

Concentration of Urinary Hippuric Acid in Toluene-Exposed Workers According to the Specific Characteristic of Work

Se-Young Kwon¹, Young-Ak Na¹, and Sang-Rak Kim²

Department of Biomedical Laboratory Science, Daegu Health College, Daegu 702-722, Korea¹

Department of Clinical Laboratory Medicine, Sung-Seo Hospital, Daegu 704-919, Korea²

This study is assessed the urinary hippuric acid (HA) concentration in toluene-exposed workers. Toluene is widely used in the coating, printing, painting and petroleum industries. We analyzed the hippuric acid level of toluene-exposed workers (males: 198, females: 63) from 2008 to 2010 and examined the relationship between hippuric acid and the characteristics of their work. The measurements of the urinary hippuric acid were confirmed by high-performance liquid chromatography. Among the subjects, males had on average more work experience than females (males: 9.17 years, females: 4.45 years), but females showed a higher hippuric acid concentration levels than males (males: 0.26 g/L, females: 0.75 g/L). The mean of the HA concentration according to the age group was 0.19 g/L in 30's, 0.30 g/L in 40's, 0.54 g/L in 50's, 1.36 g/L in 60's. Those in their 60's had the highest concentration. The mean of HA concentration according to the type of work was 0.70 g/L for the coating, 0.52 g/L for the painting, and 0.16 g/L for the printing industries, revealing that the workers in the coating industry had the highest concentration. By the highest order, the mean of HA concentration by working period was as follows; less than 5 years, ≤ 5 years ~ <10 years. The factors that influence the HA concentration are not only how long one is exposed to toluene but also the type of work, worker's age, and their gender.

Key Words : Toluene, Hippuric acid, Urine, Occupational exposure

서 론

산업기술 발달로 화학물질의 사용량이 증가함에 따라 직업병을 유발하는 작업장 위해요소가 증가하고 있으며(노동부, 2004), 이를 취급하는 작업장과 노출 근로자들도 해마다 늘어나고 있다. 산업현장에서 가장 널리 사용되는 유기용제 중의 하나인 톨루엔(toluene, $C_6H_5CH_3$, CAS No; 108-

88-3)은 방향족 탄화수소로서 벤젠의 수소 하나를 메틸기로 치환하여 형성된 무색의 벤젠과 같은 냄새를 가진 휘발성, 가연성 액체인 메틸벤젠(methylbenzene)의 일반명이다(KFDA, 2010). 오늘날 용제 취급 공정(페인트, 코팅, 염료, 페인트 제거제, 살충제 등), 화학 물질제조, 인조 고무제조, 자동차 연료 등에 많이 사용되어 그 사용량과 범위가 넓고(Saijo 등, 2004; 한국산업안전공단, 2008), 톨루엔의 순도에 따라 불순물 벤젠은 0.01~25%까지 포함되는 것으로 나타나(RTECS, 1973), 중추신경계 장애를 유발하고 인체 독성을 가진 것으로 보고되고 있어 근로자의 건강 문제에 대한 주요 유해물질로 다루어지고 있다.

체내 흡수된 톨루엔의 80%는 안식향산(benzoic acid)으로 변환되어 그 자체 또는 glycine 접합체, 마노산(hippuric acid)으로 대사되어 정상 소변으로 배설되므로(IPCS, 1986;

Corresponding author : Kwon, Se Young, Department of Biomedical Laboratory Science, Daegu Health College, Daegu 702-722, Korea.
Tel :053-320-1362. E-mail: sykwon@dhc.ac.kr

Received : 9 March 2012

Return for modification : 27 March 2012

Accepted : 29 March 2012

Ikeda, 1995), 오랫동안 톨루엔 노출 지표로 마노산이 이용되고 있다(Ikeda, 1996). 마노산은 톨루엔 노출이 시작된 후 곧 소변에 나타나 노출되는 동안 빠르게 농도가 상승하고, 노출 종료 시 최고치를 이룬다(한국산업안전보건공단, 2010).

