

석사학위논문

전남지역 일부 스티렌 노출 작업자  
특수건강진단 결과의 소변 중 만델릭산  
및 페닐글리옥실산에 관한 연구

2025년

한 성 대 학 교 대 학 원

기 계 시 스템 공 학 과

산 업 위 생 공 학 전 공

정 가 영

석사학위논문  
지도교수 김민구

전남지역 일부 스티렌 노출 작업자  
특수건강진단 결과의 소변 중 만델릭산  
및 페닐글리옥실산에 관한 연구

A Study on Mandelic Acid and Phenylglyoxylic Acid  
in Urine from the Workers Medical Examination Data  
for the Styrene-Exposed Workers in Jeonnam Region

2024년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

기계시스템공학과

산업위생공학전공

정 가 영

석사학위논문  
지도교수 김민구

전남지역 일부 스티렌 노출 작업자  
특수건강진단 결과의 소변 중 만델릭산  
및 페닐글리옥실산에 관한 연구

A Study on Mandelic Acid and Phenylglyoxylic Acid  
in Urine from the Workers Medical Examination Data  
for the Styrene-Exposed Workers in Jeonnam Region

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2024년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

기계시스템공학과

산업위생공학전공

정 가 영

정가영의 공학 석사학위 논문을 인준함

2024년 12월 일

심사위원장 강 태 선 (인)

심 사 위 원 박 두 용 (인)

심 사 위 원 김 민 구 (인)

# 국 문 초 록

## 전남지역 일부 스티렌 노출 작업자 특수건강진단 결과의 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산에 관한 연구

한 성 대 학 교    대 학 원  
기 계 시 스템 공 학 과  
산 업 위 생 공 학 전 공  
정                    가                    영

광주광역시와 전남지역의 사업장 일부를 대상으로 실시한 특수건강진단 및 작업환경측정 자료에서 2016년부터 2023년까지의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도자료(사업장은 435개소, 건강진단자 1,691명)와 2018년부터 2023년까지의 작업환경측정자료 중 공기 중 스티렌 농도자료(사업장 1,045개소, 측정건수 1,972건)를 분석하였다.

소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 측정치 1,691건 중 ACGIH BEI(150 mg/g Crea)을 초과한 건은 501건으로 초과율은 약 30%였다. 노출기준의 2배를 초과하는 경우는 121건(7.2%)으로 나타났다. 노출기준 50%값인 조치기준(Action Limit, AL) 75 mg/g Crea을 초과하는 경우는 전체 1,691건 중 919건으로 초과율은 54.3%이었다.

이것은 광주광역시와 전남지역의 스티렌 작업자의 반 이상의 작업자가 스

티렌의 ACGIH의 TLV이자 우리나라 노출기준인 20 ppm을 초과할 가능성을 시사한다.

소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도가 기준을 초과하는 501건을 업종별로 보면 제조업이 258건(51.5%), 수리업이 112건(22.4%), 공공행정업이 54건(10.8%) 그리고 기타업과 서비스업이 각각 39건과 38건으로 약 8%씩이었다. 공정별로 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도가 ACGIH BEI를 초과하는 공정은 도장(224건), 신뢰성·품질(67건), 연구실의 분석업무(62건), 사출성형(54건) 그리고 공공행정(54건)의 순으로 나타났다. 한편 초과율은 사출성형(50.9%), 분석업무(36.7%), 공공행정(33.9%), 신뢰성·품질업무(29%), 도장(29%) 공무(26.3%), 등의 순으로 높았다.

작업환경측정 결과는 2018년부터 2023년까지 스티렌의 농도가 1~5 ppm 수준으로 노출기준(20 ppm)의 이하에 낮은 수준이었으나 기하평균(GM)과 기하표준편차(GSD)으로 산출한 결과, 노출기준 20 ppm을 초과할 확률은 약 5%인 것으로 나타났다. 그러나 작업환경측정 결과에서 개별적으로 노출기준을 초과하는 경우는 없었다.

**【주요어】** 스티렌, 소변 중 만델릭산, 소변 중 페닐글리옥실산,  
생물학적 노출지표

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 연구의 배경 및 목적 .....	1
제 2 장 연구대상 및 방법 .....	3
제 1 절 연구 대상 .....	3
1) 연구대상 .....	3
2) 특수건강진단 결과 .....	4
3) 작업환경측정 방법 .....	5
제 2 절 자료 분석방법 .....	6
1) 취합 및 정리 .....	6
2) 고노출 업종 및 공정 분석 .....	6
제 3 장 연구 결과 .....	8
제 1 절 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도 .....	8
1) 스티렌 노출 작업자의 생물학적 지표 .....	8
제 2 절 고위험 노출군 통계적 추정 .....	14
1) 정규분포 추정 .....	14
2) 기하분포 추정 .....	15
3) 검출농도에 따른 일반적인 추정 .....	16
제 3 절 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산 농도 수준 .....	21
1) ACGIH BEI 초과 업종 및 공정 .....	24

2) 0.5배 이상 구간의 업종 및 공정별 추이 .....	27
제 4 절 업종 및 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 .....	31
1) 업종별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 .....	31
2) 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 .....	44
3) 스티렌 노출 작업자의 특수건강진단 및 작업환경측정 비교 .....	58
4) 스티렌 노출 작업자의 공기 중 농도 .....	59
제 5 절 내국인 및 외국인 건강진단 비율 .....	66
제 4 장 결    론 .....	71
참 고 문 헌 .....	73
ABSTRACT .....	75

# 표 목 차

〈표 1〉 액체크로마토그래피의 분석조건 .....	4
〈표 2〉 가스크로마토그래피의 분석조건 .....	5
〈표 3〉 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 연도별 측정 결과 (불검출 데이터 포함) .....	10
〈표 4〉 특수건강진단 검출 결과 .....	11
〈표 5〉 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 연도별 측정 결과 (불검출 데이터 불포함) .....	13
〈표 6〉 고위험 노출군 정규분포 추정 .....	14
〈표 7〉 고위험 노출군 기하분포 추정 .....	15
〈표 8〉 고위험 노출군 일반적인 추정 .....	16
〈표 9〉 스티렌의 공기 중 노출농도 및 생물학적 노출지표 기준 .....	22
〈표 10〉 ACGIH BEI 대비 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 수준별 건수 및 초과율 .....	23
〈표 11〉 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 ACGIH BEI 초과건수 .....	24
〈표 12〉 업종별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 ACGIH BEI 초과건수 .....	25
〈표 13〉 공정에 따른 업종별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 ACGIH BEI 초과건수 .....	25
〈표 14〉 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 ACGIH BEI 초과 측정치의 분포 .....	26
〈표 15〉 0.5배 이상 구간의 업종별 건강진단 결과 현황 .....	28
〈표 16〉 0.5배 이상 구간의 공정별 업종 분포 현황 .....	29
〈표 17〉 0.5배 이상 구간의 공정별 검출 결과 현황 .....	30

<표 18> 업종별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 측정 사업장수 .....	31
<표 19> 업종별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 측정 건수 .....	32
<표 20> 연령별, 성별, 업종별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 ...	34
<표 21> 제조업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 (불검출 데이터 포함) .....	35
<표 22> 제조업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 (불검출 데이터 제외) .....	36
<표 23> 수리업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 (불검출 데이터 포함) .....	36
<표 24> 수리업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 (불검출 데이터 제외) .....	37
<표 25> 서비스업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 (불검출 데이터 포함) .....	38
<표 26> 서비스업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 (불검출 데이터 제외) .....	39
<표 27> 공공행정업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 (불검출 데이터 포함) .....	40
<표 28> 공공행정업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 (불검출 데이터 제외) .....	41
<표 29> 기타업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 (불검출 데이터 포함) .....	42
<표 30> 기타업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 (불검출 데이터 제외) .....	43
<표 31> 연도별 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 측정건수 (불검출 데이터 포함) .....	45
<표 32> 연도별 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 측정건수 (불검출 데이터 제외) .....	46

〈표 33〉	성별, 연령별, 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도	49
〈표 34〉	공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도	51
〈표 35〉	도장 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도	52
〈표 36〉	신뢰성, 품질 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도	53
〈표 37〉	분석 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도	54
〈표 38〉	공공행정 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도	55
〈표 39〉	사출성형 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도	55
〈표 40〉	주조 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도	56
〈표 41〉	공무 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도	57
〈표 42〉	기타 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도	57
〈표 43〉	스티렌 특수건강진단 및 작업환경측정 자료 연도별 분석	59
〈표 44〉	연도별 공기 중 스티렌 농도 측정결과	60
〈표 45〉	제조업의 공기 중 스티렌 농도 측정결과	62
〈표 46〉	수리업의 공기 중 스티렌 농도 측정결과	63
〈표 47〉	서비스업의 공기 중 스티렌 농도 측정결과	64
〈표 48〉	기타업의 공기 중 스티렌 농도 측정결과	65
〈표 49〉	내국인 및 외국인 건강진단 비율	67
〈표 50〉	내국인 및 외국인 업종별 공정 비율	68
〈표 51〉	1배 이상 구간의 공정별 검출 결과 비교	69
〈표 52〉	0.5배 이상 구간의 공정별 검출 결과 비교	70

## 그림 목 차

[그림 1] 2016년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포 .....	17
[그림 2] 2017년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포 .....	18
[그림 3] 2018년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포 .....	18
[그림 4] 2019년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포 .....	19
[그림 5] 2020년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포 .....	19
[그림 6] 2021년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포 .....	20
[그림 7] 2022년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포 .....	20
[그림 8] 2023년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포 .....	21

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구의 배경 및 목적

스티렌은 합성수지의 원료, 플라스틱, 고무, 섬유, 접착제 등 다양한 용도로 많은 제조업에서 사용된다. 조형렬 등이 2008년도에 실시한 조사에 의하면 국내에서 스티렌은 폴리스티렌, 641천 톤(30%), 발포폴리스티렌, 355천 톤(17%), ABS 수지, 717천톤(33%), 합성수지 및 SBR, 61천톤(3%) 등 합성고무 제조 원료로 사용되고 있었다고 한다(조형렬 등, 2008). 이와 같이 합성수지의 원료와 다양한 산업용 제품생산에 사용되는 스티렌의 특성상 스티렌을 취급하는 사업장과 작업자는 여전히 많을 것으로 보인다.

스티렌의 유해성은 잘 알려져 있다. 단기간 고농도에 노출되면 눈, 피부 그리고 호흡기에 자극을 주며, 장기간 노출될 경우에는 저농도라도 신경계에 심각한 손상을 일으킬 수 있다. 주요 증상으로는 말초 신경병증, 기억력 손실, 집중력 저하와 간과 신장과 같은 주요 장기에 손상을 유발하는 것으로 알려져 있다. 한편 국제암연구소(IARC)에서는 스티렌을 2B군으로 분류하고 있으며, 미국 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서는 A3(동물에서 확인된 발암물질)로 분류하고 있다.

스티렌의 노출로부터 작업자를 보호하기 위한 대표적인 제도적 장치가 작업환경측정과 특수건강진단이다. 스티렌을 취급하는 작업자에 대해서는 매년 작업환경측정과 특수건강진단을 실시하고 있지만, 최근 얼마나 많은 사업장에서 얼마나 많은 작업자가 어느 정도의 스티렌에 노출되고 있는지에 대한 연구 결과나 자료는 많지 않다.

조형렬 등의 2008년도 연구 결과에 의하면 약기 제조업의 도장 공정으로 노출농도가 63.82 ppm이었으며, 자동차 부품 제조업의 적층 공정에서는 49.22 ppm, 도료, 인쇄잉크 및 유사제품 제조업의 조색 공정에서 48.77 ppm, 전동기, 발전기 및 전기변환장치 제조업의 함침 공정에서 43.42 ppm, 건축용

플라스틱제품제조업의 적층 공정에서 42.51 ppm, 기타 플라스틱제품제조업의 배합 공정에서 42.45 ppm 등, 상당히 높은 농도의 스티렌에 노출되고 있었다(조형렬 등, 2008).

본 연구에서는 그동안 광주광역시와 전남지역을 대상으로 작업환경측정과 특수건강진단을 실시해 온 모 기관에서 2018년부터 2023년까지 실시한 스티렌의 작업환경측정 결과 및 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도를 분석하여, 스티렌의 노출 위험성을 평가하였다. 이를 통하여 기준을 초과하거나 초과할 가능성이 있는 스티렌 고노출 위험군 규모를 추정하고 고노출군의 특성을 파악하여 향후 스티렌으로부터 건강장해를 예방하기 위한 기초자료를 제공함으로써, 고노출군에 대한 보다 정확한 작업환경측정과 특수건강진단을 하도록 하며, 작업장 보건관리에 참고하도록 하고자 하였다.

## 제 2 장 연구대상 및 방법

### 제 1 절 연구 대상

#### 1) 연구대상

본 연구는 광주광역시와 전남지역에서 스티렌을 취급 사업장을 대상으로 하거나 노출 가능성이 있어 산업안전보건법에 따라 실시한 특수건강진단과 작업환경측정 결과 자료 중 작업자의 소변 중 대사산물인 만텔릭산과 페닐글리옥실산 측정치와 작업환경 중 공기 중 스티렌 농도 측정치를 대상으로 하였다.

소변 중 만텔릭산과 페닐글리옥실산 자료는 2016년부터 2023년까지 8년간의 광주광역시와 전라남도 지역을 대상으로 실시한 스티렌 특수건강진단 결과로 총 435개소 사업장에서 1,691명의 자료가 수집되었으며, 연도별로 평균 약 54개소 211명 정도였다. 다만, 특수건강진단은 개별 사업장과 건강진단기관간 매년 계약에 의해 실시되므로 연도별로 대상 사업장은 변동이 있었다. 전체적으로 연구 대상 사업장의 업종은 제조업 151개소, 수리업 299개소, 서비스업 10개소, 공공행정업 11개소, 기타업 34개소로 다양했으며, 업종별 대상 건강진단자는 제조업 846명, 수리업 451명, 서비스업 93명, 공공행정업 163명, 기타업 138명이었다.

스티렌의 대한 공기 중 스티렌 농도 측정 결과는 2018년부터 2023년까지 6년간의 광주광역시과 전라남도 지역의 일부 195개소 사업장에서 1,972명을 대상으로 실시한 작업환경측정 결과였다. 작업환경측정도 매년 사업장과의 계약에 의해 되므로 연도별로 대사 사업장은 일부 변동이 있었다. 업종별로 사업장 수는 제조업 40개소, 수리업 146개소, 서비스업 6개소, 기타업이 3개소였으며, 측정자 수는 제조업 768명, 수리업 1,141명, 서비스업 48명, 기타업 15명이었다.

## 2) 특수건강진단 결과

스티렌에 대한 특수건강진단은 특수건강진단 방법에 따라 일반적으로는 연 1회 실시하며, 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 농도를 측정한다.

대부분의 유기화합물은 작업 종료 직후에 가장 높은 농도를 유지하다가 수 시간 이내에 농도가 급격히 낮아지는 물질이다. 스티렌의 생물학적 노출지표의 시료 채취 시기는 ‘당일’에 해당한다. ‘당일(end of shift)’은 당일 노출 작업 종료 2시간 전부터 직후까지를 말한다. 소변 수검시 작업자에게 채취시간 및 확인 서명을 받고 이루어진다. 다만 본 연구에서는 정확한 채취시간에 관한 자료는 확인하지 못하였다. 소변을 채취하여 냉장 상태로 즉시 실험실로 보낸 후 5일 이내로 분석이 이루어진다.

