

1,3-부타디엔 제조 및 취급 근로자의 노출특성에 관한 연구

최호준^{1*} · 안선희¹ · 이현석¹ · 박영욱¹ · 김경순²

¹대한산업보건협회 산업보건환경연구원

²명지대학교 화학과

Exposure Characteristics of 1,3-Butadiene Exposed Workers

Ho Chun Choi¹ · Sun Hee An¹, Hyun Seok Lee^{1*} · Wook Young Park¹ · Kyung Soon Kim²

¹Occupational and Environmental Health Research Institute, Korean Industrial Health Association

²Department of Chemistry, Myongji University

1,3-butadiene is classified as suspected human carcinogen, group A2(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH). In Korea, 1,3-butadiene has been used as a raw material; monomer, homopolymer, polybutadiene latex, acrylonitrile-butadiene-styrene(ABS) and styrene-butadiene rubber(SBR), in the petrochemistry and precision chemistry industry. As petrochemistry industry in Korea has been developed, the potential exposure possibility of 1,3-butadiene to workers can be increased. Therefore the purpose of this study is to evaluate airborne 1,3-butadiene concentration and workers' exposure levels in the workplace using 1,3-butadiene.

Air samples were collected with 4-tert-butyl catechol(TBC) charcoal tube(100 mg/50 mg) and were analyzed by gas chromatograph/flame ionization detector(GC/FID) according to the Choi's method(2002).

Geometric mean (GM) and arithmetic mean (AM) of total 59 workers' exposure concentrations to airborne 1,3-butadiene were 0.042 ppm and 1.51 ppm, respectively. Although most

samples were lower than 1ppm, 2 samples(21.5ppm and 33.1ppm as 8hr-TWA) were exceeded the Korean standard(2ppm) over 10 times at the repair process in synthetic rubber and resin manufacture industry.

14 samples(41%) of total 34 short-term air samples were exceeded the Korean standard(10ppm as STEL) of Ministry Labor. 1,3-butadiene concentration(GM) in the synthetic rubber and resin manufacture industry(7.87ppm) was significantly higher than that in the monomer manufacture industry (0.35ppm)($p<0.05$).

Also in the sampling and repair process, each GM(range) was 1.39ppm(N.D.-469.6ppm) and 7.85ppm(N.D.-410.2ppm).

In conclusion, it depends on the industry and process, 1,3-butadiene can be exposed to workers as high concentration for short-term.

Key Words : 1,3-butadiene, petrochemistry industry, precision chemistry industry, short-term exposure level

접수일 : 2009년 4월 28일, 채택일 : 2009년 11월 6일

* 교신저자 : 최호준(서울시 금천구 가산동 60-4 코오롱테크노밸리 205호,
Tel: 02-863-9322, Fax: 02-863-9320, E-mail : hslee112@empal.com)

I. 서론

1,3-부타디엔은 무색의 방향성 냄새나 가솔린 같은 냄새를 지닌 분자량이 작은 물질로써, 실온에서 기체 상태이며 물에 대한 용해성이 0.1g/100ml 이하이다. 인화성이 강해 강한 산화제, 동, 동 합금, 공기 및 철과 접촉할 때 폭발 위험이 크다(NIOSH, 1993).

근로자들에게 고농도로 급성 노출되었을 때 중추신경계 장애, 두통, 메스꺼움, 시야 흐림 등을 일으키며, 눈?코?목에도 염증을 일으킨다. 액화상태에서는 피부 접촉시 염증이나 동상을 일으키며, 만성 노출시 백혈병과 그 외 임과혈액암을 보이기도 하며, 생식계에 영향을 미칠 수도 있다(OSHA, 1997).