톨루엔 노출과 마노산 배출과의 관련성에 대해 관심이 증가함에 따라 소변을 통한 생물학적 모니터링으로 마노산 측정(Yasugi 등, 1998; Moon 등, 2001; Samoto 등, 2006; Ukai 등, 2007)은 노출 근로자의 특수건강검진 항목으로 중요하게 다루어지게 되었다. 그 중요성 인지와 더불어 산업안전보건법 및 고용노동부 고시 근로자 건강진단 실시 기준에 따라 톨루엔에 노출된 근로자의 생물학적 노출평가와 관련된 노출지표 물질의 분석방법이 제시되고 있다. 생물학적 노출평가란 혈액, 소변 등 생체시료로부터 유해물질 자체 또는 유해물질의 대사산물, 또는 생화학적 변화산물 등을 분석하여 유해물질 노출에 의한 체내 흡수정도 또는 건강영향 가능성 등을 평가하는 것을 말하며, 생물학적 노출지표 물질이란 생물학적 노출평가를 실시함에 있어 생체 흡수정도를 반영하는 물질로서 유해물질 자체나 그 대사산물, 생화학적 변화물 등을 말한다(KOSHA GUIDE, 2011).

주요 분석장비는 고성능 액체크로마토그래프-자외선검출기(high performance liquid chromatograph-ultraviolet detector, HPLC-UVD), 가스크로마토그래프-불꽃이온화검출기(gas chromatograph-flame ionization detector, GC-FID) 등을 사용하며, 소변 중 마노산을 이동상으로 희석하여 HPLC 로 분석하는 방법이 많이 사용되고 있다.

이에 본 연구에서는 지역 일개 공단의 소규모 작업장에서 톨루엔에 노출된 근로자를 대상으로 성별, 연령별, 작업유형별, 근무기간 등에 따른 노중 마노산의 농도를 HPLC법으로 분석한 데이터를 이용하여, 이를 노출 근로자의 작업환경특성에 따라 비교·분석함으로써 톨루엔 노출근로자의 작업환경과 노중 마노산 농도와의 관계를 살펴보았다.

재료 및 방법

1. 연구 대상

2008년 1월 1일에서 2010년 12월 31일까지 일개 공단의 톨루엔 노출 15개 작업장 근로자 261명(남: 198명, 여: 63명)에서 측정된 노중 마노산 농도를 특수건강검진 설문항목의 작업 특성자료와 함께 분석 하였다.

2. 연구 방법

노중 마노산 농도 측정을 위해 톨루엔 폭로 작업이 끝나면서 1회 요를 채취하고, 분석전까지 냉장고에 보관한 후 검사 1시간 전에 꺼내어 상온에서 실온화 시켰다. 농축 표준용액을 증류수로 2배씩 5단계로 희석하여 3 g/L, 1.5 g/L, 0.75 g/L, 0.375 g/L, 0.1875 g/L로 calibration standard solution을 만들고, 마노산 0.03 g을 용량플라스크 100 mL에 옮기고 증류수로 100 mL까지 채워 working standard solution을 제조하였다. 검체는 상하로 잘 교반하여 3000 rpm으로 5분간 원심분리한 후, 증류수 800 μ L에 IS 100 μ L 그리고 urine 100 μ L를 주입, 혼합하여 HPLC vial에 옮겨 담았다. 분석 전 calibration standard solution을 이용하여 검량선을 작성하고, control, 검체 순으로 시료분석을 실시하였다. 고성능 액체크로마토그래프/자외선검출기(High Performance Liquid Chromatograph/Ultra Violet Detector, Varian 9050, USA, HPLC/UVD)로 hippuric acid (SIGMA, USA) 시약을 사용하여 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원(2010) 지침에 따라 분석조건 측정파장 225 nm, Cogent C18 Column, 유속 1 mL/min, 주입량 10 μ L 로 하였다.

