대한산업의학회지 제 16 권 제 2 호 (2004년 6월)
Korean J Occup Environ Med, 2004;16(2):115-128

그라비아 인쇄업 근로자의 톨루엔 노출수준과 신경행동기능 평가

한국산업안전공단 산업안전보건연구원, 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실[1)]

정수영 · 강성규 · 김대성 · 이세훈[1)]

— **Abstract** —

Assessment of Neurobehavioral Performance Among Rotogravure Printing Workers Exposed to Toluene

Soo-Young Chung, Seong-Kyu Kang, Dae-seong Kim, Se-Hoon Lee[1)]

Center for Occupational Diseases Research, Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA)
Department of preventive Medicine, College of Medicine, The Catholic University of Korea[1)]

Objectives: The aims of this study were to investigate the occupational exposure level to toluene among rotogravure printers and neurobehavioral effects among them.

Methods: Fifty rotogravure printers and 147 controls participated in this study. Environmental and biological monitoring was performed for the investigation of toluene exposure level, and neurobehavioral performance test were performed by using the Behavioral Assessment and Research System with Korean language instructions(BARS-K).

Results: The major results were as follows;

1. Geometric mean toluene concentrations in the ambient air of 5 rotogravure printing workplaces were 10.5 (GSD 5.9) 181.9 (GSD 17.7), with a grand total of 56.7 (GSD60.9) ppm.
2. The geometric mean urinary hippuric acid level for rotogravure printers of 5 workplaces were 0.31 (GSD 0.11) 5.14 (GSD 0.55), with the grand total of 1.87 (GSD 2.06) g/g creatinine.
3. There was a linear correlation between hippuric acid levels in urine and the exposed toluene in air: urine hippuric acid (g/g creatinine)=0.03 toluene (ppm) + 0.15 ($r=0.899$, $p<0.01$, $n=50$).
4. After adjustment for confounders, significant associations were found between toluene exposure and Digit span forwards, Digit span backwards, Tapping preferred hand, Symbol digit and Selective attention trials.

Conclusions: 1. Rotogravure printers were occupationally exposed to relatively high concentration to toluene, and their neurobehavioral performances were decreased.

2. The BARS neurobehavioral testing program, which minimizes the use of text in the instructions, was very effective in overcoming the cultural barriers in neurobehavioral testing.

Key Words: Toluene, Hippuric acid, Neurobehavioral performance, BARS-K.

<접수일: 2004년 1월 9일, 채택일: 2004년 3월 25일>

교신저자: 정 수 영 (Tel: 032-510-0913) E-mail: diajung@yahoo.co.kr

서 론

톨루엔은 방향족 계열로서 그라비아 인쇄시 케톤류, 아세테이트류, 알콜류 등과 함께 잉크 및 희석제, 세척제에 함유되어 있고 그라비아 인쇄 사업장의 휘발성 유기 화합물(volatile organic compounds, VOCs) 구성성분중 90%이상을 차지하고 있으며(Wadden 등, 2001), 한국의 제조업종에서 가장 많이 사용되는 유기용제로 보고(Moon 등, 2001)된 바 있다. 주로 호흡기를 통해 체내로 흡수되며 눈, 피부 및 호흡기 점막의 자극증상을 일으키고 고농도에 노출되면 감각이상, 시력장해, 현기증, 불면, 불안, 경련을 거쳐 허탈, 혼수상태에 빠지기도 하며(Husman, 1980) 장기적이고 반복적인 노출에 의해 신경행동기능 저하(Cherry 등, 1985) 및 뇌병증(Linz, 1986; Fieldman, 1999)을 일으키기도 한다.

저농도의 유기용제에 장기간 노출됨으로서 발생하는 정서이상, 집중력 감소, 기억력 감소 및 협조운동장애 등 신경행동기능장애와 관련된 질병들은 증상이 매우 비특이적이며 명백한 병리적 소견을 동반하지 않으므로 유기용제 노출과 이들 질병들과의 관계를 정확히 밝히는데 많은 어려움이 있다(WHO, 1985). 이에 대한 해결책으로 1970년대부터 북부유럽 등 산업의학이 발전한 선진국을 중심으로 만성적으로 유기용제에 노출되는 근로자들에게 적용할 수 있는 신경행동검사의 필요성이 강조되었고(Gerr와 Letz, 1992) 다양한 종류의 검사방법들이 개발되어 활용되고 있다(Singer, 1990).

우리나라에도 이세훈(1990)에 의해 신경행동검사가 소개된 이후 산업장 근로자들을 대상으로 많은 연구결과들이 발표되었다. 2000년까지 국내 학술지에 게재된 연구보고로는 유기용제의 신경독성을 평가하기 위한 연구들, 망간에 의한 독성 평가, 신경독성물질에 폭로되지 않은 건강한 남녀의 검사수행능력 연구들(강성규, 2000)과 파킨슨병 환자들에 대한 연구(이채용, 1997) 등이 있다. 그러나 이들 연구에 이용된 신경행동검사 도구들이 모두 외국에서 개발된 것들이어서 우리나라 근로자들의 건강진단과 역학조사에 용이하게 사용할 수 있도록 개발된 한글판 컴퓨터 신경행동검사를 이용한 연구들(이종영 등, 1997; 정종학 등, 1998; 사공준 등, 2000; 사공준, 2002)도 있다.

신경행동검사에는 매우 간단한 검사에서부터 복잡한 검사에 이르기까지 다양한 종류의 검사방법이 있으며 신경계 기능을 객관적으로 평가하는데 도움을 준다. 또한 신경계 질병의 진단 및 치료에 이용될 수 있으며 질병의 진행을 평가하는데 이용할 수 있으며, 산업보건 측면에서 신경독성물질에 노출되는 근로자들의 중추신경계 장애의 조기발견은 물론 노출-효과 관계 조사와 신경독성물질의 허용농도를 설정하는 역학적 연구에 이용될 수 있다(WHO, 1985; Singer, 1990). 기존의 신경행동검사를 컴퓨터 프로그램화한 컴퓨터 신경행동검사가 1980년대 중반에 등장하면서 신경행동검사는 면접식과 컴퓨터 신경행동검사로 나누어졌다. 면접식 신경행동검사로는 WHO와 NIOSH가 제안한 Neurobehavioral Core Test Battery (WHO, 1986)가 이세훈과 이승한(1991), 강성규 등(1993), 이덕희 등(1995)에 의해 근로자들을 대상으로 한 역학적 연구에 이용되었으며 컴퓨터 신경행동검사들로는 Neurobehavioral Evaluation System (NES), Swedish Performance Evaluation System (SPES), Behavioral Assessment and Research System (BARS)들이 비교적 널리 이용되나 국내에서는 SPES가 사공준과 정종학(1994), 정종학 등(1994)에 의해 역학적 연구에 이용된 바 있다.

컴퓨터 신경행동검사의 장점은 검사과정이 표준화되어 있어 연구F들의 결과를 비교하기 쉽고, 각각의 자극과 반응에 대한 개별적 관찰이 가능하며, 측정의 재현성이 우수하고, 수행기증의 점수화와 자료의 저장 및 변환이 용이하며, 다양한 종류의 검사항목을 쉽게 선택할 수 있고 필요에 따라 쉽게 변경할 수 있는 점 등을 들 수 있다(사공준과 정종학, 1994).

