

## 4M 및 HAZOP 기법을 활용한 연구실 위험요소 분석 연구

김태훈·이광원<sup>†</sup>·서두현·이익모<sup>\*</sup>·윤충식<sup>\*\*</sup>·이윤근<sup>\*\*\*</sup>·박정임<sup>\*\*\*\*</sup>  
호서대학교 안전보건학과·<sup>\*</sup>인하대학교 화학과·<sup>\*\*</sup>서울대학교 보건대학원 환경보건학과  
<sup>\*\*\*</sup>노동환경건강연구소·<sup>\*\*\*\*</sup>순천향대학교 환경보건학과  
(2012. 7. 17. 접수 / 2013. 4. 30. 채택)

### A Study on the Hazard Identification of Laboratory using 4M & HAZOP

T. H. Kim · K. W. Rhie<sup>†</sup> · D. H. Seo · I. M. Lee<sup>\*</sup> · C. S. Yoon<sup>\*\*</sup> · Y. K. Lee<sup>\*\*\*</sup> · J. I. Park<sup>\*\*\*\*</sup>  
Department of Safety Health Engineering, Hoseo University · <sup>\*</sup>Department of Chemistry, Inha University  
<sup>\*\*</sup>Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University  
<sup>\*\*\*</sup>Wonjin Institute of Occupational and Environmental Health  
<sup>\*\*\*\*</sup>Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University  
(Received July 17, 2012 / Accepted April 30, 2013)

**Abstract :** In university laboratories, areas of studies are becoming diverse and complicated according to the development of the industry. New forms of potential risk factors are increasing and they are unlike existing ones. In addition, many students are conducting various experiments in the laboratory. Therefore, they could be exposed to risk more often. Despite these risks, people do not recognize university lab safety activities properly and observe safety precautions. They are exposed to various laboratory accidents continually. In this study, we do not apply the present diagnosis method, checklist, but the safety assessment that is widely used in industry. Then we can find lots of hazard that checklist method could miss. This study will use the 4M and Hazard & Operability to design a new Laboratory safety assessments method.

**Key Words :** 4M, HAZOP, laboratory, risk assessment, checklist.

#### 1. 서론

산업이 발전함에 따라 대학이나 기업에서의 연구개발의 수준과 연구 범위 및 연구량이 늘어나게 되었다. 연구업무가 차지하고 있는 중요성이 커지면서 대학 연구실의 업무가 다양해지고 복잡해지며, 연구실의 인원과 다양하고 복잡한 연구 장비들이 증가하고 있다. 대학 연구실의 경우 학부생들과 석·박사 그리고 대학 교수가 함께 연구하고 그 성과를 창출하는 공간으로 많은 연구가 진행되고 있다.

연구실에서의 연구 활동은 각종 화학물질 및 위험물질을 취급하고 있어 화재, 폭발 및 유해 물질로 인한 다양한 화학적, 물리적, 생물학적 위험성에 노출될 수 있을 뿐만 아니라 연구의 고도화·복잡화 등으로 사고 위험도 같이 증가되고 있다. 특히, 대학 연구실은 일반 기업 및 연구기관과 비교하였을 때 안전관리가 체계적이지 못한 경우가 대부분이며 위험에 노출되었다는 인식을 하지 못한 채 동시에 많은 학생들이 여러 종류의 실험을 실시하여 위험에 노출될 수 있는 가능성 또한 크다.

‘연구실안전환경조성예관한법률’이 시행된 2006년부터 최근 5년간 전국 71개 대학 및 15개 연구기관 연구실에서

모두 509건의 안전사고가 발생했다. 이 중 대학에서 발생한 경우가 466건으로 전체의 91.5%를 차지하며, 2006년 9건에서 2007년 31건, 2008년 114건, 2009년 164건, 2010년 102건, 2011년 6월 기준 46건 등 계속적으로 증가하는 추세로 대학 연구실의 안전관리의 필요성을 나타내고 있다.<sup>1,2)</sup>

대학의 위험요인의 평가 및 관리는 대부분 설문조사 및 Check List를 이용하여 이루어지고 있다. 평가 양식이 일정하고 기관 간의 정량적 비교가 가능하며, 평가항목을 적절히 설정한다면 여러 기관의 안전관리 수준을 전반적으로 평가할 수 있다는 장점을 지닌다. 하지만 각 연구실의 특성에 맞추어서 정확한 안전 관리 수준을 평가할 수 없고, Check list에 없는 항목에 대해서는 정확한 평가를 할 수 없다는 단점을 가지고 있다.<sup>3)</sup>

Check List에서 파악할 수 없는 위험요소에 대해서는 다른 방안이 필요할 것으로 판단되며, 산업현장에서 사용되는 많은 안전성 평가 기법을 통해 이러한 단점을 극복할 수 있다.

