

실험실의 위험성 평가 기법

이근원

한국산업안전공단 산업안전보건연구원

1. 서론

산업발전에 따른 연구업무의 중요성이 증가함에 따라 실험실의 수행업무도 복잡·다양해져 새로운 형태의 잠재위험 요소가 증가되고 있다. 실험실의 사고는 기계·물리적, 화학적 및 생물학적 위험이 있으며, 주로 화재·폭발사고 등 인명손실이 발생되고 있어 실험실 위험 평가에 대한 필요성이 고조되고 있다. 또한, 실험실에서 사용되는 각종 유해화학물질, 설비, 및 기기사용에 따른 위험성 등 실험실의 안전보건에 관한 관심이 고조되고 있다. 더욱이 대학의 연구소나 국책 연구소 등에 근무하는 실험실 업무 종사자들의 안전보건에 대한 관심도도 일반 생산현장과 비교할 때 다양한 위험성이 잠재하고 있음에도 안전의식이 상대적으로 낮은 상태이다. 실험실내에 안전확보를 위한 실행방법에 대한 정보가 부족한 실정이므로, 위험평가는 실험을 위한 안전한 환경을 제공하거나 실험시설의 적정 투자를 위해 위험의 확인과 평가가 필요하다. 따라서 실험실의 안전 확보는 실험자의 안전과 건강보호 차원에서 대단히 중요하며 이에 대한 대책이 필요하다.

그러나, 실험실의 명확한 안전기준이 표준화 되어있지 않고 법적 규정이 없으며 뚜렷한 관리감독 부처도 없는 사각지대에서 실험실 안전에 관한 연구도 미비한 실정이다. 또한, 우리나라에는 실험실 안전에 관한 정책연구나 안전지침 등 일부 문헌에 보고된바 있지만, 선진국가 같이 실험실 안전가이드라인, 안전 매뉴얼 및 위험평가 등 체계적이고 지속적인 연구가 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 실험실의 잠재위험을 확인하고 평가하기 위한 위험평가 방법과 실험실의 위험확인을 위한 안전보건 체크리스트를 소개하고자 한다. 이 체크리스트를 이용하여 사례연구를 수행한 결과를 통해, 실험실내의 시설개선이나 안전투자를 효율적으로 수행할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다. 이러한 실험실의 위험확인 및 평가를 통해 실험실의 안전시설을 적정하게 투자할 수 있는 방안을 제시함으로써 실험실 사고예방에 기여하고자 한다.

2. 위험평가 방법

잠재위험은 사람, 재산, 환경에 위험을 야기시키는 잠재성을 가진 생물학적, 화학적 물리적 상태이다. 만일 잠재위험이 예상하지 않은 상황, 신뢰할 수 없는 물리적 시스템, 등과 결합한다면 위험을 가져올 수 있다. 그러므로, 잠재위험과 위험의 정확하고 완전

한 확인은 안전보건문제의 효율적인 관리를 위해서 필수적이다. 위험을 확인하기 위해서 기본(1차) 조사와 정기적인 조사가 필요하다. 기본 조사는 실험실에서 위험의 목록이나 잠재위험을 확인하기 위해 사용된다. 부가적으로 주기적인 조사는 이전에 발견된 위험을 제어하거나 새로운 위험을 확인하기 위해 나중에 수행된다. 또한, 정기적인 조사는 새로운 것이나 분명하지 않는 위험에 대해 높은 잠재성을 가진 실험시설에서 더 깊은 분석이 수행되어진다. 이러한 조사는 위험을 검토하고 확인하기 위해 실험실에서 위험을 인식할 수 있는 경험과 전문가가 수행한다. 위험조사를 행할 때 준비단계, 예비조사, 현장측정 및 분석 등 4단계로 구분할 수 있다.

