

원유정제업 작업자들의 유기용제에 대한 노출 평가

최상준[†] · 백남원¹⁾ · 김진경¹⁾ · 최연기²⁾ · 정현희³⁾ · 허성민⁴⁾

원진 노동환경건강연구소 · 서울대학교 보건대학원¹⁾ · 국립환경연구원²⁾ · 삼성전자³⁾ · 포스코 광양제철소⁴⁾

A Study on Workers' Exposure to Organic Solvents in Petroleum Refinery

Sang Jun Choi[†] · Nam Won Paik¹⁾ · Jin Kyoung Kim¹⁾ · Yeon Ki Choi²⁾ · Hyun Hee Jung³⁾ · Sung-Min Heo⁴⁾

Wonjun Institute for Occupational and Environmental Health · Graduate School of Public Health, Seoul National University¹⁾
National Institute of Environmental Research²⁾ · Samsung Electronics Co., LTD³⁾ · POSCO Gwangyang Works⁴⁾

This study was carried out to evaluate the characteristics of petroleum refinery workers' exposure to organic solvents. Exposure assessment was conducted by full shift-based long term personal sampling(TWA-P) and task-based short term personal sampling(STEL-P) strategy. Major organic solvents that workers can be exposed are various, varying from C3~C12, and this study focused on 11 kinds including benzene, considering toxicity and concentration level. In comparison with two sampling results, STEL-P shows a significant($p<0.001$) excess of exposure level rather than TWA-P. As the potential risk index for benzene is calculated as 16, benzene should be set the highest priority

for control in petroleum refinery industry. The tasks with the highest benzene exposure level were de-watering(AM;99.8 ppm), draining(AM;19.6ppm), sampling(AM;16.2ppm), and manual gauging(AM;15.02ppm). Petroleum refinery workers' exposure pattern to organic solvents differs by tasks performed, and some task has a high risk of temporary extreme exposure. Therefore, traditional 8-hour TWA sampling strategy have possibility of underestimation of exposure level of workers in petroleum refinery.

Key Words: benzene, petroleum refinery, task-based sampling strategy

I. 서 론

석유산업(petroleum industry)은 크게 유층을 시추하여 원유를 생산하는 upstream(producing) industry와 생산된 원유를 사용 목적에 따라 정제하여 판매하는 downstream(refinery and marketing) industry로

크게 나눌 수 있다(Verma *et al.*, 2001). Downstream industry는 제품의 생산과 소비자에게까지 이르는 단계에 따라 원유정제(refining), 수송(distribution), 판매(retail/marketing) 그리고 복구(remediation)의 네 부분으로 나눌 수 있다. 석유 중에서 발견된 500여종의 화합물은 대개가 유기화합

물로서 탄소(83~87%)와 수소(11~15%)가 주성분을 이루고 있으며 기타 산소, 질소 및 황 등이 미량 함유되어 있다(API, 1971). 따라서, 석유산업에 종사하는 작업자들은 다양한 종류의 유기용제에 복합적으로 노출될 가능성이 있다. 특히 원유정제업체의 경우 원유를 이용하여 각종 가솔린, 디젤연료, 제트연료 및 난방연료를 생산해내는 생산 공정과 제품의 출하 및 수송 업무, 공정의 유지보수를 위한 정비 업무 등 다양한 부서와 공정으로 이루어

접수일: 2004년 10월 30일, 채택일: 2005년 3월 4일

† 교신저자: 최상준(서울 중랑구 면목3동 568-1 녹색병원 7층 원진 노동환경건강연구소

Tel: 02-490-2089, E-mail: junilane@hanmail.net)

져 있어 유기용제에 대한 작업자들의 노출수준을 전체적으로 정확히 평가하는데 어려움이 있다. 미국석유회(American Petroleum Institute, API)에서는 1970년대 후반부터 가솔린의 탄화수소계열의 성분에 대한 노출평가를 시도하였으며(API, 1994), '캐나다석유회'(Canadian Petroleum Products Institute, CPPI)와 '캐나다 환경보전을 위한 석유회'(Petroleum Association for Conservation of the Canadian Environment, PACE)에서는 자동차용 가솔린의 탄화수소계열 물질에 대한 노출평가 실시 결과를 1980년대 후반에 발표하였다(CPPI, 1990; CPPI, 1996; PACE, 1987a; PACE, 1987b; PACE, 1989). 유럽의 경우 1963년에 '환경, 보건 및 안전을 위한 유럽석유회사기구'(Oil Companies' European Organization for Environment, Health and Safety, CONCAWE)를 설립한 이후 1983년부터 유럽 내 석유산업체에 종사하는 작업자들에 대한 각종 유기용제 및 benzene에 대한 노출 평가를 수행하고 있다(CONCAWE, 1987; 1994; 2000; 2002). 그러나, 현재까지 대부분의 노출평가 대상은 주유소(service station)와 제품 출하 시설(loading terminal)에 종사하는 작업자들이었으며, 주요 평가 항목은 benzene이었다(Spear *et al.*, 1987).

