

보건분야 - 연구자료

연구원 2002-70-494

**직업병조기 발견을 위한 유해물질 사업장  
근로자의 신경독성 평가**  
**-스티렌에 노출되는 근로자에 대하여-**  
Neurobehavioral Changes of  
Workers exposed to Styrene

2002

한국산업안전공단  
산업안전보건연구원

# 제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 연구를 2002년도 산업안전보건연구원의 연구사업중 “직업  
병 조기 발견을 위한 유해물질 사업장 근로자의 신경독성 평  
가”에 대한 최종 결과 보고서로 제출합니다.

2002년 12월 31일

제출자 : 산업안전보건연구원장 정 호 근

연구책임자 : 수석연구원 강 성 규

공동연구자 : 선임연구원 이 미 영

계 약 직 이 혜 실

기술직 김 태 균

기술직 이 정 오

기술직 원 용 립

## 요 약 문

1. 과제명: 직업병 조기 발견을 위한 유해물질 사업장 근로자의 신경독성 평가(스티렌 노출 근로자)

2. 연구기간: 1년 (2002년 1월 - 2002년 12월)

3. 연구자: 총괄연구책임자 : 강 성 규 (수석연구원)

공동연구자 : 이 미 영 (선임연구원)

김태균, 이혜실, 이정오, 원용립 (기술직)

### 4. 연구목적

스티렌은 장기간 노출될 경우 중추신경계에 영향을 주는 유기용제로서 플라스틱 제품에 다양하게 사용되고 있다. 최근에 스티렌에 노출되는 근로자들이 두통이나 기억력감퇴 등의 증상을 호소하는 경우가 증가하고 있어 스티렌 노출 근로자들의 실제 노출 수준이 어느 정도이고 어떠한 산업에서 고노출되며 해당 노출수준에서 중추신경계 등 신경계의 이상소견을 나타내는지 컴퓨터를 이용한 신경행동검사를 통해 확인하고자 이 연구를 실시하였다.

### 5. 연구내용

#### 1) 문헌조사

스티렌에 의한 건강장해에 대한 문헌을 조사 분석하였다.

## 2) 예비실험

능동형과 수동형 포집방법에 의한 기중 스티렌 농도 분석 방법을 검토하여 예비실험을 하였으며 스티렌의 대사물질인 요중 만델산과 요중페니글리옥실릭산에 대한 실험실적 분석법을 검토하였고, 분석법을 확립하기 위해 예비실험을 실시하였다.

## 3) 스티렌 제조 및 취급 사업장에 대한 조사

공단이 작업환경실태조사 및 특별점검에서 확인된 스티렌 취급 사업장에 대해 조사하였다.

## 4) 사업장 조사

스티렌을 취급하는 사업장에 대해 예비조사를 실시하였다. 예비조사 실시 결과 스티렌 노출이 높은 사업장과 업종을 고려하여 본 조사 대상 사업장을 선정하였다. 본 조사 사업장에 대해서는 스티렌 노출 근로자에 대해 설문조사, 작업환경측정(능동형과 수동형), 생물학적모니터링, 신경행동검사 등을 실시하였다.

## 5) 시료 및 자료 분석

채취된 작업환경측정 자료를 분석하였고 소변시료를 분석하였으며, 컴퓨터에 자동 저장된 신경행동검사 결과를 추출하여 분석하였다.

## 6) 결과자료 분석 및 보고서 정리

분석된 자료를 바탕으로 스티렌의 중추신경계 영향에 대해 평가하였다.

## 6. 활용계획

본 연구 결과 스티렌에 노출되는 근로자에 대한 생물학적 모니터링 방법에 활용하고 중추신경계질환의 조기 발견 및 예방에 활용할 수 있으며 신경행동검사를 추적관리에 활용할 수 있으며 스티렌의 노출기준 개정에도 활용될 수 있

을 것으로 기대된다.

## 7. 연구개요

**연구목적:** 스티렌은 장기간 노출될 경우 중추신경계에 영향을 주는 방향족 탄화수소류의 유기용제로서 합성수지선 건조(FRP선박건조) 및 유리강화플라스틱(FRP)제품 제조 등에 다양하게 사용되고 있다. 스티렌에 노출되는 근로자들이 두통이나 기억력 감퇴 등의 증상을 호소하고 있다. 이 연구에서는 우리나라의 스티렌 노출실태를 파악하고 해당 노출수준에서 중추신경계 등 신경계의 이상 소견 유무를 확인하고 스티렌 노출 근로자의 직업병을 예방하기 위한 조기 진단 지표로서 우리나라 근로자에 적합한 생물학적 노출지표 수준을 제시하기 위해 시도되었다.

**연구방법:** 산업안전공단 작업환경실태조사에 파악된 스티렌 취급 사업장에 대해 예비조사를 실시한 후 스티렌 노출정도가 심한 합성수지선박 건조 사업장 14개를 대상으로 조사를 실시하였다. 조사는 설문조사, 작업환경측정, 생물학적 모니터링, 한국형 컴퓨터 신경행동검사를 실시하였다. 조사 결과는 노출수준에 따라 비교하였으며 신경행동검사는 타 유해물질에 노출되는 근로자들의 신경행동검사 수행능력과 비교하였다.

**연구결과:** 스티렌을 제조, 취급, 사용하는 업체 중 수작업으로 수지를 취급하는 합성수지 선박건조업, FRP수지 제품제조업에서 스티렌 노출 수준이 높은 것으로 나타났다. 합성수지 선박건조업에서는 적층작업을 하는 근로자에서 스티렌 노출은 평균 33 ppm 이고 32%가 노출기준 50 ppm을 초과하였다. 스티렌을 사용하여 수지를 생산하는 장치산업공정의 스티렌 노출수준은 0.01ppm

수준으로 매우 낮았다. 합성수지 선박건조업에서도 적층작업을 제외한 부서나 스티렌수지를 이용하여 단추를 제조하는 사업장의 근로자들의 노출수준은 30 ppm을 넘지 않았다.

기중 스티렌과 요중 만델산은 높은 상관관계를 보였고( $r=0.8616$ ), 노출기준 50 ppm에 해당하는 요중 만델산의 농도는 914 mg/g creatinine이었다. 기중 스티렌과 요중 만델산도 높은 상관관계를 보였고( $r=0.9558$ ), 노출기준 50 ppm에 해당하는 요중 페닐글리옥실산은 406 mg/g creatinine 이었다.

스티렌 노출정도에 따라 구분한 세 개 군의 신경행동검사 결과는 조사군의 노출 수준(30 ppm 이하)에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 수지 합성공정과 수지 사용공정 사이에서도 유의한 차이는 보이지 않았다. 스티렌 저노출군을 일반적 특성이 비슷한 타 유해물질 노출근로자와 비교하였을 때에도 신경행동검사의 유의한 차이는 보이지 않았다. 톨루엔 고노출군과 스티렌 노출군과의 신경행동검사 비교에서 단순반응검사의 수행력이 톨루엔 고노출군에서 떨어지는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 유기용제 자각증상에 대한 설문조사 결과 전신피로감, 급성중독증상, 인지력, 기억력, 말초신경증상, 감정변화 및 기타 신경증상에서는 저노출군과 고노출군의 차이는 없었다.

**결론:** 스티렌은 합성수지선 건조 사업장에서 적층작업을 하는 근로자에게 노출기준치를 상회하는 수준으로 노출되고 있었다. 이들을 제외한 근로자들의 노출수준은 노출기준의 1/2 수준이하이고 이들에게서 중추신경계나 말초신경계의 이상소견을 나타내는 신경행동검사 수행능력의 저하 소견은 없었다.

**중심어:** 스티렌, 중추신경장해, 신경행동검사, 요중 만델산, 요중페닐글리옥실릭산

## 차 례

|                        |    |
|------------------------|----|
| 제 1장 서 론 .....         | 1  |
| 1 연구배경 및 목적 .....      | 1  |
| 제 2장 연구 방법 및 대상 .....  | 4  |
| 1 조사 대상자 선정 .....      | 4  |
| 2 기중 스티렌 측정 .....      | 5  |
| 3 생물학적 모니터링 .....      | 8  |
| 4 중추 및 말초신경계 조사 .....  | 11 |
| 제 3 장 본 론 .....        | 15 |
| 1 스티렌 취급 사업장의 실태 ..... | 15 |
| 2 스티렌의 노출실태 .....      | 18 |
| 3. 신경행동검사 결과 .....     | 21 |
| 4 증상 설문조사 결과 .....     | 31 |
| 제 4 장 고 찰 .....        | 33 |
| 제 5 장 결 론 .....        | 39 |
| 요 약 문 .....            | 41 |
| 참고문헌 .....             | 43 |

# 제 1장 서 론

## 1 연구배경 및 목적

### 가 연구배경

스티렌은 무색 또는 황색을 띠는 기름성의 액체물질로 후각 역치가 0.1 ppm으로 매우 낮다. 스티렌은 공기나 빛에 노출되면 쉽게 자가중합과 산화가 일어나기 때문에 순수 스티렌은 안정화시키기 위해서는 억제제를 첨가한다. 스티렌 생산량은 미국에서는 1989년 현재 화학물질 중 21번째를 차지하고 있고 1992년에는 전 세계적으로 약 1,600만 톤이 생산되고 있다(Wiencke JK와 Mustacchi, 1998). 2001년 현재 우리나라에서는 약 100만톤이 생산되고 50만톤이 사용되고 있다. 스티렌은 가열하면 절연 성질이 뛰어난 투명한 플라스틱인 폴리스티렌으로 쉽게 합성된다. 스티렌은 고무제조(SBR, 스티렌-부타디엔-고무)에 이용된다. 스티렌은 여러 종류의 수지를 합성하는데 사용되고, 불포화폴리에스테르 수지는 유리강화플라스틱 제조에 널리 사용된다.

스티렌은 폭로는 작업 방법에 따라 차이가 많이 난다. 우리나라 스티렌 합성 공장의 스티렌 노출 수준은 1-6 ppm이고 유리강화플라스틱 제품을 제조하는 사업장의 기중 스티렌 농도는 1-50 ppm 수준이었다. 특히 돌가루와 스티렌 수지를 이용하여 욕조를 만드는 사업장의 기중 농도는 10-80 ppm의 수준이었다(강성규 등, 1993). 외국에서도 스티렌 합성공장의 기중 스티렌 농도는 5 ppm 이내이고(Miller 등 1994) 유리강화플라스틱 제품 제조업에서 20-300 ppm 수준이었다(Tossavainen 등, 1978). 유리강화플라스틱 제조업에서 사용하는 폴리에스테르 수지는 약 40%의 단량체를 함유하고 있는데 이러한 수지를

유리섬유와 같이 적층작업할 때 약 10% 수준이 기중으로 증발되기 때문에 이 작업을 하는 근로자들이 높은 농도의 스티렌에 노출될 수 있다.

스티렌을 취급하는 근로자들의 노출 정도를 파악하는 방법은 개인용시료포집기를 이용하여 흡입 가능한 기중 스티렌 농도를 평가하는 방법이 있고 대사물질인 요중 만델산(MA, mandelic acid)이나 페닐글리옥실산(PGA, phenylglyoxylic acid)을 측정하는 방법이 있다. 개인용 시료포집기는 통상 능동형 포집기를 이용하여 활성탄관으로 포집하는 방법을 쓰는데, 이 방법이 정확하기는 하지만 장비가 필요하고 이 장비를 잘 관리하여야 하며 측정시간 내내 측정자가 작업장에서 지키고 있어야 한다는 단점이 있다. 반면에 배지를 이용하는 수동형 포집방법은 일 회 측정용 배지가 다소 비싸지만 별도의 장비가 필요없고 작업 전에 착용시키면 작업 종료 때까지 측정자가 굳이 작업장내에 있을 필요가 없기 때문에 단순한 노출 평가에는 널리 사용될 수 있다.

스티렌의 흡수는 주로 호흡기로 이루어지기 때문에 호흡 보호구가 효과적이다(Brooks, 1980). 스티렌은 체내에서 대사된 후 소변을 통하여 85%가 MA으로 15%가 PGA로 배설된다(Bardodej와 Bardodejova, 1970). 따라서, 스티렌 노출 근로자에 대해 혈중 스티렌, 요중 MA, 그리고 요중 PGA를 이용한 생물학적 모니터링이 널리 이용되고 있고 우리나라에서도 근로자건강진단 실무 지침에서 요중 MA과 요중 PGA를 필수항목으로 제시하고 있으나 아직 이용은 활발하지 않다. 요중 만델릭산의 생물학적 노출기준은 외국의 예를 들어 800 mg/ g creatinine으로 제시되고 있는데 국내의 연구(정호근 등, 1993)의 890 mg/g creatinine과는 약간의 차이를 보이고 있다.

