

## 대학 실험실에서의 유기화합물 노출에 의한 건강위험성 평가에 관한 연구

심상효\*† · 원정일\*\* · 전하섭\*\*\* · 김도원\*\*\*\*

\*한양대학교병원 직업환경의학과 과장, \*\*충북도립대학교 부교수,  
\*\*\*건강한일터 환경보건 컨설팅 기술이사, \*\*\*\*고려대학교 보건안전과학대학원 연구원

### A Study on Health Risk Assessment by Exposure to Organic Compounds in University Laboratory

Sanghyo Sim\*† · Jung-Il Won\*\* · Hasub Jeon\*\*\* · Dowon Kim\*\*\*\*

\*Manager, Ph.D, Department of Occupational and Environmental Medicine,  
Hanyang University Medical Center

\*\*Associate Professor, Chungbuk Provincial University

\*\*\*Professional Engineer, Healthy Workplace Environment Hygiene Consulting

\*\*\*\*Researcher, 2BK21 FOUR R & E Center for Learning Health System,  
Department of Health and Environmental Science, Korea University

#### ABSTRACT

**Objectives:** Laboratories have various latent physical, chemical, biological, and ergonomical factors according to the diversification and fusion of research and development activities. This study aims to investigate the chemical exposure concentrations of college laboratories and evaluate their health risks, and use them as basic data to promote the health of college students.

**Methods:** The sampling and analysis of harmful chemicals in the air in laboratories were performed using Method 1500 of the U.S. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)의 Method 1500.

The harmful chemicals in the laboratories were divided into carcinogenic and non-carcinogenic chemicals. Risk assessment was performed using the cancer risk (CR) for carcinogenic chemicals and using the hazard index (HI) for non-carcinogenic chemicals.

**Results:** The harmful chemicals in college laboratories consisted of acetone, diethyl ether, methylene chloride, n-hexane, ethyl acetate, chloroform, tetrahydrofuran, toluene, and xylenes. They showed the highest concentrations in laboratories A (acetone 0.001~2.34ppm), B (chloroform 0.95~6.35ppm), C (diethyl ether 0.08~8.68ppm), and D (acetone 0.07~14.96ppm).

접수일 : 2021년 09월 24일, 수정일 : 2021년 10월 27일, 채택일 : 2021년 10월 28일

교신저자 : 심상효(04763, 서울특별시 성동구 왕십리로길 222-1)

Tel: 02-2290-8998, Fax: 02-2296-6816, E-mail: sshyo1104@naver.com

The risk assessment result for non-carcinogenic chemicals showed that the HI of methylene chloride was 2.052 for men and 2.333 for women, the HI of N-hexane was 4.442 for men and 5.05 for women. Thus, the HI values were higher than 1.

The risk of carcinogenic chemicals is determined by an excess cancer risk (ECR) value of  $1.0 \times 10^{-5}$ , which means that one in 100,000 people has a cancer risk.

The ECRs of chloroform exceeded  $1.0 \times 10^{-5}$  for both men and women, indicating the possibility of cancer risk.

**Conclusion:** College laboratories showed the possibility of non-carcinogenic health risks for methylene chloride, n-hexane, tetrahydrofuran (THF), toluene, and xylenes, and carcinogenic health risks for chloroform, methylene chloride. However, this study used the maximum values of measurements to determine the worst case, and assumed that the subjects were exposed to the corresponding concentrations continuously for 8 hours per day for 300 days per year. In consideration of the nature of laboratory environment in which people are intermittently exposed, rather than continuously, to the chemicals, the results of this study has an element of overestimation.

**Key words:** Organic solvents, Chemical laboratory, Human risk assessment

## I. 서론

국내 대학 및 연구기관의 실험실 환경은 일반산업 현장과 달리 새로운 물질의 합성 및 최초의 공정개선 등 연구 활동 종사자에게 주어진 연구 내용에 따라 실험실 환경이 수시로 변화하고, 다양한 유해화학 물질을 취급하고 있으며 사용량도 증가하고 있다(이수경 등, 2014).

실험실의 환경은 연구활동을 행하는 장소로써 물리적, 화학적, 생물학적 유해인자들이 복합적으로 존재하는 공간이다. 특히 실험실 내에서 취급되는 유해 물질의 종류가 다양하고, 소량으로 취급되며, 복잡하고 가변성이 큰 업무환경으로 인해 안전사고나 건강장해를 일으킬 수 있는 위험과 그로 인한 결과 예측이 어렵다(박지훈 등, 2020).

특히 대학의 연구 활동 종사자는 연구기관보다 약 27.5배가 많으며, 보유 연구실 수는 연구기관보다 약 5배가 많은 것으로 보고되고 있으며, 대학은 대학생, 대학원생의 교육 및 실습뿐 아니라 연구수행을 위해 다양한 종류의 실험이 상시적으로 이루어지고 있다(권윤아, 2015).