우리나라의 경우 현재까지 downstream industry와 관련된 국내 연구사례는 주유소 직원을 대상으로 한 송상환 등에 의한 연구가 발표되었을 뿐 매우 부족한 상황이다(송상환, 2000). 우리나라는 원유정제업체에 대해 1년에 2회씩 작업환경측정을 수행하고 있으나, 8시간 가중평균농도(time weighted average, TWA) 평가방법을 위주로 측정하고 있어 단위작업에 대한 노출특성을 정확히 평가하지 못하고 있다. 특히 원유정제업체는 장치산업의 특성 때문에 대부분의 공정이 실외에 존재하고 해안가에 위치하고 있어 바람이 많이 불기 때문에 8시간 TWA 측정 방법으로만 평가할 경우 유기용제에 대한 노출수준을 과소평가할 가능성이 있고, 역학조사에 활용하는데 커다란 제한점이 된다. 따라서, 본 연구에서는 다양한 직무군

으로 구성된 국내 원유정제업체를 대상으로 8시간 TWA 측정방법과 단시간 시료 채취 방법을 병행하여 유기용제 노출 특성을 규명하고자 한다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 대상

2002년 1월부터 2003년 2월까지 국내 모 원유정제업체 한 곳을 대상으로 3회에 걸쳐 유기용제에 대한 노출평가를 수행하였다. 노출평가의 대상 부서는 생산과 운영, 공정의 유지 보수 업무를 수행하는 27개 부서를 대상으로 하였다. 원유정제업체는 연속적인 공정흐름을 갖고 있기 때문에 공정은 24시간 가동되고, 생산공정의 근무형태는 3교대 근무제로 운영되고 있었다. 본 연구에서는 오전 근무조(07시 - 15시)가 평균적으로 가장 많은 업무량을 갖고 있기 때문에 오전 근무조를 대상으로 평가하였다. 노출평가의 대상자는 각 평가 대상 부서에 근무하는 직원들 중 사무실 근무자와 관리직급을 제외한 현장 근무자 전원을 대상으로 하였다. 연구대상 사업장의 주요 공정은 상압 및 감압증류(distillation), 촉매개질(catalytic reforming), 촉매분해(catalytic cracking) 그리고 유동상식촉매분해공정(fluid catalytic cracking, FCC) 등의 구조변경 공정, 수첨탈황(hydrotreating desulfurization), 용제추출(solvent extraction), 그리고 이성질체화(isomerization) 등과 같은 처리 공정이 있다. 전형적인 원유정제 공정을 갖추고 있으며, 자동차용 휘발유, 경유, 등유뿐만 아니라 benzene, toluene, xylene 등의 방향족 화합물을 생산하는 공정을 추가적으로 갖추고 있다. 조직체계로는 생산, 운영, 제품 출하, 폐수처리, 각종 동력 보완 및 공정의 유지, 그리고 보수 업무 부서로 나누어져 있으며 각 부서마다 다양한 업무 형태를 갖추고 있다. 따라서, 본 연구의 대상 사업장은 거대한 하나의 공정 흐름 속에 원유정제업에서 존재할 수 있는 다양한 직무군이 존재하기 때문에 원유정제

업 작업자들의 유기용제에 대한 노출 특성을 평가하는데 적절하다고 할 수 있다.

2. 방법

본 연구에서는 연구대상 사업체를 방문하여 각 공정 부서마다 현장 예비조사를 실시하고, 작업자들과 면접조사를 통해 유기용제에 노출 가능성이 있는 단위작업의 종류와 각 단위작업을 수행하는데 소요되는 시간, 그리고 단위작업의 빈도를 확인하였다. 또한 공정 설비 중에 개방된 곳이나 유기용제가 누출 될 가능성이 있는 장소를 조사하여 유기용제에 대한 발생원을 평가하였다. 1차 예비조사 결과와 문헌고찰을 통해 직무군과 단위작업 및 유기용제 발생지점을 결정한 후 각 직무군을 대상으로 전 작업시간(full shift)동안 평균적인 노출수준을 평가하기 위해 long-term personal sampling 방법을 이용하고(TWA-P), 각 단위작업마다 순간적인 노출수준을 평가하기 위해 task-based short-term personal sampling(STEL-P) 방법을 이용하였다. 또한 주요 유기용제 발생원을 대상으로 지속적인 발생수준을 평가하기 위해 long-term area sampling 방법으로 채취하고(TWA-A) 해당 발생원 지역에서 특정 작업이 이루어질 경우 발생원 지점에서 짧은 시간동안 발생수준을 측정하는 short-term area sampling 방법(STEL-A)을 병행하였다. Long-term sampling 시간은 347 ± 104 (평균 \pm 표준편차)분이었으며, short-term sampling 시간은 20 ± 19 (평균 \pm 표준편차)분이었다. 단위작업이 수행되는 동안 발생원에서 short-term area sampling 방법으로 채취한 시료는 가능한 작업자가 작업을 할 때 최고로 노출 가능한 worst case를 반영할 수 있도록 하였다.

원유정제 공정 중 공기중 발생 가능한 유기용제에 대한 측정방법은 지방족과 방향족 탄화수소류 측정에 대한 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 공정시험법인 'NIOSH 1500'에 준하여 charcoal tube(100mg/50mg, SKC, USA)를 이용하였다(NIOSH, 1994). 시료 채취 전,

후 개인용 시료채취용 펌프(Gilian, USA)의 유량을 보정하였다. 또한 long-term personal sampling에는 검증된 확산채취기(OVM 3500, 3M)를 병행하여 채취하였다. 시료의 분석은 가스크로마토그래피 질량분석기(Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS)를 이용하여 1차적으로 동정을 한 후 각 물질의 건강유해성을 감안하여 11가지 유기용제 물질을 선정하였고 가스크로마토그래피 불꽃이온화 검출기(Gas chromatography-Flame Ionization Detector, GC-FID)를 이용하여 정량분석하였다. 기기의 분석조건은 표 1과 같다. 통계 기법은 자료를 기술하고 특정 변수 간 연관성을 평가하기 위해 사용하였다. 기술통계량 분석과 그래프 법을 통해 각 변수별 자료의 크기와 산포도를 비교하였고, log-normal probability plotting을 하여 자료의 분포를 살펴보았다. 측정된 자료 중 분석의 LOD 값 미만으로 나타나거나 불검출된 자료는 Glass & Gray (2001) 연구 결과를 참조하여 LOD 값의 1/2값을 적용하여 통계처리에 이용하였다. 통계처리 및 계산은 SAS program(Statistical Analysis Program version 8.0 for windows)을 이용하였다.

