

일부 스티렌 폭로 근로자의 뇨중 대사산물과 신경행동학적 검사

이창희 · 문덕환 · 이 현 · 박준한 · 김대환 · 이종태 · 전진호 · 김휘동 · 이채언

인제대학교 의과대학 예방의학교실 및 산업의학연구소

= Abstract =

Urinary Metabolites and Neurobehavioral Test on Styrene Exposure Workers

ChangHee Lee, DeogHwan Moon, Hun Lee, JunHan Park,
DaeHwan Kim, JongTae Lee, JinHo Chun, HwiDong Kim, ChaeUn Lee

*Department of Preventive Medicine and Research Institute of Industrial
Medicine, College of Medicine, Inje University*

In order to prepare the fundamental data for the health promotion by assessing the exposure level of styrene, the author determined the concentration of mandelic acid and phenylglyoxylic acid in urine of 42 workers who were exposed to styrene by high performance liquid chromatography and surveyed 16 symptoms, by questionnaire and also tested neurobehavioral test(digit symbol, benton visual retention) in 2 FRP plants of Kyung Nam area from July to September, 1995.

Control was sampled by age sex matching method.

The concentration of styrene in air was determined by gas chromatography.

The results were as follows;

1. Geometric mean concentration of styrene in air was 17.4ppm, geometric mean concentration of mandelic acid(MA) in urine were 404.3mg/g creatinine for exposure group, 46.4mg/g creatinine for control group, geometric mean concentration of phenylglyoxylic acid(PGA) in urine were 57.5mg/g creatinine for exposure group, 9.5mg/g creatinine for control group.

Mean concentration of MA and PGA showed statistically significant difference between exposure group and control group($p < 0.01$).

2. Number of symptom were 2.9 for exposure group, 3.3 for control group, number of digit symbol were 24.1 for exposure group, 32.5 for control group, number of Benton visual retention test were 6.1 for exposure group, 6.0 for control group, respectively.

As result of adjusting the education year, number of Benton visual retention test showed statistically significant difference between exposure group and control group($p < 0.05$).

3. Excellent correlation were observed between environmental styrene exposure and urinary MA($r = 0.80$), PGA($r = 0.73$), and MA+PGA($r = 0.81$).

Key words : Styrene, Mandelic acid, Phenylglyoxylic acid

I. 서 론

스티렌은 무색 자극성 냄새를 띠는 액상 물질로서 1827년에 처음 발견되었고(이세훈, 1985), 1930년대부터 본격적으로 생산되기 시작하여 2차대전을 거치면서 합성수지가 발달되어 비로소 광범위하게 사용되었고, 1970년대 후반 700만 톤에서 1990년 전세계적인 소비량은 총 1,360만 톤(추정치)으로 증가하게 되었다(염용태, 1993).

스티렌은 초기에 주로 합성고무 등의 원료로 사용되었으나 최근에는 플라스틱, 폴리스티렌(polystyrene), 폴리에스테르(polyester) 제조 등에 쓰이며 건설, 자동차, 선박, 목조, 정화조, 장난감 등 광범위한 분야에서 이용되고 있다. 전세계 벤젠 사용량의 50%는 에틸벤젠으로 알킬화시켜 스티렌 합성에 쓰이고 있다(이세훈, 1985; 염용태, 1993; 강성규 등, 1993).

스티렌은 피부나 입으로도 흡수되나 주로 폐를 통하여 빠르게 흡입되어 전신에 넓게 분포되는데 주로 지방조직에 저장되어 천천히 제거되므로 장기간 반복해서 폭로될 경우 생체 내 축적이 이루어지고 7,8-epoxide로 생체변환되어 독성을 일으키게 되며, 주된 대사산물은 mandelic acid(이하 MA로 약기함)와 phenylglyoxylic acid(이하 PGA로 약기함)이다(WHO, 1983; 맹승희 등, 1993; Shi 등, 1994; Wiczorek와 Piotrowski, 1988).

스티렌의 폭로는 유리섬유 강화 수지(Fiberglass-Reinforced Plastics; 이하 FRP로 약기함) 제조 과정이 가장 문제가 된다(Ikeda 등, 1982; Ong 등, 1994; Galassi 등, 1993). 특히 수공작업으로 유리섬유에 액상

의 수지를 한 층 한 층 도포하는 적층작업은 고농도의 스티렌에 폭로되는데, 약 10%까지 증발하여 급성 증상으로 눈과 상기도 점막에 자극을 일으키고, 고농도 폭로시(200ppm) 수분 내 오심, 졸림, 평형 장애를 일으키는 것으로 보고되고 있으며(WHO, 1983), 그 외에 중추신경계 영향, 염색체 이상, 발암 효과, 생식기능 장애 등이 있다(맹승희 등, 1993; Brams 등, 1987; Dunkel 등, 1985; Linnamäa 등, 1978; Loperieno 등, 1976).

스티렌에 대한 허용 농도는 우리나라에서 50ppm을 기준으로 하고 있으나(노동부, 1993), 독일, 스칸디나비아 국가 등에서는 20ppm으로 스티렌을 포함한 유기용제에 의한 건강 장애 보고서가 증가하여 전세계적으로 허용 농도를 낮추는 추세에 있다(강성규 등, 1993; Christer 등, 1993).

스티렌 취급 사업장 근로자들에 대한 연구는 외국의 경우 기증 스티렌 및 그들의 대사산물을 생물학적 모니터링의 방법으로 측정하고 있다. 표준화된 신경행동학적 검사를 통해 유기용제의 중추신경계 장애를 파악하고자 1986년 WHO(World Health Organization)에서 NCTB(Neurobehavioral Core Test Battery)가 만들어졌으며 우리나라에서도 이세훈과 이승한(1991)에 의하여 대한 연구가 진행되었고, 강성규 등(1993)의 기증 및 혈중 스티렌과 뇨중 만델린산과의 관계에 대한 연구에 의하면 스티렌을 취급하는 업종 중 유리섬유 강화플라스틱 제품을 제조하는 사업장에서 기증 스티렌 농도가 가장 높았으며 기증 스티렌 농도와 뇨중 만델린산의 농도는 높은 상관관계($r = 0.6369$)를 나타낸다고 보고하였다.

