석사학위논문

# 전남지역 일부 작업환경측정 결과의 크실렌 농도와 특수건강진단 결과의 소변 중 메틸 마뇨산에 관한 연구

2025년


한 성 대 학 교 대 학 원

기계시스템공학과

산업위생공학전공

차 성 재

석사학위논문
지도교수 박두용

# 전남지역 일부 작업환경측정 결과의 크실렌 농도와 특수건강진단 결과의 소변 중 메틸 마뇨산에 관한 연구

A Study on Xylene Concentrations in Workplace Environment Measurement Data and Urinary Methylhippuric Acid Levels in the Workers' Medical Examination Data in Jeonnam Region

2024년 12월 일


한 성 대 학 교 대 학 원

기계시스템공학과

산업위생공학전공

차 성 재

석 사 학 위 논 문
지도교수 박두용

# 전남지역 일부 작업환경측정 결과의 크실렌 농도와 특수건강진단 결과의 소변 중 메틸 마뇨산에 관한 연구

A Study on Xylene Concentrations in Workplace Environment Measurement Data and Urinary Methylhippuric Acid Levels in the Workers' Medical Examination Data in Jeonnam Region

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2024년 12월 일


한 성 대 학 교 대 학 원

기 계 시 스 템 공 학 과

산 업 위 생 공 학 전 공

차 성 재

차성재의 공학 석사학위 논문을 인준함

2024년 12월 일

심사위원장 윤 주 일 (인)

심 사 위 원 강 태 선 (인)

심 사 위 원 박 두 용 (인)

# 국 문 초 록

## 전남지역 일부 작업환경측정 결과의 크실렌 농도와 특수건강진단 결과의 소변 중 메틸 마뇨산에 관한 연구

한 성 대 학 교 대 학 원
기 계 시 스 템 공 학 과
산 업 위 생 공 학 전 공
차 성 재

본 연구는 2018년부터 2023년까지 모 기관에서 실시한 전남 일부 지역의 크실렌 작업자의 작업환경측정 결과와 특수건강진단 결과에서 공기 중 크실렌 농도와 소변 중 메틸 마뇨산 농도 자료를 분석하였다.

공기 중 크실렌 농도의 기하평균(GM)은 3.2 ppm, 기하표준편차는(GSD)는 2.34로 나타났다. ACGIH TLV 기준인 20 ppm을 초과하는 경우는 2018년 847건 중 15건(1.8%), 2019년 752건 중 11건(1.5%), 2020년 762건 중 3건(0.4%), 2021년에는 714건 중 11건(1.5%), 2022년 0건(0%) 그리고 2023년 945건 중 2건(0.2%)으로 최근 고농도 노출이 감소하고 있는 것으로 나타났다. ACGIH TLV 기준인 20 ppm을 초과하는 업종은 제조업 중에는 금속가공업, 금속절삭기계, 금속가공제품, 금속제품, 금속공작물, 금속골조구조재, 선박구성부분품, 선박구성부분품, 물품취급장비 제조업과 건설업, 병리검사 의원

이었다.

소변 중 메틸 마뇨산의 농도는 기하평균(GM)이 0.11 g/g Cr., 기하표준편차(GSD)는 2.93이었다. ACGIH의 권고기준인 소변 중 메틸 마뇨산의 BEI, 0.3 g/g Cr.을 초과할 확률은 17.6%인 것으로 나타났다. 이것은 작업환경측정 결과로 추정한 것보다 훨씬 높았다. 실제로 소변 중 메틸 마뇨산의 측정치가 ACGIH BEI, 0.3 g/g Cr.을 초과한 경우는 2018년(4%)만 제외하고는 2019년부터 2023년까지는 약 10~16%였다.

【주요어】 크실렌, 메틸 마뇨산, 노출 평가, 작업환경, 직업병 예방

# 목 차

**제 1 장 서 론 ····· 1**

제 1 절 연구의 목적 ····· 1

**제 2 장 연구대상 및 방법 ····· 3**

제 1 절 연구 대상 ····· 3
1) 연구자료 ····· 3
2) 작업환경측정 방법 ····· 3
3) 소변 중 메틸마뇨산 측정 방법 ····· 5
제 2 절 연구 방법 ····· 6

**제 3 장 연구 결과 ····· 7**

제 1 절 공기 중 크실렌 농도 ····· 7
1) 연도별 공기 중 크실렌 노출농도 ····· 7
2) 크실렌 노출농도의 결과 분포 ····· 9
3) 연도별 소변 중 메틸 마뇨산 검진 수 및 농도 ····· 12
4) 소변 중 메틸 마뇨산의 50% 초과 및 100% 초과 건수 및
비율 분석 ····· 13
5) 연도별 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 정규분포 ····· 14
6) 작업환경측정과 특수건강진단을 같이 진행한 작업자의
크실렌 농도 ····· 15

7) 작업환경측정과 특수건강진단을 같이 진행한 작업자의 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 ····· 16
8) 작업환경측정과 특수건강진단을 같이 진행한 작업자의 소변 중 메틸 마뇨산의 농도의 정규분포 ····· 17
제 2 절 업종 및 규모별 크실렌 농도와 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 특성 분석 ····· 19
1) 업종별 크실렌 농도 ····· 19
2) 업종별 소변 중 메틸 마뇨산 수치 ····· 22
3) 업종별 소변 중 메틸 마뇨산 농도에 따른 정규분포 ····· 25
4) 규모별 크실렌 농도 ····· 27
5) 규모별 소변 중 메틸 마뇨산 검진 사업장 수 ····· 30
6) 규모별 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도의 정규분포 ····· 31
제 3 절 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 특성 분석 ····· 33
1) 연령별 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 특성 ····· 33
2) 연령별 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도의 정규분포 ····· 38
3) 근속년수별 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 특성 ····· 39
4) 근속년수별 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도의 정규분포 ····· 41
5) 공정별 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 특성 ····· 42
6) 공정별 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 정규분포 ····· 43
7) 연도별 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 산포도 ····· 44

**제 4 장 결 론** ····· 51

**참 고 문 헌** ····· 52

ABSTRACT ····· 54

# 표 목 차

〈표 1〉 GC-FID(가스그래마토그래프-불꽃이온화검출기)의 분석조건 ····· 4
〈표 2〉 GC-FID(가스그래마토그래프-불꽃이온화검출기)의 분석조건 ····· 4
〈표 3〉 고성능 액체크로마토그래피(HPLC)의 분석조건 ····· 5
〈표 4〉 고성능 액체크로마토그래피(HPLC)의 분석조건 ····· 6
〈표 5〉 연도별 크실렌 작업환경 측정 수 및 공기 중 크실렌 농도 ····· 8
〈표 6〉 공기 중 크실렌 노출농도의 결과 분포 ····· 9
〈표 7〉 공기 중 크실렌 노출농도의 결과 분포 ····· 10
〈표 8〉 연도별 소변 중 메틸 마뇨산 검진 수 및 농도 ····· 12
〈표 9〉 연도별 소변 중 메틸 마뇨산 검진 수 및 농도 ····· 13
〈표 10〉 연도별 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 및 기준 초과확률 ····· 14
〈표 11〉 연도별 작업환경측정과 특수건강진단을 같이 진행한
작업자의 크실렌 농도 ····· 15
〈표 12〉 연도별 크실렌 검출여부에 따른 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 ····· 17
〈표 13〉 연도별 크실렌 검출여부에 따른 소변 중 메틸 마뇨산의
농도의 정규분포 ····· 18
〈표 14〉 전남지역 일부 크실렌 노출사업장 업종별 사업장 현황 ····· 19
〈표 15〉 업종별 크실렌 노출농도 ····· 21
〈표 16〉 20년도 최대값을 제외한 병원의 크실렌 작업환경 측정 수 및
공기 중 크실렌 농도 ····· 22
〈표 17〉 업종별 소변 중 메틸 마뇨산 검진사업장 수 ····· 23
〈표 18〉 업종별 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 ····· 24
〈표 19〉 업종별 소변 중 메틸 마뇨산 농도 및 기준 초과율 ····· 26
〈표 20〉 규모별 크실렌 노출 사업장 수 ····· 27

〈표 21〉 규모별 크실렌 노출농도 ····· 29
〈표 22〉 20년도 최대값을 제외한 50인 미만의 크실렌 작업환경 측정 수 및 공기 중 크실렌 농도 ····· 30
〈표 23〉 규모별 소변 중 메틸 마뇨산 검진 사업장 수 ····· 31
〈표 24〉 규모별 소변 중 메틸 마뇨산 농도 및 초과확률 ····· 32
〈표 25〉 연령별 소변 중 메틸 마뇨산 노출건 수 ····· 33
〈표 26〉 연령별 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도 ····· 34
〈표 27〉 연령별 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도의 정규분포 ····· 39
〈표 28〉 근속년수별 소변 중 메틸 마뇨산 노출지표 ····· 40
〈표 29〉 근속년수별 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도의 정규분포 ····· 41
〈표 30〉 공정별 소변 중 메틸 마뇨산 노출지표 ····· 42
〈표 31〉 공정별 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 정규분포 ····· 44

# 그 림 목 차

[그림 1] 2018년 소변 중 메틸 마뇨산과 연령 상관관계 ····· 34
[그림 2] 2019년 소변 중 메틸 마뇨산과 연령 상관관계 ····· 35
[그림 3] 2020년 소변 중 메틸 마뇨산과 연령 상관관계 ····· 36
[그림 4] 2021년 소변 중 메틸 마뇨산과 연령 상관관계 ····· 36
[그림 5] 2022년 소변 중 메틸 마뇨산과 연령 상관관계 ····· 37
[그림 6] 2023년 소변 중 메틸 마뇨산과 연령 상관관계 ····· 38
[그림 7] 소변 중 메틸 마뇨산과 근속년수의 상관관계 ····· 40
[그림 8] 공정별 소변 중 메틸 마뇨산 평균 및 표준편차 ····· 43
[그림 9] 2018년 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 산포도 ····· 45
[그림 10] 2019년 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 산포도 ····· 46
[그림 11] 2020년 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 산포도 ····· 47
[그림 12] 2021년 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 산포도 ····· 48
[그림 13] 2022년 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 산포도 ····· 49
[그림 14] 2023년 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 산포도 ····· 50

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구의 목적

크실렌은 인쇄, 도장, 코팅 등 다양한 산업 공정에서 광범위하게 사용되는 방향족 탄화수소로, 작업환경에서 흔히 발생하는 유해 화학물질 중 하나다. 크실렌은 휘발성이 높으므로 크실렌을 사용하거나 취급하는 작업자는 크실렌에 노출될 가능성이 높다, 크실렌에 노출될 경우 크실렌에 의한 건강장해는 이미 잘 알려져 있다. 따라서 크실렌을 사용하거나 취급하는 사업장은 작업환경측정을 실시하도록 되어 있으며, 크실렌 작업자는 매년 특수건강진단을 받아야 한다.

크실렌의 유해성은 잘 알려졌지만, 최근 크실렌으로 인한 건강장해나 직업병 발생이 보고된 경우는 거의 없다. 작업환경측정에서 공기 중 크실렌 노출농도가 기준을 초과하여 문제가 된 경우도 알려진 바가 거의 없다. 그러나 개별 측정치의 노출기준 초과여부, 즉 노출기준을 초과한 측정치가 있느냐 없느냐의 여부만으로 크실렌의 노출 위험을 파악하는 것은 한계가 있다. 왜냐하면 작업환경 측정결과는 외부. 특히 규제기관인 정부로 보고되므로 사업장에서는 노출기준을 초과하지 않도록 하고자 하는 동기가 강하기 때문이다.

한편 특수건강진단시에는 생물학적 노출을 모니터링한다. 크실렌의 경우에는 소변 중 메틸 마뇨산을 측정한다. 특수건강진단의 생물학적 노출지표의 측정도 과소평가될 우려가 없지는 않지만 생물학적 노출지표의 특성상 작업환경측정보다 농도를 일시적으로 낮추기가 쉽지 않은 측면이 있다.

작업환경측정 결과든 생물학적 노출지표의 측정결과든 충분한 수의 측정치가 있으면 통계적 분석과 추정이 가능하다. 작업환경측정과 특수건강진단은 매년 거의 모든 사업장에서 실시하고 있으므로 이들 자료를 모아 통계적으로 분석하면 크실렌의 노출에 관한 현황을 추정하거나 파악할 수

있을 것이다.

본 연구는 지난 6년간 모 작업환경측정 및 특수건강진단 기관에서 광주광역시와 전남지역을 대상으로 실시한 작업환경측정 결과와 특수건강진단 자료 중에서 공기 중 크실렌 노출농도와 생물학적 노출지표로 사용되는 소변 중 메틸 마뇨산 자료를 분석하여 크실렌의 노출 현황과 고위험군을 파악하고자 수행되었다. 본 연구결과를 통하여 대표적인 유기용제의 하나인 크실렌의 작업환경 측정, 개선 및 근로자 건강관리 그리고 관련 정책수립과 개발에 필요한 기초자료 제공을 목적으로 하였다.

# 제 2 장 연구대상 및 방법

## 제 1 절 연구 대상

### 1) 연구자료

본 연구는 2018년부터 2023년까지 6년간 광주광역시와 전남 일부 지역을 대상으로 실시한 작업환경측정 결과 중 공기 중 크실렌 농도에 관한 자료와 크실렌 작업자를 대상으로 실시한 특수건강진단 자료에서 소변 중 메틸 마뇨산 농도에 관한 자료를 분석한 것이다.

6년간 작업환경측정을 실시한 사업장은 연평균 246개 정도였으며, 공기 중 크실렌 농도 측정 누적 건수는 4,744건으로 연평균은 약 767건이었다.

소변 중 메틸 마뇨산은 누적 건수로 10,161건으로 연평균 1,694건이었다.

### 2) 작업환경측정 방법

본 연구에서 활용한 작업환경측정 자료는 다음과 같은 방법으로 공기 중 크실렌 농도를 측정한 것이다.

#### 가) 공기 중 크실렌 측정 방법

크실렌 채취시에는 개인시료채취펌프(MSA사 ESCORT ELF)를 사용하여 작업장 공기를 활성탄관(SKC 226-01 Coconut shell charcoal, 100 mg/50 mg)에 연결하여 유량 0.2L/min 이하로 공기량 최소 2L, 최대 23L로 식사시간을 제외하고 6시간 이상 포집하였다.

#### 나) 크실렌 시료 분석방법

크실렌이 포집된 활성탄관은 1mL 이황화탄소(99.9%)를 주입, 탈착한

후 GC-FID(가스그래마토그래프-불꽃이온화검출기)에 분석하였다. 본 연구의 분석장비의 분석조건은 〈표 1〉와 〈표 2〉와 같다.

〈표 1〉 GC-FID(가스그래마토그래프-불꽃이온화검출기)의 분석조건

| | |
|---|---|
| Model | Agilent Technologies 7890B |
| Column. | DB-wax(30 m×0.25 ㎛ ×0.25 ㎜, Agilent) |
| Column oven Temp. | 40℃(8min)-100℃(8 ℃/min, 3min)-170℃(25℃/min, 4min) |
| Injector Temp. | 230 ℃ (Split ratio: 70) |
| Detector Temp. | 250 ℃ |
| Carrier gas. | N2, 30 mL/min |
| Injection volume | 1 ㎕ |

〈표 2〉 GC-FID(가스그래마토그래프-불꽃이온화검출기)의 분석조건

| | |
|---|---|
| Model | GC-2010 Plus |
| Column. | DB-wax(30 m×0.25 ㎛ ×0.25 ㎜, Agilent) |
| Column oven Temp. | 40℃(8min)-100℃(8 ℃/min, 3min)-170℃(25℃/min, 4min) |
| Injector Temp. | 230 ℃ (Split ratio: 70) |
| Detector Temp. | 250 ℃ |
| Carrier gas. | N2, 30 mL/min |
| Injection volume | 1 ㎕ |

### 3) 소변 중 메틸마뇨산 측정 방법

#### 가) 소변 시료의 채취

크실렌에 노출된 작업자는 작업종료 직후에는 가장 높은 농도를 유지하다가 수 시간 이내에 농도가 급격히 낮아지므로 크실렌의 생물학적 반감기를 고려하여 당일(당일 작업종료 2시간 전부터 직후)안에 해야 한다.