III. 결 과

조사 대상 업체로부터 총 3회에 걸쳐 반복 측정을 실시한 결과 개인시료 773개, 지역시료 535개를 채취하였다. 개인시료

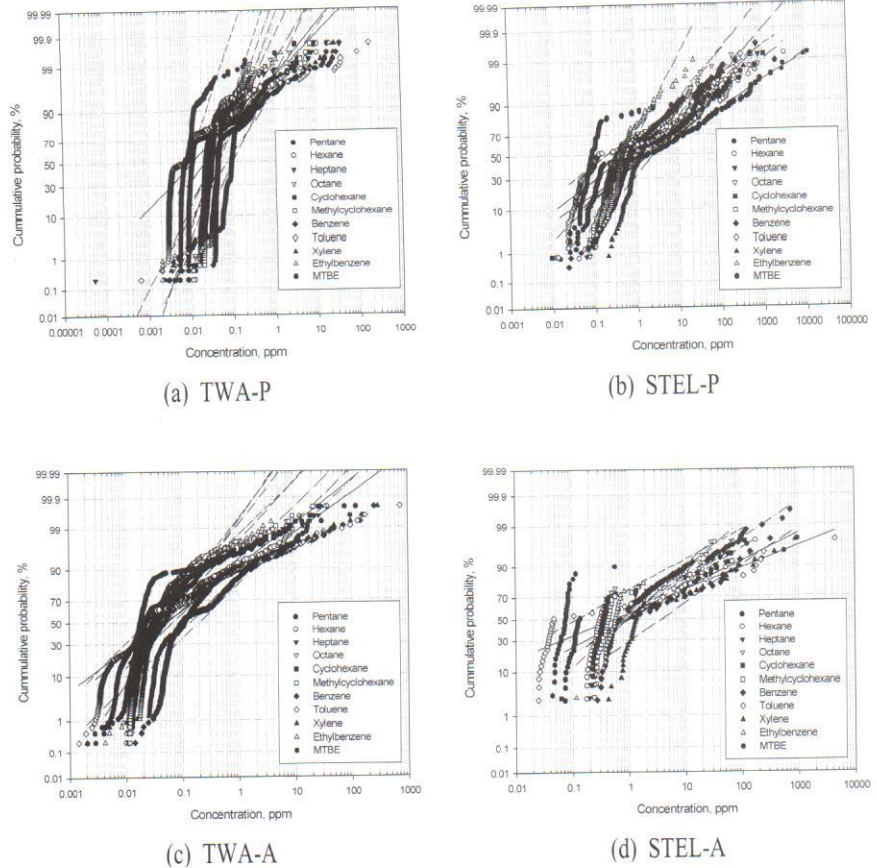


Fig 1. Distribution of personal and area samples

중 full-shift에 대한 TWA-P는 473개이며, task 평가를 위한 STEL-P는 300개였다. 각 시료마다 11가지 유기용제 성분을 분석하였으며 분석에 이용된 총 자료수는 16,333개였다.

측정 방법에 따른 성분별 농도수준은 표 2에 요약하였으며, 각 물질별 직업적

노출기준은 표 3에 정리하였다. 11가지 물질의 직업적 노출기준에 따라 비교해보면, benzene이 가장 낮은 기준을 가지고 있으며 n-pentane이 가장 높은 기준을 가진 물질이다. 각 국가와 기관에 따라 11가지 물질에 대한 노출기준을 비교하면 benzene의 경우 우리나라는 2003년 7월전

Table 1. Analytical conditions for quantifying organic solvents

Variable	Condition
Instrument	GC(HP 6890 Plus, U.S.A)
Detector	Flame ionization detector
Injector	Auto liquid sampler(HP 6890 series, U.S.A)
Column	HP-VOC capillary column(60m×320μm×1.8μm, HP 19091R-316, U.S.A)
Carrier gas	N ₂ (99.999%)
Flow rate	1.1 mL/min
Split ratio	30:1
Injection Volume	1 μL
Temperature	Injector : 230 °C, Detector : 260 °C Column : 70 °C(8 min) → 5 °C/min → 85 °C(4 min) → 8 °C/min → 150 °C(10 min)

