대학 실험실습실의 사고 위험성 분석

Risk of Accidents Analyzed in the Laboratory of the University

정영진*

Chung, Yeong Jin

Abstract

Recently at the University accidents such as fire and explosion occur frequently on the laboratory and is increasing interest in this subject. In this study, in accordance with Ministry of Education, Science and Technology Notice No. 2008-134, Guidelines for laboratory safety tests and precise guidelines for safety inspection, One of the selected universities in 2011 for 200 laboratories examined the overall problem. As a result, the laboratory was 57.5% rated as grade 1, grade 2 in 46.0% rated the lab, the lab evaluated as grade 3 (2.5%), respectively. Content of the experiment, laboratory safety incidents with the fire safety field was highest (44.3%), followed by 14.8% field of electrical safety, 10.9% field of chemical safety, 10.6% field of general safety, 7.7% field of machine safety, 6.1% field of industrial hygiene, and 5.6% field of gas safety in order. And for pointed out that the cause of the accident, the safety measures were proposed.

Key words : University, Safety measures, Laboratory safety incidents, Fire safety field

요 지

최근 대학 실험실에서 화재, 폭발 등 실험실 안전사고의 잦은 발생으로 인하여 이에 대한 관심이 고조되고 있다. 본 연구에서는 교과부 고시 제2008-134호, 연구실 안전점검지침 및 정밀안전진단지침에 의거하여, 2011년도 하나의 선택된 대학교에 대한 200개의 실험실습실에 대하여 전반적인 문제점을 진단하였다. 그 결과 1등급으로 평가된 실험실은 57.5%, 2등급으로 평가된 실험실은 46.0%, 3등급으로 평가된 실험실은 2.5%이었다. 또한 실험실습실의 안전 분야별 지적 건수는 소방안전 분야가 44.3%로 가장 높게 나타났고, 다음으로 전기안전 분야 14.8%, 화공안전 분야 10.9%, 일반안전 분야 10.6%, 기계안전 7.7%, 산업위생 6.1%, 가스안전 5.6% 순으로 나타났다. 그리고 지적된 사고원인에 대하여 안전대책을 제안하였다.

핵심용어 : 대학교, 안전대책, 실험실안전사고, 화재안전분야

1. 서 론

화학 물질, 설비 및 기기 사용에 따른 화재, 폭발 등 실험실 사고에 의한 안전사고의 잦은 발생으로 이에 대한 관심이 고조되고 있다. 실험실 위험 요소는 기계, 물리적, 화학적 및 생물학적 위험이 있으며, 주로 화재, 폭발, 중독 등 실험실에 따른 인명손실이 발생되고 있어 실험실 사고 예방을 위한 자율적인 실험실 안전관리를 위한 노력이 필요하다(KOSHA, 2000). 사고란 어느 날 별안간 발생하는 것이 아니라 사고를 유발하는데 연관된 사소한 문제들이 해결되지 않고 대책없이 방치되어 조금씩 쌓여 있다가 어느날 갑자기 우리에게 다가오는 것이다(KOSHA, 1999). 1999년 9월 28일 서울대 원자력 핵공학과 실험 중 폭발사고로 인한 3명의 사망과 2006년 이주대학교 실험실 화재 폭발(2006. 6. 10), 서울대 폐기

물취급 폭발사고(2006. 6. 14), 한양대 약품반응(2006. 5. 19) 사고, 강릉원주대학교 실험실에서 유증기와 불꽃으로 인한 폭발사고로 1명 인명피해(2011. 9. 5), 강원대학교 실험실 유독가스 누출사고(2012. 7. 28) 등으로 사회적 이슈로 관심이 집중되었고, 실험실 안전관리에 대한 중요성이 강조되었다. 이에 따라 정부에서는 연구실안전환경조성에 관한 법률이 제정 시행되고 있다(MST, 2006).

실험실 안전은 단순히 규정만 엄격하게 지켜서 얻는 결과는 아니다. 그것은 또한 총체적인 준비 자세와 이를 위한 헌신적인 노력한 결과이다(Walker, 1996; Versweyveld, 1996). 안전문제에 대한 적절하고 효과적인 교육은 이러한 자세를 개발하는데 있어서 매우 중요한 단계이다. 종종 사고발생은 제한된 지식 때문이 아니고, 안전 절차가 통상적인 절차와 방법으로 이루어지고, 관련된 주의 사항을 개인적으로 나태하

*교신저자. 정회원. 강원대학교 소방방재공학과 교수(Tel: +82-33-540-3121, Fax: +82-33-540-3129, E-mail: yjchung@kangwon.ac.kr)
Corresponding Author. Member. Professor, Department of Fire Protection Engineering, Kangwon National University

게 지키기 때문이다. 사람의 자세, 정보의 축적으로 인한 결과와 경험은 어느 개인이 특정 방식으로 행동하는 원인이 특정 자극에 직면했을 때, 실험실 사고 발생의 주요 요인이된다(Oppenheim, 1992). 실험실에서 화학 물질을 취급 및 사용에 대한 올바른 자세는 화학 물질의 특성과 그 잠재적인 위험에 대하여 결정되어야 한다. 안전 문제에 대한 적절하고 효과적인 교육은 이러한 자세를 개발하는데 있어서 매우 중요한 단계이다.

