

테트라하이드로퓨란 제조 및 취급 근로자의 노출특성에 관한 연구 A Study on Characteristics of Exposure to Tetrahydrofuran of Manufacturing and Handling Workers

최호준^{1*} · 홍좌령¹ · 이귀영² · 김두호³ · 박정일⁴

Ho Chun Chio · Jwa Ryung Hong · Gye Young Lee · Doo Ho Kim · Chung Yill Park

¹대한산업보건협회 산업보건환경연구원, ²대한산업보건협회 충북산업보건센터,

³대한산업보건협회 울산산업보건센터, ⁴가톨릭대학교 산업의학센터

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

⁴Catholic Industrial Medical Center, The Catholic University of Korea

ABSTRACT

Objectives: Tetrahydrofuran (THF) is a colorless, water-miscible organic liquid with low viscosity at standard temperature and pressure. THF has been used as a solvent and a precursor for various syntheses of polymers. However, THF is known to irritate to the eyes, skin and mucus membranes. Overexposure by inhalation, ingestion or skin contact may produce nausea, dizziness, headaches, respiratory irritation and possible skin burns. The purpose of this study is to evaluate of the worker exposure and characteristics of workers in the workplaces that use or manufacture THF.

Methods: Sixteen factories in Korea, which manufacture or use THF, were selected for this study and a total of 130 air samples including 104 time-weighted average (TWA) samples and 26 short-term exposure limit (STEL) samples, were collected. Air samples were collected with charcoal tube (100mg/50mg) and analyzed by gas chromatograph/flame ionization detector(GC/FID).

Results: The TWA concentration of THF was 16.05ppm (GM) at PS script printing, 2.32ppm (GM) at PVC stabilizer, 1.03ppm (GM) at Lithium triethylborohydride, 0.63ppm (GM) at Polytetramethylene ether glycol(PTMEG), 0.42ppm (GM) at Manufacturing THF, 0.13ppm (GM) at Glue and 0.12ppm (GM) at synthetic rubber/resins. Two out of samples for PS script printing exceeded 50ppm as 8-hour exposure limit of MOEL. The short term exposure to THF was 54.77ppm (GM) at PS script printing, 17.10ppm (GM) at PTMEG, 13.76ppm (GM) at Manufacturing THF, 2.86ppm (GM) at Lithium triethylborohydride, 0.87ppm (GM) at synthetic rubber/resins and 0.13ppm (GM) Glue. We found that the highest exposure process for both the TWA and STEL samples was PS script process. Two samples exceeded 100ppm as short term exposure limit of Ministry of Employment and Labor(MOEL).

Conclusions: Characteristic of STEL concentration for THF is considerably different from TWA concentration in workplaces because workers could exposure high concentration of THF in a moment when they work irregularly schedule. So exposure controls for momentary works have to be prepared, and considered the skin absorption and inhale of THF.

Key words : Tetrahydrofuran, TWA, STEL, Exposure concentration, GC/FID

I. 서 론

테트라하이드로퓨란(Tetrahydrofuran, THF)은 휘발성이 강한 무색의 액체로 4개의 탄소 원자와 하나의 산소원자가 모여 오각형의 고리 구조를 갖는 에테르(R-O-R')이다. 테트라하이드로퓨란은 1,4-부탄디올(1,4-butanediol)로부터

물을 제거함으로써 얻어지며, 화학적으로 강한 극성을 가지기 때문에 다양한 범위에서 용매제로 사용되고, 물이나 유기용제와 잘 혼합되는 특성으로 단독 또는 반응성이 떨어지는 다른 용제와 혼합되어 전체적인 용제특성을 증가시키는데 사용되기도 한다.

테트라하이드로퓨란은 Polytetramethylene ether glycol (PTMEG)제조, 마그네틱 테이프, 접착제, PVC 시멘트, 비닐필름과 셀로판 등의 생산, 제약 및 화학반응공정에 사용되면서 기타 공업용 수지, 탄성중합체 폴리우레탄 코팅, 인쇄 잉크 등 다양한 분야에 사용되고 있으며, 석유화학산업이 발달된 우리나라의 산업구조상 앞으로 테트라하이드로퓨란에 대한 잠재적인 노출 가능성 및 작업자의 근무연한 증가 등으로 인해 유해 가능성 및 노출

*Corresponding author: Ho Chun Chio
서울 금천구 가산동
대한산업보건협회 산업보건환경연구원 중앙분석실험실
Tel: 02-863-9322, Fax: 02-863-9320,
E-mail: jrhong@kiha21.or.kr
Received: 2011. 3. 14, Revised: 2011. 7. 27.
Accepted: 2011. 9. 3.

