

석사학위논문

전남지역 일부 작업환경측정 결과의  
톨루엔 농도와 특수건강진단 결과의 소변  
중 마노산 및 o-크레졸에 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

허 수 연

석사학위논문  
지도교수 박두용

전남지역 일부 작업환경측정 결과의  
톨루엔 농도와 특수건강진단 결과의 소변  
중 마노산 및 o-크레졸에 관한 연구

A Study on Airborne Toluene Concentrations from  
Workplace Environment Measurement Data and Urinary  
Hippuric Acid and o-Cresol Levels from Workers'  
Medical Examination Data in Jeonnam Region

2024년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

기 계 시 스템 공 학 과

산 업 위 생 공 학 전 공

허 수 연

석사학위논문  
지도교수 박두용

전남지역 일부 작업환경측정 결과의  
톨루엔 농도와 특수건강진단 결과의 소변  
중 마뇨산 및 o-크레졸에 관한 연구

A Study on Airborne Toluene Concentrations from  
Workplace Environment Measurement Data and Urinary  
Hippuric Acid and o-Cresol Levels from 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 스템 공 학 과

산 업 위 생 공 학 전 공

허 수 연

허수연의 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 톨루엔 농도와 특수건강진단 결과의 소변 중 마뇨산 및 o-크레졸에 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  
허                    수                    연

본 연구는 광주광역시와 전남지역에서 2018년부터 2023년까지 톨루엔 작업자를 대상으로 실시한 특수건강진단과 작업환경측정 결과 중 2018년부터 2020년 상반기까지는 소변 중 마뇨산, 2020년 하반기부터 2023년까지는 소변 중 o-크레졸 측정자료와 2018년부터 2023년까지 공기 중 톨루엔 농도를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

2018년부터 2020년 상반기까지의 소변 중 마뇨산의 검출률은 98%(4,476명 중 4,385명)로 매우 높은 것으로 나타났으나 노출기준 1.6 g/g creatinine을 초과하는 근로자수는 25명으로 초과율은 0.6%에 불과하였다. 반면 2020년 하반기부터 2023년까지 측정한 소변 중 o-크레졸의 검출률은 47.5%(7,029명 중 3,339명)로 노출기준 0.3 mg/g creatinine을 초과하는 근로자 수 234명 이었다. o-크레졸의 초과율은 7%로, 마뇨산의 경우보다 10배 높게 나

타났다. 즉, 마노산의 경우 거의 모든 진단대상자에게서 검출되었으나 노출기준 초과자를 제대로 식별하지 못하는 것으로 나타났고, 소변 중 o-크레졸은 노출기준 초과자와 같은 잠재적 고농도 노출군을 식별하기에 적절한 것으로 나타났다.

소변 중 o-크레졸은 사업장당 약 1명 정도가 노출기준을 초과하는 것으로 나타났다. 소변 중 o-크레졸의 기준을 초과하는 사업장은 제조업(186개소, 80%), 협회 및 단체(12개소, 5.2%), 공공행정(11개소, 4.7%)의 순으로 나타났다. 제조업의 세부 업종으로는 자동차 및 트레일러 제조업(66개소, 35.5%), 인쇄업(29개소, 15.6%), 전자 부품 제조업(21개소, 11.3), 금속가공(16개소, 8.6%), 기타제품 제조업(16개소, 8.6%)인 것으로 나타났다.

공기 중 톨루엔 노출농도는 2018년부터 2023년까지 상반기에는 기하평균 2.2 ppm, 기하표준편차 2.87로 ACGIH 노출기준 20 ppm을 초과할 확률은 1.8%로 매우 낮았으며, 하반기에는 기하평균 2.5 ppm, 기하표준편차 3.16으로 ACGIH 노출기준 20 ppm을 초과할 확률은 3.5%이었다. 소변 중 o-크레졸과 비교할 때 작업환경측정 결과는 상당히 과소평가된 것으로 보인다.

**【주요어】** 톨루엔, 마노산, o-크레졸, 특수건강진단, 작업환경측정

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 연구의 목적 .....	1
제 2 장 연구대상 및 방법 .....	2
제 1 절 연구 대상 .....	2
1) 연구 자료 .....	2
제 2 절 연구 방법 .....	4
1) 자료의 정리 .....	4
2) 고위험군 파악 .....	4
제 3 장 연구 결과 .....	6
제 1 절 소변 중 마노산 및 o-크레졸 농도 .....	6
1) 톨루엔의 생물학적 지표 .....	6
2) 소변 중 마노산 및 o-크레졸 농도 분포 .....	7
3) 소변 중 마노산 및 o-크레졸 농도 .....	12
제 2 절 소변 중 마노산 및 o-크레졸 농도 특성 분석 .....	15
1) 농도 구간 별 소변 중 마노산 및 o-크레졸 농도 .....	15
2) 농도 구간 별 업종 분포 .....	17
3) 톨루엔 고위험군의 통계적 추정 .....	27
4) 규모별 업종별 소변 중 마노산 및 o-크레졸 농도 .....	28

제 3 절 작업환경측정 결과 공기 중 톨루엔 농도 현황 .....	30
제 4 절 연구대상 사업장 현황 .....	36
제 4 장 결 론 .....	41
참 고 문 헌 .....	43
ABSTRACT .....	44

## 표 목 차

〈표 1〉 연도별 소변 중 마노산 및 o-크레졸 검출 및 불검출 건수 .....	12
〈표 2〉 연도별 소변 중 마노산 농도 .....	13
〈표 3〉 연도별 소변 중 마노산의 ACGIH BEI 기준 초과 확률 .....	14
〈표 4〉 연도별 소변 중 o-크레졸 농도 .....	14
〈표 5〉 연도별 소변 중 o-크레졸의 ACGIH BEI 기준 초과 확률 .....	15
〈표 6〉 소변 중 마노산의 농도 수준별 사업장 수 .....	16
〈표 7〉 소변 중 마노산의 농도 수준별 근로자 수 .....	16
〈표 8〉 소변 중 o-크레졸 농도 수준별 사업장 수 .....	17
〈표 9〉 소변 중 o-크레졸 농도 수준별 근로자 수 .....	17
〈표 10〉 소변 중 마노산의 농도 0.8~1.6 g/g creatinine 구간의 업종별 사업장 수 .....	19
〈표 11〉 소변 중 마노산 농도 1.6 g/g creatinine 이상 구간의 업종별 사업장 수 .....	20
〈표 12〉 소변 중 o-크레졸 농도 0.15~0.3 mg/g creatinine 구간의 업종별 사업장 수 .....	21
〈표 13〉 소변 중 o-크레졸 농도 0.3 mg/g creatinine 이상 구간의 업종별 사업장 수 .....	22
〈표 14〉 소변 중 마노산 농도 0.8~1.6 g/g creatinine 구간의 제조업 세부 업종별 사업장 수 .....	23
〈표 15〉 소변 중 마노산 농도 1.6 g/g creatinine 이상 구간의 제조업 세부업종별 사업장 수 .....	24
〈표 16〉 소변 중 o-크레졸 농도 0.15~0.3 mg/g creatinine 구간의 제조업 세부업종별 사업장 수 .....	25

〈표 17〉 소변 중 o-크레졸 농도 0.3 mg/g creatinine 이상 구간의 제조업 세부 업종별 사업장 수 .....	26
〈표 18〉 소변 중 마뇨산의 노출기준 초과 확률 .....	27
〈표 19〉 소변 중 o-크레졸 노출기준 초과 확률 .....	27
〈표 20〉 규모별 소변 중 마뇨산 농도 .....	28
〈표 21〉 규모별 소변 중 o-크레졸 농도 .....	28
〈표 22〉 업종별 소변 중 마뇨산 농도 .....	29
〈표 23〉 업종별 소변 중 o-크레졸 농도 .....	29
〈표 24〉 상반기 연도별 공기 중 톨루엔 검출 및 불검출 건수 .....	30
〈표 25〉 하반기 연도별 공기 중 톨루엔 검출 및 불검출 건수 .....	30
〈표 26〉 상반기 연도별 공기 중 톨루엔 농도 .....	31
〈표 27〉 하반기 연도별 공기 중 톨루엔 농도 .....	31
〈표 28〉 상반기 업종별 공기 중 톨루엔 노출농도 .....	32
〈표 29〉 하반기 업종별 공기 중 톨루엔 노출농도 .....	32
〈표 30〉 상반기 제조업 세부업종 공기 중 톨루엔 농도 .....	33
〈표 31〉 하반기 제조업 세부업종 공기 중 톨루엔 농도 .....	34
〈표 32〉 상반기 규모별 공기중 톨루엔 농도 .....	35
〈표 33〉 하반기 규모별 공기중 톨루엔 노출 .....	35
〈표 34〉 규모 및 연도별 특수건강진단 건수 .....	36
〈표 35〉 연도 및 업종별 특수건강진단 건수 .....	37
〈표 36〉 연도 및 규모별 상반기 작업환경측정 건수 .....	38
〈표 37〉 연도 및 규모별 하반기 작업환경측정 건수 .....	38
〈표 38〉 연도 및 업종별 상반기 작업환경측정 건수 .....	39
〈표 39〉 연도 및 업종별 하반기 작업환경측정 건수 .....	40

# 그림 목 차

[그림 1] 특수건강진단 결과 연도별 소변 중 마뇨산 분포 (2018~2020년 상반기) .....	8
[그림 2] 특수건강진단 결과 연도별 소변 중 o-크레졸 분포 (2020년 하반기~2023년) .....	9
[그림 3] 특수건강진단 결과 연도별 소변 중 마뇨산 분포 (2018~2020년 상반기) .....	10
[그림 4] 특수건강진단 결과 연도별 소변 중 o-크레졸 분포 (2020년 하반기~2023년) .....	11

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구의 목적

톨루엔은 중추신경계에 작용하여 두통, 현기증, 피로, 졸음, 구역질, 구토, 경련, 혼수, 운동실조 등의 증상을 일으키고 피부, 눈, 코, 목에 자극을 주는 대표적인 유기용제로 알려져 있다. 톨루엔으로부터 근로자의 건강을 보호하기 위하여 우리나라 고용노동부에서는 작업장 공기중 톨루엔의 노출기준으로 8 시간가중 평균농도 노출기준, 50 ppm을 설정하고 있다. 미국산업정부위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)의 노출기준(ACGIH, TLV 2024)은 20 ppm이다.

