

국내 정부출연연구기관 및 대학교 실험실 공기 오염물질 농도 및 환기시스템 평가

하주현¹ · 신용철^{1*} · 이현석^{1*} · Samuel Y. Paik² · 이광용³ · 이병규⁴

¹인제대학교 보건안전공학과, ²Lawrence Livermore National Laboratory, USA,
³한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원, ⁴한국산업안전보건공단 부산지역본부

Evaluation of Air Contaminants Concentrations and Ventilation Systems in Governmental Agency and University Laboratories

Ju Hyun Ha¹ · Yong Chul Shin^{1*} · Hyun Seok Lee¹ · Samuel Y. Paik² · Gwang Yong Yi³ · Byeongku Lee⁴

¹Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University; ²Lawrence Livermore National Laboratory, USA;

³Occupational Safety & Health Research Institute, Korea Occupational Safety & Health Agency;

⁴Busan Regional Center, Korea Occupational Safety & Health Agency

This study was conducted to compare the concentration of various air contaminants in nine different laboratories during routine activities. Volatile organic compounds (VOC) were sampled and analyzed using NIOSH Method 1500 and asbestos fibers were sampled and analyzed using NIOSH Method 9002 and 7400. Detectable levels of acetone, toluene and ethanol were found in all the laboratories and xylene and n-hexane were detected in eight of the nine laboratories. All the VOC concentrations were well below the Korean Ministry of Labor's Exposure Limit and American Conference of Governmental Industrial Hygienists' (ACGIH) Threshold Limit Values (TLVs). Total VOC concentrations at the university laboratories were significantly higher than those at governmental agency laboratories. Airborne fiber concentrations were below 0.01 fibers/cc, while the concentration of chrysotile was 2% in insulation materials sprayed on the ceiling of one laboratory.

While all the governmental agency laboratories (n=4) had fume hoods, two out of the five university laboratories did not have fume hoods. The capture velocity of half of the fume hoods were below the maintenance standard(0.4 m/sec). In conclusion, the study suggests that the current controls in place at both university and government agency laboratories are not sufficient in limiting exposure to harmful chemicals to non-detectable levels, though they appear to be adequate in protecting workers to levels below applicable occupational exposure limits. The study also suggests that researchers working in university laboratories may be exposed to greater levels of contaminant than those working in government agency laboratories.

Key Words: Governmental agency and university laboratories, Concentration of various air contaminants, Fume hood

I. 서론

미국 Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 2006)에서 실험실은 “유해화학물질을 실험실적 단위로 사용하는 시설, 소량의 유해화학물질을 비생산용으로 사용하는

장소” 등으로 규정하고 실험실 안전기준을 제정하여 사업장의 환경과는 다른 실험실의 근로자들을 보호하도록 하고 있다. 연구활동종사자라 함은 “대학 연구기관 등에서 과학기술분야 연구개발활동에 종사하는 연구원·대학생·대학원생 및 보조연구원 등을 말한다”고 정의한다(교육과학기술

접수일: 2009년 8월 3일, 채택일: 2010년 3월 15일

† 교신저자: 신용철(경남 김해시 어방동 607번지 인제대학교 보건안전공학과,
Tel: 055-320-3676, Fax: 055-325-2471, E-mail: ycshin@inje.ac.kr)

*현재 소속기관은 ‘양산부산대학교병원 산업의학과’ 임.

부, 2009).

실험실에서는 사고 발생 즉시 그 결과가 명백한 폭발이나 화재, 추락과 같은 안전문제 뿐만 아니라 장기간 반복 노출되어 건강에 해를 미치는 화학물질과 인체 감염을 일으킬 수 있는 병원 미생물 등으로 인한 보건상의 문제도 있다(류경남 등, 2005). 실험실내 연구활동종사자들은 비교적 소량의 다양한 유해화학물질에 불규칙적으로 노출된다. 또한 실험실에서는 그 위험성이 규명되지 않은 유해화학물질도 사용되기 때문에 건강상 문제가 발생했을 경우, 유발 유해인자를 단정짓기 어렵다. 국내외 연구자들에 의해 연구활동종사자들의 보건상 건강문제의 위험성은 꾸준히 연구되어왔다.

