한국산업위생학회지 제 10 권 제 2 호
Korean Ind. Hyg. Assoc. J
Vol. 10, No. 2. Nov., 2000

일부 산업보건관련 기관의 분석실험실 안전보건에 관한 실태와 대책

한국산업안전공단 서울지역본부1), 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실 · 산업의학센터2)
충북과학대학 환경공업과3)
유계묵1) · 노영만2)‡ · 한진구2) · 원정일3)

- Abstract-

A Survey and Recommendation on Safety and Health for Occupational Health Laboratories

Ke-Mook Yoo1) · Young-Man Roh2)‡ · Jin-Gu Han2) · Jung-IL Won3)
Seoul Regional Office, Korea Occupational Safety & Health Agency1)
Industrial Medical Center, Dept. of Preventive medicine, College of Medicine
The Catholic University of Korea2)
Department of Environment Engineering, Chungbuk Science College3)

This study was conducted at occupational health laboratories in Seoul and Gyunggi district area from December, 1999 to January, 2000. The main purpose of this study was to survey the actual condition of safety and health by questionnaire and checklist and to assess the performance of fume hoods and the airborne exposures to chemicals in the laboratories.

The chemicals in the cabinet were not classified by hazardous properties and the compressed gases were not stored safely. The prevalences of laboratories having first aid kits, fire extinguishers, and safety showers were found to be 18%, 55%, and 9%, respectively. Most laboratory workers were not educated for safety and health. Also, there was no performance evaluation for hazards and risks.

The fume hoods in laboratories had not been annually inspected by checklist and the face velocity had been checked more than one time in the previous year for only 18% of them. Five percent of fume hoods had the face velocity more than 4.0 m/sec and 17% had no capture performance. Detected organic solvents were methylenechloride, acetone, ethylbenzene, isopropanol, xylene, methylisobutylketone, trichloroethylene, and toluene. The concentrations of organic solvents were much less than the occupational exposure limits proposed by the Ministry of Labor in Korea. This study showed that the actual condition of safety and health was not appropriate for laboratory workers. It is recommended that laboratory workers should be educated for the treatment and storage of hazardous chemicals and compressed gases to improve the working environment of the occupational safety and health laboratories.

Key Word : fume hood, hazard, health, occupational health laboratory, organic solvent, safety

접수일 : 2000년 9월 18일, 채택일 : 2000년 10월 30일
‡ 교신저자 : 서울시 영등포구 여의도동 62 가톨릭의대 산업의학센터
Tel) 02-3779-1408, E-mail) ymroh@cmc.cuk.ac.kr

Ⅰ. 서 론

산업보건관련 기관이라 함은 노동부로부터 보건관리대행기관, 작업환경측정기관, 특수건강진단기관 등의 지정을 받아 사업장의 작업공정 또는 근로자에게서 시료를 채취하여 작업공정의 유해인자 농도 및 근로자의 건강상태 등을 평가하고 관리하는 기관이라고 정의할 수 있다. 사업장에서 채취한 시료는 산업보건관련 기관의 분석실험실로 운반되어 전처리 과정을 거친 후 유해인자별로 적합한 분석기기에 의해 농도가 분석되고 평가된다. 산업보건관련 기관은 제품 생산공정 등이 다양한 사업장에서 시료를 채취하므로 분석실험실 근무자는 시료의 전처리와 분석과정에서 여러 종류의 화학물질에 노출되게 된다.

제조업체에서는 화학물질의 종류가 적고 다량을 취급하는데 비하여 분석실험실에서는 다양한 화학물질을 소량으로 취급한다는 점이 제조업체의 화학물질 취급 공정과 산업보건관련 기관 분석실험실과 다른 점이다. 미국의 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA, 1990)은 실험실을 “유해화학물질을 실험실적 단위로 사용하는 시설, 소량의 유해화학물질을 비생산용으로 사용하는 장소” 등으로 규정하고 실험실 안전 기준을 제정하여 사업장의 환경과는 다른 실험실의 근로자들을 보호하도록 하고 있다.

우리 나라의 산업안전보건법(법률 제6104호, 2000)은 법에서 정한 화학물질을 취급하는 사업장에 대하여 정기적으로 작업환경측정을 실시하여 유해화학물질의 농도를 노출기준 이하로 유지하도록 하고 있으며 취급 근로자에 대해서는 특수건강진단을 실시하도록 하고 있다. 또, 사업장에서 취급하는 대부분의 화학물질에 대하여 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheet, MSDS)를 작성하여 작업장내 근로자가 보기 쉬운 장소에 게시하고 취급 근로자에게 화학물질의 유해성을 교육하도록 하며, 화학물질의 취급용기에 경고표지를 부착하도록 하는 등 화학물질 취급으로 인한 근로자의 건강장해를 예방하도록 규정하고 있다(노동부고시 제97-27호, 1997). 그러나 화학물질 취급 근로자를 보호하기 위한 많은 노력은 제조업 사업장에 집중되어 왔고 산업보건관련 기관의 분석실험실은 안전보건실태의 평가 대상에서 거의 제외되어 왔다.

이한주(1995)는 대학 실험실의 안전 프로그램 실태 및 화학물질 노출실태 등을 조사한 결과 실험자들의 안전교육이나 안전의식 정도가 빈약하며, 실험실에서 사용하는 흄후드의 면속도를 측정한 결과 50%이상이 미국 산업안전보건청의 기준에 미치지 못한다고 하였다. 또한 대학 실험실의 화학물질 농도를 측정한 결과 일부 화학물질은 노출기준을 초과한다는 보고도 있다(김명신, 1997). Guarino(1990)는 미국의 한 대학 23개 화학실험실을 조사한 결과 화학물질의 저장 상태 및 후드의 성능 불량 등 조사 대상 실험실들이 많은 유해성을 안고 있다고 보고하였다.
이로 미루어 산업보건관련 기관의 분석실험실은 화학물질 취급 등으로 인한 위험성의 가능성이 있다고 추정할 수 있으나 우리 나라에서는 분석실험실의 안전보건 실태에 관한 연구가 거의 이루어지지 않은 상태이다. 따라서 분석실험실의 안전보건 실태를 조사하여 문제점에 따른 개선대책을 마련하는 것이 필요한 실정이다.