환경부 2004년 화학물질 유통량('02) 조사결과에 따르면, 국내 1,3-부타디엔의 제조량은 1,041,561톤이며, 유통량은 936,121톤, 수출량은 147,990 톤으로 국내에서 제조된 1,3-부타디엔의 대부분이 국내에서 소비되고 있는 실정이며, 수입량은 42,550 톤에 불과하다(환경부, 2004; 한국플라스틱 개발원, 2005). 제조된 1,3-부타디엔은 합성고무인 스티렌-부타디엔 고무(styrene-butadiene rubber, SBR)에 24 %, 부타디엔 고무(butadiene rubber, BR)에 20 %가 사용되며, 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌(Acrylonitrile-butadiene-styrene, ABS) 합성수지에 28 %가 사용된다. 기타 부타디엔-스티렌 라텍스(Styrene-butadiene Latex, SB Latex), 스티렌-부타디엔-스티렌(styrene-butadiene-styrene, SBS) 등의 용도로 28 %가 사용된다(대한석유화학공업협회, 2004). 1,3-부타디엔은 사람에서 암을 일으킬 수 있는 가능성이 있는 물질(Group 2A)로 국제암연구기관(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 구분하고 있고(IARC, 1999), 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서도 A2 즉, 사람에게 발암가능성이 있는 물질로 분류하고 있다(ACGIH, 2001). 1,3-부타디엔은 대표적으로 림프종, 백혈병, 생식독성, 혈액주변의 변화 등이 관찰된다고 보고되고 있으며, 미국산업안전보건청(Occupational Safety

and Health Administration, OSHA)에서는 7,600명 정도의 근로자가 직업적으로 1,3-부타디엔 노출 가능성이 있으며, 10 ppm의 허용 기준하에서 약 76명이 암으로 인한 사망가능성이 있었던 것으로 파악하고(OSHA, 1997), 1996년에 8시간 시간가중평균치(8hr-TWA) 1 ppm, 그리고 단시간 노출기준(short-term exposure level, STEL)을 5 ppm, action level을 0.5 ppm으로 설정하면서 1,000명의 근로자 중 8건의 암발생과 조산을 예방하기 위해 설정된 값이라고 밝히고 있다(OSHA, 1999).

ACGIH에서는 1,000명의 노출근로자 중 16.2명에서 암 발생과 조산을 예방하고, female mouse에서 폐종양 또는 복합종양의 발현을 근거로 Threshold Limit Value(TLV) Time weighted average(TWA)로 2 ppm을 권고하고 있다(ACGIH, 1994). 또한 우리나라 노동부에서도 최근에 노출기준을 8시간 TWA 2ppm, 단시간 노출기준(STEL) 10ppm으로 개정 고시하였다(노동부, 2007). 1,3-부타디엔은 국제적으로 대부분 사람에게 발암영향이 있는 물질로 규정하고 있지만(OSHA, 1997; EPA, 1998 etc.) 국내에서는 이에 대한 노출실태나 근로자의 건강과 관련된 연구는 진행되지 않았다. 다만 최호춘 등이 1,3-부타디엔의 탈착효율과 관련된 연구가 보고되었을 뿐이다(최호춘 등, 2002).

이에 본 연구에서는 최호춘 등에 의해 확립된 분석 및 측정 방법을 토대로 국내 1,3-부타디엔 취급 근로자에 대한 노출 실태와 노출특성에 대한 연구를 수행하고, 이 물질로 인한 건강장해를 예방하기 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구 대상

1,3-부타디엔을 제조하거나 1,3-부타디엔을 사용하여 수지를 제조하는 사업장, 1,3-부타디엔이 부산물로 발생할 가능성이 있는 사업장을 중심으로 15개 사업장에 대한 노출평가를 실시하였다.

각 사업장별로 개인시료 포집방법을 원칙으로 하여 사업

Table 1. Number of 8hr-TWA and short-term samples taken four industries

Industry	No. of company	No. of samples		
		8hr-TWA sample	Short-term sample	Total
oil refinery	1	6	4	10
1,3-butadiene monomer manufacture	15	16	4	20
synthetic rubber manufacture	7	23	26	49
tires manufacture	2	14	-	14
Total	15	59	34	93

장 규모, 연간사용량, 동일 노출군의 규모 등을 종합적으로 고려하여 8시간 시간가중평균(TWA) 시료 59개와 단시간 시료포집(STEL) 34개를 포함하여 총 93개 시료를 포집하였다.

업종별로는 Table 1과 같이 원유정제업에서 10개, 1,3-부타디엔 모노머 제조업종에서 20개, 합성수지 및 고무 제조업종에서 49개, 타이어제조업종에서 14개의 시료를 포집하였다.