이에 본 연구에서는 스티렌 취급 산업장 중 그 폭로

정도가 가장 문제시되는 유리섬유 강화 플라스틱(FRP) 제조공장을 대상으로 첫째, 기중 스티렌 개인 폭로 정도를 파악함은 물론 노출 대사산물인 MA 및 PGA를 분석하여 생물학적 폭로 정도를 파악하고, 둘째, 자각증상 16개 문항의 질문서와 현장에서 비교적 신속하게 검사할 수 있는 신경행동학적 검사인 Benton 시각 검사, 숫자부호 검사를 실시하여, 이들 검사 항목에 대한 폭로군과 대조군의 차이를 비교하고, 셋째, 기중 농도와 대사산물, 자각증상, 그리고 신경행동학적 검사와의 상관관계를 분석하여 스티렌을 취급하는 근로자들의 건강관리는 물론 추후 이들 분야의 연구에 기초자료를 제공하고자 본 연구를 시행하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

1995년 7월부터 9월까지 경남지역의 2개 유리섬유 강화플라스틱 산업장의 적층부서에서 근무하는 여성 근로자 42명을 폭로군으로 하였으며 유기용제 폭로력이 없는 근로자 42명을 성과 나이를 짝짓기 하여 대조군으로 정하였다.

스티렌 폭로군은 모두 FRP제조 근로자로서 폐수처리시설 제조공정 근로자 27명, 소형선박 제조공정 근로자 15명이었다.

2. 조사방법

작업장의 기중 스티렌 농도는 passive air sampler(Organic Vapour Monitor #3500, 3M, St Paul, Minnesota, USA)를 근로자의 호흡기와 가까운 위치에 착용시켜 채취하여 측정하였다. 주로 오전 10시에서 11시 사이에 부착하였으며, 작업이 종료될 때에 맞춰 오후 5시에서 6시 사이에 탈착하였고, 혈액 및 뇨시료는 오후 4시에서 6시 사이에 채취하였으며 모든 시료 채취는 금요일에 시행하였다. 이와는 별도로 작업장과 조금 떨어진 조용한 사무실에서 자각증상조사 및 신경

행동학적 검사를 실시하였다.

유기용제의 장기 폭로 효과에 민감한 것으로 알려진 16개 문항 질문서(Scandinavian Questionnaire 16)를 번역하여 자각증상 설문지로 이용하였으며(Christer 등, 1993; 정중학 등, 1994), 각 질문에 “예”, “아니오”로 답하게 하여 미리 훈련된 의사가 직접 문진하는 형식으로 조사가 되었다. 연이어서 신경행동학적 검사인 WHO-NCTB 7가지 항목 중 현장에서 비교적 하기가 쉬운 Benton 시각 검사(Benton Visual Retention test: 이하 BVT로 약기함), 숫자부호(Digit Symbol: 이하 DS로 약기함) 검사를 사전에 검사대상자들에게 신경행동학적 검사에 대한 방법을 숙지시킨 다음 잘 훈련된 검사자가 실시하였다(Cassitto 등, 1990).

숫자부호 검사는 Psychologic Corp의 Wechsler Adult Intelligence Scale(WAIS)의 Digit Symbol을 이용하여 0에서 9까지의 숫자에 부여된 일정한 부호를 보여주고 10개를 연습한 다음 90초 동안 시간을 주고 정확하게 쓰여진 개수를 구하였다. 벤튼 시각 검사는 WHO에서 제작된 Benton Visual test 카드를 이용하여 한 그림을 먼저 약 10초간 보여주고 그림 4개가 그려진 다음 카드를 보여 맞는 것을 고르는 것으로 총 10개의 그림을 보여준 후 맞는 개수를 구하였다.

기중 스티렌과 뇨시료는 -21℃에서 -24℃ 사이에서 냉동보관하였다가 1주에서 4주 후 분석하였다.

3. 분석 및 실험방법

1) 기중 스티렌 분석

Organic solvent dosimeter(Organic Vapour Monitor #3500, 3M, St Paul, Minnesota, USA)를 이용하여 기중 스티렌을 포집한 후 NIOSH method에 의거 이황화탄소(CS₂) 1ml에 30분간 방치 후 gas chromatography(GC)법으로 정량분석을 하였다(NIOSH, 1984).

분석조건은 GC는 Hitachi G-3000 Model을, 검출기는 flame ionization detector(FID)를 사용하였으며 Column온도는 100℃로 주입구와 검출기 온도는 250℃로 하였고 유량은 2.5kgf/cm²으로 Column은 OV-1

capillary를 사용하였다.

2) 뇨중 대사산물 분석(Chua 등, 1993)

전처리과정은 뇨 200 μ l를 20 μ l의 o-methyl hippuric acid(2mg/l)와 60mg의 NaCl로 포화시키고 6N HCl 20 μ l로 산성화시키고 난 뒤 잘 섞은 후 800 μ l의 ethyl acetate를 첨가하고 2분간 혼합한 후 12,000rpm에서 2분간 원심분리시켰다. 그리고 알루미늄 호일로 둘러싼 튜브에 상층을 0.5ml취한 후 70 $^{\circ}$ C에서 천천히 건조시키고 잔여물은 0.5ml의 이동상으로 녹인 후 20 μ l를 High Performance Liquid Chromatography(HPLC)에 주입하였다.

분석기기 및 조건은 Dual pump(Toso Co. CCPM)와 UV-Vis detector(Toso Co. UV-8010)가 있는 HPLC와 Data system(Toso Co. SC-8010)을 사용하였고 Spectrophotometer는 Beckman제품을 사용하였다. 칼럼은 Lichrosorb RP-18(10 μ m)을 사용하였고, 충진제로는 Octadecylsilan(10 μ m)을 사용하였으며 용리액의 유속은 0.8 ml/min으로, 시료부피는 20 μ l로 하였으며 검

출파장은 257nm에서 하였다.

이동상은 water : methanol : acetic acid = 90 : 10 : 0.5%(V/V)용액으로 하였다. 뇨중 creatinine은 자동 생화학 분석기(AU5200, Olympus, Japan)를 사용하여 측정하였다.

4. 자료분석 방법

통계프로그램인 PC-SAS(version 6.08)를 사용하여 폭로군과 대조군의 일반적 특성의 비교를 위해 t-test, χ^2 test를 이용하였고, 폭로군과 대조군간에 유의한 차이를 보인 교육수준의 영향을 보정하기 위해 공분산분석(ANCOVA, Analysis of covariance)을 실시하였다. 그리고 기중 스티렌 농도 및 뇨중 MA, PGA, MA+PGA 농도와 설문변수와의 상관성은 상관분석(correlation analysis)을, 기중 스티렌 농도에 따른 MA, PGA, MA+PGA 농도의 회귀식은 회귀분석(regression analysis)을 이용하였다.