이에 본 연구에서는 대학 연구실에서 정밀진단 방법으로 사용되는 Check list 기법 이외의 산업분야에서 활용되는 안전성 평가 기법을 연구실에 적용함으로써 Check list로 파악하지 못하는 위험요소를 세밀히 찾아보고자 4M과 HAZOP

<sup>†</sup>Corresponding Author: Kwang Won Rhie, Tel : +82-41-540-5723, E-mail: kwrhie@hoseo.edu  
Department of Safety & Health Engineering, Hoseo University, 20, hoseo-ro 79-gil, baebang-eup, Asan, Chungnam 336-795, Korea

을 실시하여 연구실 위험요소 분석연구를 수행하였다.

은 Table 1과 같다.

## 2. 평가 대상 연구실

### 2.1. 평가대상

본 연구에서는 소화약제 실험 및 화재 기초실험을 수행하는 연구실을 대상으로 기존의 연구실 안전성 평가 방법인 Check list와 산업분야에서 널리 사용 중인 안전성 평가 기법인 4M, HAZOP을 수행하여 연구실 위험요소에 대하여 분석하였다.

### 2.2. 평가 대상 연구실 실험 내용

평가 대상 연구실에서의 실험은 주로 대학교 학부생진 공과목 관련 실험으로 1학기에는 연소학 실험, 2학기에는 소방학 실험으로 나누어진다. 세부 실험명 및 실험 과정



Fig. 1. Fire & explosion laboratory.

## 3. 안전성 평가

### 3.1. Check List

Check List 기법은 대학 실험실에서 가장 흔하게 사용되고 있는 기법으로 여러 가지 분야에 대해 각 분야 전문가들을 통해 구성된 문항을 통해 안전성 평가를 수행하였다. 분석에 활용한 Check List 문항은 전기 10문항, 안전점검 17문항, 가스 13문항, 휴면에너지 25문항, 소방기계 23문항, 화공 55문항으로 총 6개 분야 143문항으로 구성되어 있다. 본 연구에서 사용한 Check List 안전성 평가의 양식은 Table 2와 같다.<sup>4)</sup>

Check List의 여러 분야 중 연구 환경 점검표를 살펴보자면 연구기관, 건물명, 점검일자, 점검 및 평가자, 연구실 책임자, 연구 활동 종사자, 점검분야로 구성이 되어 있다. 평가 및 조사자는 상단에 정보를 기입하고, 점검분야는 해당 연구실의 주요 분야를 선택하여 표시 하게 되어있다. 그리고 각 평가 항목에 대하여 판단기준을 적용하여 결정하며 관련사항에 해당되지 않을 경우 “해당없음”에 체크를 하였다. 판단 기준은 5(매우 잘 관리되고 체계화 되어 있다), 4(잘 관리되고 있는 편이다), 3(보통이다), 2(열악한 편이다), 1(매우 열악하다)로 되어있다. 구분 및 평가항목으로는 크게 6가지(연구 실험실의 연구 환경, 연구 실험실 흡·배기 설비, 연구 활동 종사자의 개인보호구, 재난 사고 시 응급처치 및 행동요령, 개인 안전관리, 일반 안전관리)로 나누었고 각 항목마다 세부적인 평가 내용을 추가하여 보다 더 확실한 평가가 이루어지도록 하였다.

Table 2의 평가표를 이용하여 Check List 평가한 결과 10가지 문항이 빠른 조치가 필요한 것으로 나타났으며, 주

Table 1. Major experiment & experimentation.