2. 측정 및 분석방법

2.1 측정방법

1,3-부타디엔 시료포집에 사용된 흡착제는 4-tert-butyl catechol(TBC)이 코팅된 활성탄관(100/50mg, 226-73, SKC, U.S.A.)을 이용하였으며, 저유량 개인시료 포집펌프(LFS-113, Gilian, U.S.A.)를 이용하여 0.05 l/min의 유속으로 오전, 오후로 나누어 포집하였다. 시료운반은 아이스박스를 이용하였

으며, 시료보관은 -20℃ 이하에 냉동 보관하였다.

2.2 분석 조건

OSHA method #56과 미국국립산업안전보건연구원(The National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 Methods #1024를 참고로 하여 최호춘 등(2002)이 확립한 분석방법에 따라 분석하였다. TBC가 코팅된 활성탄관을 앞, 뒤층으로 나누어 2 ml 바이알에 옮긴 후 1-부타놀이 1% 포함된 CS2로 탈착하여 오토샘플러가 장착된 가스크로마토그래프/불꽃이온화검출기(GC/FID, GC-17A, Shimadzu, Japan)로 분석하였다. 시료 분리를 위한 컬럼은 저분자 물질 특히, 1,3-부타디엔 분석에 주로 이용되는 컬럼 Al₂O₃/KCl PLOT(50m×0.32mm ID, Chrompak, U.S.A.)을 이용하여 Table 2의 조건으로 분석하였다.

Table 2. Operating condition of gas chromatograph for 1,3-Butadiene

Variance	Conditions
Detector	FID
Column	Al ₂ O ₃ /KCl PLOT(50 m×0.32 mm ID)
Injector temperature(℃)	250
Detector temperature(℃)	300
Column temperature(℃)	160
Flow rate	He(kPa)
	H ₂ (kPa)
	Air(kPa)
	Column flow(ml/min)
	Split ratio

Table 3. Workers' exposure concentrations to 1,3-Butadiene by industries

industry	1,3-butadiene 8hr-TWA conc.(ppm)				1,3-butadiene STEL conc.(ppm)			
	*N	Mean±SD	GM(GSD)	Range	*N	Mean±SD	GM(GSD)	Range
oil refinery	6	-	-	N.D	4	-	-	N.D
monomer manufacture	16	0.15±0.25	0.044(5.22)	N.D-0.809	4	0.35±0.08	0.35(1.26)	N.D-0.42
synthetic rubber manufacture	23	2.45±8.03	0.040(12.1)	N.D-33.09	26	114.8±173.9	7.87(25.8)	N.D-469.6
tire manufacture	14	-	-	N.D	-	-	-	-
Total	59	1.51±6.22	0.042(8.69)	N.D-33.09	34	87.9±159.2	3.39(25.8)	N.D-469.6

* : Number of samples

: Time weighted average

SD : standard deviation

GM : geometric mean

GSD : geometric standard deviation

N.D : not detected

LOD: 0.33µg/sample

3. 통계 검정

SAS 8.01 통계 프로그램 이용하여 수집된 자료에 대한 정규성 검정, 기술통계 및 분산분석 등을 수행하였다. 기술 통계에 사용된 검출한계 미만(Limit of Detection, LOD)의 값은 비교적 낮은 변동이 있는 자료($GSD < 3$)의 경우에는 검출한계의 0.7배로 계산하였고, 반면에 변동이 큰 경우($GSD > 3$)에는 검출한계의 0.5배 인자로 계산하였다(Cohen, A. 1961).

III. 연구결과

1. 1,3-부타디엔 제조 및 취급 근로자의 공기 중 노출평가

정유업, 모노머제조, 합성고무 및 합성수지제조, 타이어 제조업종의 15개 사업장에서 총 93명(8hr-TWA 59명; STEL 34명)을 대상으로 공기 중 1,3-부타디엔을 측정 및 분석하여 노출평가를 실시하고, 그 결과는 Table 3과 같이 산술 평균±표준편차, 기하평균(기하표준편차) 및 농도범위로 나타내었다.

1.1. 근로자의 공기 중 1,3-부타디엔(8hr-TWA) 농도평가

1,3-부타디엔 관련 산업은 대부분 석유화학 장치산업과 관련되어 있고, 모든 이동과 저장에 관을 통해 수행되므로 관과 관사이의 누출이 발생되거나, 수리, 청소작업 등이 근로자가 근무하는 8시간동안 발생되지 않는 한 근로자에게 노출될 가능성은 희박하나 비정기적인 수리 및 보수작업 등이 있을 경우 노출농도는 평소와 다른 양상을 보일 수 있다.

