

관리대상 화학물질의 지정 및 관리체계 차등화를 통한 효율적 대학 연구실 관리에 대한 연구

김 덕 한* · 김 민 선* · 이 익 모*

*인하대학교 환경안전융합전공

A Study on the Efficient Management of University Laboratories through Differential Designation of Chemical Substances and Classification of Management System

Duk-Han Kim* · Min-Seon Kim* · Ik-Mo Lee*

*Environmental Technology & Safety Technology Convergence, INHA University

Abstract

In spite of lab safety act for over 10 years, over 100 safety accidents in the laboratory have been constantly occurring. The ideal safety management system is to prevent accidents by differential classifying and managing laboratory regulatory materials according to the risk level. In order to approach this system, in-depth interviews with safety managers were first conducted to identify the current status of safety management in domestic university laboratories. And then through comparative analysis of safety management systems in domestic and foreign laboratories, a new regulatory substance classification standard based on the analysis of the hazards and the classification of risk grades, and a safety management system are proposed. From this study, it will contribute to the creation of a safe laboratory environment by differential classification and management laboratory regulatory materials based on the risk level.

Keywords : Laboratory Safety, New Risk Classification, Efficient Chemical Management

1. 서 론

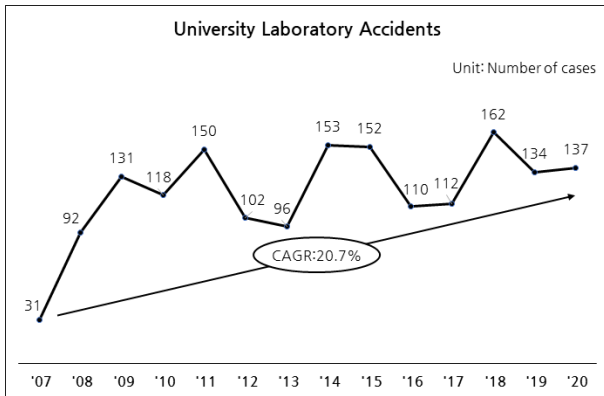
1.1 연구의 배경 및 목적

2000년 초반 이공계대학 연구실에서 안전사고가 빈발하고, 연구활동 종사자들이 열악한 연구환경에서 연구개발 활동을 수행하고 있어 과학기술관련 연구실의 특성에 맞는 안전관리체계를 수립하고자 2005년 연구실 안전환경 조성에 관한 법률(이하 '연구실안전법')이 제정되었다. 이후 2022년까지 14회의 일부개정 등이 이루어졌으며, 과학기술발전 등 연구환경 변화와 지속적으로 발생하는 연구실사고에 효율적으로 대응하는 것을 목적으로 2020년 6월 전부 개정된 연구실안전법은 2022년 6월부터 시행되고 있다.

대학 연구실 사고는 관련 통계가 작성된 2007년 이후 2020년까지 연평균 20.7%씩 증가해 왔으며, 2009년 이후 2013년을 제외한 모든 해에 100건 이상 발생하고 있음을 알 수 있다. 특히, 대학 연구실 사고는 매년 전체 연구실 사고 발생 건수 중 약 60-80%를 차지하고 있으며, 3일 이상 치료가 필요한 사고 또한 115건 중 66건(57.4%)을 차지하고 있어 기업부설연구소나 연구기관에서 발생하는 사고보다 높은 비율로 큰 사고가 발생한다는 것을 알 수 있다[1].

기업부설 연구소의 경우 사업장 내 위치한 곳이 많고, 연구실안전법 뿐만 아니라 산업안전보건법 등에 의해서도 관리되기 때문에 일반 사업장의 수준과 동일한 유해·위험요인별로 차등화된 관리체계를 적용받지만 대학 내 연구실의 경우 연구실안전법에 의해 관리된다.

†Corresponding Author : Ik-Mo Lee, 5W560A Inha University, 100, inha-ro, Michuhol-gu, Incheon, E-mail: symbole@daum.net
Received November 25, 2022; Revision December 20, 2022; Accepted December 29, 2022



A Survey on the Safety Management of Laboratories in 2021, Ministry of Science and ICT, (2021.121)

연구실 안전법의 적용범위는 연구실에 한정해 적용되는데 어떤 화학물질을 사용하던지 연구실 내에서 사용한다면 연구실사고를 발생시키거나 연구활동종사자의 건강을 저해할 가능성이 있는 “유해인자”로 분류하여 관리한다. 유해인자는 화학적, 물리적, 생물학적 위험요인 등의 특성을 모두 포함하는 개념으로서 화학물질이 갖고 있는 다양한 유해성과 위해성의 특성을 차별하고 있지 않다. 대학 사고 발생의 37.59%는 유해물질 노출 접촉, 폭발, 화재 등 화학물질에 의해 발생하는데[2] 연구실 안전법에 따라 고위험 연구실로 분류되는 물질은 “화학물질관리법” 유해 화학물질, “산업안전보건법” 유해인자, “고압가스안전관리법” 독성 가스에 해당되는 물질이며 2년 주기로 정밀안전진단을 실시하도록 하고 있다. 이는 대학 연구실 내에서 사용하고 있는 물질에 대해 유해성이나 위해성에 대한 판단 없이 모든 물질을 관리대상으로 하고 있는 것이다.

2018년 OO대학교 자연과학동 화학과에서 카르보닐디아자이드 등을 이용한 실험에서 폭발이 일어난 것과 2020년 OO대학교 물리학과에서 흡후드 내에서 포름산을 추출하는 과정에서 신체 노출로 인한 화상을 입은 사고에 대한 예방 및 관리대책은 단순히 MSDS 숙지나 연구실 책임자의 관리 감독 강화로 제시 될 것이 아니라, 취급하는 화학물질의 위험성에 따라 관리체계를 차등화하는 것이 효율적이다.