본 연구에서는 작업현장과 원내에 방문한 수검자와의 인터뷰나 문진표를 통하여 최대한 작업종료 후 2시간 이내, 쉬는 시간이나 교대 시간대를 맞춰 시료채취를 실시하였다.

#### 나) 소변 중 메틸 마뇨산의 분석

채취된 소변 중 메틸 마뇨산은 고성능액체크로마토그래피(High-performance liquid chromatography, HPLC, 이하 'HPLC'라 함)으로 분석하였다. 2018년 1월 1일부터 2019년 12월 16일까지 사용되었던 HPLC의 분석조건은 〈표 3〉과 같고, 그 이후부터 2023년 12월 31일까지 HPLC 분석조건은 〈표 4〉와 같다. 분석은 2018년 3월에서 2020년 2월까지, 2020년 1월부터 12월까지, 2021년 1월부터 2023년 12월까지 각각 다른 분석자에 의해 분석이 이루어졌다.

**〈표 3〉 고성능 액체크로마토그래피(HPLC)의 분석조건**

| | |
|---|---|
| 분석기기 | Thermo U-3000 HPLC System |
| 컬럼 | Hypersil GOLD C18 5㎛(4.6mm×150mm) |
| Detector | UV 225nm |
| 시료 유속 | 1.5㎖/min |
| 시료 주입량 | 10㎕ |

〈표 4〉 고성능 액체크로마토그래피(HPLC)의 분석조건

| | |
|---|---|
| 분석기기 | Agilent 1200(HPLC) |
| 컬럼 | Zorboxe clipse XDB-C18 5㎛(4.6mm×150mm) |
| Detector | UV 225nm |
| 시료 유속 | 1.5㎖/min |
| 시료 주입량 | 10㎕ |

## 제 2 절 연구 방법

2018년부터 2023년까지 실시한 작업환경측정 자료와 소변 중 메틸 마뇨산 자료를 취합하여 측정일, 업종, 규모 등의 항목과 측정결과의 데이터를 확인하였다.

확인된 데이터는 정규분포와 기하분포 2가지를 가정하여 평균과 표준편차 그리고 기하평균과 기하표준편차 등 기본 통계량을 산출하였다. 기본 통계량으로 기준치를 초과할 확률을 구하여 고위험군의 규모를 추정하였다.

각 데이터는 노출기준을 초과하는 건수와 비율을 확인하였으며, 노출기준의 50%를 초과하는 잠재적 고위험군을 파악하고 그 특성을 분석하였다.

# 제 3 장  연구 결과

## 제 1 절  공기 중 크실렌 농도

### 1)  연도별 공기 중 크실렌 노출농도

본 연구에서 취합한 광주광역시와 전남지역의 일부 사업장을 대상으로 2018년부터 2023년까지 실시한 작업환경측정 결과 중, 공기 중 크실렌 농도를 산업안전보건법에 의거하여 실시한 작업환경측정결과에 따른 값들을 취합한 결과는 〈표 5〉와 같다.

2018년부터 2023년까지 공기 중 크실렌 측정 대상 사업장은 연평균 400개소였으며, 측정건수는 연평균 767건으로 낮은 경우 714건(2021년)에서 높은 경우는 842건(2018년)이었다.

크실렌이 검출된 시료 수는 2018년에는 847개의 시료 중 378건(44.9%)으로 가장 많았으며, 2019년에는 752개의 시료 중 189건(25.1%), 이후로 꾸준히 감소하여 2023년에는 945개의 시료 중 136건(17.2%)으로 나타났다.

또한, 2020년에는 특히 표준편차가(SD) 187.9 ppm, 상대표준편차(RSD)가 720%로 매우 크게 나타났다. 이것은 측정치 중의 1개가 1706.3 ppm으로 매우 높았기 때문이었다. 이 측정값은 병리과 염색공정에서 측정한 값으로 우리나라 고용노동부의 직업적 노출기준인 100 ppm을 17배 초과하였다. 그 이후로 크실렌 농도는 노출기준 미만으로 평가 되었다.

2020년도에 이 값을 제외하면 평균 5.0 ppm, 표준편차 5.42 ppm으로 다른 연도와 유사한 것으로 나타났다.

〈표 5〉 연도별 크실렌 작업환경 측정 수 및 공기 중 크실렌 농도

| 연도 | 반기 | 사업장수 | 측정건수 | 검출건수(%) | 검출 시료의 공기 중 농도(ppm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | AM | SD | GM | GSD |
| 2018 | 상반기 | 249 | 447 | 190(42.5) | 5.0 | 8.07 | 3.1 | 2.50 |
| | 하반기 | 242 | 400 | 188(47.0) | 5.5 | 11.2 | 3.0 | 2.61 |
| 2019 | 상반기 | 259 | 418 | 134(32.1) | 4.2 | 6.31 | 2.1 | 3.21 |
| | 하반기 | 181 | 334 | 55(16.5) | 8.0 | 7.39 | 5.3 | 2.51 |
| 2020 | 상반기 | 215 | 399 | 82(20.6) | 26.1 | 187.9 | 4.1 | 2.71 |
| | | | | 81(20.3)* | 5.3 | 6.24 | 3.8 | 2.10 |
| | 하반기 | 188 | 363 | 58(16.0) | 4.5 | 3.80 | 3.6 | 1.91 |
| 2021 | 상반기 | 183 | 379 | 66(17.4) | 8.1 | 15.9 | 3.3 | 3.01 |
| | 하반기 | 171 | 335 | 57(17.0) | 5.5 | 6.87 | 3.6 | 2.26 |
| 2022 | 상반기 | 178 | 357 | 54(15.1) | 4.3 | 3.01 | 3.4 | 2.06 |
| | 하반기 | 170 | 367 | 63(17.2) | 3.3 | 3.53 | 2.2 | 2.41 |
| 2023 | 상반기 | 190 | 481 | 61(12.7) | 4.2 | 5.22 | 2.5 | 2.68 |
| | 하반기 | 178 | 464 | 75(16.2) | 2.5 | 2.97 | 1.6 | 2.36 |
| 평균 | 상반기 | 200 | 395 | 90(22.8) | 5.0 | 6.71 | 3.1 | 2.47 |
| | 하반기 | | | 83(21.9) | 4.9 | 5.96 | 3.2 | 2.34 |

* 측정시료 1개의 고농도값(1,706.3 ppm)을 제외. 전체 평균은 이값을 제외

### 2) 크실렌 노출농도의 결과 분포

〈표 6〉에서는 공기 중 크실렌 노출농도의 결과 분포를 보여주며, 총 사업장 수는 2018년 491개에서 2023년 348개로 감소하였다. 50~99 ppm 농도 범위의 사업장 수는 2018년 5개에서 2020년 1개로 감소했으나, 2021년에는 4개로 다시 증가했다. 이후 2023년에는 기록되지 않았다.

전체적으로 10 ppm 미만의 안전 수준에 해당하는 사업장의 비중이 모든 연도에서 가장 높았으며, 2018년부터 2023년까지의 공기 중 크실렌 노출농도의 분포 결과는 전반적으로 노출 수준이 감소하고 있음을 보여준다. 그러나 고농도 노출 사업장의 특정 연도 증가와 같은 위험 요소는 여전히 존재하며, 이에 대한 관리와 개선이 필요하다.

**〈표 6〉 공기 중 크실렌 노출농도의 결과 분포**

| 연도 | 사업장수 | 측정건수 | 크실렌 농도 (ppm) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 〈2 | ≥2~〈5 | ≥5~〈10 | ≥10~〈20 | ≥20~〈50 | ≥50~〈100 |
| 2018 | 491 | 847 | 568 | 188 | 60 | 15 | 11 | 5 |
| 2019 | 440 | 752 | 641 | 59 | 16 | 25 | 11 | - |
| 2020 | 403 | 762 | 648 | 67 | 35 | 9 | 2 | 1 |
| 2021 | 354 | 714 | 626 | 63 | 7 | 7 | 7 | 4 |
| 2022 | 348 | 724 | 656 | 39 | 22 | 7 | - | - |
| 2023 | 368 | 945 | 892 | 28 | 14 | 9 | 2 | - |
| 계 | 2,404 | 4,744 | 4,031 | 444 | 154 | 72 | 33 | 10 |

공기 중 크실렌 노출농도를 20 ppm 을 넘어서는 업종은 주로 제조업 업종이며, 공정은 대부분이 도장공정으로 아래 〈표 7〉과 같이 나타났다.

〈표 7〉 공기 중 크실렌 노출농도의 결과 분포

| 연도 | 반기 | 세부업종 | 공정 | 농도(ppm) |
|---|---|---|---|---|
| 2018 | 상반기 | 금속절삭기계 제조업 | 도장 | 39.1 |
| 2018 | 상반기 | 금속가공제품 제조업 | 도장 | 24.0 |
| 2018 | 상반기 | 금속제품 제조업 | 도장 | 24.9 |
| 2018 | 상반기 | 금속제품 제조업 | 도장 | 23.2 |
| 2018 | 상반기 | 금속골조구조재제조업 | 도장 | 25.2 |
| 2018 | 상반기 | 건설업 | 코팅 | 59.3 |
| 2018 | 상반기 | 금속공작물 제조업 | 도장 | 71.4 |
| 2018 | 상반기 | 금속공작물 제조업 | 도장 | 24.1 |
| 2018 | 하반기 | 건설업 | 도장 | 72.4 |
| 2018 | 하반기 | 건설업 | 도장 | 27.1 |
| 2018 | 하반기 | 건설업 | 코팅 | 32.3 |
| 2018 | 하반기 | 건설업 | 코팅 | 23.0 |
| 2018 | 하반기 | 금속공작물 제조업 | 도장 | 94.6 |
| 2018 | 하반기 | 금속공작물 제조업 | 도장 | 26.2 |
| 2018 | 하반기 | 금속공작물 제조업 | 도장 | 49.0 |
| 2018 | 하반기 | 금속공작물 제조업 | 도장 | 77.1 |
| 2019 | 상반기 | 금속가공제품 제조업 | 도장 | 32.8 |
| 2019 | 상반기 | 금속공작물 제조업 | 도장 | 23.8 |
| 2019 | 상반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 23.3 |
| 2019 | 상반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 29.2 |
| 2019 | 상반기 | 금속골조구조재 제조업 | 도장 | 39.4 |
| 2019 | 하반기 | 금속절삭기계 제조업 | 도장 | 21.0 |
| 2019 | 하반기 | 금속가공제품 제조업 | 도장 | 23.2 |

| 연도 | 반기 | 세부업종 | 공정 | 농도(ppm) |
|---|---|---|---|---|
| 2019 | 하반기 | 금속가공제품 제조업 | 도장 | 23.9 |
| 2019 | 하반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 22.2 |
| 2019 | 하반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 27.7 |
| 2019 | 하반기 | 병리검사 의원 | 염색 | 27.6 |
| 2020 | 상반기 | 병리검사 의원 | 염색 | 1706.3 |
| 2020 | 상반기 | 병리검사 의원 | 염색 | 49.4 |
| 2020 | 하반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 20.6 |
| 2021 | 상반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 67.0 |
| 2021 | 상반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 57.3 |
| 2021 | 상반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 29.7 |
| 2021 | 상반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 30.1 |
| 2021 | 상반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 68.5 |
| 2021 | 상반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 66.5 |
| 2021 | 상반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 33.1 |
| 2021 | 하반기 | 금속가공제품 제조업 | 도장 | 21.4 |
| 2021 | 하반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 31.2 |
| 2021 | 하반기 | 선박구성부분품 제조업 | 도장 | 31.4 |
| 2021 | 하반기 | 금속골조구조재 제조업 | 도장 | 21.8 |
| 2023 | 상반기 | 금속가공업 | 도장 | 21.8 |
| 2023 | 상반기 | 물품취급장비 제조업 | 도장 | 25.2 |

### 3) 연도별 소변 중 메틸 마뇨산 검진 수 및 농도

〈표 8〉은 2018년부터 2023년까지의 크실렌 작업자의 소변 중 메틸 마뇨산 검출 데이터를 바탕으로 각 연도의 산술평균(AM), 표준편차(SD), 기하평균(GM), 그리고 기하표준편차(GSD) 값을 제공한다. 〈표 8〉에서 확인되듯이 2018년 검출률은 20.6%로 나타났으나, 2019년부터는 75.8%로 대폭 증가하였고, 23년에는 99.1%로 대부분의 시료에서 소변 중 메틸 마뇨산이 검출 되었다. 평균농도는 2018년 0.07 g/g Cr. 에서 2019년 0.17 g/g Cr., 2020년 0.19 g/g Cr. 으로 점차 증가하며, 이후 2023년까지 완만히 안정화 되었다. 표준편차는 2018년 0.11 g/g Cr.에서 2020년 0.23 g/g Cr.으로 증가하여 데이터의 변동성이 커짐을 나타낸다. 기하평균은 2018년 0.04 g/g Cr. 에서 2020년 0.10 g/g Cr. 으로 증가하며, 상대적으로 중앙값이 상승했습니다.

2018년 이후로 분석 장비 개선으로 인하여, 데이터의 신뢰도를 높여 이후의 변화 추이를 더 정확히 반영하게 되었다.

**〈표 8〉 연도별 소변 중 메틸 마뇨산 검진 수 및 농도**

| 연도 | 사업장수 | 측정건수 | 소변 중 메틸 마뇨산의 농도(g/g Cr.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | N(%) | AM | SD | GM | GSD |
| 2018 | 167 | 1,404 | 289(20.6) | 0.07 | 0.11 | 0.04 | 2.29 |
| 2019 | 217 | 1,881 | 1,426(75.8) | 0.17 | 0.22 | 0.09 | 3.15 |
| 2020 | 217 | 1,408 | 1,038(73.7) | 0.19 | 0.23 | 0.10 | 3.46 |
| 2021 | 216 | 1,510 | 1,282(84.9) | 0.12 | 0.13 | 0.21 | 2.97 |
| 2022 | 242 | 1,800 | 1,776(98.7) | 0.13 | 0.13 | 0.09 | 2.63 |
| 2023 | 242 | 2,158 | 2,139(99.1) | 0.17 | 0.10 | 0.11 | 2.57 |
| 평균 | 217 | 1,694 | 1,325(78.2) | 0.15 | 0.16 | 0.11 | 2.93 |

### 4) 소변 중 메틸 마뇨산의 50% 초과 및 100% 초과 건수 및 비율 분석

아래의 〈표 9〉는 ACGIH 노출기준의 50% 초과 및 100% 초과여부를 연도별로 정리한 결과이다. 평균적으로 0.15 g/g Cr. 초과율은 26.4%, 0.3 g/g Cr. 의 초과율은 9.6%로 나타났으며, 이는 상당수의 작업자가 노출기준을 초과하는 환경에서 일하고 있음을 보여준다. 측정 데이터 중 소변 중 메틸마뇨산 농도가 확인된 비율은 2018년 20.6%에서 2023년 99.1%로 상승하여 데이터 수집의 정확성과 신뢰도가 향상되었다.