본 연구의 목적은 첫째, 톨루엔 등의 유기용제에 만성적으로 노출되는 그라비아 인쇄 근로자들을 대상으로 톨루엔 노출수준과 요중 마뇨산 배설량을 측정함으로써 톨루엔에 대한 노출정도를 파악하고자 하였고, 둘째, 교육수준이나 컴퓨터에 대한 친숙도에 의한 영향을 비교적 적게 받도록 고안된 BARS라는 신경행동검사 도구 중 숫자외우기(Digit Span), 단순반응시간(Simple Reaction Time), 손가락 두드리기(Finger Tapping), 부호 숫자 짝

짓기(Symbol Digit), 선택주의력 검사(Selective Attention) 등 5가지 항목을 시행하여, 톨루엔 등의 유기용제 노출이 그라비아 인쇄업 근로자들의 신경행동기능에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

연구대상은 2001년 3월부터 9월까지 경인지역에 소재한 일부 그라비아 인쇄업체를 대상으로 그라비아 잉크와 신너에 노출되는 남자 근로자 50명을 노출군으로 하였고, 신나 등의 유기용제에 노출되지 않는 타부서 생산직 남자 근로자와 사무직 근로자 147명을 비노출군으로 하였다.

노출군의 선정과정은 1998년 한국산업안전공단의 작업환경실태조사(한국산업안전공단, 1999)에서 그라비아 인쇄업종으로 파악된 130개 사업장을 대상으로 조사대상 사업장의 유기용제 사용량, 노출근로자 수 등을 감안하여 21개 사업장을 선정하였고 이들 사업장에 대해 예비조사를 실시하여 유기용제 사용량이 많고 작업환경측정 결과 유기용제 노출농도가 높은 5개 사업장(경기도 소재 2개소, 서울 소재 3개소) 50명의 근로자를 선정하여 본 연구의 노출군으로 선정하였다. 5개 사업장 총 60명의 생산직 근로자 중 역학조사 당일 직접 그라비아 인쇄 작업을 하였던 50명의 근로자들을 선정하였는데 A사업장의 경우 총 25명의 생산직 근로자 중 가공 업무를 하는 6명의 근로자를 제외한 19명의 근로자를 선정하였고, B사업장과 E사업장의 경우 전체 근로자가 모두 인쇄 작업을 하고 사업장 규모가 작기 때문에 각각 4명, 6명의 근로자 모두를 선정하였고, C 사업장의 경우 8명의 근로자 중 관리 업무를 하는 근로자 1명을 제외한 7명을 선정하였으며, D사업장은 17명중 14명을 선정하였다. 비노출군은 유기용제 노출이 없는 근로자들로 7개 사업장의 사무직 또는 타부서 생산직 근로자들을 대상으로 하였다.

2. 방법

직업력 및 개인력을 조사하기 위하여 자기기입식 설문조사를 실시하였다. 설문지는 신경학적 이상소견에 영향을 미칠 수 있는 변수로서 연령, 학력, 질병력, 음주 및 흡연력, 컴퓨터에 대한 친숙도에 관한 6개 문항과, 직업력으로 현재 사업장에서 담당하고 있는 작업내용과 사용하는 유기용제명, 근무년수, 그리고 과거에 유기용제에 폭로될 가능성이 있었던 직장에서 취급했던 유기용제의 종류 등으로 구성되어 있다.

1) 개인별 유기용제 노출 수준

근로자의 작업시간 전 과정을 조사하기 위해 6시간 이상 시료를 채집하였다. 시료포집은 개인용시료포집기(Model LFS 113DC, Gaillian, USA)를 사용하여, 0.1~0.2 ℓ/min의 유량으로 근로자의 호흡구 위치에서 포집하였다. 시료 채취와 분석은 NIOSH에서 추천하는 공정시험법(1996) ‘Method 1501 방향족 탄화수소류’에 의하여 실시하였다.

2) 생물학적 모니터링

고밀도 폴리에틸렌(High Density Polyethylene) 통을 이용하여 작업시간 종료 직전에 근로자의 소변 60 ml를 채취한 후 냉장상태로 실험실에 이송하여 분석하였다. 요중 마뇨산 농도를 보정하기 위해 소변의 크레아티닌 농도를 함께 분석하였다.

(1) 요중 마뇨산 분석

크로마토그라피 이동상{(n-tetrabutylammonium bromide 5.5 g+KH_2PO_4 1.5 g/1 L DDW) : MeOH (10 : 6, v/v)}을 제조하여 0.2 μm의 나일론막으로 여과하고 탈기하여 고속액체크로마토그라피(high performance liquid chromatography)를 수행하였다.

(2) 요중 크레아티닌 분석

요중 마뇨산을 크레아티닌으로 보정하기 위해 요중 크레아티닌을 분석하였다. 요중 크레아티닌은 일회뇨를 방부제 처리없이 채취한 소변을 COBAS INTEGRA 400 (Roche, Switzerland)를 사용하여 분석하였다.

3) 신경행동검사

신경행동검사는 미국 오레건 의과대학 직업환경독성연구소(Oregon Health Science University)에서 고안한 introduction 부분을 한글화한 BARS-Korean version (BARS-K)을 이용하였다(Rholman

등, 2003). 조사항목은 5가지로 숫자외우기(Digit Span), 단순반응시간(Simple Reaction Time), 선택주의력검사(Selective Attention), 손가락 두드리기(Finger Tapping), 부호숫자 짝짓기(Symbol-Digit)로 구성되어 있다. 컴퓨터는 개인용 노트북을 사용하였으며 컴퓨터를 사용해보지 않았던 사람을 위해 특수 고안된 1~9까지 아홉 개의 숫자 키만 크게 나타나는 판넬로 키보드를 가리고 사용하였다.

숫자외우기(Digit Span)는 화면에 주어지는 숫자를 기억하고 있다가 키보드를 이용하여 다시 입력하는 과정을 반복적으로 수행하는데, 적게는 3자리에서부터 많게는 9자리의 숫자들로 구성되어 있다. 정순과 역순으로 두 번 실시하고 어느 숫자에서건 두 번 연속으로 암기에 실패하면 다음 단계로 넘어가게 되어 있다. 결과는 맞은 수로 표시하며, 숫자가 높을수록 기억력이 좋은 것으로 판단하였다.

단순반응시간(Simple Reaction Time)은 사각형의 붉은색 도형이 불규칙한 간격으로 나타나고 피검자는 사각형이 나타나는 순간 5번 버튼을 최대한 빨리 누른다. 총 50회를 시도하면 반응시간은 ms 단위로 측정되며 숫자가 낮을수록 단순반응기능이 좋은 것으로 판단하였다.

선택주의력검사(Selective Attention)는 화면의 좌우측에 두 개의 박스가 나타나고 피검자는 그 안에 점이 나타나는 순간 5번 키보드를 최대한 빨리 누른다. 점이 바깥에 나타나면 누르지 않도록 하였고 맞는 응답이 많아지면 점점 빠르게 나타나고 틀린 응답이 많아지면 점점 느리게 나타나도록 고안되었다. 모두 650번을 반응하도록 고안되었다. 결과는 양성응답률이 45~55% 사이에 들어오는 것만을 취하여 정답수를 구하였다. 정답수는 개수로 표시되며 정답수가 많을수록 인지력이 좋은 것으로 판단하였다.