대학 내 연구활동종사자들은 수행하는 연구에 대한 정보와 이해가 부족할 뿐만 아니라, 화학물질의 위험성에 대해 잘 알지 못하기 때문에 MSDS작성 및 비치, 안전교육의 의무를 연구실안전법에서 의무화하고 있으나, 사용하는 MSDS를 작성하여 연구실 문 앞에 붙여놓거나, 다양한 연구실 안전교육 중 연구자가 속해있는 연구실에서 사용하는 화학물질에 대한 위험성에 대해 충분히 인지 할 것이라고 생각하기 어렵다. 또한, 대학에서는 안전관리를 전담할 전문 인력인 연구실안전환경관리자를 연구활동종사자 수가 1천명 미만 1명 이상, 1천명에서 3천명 미만 2명 이

상, 3천명 이상인 경우 3명 이상을 고용하도록 의무화하고 있지만 기관 당 평균 300개 이상의 연구실을 관리하기엔 학교 재정상 어려운 실정이다.

연구실 안전에 대한 박해천(2012), 홍형득(2018), 우인성(2019) 등의 많은 연구가 있어 왔고, 사고 예방과 관리 고도화를 위해 많은 안전관리 항목이 추가되었을 뿐만 아니라 법을 지속적으로 개정해왔음에도 대학교 연구실에서 화학물질과 관련한 안전사고가 끊임없이 발생하고 있는 근본적인 이유는 효율적 관리를 위한 규제 대상 화학물질에 대한 분류와 관리 차등화가 이루어지지 않았기 때문이다. 일부 예산의 증대와 안전관리 항목의 추가, 연구실 안전환경관리자의 의무 고용은 대학 연구실의 안전성을 강화한 것으로 볼 수 있지만 1명 또는 2~3명의 연구실안전환경관리자가 대학 전체 연구실을 동일한 수준으로 안전하게 관리하는 것은 현실적으로 불가능하며, 대학이 자체적으로 해결할 수 없는 한계를 갖고 있다. 따라서 화학물질로 인한 사고를 예방하고 발생 수와 인적 피해 정도를 감소시키기 위해서는 화학물질에 대해 획일적으로 유해인자로 바라보는 시선에서 유해성 등에 대한 고려를 통해 규제 대상 화학물질 지정 기준을 마련하고, 관리체계를 차등 적용하는 방법을 연구할 필요성이 있다.

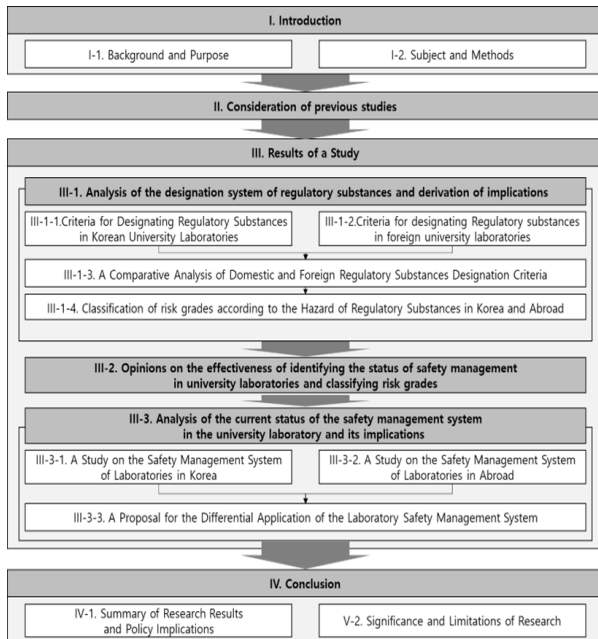
본 연구에서는 대학교 연구실에서 사용하는 화학물질의 유해성에 기반한 규제 대상 화학물질의 위험 등급을 제시하고, 해당 등급에 따른 안전관리 방안을 차등 적용하는 것을 제안하고자 한다. 이를 통해 대학 내 연구실 안전관리 제도의 효율성 높여 안전을 확보하고 연구활동종사자의 건강과 생명을 보호한다는 법의 목적을 달성하는데 기여하고자 하였다.

1.2 연구의 대상 및 방법

본 연구는 연구실안전법 적용 대상 중 하나인 대학교 내 연구실을 대상으로 하며, 규제의 대상이 되는 화학물질의 유해성에 따른 위험등급 분류와 이에 대한 관리체계를 차등화하는 방법을 제안하고자 한다. 구체적인 연구 방법은 다음과 같다.

첫째, 연구의 배경 및 목적을 통해 연구의 목표를 명확히 하고 연구의 대상과 방법론을 확정하였다. 둘째, 선행 연구를 통해 대학 연구실 안전관리에 어떤 문제점이 있다고 진단했고 어떤 개선방안이 제안되었는지 확인하였다. 셋째, 한국, 미국, 싱가포르를 대상으로 대학 연구실 규제 대상 화학물질을 어떻게 지정하고 있는지를 확인하였다. 한국의 경우 대학 연구실안전환경관리자를 대상으로한 1차 심층인터뷰를 통해 현황과 도출된 시사점에 대해 공감할 수 있는지를 확인하였다. 넷째, 규제 대상 화학물질에 대하여 한국, 미국, 싱가포르에서 어떻게 구분하여 관리

하고 있는지를 확인하였고 안전관리 차등화 방안을 제안하였다. 차등화 관리 방안에 대해서 2차 심층 인터뷰를 실시하여 제안한 관리 방안의 실효성, 적절성에 대한 검토를 수행하였다. 마지막으로 대학 연구실의 효율적 안전관리를 위해 규제 대상 화학물질의 위험등급을 구분하고 이에 대한 관리 차등화 방안을 연계할 수 있도록 제안하였다.



