



연구 실험실 사고의 근본원인분석 Map 개발에 관한 연구

*엄석화 · 이수경

서울산업대학교 에너지환경대학원
(2010년 6월 30일 접수, 2010년 8월 18일 수정, 2010년 8월 18일 채택)

A Study on Development of Root Cause Analysis Map In Laboratory

*Seok Hwa Eom · Su Kyung Lee

Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Technology
(Received 30. June. 2010, Revised 18. August. 2010, Accepted 18. August. 2010)

요 약

연구실험실 사고 방지를 위하여 2005년 연구실 안전환경조성에 관한 법률이 법제화되어 국내 대학 또는 국공립출연 연구소나 기업부설 연구소 실험실에서는 안전관리시스템을 구축하고, 안전점검과 정밀안전진단을 실시하고 있음에도 불구하고 폭발, 화재 등 각종 대형 사고가 지속적으로 발생하여 연구 활동 종사자의 인명 피해와 재산 손실이 상당한 수준에 이르고 있다. 또한 연구실험실에서 발생하는 사고는 유사한 내용으로 반복적으로 발생되고 있으므로 이러한 사고의 원인분석과 재발 방지를 위한 안전관리 대책이 시급하다. 따라서 본 논문에서는 국내·해외 대학 또는 국공립출연 연구소나 기업 부설 연구소 실험실에서 발생한 사건·사고에 대해 Root Cause Analysis 기법을 이용하여 사고원인 조사 결과를 보여주고, 이에 따른 실험실 사고원인 조사 분류 Map과 개선사항을 제시하여 연구실험실의 안전관리를 향상시키고자 한다.

Abstract - The continuous fatal accidents like explosion or fire cause huge losses of both life and property in laboratories even though safety management system has been built and periodical checkups and safety diagnosis have been implementing in universities and enterprise-affiliated research institutes since Act on the Establishment of Safe Laboratory Environment was enacted in 2005 to prevent accidents in research laboratories. Cause analysis and safety management measures to prevent recurrence of accidents are urgently needed because accidents in research laboratories occur repeatedly with similar contents. This study will show results of analysis on incidents and accidents occurred in laboratories in universities and enterprise-affiliated research institutes using Root Cause Analysis Method and propose classified map of cause investigation and improvements so as to improve safety management in research laboratories.

Key words : Risk assessment, Root Cause Analysis, Laboratory Safety Control

1. 서론

21세기 과학기술은 국가 경쟁력의 근원이며 산업발전의 핵심적인 요인이라 할 수 있다. 연구활동 종사자는 신기술 개발을 위해 인체에 치명적인 영향을 미치는 각종 유해화학 물질 및 위험 기기사용

이 증가함으로써 물리적, 화학적, 생물학적 위험에 노출되어 안전사고가 우려된다. 그 결과, 연구실험실에서는 각종 사고가 빈번히 발생하여 국가 발전의 원동력이 되어야 할 과학기술 발전에 차질이 생기고 또한 인명 피해 및 재산 손실이 커가고 있다. 2001년 8월 대전 OO 기관에서는 진공펌프 파열에 의한 화재로 실험실이 전소 되었고, 2003년 5월 대전 OO 기관에서는 과산화수소 촉매 반응 실험

*주저자:eom@kgs.or.kr

험중 혼합가스 누출·폭발로 1명이 사망하였고, 2명이 부상 당 하였으며, 2005년 1월 서울 OO기관에서는 반응기 폭발로 인하여 연구원이 6명이 부상을 입는 등 실험실 안전관리에 문제점이 많았다. 따라서 교육과학기술부에서는 이러한 사고 방지를 위해 대학 또는 국공립 출연 연구소나 기업 부설 연구소의 연구 활동 종사자가 실험도중에 있을 수 있는 사고를 예방하고, 쾌적한 실험환경을 조성하기 위하여 2005년 연구실 안전 환경조성에 관한 법률이 제정 되어 2006년 4월 1일부터 시행하였다. 이 법률에 따라 연구실험실은 안전관리시스템을 수립하고, 안전점검과 정밀안전진단을 실시하고 있지만 2008년 5월 서울 OO 대학에서 톨루엔 건조과정중 나트륨과 물 반응에 의한 폭발로 인하여 2명이 중상을 입었고, 2009년2월 대전 OO 기관에서는 무기나노 복합체를 만들던 중 산화성 고체(질산칼슘) 취급 부주의로 1명이 중상을 입는 등 대형 사고가 줄어들지 않고 있는 실정이다. 이러한 실험실 사고 방지를 위해 체계적이고 과학적인 원인조사과 유사한 사고의 재발 방지를 위한 안전관리 대책 수립이 필요하다.