따라서 본 연구에서는 하나의 선택된 대학교의 200개 실험실습실에 대한 안전진단 결과 보고를 근거로(SPTECH, 2011) 각 전공계열 영역에 대하여 화재, 폭발사고 및 실험실

습실 안전사고에 대한 8개 분야(일반안전, 산업위생, 전기안전, 소방안전, 화공안전, 가스안전, 기계안전, 생·미물생물실험안전)에 대한 정확한 사고원인과 경향분석을 통해 유사한 사고의 재발방지, 피해경감 및 현장 실정에 부합한 안전대책을 제시하고 실험실 사고를 예방하는데 있다.

2. 연구방법

교과부 연구실 안전점검지침 및 정밀안전진단지침에 의하여(MST, 2006; MEST, 2008), 2011년도 하나의 선택된 대학교의 실험실습실 200개에 대하여 실험실습실 내 안전관

실험실 정밀안전진단 보고서									
실험실 번호	단과대학	학과	건물명	호실	실험실명				
유해물질 사용 현황		가스사용 현황			흡후드 풍속				
-		-			-				
점검분야	일반	위생	전기	소방	화공	가스	기계	동·미생물	종합
안전등급								/	
분 야	점 검 내 용			판정	지적내용				
일반안전	안전수칙의 게시, 일상점검 및 안전교육 실시여부								
	정리정돈 및 통로 확보								
	연구활동 종사자 불안전행동 등 휴면에러요인								
산업위생	연구실내 환경(조명, 소음 등) 상태								
	국소배기 환기상태, 덕트시설 작동상태								
	보호구 보유 및 착용, 관리 상태								
전기안전	연구실 내 음식물 반입								
	전기과부하 여부								
	전기기계·기구의 접지, 정전기 제거 상태								
소방안전	전선 설치 및 관리상태								
	전기스위치, 차단기, 분점함 관리 상태								
	비상구 관리 상태								
화공안전	피난시설, 소방시설 설치 및 관리상태								
	가연물과 점화원의 근접여부								
	화재감지기 및 소화기 관리 상태								
가스안전	물질안전보건자료(MSDS) 비치								
	약품 보관 위치 적정성(보관장, 보관대)								
	약품보관상태(낙하방지, 유출, 혼재, 라벨, 보유량)								
기계안전	실험폐액 보관, 관리 및 폐액용기 표시 부착								
	가스용기 체결 및 누설, 부식 상태								
	가스배관(호스) 설치상태								
동물·미생물 실험안전	가스경보장치, 압력조절기 등 안전시설 설치								
	기계·기구 설치(배치)의 적정성								
	기계·기구 표시(명판) 및 취급설명서 비치								
종합	기계·기구 안전장치 설치 및 작동상태								
	바이러스, 세균, 혈액 등의 안전 및 관리 상태			/					
	병원체 취급 실험 연구시설의 안전운영 상태			/					
실험실 안전진단 결과 등급									
등급 :									

범례 : 양호○, 미흡△, 불량X, 해당없음 /

Fig. 1. A sheet of Accident Investigation Reports Analyzed for Laboratory Safety

리규정 및 실시계획서, 안전교육 현황, 일상점검 체크리스트, 물질안전보건자료(MSDS)의 확인을 통해 전반적인 문제점을 진단하였다. 8개의 안전점검 분야 즉, 일반안전, 산업위생, 전기안전, 소방안전, 화공안전, 가스안전, 기계안전, 생·미물생물실험안전에 대하여 평가하고 안전등급을 부여하였으며, 이를 세분화하여 각 분야의 잠재된 위험요소를 육안으로 확인하였다(Fig. 1).

각 세부 항목에 대한 평가는 ○: 양호, △: 미흡, X: 불량, /: 해당없음 식의 언어척도를 사용하여 평가하였으며, 문제가 있다고 판단되는 경우 문제점과 개선책을 서술식으로 작성하였다. 조사중에 설명이 필요한 경우 현장의 사진을 첨부하여 이해를 돕도록 하였다.

※ 연구실 등급

다음의 기준을 바탕으로 각 시험실의 등급을 선정하였음(MST, 2006; MEST, 2008).

- 1등급 : 문제가 없고 안전성이 유지된 상태.
- 2등급 : 경미한 결함이 발견되었으나 안전성에 영향은 없으나 경미한 보수가 필요한 상태
- 3등급 : 결함이 2등급보다 취약하고 전체적인 안전에 크게 영향을 미치지 않는으나 일부 보수 및 보강이 필요한 상태

- 4등급 : 결함이 심하게 발생하여 긴급보수, 보강이 필요하여 사용에 제한을 하여야 하는 상태
- 5등급 : 심각한 결함이 발생하여 안전상 위험 발생가능성이 커서 즉시 사용금지 하고 개선해야 하는 상태

3. 결과 및 토의

2011년도 하나의 선택된 대학교의 200개 실험실습실에 대한 안전진단 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1의 전공계열 구분은 본 평가를 위하여 200개 실험실습실을 학문적으로 유사한 전공 분야끼리 임의로 구체화하였다. 이들 중 1등급으로 평가된 실험실은 57.5%(103실), 2등급으로 평가된 실험실은 46.0%(93실), 3등급으로 평가된 실험실은 2.5%(5실)이었다(SPTECH, 2011).