[Figure 1] Research Method

2. 선행연구 고찰

박해천(2012) [3]은 호남지역 대학 중심의 안전관리 평가를 통해 대학의 안전관리 수준이 매우 낮으며 대학 연구활동종사자의 근무 기간에 따른 안전관리 수준의 차이가 존재한다고 하였다.

홍형득(2018) [4]은 우리나라 연구실 안전관리 현황 및 안전관리 제도와 안전관리 활동요인이 안전관리 성과에 미치는 영향을 분석하여 안전관리 제도의 정비를 통한 안전관리 활동의 활성화 및 안전사고 예방 촉진이 중요하다고 하였다.

우인성(2019) [5]은 안전 점검 제도에 대한 연구실 안전 현황 전문가들의 의견을 분석하여 정밀안전진단과 사전 유해인자분석 제도 등에 대한 개정 필요성을 언급하였다.

박해천(2012) 연구를 통해 빠르게 연구원이 순환되는 이유 등으로 대학의 안전관리 수준이 타 연구기관에 비해 낮은 것을 확인하였으며 이에 따라 안전문화 구축보다 근본적인 관리 체계의 개선을 우선시해야 한다고 판단하였

다. 또한, 홍형득(2018)과 우인성(2019)연구에서 지적한 부분들에 대한 개선이 이루어졌음에도 불구하고, 지속적인 연구실 사고가 발생하고 있어 기존에 지적되지 않았던 연구실 안전관리 대상 물질과 관리체계에 대한 연구를 수행함으로써 근본적인 관리체계 개편에 대한 재조명을 하고자 하였다.

3. 연구 결과

3.1 규제 대상 화학물질의 지정체계 현황 분석

3.1.1 국내 대학 연구실 규제물질 지정기준

국내 대학 연구실 내에서 사용되는 화학물질에 대한 규제는 「화학물질관리법」, 「고압가스 안전관리법」, 「산업안전보건법」에서 지정한 물질인 경우 연구실안전법의 유해인자로 관리하도록 하고 있으며, CAS No.기준 총 1,202개 물질이 해당된다. 규제물질은 인체유해성, 물리적위험성, 환경유해성 중 한가지 이상의 유해성을 지닌 물질이며 유해성 구분 기준은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Safety inspection system and implementation status

	Hazard
CHEMICAL SUBSTANCES CONTROL ACT	Acute toxicity: Lv. 1-3 Skin corrosion/irritation : Lv. 1A-1B Repeated Dose Toxicity : Lv. 1-2 Mutagenicity: Lv. 1 Carcinogenicity: Lv.1A-1B Reproductive toxicity : Lv. 1A-1B
HIGH-PRESSURE GAS SAFETY CONTROL ACT	Toxic Gas
OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ACT	Physical Risk, Health Hazard, Environmental Hazards

화학물질을 취급사용 등을 하는 기업을 관리하기 위해 적용하고 있는 화학물질관리법, 고압가스안전관리법, 산업안전보건법에서 지정한 물질을 연구실안전법에서 준용하여 관리하도록 함에 있어 문제가 발생한다. 예를 들어, 「화학물질관리법」의 ‘유해화학물질별 소량기준’에는 424개 물질에 대한 순간최대채류기준과 보관·저장기준에 대한 소량기준(kg)이 명시되어 있다. 최저 5kg 최고 6,000kg의 양이 명시되어 있는 소량기준은 산업계 취급·사용량 기준으로 산정되었기 때문에 다품종 소량의

시약을 사용하는 연구실의 특성상 규제 대상에서 제외되는 경우가 많을 것으로 예상된다.

연구실안전법에서는 여러 법에서 지정하고 있는 관리대상물질을 유해인자라는 것을 통해 관리하도록 하고는 있지만, 관리 대상 물질이 많고 타 법령에 의한 관리 사각지대까지 발생하고 있어 대학 연구실의 특성에 맞는 효율적 관리를 하는 것에 어려움이 존재한다.

3.1.2 국외 대학 연구실 규제물질 지정기준

국제적 고등교육 평가기관인 영국 QS(Quacquarelli Symonds)는 2022년 세계 대학 평가에서 글로벌 연구 경쟁력을 발표하였다. 1위(매사추세츠 공과 대학교; Massachusetts Institute of Technology)와 5위(스탠포드 대학교; Stanford University)를 차지한 미국과 4위(싱가포르 난양 공과 대학교; Nanyang Technological University)와 7위(싱가포르 국립 대학교; Singapore National University)를 기록[13]한 아시아 국가 중 1위인 싱가포르를 국외 벤치마킹 대상으로 선정하여 최고의 연구 경쟁력이 있는 국가 및 학교에서의 연구실 안전 환경 및 관리 체계에 대한 현황과 시사점을 도출하고자 하였다.

미국에서 화학물질을 지정·관리하는 연방 법령은 TSCA (Toxic Substance Control Act; 독성물질관리법), OSHA (Occupational Safety and Health Act, 산업안전보건법), CAA(Clean Air Act; 청정대기법) 등 매우 다양하다. 그 중 대학교 연구활동종사자에 대한 관리 제도와 연구실 규제물질 지정에 관여하는 법령은 OSHA이다. OSHA에서 기업을 대상으로 규제하는 화학물질은 물리적 위험성과 건강 유해성을 지닌 물질이며 약 649개 물질이 포함된다[6]. 대학 연구실은 OSHA의 OSHA Standards(산업안전보건기준)에 의해 관리되고 있다. 해당 규정에서 SOP(Standard Operating Procedure; 표준운영절차)를 이행해야 하는 유해화학물질로 일부 물리적 위험성과 발암성, 생식독성, 급성독성 유해성을 지닌 162개 물질로 지정하고 있으며[7], 이는 산업계 규제물질의 25%정도가 연구실 규제물질에 해당되는 것으로 해석할 수 있다.