3. 통계 분석

대상자의 성별과 연령에 따른 분포는 빈도(%)로 표시하였다. 톨루엔 노출 근로자의 작업 유형은 코팅, 도장, 인쇄, 기타(포장, 완성 등 포함) 4가지로 구분하였고, 유해인자의 복합 노출 정도는 유기용제, 금속류, 분진, 산알칼리류 4가지 유해 요인 중 유기용제를 포함한 총 요인 수로 구분하여 복합 요인별 마노산의 농도를 비교하였다. 작업 유형별, 노출 특성(노출수준, 근무기간, 복합 노출)에 따른 성별·연령별 비교는 independent t-test, ANOVA를 시행하

였고, ANOVA 시행 후, 유의한 차이를 보이는 변수에 대한 추가 분석은 Tukey HSD 사후분석(Post-Hoc test)을 시행하였다. 동일 성별 내 각 그룹에 따른 분포의 비교는 Chi-square test를 실시하였다. 자료에 대한 통계분석은 SPSS 15.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하였으며, 결과 해석 시 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

결 과

1. 대상자의 연령별 분포

톨루엔 노출 연구 대상자는 총 261명이었으며 이 중 남자는 198명(75.9%), 여자는 63명(24.1%)이었다. 전체적으로 39세 이하 29.9%, 40대 42.1%, 50대 22.6%, 60대 5.4%의 분포를 보였으며, 남자의 경우 40대 45.5%, 39세 이하 39.3%, 여자의 경우 50대 46.1%, 40대 31.7%, 순으로 비율이 높았고, 성별에 따른 분포에 차이를 보였다($p < 0.05$)(Table 1).

| | | n (%) | | | |
|-------|--------|--------------|-------------|--------------|----------------------|
| Age | Gender | Male | Female | Total | p-value [†] |
| ~39 | | 78 (39.3%) | 0 (0.0%) | 78 (29.9%) | 0.00* |
| 40~49 | | 90 (45.5%) | 20 (31.7%) | 110 (42.1%) | |
| 50~59 | | 30 (15.2%) | 29 (46.1%) | 59 (22.6%) | |
| 60~69 | | 0 (0.0%) | 14 (22.2%) | 14 (5.4%) | |
| Total | | 198 (100.0%) | 63 (100.0%) | 261 (100.0%) | |

* : $p < 0.05$

† Measured by χ^2 -test

2. 성별 근무기간 및 뇨중 마노산 농도

연구 대상자의 평균 근무기간은 남자 9.17년, 여자 4.45년으로 남자가 더 길었으나, 뇨중 마노산 농도의 평균은 남자 0.26 g/L, 여자 0.75 g/L로 여자가 더 높았다. 성별에 따른 평균 근무기간과 마노산 농도는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$)(Table 2).

3. 연령군별 뇨중 마노산 농도

연령군에 따른 뇨중 마노산 농도 평균은 남자 30대 이하 0.19 g/L, 40대 0.28 g/L, 50대 0.39 g/L로 연령군 간의 유

Table 2. Working experience and concentration of urinary hippuric acid by gender

| Variables | Male | Female | p-value [†] |
|---------------------------|-----------|-----------|----------------------|
| working experience (year) | 9.17±6.86 | 4.45±4.56 | 0.00* |
| Conc. of HA (g/L) | 0.26±0.33 | 0.75±0.85 | 0.00* |

* : $p < 0.05$

† : Measured by T-test

한 차이가 있었으며($p < 0.05$), 여자의 경우도 40대 0.40 g/L, 50대 0.69 g/L, 60대 1.36 g/L로 연령군 간의 유의한 차이가 나타났고($p < 0.05$), 연령이 높아질수록 마노산의 농도도 높게 나타났다.

같은 연령군 내에서도 성별간의 차이를 보였는데, 40대와 50대 모두 남성보다 여성의 뇨중 마노산 농도가 더 높았으며, 통계적으로도 유의하였다($p < 0.05$)(Table 3).