영향은 증가될 것으로 예상된다.

국내에서는 2개의 사업장에서 테트라하이드로푸란을 생산하고 있으며, 2001년에 5만 5,000톤을 생산하였다. 세계 THF생산의 약 80%가 스파텍스의 원료인 Polytetramethylene ether glycol(PTMEG) 생산에 투입되고 나머지 20%는 각종 수지의 용제로 소비되고 있는데 주로 유기 금속 제조, 합성고무/수지의 촉매제, 제약업에서의 중간체 제조, 접착제 제조 등에 사용되고 있다. 2003년 작업환경 측정실태조사(한국산업안전공단, 2004)에 따르면 국내에서 테트라하이드로푸란을 제조하거나 취급하는 사업장은 모두 55개 사업장이며, 409명의 근로자가 테트라하이드로푸란을 취급하고 있다고 보고하고 있다.

테트라하이드로푸란의 급성독성으로는 흡입에 의한 구역질, 두통, 중추신경억제 증상이 있으며, 눈 및 상기도 자극, 피부 따끔거림과 피부염이 있다. 만성적인 영향으로는 백혈구 감소를 들 수 있으며, 간과 신장에 영향을 줄 수 있다는 보고도 있다(HSDB, 2005). 미국 국립독성프로그램(National Toxicology Program, 1998)에서 쥐를 대상으로 한 흡입실험에서 일부 간과 신장에 암 발생을 확인한 바 있어 사람에게 있어서도 암 가능성을 완전히 배제할 수 없는 물질이다.

국내에서 유통되는 많은 화학물질 중 벤젠, 노르말렉산, 디메틸포름아미드, 톨루엔 등과 같이 직업병을 유발했다거나 석면 등과 같이 산업장 뿐만 아니라 일반 대중에게 있어 중요한 관심이 되는 물질 등의 경우 이에 대한 조사와 연구 활동이 활발하게 이루어지지만 아직까지 국내에서 테트라하이드로푸란 그 자체가 이슈화된 적이 없을뿐더러 이에 대한 조사나 연구가 수행된 적은 없다. 다만 최호등 등이 테트라하이드로푸란의 노출기준 개정에 관한 연구가 보고되었을 뿐이다(최호춘 등, 2005).

따라서 본 연구에서는 국내 테트라하이드로푸란 제조 및 취급사업장에서 작업자에 대한 테트라하이드로푸란 노출 실태와 특성을 파악하고, 노출 근로자의 노출감소를 위한 장·단기적 대책 및 건강장해를 예방하기 위한 기초자료 마련에 그 목적이 있다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

테트라하이드로푸란에 노출되는 근로자의 노출평가를 위해 선정된 사업장은 총 16개 사업장으로 테트라하이드로푸란 제조사업장 2개소, 취급 사업장은 PTMEG 생산사업장 2개소를 포함하여 정밀화학사업장 2개소(PVC 안정제 제조사업장 1개소, 특수유기금속화합물 제조사업장 1개소), 합성고무/수지 제조사업장 6개소(반응촉매제로 사용하는 사업장 3개소, 품질관리실 3개소), 접착제 제조 사업장 2개소였다. 함유제품을 사용하는 사업장은 혈액백 제조시 테트라하이드로푸란이 함유된 접착제를 사용하는 제약회사 1개소를 선정하여 실시하였다.

각 사업장별로 개인시료 채취방법을 원칙으로 하여 사업장 규모, 연간사용량, 동일 노출군의 규모 등을 종합적으로 고려하여 8시간 시간가중평균(TWA)시료 104개와 단시간 시료채취(STEL) 26개를 포함하여 총 130개의 시료를 채취하였다. 단시간 시료 채취는 원료의 투입이나 샘플링 작업 등과 같은 순간 고농도 노출을 파악하기 위한 것으로 조사 당일의 작업유무 등을 파악한 후 측정하였다. Table 1은 연구 대상 사업장 수 및 공정별 시료 채취 개수를 나타낸 것이다.