톨루엔은 페놀 및 TDI 등 화학물질이나 염료, 합성수지, 약품, 사카린 같은 화합물을 제조하는데 사용되며, 페인트, 락카, 코팅, 염료, 페인트 제거제, 살충제 등에 함유되어 있는 경우도 많다. 따라서 도장공정, 금형공정 등 제조업과 인쇄업이나 병원 등 많은 사업장과 다양한 업종 및 공정에서 광범위하게 사용된다. 또한 톨루엔은 휘발성이 강하여 톨루엔을 취급하거나 사용하면 톨루엔에 노출될 가능성이 높다. 따라서 아직도 톨루엔에 노출되는 근로자는 매우 많을 것으로 보이며, 일부는 높은 농도에 노출되고 있을 가능성이 있지만 최근 톨루엔 노출에 관한 연구결과나 보고자료가 거의 없는 실정이다.

본 연구는 2018년부터 2023년까지 광주광역시와 전남지역의 작업환경측정과 특수건강진단 결과를 바탕으로 톨루엔의 노출위험도를 평가하고, 고노출군을 식별하여 톨루엔으로부터 근로자의 건강장해를 예방하는데 필요한 기초자료를 제공하기 위하여 수행되었다.

## 제 2 장 연구대상 및 방법

### 제 1 절 연구 대상

#### 1) 연구 자료

본 연구는 광주광역시와 전남지역을 대상으로, 특수건강진단과 작업환경측정을 실시하는 모 기관에서 2018년부터 2023년까지 톨루엔 취급 작업자를 대상으로 한 자료를 분석하였다. 연구는 작업환경측정을 통해 공기 중 톨루엔 노출 수준을 측정하거나, 특수건강진단을 통해 소변 중 마뇨산 및 o-크레졸 농도를 분석한 결과를 기반으로 하였다.

특수건강진단 결과는 총 582개 사업장의 1,592개소에서 실시된 자료를 분석하였으며, 연도별로 251개소에서 279개소였다. 특수건강진단 대상자는 연도별로 1,541명에서 2,339명이었다.

작업환경측정 결과는 상반기에 401개 사업장의 1,085개소에서, 연 평균 460건의 측정이 이루어졌고, 하반기에는 385개 사업장의 1,276개소에서 연 평균 420건의 측정이 이루어졌다.

#### 가) 특수건강진단 방법 및 소변 중 대사산물 측정방법

##### (1) 특수건강진단 방법

본 연구에서 사용한 자료는 산업안전보건법 제130조에 의거하여 실시한 특수건강진단 결과 자료이다. 톨루엔을 취급하는 근로자의 특수건강진단은 최초 배치 후 6개월 이내에, 이후부터는 1년에 1회 실시하도록 되어 있다. 따라서 톨루엔을 취급하는 사업장은 매년 특수건강진단기관과 계약을 맺어 검진을 실시하도록 되어 있으며, 2018년에서 2023년까지 모 기관에서 톨루엔에 대한 특수건강진단을 실시한 자료를 사용했다.

## (2) 소변 채취 방법

톨루엔의 소변 채취 방법은 KOSHA GUIDE H-8-2023을 준수하여, 당일 작업 종료 2시간 전부터 작업 종료 사이에 채취하는 것이 원칙이다(한국산업 안전보건공단, 2023). 그러나 본 연구에서는 사업장의 일정상 작업 종료 후에 채취하거나, 직접 방문이 어려운 사업장의 경우 얼린 시료를 전달받아 채취 시점을 정확히 알 수 없는 경우도 있었다.

시료는 검진자의 소변을 10mL 이상 채취한 후 밀봉 가능한 용기에 담아 4°C(2~8°C)에서 보관하였다. 단, 분석까지 보관 기간이 5일 이상 걸리는 경우에는 시료를 냉동 보관용 용기(vial)에 옮겨 영하 20°C 이하에서 보관하였다.

## (3) 소변 중 마노산 분석방법

채취한 소변에서 마노산을 유기용제로 추출한 후, 휘발성 유도체로 변환하여 기체 크로마토그래피-불꽃 이온화 검출기(GC-FID)로 분석하거나, 이동상으로 희석하여 고성능 액체 크로마토그래피-자외선 검출기(HPLC-UV)로 분석하였다.

## (4) 소변 중 o-크레졸 분석방법

환산과 글루쿠론산 결합체를 염산 산성 조건에서 가수분해하여 유리형으로 만든 후, 유기용제로 추출하여 기체 크로마토그래피-불꽃 이온화 검출기(GC-FID)로 분석하였다.

## 나) 공기 중 톨루엔 농도 측정 방법

### (1) 시료 채취 방법

공기 중 톨루엔은 작업환경측정을 통해 시료를 채취하였다. 산업안전보건법 제125조에 따라, 작업 공정이 가동된 후 30일 이내에 처음 측정을 실시하고, 이후에는 연 2회 반기별로 계약을 맺어 측정을 실시하도록 규정되어 있다. 본 연구에서는 2018년부터 2023년까지 특정 기관에서 실시한 톨루엔 작업환경 측정 자료를 사용하였다.

톨루엔은 개인 시료 포집 원칙에 따라 정상 작업이 이루어지는 시간에 근로자의 호흡기 30cm 반경 이내에서 0.2 L/min으로 보정된 저유량 펌프와 100mg/50mg 활성탄관을 사용하여 6시간 이상 포집하였다.

## (2) 시료 분석 방법

해당 연구에서 톨루엔이 포집된 활성탄관을 분석하기 위해 사용된 GC-FID 장비는 HIMADZU GC2030AF와 HS-20NX였다. 분석에 사용된 컬럼은 SH-1701 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)이며, 분석 가스로는 He, H<sub>2</sub>, Air를 사용하였다.

## 제 2 절 연구 방법

### 1) 자료의 정리

본 연구를 위해 사용한 특수건강진단과 작업환경측정 자료는 개인정보 보호를 위해 사업장명이나 개인의 성명 등 개인을 식별할 수 있는 항목은 특정 기호로 변환한 후 수집하였다.

수집된 소변중 마노산 및 o-크레졸과 공기중 톨루엔 농도에 관한 자료는 연도별, 업종별, 규모별로 정리하고, 각각의 사업장 수와 측정건수를 파악한 후, 각각에 대하여 평균값(산술평균 및 기하평균)과 산포도(표준편차와 기하표준편차)를 계산하였다.

공기 중 톨루엔 농도는 작업환경측정이 상반기, 하반기로 나누어 진행되는 것을 고려하여 반기별로 통계값을 산출하였다.

### 2) 고위험군 파악

공기 중 톨루엔 농도 수준은 전반적으로 매우 낮은 것으로 나타나 작업환경측정 자료로는 톨루엔 고위험군을 파악하는데 한계가 있었다. 소변 중 마노산과 o-크레졸은 일부에서 비교적 높은 농도수준을 보이는 것으로 나타나 소변 중 마노산 및 o-크레졸을 중심으로 고위험군을 파악하고자 하였다.

연도별, 업종별, 규모별 평균값은 매우 낮은 수준으로 나타나 고위험군을 파악하기 위하여 일정한 기준과 비교하여 기준의 일정 배수(0.25배, 0.5배, 1배) 이상에 해당하는 값을 파악한 후, 그 특성을 추적하여 고위험군의 특성을 파악하였다. 소변 중 마뇨산 및 o-크레졸의 농도와 비교한 기준값으로는 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)의 Biological Exposure Indices(BEI)로 하였다.

## 제 3 장 연구 결과

### 제 1 절 소변 중 마노산 및 o-크레졸 농도

#### 1) 톨루엔의 생물학적 지표

현재 우리나라 특수건강진단에서 톨루엔의 생물학적 지표는 소변 중 o-크레졸이며, 2020년 이전에는 소변 중 마노산이었다. 톨루엔의 소변 중 생물학적 지표로는 혈중 톨루엔, 소변 중 마노산, 그리고 소변 중 o-크레졸이 있다(ACGIH, 2004; ACGIH, 2009). 일반적으로 혈액은 소변에 비해 채취가 어려워 상대적으로 소변 시료가 많이 사용된다.

우리나라 특수건강진단에서는 1999년부터 소변 중 마노산을 톨루엔의 생물학적 노출 지표로 사용해 왔으나, 2020년 하반기부터 소변 중 o-크레졸로 변경하였다. 그 이유는 소변 중 마노산이 톨루엔에 노출되지 않더라도 검출될 수 있기 때문에 톨루엔의 생물학적 노출 지표로 적합하지 않다는 연구 결과가 보고되었기 때문이다. 예를 들어, 안식향산이나 글리신이 포함된 식품을 섭취하거나 크실렌 등 톨루엔 외의 유기용제에 노출될 경우에도 소변 중 마노산이 배출된다(Ogata, 1985). 또한 같은 수준의 톨루엔에 노출되더라도 소변 중 마노산의 배출 농도에는 큰 변이가 있어 개인 간 편차가 크다는 연구가 있다(심상효 등, 1996). 따라서 공기 중 톨루엔 농도가 낮을 경우 소변 중 마노산을 생물학적 노출 지표로 사용하는 것이 적절하지 않다고 알려져 있다(Nise, 1992).

반면, o-크레졸은 톨루엔의 대사산물로, 일반인의 소변에서 검출되는 경우가 거의 없으므로 톨루엔의 생체 지표로 적합한 것으로 보고되었다(Dossing, 1982; De Rosa 등, 1987; 심상효 등, 1996). 이에 따라, 우리나라에서도 2020년 하반기부터 특수건강진단의 톨루엔 생물학적 지표로 소변 중 o-크레졸을 측정하는 것으로 변경하였다(KOSHA 2020; KOSHA 2023).