싱가포르에서 화학물질을 지정·관리하는 법령은 다양한데 연구실 환경 및 연구활동종사자에 대한 안전관리 제도에 관여하고 있는 산업계 법령은 NEA(National Environment Agency, 국립환경청)의 EPMA(Environmental Protection and Management Act, 환경보호관리법)이다. EPMA는 물리적 위험성 또는 건강 유해성이 큰 546개 물질을 산업계 대상 유해물질로 규정하고 있다[5].

EMP Regulations(환경보호관리규정)에서는 연구실 규제물질인 HS(Hazardous Substance; 유해물질)을 규

정하고 있는데, 미국과 마찬가지로 일부 물리적 위험성 또는 급성독성, 만성독성 유해성을 지닌 물질 91개를 지정하고 있으며[11], 이는 산업계 규제물질의 17%정도가 연구실 규제물질에 해당되는 것으로 해석할 수 있다. 특히, EPMA에서는 특정 유해물질에 대해 운송 및 저장, 사용을 규제하는 소량 기준을 명시해놓았는데 최저 0kg에서 최고 5,000kg로 대부분 물질의 기준이 0kg이기 때문에 유해성이 매우 큰 화학물질은 모두 규제 대상에 포함한다. 이는 소량 기준을 5~6,000kg로 정하고 있어 한국 대학 내 연구실 대부분이 관리 대상에서 제외되는 상황과는 매우 다른 부분이다.

3.1.3 국내·외 규제물질 지정기준 비교분석

국내 연구실 규제물질은 산업계 규제물질과 차이를 두지 않고 동일하게 규정되어 있다. 유해성 종류에 관계없이 유해성을 지닌 화학물질이면 모두 규제 대상으로 지정되어 있으나 「화학물질관리법」의 소량 기준에 의해 모두 제외되어 유해성이 큰 물질이 제대로 관리되고 있지 않다.

반면, 미국과 싱가포르는 산업계 물질과 연구실 규제물질이 별도 기준에 의해 지정되어 있으며, 두 국가 모두 규제물질 지정기준인 유해성이 유사한 양상을 보인다. 또한 싱가포르의 경우 소량기준이 명시되어 있으나 최저 기준이 0kg로[11] 다품종으로 소량을 취급하는 대학 연구실의 특성을 고려하더라도 관리 사각지대가 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다.

한국, 미국, 싱가포르의 규제물질에서 공통적으로 나타나는 유해성은 급성독성, 발암성, 물리적 위험성이지만, GHS에 따른 각 유해성에 대한 세부 기준에서 차이가 존재하며 <Table 2>, <Table 3>에 나타내었다. 어떠한 기준이 더 적절한 것인지 판단할 수 없기 때문에 본 연구에서는 세 국가의 지정기준에서 나타나는 특징을 분석하여 대학 연구실의 화학물질을 관리하기 위한 위험등급 기준을 제안하고자 한다.

<Table 2> Comparison of regulatory material classification criteria

	Human toxicity		Physical Risks	Environmental Hazards
	Acute toxicity	Chronic toxicity		
Korea	○	○	○	○
US	○	○	△	X
Singapore	○	○	△	X

<Table 3> Comparison of detailed standards of GHS within classification criteria

	Acute toxicity	Carcino-genicity	Physical Risks
Korea	Lv. 1-3	Lv. 1A-1B	All
US	Lv. 1-2	Lv. 1A-2B	Some
Singapore	Lv. 1-2	Lv. 1A-2B	Flammable materials, Oxidative materials, Water Reactive Substances and Toxic Gas

3.1.4 국내외 규제물질 유해성 비교분석

대학 연구실 규제물질은 CAS번호 기준 한국 1,202개, 미국 162개, 싱가포르 91개이다. 국가별 규제물질 목록을 정리하여 중복되는 물질을 분석한 결과 세 국가에서 모두 중복되는 물질은 9개이며, 두 국가에서 겹치는 물질은 224개로 나타났다. 중복되는 물질 간 공통적으로 나타나는 유해성은 급성 독성 기준 1-2, 피부부식성/자극성 기준 1-2, 눈손상/자극성 기준 1-2, 발암성 기준 1-2, 특정표적장기독성 기준 1-2이며 <Table 4>에 정리하여 나타내었다.

세 국가에서 공통적으로 나타나는 유해성의 중요성이 크다고 판단되기 때문에 중복 유해성을 사용하여 연구실 규제물질 위험 등급을 구분하였다.

<Table 4> Number of overlapping substances and hazardous standards by countries

Number of Substances	Countries	Overlapping Hazardous Standards
9	Korea+US +Singapore	Acute Toxicity : Lv. 1-2
188	Korea +US	Skin Corrosion/Irritation :Lv. 1-2
26	Korea +Singapore	Carcinogenicity : Lv. 1-2
1	US +Singapore	Serious Eye Damage/Irritation : Lv. 1-2

3.2 대학 연구실 안전관리 현황 파악 및 이슈 도출

본 연구에서는 심층 인터뷰를 통해 대학 연구실 안전관리 현황을 파악하고 이슈를 도출하였다. 심층 인터뷰는 질적연구의 자료 수집에 보편적으로 사용되는 방법으로, 일

정한 형식과 구조로 접근하지만 연구자와 응답자 간의 상호 작용을 통해 재구조화가 진행된다[9]. Creswell의 질적연구 방법론에 따르면 상세한 현상에 대해 알아보고자 한다면 3명 이상 10명 이하의 연구 대상자를 선정할 것을 권장하고 있다[10]. 따라서 본 연구에서는 대학 연구실 안전현황을 잘 알고 있으며 실태 및 개선방안에 대한 전문적인 논의가 가능할 것으로 판단되는 연구실안전환경관리자 4명을 대상으로 선정하여 인터뷰를 진행하였다.