분석 방법은 액체크로마토그래피(HPLC)를 이용하며 분석 조건은 <표 1>과 같았다.

<표 1> 액체크로마토그래피의 분석조건

---

Column.	Zorbox eclipse XDB-C18 5 $\mu$ m(4.6 $\times$ 150mm, Agilent) Hypersil GOLD C18 5 $\mu$ m(4.6mm $\times$ 150mm, Thermo)
Detector.	MA: UV 225nm PGA: UV 225nm / 255nm
flow velocity	1.5ml/min
Injection volume	10 $\mu$ l

---

액체크로마토그래피(HPLC)장비의 경우 2019년 12월에 한차례 장비 교체가 이루어졌으며, 분석사는 2018년 3월, 2020년 1월, 2021년 1월에 걸쳐 3번의 변경이 있었다.

우리나라 특수건강진단에서 스티렌의 생물학적 노출지표 및 기준값은 2012년부터 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 합한 값을 사용하고 있다. 본 연구에서 취합한 자료도 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 합계값이었으며, 만델릭산과 페닐글리옥실산 각각의 값이 기록되어 있는 2020년 이후의 자료는 각각의 값과 합산 값을 모두 분석하였다.

### 3) 작업환경측정 방법

공기 중 스티렌 노출농도를 측정하기 위해서 고용노동부의 작업환경측정방법 의해 실시하고 있다. 단위 작업 장소에서 최고 노출 작업자 2명 이상을 동시에 측정하며, 1일 작업 시간 중 6시간 이상 연속 측정하거나, 작업 시간을 1시간 간격으로 나누어 6회 이상 측정한다. 채취한 시료는 가스크로마토그래피(Gas Chromatography)의 분석 장비를 사용하여 스티렌 농도를 분석한다. 측정 결과는 시간 가중 평균(TWA)과 비교하여 노출 기준 초과 여부를 평가한다.

#### <표 2> 가스크로마토그래피의 분석조건

Column.	DB-WAX(30m×0.320mm×0.25um, Agilent) DB-WAX(30m×0.320mm×0.25um, Agilent)
Column oven Temp.	MA: UV 225nm
Injector Temp.	MA: UV 225nm
Detector Temp.	PGA: UV 225nm / 255nm
Carrier gas.	1.5ml/min
Injection volume	10 $\mu$ l

불꽃이온화검출기(FID)가 부착된 가스크로마토그래피(GC-2010 Plus, SHIMADZU / Agilent 7890B)를 이용하여 공기 중 스티렌 농도를 분석한다.

가스크로마토그래피의 분석 조건은 다음과 같다. (<표 2> 참조).

가스크로마토그래피(GC)의 경우 2018~2023년까지 GC-2010 Plus, SHIMADZU 장비와 Agilent 7890B 장비 두 대로 분석이 이루어졌으며, 분석사 변경은 없었다.

## 제 2 절 자료 분석방법

### 1) 취합 및 정리

2016년부터 2023년도까지 모 건강진단기관에서 실시한 스티렌 특수건강진단 결과와 2018년부터 2023년까지의 모 작업환경측정기관에서 실시한 작업환경측정 결과를 개인정보는 삭제하고 일련번호로 받은 후 Microsoft Excel 을 이용하여 분석하였다.

업종은 한국표준산업분류에 따라 대분류하였으며, 세부적으로 공정, 동일작업자 및 사업장, 생물학적 노출 지표에 따른 구간을 나누어 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 통계분석을 통해 연도별 추이를 확인한다.

특수건강진단 결과 중 소수점 및 0값에 대해서는 노출이 이루어지지 않았다고 판단되어 통계분석에서 제외하였다.

스티렌 특수건강진단 결과의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 농도를 산술평균(AM), 표준편차(SD), 기하평균(GM), 기하표준편차(GSD) 등 통계량을 산출하였다.

### 2) 고노출 업종 및 공정 분석

소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 및 공기 중 스티렌 노출농도는 전체적으로 매우 낮은 수준이었다. 따라서 평균값은 별다른 시사점이나 의미를 찾기가 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 고위험군을 식별하기 위해 각각의 측정값을 기준의 0.1배, 0.25배 0.5배 1배 이상으로 구분하여 고농도 노출군을 분류하고, 고노출군에 속하는 집단의 특성을 세부적으로 파악하였다. 기준

값으로는 미국산업위생전문가협회(American Conference of Industrial Hygienists, ACGIH)의 TLV(Threshold Limit Value) 및 BEI(Biological Exposure Indices)를 기준으로 하였다.

## 제 3 장 연구 결과

### 제 1 절 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도

#### 1) 스티렌 노출 작업자의 생물학적 지표

본 연구를 위해 취합한 자료는 특수건강진단은 2016년부터 2023년까지 사업장 수 435개였으며, 건강진단자는 1,691명이었다. 연도별로는 <표 3>에서 보는 바와 같이 매년 40~60개소였으며, 건강진단자 수는 133명에서 308명이었다. 특이한 점은 사업장당 건강진단자 수의 비율이 2.9에서 5.1까지 증가하였다. 이는 사업장별 인원 증가에 따른 비율 증가로 보인다.

스티렌에 노출되는 경우 소변에서는 만델릭산과 페닐글리옥실산이 검출된다. 2012년까지 스티렌의 생물학적 지표로는 소변 중 만델릭산을 주요 지표로 사용하고, 페닐글리옥실산은 보조 지표로 사용했다. 그러나 최근에는 만델릭산과 페닐글리옥실산을 합산한 값이 스티렌 노출을 더 잘 반영한다는 연구 결과에 따라 소변 중 1g의 Creatinine 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 합산 농도값(mg/g Creatine, 이하 'mg/g Crea'으로 함)을 스티렌의 생물학적 노출지표로 정하고 있다(이미영 등, 2003).

2016년부터 2023년까지 광주광역시와 전남지역의 40~69개소의 사업장에서 133명~308명을 대상으로 실시한 특수건강진단 결과의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 합산 값은 평균적으로 2018년 한해(30.5 mg/g Crea)만 제외하고 최저 75 mg/g Crea에서 최대 145.7 mg/g Crea수준으로 나타났다. 한편 표준편차는 2018년(64.73 mg/g Crea)을 제외하고는 103.3~111.7 mg/g Crea으로 나타나 변이가 큰 것으로 나타났다.

이 수준은 우리나라 특수건강진단의 참고치인 600 mg/g Crea보다는 낮은 수준이었으나 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH. 이하 'ACGIH'라 함)의 생물학적 노출기준(Biological Exposure Indices, BEI, 이하 'BEI'라 함)인 150

mg/g Crea과 비교하면, 상당수의 작업자가 BEI를 초과하고 있는 것으로 나타났다. ACGIH의 BEI는 공기 중 20 ppm의 스티렌에 노출되었을 경우와 생물학적 지표이다. 따라서 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 농도가 150 mg/g Crea을 초과한다는 것은 작업환경의 공기 중 스티렌 농도가 에서 20 ppm을 초과할 가능성이 높다.

연도별 수치를 보면 2020년 만델릭산의 평균값은 97.2 mg/g Crea일때 페닐글리옥실산의 평균값은 20.3 mg/g Crea이며, 2021년에는 만델릭산의 평균값은 14.5 mg/g Crea, 페닐글리옥실산은 107.9 mg/g Crea로 만델릭산의 값이 높은 경우 페닐글리옥실산의 값은 비교적 낮게 나타나며, 그 반대의 경우도 마찬가지로 페닐글리옥실산 값이 높을 경우 만델릭산의 값은 낮게 나타난다. 2020년을 제외하고 만델릭산의 평균값보다 페닐글리옥실산의 값이 높게 나타났다.

특수건강진단 대상자 선정은 대개 사업장에서 사용하는 화학물질의 물질안전보건자료(MSDS)에 스티렌 성분이 포함 여부를 기준으로 한다. 스티렌 성분이 포함되어 있는 경우, 이를 취급하거나 노출 가능성이 있는 작업자는 특수건강진단 대상자가 된다. 따라서 일부 작업자는 스티렌에 노출되지 않거나 매우 낮은 농도의 스티렌에 노출되는 경우가 있을 수 있다. 실제로 특수건강진단 결과, 소변 중 생물학적 노출지표가 거의 검출되지 않는 경우가 많다.

본 연구에서 분석한 자료에서도 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 측정결과가 검출한계 미만인 경우가 많았다. 이러한 경우 특수건강진단 결과자료에 만델릭산과 페닐글리옥실산의 농도값은 '0'으로 표기되어 있었다.

〈표 3〉 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 연도별 측정 결과 (불검출 데이터 포함)

연도	사업장 (개)	건강 진단자 (명)	사업장당 건강진단 자수 (건)	만델릭산+ 페닐글리옥실산 <sup>1)</sup>		만델릭산		페닐글리옥실산	
				AM	SD	AM	SD	AM	SD
2016	46	133	2.9	75.7	104.50	-	-	-	-
2017	48	139	2.9	79.4	104.95	-	-	-	-
2018	58	180	3.1	30.5	64.73	-	-	-	-
2019	55	192	3.5	137.8	111.73	-	-	-	-
2020	40	188	4.7	118.0	108.28	97.2	103.26	20.3	29.75
2021	59	255	4.3	121.9	106.09	14.5	31.48	107.9	97.81
2022	69	296	4.3	136.0	103.28	18.9	23.68	116.6	89.79
2023	60	308	5.1	145.7	103.97	13.9	27.66	131.7	95.16
평균	54.4	211	3.9	105.6	100.94	36.1	46.52	94.1	78.13
계	435	1,691				-			

1) 만델릭산+페닐글리옥실산의 기준값

1. 특수건강진단 직업병 유소견자 등을 식별하기 위한 참고치 : 600 mg/g Crea
2. 미국산업위생정문가협회(ACGIH)의 생물학적 노출기준(BEI) : 150 mg/g Crea

2) 2016~2019년에는 만델릭산과 페닐글리옥실산의 각각의 기록이 없음.

〈표 4〉 특수건강진단 검출 결과

연도	대상 사업장		진단 대상자	
	전체	검출 (%)	전체	검출 (%)
2016	46 (100)	40 (87.0)	133 (100)	82 (61.7)
2017	48 (100)	30 (62.5)	139 (100)	85 (61.2)
2018	58 (100)	29 (50.0)	180 (100)	71 (39.4)
2019	55 (100)	53 (96.4)	192 (100)	182 (94.8)
2020	40 (100)	39 (97.5)	188 (100)	166 (88.3)
2021	59 (100)	56 (94.9)	255 (100)	234 (91.8)
2022	69 (100)	68 (98.6)	296 (100)	290 (98.0)
2023	60 (100)	60 (100)	308 (100)	307 (99.7)
평균	54 (100)	47 (86.2)	211 (100)	177 (83.8)
계	435	375	1,691	1,417

특수건강진단 대상 사업장 40~69개소 중 29~68개소의 사업장에서 검출이 되었는데 2016~2019년까지는 검출률이 50.0~87.0%이며, 2019년 이후로는 94.9% 이상으로 나타난다. 마찬가지로 건강진단 대상자 또한 133~308명 중 71~307명의 검출로 2018년 이전에는 39.4~61.7%의 검출률인 반면 2019~2023년에는 88.3~99.7%의 검출률을 보인다.

〈표 5〉를 보면 검출되지 않은 값을 제외하고 보니 29~68개소의 사업장에서 71명~307명이 대상인 특수건강진단 결과의 소변 중 만델릭산과 페닐 글리옥실산의 합산 값은 평균적으로 2018년 한해(77.3 mg/g Crea)만 제외하고 최저 122.7 mg/g Crea에서 최대 146.1 mg/g Crea수준으로 나타났다. 한편 표준편차는 2018년(83.67 mg/g Crea)을 제외하고는 102.45~109.86 mg/g Crea으로 나타나 불검출 값을 제외한 분석에서도 변이가 큰 것으로 나타났다.

사업장당 건강진단자수의 비율을 보면 2016~2018년은 2.1~2.8 수준이지만

2020년 이후 4.2~5.1로 나타났다. 이는 건강진단의 검출률이 높아지면서 평균 노출농도 값도 132.9~146.1 mg/g Crea로 높아진 값이 나타났다.

연도별 수치를 보면 2020년 만델릭산의 평균값은 110.1 mg/g Crea 일 때 페닐글리옥실산의 평균값은 23.0 mg/g Crea 이며, 2021년에는 만델릭산의 평균값은 15.8 mg/g Crea 페닐글리옥실산은 117.6 mg/g Crea로 2020년을 제외하고 만델릭산의 평균값보다 페닐글리옥실산의 값이 높게 나타났다.

〈표 5〉 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 연도별 측정 결과 (불검출 데이터 불포함)

연도	사업장 (개)	건강 진단자 (명)	사업장당 건강진단 자수 (건)	만델릭산+ 페닐글리옥실산		만델릭산		페닐글리옥실산	
				AM	SD	AM	SD	AM	SD
2016	40	82	2.1	122.7	109.27	-	-	-	-
2017	30	85	2.8	129.9	107.03	-	-	-	-
2018	29	71	2.4	77.3	83.67	-	-	-	-
2019	53	182	3.4	145.4	109.86	-	-	-	-
2020	39	166	4.3	133.6	105.79	110.1	103.24	23.0	30.67
2021	56	234	4.2	132.9	103.98	15.8	32.55	117.6	96.37
2022	68	290	4.3	138.8	102.45	19.3	23.77	119.0	89.14
2023	60	307	5.1	146.1	103.81	13.9	27.70	132.1	95.02
평균	41	177	3.6	128.3	103.23	39.8	46.82	97.9	77.80
계	375	1,417	29	-					

## 제 2 절 고위험 노출군 통계적 추정

ACGIH의 생물학적 노출기준 150 mg/g Crea을 기준으로 0.5배, 1배, 2배 초과하는 농도군을 고위험군으로 보고 통계적으로 어느 정도인지 추정하였다.

### 1) 정규분포 추정

평균 농도와 표준편차로 산술적 통계적 추정을 해보니 노출기준 0.5배 이상 초과할 확률은 2018년(51.20%)을 제외한 연도별 66.64~75.17%로 평균 68.97%으로 나타났다. 노출기준 1배 이상 초과확률도 최저 19.49%에서 최대 48.04% 수준으로 평균 41.52%로 나타났다. 2배 이상 초과 비율도 0.41~6.94%으로 평균 5.45%를 차지하고 있다. 2018년을 제외하고 대체로 초과확률이 상승추세로 나타났다.

〈표 6〉 고위험 노출군 정규분포 추정

연도	사업장 (개)	건강 진단자 (명)	대표값 AM	산포도 SD	초과확률(%)		
					노출기준 대비		
					0.5배	1배	2배
2016	40	82	122.7	109.94	66.6	40.1	5.4
2017	30	85	129.9	107.67	69.5	42.5	5.7
2018	29	71	77.3	84.26	51.2	19.5	0.4
2019	53	182	145.4	110.17	73.9	48.4	8.1
2020	39	166	133.6	106.11	70.9	44.0	5.8
2021	56	234	132.9	104.20	71.2	43.6	5.5
2022	68	290	138.8	102.63	73.2	45.6	5.8
2023	60	307	146.1	103.98	75.2	48.0	6.9
평균	41	177	128.3	103.6	69.0	41.5	5.5
계	375	1,417			-		

## 2) 기하분포 추정

연도별 기하평균을 분석해보니 90.4에서 109.4로 증가하였으며, 기하표준편차는 2.15~2.69로 변동성이 비교적 큰 것으로 추정된다. 노출기준 0.5배 초과 확률은 32.6~44.0%로 나타났다. 1배 이상 초과확률은 최저값 9.9%, 최대값 34.8%로 평균 28.4%를 차지한다. 2배 이상 초과확률로는 1.5~12.5%로 평균 9.1%가 나타났다.