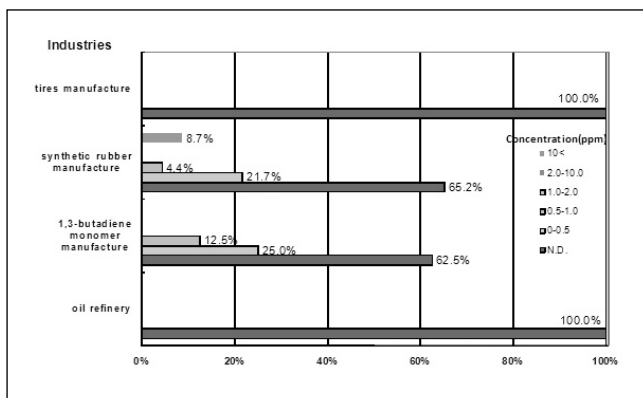


Fig. 1 Workers' exposure concentrations to 1,3-Butadiene by industries.

57명의 근로자를 대상으로 공기 중 1,3-부타디엔의 8시간 시간가중평균 농도(8hr-TWA)를 평가한 결과 정유업종과 타이어 제조업종에서는 1,3-부타디엔이 검출되지 않았으며, 대부분(96.6%)의 근로자는 1ppm미만의 낮은 수준에 노출되었으나 합성고무 및 합성수지 제조업종에 근무하는 근로자 2명(3.4%)은 노동부 노출기준(2ppm)을 초과하였으며, 최고 33.1ppm으로 노출기준을 15배 이상 초과하였다(Fig. 1).

1.2. 근로자의 공기 중 1,3-부타디엔(STEL) 농도평가

1,3-부타디엔을 취급하는 근로자 34명에 대해 단시간 노출을 평가한 결과(기하평균농도) 1,3-부타디엔 모노머 제조업종(0.35 ppm)의 근로자보다 합성고무 및 합성수지 제조업종(7.87ppm)에서 근무하는 근로자의 단시간 노출이 20배 이상 높게 나타났다($p < 0.05$).

업종별로 1,3-부타디엔 단시간 노출실태를 보면, 합성고무 및 합성수지 제조업종에서 14명(41.2%)이 노동부의 단시간 노출기준 10ppm을 초과하였다(Fig. 2).

2. 공정별 단시간 노출평가

1,3-부타디엔에 대한 단시간 노출이 일어날 수 있는 업무형태는 대부분이 매일 업무시작과 함께 이루어지는 시료채취 및 산소농도 측정(sampling)공정과 수리/점검(repair)공정이며, 그 외 실험실의 샘플링된 병의 세척작업이나 실험과정 등에서도 노출가능성이 있으나 본 연구에서는 기타공정에 포함하여 평가하였다. 시료채취에서의 단시간 노출에 대한 1,3-부타디엔의 기하평균 농도는 1.39ppm이었고, 수리작업에서는 7.85ppm이었다. 그 외 기타작업에서는 검출되지 않았다. 시료채취 및 수리작업의 공기 중 1,3-부타디엔 산술평균

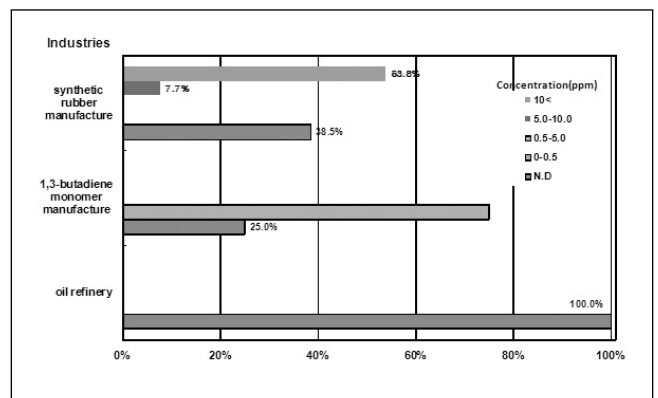


Fig. 2 Short term exposure levels of 1,3-Butadiene in industries.