2. 측정 및 분석방법

1) 측정방법

테트라하이드로푸란을 채취하기 위해 활성탄관(100mg/50mg, SKC 226-01, U.S.A)을 이용하여 채취하였다. 유량은 약 0.05L/min으로 하였고, 측정 전·후 개인시료채취기(LFS-113, Gilian, U.S.A)의 유량을 검량하였다. 측정시료는 아이스박스에 보관되어 운반되었으며, -20℃ 냉동고에서 보관하였다.

2) 분석조건

NIOSH #1609 방법을 기본으로 하여 활성탄관을 앞, 뒤 층으로 나누어 2mL 바이알에 옮긴 후 N,N-디메틸포름

Table 1. Number of companies and samples

	Products	Number of companies	Number of samples		
			8hr-TWA	Short term	Total
Manufacturing	Manufacturing THF	2	17	2	19
	PTMEG※	2	8	2	10
	Lithium triethylborohydride	1	6	8	14
	Synthetic rubber/resins	6	29	7	36
Using	PVC stabilizer	1	14	-	14
	PS script printing	1	10	4	14
	Glue	2	18	3	21
	Blood bag	1	2	-	2
Total	-	16	104	26	130

※ PTMEG : Polytetramethylene ether glycol

아미드가 3% 포함된 CS₂로 탈착하여 오토 샘플러가 장착된 가스크로마토그래피/불꽃이온화 검출기(GC/FID, CP-3800, Varian, U.S.A)로 분석하였다. 분석 컬럼은 DB-wax(30m×0.25mm ID, J&W Scientific, U.S.A)를 이용하였고, 분석조건은 Table 2에 나타내었다.

시료 분석을 위한 표준용액은 TWA 50ppm을 기준으로 0.1TLV, 0.5TLV, 1.0TLV, 2.0TLV수준으로 제조하였다. 검량선 작성과 내부정도관리를 위하여 측정시료의 농도를 포함할 수 있는 범위에서 최소한 3개 이상의 기지 농도 시료를 이용하여 검량선을 작성하였고, 공시료도 함께 분석하였다.

Table 2. Analyzing Conditions for Tetrahydrofuran

Parameters	Analytical conditions
Detector	FID
Column	DB-wax(30m×0.25mm ID)
Injector	230
Detector	250
Temperature(°C)	35°C(6min)-10°C/min-80°C(0min) -20°C/min-100°C(1min)
N ₂ (mL/min)	29
H ₂ (mL/min)	30
Flow rate	Air(mL/min) 300
Column flow (mL/min)	1
Split ratio	80:1

3. 통계분석

SAS 8.01 통계 프로그램을 이용하여 수집된 자료에 대한 정규성 검정 및 평균, 표준편차, 측정농도의 분포 등을 살펴보았다.

정규성 검정을 위해 테트라하이드로퓨란이 검출된 시료 농도를 정규분포표에 옮긴 결과와 대수정규분포표에 옮긴 결과는 Figure 1과 Figure 2와 같다. 정규분포보다는 대수정규분포에서 선형을 보이고 있어 전체 검출된 시료가 대수정규분포하는 것으로 보여 노출농도를 기하평균, 기하표준편차로 나타내었다. 검출한계는 검량선에서 구한

방정식의 표준오차(standard error, SE)를 기울기를 나누어 3배 해주는 방법을 이용하였다.

III. 연구결과

1. 공정별 테트라하이드로퓨란의 8시간 노출농도(TWA) 평가 결과

16개 사업장에 대한 테트라하이드로퓨란의 8시간 노출농도에 대한 기하평균은 Table 3에 나타내었다. 8시간 채취시료는 전체 104건 중 66건이 검출되어 63.5%의 검출률을 나타냈으며, 기하평균(GM)은 0.46ppm, 기하표준편차(GSD)는 6.93으로 나타났다.

우리나라 노동부 노출기준 50ppm을 기준으로 했을 경우 전체시료의 1.9%가 노출기준을 초과하는 것으로 조사되었으며, 테트라하이드로퓨란 농도가 50ppm을 초과하는 공정은 PS인쇄판 제조시 사용되는 감광코팅액 제조과정이었다.