그러나 실험실습실 사용을 금지해야 하는 5등급 이상의 실험실은 없었으며, 3등급 이상 판정을 받은 실험실은 전체적인 안전에 큰 영향은 없으나 일부 보수 보강이 필요한 상태이었다. 이것은 '08-09' 전국대학 87개교 9,371개 연구실 점검·진단결과에 의한 4등급 판정을 받은 실험실수가 28개실인 것과 비교하면 규모면에서 단순 비교하기 어렵지만 상대적으로 양호한 편이었다(EFDMAA, 2010).

전공 분야별 실험실습실에 대한 8개분야의 정밀안전진단 결

Table 1. Grade Status by Majors Laboratory

unit: Laboratory number (%)

전공계열	실험실 등급								비 고
	총합	1 등급		2 등급		3 등급		4 등급	5 등급
총합	200실 (100%)	103	57.5 (%)	93	46.0 (%)	5	2.5 (%)	0/0	0/0
건설	20	8	40.0	12	60.0	-	-	-	-
기계	17	5	29.4	12	70.6	-	-	-	-
화공·재료	34	11	32.0	21	62.0	1	3.0	-	-
전기·전자	31	30	97.0	1	3.0	-	-	-	-
소방·방재	11	6	54.5	5	45.5	-	-	-	-
인문·사회	22	10	45.4	12	54.5	-	-	-	-
디자인 예술	17	5	29.0	9	54.5	3	8.0	-	-
공동실험실습	23	13	56.5	10	43.5	-	-	-	-
보건·의료	40	28	70.0	11	27.5	1	2.5	-	-

Table 2. Content analysis of each major in the field of safety

점검분야	건설	기계	화공·재료	전기·전자	소방·방재	인문·사회	보건·의료	종합실험실습	디자인·예술	지적건수 (%)
일반안전	8	1	2	-	-	5	6	5	13	40(10.6)
산업위생	2	1	5	1	-	4	4	2	4	23(6.1)
전기안전	13	5	23	-	1	3	4	1	6	56(14.8)
소방안전	24	11	26	9	9	17	17	23	31	167(44.3)
화공안전	2	5	22	-	1	2	-	8	1	41(10.9)
가스안전	1	3	5	-	4	1	1	5	1	21(5.6)
기계안전	5	9	6	1	3	-	-	2	3	29(7.7)
동물·미생물 실험안전	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
총 합	55	35	89	11	18	32	32	46	59	377(100)

과, 문제점있는 전체 지적 건수는 377건이며 각 분야 별로 위의 Table 2에 나타내었다. 진단 분야 중 가장 문제가 된 분야는 소방안전 분야로서 44.3%(167건)을 나타내었다. 그 다음으로 전기안전 14.8%(56건), 화공안전 10.9%(41건), 일반안전 10.6%(40건), 기계안전 7.7%(29건), 산업위생 6.1%(23건), 가스안전 5.6%(21건) 순이었다.

특히 지적 건수 점유율이 가장 높은 소방안전 분야는 디자인조형 전공 분야가 31건으로서 잠재적 화재위험성에 가장 취약하였다. 그 다음으로 화학·재료 분야 26건, 건설분야 24건, 공동실험분야 23건으로 비슷한 정도의 잠재적 화재위험성을 나타내었다. 따라서 소방안전 분야에 대하여 실험실습실 안전 관리에 특별히 비중을 두어 관리하여야 하며, 특별히 디자인조형 전공분야에 대하여 지적건수가 많은 것은 학분분야의 성격상 예술성과 창의성에 비중이 크므로 과학성과 논리성에 소

홀 할 수 있을 것으로 고려되어 요주의 대상으로 판단된다.

다음은 안전진단 분야별 문제점을 분석하고 그 대안을 제시하였다(Table 3-9).

일반안전 분야의 안전관리 분석은 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Analysis of safety management in the field of general safety

No.	점검내용	지적 건수	(%)	비고
General-1	안전수칙의 게시, 일상점검 및 안전교육 실시여부	24	60.0	
General-2	정리정돈 및 통로 확보	14	35.0	
General-3	연구활동 종사자 불안전행동 등 휴먼에러요인	2	5.0	
Total		40	100	

점검 분야	관련된 사진	지적내용 - 개선요구 사항
(a) 일반 안전		<ol style="list-style-type: none"> 1) 정리정돈 미흡으로 통행에 지장을 줄수 있으므로 정리정돈하여 안전통로를 확보하여야 함. 2) 산재 보관중으로 별도 보관 검토 및 정리 해야 함.
(b) 산업 위생		<p>실험실내 커피포트, 커피, 음료수 비치하고 자주 애용하고 있으므로, 실험실 시약과 오인 식음하여 생명에 치명적일 수 있으므로 실험실내 음식 반입을 금지하여야 함.</p>
(c) 전기 안전		<ol style="list-style-type: none"> 1) 공기압축기의 접지선을 접속시켜 누전에 의한 감전사고를 예방하여야 함. 2) 파손된 S/W 수리하여야 함. 3) 센드밀, 선반, 후드 등의 바닥의 노출전선의 파손 우려되어 가공전선으로 설치하거나 전선 보호덮개를 부착하여 전선을 보호해야 함. 4) 가연성물질인 스치로폼, 페인트, 접착제 등은 점화원이 없는 별도의 장소에 정리하여 보관 하여야 함.
(d) 화재 안전		<p>○ 기계공작실에는 목재를 가공하여 도색하는 실습이 많아 화재위험이 잠재하고 있으니 특별한 주의가 요구됨.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 목가공기계의 전선과 수구(콘센트)에 목분진의 다량 적재로 스파크에 의한 발화위험)는 바닥에 노출되지 않도록 해야 함. 2) 목분진이 많은 기계실습실(담배갑과 담배꽂초 발견)에서는 담배를 피우지 않도록 “금연”표지를 부착하고 교육을 실시해야 함.

