

# 연구실 사전유해인자위험분석 적용방안 및 제도도입 연구

조남준<sup>†</sup> · 지용구<sup>\*</sup>

연세대학교 기술정책협동과정 · \*연세대학교 정보산업공학과  
(2016. 3. 28. 접수 / 2016. 7. 2. 수정 / 2016. 8. 11. 채택)

## A Study on Application Method & System Introduction of Laboratory Pre-hazards Risk Analysis

Nam Joon Cho<sup>†</sup> · Yong Gu Ji<sup>\*</sup>

Graduate Program in Technology Policy, Yonsei University

<sup>\*</sup>Department of Information and Industrial Engineering, Yonsei University

(Received March 28, 2016 / Revised July 2, 2016 / Accepted August 11, 2016)

**Abstract** : The purpose of this study is to develop risk assessment techniques and institutional analysis of domestic and international, the management techniques that can efficiently manage the harmful factor of the laboratory and to present the institutional measures that can be efficiently implemented. Due to a variety of adverse factors of laboratory, accidents of laboratory of various forms have occurred, but there is no risk assessment system in order to manage this effectively. So, we investigated this domestic existing risk assessment methods and the outside of the risk assessment system, and also analyzed accidents of domestic laboratory that occurred in 2014. In addition, we targeted the 24 laboratories in 21 universities to investigate the management of harmful factors of the laboratory and performed applying test for 12 domestic laboratories. Existing risk evaluation system, such as PMS, SMS, off-site impact assessment, since the industrial site is the subject, is a difficult problem to be directly applied to the laboratory of the research institute. So, we implemented management status and harmful factors survey and classified the research and development activities based on this data. Finally we developed “pre-hazards risk analysis method” to create each of the safety management measures. In addition, research activities personnel conducted voluntarily risk assessment, which is shared by institutions and government. It is presented the institutional system for safety management of laboratory. Its result, pre-hazards risk analysis method and institutionalization scheme will be able to achieve laboratory accident prevention system.

**Key Words** : laboratory safety, laboratory pre-hazards risk analysis, university lab safety

### 1. 서론

대학이나 연구기관에서 실시하는 연구나 실험은 다양한 실험기계나 장치 및 새로운 화학물질, 여러 가지 위험한 공정을 취급함에 따라 화학적, 물리학적, 생물학적, 기계공학적, 전기공학적, 방사선공학적 유해요인에 의한 위험에 노출되어 있으며 보이지 않는 사고위험 가능성을 내포한 요인까지 많은 유해요인이 존재하고 있다. 최근 과학기술분야 연구개발비도 '11년도 479,239억원, '12년도 533,680억원, '13년도 570,375억원으로 점차 그 액수가 증가하고 있으며 연구개발인력도 지속적으로 늘어나고 있다<sup>1)</sup>. 이러한 첨단분야 연구 추진, 관련 분야의 융복합화 및 산·학·연 연계강화

와 연구개발활동의 고도화, 다양화로 연구실 안전사고도 사소한 안전사고부터 대규모 인명사고까지 다양한 형태로 발생하고 있다. 더욱이 대학이나 연구기관에서 연구실험 활동에 이용되고 있는 화학물질 중에는 사용중 폭발, 화재, 중독, 환경오염 등으로 안전보건상의 문제를 일으키는 다양한 요인들이 있음에도 불구하고, 현행 법령상 유해인자의 관리기준에 대한 법적 기준이 없어 연구활동종사자들은 유해인자로 인한 위험에 무방비로 노출되고 있는 실정이다. 연구실 이외의 일반 사업장의 경우는 유해인자를 산업안전보건법으로 규정하고 위험성 평가, 작업환경측정 등 각종제도를 활용하여 관리하고 있다.

이러한 현실을 고려해 연구실 분야의 사고예방을 통

<sup>†</sup> Corresponding Author : Nam Joon Cho, Tel : +82-2-2110-2630, E-mail : perbcd@korea.kr

Research Environment Safety Division, Ministry of Science, ICT and Future Planning / Graduate Program in Technology Policy, Yonsei University, 50, Yonsei-ro Seodaemun-gu, Seoul 03722, Korea

한 연구활동종사자의 안전확보와 연구자원의 보호를 위해 연구실 환경에 적합한 유해위험요인을 발굴하고 이를 관리할 수 있는 방안에 대해 관심이 높아지고 있어 이에 대한 발굴기법과 관리방안 마련이 매우 시급한 것으로 판단하였다.

이에 본 연구는 기존 산업분야에 적용 중인 산업안전보건공단(KOSHA)의 가이드(KOSHA Guide)와 안전보건경영시스템(KOSHA 18001)에 대해 그 내용을 분석하고, 이를 기반으로 기존 산업체에 적용 중인 위험인자의 발굴, 평가, 관리방안을 고찰한 후, 관련 법률인 산업안전보건법(노동부)과 화학물질관리법(환경부)의 의무이행규정에 대해서도 면밀히 살펴보았다. 또한 우리나라 사업장과 해외 대학 연구실에 적용하고 있는 여러 위험성 평가기법(FMEA, HAZOP, JSA, SMS, PSM 등)에 대해 선행 출판물과 논문 등을 조사해 그 주요내용을 본문에 정리하였고 이로부터 우리나라 연구실의 유해위험도 파악, 관리 및 제도적 적용방안을 고민하였다. 이러한 내용들을 종합해 본 연구에서는 우리나라 대학 및 연구기관의 연구실(실험실 포함)에서 행해지는 모든 연구활동에 대해 이를 가장 잘 이해하고 있는 해당 연구활동종사자가 실험 전에 능동적으로 위험요인을 발굴해 관리할 수 있도록 그 기법을 개발하고 이를 제도화해 연구실 안전관리를 시스템적으로 운영할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 유해위험인자를 다루고 있는 연구실의 관리현황을 파악하기 위하여 '13.9월~'14.10월까지 중부권역 소재 21개 대학(4년제, 2년제)의 24개 연구실을 대상으로 불시에 점검하였다. 사전에 점검계획을 알릴 경우 유해위험인자에 대한 조치를 미리 할 수도 있어 관리실태에 대한 객관적인 판단을 내리기 어려운 점을 고려해 사전에 통보하지 않고 진행하였다. 이에 본 연구에서는 21개 대학 및 24개 연구실에 대한 정보는 기관 관계자의 요청과 범위반사항에 대한 점검을 위해 진행한 것이 아니므로 비공개를 원칙으로 진행되었다. 대상연구실에 대한 불시점검 결과와 '14년 발생한 국내 연구실 사고를 대상으로 인적 및 물질사고 현황을 면밀히 분석하여 연구실의 유해위험인자 관리실태에 대한 개선방안을 모색하였다. 또한 현행 유해위험인자를 취급하는 사업장에 적용하고 있는 법령에 의해 실시 중인 제도 중에서 여러 위험성 평가기법을 적용하고 있는 국내 및 해외 선진국의 제도를 조사·분석하여 시사점을 도출해 국내의 연구실 환경을 고려한