손가락 두드리기(Finger Tapping)는 단순히 키보드를 두드려서 화면에 나타나는 막대모양의 네모박스 안을 채워나가는 것으로 정해진 시간에 최대 250번을 두드릴 수 있도록 고안되었다. 우수(dominant hand)를 먼저 실시한 후 열수(non-dominant hand)를 다음에 실시하였고 다시 우수로 검사를 수행한 후, 마지막으로 우수와 열수로 교대로 두드리도록 하였다. 결과는 우수와 열수의 두드린 횟수를 헤아렸다. 숫자가 많을수록 운동 수행 기능(motor performance)이 좋은 것으로 판단하였다.

부호숫자 짝짓기(Symbol Digit)는 화면 상단에 1~9까지 9개의 숫자에 부호를 부여해 주고 화면 하단에 부호를 준 다음 해당하는 숫자를 찾아서 기입하도록 하였다. 한 화면에 20개의 숫자를 주었고 화면이 바뀔 때마다 숫자에 해당하는 부호도 바뀌도록 고안되었다. 맞게 응답한 전체 횟수의 반응시간을 구하였다. 반응시간은 ms 단위로 표시된다.

모든 검사는 피검자가 스스로 이해할 때까지 연습과정을 거치었으며 제대로 반응한 경우에 다음 단계로 넘어가도록 하였다. 피검자가 이해하지 못하는 경우에는 검사를 중단하였다. 검사자는 숙련된 간호사 1명이 수행하였고 검사 결과의 검토와 해석은 경험있는 의사가 수행하였다. 검사의 순서는 숫자외우기(Digit Span), 단순반응시간(Simple Reaction Time), 선택주의력검사(Selective Attention), 손가락 두드리기(Finger Tapping), 부호숫자 짝짓기(Symbol-Digit)의 순서로 진행하였고 총 검사시간은 약 30분정도였으며 검사실의 환경은 주변이 조용한 사무실이나 식당 등의 공간을 이용하였다. 피검자에게 특별한 동기부여는 하지 않았고 근로자들의 건강 정도를 평가할 수 있는 방법이라고만 설명하였다. 컴퓨터에 대한 친숙도는 설문지 문항에 컴퓨터를 다루어본 경험이 있는지 여부를 물어봄으로써 평가하였다.

3. 자료분석

수집된 자료는 SPSS for Windows V10.0을 이용하여 정규성 검정을 한 뒤 분석하였다. 5개 그라비아 사업장을 대상으로 측정한 기중 톨루엔 농도와 요중 마뇨산 값은 사업장별 기하평균과 기하 표준편차를 구한 뒤 일원분산분석을 이용하여 유의성을 검정하였다. 요중 마뇨산량은 비노출군과 노출군의 기하평균과 기하표준편차를 구한 뒤 t-test를 이용하여 유의성을 검정하였다.

신경행동검사에 영향을 주는 일반적 특성을 조사하기 위하여 조사 대상자들의 일반적 특성(연령, 음주, 컴퓨터에 대한 친숙도, 교육기간 등)을 이분형 변수로 나누어 높고 낮은 두 집단 간의 각 항목별 신경행동검사 결과 차이를 비교하였고, 신경행동검사 결과의 정확한 해석을 위하여 연령, 음주빈도, 컴퓨

터에 대한 친숙도, 교육기간, 노출 여부 등을 독립변수로 하고 신경행동검사의 각 항목별 결과를 종속변수로 하여 다변량 회귀분석을 시행하였다. 또한 그라비아 인쇄업종 근로자들만을 대상으로 연령, 음주빈도, 컴퓨터에 대한 친숙도, 교육기간, 노출수준(요중 마뇨산 배설량), 근무기간 등을 독립변수로 하고 신경행동검사의 각 항목별 결과를 종속변수로 하여 다변량 회귀분석을 시행하였다.

결 과

1. 연구대상자의 일반적 특성

그라비아 사업장 근로자군과 비노출군을 비교하면 두 군 간의 일반적 특성은 유사하였다. 두 군 모두 남자 근로자만을 대상으로 하였고 연령은 그라비아 사업장 근로자군이 평균 33.7세로 비노출군의 35.7세보다 적었으나 유의한 차이는 없었고, 교육기간은 6년에서 최고 16년까지로 노출군에서 평균 11.4년, 비노출군에서 평균 12.7년으로 두 군간에 차이가 없었다. 해당 업무에 종사한 기간의 평균도 각각 64개월과 62개월로 유사하였다. 하지만 음주 빈도로 질문한 음주력에서 1주일에 4~5회 음주한다고 대답한 사람이 노출군에서 22.0%, 비노출군에서 8.8%였고, 1주일에 1~3회 음주한다고 대답한 사람이 노출군에서 42.0%, 비노출군에서 44.2%이었으며, 한달에 1~2회 음주한다고 대답한 사람이 노출군에서 30.0%, 비노출군에서는 31.3%, 음주하지 않는다고 대답한 사람이 노출군에서 6.0%, 비노출군에서 15.6%로 두 군간에 음주빈도에서 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 또한 컴퓨터에 대한 친숙도를 묻는 질문에 대해서도 친밀하다고 대답한 사람이 노출군에서 56.0%, 비노출군에서 83.2%로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$)(Table 1).

2. 대상 사업장의 기중 톨루엔 농도와 요중 마뇨산 농도

5개 사업장을 대상으로 측정한 기중 톨루엔의 평균 노출수준은 56.7(GSD 60.9) ppm 이었고 사업장별 기중 톨루엔 농도에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.01$). 100 ppm 이상의 기중 톨루엔 농도에 노출되고 있는 근로자수는 10명이었다(Table 2).

5개 사업장을 대상으로 측정한 요중 마뇨산의 평균 농도는 1.87(GSD 2.06) g/g creatinine 이었고 사업장별 요중 마뇨산 농도도 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.01$). 노동부에서 제시한 요중 마뇨산의 노출한계인 2.5 g/g creatinine 를 초과한 사업장은 2개소였고 근로자수는 14명이었다(Table 2).

기중 톨루엔 농도가 10.5 ppm일때 요중 마뇨산은 0.33 g/g creatinine, 톨루엔 농도가 181.9

Table 1. General characteristics of gravure printers and controls (%)

Characteristic		Gravure printers (n=50)	Controls (n=147)	p-value
Age (yr)		33.7±8.0	35.7±8.2	NS
Education (yr)		11.4±1.3	12.7±3.1	NS
Working duration (month)		64.0±99.1	61.7±67.0	NS
Alcohol				
Yes	4-5/wk	11 (22.0)	13 (8.8)	<0.05
	1-3/wk	21 (42.0)	65 (44.2)	
	1-2/month	15 (30.0)	46 (31.3)	
No		3 (6.0)	23 (15.6)	
Computer familiity				
Yes		28 (56.0)	122 (83.2)	<0.05
No		22 (44.0)	25 (16.8)	

NS; not significant. mean±standard deviation.

ppm일 때 요중 마뇨산은 5.14 g/g creatinine로 기중 톨루엔 농도가 증가할수록 요중 마뇨산 배설량이 증가하였으며(Table 2), 요중 마뇨산량과 기중 톨루엔 농도와의 상관계수는 0.899(p<0.01)로 유의한 정상관 관계를 나타냈다.