Fig. 2. Cases of Laboratory accidents at university

점검 분야	관련된 사진	점검내용 - 개선요구 사항
(e) 화공 안전		<ol style="list-style-type: none"> 1) 약품 장기 보관으로 인한 누출된 시약을 정리 하여야 됨. 2) 폴리머 파우더, 경화제 등은 별도 분리보관하여야 함.
(f) 가스 안전		<ol style="list-style-type: none"> 1) 전동밸브 설치 장소에 감지기가 미설치 되어 있으므로 감지기를 설치하여야 함. 2) 배기 Fan 고장으로 환기의 어려움이 있으므로 배기량을 보완하여 설치하여야 함. 3) 가스누설경보기 발령시 근무자가 없을 경우, 조치가 곤란하여 근무자가 상주하는 장소에서 가스경보장치 발령을 감지할 수 있도록 보완이 필요함. 4) GAS로(KILNS) 주위 콘센트 위치를 충분히 이격 설치를 권장함(설치시 방폭형 고려).
(g) 기계 안전		<ol style="list-style-type: none"> 1) 목재가공용 둥근톱에 톱날접촉 예방장치 설치하여 사용해야 함. 2) 밀링작업시 커팅칩이 비산하므로 칩 비산방지 판을 설치하여 사용해야 함. 3) 공기압축기, 펌프동력전달부에 V-BELT 덮개를 설치하여 사용하여야 함.

Fig. 2. Continued

No. General-1의 안전수칙의 게시, 일상점검 및 안전교육 실시등의 지적사항이 60%(24건)로서 가장 잘 이루어 지지 않았고, 다음은 No. General-2의 정리정돈 및 통로 확보 등이 35%(14건)의 지적사항으로 나타났다. 이들 중 점유율이 가장 높은 General-1은 기보고된(전국 87개교를 대상으로 한) 결과에서 우선적으로 지적한 항목과 그 경향이 일치하였다(EFDMAA, 2010). 다음으로 General-2의 정리정돈 미흡으로 통로가 확보되지 않아 통행에 지장을 주므로 정리정돈이 필요하나, 잘이루어 지지 않았다. 즉, 안전수칙의 게시, 일상점검 및 안전교육 실시 등은 어느 경우에도 가장 우선적으로 점검해야할 항목임에 공통적으로 동의하는 것으로 판단하였다.

이의 예는 Fig. 2(a)에서 보여준 바와 같다. Booth내 보관 중인 페인트류, 시약류는 산재하여 보관중이므로 다른 장소에 별도로 보관하여야 한다. 실험이 끝나면 즉시 정리정돈을 실시하여 가연성 물질이 실험실내에 잔존하지 않도록 유지관리해야한다. 실험실습에 사용되는 기계, 기구, 전기, 가스 등의 실험기자재 등 실험재료의 이상 유무와 보호장비의 관리상태에 대하여 실험실습을 하기전에 사전점검을 실시하지 않은

상태이므로 실험 시작전 일상점검 실시 후, 점검일지를 작성, 보존하는 것이 필요하다. 또한 안전교육은 주기적으로 실시후 교육일지(교육일자, 강사, 교육시간, 참석자 명단, 교육내용 등이 포함) 작성 비치하여야 할 것으로 판단된다.

다음은 산업위생 분야의 안전관리 분석에 대하여 Table 4에 나타내었다. 주요 문제점은 No. Hygiene-4의 연구실내 음식물 반입 56.5%(14건), Hygiene-2의 국소배기 환기상태, 닥트시설 작동상태 26.1%(6건), Hygiene-3의 보호구 보유

Table 4. Analysis of safety management in the field of industrial hygiene

No.	점검내용	지적 건수	(%)	비고
Hygiene-1	연구실내 환경(조명,소음 등)상태	-	-	
Hygiene-2	국소배기 환기상태, 닥트시설 작동상태	6	26.1	
Hygiene-3	보호구 보유 및 착용, 관리 상태	4	17.4	
Hygiene-4	연구실 내 음식물 반입	14	56.5	
Total		23	100	

및 착용, 관리상태 17.4%(4건) 순이었다. 점유율이 가장 높은 Hygiene-4은 기보고된 결과에서 우선적으로 지적한 항목인 보호구 보유 및 착용, 관리 상태(No. Hygiene-3)와 그 경향이 전혀 다르게 조사되었다(EFDMAA, 2010). 이것은 기본적인 실험실 안전 교육의 부재로부터 이루어진 무사안일한 안전 불감증의 대표적인 나쁜 예가 될 수 있다.