기중 스티렌 농도, 뇨중 MA, PGA, MA+PGA 농도

Table 1. General characteristics of study subjects

Characteristics	Exposure group	control group	P-value
Total No. of subjects(Female)	42	42	
Age(Years)			NS
under 39	5(11.9)	5(11.9)	
40 ~ 49	18(42.9)	21(50.0)	
50 ~ 59	19(45.2)	16(38.1)	
(Mean \pm SD)	47.1 \pm 7.9	46.2 \pm 6.8	
Duration of employment(Years)	5.7 \pm 5.0	—	
Education(Years)			0.001
0 ~ 6	33(78.6)	12(28.5)	
7+	9(21.4)	30(71.4)	
(Mean \pm SD)	7.0 \pm 2.0	9.9 \pm 3.5	
Smoking habit			NS
No	39(92.9)	40(95.2)	
Yes	3(7.1)	2(4.8)	
Drinking habit			NS
No	33(78.6)	35(83.3)	
Yes	9(21.4)	7(16.7)	

NS : Non-Significant, () : %

의 경우 Shapiro-Wilk 통계량으로 정규성 검정결과 치우친 분포(skewed distribution)를 나타내어, 대수변환하여 정규분포화하고, 기하평균을 이용하였다.

III. 연구성적

1. 일반적 특성

폭로군 42명은 모두 여성근로자로서 A사의 폐수처리시설 제조공정 27명, B사의 소형선박 제조공정 15명으로 이루어져 있으며, 일반적 특성을 보면 연구대상자의 평균연령은 폭로군이 47.1세, 대조군이 46.2세였으며, 평균교육 연수는 폭로군이 7.0년, 대조군이 9.9년이었고 학력은 국졸 이하의 비율이 폭로군이 78.6% 대조군이 28.5%로 학력에 있어서 통계적으로 유의한 차이를 보였고, 폭로군의 평균 근무 연수는 5.7년이었다.

흡연은 폭로군에서 3명, 대조군에서 2명, 음주는 폭로군에서 9명, 대조군에서 7명이 하고 있었다(표 1).

2. 산업장의 기증 스티렌 농도와 폭로군, 대조군 간의 대사산물 비교

스티렌의 폭로 정도는 기하평균으로 17.4ppm(2.9~69.7)이었고, MA 농도의 기하평균은 폭로군 404.3mg/g creatinine(98.3~1128.3), 대조군 46.4mg/g creatinine(5.5~100.7)이었으며, PGA농도의 기하평균은 폭로군 57.5mg/g creatinine(18.4~226.9), 대조군 9.5mg/g creatinine(1.9~20.0)이었고, MA+PGA 농도의 기하평균은 폭로군 467.1mg/g creatinine(151.0~1354.5), 대조군 59.7mg/g creatinine(1.9~20.0)으로 폭로군과 대조군간에 유의한 차이를 보였다($p < 0.01$)(표 2).

3. 교란인자 제거에 따른 자각증상 질문서와 신경행동학적 검사의 결과

폭로군과 비폭로군간에 유의한 차이를 보인 교육수준의 영향을 보정한 결과 자각증상수와 숫자부호 검사

Table 2. Results of environmental and biological monitoring

Parameters	Exposure group GM(Range)	Control group GM(Range)	P-value
Styrene in air(ppm)	17.4(2.9~ 69.7)	—	
Urinary MA(mg/g cr)	404.3(98.3~1,128.2)	46.4(5.5~100.7)	0.0001
Urinary PGA(mg/g cr)	57.5(18.4~ 226.9)	9.5(1.9~ 20.0)	0.0001
Urinary MA + PGA(mg/g cr)	467.1(151.0~1,354.5)	59.7(8.5~120.7)	0.0001

GM : Geometric Mean, cr : creatinine

Table 3. Results of questionnaire 16 and neurobehavioral test for control and exposure group adjusted by education

Parameters	unadjusted mean		F-Statistic [@]	P-value	R ²
	Exposure group Mean ± SD	Control group Mean ± SD			
Questionnaire 16 (symptom score)	2.9±2.0	3.3±2.2	0.45	0.506	0.01
Digit Symbol	24.1±15.4	32.5±19.3	2.31	0.132	0.57
Benton Visual test	6.1±2.1	6.0±2.0	4.56	0.035	0.20

SD : Standard Deviation

@ : F-statistic is measured by analysis of covariances(ANCOVA)

에서는 두 군간에 유의한 차이를 보이지 않았으나, Benton 시각 검사는 두 군간에 유의한 차이를 보였다. 각 변수의 설명력은 자각증상의 수가 1%로 매우 낮은 설명력을 보였고, 숫자부호 검사의 설명력은 57%, Benton 시각 검사의 설명력은 20%이었다(표 3).

4. 자각증상 및 신경행동학적 검사와 관련요인과의 상관관계

나이와 자각증상 및 숫자부호 검사, Benton 시각 검사의 성적과의 상관관계수는 각각 0.50, -0.68, -0.49로 정 및 역상관관계를 나타내었으며($p < 0.01$), 근무 연수와 숫자부호 검사 성적과의 상관관계수는 -0.43으로 역상관관계를 나타내었고($p < 0.01$), 교육 연수와 자각증상 및 숫자부호 검사, Benton 시각 검사 성적과의 상관관계수는 각각 -0.37, 0.53, 0.44로 역 및 정상관관계를 보였으며($p < 0.05$), 숫자부호 검사와 Benton 시각 검사 성적과의 상관관계수는 0.63으로 정상관관계를 보

였다($p < 0.01$)(표 4).

5. 기중 스티렌 농도, 뇨중 대사산물, 그리고 신경행동학적 검사간의 상관관계

기중 스티렌 농도와 뇨중 MA, PGA, MA+PGA 농도와의 상관관계수는 각각 0.80, 0.74, 0.81로 높은 상관관계를 보였으며($p < 0.01$), Benton 시각 검사와 뇨중 MA, MA+PGA와의 상관관계수는 각각 -0.33, -0.32로 역상관관계를 보였다($p < 0.05$)(표 5).

