# 실험실 대상으로 한 정량적 위험성평가 기법

대한산업안전협회 김종인 공학박사

우리나라의 과학기술은 고도의 경제성장과 더불어 산업구조의 급속한 변화에 따라 생활수준의 향상 및 국가 경쟁력 강화에 크게 기여하여 왔다. 과거 개인의 창조적인 능력과 활동에 의존하던 기술혁신과는 달리 현대에는 대규모 연구개발 투자를 수반하는 조직적 연구개발 활동에 의한 신기술 개발로 국가 경제발전에 미치는 영향이 한층 부각 되었다.

우리나라에서는 최근 5년 동안 연구실 관련 사고가 70건 이상 발생하였으며, 안전관리 체제의 미비, 설비 및 유지관리의 불충분, 공간의 협소화, 실험 시 안전 불감증의 만연 등이 주요 원인인 것으로 나타났다.

국내 실험실의 사고는 대부분 언론에 보도되지 않았으나, 1999년 9월 28일 서울대 원자핵공학과의 알루미늄 분말 제조 중 폭발사고 인하여 사망 3명과 부상 1명, 1999년 10월 9일 서울대 화학과 신경독가스 포스겐 누출사고, 1999년 10월 15일 한국과학기술원 기계공학과 실험실에서 섬유강화 플라스틱 제조 장비를 시운전 하던 중 용기 폭발사고로 인한 부상 2명, 2003년 5월 13일 한국과학기술원 항공우주학과 풍동실험실 폭발사고로 인한 사망 1명과 부상 1명, 2004년 8월 27일 원자력 연구소 청소 작업 중 실험장치 유리파열로 인한 사망 1명과 부상 1명으로 사회적 이슈로 관심이 집중되었고, 연구실 안전관리에 대한 중요성이 사회적으로 대두되었다.

이러한 배경 하에 2005년 연구실 안전 환경 조성에 관한 법률이 제정되었으며, 시행령과 시행규칙을 포함하여 2006년 4월 1일부터 시행되고 있다.

그러나 실험실 안전 · 보건기준이 표준화 및 실험실 발생 사고에 대한 통계 기초 자료가 구축되어 있지 않아 동종 · 유사재해가 계속 발생하고 있는 것이 현실이다.

실험실의 사고는 기계 · 물리적, 화학적 및 생물학적 위험요소로 분류되며, 주로 화재 · 폭발사고 등 인명손실이 발생되고 있어 보다 효율적이고 실제적인 사전적 예방관리를 위한 포괄적 위험성평가 제도에 대한 필요성이 고조되고 있다. 위험성 평가를 통해서 위험요인을 제거하고 대책을 수립하여 안전한 환경을 제공하거나 실험실의 설비 투자를 유도하기 위해서는 위험의 확인과 평가가 필요하다.

## 1. 선진국의 실험실 위험요소에 대한 동향

실험실 위험요소에 대한 외국의 선행연구에서는 화학적, 생물학적, 동물학적 위험이 인체에 영향을 미치는 주요 원인으로 알려져 있다. 실험실에 유기용제에 노출되는 29명 실험실 종사자는 19명 대조군과 비교하여 혈중 간 기능 수치(AST, ALT), 콜레스테롤, 총 빌리루빈, 혈당, 크레아티닌 농도가 높았고 이 결과는 유기용제가 여러 장기에 영향을 미친다는 것을 반영하고 있다. 핀란드에서는 발암물질에 노출되는 작업자에 등록된 4,722명 실험실 종사자들로 구성된 코호트를 대상으로 1979년부터 1988년까지 암 표준화 발병율(SIR)을 조사하여 모든 부위의 암의 발병율이 0.99(CI 0.85 – 1. 14)로 증가 하였고, 비호즈킨 림프종(Non-Hodgkin's lymphoma)과 백혈병(Leukemia)에서 약간 증가하였음을 보고하였다(2003). 네덜란드 실험실 종사자들의 사망률은 일반 인구보다 낮았고, 특히 암의 표준화 사망률(SMR)은 1.3(CI = 0.9 – 1.9)이었고, 남성에서 폐암 사망률은 2.5배(CI = 1.0 – 6.3) 높았다.