	Test Title	Test Details
Semester 1 Test	Black Gunpowder Production Test	Shape and time measured after mixing chemicals according to their ratios and igniting
	Ignition Point Measuring Test	Measured with ignition point measuring tester after putting in particular substance
	Water-reactive Substance Reaction Test	Test examining the reaction after floating water-reactive substance on water
	Dust Explosion Test	Test finding explosion lower limit concentration while lowering the concentration little by little
	Whirl Fire Test	Measuring shape and length of fire where wind is flowing with surroundings blocked
	45° Combustion Test	Using 45 degree combustion tester, measuring combustion and carbonization area of fireproofed ones and non-fireproofed ones
	Oxygen Index Measuring Test	Measuring combustion time and minimum oxygen concentration by adjusting nitrogen and oxygen concentration
Semester 2 Test	Powder Chemical Apparent Specific Gravity and Precipitation Test	Measuring specific gravity and precipitation by mixing in chemicals and shaking, and putting in water
	Powder Fire Extinguishing Agent Angle of Repose Measuring and Osmosis Test	Measuring radius and height of powder sedimented in cone shape by dropping the chemicals at a certain condition
	Powder Fire Extinguishing Agent Filling and Emission Test	Measuring emission time after filling fire extinguisher until weight of fire extinguishing agent becomes over 90%
	Foam Extinguisher Firing Rate and 25% Recovery Time Measurement	Measuring recovery time after firing chemicals to foam gathering container using air compressor
	Foam Extinguisher Specific Gravity Measuring Test	Making foam solution and measuring specific gravity with gravimeter
	Fire Extinguisher Capability Unit Test	Measuring capability of fire extinguisher by piling according to capability unit test of fire extinguisher, and combusting with fire extinguisher

로 폐기물 처리에 관한 사항과 개인 난방기, 전열기 등의 화기 보유와 같이 일반적인 사항에 대한 문제점이 나타났다. 문제점으로 도출된 내용은 Table 3과 같다.

### 3.2. 4M

Table 2. Check list sheet sample.

Research Laboratory Safety Maintenance Check list							
Research Institution Name: Building (Lab) Name: Inspection date: __2013 Inspector and Assessor: Research Director Research Participant: ( people) Inspection area: <input type="checkbox"/> Mechanic/fire extinguishing, <input type="checkbox"/> Electric/Electronic, <input type="checkbox"/> Chemical/Fire attacking, <input type="checkbox"/> Bio/Medical, <input type="checkbox"/> Gas/High pressure, <input checked="" type="checkbox"/> Research Environment/Hygiene <input type="checkbox"/> Human Error							
A. Assessor or investigator shall enter the information in the above, and for inspection area please select and check the main area of the research laboratory. Moreover, in case of other main area specify in Other. B. For each assessment item, decide by applying the following criteria, and where no related item is applicable, check "not applicable". C. Separately attach photographs and documentary evidence of each assessment item.							
[Decision Criteria]   5. Very well managed and optimized   4. Quite well managed   3. Normal     2. Somewhat poor   1. Very poor.							
Classification and items	Managed status						Detailed opinion
	5	4	3	2	1	Not applicable	
1. Research environment in research laboratory							
-Temperature/moisture/illumination/blast/other factors (Measurement record #1)							
2. Research laboratory ventilation facility							
-Fume hood installation and operation status (Measurement record #2)							
-FAN installation and operation status (Measurement record #2)							
3. Personal protection gear of research participant							
-Suitable personal protection gear equipping and usage status							
4. Emergency treatment and actions to be taken in case of disaster/accident							
-Installation and operation status of emergency equipment							
-Full understanding of emergency treatment method and evacuation method in case of accident							
-Research laboratory Lay Out and various hazard sign installation status							
5. Individual safety management							
-Hygiene and health management status of research participant							
-Suitability of restricted zone of research environment (including whether food/accommodation provided)							
6. General safety management							
-Distribution and operation status of fire extinguishing chemicals and equipment							
-Insurance application/education provision related							

Table 3. Check list defect.

Field	Check list details	Improvement strategy
Fire attacking safety	Waste processing procedure adherence and document control status Confirmation and supervision of director regarding waste processing	Smooth waste processing within school required
Research environment/hygiene	Condition of Laboratory Lay out and various hazard sign etc. poor Waste storage and processing management policy poor	Smooth waste processing within school required
Gas	Label indication adherence and attaching condition poor Suitable storage container and management status poor Storage period and processing after storage period poor	Label attaching and entering required Substituting old LPG
Electric	Danger of static electricity occurring	Earth, increasing moisture and air ionization required
Safety management / human error	Retention of fire such as individual heater and electric heater	Using heater under supervision of administrator Systematic operation of heating facility within school
Firefighting / mechanical	Retention of fire such as individual heater and electric heater	Systematic operation of heating facility within school Using heater under supervision of administrator

4M 평가 기법은 한국산업안전보건공단에서 사용하는 안전성평가 기법으로, 공정(작업) 내 잠재하고 있는 위험요인을 Machine(기계적), Media(물질·환경적), Man(인적), Management(관리적) 등 4가지 분야로 위험성을 파악하여 위험 제거 대책을 제시하는 방법을 말한다.<sup>5)</sup> 이 기법을 연구실에서 예상되는 여러 가지 사고 발생 위험요인을 찾아내기 위해 적용해보고 위험도를 계산하여 사고발생 가능성을 찾고자 하였다.

