



근본원인분석 기법을 활용한 실험실 사고 분석에 관한 연구

*엄석화 · 이수경

서울산업대학교 에너지환경대학원
(2010년 6월 21일 접수, 2010년 8월 18일 수정, 2010년 8월 18일 채택)

A Study on Analysis of Laboratory Accident with Root Cause Analysis

*Seok Hwa Eom · Su Kyung Lee

Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Technology
(Received 21. June. 2010, Revised 18. August. 2010, Accepted 18. August. 2010)

요 약

국내 대학 또는 기업 부설 연구소 실험실에서 유해화학 물질 사용 증가에 따라 가스누출 등으로 인한 폭발·화재 등 각종 대형 사고가 발생하여 사회적 이슈로 관심이 집중되었고, 실험실에서 안전관리에 대한 중요성이 강조되어 국내 대학 또는 기업 부설 연구소에서 연구 실험하는 연구 활동종사자의 생명과 신체를 보호하고, 쾌적한 실험 환경 조성을 위하여 연구실 안전환경조성에 관한 법률이 제정되었다. 국내 대학 또는 기업 부설 연구소에서는 이러한 사고 방지를 위하여 실험실 안전관리체계를 구축하고 안전점검과 경밀안전진단 등을 실시하고 있다. 이러한 조치에도 불구하고 국내 실험실에서는 사고가 지속적으로 발생하여 사고에 대한 근본원인분석이 필요한 실정이다. 이 논문에서는 국내 대학 또는 기업 부설 연구소 실험실에서 발생한 사건·사고에 대해 근본원인분석(Root Cause Analysis) 기법을 활용하여 사고 원인에 대해 분석한 결과를 보여주고, 국내 실험실의 안전관리방향을 제시 하고자 한다.

Abstract - Many sorts of fatal accidents like explosion or fire caused by gas leakage have become a social issue with the increasing use of harmful chemicals in laboratories in universities and enterprise-affiliated research institutes in Korea. Importance of safety management has been emphasized and it made Act on the Establishment of Safe Laboratory Environment enacted not only to protect lives and bodies of people working in laboratories in universities and enterprise-affiliated research institutes but also to make pleasant experimental atmosphere. Safety management system has been built and periodical checkups and safety diagnosis have been implementing in universities and enterprise-affiliated research institutes to prevent such accidents. However, in spite of those actions, continuous accidents make analysis of root cause essential. 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 the direction of safety management.

Key words : Risk Review, Root Cause Analysis, Laboratory Safety & Environment

I. 서 론

산업의 급속한 발전에 따라 실험 업무의 중요성이 날로 증가하고 있고, 실험 수행 업무도 복잡·다양해져 새로운 형태의 잠재위험 요소가 증가되고 있다.

실험실에서 사용되는 각종 유해화학 물질 및 기기 사용 증가에 따른 위험성 등 실험실 안전에 관한 관심이 고조되고 있다. 실험실은 한국을 이끌 젊고 유능한 인재들의 주요 활동 공간이며 연구 성과를 창출 하는 장소이나, 다양한 물리·화학·생물학적 위험 물질에 노출되어 있어 안전문제가 심각한 실정이다. 그 결과, 실제 실험실에서 각종 사고가

*주저자:eom@kgs.or.kr

자주 발생하여 국가 발전의 원동력이 되어야 할 과학기술개발에 중대한 차질이 발생하고 또한 인적·물적 손실이 커져가고 있다. 국내 실험실의 사고는 대부분 언론에 보도되지 않았으나, 1999년9월 서울 OO 대학교 원자력 핵공학과와 실험중 폭발사고로 인한 3명의 사망과 2006년1월 경기 OO 대학교 실험실 폭발 사고, 2006년9월 서울 OO 대학교 실험실 약품반응 폭발 사고, 2006년9월 서울 OO 기관 재료실험 화재 사고 등으로 사회적 이슈로 관심이 집중되어, 실험실에서 안전관리에 대한 중요성이 강조 되었다. 따라서 기업 부설 연구소나 대학의 실험 실습하는 연구 활동종사자가 실험도중에 있을 수 있는 사고를 예방하고, 쾌적한 실험환경을 조성하여 연구 활동 종사자의 생명과 신체의 안전을 도모하고 질병을 방지하여 건강을 유지 증진시키기 위한 연구 활동 종사자를 보호하는 제도로 연구실 안전 환경조성에 관한 법률이 제정되었다. 국내 대학 및 기업 부설 연구소에서는 이러한 법률에 따라 안전관리체계를 구축하고, 안전 점검과 정밀안전진단을 실시하고 있지만 2008년 7월 울산 OO기관 혼합가스 누출 폭발사고로 인한 1명의 사망과 2명의 중상과 2009년1월 대전 OO기관 반응기 폭발로 인한 1명의 사망과 1명의 중상 사고 등 대형 사고가 지속적으로 발생하고 있으므로 실험실 사고에 대해 체계적이고 과학적인 사고 원인 조사 분석과 동종의 유사한 사고를 재발방지를 위한 대책 수립이 필요하다.

