포함된 제품을 사용하였다. 그 중 DiDP가 함유된 제품이 7가지로 가장 많았으며, 함유량 또한 DiDP가 최대 35 %로 가장 많았다. 대부분 전선의 절연 및 피복용으로 첨가되었다.

〈표 III-22〉 케이블 사업장 A에서 사용하는 프탈레이트 함유 제품

제품	프탈레이트	CAS 번호	종류	용도	중량 %
1	DEHP	117-81-7	폴리비닐 클로라이드 혼합물	전선의 시스용	10~20
2	DEHP	117-81-7	PVC COMPOUND	전선의 절연 및 피복용	25
3	DiNP	28553-12-0	PVC COMPOUND	전선의 절연 및 피복용	15~20
4	DiNP	28553-12-0	PVC COMPOUND	고분자 제품의 생산	20~25
5	DiNP	68515-48-0	PVC COMPOUND (난내열)	케이블 피복용	12~17
6	DiDP	26761-40-0	PVC COMPOUND	전선의 절연 및 피복용	30
7	DiDP	26761-40-0	PVC COMPOUND	전선의 절연 및 피복용	25
8	DiDP	26761-40-0	PVC COMPOUND	전선의 절연 및 피복용	35
9	DiDP	26761-40-0	PVC COMPOUND	전선의 절연 및 피복용	35
10	DiDP	26761-40-0	PVC COMPOUND	전선의 절연 및 피복용	30
11	DiDP	26761-40-0	PVC Compound (난내열)	전선의 절연 및 피복용	35
12	DiDP	26767-40-0	폴리비닐 클로라이드 혼합물	전선의 시스용	20~30
13	Diundecyl phthalate	3648-20-2	PVC COMPOUND	전선의 절연 및 피복용	25
14	Diundecyl phthalate	3648-20-2	PVC COMPOUND	전선의 절연 및 피복용	25
15	비스(2-프 로필헵틸) 프탈레이트	53306-54-0	PVC COMPOUND (난내열)	케이블 피복용	12~17

○ 샘플링 위치 선정

아래 [그림 III-9]는 예비조사 방문 시 케이블 사업장 A의 공정을 파악한 것이다. 사업장 환경 내 프탈레이트 노출을 측정하기 위해 고노출이 예상되는 PVC 압출기, PVC 테이핑 공정, 페인트 도장라인, 케이블 연합, 고무압출 공정으로 정하였으며 사업장 내 base 노출을 파악하기 위해 3층 재료보관실 및 클린룸도 추가하였다. 대조지역으로는 사업장 근처에 있는 반장 사무실과 사업장 밖에 멀리 떨어져 있는 휴게실을 선정하였다.



[그림 III-9] 케이블 사업장 A 공정도면 및 샘플링 위치

나) 페인트 사업장 A

○ 프탈레이트 사용 작업내용

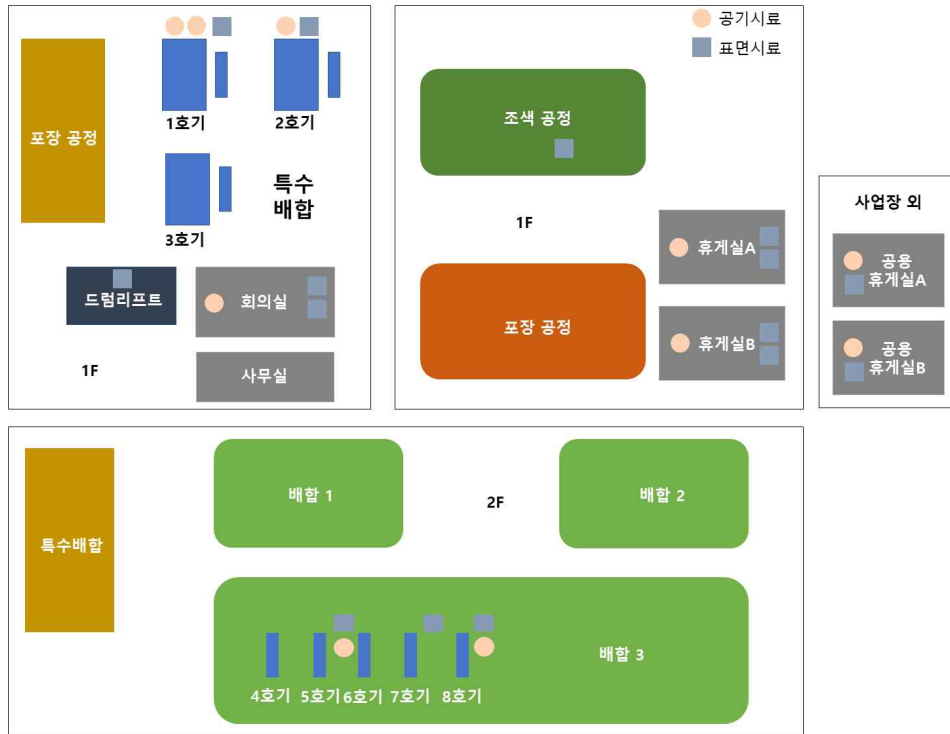
페인트 제조 사업장 A는 프탈레이트를 가소제로 사용하며 생산부서에서 1층은 특수배합, 2층은 배합이 이뤄지고 있었다. 원료투입 및 배합과정에서 프탈레이트에 노출될 가능성이 있었다. 해당 사업장은 예비조사 없이 실제 본조사에서 샘플링을 진행하였다.

○ 프탈레이트 함유 제품 MSDS 현황

해당 사업장에서 DMP 함유량 95~100 %를 가소제, 희석제, 안정제 용도로 사용하고 있었다.

○ 샘플링 위치 선정

페인트 제조 사업장 A의 샘플링 위치는 본조사 전 공정도면과 MSDS를 참고하여 선정하였다. [그림 III-10]은 페인트 사업장 A의 생산부서 공정도면이다. 사업장 내 1층 특수배합 1호기, 2호기와 2층 배합 5호기, 8호기를 선정하였다. 대조지역으로는 1층 특수배합과 가깝게 위치한 회의실과 사업장 내 휴게실 A, B, 사업장 외 공용휴게실 A, B를 선정하였다.



[그림 III-10] 페인트 제조 사업장 A 공정도면 및 샘플링 위치

다) 페인트 제조 사업장 B

○ 프탈레이트 사용 작업내용

페인트 제조 사업장 B는 배합공정, 포장공정 내 도료제조 공정, 분산, 레진 공정에서 프탈레이트에 노출될 가능성이 있었다. 또한 페인트 제조 실험실 내부에서 스프레이 형태로 페인트를 분사하는 과정에서 흡입 프탈레이트 노출이 예상되었다. 해당 사업장은 예비조사 없이 실제 본조사에서 샘플링을 진행하였다.



[그림 III-11] 페인트 사업장 모습 B

○ 프탈레이트 함유 제품 MSDS 현황

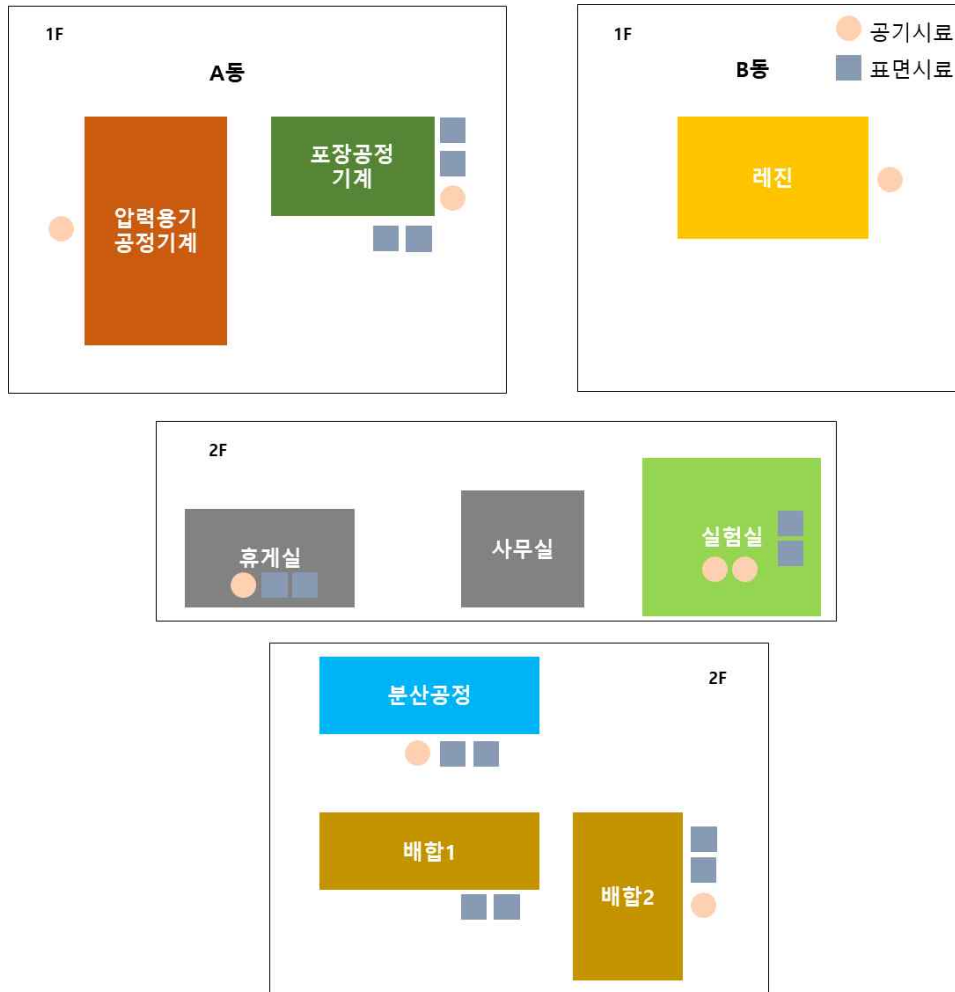
해당 사업장에서 DBP, DEHP, DiNP를 도료에 가소제로써 사용하였다. DBP와 DEHP는 각각 함유량 85-100 %였다. DiNP의 함유량은 제품별로 0.19, 99.8, 100 %를 도료에 사용하고 있었다<표 III-23>.

〈표 III-23〉 페인트 제조 사업장 B에서 사용하는 프탈레이트 함유 제품

제품	프탈레이트	CAS 번호	종류	용도	중량 %
1	DBP	84-74-2	DI BUTYL PHTHALATE	도료	100
2	DEHP	117-81-7	Di-2-ethylhexyl phthalate	도료	85-100
3	DiNP	68515-48-0, 28553-12-0	DINP (DIISONONYL PHTHALATE)	도료	100
4	DiNP	68515-48-0, 28553-12-0	DINP (DIISONONYL PHTHALATE)	도료	99.8
5	DiNP	68515-48-0, 28553-12-0	DINP (DIISONONYL PHTHALATE)	도료	0.19

○ 샘플링 위치 선정

페인트 제조 사업장 B의 샘플링 위치는 본조사 전 공정도면과 MSDS를 참고하여 선정하였다. [그림 III-12]는 페인트 사업장 B의 생산부서 공정도면이다. 사업장 내 1층 A동의 압력용기 공정기계, 포장공정기계, B동의 레진공정, 2층 실험실, 분산공정, 배합1, 배합2를 선정하였다. 대조지역으로는 2층 휴게실을 선정하였다.



[그림 III-12] 페인트 제조 사업장 B의 공정도면 및 샘플링 위치

라) 플라스틱 사출 사업장 A

○ 프탈레이트 사용 작업내용

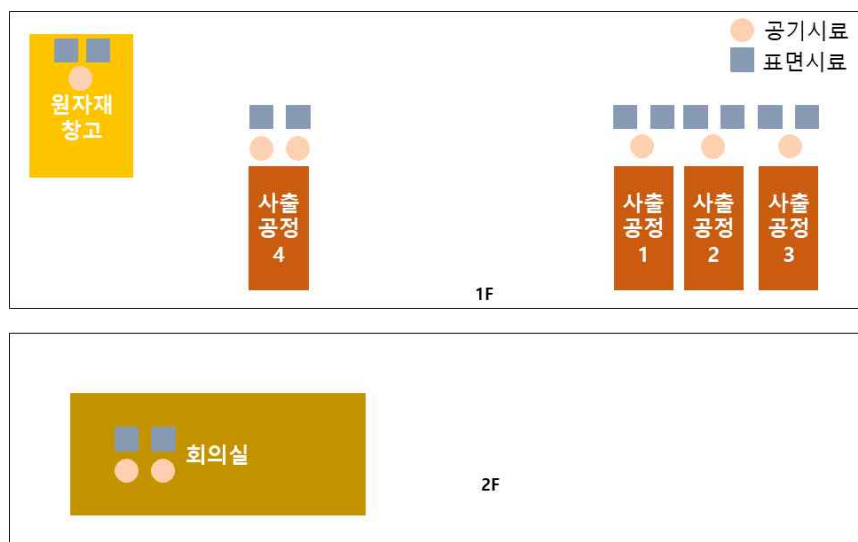
플라스틱 사출 사업장 A는 공장 내부에 분리된 공간없이 사출기가 총 35대 있었으며, 샘플링 날짜 기준 60%가 가동 중이었다. 사출기는 사출 용량에 따라 170과 380이 있었으며, 근로자들은 사출기 1대 당 한 명씩 작업하고 있었다. 원자재 창고에는 플라스틱 사출 재료가 쌓여 있었다. 해당 사업장은 예비조사 없이 실제 본조사에서 샘플링을 진행하였다.

○ 프탈레이트 함유 제품 MSDS 현황

해당 사업장의 MSDS는 확인하지 못하였다.

○ 샘플링 위치 선정

플라스틱 사출 사업장 A의 샘플링 위치는 본조사 전 공정도면과 MSDS를 참고하여 선정하였다. [그림 III-13]은 플라스틱 사출 사업장 A의 생산부서 공정도면이다. 사업장 내 1층 사출공정1, 사출공정2, 사출공정3, 사출공정4를 선정하였다. 또한 Base 노출을 확인하기 위해 원자재 창고를 추가하였다. 대조지역으로는 2층 회의실을 선정하였다.



[그림 III-13] 플라스틱 사출 사업장 A의 공정도면 및 샘플링 위치

마) 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A

○ 프탈레이트 사용 작업내용

합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A는 고무원료 믹싱, 압출, 발포하는 과정에서 프탈레이트에 노출될 가능성이 있었다. 고무원료 믹싱과 발포 공정은 공간 분리가 없었고, 압출 공정은 분리되어 있었다. 회의실은 작업장 바로 위 층에 위치하고 있었다. 해당 사업장은 예비조사 없이 실제 본조사에서 샘플링을 진행하였다.

○ 프탈레이트 함유 제품 MSDS 현황

해당 사업장은 DOP를 가소제로 사용하였는데, 현재 대체가소제인 GL50을 사용하고 있었으며, 현재 사용하는 제품 중에 프탈레이트류가 의도적으로 함유된 제품은 없었다.

○ 샘플링 위치 선정

합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 샘플링 위치는 본조사 전 공정도면과 MSDS를 참고하여 선정하였다. [그림 III-14]는 플라스틱 사출 사업장 B의 생산부서 공정도면이다. 사업장에서 원료믹싱, 고무압출기, 발포공정, 냉각/재단, 컷팅기계를 선정하였다. 대조지역으로는 사업장 바로 위에 있는 2층 휴게실을 선정하였다.



[그림 Ⅲ-14] 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 공정도면 및 샘플링 위치

바) 합성섬유 제조 사업장 A

○ 프탈레이트 사용 작업내용

합성섬유 제조 사업장 A는 원자재 입고, 배합, 혼합, 2차 혼합, 커팅, 포장, 출하 순으로 작업이 이뤄지는 사업장이었다. 배합공정에서 안료 안정제 및 가소제 등을 첨가하면서 프탈레이트에 노출될 가능성이 있었다. 또한 혼합 및 2차 혼합공정에서는 분쇄된 페비닐과 PVC를 용융, 혼합시켜 롤러로 압연하는 과정에서 가스상 프탈레이트에 노출될 수 있었다. 커팅공정에서는 생산품을 자르는 과정에서 분진상 프탈레이트에 노출될 가능성이 있었다.

○ 프탈레이트 함유 제품 MSDS 현황

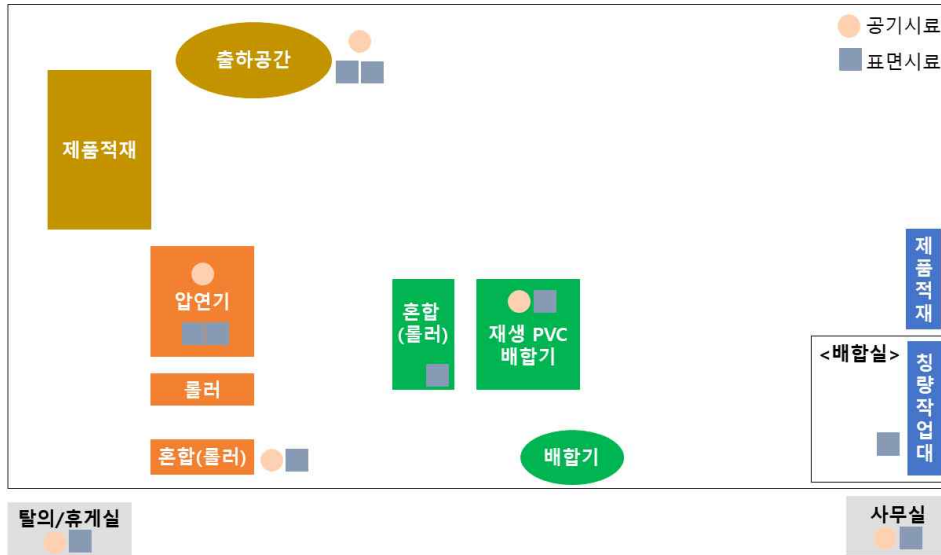
해당 사업장은 DOP 함유량 100 %를 가소제로 사용하고 있었다<표 III-24>.

<표 III-24> 합성섬유 제조 사업장 A에서 사용하는 프탈레이트 함유 제품

제품	프탈레이트	CAS 번호	종류	용도	중량 %
1	DOP	117-84-0	DOP (Diocetyl phthalate)	가소제	100

○ 샘플링 위치 선정

합성섬유 제조 사업장 A의 샘플링 위치는 본조사 전 공정도면과 MSDS를 참고하여 선정하였다. [그림 III-15]는 합성섬유 제조 사업장 A의 생산부서 공정도면이다. 사업장에서는 배합기, 혼합(롤러), 압연기, 출하공간으로 선정하였다. 대조지역으로는 사업장 외 탈의/휴게실, 사무실로 선정하였다.



[그림 Ⅲ-15] 합성섬유 제조 사업장 A의 공정도면 및 샘플링 위치

사) 자동차 부품 제조 사업장 A

○ 프탈레이트 사용 작업내용

자동차 부품 제조 사업장 A는 소형 자동차에 들어가는 부품을 생산, 조립, 도장 작업을 하는 사업장이었다. 자동차 바디의 방음, 방진을 위한 데드너 공정에서 근로자 접착제를 붓으로 도포하는 공정에서 접착제에 함유된 프탈레이트에 노출될 수 있었다. 또한 도장 실러공정 및 메탈리페어 공정에서 실러 및 페인트에 함유된 프탈레이트에 노출될 수 있었다. 근로자의 탈의실은 작업장 내에 위치했으며, 본 연구에서 측정한 모든 휴게실은 사업장 내에 있었다. 회의실은 사업장 바로 위층에 위치하였다.

○ 프탈레이트 함유 제품 MSDS 현황

자동차 부품 제조 사업장 A는 무거운 질량을 가져 안정적이라고 알려진 DiNP가 함유된 제품을 사용하였다. 자동차 유리 고착용 실란트에 13-20 %, 자동차 판넬 접착 용도로 20-30 %, 자동차 SIDE SILL 등의 용도로 20-30 %, 자동차 언더프로워 접착, 방수, 방청용으로 25-30 %의 DiNP가 함유된 제품을 사용하였다<표 III-25>.

〈표 III-25〉 자동차 제조 사업장 A에서 사용하는 프탈레이트 함유 제품

제품	프탈레이트	CAS 번호	종류	용도	중량 %
1	DiNP	28553-12-0	PU9430 (F-P2P)	자동차 유리 고착용 실란트	13-20
2	DiNP	68515-48-0	오일러 실러	자동차 PANEL(판넬) 접합부의 접착, 방수, 방청용	20-30
3	DiNP	68515-48-0	PVC R.P.P	자동차 SIDE SILL(사이드실), DOOR(도워), 내 CHIPPING 방청용	20-30
4	DiNP	68515-48-0	고발포 데드너	자동차 UNDER FLOOR(언더프로워의) 접착, 방수, 방청용	25-35

○ 샘플링 위치 선정

자동차 부품 제조 사업장 A의 샘플링 위치는 본조사 전 공정도면과 MSDS를 참고하여 선정하였다. [그림 III-16]은 자동차 부품 제조 사업장 A의 공정도면이다. 사업장에서 1층에 위치한 가온공정1, 가온공정2, 가온공정에서 사용하는 부품을 보관하는 보관장소와 데드너 공정, 메탈리페어 공정, 트렁크 부품 조립공정(휴게공간이지만 트렁크 부품 조립공정 바로 앞에 위치하고 있어 사업장 내 시료로 적합함)을 선정하였다. 2층에는 자동차 차체에 페인트를 도포하는 도장 공정, 실러 공정을 선정하였다. 대조지역으로는 1층 탈의실 근처 휴게실로 선정하였다. 또한 2층 도장 및 실러공정 옆 휴게실과 사업장과 분리된 회의실을 선정하였다.



[그림 III-16] 자동차 부품 제조 사업장 A의 공정도면 및 샘플링 위치

아) 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A

○ 프탈레이트 사용 작업내용

플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A는 PEPP, PS, ABS 등의 플라스틱을 분리 선별해서 PS만을 분리 선별해 플라스틱을 가공하는 사업장이었다. 플라스틱이 압축된 큐브형태로 적재되면 선별기기1, 선별기기2를 거쳐 파쇄공정에서 잘게 부수고 비중분리로 PS만을 선별하는 과정을 거쳤다. 해당 사업장은 프탈레이트를 직접적으로 사용하지는 않지만, 프탈레이트가 함유된 플라스틱들을 선별, 파쇄하는 공정으로 인해 표면 중 프탈레이트의 노출이 예상되어 선정하였다.

○ 프탈레이트 함유 제품 MSDS 현황

해당 사업장은 플라스틱 폐기물 재활용 사업장으로 프탈레이트가 함유된 제품을 사용하지 않았다.

○ 샘플링 위치 선정

플라스틱 폐기물 재활용 제조 사업장 A의 샘플링 위치는 본조사 전 공정도면과 MSDS를 참고하여 선정하였다. [그림 III-17]은 플라스틱 폐기물 재활용 제조 사업장 A의 생산부서 공정도면이다. 사업장 내에 플라스틱 선별기기1, 선별기기2와 파쇄공정, 비중분리 공정을 선정하였다. 해당 사업장은 사업장과 휴게실/사무실의 뚜렷한 구분이 없어 대조지역을 선정하지 않았다.



[그림 Ⅲ-17] 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 공정도면 및 샘플링 위치

4) 사업장별 공기시료 및 표면시료 분석결과 및 고찰

(1) 사업장별 공기시료 및 표면시료 수집 개요

아래 <표 III-26>은 본 연구에서 접근한 사업장에서 샘플링한 시료 종류 및 개수에 대한 요약이다. 작업환경 중 프탈레이트 노출을 평가하기 위해 사업장 내와 대조지역(사무실, 휴게실)에 대한 공기, 표면시료를 수집하였다. Tenax TA OV5로 공기시료를, 표면시료는 생산공정 내 설비표면이나 휴게 및 사무공간의 wipe sample을 채취하였다. 공기시료는 사업장 내에서 총 57개, 휴게 및 사무공간에서 18개를 채취하였다. 표면시료는 사업장 내에서 78개, 휴게 및 사무공간에서 22개를 채취하였다.

<표 III-26> 연구대상 사업장 개요와 시료유형별 채취시료 수

No	업종	공기시료		표면시료	
		사업장	대조지역*	사업장	대조지역*
1	케이블 사업장 A	10개	2개	10개	2개
2	페인트 사업장 A	5개	5개	6개	6개
3	페인트 사업장 B	7개	1개	12개	2개
4	플라스틱 사출 사업장 A	6개	2개	10개	2개
5	합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A	12개	2개	10개	2개
6	합성섬유 제조 사업장 A	4개	2개	8개	2개
7	자동차 부품 제조 사업장 A	8개	4개	14개	6개
8	플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A	5개	-	8개	-
총합	-	57개	18개	78개	22개

*사무실, 휴게실 등

가) 케이블 사업장 A

○ 공기시료 샘플링

〈표 Ⅲ-27〉은 케이블 사업장 A의 실제 공기시료 측정 개요이다. 사업장 내에서 총 10개, 대조지역에서 2개의 공기시료를 수집하였다. 사업장 내에서는 PVC 압출 공정과 압출기 작업대에서 총 3개, PVC 테핑 1개, 고무압출 1개, 케이블연합 1개, 도장 공정과 작업대에서 총 3개, 재료보관실에서 1개를 수집했다. 대조지역인 사무실과 휴게실에서 각각 시료 1개씩 수집하였다. 측정 시간은 시료별로 약 3 시간~8 시간까지였다.

〈표 Ⅲ-27〉 케이블 사업장 A의 공기시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위 작업 장소	측정위치	측정시간 (min)
사업장	1	PVC 압출	PVC압출기 A	PVC 압출기 옆	228
	2	PVC 압출	PVC 압출기 B	PVC 압출기 옆	225
	3	PVC 압출	PVC 압출 작업대	압출기기 옆 작업대	229
	4	PVC 테핑	PVC 테핑기	PVC 테핑기 옆	212
	5	고무압출	고무압출기	3층 고무압출기 옆	217
	6	케이블 연합	멀티 케이블 연합기	케이블 연합기 옆	212
	7	도장	페인트 도장 작업대	페인트 도장기기 옆 작업대	222
	8	도장	페인트 도장라인	페인트 도장레인 옆	225
	9	도장	페인트 도장라인	페인트 도장기기 옆	204
	10	재료보관 실	3층 재료보관실	고무 카트 옆	177
대조지역	11	사무실	사업장 내 반장 사무실	사무실 문 옆 서랍장	432
	12	휴게실	사업장 외 휴게실	소파 옆	476

다음 [그림 III-18]은 실제 케이블 사업장 A에서 공기시료 샘플링 한 모습이다.



[그림 III-18] 공기시료 샘플링 모습 PVC 압출공정(왼쪽), 휴게실(오른쪽)

○ 표면시료 샘플링

다음 <표 III-28>은 표면시료 측정개요이다. 총 12개의 표면시료를 수집하였으며, 사업장 내에서 10개, 대조지역에서 2개였다. PVC 압출 및 테핑 4개, 고무압출 1개, 케이블 연합 1개, 도장 3개, 재료보관실 1개, 사무실 1개, 휴게실 1개 시료를 수집하였다.

〈표 Ⅲ-28〉 케이블 사업장 A의 표면시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위 작업 장소	수집 위치
사업장	1	PVC 압출	PVC압출기 A	PVC 압출기 옆
	2	PVC 압출	PVC 압출기 B	PVC 압출기 옆 계기판
	3	PVC 압출	PVC 압출 작업대	압출기기 옆 작업대
	4	PVC 테핑	PVC 테핑기	PVC 테핑기 옆
	5	고무압출	고무압출기	3층 고무압출기 옆
	6	케이블 연합	멀티 케이블 연합기	케이블 연합기 옆
	7	도장	페인트 도장라인	페인트 도장 라인 옆
	8	도장	페인트 도장라인	페인트 도장기기 옆 계기판 위
	9	도장	페인트 도장 작업대	페인트 도장기기 옆 작업대
	10	재료보관실	3층 재료보관실	고무 카트 옆 에어컨 벽
대조지역	11	사무실	사업장 내 반장 사무실	사무실 문 옆 서랍장
	12	휴게실	사업장 외 휴게실	테이블

다음 [그림 Ⅲ-19]는 실제 케이블 사업장 A에서 표면시료 샘플링 한 모습이다.



[그림 Ⅲ-19] 표면시료 샘플링 모습 도장공정(왼쪽), 휴게실(오른쪽)

나) 페인트 제조 사업장 A

○ 공기시료 샘플링

〈표 III-29〉는 페인트 제조 사업장 A의 실제 공기시료 측정 개요이다. 사업장과 대조지역에서 각각 5개씩의 공기시료를 수집하였다. 사업장 내에서는 특수배합 공정의 배합기에서 5개를, 대조지역에서는 사업장 내외 회의실과 사무실에서 5개의 시료를 수집하였다. 측정시간은 시료별로 약 2시간 30분~4시간 30분이었다.

〈표 III-29〉 페인트 제조 사업장 A의 공기시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위 작업 장소	측정위치	측정시간 (min)
사업장	1	특수배합	원료투입 및 배합	배합 1호기	253
	2	특수배합	원료투입 및 배합	배합 1호기	255
	3	특수배합	원료투입 및 배합	배합 2호기	253
	4	특수배합	원료투입 및 배합	배합 5호기	240
	5	특수배합	원료투입 및 배합	배합 8호기	253
대조지역	6	회의실	사업장 외 회의실	회의실 내 테이블 위	135
	7	휴게실	사업장 내 휴게실A	휴게실 내	124
	8	휴게실	사업장 내 휴게실B	휴게실 내	114
	9	휴게실	공용휴게실A	휴게실 내	111
	10	휴게실	공용휴게실B	휴게실 내	108

다음 [그림 III-20]은 실제 페인트 제조 사업장 A에서 공기시료 샘플링 한 모습이다.



[그림 III-20] 공기시료 샘플링 모습 배합공정(왼쪽), 사무실(오른쪽)

○ 표면시료 샘플링

다음 <표 III-30>은 표면시료 측정개요이다. 총 12개의 표면시료를 수집하였으며, 사업장 내에서 6개, 대조지역에서 6개였다. 특수배합 공정에서 5개, 페인트 통을 옮기는 드럼리프트에서 1개, 휴게실에서 4개, 회의실에서 2개의 시료를 수집하였다.

〈표 III-30〉 페인트 제조 사업장 A의 표면시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위 작업 장소	측정위치
사업장	1	특수배합	원료투입 및 배합	배합 5호기
	2	특수배합	원료투입 및 배합	배합 7호기
	3	특수배합	원료투입 및 배합	배합 8호기
	4	특수배합	원료투입 및 배합	배합 1호기
	5	특수배합	원료투입 및 배합	배합 2호기
	6	부서 및 공정에 상관없이 상시사용	부서 및 공정에 상관없이 상시사용	1층 드럼 리프트
대조지역	7	휴게실	사업장 내 휴게실A	휴게실 내 탁자
	8	휴게실	사업장 내 휴게실A	휴게실 내 탁자
	9	휴게실	사업장 내 휴게실B	생산팀 사무실 내 탁자
	10	휴게실	사업장 내 휴게실B	생산팀 사무실 근로자 책상 위
	11	회의실	접견실	접견실 내 책상
	12	회의실	접견실	접견실 내 책상

다음 [그림 Ⅲ-21]은 실제 페인트 제조 사업장 A에서 표면시료 샘플링 한 모습이다.



[그림 Ⅲ-21] 표면시료 샘플링 모습 배합공정(왼쪽), 사무실(오른쪽)

다) 페인트 제조 사업장 B

○ 공기시료 샘플링

〈표 III-31〉은 페인트 제조 사업장 B의 실제 공기시료 측정 개요이다. 사업장 내에서 총 7개, 대조지역에서 1개의 공기시료를 수집하였다. 사업장 내에서는 포장공정 내 도료공정, 포장공정, 레진, 배합, 분산, 실험실, 실험실 습식장치에서 1개씩, 대조지역에서는 작업자 휴게실 1개였다. 측정시간은 시료별로 약 6시간~7시간이었다.