Fig. 1(b)의 조사된 바에 의하면 일부 실험실내에 커피포트, 커피, 음료수, 주류를 비치하고 자주 애용하고 있는 바, 실험실 시약과 음료수를 오인 식음(섭취)하여 치명적일 수 있으므로 실험실내 음식물 반입을 절대 금지하여 위해물질로부터 자신을 보호해야 한다. 또한 흡후드 배기팬 고정 및 배기상태가 미흡한 바 반드시 보수가 필요하였다. 그리고 실내 정리 정돈 및 목분진 제거하여 안전통로확보, 화재예방, 쾌적한 실험실습 공간을 유지하여야 한다. 또한 페인트류 보관장소에 물질안전보건자료를 게시하고 취급자에게는 교육을 시켜야 한다. 페인트류 취급시에는 유기용제용 마스크를 착용 후 취급하여야 한다.

전기안전 분야의 안전관리 분석은 Table 5에 나타내었다. 주요 문제점은 No. Electrical-4의 전기스위치, 차단기, 분전함 관리 상태 51.8%(29건), Electrical-3의 전선 설치 및 관리상태 32.1%(18건) 등이었다. 그리고 Electrical-2의 전기기계, 기구의 접지, 정전기 제거 상태 16.1%(9건) 순으로 나타났다. 점유율이 가장 높은 No. Electrical-4은 기보고된 결과에서 우선적으로 지적한 항목인 전기기계·기구의 접지(No. Electrical-2)가 가장 높게 보고된 것과 그 경향이 전혀 다르게 조사되었다(EFDMAA, 2010). 이것은 조사된 실험실이 대부분 오래된 건물로서 지속적인 보수 및 관리가 이루어지는 데에는 다소 소홀할 수도 있다는 것으로 생각할 수 있다. 여기에는 재정적인 지원이 따라야 하나 경직된 국립대학의 재정운영 성격상 어려운 점이 있을 수 있다.

접속단자나 콘센트가 삽입되는 플러그 등 접속부위에서 접촉면적이 감소되거나 접촉압력이 저하되어 저항 증가에 따라 줄열이나 아크가 발생하는 현상으로 보통 최초 가연물은 대부분 전선의 피복이나 접속기구의 외함이 된다. 또한 접속부의 특이 산화물로 고온에서 구리가 산화되었을 때 아산화동이 생성될 수 있다. 아산화동은 온도가 상승하면 저항이 증가하는 특성이 있어 이러한 현상이 가속화된다. 전기적인 발열은 대부분 국부적으로 발생하기 때문에 외열에 의한 용융 형태와는 명확히 다르다. 전기적으로 용융된 용융부위는 비용

융부위와 경계가 명확하고 외열에 의해 용융된 형태는 전체적으로 용융되거나 용융 전 단계까지의 경계가 명확하지 않은 상태를 보인다.

Fig. 1(c)에는 실예를 보여주었다. 실험장비의 접지선을 접속시켜 누전에 의한 감전사고를 예방하고, 파손된 S/W 수리가 필요하며, 샌드밀, 선반, 후드 등의 바닥의 노출전선의 파손 우려되므로 가공전선으로 설치하거나 전선보호덮개 부착하여 전선 보호하여야 한다. 분전함(PNA-4C-1, PNA-4C-3) 내 분기회로별로 부하명칭을 알기 쉽도록 표기하여 오조작에 의한 사고 예방을 해야 하며, 컴퓨터용 전선이 어지럽게 미정리 상태이므로 전선타이 등을 사용하여 정리 하여야 한다. 가연성물질인 스티로폼, 페인트, 접착제 등은 점화원이 없는 별도의 장소에 정리하여야 하고, 또한 전기로에 근접 설치한 전기분전함 및 MCCB함을 사용하기위해 접근시 화상재해 위험-전기분전함 및 MCCB함을 전기가마실 외부의 출입구 부근에 설치하여 언제든지 사용할 수 있도록 개선하여야 한다.

다음은 소방안전 분야의 안전관리 분석에 대하여 Table 6에 나타내었다. 가장 주요 문제점은 No. Fire-4의 화재감지기 및 소화기 관리상태가 69.4%(116건)로 가장 크게 나타났으며, 다음으로 Fire-3의 가연물과 점화원의 근접여부 12.0%(20건), Fire-2의 피난시설, 소방시설 설치 및 관리상태 9.6%(16건), Fire-1의 비상구 관리 상태 9.0%(15건) 순으로 나타났다. 점유율이 가장 높은 No. Fire-4은 기보고된 결과에서 우선적으로 지적한 항목인 피난시설, 소방시설 설치 및 관리상태(No. Fire-2)가 가장 높게 보고된 것과 그 경향이 다르게 나타났다(EFDMAA, 2010). 이러한 결과는 자칫 대수롭지 않게 간과할 수도 있다. 그러나 이 결과는 본 연구의 당해대학 실험실 습실만 화재감지기 및 소화기 관리상태가 가장 비중이 크게 나타났다고 할 수는 없다. 특히 소화기 위치에 대하여 어떤 경우에는 출입문을 고정시는 지지대로 사용하든지, 또는 본래의 위치에서 구석진 곳으로 밀려나 그 중요성을 망각하는 경우도 있다. 따라서 실제 화재 발생시에는 소화기를 발견하지 못하고, 실사 어렵게 눈에 띄어 찾았더라도 평소에 사용할 수 있는 훈련이 되어있지 않았기 때문에 당황하여 그 목적을 이루기 어렵다.