관리기법과 제도운영에 대한 방안을 도출하였다. 도출된 관리기법과 제도운영은 국내 12개 연구실을 대상으로 시범 적용해 현장적용성을 확인하였고, 개발된 기법적용 및 제도운영에 따라 발생할 수 있는 문제점과 실시자의 애로사항을 확인해 현장적용성을 높이고자 하였다.

## 3. 위험성 평가

### 3.1 위험성 평가 개요

위험성 평가란 유해·위험요인에 의한 부상 또는 질병의 발생 가능성(빈도)과 중대성(강도)을 추정·결정하고 감소대책을 수립하여 실행하는 일련의 과정으로, 최근에는 위험성을 체계적으로 인식하고 그에 대한 예방 및 대응대책을 구체적으로 마련하는 일련의 기법들을 의미한다. 현재까지 HAZOP(HAZard & OPerability Studies), FMEA(Failure Mode & Effect Analysis), PHA(Preliminary Hazard Analysis) 등 여러 체계적인 위험성 평가기법들이 등장하였으며, 국내에서는 4M(Man, Machine, Media, Management) 기법과 같은 위험성 평가체계들을 개발하였다<sup>2)</sup>.

위험성 평가가 처음 본격적으로 적용된 분야는 항공 우주분야이며 일반 산업체의 안전보건분야에 위험성 평가를 적용한 것은 1980년대부터이다. 유럽은 1982년 세베소 지침(Seveso Richtlinie)을 적용하였고, 1990년대에는 ISO, IEC, OHSAS 등에서 국제 안전규격이 정해져 위험성 평가가 전 세계적으로 일반 산업계에 보편화되었다. 우리나라는 1995년 1월 산업안전보건법을 개정해 위험성평가제도를 도입하였고, 2013년 6월 산업안전보건법을 개정해 위험성평가제도의 개념에 평가의 방법과 절차, 시기 등을 정하고 각종 안전보건관계자의 직무에도 포함시켰다. 또한 화학물질 관리법에 따른 장외 영향평가제도와 가스공사의 안전성 향상 계획서 등에도 위험성 평가를 포함하고 있다<sup>3,4)</sup>.

### 3.2 위험성 평가 기법

위험성평가기법으로는 ① 4M(Man, Machine, Media, Management)은 공정 내 잠재하고 있는 유해위험요인을 인적(MAN), 기계적(MACHINE), 물질적(MEDIA), 관리적(MANAGEMENT) 측면으로 파악하여 안전대책을 세우도록 한 방법 ② FMEA(Failure Mode & Effect Analysis)는 시스템의 프로세스나 기기의 각 요소에서 발생할 수 있는 모든 잠재적 고장형태(Mode)를 사전에 찾아내어 고장(Failure) 발생 시 전체 시스템 및 주변 환경에 미치는 영향과 위험성에 대한 대책을 수립하는

전형적인 정성적, 귀납적인 위험분석 기법<sup>5)</sup> ③ HAZOP (HAZard & OPerability Studies)은 설비 및 운영과정에서 안전위해요소를 찾아 평가하고, 안전과 상관없더라도 공장의 설계생산성에 방해되는 운영상의 문제를 찾기 위한 위험분석기법<sup>6)</sup> ④ JSA(Job Safety Analysis)는 대부분의 사고가 작업 중에 발생하는 것을 고려해, 작업이나 절차, 시스템, 운영상의 공정에서 요소별로 위험성을 찾는 평가기법 등이 있다<sup>7)</sup>.

### 3.3 국내 위험성 평가 적용제도

국내 위험성 평가를 적용하여 운영되고 있는 제도로는 산업안전보건법에서 적용하고 있는 공정안전관리제도(PSM : Process Safety Management), 고압가스관리법에서 적용하고 있는 안전성향상계획(SMS : Safety Management System), 화학물질관리법에서 적용되는 장외영향평가제도(OCA : Off-site Consequence Analysis) 등이 있다. Table 1은 위험성 평가를 실시해야 되는 제도의 관리대상 사업장 또는 유해위험인자를 명시하고 있다.

Table 1. Domestic risk assessment regulation application scope

	PSM	SMS	Over the counter impact assessment
Subject of application	· Oil refining industry	· High-pressure gas storage facilities to handle oil products	· Those who handle over certain amount to 69 kinds of hazardous materials
	· Other oil re-refining industry	capacity over 100 tons in petroleum and petroleum alternative fuel business law	
	· Petroleum chemical based compounds, synthetic resins and plastic materials manufacturing	· High-pressure gas facilities to handle over 10 thousands cubic meters per day or to store over one hundred tons	
	· Complex fertilizer manufacturing		

PSM(Process Safety Management) 제도는 산업안전보건법 제49조2에 의거, 유해·위험 설비를 보유한 사업장의 사업주가 그 설비와 관련된 유해물질의 누출·화재·폭발로 사업장 내 근로자뿐만 아니라 인근지역에 피해를 야기할 수 있는 중대 산업사고 방지를 위해 각 공정상 유해인자의 위험요인을 발굴하여 사전에 관리하는 기법으로 적용 사업장 자체적으로 안전관리방안의 모색과 적극적 대응이 목적인 종합 안전관리제도로<sup>8,9)</sup> 공정자료, 위험성 평가, 안전운전계획, 비상조치계획 등으로 구성되어 있다.