한편, 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서는 톨루엔의 Biological Exposure

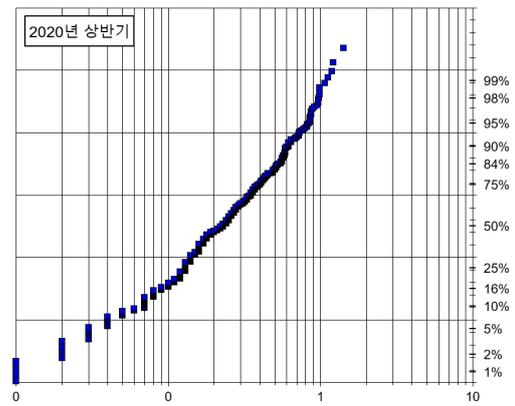
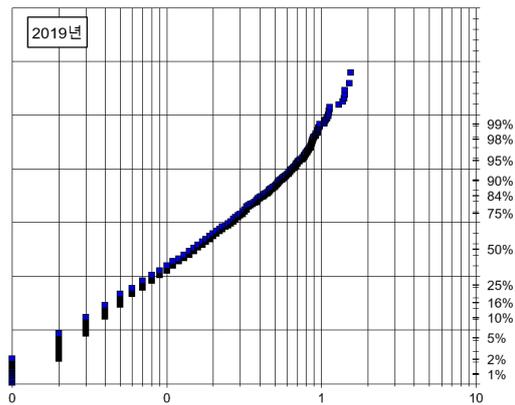
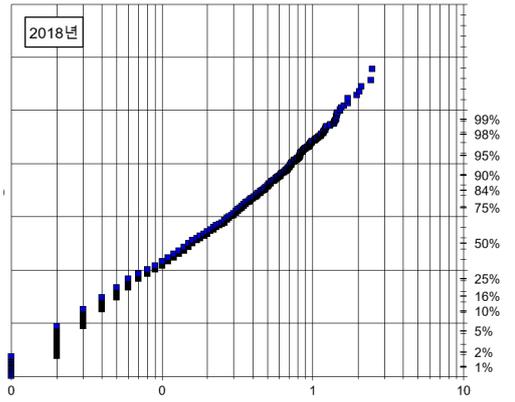
Indices(BEI, 이하 'ACGIH BEI')로 2009년 이전까지 소변 중 마뇨산(hippuric acid, 1.6 g/g creatinine)과 혈중 톨루엔(0.05 mg/L)을 제시하였으나, 2009년부터 혈중 톨루엔(0.05 mg/L)과 소변 중 o-크레졸(0.5 mg/g creatinine)로 변경하였다. 2010년에는 혈중 톨루엔을 0.02 mg/L로 낮추었고, 소변 중 톨루엔(0.03 mg/L)을 추가하였으며, 소변 중 o-크레졸 기준을 0.3 mg/g creatinine으로 변경하여 현재에 이르고 있다(ACGIH, 2004; ACGIH, 2009; ACGIH, 2010).

## 2) 소변 중 마뇨산 및 o-크레졸 농도 분포

광주광역시와 전남지역 일부 톨루엔 취급 사업장의 2018년부터 2023년까지의 특수건강진단 결과의 소변 중 마뇨산 및 o-크레졸 농도분포는 [그림 1]과 같았다. [그림 1]에서 2018년부터 2020년 상반기까지 소변 중 마뇨산의 농도분포는 누적 대수 확률지에 거의 직선상으로 나타나 기하분포를 보인다.

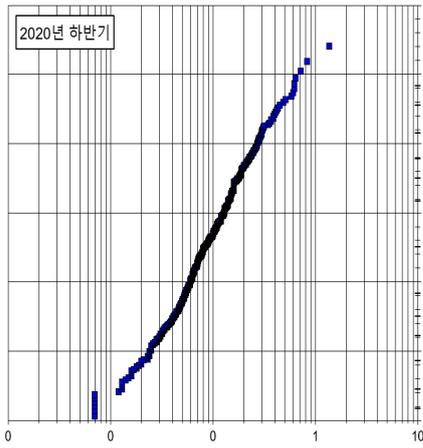
우리나라 특수건강진단의 톨루엔에 대한 생물학적 지표는 2020년 상반기까지 소변 중 마뇨산이었다. 소변 중 마뇨산의 참고기준은 1.6 g/g creatinine이었다. [그림 1]을 보면 2018년도에는 이 기준을 초과하는 경우가 일부 나타나지만 2019년도부터는 기준치를 초과하지 않고 기준치 바로 아래 집중되는 현상을 볼 수 있다. 분포상으로 보면 기준의 절반인 0.8 g/g creatinine을 초과하는 경우는 대략 5% 내외인 것으로 보인다.

2020년 하반기부터 톨루엔의 생물학적 지표로 변경된 소변 중 o-크레졸 농도분포도 [그림 2]에서 보는 바와 같이 기하분포를 보인다. 생물학적 지표가 소변 중 o-크레졸로 변경된 2020년 하반기 첫해는 기준인 0.8 mg/g creatinine을 초과하는 비율이 약 1%에 불과하였으며, 이후부터는 초과하는 경우가 거의 없었다.

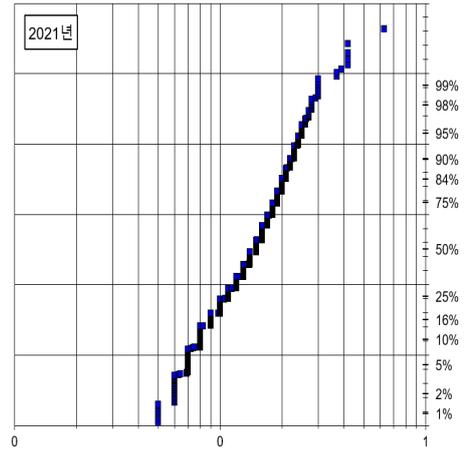


소변 중 마뇨산 (g/g creatinine)

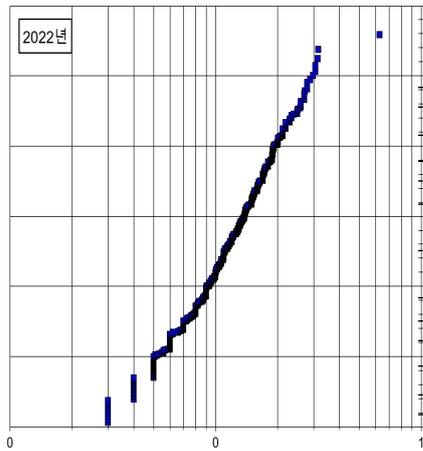
[그림 1] 특수건강진단 결과 연도별 소변 중 마뇨산 분포 (2018~2020년 상반기).



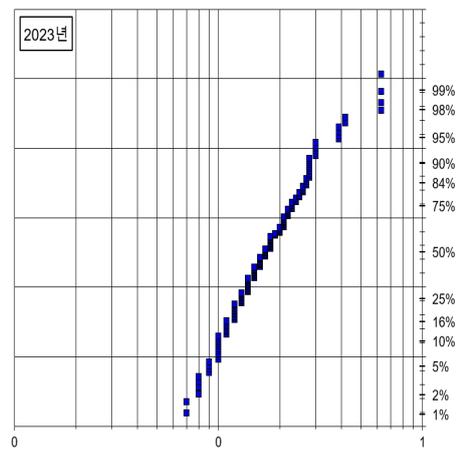
소변 중 o-크레졸 (mg/g creatinine)



소변 중 o-크레졸 (mg/g creatinine)

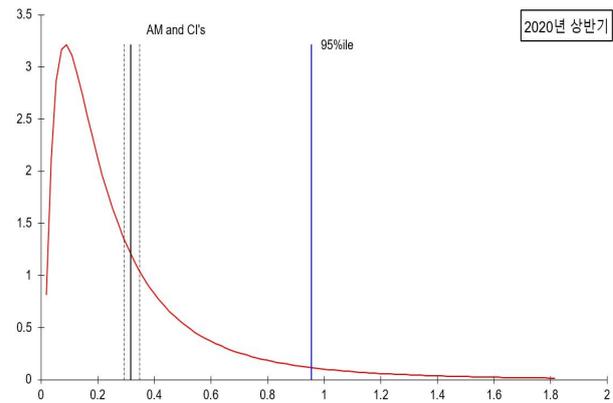
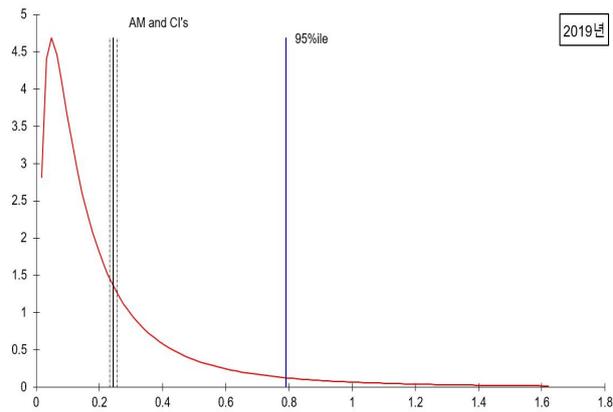
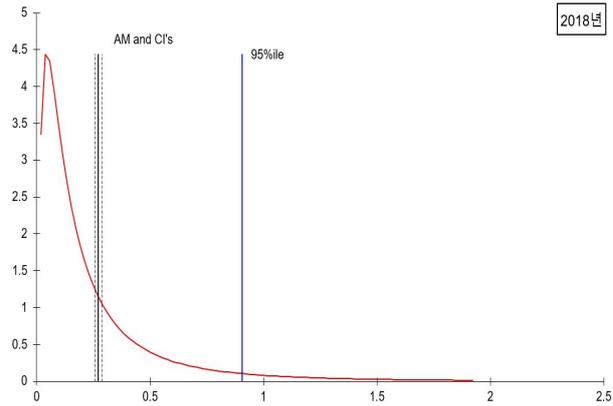


소변 중 o-크레졸 (mg/g creatinine)



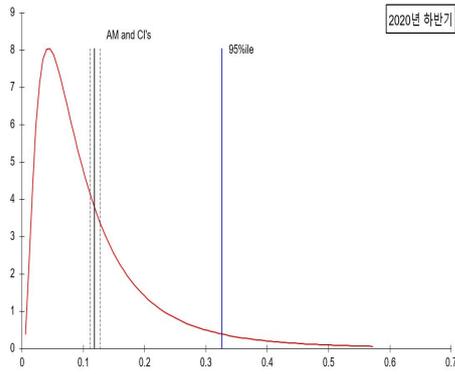
소변 중 o-크레졸 (mg/g creatinine)

[그림 2] 특수건강진단 결과 연도별 소변 중 o-크레졸 분포 (2020년 하반기~2023년).