본 연구는 국내 실험실에서 발생한 사건·사고 사례를 근본원인분석(Root Cause Analysis)기법을 활용하여 사건·사고의 근본적인 원인을 체계적으로 분석함으로써 연구 활동 종사자의 인명과 재산 손실을 줄이고, 국내 실험실의 안전관리방향을 제시 하고자 한다.

II. 이 론

근본원인분석은 안전, 보건, 환경 및 품질 그리고 생산 영향 등의 사건에 대한 근본원인을 조사하고 분류하는데 이용하는 체계적인 기법이다. 근본원인 분석은 조사원이 특정 기간 동안 무엇이 발생 했는지 기술하고, 그 사건이 어떻게 발생했는지 결정하며, 그 사건이 왜 발생되었는지를 체계적으로 분석하도록 고안된 단순한 도구이다. 잠재적인 사건에 대한 근본원인분석은 Fig. 1.과 같은 과정으로 이루어진다.

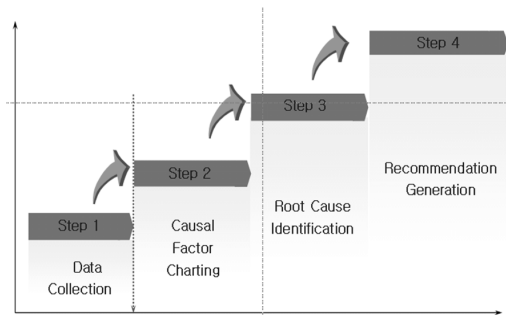


Fig 1. 4 Step of Root Cause Analysis.

○ 근본원인분석의 4단계

(1) 1단계: 자료수집 및 보존

자료수집 활동으로부터 얻은 사실적 증거는 모든 결론 및 근본원인 분석에 의해 생성된 권고사항에 영향을 미친다. 자료 수집은 분석하는 동안 계속되는 작업이다. 자료(Data)의 유형은 사람, 물질, 위치, 문헌 등 4가지이며, 이러한 자료에서 가장 변형하기 쉬운 것은 사람에 의한 자료이다. 자료는 자연적 손상을 방지하기 위해 빠른 시일 내에 수집되어야 한다.

(2) 2단계: 자료 분석

자료 분석은 조사원의 수집된 정보를 분석하고 조직하는 방법이다. CF Charting 조사원이 처음부터 마지막 까지 사건을 그래픽으로 묘사하는 Sequence Diagram이다. CF Charting 기법은 사건 조사의 분석 도구의 활용을 위해 미국 National Transportation Safety Board 소속 Ludwig Benner와 그의 동료들이 처음 개발하여 사용했다. 이 기법은 사건 주변의 조건(Condition)과 원하지 않은 사건까지 발생 순서로 묘사 할 뿐만 아니라, 사건 발생을 나타내는 Sequence Diagram으로 표현 한다. 따라서 자료 분석으로 부터 사건 발생 주요원인 인자(Cause Factor)를 찾을 수 있다.

(3) 3단계: 근본원인 확인

Root Cause Map으로 불리는 Decision Diagram을 이용한다. 각 각의 Causal Factor가 한번에 하나씩 Root Cause Map을 활용하여 분석된다. Map은 조사원이 Cause Factor가 존재하거나 발생하는 이유에 대한 질문에 답할 수 있도록 하는 Reasoning Process로 구성된다. Root Cause Map은 다음 Table 1과 같이 4~5 단계(LEVEL)로 분류 된다.

Table 1. Level of Root Cause Map.

| Level | Description | Examples |
|-------|---------------------|---|
| I | Primary Source | <ul style="list-style-type: none"> • Personnel Error • Equipment Error • Others |
| II | Problem Category | <ul style="list-style-type: none"> • Equip. Design • Facility • Natural Phenomena |
| III | Root Cause Category | <ul style="list-style-type: none"> • Design Input • Human Factors Eng. |
| IV | Near Root Cause | <ul style="list-style-type: none"> • No training • Procedure Confusing |
| V | Root Cause | <ul style="list-style-type: none"> • Improper Actions • Improper Maintenance • Improper Training |

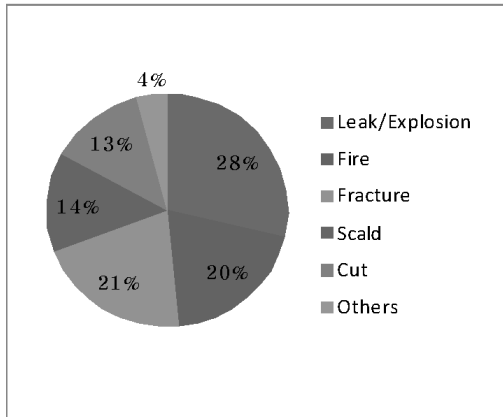


Fig 2. Type of Accidents.

