

톨루엔 노출 근로자에서 요중마뇨산 배설농도로 평가한 호흡보호구 착용효과에 관한 연구

가톨릭대학교 산업보건대학원 산업위생학과, 가톨릭대학교 산업의학센터¹⁾, 한림대학교 한강성심병원 산업의학센터²⁾

김범석 · 박정일¹⁾ · 임현우¹⁾ · 김형아¹⁾ · 오상용²⁾

— Abstract —

Effects of Respirator Use Evaluated by Urinary Hippuric Acid Concentration in Toluene-Exposed Workers

Bum Seok Kim, Chung-Yill Park¹⁾, Hyeon Woo Yim¹⁾,
Hyoung Ah Kim¹⁾, Sang Yong Oh²⁾

*Department of Occupational Hygiene, Graduate School of Occupational Health,
The Catholic University of Korea, Seoul, Korea
Catholic Industrial Medical Center, The Catholic University of Korea¹⁾
Center of Occupational Medicine, The Hallym University Medical Center²⁾*

Objectives : This study was carried out in order to raise workers' recognition of the effects of respirator use by providing concrete and practical data.

Methods : Twenty-six workers who dealt with toluene based ink and diluents at a gravure printing office in Seoul were investigated. The toluene exposure level and urinary hippuric acid level were monitored under respirator non-wearing(RNW) and under respiratory wearing(RW) conditions.

Results : The mean concentrations of toluene exposed to each worker through the air of gravure printing office were 147.52 ± 57.34 and 134.55 ± 52.44 ppm on respirator non-wearing day and respirator wearing day, respectively. There was no significant difference in toluene exposure concentration for the two days. The mean concentration of urinary hippuric acid in RNW and RW groups were 1.51 (0.53) g/L and 0.49 (0.14) g/L, respectively, as measured at the end of the workday. There was a significant difference seen in urinary hippuric acid concentration between the two days. The urinary hippuric acid concentration began to increase at 4 hours after the start of the workday(13:00) in RNW. However, there was no significant increase until the end of the workday in the case of RW. The urinary hippuric acid concentration in RW reduced 89.3% as compared with the concentration seen in RNW. There was a significant correlation between the toluene concentration and the urinary hippuric acid concentration in RNW. The regression equation was Y (urinary hippuric acid concentration, g/L) = $0.007 \times X$ (toluene concentration in the air, ppm) + 0.665.

Conclusions : Our results indicate that the respirator intercepted most toluene that may have been absorbed into the respiratory organs, and suggested that properly wearing a respiratory such as wearing the respirator during the entire workday and performing a proper fit test played an important role in the protection from toluene exposure

Key Words : Toluene, Hippuric acid, Respirator, Rotogravure printing workplace

〈접수일 : 2001년 10월 17일, 채택일 : 2001년 12월 17일〉

교신저자 : 박 정 일 (Tel : 02-3779-1405) E-mail : CYPARK@cmc.cuk.ac.kr

서 론

산업발달로 유기용제 사용량이 점차 증가하고 있으며, 벤젠에 대한 독성이 알려짐에 따라 산업장에서는 대체 물질로서 톨루엔이 널리 사용되고 있다(Inoue 등, 1984; 이세훈 등, 1988; La Dou 등, 1990). 톨루엔은 방향족 계열로서 그라비아 인쇄시케톤류(Methyl ethyl ketone), 아세테이트류(ethyl acetate), 알콜류(methanol, isopropyl alcohol) 등과 함께 잉크 및 희석제, 세척제에 함유되어 있고 상온, 상압에서 휘발성이 있는 물질이며 다른 성분을 녹이는 성질이 있어(신재성, 1993) 페인트, 잉크, 라카, 코팅, 염료, 고무, 살충제, 코울타르, 아스팔트, 피치, 아세틸셀룰로오즈, 합성수지의 용제로 사용되고 페놀, 사카린, 트리니트로톨루엔(TNT), 톨루엔 디이소시아네이트(TDI) 등의 제조과정에도 이용되고 있으며(Clayton 등, 1981) 최근 포장 및 광고 인쇄물의 증가로 톨루엔이 함유된 인쇄용 잉크 및 희석제 등의 사용량이 증가하고 있는 추세이다(통계청, 1998).

우리나라에서 톨루엔이 함유된 유기용제를 사용하는 인쇄업종은 대부분이 중소기업의 영세사업체로 근로자 수에서 전체근로자의 75.1%로 큰 비중을 차지하고 있다(통계청, 1998). 이들 사업체는 대기업과 비교하여 상대적으로 작업환경은 열악하며 자본이 빈약한 상태에서 적극적 예방대책인 국소배기 및 전체환기 시설과 같은 공학적 개선 등 비교적 많은 투자가 요구되는 작업환경 개선보다는, 손쉽게 사용할 수 있는 개인보호구에 의존하는 경우가 많다. 그러나 개인보호구는 그 사용에 있어 공학적인 수단으로도 작업환경이 개선되지 않거나 대책이 마련 중에 있을 때, 또는 임시적이나 긴급상황이 발생했을 때 등 마지막 수단으로서 사용하도록 권고되고 있지만(NIOSH, 1987) 중소기업에서는 다른 대책에 앞서 우선적으로 남용되고 있으면서도 보호구 착용 방법과 효과에 대한 정기적인 보건교육이 제대로 이루어지지 않고 있다. 또한 근로자 스스로가 호흡곤란, 착용 후 발한, 안경 착용시 불편, 효과가 없는 것 같아서, 귀찮아서, 업무 능력이 떨어짐, 다른 동료도 착용하지 않아서, 보호구가 지급되지 않아서 등(이경용과 이관형, 1992; 황소만 등 1992)의 이유로 기피

나 착용하지 않는 원인이 되고 있다. 따라서 우리나라 소규모 사업장의 보호구 착용율을 보면 항상 착용이 28%, 작업시만 착용이 38%, 간헐적 착용이나 거의 또는 사용하지 않는다가 34%로 보호구의 의존도와 착용율은 차이가 많다(김현욱 등, 1998).