Table 2. Summary of sampling results by organic solvents

Substance	Personal						Area						(unit : ppm)			
	Long-term (≥1hr)			Short-term (<1hr)			Long-term (≥1hr)			Short-term (<1hr)						
	N(1)	GM2) (GSD3))	AM4) (SD5))	95th percentile	N	GM (GSD)	AM (SD)	95th percentile	N	GM (GSD)	AM (SD)	95th percentile				
Pentane	473	0.023 (4.4)	0.281 (1.8)	0.463	151	2.11 (24.4)	183.7 (1056.8)	544.7	452	0.052 (6.7)	1.12 (7.7)	3.89	40	0.96 (16.4)	48.97 (179.1)	246.4
Hexane	473	0.037 (3.0)	0.179 (0.9)	0.282	147	1.60 (13.1)	53.9 (295.5)	162.1	453	0.068 (4.9)	0.67 (3.7)	2.32	36	1.04 (8.6)	14.47 (39.2)	88.4
Heptane	473	0.034 (2.4)	0.111 (0.7)	0.181	133	1.26 (9.6)	21.8 (94.6)	86.9	452	0.048 (4.0)	0.36 (2.2)	0.69	34	0.91 (7.1)	8.40 (18.1)	54.3
Octane	473	0.034 (1.9)	0.066 (0.4)	0.127	129	0.78 (5.5)	5.3 (19.2)	20.6	452	0.039 (3.0)	0.16 (0.8)	0.23	33	0.75 (4.4)	3.29 (7.0)	19.8
Cyclohexane	473	0.035 (2.2)	0.106 (0.6)	0.170	137	1.21 (10.6)	27.8 (115.3)	129.5	453	0.043 (3.6)	0.29 (1.6)	0.66	35	0.82 (6.8)	9.07 (24.1)	60.3
Methylcyclohexane	473	0.037 (2.0)	0.087 (0.5)	0.134	133	1.04 (8.0)	15.6 (67.0)	72.2	453	0.042 (3.3)	0.26 (1.7)	0.38	33	0.90 (5.0)	4.29 (8.5)	22.7
Benzene	473	0.077 (3.3)	0.508 (3.0)	0.851	290	1.15 (5.3)	10.9 (57.6)	37.6	452	0.198 (5.1)	2.49 (16.7)	4.51	39	2.64 (8.9)	24.99 (59.5)	99.7
Toluene	473	0.012 (6.4)	1.092 (10.4)	0.416	135	0.58 (17.0)	15.8 (47.9)	70.7	452	0.049 (9.5)	3.41 (36.7)	4.51	38	0.55 (33.7)	146.0 (736.8)	226.3
Xylene	473	0.105 (2.6)	0.336 (2.0)	0.508	127	2.49 (5.9)	88.0 (865.3)	50.7	452	0.136 (5.0)	2.16 (17.0)	4.92	38	3.92 (7.9)	50.27 (158.3)	204.2
Ethylbenzene	473	0.050 (2.0)	0.116 (1.0)	0.187	101	0.60 (2.9)	1.4 (3.4)	4.1	452	0.054 (2.9)	0.22 (1.8)	0.39	34	0.98 (4.7)	5.48 (14.6)	28.0
MTBE	473	0.009 (1.9)	0.021 (0.2)	0.024	91	0.20 (11.0)	35.7 (220.8)	122.0	451	0.024 (4.2)	0.41 (3.9)	0.73	29	0.12 (6.3)	5.86 (24.2)	25.6

1) N : number of samples, 2) GM : geometric mean, 3) GSD : geometric standard deviation, 4) AM : arithmetic mean

5) SD : standard deviation

Table 3. Occupational exposure limits for organic solvents (unit : ppm)

Substance	Personal						Area					
	Long-term (≥ 1 hr)			Short-term (< 1 hr)			Long-term (≥ 1 hr)			Short-term (< 1 hr)		
	N1)	GM2) (GSD3))	AM4) (SD5))	95th percentile	N	GM (GSD)	AM (SD)	95th percentile	N	GM (GSD)	AM (SD)	95th percentile
Pentane	473	0.023 (4.4)	0.281 (1.8)	0.463	151	2.11 (24.4)	183.7 (1056.8)	544.7	452	0.052 (6.7)	1.12 (7.7)	3.89
Hexane	473	0.037 (3.0)	0.179 (0.9)	0.282	147	1.60 (13.1)	53.9 (295.5)	162.1	453	0.068 (4.9)	0.67 (3.7)	2.32
Heptane	473	0.034 (2.4)	0.111 (0.7)	0.181	133	1.26 (9.6)	21.8 (94.6)	86.9	452	0.048 (4.0)	0.36 (2.2)	0.69
Octane	473	0.034 (1.9)	0.066 (0.4)	0.127	129	0.78 (5.5)	5.3 (19.2)	20.6	452	0.039 (3.0)	0.16 (0.8)	0.23
Cyclohexane	473	0.035 (2.2)	0.106 (0.6)	0.170	137	1.21 (10.6)	27.8 (115.3)	129.5	453	0.043 (3.6)	0.29 (1.6)	0.66
Methylcyclohexane	473	0.037 (2.0)	0.087 (0.5)	0.134	133	1.04 (8.0)	15.6 (67.0)	72.2	453	0.042 (3.3)	0.26 (1.7)	0.38
Benzene	473	0.077 (3.3)	0.508 (3.0)	0.851	290	1.15 (5.3)	10.9 (57.6)	37.6	452	0.198 (5.1)	2.49 (16.7)	4.51
Toluene	473	0.012 (6.4)	1.092 (10.4)	0.416	135	0.58 (17.0)	15.8 (47.9)	70.7	452	0.049 (9.5)	3.41 (36.7)	4.51
Xylene	473	0.105 (2.6)	0.336 (2.0)	0.508	127	2.49 (5.9)	88.0 (865.3)	50.7	452	0.136 (5.0)	2.16 (17.0)	4.92
Ethylbenzene	473	0.050 (2.0)	0.116 (1.0)	0.187	101	0.60 (2.9)	1.4 (3.4)	4.1	452	0.054 (2.9)	0.22 (1.8)	0.39
MTBE	473	0.009 (1.9)	0.021 (0.2)	0.024	91	0.20 (11.0)	35.7 (220.8)	122.0	451	0.024 (4.2)	0.41 (3.9)	0.73
												25.6

1) N : number of samples, 2) GM : geometric mean, 3) GSD : geometric standard deviation, 4) AM : arithmetic mean