특이한 점은 1배, 2배 이상 초과확률에서 2018년도의 확률이 전체 연도별로 비교할 때 제일 낮게 나타났지만, 0.5배 이상 초과확률에서는 평균치에 조금 못미치는 수준으로 나타났다. 이는 2018년도에는 검출 농도값의 비율이 노출기준 0.5배 이상의 구간에 많이 분포되어있음을 알 수 있다.

〈표 7〉 고위험 노출군 기하분포 추정

연도	사업장 (개)	건강 진단자 (명)	대표값 GM	산포도 GSD	초과확률(%)		
					노출기준 대비		
					0.5배	1배	2배
2016	40	82	90.4	2.15	40.5	25.5	5.8
2017	30	85	87.0	2.64	44.0	28.8	10.0
2018	29	71	53.6	2.22	33.7	9.9	1.5
2019	53	182	103.9	2.52	36.3	34.5	12.5
2020	39	166	90.5	2.69	42.5	30.5	11.3
2021	56	234	92.6	2.56	41.3	30.5	10.6
2022	68	290	103.6	2.29	34.8	32.6	10.0
2023	60	307	109.4	2.30	32.6	34.8	11.3
평균	41	177	91.4	2.4	38.2	28.4	9.1
계	375	1,417			-		

### 3) 검출농도에 따른 일반적인 추정

소변중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 검출 농도값을 노출기준 0.5배, 1배, 2배로 분류하여 분석해보니 0.5배 이상 초과할 확률은 2018년(21건, 29.6%)을 제외하고 47~223건으로 57.3~72.6%로 나타났다. 1배 이상 초과확률 역시 비슷하게 최저 11.3%, 최고 39.4%로 평균 32.9%를 차지한다. 2배 이상 초과확률은 2017년(4건, 4.7%), 2018년(1건, 1.4%)를 제외하고 모든 연도에 9% 이상의 초과율이 나타났다.

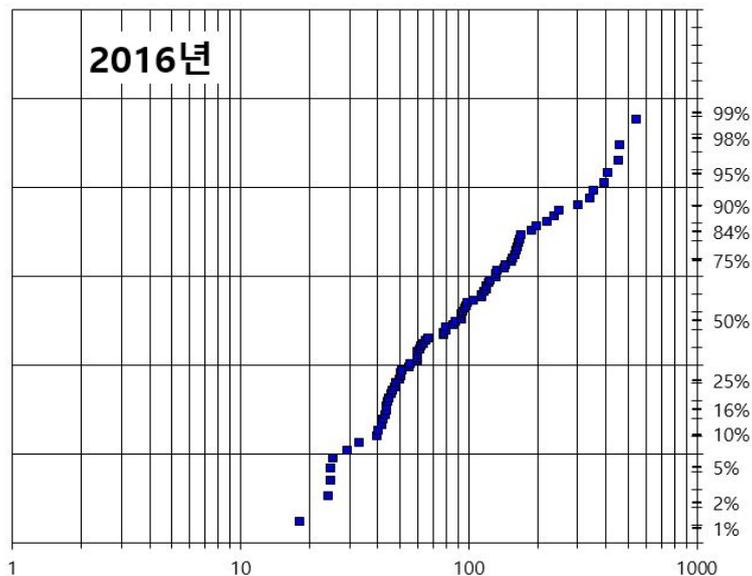
〈표 8〉 고위험 노출군 일반적인 추정

연도	사업장 (개)	건강 진단자 (명)	진단자 중 초과건수(초과율 %)					
			노출기준 대비					
			0.5배		1배		2배	
			N	(%)	N	(%)	N	(%)
2016	40	82	47	(57.3)	21	(25.6)	8	(9.8)
2017	30	85	51	(60.0)	35	(41.2)	4	(4.7)
2018	29	71	21	(29.6)	8	(11.3)	1	(1.4)
2019	53	182	126	(69.2)	68	(37.4)	18	(9.9)
2020	39	166	106	(63.9)	61	(36.7)	16	(9.6)
2021	56	234	148	(63.2)	84	(35.9)	20	(8.5)
2022	68	290	197	(67.9)	103	(35.5)	26	(9.0)
2023	60	307	223	(72.6)	121	(39.4)	28	(9.1)
평균	41	177	(60.5)		(32.9)		(7.8)	
계	375	1,417	919		501		121	

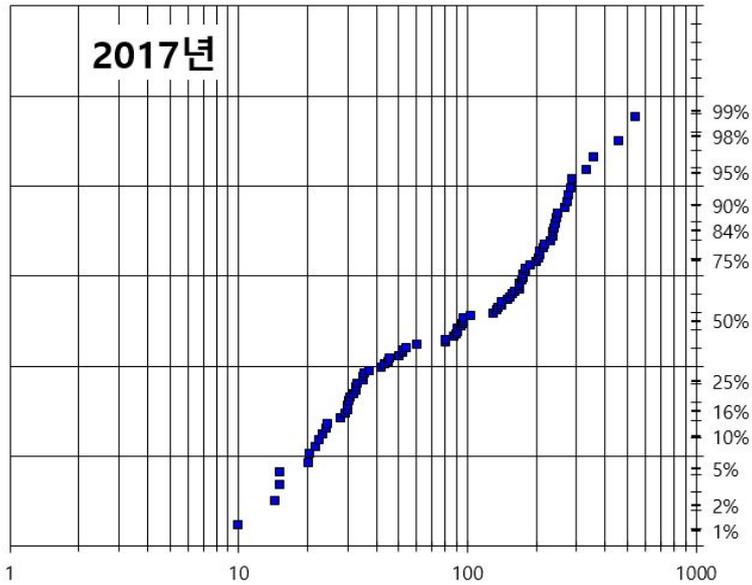
위 세가지 방법으로 고위험 노출군에 대해 추정해 본 결과 정규분포로 추정한 결과와 검출 건수를 이용한 일반적인 추정의 초과확률이 비슷하게 나타났다. 정규분포에 대한 추정은 노출기준 0.5배의 초과확률이 69%, 1배 이상

초과확률은 41.5%, 2배 이상은 5.5% 수준이며, 검출 건수를 이용한 일반적인 추정의 0.5배 초과 확률은 60.5%, 1배 초과 확률은 32.9%, 2배 이상 초과 7.8%로 나타났다. 이는 작업자의 공기 중 스티렌 농도가 50% 초과 확률이 60.5~69%이며, 노출기준인 20 ppm을 초과할 가능성은 32.9~41.5%, 노출기준의 2배 이상 초과할 가능성은 5.5~7.8%로 추정할 수 있다.

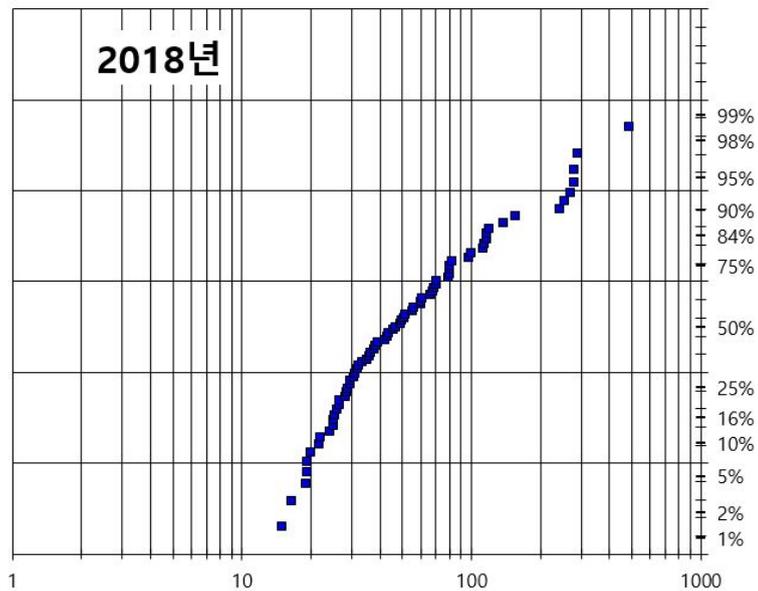
광주광역시와 전남지역 일부 스티렌 취급 사업장의 2016년부터 2023년까지의 특수건강진단 결과의 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산 농도의 분포는 [그림 1]~[그림 8]과 같이 나타났다. 연도별로 고농도 구간과 저농도 구간에서 약간씩 차이가 있으나 크게 다르지 않는 형태를 보이고 있다.



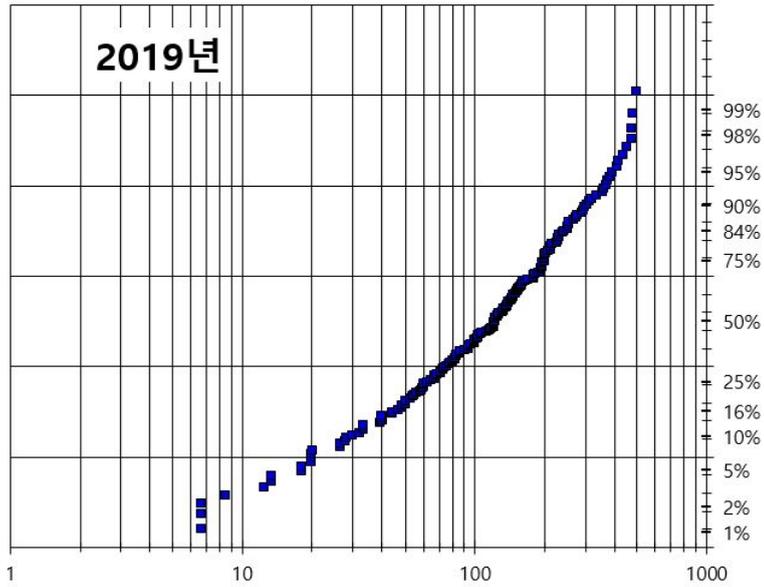
[그림 1] 2016년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포.



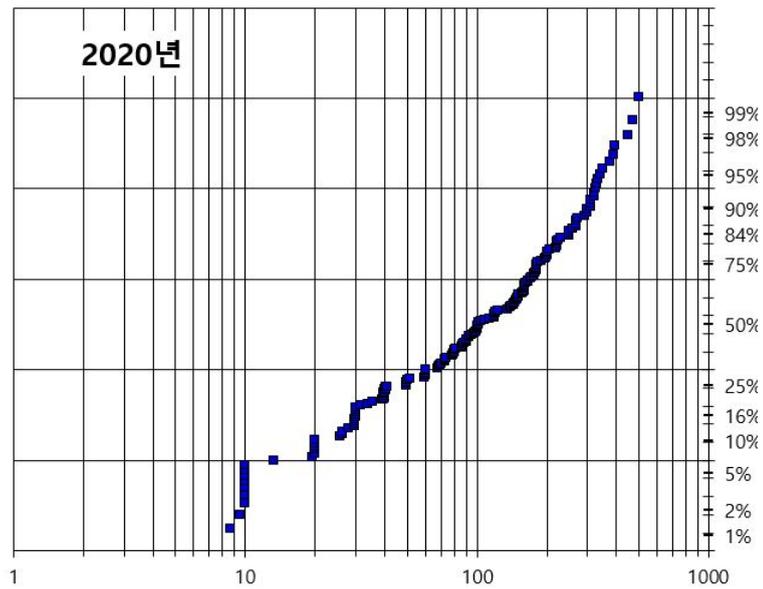
[그림 2] 2017년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포.



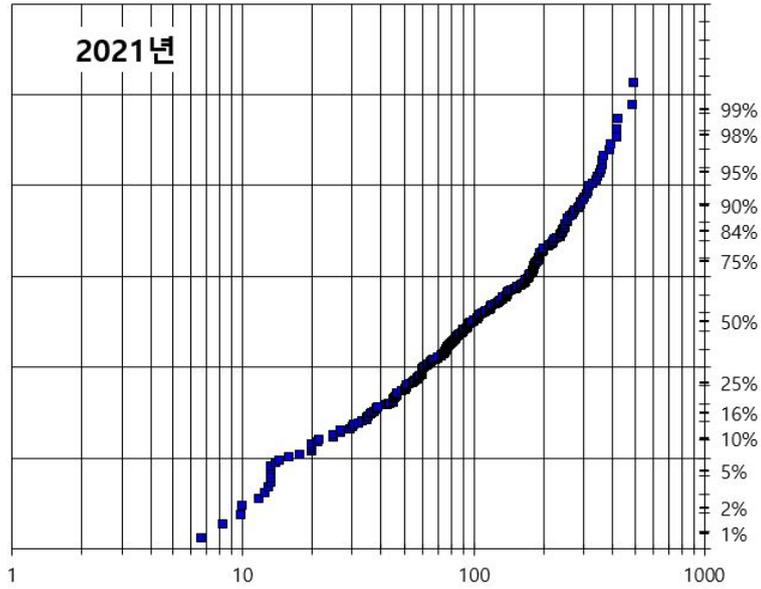
[그림 3] 2018년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포.



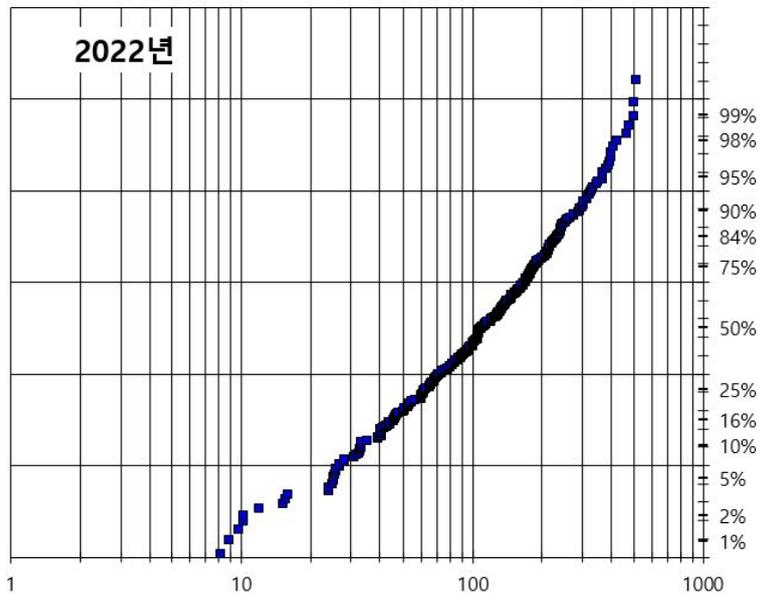
[그림 4] 2019년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포.