본 연구에서는 한국산업안전보건공단에서 제시한 4M 매뉴얼을 참고하여 연구실에 적용할 수 있도록 변형하였다. 작성표에는 대학 실험실의 명칭과 한 학기에 진행되는 실험의 종류, 학기 중 진행되는 실험의 주제와 연구원 및 수강생의 수를 기입하고, 각 실험 별 사용되는 기계기구 및 설비의 명칭과 수량, 사용하는 화학물질과 취급량 및 시간을 기입하고 최근 3년간 발생한 재해발생사례와 앓자 사고 사례, 연구실 이용자 구성 및 특성, 연구실 환경측정 유무와 실험에 대한 특별 안전교육 등의 필요유무 및 연구실의 모든 상태 및 상황을 파악하고 평가대상 연구실에 맞는 안전성 평가를 진행할 방향을 정하도록 한다. 실험별 4M 평가 sample은 Table 8과 같다.

4M 평가는 대상연구실에서 행해지는 실험에 대하여 실시하였으며, 각각 실험에서 사용되는 기기 및 화학물질의 취급량과 취급시간을 조사하고, 실험 방법을 조사하였으며, 각 실험별로 기계적, 물질·환경적, 인적, 관리적으로 구분하여 위험요인 및 재해 형태를 안전성평가 전문가와 대상 연구실 실험담당자, 실험실습인원 등과 함께 Brainstorming 방식으로 파악하고 개선대책을 파악하였다. 또한, 각각의 위험 요인에 대한 빈도와 강도를 구하여 위험도를 계산하였다. 위험도의 계산은 4M 매뉴얼을 참고하여, 연구실에 맞게 수정하였다. 강도와 빈도의 기준은 Table 4, 5와 같다.

위험도에 대한 기준은 Table 6, 7과 같다.

이와 같은 방법으로 대상 연구실의 연구활동 실험 13 가지(1학기 6개, 2학기 7개)에 대해 평가를 하였다. Table

Table 4. Criteria of criticality for 4M.

Hazard level	Details
4	Serious bodily/physical damage (Admission to hospital or destruction of instrument)
3	Light bodily/physical damage (in-patient treatment or repairing instrument)
2	Damage not affecting activity (Self-treatment or repair possible)
1	No effect

Table 5. Criteria of frequency for 4M.

Frequency level	Details
5	Occurring once or more in one semester
4	Occurring once-twice per year
3	Occurring once or more in 3 years
2	Occurring once or more in 5 years
1	Occurring once or more in 10 years

Table 6. Risk index of 4M.

	Hazard level	No effect	Slight opened disaster	Slight closed disaster	Accident
Frequency.	level	1	2	3	4
	level	1	2	3	4
Few	1	1	2	3	4
Low	2	2	4	6	8
Middle	3	3	6	9	12
High	4	4	8	12	16
Frequent	5	5	10	15	20

Table 7. Risk level of 4M.

Hazard level		Control criteria	Notes
1~3	Ignorable danger	Maintaining current safety strategy	Conditional hazardous test activity permitted (continue test if there is no danger but must carry out hazard reduction activities)
4~6	Slight danger	Danger requiring provision of safety information and periodic standard work safety education	
8	Light danger	Danger requiring management strategy such as attaching hazard sign and indicating work procedure	Conditional hazardous test activity permitted (continue test if there is no danger but must carry out hazard reduction activities)
9~12	Considerable danger	Danger requiring safety strategy within planned maintenance and repair period	
15	Serious danger	Danger for which emergency temporary safety strategy must be established and work be done but safety strategy must be established within planned repair and maintenance period	Hazardous test activity non-permitted (test must be stopped immediately)
16~20	Non-permittable danger	Immediately stop test (danger requiring immediate improvement if test is to be continued)	

8은 평가된 sheet의 sample이며, 금수성 물질 반응실험에 대한 내용이다.