6. 기중 스티렌 농도와 대사산물간의 회귀분석

기중 스티렌 농도와 뇨중 대사산물간의 회귀식은 표 6과 같으며, 기중 스티렌 농도 50ppm에 해당하는 MA, PGA, MA+PGA 농도는 각각 717.2mg/g creatinine, 122.8mg/g creatinine, 840.0mg/g creatinine 이었다.

Table 4. Correlations between age, tenure, education, symptom, and neurobehavioral test

Parameters	TE	EDU	SX	DS	BVT
Age(Years)	0.52**	-0.73**	0.50**	-0.68**	-0.49**
Tenure(Years)		-0.34	0.35	-0.43**	-0.30
Education(Years)			-0.37*	0.53**	0.44**
Questionnaire 16 (symptom score)				-0.28	-0.18
Digit Symbol					0.63**

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, TE: Tenure, EDU: Education, SX: Symptom, DS: Digit Symbol, BVT: Benton Visual Retention test

Table 5. Correlations between environmental styrene and urinary MA, urinary PGA, urinary MA+PGA, questionnaire 16, and neurobehavioral test

Parameters	MA	PGA	MA+PGA	SX	DS	BVT
Styrene in air(ppm)	0.80**	0.74**	0.81**	-0.20	0.02	-0.25
Urinary MA(mg/g cr)		0.83**	0.99**	-0.15	-0.11	-0.33*
Urinary PGA(mg/g cr)			0.88**	-0.19	0.13	-0.21
Urinary MA+PGA(mg/g cr)				-0.16	-0.07	-0.32*

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, cr: creatinine, SX: Symptom, DS: Digit Symbol, BVT: Benton Visual Retention test

Table 6. Results of Regression analysis between environmental styrene and urinary metabolites

Urinary metabolites	Equation	r	Value at 50 ppm
MA(mg/g cr)	9.76S+229.0	0.80	717.2
PGA(mg/g cr)	1.97S+ 24.4	0.74	122.8
MA+PGA(mg/g cr)	11.73S+253.47	0.81	840.0

S : concentration of breath-zone styrene, cr : creatinine, r : correlation coefficient

Table 7. Mandelic, Phenylglyoxylic acid levels in the urine of nonexposed subjects

Parameters	Uncorrected ^a	corrected for	
		Specific gravity ^b	Creatinine ^c
	M±SD GM(Range)	M±SD GM(Range)	M±SD GM(Range)
MA	48.2±24.5	49.0±24.8	60.2±30.6
	38.8(4.4~80.6)	39.4(4.5~81.9)	46.4(5.5~100.7)
PGA	86±3.8	8.7±3.9	10.8±4.7
	7.6(1.5~16.0)	7.7(1.6~16.3)	9.5(1.9~20.0)
MA+PGA	56.8±27.1	57.7±27.5	71.0±33.9
	47.7(6.8~96.6)	48.5(6.9~98.1)	59.7(8.5~120.7)

M: mean, SD: standard deviation, GM: geometric mean

^a Without any correction. Units: mg/l

^b Corrected for a specific gravity of 1.016(Rainsford and Lloyd Davis 1965). Units: mg/l

^c Observed values divided by creatinine concentration(Jackson 1966). Units: mg/g creatinine

7. 대조군의 뇨중 대사산물 측정치 및 보정치

대조군의 뇨중 대사산물에 대한 측정치 및 뇨 비중과 뇨 creatinine으로 보정한 값은 표7과 같다.

IV. 고 찰

스티렌 폭로는 유리 강화 폴리에스테르 수지로 만드는 작업에서 많이 폭로되고 있으며 유리섬유에 액상의 수지를 한 층 한 층 도포하는 과정에서 가장 많은 폭로가 이루어지고 있다(Ikeda 등, 1982; Ong 등, 1994; Galassi 등, 1993; 강성규 등, 1993). 즉, 열을 가하여 플라스틱을 만들거나 혹은 스프레이 하는 과정이 자동화가 아닌 수공작업으로 이루어질 때 고농도의 스티렌에

폭로된다. 이러한 유리섬유 강화 플라스틱 제조의 적층 작업과정에서는 기중 농도 약 20ppm에서 최고 300ppm에까지 폭로된다고 보고되어진 바 있으며(이세훈, 1985; 강성규 등, 1993; Tossavainen, 1978) 불포화 폴리에스테르 수지는 중량기준으로 약 40%의 스티렌 모노머를 포함하고 있고 10% 이상이 공기 중으로 증발하기 때문이다. 이와 같은 고농도 폭로는 FRP 작업이 아닌 다른 스티렌 작업에서 볼 수 있는 약 20ppm 이하의 폭로 농도에 비하면 매우 높다.

합성수지의 발달로 1970년대 후반 700만 톤에서 1990년 전세계적인 소비량은 총 1360만 톤(추정치)으로 증가하게 되었으나 개발도상국들뿐만 아니라 선진국에서도 아직 자동화가 잘 이루어지지 않았다. 특히, 적층과정은 현장 근로자들의 기술과 숙련이 필요하며

자동화되기 힘든 공정이다. 이 작업에 종사하고 있는 근로자 수는 유럽공동체국가에서만 10만 명이 넘는 것으로 추산되며(1993) 우리나라에도 상당수가 있을 것으로 추정되나 아직 이에 관한 자료나 조사는 미흡한 실정이다(이세훈, 1985; 강성규 등, 1993).

스티렌의 흡수는 피부나 입으로도 흡수되나 주로 폐를(Astrand, 1975) 통하여 빠르게 흡입되어 전신에 넓게 분포되는데 주로 지방조직에 저장되어 천천히 제거되므로 장기간 반복해서 폭로될 경우 생체 내 축적이 이루어지고, 피부를 통한 흡수는 아주 미약하며 호흡기로 흡수된 양의 약 5% 이하는 호기를 통해 다시 배출되며(Fernandez와 Caperos, 1977; Dutkiewicz와 Tyras, 1968; Bardodej와 Bardodejova, 1970) 약 2% 이하는 변형되지 않은 형태로 소변을 통해 배설되고, 약 90%가 주된 대사산물인 mandelic acid와 phenylglyoxylic acid로 대사되어 소변으로 배출된다(Ong 등, 1994).