5) SD : standard deviation

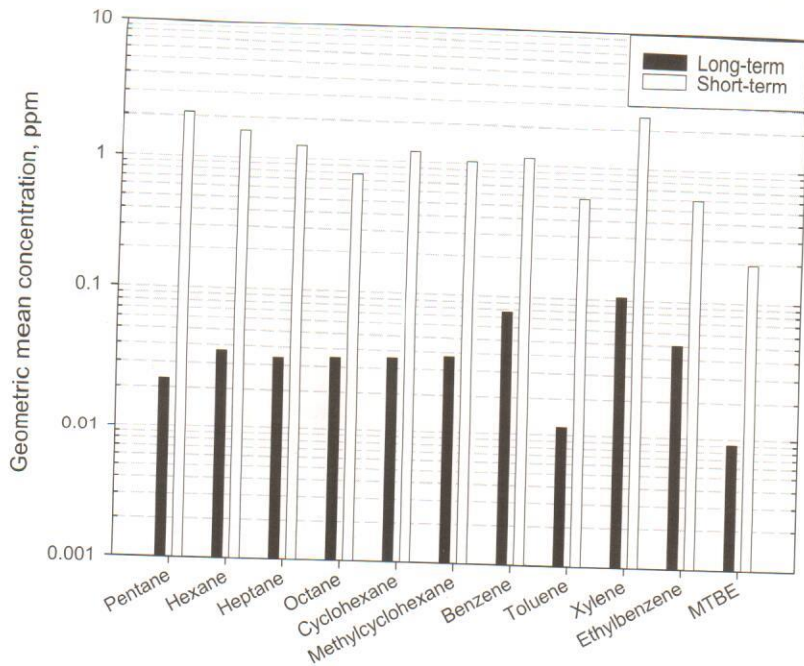


Fig 2. Comparison of geometric mean concentration between long-term and short-term personal samples

까지 10ppm(8hr TWA)이었던 것에 비해 NIOSH에서는 가장 낮은 0.1ppm을 권고하고 있고, ACGIH TLV와 유럽국가들도 0.5ppm을 제시하고 있다. 우리나라는 2003년 7월부터 benzene에 대해 1ppm으로 기준을 강화하였다.

각 물질별 측정결과를 개인시료와 지역시료로 나누어 농도분포를 평가해 본 결과 그림 1과 같이 대수정규분포를 나타내었으며, 개인시료의 물질별 기하평균(geometric mean, GM)은 TWA-P(0.009ppm~0.105ppm), STEL-P(0.2ppm~2.49ppm) 수준으로 매우 낮았다(표 2). 또한, 자료 중 long-term sample 결과 중 LOD 미만 값들은 17%, short-term sample 결과 중 LOD 미만 값은 32%를 차지하고 있어 전체적인 분포가 낮은 값 쪽에 치우친 형태를 나타내고 있다.

각 물질별로 측정된 개인시료에 대한 노출수준은 모든 물질에 대해 TWA-P와 STEL-P간에 유의한 차이가 있었다($p < 0.001$). 물질별 TWA-P와 STEL-P 결과에 대한 기하평균 농도를 비교한 결과, 물질에 상관없이 STEL-P 농도가 TWA-P에

비해 10배 이상 높은 수준이었다(그림 2). 각 유기용제 성분별 TWA-P와 STEL-P의 산포도를 GSD 비교를 통해 알아본 결과 그림 3과 같이 STEL-P의 GSD

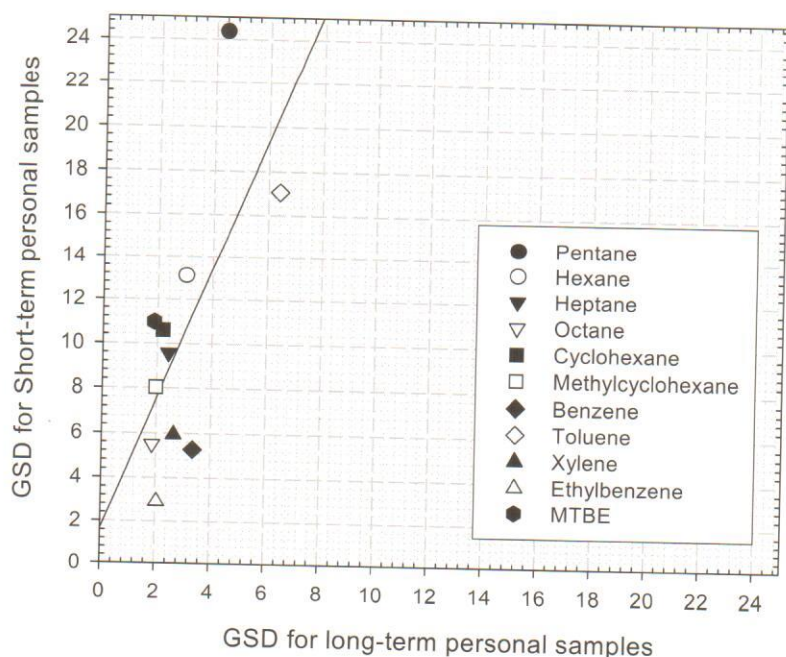


Fig 3. Comparison of GSD between long-term and short-term personal samples

가 TWA-P에 비해 2.5배 이상 크게 나타나고 있다. 이는 전 작업시간 동안 평균적으로 노출되는 수준의 변이 보다 단위작업에 따른 순간적인 노출수준의 변이가 크다는 것을 나타내며, 각 단위작업에 따른 분석이 필요함을 시사한다고 할 수 있다.

각 개인에 대한 채취 시료에서 동시에 분석한 11가지 유기용제 성분 중 혈액 암을 일으키는 benzene을 제외한 10가지 유기용제 성분은 모두 호흡기계통의 자극(irritation)과 신경독성을 유발하므로 식 1에 의해 상가작용을 고려한 복합 유기용제 노출지수를 계산하였다.

Exposure Index for Mixture =

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \quad (1)$$

C_n = the observed atmospheric concentration

T_n = the corresponding threshold limit

TWA-P에 대한 복합노출지수는 대수정규분포를 나타냈고, 기하평균은 0.005, 기하표준편차는 3.1이었으며, 측정시료의 0.8%가 복합노출기준을 초과하였다.