실험실 종사자에게서 여러 가지 감염성 질환의 위험이 존재하는데 미국에서 5년 동안 1,367명 중 23명이 동물원성 물질에 감염되어 작업관

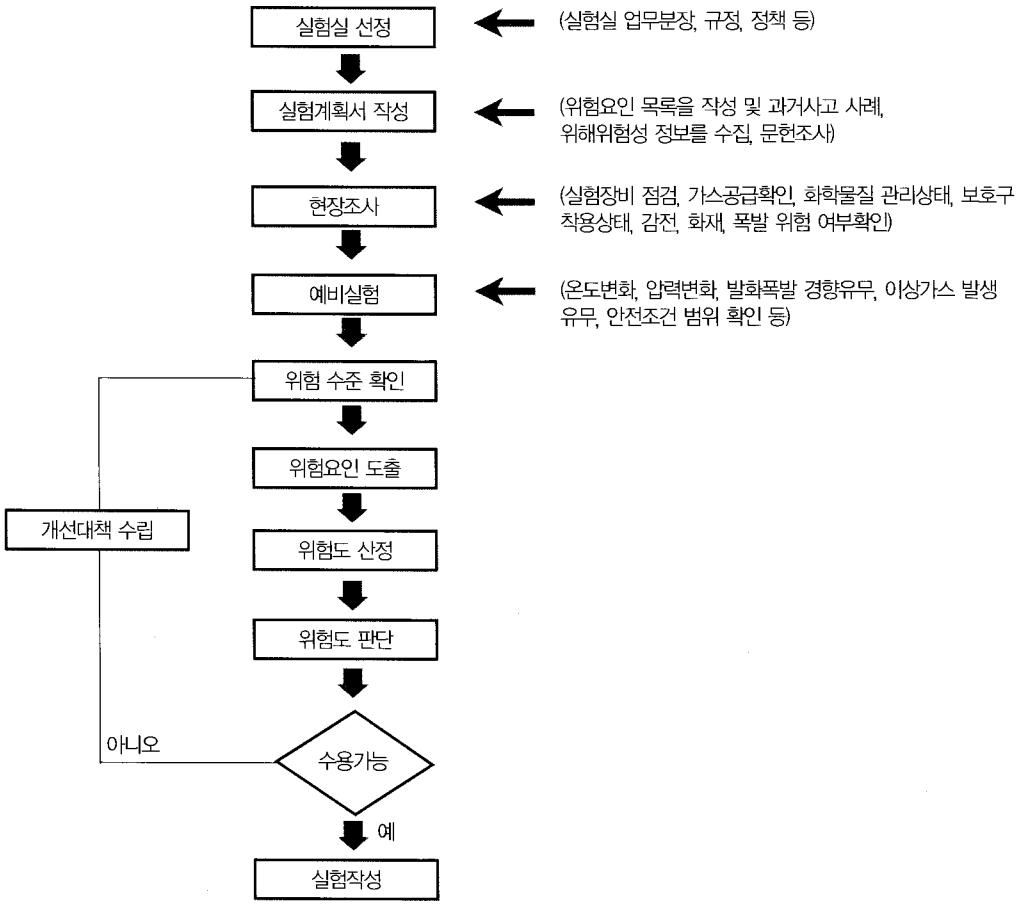
련 동물원성 물질에 감염되는 연간 발병률은 10,000명 당 45명(CI, 30 – 65)이었다. 뉴욕에서 19개 미생물 연구소에서 2년간 조사한 결과 미생물 연구소에 근무하는 연구자들은 투베르쿨린 검사(tuberculin skin tests)가 양성일 확률이 2.14(CI = 1.25 – 3.68)배 증가 하였다. 생물학적 연구소의 연구자들이 췌장암, 뇌종양과 비호즈킨 림프종의 위험이 증가하여, 생물학적 위험요인들이 감염성 질환 뿐 아니라 발암성과의 연관성도 의심이 되고 있다.

국내에서 발표된 실험실 대상으로 한 연구들을 살펴보면, 이근원은 실험실의 위험성평가 기법 개발 연구에서는 위험의 조사와 평가기법을 통해 사례연구를 발표한 바 있으며, 지철구 등은 실험실의 안전성 확보에 관한 연구, 고재욱 등은 연구에서는 화공실험실 대상으로 Check-list 기법으로 사례연구를 발표 한바 있다.

## 2. 위험성평가 평가방법 및 기준

### 가. 위험성 평가 절차 방법

실험실에서는 위험요인이 잠재되어 있어 실험 전에 반드시 실험 계획서를 작성한 후 예비실험을 실시토록 한다. 또한 실험실 위험을 확인하고 4M방식의 의해 위험요인을 도출하여 위험도를 구한다. 위험도를 수치로 계산하고 허용범위를 벗어난 위험에 대한 안전대책을 세우는 정량적 평가 방법으로 구분하고 있다. 위험성평가 절차서는 그림 1로 나타냈다.