스티렌의 흡수, 저장 및 배설은 작업강도, 피하지방 두께, 만성 폭로의 정도, 음주 등에 영향을 받는다고 알려져 있다(Wilson 등, 1983; Cherry와 Gautrin, 1990). 스티렌은 다른 방향족 탄화수소(aromatic hydrocarbons)와 비슷하게 간에서 대사가 이루어지며, 특히, 7,8-epoxide로 생체변환되어 발암성 및 돌연변이를 일으킨다고 알려져 이에 대한 관심도가 증가하여 외국의 경우 많은 연구가 이루어지고 있으며, 우리나라에서도 많은 관심을 갖게 되어서 연구가 활발해질 것으로 사료된다.

본 연구에서는 대표적으로 스티렌을 취급하는 FRP 제조 공장 중 2개 사업장을 선정하여 FRP 제조 공정의 적층작업자 42명을 대상으로 하였다. 폭로군의 일반적 특성으로는 42명의 여성근로자로서 평균 47.1세, 평균 근무 연수 5.7년이었으며, 교육 정도는 국졸 이하가 78.6%를 차지하고 있었다. 이들 폭로군의 스티렌 폭로 정도는 기하평균으로 17.4ppm이었고, 뇨중 대사산물인 MA의 기하평균 농도는 404.3mg/g creatinine, PGA 57.5mg/g creatinine, MA+PGA 467.1mg/g creatinine 등이었으며, 대조군의 MA 기하평균 농도는 46.4mg/g creatinine, PGA 9.5mg/g creatinine, MA+PGA 59.7

mg/g creatinine 등으로 두 군간에 유의한 차이를 보였다($p < 0.01$).

본 연구의 폭로군의 MA 기하평균 농도는 강성규 등(1993)의 기중 평균 8ppm의 스티렌에 폭로된 근로자 69명을 대상으로 한 MA의 기하평균 농도 519mg/g creatinine보다 낮았으며 Ong 등(1994)의 기중 평균 10.36ppm의 스티렌에 폭로된 근로자 39명을 대상으로 한 MA의 기하평균 109.84mg/g creatinine보다 높았고, Galassi 등(1993)의 기중 평균 165mg/m³의 스티렌에 폭로된 근로자 1028명을 대상으로 한 MA의 기하평균 450mg/g creatinine과 유사한 값을 보였다. 이러한 차이는 인종, 조사 대상, 정량 방법, 환기장치 등 작업환경의 폭로 정도의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

한편 본 연구의 폭로군의 PGA의 기하평균 농도는 Ong 등(1994)의 77.49mg/g creatinine와 Ohtsuji와 Ikeda(1970)가 스티렌 10~30ppm의 농도에 폭로된 근로자 6명을 대상으로 비색정량한 381mg/g creatinine, 7~20ppm의 농도에 폭로된 근로자 4명을 비색정량한 287mg/g creatinine, 1~20ppm의 농도에 폭로된 근로자 4명을 비색정량한 201mg/g creatinine 및 Triebig 등(1989)의 18ppm의 스티렌 농도에 폭로된 근로자 36명에 대한 190mg/l 보다 낮았고, Fallas 등(1992)이 25ppm의 스티렌에 폭로된 근로자 60명을 대상으로 한 57.4mg/g creatinine과 유사하였으며 이는 역시 전술한 바와 같은 연유에서 기인한 것으로 사료된다. 폭로군의 MA+PGA기하평균 농도는 Ong 등(1994)의 187.3 mg/g creatinine, Fallas 등(1992)의 284.4mg/g creatinine보다 높았으며, Triebig 등(1989)의 410mg/g creatinine과 유사하였다.

기중 스티렌 농도와 뇨중 MA, PGA, MA+PGA 농도와의 상관계수는 각각 0.80, 0.74, 0.81로 높은 정상관관계를 시현하였으며 이는 Ikeda 등(1982)의 FRP 보트 제조공장의 106명의 스티렌 취급 근로자를 대상으로 한 0.86, 0.82, 0.88, Ong 등(1994)의 0.83, 0.84, 0.86, Chua 등(1993)의 FRP 보트 제조공장 내 20명의 스티렌 취급근로자를 대상으로 한 스티렌 농도와 뇨중 MA 및 PGA 농도와의 상관계수 0.92 및 0.85, Gobba

등(1993)의 FRP 공장 내 스티렌 취급 근로자 214명을 대상으로 한 0.82 및 0.78 등과 같이 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다.

한편 본 연구에서는 Benton 시각 검사와 뇨중 MA 및 MA+PGA 농도와의 상관계수가 각각 -0.33 및 -0.32로 통계적으로 유의한 역상관관계를 보였으나, 이와 유사한 연구인 Chia 등(1994)은 각각 -0.26 및 -0.08로 동일하게 역상관을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았다. 그러므로 추후 이들에 대한 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

본 연구의 기중 스티렌 농도와 뇨중 MA 농도간의 회귀직선식은 $MA = 9.67S + 229.0$ 이었고 이 식에 의한 기중 스티렌 허용 농도인 50ppm에 대응하는 뇨중 MA 농도는 717.2 mg/g creatinine으로 Ong 등(1994)의 758mg/g creatinine과 Perbellini 등(1990)의 749.5 mg/l 등과 유사하였고 Ikeda 등(1982)의 825mg/g creatinine, Guillemin 등(1982)의 942mg/g creatinine, Bartolucci 등(1986)의 908.7mg/g creatinine보다는 다소 낮은 값을 보였으나 ACGIH의 biological exposure index(BEI)인 800mg/g creatinine에 근접하였다.

본 연구의 기중 스티렌 농도와 뇨중 PGA 농도간의 회귀직선식은 $PGA = 1.97S + 24.0$ 이었고 이 식에 의한 기중 스티렌 허용 농도인 50ppm에 대응하는 뇨중 PGA 농도는 122.8mg/g creatinine으로 Ong 등(1994)의 272mg/g creatinine, Ikeda 등의 238mg/g creatinine, Guillemin 등(1982)의 321.5mg/g creatinine, ACGIH의 BEI인 250mg/g creatinine보다는 낮았으며 Bartolucci 등(1986)의 121.8mg/g creatinine과 유사하였다. 기중 스티렌 농도와 대사산물간의 회귀직선식에서 Y절편값이 대조군보다 높은 것은 폭로군의 시료채취시기가 금요일 오후였던 관계로 주중 스티렌 폭로에 의한 것으로 생각된다.