테트라하이드로퓨란 생산공정에서는 테트라하드로퓨란 노출농도의 기하평균은 0.42ppm(범위 : 0.08~0.32ppm)이었고, PTMEG 제조 공정에서는 0.63ppm(범위 : 0.20~9.31ppm)로 조사되었다. 일반적으로 테트라하이드로퓨란 생산 및 PTMEG 제조 사업장에서는 일반적인 석유화학산업과 마찬가지로 관로를 통해 원료 및 반응물이 이송되므로 일상적인 조건하에서의 노출 가능성은 희박한 것으로 조사되었다.

유기금속화합물 제조 사업장에서는 반응, 포장 및 샘플링 등의 공정에서 시료를 채취하였으며, 노출 농도의 기하평균은 1.03ppm, 농도범위는 0.77~1.35 ppm으로 나타났다. 합성고무/수지 제조 사업장의 테트라하이드로퓨란 노출 농도 기하 평균은 0.12ppm(범위 : 0.13~1.17ppm)으로 테트로하이드로퓨란을 주로 반응촉매제로 사용하고 있지만 실제 사용량이 소량이기 때문에 근로자에 대한 노출정도는 심하지 않은 것으로 나타났다.

PVC안정제 제조 사업장에서 테트라하이드로퓨란의 노출 농도는 2.32 ppm(범위 : 1.01~6.30)로 조사되었으며, 이 공정에서는 테트라하이드로퓨란을 주요 용매로 사용

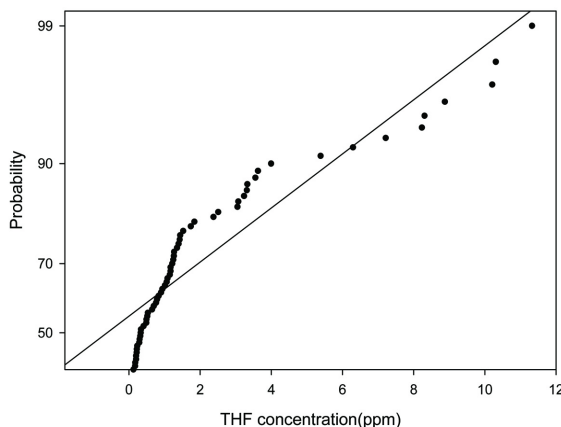


Figure 1. Normal distribution.

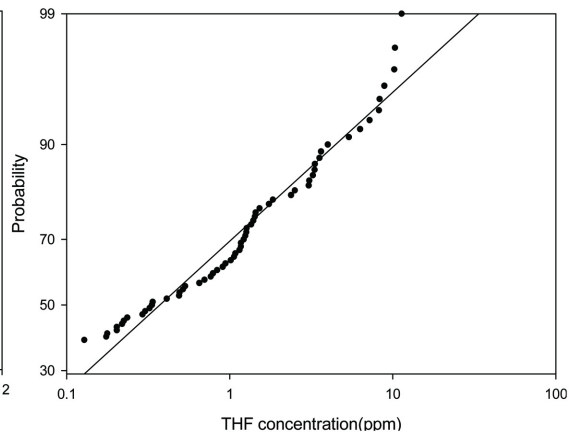


Figure 2. Log-normal distribution.

Table 3. Worker's exposure concentrations of Tetrahydrofuran

Process	Concentration of Tetrahydrofuran				
	N	GM(ppm)	GSD	Range(ppm)	Exceeded [†]
Manufacturing THF	14	0.42	4.65	0.08-3.32	0
PTMEG	11	0.63	6.95	0.20-9.31	0
Lithium triethylborohydride	6	1.03	1.28	0.77-1.35	0
Synthetic rubber/resins	29	0.12	2.70	0.13-1.17	0
PVC stabilizer	14	2.32	1.91	1.01-6.30	0
PS script printing	10	16.05	2.19	8.23-71.31	2
Glue	18	0.13	3.33	0.33-1.44	0
Blood bag	2	-	-	ND*	0
Total	102	0.46	6.94	0.13-71.31	2

* ND : not detected

[†] Exceeded : to go beyond the limit of Korean occupational exposure limit

하고 있어 반응물의 수세, 산세 또는 분리공정에서 폐액을 하부로 드레인 하는 과정에서 노출이 일어났다. 또한 테트라하이드로퓨란을 투입하는 과정이나 필터 청소 등의 유무 등에 따라서 노출 농도에 변화가 발생할 수 있었다.