제1단계는 준비단계로 충분한 준비는 위험조사의 성공을 위해 필수적이다. 조사의 시작전에 팀은 실험실의 기능(operation)에 대해 잘 알고 있어야 하고, 고위험이 있는 조각이나 지역을 확인하여 더 자세한 평가가 필요하다. 조사팀은 다양한 법규의 요구사항을 이해해야 하고, 조사에 앞서 기타 해당되는 요구사항(내부 정책)과 함께 최근의 해당되는 법규를 알아야 한다, 이 작업은 법규가 개정되었거나 새로운 법규가 공포되었으므로 1차 조사나 정기적인 조사 전에 수행되어야 한다. 평가팀은 실험실 기능에 분명한 이해를 가졌다면, 관계되는 모든 문서를 검토해야 한다. 그것은 실험실에 직면하는 잠재적인 위험을 평가할 수 있다. 조사팀은 위험의 확인을 통해서 효율성을 고려하여 조사전략을 개발하기 위해서 이러한 정보를 사용해야 한다.

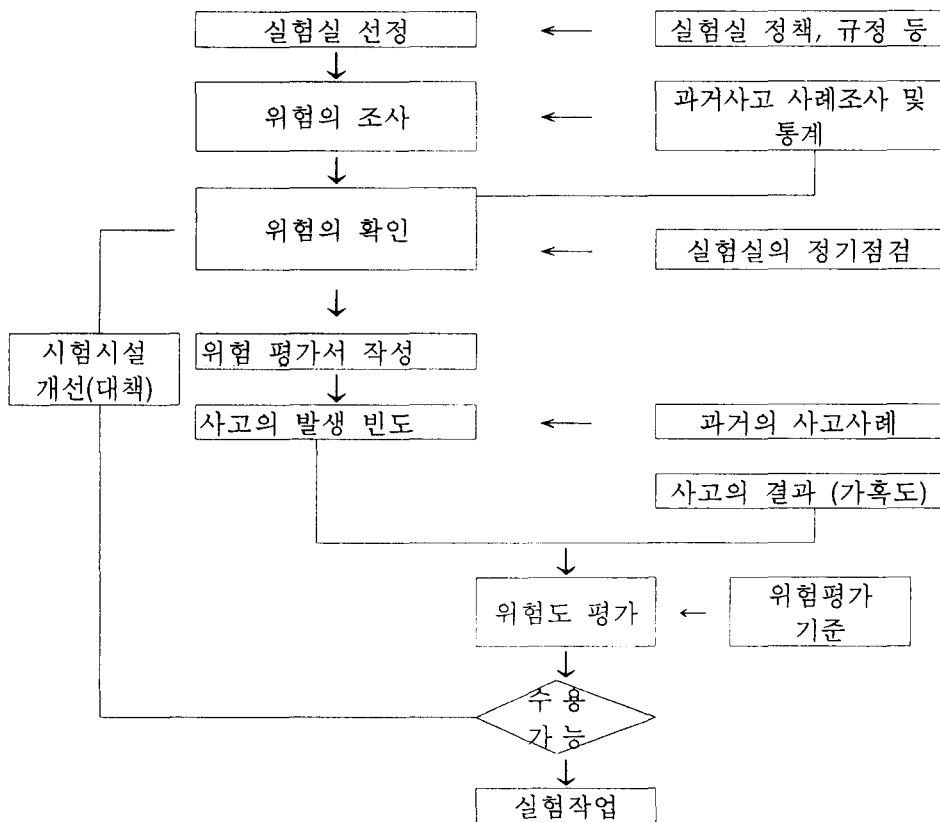
예비조사 단계는 일단 조사준비와 완성되고 잠재위험이 확인되었다면, 조사팀은 다음과 같은 예비조사를 수행해야 한다. 예비조사동안 팀은 준비단계에서 수립되었던 원래의 설계에서부터 조사의 포커서나 방향이 변경될지 모르는 어떠한 새로운 정보를 받아들일 준비가 되어야 한다. 팀원은 작업자가 수행하는 일상업무와 특별업무를 검토하고 관찰해야 하고, 장비나 환기시스템을 포함한 시설을 검토하고, 화학물질의 노출의 분명한 표시를 기록해야 한다. 비록 실험실의 조사가 짧은 시간이지만, 실에서 기술, 관리, 작업실무 제어를 포함한 위험제어의 효율성은 실제업무의 관찰과 예비조사에서 쉽게 평가될 수 있다.