기중 스티렌에 대한 우리나라 노출기준은 50 ppm(노동부, 2001)이지만 유럽에서는 20 ppm을 기준으로 하고 있는 국가도 있다. 노출기준은 20 ppm으로 하고 있는 나라에서는 50 ppm 이하에서도 스티렌에 의한 건강장해가 있다는

연구에 기초하고 있다. 따라서 우리나라에서 스티렌에 의한 직업병을 예방하기 위해서는 50 ppm 이하지만 20 ppm을 초과하는 근로자들이 스티렌에 의한 건강장해, 특히 중추신경장해가 있는지를 파악하여야 한다.

#### 나. 연구목적

연구자들은 우리나라의 스티렌 노출실태 특히 고노출이 일어나는 합성수지 선 건조업의 노출실태를 파악하고 해당 노출수준에서 중추신경계 등 신경계의 이상소견 유무를 확인하고 스티렌 노출 근로자의 직업병을 예방하기 위한 조기 진단 지표로서 우리나라 근로자에 적합한 생물학적 노출지표 수준을 제시하기 위해 이 연구를 실시하였다.

## 제 2장 연구 방법 및 대상

### 1 조사 대상자 선정

2001년 현재 공단의 작업환경실태조사 데이터베이스에 수록되어 있는 스티렌 제조, 사용, 발생 사업장 명단 중에서 사용 사업장으로 구분되어 있는 103개 사업장을 검색한 결과 상시근로자 5인 이상이 근무하고 있는 사업장은 61개이었고 상시 1인 이상이면서 연간 사용량이 1,000kg을 넘는 사업장은 7개로 파악되었다. 이 둘 68개를 대상으로 상시 5인 이상 근로자가 있으면서 연간 사용량이 1,000kg을 넘는 45개 사업장을 예비조사 대상 사업장으로 선정하였다. 예비조사 중 합성수지선 건조업이 8개 사업장이 추가되어 모두 53개에 대해 조사를 실시하였다.

45개 사업장에 대해 연구원들이 직접 방문하여 스티렌 사용실태, 사용량, 작업자 수 등에 대해 조사를 하였다. 조사 결과는 스티렌 사용방법과 량에 따라 수작업군, 일부 수작업 및 자동공정 작업군, 자동공정 작업군, 스티렌 미사용군 등 네가지로 분류하였다. 이 중 수작업군에서 4개 사업장, 일부 수작업 및 자동작업군에서 1개 사업장, 자동공정작업군에서 1개 사업장을 선정하였다. 최종 선정된 본조사 사업장은 합성수지선박 건조 사업장(FRP 조선소) 11개소, 유리강화플라스틱제조업 1개소, 합성고무제조업 1개소, 합성수지제품제품(단추)를 제조하는 사업장 1개소 등 14개 사업장이었다.

이들 사업장에서 스티렌을 직접 취급하거나 노출되는 근로자를 대상으로 조사를 실시하였다. 101명에 대해 능동형포집기를 이용한 작업환경측정, 이 중 96명에 대해서는 수동형 포집기를 이용한 작업환경측정을 동시에 실시하였고,

107명의 소변을 채취하여 요중 대사물질질을 측정하였다. 50명에 대해 한국형 컴퓨터용 신경행동검사(KBARS, Korean Version of Behavioral Assessment Research Study)를 실시하였다. 2명은 검사를 제대로 따르지 못해 검사 도중에 중단하였다. 스티렌에 많이 노출되는 합성수지선박 건조사업장의 적층작업은 주로 여성근로자들이 담당하였고, KBARS는 남자 근로자를 위주로 하였기 때문에 이들이 모두 일치하지는 않았다. 작업환경측정, 생물학적모니터링, 신경행동검사에 모두 참여한 근로자는 35명이었다. 이 연구에서는 이들 35명과 신경행동검사를 실시한 48명을 위주로 분석하였다.

## 2 기중 스티렌 측정

기중 스티렌농도 측정은 능동형 개인시료포집방법과 수동형 개인시료포집 방법 두 가지를 이용하였다.

가 능동형 개인시료포집기를 이용한 작업환경측정 방법

모두 101명에 대해 기중 스티렌 농도를 측정하였다.

### 1) 측정방법

능동형 개인시료포집기를 이용한 작업환경측정은 101명의 근로자에게 실시하였다. 작업환경측정은 근로자의 작업시간 전 과정을 조사하였으며, 교대작업자는 2교대 작업자 모두에게 실시하였다. 시료포집은 저유량개인용시료포집기(Gilian제품, 저유량포집기, Low Flow Sampler)를 이용하여 근로자의 호흡구 위치에서 포집하였다.

시료 채취와 분석은 미국국립산업안전보건연구소(National Institute for

Occupational Safety and Health, NIOSH)에서 추천하는 공정시험법(1996) 'Method 1501 방향족 탄화수소류'에 의하여 실시하였다. 즉, 앞층 100 mg, 뒤층 50 mg의 활성탄이 충전된 흡착제를 개인용 펌프에 부착시켜 작업자의 호흡기 주변의 작업복 것에 부착시켜 작업시간 동안 착용하게 하였다. 개인용 펌프는 미리 유속 약 0.2 LPM 정도로 조정하였고 측정 후 후유속으로 보정하였다. 가능한 식사시간을 제외한 전 작업시간 동안 측정하였다. 오전과 오후로 나누어 시료를 포집하였다. 개인당 일일 평균 노출농도는 오전, 오후의 측정평균치를 총 측정시간으로 나누어 시간가중 평균치로 표시하였다.

## 2) 시약과 장비

스티렌은 JANSSEN CHEMICA사(벨기에)의 특급시약, BETX 표준용액은 ULTRA Scientific사(미국)의 특급 시약을, 이황화탄소는 Sigma사(미국)의 benzene-free 시약을 사용하였다. 작업환경시료 채취용 활성탄 포집관은 SENSIDYNE사(미국)의 coconut charcoal 20/40mesh, 50/100mg을 사용하였다.

분석에 사용한 장비는 Varian사(미국)의 CP-3800 GC/FID이며, 분석에 사용한 칼럼은 Agilent사의 HP-INNOWAX 칼럼(내경 0.32mm, 길이 30m, 막두께 0.15 $\mu$ m)이었다. 이동상은 99.9999%의 초순수 질소를 사용하였다.

## 3) 표준용액 제조

- 가) 스티렌 107mg을 정확히 재어 10ml 용량플라스크에 옮기고, 이황화탄소로 표선을 채워 스티렌 10700 mg/L의 표준용액 원액을 제조하였다.
- 나) 원액을 다시 이황화탄소로 희석하여 1070, 5350 mg/L 용액을 제조하여 표준용액 원액과 함께 검량선 작성용 표준용액으로 하였다.

#### 4) 시료 전처리

사업장에서 채취한 작업환경 시료의 전, 후반부 흡착제를 각각 GC용 바이알에 옮기고 이황화탄소 1ml를 가한 후 마개를 닫고 나서 60분간 진탕하여 GC용 검액으로 하였다.

#### 5) 분석조건

GC/FID에서 칼럼 유속은 0.7ml/min였고 split ratio는 50:1이었다. GC의 주입구, 검출기 온도는 250도로 유지하였고, 칼럼 온도는 40도에서 2분 유지하고 나서 분당 10도씩 95도까지 상승시킨 후 다시 95도에서 0.5분 유지시켰다. 1회 분석당 소요시간은 8분이었다.

나 수동형 개인포집방법을 이용한 작업환경측정

##### 1) 측정방법

수동형 개인시료포집기를 이용한 작업환경측정은 96명의 근로자에게 실시하였다. 작업환경측정은 근로자의 작업시간 전 과정을 조사하였으며, 교대작업자는 2교대 작업자 모두에게 실시하였다. 시료포집은 유기용제 수동포집기(SKC사, 575-003)를 이용하여 근로자의 호흡구 위치에서 포집하였다.

작업장을 벗어나는 식사시간을 제외한 전 작업시간동안 측정하였다.

##### 2) 시약과 장비

스티렌은 JANSSEN사(벨기에)의 특급시약, BETX 표준용액은 ULTRA Scientific사(미국)의 특급 시약을, 이황화탄소는 Sigma사(미국)의 benzene-free 시약을 사용하였다. 작업환경시료 채취용 수동 포집기는 SKC사(미국)의

organic vapor sampler를 사용하였다.

분석에 사용한 장비는 Varian사(미국)의 CP-3800 GC/FID이며, 분석에 사용한 칼럼은 Agilent사의 HP-INNOWAX 칼럼(내경 0.32mm, 길이 30m, 막두께 0.15 $\mu$ m)이었다. 이동상은 99.9999%의 초순수 질소를 사용하였다.

### 3) 표준용액 제조

가) 스티렌 107mg 및 12 mg을 정확히 재어 10ml 용량플라스크에 옮기고, 이황화탄소로 표선을 채워 스티렌 10700, 1200 mg/L의 표준용액 원액을 제조하였다.

나) 원액을 다시 이황화탄소로 희석하여 1070, 5350, 200, 20 mg/L 용액을 제조하여 표준용액 원액과 함께 검량선 작성용 표준용액으로 하였다.

### 4) 시료 전처리

사업장에서 채취한 작업환경 시료의 돌출부를 절단하여 이황화탄소 2ml를 가한 후 마개를 닫고 나서 60분간 진탕하여 GC용 검액으로 하였다.

### 5) 분석조건

GC/FID에서 칼럼 유속은 0.7ml/min였고 split ratio는 50:1이었다. GC의 주입구, 검출기 온도는 250도로 유지하였고, 칼럼 온도는 40도에서 2분 유지하고 나서 분당 10도씩 95도까지 상승시킨 후 다시 95도에서 0.5분 유지시켰다. 1회 분석당 소요시간은 8분이었다.

## 3 생물학적 모니터링

조사 대상 사업장에서 스티렌에 직간접으로 노출되는 근로자 107명을 대상

으로 생물학적 모니터링이 실시되었다. 스티렌에 대한 생물학적 노출지표로는 요중 만텔산과 요중 페닐글리옥실린산을 조사하였다. 대상 근로자에게 60 ml HDPE 통을 이용하여 작업 후 소변을 채취하게 한 후 냉장상태로 실험실에 이송하여 분석하였다. 요중 만텔산과 표중 페닐글리옥실린산을 분석하였고 소변 중 크레아티닌 농도를 구해 결과를 보정하였다.

## 가 소변중 유기산 분석

### 1) 시약 및 장비

유기산표준시약(만텔린산, 페닐글리옥실산)은 Sigma사의 특급 시약을 사용하였으며, 메탄올은 J.T.Baker사(미국)의 HPLC용을 사용하였다. 탈이온수는 Millipore사(미국)의 Milli-RO와 Milli-Q water system으로 실험실에서 제조하여 사용하였다.

분석에 사용한 장비는 Varian사(미국)의 CP-3800 GC/FID이며, 분석에 사용한 칼럼은 Hewlett Packard Capillary column HP-5 (25m×0.2mm×0.33μm) 이었다. 이동상은 99.9999%의 초순수 질소를 사용하였다.

### 2) 표준용액 제조

가) 만텔린산 표준시약 58mg, 페닐글리옥실산 표준시약 53mg을 정확히 재어 100 mL 용량플라스크에 옮기고 탈이온수로 표선을 맞추어 표준용액 원액을 제조하였다.

나) 유기산 표준 용액을 다시 탈이온수로 각각 1/5, 2/5, 3/5, 4/5 배 희석하여 표준용액을 제조하여 표준용액 원액과 함께 검량선 작성용 표준용액으로 사용하였다. blank는 탈이온수로 하였다.