본 연구는 국내 및 해외(미국, 일본, 캐나다 등) 대학 또는 국공립출연 연구소나 기업부설 연구소 실험실에서 발생한 사건·사고를 근본원인분석 기법을 이용하여 사고 원인을 조사하는 한편 유사한 사고 방지를 위해 국내 실험실에 적합한 사고원인 분석 Map 과 개선사항을 제안하여 연구 활동 종사자의 인명과 재산 피해를 줄이고, 국내 연구실험실에 대한 안전관리를 향상시키고자 한다.

II. 이론

Root Cause Analysis은 환경 및 안전 등의 측면에서 사건에 대한 근본원인을 조사하고 분류하는데 사용하는 도구이다. 효과적인 근본원인분석을 위해서는 몇 가지 확실한 문제 해결 방법론과 진술(즉, 사건이 무엇이고 왜 일어나는가를 밝히기 위해 만들어진, 잘 정의된 구조적 접근방법)의 정확한 적용이 필요하다. 이러한 도구를 순서에 맞게 정확하고 엄격하게 사용하면 매우 복잡한 사건일지라도 그 주요원인을 쉽게 발견할 수 있다. 잠재적 사건의 근본원인분석은 ①자료수집 ②자료 분석 ③근본원인확인 ④개선사항 4 단계로 이루어진다.

2.1 Step 1: 자료수집

근본원인분석의 첫 번째 단계는 자료를 모으는 것이다. 완전한 정보 및 사건의 이해 없이는 사건과

관련된 원인 인자와 근본원인은 확인할 수 없다. 자료 유형에는 4가지 종류가 있는데, 즉 사람, 물질, 위치, 문헌이다. 이중 가장 손실되기 쉬운 것은 사람에게 의한 자료이다.

2.2 Step 2 : 자료분석

자료 분석은 조사관이 수집한 정보를 분석하고 분류하는 단계이다. Cause Factor Charting은 조사관이 처음부터 마지막까지 사건을 그래픽으로 묘사하는 순차적 도표이다. Cause Factor Charting 기법은 사건에 대한 근본원인을 조사하기 위한 분석 기법으로 미국 교통안전위원회 소속 Ludwig Benner와 그의 직장 동료들이 처음 개발하여 사용했다.

2.3 Step 3 : 근본원인 확인

한 개의 Cause Factor에 대해 한 개 또는 둘 이상의 근본원인이 존재 할 수 있으므로 각각의 Cause Factor가 한 번에 하나씩의 Root Cause Map을 활용하여 분석하고 사건에 대한 근본원인을 추적한다. Root Cause Analysis Map은 다음 Table 1과 같이 일반적으로 5단계로 분류하여 사용한다.

2.4 Step 4 : 개선대책 수립

개선 대책은 Root Cause Analysis의 마지막 단계로써 가장 중요하고, 신중하게 고려되어야 한다. Root Cause를 확인한 후, 사건의 재발 방지를 위하여

Table 1. Level of Root Cause Analysis Map.

Shape	Description	Examples
	Primary Source	<ul style="list-style-type: none"> Personnel Error Equipment Error Others
	Problem Category	<ul style="list-style-type: none"> Equip. Design Facility Natural Phenomena
	Root Cause Category	<ul style="list-style-type: none"> Personal Perform. Manag. System ERP Implementation
	Near Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> No training Improper Preventive Maintenance Procedure Confusing
	Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> Improper Actions Improper Maintenance Improper Training

시정 및 예방조치에 대한 개선 대책을 제시한다. 개선 대책은 구체적인 문제점과 유사한 기존의 문제점 그리고 문제점을 발생 시키는 시스템이 제거될 수 있는 대책을 제시 하여야 한다.

III. 사고 원인분석 및 Map개발

3.1 사고 유형 분석

최근 교육과학기술부, 서울대학교 환경안전원과 한국엔지니어링협회, 교육시설재단공제회의 사건·사고와 해외(미국, 일본, 캐나다 등) 대학 또는 국공립출연 연구소나 기업부설 연구기관 실험실에서 발생한 사건·사고를 조사한 결과 11년(1999년~2010년)간 206건이 조사되었다. 그 사건·사고 사례를 근본원인분석 기법을 이용하여 사고 원인을 분석하였다. 연구 실험실에서의 사고의 유형은 Table 2에서 알 수 있듯이 누출·폭발이 38.3%, 화재가 16.0%, 골절·창상이 25.8, 화상이 13.6% 발생하였다. 사고를 발생시키는 매개체는 기기접촉이 31.6%, 유해화학 물질이 35.8% 가스가 24.3%, 전기과열이 6.8%이다. 이러한 사고 중에서 대형 인명 피해 및 재산

Table 2. Accident Rate According to Type and Substance.