현장측정은 일단 예비조사가 완성된다면, 공기샘플링, 방사선모니터링, 화학적 모니터링과 같은 산업위생이나 필요한 평가를 따를지를 결정하기 위해 충분한 정보를 얻어야 한다. 만일 평가팀이 허용한계이상으로 노출된 작업자에 대해 잠재위험성이 있다고 결론을 내린다면, 잠재적 노출을 더 정확하게 확인하기 위해서는 모니터링을 수행해야 한다. 현장 측정에서 필요하다면 직무위험분석(Job Hazard Analysis)을 수행해야 한다.

조사의 마지막 분석단계는 앞의 단계에서 얻은 정보의 평가에 관련이 있다. 조사에서 직면한 위험에 관한 정성적인 것과 정량적인 발견은 기술적 혹은 관리적 제어, 관리시스템의 개선과 함께 작업관행(개인보호장비, 개선된 환기장치)의 필요한 목록을 개발하기 위해 사용되어야 한다. 조사로부터 얻은 정보는 다른 위험기법과 함께 통합해서 사용할 수 있다.

3. 위험평가 방법

실험실의 안전한 환경을 제공하고 작업자를 보호하기 위해 실험실내에서 위험의 확인과 평가가 필요하다. 또한, 체계적이고 과학적인 실험실의 안전관리와 시설투자를 위해서 위험의 확인을 통한 위험평가를 실시하여야 한다. 실험실의 위험평가 절차를 [그림 1]에 나타내었다. 실험실에서 안전한 실험작업을 위해 실험실의 정책이나, 규정 등을 통해 실험실을 선정하고, 해당 실험실에 과거의 사고사례나 통계 및 점검을 통해 위험의 조사와 확인을 해야 한다. 위험의 확인 후에 위험평가서를 작성해야 한다. 위험평가서의 작성은 실험실내에 소속된 사람이 작성해야 한다. 보통 실험실내의 위험평가를 수행하기 위하여 연구책임자가 연구자에게 지시할 수 있고, 위험평가의 최종적인 책임은 연구실의 지도교수나 연구책임자에게 있다. 위험평가를 위한 점검표에 과거의 사고사례나 인명이나 재산손실을 추정하여 사고의 발생빈도와 사고의 결과에 따른 가혹도를 기록하고 위험도를 평가한다. 위험평가 기준에 따라 위험도가 수용가능한지의 여부를 확인하여 실험시설을 개선하거나 실험작업을 행할 수 있다.



[그림 1] 실험실의 위험평가 절차

위험평가서는 작업구역, 수행하는 작업형태, 관련된 공정과 화학물질, 유해나 위험의

존재여부, 안전관리 시설의 설치여부나 설치 필요성 등의 일반적인 설명이 포함된다. <표 1>은 위험평가를 위한 잠재위험 점검표의 예를 나타낸 것이며, 위험평가를 수행할 때 실험실내에서 해당되는 위험도를 평가한 후, 위험평가 기준에 따라 수용할 수 없는 경우 위험감소를 위한 안전대책 등을 기록한다. 즉, 실험실내에 안전대책을 수립한 후 다시 위험평가서를 작성해야 하며 거기에 따른 위험도를 평가해야 한다.

