

## 발포 및 세척 공정 근로자의 공기중 Methylene Chloride 노출 농도와 혈중 Carboxyhemoglobin 수준간의 상관관계에 관한 연구

인제대학교 산업안전보건학과<sup>†</sup>, 한국산업안전공단 산업안전보건연구원<sup>\*</sup>

신용철<sup>†</sup> · 김양호<sup>\*</sup> · 이광용<sup>\*</sup>

### -Abstract-

### Relationship between Exposure Concentrations to Methylene Chloride in Air and Carboxyhemoglobin Levels in Blood of Workers Engaged in Blowing, and Cleaning Operations

Yong Chul Shin<sup>†</sup>, Yang Ho Kim<sup>\*</sup>, Gwang Yong Yi<sup>\*</sup>

*Dept. of Occupational Health and Safety, Inje University<sup>†</sup>, Industrial Safety and Health Research Institute, KISCO<sup>\*</sup>*

The objectives of this study were to evaluate exposures to airborne methylene chloride and postshift carboxyhemoglobin (COHb) in blood of workers engaged in processes using blowing or cleaning agents, and to investigate correlation between methylene chloride concentrations and the blood COHb levels of workers. The geometric mean (GM) of workers' exposures (8 hour-time weighted averages, TWA) to airborne methylene chloride during cleaning molds using rags wetted with the solvent in the manufacture of flexible polyurethane foam (GM = 61.4 ppm), during operating the dip tank for cleaning molds in the manufacture of lens (GM = 61.0 ppm), and during cleaning the blowing nozzles by spraying the solvent in the manufacture of shoes (GM = 117.2 ppm) were exceeded the American

---

<sup>†</sup> 교신저자

Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) Threshold Limit Value (TLV<sup>®</sup>)-Time Weighted Average (TWA) (50 ppm). The COHb levels were significantly different among groups ( $p < 0.05$ ). The average COHb levels in blood of non-smoking workers were 2.0% in low-level ( $< 50$  ppm) exposure group, and 3.9% in high-level ( $> 50$  ppm) exposure group. The average COHb levels in smoking workers were 3.1% in low-level exposure group, and 4.8% in high-level exposure group. The blood COHb levels of no-exposed workers to methylene chloride were 1.8% in non-smoking group, and 2.8% in smoking group. It was found that the COHb level depends on the methylene chloride concentration and smoking habit, and was highly correlated with methylene chloride concentration in air. The correlation coefficient was 0.81 among non-smoking workers. The estimated COHb level (3.6%) and 95% upper confidence limit (4.0%) corresponding to TLV-TWA of methylene chloride exceeded the current ACGIH Biological Exposure Index (COHb 3.5%) for carbon monoxide. The estimated COHb level (5.4%) at 100 ppm exceeded the standard (5%) recommended by National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) for preventing adverse cardiovascular effect. The estimated COHb value and 95% upper confidence limit at 25 ppm of the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Permissible Exposure Limit-TWA (PEL-TWA) were 2.6% and 3.0%, respectively. It is suggested that COHb in blood be kept below 3.0% to comply with OSHA PEL-TWA.

**Key Words :** exposure to methylene chloride, carboxyhemoglobin(COHb) level in blood, blowing or cleaning agents, smoking

## I. 서 론

메틸렌클로라이드 (methylene chloride)는 무색, 및 불연성, 강한 휘발성을 가진 액체로 세척제 (탈지제), 폴리우레탄 발포제, 페인트 제거제, 탈지제, 에어로솔 추진제, 제약업 및 식품제조업에서 용매, 카페인 제거제, 곡물 및 과일의 훈증제 등으로 사용되고 있다 (NIOSH, 1986).

메틸렌클로라이드 증기는 눈, 피부 및 상기도를 자극하며, 피부에 반복 노출되는 경우 피부염이 유발될 수 있다. 이 물질은 중추신경을 저해하며 두통, 현기증, 구토, 혼수, 성가심, 마비 및 사지 통증과 같은 증상을 수반한다. 과다한 메틸렌클로라이드 노출에 의해 폐수종, 중독성 뇌질환 (toxic encephalopathy), 혼수상태나 심한 경우 사망까지 이를 수 있

다. 메틸렌클로라이드는 체내에서 이산화탄소 ( $\text{CO}_2$ )와 일산화탄소 (CO)로 일부 대사되며, CO는 혈중 헤모글로빈 (Hemoglobin, Hb)과 결합하여 카복시헤모글로빈 (carboxyhemoglobin, COHb)을 형성한다. COHb이 형성되면 헤모글로빈은 산소전달 능력을 잃게되므로 다양한 심혈관계 질환을 야기하거나 기존 심혈관계 질환이 있는 경우 이를 더욱 악화시킨다 (NIOSH, 1986; Torkelson and Rowe, 1981). 체내에 흡수된 메틸렌클로라이드의 약 25%는 CO로 배출되며 노출후 (postexposure) 배출량은 흡수량의 5% 미만이다 (Astrand et al., 1975).

메틸렌클로라이드는 특히 발암성이 있는 물질로 알려져 있다. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, 1986)에서는 메틸렌클로라이드를 잠재적인 직업성 발암물질로 간주하고

있으며, 이에 근거하여 근로자의 노출을 가능한 한 낮게 관리하도록 권고하고 있다. International Agency Research on Cancer (IARC, 1987)에서는 메틸렌클로라이드를 “2B (possibly carcinogenic to human)”로, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH, 1998)에서는 “animal carcinogen (A3)”으로 규정하고 있다.