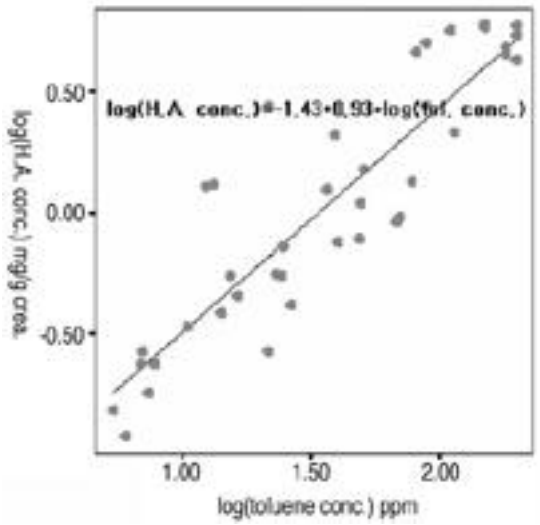

Fig 1. Relationship between the concentration of toluene in breath zone air and the concentration of hippuric acid in urine (n=50, p<0.01). H.A.: hippuric acid

대수변환시킨 요중 마뇨산의 농도를 종속변수로 하고 기중 톨루엔 농도를 독립변수로 하여 회귀방정식을 구한 결과 log(hippuric acid conc.)=0.93 x log(toluene conc.)-1.43으로 나타났으며 통계적으로 유의하였다(p<0.01)(Fig. 1). 유기용제 노출이 없는 근로자(비노출군) 147명과 톨루엔에 노출된 그라비아 사업장 근로자 50명을 대상으로 한 조사에서 요중 마뇨산 농도의 기하평균은 각각 0.11(GSD 0.12) g/g creatinine, 1.87(GSD 2.06) g/g creatinine로 그룹간 요중 마뇨산 농도에는 유의한 차이가 있었다(p<0.01)(Table 3).

3. 신경행동검사

두 집단 간에 신경행동검사에 영향을 미치는 성별, 연령, 학력수준에 유의한 차이가 없음에도 불구하고 그라비아 사업장 근로자군은 비노출군에 비해 모든 항목에서 수행능력이 낮았고 특히 숫자외우기 정순(p=0.011), 손가락 두드리기 우수(p=0.020) 항목에서는 비노출군보다 유의하게 낮았다(Table 4).

Table 2. Airborne toluene concentrations and urinary hippuric acid concentrations between cases

Case	No. of subjects	Toluene (ppm)			Hippuric acid (g/g crea)		
		GM	GSD	F	GM	GSD	F
A	19	38.9	27.7		1.21	1.10	
B	4	14.8	7.8		0.31	0.11	
C	7	181.9	17.3	110.35*	5.14	0.55	60.29*
D	14	10.5	5.9		0.33	0.14	
E	6	102.2	13.4		4.74	1.33	
Total	50	56.7	60.9		1.87	2.06	

* p-value<0.01. GM: geometric mean. GSD: geometric standard deviation.

Table 3. Comparison of urinary hippuric acid concentrations between gravure printers and controls

Group	Number	GM	GSD	t	p-value
Gravure printers	50	1.87	2.06	-6.043	<0.01
Controls	147	0.11	0.12		

GM: geometric mean. GSD: geometric standard deviation.

4. 조사대상 특성에 따른 신경행동검사 항목별 결과 차이

신경행동검사를 시행함에 있어 연령과 교육수준, 컴퓨터에 대한 친숙도, 음주 등이 검사 결과에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 조사 대상의 특징과 신경행동검사의 관련성을 보았을 때 연령은 숫자 암기(정순) 검사를 제외한 모든 항목과 유의한 관련성

Table 4. Comparison of neurobehavioral performances between gravure printers and controls

Performance		Gravure printers		Controls		p-value
		Mean	SD	Mean	SD	
Digit span	Forward (correct score)	6.12	1.78	7.08	1.58	0.011*
	Backward (correct score)	5.12	1.94	5.40	2.15	NS
Reaction time (msec)		353.87	45.78	341.46	79.84	NS
Finger tapping	Pref. hand (No. of taps)	107.22	18.41	119.77	22.32	0.020*
	Non-pref. hand (No. of taps)	99.84	20.48	108.76	18.96	0.060
Symbol Digit (msec)		2049.65	462.04	2015.30	498.87	NS
Selective Attention	Trials (No. of correct)	269.42	38.65	276.43	46.15	NS

* p-value<0.05. SD: standard deviation, NS: not significant.

Table 5. Neurobehavioral performance test results of gravure printers and controls to the general characteristic differences.

Characteristics	Digit span		Reaction time (msec)	Finger tapping		Symbol-Digit (msec)	Selective attention
	Forward (correct score)	Backward (correct score)		Pref. hand (No. of taps)	Non-pref. hand (No. of taps)		Trials (No. of correct)
Age (yr)							
<35	7.15	5.93*	330.17*	127.25*	113.76*	1814.66*	295.46*
≥35	6.73	4.78	375.08	109.42	101.53	2236.50	255.71
Education (yr)							
<12	5.29*	3.55*	383.09*	109.45*	104.32	2580.52*	236.41*
≥12	7.19	5.63	347.17	119.74	108.19	1939.93	281.67
Alcohol							
No	7.21	5.54	356.56	121.33	108.58	2059.84	275.18
Yes	6.89	5.19	350.34	117.79	108.84	1968.72	278.33
Computer							
No	6.04*	3.94*	374.95*	107.52*	101.23*	2378.65*	246.62*
Yes	7.34	6.08	341.17	124.14	111.92	1838.29	290.16

* p-value<0.05.

이 있었고, 교육 정도는 두드리기(열수) 검사를 제외한 모든 항목에서 유의한 관련성이 있었으며, 컴퓨터에 대한 친숙도는 신경행동검사의 모든 항목과 유의한 관련성이 있었다. 하지만 음주 여부는 신경행동검사의 어떤 항목과도 관련이 없었다(Table 5).

5. 전체 근로자를 대상으로 시행한 신경행동검사 항목의 다중회귀분석

BARS-K의 7가지 검사항목에 대하여 신경행동검사의 잘 알려진 교란요인인 연령, 교육정도, 음주여부, 컴퓨터에 대한 친숙도가 미치는 영향을 파악하고, 톨루엔 노출로 인한 신경행동검사상의 차이를 알아보기 위하여 신경행동검사결과를 종속변수로 하여 다변량 회귀분석을 시행하였다. 숫자외우기(정순, 역순) 검사에는 교육수준, 톨루엔 노출 여부, 컴퓨터에 대한 친숙도가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났고 설명력은 각각 20.4%, 29.0%였다. 두드리기(우수) 검사에는 연령과 톨루엔 노출이, 두드리기(열수) 검사에는 연령만이 영향을 미치는 것으로 나타났고 설명력은 각각 20.5%, 11.7%였다. 부호숫자짝짓기 검사와 선택주의력(맞은수) 검사에는 교육정도, 컴퓨터에 대한 친숙도, 연령, 톨루엔 노출 여부가 영향을 미치는 것으로 나타났고 설명력은 각각