### 3) 시료 전처리

- (1) 소변과 표준용액을 3분간 잘 섞어준 후 0.5ml를 취하여 10ml 마개달린 시험관에 옮겼다.
- (2) 각각의 시험관에 탈이온수 500 $\mu$ L, 내부표준용액( Cinnamic acid 1000 mg/L 메탄올용액) 200 $\mu$ L, 0.5N 염산 200 $\mu$ L, 에틸아세테이트 2mL를 섞은 후 20분간 진탕하였다.
- (3) 3000rpm에서 10분간 원심분리 시킨 후 에틸아세테이트 층을 다른 10mL 마개달린 시험관에 옮겼다.
- (4) 에틸아세테이트층을 잔사가 남을 때까지 증발건고시켰다.
- (5) 잔사만 남은 시험관에 유도체화 시약(진한 염산5mL + 메탄올 100mL) 1mL 를 취하고 마개를 닫아 60℃오븐에 40분간 가열하였다.
- (6) 상온에서 식힌 후 증류수 2mL와 클로로포름 1mL를 각각 취하고 20분간 진탕하였다.
- (7) 3000rpm에서 10분간 원심분리시킨 후 클로로포름층을 GC용 바이알에 취하여 GC로 분석하였다.

### 4) 분석조건

GC/FID에서 칼럼 유속은 1ml/min였고 split ratio는 50:1이었다. GC의 주입구, 검출기 온도는 250도로 유지하였고, 칼럼 온도 100도에서 1분유지하다 분당 20도씩 240도까지 상승시킨 후 다시 240도에서 2분 유지시켰다. 1회 분석당 소요시간은 10분이었다.

만델린산 4.90분, 페닐글리옥실산 4.96분에서 분리되었다.

### 나 요중 크레아티닌 분석

요중 유기용제 대사산물을 크레아티닌으로 보정하기 위해 요중 크레아티닌을 분석하였다. 요중 크레아티닌 검사는 일회뇨를 방부제 처리없이 채취하여 사용하였으며, COBAS INTEGRA 400(Roche, Switzerland) 분석장비로 COBAS INTEGRA 400 요중 크레아티닌 검사 전용시약을 사용하여 검사하였다.

#### 4 중추 및 말초신경계 조사

##### 가 신경독성질환 관련 설문조사

근로자들에 대한 설문조사를 이용하여 직업력, 폭로력, 과거 질병력을 확인하고, 근로자들의 증상과 신경학적 이상에 대한 검사를 실시하였다.

신경증상에 대한 설문조사는 노동부 용역사업에 의해 서울대학교 의과대학 조수현교수팀이 개발한 신경독성진단을 위한 자각증상설문지를 사용하였다. 근로자에게 설문지를 직접 배포하고 얻어진 결과를 급성중독증상, 전신피로감, 집중력, 인지력, 기억력, 감정변화 등으로 분류하여 양성 응답률을 구하였다.

##### 나 신경행동검사

신경행동검사는 미국 오레건 의과대학 직업환경독성연구소(CROET, Oregon Health Science University) 부소장 Kent Anger 박사가 고안한 컴퓨터용 신경행동검사(BARS) 방법을 한글로 번역한 것(KBARS)을 사용하였다. 조사항목은 5가지로 숫자암기, 단순반응시간, 선택주의력검사, 두드리기, 부호 숫자로 구성되어 있다. 컴퓨터는 매킨토시파워북 1400을 사용하였으며 컴퓨터를 사용해보지 않았던 사람을 위해 특수고안된 1-9까지 아홉 개의 숫자키만 크게 나타나는 판넬로 키보드를 가리고 사용하였다(그림 1). 매 검사를 시작하기 전 컴퓨터와 판넬의 숫자키의 연결상태를 확인하기 위해 숫자키에 불이

들어오는지를 시험을 한 후 검사에 들어갔다((그림2-4).



그림 1 KBARS 검사판



그림 2 KBARS 검사과정 1



그림 4 KBARS 검사과정 2



그림 3 KBARS 검사과정 3

숫자암기는 화면에 주어진 숫자를 기억하고 있다가 적는 것으로 3자리부터 시작하여 9자리까지 구성되어 있다(그림 5, 6). 숫자암기는 정방향과 역방향으로 두 번 실시하였다. 어느 숫자에서건 두 번 연속으로 암기에 실패하면 다음 단계로 넘어가게 되어 있다. 결과는 맞은 수로 표시하면 숫자가 높을수록 기억력이 좋은 것으로 판단하였다.

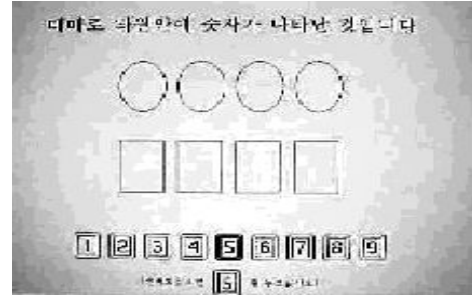
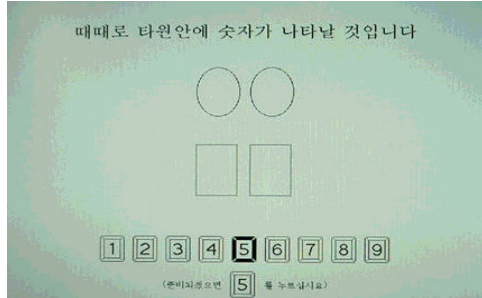


그림 6 숫자암기 정순 연습과정(1)    그림 5 숫자암기 정순 연습과정(2)

단순반응시간은 화면에 네모상자가 나타나면 숫자키를 누르도록 하였다. 네모상자는 무작위적인 시간 간격으로 나타나며 6분간 모두 50번이 나타나도록 설계되었다. 전체 반응시간 평균과 21-30번째 자극의 반응시간 평균을 분석하였다. 반응시간은 msec로 표시되면 숫자가 낮을 수록 단순반응기능이 좋은 것으로 판단하였다.

두드리기는 단순히 키보드를 두드리서 화면에 나타나는 막대모양의 네모박스를 채워나가는 것으로 정해진 시간에 최대 250번을 두드릴 수 있도록 고안되었다. 먼저 우수(잘 쓰는 손)으로 실시한 후 열수(잘 쓰지 않는 손)를 하고 다시 우수로 검사하였다. 마지막으로 우수와 열수로 교대로 두드리도록 하였다. 결과는 우수의 두 번째 시도와 열수, 교대수의 두드린 횟수를 구하였다. 숫자가 많을수록 말초신경기능이 좋은 것으로 판단하였다.

부호신호는 화면 상단에 1-9까지 9개의 숫자에 부호를 부여해 주고 화면 하단에 부호를 준다음 해당하는 숫자를 찾아서 기입하도록 하였다. 한 화면에 20개의 숫자를 주었고 화면이 바뀔 때마다 숫자에 해당하는 부호도 바뀌도록 고안되었다. 맞게 응답한 전체 횟수의 반응시간과 중간시도의 반응시간을 구하였다. 반응시간은 msec로 표시되면 숫자가 낮을수록 인지력이 좋은 것으로

판단하였다.

선택주의력검사는 화면의 좌우측에 두 개의 박스가 나타나고 그 안에 점이 나타나면 키보드를 누르도록 하였다. 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 총 응답수, 양성 응답수, 전체 자극간 평균시간, 중간 불력의 자극간 평균시간, 전체 반응시간, 중간 불력의 반응시간을 구하였다. 총 응답수, 정답 수, 오답 수는 개수로 표시되며 반응시간은 msec로 표시된다. 정답수는 많을수록 반응시간은 낮을수록 인지력과 반응력이 좋은 것으로 판단하였다. 일부 근로자들에 대해서는 선택주의력검사를 실시하지 않았다.

모든 검사는 피검자가 스스로 이해할 때까지 연습과정을 거치었으며 제대로 반응한 경우에 다음 단계로 넘어가도록 하였다. 피검자가 이해하지 못하는 경우에는 검사를 중단하였다.

검사 결과는 컴퓨터에 자동으로 입력 보관되어 신경행동검사 전문가인 Diane Rohlman 박사에게 보내 해독하였다. 48명의 신경행동검사 결과는 기중스티렌 노출정도에 따라 나눈 집단에 따라 비교하였으며 연령, 교육수준, 근무기간이 유사한 남자 근로자만을 신경독성물질에 노출되는 작업을 하는 다른 근로자군의 신경행동검사 결과와 비교하였다. 설문조사는 노출 정도에 따른 두 집단으로 분류하여 단순 양성 응답률을 비교하였다.

## 제 3 장 본 론

### 1 스티렌 취급 사업장의 실태

#### 가 예비조사 대상 사업장

작업환경측정실태 조사 자료에 의하면 2001년 현재 스티렌은 8개 사업장에서 연간 약 100만톤을 제조하고 있었고 103개 사업장에서 50만톤을 사용하고 있었으며 20개 사업장에서는 스티렌이 발생하는 것으로 나타났다. 근로자 수는 각각 187명, 832명, 136명으로 모두 1,036명이 노출되고 있는 것으로 파악되었다(표 2).

표 2 스티렌 노출 사업장 수와 근로자 수 분포(2001년 작업환경조사 결과)

| 구분 | 사업장수 | 취급량(톤)  |         | 노출근로자수 |       |     |
|----|------|---------|---------|--------|-------|-----|
|    |      | 생산량     | 사용량     | 계      | 남     | 여   |
| 제조 | 8    | 962,526 |         | 187    | 187   | 0   |
| 사용 | 103  |         | 493,119 | 832    | 749   | 83  |
| 발생 | 20   |         |         | 136    | 100   | 36  |
| 계  | 131  | 962,526 | 493,119 | 1,155  | 1,036 | 119 |

스티렌을 사용하고 있는 사업장 중에서 상시 근로자가 5명 이상이고 연간 사용량이 1,000kg을 넘어 예비조사 대상 사업장으로 선정된 사업장의 업종별 분포는 다음과 같았다. 이들 업종은 스티렌에 노출될 가능성이 있다고 보고 동종 사업장 수와 근로자 수를 파악하였다. 스티렌 취급 사업장과 같은 종류의

사업장 수와 근로자 수는 각각 1,183개소, 7,049명이었다.(표 3).

표 3 스티렌 제조 및 취급 사업장의 업종별 분포 및 근로자 수(2001년)

| 업종                   | 스티렌 사업장 |         |      | 동종사업장 |       |
|----------------------|---------|---------|------|-------|-------|
|                      | 수       | 생산량(톤)  | 근로자수 | 수     | 근로자수  |
| 합성수지 제조업             | 9       | 469,041 | 288  | 229   | 1,845 |
| 일반용 도로 및 유사제품 제조업    | 6       | 2,248   | 274  | 80    | 1,022 |
| 접착제 및 젤라틴 제조업        | 7       | 3,536   | 60   | 104   | 531   |
| 합성수지선 건조 및 수리업       | 13      | 272     | 141  | 18    | 192   |
| 기타 화학제품 제조업          | 3       | 6,312   | 28   | 48    | 146   |
| 합성고무 제조업             | 3       | 13,720  | 34   | 11    | 99    |
| 도로관련제품 제조업           | 3       | 208     | 17   | 35    | 218   |
| 연성 플라스틱 발포 성형 제품 제조업 | 1       | 70      | 7    | 53    | 146   |
| 피아노 및 기타 현건반악기 제조업   | 1       | 303     | 250  | 10    | 724   |
| 화장품 제조업              | 1       | 420     | 12   | 69    | 239   |
| 플라스틱 일반 성형제품 제조업     | 1       | 420     | 12   | 171   | 491   |
| 기타 고무제품 제조           | 1       | 200     | 5    | 180   | 687   |
| 자동차 부품 제조업           | 1       | 30      | 11   | 1     | 5     |
| 단추 및 파스너 제조업         | 1       | 250     | 15   | 43    | 146   |
| 건축용 강화 플라스틱 성형제품 제조업 | 1       | 19      | 6    | 127   | 510   |
| 위험물 보관업              | 1       | 126,249 | 20   | 4     | 48    |
| 계                    |         |         |      |       |       |

#### 나 합성수지선박 건조 사업장

예비조사 결과 3개의 합성수지 선박건조 사업장과 추가로 확인된 8개의 합성수지 선박건조 사업장에 대해 조사를 실시하였다.

합성수지선박 건조는 유리섬유와 불포화폴리에스테르수지(스티렌 수지)를 이용하여 선박을 건조하는 것이다. 합성수지선박 건조 작업과정은 배의 모형(몰드) 제작 - 재단 - 적층작업 - 탈형 작업 - 가공 - 의장 및 철구조물설치 - 출하공정으로 구성되어 있다. 탈형은 목형에서 수지로 건조된 선체를 분리하는 작업이다. 의장 및 철구조물 설치에서는 건조된 배에 각종 구조물을 설치하는 작업이다. 적층작업은 유리섬유를 불포화폴리에스테르수지로 목형에 여러 겹 붙이는 작업으로 이 과정은 수작업으로 이루어지기 때문에 다량의 스티렌에 노출되고 있다.