3.2.1 심층 인터뷰 참여자 일반 정보

국내 4개 대학에서 연구실 안전 업무를 수행하는 안전관리자와 인터뷰를 진행하였다. 답변의 신뢰성을 위하여 해당 대학 내 근무 기간 및 안전 분야 근무 경력과 현재 대학 근무 여부를 질의하였다.

응답자들이 현재 속한 대학 내 근무 경력은 평균 8.8년이며 현 대학 외 안전 분야 근무 경력은 평균 5.1년으로 총 평균 13.8년의 경력을 보유하고 있다. 또한 모든 응답자가 현재 대학에서 연구실 안전환경관리자로서 근무하고 있는 것을 확인하였다. 이에 모든 응답자들이 연구실 안전 분야 전문가라고 판단하여 인터뷰를 진행하였으며 답변 내용은 <Table 5>와 같다.

<Table 5> General Information of Interviewees

Name	Work Experience(year)	
	Now	Past
A	10	2
B	15	6
C	6	6
D	4	6

3.2.2 대학 연구실 현황

응답자들이 근무하는 대학의 연구실 관련 현황에 관한 응답은 <Table 6>과 같다.

연구 기관 내 3,000명 이상의 연구활동종사가 있는 경우 법적으로 정해진 연구실안전환경관리자 선임 기준은 3명 이상이지만 인터뷰 결과 각 대학의 전담 인원은 기준에 미치지 못하며 전담자 또한 다른 업무를 분담하여 수행한다는 현황을 확인하였다. 그 결과, 평균 394개의 연구실을 보유하고 있으며 그 중 평균 211.8개의 고위험연구실을 보유하고 있는 4개 대학 연구실안전환경관리자는 1인당 최소 89.5개, 최대 197개의 연구실을 관리하고 있는 실태이다.

4개 대학 모두 연구실에서 사용하는 화학물질 입출입

<Table 6> Current status of laboratories in the universities

Unit: case

	Participant A	Participant B	Participant C	Participant D
Total number of Safety Officer	4	3	10	3
Safety Officer (Lab ONLY)	2	2	2	1
Total number of Labs	343	310	535	388
Number of High-risk Labs	270	201	179	197
Own Lab risk rating criteria	Holding	Holding	Not Held	Not Held
Chemical entry and exit system	Not Held	Not Held	Not Held	Not Held

관리 시스템을 보유하지 않았으며 응답자 B에 따르면대학 포털 내 구입 경로를 제외하고도 개인, 산학협력단 연구비, 교비 등 구입 경로가 다양하여 시약 구입 현황은 파악 불가능한 실정이다.

3.2.3 대학 안전관리 제도 시행에 관한 의견

응답자들은 현 안전관리 제도에 대해 모두 개선해야 할 내용이 있다고 응답하였으며, 답변 내용은 <Table 7>과 같다. 안전교육의 경우, 응답자 A와 B는 이수 시간은 충분하지만 각각 대면 교육과 정규 수업 편성이 필요하다고 하였으나 응답자 C와 D의 경우 이수 시간도 충분하지 않으며 학생들이 자발적으로 교육을 이수할 수 있는 환경을 먼저 구축해야 한다고 응답하였다.

정밀안전진단은 4가지 구분에서 다양한 진단 항목을 포함하며 2년 주기로 각 분야 전문가 및 전문 기기에 의해 시행되는 연구실 점검 제도이다. 다음 제도는 시행하기 위하여 자격 조건 및 진단 기기가 명시되어 있기 때문에 4개 대학은 해당 조건을 충족하지 못하여 모두 외부 업체에 위탁하여 진행하고 있었으며 대부분의 타 대학 현실도 동일할 것이라는 답변을 받았다. 위탁 업체에 의한 점검은 평

균 10일 가량 진행되며 연구실의 개수가 300개가 넘는 탓에 연구실 1개당 평균 점검 소요시간은 최소 5분에서 최대 20분이라고 응답하였다. 3명의 전문가들이 동시에 실시하지만 일반안전, 기계안전, 전기안전 등 11개 분야의 다양한 점검 항목을 제대로 살펴보기에는 시간적 여유가 충분하지 않을 것으로 판단된다. 또한, 정밀안전진단 결과에 따라 산정되는 연구실 안전등급에 대해서도 응답자 A는 실효성 있으며 안전관리에 도움이 된다고 답하였으나 응답자B, C, D는 실효성이 없으며 위험요소를 가진 연구실을 구분하는 용도로 단기적으로만 사용한다고 응답하였다. 2년에 한번, 전문가에 의해 시행되는 제도이지만 모두 위탁으로 진행되기에 시간적 여유가 충분하지 않으며 점검 결과에 따른 연구실 안전 등급 또한 등급에 따른 차등적 관리 제도를 시행하는 등 구분 내용을 활용하지 않기 때문에 연구실 안전 등급 제도 개편 및 등급에 따른 안전관리 제도 차등화가 필요하다고 생각된다.

