

# 연구실안전 교육 교재

2006

과학기술부

# 연구실 안전교육 교재

본 교재는 아래 연구기관/연구책임자가 수행한 과학기술부  
정책연구용역 보고서(정책연구 2006-2)입니다.

2006. 10. 30.

연구기관명 : 한국기술사회  
연구책임자 : 김두환 [한국안전기술컨설팅연구원원장/한국기술사회이사]  
공동연구원 : 박재희 [한경대학교 부교수]  
                  최강덕 [한경대학교 부교수]  
                  한우섭 [TRC Korea위험관리연구소 책임연구원]  
                  이동경 [한국산업안전공단 산업안전교육원 조교수]  
                  이양우 [한국기술사회]  
연구보조원 : 김주형 [한국안전기술컨설팅연구원]  
                  박태주 [한경대학교안전공학과]

# 목 차

## 제 1 부 연구실 일반안전

### 제 1 장 연구실안전 개요 ..... 13

- 1.1 연구실 안전 ..... 13
- 1.2 연구실 위험요소와 사고 유형 ..... 14
- 1.3 연구실 사고 사례 ..... 15
- 1.4 연구실 안전의 특성 ..... 19
- 1.5 연구실 안전의 책임 ..... 21

### 제 2 장 연구실 안전 구성 ..... 26

- 2.1 안전이란? ..... 26
- 2.2 재해발생 구성 ..... 27
- 2.3 불안정한 상태와 불안정한 행동 ..... 30
- 2.4 사고와 재해 ..... 32

### 제 3 장 휴먼에러와 인간심리 ..... 35

- 3.1 휴먼에러 ..... 35
- 3.2 휴먼에러의 분류 ..... 35
- 3.3 휴먼에러 예방대책 ..... 39

### 제 4 장 연구실 사고예방 ..... 45

- 4.1 안전계획의 수립 ..... 45
- 4.2 연구실 안전표지 ..... 47
- 4.3 개인보호구 ..... 53
- 4.4 연구실 안전 행동 ..... 56

### 제 5 장 연구실 사고대처 ..... 76

- 5.1 오염물질 제거 ..... 76
- 5.2 화재와 비상대피 ..... 78
- 5.3 응급조치 ..... 81
- 5.4 사고보고 (accident reporting) ..... 88

### 제 6 장 안전이념과 경영 ..... 93

- 6.1 최고경영자의 안전책임 ..... 94
- 6.2 연구주체의 안전관리 전략적 사고(思考) ..... 94

## 제 2 부 분야별 연구실 안전

### 제 7 장 화학적 위험과 안전 ..... 101

- 7.1 개요 ..... 101
- 7.2 연구·실험실의 위험성 분류 및 재해종류 ..... 101
- 7.3 화학 연구·실험실의 안전관리 ..... 104
- 7.4 화학 물질 취급 안전 ..... 116
- 7.5 화학약품 폐기물의 안전취급 처리 ..... 130
- 7.6 실험실 기준 ..... 132
- 7.7 압축가스 잠재위험 및 종류대책 ..... 141
- 7.8 유리기구의 취급 및 유리가공 ..... 162
- 7.9 유기 용제 ..... 170
- 7.10 실험관계자의 안전 마음가짐 ..... 172

### 제 8 장 생물학적 위험과 안전 ..... 176

- 8.1 생물학적 위험요소 ..... 176
- 8.2 생물학적 안전 ..... 177
- 8.3 실험동물의 안전 취급 ..... 181
- 8.4 생물학적 위험폐기물 관리 ..... 185
- 8.5 생물학적 안전 캐비닛의 사용 ..... 188
- 8.6 실험동물의 안전 취급 ..... 189
- 8.7 생물학적 위험폐기물 관리 ..... 192

### 제 9 장 물리적 위험과 안전 ..... 195

- 9.1 개요 ..... 195
- 9.2 자기장과 극저온 안전 ..... 196
- 9.3 레이저 안전 ..... 202

<b>제 10 장 기계적 위험과 안전</b> .....	<b>213</b>
10.1 기계안전 개요 .....	213
10.2 기계설비의 안전 .....	218
10.3 기계설비의 안전한 실험운전 방법 .....	239
<b>제 11 장 전기적 위험과 안전</b> .....	<b>251</b>
11.1 전기의 위험성 .....	251
11.2 전기 안전사고 예방 .....	257
11.3 실험실에서 전기 안전 .....	260
11.4 전기안전작업의 국내 규정 .....	267
<b>부록 A 실험 전의 안전점검체크리스트</b> .....	<b>278</b>
<b>부록 B MSDS</b> .....	<b>280</b>

## 그림 목차

그림 1-1. KAIST 풍동실험실-사고 후 고정시켜 놓은 가스실린더 .....	17
그림 1-2. SK 대덕기술원 폭발사고 현장의 화재 진압 .....	18
그림 1-3. 연구개발 과정에 재해를 입은 과학자들 .....	20
그림 1-4. 연구실 안전 확보를 위한 구성원의 협력 .....	21
그림 2-1. 안전과 안전관리 .....	26
그림 2-2. 하인리히의 재해발생 도미노 이론 .....	28
그림 2-3. 버드의 재해발생 도미노 이론 .....	28
그림 2-4. 사고발생의 스위치즈 이론 .....	30
그림 2-5. 불안정한 상태의 예 .....	31
그림 2-6. 불안정한 행동의 예 .....	32
그림 2-7. 하인리히와 버드의 사고 발생비율 .....	33
그림 3-1. Swain의 휴먼에러 분류 .....	36
그림 3-2. Reason 의 휴먼에러 분류 .....	38
그림 3-3. 휴먼에러 예방을 위한 대책 .....	39
그림 3-4. 폴-푸르프(fool-proof) 디자인의 예 .....	42
그림 3-5. 페일-세이프 디자인의 예 (중복설계, 대기 체계 설계, 작동 중지) .....	43
그림 3-6. 안잠금, 바깥잠금, 맞잠금의 예 .....	43
그림 4-1. 안전표지의 제작 .....	50
그림 4-2. 연구실 안전에 사용되는 표지의 심볼들 .....	51
그림 4-3. 귀마개와 귀덮개 .....	54
그림 4-4. 방진마스크 .....	54
그림 4-5. 방독마스크 .....	55
그림 4-6. 송기마스크 .....	55
그림 4-7. 입을 사용한 피펫 작업의 금지 .....	58
그림 4-8. 압축 가스실린더의 라벨 표시 .....	62
그림 4-9. 연구실 내에서의 압축가스 실린더의 보관 .....	63
그림 4-10. 압축 가스실린더 전용 수레 .....	63
그림 4-11. 유독 가스 실린더의 보관 .....	65
그림 4-12. 연구실 후드의 구조와 명칭 .....	66
그림 4-13. 중량물 들기 자세 (허리굽혀들기와 무릎굽혀들기) .....	69
그림 4-14. 중량물 취급 기계장치 .....	69
그림 4-15. VDT 작업 .....	70
그림 4-16. 모니터의 수직 위치 .....	71

그림 4-17. 작업용 의자	73
그림 4-18. 작업용의자의 발 받침대	73
그림 5-1. 안전 샤워장치와 세안장치	77
그림 5-2. 소화기 각 부분의 명칭	79
그림 5-3. 응급조치키트	83
그림 5-4. 환자의 관찰	85
그림 5-5. 심폐소생술의 3요소	86
그림 5-6. 기도의 유지	86
그림 5-7. 인공호흡	87
그림 5-8. 흉부압박	88
그림 6-1. 톱의 안전조직 관심은 연구주체 백년안전을 내다 본다	93
그림 7-1. 실험계획 순서와 예상 사고 흐름도	107
그림 7-2-1. 불안정물질의 위험성평가	110
그림 7-2-2. 신규물질의 실험실 위험성 평가 흐름도	111
그림 7-3. 화학물질혼합폭발	124
그림 7-4. 화학실험실의 안전표지	126
그림 7-5. 위험물질의 정보시스템	127
그림 7-6. 미 소방협회 다이아몬드 라벨	128
그림 7-7. 약품 폐기 저장	131
그림 7-8. 화학실험실의 일반적 배치	133
그림 7-9. 화학실험대배기시설 및 챔버	133
그림 7-10. 약품 진열대 미 고정	138
그림 7-11. 가스의 안전한 사용	152
그림 7-12. 공동 가스설비	157
그림 7-13. 가스용기 운반 수레	157
그림 7-14. 출입문 경고표시 부착	158
그림 7-15. 유리관을 고무마개에 삽입시 파손 우려	164
그림 8-1. 대표적인 실험동물들	190
그림 8-2. 생물학적 위험 라벨	193
그림 9-1. 방사선과 자기장을 사용하는 물리실험실	195
그림 9-2. 자기장 위험구역 표지 부착	198
그림 9-3. 자기장 위험 및 출입 금지 경고 표	198
그림 9-4. 자석에 접근함에 따라 증가하는 자기장의 세기	199
그림 9-5. 액체 질소 공급 시 보안경 착용 예	200
그림 9-6. 눈의 구조와 명칭	203
그림 9-7. 보안경과 보안경 착용표지	203

그림 9-8. 레이저를 보는 각도에 따른 위험도	205
그림 9-9. 레이저에 의한 화재 위험	205
그림 10-1. 트랩(trap)	215
그림 10-2. 충격(impact)	216
그림 10-3. 접촉(contact)	216
그림 10-4. 얽힘 또는 말림(entanglement)	217
그림 10-5. 튀어나옴(ejection)	217
그림 10-6. 운동 및 동작 형태	218
그림 10-7. 협착점	219
그림 10-8. 협착 위험점의 예	220
그림 10-9. 끼임 위치	220
그림 10-10. 끼임점 형성 예	221
그림 10-11. 절단점	221
그림 10-12. 절단점의 예	222
그림 10-13. 물림위치	222
그림 10-14. 물림점의 예	223
그림 10-15. 접선물림	223
그림 10-16. 접선물림점의 예	223
그림 10-17. 회전말림 장소	224
그림 10-18. 회전말림점의 예	224
그림 10-19. 직접 수동스위치 인터록	228
그림 10-20. 기계적인 인터록의 원리	228
그림 10-21. 방호장치 분류	231
그림 10-22. 완전차단형 방호장치	232
그림 10-23. 회전축의 덮개형 방호장치	232
그림 10-24. 덮개를 사용 풋-페달(Foot-Pedal)	233
그림 10-25. 안전방책의 예	233
그림 10-26. 접근거부형 방호장치	234
그림 10-27. 유압브레이크 프레스의 접근반응형 방호장치	235
그림 10-28. 포집형 방호장치	235
그림 10-29. 방호장치 발전 제1단계 및 제2단계	237
그림 10-30. 방호장치 발전 제3단계	238
그림 10-31. 방호장치 발전 제4단계	238
그림 10-32. 방호장치 발전 제5단계	239
그림 11-1. 분전함내 차단기	254
그림 11-2. 출력전압가변도판스	254

그림 11-3. 집지의 원리 .....	264
그림 11-4. 집지형 콘센트 (a)와 비 집지형 콘센트(b) .....	265
그림 11-5. 누전차단기 버튼 .....	265
그림 11-6. 정상상태와 누전상태 .....	266
그림 11-7. 전기장치의 록아웃/태그아웃 .....	267
그림 11-8. 단락접지기구 .....	272
그림 11-9. 단락접지 기구의 사용 예 .....	272
그림 11-10. 정전작업 절차 .....	273

## 표 목차

표 1-1. 국내 연구실 주요 사고 .....	13
표 1-2. 연구실의 위험요소와 사고형태 .....	15
표 1-3. 안전관리 스태프의 업무 .....	24
표 4-1. 연구실 안전표지의 사용 .....	52
표 4-2. 개인보호구의 종류 .....	53
표 5-1. 화재물질 별 소화기의 종류 .....	79
표 5-2. 응급조치키트의 내용물 .....	83
표 5-3. 연구실 사고 형태 .....	89
표 5-4. 상해의 종류와 그 내용 .....	91
표 7-1. 연구·실험에 관련한 재해종류 및 원인 .....	103
표 7-2. 화학물질의 위험성 지표 .....	112
표 7-3. 화학약품 혼합에 따른 위험 반응 .....	137
표 7-4. 가연성 연소성 액체 최대용기 용적 (OSHA) .....	145
표 7-5. 가연성 연소성 액체 최대용기 용적 (미표준협회 / 미소방협회 ANSI /NFPA) .....	145
표 7-6. 주요 특수가스 연소폭발 위험성 .....	151
표 7-7. 색채표시 방법 .....	155
표 7-8. 주요 고압가스 종류와 분류 .....	156
표 7-9. 가스의 성질과 검지·처리방법 .....	160
표 8-1. 감염성 물질에 대한 추천 생물학적 안전 수준 .....	187
표 8-2. 미생물 제어에 따른 실험 동물의 구분 .....	190
표 9-1. 정 자기장의 지속적 노출에 의한 ACGIH 한계치 .....	199
표 9-2. 레이저의 등급별 위험도 .....	204
표 10-1. 재해예방의 원칙 .....	229
표 11-1. 인체의 전류 변화에 따른 생체반응 .....	254
표 11-2. 실험실 장비 종류별 전류 세기 .....	255
표 11-3. 정전 저항 측정 .....	263
표 11-4. 정전 작업 시의 조치 사항 .....	270

## 용어 설명

**사건 (Incident):** 의도를 가지고 발생시킨 사고나 재해를 사건이라고 하여 사고(incident)와 구분한다.

**사고 (Accident):** 불안정한 상태나 불안정한 행동 혹은 자연적 현상에 의해 발생해 안전에 위해를 가할 수 있는 사건으로 무상해 사고와 상해를 입히는 상해사고(재해)로 나눌 수 있다.

**상해 (Injury):** 사고에 의해 입은 인적 피해를 상해, 혹은 재해라고 한다.

**연구실 (Laboratory):** 전문대학, 대학, 대학원, 국공립연구기관, 기업 부설연구소 등이 과학 기술분야 연구개발 활동을 위하여 설치한 실험실, 실습실, 시험실, 연구재료 저장실과 그 밖에 연구 장비 및 시설이 설치된 장소를 의미한다.

**연구실 안전법:** “연구실 안전환경 조성에 관한 법률”의 약칭

**연구실 안전환경 조성법:** 2005. 3. 31 일 제정되고, 2006 년 4월 1일 시행된 “연구실 안전환경 조성에 관한 법률”의 약칭

**연구주체의 장:** 대학·연구기관 등의 대표자 또는 해당연구실의 소유자를 말한다.

**연구실 책임자 (Project Investigator):** 연구실의 연구장비와 연구실에 소속되어 있거나 연구실 관련 연구활동에 참여하고 있는 연구활동 종사자에 대해 관리감독 및 안전 등에 책임을 가지고 있는 자.

**연구활동 종사자 (Researcher):** 대학, 연구기관 등에서 연구활동에 참여하여 과학기술분야의 연구개발, 실험활동에 종사하는 연구원, 대학생, 대학원생 및 연구보조원 등을 총칭하여 말한다.

**재해 (Injury):** 인체에 손상을 가져오는 사고의 결과를 재해라고 한다.

## 교재 개요

### [목적]

본 교재는 연구활동에 종사하는 연구활동 종사자들이 연구활동에 따른 안전과 건강을 확보하기 위해 필요한 기초적인 안전 지식(knowledge) 과 기술(skill), 그리고 안전에 대한 태도(attitude)를 익히도록 하는 것을 목적으로 하고 있다. 이에 사고 발생을 가져오는 원인을 살펴보고 이를 예방할 수 있는 방호장치, 개인보호구, 행동수칙 등을 익히도록 한다. 또한 만일 사고가 발생했을 때 그 피해를 최소화하기 위한 대처 요령을 익히도록 한다.

### [내용]

본 교재는 크게 두 부분으로 나누어져 있다. 1부에서는 모든 연구활동 종사자들이 알아야 할 안전에 관한 기초적이면서도 일반적인 내용을 다룬다. 1장에서는 연구실 안전에 대한 개요를, 2장에서는 연구실안전구성에 대해, 3장에서는 휴먼에러와 인간심리, 4장에서는 연구실사고예방을 위한 방호장치, 개인보호구, 안전표지, 5장에서는 사고 예방을 위한 행동수칙 대처방법을, 6장에서는 안전이념과 경영을 다루어 대학이나 연구기관의 장이 연구실 안전과 관련해 알아야 할 내용들을 포함시켰다.