#### 다 스티렌 사용사업장

합성수지제품제조업은 유리섬유와 불포화폴리에스테르를 이용하여 조립식 초소나 이동용 화장실과 같은 합성수지제품을 제조하는 사업장으로 적층작업을 하는 근로자 3명에 대해 조사를 실시하였다.

스티렌사용 사업장 1개소는 합성고무를 제조하는 사업장으로 1,3부타디엔과 스티렌을 중합하여 부타디엔 합성고무를 제조하고 있었다. 작업자들은 현장이나 조정실에서 4조 3교대로 근무하고 있었다. 3교대 작업자 모두에게 조사를 실시하였다.

합성수지단추를 제조하는 사업장은 불포화폴리에스테르를 원심통이나 봉을 이용하여 경화시켜 단추를 제조하는 공정으로 배합, 원심, 봉제조공정에서 스티렌에 노출되고 있었다.

## 2 스티렌의 노출실태

### 가 스티렌의 노출실태

#### 1) 우리나라의 노출실태

합성수지선박 건조업에서 적층작업은 주로 여성 근로자들이 담당하는데 유리섬유를 붙이고 스티렌 수지를 직접 붓으로 도포하므로 이 과정에서 높은 농도의 스티렌에 노출되고 있었다(그림 7). 이들의 노출수준은 스티렌 노출기준 50 ppm을 상회하였다. 그러나 이들 여성 근로자(그림 8)는 대부분 학력이 낮고(초등학교졸 수준) 연령이 높아(40대 이상) 컴퓨터를 이용한 신경행동검사를 실시하기에는 적절하지 않아 조사 대상에서 제외하였다. 합성수지선박 건조업에서 남성 근로자들은 주로 성형 가공이나 목공일을 담당하여 스티렌에 노출되는 정도는 상대적으로 낮아 10 ppm을 초과하지 않았다. 강화플라스틱제품 제조업에서는 스티렌 노출 수준이 상대적으로 높았으나 30 ppm 수준을 초과하지 않았다.



그림 7 적층작업



그림 8 적층작업

활성탄관을 이용한 능동형시료포집기와 배지를 이용한 수동형시료포집기를

이용하여 측정한 작업환경측정결과는 서로 높은 상관관계( $r=0.9377$ ,  $p < 0.01$ )를 보였다(그림 9).

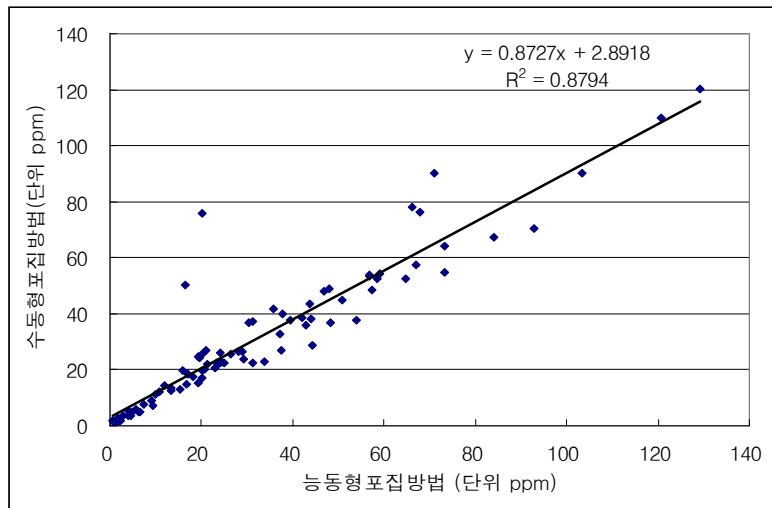


그림 9 능동형과 수동형시료포집기를 이용한 작업환경측정결과의 상관관계

## 2) 생물학적 모니터링

35명에 대한 생물학적 모니터링 결과 기중 스티렌과 요중 만텔산, 요중 페닐글리옥실산은 서로 높은 상관관계를 보이고 있었다. 기중 스티렌과 요중 만텔산의 상관계수  $r=0.8616$ 이었고, 노출기준 50 ppm에 해당하는 요중 만텔산의 농도는 914 mg/g creatinine이었다(그림 10). 기중 스티렌과 요중 만텔산의 상관계수는  $r=0.9558$ 이었고, 노출기준 50 ppm에 해당하는 요중 페닐글리옥실산은 406 mg/g creatinine 이었다(그림 11).

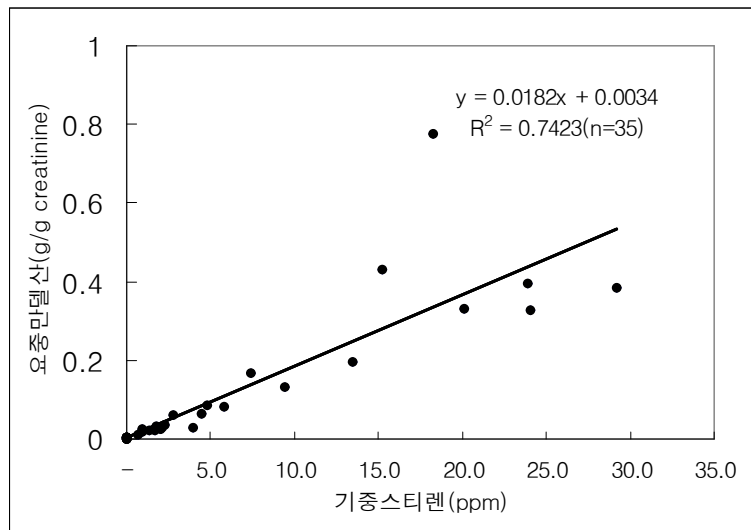


그림 10 기중 스티렌과 요중 만델산의 상관관계

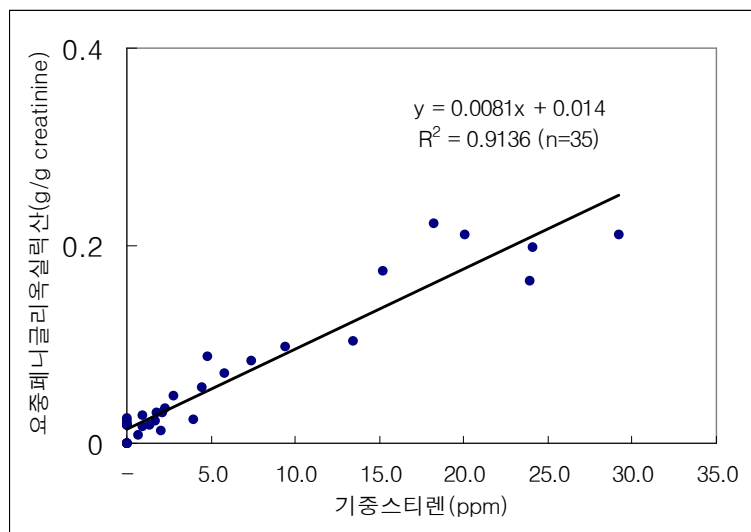


그림 11 기중 스티렌과 요중 페닐글리옥실산의 상관관계

### 3. 신경행동검사 결과

스티렌 노출 근로자를 노출수준에 따라 3군으로 구분하였다. 스티렌 고무 제조사업장의 장치산업 공정에서 운전원으로 근무하는 근로자 군을 저노출군, 합성수지선박 건조업과 유리강화플라스틱 제품 제조 사업장에서 성형, 목공업무를 담당하는 근로자를 중노출군, 합성수지제품제조 사업장의 근로자를 고노출군으로 분류하여 세 개군은 비교하였다. 중노출군과 고노출군을 합하여 노출군으로, 저노출군은 비노출군으로 분류하여 두 개 군을 비교하였다.

#### 가 세 개의 노출군 비교

신경행동검사를 수행한 근로자 48명을 스티렌 노출정도에 따라 3개 군으로 나눌 때 저노출군, 중노출군, 고노출군은 각각 15명, 23명, 10명씩 분류되었다. 각 군별 평균연령은 저노출군부터 각각 35.1세, 44.9세, 37.7세로 중노출군이 유의하게 높았다. 교육기간은 각각 12.7년, 9.7년, 11.1년으로 저노출군이 가장 높았고 중노출군이 가장 낮았다. 근무기간은 각각 107개월, 181개월, 12개월로 중노출군이 가장 길었고 고노출군이 가장 짧았다(표 4).

표 4 스티렌 노출군의 노출정도에 따른 일반적 특성

| 항목          | 근로자수 | 저노출    | 중노출    | 고노출   | 전체 근로자 |                  |
|-------------|------|--------|--------|-------|--------|------------------|
|             |      | 15     | 23     | 10    | 48     |                  |
| 나이          | 평균   | 35.07  | 44.91  | 37.70 | 40.33  | F=12.065 p=0.000 |
|             | 표준편차 | 3.01   | 8.44   | 3.50  | 7.68   |                  |
| 교육기간<br>(연) | 평균   | 12.67  | 9.70   | 11.10 | 10.92  | F=12.157 p=0.000 |
|             | 표준편차 | 1.23   | 2.22   | 1.45  | 2.21   |                  |
| 근무기간<br>(월) | 평균   | 106.87 | 181.00 | 11.50 | 122.52 | F=9.468 p=0.000  |
|             | 표준편차 | 42.19  | 144.74 | 17.53 | 121.53 |                  |

표 5 스티렌 노출군에 따른 기중 스티렌 및 요중 만델산

| 항목                  |      | 저노출    | 중노출    | 고노출     | 전체 근로자 |                  |
|---------------------|------|--------|--------|---------|--------|------------------|
| 기중농도<br>(ppm)       | 기하평균 | 0.0123 | 1.6400 | 10.9633 | 0.4741 |                  |
|                     | 표본수  | 12     | 10     | 10      | 32     | F=23.393 p=0.000 |
|                     | 표준편차 | 0.0065 | 0.9989 | 8.6343  | 7.5709 |                  |
| 요중만델산<br>(g/g crea) | 기하평균 | 0.0000 | 0.0327 | 0.0782  | 0.0000 |                  |
|                     | 표본수  | 13     | 14     | 10      | 37     | F=26.471 p=0.000 |
|                     | 표준편차 | 0.0121 | 0.0278 | 0.1828  | 0.1190 |                  |

표 6 스티렌 노출근로자들의 노출정도에 따른 신경행동검사 결과

| 구분           |      | 숫자암기  |       | 단순반    | 두드리기   |        | 부호숫자    | 선택검사   |        |
|--------------|------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
|              |      | 정순    | 역순    | 응시간    | 우수     | 열수     |         | 맞은수    | 반응시간   |
| 저노출군<br>(15) | 평균   | 7.73  | 6.33  | 343.87 | 118.53 | 101.40 | 1847.27 | 303.47 | 267.47 |
|              | 표준편차 | 1.39  | 2.06  | 45.88  | 14.36  | 16.08  | 240.41  | 24.62  | 21.67  |
| 중노출군<br>(23) | 평균   | 5.83  | 4.22  | 425.13 | 105.09 | 89.13  | 2621.09 | 277.50 | 294.00 |
|              | 표준편차 | 1.75  | 1.73  | 116.46 | 22.22  | 19.59  | 816.89  | 16.26  | 2.83   |
| 고노출군<br>(10) | 평균   | 6.50  | 4.80  | 366.60 | 113.70 | 103.00 | 2160.50 |        |        |
|              | 표준편차 | 1.58  | 2.30  | 51.82  | 14.80  | 19.56  | 319.49  |        |        |
| 합계(48)       | 평균   | 6.56  | 5.00  | 387.54 | 111.08 | 95.85  | 2283.31 | 300.41 | 270.59 |
|              | 표준편차 | 1.79  | 2.13  | 94.25  | 19.27  | 19.31  | 684.72  | 24.93  | 22.12  |
|              | F    | 6.375 | 5.357 | 4.186  | 2.474  | 2.919  | 7.716   | 0.952  | 1.321  |
|              | P    | .004  | .008  | .022   | .096   | .064   | .001    | .410   | .298   |

표 7 스티렌 노출정도에 따른 숫자암기정순의 다중회귀분석결과(3개 노출군)

corrected  $R^2 = 0.232$ ,  $F=4.554$   $p=0.004$

|         | 비표준화계수  |       | 표준화계수 | t      | p-value |
|---------|---------|-------|-------|--------|---------|
|         | B       | 표준오차  | 베타    |        |         |
| 상수      | 5.018   | 3.005 |       | 1.670  | .102    |
| 노출기간    | -.446   | .409  | -.180 | -1.090 | .282    |
| 나이      | -0.0181 | .040  | -.078 | -.455  | .652    |
| 교육기간(연) | .298    | .162  | .369  | 1.840  | .073    |
| 근무기간(월) | -0.0011 | .003  | -.075 | -.364  | .718    |

표 8 스티렌 노출정도에 따른 부호숫자의 다중회귀분석결과(3개 노출군)

corrected  $R^2 = 0.456$ ,  $F=10.863$   $p=0.000$

|         | 비표준화계수   |         | 표준화계수 | t      | p-value |
|---------|----------|---------|-------|--------|---------|
|         | B        | 표준오차    | 베타    |        |         |
| 상수      | 1769.367 | 969.892 |       | 1.824  | .075    |
| 노출기간    | 84.274   | 132.133 | .089  | .638   | .527    |
| 나이      | 31.644   | 12.841  | .355  | 2.464  | .018    |
| 교육기간(연) | -93.420  | 52.299  | -.302 | -1.786 | .081    |
| 근무기간(월) | .797     | .981    | .142  | .813   | .421    |

이들 군별 스티렌 노출실태를 보면 기중 스티렌 농도는 저노출군부터 각각의 기하평균이 0.0123 ppm, 1.64 ppm, 10.96 ppm 이었다. 요중 만델산은 각각 0.00, 0.0327, 0.0782 g/ g creatinine이었다(표 5).

