

연구실 사고분류 체계 개발

박교식[†]

명지대학교 화학공학과

(2016. 7. 12. 접수 / 2016. 8. 8. 수정 / 2016. 9. 2. 채택)

Development of Accident Taxonomy for Experimental Laboratory

Kyoshik Park[†]

Department of Chemical Engineering, Myongji University

(Received July 12, 2016 / Revised August 8, 2016 / Accepted September 2, 2016)

Abstract : The goal of this study is to analyze accidents occurred at experimental laboratory and to suggest hierarchical taxonomy applicable to prepare countermeasures reducing the experimental laboratory accidents. Recent 5 years accidents were analyzed and classified according to their primary cause, facility or human. Then in case of facility, the accidents were further classified whether they can be fixed by organization or by individual. In case of human factor, they were classified into physical, chemical, or biological to prepare precise measures. Depending on the adequacy of appropriate practice, several measures were suggested such as; whether to improve training of laboratory workers, or to improve training the system, or to improve or prepare practice substantially. A new taxonomy for laboratory accident was suggested complying other governmental agencies' classification such as KOSHA and KGS. Additionally, two kinds of possibilities were suggested such as possibility of major accident and possibility of disaster which can be defined as laboratory accident causing large scale of harmful consequence to residential area or environment by fire, explosion and/or toxic release of hazardous chemicals and/or microbiology.

Key Words : laboratory accident, taxonomy, measures to reduce accident, possibility of major accident, possibility of disaster

1. 서론

최근 들어 연구실에서는 가연성 증기나 인화성 가스가 연구실 내에 누출 인화되어 화재 폭발 사고가 발생하는 등 유사사고가 반복되어 이를 체계적으로 개선할 필요성이 증대되고 있다¹⁾. 연구실에서 발생하는 주요 사고원인은 실험 중 발생할 수 있는 위험에 대한 의식 부재, 설비 및 유지관리의 불충분, 연구실 기능의 미비, 협소한 실험공간 등으로 매우 다양하다. 이러한 연구실의 사고를 예방하기 위해 정부에서는 연구실에 대한 주기적 안전점검 및 정밀안전진단 등을 통해 과학기술 연구·개발활동 활성화를 모색하고 있으나, 실제 연구 현장에서 연구실 안전환경조성에 대한 의식수준이 부족한 실정이다. 이를 개선하기 위하여 연구실에서 발생하는 사고의 체계적인 분류기준을 마련하고 이를 바탕으로 안전사고에 대한 종합적인 안전대책 수립에 대한 보고·조사·관리기준 개발·보급하는 것이 시급히 필요하다고 본다.

사고의 분류는 안전대책수립의 시발점으로서 그 동안 연구실사고는 물론 항공사고, 방재안전사고 혹은 가스사고 등에서 빈번하게 관심을 끈 주제이다²⁻¹⁰⁾. 이 근원 등이 분석한 실험실 사고는 2006년부터 5년간 사고를 대상으로 하였으나 기존의 사고분류에 의하여 단순히 통계적으로 분석하여 이를 바탕으로 대책을 수립하기에는 미흡하였다⁵⁾. 엄석화 등이 분석한 실험실 사고는 사고원인을 규명함에 있어서 단순한 사고 1차 원인에만 국한하지 않고, 실험실 설비 등 H/W와 화학물질에 대한 MSDS 특성 파악 및 교육 등 S/W에 대하여 체계적인 원인규명이 필요하다고 하였고⁴⁾, 설문 등을 통하여 실험실 안전관리 실태를 파악하고자 하였다. 이 밖에도 가스사고분석 등을 통하여 사고대책을 수립하는 등 해당분야의 안전관리에 여러 가지 기여를 하고자 하였으며⁶⁻¹⁰⁾, 특히 박교식 등은 가스사고 분석시 최초로 계층적인 분석방법을 제안하여서 보다 정확한 분석에 의한 대책 수립이 되도록 하였다. 예를 들면 시설미비로 인한 가스사고도 LPG시설, 도시가스시설 및