Table 6-1. Multiple regression analysis neurobehavioral performance test of gravure printers and controls

Performance	Variable	β	S.E.	p-value	R^2(adjusted)
Digit span forward (correct score)	Education	0.289	0.208	0.000	0.204
	Exposure	-0.256	0.181	0.000	
	Computer	0.257	0.342	0.010	
	Age (yr)	0.073	0.022	0.481	
	Alcohol	0.015	0.141	0.836	
Digit span backward (correct score)	Education	0.329	0.262	0.000	0.290
	Computer	0.264	0.431	0.005	
	Exposure	-0.168	0.228	0.034	
	Alcohol	0.134	0.177	0.059	
	Age (yr)	-0.077	0.027	0.430	
Simple reaction time (msec)	Age (yr)	0.208	1.120	0.065	0.053
	Education	-0.050	10.767	0.595	
	Computer	-0.054	17.700	0.617	
	Exposure	-0.023	9.375	0.725	
	Alcohol	0.019	7.285	0.820	
Finger tapping dominant hand (number of taps)	Age (yr)	-0.308	0.290	0.003	0.205
	Exposure	-0.208	2.426	0.006	
	Computer	0.149	4.581	0.134	
	Education	-0.034	1.885	0.652	
	Alcohol	-0.009	2.786	0.914	
Finger tapping non-dominant. hand (number of taps)	Age (yr)	-0.226	0.261	0.038	0.117
	Computer	0.175	4.130	0.095	
	Education	-0.137	2.512	0.133	
	Exposure	-0.120	2.187	0.142	
	Alcohol	-0.066	1.700	0.402	

S.E.: standard error.

36.3%, 27.9%였다. 반응시간 검사에서는 영향을 미치는 변수가 없는 것으로 나타났다(Table 6-1, 6-2).

7. 그라비아 인쇄업 근로자들만을 대상으로 시행한 신경행동검사 항목의 다중회귀분석

BARS-K의 7가지 검사항목에 대하여 신경행동검사의 잘 알려진 교란요인인 연령, 교육정도, 음주여부, 컴퓨터에 대한 친숙도, 근무기간 등이 미치는 영향을 파악하고, 톨루엔 노출로 인한 신경행동검사상의 차이를 알아보기 위하여 그라비아 인쇄 근로자들만을 대상으로 하여 다변량 회귀분석을 시행하였다. 회귀분석 결과에 의하면 톨루엔 노출정도(기중 톨루엔 농도)가 유의한 영향을 미치는 검사항목은 숫자외우기(역순) 검사였고, 두드리기(우수)검사는 연령이 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 선택주의력(맞은수) 검사는 음주정도에 의해 유의한 영향을 받는 것으로 나타났다(Table 7).

고 찰

그라비아 인쇄 사업장은 대부분 사업장 규모가 작고 작업환경이 열악하여 산업보건 분야에서 톨루엔에 관한 연구 대상이 되어 왔다(박은미 등, 1987), 본 연구에서도 그라비아 인쇄 사업장 5곳을 선정하여 기중 톨루엔 농도와 요중 마뇨산 농도를 측정하였는데 사업장별 기중 톨루엔 농도를 살펴보면, A 사업장의 경우 38.9(GSD 27.7) ppm, B 사업장의 경우 14.8(GSD 7.8) ppm, C 사업장의 경우 181.9(GSD 17.7) ppm, D 사업장의 경우 10.5(GSD 5.9) ppm, E 사업장의 경우 102.2(GSD 13.4) ppm이었으며 가장 높은 기중농도를 보인 C 사업장의 경우 김범석 등(2001)이 보고한 147.52±57.34 ppm보다는 높은 수치였고, 가장 낮은 기중농도를 보인 D사업장의 경우 최호춘 등(1997)이 보고한 23.81 ppm 보다 낮은 수치를 보여 사업장간 상당한 정도의 노출 차이를 보이는 것으로 나타났다.

요중 마뇨산 배설량은 작업장의 톨루엔 농도에 가장 크게 영향을 받지만 신장과 간장에 질환이 있거나 과일이나 야채를 섭취한 경우에도 영향을 받는다고 하며 스타이렌(styrene), 에틸벤젠(ethyl benzene) 등의 타 유기용제에 노출되거나 안식향산이 함유된 음료수를 마셨을 경우에도 요중에 배설될 수 있으므로(심상효 등, 1996) 톨루엔 노출을 평가하는데 그 정확성이 다소 결여된다는 견해도 있다. 하지만 요시료를 이용해 쉽게 분석할 수 있고 톨루엔 노출량과의 상관성도 입증되었기 때문에(박은미 등, 1987; 배기택 등, 1991), 톨루엔에 대한 생물학적 노출지표로 널리 이용되고 있다. 본 연구에서 공기중 톨루엔 농도와 요중 마뇨산의 상관계수는 0.899로 박은미 등(1987)의 0.868, 배기택 등(1991)의 0.8302와 비슷하였고, 이세훈 등(1988)의 0.684, 장성훈(1995)의 0.66 보다는 높게 나타났으며, 유

Table 6-2. Multiple regression analysis neurobehavioral performance test of gravure printers and controls

Performance	Variable	β	S.E.	p-value	R^2 (adjusted)
Symbol digit (msec)	Education	-0.314	52.975	0.000	0.363
	Computer	-0.254	87.091	0.005	
	Age (yr)	0.229	5.510	0.014	
	Exposure	0.155	98.790	0.029	
	Alcohol	-0.107	35.846	0.112	
Selective attention trials (no. of correct)	Education	0.262	5.357	0.002	0.279
	Age (yr)	-0.271	0.557	0.006	
	Exposure	-0.163	4.665	0.038	
	Computer	0.193	8.808	0.042	
	Alcohol	0.052	3.625	0.468	

S.E.: standard error.

의한 상관관계를 나타내는 것은 일치하였다. 또한 5개 사업장을 대상으로 측정된 요중 마뇨산의 기하평균 농도는 1.87(GSD 2.06) g/g creatinine이었으나, 추정된 회귀식{Y(요중 마뇨산, g/g creatinine)=0.03×(공기중 톨루엔, ppm)+0.145}에 톨루엔 노출기준(100 ppm)을 대입하여 산출된 요중 마뇨산 값은 3.15 g/g creatinine으로 ACGIH (1991)가 제시한 요중 마뇨산 노출 기준값(2.5 g/g creatinine)보다 높은 값을 보였다.

그라비아 인쇄공정의 근로자들은 잉크 및 신나를 사용하면서 다양한 유기용제에 노출되고 있다. 주로 노출되는 유기용제는 톨루엔이지만 불순물로 함유된 벤젠에 노출될 수도 있다(Walker 등, 1993). 이로 인해 그라비아 인쇄공정 근로자들에게 조혈기질환이 발생하는 경우 벤젠 노출에 의해 발생하였을 가능성(McMichael, 1988)이 제기되고 있다. 이에 본 연구에서 자료로 제시하지는 않았지만 기중 벤젠 농도와 요중 뮤콘산 농도를 측정하였다. 측정결과 5개 그라비아 사업장에서 벤젠은 불검출되거나 0.01 ppm 이하 수준이었고 요중 뮤콘산은 22명에게서 불검출되었고 5개 사업장의 평균농도는 0.084 (±0.167) mg/g crea 으로 나타나 2001년 현재 경인지역에 소재한 그라비아 인쇄 사업장에서 사용되는 잉크나 희석제에 벤젠이 불순물로 섞여 있는 경우는 거의 없으며 있을 경우에도 매우 낮은 수준이었음을 알 수 있었다.