노출정도에 따라 구분한 세 개의 군의 신경행동검사 결과는 숫자암기정순과 역순, 단순반응시간, 부호숫자에서 세 군간의 유의한 차이를 보였으나 중노출군의 수행능력이 가장 떨어졌으나(표 6) 노출정도, 나이, 교육기간, 근무기간을 독립변수로 하여 다중회귀분석을 한 결과 부호숫자는 나이에 의한 차이가 유의한 결과를 보였고 다른 변수는 유의한 결과를 보이지 않았다(표 7, 8).

## 두 개의 노출군 비교

중노출군 23명과 고노출군 10명을 통합하여 노출군으로 하고 저노출군은 비노출군으로 분류하여 두 개의 집단을 비교하였다. 각 군별 평균연령은 비노출군이 35.1세, 노출군이 42.7세로 노출군이 유의하게 높았다. 교육기간은 비노출군이 12.7년, 노출군이 10.1년으로 비노출군이 유의하게 높았다. 근무기간은 비노출군이 107개월, 노출군이 130개월이었다(표 9).

표 9 스티렌 노출군의 노출정도(2개 노출군)에 따른 일반적 특성

| 항목          | 근로자수 | 저노출    | 고노출    | 전체 근로자 |                  |
|-------------|------|--------|--------|--------|------------------|
|             |      | 15     | 33     | 48     |                  |
| 나이          | 평균   | 35.07  | 42.73  | 40.33  | F=12.844 p=0.001 |
|             | 표준편차 | 3.01   | 7.99   | 7.68   |                  |
| 교육기간<br>(연) | 평균   | 12.67  | 10.12  | 10.92  | F=18.874 p=0.000 |
|             | 표준편차 | 1.23   | 2.10   | 2.21   |                  |
| 근무기간<br>(월) | 평균   | 106.87 | 129.64 | 122.52 | F=0.357 p=0.553  |
|             | 표준편차 | 42.19  | 144.04 | 121.53 |                  |

표 10 스티렌 노출군에 따른 기중 스티렌 및 요중 만델산

| 항목                  |      | 저노출    | 고노출    | 전체 근로자 |                 |
|---------------------|------|--------|--------|--------|-----------------|
| 기중농도<br>(ppm)       | 기하평균 | 0.0123 | 4.2404 | 0.4741 | F=9.711 p=0.004 |
|                     | 표본수  | 12     | 20     | 32     |                 |
|                     | 표준편차 | 0.0065 | 8.4053 | 7.5709 |                 |
| 요중만델산<br>(g/g crea) | 기하평균 | 0.0000 | 0.0670 | 0.0000 | F=9.322 p=0.004 |
|                     | 표본수  | 13     | 24     | 37     |                 |
|                     | 표준편차 | 0.0121 | 0.1320 | 0.1190 |                 |

이들 군별 스티렌 노출실태를 보면 기중 스티렌 농도는 비노출군의 기하평균이 0.0123 ppm, 노출군의 기하평균이 4.24 ppm 이었다. 요중 만델산은 각각 0.00, 0.067 g/ g creatinine이었다(표 10).

노출정도에 따라 구분한 두 군의 신경행동검사 결과는 숫자암기정순과 역순, 단순반응시간, 부호숫자에서 두 군간의 유의한 차이를 보였으나(표 11) 노출정도, 나이, 교육기간, 근무기간을 독립변수로 하여 다중회귀분석을 한 결과 부호숫자는 나이에 의한 차이가 유의한 결과를 보였고 다른 변수는 유의한 결과를 보이지 않았다(표 12, 13).

표 11 스티렌 노출근로자들의 노출정도에 따른 신경행동검사 결과

| 구분           |      | 숫자암기   |        | 단순반    | 두드리기   |        | 부호숫자    | 선택검사   |        |
|--------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
|              |      | 정순     | 역순     | 응시간    | 우수     | 열수     |         | 맞은수    | 반응시간   |
| 저노출군<br>(15) | 평균   | 7.73   | 6.33   | 343.87 | 118.53 | 101.40 | 1847.27 | 303.47 | 267.47 |
|              | 표준편차 | 1.39   | 2.06   | 45.88  | 14.36  | 16.08  | 240.41  | 24.62  | 21.67  |
| 고노출군<br>(33) | 평균   | 6.03   | 4.39   | 407.39 | 107.70 | 93.33  | 2481.52 | 277.50 | 294.00 |
|              | 표준편차 | 1.70   | 1.90   | 104.05 | 20.42  | 20.33  | 730.54  | 16.26  | 2.83   |
| 합계(48)       | 평균   | 6.56   | 5.00   | 387.54 | 111.08 | 95.85  | 2283.31 | 300.41 | 270.59 |
|              | 표준편차 | 1.79   | 2.13   | 94.25  | 19.27  | 19.31  | 684.72  | 24.93  | 22.12  |
| F            |      | 11.475 | 10.183 | 5.093  | 3.431  | 1.832  | 10.668  | 2.039  | 2.831  |
| P            |      | .001   | .003   | .029   | .070   | .182   | .002    | .174   | .113   |

표 12 스티렌 노출정도에 따른 숫자암기정순의 다중회귀분석결과(2개 노출군)

corrected  $R^2 = 0.249$ ,  $F=4.890$   $p=0.002$

|         | 비표준화계수  |       | 표준화계수 | t      | p-value |
|---------|---------|-------|-------|--------|---------|
|         | B       | 표준오차  | 베타    |        |         |
| 상수      | 5.688   | 3.015 |       | 1.887  | .066    |
| 노출기간    | -.970   | .661  | -.255 | -1.469 | .149    |
| 나이      | -0.0054 | .041  | -.023 | -.131  | .896    |
| 교육기간(연) | .262    | .163  | .324  | 1.612  | .114    |
| 근무기간(월) | -0.0011 | .003  | -.072 | -.384  | .703    |

표 13 스티렌 노출정도에 따른 부호숫자의 다중회귀분석결과(2개 노출군)

corrected  $R^2 = 0.458$   $F=10.942$   $p=0.000$

|         | 비표준화계수   |         | 표준화계수 | t      | p-value |
|---------|----------|---------|-------|--------|---------|
|         | B        | 표준오차    | 베타    |        |         |
| 상수      | 1694.265 | 981.940 |       | 1.725  | .092    |
| 노출기간    | 161.735  | 215.171 | .111  | .752   | .456    |
| 나이      | 29.760   | 13.452  | .334  | 2.212  | .032    |
| 교육기간(연) | -89.382  | 52.925  | -.289 | -1.689 | .098    |
| 근무기간(월) | .747     | .901    | .133  | .830   | .411    |

가 저농도 노출군과 외부 대조군의 신경행동검사 결과 비교

저농도에 노출되는 근로자 15명의 신경행동검사를 비슷한 작업환경에 있는 외부 대조군 45명과 비교하였다. 저농도 노출 근로자 12명에 대한 기중 스티렌 농도는 기하평균이 0.0123 ppm 이었고 13명에 대한 요중 만델산 농도는 기하평균이 0.00 g/ g creatinine이었다(표 5).

대조군의 근로자는 타이어제조공장에 근무하며 색선편인트를 사용하는 근로자들과 압출공정의 근로자 45명으로 하였다. 색선편인트 근로자들의 정기 작업환경측정 결과 유기용제 노출 수준은 극히 낮았다. 저농도 스티렌군과 대조군은 연령은 각각 33.4세와 35.1세이고 교육기간은 12.4년과 12.7년이었으며 근

무기간은 87개월과 107개월로 서로 유의한 차이를 보이지 않았다(표 14).

표 14 스티렌 제조사업장 근로자와 대조군 근로자의 일반적 특성

| 항목          | 근로자수 | 스티렌군  | 대조군    | 전체 근로자 |                 |
|-------------|------|-------|--------|--------|-----------------|
|             |      | 15    | 45     | 60     |                 |
| 나이          | 평균   | 33.44 | 35.07  | 33.85  | F=2.157 p=0.147 |
|             | 표준편차 | 3.90  | 3.01   | 3.74   |                 |
| 교육기간<br>(연) | 평균   | 12.36 | 12.67  | 12.43  | F=0.737 p=0.394 |
|             | 표준편차 | 1.21  | 1.23   | 1.21   |                 |
| 근무기간<br>(월) | 평균   | 87.29 | 106.87 | 92.18  | F=3.156 p=0.081 |
|             | 표준편차 | 35.14 | 42.19  | 37.63  |                 |

표 15 스티렌 제조근로자와 대조군의 신경행동검사 결과

| 구분           |      | 숫자암기  |      | 단순반응   | 두드리기   |        | 부호숫자    | 선택검사   |        |
|--------------|------|-------|------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
|              |      | 정순    | 역순   | 시간     | 우수     | 열수     |         | 맞은수    | 반응시간   |
| 대조군<br>(45)  | 평균   | 6.96  | 6.02 | 334.93 | 119.89 | 104.44 | 1862.02 | 278.20 | 323.38 |
|              | 표준편차 | 1.46  | 1.73 | 60.31  | 19.49  | 17.57  | 240.62  | 34.41  | 39.35  |
| 스티렌군<br>(15) | 평균   | 7.73  | 6.33 | 343.87 | 118.53 | 101.40 | 1847.27 | 303.47 | 267.47 |
|              | 표준편차 | 1.39  | 2.06 | 45.88  | 14.36  | 16.08  | 240.41  | 24.62  | 21.67  |
| 합계(60)       | 평균   | 7.15  | 6.10 | 337.17 | 119.55 | 103.68 | 1858.33 | 284.52 | 309.40 |
|              | 표준편차 | 1.47  | 1.80 | 56.81  | 18.24  | 17.13  | 238.61  | 33.89  | 43.15  |
|              | F    | 3.266 | .332 | .275   | .061   | .352   | .042    | 6.874  | 27.308 |
|              | P    | .076  | .567 | .602   | .806   | .556   | .838    | .011   | .000   |

신경행동검사에서 숫자암기정순과 역순, 단순반응시간, 두드리기 우수와 열수, 부호숫자에서 두 집단간의 차이는 없었다. 선택반응검사는 스티렌군이 대

보군보다 더 좋은 수행능력을 보였다(표 15).

나 스티렌 고노출군과 외부 대조군의 신경행동검사 결과 비교

저농도 노출되는 근로자를 제외한 합성수지선박 건조사업장과 FRP단추제품제조 사업장 근로자 33명의 신경행동검사결과를 그라비아인쇄업 종사 근로자 19명과 톨루엔 본드 사용사업장의 근로자들 19명의 신경행동검사 결과와 비교하였다. 스티렌 고노출군 33명의 기중 스티렌 농도는 기하평균이 4.24 ppm 이었고 이들의 요중 만델산 농도는 기하평균이 0.067 g/ g creatinine이었다. 그라비아 인쇄사업장의 근로자들의 요중 마노산은 기하평균이 1.417 (표준편차 2.27, 범위 0.16-5.92) g/g creatinine이었고, 톨루엔 본드 사용사업장은 요중마노산의 기하평균이 2.43(표준편차 0.36, 범위 1.95-3.13) g/g creatinine이었다.