현직자들이 중요하게 생각하고 있는 연구실 안전관리 관련 사항은 다음과 같다. 많이 언급된 답변은 ‘안전교육(4회)’, ‘정밀안전진단(3회)’, ‘연구실안전환경관리자 선임(2회)’등이다. 응답자 D에 따르면 ‘안전교육’은 정보 전달 뿐만 아니라 안전의식과 안전문화 형성에 영향을 줄 수

<Table 7> Opinions of the safety management system in universities

	Participant A	Participant B	Participant C	Participant D
Effectiveness of safety education	Quantity is sufficient, but face-to-face training is required for efficiency	Quantity is sufficient, but should be included in the regular class	Less efficient training due to mandatory completion	Insufficient
Time required for Thorough Safety Inspection(per lab)	5-10 min.	10-20 min.	About 20 min.	10 min.
Risk Rating of Thorough Safety Inspection	Helpful	Easy to handle risk factors, but not sure about effectiveness	Unhelpful	Low effectiveness; only classifying laboratories
System of personal importance	1) Safety Education 2) Thorough Safety Inspection 3) Daily Inspection	1) Employment of safety managers 2) Thorough Safety Inspection 3) Safety Education	1) Insurance 2) Medical examination 3) Safety Education	1) Employment of safety managers 2) Thorough Safety Inspection 3) Safety Education

있는 요소이기 때문에 더 효과적이고 참여적인 교육 방법이 필요하다고 하였다.

또한, ‘연구실안전환경관리자 선임’은 좋은 법률 또는 제도가 있더라도 실질적인 담당자가 충분하지 않다면 제도의 취지에 맞게 관리하기 어렵기 때문에 중요하다는 의견을 주었다. ‘정밀안전진단’의 경우, 2년마다 실시하는 제도이기 때문에 정밀하고 충분하게 실시해야 한다는 의견이 있었다.

3.2.4 위험등급 구분의 효과성에 대한 의견

심층 인터뷰 응답자들에게 본 연구 결과와 같이 연구실 규제물질을 유해성에 따라 위험등급을 나누고 등급에 따른 차등관리를 했을 때 고위험 연구실 중 위험등급이 높은 연구실과 낮은 연구실의 정기 점검 및 정밀안전진단 시 방문 예상 소요 시간을 질의하였다. 정리한 내용은 <Table 8>과 같으며 연구실안전환경관리자들은 모두 위험 등급이 높은 연구실에 조금 더 많은 시간을 투자할 것으로 예상하였다. 응답자 D에 따르면 본 연구 내용을 적용하였을 때 연구실에 존재하는 위험도 높은 물질을 연구실안전환경관리자와 연구원들 모두 인지하고 있을 것이기 때문에 점검 시 해당 물질에 따른 추가적인 점검 요소가 필요하며 사고 예방 목적에 조금 더 근접한 점검이 가능할 것으로 예상된다.

<Table 8> Average time spent visiting the laboratory by the manager

Unit: minute

Laboratory Risk Rating	Before applying the study	After applying the study
Grade 1-2	10	12
Grade 3-5	10	10
Out of Grade	10	8
Total	30	

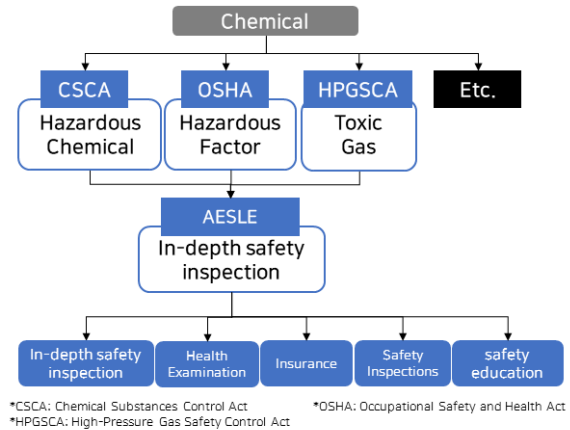
3.3 연구실 안전관리제도 차등화 방안

3.3.1 국내 대학 연구실 안전관리 제도

[Figure 2]에 나타난 산업계 법령에 근거한 규제물질과 동일한 연구실 규제물질의 일반 화학물질과 별개로 시행해야 하는 제도는 정밀안전진단과 건강검진이다.

건강검진은 물질에 따라 일반, 특수 건강검진으로 구분하고 있으나 정밀안전진단은 물질 특성에 따른 진단 방법과 내용 등의 차이 없이 일괄적으로 같은 기준에 의해 실시하고 있다. 또한, 심층 인터뷰를 통한 대학 안전관리 현

황 분석에서도 많은 문제점을 확인하였다.

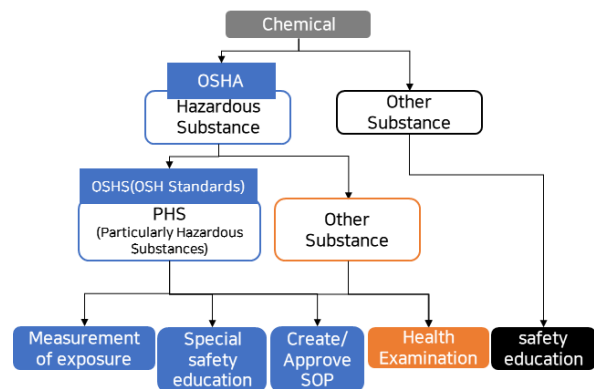


[Figure 2] Safety management system for university lab in Korea

3.3.2 국외 대학 연구실 안전관리 제도

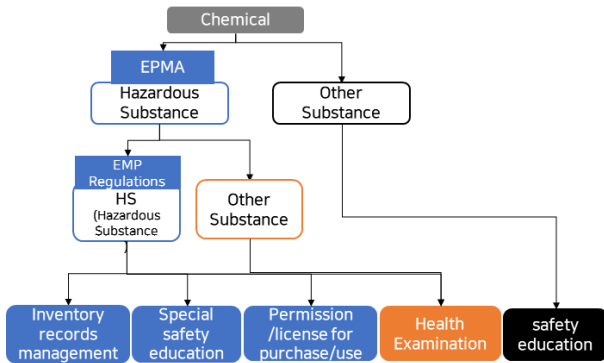
미국 연구실 규제물질은 두 단계에 걸쳐 일반 화학물질과 구분되며 [Figure 3]에 나타내었다. 먼저 화학물질은 OSHA에 의해 산업계 기준 유해화학물질과 일반화학물질로 구분하고 OSHA 실험실 표준에 의해 실험실에 적합한 규제물질인 PHS(Particularly Hazardous Substance; 특정유해물질)로 재구분한다[7].