<표 1> 위험 평가를 위한 잠재위험 점검표(예)

화학적 위험	설명	위험 가혹도	사고 빈도	위험도
<input checked="" type="radio"/> 독성 <input type="radio"/> 부식성 <input checked="" type="radio"/> 고도 인화성 <input type="radio"/> 고 반응성 <input type="radio"/> 대용량				
생물학적 위험				

이러한 위험평가를 통해서 실험시설에 안전대책(투자)이 필요한지를 평가하기 위해 실험실내에 안전관리 시설이 설치되어 있거나 설치가 필요한 부분에 대해 해당되는 안전관리 사항을 표시해야 한다. 본 연구에서는 실험실의 안전관리를 위해 실험시설의 관리에 대해 1차, 2차 및 3차의 안전관리 대책으로 구분하였다. 1차 관리는 주로 실험실의 안전시설이나 장비에 관한 사항이며, 2차 관리는 보호구에 관한 사항이며, 3차 관리는 물질의 저장·취급 및 응급처치 관한 사항으로 구성되어 있다. 실험실 안전관리 대책에 포함내용은 실험실 사용에 관한 지시서와 1차, 2차 및 3차의 안전관리 대책에서 필요성 여부를 기재해야 한다. 마지막으로 해당 실험실의 책임자가 확인하고 서명해야 한다. 그 중 실험실 사용에 관한 지시서는 관련법규 혹은 실무규정, 생산자 혹은 공급자 지시서, 물질안전보건 자료 (MSDS) 등의 내용이 포함되어야 한다.

4. 위험평가 기준

실험자의 안전과 건강에 위배되는 잠재위험을 발생하는 모든 조작, 운전 및 불충분한 관리조치는 위험평가 기준에 이용 할 수 있다. 위험평가 기준은 정상상태에서 주어진 실험실내에 실험자의 위험을 정량화하고 올바른 작업을 행하기 위한 우선 순위를 할당하기 위해 사용되어 진다. 위험도는 일어 날 수 있는 사고의 빈도와 위험 가혹도의 결합에 의해 계산 할 수 있다. 위험 가혹도는 확인된 위험의 결과로 인해 일어 날 수 있는 상해도와 직업병에 의한 기대되는 결과의 평가로서 위험가혹도로 부르고 있다. 본고에서는 위험가혹도를 4단계로 나누었다. 또한, 사고 빈도는 사고의 결과로 위험에 대한 가능성의 평가이며, 이것은 5단계로 구분하였다.

위험평가 기준을 쉽게 확인하기 위해 위험 가혹도와 사고빈도를 조합하여 위험도의

기준표를 만들어 <표 2>에 나타내었다. 이 기준은 위험이 확인된 상황에서 반영되어야 한다. 실험실의 위험평가는 위험도의 기준표에 의해서 연구관련 기관이나 기업 등의 사내의 규정(가이드라인)에 따라 앞에서 언급한 위험 평가서를 작성하여 실험실내의 위험도를 결정해야 한다. 예로서 위험도가 10 이상의 경우, 실험실의 위험도의 기준에 따라 위험을 수용할 수 없을 때 실험실내에 안전시설이나 개인보호장비 등의 시설개선을 위한 투자를 행하여야 한다.

<표 2> 위험도의 기준표 (예)

구 분		위험 가혹도			
		4	3	2	1
빈	5	20	15	10	5
	4	16	12	8	4
	3	12	9	6	3
도	2	8	6	4	2
	1	4	3	2	1