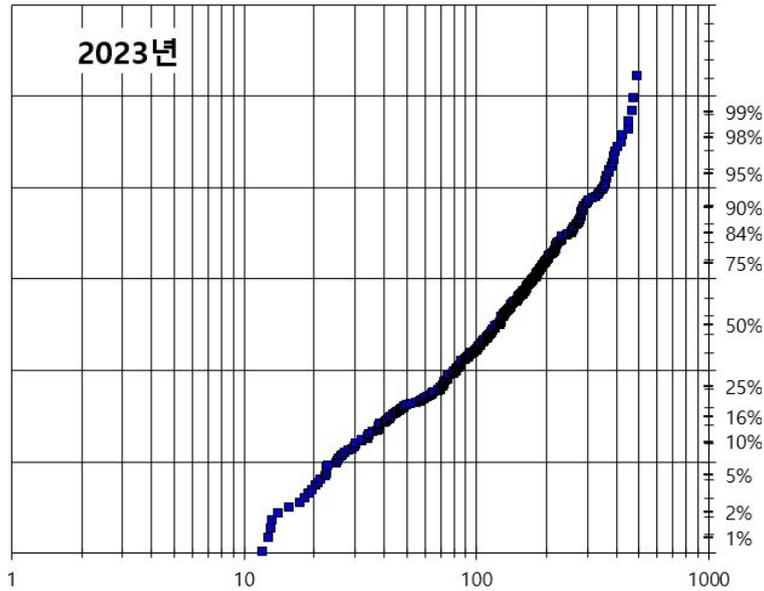
[그림 5] 2020년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포.



[그림 6] 2021년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포.



[그림 7] 2022년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포.



[그림 8] 2023년 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도(mg/g Crea) 분포.

### 제 3 절 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산 농도 수준

스티렌의 생물학적 노출지표인 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 기준으로 우리나라는 특수건강진단에서 유소견자 등을 식별하기 위한 참고기준으로 600 mg/g creatinine을 설정하고 있다. 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists; ACGIH)의 생물학적 노출지표(Biological Exposure Indices, BEI)는 150 mg/g creatinine이다. 한편 일본 노동후생성의 위임을 받아 노출기준을 제정하고 있는 산업보건학회(Japan Society for Occupational Health; JSOH)의 기준은 160 mg/g creatinine이다(ACGIH 2024, JSOH 2024). 스티렌의 우리나라 공기 중 노출기준은 ACGIH나 일본 기준과 마찬가지로 8시간 기준으로 20 ppm이다. 공기 중 스티렌의 농도가 20 ppm일 경우 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도는 ACGIH는 150 mg/g Crea, 일본은 160 mg/g Crea으로 보고 있다는 의미이다.

ACGIH TLV 및 BEI는 공기 중 노출기준 및 생물학적 노출지표의 기준으로 최신성과 전문성을 인정받고 있는 전세계적으로 가장 권위 있고 널리 인용되는 기준이다. 따라서 고위험군 또는 고노출군을 식별하기 위한 기준으로 ACGIH의 스티렌 생물학적 노출지표인 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 기준인 150 mg/g Crea을 기준으로 하는 것이 적절하다고 판단된다.

〈표 9〉 스티렌의 공기 중 노출농도 및 생물학적 노출지표 기준

구분	공기 중 농도 (ppm)	소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산 (mg/g Crea)
우리나라	20	600
ACGIH	20	150
JSOH (일본산업보건학회)	20	160

소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도가 ACGIH BEI 기준인 150 mg/g Crea을 초과하는 경우는 2016년부터 2023년까지 8년간 총 1,691건의 측정치 중에서 501건(29.6%)으로 약 30%로 나타났다. 이것은 광주광역시와 전남지역에서 지난 8년간 스티렌 작업자의 약 1/3은 공기 중 스티렌의 노출기준인 20 ppm으로 초과하는 스티렌에 노출되었을 가능성이 있다는 것을 의미한다.

일반적으로 노출기준의 50%값은 조치기준(Action Limit, AL)이라고 한다. 조치기준을 초과하면 측정하지 않은 날에 노출기준을 초과할 확률이 높으므로 노출관리가 필요하다는 의미이다. 이러한 조치기준인 75 mg/g Crea을 초과하는 경우는 전체 1,691건 중 919건으로 54.3%로 나타났다. 이것은 광주광역시와 전남지역의 스티렌 작업자의 반 이상, 즉 스티렌 작업자의 54%는 스티렌의 ACGIH의 TLV이자 우리나라 노출기준인 20 ppm을 초과하는 날이 있는 작업장에서 일하고 있음을 시사한다.

〈표 10〉 ACGIH BEI 대비 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도 수준별 건수 및 초과율

ACGIH BEI 기준 대비	농도 (mg/g Crea)	N (%)	누적수 (%)
400% 초과	>600	0 (0.0)	0 (0.0)
400% 이하 ~200% 초과	>300 ~ ≤600	121 (7.2)	121 (7.2)
200% 이하 ~100% 초과	>150 ~ ≤300	380 (22.5)	501 (29.6)
100% 이하 ~50% 초과	>75 ~ ≤150	418 (24.7)	919 (54.3)
50% 이하 ~25% 초과	>37.5 ~ ≤75	276 (16.3)	1,195 (70.7)
25% 이하 ~10% 초과	>15 ~ ≤37.5	173 (10.2)	1,368 (80.9)
10% 이하	≤15	323 (19.1)	1,691 (19.1)

공정별로 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도가 ACGIH BEI 기준의 50% 또는 100%를 초과하는 건수는 〈표 11〉과 같다. ACGIH BEI를 초과하는 건수가 가장 많은 공정은 도장 공정으로 224건으로 나타났으며, 초과율은 28.1%였다. 이어서 신뢰성·품질 공정이 67건이었으며 초과율은 29.0%, 분석 공정은 62건에 초과율이 36.7% 공공행정은 54건에 초과율은 33.1% 그리고 사출성형 공정은 54건에 초과율이 50.9%로 초과율로 면 사출성형이 가장 높았다. 이것은 초과율이 가장 높은 사출성형은 조치기준인 기준의 50%를 초과하는 비율이 70.8%로 상당히 높게 나타났다. 이것은 사출성형 공정에서 일하는 작업자는 10명 중 7명이 공기 중 스티렌의 노출기준을 초과하는 스티렌이 노출될 가능성을 시사한다. 즉 사출성형 작업은 작업환경 개선이든 보건관리 방안이든 작업자를 보호할 대책이 시급하다는 것을 의미한다.

〈표 11〉 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 ACGIH BEI 초과건수

공정	전체 진단건수	ACGIH BEI 기준대비 초과 건수(%)	
		0.5배 이상	1배 이상
도장	797	415 (52.1)	224 (28.1)
신뢰성·품질	231	125 (54.1)	67 (29.0)
분석업무	169	99 (58.6)	62 (36.7)
공공행정	163	103 (63.2)	54 (33.1)
사출성형	106	75 (70.8)	54 (50.9)
주조	84	44 (52.4)	14 (16.7)
공무	57	33 (57.9)	15 (26.3)
기타	84	25 (29.8)	11 (13.1)
합계	1,691 (100)	919 (54.3)	501 (29.6)

### 1) ACGIH BEI 초과 업종 및 공정

2016년부터 2023년까지 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 농도가 ACGIH BEI(150 mg/g Crea)를 초과하는 501건 중 제조업이 50.5%(258건), 수리업이 22.4%(112건), 공공행정업이 10.8%(54건), 기타업이 7.8%(39건), 서비스업이 38건(7.7%)이었다.

기준치를 초과 건수가 224건으로 가장 많은 도장 공정은 제조업과 수리업이 반반씩 차지하였고, 신뢰성 및 품질 공정은 모두 제조업 그리고 분석은 서비스업과 기타업에서 나타났다. 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 기준이 모두 초과한 사출, 성형, 주조, 공무 공정은 모두 제조업이었다.

〈표 12〉 업종별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 ACGIH BEI 초과건수

연도	계	제조업	수리업	서비스업	공공 행정업	기타업
2016	21	10	11	-	-	-
2017	35	22	13	-	-	-
2018	8	5	3	-	-	-
2019	68	39	24	1	-	4
2020	61	30	10	11	3	7
2021	84	45	13	7	12	7
2022	103	46	20	6	21	10
2023	121	61	18	13	18	11
계	501 (100)	258 (51.5)	112 (22.4)	38 (7.6)	54 (10.8)	39 (7.8)

〈표 13〉 공정에 따른 업종별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 ACGIH BEI 초과건수

공정	N	제조업	수리업	서비스업	공공 행정업	기타업
도장	224	110 (49.1)	112 (50.0)	-	-	2 (0.9)
신뢰성· 품질	67	67 (100.0)	-	-	-	-
분석	62	4 (6.5)	-	36 (58.1)	-	22 (35.5)
공공 행정	54	-	-	-	54 (100.0)	-
사출 성형	54	53 (98.1)	-	-	-	1 (1.9)
주조	14	14 (100.0)	-	-	-	-
공무	15	2 (13.3)	-	-	-	13 (86.7)
기타	11	8 (72.7)	-	2 (18.2)	-	1 (9.1)
합계	501	258 (51.5)	112 (22.4)	38 (7.6)	54 (10.8)	39 (7.8)

생물학적 노출지표 기준에 초과하는 구간의 자료들을 공정에 따른 업종 분포를 분석하였다. 전체 501건 중 도장 공정 224건으로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 제조업(49.1%)과 수리업(50.0%)이 대부분이다. 기타업은 0.9%으로 소수에 해당하였다. 신뢰성 및 품질 공정에서는 67건으로 모두 제조업(100.0%)에 속하였다. 이는 해당 공정이 주로 제조업에서 이루어짐을 알 수 있다. 분석 공정은 총 62건으로 서비스업(58.1%)과 기타업(35.5%)에 집중되어 있었으며, 제조업 비율은 6.5%로 낮았다. 사출성형 공정에서 나타난 노출기준 초과 54건 중 53건(98.1%)은 제조업이 비중을 차지하였으며, 기타업이 1건으로 소수에 해당하였다. 주조 공정은 총 14건으로 모두 제조업으로 나타났다. 공무 공정은 기타업(86.7%)에서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 제조업(13.3%)에서도 일부 나타났다. 기타 공정은 제조업(72.7%)과 서비스업(18.2%), 기타업(9.1%)으로 분포하였다. 공정별 업종 분포는 각 공정의 특성에 따라 뚜렷한 차이를 보였다. 제조업은 대부분의 공정에서 가장 높은 비중을 차지하였으며, 수리업과 서비스업은 일부 공정에 집중되는 경향이 있다. 특히 공공행정업은 특정 공정에 한정되어있으며, 기타업은 상대적으로 다양한 공정에서 나타났다.

〈표 14〉 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 ACGIH BEI 초과 측정치의 분포

공정	만델릭산 및 페닐글리옥실산*				
	N(건)	AM	SD	GM	GSD
도장	224	243.0	86.21	230.7	1.36
신뢰성·품질	67	254.7	94.66	239.6	1.41
분석	62	248.0	77.40	237.1	1.35
공공행정	54	246.5	82.20	235.0	1.35
사출성형	54	272.4	101.12	255.1	1.44
주조	14	234.4	71.13	225.3	1.33
공무	15	310.3	102.67	294.7	1.40
기타	11	251.8	98.70	234.5	1.49
합계	501			-	

생물학적 노출지표의 기준을 초과하는 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 농도를 공정별로 분석하였다. 가장 많은 건수가 나타난 도장 공정에서는 평균 농도 243.0 mg/g Crea가 검출되었으며, 표준편차와 기하표준편차도 낮아 데이터의 분포가 일정하게 나타났다. 신뢰성 및 품질 공정은 도장 공정보다 약간 높은 254.7 mg/g Crea의 농도가 검출되었으나, 변동성이 상대적으로 크게 나타났다. 분석 및 공공행정 공정에서는 유사한 수준의 평균 수치가 나타났다. 사출성형 공정은 가장 높은 평균 농도(272.4 mg/g Crea)를 기록하였으며, 표준편차와 기하표준편차에서도 다른 공정에 비해 높게 나타났다. 주조 공정에서는 가장 낮은 평균 농도와 변동성을 보인다. 공무 공정에서는 가장 높은 농도(310.3 mg/g Crea)와 높은 표준편차를 기록하였다.

## 2) 0.5배 이상 구간의 업종 및 공정별 추이

생물학적 노출지표 기준에 0.5배 이상의 구간은 전체적으로 2018년을 제외하고 꾸준히 증가세를 보인다. 제조업이 476건(51.8%)으로 제일 높은 비중을 차지한다. 2019년도 이후 급격히 늘어난 58~111건의 수치를 보인다. 수리업에는 매년 12~40명이었으며, 총 209명으로 전체의 22.7%를 차지한다. 서비스업과 기타업에서의 0.5배 이상 검출된 결과는 각 65건, 66건으로 비슷한 현황이나 연도별 증감 추이는 차이가 있어보인다. 공공행정업은 2021년부터는 급격히 증가세를 보인다.

〈표 15〉 0.5배 이상 구간의 업종별 건강진단 결과 현황

단위 : 건(%)

공정	계	제조업	수리업	서비스업	공공 행정업	기타업
2016	47	19	28	-	-	-
2017	51	33	18	-	-	-
2018	21	8	12	-	-	1
2019	126	85	35	1	-	5
2020	106	58	19	15	5	9
2021	148	74	24	15	23	12
2022	197	88	40	14	35	20
2023	223	111	33	20	40	19
계	919 (100)	476 (51.8)	209 (22.7)	65 (7.1)	103 (11.2)	66 (7.2)

스티렌의 생물학적 노출기준의 0.5배 이상 구간의 공정에 따른 업종별 분포 현황을 확인하였다. 해당 구간의 가장 높은 비율을 차지하였던 도장 공정은 제조업과 수리업에 집중되어 나타났으며, 수리업 비율이 50.4%으로 더 높게 나타났다. 신뢰성, 품질 공정의 경우 제조업에만 해당하는 공정으로 다른 업종에는 나타나지 않았다. 분석 공정은 서비스업(60.6%)과 기타 업종(33.3%)에서 나타났다. 공공행정, 사출성형, 주조 공정의 경우 각각 단일 업종에 해당되는 공정으로 공공행정업과 제조업에서 나타났다. 공무 공정은 기타 업종에서 월등히 높은 비율이 보이고 있다.

〈표 16〉 0.5배 이상 구간의 공정별 업종 분포 현황

단위 : 건(%)

공정	N	제조업	수리업	서비스업	공공 행정업	기타업
도장	415	203 (48.9)	209 (50.4)	-	-	3 (0.7)
신뢰성· 품질	125	125 (100.0)	-	-	-	-
분석	99	6 (6.1)	-	60 (60.6)	-	33 (33.3)
공공 행정	103	-	-	-	103 (100.0)	-
사출 성형	75	74 (98.7)	-	-	-	1 (1.3)
주조	44	44 (100.0)	-	-	-	-
공무	33	7 (21.2)	-	1 (3.0)	-	25 (75.8)
기타	25	17 (68.0)	-	4 (16.0)	-	4 (16.0)
합계	919	476 (51.8)	209 (22.7)	65 (7.1)	103 (11.2)	66 (7.2)

전체 공정의 51.8%를 차지하는 제조업이 가장 많은 비중을 보였으며, 다음으로 수리업(22.7%), 공공행정업(11.2%), 기타업(7.2%), 서비스업(7.1%) 순으로 나타났다. 주요 공정별로 제조업의 집중도가 높았으며, 공공 행정업은 해당 업종에 특화된 공정을 보유하고 있었다.