**〈표 9〉 연도별 소변 중 메틸 마뇨산 검진 수 및 농도**

| 연도 | 사업장수 | 측정건수 | 소변 중 메틸 마뇨산의 농도(g/g Cr.) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | N(%) | 0.15 초과건수(%) | 0.3 초과건수(%) |
| 2018 | 167 | 1,404 | 289(20.6) | 24(1.7) | 10(0.7) |
| 2019 | 217 | 1,881 | 1,426(75.8) | 502(26.7) | 236(12.5) |
| 2020 | 217 | 1,408 | 1,038(73.7) | 440(31.3) | 200(14.2) |
| 2021 | 216 | 1,510 | 1,282(84.9) | 312(20.7) | 102(6.8) |
| 2022 | 242 | 1,800 | 1,776(98.7) | 517(28.7) | 160(8.9) |
| 2023 | 242 | 2,158 | 2,139(99.1) | 885(41.0) | 267(12.4) |
| 평균 | 217 | 1,694 | 1,325(78.2) | 447(26.4) | 163(9.6) |

### 5) 연도별 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 정규분포

2018년부터 2023년까지 측정된 소변 중 메틸 마뇨산의 평균과 표준편차를 활용하여 ACGIH 노출기준 0.3 g/g Cr. 이상일 확률을 정규분포로 바꾸어 계산한 표는 〈표 10〉과 같다.

**〈표 10〉 연도별 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 및 기준 초과확률**

| 연도 | 사업장수 | 측정건수 | 검출건수 (검출률, %) | GM | GSD | 0.5배 초과율(%) | 1배 초과율(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2018 | 167 | 1404 | 289(20.6) | 0.04 | 2.29 | 5.5 | 0.7 |
| 2019 | 217 | 1881 | 1426(75.8) | 0.09 | 3.15 | 32.6 | 14.7 |
| 2020 | 217 | 1408 | 1038(73.7) | 0.10 | 3.46 | 37.1 | 18.7 |
| 2021 | 216 | 1510 | 1282(84.9) | 0.21 | 2.97 | 37.8 | 37.1 |
| 2022 | 242 | 1800 | 1776(98.7) | 0.09 | 2.63 | 29.8 | 10.6 |
| 2023 | 242 | 2158 | 2139(99.1) | 0.11 | 2.57 | 37.1 | 14.5 |
| 평균 | 217 | 1694 | 1325(78.2) | 0.11 | 2.93 | 38.6 | 17.6 |

* 검진건수 대비 소변 중 메틸 마뇨산 검출된 시료 수의 백분율
1) 소변 중 메틸 마뇨산의 노출기준은 ACGIH의 권고기준인 0.3 g/g Cr. 으로 함.

본 분석 결과 20년과 21년에 ACGIH 기준을 초과할 확률이 18.7%~37.1%로 급증한 반면, 이후에는 10%대로 나타내고 있다.

### 6) 작업환경측정과 특수건강진단을 같이 진행한 작업자의 크실렌 농도

크실렌 노출사업장의 작업환경측정과 특수건강진단을 같이 실시한 자료로, 공기 중 크실렌의 개인노출농도와 특수건강진단 결과인 소변 중 메틸 마뇨산 농도가 쌍으로 있는 경우의 자료만 추출하여 크실렌 농도를 나타낸 것은 〈표 11〉와 같다.

〈표 11〉에서 나타나 듯 크실렌은 2018년에는 130개의 시료 중 43.1%에서 크실렌이 검출되었고, 평균농도는 4.35 ppm로 나타났습니다. 2018년 이후 사업장의 크실렌 검출율은 점진적으로 감소하는 경향을 보이고 있으며, 2022년부터는 크실렌 노출농도도 감소하는 경향을 보이고 있다.

**〈표 11〉 연도별 작업환경측정과 특수건강진단을 같이 진행한 작업자의 크실렌 농도**

| 연도 | 측정건수 | 크실렌이 검출된 시료의 공기 중 농도(ppm) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | N(%*) | AM | SD | GM | GSD |
| 2018 | 130 | 56(43.1) | 4.35 | 5.35 | 3.13 | 2.19 |
| 2019 | 110 | 24(21.9) | 5.26 | 8.27 | 2.2 | 3.95 |
| 2020 | 25 | 2(8.0) | 6.22 | 1.41 | 6.13 | 1.26 |
| 2021 | 125 | 24(19.2) | 5.58 | 5.33 | 3.93 | 2.29 |
| 2022 | 121 | 16(13.2) | 1.94 | 1.29 | 1.55 | 2.06 |
| 2023 | 102 | 26(25.5) | 1.82 | 1.44 | 1.49 | 1.83 |
| 평균 | 102 | 25(2) | 4.91 | 4.39 | 3.61 | 2.31 |

* 측정건수 대비 크실렌이 검출된 시료 수의 백분율

### 7) 작업환경측정과 특수건강진단을 같이 진행한 작업자의 소변 중 메틸 마뇨산의 농도

〈표 12〉에서는 크실렌 검출여부에 따른 작업자의 소변 중 메틸 마뇨산의 평균농도는 연도별로 다르게 나타나며, 크실렌이 검출된 사례는 전체 24.0%를 차지했으며, 검출된 그룹의 소변 중 메틸 마뇨산의 평균농도는 0.22 g/g Cr. 기하평균은 0.15 g/g Cr. 이고, 불검출 그룹 평균은 0.17 g/g Cr. 기하평균은 0.11 g/g Cr. 으로 크실렌 검출 그룹은 불검출 그룹에 비해 상대적으로 높게 나온다. 작업환경의 크실렌 농도가 높은 지역의 작업자는 소변 중 메틸 마뇨산의 농도도 높게 나온 것으로 확인된다.

기하표준편차는 검출 그룹이 불검출 그룹보다 일관된 분포를 보였으나, 전체적으로 비슷한 범위를 나타났다.

2018년에는 검출 그룹의 평균농도가 상대적으로 낮았으나, 2020년과 2023년에는 증가하는 경향을 보인다. 불검출 그룹의 평균은 전반적으로 안정적이나, 기하평균은 크실렌 노출이 적을수록 낮은 값을 보이는 경향을 확인할 수 있다.

〈표 12〉 연도별 크실렌 검출여부에 따른 소변 중 메틸 마뇨산의 농도

| 연도 | 공기 중 크실렌 | | 소변 중 메틸 마뇨산 농도 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 검출 여부 | 개수(%) | AM | SD | GM | GSD |
| 2018 | 검출 | 56(43.1) | 0.09 | 0.11 | 0.06 | 2.48 |
| | 불검출 | 74(56.9) | 0.08 | 0.17 | 0.04 | 2.96 |
| 2019 | 검출 | 24(21.9) | 0.26 | 0.29 | 0.15 | 3.06 |
| | 불검출 | 86(78.1) | 0.26 | 0.32 | 0.14 | 3.19 |
| 2020 | 검출 | 2(8.0) | 0.38 | 0.03 | 0.38 | 1.08 |
| | 불검출 | 23(92.0) | 0.26 | 0.26 | 0.19 | 2.06 |
| 2021 | 검출 | 24(19.2) | 0.20 | 0.42 | 0.09 | 3.29 |
| | 불검출 | 101(80.8) | 0.09 | 0.13 | 0.07 | 3.01 |
| 2022 | 검출 | 16(13.2) | 0.14 | 0.13 | 0.09 | 2.49 |
| | 불검출 | 105(86.8) | 0.14 | 0.16 | 0.09 | 2.62 |
| 2023 | 검출 | 26(25.5) | 0.22 | 0.19 | 0.15 | 2.44 |
| | 불검출 | 76(74.5) | 0.16 | 0.12 | 0.12 | 2.34 |
| 계 | 검출 | 147(24.0) | 0.22 | 0.20 | 0.15 | 2.47 |
| | 불검출 | 465(76.0) | 0.17 | 0.19 | 0.11 | 2.70 |

### 8) 작업환경측정과 특수건강진단을 같이 진행한 작업자의 소변 중 메틸 마뇨산의 농도의 정규분포

〈표 13〉에서는 크실렌 검출 여부에 따른 소변 중 메틸 마뇨산의 노출이 0.3 g/g Cr. 이상 나올 확률을 나타냈다. 2019년부터 2023년까지 0.3 g/g Cr. 이상 나올 경우는 불검출 그룹에 비해 검출 그룹에서 일관적으로 높게 나타났습니다. 이는 작업환경에서 크실렌 노출이 소변 중 메틸 마뇨산의 농도에 직접적 영향을 미친다는 것을 보인다.

〈표 13〉 연도별 크실렌 검출여부에 따른 소변 중 메틸 마뇨산의 농도의 정규 분포

| 연도 | 크실렌 | | 소변 중 메틸 마뇨산 농도 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 검출 여부 | 개수(%) | GM | GSD | 0.5배 초과율(%) | 1배 초과율(%) |
| 2018 | 검출 | 56(43.1) | 0.06 | 2.48 | 45.2 | 3.8 |
| | 불검출 | 74(56.9) | 0.04 | 2.96 | 11.1 | 3.1 |
| 2019 | 검출 | 24(21.9) | 0.15 | 3.06 | 50.0 | 26.8 |
| | 불검출 | 86(78.1) | 0.14 | 3.19 | 47.6 | 25.5 |
| 2020 | 검출 | 2(8.0) | 0.38 | 1.08 | 50.0 | 0.1 |
| | 불검출 | 23(92.0) | 0.19 | 2.06 | 37.1 | 26.4 |
| 2021 | 검출 | 24(19.2) | 0.09 | 3.29 | 33.4 | 15.6 |
| | 불검출 | 101(80.8) | 0.07 | 3.01 | 24.5 | 9.3 |
| 2022 | 검출 | 16(13.2) | 0.09 | 2.49 | 28.8 | 9.3 |
| | 불검출 | 105(86.8) | 0.09 | 2.62 | 29.8 | 10.6 |
| 2023 | 검출 | 26(25.5) | 0.15 | 2.44 | 50.0 | 21.8 |
| | 불검출 | 76(74.5) | 0.12 | 2.34 | 39.7 | 14.0 |
| 계 | 검출 | 147(24.0) | 0.15 | 2.47 | 50.0 | 22.1 |
| | 불검출 | 465(76.0) | 0.11 | 2.70 | 37.8 | 15.6 |

## 제 2 절 업종 및 규모별 크실렌 농도와 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 특성 분석

### 1) 업종별 크실렌 농도

본 연구에서 2018년에서 2023년까지 제조업, 수리업, 건설업 및 기타업종에서 연도별로 공기 중의 크실렌 농도데이터를 수집하였다. 데이터 분석은 각 평균값(AM), 표준편차(SD), 기하평균(GM), 기하표준편차(GSD)를 사용하여 수행했습니다.

**〈표 14〉 전남지역 일부 크실렌 노출사업장 업종별 사업장 현황**

| 분류 / 연도 | 크실렌 노출사업장 수 (개소) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 계 | 제조업 | 수리업 | 건설업 | 병원 | 기타업 |
| 2018 | 280 | 121 | 122 | 13 | 11 | 13 |
| 2019 | 283 | 129 | 124 | 8 | 9 | 13 |
| 2020 | 235 | 114 | 92 | 9 | 7 | 18 |
| 2021 | 135 | 103 | 74 | 5 | 5 | 15 |
| 2022 | 166 | 71 | 67 | 6 | 8 | 14 |
| 2023 | 215 | 108 | 73 | 8 | 10 | 16 |
| 계 (%) | 1314 (100) | 646 (49.2) | 552 (42.0) | 49 (3.73) | 50 (3.81) | 89 (6.77) |

〈표 14〉에서 업종별로는 제조업과 수리업에서 전체 약 90%정도 크실렌을 사용하고 있으며, 나머지 업종은 비슷한 수준으로 사용하고 있다.

업종별 크실렌 노출농도는 〈표 15〉과 나타나며, 제조업과 수리업의 크실렌 노출 데이터에서 제조업은 평균 크실렌 농도가 2018년 7.2 ppm에서 2021년 10.4 ppm으로 증가했으며, 기하표준편차는 3.0 ppm에서 3.2 ppm으로 소폭

증가하였다. 반면, 수리업은 같은 기간 평균농도가 3.3 ppm에서 2.8 ppm으로 감소하였으며, 기하표준편차도 2.8 ppm에서 1.8 ppm으로 안정화되는 추세를 보였다.

특히, 제조업에서는 2021년에 표준편차가 17.1 ppm으로 증가하여 특정 환경에서 높은 농도의 노출이 발생했을 가능성을 시사한다. 수리업의 기하평균은 제조업보다 낮은 경향을 보여 상대적으로 노출농도가 낮음을 확인됐다. 이러한 결과는 업종별 작업환경과 화학물질 관리 수준의 차이를 반영하며, 제조업의 특정 공정(중공업)에서의 관리가 특히 중요함을 강조한다. 마찬가지로 병원에서는 2021년 표준편차 566 ppm으로 증가한 것은 특정 환경(병리과)에서 일시적으로 높은 농도가 발생하였다. 그러나 이 최대값을 포함한 수치는 평상치 않으며, 분석데이터의 신뢰성이 떨어진다. 이상치(최대값)를 제외한 값으로 병원 데이터를 기반으로 한 결과는 〈표 16〉과 같이 나타났다. 이상치가 제거되면서 평균값은 197 ppm에서 8.2 ppm으로 표준편차는 566 ppm에서 16.6 ppm으로 낮아져, 데이터의 분포가 보다 안정적이고 실제적인 상황을 반영했다.

업종별로 나누었을 때 제조업은 중공업 공정에서 선박 내부에서 작업 시 크실렌 노출농도는 높게 나왔으며, 병원의 경우는 병리과에서 조직슬라이드 제작 시 투명제 및 탈 파라핀제의 용도로 크실렌 사용시 노출농도는 높게 나왔다.

