실험실의 사고분석을 통한 발생빈도 및 강도의 정량적 위험성 평가 기법에 관한 연구

Study on quantitative danger evaluation technique about frequency and strength of occurrences through accident analysis of laboratories

김 종 인* · 이 동 호** · 최 순 영***
Kim, Jongin* · Rie, Dongho** · Choi, Soonyoung***

Abstract

In this study, with the objects of 173 institutions of university and research institutions, investigation was carried out through visit investigation and questionnaire investigation. Frequency and strength of occurrences was acquired mainly through universities and research institutions which have reported occurrences of accidents to the Ministry of Education, Science, and Technology. Quantitative danger evaluation was conducted through frequency and strength of occurrences. Case study was carried out by selecting bio science laboratory of university and as the result of this study, degree of danger among the inspection objects of bio science laboratories, laboratory work place was evaluated as the most dangerous with the scores of 155.00 and as the result of average danger level, compression gas cylinder was evaluated as the most dangerous with the scores of 6.4000.

Keywords: Danger factor, degree of danger, evaluation of danger

* 대한산업안전협회 인천지회
** 인천대학교 안전공학과
*** 한국환경보건안전과학연구소

1. 서 론

일반 산업 현장과는 달리 획일적인 규격화된 일련의 공정을 갖고 있지 않으며, 새로운 물질의 합성 및 최초의 공정개선 등 연구 종사자에게 주어진 연구과제에 따라 수시로 연구 환경이 변화하고 다양한 화학물질을 사용하는 등으로 인하여 잠재적인 위험에 노출 될 수 있다. 또한 연구 활동은 기업이나 기관의 장래운명에 좌우되는 시간과의 싸움과 기밀유지에 따른 폐쇄성은 정보의 상호교류 즉 정보공유를 어렵게 하고 있으며, 연구종사자가 갖고 있는 자부심에 비해 안전에 관한 관심도나 의식이 낮은 상태에서 연구 활동이 추진되고 있다.(김두환, 2000) 실험실 위험요소는 기계·물리적, 화학적 및 생물학적 위험이 있으며, 주로 화재·폭발, 중독 등 실험실 사고에 따른 인명손실이 발생되고 있어 실험실 사고예방을 위한 자율적인 실험실 안전관리를 위한 노력이 필요하다.(이근원, 김두환, 2003)연구실 안전관리제도는 기업부설연구소나 대학 또는 실험실습을 하는 연구원, 연구 활동종사자가 연구 또는 실험도중에 있을 수 있는 사고를 예방하고 쾌적한 연구 활동으로 실습환경을 조성하여 연구원과 연구 활동종사자의 생명과 신체의 안전을 도모하고 질병을 방지하여 건강을 유지 증진시키기 위한 활동 종사자를 보호하는 제도로 연구실 안전 환경조성에 관한 법이 법제화 되었다. 연구실과 실험실은 연구실의 종류와 연구실의 취급분야에 따라 다양한 유해 위험물질을 다양한 설비나 공정에 다양한 방법으로 취급되고 있으며, 실험실의 수행업무도 매우 복잡하고 다양해져 새로운 형태의 잠재위험 요소가 증가되고 있다. 특히 연구 개발 활동에 다양한 유해·위험물질을 사용하고 있으며, 가연성 증기나 인화성 가스가 실험실 내에 누출 인화되어 화재· 폭발 사고가 발생하는 등 인적 · 물적인 경제적 손실을 초래하고 있어 체계적으로 개선할 필요성이 증대되고 있다. 따라서 실험실의 안전 확보는 실험자의 안전과 건강보호 차원에서 대단히 중요하며 이에 대한 대책이 필요하다.

본 연구에서는 사고가 발생한 대학 및 연구기관을 대상으로 발생빈도와 강도를 계산하여 정량적인 위험성평가 기법을 적용하였다. 또한 I대학에 생명과학실험실 5곳을 대상으로 사례연구을 통하여 실험실별로 위험수준을 확인하여 인명과 재산 손실을 줄이는 동시에 실험실에 사고예방에 기여하고자 한다.

2. 위험성평가 방법 및 기준

2.1 위험성 평가 절차방법

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 (Fig. 1) 로 나타냈다.