[†] Corresponding Author : Kyoshik Park, Tel : +82-31-330-6385, E-mail : hwayi21@empal.com

Department of Chemical Engineering, Myongji University, 116, Myongji-ro, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 17058, Korea

고압가스시설에 따라 각각 그 대책을 다르게 수립하여야 하며 동일 종류 가스취급시설도 사용시설 혹은 공급시설에 따라서 각각 다른 맞춤형 대책이 필요함을 보였다⁸⁻⁹⁾.

본 논문에서는 「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」의 연구실 사고관리의 개념의 중요성을 인식하고 연구실 사고분류 체계를 마련하여 제시하였다. 이를 위하여 해외 연구실 사고관리 지침 현황을 조사하고 국내외의 사고분류체계를 조사하여 참조하였다.

2. 사고예방을 위한 연구실 사고분석

2007. 01 ~ 2012.05 발생한 국공립연구소 및 대학 연구실 사고자료를 토대로¹¹⁾ 분석하여 그 결과를 Table 1에 1차로 분류하였다. 분석의 주안점은 사고의 분석을 통하여 동종 유사사고 재발방지 대책을 마련하는데 초점을 두어서 계층별 분석을 실시하고 다수를 차지하는 사고의 예방 및 저감에 집중하여 단기간에 효율적인 대책을 수립할 근거를 도출할 수 있도록 하였다.

이전의 분류에 따르면 화재가 발생할 경우 핫 플레이트 등 전기기구에 의한 화재와 화학물질에 의한 화재가 동종원인으로 분류되어 이에 대한 정확한 대책마련이 어려웠다. Table 1에서 보듯이 인적요인 중 물리적인 원인에 의한 화상이 87건이고 화학적인 원인에 의한 화상이 67건으로서 각각 상당한 비중을 차지하며 이전의 분류에 따라서는 이들 둘 모두가 ‘실험실 화상’으로만 분류되어 이에 대한 대책수립을 할 수 밖에 없어서 정확한 대책수립이 어려웠다. 그러나 새로이 제시된 계층적인 분류방법에 의하면 결과가 화상일 경우 그 원인이 물리적인지 혹은 화학약품에 의한 것인지에 따라 이에 대한 대책 역시 매우 달라지므로 보다 효율적이다.

2.1. 사고의 분류

사고원인 분석 결과 우선 설비결함과 인적요인으로 분류하였으며 설비결함은 다시 설치불량과 관리불량으로 구분하였다. 설치불량에 대해서는 이를 시설관리부서에서 관리를 담당하므로 문제해결은 해당기관에서 책임지고 수행하도록 유도함이 바람직하다. 반면 관리불량은 연구실에서 실험시 설비를 관리하므로 이에 대한 문제해결은 각 연구실에서 책임지고 수행함이 바람직하다. 각각의 경우 피해유형은 화재가 대부분을 차지하므로(60%) 이에 대한 집중적인 대책이 필요하다. 또한 인적요인은 전체사고의 대부분(92%)을 차지하며 세부원인을 통하여 재분석하여 다음에 기술한다.

Table 1. Taxonomy of accident occurred at experimental laboratory

Institute type	Cause 1	Cause2	Consequence
Research (54)			
University (623)	Facility (70)	Bad installation (38)	Fire(26)
			Explosion(3)
			Others ¹⁾ (9)
	Bad maintenance (27)	Fire(13)	
		Explosion(6)	
		Others ²⁾ (8)	
	Unspecified (9)		
	Human (548)	Physical (405)	Cut(191)
			Burn(87)
			Injury(47)
			Cramped(21)
			Fall(26)
			Fracture(17)
			Bruise(7)
			Others ³⁾ (16)
Chemical (120)		Burn(67)	
		Inhale(28)	
		Eye/face(17)	
		Explosion(8)	
Biological (12)	Stabbed(4)		
	Bite(4)		
	Others ⁴⁾ (4)		
Unspecified (8)			
Others(2)			
Unspecified (5)			