우리나라의 산업안전보건법은 일부 유해화학물질에 관하여 허가대상 물질, 제조 등이 금지되는 유해 물질로 규정하고 있으며, 작업장의 경우 정기적인 작업환경측정을 시행하도록 규정하고 노출 수준을 허용기준 이하로 낮출 것을 요구하고 있다. 그러나 대학 실험실은 그 대상에서 제외되어 있다(고용노동부, 2021). 특히 대학의 연구실험실은 대부분의 일반 작업장보다 매우 다양한 위험요소들을 지니고 있으며, 이러한 일반적이지 않은 위험요소들로 인해 더욱 위험하다고 볼 수 있다(한우섭, 2006).

우리나라의 경우 대학 내 실험 및 실습실에서 사용되고 있는 다양한 화학물질 노출에 의한 보건문제가 발생할 가능성은 충분히 있다고 보인다.

외국의 자료에 의하면, 화학물질을 사용한 실험실 연구자들에게 흉막암, 방광암, 백혈병(David B, et al., 2013), 췌장암, 뇌종양, 혈액암(Bernadr R., et al., 2000), 유방암, 갑상선암, 난소암, 전립선암(Judith S., et al., 2003) 등의 암 발생 위험이 일반 인구집단보다 유의하게 높거나 암으로 인한 사망률이 높다는 보고 자료는 있다.

실험실 근로자의 역학조사 결과 악성임파종, 백혈

병 및 소화기암과 같은 특정 암에 의한 사망위험이 증가하고 있음을 보여주고 있다(Dement, J.M and Cromer, J.R, 1992).

국내의 경우 실험실 연구자들의 건강위험에 관한 연구의 경우 주로 자각증상에 대한 설문 조사만 이루어진 바 있다. 화학실험실 연구자들을 대상으로 한 건강 영향 설문 조사결과 화학물질로 인한 피부발진, 두통, 위통, 현기증 등을 경험했다고 보고되었고, 일부 대학 화학실험실의 경우 가장 많이 취급되는 시약 및 용매 중 20%가량이 인체 발암성 의심물질이라 보고된 바 있다(하주현, 2010).

김명신 등(1998)은 일부 대학의 화학실험실을 대상으로 공기 중 유기화합물을 측정하였으며, n-hexane, Chloroform을 비롯한 일부 물질이 허용기준 초과 한 것으로 보고하였으며, 신용철 등(2007)은 대학 실험실의 실내공기 조사결과 n-hexane, xylene 등의 유기화합물 노출농도가 높은 것으로 조사되었다. 이 연구에 의하면 실험자의 60%가 실험 중 “머리가 무겁고 둔한 느낌을 느낀 적이 있다.”, “코 또는 인후의 자극을 느낀다.”라고 응답하였다.

대학 실험실은 다양한 화학물질을 사용함으로써 화학물질 중독의 가능성은 충분히 있다. 고용노동부의 산업안전보건법은 실험실에 대하여 사용하는 유해화학물질에 따라 흡 후드 등의 시설·설비설치와 적절한 보호구의 지급·착용 등에 대한 사항을 규정하고 있다(고용노동부, 2021, 박인규 등, 2014).

본 연구에서는 연구개발활동 대상이 대학생이라는 점이다. 대학 실험실을 대상으로 한 연구에서는 발암물질인 chloroform, acrylamide 등이 검출되었으나(Shiro et al, 2008), 질환 발생 보고된 자료는 찾을 수 없었다.

이를 위해서는 유해성 시험자료의 확보와 이를 바탕으로 해당 물질의 용도와 노출을 고려한 유해성 평가가 필요하다.

따라서 최근의 화학물질 관리는 문제가 발생한 후 해결하는 것이 아니라, 사고전에 미리 예방하는 것을 원칙이다.

본 연구는 대학 실험실에서 취급하고 있는 유해화학물질의 노출정도를 파악하고, 그 결과에 따라 유해성 평가를 실시함과 동시에 대학생들의 건강위험과 관련된 유해물질의 관리에 대한 기초교육자료를 제시하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구자료 및 대상

서울시에 소재하고 있는 4개 대학교 화학실험실을 대상으로 실험실에 비치된 화학물질 목록과 각물질별 MSDS를 이용하였다. 실험실 공기 중 유해화학물질의 시료 채취 및 분석으로는 미국 산업안전보건연구원(National Institute for Occupational safety and health, NIOSH)의 Method 1500(1994)에 준하여 이용시간 6시간 동안 측정하였다. 펌프의 유량은 0.1~0.2L/min으로 하고, 펌프의 유량 보정은 시료 채취 전·후 각각 2회 실시하였으며, 비누 거품을 이용한 수동식 유량 보정기구를 사용하였다. 시료 채취 매체는 활성탄 관(Cat. No. 226-01, SKC Inc)이었으며, gas chromatograph(HP 6890 Series II, HEWLETT PACKARD)를 이용하여 분석하였다.