규제물질을 유해성에 따라 구분하는 미국은 안전관리제도 또한 물질의 유해성에 따라 차등 적용한다. PHS 물질, PHS 외 물질, 유해물질에 해당되지 않는 물질 각각의 관리제도가 존재한다. PHS로 분류되는 관리제도 내에서도 물질에 따른 특별 교육을 실시하고 무조건 노출 정도를 측정하여 물질 사용 전 SOP를 작성하여 승인받아야 한다. 이를 이행하지 않을 시 물질을 사용할 수 없게 하여 강하게 규제하고 있다.



[Figure 3] Safety management system for university lab in US

싱가포르는 미국과 유사하게 물질의 유해성에 따른 차등 지정, 관리를 하고 있으며 [Figure 4]와 같다. 물질별 특별안전교육과 구입 또는 사용 전 허가를 받거나 면허가 필요하다는 점이 비슷하다. 차이점은 인화성 물질, 산화성 물질, 물반응성 물질, 독성 가스에 대한 연구실당 최대 보관량 기준이 존재하여 물리적 위험성이 강한 물질에 대한 확실한 규제를 하고 있는 점이다.



[Figure 4] Safety management system for university lab in Singapore

3.3.3 연구실 안전관리제도 차등화 방안 제안

연구실 규제물질을 국외 사례와의 비교와 유해성에 따른 순차적 지정과 더불어 위험성이 큰 물질들이기 때문에 연구실 규제물질에 대해 일반 물질과 차등을 두어 다음과 같은 안전관리 제도를 추가적으로 시행할 것을 제안한다.

첫 번째, 규제물질 대상 입출입 관리 시스템 도입이다. 현재 대학 내 사용되는 화학물질에 대한 입출입 관리가 전혀 되고 있지 않아 어떠한 연구실에 어떠한 위험이 존재하는지 알기 어려운 실정이다. 또한 사용 물질에 대한 기초 자료가 없기 때문에 산업계 법령과 같이 화학물질에 대한 노출 평가를 진행하는 것도 불가능하다. 따라서, 규제물질 대상으로 한정하여 대학 내 화학물질의 입출입관리를 실시하여 규제물질의 입고량, 재고량 등을 파악할 수 있게 한다. 또한, 시약 구입 전 연구계획서를 제출하여 연구실 안전환경관리자 승인 후 구매할 수 있게 하여 규제물질의 오남용을 방지하고 확실한 입출입관리를 할 수 있게 한다.

두 번째, MSDS를 활용한 유해성 등 규제물질에 맞는 특별안전교육을 추가로 실시해야 한다. 규제물질은 유해성이 큰 화학물질이기 때문에 기본 안전교육 외로 해당 물질의 특성, 유해성 등을 알 수 있는 특별안전교육을 실시해야 한다. 또한 해당 교육은 규제물질을 소유하고 있는 연구실 내 연구실 책임자 또는 연구실 내 화학물질 관리자가 실시해야 한다. 규제물질의 특성과 유해성 등 안전 정보를 전달하더라도 연구자가 쓰는 기구 또는 연구 방법에

따른 위험에 대해 인지하고 있는 것이 더욱 효과적일 것이기 때문이다.

세 번째, 연구실에서 규제해야 할 물질을 위험 등급에 따라 구분하였기 때문에 위험도에 따른 집중 관리가 요구된다. 대학 연구실안전환경관리자는 해당 등급 분류로 물질을 사용하고 있는 연구실을 파악하고 규제물질의 위험 등급에 근거하여 위험한 물질을 사용하는 연구실은 유해성 및 특성에 맞게 관리가 가능해질 것으로 예상된다.

4. 결론 및 고찰

4.1 결론

많은 연구에서 대학교 연구실 사고가 지속적으로 발생하는 근본적인 원인으로 적은 안전관리 인원과 예산 부족을 꼽았다. 그러나 예산이 늘어난 현재도 여전히 사고는 발생하고 있으며 더 많은 예산의 증액과 인원을 대폭적으로 늘리는 것은 비효율적이며 대학이 당면한 현실적인 부분을 고려했을 때 실현 가능성이 떨어진다.

현재 한국의 대학 실험실의 경우 매우 많은 물질을 관리하도록 규정하고는 있지만, 다품종 소량의 시약을 사용하는 연구실 특성상 많은 관리 규제에 대한 이행성이 떨어질 뿐만 아니라, 화학물질관리법의 소량기준에 따른 관리 사각지대도 발생하고 있다. 또한, 화학물질의 유해성을 고려하지 않은 상태에서 모든 물질을 획일적인 방법에 의해 관리하도록 하고 있어 사고 발생 수와 그로 인한 위험성을 줄이기 어려운 실정이다.