Table 4. Short term exposure levels of 1,3-Butadiene in processes

process	1,3-Butadiene STEL conc.(ppm)				No. of samples exceeding *STEL(%)
	N	Mean \pm SD	GM(GSD)	Range	
Sampling	13	69.2 \pm 165.3	1.39(19.1)	N.D-469.6	2(15.4)
Repair	19	109.9 \pm 163.3	7.85(30.6)	N.D-410.2	12(63.2)
others	2	-	-	N.D	-
total	34	87.9 \pm 159.2	3.39(25.8)	N.D-469.6	14(41.2)

* : Korean standard : 1,3-Butadiene, Short term exposure limit 10ppm

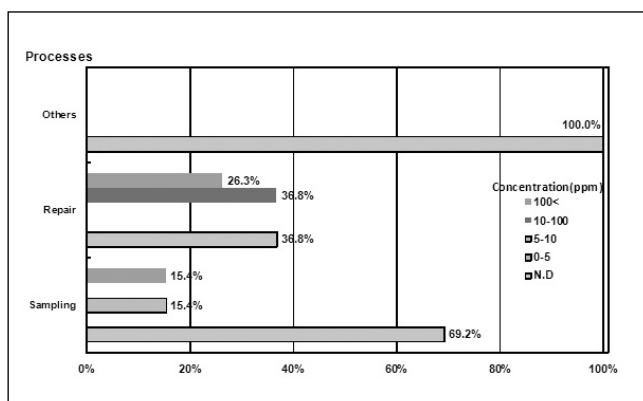


Fig. 3. Short term exposure levels of 1,3-Butadiene in processes.

농도 \pm 표준편차는 69.17 ± 165.25 ppm, 수리작업 109.85 ± 163.28 ppm 이었다(Table 4).

공정별로 분류했을 때, 1,3-부타디엔의 단시간 노출농도의 분포를 보면 단시간 노출기준 10ppm을 초과하는 근로자는 수리작업에서 12명(10-100ppm 7명, 100ppm 이상 5명), 시료채취 및 산소농도 측정작업에서는 2명(100ppm 이상)이었다(Fig. 3).

IV. 고 찰

국내에서는 1,3-부타디엔 단량체(monomer)를 비롯, 1,3-부타디엔 단일중합체(homopolymer, polybutadiene latex), 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(copolymer, ABS resin), 스티렌-부타디엔 고무 공중합체(copolymer, SBR) 등의 분야에서 1,3-부타디엔은 고무가가치산업의 원료로 사용되고 있다. 석유화학산업이 발달된 우리나라 산업구조상 앞으로 1,3-부타디엔에 대한 잠재적인 노출 가능성 및 근로자의 근무연한 증가 등으로 인해 유해가능성 및 노출영향은 증가될 가능성이 있다. 그러나 국내에서 1,3-부타디엔의 측정 및 평가가 이루어진 것은 최근 약 5년 정도이다. 그러므로 그 이전

의 1,3-부타디엔에 대한 측정 및 평가결과는 찾아볼 수 없으며, 이러한 이유로 아직도 국내에서는 1,3-부타디엔을 측정해야 하는 사업장임에도 불구하고 측정이 이루어지지 않고 있는 곳도 있고, 1,3-부타디엔 노출에 대한 인식부족으로 노출원을 제대로 파악하지 못하고 있는 경우도 있었다.

한국산업안전보건공단 보고서에 의하면 울산지역 1,3-부타디엔 제조 및 취급사업장의 현장 근로자의 1,3-부타디엔 기하평균농도(농도범위)는 0.0322ppm(불검출-2.0415ppm)으로 1,3-부타디엔에 직접적으로 노출되지 않는 보드맨 근로자의 기하평균농도(농도범위) 0.0055ppm(불검출-0.4296ppm)보다 통계적으로 유의하게 높았다(한국산업안전보건공단, 2004). 또한 미국 NIOSH에서 석유화학 장치산업의 Unloading area, tank farm, purification 공정에서의 1,3-부타디엔 농도는 다른 공정보다 높게 나타났으며, 각각의 농도범위는 0.770-28.5 ppm, <0.006(검출한계이하)-23.7ppm, 1.3-24.1ppm이었다(NIOSH, 1993). 그 외 Polymerization or reaction 공정 <0.006(검출한계이하)-11.3ppm, Solution & coagulation 공정 <0.005(검출한계이하)-0.169ppm, Crumbing & drying 공정 0.005(검출한계이하)-0.116ppm, Packaging 공정 <0.005(검출한계이하)-0.154ppm, Warehouse 공정 0.005(검출한계수준)-0.067ppm, Control room 공정 <0.012(검출한계이하)-0.070ppm 이었다.