유기용제의 신경독성에 관한 연구는 과거에는 중추신경계의 급성 중독 위주로 연구되었으나, 최근에는 장기간 저농도로 노출되어 발생하는 만성독성인 중추신경계 장애가 국내에서도 보고(천용희, 1991: 강성규, 1992)됨으로써 이에 대한 관심이 증가되고 있다. 저농도의 유기용제에 장기간 노출될 때 신경독성증상을 일으키는지 여부에 대하여는 논란이 많으나 50 ppm이하의 유기용제에 노출되어도 도장공 증후군(Painter's syndrome)을 일으킬 수 있다는 보고(Cherry, 1985)가 a있고 특히, Juntunen 등(1980)은 유기용제에 노출된 근로자의 90% 이상이 인격장애가 있다고 보고하고 있다.

Hanninen 등(1976)은 유기용제 노출 근로자에게 신경독성 증상을 파악하기 위한 신경행동검사는

Table 7. Multiple regression analysis neurobehavioral performance test of gravure printers

Performance	Variable	β	S.E.	p-value	R^2(adjusted)
Digit span backward (correct score)	Exposure	-0.483	0.485	0.049	0.328
	Work duration	-0.423	0.005	0.102	
	Computer	0.180	0.878	0.463	
	Alcohol	0.026	0.416	0.893	
	Education	-0.031	0.684	0.898	
	Age (yr)	-0.013	0.052	0.959	
Finger tapping pref. hand (number of taps)	Age (yr)	-0.642	0.611	0.031	0.180
	Exposure	0.317	8.022	0.247	
	Computer	-0.260	10.290	0.339	
	Education	0.317	8.022	0.247	
	Work duration	0.051	0.062	0.855	
	Alcohol	-0.075	4.880	0.728	
Selective attention trials (no. of correct)	Alcohol	0.444	8.734	0.034	0.309
	Computer	0.366	18.419	0.149	
	Exposure	-0.317	10.182	0.202	
	Work duration	0.189	0.112	0.461	
	Age(yr)	-0.151	1.093	0.561	
	Education	-0.122	14.359	0.622	

S.E.: standard error.

특이도는 상대적으로 낮지만 민감도는 높으므로 선별검사에 유용하게 이용할 수 있다고 하였다. 그러나, 신경행동검사는 결과를 정확히 해석하고 다른 연구와 비교하려면 조사결과에 미치는 가능한 모든 혼란변수를 철저히 배제하여야 하는데(Fidler 등, 1987), 이러한 결과에 영향을 미치는 요인은 나이, 성별, 교육, 사회경제적 위치, 건강상태와 알콜 및 약물복용, 피로, 동기 등의 피검자의문제와 검사방법의 표준화 같은 검사자의 문제 등이 있다(WHO, 1986).

지금까지 신경행동기능 평가를 주제로 한 유사한 연구 논문들이 발표되었지만 BARS를 이용한 연구 보고는 국내에 발표된 적이 없고, 대부분의 연구들이 혼합유기용제의 영향을 다루었으나 본 연구에서는 톨루엔의 영향을 중점적으로 다루었으며, 그라비아 인쇄 근로자들만을 대상으로 개별 근로자들의 톨루엔 노출수준을 측정하여 신경행동검사 결과와의 관련성을 살펴보았다는데 본 연구의 의의가 있다고 할 수 있겠다.

신경행동검사에서 연령, 음주력, 교육정도 등 교란요인을 통제해주어야 하는데(Cherry 등, 1985), 본 연구의 노출군은 연령, 음주력 및 교육정도, 근무기간에서 비노출군과 통계적 차이가 없으므로 두 군간의 비교성은 신뢰할 수 있다. 본 연구에서 신경행동검사(BARS-K)의 각 검사항목에 대하여 각 혼란변수의 영향을 통제한 다음 톨루엔 노출 여부에 따른 신경행동기능의 차이를 알아보기 위하여 다변량 회귀분석을 실시해본 결과 신경행동검사 항목들 중 숫자외우기(정순, 역순), 두드리기(우수), 부호숫자짝짓기 검사에서 톨루엔 노출군과 비노출군 사이에 통계학적으로 유의한 차이를 보였다. 이들 검사 항목들은 각각 인지기능과 기억력, 협동운동성 등을 반영하는 것들로서(Rohlman et al., 2003) 본 연구의 대상이 되었던 근로자들의 경우 상기 기능의 저하가 의심된다고 볼 수 있겠다.

강성규 등(1993)이 보고한 바에 의하면 톨루엔 노출 근로자에게서 단순반응시간의 저하와 Benton 시각검사 결과의 저하를 보였고, 이 결과는 톨루엔 노출에 의해 민첩성, 협동운동성, 순간기억력의 저하 가능성을 시사한다. 또 사공준 등(1997)은 혼합유기용제에 노출되는 도장공들을 대상으로 신경행동검사를 시행한 결과를 발표하였는데, 단순반응시간, 부호숫자짝짓기, 숫자외우기 항목에서 유의하게 저하된 소견을 보였다고 하였다. 이들의 연구 결과가 모두 단순반응시간의 저하 소견을 보였던 반면, 정종학 등(1994)은 부호숫자 짝짓기 검사에서 유의한 차이가 있었다고 보고하였고, 이세훈과 이승한(1991)은 Benton 시각검사와 숫자외우기 검사에서 유의한 차이가 있었다고 보고하였다. 본 연구에서 성별, 연령, 음주력, 교육기간, 컴퓨터에 대한 친숙도 등의 혼란변수를 통제하였을 때, 톨루엔에 주로 노출되는 그라비아 인쇄 근로자들의 경우 숫자외우기(정순, 역순)와 부호숫자짝짓기, 두드리기(우수), 선택주의력(맞은수) 검사에서 비노출군에 비해 유의하게 저하된 소견을 보였으나, 단순반응시간과 두드리기(열수) 검사에서는 유의한 차이를 보이지 않음으로서 이세훈과 이승한(1991), 정종학 등(1994)의 연구들과 비슷한 결과를 나타냈다.

톨루엔에 대한 노출 변수 이외에 신경행동검사 결과에 영향을 줄 수 있는 변수들에 대해서도 살펴보았다. 본 연구에서 숫자외우기(정순) 검사에 영향을 미치는 변수는 교육정도와 컴퓨터에 대한 친숙도였고, 두드리기(우수, 열수) 검사는 연령이 영향을 미치는 것으로 나타났으며 부호숫자짝짓기 검사와 선택주의력(맞은수) 검사에는 교육정도, 컴퓨터에 대한 친숙도, 연령 등이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 단순반응 검사에는 유의한 영향을 주는 변수가 없었다.