작업환경중 메틸렌클로라이드에 대한 우리 나라 노동부(1998)의 노출기준과 ACGIH (1998)의 Threshold Limit Value (TLV)는 8시간 시간가중평균치 (8-hour time weighted average, 8hr-TWA)로서 50 ppm이고, Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (1997)의 Permissible Exposure Limit (PEL)은 8hr-TWA로서 25 ppm, 단시간노출농도 (short-term exposure limit, STEL)로서 125 ppm이다. ACGIH (1998)는 혈중 COHb 수준 3.5%를 CO 노출에 대한 생물학적지수(Biological Exposure Index, BEI)로 설정하였고 NIOSH (1976)는 메틸렌클로라이드 노출에 따른 혈중 COHb 수준이 5%를 초과하지 않도록 권고하고 있다.

본 연구의 목적은 세척제 또는 발포제로 사용하는 공정에서의 공기중 메틸렌클로라이드 농도와 근로자의 혈중 COHb를 평가하고, 공기중 메틸렌클로라이드 농도와 근로자의 혈중 COHb 농도간의 상관관계를 파악하는 데 있다.

## II. 연구방법

### 1. 대 상

연구 대상은 메틸렌클로라이드를 발포제 및 세척제로 사용하는 사업장 7개소로 폴리우레탄폼 (polyurethane foam) 제조업체 1개소, 안경렌즈 제조업체 2개소, 신발부품 제조업체 2개소, 자동차부품 제조업체 2개소였다. 이들 업체의 세척공정 및 발포공정과 이들 공정과 인접한 공정에서 작업하는 근로

자 50명을 대상으로 공기중 메틸렌클로라이드 노출농도를 측정하였다. 혈액중 COHb 수준을 평가하기 위해 혈액을 채취한 근로자는 생산직 근로자 52명, 사무직 근로자 (대조군) 13명이었다. 공기중 메틸렌클로라이드 노출농도와 COHb 수준을 둘 다 측정한 근로자는 45명으로 이중 비흡연자 22명, 흡연자 23명이었다.

폴리우레탄폼 제조업체에서는 메틸렌클로라이드를 발포제로 사용하고 있었다. 폴리우레탄 폼 제조업체에서는 폴리프로필렌글리콜 (polypropylene glycol)와 톨루엔다이소시아네이트 (toluene diisocyanate, TDI)를 주성분으로 폴리우레탄 폼을 생산하고 있었다. 생산 제품에 따라 경질 공정과 연질 공정으로 구분이 되며 경질 공정에서는 하드 보드를 생산하며, 연질 공정에서는 일반 유연성이 있는 폴리우레탄 폼을 생산하고 있다. 이들 공정에서는 근로자는 발포기를 메틸렌클로라이드로 적신 형걸으로 닦아내는 과정에서 메틸렌클로라이드에 노출되고 있었다.

플라스틱 안경렌즈를 생산하는 사업장은 주형 (mold)에 수지를 주입하여 중합반응을 이용하여 제품을 생산하고 있었다. 이 업체에서는 메틸렌클로라이드로 중합반응 직전 및 직후 두 번에 걸쳐 주형을 세척하고 있었다. 세척조 (dip tank)는 밀폐형으로 되어 있으며 세척액은 메틸렌클로라이드와 물을 혼합해 초음파로 세척하였다. 세척조는 몇 단계로 분할되어 있어 주형을 단계적으로 담그고 꺼내는 작업을 반복하고 있었다. 이 업종에 종사하는 2개 대상 사업장은 공정이 동일하고 농도 분포가 유사하였다. 이 업종 근로자의 노출 수준을 직무에 따라 평가하였으며 직무는 세척조 관리 (세척액 교환, 세척조 점검), 그리고 세척조 주변에서 주형을 검사하거나 조립하는 작업으로 구분하였다.

대상 신발 제조업체는 중소 규모의 사업장 (A)과 영세 사업장 (B) 2개소였다. 이 업종에서는 신발의 안창 및 바닥 소재인 폴리우레탄 제조하기 위해 원액을 발포한 후 발포기 노즐 세척을 위해서 메틸렌

클로라이드가 사용되고 있었다. A 업체의 경우 발포 공정 작업자와 주형 탈형 작업자 그리고 인접 공정의 근로자가 노출 가능성이 있었으며, 발포공정에서는 소량의 메틸렌클로라이드를 사용해서 반자동으로 노즐을 세척하고 있었다. B 업체의 경우 주요 메틸렌클로라이드 노출 대상은 발포기 노즐을 세척하는 작업이 있는 발포 공정이나 작업공간이 협소하기 때문에 주변의 탈형 작업자, 주형 검사자 등 대부분의 근로자가 발생원에서 확산된 메틸렌클로라이드 증기에 노출될 수 있는 조건이었다. 이 업체의 발포공정은 발포 담당자, 수작업으로 주형에 발포액을 분배하는 작업자 및 주형 두정을 덮는 작업자 등 3인 1조로 작업을 하고 있었다.