작업장에서 발생하는 유기용제의 인체 침입 주경로는 호흡기이며, 호흡보호구는 근로자를 유해환경에서 보호해 줄 수 있는 최후의 수단중 하나이다. 그러므로 호흡보호구는 충분한 보호 능력을 가져야 하며, 근로자도 사용에 적극적으로 참여해야만 소기의 성과를 달성할 수 있다. 따라서 본 연구는 인쇄업종 중 작업환경이 열악한 그라비아 인쇄소에 종사하는 근로자들을 대상으로 공기중 톨루엔 농도와 유기가스용 방독마스크 착용여부에 따른 시간대별 생물학적 모니터링을 실시하여 보다 효율적인 보건관리를 위한 기본 자료로서의 보호구 착용효과와 시간대별 대사변화에 관한 구체적 자료를 제시함으로써 보호구 착용에 대한 근로자의 인식을 제고시키기 위하여 수행되었다.

대상 및 방법

1. 대상

연구대상 사업장은 서울시내에 소재하고 있는 인쇄업종 중 작업량의 변동이 없고 작업공정이 일정한 그라비아 인쇄소로서 개인보호구 착용을 거의 하지 않는 사업체를 연구대상 사업장으로 선정하였다. 2001년 3월부터 4월까지 약 2개월 동안 그라비아 인쇄용 잉크 및 희석제를 사용하는 근로자 30명중 요의 희석 또는 농축된 요비중 부적합자 4명을 제외한 26명이 최종 연구대상이었다.

작업전 근로자를 대상으로 음식물 섭취와 관련된 요인을 고려하기 위하여 안식향산이 많이 함유되어 있다고 알려진 청량음료, 건포도, 딸기잼, 자두, 원두커피 등의 섭취를 제한하였고(Ogata, 1985; 심상효 등, 1996), 작업종료 후 연구대상자들의 근무경력, 흡연, 음주 등에 대한 내용은 설문조사를 실시하였다.

2. 방법

연구대상 근로자들의 평상시 작업이 이루어지는 주중에 근로자들의 각 작업위치에서 유기가스용 방독마

스크를 착용하지 않은 상태로 작업(미착용일)에 따른 노출량을 측정하였고, 다음날 동일한 근로자들을 대상으로 한국산업안전공단에서 보호구 성능검정을 필한 S사 제품의 유기가스용 직결식 소형 방독마스크에 정화통을 새로 교체하여 착용시킨 후 작업(착용일)에 따른 노출량을 측정하였다. 이때 방독마스크 착용자에게는 마스크 착용시 안면과 밀착성을 높이고 올바른 착용상태를 유지할 수 있도록 개개인별로 정성적인 Fit Test(Qualitative Fit Test 3M FT-10/ FT-10S, USA)를 실시하여(NIOSH, 1987; Colton 등, 1991; 한돈희와 Klaus 1996) 사카린의 맛을 느끼지 않도록 착용방법을 교육하였다.

작업장내 개인별 공기중 유기용제 농도 및 요중 대사산물 농도를 측정하였으며 방법은 다음과 같다.

1) 작업장내 개인별 공기중 유기용제 농도

툴루엔이 함유된 그라비아 잉크 및 희석제 취급 근로자를 14개 단위작업장소 중심으로 각 1명씩 선정하여 공기중 유기용제 농도를 측정하였다. NIOSH(1995) 'Method No 1500'에 의해 개인시료 포집기(Model LFS 113DC, Gilian, USA)를 사용하여, 0.1~0.2 l/min의 유량으로 포집하였다. 이때 유량은 포집 전(pre-calibration)포집 후(post-calibration)로 측정하여 평균값으로 사용하였으며 근로자 호흡기를 중심으로 30 cm 이내의 위치에서 활성탄관(앞측과 뒤측, 100mg/50mg)을 이용하였다. 작업장내의 일일 평균 온도는 미착용일과 착용일이 18.5±2.6℃, 17.2±2.5℃로 서로 유의한 차이는 없었으나 습도는 44.0±3.0%, 53.5±7.1%로 유의한 차이가 있었다(P<0.05).

포집 시간은 오전/오후로 분류하여 6시간 이상 포집하였고 포집된 활성탄 관은 양끝을 플라스틱 마개로 봉한 후 실험실로 옮겨 각층을 각각의 vial에 옮긴 후 이황화탄소 1 ml를 가하여 용출한 후, 용출된 용액 1 μl를 가스크로마토그래프(Gas Chromatography, GC HP 5890, USA)에 주입시켜 정량분석하였다.