1,3-부타디엔은 석유화학 장치산업의 특성상 정상적인 작업의 8시간 노출평가에서는 거의 대부분 노출기준 미만으로 나타났다. 그러나 비정기적으로 발생하는 단시간 노출작업의 공기중 시료는 정기적인 작업과 다른 양상을 나타낼 수 있다. 외국의 경우에도 석유화학 장치산업에서의 공정은 거의 비슷한 형태로 진행되고 있으며, 다른 공정과 비슷하게 1,3-부타디엔도 단시간노출작업이 존재한다. 외국에서 조사된 연구결과를 살펴보면, Katzenmeyer (1989)은 <0.137-210.0 ppm으로 최고 210 ppm까지 노출되는 결과를 보였고, 핀란드에서 조사된 Sorsa et al.(1994) 연구에서는 시료가 거의 0.2ppm 이하로 나타났다. 또한 포르투갈에서 조사된 Sorsa et al.(1996a) 연구에서는 약 60%가 2 ppm 이하라고 하였고, 체코 공화국에서의 1,3-부타디엔 농도는 약 45%가 10ppm 이상으

로 나타나 다른 나라보다 크게 농도가 높게 나타났다. 우리나라의 단시간 작업(sampling, repairs, others)의 공기 중 1,3-부타디엔 농도수준을 알아보고자 단시간 노출평가(STEL)를 실시한 결과 시료채취과정에서는 대부분 농도가 낮았다. 이는 시료채취(sampling) 시간이 짧고(2-5분 이내), 1,3-부타디엔 모노머의 경우에는 밀폐된 상태에서 가스포집이 이뤄지기 때문이다. 농도가 높게 발생하는 경우는 1,3-부타디엔 시료채취작업과 함께 라인내에 존재하는 산소농도를 측정하는 경우에 1,3-부타디엔 라인 밸브를 열고 측정하므로 400ppm을 초과하는 고농도에 노출된 것으로 판단된다.

또한 합성고무 및 합성수지 중합공정의 수리공정에서 일상적인 필터 교체작업은 1,3-부타디엔이 검출되지 않았으나 제트크리닝을 위해 맨홀 두개를 여는 단시간 작업의 경우 농도범위는 28.7-39.7ppm이고, 하부의 청소작업은 농도가 410.1ppm까지 나타났다.

본 연구는 1,3-부타디엔을 취급 및 제조하는 일부 사업장을 대상으로 이루어진 것으로 향후에는 1,3-부타디엔에 잠재적으로 노출되고 있는 근로자에 대한 전반적인 노출실태 및 노출특성 규명에 대한 조사가 이루어져야 할 것이다. 또한 1,3-부타디엔은 인간에게 발암성이 확인되었거나 가능성이 있는 물질로 근로자들의 작업환경에 대한 지속적인 모니터링 및 추적관리가 이뤄져야 할 것이다. 국내에서도 1,3-부타디엔의 노출원이 확실히 존재하며 이에 대한 잠재적 노출근로자의 건강을 보호하기 위해 새로 적용된 노출기준을 엄격히 적용하고, 비정기적인 작업 또는 가스관이 누출되거나 수리 또는 보수작업 등으로 반응조를 열어야 하거나 산소농도측정 또는 샘플링을 위해 관을 여는 과정에서 노출될 수 있다. 그러므로 산업위생전문가는 1,3-부타디엔의 노출되고 있는 근로자를 평가하고자 할 때, 8시간 노출보다는 단시간 노출에 관심을 가져야하며, 단시간 고농도로 노출되는 문제를 해결하는 것이 1,3-부타디엔 노출 근로자를 보호하는데 중요한 요소라 할 수 있다. 1,3-부타디엔에 대한 단시간 노출을 감소시키기 위해서는 가장 높은 농도를 보인 반응조 제트크리닝 작업(수리 공정)에서의 노출을 감소시키기 위해서 가능한 한 파콘현상(1,3-부타디엔은 산소와 접촉될 경우 과산화물을 형성하여 스케일링이 관에 누적되어 펌프나 관으로 1,3-부타디엔의 누출이 일어나기도 하는데 이를 파콘현상이라 함)이 자주 발생되지 않도록 관리하여야 하며, 반응조를 열기 전 1,3-부타디엔을 충분히 세척하고, 환기장치를 통해 완전히 배기시킨 후 열어야 하며, 안전수칙을 준수할 수 있도록 교육해야 한다. 산소농도측정시의 노출을 감소시키기 위해서는 가능한 밀폐작업으로 이루어질 수 있도록 해야 한다. 또한 단시간 노출가능성이 있는 모든 작업에서는 방독마스크를 착용하도록 하고, 방독용 카트리지의 교환역시 적절히 이루어질 수 있