2부에서는 제7장 화학위험과 안전, 제8장 생물위험과 안전, 제9장 물리위험과 안전, 제10장 기계위험과 안전, 제11장 전기위험과 안전 등 연구실 전문 분야 별로 위험 요인과 이에 대한 안전 대처 요령을 설명하고 있다. 각 분야별 전문적 내용에 대해서는 각 장 별로 참조하면 된다.

본 교재의 전체적인 내용은 ① 장치 및 설비, ② 물질 및 재료, ③ 정보전달 및 교육, ④ 연구활동 종사자 자신 행동에 따른 안전에 대한 내용을 차례로 다루고 있다.

물론 본 교재에서 나날이 발전하는 과학기술 모든 분야를 망라해 안전에 관한 지식과 기술을 다 말하는 것은 불가능하다. 따라서 본 교재에서 다루지 못한 기계, 시약 중에도 위험한 것들이 얼마든지 있을 수 있다. 본 교재는 연구실 안전에 대한 모든 세부사항을 다루는 것이 아니라 전반적인 연구실안전 규칙과 정책을 설명하기 위한 것이다. 따라서 연구실에서의 안전 교육은 본 교재를 기초로 하여, 각 연구주체 상황에 맞는 안전 교육이 이루어질 필요가 있다.

## [대상]

본 교재는 대학과 연구기관에서 과학기술 계통의 연구에 종사하는 모든 대학생, 대학원생, 연구원들을 대상으로 하고 있다. 그러나 그 중에서도 대학이나 연구기관에 들어와서 새로운 환경에서 연구 활동을 시작하는 사람들을 주 대상으로 하고 있다. 교재의 수준은 신입 대학원생 정도에 난이도에 맞추었다.

# 제 1 부

## 연구실 일반안전

# 제1장 연구실안전 개요

## 1.1 연구실 안전

인생에 있어 자신의 생명보다 더 소중한 것은 없다. 뛰어난 연구 결과에 의한 어떤 업적이거나 명예도 생명과는 바꿀 수 없다. 그러나 지금까지 우리의 연구 현장에서는 사고에 의해 생명까지 잃는 사고들이 종종 있어 왔다. 1999년 서울대 원자핵공학과와 폭발사고, 2003년 KAIST 항공우주학과와 풍동 폭발사고는 전도가 촉망되는 아까운 젊은 과학도들이 희생된 사고이었다. 사망에 이르는 사고는 아니더라도, 화상, 창상 등을 입거나 기물 파손 등의 사고는 실제 자주 발생하고 있다.

표 11의 사고 기록은 사고가 중대해 외부 언론에 알려진 것들이지만, 실제 각 대학과 연구소등에서는 보고되지 않는 많은 사고들이 발생하고 있다. 상황이 이런데도 문제가 계속 되어왔던 것은, 지금까지 연구를 수행하고 있는 사람부터 국가까지 연구실 안전에 대한 인식이 뚜렷하지 않아 이에 대한 대책이 마련되지 않았기 때문이다.

표 1-1. 국내 연구실 주요 사고

사고일	사고기관	사고내용	인명피해규모
1999.09.18	서울대 원자핵공학과	알루미늄 분말제조 중 폭발	사망 3명, 부상 1명
1999.10.09	서울대 화학과	신경독가스 포스젠 누출	없음
2000.03.03	원광대 무기화학과	원인미상의 실험실 폭발	없음
2003.05.13	KAIST 항공우주학과	풍동실험실 폭발	사망 1명, 부상 1명
2004.08.27	원자력연구소	청소작업 중 실험장치 유리 파열	사망 1명, 부상 1명
2004.10.10	원자력연구소 내 벤치기업	가연성 가스 분출로 화재	없음
2005.01.04	SK 대덕기술원	정밀화학동 폭발	부상 6명
2006.06.14	서울대 환경안전원	폐액 수거 중 폭발	부상 1명
2006.09.09	한양대	광전자재료연구실 폭발	부상 2명
2006.09.19	KIST	환경연구동 재료실험실 화재	없음

그러나 지금까지 연구실의 안전관리는 관심의 사각지대에 놓여 있었다. 모두들 사고는 운(運)이 좋지 않았기 때문에 발생한 것이라고 생각한다. 정부는 연구실 안전을 위한 어떠한 법률과 정책도 갖고 있지 못했다. 대부분의 대학교에는 연구실 안전을 담당할 전문적인 인력도 확보하고 있지 못했다. 사고가 나더라도 충분한 보상을 받을 제도적 장치가 없었다. 일반 기업의 부설연구소 등은 ‘산업안전보건법’의 적용을 받고 있으나, 이 법은 주로 생산 현장에 초점이 맞추어져 있어 연구현장에는 관리가 소홀할 수밖에 없었다.

다행히도 2005년 ‘연구실 안전환경 조성에 관한 법률(이하 연구실 안전법)’이 제정되어, 이제는 모든 과학기술 계통의 연구실들은 이 법의 적용을 받게 되었다. 물론 법의 제정만으로 연구실의 안전을 확보할 수 있는 것은 아니다. 정부, 대학, 연구소, 연구활동 종사자 개인 등 모든 조직과 관계자들이 연구실 안전을 위해 최선을 다 할 때 안전한 연구 환경을 확보할 수 있을 것이다. 그러한 노력 가운데 가장 중요한 것 가운데 하나가 안전에 대한 교육일 것이다.

지금까지 연구 현장에서 안전교육은 행해지고 있지 않았거나, 교육이 이루어지더라도 제대로 정확하게 이루어지지 못하고 형식적 교육에 그치는 경우가 많았다. 대학의 실험실습 시간에 다루는 시약이나 기구에 대한 위험성이 사전에 충분히 교육되지 않아 사고를 당하는 경우가 종종 있다. 이제는 자신의 생명을 스스로 지킨다는 생각 하에 연구실 안전에 대해 적극적으로 생각하고 공부할 필요가 생겼다. 자신의 연구에 투입하는 시간의 극히 일부라도 안전교육에 투자해 귀중한 생명을 지키도록 하자.

## 1.2 연구실 위험요소와 사고 유형

다양한 과학기술계의 분야만큼이나 연구실에는 매우 다양한 위험이 존재하고 그에 따른 여러 형태의 사고가 존재하고 있다. 여러분들의 연구실에는 어떠한 위험 요소가 존재하고 있는가? 연구실에 존재하는 위험요소들은 크게 화학적 위험, 물리적 위험, 생물적 위험, 전기적 위험, 기계적 위험, 작업방법 위험 등으로 나눌 수 있다. 작업방법 위험은 연구실에서 가스 실린더와 같은 중량물을 들다가 요통 등의 재해를 입을 경우를 예로 들 수 있다. 이러한 위험요소들 중 화학적 위험요소들은 주로 화학계열의 연구실에서 자주 발생한다고 할 수 있으나, 전기적 위험과 같은 것들은 전기계열 연구실뿐만 아니라 모든 연구실에 공통적으로 다 적용된다고 할 수 있다.

표 1-2. 연구실의 위험요소와 사고형태

위험요소	사고의 형태
화학적 위험	폭발, 연소, 유해물질 접촉
물리적 위험	방사선 노출, 유해광선 노출, 전자기장 노출
생물적 위험	미생물 감염
기계적 위험	협착, 전도, 충돌, 절단
전기적 위험	전격, 과열
작업방법위험	염좌, 신체통증, 근골격계 질환

### 1.3 연구실 사고 사례

지금까지 대학 연구실에서 발생한 사고 사례들은 법적으로 조사, 보고될 의무가 없었다. 단지 산업안전보건법의 적용을 받는 연구소들은 사고 사실을 노동부에 보고해야 했다. 이것도 4일 이상의 요양이 요구되는 사고의 경우만 보고되고 있기에, 많은 사고 사례들이 알려지지 못하다.

여기에서는 그 동안 있었던 연구실 사고 중 대표적인 사례로 서울대, KAIST, SK 연구소의 사고 사례를 통해, 연구실 사고의 위험성과 그 심각성을 알려주고자 한다.

#### 1) 서울대 원자핵공학과 폭발사고

연구실에서는 각종 실험이 이루어진다. 실험은 이전에 행해지지 않았던 신물질이나 신공법에 대한 성능 등을 확인하기 위해 이루어진다. 실험은 말 뜻 그대로 미지의 상태에 대한 경험을 하는 것을 의미한다. 따라서 이러한 실험과정에 충분한 안전성이 확보되지 못한 상태에서 실험이 이루어지기 쉽다. 또한 연구 프로젝트의 마감일에 쫓기거나 하면 더욱 더 안전보다는 일정 맞추기에 급급해 안전은 뒷전으로 물러나기 쉽다. 서울대 원자핵공학과와 실험실 폭발 사고는 이러한 경우의 대표적 예라고 할 수 있다.

#### 사고사례

1999년 9월 18일, 서울대학교 원자핵공학과와 조립식 4층 철골 가건물인 실험동에서 플라즈마 원리를 이용한 폭발물 실험을 준비하던 중, 7~8차레에 걸친 폭발사고로 3명의 대학원생과 1명의 연구생이 큰 화상을 입었고, 대학원생과 지나가던 학생들이 파편에 의해 다쳤다. 폭발의 영향으로 조립식 가건물의 외벽은 무너졌다. 사고 후 3명은 사망하였다. 폭발에 의한 화재는 소방대에 의해 20분만에 진화되었다. 재산피해는 9천여만원이었다.

서울대 측은 사고직후 방사능 누출 가능성을 우려해 사고 건물 주변에 대한 방사능 오염도를 측정했으나 불행 중 다행으로 방사능 누출 사고는 일어나지 않았다. 사고 건물 바로 옆 건물 1층에는 방사선물질인 동위원소가 보관되고 있었으나 이곳까지는 불길이 미치지 않았던 것이다.

이 사고가 일어난 과정과 원인은 다음과 같다. 이 사고는 프로젝트 마감일을 맞추기 위해 위험한 작업을 수작업으로 수행하다 벌어진 폭발 사고였다. 기존의 다이너마이트를 이용한 폭발과는 다르게 종이 실험관에 인화성이 강한 알루미늄 가루를 넣는 과정에서 갑자기 폭발이 일어났다 알루미늄 분말에 고전압, 고전류를 인가하면 플라즈마 상태에서 폭발하게 되는 원리를 이용한 실험이었다. 이 실험 중 알루미늄 가루를 원통형 종이실험관에 주입하는 과정에서 일부 가루가 공기 중으로 날렸으며, 이 과정에서 알 수 없는 스파크가 발생, 연쇄적으로 폭발이 일어났다.

## 2) KAIST 항공우주학과 풍동 폭발사고

연구 현장에는 수많은 위험 물질과 기계들이 사용되는 데, 이러한 위험 요소들에 대해 평소 관심을 기울이고 이에 대한 적절한 관리가 이루어져야 한다. 그러나 안전에 대한 무관심과 타성은 큰 사고를 불러 일으킬 수 있다.

예를 들면 연구실에는 수많은 고압의 가스들이 사용되고 있는데, 이러한 가스 저장 용기에 대한 적절한 관리가 이루어지지 않는다면, 가스 용기로부터 새어 나온 가스들이 언제든지 폭발물로서 작용할 수 있다. KAIST 항공우주학과의 풍동 폭발사고는 이러한 사고의 전형적인 예라고 할 수 있다.

### 사고사례

2003년 5월 13일, KAIST 항공우주학과 풍동실험실에서 폭발사고가 발생하여, 1명이 사망하고 1명은 양 다리가 잘리는 중상을 입었다. 연구실의 박사과정 학생 2명은 실험에 사용할 질소(N<sub>2</sub>) 가스통을 찾고 있었다. 이 때 실험실 통로를 막고 있던 가스통을 들었다가 폭발이 일어났다.

평소에도 실험실 안에 가스통을 쌓아두는 것이 예사였던 탓에 대수롭지 않게 생각을 하고, 길을 막고 있는 가스통을 들었던 것인데 그 당시 약간의 스파크만 일어도 폭발 위험이 있는 혼합가스가 다른 가스통들과 함께 뒤섞여 있었던 것이다. 이후 문제가 되었던 가스통들은 건물 밖 고압가스 캐비닛으로 옮겨졌고 모든 가스통들은 고정시켜 놓도록 했다.



그림 1-1. KAIST 풍동실험실 - 사고 후 고정시켜 놓은 가스 실린더

## 3) SK 대덕기술원 폭발사고

연구 과정에는 예기치 않은 사고가 항상 있을 수 있다. 따라서 실험을 하는 과정에서는 항상 발생할 수 있는 사고에 대한 예견을 하고 이에 대한 대비를 할 수 있어야 한다. 실험에 따른 화재, 폭발, 오염, 감염 등의 사고에 대해서는 평소 그 위험성을 예지하고 이에 따른 적절한 대책을 강구할 필요가 있다. SK 대덕기술원의 폭발 사고는 예기치 못했던 화학 반응 과정에 의한 폭발 사고의 예를 보여준다.

### 사고사례

2005년 1월 4일, 4일 밤 7시 55분경, 대전시 SK대덕기술원 정밀화학연구동 내, 의약 실험실에서 폭발사고가 발생했다. 이 사고로 지하 1층, 지상 2층 규모의 조립식 건물 한쪽 벽면이 날아갔다. 인명피해로 6명의 연구원이 부상을 당했다.

폭발에 따른 화재도 발생해 건물 내부 1만3000여㎡ 가운데 4분의 1가량과 내부 실험기기 등을 태운 뒤 1시간여 만에 진화됐다. 사고가 난 건물은 의약품 관련 정밀 화학실험을 하는 곳으로, 6명의 연구원이 의약품에 들어가는 중간 연료물질을 제조 실험하는 도중 반응기가 과열되는 바람에 연쇄 폭발이 일어난 것으로 추정된다.



그림 1-2. SK 대덕기술원 폭발사고 현장의 화재 진압

## 1.4 연구실 안전의 특성

‘산업재해’라는 용어를 어디에선가 들어 봤을 것이다. 산업재해는 제조업, 건설업, 서비스업 등의 산업현장에서 사고에 의해 부상이나 사망 등이 나타난 경우를 의미한다. 우리나라는 1970년대 산재왕국(産災王國)이라는 호칭으로 불릴 정도로 세계에서 재해율이 가장 높은 국가이었다. 그러다 1981년 ‘산업안전보건법’을 제정하고 국가적 차원에서 체계적으로 안전관리를 수행하면서 지금은 산업재해 감소에 어느 정도 효과를 보고 있다.

이러한 산업 현장에서의 사고는 물론 발생 빈도도 높고, 재해 강도도 높을 수 있다. 우리가 생각하기에도 ‘안전’하면 산업 현장의 안전을 우선적으로 떠올리는 것도 이러한 이유에서일 것이다. 그러나 상대적으로 발생 빈도와 강도가 작다고 연구 현장의 안전이 덜 중요한 것은 아니다.

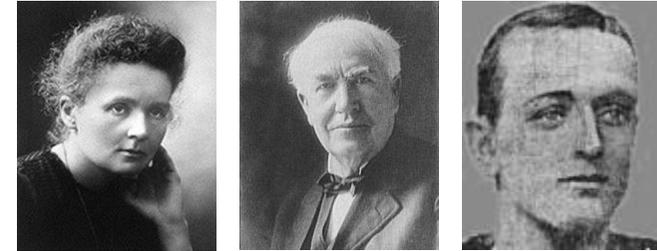
과학기술 연구활동 종사자들은 외부에서 생각하고 있는 것보다 훨씬 많은 위험요소(hazard)에 노출되어 있다. 산업현장은 실제 많은 산업재해가 발생하고는 있지만, 연구실에서 이미 어느 정도 안전이 검증된 재료, 기계, 공정을 사용하고 있어 위험에 대한 예측이 가능하고 관리가 가능하다. 반면에 연구실에서는 새로운 재료, 기계, 공정을 개발하는 과정이므로 그 위험을 예측하기 힘들다. 따라서 연구실은 결코 안전한 장소라고 할 수 없다. 실제로 우리나라에서도 그 동안 많은 연구실 사고가 발생하여 많은 재산상의 손실과 인명손실이 있었다.

많은 과학기술 연구활동 종사자들은 연구 현장에서 수많은 위험요소에 노출되어 있다. 이 중 화재(fire)와 같은 어떤 위험요소들은 매우 잘 인식되고 있으며 이에 대비한 주의 사항도 명확한 편이다. 그러나 연구실들은 대부분의 일반 작업장에 비해 매우 다양한 위험요소들을 지니고 있으며, 이러한 일반적이지 않은 위험요소들로 인해 더욱 위험한 것이다. 연구실의 안전은 산업 현장과는 다른 특성의 위험을 지니고 있고, 이것으로 인해 때로는 더 큰 위험에 노출되어 있다고도 할 수 있다.