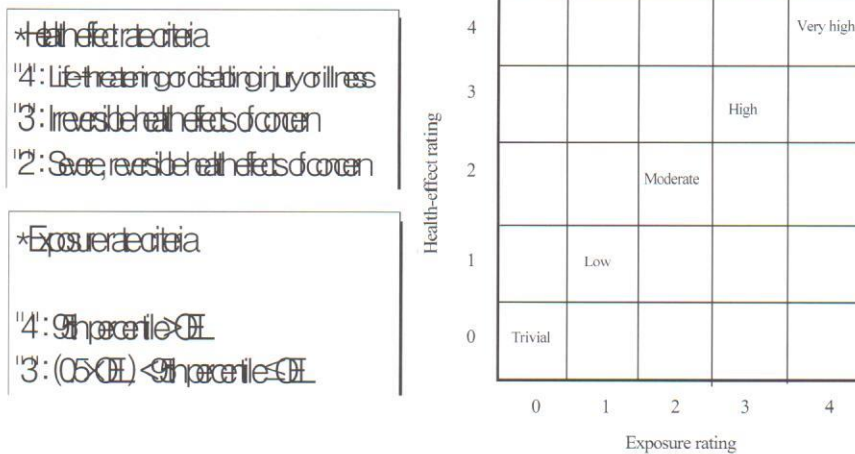


Fig 4. Potential risk assessment scheme

IV. 고 찰

미국산업위생학회(American Industrial Hygiene Association, AIHA)에서는 각 물질의 독성을 고려한 건강영향 지수(health-effect rate)와 노출정도를 나타내는 노출지수(exposure rate)를 고려하여 잠재적인 위험순위(potential risk ranking)를 식 2와 같이 제시하고 있다(AIHA, 1998).

$$\text{Potential risk ranking} = \text{Health effect rate} \times \text{Exposure rate} \quad (2)$$

AIHA에서는 유해물질의 독성과 노출수준을 그림 4와 같은 기준에 근거하여 0 ~ 4 등급으로 나누어 평가하고 있다. 본 연구에서는 건강영향 지수는 각 물질의 ACGIH-TLVs의 8시간 TWA기준을 이용하여 발암성 물질 혹은 10ppm 이하; 4등급, 10-50ppm 이하; 3등급, 50~100ppm 이하; 2등급, 그리고 100ppm 초과 물질은 1등급으로 평가하였다. 노출지수는 AIHA의 권고 방식에 따라 개인시료 측정결과와 95th percentile과 TLVs와 비교하여 1-4 등급으로 나누어 평가하였다. 잠재적인 위험순위를 비교한 결과 그림 5와 같이 TWA-P 자료는 벤젠의 위험지수가 16점으로 가장 높았고 다음으로 hexane, MTBE 순이었다. 개인노출 평가 결과를 TWA-P와 STEL-P로 구분하여 95th percentile값과 각 물질에 대한 직업적 노출기준과 비교해 보면, TWA-P에서는

benzene만이 95th percentile값이 노출기준을 초과하고 있으나 STEL-P에서는 hexane과 MTBE도 초과하고 있으며 다른 물질들의 노출지수도 상승하는 것을 확인할 수 있다(그림 6). 따라서, 원유정제업 작업자들은 다양한 유기용제 성분에 노출 가능하며, 가장 잠재적 위험성이 큰 물질은 benzene임을 알 수 있다. 또한, 장치산업의 특성상 실외에서 근무하는 작업환경과 폐쇄적이고 연속적인 공정 시스템에

의해 장시간 평균 노출수준은 낮지만, 단위 작업 수행동안 짧은 시간의 노출위험은 커진다는 것을 알 수 있다.

가장 노출위험성이 큰 benzene을 대상으로 주요 단위작업별 STEL-P의 결과를 비교하면 그림 7과 같다. 단위작업별로 benzene 노출에 유의한 차이가 있었으며 ($p < 0.01$), 평균 노출수준이 가장 높은 작업은 de-watering(기하평균: 33.7ppm, 산술평균: 99.8ppm)이었으며, draining(기하평균: 7.0ppm, 산술평균: 19.6ppm), sampling(기하평균: 1.2ppm, 산술평균: 16.2ppm), 그리고 manual gauging(기하평균: 2.2ppm, 산술평균: 15.0ppm) 등 이었다.

Verma 등이 1970년대 이후에 발간된 산업보건관련 논문과 선행된 연구를 수행한 기관(API, CONCAWE, CPPI, PACE)의 보고서를 종합적으로 검토하여 downstream industry에 종사하는 작업자들에 대한 총 탄화수소류(total hydrocarbon, THC) 및 benzene에 대한 노출수준을 연대순으로 평가한 논문을 발표하였다(Verma *et al.*, 2001). 이 연구 결과에 의하면, benzene에 대한 전 작업시간 노출수준(long-term personal exposure, >1hr)은 대부분 1ppm