자동차 부품 제조업체 2개소중 한 업체는 사출에 의해 생산된 자동차 램프를 코팅하는 공정에서 램프를 올려놓는 받침대를 세척할 때 메틸렌클로라이드를 사용하고 있었다. 이 업체에서는 받침대를 메틸렌클로라이드 통에 담금으로써 받침대의 불순물을 세척한다. 다른 한 업체는 자동차의 크래쉬 패드(crash pad)를 생산하는 사업장으로 저압의 발포기 노즐을 사용하는 공정에서 노즐을 세척할 때 메틸렌클로라이드를 사용하나 대부분의 공정에서는 고압노즐을 사용하고 있었다.

## 2. 방 법

공기중 메틸렌클로라이드의 채취는 NIOSH의 공정시험법인 Method No. 1005 (NIOSH, 1994)을 이용하여 근로자 호흡영역에서 0.06 - 0.1 L/min으로 활성탄관을 이용하여 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 CS<sub>2</sub>로 탈착시킨 후 불꽃 이온화 검출기가 부착된 gaschromatograph (5890 Series II, Hewlett Packard, USA)를 사용하여 분석하였다.

혈중 COHb를 측정하기 위해 작업종료시 헤파린(heparin)으로 처리된 관을 사용하여 정맥혈을 채취하였으며, 채혈후 측정선까지 밀폐하여 냉암소에 보

관하였다. 혈액중 COHb 농도는 alkali hematin 법(Baurer, 1992)을 이용하여 분석하였다.

근로자 (n=45)의 혈중 COHb에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 근로자의 성, 나이, 근무년수, 흡연량과 공기중 메틸렌클로라이드 농도를 독립변수로 설정하였고, 이들 변수와 근로자의 혈중 COHb 농도간의 관계를 분석하기 위해 stepwise multiple regression analysis (John et al., 1990)을 이용하였다.

혈액시료를 채취한 비흡연자 28명중 메틸렌클로라이드 노출농도를 측정된 근로자는 22명이었다. 흡연에 따른 CO의 영향을 배제하기 위해 비흡연자만을 대상으로 메틸렌클로라이드 농도와 COHb 수준과의 회귀식을 구하였다. 잔차 도표(residual plot) 상에서 이상값(outlier)로 보이는 자료를 배제한 후(John et al., 1990), 구한 회귀식으로부터 근로자의 노출농도가 ACGIH TLV-TWA와 OSHA PEL-TWA 수준일 때 근로자의 혈중 COHb 수준을 예측하였다.

## III. 결 과

### 1. 업종 및 직무별 공기중 메틸렌클로라이드 농도 평가

업종 및 직무별로 근로자의 호흡위치에서 측정된 공기중 메틸렌클로라이드 농도는 Table 1에 요약되어 있다. 폴리우레탄폼 제조업체의 경질 공정에서는 발포기를 청소하는 근로자의 메틸렌클로라이드 노출농도는 0.88 - 1.09 ppm으로 매우 낮았다. 연질 공정에서는 메틸렌클로라이드는 발포제와 세척제로 사용되고 있었고 근로자의 노출농도는 기하 평균은 61.4 ppm이었고 범위는 51.1 - 71.6 ppm으로 모든 시료가 노동부 노출기준 및 ACGIH (1998) TLV-TWA (50 ppm)를 초과하였다.

플라스틱 안경렌즈를 생산하는 두 개 업체의 세척조 공정에서 종사하는 근로자의 메틸렌클로라이드

Table 1. Worker's Exposure Levels to Airborne Methylene Chloride by Process and Job

Process	Job	Ventilation	Time-Weighted Average				Violation <sup>A</sup>	
			N	GM, ppm	GSD	Range, ppm	PEL	TLV
polyurethane foam manufacture/ Factory A	Cleaning blowing nozzle by rags soaked with MC <sup>B</sup> during hard PU foam manufacturing	No	2			0.88 - 1.09	0	0
	Blowing; cleaning molds by rags soaked with MC during flexible PU <sup>C</sup> foam manufacturing	Local	6	61.4	1.11	51.1 - 71.6	6 (100)	6 (100)
Lens manufacture/ Factory B & C	Mold cleaning by dipping into tank; exchange the cleaning solution, managing the molding facilities	Local	9	61.0	1.32	39.8 - 81.8	9 (100)	7 (77.8)
	Inspecting the cleaned molds; molds assembling	No	4	32.0	1.54	20.2 - 52.2	2 (50)	1 (25)
Shoes manufacture/ Factory D & E	Factory D Cleaning the blowing nozzle;	Local	1			20.6	0	0
	Other jobs	No	8	5.98	2.43	2.3-46.3	1 (12.5)	0
	Factory E Cleaning blowing nozzle;	No	3	117.2	1.07	109.0-122.6	3 (100)	3 (100)
	Other jobs	No	5	30.1	1.83	14.8-66.6	3 (60)	1 (20)
Automobile accessories manufacture/ Factory F & G	Jig cleaning(Factory F)	No	1			15.0	0	0
	Nozzle cleaning(Factory G)	Local	1			6.81	0	0
	Other jobs(Factory F&G)		10			N.D. - 3.4	0	0

Note: GM = Geometric mean; GSD = Geometric standard deviation; PEL: Occupational Safety and Health Administration's Permissible Exposure Limit; TLV = American Governmental Industrial Hygienists's Threshold Limit Value; N.D. : Non detectable (<3.3 ppm)

<sup>A</sup> Number of samples exceeding the stated standard; <sup>B</sup> MC: methylene chloride; <sup>C</sup> PU: Polyurethane

노출농도는 유의한 차이가 없었다( $P>0.05$ ) 이 공정 근로자의 메틸렌클로라이드 평균 노출농도는 61 ppm이었고 모든 시료가 OSHA (1998) PEL-TWA를 초과하였고 전체시료의 77.8%는 TLV-TWA를 초과하였다. 한편 이 업종에서는 세척된 주형을 검사하거나 조립하는 근로자들이 평균 32 ppm 수준의 메틸렌클로라이드에 노출되었으며 일부 시료는 노동

부 노출기준을 초과하였다.