몇 개의 역사적 사실을 가지고 이를 설명해 보자. 노벨상 수상자인 마리 퀴리(Marie Curie, 1867-1934)는 방사능 물질인 라듐(Ra)을 발견하는 업적을 남겼지만, 당시에는 방사능의 위험성이 안 알려져서, 퀴리 자신도 연구 중 방사능에 노출된 것이 원인이 되어 백혈병으로 사망한 것으로 알려져 있다. 또한 퀴리의 조수 블랑슈는 방사능 노출로 인해 팔다리를 절단해야 하는 사고를 겪었다.

뢴트겐(Wilhelm Conrad Röntgen, 1845~1923)은 X-선을 발견했지만, 초창기 그 위험성이 안 알려져 있었다. 발명가인 에디슨(Thomas Edison, 1847-1931)은 의료용 X-선 촬영기를 처음

개발했는데, 개발 과정에서 조수인 달리(Clarence Dally)는 자신의 몸에 X-선 촬영 실험을 반복적으로 수행하여 암에 걸려 사망에 이르게 한 사고도 역사에 기록되어 있다. 이로 인해 에디슨은 X-선 촬영기에 대한 개발에서 손을 떼게 된다.



Marie Curie

Thomas Edison

Clarence Dally

그림 1-3. 연구개발 과정에 재해를 입은 과학자들

이러한 역사적 사례를 볼 때 연구개발 업무에 종사하는 과학기술 분야의 연구활동 종사자들이 미지의 위험에 더 노출되어 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 위험을 무릅쓴 연구들의 결과로 신물질은 안전화, 안정화 되고 대량생산의 과정을 거쳐 일상에서 사용되게 되는 것이다. 산업현장에서 대량 생산, 유통된다는 것은 이에 대한 안전성을 어느 기준 이상으로 확보하고 있다는 증거이다. 그러나 연구개발 단계에서는 미지의 상태에서 이런 기준들이 없기에 더 위험하다고 할 수 있는 것이다.

또한 신 공정을 개발하는 과정도 많은 위험을 내포하고 있다. 실험에 필요한 부품과 설비 등이 없는 경우가 많아서 자체 제작을 하는 경우가 많은데 이 경우 부품 재질이 고온, 고압, 고속 등을 견디지 못해 사고가 날 수도 있다.

연구활동 종사자의 연구 활동 특성에서도 위험요소를 찾아 볼 수 있다. 연구업무는 생산현장의 업무에 비해 더 큰 집중력을 요구하는 경우가 많다. 연구활동 종사자들의 특성도 연구를 할 때, 작업을 집중적으로 하는 경우가 많다. 일반 생산현장에서는 주 40시간, 일 평균 8시간의 작업시간을 따르도록 되어 있지만, 연구직에서는 이러한 기준은 거의 무의미하다고 할 수 있다. 이러다 보니 과도하고 집중적인 연구 업무로 인해 스트레스와 피로가 쌓이기 쉽고 이는 잘 못하면 순간적 실수로 인해 사고를 유발 할 수도 있다.

## 1.5 연구실 안전의 책임

연구실 안전은 연구주체의 장(長) 즉, 대학의 총·학장이나 연구소의 소장 등 기관을 대표하는 최고위자, 교수나 연구팀장처럼 연구나 연구실 등을 책임지고 있는 연구실책임자, 그리고 실제 연구를 수행하는 연구활동 종사자들이 모두 협력하여 노력할 때 확보될 수 있다. 연구 주체의 장은 기관 전체의 연구실 안전에 대한 정책 방향을 제시해야 하고 안전에 대한 확고한 의지를 지니고 있어, 모든 소속원들이 이에 따라 오도록 해야 한다. 연구실책임자는 단위 연구실 별로 연구실안전에 대한 책임을 지며, 안전교육과 같이 구체적인 안전관리 활동의 지휘자가 되어야 한다. 연구활동 종사자들은 스스로 본인의 안전확보를 위해 안전 규칙을 준수하는 책임이 부과 된다. 각 개체 별 연구실 안전과 관련해 수행해야 할 내용들은 다음과 같다.

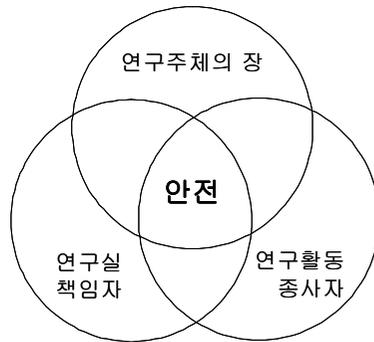


그림 1-4. 연구실 안전 확보를 위한 구성원의 협력

### 1) 연구주체의 장

대학의 학장이나 총장, 연구소의 소장 혹은 원장 등 연구주체의 최고경영자는 확고한 안전 방침을 정해야 한다. 그리고 이를 통하여 조직에 속한 모든 사람들이 연구실 안전운영에 대한 의사를 결집하고, 연구실에서 지켜야 할 안전기준을 스스로 준수하고, 연구실내에서 작업을 안전하게 유지하도록 할 책임을 공유한다는 사실을 충분히 인지하도록 해야 한다.

또한 연구주체의 장은 연구활동 종사자들에게 안전하게 연구를 수행하는데 필요한 모든 것을 제공하여야 한다. 이를 달성하기 위해서 연구주체의 장은 연구실 안전 프로그램을 수립하고 실시하도록 할 책임이 있다. 이 연구실 안전 프로그램이 얼마나 공식적이고 정교한

지는 연구실 크기와 업무 형태에 달려있다. 안전 프로그램은 이공계, 의학·보건계 등 연구실에 존재하는 잠재 위험에 대한 정보를 제공하고 이 잠재 위험을 취급하는 안전한 절차를 연구활동 종사자들에게 교육시키고 적절한 안전보호 조치와 개인보호구를 공급하고 철저히 관리하도록 제시하여야 한다.

연구실 안전프로그램은 또한 응급조치와 비상대책을 위한 적절한 방법을 가지고 있어야 한다. 만약 연구활동 종사자들이 연구 중에 상해를 입었다면 연구주체의 장은 연구활동 종사자들에게 의료조치를 제공하여야 한다. 이를 위하여 연구실 안전법 제14조에는 충분한 보상을 전제조건으로 상해보험에 가입하도록 의무화시키고 있다.

그 중에서도 가장 중요한 것은 연구주체 경영자의 확고한 안전방침과 자세에 달려있다. 연구주체의 경쟁력은 경영자의 안전에 달려있다. 얼마만큼 연구주체의 안전성을 확보하고 솔선수범 하였는가에 따라 그 결과는 가시적 효과와 잠재적 효과로 나타나게 된다. 안전을 최우선으로 하는 선진국의 사례에서도 여실히 나타나고 있다.

안전방침을 행동으로 실천하는 분위기 조성, 생활화된 안전을 솔선수범하는 경영자의 자세, 모두 자율적으로 참여하는 확고한 안전정신 생각하며 행동하는 안전풍토는 연구주체의 장의 강력한 안전 의지와 열의, 이들 실천하기 위한 조직의 협력 노력에 달려있다. 연구주체의 장과 연구활동 종사자들의 상호 신뢰성 확보가 중요하다.

연구주체의 경영시스템이 지속적으로 존속, 발전하기 위해서는 확고한 안전방침과 목표가 정해지고 일관성 있게 실천 촉진하는 강력한 조직의 힘이 발휘될 수 있어야 한다.

그러기 위해서 모두의 안전의식을 일깨워주는 안전교육을 필요로 하고 연구의 안전유지를 위한 연구환경의 위험성을 배제하고 개선 할 수 있는 안전기술 습득이 제공되어야 하며 연구실의 각종 기계설비의 근원적 안전화가 유지되어야 한다.

이같은 일련의 시스템이 원활하게 운영될 수 있는 관리시스템 구축이 필요하다. 구체적인 임무와 책임권한이 안전 목표달성을 위하여 계획적으로 촉진 되어야 한다. 연구 활동 종사자의 안전을 확보하기 위해서 필요한 시책을 계획적이고 구체적으로 지속할 수 있고, 안전관리 시스템을 경영자 책임으로 구축하고 운영하여야 한다. 안전관리 시스템 구축, 운영의 책임은 경영자에게 있으나 이것을 활성화로 전개시키기 위해서는 경영자 의도를 중간 관리층이 연구활동 종사자에게 전달하여 알리고, 연구활동 종사자의 의견이 상사에게 전달되는 상향식(bottom up) 이 되도록 상하 의사소통이 원활하게 이루어지는 것이 중요하다. 원활한 커뮤니케이션은 연구활동 종사자들의 사기의욕을 높이며 대학 연구기관의 안전활동 활성화에도 기여할 것이다.

## 2) 연구실 책임자

연구를 시작하는 연구활동 종사자들을 대상으로 연구 과정을 지도하는 연구실 책임자는 항상 연구 과정을 안전하게 지도하는 마음가짐을 가져야 한다. 대학교에서의 연구는 실험·실습을 처음 대하는 학부학생 중심의 교육용과 석·박사 과정과 같이 전문적 연구실험으로 구분하여 진행된다. 따라서 실험을 행할 때는 그 목적에 따라 적절한 안전대책이 강구되어야 한다.

연구에 사용하고 있는 장치나 설비는 안전장치 장착 등 근본적으로 안전화가 되어야 한다. 각종 설비 장치에 내포된 위험을 연구활동 종사자 개개인의 주의력에 의존하는 것은 잘못된 생각이다. 그러므로 연구실 책임자는 위험한 장치나 물질을 되도록 사용하지 않도록 연구활동 종사자에게 필요한 기본적인 정보를 충분히 학습시키고, 점차 고도의 정보로 지도한다. 연구의 성패는 연구활동 종사자 자신에 달려 있다. 아무리 좋은 시설이나 정보를 배려해도 연구활동 종사자 행동이 올바르지 못하면 사고로 이어져 성과는 기대하기 어려우며 이것이 연구에 치명적인 조건이다. 따라서 연구활동 종사자가 충분한 지식과 경험을 쌓도록 반복 교육지도를 통해 신중한 안전행동을 행하도록 평소에도 인간관계를 돈독히 할 필요가 있다.

## 3) 연구활동 종사자

연구주체의 장이 적절한 안전장치와 안전교육을 제공한다 해도, 안전에 대한 대부분의 책임은 연구활동 종사자 본인에게 달려 있다. 모든 안전법규, 정책, 절차, 계획, 프로그램, 교육, 휴대용 지침서, 안전장비, 제어, 감독(monitoring) 등 모든 수단들도, 불안정하게 행동하는 연구활동 종사자나 연구실 잠재위험에 대한 사전조치를 준수하는 것을 잊거나 준수하지 않는 연구활동 종사자를 보호할 수 없을 것이다. 연구실에 대한 모든 안전정책과 규정을 읽고, 이해하고, 준수하는 것은 연구활동 종사자들에게 달려있다.

연구실은 창조적 업무의 시초이다. 그러나 연구 활동에는 자주 위험이 동반된다. 이러한 위험을 방지한 연구를 행해선 안 된다. 연구는 결코 자만하거나 대중 대중해서 끝날 수는 없다. 예상되는 위험의 종류나 정도를 알고 충분한 대책을 세워서 안전하게 차분히 연구를 진행하는 자만이 참된 연구활동 종사자인 것이다. 우리들이 연구를 통해 구하고 있는 것은 과학적 원리에 바탕을 둔 참된 성과를 얻는 것이고 자신과 주변 사람들의 생명을 위협하지 않도록 만드는 것이다. 그러므로 이러한 마음가짐을 머릿속에 간직하고 어떻게 하면 안전하게 연구가 가능한가를 생각하며 그 방법을 익히고 실행하지 않으면 안 된다.

## 4) 안전관리 스태프

안전관리 스태프는 연구주체의 장, 연구실 책임자, 연구활동 종사자들을 지원하는 업무를 수행한다. 안전관리 스태프의 업무는 크게 연구실 안전을 위한 계획 수립과 집행과정의 관리, 연구실의 안전상태 확인, 안전관련 기술정보의 제공 등 3가지가 있다.

그러므로 연구 주체의 전반적인 안전관리를 실제 이행하는 전문가로서의 역할을 할 수 있는 유자격자 배치와 전담 부서 설치가 제일 필요한 것이다. 안전직무를 정확하게 수행하고 경영자의 안전보좌 역할을 수행하며, 연구주체의 안전확보를 위하여면 우수한 안전기획 능력, 안전기술 대처능력을 보유한 자를 선임하는 것이 중요한 역할을 할 수 있을 것이다. 또 안전교육 및 사내의 안전정보수집 제공 등 적극적인 스태프로서 질을 높여가는 것이 중요하다.

표 1-3. 안전관리 스태프의 업무

업 무	업 무 내 용
안전관련 규정, 기준 관리	안전관리 규정과 각종 기준의 제정과 개정
년간 안전 계획서 작성	년간 안전계획서 작성과 시행
새로운 안전시책 기획 추진	연구주체 순회 점검.
안전관리 위원회 운영	위원회의 소집, 심의안 작성, 기록 보관
유해물질 정보제공	MSDS 등 유해물질에 관한 정보 제공
안전교육	정기적 안전교육 실시, 신입 연구활동 종사자 교육
안전점검·진단	연구실에 대한 점검·진단 계획의 수립과 실시
방호장치/개인보호구 관리	방호장치 설치, 유지관리, 개인보호구 지급
사고조사	사고 원인조사와 보고서 작성

# 제2장 연구실 안전 구성

## 참고문헌

김두환, 안전관리실무론, 중앙경제사.  
 김두환, 연구실안전기술 지침 개발을 위한 정책연구, 한국과학재단, 2005.  
 김두환, 연구실험실의 안전대책, 안전보건, No 9, 2000.  
 김두환, 연구실 안전환경 조성에 관한 법 시행에 따른 안전대책, 토론회자료집, 2005.  
 박필수, 산업안전관리론, 중앙경제사, 2003.  
 유재권 외 6인, 안전관리, 동화기연, 1998.  
 한국과학기술평가원, 과학기술연구활동조사보고서, 과학기술부, 2004.  
 서울대학교환경안전연구원, 서울대학교실험실안전백서, 2006.  
 CRC, Handbook of Lab safety, 2nd ed. CRC, 1980.

## 2.1 안전이란?

안전(safety)은 쉽게 사고나 재해가 발생하지 않는 상태이며 보다 적극적으로는 이러한 사고와 재해를 유발할 수 있는 잠재적 위험도 없는 상태라고 정의할 수 있다.

안전은 일상생활이나 직장생활 등 우리 삶의 다방면에 걸쳐 관계하고 있다. 안전 분야는 직장생활에서의 산업안전, 교통현장에서의 교통안전, 일상생활에서의 생활안전 등 여러 영역이 있다. 또한 위험요소 별로는 전기안전, 가스안전, 기계안전 등으로 분류되기도 한다.

안전의 반대어는 위험(danger)이며 이는 사물의 불안정한 상태나 인간의 불안정한 행동에 의해 야기된다. 위험은 일정 수위를 넘으면 인젠가는 필연적으로 사고(incident)로 이어진다. 사고는 다시 인명피해를 수반한 재해(injury)로 이어질 수도 있다. 사고는 사고결과 재해가 되기도 하고 무상해 사고로 끝나는 것은 우연에 의한다고 볼 수 있다. 따라서 소중한 인명 손실을 가져오는 재해를 막기 위해서는 사고 예방이 이루어져야 하고, 사고 예방을 위해서는 위험을 제거하기 위한 적극적인 노력이 필요하다.

안전관리(safety control)는 이러한 사고와 재해에 대한 보상 등 사후적 처리와 이를 예방하기 위해 위험을 제거하는 예방적 관리 활동을 의미한다. 근본적으로 안전한 연구실을 만들기 위해서는 사후 처리보다는 사전 예방에 더 적극적으로 노력해야 한다.

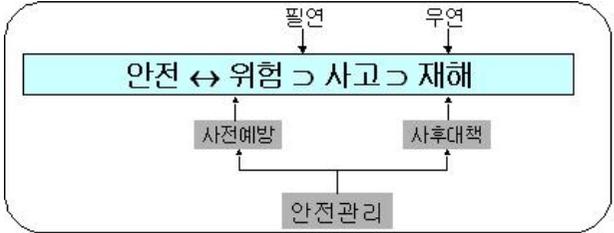


그림 2-1. 안전과 안전관리

## 2.2 재해발생 구성

여러분은 사고는 왜 발생한다고 생각하는가? 사고를 당한 사람이 부주의해서인가? 단지 운이 없었기 때문인가? 아니면 기계, 설비 등의 위험한 요인이 그대로 방치되었기 때문인가? 이러한 재해 발생 원인과 과정에 대해 그 동안 많은 안전공학(safety engineering) 관련자들이 재해발생 구성을 제시하였다. 그 중에 역사적 관점에서 대표적인 것들을 몇 개 살펴 보면 다음과 같다.