〈표 III-31〉 페인트 제조 사업장 B의 공기시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위작업장소	수집위치	측정시간 (min)
사업장	1	포장공정 내 도료제조공정	압력용기 공정 기계 옆	압력용기 공정 기계 옆	410
	2	포장공정 내	공정 기계 옆	공정 기계 옆	406
	3	레진공정	레진 기기 옆	레진 기기 옆	424
	4	배합공정	배합기2 옆	배합기2 옆	414
	5	분산공정	분산공정	분산공정	403
	6	실험실	실험실	실험실	413
	7	실험실	습식 실험장치 부스 벽면	부스내부벽면	383
대조지역	8	작업자 휴게실	휴게실 탁자 위	휴게실 탁자 위	370

○ 표면시료 샘플링

다음 <표 Ⅲ-32>는 표면시료 측정개요이다. 총 14개의 표면시료를 수집하였으며, 사업장 내에서 12개, 대조군지역에서 2개였다. 사업장 내에서는 포장 공정 내 도로제조공정, 포장 공정 내, 분산공정 각각 2개, 배합공정 4개, 실험실 및 실험실 내 습식장치에서 각각 1개였고, 대조지역에서는 작업자 휴게실 2개 시료를 수집하였다.

<표 Ⅲ-32> 페인트 제조 사업장 B의 표면시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위작업장소	수집위치
사업장	1	포장공정 내 도로제조공정	공정 기계 옆	공정 기계 옆
	2	포장 공정 내	공정 기계 옆	공정 기계 옆
	3	포장공정 내 도로제조공정	공정 기계 옆	공정 기계 옆
	4	포장 공정 내	공정 기계 옆	공정 기계 옆
	5	배합공정	배합기 통 위	배합기 통 위
	6	배합공정	배합기 통 위	배합기 통 위
	7	배합공정	배합기 통 위	배합기 통 위
	8	배합공정	배합기 통 위	배합기 통 위
	9	분산공정	계기판	계기판
	10	분산공정	계기판	계기판
	11	실험실	건식 계기판	건식 계기판
	12	실험식	습식 실험장치 부스 벽면	부스 내부 벽면
대조지역	13	작업자 휴게실	휴게실 탁자 위	휴게실 탁자 위
	14	작업자 휴게실	휴게실 탁자 위	휴게실 탁자 위

라) 플라스틱 사출 사업장 A

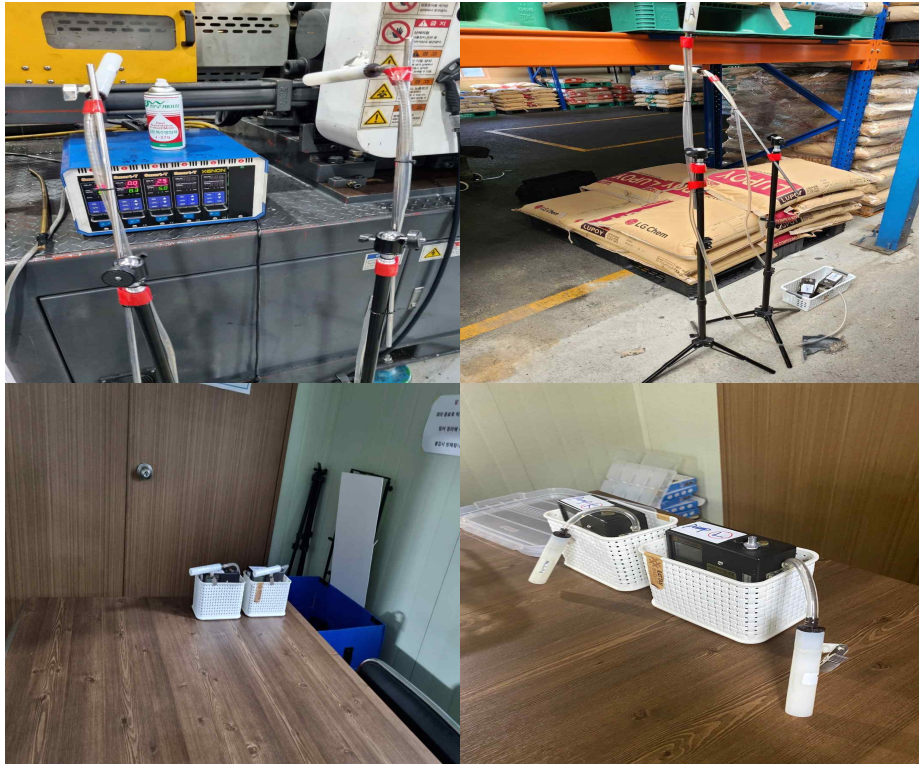
○ 공기시료 샘플링

〈표 III-33〉은 플라스틱 사출 제조업 사업장 A의 실제 공기시료 측정 개요이다. 사업장 내에서 총 6개, 대조지역에서 2개의 공기시료를 수집하였다. 사업장 내에서는 사출공정 4곳에서 5개, 원자재 창고에서 1개의 공기시료를, 대조지역인 2층 회의실에서 2개의 시료를 수집하여 총 8개였다. 측정시간은 시료별로 약 3시간~3시간 30분이었다.

〈표 III-33〉 플라스틱 사출 사업장 A의 공기시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위작업장소	수집위치	측정시간 (min)
사업장	1	사출공정 1	사출기 번호 380	사출하는 기계 바로 옆	200
	2	사출공정 2	사출기 번호 380	사출하는 기계 바로 옆	198
	3	사출공정 3	사출기 번호 380	사출하는 기계 바로 옆	188
	4	사출공정 4	사출기 번호 170 기계사이에 위치	사출하는 기계 바로 옆	195
	5	사출공정 4	사출기 번호 170 기계사이에 위치	사출하는 기계 바로 옆	195
	6	원자재 창고	원자재 창고 선반	원자재 창고 선반 위	196
대조지역	7	회의실	2층 회의실 탁자 위	2층 회의실 탁자 위	191
	8	회의실	2층 회의실 탁자 위	2층 회의실 탁자 위	191

다음 [그림 Ⅲ-22]는 실제 플라스틱 사출 사업장 A에서 공기시료 샘플링한 모습이다.



[그림 Ⅲ-22] 공기시료 샘플링 모습 사출기(왼쪽상단),
원자재창고(오른쪽상단), 휴게실(왼쪽하단, 오른쪽하단)

○ 표면시료 샘플링

다음 <표 III-34>는 표면시료 측정개요이다. 총 12개의 표면시료를 수집하였으며, 사업장 내에서 10개, 대조지역에서 2개였다. 사업장 내의 사출공정에서 2개씩 8개, 원자재창고 선반에서 2개의 표면시료를 수집하였다. 대조지역인 2층 회의실 탁자 위에서 표면시료 2개를 수집하였다.

〈표 III-34〉 플라스틱 사출 사업장 A의 표면시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위작업장소	수집위치
사업장	1	사출 공정1	사출기 번호 380	벽면 사출기 계기판
	2	사출 공정1	사출기 번호 380	벽면 사출기 계기판
	3	사출 공정2	사출기 번호 380	사출기 계기판
	4	사출 공정2	사출기 번호 380	사출기 벽면
	5	사출 공정3	사출기 번호 380	사출기 벽면
	6	사출 공정3	사출기 번호 380	사출기 벽면
	7	사출 공정4	사출기 번호 170 기계 사이에 위치	사출기 벽면
	8	사출 공정4	사출기 번호 170 기계 사이에 위치	사출기 받침대
	9	원자재 창고	원자재 창고 선반	원자재 창고 선반
	10	원자재 창고	원자재 창고 선반	원자재 창고 선반
대조지역	11	회의실	2층 회의실 탁자 위	휴게실 탁자
	12	회의실	2층 회의실 탁자 위	휴게실 탁자

다음 [그림 III-23]은 실제 플라스틱 사출 사업장 A에서 표면시료 샘플링한 모습이다.



[그림 III-23] 표면시료 샘플링 모습 사출기(왼쪽상단),
원자재창고(오른쪽상단), 휴게실(왼쪽하단), 표면샘플링(오른쪽하단)

마) 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A

○ 공기시료 샘플링

〈표 III-35〉는 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 실제 공기시료 측정 개요이다. 사업장 내에서 12개, 대조군에서 2개, 총 14개의 공기시료를 수집하였다. 사업장 내에서는 원료믹싱 2개, 고무기계 압출기(고무 투입/압출) 4개, 발포공정 2개, 냉각/재단 2개를 수집하였다. 앞의 공정들과 따로 위치한 커팅기계 공정에서 2개의 공기시료를 수집하였다. 대조지역인 2층 회의실에서 2개의 시료를 수집하였다. 측정시간은 시료별로 약 3 시간~4 시간이었다.

〈표 III-35〉 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 공기시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위작업장소	수집위치	측정시간 (min)
사업장	1	원료믹싱	믹싱 시작하는 곳, 원료 반죽하는 기계	믹싱 시작하는 곳, 원료 반죽하는 기계	186
	2	원료믹싱	믹싱 시작하는 곳, 원료 반죽하는 기계	믹싱 시작하는 곳, 원료 반죽하는 기계	245
	3	고무기계 압출기	고무 투입하는 곳	고무를 넣는 곳	187
	4	고무기계 압출기	고무 투입하는 곳	고무를 넣는 곳	243
	5	고무기계 압출기	고무가 압출되는 곳	고무가 압출되는 곳	187
	6	고무기계 압출기	고무가 압출되는 곳	고무가 압출되는 곳	243
	7	발포 공정	발포하는 공정 옆	발포하는 공정 옆	239
	8	발포 공정	발포하는 공정 옆	발포하는 공정 옆	183
	9	냉각, 재단	냉각 및 재단 라인 기계 옆	냉각 및 재단 라인 기계 옆	239
	10	냉각, 재단	냉각 및 재단 라인 기계 옆	냉각 및 재단 라인 기계 옆	183
	11	커팅기계	커팅기계	커팅기계	183
	12	커팅기계	커팅기계	커팅기계	231
대조지역	13	2층 회의실	휴게실 탁자 위	휴게실 탁자 위	182
	14	2층 회의실	휴게실 탁자 위	휴게실 탁자 위	227

다음 [그림 Ⅲ-24]는 실제 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A에서 공기 시료 샘플링 한 모습이다.



[그림 Ⅲ-24] 공기시료 샘플링 모습 압축기(왼쪽상단),
컷팅기계(오른쪽상단), 휴게실(왼쪽하단)

○ 표면시료 샘플링

다음 <표 Ⅲ-36>은 표면시료 측정개요이다. 총 12개의 표면시료를 수집하였으며, 사업장 내에서 10개, 대조군에서 2개였다. 사업장 내의 압출기, 원료믹싱, 발포공정, 냉각재단, 커팅기계 각각 2개의 표면시료를 수집하였고, 대조지역인 휴게실/회의실에서 2개의 시료를 수집하였다.

<표 Ⅲ-36> 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 표면시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위작업장소	수집위치
사업장	1	압출기	고무 기계 압출기	고무 기계 압출기 옆
	2	압출기	고무 기계 압출기	고무 기계 압출기 옆
	3	원료믹싱	원료 믹싱기계	원료들 믹싱하는 곳 옆
	4	원료믹싱	원료 믹싱기계	원료들 믹싱하는 곳 옆
	5	발포공정	발포 공정	발포하는 공정 옆
	6	발포공정	발포 공정	발포하는 공정 옆
	7	냉각, 재단	냉각 및 재단 공정	냉각, 재단 공정 옆
	8	냉각, 재단	냉각 및 재단 공정	냉각, 재단 공정 옆
	9	커팅기계	커팅기계	커팅기계 옆
	10	커팅기계	커팅기계	커팅기계 옆
대조지역	11	휴게실/회의실	휴게실 탁자 위	휴게실 탁자 위
	12	휴게실/회의실	휴게실 탁자 위	휴게실 탁자 위

다음 [그림 Ⅲ-25]는 실제 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A에서 표면
시료 샘플링 한 모습이다.



[그림 Ⅲ-25] 표면시료 샘플링 모습 압축기(왼쪽상단),
커팅기계(오른쪽상단), 휴게실(왼쪽하단)

바) 합성섬유 사업장 A

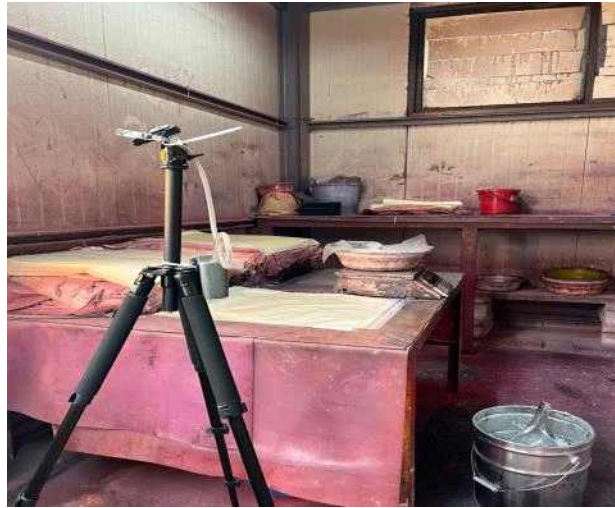
○ 공기시료 샘플링

〈표 III-37〉은 합성섬유 제조 사업장 A의 공기시료 측정 개요이다. 사업장 내에서 총 4개, 대조지역에서 2개의 공기시료를 수집하였다. 사업장 내에서는 배합, 생산-혼합, 생산-컷팅, 출하공정에서 각각 1개씩의 공기시료를 수집하였다. 대조군에서는 사업장 내에 위치한 탈의실/휴게실과 사무실에서 1개씩 수집하였다. 모든 시료는 4시간씩 측정하였다.

〈표 III-37〉 합성섬유 제조 사업장 A의 공기시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위작업장소	수집위치	측정시간 (min)
사업장	1	배합	배합기	사업장	240
	2	생산-혼합	혼합(롤러)	사업장	240
	3	생산-컷팅	압연기	사업장	240
	4	출하	출하공간	사업장	240
대조지역	5	탈의실/휴게실	탈의실/휴게실	대조지역	240
	6	사무실	사무실	대조지역	240

다음 [그림 III-26]은 실제 합성섬유 사업장 A에서 공기시료 샘플링 한 모습이다.



[그림 III-26] 공기시료 샘플링 모습 배합공정

○ 표면시료 샘플링

다음 <표 III-38>은 표면시료 측정개요이다. 총 10개의 표면시료를 수집하였으며, 사업장 내에서 8개, 대조군에서 2개였다. 사업장 내의 배합, 생산-혼합, 생산-컷팅, 출하공정에서 각각 2개씩 수집하였고, 대조지역에서는 탈의실/휴게실 및 사무실에서 표면 시료 2개를 수집하였다.

〈표 Ⅲ-38〉 합성섬유 제조 사업장 A의 표면시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위작업장소	수집위치
사업장	1	배합	칭량작업대, 작업대표면	칭량작업대, 작업대표면
	2	배합	배합 기기표면	배합 기기표면
	3	생산-혼합	생산-혼합 기기표면	생산-혼합 기기표면
	4	생산-혼합	생산-혼합 기기표면	생산-혼합 기기표면
	5	생산-컷팅	생산-컷팅 기기표면	생산-컷팅 기기표면
	6	생산-컷팅	생산-컷팅 기기표면	생산-컷팅 기기표면
	7	출하	작업대 표면	작업대 표면
	8	출하	작업대 표면	작업대 표면
대조지역	9	탈의실/휴게실	휴게실 서랍	휴게실 서랍
	10	사무실	사무실 책상	사무실 책상

사) 자동차 부품 제조 사업장 A

○ 공기시료 샘플링

〈표 Ⅲ-39〉는 자동차 제조 사업장 A의 실제 공기시료 측정 개요이다. 사업장 내에서 총 8개, 대조군에서 4개의 공기시료를 수집하였다. 사업장 내의 가온 공정에서 3개, 데드너 공정 1개, 메탈리페어 1개, 실러공정 2개, 트렁크 부품 조립공정 1개였다. 대조지역으로는 1층 조립공정 근처 휴게실에서 1개, 1층 탈의실 및 2층 도장 작업장 휴게실을 선정하였다. 2층의 대조지역으로는 사업장과 분리된 회의실에서 표면시료를 수집하였다. 시료별로 약 2시간~5시간 측정하였다.

〈표 III-39〉 자동차 부품 제조 사업장 A의 공기시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위작업장소	수집위치	측정시간 (min)
사업장	1	가온 공정	조립 화이날 공정 웨더스트립 가온부스	스트립 쌓아놓은 카드 옆면	157
	2	가온 공정	조립 웨더스트립 보관장소	컨베이어 벨트와 벽면 중간	173
	3	가온 공정2	조립 화이날 공정 웨더스트립 가온부스	가온공정 1번 옆	158
	4	데드너 공정	도장 데드너부스	계기판 있는 곳	122
	5	메탈리페어	도장 메탈리페어공정	바닥쪽 차채 지나가는 곳	121
	6	실러 공정	도장 실러장	공정 바로 옆	121
	7	실러 공정	도장 실러장	측정위치 바로 앞 의자	121
	8	트렁크 부품 조립 공정	조립 공정	조립공정 옆	166
대조지역	9	휴게실	조립 휴게실	난간	240
	10	탈의실	작업장 내 탈의실	탈의실 선반 위	161
	11	휴게실	도장 작업장휴게실	공정가까이 있는 탁자	275
	12	회의실	2층 회의실	회의실 구석 선반 위	90

다음 [그림 Ⅲ-27]은 실제 자동차 부품 제조 사업장 A에서 공기시료 샘플링 한 모습이다.



[그림 Ⅲ-27] 공기시료 샘플링 모습 도장 데드너 부스(왼쪽 상단), 도장 실러장(오른쪽 상단), 조립 휴게실(왼쪽 하단), 조립 화이날 공정(오른쪽 하단)

○ 표면시료 샘플링

다음 <표 III-40>은 표면시료 측정개요이다. 총 20개의 표면시료를 수집하였으며, 사업장 내에서 14개, 대조지역에서 6개였다. 사업장 내에서는 가온공정에서 6개, 데드너 공정, 메탈리페어, 실러공정, 트렁크 부품 조립공정 각각 2개씩이었고, 대조지역에서는 1층 탈의실 및 조립공정 근처 휴게실에서 각각 2개, 2층 도장 작업실 옆 휴게실에서 1개, 그리고 사업장과 분리된 2층 회의실에서 1개의 표면시료를 수집하였다.

<표 III-40> 자동차 부품 제조 사업장 A의 표면시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위작업장소	수집위치
사업장	1	가온 공정	조립 화이날 공정 웨더스트립 가온부스	가온공정벽면
	2	가온 공정	조립 화이날 공정 웨더스트립 가온부스	가온공정벽면
	3	가온 공정	조립 화이날 공정 웨더스트립 가온부스	가온공정벽면
	4	가온 공정	조립 화이날 공정 웨더스트립 가온부스	스트립 쌓아놓는 카드 옆면
	5	가온 공정	조립 웨더스트립 보관장소	벽면에서
	6	가온 공정	조립 웨더스트립 보관장소	벽면에서
	7	데드너 공정	도장 데드너부스	계기판 있는 곳
	8	데드너 공정	도장 데드너부스	벽면에서
	9	메탈리페어	도장 메탈리페어공정	바닥 쪽 차채 지나가는 곳
	10	메탈리페어	도장 메탈리페어공정	벌빔으로 만들어진 작업대

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위작업장소	수집위치
	11	실러 공정	도장 실러장	작업장 안에 있는 휴게실
	12	실러 공정	도장 실러장	공정 바로 옆(근로자 폰 거치대 바로 밑)
	13	트렁크 부품 조립 공정	조립 화이날 공정	탁자에서 샘플링
	14	트렁크 부품 조립 공정	조립 화이날 공정	탁자에서 샘플링
대조지역	15	탈의실	탈의실	탁자(선반) 위
	16	탈의실	탈의실	탁자(선반) 위
	17	휴게실	조립 휴게실	난간
	18	휴게실	조립 휴게실	의자
	19	도장 작업장 휴게실	도장 작업장휴게실	공정 가까이 있는 탁자
	20	회의실	2층 회의실	측정위치 바로 앞 의자

다음 [그림 III-28]은 실제 자동차 부품 제조 사업장 A에서 표면시료 샘플링 한 모습이다.



[그림 III-28] 공기시료 샘플링 모습 도장 데드너 부스(왼쪽 상단), 도장 실러장 (오른쪽 상단), 조립 휴게실(왼쪽 하단), 도장 메탈리페어 공정(오른쪽 하단)

아) 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A

○ 공기시료 샘플링

〈표 Ⅲ-41〉은 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 실제 공기시료 측정 개요이다. 사업장 내에서 총 5개의 공기시료를 수집하였다. 사업장 내의 선별과정 1에서 2개, 선별고정2, 파쇄과정, 비중분리 공정에서 각각 1개씩 시료를 수집하였다. 공기시료는 약 4시간 동안 수집되었다. 사업장과 휴게공간 및 사무실이 구분되지 않아 대조군을 측정하지 않았다.

〈표 Ⅲ-41〉 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 공기시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위작업장소	수집위치	측정시간 (min)
사업장 내	1	선별공정1	선별기기1	선별기기1	235
	2	선별공정1	선별기기1	선별기기1	235
	3	선별공정2	선별기기2	선별기기2	227
	4	파쇄공정	파쇄공정기기 옆	파쇄공정기기 옆	220
	5	비중분리 공정	비중분리 공정	비중분리 공정	217

다음 [그림 Ⅲ-29]는 실제 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A에서 공기시료 샘플링 한 모습이다.



[그림 Ⅲ-29] 공기시료 샘플링 모습 파쇄 공정(왼쪽), 비중분리 공정(오른쪽)

○ 표면시료 샘플링

다음 <표 III-42>는 표면시료 측정개요이다. 총 8개의 표면시료를 수집하였으며, 사업장 내에서 8개였다. 플라스틱 선별공정 2곳에서 각각 2개씩 수집하였다. 또한 플라스틱 파쇄공정 및 비중분리공정에서 2개씩 수집하였다. 사업장과 휴게공간 및 사무실이 구분되지 않아 대조군을 측정하지 않았다.

<표 III-42> 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 표면시료 측정 개요

구분	시료 번호	부서 및 공정	단위작업장소	수집위치
사업장	1	선별공정1	선별기기1	선별기기1
	2	선별공정1	선별기기1	선별기기1
	3	선별공정2	선별기기2	선별기기2
	4	선별공정2	선별기기2	선별기기2
	5	파쇄공정	공정계기판	공정계기판
	6	파쇄공정	공정계기판	공정계기판
	7	비중분리공정	비중분리공정	비중분리공정
	8	비중분리공정	비중분리공정	비중분리공정

다음 [그림 Ⅲ-30]은 실제 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A에서 공기시료 샘플링 한 모습이다.



[그림 Ⅲ-30] 표면시료 샘플링 모습 파쇄공정

(2) 사업장별 공기시료 중 프탈레이트 농도

다음은 <표 III-43>은 사업장별 공기시료 중 프탈레이트 4종(DMP, DEP, DBP, DEHP) 농도 분포이다. 각 사업장 별로 프탈레이트 농도의 중앙값, 최소, 최대값을 나타냈었다. 1) 고용노동부 노출기준 고시인 5 mg/m^3 , 와 2) ACGIH에 2022년 개정할 것으로 예고한 DEHP 0.1 mg/m^3 을 초과한 경우는 없었다.

사업장별 프탈레이트 농도를 사업장 내, 대조지역 및 공정별로 비교였다. 또한 사업장에서 사용하는 프탈레이트류(환경부 프탈레이트 사용량 자료, 환경부 화학물질 통계 정보공개, 2018)와 프탈레이트 함유 제품의 MSDS의 프탈레이트류가 실제 공기시료에서 검출되었는지 비교하였다.

〈표 III-43〉 사업장별 공기시료 중 프탈레이트 농도 요약($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No	사업장	구분	샘플수	DMP			DEP			DBP			DEHP		
				50 th	최소	최대	50 th	최소	최대	50 th	최소	최대	50 th	최소	최대
1	케이블 사업장 A	전체	12	0.75	ND	3.76	0.51	0.01	7.03	0.12	0.01	0.88	0.35	0.07	1.37
		사업장	10	0.97	ND	3.76	0.51	0.01	7.03	0.12	0.04	0.88	0.39	0.14	1.37
		대조지역	2	–	ND	0.16	–	0.27	1.62	–	0.01	0.36	–	0.07	0.19
2	페인트 사업장 A	전체	10	3.99	1.88	7.28	3.74	0.06	7.35	0.26	0.09	0.60	0.70	0.12	2.25
		사업장	5	4.38	1.88	6.56	4.02	0.06	6.66	0.48	0.18	0.60	0.35	0.12	2.25
		대조지역	5	3.54	2.46	7.28	3.47	0.26	7.35	0.11	0.09	0.60	0.73	0.54	0.82
3	페인트 사업장 B	전체	8	0.67	0.11	1.36	3.39	0.80	7.54	0.10	ND	0.94	0.28	0.06	0.99
		사업장	7	0.65	0.11	1.31	2.99	0.80	7.54	0.10	0.06	0.27	0.22	0.06	0.99
		대조지역	1	1.36	–	–	5.55	–	–	0.94	–	–	0.68	–	–
4	플라스틱 사출 사업장 A	전체	8	0.87	0.48	1.84	3.88	1.05	5.57	0.13	0.11	0.39	0.66	0.22	2.03
		사업장	6	0.87	0.48	1.32	3.88	1.05	5.06	0.12	0.11	0.26	0.76	0.54	2.03
		대조지역	2	–	0.84	1.84	–	1.15	5.57	–	0.13	0.39	–	0.22	0.63

No	사업장	구분	샘플수	DMP			DEP			DBP			DEHP		
				50 th	최소	최대	50 th	최소	최대	50 th	최소	최대	50 th	최소	최대
5	합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A	전체	14	1.37	0.82	3.13	9.08	2.80	37.0	0.21	ND	0.56	1.74	0.46	3.12
		사업장	12	1.37	0.82	3.13	7.57	2.80	21.0	0.20	0.08	0.56	1.85	0.46	3.12
		대조지역	2	1.71	1.21	2.21	29.4	21.9	37.0	0.45	0.43	0.48	1.09	1.02	1.15
6	합성섬유 제조 사업장 A	전체	6	2.12	1.25	6.45	2.59	0.01	10.75	0.32	0.09	0.86	0.71	0.26	2.21
		사업장	4	2.99	1.48	6.45	1.17	0.01	10.8	0.41	0.09	0.86	0.66	0.26	1.33
		대조지역	2	-	1.25	1.56	-	3.00	5.15	-	0.31	0.32	-	0.52	2.21
7	자동차 부품 제조 사업장 A	전체	12	1.49	ND	8.51	7.47	2.75	28.6	0.27	0.06	1.78	0.83	0.22	1.88
		사업장	8	1.49	ND	8.51	11.5	2.90	28.6	0.27	0.11	1.78	0.75	0.22	1.88
		대조지역	4	2.16	ND	3.33	7.13	2.75	11.5	0.34	0.06	1.68	1.04	0.38	1.38
8	플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A*	전체	5	1.84	0.82	3.88	5.71	1.80	11.5	0.12	0.11	0.35	1.15	0.66	3.57
총 합	-	전체	75	1.36	ND	8.51	4.13	0.01	37.0	0.19	ND	1.78	0.76	0.06	3.57
		사업장	57	1.32	ND	8.51	4.13	0.01	28.6	0.18	ND	1.78	0.76	0.06	3.57
		대조지역	18	1.70	ND	7.28	4.31	0.26	37.0	0.32	0.01	1.68	0.70	0.07	2.21

*사업장 내 대조지역 구분없음.

가) 케이블 사업장 A

○ 공정별 공기시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-44>는 케이블 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도 분석 결과이다. 사업장 내에서 PVC 압출, PVC 테핑, 고무압출, 케이블 연합, 도장, 재료보관실, 대조지역으로 사무실과 휴게실의 공기시료 중 프탈레이트 농도를 분석하였다. 그 결과 DMP ND-3.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEP 0.01-7.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DBP 0.01-0.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEHP 0.07-1.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출되었다.

DMP와 DEP 모두 PVC 압출에서 각각 3.76, 7.03으로 가장 높았다. 케이블 사업장 A는 DMP, DEP 모두 환경부 DB에서 사용하지 않는 물질이고, 프탈레이트 함유 제품의 MSDS 상 포함되지 않아 사업장 내에 다른 노출원이 있는 것으로 생각된다. DBP 또한 고무 압출에서 0.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았지만, 공정별 농도는 다른 프탈레이트에 비해 낮은 편이었다. DEHP는 고무압출에서 1.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나왔으며, 케이블 연합에서도 비슷한 수준이었다 (1.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). 이는 DEHP가 전선의 시스, 절연 및 피복용으로 제품에 함유돼 고온고압 공정을 통해 노출된 것으로 보인다. 반면에 대조지역인 사무실에서의 프탈레이트 농도는 DMP ND, DEP 1.62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DBP 0.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEHP 0.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 DEP (1.62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 제외한 프탈레이트 농도가 사업장 내에 비해 낮은 편이었다. 휴게실의 공기 중 프탈레이트 농도는 사업장에 비해 대체로 낮은 수준이었다.

〈표 III-44〉 케이블 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No	구분	공정	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	PVC 압출	3.76	7.03	0.81	0.78
2	사업장	PVC 압출	2.09	0.72	0.10	0.39
3	사업장	PVC 압출	0.97	0.31	0.10	0.39
4	사업장	PVC 테핑	1.70	0.01	0.05	0.14
5	사업장	고무압출	0.98	3.78	0.88	1.37
6	사업장	케이블 연합	0.54	2.73	0.21	1.01
7	사업장	도장	ND	2.50	0.15	0.61
8	사업장	도장	0.34	0.04	0.07	0.32
9	사업장	도장	ND	0.21	0.04	0.29
10	사업장	재료보관실	0.95	0.20	0.23	0.18
11	대조지역	사무실	ND	1.62	0.36	0.19
12	대조지역	휴게실	0.16	0.27	0.01	0.07

평균온도 (°C) 사업장 내: 29.5, 대조군: 25.2

평균습도 (상대습도, %rh) 사업장 내: 73.9, 대조군: 66.4

나) 페인트 제조 사업장 A

○ 공정별 공기시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-45>는 페인트 제조 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도 분석결과이다. 사업장 내 특수배합 5곳과 대조지역으로 회의실 및 휴게실의 공기시료 중 프탈레이트 농도를 분석하였다. 그 결과 DMP 1.88-7.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEP 0.06-7.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DBP 0.09-0.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEHP 0.12-2.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출되었다.

DMP는 다른 프탈레이트에 비해 사업장 내와 대조지역 구분없이 DMP의 농도가 다소 높았다. DEP는 특수배합 공정의 배합기 1호기에서 6.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 6.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다소 높은 농도를 보였다. 반면에 대조지역인 사업장 내 회의실에서 7.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 사업장 내 특수배합 공정보다 높게 검출되었다. DBP는 사업장 내와 대조지역 간의 큰 차이는 없는 것으로 분석되었다. DEHP는 특수배합 공정의 시료 중 배합기 1호 지점에서 2.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 두드러지게 높게 검출되었고 나머지 공정과 대조지역은 검출수준은 비슷했다.

페인트 제조 사업장 A는 DMP를 연간 20~200톤 입고 또는 사용하는 사업장으로, DMP가 95~100 % 함유된 제품을 가소제, 희석제, 안정제 용도로 사용하고 있어 해당 사업장의 검출수준과 일치하였다. 또한 휴게실에서 7.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 사업장 내인 특수배합 공정보다 높은 경우도 있었는데, 이는 DMP를 직접 사용하는 근로자들이 작업복을 그대로 입고 휴게실을 방문할 경우 DMP 노출의 가능성이 있어 보인다. DEP는 사용하지 않는 물질이었지만, 특수배합 공정 몇 군데와 대조지역에서 비교적 높게 검출되었다. DEP는 사업장 내에 다른 노출원이 있는 것으로 생각된다. DBP와 DEHP의 연간입고량이 각각 20~200톤, 200~1000톤이었지만, DBP와 DEHP를 함유하는 제품은 없었으며, 공기 중 DBP와 DEHP의 농도는 두드러지게 높지 않았다.