### 2. 건강 유해성 평가

실험실 내 유해물질 중 발암성과 비발암성 물질로 나누어 발암성 물질에 대해서는 CR(cancer risk), 비발암성 물질에 대해서는 HI(hazard index)의 지수를 이용하여 각각 위험성 평가를 실시하였다(EPA 1997, EPA 1989). Health Risk Assessment 방법을 따라 진행되며 그 단계는 다음과 같다.

#### 1) Hazard identification

대학 실험실에서 사용하는 물질은 총 10개 물질이다. US EPA 자료를 조사한 결과 대상물질 10개의

물질 중 호흡 독성이 없는 3개물질(Acetone, Diethyl ether, Ethyl Acetate)를 제외한 7개의 물질 (Methylene Chloride, n-Hexane, Chloroform, Tetrahydrofuran, Toluene, Xylenes)이다. 이 중 2개 물질(Chloroform, Methylene Chloride)은 발암 독성이 확인된 물질이며, 4개물질(n-Hexane, Tetrahydrofuran, Toluene, Xylene)는 발암 독성이 없는 물질로 확인되었다. 따라서 이후 발암 독성이 확인된 물질에 대해서는 위해성 평가를 실시하였다.

2) Dose-response assessment

비발암성 물질의 경우 발생하는 Risk는 Threshold가 존재한다고 가정하며 RfD(Reference Dose) 혹은 RfC(Reference concentration)으로 평가하고 있다. 본 연구에서는 실험실 내 공기 중 유해 화학물질의 영향을 알아보기 위해 USEPA의 IRIS에

서 제공하는 RFC 값을 사용하였다.

발암성물질의 경우 Threshold 없이 인체에 노출된 Dose에 비례하며 risk가 올라간다고 가정하에 진행되었으며, 발암성물질의 경우 Slope factor (mg/(kg\*day)<sup>-1</sup> 혹은 Unit risk(μg/m<sup>3</sup>))로써 평가하였다. 본 연구에서는 실험실 내 공기 중 유해화학물질의 영향을 알아보기 위함으므로 US EPA의 IRIS (integrated risk information system)에서 제공하는 Inhalation Unit Risk 값을 사용하였다.

3) Exposure assessment

노출평가는 평생평균일일용량(Lifetime Average Daily Dose, LADD)를 이용하여 평가대상물질의 유입 경로를 고려하여, 단위 시간에 따른 인체의 유해 화학물질 노출량의 경우, 발암성 물질의 노출평가인 LADD를 구하는 식은 다음과 같다(RAIS, 2013).

$$LADD(mg/kg/day) = \frac{Conc(mg/m^3) \times IR(m^3/hr) \times ET(hr/day) \times EF(day/yr) \times ED(yr)}{BW(kg) \times LT(day)}$$

여기서,	Conc	유해화학물질농도(mg/m <sup>3</sup> )	ED	노출기간, yr
	IR	호흡률, 20m <sup>3</sup> /day(US EPA)	BW	체중
	ET	노출시간, hr/day	LT	기대수명
	EF	노출빈도, day/yr		

4) Risk characterization

비발암성 물질의 위해도 결정은 HI(Hazard quotient)로 나타내지며, HI는 다음의 식을 따라 계산하였다.

$$HI = \frac{ADD(mg/kg/day)}{RfC \times \frac{20(m^3/day)}{70(kg)}}$$

여기서, RfC :	Reference concentration
20m <sup>3</sup> /day :	Daily inhalation rate (US EPA)
70kg :	Average body weight (US EPA)

발암성 물질의 위해도 결정은 ECR(Excess Cancer Risk)로 나타내어지며, ECR을 구하는 식은 다음과 같다.

$$ECR = LADD(mg/kg/day) \times Slope Factor((mg/kg/day)^{-1})$$

위험성평가를 위한 노출계수들은 한국표준과학연구원, 통계청, US EPA에서 제공하는 통계자료를 이용하였다(환경부, 2010).

### Ⅲ. 연구결과

#### 1. 실험실의 유해물질별 농도

대학의 실험실 4개소 유해물질의 종류는 Acetone, Diethyl ether, Methylene Chloride, n-Hexane, Ethyl acetate, Chloroform, Tetrahydrofuran, Toluene, m,p,o-Xylenes 노출수준은 A실험실에서는 Acetone 0.001~2.34ppm, B실험실 Chloroform 0.95~6.35ppm, C실험실 Diethyl ether 0.08~8.68ppm, D실험실 Acetone

0.07~14.96ppm으로 가장 많이 검출되었다. 이는 작업환경측정 당시 실험실별로 실험대상에 따라 취급하는 물질이 한정되어 있으며, 사용량도 차이가 있는 것으로 조사되었다(Table 1).