본 연구의 대조군의 뇨중 MA의 농도는 비보정치 48.2mg/l, 뇨비 중 보정치 49.0mg/l, creatinine 보정치 60.2mg/g creatinine이었으며 이는 Ikeda 등(1982)의 대조군 MA 농도 비보정치 18.7mg/l, 뇨비 중 보정치 20.3mg/l, creatinine 보정치 24.0mg/g creatinine보다

약 2.5배 정도 높았다. 또한 본 연구의 대조군 뇨중 PGA의 농도는 비보정치 8.6mg/l, 뇨비 중 보정치 8.7mg/l, creatinine 보정치 10.8mg/g creatinine이었으며 이는 Ikeda 등(1982)의 대조군 PGA 농도 비보정치 1.0mg/l, 뇨비 중 보정치 0.9mg/l, creatinine 보정치 1.1mg/g creatinine보다 약 10배 정도 높았으며 이러한 차이는 대조군의 선정 및 정량 방법 등의 차이에 기인한 것으로 사료되나 추후 대조군인 정상인의 뇨중 MA 및 PGA의 정상치에 대한 더욱 많은 연구검토가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

스티렌 폭로에 의해 나타나는 신경계 증상은 고농도의 스티렌을 흡입했을 때 일시적으로 중추신경계의 억제증상이 나타나고 만성적으로 폭로되었을 때는 행동장애, 말초신경 전도 장애 등의 증상이 나타나며 스티렌 폭로 농도가 증가하면 두통, 어지러움, 점막자극 증상, 하기도 증상(기침, 천명, 흉부 압박감), 반복적인 하기도 감염 증상, 반복적인 안 자극증상, gamma-glutamyl transferase(GGT)의 이상 등이 나타난다고 한다. 또한 근무기간에 따라서는 임파구 증가, GGT 증가, 신경전도속도의 감소 등의 차이가 있었다고 한다(강성규 등, 1993). 본 연구에서는 Hogstedt 등(1984)이 개발하여 그 타당성이 입증된 바 있는 설문지를 통하여 자각증상을 조사한 결과 16개의 자각증상 가운데 평균 자각증상 개수는 폭로군 2.9개 대조군 3.3개로 두 군간에 유의한 차이를 시현하지 않았으며 Edling와 Ekberg(1985)이 같은 설문지로 조사한 20명의 스티렌 폭로 근로자들의 평균자각증상 3.1개와 유사하였고, Flodin 등(1989)이 기중 스티렌 농도가 50ppm 이상의 근로자 21명을 대상으로 한 1차 조사결과 10.4개보다 낮았으나 2차 조사결과인 1.9개보다는 높았으며 이는 설문자체의 주관적인 자각증상은 근로자의 성격에 의해 결정되는 경우가 많고 특히 16항 설문지의 문항 중 성욕감소나 건망증에 관한 문항의 경우 문화적 배경의 차이로 인해 우리말로 번역하는데 다소의 무리가 있었으므로 우리나라 사람에 맞는 타당성과 신뢰성이 높은 설문지의 개발이 필요할 것으로 사료된다. 한편, 산업장의 유기용제가 가지는 독성에 관한 신경행동학적 측

면의 연구는 1966년에 Goldberg 등(1962)에 의해 제안되었으며 1970년대부터 북부유럽 등 산업의학이 발전한 선진국을 중심으로 저농도의 유기용제에 의해 나타나는 인체의 정신적, 행동학적 및 생리적 변화를 양적으로 측정함으로써 산업장의 유기용제에 관한 환경관리를 엄격하게 하기 위한 노력과, 만성적인 폭로로 인한 질병의 종류와 장애의 범위를 규명하고, 중독의 징후를 조기에 발견하기 위한 연구가 진행되어 왔다(정종학 등, 1994; Baker 등, 1985; Ekberg 등, 1988; Gerr와 Letz, 1992).

우리나라의 경우에도 여러 조사 연구들이 저농도 유기용제에 폭로되는 근로자들이 다양한 신경학적 자가 증상을 호소한다고 보고하고(조수현 등, 1993) 유기용제 중독에 의한 만성 중독성 뇌증도 이미 보고된 바 있다(천용희, 1991). 특히 만성 중독성 뇌증의 경우 유기용제에 만성적, 반복적으로 폭로되었으며 혈액 검사, 뇨 검사, 간기능 검사 등 일반적인 병리 검사와 근전도 검사, 뇌파 검사 등 신경생리학적 검사소견은 모두 정상이었으나 환자가 지남력, 기억력의 장애를 호소하고 신경행동 검사에서도 주의력, 단기기억력, 계산능력, 판단력 등이 저하되어 신경독성 물질에 의한 신경행동 기능 장애를 조기에 발견할 수 있는 신경행동 검사의 필요성이 강조되고 있다(정종학 등, 1994).

이러한 신경행동학적 검사 중 집단검진시 비교적 용이하게 시행할 수 있는 숫자부호 검사는 폭로군 24.1개, 대조군 32.5개, Benton 시각 검사는 폭로군 6.1개, 대조군 6.0개로 이는 강성규 등(1993)의 스티렌 폭로군에 대한 숫자부호 검사 48.4개, Benton 시각 검사 7.5개, Fallas 등(1992)의 스티렌 취급 근로자 60명에 대한 숫자부호 검사 48.9개, Benton 시각 검사 8.0개보다 낮았으며 Chia 등(1994)의 11ppm의 스티렌에 폭로된 근로자 21명에 대한 숫자부호 검사 26.3개, Benton 시각 검사 6.0개와 유사하였다. 폭로군과 대조군간에 유의한 차이를 보인 교육수준의 영향을 보정한 후 숫자부호 검사는 두 군간에 유의한 차이를 보이지 않았으나, Benton 시각 검사에서는 두 군간에 유의한 차이를 보였다. 이러한 결과는 표4에서 보는 바와 같이 연

령, 학력 및 근무력의 차이 등에 따라 영향을 많이 받으며 그 외에 피로 정도, 흡연 및 음주습관, 약물복용 등 여러 가지 요인에 의해 좌우된다고 알려져 있다. 따라서 집단검진시 선별 검사의 목적으로 사용하는데는 교란변수를 통제할 수 있는 보다 객관적인 접근 방법을 고려해 볼 필요가 있을 것으로 생각된다. 특히 Benton 시각 검사에서 교육수준을 보정한 후 두 군간에 유의한 차이를 보인 것은 전술한 바와 같은 여러 가지 교란변수와 지능 등에 의해 야기된 것으로 생각되거나 추후 이들에 대한 연구검토가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 폭로군과 학력수준이 비슷한 대조군의 선정이 어려웠고, 또한 일부 제한된 집단을 대상으로 단면조사를 한 것으로 추후 보다 많은 조사 대상자로 추가 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