국외 연구결과에 따르면, 유기용제에 노출되는 29명 실험실 종사자는 19명 대조군과 비교하여 혈중 간기능 수치(AST, ALT), 콜레스테롤, 총 비리루빈, 혈당, 크레아티닌 농도가 높았으며(Kaukianinen et al., 2003), 화학 연구소의 연구자 73명의 림프구를 배양하여 염색분체(chromatid)와 동위염색분체(isochromatid)의 절단(break)이 대조군보다 더 많이 관찰되었다(Funnes-Cravioto et al., 1977). 미국 핵에너지 발전소 내 화학 실험실에 20년 이상 근무한 실험실 종사자에게서 백혈병의 발생이 통계적으로 유의하게 증가하였다(Kubale et al., 2008). 이스라엘 생물의학연구실험실에서 근무한 실험실 종사자들의 전반적인 암 표준화발생률(Standardized Incidence Ratio, SIR)은 1.04 로, 생물의학연구실험실에서 일하는 것은 특정한 종류의 암 발생 위험을 증가시킬 수도 있다(Shaham et al., 2003)고 발표하였다.

또한 국내 연구결과에 따르면, 대학 화학실험실에서 가장 많이 취급하는 시약/용매에서 잠재적 발암물질(A2)이 20%를 차지한다고 보고된 바 있다(이한주, 1996). 일부 대학 화학 실험실에서 일부 화학물질은 허용기준을 초과하였고,

American National Standard Institute(ANSI)의 기준에 적합한 후드성능을 가진 것은 한 개(5.9%) 뿐이었다(김명신, 1998). 국내 산업보건관련 기관의 분석실험실의 경우, 취급 및 저장하고 있는 화학물질을 위험성에 따른 분류를 하지 않고 있으며 고압가스의 저장방법이 불안전하다고 하였다(유계복 등, 2000).

이처럼 국내 연구자들에 의해 일부 대학 실험실의 유해인자의 노출에 관한 논문이 발표된 바 있지만, 대학교와 정부출연 연구기관 실험실을 비교한 자료는 없다. 대학교와 정부출연 연구기관 실험실이 그 성질은 같을지 모르나, 환경, 기관수 및 예산 등은 다르다. 2008/2009년판 산업기술주요통계요람(한국산업기술진흥협회, 2009)에서 대학과 연구기관의 연구개발비는 2000년부터 2007년까지 꾸준히 증가하였으며, 2007년 공공립 연구기관의 예산은 약 4조 원이고, 대학은 약 3조 3천억 원이었다. 이를 1인당 연구개발비로 산정하였을 때, 연구기관과 대학이 각각 약 2억 원과 4천만 원으로 큰 차이가 남을 확인할 수 있었다. 이처럼 공공립 연구기관과 대학의 환경이 다를 것을 고려해서 본 연구에서는 국내 일부 실험실의 화학적 건강유해인자와 그 노출실태를 파악하고, 정부출연 연구기관 실험실과 대학교 실험실의 유해물질 노출 및 관리 실태를 비교하고 그 상관성을 밝히고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구대상은 정부출연연구기관 2곳과 국립 및 사립대학교 각각 1곳으로 총 4개 기관 9개 실험실이었다. 각 측정대상

Table 1. General characteristics of laboratories surveyed

Type of institutions	Institution	Area	Name of laboratories	N*
Governmental agency	A	I	Material chemistry	3
		II	Electronic application	5
	B	I	Nanomaterials	4
		II	Hydraulic engineering	5
University	C	I	Organic composition	2
		II	Macromolecule	7
	D	I	Natural macromolecule	6
		II	Quality of water technology	1
		III	Bio-material	10
Total	4	9		43

* Number of workers

실험실별 근무하고 있는 연구원들 수는 재료화학실험실(AI) 3명, 전기응용실험실(AII) 5명, 나노소재실험실(BI) 4명, 유체공학실험실(BII) 5명, 유기합성실험실(CI) 2명, 고분자실험실(CII) 7명, 천연고분자실험실(DI) 6명, 수질공학실험실(DII) 1명, 바이오제재실험실(DIII) 10명 이었으며, 설문 응답자는 총 9개 실험실내 43명의 연구활동종사자 중 30명 이었다(Table 1).