이상을 종합해보면 연령과 교육정도 및 컴퓨터에 대한 친숙도 등은 기존 연구들(사공준과 정종학, 1994; 사공준 등, 2000a; 사공준 등, 2000b; Kang, 2000)과 마찬가지로 신경행동검사 결과에 유의한 영향을 미치는 변수로 나타났던 반면, 음주변수에 의해 영향을 받는 검사항목은 없는 것으로 나타나 결과 해석에 다소 어려움이 있었으나, 신경행동검사가 작업장내에서 작업도중 이루어졌기 때문에 급성폭로에 의한 영향 가능성을 배제할 수 없고 생산활동에 참여하고 있는 근로자 중에 중독상태에 있는 근로자는 거의 없으므로 보통의 음주량을 가지는 근로자들을 대상으로 음주 변수에 의한 영향을 파악하는데는 한계가 있다고 생각되며, 더군다나 정확한 음주력을 파악할 수 없어 음주빈도에 의해서만 음주력을 평가한 본 연구에서 음주 변수에 의한 영향이 왜곡되어 나타났을 가능성이 있다고 생각한다.

폭로여부가 아닌 폭로수준, 즉 폭로량과 신경행동기능 사이의 용량반응관계를 관찰하기 위해 작업환경농도를 측정한 노출군 만을 대상으로 연령, 교육정도, 근무기간, 컴퓨터친숙도, 음주 등의 혼란변수를 통제하였을 때 숫자외우기(역순) 검사 항목만이 톨루엔 노출수준에 따라 유의한 영향을 받는 검사항목이었고 두드리기(우수) 검사와 선택주의력(맞은수) 검사는 톨루엔 노출수준이 아닌 연령이나, 음주변수에 의해 유의한 영향을 받는 것으로 나타났으며, 나머지 검사항목들의 경우 유의한 영향을 미치는 변수가 없었다. 노출군과 비노출군을 합한 전체 근로자들을 대상으로 시행한 회귀분석 결과와 달리 노출군만을 대상으로 한 회귀분석 결과에서 선택주의력 검사가 음주변수에 의해 유의한 영향을 받는 것으로 나타났는데 그 원인으로는 노출군의 음주빈도가 비노출군에 비해 유의하게 더 많았기 때문으로 생각된다.

이상의 결과에서 BARS-K를 이용한 신경행동학적 수행 검사의 적용으로 톨루엔에 주로 노출되는 그라비아 인쇄 근로자들에게 나타나는 신경행동학적 변화를 판단할 수 있었으나, 그라비아 인쇄 사업장에서 주로 사용되고 있는 유기용제는 톨루엔 단일 물질만이 아니라 여러 가지 혼합 유기용제가 상가작용을 하고 있으므로(최호춘 등, 1997), 본 연구에서 나타난 신경행동검사 결과를 톨루엔에 의한 결과로만 해석할 수 없다. 또 본 조사가 작업장내에서 작업도중 이루어졌기 때문에 급성폭로에 의한 영향 가능성을 배제할 수 없을 뿐만 아니라, 조사 당시의 기중 농도만을 기준으로 톨루엔 노출 수준을 평가하였기 때문에 만성적 폭로에 의한 영향을 반영하지 못했다는 점이 제한점으로 남는다. 또한 그라비아 인쇄업종 세세분류 중 5개 사업장 모두 식품포장지 인쇄업체만을 선정하였고 경인 지역에만 소재하고 있기 때문에, 전체 그라비아 인쇄 사업장을 대표하기에는 한계가 있다는 점과 신경계 자각증상에 대해 설문조사를 실시하지 못해 신경행동검사 결과와 비교하지 못했다는 점은 본 연구의 다른 제한점이다.

요 약

목적: 고농도의 톨루엔에 노출될 가능성이 있는 그라비아 인쇄 사업장 5개소를 선정하여 톨루엔 노출 수준과 신경행동학적 기능을 평가하였다.

방법: 톨루엔의 노출수준을 평가하기 위하여 기중 톨루엔 농도와 요중 마뇨산 농도를 측정하였고 신경행동학적 기능을 평가하기 위하여 컴퓨터 신경행동검사(BARS-K)를 실시하여 147명의 비노출군과 비교하였다. 신경행동검사는 숫자외우기(정순, 역순), 단순반응시간, 손가락 두드리기(우수, 열수), 부호숫자 짝짓기, 선택주의력(맞은수)에 대해 시행하였다.

결과: 연구결과는 다음과 같다.

1. 5개 사업장을 대상으로 측정한 기중 톨루엔의 평균 노출수준은 56.7(GSD60.9) ppm 이었고 사업장별 기중 톨루엔 평균농도는 10.5(GSD5.9) 181.9(GSD17.7)ppm로서 사업장에 따라 차이가 있었으며, 100 ppm을 초과하여 노출된 근로자수는 10명이었다.

2. 5개 사업장을 대상으로 측정한 요중 마뇨산의 평균 농도는 1.87(GSD2.06) g/g creatinine 이었고 사업장별 요중 마뇨산 평균농도는 0.31(GSD0.11) 5.14(GSD0.55) g/g creatinine으로 나타났으며 노동부에서 제시한 요중 마뇨산의 노출한계인 2.5 g/g creatinine를 초과한 근로자수는 14명이었다.

3. 기중 톨루엔 농도와 요중 마뇨산 농도의 상관관계는 r=0.899($p<0.01$)로서 유의한 상관성이 있는 것으로 나타났다.

4. 신경행동검사(BARS-K)의 각 검사항목에 대하여 혼란변수의 영향을 통제한 후에도 숫자외우기(정순), 두드리기(우수, 열수), 선택주의력(맞은수) 검사에서 톨루엔 노출군과 비노출군 사이에 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

5. 노출군만을 대상으로 연령, 교육정도, 근무기간, 컴퓨터친숙도, 음주 등의 혼란변수를 통제하였을 때 숫자외우기(역순) 검사만이 톨루엔 노출수준에 따라 유의하게 저하되는 검사항목이었고 두드리기(우수) 검사와 선택주의력(맞은수) 검사는 톨루엔 노출수준보다 연령이나, 음주에 의해 더 많이 영향을 받는 것으로 나타났으며, 나머지 검사항목들의 경우 유의한 영향을 미치는 변수가 없었다.

결론: 이상의 결과로 그라비아 인쇄 사업장의 근로자는 허용기준 내외의 비교적 높은 농도의 톨루엔에 노출되고 있으며, 톨루엔을 포함하는 유기용제 노출로 인한 신경행동학적 수행능력의 저하를 발견

할 수 있었다.

참고문헌

강성규, 이경용, 정호근, 이영진. 유기용제 중독에 의한 중추신경장애 1례. 대한산업의학회지 1992;4(1):110-117.

강성규, 정호근, 홍정표, 김기웅, 조영숙. 유기용제 폭로 근로자들에 대한 신경행동검사에 관한 연구. 예방의학회지 1993;26(2):210-21.

김범석, 박정일, 임현우, 김형아, 오상용. 톨루엔 노출 근로자에서 요중마뇨산 배설농도로 평가한 호흡보호구 착용효과에 관한 연구. 대한산업의학회지 2001;13(4):461-9.

노동부. 유해물질의 허용농도 및 작업환경측정방법. 노동부 고시 제 91-21호 서울, 1991.

박은미, 노재훈, 문영환. 톨루엔에 폭로된 근로자의 요중 마뇨산 배설량에 관한 연구. 예방의학회지 1987;20(2):228-35.