두 개 신발 제조업체 근로자의 공기중 메틸렌클로라이드 노출 수준은 큰 차이가 있었다( $p<0.05$ ) 노출을 세척하는 근로자의 메틸렌클로라이드 노출 농도는 D 업체의 경우 20.6 ppm이나 E 업체의 경우 평균 117.2 ppm, 범위 119.0 - 122.6 ppm으로 나타났다. B 업체의 세척 공정 시료는 노동부 노출기준을 모두

Table 2. Postshift Carboxyhemoglobin Levels of Workers by Exposure Level to Methylene Chloride, and by Smoking Category

Smoking	Exposure to Methylene Chloride	N	COHb Level					Methylene Chloride Conc. (TWA), ppm
			GM,%	GSD	Range, %	>3.5% <sup>A</sup>	>5% <sup>B</sup>	
No	No	8	1.8	1.7	1.1-4.2	2(25)	0	
No	Low (<50 ppm)	14	2.0	1.7	0.90-4.3	2(14.3)	0	1.09-46.3
No	High (≥50 ppm)	6	3.9	1.2	3.4-5.1	4(66.7)	1(16.7)	52.2-81.1
Yes	No	5	2.8	1.6	1.4-4.7	2(40)	0	< 3.3
Yes	Low (<50 ppm)	7	3.1	1.4	1.9-4.5	4(57.1)	0	0.88-18.6
Yes	High (≥50 ppm)	12	4.8	1.5	3.8-8.8	12(100)	9(75)	51.1-122.6
No	Control group <sup>C</sup>	13	1.4	1.2	0.9-1.7	0	0	

Note: GM = Geometric mean; GSD = Geometric standard deviation

<sup>A</sup> Number of samples exceeding the COHb level of 3.5%; <sup>B</sup> Number of samples exceeding the blood COHb level of 5%; <sup>C</sup> White-collar and non-smoking workers

Table 3. Summary of Multiple Regression between Carboxyhemoglobin Level in Blood and Two Independent Variables, Methylene Chloride Concentration and Smoking

Parameters <sup>A</sup>	Coefficient	Standard Error	P value
Intercept	1.81	0.262	<0.001
Smoking, packs/day	1.62	0.366	<0.001
Methylene Chloride Concentration, ppm	0.034	0.0052	<0.001

<sup>A</sup>  $R^2 = 0.69$ ,  $N = 45$ ,  $p < 0.001$ ; Sex, age, duration of employment of workers did not significantly add to the ability of the equation to predict the blood COHb ( $p < 0.05$ ), and were not included in the equation.

초과하였다. 발포공정 또는 세척공정 외의 공정에서 채취한 시료의 메틸렌클로라이드 농도는 D 업체의 경우 평균 5.98 ppm, 범위 2.3 - 46.3 ppm이었고, E 업체의 경우 평균 30.1 ppm, 범위 14.8 - 66.6 ppm으로 나타났다. E 업체의 발생원과 인접한 공정에서 채취한 시료의 60%는 OSHA PEL-TWA를 초과하였고 20%는 노동부 노출기준을 초과하였다.

자동차 부품제조업체에서 받침대 세척작업과 노즐세척 공정에서의 메틸렌클로라이드 농도는 각각 15.0 ppm 및 6.81 ppm으로 다른 업종의 공정 또는 직무보다는 비교적 낮은 수준이었다. 메틸렌클로라이드를 직접 취급하지 않는 근로자 10명의 메틸렌클

로라이드 노출농도는 <3.3 - 3.4 ppm의 범위였다.

## 2. 혈중 COHb 농도 평가

대상 업체의 근로자의 혈중 COHb 수준을 흡연여부 및 메틸렌클로라이드 노출 여부에 따라 정리한 결과는 Table 2에 요약되어 있다. 메틸렌클로라이드 노출군은 50 ppm 미만의 저농도 노출군과 50 ppm 이상의 고농도 노출군으로 분류하였다. 분산분석결과 근로자의 혈중 농도는 흡연여부와 메틸렌클로라이드 노출 여부 및 수준에 따라 뚜렷한 차이가 있는 것으로 나타났다 ( $P < 0.001$ ). 비흡연군에서의

COHb 수준은 메틸렌클로라이드에 노출되지 않은 근로자의 경우 평균 1.8% (1.1 ~ 4.2%), 저농도 (< 50 ppm)의 메틸렌클로라이드에 노출되는 경우 평균 2.0% (0.90 ~ 4.3%), 고농도 ( $\geq 50$  ppm)의 메틸렌클로라이드에 노출되는 경우 평균 3.9% (3.4 ~ 5.1%)로 나타났다. 개인간의 변이의 영향으로 비노출군과 저농도 노출군의 COHb 수준간에는 t-검정 결과 유의한 차이가 없었으나 ( $p > 0.05$ ), 고농도 노출군의 COHb 수준은 비노출군 및 저농도 노출군의 값보다 유의하게 높았다 ( $p < 0.01$ ). ACGIH (1998)에서 제시한 CO의 BEI인 혈중 COHb 3.5%를 초과하는 비율은 저농도 노출군에서 14.3%, 고농도 노출군에서 66.7%로 나타났으며, 고농도 노출군의 16.7%는 NIOSH (1976)인 5%를 초과하였다.