또한 CO₂ 소화기 및 분말소화기 점검결과 충약상태, 소화기 위치표지 부착상태 등은 양호한 상태를 유지하여야 하며, 월별점검 및 소화기 점검실시 후 점검표에 기록관리를 하여야 한다. 소화기합 전면에 의자 등 물품 매체로 소화기를 인출할 수 없는 상태가 되면 매우 곤란하며, 소화기는 언제든지 인출하여 사용할 수 있도록 물품을 이동해야 한다.

Table 5. Analysis of safety management in the field of electrical safety

No.	점검내용	지적 건수	(%)	비고
Electrical-1	전기과부하 여부	-	-	
Electrical-2	전기기계·기구의 접지, 정전기 제거 상태	9	16.1	
Electrical-3	전선 설치 및 관리상태	18	32.1	
Electrical-4	전기스위치, 차단기, 분전함 관리 상태	29	51.8	
Total		56	100	

Table 6. Analysis of safety management in the field of fire safety

No.	점검내용	지적 건수	(%)	비고
Fire-1	비상구 관리 상태	15	9.0	
Fire-2	피난시설, 소방시설 설치 및 관리상태	16	9.6	
Fire-3	가연물과 점화원의 근접여부	20	12.0	
Fire-4	화재감지기 및 소화기 관리 상태	116	69.4	
Total		167	100	

전열기 사용은 학교 규정상 금하고 있으며, 전기히터에 의한 화상 및 화재발생위험이 높기 때문이다. 그리고 Fig. 1(d)의 예를 보면 일부 특정한 실험실인 디자인조형 분야의 기계공작실에는 목재를 가공하여 도색하는 실습이 많아 유기용매로 인한 화재위험이 잠재하고 있어 특별한 주의가 요구된다. 목가공기계의 전선과 콘센트(콘센트에 목분진 다량 적재로 스파크에 의한 발화위험)는 바닥에 노출되지 않도록 개선이 필요하고, 목분진이 많은 기계실습실(담배갑과 담배꽂초 발견)에서는 담배를 피우지 않도록 “금연”표지를 부착하고 교육 실시 해야 할 것으로 판단된다.

목분진은 미세한 분진의 형태로 폭발이 가능하다. 고체 가연물이 폭발하기 위한 조건은 공기 중에 부유할 수 있어야 한다. 부유농도는 연소범위에서 존재해야 하며, 가연물에 적절한 점화원이 주어져야 한다. 고체가연물이 부유하기 위해서는 먼지와 같이 미세한 형태로 내재하여야 하는데 이는 가연물의 종류, 내부 기류에 따라서 부유할 수 있는 최소 단위가 달라지므로 명확한 표현은 어렵다. 단, 약 500 μm 이하의 입자경을 가지는 가연성분진이 폭발을 일으킬 위험성이 있다고 알려져 있다(松田東榮, 1990). 분진은 평상시에는 공기중에 부유하지 않고 퇴적되어 있는 경우에도 외부의 조건에 의해 부유하게 되면 분진폭발이 일어날 수 있다. 특히 분진폭발의 경우에는 최초 점화이후에는 폭발시 발생하는 압력에 의해 퇴적되었던 가연성 분진이 부유하면서 더욱 강력한 2차적 폭발이 일어날 수 있으므로 위험하다.

또 비상구라 할 수 있는 다른 출입구앞에 물건을 적재하여 비상시 탈출할 수 없는 상태이므로 개선해야 된다.

화공안전 분야의 안전관리 분석에 대하여 Table 7에 나타내었다. 주요 문제점은 No. Chemical-1의 물질안전보건자료(MSDS) 미비치 43.9%(18건), Chemical-2의 약품 보관위치 적정성 29.3%(12건), Chemical-3의 약품보관상태 17.1%(7건) 등이었다. 점유율이 가장 높은 No. Chemical-1은 기보고된 결과에서 우선적으로 지적한 항목인 물질안전보건자료(MSDS)와 그 경향이 공히 일치하였다(EFDMAA, 2010). 따라서 물질 안전보건 자료(MSDS)를 비치하고 취급자에게 교육을 하여야 하고, 재해발생 위험이 잠재하므로 약품명을 기입하여야 한다. 샘플 Pot용기에는 약품의 미 표시로 인하여 음료수로 오인에 의한 섭취(식음)가 가능하며, 화공약품과 비품이 혼재

하므로 정리가 필요하다. 조사된 바, 폴리머 파우더, 경화제 등은 별도 분리 보관하여야 하고, 방치된 약품 등은 안전약품 보관캐비닛을 비치하여 보관하여야 한다. 화공약품과 폐액 등과 혼재 보관하고 있는데, 분리 보관하여야 하며, 특히 폐액의 혼촉에 의한 화재·폭발을 가장 경계하여야 할 것으로 판단된다. 특히 산화성 염류와 강산의 혼촉은 불안정한 아염소산 혹은 무수물을 생성하여 강한 산화성이 생기고 주위에 가연성 물질이 존재하면 이것을 착화시켜 그것 자신으로 자연분해를 일으켜 폭발한다, 예로

이들에 가연성 고체인 제2류 위험물, 인화성 액체인 제4류 위험물 및 유기물이 공존하면 이것을 폭발적으로 산화시켜 발화한다(Oh et. al., 2008). 위험물 취급시 폭발성 물질은 가열, 마찰, 충격을 피하고 화기에 주의하여야 하고, 발화성 물질은 물, 산화촉진제, 화기주의를 하여야 한다. 산화성 물질은 가열, 마찰, 충격을 피하고, 환원성 유기물질에 주의하여야 한다. 인화성물질은 인화점 65°C 이하인 가연성 액체, 화재, 폭발을 일으킬 수 있으므로 화기, 열원에 주의 하여야 하며, 가연성 가스는 화기, 충격, 마찰, 전기설비, 전전기를 주의하여야 한다. 또 부식성 물질은 화상 주의, 취급시 보호장구를 착용해야 한다.