### (1) 개인적 요인

사고와 재해의 원인을 주로 사고를 발생시킨 개인에게서 찾으려는 요인이다. 이는 주로 초기 산업사회에 나타났던 경향으로, 사고를 자주 발생시키는 사람들은 주의력이 부족하던지, 문제가 있는 사람들로 이들을 사고빈발자(incident proness)로 보았다. 따라서 사고의 원인도 인간의 성격, 태만, 부주의, 동기부족 등에서 찾았다.

이러한 접근방법에서는 사고를 낸 개인에게 윤리적 비난이 가해지기 쉽다. 사고에 대한 예방책도 사고의 방지와 안전의 향상을 위해서는 개인들에 대한 훈련과 규칙 준수 등이 강조된다. 그러나 이러한 접근 방법으로는 근본적으로 사고를 방지하기 힘들다는 것이 밝혀졌다. 이제는 이러한 접근방법은 학계에서 배제되고 있지만, 아직도 우리 주변에서는 사고의 원인을 단지 개인의 책임으로 떠넘기려는 경향이 남아 있다.

### (2) 시스템적 구성

#### 1) 하인리히의 도미노 이론

안전분야의 탁월한 선구자였던 하인리히(H.W. Heinrich, 1881-1962)는 재해가 발생하는 과정이 도미노(domino)의 연쇄적 붕괴 과정과 비슷하다고 보고 이를 재해발생 모델로 정립했다.

도미노 이론에 의하면 재해라는 것은 일련의 시간 축 상의 여러 사건들의 연속적 작용에 의해 나타나는 것이다. 이러한 연속적 작용 중, 가정환경과 사회환경의 결함은 재해발생의 최초 원인이다. 이러한 원인들이 개인결함으로 연결되고, 이것에 의해 인간의 불안정한 행동이나 불안정한 상태가 나타날 때 사고가 발생하게 된다. 사고는 이어서 재해로 연결될 수 있다.

도미노 이론에서 하인리히는 처음으로 사고와 재해의 발생과정이 연쇄적 원인에 의해 나타난다는 것을 가정하였다. 또한 그는 사고의 원인 중 불안정한 상태와 불안정한 행동을 가장 중요한 것으로 보고 안전관리는 이에 집중할 것을 권고하였다. 즉, 도미노 중 중간의 어느 하나라도 붕괴되지 않으면 사고와 재해를 예방할 수 있게 되는데, 안전관리는 이 중 불안정한 상태와 불안정한 행동에 집중하는 것이 가장 효과적이라고 하였다. 하인리히의 도미노 이론은 이후에 나온 여러 재해발생 구성에 영향을 주었다.

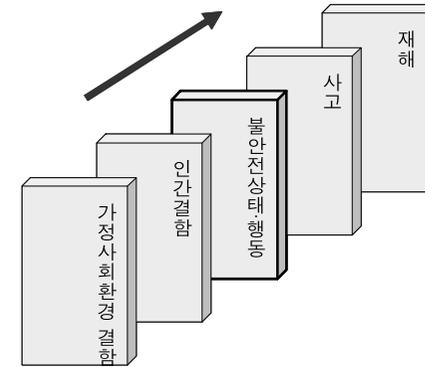


그림 2-2. 하인리히의 재해발생 도미노 이론

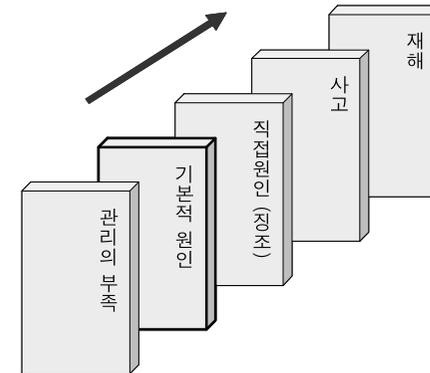


그림 2-3. 버드의 재해발생 도미노 이론

## 2) 버드의 도미노 이론

버드(Frank Bird)는 하인리히의 도미노 이론을 변형한 자신의 도미노 이론을 제안하였다. 이 모델에 의하면 재해는 근본적으로 관리의 문제이고 사고 전에는 항상 사고가 발생할 전조(직접원인)가 나타난다고 보고 있다. 이 직접원인은 사고 발생 시 어느 정도 그 원인을 쉽게 알 수 있는 것으로, 하인리히의 불안전 상태나 불안전 행동 등이 이에 해당된다. 버드의 이론에서는 사고의 발생원인 중 불안정한 상태나 불안정한 행동을 사고의 직접원인으로 보지만, 이러한 원인이 나타나게 한 기본원인에 더 초점을 두고 있다.

불안정한 상태가 생기거나, 불안정한 행동을 하는 데에는 보다 기본적인 원인이 있을 것인데 이를 기본원인이라 한다. 예를 들어, 보안경을 착용하지 않고 실험을 하다가 유리 용기가 파열되면서 안구에 손상을 입는 재해가 있었다고 하자. 이 경우 직접적인 원인으로 보안경을 미 착용한 불안정한 행동을 지적할 수 있다. 그러나 이에 대한 기본 원인을 조사해 가면, 이 사람이 연구실에서 실험을 하는 동안에 유리 용기 파열에 대한 위험성을 몰랐기에 미착용을 했다고 하면 기본적인 원인은 안전교육 부재에서 그 원인을 찾을 수 있다. 보다 근본적인 문제로는 신입 대학원생에 대한 안전교육 계획도 없고 실행도 못한 관리적 문제로 귀결된다 할 수 있다.

이러한 재해의 도미노 속성을 이해한다면, 재해 방지를 위해 필요한 일은 사고의 직접적인 원인인 불안정한 행동과 상태를 제거하는 것이고, 그 이전에 그러한 행동과 상태가 나타날 수 밖에 없게 하는 원인을 찾아 제거하는 것이며 이를 총괄할 안전관리 활동을 강화해야만 한다.

## 3) 리즌의 스위치치즈이론

휴먼에러(human error) 연구의 대가인 리즌(James Reason)은 사고 발생 과정을 가운데 작은 구멍들이 뚫린 스위스(Swiss) 치즈들을 가지고 설명하였는데, 이를 재해발생에 관한 스위스 치즈 이론이라고 한다. 이 이론에 의하면 보통 사고는 연속된 일련의 휴먼에러에 의해 발생하는 것이 일반적이고, 사고 이전에 오래 전부터 사고 발생과 관련한 전조가 있게 마련이다. 다행히 시간 축 상에서 사고 방지를 위한 안전장치 등 에러 방지체계가 잘 작동하면 휴먼에러와 사고는 방지될 수 있다. 그러나 에러방지 체계나 인간은 완벽하지 않기에 결함(치즈의 구멍)이 있게 마련이고, 이러한 구멍들을 통해 일련의 사건이 전개된다면 그것이 최종적인 휴먼에러를 통해 사고로 이어지게 된다.

이 모델에서는 사고의 방지를 위해 휴먼에러 방지를 가장 우선시한다. 그런데 휴먼에러의 방지를 위해서는 안전장치와 에러 방지 체계들의 결함을 최소화하여, 인간이 에러 발생을 최소화 하는 것을 목표로 한다.

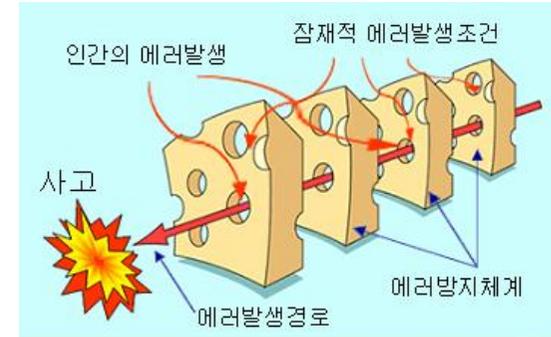


그림 2-4. 사고발생의 스위치치즈 이론

## 2.3 불안정한 상태와 불안정한 행동

하인리히의 도미노 이론 등에 의할 때, 불안정한 상태와 불안정한 행동은 사고로 연결되는 가장 직접적인 원인이 된다. 우리들은 일상생활이나 직장생활, 학교나 연구소 등에서 사고(accident)를 언젠가는 불러일으킬 것 같은 위험요소들을 자주 목격한다. 피복이 벗겨진 전선, 고정되어 있지 않은 가스 실린더 등 이러한 것들을 불안정한 상태라고 한다. 불안정한 행동으로는 것은 손으로 전선을 잡는 행위, 화학실험 시 입으로 피펫(pipette)을 빠는 행위 등을 들 수 있다.

불안정한 상태는 물적 조건이 안전한 상태로 있지 못한 것을 말하며, 불안정한 행동은 인간의 행동이 불안정하게 행해지지 않는 것을 의미한다. 사고는 이러한 불안정한 행동 혹은 불안정한 상태에 의해서만도 날 수 있지만 많은 경우는 불안정한 행동과 불안정한 상태가 결합되어 나타나는 경우가 가장 많다.



노출된 전선



고정되지 않은 가스 실린더



열려 있는 맨홀 뚜껑



젖은 바닥

그림 2-5. 불안정한 상태의 예



안전대 미착용



무모한 행동



젖은 손으로 전기기구 조작



과도한 중량물 취급

그림 2-6. 불안정한 행동의 예

## 2.4 사고와 재해

### 1) 사고

사고는 앞에서 말한 불안정한 상태와 불안정한 행동의 결합으로 인해 사고가 발생한다. 사고는 그 결과로 재산상 혹은 인명상의 손실을 수반하는 경우도 있고, 운 좋게도 그러한 피해가 없을 수도 있다.

도미노 이론을 제시했던 하인리히는 사고 데이터를 분석하여, 중상과 경상, 그리고 상해로 이어지지 않은 무상해 사고로 분류한 결과, 그 비율은 대략 1:29:300이 되는 것으로 파악했다. 이것의 의미는 경상과 중상 등 상해 사고와 무상해사고의 비율이 약 1:10으로, 상해사고 1 개의 배후에는 10 배나 되는 무상해사고가 있다는 것을 말한다.

비슷하게 버드도 사고 데이터를 분석하였는데, 중상과 경상, 재산상 손실만 가져오는 사고, 그리고 앗차사고(near miss)가 1: 10: 30: 600의 비율로 발생한다고 하였다. 이것도 앗차사고와 나머지 사고와의 비율로 보면, 사고 한 건에 앗차사고가 25 개 발생한다는 것을 의미한다.

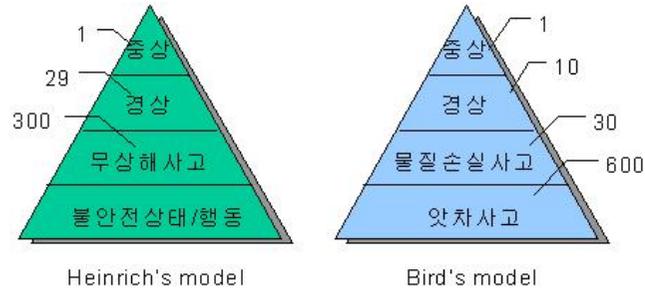


그림 2-7. 하인리히와 버드의 사고 발생비율

우리는 앗차사고를 당하면 이를 천운으로 여기고 만다. 이를 괜히 대학 당국이나 연구소에 보고해서 자기가 문책이나 받지 않을까 염려되어 보고는 안 한다. 그리고 잊어버리기 쉽다. 그러나 이와 비슷한 앗차사고가 여러 차례 나타나다 보면 그것이 언젠가는 상해사고 등으로 나타난다는 것이다.

즉, 우리는 보통 중상 등 큰 사고에만 관심을 갖게 되나, 사고의 구조는 마치 큰 빙산과도 같아서, 중상과 경상 밑에는 아주 많은 수의 앗차사고가 있었다는 것을 의미한다. 만일 앗차사고에서 교훈을 얻어 안전에 조금만 더 신경을 썼다면 상해 사고를 막을 수 있을 것이다. 그렇지 않고 언제까지나 천운이나 확률에만 의존해서는 안 될 것이다.

따라서 앗차사고가 담고 있는 사고원인까지 조사한다면 일반 사고의 25 배에 해당하는 요인을 더 얻을 수 있기에 안전 확보가 더 쉬워질 수 있다. 이제는 앗차사고에 대한 의식이 달라져야 한다. 앗차사고는 사고발생의 원인을 알려주는 잠재요인의 빙산의 밑바닥인 셈이다. 앞으로는 대학이나 연구소에서 앗차사고에 대해서도 공개할 수 있는 분위기를 조성하고 이를 통한 위험 요소 제거에 노력할 필요가 있다.

## 2)재해 (injury)

사고와 재해는 예방 측면에서는 크게 다를 것이 없다. 단 사고 발생에 의해 인명손실이 있었는가 여부에 따라 재해와 무상해 사고로 나누어지는 것이다. 현대의 문명화된 국가일수록 인명존중의 가치가 높다. 따라서 사고의 예방이 꼭 필요하지만, 사고가 나더라도 이것이 재해로 이어지지 않도록 할 필요가 있다. 재해가 발생 시에는 이에 대한 긴급조치와 치료, 보상 등이 있어야 한다.

## 참고문헌

- 기도형, 이경태, 박재희, 최경임, 산업안전보건 관리자를 위한 인간공학, 한경사, 2006.
- 김두환, 안전관리실무론, 중앙경제사.
- 박경수, 인간공학, 영지문화사, 2003.
- 박필수, 산업안전관리론, 중앙경제사, 2003.
- 서울대환경연구소, 연구실 안전 길잡이, 동화기술, 2001.
- 유재권 외 6인, 안전관리, 동화기연, 1998.
- 정병용, 이동경, 현대인간공학, 민영사, 2005.
- CRC, Handbook of Lab safety, CRC
- Reason, J., Human error, Cambridge university press, 1990.
- Swain A.D. and Guttman, H.E., Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1985.

## 제 3장 휴먼에러와 인간심리

### 3.1 휴먼에러

인간은 심리적으로 또는 신체적으로나 정신적으로 불완전한 존재이다. 따라서 신체적, 정신적 한계로 인해 인간은 일상생활에서나 산업 현장, 연구 과정에서 많은 에러(error)를 범하며 살고 있다. 이러한 인간이 발생시키는 에러를 휴먼에러(human error)라고 한다. 휴먼에러는 일상에서 작은 불편을 초래하는 것부터 인명 피해와 재산 손실을 가져오는 대형 사고의 결정적 원인이 되기도 한다. 만일 연구실에서 늦게까지 연구하다 마지막으로 나오면서 가스 용기의 밸브 잠그는 것을 잊는 휴먼에러를 범한다면, 이로 인해 가스가 유출되고 큰 사고가 나타날 수 있다. 따라서 휴먼에러에 대한 적절한 이해와 이에 대한 대책 마련이 절대적으로 요구된다.

에러는 주어진 목표로부터 일정한 제한 범위를 벗어난 결과라고 정의할 수 있다. 이에 대해 연구 현장에서의 휴먼에러는 다음과 같이 구체적으로 정의할 수 있다. 휴먼에러는 주어진 연구활동을 완수하는데 있어서 필요한 행동을 시간과 정확도 등에 있어서 기준에 못 미치게 하거나, 연구활동 완수에 불필요하거나 장애가 되도록 한 행동이라고 정의할 수 있다.

### 3.2 휴먼에러의 분류

휴먼에러의 원인을 파악하고 이를 방지하기 위해서는 우선 휴먼에러의 유형을 적절히 분류할 필요가 있다. 휴먼에러를 분류하는 방법은 목적과 관점에 따라 여러 가지가 있을 수 있다. 여기에서는 대표적인 휴먼에러 분류 방법 몇 가지를 소개한다.

#### (1) 행위적 분류 - Swain의 분류

스웨인(A. Swain)은 원자력발전소 근무자들의 휴먼에러 유형을 조사하는 과정에서 휴먼에러를 인간 행위 관점에서 분류하는 방법을 제안하였다. 행위 관점의 분류는 관측 가능한 행동의 결과만을 가지고서 에러를 분류하는 방법이다. 스웨인은 우선 휴먼에러를 작업 완수에 필요한 행동을 하는 과정에서 나타나는 에러와 작업완수에 불필요한 행동을 한 경우의 에러로 나누었다. 필요한 행동을 하는 과정에서 나타나는 에러는 다시 누락오류, 작위오류, 시간오류, 순서오류로 나누었다. 각각의 에러 유형을 예를 가지고 설명하면 다음과 같다.