본 연구의 목적은 산업보건관련 기관 분석실험실의 화학물질 취급 실태, 분석기기 및 부대설비의 관리, 안전보건수칙의 이행, 흄후드의 성능, 유기용제의 노출실태 등을 조사하여 분석실험실의 안전보건상태를 파악하고 대책을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상

1999년 12월부터 2000년 1월까지 경인지역에 소재

한 22개 산업보건관련 기관의 분석실험실을 대상으로 하였다.

2. 연구방법

연구 대상인 22개 기관을 대학병원 부속기관과 일반 병원으로 구분하였다. 7개의 대학병원 부속기관을 A그룹이라 하고 15개의 일반 병원을 B그룹으로 분류하여 조사하였다.

1) 분석실험실의 안전보건 실태

본 실태조사에 사용된 설문 항목은 실험실 안전 지침(한국산업안전공단, 1999)과 Stricoff와 Douglas (1995)의 연구 내용을 참고하여 조사자가 산업보건관련 기관 분석실험실에 적용할 수 있는 사항을 정리하여 작성하였다. 예비조사를 거쳐 수정 및 보완한 설문 항목은 부록에 제시하였으며 대략적인 크게 6개 항목으로 구분할 수 있다.

① 분석실험실에서 사용하는 화학물질의 관리
② 분석기기 및 부대설비의 안전
③ 보호장비의 비치
④ 안전수칙의 이행
⑤ 분석 담당자의 안전보건 실태
⑥ 폐기물의 관리

설문방법으로 조사자가 산업보건관련 기관의 분석실험실을 방문하여 분석실험실 종사자에게 조사 취지에 대하여 설명한 후 각 설문 항목에 대하여 응답자로부터 답변을 얻어 기재하였으며 확인 가능한 사항에 대하여는 조사자가 분석실험실 환경을 검토하여 답변 내용을 확인하였다.

2) 흄후드의 성능

산업안전보건법 시행규칙(노동부령 제156호, 1999)에서 산업보건관련 기관으로 지정을 받기 위한 필수장비로 드래프트 챔버라고 정의하여 규정하고 있는 분석실험실의 흄후드는 열선풍속계(ALNOR, USA)를 사용하여 면속도를 측정하였다. 미국 국립표준연구원(American National Standard Institute, ANSI, 1995)의 기술지침에 따라 후드의 개구면을 최대한 개방한 상태에서 개방된 면을 16개의 등면적으로 분할하여 구분된 공간의 중앙에서 속도를 측정하여 평균치를 계산하였다. 또한 후드 개구면의 최대 면속도에서 최소 면속도를 뺀 값을 후드별 면속도의 평균치로 나눈 개구면의 위치별 면속도 차이를 구하였다.

3) 유기용제의 노출 농도 측정

① 시료 채취

분석실험실에서 발생되는 유기용제를 포집하였으며 작업환경측정및정도관리규정(노동부고시 제99-38호, 1999), 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH, 1994)에서 추천하는 공정시험법, 한국산업안전공단(1999)의 유해인자별 작업환경 측정·분석방법 등에 준하여 진행되었다. 분석실험실에서 취급하거나 실험실 공기중에서 발생되는 화학 물질은 유기용제, 산·알칼리, 중금속, 기타 특정화학물질 등이 있으나 화학 물질의 종류별 시료 포집 및 분석 방법 등이 달라 발생 가능한 모든 화학물질을 포집하고자 할 경우에 소요되는 인력과 시간을 감안하여 본 연구에서는 활성탄관으로 시료를 포집하여 가스크로마토그래프로 분석이 가능한 법정 유기용제에 대하여 측정을 실시하였다.

시료 채취는 분석실험실마다 개인시료포집과 지역시료포집을 동시에 실시하였으며 분석실험실의 상시 유기용제 평균 농도를 알기 위하여 산업보건관련 기관에서 분석업무를 수행하는 3일간 포집하였다. 시료 채취 시간은 6시간 이상이었고, 측정일의 오전과 오후를 나누어 측정점당 2개의 시료를 채취하는 전 작업시간 연속시료채취 방법을 사용하였으며, 분석업무를 수행하지 않는 중식시간에는 시료채취 펌프의 전원을 차단하여 시료 채취를 중단하였다. 개인 시료는 분석자의 호흡기를 중심으로 반경 30 ㎝인 반구를 말하는 호흡 위치에서 채취하였고 지역 시료는 분석자가 주로 작업하는 장소의 1.5 m 높이에서 채취하

였다.

시료의 채취 전후에는 비누거품방법을 이용하여 공기시료 채취용 펌프의 유량 보정을 실시하였다. 0.02-0.2 ℓ/min으로 보정된 저유량 펌프(Gillian and SKC, USA)에 길이가 7 ㎝, 외경이 6 ㎜이며 앞층이 100 ㎎, 뒤층이 50 ㎎인 활성탄관(coconut shell charcoal tubes, Lot 226-01, SKC, USA)을 연결하여 시료를 채취하였다.

시료 채취를 끝낸 후에는 활성탄관의 양끝을 플라스틱 마개로 막고 테플론 필름(teflon film)으로 봉한 후 냉장 보관하였으며 30일 이내에 분석을 실시하였다.

② 시료 분석

채취한 시료는 NIOSH의 분석방법대로 활성탄관의 앞층과 뒷층을 분리하여 각각 4 ㎖ 시료병에 넣어 이황화탄소 1 ㎖를 가한후 30분간 가끔 흔들면서 탈착시킨 후 불꽃이온화 검출기가 부착된 가스크로마토그래프(HP 5890-Ⅱ, Hewlett Packard, USA)로 분석하였다. 분석기기의 분석 조건은 다음의 표 1과 같다.

시료별 유해인자에 대한 분석이 완료된 후에는 오전 포집 시료와 오후 포집 시료의 측정시간 및 농도를 이용해 1일 시간가중평균농도를 계산하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 분석실험실의 안전보건 실태

우리 나라의 산업안전보건법은 화학물질을 취급 및 저장할 경우에는 화학물질의 명칭, 취급시 주의사항 등의 항목이 기재된 물질안전보건자료를 작성하여 근로자가 보기 쉬운 작업장소내에 게시 또는 비치하도록 하고 있다. 표 2는 분석실험실내에서 취급 및 저장하고 있는 화학물질에 대한 물질안전보건자료의 비치 여부를 조사한 결과이다. 모든 물질에 대하여 MSDS를 비치하고 있는 기관은 A그룹이 1개소(14%), B그룹이 3개소(20%)인 것을 나타내고 있다. 일부 물질에 대하여 MSDS를 비치하고 있는 기관은 평균 55%, MSDS를 비치하고 있지 않는 기관이 평균 27%로 나타났다.