2.2 위험성평가 기준

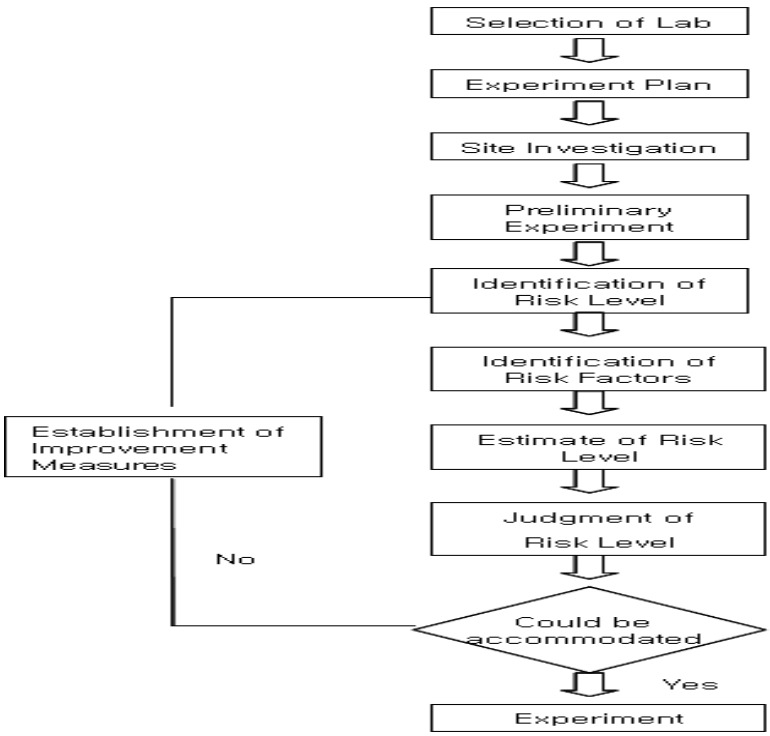
위험성 평가 기준은 실험실내에서 위험을 정량화하고 안전작업을 수행하기 위한 우선 순위를 선정하기 위해 사용되어 진다. 위험도는 과거의 재해 또는 향후 일어날 수 있는 위험의 빈도와 과거의 재해발생과 예상되는 위험의 강도를 수준을 조합하여 위험크기 수준 결정하여 나타내었다.

2.2.1 발생빈도 결정

연구기관 173곳 대상으로 조사한 결과 재해 건수가 64건으로 조사되었다. 또한 2007년 과학기술부 국정감사 보고 자료에 의하면 대학 300곳. 정부 연구기관 102곳으로 보고되었다. 빈도결정은 재해발생건수/기관수 값은 0.16 으로 정수치인 1을 발생빈도 “3”으로 설정하였다. 또한 실험실에서 앗 차사고 발생 위험성을 고려하였다<표 1>.

2.2.2 강도 결정

사고가 발생한 정부기관, 대학을 대상으로 조사한 결과 재해발생 건당 평균손실일수가 256일이므로 250일 이상을 노동력 상실 등 치명적인 재해로 간주하여 위험강도 “4” 설정하였다<표 2>.



(Fig. 1) Procedural report of evaluation of danger of laboratory

<표 1> 발생빈도 결정

발생빈도	빈도 수준	내 용
희박	1	○ 거의 발생 가능성이 희박하다 ○ 재해측면: 1년 1회 이상 앗 차사고 발생
낮음	2	○ 발생 가능성이 매우 낮음 ○ 재해측면: 6개월 1회 이상 앗 차사고 발생
보통	3	○ 재해측면: 재해가 최근 5년 이내 1건 발생 / ○ 3개월 1회 이상 앗 차 사고 발생
높음	4	○ 재해측면: 재해가 최근 5년 이내 2건 발생 / ○ 1개월 1회 이상 앗 차 사고 발생
아주 높음	5	○ 재해측면: 재해가 최근 5년간 중대재해 1건 이상 발생 또는 재해가 3건 이상 발생 / ○ 1주 1회 이상 앗 차사고 발생

<표 2> 강도 결정

강도 구분	강도 수준	내 용
사소	1	재해로 인한 인적손실이 없는 경우
보통	2	손실일수 99일 이하
중대	3	손실일수 100일 ~ 249일 이상
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 유지	위험작업을 수용 (현 상태로 계속 작업 가능)
4~6	경미한 위험	안전정보 및 주기적 표준작업안전교육의 제공이 필요한 위험 위험의 표지부착, 작업절차서 표기 등 관리적 대책이 필요한 위험	
8~12	상당한 위험	계획된 정비·보수기간에 안전 감소대책을 세워야 하는 위험	조건부 위험 작업 수용 (작업을 계속 하되, 위험 감소활동을 실시)
12~15	중대한 위험	긴급 임시 안전대책을 세운 후 작업을 하되 계획된 정비·보수 기간에 안전대책을 세워야 하는 위험	
16~20	허용불가 위험	즉시 작업 중단(작업을 지속하려면 즉시 개선을 실행해야 하는 위험)	위험작업 불허 (즉시 작업을 중지)

3. 사례연구

3.1 연구대상

본 연구에서는 I대학의 생명과학실험실 5곳을 선정하여 실험실의 위험수준을 평가하기 위해 실험실에 직접 방문하여 촬영하고 분석하였다. 실험실 화학약품관리, 압축가스실린더 및 실험실 안전설비 등 13개 항목으로 이루어져 있다. 실험실 분야별로 Machine(기계적),Media(물질·환경적),Man(인적), Management(관리적) 위험성 평가를 실시하였다.