4M 평가 결과 1학기 실험 6개의 평균 위험도가 높은 편으로 나타났으며, 2학기 실험 7개의 평균 위험도는 낮게 나타났다. 이는 1학기 실험 6개의 내용이 연소와 폭발 반응에 관한 실험이고, 2학기 실험의 경우 소화약재의 비중, 침강, 방사, 충전에 관한 내용으로 신체적/물리적 피해가 적을 것으로 판단되었기 때문이라 사료된다. 또한, 가장 높은 위험도를 나타내는 실험은 금수성 물질 반응 실험으로 위험도 15이상의 위험요인이 3개 도출되었다. 전체 실험 13개에서 위험도 15이상의 위험요인은 총 9개가 도출 되었으며, 폭발 반응 실험시 보호구를 미착용하는 경우 매우 위험할 것으로 판단되며, 실험방법 미숙자 및 금수성 물질 반응 실험시 거름종이 이상으로 반응 폭주가 우려되었다. 4M 평가 결과에 대한 내용은 Table 9와 같다.

### 3.3. HAZOP(Hazard & Operability)

HAZOP 연구는 주로 화학 공정에서 사용되며 대표적인 정성적 안전성 평가 기법이다. 위험과 운전상의 예상되는 위험요인을 대상 연구실 담당자 및 연구실 안전관리자, 안전성평가 전문가, 실험실습교육 조교, 실험실 관리자 등과 함께 Brainstorming 방식을 통해 연구하는 방식으로 Parameter와 Guide word를 조합하여 Deviation을 파악한다.<sup>6)</sup> 기존에 사용되던 Parameter는 화학 공정에 맞추어져 있어 연구실에 적용하기 위해서는 Parameter를 변경해 주어야 한다. 본 연구에서는 대상연구실의 연구활동을 고려하여 Parameter를 연구원,약품, 온도, 습도, 실험시간, Step & Action, Reaction, 약품 충전, 보호구 등을 사용했으며,

Table 8. 4M sample sheet.

Assessment Target Test	Water-reaction substance reaction test		4M-Risk Assessment				Assessor (Team Manager and Members)	Sun-Jung Kim and 5 people
Assessment date	2011.06.07~09						Mean risk factor	10.5
Test details	Assessment category	Risk factors and disaster type	Current safety strategy	Current risk level			Improvement strategy	
				Frequency	Strength	Risk level		
Cut sodium and potassium to be 0.5g each, fill beaker with water, float filter paper, and float them on the filter paper to observe reaction..	Mechanical	Risk of leak due to damage of water-reactive storage container	Inspection before test	2	4	8 (Light danger)	When using storage container, take caution for safety and take thorough caution against falling or damage	
		Risk of reaction running wild outside the filter paper	Inspection before test	4	4	16 ((Unpermittable danger)	Decide filter paper substitution period and regularly substitute Immediately stop test on discovery of fault in filter paper	
		Risk of leaking due to beaker cracking	Inspection before test	3	3	9 (Considerable danger)	Check beaker and test tools before and after test	
		Risk of reaction running wild of sodium/potassium due to table shaking	Inspection before test	3	4	12 (Considerable danger)	Regularly check shaking of table and take action to prevent shaking such as installing supporter underneath	
	Substance · Environmental	Risk of burn on skin or eyes from sodium/potassium	Safety education carried out	2	4	8 (Slight danger)	Using personal safety gear and retraining of researchers for safety	
		Risk of reaction from sodium/potassium dioxide reaction	Safety education carried out	2	4	8 (Slight danger)	Carry out pre-test training in order that when using sodium/potassium, moisture in laboratory is lowered and they are not left exposed to the air for long period of time	
	Human	May be cut with metal cutter	Cautions indicated on black board	4	3	12 (Considerable danger)	Using tray and gloves	
		Risk of reaction running wild due to not understanding test method fully	Lecture on details of test before commencing test	4	4	16 (Unpermittable danger)	Immediately stop test if there is researcher who has not fully understood test method Carry out training of test method before every test	
		Protection gear not worn	Lecture on details of test before commencing test	5	3	15 (Serious danger)	Rendering wearing of personal protective gear compulsory and ordering those not wearing to leave the area	
	Managerial	Risk of corrosion on metal cutter	Regular maintenance	2	3	6 (Slight danger)	Thorough management of test tools used and directing researchers to wash them after testing	
Risk of reaction due to faulty storage of sodium/potassium		Regular maintenance	2	4	8 (Light danger)	Checking locking status of sample container after using sample, and using storage container fitting regulation		
Oxidation reaction of substance used due to insufficient protection fluid		Regular maintenance	2	4	8 (Light danger)	Thorough storage and management		

Table 9. Summary of 4M risk level.