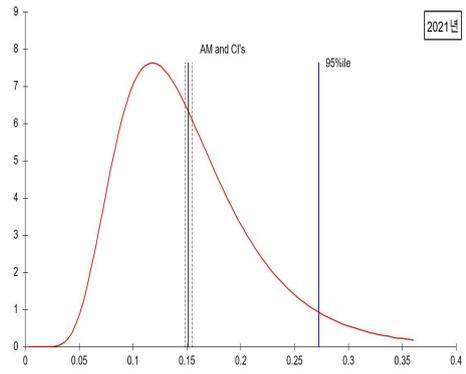


소변 중 마뇨산 (g/g creatinine)

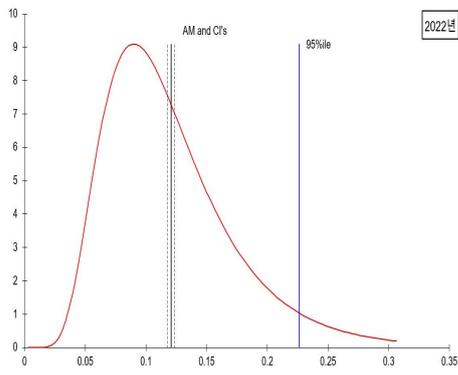
[그림 3] 특수건강진단 결과 연도별 소변 중 마뇨산 분포 (2018~2020년 상반기).



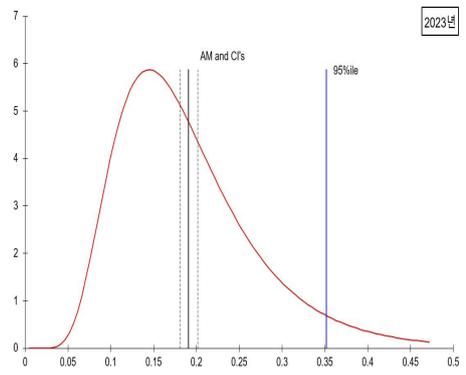
소변 중 o-크레졸 (mg/g creatinine)



소변 중 o-크레졸 (mg/g creatinine)



소변 중 o-크레졸 (mg/g creatinine)



소변 중 o-크레졸 (mg/g creatinine)

[그림 4] 특수건강진단 결과 연도별 소변 중 o-크레졸 분포 (2020년 하반기~2023년).

### 3) 소변 중 마뇨산 및 o-크레졸 농도

앞에서 언급한 대로 우리나라 특수건강진단의 톨루엔의 생물학적 지표로는 2020년 상반기까지는 소변 중 마뇨산, 2020년 하반기부터는 소변 중 o-크레졸로 지정하였다. 따라서 본 연구에서 톨루엔의 생물학적 지표로 사용한 자료는 2020년 상반기까지는 소변 중 마뇨산, 2020년 하반기부터는 소변 중 o-크레졸의 농도에 관한 자료였다.

2018년부터 2020년 상반기까지 톨루엔의 생물학적 지표로 측정한 소변 중 마뇨산은 <표 1>에서 보는 바와 같이 특수건강진단 대상자의 97% 이상에서 검출되었으나, 2020년 하반기부터 2023년까지 측정한 소변 중 o-크레졸은 상대적으로 검출률이 낮게 평가되었다.

그러나 검출 농도를 분석한 결과, 마뇨산은 저농도에서 높은 검출률을 보였으나, 다른 물질의 생물학적 지표로도 사용되기 때문에 다른 물질의 영향을 많이 받아 과다 분석된 것으로 보인다. 반면, o-크레졸은 연도별로 검출 최소치가 0.01~0.06 mg/g creatinine으로 나타났으며, 이는 저농도에서 저평가된 것이 아니라 마뇨산에 비해 다른 물질의 영향이 감소한 것으로 보인다. 또한, o-크레졸은 고농도에서 더 높은 검출률을 보였다.

<표 1> 연도별 소변 중 마뇨산 및 o-크레졸 검출 및 불검출 건수

연도	측정항목	사업장 수	측정건수	검출건수 .(%)	불검출건수 (%)
2018	마뇨산	271	1,938	1,882 (97.1)	56 (2.9)
2019		259	2,061	2,026 (98.3)	35 (1.7)
2020(상)		50	477	477 (100)	0 (0.0)
2020(하)	o-크레졸	201	1,064	546 (51.3)	518 (48.7)
2021		254	1,758	1,215 (69.1)	543 (30.9)
2022		278	1,868	1,298 (69.5)	570 (30.5)
2023		279	2,339	280 (12.0)	2,059 (88.0)
계		-	1,592	11,505	7,724 (67.1)

우리나라 생물학적 노출 지표에 의하면 소변 중 마노산은 2.5 g/g creatinine, 소변 중 o-크레졸은 0.8 mg/g creatinine이다. 반면, 미국산업위생전문가협회(ACGIH)에서는 소변 중 마노산은 1.6 g/g creatinine, 소변 중 o-크레졸은 0.3 mg/g creatinine을 기준으로 하고 있다.

우리나라 생물학적 노출 지표는 건강 이상자를 찾아내기 위한 기준으로 설정되어 있다 다소 높은 편이다. 따라서 본 연구에서는 ACGIH 기준을 적용하여 소변 중 마노산은 1.6 g/g creatinine, 소변 중 o-크레졸은 0.3 mg/g creatinine을 기준으로 진행하였다.

<표 3>와 <표 5>의 초과 확률을 보면, 마노산보다 o-크레졸의 초과 확률이 약 5배에서 10배 더 높게 나타났다. 이는 o-크레졸이 고농도를 효과적으로 분석할 수 있음을 의미하며, o-크레졸을 평가 기준으로 삼는 것이 적절한 것으로 보인다.

또한, <표 5>에서 정규분포를 가정했을 때, 2020년 상반기의 50% 초과 확률과 2021년의 100% 초과 확률이 다른 해에 비해 높는데, [그림 1]을 보면, 고농도 그룹이 존재하는 것을 확인할 수 있다.

<표 2> 연도별 소변 중 마노산 농도

(단위: g/g creatinine)

연도	사업장 수	검출건수	AM	SD	GM	GSD
2018	271	1,882	0.3	0.3	0.32	3.00
2019	259	2,026	0.3	0.3	0.29	2.95
2020(상)	50	477	0.3	0.3	0.22	2.68
계	580	4,385	0.3	0.3	0.28	2.88

〈표 3〉 연도별 소변 중 마뇨산의 ACGIH BEI 기준 초과 확률

(농도단위: g/g creatinine)

연도	사업장 수	작업자수	대표값	산포도	초과확률(%)	
					0.5xBEI	1xBEI
정규분포 가정			AM	SD	0.5xBEI	1xBEI
2018	271	1,882	0.3	0.3	2.9	0.0
2019	259	2,026	0.3	0.3	2.2	0.0
2020(상)	50	477	0.3	0.3	8.5	0.0
평균	193	1,462	0.3	0.3	4.6	0.0
기하분포 가정			GM	GSD	0.5xBEI	1xBEI
2018	271	1,882	0.32	3.00	19.8	6.9
2019	259	2,026	0.29	2.95	17.6	5.8
2020(상)	50	477	0.22	2.68	9.5	2.2
평균	193	1462	0.28	2.88	15.6	5.0

〈표 4〉 연도별 소변 중 o-크레졸 농도

(단위: mg/g creatinine)

연도	사업장 수	검출건수	AM	SD	GM	GSD
2020(하)	201	546	0.1	0.1	0.08	2.27
2021	254	1,215	0.2	0.1	0.15	1.59
2022	278	1,298	0.1	0.1	0.12	1.67
2023	279	280	0.3	0.2	0.24	1.82
계	1,012	3,339	0.2	0.1	0.17	1.69

〈표 5〉 연도별 소변 중 o-크레졸의 ACGIH BEI 기준 초과 확률

(농도단위 : mg/g creatinine)

연도	사업장 수    작업자 수		대표값	산포도	초과확률(%)	
	정규분포 가정	기하분포 가정			AM	SD
2020(하)	201	546	0.1	0.1	39.7	6.1
2021	254	1,215	0.2	0.1	50.0	10.9
2022	278	1,298	0.1	0.1	45.6	3.3
2023	279	280	0.3	0.2	50.3	4.0
평균	253	835	0.2	0.1	46.4	6.1
2020(하)	201	546	0.08	2.27	24.2	6.2
2021	254	1,215	0.15	1.59	47.6	5.9
2022	278	1,298	0.12	1.67	35.2	4.1
2023	279	280	0.24	1.82	72.4	34.5
평균	253	835	0.15	1.84	44.8	12.7

## 제 2 절 소변 중 마노산\_및 o-크레졸 농도 특성 분석

### 1) 농도 구간 별 소변 중 마노산 및 o-크레졸 농도

ACGIH 기준을 사용하여 검출 건수 7,724건의 농도를 5구간(노출기준 대비 10%미만, 10-25%, 25-50%, 50-100%, 100%이상)으로 나누어 구간별 사업장 수와 근로자 수를 도출해냈다.