Type	Rate	Substance	Rate
Leak/Explosion	38.3%	Gas	24.3%
Fire	16.0%	Organic Chemistry	35.8%
Fracture/Cut	25.8%	Equip. Contact	31.6%
Burn	13.6%	Electric Overheat	6.8%
Others	6.3%	Others	1.5%

손실을 일으키는 사고는 가스 및 유해화학 물질에 의한 누출·폭발 사고와 전기 과열에 의한 화재사고이며, 경미한 사고는 골절 및 창상의 원인이 되는 기기접촉에 의한 사고들 이다.

3.2 Root Cause Analysis Map 분석결과

위의 자료들로 얻은 연구실험실 사건·사고 사례(206건)에 대해 상기 Table 1에서 제안한 사고 원인 조사 분류체계를 기본으로 하여 사고 원인에 대한 분석한 결과는 Fig.1에 나타낸바와 같다. 이러한 사고 발생 원인 중에서 Personal Performance에 의한 사고 원인이 32.5%, 장비신뢰성에 의한 사고원인이 15.5%, 관리시스템에 의한 사고원인이 14.6%이다, 이 중 3개 분야가 전체 62.6%를 차지하므로, 연구 실험실에서 이 부분을 중점관리 한다면 실험실 사고를 효과적으로 줄일 수 있을 것이다

3.3 사고 원인조사 분류 Map 개발

상기의 Fig.1의 사고 발생 원인 중에서 가장 빈도가 높은 3개 분야에 대해 사고원인 조사 분류 Map을 개발하여 Table 3~Table 5와 같이 나타내었다.

3.4 원인조사 분류 Map에 따른 개선대책

상기 Table 3~Table 5에서 나타낸바와 같이 실험실 사고원인 조사 분류 Map에서 사고원인이 가장 높은 ①Personal Performance ②장비신뢰성 ③관리시스템 3개 분야에 대해 다음과 같이 개선 대책을 제시하였다.

1) Personal Performance 개선 사항

- 실험실 관련 법규/절차/규정을 준수하도록 실험전 교육을 실시한다.
- 안전수칙을 준수하도록 의식교육을 실시한다.
- 실험자가 해당 실험방법을 숙지/이해하도록 감독자가 교육을 실시한다.
- 실험자가 물질안전자료(MSDS)특성을 이해를 하였는지 평가한다.

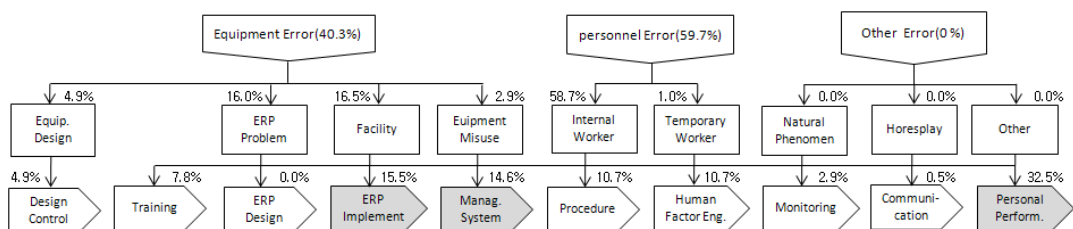


Fig. 1. Tree of Root Cause Analysis.

Table 3. Personal Performance Problem.

Near Root Cause	Root Cause
No attention	Not Comply with Procedure
	Not Comply with Regulation
	Not Comply with Policies/Standard
Improper Problem Detection	No Perceptual Capability
	No Reasoning Capability
	No Physical Capability
	Personal Problem
Personal Mistake	Confusion for Task
	No Qualified Person
	Improper Person

Table 4. ERP Implementation Problem.