노출기준(TWA)이란 근로자가 유해인자에 노출되는 경우 노출기준이하 수준에서는 거의 모든 근로자에게 건강상 나쁜 영향을 미치지 아니하는 기준을 말하며, 고용노동부장관은 유해성·위험성 평가 결과 등 고시로 정하는 사항을 고려하여 유해인자의 노출기준을 정하여 고시하여야 한다(고용노동부, 산업안전보건법).

〈Table 1〉 Characteristics of University Laboratories Studied

Pollutant	Laboratories				TWA <sup>1)</sup>
	A	B	C	D	
Acetone	0.001-2.34	0	0.14-2.04	0.07-14.96	500
Diethyl ether	0.03-0.41	0	0.08-8.68	0	400
Methylene Chloride(MC)	0.03-1.2	0.01-1.41	0	0	50
n-Hexane	0.05-1.69	0.22-3.43	0.01-1.73	0.04-4.58	50
Ethyl Acetate(EA)	0.03-0.7	0.29-2.27	0.02-2.66	0.04-1.60	400
Chloroform	0	0.95-6.35	0.06-1.93	0.005-0.28	10
Tetrahydrofuran(THF)	0.02-0.07	0.2	0	0.01-0.05	50
Toluene	0	0	0.02-0.20	0.01-0.03	50
Xylenes	0	0	0.02-0.08	0	100

<sup>1)</sup>MOEL TWA TLV, Time-Weighted Average Threshold Limit Value set by Ministry of Employment and Labour, Korea, 2017

#### 2. Exposure assessment

Table 2는 실험실의 작업환경측정치 중 최대한 worth case를 산출하기 위하여 측정값의 최대값

(RME)을 사용하였으며, 노출시간, 노출지속 변수는 1일 8시간, 1년 평균 300일로 평가하였다. 또한 노출변수 및 인체노출인자는 국내의 통계자료를 활용하여 계산하였다.

〈Table 2〉 Exposure factors to risk estimates

Parameter	Unit	CTE	RME	Distribution Parameters	Source	
Pollutant	Acetone	-	14.96	-		
	Diethyl ether	-	8.68	-		
	Methylene Chloride	-	1.41	-		
	n-Hexane	-	3.43	-		
	Ethyl Acetate	ppm	-	2.66	-	
	Chloroform	-	6.35	-		
	Tetrahydrofuran	-	0.07	-		
	Toluene	-	0.20	-		
	Xylenes	-	0.08	-		
Body Weight	Male	kg	74.0	mean : 74.0 S.D : 11.52	Statistics Korea - 7 <sup>th</sup> Korean Body Index Survey	
	Female		55.7	mean : 55.7 S.D : 9.38		
Exposure Time	Male	hour/ day	8	-		
	Female		8	-		
Exposure Duration	Male	day/ year	300	-		
	Female		300	-		
Lifetime	Male	year	79.30	-	Statistics Korea - 2016 life table	
	Female		85.41	-		
Inhalation rate	Male	m <sup>3</sup> / day	19.4	mean : 19.4 S.D : 8.8	MOE - Korean Exposure Factors Handbook	
	Female		16.6	mean : 16.6 S.D : 8.8		

LADD ‘평생 일일 평균 노출량’이란 환경유해인자가 다양한 노출경로를 통해 평생동안 평균적으로 노출되는 노출량을 말한다. 노출평가는 LADD를 이용하여 평가되며, 평가대상물질의 유입 경로를 고려하여 단위 시간에 따른 인체의 유해화학물질 노출량으로 평가하였다(Table 3).

Table 3은 남성은 Chloroform 6.35ppm일 경우 노출기간이 10년, 20년, 그리고 30년 일 때 각각

0.28, 0.561, 0.842 (mg/kg\*day)이었으며, Methylene Chloride 1.41ppm은 노출기간이 10년, 20년, 그리고 30년 일 때 각각 0.044, 0.088, 0.133 (mg/kg\*day)으로 평가 되었다.

여성은 Chloroform 6.35ppm은 각각 0.296, 0.592, 0.889 (mg/kg\*day)이었으며, Methylene Chloride 1.41ppm은 각각 0.046, 0.093, 0.140 (mg/kg\*day)으로 조사되었다.

〈Table 3〉 LADD for calculating risk estimates

Gender	Pollutant	Concentration (ppm)	LADD - 10year (mg/kg*day)	LADD - 20year (mg/kg*day)	LADD - 30year (mg/kg*day)
Male (25세 기준)	Chloroform	6.35	0.28079	0.56158	0.84236
	Methylene Chloride	1.41	0.04436	0.08872	0.13308
Female	Chloroform	6.35	0.2964	0.5927	0.8891
	Methylene Chloride	1.41	0.0468	0.0936	0.1405

ADD '일일평균노출량(Average daily dose)'이란 화학물질이 작업자에게 흡입, 경피 등의 노출경로를 통하여 하루에 평균적으로 노출되는 노출량이며, 5개의 화학물질에 대하여 남성과 여성의 평가 결과 Table 4와 같다.