화학물질 저장시의 배열 방법과 관련하여 위험성 분류에 의하여 보관하는 기관은 B그룹만 4개소(18%)가 있었으며 A그룹은 위험성 분류에 따라 화학물질을 보관하고 있는 곳이 하나도 없었다. 물질명의 알파벳 순서에 따라 보관하는 기관이 전체 14개소

Table 1. Analytical instrument and operating condition

Items	Condition
Instrument	
Gas chromatograph	HP 5890-Ⅱ, Hewlett Packard
Detector	FID(Flame ionization detector)
Column	Neutrabond-1, 60 m x 0.53 mm x 2.0 ㎛
Operating conditions	
Carrier gas	N_2, 6.32 ㎖/min
Injection mode	split, purge time 0.5 sec
Injection volume	1 ㎕
Split ratio	1:21.1
Injector temperature	200 ℃
Detector temperature	250 ℃
Oven temperature	40 ℃(5 min), 3 ℃/min, 150 ℃(1 min)

로 64%였으며, 자주 사용하는 물질을 기준으로 보관하는 기관은 A그룹이 29%, B그룹이 7%였으며, 아무런 순서없이 보관하는 기관은 A그룹에서 1개소로 나타났다.

염산, 질산, 황산, 아세트산 등의 부식성 물질을 보관하는 장소와 관련하여 내산성 캐비넷을 사용하는 기관은 B그룹의 1개소뿐이었다.

분석실험실에서 사용하는 화학물질 보관용 냉장고에 음식을 보관하고 있는 기관은 A그룹이 29%(2개소), B그룹이 7%(1개소)로 나타났으며, 냉장고에 저장할 수 있는 물질의 종류가 표시되어 있는 기관은 3개소(14%)였는데 모두 B그룹(20%)이었다.

표 3에서 보면 가연성 가스(연료)와 산화성 가스(산소)를 6 m 이상 격리시키거나 또는 내화성 벽으로 격리시켜 보관하는 기관은 전체 3개 기관으로 14%였으며, 압축 가스통이 가죽끈, 쇠사슬, 지지대 등으로 고정되어 있는 기관은 전체 6개소로 27%였다.

분석실험실의 안전장치와 관련하여 분석실험실내에 소화기를 비치하고 있는 기관은 12개소로 평균 55%였으며 소화기를 비치하고 있지 않은 기관이 10개소로서 45%였다.

구급약품의 비치와 관련하여서는 구급약품함이 설치되어 있는 기관이 4개소로 18%였으며 분석실험실 책상 서랍내에 일부 약품을 보관하는 기관이 5개소

Table 2. Storage of chemicals

Items	A(%) n=7	B(%) n=15	Total(%) n=22
MSDS			
All chemicals	1(14)	3(20)	4(18)
A part of chemicals	4(57)	8(53)	12(55)
None	2(29)	4(27)	6(27)
Chemicals arrangement			
By hazardous property	0(0)	4(27)	4(18)
By alphabet	4(57)	10(67)	14(64)
By frequency of usage	2(29)	1(7)	3(14)
None	1(14)	0(0)	1(4)
Anti-acidity cabinet	0(0)	1(7)	1(5)
Food storage in refrigerator	2(29)	1(7)	3(14)
Chemicals list on the refrigerator	0(0)	3(20)	3(14)

A: Laboratory of university hospital
B: Laboratory of the other hospital

Table 3. Usage of safety equipments

Items	A(%) n=7	B(%) n=15	Total(%) n=22
Fire extinguisher	4(57)	8(53)	12(55)
Isolation over 6 m between flammable gases and oxidizing gases	1(14)	2(13)	3(14)
Fixing of compressed gas cylinders	2(29)	4(27)	6(27)
First aid kit			
In box	1(14)	3(20)	4(18)
In drawer	1(14)	4(27)	5(23)
Eyewash fountain	0(0)	0(0)	0(0)
Safety shower	0(0)	2(13)	2(9)

로서 23%, 구급약품을 비치하지 않고 있는 기관이 13개소로서 59%였다.

분석자의 눈에 화학물질이 들어갔을 때 눈을 세척할 수 있는 장치는 모든 기관에서 분석실험실내의 세면기로 대치하고 이었으며 물이 상부로 뿜어져 나오는 형태인 수직 세안장치는 한 곳도 설치되어 있지 않았다.

ANSI의 기준에 준해서 분석실험실의 모든 장소에서 15 m 이내 또는 30 초 이내에 도달할 수 있는 장소에 샤워장치가 설치되어 있는 기관은 2개소(9%)였는데 모두 B그룹(13%)이었다. 그러나 2개소의 샤워장치 모두 ANSI에서 규정하는 형태인 한 손으로 샤워장치의 손잡이를 잡아당겨서 사용하는 형식이 아니고 일반 샤워기를 화장실 등에 설치한 정도였다.

분석실험실 종사자가 분석실험실의 안전수칙에 대해서 전문적인 교육 훈련을 받은 적이 있는 지의 여부에 대하여 표 4를 보면 기관은 1개소(5%)였으며, 준비된 점검표에 의해 분석실험실내 작업에 대한 위험성 평가 및 확인을 실시한 적이 있는 기관 역시 1개소였는데 모두 B그룹에 속한 기관이었다.

분석업무중 본인 또는 동료가 소규모의 폭발, 화재, 개인외상 등을 경험한 적이 있는지에 대하여는 5개 기관(23%)이 경험한 적이 있다고 응답하였는데 A그룹이 3개소(43%)이고 B그룹이 2개소(13%)이었다.