- 1) fall, short circuit, leak, burn
- 2) short circuit, leak, burn
- 3) corneal damage, electric shock, toxic inhale, small-scale fire/explosion
- 4) toxic inhale, eye injury

세부원인 중 물리적 원인 및 화학적 원인인 사고가 생물학적인 사고 혹은 기타 사고에 비하여 대부분(96%)을 차지하고 있으므로 이에 대한 집중분석 및 대책 마련이 필요하다.

물리적 원인 사고는 약품이 아닌 물리적인 사고 형태로서 단순한 베임/찔림(자상/창상) 및 화상이 대부분(물리적 원인 사고의 69%)이며, 연구실에서 안전수칙 등을 마련하여 숙지함으로써 예방이 가능하다. 화학적인 사고는 화학약품에 의하여 얼굴/눈 및 전신에 화상을 입는 것으로서 이 역시 연구실에서 안전수칙 등을 마련하여 숙지함으로써 예방이 가능하며 이 밖의 화재/폭발, 생물, 전기적인 사고는 해당 분야별로 전문적인 교육이 필요하다.

2.2. 사고예방대책 수립

사고의 근원적인 저감을 위하여 연구활동종사자가 실수를 하더라도 사고로 이어질 개연성을 대폭 저감하도록 시설 개선을 지원하는 프로그램 마련이 필요하다고 본다. Fig. 1에 관련된 사고의 저감을 위하여 적절한 지침이나 표준이 있는지, 교육이 적절하게 이루어졌는지에 따라 적절한 조치를 취할 수 있는 논리도를 나타내었다. 즉 필요한 기준 및 지침서를 우선 마련하여야 할 것으로 본다. 이 경우 설비결함사고에 대해서는 시설 설치기준, 시설/장비 관리지침 등이 필요하고 인적 요인으로 인한 사고의 경우 각종 작업(실험) 지침, 안전수칙 등이 필요하다.

이를 각 기관에 적용할 때 다음과 같은 절차를 따르기를 제안한다. 즉, 각 기관별로 표준이나 지침이 법규에 의하여 구비하도록 되어 있으므로 이러한 표준이나 지침이 적절한지 살핀다. 이들이 적절할 경우 이를 적절하게 교육시켰는지를 확인하며 적절한 교육에도 불구하고 사고가 있다면 연구종사자에 대한 교육을 강화하는 것이 적절하다. 이는 그림 중 ①에 해당하는 대책으로서 집중적으로 교육하여야 할 분야는 계층적 사고 분류에서 분석된 결과를 바탕으로 하면 된다. 교육이 적절하지 못하다면 ②처럼 교육/훈련 시스템을 개선하면 될 것이다. 다음, 표준이나 지침이 적절하지 못하다면 ③과 같이 기존의 표준/지침을 개선하거나 새로운 것을 마련하는 것이 가장 효율적이다.

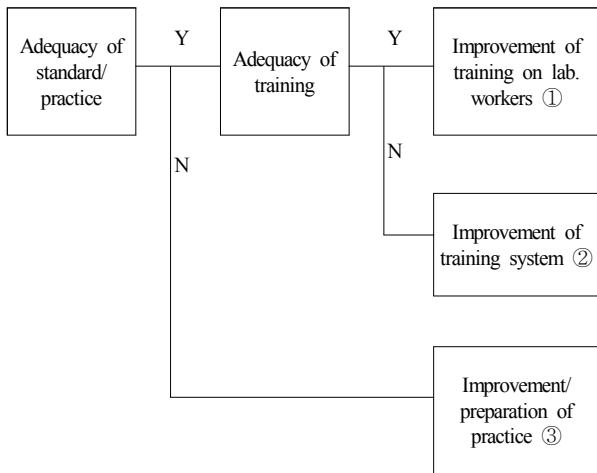


Fig. 1. Improvement or preparation of practice according to the adequacy to reduce relevant accident.