SMS(Safety Management System) 제도는 고압가스 안전관리법에 근거 경영방침, 안전조직, 안전자료, 위험

성평가 등을 포함 기업활동 전반을 하나의 시스템으로 보고 운영관리 측면의 안전관리규정과 위험관리 측면의 안전관리효율을 높인 종합 안전관리제도로 잠재적 위해요인을 밝혀내 위험의 중요도를 분석·평가하기 위해 정성적·정량적 위험성평가 기법을 적용해, 5년마다 1회씩 주기적으로 위험성 평가를 실시하고 안전관리 목표를 수정·발전시킨다.

장외영향평가제도는 화학물질관리법 제23조에 근거, 유해화학물질 취급시설을 설치·운영하려는 자가 화학사고 발생으로 인해 사업장 주변지역의 사람이나 환경 등에 미치는 영향을 평가하고 이에 대한 안전성 확보 방안을 제시하는 “유해화학물질 화학사고 장외영향평가서”를 작성해 환경부 장관에게 제출하여야 하는 제도로 2015년 1월 1일부터 업종 및 규모에 따라 단계별로 시행하고 있다<sup>10)</sup>.

### 3.4 국외 위험성 평가제도

전 세계적으로 위험성 평가 제도는 1976년 이탈리아 세베소 사고 이후 1982년 세베소 지침(Seveso Richtlinie)으로 시작되었다. 이 지침은 유럽연합 회원 국가들에게 필수불가결한 의무사항이다. Table 2는 EU와 선진 국가들의 시행연도와 기준 및 법률이다<sup>11)</sup>.

Table 2. Implemented year and related acts of risk assessment regulation

Area of application	Implemented year	Regulations and Acts
Korea	1995	Occupation safety and health Acts, Toxic Chemicals Control Act
Japan	1996	Risk Assessment Guideline in Labor, Safety and health Acts
USA		Construction of autonomous safety and health management system based on the evaluation of the risk
EU	1989	The framework Directive 89/331/EEC
Germany	1996	Arbeits Schutz Gesetze
UK	1992	The management of Health and Safety at Work Regulation

### 3.5 기존 위험성 평가기법의 연구실 적용 고찰

현재 유해위험인자를 취급하는 사업장에서 위험성 평가기법을 적용하고 있는 제도로서 PSM(Process Safety Management), SMS(Safety Management System), 장외영향평가 등은 소품종 다량물질을 정해진 공정행위에 대한 위험의 결과로 발생할 수 있는 사고를 사전에 방지하기 위해 운영되는 제도로서 다품종 소량의 유해위험인자를 연구자의 개발의도 및 환경에 따라 위험도를 예측하기

어려운 연구실에 적용하기에는 무리가 따를 것으로 판단된다. 연구실의 경우 사업장과 달리 하나의 프로젝트만 수행하지 않고 여러 프로젝트를 동시 다발적으로 진행하며, 특히 대학 연구실은 연구 프로젝트 외에 일반 학생들의 실습 및 교육이 이루어지고 있는 공간으로<sup>5,6)</sup> 유해위험인자에 대한 위험요인이 다수 존재하여 이를 사업장에 적용하고 있는 기법으로 관리될 수 없을 것으로 판단하였다.

연구실에서 발생한 사고의 경우 인적사고가 80%로 대부분을 차지하고 있는데, 2014년 대학 연구실 사고의 총 피해자 156명 중 64%가 실험실습을 위해 연구실에 방문한 학부생이었다. 이는 대학 및 연구기관의 경우 일반 사업장과 같이 안전관리에 대한 체계적이고 명확한 프로세스를 갖고 있지 않아 학부생 등의 연구활동종사자들이 연구실 내 위험요소를 제대로 인지하지 못하였기 때문이다.

따라서 연구실이라는 공간에 대한 관리적 측면을 넘어 연구프로세스에 잠재된 유해위험인자 및 이를 취급하는 인적행위 등에 대한 복합적인 관리개념을 도입하는 것이 절실히 요구되고 있다.

#### 4. 국내 연구실 유해인자 관리현황

연구실에 특화된 위험성 평가기법을 개발하기 위하여 미래창조과학부와 중부권 연구실안전지원센터는 멘토링 외부 전문가와 함께 '13.9월~'14.10월까지 수도권 소재 21개 대학(4년제, 2년제)의 24개 연구실을 대상으로 유해위험인자의 노출수준과 관리상태를 분석에 점검하여 Table 3과 같은 현황을 확인할 수 있었다. 이 조사의 목적은 수도권 소재 대학들의 위험관리 실태에 대한 내용을 알아보는 것으로 사전에 구체적인 내용의 외부 공개 금지 등에 대해 합의하였고 해당 대

Table 3. Focus checks for harmful factors excavation

area	focus checklist
general	<ul style="list-style-type: none"> <li>incompleteness of lab safety regulations</li> <li>not executed routine inspection</li> <li>nonseparation of lab zone and general district</li> </ul>
industrial hygiene	<ul style="list-style-type: none"> <li>incompleteness of material safety data sheet</li> <li>safety management of chemicals in health aspect</li> </ul>
electrical safety	<ul style="list-style-type: none"> <li>nongrounding of lab instruments</li> <li>use ungrounded outlet connection</li> </ul>
fire safety	<ul style="list-style-type: none"> <li>uninstallation of automatic diffusion extinguisher</li> <li>presence or absence of fire corresponding oxygen mask</li> </ul>
chemical/gas safety	<ul style="list-style-type: none"> <li>insufficiency of reagent storage</li> <li>gas container filling deadline elapses</li> </ul>