표 5에 나타난 바와 같이 분석실험실에 대한 작업환경측정을 6개월에 1회 실시하는 기관과 1년에 1회 실시하는 기관은 각각 2개소(9%)였는데 모두 B그룹에 속한 기관이었으며 A그룹에 속한 기관중 작업환경측정을 1년에 1회 이상 실시하는 기관은 전무하였다. 지난 3년 이내에 작업환경측정을 실시한 적이 있는 기관은 4개소(18%)였는데 A그룹이 1개소(14%),

Table 4. Safety education and risk evaluation

Items	A(%) n=7	B(%) n=15	Total(%) n=22
Safety education for laboratory workers	0(0)	1(7)	1(5)
Risk evaluation with checklist	0(0)	1(7)	1(5)

Table 5. Air monitoring for laboratory and special health examination for laboratory workers

Items	A(%) n=7	B(%) n=15	Total(%) n=22
Air mornitoring for laboratory			
Once every 6 months	0(0)	2(13)	2(9)
Once every 1 year	0(0)	2(13)	2(9)
Once last 3 years	1(14)	3(20)	4(18)
Once since laboratory establishment	1(14)	0(0)	1(5)
None	5(71)	8(53)	13(59)
Special health examination for laboratory workers			
Once every 6 months	1(14)	1(7)	2(9)
Once every 1 year	1(14)	1(7)	2(9)
Once last 3 years	0(0)	3(20)	3(14)
Once since laboratory establishment	0(0)	1(7)	1(5)
None	5(71)	9(60)	14(63)

B그룹이 3개소(20%)였다. 분석실험실 설치후 1회 이상 실시한 적이 있는 기관은 A그룹에 1개소(5%)가 있었다. 분석실험실에 대한 작업환경측정을 한번도 실시한 적이 없는 기관은 13개 기관(59%)이었는데 A그룹의 71%(5개소) 및 B그룹의 53%(8개소)가 이에 해당하였다.

분석업무 담당자에 대한 특수건강진단을 6개월에 1회 이상 실시하는 기관과 1년에 1회 실시하는 기관은 A, B그룹 각각 1개소씩으로서 실시비율은 14%및 7%였다. 지난 3년 동안 특수건강진단을 실시한 적이 있는 기관은 B그룹에서 3개소(20%)였으며, 분석실험실 설치후 특수건강진단을 실시한 적이 있는 기관도 B그룹에서 1개소(7%)로 조사되었다. A그룹의 71%(5개소) 및 B그룹의 60%(9개소)는 분석실험실 설치후 한번도 특수건강진단을 실시한 적이 없다고 응답하였다(전체 14개소, 63%).

분석실험실에서 발생하는 화학폐기물 수집용기와 관련하여 폐산, 폐알카리, 폐유기용제, 폐유 등 종류별로 구분되어 있는지에 대하여 폐기물 수집용기를 3종류로 구분하는 기관은 3개소(14%)였는데 이중 A그룹이 1개소(14%), B그룹이 2개소(13%)였다. 폐기물을 2종류로 구분하는 기관은 A그룹이 2개소(29%), B그룹이 3개소(20%)로 나타났다(평균 23%). A그룹의 4개소(57%), B그룹의 10개소(67%)는 폐기물을 아무런 구분없이 혼합하여 보관하고 있었다(평균 63%).

2. 흄후드의 성능

실험실의 유해 화학물질 취급용 후드를 일반적으로 흄후드라고 부르는데(AIHA, 1992) 이 설비는 산업안전보건법에서는 드래프트챔버라 정의하여 산업보건 관련 기관으로 지정을 받기 위한 필수 설비로 규정하고 있다. 흄후드가 설치되어 있는 기관은 21개소로서 95%이었고 A그룹의 1개소는 흄후드가 설치되어 있지 않았다(표 6).

유해한 화학물질을 취급하는 작업은 후드내에서 수행하는지에 대해서는 항상 그렇다는 기관이 13개소(59%)였는데 A그룹이 3개소(43%), B그룹이 10개소(67%)이었다. 그렇지 않은 경우도 있다는 기관이 7

Table 6. Usage of fume hood

Items	A(%) n=7	B(%) n=15	Total(%) n=22
Installation of fume hood	6(86)	15(100)	21(95)
Handling of hazardous chemicals			
Always in hood	3(43)	10(67)	13(59)
Sometimes in hood	3(43)	4(27)	7(32)
Outside of hood	0(0)	1(7)	1(5)
No hood	1(14)	0(0)	1(5)
Lighting in hood			
Explosion proof	0(0)	0(0)	0(0)
No explosion proof	6(86)	15(100)	21(95)
No hood	1(14)	0(0)	1(5)
Chemicals storage in hood			
Yes	6(86)	14(93)	20(90)
No	0(0)	1(7)	1(5)
No hood	1(14)	0(0)	1(5)

개소로서 32%였으며 A그룹이 3개소(43%), B그룹이 4개소(27%)로 나타났다.

후드내의 조명등이 방폭형식인 기관은 전무하였으며 후드가 설치된 전 기관 공히 방폭형식이 아닌 일반 조명등을 사용하고 있었다. 대부분의 산업보건관련 기관 분석실험실에서 후드내에 화학물질을 보관하고 있는 점과 후드의 제어속도가 일부 미흡한 점을 고려하면 방폭형식의 조명등을 사용하는 것이 필요하다할 수 있다.

국소배기장치의 송풍기를 가동할 경우 덕트의 진동이 후드 및 후드내의 물체까지 전달되어 후드내에 있는 유리 제품등에 손상을 입힐 수 있기 때문에 후드내에 일반적으로 화학물질의 보관을 금하고 있는데(Pepitone, 1991) B그룹의 1개 기관을 제외하고는 후드가 설치된 전 기관에서 후드내에 화학물질을 보관하고 있었다.

산업안전보건법에는 국소배기장치의 자체검사를 연1회 이상 실시토록 규정하고 있으나 산업보건관련 기관에서는 후드, 덕트, 공기정화장치, 송풍기 등의 국소배기장치 계통을 검사하는지의 여부와 관련하여 표 7에 나타난 바와 같이 점검표에 의해서 연1회 이상 점검하는 기관은 전혀 없었으며, 점검표없이 연1회 이상 점검한다고 응답한 기관은 8개 기관(36%)이었으며 A그룹이 3개소(43%), B그룹이 5개소(33%)였다.

후드 개구면의 속도를 6개월에 1회 이상 측정하는 기관은 3개소(A그룹 1개소, B그룹 2개소)로서 13%, 1년에 1회 이상 측정하는 기관은 B그룹에서 1개소가 있었으며, 화학물질의 냄새가 잘 배출되지 않을 때 측정한 적이 있는 기관은 A그룹이 2개소, B그룹이 3개소, 발연관을 이용하여 기류를 측정한 적이 있는 기관은 A그룹이 2개소, B그룹이 1개소였으며, 제어속도를 전혀 측정한 적이 없는 기관은 A그룹의 14%, B그룹의 53%였다. 면속도 측정결과를 기록하여 보관하고 있는 기관은 전무하였다.