〈그림 1〉 위험성평가 절차서

## 나. 위험성평가 기준

(1) 발생빈도 결정

연구기관 및 대학 173개소 대상으로 조사한 결과 최근 5년간 (2003년~2007년) 재해 건수가 64건으로 조사되었다. 빈도결정은 재해발생건수/기관수 값으로 0.37건으로 정수치인 1을 발생빈도 "3"으로 설정하였다〈표 1〉.

(2) 강도 결정

사고가 발생한 정부기관, 연구기관, 대학을 대상으로 조사한 결과 재해발생 건당 평균손실일수가 256일이므로 250일 이상을 노동력 상실 등 치명적인 재해로 간주하여 위험강도 "4" 설정하였다〈표 2〉.

(3) 위험도 결정

위험도는 과거의 재해 또는 향후 예상되는 위험의 빈도를 고려하여 빈도와 과거의 재해발생과 예상되는 위험의 강도를 수준을 조합하여 위험크기 수준 결정하여 나타내었다〈표 3〉.

(4) 위험도 결정에 따른 기준

위험도 값에 따라 위험성을 수용할 수 있는가의 여부를 결정하여야 한다. 위험도 값 "8" 이상의 경우에는 위험도 관리기준에 따라 안전대책을 세워 수용 할 수 있는 위험으로 관리하여야 한다〈표 4〉.

〈표 1〉 발생빈도 결정

| 발생빈도 | 빈도 수준 | 내 용 |
|---|---|---|
| 희박 | 1 | ○ 거의 발생 가능성이 희박하다 |
| 낮음 | 2 | ○ 재해 발생 가능성이 낮다 |
| 보통 | 3 | ○ 재해가 최근 5년 이내 1건 발생 |
| 높음 | 4 | ○ 재해가 최근 5년 이내 2건 발생이주 |
| 높음 | 5 | ○ 재해가 최근 5년간 사망 1건 이상 발생 또는 재해가 3건 이상 발생 |

〈표 2〉 강도 결정

| 강도 구분 | 강도 수준 | 내 용 |
|---|---|---|
| 사소 | 1 | 손실일수가 없는 경우 |
| 보통 | 2 | 손실일수 99일 이하 |
| 중대 | 3 | 손실일수 100일 ~ 249일 |
| 매우 중대 | 4 | 사망 또는 손실일수 250일 이상 |

〈표 3〉 위험도 결정

| 강도 / 빈도 | 사소 | 보통 | 중대 | 매우중대 |
|---|---|---|---|---|
| 희박 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 낮음 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 보통 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 높음 | 4 | 8 | 12 | 16 |
| 아주 높음 | 5 | 10 | 15 | 20 |

〈표 4〉 위험도 기준

| 위험도 수준 | | 관리 기준 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 1~3 | 무시할 수 있는 위험 | 현재의 안전대책 허용 가능 | 수용 할 수 있는 위험작업 |
| 4~6 | 경미한 위험 | 실험실에 대한 안전정보, 안전교육, 안전표지, 실험절차서 표시등 인적, 관리적 대책이 필요한 위험 | |
| 8~10 | 상당한 위험 | 실험실에서 화학물질 취급, 실험장비, 설비 등 기술적, 물질 · 환경적 분야에 안전대책을 세워야 하는 위험 | 조건부 위험 작업 수용 |
| 12~15 | 중대한 위험 | 실험실에서 화학물질 취급, 실험장비, 설비 등 현재 진행 중인 작업이 있다면 긴급 임시 안전대책을 세워야 하는 위험 | |
| 16~20 | 허용불가 위험 | 현재 상황에서 즉시 작업 중단 | 수용할 수 없는 위험작업 |

## 3. 실험실에서의 위험성평가 결과

### 가. 평가 대상

실험실 안전수준을 알아보기 위하여 인천에 있는 대학을 대상으로 물리학 실험실, 생명과학 실험실, 화학 실험실 각각 5곳을 선정하여 기계적(Machine), 물질 및 환경적(Media), 인적(Man), 관리적(Management) 4M평가 항목을 정량적 평가 방법과의 상호 연관성을 알아보았다.

### 나. 분석 방법

실험실별 위험성 평가를 위하여 사용된 통계 방법은 실험실별(물리학 실험실, 생명과학 실험실, 화학 실험실)에 대하여 4M 항목별 비교를 위하여 평균 위험도를 중심으로 상관분석을 실시하였다.