메틸렌클로라이드에 노출되는 않는 흡연군의 COHb 수준은 평균 2.8% (1.4 ~ 4.7%)로 저농도의 메틸렌클로라이드에 노출되는 비흡연군의 값 (평균 3.1%)보다 높은 경향을 보이거나 통계적으로 유의한 차이는 없었다 ( $p > 0.05$ ). 고농도 노출 흡연군은 비노출 흡연군 및 저농도 노출 흡연군 값보다 유의하게 높았다 ( $p < 0.01$  및  $p < 0.001$ ). 그러나 저농도 노출 흡연군의 COHb 값은 비노출 흡연군의 값과는 유의한 차이가 없었다 ( $p < 0.05$ ). 메틸렌클로라이드에 노출되지 않는 5명의 흡연자중 2명의 COHb 수준은 3.5%를 초과하였고 최고 4.7%에 이르는 근로자도 있었다. 흡연군중 저농도 노출 근로자의 COHb 수준은 평균 3.1% (1.9 ~ 4.5%)로 NIOSH (1976) 기준인 5%를 초과하는 근로자는 없었으나 57.1%의 근로자가 ACGIH (1998)의 기준인 3.5%를 초과하였다. 흡연군중 고농도 노출 근로자의 평균 COHb 수준은 평균 4.8%로 나타났으며 COHb 수준이 3.5% 및 5%를 초과하는 비율은 각각 100% 및 75%이었다.

### 3. 메틸렌클로라이드 농도와 혈중 COHb 수준간의 상관관계

#### 1) 다중회귀분석결과

독립변수인 성, 나이, 근무년수, 나이, 흡연량, 메틸렌클로라이드 농도와 종속변수인 혈중 COHb 수준간의 다중회귀분석 결과, 공기중 메틸렌클로라이드 농도와 흡연량은 혈중 COHb의 수준을 예측하는 모델의 능력을 설명하는 변수로 작용하나( $p < 0.001$ ), 근로자의 성, 나이, 근무기간은 모델의 예측력을 유의하게 증가시키지 않았다 ( $p > 0.05$ ). 혈중 COHb 수준과 밀접한 상관성이 있는 두 독립변수, 즉 메틸렌클로라이드 농도와 흡연량과 종속변수간의 회귀모델은 Table 3과 같다.

#### 2) 공기중 메틸렌클로라이드 농도와 혈중 COHb 간 수준간의 상관관계

흡연은 혈중 COHb 수준에 영향을 주는 변수이므로 흡연에 의한 영향을 배제하기 위해 비흡연군의 자료만으로써 메틸렌클로라이드 농도로부터 혈중 COHb 수준을 예측하는 모델을 구하였다. 대상 근로자중 비흡연군 ( $n = 22$ )에서의 두 변수간의 관계는 밀접한 상관성이 있었다 ( $r = 0.74$ ,  $p < 0.001$ ). 잔차분석에 의해 이상값으로 보이는 값( $n=1$ )을 제외한 경우 상관성은 더욱 향상되었다( $r = 0.81$ ,  $p < 0.001$ ). 두 변수간의 관계를 나타낸 도표는 Fig.1과 같고 회귀식은  $y = 1.70 + 0.037x$ 이었다. 흡연군 ( $n = 23$ )에서도 두 변수간의 회귀식은  $y = 3.09 + 0.039x$ 로 두 변수간의 상관성은 높았다 ( $r = 0.77$ ,  $p < 0.001$ ).

흡연군에서의 회귀식을 보면 y 절편 값이 비흡연군에서의 회귀식보다 큰데 이것은 흡연에 의한 영향으로 여겨진다.

## IV. 고 찰

### 1. 공기중 메틸렌클로라이드 농도 평가

폴리우레탄 제조업종에서 경질공정과 연질공정간의 메틸렌클로라이드 농도 차이는 각 공정의 메틸렌클로라이드 사용량과 취급시간에 기인한다. 경질공

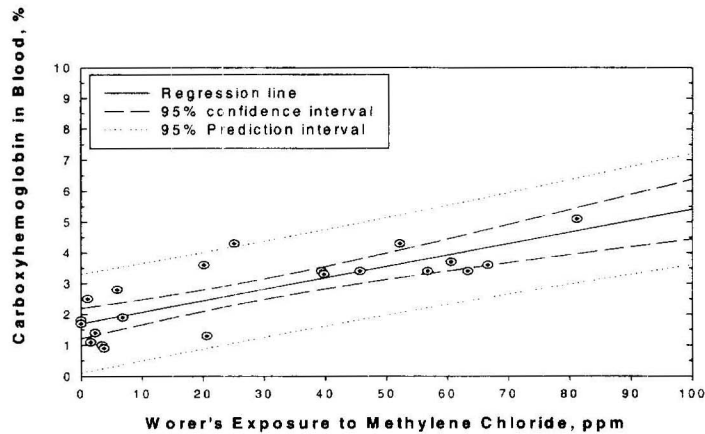


Fig. 1. Plot of carboxyhemoglobin levels in blood on no-smoking workers' exposures to methylene chloride.  
The regression equation is  $y=1.70+0.037 \times (N=21, R^2=0.66, P<0.001)$ .