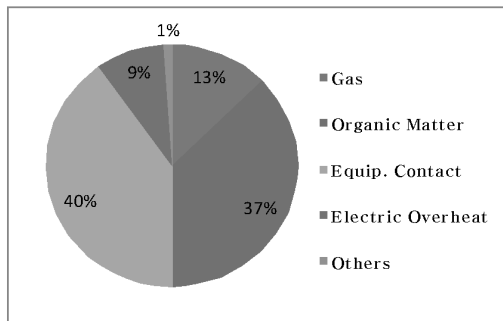


Fig 3. Type of Accident Substance.

(4) 4단계: 권고사항 제시

근본원인분석에서 가장 중요한 측면은 마지막 단계인 권고사항이다. **Root Cause**를 확인한 후, 사건이 재발하는 것을 막기 위한 시정 조치방법에 대하여 권고사항을 제시한다. 시정조치 제시는 다음의 사항을 고려하여야 한다.

- ① 사고의 재발을 방지할 수 있는 조치
- ② 조직 내에서 실행할 수 있는 조치
- ③ 근본원인에 직접적으로 관련 있는 조치
- ④ 시정조치는 수용할 수 없는 위해요소가 배제됨을 보장

III. 실험실 사고 분석

3.1 사고 유형별 분석

최근 교육과학기술부, 서울대학교 환경안전원 및 한국엔지니어링협회, 교육시설재난공제회 및 국내 기업 부설 연구소 등에서 발생한 사건·사고 사례를 조사한 결과 최근 10년(1999년~2009년)간 국내 실험실 사건·사고 건수는 102건으로 조사되었다. 그 사건·사고 결과에 대해 근본원인분석(**Root Cause Analysis**)기법을 활용하여 국내 실험실의 사고를 분석하였다.

(1) 사고 유형 분석

국내 실험실에서는 크고 작은 사고들이 많이 발생한다. 그 중 폭발·누출 및 화재 사고가 Fig 1.에서 알 수 있듯이 48%로 대부분 인명 피해 및 재산 손실이 큰 대형 사고를 야기하고 있다. Fig 1.에서도 알 수 있듯이 폭발·화재 및 누출에 의한 사고를 줄이거나 예방 한다면 실험실에서 인명 피해가 큰 대형 사고를 예방 할 수 있을 것이다.

(2) 사고 발생 매개체별 유형 분석

실험실에서 사고 발생 매개체에 대한 유형 분석은 Fig 3.에서 알 수 있듯이 기기접촉 40% 유해화학물질 37% 가스 13% 전기 과열 9%이다. 대형 인명 피해 및 재산 손실을 일으키는 사고는 가스 및 유해화학물질 누출에 의한 폭발 사고와 전기 과열에 의한 화재 사고 이고, 대부분 골절 및 창상의 원인은 기기접촉에 의한 사고이다.

3.2 사고 원인 LEVEL별 분석 결과

국내 실험실에서 발생한 사건·사고 사례에 대해 Table 1.에서 설명한 바와 같이 5 단계로 분석하여 그 결과는 Table 2~Table 6에서 나타내었다. 1

단계 Primary Source에서 인적 오류 58%, 장비 오류 42%, 2단계 Problem Category에서 내부 인원 58%, 시설 31%, 장비설계 5%, 기타 6%이고, 3단계 Root Cause Category에서 관리 시스템 21%, 교육훈련 11%, Personnel Performance 34%, 절차 13% 등 이고, 4단계 Near Root Cause에서 부주의 34%, 장비 관리 13%, 위험성검토 7%, 환경측면 파악 7% 순이고, 마지막 단계인 Root Cause에서는 해당규정 미 준수 30%, 부적절한 장비 취급 11%, 위해요소 식별파악 미흡 8%, 부적절한 직무 분석 8%, 부적절한 개인보호장구 관리 7% 등 이다.

3.3 실험실 사고 원인에 따른 권고사항

국내 실험실에서 발생한 사건 · 사고 원인 따른 권고사항은 다음과 같다.