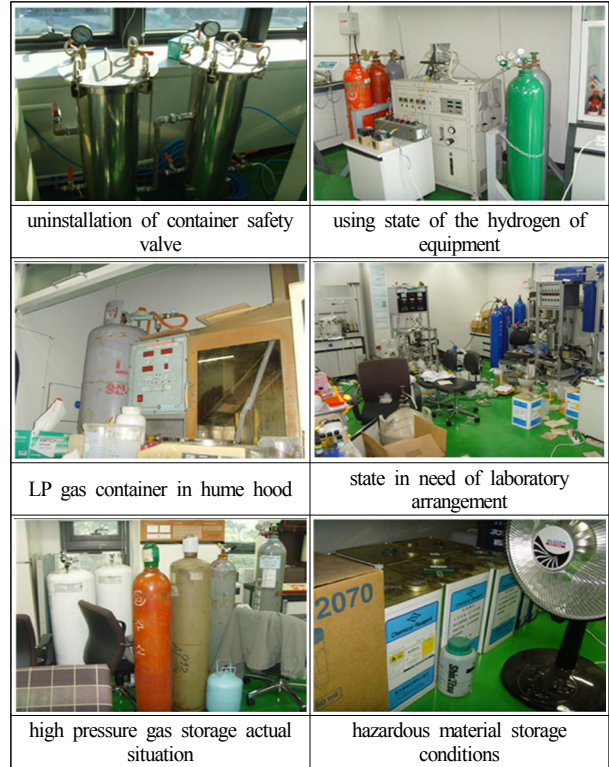


Fig. 1. Exposure status of harmful factors.

학들의 협조를 얻어 대학내 별도의 안전관리가 필요한 지에 대한 기초 데이터를 얻기 위해 조사되어 대상 기관 및 연구실에 정보는 비공개로 하였다.

연구실 분야별 유해위험인자 지적 건수 및 비율은 일반안전 11건(6%), 산업위생 15건(8%), 전기안전 27건(14%), 소방안전 21건(11%), 화공안전 78건(39%), 가스안전 29건(15%), 기계안전 18건(9%) 등으로 화공 및 가스안전 분야의 유해위험인자에 대한 관리상태가 매우 미흡하다는 사실을 확인하였다. 또한, 연구실에서 발굴된 유해위험인자 중 사고 위험성이 매우 높다고 판단되는 사항(Fig. 1)에 대한 연구활동종사자들의 위험 인식과 이를 관리하는 수준이 매우 낮아 연구활동종사자가 유해위험인자의 위험성을 인지하고 이를 관리할 수 있는 기법과 제도의 구축이 시급한 것을 확인할 수 있었다.

이와 더불어 정밀안전진단 실시 결과 위험등급이 3등급 이하인 실험실 중 화학과 3개 연구실에 대해 유해인자 조사를 실시한 결과 다음 Table 4와 같이 연구활동종사자의 건강에 심각한 문제를 발생시킬 수 있는 급성독성 및 폭발성이 높은 물질을 사용하고 있었으나 유해위험성에 대한 관리방안을 갖추고 있지 않다는 사실을 인지하여 이를 개선할 방안 마련이 시급히 필요한 것으로 판단되었다.

Table 4. The results of total check into hazardous chemicals in 3 laboratories of chemistry department

chemical substance			gases			
Awareness materials	substances of priority control	Total chemicals	Flammable gases	Supporting gases	Non-flammable gases	Total gas reserves
51	19	1741	0	1	2	3

division	Department name	Laboratory name	Chemical type	Awareness materials	substances of priority control	Total gas reserves	Toxic gases
1	Chemistry	Physical Chemistry Preparation Room	242	11	4	0	0
	name of Substance Awareness	Benzene, Acrylic acid, Nitrobenzene, Triethylamine, Ethylenimine, Sodium, Nitric acid, Phosphine, Hydrogen peroxide					
	name of substances of priority control	Benzene, Nickel, Phenol, Lead					
2	Chemistry	Physical Chemistry/Analytical Chemistry Laboratory	478	18	7	2	0
	name of Substance Awareness	Formaldehyde, Formic acid, Methanol, Benzene, Vinyl chloride, Acrylic acid, Nitrobenzene, Ethylenediamine, Toluene, Phenol, Ethyl acetate, Ethylenimine, Sodium, Ammonia, Nitric acid					
	name of substances of priority control	Chromium, Benzene, Formaldehyde, Nickel, Phenol, Lead, Epichlorohydrin					
3	Chemistry	Inorganic Materials Chemistry Laboratory	1,021	22	8	0	0
	name of Substance Awareness	Formaldehyde, Methanol, Benzene, Methylamine, Carbon disulfide, Propylene oxide, Nitrobenzene, Ethylenediamine, m-Cresol, Toluene, Triethylamine, Sodium cyanide, Ethylenimine					
	name of substances of priority control	Chromium, Benzene, Carbon tetrachloride, Nickel, Formaldehyde, Antimony, Cadmium, Phenol					

## 5. 연구실 유해위험인자 관리기법 및 제도 도입 방안

### 5.1 사전유해인자 위험분석 개요

이상의 분석결과를 바탕으로 본 연구에서 제시하고자 하는 ‘연구실 위험성평가 기법(연구실 사전 유해인자 위험분석)’은 JSA 등의 위험성 평가기법을 연구실 특성에 맞게 수정·적용하여 연구실에 존재하는 잠재 위험을 단계적·체계적으로 평가함으로써 발생가능한 위험을 연구활동을 직접수행하는 연구활동종사자가 이를 발굴하고 제어할 수 있도록 하는 기법이다. 즉, 예상되는 위험에 대하여 위험성을 정량 또는 정성적으로 조사하여 그 위험을 제거 또는 저감할 수 있는 방법을 기구축된 관리정보 및 외부 안전전문가, 경험에 의한 처리방법 등 여러 경로를 통해 위험을 제거하는 방안을 기록하고 이를 인지하도록 하여 사고를 사전에 예방하는 것이다. 구체적으로 사전 유해인자위험분석은 ① 특정 연구개발 활동을 수행하는 단계 ② 각 단계 별로 존재하는 혹은 잠재적인 안전과 보건 유해성 ③ 연구실의 상해나 질병의 유해성과 위험을 제거하거나 감소시킬 수 있는 권장되는 활동/절차 등을 파악하고 분석하고 기록하는 데 사용하는 방법이라고 할 수 있다. Table 5는 사전유해인자 위험분석의 구성요소를 나타내었다.