〈표 17〉 0.5배 이상 구간의 공정별 검출 결과 현황

공정	만델릭산 및 페닐글리옥실산				
	N(건)	AM	SD	GM	GSD
도장	415	180.4	93.95	160.5	1.61
신뢰성, 품질	125	187.9	100.99	165.9	1.63
분석	99	195.8	92.34	175.6	1.60
공공행정	103	183.1	90.30	164.9	1.57
사출성형	75	227.3	113.15	200.8	1.66
주조	44	149.9	72.79	136.6	1.52
공무	33	202.1	122.06	172.2	1.76
기타	25	168.8	99.79	146.7	1.68
합계	919				

생물학적 노출지표의 0.5배 이상 구간에서 공정에 따른 건강진단 결과를 비교해보면, 사출성형 공정에서의 가장 높은 평균 농도(227.3 mg/g Crea)를 기록하였으며, 변동성(GSD)도 상대적으로 높은 수준이다. 다음으로는 공무 공정에서 높은 평균 농도와 가장 큰 변동성을 보인다. 주조 공정에서는 제일 낮은 평균 노출농도를 나타내고 있다. 주조 공정만 ACGIH의 기준값(150 mg/g Crea)에 근접한 수준이며, 나머지 공정에서는 평균 노출농도가 초과한 수치가 나타났다.

## 제 4 절 업종 및 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도

### 1) 업종별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도

본 연구 자료를 한국표준산업분류에 따라 업종별로 대분류하여 분석하였다. 제조업, 수리업, 서비스업, 공공행정업, 기타업으로 분류하였으며 연도별로는 수리업이 15~36개소로 전체의 52.6%의 가장 많은 비율을 차지한다. 그 다음으로는 제조업이 13~22개소, 기타업이 3~7개소, 서비스업과 공공행정업은 2018~2020년 이후부터 특수건강진단에 참여하였다.

〈표 19〉에서 보는 바와 같이 제조업 건강진단자는 연도별 50~157명으로 증가하는 추세를 보이지만, 수리업은 68~50명으로 감소세를 보인다. 서비스업과 공공행정업은 2020년부터 급격히 증가하였다.

〈표 18〉 업종별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 측정 사업장수

단위 : 건(%)

연도	계	제조업	수리업	서비스업	공공 행정업	기타업
2016	46	13	30	-	-	3
2017	48	15	30	-	-	3
2018	58	21	33	1	-	3
2019	55	20	31	1	-	3
2020	40	19	15	1	2	3
2021	59	22	27	1	3	6
2022	69	20	36	3	3	7
2023	60	21	27	3	3	6
계	435 (100)	151 (34.7)	229 (52.6)	10 (2.3)	11 (2.5)	34 (7.8)

제조업의 건강진단자 수는 전체 중 846명으로 절반(50.0%)의 비율을 차지한다, 이어서 수리업 건강진단자가 26.7%, 공공행정업 9.6%, 기타업 8.2%, 서비스업이 5.5% 순이다.

〈표 19〉 업종별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 측정 건수

단위 : 명(%)

연도	계	제조업	수리업	서비스업	공공 행정업	기타업
2016	133	50	68	-	-	15
2017	139	74	59	-	-	6
2018	180	108	63	1	-	8
2019	192	123	58	1	-	10
2020	188	100	32	20	23	13
2021	255	117	55	22	38	23
2022	296	117	66	24	50	39
2023	308	157	50	25	52	24
계	1,691 (100)	846 (50.0)	451 (26.7)	93 (5.5)	163 (9.6)	138 (8.2)

성별과 연령대별 노출농도를 업종에 따라 세분화하여 분석하였다. 전체 건강진단자 중 남성은 1,219명, 여성은 198명이며 평균 노출농도는 남성(142.3 mg/g Crea)이 여성(108.9 mg/g Crea)보다 높은 경향을 보인다. 연령대별로는 30대(455명)와 40대(419명)가 가장 높은 분포를 보였다.

업종별로 분석해보면 제조업 건강진단자는 전체의 절반 이상(722명)을 차지하며, 평균 노출농도도 162.9 mg/g Crea로 가장 높았다. 연령대별로는 30대(260명, 159.2 mg/g Crea)와 40대(188명, 147.3 mg/g Crea)가

중심을 이루었다. 남성의 평균 노출농도는 (158.7 mg/g Crea)로 여성(167.0 mg/g Crea)보다 낮게 나타났다.

수리업 건강진단자는 351명이며, 평균 노출농도 96.6 mg/g Crea로 가장 낮았다. 해당 업종에서는 40대(150명, 92.3 mg/g Crea), 50대(113명, 126.8 mg/g Crea)가 주를 이루었다. 여성의 비율(1명, 60.0 mg/g Crea)이 매우 낮았으며 특정 연령대에서는 남성보다 상대적으로 낮은 농도를 나타냈다.

서비스업은 89명으로 가장 적은 인원을 보였다. 평균 노출농도는 126.0 mg/g Crea으로, 30대(39명, 184.1 mg/g Crea)가 중심을 이루었다. 여성(119.5 mg/g Crea)의 평균 노출농도가 남성(132.6 mg/g Crea)보다 낮았으나 표본 수의 편차로 인해 신뢰도를 추가 검토 할 필요가 있다.

공공행정업의 건강진단자의 경우 150명이며, 평균 노출농도는 140.4 mg/g Crea으로 제조업 다음으로 높은 수치를 기록하였다. 연령별로는 30대(54명, 135.9 mg/g Crea)의 비중이 제일 높으며, 40대(35명, 194.6 mg/g Crea), 50대(31명, 89.1 mg/g Crea), 20대(30명, 141.9 mg/g Crea)가 비슷한 양상을 보인다. 여성의 평균 노출농도(144.0 mg/g Crea)가 남성(136.7 mg/g Crea)보다 높게 나타났다.

기타업은 105명이며, 평균 노출농도는 112.2 mg/g Crea이다. 30대(49명, 133.1 mg/g Crea)와 40대(22명, 137.8 mg/g Crea)가 주를 이루었으며, 여성의 평균 노출 농도가 남성보다 일관되게 낮았다.

〈표 20〉 연령별, 성별, 업종별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도(단위 : mg/g Crea)

연령 및 성별	계		제조업		수리업		서비스업		공공행정업		기타업		
	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	
10	남	4	43.6	4	43.6	-	-	-	-	-	-	-	
	여	1	26.6	-	-	-	-	-	-	-	1	26.6	
20	남	198	132.1	155	130.2	23	141.1	-	-	9	136.3	11	137.1
	여	55	137.8	12	170.1	-	-	13	136.5	21	147.4	9	74.6
30	남	366	142.2	238	144.8	53	109.5	-	-	37	138.9	38	175.0
	여	89	160.3	22	173.6	-	-	39	184.1	17	132.9	11	91.1
40	남	378	126.1	172	121.5	149	124.5	8	127.7	33	140.3	16	160.9
	여	41	141.2	16	173.0	1	60.0	16	111.1	2	248.9	6	114.6
50	남	232	131.3	76	134.6	113	126.8	3	166.0	29	131.3	11	145.3
	여	11	109.2	5	151.5	-	-	4	87.4	2	46.9	-	-
60	남	39	139.3	21	169.0	11	102.2	5	104.1	-	-	2	119.6
	여	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	남	2	281.5	1	367.5	1	195.5	-	-	-	-	-	-
	여	1	78.2	-	-	-	-	1	78.2	-	-	-	-
합계	남	1,219	142.3	667	158.7	350	133.3	16	132.6	108	136.7	78	147.6
	여	198	108.9	55	167.0	1	60.0	73	119.5	42	144.0	27	76.7
	계	1,417	125.6	722	162.9	351	96.6	89	126.0	150	140.4	105	112.2

〈표 21〉 제조업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도(불검출 데이터 포함)

(단위 : mg/g Crea)

연도	사업장 (개)	건강진단자 (명)	사업장당 건강진단자 수 (건)	만델릭산+페닐글리옥실산	
				AM	SD
2016	13	50	3.8	91.6	119.52
2017	15	74	4.9	98.6	117.23
2018	21	108	5.1	28.7	66.37
2019	20	123	6.2	137.5	109.56
2020	19	100	5.3	121.4	100.26
2021	22	117	5.3	134.1	108.06
2022	20	117	5.9	151.0	107.04
2023	21	157	7.5	139.2	101.07
평균	19	106	5.5	112.8	103.6
계	151	846		-	

제조업종에서 스티렌에 대한 특수건강진단을 진행한 사업장은 151개소, 건강진단자는 846명이다. 매년 13~21개소이며, 건강진단자 수도 50~157명이었다. 사업장당 건강진단자수의 비율도 3.8에서 7.5로 증가하였다.

2018년을 제외하고 보면 만델릭산과 페닐글리옥실산의 합산 값의 평균 농도는 91.6 mg/g Crea에서 139.2 mg/g Crea로 증가하였다. 2022년은 평균 농도가 151.0 mg/g Crea으로 ACGIH의 기준인 150 mg/g Crea을 넘어선 수치를 보였다.

제조업의 스티렌 특수건강진단 검출 결과는 846명중 722명이 검출되어 85.3%의 스티렌 검출률을 보이고 있으며, 각 연도별 검출률 또한 2016년 50명 중 34명이 검출되었고 2023년에는 157명 중 156명이 검출되어 검출률이 68.0%에서 2023년에는 99.4%로 증가하였다.

〈표 22〉 제조업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도(불검출 데이터 제외)

단위 : mg/g Crea

연도	사업장 (개)	건강진단자 (명)	사업장당 건강진단자 수 (건)	만델릭산+페닐글리옥실산	
				AM	SD
2016	11	34	3.1	134.7	123.29
2017	11	53	4.8	137.7	117.50
2018	1	44	3.1	70.4	88.74
2019	19	118	6.2	143.3	108.07
2020	19	95	5.0	127.8	98.82
2021	21	108	5.1	145.3	105.00
2022	19	114	6.0	155.0	105.56
2023	21	156	7.4	140.1	100.78
평균	17	90	5.1	131.8	105.97
계	135	722		-	

〈표 23〉 수리업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도(불검출 데이터 포함)

단위 : mg/g Crea

연도	사업장 (개)	건강진단자 (명)	사업장당 건강진단자 수 (건)	만델릭산+페닐글리옥실산	
				AM	SD
2016	30	68	2.3	78.7	97.94
2017	30	59	2.0	63.1	85.97
2018	33	63	1.9	36.4	64.68
2019	31	58	1.9	133.6	98.61
2020	15	32	2.1	107.1	107.96
2021	27	55	2.0	101.2	117.74
2022	36	66	1.8	128.1	103.05
2023	27	50	1.9	134.8	99.73
평균	29	56	2.0	97.9	96.96
계	229	451		-	

〈표 23〉에서 보는 바와 같이 수리업에서 특수건강진단을 진행한 사업장은 229개소, 건강진단자는 451명으로 제조업에 이어 두 번째로 높은 비율을 차지한다. 2020년도를 제외한 매년 27~36개소의 사업장이며, 건강진단자 수도 50~68명이었다. 특이한 점은 사업장당 건강진단자수의 비율이 2.3에서 1.9로 감소하였다. 그러나 평균 농도는 78.7 mg/g Crea에서 134.8 mg/g Crea로 증가하였다.

〈표 24〉 수리업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도(불검출 데이터 제외)  
단위 : mg/g Crea

연도	사업장 (개)	건강진단자 (명)	사업장당 건강진단자 수 (건)	만델릭산+페닐글리옥실산	
				AM	SD
2016	27	45	1.7	119.0	98.54
2017	18	31	1.7	120.1	84.97
2018	14	26	1.9	88.2	74.63
2019	31	58	1.9	133.6	98.61
2020	14	27	1.9	126.9	106.28
2021	25	49	2.0	113.6	118.96
2022	36	65	1.8	130.1	102.59
2023	27	50	1.9	134.8	99.73
평균	24	44	1.8	123.4	98.04
계	192	351		-	

수리업의 스티렌 농도 검출 결과가 나타난 사업장은 192개소, 건강진단자는 351명이다. 2018년과 2020년에서 적은 사업장 및 건강진단자 수를 보이지만 사업장당 건강진단자수의 비율은 평균 1.8로 비슷한 추세이다. 평균 농도에서도 2018년을 제외하고 113.6~134.8 mg/g Crea 나타난다.

2022년에는 한명, 2023년에는 대상자 전원 농도가 검출되는 높은 검출률을 보인다.

〈표 25〉 서비스업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도(불검출 데이터포함)

단위 : mg/g Crea

연도	사업장 (개)	건강진단자 (명)	사업장당 건강진단자 수 (건)	만델릭산+페닐글리옥실산	
				AM	SD
2016	-	-	-	-	-
2017	-	-	-	-	-
2018	1	1	1.0	0.0	-
2019	1	1	1.0	203.4	-
2020	1	20	20.0	156.2	106.74
2021	1	22	22.0	126.8	87.94
2022	3	24	8.0	112.1	96.34
2023	3	25	8.3	175.8	122.07
평균	2	16	10.1	129.1	103.27
계	10	93		-	

서비스업에서는 사업장은 10개소, 건강진단자는 93명이 특수건강진단에 참여하였다. 2016~2021년도에는 서비스업종의 사업장에서 참여한 건강진단이력이 없거나 1개소이다. 건강진단 사업장의 수가 한정적이기 때문에 사업장당 건강진단자수의 비율도 1.0에서 22.0까지 차이가 크게 나타났다. 그러나 평균 농도가 2019, 2010, 2023년에 각각 203.4 mg/g Crea, 156.2 mg/g Crea, 175.8 mg/g Crea로 ACGIH의 기준값보다 더 높게 나타났다.

〈표 26〉 서비스업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도(불검출 데이터제외)

단위 : mg/g Crea

연도	사업장 (개)	건강진단자 (명)	사업장당 건강진단자 수 (건)	만델릭산+페닐글리옥실산	
				AM	SD
2016	-	-	-	-	-
2017	-	-	-	-	-
2018	-	-	-	-	-
2019	1	1	1.0	203.4	-
2020	1	19	19.0	164.4	103.16
2021	1	21	21.0	132.9	85.44
2022	3	23	7.7	116.9	95.48
2023	3	25	8.3	175.8	122.07
평균	2	18	11.4	158.7	101.54
계	9	89		-	

서비스업의 건강진단 검출 결과가 나타난 사업장은 9개소, 건강진단자는 89명이다. 서비스업에서는 불검출 데이터를 포함한 결과값과 크게 다르지 않은 수치를 보인다. (〈표 26〉 참조).

〈표 27〉 공공행정업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도  
(불검출 데이터포함)

단위 : mg/g Crea

연도	사업장 (개)	건강진단자 (명)	사업장당 건강진단자 수 (진)	만델릭산+페닐글리옥실산	
				AM	SD
2016	-	-	-	-	-
2017	-	-	-	-	-
2018	-	-	-	-	-
2019	-	-	-	-	-
2020	2	23	11.5	63.0	111.09
2021	3	38	12.7	122.1	97.65
2022	3	50	16.7	137.8	87.59
2023	3	52	17.3	149.4	105.60
평균	3	41	14.5	118.1	100.48
계	11	163		-	

공공행정업은 사업장은 11개소, 건강진단자는 163명이 특수건강진단에 참여하였다. 특히 사항으로는 2020년부터 건강진단에 참여한 이력을 보인다. 매년 사업장도 2~3개소로 비슷하나 건강진단자는 23~52명으로 증가하였다. 사업장당 건강진단자수의 비율은 평균 14.5로 제일 높게 나타났다.

평균 농도에서는 2020년 63.0 mg/g Crea에서 2023년 149.4 mg/g Crea로 두배 이상의 증가세를 보인다.