3. 연구실 사고분류 체계 제안

연구실사고 통계분석 결과와 관련부서인 고용노동부는 재해유형을 과거의 일본식 한자용어를 우리말 용어로

바꾸어서 2014년부터 적용하고 있다¹²⁾. 이에 따르면 사고 원인을 크게 떨어짐(구 명칭: 추락), 넘어짐(구 명칭: 전도), 깔림·뒤집힘(구 명칭: 전도), 부딪힘(구 명칭: 충돌), 물체에 맞음(구 명칭: 낙하·비래), 무너짐(구 명칭: 붕괴·도괴), 끼임(구 명칭: 협착) 등으로 구분하고 있다. 한 국가스안전공사는 사고 원인을 사용자취급부주의, 공급자취급부주의, 타공사, 시설미비, 제품노후·고장, 고의 사고 등으로 구분하고 있으나 이는 특정 분야에 대한 것이므로 안전보건공단의 분류를 참조하는 것이 바람직하다. 연구실 사고를 기계, 화학, 전기, 생물, 방사선, 작업, 시설물과 같은 7개 사고기인 위험유형으로 분류하고, 각각의 사고기인 위험유형에 따라 세부 위험유형과 사고유형으로 계층화하여 Table 2에 정리하였다¹³⁾. 사고기인 유형 중에서 기계의 경우는 세부 위험유형을 3개 유형(접촉 위험, 물리적 위험, 구조적 위험)으로 세분화를 하였으며, 각 세부 위험유형에 따라 발생할 수 있는 사고유형을 설정하였다. 접촉위험의 경우 끼임, 베임, 찰림, 골절상 등이 있고, 물리적 위험으로는 물체에 맞음, 떨어짐, 부딪침, 깔림·뒤집힘 등이 있으며 구조적위험은 파열, 파괴, 베임 등이 있다. 이들 중 끼임, 찰림, 넘어짐 등은 기존의 사고가 있었던 유형으로서 Table 4째 칸에서 Yes로 표시하였다. 이 중 끼임과 베임은 발생시 중대사고로 이어질 수 있음을 나타내며 특히 비록 지금까지 연구실에서 큰 사고가 발생하지 않았지만 향후 중대사고로 이어질 가능성이 크므로 이에 대한 대비가 필요하다. 화학의 경우는 세부 위험유형을 4개 유형(폭발 위험, 화재 위험, 누출 위험, 화상 위험)으로 세분화를 하였으며, 각 세부 위험유형에 따라 발생할 수 있는 사고유형을 설정하였다. 폭발, 화재, 독성 흡입 등은 중대사고로 이어질 수 있고, 특히 이들 3유형 모두 대형 연구실사고로 발전될 가능성이 매우 높아 이에 대한 철저한 대비가 필요하다. 전기의 경우는 세부 위험유형을 2개 유형(전기 위험, 정전기 위험)으로 세분화를 하였으며, 각 세부 위험유형에 따라 발생할 수 있는 사고유형을 설정하였다. 기존의 사고는 감전사고만 발생하였으나 산업체의 사고를 분류한 안전보건공단의 경우를 참조하면 감전사고 이외에도 폭발, 화재, 누전, 시력 장애 등의 사고가 발생할 수 있어 각별한 주의가 요망된다. 생물의 경우는 발생할 수 있는 사고유형을 감염, 누출, 물림을 설정하였으며 이 중 감염과 미생물의 누출은 현재까지 작은 사고도 없는 것으로 조사되었지만 향후 발생시 대형 연구실사고로 발전될 가능성이 매우 높다. 방사선의 발생할 수 있는 사고유형(방사선)을 설정하였다. 작업의 경우는 세부 위험유형을 2개 유형(무리한 동작, 이상운동 접촉)으로 세분화를 하였으며, 각 세부 위험유형에 따라 발생할 수 있는 사고유형을 설정하였다.