Fig. 1(e)에는 화학안전에 대한 실예를 나타내었다. 즉, 화공약품을 라디에터(난방기) 주위에 비치하여 열에 의한 가스가 분출될 수 있으므로 다른 장소로 옮겨 보관하여야 한다. 또한 화학약품이 탁자위에 보관으로 UV에 의한 기화가 우려되므로 별도장소에 보관해야 한다. 약품을 장기보관으로 경시변화가 되고 있으므로 폐기처리를 권장하고 선입선출하여야 한다.

가스안전 분야의 안전관리 분석은 Table 8에 나타내었다. 주요 문제점은 No. Gas-1의 가스용기 체결 및 누설, 부식 상태 90.5%(19건)로 절대 다수를 차지하며, 나머지 미미한 부분은 Gas-2의 가스배관 설치상태, 가스경보장치 등이 이에 해당된다. 절대 점유율이 가장 높은 No. Gas-1은 기보고된 결과에서 우선적으로 지적한 항목인 가스용기 체결 및 누설, 부식 상태와 그 경향이 공히 일치하였다(EFDMAA, 2010). 이것은 가스용기 체결 및 부식으로 인하여 가스가 누설되면 가스가 공기중에서 쉽게 혼합가스가 형성되고, 주변에 발화원이 존재한다면 바로 폭발로 이어지기 때문이다. 이것은 공기

Table 7. Analysis of safety management in the field of chemical safety

No.	점검내용	지적 건수	(%)	비고
Chemical-1	물질안전보건자료(MSDS) 비치	18	43.9	
Chemical-2	약품 보관 위치 적정성 (보관장, 보관대)	12	29.3	
Chemical-3	약품보관상태(낙하방지, 유출, 혼재, 라벨, 보유판)	7	17.1	
Chemical-4	실험폐액 보관, 관리 및 폐액용기 표시 부착	4	9.7	
Total		41	100	

Table 8. Analysis of safety management in the field of gas safety

No.	점검내용	지적 건수	(%)	비고
Gas-1	가스용기 체결 및 누설, 부식 상태	19	90.5	
Gas-2	가스배관(호스) 설치상태	1	4.75	
Gas-3	가스경보장치, 압력조절기 등 안전시설 설치	1	4.75	
Total		21	100	

중의 혼합가스가 폭발 하한계 이상의 농도에 이르게 되면 언제든지 발화원과 함께 대형사고로 이어지기 때문이다. 기체 상태에서 폭발하는 것으로는 폭발사고 중 주변에서 가장 많이 일어나는 종류로 일반적으로 주변에서 쉽게 볼 수 있는 가연성 가스와 가연성 액체의 유증이 폭발하는 것을 말한다. 단위체적당 에너지 밀도는 가장 적으나 분진폭발에서와 같이 증발과정이나 분해과정을 필요로 하지 않으므로 화염전단(flame front)의 증발과정이나 분해과정은 필요로 하지 않으므로 화염전단의 전파속도가 가장 빠르다.

Fig. 1(f)은 가스안전에 대한 실례를 제시하였다. 가스 전동 밸브 설치 장소에 감지기가 미설치 되어 있는 경우, 감지기를 설치하여야 하고, 배기 Fan 고장으로 환기의 어려움이 있으면, 배기량을 보완하여 설치하여야 한다.

가스누설경보기 발령시 근무자가 없을시 조치가 어려우므로 근무자가 상주하는 장소에서 가스경보장치 발령을 감지할 수 있도록 보완이 필요하다. GAS로(KILNS) 주위 콘센트 위치를 충분히 이격 설치를 해야한다(설치시 방폭형 고려). 질소, 헬륨, 수소가스 용기중 충전기간이 경과한 용기는 파손될 가능성이 존재하므로 배출하여야 한다. 또 가스보통에 전도방지 조치 미흡으로 외부 충격에 의한 전도위험이 잠재하므로 전도방지 띠를 설치하여야 한다. 특히 수소용기 취급시 외부 충격에 의한 밸브손상 위험이 잠재하므로 밸브보호 캡을 설치하여야 한다.

기계 분야의 안전관리에 대한 분석은 Table 9에 나타내었다. 주요 문제점은 No. Machinery-3의 기계·기구 안전장치 설치 및 작동상태 55.2%(16건), Machinery-2의 기계·기구 표시 및 취급설명서 미비치 34.5%(10건) 등이 해당된다. 점유율이 가장 높은 No. Machinery-3은 기보고된 결과에서 우선적으로 지적한 항목인 기계·기구 안전장치 설치와 공히 일치하였다(EFDMAA, 2010). 이것은 기계·기구 안전장치 설치를 설치하면 그 사고를 거의 완벽하게 줄일 수 있다고 판단된다. 그러나 여기에는 비용이 소요되므로 이것을 잠시 생략하거나 회피할 수는 있으나, 결국에는 대형사고와 직결되므로 안전장치를 설치해야만 한다. 이후는 사용자의 실수에 의한 오작동 등이 있을 수 있으나 이것은 작업전 충분한 교육과 훈련으로 극복할 수 있다고 판단된다.