남성은 Methylene Chloride 1.41 ppm에 노출되었을 때, 일일 평균 노출량은 0.3518 (mg/kg\*day)이며, 각 화학물질의 측정치 중 최대값의 농도로 노출되었다고 가정하였을 때, n-Hexane은 0.8885, Tetrahydrofuran은 0.0148, Toluene은 0.0541,

Xylene은 0.0249 (mg/kg\*day)의 일일평균노출량이 산출되었다.

여성의 경우, Methylene Chloride 1.41 ppm에 노출되었을 때, 일일 평균 노출량은 0.3999(mg/kg\*day)이며, 각 화학물질의 측정치 중 최대값의 농도로 노출되었다고 가정하였을 때, n-Hexane은 1.01, Tetrahydrofuran은 0.0169, Toluene은 0.0615, Xylene은 0.0284 (mg/kg\*day)의 일 하루평균 노출량이 산출되었다.

〈Table 4〉 ADD for calculating risk estimates

Gender	Pollutant	Concentration (ppm)	ADD (mg/kg*day)
Male	Methylene Chloride	1.41	0.3518
	n-Hexane	3.43	0.8885
	Tetrahydrofuran	0.07	0.0148
	Toluene	0.20	0.0541
	Xylene	0.08	0.0249
Female	Methylene Chloride	1.41	0.3999
	n-Hexane	3.43	1.0100
	Tetrahydrofuran	0.07	0.0169
	Toluene	0.20	0.0615
	Xylene	0.08	0.0284

### 3. Risk characterization

Table 5는 비-발암성 위해평가 결과, 남성은 Methylene Chloride의 HI(Hazard quotient)값은 2.052, N-Hexane의 HI는 4.442로 HI값이 1을 초과 하여 위해성을 보였으며, Tetrahydrofuran은 HI값이 0.026, Toulene HI 값은 0.038, Xylene HI값은 0.873으로 HI가 1미만으로 평가되었다.

여성은 Methylene Chloride의 HI(Hazard quotient)값은 2.333, N-Hexane의 HI는 5.05로 HI 값이 1을 초과 하였으며, Tetrahydrofuran은 HI값이 0.029, Toulene HI 값은 0.043, Xylene HI값은 0.993으로 확인되었다.

발암성 물질의 위해도 결정은 ECR(Excess Cancer Risk)로 나타내어지며 계산된 값은  $1.0 \times 10^{-5}$ 와 같은 형식으로 계산되어지게 되는데 이는 10만명 당 1명에서 발암위험이 있다고 해석된다.  $1.0 \times 10^{-5}$  이상의 값을 가지면 위해성이 있다고 판단된다.

남성과 여성 모두 Chloroform이  $1.0 \times 10^{-5}$ 을 초과 하여 위해의 가능성이 있는 것으로 나타났다. 다만 해당 결과는 최대한 worst case를 산출하기 위하여 측정값의 최댓값을 사용한 것과 1년에 300일, 하루 8시간동안 지속적으로 해당 농도에 노출된다고 가정하고 산출한 점을 고려해 보았을 때, 지속적 노출이 아닌 간헐적으로 노출되는 실험실 작업환경 특성상 과대평가의 요소가 존재할 수 있다(Table 6).

〈Table 5〉 Non-carcinogen risk assessment result

Gender	Pollutant	HI
Male	Methylene Chloride	2.052
	n-Hexane	4.442
	Tetrahydrofuran	0.026
	Toluene	0.038
	Xylene	0.873
Female	Methylene Chloride	2.333
	n-Hexane	5.050
	Tetrahydrofuran	0.029
	Toluene	0.043
	Xylene	0.993

〈Table 6〉 Carcinogen risk assessment result

Gender	Pollutant	ECR (10year)	ECR (20year)	ECR (30year)
Male	Chloroform	$2.26 \times 10^{-2}$	$4.52 \times 10^{-2}$	$6.78 \times 10^{-2}$
	Methylene Chloride	$1.55 \times 10^{-6}$	$3.11 \times 10^{-6}$	$4.66 \times 10^{-6}$
Female	Chloroform	$2.39 \times 10^{-2}$	$4.77 \times 10^{-2}$	$7.16 \times 10^{-2}$
	Methylene Chloride	$1.64 \times 10^{-6}$	$3.28 \times 10^{-6}$	$4.92 \times 10^{-6}$



#### IV. 논의

대학 실험실은 대학생, 대학원생의 교육 및 실습 뿐만 아니라 연구 수행을 위한 다양한 종류의 실험이 이루어지는 곳이다. 특히 이공계 대학원생과 연구원들에게 실험실은 하루 일과의 대부분을 보내는 주요 활동공간이다(류경남, 2005).

최근 대학 실험실에서 발생한 사고사례들은 다양하며, 폭발이나 화재, 미끄러짐, 추락과 같은 안전사고뿐만 아니라, 장기간 반복 노출되어 건강에 해를 미치는 화학물질과 인체 감염을 일으킬 수 있는 미생물 등으로 인한 건강상의 문제도 있다.