- 1) 누락오류(omission error): 연구 수행 과정에 필요한 조작이나 행동을 빠뜨리는 에러. 예: 실험 후 가스 밸브 잠그는 것을 잊고서 실험실을 나가는 경우의 에러.
- 2) 작위오류(commission error): 연구 수행 과정에 필요한 조작을 하였으나 정확하게 수행하

지 못한 경우의 예러. 예: 반응로 내의 온도를 300 도로 맞추어야 했는데, 이를 500 도로 잘못 조작해 맞추는 경우의 예러.

- 3) 시간오류(time error): 작업 수행을 정해진 시간 이내에 완수하지 못한 경우의 예러. 지연 오류(delay error)라고도 한다. 예: 전기로의 가열을 1 시간만 하고 전원을 내려야 했으나, 1 시간이 넘은 후에 하는 바람에 시약이 다 타버린 경우의 예러.
- 4) 순서오류(sequence error): 작업 수행 과정에 그 순서가 심리적으로 헛갈려서 순서를 바꾸어 작업을 수행하는 경우의 예러. 예: 분전반의 전원 스위치를 올리기 전, 개별 기기의 전원스위치를 올리지 말았어야 하나, 이를 먼저 올리고 스위치를 올리는 바람에 기기가 고장 난 경우의 예러.
- 5) 불필요한 수행오류(extraneous error): 작업 수행 과정에 필요하지 않은 행동을 수행하는 예러. 예: 실험실에서는 금연하도록 되어 있는데, 실험 중 실험실 내에서 흡연을 하는 행위.

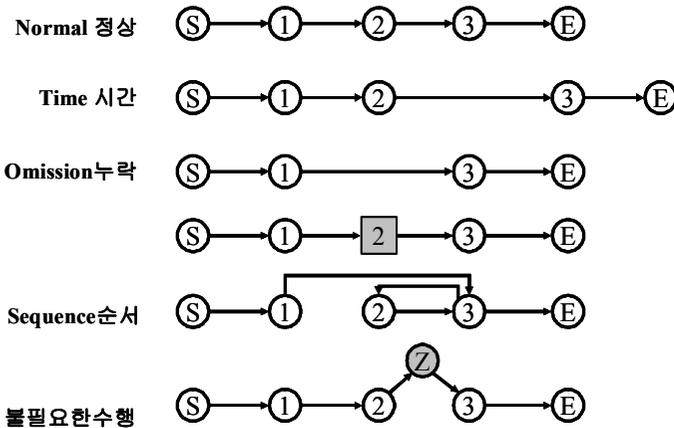


그림 3-1. Swain의 휴먼에러 분류

스웨인의 휴먼에러 분류와 같은 행위적 관점에서의 휴먼에러 분류는 행위의 결과만을 보고 분류하므로, 에러 분류가 비교적 쉽고 빠른 장점이 있다. 그러나 같은 행위의 결과가 나타나더라도 이를 행한 근본적 원인에 대해서는 고려하지 못하는 단점이 있다.

즉, 앞에서 예를 든 기기의 온도를 잘 못 맞추어 기기가 과열된 경우, 해당 연구활동 종사자가 맞추고자 하는 적정 온도를 알고는 있지만 단순히 마음이 급해서 실수로 잘 못 맞춘 것인지, 아니면 적정 온도를 잘 못 알고 있어서 그랬던 것인지, 아니면 처음 다루는 생소한 기기여서 적정 온도에 대한 지식이 전혀 없어서 그런 것인지 행위의 결과만 보아서는 구분할 수 없다. 이러한 분류 방법에 비해 원인적 분류는 나타난 결과보다 원인에 초점을 맞추는 분류 방법이다.

## (2) 원인적 분류 - 리즌의 분류

원인적 분류는 행위적 분류에 비해 인간의 정보처리 수준에 근거해 에러를 분류하기 때문에 에러 유형별로 적절한 대책을 강구할 수 있다는 장점을 갖는다. 리즌(James Reason)은 인간 행동을 숙련기반, 규칙기반, 지식기반 행동 등 3개의 수준으로 분류한 라스무센(Rasmussen)의 모델을 사용해 휴먼에러를 분류했다. 리즌은 인간의 불안정한 행동을 우선 의도적인 경우와 비의도적인 경우로 나누었다. 비의도적 행동은 모두 숙련기반의 에러라고 할 수 있다. 의도적 행동은 규칙기반 착오와 지식기반 착오, 고의 사고로 분류하였다. 각 휴먼에러의 내용을 살펴보면 다음과 같다.

### 1) 숙련기반 에러 (skill based error)

숙련 상태에 있는 행동을 수행하다가 나타날 수 있는 에러로 실수(slip)와 단기기억(short term memory)의 망각(lapse)이 있다. 실수는 주로 주의력이 부족한 상태에서 발생하는 에러이다. 예로 실험 도중 날카로운 물체들을 다루면서 주의력이 부족해 다치게 될 때의 에러가 있다. 혹은 젖은 바닥 위를 급하게 걸다가 미끄러지는 경우의 에러 등이 이에 해당된다.

단기기억의 망각은 단기기억의 한계로 인해 기억을 잊어서 해야 할 일을 못해 발생하는 에러이다. 단기기억은 컴퓨터에 비유하면 RAM(Random Access Memory) 과 같은 역할을 하는 것인데, 한 번에 최대 약 7개만을 동시에 기억할 수 있고, 그 유지시간도 약 15~30초에 불과하다. 만일 연구실 책임자가 연구활동 종사자에게 여러 개의 장비를 조작해야 할 것을 지시하는 경우, 정보량이 과다하여 심리적으로 그 중의 하나를 빠뜨리거나, 원래 의도와 다르게 조작을 할 수 있는데 이런 경우의 에러를 망각이라 한다.

### 2) 규칙기반 착오(rule based mistake)

인간들은 장기기억(long term memory) 속에 “만약(if) ....., 이라면(then) .....” 형태와 같은 여러 규칙들을 기억해 놓았다가 상황에 맞게 이를 적용해 작업을 수행한다. 그런데 처음부터 잘못된 규칙을 기억하고 있거나, 정확한 규칙이라 해도 심리적 상황에 맞지 않게 잘못 적용하는 경우의 에러를 규칙기반 착오라고 한다.

예로 연구실에 설치된 급수기에서 오른쪽에서 온수가 나오고, 왼쪽에서 냉수가 나오도록 되어 있다면, 이는 일반적 위치와 다르게 설치된 것이다. 만일 새로운 연구활동 종사자가 처음 이를 사용할 때는 본인이 가지고 있던 일반적 위치에 대한 규칙을 적용하다 보면, 화상을 입을 수 있는데 이러한 에러를 규칙기반 착오라고 한다.

### 3) 지식기반 착오(knowledge based mistake)

처음부터 장기 기억 속에 관련 지식이 없는 경우, 인간은 추론(inference)이나 유추(analogy)와 같은 고도의 지식 처리 과정을 수행해야 한다. 이런 과정에서 심리적으로 위축되어 실패해 잘 못된 의사결정을 하는 경우를 지식기반 착오라고 한다. 예를 들어 실험 폐기물 분류 시, 폐기 용액의 내용물에 따라 분류해야 하나 이에 대한 지식이 전혀 없어서 잘 못 버려서 사고가 나는 경우 이를 지식기반 착오라고 한다.

### 4) 고의사고(violation)

연구 수행 과정에 대한 올바른 지식을 가지고 있고, 이에 맞는 행동을 할 수 있음에도 일부러 나쁜 의도를 가지고 발생시키는 에러를 말한다. 예를 들어 대학이나 연구소 등에 심리적인 불만을 가지고 있어서, 일부러 화재를 내는 경우의 에러는 고의사고라고 할 수 있다.



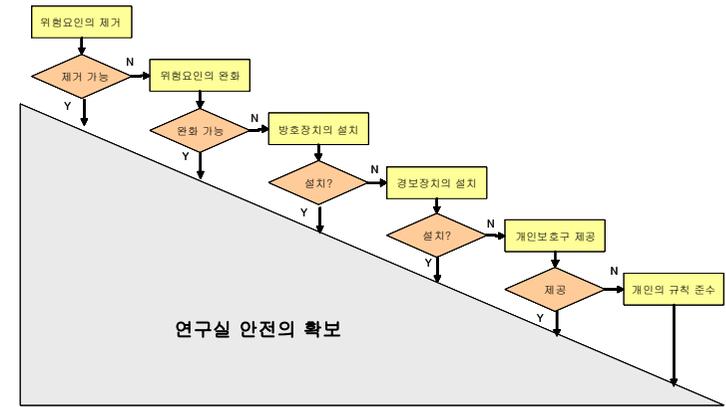
그림 3-2. Reason의 휴먼에러 분류

## 3.3 휴먼에러 예방대책

### (1) 단계별 예방대책

휴먼에러를 예방하고 연구실의 안전을 확보하기 위해서는 예방적 차원의 조치들의 순서를 가지고 진행할 필요가 있다(그림 33 참조). 첫째, 연구실의 위험 요소 자체를 근본적으로 없애기 위한 노력을 기울여야 한다. 둘째, 현실적으로 위험 요소 자체를 100% 없애거나 어려운 경우 이를 완화할 수 있는 방법을 강구해야 한다. 셋째, 심리적 갈등이나 휴먼에러 등이 발생해도 사고로 이어지지 않게 하는 방호장치(안전장치)를 부착해야 한다. 넷째, 사고가 발생할 가능성이 있거나 사고가 발생하는 경우 조치를 위한 경보장치가 부착되어야 한다. 다섯째, 위험요소에 노출을 막기 위한 개인보호구가 지급되어야 한다. 마지막으로 연구활동 종사자 스스로 심리적으로 안정된 환경유지로 안전 규칙 등을 준수해야 한다.

물론 기술적으로 100% 위험요소를 제거한다면 후속 단계의 조치들이 필요하지 않을 수도 있으나, 대부분의 경우에는 전 단계의 조치가 가능하더라도 대부분의 후속단계의 조치를 해야 한다. 단 안전확보를 위해 고려해야 하는 각 조치들은 이러한 순서를 따르는 것이 좋다. 왜냐하면 초기 단계일수록 안전에 기여하는 정도가 크기 때문에, 설계 단계에서부터 근본적으로 사고를 예방하는 것이 가장 효과적이다.



각 위치에서의 삼각형의 높이는 연구실 안전 확보에 기여하는 정도를 나타낸다.

그림 3-3. 휴먼에러 예방을 위한 대책

## (2) 위험요인의 근원적 제거

인간이 사용하는 재료나 기계·설비 등을 인간이 심리적으로 에러를 범하더라도, 위험요인이 없는 안전한 것을 사용하는 원칙이다. 예를 들면 유아용 완구에 사용하는 도료가 인체에 유해한 것들이 많은데, 유아는 그 위험성을 몰라 입에 가져가기 쉽다. 이때 도료를 입에 대도 문제가 없는 도료로 바꾸어 주는 것이 이러한 원칙이 적용된 것이다. 연구실에서도 화학물질 제조에 사용하는 시약이 인체에 유해한 경우, 이를 대체할 수 있는 무해한 시약이 있다면 이를 사용하는 것이 위험 요인의 근원적 제거이다.

## (3) 위험요인의 완화

근원적으로 에러를 100% 막는다는 것은 실제로 매우 힘들 수 있고, 경제성 때문에 그렇게 할 수 없는 경우가 많다. 이런 경우에는 가능한 에러 발생 확률을 최대한 낮추어 줄 수 있는 심리적 안전 환경유지, 재료나 기계·설비 등을 사용한다. 예를 들면 유아들은 약병이나 세계 등의 위험성을 몰라 심리적으로 우유만 먹던 습관에 뚜껑을 열고 이를 마실 수도 있다. 이런 경우에 대비해 약병이나 세계의 뚜껑을 눌러 돌려서 열게끔 하는 것이 이러한 원칙을 적용한 것이다. 연구실에서도 가구·기계·설비 등의 모서리의 각을 완하시켜 충돌 시 다치는 것을 방지하던 지, 강화 유리를 사용한 실험 도구 등을 사용한다면 파열 등의 사고를 완화할 수 있을 것이다.

## (4) 방호장치의 설치

방호장치 혹은 안전장치는 연구실에서 사용하는 기구·기구·설비 등에 사고를 예방하기 위한 장치이다. 프레스나 믹서기와 같은 기계의 위험한 구역에 심적 현상인 무의식적으로 손을 넣을 경우 광센서에 의해 자동으로 기계를 멈추게 하는 것 등이 이러한 원칙을 적용한 예이다.

## (5) 경보장치의 설치

경보장치는 사고가 발생하려는 징후가 있거나, 사고가 발생한 경우에 이를 알려주는 장치이다. 화재 경보기나 실험 설비 등에 이상이 있을 때 경보를 알려줄 수 있도록 하는 것이 이러한 원칙을 적용한 것이다. 꼭 장치가 아니더라도 위험 구역을 표시해주는 안전표지판 등도 이에 해당된다.

## (6) 개인보호구의 지급

사고가 나거나, 위험 요인에 노출될 때를 대비해 헬멧이나, 보안경 등을 착용하는 것이 필

요하다.

## (7) 개인의 규칙 준수

앞서 언급한 많은 조치들에 의해 위험요소가 완화되거나 각종 방호장치, 경보장치, 개인보호구가 갖추어지더라도, 최종적으로 안전에 대해서도 각 개인이 안전 규칙을 준수해 행동하려는 노력이 필요하다. 이렇게 할 때에 사고를 사전에 예방하거나, 사고가 나더라도 그 피해를 최소화할 수 있을 것이다.

## (8) 사고방지 설계 원칙

앞에서 이미 언급했듯이 휴먼에러 방지와 심리적 갈등에 의한 사고를 예방하기 위해서는 초기 단계일수록 더 많은 관심을 갖고 노력을 해야 한다. 새롭게 연구 장비들을 구입하거나 제작할 때, 이러한 에러 제거 원칙과 에러완화 원칙 등이 충분히 반영되도록 설계해야 한다. 연구장비들의 설계 단계에서 특히 고려해야 할 안전설계 원칙으로는 폴-푸르프(fool-proof) 설계 원칙과 페일-세이프(fail-safe) 설계 원칙이 있다.

### 1) 폴-푸르프 설계 원칙

폴-푸르프(fool-proof)는 말뜻대로 번역하면 바보 인증이다. 즉, 정상인보다 지적 능력이나, 신체적 심리적 조건이 낮은 사람이 사용하더라도, 문제없게 안전하도록 설계해주는 원칙이 폴-푸르프(fool-proof)이다.

예를 들어, 시약병이나 세계의 뚜껑을 열기 위해서는 힘을 아래 방향으로 가해 돌려야 하는데 이것은 위험성을 모르는 아이들이 마실 확률을 낮추는 디자인이다. 컴퓨터와 모니터를 연결하는 케이블과 같이 전자기기의 케이블에서 꽂는 방향이 잘못되면 연결이 안 되고, 오직 정확한 방향으로만 체결이 되게 하는 것도 폴 푸르프 디자인의 한 예이다.

폴-푸르프는 휴먼에러 예방대책 단계로 주로 에러를 근원적으로 제거 혹은 완화해주는 설계이다. 방호장치의 설치도 많은 경우가 폴-푸르프 원칙을 적용한 것이다. 프레스 위험 구역에 실수로 손을 넣을 경우 자동으로 정지하도록 하는 것이 폴-푸르프이다.



그림 3-4. 폴-푸르프(fool-proof) 디자인의 예

## 2) 페일-세이프 설계 원칙

페일-세이프(fail-safe) 설계원칙은 사고가 일단 나더라도 후속 단계에서 안전하도록 하는 것이다. 페일-세이프 설계원칙은 주로 방호장치나, 개인정보호구 등에 구현되어 있다.

페일-세이프 설계를 위해서는 부품의 병렬체계 설계나, 대기 체계 설계와 같은 중복설계를 해준다. 예를 들어, 비행기 엔진을 2대 이상으로 설계하는 것은 병렬 설계의 예로 1대의 엔진에서 이상이 있더라도(fail) 나머지를 이용해 비상착륙을 할 수 있도록 되어 있다(safe). 수술 중 정전(fail)에 대비해 병원에 자가 발전기(safe)를 대기시켜 놓고 있다면, 이는 대기 체계로 페일 세이프 디자인이다. 자동차의 보조 바퀴나, 주낙하산 고장에 대비한 보조 낙하산은 대기 체계 설계의 한 예이다.