후드의 면속도를 측정한 결과 평균 면속도가 ANSI의 기준인 0.4 m/sec 이상을 만족하는 기관은 B그룹의 1개소뿐이었다. 나머지 기관은 후드의 면속도가 기준치에 미달하였는데 A그룹의 1개소(14%) 및 B그룹의 3개소(20%) 등 4개 기관은 배기 성능이 전혀 없는 후드를 사용하고 있었다.

후드 개구면의 최대 면속도에서 최소 면속도를 뺀 값을 후드별 면속도의 평균치로 나눈 위치별 제어속도 차이가 20%이내인 기관은 B그룹의 1개소뿐이었

Table 7. Inspection of fume hood

Items	A(%) n=7	B(%) n=15	Total(%) n=22
Inspection			
With checklist	0(0)	0(0)	0(0)
Without checklist	3(43)	5(33)	8(36)
None	3(43)	10(67)	13(59)
No hood	1(14)	0(0)	1(5)
Measurement of face velocity			
Once every 6 months	1(14)	2(13)	3(13)
Once every 1 year	0(0)	1(7)	1(5)
In case of chemicals odor	2(29)	3(20)	5(23)
Use of smoke tester	2(29)	1(7)	3(13)
None	1(14)	8(53)	9(41)
No hood	1(14)	0(0)	1(5)

Table 8. The face velocity of the fume hood

Items	A(%) n=7	B(%) n=15	Total(%) n=22
Average face velocity(m/sec)			
More than 0.4	0(0)	1(7)	1(5)
More than 0.2 and below 0.4	3(43)	6(40)	9(40)
Above 0.0 and below 0.2	2(29)	5(33)	7(32)
0.0	1(14)	3(20)	4(18)
No hood	1(14)	0(0)	1(5)

고, 30%이내인 기관은 B그룹에서 3개소로서 14%였고, 50%이상인 기관은 A그룹에서 4개소, B그룹에서 8개소 등 12개소를 차지하여 55%로 나타났다.

3. 분석실험실의 공기중 화학물질 농도 측정

분석실험실에서 유기용제를 포집하여 분석한 결과 검출된 화학물질은 acetone, ethylbenzene, isopropanol, xylene, methylenechloride, methylisobutylketone, trichloroethylene, toluene 등이었으며, 전 기관의 분석된 모든 유해인자의 농도가 미국정부산업위생전문가협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH, 1997) 및 산업안전보건법상의 노출기준보다 훨씬 낮은 것으로 나타났다. 분석실험실에 설치된 흄후드의 면속도별 화학물질별 농도의 기하평균(geometric mean, GM)과 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD)는 표 9와 같다. 후드의 면속도가 0.4 m/s 이상인 실험실에서 검출되는 화학물질의 종류가 가장 적었으나 면속도가 0.4 m/s 이상인 기관이 1개소뿐이므로 다른 그룹과의 비교가 어려우며, 그 외 후드의 면속도별 검출되는 화학물질의 종류 및 농도는 상관관계가

Table 9. Concentrations of airborne exposures classified by face velocity of fume hood

(unit : ppm)

Chemicals name	More than 0.4 m/sec n=1			More than 0.2 and below 0.4 m/sec n=9			Above 0.0 and below 0.2 m/sec n=7			0.0 m/sec & no hood n=5			Total n=22		
	№	GM	GSD	№	GM	GSD	№	GM	GSD	№	GM	GSD	№	GM	GSD
Acetone	0	-	-	4	0.48	1.89	4	0.38	1.72	3	0.22	1.38	11	0.36	1.85
Ethylbenzene	0	-	-	3	0.04	1.49	2	0.07	1.65	3	0.02	1.29	8	0.04	1.65
Isopropanol	0	-	-	6	0.26	1.55	5	0.54	2.62	3	0.30	2.27	14	0.34	2.23
m,p- Xylene	0	-	-	6	0.05	1.44	4	0.06	1.59	4	0.04	1.58	14	0.05	1.54
o- Xylene	0	-	-	3	0.06	1.34	2	0.10	1.60	3	0.04	1.23	8	0.06	1.47
Methylenechloride	0	-	-	2	0.26	2.89	2	0.16	2.26	1	0.06	1.00	5	0.20	2.77
Methylisobutylketone	1	0.03	1.00	5	0.05	1.45	5	0.07	1.52	4	0.04	1.54	15	0.05	1.62
Trichloroethylene	0	-	-	0	-	-	0	-	-	5	0.06	1.73	5	0.06	1.73
Toluene	1	0.05	1.40	9	0.09	2.22	7	0.10	1.95	5	0.08	2.07	22	0.09	2.08

№ : Number of laboratories chemicals detected

GM : Geometric mean

GSD : Geometric standard deviation

나타나지 않았다.

11개 분석실험실에서 검출된 acetone의 평균 농도는 0.36 ppm으로 노출기준인 750 ppm보다 훨씬 낮았다. 노출기준이 100 ppm인 ethylbenzene은 8개 기관에서 검출되었으며 평균 농도는 0.04 ppm이었다.

Isopropanol은 노출기준이 400 ppm인데 14개 기관에서 검출되었으며 평균 농도는 0.34 ppm이었다. m,p-xylene과 o-xylene은 노출기준이 모두 100 ppm인데 각각 14개 기관과 8개 기관에서 검출되었으며 평균 농도는 0.05 ppm 및 0.06 ppm이었다. 검출된 화학물질중 유일하게 발암성 추정 물질인 methylenechloride는 5개 기관에서 검출되었으며 평균 농도는 0.20 ppm이었다. 노출기준이 50 ppm인 methylisobutylketone과 trichloroethylene은 각각 15개 기관 및 5개 기관에서 검출되었으며 평균 농도는 0.05 ppm 및 0.06 ppm이었다. Toluene은 22개 전 기관에서 검출되었으며 평균 농도가 0.09 ppm으로서 노출기준 100 ppm보다 훨씬 낮았다.

대학병원과 일반병원으로 구분한 그룹별 화학물질의 농도는 표10과 같다.

Ⅳ. 고 찰

제조업 사업장의 화학물질 취급 공정과는 달리 산업보건기관의 분석실험실은 그 업무가 대개 반복성이 있으며, 전체환기장치 및 국소배기장치가 비교적 가동되고 있으며, 작업자의 대부분이 산업보건분야 전문가로서 화학물질에 대한 지식을 갖고 있어 보건위생적 문제 발생이 적은 것으로 인지되어 왔다. 그러나 산업보건관련 기관의 분석실험실 종사자는 사업장에서 채취된 수많은 종류의 미지의 화학물질을 취급하게 되며 분석실험실내에서 취급하는 고압가스, 전기, 유리 용기 등에 의한 위험성에도 노출되어 있다.