〈표 15〉 업종별 크실렌 노출농도

| 구분 | | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 제조업 | 사업장수 | 121 | 129 | 114 | 103 | 71 | 108 | 646 |
| | 측정건수 | 415 | 393 | 395 | 338 | 372 | 524 | 2,437 |
| | AM | 7.2 | 7.7 | 5.9 | 10.4 | 5.1 | 4.6 | 6.8 |
| | SD | 13.2 | 8.7 | 4.6 | 17.1 | 4.0 | 5.3 | 8.8 |
| | GM | 3.6 | 3.8 | 4.5 | 4.6 | 3.7 | 2.7 | 3.8 |
| | GSD | 3.0 | 3.7 | 2.1 | 3.2 | 2.3 | 2.8 | 2.8 |
| 수리업 | 사업장수 | 122 | 124 | 92 | 74 | 67 | 73 | 552 |
| | 측정건수 | 295 | 235 | 236 | 239 | 249 | 272 | 1,526 |
| | AM | 3.3 | 3.2 | 3.3 | 2.8 | 2.6 | 1.9 | 2.8 |
| | SD | 2.3 | 3.34 | 2.3 | 1.9 | 2.5 | 1.9 | 2.4 |
| | GM | 2.6 | 2.0 | 2.8 | 2.4 | 2.0 | 1.4 | 2.2 |
| | GSD | 1.0 | 2.8 | 1.7 | 1.8 | 2.0 | 2.1 | 1.9 |
| 건설업 | 사업장수 | 13 | 8 | 9 | 5 | 6 | 8 | 49 |
| | 측정건수 | 40 | 30 | 30 | 12 | 17 | 34 | 163 |
| | AM | 24.1 | - | 4.7 | - | 3.3 | 3.7 | 9.0 |
| | SD | 25.0 | - | 2.1 | - | 2.8 | 3.4 | 8.3 |
| | GM | 10.0 | - | 4.3 | - | 2.3 | 2.9 | 4.9 |
| | GSD | 5.6 | - | 1.6 | - | 2.4 | 2.1 | 2.9 |
| 병원 | 사업장수 | 11 | 9 | 7 | 5 | 8 | 10 | 50 |
| | 측정건수 | 52 | 48 | 41 | 33 | 41 | 41 | 256 |
| | AM | 1.8 | 6.4 | 197.0 | 1.6 | 3.7 | 2.0 | 35.4 |
| | SD | 0.9 | 8.0 | 566 | 0.3 | 2.5 | 1.3 | 96.5 |
| | GM | 1.6 | 4.0 | 6.7 | 1.6 | 3.0 | 1.7 | 3.1 |
| | GSD | 1.8 | 2.5 | 10.1 | 1.2 | 2.0 | 2.0 | 3.3 |
| 기타 | 사업장수 | 13 | 13 | 18 | 15 | 14 | 16 | 89 |
| | 측정건수 | 47 | 46 | 59 | 68 | 69 | 73 | 362 |
| | AM | - | - | - | - | - | - | - |
| | SD | - | - | - | - | - | - | - |
| | GM | - | - | - | - | - | - | - |
| | GSD | - | - | - | - | - | - | - |

〈표 16〉 20년도 최대값을 제외한 병원의 크실렌 작업환경 측정 수 및 공기 중 크실렌 농도

| | 병원 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 사업장수 (개) | 측정 건수 | AM | SD | GM | GSD |
| 2018 | 11 | 52 | 1.83 | 0.87 | 1.60 | 1.78 |
| 2019 | 9 | 48 | 6.36 | 8.02 | 4.01 | 2.52 |
| 2020 | 6 | 41 | 8.21 | 16.6 | 3.37 | 2.99 |
| 2021 | 5 | 33 | 1.63 | 0.33 | 1.60 | 1.24 |
| 2022 | 8 | 41 | 3.70 | 2.53 | 2.99 | 1.98 |
| 2023 | 10 | 41 | 2.03 | 1.29 | 1.68 | 1.98 |
| 계 | 49 | 256 | 3.96 | 4.94 | 2.54 | 2.08 |

### 2) 업종별 소변 중 메틸 마뇨산 수치

2018년부터 2020년까지 메틸 마뇨산 검진 사업장 수는 〈표 17〉와 같이 나타나며, 2018년 164개소에서 2020년 213개소로 늘어났다. 제조업은 각 연도에서 가장 많은 사업장 수를 차지하며, 메틸 마뇨산 노출 관리의 주요 대상임을 확인할 수 있다.

〈표 17〉 업종별 소변 중 메틸 마뇨산 검진사업장 수

| 분류 / 연도 | 소변 중 메틸 마뇨산 검진 사업장 수 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 계 | 제조업 | 수리업 | 건설업 | 병원 | 기타 |
| 2018 | 164 | 113 | 35 | 6 | 3 | 7 |
| 2019 | 204 | 148 | 37 | 4 | 5 | 10 |
| 2020 | 213 | 144 | 39 | 4 | 4 | 22 |
| 2021 | 205 | 140 | 44 | - | 4 | 17 |
| 2022 | 199 | 115 | 43 | 8 | 5 | 28 |
| 2023 | 206 | 156 | 31 | 9 | 5 | 5 |
| 계 (%) | 1191 (100) | 816 (68.5) | 229 (19.2) | 31 (2.6) | 26 (2.2) | 89 (7.5) |

본 연구는 〈표 18〉와 같이 주요 업종에서 측정된 소변 중 메틸 마뇨산 농도를 분석하였다. 제조업은 가장 많은 사업장을 포함하고 있으며, 다른 업종보다 평균값이 상대적으로 높고, 기하표준편차 상대적으로 커서 일부 사업장에서 노출 변동이 높음을 의미한다. 마찬가지로 수리업에서도 표준편차와 기하표준편차가 높게 나타나 특정 작업 환경에서 고위험 노출 가능성이 확인되었다.

〈표 18〉 업종별 소변 중 메틸 마뇨산의 농도

| 구분 | | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 제조업 | 사업장수 | 113 | 148 | 144 | 140 | 115 | 156 | 816 |
| | 측정건수 | 1,076 | 1,312 | 989 | 1,082 | 497 | 1,529 | 6,485 |
| | AM | 0.07 | 0.20 | 0.22 | 0.12 | 0.12 | 0.17 | 0.15 |
| | SD | 0.11 | 0.23 | 0.27 | 0.13 | 0.11 | 0.15 | 0.17 |
| | GM | 0.04 | 0.11 | 0.12 | 0.07 | 0.09 | 0.12 | 0.09 |
| | GSD | 1.00 | 3.05 | 3.42 | 3.08 | 2.44 | 2.59 | 2.60 |
| 수리업 | 사업장수 | 35 | 37 | 39 | 44 | 43 | 31 | 229 |
| | 측정건수 | 79 | 98 | 106 | 134 | 131 | 99 | 647 |
| | AM | 0.05 | 0.12 | 0.11 | 0.10 | 0.10 | 0.15 | 0.11 |
| | SD | 0.03 | 0.14 | 0.14 | 0.11 | 0.10 | 0.12 | 0.11 |
| | GM | 0.04 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.11 | 0.07 |
| | GSD | 1.85 | 2.93 | 2.98 | 2.56 | 2.42 | 2.29 | 2.51 |
| 건설업 | 사업장수 | 6 | 4 | 4 | - | 8 | 9 | 31 |
| | 측정건수 | 24 | 44 | 32 | - | 32 | 23 | 155 |
| | AM | 0.12 | 0.18 | 0.24 | - | 0.11 | 0.13 | 0.16 |
| | SD | 0.12 | 0.18 | 0.24 | - | 0.14 | 0.08 | 0.15 |
| | GM | 0.08 | 0.10 | 0.13 | - | 0.06 | 0.01 | 0.08 |
| | GSD | 2.36 | 3.40 | 3.98 | - | 2.70 | 2.76 | 3.04 |
| 병원 | 사업장수 | 3 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 26 |
| | 측정건수 | 27 | 41 | 36 | 33 | 37 | 41 | 215 |
| | AM | 0.02 | 0.24 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.20 | 0.14 |
| | SD | - | 0.25 | 0.09 | 0.11 | 0.10 | 0.16 | 0.01 |
| | GM | 0.02 | 0.12 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.13 | 0.08 |
| | GSD | 1.00 | 3.82 | 3.07 | 2.84 | 2.90 | 3.01 | 2.77 |
| 기타 | 사업장수 | 7 | 10 | 22 | 17 | 28 | 5 | 89 |
| | 측정건수 | 254 | 380 | 517 | 207 | 265 | 466 | 2,089 |
| | AM | 0.07 | 0.07 | 0.16 | 0.10 | 0.11 | 0.14 | 0.11 |
| | SD | 0.16 | 0.12 | 0.17 | 0.12 | 0.10 | 0.10 | 0.13 |
| | GM | 0.03 | 0.04 | 0.08 | 0.06 | 0.07 | 0.11 | 0.07 |
| | GSD | 2.39 | 2.25 | 3.46 | 2.81 | 2.53 | 2.12 | 2.59 |

### 3) 업종별 소변 중 메틸 마뇨산 농도에 따른 정규분포

업종별 소변 중 메틸 마뇨산 농도이 0.3 g/g Cr.을 초과할 확률을 보여주는 것은 〈표 19〉과 같다. 제조업에서 0.3 g/g Cr. 이상의 농도를 나타낼 확률은 다른 업종보다 높았고, 0.3 g/g Cr. 이상의 농도를 초과할 확률이 2019년 18.4%, 2020년 22.7%로 지속적으로 높게 나타났다. 반면 수리업은 상대적으로 낮은 초과 확률을 기록하였으며, 2020년 9.2%, 2021년은 6.1%로 나타났다.

〈표 19〉 업종별 소변 중 메틸 마뇨산 농도 및 기준 초과율

| 구분 | | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 제조업 | 사업장수(개) | 113 | 148 | 144 | 140 | 115 | 156 | 816 |
| | GM | 0.04 | 0.11 | 0.12 | 0.07 | 0.09 | 0.12 | 0.09 |
| | GSD | 1.00 | 3.05 | 3.42 | 3.08 | 2.44 | 2.59 | 2.60 |
| | 0.5배 초과(%) | 27.4 | 39.0 | 42.9 | 24.8 | 28.4 | 40.9 | 29.8 |
| | 1배 초과(%) | 18.1 | 18.4 | 22.7 | 9.9 | 8.9 | 16.9 | 10.4 |
| 수리업 | 사업장수(개) | 35 | 37 | 39 | 44 | 43 | 31 | 229 |
| | GM | 0.04 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.11 | 0.07 |
| | GSD | 1.85 | 2.93 | 2.98 | 2.56 | 2.42 | 2.29 | 2.51 |
| | 0.5배 초과(%) | 1.6 | 23.9 | 24.2 | 20.9 | 19.5 | 35.6 | 20.3 |
| | 1배 초과(%) | 0.0 | 8.9 | 9.2 | 6.1 | 5.0 | 11.3 | 5.7 |
| 건설업 | 사업장수(개) | 6 | 4 | 4 | - | 8 | 9 | 31 |
| | GM | 0.08 | 0.10 | 0.13 | - | 0.06 | 0.01 | 0.08 |
| | GSD | 2.36 | 3.40 | 3.98 | - | 2.70 | 2.76 | 3.04 |
| | 0.5배 초과(%) | 23.3 | 37.1 | 46.0 | - | 17.9 | 0.4 | 28.4 |
| | 1배 초과(%) | 0.0 | 0.3 | 1.2 | - | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 병원 | 사업장수(개) | 3 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 26 |
| | GM | 0.02 | 0.12 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.13 | 0.08 |
| | GSD | 1.00 | 3.82 | 3.07 | 2.84 | 2.90 | 3.01 | 2.77 |
| | 0.5배 초과(%) | - | 43.3 | 24.8 | 27.4 | 23.6 | 44.8 | 26.8 |
| | 1배 초과(%) | - | 24.8 | 9.7 | 10.2 | 8.5 | 22.4 | 9.7 |
| 기타 | 사업장수(개) | 7 | 10 | 22 | 17 | 28 | 5 | 89 |
| | GM | 0.03 | 0.04 | 0.08 | 0.06 | 0.07 | 0.11 | 0.07 |
| | GSD | 2.39 | 2.25 | 3.46 | 2.81 | 2.53 | 2.12 | 2.59 |
| | 0.5배 초과(%) | 3.2 | 5.2 | 30.5 | 18.7 | 20.6 | 34.1 | 21.2 |
| | 1배 초과(%) | 0.4 | 0.7 | 14.5 | 5.9 | 5.8 | 9.0 | 6.3 |

### 4) 규모별 크실렌 농도

본 연구에서 2018년에서 2023년까지 5인 미만, 50인 미만, 100인 미만, 100인 이상 사업장으로 구분 연도별로 공기 중의 크실렌 농도와 소변 중 메틸 마뇨산 특수건강진단결과를 수집하였다. 데이터 분석은 각 평균값(AM), 표준편차(SD), 기하평균(GM), 기하표준편차(GSD)를 사용하였다.

**〈표 20〉 규모별 크실렌 노출 사업장 수**

| 분류 / 연도 | 크실렌 노출사업장 수 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 계 | 5인 미만 | 50인 미만 | 100인 미만 | 100인 이상 |
| 2018 | 288 | 34 | 195 | 18 | 41 |
| 2019 | 270 | 26 | 196 | 24 | 24 |
| 2020 | 250 | 26 | 161 | 34 | 29 |
| 2021 | 209 | 25 | 130 | 22 | 32 |
| 2022 | 209 | 20 | 135 | 22 | 32 |
| 2023 | 258 | 20 | 136 | 32 | 70 |
| 계<br>(%) | 1484<br>(100) | 151<br>(10.2) | 953<br>(64.2) | 152<br>(10.2) | 228<br>(15.4) |

〈표 20〉과 같이 규모별로는 50인 미만 사업장이 매년 전체 사업장의 약 70% 이상을 차지하며, 크실렌 노출 관리에서 주요 대상으로 나타났다. 100인 미만 및 100인 이상 사업장은 상대적으로 적은 비율을 보였으나, 평균적으로 크실렌 농도와 노출 변동성이 높은 것으로 추정된다.

특히, 5인 미만 소규모 사업장은 매년 10~13%의 비율을 유지하며, 노출 관리에서 간과되기 쉬운 대상임을 시사한다.

규모별 크실렌 농도 2018년부터 크실렌 노출 데이터를 분석한 결과, 〈표 21〉과 같이 50인 미만 사업장이 전체 노출의 주요 비중을 차지하며, 평균 크실렌 평균농도는 4.47 ppm으로 다른 규모의 사업장보다 높게 나타났다. 반면, 5인 미만 소규모 사업장은 평균농도가 3.01 ppm으로 상대적으로 낮았지만, 표준편차가 3.18 ppm으로 높아, 일부 사업장에서의 노출 변동성이 큰 것으로 분석되었다.

또 마찬가지로 50인 미만 사업장 안에 특정공정(병리과)의 최대값을 포함된 수치는 평상치 않으며, 분석데이터의 신뢰성이 떨어진다. 이상치(최대값)를 제외한 값으로 50인 미만 데이터를 기반으로 한 결과는 〈표 22〉와 같이 나타났다. 이상치가 제거되면서 평균값은 22.9 ppm에서 4.59 ppm으로 표준편차는 177 ppm에서 5.72 ppm으로 낮아져, 데이터의 분포가 보다 안정적이고 실제적인 상황이 반영 됐다. 6년 동안의 표준편차 평균값도 33.3 ppm에서 4.78 ppm으로 좀더 신뢰성을 회복 했다.