Table 2. Taxonomy of laboratory accident

Type	Hazard type	Consequence	Lab. accident	Possibility of major accident	Possibility of disaster*	
Mechanical	Contact hazard	Cramped(끼임)	Yes	Yes		
		Cut(베임)	Yes	Yes		
		Stab(찔림)	Yes			
		Fracture(골절)				
		Others				
	Physical hazard	Hit(맞음)				
		Fall(떨어짐)				
		Trip(넘어짐)	Yes			
		Collision(부딪침)				
		Others				
	Structural hazard	Rupture(파열)				
		Destruction(파괴)				
		Cut(베임)				
Others						
Chemical	Explosion hazard	Explosion(폭발)	Yes	Yes	Yes	
	Fire hazard	Fire(화재)	Yes	Yes	Yes	
	Leak hazard	Toxic inhale(독성흡입)	Yes	Yes	Yes	
		Leak(단순 누출)				
		Burn(화상)	Yes			
	Others	Others				
Electricity	Electric hazard	Electric shock(감전)		Yes		
		Explosion(폭발)				
		Fire(화재)		Yes		
		Electrical short(누전)	Yes	Yes		
		Visual disturbance (시력장해)		Yes		
	Others					
	Statistic electric hazard	Fire(화재)			Yes	
		Explosion(폭발)			Yes	
		Others				
Others						
Biological	Bio hazard	Infection(감염)		Yes	Yes	
		Leak(누출)		Yes	Yes	
		Bite(물림)	Yes			
		Others				
Radioactivity	Radio hazard	Radiation(방사선)				
Task	Overload	Muscular skeletal disease (근골격계 질환)				
	Abnormal temperature	Burn(화상)	Yes			
		Frostbite(동상)				
Others	Others					
Facility	Structural hazard	Collapse(부딪침)		Yes		
		Crack(균열)		Yes		
	Others	Others				
Others	Others	Others				

* disaster : laboratory accident causing large scale of harmful consequence to residential area or environment by fire, explosion and/or toxic release of hazardous chemicals and/or microbiology

연구실 안전환경 조성에 관한 법률 시행규칙 제1조의2의 4호 시행규칙 제1조의2에 의하여 사고발생 시 후유장애가 발생할 가능성이 큰 사고에 대하여 별도로 대형 연구실사고 발생 가능성이 있는 사고유형으로 분류하면 위에서 밝힌바와 같이 화학사고의 폭발, 화재, 독성흡입과

생물학적 사고의 감염과 미생물의 누출이다¹⁴⁾.

4. 결론

2007. 01 ~ 2012.05 발생한 국공립연구소 및 대학 연

구실 사고자료를 분석하여 이를 연구실의 사고저감을 위한 대책을 마련하는데 활용하고자 하였다. 우선 종전의 사고분류는 수평적이어서 최종 결과가 화상이면 같은 결과로 분류되었으며 이는 그 원인이 기계나 전기적인지 화학물질에 의한 것인지에 따라 대책이 매우 달라야한다는 점에서 불합리한 것이었다. 즉 전열기의 과열로 인한 화상과 화학물질의 반응 등에 기인한 화상은 그 대책이 달라야함에도 불구하고 같은 부류로 취급되어 전체적인 파악과 대책수립에 적절한 분류체계가 아니었다. 본 논문에서 Table 1에서 제안한 1차 분류체계는 이러한 단점을 보완하고 사고저감대책을 마련하는데 활용하기 쉽도록 분류를 시행하였다. 다음, 이러한 1차 분류를 토대로 안전보건공단 등 유사기관의 사고분류체계를 참조하여 용어 등을 통일하고 연구실에서 기존의 발생하지 않았던 사고분류도 포함하여서 Table 2에서와 같이 새로운 분류체계를 제안하였다. 여기에는 지금까지 연구실에서 사고가 발생하지는 않았지만 발생시 중대사고로 이어질 수 있는 사고가 포함되어 이에 대한 체계적인 대비가 가능하게 되었다. 즉 전기로 인한 감전이나 화재, 시력장애와 정전기로 인한 화재, 폭발, 그리고 미생물로 인한 감염과 누출 시설의 구조적인 결함에 의한 부딪침과 균열 등은 지금까지 연구실 사고사례가 없었지만 향후 발생할 수 있으며 발생시 중대사고로 이어질 수 있다. 또한 화학물질에 의한 화재, 폭발, 독성흡입은 작은 사고부터 대형연구실사고까지 발생이 가능하고 미생물에 의한 감염이나 누출 또한 대형연구실사고로 이어질 수 있으므로 보다 철저한 대비가 필요하다.