1998년도에는 국내 기업체 실험실에서 66명의 근로자가 실험실 작업중에 재해를 당하였으며 그 중 1명은 사망하였는 데 실험용 장치 및 유리 기구 등에 의한 부상이 가장 많았으며 유기용제 등의 접촉에 의한 부상 및 인화성 물질에 의한 화재도 높은 비율을 차지하였다(김미영, 2000).

Table 10. Concentrations of airborne exposures classified by laboratory classification

(unit : ppm)

Chemicals name	A n=7			B n=15			Total n=22		
	№	GM	GSD	№	GM	GSD	№	GM	GSD
Acetone	4	0.28	2.06	7	0.38	1.80	11	0.36	1.85
Ethylbenzene	4	0.03	1.57	4	0.04	1.70	8	0.04	1.65
Isopropanol	6	0.26	1.70	8	0.44	2.49	14	0.34	2.23
m,p-Xylene	5	0.04	1.47	9	0.05	1.58	14	0.05	1.54
o-Xylene	4	0.05	1.24	4	0.07	1.55	8	0.06	1.47
Methylenechloride	1	0.32	2.81	4	0.11	2.12	5	0.20	2.77
Methylisobutylketone	6	0.05	1.65	9	0.05	1.63	15	0.05	1.62
Trichloroethylene	2	0.06	1.56	3	0.07	2.00	5	0.06	1.73
Toluene	7	0.07	2.00	15	0.09	2.09	22	0.09	2.08

№ : Number of laboratories chemicals detected

분석실험실에서 취급하는 화학물질의 안전과 관련하여 보유 화학물질의 목록을 작성하여 물질별 유해성을 파악하고, 보유 화학물질을 유해성 분류에 따라 저장하여 인화나 폭발의 가능성을 제거하는 것이 필요한데(Williamson, 1983), 표 2에 의하면 조사 대상 22개 분석실험실중 저장하고 있는 모든 물질에 대하여 물질안전보건자료를 비치하고 있는 기관은 18%에 불과하였고, 화학물질을 위험성 분류에 따라 구분하여 저장하는 기관 역시 18%에 지나지 않았다. 화학물질 보관용 냉장고에 저장할 수 있는 물질의 종류가 표시되어 있는 기관은 3개소(14%)였으며 나머지 19개 기관은 화학물질의 성상에 관계없이 냉장고를 사용하고 있었다. 이로 미루어 분석실험실 종사들이 일반적으로 대부분의 화학물질은 보건학적 유해성이나 물리적 위험성이 큰 차이가 없다고 인식하고 있음을 알 수 있다.

화학물질 저장용 냉장고에 음식물을 함께 보관하고 있는 기관은 3개소였는데 음식물의 보관이 일시적일지라도 화학물질의 증기가 음식물에 침착되어 구강을 통하여 인체에 흡수되게 할 위험이 있다.

가연성 가스(연료)와 산화성 가스(산소)를 6 m 이상 격리 또는 내화성 벽으로 격리시켜 보관하는 기관은 3개 기관에 불과하였으며, 압축 가스통을 가죽끈, 쇠사슬, 지지대 등으로 고정시켜 보관하는 기관은 27%(3개소)뿐이었는데 이 역시 분석실험실 종사자들이 고압가스의 위험성에 대한 인식이 부족한 것으로 보인다.

샤워장치(safety shower)는 화학물질이 신체에 튀었을 때와 의복에 불이 붙었을 때 세척용 및 소화용으로 사용하는 데 분석실험실에서 15 m 이내 또는 30 초 이내(한국산업안전공단, 1999)에 도달할 수 있는 장소에 샤워장치가 설치되어 있는 기관은 2개소가 있었는데 실험실의 복도에 설치되지 않고 화장실 등에 샤워기를 설치한 형식이었고 나머지 기관의 대부분은 그 필요성에 대해서 인지하지 못하고 있었다. 눈에 화학물질이 들어갔을 때 눈을 세척할 수 있는 수직형 세안장치(eyewash fountain)는 한 곳도 설치되어 있지 않았다.

분석실험실내에 소화기를 비치하고 있는 기관은 55%였으며 구급약품함을 비치하고 있는 기관은 18%로 조사되어 전반적으로 비상시의 조치와 관련한 대책이 많이 부족하였다. 이한주(1995)의 연구결과에서 한 대학의 20개 실험실을 조사결과 건물의 벽에 샤워장치가 설치되어 있으나 실험자들이 그 위치와 사용방법을 모르고 있으며, 어느 실험실도 수직형 세안창치가 설치되어 있지 않았다고 조사된 것을 보면 우리 나라의 실험실의 비상시 응급조치 설비와 종사자들의 응급시 대처 요령에 대한 교육이 상당히 미흡함을 알 수 있다.

분석실험실 종사자가 안전수칙에 대해서 전문적인 교육훈련을 받은 기관은 1개소에 지나지 않아 분석실험실의 안전보건 프로그램을 수립하여 이행하기에는 어려움을 알 수 있다. 그리고 안전수칙에 대해 교육훈련을 받은 적이 있는 1개 기관만이 준비된 점검표에 의해 분석실험실내 작업에 대한 위험성 평가 및 확인을 실시한 적이 있었다.