PS 인쇄판 제조 사업장에서는 1개의 사업장에서 10건의 시료를 채취하였으며, 10개 모두 테트라하이드로퓨란이 검출되었는데, 노출 농도의 기하평균은 16.05ppm, 검출된 시료의 농도 범위는 8.23~71.31ppm이었다. 노동부의 노출기준인 50ppm을 초과하는 시료는 2건 이었고, 2건 모두 감광도팅액 제조 작업자에서 노출기준을 초과하였다. 감광도팅액을 만드는 공정에서는 작업자가 반응기의 맨홀 뚜껑을 열고 테트라하이드로퓨란이 포함된 원료를 투입하는 과정에서 고농도의 테트라하이드로퓨란에 노출되었다.

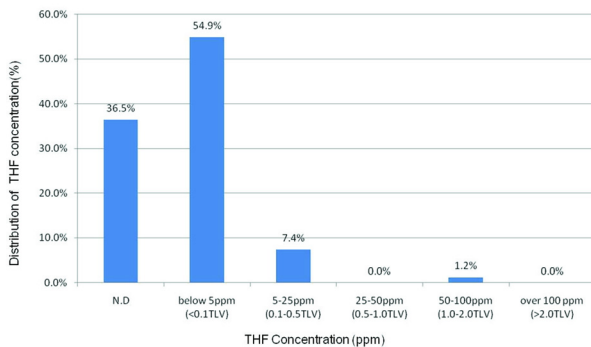


Figure 3. Distribution of time weighted concentration of THF

접착제 제조 사업장의 테트라하이드로퓨란의 노출 농도는 0.13ppm(범위 : 0.33~1.44ppm)으로 조사되었고, 테트라하이드로퓨란이 함유된 접착제를 이용하여 혈액백을 접착하는 공정에서는 채취 시료 모두 테트라하이드로퓨란이 검출되지 않았다. 이는 소량의 접착제를 사용함으로써 발생 면적이 작고, 하방형 국소배기장치가 설치된 작업대에서 작업이 이뤄지고 있었기 때문인 것으로 판단된다. Figure 3은 공정별 테트라하이드로퓨란의 8시간 노출 농도 결과를 우리나라 노출기준인 50ppm을 기준으로 구분하여 나타내었다.

2. 공정별 테트라하이드로퓨란의 단시간 노출 농도(STEL) 평가 결과

16개 사업장에 대한 테트라하이드로퓨란의 단시간 노출농도(STEL) 평가에 대한 결과는 Table 4에 나타내었다. 전체 26건 중에서 24건이 검출되어 92.3%의 검출률을 보였으며, 검출된 시료의 범위는 0.85~178.27ppm, 전체 기하평균은 5.09ppm, 기하표준편차는 6.41로 나타났다. 노출 평가를 실시한 26건의 시료 중 우리나라 노동부의 노출 기준인 100ppm을 초과한 건수는 2건이었다.

Table 4. Short term exposure levels of Tetrahydrofuran in processes

Industry	Concentration of Tetrahydrofuran				
	N	GM(ppm)	GSD	Range(ppm)	Exceeded
Manufacturing THF	2	13.76	1.19	12.18-15.55	0
PTMEG	2	17.10	1.01	17.02-17.17	0
Lithium triethylborohydride	8	2.86	1.89	1.25-9.14	0
Synthetic rubber/resins	7	0.87	6.08	0.85-6.81	0
PVC stabilizer	-	-	-	-	-
PS script printing	4	54.77	3.88	16.60-178.27	2
Glue	3	0.13	3.33	0.33-1.44	0
Blood bag	-	-	-	-	0
Total	26	5.09	6.41	0.85-178.27	2

테트라하이드로퓨란의 생산공정에서는 테트라하이드로퓨란에 함유된 수분을 측정하기 위한 샘플링 작업에서 2개의 시료를 채취하여 단시간 노출 평가를 실시하였고, 단시간 노출 농도의 기하평균은 13.76ppm(범위 : 12.18~15.55ppm)이었다. 샘플링 작업은 밸브를 열고 일정량은 폐액통에 버리고 나중의 것을 샘플링 용기에 취해 실험실로 가져가서 분석을 하게 되는데, 초기의 일정량을 버리는 과정에서 직업성 노출이 발생하고 있었다. 또한 폐액통이 개방되어 있어 일정시간 동안 휘발되면서 주변 작업자들에게도 영향을 주고 있었으며, 샘플링 작업은 실험실 근무자에 의해 1일 2회 정도 수행되었다.