〈표 III-45〉 페인트 제조 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No	구분	공정	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	특수배합	4.27	6.42	0.60	2.25
2	사업장	특수배합	6.56	6.66	0.48	0.35
3	사업장	특수배합	4.38	4.02	0.56	0.90
4	사업장	특수배합	1.88	0.06	0.18	0.12
5	사업장	특수배합	5.23	0.46	0.21	0.24
6	대조지역	사업장 외 회의실	3.71	5.75	0.60	0.73
7	대조지역	사업장 내 휴게실	2.49	3.47	0.11	0.82
8	대조지역	사업장 내 휴게실	3.54	7.35	0.31	0.68
9	대조지역	공용 휴게실	2.46	0.67	0.09	0.78
10	대조지역	공용 휴게실	7.28	0.26	0.09	0.54

평균온도 (°C)와 평균습도 (상대습도, %rh) 측정하지 못함

다) 페인트 제조 사업장 B

○ 공정별 공기시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-46>은 페인트 제조 사업장 B의 공기시료 중 프탈레이트 농도 분석결과이다. 사업장 내에서 포장공정 내 도료제조공정과 포장공정, 레진, 배합, 분산공정, 실험실과 실험실 습식장치의 공기시료 중 프탈레이트 농도를 분석하였다. 대조지역으로는 작업자 휴게실의 공기 중 프탈레이트를 분석하였다.

그 결과 DMP 0.11-1.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEP 0.80-7.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DBP ND-0.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEHP 0.06-0.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출되었다. DMP는 대조지역인 작업자 휴게실(1.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에서 가장 높았고 사업장 내의 실험실(1.31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)과 비슷한 수준으로 검출되었다. DEP는 분산공정(7.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에서, DEHP는 실험실(0.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에서 가장 높았다. 반면 DBP는 대조군인 작업자 휴게실에서 0.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았다.

DMP의 연간 입고량(또는 사용량) 20~200톤으로 프탈레이트 사용량과 공기 중 프탈레이트 농도 수준을 설명할 수 있었다. DEP는 사업장 내와 대조지역 모두에서 높은 농도로 검출되었지만, 환경부 DB 및 프탈레이트 함유 제품의 MSDS 상 사용하지 않는 물질이었다. 반면에 DBP와 DEHP는 환경부 DB 및 MSDS 상에서 사용하는 물질이었지만, DMP, DEP와 비교했을 때 낮은 검출률을 보였다.

〈표 III-46〉 페인트 제조 사업장 B의 공기시료 중 프탈레이트 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No	구분	공정	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	포장공정 내 도료제조공정	0.70	3.79	0.11	0.34
2	사업장	포장공정 내	0.72	2.99	0.07	0.06
3	사업장	레진	0.27	1.11	ND	0.07
4	사업장	배합공정	0.11	0.80	0.06	0.22
5	사업장	분산공정	0.65	7.54	0.27	0.76
6	사업장	실험실	1.31	4.66	0.25	0.99
7	사업장	실험실(습식장치)	0.24	2.43	0.09	0.10
8	대조지역	작업자 휴게실	1.36	5.55	0.94	0.68

평균온도 (°C) 사업장 내: 27.8, 대조군: 27.8

평균습도 (상대습도, %rh) 사업장 내: 65.7, 대조군: 64.2

라) 플라스틱 사출 사업장 A

○ 공정별 공기시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-47>은 플라스틱 사출 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도 분석결과이다. 사업장 내의 사출공정 5곳과 원자재 창고 1곳, 대조지역으로 회의실 2곳에서 수집한 공기 시료 중 프탈레이트를 분석하였다.

그 결과 DMP 0.48-1.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEP 1.05-5.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DBP 0.11-0.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEHP 0.22-2.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출되었다. DEHP는 사출공정 1곳에서 2.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높게 검출되었다. 반면, DMP, DEP는 대조지역인 회의실에서 가장 높게 검출되었다(1.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 5.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). DEP는 다른 프탈레이트에 비해 높은 농도수준을 보였으며, 회의실 1곳에서 5.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았다. DBP는 사업장 내와 대조지역 간의 큰 차이가 없었다.

해당 사업장은 가용할 수 있는 프탈레이트 사용량 자료가 없었다. 회의실은 사업장 바로 윗층에 위치하고 있고 창문, 에어컨 등의 환기시설이 없어 사업장 내의 공기 중 프탈레이트 농도와 큰 차이가 없는 것으로 보인다.

<표 III-47> 플라스틱 사출 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No	구분	공정	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	사출공정1	0.70	5.06	0.26	2.03
2	사업장	사출공정2	0.91	2.37	0.11	0.69
3	사업장	사출공정3	0.83	4.42	0.12	1.31
4	사업장	사출공정4	0.48	1.05	0.12	0.83
5	사업장	사출공정4	1.32	4.62	0.18	0.54
6	사업장	원자재 창고	1.12	3.34	0.12	0.55
7	대조지역	회의실	1.84	5.57	0.39	0.63
8	대조지역	회의실	0.84	1.15	0.13	0.22

평균온도 (°C) 사업장 내: 25.3, 대조군: 24.9

평균습도 (상대습도,%rh) 사업장 내: 71.7, 대조군: 68.5

마) 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A

○ 공정별 공기시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-48>은 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A 의 공기시료 중 프탈레이트 농도 분석결과이다. 사업장 내는 원료믹싱 2개, 고무기계 압출기 발포공정 2개, 냉각/재단 2개, 커팅기계 근처 2개, 대조군지역은 2층 회의실로 하였다.

그 결과 DMP 0.82-3.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEP 2.80-37.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DBP ND-0.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEHP 0.46-3.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출되었다. DMP는 고무기계 압출기에서 3.13, 1.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높은 수준으로 검출되었다. DEP는 대조군인 2층 회의실에서 가장 높았고 (37.0, 21.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), DBP 또한 높은 수준으로 검출되었다 (0.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 0.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). DEHP는 고무기계 압출기 공정(2.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)와 냉각/재단 공정(3.12, 2.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에서 높았다.

해당 사업장은 환경부 DB 내에서 검색되지 않았다. 프탈레이트 함유 제품을 사용하지 않았지만, DBP를 제외한 프탈레이트들의 농도 수준은 사업장 내외 구분없이 높았다. 특히 DEP는 대조지역이 사업장 내보다 농도가 높았는데, 사업장과 떨어진 곳에 위치하였기 때문에 사업장 외 다른 DEP 노출원이 있을 것으로 보인다.

〈표 III-48〉 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트
농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No	구분	공정	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	원료 믹싱	2.03	6.00	0.32	2.44
2	사업장	원료 믹싱	1.09	4.42	ND	0.46
3	사업장	고무기계 압출기	1.35	12.6	0.21	2.24
4	사업장	고무기계 압출기	1.37	7.31	0.19	1.65
5	사업장	고무기계 압출기	3.13	21.0	0.56	2.15
6	사업장	고무기계 압출기	1.49	10.3	0.20	0.76
7	사업장	발포 공정	1.01	5.11	0.14	1.83
8	사업장	발포 공정	1.38	6.15	0.10	0.79
9	사업장	냉각, 재단	1.10	2.80	0.08	3.12
10	사업장	냉각, 재단	1.45	7.83	0.15	2.95
11	사업장	커팅기계	0.82	15.7	0.28	1.88
12	사업장	커팅기계	1.77	13.6	0.31	1.01
13	대조지역	2층 회의실	2.21	37.0	0.48	1.15
14	대조지역	2층 회의실	1.21	21.9	0.43	1.02

평균온도 (°C) 사업장 내: 30.1, 대조군: 28.8

평균습도 (상대습도, %rh) 사업장 내: 58.5, 대조군: 58.1

바) 합성섬유 제조 사업장 A

○ 공정별 공기시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-49>는 합성섬유 제조 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도 분석결과이다. 사업장 내의 시료는 배합, 출하, 생산-컷팅 공정에서, 대조 지역 시료는 탈의실/휴게실에서 수집되었다.

그 결과 DMP 1.25-6.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEP 0.01-10.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DBP 0.09-0.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEHP 0.26-2.21로 검출되었다. DMP와 DEP 모두 생산-컷팅 공정에서 각각 6.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았다. DBP는 출하 공정에서 0.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았다. DEHP의 경우 탈의실/휴게실(2.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에서 사업장 내보다 높게 검출되었다.

해당 사업장은 환경부 DB에서 찾을 수 없었다. 제품에 DOP를 가소제로 사용하고 4종 프탈레이트를 사용하지 않았지만, DMP, DEP가 생산-컷팅 공정 한 곳에서 높게 검출된 것으로 보아 사업장 내 노출원이 있는 것으로 보인다.

<표 III-49> 합성섬유 제조 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No	구분	공정	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	배합	1.48	0.15	0.09	0.90
2	사업장	생산-혼합	2.68	0.01	0.16	0.26
3	사업장	생산-컷팅	6.45	10.8	0.66	1.33
4	사업장	출하	3.30	2.18	0.86	0.41
5	대조지역	사무실	1.56	3.00	0.31	0.52
6	대조지역	탈의실/휴게실	1.25	5.15	0.32	2.21

해당 사업장은 사업장과 탈의실 및 휴게실의 구분이 없음
 평균온도 (°C) 사업장 및 대조군: 26.4
 평균습도 (상대습도, %rh) 사업장 및 대조군 60.3

사) 자동차 부품 제조 사업장 A

○ 공정별 공기시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-50>은 자동차 부품 제조 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도 분석결과이다. 사업장 내의 가온공정, 데드너 공정, 메탈리페어, 실러 공정, 트렁크 부품 조립공정을, 대조지역으로 사업장 작업장 내 탈의실, 조립공정 근처 휴게실, 2층의 도장작업 휴게실과 회의실을 선정하였다.

그 결과 DMP ND-8.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEP 2.75-28.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DBP 0.06-1.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEHP 0.22-1.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출되었다. DMP와 DEP, DEHP 모두 실러 공정에서 각각 8.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 28.6, 1.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았다. DBP는 가온 공정 한 곳에서 1.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고 사업장 내 트렁크 부품 조립공정에서도 1.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 적지 않는 농도로 검출되었다.

해당 사업장은 실런트, 방수 등의 용도로 DiNP만을 사용하였지만, DMP, DEP, DBP, DEHP가 전 공정에 걸쳐 적지 않은 수준으로 검출되었다. 특히 데드너, 메탈리페어, 실러 공정에서 DEP의 농도가 다른 공정에 비해 높게 검출되었는데, 이 공정들의 공통점은 근로자가 직접 접착제를 자동차 자체에 바르는 작업으로 접착제에 DEP가 비의도적으로 함유되었을 가능성이 있다.

〈표 III-50〉 자동차 부품 제조 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No	구분	공정	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	가온 공정	1.22	3.42	0.16	0.62
2	사업장	가온 공정	2.01	4.13	0.29	0.24
3	사업장	가온 공정2	5.99	18.9	1.78	0.88
4	사업장	데드너 공정	ND	23.4	0.26	0.98
5	사업장	메탈리페어	1.76	23.6	0.25	0.53
6	사업장	실러 공정	8.51	28.6	0.35	1.88
7	사업장	실러 공정	1.02	2.90	0.11	0.22
8	사업장	트렁크 부품 조립 공정	ND	10.8	1.68	1.30
9	사업장	트렁크 부품 조립 공정	0.89	3.35	0.33	0.88
10	대조지역	작업장 내 탈의실	3.33	3.44	0.13	0.78
11	대조지역	도장작업 휴게실	0.99	2.75	0.06	0.38
12	대조지역	2층 회의실	3.33	11.5	0.55	1.38

평균온도 (°C) 사업장 내: 23.8, 대조군: 24.4

평균습도 (상대습도, %rh) 사업장 내: 72.4, 대조군: 75.3

아) 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A

○ 공정별 공기시료 중 프탈레이트 농도

다음 〈표 III-51〉은 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도 분석결과이다. 선별공정 3곳, 비중분리 공정 1곳, 파쇄공정 1곳에서 수집된 시료에서 분석하였다.

그 결과 DMP 0.82-3.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEP 1.80-11.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DBP 0.11-0.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEHP 0.66-3.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출되었다. DEP, DBP, DEHP 모두 선별기기 1곳에서 각각 11.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 0.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 검출되었

다. DMP는 파쇄공정 기기 옆이 3.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았다.

해당 사업장은 프탈레이트를 사용하는 사업장이 아닌 프탈레이트가 함유된 플라스틱 폐기물을 재활용하는 사업장이고 고온 고압이 포함된 작업이 없음에도 모든 공정에서 4종의 프탈레이트가 검출되었다.

〈표 Ⅲ-51〉 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 공기시료 중 프탈레이트 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No	구분	공정	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	선별공정1	2.48	11.5	0.35	3.57
2	사업장	선별공정1	1.66	5.71	0.12	1.48
3	사업장	선별공정2	0.82	1.80	0.12	1.15
4	사업장	파쇄공정	3.88	5.69	0.13	0.66
5	사업장	비중분리 공정	1.84	6.05	0.11	0.66

해당 사업장은 사업장과 휴게실/사무실 분리가 되어있지 않으므로 대조군 시료를 수집하지 않음

평균온도 (°C) 사업장 내: 23.7, 대조군없음

평균습도 (상대습도, %rh) 사업장 내: 52, 대조군없음

(3) 사업장별 표면 중 프탈레이트 농도

다음은 <표 III-52>는 사업장별 표면시료 중 프탈레이트 4종(DMP, DEP, DBP, DEHP) 농도 분포이다. 각 사업장별로 프탈레이트 농도의 중앙값, 최소, 최대값을 나타냈었다. 8개의 사업장의 표면시료 중 프탈레이트 농도 범위는 DMP ND~368, DEP ND~50.0, DBP ND~31.0, DEHP ND~5243였으며, DEHP의 농도 구간이 가장 넓었다. 대체로 대조지역보다 사업장 내의 프탈레이트 농도가 높게 검출되었다.

〈표 III-52〉 사업장 표면시료 중 프탈레이트 농도 요약(ng/cm²)

No	사업장	구분	샘플 수	DMP			DEP			DBP			DEHP		
				50 th	최소	최대	50 th	최소	최대	50 th	최소	최대	50 th	최소	최대
1	케이블 사업장 A	전체	12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14.8	61.4	6.35	516
		사업장	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14.8	77.2	6.35	516
		대조지역	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	43.1	39.6	46.7
2	페인트 사업장 A	전체	12	ND	ND	368	ND	ND	50.0	ND	ND	31.0	40.0	6.93	2,114
		사업장	6	17.6	ND	368	ND	ND	50.0	0.60	ND	31.0	205	6.90	2,114
		대조지역	6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.83	24.9	9.20	91.0
3	페인트 사업장 B	전체	14	ND	ND	ND	ND	ND	0.001	0.0004	ND	0.001	23.5	6.18	182
		사업장	12	ND	ND	ND	ND	ND	0.001	0.001	ND	0.001	27.4	6.18	182
		대조지역	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15.1	9.31	20.9
4	플라스틱 사출 사업장 A	전체	12	ND	ND	14.4	ND	ND	ND	ND	ND	27.5	24.3	3.84	255
		사업장	10	ND	ND	14.4	ND	ND	ND	0.0004	ND	27.5	31.4	7.85	255
		대조지역	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001	0.001	0.001	12.4	3.84	21.1

No	사업장	구분	샘플 수	DMP			DEP			DBP			DEHP		
				50 th	최소	최대	50 th	최소	최대	50 th	최소	최대	50 th	최소	최대
5	합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A	전체	12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001	440	7.95	1,016
		사업장	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001	476	7.95	1,016
		대조지역	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.0004	ND	0.001	150	112	188
6	합성섬유 제조 사업장 A	전체	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.02	2692	138	5,243
		사업장	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.02	2692	138	5,243
		대조지역	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.72	ND	1.43	2487	334	4,639
7	자동차 부품 제조 사업장 A	전체	20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.80	34.0	ND	1,425
		사업장	14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.0004	ND	6.80	41.2	ND	941
		대조지역	6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	26.4	8.40	1,425
8	플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A	전체	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	32.5	11.8	121
총합		전체	100	ND	ND	368	ND	ND	50.0	ND	ND	31.0	46.4	ND	5,243
		사업장	78	ND	ND	368	ND	ND	50.0	ND	ND	31.0	52.0	ND	5,243
		대조지역	22	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.83	34.6	3.84	4,639

가) 케이블 사업장 A

○ 공정별 표면시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-53>은 케이블 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도 분석 결과이다. 표면시료는 사업장 내의 PVC 압출, PVC 테핑, 고무압출, 케이블 연합, 도장, 재료보관실 공정, 대조지역에서는 사무실과 휴게실에서 수집된 시료들이었다. 그 결과 DMP와 DEP는 모든 시료에서 ND, DBP ND-14.8 ng/cm², DEHP 6.35-516 ng/cm²로 검출되었다. DBP는 PVC 압출과 케이블 연합 공정 각 한곳에서 각각 14.8, 11.4 ng/cm²으로 검출되었다. DEHP는 모든 시료에서 검출되었으며 PVC 압출 공정(516 ng/cm²), 도장공정 2곳(494, 168 ng/cm²)에서 높게 검출되었다.

〈표 III-53〉 케이블 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도(ng/cm²)

No	구분	공정	수집위치	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	PVC 압출	PVC 압출기 A 옆	ND	ND	ND	516
2	사업장	PVC 압출	PVC 압출기 B 옆 계기판	ND	ND	14.8	76.2
3	사업장	PVC 압출	압출기기 옆 작업대	ND	ND	ND	25.0
4	사업장	PVC 테핑	PVC 테핑기 옆	ND	ND	ND	6.35
5	사업장	고무압출	3층 고무압출기 옆	ND	ND	ND	110
6	사업장	케이블 연합	케이블 연합기 옆	ND	ND	11.4	40.0
7	사업장	도장	페인트 도장레인 옆	ND	ND	ND	78.2
8	사업장	도장	페인트 도장기기 옆 계기판 위	ND	ND	ND	494
9	사업장	도장	페인트 도장기기 옆 작업대	ND	ND	ND	168
10	사업장	재료보관실	고무 카트 옆 에어컨 벽	ND	ND	ND	23.5
11	대조지역	사무실	사무실 문 옆 서랍장	ND	ND	ND	46.7
12	대조지역	휴게실	테이블	ND	ND	ND	39.6

평균온도 (°C) 사업장 내: 29.7, 대조군: 27.1

평균습도 (상대습도,%rh) 사업장 내: 75.9, 대조군: 53.6

나) 페인트 제조 사업장 A

○ 공정별 표면시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-54>는 페인트 제조 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도 분석결과이다. 사업장 내의 특수배합 공정에서 배합기 5곳과 1층 드럼리프트를, 대조지역에서 휴게실과 회의실의 탁자 및 책상 6곳의 표면시료 중 프탈레이트 농도를 분석하였다. 그 결과 DMP ND-368 ng/cm², DEP ND-50.0 ng/cm², DBP ND-31.0 ng/cm², DEHP 6.93-2,114 ng/cm²로 검출되었다. DMP는 1층 드럼리프트 표면에서 368 ng/cm²로 가장 높게 검출되었고 배합 1, 2, 5호기의 표면에서도 25.8 ng/cm², 44.0 ng/cm², 9.41 ng/cm²으로 검출되었다. DEP는 배합 2호기의 표면에서만 검출되었다(50.0 ng/cm²). DMP와 DEP는 대조지역 시료에서는 모두 검출되지 않았다. DBP와 DEHP는 배합 2호기에서 각각 31.0, 2,114 ng/cm²로 가장 높게 검출되었다. DEHP의 경우, 대조지역인 휴게실과 회의실의 탁자 및 책상 표면에서도 모두 검출되었다.

〈표 III-54〉 페인트 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도(ng/cm²)

No	구분	공정	수집위치	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	특수배합	배합 1호기	25.8	ND	0.001	400
2	사업장	특수배합	배합 2호기	44.0	50.0	31.0	2114
3	사업장	특수배합	배합 5호기	9.41	ND	ND	6.93
4	사업장	특수배합	배합 7호기	ND	ND	6.76	16.7
5	사업장	특수배합	배합 8호기	ND	ND	1.17	42.3
6	사업장	-	1층 드럼리프트	368	ND	ND	368
7	대조지역	사업장 내 휴게실A	휴게실 내 탁자	ND	ND	ND	12.2
8	대조지역	사업장 내 휴게실A	휴게실 내 탁자	ND	ND	ND	9.20
9	대조지역	사업장 내 휴게실B	생산팀 사무실 내 탁자	ND	ND	ND	11.4
10	대조지역	사업장 내 휴게실B	생산팀 사무실 근로자 책상 위	ND	ND	ND	42.0
11	대조지역	회의실	접견실 내 책상	ND	ND	ND	91.0
12	대조지역	회의실	접견실 내 책상	ND	ND	4.83	37.6

평균온도 (°C)와 평균습도 (상대습도, %rh) 측정하지 못함

다) 페인트 사업장 B

○ 공정별 표면시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-55>는 페인트 사업장 B의 표면시료 중 프탈레이트 농도 분석 결과이다. 포장공정 내 기계 옆, 포장공정 내 도료제조 공정 기계 옆, 배합기 통 위, 분산공정에서 계기판, 실험실의 건식 계기판 표면, 습식장치의 부스 내부 벽면에서 사업장 시료를 수집하였다. 대조지역 시료는 작업자 휴게실의 탁자 2곳에서 표면시료를 수집하였다. 그 결과 DMP는 모두 ND, DEP ND-0.001 ng/cm², DBP ND-0.001 ng/cm², DEHP 6.18-182 ng/cm²로 검출되었다. DEP는 배합공정의 배합기 위 표면시료 1곳에서만 0.001 ng/cm²로 검출되었고 나머지 시료에서는 ND로 분석되었다. DBP는 배합공정의 배합기 위와 분산공정의 계기판, 습식장치 부스 내부 벽면, 실험실에서 각각 0.001 ng/cm²로 검출되었다. DEHP는 모든 시료에서 검출되었으며, 분산공정 계기판 표면에서 182 ng/cm²로 가장 높았고, 실험실의 건식 계기판 (176 ng/cm²), 포장공정 내 도료제조 공정의 기계 옆 표면 (79.9 ng/cm²) 순으로 높았다.

〈표 III-55〉 페인트 제조 사업장 B의 표면시료 중 프탈레이트 농도(ng/cm²)

No	구분	공정	수집위치	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	포장공정 내 도료제조공정	공정 기계 옆	ND	ND	ND	79.9
2	사업장	포장공정 내 도료제조공정	공정 기계 옆	ND	ND	ND	51.3
3	사업장	포장 공정 내	공정 기계 옆	ND	ND	ND	10.5
4	사업장	포장 공정 내	공정 기계 옆	ND	ND	ND	30.8
5	사업장	배합공정	배합기 통 위	ND	0.001	0.001	6.18
6	사업장	배합공정	배합기 통 위	ND	ND	0.001	20.1
7	사업장	배합공정	배합기 통 위	ND	ND	0.001	16.8
8	사업장	배합공정	배합기 통 위	ND	ND	0.001	17.2
9	사업장	분산공정	계기판	ND	ND	ND	26.0
10	사업장	분산공정	계기판	ND	ND	0.001	182
11	사업장	실험실	건식 계기판	ND	ND	0.001	176
12	사업장	실험실	습식 실험장치 부스 벽면	ND	ND	0.001	28.9
13	대조지역	작업자 휴게실	휴게실 탁자 위	ND	ND	ND	20.9
14	대조지역	작업자 휴게실	휴게실 탁자 위	ND	ND	ND	9.31

평균온도 (℃) 사업장 내: 28.2, 대조군: 27.8

평균습도 (상대습도, %rh) 사업장 내: 63.5, 대조군: 64.2

라) 플라스틱 사출 사업장 A

○ 공정별 표면시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-56>은 플라스틱 사출 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도 분석결과이다. 사업장 내에서 사출공정의 계기판, 벽면, 받침대와 원자재 창고의 선반에서 시료를 수집하였다. 대조지역으로 회의실 탁자 표면 시료 중 프탈레이트를 분석하였다. 그 결과 DMP는 사출공정 1 계기판(14.4 ng/cm²)을 제외하고 모두 ND였다. DEP는 사업장 내와 대조지역 모두에서 ND였다. DBP는 ND-27.5 ng/cm², DEHP 3.84-255 ng/cm²로 검출되었다. DBP와 DEHP는 사출공정의 사출기 받침대에서 각각 27.5 ng/cm², 255 ng/cm²로 검출된 다른 시료보다도 두드러지게 높았다. DEHP는 모든 시료에서 ND가 없었으며 다른 프탈레이트류보다 더 높은 수준이었다. 대조지역인 회의실보다 사출공정에서 비교적 높은 농도로 검출되었다.

<표 III-56> 플라스틱 사출 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도(ng/cm²)

No	구분	공정	수집위치	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	사출 공정 1	벽면 사출기 계기판	ND	ND	0.001	79.6
2	사업장	사출 공정 1	벽면 사출기 계기판	14.4	ND	ND	27.5
3	사업장	사출 공정 2	사출기 계기판	ND	ND	ND	35.3
4	사업장	사출 공정 2	사출기 벽면	ND	ND	ND	204
5	사업장	사출 공정 3	사출기 벽면	ND	ND	0.001	11.8
6	사업장	사출 공정 3	사출기 벽면	ND	ND	ND	16.0
7	사업장	사출 공정 4	사출기 벽면	ND	ND	0.001	65.2
8	사업장	사출 공정 4	사출기 받침대	ND	ND	27.5	255
9	사업장	원자재 창고	원자재 창고 선반	ND	ND	0.001	7.85
10	사업장	원자재 창고	원자재 창고 선반	ND	ND	ND	16.6
11	대조지역	회의실	휴게실 탁자	ND	ND	0.001	3.84
12	대조지역	회의실	휴게실 탁자	ND	ND	0.001	21.1

평균온도 (°C) 사업장 내: 25.3, 대조군: 24.9

평균습도 (상대습도, %rh) 사업장 내: 71.7, 대조군: 68.5

마) 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A

○ 공정별 표면시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-57>은 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도 분석결과이다. 압출기 공정의 고무 기계 압출기 옆, 원료 믹싱 기기 옆면, 발포공정 기기 옆면, 냉각/재단 공정 옆, 커팅기계 옆면에서 사업장 시료를 수집하였다. 대조지역으로 휴게실/회의실의 탁자 위 표면 시료 중 프탈레이트를 분석하였다. 그 결과 DMP와 DEP는 모두 ND, DBP ND-0.001 ng/cm², DEHP 7.95-1,016 ng/cm²로 검출되었다. DBP는 커팅기계 옆면과 휴게실 탁자 위의 표면시료에서만 0.001 ng/cm²로 검출되었다. DEHP는 유일하게 모든 시료에서 검출되었으며, 원료믹싱 기기 옆 표면 시료에서 1,016 ng/cm²으로 가장 높았다. 압출기 한 곳과 커팅기계 공정의 표면시료를 제외하면 사업장 내의 시료가 대조지역인 휴게실/회의실(112, 188 ng/cm²)보다 높은 수준으로 검출되었다.

〈표 III-57〉 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A 의 표면시료 중 프탈레이트
농도(ng/cm²)

No	구분	공정	수집위치	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	압출기	고무 기계 압출기 옆	ND	ND	ND	82.8
2	사업장	압출기	고무 기계 압출기 옆	ND	ND	ND	495
3	사업장	원료믹싱	원료들 믹싱하는 곳 옆	ND	ND	ND	608
4	사업장	원료믹싱	원료들 믹싱하는 곳 옆	ND	ND	ND	1,016
5	사업장	발포공정	발포하는 공정 옆	ND	ND	ND	422
6	사업장	발포공정	발포하는 공정 옆	ND	ND	ND	498
7	사업장	냉각, 재단	냉각, 재단 공정 옆	ND	ND	ND	458
8	사업장	냉각, 재단	냉각, 재단 공정 옆	0.0	0.0	0.0	726
9	사업장	커팅기계	커팅기계 옆	ND	ND	0.001	13.6
10	사업장	커팅기계	커팅기계 옆	ND	ND	ND	7.95
11	대조지역	휴게실/회의실	휴게실 탁자 위	ND	ND	ND	112
12	대조지역	휴게실/회의실	휴게실 탁자 위	ND	ND	0.001	188

평균온도 (℃) 사업장 내: 30.1, 대조군: 28.8

평균습도 (상대습도, %rh) 사업장 내: 58.5, 대조군: 58.1

바) 합성섬유 제조 사업장 A

○ 공정별 표면시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-58>은 합성섬유 제조 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도 분석결과이다. 사업장 내에서 배합, 생산-혼합, 생산-컷팅, 출하공정에서 표면시료를 수집하였다. 대조지역은 탈의실/휴게실과 사무실의 서랍과 책상 표면시료를 수집하고 프탈레이트를 분석하였다. 그 결과 DMP, DEP는 모두 시료에서 ND였으며, DBP는 출하 한 곳과 대조지역인 탈의실/휴게실에서 각각 2.0, 1.40 ng/cm²으로 검출되었다. DEHP는 138-5,243 ng/cm²로 시료별 농도범위가 넓었다. DEHP는 배합공정의 배합기 기기표면에서 5,243 ng/cm²로 가장 높았으며, 출하공정, 생산혼합에서도 4,000 ng/cm² 이상의 농도였다. 대조지역으로 선정한 탈의실/휴게실에서의 DEHP는 4,639 ng/cm²으로 배합공정을 제외한 다른 공정보다 높은 농도였다. 이는 해당 사업장이 사업장과 탈의실 및 휴게실의 뚜렷한 구분이 없고 작업 중 프탈레이트가 묻은 작업복이 좁은 공간에 모여있기 때문으로 보인다. 사무실 책상 표면에서의 DEHP는 334 ng/cm²로 비교적 많지 않은 수준으로 검출되었다.

〈표 III-58〉 합성섬유 제조 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도(ng/cm²)

No	구분	공정	수집위치	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	배합	칭량작업대, 작업대표면	ND	ND	ND	1,054
2	사업장	배합	배합기 표면	ND	ND	ND	5,243
3	사업장	생산-혼합	기기표면)	ND	ND	ND	4,133
4	사업장	생산-혼합	기기표면	ND	ND	ND	985
5	사업장	생산-커팅	기기표면	ND	ND	ND	2,010
6	사업장	생산-커팅	기기표면	ND	ND	ND	3,373
7	사업장	출하	작업대 표면	ND	ND	ND	138
8	사업장	출하	출하작업대 표면	ND	ND	2.0	4,544
9	대조지역	탈의실/ 휴게실	휴게실 서랍	ND	ND	1.4	4,639
10	대조지역	사무실	사무실 책상	ND	ND	ND	334

해당 사업장은 사업장과 탈의실 및 휴게실의 구분이 없음

평균온도 (°C) 사업장 및 대조군: 26.4

평균습도 (상대습도, %rh) 사업장 및 대조군 60.3

사) 자동차 부품 제조 사업장 A

○ 공정별 표면시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-59>는 자동차 부품 제조 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도 분석결과이다. 사업장 내에서 가온공정, 데드너 공정, 메탈리페어, 실리 공정, 트렁크 부품 조립 공정에서의 표면시료를 채취 및 분석하였고, 대조지역인 탈의실, 조립공정 근처 휴게실, 2층 도장 작업장 휴게실 및 회의실의 표면 시료 중 프탈레이트를 분석하였다. 그 결과 DMP와 DEP는 모든 시료에서 ND, DBP는 ND-6.80 ng/cm², DEHP는 ND-1,425 ng/cm²로 검출되었다. DBP는 가온 공정의 벽면에서 6.80 ng/cm²으로 가장 높았다. DEHP의 경우, 사업장 내에서는 메탈리페어에서 941 ng/cm², 대조지역인 휴게실의 의자에서 1,425 ng/cm²로 가장 높게 검출되었으며, 다른 표면 시료보다도 상당히 높은 수준이었다. 해당 휴게실은 바로 옆에 자동차 조립 화이날 공정이 가동되고 있었으며 휴게공간과 사업장의 분리가 전혀 없어 DEHP 높은 농도는 자동차 화이날 공정으로부터 온 것으로 추정된다.