Table 3. Concentration of urinary hippuric acid by age group

| Age group | Male | Female | $p^†$ | $p^‡$ | $p^§$ |
|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|
| ~39 | 0.19±0.25 | — | — | — | — |
| 40~49 | 0.28±0.30 | 0.40±0.38 | 0.00* | 0.00* | 0.00* |
| 50~59 | 0.39±0.52 | 0.69±0.71 | | 0.00* | |
| 60~69 | — | 1.36±1.23 | | — | |
| Total | 0.26±0.33 | 0.75±0.85 | — | 0.00* | — |

* : $p < 0.05$

† Measured by ANOVA (in male)

‡ Measured by T-test

§ Measured by ANOVA (in female)

4. 작업유형별 뇨중 마노산 농도

작업유형에 따른 분포는 남자의 경우 인쇄(printing)작업 47.5%, 도장(painting)작업 25.3%, 여자의 경우 도장작업 79.3%, 코팅(coating)작업 12.7%의 순으로 높게 나타나 작업유형 배치에서 성별에 따른 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$).

작업유형에 따른 뇨중 마노산 농도 평균은 남자의 경우 코팅 작업 0.46 g/L, 도장 작업 0.39 g/L, 여자의 경우 기타 작업 1.63 g/L, 도장 작업 0.64 g/L 순으로 높게 나타났으며, 남녀 모두 작업유형에 따른 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$).

Table 4. Concentration of urinary hippuric acid by type of work

| Type of work | Male | | Female | | $p^{+\#\S}$ | p^{\parallel} |
|--------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|-----------------|
| | N (%) | M±SD (g/L) | N (%) | M±SD (g/L) | | |
| coating | 27 (13.5%) | 0.46±0.31 | 8 (12.7%) | 0.15±0.14 | 0.00* | 0.00* |
| painting | 50 (25.3%) | 0.39±0.46 | 50 (79.3%) | 0.64±0.66 | | 0.00* |
| printing | 94 (47.5%) | 0.16±0.17 | 3 (4.8%) | 0.08±0.12 | | 0.00* |
| others | 2 (13.7%) | 0.16±0.32 | 2 (3.2%) | 1.63±1.20 | | 0.00* |
| Total | 198 (100.0%) | 0.26±0.33 | 63 (100.0%) | 0.75±0.85 | | |

* : $p < 0.05$

† Measured by X^2 -rest

Measured by ANOVA (in male)

§ Measured by ANOVA (in female)

|| Measured by T-test

코팅, 인쇄 작업의 경우 남자의 뇨중 마노산 농도가 더 높았고, 도장, 기타 작업에서는 남자보다 여자의 농도가 더 높게 나타났다($p < 0.05$)(Table 4).

5. 현직근무기간에 따른 뇨중 마노산 농도

현직근무기간에 따른 분포는 남자의 경우 5년 미만군 37.9%, ≤5년~<10년 21.2%, ≤15년 이상 31.8%였으며, 여자의 경우 5년 미만군 69.8%, ≤5년~<10년 17.5%로 나타나 성별에 따라 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

뇨중 마노산 농도 평균은 ≤10~<15년 군을 제외한 나머지 동일 근무기간을 가진 군 내에서 남자보다 여자의 농도가 더 높았으며, 근무기간에 따른 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$).

남자는 ≤5년~<10년 0.34 g/L, 여자는 5년 미만 군에서 0.87 g/L로 가장 높은 농도로 나타났다($p < 0.05$)(Table 5).

6. 유해인자 복합 노출에 따른 뇨중 마노산 농도

유해인자 복합 노출에 따른 분포는 유기용제 포함 2가지 요인에 노출된 대상자가 51.2%로 가장 많았으며, 유기용제 한 가지 요인에 노출된 대상자는 21.9%였다. 복합 노출 정도에 따른 뇨중 마노산 농도는 세 가지 요인에 노출된 대상자가 0.60 g/L로 가장 높았고, 네 가지 요인에 노출된 대상자가 0.30 g/L로 가장 낮게 나타났으며 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). Tukey HSD 사후분석 결과 세 가지 요인 노출군이 두 가지 요인 노출군 보다 높게 나타났으며 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$)(Table 6).