Near Root Cause	Root Cause
Improper Corrective Maintenance	Improper Corrective Action
	Improper Implementation
Improper Preventive Maintenance	Improper Frequency
	Improper Scope
	Improper Activity Implement.
Improper Predictive Maintenance	Improper Detection
	Improper Monitoring
	Improper Corrective Action
	Improper Activity Implement.
Improper Failure finding Maintenance	Improper Frequency
	Improper Scope
	Improper Corrective Action
	Repair Implementation
Improper Routine Equipment Round	Improper Frequency
	Improper Scope
	Improper Activity Implement.

- 실험자 선정기준이 실험을 하는데 적합한지 확인한다.
- 실험자에 대해 신체적조건, 지각력, 이해력 등 실험 능력을 확인한다.
- 실험자가 실험하는데 적격한 인원인지 확인한다.
- 실험방법을 인지할 수 있도록 지시한다.

2) ERP(장비신뢰성) Implementation 개선사항

Table 5. Management System Problem.

Near Root Cause	Root Cause
Standard/Policy Control Not Used	Improper Communication of SPC
	Recently Changed
	Improper Enforcement
Improper Regulation/Law Control	Identification of Regulation/Law
	Not Yet Distributed to Worker
	Improper Procedure
	No Applied Procedure
Risk Review	Not Yet up-to-date Regulation/Law
	Improper Review or Not Performed
	Recommend Not Yet Implemented
	Improper Risk Acceptance Criteria
Problem Identification/Control	Improper Risk Review Procedure
	Improper Problem Reporting
	Improper Problem Analysis
	Improper Audit
Environment Aspects	Improper Corrective Action
	C.A Not Yet Implemented
	No Procedure of Environ. Aspects
	Improper Criteria of Environ. Aspects
	No Identific. of Env. Effects
	No Applied Procedure
Material Control	Improper Disposal of Waste
	Improper Labeling of Waste
	Bad Storage with Condition
	Improper Handling
	Improper Storage
	Improper Packing&Shipping
Management of Change	Unauthorized Material Substitution
	Improper Material Accept. Criteria
	Improper Material Inspection
	No Risk Review
Management of Change	Improper Procedure of MOC
	Improper Criteria of MOC
	No Verification of MOC
	Content Not Kept Up-to-Date

- 장비/시설의 점검 주기, 범위 및 방법이 적합한지 확인한다.
- 가스누설 탐지를 위한 검지기와 환기구 설치의 적정성을 확인한다.

- 실험전 장비/시설에 대해 미비한 사항이 해결되었는지 확인한다.
- 부적합 장비에 대한 시정조치가 완료되었는지 확인한다.
- 장비/시설에 대한 예방점검 주기, 범위 및 방법이 적합한지 확인한다.
- 장비/시설의 고장발견을 위한 점검 주기, 범위 및 방법이 적합한지 확인한다.
- 장비/시설에 대해 예방·사전점검, 후속조치가 완료되었는지 확인한다.
- 용기 보관 장소 및 취급이 적절한지 확인한다.

3) Management System 개선사항

- 실험에 요구되는 실험 방법 및 안전수칙, 준수사항 등을 파악하고 작성한다.
- 실험 기준 및 규정이 실험자에게 정확히 전달되어야 한다.
- 실험 절차, 기준 및 규정이 최신으로 변경되어야 한다.
- 절차, 기준 및 규정이 실험 방법에 부합하도록 정기적으로 검토한다.
- 실험실에 필요한 관련 법률을 파악하고, 관리하는 규정을 작성한다.
- 실험 관련 법규를 실험자가 식별·습득하도록 보관하고 교육한다.
- 정기적으로 최신 법률을 파악하여 관리한다.
- 실험 장비 및 시설 기준이 해당 법규에 부합한지 정기적으로 검토, 확인한다.
- 잠재적인 위해 요소를 파악하고, 평가하는 규정을 작성한다.
- 위험성 평가기준이 해당 실험실에 적합한지 확인한다.
- 실험실 특성에 적합한 위험성 기법을 적용한다.
- 잠재적인 위해 요소를 관리하도록 실험실 특성에 적합한 점검주기 및 방법을 설정한다.
- 위험성 평가자 기준을 명확히 설정하고, 평가한다.
- 안전성 검토회의 결과를 실험자에게 전달한다.
- 부적합사항에 대한 보고 절차를 작성한다.
- 부적합에 대한 원인조사를 체계적으로 분석한다.
- 자체감사가 문제를 파악하기 위해 독립성이 보장되도록 책임과 권한을 부여한다.
- 감사자의 적격성을 평가하고, 적격한 인원에 의해 감사를 실행한다.
- 부적합사항에 대한 시정조치를 기한 내에 완료한다.
- 시정조치는 재발을 방지할 수 있도록 유사한

부적합을 확인하고, 시정한다.