3.2 분석방법

실험실별 위험성 평가를 위하여 사용된 통계 방법은 4M 평가 결과에 따른 생명과학 실험실 평균 위험도 및 점검대상 결과는 One-way ANOVA(일원변량 분석)을 통하여 평균값을 비교하였다. 4M의 항목과 점검대상에 대한 평균비교는 MANOVA(다변량 분석)방법을 이용하였다.

생명과학 실험실에 대하여 4M 항목별 비교를 위하여 평균 위험도를 중심으로 상관분석을 실시하였으며, 본 연구의 수집된 자료는 통계 Package는 SPSS 12.0을 사용하였다.

3.3 연구결과

3.3.1 생명과학 실험실의 점검대상에 따른 총 결과 분석

생명과학 실험실의 점검대상에 위험도는 실험실 작업장이 155.00점으로 가장 위험한 것으로 평가되었고, 다음으로 전기안전 149.20점, 생물학적 안전 133.20점으로 나타났다. 평균위험도 결과 압축가스실린더 6.4000점으로 가장 높은 결과를 보여 위험도가

높게 평가되었으며, 다음으로 생물학적 안전이 6.3429점, 표시와 표지 6.3467점으로 평가되었으며, 이는 통계적으로도 유의한 차이를 보였다<표 5><표 6>.

<표 5> 생명과학 실험실의 점검대상에 따른 총 결과분석 1

총 결과	점검대상	N	Mean	SD	MIN	MAX	p-value
위험 작업 수용	실험실 작업장	5	16.40	4.827	11	22	0.006**
	보호 장구	5	9.20	3.899	5	13	
	실험실 안전설비	5	9.40	4.336	4	14	
	화공약품관리	5	16.20	4.868	11	21	
	비상시 대피	5	10.60	3.912	6	15	
	폐기물 관리	5	9.00	3.317	5	12	
	화공약품(인화성 등)	5	10.40	4.506	5	14	
	실험기구	5	9.40	3.647	5	13	
	전기안전	5	15.20	5.119	9	21	
	인간공학	5	10.00	3.391	6	14	
	표시와 표지	5	7.60	3.782	4	12	
	압축가스실린더	5	8.80	2.387	6	12	
	생물학적안전	5	13.00	3.937	9	18	
개선대상	실험실 작업장	5	9.60	4.827	4	15	0.413
	보호 장구	5	4.80	3.899	1	9	
	실험실 안전설비	5	4.60	4.336	0	10	
	화공약품관리	5	6.80	4.868	2	12	
	비상시 대피	5	6.40	3.912	2	11	
	폐기물 관리	5	4.00	3.317	1	8	
	화공약품(인화성 등)	5	6.60	4.506	3	12	
	실험기구	5	3.60	3.647	0	8	
	전기안전	5	9.00	5.339	3	15	
	인간공학	5	7.00	3.391	3	11	
	표시와 표지	5	4.40	3.782	0	8	
	압축가스실린더	5	6.20	2.387	3	9	
	생물학적안전	5	7.80	4.087	3	12	

** $p \leq 0.01$

<표 6> 생명과학 실험실의 점검대상에 따른 총 결과분석 2

총 결과	점검대상	N	Mean	SD	MIN	MAX	p-value
위험도	실험실 작업장	5	155.00	31.480	126	194	0.000***
	보호 장구	5	87.20	22.298	65	111	
	실험실 안전설비	5	86.40	26.782	58	118	
	화공약품관리	5	132.00	30.224	102	164	
	비상시 대피	5	105.40	20.586	88	131	
	폐기물 관리	5	77.60	15.900	59	94	
	화공약품(인화성 등)	5	106.20	24.056	87	134	
	실험기구	5	77.00	22.136	58	102	
	전기안전	5	149.20	32.568	115	188	
	인간공학	5	107.00	21.083	85	131	
	표시와 표지	5	75.80	18.417	52	94	
	압축가스실린더	5	96.00	13.248	77	108	
	생물학적안전	5	133.20	26.518	103	163	
평균 위험도	실험실 작업장	5	5.9615	1.21078	4.85	7.46	1.000
	보호장구	5	6.2286	1.59271	4.64	7.93	
	실험실 안전설비	5	6.1714	1.91303	4.14	8.43	
	화공약품관리	5	5.7391	1.31409	4.43	7.13	
	비상시 대피	5	6.2000	1.21096	5.18	7.71	
	폐기물 관리	5	5.9692	1.22305	4.54	7.23	
	화공약품(인화성 등)	5	6.2471	1.41507	5.12	7.88	
	실험기구	5	5.9231	1.70276	4.46	7.85	
	전기안전	5	6.2167	1.35702	4.79	7.83	
	인간공학	5	6.2941	1.24019	5.00	7.71	
	표시와 표지	5	6.3167	1.53478	4.33	7.83	
	압축가스실린더	5	6.4000	.88318	5.13	7.20	
	생물학적안전	5	6.3429	1.26276	4.90	7.76	