실험실 사고는 단순히 개인의 문제가 아닌 해당 대학 차원의 문제이기 때문에 사고를 미연에 방지해야 할 필요가 있다.

대학의 실험실에서는 많은 종류의 화학물질과 다양한 실험이 진행되기 때문에 실험자는 소량이지만 지속적으로 유해물질에 노출되며, 사고 발생 즉시 그 결과가 명백한 폭발이나 화재 등과 같은 안전문제뿐만 아니라 장기간 반복 노출되어 건강에 유해한 영향을 미치는 다양한 화학물질 등으로 인한 보건상의 문제가 크다(Yoo et al., 2005)

특히 실험실 사고 피해자의 나이별 분포를 보면 대학의 경우에는 20대가 약 90%를 차지하는데, 이것은 주로 20대의 대학생 및 대학원생이 연구 활동에 많이 참여하기 때문인 것으로 조사되었다(이근원 등, 2012)

실험실 내의 작업환경실태조사는 고용노동부 고시, ACGIH의 노출지수를 이용하여 평가한 결과, D 실험실은 Acetone 0.07~14.96ppm의 평균 측정치는 가장 높은 수치를 보였다. 유해물질은 쉽게 증발하고 호흡기뿐만 아니라 피부로도 흡수될 수 있다. 화학물질은 실험대에 그대로 두고 사용하고, 일부 실험실에서는 이동하면서 사용하고 있었다. 실험공간에는 실험자와 실험에 직접 참여하지 않은 대학생들이 동시에 노출되고 있다. 변혜정 등의 연구에서는

0.02~22.7ppm보다는 낮은 수치를 보였다.

Acetone은 실험실 전체로 확산이 빠르다. IARC의 Group 2B 물질에 속하는 MC는 고용노동부, ACGIH(미국산업위생전문가협회)에서 노출기준 50ppm의 10% 미만으로 검출되었다. 산업안전보건법에서는 대학실험실에 주로 사용하는 유해물질을 취급하는 업무에 종사하는 경우 그 작업자에 유해물질의 가스·증기 또는 분진의 발산원을 밀폐하는 설비 또는 국소배기장치를 설치하도록 하고 있다(고용노동부, 2021).

대학실험실의 작업환경조사시 실험 중 유해화학물질의 발생상황이 불규칙적이고, 물질의 종류가 다양하며 노출농도 시간 등을 예측하기가 어려운 경우가 많았다.

대학 실험실에서 사용되는 화학물질의 종류는 다양하며, 실험의 종류에 따라 사용량의 차이가 심하며, 노출시 농도의 변화가 심하여 측정·분석의 제약을 받는다. 본 연구에서는 실험실에서 사용되는 물질 중 거의 매일 비교적 일정량을 사용되고 있는 물질로 건강상 상당한 유해성이 있고, 실험실 환경관리수준의 지표가 될 수 있는 유기화합물을 대상으로 하였다.

특히 다양한 종류의 화학물질을 사용하고 있기 때문에, 단일 화학물질의 농도만을 평가하는 것을 과소평가할 우려가 있다. 실험실에서의 안전과 보건을 확립하기 위한 체계적인 교육과 실태파악을 통한 실험실 환경개선의 노력이 절실하게 요구되고 있다. 연구실 안전점검 및 정밀안전진단에 의하면 특별 안전점검, 정밀안전진단을 통해 유해·위험물질 및 시설, 장비를 취급하는 등 유해 또는 위험한 작업을 필요로 하는 연구실에 대하여 정기적으로 실시하도록 하고 있다(국가연구안전정보시스템).

본 연구는 대학 실험실의 건강위해성평가 산출시 노출계수로 오염물질의 농도, 호흡률, 노출기간, 노출빈도, 체중, 평균수명 등을 이용하였다. 이 중 호흡률의 경우 실질적으로 본 연구의 해당 자료로 이용

할 수 있는 남녀, 성별, 나이별 자료의 부재로 US EPA에서 노출계수를 이용하였다(U.S. EPA, 1997). 이 경우 각 변수마다 위해성평가 적용시 많은 불확실성을 포함하고 있다고 판단된다.

실험실의 위해성평가를 수행한 결과 발암성과 비발암성 물질 일부가 인체에 대한 위해한 것으로 조사되었다. 본 연구에서 유해오염물질에 대한 노출농도를 평가하기 위하여 대학 실험실내 유해오염물질 농도의 경우 일시적으로 수행되었기 때문에 건강위해성평가 시 노출평가 단계에서 과대평가 또는 과소평가가 이루어질 수 있다는 한계를 지니고 있다.