이상의 결과에서 스티렌 취급근로자들의 특수검진시 스티렌 폭로 정도를 충분히 반영할 수 있는 뇨중 MA 혹은 PGA 농도를 정량화하는 것이 반드시 시행되어야 할 것으로 생각되며, 증상설문지 및 신경행동학적 검사(숫자부호 검사, Benton 시각 검사)는 더욱 많은 연구 검토가 이루어진 후에 적용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

V. 결 론

스티렌에 폭로되는 정도를 파악함으로써 이를 취급하는 근로자들의 건강증진을 위한 기초자료를 마련하고자 1995년 7월부터 9월까지 경남지역의 2개 유리섬유 강화 플라스틱 산업장에서 스티렌을 취급하는 여성 근로자 42명을 폭로군으로 하고 유기용제 폭로력이 없는 42명을 성과 나이를 이용한 짝짓기 방법으로 대조군을 선정하여, 기중 스티렌의 개인 폭로 정도와 뇨중 대사산물을 이용한 생물학적 감시를 실시하고 자각증상에 대한 질문서와 신경행동학적 검사를 병행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 스티렌의 폭로 정도는 기하평균으로 17.4ppm (2.9~69.7)이었고, mandelic acid(MA) 농도의 기하

평균은 폭로군 404.3mg/g creatinine(98.3~1128.3), 대조군 46.4mg/g creatinine (5.5~100.7)이었으며, phenylglyoxylic acid(PGA) 농도의 기하평균은 폭로군 57.5mg/g creatinine(18.4~226.9), 대조군 9.5mg/g creatinine(1.92~20.0)으로 폭로군과 대조군간에 유의한 차이를 보였다($p < 0.01$).

2. 자각증상의 평균 개수는 폭로군 2.9개, 대조군 3.3개, 숫자부호 검사 성적의 평균은 폭로군 24.1개, 대조군 32.5개, Benton 시각 검사 성적의 평균은 폭로군 6.1개, 대조군 6.1개로 교육수준을 보정한 결과 자각증상수와 숫자부호 검사는 두 군간에 유의한 차이를 보이지 않았으나 Benton 시각 검사는 두 군간에서는 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

3. 자각증상 및 신경행동학적 검사와 각 변수들과의 상관에서 연령, 근무경력, 교육정도가 상관성이 있었으며 기중 스티렌 농도와 뇨중 MA, PGA, MA+PGA 농도와의 상관계수는 각각 0.80, 0.73, 0.81로 높은 상관관계를 보였다.

본 연구결과 뇨중 대사산물의 농도, 숫자부호 검사 성적이 폭로군과 대조군간에 차이를 보이며 기중 스티렌 농도와 뇨중 대사산물간의 상관성이 높으므로 스티렌 폭로에 의한 건강 영향 평가에는 이러한 요인을 총체적으로 고려하여야 할 것이다. 그러나 연령, 근무경력, 교육정도 등에 따라 자각증상과 신경행동학적 검사가 관련성을 보이므로 근로자를 대상으로 한 건강영향 평가시 이들 요인에 대한 적절한 통제가 필요할 것이다.

참고문헌

- 강성규, 양정선, 김기용, 이종성, 조영숙, 정호근. 스티렌 폭로 근로자들의 기중 및 혈중 스티렌과 뇨중 만델릭산의 관계 분석. 한국산업안전공단 산업보건연구원, 1993
- 강성규, 정호근, 조영숙. 유기용제 취급 근로자의 건강 장애에 관한 연구. 한국 산업 안전공단 산업보건 연구원, 1993
- 노동부. 작업환경측정에 관한 업무편람. 서울, 문원사, 1993 :134
- 맹승희, 강성규, 양정선, 정용현, 이종성, 유일재. 스티렌 취급 근로자의 염색체 이상 연구. 한국산업안전공단 산업보건연구원, 1993
- 염용태. 스티렌. 산업보건, 1993, 3:22-25
- 이세훈, 이승한. 유기용제폭로 근로자들의 신경행동학적 변화에 대한 연구. 산업보건연구논문집 1991:55-63
- 이세훈. 스티이렌의 생체 장애. Korean J. Occup. Health, 1985, Sep 24(3):73-77
- 정종학, 김창윤, 사공준. 컴퓨터를 이용한 유기용제 폭로 근로자의 신경행동학적 장애 검사. 대한산업의학회지, 1994, Sep 6(2):219-241
- 조수현, 김선민, 권호장, 임용현. 만성 유기용제 폭로에 의한 정신신경학적 이상소견의 현장진단방법 개발에 관한 연구. 예방의학회지 1993, 26:147-163
- 천용희. 혼합유기용제에 폭로된 근로자의 만성 중독 뇌 장애. 대한산업의학회지. 1991, 3(2):216-219
- Astrand I. Uptake of solvents in blood and tissues to styrene. *Scand J Work Environ Health.* 1975, 1:199-218
- Baker EL, Letz R, Fidler A. A computer-administered neurobehavioral evaluation system for occupational and environmental epidemiology-Rationale, methodology, and pilot study results. *J Occup Med.* 1985, 27(3):206-212
- Bardodej Z, Bardodejova E. Biotransformation of ethylbenzene, styrene and alphas-methylstyrene in man. *Am Ind Hyg Assoc J.* 1970, 31:206-209
- Bartolucci G, De Rosa E, Gori P. Biomonitoring of occupational to low styrene levels. *Appl Ind Hyg.* 1986, 1:125
- Brams A, Buchet JP, Crutzen-Fayt MC, De Meester C, Lauwerys R, Leonard A. A comparative study with 40 chemicals of the Salmonella assay and the SOS chromotest(kit procedure). *Toxicol. Lett.* 1987, 38: 123-133
- Cassitto M, camerino D, Hanninen H, Anger WK. International collaboration to evaluate the WHO Neurobehavioral Core Test Battery. In: Johnson B. *Advances in Neurobehavioral Toxicology: Applications in environmental and occupational health.* Chelsea Mich: Lewis Publishers Inc. 1990 :

