

4M 방식에 의한 화학실험실 위험성 평가 기법

김종인* · 이동호**

Abstract

This research modified the checklist used in the universities in USA, England and Korea considering the current situation of Korea, and conducted case studies upon each section of appointed chemical laboratories based on 4M criteria, which stands for Machine, Media, Man and Management. The purpose of the studies is to assess how dangerous the laboratories are and to contribute to prevention of accidents in the laboratories as well as reducing loss of lives and property.

The result of this research found out the harmful and hazardous factors based on the 4M-type checklist and predicted the dangerousness as it multiplies possible frequency by intensity. Protective equipment, safety facilities in laboratories, emergency exit and compressed gas cylinder are found to be more dangerous, so the result shows that it is desirable to improve ventilation, safety facilities and circumstances of the laboratory through the investment.

Keywords: Dangerous factors in chemical laboratories, Dangerousness assessment, 4M-type checklist of dangerousness

1. 서론

화학실험실은 다종의 유해물질을 소량으로 취급하고 있으며 고도의 정밀 실험으로 연구원 직·간접 영향을 받게 되므로 Human Error에 의한 중대사고가 발생하여 막대한 경제적 손실을 가져 올 수 있기 때문에 높은 안전성과 신뢰도가 요구되고 있다. 실험실에서 사용하는 유해물질은 대체로 유해하고, 위험하기 때문에 사고 발생시 화재, 폭발을 유발할 가능성이 높으며 이러한 위험물질에 의한 대형사고의 위험이 크다. 그리고 화학물질에 의한 연쇄적인 피해로 인해 사고의 유형에 대한 구조가 복잡하다. 특히 화학실험실에서는 다양한 실험공정이 이루어지고 있으나 그에 따른 관리감독이나 대책은 미흡한 실정이다. 따라서 실험실의 안전 확보는 실험자의 안전과 건강보호 차원에서 대단히 중요하며 이에 대한 대책이 필요하다.

* 대한산업안전협회 인천지회

** 인천대학교 안전공학과

이와 같은 사고를 줄이는 방법의 하나는 실험실의 잠재 위험을 찾아 제거하는 것인데 이 잠재 위험성을 찾는 효과적인 방법이 위험성평가이다.

본 연구에서는 대학에 화학실험실을 대상으로 4M방식을 적용하여 위험성평가를 수행하였으며, 이를 통해 실험실에서 사용하고 있는 Machine(기계적), Media(물질·환경적), Man(인적), Management(관리적) 4M방식을 적용하여 위험성평가를 실시하여 인명과 재산 손실을 줄이는 동시에 실험실에 사고예방에 기여하고자 한다.

2. 위험성평가 방법

위험성평가 방법은 크게 나누어 위험요인을 도출하고 위험요인에 대한 안전대책을 확인·수립하는 정성적 평가와 위험요인별로 사고로 발전할 수 있는 확률과 사고 피해크기를 정량적으로 계산하여 위험도를 수치로 계산하고 허용범위를 벗어난 위험에 대한 안전대책을 세우는 정량적 평가 방법으로 구분하고 있다.

본 연구는 4M 방식으로 위험요인을 도출하고 발생빈도와 피해크기를 크기별로 그룹화하여 위험도를 정하는 정량적 평가 방법으로 위험성평가를 실시하였다.

3. 위험성평가 기준

위험성평가 기준을 쉽게 확인하기 위해 빈도의 수준과 강도 수준을 조합하여 위험 크기수준 결정하여 Table 1~4에 나타내었다. 4M방식의 위험도 결정한 값에 따라 위험도 수준에 따른 관리기준을 정하여 「중대한 위험」 「수용할 수 없는 위험」에 대해서는 개선대책 수립을 실시한다.

<Table 1> 위험발생 빈도

빈도	내 용	점수
자주 (very likely)	○ 재해측면: 재해가 최근 2년간 중대재해 1건 이상 발생/ 재해가 연간 2건 이상 발생 또는 재해가 연간 앗차 사고 6건 이상 발생 ○ 설비적인 측면: 안전시설 및 장비가 전혀 설치되어 있 지않아 사고 위험성이 아주 높음	4
가끔 (likely)	○ 재해측면: 최근 2년이내 재해가 연간 2건 발생 또는 재 해가 연간 앗차사고 4~5건 이상 발생 ○ 설비적인 측면: 안전시설 및 장비가 설치되어 있으나, 사고 발생할 위험성이 높음	3
드물게 (unlikely)	○ 재해측면: 최근 2년이내 재해가 연간 1건 발생 또는 재 해가 연간 앗차사고 2~3건 이상 발생 ○ 설비적인 측면: 안전시설 및 장비가 설치로 사고 발생 가능성이 아주 낮음	2
매우 드물게 (very unlikely)	○ 재해측면: 재해가 연간 앗차사고 1건 발생 ○ 설비적인 측면: 안전시설 및 장비 설치로 사고발생 가 능성이 거의 없음	1