PTMEG 제조 공정에서는 테트라하이드로퓨란의 농도가

17.10ppm(범위 : 17.02~17.17ppm), 유기금속화합물 제조 공정에서는 2.86ppm(범위 : 1.25~9.14ppm), 합성고무/수지 제조 공정에서 테트라하이드로퓨란 농도의 기하평균은 0.87ppm(범위 : 0.85~6.81ppm)으로 조사되었다.

PS인쇄판 제조공정에서는 4개의 시료를 채취하였는데 노출농도의 기하평균은 54.77ppm(16.60~178.27ppm)으로 조사되었다. 이 공정에서는 테트라하이드로퓨란 외 아세톤, 메틸에틸케톤, PGME(Propylene glycol monomethyl ether)도 높은 농도로 검출되었는데, 모두가 자극을 일으키는 물질이며, 특히 PGME는 마취성을 갖고 있어 테트라하이드로퓨란의 마취특성과 더해져 작업자에 대한 영향이 가중될 수 있다. 특히, 용기내부청소 및 코팅사이즈 변경 작업시 우리나라 노동부의 단시간 노출기준인 100ppm을 초과하였는데, 작업자가 반팔 소매의 작업복을 착용한 상태에서 작업을 하고 있어 테트라하이드로퓨란이 피부를 통해서 상당부분 흡수될 수 있으므로 이에 대한 관리도 필요한 것으로 나타났다.

접착제제조공정에서는 3개의 단시간 시료를 채취하여 3개 모두 테트라하이드로퓨란이 검출되었고, 이 때 노출농도의 기하평균은 14.10ppm(12.43~15.76ppm)으로 조사되었다. Figure 4는 테트라하이드로퓨란의 단시간 노출농도 평가 결과를 우리나라 단시간 노출기준인 100ppm을 기준으로 구분하여 나타내었다.

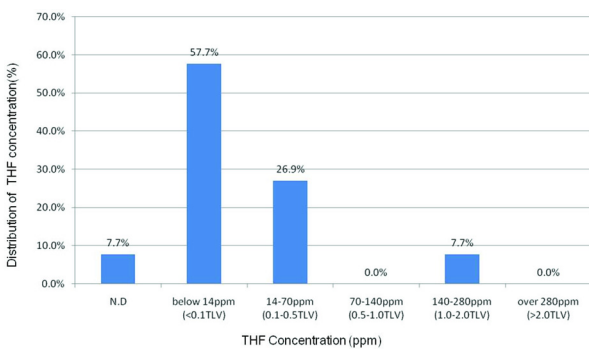


Figure 4. Distribution of the short term exposure concentration of THF

IV. 고찰

테트라하이드로퓨란을 제조하거나 촉매제, 접착제, 용매제로 취급하고 있는 공정에서 작업자들의 노출이 발생할 수 있으며(TARYN et al. 1987), 호흡기나 피부가 주요 노출경로이다. 테트라하이드로퓨란은 작업 형태에 따라 노출 특성이 확연히 달라지는 특성이 있는데 주로 화학플랜트의 밀폐 반응조, 관로를 통한 원료의 이송 등으로 실제 테트라하이드로퓨란의 노출 수준은 낮게 나타났다. 하지만 투입, 탈수, 세척 및 샘플링 작업이나 청소 등의 작업에서는 고농도의 노출이 가능하여 8시간 TWA와 15분 STEL 작업환경측정 결과는 검출한계미만의 저농도에서 노출기준 초과하는 고농도까지 다양한 농도 분포를 보이고 있었다.