## 4. 실험실별 분석 결과

(1) 물리학 실험실의 4M방식 항목의 평균 위험도에 대한 상관분석

〈표 5〉는 물리학 실험실의 4M방식 항목에 대한 상관관계분석 결과 기계적 평균 위험도가 증가할수록 물질 · 환경적 항목, 인적 항목, 관리적 항목의 평균 위험도도 증가하였다.

(2) 생명과학 실험실의 4M방식 항목의 평균 위험도에 대한 상관분석

〈표 6〉은 생명과학 실험실의 4M방식 항목에 대한 상관관계분석 결과 항목별로 평균 위험도가 증가 할 경우 다른 항목의 평균 위험도도 함께 증가하는 양(+)의 상관관계가 나타났다.

(3) 화학 실험실의 4M방식 항목의 평균 위험도에 대한 상관분석

〈표 7〉은 화학 실험실의 4M방식 항목에 대한 상관관계분석 결과 기계적 평균위험도는 물질 · 환경적, 인적 항목과 관련성이 있는 것으로 나타났으며, 물질 · 환경적 평균위험도는 기계적, 인적, 관리적 항목과 관련성이 높은 것으로 나타났다. 인적 평균위험도는 기계적, 물질 · 환경적 항목과 관련이 있었으며, 관리적 평균 위험도는 물질 · 환경적 항목과 관련성이 나타났다.

〈표 5〉 물리학 실험실 4M 항목의 평균 위험도에 대한 상관분석

| | 4M | 기계적 평균 위험도 | 물질 · 환경적 평균 위험도 | 인적 평균 위험도 | 관리적 평균 위험도 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기계적 평균 위험도 | Pearson 상관계수 | 1 | .711(**) | .680(**) | .679(**) |
| | 유의확률 (양쪽) | | .000 | .000 | .000 |
| | N | 65 | 65 | 65 | 65 |

| | 4M | 기계적 평균 위험도 | 물질 · 환경적 평균 위험도 | 인적 평균 위험도 | 관리적 평균 위험도 |
|---|---|---|---|---|---|
| 물질 · 환경적 평균 위험도 | Pearson 상관계수 | .711(**) | 1 | .733(**) | .698(**) |
| | 유의확률 (양쪽) | .000 | .000 | .000 | |
| | N | 65 | 65 | 65 | 65 |
| 인적 평균 위험도 | Pearson 상관계수 | .680(**) | .733(**) | 1 | .758(**) |
| | 유의확률 (양쪽) | .000 | .000 | .000 | |
| | N | 65 | 65 | 65 | 65 |
| 관리적 평균 위험도 | Pearson 상관계수 | .679(**) | .698(**) | .758(**) | 1 |
| | 유의확률 (양쪽) | .000 | .000 | .000 | |
| | N | 65 | 65 | 65 | 65 |

** p≤0.01

〈표 6〉 생명과학 실험실 4M 항목의 평균 위험도에 대한 상관분석4M기계적

| | 4M | 기계적 평균 위험도 | 물질 · 환경적 평균 위험도 | 인적 평균 위험도 | 관리적 평균 위험도 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기계적 평균 위험도 | Pearson 상관계수 | 1 | .757(**) | .749(**) | .733(**) |
| | 유의확률 (양쪽) | | .000 | .000 | .000 |
| | N | 65 | 65 | 65 | 65 |
| 물질 · 환경적 평균 위험도 | Pearson 상관계수 | .757(**) | 1 | .776(**) | .759(**) |
| | 유의확률 (양쪽) | .000 | | .000 | .000 |
| | N | 65 | 65 | 65 | 65 |
| 인적 평균 위험도 | Pearson 상관계수 | .749(**) | .776(**) | 1 | .858(**) |
| | 유의확률 (양쪽) | .000 | .000 | .000 | |
| | N | 65 | 65 | 65 | 65 |
| 관리적 평균 위험도 | Pearson 상관계수 | .733(**) | .759(**) | .858(**) | 1 |
| | 유의확률 (양쪽) | .000 | .000 | .000 | |
| | N | 65 | 65 | 65 | 65 |