2) 요중 대사산물 농도

근로자의 요 시료는 측정 당일 인쇄 작업준비 기간을 제외한 인쇄기가 처음 작동되는 작업시작 전(09:00), 오전 작업 중(10:30), 오전 작업종료 후

(12:00), 오후 작업시작 전(13:00), 오후 작업 중(15:30), 오후 작업종료 후(16:00)로 6회를 나누어 채취하여 분석까지 동결 보관하였다.(Ikeda M 등, 1980; Ogata M, 1985).

요중 마뇨산의 분석은 NIOSH(1995) 'Method No 8301'에 준하여 분석하였다. 즉, 요 시료를 3,000 rpm에서 5분간 원심분리하여 상층액을 증류수로 5배 희석한 후 고속액체크로마토그래피(HPLC, Waters 510 Pump, 717 plus Auto-sampler, 486 Tunable Absorbance Detector, USA)를 사용하여 동일 시료에 대해 2회 측정된 후 그 평균값을 사용하였고 두 측정값간의 차이가 클 경우 1회 추가 측정하여 유사한 두 값의 평균값을 취하였다. 분석조건은 Table 1과 같다.

요중 마뇨산 농도 분석시 요보정은 표준 요비중 1.024로 (Refractometer, ATAGO UG-1 Japan) 하였으며 요중의 용질농도는 요 배설량에 따라 크게 변동하는데, 요중 고체성분의 배설속도는 희석 또는 농축된 요를 제외하고 비교적 일정하게 유지되고 있다. 요중 고형성분의 농도는 요 비중으로 표시할 수 있기 때문에 측정농도를 표준비중으로 보정함으로써 요 배설량의 변동에 따른 영향을 실측치에 비해 작게 할 수 있다. 계산식은 다음과 같다. (Ogata 등, 1970; Ikeda와 Hera, 1980; ACGIH, 1989; 대한산업보건협회, 1991; 노동부, 1999)

$$\text{비중보정(g/L)} = \text{측정치(g/L)} \times \frac{\text{표준비중}(1.024) - 1}{\text{시료비중} - 1}$$

(사용된 비중 범위 : 1.011 ~ 1.029)

Table 1. Operating conditions of HPLC for urinary hippuric acid analysis .

Variance	Conditions
Column	Symmetry [®] C18 5μm (3.9 mm × 150 mm)
Pump	Waters 510
Mobile phase	DDW/Acetonitrile/Glacial acetic acid = 90 / 10 / 0.02 % (V/V/V)
Flow rate	0.8 ml/min
Detector	UV, 254 nm
Injection volumn	15 μl

3. 자료분석

수집된 자료의 분석은 SAS for Windows V6.12를 이용하여 마노산 농도에 대하여 정규분포를 검정하였다. 각 일별로 마노산 농도의 기하평균과 기하표준편차를 구하였다. 미착용일과 착용일에 따른 시간대별 요중 마노산의 농도 비교는 반복측정 자료의 분산분석법을 이용하였다. 또한 미착용일과 착용일에서 작업환경농도를 측정한 14명에 대한 톨루엔 농도와 마노산 배설량의 상관분석을 하였고, 단순회귀분석을 실시하였다.

성 적

1. 연구 대상자의 인적 특성

근로자의 평균 연령은 41.7±8.2세이고 평균 근무 경력은 14.0±6.9년이었다. 대상 근로자중 흡연자

Table 2. General characteristics of subjects

General Characteristics	Mean±SD No(%)
Age (yr)	41.7±8.17
≤35	5 (19.2)
36 - 44	13 (50.0)
≥ 45	8 (30.8)
Work duration (yr)	14.0±6.86
< 10	8 (30.8)
10 - 19	13 (50.0)
≥ 20	5 (19.2)
Weight (kg)	69.0±6.13
< 65	7 (27.0)
65 - 74	16 (61.5)
≥75	3 (11.5)
Smoking	
Smoker	22 (84.6)
Non-smoker	4 (15.4)
Alcohol	
Drinking	19 (73.1)
Non-drinking	7 (26.9)

22명(84.6%)였으며, 음주자는 19명(73.1%)였다 (Table 2).

2. 작업환경 공기중 유기용제 농도

연구대상 근로자가 취급하는 그라비아 잉크 및 희석제에서 노출되는 유기용제의 성분과 농도는 미착용일에서 톨루엔 147.52 ppm, 초산에틸 24.89 ppm, 이소프로필알콜 115.88 ppm이었고 착용일에서는 각각 134.56 ppm, 23.08 ppm, 114.06 ppm으로 미착용일보다 착용일의 공기중 농도가 다소 낮았지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다 (Table 3).

3. 요중 마노산의 시간대별 농도변화

조사대상 근로자들로부터 각각의 시간대별로 채취한 요중 마노산 기하평균 농도는 미착용일에서 오전 작업 시작 전에 0.30 g/L, 오전 작업종료 후 0.47 g/L, 오후작업 시작 전 0.77 g/L, 오후 작업종료 후 1.51 g/L였으며, 착용일에서는 오전작업 시작 전에 0.36 g/L, 오전 작업종료 후 0.41 g/L, 오후 작업 시작 전 0.47 g/L, 오후 작업종료 후 0.49