페일 세이프 디자인의 또 다른 예로는 에러가 있었을 때 이를 쉽게 복구(error recovery)할 수 있도록 설계를 해주거나, 아니면 적어도 고장 난 시스템이 더 이상 작동하지 않아 사고를 예방할 수 있도록 하는 원칙이 있다. 에러 복구 가능한 시스템의 예로는 윈도우 시스템의 휴지통 기능을 예로 들 수 있다. 고장난 시스템이 더 이상 작동하지 않도록 하는 예로는 전기 히터를 들 수 있다. 전기 히터는 넘어지는 사고가 발생하면 위치 센서가 작동하여 전원이 자동으로 차단되도록 되어 있다.



그림 3-5. 페일-세이프 디자인의 예 (중복설계, 대기 체계 설계, 작동 중지)

설계단계에서 휴먼에러의 예방을 위해 위험한 시스템이나 시스템의 위험한 부분의 접근을 차단할 필요가 있다. 이런 경우 잠금 장치를 사용하면 좋은데 잠금장치로는 안잠금(lock-in) 장치, 바깥잠금(lock-out) 장치, 맞잠금(interlock) 장치 등이 사용된다.

안잠금 장치는 시스템의 안쪽에서 접근을 방지하는 장치이다. 예로 전기 압력 밥솥의 경우 위험한 증기가 빠져나가지 않은 상태에서는 안으로부터 잠금이 되어 있어 뚜껑이 열리지 않도록 되어 있다.

바깥잠금 장치는 시스템의 보수 등의 작업을 실시할 때 그 사실을 모르는 사람이 급작스런 기계 장치를 동작시키거나 에너지 분출을 막기 위해 기계 조작 장치 등을 외부에서 잠그는 것을 말한다.

맞잠금 장치는 동작되는 기계 장치 등에 대해 접근이 이루어지면 자동으로 동작을 멈추도록 설계한 잠금장치를 의미한다. 세탁조의 통이 회전하다가, 전원을 끄지 않고 도어를 열 경우 세탁조의 회전이 멈추도록 설계되어 있는데 이는 맞잠금장치의 예이다.

이러한 잠금장치들의 예는 연구실 장비들이나 연구작업에 적용될 수 있는 그러한 원칙들이다.



그림 3-6. 안잠금, 바깥잠금, 맞잠금의 예

## 참고문헌

- 기도형, 이경태, 박재희, 최경임, 산업안전보건 관리자를 위한 인간공학, 한경사, 2006.
- 박경수, 인간공학, 영지문화사, 2003.
- 서울대환경연구소, 연구실 안전 길잡이, 동화기술, 2001.
- 시미즈히사치, 대학 공학부에 있어 안전활동 경험, 일본안전공학, vol.33, No.4, 1994.
- 정병용, 이동경, 현대인간공학, 민영사, 2005.
- 하동명, 이수경, 화공안전공학, 동화기연, 1997.
- 한국과학기술평가원, 과학기술연구활동조사보고서, 과학기술부, 2004.
- 한국산업안전공단, 실험실 안전지침, 1999.
- 한국학술재단, 대학 실험실 안전보건관리 지침 개발 및 점검 체계 구축, 2004.
- Reason, J., Human error, Cambridge university press, 1990.
- Swain A.D. and Guttman, H.E., Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1985.

## 제4장 연구실 사고예방

### 4.1 안전계획의 수립

#### (1) 연구실 안전확보의 기본 자세

연구에 사용되는 장치나 설비는 안전하지 않으면 안 된다. 연구장비 중에는 고속회전이나 예리한 부분, 화염, X-선, 레이저 광선을 발생하는 장치, 고온·고압을 발생시키는 위험한 설비도 있다. 이러한 위험장비를 취급하면서 근본적인 대책 없이 사람의 주의력에만 안전을 의존하는 것은 대단히 위험 천만한 일이다. 이와 같은 위험 부분의 안전대책을 어떻게 세워 안전하게 사용할 것인가 하는 방법론을 교육, 지도하고 훈련시킬 필요가 있다.

다음으로 사용되는 물질 및 재료의 위험성도 평가를 행하여 취급하는 데 필요한 안전조건을 알아야 한다. 취급하는 물질의 성질, 반응조건, 인체에 미치는 영향, 화재 시 조치 방법 등 물질의 MSDS(Material Safety Data Sheet)를 사전에 파악하여 이해시키고 이에 따른 안전 조치를 취할 수 있는 기술적인 능력을 실험 전에 습득시켜야 한다. 특히 화학 실험실의 경우 취급되는 유리기구가 많아 깨지기 쉽고 가공 중에 다칠 위험이 있다. 이와 같은 여러 조건에서의 안전에 대해 올바른 정보를 제공하고 안전교육을 지도한다. 그리고 안전한 실험을 위한 실험절차서를 만들어 원료, 장치를 취급할 때 충분한 정보를 유용하게 활용할 수 있도록 기준을 만들어 준수하도록 해야 한다.

연구활동 종사자는 자신의 안전과 동료의 안전을 위한 안전행동 참여가 중요하다. 이들이 폭넓은 안전지식과 경험을 가지고 안전 행동을 발휘할 수 있도록 지도훈련이 요구된다. 작은 실수가 반복될 때는 사고가 발생하기 쉽다는 사실을 알아야 한다. 특히 연구활동 종사자들의 고민, 불안 등 정신적, 생리적 문제가 있을 때 사고가 일어나기 쉽다. 그러므로 평소에 연구활동 종사자가 실험 목적을 파악하고, 심신의 안전확립이 되도록 적극 노력하고 참여하면 사고를 미연에 방지할 수 있을 것이다.

#### (2) 실험계획 사전 평가

대학이나 연구소 등에서 실험을 정해진 규정과 절차에 따라 안전하게 수행하는 것은 연구활동의 가장 기초적인 작업이다. 따라서 연구활동 종사자들이 실험을 시작하기 전, 해당 실험과 관련해 어떠한 잠재 위험이 숨어 있는지 그 위험 요소를 조사해서 적절한 안전조치가 취해져야 한다.

실험을 하기 전에 경험자의 의견을 경청하는 것도 좋은 방법이다. 안전지식이 부족하여 실험중 사고가 빈번히 발생하므로 실험 전에 예상되는 위험을 충분히 이해하고 안전한 실험이 진행되도록 안전지식을 보유하고 있어야 한다. 따라서 연구실 책임자는 관련 안전 지식과 경험을 풍부하게 갖고 지도해야 할 것이다. 대부분의 연구활동 종사자들은 처음 접하는 실험이 많을 것이다. 그래서 호기심과 자만심을 갖기 쉬어 실수할 확률이 높다. 연구실 책임자는 반드시 실험을 시작하기 전 연구활동 종사자들에게 충분히 위험요소를 인지시키고 실험하는 것이 그 실험을 성공적으로 이끄는 길이다.

특히 화학물질을 취급할 때는 유해 위험성과 화재, 폭발, 중독, 부식 등 위험성이 다양하므로, 취급하는 화학물질에 대한 MSDS(Material Safety Data Sheet) 지식을 교육시켜 원료나 용제, 시약 등을 사용하여 실험중 이상 반응이나 폭주 반응 등의 화학반응에 필요한 온도, 시간, 압력 생성에 따라 예상되는 위험성에 미리 대비할 수 있는 요령을 알고 행동하도록 해야 할 것이다.

연구실 사고 대부분이 연구활동 종사자의 행동 잘못도 있으나 지도하는 연구실 책임자가 관련 안전 지식이나 경험이 부족한 상태에서 이론적 근거에 따라 실험을 착수하도록 지시하는 경우가 있다면 재고해야 할 필요가 있다. 특히 실험장치 선정, 배치 장소 상의 문제점도 검토해야 한다. 실험중 내용물이 유출, 누설될 경우 이로 인한 폭발, 화재 등 주변 환경 조건에 따라 피해가 확대되거나 2차 재해로 이어질 수 있으므로 사전에 실험 장소 등도 적절한 선정이 이루어져야 한다. 그리고 실험 종료 후 용제 회수 불용 부산물이나 잔액 처리가 미치는 영향 등을 감안하여 안전 조치가 연구실 책임자에 의해 사전에 세심히 검토되어야 할 것이다.

## 4.2 연구실 안전표지

### (1) 안전표지 개요

연구실 안전표지란 연구실 안전을 위하여 일정한 색, 기호·문자 등으로 금지, 경고, 지시, 안내 등을 나타내는 표지판으로 안전 명령의 일종이다. 연구실에는 많은 기계, 기구와 설비 그리고 위험물질이 있으며, 이들은 일정한 절차에 의하여 지정된 연구활동 종사자 이외는 다루어서는 안 된다.

그러나 인간은 완전한 존재가 아니므로 누구든지 실수를 할 수 있다. 해당 연구 기구·설비의 담당자가 없는 상태에서 다른 사람이 임의로 작업을 수행하거나 조작하는 경우 재해를 당할 위험이 있다. 이런 경우에 대비해 접근이나 사용을 제한하는 정보를 미리 주변 모든 사람에게 알림으로써 사고를 예방하기 위한 안전조치라 할 수 있다.

### (2) 안전표지의 목적

안전표지는 색과 기호와 문자로서 연구활동 종사자의 행동을 규제하여 안전 작업을 하도록 하는 데 그 목적이 있다. 따라서 연구활동 종사자는 연구를 개시하기 전에 먼저 표지를 보고 표지가 지시하는 바에 따라 무엇을 해야 할 것인가를 생각하고 필요한 안전조치를 강구한 다음에 연구에 임해야 한다.

### (3) 안전표지의 적용범위

연구실 안전표지는 연구실 전반에 걸쳐서 사용되어야 하며, 연구실에 들어오는 모든 사람은 이 표지 내용을 알아야 하고 또한 알 수 있도록 표시해야 한다. 그래서 표지에는 표지 내용을 나타내는 문자를 기입하도록 하고 있는 것이다. 일반적으로 표지는 연구 당사자만 알면 되는 것으로 잘못 알고 있는 경우가 있다. 그러나 연구실에는 연구활동 종사자만 출입하는 것이 아니다. 연구와 관계없는 사람들도 출입하며 그 중에는 견학 온 일반인들도 있을 것이다. 그러므로 표지는 이해하기 쉬워야 하고 객관성이 있어야 한다.

### (4) 안전표지의 사용

안전표지의 범주는 크게 금지, 경고, 지시, 안내 등으로 나눌 수 있다. 현재 연구실 안전과 관련한 표준적인 안전표지 규정은 제정되어 있지 않다. 다만 산업안전보건법에서 규정한 39종을 차용해서 사용할 수 있다. 그러나 여기에서 찾을 수 없는 경우와 연구실 안전과 관련해 꼭 필요한 경우 각 대학이나 연구소 별로 자체적으로 제작하여 부착 사용할 수 있다. 그러나 이 경우에도 산업안전보건법 상의 안전 표지 규정 기준에 따라 색과 그림, 문자 등을 사용하여야 한다.

## (5) 안전표지의 기준

### 1) 안전표지의 색채

안전 표지에 사용하는 색채는 용도에 따라 빨강, 노랑, 파랑, 녹색, 흰색, 검정색의 6가지를 사용한다. 여기서 빨간색은 금지, 노란색은 경고, 파란색은 지시, 녹색은 안내표지에 각각 사용하도록 되어 있으므로 색채만 보아도 표지의 성격을 식별할 수 있어야 한다.

### 2) 안전표지 규격

안전표지의 크기는 표지 사용 장소와 용도에 따라 연구활동 종사자가 빠르고 쉽게 알아 볼 수 있는 크기로 제작하면 된다.

### 3) 문자 표기

안전 표지의 메시지를 명백히 하기 위하여 필요한 때에는 그 안전 표지의 주위에 표시 사항을 글자로 부기할 수 있다. 이 경우 글자는 흰색 바탕에 검은색 한글 고딕체로 표기하면 된다.

## 6) 안전 표지의 설치와 관리

안전표지는 연구활동 종사자가 쉽게 식별할 수 있는 장소·시설 또는 물체에 설치 또는 부착하여 사용하되, 흔들리거나 쉽게 파손되지 않도록 견고하게 설치 또는 부착해야 한다. 그러나 안전표지의 설치 또는 부착이 곤란 할 경우가 있는데 이런 경우에는 당해 물체에 직접 도장할 수 있다.

안전표지는 시각적인 자극에 의해 안전이 확보되도록 하는 안전조치이므로 색채나 모양이 옅어지거나 변색된 것을 사용해서는 안 된다. 그러므로 관리를 철저히 하여 항상 원상태를 유지할 수 있도록 노력하여야 한다.

## (7) 연구실 안전표지의 종류

안전표지는 크게 금지표지, 경고표지, 지시표지, 안내표지 등 4종류로 구분되어 있으며, 색 깔과 모양에서 용이하게 구분할 수 있도록 규정되어 있다. 이와 같은 안전표지의 종류와 형태를 살펴보고, 연구실 안전과 관련해 자주 사용되는 심볼들의 예를 나타내었다.

### 1) 금지표지

금지표지는 어떤 특정한 행위가 허용되지 않음을 나타낸다. 이 표지는 흰색 바탕에 빨간색 원과 45° 각도의 실선으로 이루어진다. 금지할 내용은 원의 중앙에 검정색으로 표현하며,

동근 테와 빗선의 굵기는 원외경의 10%이다. 금지표지로는 출입금지, 금연, 화기금지, 음식물 반입 금지 등이 있을 수 있다.

### 2) 경고표지

경고표지는 일정한 위험에 대한 경고를 나타낸다. 이 표지는 노란색 바탕에 검정색 삼각 테로 이루어지며, 경고한 내용은 삼각형 중앙에 검정색으로 표현하고 노란색의 면적이 전체의 50% 이상을 차지하도록 하여야 한다. 경고표지에는 인화성물질, 산화성물질, 폭발물 경고, 독극물경고, 부식성물질경고, 방사성물질경고, 고압전기경고, 레이저광선 경고, 위험장소 경고 등이 있을 수 있다.

### 3) 지시표지

지시표지는 일정한 행동을 취할 것을 지시하는 것으로 파랑 색의 원형이며, 지시하는 내용을 흰색으로 표현한다. 원의 직경은 부착된 거리의 40분의 1이상이어야 하며, 파란색은 전체 면적의 50% 이상이어야 한다. 지시표지에는 보안경 착용, 방독마스크 착용, 방진마스크 착용, 보안면 착용, 안전모 착용, 귀마개착용, 안전화 착용, 안전장갑 착용, 안전복 착용 등 주로 개인보호구 착용에 관한 것이 많다.

### 4) 안내표지

안내표지는 안전에 관한 정보를 제공한다. 이 표지는 녹색바탕의 정방형 또는 장방형이며, 표현하는 내용은 흰색이고, 녹색은 전체 면적의 50% 이상이 되어야 한다. 안내표지는 녹색자, 응급구호, 들것, 세안장치, 비상구 등이 있다.

## (8) 연구실 안전표지의 제작

안전표지의 심볼만으로도 정보를 전달 할 수 있지만, 경우에 따라서는 위험의 수준과 지시 내용들을 문자로 정확히 표현해야 할 경우가 있다. 이런 경우에는 아래와 같은 형태의 표지를 작성해 부착할 수 있다.