<표 III-59> 자동차 부품 제조 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도(ng/cm²)

No	구분	공정	수집위치	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	가온 공정	가온공정벽면	ND	ND	ND	ND
2	사업장	가온 공정	가온공정벽면	ND	ND	0.001	22.9
3	사업장	가온 공정	가온공정벽면	ND	ND	ND	8.24
4	사업장	가온 공정	스트립 쌓아놓는 카드 옆면	ND	ND	ND	2.41
5	사업장	가온 공정	벽면에서	ND	ND	ND	36.3
6	사업장	가온 공정	벽면에서	ND	ND	6.80	70.2
7	사업장	데드너 공정	계기판 있는 곳	ND	ND	ND	178
8	사업장	데드너 공정	벽면에서	ND	ND	2.26	14.6
9	사업장	메탈리페어	바닥 쪽 차채 지나가는 곳	ND	ND	ND	941

No	구분	공정	수집위치	DMP	DEP	DBP	DEHP
10	사업장	메탈리페어	벌빚으로 만들어진 작업대	ND	ND	0.001	324
11	사업장	실러 공정	작업장 안에 있는 휴게실	ND	ND	ND	46.0
12	사업장	실러 공정	공정 바로 옆(근로자 폰 거치대 바로 밑)	ND	ND	0.001	73.6
13	사업장	트렁크 부품 조립 공정	탁자에서 샘플링	ND	ND	2.02	51.7
14	사업장	트렁크 부품 조립 공정	탁자에서 샘플링	ND	ND	1.33	4.12
15	대조지역	탈의실	탁자(선반)위	ND	ND	ND	21.0
16	대조지역	탈의실	탁자(선반)위	ND	ND	ND	8.40
17	대조지역	휴게실	난간에서 측정	ND	ND	1.43	341
18	대조지역	휴게실	의자	ND	ND	ND	1,425
19	대조지역	도장 작업장 휴게실	공정가까이 있는 탁자	ND	ND	ND	13.8
20	대조지역	회의실	측정위치 바로 앞 의자	ND	ND	ND	31.7

평균온도 (℃) 사업장 내: 23.7, 대조군: 26.1

평균습도 (상대습도, %rh) 사업장 내: 72.7, 대조군: 72.4

아) 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A

○ 공정별 표면시료 중 프탈레이트 농도

다음 <표 III-60>은 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도 분석결과이다. 선별기기, 파쇄공정의 계기판, 비중분리 공정의 표면 시료 중 프탈레이트를 분석하였다. 그 결과 DMP, DEP, DBP는 모든 시료에서 ND였으며, DEHP는 11.8-121 ng/cm²로 나타났다. 표면 시료 중 DEHP는 선별 기기표면에서 가장 높았고, 비중분리 공정의 표면에서 비교적 낮은 수준으로 검출되었다.

<표 III-60> 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 표면시료 중 프탈레이트 농도(ng/cm²)

No	구분	공정	수집위치	DMP	DEP	DBP	DEHP
1	사업장	선별공정1	선별기기1	ND	ND	ND	52.2
2	사업장	선별공정1	선별기기1	ND	ND	ND	49.2
3	사업장	선별공정2	선별기기2	ND	ND	ND	26.3
4	사업장	선별공정2	선별기기2	ND	ND	ND	121
5	사업장	파쇄공정	공정계기판	ND	ND	ND	38.7
6	사업장	파쇄공정	공정계기판	ND	ND	ND	24.8
7	사업장	비중분리공정	비중분리공정	ND	ND	ND	11.8
8	사업장	비중분리공정	비중분리공정	ND	ND	ND	15.9

해당 사업장은 사업장과 휴게실/사무실 분리가 되어있지 않으므로 대조군 시료를 수집하지 않음

평균온도 (°C) 사업장 내: 23.7, 대조군없음

평균습도 (상대습도, %rh) 사업장 내: 52, 대조군없음

5) 근로자 개인노출량 및 건강위험성 추정(비발암성, 발암성)

(1) 프탈레이트의 독성 값 비교

다음 <표 III-61>은 산업에서 자주 쓰이는 프탈레이트 8종을 대상으로 독성 값을 정리하였다. 프탈레이트류 물질의 비발암성 독성영향을 평가하기 위해서 EPA RfD 값을 사용하였으며, 참고치가 없는 경우 RAIS 데이터 베이스를 활용하였다. 8종 중 DMP는 RAIS에서 chronic RfD는 없었고 subchronic RfD를 1×10^{-1} 로 제시하고 있었다. DEP, BBP, DnOP, DEHP는 chronic RfD였으며, 각각 8×10^{-1} , 1×10^{-1} , 2×10^{-1} , 1×10^{-2} , 2×10^{-2} 이었다. DiNP, DiDP는 비발암성 독성영향을 평가할 oral chronic RfD 정보가 없었다.

〈표 III-61〉 프탈레이트의 비발암성 독성영향 평가를 위한 oral chronic RfD

Chemical	CAS no	Oral Chronic RfD (mg/kg/day)	Reference
Dimethyl phthalate (DMP)	131-11-3	1×10^{-1} Subchronic Basis: Increased absolute and relative liver weight; Decreased serum and testicular testosterone, Target organ: Liver; Clinical chemistry	RAIS
Diethyl phthalate (DEP)	84-66-2	8×10^{-1} Basis: Decreased growth rate, food consumption and altered organ weights, Target organ: Whole body	EPA IRIS / RAIS
Dibutyl phthalate (DBP)	84-74-2	1×10^{-1} Basis: Increased mortality, Target organ: Whole body	EPA IRIS / RAIS
Butyl benzyl phthalate (BBP)	85-68-7	2×10^{-1}	RAIS
Di-n-octyl phthalate (DnOP)	117-84-0	1×10^{-2} Mild-to-moderate cytoplasmic vacuolation in the liver	EPA (EPA/690/R-12/023F)
Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)	000117-81-7	2×10^{-2} Basis: Increased relative liver weight, Target organ: Liver	EPA IRIS / RAIS
Diisononyl phthalate (DiNP)	28553-12-0/ 28553-12-0	-	-
Diisodecyl phthalate (DiDP)	26761-40-0	-	-

(2) 호흡을 통한 프탈레이트 노출량 추정(비발암성)

호흡을 통한 프탈레이트 노출량을 아래 식과 같이 산정하였다.

- 호흡률(m^3/day): 전체 남자 평균으로 가정 $16.21 \pm 2.93 \text{ m}^3/\text{day}$
- 체중(kg): 한국 성인의 평균 체중 $69.2 \pm 11.74 \text{ kg}$
- Inhalation ADD (Average daily dose, 일일 평균 노출량)($\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$)
= 농도(mg/m^3) x 호흡률(m^3/day) / 체중(kg) (본 연구에서 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ 로 나타냄)

프탈레이트 흡입노출에 대한 일일 평균 노출량 산정을 기반으로 유해지수를 산정하였다. 각 프탈레이트의 RfD와 유해지수 산출식은 아래와 같다.

- DMP RfD 1×10^{-1} (Oral subchronic RfD $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$) (RAIS)
- DEP RfD 8×10^{-1} (Oral chronic RfD $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$) (EPA, IRIS/RAIS)
- DBP RfD 1×10^{-1} (Oral chronic RfD $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$) (EPA, IRIS/RAIS)
- DEHP RfD 2×10^{-2} (Oral chronic RfD $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$) (EPA, IRIS/RAIS)
- 유해지수 (Hazard Quotient) 산출 = 추정된 노출량 ($\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$) / RfD (EPA, IRIS)

가) 케이블 사업장 A의 프탈레이트 흡입 노출평가

다음 <표 III-62>는 케이블 사업장 A의 호흡을 통한 프탈레이트 ADD와 그에 따른 HQ이다. 4종의 프탈레이트 모두 HQ가 1을 초과하지 않았다. DMP의 HQ는 PVC 압출에서 0.009로 가장 높게 나타났으며 반면에 사무실을 0이었다. DEP와 DBP의 호흡을 통한 프탈레이트 HQ는 DMP, DEHP에 비해 낮은 편이었으며 공정별로 차이가 없었다. 4종의 프탈레이트 중 DEHP의 HQ가 가장 높은 편이었으며, 고무압출(0.016), 케이블연합(0.011), PVC 압출(0.009) 등의 순이었다.

<표 III-62> 케이블 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)와 HQ

No	공정	DMP		DEP		DBP		DEHP	
		ADD	HQ*	ADD	HQ	ADD	HQ	ADD	HQ
1	PVC 압출 A	0.85	0.009	1.59	0.002	0.18	0.002	0.18	0.009
2	PVC 압출 B	0.47	0.0047	0.16	0.0002	0.02	0.0002	0.09	0.004
3	PVC 압출	0.22	0.0022	0.07	0.0001	0.02	0.0002	0.09	0.004
4	PVC 테핑	0.39	0.0039	0.002	0.000002	0.01	0.0001	0.03	0.002
5	고무 압출	0.22	0.002	0.86	0.001	0.20	0.002	0.31	0.016
6	케이블 연합	0.12	0.001	0.62	0.001	0.05	0.0005	0.23	0.011
7	도장	0.00	0.00	0.57	0.001	0.03	0.0003	0.14	0.007
8	도장	0.08	0.0008	0.01	0.00001	0.02	0.0002	0.07	0.004
9	도장	0.00	0.00	0.05	0.0001	0.01	0.0001	0.07	0.003
10	재료보관실	0.22	0.0022	0.05	0.0001	0.05	0.001	0.04	0.002
11	사무실	0.00	0.0000	0.37	0.0005	0.08	0.001	0.04	0.002
12	휴게실	0.04	0.0004	0.06	0.0001	0.003	0.00003	0.02	0.001

* Oral subchronic RfD

나) 페인트 제조 사업장 A의 프탈레이트 흡입 노출평가

다음 <표 III-63>은 페인트 제조 사업장 A의 호흡을 통한 프탈레이트 ADD와 그에 따른 HQ이다. 4종의 프탈레이트 모두 HQ가 1을 초과하지 않았다. 사업장 내의 DMP의 HQ는 특수배합 한 곳에서 0.015로 가장 높게 나타났다. 대조지역은 공용 휴게실B가 0.017로 가장 높았으며, 이는 사업장 내보다 높은 HQ였다. DEP의 HQ는 사업장 내에서 특수배합 두 곳에서 0.002로 다른공정에 비해 비교적 높았으며, 대조지역에서는 사업장 내 휴게실B와 사업장 외 회의실에서 0.002였다. DBP의 호흡을 통한 프탈레이트 HQ는 DMP, DEHP에 비해 낮은 편이었으며 공정별로 차이가 거의 없었다. 4종의 프탈레이트 중 DEHP의 HQ가 가장 높은 편이었으며, 특수배합(0.025), 특수배합(0.010), 사업장 내 휴게실 A 및 공용휴게실 A(0.009) 등의 순이었다.

〈표 III-63〉 페인트 제조 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)와 HQ

No	공정	DMP		DEP		DBP		DEHP	
		ADD	HQ*	ADD	HQ	ADD	HQ	ADD	HQ
1	특수배합	0.97	0.010	1.46	0.002	0.14	0.001	0.51	0.025
2	특수배합	1.49	0.015	1.51	0.002	0.11	0.001	0.08	0.004
3	특수배합	0.99	0.010	0.91	0.001	0.13	0.001	0.20	0.010
4	특수배합	0.43	0.004	0.01	0.0000 2	0.04	0.0004	0.03	0.001
5	특수배합	1.19	0.012	0.10	0.0001	0.05	0.0005	0.05	0.003
6	사업장 외 회의실	0.84	0.008	1.30	0.002	0.14	0.001	0.17	0.008
7	사업장 내 휴게실A	0.56	0.006	0.79	0.001	0.03	0.0003	0.19	0.009
8	사업장 내 휴게실B	0.80	0.008	1.67	0.002	0.07	0.001	0.15	0.008
9	공용 휴게실A	0.56	0.006	0.15	0.0002	0.02	0.0002	0.18	0.009
10	공용 휴게실B	1.65	0.017	0.06	0.0001	0.02	0.0002	0.12	0.006

* Oral subchronic RfD

다) 페인트 제조 사업장 B의 프탈레이트 흡입 노출평가

다음 <표 III-64>는 페인트 제조 사업장 B의 호흡을 통한 프탈레이트 ADD와 그에 따른 HQ이다. 4종의 프탈레이트 모두 HQ가 1을 초과하지 않았다. DMP의 HQ는 실험실과 작업자 휴게실에서 0.003으로 가장 높게 나타났으며 배합공정에서 0.0003으로 가장 낮은 수준이었다. DEP와 DBP의 호흡을 통한 프탈레이트 HQ는 DMP, DEHP에 비해 낮은 편이었으며 공정별로 차이가 거의 없었다. 4종의 프탈레이트 중 DEHP의 HQ가 가장 높은 편이었으며, 실험실(0.011), 분산공정(0.009), 작업자 휴게실(0.008) 등의 순이었다.

<표 III-64> 페인트 제조 사업장 B의 프탈레이트 inhalation ADD ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)와 HQ

No	공정	DMP		DEP		DBP		DEHP	
		ADD	HQ*	ADD	HQ	ADD	HQ	ADD	HQ
1	포장공정 내 도료제조공정	0.16	0.002	0.86	0.001	0.03	0.0003	0.08	0.004
2	포장공정 내	0.16	0.002	0.68	0.001	0.02	0.0002	0.01	0.001
3	레진공정	0.06	0.001	0.25	0.0003	0	0.0000	0.02	0.001
4	배합공정	0.03	0.0003	0.18	0.0002	0.01	0.0001	0.05	0.003
5	분산공정	0.15	0.001	1.71	0.002	0.06	0.001	0.17	0.009
6	실험실	0.30	0.003	1.06	0.001	0.06	0.001	0.22	0.011
7	실험실(습식 장치)	0.05	0.001	0.55	0.001	0.02	0.0002	0.02	0.001
8	작업자 휴게실	0.31	0.003	1.26	0.002	0.21	0.002	0.15	0.008

* Oral subchronic RfD

라) 플라스틱 사출 사업장 A의 프탈레이트 흡입 노출평가

다음 <표 III-65>는 플라스틱 사출 사업장 A의 호흡을 통한 프탈레이트 ADD와 그에 따른 HQ이다. 4종의 프탈레이트 모두 HQ가 1을 초과하지 않았다. DMP의 HQ는 회의실에서 0.004로 가장 높게 나타났으며, 사출공정 4에서 0.001로 가장 낮은 수준이었다. DEP와 DBP의 호흡을 통한 프탈레이트 HQ는 DMP, DEHP에 비해 낮은 편이었다. DBP는 사출공정1과 회의실에서 0.001로 다른 공정에 비해 높은 HQ로 계산되었다. 4종의 프탈레이트 중 DEHP의 HQ가 가장 높은 편이었으며, 대조지역보다 사업장 내 사출공정에서 높은 HQ를 보였다. 사출 공정1(0.023), 사출 공정3(0.015), 사출공정 4(0.009) 등의 순이었다.

<표 III-65> 플라스틱 사출 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)와 HQ

No	공정	DMP		DEP		DBP		DEHP	
		ADD	HQ*	ADD	HQ	ADD	HQ	ADD	HQ
1	사출공정1	0.16	0.002	1.15	0.001	0.06	0.001	0.46	0.023
2	사출공정2	0.21	0.002	0.54	0.001	0.03	0.0003	0.16	0.008
3	사출공정3	0.19	0.002	1.00	0.001	0.03	0.0003	0.30	0.015
4	사출공정4	0.11	0.001	0.24	$\frac{0.000}{3}$	0.03	0.0003	0.19	0.009
5	사출공정4	0.30	0.003	1.05	0.001	0.04	0.0004	0.12	0.006
6	원자재 창고	0.25	0.003	0.76	0.001	0.03	0.0003	0.12	0.006
7	회의실	0.42	0.004	1.26	0.002	0.09	0.001	0.14	0.007
8	회의실	0.19	0.002	0.26	$\frac{0.000}{3}$	0.03	0.0003	0.05	0.002

* Oral subchronic RfD

마) 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 프탈레이트 흡입 노출평가

다음 <표 III-66>은 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 호흡을 통한 프탈레이트 ADD와 그에 따른 HQ이다. 4종의 프탈레이트 모두 HQ가 1을 초과하지 않았다. DMP의 HQ는 고무압출기에서 0.007로 가장 높게 나타났으며, 냉각, 재단, 원료믹싱, 커팅기계에서 0.002로 낮은 수준이었다. DEP는 공정별로 큰 차이가 없었으나 대조지역인 2층 회의실에서 0.010로 가장 높은 HQ였다. DBP의 호흡을 통한 프탈레이트 HQ는 DMP, DEHP에 비해 낮은 편이었으며 공정별로 차이가 없었다. 4종의 프탈레이트 중 DEHP의 HQ가 가장 높은 편이었으며, 냉각, 재단(0.035, 0.033), 원료믹싱(0.028)등의 순이었다.

〈표 III-66〉 합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)와 HQ

No	공정	DMP		DEP		DBP		DEHP	
		ADD	HQ*	ADD	HQ	ADD	HQ	ADD	HQ
1	원료 믹싱	0.46	0.005	1.36	0.002	0.07	0.001	0.55	0.028
2	원료 믹싱	0.25	0.002	1.00	0.001	0	0	0.10	0.005
3	고무기계 압출기	0.31	0.003	2.86	0.004	0.05	0.0005	0.51	0.025
4	고무기계 압출기	0.31	0.003	1.66	0.002	0.04	0.0004	0.37	0.019
5	고무기계 압출기	0.71	0.007	4.76	0.006	0.13	0.001	0.49	0.024
6	고무기계 압출기	0.34	0.003	2.34	0.003	0.04	0.0004	0.17	0.009
7	발포 공정	0.23	0.002	1.16	0.001	0.03	0.0003	0.41	0.021
8	발포 공정	0.31	0.003	1.39	0.002	0.02	0.0002	0.18	0.009
9	냉각, 재단	0.25	0.002	0.63	0.001	0.02	0.0002	0.71	0.035
10	냉각, 재단	0.33	0.003	1.78	0.002	0.03	0.0003	0.67	0.033
11	커팅기계	0.18	0.002	3.56	0.004	0.06	0.001	0.43	0.021
12	커팅기계	0.40	0.004	3.08	0.004	0.07	0.001	0.23	0.011
13	2층 회의실	0.50	0.005	8.39	0.010	0.11	0.001	0.26	0.013
14	2층 회의실	0.27	0.003	4.96	0.006	0.10	0.001	0.23	0.012

* Oral subchronic RfD

바) 합성섬유 제조 사업장 A의 프탈레이트 흡입 노출평가

다음 <표 III-67>은 합성섬유 제조 사업장 A의 호흡을 통한 프탈레이트 ADD와 그에 따른 HQ이다. 4종의 프탈레이트 모두 HQ가 1을 초과하지 않았다. DMP의 HQ는 생산-컷팅 에서 0.015로 가장 높게 나타났으며, 배합, 탈의실/휴게실에서 0.003으로 가장 낮은 수준이었다. DEP와 DBP의 호흡을 통한 프탈레이트 HQ는 DMP, DEHP에 비해 낮은 편이었으며 DEP의 HQ는 배합에서 매우 낮은 수준이었다. 4종의 프탈레이트 중 DEHP의 HQ가 가장 높은 편이었으며, 탈의실/휴게실(0.025), 생산-컷팅(0.015), 배합(0.010) 등의 순이었다.

<표 III-67> 합성섬유 제조 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)와 HQ

No	공정	DMP		DEP		DBP		DEHP	
		ADD	HQ*	ADD	HQ	ADD	HQ	ADD	HQ
1	배합	0.34	0.003	0.03	0.00004	0.02	0.0002	0.20	0.010
2	생산-혼합	0.61	0.006	0	0	0.04	0.0004	0.06	0.003
3	생산-컷팅	1.46	0.015	2.44	0.0030	0.15	0.001	0.30	0.015
4	출하	0.75	0.007	0.49	0.001	0.19	0.002	0.09	0.005
5	사무실	0.35	0.004	0.68	0.0009	0.07	0.001	0.12	0.006
6	탈의실/휴 게실	0.28	0.003	1.17	0.001	0.07	0.001	0.50	0.025

* Oral subchronic RfD

사) 자동차 부품제조 사업장 A의 프탈레이트 흡입 노출평가

다음 <표 III-68>은 자동차 부품제조 사업장 A의 호흡을 통한 프탈레이트 ADD와 그에 따른 HQ이다. 4종의 프탈레이트 모두 HQ가 1을 초과하지 않았다. DMP의 HQ는 실러 공정에서 0.019로 가장 높게 나타났으며 반면에 데드너 공정과 휴게실의 HQ는 0이었다. DEP와 DBP의 호흡을 통한 프탈레이트 HQ는 DMP, DEHP에 비해 낮은 편이었으며 공정별로 차이가 없었다. 4종의 프탈레이트 중 DEHP의 HQ가 가장 높은 편이었으며, 실러 공정(0.021), 2층 회의실(0.016), 조립 휴게실(0.015), 데드너 공정(0.011) 등의 순이었다.

〈표 III-68〉 자동차 부품 제조 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD
($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)와 HQ

No	공정	DMP		DEP		DBP		DEHP	
		ADD	HQ*	ADD	HQ	ADD	HQ	ADD	HQ
1	가온 공정1	0.28	0.003	0.78	0.001	0.04	0.0004	0.14	0.007
2	가온 공정1	0.46	0.005	0.94	0.001	0.07	0.001	0.05	0.003
3	가온 공정2	1.36	0.014	4.28	0.005	0.40	0.004	0.20	0.010
4	데드너 공정	0	0	5.30	0.007	0.06	0.001	0.22	0.011
5	메탈리페어	0.40	0.004	5.34	0.007	0.06	0.001	0.12	0.006
6	실러 공정	1.93	0.019	6.49	0.008	0.08	0.001	0.43	0.021
7	실러 공정	0.23	0.002	0.66	0.001	0.03	0.0003	0.05	0.003
8	트렁크 부품 조립 공정	0.20	0.002	0.76	0.001	0.07	0.001	0.20	0.010
9	조립 휴게실	0	0	2.45	0.003	0.38	0.004	0.29	0.015
10	작업장 내 탈의실	0.75	0.008	0.78	0.001	0.03	0.0003	0.18	0.009
11	도장 작업장 휴게실	0.23	0.002	0.62	0.001	0.01	0.0001	0.09	0.004
12	2층 회의실	0.75	0.008	2.61	0.003	0.13	0.001	0.31	0.016

* Oral subchronic RfD

아) 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 프탈레이트 흡입 노출평가

다음 <표 III-69>는 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 호흡을 통한 프탈레이트 ADD와 그에 따른 HQ이다. 4종의 프탈레이트 모두 HQ가 1을 초과하지 않았다. DMP의 HQ는 파쇄공정에서 0.009로 가장 높게 나타났으며, 선별공정2에서 0.002로 가장 낮은 수준이었다. DEP와 DBP의 호흡을 통한 프탈레이트 HQ는 DMP, DEHP에 비해 낮은 편이었다. 4종의 프탈레이트 중 DEHP의 HQ가 가장 높은 편이었으며, 선별공정 1(0.040), 선별 1(0.017), 선별공정 2(0.013)등의 순이었다.

<표 III-69> 플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A의 프탈레이트 inhalation ADD ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)와 HQ

No	공정	DMP		DEP		DBP		DEHP	
		ADD	HQ*	ADD	HQ	ADD	HQ	ADD	HQ
1	선별공정1	0.56	0.006	2.60	0.003	0.08	0.001	0.81	0.040
2	선별공정1	0.38	0.004	1.30	0.002	0.03	0.0003	0.33	0.017
3	선별공정2	0.19	0.002	0.41	0.001	0.03	0.0003	0.26	0.013
4	파쇄공정	0.88	0.009	1.29	0.002	0.03	0.0003	0.15	0.008
5	비중분리 공정	0.42	0.004	1.37	0.002	0.03	0.0003	0.15	0.007

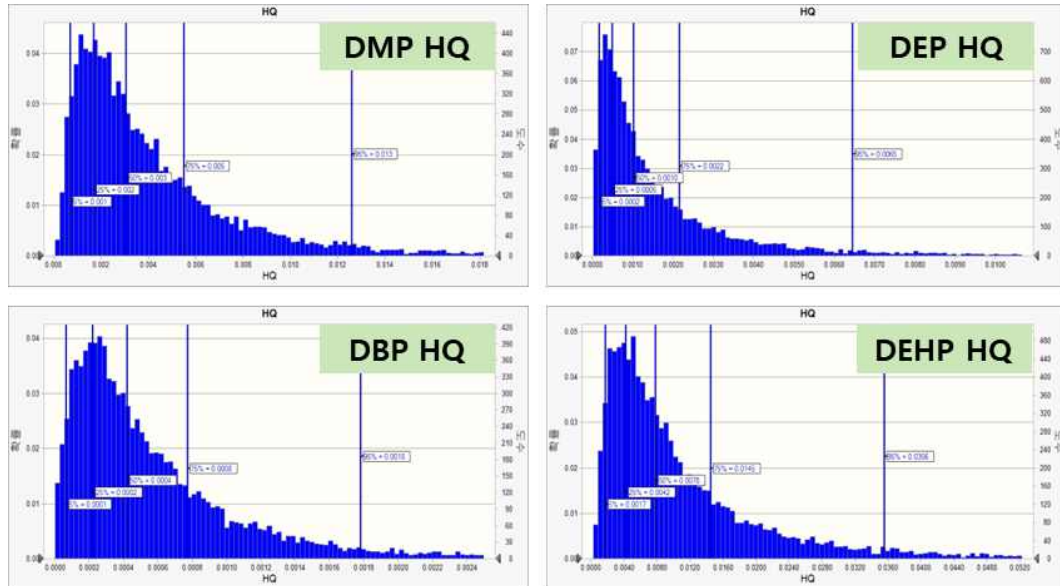
* Oral subchronic RfD

(3) Monte Carlo simulation 분석

근로자의 프탈레이트 노출 분포를 통계적으로 추정하기 위하여 Monte Carlo simulation (Crystal ball software 11.1.2.4 ver. Decisioneering, Inc.)을 사용하였다. Monte Carlo simulation 분석은 가정변수를 필요로 하며 각 변수(호흡률, 체중, 프탈레이트 농도)의 분포를 입력해야 한다. 호흡률과 체중은 정규분포 모형을 선택하고 평균과 표준편차를 입력하였고, 공기 중 프탈레이트의 분포는 데이터 적합옵션을 통해 결정하였다. 네 가지 프탈레이트 모두 로그정규분포(log-normal distribution)로 선택되었다. 시행횟수는 10,000 회로 하였다.

- 호흡률 (m³/day): 전체 남자 평균으로 가정 16.21 ± 2.93 m³/day
- 체중 (kg): 한국 성인의 평균 체중 69.2 ± 11.74 kg
- Inhalation ADD (Average daily dose, 일일 평균 노출량) (mg/kg/day)
= 농도(mg/m³) x 호흡률(m³/day)/ 체중(kg)

다음 [그림 III-31]은 사업장 공기 노출로부터의 4종의 프탈레이트의 HQ를 몬테카를로 시뮬레이션 한 것이다. DMP HQ의 중앙값은 0.003였으며 최대 0.086이었다. DEP의 중앙값 HQ는 0.001였으며 최대 0.085였다. DBP는 중앙값 0.0004으로 최대 0.011이었다. 4종의 프탈레이트의 HQ 중 DEHP가 가장 높은 값을 보였는데, 중앙값 0.008이었으며 최대 0.376까지로 나타났다. 4종의 프탈레이트의 HQ 중 1을 초과하는 경우는 없었다.



[그림 III-31] 프탈레이트 흡입 노출에 대한 HQ 몬테카를로 시뮬레이션 결과

〈표 III-70〉 프탈레이트 흡입 노출에 대한 HQ 몬테카를로 결과 요약

내용	Range	50th (IQR)	95th
DMP	0.00-0.086	0.003 (0.002, 0.005)	0.013
DEP	0.00-0.085	0.001 (0.0005-0.002)	0.007
DBP	0.00-0.011	0.0004 (0.0002, 0.0008)	0.002
DEHP	0.00-0.376	0.008 (0.004, 0.015)	0.036

(4) 호흡을 통한 프탈레이트 노출량 추정(발암성)

4종의 프탈레이트 중 DEHP는 고용노동부 2군 발암성 물질로 초과발암위해도를 평가하였다. 발암력(cancer potency factor; CPF)은 1.41×10^{-2} (mg/kg/day)로 설정하였다(EPA.,1987,1989).

초과발암위해도는 아래 식을 통해 계산하였으며, 초과발암위해도가 1×10^{-4} 이상인 경우 위해가 있으며, 1×10^{-6} 이하인 경우 위해가 없다고 판단하였다(화학물질 위해성평가의 구체적인 방법 등에 관한 규정, 국립환경과학원고시 제2021-13호).

$$ECR = ADD \text{ (mg/kg bw-day)} \times CPF$$

- ECR: Excess Cancer Risk
- ADD : Average daily dose (mg/kg bw-day)
- CPF : Cancer Potency Factor

다음 <표 III-71>은 작업환경 공기 중 DEHP 노출로 인한 초과발암위해도를 사업장별, 공정별로 정리한 것이다. 사업장 8곳의 작업환경 공기 중 DEHP 초과발암위해도는 모두 1×10^{-4} 미만으로, 모든 사업장과 공정에서 발암위해도가 없는 것으로 나타났다.

<표 III-71> 사업장 및 공정별 DEHP 초과발암위해도

사업장	No	구분	공정	ECR
케이블사업장 A	1	사업장	PVC 압출 A	2.5.E-06
	2	사업장	PVC 압출 B	1.2.E-06
	3	사업장	PVC 압출	1.2.E-06
	4	사업장	PVC 테핑	4.5.E-07
	5	사업장	고무압출	4.4.E-06
	6	사업장	케이블 연합	3.2.E-06
	7	사업장	도장	1.9.E-06
	8	사업장	도장	1.0.E-06
	9	사업장	도장	9.2.E-07
	10	사업장	재료보관실	5.6.E-07
	11	대조지역	사무실	5.9.E-07
	12	대조지역	휴게실	2.4.E-07
페인트 사업장 A	1	사업장	특수배합	7.2.E-06
	2	사업장	특수배합	1.1.E-06
	3	사업장	특수배합	2.9.E-06
	4	사업장	특수배합	3.8.E-07
	5	사업장	특수배합	7.5.E-07
	6	대조지역	사업장 외 회의실	2.3.E-06
	7	대조지역	사업장 내 휴게실A	2.6.E-06
	8	대조지역	사업장 내 휴게실B	2.2.E-06
	9	대조지역	공용 휴게실A	2.5.E-06
	10	대조지역	공용 휴게실B	1.7.E-06

사업장	No	구분	공정	ECR
페인트 사업장 B	1	사업장	포장공정 내 도료제조공정	1.1.E-06
	2	사업장	포장공정 내	1.9.E-07
	3	사업장	레진공정	2.3.E-07
	4	사업장	배합공정	7.1.E-07
	5	사업장	분산공정	2.4.E-06
	6	사업장	실험실	3.2.E-06
	7	사업장	실험실(습식장치)	3.2.E-07
	8	대조지역	작업자 휴게실	2.2.E-06
플라스틱 사출 사업장 A	1	사업장	사출공정1	6.5.E-06
	2	사업장	사출공정2	2.2.E-06
	3	사업장	사출공정3	4.2.E-06
	4	사업장	사출공정4	2.6.E-06
	5	사업장	사출공정4	1.7.E-06
	6	사업장	원자재 창고	1.8.E-06
	7	대조지역	회의실	2.0.E-06
	8	대조지역	회의실	7.0.E-07
합성수지 및 플라스틱 제조 사업장 A	1	사업장	원료 믹싱	7.8.E-06
	2	사업장	원료 믹싱	1.5.E-06
	3	사업장	고무기계 압출기	7.1.E-06
	4	사업장	고무기계 압출기	5.3.E-06
	5	사업장	고무기계 압출기	6.9.E-06
	6	사업장	고무기계 압출기	2.4.E-06
	7	사업장	발포 공정	5.8.E-06
	8	사업장	발포 공정	2.5.E-06
	9	사업장	냉각, 재단	10.0.E-05
	10	사업장	냉각, 재단	9.4.E-06
	11	사업장	커팅기계	6.0.E-06
	12	사업장	커팅기계	3.2.E-06
	13	대조지역	2층 회의실	3.7.E-06
	14	대조지역	2층 회의실	3.3.E-06

사업장	No	구분	공정	ECR
합성섬유 제조 사업장 A	1	사업장	배합	2.89.E-06
	2	사업장	생산-혼합	8.26.E-07
	3	사업장	생산-컷팅	4.27.E-06
	4	사업장	출하	1.30.E-06
	5	대조지역	사무실	1.67.E-06
	6	대조지역	탈의실/휴게실	7.05.E-06
자동차 부품제조 사업장 A	1	사업장	가온 공정1	1.98.E-06
	2	사업장	가온 공정1	7.65.E-07
	3	사업장	가온 공정2	2.82.E-06
	4	사업장	데드너 공정	3.12.E-06
	5	사업장	메탈리페어	1.70.E-06
	6	사업장	실러 공정	6.00.E-06
	7	사업장	실러 공정	7.12.E-07
	8	사업장	트렁크 부품 조립 공정	2.80.E-06
	9	대조지역	조립 휴게실	4.14.E-06
	10	대조지역	작업장 내 탈의실	2.48.E-06
	11	대조지역	도장 작업장 휴게실	1.22.E-06
	12	대조지역	2층 회의실	4.40.E-06
플라스틱 폐기물 재활용 사업장 A	1	사업장	선별1	1.14.E-05
	2	사업장	선별1	4.72.E-06
	3	사업장	선별공정2	3.69.E-06
	4	사업장	파쇄공정	2.12.E-06
	5	사업장	비중분리 공정	2.10.E-06



IV. 결론

.....