배기택, 문덕환, 김종한, 분찬석, 이채언. 톨루엔 크실렌 및 벤젠 폭로의 생화학적 지표들에 관한 연구. 대한산업의학회지 1991;3(2):165-76.

사공준, 정종학. 자동차 페인트 도장공에 있어서 컴퓨터를 이용한 신경행동검사 수행기능의 평가. 예방의학회지 1994;27(3):487-504.

사공준, 정종학, 이학용. 유기용제 폭로 근로자의 신경정신증상과 신경행동학적 검사의 관련성. 대한산업의학회지 1997;9(1):49-60.

사공준, 정종학, 성낙정, 이중정, 박종태 등. 자동차공장 용접공의 망간폭로와 신경행동기능의 관련성. 대한산업의학회지 2000;12(3):327-37.

사공준, 정종학, 전만중, 신말숙. 면접 및 컴퓨터 신경행동검사의 신뢰도평가. 대한산업의학회지 2000;12(4):494-500.

사공준. 유기용제 노출자에 대한 신경행동학적 평가. 한국의 산업의학 2002; 41(1): 8-15.

심상효, 박정일, 손정일. 안식향산 함유 식품 섭취가 톨루엔 폭로 근로자들의 요중 마뇨산 농도에 미치는 영향. 대한산업의학회지 1996; 8(3):526-34.

이덕희, 박인근, 김진하, 이용한, 강성규 등. 복합유기용제의 누적 폭로 정도에 따른 신경행동학적 변화. 예방의학회지 1995;28(2):386-97.

이세훈, 김형아, 이병국, 이광묵. 톨루엔 폭로 근로자의 요중 마뇨산 및 o-cresol 배설농도와 자각증상. 한국의 산업의학 1988;27(2):4-11.

이세훈. 화학물질 폭로에 의한 중추신경장애평가에 이용되는 현장조사법. 한국의 산업의학 1990;29(2):45-50.

이세훈, 이승한. 유기용제 폭로 근로자의 신경행동학적 변화에 대한 연구. 산업보건연구논문집 1991:55-63.

이종영, 이채용, 김지숙, 이상재, 박완섭 등. 브라운관 제조회사 산화납 취급 근로자들의 신경행동학적 영향. 대한산업의학회지 1997;9(2):208-16.

이채용. Neurobehavioral Tests for Occupational Screening의 타당도 평가: 파킨슨병 환자들의 검사 성적. 예방의학회지 1997;30(3):577-83.

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

정종학, 김창윤, 사공준. 컴퓨터를 이용한 유기용제 폭로 근로자들의 신경행동학적 장애 검사. 산업의학회지 1994;6(2):219-41.

정종학, 김창윤, 사공준, 전만중, 박홍진. 한국형 신경행동검사 배터리의 개발 [면접과 컴퓨터 신경행동검사의 타당성 평가]. 예방의학회지 1998;31(4):692-707.

천용희. 혼합유기용제에 폭로된 근로자의 만성중독뇌장애. 대한산업의학회지 1991;3(2):216-9.

최호춘, 김강윤, 안선희, 정규철. 일부 그라비아 인쇄업 근로자의 혼합 유기용제 노출농도. 한국산업위생학회지 1997;7(1):71-86.

한국산업안전공단. 제조업체작업환경실태조사 ‘98. 인천, 영진인쇄사 1999.

황정호, 김주자, 이경재, 노재훈, 원종욱 등. 톨루엔 노출 근로자의 생물학적 노출지표로서의 요중 마뇨산, 톨루엔 및 오르토-크레졸 비교. 한국산업위생학회지 2002;12(2):79-87.

ACGIH. Threshold Limit Values for Chemical Substances in the work environment adopted by ACGIH: With intended changes for 1991-92, 1991.

ACGIH. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agent and Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati, Ohaio, 2000: BEI 169-74.

Angerer J. Biological monitoring of workers exposed to organic solvents-past and present. Scand J Work Environ Health 1985;11 Suppl 1:45-52.

Cherry N, Hutchins H, Pace T, Waldron HA. Neurobehavioral effects of repeated occupational exposure to toluene and paint solvents. Brit J Industr Med 1985;42:291-300.

Feldman RG, Ratner MH, Ptak T. Chronic toxic encephalopathy in a painter exposed to mixed solvents. Environ Health Perspect. 1999;107(5):417-22.

Fidler AT, Baker EL, Letz RE. Neurobehavioural effects of occupational exposure to organic solvents among construction painters. Br J Ind Med. 1987;44(5):292-308.

Gerr F, Letz RE. Organic chemicals-solvents. In:

Rom WN, editor. Environmental and occupational medicine. 2nd ed. Boston: Littles, Brown and Company, 1992:843-60.

Hanninen H, Eskelinen L, Husman K, Nurminen M. Behavioral effects of long-term exposure to a mixture of organic solvents. Scand J Work Environ Health. 1976;2(4):240-55.

Husman K. Symptoms of car painters with long term exposure to a mixture of organic solvents. Scan J Work Environ Health 1980;6:19-32.

Iregren A, Letz R. Computerized testing in neurobehavioral toxicology. Applied psychology 1992;41(3):247-55.

Juntunen J, Hernberg S, Eistola P, Hupli V. Exposure to industrial solvents and brain atrophy. A retrospective study of pneumoencephalographic findings among 37 patients with exposure to industrial solvents. Eur Neurol. 1980;19(6):366-75.

Linz DH, de Gormo PL, Morton WE, Wiens AN, Coull BM et al. Organic solvent-induced encephalopathy in industrial painters. J Occup Med 1986;28(2):119-25.

McMichael AJ. Carcinogenicity of benzene, toluene and xylene: epidemiological and experimental evidence. IARC Sci Publ. 1988;(85):3-18. Review.

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(2):148-52.

Rohlman DS, Gimenes LS, Eckerman DA, Kang SK, Farahat FM, Anger WK. Development of the Behavioral Assessment and Research System (BARS) to Detect and Characterize Neurotoxicity in Humans. Neurotoxicology. 2003;24(4-5):523-31.

Singer R. Neurotoxicity guidebook. New York, Van Nostrand Reinhold, 1990:40-76.

Kang SK. The applicability of WHO-NCTB in Korea. Neurotoxicology 2000;21(5):697-702.

Kang SK, Lee M, Kim TK, Lee H, Rohlman D, Anger WK. Neurobehavioral changes of the fumigating workers. In: Proceedings of the Eighth International Symposium on Neurobehavioral Methods and Effects in Occupational and Environmental Health. Brescia, Italy, 23-26 June 2002.

Wadden RA, Suero M, Conroy LM, Franke JE, Scheff PA. Characterization of publication rotogravure press emission rates and compositions. Appl Occup Environ Hyg. 2001;16(4):471-81.

Walker JT, Bloom TF, Stern FB, Okun AH, Fingerhut MA et al. Mortality of workers employed in shoe manufacturing. Scand J Work Environ Health. 1993;19(2):89-95.

WHO, Nordic Council of Ministers Working Group. Chronic effects of organic solvents on the central nervous system and diagnostic criteria. Geneva, WHO, 1985.

WHO. Field Evaluation of WHO Neurobehavioral Core Test Battery. World Health Organization, Geneva, 1986.