<Table 2> 위험발생 강도

강도	내 용	점수
매우 중대 (Extreme)	사망 또는 영구적 불구인 경우	4
중대 (Major)	상해재해 또는 심각한 업무 관련 질병인 경우	3
보통 (Moderate)	경미한 부상 또는 질병인 경우	2
사소 (Minor)	재해로 인한 인적손실이 없는 경우	1

<Table 3> 위험도 결정 기준표

빈도	강도	사소	보통	중대	매우 중대
	점수	1	2	3	4
매우 드물게	1	1	2	3	4
드물게	2	2	4	6	8
가끔	3	3	6	9	12
자주	4	4	8	12	16

<Table 4> 위험도 결정 기준표

위험도 크기	위험도 수용가능 여부	관리기준
1 ~ 2	수용할 수 있는 위험성	현재의 안전대책 유지
3 ~ 5	경미한 위험성	현재의 위험성을 남겨둘 수는 있으나 완전히 수용할 수 없는 위험성, 따라서 관리대책이 필요한 위험
6 ~ 10	중대한 위험성	현재 위험성을 남겨둘 수는 있으나 가능한 빠른 시일 내에 안전대책을 세워야 하는 위험
11 ~ 16	수용할 수 없는 위험성	현재 위험성의 발생 빈도나 강도를 감소시키기 위한 즉시 조치가 필요하며 실험실 책임자에게 보고하여 관리가 필요한 위험

4. 사례연구

4.1 개요

본 연구에서는 선진국인 미국, 영국과 국내 대학에서 사용하는 체크리스트를 실험실 실정에 맞게 4M방식으로 분야별로 만들어서 대학의 화학실험실을 선정하고 이용하여 사례연구를 수행하였다. 실험실 분야별로 평가하여 실험실에 잠재되어 있는 위험성을 제시하여 실험실 사고를 사전에 예방하고자 한다. 실험실 위험성 평가표 4M방식에 맞게 항목별, 분야별로 위험도를 분석하였다. 실험실에 직접 방문하여 촬영하고 분석하였다. 실험실 분야별로 Machine(기계적), Media(물질·환경적), Man(인적), Management(관리적) 위험성 평가를 실시하였다.

4.2 실험실 분야별 체크리스트 (예시)

<Table 5> 실험실 분야별 체크리스트

학교명	실험실 명	방 번 호
실험실 책임자	실험 담당자	전화번호
점검대상 : 실험실 안전설비 (흡 후드, 세안장치, 샤워장치)	점 검 자	점검일자

항목	점검항목	점검결과		개선 대책
		양호	불량	
Machine (기계적)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 세안장치 및 샤워장치는 모든 작업대에서 15m 이내 또는 30초 이내에 도달 할 수 있는 장소에 설치되어 있는가? ○ 세안장치나 샤워 장치는 전기패널이나 전선 인입구와 떨어져 있는가? ○ 흡 후드가 설치되어 정상작동 되어 있는가? 			
Media (물질·환경적)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유해한 물질을 사용하는 실험은 후드 내에서 수행하고 있는가? ○ 흡 후드의 위치는 문, 창문, 보행자로부터 떨어져 있는가? ○ 세안장치 등 작업주변에 공간이 확보되어 있는가? 			
Man (인적)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 흡 후드 안에 시약, 전기콘센트, 작업공구 등 방치시에는 사고 위험성이 있으므로 안전작업방법에 대해서 알고 있는가? ○ 흡 후드, 세안장치, 샤워장치 등 사용법에 대해서 알고 있는가? 			
Managem ent (관리적)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 흡 후드 안에 정리정돈 하고 있는가? ○ 세안장치와 샤워기는 6개월마다 검사하고 있는가? ○ 세안장치와 샤워기 주변에 공간 확보가 되어 있는가? ○ 흡 후드설비는 1년마다 검사하고 있는가? ○ 설비가 정상적으로 작동토록 점검하고 관리하고 있는가? ○ 시각적으로 알 수 있도록 안전 표지판이 게시되어 있는가? 			