- 인체 및 환경에 미치는 요소들을 파악하고, 절차를 작성한다.
- 유해화학 물질에 대한 환경측면 파악 기준이 해당 물질특성에 적합하게 설정한다.
- 유해화학 물질에 대한 폐기물 처리를 해당 규정에 따라 처리한다.
- 폐기물질은 성상별로 보관·취급 관리한다.
- 장비 및 유해물질 특성에 적합한 개인 보호장구를 파악, 구입 및 착용한다.
- 유해물질 취급에 적합한 장비를 선정, 취급한다.
- 장비 및 유해 물질을 규정된 장소에 보관하고, 정기적으로 점검한다.
- 부적합한 장비 및 유해물질은 사용이 배제되도록 격리된 장소에 보관 또는 포장한다.
- 유해 물질 파악 및 승인 기준을 작성하고, 승인되지 않은 물질은 사용되지 않도록 식별 관리한다.
- 장비/시설은 규정된 주기 및 절차에 따라 점검한다.
- 장비, 절차, 인원 및 물질 변경시 유해한 요소를 식별하기 위한 절차를 작성하고, 파악한다.
- 변경관리를 위한 절차가 준수되고 있는지 검토하고, 기준이 부합한지 확인한다.
- 변경 시에는 항상 승인자의 승인을 얻는다.
- 장비/시설 및 유해 화학 물질에 대한 자료를 최신으로 작성, 관리한다.
- 변경사항에 대해 모든 실험자가 이해할 수 있도록 교육한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 최근 11년간 연구 실험실에서 발생한 사건·사고 사례를 근본원인분석 기법을 이용하여 그 원인을 분석하였다. 연구실험실 중에서도 사고 발생 위험이 가장 높은 유해화학 취급 실험실에 대한 사고 원인조사 분류 Map을 개발하여 실험실 안전관리 향상을 위한 개선 사항을 제안하였다. 제안된 사고발생 주요 원인은 ①Personal Performance에서는 연구 종사자 부주의로 인한 안전수칙 미준수, ②장비신뢰성에서는 장비/시설의 정기점검 및 예방 점검 미흡, ③관리시스템에서는 실험실 법규 및 위해 요소 파악 미흡, 유해화학 폐기물 관리 미흡, 변경관리 미흡이 주요 원인으로 조사되었다. 따라서 본 논문에서는 실험실 사고 방지를 위한 안전관리 대책의 일환으로 연구 종사자의 안전의식 고취를 위한 정기적인 교육 실시가 필요하고,

유해 화학 물질에 대한 MSDS(물질안전자료) 특성 파악 및 성상별 식별·보관 관리 등에 대해 세심한 주의가 필요함을 개선사항으로 제안하였다. 아울러 본 연구가 향후 연구실험실의 안전 관리 수준 향상을 위한 안전관리체제 개발의 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] CCPS, "Guidelines for Investigating Chemical Process Incidents" American Institute of Chemical Engineer, New York
- [2] Root Cause Analsys Handbook, A Guide to Effective Incident Investigation", Risk & Reliability Division, ABS Group, Maryland 1999
- [3] Max Ammerman, "The Root Cause Analysis Handbook", Productivity, Oregon, 1998
- [4] Robert J. Latino, Kenneth C. Latino, "Root Cause Analysis : Improving Performance for Bottom Line Results" Reliability Center, New York, 1999
- [5] William G. Johnson "MORT Safety Assurance System" Safety System Management, California, 1980.
- [6] David b Brown, "System Analysis and Design for Safety", Prentice-hall, New Jersey, 1976
- [7] 고재욱, "가스사고 근본원인 해석시스템의 이해, 기술논단, 2002
- [8] 윤인섭외5명, "화재·폭발 위험물질의 위험성 평가방법에 관한 학술연구 용역", 한국화학공학회/서울산업대학교, 1995. 10
- [9] 교육과학기술부, 서울대학교 환경안전원, "국내외연구·실험실사고 사례 모음", 2008
- [10] 교육과학기술부, 한국엔지니어링진흥협회, "연구실 안전환경관리·개선 보고서" 2009
- [11] 교육과학기술부, 교육시설재난공제회, "대학연구실 안전사고 사례", 2008
- [12] 한국엔지니어링협회 홈페이지(연구실안전정보망), "www.labs.or.kr"