이처럼 계층적인 분류체계(Hierarchical taxonomy)를 적용하면 사고의 원인파악은 물론 체계적인 대책수립에까지 폭넓게 활용할 수 있으리라 기대된다.

References

- 1) K. -W. Lee and Y. -R. Choi, "Actual Condition and Realization of Important on Laboratory Safety Management in Chemical Laboratories", KIGAS, Vol. 16, No. 2, pp. 60-66, 2012.
- 2) K. S. Lee and E. S. Seol, "A Study on the Classification System of Aviation Accidents in Major Countries", J. Aviation Management Society of Korea, Vol. 8, No. 2, pp. 87-100, 2010.
- 3) C. O. Kim, "Classification System for Accident Focusing with Safety Engineering in Disaster Prevention", Ph.D. Thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2009.
- 4) S. H. Eom and S. K. Lee, "A Study on Analysis of Laboratory Accident with Root Cause Analysis, KIGAS, Vol. 14, No. 4, pp. 1-5, 2010.
- 5) K. -W. Lee and J. -S. Lee, "A Study on the Analysis of Accident Cases in Laboratories", KIGAS, Vol. 16, No. 5, pp. 21-27, 2012.
- 6) S. -K. Lee, Y. -S. Yoon, and S. H. Eom, "Cause Analysis and Development of Root Cause Analysis Map Using Data of Chemical Laboratory Accidents", KIGAS, Vol. 18, No. 4, pp. 86-94, 2014.
- 7) Y. -T. Hur and S. -K. Lee, "Investigation of the Gas Accident Models through the Analysis Gas Accident Occurring Environment", KIGAS, Vol. 14, No. 2, pp. 27-33, 2010.
- 8) K. Park and E. -J. Kim, "Gas Accident Analysis and Suggestion of Countermeasure at Thawing Season". KIGAS, Vol. 4, No. 2, pp. 46-51, 2000.
- 9) K. Park and J. -Y. Kim, "An Analysis of Gas Accident between 1995 and 1998, and Suggestion of Accident Reduction Countermeasures", KIGAS, Vol. 4, No. 3, pp. 1-8, 2000.
- 10) N. J. Jang, K. Han, W. So, J. Yong, Y. Yoon and E. -S. Yoon, "A Study on the Classification Codes and Database of Chemical Accidents", KIGAS, Spring Meeting, pp. 63-67, 2009.
- 11) http://www.labs.go.kr/modedg/contentsView.do?ucont_id=CTX000011&menu_nix=5J0D2HzG
- 12) KOHA, "Annual Accident Report in Industry", 2014.
- 13) KOSHA, KOSHA GUIDE P-58-2012, "Technical Guideline of Accident rsonse to Hazardous Release", 1995.
- 14) Ministry of Science, ICT and Future Planning, Diective 60, "Guideline of Organization and Operation of Laboratory Accident Investigation Team", 2012.