위험: danger  
 경고: warning  
 주의: notice

상징표현



문자표현

그림 4-1. 안전표지의 제작

출 입 금 지	흡 연 금 지	화 기 금 지	음 식 물 반 입 금 지	휴 대 전 화 금 지
방 사 선 물 질 경 고	폭 발 성 물 질 경 고	인 화 성 물 질 경 고	산 화 성 물 질 경 고	독 극 물 경 고
레 이 저 경 고	위 험 장 소 경 고	생 물 학 적 감 염 경 고	자 기 장 경 고	고 압 가 스 경 고
보 안 경 착 용	귀 마 개 착 용	안 전 장갑 착 용	방 진 마스크 착 용	방 독 마스크 착 용
응 급 조 치 키 트	안 전 샤워 장 치	세 안 장 치	소 화 기	비 상 구

그림 4-2. 연구실 안전에 사용되는 표지의 심볼들

표 4-1. 연구실 안전표지의 사용

분류	종류	용도 및 사용장소	사용장소 예시
금지 표지	출입금지	출입을 통제하여야 할 장소	위험 구역
	금연	담배를 피워서는 안될 장소	연구실 내
	화기금지	화재발생의 염려가 있는 장소로서 화기취급을 금하는 장소	화학물질 취급장소
	음식물반입금지	화학, 생물학 관련 실험실 등에서의 음식물 오염이 예상되는 장소	화학, 생물학 실험실
	휴대전화금지	전자파에 의한 기기 오작동이 우려되는 장소	로봇 실험실
경고 표지	인화성물질 경고	휘발유 저장소 등 화기의 취급을 극히 주의하여야 하는 장소	휘발유 저장탱크
	산화성물질 경고	가열, 압축 및 강산 등의 첨가로 강한 산화성을 나타내는 물질	질산 저장탱크
	폭발물 경고	폭발성의 물질이 있는 장소	폭발물 저장실
	독극물 경고	독극물이 있는 장소	독성물질 보관장소
	방사성물질 경고	방사능물질이 있는 장소	방사성동위원소사용실
	저온 경고	아주 차가운 물체 또는 온도가 아주 낮은 장소	극저온 실험실 입구
	자기장 경고	강 자기장이 걸려 있는 장소	MRI 촬영실
고압가스 경고	고압가스 경고	고압가스를 사용하는 장소	고압가스 사용 실험실
	레이저광선 경고	레이저광선에 노출될 우려가 있는 장소	레이저실험실 입구
	생물학적 감염경고	바이러스 등에 의한 신체 감염이 우려되는 장소	병원균 실험실
	위험장소	가타 위험한 물체가 있는 장소 또는 당해 물체	멘홀 앞
안전 표지	보안경 착용	보안경을 착용하여야만 작업 또는 출입을 할 수 있는 장소	그파인더 사용실험실
	방독마스크 착용	방독마스크를 착용하여야만 작업 또는 출입을 할 수 있는 장소	유해물질 실험실 입구
	방진마스크 착용	방진마스크를 착용하여야만 작업 또는 출입을 할 수 있는 장소	분진이 많은 실험실
	귀마개 착용	소음으로 귀마개를 착용하여야만 작업 출입을 할 수 있는 장소	소음이 심한 연구장비
	안전장갑 착용	안전장갑을 착용하여야만 작업 또는 출입을 할 수 있는 장소	고압 전기기계
	안전복 착용	방열복 등의 안전복을 착용하여야만 작업 출입을 할 수 있는 장소	고열 실험실
안전 표지	응급구호 표지	응급구호설비가 있는 장소	응급조치키트함
	세안장치	세안장치가 있는 장소	세안 장치 근처
	안전샤워장치	안전샤워장치가 있는 장소	안전샤워장치 근처
	비상구	비상출입구	비상구
	소화기	소화기가 설치된 장소	소화기

### 4.3 개인보호구

사고에 대한 최후의 보호막으로서 개인보호구를 착용해야 하는 경우가 있다. 각각의 보호구들은 그 용도에 맞게 적절한 것을 선택해 사용해야 한다. 인증되지 않은 보호구는 사고 시 문제가 있을 수 있으므로 인증된 제품으로 선택 구입해야 한다. 최근의 보호구들은 성능뿐만 아니라 디자인과 착용감에서도 우수한 제품들이 많이 나오고 있다. 아무리 성능이 우수한 보호구라도, 착용감이 불편하거나 디자인이 떨어지면 연구활동 종사자들이 개인보호구 착용을 꺼리는 경우가 있다. 따라서 개인보호구 구입 시 착용감과 디자인도 중요한 요소로 고려해야 한다. 연구활동 종사자들은 적절한 보호구가 지급되지 않을 경우, 대학이나 연구소의 안전관리 담당자에게 구입을 요청한다.

표 4-2. 개인보호구의 종류

개인보호구	위험 요소와 용도	보호구의 종류
안전모	낙하, 비레, 추락, 감전 방지	A형(추락방지), B형(낙하방지), E형(감전방지)
안전대	추락 방지용	1자걸이식, U자걸이식, 그네걸이식
안전화	낙하, 충격 방지, 감전방지	안전단화 (충격보호) 안전고무장화(감전방지)
안전장갑	유해물질 접촉방지, 감전방지	안전고무장갑(감전방지) 용접용 장갑
보안경	비레, 비산 방지, 유해광선 방지	
보안면	비레, 비산 방지, 유해광선 방지	일반 보안면 용접용 보안면
방진마스크	분진, 미스트, 흙의 흡입 방지	
방독마스크	유해가스, 증기의 흡입 방지	
송기마스크	산소 결핍을 방지	
귀마개 / 귀덮개	소음 방지	
보호복	고열, 화상 방지, 화학물질 침입방지	방열복 에이프런



그림 4-3. 귀마개와 귀덮개

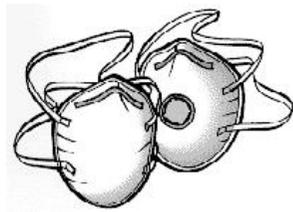


그림 4-4. 방진마스크



그림 4-5. 방독마스크



그림 4-6. 송기마스크

## 4.4 연구실 안전 행동

### (1) 연구실 일반행동 안전규칙

연구활동 중 안전에 대한 최종적인 책임은 연구활동 종사자 자신에게 있다. 앞에서 제시한 여러 가지 위험 예방 조치들이 다 제공된다고 해도, 연구활동 종사자가 규칙을 어기고 제멋대로 행동을 하게 되면 사고를 막을 수 없기 때문이다. 뿐만 아니라, 연구활동 종사자의 행동이 안전하지 않으면 올바른 연구 성과를 얻기도 어렵다고 할 수 있다.

따라서 연구활동 종사자들은 평소에 안전을 생활화 할 수 있도록 안전 지식을 익히고 이를 실천하는 노력이 요구된다. 그러기 위해서는 연구실 책임자가 술선수범하는 분위기를 조성해야 한다. 그래서 연구실 구성원 모두가 안전을 제일로 생각하는 풍토를 만들고 이를 통해 안전한 실험실이 확보될 때 연구의욕과 연구 성과도 더 나게 되는 것이다.

### (2) 연구실 안전행동 규칙

연구실에서는 뛰는 행동, 점프 행동, 또는 장난을 해서는 안 된다.

연구실에서는 샌들, 앞이 트인 신발, 나막신 등을 신어서는 안 된다.

연구실 책임자나 연구실 안전관리자에 의해 위험성이 있다고 판단된 재료나 기구·설비 등에 대해서는 홀로 실험을 수행해서는 안 된다.

실험 중 발생하는 유출물(spill)을 즉각 치워져야 한다. 물의 유출인 누수도 바닥에 흐를 경우 미끄러짐에 의한 전도(slip) 사고를 유발하거나 바닥에 설치된 기기에 영향을 줄 수 있다. 따라서 었질러진 물도 즉각 치워져야 한다. 실험대(workbench)에 떨어진 소량의 액체나 고체 분말도 옷이나 피부에 묻어서 문제를 일으킬 수 있으므로 즉각 치워져야 한다.

사다리(ladder)는 그 본래 기능에 맞게 사용되어야 하고 항상 고장난 부분 없이 준비되어 있어야 한다.

중량물 운반은 적절한 방법으로 이루어져야 한다. 사람이 직접 나를 경우에는 허리굽혀 들기(stoop lifting)가 아닌 무릎굽혀 들기(squat lifting)로 들어야 한다(그림 참조).

연구가 끝난 후 연구실은 정리하는 것은 모든 연구활동 종사자들의 의무이다.

위험성이 높은 연구실에서 작업이 이루어질 때는 대학이나 연구소의 연구실 안전작업 지침을 참고해야 한다.

실험 목적에 사용되는 동물들 외에는 어떠한 애완동물도 연구실에 데리고 있어서는 안 된다.

### (3) 개인위생

화학물질(chemical)이 피부에 묻었을 때는 즉시 씻어낸다. 연구하는 동안에 연구활동 종사자는 본인이 취급하는 물질을 알고 있어야 하며, 이를 닦아낼 수 있는 세척제 혹은 중화제를 항상 사용할 수 있도록 준비해 놓아야 한다.

연구실에서 입은 옷은 사고 시 발생하는 액체물질의 튀기기(splash)나 유출(spill) 사고로부터 몸을 보호해야 한다. 또한 이러한 물질들이 쉽게 제거될 수 있어야 한다. 이 옷은 적어도 쉽게 불이 붙지 않는 소재이어야 한다. 이러한 측면에서 난연성에 미세구멍이 없는 에이프런(apron)은 가격 대비 가장 좋은 방법이라 할 수 있다. 실험용 자켓이나 코트는 사고 시 쉽게 벗을 수 있도록 단추보다 스냅 버튼(snap button)이 있어야 한다. 실험복은 작업하는 동안에는 몸에 밀착해 입고 있어야 하며, 연구실 문을 나서기 전 탈의해야 한다.

실험복은 항상 깨끗하게 보관되어야 하고 낡거나 문제가 있으면 교체하고 오염되어 있다고 의심되면 적절한 오염제거 방법을 사용한 세탁이 이루어져야 한다.

실험복은 휴게실 등 실험실 밖에서 입어서는 안 된다. 실험복, 호흡기, 실험용 모자 등은 실험실에 벗어두고 나와야 한다.

연구활동 종사자들은 실험실에 출입할 때는 항상 손을 씻어야 한다. 이는 습관처럼 몸에 익혀야 한다. 씻을 때는 물과 비누를 이용한다. 다른 용매(solvent)를 이용해 씻으면 안 된다.

공기를 통한 유해물질의 흡입(inhalation)이 문제가 될 수 있기에, 의심스러운 상황에서 코로 의도적으로 냄새를 흡입 (Sniff-testing) 하여 확인하면 안 된다.

입으로 피펫(pipet)을 빨아서는 안 된다. 항상 진공 벌브를 사용해야 한다.



그림 4-7. 입을 사용한 피펫 작업의 금지

실험실에서는 식음료를 먹어서는 안 된다. 흡연을 해도 안 된다. 실험실 안에서 화장을 해서도 안 된다.

음료수나 주류를 마시는 데 연구실 냉장고에서 만든 얼음을 사용해서는 안 된다. 실험실 안에서는 식음료와 화장을 할 경우 이들 물질과 화학물질 등이 상호 오염될 수 있기에 실험실이나 시약창고 등에 가지고 들어와서는 안 된다.

#### (4) 연구실 유지관리

모든 연구실은 그 분야를 막론하고 일반적으로 실험실의 안전확보를 위한 유지관리원칙들이 있다.

연구를 방해하지 않는 수준까지 가능한 연구실은 깨끗이 치워져 있어야 한다.

모든 연구활동 종사자들은 자기 구역을 스스로 치워야 할 의무를 지닌다.

모든 재료와 기기들은 실험이 끝난 후에는 제 위치에 놓아야 한다.

화학물질, 특히 액체 화학물질 등은 잠긴 도어 캐비닛의 바닥을 제외하고는 연구실 바닥에 보관해 놓아서는 안 된다. 또한 2.5 l 이상의 용기는 작업대 이상의 높이에 보관해서는 안 된다.

시약, 용액, 유리기구 혹은 다른 기기들을 후드(hood) 안에 보관해서는 안 된다. 이는 후드 내의 작업공간을 좁혀주는 것 외에, 후드 내의 적절한 공기의 흐름을 방해해 환기 효율성을 떨어뜨릴 수 있다.

카운터(counter tops)는 깔끔하고 깨끗하게 정리되어 있어야 한다. 작업대와 흡(fume) 후드는 화학물질의 보관 장소로 사용되어서는 안 된다.

보관물과 장비들이 소화기, 안전장치, 비상구 혹은 다른 비상조치 관련 시설물 등의 접근을 막아서는 안 된다.

계단, 복도, 통행로, 비상구 등은 젖어 있으면 안 되며, 전화선, 보관물, 장비, 케이블 등이 통행이나 대피에 방해를 주어서는 안 된다.

종이, 나무 박스, 팔레트 등 연소되는 물체들은 계단 밑이나 복도 등에 놓아두어서는 안 된다. 복도는 박스, 재료 등이 없어야 출입이나 보행에 지장을 받지 않게 된다.

복도 근처에 쌓아둔 재료 등은 넘어지지 않도록 조치를 취해야 한다.

매트와 카펫이 연구실에 깔려 있다면 이들은 항상 좋은 상태를 유지해야 한다.

모든 연구실 공간과 바닥은 정기적으로 청소되어야 한다.

모든 용기와 박스들은 그 내용물과 그 위험성이 있다면 이를 바깥에 라벨 등으로 표시해야 한다. 만일 모든 용기 내의 내용물을 우리가 안다면, 더 이상 폐기물 처리 등에 있어서 갖게 되는 고민을 덜게 된다.

#### (5) 전기기구의 안전한 취급

일반적인 연구실들은 많은 수의 전기기구를 사용한다. 이러한 상황이 전기적 위험성을 높이고 있다. 전기적 위험으로는 전기에의 감전과 전기기구로부터의 화재가 있다. 다음에 소개하는 것들은 전기적 안전을 확보하기 위한 최소한의 행동 규칙들이다.

모든 전기 기구들은 적절히 접지하여야 한다.

모든 전기 기구들은 안전과 관련한 인증을 받은 제품이어야 한다.

전기차단기(breaker boxes) 구역에 작업을 위한 충분한 공간이 있어야 한다. 모든 전기 회로 차단기와 퓨즈에는 "on" 과 "off" 의 위치와 어느 기구나 방에 해당하는지를 라벨로 표시해야 한다. 퓨즈는 적절한 용량의 것을 사용해야 한다.

장비와 기구, 확장 코드 등은 항상 좋은 상태에 있어야 한다.

전기코드와 전기케이블 등은 연구실이나 통로를 가로질러 아무런 지지 없이 설치되면 안 된다. 전기코드를 안전 샤워장치, 강관파이프, 금속성 프레임이나 랙 등에 가까이 지나도록 해서는 안 된다. 전기 코드는 벽 혹은 천정 속의 구멍이나, 문지방이나 창문을 지나도록 해서는 안 된다. 또한 카펫이나 매트, 혹은 무거운 물체의 밑에 깔아서도 안 된다. 통행로 등에서 계속 밟히는 전시코드는 닳아져서 전기 피복의 절연이 파괴될 수 있다.

다중 접속 플러그는 자체에 누전차단기가 설치되지 않은 것이라면 사용해서는 안 된다. 이런 접속은 전기선에 과부하가 걸리거나 과열 현상이 발생할 수 있다.

대부분의 다중 접속구는 15 암페어이므로, 사용자들은 다중 접속구에 접속되는 모든 전기 기구의 총 부하가 15 암페어를 넘는지를 확인해야 한다. .

모든 건물의 전기보수와 접속, 케이블 작업들은 전기 부서에서 수행해야 한다.

## (6) 유리기구의 안전한 취급

유리기구의 파손은 연구실에서 흔하게 발생할 수 있는 사고이다. 유리는 원래 깨지기 쉽다는 것을 항상 명심하여야 한다.

만일 유리기구가 떨어지거나 넘어가려고 할 때 이를 잡으려고 시도하지 않는 것이 좋다.

유리기구를 사용하기 전 반드시 깨지거나 금이 간 곳이 없는지 꼭 확인하고 사용해야 한다. 특히 고온으로 가열하거나 진공을 걸어줄 때는 반드시 확인하여야 한다. 파손을 막기 위해서는 좋은 상태의 유리가 사용되어야 한다. 고온으로 가열한 후 차가운 실험대 위에 올려놓으면 유리가 깨지고 내용물이 흘러나오게 되기에 주의하여야 한다.

깨지고, 금 가고, 조각나고, 굽힌 유리기구들은 폐기하거나 수리하여야 한다. 깨진 유리를 집기 위해서는 손 보호구를 사용해야 한다.

수리를 위해 내보내는 유리기구는 모두 깨끗하게 씻어야 한다.

유리 튜브를 사용할 때는, 양 끝을 불로 폴리싱(polishing) 해야 한다. 고무 스톱퍼나 고무 튜브를 삽입하기 전에는 글리세린이나 물로 깨끗이 해야 한다. 유리 튜브를 삽입할 때는 가죽장갑을 사용해 손을 보호해야 한다. 튜브를 취급할 때는 팔꿈치를 신체 가까이에 놓아서 움직임을 최소화한다.

유리기구는 선반 등의 끝에 보관하지 않는다. 크거나 무거운 유리기구는 낮은 선반에 보관한다.

실험에 사용할 화합물이 유리와 반응하는지를 항상 염두에 두고 실험하여야 한다. 예를 들면 HF, NaOH 등은 유리와 반응한다.