한정된 예산과 인원으로 효율적인 관리를 할 수 있는 방안으로써 유해성을 고려한 연구실 규제물질의 지정 및 위험등급에 따른 구분을 제안한다. 이에 국내외 규제물질 지정기준을 비교 분석하여 중복되는 유해성 종류를 도출하고 싱가포르의 화학물질 유해성 매트릭스를 참고하여 국내 연구실 대상 규제물질의 위험등급 기준을 제시하였다. 또한 대학 연구실 안전관리 현황 파악 및 연구 진행 방향 검토를 위하여 심층 인터뷰를 진행한 결과 규제물질 지정 및 안전관리 체계 개선의 필요성을 확인하였다. 이를 위한 방안은 연구실 규제물질의 위험등급에 따른 분류에 근거하여 시행할 것을 제안한다. 또한 추가적으로 위험도에 따라 연구실안전환경관리자의 집중관리, 특별안전교육 실시, 화학물질입출입관리시스템 도입이 요구된다.

규제해야 할 물질을 특정하고 물질의 위험도에 근거하여 엄격하게 규제한다면 연구실안전환경관리자가 위험도가 높은 연구실과 비교적 낮은 연구실을 구분하여 관리할 수 있기 때문에 부담이 줄어들 것으로 예상되며 효과적인 관리로 인해 사고 발생률 또한 감소할 것으로 기대된다.

4.2 연구의 한계

화학물질의 사용 빈도를 고려하기에는 화학물질 입출입 관리 시스템이 없어 존재하는 화학물질 및 물질량조차 알지 못하는 현 연구실 안전관리 시스템 상 자료 수집 및 연구 진행에 한계가 있다고 판단하였다. 따라서, 본 연구에서는 화학물질의 유해성만 근거하여 새로운 위험 등급 기준을 제안하였다. 그러나 연구실 안전관리 체계가 발전함에 따라 연구실에서 사용하고 있는 화학물질의 종류 및 정확한 양에 대한 기록 등을 통해 물질별 사용 빈도를 고려한 규제물질 지정기준에 대한 연구가 진행되기를 희망한다. 또한, 전문가 인터뷰를 통해 각 대학별 화학물질 및 물질량을 조사하는 것이 필요하며, 나아가 정부에서 화학물질 CMS(Content Management System; 물질관리시스템)를 만들어 배포하는 등 여러 방안을 구축하여 확실한 화학물질 입출입 관리가 필요하다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서 살펴본 해외의 사례가 미국, 싱가포르로 한정되어 있어 추후 연구에서 더 많은 국가를 선정하여 비교한다면 더욱 의미있는 연구가 될 것으로 예상된다. 또한 혼합물에 대한 위험등급 기준 산정 방법은 고려되지 않아 추후 연구에서 관련 위험등급 산정에 대한 연구가 이루어지길 기대한다.

5. References

[1] Ministry of Science and Technology(2021, December), 2021 research on safety management in laboratories.
[2] Ministry of Education(2021, December), University laboratory accidents statistics and prevention guide.
[3] H. C. Park, S. H. Cho(2012), "A study on improvement of the safety level in university laboratory using the safety management assessment." Korea Safety Management & Science, 14(3):11-19.
[4] H. D. Hong, E. S. Cho(2018), "A study on the current

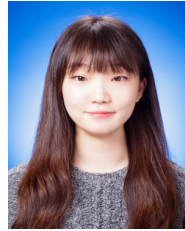
status of safety management in the laboratory and the factors affecting performance." Korean Public Management Review, 32(4):227-249.
[5] I. S. Woo, M. H. Hwang, H. J. Lee(2019), "A study on the system and operation of laboratory safety inspection and diagnosis." Journal of the Korean Institute of Gas, 23(2):45-54.
[6] United States Department of Labor(n.d.a), List of highly hazardous chemicals, toxics and reactives (Mandatory).<https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.119AppA>. (Accessed on 10 Oct. 2022)
[7] Harvard Campus Services(n.d.), Particularly hazardous chemical list. Environmental Health&Safety.
[8] NEA(n.d.), Chemical, National environment agency. <https://www.nea.gov.sg/our-services/pollution-control/chemical-safety/hazardous-substances>. (Accessed on 23 Oct. 2022)
[9] S. Lee, Y. Heo(2022), "A study on the actual condition and policy tasks of the elderly customized care service system in Korea." A Study Of Local Government, 26(1).
[10] J. W. Cresswell(2015), Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (2nd ed). Thousand Oak, CA: Sage.
[11] NUS(National University of Singapore)(2017), NUS laboratory chemical safety manual.
[12] United States Department of Labor(n.d.b), Chemical hazards and toxic substances. <https://www.osha.gov/chemical-hazards>. (Accessed 23 Oct. 2022)
[13] Seoul Economy(2022, April 26), Singapore University, the world's top university, "University and government are one body..." Testbedization of the Fourth Revolution. <https://m.sedaily.com/NewsView/264UFI11FX#cb>. (Accessed on 1 Oct. 2022)

저자 소개



김 덕 한

현재 인하대학교 대학원 글로벌산업환경융합 전공 석사 취득후, 인하대학교 대학원 환경안전 융합전공 박사과정 중
관심분야 : 화학물질 등록 및 평가, 화학물질 규제 및 관리 정책, 공공기관 안전관리등급제, ESG경영 등



김 민 선

인하대학교 국제통상학과/화학과 학사 취득
현재 인하대학교 대학원 환경안전융합전공 석사과정 중
관심분야 : 연구실 안전, 화학물질 등록 및 평가, 연구실 안전관리 제도



이 익 모

현재 인하대학교 자연대학 화학과 명예교수
관심분야 : 화학물질 안전 및 위해성, 화학물질 등록 및 평가, 화학물질 안전관리 정책, 대학 연구실 안전관리 제도 등