	Experiment	The total number of issues	The average risk	Risk 1~3	Risk 4~6	Risk 8	Risk 9~12	Risk 15 or more
Experiment 1 semester	Black powder manufacturing test	12	7.5	0	6	2	3	1
	Flash point measurement experiment	12	7.5	0	6	2	3	1
	Water-Prohibiting reactor materials	12	10.5	0	3	3	3	3
	Dust explosion experiments	12	8	0	5	2	4	1
	Whirl Fire experiment	8	8	0	4	1	2	1
	45° combustion experiment	9	7.56	1	2	4	1	1
	Experiments measuring oxygen index	10	7.4	0	5	3	1	1
Experiment 2 semester	Pharmaceutical powders apparent density and settling experiments	10	6.1	2	4	3	1	0
	Angle of repose of dry chemical measurements and permeability experiments	7	6	2	2	1	2	0
	Extinguishing powder charge and radiation experiments	15	6.6	1	7	4	3	0
	Four of the fire extinguishing time measurement scale, and 25% reduction	11	6.36	2	5	1	3	0
	Four experiments measured the proportion of extinguishing agents	7	5.43	2	3	2	0	0
	Digestive capacity unit test	4	7	0	3	0	1	0

Table 10. Deviation of laboratory of HAZOP.

PARA-METER (Parameter)	GUIDE WORD						
	MORE	LESS	NONE	REVERSE	PART OF	AS WELL AS	OTHER THAN
researcher	more researcher	less researcher	no researcher		crowded reasercher / researcher's absence	Officials besides off limits	Trespassing
chemical	more chemical	less chemical	no chemical			Reagent volume	Label mismatch
Temp.	High temp.	Low temp.					
humidity	High humidity	Low & damp					
Test time	Excess time	Shorten the time					
STEP(ACTION)	Excess action	Incomplete action	Omission error	Experiments must order		Unnecessary action	Erratic action
RE-ACTION	runaway reaction	Delay reaction	No reaction	Decomposition reacction	incomplete reaction	Addition reaction	Erratic reaction
Chemical charge	Over charge	Not charging	No charging	Leakage		Addition of impurities	Charging the wrong medications
protector	Excessive wear protective equipment	protective equipment omission	wear no protective equipment		wear protective failure equipment	wear the other	wear wrong protective equipment

각각의 Guide word와 조합된 Deviation은 Table 10과 같다.

평가는 대상 연구실을 하나의 node로 선정하여 실험실 전체의 전반적인 사항에 대하여 Table 10의 각 Deviation 이 발생할 수 있는 원인 및 결과를 살펴보았다. 또한, 이에 따른 개선 대책 및 조치 사항에 대하여 연구하였다. 도출된 각각의 Deviation에 대해서는 발생 빈도 및 치명도를 계산하여, 위험등급을 산출하였다. 발생 빈도 및 치명도의 기준은 여러 기술지침을 참고하고 대학교 연구실임을 고려하여 발생빈도를 3단계로 나누었으며, 치명도의 경우, MIL-STD-882에 명시된 치명도 기준을 따라 4단계로 나누었다. 본 연구에서 사용된 발생빈도와 치명도의 기준은 Table 11과 같으며, 위험등급 표는 Table 12와 같다.

평가는 연구실 전체를 하나의 node로 정하고, Deviation에 따른 원인과 결과를 파악하여 조치사항을 살펴보았다. 이에 따라 평가된 sample은 Table 13과 같다.

이와 같이 HAZOP 연구를 진행한 결과 총 42개의 Deviation을 살펴보았으며, 이 중 1등급 2개, 2등급 6개의 즉시

Table 11. Criteria of criticality and frequency.

Fatality	
Catastrophic	Death or grave injury of personnel, or damage in system
Critical	Damage to personnel/system or immediate action required for survival of personnel/system
Marginal	Can be removed/controlled without damage occurring to personnel/system
Negligible	Not resulting in damage to personnel/system
Frequency of occurrence	
High	Occurring once over 1 year
Middle	Occurring once or more over 5 years
Low	Occurring less than once over 10 years

Table 12. Risk class of HAZOP.

Criticality / frequency	High	Middle	Low
Catastrophic	1	1	3
Critical	2	2	4
Marginal	3	4	5
Negligible	4	5	5

조치해야할 문제점이 도출 되었다. 1등급으로 나타난 주요 문제점 연구실험 도중 실험자의 부재의 경우와, 보호구가 아닌 것을 착용하는 경우가 나타났으며, 2등급으로 나타난 문제점은 약품의 라벨 미 표기, 연구원의 불필요한 행동, 엉뚱한 행동 등으로 대부분 실험자의 부주의나 불안정한 행동에 의한 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 대학 연구실에 대한 정밀진단 방법인 Check List 이외에 산업분야에서 활용되고 있는 안전성 평가를 연구실에 적용함으로써 Check List로 파악하지 못하는 위험요소를 세밀히 찾아보고자 4M과 HAZOP을 적용하여 보았다.