IV. 결론

1. 연구결과 요약

1) 연구배경

대표적인 플라스틱가소제 성분인 프탈레이트는 생식독성 및 내분비계 장애 물질로 잘 알려져있다. 전세계적으로 소비자제품 및 어린이용품, 의료용품 등에 프탈레이트 사용규제가 강화되고 있는 추세인 반면, 프탈레이트를 직업적으로 취급하는 근로자의 노출 관리는 관심이 부족한 실정이다. 우리나라 산업안전보건법은 4종의 프탈레이트(DMP, DEP, DBP, DEHP) 노출기준을 5 mg/m^3 로 설정하고 있지만, 작업환경측정 대상물질에 해당하지 않아 사업장 내 환경관리 및 근로자 노출관리는 이루어지지 못하고 있다. 이중 DEHP와 DBP는 생식독성물질에 해당하는데, 최근 DBP가 특별관리물질로 추가되었다. 2022년 ACGIH는 프탈레이트의 노출기준(TLV-TWA)을 기존 5 mg/m^3 에서 남성생식독성을 근거로하여 0.1 mg/m^3 로 대폭 강화할 것을 예고하였다. 이에 우리나라의 프탈레이트 취급 근로자의 노출실태와 관리방안을 모색할 필요가 제기되었다.

2) 주요 연구결과

(1) 프탈레이트 규제현황 및 국내외 관련 연구 문헌조사

프탈레이트 화합물은 REACH의 Candidate list of substances of very high concern for Authorisation(고위험성 우려물질)에 포함되어있고, 그 종류가 늘어나는 추세이다. 국내외 근로자를 대상으로 한 프탈레이트 노출평가 관련 선행연구를 PRISMA protocol에 따라 체계적으로 문헌고찰 하였다. 산업안전보건연구원에서 수행한 우리나라 근로자의 생식독성 물질 관리 연구

에 관한 연구보고서 10 건을 고찰한 결과, CMR 물질관리의 일환으로 생식독성 물질관리의 체계와 관리수준을 제안하는 정책연구가 주요였음을 알 수 있다. 생식독성의 대상을 여성근로자로 제한하여 연구하던 것을 벗어나 근로자 전체의 생식독성으로 확대한 것은 바람직한 방향으로 여겨진다. 다만, 지금까지 십여 년 동안 열건의 연구를 통하여 생식독성 물질의 관리, 특별한 관리의 필요성에 동의하고, 체계적인 유해성평가의 필요성을 꾸준히 제기하였음에도 불구하고, 개별 생식독성물질의 노출평가 방법 개발과 노출 수준에 근거한 위험성 평가 연구는 이루어지지 못했다는 한계를 확인할 수 있었다.

(2) 우리나라 프탈레이트 취급 사업장 및 근로자 현황 추정

2018년 <환경부 화학물질안전원 화학물질 종합정보시스템>의 <화학물질 통계정보 공개>에 따르면 DMP, DEP, DBP, BBP, DEHP, DnOP, DiNP, DiDP, 총 8 종의 프탈레이트를 취급하는 사업장은 총 1,338 개소로 파악되었다. 세부 업종별로는 17개의 업종(기타제외)에서 프탈레이트를 사용하고 있었다. 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)에서 293 개소로 가장 많았으며, 고무 및 플라스틱제품 제조업(n=199), 도매 및 상품 중개업(n=112), 자동차 및 트레일러 제조업(n=106) 순이었다. 취급하는 프탈레이트의 종류를 분석한 결과, 50 % 이상(n=697)의 사업장에서 DEHP를 사용하였다.

(3) 환경 중 농도 측정을 위한 시료채취 및 분석방법 정립

공기시료 채취는 프탈레이트 가스상 및 입자상을 동시에 채취할 수 있는 Tenax TA OVS (part no. 226-56, SKC Inc)를 사용하였다. 표면시료는 공기시료 채취 주변의 설비표면을 wipe하는 방식으로 채취하였다. 공기시료와 표면시료에서 프탈레이트를 분석하는 전처리방법으로 용매 추출법(solvent extraction), 초음파 추출법(ultrasound-assisted extraction), 속실텟 추출(soxhlet extraction), 고체상 미량 추출법(solid-phase microextraction, SPME)을 검토하였다. 분석과정에서 오염 가능성이 적고, 용매사용이 없어 친환경적이며, 검출한계와 정량한계가 우수한 고체상 미량

추출법(SPME)을 Tenax OVS tube의 유리섬유 필터 부분과 테낙스 부분의 전처리 방법으로 결정하였다. 표면시료의 경우 거즈의 부피와 이소프로필알콜의 양 때문에 SPME를 적용할 수 없으므로, 초음파추출법을 적용하였다. 추출 후 시료는 GC-MS로 분석하였다.

(4) 취급 사업장의 공기 중 농도와 표면 농도를 측정하여 취급 근로자의 노출가능성과 건강위험 추정

8개 사업장을 대상으로 75개의 공기시료와 100개의 표면시료를 채취하였다. 공기시료의 경우, DEHP에 대하여 ACGIH의 개정예고 노출기준인 $0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ 을 초과한 경우는 없었다. 표면시료의 경우 DEHP의 농도가 사업장에 따라 불검출에서 $5,243 \text{ ng}/\text{cm}^2$ 까지로 천차만별이었으나, 비교가능한 기준값이 없으므로, 상대적인 오염정도만을 평가할 수 있었다. 공기시료 분석결과를 이용하여 흡입을 통한 인체노출량을 추정하고, 이를 RfD와 비교하여 HQ를 도출한 결과, 우려될만한 수준은 관찰되지 않았다. DEHP의 호흡을 통한 발암위해도 평가결과 모든 사업장에서 1×10^{-4} 미만으로, 모든 사업장과 공정에서 발암위해도가 없는 것으로 나타났다.

3) 연구 활용방안

공기시료 및 표면시료 중 프탈레이트 분석은 통상적으로 수행되어 온 시료들에 비하여 샘플링, 전처리 및 분석방법이 까다로운 편이어서, 아직 기준으로 삼을 만한 방법이 여의치 않은 현실이다. 본 연구에서 제안한 시료채취 및 분석방법은 작업환경 중 프탈레이트 시료분석법 개발의 기초를 제공할 것이다. 또한 본 연구에서 다양한 업종에서 측정분석한 작업환경 중 노출평가 및 인체노출량 추정결과는 비록 우리나라 근로자 노출수준의 대푯값은 아니나, 우리나라 프탈레이트 취급 근로자의 건강위험을 평가하고 관리해야 할 필요성을 제기하는 데에 활용될 수 있다. 향후 프탈레이트 취급 근로자의 JEM을 구축하는 데에 활용될 수 있고, 생식독성 및 내분비계 건강영향 등을 포함하여 프탈레이트의 근로자 건강피해 예방의 기초자료로 활용될 수 있다.

2. 향후 제언

1) 관리대상 프탈레이트의 노출관리

플라스틱 사용이 불가피한 현대사회에서 프탈레이트로 대표되는 가소제 사용은 증가할 수 밖에 없다. 가소제 성분을 합성생산하거나, 가소제 성분을 첨가하여 플라스틱 소재를 생산하거나, 플라스틱 소재를 이용하여 부품 또는 완제품을 성형하거나, 플라스틱 부품을 이용하여 제품을 조립하고 사용하거나, 제품 사용 후 폐기의 전 과정에 거쳐 근로자는 가소제 성분, 프탈레이트에 노출될 수 밖에 없다. 30 여종의 프탈레이트가 산업적으로 쓰이는 것으로 알려져있고, 그중 우리나라의 산업안전보건법에서 노출기준을 설정하고 있는 물질은 DMP, DEP, DBP, DEHP 등 단 4종에 불과하다. DEHP의 경우 발암성이 의심되기도 하고, DBP와 DEHP는 내분비계 교란물질로 분류되기도 하지만, 이들의 공통적인 독성이 생식독성임을 고려할 때 프탈레이트의 노출은 혼합물로서 평가되는 것이 타당할 것으로 여겨진다. “근로자의 플라스틱 가소제 노출과 건강영향 연구(2022)”를 수행하는 과정에서 제기된 연구의 제한점과 향후 추가적으로 연구가 필요한 사항을 다음과 같이 정리하였다.

- 관리대상 프탈레이트의 노출기준 설정 연구: 최근에 게시된 ACGIH의 NIC를 고려하여 우리나라 사업장의 노출기준 개정과 보완이 필요하다. 특히 기존의 DEHP, DBP의 노출기준이 호흡기독성에 근거하여 설정된 것인데 반하여, 새로 제안된 노출기준은 생식독성을 기준으로 설정된 값이므로, 현재 우리나라 관리대상물질에서 생식독성물질로 분류하고 있는 점을 반영하여 노출기준 개정은 불가피할 것으로 여겨진다.

- 프탈레이트 시료채취 및 분석법 정립 연구: 프탈레이트의 인체노출경로는 호흡뿐 아니라 피부와 섭취 역시 주요한 경로로 알려져 있다. 따라서 공기시료 채취분석 및 피부노출의 경로가 되는 먼지와 surface 시료의 채취 분석법

개발 연구가 필요하다. 본 연구를 수행하는 과정에서 가용한 수준에서 최적의 시료채취 및 분석법을 적용하였으나, 결과적으로 시료의 포집율, 회수율과 분석의 재현성 등이 만족스럽지 못하였다. 기존의 선행 논문에서도 다양한 방법을 제시하고는 있으나, 아직은 연구논문 수준으로 분석법 validation까지는 추가적인 노력이 필요하다. 따라서 좀 더 광범위한 모색을 통해 시료채취와 분석에 적절한 방법을 개발해야 할 것이다. 프탈레이트는 입자상과 기체상으로 모두 존재하고, 물성도 점도의 차이 등이 있어 채취된 시료의 탈착방법이 매우 중요한 것으로 알려져있다. 전처리와 분석과정에 오염기회를 최소화하면서도, 용매사용을 최소한으로 하고, 효과적인 분석이 가능한 전처리방법과 조건을 찾아내는 것이 무엇보다 중요하다고 판단된다. DEHP까지는 GC를 이용한 분석이 가능하므로, 우선 관리대상 프탈레이트로 제한할 경우 분석기기는 GC/MS로 정하는 것이 적당하다. 프탈레이트의 환경시료 채취와 분석과 관련하여 필요한 연구내용은 구체적으로 다음과 같다.

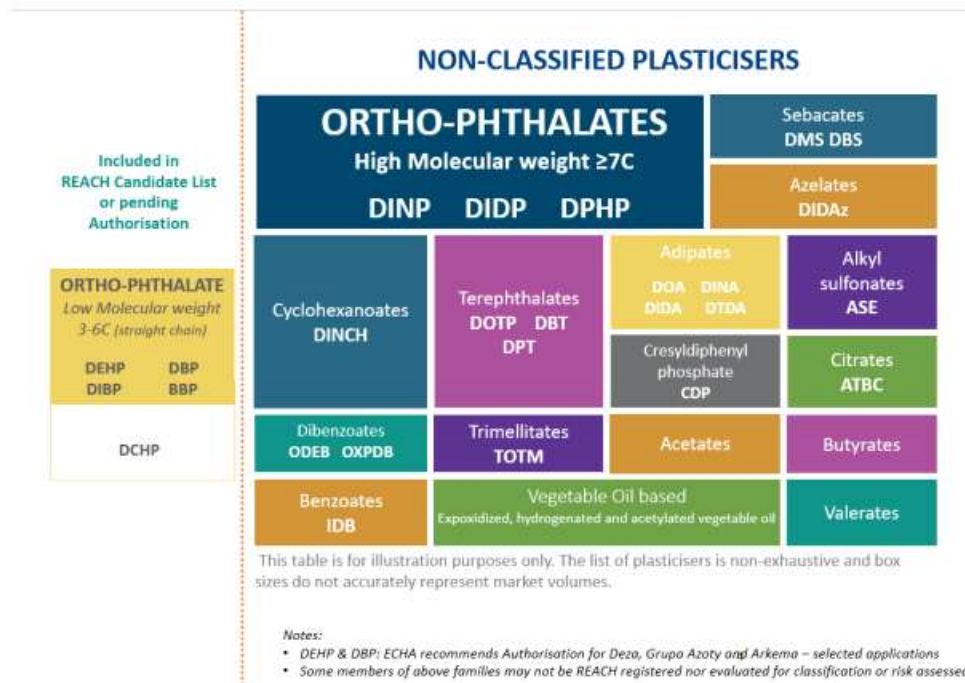
- a. 공기시료 sampling media의 선택과 효율성 평가 - 본 연구에서는 상업적으로 가장 널리 쓰이는 SKC사의 Tenax TA OVS를 사용하였는데, 이 tube의 효율성에 대한 검증을 하지 못했다. 또한 Tenax 앞뒷층 사이의 파과 현상이 다수 발견되었으므로, 적절한 sampling flowrate와 용량에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.
- b. 공기시료 분석을 위한 프탈레이트의 휘발성, 반 휘발성에 따른 헤드스페이스 고체상미량추출법-기체크로마토그래피 분석법 개발
- c. 공기시료 분석을 위한 열탈착-기체크로마토그래피 (Thermal desorption-gas chromatography, TD-GC/MS)를 이용한 분석법 개발
- d. 공기시료 분석을 위한 효율적인 분석법 비교 및 검정 : lab test chamber 구축을 고려해야 함
- e. 먼지시료 채취방법과 분석법 개발 연구

- **근로자 노출평가 방법 연구:** 근로자의 노출평가는 1) 환경시료 분석으로 외부노출농도 평가 2) 인체내 노출량(dose)의 추정으로 접근해볼 수 있다. 환경시료 중 농도분석은 분석법 개발과 함께 수행되어야 할 내용이다. 한편, 인체내 노출량 평가는 1) 환경농도로부터 dose를 추정하는 모형을 활용하는 방식과 2) 소변 등 생체시료 중 프탈레이트 대사체의 농도를 분석하여 역으로 노출량을 추정하는 방식을 모두 활용할 수 있다. 프탈레이트의 노출이 직업적 노출뿐 아니라 일상 생활용품의 사용 및 주거공간에서도 광범위하게 일어나기 때문에, 근로자의 인체내 총 프탈레이트 노출량을 확인하는 것이 관련 건강영향을 예방하고, 질병과의 연관성을 설명하기에 반드시 필요한 연구이다. 프탈레이트 대사체 분석에 관한 연구는 환경부, 식약처 등의 선행연구에서 상당 부분 수행된 경험이 있으니 이들을 활용하면 상대적으로 수월하게 목표를 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

- **프탈레이트 노출 근로자의 건강영향 모니터링 연구:** 건강영향을 지시하는 effect biomarker의 분석과 생식독성 및 내분비계 교란과 관련된 다양한 질환과의 역학연구를 통하여, 프탈레이트 노출 근로자의 건강보호에 활용할 수 있어야 할 것이다.

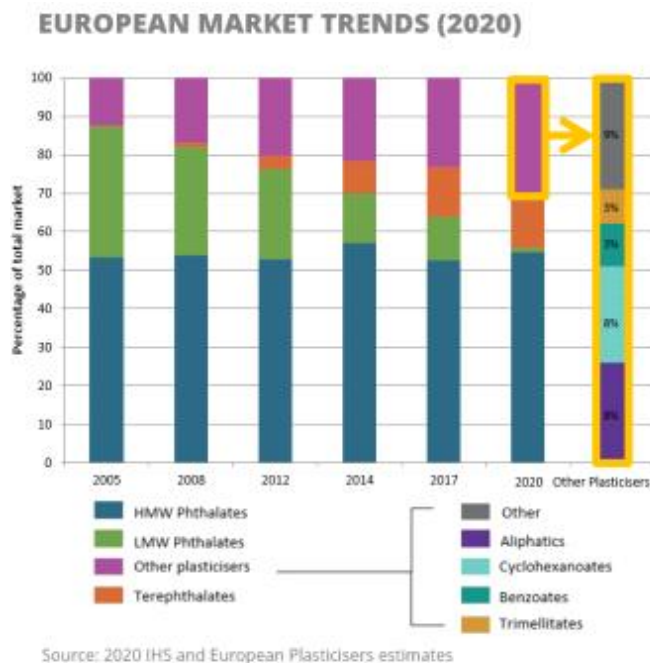
2) 대체가소제의 노출관리

프탈레이트는 여전히 플라스틱 가소제의 대표격이고, REACH 등의 규제를 적용받는다[그림 IV-1].



[그림 IV-1] 플라스틱 가소제의 종류(European Plasticisers, Factsheet, 2021)

그러나, 프탈레이트에 대한 규제가 전세계적으로 강화되면서 이를 대체할 수 있는 대체가소제가 꾸준히 개발되고 사용량도 점점 증가하는 추세이다[그림 IV-2]. [그림 IV-2]에서 보는 바와 같이, 고분자 프탈레이트의 사용량은 최근 15년 동안 일정하게 유지되는 반면, 저분자 프탈레이트(C1-C6)의 사용량은 급격히 줄어들고 있다. 이 차이를 terephthalates와 대체가소제가 채우고 있는 추세이다.



[그림 IV-2] 플라스틱가소제의 종류별 사용량 추이(European Plasticisers, Factsheet, 2021)

우리나라는 환경부와 식약처를 중심으로 프탈레이트 대체가소제의 독성, 노출원, 노출경로 및 인체노출량에 근거한 건강피해 가능성까지 연구를 진행하고 있다.

아직 사업장 화학물질 관리대상에 들지 못한 신규 대체가소제 물질에 대한 근로자 노출관리와 건강보호를 위하여 업종별 사용량 추이를 모니터링하고, 노출시나리오에 기반한 노출량 추정모형을 활용하여 근로자의 노출위험 관리의 필요성을 제기할 필요가 있다. 기존 프탈레이트에 대한 환경시료 측정분석법과 함께 대체 가소제의 환경시료 측정분석법 개발을 추진하는 선제적인 노력이 화학물질의 건강피해를 예방하는 차원에서 필요할 것이다. 또한 환경부, 식약처 등에서 일반인구를 대상으로 수행중인 대체가소제의 인체노출과 건강영향 연구의 진행을 근로자를 대상으로 확대 적용하려는 연구가 필요하고, 이를 근거로 관리대상물질의 확대 근거로 삼을 수 있을 것이다.

참고문헌

- 강양원. 일개 사업장의 프탈레이트 노출수준과 알레르기 질환 및 천식과의 관계, 대한직업환경의학회 논문집, 2017.
- 김웅, 계명찬. Maleficent Effects of Phthalates and Current States of Their Alternatives: A Review. Environmental Biology Research, 2017; 35(1): 21-36.
- 고용노동부 「화학물질의 분류표시 및 물질안전보건자료에 관한 기준」, 고용노동부고시 제2020-130호.
- 국립소방과학원. 인체유해물질 노출량 측정을 통한 개인보호장비 개선방안 마련 사전연구, 박정임 등 2017.
- 국립환경과학원. 양원호 등, 위해성평가 적용을 위한 국내 성인 노출계수 개선 연구 (III), 2018.
- 김현영. Di(2-ethylhexyl)phthalate(DEHP) 취급 사업장의 작업환경 및 위해성 평가. 환경독성보건학회지, 2016, 31, 1-11.
- 노동환경건강연구소. 노사공동 발암물질조사사업 보고서. 2013.
- 산업안전보건연구원. 관리대상 화학물질의 안전보건기준 연구. 최상준 등, 2012.
- 산업안전보건연구원. 국내외 생식독성 화학물질 등의 유해인자 규제관리 실태분석 및 제도개선 연계방안 연구. 최상준 등, 2017.

- 산업안전보건연구원. 근로자 생식보건 역학연구(I). 김은아 등, 2015.
- 산업안전보건연구원. 발암성, 생식독성, 변이원성물질에 대한 관리체계 연구. 피영규 등, 2008.
- 산업안전보건연구원. 사업장 생식독성 화학물질 취급 및 노출 실태 조사 연구. 김종규 등, 2014.
- 산업안전보건연구원. 생식독성물질의 산업안전보건법 등 관리수준 검토를 위한 유해성 위험성 평가. 최상준 등, 2020.
- 산업안전보건연구원. 여성 근로자 생식독성 역학연구 설계를 위한 기초조사 연구. 김은아 등, 2014.
- 산업안전보건연구원. 여성근로자에 영향을 미치는 화학물질의 관리방안 연구. 홍윤철 등, 2007.
- 산업안전보건연구원. 유해화학물질의 위해도 평가. 김치년 등, 2011.
- 산업안전보건연구원. 임신부 등 사용금지 직종 확대를 위한 연구. 박정근 등, 2015.
- 산업안전보건연구원. 특별관리대상 유해물질 관리시스템 구축에 관한 연구- 발암성, 변이원성, 생식독성물질을 중심으로-. 임경택 등, 2011.
- 식약처, 2021. 의료기기 허가·신고·심사 등에 관한 규정, 「의료기기허가·신고·심사 등에 관한 규정」제5조제3호.
- 한국산업안전보건공단, KOSHA A-164-2018. 디(2-에틸헥실) 프탈레이트에 대한 작업환경측정, 분석 기술지침, 2018.
- 환경보건학회. 환경위해관리. 신광출판사, 2019.

환경부. 친환경 가소제 시장현황 및 전망. 우제완 등, 2017.

한국환경정책·평가연구원. 플라스틱 내 유해물질 관리방안 연구. 서양원 외. 2020.

화학물질 안전원. 화학물질종합정보시스템, 화학물질 통계조사 결과 2014-2018. <https://icis.me.go.kr/main.do>.

ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists). 2020. NOTICE OF INTENDED CHANGES APPEDIX B:Particles(insoluble or poorly soluble) Not Otherwise Specified(PNOS).

ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists). 2022. NOTICE OF INTENDED CHANGES APPEDIX B:Particles(insoluble or poorly soluble) Not Otherwise Specified(PNOS).

Adibi JJ, FP Perera, W Jedrychowski, DE Camann, D Barr, R Jacek and RM Whyatt. Prenatal exposures to phthalates among women in New York City and Krakow, Poland. Environ. Health Perspect. 2003, 111, 1719-1722.

Anh HQ, Tomioka K, Tue NM, Tuyen LH, Chi NK, Minh TB, Viet PH, Takahashi S. A preliminary investigation of 942 organic micro-pollutants in the atmosphere in waste processing and urban areas, northern Vietnam: Levels, potential sources, and risk assessment. Ecotoxicol Environ Saf. 2019, 15;167, 354-364.

Armada, D. Celeiro, M. Dagnac, T. Llompарт, M. Green methodology based on active air sampling followed by solid

- phase microextraction and gas chromatography-tandem mass spectrometry analysis to determine hazardous substances in different environments related to tire rubber. *Journal of Chromatography A*. 2022, 1668, 462911.
- Başaran, B. Soylu, G. N. Y Imaz Civan, M. Concentration of phthalate esters in indoor and outdoor dust in Kocaeli, Turkey: implications for human exposure and risk. *Environ Sci Pollut Res*. 2019, 27, 1808-1824.
- Chakraborty TR, E Alicea and S Chakraborty. Relationships between urinary biomarkers of phytoestrogens, phthalates, phenols, and pubertal stages in girls. *Adolesc. Health Med. Ther*. 2012, 3, 17-26.
- Chang CJ, Cheng SF, Chang PT, Tsai SW. Indoor air quality in hairdressing salons in Taipei. *Indoor Air*. 2018, 28(1), 173-180.
- Choi S, Kim MJ, Park YJ, Kim S, Choi K, Cheon GJ, Cho YH, Jeon HL, Yoo J, Park J. Thyroxine-binding globulin, peripheral deiodinase activity, and thyroid autoantibody status in association of phthalates and phenolic compounds with thyroid hormones in adult population. *Environ Int*, 2020, PMID: 32464474.
- Craig JA, Ceballos DM, Fruh V, Petropoulos ZE, Allen JG, Calafat AM, Ospina M, Stapleton HM, Hammel S, Gray R, Webster TF. Exposure of Nail Salon Workers to Phthalates, Di(2-ethylhexyl) Terephthalate, and Organophosphate Esters: A Pilot Study. *Environ Sci Technol*. 2019, 17;53(24), 14630-14637.

Deng M, Han X, Ge J, Liang X, Du B, Li J, Zeng L. Prevalence of phthalate alternatives and monoesters alongside traditional phthalates in indoor dust from a typical e-waste recycling area: Source elucidation and co-exposure risk. *J Hazard Mater.* 2021, 5:413, 125322.

Directive 2015/863/EU on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, RoHS.

Dirven HA, van den Broek PH, Arends AM, Nordkamp HH, de Lepper AJ, Henderson PT, Jongeneelen FJ. Metabolites of the plasticizer di(2-ethylhexyl)phthalate in urine samples of workers in polyvinylchloride processing industries. *Int Arch Occup Environ Health.* 1993, 64(8), 549-54.

ECHA, INFORMATION ON CHEMICALS, andidate List of substances of very high concern for Authorisation (<https://echa.europa.eu/candidate-list-table>) accessed 2022-11.08.

European Plasticisers, Factsheet, 2021.

Ferguson KK, Rosen EM, Rosario Z, Feric Z, Calafat AM, McElrath TF, Vélez Vega C, Cordero JF, Alshawabkeh A, Meeker JD. Environmental phthalate exposure and preterm birth in the PROTECT birth cohort. *Environ Int.* 2019, 132, 105099.

Ferguson, K. K., McElrath, T. F., &Meeker, J. D. Environmental phthalate exposure and preterm birth. *JAMA pediatrics.* 2014,

168 (1): 61-67.

Fong JP, Lee FJ, Lu IS, Uang SN, Lee CC. Estimating the contribution of inhalation exposure to di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) for PVC production workers, using personal air sampling and urinary metabolite monitoring. *Int J Hyg Environ Health*. 2014, 217(1), 102-9.

Fromme, H. Lahrz, T. Kraft, M. Fembacher, L. Dietrich, S. Sievering, S.; Burghardt, R.; Schuster, R.; Bolte, G.; Völkel, W. Phthalates in German daycare centers: Occurrence in air and dust and the excretion of their metabolites by children (LUPE 3). *Environment International* 2013, 61, 64-72.

Gromiec JP, Wesołowski W, Brzeźnicki S, Wróblewska-Jakubowska K, Kucharska M. Occupational exposure to rubber vulcanization products during repair of rubber conveyor belts in a brown coal mine. *J Environ Monit*. 2002, 4(6), 1054-9.

Hoang AQ, Le TM, Nguyen HMN, et al. Phthalic acid esters (PAEs) in workplace and house dust from Vietnam: concentrations, profiles, emission sources, and exposure risk. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2022;29(10):14046-14057. doi:10.1007/s11356-021-16851-6.

Huang LP, Lee CC, Hsu PC, Shih TS. The association between semen quality in workers and the concentration of di(2-ethylhexyl) phthalate in polyvinyl chloride pellet plant air. *Fertil Steril*. 2011, 96(1), 90-4.

Huang PC, Liao KW, Chang JW, Chan SH, Lee CC. Characterization of phthalates exposure and risk for cosmetics and perfume sales clerks. *Environ Pollut.* 2018, 233, 577-587.

Huang, C. Chiou, Y. Cho, H. Lee, C. Children's exposure to phthalates in dust and soil in Southern Taiwan: A study following the phthalate incident in 2011. *The Science of the total environment* 2019, 696, 133685.

Huang, L. Zhu, X. Zhou, S. Cheng, Z. Shi, K. Zhang, C. Shao, H. Phthalic Acid Esters: Natural Sources and Biological Activities. *Toxins* 2021, 13, 495.
<https://doi.org/10.3390/toxins13070495218>.

Huang, X.; De Hoop, C. F.; Peng, X.; Xie, J.; Qi, J.; Jiang, Y.; Xiao, H.; Nie, S. Thermal Stability Analysis of Polyurethane Foams Made from Microwave Liquefaction Bio-Polyols with and Without Solid Residue. *Bioresources* 2018, 13, 3346.

Ibhazehiebo K and N Koibuchi. Thyroid hormone receptor-mediated transcription is suppressed by low dose Phthalate. *Niger. J. Physiol. Sci.* 2014, 26, 143-149.

Jennifer J. Adibi, Russ Hauser, Paige L. Williams, Robin M. Whyatt, Antonia M. Calafat, Heather Nelson, Robert Herrick, Shanna H. Swan. 2009. Maternal Urinary Metabolites of Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate in Relation to the Timing of Labor in a US Multicenter Pregnancy Cohort Study, *Am J Epidemiol.* 169(8), 1015-1024.

- Jeon, S. Kim, K. Choi, J. Concentrations and Exposure Levels via Intake of Phthalates in Dust Deposits in Indoor Children's Living Areas: Focusing on DEHP. *Journal of Environmental Health Sciences*. 2022, 48, 52-58.
- Kaikiti C, Stylianou M, Agapiou A. TD-GC/MS analysis of indoor air pollutants (VOCs, PM) in hair salons. *Chemosphere*. 2022, 294:133691.
- Kim MJ, Kim S, Choi S, Lee I, Moon MK, Choi K, Park YJ, Cho YH, Kwon YM, Yoo J, Cheon GJ, Park J. Association of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals with thyroid hormones in general adult population and potential mechanisms. *Sci Total Environ*. 2021, PMID: 33373756.
- Kim, W. Choi, I. Jung, Y. Lee, J. Min, S. Yoon, C. Phthalate Levels in Nursery Schools and Related Factors. *Environmental science & technology*. 2013, 47, 12459-12468.
- Latini G, CD Felice and A Verrotti. Plasticizers, infant nutrition and reproductive health. *Reprod. Toxicol*. 2004, 19:27-33.
- Lee I, Kim S, Park S, Mok S, Jeong Y, Moon HB, Lee J, Kim S, Kim HJ, Choi G, Choi S, Kim SY, Lee A, Park J, Choi K. Association of urinary phthalate metabolites and phenolics with adipokines and insulin resistance related markers among women of reproductive age. *Sci Total Environ*. 2019, 20:688, 1319-1326.
- Lee, S.; Yoon, J.; Bae, S.; Lee, D. In-needle Microextraction Coupled with Gas Chromatography/Mass Spectrometry for the

Analysis of Phthalates Generating from Food Containers. Food Anal. Methods. 2018, 11, 2767-2777.

Lee, Y. Choi I. 제5호 서울시 초등학교 실내 먼지 중 프탈레이트 오염실태 조사 Phthalates Contamination in Indoor Dust in Elementary Schools in Seoul: A Pilot Study. J Environ Health Sci. 2020, 46, 548.