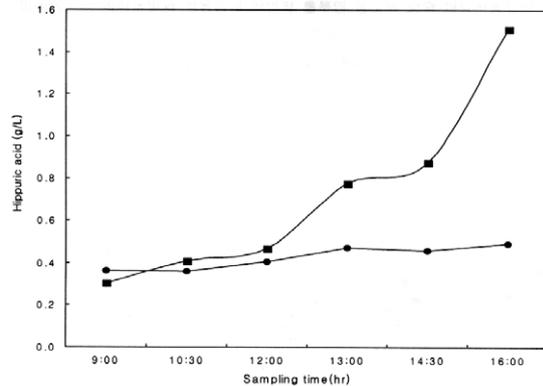


Fig 1. Changes in urinary concentration of hippuric acid in respirator non-wearing day(■) and respirator wearing day(●)

Table 3. Organic solvents concentration between respirator non-wearing day and respirator wearing day
unit : ppm

Organic solvents (TLV)	Respirator Non-Wearing day (n=14)	Respirator Wearing day (n=14)
	GM (GSD)	GM (GSD)
Toluene (100)	147.52 (57.34)	134.55 (52.44)
Ethylacetate (400)	24.89 (12.80)	23.08 (11.04)
Isopropylalcohol (400)	115.88 (40.97)	114.06 (39.99)

g/L로 나타났다(Fig 1).

반복측정자료의 분산분석법에 의한 분석결과 보호구 착용여부와 시간별 요중 마노산 농도에 교호작용은 $p < 0.0001$ 로 유의하였다. 또한 보호구 미착용일과 착용일 사이에는 요중 마노산 농도에는 유의한 차이가 있었으며($p < 0.0001$), 시간대별로도 요중 마노산 농도에 유의한 차이가 있었다($p < 0.0001$). 연속된 시간대별로 요중 마노산 농도의 차를 비교하였을 때 시간의 흐름에 따라 요중 마노산 농도는 유의하게 증가하였으나 13시와 14시 30분 사이에는 유의한 요중 마노산 농도 증가가 없었다($p = 0.067$).

유기가스용 방독마스크 미착용일과 착용일의 작업 종료 후 요중 마노산 농도의 기하평균값은 각각 1.51 g/L, 0.49 g/L로 미착용일이 착용일에 비하여 3배 이상 높았으며 작업전 마노산 농도로 보정한 후 증가량을 보았을 때 미착용일이 1.21 g/L로 착용일의 0.13 g/L보다 9.3 배 높게 나타났다.

음주군과 비음주군의 작업 종료시 요중 마노산 농도는 미착용일에서 각각 1.59 g/L, 1.29 g/L로 두 구간에는 통계학적으로 유의한 차이가 없었으며 착용일에서도 각각 0.49 g/L, 0.47 g/L로 유의한 차이는 없었다.

4. 방독마스크 미착용일과 착용일에 작업장

톨루엔 농도와 요중 마노산농도의 상관성비교

14개소의 단위작업장소에서 각 1명씩 선정한 미착용일을 대상으로 측정된 공기중 톨루엔 개인노출농도와 작업종료 후 채뇨하여 요비중으로 보정한 요중 마노산 농도는 유의한 상관관계를 보였고($r = 0.842$, $p < 0.05$), 요중 마노산 농도를 종속변수로 하고 공기중 톨루엔 농도를 독립변수로 한 회귀방정식은 $Y(\text{요중 마노산, g/L}) = 0.007 \times x(\text{공기중 톨루엔, ppm}) + 0.665$ 였고(Fig 2), 보호구 착용일에서는 통계적으로 유의한 상관성이 없었다(Fig 3).

고 찰

유기용제는 산업분야에서 많이 사용되고 있는 물질로 제조업에서는 빼놓을 수 없는 필수품으로 사용되고 있다. 유기용제에 과도하게 노출되면 일반적으로 눈, 피부 및 호흡기 점막의 자극증상과 함께 중추신경계 억제증상, 어지러움증, 두통, 구역, 지남력상

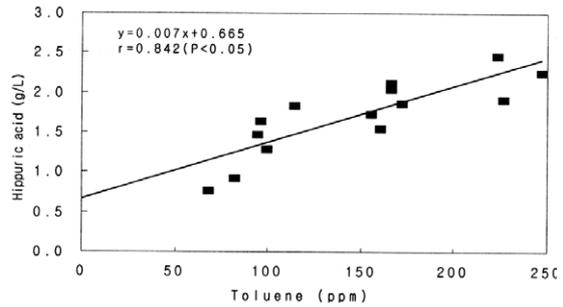


Fig 2. Relationship between the concentration of toluene in breath zone air and the concentration of hippuric acid in urine. (RNWD)

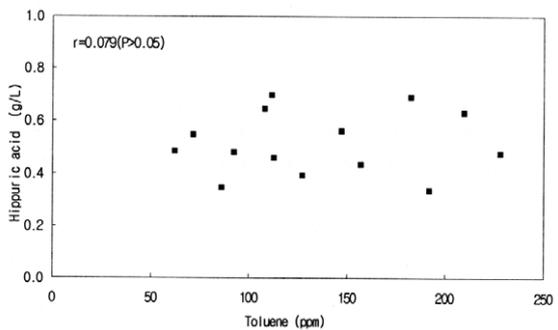


Fig 3. Relationship between the concentration of toluene in breath zone air and the concentration of hippuric acid in urine. (RWD)

실, 도취감, 혼돈에 이어 농도가 증가됨에 따라 점진적인 의식의 상실, 마비, 경련, 사망에까지 이르게 된다. 중추신경계 억제 증상은 유기용제가 갖는 중추신경계의 지방조직에 대한 친화성 때문이며 일반적으로 한꺼번에 다량을 흡입하면 마취작용을 나타내지만 마취되지 않을 정도의 적은 양을 장기간 반복하여 흡입하면 만성중독을 일으킨다(조규상, 1991). 이런 유기용제는 단독으로 사용되기보다는 일반적으로 여러 물질이 혼합된 형태로 사용되며 그라비아 인쇄소에서 사용되는 잉크 및 희석제에는 톨루엔을 많이 함유하고 있다.