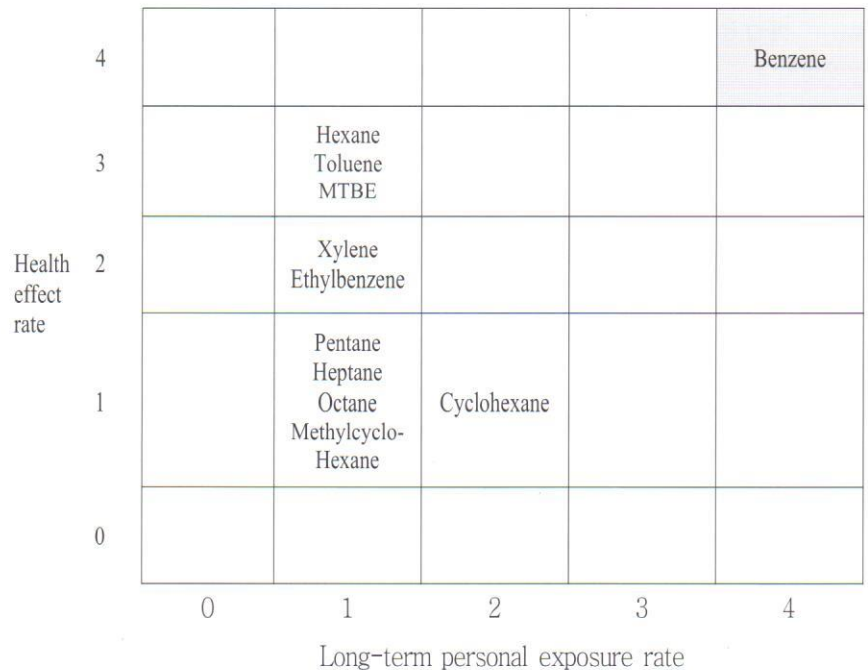
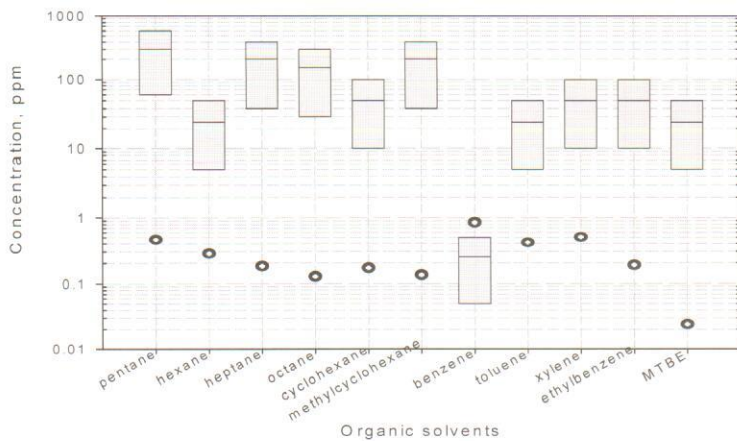
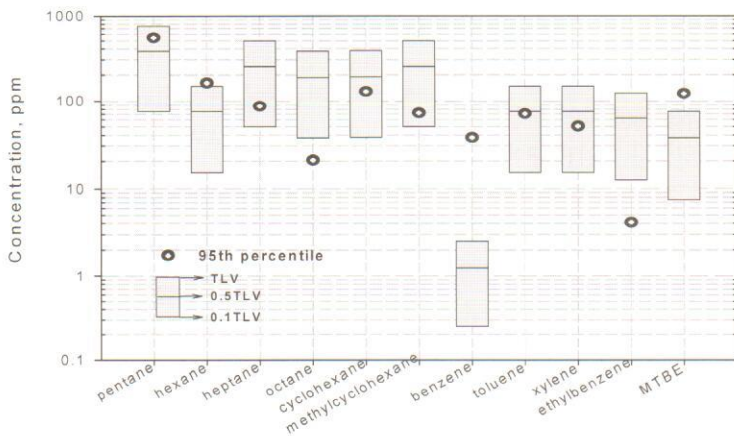


Fig 5. Potential risk assessment to organic solvents



(a) Long-term personal samples



(b) Short-term personal samples

Fig 6. Comparison between TLV and 95th percentile concentration of organic solvents by sample types.

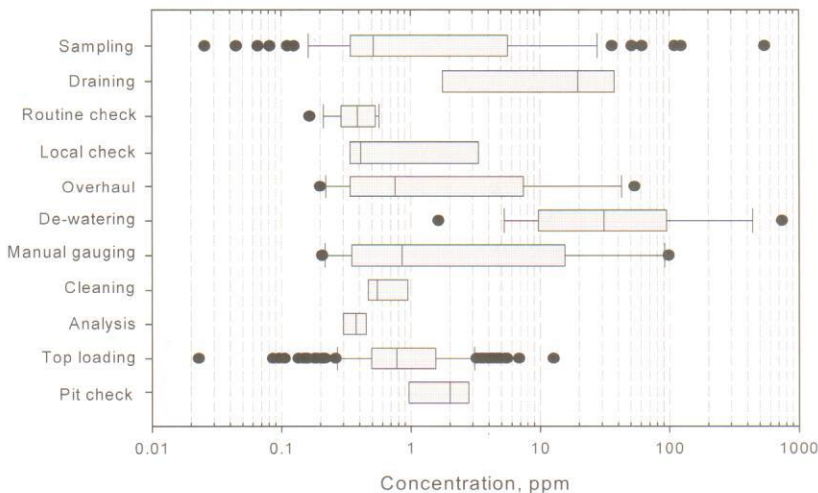


Fig 7. Distribution of short-term exposure to benzene by tasks

미만이었으나, 단시간 개인 노출수준 (short-term personal exposure, <1hr)은 ACGIH TLV 2.5ppm을 초과하는 경우가 많았으며, 특히 marine, pipeline, railcar and trucking operations에 대한 노출관리가 필요하다고 밝히고 있다. 또한 Verma 등은 benzene은 국제암연구센터(International Agency for Research on Cancer, IARC), ACGIH 등에서 인간에게 발암성이 확정된 물질(confirmed human carcinogen)로 분류하고 있고(IARC, 1989; ACGIH, 2002), 백혈병을 일으키는 위험도는 dose-rate에 의존하기 때문에 단시간, 간헐적으로 고노출 되는 작업에 대한 관리가 필요하며 향후 downstream industry에 종사하는 작업자에 대해 단위 작업에 기초한 노출평가(task-based exposure assessment)를 수행해야 한다고 강조하고 있다. 본 연구 결과 Verma의 총설 논문 결과와 유사하게 단위작업별 단시간 노출 위험이 크다는 것을 확인 할 수 있었으며, 단위 사업장 내에 존재하는 다양한 작업별로 평가된 점이 기존 연구방법과 다르다고 할 수 있다.