2018년~2020년 상반기까지 마노산이 50% 이상 노출된 사업장 수는 10.7%, 근로자 수는 5.8%, 2020년 하반기~2023년 o-크레졸이 50% 이상 노출된 사업장 수는 44.0%, 근로자 수는 43.3%로 o-크레졸이 마노산에 비해 사업장 수는 약 4배, 근로자 수는 약 7배 높은 것으로 나타났다.

〈표 6〉 소변 중 마뇨산의 농도 수준별 사업장 수

연도	소변 중 마뇨산 농도 (g/g creatinine)					계
	0.16 미만	0.16-0.4 미만	0.4-0.8 미만	0.8-1.6 미만	1.6 이상	
2018	193	143	108	37	8	489
2019	192	159	100	53	7	511
2020(상)	34	34	21	9	4	102
계	419	336	229	99	19	1,102

〈표 7〉 소변 중 마뇨산의 농도 수준별 근로자 수

연도	소변 중 마뇨산 농도 (g/g creatinine)					계
	0.16 미만	0.16-0.4 미만	0.4-0.8 미만	0.8-1.6 미만	1.6 이상	
2018	941	564	273	95	9	1,882
2019	1,019	632	265	101	9	2,026
2020(상)	156	188	92	34	7	477
계	2,116	1,384	630	230	25	4,385

〈표 8〉 소변 중 o-크레졸 농도 수준별 사업장 수

연도	소변 중 o-크레졸 농도 (mg/g creatinine)					계
	0.03 미만	0.03-0.075 미만	0.075-0.15 미만	0.15-0.3 미만	0.3 이상	
2020(하)	25	85	93	50	24	277
2021	1	26	83	138	40	288
2022	6	87	131	69	17	310
2023	0	3	44	66	54	167
계	32	201	351	323	135	1,042

〈표 9〉 소변 중 o-크레졸 농도 수준별 근로자 수

연도	소변 중 o-크레졸 농도 (mg/g creatinine)					계
	0.03 미만	0.03-0.075 미만	0.075-0.15 미만	0.15-0.3 미만	0.3 이상	
2020(하)	50	192	172	105	27	546
2021	1	92	470	588	64	1,215
2022	6	160	682	405	45	1,298
2023	0	3	65	114	98	280
계	57	447	1,389	1,212	234	3,339

## 2) 농도 구간 별 업종 분포

50% 이상 노출 그룹의 업종을 분석한 결과, 모든 구간에서 제조업이 가장 높았는데, 50-100% 미만 구간에서 마노산 71.7%, o-크레졸은 78.05%였고, 100% 이상 구간에서는 마노산은 80.0%, o-크레졸은 80.2%로 제조업의 비율이 가장 높았다.

〈표 14〉~〈표 17〉에서 가장 높게 나왔던 제조업을 세부 업종으로 나누어 50% 이상 노출 그룹을 분석한 결과, 50-100% 미만 구간에서는 자동차 및 트레일러 제조업이 가장 높았는데 마노산 41.0%, o-크레졸은 53.6%였고, 100% 이상 구간에서는 마노산은 인쇄 및 기록매체 복제업과 전자 부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업이 동일하게 가장 높았는데 각각 25.0%로 50.0%를 차지 했으며, 자동차 및 트레일러 제조업은 20.8%를 차지했다. o-크레졸은 자동차 및 트레일러 제조업이 가장 높았는데 35.5%였다.

〈표 10〉 소변 중 마노산의 농도 0.8~1.6 g/g creatinine 구간의 업종별 사업장 수

연도	업종									계
	건설업	공공행정	사업시설 관리	예술	운수업	보건업	전문, 과학	제조업	협회 및 단체	
2018	1	16	0	2	2	3	1	65	5	95
2019	1	11	1	5	0	2	4	75	2	101
2020(상)	0	1	0	0	0	0	0	25	8	34
계	2	28	1	7	2	5	5	165	15	230

- 1) 공공행정: 공공행정, 국방 및 사회보장 행정업
- 2) 사업시설관리: 사업시설관리 및 사업지원 서비스업
- 3) 예술: 예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스업
- 4) 보건업: 보건업 및 사회복지 서비스업
- 5) 전문, 과학: 전문, 과학 및 기술 서비스업
- 6) 협회 및 단체: 협회 및 단체, 수리 및 기타 개인 서비스업

〈표 11〉 소변 중 마노산 농도 1.6 g/g creatinine 이상 구간의 업종별 사업장 수

연도	업종					계
	공공행정	보건업	전문,과학	제조업	협회 및 단체	
2018	1	1	0	7	0	9
2019	0	0	0	9	0	9
2020(상)	0	0	1	4	2	7
계	1	1	1	20	2	25

- 1) 공공행정: 공공행정, 국방 및 사회보장 행정업
- 2) 보건업: 보건업 및 사회복지 서비스업
- 3) 전문, 과학: 전문, 과학 및 기술 서비스업
- 4) 협회 및 단체: 협회 및 단체, 수리 및 기타 개인 서비스업

〈표 12〉 소변 중 o-크레졸 농도 0.15~0.3 mg/g creatinine 구간의 업종별 사업장 수

연도	업종											계
	건설업	공공행정	도매	사업시설관리	예술	운수업	보건업	전기	전문, 과학	제조업	협회및 단체	
2020(하)	1	3	0	0	0	0	2	1	3	87	8	105
2021	4	48	1	14	0	4	23	0	24	407	63	588
2022	2	3	1	0	2	13	1	1	5	362	15	405
2023	2	4	1	3	3	0	0	0	0	90	11	114
계	9	58	3	17	5	17	26	2	32	946	97	1,212

- 1) 공공행정: 공공행정, 국방 및 사회보장 행정업
- 2) 도매: 도매 및 소매업
- 3) 사업시설관리: 사업시설관리 및 사업지원 서비스업
- 4) 예술: 예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스업
- 5) 보건업: 보건업 및 사회복지 서비스업
- 6) 전문, 과학: 전문, 과학 및 기술 서비스업
- 7) 협회 및 단체: 협회 및 단체, 수리 및 기타 개인 서비스업

〈표 13〉 소변 중 o-크레졸 농도 0.3 mg/g creatinine 이상 구간의 업종별 사업장 수

연도	업종										계
	건설업	공공행정	사업시설관리	예술	운수업	보건업	전기	전문, 과학	제조업	협회 및 단체	
2020(하)	1	2	0	0	0	0	0	0	22	2	27
2021	0	4	3	0	0	0	0	2	53	1	63
2022	0	2	0	0	2	1	0	0	37	3	45
2023	1	3	2	5	0	3	1	2	74	6	97
계	2	11	5	5	2	4	1	4	186	12	232

- 1) 공공행정: 공공행정, 국방 및 사회보장 행정업
- 2) 사업시설관리: 사업시설관리 및 사업지원 서비스업
- 3) 예술: 예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스업
- 4) 보건업: 보건업 및 사회복지 서비스업
- 5) 전기: 전기, 가스, 증기 및 수도사업
- 6) 전문, 과학: 전문, 과학 및 기술 서비스업
- 7) 협회 및 단체: 협회 및 단체, 수리 및 기타 개인 서비스업

〈표 14〉 소변 중 마노산 농도 0.8~1.6 g/g creatinine 구간의 제조업 세부 업종별 사업장 수

연도	업종											계
	1차 금속	가구	고무	금속 가공	기계	기타 제품	도장	인쇄	자동차	전자 부품	화학물질	
2018	0	0	5	2	5	0	3	13	36	1	0	65
2019	3	3	5	3	8	1	5	11	31	5	2	75
2020(상)	0	0	1	3	0	1	0	0	1	20	0	26
계	3	3	11	8	13	2	8	24	68	26	2	166

- 1) 1차 금속: 1차 금속 제조업
- 2) 가구: 가구 제조업
- 3) 고무: 고무 및 플라스틱제품 제조업
- 4) 금속가공: 금속 가공제품 제조업(기계 및 가구 제외)
- 5) 기계: 기계 및 장비 제조업
- 6) 기타 제품: 기타 제품 제조업
- 7) 인쇄: 인쇄 및 기록매체 복제업
- 8) 자동차: 자동차 및 트레일러 제조업
- 9) 전자 부품: 전자 부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업
- 10) 화학물질: 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)

〈표 15〉 소변 중 마노산 농도 1.6 g/g creatinine 이상 구간의 제조업 세부업종별 사업장 수

연도	업종								계
	1차 금속	가구	고무	기계	기타 제품	인쇄	자동차	전자 부품	
2018	1	0	0	0	1	3	2	0	7
2019	0	1	0	0	0	3	3	2	9
2020(상)	0	0	2	2	0	0	0	4	8
계	1	1	2	2	1	6	5	6	24

- 1) 1차 금속: 1차 금속 제조업
- 2) 가구: 가구 제조업
- 3) 고무: 고무 및 플라스틱제품 제조업
- 4) 기계: 기계 및 장비 제조업
- 5) 기타 제품: 기타 제품 제조업
- 6) 인쇄: 인쇄 및 기록매체 복제업
- 7) 자동차: 자동차 및 트레일러 제조업
- 8) 전자 부품: 전자 부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업

〈표 16〉 소변 중 o-크레졸 농도 0.15~0.3 mg/g creatinine 구간의 제조업 세부업종별 사업장 수

연도	업종											계
	1차 금속	가구	고무	금속가공	기계	기타 제품	도장	인쇄	자동차	전자 부품	화학물질	
2020(하)	8	0	1	5	18	7	6	5	18	19	0	87
2021	20	1	18	26	74	20	14	30	162	35	7	407
2022	11	2	3	6	6	14	1	7	286	18	8	362
2023	7	1	7	5	6	7	3	3	41	7	3	90
계	46	4	29	42	104	48	24	45	507	79	18	946