고 찰

유해물질 취급 근로자의 증가로 인해 특수건강검진의 중

Table 5. Concentration of urinary hippuric acid by working experience

| Working experience (year) | Male | | Female | | $p^{+\#\S}$ | p^{\parallel} |
|---------------------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|-----------------|
| | N (%) | M±SD (g/L) | N (%) | M±SD (g/L) | | |
| ~<5 | 75 (37.9%) | 0.29±0.36 | 44 (69.8%) | 0.87±0.92 | 0.00* | 0.00* |
| ≤5~<10 | 42 (21.2%) | 0.34±0.38 | 11 (17.5%) | 0.61±0.70 | | 0.07 |
| =10~<15 | 18 (9.1%) | 0.33±0.48 | 5 (8.0%) | 0.33±0.23 | | 0.00* |
| =15~ | 63 (31.8%) | 0.15±0.13 | 3 (4.8%) | 0.21±0.02 | | 0.00* |
| Total | 198 (100.0%) | 0.26±0.33 | 63 (100.0%) | 0.75±0.85 | | |

* : $p < 0.05$

†, #, §, || : See Table 4

Table 6. Concentration of urinary hippuric acid by combination factors

| Factor | N (%) | M±SD (g/L) | Min (g/L) | Max (g/L) | p^{\dagger} | Tukey HSD |
|---|--------------|------------|-----------|-----------|---------------|-----------|
| only organic solvent | 57 (21.9%) | 0.46±0.74 | 0.00 | 3.31 | 0.01* | a,d,b<c |
| two factors including organic solvent | 133 (51.2%) | 0.33±0.45 | 0.01 | 3.04 | | |
| three factors including organic solvent | 31 (11.9%) | 0.60±0.70 | 0.01 | 2.60 | | |
| four factors including organic solvent | 39 (15.0%) | 0.30±0.21 | 0.01 | 0.89 | | |
| Total | 260 (100.0%) | 0.38±0.55 | 0.00 | 3.31 | | |

* : $p < 0.05$

† Measured by ANOVA

요성은 나날이 증가하고 있는데, 실제로 산업재해발생 현황통계에 따르면 산업용 화학물질 중독 등에 의한 직업병은 2005년 73건, 2006년 87건으로 지속적으로 발생하고 있으며(한국산업안전공단, 2008), 2009년 근로자 특수건강진단 실시결과 직업병 유소견자 중 유기화합물 중독 35명, 금속류중독 75명으로 전년 대비 소폭 감소하였으나, 직업병 요관찰자 수는 유기화합물 중독 2,768명, 금속류 중독 2,191명, 산·알카리, 가스상물질중독 1,279명으로 여전히 높은 분포를 보이고 있다(고용노동부, 2011). 이에 본 연구에서는 톨루엔에 노출된 근로자를 대상으로 성별, 연령별, 작업유형별, 근무기간 뿐 아니라 유해인자의 복합노출에 따른 요중 마노산의 농도를 HPLC법으로 분석한 데이터를 이용하여, 이를 노출 근로자의 작업환경특성에 따라 비교·분석함으로써 톨루엔 노출근로자의 작업환경과 요중 마노산 농도와의 관계를 살펴보았다.

특수건강진단 대상 유기화합물 중 가장 대표적인 톨루엔은 오래전부터 신경계통 영향(Harkonen 등, 1978) 뿐 아니라 ACGIH(2001)를 비롯한 여러 연구에서 최근까지 건강유해성에 대해 꾸준히 거론되었다(Pelclova 등, 2000; Kang 등, 2005; Pappuswamy 등, 2010; Cassini 등, 2011). 주로 톨루엔 노출과 마노산 배출과의 관련성에 대한 연구가 오랫동안 진행되어 왔는데, Bergman(1983)은 톨루엔에 노출되지 않은 사람들은 마노산이 1.0 g hippuric acid/L 미만으로 소변을 통해 배출되는 반면에 톨루엔에 노출된 근로자들은 노출정도에 따라 비노출 그룹의 2~6배 농도의 마노산이 배출된다고 하였으며, Sugita 등(1988)의 연구에서도 일상생활에서 직업적 노출군의 농도가 상대적으로 높다고 하였다.