Liss GM, Albro PW, Hartle RW, Stringer WT. Urine phthalate determinations as an index of occupational exposure to phthalic anhydride and di(2-ethylhexyl)phthalate. Scand J Work Environ Health. 1985, ;11(5), 381-7.

López-Carrillo L, RU Hernández-Ramírez, AM Calafat, L Torres-Sánchez, M Galván-Portillo, LL Needham, R RuizRamos and ME Cebrián. Exposure to phthalates and breast cancer risk in northern Mexico. Environ. Health Perspect. 2010, 118, 539-544.

Lu L, Rong H, Wu C, Cui B, Huang Y, Tan Y, Zhang L, Peng Y, Garcia JM, Chen JA. Levels of phthalate acid esters and sex hormones and their possible sources in traffic-patrol policemen in Chongqing. Environ Sci Pollut Res Int. 2019, 26(9):9005-9013.

J.D.Meeker,H.Hu,D.E.Cantonwine,H.Lamadrid-Figueroa,A.M.Calafat, A.S. Ettinger. Urinary phthalate metabolites in relation to preterm birth in Mexico City Environ. Health Perspect. 2009, 117:1587.

- Menichini, E.; Abate, V.; Attias, L.; De Luca, S.; di Domenico, A.; Fochi, I.; Forte, G.; Iacovella, N.; Iamiceli, A. L.; Izzo, P.; Merli, F.; Bocca, B. Artificial-turf playing fields: Contents of metals, PAHs, PCBs, PCDDs and PCDFs, inhalation exposure to PAHs and related preliminary risk assessment. *The Science of the total environment*. 2011, 409, 4950-4957.
- V. Nguyen, Miriam L. Diamond, Sheila Kalenge, et al., Occupational Exposure of Canadian Nail Salon Workers to Plasticizers Including Phthalates and Organophosphate Esters. *Linh Environmental Science & Technology*. 2022, 56 (5), 3193-3203.
- NIOSH (National Institute for Occupational Safety & Health). NIOSH 5020, NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, 8/15/92, 1994.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development, Holland, M., of Phthalates. ENV/WKP 7. Socio-economic Assessment pp. 90, 2018, www.oecd.org/environment/workingpapers.htm.
- Okeme JO, Nguyen LV, Lorenzo M, Dhal S, Pico Y, Arrandale VH, Diamond ML. Polydimethylsiloxane (silicone rubber) brooch as a personal passive air sampler for semi-volatile organic compounds. *Chemosphere*, 2018, 208, 1002-1007.
- OSHA (Occupational Safety and Health Administration). OSHA 104, Organic Methods Evaluation Branch OSHA Salt Lake Technical Center Salt Lake Citry, UT 84165-0200, 1994.

Park, M., Yang, Y., Hong, Y., Kim, S., & Lee, Y. Assessment of Di (2-ethylhexyl) Phthalate Exposure by Urinary Metabolites as a Function of Sampling Time. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 2010, 43(4), 301.

Porras SP, Hartonen M, Koponen J, et al. Occupational Exposure of Plastics Workers to Diisononyl Phthalate (DiNP) and Di(2-propylheptyl) Phthalate (DPHP) in Finland. *Int J Environ Res Public Health*. 2020, 17(6), 2035.

Rozati R, PP Reddy, P Reddanna and R Mujtaba. Role of environmental estrogens in the deterioration of male factor fertility. *Fertil. Steril*. 2002, 78, 1187-1194.

Rudel RA, DE Camann, JD Spengler, LR Korn and JG Brody. Phthalates, alkylphenols, pesticides, polybrominated diphenyl ethers, and other endocrine-disrupting compounds in indoor air and dust. *Environ. Sci. Technol*. 2003, 37, 4543-4553.

Rusyn I, JM Peters and ML Cunningham. Effects of DEHP in the liver: modes of action and species-specific differences. *Crit. Rev. Toxicol*. 2006, 36, 459-479.

Subedi B, Sullivan KD, Dhungana B. Phthalate and non-phthalate plasticizers in indoor dust from childcare facilities, salons, and homes across the USA. *Environ Pollut*. 2017, 230, 701-708.

Szewczyńska, M.; Pośniak, M.; Dobrzyńska, E. Determination of phthalates in particulate matter and gaseous phase emitted into the air of the working environment. *Int. J. Environ. Sci. Technol*

2019, 17, 175-186.

Takeuchi, S.; Tanaka-Kagawa, T.; Saito, I.; Kojima, H.; Jin, K.; Satoh, M.; Kobayashi, S.; Jinno, H. Differential determination of plasticizers and organophosphorus flame retardants in residential indoor air in Japan. *Environ Sci Pollut Res.* 2015, 25, 7113-7120.

Tienpont, B.; David, F.; Sandra, P.; Vanwalleghe, F. Evaluation of sorptive enrichment for the analysis of phthalates in air samples. *J. Micro. Sep.* 2000, 12, 194.

Tranfo G, L Caporossi, E Paci, C Aragona, D Romanzi, CD Carolis, MD Rosa, S Capanna, B Papaleo and A Pera. Urinary phthalate monoesters concentration in couples with infertility problems. *Toxicol. Lett.* 2012, 213, 15-20.

Yoon-Jung. H; Young-Hwa. P; Young-Kyo. S; Seo, Gwang-Kyo; Sung-Ok. B. Determination of Phthalates Compounds in the Ambient Atmosphere (I) -Evaluation of a Measurement Method and its Application to a Field Study-. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers.* 2010, 32, 443-454.

Yum T, S Lee and Y Kim. Association between precocious puberty and some endocrine disruptors in human plasma. *J. Environ. Sci. Health A.* 2013, 48, 912-917.

Wang W, Xu X, Fan CQ. Health hazard assessment of occupationally di-(2-ethylhexyl)-phthalate-exposed workers in China. *Chemosphere.* 2015, 120, 37-44.

Wang Y, Qian H. Phthalates and Their Impacts on Human Health.
Healthcare (Basel). 2021, 18;9(5), 603.

Abstract

Preliminary study on workers' exposure to phthalates and their health risks in Korea

1. Background

Phthalates, typical plasticizers, are well-known endocrine disrupting chemicals. While regulations on the use of phthalates have been enforced in consumer's and children's products, efforts to minimize the exposures among workers handling phthalates are insufficient. Korea's Occupational Safety and Health Act sets the exposure limits for 4 types of phthalates (DMP, DEP, DBP, DEHP) at 5 mg/m³. Still, workers' exposure measurement has not been placed in worksites as phthalates are not included in the regulatory list of chemicals for work environment measurement. DEHP and DBP are classified as reproductive toxic substances, and DBP was recently added as a substance subject to special management. In 2022, ACGIH announced that the phthalate exposure standard (TLV-TWA) would be significantly strengthened from 5 mg/m³ to 0.1 mg/m³ based on male reproductive toxicity. Therefore, it is necessary to figure out the exposure status and management plan of workers handling phthalates in Korea.

2. Results

1) Phthalate regulations and systematic literature reviews

Previous studies related to assessing workers' exposure to phthalate were systematically reviewed according to the PRISMA protocol. In

addition, 10 project reports on the management of reproductive toxic substances conducted by the Occupational Safety and Health Research Institute were identified. They mentioned phthalates as a part of proposing CMR substance management and policies. Despite the agreement on the need for management and special management of reproductive toxic substances through the projects so far, exposure assessment methods including sampling and analysis for target substances and risk assessment studies based on exposure levels have not been conducted.

2) Estimation of the numbers of phthalate-handling workplaces and workers in Korea

A total of 1,338 business sites from 17 sub-categories of industries were identified where 8 types of phthalates including DMP, DEP, DBP, BBP, DEHP, DnOP, DiNP, and DiDP were handled. Among them, 'chemical substances and chemical product manufacturing (excluding pharmaceuticals)' accounted for the most with 293 places. More than 50% (n=697) of workplaces used DEHP.

3) Sampling and analysis methods development for phthalates in working environment

Both air and surface wipe samples were collected considering that phthalates enter to the human body through breathing, skin and ingestion. Tenax TA OVS (part no. 226-56, SKC Inc) was employed in order to collect gas and particle phase of phthalate simultaneously. The surfaces near by the air sampling sites were wiped with gauze soaked in isopropyl alcohol. Solvent extraction, ultrasonic-assisted extraction

(UAE), soxhlet extraction, and solid-phase microextraction (SPME) were investigated for sample preparation. Solid phase trace extraction method (SPME) was the choice of methods for desorbing phthalates collected in the glass fiber filter part and the Tenax adsorbent part of the Tenax TA OVS tube. It is less likely to be contaminated during the analysis and with excellent detection and quantitation limits, as well as eco-friendly with no-solvent use. UAE was applied for surface wipe samples due to the volume of gauze and isopropyl alcohol used. All samples were analyzed using GC-MS.

4) Phthalates concentrations in working environments – Estimated daily exposure dose and potential health risks from DEHP exposure

75 air samples and 100 surface wipe samples were collected from 8 worksites handling phthalates or parts containing phthalates. All of the air samples was below 0.1 mg/m^3 , the ACGIH's revised notice exposure standard for DEHP, ranged between 0.06 and 3.57 ug/m^3 . The DEHP from surface wipe samples varied greatly depending on the workplace, ranged from ND to $5,243 \text{ ng/cm}^2$. Daily exposure dose of DEHP through inhalation was estimated using the DEHP concentration results from the air sample analysis. Hazard quotients of DEHP as affecting the reproductive systems were assessed. Daily DEHP intake values in male workers of Korea were ranged from 0.001 to 0.040. HQs of DEHP exposure were all < 1 .

3. Further plan

Sampling and analysis methods for phthalates in air samples are more complicated than those of conventional target chemicals. Although the

methods were publicized from a few organizations, they were outdated and found to be very limited. The sampling and analysis methods proposed in this study could provide the basis for the development of new method applicable to working environment measurement. The results from this study are not representing the overall status of workers' exposure to phthalates in Korea. Still, it offers the rule of thumb in estimating the exposure characteristics and potential health risks among workers in phthalates business sites. Further studies are warranted to develop a standard method for sampling and analysis, conduct nationwide exposure studies and epidemiological studies relating to reproductive toxicities from phthalates.

감사의 글

사업장 섭외를 도와주신 KOSHA 충남본부와 사업장 방문 및 샘플링을 기꺼이 허락해주신 8개 사업장의 보건관리자님들께 감사드립니다.

부록

〈부록 차례〉

1. 작업환경 중 환경시료 분석법 고찰	234
1) 공기시료 중 프탈레이트 분석법 고찰	234
2) 먼지/표면 시료 중 프탈레이트 분석법 고찰	238
2. 환경시료 중 프탈레이트 분석법 개발	240
1) 프탈레이트 표준물질 머무름 시간 확인	240
2) 실험도구 프탈레이트 오염여부 확인 시험	242
3. 공기 시료 분석을 위한 고체상미량 분석조건 최적화	256
1) 테낙스	257
2) 필터	263
3) 폴리우레탄폼(PUF)	266
4. 표면 시료 분석을 위한 초음파추출 분석방법 최적화	269
1) 추출 용매	269
2) 농축 온도	270
3) 분석법 검정	271

〈표 차례〉

〈부록 표-1〉 프탈레이트 공기시료 채취, 전처리 및 분석방법과 결과 ..	237
〈부록 표-2〉 프탈레이트 먼지/표면시료 채취, 전처리 및 분석방법과 결과	239
〈부록 표-3〉 실험에 사용한 프탈레이트 표준물질 4종의 물리·화학적 특징	240
〈부록 표-4〉 프탈레이트 분석을 위한 GC/MS 기기 조건	241
〈부록 표-5〉 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 vial의 종류	244
〈부록 표-6〉 분석에 사용한 실험도구의 blank test 결과 요약	254
〈부록 표-7〉 공기시료 채취에 사용한 Tenax TA OVS 구성재료 blank test 결과 요약	255
〈부록 표-8〉 Tenax TA OVS 중 테낙스 흡착 프탈레이트 분석을 위한 검량선과 검출한계 및 분석범위	262
〈부록 표-9〉 공기 시료 중 필터의 분석방법 검정 결과	264
〈부록 표-10〉 Tenax TA OVS 시료 중 테낙스와 필터의 전처리 및 분석방법	265
〈부록 표-11〉 공기 시료 중 폼 분석방법 검정 결과	267
〈부록 표-12〉 공기 시료 분석을 위한 폼의 전처리 및 분석방법	268
〈부록 표-13〉 표면 시료 분석방법 검정 결과	271
〈부록 표-14〉 표면 시료의 전처리 및 분석방법	273

〈그림 차례〉

[부록 그림-1] 프탈레이트 표준용액(10ppm) 크로마토그램	241
[부록 그림-2] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 라텍스 장갑, 마이크로피펫 팁, 바이알, 캡, 셉텀, SPME fiber	243
[부록 그림-3] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 40mℓ vial blank 크로마토그램 (a) 50°C, (b) 100°C	245
[부록 그림-4] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 50mℓ vial(nert) blank 크로마토그램 (a) 50°C, (b) 100°C	245
[부록 그림-5] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 50mℓ vial(gold) blank 크로마토그램 (50°C)	246
[부록 그림-6] 50mℓ vial(silver) blank 크로마토그램 (a) 50°C, (b) 100°C (c) 250°C	247
[부록 그림-7] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 라텍스 장갑 blank 크로마토그램 (a) 50 °C, (b) 100 °C	247
[부록 그림-8] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 마이크로피펫 팁 blank 크로마토그램 (a) 50°C, (b) 100°C	248
[부록 그림-9] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 멸균거즈 blank 크로마토그램 (a) 50°C, (b) 100°C	249
[부록 그림-10] 프탈레이트 오염여부 확인을 위한 SPME 파이버(PDMS/DVB) blank 크로마토그램	249
[부록 그림-11] 온도조건별 테낙스 blank test (a) 100°C, (b) 200°C, (c) 225°C, (d) 250°C	251
[부록 그림-12] 온도조건별 필터 blank test (a) 100°C, (b) 225°C, (c) 250°C	252
[부록 그림-13] 폴리우레탄폼 blank test 크로마토그램	253
[부록 그림-14] 프탈레이트 오염여부 확인을 위한 Syringe와 Syringe filter Blank test 크로마토그램 (a) 컬럼 blank, (b) acetone 직접주입	253

[부록 그림-15] OVS 구성 재료별 시료 분리	257
[부록 그림-16] 파이버 종류별 프탈레이트 흡착 효율 비교	258
[부록 그림-17] 포화 온도별 테낙스 스파이크 시료 크로마토그램	259
[부록 그림-18] 테낙스와 필터의 포화 및 흡착 온도조건 최적화	260
[부록 그림-19] 포화시간과 흡착시간 최적화 비교 (a) 100 °C 포화 60분, 흡착 30분(표준용액), (b) 100 °C 포화 5분, 흡착 45분(표준용액), (c) 100 °C 포화 5분, 흡착 45분(테낙스) (d) 225°C 포화 5분, 흡착 45분(테낙스)	261
[부록 그림-20] 온도조건별 필터 스파이크 시료 크로마토그램	263
[부록 그림-21] 폼 회수율 크로마토그램 (a) 폼 앞, (b) 폼 뒤	266
[부록 그림-22] 용매에 따른 프탈레이트 4종의 추출 효율 비교	270
[부록 그림-23] 농축 온도(50, 60 °C)에 따른 프탈레이트 크로마토그램	271
[부록 그림-24] 공기시료 크로마토그램 예시 (a) 테낙스 앞, (b) 테낙스 뒤, (c) 필터	274
[부록 그림-25] 표면시료 크로마토그램 예시	274

1. 작업환경 중 환경시료 분석법

1) 공기시료 중 프탈레이트 분석법 고찰

〈부록 표-1〉은 공기시료 중 프탈레이트 분석방법 및 결과에 대한 요약이다. 공기시료와 표면시료에서 프탈레이트를 분석하기 위한 전처리방법으로 용매 추출법(solvent extraction), 초음파 추출법 (ultrasound-assisted extraction), 속실렛 추출(soxhlet extraction), 고체상 미량 추출법(solid-phase microextraction, SPME)이 사용되었다.

용매추출법은 유기용매를 이용하여 용액에 존재하는 분석물질을 한 액상에서 다른 액상으로 이동시키는 방법이다. 용매 추출의 간편성, 신속성 및 넓은 적용성으로 많이 사용되고 있으나 추출 용매인 유기용매에 분석목적 물질 외의 물질이 용해되거나 농축과정에서 휘발성 물질의 손실이 발생하고, 다량의 유기용매가 사용되는 등의 단점을 가진다.

초음파 추출법은 초음파를 적용하여 용매 분자의 속도를 증가시키고 분석물질을 통과시키는 힘을 증가시켜 용액 내 분석물질을 추출하는 방법이다. 초음파 기기를 사용하여 추출 에너지를 균일하게 분포시켜 다른 장치없이 추출 효율을 증가시킬 수 있으며, 초음파 진동에 의한 공동현상에 의해 매우 큰 에너지를 발생하고, 높은 국부 온도로 인해 효과적으로 추출을 진행할 수 있다.

속실렛 추출법은 휘발성 용매를 사용하여 고체의 비휘발성 성분을 추출하는 방법이다. 용매 플라스크 속에 있는 용매를 가열하면 용매의 증기가 냉각기를 거쳐 응축되어 시료가 들어있는 추출관으로 이동하면서 시료의 분석물질을 녹이고, 고인 용매는 사이폰을 거쳐 다시 용매 플라스크로 돌아와 새로운 용매가 추출관에 고이는 반복작업으로 분석된다. 속실렛 장치가 간단하고 검출이 정확히 되는 장점이 있으나 분석 시간이 오래 걸리고, 인화성·폭발성이 있다는 단점이 있다.

고체상 미량 분석법은 용매 사용 없이 시료를 전처리하는 방법으로 코팅된 파이버에 분석물질을 흡착/흡수하여 분석기기에서 탈착하는 원리에 따라 휘발성 및 반 휘발성 화합물을 추출 혹은 농축한다. 코팅된 파이버를 용액에 담그어 흡착하거나 분석물질을 휘발시켜 헤드 스페이스에 포화시킨 후 코팅된 파이버를 씻어 흡착시키는 방법이다. 다양한 매트릭스에 적용이 가능하고, 선택적이며 능률적이다. 또한 파이버와 시료 사이의 흡착 평형이 이루어지는 시간만 소요되기 때문에 분석시간을 절약할 수 있고, 미량으로 존재하는 분석 성분을 효과적으로 추출할 수 있다.

Szewczyńska M et al. (2019)의 논문은 IOM sampler를 이용하여 용매 추출법으로 DMP, DEP, DBP, DEHP를 dichloromethane/acetone(1:1) 용매로 추출하여 분석하였고, 그 결과 정량한계(limit of quantitation, LOQ)는 9 ng/mL, 실제 시료의 농도는 0.05~23.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 같은 추출 방법으로 GGP sampler를 이용하여 DMP, DEP, DiBP 포함 11종의 프탈레이트를 methyl t-butyl ether (MTBE)로 추출하여 분석한 Fromme H et al. (2013)의 논문은 정량한계가 10 ng/ m^3 , 실제 시료의 농도는 49~516 ng/ m^3 였다.

Tienpont B et al. (2000)의 논문은 sampling pump를 이용하여 초음파 추출법으로 DMP, DEP, DiBP 포함 8종의 프탈레이트를 분석하였고, 그 결과 정량한계는 50 pg, 실제 시료의 농도는 2~1,046 ng/ m^3 였다. 같은 방법으로 IOM sampler를 이용하여 DMP, DEP, DBP 포함 6종의 프탈레이트를 dichloromethane/acetone 용매로 추출하여 분석한 Szewczyńska M 등 (2019)의 논문은 정량한계가 0.022~0.066 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 실제 시료의 농도는 0.08~8.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 보고하였다.

Yoon H et al. (2010)의 논문은 PS-1 PUF sampler를 이용하여 속실텟 추출법으로 DMP, DEP, DBP 포함 6종의 프탈레이트를 hexane/acetone (9:1) 용매로 추출하여 분석하였고, 그 결과 정량한계는 0.13~2.70 ng, 실제 시료의 농도는 불검출~1,012.7 ng/ m^3 였다.

Armada D et al. (2022)의 논문은 Tenax TA를 이용하여 고체상 미량 추출법으로 DMP, DEP, DBP 포함 40종의 프탈레이트를 분석하였고, 그 결과 정량한계는 0.033~15 ng/m³, 실제 시료의 농도는 0.05~1,213 ng/m³로 분석되었다.

〈부록 표-1〉 프탈레이트 공기시료 채취, 전처리 및 분석방법과 결과

Sample preparation	Sampling Method	Analyte families	Solvent	LOQ ^{***}	Real sample concentrations (ng/m ³)		Reference
					Min	Max	
Solvent extraction	IOM sampler	DMP, DEP, DBP, DEHP	dichloromethane /acetone(1:1)	9 ng/ml	50	23,790	Szewczyńska M et al. (2019)
	GGP sampler ^{**}	DMP, DEP, DiBP, 포함 11종	MTBE [§]	10 ng/m ³	49	516	Fromme H et al. (2013)
Ultra sonication	polydimethylsiloxane (PDMS) sorption tubes	DMP, DEP, DiBP, 포함 5종	dichloromethane	50 pg	2	1,046	Tienpont B et al. (2000)
	IOM sampler	DMP, DEP, DBP, 포함 6종	dichloromethane /acetone	0.022 ~0.066 µg/m ³	80	8,770	Szewczyńska M et al. (2019)
	cascade impactor	DMP, DEP 포함 21종	Acetone	–	0.007	50	Takeuchi S et al. (2015)
	Glass fibre filter	PAHs: BaA 포함 9종	dichloromethane	0.002 ng/m ³	0.01	0.7	Menichini E et al. (2011)
Soxhlet extraction	PS-1 PUF sampler	DMP, DEP, DBP 포함 6종	hexane /acetone (9:1)	0.13~2.70 ng	Not detected	1,013	Yoon H et al. (2010)
SPME [*]	TenaxTA	DEP, DMP, DBP 포함 40종	acetone	0.033~15 ng/m ³	0.05	1.21	Armada D et al. (2022)

^{*}SPME: solid-phase microextraction; ^{**}GGP (Gesamtstaub-Gas-Probenahme = inhalable dust/gas sampling) sampler

^{***}LOQ: Limit of quantification; [§] MTBE: Methyl tert-butyl ether

2) 먼지/표면 시료 중 프탈레이트 분석법 고찰

〈부록 표-2〉는 먼지/표면 시료 중 프탈레이트 시료채취, 전처리 및 분석 방법과 결과를 고찰한 내용이다. 먼지시료는 초음파 추출법 (ultrasound-assisted extraction), 표면시료는 속실렛 추출법(soxhlet extraction)이 사용되었다.

Jeon S et al. (2022)의 논문은 진공청소기를 이용하여 먼지시료를 채취한 후, 초음파 추출법으로 DBP, DEHP, BBP 포함 6종의 프탈레이트를 tetrahydrofuran/acetonitrile (1:2) 용매로 추출하여 분석하였다. Başaran B 등 (2019)의 논문에서는 같은 추출법이지만 acetone/hexane (1:1) 용매로 DMP, DEP, DBP 포함 8종의 프탈레이트를 추출하였다.

Xie M et al. (2015)의 논문은 표면시료를 채취하여 속실렛 추출법으로 DMP, DEP 포함 16종의 프탈레이트를 dichloromethane 용매로 추출하여 분석하였다. 용매를 dichloromethane/acetone (1:1)로 달리하여 DEP, DEHP, DnBP, BBzP를 분석한 Kim H et al. (2011)의 논문도 있었다.

〈부록 표-2〉 프탈레이트 먼지/표면시료 채취, 전처리 및 분석방법과 결과

Sample preparation	Sampling Method	Analyte families	Solvent	LOQ*	Real sample concentrations (μg/g)		Reference
					Min	Max	
Ultra sonication	vacuum cleaner	DBP, DEHP, BBP 포함 6종	tetrahydrofuran /acetonitrile (1:2)	50 mg/kg	103,300	1,849,200	Jeon S et al. (2022)
	vacuum cleaner	DMP, DEP, DBP 포함 8종	acetone /hexane (1:1)	0.02~0.11 ng/g	0.56	816.92	Başaran B et al. (2019)
	vacuum cleaner	DMP, DEP, DiBP 포함 11종	MTBE	10 ng/m³	0.7	1973	Fromme H et al. (2013)
	vacuum cleaner	DMP, DEP 포함 21종	acetone	–	<0.1	1,700	Takeuchi S et al. (2015)
	vacuum cleaner	DMP, DEP 포함 10종	cyclohexane	4.1~202.3 μg/g	3.1	3,950	Kim W et al. (2013)
	vacuum cleaner	DMP, DEP 포함 11종	dichloromethane /acetone (1:1)	0.04~2.78 μg/g	5	16,233	Huang C et al. (2019)
	sweeping, vacuum cleaner	DMP, DEP 포함 8종	cyclohexane	4.00~148 mg/kg	Not available	2,960	Lee Y et al. (2020)
Soxhlet extraction	surface wipe	DMP, DEP 포함 16종	dichloromethane	0.5 ng/μl	157 ng/cm²	180,832 ng/cm²	Xie M et al. (2015)
	surface wipe	DEP, DEHP, DnBP, BBzP	dichloromethane /acetone (1:1)	0.00002~0.006 μg/g	<LOD*** mg/cm²	1.232 mg/cm²	Kim H et al. (2011)

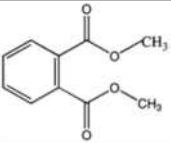
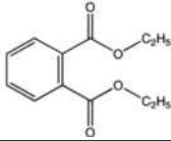
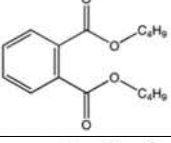
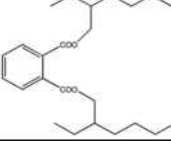
LOQ: Limit of quantification; ** MTBE: Methyl tert-butyl ether; ***LOD: Limit of detection

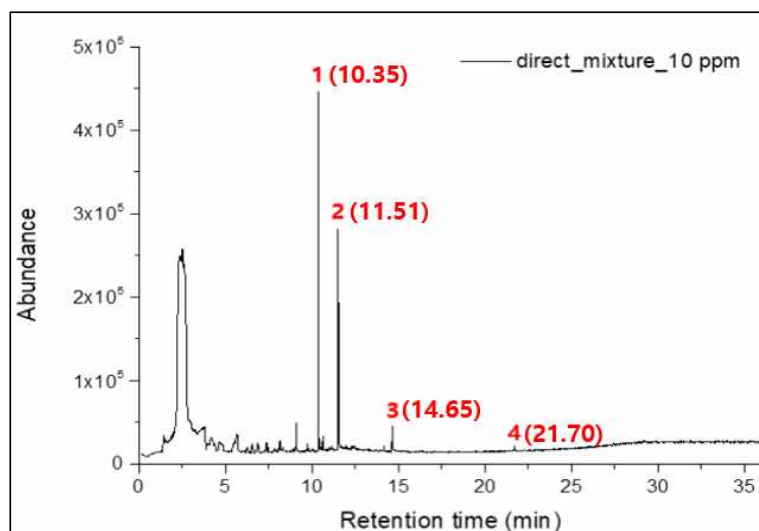
2. 환경시료 중 프탈레이트 분석법 개발

1) 프탈레이트 표준물질 머무름 시간 확인

실험에 사용한 4가지 프탈레이트 표준물질의 물리·화학적 특징은 〈부록 표-3〉에 나타내었다. DMP, DEP, DBP, DEHP 표준용액(10 ppm)을 메탄올(99.9 %, HPLC grade)로 조제한 후, GC/MS에 직접 주입하여 머무름 시간을 확인하였다[부록 그림-1]. GC/MS 분석은 〈부록 표-4〉와 같은 조건에서 진행하였다.

〈부록 표-3〉 실험에 사용한 프탈레이트 표준물질 4종의 물리·화학적 특징

Compound	Structure	Molecular weight (g/mol)	Boiling point(°C)	logPo/w
DMP		194.18	283	1.60
DEP		222.24	295	2.42
DBP		278.34	340	4.50
DEHP		390.56	385	7.60



[부록 그림-1] 프탈레이트 표준용액(10 ppm) 크로마토그램
(1=DMP, 2=DEP, 3=DBP, 4=DEHP)

〈부록 표-4〉 프탈레이트 분석을 위한 GC/MS 기기 조건

	GC(7820A, Agilent)/MS(5977E, Agilent)
Column	HP-5MS (30 m x 0.25 mm x 0.25 μ m, (5 %-phenyl)-methylpolysiloxane)
Oven temp. program	60 $^{\circ}$ C(2 min) $\rightarrow$ 15 $^{\circ}$ C/min $\rightarrow$ 210 $^{\circ}$ C $\rightarrow$ 5 $^{\circ}$ C/min $\rightarrow$ 290 $^{\circ}$ C(8 min)
Injector temp.	270 $^{\circ}$ C
Split ratio	Splitless
Carrier gas	He(99.999 %)
Flow rate	1 mL/min
Ionization voltage	70 eV
Ion source	230 $^{\circ}$ C
Mass transfer line	280 $^{\circ}$ C
Quadrupole	150 $^{\circ}$ C
Mass range	50~350 m/z

2) 실험도구 프탈레이트 오염여부 확인 시험

실제 시료분석에 앞서 실험에 사용하는 도구, 즉 라텍스 장갑(latex gloves, Microflex), 마이크로피펫 팁(micropipette tip, Axygen), 멸균 거즈(gauze, 성진양행), 바이알(vial, Supelco), 캡(cap, Supelco), 셉텀(septum, Supelco)에 대한 blank test를 진행하였다[부록 그림-2]. 또한, 공기 시료 채취에 사용한 Tenax TA OVS tube의 구성물인 테낙스, 필터, 폴리우레탄폼은 따로 분리하여, 각각 blank test를 진행하였다.

테스트를 진행한 바이알은 4종류로 <부록 표-5>와 같다. 바이알은 사용 전 실험실용 세척액(micro-90)으로 세척 후 '3차 증류수 → 아세톤 → 3차 증류수' 순으로 rinsing 하고 100 °C 오븐에서 건조 시킨 후 실험에 사용하였다. 캡과 셉텀은 '3차 증류수→아세톤→3차 증류수' 순으로 각각 15분씩 초음파 세척 후 실온 건조하여 시험하였다.



[부록 그림-2] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 라텍스 장갑,
마이크로피펫 팁, 바이알, 캡, 셉텀, SPME fiber
(1= 40 ml vial, 2= 50 ml vial,
3= magnetic (gold) cap,
4= aluminium (silver) cap)

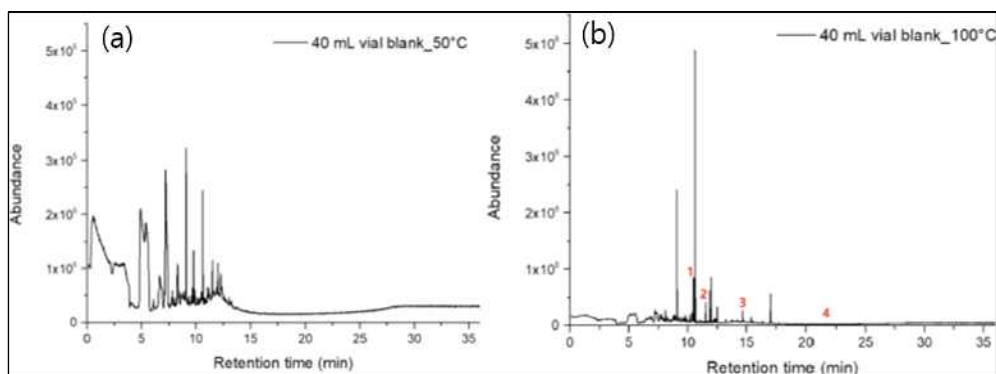
〈부록 표-5〉 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 vial의 종류

No.	vial	cap	septum
1	40 mL	plastic (black)	PTFE*
2	50 mL	mininert	PTFE
3		magnetic (gold)	PTFE/silicon
4		aluminium(silver)	PTFE

*PTFE: Polytetrafluoroethylene

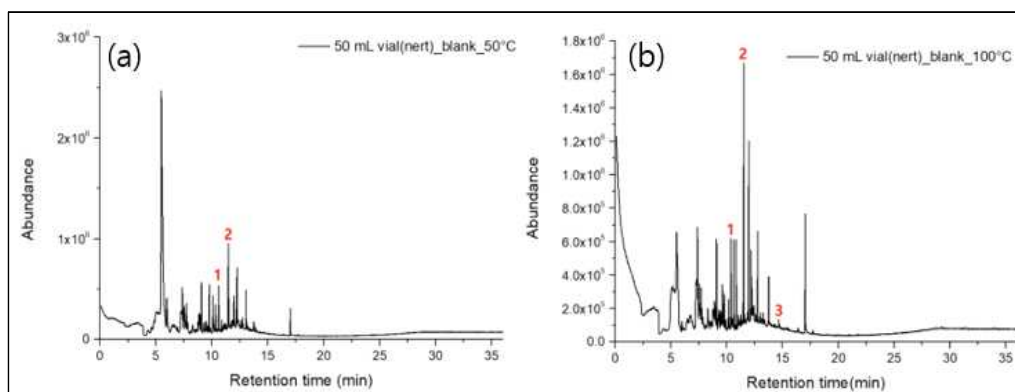
4종류의 프탈레이트(DMP, DEP, DBP, DEHP) 혼합 표준용액을 GC/MS에 직접 주입하여 확인한 머무름 시간과 blank test를 비교하여 크로마토그램 피크가 겹치는지 확인하여 실험도구의 프탈레이트 오염여부를 확인하였다.