- 1) 1차 금속: 1차 금속 제조업
- 2) 가구: 가구 제조업
- 3) 고무: 고무 및 플라스틱제품 제조업
- 4) 금속가공: 금속 가공제품 제조업(기계 및 가구 제외)
- 5) 기계: 기계 및 장비 제조업
- 6) 기타 제품: 기타 제품 제조업
- 7) 인쇄: 인쇄 및 기록매체 복제업
- 8) 자동차: 자동차 및 트레일러 제조업
- 9) 전자 부품: 전자 부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업
- 10) 화학물질: 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)

〈표 17〉 소변 중 o-크레졸 농도 0.3 mg/g creatinine 이상 구간의 제조업 세부 업종별 사업장 수

연도	업종										계
	1차 금속	고무	금속가공	기계	기타 제품	도장	인쇄	자동차	전자 부품	화학물질	
2020(하)	3	0	2	4	3	0	3	2	5	0	22
2021	4	4	7	4	6	1	11	12	4	0	53
2022	1	2	5	0	2	0	4	22	2	0	38
2023	0	5	2	5	5	2	11	30	10	3	73
계	8	11	16	13	16	3	29	66	21	3	186

- 1) 1차 금속: 1차 금속 제조업
- 2) 고무: 고무 및 플라스틱제품 제조업
- 3) 금속가공: 금속 가공제품 제조업(기계 및 가구 제외)
- 4) 기계: 기계 및 장비 제조업
- 5) 기타 제품: 기타 제품 제조업
- 6) 인쇄: 인쇄 및 기록매체 복제업
- 7) 자동차: 자동차 및 트레일러 제조업
- 8) 전자 부품: 전자 부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업
- 9) 화학물질: 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)

### 3) 톨루엔 고위험군의 통계적 추정

본 연구에서는 <표 18>과 <표 19>와 같이 마노산의 50% 초과 확률은 평균 5.72%, 100% 초과 확률은 평균 0.8%로 나타났고, o-크레졸의 50% 초과 확률은 평균 34.89%, 100% 초과 확률은 12.17%로 나타났다. 이를 <표 3>과 <표 5>와 비교했을 때, 마노산은 정규분포 가정에, o-크레졸은 기하분포 가정에 가까운 수치를 보였다. 이 수치는 공기 중 톨루엔 농도가 20 ppm 이상으로 노출될 수 있는 고위험군에 해당하며, 해당 집단을 중심으로 향후 관리가 이루어져야 한다.

<표 18> 소변 중 마노산의 노출기준 초과 확률

연도	사업장 수	근로자 수	초과확률(%)	
			ACGIH BEI 대비	
			0.5x	1x
2018	45	104	5.1	0.5
2019	60	110	5.0	0.4
2020(상)	13	41	7.1	1.5
계	118	255	5.7	0.8

<표 19> 소변 중 o-크레졸 노출기준 초과 확률

연도	사업장 수	근로자 수	초과확률(%)	
			ACGIH BEI 대비	
			0.5x	1x
2020(하)	74	132	19.2	5.0
2021	178	652	48.4	5.3
2022	86	450	31.2	3.5
2023	120	212	40.7	35.0
계	458	1,446	34.9	12.2

#### 4) 규모별 업종별 소변 중 마뇨산 및 o-크레졸 농도

〈표 20〉~〈표 21〉에서 규모별로 사업장 수를 살펴보면, 마뇨산과 o-크레졸 모두 20~49명 규모가 가장 많았고, 검출건수는 사업장 규모가 클수록 검진 건수가 증가하는 경향이 있어, 300명 이상이 가장 높게 나왔다. 평균 농도를 보면 5~9명, 10~19명 규모에서 다소 높은 수치를 보여 해당 규모의 사업장에 대한 체계적인 관리가 필요할 것으로 보인다.

〈표 20〉 규모별 소변 중 마뇨산 농도

(단위: g/g creatinine)

규모	사업장수	검출건수	AM	SD	GM	GSD
5명 미만	26	56	0.2	0.2	0.14	2.76
5~9명	69	202	0.3	0.4	0.18	2.86
10~19명	75	285	0.3	0.4	0.19	3.23
20~49명	115	797	0.3	0.3	0.16	3.02
50~99명	47	650	0.3	0.3	0.16	2.92
100~299명	29	702	0.3	0.3	0.15	3.07
300명 이상	7	1,693	0.2	0.3	0.34	2.87
계	368	4,385	0.3	0.3	0.19	2.96

〈표 21〉 규모별 소변 중 o-크레졸 농도

(단위: mg/g creatinine)

규모	사업장수	검출건수	AM	SD	GM	GSD
5명 미만	24	47	0.2	0.1	0.12	2.17
5~9명	52	165	0.2	0.2	0.13	2.12
10~19명	70	275	0.2	0.2	0.13	2.15
20~49명	108	578	0.2	0.1	0.13	1.85
50~99명	58	652	0.2	0.1	0.12	2.03
100~299명	28	318	0.1	0.1	0.12	1.85
300명 이상	11	1,304	0.2	0.1	0.40	1.65
계	351	3,339	0.2	0.1	0.17	1.98

〈표 22〉~〈표 23〉에서 업종별로 살펴보면, 마뇨산과 o-크레졸의 사업장 수와 검출건수 모두 제조업종이 가장 많았고, 평균 농도는 큰 차이가 없지만, 편차가 평균 약 1배 차이 나는 것으로 보여 고위험 농도군에 대해서는 관리가 필요해보인다.

〈표 22〉 업종별 소변 중 마뇨산 농도

(단위 : g/g creatinine)

업종	사업장수	검출건수	AM	SD	GM	GSD
제조업	263	3,236	0.3	0.3	0.23	2.92
협회및단체, 수리 및 기타 개인 서비스업	56	230	0.3	0.3	0.16	2.87
전기, 가스, 증기 및 수도사업	1	21	0.2	0.2	0.11	2.96
공공행정	6	475	0.2	0.3	0.13	3.10
보건업 및 사회복지 서비스업	8	83	0.3	0.2	0.18	3.11
건설업	16	46	0.2	0.2	0.16	2.52
기타	31	294	0.2	0.3	0.14	3.13
계	381	4,385	0.3	0.3	0.16	2.94

〈표 23〉 업종별 소변 중 o-크레졸 농도

(단위 : g/g creatinine)

업종	사업장수	검출건수	AM	SD	GM	GSD
제조업	221	2,496	0.2	0.1	0.23	1.84
협회및단체, 수리 및 기타 개인 서비스업	62	285	0.1	0.1	0.12	1.77
전기, 가스, 증기 및 수도사업	1	19	0.1	0.1	0.09	2.08
공공행정	10	159	0.2	0.1	0.13	1.74
보건업 및 사회복지 서비스업	9	75	0.1	0.1	0.10	2.36
건설업	13	37	0.1	0.1	0.10	2.11
기타	31	268	0.2	0.1	0.12	1.93
계	347	3,339	0.1	0.1	0.13	1.98

### 제 3 절 작업환경측정 결과 공기 중 톨루엔 농도 현황

우리나라 톨루엔의 공기 중 8시간가중 평균농도 노출기준(8hr-TWA)은 50 ppm, ACGIH는 20 ppm이다. 작업환경측정이 상반기, 하반기로 나누어 진행되는 것을 고려하여 상하반기를 나누어 농도를 분석하였다. 상반기는 총 1,085건중에서 검출건수는 1,175건으로 42.5%였고, 불검출건수는 1587건으로 57.5%였다. 하반기는 총 1,276건에서 검출건수는 1,028건으로 40.8%였고, 불검출건수는 1494건으로 59.2%였다. 상하반기의 평균 농도는 4.56 ppm으로 업종별, 규모별로 나누어도 상하반기는 비슷한 수준으로 나왔으며, 우리나라 노출기준 50 ppm의 9.12%, ACGIH 노출기준 20 ppm의 22.8%의 수치였다.

〈표 24〉 상반기 연도별 공기 중 톨루엔 검출 및 불검출 건수

연도	사업장수	측정건수	검출건수 (%)	불검출건수 (%)
2018	188	446	272 (61.0)	174 (39.0)
2019	257	455	228 (50.1)	227 (49.9)
2020	216	467	192 (41.1)	275 (58.9)
2021	188	413	147 (35.6)	266 (64.4)
2022	184	394	168 (42.6)	226 (57.4)
2023	52	587	168 (28.6)	419 (71.4)
계	1,085	2,762	1,175 (42.5)	1,587 (57.5)

〈표 25〉 하반기 연도별 공기 중 톨루엔 검출 및 불검출 건수

연도	사업장수	측정건수	검출건수 (%)	불검출건수 (%)
2018	252	418	254 (60.8)	164 (39.2)
2019	195	370	144 (38.9)	226 (61.1)
2020	190	428	160 (37.4)	268 (62.6)
2021	179	372	148 (39.8)	224 (60.2)
2022	279	376	153 (40.7)	223 (59.3)
2023	181	558	169 (30.3)	389 (69.7)
계	1,276	2,522	1,028 (40.8)	1,494 (59.2)

〈표 26〉 상반기 연도별 공기 중 톨루엔 농도

연도	사업장수	측정건수	GM	GSD	(단위 : ppm)	
					노출기준 초과확률	
					z	%
2018	188	272	2.9	2.77	1.90	2.9
2019	257	228	2.2	2.76	2.17	1.5
2020	216	192	2.3	2.88	2.04	2.1
2021	188	147	2.5	2.81	2.01	2.2
2022	184	168	2.0	2.81	2.23	1.0
2023	52	168	1.5	3.15	2.26	1.2
계	1,085	1,175	2.2	2.87	2.09	1.8

〈표 27〉 하반기 연도별 공기 중 톨루엔 농도

연도	사업장수	검출건수	GM	GSD	(단위 : ppm)	
					노출기준 초과확률	
					z	%
2018	252	254	3.0	2.75	1.88	3.0
2019	195	144	3.5	3.07	1.55	6.1
2020	190	160	3.0	2.90	1.78	3.8
2021	179	148	2.6	2.94	1.89	2.9
2022	279	153	1.7	3.75	1.87	3.1
2023	181	169	1.5	3.52	2.06	2.0
계	1,276	1,028	2.5	3.16	1.81	3.5

〈표 28〉~〈표 31〉에서 상,하반기에 따른 차이는 없었으며, 톨루엔의 검출건수와 농도 모두 제조업이 가장 높았고, 편차가 커 고농도 노출군에 대한 관리가 필요해 보인다.