Table 5. Elements of pre-hazards risk analysis

Main elements	Details elements
Laboratory Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laboratory Overview</li> <li>Laboratory Employees</li> <li>Safety equipment holdings</li> </ul>
Laboratory Placement Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>laboratory placement drawing</li> <li>harmful factor picture</li> </ul>
Personal Protector and Equipment Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>Personal Protector Status</li> <li>Equipment Status</li> </ul>
Participant roles and Measures for accident emergency	<ul style="list-style-type: none"> <li>Research participant roles</li> <li>First aid measures</li> <li>Coping tips for leak</li> <li>Coping tips for wounded</li> </ul>
Research Overview	<ul style="list-style-type: none"> <li>Research Purpose</li> <li>Research Method</li> <li>Research Risk Information</li> </ul>
Safety Measures	<ul style="list-style-type: none"> <li>Protector Selection Table</li> <li>Protector Selection Guide</li> <li>Safety Training Information</li> </ul>

### 5.2 사전유해인자 위험분석 절차

#### 5.2.1 분석 대상(연구개발활동) 선택

사전 유해인자 위험분석은 기본적으로 모든 연구개발활동이 분석의 대상이며, 이 중 위험한 직무를 선택해야 한다. 유해인자 위험분석 시 고려해야 할 요인은 다음과 같다.

- 사고의 주기와 심각성 : 자주 사고가 발생하거나 자주 발생하지는 않지만 발생했을 경우 불가역적인 상해를 입힐 만한 직무
- 심각한 상해 혹은 질병을 일으킬 만한 잠재성 : 사고나, 유해한 상태, 혹은 유해물질에 대한 노출의 결과 잠재적으로 심각할 것으로 생각되는 경우
- 새로 도입한 연구개발활동 : 경험이 부족으로 유해성이 불분명하거나 예상이 어렵다
- 연구 수행 변경 : 새로운 유해성이 연구 절차의 변경에 따라 발생 가능한 경우
- 부정기적으로 수행되는 연구개발활동 : 일상적이지 않은 연구개발활동의 위험이 더 크다. 이를 분석하는 데에 작업안전성분석(JSA, Job Safety Analysis)을 이용할 수 있음

**5.2.2 분석대상의 단계별 구분**

분석 대상이 되는 연구개발활동을 단계별로 구분하되, 다양한 위험을 가진 연구실의 유해위험요인 분석시 단계를 포괄적으로 나누면 특정단계를 누락해 관련 위험성을 놓치기 쉽고, 너무 세부적으로 나누면 분석해야 할 대상이 많이 생길 수 있다.

연구개발활동은 기본 10단계 정도로 나누되 더 나눌 필요가 있는 경우, 그 연구개발활동 자체를 두개로 구분해 각각 위험성 평가를 수행한다. 각 단계들은 올바른 순서로 배열해야 하며 그렇지 않을 경우 잠재적인 위험성을 놓치거나 있지 않은 위험성을 찾는 오류의 발생가능성이 높다. 분석 완료 후에는 연구개발활동을 각 단계별로 나눈 결과에 대해 모든 연구실의 구성원과 의논하고 모든 기본적인 단계들이 올바른지와 절차에 문제가 없는지를 토의한다. 각각의 단계는 순서대로 기록하고 어떻게 보다는 무엇을 수행하는지에 초점을 맞춘다.

**5.2.3 잠재 유해인자의 위험성 파악 및 분석**

각 단계가 확정되면, 이제 잠재적인 유해인자에 대한 위험성을 각 단계별로 파악하여야 한다. 관찰한 결과와, 사고 및 상해의 원인에 대한 지식, 그리고 개인적인 경험에 따라 각 단계에서 문제점들을 목록으로 만든다. 기본적인 단계들은 결정되었기 때문에 문제점 해결보다는 문제파악에 주력하여야 한다. 잠재적인 위험성 파악을 위해 분석자는 다음과 같은 질문을 예시로 사용할 수 있다.

- 연구장비 및 설비에 위험성이 있는가?
- 연구활동종사자가 물체에 접촉했을 때 위험한가?

- 연구활동종사자가 미끄러지거나 넘어지거나 추락할 수 있는가?
- 연구활동종사자가 유해화학물질의 위험성에 노출되어 있는가?
- 연구개발활동 절차에 문제점이 없는가?
- 먼지, 흙, 미스트, 혹은 증기가 연구실 내에 존재하는가?

다음 Table 6에서는 연료전지 촉매 성능 실험을 통하여 유해위험인자의 잠재적 위험성을 파악하고 기록하는 방법을 제시하였다.

Table 6. Potential hazards and risk report forms

Research Steps	Potential Hazards	Risks
Nickel, cobalt, etc. Nitric acid synthesis	Generation spark of nickel reaction	body poisoning by Nickel
Hydrogen pretreatment of the reactor	Hydrogen leak	Hydrogen leak explosion
Catalyst performance assessment through gas chromatography analysis		
and so on		

**5.2.4 잠재적 위험성 제어를 위한 예방조치**

사전 유해인자 위험분석 후 파악한 위험성 제거 또는 제어 방법은 다음과 같다.

- 위험을 제거한다.(Eliminate the hazard)
  - 가장 효과적인 조치라고 할 수 있고 유해성 제거를 위해 기존의 연구절차를 변경하거나 환경을 개선한다.(Improve environment, for example, ventilation)
- 위험을 밀봉한다.(Contain the hazard)
  - 제거하기 힘든 위험성이라면, 밀폐(enclosure), 방호장치(machine guards), 부스(worker booths) 혹은 비슷한 장치를 통해 접촉을 최대한 방지한다.
- 작업절차를 바꾼다.(Revise work procedures)
  - 위험한 연구개발 단계를 개선하고 순서를 바꾸거나 추가적인 단계를 넣거나 하는 등에서는 많은 고민들이 필요하다.
- 노출을 감소시킨다.(Reduce the exposure)
  - 가장 비효율적인 방법으로 다른 방법들이 모두 불가할 때 사용한다. 사고의 심각성을 줄이기 위해서 응급설비, 예를 들어 눈 세척장치 등이 필요하다.