〈표 28〉 공공행정업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도  
(불검출 데이터 제외)

단위 : mg/g Crea

연도	사업장 (개)	건강진단자 (명)	사업장당 건강진단자 수 (진)	만델릭산+페닐글리옥실산	
				AM	SD
2016	-	-	-	-	-
2017	-	-	-	-	-
2018	-	-	-	-	-
2019	-	-	-	-	-
2020	2	14	7.0	103.4	126.83
2021	3	34	11.3	136.5	93.26
2022	3	50	16.7	137.8	87.59
2023	3	52	17.3	149.4	105.60
평균	3	38	13.1	131.8	103.32
계	11	150		-	

공공행정업의 건강진단 검출 결과가 나타난 사업장은 11개소, 건강진단자는 150명이다. 2020년도에는 23명 건강진단자 중 14명이 검출되어 60.87%의 검출률에서 2022년, 2023년에는 100%의 검출률을 보이고 있다.

〈표 29〉 기타업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도  
(불검출 데이터 포함)

단위 : mg/g Crea

연도	사업장 (개)	건강진단자 (명)	사업장당 건강진단자 수 (진)	만델릭산+페닐글리옥실산	
				AM	SD
2016	3	15	5.0	8.5	18.22
2017	3	6	2.0	3.4	7.64
2018	3	8	2.7	12.4	32.87
2019	3	10	3.3	160.2	186.04
2020	3	13	4.3	156.5	121.30
2021	6	23	3.8	104.8	83.61
2022	7	39	5.6	116.8	107.51
2023	6	24	4.0	171.2	96.73
평균	4	17	3.8	91.7	81.7
계	34	138		-	

〈표 29〉에서 보는 바와 같이 기타 업종에서 특수건강진단을 진행한 사업장은 34개소, 건강진단자는 138명이다. 매년 3~7개소의 사업장이며, 건강진단자 수도 6~39명이었다.

2016~2018년도의 평균 농도는 ACGIH 기준의 10% 미만 수준이지만 2019년 이후부터는 그 기준을 넘는 농도를 보이는 연도가 3개년이나 있다.

〈표 30〉 기타업의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도  
(불검출 데이터 제외)

단위 : mg/g Crea

연도	사업장 (개)	건강진단자 (명)	사업장당 건강진단자 수 (진)	만델릭산+페닐글리옥실산	
				AM	SD
2016	2	3	1.5	42.7	14.18
2017	1	1	1.0	20.5	-
2018	1	1	1.0	99.4	-
2019	2	5	2.5	320.3	133.96
2020	3	11	3.7	185.0	110.11
2021	6	22	3.7	109.5	82.38
2022	7	38	5.4	119.9	107.21
2023	6	24	4.0	171.2	96.73
평균	4	13	2.8	133.6	90.8
계	28	105		-	

기타업의 스티렌 농도 검출 결과가 나타난 사업장은 28개소, 건강진단자는 105명이다. 2017년과 2018년에는 한 개의 사업장과 한 명의 건강진단자 수를 보이지만 점차 사업장당 건강진단자수의 비율은 평균 1.0에서 5.4까지 증가하였다. 검출 평균 결과 역시 불검출 데이터를 포함한 결과값과 크게 다르지 않은 수치를 보인다.

## 2) 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도

공정별로 소분류 하였을때 총 건강진단 건수 1,691건 중 도장 공정이 797건(47.1%)로 제일 높은 비율을 차지하고 있으며, 신뢰성 및 품질 공정이 231건(13.7%), 분석 공정은 169건(10.0%), 사출성형 공정은 106건으로 6.3% 비율을 차지한다. 공공 행정업, 주조, 공무, 기타 공정은 5.0% 이하의 상대적으로 낮은 비율을 보인다. 도장 항목은 모든 연도에서 높은 비중을 차지하였으나, 비율은 시간이 지남에 따라 점진적으로 감소하였다. 그에 반면 분석 및 사출성형 공정에서는 2020년 이후로 두드러지게 증가하는 추세를 보이고 있다.(〈표 31〉 참조).

특수건강진단 결과 중 검출된 현황을 살펴보면, 총 건강진단 검출 건수 1,417건 중 도장 공정이 645건(45.5%)로 제일 높은 비율을 차지하고 있으며, 신뢰성 및 품질 공정이 185건(13.1%), 분석 공정은 151건(10.6%), 공공행정업은 150건(10.6%), 사출성형 공정은 103건으로 7.3% 비율을 차지한다. 주조, 공무, 기타 공정은 44~82건으로 3.1~5.8%의 낮은 비율을 보인다.

〈표 31〉 연도별 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 측정건수(불검출 데이터 포함)

단위 : 건(%)

연도	계	도장	신뢰성 ·품질	분석	공공행정	사출성형	주조	공무	기타
2016	133	82	20	-	-	5	-	7	19
2017	139	101	23	5	-	-	-	4	6
2018	180	115	41	6	-	2	-	1	15
2019	192	111	26	8	-	18	12	11	6
2020	188	77	10	35	23	20	15	5	3
2021	255	105	24	40	38	19	11	7	11
2022	296	109	29	45	50	17	24	6	16
2023	308	97	58	30	52	25	22	16	8
계	1,691 (100)	797 (47.1)	231 (13.7)	169 (10.0)	163 (9.6)	106 (6.3)	84 (5.0)	57 (3.4)	84 (5.0)

〈표 32〉 연도별 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 측정건수(불검출 데이터 제외)

단위 : 건(%)

연도	계	도장	신뢰성 ·품질	분석	공공행정	사출성형	주조	공무	기타
2016	82	53	12	-	-	5	-	4	8
2017	85	62	17	2	-	-	-	2	2
2018	71	48	18	1	-	-	-	-	4
2019	182	111	26	3	-	18	12	6	6
2020	166	68	10	32	14	19	15	5	3
2021	234	98	19	39	34	19	9	5	11
2022	290	108	26	44	50	17	24	6	15
2023	307	97	57	30	52	25	22	16	8
계	1,417 (100)	645 (45.5)	185 (13.1)	151 (10.7)	150 (10.6)	103 (7.3)	82 (5.8)	44 (3.1)	57 (4.0)

공정에 따라 스티렌 노출 농도를 성별과 연령대별로 분석하였다. 도장공정은 총 645명, 평균 노출 농도는 154.6 mg/g Crea로 나타났다. 남성(642명, 127.8 mg/g Crea)이 대부분을 차지하였으며, 여성(3명, 181.4 mg/g Crea)의 경우 소수이지만 높은 노출 농도를 보였다. 도장 공정내 최고 노출농도는 50대 여성(2명, 288.7 mg/g Crea), 70대 남성(1명, 195.5 mg/g Crea)에서 나타났다.

신뢰성, 품질 공정은 231명이며, 평균 노출농도는 132.7 mg/g Crea로 나타났다. 여성(140.6 mg/g Crea)이 남성(124.8 mg/g Crea)보다 높은 노출 농도를 기록하였다. 연령대별로는 30대와 40대가 주요 인력으로, 남성보다 여성의 수는 적지만 여성(171.2~173.3 mg/g Crea)의 노출 농도가 높은 경향으로 보인다.

분석 공정에서는 151명으로 평균 노출농도는 124.6 mg/g Crea이다. 평균 노출 농도는 남성(148.5 mg/g Crea)이 여성(100.7 mg/g Crea)보다 더 높게 나타났다. 분석공정에서는 유일하게 여성이 남성보다 비율이 더 높았다.

공공행정 공정은 150명으로 평균 노출 농도는 140.4 mg/g Crea이다. 40대 여성(248.9 mg/g Crea)에서의 노출 농도가 제일 높게 나타났다.

사출성형 공정은 103명, 평균 노출 농도 161.2 mg/g Crea이다. 같은 연령대에서 남성, 여성을 비교하였을 때 40대에서 여성의 노출 농도(170.4 mg/g Crea)가 남성(120.5 mg/g Crea)에 비해 현저히 높게 나타났다.

주조 공정은 82명, 평균 노출농도 106.7 mg/g Crea였다. 남성의 평균 노출 농도(94.1 mg/g Crea)가 여성(119.2 mg/g Crea)보다 낮았으며, 20대 여성(172.6 mg/g Crea)에서 가장 높은 농도를 기록하였다.

공무 공정은 평균 농도 179.3 mg/g Crea 이며 건강진단자는 44명이다. 해당 공정에서는 여성의 비율이 없다.

기타 공정의 건강진단자는 57명으로 평균 노출 농도는 131.3 mg/g Crea으로 70대 남성에서 367.5 mg/g Crea의 가장 높은 노출 농도를 기록하였다.

전체적으로 성별과 연령에 따른 자료를 공정에 따라 분석해 보았을때 분석 공정과 공무 공정을 제외한 모든 공정에서 여성의 비율이 낮지만, 노출되는 농도의 수준은 높게 나타났다. 이는 여성이 소변 중 만델릭산과 페닐클리옥실

산 농도가 더 높게 나타나는 것은 환경적 노출과 대사 차이때문이라고 보고한 바 있다. 특히 벤젠 및 스티렌과 같은 화학물질에 대한 노출이 여성에게 더 높은 가능성이 제기되어왔었으며, 대사 과정에서 성별 차이에 의해 생성 및 배출속도가 달라질 수 있다는 점도 강조 되어있다. 하지만 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도의 성별 차이에 대한 연구사례는 제한적이다. 이에 성별에 따른 대사산물 농도의 차이를 이해하려면 호르몬, 효소 활성, 체지방 분포, 생활습관 등 다양한 요인을 고려한 추가 연구가 필요해 보인다.

〈표 33〉 성별, 연령별, 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도(mg/g Crea)

연령	성별	계		도장		신뢰성,품질		분석		공공행정		사출성형		주조		공무		기타		
		N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	
10	남	4	43.6	2	44.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	42.4
	여	1	26.6	-	-	-	-	1	26.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	남	198	132.1	113	127.9	14	111.1	13	106.7	9	136.3	27	172.8	5	94.4	6	218.6	11	98.2	
	여	55	137.8	-	-	10	169.6	21	113.6	21	147.4	-	-	2	172.6	-	-	1	59.5	
30	남	366	142.2	133	131.9	71	131.3	29	166.6	37	138.9	51	196.4	23	98.6	11	145.4	11	120.5	
	여	89	160.3	-	-	20	171.2	50	163.7	17	132.9	-	-	-	-	-	-	2	197.7	
40	남	378	126.1	203	128.1	46	143.9	8	154.8	33	140.3	18	120.5	45	95.6	15	137.3	10	65.5	
	여	41	141.2	1	60.0	14	173.3	22	112.1	2	248.9	2	170.4	-	-	-	-	-	-	
50	남	232	131.3	168	135.0	6	102.0	3	166.0	29	131.3	1	22.7	5	87.8	11	164.7	9	65.3	
	여	11	109.2	2	288.7	1	48.4	4	87.4	2	46.9	-	-	2	65.8	-	-	-	-	

연령	성별	계		도장		신뢰성,품질		분석		공공행정		사출성형		주조		공무		기타	
		N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM
60	남	39	139.3	22	131.3	3	135.7	-	-	-	-	4	247.3	-	-	1	230.4	9	102.0
	여	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	남	2	281.5	1	195.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	367.5
	여	1	78.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	78.2
	남	1,219	142.3	642	127.8	140	124.8	53	148.5	108	136.7	101	151.9	78	94.1	44	179.3	53	123.0
합계	여	198	123.9	3	181.4	45	140.6	98	100.7	42	144.0	2	170.4	4	119.2	-	-	4	139.5
	계	1,417	133.1	645	154.6	185	132.7	151	124.6	150	140.4	103	161.2	82	106.7	44	179.3	57	131.3

각 공정별로 검출된 건강진단 결과값을 분석해 보았다. 공정별 비교해보면 사출성형 공정에서의 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 평균값이 177.0 mg/g Crea으로 제일 높게 나타났으며, 주조 공정에서 97.1 mg/g Crea으로 제일 낮은 평균값을 보였다. 특이사항으로는 기타 공정에서는 기하표준편차 8.74로 제일 크게 나타나는데 이는 해당 공정의 데이터의 변동성이 크다.

〈표 34〉 공정별 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도

공정	만델릭산 및 페닐글리옥실산(mg/g Crea)				
	N(건)	AM	SD	GM	GSD
도장	645	131.0	101.00	95.2	2.36
신뢰성·품질	185	141.2	107.47	104.5	2.28
분석	151	142.0	107.00	97.4	2.69
공공행정	150	138.0	101.00	101.0	2.45
사출성형	13	177.0	128.00	127.0	2.49
주조	82	97.1	78.98	67.7	2.55
공무	47	149.2	131.14	66.1	8.74
기타	44	159.0	129.0	110.0	2.59
계	1,417			-	

〈표 35〉 도장 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도

연도	만델릭산 및 페닐글리옥실산(mg/g Crea)				
	N(건)	AM	SD	GM	GSD
2016	53	121.1	101.73	94.2	1.99
2017	62	122.0	99.35	83.7	2.53
2018	48	83.0	90.9	56.6	2.29
2019	111	132.3	92.36	98.8	2.36
2020	68	148.3	112.09	105.7	2.54
2021	98	136.5	111.10	93.0	2.62
2022	108	137.2	103.33	103.8	2.21
2023	97	139.7	89.3	111.1	2.10
합계	645		-		

제일 높은 비율을 차지하고 있는 도장 공정의 연도별 검출 값을 비교해보면 2019년 111건으로 제일 많은 건강진단 건수를 기록했으나 2020년 68건으로 감소하였다. 이는 코로나로 인한 특수건강진단의 유예로 인하여 나타난 현상으로 보인다. 2020년 148.3 mg/g Crea으로 제일 높은 평균을 보였고, 2018년 83.0 mg/g Crea으로 제일 낮은 평균을 기록하였다. 2019년 이후로는 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 평균이 130 mg/g Crea이 넘는 수치를 보이고 있다. 도장 공정에서의 연도별 GSD는 1.99~2.62로 비슷한 추이를 보이고 있다.

〈표 36〉 신뢰성, 품질 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도

연도	만델릭산 및 페닐글리옥실산(mg/g Crea)				
	N(건)	AM	SD	GM	GSD
2016	12	108.5	46.34	97.1	1.69
2017	17	181.9	131.19	129.5	2.73
2018	18	70.9	75.61	50.8	2.12
2019	26	175.7	129.22	136.5	2.11
2020	10	136.3	77.55	111.6	2.09
2021	19	121.2	82.39	89.2	2.50
2022	26	141.6	118.03	107.9	2.08
2023	57	149.6	104.72	113.6	2.21
합계	185				

신뢰성 및 품질 공정에서는 연도별 10~26개의 건강진단 건수를 보이다가 2023년 57건까지 급격하게 증가하였다. 이는 전체 185건 중 30.81%에 해당한다. 신뢰성 및 품질 공정에서는 2017년도 181.9 mg/g Crea로 제일 높은 평균값으로 2018년 최저 평균 70.9 mg/g Crea과는 2.5배 차이가 난다. 그러나 GSD는 2.73으로 건강진단 결과의 변이가 제일 크게 나타났다.

〈표 37〉 분석 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도

연도	만델릭산 및 페닐글리옥실산(mg/g Crea)				
	N(건)	AM	SD	GM	GSD
2016	-	-	-	-	-
2017	2	87.1	94.23	56.1	4.16
2018	1	99.4	-	-	-
2019	3	154.5	81.81	134.6	2.01
2020	32	170.8	106.04	121.3	2.83
2021	39	115.4	85.41	79.8	2.76
2022	44	127.5	109.00	83.8	2.74
2023	30	168.4	124.64	124.7	2.31
합계	151		-		

〈표 37〉를 보면 분석 공정은 2016~2019년까지 건강진단 대상자가 매우 적거나 없는 것으로 나타났으며, 2018년도는 1건으로 분석이 어려웠다. 2020년 이후 꾸준히 건강진단 건수의 증가세를 보인다. 제일 낮은 평균값을 보이는 2017년에는 87.1 mg/g Crea으로 GSD는 4.16으로 건강진단 결과의 데이터의 변동성이 보인다, 그러나 그 이후 GSD가 2.31~2.83으로 다소 안정적으로 나타났다.