근로자의 호흡기를 통한 톨루엔의 체내 흡입정도는 작업환경 내의 톨루엔 농도, 톨루엔의 혈액/공기 중 분배계수(폐포 모세혈관 막의 투과성과 혈액의 용해도에 의해 결정), 폐포의 환기율, 폐의 혈액관류, 노출시간 등에 따라 달라지며 또한 신체적 운동 부하는 폐환기능과 심박출량의 증가를 야기하여 톨루엔 흡수를 증가시키기도 한다.

호흡기를 통하여 인체에 흡입되는 톨루엔의 약 15~20% 정도가 호기로 바로 배출되고, 나머지 약 80%는 간장에서 흡수되어 산화에 의해 메칠기가 수산화 반응을 하여 안식향산으로 대사된 후 다시 글리신(glycin)과 결합하여 마노산이 되어 소변으로 배설되지만(Cohr 등, 1979), 신장과 간장에 질환이 있거나 과일이나 야채를 섭취한 경우에도 영향을 받는다고 하며(Ogata 1985; 심상효 등, 1996) 스티렌, 에틸벤젠, 안식향산 등의 타 유기용제에 노출 될 경우에도 요중으로 배설될 수 있으므로(Clayton, 1978) 톨루엔 노출을 평가하는데 그 정확성이 다소 결여된다는 견해도 있다. 한편 톨루엔의 대사산물에는 마노산을 비롯하여 벤질글루크로나이드(benzyl glucuronide), o-, m, p-cresol 등의 여러종이 있지만 m- 및 p-cresol은 정상인에서도 배출되고 그 배설량이 매우 적으며 o-cresol은 정상인에서는 배설되지 않으므로 새로운 노출지표로의 이용하고 있으나 측정의 간편성이나 전체 대사산물의 약 80%를 차지하는 마노산 배설량이 현재까지는 톨루엔 노출에 대한 대표적인 생물학적 지표로 이용되고 있는 실정이다(Ikeda와 Hera, 1980; Brugnone 등, 1986).

여러 연구의 결과에 의하면 체내에 흡수된 톨루엔은 30분내에 간, 신장, 폐, 뇌 및 기타 조직에서 최고농도에 도달되며 노출중지 1~2시간 후에는 체내용량의 50%가 배설되고 24시간 후에는 대부분 배설된다고 하였으나(Carisson, 1982; Dossing 등, 1983; Wallen, 1986; 한태영 등, 1993) 그 반감기에 대하여는 아직까지도 학자들간에 논란이 많으며 더우기 작업종료 후 시간경과별 요중 마노산에 관한 연구는 국내는 물론 외국에서도 제한된 실정이다. 특히 요중의 마노산은 톨루엔의 노출이 중지되면 그 배설량이 급격히 저하되기 때문에 노출종료시부터 상당시간 경과 후에 요중 마노산 배설량을 이용하여 톨루엔의 노출량을 평가하는 것은 의미가 없다 하겠다.

본 연구에서 작업장 공기중 톨루엔에 대한 개인노출농도는 미착용일에서 기하평균 농도는 147.52 ppm, 착용일에서 134.55 ppm으로 14개소의 단위작업장소 중 각각 9개소 및 10개소에서 우리나라 기준치인 100 ppm을 초과하고 있어 근무조건이 좋지 못한 사업장이었다. 외국의 보고를 살펴보면 De Rosa 등(1985)의 이탈리아 그라비아 사업장의 톨루엔 농도가 37-229 mg/m³(10-61 ppm)였으며, Nise와

Hera(1988)는 스웨덴에서 그라비아 인쇄사업장의 작업환경중 톨루엔 농도가 8-1,080 mg/m³(2-286 ppm)이었다. 또 Auchinger 등(1982)은 200-300 ppm의 톨루엔 농도를 보고하였고, Svensson 등(1992)은 36 ppm(8-111 ppm), Nise(1992)는 8-496 mg/m³(2-132 ppm), Monster 등(1993)은 톨루엔 농도를 30-60 mg/m³(8-16 ppm)으로 보고하였다. 이와 같은 농도는 본 연구 결과와 비슷하거나 낮은 결과를 보여주는 것이다.

국내에서 연구된 결과를 살펴보면 박은미 등(1987)의 그라비아 인쇄사업장에 대한 측정결과 인쇄부서에서의 톨루엔 농도가 544.13±7.75 ppm, 배합부서에서는 463.27±5.24 ppm으로 본 연구보다 상당히 높은 결과를 보여주었다. 이는 1987년이나 1991년 당시의 그라비아 사업장에 대한 측정결과에서 나타난 농도를 현재와 비교할 때 작업환경이 많이 개선된 결과라고 보여진다. 실제로 본 연구의 조사대상이었던 사업장은 모두 환기시설이 설치되어 있었다.