- Cherry N, Gautrin D. *Neurotoxic effects of styrene: Further evidence. Br J Ind Med. 1990, Jan 47(1):29-37*
- Chia SE, Jeyaratnam J, Ong CN, Ng TP, Lee HS. *Impairment of color vision among workers exposed to low concentrations of styrene. Am J Ind Med. 1994, Oct 26(4):481-488*
- Christer E, Helena A, Gunnar J, Kenneth N. *Increase in neuropsychiatric symptoms after occupational exposure to low levels of styrene. Br J Ind Med. 1993, 50:843-850*
- Chua SC, Lee BL, Liao LS, Ong-CN. *Determination of mandelic acid and phenylglyoxylic acid in the urine and its use in monitoring of styrene exposure. J Anal-Toxicol. 1993, May-Jun 17(3):129-132*
- Dunkel VC, Zeiger E, Brusik D, McCoy E, McGregor D, Mortelmans K, Rosenkranz HS, Simmon VF. *Reproducibility of microbial mutagenicity assays. Testing of carcinogens and noncarcinogens in Salmonella typhimurium and Escherichia coli. Environ. Mutagen. 1985, 7(suppl 5): 1-284*
- Dutkiewicz T, Tyras H. *Skin absorption of toluene, styrene and xylene by man. Br J Ind Med. 1968, 25: 243*
- Edling C, Ekberg K. *No acute behavioural effects of exposure to styrene: a safe level of exposure? Br-J-Ind-Med. 1985, May 42(5):301-304*
- Ekberg K, Hane M, Berggren T. *Psychologic effects of exposure to solvents and other neurotoxic agents in the work environment. In Zenz C. Occupational medicine. Principles and practical applications. 2nd ed. Chicago. Year Book Medical Publishing Inc. 1988*
- Fallas C, Fallas J, Maslard P, Dally S. *Subclinical impairment of colour vision among workers exposed to styrene. Br-J-Ind-Med. 1992, Oct 49(10):679-680*
- Fernandez J, Caperos J. *Exposition au styrene. I. Etude experimentale de l'absorption et de l'excretion pulmonaires sur des sujets humains. Int Arch Occup Environ Health. 1977, 40:1*
- Flodin U, Ekberg K, Anderson L. *Neuropsychiatric effects of low exposure to styrene. Br J Ind Med. 1989, 46:805-808*
- Galassi C, Kogevinas M, Ferro G, Biocca M. *Biological monitoring of styrene in the reinforced plastics industry in Emilia Romagna, Italy. Int Arch Occup Environ Health. 1993, 65(2):89-95*
- Gerr F, Letz R. *Organic chemicals-solvents. In Rom WN. Environmental and occupational medicine. 2nd ed. Boston, Little, Brown and Company. 1992*
- Gobba F, Galassi C, Ghittori S, Imbriani M, Pugliese F, Cavalleri A. *Urinary styrene in the biological monitoring of styrene exposure. Scand J Work Environ Health. 1993, 19:175-182*
- Goldberg ME, Haun C, Smyth HJ. *Toxicologic implication of altered behaviour induced by an industrial vapor. Toxicol Appl Pharmacol. 1962, 4: 148-164*
- Guillemin M, Bauer D, Martin M, Marazzi A. *Human exposure to styrene. IV. Industrial hygiene investigations and biological monitoring in the polyester industry. Int Arch Occup Environ Health. 1982, 51:139*
- Hogstedt C, Anderson K, Hane M. *A questionnaire approach to the monitoring of early disturbance in central nervous function. in Aitio A, Riihimaki V, Vainio H (eds). Biological monitoring and surveillance of workers exposed to chemicals. Whashington. Hemisphere Publishing Co. 1984*
- Ikeda M, Koizumi A, Miyasaka M, Watanabe T. *Styrene exposure and biologic monitoring in FRP boat production plants. Int Arch Occup Environ Health. 1982, Feb 49(3-4):325-339*
- Linnainmaa K, Meretoja T, Sorsa M, Vainio H. *Cytogenetic effects of styrene and styrene oxide on human lymphocytes and Allumcepa. Scand J Work Environ Health. 1978, 4(suppl 2):156-162*
- Loperieno N, Abbondandolo A, Barale R, Bonatti S, Bronzetti G, Camellini A, Corsi C, Corti G, Frezza D, Mazzaccaro A, Nieri R, Rosellini D, Leporini C, Rossi AM. *Mutagenicity of industrial compounds; styrene and its possible metabolite styrene oxide. Mutation Res. 1976, 40:317-324*

- NIOSH. *NIOSH manual of analytical method*. 3rd ed. Cincinnati, Ohio. DHHS (NIOSH) Publication. 1984
- Ohtsuji H, Ikeda M. A rapid colorimetric method for the determination of phenylglyoxylic acid and mandelic acid. Its application to the urinalysis of workers exposed to styrene vapour. *Br J Ind Med*. 1970, 27: 150
- Ong CN, Shi CY, Chia SE, Chua SC, Ong HY, Lee BL, Ng TP, Teramoto K. Biological monitoring of exposure to low concentrations of styrene. *Am J Ind Med*. 1994, May 25(5):719-730
- Perbellini M, Romeo L, Maranelli G, Zardini G, Alexopoulos C, Brugnone F. Biological monitoring of fluctuating occupational exposures to styrene. In: *Esposizione a Stirene. Rischi, Tossicità e Criteri per il Monitoraggio Biologico*. Eds.: Capodaglio E, Manzo L. Convegno Internazionale di Pavia, Fondazione Clinica del Lavoro, Maggio. 1990 :133
- Shi CY, Chua SC, Lee BL, Ong HY, Jeyaratnam J, Ong CN. Kinetics of styrene urinary metabolites: a study in a low-level occupational exposure setting in Singapore. *Int Arch Occup Environ Health*. 1994, 65(5):319-323
- Tossavainen A. Styrene use and occupational exposure in the plastics industry. *Scand J Work Environ Health*. 1978, 4(supple 2):7-13
- Triebig G, Lehl S, Weltle D, Schaller K H, Valentin H. Clinical and neurobehavioral study of the acute and chronic neurotoxicity of styrene. *Br-J-Ind-Med*. 1989, Nov 46(11):799-804
- Wieczorek H, Piotrowski JK. Kinetic interpretation of the exposure test for styrene. *Int Arch Occup Environ Health*. 1988, 61(1-2):107-113
- Wilson HK, Robertson SM, Waldron HA, Gompertz D. Effect of alcohol on the kinetics of mandelic acid excretion in volunteers exposed to styrene vapour. *Br J Ind Med*. 1983, 40:75-80
- World Health Organization. *Environmental health criteria* 26. Styrene. Geneva, World Health Organization, 1983