공공행정 공정은 2019~2019년까지는 건강진단 결과가 없었으며, 2020년 이후부터 연도별 14~52건 건강진단 건수가 나타나며, 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 평균 농도 수치도 103.4~149.4 mg/g Crea이다.

사출성형 작업시 노출되는 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산의 수치는 2016~2018년까지는 없거나 아주 적은 검출 건수를 보인다, 2016년 평균 노출농도가 245.6 mg/g Crea에서 2020년 112.3 mg/g Crea으로 감소세를 보였으나 다시 증가하는 추세이다.

〈표 38〉 공공행정 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도

연도	만델릭산 및 페닐글리옥실산(mg/g Crea)				
	N(건)	AM	SD	GM	GSD
2016	-	-	-	-	-
2017	-	-	-	-	-
2018	-	-	-	-	-
2019	-	-	-	-	-
2020	14	103.4	131.62	49.9	3.66
2021	34	136.5	94.66	101.3	2.39
2022	50	137.8	88.48	108.1	2.19
2023	52	149.4	106.63	113.0	2.28
합계	150			-	

〈표 39〉 사출성형 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도

연도	만델릭산 및 페닐글리옥실산(mg/g Crea)				
	N(건)	AM	SD	GM	GSD
2016	5	245.6	206.62	157.0	3.23
2017	-	-	-	-	-
2018	-	-	-	-	-
2019	18	170.4	130.91	127.0	2.34
2020	19	112.3	98.99	73.3	2.76
2021	19	198.9	141.78	147.4	2.33
2022	17	215.8	110.37	188.0	1.75
2023	25	173.2	116.77	124.9	2.59
합계	103			-	

주조 공정 역시 2019년부터 검출 결과가 나타나며, 141.0 mg/g Crea의 최고 평균을 보이더니 2020년에는 59.7 mg/g Crea로 급격히 감소하였다. 이와 마찬가지로 2022년에도 132.7 mg/g Crea였던 평균 수치가 56.7 mg/g Crea로 감소된 수치로 나타났다.

〈표 40〉 주조 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도

연도	만델릭산 및 페닐글리옥실산(mg/g Crea)				
	N(건)	AM	SD	GM	GSD
2016	-	-	-	-	-
2017	-	-	-	-	-
2018	-	-	-	-	-
2019	12	141.0	123.50	72.8	4.48
2020	15	59.7	41.52	50.2	1.78
2021	9	104.3	94.18	71.4	2.64
2022	24	132.7	66.07	117.1	1.71
2023	22	56.7	38.58	42.9	2.29
합계	82				

공무 공정에서 2016~2018년에는 검출 건수가 적거나 없었으며, 2019년 이후 조금씩 늘어났다. 2019년에 290.8 mg/g Crea로 가장 높은 평균 농도를 보이며, 2017년에는 25.5 mg/g Crea으로 가장 낮은 평균 농도를 나타냈다.

기타 공정에서는 2023년 산술평균 143.6 mg/g Crea과 기하평균 121.0 mg/g Crea으로 최고치를 기록하였다. 2016~2017년에는 GSD가 높아 검출 결과의 변동성이 큰 것으로 보인다.

〈표 41〉 공무 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도

연도	만델릭산 및 페닐글리옥실산(mg/g Crea)				
	N(건)	AM	SD	GM	GSD
2016	4	34.9	9.31	34.0	1.32
2017	2	25.5	5.30	25.2	1.23
2018	-	-	-	-	-
2019	6	290.8	152.22	251.7	1.86
2020	5	80.5	40.31	64.8	2.45
2021	5	114.5	105.15	76.9	3.04
2022	6	143.5	130.41	108.6	2.19
2023	16	202.6	113.72	171.3	1.93
합계	44			-	

〈표 42〉 기타 공정의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도

연도	만델릭산 및 페닐글리옥실산(mg/g Crea)				
	N(건)	AM	SD	GM	GSD
2016	8	121.6	140.09	71.1	2.94
2017	2	78.5	82.4	52.7	3.86
2018	4	32.8	15.83	30.4	1.55
2019	6	39.0	26.28	32.6	1.92
2020	3	126.7	46.19	121.6	1.40
2021	11	89.9	56.67	74.0	1.98
2022	15	102.6	103.87	62.9	3.07
2023	8	143.6	107.08	121.0	1.79
합계	57			-	

### 3) 스티렌 노출 작업자의 특수건강진단 및 작업환경측정 비교

본 연구 자료의 스티렌 노출 작업자의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산의 결과와 공기 중 노출 농도 결과의 매칭되는 데이터를 분석해 보았다. <표 43>을 보면 작업환경측정과 특수건강진단의 결과를 모두 확인할 수 있는 사업장은 총 171개소이며, 작업자는 235명이다. 연도별로 18~33개소로 평균 29개소이며, 작업자의 경우도 34~ 52명으로 평균 39명으로 나타났다.

특수건강진단의 결과만 확인된 사업장은 총 176건이며, 작업자는 913명이다, 작업환경측정 결과만 확인된 사업장은 554건, 작업자는 1,702명이다. 특수건강진단 결과 수에 비해 작업환경측정의 결과 수가 훨씬 높게 나타났다. 이는 특수건강진단은 연 1회인 반면 작업환경측정은 6개월에 1회 주기이므로 건수 차이가 나타났다.

작업환경측정과 특수건강진단의 결과를 모두 확인할 수 있는 사업장 및 작업자의 자료를 비교하여 스티렌 농도와 의 연관성을 검토하고 상관관계를 분석하고자 하였다. 그러나 작업자의 보호구 착용, 작업 시간, 작업 형태, 국소 배기시설의 유무, 건강검진 시기 및 소변 채취 시간, 보관, 개인의 건강상태 등 많은 변수와 확인되지 않는 정보에 따라 비교 분석이 어려웠다.

〈표 43〉 스티렌 특수건강진단 및 작업환경측정 자료 연도별 분석

연도	작업환경측정+ 특수건강진단 중복		특수건강진단		작업환경측정	
	사업장	작업자	사업장	작업자	사업장	작업자
2018	33	36	26	109	120	314
2019	32	52	24	98	127	191
2020	18	30	23	122	101	270
2021	30	39	30	165	68	233
2022	32	44	38	202	63	219
2023	26	34	35	217	75	475
합계	171	235	176	913	554	1,702

#### 4) 스티렌 노출 작업자의 공기 중 농도

2018년도부터 2023년까지 전남지역 사업장의 스티렌에 대한 공기 중 노출 농도 현황을 보면, 〈표 44〉에서 보는 바와 같이 사업장 수는 상, 하반기 포함 1,045개소이며 측정자 수는 1,972명이었다. 연도별로는 매년 29~152개소였으며, 측정자 수는 39명에서 284명이었다. 사업장당 측정자 수의 비율이 1.3에서 3.2까지 증가하였다.

불검출 값을 제외한 공기 중 농도의 자료도 살펴보면 사업장 수는 72개소, 측정자 수는 116명으로 전체 측정자 수 대비 농도가 검출된 측정자는 116명으로 검출률이 5.88% 수준이다. 사업장당 측정자 수의 비율 역시 전체 평균 비율 1.9에서 1.6으로 감소하였다.

검출된 스티렌의 공기 중 농도 평균값은 2018년 8.3 ppm에서 2023년 3.1 ppm으로 감소하였고, 표준편차 값도 8.51에서 3.55로 감소하여 농도 변동성이 크게 줄었다.

〈표 44〉 연도별 공기 중 스티렌 농도 측정결과

연도	반기	측정대상 전체		검출된 자료 (불검출 제외)					ACGIH 기준 초과율	
		사업장 (개)	측정자 (명)	사업 장 (개)	측정자 (명)	사업장당 측정수 (개)	스티렌(ppm)			
							GM	GSD	z	%
2018	상반기	29	39	1	1	1.0	0.6	-	-	-
	하반기	32	44	3	4	1.3	3.4	5.52	1.04	14.9
2019	상반기	152	218	13	19	1.5	2.1	4.58	1.48	6.9
	하반기	92	142	8	13	1.6	2.8	2.83	1.89	3.0
2020	상반기	112	172	4	4	1.0	2.7	2.57	2.12	1.7
	하반기	93	160	7	13	1.9	5.0	2.06	1.92	2.7
2021	상반기	89	171	5	8	1.6	2.2	2.36	2.57	0.5
	하반기	88	150	5	9	1.8	3.7	2.88	1.60	6.3
2022	상반기	84	143	3	7	2.3	5.5	2.32	1.53	6.3
	하반기	90	167	4	9	2.3	3.1	2.01	2.67	0.4
2023	상반기	90	284	3	6	2.0	1.3	1.59	5.89	0.0
	하반기	94	282	16	23	1.4	1.2	4.78	1.80	3.6
평균		87	164	6	10	1.6	-	-	-	-
계		1,045	1,972	72	116	-	2.4	3.49	1.70	4.5

제조업에서의 스티렌 공기 중 농도측정 현황은 262개의 사업장과 768명의 측정자였다. 연도별로는 <표 45>에서 보는 바와 같이 매년 9~29개소였으며, 측정자 수는 17~170명이었다. 사업장당 측정자 수의 비율은 매년 1.9~2.1로 비슷한 추세를 보이다가 2023년에는 7.8로 급격히 증가하였다.

불검출 값을 제외한 공기 중 농도의 자료도 살펴보면 2016년부터 2023년 까지 사업장 수는 55개였으며, 측정자 수는 99명이었다. 제조업에서 작업환경 측정에 참여한 측정자 총 768명 중 99명만이 농도가 검출되었으며 검출률은 12.89%이다. 사업장당 측정자 수의 비율도 평균 2.9에서 1.7로 감소하였다. 검출된 스티렌의 공기 중 농도 평균값은 0.6~8.3 ppm으로 나타났다.

수리업에서는 773개소의 사업장과 1,141명의 측정자로 본 연구 자료 중 스티렌에 대한 작업환경측정에서 제일 높은 비율을 차지하고 있다. 2019년도에는 상, 하반기 185개소로 제일 많은 사업장에서 작업환경측정을 진행했으나 사업장당 측정자 수 비율은 1.3으로 수리업의 평균 비율인 1.4보다 낮은 것으로 나타났다. 측정자 수에서도 2018년을 제외하고 매년 200여명이 넘었다.

그러나 공기 중 농도가 검출된 자료는 16개의 사업장과 16명의 측정자이다. 사업장당 측정자 수의 비율도 1.0으로 매년 동일하게 나타났다. 검출된 농도 또한 0.2~1.7 ppm으로 스티렌에 대한 노출기준의 10% 미만 수준이다. (<표 46> 참조).

<표 47>, <표 48>에서 보는 바와 같이 2023년 서비스업을 제외한 나머지 자료에서 없거나 1개의 사업장에 대한 결과이다. 공기 중 농도 검출도 서비스업에서 1건, 기타업은 0건이다.

〈표 45〉 제조업의 공기 중 스티렌 농도 측정결과

연도	반기	측정대상 전체 (불검출 포함)					검출된 자료 (불검출 제외)				
		사업장 (개)	측정자 (명)	사업장당 측정수 (개)	스티렌(ppm)		사업 장 (개)	측정자 (명)	사업장당 측정수 (개)	스티렌(ppm)	
					GM	GSD				GM	GSD
2018	상반기	9	17	1.9	-	-	1	1	1.0	0.6	-
	하반기	10	20	2.0	-	-	3	4	1.3	3.4	5.52
2019	상반기	29	61	2.1	-	-	7	13	1.9	4.0	3.58
	하반기	29	57	2.0	-	-	7	12	1.7	3.0	2.87
2020	상반기	26	52	2.0	-	-	3	3	1.0	3.3	2.88
	하반기	27	53	2.0	-	-	6	12	2.0	5.5	1.97
2021	상반기	23	46	2.0	-	-	3	6	2.0	3.1	2.00
	하반기	23	46	2.0	-	-	5	9	1.8	3.7	2.88
2022	상반기	19	38	2.0	-	-	3	7	2.3	5.5	2.32
	하반기	21	44	2.1	-	-	4	9	2.3	3.1	2.01
2023	상반기	21	164	7.8	-	-	3	6	2.0	1.3	1.59
	하반기	25	170	6.8	-	-	10	17	1.7	2.3	3.59
평균		22	64	2.9	-	-	5	8	1.7	-	-
계		262	768	-	-	-	55	99	-	3.2	2.89

〈표 46〉 수리업의 공기 중 스티렌 농도 측정결과

연도	반기	측정대상 전체 (불검출 포함)					검출된 자료 (불검출 제외)				
		사업장 (개)	측정자 (명)	사업장당 측정수 (개)	스티렌(ppm)		사업 장 (개)	측정자 (명)	사업장당 측정수 (개)	스티렌(ppm)	
					GM	GSD				GM	GSD
2018	상반기	20	22	1.1	-	-	-	-	-	-	-
	하반기	22	24	1.1	-	-	-	-	-	-	-
2019	상반기	122	154	1.3	-	-	6	6	1.0	0.5	2.80
	하반기	63	79	1.3	-	-	1	1	1.0	1.2	-
2020	상반기	84	116	1.4	-	-	1	1	1.0	1.6	-
	하반기	65	105	1.6	-	-	1	1	1.0	1.7	-
2021	상반기	65	104	1.6	-	-	1	1	1.0	1.1	-
	하반기	65	104	1.6	-	-	-	-	-	-	-
2022	상반기	65	105	1.6	-	-	-	-	-	-	-
	하반기	68	110	1.6	-	-	-	-	-	-	-
2023	상반기	66	108	1.6	-	-	-	-	-	-	-
	하반기	68	110	1.6	-	-	6	6	1.0	0.2	1.71
평균		64	95	1.4	-	-	3	3	1.0	-	-
계		773	1,141	-	-	-	16	16	-	0.5	2.79

〈표 47〉 서비스업의 공기 중 스티렌 농도 측정결과

연도	반기	측정대상 전체 (불검출 포함)					검출된 자료 (불검출 제외)				
		사업장 (개)	측정자 (명)	사업장당 측정수 (개)	스티렌(ppm)		사업 장 (개)	측정자 (명)	사업장당 측정수 (개)	스티렌(ppm)	
					GM	GSD				GM	GSD
2018	상반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	하반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	상반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	하반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2020	상반기	1	2	2.0	-	-	-	-	-	-	-
	하반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021	상반기	1	21	21.0	-	-	1	1	1.0	0.6	-
	하반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	상반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	하반기	1	13	13.0	-	-	-	-	-	-	-
2023	상반기	3	12	4.0	-	-	-	-	-	-	-
	하반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
평균		2	12	10.0	-	-	1	1	1.0	0.6	-
계		6	48	-	-	-	1	1	-	-	-

〈표 48〉 기타업의 공기 중 스티렌 농도 측정결과

연도	반기	측정대상 전체 (불검출 포함)					검출된 자료 (불검출 제외)				
		사업장 (개)	측정자 (명)	사업장당 측정수 (개)	스티렌(ppm)		사업 장 (개)	측정자 (명)	사업장당 측정수 (개)	스티렌(ppm)	
					GM	GSD				GM	GSD
2018	상반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	하반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	상반기	1	3	3.0	0.0	0.00	-	-	-	-	-
	하반기	1	6	6.0	0.0	0.00	-	-	-	-	-
2020	상반기	1	2	2.0	0.0	0.00	-	-	-	-	-
	하반기	1	2	2.0	0.0	0.00	-	-	-	-	-
2021	상반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	하반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	상반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	하반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2023	상반기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	하반기	1	2	2.0	0.0	0.00	-	-	-	-	-
평균		1	3	3.0	0.0	0.00	-	-	-	-	-
계		5	15	-	-	-	-	-	-	-	-

## 제 5 절 내국인 및 외국인 건강진단 비율

본 연구에서 소변 중 만델릭산 및 페닐글리옥실산 검출 결과를 바탕으로 내국인과 외국인의 건강진단 비율을 분석해보았다. 분석은 전체 결과, 검출 결과, ACGIH의 생물학적 노출지표(BEI) 기준으로 나눈 5개의 구간 중 1배 이상, 0.5배 이상 구간을 중심으로 분석하였다.