40 mL vial + plastic cap(black) + PTFE septum: 50 °C blank test에서 프탈레이트 4종(DMP, DEP, DBP, DEHP)이 검출되지 않았으나 100 °C에서는 프탈레이트 4종이 모두 검출되어 사용이 불가하다고 판단하였다[부록 그림-3] .



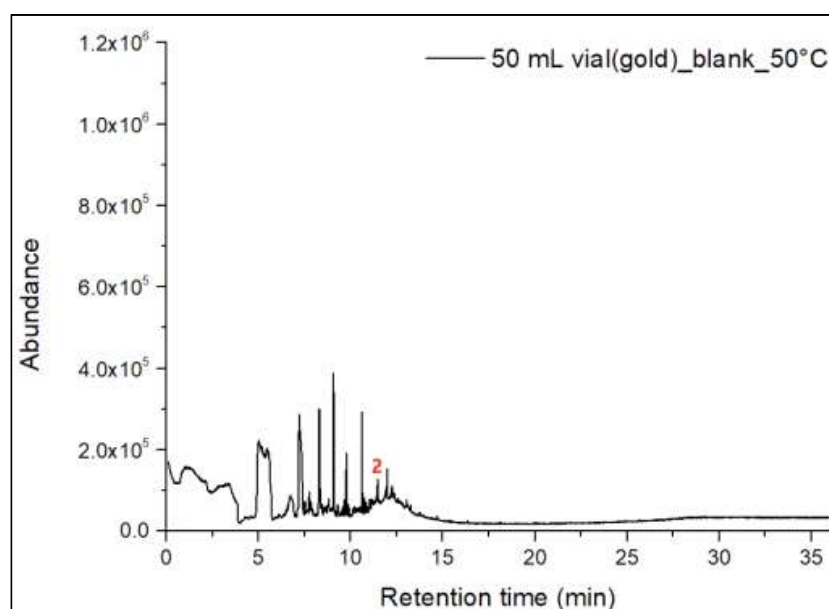
[부록 그림-3] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 40 mL vial blank 크로마토그램 (a) 50 °C, (b) 100 °C (1=DMP, 2=DEP, 3=DBP, 4=DEHP)

50 mL vial + PTFE nert: 50 °C blank test에서 DMP, DEP가 검출되었고, 100 °C에서는 DMP, DEP, DBP가 검출되어 사용이 불가하다고 판단하였다[부록 그림-4] .



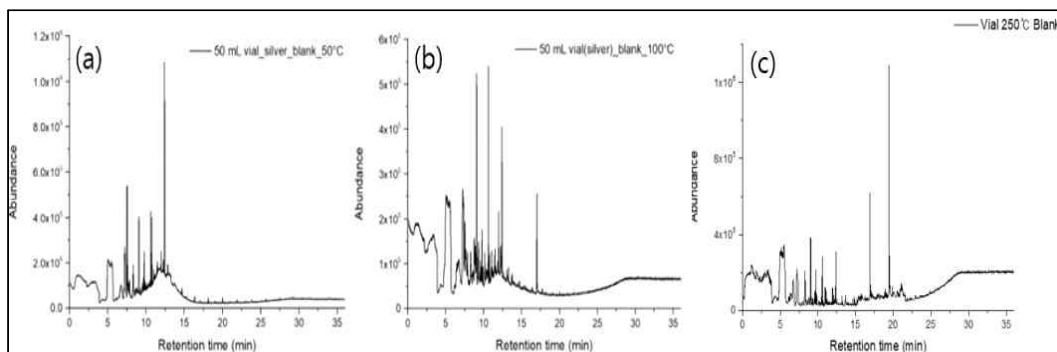
[부록 그림-4] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 50 mL vial(nert) blank 크로마토그램 (a) 50 °C, (b) 100 °C (1=DMP, 2=DEP, 3=DBP, 4=DEHP)

50 mL vial + magnetic cap(gold) + PTFE/silicon septum: 50 °C blank test에서 DEP(11.51 분)와 retention time이 겹치는 pentanoic acid가 검출되었고, leak test 결과 leaking이 심하여 사용이 불가하다고 판단하여 100 °C blank test는 진행하지 않았다[부록 그림-5].



[부록 그림-5] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 50 mL vial(gold) blank 크로마토그램 (50 °C) (1=DMP, 2=DEP, 3=DBP, 4=DEHP)

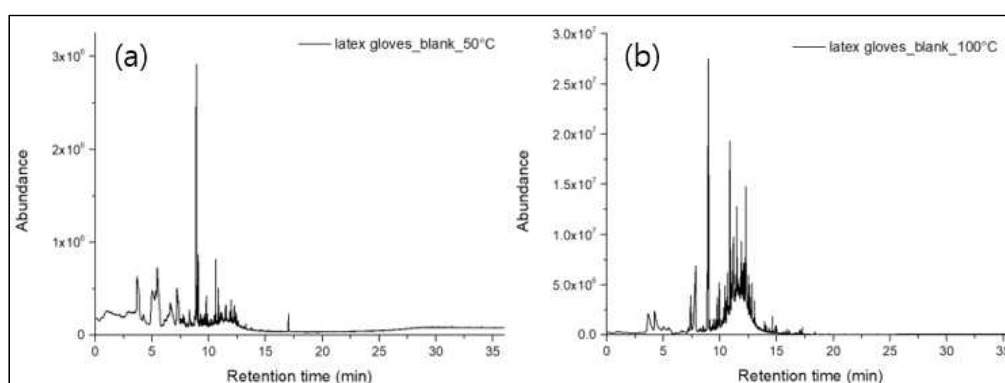
50 mL vial + aluminium cap(silver) + PTFE septum: 50 °C, 100 °C, 250 °C blank test 모두 프탈레이트 4종이 검출되지 않아 사용 가능하다고 판단하였다[부록 그림-6].



[부록 그림-6] 50 mL vial(silver) blank 크로마토그램 (a) 50 °C, (b) 100 °C (c) 250 °C

(1) 라텍스 장갑

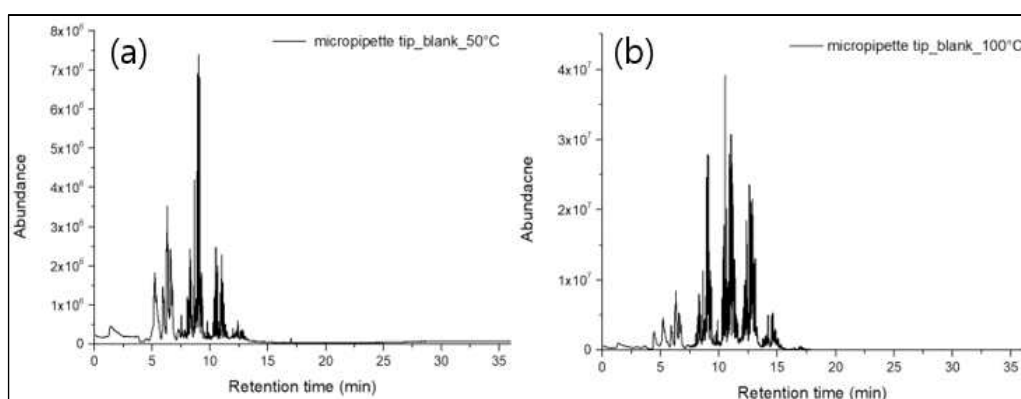
50 °C, 100 °C blank test 모두 프탈레이트 4종이 검출되지 않아 사용 가능하다고 판단하였다[부록 그림-7].



[부록 그림-7] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 라텍스 장갑 blank 크로마토그램 (a) 50 °C, (b) 100 °C

(2) 마이크로피펫 팁

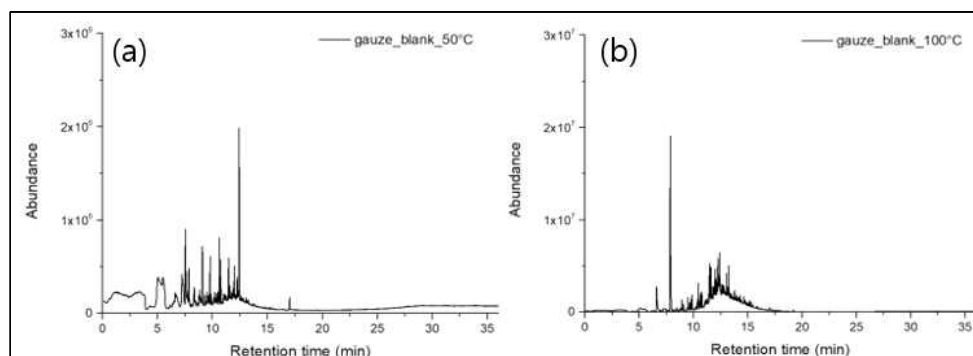
50 °C, 100 °C blank test 모두 프탈레이트 4종이 검출되지 않아 사용 가능하다고 판단하였다[부록 그림-8] .



[부록 그림-8] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 마이크로피펫 팁 blank 크로마토그램 (a) 50 °C, (b) 100 °C

(3) 멸균거즈

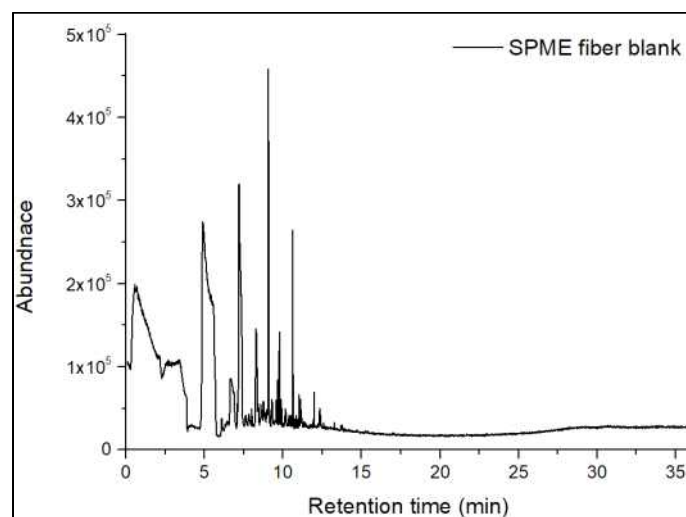
50 °C, 100 °C blank test 모두 프탈레이트 4종이 검출되지 않아 사용 가능하다고 판단하였다[부록 그림-9].



[부록 그림-9] 프탈레이트 오염여부 확인 실험에 사용한 멸균거즈 blank 크로마토그램 (a) 50 °C, (b) 100 °C

(4) SPME fiber(PDMS/DVB)

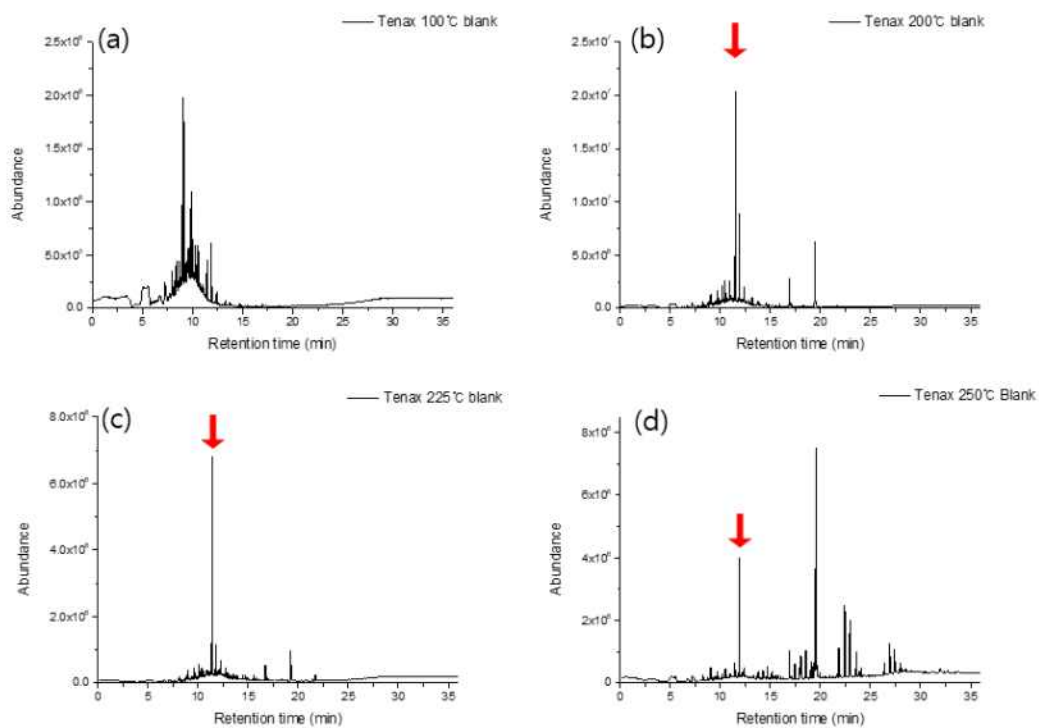
blank test에서 프탈레이트 4종 모두 검출되지 않아 사용 가능하다고 판단하였다[부록 그림-10].



[부록 그림-10] 프탈레이트 오염여부 확인을 위한 SPME fiber(PDMS/DVB) blank 크로마토그램

(5) 테낙스(Tenax TA OVS 충전 흡착물질)

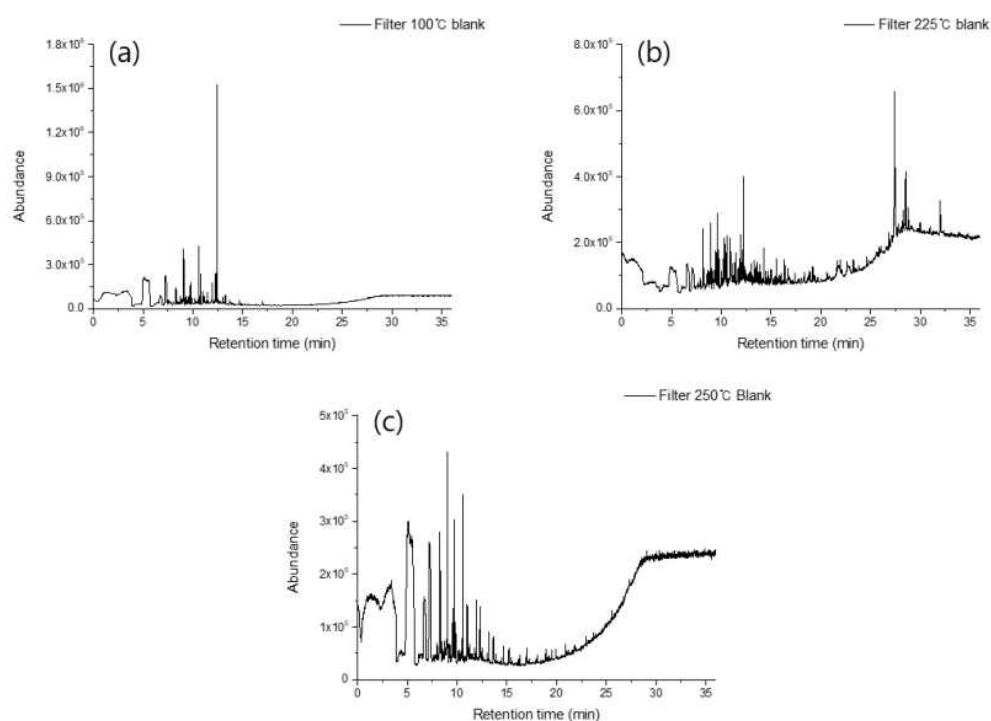
100 °C blank test에서는 프탈레이트 4종이 모두 검출되지 않았다. 온도 조건을 200 °C, 225 °C, 250 °C로 하였을 때 DEP(11.33 분)와 retention time 이 겹치는 피크(11.38 분)가 발견되었다[부록 그림-11] (빨간 화살표). 시료분석에서 DEP를 정량할 때 기본값을 고려하여 정량해야함을 알 수 있다 [그림 III-18]. DEP와 겹치는 피크는 가소제의 일종인 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate(TXIB)로 동정되었다.



[부록 그림-11] 온도조건별 테낙스 blank test (a) 100 °C, (b) 200 °C, (c) 225 °C, (d) 250 °C (크로마토그램의 빨간 화살표는 DEP와 검출시간이 겹치는 피크를 지시한다)

(6) 필터(Tenax TA OVS 안의 유리섬유필터)

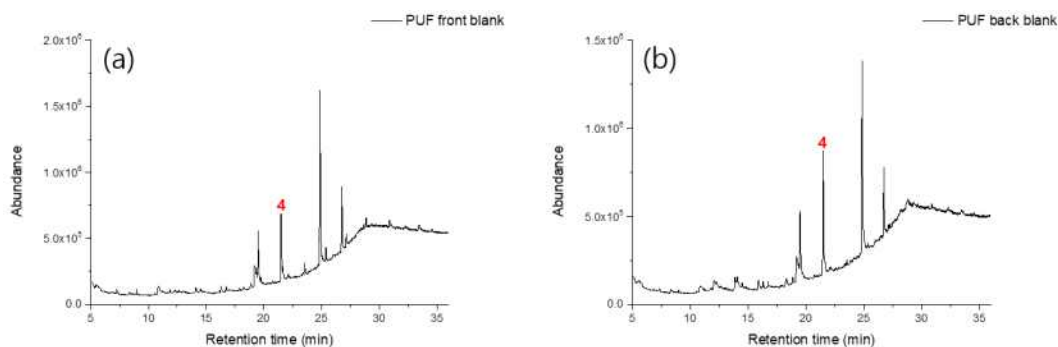
100 °C, 225 °C, 250 °C blank test에서 프탈레이트 4종이 모두 검출되지 않았다[부록 그림-12].



[부록 그림-12] 온도조건별 필터 blank test (a) 100 °C, (b) 225 °C, (c) 250 °C (1=DMP, 2=DEP, 3=DBP, 4=DEHP)

(7) 폴리우레탄폼(Tenax TA OVS 내 구획구분용 foam)

초음파용매추출법으로 추출하여 blank test를 진행했을 때, 폴리우레탄폼에서 DEHP가 검출되었다[부록 그림-13].

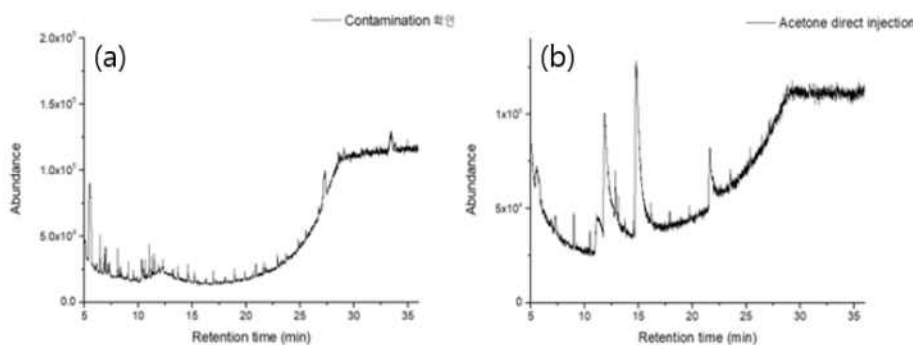


[부록 그림-13] 폴리우레탄폼 blank test 크로마토그램

(a) 폼 앞, (b) 폼 뒤

(8) 일회용 주사기 (1 mL), 시린지 필터

초음파용매추출법에 사용하는 실험도구들로 컬럼 blank와 acetone 직접 주입 크로마토그램에서 프탈레이트가 검출되지 않아 사용 가능하다고 판단하였다[부록 그림-14].



[부록 그림-14] 프탈레이트 오염여부 확인을 위한 Syringe와 Syringe 필터 Blank test 크로마토그램 (a) 컬럼 blank, (b) acetone 직접주입

Blank test 실험결과를 요약하면 <부록 표-6, 7>과 같다.

〈부록 표-6〉 분석에 사용한 실험도구의 blank test 결과 요약

프탈레이트 검출 결과 (O/X)	실험도구							
	40 mℓ vial (black)		50 mℓ vial (nert)		50 mℓ vial (gold)		50 mℓ vial (silver)	
								
온도	50℃	100℃	50℃	100℃	50℃	100℃	50℃	100℃
DMP	X	O	O	O	X	-	X	X
DEP	X	O	O	O	O		X	X
DBP	X	O	X	O	X		X	X
DEHP	X	O	X	X	X		X	X

프탈레이트 검출 결과 (O/X)	실험도구					
	라텍스 장갑		마이크로 피펫 팁		멸균 거즈	
						
온도	50℃	100℃	50℃	100℃	50℃	100℃
DMP	X	X	X	X	X	X
DEP	X	X	X	X	X	X
DBP	X	X	X	X	X	X
DEHP	X	X	X	X	X	X

〈부록 표-7〉 공기시료 채취에 사용한 Tenax TA OVS 구성재료 blank test 결과 요약

프탈레이트 검출 결과 (O/X)	OVS 파트							
	테낙스				필터			
								
온도	100℃	200℃	225℃	250℃	100℃	200℃	225℃	250℃
DMP	X	X	X	X	X	—	X	X
DEP	X	O	O	O	X	—	X	X
DBP	X	X	X	X	X	—	X	X
DEHP	X	X	X	X	X	—	X	X
프탈레이트 검출 결과 (O/X)	OVS 파트/ UAE에 사용한 실험기구							
	폴리우레탄 폼				일회용 주사기, 시린지 필터			
								
DMP	X				X			
DEP	X				X			
DBP	X				X			
DEHP	O				X			

3. 공기 시료 분석을 위한 고체상미량 분석조건 최적화

분석조건 최적화 실험을 위해 공기시료채취용 Tenax TA OVS를 구성재료 별로 나누어 분석조건을 최적화하였다. OVS의 유리섬유 필터는 입자상 프탈레이트를 채취하고, Tenax는 가스상 프탈레이트를 포집하기위한 흡착물질이다. 폴리우레탄폼은 시료를 채취하기위한 용도가 아니라 구간을 나누기위한 구성재료이기는 하나 다공성 재질로 프탈레이트 흡착가능성을 무시할 수 없어 확인차 분석이 필요하다고 판단하였다. 유리섬유 필터와 테낙스 분석을 위한 전처리방법인 고체상미량분석법 (SPME)의 최적화 조건은 포화온도, 흡착온도, 포화시간, 흡착시간에 따라 영향을 받는다. 따라서 포화온도, 흡착온도를 조절하여 분석조건을 최적화하고자 하였다. 폴리우레탄폼은 높은 온도에서 분해될 우려가 있으므로, (폴리우레탄 녹는점 : 150 ℃) 초음파추출 방법으로 전처리하는 것으로 하여 분석조건을 최적화하였다. 고체상미량추출과 초음파 추출 후 GC/MS에 주입하여 얻은 크로마토그램의 피크면적을 비교하여 최적화 조건을 결정하였다.

시료 분석은 OVS 내 테낙스와 필터, 폼으로 나누고 테낙스 앞, 테낙스 뒤, 필터, 폼 앞, 폼 뒤로 분리한 후 테낙스와 필터는 최적화한 분석조건에서 고체상미량추출법으로 분석하였다.

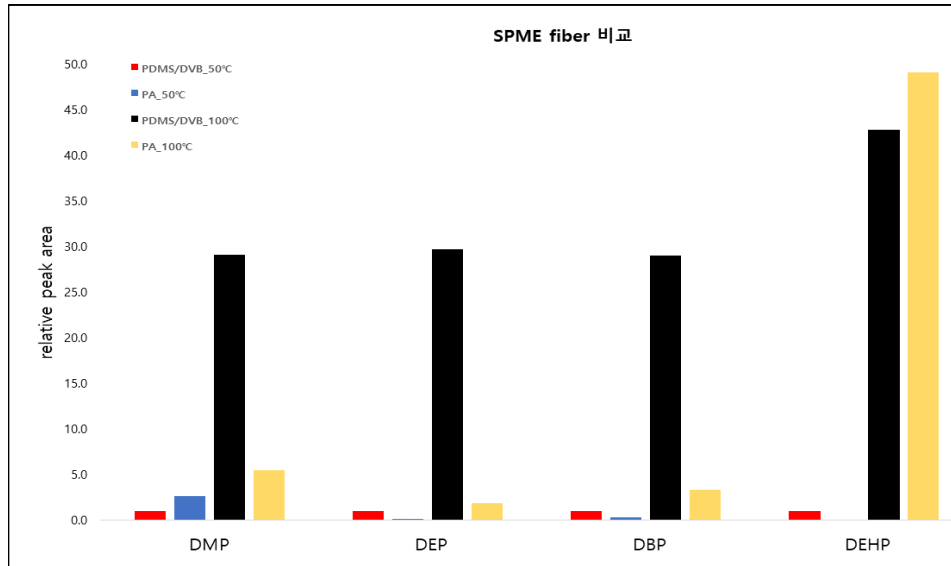


[부록 그림-15] OVS 구성 재료 별 시료 분리

1) 테낙스

(1) 파이버 종류

극성이 다른 polyacrylate(PA)로 코팅된 파이버와 polydimethylsiloxane/divinylbenzene(PDMS/DVB)으로 코팅된 파이버 두 종류를 비교하였다[부록 그림-16].

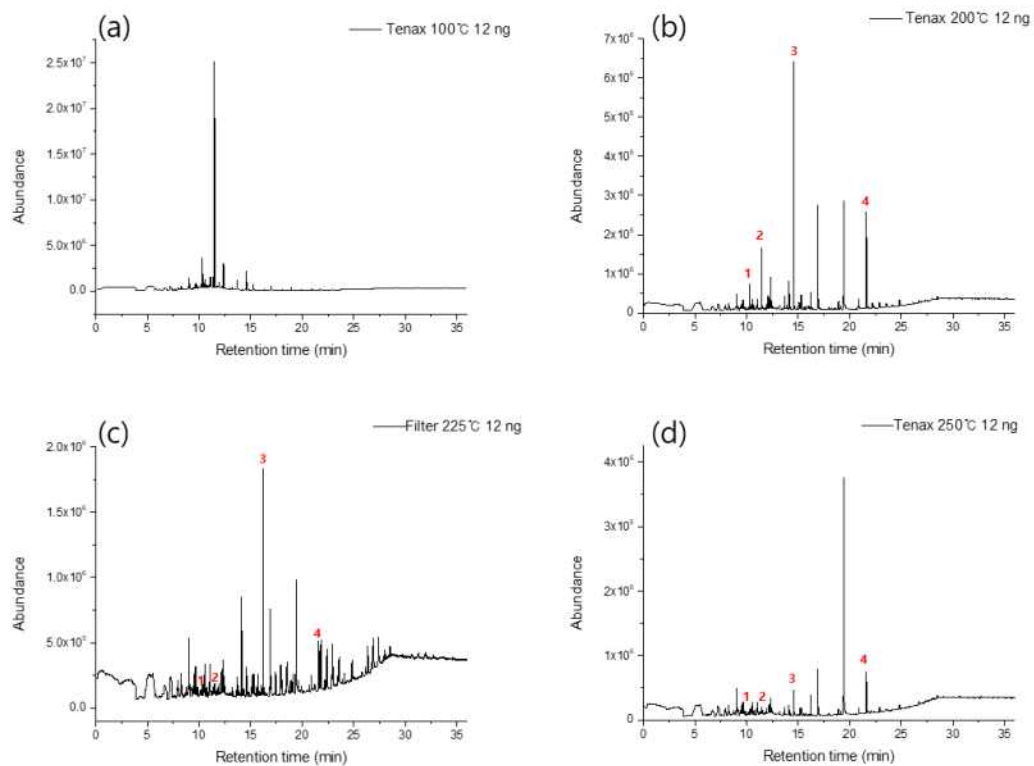


[부록 그림-16] 파이버 종류별 프탈레이트 흡착 효율 비교

(2) 포화온도, 흡착온도

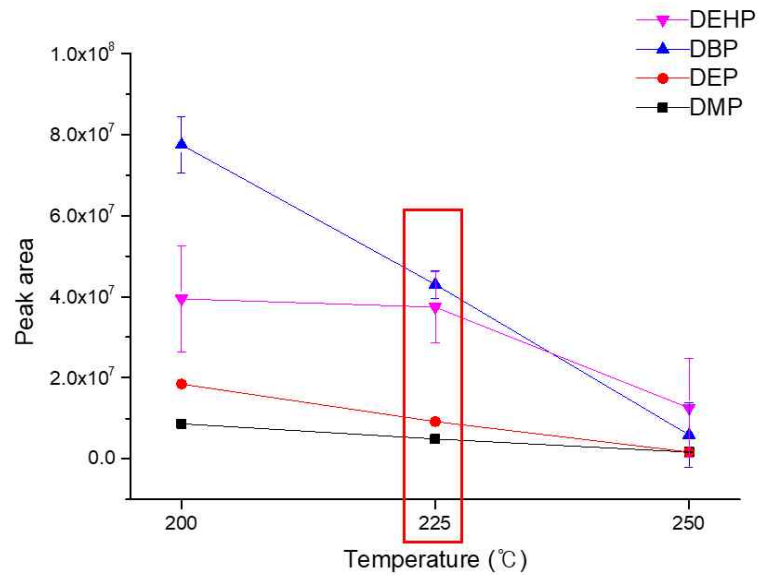
테낙스(약 0.03 g)에 4종의 프탈레이트 표준용액을 12 ng (0.4 ppm, 30 μ l) 스파이크하고 포화 및 흡착 온도를 달리하여 (100 $^{\circ}$ C, 200 $^{\circ}$ C, 225 $^{\circ}$ C, 250 $^{\circ}$ C) 실험을 진행하였다. 100 $^{\circ}$ C에서는 프탈레이트가 검출되지 않았고, 200 $^{\circ}$ C, 225 $^{\circ}$ C, 250 $^{\circ}$ C에서 프탈레이트 4종이 모두 검출되었다[부록 그림-17].

포화온도가 높아질수록 피크면적은 줄어들었으나, 정밀도는 개선되는 것을 볼 수 있었다. 피크면적만을 고려하면 200 $^{\circ}$ C가 월등한 것으로 보이나, 프탈레이트 반응의 민감도와 재현성을 모두 고려하여 225 $^{\circ}$ C를 최적의 포화온도로 결정하였다[부록 그림-18].