V. 결 론

원유정제업은 원료부터 최종 산물까지 다양한 종류의 유기용제 발생이 가능하며, 연속적이고 폐쇄적인 시스템을 갖고 있다. 본 연구에서는 공기 중 검출되는 주요 유기용제 11가지 물질에 대해 장시간 개인시료와 단위작업 중심으로 채취한 단시간 시료의 노출수준을 평가한 결과 다음과 같은 주요 결론을 얻었다.

1. 개인시료의 물질별 기하평균은 TWA-P(0.009~0.105ppm)의 경우 매우 낮았으나, STEL-P(0.2~2.49ppm)는 long-term sample의 10배 이상 높은 수준이었다.

2. 유기용제의 각 성분별 잠재위험도를 평가한 결과 benzene이 위험도 지수가 16 점으로 원유정제업체에서 가장 우선적으로 관리해야 할 물질이었다.

3. 단위작업별로 benzene에 대한 단시간 평균노출수준이 가장 높은 작업은 de-watering(산술평균:99.8ppm)이었으며,

draining(산술평균:19.6ppm), sampling(산술 평균:16.2ppm), 그리고 manual gauging(산 술평균:15.02ppm) 작업이 10ppm을 넘는 고노출 위험 작업이었다.

원유정제업과 같은 장치산업 작업자들의 유기용제 노출 특성은 라인 중심의 제조업 작업자들이 작업위치의 이동 범위가 제한되어 작업시간동안 라인을 이탈할 수 없는 피동적 노출 형태를 갖는 것과 달리 이동범위가 넓고 현장 점검 및 단위작업 수행을 위해 장치 주변에 능동적인 접근을 통해 노출되는 점이라고 할 수 있다. 따라서, 원유정제업 작업자들의 유기용제 노출평가 수행은 장시간 full-shift 평가만으로는 부족하며 단위작업별 단시간 노출 위험을 평가하고 위험 작업에 대한 관리가 이루어져야 한다.

REFERENCES

- 송상환, 백남원, 하권철: 국내 일부 주유소 내에서의 휘발성 유기화합물 노출에 관한 연구, 한국산업위생학회지 10(1):58-73 (2000)
- American Industrial Hygiene Association (AIHA): *A strategy for assessing and managing occupational exposures*, 2nd ed., American Industrial Hygiene Association, (1998)
- American Petroleum Institute(API): *Chemistry and petroleum for classroom use in chemistry courses*. Washington, D.C.:API (1971)
- American Petroleum Institute(API): *An exposure assessment for marketing and marine distribution workers in the petroleum industry with potential exposure to gasoline* [API publication no. 45552]. Washington, DC:API (1994)
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH): *Documentation for Benzene*. Cincinnati, OH: ACGIH (2002)
- Canadian Petroleum Products Institute (CPPI). *A study of exposure to motor gasoline hydrocarbon vapors at service stations, Summary report* [CPPI (PACE) report no. 90-8]. Ottawa, Canada: CPPI (1990)
- Canadian Petroleum Products Institute (CPPI). *Benzene monitoring at CPPI service stations* [CPPI (PACE) report no. 97-1]. Ottawa, Canada: CPPI (1996)
- CONCAWE(Oil Companies' European Organization for Environment, Health and Safety): *A survey of exposure to gasoline vapour* [CONCAWE report no. 4] The Hague, The Netherlands: CONCAWE (1987)
- CONCAWE(Oil Companies' European Organization for Environment, Health and Safety): *Review of european oil industry benzene exposure data (1986-1992)* [CONCAWE version 5 of report no. 7]. Brussels: CONCAWE (1994)
- CONCAWE(Oil Companies' European Organization for Environment, Health and Safety): *A review of european gasoline exposure data for the period 1993-1998* [CONCAWE report no. 2]. Brussels: CONCAWE (2000)
- CONCAWE(Oil Companies' European Organization for Environment, Health and Safety): *A review of european gasoline exposures for the period 1999-2001* [CONCAWE report no. 9]. Brussels: CONCAWE (2002)
- Glass, D.C. & Gray, C.N.: Estimating mean exposures from censored data: exposure to Benzene in the Australian petroleum industry. *Ann. Occup. Hyg.*, 45, 275-282 (2001)
- International Agency for Research on Cancer(IARC): IARC monographs of the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to humans, Vol. 45, *Occupational exposures in petroleum refining: Crude oil and major petroleum fuels*, IARC, Lyon, France (1989)
- National Institute for Occupational Health and Safety(NIOSH): *NIOSH Manual of Analytical Methods*, 4th ed. DHHS (NIOSH) Publication 94-113 (1994),
- Petroleum Association for Conservation of the Canadian Environment(PACE). *A study of exposure to motor gasoline hydrocarbon vapours at service stations (Phase I-Pilot Study)* [PACE report 87-4]. Ottawa, Canada: PACE (1987a)
- Petroleum Association for Conservation of the Canadian Environment(PACE). *A study of exposure to motor gasoline hydrocarbon vapours at service stations (Phase II-Summer Study)* [PACE report 87-5]. Ottawa, Canada: PACE (1987b)
- Petroleum Association for Conservation of the Canadian Environment(PACE). *A study of exposure to motor gasoline hydrocarbon vapours at service stations (Phase III-Winter Study)* [PACE report 89-3]. Ottawa, Canada: PACE (1989)
- Spear, R.C., Selvin S., Schulman, J. & Francis, M. Benzene exposure in the petroleum refining industry. *Appl. Ind. Hyg.* 2, 155-163 (1987)
- Verma, D.K., Johnson, D.M., Shaw, M.L., Tombe, K.D. Benzene and total hydrocarbons exposures in the downstream petroleum industries. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 62, 176-194 (2001)