또한 유기금속화합물 제조, 합성 고무/수지 제조 등의

공정에서도 PTMEG 생산공정과 마찬가지로 관을 통한 이송, 반응 과정을 거치기 때문에 작업자가 테트로하이드로퓨란에 직접적으로 노출되는 농도는 낮았고, 테트로하이드로퓨란의 투입, 탈수, 세척 및 샘플링 작업이나 반응기의 청소 등과 같은 작업에서 고농도의 노출이 가능하였다. 하지만 우리나라 산업안전보건법상의 노출기준 미만으로 나타났으며, 테트라하이드로퓨란을 첨가제로 사용하고 있는 다른 공정들에서도 테트라하이드로퓨란에 의한 노출수준은 미미하였다.

반면 감광코팅액 제조공정과 PS인쇄판 제조공정으로 구분되는 PS인쇄판 공정에서 가장 높은 수준(8.23~71.31ppm)의 테트라하이드로퓨란의 농도가 검출되었는데 테트라하이드로퓨란이 감광코팅액의 주요원료와 용매제로 사용되면서 작업자가 높은 농도 수준의 테트라하이드로퓨란에 노출되고 있었다.

PS인쇄판 제조특성상 빛을 차단하기 위해 건물구조가 외부와 폐쇄된 상태였으며, 테트로하이드로퓨란의 노출을 최소화하기 위해 국소배기장치에 의존하고 있었다. 그러나 환기 시스템의 주기적인 점검이 이뤄지지 않아 후드 파손, 덕트의 압력손실 증가, 송풍기 파손 등을 비롯한 환기시스템의 효율성 및 적정성 여부(작업 방식의 개인적 특성으로 인한 설치 방식의 변경 등)를 확인할 수 없었으며, 코팅액의 투입구 측에는 배기장치가 설치되어 있지 않아 코팅액의 투입작업시에 고농도의 노출이 가능했다.

또한 테트라하이드로퓨란이 피부를 통해서도 상당 부분 흡수되어 노출(Garnier R et al., 1981)되지만, 반팔차림의 작업복 착용으로 테트라하이드로퓨란의 노출이 가중될 수 있음에도 불구하고 이러한 부분에 대한 교육이나 산업 위생학적 접근이 부족했던 것이 사실이다. 이러한 피부 흡수와 관련해서 PVC안정제 제조 사업장의 경우에도 탈수, 세척, 투입 등의 작업에서 호흡기를 포함한 피부노출에 대한 작업자의 인식은 낮아 향후 테트라하이드로퓨란에 대한 교육시 피부흡수에 대한 부분을 보강해야 할 것으로 판단된다.

V. 결론

국내의 테트라하이드로퓨란 제조 및 취급하는 16개의 사업장을 대상으로 8시간(TWA) 및 단시간 노출(STEL) 평가를 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 8시간 TWA 노출 평가를 실시한 104개의 시료 중 테트라하이드로퓨란이 검출된 시료의 농도 범위는 0.13~71.31ppm이고, 노출 농도의 기하평균은 0.46ppm으로 조사되었으며, 전체 104건의 시료 중 2개의 시료에서 테트라하이드로퓨란에 대한 우리나라 노출기준 TWA 50ppm을 초과하는 것으로 나타났다.
2. 공정별로 8시간 노출(TWA)에 대한 노출 평가 결과 PS인쇄판 제조공정이 16.05ppm으로 가장 높은 농도를 나타냈으며, PVC 안정제 제조공정 (2.32ppm),

유기금속화합물 제조공정(1.03ppm), PTMEG 제조(0.63ppm), 테트라하이드로퓨란 제조(0.42ppm), 접착제 제조(0.13ppm), 합성 고무/수지 제조(0.12ppm) 순으로 조사되었다.

3. 근로자의 단시간 노출(STEL) 평가 결과 테트라하이드로퓨란이 검출된 시료의 농도 범위가 0.85~178.27 ppm이었고, 단시간 노출 농도의 기하평균은 5.09ppm으로 조사되었다. 단시간 노출평가를 실시한 전체 시료의 57.7%가 노출기준 100ppm의 10% 미만수준에 분포하고 있었으며, 50%수준까지는 92.3%로 분포하였다. 조사된 단시간 농도는 기하평균 기준으로 8시간 노출수준의 약 11배 수준으로 조사되었다.
4. 공정별 단시간 노출(STEL)에 대한 노출 평가 결과 PS인쇄판 제조공정(54.77ppm)이 8시간 노출 평가와 마찬가지로 가장 높은 농도 수준의 결과를 나타냈으며, PTMEG 제조공정(17.10ppm), 테트라하이드로퓨란 제조공정(13.76ppm), 유기금속화합물 제조공정(2.86ppm), 합성 수지/고무 제조 공정(0.87ppm), 접착제 제조공정(0.13ppm)순으로 조사되었다.