도록 교육해야 한다. 고농도에 노출될 가능성이 있는 작업에는 송기식 마스크를 착용하도록 교육해야 할 것이다.

V. 결 론

국내에서 1,3-부타디엔을 제조 및 취급하는 근로자에 대해 8시간 및 단시간 노출특성에 대해 알아보고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 1,3-부타디엔을 제조 및 취급하는 근로자 59명을 대상으로 8시간 시간가중평균(8hr-TWA) 농도를 평가한 결과 정유업과 타이어 제조업종에 근무하는 근로자 20명 모두 검출한계 미만의 농도로 나타났으며, 모노머 제조업종의 기하평균 농도(농도 범위)는 0.044ppm(검출한계 미만-0.81ppm), 합성고무 및 합성수지 제조업종의 기하평균 농도(농도 범위)는 0.040ppm(검출한계 미만-33.1ppm)이었다. 또한 57명(96.6%)의 8hr-TWA 노출 수준은 1ppm이하로 나타났으나, 보수작업이 있었던 합성고무 및 합성수지 제조업종에서 노동부 8시간 노출기준 값(2ppm)을 초과하는 근로자가 2명(3.4%)이 있었다(21.5ppm 및 33.1ppm).

2. 1,3-부타디엔을 제조 및 취급하는 근로자 34명을 대상으로 단시간 노출평가(STEL)를 실시한 결과 1,3-부타디엔의 기하평균농도(농도범위)는 모노머 제조업종에서 0.35ppm(검출한계 미만-0.42ppm), 합성고무 및 합성수지 제조업종에서 7.87ppm(검출한계 미만-469.6ppm)으로 합성고무 및 합성수지 제조업종이 모노머 제조업종 보다 약 20배 이상 높게 나타났다($p < 0.05$).

3. 공정별(시료 채취, 수리)로 1,3-부타디엔의 단시간 노출에 대한 농도를 평가를 한 결과 시료채취(sampling)에서의 기하평균 농도는 1.39 ppm, 수리공정(repair)은 7.85ppm이었다. 그 외 기타공정(others)에서는 2명 모두 검출되지 않았다. 또한 노동부의 단시간 노출기준(10 ppm)을 초과하는 근로자는 14명(41%)이었으며, 이 중 12명은 수리공정에서 일하는 근로자이고, 나머지 2명은 시료채취공정에서 일하는 근로자였다.

이상의 결과로 보아 1,3-부타디엔 제조 및 취급 근로자의 1,3-부타디엔 평균노출농도(8hr-TWA)는 노동부 노출기준(2ppm)미만으로 추정된다. 그러나 합성고무 및 합성수지 제조업종의 수리공정에서는 최고 33.1ppm 노동부 노출기준을 15배 이상 초과하는 경우도 있었다.

단시간 노출 평가의 경우 합성고무 및 합성수지 제조업종의 기하평균 농도는 7.87ppm으로 노동부 단시간 노출기준(10ppm)의 약 80% 수준이며, 특히 공정별로 단시간 노출평가를 실시한 결과 수리공정에 근무하는 19명의 근로자 중 12명(63%)이 노동부 단시간 노출기준(10ppm)을 초과하였다. 이

와 같이 업종 및 공정에 따라 고농도의 1,3-부타디엔에 노출 되는 것으로 나타났다.