〈표 28〉 상반기 업종별 공기 중 톨루엔 노출농도

(단위 : ppm)

업종	검출건수	AM	SD	GM	GSD
건설업	17	1.5	1.8	1.10	1.93
공공행정, 국방 및 사회보장 행정	5	0.6	0.2	0.57	1.36
교육서비스업	5	0.9	0.3	0.90	1.32
보건업 및 사회복지 서비스업	3	1.9	1.4	1.66	1.96
전문, 과학 및 기술 서비스업	7	1.3	0.8	1.15	1.91
제조업	654	5.5	8.3	2.69	3.15
협회및단체,수리 및 기타 개인 서비스업	482	2.9	3.6	1.80	2.48
기타	2	4.2	2.5	3.79	1.90
계	1,175	2.4	2.3	1.71	2.00

〈표 29〉 하반기 업종별 공기 중 톨루엔 노출농도

(단위 : ppm)

업종	검출건수	AM	SD	GM	GSD
건설업	9	5.6	5.2	3.37	3.21
교육서비스업	3	0.4	0.0	0.35	1.03
보건업 및 사회복지 서비스업	2	3.0	2.1	2.54	2.23
전문, 과학 및 기술 서비스업	4	1.0	0.4	0.92	1.51
제조업	593	6.9	8.8	3.48	3.33
협회및단체,수리 및 기타 개인 서비스업	414	2.4	3.1	1.52	2.56
기타	3	1.0	0.5	0.82	2.04
계	1,028	2.9	2.9	1.86	2.27

〈표 30〉 상반기 제조업 세부업종 공기 중 톨루엔 농도

(단위 : ppm)

세부업종	검출건수	AM	SD	GM	GSD
자동차 및 트레일러 제조업	205	3.9	5.7	2.09	2.81
인쇄 및 기록매체 복제업	51	6.0	6.6	3.46	2.97
금속 가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외	90	6.8	8.7	3.67	3.07
고무 및 플라스틱제품 제조업	62	6.0	7.7	2.94	3.43
전자 부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	49	5.1	7.2	2.74	2.95
기타 기계 및 장비 제조업	49	6.2	11.3	2.53	3.50
도장업	35	2.7	3.0	1.85	2.23
기타 제품 제조업	27	12.1	12.7	7.14	2.98
가구 제조업	16	4.0	5.3	2.13	3.21
펄프, 종이 및 종이제품 제조업	16	14.3	19.8	4.76	6.37
기타 운송장비 제조업	23	3.3	4.1	2.26	2.24
전기장비 제조업	14	3.1	3.9	1.62	3.25
의료, 정밀, 광학 기기 및 시계 제조업	6	2.2	1.5	1.94	1.70
1차 금속 제조업	8	11.3	17.0	3.69	5.08
목재 및 나무제품 제조업; 가구 제외	-	-	-	-	-
식료품 제조업	2	2.2	0.1	2.15	1.04
코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업	-	-	-	-	-
화학 물질 및 화학제품 제조업; 의약품 제외	1	2.3	-	-	-
계	654	5.7	7.6	3.00	3.12

〈표 31〉 하반기 제조업 세부업종 공기 중 톨루엔 농도

(단위 : ppm)

세부업종	검출건수	AM	SD	GM	GSD
자동차 및 트레일러 제조업	153	4.4	4.5	2.70	2.91
인쇄 및 기록매체 복제업	113	9.5	10.5	5.06	3.29
금속 가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외	54	7.2	8.0	4.02	3.08
고무 및 플라스틱제품 제조업	42	6.0	6.6	3.43	3.02
전자 부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	37	5.8	8.6	2.96	3.18
기타 기계 및 장비 제조업	33	5.1	11.5	2.10	3.31
도장업	39	6.1	9.5	2.88	3.28
기타 제품 제조업	24	13.9	14.1	6.50	4.52
가구 제조업	26	5.7	6.3	3.00	3.49
펄프, 종이 및 종이제품 제조업	23	10.3	9.4	5.96	3.33
기타 운송장비 제조업	10	5.4	7.3	2.36	3.84
전기장비 제조업	11	3.6	2.8	2.11	3.60
의료, 정밀, 광학 기기 및 시계 제조업	9	10.1	7.3	7.47	2.47
1차 금속 제조업	7	15.3	20.0	5.27	5.39
목재 및 나무제품 제조업; 가구 제외	11	3.7	3.0	2.71	2.40
식료품 제조업	0	-	-	-	-
코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업	1	0.4	-	-	-
화학 물질 및 화학제품 제조업; 의약품 제외	0	-	-	-	-
계	593	7.0	8.6	3.90	3.41

〈표 32〉~〈표 33〉에서 상반기는 50~99명 규모에서 가장 농도가 높았고, 하반기는 10~19명 규모에서 가장 높았으나, 그 농도차이가 크지 않고, 대부분의 규모에서 편차가 크게 나타나 유의미한 결과는 도출해내지 못했다.

〈표 32〉 상반기 규모별 공기중 톨루엔 농도

(단위 : ppm)

규모	검출건수	AM	SD	GM	GSD
5명 미만	111	3.5	5.1	1.92	2.81
5 ~ 9명	232	4.3	7.7	2.16	2.98
10 ~ 19명	325	5.0	7.4	2.52	3.03
20 ~ 49명	275	3.9	6.2	2.10	2.77
50 ~ 99명	89	5.9	8.2	3.09	3.18
100 ~ 299명	61	2.5	3.1	1.65	2.33
300명 이상	82	3.1	4.2	1.81	2.59
계	1,175	4.0	6.0	2.18	2.81

〈표 33〉 하반기 규모별 공기중 톨루엔 노출

(단위 : ppm)

규모	검출건수	AM	SD	GM	GSD
5명 미만	112	4.5	6.0	2.26	3.09
5 ~ 9명	261	4.8	8.2	2.23	3.16
10 ~ 19명	273	6.0	8.6	2.72	3.60
20 ~ 49명	242	5.0	6.7	2.70	3.19
50 ~ 99명	51	4.3	4.9	2.76	2.48
100 ~ 299명	18	4.6	5.9	2.19	3.46
300명 이상	71	2.9	3.1	1.73	2.86
계	1,028	4.6	6.2	2.37	3.12

#### 제 4 절 연구대상 사업장 현황

본 연구에서 자료로 사용 된 2018년부터 2023년까지 전남지역 모 기관 에 서 특수건강진단을 실시한 사업장은 1,592개소로 검출건수는 7,724건 이었다. 또한, 작업환경측정을 실시한 사업장은 1,039개소로 검출건수는 2,203건 이었다. 해당 검출건수를 연도별, 규모 및 업종별 건수는 다음과 같았다.

〈표 34〉 규모 및 연도별 특수건강진단 건수

연도	측정항목	규모							계
		5명 미만	5 ~ 9명	10 ~ 19명	20 ~ 49명	50 ~ 99명	100 ~ 299명	300명 이상	
2018	마노산	29	108	115	364	269	312	685	1,882
2019	마노산	26	72	142	369	338	363	716	2,026
2020(상)	마노산	1	22	28	64	43	27	292	477
2020(하)	오-크레졸	11	45	78	140	143	43	86	546
2021	오-크레졸	15	58	78	227	238	95	504	1,215
2022	오-크레졸	12	42	88	163	223	154	616	1,298
2023	오-크레졸	9	20	31	48	48	26	98	280
계	-	103	367	560	1,375	1,302	1,020	2,997	7,724

〈표 35〉 연도 및 업종별 특수건강진단 건수

연도	측정항목	업종													계
		건설업	공정, 국방 및 사회보장행정업	교육서비스업	농업	도매 및 소매업	보건 및 사회복지서비스업	사업관리 및 사업지원서비스업	전기, 가스, 증기 및 수도사업	예술, 스포츠 및 여가관련서비스업	운수업	문, 학 및 기술서비스업	제조업	회계, 법, 의료 및 기타 개인서비스업	
2018	마노산	24	225	0	0	1	39	11	11	26	9	55	1,374	107	1,882
2019	마노산	18	243	0	0	14	42	36	10	40	3	72	1,451	97	2,026
2020(상)	마노산	4	7	0	0	0	1	0	0	0	0	27	411	27	477
2020(하)	o-크레졸	16	17	0	2	0	19	4	7	3	0	26	387	65	546
2021	o-크레졸	10	70	0	4	1	36	20	7	1	21	41	902	102	1,215
2022	o-크레졸	5	64	0	1	2	17	5	4	10	45	58	994	93	1,298
2023	o-크레졸	6	8	1	2	2	3	4	1	13	0	2	213	25	280
계	-	83	634	1	9	20	157	80	40	93	78	281	5,732	516	7,724

〈표 36〉 연도 및 규모별 상반기 작업환경측정 건수

연도	규모							계
	5명 미만	5~9명	10~19명	20~49명	50~99명	100~299명	300명 이상	
2018	26	61	74	60	23	12	16	272
2019	20	46	75	51	24	6	6	228
2020	22	33	59	44	10	8	16	192
2021	15	22	43	35	9	14	9	147
2022	15	35	35	45	13	11	14	168
2023	13	35	39	40	10	10	21	168
계	111	232	325	275	89	61	82	1,175

〈표 37〉 연도 및 규모별 하반기 작업환경측정 건수

연도	규모							계
	5명 미만	5~9명	10~19명	20~49명	50~99명	100~299명	300명 이상	
2018	20	62	73	61	19	2	17	254
2019	19	36	36	33	13	2	5	144
2020	21	43	42	32	8	8	6	160
2021	20	40	37	33	5	2	11	148
2022	15	38	42	40	3	4	11	153
2023	17	42	43	43	3	0	21	169
계	112	261	273	242	51	18	71	1,028