다음 Table 7에서는 연료전지 촉매성능 실험을 통하여 잠재적 유해인자 및 위험성을 파악하고 예방조치를 작성하는 방법을 제시하였다.

Table 7. Report form for precautions

Research Steps	Potential Hazards	Risks	Precautions
Nickel, cobalt, etc. Nitric acid synthesis	Generation spark of nickel reaction	body poisoning by Nickel	Wearing gas mask
Hydrogen pretreatment of the reactor	Hydrogen leak	Hydrogen leak explosion	Installation of the hydrogen sensor
Catalyst performance assessment through gas chromatography analysis			
and so on			

### 5.3 사전유해인자 위험분석 제도 도입방안

국내의 연구실의 안전관리는 사고 후 관심을 갖는 후행지표(Lagging indicator) 중심의 개발에 치중하고 있으나, 안전관리의 선행지표 개발이 더 중요하다. 즉, 연구현장에서 유해인자의 위험성을 발굴하여 사고발생원인 및 결과를 사전에 예측한 후 현재의 안전조치를 검토하고 미흡할 경우 개선계획을 수립 시행할 수 있는 사전유해인자 위험분석제도가 필요하다.

#### 5.3.1. 사전유해인자 위험분석 운영방안 및 절차

연구실 안전환경 관리를 위한 사전유해인자위험분석 제도의 시행은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 안전환경 관리자 뿐만 아니라 연구실책임자와 개별 연구자 모두 자발적으로 연구실에서 취급하는 유해위험인자를 발굴하여 이를 기관과 공유하고 더 나아가 정부의 안전관리 체계 구축에 활용할 수 있도록 협조해야 한다.

또한 사전 유해인자 위험분석의 실시대상은 유해위험인자를 다루는 모든 연구실과 실험이다. 다음 Fig. 3에 사전유해인자위험분석에 필요한 사항인 연구실 일

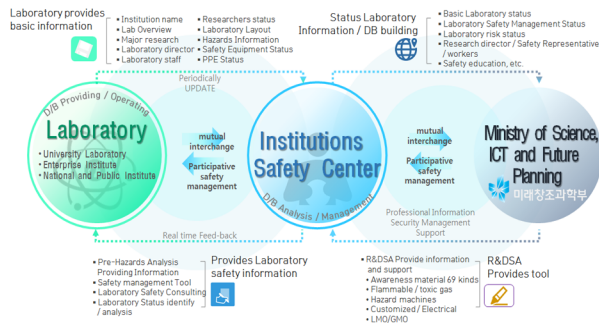


Fig. 2. The role of each implementing body for pre-hazards risk analysis.

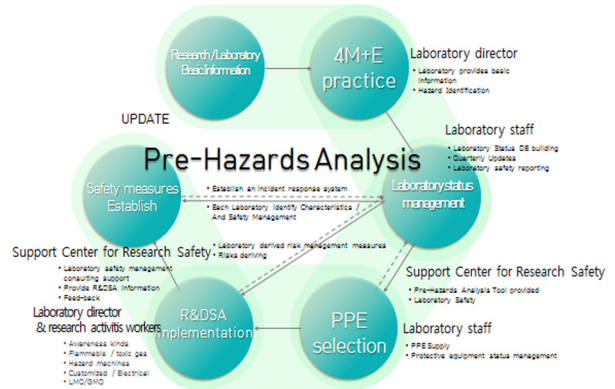


Fig. 3. Reporting process on pre-hazards risk analysis.

반현황, 연구실 주요 유해인자 확인, 개인보호구 선정, 연구개발활동 안전성 평가(Research & Development Safety Assessment)를 구분해 나타내었다. 연구개발활동의 안전성 평가 실시는 각각의 연구개발활동에 대한 위험성을 연구실 책임자가 판단해 위험분석을 실시한 후 연구활동종사자 교육 및 연구실 안전관리에 활용할 수 있도록 하여야 한다.

#### 5.3.2. 연구개발활동별 안전성 평가 실시 대상 유해인자 적용범위

여러 연구 및 실험환경에 노출되는 대학 연구실은 다양한 물리적 혹은 화학적 위험요인에 직면해 있다. 반응성이 높은 화학물질, 연구실 설비의 결함으로 인한 기계적 위험, 연구활동종사자들의 인적오류 등 다양한 유해위험인자가 한정된 공간에서 동시다발적으로 발생할 가능성이 있어 산업체에서 적용하고 있는 유해인자의 기준은 적합하지 않다. 연구실 환경이 특정한 단일공정에 의한 연구진행이 아니라 극한의 상황을 설정하고 연구자의 의도에 따라 실험조건이 수시로 변경되는 점을 고려하면 유해위험인자에 대한 정의 자체도 쉽지 않다.

또한 연구실에 적용하는 화학물질관련 법령은 산업 안전보건법과 화학물질관리법, 위험물 안전관리법, 고압가스관리법 등이 있어 동일물질에 대한 부처별 관리기준이 달라 현장에서 이를 동시에 만족하도록 관리하기에는 매우 어려운 부분이 있다. 이는 부처간 협의를 통해 화학물질 관리체계의 일원화가 필요하나 통합적 적용에는 부처간의 관리기준에 대한 상반된 의견이 있어 이를 조정하기에는 다소 시간이 소요될 것으로 판단된다. 이에 사전유해인자 위험분석 제도의 도입은 산업 안전보건법과 화학물질관리법에서 유해위험인자로 규정하고 있는 물질을 우선적으로 분석·적용하여 점차적으로 적용범위를 확대할 것을 제안한다.