산업분야에서 사용되는 4M 및 HAZOP을 대학 연구실 안전성평가에 적용할 수 있도록 수정 작업을 거친 후 평가하였다. 우선, Check List는 기존에 사용하고 있는 양식 그대로 적용하여 전기 10문항, 안전점검 17문항, 가스 13문항, 휴먼에러 25문항, 화공 55문항으로 총 6개 분야로 143문

항으로 평가하여 10개의 일반적인 문제점을 찾아내었다.

4M기법의 평가는 대상 연구실에서 진행 중인 실험에 대하여 실시하였으며, 실험별로 예상 가능한 위험요인들을 4개의 분야인 Machine(기계적), Media(물질·환경적), Man(인적), Management(관리적)로 나누어 위험요인을 찾아보고 위험도를 파악하였다. 그 결과 총 13개 실험에서 129개 위험요인을 살펴보았으며, 위험도 15이상인 9개의 위험요인을 분석하였다. 이에 따른 위험요인으로는 주로 보호구 관련 및 금수성 물질 반응 실험에서의 연구자 미숙, 거름 종이 불량 등의 경우가 높게 나타났다.

HAZOP 연구는 대상 연구실을 하나의 node로 선정하여 연구실 전체의 전반적인 위험요소를 찾고자 하였다. 이에 연구실에 맞는 parameter를 적용하여 총 42개의 이탈상태를 살펴보고, 이 중 1등급 2개, 2등급 6개가 도출되었다. 평가결과 대부분 실험자의 부주의나 불안정한 행동에 의한 위험요소가 가장 높은 것으로 나타났다.

이처럼 산업현장에서 사용되는 안전성 평가 기법을 연구실에 적용시켜 봄에 따라 기존의 Check List에서 파악하지 못했던 부분까지 살펴볼 수 있었으며, 일반적인 사항 뿐 아니라 대상 연구실에서 일어날 수 있는 위험요인과 각 실험 활동별로 주의해야 할 사항 및 연구실 관리 등의 문제점에 대해서 살펴볼 수 있었다. 그러나, 4M과 HAZOP은 기존 Check List에 비해 시간과 노력이 많이 소요되고, 대상 실험활동에 대한 전문적 지식과 안전성평가 전문가 등이 필요하여 쉽게 접근하기 어려울 것으로 보인다.

본 연구의 결과를 토대로 연구실에 대한 안전과 환경을 조성하는 바탕이 되기를 기대하며, 차후 연구실에 적용할

Table 13. HAZOP sample sheet.

Parameter	Guide word	Deviation	Causes	Consequences	Action/Comments
Filling fire extinguishing chemicals	MORE	Over-filling	Over-filling of nitrogen due to breakage of input gauge Mistake or inexperienced filling of researcher Carelessness of researcher Breakage of nitrogen container valve	creased pressure within container Risk of damage or explosion of container Suffocation due to nitrogen leakage Reduction or loss of fire extinguishing capability of fire extinguisher	Manage nitrogen container and check valve Researcher training and full understanding of filling method Check or substitute pressure gauge before test When filling, on discovery of fault in pressure gauge, immediately stop (arbitrary or intuitive filling prohibited)
	LESS	Under-filling	Nitrogen filling insufficient due to breakage of pressure gauge Mistake or inexperienced filling of researcher Carelessness of researcher Insufficient nitrogen in nitrogen container Damage to nitrogen container Aged or faulty nozzle, faulty provision of nitrogen due to contaminants Loss of filling pressure due to fire extinguisher pin hole	Wasting of fire extinguishing chemical Suffocation due to nitrogen leakage in case of damage of container or fire extinguisher Leakage of fire extinguishing chemical in case of fire extinguishing pin hole Reduction or loss of fire extinguishing capability fo fire extinguisher Faulty filling due to nitrogen insufficient	Manage nitrogen container and check valve Full understanding of researcher training and filling method Check and substitute pressure gauge before test Substitute aged fire extinguisher Check nitrogen quantity in nitrogen container Regular maintenance of researcher
	NONE	Not fillable	Damage or blockage of filling valve of fire extinguisher No nitrogen (no nitrogen container) Damage of nitrogen container Supplying of nitrogen impossible due to breakage in nitrogen container valve Impossible to maintain filling pressure due to damage to fire extinguisher	Risk of suffocation due to nitrogen leakage Leakage of fire extinguishing chemical Loss of fire extinguishing function Impossible to carry out test	Check fire extinguishing before test Inspect nitrogen container and check nitrogen container filling status Thorough storage and management of fire extinguisher Thorough education and full understanding of filling method

수 있는 보다 쉽고, 보다 나은 평가 방법으로 면밀한 검토가 이루어져야 한다고 사료된다.