[부록 그림-17] 포화 온도별 테낙스 스파이크 시료 크로마토그램

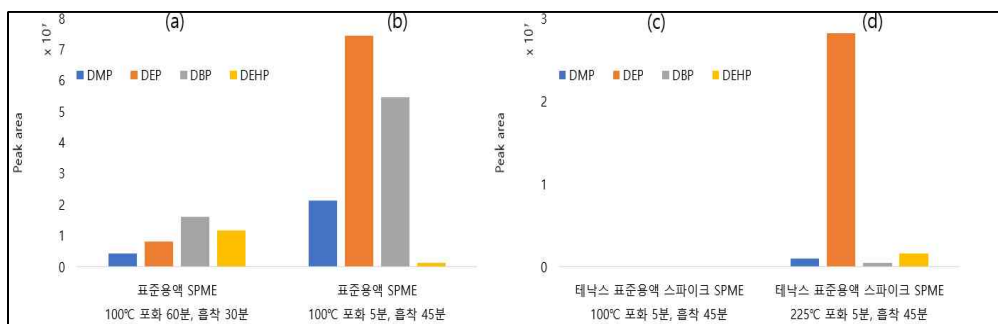
(a) 100 °C, (b) 200 °C, (c) 225 °C, (d) 250 °C (1=DMP, 2=DEP, 3=DBP, 4=DEHP)



[부록 그림-18] 테낙스와 필터의 포화 및 흡착 온도조건 최적화

(3) 포화시간, 흡착시간

포화시간과 흡착시간은 본 연구실에서 프탈레이트 분석 조건인 100 °C에서 포화시간 60분, 흡착 30분(Lee S et al. (2018))과 100 °C에서 포화시간 5분, 흡착시간 45분(Armada D et al. (2022))을 비교한 후, 최종 225 °C에서 포화시간 5분, 흡착시간 45분으로 분석조건을 최적화하였다.



[부록 그림-19] 포화시간과 흡착시간 최적화 비교 (a) 100 °C 포화 60 분, 흡착 30 분(표준용액), (b) 100 °C 포화 5 분, 흡착 45 분(표준용액), (c) 100 °C 포화 5 분, 흡착 45 분(테낙스) (d) 225 °C 포화 5 분, 흡착 45 분(테낙스)

(4) 탈착시간, 탈착온도

본 연구실에서 프탈레이트 분석에 최적화하였던 조건인 230 °C 탈착 3 분, 270 °C 탈착 3 분을 비교하여 최적화하였다.

(5) 분석검량선 및 검출한계 검정

공기 시료 중 테낙스 전처리 및 분석을 위한 고체상미량추출법 검정 결과는 <부록 표-8>에 정리하였고, 검량선은 테낙스에 프탈레이트 표준용액 0.06 ppm, 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 10 ppm 30 μ l를 스파이크하여 저농도 검량선 작성에 사용하였고, 고농도 검량선은 프탈레이트표준용액(DMP, DBP, DEHP: 12.5 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 200 ppm, 400 ppm, DEP: 62.5 ppm, 125 ppm, 250 ppm, 500 ppm), 30 μ l 스파이크하여 작성하였다.

검출한계 (LOD), 정량한계 (LOQ)는 ISO 정의(Wenzl T et al. (2016))를 사용하여 계산하였다.

〈부록 표-8〉 Tenax TA OVS 중 테낙스 흡착 프탈레이트 분석을 위한 검량선과
검출한계 및 분석범위

Compound	Regression equation	r ²	LOD*(ng)	LOQ**(ng)
DMP	$y = 1.42 \times 10^4 x + 5.84 \times 10^4$	0.995	3.60×10^0	1.08×10^1
DEP	$y = 6.18 \times 10^4 x + 4.51 \times 10^6$	0.842	4.07×10^0	1.22×10^1
DBP	$y = 7.42 \times 10^4 x + 1.82 \times 10^4$	0.989	6.46×10^{-2}	1.94×10^{-1}
DEHP	$y = 7.06 \times 10^4 x - 6.05 \times 10^5$	0.993	9.56×10^0	2.87×10^1

$$*LOD = \frac{3.3 \times SD}{x \text{ Slope}} \quad (\text{SD: 가장 작은 농도의 피크면적에 대한 표준편차})$$

$$**LOQ = 3 \times LOD$$

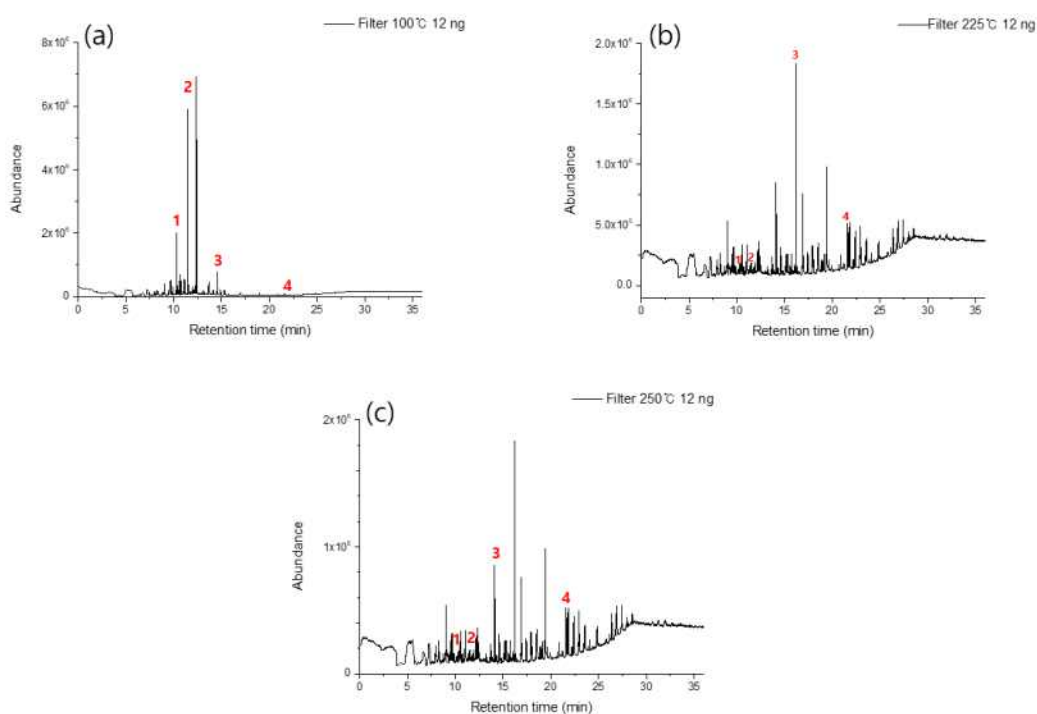
회수율은 테낙스에 프탈레이트 표준용액을 스파이크하여 고체상미량분석법으로 얻은 피크면적과 프탈레이트 용액만 고체상미량분석법으로 분석한 피크면적을 비교하여 계산하였다. 저농도에서는 DMP가 76 %, DBP가 22 %, DEHP가 77 %로 계산되었다. 고농도에서는 DMP가 83 %, DBP가 74 %, DEHP가 76 %로 계산되었다. DEP는 같은 retention time에 테낙스에서 방출되는 피크로 인해 회수율을 구할 수 없었다.

2) 필터

(1) 포화온도, 흡착온도

필터에 프탈레이트 표준용액을 스파이크하고 포화 및 흡착 온도를 달리하여 (100 ℃, 225 ℃, 250 ℃) 실험을 진행한 결과, 100 ℃, 225 ℃, 250 ℃에서 프탈레이트 4종이 모두 검출되었다[부록 그림-20] .

225 ℃, 250 ℃ 이상의 온도조건에서 분석했을 때, 100 ℃에서 분석했을 때보다 DEHP의 피크면적이 증가했고, 225 ℃를 포화온도 최적조건으로 결정하였다.



[부록 그림-20] 온도조건별 필터 스파이크 시료 크로마토그램

(a) 100 ℃, (b) 225 ℃, (c) 250 ℃ (1=DMP, 2=DEP, 3=DBP, 4=DEHP)

(2) 포화시간, 흡착시간, 탈착시간, 탈착온도

테낙스 고체상미량추출법에서 최적화한 분석조건에서 실험을 진행하였다.

최적화 조건인 225 ℃ 포화 5 분, 흡착 45 분 후 GC 주입구에서 270 ℃, 탈착 3 분으로 진행하였다.

(3) 분석검량선 및 검출한계

필터 전처리 및 분석을 위한 SPME 방법 검정 결과는 <부록 표-9>에 정리하였다. 검출한계(LOD), 정량한계(LOQ)는 ISO 정의(Wenzl T 등 (2016))를 사용하여 계산하였다.

<부록 표-9> 공기 시료 중 필터의 분석방법 검정 결과

Compound	Regression equation	r ²	LOD*(ng)	LOQ**(ng)
DMP	$y = 3.58 \times 10^6 x + 5.55 \times 10^5$	0.969	1.06×10^{-1}	3.17×10^{-1}
DEP	$y = 5.84 \times 10^7 x + 6.09 \times 10^6$	0.954	9.05×10^{-2}	2.72×10^{-1}
DBP	$y = 6.03 \times 10^7 x + 2.16 \times 10^7$	0.969	9.14×10^{-4}	2.74×10^{-3}
DEHP	$y = 5.91 \times 10^7 x + 9.16 \times 10^6$	0.848	2.07×10^{-1}	6.21×10^{-1}

$$*LOD = \frac{3.3 \times SD}{x \text{ Slope}} \quad (SD: \text{가장 작은 농도의 피크면적에 대한 표준편차})$$

$$**LOQ = 3 \times LOD$$

회수율은 필터에 프탈레이트 표준용액을 스파이크하여 고체상미량분석법으로 얻은 피크면적과 프탈레이트 용액만 고체상미량분석법으로 분석한 피크면적을 비교하여 계산하였다. DMP가 88 %, DEP가 123 %, DBP가 79 %, DEHP가 78 %로 계산되었다. SPME 방법을 적용하여 Tenax TA OVS 구성재료 중 테낙스와 필터 분석을 위한 분석과정을 정리하면 <부록 표-10>과 같다.

〈부록 표-10〉 Tenax TA OVS 시료 중 테낙스와 필터의 전처리 및 분석방법

시료 분리	시료 분석
세척한 50 mL vial에 tweezer를 사용해 각각을 분리해 옮김	- 분리한 시료를 225 °C sand bath에서 5 분간 포화 진행 - 이어서 225 °C sand bath에서 45 분간 흡착 진행 - GC/MS inlet에서 3 분간 탈착한 후 분석 진행

공기 시료 분석법

공기 샘플 중 Tenax와 Filter 프로토콜

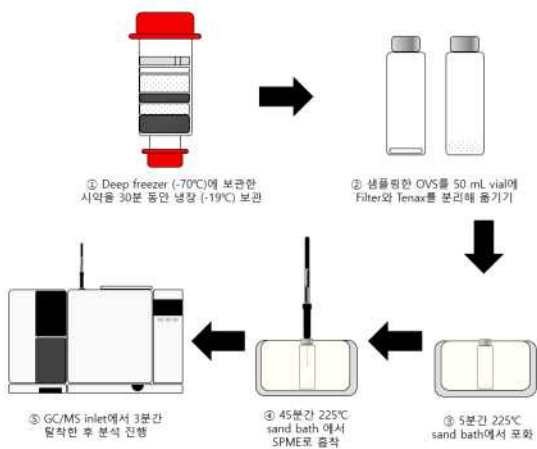
1) Deep freezer (-70°C)에 보관한 시약을 30분 동안 냉장 (-19°C) 보관

2) 샘플링한 OVS를 50 mL vial에 Filter와 Tenax를 분리해 옮기기

3) 5분간 225°C sand bath에서 포화

4) 45분간 225°C sand bath에서 SPME로 흡착

5) GC/MS inlet에서 3분간 탈착한 후 분석 진행



① Deep freezer (-70°C)에 보관한 시약을 30분 동안 냉장 (-19°C) 보관

② 샘플링한 OVS를 50 mL vial에 Filter와 Tenax를 분리해 옮기기

③ 5분간 225°C sand bath에서 포화

④ 45분간 225°C sand bath에서 SPME로 흡착

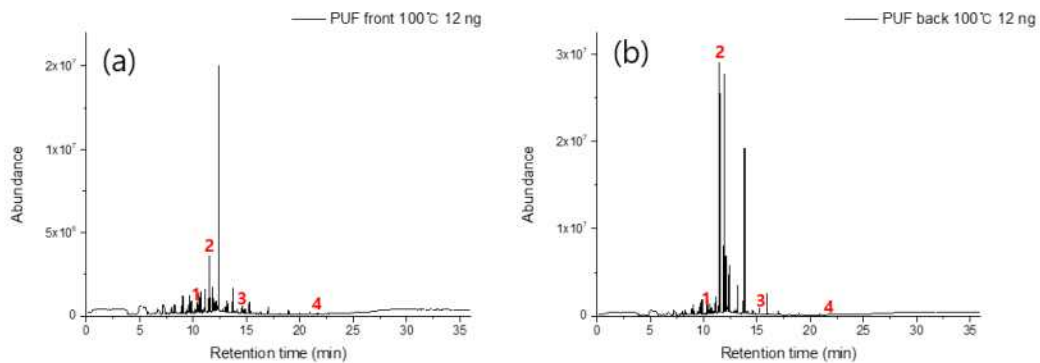
⑤ GC/MS inlet에서 3분간 탈착한 후 분석 진행

	SPME
Saturation temp. / time	225°C / 5 min
Adsorption time	45 min
Desorption time	3 min
Volume	30 μ L
Fiber	PDMS/DVB

3) 폴리우레탄폼 (PUF)

(1) SPME 분석방법

OVS sampler 내 폼에 흡착된 프탈레이트를 분석하기 위해 SPME 분석조건을 최적화하였다. 포화시간과 흡착시간을 테낙스의 SPME 최적조건과 같은 5분 포화시간, 45 분 흡착시간으로 진행하였다. 폼 앞과 폼 뒤에 프탈레이트 표준용액을 12 ng (0.4 ppm, 30 μ l) 스파이크하고 100 °C에서 실험을 진행한 결과, 프탈레이트 4종이 모두 검출되었고, 폼 앞은 DEP가 정량한계(LOQ)보다 낮게 분석되었다[부록 그림-22]. 하지만, 잔류량 확인을 위해 위의 폼 앞과 폼 뒤를 각각 추가 스파이크 없이 다시 다시 SPME를 진행했을 때 폼 앞은 DMP, DEP가 검출되었고, DEP가 정량한계보다 낮게 분석되었다. 폼 뒤는 DMP, DEP, DBP가 검출되었고, DBP가 정량한계보다 낮게 분석되었다. SPME 방법이 폼 분석엔 재현성이 낮아 분석에 적합하지 않다고 판단하여 용매를 이용한 초음파 추출법을 사용하였다.



[부록 그림-21] 폼 회수율 크로마토그램 (a) 폼 앞, (b) 폼 뒤 (1=DMP, 2=DEP, 3=DBP, 4=DEHP)

(2) 초음파추출 분석방법

OVS sampler 내 폼에 흡착된 프탈레이트 분석을 위한 초음파추출법은 표면 시료 분석을 위한 초음파추출 분석방법 최적조건과 동일하게 하여 진행하였다. OVS sampler에서 폼 앞과 폼 뒤를 분리해 70 ml vial에 넣은 후, 추출용매인 acetone 20 ml을 추가하였다. 초음파를 15 분간 진행한 뒤, 시린지를 사용해 폼을 최대한 짜내고 추출된 시료를 100 ml round bottom flask로 옮겼다. 60 ℃에서 약 2분 30 초간 회전증발 농축기로 농축한 후 1 ml acetone을 넣고 1 분간 초음파를 진행하고 시린지 필터링 후 vial에 보관하였다. 공기 시료 중 폼 전처리 및 분석을 위한 초음파추출법 검정 결과는 <부록 표-11>과 같다. 검출한계(LOD), 정량한계 (LOQ)는 ISO 정의를 사용하여 계산하였다.

〈부록 표-11〉 공기 시료 중 폼 분석방법 검정 결과

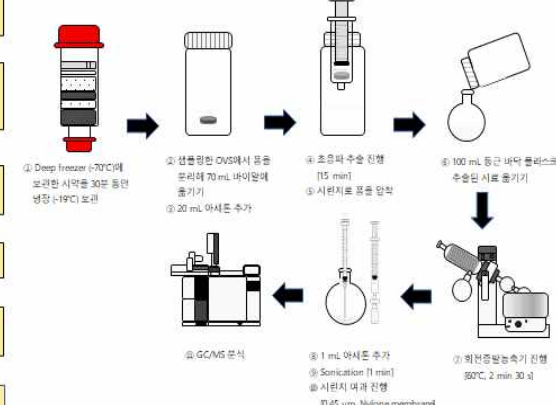
Compound	Regression equation	r ²	LOD*(ng)	LOQ**(ng)
DMP	$y = 1.62 \times 10^7 x - 8.61 \times 10^6$	0.999	1.22×10^{-1}	3.85×10^{-1}
DEP	$y = 1.81 \times 10^7 x + 5.30 \times 10^6$	0.993	1.67×10^{-1}	5.00×10^{-1}
DBP	$y = 1.97 \times 10^7 x + 3.76 \times 10^6$	0.990	1.06×10^{-1}	3.17×10^{-1}
DEHP	$y = 2.20 \times 10^7 x - 7.44 \times 10^6$	0.993	5.51×10^{-2}	1.65×10^{-1}

$$*LOD = \frac{3.3 \times SD}{x \text{ Slope}} \quad (\text{SD: 가장 작은 농도의 피크면적에 대한 표준편차})$$

$$**LOQ = 3 \times LOD$$

공기 시료 중 폼 분석을 위한 초음파추출법의 최적화된 전처리 및 분석방법을 아래 <부록 표-12>에 정리하였다.

〈부록 표-12〉 공기 시료 분석을 위한 품의 전처리 및 분석방법

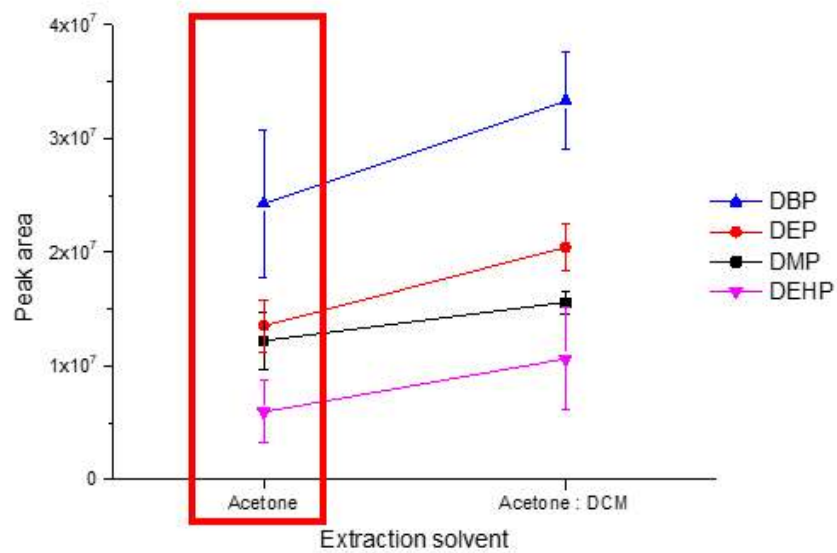
시료 추출	시료 농축
■ 세척한 70 mL vial에 품을 넣은 후, 추출 용매인 acetone 20 mL를 추가 ■ 초음파 추출 15 분 진행 ■ 시린지로 품을 최대한 짜기	• 추출된 시료를 100 mL round bottom flask로 옮긴 후 60 °C에서 약 2분 30 초 간 회전증발 농축기로 농축 진행 • 1 mL acetone에 녹인 후 1 분간 초음파 진행 • 시린지 필터링 후 vial에 보관
공기 시료 (품) 프로토콜 1) Deep freezer (-70°C)에 보관한 시약을 30분 동안 냉장 (-19°C) 보관 2) 샘플링한 OVS에서 품을 분리해 70 mL 바이알에 옮긴 뒤, 20 mL 아세톤을 추가 3) 1분 동안 vortexing 후, 15분 간 초음파 추출 진행 4) 시린지를 이용해 품을 압착 5) 회전증발농축기에서 60°C, 2분 30초간 농축 6) 1 mL 아세톤을 넣고 1분간 sonication으로 용해시킨 뒤, GC/MS로 분석 진행	 ① Deep freezer (-70°C)에 보관한 시약을 30분 동안 냉장 (-19°C) 보관 ② 샘플링한 OVS에서 품을 분리해 70 mL 바이알에 옮긴 뒤, 20 mL 아세톤 추가 ③ 1분 동안 vortexing 후, 15분 간 초음파 추출 진행 ④ 시린지를 이용해 품을 압착 ⑤ 회전증발농축기에서 60°C, 2분 30초간 농축 ⑥ 1 mL 아세톤을 넣고 1분간 sonication으로 용해시킨 뒤, GC/MS로 분석 진행 ⑦ 1 mL 아세톤 추가 ⑧ Sonication [1 min] ⑨ 시린지 여과 진행 ⑩ 0.45 µm, Nylon membrane ⑪ GC/MS 분석
공기 시료 분석법  추출에 사용한 초자 및 기구 (70 mL vial, tweezer, round bottom flask(with cork, septum), auto-sampler vial, syringe filter)	 아세톤(99.7 %)

4. 표면 시료 분석을 위한 초음파추출 분석방법 최적화

고체상미량추출법으로 표면 시료 분석을 100 ℃에서 1 시간 포화, 30 분 흡착 조건에서 진행했을 때, 흡착과정에서 SPME fiber에 물방울이 맺히는 것을 확인하였다. 이는 거즈가 70 % isopropyl alcohol (IPA) 용액 2 ml로 적셔져 있어 한정된 vial 부피 내 과포화되어 나타난 것으로 판단하였다. 표면 시료 샘플링을 위해 IPA 용액의 부피가 이미 2 ml로 고정되어 변경이 불가하므로, 표면시료 분석에 고체상미량추출법이 적합하지 않다고 판단하여 용매를 이용한 초음파추출법으로 진행하였다. 초음파추출법은 추출용매종류, 농축유무, 농축 온도 조건을 최적화하였다.

1) 추출 용매

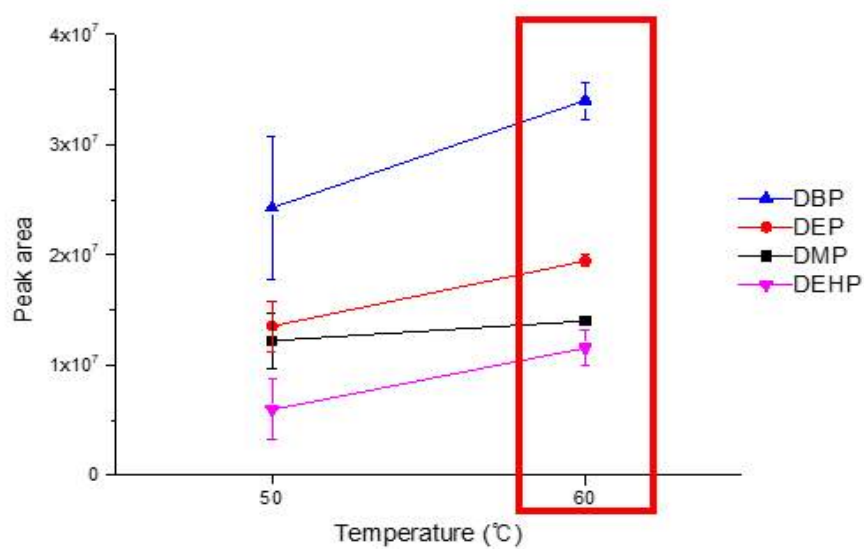
70 % IPA 용액 2 ml로 적신 거즈에 프탈레이트 표준물질 20,000 ng을 spike한 뒤, 두 가지 용매(acetone, acetone:DCM(1:1) 혼합용액)를 각각 20 ml로 추출한 결과, acetone:DCM(1:1) 혼합용액의 추출 효율이 높았으나, 상대표준편차가 높은 것을 확인하였다[부록 그림-23]. 또한, acetone의 경우 상대표준편차가 2~14 %로, 7~42 %인 acetone:DCM (1:1)에 비해 낮아 추출 용매로는 acetone이 적합하다고 판단하였다.



[부록 그림-22] 용매에 따른 프탈레이트 4종의 추출 효율 비교

2) 농축 온도

70 % IPA 용액 2 ml로 적힌 거즈에 프탈레이트 표준물질 20,000 ng을 스파이크한 뒤, 20 ml의 acetone으로 추출한 시료를 농축 온도를 달리해(50 ℃, 60 ℃) 분석한 결과, 60 ℃로 농축했을 때 4종의 프탈레이트 모두 높은 효율로 추출되었다[부록 그림-24]. 또한, 회수율(recovery)도 39~125 %로 다른 온도 조건보다 높은 값을 보여 농축 온도를 60 ℃로 최적화하였다.



[부록 그림-23] 농축 온도(50, 60 °C)에 따른 프탈레이트 크로마토그램

3) 분석법 검정

공기 시료 중 표면시료 전처리 및 분석을 위해 최적화된 초음파추출법 검정 결과는 <부록 표-13>과 같다.

<부록 표-13> 표면 시료 분석방법 검정 결과

Compound	Regression equation	r^2	LOD*(ng)	LOQ**(ng)
DMP	$y = 1.62 \times 10^7 x - 8.61 \times 10^6$	0.999	1.22×10^{-1}	3.85×10^{-1}
DEP	$y = 1.81 \times 10^7 x + 5.30 \times 10^6$	0.993	1.67×10^{-1}	5.00×10^{-1}
DBP	$y = 1.97 \times 10^7 x + 3.76 \times 10^6$	0.990	1.06×10^{-1}	3.17×10^{-1}
DEHP	$y = 2.20 \times 10^7 x - 7.44 \times 10^6$	0.993	5.51×10^{-2}	1.65×10^{-1}

$$*LOD = \frac{3.3 \times SD}{x \text{ Slope}} \quad (\text{SD: 가장 작은 농도의 피크면적에 대한 표준편차})$$

$$**LOQ = 3 \times LOD$$

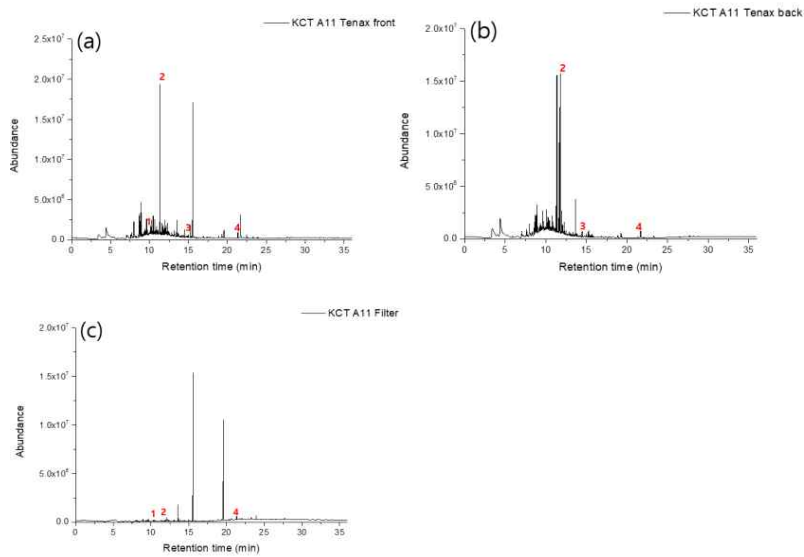
회수율은 거즈에 프탈레이트 표준용액을 스파이크하여 초음파추출법으로 얻은 피크면적과 프탈레이트 용액만 GC/MS 직접 주입법으로 분석한 피크면적을 비교하여 계산하였다. DMP가 40 %, DEP가 55 %, DBP가 93 %, DEHP가 99 %로 계산되었다. 먼지 시료 분석을 위한 초음파추출법의 최적화된 전처리 및 분석방법을 정리하면 <부록 표-14>와 같다.

〈부록 표-14〉 표면 시료의 전처리 및 분석방법

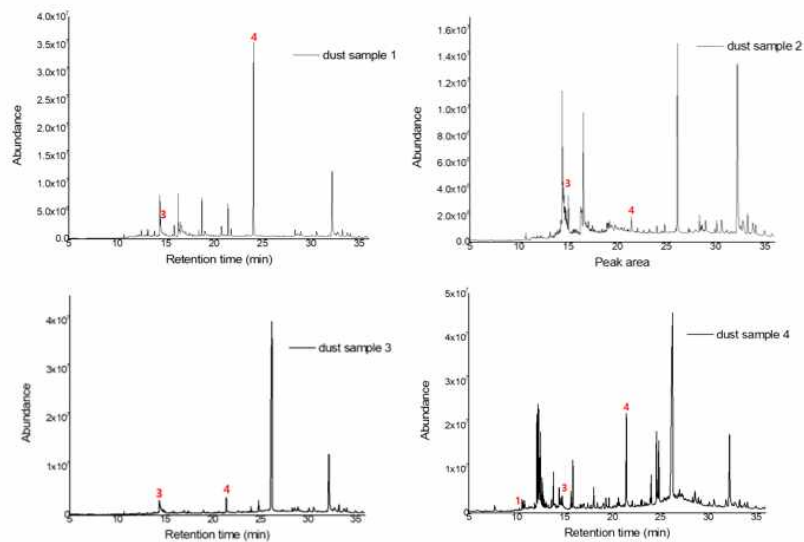
시료 추출	시료 농축
• 세척한 70 mL vial에 거즈를 넣은후, 추출 용매인 acetone 20 mL를 추가 • 초음파 추출 15 분 진행 • tweezer로 거즈를 최대한 짜기	• 추출된 시료를 100 mL round bottom flask로 옮긴 후 60 °C에서 약 2 분 30 초 간 회전 증발 농축기로 농축 진행 • 1 mL acetone에 녹인 후 1 분간 sonication 진행 • 실린지 필터링 후 vial에 보관
표면시료 프로토콜 1) Deep freezer (-70°C)에 보관한 시약을 30분 동안 냉장 보관 2) 2 mL 아이소프로필 알코올을 적힌 거즈에 20 mL 아세톤 추가 3) 1분 동안 vortexing 후, 15분 간 초음파 추출 진행 4) 핀셋을 이용해 거즈를 짤 5) 회전증발농축기 에서 60°C, 2분 30초간 농축 6) 1 mL 아세톤을 넣고 1분간 sonication으로 용해시킨 뒤, GC/MS로 분석 진행	
표면 시료 분석법  추출에 사용한 초자 및 기구 (70 mL vial, tweezer, round bottom flask(with cork, septum), auto-sampler vial, syringe filter)	



아세톤(99.7%)



[부록 그림-24] 공기시료 크로마토그램 예시 (a) 테낙스 앞, (b) 테낙스 뒤, (c) 필터
(1=DMP, 2=DEP, 3=DBP, 4=DEHP)



[부록 그림-25] 표면시료 크로마토그램 예시 (1=DMP, 2=DEP, 3=DBP, 4=DEHP)



연구진

연구기관 : 순천향대학교 산학협력단

연구책임자 : 박정임 (교수, 순천향대학교)

연구원 : 배선영 (교수, 서울여자대학교)

연구원 : 안진수 (연구원, 명지산업안전보건연구소)

연구원 : 이아람 (연구원, 순천향대학교)

연구보조원 : 최소현 (박사과정생, 순천향대학교)

연구보조원 : 김주영 (석사과정생, 서울여자대학교)

연구보조원 : 김수진 (석사과정생, 서울여자대학교)

연구보조원 : 박노을 (석사과정생, 서울여자대학교)

연구보조원 : 조희진 (석사과정생, 서울여자대학교)

연구보조원 : 이강현 (학부생, 순천향대학교)

연구상대역 : 김세동 (과장, 직업환경연구실)

연구기간

2022. 05. 01. ~ 2022. 11. 30.

본 연구는 산업안전보건연구원의 2022년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

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

산업안전보건연구원장

근로자의 플라스틱가소제 노출과 건강영향 연구
(2022-산업안전보건연구원-790)

발 행 일 : 2022년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아

연구책임자 : 순천향대학교 교수 박정임

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : 052-703-0893

팩 스 : 052-703-0337

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

I S B N : 979-11-92782-36-2

공공안심글꼴 : 무료글꼴, 한국출판인회의, Kopub바탕체/돋움체