- ① 가스누설 탐지를 위한 가스검지기와 환기구 설치

Table 2. LEVEL I.

| Primary Source | Ratio |
|-----------------|-------|
| Personnel Error | 58% |
| Equipment Error | 42% |

Table 3. LEVEL II.

| Problem Category | Ratio |
|----------------------------|-------|
| Internal Workers | 58% |
| Facility/Installation | 31% |
| Equipment design Problem | 5% |
| Equip. Reliability Program | 3% |
| Equip. Misuse | 3% |

Table 4. LEVEL III.

| Root Cause Category | Ratio |
|---------------------------|-------|
| Management System | 21% |
| Training | 11% |
| Monitoring | 5% |
| Design Control | 4% |
| Personnel Performance | 34% |
| Communication | 1% |
| ERP Implementation | 3% |
| Procedure | 13% |
| Human Factors Engineering | 8% |

- ② 실험 장비 설치 시 관련법규 파악 및 준수
- ③ 실험 방법 · 절차에 대한 유해요소 파악 및 위험성평가
- ④ Environment Aspects 파악에 따른 폐기물 관리

Table 5. LEVEL IV.

| Near Root Cause | Ratio |
|-------------------------------|-------|
| Identification of Regulation | 2% |
| Management of Change | 1% |
| Improper Attention | 34% |
| Monitoring During Working | 4% |
| Risks Review | 7% |
| Maintenance | 1% |
| Monitoring of Hazards | 4% |
| No Communication | 1% |
| Workplace Layout | 1% |
| Work Environment | 7% |
| Equip. Design Review | 4% |
| Equipment Control | 13% |
| Equip. Preventive Maintenance | 2% |
| Preparation | 1% |
| Job Training | 11% |
| Environment Aspects | 7% |

Table 6. LEVEL V.

| Root Cause | Ratio |
|-------------------------------|-------|
| Improper Supervision | 4% |
| Not Comply with Procedure | 30% |
| Improper Monitoring | 6% |
| Not Comply with Regulation | 2% |
| Incorrect PPE | 7% |
| Improper Handling | 11% |
| Misunderstood | 4% |
| No Identification of Hazards | 8% |
| Rework of Equipment | 4% |
| Repair of Equipment | 3% |
| Incorrect Labeling of Equip. | 1% |
| No Continuing Training | 3% |
| No Continuing Check | 1% |
| Communication between Workers | 1% |
| Improper Task Analysis | 8% |
| Improper Disposal of Waste | 7% |

- ⑤ 연구종사자 안전의식 고취를 위한 지속적인 교육
- ⑥ 연구 종사자의 안전수칙 및 실험절차 준수
- ⑦ 실험실 장비 및 시설 정기 점검
- ⑧ 개인보호장구 착용
- ⑨ 유해화학 물질 식별 표시
- ⑩ 연구종사자간 의사소통 체계 수립
- ⑪ Hazard Analysis Critical Control Point 관리
- ⑫ Material Safety Data Sheet 관리
- ⑬ Management of Change
- ⑭ 신규 종사자에 대한 직무 분석과 실험실 안전 수칙 교육 실시 등

IV. 결 론

본 논문에서는 국내 실험실 연구 활동 종사자에 게 안전수칙을 준수하고, 안전의식 고취를 위한 지속적인 교육훈련 실시와 연구 실험 활동 시 잠재위험요소의 식별관리 및 유해화학 물질에 대한 성상별 보관, 그리고 실험 도구 취급시 사전 안전점검 등이 필요함을 사고 사례 분석을 통하여 알 수 있었다. 또한 국내 대학 및 기업 부설 연구소 실험실의 안전문화를 정착하고, 실험실에서 발생될 수 있는 대형 사고의 재발을 방지하기 위해서는 사고 원인에 대한 체계적인 원인 규명이 요구된다. 사고 원인을 규명함에 있어서 단순한 사고 1차 원인에만 국한하지 않고, 실험실 장비 및 시설의 설계, 유지, 보수, 운전 등 전반적인 조사와 실험 전 유해화학물질에 대한 MSDS 특성 파악 및 교육 그리고 실험 절차를 정기적으로 검토하여 실제 맞는지를 확인하는 것이 중요하다.

따라서 본 논문은 국내 대학 및 기업 부설 연구소 실험실 사고에 대한 근본원인을 체계적으로 분석함으로써 실험실에서 발생할 수 있는 사고를 사전에 예방할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] CCPS, "Guidelines for Investigating Chemical Process Incidents" American Institute of Chemical Engineer, New York
- [2] Root Cause Analysis 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"