본 연구에서 연령군에 따른 요중 마노산 농도 평균은 남

자 30대 이하 0.19 g/L, 40대 0.28 g/L, 50대 0.39 g/L, 여자의 경우 40대 0.40 g/L, 50대 0.69 g/L, 60대 1.36 g/L로 연령이 높아질수록 마노산의 농도도 높게 나타났다. 얼핏 보면 연령과 마노산의 농도가 직접적인 연관이 있어 보이지만, 본 연구에 포함된 15개 사업장에서 남자는 40대 미만의 비율이 85% 정도로 높았고, 여자는 대상자 전원이 40대 이상이었으며, 평균 근무기간이 남자 9.17년, 여자 4.45년으로 여자가 더 짧게 나타나 해석에 주의를 요한다.

또한, 열악한 작업환경이 대부분인 중소기업의 근무 여건상 남녀 성별 분포에 차이를 보일 뿐 아니라, 마노산의 성별 농도에서도 차이를 보였는데 본 연구 대상자의 평균 근무기간이 남자가 더 길었으나, 요중 마노산 농도의 평균은 남자 0.26 g/L, 여자 0.75 g/L로 여자가 더 높았으며, 동일 연령군 내에서도 남성보다 여성의 요중 마노산 농도가 더 높았다. Park 등(2005)의 연구에서도 업종에 따른 차이가 있긴 하나, 고무제조업의 경우 마노산의 농도가 남자 0.83 g/L, 여자 1.68 g/L로 여자가 더 높게 나타났는데, 이는 상대적으로 여자가 단순한 작업에 많이 종사하여 직접적으로 유기용제에 노출되고 있고, 보호구 착용정도, 작업방법 미흡 등을 이유로 제시하였다. 본 연구에서도 남자의 경우 인쇄작업 47.5%, 도장작업 25.3%, 여자의 경우 도장작업 79.3%, 코팅작업 12.7%의 순으로 높게 나타나 작업유형 배치에서도 성별에 따른 유의한 차이가 나타났다.

근무 연한에 따른 농도 비교에서 남자는 ≤5년~<10년 0.34 g/L, 여자는 5년 미만 군에서 0.87 g/L로 가장 높은 농도로 나타나 인쇄업종의 15년~19년의 근무연한 근로자의 마노산 농도가 0.36 g/L로 가장 낮고, 5년~9년 정도의 고무업종 근로자에서 마노산 농도가 1.67 g/L로 높게 나타난

Park 등(2005)의 연구와 비슷한 결과를 보였는데, 마찬가지로 동일 업종 내에서도 근무 기간이 길수록 톨루엔 취급 정도가 줄고, 표준 작업 방법의 숙련도에 따라 차이가 나는 것으로 생각된다.

복합 노출과 관련한 선행 연구에서 Ikeda 등(1995)은 톨루엔 또는 벤젠 단독 노출 근로자보다 혼합 노출 근로자에게서 마노산 농도가 유의하게 더 높다고 하였고, Schäper Michael 등(2008)은 톨루엔과 소음에 복합 노출된 인쇄산업 근로자를 대상으로 한 연구에서 개인 근무 경력에 따라 비교한 결과 최근 노출군에서 10배 이상 높은 농도를 보고하였다. 본 연구에서 복합노출은 유기용제, 금속류, 분진, 산알칼리류 네 가지 유해인자로 살펴보았는데, 복합 노출에 따른 분포는 유기용제 포함 2가지 요인에 노출된 대상자가 51.2%로 가장 많았으며, 유기용제 한 가지 요인에 노출된 대상자는 21.9%, 유해인자 세 가지 이상의 요인에 노출된 대상자는 27%를 차지하여 유해인자에 복합 노출되는 비율이 높음을 알 수 있었다.