**5.3.3. 정부의 유해인자DB 개발 및 기관별 특성에 맞는 사고대응 가이드라인 작성**

현재 국내에서 활용되고 있는 유해위험인자 관련 정보는 화학물질에 대한 물질안전보건자료(MSDS) 및 산업안전보건공단에서 제공하는 각종 설비·장비에 대한 가이드라인 등을 통해 얻을 수 있으나 일반 연구활동 종사자가 이해하기 어려운 부분이 있을 수 있다. 이에 유해위험인자 중 사고 위험도가 가장 높은 화학물질 및 가스에 대한 안전관리 기본정보와 물질특성 정보(기본정보, 물리화학적 성질, 법적규제사항), 사고위험 정보(사고 위험성, 인체 유해성, 응급의학정보) 등에 대해 연구활동종사자가 쉽게 이해하고 활용할 수 있도록 관련 DB를 개발·제공할 필요가 있다.

또한, 유해인자에 대한 기관별 관리현황이 다르기 때문에 기관별로 각자 특성에 맞는 사고대응 가이드(위험물질 유출시 대처요령, 오염제거 / 폐기물 처리절차 등)를 작성하는 것이 실제 사고예방 및 대응에 효과적일 것으로 판단된다.

**5.4. 사전유해인자위험분석 시범적용 및 분석**

사전유해인자위험분석의 평가방법에 대한 실증을 위해 한 개 대학을 선정하여 정밀안전진단 결과 3등급 이하로 판정되어 위험도가 높아 사고발생 가능성 및 피해가 클 것으로 판단되는 12개 실험실에서 연구활동을 수행하는 연구활동종사자들을 대상으로 유해인자 위험분석을 실시한 후 그 결과를 다음 Table 8과 같이 분석하였다. 이 실증은 그 조사결과 자체보다는 결과 도출과정에서 새로운 제도 도입에 구체적으로 무엇이 필요한지를 알려는 것이 목적이었다.

이를 통해 사전유해인자위험분석제도 도입을 위해

다음의 내용이 필요함을 알 수 있었다.

첫째, 유해위험인자의 관리DB를 광범위하게 확보하여 연구현장에서 손쉽게 활용할 수 있도록 이용 가이드라인을 함께 제공할 필요성이 있다.

둘째, 발굴된 유해위험인자의 위험요인에 대한 관리방안 수립을 위한 연구활동종사자들의 안전관리에 대한 역량이 대부분 부족한 점이 발견되어 외부 컨설팅을 통한 관리방안의 전문화 및 작성된 결과에 대한 주기적인 관리와 검증이 필요하다.

이를 위해서 현재 시행되고 있는 연구실 안전환경조성에 의한 법률에 정밀안전진단을 실시하여야 한다는 것과 연계하여 사전유해인자위험분석을 통한 발굴된 위험요인에 대한 외부 전문가의 의견 수렴과 이를 관리할 수 있는 방안에 대한 관계자의 토의가 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 자발적으로 안전관리위험분석을 실시할 수 있는 제도적 지원이 필요하다. 연구실 책임자의 행정업무를 최소화 할 수 있도록 DB구축, 전산화 및 인센티브 제공방안을 검토할 수 있다.

마지막으로 유해위험인자의 범위에 대한 명확한 기준설정이 필요하다. 우선 사고대비물질 69종, 가연성/독성가스 62종, 산안법 제33조에 의한 유해위험기계기구, 조립품, 고온고압을 사용하는 설비를 사용하는 연구개발활동에 대해서 사전유해인자위험분석을 실시할 것을 제안한다. 추후 유해위험인자 관리DB를 광범위하게 확보할 수 있도록 연구개발활동별, 물질별, 설비별 색인에 따른 관리방법과 국내외의 연구실에서 발생되고 있는 사고사례를 중심으로 산업체에서 발생되고 있는 사고사례까지 다양한 정보를 제공할 수 있는 연구실 안전관리시스템(LSMS : Lab Safety Management

**Table 8.** Applied research & development activities of the test for pre-hazards risk analysis

No.	Laboratory name	number of workers	The contents of the research and development activities
1	Physical Chemistry Preparation Room	0	Before and after the synthesis process of metal particles using piranha & aqua regia
2	inorganic/organic chemistry laboratory	1	organic research
3	Organic Synthesis Laboratory 1	4	reactions using sodium hydride
4	Physical Chemistry/Analytical Chemistry Laboratory	7	Synthesis of metal nanoparticles
5	Inorganic materials chemistry laboratory	9	Gas adsorption experiment (including gas management)
6	Biochemistry Laboratory 1	3	Electrophoresis
7	Shared equipment room interrelated Chemistry	0	Synthesis of new crystalline compound
8	Molecular Engineering Laboratory	4	Reducing experiments with hydrogen
9	sugar chemical analysis laboratory	2	Bio-Morph dopamine detection
10	Laser surface reaction laboratory	4	Experiment of electrochemical luminous body
11	Biophysical chemistry laboratory	4	Fluorescent microscope cell experiments
12	Protein engineering room	3	SDS Page



System), 이를 활용할 수 있는 가이드를 정부차원에서 제작하여 배포하고 정부의 연구실 안전관리 종합계획을 재수립하여 연구실 안전관리 패러다임의 변화를 이끌어야 실효성 있는 대책이 마련될 것으로 판단된다.