요중 마노산 농도는 기하평균 농도와 개인별 노출농도를 볼 때 모두 노출기준을 초과하지 않았다. 미착용군에서 공기중 톨루엔 농도와 요중 마노산 농도의 상관관계는 r=0.842(p=0.001)로서 상관성이 있는 것으로 나타났다. 이는 인쇄공장 근로자 18명을 대상으로 한 De Rosa 등(1987)의 연구에서는 r=0.88, 폴리에틸렌 인쇄 공장 근로자를 대상으로 한 Chia 등(1987)의 연구에서는 r=0.81, 신발공장 근로자를 대상으로 한 Kawai와 Teramoto(1984)의 논문에서는 r=0.897, 페인팅 공장 근로자를 대상으로 한 Mikulski 등(1970)의 논문에서는 r=0.81, 신발공장 여성근로자를 대상으로 한 Inoue 등(1984)의 연구에서는 r=0.828, 정승환(2000)의 연구에서는 r=0.878, 박은미 등(1987)의 연구에서는 r=0.868로 비슷하였고, Woiwode와 Drysch(1981)의 논문에서는 r=0.698, 그라비아 인쇄공장 근로자를 대상으로 한 Mat와 Femmeth(1987)의 상관계수 r=0.714, 제화공장 근로자를 대상으로 한 이세훈 등(1988)의 r=0.684(p<0.001), 녹음, 녹화테이프 생산공장 근로자를 대상으로 한 이성수 등(1989)의 r=0.649, 장성훈(1995)의 r=0.66 보다는 높게 나타났으나, 유의한 상관성을 나타내는 것은 일치하였다. 본 연구에서 추정된 회귀방정식은 Y(요중 마노

산, g/L)=0.007×(공기중 톨루엔, ppm)+0.665으로 노동부의 공기중 톨루엔 노출기준(100 ppm)을 대입하면 요중 마뇨산은 1.365 g/L로 요중 마뇨산 노출기준보다 낮게 추정되었다.

산업장내 유기용제에 대한 근로자의 개인노출을 줄이기 위해서는 쾌적한 작업환경을 조성할 수 있도록 근원적인 개선 및 설비투자가 필요하지만 작업공정상 또는 기술상의 문제와 회사의 재정상 공학적 개선이 곤란할 경우에는 보호구를 착용해야 한다. 사업주는 산업안전보건법상 근로자에게 호흡용 보호구를 지급할 의무가 있고 근로자 역시 지급된 보호구를 필히 착용하도록 하고 있다.(노동부, 2000) 그러나 아직까지 우리나라에서는 톨루엔의 농도가 노출기준을 초과하는 현장에서 근무하고 있는 근로자들이 산재해 있다. 일부 유기용제 취급 사업장에서는 노출기준을 초과하여도 아무런 개인 보호장비 없이 작업을 하고 있거나 근로자들이 보호구 착용에 대한 불편함과 거부감, 착용시 그 효과에 대한 인식 부족으로 형식적인 착용에 그치는 경우가 많다(김현욱 등, 1998).

따라서 본 연구는 생물학적 모니터링에 영향을 미치는 중요한 변수중의 하나인 개인보호구 착용효과에 대한 신뢰할 수 있는 수치적인 자료를 제시하여 보호구에 대한 인식을 제고시키므로 예방활동에 근로자들이 적극적인 참여를 유도하기 위해서 시도되었다.

본 연구결과에 의하면 유기가스용 방독마스크 착용일의 작업종료 후 요중 마뇨산 기하평균 농도는 0.49 g/L로서 미착용일에 1.51 g/L의 32.5%에 불과하였다. 반복측정자료의 분산분석법에 의한 분석결과에서도 착용여부 및 작업시간대별 요중마뇨산 농도에 교호작용이 있었으며 보호구 착용일이 미착용일 보다 요중마뇨산 농도는 현저히 낮았다. 작업전 착용일과 미착용일의 마뇨산 농도 0.36g/L와 0.3g/L를 뺀 톨루엔에 의하여 순수하게 증가된 양은 착용일 0.13 g/L 및 미착용일 1.21 g/L로서 보호구 착용효과를 톨루엔의 대사산물인 요중 마뇨산으로 평가하면 착용일에서 미착용일에 비하여 89.3% 감소된 것으로 나타났다.

권기태(1993)는 보호구 미착용시 작업종료 후 요중 마뇨산 농도가 1.60±0.48 g/g creatinine, 다음날 4시간 착용시 1.02±0.35 g/g creatinine으로

서 두 군의 마뇨산 농도 차이가 0.58±0.42 g/g creatinine이라고 보고하였다. 본 연구에서 두 군간의 농도 차이가 보다 크게 나타났는데 이는 권기태의 연구에서는 방독마스크를 오후 4시간만 착용시켰고, 작업장 공기중 톨루엔 농도가 72.96±63.70 ppm 및 79.41±73.73 ppm으로서 본 연구보다 마스크 착용시간이 짧았으며 작업환경도 양호한 조건하에서 이루어졌기 때문이며 또한 보호구를 정확하게 착용하였는지 확인하는 Fit Test를 하지 않은 것도 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

한편 보호구 착용일에 있어서는 공기중 톨루엔 농도와 요중 마뇨산 농도와의 상관관계는 통계학적으로 유의하지 않았다.(r=0.079, p=0.218). 이는 생물학적 모니터링에 영향을 미치는 변수중 하나인 개인 보호장비 착용여부에 따른 실질적 톨루엔 흡수량의 변동을 확인한 것이다.