총 798명 중 내국인은 754명으로 94.49%, 외국인은 5.51%로 스티렌에 대한 생물학적 지표를 검사한 인원은 내국인이 압도적으로 높았다. 이에 건강진단 건수도 내국인은 1,597건(94.44%), 외국인은 94건(5.56%)으로 비슷한 비율을 보였다. 결과가 검출된 데이터에서도 전체 결과와 유사하게 나타났다.

생물학적 노출지표 기준에 초과 구간에서는 총 354명 중 내국인이 339명(95.76%), 외국인이 15명(4.24%)이며, 건강진단 건수에서도 비슷한 비율을 보인다. 이는 스티렌 노출수준이 높은 작업환경에서 외국인의 참여율이 더 낮음을 알 수 있다.

0.5배 이상의 구간은 건강진단 인원은 총 667명 중 내국인이 633명으로 94.90%를 차지한다. 건강진단 건수 또한 총 919건 중 내국인이 875건(96.01%)으로 대부분을 차지하고 있으며, 외국인의 비율은 5% 수준이다.

〈표 49〉 내국인 및 외국인 건강진단 비율

단위 : 명(%)

분류		계	내국인	외국인
전체 결과	건강진단 인원수	798 (100.00)	754 (94.49)	44 (5.51)
	건강진단 건수	1,691 (100.00)	1,597 (94.44)	94 (5.56)
검출 결과	건강진단 인원수	701 (100.00)	664 (94.72)	37 (5.28)
	건강진단 건수	1,417 (100.00)	1,337 (94.35)	80 (5.65)
1배 이상	건강진단 인원수	354 (100.00)	339 (95.76)	15 (4.24)
	건강진단 건수	501 (100.00)	481 (96.01)	20 (3.99)
0.5배 이상	건강진단 인원수	667 (100.00)	633 (94.90)	34 (5.10)
	건강진단 건수	919 (100.00)	875 (95.21)	44 (4.79)

외국인이 작업자로 참여하고 있는 업종은 제조업과 서비스업 두 곳에서만 나타났다. 〈표 50〉에서 보는 바와 같이 두 업종에서 공정별로 내국인과 외국인의 비율을 분석하였다. 제조업종에서는 도장, 사출성형, 기타 공정에서 외국인의 참여가 확인되었다. 도장 공정에서의 외국인은 65명으로 공정 내 21.96%의 높은 비율을 차지하고 있다.

사출성형 공정에서는 101명 중 3명의 외국인 참여로 2.97%이며, 외국인 비율이 소수로 나타났다. 기타 공정에서는 외국인의 수가 11명으로 공정 내 24.44%의 높은 비율이 나타났다. 서비스업에서는 유일하게 분석 공정에서 1명의 외국인이 확인되었다.

전체적으로 외국인은 주로 제조업 공정에서 종사하며 서비스업에는 극히

일부만 참여하고 있다. 제조업에서는 도장, 기타 공정에서 외국인의 비율이 비교적 높았고, 서비스업에서는 내국인이 대부분 차지하며 외국인의 비율이 매우 낮았다.

〈표 50〉 내국인 및 외국인 업종별 공정 비율

단위 : 명(%)

공정	계		제조업		서비스업	
	내국인	외국인	내국인	외국인	내국인	외국인
도장	231	65	231 (78.04)	65 (21.96)	-	-
신뢰성· 품질	185	-	185	-	-	-
분석	92	1	11 (11.82)	-	81 (87.10)	1 (1.08)
공공 행정	0	-	-	-	-	-
사출 성형	98	3	98 (97.03)	3 (2.97)	-	-
주조	82	-	82	-	-	-
공무	9	-	8	-	1	-
기타	34	11	28 (62.22)	11 (24.44)	6 (13.34)	-
합계	731	80	643	79	88	1

〈표 51〉에서 보는 바와 같이 스티렌의 생물학적 노출 기준의 1배 이상인 구간에 포함되는 외국인은 도장, 사출성형, 기타 공정에서 검출되었다. 도장 공정에서는 평균 215.0 mg/g Crea, 표준편차 37.76으로 내국인보다 노출 평균값은 낮았으나 표준편차가 작아 변동성이 적었다.

사출성형 공정에서는 평균 342.3 mg/g Crea, 표준편차 120.25로 내국인보다 높은 노출 평균값과 큰 변동성이 나타났다. 기타 공정에서도 2명의 외국인이 검출되었으나 평균 241.0 mg/g Crea, 표준편차 61.26으로 내국인에 비해

낮은 노출 농도와 큰 변동성이 나타났다.

전체적으로 내국인은 481명, 외국인은 20명이 검출되었다. 내국인의 평균값과 표준편차가 상대적으로 높고, 외국인의 경우 특정 공정에서만 검출되어 공정별 노출 차이가 있어보인다.

〈표 51〉 1배 이상 구간의 공정별 검출 결과 비교 (mg/g Crea)

공정	내국인			외국인		
	N	AM	SD	N	AM	SD
도장	208	245.2	88.28	16	215.0	37.76
신뢰성· 품질	67	254.7	93.95	-	-	-
분석	62	248.0	76.78	-	-	-
공공 행정	56	243.0	81.91	-	-	-
사출 성형	52	269.8	98.34	2	342.3	120.25
주조	14	234.4	68.54	-	-	-
공무	15	310.3	99.19	-	-	-
기타	7	283.7	94.21	2	241.0	61.26
합계	481	-	-	20	-	-

스티렌의 생물학적 노출 기준의 0.5배 이상인 구간에 포함되는 외국인의 경우는 도장 공정에 36명, 분석 1명, 사출성형 공정에 2명, 기타 공정에 5명이다. 도장 공정에서는 평균 160.0 mg/g Crea, 표준편차 57.03으로 내국인보다 노출 평균값은 낮았으나 표준편차가 작아 변동성이 적었다. 사출 공정의 외국인의 노출 평균 농도는 342.3 mg/g Crea으로 내국인을 포함한 전체에서도 가장 높게 나타났다. 기타 공정에서는 5명의 외국인이 노출 농도 평균 154.4 mg/g Crea으로 내국인의 평균보다 낮게 기록되었다.

전체적으로 외국인의 검출은 적었으나, 특정 공정에서의 평균값이 높은 수준을 보였다.

<표 52> 0.5배 이상 구간의 공정별 검출 결과 비교 (mg/g Crea)

공정	내국인			외국인		
	N	AM	SD	N	AM	SD
도장	379	182.3	96.38	36	160.0	57.03
신뢰성· 품질	125	187.9	100.59	-	-	-
분석	98	196.6	92.03	1	121.0	-
공공 행정	103	183.1	89.86	-	-	-
사출 성형	73	224.1	110.50	2	342.3	120.25
주조	44	149.9	71.96	-	-	-
공무	33	202.1	120.20	-	-	-
기타	20	172.4	101.10	5	154.4	81.59
합계	875	-	-	44	-	-

## 제 4 장 결 론

본 연구는 광주광역시와 전남지역의 일부 사업장을 대상으로 한 특수건강진단 자료에서 2016년부터 2023년까지의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도자료(사업장은 435개소, 건강진단자 1,691명)와 2018년부터 2023년까지의 작업환경측정자료 중 공기 중 스티렌 농도자료(사업장 1,045개소, 측정건수 1,972건)를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 광주광역시와 전남지역에서 지난 8년간(2016~2023년) 스티렌 작업자 특수건강진단의 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 측정치 1,691건중 501건이 ACGIH BEI 150 mg/g Crea을 초과하여 초과율이 약 30%인 것으로 나타났다. 노출기준의 2배를 초과하는 경우도 121건(7.2%)로 나타났다. 노출기준 50%값인 조치기준(Action Limit, AL)인 75 mg/g Crea을 초과하는 경우는 전체 1,691건 중 919건으로 초과율은 54.3%이었다. 이것은 광주광역시와 전남지역의 스티렌 작업자의 반 이상, 즉 스티렌 작업자의 54%는 스티렌의 ACGIH의 TLV이자 우리나라 노출기준인 20 ppm을 초과하는 경우가 있음을 시사한다.

2. 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도가 기준을 초과하는 501건을 업종별로 보면 제조업이 258건(51.5%), 수리업이 112건(22.4%), 공공행정업이 54건(10.8%) 그리고 기타업과 서비스업이 각각 39건과 38건으로 약 8% 씩이었다.

3. 공정별로 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도가 ACGIH BEI를 초과하는 공정은 도장(224건), 신뢰성·품질(67건), 연구실의 분석업무(62건), 사출성형(54건) 그리고 공공행정(54건)의 순으로 나타났다. 한편 초과율은 사출성형(50.9%), 분석업무(36.7%), 공공행정(33.9%), 신뢰성·품질업무(29%), 도장(29%) 공무(26.3%), 등의 순으로 높았다.

4. 소변 중 만델릭산과 페닐글리옥실산 농도가 기준을 초과하는 공정을 업종별로 살펴보면, 도장 공정에서 초과한 224건은 제조업과 수리업이 각각

110건과 112건으로 반반을 차지하고 있었다. 신뢰성·품질 공정에서 초과한 67건은 모두 제조업이었으며, 분석업무에서 초과한 62건은 서비스업(36건, 58%)과 기타업(22건, 36%)이었으며, 사출공정 54건 중 53건이 제조업이었다.

5. 작업환경측정 결과는 2018년부터 2023년까지 스티렌의 농도는 1~5 ppm 수준으로 노출기준(20 ppm)의 5~25%수준이었다. 기하평균(GM)과 기하표준편차(GSD)를 가지고 20 ppm을 초과할 확률을 산출한 결과 낮게는 0%에서 높게는 15%로 나타났으며, 평균적으로 약 5%인 것으로 나타났다. 그러나 작업환경측정 결과에서 개별적으로 노출기준을 초과하는 경우는 없었다.

# 참 고 문 헌

## 1. 국내문헌

- 고용노동부 (2017). 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시(고용노동부고시 제2017-27호).
- 고용노동부 (2020). 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호).
- 김은아 (2021). 작업자건강진단 실무지침 제1권 특수건강진단 개요. 산업안전보건연구원
- 김은아 (2021). 작업자건강진단 실무지침 제2권 유해인자별 특수건강진단방법. 산업안전보건연구원
- 김은아 (2021). 작업자건강진단 실무지침 제3권 유해인자별 건강장해. 산업안전보건연구원
- 백종민, 이종영, 김정만 (1997). 스타이렌 폭로 작업자의 환경중 폭로농도 와 생물학적 모니터링에 관한 연구. 한국산업위생학회지 제7권 제 2호
- 여진희 (2011). 스티렌 제조공장 대정비 작업 작업자의 에틸벤젠 노출과 소변 중 대사산물 배설과의 관계. 서울 : 연세대학교 보건대학원 산업보건학과
- 오세욱, 원정일 (1996). 직업적으로 스티렌에 노출된 작업자의 뇨중 대사 산물에 관한 연구. 가톨릭대학교 산업보건대학원 산업위생학과, 노동부 작업환경과
- 이미영, 원용림, 최윤정, 고경선 (2003). 스티렌 및 에틸벤젠의 생물학적 노출 지표 유효성 평가. 한국산업안전공단 산업보건연구원
- 조형열, 조성현, 김은아, 김병규, 박승현, 강성규 (2008). 스티렌의 유통·사용 실태조사. 한국산업위생학회지 제18권 제4호

## 2. 국외문헌

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH)  
(2024). Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure  
Indices (BEIs)

Astrand I (1975). Uptake of solvents in blood and tissues to styrene.  
Scand J Work Environ Health.

Dutkiewicz T, Tyras H (1968). Skin absorption of toluene, styrene and  
xylene by man. Bri J Ind Med.

The Japan Society for Occupational Health (2024). Occupational  
Exposure Limits Based on Biological Monitoring in the  
Recommendation of occupational exposure limits (2024 – 2025) The  
Japan Society for Occupational Health (May, 22, 2024)

## ABSTRACT

A Study on Mandelic Acid and Phenylglyoxylic Acid in Urine from the Workers Medical Examination Data for the Styrene-Exposed Workers in Jeonnam Region

Jung, Ga-Young

Major in Industrial Hygiene Engineering

Dept. of Mechanical Systems Engineering

The Graduate School

Hansung University

The airborne styrene data and urinary mandelic and phenylglyoxylic acid data were obtained from the annual workers medical examination and workplace environment measurements data in Gwangju and the Jeonnam region. The urinary mandelic acid and phenylglyoxylic acid concentrations (1,691 workers from 435 workplaces) from 2016 to 2023 and airborne styrene concentrations (1,972 measurements from 1,045 workplaces) from 2018 to 2023 were analyzed.

Out of 1,691 measurements of urinary mandelic acid and phenylglyoxylic acid, 501 cases (30%) exceeded the ACGIH BEI (150

mg/g creatinine). Among these, 121 cases (7.2%) exceeded twice the exposure limit. Cases exceeding the action limit (AL) of 75 mg/g creatinine, which is 50% of the BEI, accounted for 919 cases (54.3%). This indicates that more than half of the styrene workers in Gwangju and the Jeonnam region might exceed the ACGIH TLV, which is also Korea's exposure standard of 20 ppm.

The 501 cases where urinary mandelic acid and phenylglyoxylic acid concentrations exceeded the standard were distributed as follows by industry: manufacturing (258 cases, 51.5%), repair services (112 cases, 22.4%), public administration (54 cases, 10.8%), and others such as miscellaneous industries and service sectors with 39 cases (8%) and 38 cases (8%), respectively. By process, the highest number of exceedances was observed in painting (224 cases), reliability/quality control (67 cases), laboratory analysis (62 cases), injection molding (54 cases), and public administration (54 cases). The exceedance rates were highest in injection molding (50.9%), laboratory analysis (36.7%), public administration (33.9%), reliability/quality control (29%), painting (29%), and office work (26.3%).

The workplace environment measurements from 2018 to 2023 indicated styrene concentrations ranging from 1 to 5 ppm, significantly below the exposure limit of 20 ppm. However, based on geometric mean (GM) and geometric standard deviation (GSD), the probability of exceeding the 20 ppm exposure limit was estimated to be approximately 5%. Notably, no individual measurement exceeded the exposure limit.

**【Keywords】** Styrene, Mandelic acid in urine, Phenylglyoxylic acid in urine, Biological exposure indices