2. 연구대상군의 일반적 특성 및 자각 증상 조사

연구활동종사자의 일반적 특성을 파악하기 위하여 설문 조사를 하였다. 설문지는 인구학적 특성(성별, 연령)과 직무와 관련된 사항(일일 근무시간, 근무기간)으로 분류하였으며, 설문지에는 작업 중 화학물질을 다루는 과정에서 느낀 건강이상 증상을 직접 기재하도록 하였다. 여기서 건강이상 증상이라 함은, 개인 보호구를 갖추지 않은 상태에서 화학물질 사용시 발생할 수 있는 두통, 코/인후 자극, 피부가려움 등을 말한다.

3. 화학적 유해인자 조사

1) 이산화탄소

이산화탄소(CO₂) 농도측정을 위해 직독식 기기(IAQRAE-PGM5210, RAE SYSTEMS)를 이용하였다. 기기를 외부에서 5분 정도 시험가동 후, 수치가 안정화 되면 측정을 시작하며, 각 실험실 별 3개 지점을 3회 반복측정하고, 옥외에서 1회 측정하여 그 값을 비교하였다.

2) 휘발성유기화합물

공기중 개별 휘발성유기화합물(VOC) National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) Method 1500(NIOSH, 1994)에 기초하여, 각 실험실별 6개 지점을 선정하여 개인시료채취 펌프(GILAIR, Gillian®)를 이용하여 근무시간 8시간 동안 측정하였다. 펌프의 유량은 0.1~0.2 L/min으로 하고, 펌

프의 유량보정은 시료채취 전·후 각각 2회 실시하였으며, 비누거품을 이용한 수동식 유량보정기구를 사용하였다. 시료채취 매체는 활성탄관(Cat. No. 226-01, SKC Inc.)이었으며, gas chromatograph(HP 6890 Series II, HEWLETT PACKARD)를 이용하여 Table 2의 조건에서 분석하였다(Table 2).

또한 직독식 기기(IAQRAE-PGM5210, RAE SYSTEMS)를 이용하여 각 실험실 별 2개 지점에서 총휘발성유기화합물(Total Volatile Organic Compounds, TVOC)을 10회 반복측정하고, 외부에서 1회 측정하여 그 값을 비교하였다.

3) 미세먼지

미세먼지(PM₁₀)는 직독식 기기(LD-3B, SIBATA)를 사용하여 측정하였다. 각 실험실별 2개 지점을 오전·오후 각각 10분 간격으로 3회 측정하고, 외부에서 1회 측정하여 그 값을 비교하였다.

4) 석면

천장 마감재가 뿔칠로 되어있는 대학실험실 2곳(DI, DIII)을 선정하여 NIOSH Method 7400(NIOSH, 1994)에 따라 공기중 섬유시료를 채취하여 분석하였다. Mixed cellulose ester membrane filter(pore size 0.8 µm, 직경 25mm)에 1.7 - 2 L/min의 유량으로 공기중 시료를 채취하였다. 공기 시료는 아세톤 증기로 투명화시킨 후 위상차현미경(Eclipse 80I, Nikon)으로 400배의 배율에서 분석하였다. 고형시료 채취는 HEPA filter가 부착된 마스크, 장갑, 보호복 등을 착용하고 분진이 날리지 않도록 주의하면서 핀셋으로 채취한 후 바이알에 넣어 보관하였다. 고형시료의 경우 NIOSH Method 9002(NIOSH, 1994)에 따라 시료를 채취한 후 편광현미경(MELJI TECHNO)로 분석하였다.