정의 경우 메틸렌클로라이드를 취급하는 작업은 간헐적으로 이루어지고 있었고 근로자가 이 물질을 취급하는 시간도 1분 이내로 짧아 노출농도가 낮았다. 연질공정에서는 메틸렌클로라이드 사용량이 많고 세척은 하루 4 - 5번 실시되었으며 세척시간도 비교적 길어 근로자의 메틸렌클로라이드 노출 수준이 높았다. 경질 공정의 경우 국소배기 장치가 설치되어 있었으나 효율이 미흡하기 때문에 성능 개선이 필요한 것으로 나타났다. 한편, 이 대상 사업장은 메틸렌클로라이드를 보관한 용기가 개방된 채로 작업장에 방치되어 있어 공기중 메틸렌클로라이드 농도를 더욱 증가시킨 것으로 보인다.

플라스틱 안경렌즈 생산업체에서 주형을 검사하거나 조립하는 근로자들은 메틸렌클로라이드를 취급하지 않지만 세척조와 인접한 위치에서 작업하고 있어 세척조로부터 확산된 증기에 간접적으로 노출되었고, 또한 메틸렌클로라이드가 잔류되어 있는 주형을 취급하는 중에 증발된 증기에 노출된 것으로 판단된다. 대상 업체들의 세척조에는 국소배기 장치가

설치되어 있었으나 근로자의 메틸렌클로라이드 노출 수준이 높은 것으로 보아 효율이 미흡함을 알 수 있었다.

신개발 제조업체인 D 사업장에서 세척공정과 인접한 장소에서 주형과 제품을 분리하는 작업을 하는 근로자의 노출 농도가 최고 46.3 ppm의 높은 농도를 보였는데, 이것은 주형을 제거할 때 방출되는 메틸렌클로라이드에 노출되었기 때문이다. E 업체의 품질관리자는 발포공정에 수시로 접근하기 때문에 고농도의 메틸렌클로라이드에 노출되어, 발포공정 근로자를 제외한 근로자중에서 노출 농도 (66.6 ppm)가 가장 높았다. E 업체는 작업공간이 협소하나 국소배기나 전체환기가 매우 미흡하였고 작업장 전체에 증기가 축적되어 작업장내의 대부분의 근로자가 비교적 고농도의 메틸렌클로라이드에 노출되는 것으로 나타났다.

## 2. 근로자의 혈중 COHb 수준 평가

혈중 COHb가 3.5% 수준에서는 비정상 신경행동



변화와 심혈관 운동능력이 저하될 수 있으며, 5% 이상의 수준에서는 심혈관 또는 호흡기에 악영향을 미칠 수 있다 (ACGIH, 1998; NIOSH, 1986). 메틸렌클로라이드에 노출되는 근로자가 흡연을 하는 경우 CO에 의한 건강 위험이 더욱 커진다 (ACGIH, 1998).

Longo (1977)는 환경중 CO에 노출되는 일반인의 COHb 수준은 0.5 - 1.5%에 이른다고 보고하였다. OSHA는 비흡연 일반인 집단의 COHb는 자동차와 같은 연소기관으로부터 발생하는 CO의 직접적인 노출 때문에 1 - 3% 수준이라고 보고하였다. Stewart et al. (1974)은 일반인중 흡연자의 COHb는 4 - 20% 수준이고 하루 한갑을 흡연하는 흡연자의 COHb 수준은 평균 5 - 6% 정도, OSHA (1997)는 2 - 10%로 보고하였다. 본 연구 대상 근로자중 사무직 종사자중 비흡연자의 COHb 농도는 1.4% (0.90 - 1.7%)이고 메틸렌클로라이드에 노출되지 않은 생산 현장에 종사하는 비흡연자의 COHb 농도는 1.84% (1.1 - 4.2%)로 사무직 종사자보다 높게 나타났다. 생산 현장 근로자의 COHb 농도가 높은 이유는 현장에서 지게차의 연소기관으로부터 발생하는 CO와 대기중 CO의 영향 때문인 것으로 판단된다.

### 3. 공기중 메틸렌클로라이드 농도와 혈중 COHb 수준간의 상관관계

McCammon et al. (1991)은 메틸렌클로라이드와 혈중 COHb 농도의 상관성은 흡연이 혼란변수로 작용하기 때문에 낮았으나 ( $r = 0.32$ ) 흡연군을 배제한 경우 상관성이 향상되었다고 ( $r = 0.85$ ) 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 흡연군 자료 또는 전체 근로자의 자료를 가지고 분석한 두 변수간의 상관성은 높은 것으로 나타났는데, 이와 같은 결과는 대부분 근로자의 흡연량이 1일 1갑 정도로 전체적으로 흡연량에 있어 뚜렷한 차이가 없었기 때문에 나타난 결과로 보여진다.