복합 노출 정도에 따른 노중 마노산 농도는 세 가지 요인에 노출된 대상자가 0.60 g/L로 가장 높았고, 유의한 차이를 보이는 변수분석을 위해 Tukey HSD 사후 분석한 결과 세 가지 요인 노출군이 두 가지 요인 노출군 보다 높게 나타났다. 그러나 네 가지 요인에 노출된 대상자가 0.30 g/L로 가장 낮게 나타나 이는 마노산 농도에 단순히 노출 인자 수보다는 여러 작업환경요인들이 노출정도에 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다.

한편 마노산 측정치에 영향을 줄 수 있는 음료 섭취로 과다 측정될 수 있음이 보고되고 있는데(Christiani, 2000; Munaka, 2009), 본 연구에서 특수건강진단 대상자에 그 중요성을 강조하여 섭취를 제한하고 섭취 여부를 확인할 수 없었기에 연구 결과를 해석함에 있어서 한계가 있다고 생각한다. 톨루엔에 노출된 남자 교대 근무자를 대상으로 한 Kawai 등(1992)의 연구에서도 유기용제 노출의 생물학적 모니터링 도구로 상관성이 높음을 언급하면서, 저농도 톨루엔 노출은 마노산으로 검출하기가 힘든 한계를 지적하였다. 이후 저농도 톨루엔 노출 대상자의 경우 노중 마노산보다는 대사되지 않은 톨루엔을 측정하는 방법을 선택하는 것이 더 낫다는 결과를 제시하였다(Kawai 등, 2008). 이러한

연구의 제한점을 고려하여 추후 톨루엔 노출 대상자의 특수 건강검진에 효율적으로 반영하여 분석 지침 제시 뿐 아니라 사업장에서 측정상의 주의점 등도 강조하고 결과 해석 시에도 유의해야 할 것이다.

요중 마노산 농도를 노출 근로자의 작업환경특성에 따라 비교·분석한 결과 요중 마노산 농도에 톨루엔 노출 기간 뿐 아니라 작업부서, 작업연령, 톨루엔 취급정도, 표준작업 지침 준수여부 등 여러 요인이 영향을 미칠 것으로 생각되어 추후 작업환경 및 산업체 근로자의 건강관리에 고려되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Toluene. Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 2001.
2. Bergman K. Application and results of whole-body autoradiography in distribution studies of organic solvents. *Crit Rev Toxicol.* 1983, 12:59-118.
3. Cassini C, Caroline C, Bortolini G, Garcia SC, Dornelles MA, Henriques JA, Erdtmann B, et al. Occupational risk assessment of oxidative stress and genotoxicity in workers exposed to paints during a working week. *Int J Occup Med Environ Health.* 2011, 24(3):308-319.
4. Christiani DC, Chang SH, Chun BC, Lee WJ. Urinary excretion of hippuric acid after consumption of nonalcoholic beverages. *Int J Occup Environ Health.* 2000, 6:238-242.
5. Harkonen H, Lindstrom K, Seppäläinen AM, Asp S, Hemberg S. Exposure-response relationship between styrene exposure and central nervous functions. *Scand J Work Environ Health.* 1978, 4(1):53-59.
6. HJ Park, HJ Kim, SW Jeong, BH Lee. A specific character on the urinary hippuric acid excretions of workers exposed to toluene in specific character of manufacturing industry. *J Environ Sci.* 2005, 14(2):201-207.
7. Ikeda, M. Exposure to complex mixtures: implications for biological monitoring.; National Library of Medicine. *Toxicol Letters.* 1995, 77:85-91.
8. Ikeda M. Selected solvents. 4.6 Toluene. In: Mikheev, MI (Ed) biological monitoring of chemical exposure in the workplace vol 1 world health organization. 1996, 205-217. Geneva.
9. IPCS. International Programme on Chemical Safety. 1986, Environmental Health Criteria 52.