〈표 38〉 연도 및 업종별 상반기 작업환경측정 건수

연도	업종													계
	건설업	공정, 방공행국 및 사회장정업	교육서비스	농업	도매 및 소매업	보건 및 사회복지서비스	사업설리 및 사업원비업	전기, 가스, 증기 및 수도사업	예술, 스포츠 및 여가관련서비스	운수업	전문, 과학 및 기술서비스	제조업	협회단체, 리기개인서비스	
2018	2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	147	120	272
2019	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	115	111	228
2020	11	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	103	74	192
2021	1	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	83	57	147
2022	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	104	59	168
2023	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	1	102	61	168
계	17	5	5	1	0	3	0	0	1	0	7	654	482	1,175

〈표 39〉 연도 및 업종별 하반기 작업환경측정 건수

연도	업종													계
	건설업	공공행정, 방위사업, 사회보장사업	교육서비스업	농업	도매 및 소매업	보건 및 사회복지서비스업	사업설립 및 관리서비스업	전기, 가스, 증기 및 수도사업	예술, 스포츠 및 여가관련서비스업	운수업	전문, 과학 및 기술서비스업	제조업	회계, 법, 의료, 상담, 보험, 부동산, 임대업	
2018	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	129	117	254
2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	47	144
2020	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	58	160
2021	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	84	60	148
2022	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	1	87	62	153
2023	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	97	70	169
계	9	1	3	0	0	2	0	0	0	2	4	593	414	1,028

## 제 4 장 결 론

본 연구는 광주광역시와 전남지역의 톨루엔 노출실태를 파악하기 위하여 2018년부터 2023년까지 특수건강진단 결과 중 톨루엔의 생물학적 노출지표와 작업환경측정 결과 중 공기 중 톨루엔 농도자료를 분석하였다. 톨루엔의 생물학적 노출지표는 2018년부터 2020년 상반기까지는 소변 중 마노산, 2020년 하반기부터 2023년까지는 소변 중 o-크레졸을 측정된 자료였으며, 작업환경 측정 자료는 2018년부터 2023년까지 매년 상반기와 하반기에 측정된 공기 중 톨루엔 농도였다. 분석결과는 다음과 같다.

1. 특수건강진단의 일환으로 2018년부터 2020년 상반기까지 측정한 소변 중 마노산은 진단대상자 4,476명 중 4,385명에게서 검출되어 검출률이 98%였다. 한편 2020년 하반기부터 2023년까지 측정한 소변 중 o-크레졸은 진단대상자 7,029명 중 3,339명에게서 검출되어 검출률은 47.5%였다. 소변 중 마노산은 노출기준 1.6 g/g creatinine을 초과하는 건수는 25명으로 마노산이 검출된 4,385명의 0.6%에 불과하였다. 반면 2020년 하반기부터 톨루엔의 생물학적 지표로 변경된 소변 중 o-크레졸이 검출된 3,339명 중에서 노출기준 0.3 mg/g creatinine을 초과하는 경우는 234명으로 초과율이 7%인 것으로 나타나 마노산의 경우보다 10배 높게 나타났다. 즉, 마노산의 경우 거의 모든 진단대상자에게서 검출되었으나 노출기준 초과자를 제대로 식별하기 어려웠으며, 소변 중 o-크레졸은 진단 대상자의 절반은 검출되지 않았으나 노출기준 초과자를 식별하는데 더 나은 지표로 보인다.

2. 소변 중 o-크레졸을 기준으로 노출기준을 초과하는 사업장은 232개소로 노출기준 초과자와 비교할 때, 한 사업장당 1명이 노출기준을 초과하는 것으로 나타났다. 소변 중 o-크레졸의 기준을 초과한 작업자가 발견된 사업장 232개소 중에서 제조업이 186개소(80%)로 대부분을 차지했고, 이어서 협회 및 단체로 12개소(5.2%), 공공행정 11개소(4.7%)였다.

3. 소변 중 o-크레졸 기준을 초과하는 제조업 186개소를 세부 업종별로 나누어 보면, 자동차 및 트레일러 제조업이 66개소로 35.5%로 가장 많았고, 인

쇄업이 29개소(15.6%) 전자 부품 제조업이 21개소(11.3), 금속가공 및 기타 제품 제조업이 각각 16개소로 8.6%씩인 것으로 나타났다.

4. 연도별로 보면 2020년 하반기부터 2022년까지는 노출기준을 초과할 확률이 4~5% 수준이었으나 2023년도에는 35%로 급격히 높아졌다. 2023년도에 초과율이 갑자기 증가한 것은 실제 노출농도가 높아진 것인지, 특수건강진단 대상 사업장의 변경으로 인한 현상인지 명확하게 확인할 수는 없었다. 추후 확인이 필요할 것으로 보인다.

5. 공기 중 톨루엔 노출농도 측정결과는 2018년부터 2023년까지 상반기에는 기하평균 2.2 ppm, 기하표준편차 2.87로 ACGIH 노출기준 20ppm을 초과할 확률은 1.8%로 매우 낮았으며, 하반기에는 기하평균 2.5 ppm, 기하표준편차 3.16으로 ACGIH 노출기준 20 ppm을 초과할 확률은 3.5%로 약간 높아졌지만 낮은 수준이었다.

6. 소변 중 o-크레졸 노출기준의 50%를 초과하는 비율보다 작업 공기 중 노출기준의 50%를 초과하는 비율은 현저하게 낮았다. 소변 중 o-크레졸과 비교할 때 작업환경측정 결과는 확실히 과소평가하고 있는 것으로 보인다.

# 참 고 문 헌

## 1. 국내문헌

- 황정호,김주자,이경재,노재훈,원종욱,김치년,이혜진. (2002). 톨루엔 노출 근로자의 생물학적 노출지표로서의 요중 마노산, 톨루엔 및 오르토-크레졸 비교. 한국산업보건학회지 12.2 : 79-87.
- 장성실,박정일,이강숙,노영만. (1996). Aldehyde dehydrogenase2(ALDH2) 유전자형이 톨루엔의 생물학적 폭로지표인 요중 마노산 배설에 미치는 영향. 고려대학교 환경의학연구소,가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실
- 이병국,안규동,김주자,한구용,남택승. (1990). 공기중 톨루엔 폭로에 따른 요중 마노산 배설량과 자각증상에 관한 연구. 순천향대학교 산업의학연구소
- 박홍재,김형준,정성욱,이병호. (2005). 작업장 특성에 따른 톨루엔 노출 근로자의 마노산 배설 특성. 한국환경과학회지 14.2 : 201-207.
- 이병호,김부길,권수자. (2001). 작업장에서 톨루엔에 노출된 근로자들의 마노산 배설량에 관한 연구. 한국환경과학회지 10.6 : 445-450.
- 이세훈,김형아,이병국,이광목. (1988). 톨루엔 폭로근로자의 요중 마노산 및 o-Cresol 배설농도와 자각증상. 가톨릭의대 산업의학 연구소
- 이학성,문광용,안갑환,서정호. (2004). 톨루엔 폭로근로자의 요중 마노산 농도 및 건강장해. 한국환경과학회지 13.10 : 939-946.

# ABSTRACT

## A Study on Airborne Toluene Concentrations from Workplace Environment Measurement Data and Urinary Hippuric Acid and o-Cresol Levels from Workers' Medical Examination Data in Jeonnam Region

Heo, Su-Yeon

Major in Industrial Hygiene Engineering

Dept. of Mechanical Systems Engineering

The Graduate School

Hansung University

This study analyzed the results of workers' medical examination and workplace environment measurements conducted on toluene workers in Gwangju and Jeonnam from 2018 to 2023. Specifically, hippuric acid in urine data from the first half of 2018 to 2020, o-cresol in urine data from the second half of 2020 to 2023, and airborne toluene concentrations from 2018 to 2023 were analyzed. The findings are as follows:

The detection rate of urinary hippuric acid from 2018 to the first half of 2020 was 98% (4,385 out of 4,476 individuals), indicating a very high prevalence. However, only 25 individuals exceeded the exposure limit of

1.6 g/g creatinine, resulting in an exceedance rate of just 0.6%. Conversely, the detection rate of urinary o-cresol measured from the second half of 2020 to 2023 was only 47.5% (3,339 out of 7,029 individuals). However, among the 3,339 individuals with detectable o-cresol, 234 exceeded the exposure limit of 0.3 mg/g creatinine, yielding an exceedance rate of 7%, which was 10 times higher than that of hippuric acid. This suggests that while urinary hippuric acid was detected in nearly all examinees, it failed to adequately identify those exceeding the exposure limits, whereas urinary o-cresol was effective in identifying high-exposure groups.

Industries exceeding the o-cresol standard were primarily in the manufacturing sector (186 industries, 80%), followed by associations and organizations (12 industries, 5.2%), and public administration (11 industries, 4.7%). Among manufacturing subsectors, the highest was automobile and trailer manufacturing (66 facilities, 35.5%) and printing (29 facilities, 15.6%), electronic components manufacturing (21 facilities, 11.3%), metal processing (16 facilities, 8.6%), and other product manufacturing (16 facilities, 8.6%) followed.

The geometric mean(GM) of airborne toluene concentrations from 2018 to the first half of 2023 was 2.2 ppm, with a geometric standard deviation(GSD) of 2.87, and the probability of exceeding the ACGIH exposure limit of 20 ppm was 1.8%, which was very low. For the second half of the period, the GM was 2.5 ppm, with the GSD of 3.16, and the exceedance probability was 3.5%. Compared to urinary o-cresol data, it was apparent that the workplace environment measurements appear to significantly underestimate exposure levels.

**【Keywords】** Toluene, Hippuric acid, o-Cresol, Workers Medical Check-up, Workers' Health Examination, Work environment measurement