우리 나라의 산업안전보건법에서는 화학물질 취급 공정에 대하여는 6개월 내지 3년에 1회 이상 작업환경측정을 실시하도록 하고 있고 그 공정의 종사자에 대하여는 6개월 내지 2년에 1회 이상 특수건강진단을 실시하도록 하고 있으며 이는 분석실험실에도 적용된다. 작업환경측정을 6개월에 1회 실시하는 기관과 1년에 1회 실시하는 기관은 각각 2개소씩(9%)이었으며 분석실험실에 대한 작업환경측정을 한번도 실시한 적이 없는 기관이 13개소(59%)를 차지하였다. 특수건강진단을 6개월에 1회 실시하는 기관과 1년에 1회 실시하는 기관은 역시 2개소씩(9%)이었으며 한번도 실시한 적이 없는 기관이 14개소(63%)였다. 작업환경측정과 특수건강진단을 실시하지 않는 일부 실험실 종사자들은 실험실내 화학물질 사용량이 소량인 관계로 측정 및 검진을 미실시한다고 응답하였다. 산업안전보건법령에는 화학물질의 사용량은 고려치 않고 유해 인자 취급유무에 의해서만 작업환경측정 및 특수건강진단을 실시하도록 되어 있는 점

이 법의 경직성 또는 미비점이라고 산업보건 관계자들에 의해 지적받는 경우가 있어 왔는데 실험실 조사에서 보듯 물질 사용량을 고려한 법적용이 고려되어야 할 것으로 보인다. 또, 특수건강진단의 경우 법에서는 취급하는 유해 인자, 즉 화학물질의 종류별로 모두 실시하여야 한다고 되어 있는데 실험실에서는 수많은 종류의 화학물질을 취급하는 점에 미루어 실험실 종사자에 적합한 특수건강진단 항목 및 방법의 개발이 필요하다고 하겠다.

분석실험실의 흄후드(드래프트 챔버)는 유해 화학물질의 증기가 작업공간 전체로 확산되기 전에 유해물질 발생원의 가장 가까운 곳에서 제어하여 작업자의 유해물질 노출을 줄이기 위하여 반드시 필요한 설비이나 1개 기관은 흄후드가 설치되어 있지 않았다. Rose(1984)는 실험실에서 발생되는 화재의 주요 원인은 종사자의 부주의, 흡연, 전기설비의 부적절, 과부하, 흄후드의 화재 등이라고 하였는데, 20개 기관(91%)이 후드내에 화학물질을 보관하고 있었으며 후드내의 조명등이 방폭형식인 곳은 전무하였다. 전 기관이 화학물질을 보관하는 동안에는 후드를 가동하지 않고 있으며 개구면을 완전히 닫은 상태를 유지하므로 후드 내에 인화성 물질 또는 폭발성 물질이 있을 경우 전기적인 충격에 의한 화재의 가능성이 있을 것으로 보인다.

산업안전보건법 제36조 및 동법 시행규칙 제73조에 의하면 국소배기장치는 자체검사를 실시하고 그 결과를 기록·보존하여야 한다고 되어 있으나 이는 제조업 사업장에서도 제대로 이행되고 있는 경우가 많지 않은 것으로 보이며 자체검사를 실시하는 사업장이 어느 정도인지 파악된 적도 없다. 산업보건관련 기관에서도 흄후드의 배기 설비를 점검표에 의해 연1회 이상 점검하는 기관은 전혀 없었다. 국소배기장치의 검사를 점검표없이 육안으로 수행하는 것은 설비의 전반적인 상태를 평가하는데 어려움이 있으며 점검 항목의 일부가 제외될 수도 있으므로 실제적으로 연1회 이상 국소배기장치를 제대로 검사하는 산업보건관련 기관은 없는 것으로 보여진다. 후드 개구면의 제어 속도를 1년에 1회 이상 측정하는 기관은 4개소였으며 제어 속도를 전혀 측정한 적이 없는 기관이 9개소(41%)로 나타나 산업보건관련 기관에서는 제조업 사업장에 비해 화학물질의 사용량이 적은 관계로 흄후드의 배기 성능에 대해서 크게 관심을 가지고 있지 않은 것으로 보인다.

노동부의 국소배기장치에 관한 기준(1990) 등 우리나라에서는 실험실용 흄후드에 대해 특별히 제어속도를 규정하고 있지 않으나 미국산업위생학회(American Industrial Hygiene Association, AIHA)와 ANSI(1992), ACGIH 등에서는 흄후드의 면속도를 0.4-0.5 m/sec로 규정하고 있다. 조사자가 후드 개구면의 제어 속도를 측정한 결과 평균 면속도가 0.4 m/sec 이상인 기관은 1개소(5%)였고 제어속도가 0 m/sec로서 전혀 효과가 없는 기관이 4개소(17%)였다. 특히 전혀 효과가 없는 후드를 사용하는 4개 기관중 3개 기관의 종사자는 후드의 성능이 일부분 발휘되고 있는 것으로 인지하고 있어 분석실험실의 후드 개구면 제어속도를 정기적으로 측정하는 것이 반드시 필요한 것으로 나타났다. 김명신(1997)이 대학 실험실에 설치되어 있는 후드의 성능을 조사한 결과 0.4 m/sec 이상의 배기성능을 나타내는 비율이 65%인 것과 비교하면 산업보건관련 기관의 흄후드 성능이 대학 실험실의 후드에 비해서도 미흡함을 알 수 있다.

개인시료 포집기와 흡착관을 이용하여 분석실험실의 유기용제를 포집하여 그 성분 및 농도를 분석한 결과 acetone, ethylbenzene, isopropanol, xylene, methylenechloride, methylisobutylketone, trichloroethylene, toluene 등이 검출되었으며 모두 1 ppm 미만의 평균 농도로서 산업안전보건법상의 노출기준보다 훨씬 낮은 수치였다. 그러나 이번 조사에서의 작업환경측정은 작업 시간 동안의 평균 농도를 측정하였기 때문에 실험실 업무를 가장 많이 수행하는 시간대의 단시간 농도를 파악하지 못한 것이 제한점으로 남는다. 김명신(1997)의 연구에서 2개의 종합대학 화학관련 실험실에 대한 측정결과 ethylether, meth-

ylenechloride, n-hexane, ethylacetate, chloroform, tetrahydrofuran, benzene 등이 검출되었고 그 농도가 0.1 ppm 미만에서 48.13 ppm이었는데, 산업보건 관련 기관과 비교하여 methylene chloride를 제외하고는 검출되는 물질이 대개 다르며 대학 실험실의 측정 농도가 더 높음을 알 수 있다. 이는 대학 실험실에서는 검출된 화학물질을 유기 반응 등을 위하여 직접 취급하는 반면 산업보건관련 기관에서는 사업장에서 포집한 적은 양의 시료에서 발생되는 유기 용제를 측정하기 때문인 것으로 보인다.

발암성 물질인 methylenechloride는 5개 기관에서 검출되었으며 toluene은 22개 전 기관에서 검출되었는데 이는 시료를 채취하는 제조업 사업장에서 사용하는 신나, 세척제 등에 toluene이 가장 많이 함유되어 있기 때문인 것으로 보인다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 분석실험실의 안전보건을 확보하기 위한 대책은 다음과 같다.