표 16 스티렌 제조사업장 근로자와 대조군 근로자의 일반적 특성

| 항목          |      | 그라비아 스티렌 톨루엔 전체 근로자 |        |       |        |
|-------------|------|---------------------|--------|-------|--------|
| 근로자수        |      | 19                  | 33     | 19    | 71     |
| 나이          | 평균   | 33.68               | 42.73  | 38.16 | 39.08  |
|             | 표준편차 | 8.17                | 7.99   | 9.43  | 9.14   |
| 교육기간<br>(연) | 평균   | 11.37               | 10.12  | 9.47  | 10.28  |
|             | 표준편차 | 1.26                | 2.10   | 2.87  | 2.25   |
| 근무기간<br>(월) | 평균   | 63.95               | 129.64 | 70.32 | 96.18  |
|             | 표준편차 | 99.88               | 144.04 | 43.72 | 116.33 |

F=7.081 p=0.002

F=3.808 p=0.027

F=2.687 p=0.075

세 군의 평균 나이는 그라비아인쇄가 33.7세, 스티렌이 42.7세, 톨루엔이

38.2세로 스티렌군이 가장 많았고, 그라비아군이 가장 적었다. 교육기간은 그라비아군이 11.4년, 스티렌군이 10.1년, 톨루엔군이 9.4년으로 그라비아군이 가장 많았고 톨루엔군이 가장 적었다. 근무기간은 스티렌군이 130개월로 가장 길었고 톨루엔군과 그라비아군은 각각 70, 64개월이었다(표 16).

표 17 스티렌과 톨루엔 노출작업자의 신경행동검사 결과

| 구분        | 숫자암기  |       | 단순반응   | 두드리기   |       | 부호숫자    | 선택검사   |         |
|-----------|-------|-------|--------|--------|-------|---------|--------|---------|
|           | 정순    | 역순    | 시간     | 우수     | 열수    |         | 맞은수    | 반응시간    |
| 그라비아군 평균  | 6.05  | 5.11  | 341.46 | 110.37 | 99.84 | 2049.75 | 269.37 | 173.28  |
| (19) 표준편차 | 1.78  | 1.94  | 45.78  | 14.54  | 20.48 | 462.04  | 38.65  | 15.22   |
| FRP군 평균   | 6.03  | 4.39  | 407.39 | 107.70 | 93.33 | 2481.52 | 277.50 | 294.00  |
| (33) 표준편차 | 1.70  | 1.90  | 104.05 | 20.42  | 20.33 | 730.54  | 16.26  | 2.83    |
| 톨루엔군 평균   | 5.79  | 4.00  | 472.68 | 96.79  | 88.84 | 2608.47 | 248.74 | 324.26  |
| (19) 표준편차 | 1.72  | 1.33  | 130.56 | 17.74  | 18.35 | 706.61  | 28.40  | 43.94   |
| 합계(71) 평균 | 5.97  | 4.48  | 407.22 | 105.49 | 93.87 | 2399.95 | 259.98 | 251.03  |
| 표준편차      | 1.71  | 1.80  | 110.49 | 18.85  | 20.00 | 689.55  | 34.48  | 81.55   |
| F         | 0.145 | 1.900 | 8.050  | 3.056  | 1.479 | 3.838   | 2.082  | 104.754 |
| P         | .865  | .157  | .001   | .054   | .235  | .026    | .139   | .000    |

세 군의 신경행동검사에서 단순반응시간과 부호숫자에서 세 군간 유의한 차이를 보였다. 단순반응시간과 부호숫자 모두 톨루엔군의 수행능력이 가장 낮았다(표 17, 그림 12-17) 그러나 다중회귀분석결과 나이, 근무기간, 교육기간을 보정한 후 세 군간의 단순반응시간의 차이는 없었다. 부호숫자에는 교육기간이 유의한 영향을 미치고 있었다(표 18, 19).

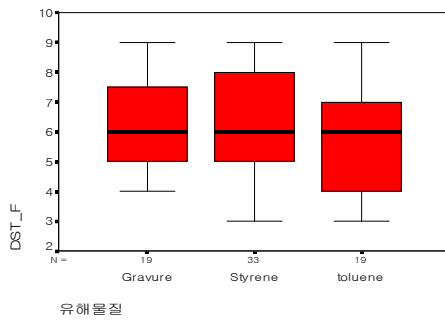


그림 12 숫자암기 정순

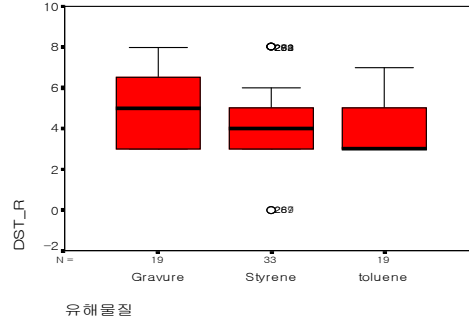


그림 13 숫자암기 역순

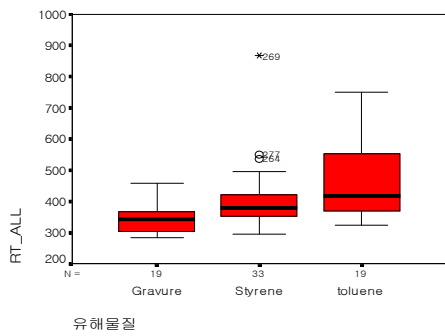


그림 14 단순반응검사

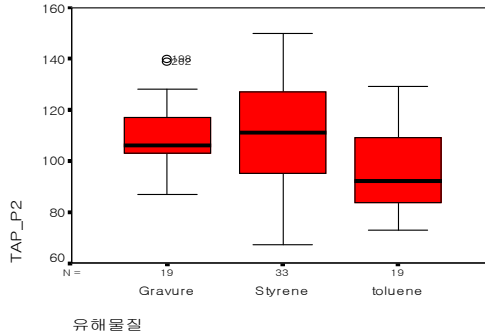


그림 15 두드리기 우수

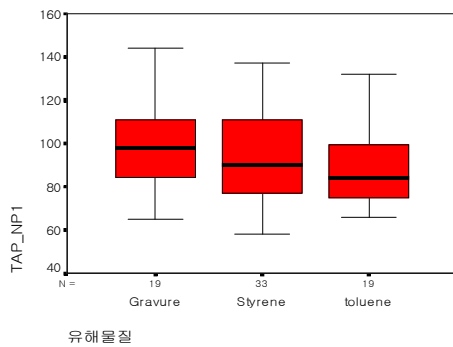


그림 16 두드리기 열수

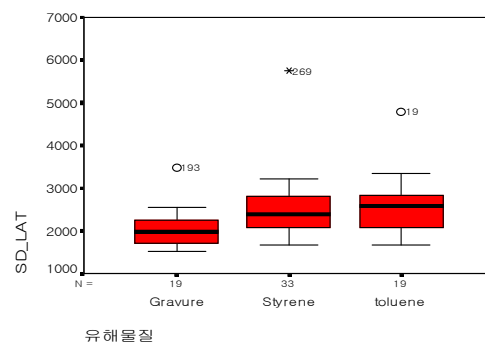


그림 17 부호숫자

표 18 스티렌과 톨루엔 노출군의 단순반응검사 결과의 다중회귀분석결과  
corrected  $R^2 = 0.130$   $F=3.620$   $p=0.010$

|      | 비표준화계수  |         | 표준화계수 | t      | p-value |
|------|---------|---------|-------|--------|---------|
|      | B       | 표준오차    | 베타    |        |         |
| 상수   | 421.566 | 132.647 |       | 3.178  | .002    |
| 나이   | .391    | 1.859   | .032  | .210   | .834    |
| 교육기간 | -10.167 | 6.886   | -.207 | -1.477 | .145    |
| 근무기간 | .203    | .137    | .213  | 1.480  | .144    |
| 노출변수 | 30.732  | 15.950  | .233  | 1.927  | .058    |

표 19 스티렌과 톨루엔 노출군의 부호숫자 결과의 다중회귀분석결과  
corrected  $R^2 = 0.355$   $F=10.632$   $p=0.000$

|      | 비표준화계수   |         | 표준화계수 | t      | p-value |
|------|----------|---------|-------|--------|---------|
|      | B        | 표준오차    | 베타    |        |         |
| 상수   | 1803.873 | 712.893 |       | 2.530  | .014    |
| 나이   | 28.326   | 9.991   | .376  | 2.835  | .006    |
| 교육기간 | -76.475  | 37.006  | -.250 | -2.067 | .043    |
| 근무기간 | .737     | .736    | .124  | 1.001  | .320    |
| 노출변수 | 113.349  | 85.722  | .138  | 1.322  | .191    |

#### 4 증상 설문조사 결과

가 유기용제 자각증상에 대한 설문조사 결과

유기용제 자각증상에 대한 설문조사 결과 전신피로감은 비슷하게 톨루엔에 노출되는 근로자들과 비슷하게 호소하였으나, 급성중독증상, 인지력, 기억력, 말초신경증상, 감정변화 및 기타 신경증상에서는 저노출군과 고노출군의 차이는 없었다(표 20).

표 20 스티렌 노출 근로자들의 자각증상 호소율 (%)

| 항<br>목           | 질문 내용                          | 저노출  | 고노출  | 전체   | $\chi^2$ |
|------------------|--------------------------------|------|------|------|----------|
| 전신<br>피로감<br>권태감 | Q1 전신이 나른할 때가 있다.              | 60.0 | 54.3 | 56.0 | 0.14     |
|                  | Q24 어떠한 일을 할 때 전에 비해 쉬 피로해 진다. | 46.7 | 31.4 | 36.6 | 1.06     |
|                  | Q17 피곤해서 퇴근 후에는 아무 일도 할 수 없다.  | 0.0  | 8.8  | 6.1  | 1.41     |
|                  | Q5 아침에도 피곤하다                   | 53.3 | 54.3 | 54.0 | 0.04     |
|                  | Q35 요즘에는 일이 귀찮게 느껴진다.          | 13.3 | 20.0 | 18.0 | 0.32     |
| 급성               | Q2 마치 술에 취한 느낌이다               | 13.3 | 11.4 | 12.0 | 0.04     |
| 중독               | Q15 똥똥 떠 다니는 것 같은 느낌이 든다.      | 0.0  | 2.9  | 2.0  | 0.44     |
| 증상               | Q33 어지럽다.                      | 13.3 | 28.6 | 24.0 | 1.34     |
| 인지력              | Q9 대화시 상대방 말을 잘 이해하지 못한다       | 0.00 | 0.00 | 0.0  | 0.00     |
|                  | Q6 신문이나 잡지를 읽어도 무슨 뜻인지 모르겠다.   | 0.0  | 2.9  | 2.0  | 0.44     |
|                  | Q30 새 일을 배울때 무슨 뜻인지 잘 이해가 안된다. | 6.7  | 20.0 | 16.0 | 1.39     |
| 집중력              | Q10 하고 싶은 말을 할 때도 집중이 잘 안된다    | 13.3 | 5.7  | 8.0  | 0.83     |
|                  | Q11 정신을 집중하려 해도 생각이 자꾸 흐트러진다.  | 20.0 | 25.7 | 24.0 | 0.19     |
|                  | Q18 정신 집중이 잘 안될 때가 있다.         | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 0.00     |
| 기억력              | Q13 텔레비전에서 본 것을 기억하기 어렵다       | 33.3 | 25.7 | 28.0 | 0.30     |
|                  | Q16 꼭 하고자 했던 일을 잊어 먹는 경우가 많다.  | 33.3 | 34.3 | 34.0 | 0.00     |
|                  | Q32 기억력이 나빠졌다는 말을 듣는다.         | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 0.00     |
| 신경               | Q26 전에 비해 냄새를 잘 못 맡겠다.         | 20.0 | 11.4 | 14.0 | 0.64     |
| 증상               | Q19 손이나 손가락이 떨린다.              | 0.00 | 8.6  | 6.0  | 1.37     |
| 말초               | Q7 손발이 자주 저리다                  | 0.0  | 17.1 | 12.0 | 2.92     |
| 신경               | Q21 피부감각이 전보다 둔해진 것 같다.        | 20.0 | 11.8 | 14.3 | 0.58     |
| 증상               | Q31 손발이 마비될 때가 있다.             | 6.7  | 5.7  | 6.0  | 0.02     |
| 감정<br>변화         | Q27 요즘 성격이 변했다는 말을 듣는다.        | 6.7  | 17.1 | 14.0 | 0.96     |
|                  | Q34 특별한 이유없이 기분이 잘 변한다.        | 6.7  | 13.5 | 11.5 | 1.43     |
|                  | Q14 신경이 날카로워졌다.                | 33.3 | 34.3 | 34.0 | 0.00     |
|                  | Q23 전보다 신경질을 잘 낸다는 말을 들었다.     | 6.7  | 5.7  | 6.0  | 0.02     |
|                  | Q25 이유없이 짜증이 날 때가 많다.          | 13.3 | 29.7 | 25.0 | 2.67     |
|                  | Q3 이유없이 우울해 질 때가 있다.           | 20.0 | 17.6 | 18.4 | 0.04     |
|                  | Q20 죽고 싶은 생각이 든다.              | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.00     |
| 불면증              | Q8 늘 불면증으로 시달린다.               | 6.7  | 2.9  | 4.1  | 0.37     |
|                  | Q28 밤에 잠이 안와 고생하는 때가 있다.       | 26.7 | 20.0 | 22.0 | 0.27     |
|                  | Q29 조금만 부딪혀도 쉽게 피멍이 든다.        | 6.7  | 8.8  | 8.2  | 0.65     |
| 기타               | Q36 머리가 아플 때가 있다.              | 46.7 | 54.3 | 52.0 | 0.24     |
|                  | Q37 성기능이 떨어졌다.                 | 26.7 | 38.5 | 34.1 | 2.96     |