1) ** p≤0.01

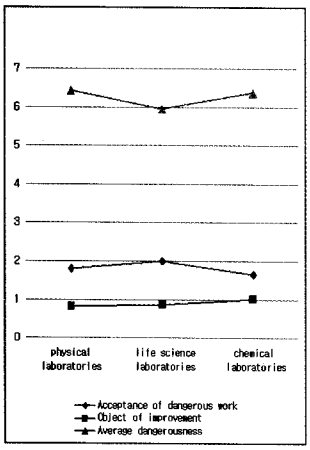
〈표 7〉 화학 실험실의 4M 항목의 평균 위험도에 대한 상관분석

| | 4M | 기계적 평균 위험도 | 물질 · 환경적 평균 위험도 | 인적 평균 위험도 | 관리적 평균 위험도 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기계적 평균 위험도 | Pearson 상관계수 | 1 | .486(**) | .497(**) | .162 |
| | 유의확률 (양쪽) | | .000 | .000 | .215 |
| | N | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 물질 · 환경적 평균 위험도 | Pearson 상관계수 | .486(**) | 1 | .619(**) | .330(*) |
| | 유의확률 (양쪽) | .000 | | .000 | .010 |
| | N | 60 | 60 | 60 | 60인적 |

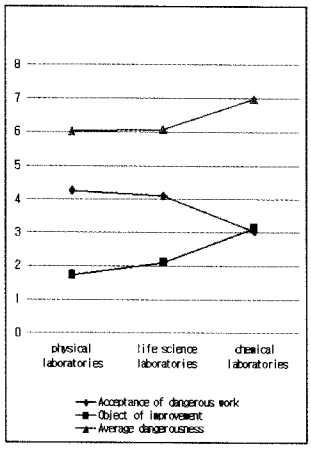
| | 4M | 기계적 평균 위험도 | 물질 · 환경적 평균 위험도 | 인적 평균 위험도 | 관리적 평균 위험도 |
|---|---|---|---|---|---|
| 평균 위험도 | Pearson 상관계수 | .497(**) | .619(**) | 1 | .230 |
| | 유의확률 (양쪽) | .000 | .000 | .077 | |
| | N | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 관리적 평균 위험도 | Pearson 상관계수 | .162 | .330(*) | .230 | 1 |
| | 유의확률 (양쪽) | .215 | .010 | .077 | |
| | N | 60 | 60 | 60 | 60 |

* p≤0.05 ** p≤0.01

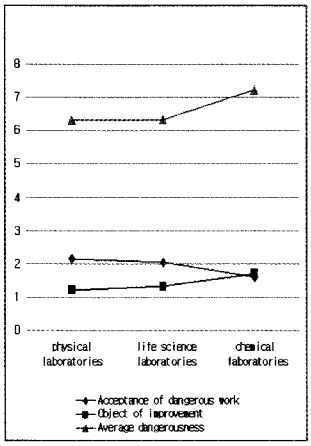
(4) 각 실험실의 평과결과 비교



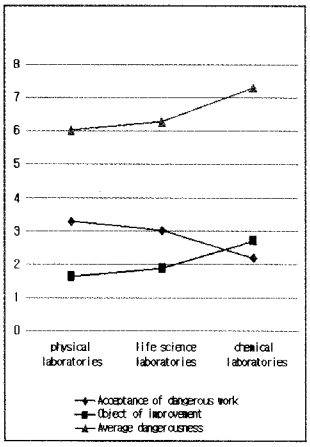

〈그림 2〉 기계적 요인




〈그림 3〉 물질 · 환경적 요인




〈그림 4〉 인적 요인




〈그림 5〉 관리적 요인

## 5. 결론

4M방식 평가 항목의 평균 위험도에 대한 상관분석 결과 물리학 실험실, 생명과학 실험실, 화학 실험실 모두 상호 관련성이 있는 것으로 나타났다. 화학 실험실인 경우에는 기계적 평균위험도는 물질 · 환경적, 인적 항목과 관련성이 있는 것으로 나타났으며, 물질 · 환경적 위험도는 기계적, 인적, 관리적 항목과 관련성이 높은 것으로 나타났다. 인적 항목은 기계적 평균위험도와 물질 · 환경적 평균위험도와 관련이 있었으며, 관리적 평균위험도는 물질 · 환경적 평균위험도 항목과 관련성이 나타났다.

따라서 실험실의 위험요인과 사고를 예방하기 위해서는 안전설비 투자와 환경개선, 실험실 특성에 맞는 맞춤형 안전작업매뉴얼 보급 및 안전교육 프로그램을 다양하게 실시함으로써 연구 종사자에 대한 안전의식을 향상시키고, 연구책임자는 안전관리체제를 확립하고 그에 따른 직무와 역할을 수행함으로써 사고를 예방할 수 있을 것으로 사료된다.

향후 대학, 정부 연구기관, 기업 부설연구소로 분류하여 실험실별로 맞춤형 위험성평가 모델을 구축하여 안전사고 예방에 만전을 다해야 할 것이다.