5. 위험성 평가 분석 결과

5.1 4M방식의 위험성평가 결과

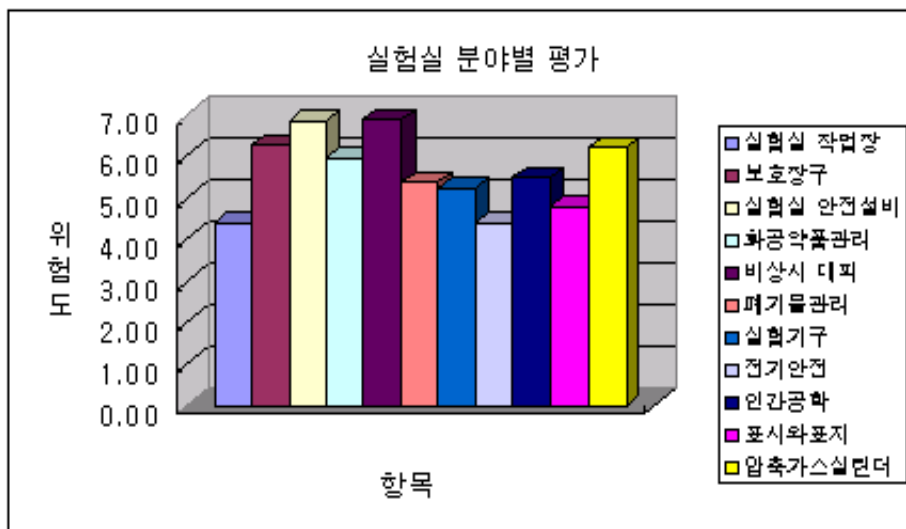
4M 방식의 실험실 체크리스트 토대로 위험성 평가표를 적용하여 위험요인 189건에서 개선이 필요한 건수는 113건 발생한 결과를 Table 6에 정리하였으며. 특히 실험실 안전설비, 비상시 대피, 압축가스 실린더, 보호 장구 부분은 매우 취약 하였으며, 4M 항목에서는 인적, 관리적, 물질·환경적, 기계적 순으로 평균 위험도가 나타난 결과를 Table 7에 정리하였다. 실험실 분야별 평균위험도 값을 그림1에 비교하였다.

<Table 6> 4M방식 실험실 분야별 위험성 평가 결과

평가항목	위험요인	위험도 수준 (허용 할 수 있는 위험, 경미한 위험)	위험도 수준 (중대한 위험, 허용 할 수 없는 위험)	평균 위험도
실험실 작업장	26	16	10	4.42
보호 장구	14	1	13	6.28
실험실 안전설비	14	2	12	6.86
화공약품 관리	23	7	16	5.96
비상시 대피	17	6	11	6.88
폐기물관리	13	6	7	5.38
실험기구	13	7	6	5.23
전기안전	24	15	9	4.38
인간공학	17	7	10	5.47
표시와 표지	13	5	8	4.79
압축가스 실린더	15	4	11	6.20
계	189	76	113	

<Table 7> 4M방식 실험실 항목별 평가 결과

평가항목	기계적	물질적·환경적	인적	관리적	합계	평균위험도
실험실 작업장	14	63	18	20	115	4.42
보호 장구	10	12	18	48	88	6.28
실험실 안전설비	20	22	18	36	96	6.86
화학약품 관리	10	47	24	56	137	5.96
비상시 대피	8	54	24	31	117	6.88
폐기물관리	6	20	14	30	70	5.38
실험기구	8	32	12	16	68	5.23
전기안전	22	39	22	22	105	4.38
인간공학	16	32	29	16	93	5.47
표시와 표지	16	14	16	16	62	4.79
압축가스 실린더	12	36	27	18	93	6.20
합계	142	371	222	309	1,044	-
평균위험도	4.90	5.46	5.84	5.62	-	5.25



<그림1> 실험실 분야별 위험도 비교

5.2 분야별 세부적인 분석 결과

실험실 작업장은 선반에 고정구나 와이어 고정, 연구 활동종사자의 복장 불량, 음식 및 음료의 반입 및 섭취하고 있었으며 유해화학물질에 대한 물질안전보건자료를 비치하지 않고 실험이 이루어져 연구원들의 안전보건의식이 떨어져 사고 위험성이 내포되어 있었다.

보호 장구 착용상태 미흡하고 사용 후 실험대, 책상에 방치하는 등 관리상태가 미흡한 것으로 나타났다. 또한 방독마스크 사용방법에 대해서는 숙달되지 않아 평상시에도 보호구 착용을 하지 않은 것으로 나타났다.

실험실 안전설비에서는 세안장치, 샤워설비가 설치되어 있지 않거나 관리상태 소홀로 화학물질이 신체에 묻었을 경우에는 대처방안이 없어 매우 위험한 것으로 나타났다. 또한 흡 후드 안에 시약, 전기콘센트, 작업공구 등 방치하여 전기 화재 위험성이 있는 것으로 나타났다.

화공약품 관리에서는 용기의 라벨에 수령일자와 개봉일자를 기록하지 않거나 연구 활동종사자가 화공약품을 용기에서 따를 때 안전작업을 준수하지 않고 부자연스러운 자세운반으로 화공약품 관리에 대한 안전의식이 미흡 및 화공약품 위험성 분류에 따라 종류별로 보관하지 않고 혼합하여 관리하는 것으로 나타났다.