〈표 21〉 규모별 크실렌 노출농도

| 구분 | | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5인 미만 | 사업장수 | 34 | 26 | 26 | 25 | 20 | 20 | 151 |
| | 측정건수 | 68 | 30 | 60 | 52 | 48 | 49 | 307 |
| | AM | 3.01 | 0.82 | 2.96 | 3.01 | 2.47 | 3.13 | 2.57 |
| | SD | 3.18 | 0.92 | 0.94 | 2.33 | 1.17 | 3.41 | 1.99 |
| | GM | 2.17 | 0.39 | 2.84 | 2.42 | 2.17 | 2.12 | 2.02 |
| | GSD | 2.19 | 4.00 | 1.38 | 1.96 | 1.92 | 2.35 | 2.30 |
| 50인 미만 | 사업장수 | 195 | 196 | 161 | 130 | 135 | 136 | 953 |
| | 측정건수 | 499 | 341 | 466 | 417 | 518 | 515 | 2,756 |
| | AM | 4.47 | 4.32 | 22.9 | 3.75 | 3.77 | 3.07 | 7.05 |
| | SD | 6.14 | 5.15 | 177 | 3.85 | 3.46 | 4.33 | 33.3 |
| | GM | 3.01 | 2.50 | 3.63 | 2.81 | 2.67 | 1.78 | 2.73 |
| | GSD | 2.32 | 2.95 | 2.56 | 1.99 | 2.28 | 2.41 | 2.42 |
| 100인 미만 | 사업장수 | 18 | 24 | 34 | 22 | 22 | 32 | 152 |
| | 측정건수 | 76 | 53 | 92 | 77 | 80 | 127 | 505 |
| | AM | 12.9 | 8.36 | 4.49 | 8.69 | 3.68 | 3.48 | 6.93 |
| | SD | 23.6 | 10.5 | 2.92 | 10.4 | 3.69 | 2.70 | 8.97 |
| | GM | 4.72 | 3.79 | 3.64 | 4.80 | 2.48 | 2.85 | 3.71 |
| | GSD | 3.81 | 4.11 | 2.01 | 3.06 | 2.53 | 1.92 | 2.91 |
| 100인 이상 | 사업장수 | 41 | 24 | 29 | 32 | 32 | 70 | 228 |
| | 측정건수 | 204 | 91 | 144 | 167 | 197 | 373 | 1,176 |
| | AM | 8.89 | 4.77 | 6.78 | 20.8 | 3.90 | 3.65 | 8.13 |
| | SD | 17.4 | 9.15 | 5.05 | 25.3 | 3.13 | 4.06 | 10.7 |
| | GM | 2.81 | 2.15 | 5.24 | 7.92 | 2.71 | 2.33 | 3.86 |
| | GSD | 4.09 | 3.40 | 2.09 | 4.59 | 2.54 | 2.50 | 3.20 |

〈표 22〉 20년도 최대값을 제외한 50인 미만의 크실렌 작업환경 측정 수 및 공기 중 크실렌 농도

| 분류 / 연도 | 50인 미만 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 사업장수 (개) | AM | SD | GM | GSD |
| 2018 | 195 | 4.47 | 6.14 | 3.01 | 2.32 |
| 2019 | 196 | 4.32 | 5.15 | 2.50 | 2.95 |
| 2020 | 161 | 4.59 | 5.72 | 3.39 | 1.99 |
| 2021 | 130 | 3.75 | 3.85 | 2.81 | 1.99 |
| 2022 | 135 | 3.77 | 3.46 | 2.67 | 2.28 |
| 2023 | 136 | 3.07 | 4.33 | 1.78 | 2.41 |
| 계 | 953 | 4.00 | 4.78 | 2.69 | 2.32 |

### 5) 규모별 소변 중 메틸 마뇨산 검진 사업장 수

2018년부터 2023년까지 소변 중 메틸 마뇨산 검진 사업장 수를 분석한 결과, 〈표 23〉과 같이 전체 사업장 수는 2018년 214개소에서 2023년 206개소로 소폭 감소하였으나, 전반적으로 안정적인 검진 사업장 규모를 유지하였다. 규모별로 살펴보면, 50인 미만 사업장이 매년 전체 검진 사업장의 약 65~70%를 차지하며 주요 관리 대상으로 나타났다.

소규모 사업장이 지속적으로 검진의 사각지대에 놓일 가능성을 시사하며, 특히 5인 미만과 50인 미만 사업장에 대한 집중적인 관리와 검진 프로그램의 강화가 필요함을 강조한다. 대규모 사업장에서는 지속적인 검진 증가가 확인되었으며, 이는 노출 관리가 체계적으로 이루어지고 있음을 보여준다.

〈표 23〉 규모별 소변 중 메틸 마뇨산 검진 사업장 수

| 분류 / 연도 | 소변 중 메틸 마뇨산 검진 사업장 수 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 계 | 5인 미만 | 50인 미만 | 100인 미만 | 100인 이상 |
| 2018 | 214 | 24 | 147 | 20 | 23 |
| 2019 | 206 | 20 | 141 | 19 | 26 |
| 2020 | 154 | 13 | 100 | 25 | 16 |
| 2021 | 205 | 22 | 141 | 19 | 23 |
| 2022 | 206 | 20 | 140 | 25 | 21 |
| 2023 | 206 | 18 | 137 | 24 | 27 |
| 계<br>(%) | 1,191<br>(100) | 117<br>(9.82) | 806<br>(67.7) | 132<br>(11.1) | 136<br>(11.4) |

### 6) 규모별 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도의 정규분포

아래의 〈표 24〉에서는 ACGIH의 노출기준인 0.3 g/g Cr. 을 기준으로 하여, 사업장의 규모별 소변 중 메틸 마뇨산의 농도를 정규분포로 비교하였다. 5인 미만 사업장은 초과율도 비교적 낮고 양호한 환경을 나타냈다. 2019년에는 50인 미만 사업장에서는 노출기준 0.5배 초과율과 1배 초과율이 45.2%, 23.6%로 규모별 비교에서 가장 높았으나 작업환경개선이 우선적으로 필요한 그룹으로 판단 되었다. 100인 이상 사업장의 평균농도와 낮은 초과율로 작업환경이 전반적으로 안정적인 상태를 보였다.

연도별로는 2020년에 전반적으로 모든 그룹에서 변동성과 초과율이 높았으며, 2022년 이후에는 안정화 경향을 보였다.

〈표 24〉 규모별 소변 중 메틸 마뇨산 농도 및 초과확률

| 구분 | | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5인 미만 | 사업장수(개) | 24 | 20 | 13 | 22 | 20 | 18 | 117 |
| | GM | 0.06 | 0.15 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.15 | 0.11 |
| | GSD | 3.28 | 2.64 | 2.90 | 3.82 | 2.65 | 2.92 | 3.04 |
| | 0.5배 초과(%) | 22.1 | 100.0 | 31.6 | 35.2 | 30.2 | 100.0 | 39.0 |
| | 1배 초과(%) | 8.9 | 23.9 | 12.9 | 18.4 | 10.8 | 25.8 | 18.4 |
| 50인 미만 | 사업장수(개) | 147 | 141 | 100 | 141 | 140 | 137 | 806 |
| | GM | 0.04 | 0.13 | 0.16 | 0.08 | 0.08 | 0.11 | 0.10 |
| | GSD | 2.52 | 3.19 | 1.91 | 2.63 | 2.35 | 2.41 | 2.50 |
| | 0.5배 초과(%) | 7.6 | 45.2 | 46.0 | 25.8 | 23.0 | 36.3 | 33.0 |
| | 1배 초과(%) | 1.5 | 23.6 | 16.6 | 8.5 | 6.1 | 12.7 | 11.5 |
| 100인 미만 | 사업장수(개) | 20 | 19 | 25 | 19 | 25 | 24 | 132 |
| | GM | 0.06 | 0.19 | 0.29 | 0.08 | 0.08 | 0.11 | 0.14 |
| | GSD | 2.36 | 2.57 | 3.54 | 2.80 | 2.72 | 2.36 | 2.71 |
| | 0.5배 초과(%) | 14.2 | 40.1 | 30.2 | 27.1 | 26.4 | 35.9 | 47.2 |
| | 1배 초과(%) | 3.1 | 31.6 | 48.8 | 10.2 | 9.3 | 12.1 | 22.4 |
| 100인 이상 | 사업장수(개) | 23 | 26 | 16 | 23 | 21 | 27 | 136 |
| | GM | 0.03 | 0.14 | 0.21 | 0.06 | 0.10 | 0.12 | 0.11 |
| | GSD | 1.67 | 2.81 | 2.63 | 3.34 | 2.84 | 2.59 | 2.65 |
| | 0.5배 초과(%) | 0.1 | 47.2 | 32.6 | 22.4 | 34.8 | 40.9 | 37.5 |
| | 1배 초과(%) | 0.0 | 23.0 | 35.6 | 9.2 | 14.7 | 16.9 | 15.2 |

## 제 3 절  소변 중 메틸 마뇨산의 농도 특성 분석

### 1)  연령별 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 특성

〈표 25〉 연령별 소변 중 메틸 마뇨산 노출건 수

| 분류 / 연도 | 소변 중 메틸 마뇨산 노출건 수 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 계 | 10대 | 20대 | 30대 | 40대 | 50대 | 60대 | 70대 |
| 2018 | 289 | 1 | 66 | 108 | 67 | 36 | 10 | 1 |
| 2019 | 1,426 | 6 | 281 | 555 | 365 | 166 | 49 | 4 |
| 2020 | 1,038 | 0 | 176 | 394 | 303 | 140 | 24 | 1 |
| 2021 | 1,282 | 4 | 202 | 413 | 372 | 232 | 57 | 2 |
| 2022 | 1,776 | 4 | 313 | 532 | 524 | 338 | 62 | 3 |
| 2023 | 2,139 | 5 | 377 | 606 | 653 | 391 | 106 | 1 |
| 계 (%) | 7,950 (100) | 20 (0.25) | 1,415 (17.8) | 2,608 (32.8) | 2,284 (28.7) | 1,303 (16.4) | 308 (3.84) | 12 (0.15) |

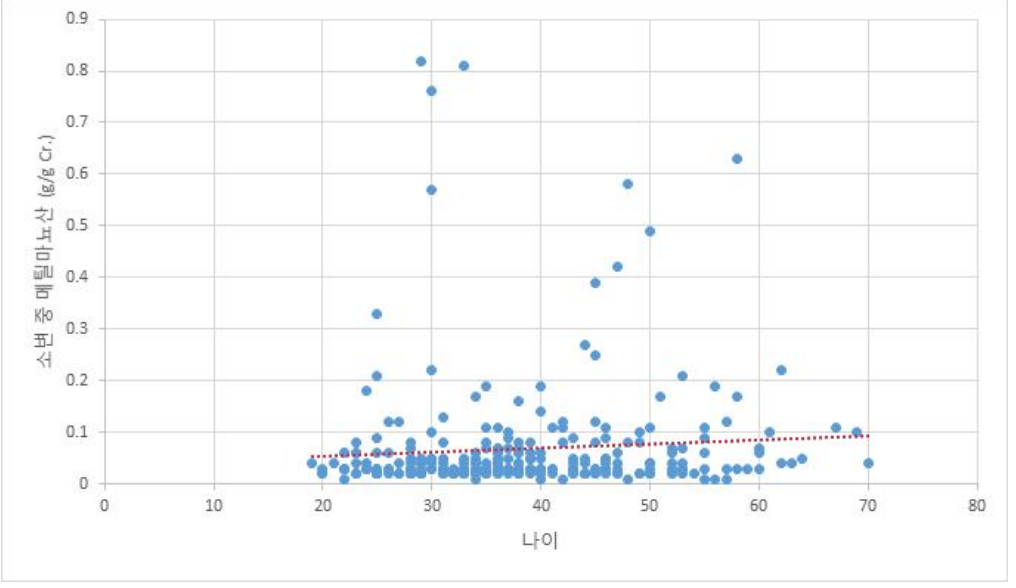
2018년부터 2023년까지 연령별 소변 중 메틸 마뇨산 노출지표는 〈표 25〉와 같으며, 총 분석건수는 꾸준히 증가하였다. 연령대별로는 30대와 40대가 전체의 약 60%를 차지하고 있다.

〈표 26〉에서는 2018년부터 2023년 연령대별 소변 중 메틸 마뇨산 농도에서 가장 많은 데이터는 30대와 40대에서 관찰되며, 이 두 연령대가 전체 데이터의 절반 이상을 차지합니다. 70대는 매우 적은 데이터가 있으며, 이는 분석의 신뢰성에 영향을 줄 수 있습니다.

〈표 26〉 연령별 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도

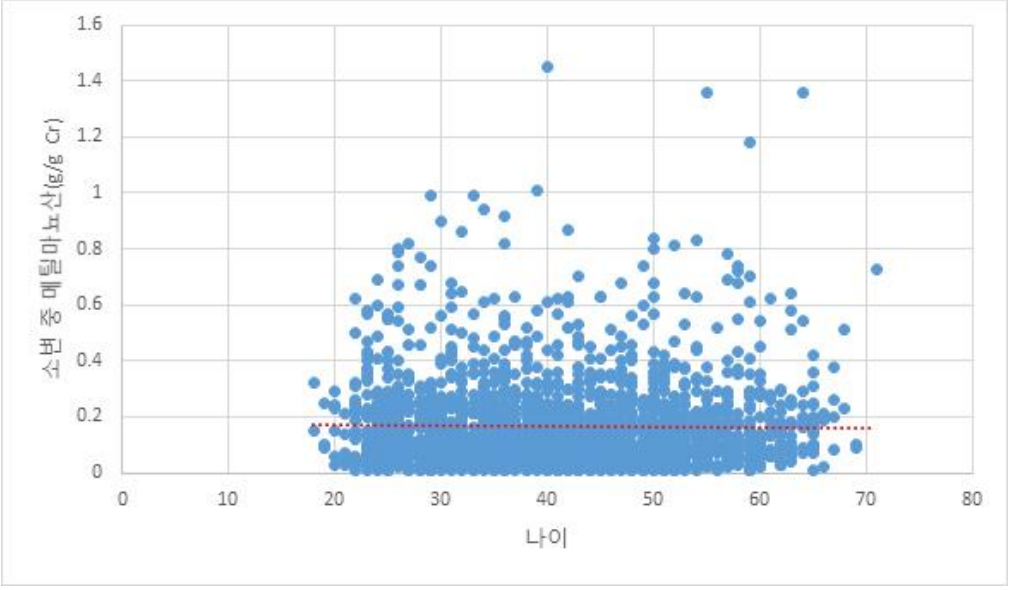
| 연령대 | 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도(g/g Cr.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | N(%) | AM | SD | GM | GSD |
| 10대 | 20(0.25) | 0.18 | 0.23 | 0.10 | 3.31 |
| 20대 | 1,415(17.8) | 0.16 | 0.18 | 0.20 | 2.98 |
| 30대 | 2,608(32.8) | 0.16 | 0.18 | 0.10 | 2.93 |
| 40대 | 2,284(28.7) | 0.14 | 0.16 | 0.09 | 2.91 |
| 50대 | 1,303(16.4) | 0.15 | 0.18 | 0.09 | 2.90 |
| 60대 | 308(3.87) | 0.15 | 0.16 | 0.10 | 2.73 |
| 70대 | 12(0.15) | 0.23 | 0.29 | 0.12 | 3.25 |
| 계 | 7,950(100) | 0.17 | 0.20 | 0.11 | 3.00 |

각 연도별로 소변 중 메틸 마뇨산 검사수치의 연령와에 따른 상관관계는 아래의 [그림 1] ~ [그림 6]과 같이 나타났다.



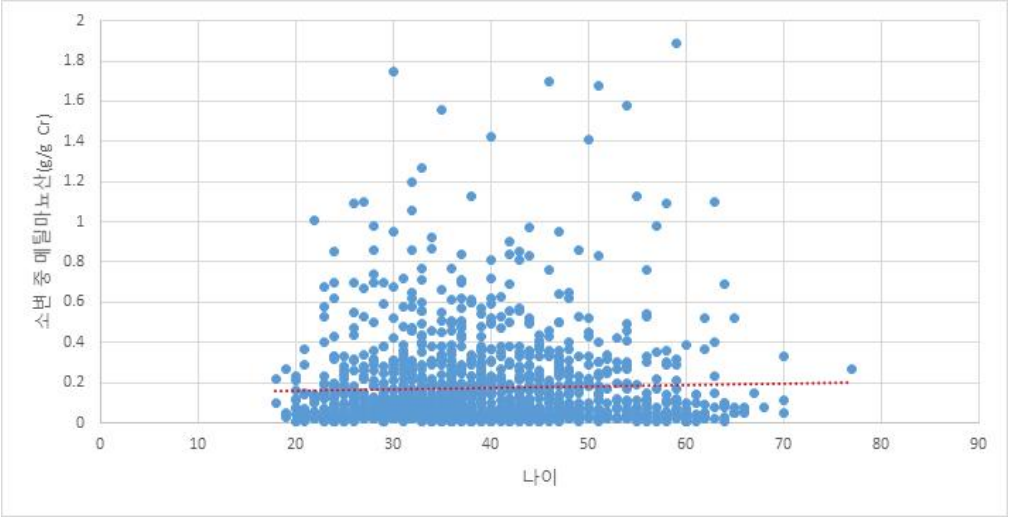

[그림 1] 2018년 소변 중 메틸 마뇨산과 연령 상관관계

[그림 1] 연령과 소변 중 메틸 마뇨산과의 상관관계를 보았을 때, 약한 양의 관계가 보여지며, 이는 연령이 높을수록 메틸 마뇨산 양의 상관관계를 보이고 있다는 것을 보여준다.