5. 사례연구

실험실의 위험평가를 위해 먼저 실험실의 안전보건상태의 위험확인을 해야하고, 실험실의 위험수준을 평가해야 한다. 본 연구에서는 실험실의 위험수준 평가를 위해 실험실 안전보건 체크리스트를 미국 OSHA의 기준에 따라 우리실정에 맞게 개발하였으며, 실험실 안전보건 체크리스트는 실험실 작업관행, 실험실관리 및 개인보호장비 등 14개 항목으로 이루어져 있다. 사례연구를 위해 K연구원의 화학관련 11개 실험실을 대상으로 원내 실험실의 안전보건 실태조사를 통하여 실험실의 위험(안전보건)수준을 확인하고자 하였다. 각 실험실에 대해 동일한 체크리스트를 이용하여 같은 항목에 대하여 3명의 전문가가 각 항목의 실험실 실태를 조사하였다. 조사시 정확한 자료를 얻기 위해 필요시 실험실에 근무하는 근무자에게 필요한 사항을 인터뷰하였다. 실험실의 위험평가 수준 조사를 위한 분석방법은 실험실 안전보건 체크리스트는 5점 척도로서 각 평가 항목에 대해 3등급으로 구분하여 위험수준에 영향을 크게 미치는 항목에 대해서 가중치를 주었다. 실험실의 위험수준을 평가하기 위한 분석은 같은 항목에 대해 3명에 의해 조사한 실험실 실태의 각 항목을 데이터를 엑셀 파일에 입력하여 worksheet 파일로 만들어 통계프로그램(SPSS)을 이용하여 분석하였다. 각 항목 및 실험실별 총점은 500만 점 기준으로 정량화 하였다.

실험실별 안전보건 위험수준을 평가하기 위하여 각 평가항목의 총 평균점, 항목별 점수, 최소 및 최대점수 및 표준편차 등을 계산하였다. 500점 만점기준으로 300점 이상을 얻은 실험실이 위험수준이 양호한 것으로 평가하였다. 각 호실별 평가항목별 안전보건 수준 실태를 평가하였으며, 실험실의 위험 수준을 정량화 할 수 있었다. 여기서 확인된

위험수준에 의해 사내 기준이하의 실험실에 대해 세부적인 위험평가를 실시할 수 있다.

앞에서 살펴본 바와 같이 실험실의 위험수준은 실험실의 위험분석을 위한 자료로 활용할 수 있으며, 정량화 된 위험평가를 통해 실험시설의 개선이나 투자방안을 도출하기 위해 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 향후 각 실험실의 위험도를 평가하여 실험실의 안전시설의 투자와 실험실의 안전 인증 평가 기준의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

6. 결 론

실험실의 위험평가를 위해 실험실내의 위험확인을 위한 조사방법과 실험실의 안전보건 위험수준 평가를 위한 체크리스트와 위험평가서를 소개하였다. 위험평가를 통한 위험도를 활용하여 실험실의 안전대책 수립을 위한 필요성 여부를 제시하였다. 또한, 실험실에 적용할 수 있는 위험기준을 제시하였다. 위험확인을 위해 K연구원을 대상으로 사례연구를 수행하였으며, 사례연구는 실험실의 안전보건 위험수준 체크리스트를 사용하였으며, 실험실의 위험 수준을 정량화 할 수 있었다. 여기서 확인된 위험수준에 의해 사내 기준이하의 실험실에 대해 세부적인 위험평가를 실시할 수 있으며, 이들 위험확인을 통해 실험실 시설에 대한 투자나 실험실 개선을 유도할 수 있을 것으로 판단되었다. 본 연구에서 제시한 위험확인과 위험평가 기법을 이용하여 실험실내의 시설개선과 투자를 과학적으로 수행할 수 있으므로 실험실 사고 예방에 기여할 수 있을 것이다. 향후 실험실의 안전보건 수준 향상을 위한 안전인증 평가 도구 개발의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김두환, 이근원, 연구실의 환경 및 안전성 확보를 위한 정책 연구, 한국과학재단, 2000.
2. Ngoc B. Le *et al.*, Laboratory Safety Design Criteria, Plant/Operation Progress, Vol.7, No.2, pp.87 - 94, 1988.
3. Paul Mercier, "Laboratory Safety Pocket Handbook", Genium Publishing Corporation, NY, 1996.
4. R. Scott Stricoff and Douglas B. Walters, "Handbook of Laboratory Health and Safety", 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., 1995.
5. Robert J. Alaimo and W.H. Breazeale, "Safety in Academic Chemistry laboratories", American Chemical Society, Washington, D.C., 1995.
6. Sharon L. Campbell, A Guide for Laboratory Safety Inspection, Professional Safety, pp.22 - 28, November, 1984.