건강위해성평가는 발암물질과 비발암 물질로 구분하였으며, 미국 환경보호청(US, EPA)의 IRIS(Integrated Risk Information System), 유럽연합(EU)의 ECHA(European Chemicals Agency)를 이용하여 대상 물질별 단위 위해도, 흡입독성참고치(Reference concentration, RfC), 무영향도출수준(Cerived No-Effect level, DNEL)등의 호흡 노출에 대한 공신력 있는 자료를 이용하였다(이혜원, 2020). 본 연구결과 남성의 경우 Methylene Chloride의 HI(Hazard quotient)값은 2.052, N-hexane의 HI는 4.442로 HI값이 1을 초과하는 것으로 평가되었다. 또한 여성의 경우 Methylene Chloride의 HI(Hazard quotient)값은 2.333, N-Hexane의 HI는 5.05로 HI값이 1을 초과로 조사되었다.

발암물질의 발암잠재력의 용량-반응 자료는 US EPA IRIS(Integrated risk information system)에서 제시하는 자료를 이용하였다. 발암성 물질의 노출평가를 통해 얻어진 LASS을 곱하여 위해도 결정된 ECR(Excess Cancer Risk)의 계산된 값은  $1.0 \times 10^{-5}$  이상의 값을 가지면 위해성이 있다고 판단하고 있다. 발암위해도를 미국 EPA 및 WHO에서 제시(허용 기준치(risk criteria)인  $10^{-5} \sim 10^{-4}$ )하고 있다(김동기 등, 2013).

본 연구결과 남성과 여성 모두 Chloroform이  $1.0 \times 10^{-5}$ 를 초과하여 위해의 가능성이 있는 것으로

조사되었다. 다만 측정값의 최대값을 사용한 것은 1년에 300일, 하루 8시간 동안 지속적으로 노출될 경우를 가정하여 산출된 점을 고려해 보았을 때, 지속적인 노출이 아닌 일시적으로 노출되는 실험실 작업환경 특성상 과대평가의 요소가 존재할 것으로 본다.

인체건강위해성평가는 위해도 결정은 노출평가와 노출량-반응평가 결과를 바탕으로 화학물질의 노출에 의한 정량적인 위해수준을 추정하였다.

화학물질에 의한 대학 실험실의 화재, 폭발 등의 안전사고가 발생할 수 있으므로 실험과정에서 발생하는 증기나 가스 등에 의한 인체 노출, 화학약품의 취급, 운반, 저장 등의 주의를 기울여야 한다. 또한 실험실 사고를 미연에 예방하기 위한 수단으로 실험실 안전수칙을 실험하기 전에 실험장치와 시약들의 특성과 유해성 등을 충분히 조사하고, 적절한 안전대책을 마련하여야 한다. 실험실에서 사용되는 모든 물질은 사용상태에 따라 그 위험성이 가변적이며, 그 위험성이 증감될 수 있다.

실험실의 특성상 유해화학물질의 독성이 알려지지 않거나 노출기준이 설정되어 않은 물질도 많이 취급하며 건강상 문제가 발생했을 경우 업무 관련성을 단정짓기 어렵고(하주연, 2010), 화학물질의 노출 시 급성독성보다는 오랜 시간이 지난 후 누적되어 질병으로 나타나기 때문에 화학물질 노출의 위험성을 직관적으로 알아차리기는 쉽지 않다(변혜정, 2010).

결론적으로 본 연구에서 대학 실험환경 중 유해화학물질의 인체에 대한 유해는 낮았으나, 발암성물질과 비발암성물질이 공존하는 것으로 조사되었다. 그러나 이와 같은 결과는 단기 조사로부터 얻은 것으로 실험실의 공기 질에 대하여 보다 정확한 결과를 확보하기 위해서는 이들 물질에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다.

## V. 결론

본 연구는 대학 실험실의 유기화합물의 노출실태를 조사하고, 위해성 평가를 통해 대학 및 대학원생의 건강장애를 예방을 위한 기초자료로 활용하기 위해 시행되었다.

실험실 내에 유해물질 중 발암성과 비발암성물질로 나누어 발암성 물질에 대해서는 CR(cancer risk), 비발암성 물질에 대해서는 HI(hazard index)의 지수를 이용하여 각각 위험성평가를 실시한 결과, 비-발암성 위해평가 결과, Methylene Chloride의 HI(Hazard quotient)값은 남성 2.052, 여성은 2.333, N-Hexane은 남성 HI는 4.442, 여성 5.05로 여성은 HI값이 1을 초과하였다.

발암성 물질의 위해성 결정은 ECR(Excess Cancer Risk)로 계산된 값은  $1.0 \times 10^{-5}$ 로, 이는 10만 명당 1명에서 발암위험이 있다고 해석된다.

남성과 여성 모두 Chloroform, Benzene이  $1.0 \times 10^{-5}$ 을 초과하여 위해의 가능성이 있는 것으로 나타났다.

대학 실험실은 Methylene Chloric, N-hexane, Tetrahydrofuran(THF), Toluene, Xylenes 이 비발암성 건강 위해 영향을, Chloroform, Methylene Chloric은 발암성 건강 위해의 가능성이 있는 것으로 나타났다.