**[그림 2] 2019년 소변 중 메틸 마뇨산과 연령 상관관계**

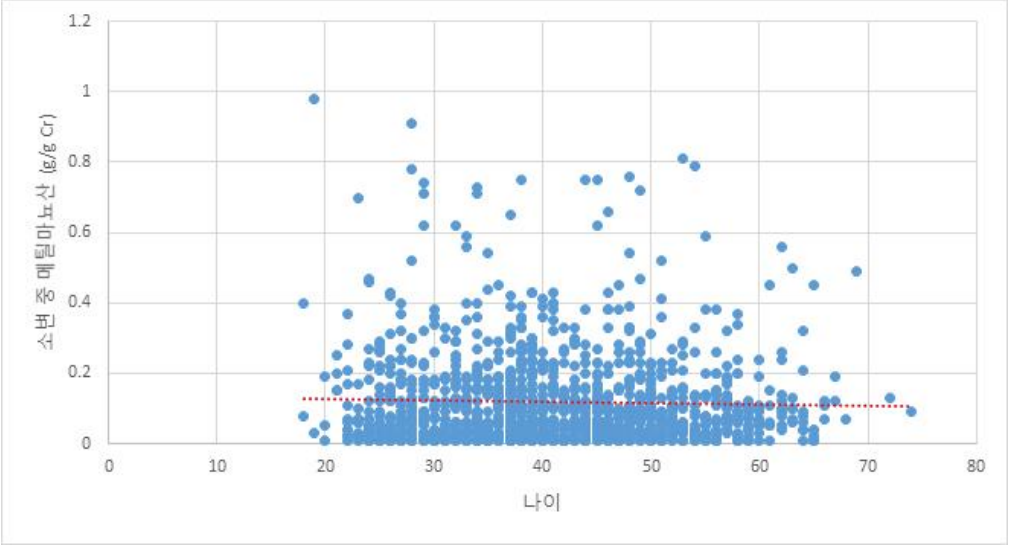
[그림 2] 젊은 연령대에서 더 낮은 농도를 보이는 경향이 있으며, 연령이 증가함에 따라 농도가 다소 증가하는 경향을 보인다. 그러나 60대 이후로는 다시 감소하는 추세를 보이는 포인트들도 있다. 대체로 많은 데이터 포인트들이 낮은 농도 구간에 밀집되어 있으며, 일부 고령자에서 높은 농도를 보이는 이상치도 관찰된다.




[그림 3] 2020년 소변 중 메틸 마뇨산과 연령 상관관계

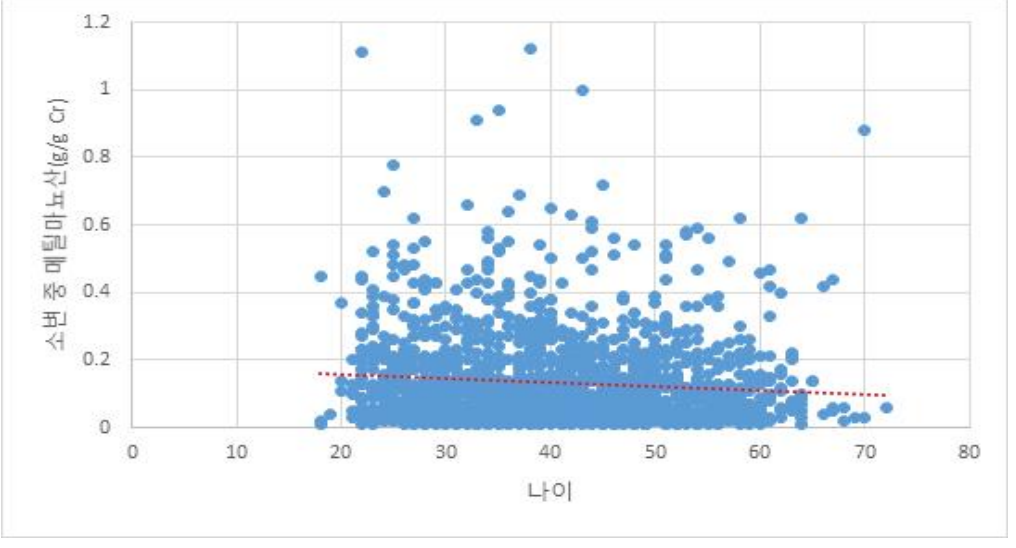
[그림 3] 부분의 데이터 포인트는 0.5 g/g Cr 이하에 집중되어 있으며, 연령이 증가함에 따라 농도의 분산이 다소 증가하는 경향을 보입니다.

특히 20대와 30대에서 농도가 1.5 g/g Cr 을 노출기준을 초과하는 이상치가 존재한다.



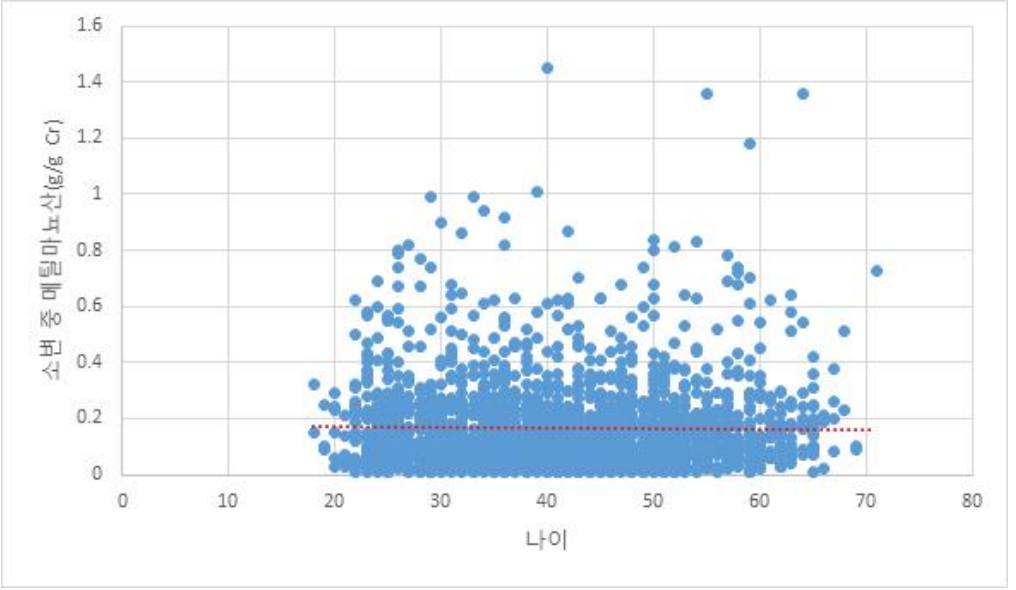

[그림 4] 2021년 소변 중 메틸 마뇨산과 연령 상관관계

[그림 4] 몇몇 고령의 개인에서 농도가 상대적으로 높게 나타나며, 20대와 30대에서도 높은 농도를 보이는 개체들이 보여준다. 일반적인 경향은 연령이 증가함에 따라 메틸 마뇨산 농도가 비교적 안정적이며 낮은 수준을 유지하고 있지만, 일부 연령대에서 높은 농도가 관찰된다.




**[그림 5] 2022년 소변 중 메틸 마뇨산과 연령 상관관계**

[그림 5] 대부분의 개인이 비교적 안정적이고 낮은 메틸 마뇨산 농도에 노출되어 있음을 확인할 수 있다. 그러나 일부 연령대에서 높은 농도의 이상치가 관찰되는 것으로 보아, 특정 연령대나 환경적 요인에 따른 추가적인 조사가 필요할 수 있다.




**[그림 6] 2023년 소변 중 메틸 마뇨산과 연령 상관관계**

[그림 6]도 [그림 5] 비슷하게 대부분의 개인이 비교적 안정적이고 낮은 메틸 마뇨산 농도에 노출되어 있음을 확인되며, 일부 연령대에서 높은 농도의 이상치가 관찰된다.

### 2) 연령별 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도의 정규분포

〈표 27〉은 연령대별 소변 중 메틸 마뇨산 농도가 0.3 g/g Cr. 을 초과할 확률을 보여주며, 연령대별로 뚜렷한 차이가 나타났다. 특히 20대에서 35.6%의 높은 초과 확률을 보여주고 있다.

연령이 높아질수록 안정적인 노출 수준을 유지하다가 70대에서 21.8%대로 높은 수준을 나타냈다.

〈표 27〉 연령별 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도의 정규분포

| 연령대 | 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도(g/g Cr.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | N(%) | GM | GSD | 0.5배 초과(%) | 1배 초과(%) |
| 10대 | 20(0.25) | 0.10 | 3.31 | 36.7 | 17.9 |
| 20대 | 1,415(17.8) | 0.20 | 2.98 | 39.7 | 35.6 |
| 30대 | 2,608(32.8) | 0.10 | 2.93 | 35.2 | 15.4 |
| 40대 | 2,284(28.7) | 0.09 | 2.91 | 31.6 | 12.9 |
| 50대 | 1,303(16.4) | 0.09 | 2.90 | 31.6 | 12.9 |
| 60대 | 308(3.87) | 0.10 | 2.73 | 34.5 | 13.8 |
| 70대 | 12(0.15) | 0.12 | 3.25 | 42.5 | 21.8 |
| 계 | 7,950(100) | 0.11 | 3.00 | 39.0 | 18.1 |

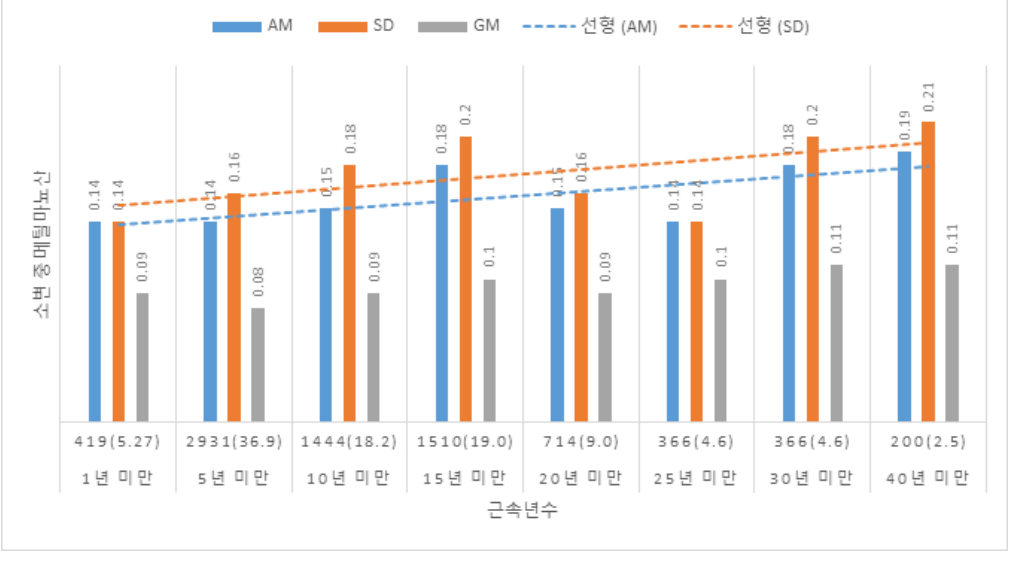
1) 소변 중 메틸 마뇨산의 노출기준은 ACGIH의 권고기준인 0.3 g/g Cr.으로 함.

### 3) 근속년수별 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 특성

〈표 28〉와 같이 근속년수와 소변 중 메틸 마뇨산과의 노출지표를 확인했을 때, 근속년수가 5년 미만인 작업자가 전체의 36.9%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 본 연구는 근속년수 증가에 따른 메틸 마뇨산 노출농도 〈그림 7〉과 같이 상승 경향을 확인하였다. 이는 근속이 길어질수록 작업환경에서의 누적 노출이 증가하는 추세를 보였다.

〈표 28〉 근속년수별 소변 중 메틸 마뇨산 노출지표

| 근무년수 | 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도(g/g Cr.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | N(%) | AM | SD | GM | GSD |
| 1년 미만 | 419(5.27) | 0.14 | 0.14 | 0.09 | 2.89 |
| 5년 미만 | 2,931(36.9) | 0.14 | 0.16 | 0.08 | 2.85 |
| 10년 미만 | 1,444(18.2) | 0.15 | 0.18 | 0.09 | 3.00 |
| 15년 미만 | 1,510(19.0) | 0.18 | 0.20 | 0.10 | 3.00 |
| 20년 미만 | 714(9.0) | 0.15 | 0.16 | 0.09 | 2.91 |
| 25년 미만 | 366(4.6) | 0.14 | 0.14 | 0.10 | 2.65 |
| 30년 미만 | 366(4.6) | 0.18 | 0.20 | 0.11 | 2.98 |
| 40년 미만 | 200(2.5) | 0.19 | 0.21 | 0.11 | 3.05 |
| 계 | 7,950(100) | 0.16 | 0.17 | 0.10 | 2.92 |




[그림 7] 소변 중 메틸 마뇨산과 근속년수의 상관관계

### 4) 근속년수별 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도의 정규분포

〈표 29〉에서 보여지듯이 근속년수별 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 분석 결과, 근속 년수가 짧은 그룹에서 초과 확률이 가장 낮았으며, 근속년수가 증가함에 따라 초과 확률이 점진적으로 변화하는 경향을 보였다. 근속년수 10년 미만과 15년 미만 그룹은 각각 13.6%, 15.9%의 초과 확률을 기록하며, 노출빈도가 증가했음을 나타냈다.

**〈표 29〉 근속년수별 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도의 정규분포**

| 근무년수 | 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도(g/g Cr.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | N(%) | GM | GSD | 0.5배 초과율(%) | 1배 초과율(%) |
| 1년 미만 | 419(5.27) | 0.09 | 2.89 | 31.6 | 12.9 |
| 5년 미만 | 2,931(36.9) | 0.08 | 2.85 | 27.4 | 10.4 |
| 10년 미만 | 1,444(18.2) | 0.09 | 3.00 | 32.3 | 13.6 |
| 15년 미만 | 1,510(19.0) | 0.10 | 3.00 | 35.6 | 15.9 |
| 20년 미만 | 714(9.0) | 0.09 | 2.91 | 31.6 | 12.9 |
| 25년 미만 | 366(4.6) | 0.10 | 2.65 | 33.7 | 12.9 |
| 30년 미만 | 366(4.6) | 0.11 | 2.98 | 39.0 | 17.9 |
| 40년 미만 | 200(2.5) | 0.11 | 3.05 | 39.0 | 18.4 |
| 계 | 7,950(100) | 0.10 | 2.92 | 35.2 | 15.2 |

1) 소변 중 메틸 마뇨산의 노출기준은 ACGIH의 권고기준인 0.3 g/g Cr.으로 함.