이상의 결과를 종합하였을 때, 테트라하이드로퓨란은 정상적인 작업의 8시간 노출 평가에서는 거의 대부분이 노출기준 미만으로 나타났지만 비정기적으로 발생하는 단시간 노출작업 중의 공기 중 시료는 정기적인 작업과는 다른 양상을 나타낼 수 있어 이에 대한 대책을 마련해야 한다는 것을 알 수 있었다. 뚜껑을 열고 테트라하이드로퓨란을 주입하는 작업 등 단시간 고농도의 테트라하이드로퓨란에 노출될 수 있는 공정에 대해서는 환기시스템의 주기적인 점검을 통해 호흡기를 통한 테트라하이드로퓨란의 노출을 최소화해야 하며, 테트라하이드로퓨란이 피부를 통해 노출이 가중될 수 있으므로 작업시 적절한 작업복, 보호구 및 장갑 등의 착용을 위한 작업자들에 대한 교육 등 여러 가지 각도에서 관리가 이뤄져야 할 것이다.

Reference

- 노동부. 화학물질 노출기준 개정 연구-테트라하이드로퓨란, 2005.
- 노동부. 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheet)
- 노동부. 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(고시 제2010-44호). 노동부, 2010.
- Hara K et al, Forensic toxicological analysis of tetrahydrofuran in body material. *Z Rechtsmed*, 1987;98;49-55.
- Widstrom J&Friis L, DEC and SCG Basis for an Occupational Health Standard - Tetrahydrofuran, *Arbete Och Hals - Vetenskaplig Skriftserie*, 1989;27.
- Weast RC & Astle MJ(des), *CRC Handbook of Data on Organic Compounds, Volume II*, CRC Press Inc, Boca Raton, Florida, USA, 1985;328.
- NIOSH, Tetrahydrofuran : Preliminary Report if Plants and Processes, Report No PB83-104208, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, Ohio, 1982.
- C N Ong, S E Chia, W H Phoon, K T Tan. Biological monitoring of occupational exposure to tetrahydrofuran. *British Journal of Industrial Medicine* 1991;48:-616-621.
- Eivor Elovaara, Pirkko Pfaffli and H. Savolainen. Burden and Biochemical Effects of Extended Tetrahydrofuran Vapour Inhalation of Three Concentration Levels. *Acta pharmacol. et toxicol.* 1984, 54, 221-226.
- TARYN L. B. BOIVIN. Synthetic routes to tetrahydrofuran, tetrahydropyran, and spiroketal units of polyther antibiotics and a survey of spiroketals of other natural products. *Tetrahedron* 1987;43:3309-3362.
- R Garnier, N Rosenberg, J M Puissant, J P Chauvet, M L Eftymiou. Tetrahydrofuran poisoning after occupational exposure. *British Journal of Industrial Medicine* 1989;46:677-678
- M. Mark Midland. Preparation of monolithium acetylide in tetrahydrofuran. Reaction with aldehydes and ketones. *J. Org. Chem.*, 1975;40(15):2250-2252.
- Horiushi, K., Horigushi, S., Utsunomiya, T., ja muut : toxicity of an organic solvent, Tetrahydrofuran, on the basis of industrial health studies at a certain factory, *sumitomo buletin o findustrial health*, 1967;3:49-56.
- Ong C. N., chia S. E., Phoon W.H., Tan K. T.: Biological monitoring of occupational exposure to tetrahydrofuran. *british Journal of Industrial Medicine*, 1991;48:-616-621.
- Elovaara E, Pfaffli P, Savolainen H. Burden and biochemical effects of extended tetrahydrofuran vapor inhalation of three concentraion levels. *Acta Pharmacologica et toxicologica*. 1984;54:221-6.
- National Institute of Occupationla Safety and health-(NIOSH) : Method 1609. In *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards and Other Databases*. Cincinnati, Ohio: NIOSH, 1994.