첫째, 분석실험실 종사자에 대한 안전보건의식의 고취가 필요하다. 정부와 안전보건 관계자의 많은 노력으로 인해 제조업 사업장에서의 안전보건의식은 어느 정도 생활화되었고 체계도 갖추어졌으나 분석실험실의 위험요인 및 안전보건 실태는 제대로 파악된 적이 없는 데 여기에는 분석실험실 종사자의 안전보건의식이 미흡한데 일부 원인이 있다.

둘째, 분석실험실의 안전보건 수준을 향상시키기 위한 세부적인 실험실 안전지침의 교육이 필요하다. 대부분의 분석실험실 종사자들은 실험실 안전보건에 대하여 전문기관에서의 교육을 받은 경험이 없다고 하였다. 또한 본 조사를 위하여 각 기관을 방문하여 분석실험실 종사자들과 면담하였을 때 분석실험실에는 소화기가 비치되어 있어야 하는지 아니면 없어도 되는지, 압축가스통이 고정되어 있지 않을 경우의 위험 요인이 어떠한 지에 대한 인식이 부족하였다.

셋째, 분석실험실의 안전보건 환경을 개선하기 위한 시설 투자가 필요하다. 조사결과 분석실험실의 응급조치 설비로서 한 손으로 작동하여 사용할 수 있는 샤워장치 및 수직 방향으로 물이 뿜어져 나오는 수직 세안장치는 한 기관도 설치되어 있지 않았으며, 소화기를 비치하고 있는 기관도 55%에 그쳤는 데 이는 일반적으로 분석실험실의 안전보건환경 개선에 대한 투자가 빈약함을 나타낸다고 볼 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 1999년 12월부터 2000년 1월까지 경인지역에 소재한 22개 산업보건 관련 기관의 분석실험실을 대상으로 안전보건 실태에 관한 설문 조사를 실시하고, 드래프트 챔버용 국소배기장치의 성능을 평가하고, 분석실험실 공기중의 유기용제 농도를 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 실험실에서 취급 및 저장하고 있는 화학물질을 위험성에 따른 분류를 하지 않고 있으며 고압가스의 저장방법이 불안전하였다.
2) 비상시에 사용할 수 있는 구급약품함이 설치되어 있는 기관은 18%, 소화기가 비치되어 있는 기관은 55%, 샤워장치가 설치되어 있는 기관은 9%에 지나지 않았다.
3) 실험실 종사자는 대부분이 실험실 안전에 대한 전문적인 교육을 받지 않았으며, 점검표에 의해 위험성 평가 및 확인도 대부분 실시한 적이 없었다.
4) 실험실에 설치된 흄후드에 대해 점검표에 의해 연 1회 이상 검사를 실시하는 기관은 전무하였으며 후드 개구면의 속도를 연 1회 이상 측정하는 기관은 18%였다.
5) 흄후드의 면속도가 0.4 m/sec 이상인 기관은 5%였으며 제어 성능이 전혀 없는 후드를 사용하는 기관이 17%였다.

6) 실험실 공기중의 시료를 분석결과 발암성(추정) 물질은 methylenechloride가 검출되었으며, 기타 acetone, ethylbenzene, isopropanol, xylene, methylisobutylketone, trichloroethylene, toluene 등의 유기용제가 검출되었으나 공기중의 농도가 ACGIH의 TLV 및 노동부의 노출기준보다 훨씬 낮았다.

이상의 결과로 보아 산업보건관련 기관 분석실험실의 안전보건실태를 개선하기 위한 대책으로는 분석실험실 종사자에 대한 안전보건의식의 고취가 요구되고, 분석실험실의 안전보건 수준을 향상시키기 위한 세부적인 실험실 안전지침의 교육이 강화되어야 하며, 분석실험실의 안전보건 환경을 개선하기 위한 시설 투자가 필요하다.

REFERENCES

김명신. 일부 대학 화학실험실에서의 유기용매 노출에 관한 연구, 석사학위 논문. 서울대학교 보건대학원; 1997

김미영. 실험실 재해예방. 한국산업안전공단편; 2000. p.3~20

노동부. 노동부고시 제90-45호. 국소배기장치에관한기준; 1990.

노동부. 노동부고시 제97-27호. 물질안전보건자료의작성·비치등에관한기준; 1997.

노동부. 노동부고시 제97-65호. 화학물질및물리적인자의노출기준; 1997.

노동부. 노동부고시 제99-38호. 작업환경측정및정도관리규정; 1999.

노동부. 노동부령 제156호. 산업안전보건법시행규칙; 1999.

노동부. 산업안전보건법. 법률 제6104호; 2000

이한주. 일부 대학 화학실험실의 안전 보건 실태조사. 석사학위 논문, 서울대학교 보건대학원; 1995

한국산업안전공단. 산업환기 설비기준(KOSHA Code H-03-98). 한국산업안전공단, 1998.

한국산업안전공단. 실험실 안전 지침. 한국산업안전공단; 1999.

한국산업안전공단. 유해인자별 작업환경 측정·분석 방법(KOSHA Code H-8-1999). 한국산업안전공단; 1999.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. ACGIH; 1997

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice, Metric Version, 23rd Edition. ACGIH, 1998 : (10-40)-(10-41).

American National Standard Institute(ANSI). National Standard for Emergency Eyewash and Shower Equipment, ANSI Z358.1-1990. ANSI; 1990

American National Standard Institute(ANSI)/ American Industrial Hygiene Association(AIHA). American National Standard for Laboratory Ventilation. AIHA; 1992

Diane OF, John HR, Jerry IT, Donald V. Laboratory Safety Second Edition. ASM Press; 1995

Guarino J. Health and Safety Surveys University Chemistry Laboratories. Applied Occupational and Environmental Hygiene. 1990; 5: 289-292.

National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th Ed. NIOSH; 1994

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Laboratory Standard, 29 CFR 1910.1450,

U.S. OSHA; 1990

Pepitone DA. Safe Storage of Laboratory Chemicals, 2nd Ed. Wiely, 1991.

Rose SL. Fire, Electricity, and Compressed Gases, Clinical Laboratory Safety; 1984; p. 186-212

Stricoff RS, Douglas BW. Handbook of Laboratory Health and Safety. John Wiley & Song; 1995

Williamson JR. Safety Tips-Hazardous Chemical Storage. Journal of Chemical Education, 1983; 8: 668-669