### 5) 공정별 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 특성

크실렌은 주로 페인트, 희석제, 세척제로 작업공정에 사용되고 있으며, 대표적으로 사용하는 공정 도장, 세척, 용접, 인쇄, 공무 등 일반적으로 산업전반에 사용되고 있다. 크실렌이 주로 사용되는 공정 검사, 공무, 닦음, 도장, 사상, 세척, 용접, 인쇄, 코팅 그리고 기타 10개 공정으로 구분하여, 공정별 소변 중 메틸 마뇨산의 평균값과 표준편차 값 등은 〈표 30〉과 〈그림 8〉과 같이 나타났다.

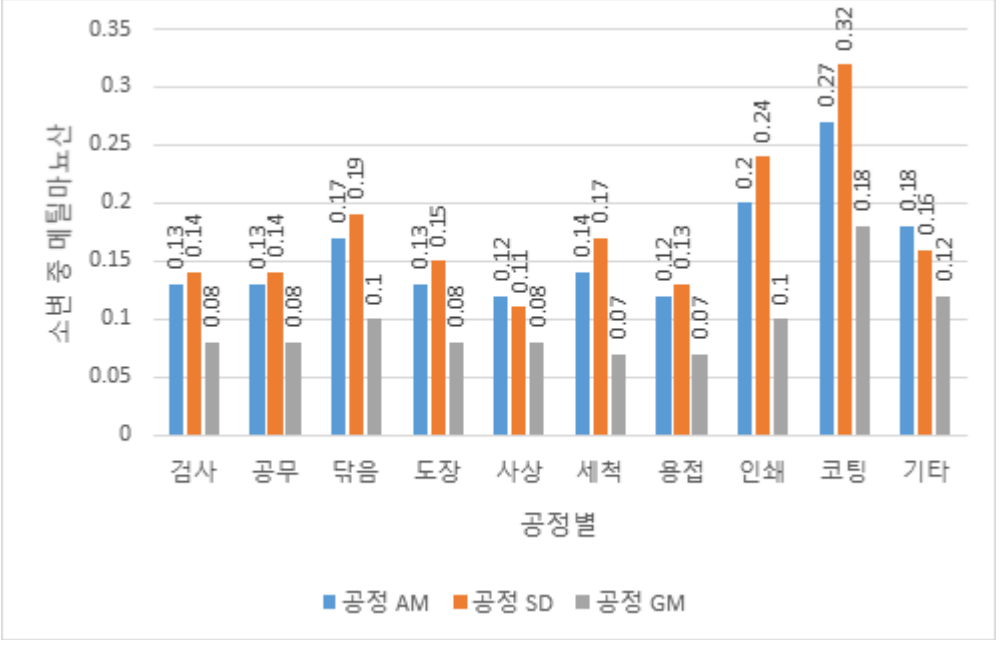
**〈표 30〉 공정별 소변 중 메틸 마뇨산 노출지표**

| 공정 | 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도(g/g Cr.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | N(%) | AM | SD | GM | GSD |
| 검사 | 710(8.93) | 0.13 | 0.14 | 0.08 | 2.89 |
| 공무 | 1,142(14.3) | 0.13 | 0.14 | 0.08 | 2.78 |
| 닦음 | 3,670(46.2) | 0.17 | 0.19 | 0.10 | 2.99 |
| 도장 | 1,221(15.4) | 0.13 | 0.15 | 0.08 | 2.68 |
| 사상 | 55(0.69) | 0.12 | 0.11 | 0.08 | 2.90 |
| 세척 | 349(4.39) | 0.14 | 0.17 | 0.07 | 3.25 |
| 용접 | 516(6.49) | 0.12 | 0.13 | 0.07 | 2.67 |
| 인쇄 | 225(2.83) | 0.20 | 0.24 | 0.10 | 3.30 |
| 코팅 | 25(0.31) | 0.27 | 0.32 | 0.18 | 2.60 |
| 기타 | 37(0.39) | 0.18 | 0.16 | 0.12 | 2.69 |
| 계 | 7,950(100) | 0.16 | 0.18 | 0.10 | 2.88 |

수집된 7950건중 분석건수가 많은 닦음 공정(3760건)의 평균과 표준편차는 다른 공정보다 상대적으로 높은 값을 보였으며, 분석건수가 적으나 인쇄와 코팅은 공정에서는 평균이 각각 0.21 ppm, 0.23 ppm으로 가장 높은 평균값을

기록했다.

대부분의 공정에서 GSD는 2.8 이상으로 나타나 노출 수치의 변동이 크다는 점을 보여준다. 이는 일부 작업자나 특정 작업환경에서 크실렌의 노출이 매우 높을 가능성을 보여준다.




[그림 8] 공정별 소변 중 메틸 마뇨산 평균 및 표준편차

### 6) 공정별 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 정규분포

공정별 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 정규분포를 비교한 결과는 〈표 31〉와 같다. 전체 중 많은 작업자는 닦음공정에 속하고 1배 초과율은 15.9%로 확인된다. 코팅과 인쇄공정의 경우 작업자 비율은 낮으나 1배 초과율은 29.8%와 17.9% 높은 노출경향을 고농도의 크실렌 노출이 보여진다.

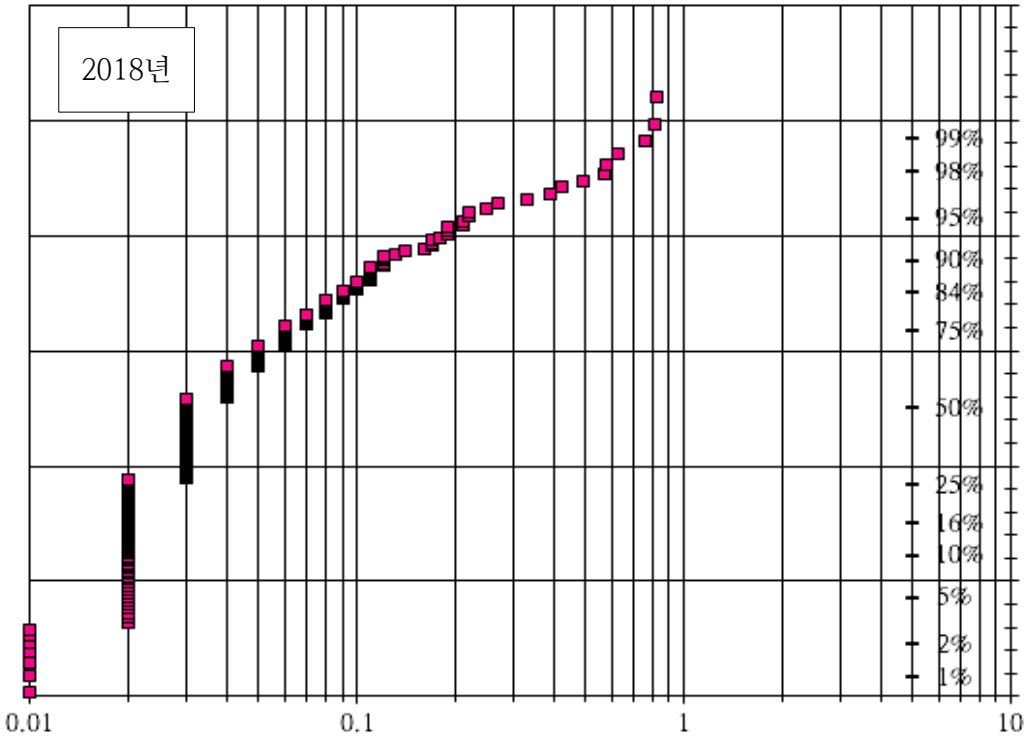
〈표 31〉 공정별 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 정규분포

| 공정 | 소변 중 메틸 마뇨산 노출농도(g/g Cr.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | N(%) | GM | GSD | 0.5배 초과율(%) | 1배 초과율(%) |
| 검사 | 710(8.93) | 0.08 | 2.89 | 27.8 | 10.6 |
| 공무 | 1,142(14.3) | 0.08 | 2.78 | 27.1 | 9.9 |
| 닦음 | 3,670(46.2) | 0.10 | 2.99 | 35.6 | 15.9 |
| 도장 | 1,221(15.4) | 0.08 | 2.68 | 26.1 | 9.0 |
| 사상 | 55(0.69) | 0.08 | 2.90 | 27.8 | 10.8 |
| 세척 | 349(4.39) | 0.07 | 3.25 | 25.8 | 10.9 |
| 용접 | 516(6.49) | 0.07 | 2.67 | 21.8 | 9.6 |
| 인쇄 | 225(2.83) | 0.10 | 3.30 | 36.7 | 17.9 |
| 코팅 | 25(0.31) | 0.18 | 2.60 | 42.5 | 29.8 |
| 기타 | 37(0.39) | 0.12 | 2.69 | 40.9 | 17.6 |
| 계 | 7,950(100) | 0.10 | 2.88 | 35.2 | 14.9 |

1) 소변 중 메틸 마뇨산의 노출기준은 ACGIH의 권고기준인 0.3 g/g Cr. 으로 함.

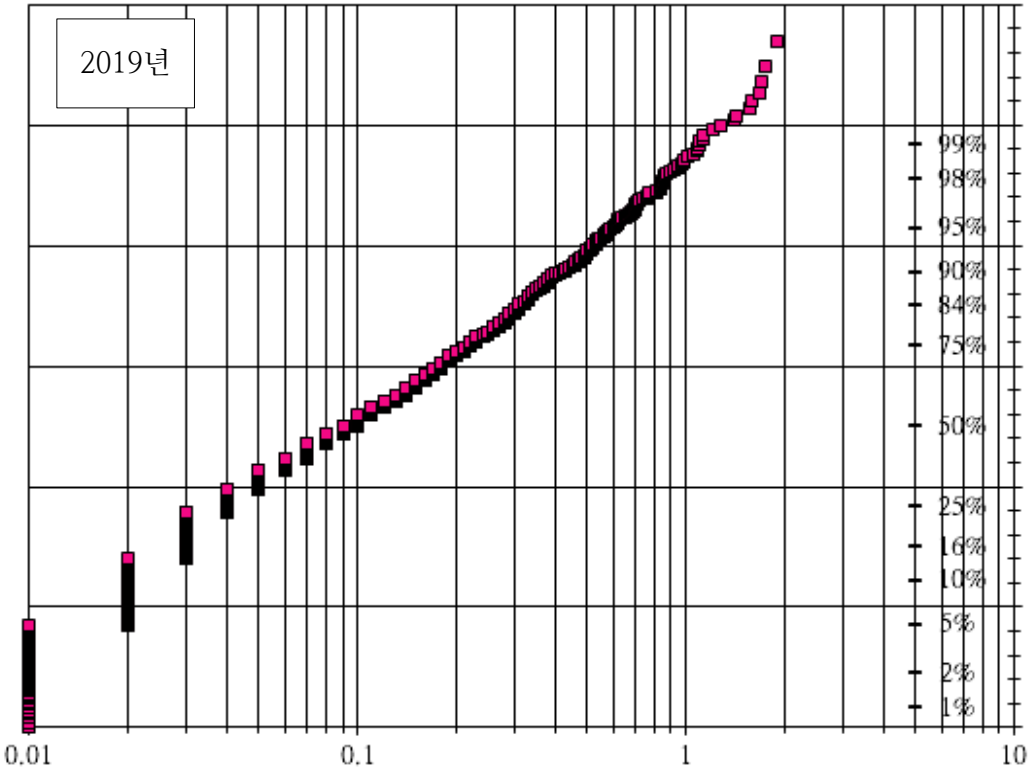
### 7) 연도별 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 산포도

연도별로 소변 중 메틸 마뇨산의 노출농도의 분포도는 아래의 그림들과 같이 나타났다. 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 분포 특성을 시각적으로 파악하고, 데이터가 정규 분포를 따르는지 확인했다.



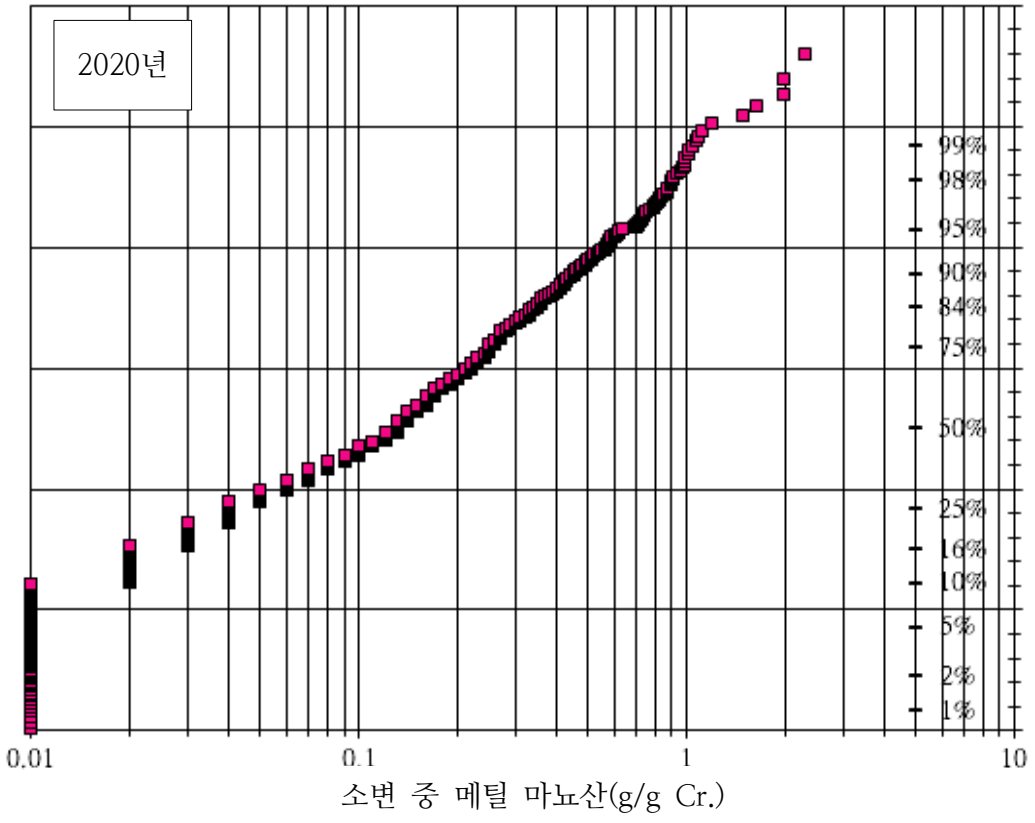

**[그림 9] 2018년 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 산포도**

[그림 9]에서는 2018년의 소변 중 메틸 마뇨산의 농도 산포도를 보여주는데, 1% 이하의 매우 낮은 노출 그룹, 10~90%의 일반적인 작업자 그룹, 99% 이상의 매우 높은 노출을 받는 그룹으로 나눌 수 있다.