본 연구의 제한점으로는 대상사업장 및 조사대상자의 수가 충분하지 않았으며, 요중 마뇨산 분석시 크레아티닌이 아닌 요비중으로 보정한 것이 미흡한 점이었다. 또한 혼합 유기용제 노출에 따른 각 대사산물의 배설에 영향을 미치는 다른 유기용제들의 영향을 고려하지 못하였다.

요 약

목적 : 보호구 착용 효과에 대한 실제적, 구체적인 자료를 제시함으로써 예방목적의 보호구 사용에 대한 근로자들의 인식을 제고시키기 위함이다.

방법 : 서울시내에 소재한 일부 그라비아 인쇄소에서 톨루엔이 함유된 잉크 및 희석제를 취급하는 근로자 26명을 대상으로 본 연구를 수행하였다. 유기가스용 방독마스크 미착용 상태와 유기가스용 방독마스크 착용후 작업환경 중 톨루엔 개인노출농도와 요중 마뇨산 시간별 농도를 측정, 비교하였다.

결과 : 그라비아 인쇄소의 공기중 톨루엔 개인노출농도는 유기가스용 방독마스크 미착용일과 착용일에서 각각 147.52±57.34 ppm 및 134.55±52.44 ppm으로 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 방독마스크 미착용일과 착용일의 작업종료 후 요중 마뇨산 농도의 기하평균값은 각각 1.51 (0.53) g/L 및 0.49(0.14) g/L였으며 두 일간에 유의한 차이를 보였다. 방독마스크 미착용일에서 요중 마뇨산 농도는

근무시작 4시간 후(오후 작업시작전, 13:00)부터 유의하게 증가하기 시작하였으며, 착용일에서는 근무 종료시까지 유의한 증가를 보이지 않았다. 유기가스용 방독마스크 착용 효과를 톨루엔 대사산물인 요중 마노산 농도로 평가하면 착용시 농도가 미착용시에 비하여 89.3% 감소하였다. 보호구 미착용일에 있어서 공기중 톨루엔 개인노출농도와 요중 마노산 농도는 유의한 상관성을 나타냈으며 회귀방정식은 $Y(\text{요중 마노산, g/L}) = 0.007 \times (\text{공기중 톨루엔, ppm}) + 0.665$ 로 계산되었다.

결론 : Fit Test 등 올바른 보호구 착용 교육을 통한 전 작업시간에 걸친 유기가스용 방독마스크 보호구 착용은 직업적인 톨루엔 노출의 호흡기 흡수를 거의 대부분 차단하였다.

참고문헌

김정일, 박태혁, 정갑열, 신해림, 김준연. 음식물 섭취에 따른 마노산 배설량의 변화. 대한산업의학회지 1999; 11(4):516-526.

김준식. 시판 청량음료 시음후 마노산 배설에 관한 실험적 연구. [석사학위논문] 건국대학교대학원, 1999.

김현욱, 김형아, 노영만, 장성실. 우리나라 소규모사업장 근로자들의 호흡보호구 사용실태 및 착용기피 원인분석. 한국산업위생학회지 1998;8(1):133-145.

권기태. 톨루엔에 노출된 근로자의 유기가스용 방독마스크 착용에 따른 요중 마노산 및 o-cresol 배설량에 관한 연구. [석사학위논문] 연세대학교 보건대학원, 1993.

노동부. 산업안전보건법. 2000.

노동부. 근로자 건강진단실시기준. 고시 제 99-29호, 1999.

노동부. 작업환경측정 및 정도관리규정. 고시 제99-38호, 1999.

대한산업보건협회. 요중 마노산, 메틸마노산의 측정. 산업보건 1991;4:21-26.

박은미, 노재훈, 문영환. 톨루엔에 폭로된 근로자의 요중 마노산 배설량에 관한 연구. 예방의학회지 1987;20(2):228-235.

신재성. 그라비아인쇄와 연포장 기술. 기문당, 1993.

심상효, 박정일, 손정일. 안식향산 함유 식품 섭취가 톨루엔 폭로 근로자들의 요중 마노산 농도에 미치는 영향. 대한산업의학회지 1996;8(3):526-534.

이경용, 이관형. 경인지역 도금사업장 근로자의 산업보건 관리제도에 대한 인식. 대한산업의 학회지 1992;4(1):32-44.

이성수, 안규동, 이병국, 남택승. 톨루엔 사용 근로자의 폭

로량과 요중 마노산 배설량. 예방의 학회지 1989; 22(4):480-485.

이세훈, 김형아, 이병국, 이광복. 톨루엔 폭로근로자의 요중 마노산 및 o-Cresol 배설 농도와 지각증상. 한국의 산업의학 1988;27(2):4-11.

이세훈. 유기용제로 인한 신경독성. 한국의 산업의학 1988; 27(1):22-26.

장성훈. 톨루엔, 크실렌 폭로량과 생물학적 지표들과의 상관성연구. 대한산업의학회지 1995;7(2):295-305.

정승환. 신발제조업체근로자의 톨루엔 및 노말 핵산의 노출농도와 생물학적 모니터링. [석사학위논문] 가톨릭대학교 산업보건대학원, 2000.

조규상. 소외된 근로자들을 위한 보건관리. 산업보건 1994;69:7-12.

조규상. 산업보건학. 서울: 수문사, 1991.

통계청. 산업생산연보. 통계청, 1998.