공기시료 및 고형시료중 석면 분석은 American Industrial Hygiene Association(AIHA)의 정도관리 프로그램에 10년 이상 참가하여 “Proficiency”로 판정받아 온 분석자가 실시하였다.

Table 2. Operating conditions of gas chromatograph for VOC

Variables	Conditions
Instrument	GC-FID
Column	HP-FFAP(25m×0.32mm×0.5µm)
Column flow(carrier gas)	0.8 mL/min(N ₂)
Injector temp.	230℃
Oven temp.	40℃(4min)→10℃/min→120℃(2min)
Detector temp.	250℃
Split ratio	50:1
Injection volume	1µL

4. 흡후드의 성능조사

흡후드의 제어풍속 측정은 열선풍속계(VELOCICALC® Plus Meters 8386, TSI)를 이용하였다. 이 모델은 체적유량과 온도, 습도, 및 이슬점을 측정하는 직독식장비로 매우 높은 정확도를 가지며, 체적유량의 측정가능 범위는 0~50 m/s 이다.

제어풍속은 한국산업안전공단의 기술지침(한국산업안전공단, 2006)에 따라 흡후드의 개구면에서 측정하였다. 흡후드와 같이 포위식 후드인 경우 후드 개구면에서 최소풍속을 측정하며 그 값은 0.4 m/s 이상이어야 한다.

III. 결과 및 고찰

1. 연구대상군의 일반적 특성과 자각증상

본 연구대상군은 총 30명의 남·여 각각 14명, 16명으로, 나이 분포는 20대가 86.7%로 가장 많았으며 다음으로 30~40대, 50대 이상의 순이었다. 근무기간은 1~5년의 분포가 46.6%로 가장 많았으며 일평균 근무시간은 8시간이 전체 응답자의 73.3%로 가장 높은 분포를 차지했다(Table 3).

건강이상 증상에 대한 자가진단 설문조사 결과, 실험 중 “머리가 무겁고 둔한 느낌을 느낀 적이 있다”와 “코 또는 인후의 자극을 느낀다.”라고 답한 응답자는 각각 9명으로 전체 설문지 응답자의 30%를 차지했고, “피부발진 혹은 가려움을

느낀 적이 있다.”라고 답한 응답자는 3명으로 전체 응답자의 10%를 차지했다.

2. 화학적 유해인자 노출

1) CO₂

CO₂의 측정결과, 전체 실험실에서의 CO₂ 농도범위는 413~820 ppm으로 노동부 사무실 공기관리 지침의 관리기준(1,000 ppm)(노동부, 2006)을 초과하지 않았다. 실험실 DIII의 평균값이 695±44 ppm으로 가장 높게 나타났는데, 대상 실험실 중 최다인원(10명)을 수용하고 있었고, 실험실 내에 흡후드 및 환풍기가 없었다. 다음으로 DI(666±87 ppm), CII(626±60 ppm), BII(622±46 ppm)와 CI(622±65 ppm), DII(607±58

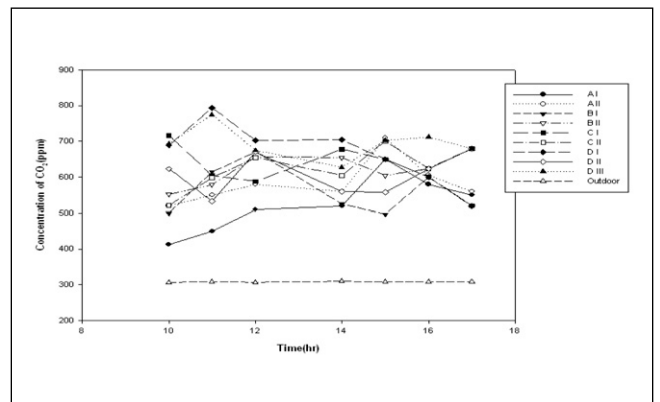


Fig. 1. Variation of carbon dioxide concentrations by hour.