이 논문에서는 작업환경중 메틸렌클로라이드 농

도만을 고려하였으며 피부흡수나 작업강도의 체내 부하량에 미치는 기여도에 대해서는 연구하지 않았다. 메틸렌클로라이드는 피부흡수가 용이한 물질 (OSHA, 1997; Stewart and Dodd, 1964)이기 때문에 피부흡수에 따른 체내 노출량이 증가할 수 있으므로 저농도에서 높은 COHb 수준을 보인 근로자의 경우 피부흡수에 의한 영향에 기인한 것으로 추정된다. 또한 작업강도에 따라 호흡량이 달라지므로 작업강도 또한 COHb의 수준에 결정하는 요인으로 작용할 수 있을 것이다. 이러한 요인들의 영향을 무시할 수는 없지만, 본 연구결과 생체내 COHb 부하량은 공기중 메틸렌클로라이드 농도로부터 비교적 높은 통계적인 상관성을 가지고 예측될 수 있다.

여러 연구자들이 공기중 메틸렌클로라이드 농도와 혈중 COHb 수준간의 관계를 연구한 결과를 보고하였다. 이들 중 DiVincenzo et al. (1972)은 앉은 자세에서 휴식중인 사람이 100 ppm의 메틸렌클로라이드에 8시간 동안 노출되는 경우 혈중 COHb 수준은  $3.22 \pm 0.22\%$ 이고, 150 ppm에서는  $5.39 \pm 0.6\%$ , 200 ppm에서는  $6.8 \pm 0.65\%$ 이라고 보고하였다. 산업장의 작업조건과 유사한 조건에서 메틸렌클로라이드 노출 실험을 수행한 한 연구에서 혈중 COHb 증가는 공기중 증기 노출량과 관련이 있었고 비흡연자를 100 ppm 농도에서 5일간 매일 7.5시간 노출시켰을 때 COHb 수준이 약 5%까지 증가되었다고 보고하였다 (Stewart et al., 1974).

### 4. 노출기준에 해당하는 혈중 COHb 수준 예측치

ACGIH (1998)에서는 중추신경 (central nervous system)에 미치는 영향과 산소결핍증 (anoxia)에 근거하여 공기중 메틸렌클로라이드의 TLV를 설정하였다. Fig 1의 회귀식에 따르면 메틸렌클로라이드 노출농도가 ACGIH TLV-TWA (50 ppm) 수준일 때 비흡연 근로자의 혈중 COHb 예측치는 3.6%로 나타

나 ACGIH (1998)에서 권고하는 CO의 BEI인 COHb 3.5%와 비슷하였지만, 95% 신뢰구간의 상한값 (4.0%)은 3.5%를 초과하였다. 따라서 TLV-TWA에 해당하는 농도에서는 95% 신뢰수준에서 혈중 COHb 수준은 3.5%를 초과할 수 있기 때문에 COHb 수준을 3.5% 미만으로 유지하기 위해서는 현재의 TLV를 낮추는 것이 필요하다.

Stewart et al. (1974)는 100 ppm에서 5일 동안 매일 7.5시간 메틸렌클로라이드에 노출된 비흡연자의 혈중 COHb 수준은 약 5%까지 상승하였다고 보고하였다. 본 연구결과 100 ppm수준에서는 혈중 COHb 수준의 예측치는 5.4%, 95% 신뢰구간은 4.4 - 6.4%로 5%를 약간 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 이 농도 수준의 메틸렌클로라이드에 노출되는 근로자는 NIOSH (1976)에서 심혈관계 장애를 예방하기 위해 권고한 혈중 COHb 기준 (5%)을 충분히 만족시킬 수 없다.

OSHA는 메틸렌클로라이드에 의한 발암위험으로부터 근로자를 보호하기 위한 기준으로 PEL-TWA를 25 ppm으로 설정하였는데, 회귀분석결과 이 기준에 해당되는 혈중 COHb 예측치는 2.6%, 95% 신뢰구간의 상한값은 3.0%로 ACGIH의 CO에 대한 BEI인 COHb 3.5% 미만으로 나타났다. 본 연구에서는 공기중 메틸렌클로라이드와 혈중 COHb 농도간의 회귀식으로부터 산출된 메틸렌클로라이드 25 ppm에 해당하는 COHb의 95% 신뢰구간의 상한값 (3.0%)을 OSHA의 PEL-TWA를 충족시키기 위한 BEI로 활용할 수 있을 것이다.

## V. 결 론

메틸렌클로라이드를 발포제 및 세척제로 사용하는 업체의 근로자는 국소배기시설, 작업관리 등 노출관리가 미흡한 경우 노출기준을 초과하는 메틸렌클로라이드에 노출되는 것으로 나타났다. 우리나라 노동부의 노출기준과 ACGIH TLV를 초과하는 직무는

폴리우레탄폼 제조업체에서 메틸렌클로라이드를 적신 형걸으로 주형을 닦아내는 직무, 렌즈제조업체에서 주형을 세척조에 담가 세척하는 직무, 2개 신발제조업체중 1개 업체에서 발포기 노즐을 분사방식에 의해 세척하는 직무로 나타났고, 이들 직무에 종사하는 근로자의 메틸렌클로라이드 노출농도 (TWA)는 각각 평균 61.4 ppm, 61.0 ppm 및 117.2 ppm이었다. 메틸렌클로라이드를 직접 취급하지 않는 공정이지만 발생원이 있는 공정과 인접한 근로자는 발생원에서 확산된 증기에 비교적 높은 농도로 간접적으로 노출되는 경우가 있었고, 발포 또는 세척 직후 주형이나 제품을 취급하는 근로자는 잔류되어 있는 메틸렌클로라이드에 비교적 높은 수준으로 노출되므로 이들에 대한 노출대책이 필요하다.