본 연구를 통하여 대학 실험실에서 취급하는 화학물질의 위해성에 대한 의식을 높이기 위한 보건교육은 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 국가연구안전정보시스템(<https://www.labs.go.kr>)
2. 권윤아, 권영국. (2015). 대학의 연구실 안전관리를 위한 연구활동 종사자의 안전의식 차이에 관한 연구. 대한안전경영과학회지, 17(3), 89-96.
3. 김동기 외 7. (2013). 의료시설 실내공기질 특성 및 건강위해성 평가. 한국실내환경학회, 10(2), 115-128.
4. 김명신, 백남원. (1988). 일부 대학화학실험실에서 유기용매 노출에 관한 연구. 서울대학교보건대학원 국민보건연구소, 8(1), pp.33-46.
5. 고용노동부. (2021). <https://www.law.go.kr/LSW> 산업안전보건법
6. 류경남, 박정임, 박태주, 최민규, 이정학. (2005). 대학의 실험실 안전보건관리체계 구축이 안전보건관리활동에 미치는 영향. 한국환경보건학회지, 31(5), 365-371.
7. 박인규, 이사우, 정종현, 피영규. (2014). 일부대학내 연구실험실의 보호구 및 흡후드 관리 실태에 관한 연구. 한국산업위생학회지, 24(2), 229-237.
8. 박지훈, 성백경, 마티아스올리버알트마이어, 김용준. (2020). 연구 실험실 안전보건 관리제도 비교-한국과 독일 사례고찰. 한국산업보건학회지, 30(2), 99-108.
9. 변혜정, 박정임. (2010). 실험실 근무자의 화학물질 노출과 건강 위험. 한국환경보건학회지, 36(6), 441-455.
10. 이수경, 윤여송, 엄석화. (2014). 화학실험실 사고 Data를 이용한 근본원인분석 Map개발 및 원인 분석. 한국가스학회지, 18(4), 86-94.
11. 신용철, 안광석, 강동목. (2007). 연구실험실 보건관리제도화 예비 타당성 연구. 과학기술부 2006년도 국가연구개발사업 연구보고서, 2-12.
12. 한우섭, 이근원. (2010). 국내 화학물질 취급 실험실의 안전실태 사례 연구. 연구와 안전지 20(1), 63-69.
13. 하주현, 외 5. (2010). 국내 정부출연 연구기관 및 대학교 실험실 공기 오염물질 농도 및 환기시스템 평가. 한국산업위생학회지, 20(1), 63-69.
14. 환경부. (2010). 초기위해성 평가 해설서, 77-90
15. 이근원, 이정석. (2012). 실험실의 사고사례 분석에 관한 연구. 한국가스학회, 16(5), 21-27.

16. 이해원, 임희빈, 이복귀, 박소연, 전정인, 이철민. (2020). 국립중앙도서관 귀중서고 내 알데히드류 및 휘발성유기화합물(VOCs)에 대한 건강위해성 평가. *한국환경과학회지*, 29(6), 673-682.
17. 고용노동부고시. (2020). 작업환경측정 및 정도 관리 등에 관한 고시, 제2020-44호
18. Bernadr R., et al., (2000). Cancer risk in laboratory workers: An emphasis on biological research. *American journal of industrial medicine*, 38, 651-665.
19. David B., Steve W., AlexanderK., Susanne W. (2013). Mortality among workers at oak ridge national laboratory. *American journal of industrial medicine*, 56, 725-732.
20. Dement, J.M and Cromer, J.R. (1992). Cancer and Reproductive Risks among Chemists and laboratory Workers A Review. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 7(2), 120-126.
21. Judith S., RachelG., YaelK.(2003). Cancer incidence among laboratory workers in biomedical research and routine laboratories in israel: Part II - Nested case-control study. *American journal of industrial medicine*, 44, 611-626.
22. MOEL. (2017) TWA TLV(Time-Weighted Average Threshold Limit Value) by Ministry of Employment and Labour, Korea.
23. NIOSH. Manual of Analytical Method (4th ed). (1994). US Government Printing Office.
24. RAIS. (2013) "The Risk Assessment Information System," <http://rais.ornl.gov/tutorials/toxvals.html>.
25. Shiro T, et al., (2008) Chemical exposures in research laboratories in a university. *Industrial health*, 46, 166-173.
26. U.S. Environmental Protection Agency(EPA). (1989). Risk Assessment Guidance for superfund(RAGS):Volume I.Human health evaluation manual(HHEM), Office of Emergency and Remedial Response. EPA/540/1-89/002.
27. U.S. Environmental Protection Agency(EPA). (1997). Guiding Principles for Monte Carlo Analysis. EPA/630/R97/001,1-35.
28. U.S. Environmental Protection Agency(EPA). IRIS(Integrated risk Information System, <http://www.epa.gov/iris/>