Table 3. Demographics of subjects surveyed

Variables	Categories	N*	Percent, %
Gender	male	14	46.7
	female	16	53.3
Age(year)	20-29	26	86.7
	30-49	3	10.0
	>50	1	3.30
Hours worked per day	8	22	73.3
	9-10	5	16.7
	>10	3	10.0
Total years worked	<1	9	30.0
	1-5	14	46.6
	6-9	5	16.7
	≥10	2	6.70

* Number of workers who answered the questionnaire

Table 4. Concentrations of detected airborne chemicals

Chemical Lab.	unit: ppm								
	Acetone	Ethanol	Toluene	n-Hexane	Xylene	Ethyl ether	Chloroform	Ethyl acetate	Isopropyl alcohol
AI	0.84	0.63	0.09	0.01	0.06	-	-	-	-
AII	0.90	0.74	0.10	0.01	0.04	-	-	-	-
BI	0.67	0.99	0.02	-	-	-	-	-	0.67
BII	12.3	2.88	0.04	0.01	0.07	-	-	-	0.10
CI	1.21	1.06	0.07	1.34	0.02	0.27	-	1.66	-
CII	1.09	0.36	0.05	0.01	-	0.08	0.69	-	0.08
DI	2.04	0.31	0.20	1.73	0.03	8.68	1.93	6.92	0.02
DII	0.14	0.56	0.16	0.04	0.05	0.10	0.06	0.02	-
DIII	2.21	1.37	0.09	0.09	0.08	0.13	0.45	2.66	-

Number of samples = 6, - : Not detected(limit of detection = 1.1 $\mu\text{g}/\text{sample}$)

Ministry of Labor's occupational exposure limit(TWA) : acetone, 500ppm; ethanol, 1000ppm; toluene, 50ppm; n-hexane, 50ppm; xylene, 100ppm, ethyl ether, 400ppm; chloroform, 10ppm; ethyl acetate, 400ppm; isopropyl alcohol, 200ppm

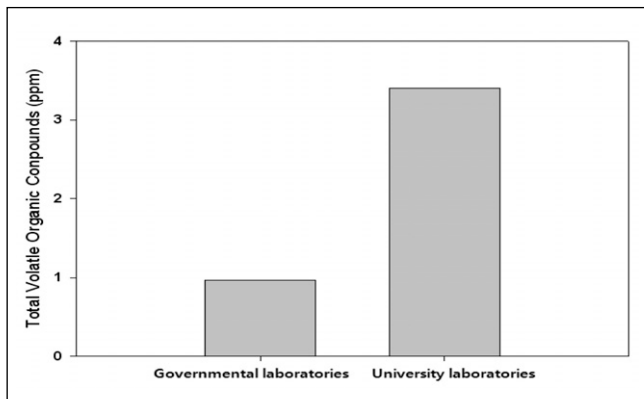


Fig. 2. TVOC concentrations in air of governmental and university laboratories.

ppm), AII(583 ± 62 ppm), BI(561 ± 67 ppm), AI(524 ± 79 ppm) 순으로 높게 나타났다(Fig. 1).

2) VOC

Acetone, ethanol, toluene은 모든 실험실에서 검출되었고 n-hexane, xylene은 1개 실험실을 제외한 모든 실험실에서 검출되었다. 그 외에 ethyl ether, chloroform, ethyl acetate 및 isopropyl alcohol(IPA)가 검출된 실험실이 있었다. 실험실별 검출된 유기화합물의 종류와 그 농도는 Table 4와 같다.