Fig. 1(g)에 기계안전에 관한 실례를 보여주었다. 공기압축기, 진공 펌프 동력전달부 노출은 협착위험이 잠재하므로 동력전달부에 V-BELT 덮개설치 필요하다, 목재가공용 등근톱

에 톱날접촉예방장치 설치 사용하여야 하며, 밀링작업시 칩비산하는바 칩 비산방지판을 설치 사용하여야 한다. 연마기 덮개 미설치로 작동중인 연마날에 손협착 위험이 잠재하므로 덮개 설치하여 가동시에는 덮개 개방금지 하여야 하며, 또 바이스 미고정으로 작업중 바이스 전도위험이 잠재하므로 견고하게 고정하여야 한다. 조형 실험실의 목재가공용 등근톱에 톱날 접촉 예방장치설치를 위하여 분할날 설치, 반발예방조치를 해야 한다, 목재가공용 등근톱 동력전달부에 V-Belt 덮개 설치하고 양카볼트를 사용하여 견고하게 고정하는 것이 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 교과부 고시 제2008-134호, 연구실 안전점검지침 및 정밀안전진단지침에 의거하여, 2011년도 일부의 선택된 대학에 한정하여 200개의 실험실습실에 대하여 전반적인 문제점을 진단하였다.

- 1) 200개 실험실습실 중 1등급으로 평가된 실험실은 57.5%(103실), 2등급으로 평가된 실험실은 46.0%(93실), 3등급으로 평가된 실험실은 2.5%(5실)이었다.
- 2) 실험실습실의 안전 분야별 지적 건수는 소방안전 분야가 44.3%(167건)으로 가장 높게 나타났고, 다음으로 전기안전 분야 14.8%(56건), 화공안전 분야 10.9%(41건), 일반안전 분야 10.6%(40건), 기계안전 7.7%(29건), 산업위생 6.1%(23건), 가스안전 5.6%(21건) 순으로 나타났다.
- 3) 안전 분야별 분석결과, 일반안전 분야는 안전수칙의 게시, 일상점검 및 안전교육 실시 등의 지적사항이 60%(24건)로 가장 높았고, 산업위생 분야는 연구실내 음식물 반입 56.5%(14건), 전기안전 분야는 전기스위치, 차단기, 분점함 관리 상태 51.8%(29건), 소방안전 분야는 화재감지기 및 소화기 관리상태 69.4%(116건), 화공안전 분야는 물질안전보건자료(MSDS) 미비치 43.9%(18건), 가스안전 분야는 가스용기 체결 및 누설, 부식 상태 90.5%(19건), 그리고 기계안전 분야는 기계·기구 안전장치 설치 및 작동상태 55.2%(16건)으로 나타났다.
- 4) 위와 같이 사고원인과 분석을 통해 유사한 사고 재발방지, 피해경감 및 현장 실정에 부합한 안전대책을 제시하였다.

Table 9. Analysis of safety management in the field of machine safety

No.	점검내용	지적 건수	(%)	비고
Machinery-1	기계·기구 설치(배치)의 적정성	3	10.3	
Machinery-2	기계·기구 표시(명판) 및 취급설명서 미치	10	34.5	
Machinery-3	기계·기구 안전장치 설치 및 작동상태	16	55.2	
Total		29	100	

References

- Educational Facilities Disaster Mutual Aid Association (2010) the Fire analysis and experiments of University. Lab accident case-book. *Educational Facilities Disaster Mutual Aid Association*.
- Korea Occupational Safety and Health Agency (1999) laboratory Safety Guidelines. *Korea Occupational Safety and Health Agency*.
- Korea Occupational Safety and Health Agency (2000) laboratory techniques for risk assessment. *Korea Occupational Safety and Health Agency*.
- MEST (2008) Guidelines for laboratory safety tests and precise

- guidelines for safety inspection. *Ministry of Education. Science and Technology Notice*, No. 2008-134.
- Ministry of Science and Technology (2006) Laboratory Safety Act on environment. *Ministry of Science and Technology*.
- MST (2006) Guidelines for laboratory safety tests and precise guidelines for safety inspection. *Ministry of Science and Technology Notice*, No. 2006-16.
- Oh, P.G., In, S.J., Jeon, K.S. and Choi, D.M. (2008) Hazardous Materials Safety Management. *Dong Hwa Technology Publishing Co*.
- Oppenheim, A.N. (1992) Questionnaire Design and Attitude Measurement. *Basic Books Inc*, New York.
- SPTECH (2011) 2011 Report on the Safety Assessment of Laboratory. *Kangwon National University*.
- Versweyveld, J.J. (1999) Trends in laboratory safety. *Can Chem News*, pp. 18-19.
- Walker, C. J. (1999) Lab safety how it happens at MAXXAM analytics. *Can Chem News*, pp. 19-21.
- 松田東榮 (1990) Explosion risk assessment techniques for combustible dust, RIIS-SD-90-1.

◎ 논문접수일 : 2012년 09월 04일
 ◎ 심사의뢰일 : 2012년 09월 07일
 ◎ 심사완료일 : 2012년 10월 19일