## 6. 결론

최근 과학·산업 기술이 급속히 발전함에 따라 연구실, 사업장 등에 대한 안전관리 중요성도 함께 부각되고 있다. 이로 인해 HAZOP, FMEA, PHA, 4M 분석, 작업안전분석(JSA) 등 여러 위험성 평가기법들이 등장하였으며, 항공우주분야 및 원자력 발전분야 등 다양한 분야에 사용하고 있다. 또한 국내에서도 이러한 평가기법들을 바탕으로 산업안전보건법의 위험성 평가 및 PSM, 고압가스안전관리법의 SMS, 화학물질관리법의 장외영향평가 제도 등을 개발하여 시행하고 있다. 하지만 이들 제도들은 산업현장의 특성을 반영해 구성한 제도로, 유해요인의 관리기준 선정도 소품종 대량 사용물질 및 변동성이 없는 공정으로 이루어지기 때문에 유해요인을 규정하기가 다소 쉬운 것이 사실이다. 이에 반해 현재 대학이나 연구기관의 연구실에서 실시하는 연구나 실험은 다양한 실험기계나 장치 및 새로운 화학물질, 여러 가지 위험한 공정을 취급함에 따라 보이지 않는 사고위험 가능성을 내포한 요인까지 많은 유해요인이 존재해 산업현장과 비교했을 때 상대적으로 사고의 근원인 유해요인을 정하기가 어려운 것이 현실이다. 또한 현행 연구실 안전법 제8조(안전점검) 및 제9조(정밀안전진단)의 경우, 연구를 목적으로 새로운 시설물을 설치하거나 과거에 사용한 적이 없는 화학물질 등을 포함하는 등의 잠재적 위험요인을 사전에 반영해 위험을 관리할 수 없다. 이를 위해, 사고발생시 피해당사자인 연구활동종사자들이 자발적으로 안전관리를 할 수 있도록 안전교육을 시행하고 있으나 실질적인 사고를 유발할 수 있는 유해위험요인에 대한 사전 관리 방안은 현재 마련되어 있지 않다.

이에 본 연구에서는 그 연구의 방향 및 진행방법에 대해 누구보다도 잘 알고 있는 연구책임자 등 연구활동종사자가 실험 초기 및 진행, 완료단계에서 발생할 수 있는 위험성을 파악하고 이를 관리자와 공유하여 위험요인을 제거하는 ‘사전유해인자 위험분석’ 기법 및 제도 도입 방안을 제시하였다.

우선 연구실의 유해위험인자를 발굴하기 위해 21개 대학의 연구실을 방문해 실태점검을 실시하였다. 이를 통해 연구실의 경우 화공 및 가스 안전분야의 유해인자가 가장 많았다. 즉, 연구활동종사자들의 안전관리

의식 부족 및 관리미비로 인한 흡후드 내 LP 개스통 방치, 고압가스 또는 위험물질 보관상태 열악 등의 사고 위험성이 매우 높은 여러 위험요소들이 있다. 또한 현행 대학의 연구실 안전점검 및 정밀안전진단 실시는 사전에 통보 한 후, 예정된 시각에 진행하여 실제 연구현장의 유해위험요인을 발굴하는 것이 상당히 어렵다.

이러한 결과들을 토대로 본 연구에서 제시한 사전유해인자위험분석에서는 JSA 등의 위험성 평가기법을 연구실 특성에 맞게 수정·적용하여 연구실에 존재하는 잠재 위험을 연구활동종사자(교수 및 연구원) 스스로가 체계적이고 단계적으로 평가·분석할 수 있도록 구성하였다. 또한 각 분야별 유해위험요인을 발굴하고 이에 대한 개선방안을 도출하여 사전 유해위험인자 위험분석 제도와 정밀안전진단 연계 시 진단의 효율성을 높일 수 있도록 하고, 기관의 안전관리 담당자가 연구실 책임자와의 위험요인에 대한 의견 교류 수단이 없었던 점을 고려하여 연구실 안전관리에 대한 주체별 위험관리 커뮤니케이션이 이루어 질 수 있도록 하였다.

하지만, 이러한 ‘사전유해인자 위험분석’ 방안이 연구현장에 적용될 경우 연구실 안전보다는 연구실적과 성과 등에 치중하는 현 연구실태를 감안 시 제도도입 초기부터 연구자중심의 정책(유해인자 위험관리 DB제공, 보고서 작성 가이드 제공 및 작성 절차 간소화 등)을 통해 연구자들이 쉽게 제도에 접근할 수 있도록 하는 것을 최우선 과제로 하여야 할 것이다. 또한 사전유해인자위험분석에 따른 결과의 관리 방안(분석 내용에 대한 관리체계, 보고서 자료 DB화, 유사 실험에 대한 위험요인 공유 등)을 위한 안전정보시스템의 구축과 함께 제도의 단계별 수정·보완, 전문인력 발굴 및 양성, 연구실 안전문화 제고 등을 위한 종합적인 계획을 수립·추진함으로써 행정을 위한 안전제도가 아닌 실질적인 안전을 위한 제도로서 사전유해인자제도가 자리잡을 수 있도록 하여야 할 것이다.

본 연구에서 제시한 사전유해인자 위험분석 방안을 통해 연구활동종사자가 자율적이고 능동적으로 위험요소를 조사·관리하고, 이를 관리자, 더 나아가 정부와 공유하여 위험요인을 점차적으로 제거해 나간다면 사고를 예방하는 환경이 시스템적으로 구축이 되어 쾌적하고 안전한 연구환경을 조성하는데 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.

## References

- 1) MSIP (Ministry of Science, ICT and Future Planning),

- KISTEP(Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning), “Survey of Research and Development in Korea”, 2013.
- 2) KOSHA(The Korea Occupational Safety and Health Agency), “Risk Assessment Consulting and Qualification Q&A”, 2014.
- 3) KOSHA(The Korea Occupational Safety and Health Agency), “KOSHA 18001”, 2015.
- 4) KOSHA(The Korea Occupational Safety and Health Agency), “KOSHA Guide”, 2015.
- 5) R. E. McDermott, R. J. Mikulak and M. R. Beauregard, “The Basics of FMEA”, Productivity Press, 2008.
- 6) Tyler and Brian, “HAZOP, Guide to Best Practice, 2nd Edition”, Institute of Chemical Engineers, 2008.
- 7) Rozenfeld Ophir, Sacks Rafael, Rosenfeld Yehiel and Baum Hadassa, “Construction Job Safety Analysis”, Safety Science, Vol. 48, 2009.
- 8) “Occupational Safety and Health Act, Act No. 11862”, 2015.
- 9) I. H. Lee, “Safety Management through SMS & PSM method”, 2008.
- 10) “Chemicals Control Act, Act No. 13035”, 2015.
- 11) J. -W. LEE, “Background of the Introduction & Development Direction of the Risk Assessment System”, Korea Occupational Safety & Health Agency, 2014.