모든 실험실의 시료가 Occupational Safety and Health Administration(OSHA, 2006) Permissible Exposure Limits(PEL), American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH, 2008) Threshold Limit Values(TLV)(ACGIH, 1994), NIOSH Recommended Exposure Limits(RELs) (NIOSH, 2009) 및

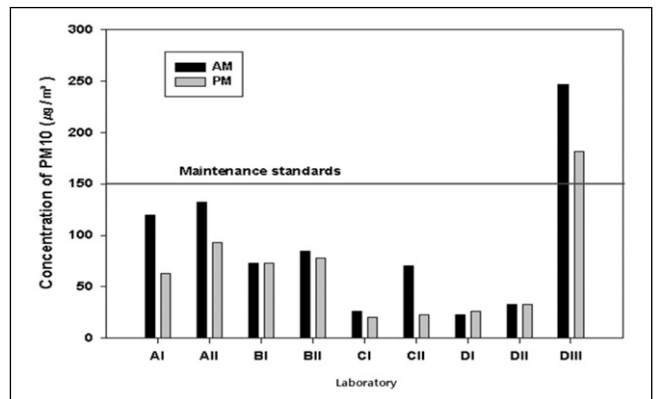


Fig. 3. PM₁₀ concentrations in air by laboratory.

노동부(2008) 노출기준에 훨씬 미달하였다. 다만, DI 실험실의 chloroform의 경우에는 6개의 시료 중 가장 높은 농도가 1.93 ppm으로 노동부 노출기준(TWA, 10 ppm)의 1/5 수준이었다. DI 실험실의 모든 흡후드의 제어풍속이 유지기준(한국산업안전공단, 2006) 미만으로 성능이 낮았으며, 설문조사에서 자주 사용한다고 응답한 화학물질인 acetone, chloroform, ethyl ether 및 ethyl acetate의 공기중 농도 또한 다른 실험실에 비해 상대적으로 높은 결과를 보였다.

TVOC는 실험실 DI(9.6 ppm) > DIII(3.7 ppm) > CII(2.2 ppm) > BII(1.6 ppm) > AII(1.1 ppm) > DII(0.98 ppm) > CI(0.76 ppm) > BI(0.64 ppm) > AI(0.56 ppm) 순으로 높게 나타났다. 전체 실험실내 범위는 0.47~14.3 ppm이었고, 전체 평균은 2.3 ppm으로 나타났다. 그 중에서 정부출연연구기관 실험실(AI~BII)의

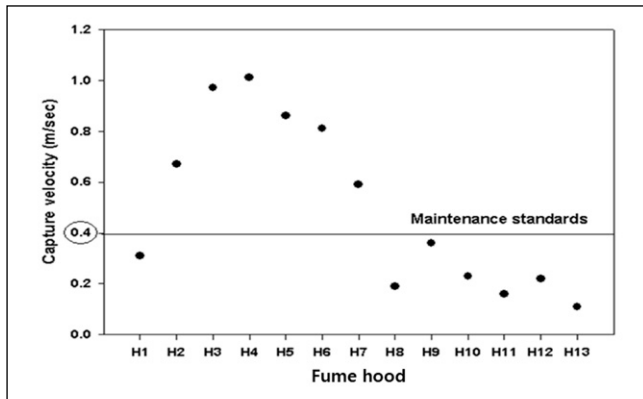


Fig. 4. Capture velocity of fume hoods in the laboratories.

TVOC의 평균농도는 0.97 ppm이고 대학교 실험실(CI~DIII)은 3.4 ppm으로 대학교 실험실의 공기중 TVOC의 농도가 정부출연연구기관의 것 보다 3배 이상 높았다($p < 0.05$)(Fig. 2).

3) PM₁₀

전체 9개 실험실 중 DIII 실험실의 미세먼지 농도가 213 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 환경부(2008) 실내공기질 유지기준과 노동부(2007) 사무실 공기관리지침의 관리기준(150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하였다(Fig. 3). 이 실험실에는 전체 대상 실험실 중 최다 인원(10명)이 근무하고 있었으나(Table 1), 다른 실험실에서 미세먼지의 농도와 근무인원에 대한 상관성은 발견할 수 없었다.