## 제 4 장 고찰

스티렌은 체내에 흡수되면 2.6%는 호기로 배출되고, 56.9%가 만델산, 33.0%가 페닐글리옥실산으로 배설되며 7.5% 정도는 마노산으로 배설된다 (Guillemin MP과 Bauer D, 1979). 스티렌은 1 ppm의 아주 낮은 농도에서도 냄새가 나며 고농도라도 불쾌한 냄새가 나지는 않는다. 60 ppm 수준에서는 불쾌감을 느끼지 못하며 200-400 ppm 수준일 때 불쾌감을 느낄 수 있다 (Stewart 등, 1968).

미국산업위생사협회(ACGIH)에서는 실험동물의 발암성에 근거하여 스티렌의 노출기준을 50 ppm으로 정하고 이에 상응하는 요중 만델산은 800 mg/g creatinine으로 요중 페닐글리옥실산은 240 mg/g creatinine으로 규정하고 있다 (ACGIH, 1986, ACGIH, 2001). 스웨덴에서는 신경독성 연구를 근거로 노출기준을 26 ppm으로 규정하고 있다. 이 것은 너무 낮은 농도라는 비판도 많으나 스웨덴 등 스칸디나비아 국가와 독일에서는 기중 노출기준을 20-30 ppm으로 하고 있다.

한국산업안전공단의 작업환경측정실태 조사 자료에 의하면 2001년 현재 스티렌에 노출되는 근로자는 제조 발생 및 사용사업장 131개소 1,155명으로 파악되었다. 그러나 이것은 실제 스티렌 노출 근로자의 숫자는 매우 낮게 나타내고 있다. 노동부의 비공식자료에 의하면 2001년에 106개 사업장에서 2,043명이 스티렌에 노출되고 있는 것으로 파악하고 있다. 그리고 2000년 스티렌 특수건강진단 수검자 숫자는 537개 사업장에 3,857명으로 실태조사에서 나타난 스티렌 노출 근로자 숫자보다 3.5배 이상이 특수건강진단을 받고 있었다. 이 번 조사

에서 일부 사업장에서 스티렌에 노출되는 근로자가 스티렌 특수건강진단을 받은 것이 아니라 톨루엔 등 다른 유기용제 특수건강진단을 받고 있었던 것을 감안하면 스티렌 특수건강진단 대상자는 이보다 더 많을 것으로 추정된다. 또한 작업환경실태조사 자료에서 스티렌을 사용하는 사업장 중 합성수지선 건조업은 13개 사업장에 141명이었는데, 이번 조사에서 확인되듯이 실제 합성수지선 건조업체의 숫자는 이보다 훨씬 많았다. 합성수지선 건조는 불포화폴리에스테르와 유리섬유를 적층작업을 만드는 것이므로 합성수지선 건조업의 근로자들은 모두 스티렌에 노출될 수 있다. 따라서 합성수지선 건조업으로 파악된 18 사업장 192명은 모두 스티렌 노출 근로자로 보아야 할 것이다. 이러한 방식으로 스티렌에 노출될 가능성이 있는 사업장과 근로자 수는 1,183개소 7,049명으로 추정할 수 있다.

강성규 등(1993)의 1993년 조사에서 스티렌 중합공정의 기중 스티렌 농도는 2 ppm 수준으로 낮게 나타났었는데 이번 연구에서도 스티렌을 이용하여 합성수지를 생산하는 장치산업에서는 평균 0.01 ppm으로 아주 낮게 나타났다. 따라서 스티렌은 중합하거나 사용하는 장치산업에서 스티렌 노출정도는 매우 낮은 것으로 파악되어 굳이 주기적으로 건강진단을 실시할 필요도 없을 것으로 판단된다.

그러나 스티렌 수지를 이용하여 수지제품이나 유리강화플라스틱을 만드는 공정에서는 구조적으로 스티렌 수지에 노출될 수밖에 없고 이로 인해 높은 농도의 스티렌에 노출될 수 있다. 일부 합성수지선 건조업의 적층 작업을 하는 근로자들의 노출 수준은 기하평균 33 ppm으로 매우 높았고 59명 중 32%인 19명이 현재의 노출기준 50 ppm을 초과하였고 3명의 근로자에서는 100 ppm을 초과하였다. 사업장측에서 조사 당시 작업량이 많지 않았다고 진술하는 것으로 보아 실제 작업량이 많은 경우에는 이보다 훨씬 높은 농도의 스티렌에

노출될 가능성이 크다. 따라서 합성수지선 건조업을 포함한 수작업의 적층작업이 있는 유리강화플라스틱 제품 제조업은 스티렌에 의한 건강장해를 예방하기 위해 집중적으로 관리하여야 할 대상 사업장인 것으로 나타났다.

스티렌에 노출되는 근로자에 대한 노출평가는 다른 유기용제와 마찬가지로 능동형 개인시료 포집기를 이용할 수 있는데 이것은 취급에 전문지식과 경험이 필요하며 매 측정시마다 측정자가 확인하여야 하고 유량을 검증하여야 하기 때문에 하루에 조사할 수 있는 양에 한계가 있다. 수동형 시료포집기는 그냥 작업자의 호흡기 위치에 부착해주고 작업 종료시 수거하면 되기 때문에 아주 간단하고 누구나 시행할 수 있으며 한 번에 많은 근로자에 대해 조사를 실시할 수 있다. 다만 능동형 개인시료 포집기에 사용되는 활성탄관의 값(한 개 1,200원씩 2개 사용하므로 일회에 2,400원)에 비교하여 수동형 포집기는 11배 정도 고가(한개 가격 27,000원)이므로 일반적으로 사용하기는 어려운 점이 있다. 그러나 능동형이 장비와 인력을 갖추고 있어야 한다는 점을 감안하면 경우에 따라서는 재료값이 다소 비싸더라도 수동형을 사용하는 것이 더 나을 수 있다. 이 연구에서도 활성탄관을 이용한 능동형시료포집기와 배지를 이용한 수동형시료포집기를 이용하여 측정한 작업환경측정결과는 상관계수가 0.94로 서로 아주 높은 상관관계를 보였다. 따라서 조사 목적에 따라서 기중 스티렌 농도 측정을 위해서는 능동형이건 수동형이건 아무 방법을 취하여도 노출평가에는 큰 문제가 없을 것이다.

합성수지선박제조업 근로자에서 스티렌 농도 55 ppm 이내에서는 스티렌과 만텔산은  $r^2=0.909$ 로 높은 상관관계를 보인다(Rappaport SM et al, 1996). 정호근 등(1993)은 한국인의 스티렌과 요중 만텔산과의 상관계수를 0.64로 보고하였다. 이 연구에서 35명에 대한 생물학적 모니터링 결과 기중 스티렌과 요중 만텔산, 요중 페닐글리옥실산은 서로 높은 상관관계를 보이고 있었다. 기

중 스티렌과 요중 만델산의 상관계수  $r=0.8616$ 이었고, 노출기준 50 ppm에 해당하는 요중 만델산의 농도는 914 mg/g creatinine으로 정호근 등이 1993년에 얻은 890 mg/g creatinine과 유사하였고 ACGIH보다는 높았다. 기중 스티렌과 요중 페닐글리옥실산의 상관계수는  $r=0.9558$ 이었고, 노출기준 50 ppm에 해당하는 요중 페닐글리옥실산은 406 mg/g creatinine 으로 ACGIH의 240 mg/g creatinine보다는 훨씬 높았다. 정호근 등(1993)의 연구와 이 연구를 근거로 할 때 한국인에 적절한 요중 만델산과 페닐글리옥실산의 생물학적 노출지표 수준은 각각 900mg/g creatinine, 400 mg/g creatinine으로 판단된다. 같은 기중 스티렌 농도에 비해 요중 대사물이 높다는 것은 한국인은 서양인에 비해 대사가 늦기 때문이라고 생각할 수 있고 스티렌은 대사가 늦을수록 신경계 증상이 많이 발생한다고 한다(Cherry 와 Gautrin, 1990)는 점을 감안하면 우리나라의 근로자들은 더 낮은 농도의 스티렌에 노출되어도 건강장해를 유발할 수 있을 것으로 추정된다.

그런데 합성수지선 건조업에서 적층작업을 하는 근로자 59명만을 대상으로 하였을 때 이들의 기중 스티렌, 요중 만델산, 요중 페닐글리옥실산의 기하평균은 각각 33 ppm, 835 mg/g creatinine, 320 mg/g creatinine 으로 나타났다. 50 ppm에 해당하는 요중 만델산과 요중 페닐글리옥실산은 각각 1,420 mg/g creatinine, 406 mg/g creatinine 으로 요중 만델산은 저농도 노출의 경우보다 훨씬 높게 나타났다. 이는 적층작업이 허리를 구부리고 붓으로 스티렌 수지를 칠하는 작업으로 작업환경측정에서 나타난 것도 보다 훨씬 더 많은 스티렌을 흡입하고 있다는 것을 보여 준다고 할 수 있다. 또는 이들이 주로 여성이어서 여성이 남성에 비해 대사 속도가 늦기 때문인 것으로 생각된다.

스티렌에 노출되면 중추신경계의 이상이나 말초신경계의 이상을 초래할 수

있다. 스티렌 합성 공장 근로자에 대한 대규모 조사에서 스티렌 노출 수준은 고노출군이 평균 5 ppm, 저노출 군이 1 ppm 이하이었고(Lorimer WV et al, 1978) 이들에게서 신경전도속도나 신경학적 이상소견은 없었다. Seppäläinen AM 등(1976)은 스웨덴은 적층작업을 하는 근로자에 대한 신경학적 검사결과 만텔산 700 mg/L 즉 이에 상응하는 스티렌 농도 30 ppm에서 뇌파의 이상 소견을 발견하였고, Härkönen 등(1978)은 만텔산 800 mg/L 이상에서는 시각운동장애가 있었으며 1200 mg/L를 초과하는 경우에는 신경행동 수행력의 변화가 있었다고 하였다. Edling 과 Ekberg(1985)는 현재의 스웨덴의 허용농도인 110 mg/m<sup>3</sup> 이하에서는 급성 신경행동학적 이상은 없다고 하였다. 그러나, 100 ppm의 농도까지는 스티렌 폭로에 의해 중추신경계에 어떤 급만성 영향을 주지 않는다는 연구결과도 있다(Triebig 등, 1989).

말초신경계에 대해서는 Lorimer 등(1978)은 20 ppm 이하의 저농도에 노출되는 스티렌 중합공장 근로자에서 말초신경전도속도가 지연되는 것을 관찰하였으나 이는 연령에 의한 것이라고 하였다. 그러나, Cherry 와 Gautrin (1990)은 50ppm이하에서는 23%에서 신경전도속도의 감소를 관찰하였고, 100 ppm 이상에서는 71%에서 신경전도속도의 감소를 보였고 단순반응검사 등 중추신경계의 저하 소견을 보고하였다.