한국산업안전공단 산업보건연구원. 건강진단기준상 유해물질 분석법의 표준화에 관한 연구(I). 1997.

한국산업안전공단. 업종별 작업환경관리법. 1991: 91-112-4:1-31.

한규호. 인쇄 작업장에서의 기중 톨루엔 농도와 작업자 요중 마노산 농도의 상관성 연구. [석사학위논문] 인하대학교 산업대학원, 2000.

한돈희, Klaus Willeke, C. E. Colton. 호흡기보호구의 Fit Test 방법과 규정에 관한 고찰. 한국산업위생학회지 1996;6(1):38-54.

한돈희, Klaus Willeke. 호흡기 보호구 착용시 움직임과 매일 착용에 따른 Fit Factors의 변 화. 한국산업위생학회지 1996;6(2): 176-186.

한태영, 전진호, 김성준 등. 작업시간대별 톨루엔 기준 농도와 요중 마노산 배설량에 관한 연구. 대한산업의학회지 1993;5(2):205-215.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Documentation of Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 1999: BEI 169-74.

Brugnone F, Ros ED, Perebelli L. Toluene concentration in the blood and alveolar air of workers during the work shift and the morning after. Brit J Ind Med 1986;43:56-61.

Carission A. Exposure to toluene uptake distribution and elimination in man. Scad J Work Environ Health 1982;8:43-55.

Chia SE, Tan KT, Kwok SK. A study on the health hazard of toluene in the polythene printing industry in Singapore. Ann Acad Med Singapore 1987;16(2):294-299.

Clayton GD, Clayton FE, Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd edition, Wiley-

- inter-science 1978:157-158.
- Clayton GD, Clayton FE, Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd edition, New York: John Wiley & Sons 1981:3283-3291.
- Cohr K.H, Stokholm J. Toluene: A toxicological review. *Scand J Work Environ & Health* 1979; 5:71-90.
- Colton CE, Birkner LR, Brosseau LM(eds). *Respiratory Protection: A Manual and Guideline*, 2nd ed., Fairfax, VA, American Industrial Hygiene Association 1991.
- De Rosa E, Brugnone F, Bartolucci GB, et al. The validity of urinary metabolites as indicators of low exposure to toluene. *Int Arch Occup Environ Health* 1985;56(2):135-145.
- Dossing M, Baelim J, Hansen SH, Lundqvist G, Andersen NT. Urinary hippuric acid and o-cresol excretion in man during experimental exposure to toluene. *Br J Ind Med* 1983;40(4):470-473.
- Inoue T, Ikeda M, Ogata M. A nationwide survey on the use of organic solvents in Japan. *Jpn J Ind Health* 1984;26:518-543.
- Ikeda M, Hera I. Evaluation of the exposure to organic solvents by mean of urinalysis for metabolites. *Jpn J Ind Health* 1980;22:3-16.
- Kawai T, Teramoto K. Toluene exposure and hippuric acid, o-cresol and phenol levels workers of vinyl shoes factories. *J Science Labour* 1984; 60(3):23-29.
- La Dou J. *Occupational Medicin*. London: Appleton & Lange 1990:359-386.
- Mat HO, Kenneth DH. *Biological monitoring of exposure to chemicals, organic compounds*. New York, A Wiley Interscience Publishers 1987: 101-103.
- McCunney RT. *A practical approach to occupational and environmental medicine*. 2nd ed. Boston: Little Brown 1994:629.
- Mikulski PI, Wiglusz R, Bublewska A, Uselis J. Investigation of exposure of ships painters to organic solvent. *Bull Inst Mar Med Gdansk* 1970:21:12-138.
- Monster AC, Kezic S, Van de Gevel I, de Wolff FA. Evaluation of biological monitoring parameters for occupational exposure to toluene. *Int Arch Occup Environ Health* 1993;65(1):S159-S162.
- National Institute for Occupational Safety and Health. *NIOSH Manual of Analytical Methods*. NIOSH, Cincinnati, Ohio 1995.
- National Institute for Occupational Safety and Health. *Guide to Industrial Respiratory Protection*. U.S Dept of Health and Human Services, Pub. No. 87-116, 1987.
- NIOSH Manual of Analytical Methods. NIOSH, Cincinnati, Ohio 1995.
- Nise G, Obaek P. Toluene in venous blood during and after work in rotogravure printing. *Int Arch Occup Environ Health* 1988;60(1):31-35.
- Nise G. Urinary excretion of o-cresol and hippuric acid after toluene exposure in rotogravure printing. *Int Arch Occup Environ Health* 1992;63: 377-381.
- Ogata M. Indices of biological monitoring with special reference to urinalysis for metabolites of organic solvents. *Jpn J Ind Health* 1985;27:229-241.
- Ogata M, Tomokuni K, Takatsuka Y. Urinary excretion of hippuric acid in the urine of persons exposed to vapours of toluene and m- or p-xylene as a test of exposure. *Br J Ind Med* 1970;27:43-50.
- Svensson BG, Nise G, Erfurth EM, Nilsson A, Skerfving S. Hormone status in occupational toluene exposure. *Am Ind Med* 1992;22(1):99-107.
- Wallen M. Toxicokinetics of toluene in occupationally exposed volunteers. *Scand J Work Environ & Health* 1986;12:558-583.
- Woiwode W, Drysch K. Experimental exposure to toluene. Further consideration of cresol formation in man. *Brit J Industr Med* 1981;38:194-197.