메틸렌클로라이드에 노출되는 근로자중 비흡연자의 혈중 COHb 수준은 0.9 - 5.1%였고 메틸렌클로라이드 농도가 50 ppm을 초과하는 비흡연자 집단의 COHb 수준은 평균 3.9%, 최고 5.1% 중추신경장해 또는 심혈관계 질환이 유발될 수 있는 수준이었다. 메틸렌클로라이드에 노출되는 흡연자 집단의 COHb는 1.4 - 8.8%이었고 노출농도가 50 ppm 이상인 근로자는 모두 ACGIH의 CO에 대한 BEI인 3.5%를 초과하였으며 이들 근로자의 75%는 NIOSH에서 권고하는 기준인 5%를 초과하였다. 메틸렌클로라이드에 노출되는 동시에 흡연하는 근로자는 중추신경 장애나 심혈관 질환 위험이 매우 높은 집단이므로 우선적인 관리가 필요하다.

작업환경중 메틸렌클로라이드 농도와 근로자 흡연은 혈중 COHb 수준을 예측하는 변수로 설명되나 근로자의 성, 나이, 근무경력도 COHb 수준을 예측하는 변수로서 설명되지 않았다. 흡연자를 제외한 비흡연군중에서 메틸렌클로라이드 농도와 혈중 COHb 수준간의 상관계수는 0.81로 나타나 두변수간에는 밀접한 상관관계가 있었다.

본 연구에서 구한 회귀식에 따르면 메틸렌클로라이드 노출농도가 ACGIH TLV-TWA (50 ppm) 수

준일 때 비흡연 근로자의 혈중 COHb 예측치는 3.6%로 나타나 ACGIH의 CO에 대한 BEI인 3.5%와 거의 유사하였으나 95% 신뢰구간의 상한값 (4.0%)은 3.5%를 초과하였다. OSHA의 PEL-TWA (25 ppm) 수준에서의 혈중 COHb 추정치는 2.6%, 95% 신뢰구간의 상한값은 3.0%이었다. 따라서 공기중 메틸렌클로라이드 25 ppm에 해당하는 COHb 추정치의 95% 신뢰 상한값인 3.0%를 OSHA의 PEL-TWA를 충족시키기 위한 BEI로 제안하고자 한다.

## REFERENCES

노동부: 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준. 노동부, 1998.

Astrand, I, P Ovrum, and A Carlsson: Exposure to Methylene Chloride. I. Its Concentration in Alveolar Air and Blood during Rest and Exercise and its Metabolism. *Scand. J. Work Environ. Health* 1975; 1:78-94.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH): Documentation of the Threshold Limit Values, 6th ed., ACGIH, Cincinnati, OH, 1998.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH): Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1998. ACGIH, Cincinnati OH, 1998.

Baurer, J.D.: Clinical Laboratory Methods, 9th Eds., Mosby, ST Louis, 1992.

DiVincenzo, GF, FJ Yanno, and BD Astill: Human and Canine Exposures to Methylene Chloride Vapor. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1972; 33: 125-135.

International Agency Research on Cancer (IARC): Dichloromethane. IARC Monograph Supplement 7. p. 194, 1987.

John. N, W Wasserman, and MH Kutner: Appl-

ied Linear Statistical Models, 3rd. Ed., Richard D. Irwin, Inc. 1990.

Longo, LD: The Biological Effects of Carbon Monoxide on the Pregnant Woman, Fetus, and Newborn Infant. *Am. J. Obst. Gyn.* 1977; 129(1): 175-177.

McCammon, CS, RA Glasser, VE Wells, FC Phipps, and WE Halperin: Exposure of Workers Engaged in Furniture Stripping to Methylene Chloride as Determined by Environmental and Biological Monitoring, *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 1991; 6(5):371-379.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Current Intelligence Bulletin 46: Methylene Chloride. DHHS (NIOSH) Publication No. 86-114, NIOSH, Cincinnati OH, 1986.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Criteria for a Recommended Standard ... Occupational Exposure to Methylene Chloride. DHEW (NIOSH) Publication No. 76-138, NIOSH, Cincinnati, OH, 1976.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Method 1005: Methylene Chloride. In NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th Ed., DHHS(NIOSH) Publication No. 94-113, NIOSH, Cincinnati, OH, 1994.

Occupational Safety and Health (OSHA) 29 CFR 1910.1052: Methylene Chloride. OSHA, Washington DC, 1998.

Occupational Safety and Health (OSHA): Occupational Exposure to Methylene Chloride. 62 FR 1494, OSHA, Washington DC, 1997.

Stewart, RD, ED Baretta, and LR Platte: Carboxyhemoglobin Levels in American Blood Donors. *JAMA* 1974; 229(9): 1187-1195,

Stewart, RD and HC Dodd: Absorption of Carb-

on Tetrachloride, Trichloroethylene, Tetrachloroethylene, Methylene Chloride, and 1,1,1 Trichloroethane through the Human Skin. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1964; 25(5):439-444.

Stewart, RD, CL Hake, HV Forster: Methylene Chloride: Development of a Biological Standard for the Industrial Worker by Breath Analysis. Report

No. NIOSH-MCOW-ENV-MC-74-9. The Medical College of Wisconsin, Milwaukee, WI. 1974.

Torkelson TR and Rowe VK: Halogenated Aliphatic Hydrocarbons. In: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. 3rd rev. ed. pp. 3449-3455, New York John & Wiley Sons, 1981.