이 연구에서는 스티렌에 노출되는 근로자 48명에 대해 신경행동검사를 실시하고 스티렌 노출정도에 따라 신경행동 수행능력의 변화를 관찰하였으나 노출정도에 따른 차이는 발견하지 못하였다. 그러나 이 연구에서는 이들 중 32명에 대해서만 기중 스티렌 농도를 측정하였는데 최고 노출 수준이 29 ppm이고 10 ppm을 초과하는 경우가 5명 밖에 없었고 이들의 주로 합성수지제품을 만드는 사업장의 근로자들로 근무기간도 상대적으로 짧았다. 따라서 이것을 근거로 스티렌 고노출군에서 신경행동 수행능력의 변화를 볼 수는 없었다고 할

수는 없다. 그러나 최고 노출 수준이 30 ppm 이므로 적어도 30 ppm 수준 이하에서는 신경행동 수행능력의 변화 즉 중추신경계 이상은 없다고 할 수 있다.

이 연구에서 신경행동검사를 받은 합성수지선 건조업의 근로자는 주로 남자 근로자로 스티렌에 고노출되는 적층작업을 하는 것이 아니라 건조된 선박의 가공 및 의장을 담당하므로 오래 근무하였다 하더라도 실제 스티렌의 노출 정도는 높지 않아 10 ppm 수준 이하인 것으로 나타났다. 합성수지선 건조작업에서 적층작업을 하는 근로자들은 주로 중년의 여성이며 학력이 낮아 신경행동검사를 수행할 수 없었다. 또한 이들은 근무력이 짧아 장기 노출에 의한 건강영향 평가를 하기가 곤란하였다. 그렇지만 이들은 30 % 이상이 노출기준 50 ppm 이상에 노출되고 있고 평균 노출수준도 33 ppm으로 매우 높아 향후 이들에 대한 적절한 건강영향 평가 방법의 개발이 필요하다.

## 제 5 장 결 론

2001년도에 스티렌을 취급하는 사업장 근로자에 대해 작업환경측정, 생물학적 모니터링, 신경행동검사 등을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 스티렌을 제조, 취급, 사용하는 업체 중 수작업으로 수지를 취급하는 합성수지선 건조업, FRP수지 제품제조업에서 스티렌 노출 수준이 높은 것으로 나타났다. 합성수지선 건조업에서는 적층작업을 하는 근로자의 스티렌 노출 수준은 기하평균 33 ppm 이고 32%가 노출기준 50 ppm을 초과하는 것으로 나타났다.

2. 스티렌을 사용하여 수지를 생산하는 장치산업공정의 스티렌 노출수준은 0.01ppm 수준으로 매우 낮았다. 합성수지선 건조업에서도 적층작업을 제외한 부서나 스티렌 수지를 이용하여 단추를 제조하는 사업장의 근로자들의 노출수준은 30 ppm을 넘지 않았다.

3. 기중 스티렌 농도 30 ppm 이하 수준에서 기중 스티렌과 요중 만텔산, 요중 페닐글리옥실산은 서로 높은 상관관계를 보이고 있었다. 기중 스티렌과 요중 만텔산의 상관계수  $r=0.8616$ 이었고, 노출기준 50 ppm에 해당하는 요중 만텔산의 농도는 914 mg/g creatinine이었다. 기중 스티렌과 요중 만텔산의 상관계수는  $r=0.9558$ 이었고, 노출기준 50 ppm에 해당하는 요중 페닐글리옥실산은 406 mg/g creatinine 이었다. 따라서, 한국인에 적절한 요중 만텔산과 페닐글리옥실산의 생물학적 노출지표 수준은 각각 900mg/g creatinine, 400 mg/g creatinine으로 판단된다.

4. 스티렌 노출정도에 따라 구분한 세 개 군의 신경행동검사 결과는 조사

군의 노출 수준에서는 신경행동검사의 유의한 차이를 보이지 않았다. 극히 저 노출군과 다른 노출군과의 비교에서도 신경행동검사의 유의한 차이는 보이지 않았다. 그러나 이 연구의 스티렌 고노출군도 노출 수준이 30 ppm 이하로 노출기준 50 ppm보다 낮은 수준이었다.

스티렌 저노출군을 일반적 특성이 비슷한 타유해물질 노출군로자와 비교하였을 때에도 신경행동검사의 유의한 차이는 보이지 않았다. 톨루엔 고노출군과 스티렌 노출군과의 신경행동검사 비교에서 단순반응검사의 수행력이 톨루엔 고노출군에서 떨어지는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

5. 유기용제 자각증상에 대한 설문조사 결과 전신피로감, 급성중독증상, 인지력, 기억력, 말초신경증상, 감정변화 및 기타 신경증상에서는 저노출군과 고노출군의 차이는 없었다.

## 요 약 문

**연구목적:** 스티렌은 장기간 노출될 경우 중추신경계에 영향을 주는 방향족 탄화수소류의 유기용제로서 합성수지선 건조, FRP제품 제조 등에 다양하게 사용되고 있다. 스티렌에 노출되는 근로자들이 두통이나 기억력감퇴 등의 증상을 호소하고 있다. 이 연구에서는 우리나라의 스티렌 노출실태를 파악하고 해당 노출수준에서 중추신경계 등 신경계의 이상소견 유무를 확인하고 스티렌 노출 근로자의 직업병을 예방하기 위한 조기 진단 지표로서 우리나라 근로자에 적합한 생물학적 노출지표 수준을 제시하기 위해 시도되었다.

**연구방법:** 산업안전공단 작업환경실태조사에 파악된 스티렌 취급 사업장에 대해 예비조사를 실시한 후 스티렌 노출정도가 심한 합성수지선박 제조 사업장 14개를 대상으로 조사를 실시하였다. 조사는 설문조사, 작업환경측정, 생물학적 모니터링, 한국형 컴퓨터신경행동검사를 실시하였다. 조사 결과는 노출수준에 따라 비교하였으며 신경행동검사는 타 유해물질에 노출되는 근로자들의 신경행동검사 수행능력과 비교하였다.

**연구결과:** 스티렌을 제조, 취급, 사용하는 업체 중 수작업으로 수지를 취급하는 합성수지선 건조업, FRP수지 제품제조업에서 스티렌 노출 수준이 높은 것으로 나타났다. 합성수지선 건조업에서는 적층작업을 하는 근로자의 32%가 우리나라 스티렌 노출기준 50 ppm을 상회하였고 기하평균은 33 ppm 이었다. 스티렌을 사용하여 수지를 생산하는 장치산업공정의 스티렌 노출수준은 0.01ppm 수준으로 매우 낮았다. 합성수지선 건조업에서도 적층작업을 제외한 부서나 스

티렌수지를 이용하여 단추를 제조하는 사업장의 근로자들의 노출수준은 30 ppm을 넘지 않았다.

기중 스티렌과 요중 만델산은 높은 상관관계를 보였고( $r=0.8616$ ), 노출기준 50 ppm에 해당하는 요중 만델산의 농도는 914 mg/g creatinine이었다. 기중 스티렌과 요중 만델산도 높은 상관관계를 보였고( $r=0.9558$ ), 노출기준 50 ppm에 해당하는 요중 페닐글리옥실산은 406 mg/g creatinine 이었다.

중추신경스티렌 노출정도에 따라 구분한 세 개 군의 신경행동검사 결과는 조사군의 노출 수준에서는 신경행동검사의 유의한 차이를 보이지 않았다. 극히 저노출군과 다른 노출군과의 비교에서도 신경행동검사의 유의한 차이는 보이지 않았다. 스티렌 저노출군을 일반적 특성이 비슷한 타유해물질 노출근로자와 비교하였을 때에도 신경행동검사의 유의한 차이는 보이지 않았다. 톨루엔 고노출군과 스티렌 노출군과의 신경행동검사 비교에서 단순반응검사의 수행력이 톨루엔 고노출군에서 떨어지는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 유기용제 자각증상에 대한 설문조사 결과 전신피로감, 급성중독증상, 인지력, 기억력, 말초신경증상, 감정변화 및 기타 신경증상에서는 저노출군과 고노출군의 차이는 없었다.

**결론:** 스티렌은 합성수지선 건조 사업장에서 적층작업을 하는 근로자에게 노출기준치를 상회하는 수준으로 노출되고 있었다. 이들을 제외한 근로자들의 노출수준은 노출기준의 1/2 수준이하이고 이들에게서 중추신경계나 말초신경계의 이상소견을 나타내는 신경행동검사 수행능력의 저하 소견은 없었다. 한국인에 적절한 요중 만델산과 페닐글리옥실산의 생물학적 노출지표 수준은 각각 900mg/g creatinine, 400 mg/g creatinine으로 판단된다.

## 참고문헌

- 강성규, 양정선, 김기웅, 이종성, 조영숙, 정호근. 스티렌 폭로 근로자들의 기중 및 혈중 스티렌과 요중 만델릭산의 관계 분석. 산업안전공단 산업보건연구원. 1993년 연구보고서
- 정호근, 강성규, 양정선, 김기웅, 이종성, 조영숙, 박인정. 스티렌 폭로 근로자들의 기중 및 혈중 스티렌과 요중 만델산의 관계분석 대한산업의학회지 1994;6(1):113-121
- 노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준. 노동부고시 제97-65호. 1998.1.5
- Documentation of threshold limit values and biological exposure indices. 5th ed. Cincinnati, OH: ACGIH, 1986:539.
- Bardodij Z, Bardodejova E. Biotransformation of ethylbenzene styrene and alpha-methylstyrene in man. Am Ind Hyg Assoc J 1970;31:206-209
- Brooks SM, Anderson L, Emmett E, Carson A, Tsay J-Y, Elia V, Buncher R, Karbowsky R. The effects of protective equipment on styrene exposure in workers in the reinforced plastics industry. Arch Environ Health. 1980;35(5):287-294
- Cherry N, Gautrin D. Neurotoxic effects of styrene: Further evidence Bri J Ind Med 1990;47:29-37
- Edling C, Ekberg K. No acute behavioral effects of exposure to syrene: A safe level of exposure? Br J Ind Med 1985;42:301-304
- Guillemin MP, Bauer D. Human exposure to styrene, III Elimination kinetics of

- urinary mandelic and phenylglyoxylic acids after single experimental exposure. Int. Arch Occup Environ Health 1979;5:162-163.
- Härkönen H, Lindström K, Seppäläinen AM, Asp S, Hernberg S. Exposure-response relationship between styrene exposure and central nervous functions. Scand J Work Environ Health 1978;4:53-59
- Lorimer WV, Lilis R, Fischbein A et al. Health status of styrene-polystyrene polymerization workers. Scand J Work Environ Health 1978;4(suppl 2):220-226
- Miller RR, Newhook R, Poole A. Styrene production use and human exposure. Crit Rev Toxicol 1994;24(S1):S1-S10
- NIOSH, NIOSH manual of analytical methods, 1984
- Rappaport SM, Yeowell-O'Connell K, Bodell W, Yager JW, Symanski E. An investigation of multiple biomarkers among workers exposed to styrene and styrene-7,8-oxide. Cancer Res 1996;56:5410-5416
- Wiencke JK, Mustacchi P. Styrene and Butadiene in Rom's Environment and occupational medicine. Boston: Little, Brown and Company, 3rd ed. 1998;1129-1144
- Seppäläinen AM, Härkönen H. Neurophysiological findings among workers occupationally exposed to styrene. Scand J Work Environ Health 1976;3:140-146
- Stewart RD, Dodd HC, Baretta ED, Schffer AW. Human exposure to styrene vapor. Arch Environ health 1968;16:656-662.
- Tossavainen A. Styrene use and occupational exposure in the reinforced plastics industry. Scand. J Work Environ Health 1978;4(suppl2):7-13

Triebig G, Lehl S, Welte D, Schaller KH, Valentin H. Clinical and neurobehavioural study of the acute and chronic neurotoxicity of styrene. Br J Ind Med 1989;46:799-804

직업병 조기 발견을 위한 유해물질 사업장 근로자의  
신경독성 평가  
(연구원 2002-70-494)

---

발 행 일 : 2002년 12월 31일  
발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 정호근  
연구책임자 : 직업병연구센터 수석연구원 강성규  
발 행 처 : 한국산업안전공단 산업안전보건연구원  
주 소 : 인천광역시 부평구 구산동 34-4  
전 화 : (032) 5100 - 915  
F A X : (032) 5180 - 862

---