4) 석면

측정대상 실험실(DII, DIII)에서 채취한 5개 시료의 공기중 석면 농도는 $<0.01 \text{ fiber}/\text{cc}$ 이었다. 특히 DIII 실험실의 천장 마감재로부터 채취한 3개의 고형 시료 중 1개의 시료에서 백석면(chrysotile)이 2% 함유된 것으로 나타났다.

3. 흡 후드의 성능

Fig. 4는 정부출연연구기관의 실험실내 흡후드(H1~H9)와 대학교 실험실내 흡후드(H10~H13)의 포착속도를 측정하여 그 결과값을 나타낸 것이다. 정부출연연구기관의 연구 대상 실험실 4개 모두(100%) 흡후드가 설치되어 있었다. 그러나 대학교 실험실 5개소 중 2개소(CII, DI)(40%)에만 흡후드가 설치되어 있었다. 어떤 실험실은 환풍기(fan)가 설치되어 있었지만 가동되지 않는 상태였다. 한국산업안전공단(2006)의 산업 환기설비에 관한 기술지침의 흡후드 유지기준인 0.4 m/sec 미만인 후드는 조사대상 후드 13개 중 7개(53.8%)로 정부출연연구기관의 실험실 내 3개(H1, H8, H9)와 대학교 실험실 내 4개(H10~H13)였다. 따라서 조사대상 대학실험실(n=5)의 경우 흡후드가 없거나 2개 실험실의 후드 전체(n=2)가 유지기준 미만인 것으로 나타났다.

대학실험실의 경우, 흡후드뿐 만 아니라 시약장 및 개인보호구의 관리가 제대로 이루어지고 있지 않았다. 시약장이 있음에도 불구하고 시약을 외부에 방치하는 실험실이 있었으며(DIII), 조사한 모든 대학실험실에서 보호장갑을 제외한 호흡기보호구 및 보안경을 구비하고 있지 않았다.

IV. 결론

본 연구에서는 정부출연연구기관 실험실 4곳 및 대학교 실험실 5곳 등 총 9곳을 대상으로 연구종사자들의 일반적 특성과 자각 증상을 조사하고 VOC, 석면 등의 화학물질 노출과 흡후드의 성능을 평가하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 연구대상 정부출연연구기관과 대학 실험실의 연구활동 종사자 중 약 87%가 20대임에도 불구하고, 연구대상자중 약 30%는 두통, 코또는 인후의 자극을 경험하였다고 응답하였고 10%는 피부발진이나 가려움증을 경험하였다고 응답하였다.

2. 연구대상 모든 실험실(n=9)의 공기중에서 acetone, toluene, ethanol 등이 검출되었고 8개 실험실에서 n-hexane과 xylene이 검출되었으며, 모든 실험실에서 이들 물질의 농도는 노출기준보다 훨씬 낮았다. 공기중 TVOC의 평균 농도는 대학교 실험실이 정부출연연구기관보다 3배 이상 높았다. 1개 대학 실험실 천정에서 백석면이 2% 포함되어 있었고 실내 공기중 섬유농도는 $<0.01 \text{ fibers}/\text{cc}$ 이었다.

3. 정부출연연구기관의 모든 연구대상 실험실에 흡후드가 있었으나, 대학교 실험실의 경우 40%만 흡후드가 있었다. 흡후드 유지기준(0.4 m/sec) 미만인 후드는 전체 조사대상 후드의 53.8%로 대학교 실험실 흡후드는 모두 0.4 m/sec 미만이었다. 이와 같이 대학 실험실의 경우 흡후드가 없거나 성능이 좋지 않았기 때문에 TVOC의 농도가 정부출연연구기관의 것보다 높게 나타난 것으로 판단된다.

결론적으로, 본 연구는 직업적 노출기준 이하 수준에서 실험자가 보호되고 있다고 보여주지만 현재 대학교와 정부출연연구기관의 실험실 유해물질 관리대책은 노출을 '검출할 수 없는 수준(non-detectable level)'으로 제어하기에는 충분하지 않다. 그리고 본 연구를 통해 대학 실험실에서 일하는 연구자들이 정부출연연구기관 실험실에서 일하는 연구자들보다 유해물질의 노출위험이 더 큰 것을 알 수 있었다.