REFERENCES

- 노동부. 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준, 고시 제97-65 호; 1998.
- 노동부. 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준, 고시 제2008-26호; 2008.
- 대한석유화학공업협회. 제품별, 업체별 시장규모 총람 2004.
- 대한석유협회. 공급총괄. [cited 2008. September 1] Available from: URL: <http://www.petroleum.or.kr/> 2004
- 주귀돈, 정중득, 이종성, 최성봉, 신재훈 등. 석유화학제조공정에서 발생하는 유해화학물질 노출실태평가. 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원; 2004.(18-19쪽.)
- 한국플라스틱개발원. 고무, 플라스틱 산업총람. 2005
- 최호춘, 김강운, 정규철. 황성탄관에 포집된 1,3-부타디엔의 탈착효율 개선에 관한 연구. 한국산업위생학회지. 2002; 12(1): 18-26
- 환경부. 화학물질 유통량('02) 조사결과. 2004.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Documentation of Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, Cincinnati, OH ;2007
- ACGIH, Documentation of the TLVs[®] and BEIs[®] with other Worldwide Occupational Exposure Values. CD-ROM 2005, ACGIH, Cincinnati, OH, 2005.
- Cohen, A.C. Tables for Maximum Likelihood Estimates: Singly Truncated and Singly Censored Samples. *Technometrics* 3, 1996. pp. 535-541.
- IARC. 1,3-Butadiene. VOL.: 71. 1999 Apr. [cited 2005. August 16] Available from URL: <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol71/002-butadiene.html>
- OSHA. OSHA Preambles. Intro to 29 CFR Parts 1910, 1915, and 1926, Occupational Exposure to 1,3-Butadiene.
- Katzenmeyer EB. Chapter 47. Butadiene Rubber. In: Cralley LV, Cralley LJ, editors. *In-Plant Practices for Job Related Health Hazards Control*. Volume 1. Production Processes. U.S.A. John Willy & Sons. 1989. pp. 641-650
- Deurscher Ausschuss für Gefahrstoffe TRK-Wert für 1,3-butadiene. TRGS 1992; 102: 37-41
- Fajen JM, Lunsford RA, Roberts DR. Industrial exposure to 1,3-butadiene in monomer, polymer and end-user industries. In: Sorsa M, Peltonen K, Vainio H, Hemminki K, (eds) *Butadiene and styrene: assessment of health hazards*. IARC Scientific Publication 127. International Agency for Research on Cancer, Lyon, 1993. pp 3-13
- NIOSH, International Chemical Safety Cards #0017, 1993 [cited 2008. September 1] Available from: URL :<http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0017.html>
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Method 1024: 1,3-Butadiene, NIOSH Manual of Analytical Methods(NMAM), Fourth Edition, 2004
- Sorsa M, Autio K, Demopoulos NA, Jarventaus H, Rossner P, Sram RJ, Stephanou G, Vlachodimitropoulos D. Human cytogenic biomonitoring of occupational exposure to 1,3-butadiene. *Mutat Res* 1994; 309: 321-326
- Occupational Safety & Health Administration(OSHA). Occupational exposure 1,3-butadiene - 61:56746-56856 29 CFR Parts 1910, 1915, and 1926 Final rules. 1997
- Sorsa M, Osterman-Golkar S, Peltonen K, Saarikoski ST, Sram R. Assessment of exposure to butadiene in the process industry. *Toxicology* 1996a; 113: 77-83
- Sorsa M, Peltonen K, Anderson D, Demopoulos NA, Neumann HG, Osterman-Golkar S. Assessment of environmental and occupational exposure to butadiene as a model for risk estimation of petrochemical emissions. *Mutagenesis* 1996b; 11: 9-17
- U.S. EPA Motor Vehicle-Related Air Toxics Study. Section 7.0 - 1,3-butadiene. EPA-420-R-93-005. Ann Arbor, Michigan: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Mobile Sources, 1993. pp. 7-1 to 7-7.
- U.S. National Toxicology Program. Toxicology and Carcinogenesis Studies of 1,3-Butadiene in B6C3F1 Mice (inhalation study) Technical Report Series No. 434; DHHS (NIH) Pub. No. 93-3165. NTP, Research Triangle Park, NC (1993)