비상시 대피에서는 실험실내에서 화재발생, 가스 누출 또는 시약병이 떨어져 깨질 경우에 연구 활동 종사자들의 대처방법에 대한 행동요령과 응급처치법에 대해서는 어떻게 해야 할 지 못하고 있는 것으로 나타났다.

폐기물 관리에서는 폐 화공약품 수집용기는 별도로 수집 관리가 되지 않았으며 주사기와 다른 날카로운 것들은 밀봉하지 않고 처리하고 있었다.

실험기구에서는 실험대 주변에 방치하고 작업공간을 확보하지 않은 상태로 실험이 이루어지고 있었으며 깨진 유리 기구는 지정된 장소에 버려지도록 관리하여야 하나 일반 쓰레기와 혼합하여 버리는 등 연구 활동 종사자의 안전의식이 부족한 것으로 나타났다.

전기안전에서는 실험실내의 전기콘센트 사용시 비접지형을 사용하며 문어발식 콘센트 사용으로 과부하로 인한 화재 사고 위험성이 있었으며 흡 후드 내에 콘센트를 사용하고 있어 전기 화재 위험성이 있는 것으로 나타났다. 또한 전기의 특성, 위험성에 대한 의식이 떨어져 실험기구를 닦고 난 후에 손에 물기가 남아 있는 상태에서 전기코드를 만지는 등 전기에 대한 안전의식이 떨어져 감전사고 위험성이 있는 것으로 나타났다.

인간공학에서는 실험실내에 장시간 서서 작업시 발걸이 미설치, 피로 예방 안전매트가 설치되어 있지 않았으며 의자 높낮이 조절이 안 되는 의자를 사용하고 있어 연구 활동종사자들의 육체적인 피로가 많은 것으로 나타났다.

또한 연구 활동종사자들의 장시간 연구로 인한 휴식 부족, 스트레칭 체조에 대한 의식 부족 및 불안정한 자세(허리를 비트는 자세, 손목을 꺾는 자세 등)로 실험실에서 활동하고 있어 연구원들의 신체적인 부담으로 육체적인 피로가 많은 것으로 나타났다.

표시와 표지에서는 실험장비에 대한 경고표지, 가스 용기 경고 라벨 표시, 오염된 기구, 장비에 대한 경고 표지 부착상태 지워지거나 그에 따른 교육실시가 제대로 이루어지지 않은 것으로 나타났다.

압축가스 실린더에서는 가스용기를 실험대 및 벽에 쥘쇠로 고정하지 않고 세워서 방치하고 안전뚜껑을 씌우지 않은 상태로 관리하여 용기가 넘어질 경우에는 가스 누출로 인한 폭발 사고 위험성도 있는 것으로 나타났다. 또한 연구 활동 종사자들의 가스의 특성, 위험성에 대한 지식 부족으로 나타났다.

6. 결 론

본 연구에서는 선진국인 미국, 영국과 국내 대학에서 사용하는 체크리스트를 우리 실정에 맞게 4M 방식으로 실험실 체크리스트를 만들어서 화학실험실을 대상으로 위험성 평가기법 실시한 결론은 다음과 같다.

1) 화학실험실 대상으로 분야별 4M방식을 적용하여 위험도를 값을 계산하였다. 위험요인 189건에서 「중대한 위험」, 「수용할 수 없는 위험」을 113건이 발생 하였으며, 인적, 관리적, 물질·환경적, 기계적 순으로 평균위험도 값이 나온 것을 평가를 통해서 예측 할 수 있다.

2) 실험실 별로 분석결과 보호 장구, 실험실 안전설비, 비상시 대피, 압축가스실린더 등은 다른 항목보다 위험도가 높은 것으로 나타났다.

3) 실험실내에는 위험요인들이 잠재되어 있어 화재, 폭발, 감전 사고를 사전에 예방하기 위해서는 위험성평가를 통해서 위험요인을 제거하고 대책을 세워 사고를 예방하고 안전수준을 향상을 시키는데 기여할 것으로 사료된다.

7. 참 고 문 헌

- [1] 이근원, 김두환 ‘실험실의 안전수준평가 방법’ / 한국산업안전학회 2003
- [2] 이태희, 유진환, 고재욱 ‘check-list 기법을 이용한 실험실 위험성 평가’
- [3] 이근원 ‘실험실의 위험성 평가 기법’ / 한국산업안전공단 2002
- [4] 위험성평가 수행지침 /한국산업안전공단 2006
- [5] 국가 항공안전프로그램 / 건설교통부 2007