V. 감사의 글

본 논문은 인제대학교의 “실험실에서의 유해인자 노출특성”(과제번호: 00012006311-00) 연구 및 과학기술부(현 교육

과학기술부)의 “연구실험실 보건관리 제도화 예비타당성 연구” 결과를 바탕으로 작성된 것이며 연구비 지원에 감사드립니다. 그리고 석면 분석에 도움을 주시고 조언을 해 주신 백남원 교수님(서울대학교 명예교수, 국제환경컨설턴트)께 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

REFERENCES

- 교육과학기술부. 연구실 안전환경 조성에 관한 법률. 법률 제7425호, 2009.
- 김두환, 이동경, 이근원, 윤석준. 대학 및 실험실 안전관리 실태 및 대책. 한국산업안전공단, 2005.
- 김명신. 일부 대학 화학실험실에서의 유기용매 노출에 관한 연구. 서울대학교 보건대학원, 1998.
- 노동부. 사무실 공기관리 지침. 노동부고시 제2006-65호, 2007.
- 노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준. 노동부고시 제2008-26호, 2008.
- 류경남, 박정임, 박태주, 최민규, 이정학. 대학의 실험실 안전 보건관리체계 구축이 안전보건관리활동에 미치는 영향. 한국환경보건학회지 2005;31(5):365-371
- 양대용, 유선종, 이근원. 실험실 안전관리 실태에 관한 고찰. 공업경영학회지 1995;18(35):53-53
- 유계목, 노영만, 한진구, 원정일. 일부 산업보건관련 기관의 분석실험실 안전보건에 관한 실태와 대책. 한국산업위생학회지 2000;10(2):150-164
- 이한주. 일부 대학 화학실험실의 안전보건 실태조사. 서울대학교 보건대학원, 1996.
- 한국산업안전공단. 산업환기설비에 관한 기술지침. 2006.
- 한국산업기술진흥협회. 산업기술주요통계요람, 2008-2009. 2009.
- 환경부. 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법, 시행규칙 별표 2. 실내공기질 유지기준. 2008.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 2009.
- Funes-Cravioto F, Zapata-Gaynon B, Kolmoin-Hedman Lambert B, Lindestein A. Chromosome aberrations and sister chromatid exchange in workers in chemical laboratories and a rototyping factory and in children of women laboratory workers. *Lancet* 1977;2:322-325
- Kaukiainen A, Vehmas T, Rantala K, Nurminen M, Martikainen R, Taskinen H. Results of common laboratory tests in solvent-exposed workers. *Int Arch Occup Environ Health*. 2004;77(1):39-46
- Kubale T, Hiratzka S; Henn S; Markey A; Daniels R; Utterback D; Waters K; Silver S; Robinson C; Macievic G; Lodwick J. A cohort mortality study of chemical laboratory workers at Department of Energy Nuclear Plants. *American Journal of Industrial Medicine*, 2008;51:656-667
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). NIOSH Method No. 1500. 1994. Available from: <http://www.cdc.gov/NIOSH/nmam/pdfs/1500.pdf>
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). NIOSH Method No. 7400. 1994. Available from: <http://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/7400.PDF>
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). NIOSH Method No. 9002. 1994. Available from: <http://www.cdc.gov/NIOSH/nmam/pdfs/9002.pdf>
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. 2009. Available from: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgsyn-a.html>
- Occupational Safety & Health Administration(OSHA). Occupational exposure to hazardous chemical in laboratories. Standards 29 CFR 1910. 1450. Regulation, 2006.
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Occupational Safety & Health Standards 29 CFR 1910. 1000 TABLE Z-1, Z-2, OSHA, 2006.
- Shaham J; Gurvich R; Kneshet Y. Cancer incidence among laboratory workers in biomedical research and routine laboratories in Israel. *American Journal of Industrial Medicine*. 2003;44:600-610