*** $p \leq 0.001$

3.3.2 생명과학 실험실의 4M 항목의 평균 위험도에 대한 상관분석

생명과학 실험실의 4M의 기계적, 물질·환경적, 인적, 관리적 항목에 대한 상관관계 분석 결과 각 항목별로 평균 위험도가 증가 할 경우 다른 항목의 평균 위험도도 함께 증가하는 양(+)의 상관관계가 나타났고, 이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다<표 7>.

<표 7> 생명과학 실험실의 4M 항목의 평균 위험도에 대한 상관분석

4M	기계적 평균위험도	물질·환경적 평균위험도	인적 평균위험도	관리적 평균위험도
기계적 평균위험도	1	.757(**)	.749(**)	.733(**)
물질·환경적평균위험도	.757(**)	1	.776(**)	.759(**)
인적 평균위험도	.749(**)	.776(**)	1	.858(**)
관리적 평균위험도	.733(**)	.759(**)	.858(**)	1

** $p \leq 0.01$

4. 결 론

본 연구에서는 실험실 위험성평가 기법모델을 제시하고 I대학의 생명과학실험실 5곳을 선정하여 위험성 평가를 실시한 결론은 다음과 같다.

1) 대학 및 연구기관 재해발생기관 조사하여 발생빈도, 강도 기준을 정량화하여 위험도를 계산한다.

2) 생명과학 실험실의 점검대상에 위험도는 실험실 작업장이 155.00점으로 가장 위험한 것으로 평가되었고, 평균 위험도 결과 압축가스실린더 6.4000점으로 가장 높은 결과를 보여 위험도가 높게 평가되었다.

3) 생명과학 실험실의 4M의 기계적, 물질·환경적, 인적, 관리적 항목에 대한 상관관계분석 결과 각 항목별로 평균 위험도가 증가 할 경우 다른 항목의 평균 위험도도 함께 증가하는 양(+)의 상관관계가 나타났고, 이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

5. 참 고 문 헌

[1] 김두환, 이동경, 이근원, 윤석준,“대학 및 연구소의 실험실 안전관리 실태 및 대책” 한국산업안전학회 2000년 추계 학술대회논문집, pp.216-222.
[2] 과학기술부, “국내 실험실 안전관리개선법제와 방안”, 2003.
[3] 과학기술부, “연구실 표준안전관리 기준개발에 관한 연구”, 2007.
[4] 교육과학기술부, “2007년도 연구실 안전 환경 관리・개선”, 2008.
[5] 노동부, “위험성 평가제도 도입 방안에 대한 연구”, 2004.
[6] 노동부,“사업장 유해・위험성 평가 기법 개발 및 적용방안 연구”, 2005.
[7] 박동욱,박덕묵,정광수,윤충식,김태형,노영만,이경남,이송권,김현욱. “위험성 평가에 의한 업종별 위험의 구분”. 한국산업위생학회지, 2003; 13(2) 126-134.
[8] 박재희, 김두환(2005). “연구실 안전환경법 관련 연구실 안전관리 실태 설문조사”, 한국산업안전학회, 추계 학술발표회논문집 pp357-360.
[9] 서울대학교 환경안전원 “서울대학교 실험실 안전 백서” 2006.
[10] 한국산업안전공단, “실험실 안전 지침” 1999.
[11] 한국학술재단, “연구실험실 환경의 안전성 확보를 위한 정책연구”.,2000.
[12] 한국과학재단, “연구실 안전기술지침 개발을 위한 정책 연구”, 2005.
[13] 한국산업안전공단 산업안보건 연구원, “실험실의 안전 수준향상을 위한 안전인증 평가방법” 이근원, 2003.
[14] Adrian R. Triple bottonline Risk man Magement. John wiley & sons lnc, 2001
[15] A.M. Donoghue.The design of hazard risk assessment matrices for ranking occupational health risks and their application in mining and minerals processing.Occup. Med. 2001; 51(2):118-123.
[16] Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories, U.S. Department of Health and Human Services, 5th, U.S. Government Printing Office, Was hington, 2007.
[17] Health, Safety, Environment, Syngent a Crop Protection AG, 2006.
[18] HSE. Successful health and safety management. HSE, 1992.
[19] Laboratory Safety Manual and Chemical Hygiene Plan, Cornell University, 2006.
[20] OSHA′s Safety and Health Program, 1999.