10. Kang SK, Rohlman DS, Lee MY, Lee HS, Chung SY, *et al*, Neurobehavioral performance in workers exposed to toluene. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2005, 19(3):645-650.
11. Kawai T, Yasugi T, Mizunuma K, Horiguchi S, Ikeda M, *et al*. Urinalysis vs. blood analysis, as a tool for biological monitoring of solvent exposure. *Toxicol Letters*. 1992, 63(3):333-343.
12. Kawai Toshio, Ukai Hirohiko, Inoue Osamu, Maejima Yuki, Fukui Yoshinari, *et al*. Evaluation of biomarkers of occupational exposure to toluene at low levels. *Int Arch Occup Environ Health*. 2008, 81(3):253-262.
13. KFDA. Risk Profile : Toluene. 2010, p3-15. Korea.
14. Moon CS, Lee JT, Chun JH, Ikeda M. Use of solvents in industries in Korea; experience in Sinpyeong-Jangrim industrial complex. *Int Arch Occup Environ Health*. 2001, 74:148-152.
15. Munaka Masahiro, Katoh Takahiko, Kohshi Kiyotaka, Sasaki Satomi. Influence of tea and coffee on biomonitoring of toluene exposure. *Occup Med*. 2009, 59(6):397-401.
16. Pappuswamy M, Vellinggiri B, Keshavarao S, Subramanium M, *et al*. Cytogenetic Methods for Assessing Human Exposure to Toluene in Coimbatore, South India. *Asian Pacific J Cancer Prevention*. 2010, 11:1-7
17. Pelclova D, Cerna M, Pastorkova A, Vrbikoba V, Prochazka B, Hurychova D, *et al*. Study of the genotoxicity of toluene. *Arch Environ Health*. 2000, 55:268-273.
18. RTECS. Registry of Toxic Effects of Chemical Substances. National Institute for Occupational Safety. 1973, USA.
19. Saijo Y, Kishi R, Sata F, Katakura Y, Urashima Y, Hatakeyama S, Jin K, *et al*. Symptoms in relation to chemicals and dampness in newly built dwellings. *Int Arch Occup Environ Health*. 2004, 77:461-470.
20. Samoto S, Fukui Y, Ukai H, Okamoto S, Takada S, Ohashi F, Moriguchi J, *et al*. Field survey on types of organic solvents used in enterprises of various sizes. *Int Arch Occup Environ Health*. 2006, 79:558-567.
21. Schäper M, Seeber A, van Thriel C. The effects of toluene plus noise on hearing thresholds: an evaluation based on repeated measurements in the German printing industry. *International journal of occupational medicine and environmental health*. 2008, 21(3):191-200.
22. Sugita M, Aikawa H, Suzuki K, Yamasaki T, Minowa H, *et al*. Urinary hippuric acid excretion in everyday life. *The Tokai journal of experimental and clinical medicine*. 1988, 13:185-190.
23. Ukai H, Kawai T, Inoue O, Maejima Y, Fukui Y, Ohashi F, Okamoto S, *et al*. Comparative evaluation of biomarkers of occupational exposure to toluene. *Int Arch Occup Environ Health*. 2007, 81:81-93.
24. Yasugi T, Endo G, Monna T, Odachi T, Yamaoka K, Kawai T, Horiguchi S, *et al*. Types of organic solvents used in workplaces and work environment conditions with special references to reproducibility of work environment classification. *Ind Health*. 1998, 36:223-233.
25. 고용노동부. 2009년 근로자 건강진단 실시결과. 2011, p19-31. 고용노동부.
26. 노동부. 전국제조업체 작업환경 실태조사. 2004. 노동부.
27. 한국산업안전공단. 화학물질 유통·사용 실태조사 - 톨루엔 (Toluene). 2008, p1-11. 한국산업안전공단.
28. 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원. 근로자 건강진단 실무지침 제1권 특수건강진단의 개요. 2010, 한국산업안전보건공단.
29. 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원. 생물학적 노출평가 기준 및 분석방법 연구 :크실렌 등 유기용제 16종. 2010, 한국산업안전보건공단.
30. 한국산업안전보건공단. 톨루엔의 생물학적 노출지표물질 분석에 관한 지침; KOSHA GUIDE H-8-2011. 2011, p1-17. 한국산업안전보건공단.