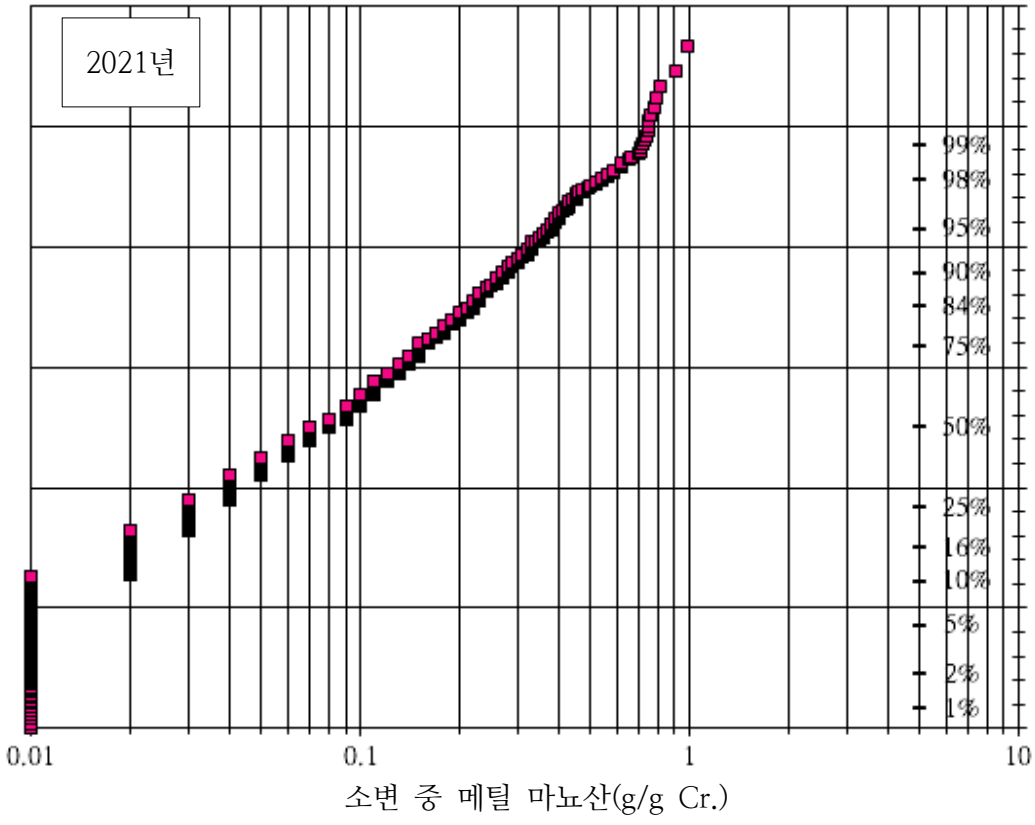

**[그림 10] 2019년 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 산포도**

[그림 10]의 2019년에는 대부분의 값이 0.2~0.3사이에 위치하며 대부분은 직선 근처에 분포하고 있다. 그러나 99%근처에서 1.5 g/g Cr. 초과한 과다 노출 작업자가 발견 되었다. 0.3 g/g Cr. 이하의 데이터가 약 75% 이상 차지 하였다.



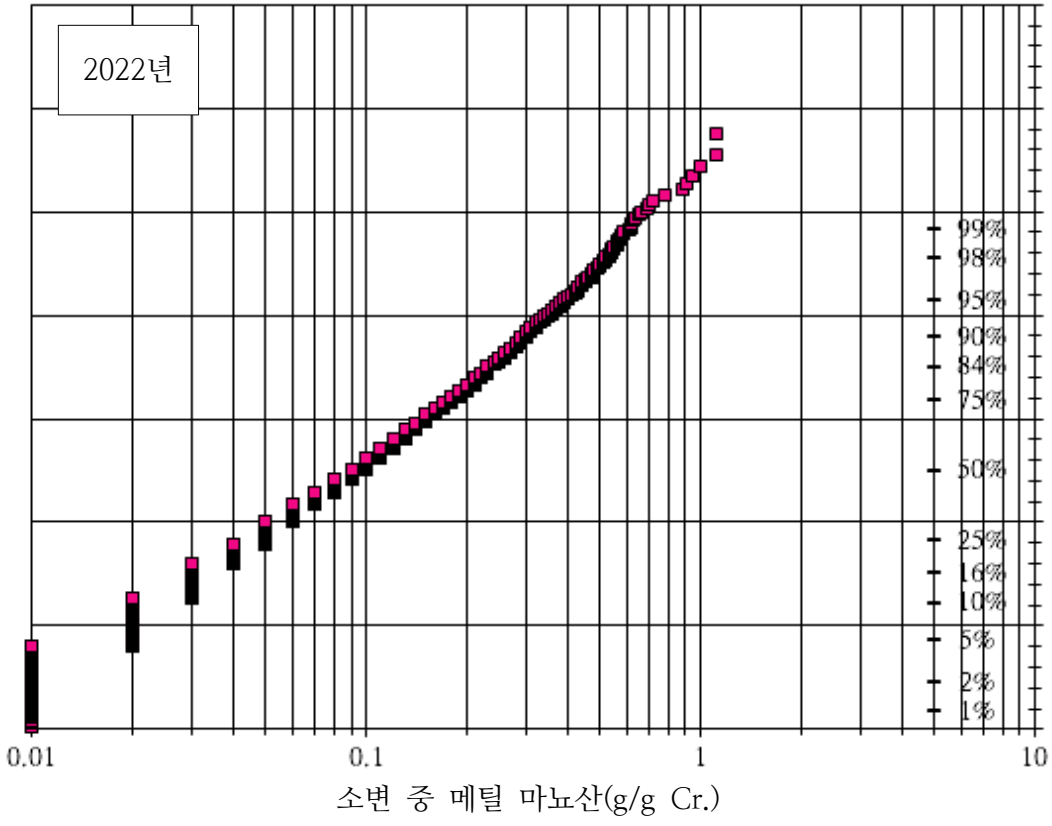

**[그림 11] 2020년 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 산포도**

2020년도 산포도에서는 0.1~1.0 g/g Cr. 사이의 데이터가 집중되어 있으며, 10~90% 정규성에 가깝게 분포하지만, 일부 1.5 g/g Cr. 을 초과한 극단값이 보여 지고 있다.



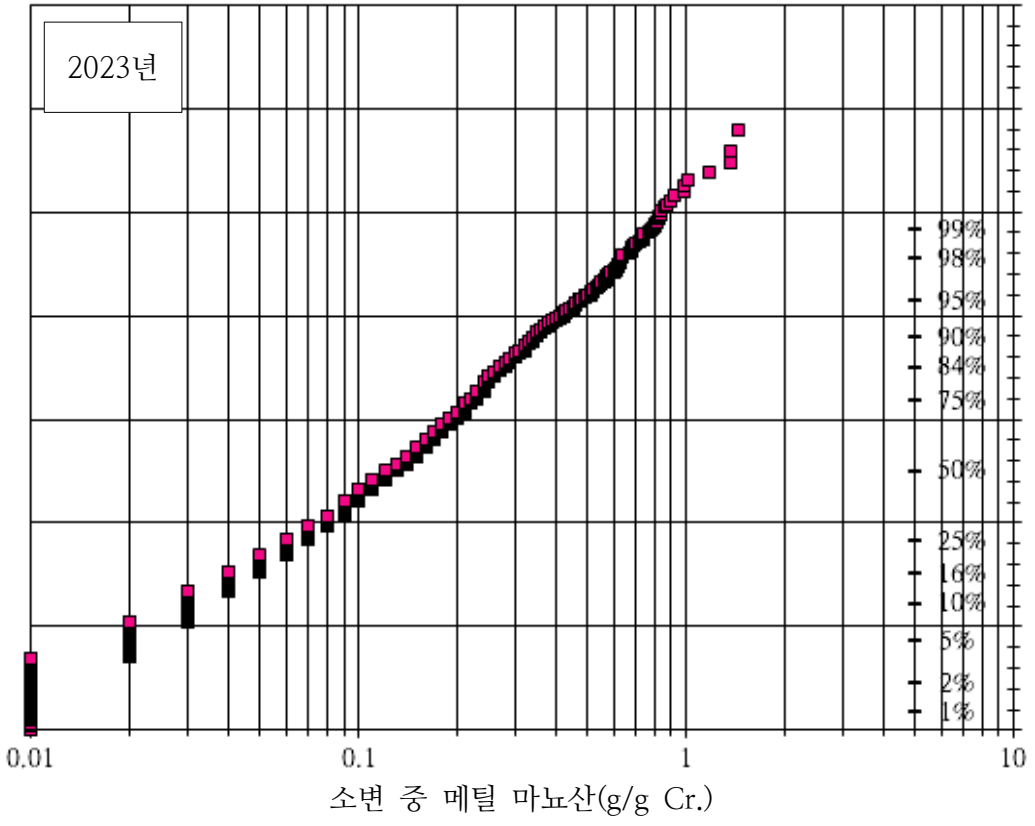

**[그림 12] 2021년 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 산포도**

2021년에 나타나는 산포도에는 전년도와는 달리 개선되어진 산포도를 나타내고 있다. 마찬가지로 10~90% 구간에서 데이터의 직선에 맞는 정규성에 가까운 분포를 나타낸다.




**[그림 13] 2022년 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 산포도**

2022년도 소변 중 메틸 마뇨산 산포도에서는 마찬가지로 세그룹으로 나누어지는 분포를 보이며, 10~90% 구간은 직선에 가까운 정규성을 띄고 있다. 데이터 전체의 약 75%는 0.3 g/g Cr. 이하를 나타내고 있다.




**[그림 14] 2023년 소변 중 메틸 마뇨산 농도의 산포도**

2023년도 소변 중 메틸 마뇨산 산포도에도 10~90% 구간은 직선에 가까운 정규성을 띄고 있다. 데이터 전체의 약 75%는 0.3 g/g Cr. 이하를 나타내며, 일부 1.5 g/g Cr.를 초과한 극단값을 보였다.

# 제 4 장 결 론

본 연구는 2018년부터 2023년까지 모 기관에서 전남 일부 지역의 크실렌 작업자를 대상으로 실시한 작업환경측정 결과와 특수건강진단 결과에서 공기 중 크실렌 농도와 소변 중 메틸 마뇨산 농도 자료를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 전체 공기 중 크실렌 농도는 기하평균이 3.2 ppm(GSD 2.34)으로 나타났다. ACGIH TLV 기준인 20 ppm을 초과하는 경우는 2018년 847건 중 15건(1.8%), 2019년 752건 중 11건(1.5%), 2020년 762건 중 3건(0.4%), 2021년에는 714건 중 11건(1.5%), 2022년 0건(0%) 그리고 2023년 945건 중 2건(0.2%)으로 최근 고농도 노출이 감소하고 있는 것으로 나타났다.

둘째, ACGIH TLV 기준인 20 ppm을 초과하는 업종은 제조업 중에는 금속가공업, 금속절삭기계, 금속가공제품, 금속제품, 금속공작물, 금속골조구조재, 선박구성부분품, 선박구성부분품, 물품취급장비 제조업 등이 있었으며, 건설업과 병리검사 의원에서도 나타난 바 있다.

셋째, 소변 중 메틸 마뇨산의 농도는 기하평균이 0.11 g/g Cr.(GSD 2.93)으로 나타났다. ACGIH의 권고기준인 소변 중 메틸 마뇨산의 BEI, 0.3 g/g Cr.을 초과할 확률은 17.6%인 것으로 나타났다. 이것은 작업환경측정 결과로 추정한 것보다 훨씬 높다.

넷째, 실제로 소변 중 메틸 마뇨산의 측정치가 ACGIH BEI, 0.3 g/g Cr.을 초과한 경우는 2018년(4%)만 제외하고는 2019년부터 2023년까지는 약 10~16%였다.

# 참 고 문 헌

## 1. 국내문헌


정최경희, 장성훈, 김형수, 오원기, 고상백, 이건세, 박수경. (2006). 톨루엔 및 크실렌 노출 근로자에서 안식향산나트륨 섭취에 따른 요중 대사산물 농도의 시간적 변화. 서울 : 건국대학교 의학전문대학원.

장소연. (2015). 일부 유기용제에 대해 작업환경측정의 공기 중 농도와 건강진단의 생물학적 노출측정 결과 간 상관관계 고찰. 서울: 한성대학교 대학원.

배기택, 문덕환, 김종한, 문찬석, 이채언. (1991). 톨루엔 크실렌 및 벤젠폭로의 생화학적지표들에 관한 연구 김해 : 인제대학교 의과대학.

김청식, 고상백, 김형수, 박수경, 장성훈. (2004). 크실렌 노출로 인한 요중 메틸 마뇨산 배설에 미치는 유전자 다형성 연구 서울 : 서울대학교 의과대학.

이미영, 양정선 (1999). 분석 방법에 따른 요중 마뇨산의 분석값 비교. 한국산업안전공단 산업안전보건연구원 직업병연구센터.

고용노동부. (2024) 산업안전보건법. 고용노동부.

한국산업안전보건공단. (2021). 크실렌의 생물학적 노출지표 물질 분석에 관한 기술지침. 한국산업안전보건공단

한국산업안전보건공단. (2021). 근로자건강진단 실무지침. 한국산업안전보건공단

## 2. 국외문헌

Kamal Niaz1, Haji Bahadar1 , Faheem Maqbool1, Mohammad Abdollahi (2015). A REVIEW OF ENVIRONMENTAL AND OCCUPATIONAL EXPOSURE TO XYLENE AND ITS HEALTH CONCERNS. Pharmaceutical Sciences Research Center, Tehran University of Medical Sciences, International Campus, Tehran, Iran.

Abdul Rohim Tualeka, Tri Martiana, Mohd Yusmaidie Aziz, Tamilanban Thamaraikani, Roslan Rosnon, Salsabila Noviant, Pudji, Rahmawati, Ahsan Ahsan (2024). Relationship Between Xylene, Rq Xylene Concentration and Enzyme Activity as Indicators of Heart and Liver Function Among Shoe Industry Workers In Surabaya. F1000Research

ACGIH. (2024). 2024 TLVs and BEIs

# ABSTRACT

## A Study on Xylene Concentrations in Workplace Environment Measurement Data and Urinary Methylhippuric Acid Levels in the Workers' Medical Examination Data in Jeonnam Region

Cha, Sung-Jae

Major in Industrial Hygiene Engineering

Dept. of Mechanical Systems Engineering

The Graduate School

Hansung University

This study analyzed the air xylene concentrations and urinary methylhippuric acid concentration data obtained from the work environment monitoring and special health examinations conducted by an organization in Jeonnam region from 2018 to 2023.

The geometric mean (GM) of air xylene concentration was 3.2 ppm, with a geometric standard deviation (GSD) of 2.34. Cases exceeding the ACGIH TLV of 20 ppm were as follows: 15 out of 847 cases (1.8%) in 2018, 11 out of 752 cases (1.5%) in 2019, 3 out of 762 cases (0.4%) in 2020, 11 out of 714 cases (1.5%) in 2021, none in 2022 (0%), and 2

out of 945 cases (0.2%) in 2023. These results indicate a recent decrease in high-level exposure. Industries exceeding the ACGIH TLV of 20 ppm included metalworking, metal-cutting machinery manufacturing, fabricated metal products, metal structures, ship components, material handling equipment manufacturing, construction, and pathology laboratories.

The geometric mean (GM) of urinary methylhippuric acid concentration was 0.11 g/g Cr, with a geometric standard deviation (GSD) of 2.93. The probability of exceeding the ACGIH-recommended BEI for urinary methylhippuric acid (0.3 g/g Cr) was 17.6%, which was much higher than estimated from work environment monitoring results. In practice, the proportion of cases where urinary methylhippuric acid exceeded the BEI of 0.3 g/g Cr was approximately 10–16% from 2019 to 2023, except for 2018, where it was 4%.

【Keywords】 Xylene, Methylhippuric Acid, Exposure Assessment, Occupational Environment, Occupational Disease Prevention