**감사의 글:** 본 연구는 도약연구지원사업(전략) (43953-01)으로 한국연구재단의 재정적 지원을 받아 이루어짐에 감사드립니다.

## References

- 1) Young-Soon Lee, Woo-Bong Lee, "Laboratory Safety Management Survey Report 2010", Ministry Of Education, p. 25, 2011.
- 2) "University Laboratory Safety Practices", Ministry Of Education, pp. 8-25, 2009.
- 3) "CHECK LIST Manual", Korea Occupational Safety & Health Agency, pp. 1-7, 2010.
- 4) Eun-Hye Choi, "A Study on Actual Conditions and Recommendations of Safety Managements at University Laboratory -Focused on the Case of the H University-", Master's Thesis, Hoseo University, pp. 16-28, 2008.
- 5) "4M Manual", Korea Occupational Safety & Health Agency, p. 1, 2010.
- 6) "Continuous Process Hazard And Operability Study (HAZOP) Technique on the Technical Guidelines", Korea Occupational Safety & Health Agency, pp. 1-11, 2008.
- 7) "A Study of Laboratory Safety Management Specialization", Ministry Of Education, pp. 24-60, 2008.
- 8) "Qualified Laboratory Standard Checklist for Managing Research and Development", Infrastructure Project Planning, Safety and Environment Laboratory, Ministry Of Education, pp. 7-41, 2007.
- 9) "2007-2009 Year, Improved Laboratory Safety and Environmental Management", Laboratory Safety and Environment Infrastructure Project, Ministry of Education-Korea Engineering & Consulting Association, pp. 6-30, 2010.
- 10) "Spread the Culture of Laboratory Safety 2007-2009", Laboratory Safety and Environment Infrastructure Project, Ministry of Education-Korea Engineering & Consulting Association, pp. 8-44, 2010.
- 11) "2009 Year Implementation Plan", Safety and Environment Laboratory Infrastructure Project, "Built Environment, Based on Laboratory Safety, Ministry of Education, pp. 5-22, 2009.
- 12) "Environment Laboratory Safety Orientation", Ministry of Education-Research Environment Safety Team, pp. 13-28, 2009.
- 13) "Laboratory Safety and Environment Policy Direction of the Composition", Ministry of Education, pp. 3-21, 2009.
- 14) "Technical Guidelines on Laboratory Safety", Korea Occupational Safety & Health Agency, 3-37, 2006.
- 15) "2009 Handbook for Laboratory Safety Management", Korea Engineering & Consulting Association, pp. 8-12, 2009.
- 16) Young-Chul Shin, "A Study of Institutionalization of Health Care Research Laboratory Feasibility", Ministry Of Education-Inje University, pp. 2-12, 2007.
- 17) N. W. Lee, J. H. Kim, J. B. Beak, S. G. Lee, Y. S. Lee, J. W. Lee and Y. J. Jeong, "For the Safety Assessment of Industrial Safety Engineer", DongHwa Technology Publishing Co., pp. 15-43, 2009.
- 18) Yong-Soon Lee, "University Research and Development Laboratory Safety Model", Ministry of Education&Human Resources Development-Seoul National University of Science and Technology, pp. 14-20, 2007.
- 19) In-Seob Yoon, "Laboratory Safety Management System and through the Introduction of Ways to Secure the Safety System", Seoul National University, pp. 6-15, 2009.
- 20) Moon-Sun Choi, "Evaluation and Management for Safety of Laboratory in University", Master's Thesis, Kyung Hee University, pp. 7-12, 2008.
- 21) Yeong-Man Bang, "A Study on the Actual Condition of University Laboratory Safety Management", Master's Thesis, Hanbat National University, pp. 9-14, 2010.
- 22) Hye-Jeong Kim, "Survey of Chemistry Teachers' Safety Awareness and Chemical Laboratory Safety Facility of High School", Master's Thesis, Korea National University of Education, pp. 9-21, 2010.