유리기구를 운반할 때는 반드시 두 손으로 잡고 옮기고, 오븐에서 말린 유리기구는 뜨겁기 때문에 반드시 두꺼운 가죽장갑 등을 착용하고 만지도록 한다.

유리 기구를 세척할 때는 적당한 솔을 사용하고 너무 무리한 힘을 가하지 말아야 한다. 유리봉을 자를 때는 줄이나 다이아몬드 칼로 한 번에 흠집을 낸 후 꼭 장갑을 끼고 금이 간 부분을 형경 등으로 싸고 몸 바깥쪽을 향하여 부러뜨린다.

유리마개가 꼭 끼어 빠지지 않는 경우는 무리하게 힘을 가하지 말고 뜨거운 물에 담가 두어 유리가 팽창하게 하라. 유리마개를 제거할 때는 꼭 장갑을 끼고 하라.

## (7) 압축 가스 용기의 안전한 취급

압축 가스 실린더의 압력은 외형만으로는 판단할 수 없다. 평균적인 표준 용량의 가스 실린더는 155 kg/cm<sup>2</sup>로 압축되어 있다. 이러한 가스 실린더는 정상적인 사용 하에서는 안전하지만 오용, 악용 또는 부적절한 취급으로 심각한 사고를 가져올 수 있다.

압축 가스용기를 다룰 때는 액체나 고체 물질을 취급할 때보다 더 신중하게 다루어야 한다. 압축 가스는 가연성, 과산화 또는 산소 결핍 등의 환경을 만들 수 있다. 고압, 가연성 가스의 낮은 발화점, 낮은 끓는점, 그리고 무색 또는 무취 특성들은 모두 위험요소이다.

압축 가스의 위험은 설비 오류와 밸브를 꼭 잠그지 않은 용기로부터 누출되어 생긴 결과로 발생한다. 또한 압력을 부적절하게 조절하면 흐름 조절이 잘못되어 불안정한 반응을 일으킬 수 있다. 누출 가스가 확산되면 환경을 급속히 오염시키고 유독성, 마비 효과, 질식, 그리고 가연성 가스의 폭발, 응축이 빠르게 일어나게 된다. 압력 하에서 가연성 가스의 발화점은 상온보다 항상 낮다. 누출된 가스가 공기와 혼합되면 급속한 폭발을 일으킬 수 있다.

끓는점이 낮은 물질은 생체 조직과 접촉하면 동상을 야기할 수 있다. 이러한 경우는 극저온 액체에서 일반적이지만 이산화탄소(carbon dioxide), 과불화 탄화수소 그리고 프로필렌과 같은 액화가스의 액체 상태의 접촉에 의해 발생할 수 있다. 일부 압축 가스는 부식성, 피부 자극성 그리고 반응성이 큰 일반적인 화학 약품과 유사하다.

### (8) 압축가스 실린더의 사용

압축 가스 실린더를 사용하기 전에 모든 라벨의 정보와 가스 사용과 관계된 물질안전보건자료(MSDS)를 숙지해야 한다.



그림 4-8. 압축 가스 실린더의 라벨 표시

가스를 사용하지 않을 때는 모든 밸브를 닫아야 한다.

가스 실린더는 항상 수직 상태로 세워져 관리하여야 한다. 가스 실린더를 떨어뜨리거나 서로가 강하게 부딪치지 않도록 한다. 그러기 위해 연구실 내의 압축 가스 실린더는 랙 안에 혹은 스트랩(strap)이나 체인 등으로 고정되어 있어야 한다. 가스 밸브가 망가지거나 하면 가스 실린더는 미사일이 될 수도 있다. 압축 가스 5.9 ℓ 보다 적은 부피의 일부 압축 가스 용기는 안전하게 수평으로 놓아 저장할 수 있다.



그림 4-9. 연구실 내에서의 압축가스 실린더의 보관

어떤 형태의 압축 가스라도 깊게 호흡하면 안 된다. 이는 급속 질식사나 죽음을 야기할 가능성이 있다. 저장하거나 이동할 때는 가스 실린더 보호 마개를 설치해야 한다. 안전한 상태에서 사용 준비가 될 때까지 밸브 보호 마개를 실린더에서 떼어 내면 안 된다.

대부분의 압축 가스 실린더는 무거우며 일부는 900 kg 이상의 무게가 나가기도 한다. 짧은 거리를 이동하더라도 끌거나, 굴리거나, 미끄러트리 옮기는 일은 피해야 한다. 실린더를 운반하는 가장 좋은 방법은 가스 실린더용 전용 수레를 이용하는 것이다. 이러한 수레는 실린더의 안전을 위해 체인이 갖추어져 있다. 실린더를 수레에 보관해서는 안 된다.

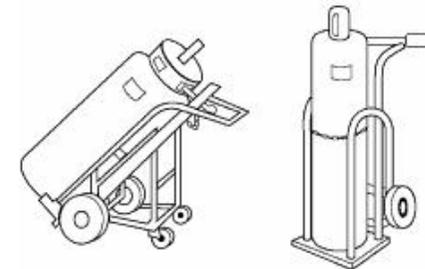


그림 4-10. 압축 가스 실린더 전용 수레

밸브나 실린더의 압력 안전장치를 변형하면 안 된다. 실린더나 밸브 또는 부착물의 수리를 시도해서는 안 된다. 실린더나 밸브 또는 부착물에 기름이나 윤활제를 사용해서는 안 된다.

실린더의 부품을 52℃ 이상이 되도록 해서는 안 된다. 불꽃이 압축 가스 실린더의 어떤 부분이라도 접촉하게 해서는 안 된다.

많은 형태의 금속강은 낮은 온도에서 연성과 충격 강도를 잃어버리기 때문에 실린더를 임의적으로 -40℃ 이하로 낮게 해서는 안 된다. 그러나 특별한 스테인리스 강은 낮은 온도에서도 사용 가능하다.

전기회로의 일부가 될 수 있는 곳에 실린더를 위치해서는 안 된다. 전기용접 시 실린더에 불꽃이 튀지 않도록 보호해야 한다.

압축가스를 사용할 때는 보호 안경 또는 안면 보호대와 보호 장갑과 같은 적절한 보호 장비를 착용한다.

빈 실린더를 돌려줄 때는 이동하기 전에 밸브를 잠그고 실린더에 약간의 압력을 남겨 둔다.

### (9) 위험한 가스의 취급

유독성, 가연성, 부식성 가스는 가능한 후드에서 주의 깊게 취급하여야 한다. 연구실 내에 이러한 가스들은 최소량은 유지해야 한다. 내용물을 사용하기 이전에, 모든 실린더 및 연결부위의 가스 누출을 점검한다. 응급 시 가장 가까운 곳에 있는 응급용 눈 세척과 샤워할 수 있는 장소를 확인한다.

실린더에 가연성 가스를 사용할 때 마다 간단한 불꽃 방지제를 라인에 설치해야 한다. 모든 실린더와 라인과 장비를 땅과 묶는다.

부식성 가스를 사용할 때, 실린더 밸브 꼭지는 동결을 방지하기 위해 주기적으로 개폐를 해야 한다. 사용하지 않을 때 밸브는 닫혀 있어야 한다. 실린더가 사용되지 않을 때 조절기와 밸브는 닫혀 있어야 하며 사용 후에는 건조 공기와 질소로 처리해야 한다. 이러한 조절 장치는 자주 사용할 때 이외는 실린더에 남겨두면 안 된다. 부식성 가스를 액체에 넣게 될 때 위험한 역류를 방지하기 위해 꼭지, 체크 밸브 또는 진공 차단 장치는 항상 갖춰져 있어야 한다.

부식성 가스는 사용 이전에 가능한 3개월 이하의 짧은 기간으로 보관해야 한다. 실린더를 사용하고 다시 보관 장소에 보관할 때 레귤레이터(regulator)와 조절 밸브 등 모든 부속기구들을 출구 밸브로부터 제거하여야 하며 우선적으로 질소 가스나 공기를 이용하여 깨끗하게 처리한다.

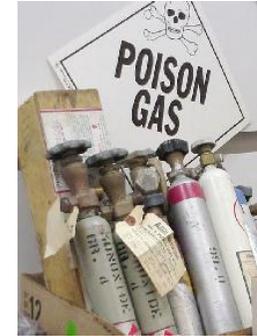


그림 4-11. 유독 가스 실린더의 보관

### (10) 보관

채워진 실린더와 빈 실린더를 함께 보관하면 안 된다.

가스 실린더는 개방된 곳에 보관해야 한다. 그러나 부식을 방지하기 위해 땅에 바닥이 닿지 않게 보호해야 한다. 만일 얼음이나 눈이 실린더 위에 쌓이면 상온으로 녹여야 한다.

모든 가스 실린더는 상태를 확인할 수 있는 표지(비어있음, 사용 중, 채워져 있음)을 부착해야 한다. 빈 가스 실린더가 다른 압력이 남아있는 장치에 연결되어 있을 때 역류가 발생할 수 있다.

가스 실린더가 연구실에 보관되어 있을 때 가스 종류별로 보관해야 한다. 같이 있어서는 안 되는 가스는 다른 가스들로부터 충분한 거리를 두고 보관해야 한다. 예를 들어, 가연성 가스는 산화 가스 근처에 보관해서는 안 된다. 만일 떨어진 거리가 충분하지 않다면 비가연성 차단막을 설치해야 한다.

## (11) 누출 점검

실린더에 연결된 레귤레이터(가스 유량조절기)의 누출을 점검한다.

물에 용해되지 않은 가스에 대해서 비누 거품을 사용하여 점검하면 편리하고 효과적이다.

물에 용해되는 가스에 대해서는 레귤레이터 부분의 차단 밸브가 있다면 압력 점검을 해야 한다. 차단 밸브와 실린더 밸브를 닫고 레귤레이터 상의 지시 압력이 심하게 떨어지지 않는 지 5분 이상 관찰한다. 만일 누출이 관측되면 실린더 밸브를 닫고 레귤레이터를 제거하고 실린더와 레귤레이터 사이의 접속 부위 표면을 깨끗하게 청소한다. 표면에 스크래치나 녹이 있으면 밀봉을 방해한다. 단단하게 조립하고 다시 점검한다. 누출이 발견되고 오염된 것을 제거 할 수 없다면 실린더와 레귤레이터를 사용해서는 안 된다. 레귤레이터가 누출의 원인이라면 수리될 때까지 사용해서는 안 된다. 실린더가 누출의 주원인이라면 밸브를 닫고 사용해서는 안 되며 가스 실린더 공급업체에 연락을 취해야 한다.

## (12) 후드 사용

독성물질, 휘발성 물질, 악취를 발생시키는 물질들을 취급해야 하는 작업은 연구실 후드(hood) 내에서 이루어져야 한다. 연구실 후드의 주목적은 유독성이 있거나 성가시게 하는 증기와 흠(fume)으로부터 연구활동 종사자를 보호하기 위한 것이다. 둘째 목적은 폭발 반응의 확률이 있는 작업을 수행할 때 연구활동 종사자와 장비 사이를 격리하기 위한 것이다. 이런 작업은 후드의 새시(chassis)를 내리고 수행해야 한다.

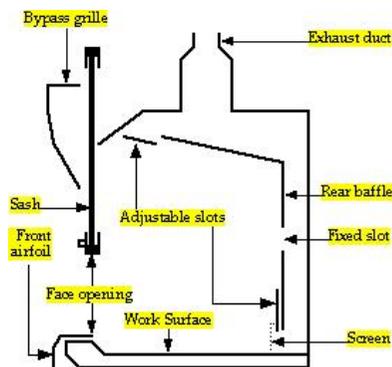


그림 4-12. 연구실 후드의 구조와 명칭

후드의 환기 시스템은 후드의 앞면에서 최저 18.3 m/min, 최고 36.6 m/min 풍속으로 설계되어 있다. 풍속 38 m/min 이상은 난기류를 만들어 낼 수 있다. 가능한 새시의 높이를 들어 올려 풍속 30.5 m/min가 나올 수 있도록 하는 위치를 마크해 놓는다.

도어나 창문을 열 때, 난방, 냉방기구를 가동할 때, 개인적 움직임 등으로 강한 풍속을 만들어 내지 않도록 한다. 강한 드래프트(drafts)는 오염물질을 후드로부터 연구실내로 흘러보낼 것이다. 보통 보행 속도 30.5 m/min 는 일반적으로 지각하기 힘들다. 냉방기와 난방기 가동, 사람의 움직임은 약 61 m/min을 초과한다. 그러므로 후드를 사용 중일 때 후드 영역에 근처에서의 활동은 최소화되어야 한다.

연구실 책임자가 지시하지 않았다면 후드의 배플(baffles)을 조절하지 않는다. 후드의 환기에 문제가 커지면 안전관리 담당 부서에 즉시 연락한다.

후드 내에서 작업하는 동안에는 실험에 필요한 최소 환기 속도에 맞추어서 새시의 높이를 유지해야 한다. 후드를 사용하지 않을 때 후드의 새시는 잠가야 한다.

## (13) 화학물질의 저장·보관

### 1) 캐비닛의 형식

실험실 내에는 가연성 및 부식성 물질을 저장할 경우 가능한 그 양을 적게 하며, 저장 물질에 적합하게 제작된 통풍이 되는 캐비닛(cabinet)에 저장되어야 한다. 캐비닛은 저장 물질의 성격에 따라 적절한 것을 선택한다.

가연성 액체용 캐비닛은 가연성 및 인화성 액체 저장용으로 사용한다.

산, 부식물질용 캐비닛은 내부식성 재질의 것을 사용한다.

대용량 저장 캐비닛은 실험실 밖에서 가연성 및 부식성 액체를 저장하는 데 사용이 가능하다.

### 2) 화학물질을 저장 관리 요령

화학약품은 알파벳순이나 가나다순 등 이름 순으로 분류, 저장해서는 안 된다.

양립할 수 없는 약품을 함께 두어서는 안 된다.

캐비닛 밖에 놓아두는 화학약품은 최소화해야 한다.

화학약품 저장 캐비닛의 통풍구 뚜껑은 캐비닛이 통풍 시스템에 부착되기 전에는 제거하지 않는다.

유리 상자에 저장된 것은 가능한 캐비닛 선반의 제일 아래 위치에 보관한다. 시약 등을 냉장고 등에 보관해야 할 경우 연구실 내에 냉장고를 사용하게 된다. 연구실 내 냉장고 내에는 마실 음료를 보관해서는 절대 안 된다. 냉장고 내 보관된 시약 등에서 유출되는 유해물질에 의해 모르는 사이에 오염될 수 있기 때문이다. 연소될 수 있는 연구재료를 냉장 보관하여야 할 경우에는 방폭 구조로 설계된 냉장고를 사용해야 한다. 이러한 방폭 냉장고는 어떤 연소 증기도 스파크로부터 안전하게 한다.

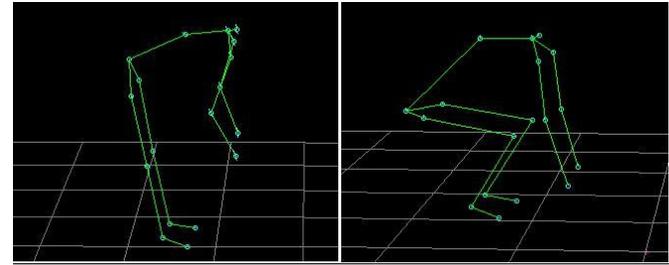


그림 4-13. 중량물 들기 자세 (허리굽혀들기와 무릎굽혀들기)

#### (14) 중량물의 안전한 취급

##### 1) 중량물 취급작업

앞에서 다룬 압축 가스 실린더와 같이 연구실에서 연구 재료, 기계·기구 등을 운반하거나 취급할 경우가 있다. 이러한 작업을 중량물 취급작업이라 한다. 중량물 취급작업은 들기 (lifting), 내리기(lowering), 밀기(pushing), 당기기(pulling), 나르기(carrying) 등 다섯 가지로 나눌 수 있다. 이러한 작업 별로 신체의 능력을 벗어나게 물건을 취급한다면, 자세가 나쁜 것, 한도를 초과해 여러 번 반복할 경우 요통과 같은 근골격계 질환이 발생할 수 있다.

##### 2) 중량물을 안전하게 들기

자신의 몸무게와 능력을 감안한 범위 내에서 물건을 든다.

인력으로 들 수 있는 최대 허용 무게는 23 kg이다. 이를 초과하는 물건은 2인 이상이 협력하여 들거나, 호이스트(hoist)나 크레인(crane)과 같은 기계장치를 이용해야 한다.

물건을 들 때는 허리굽혀 들기(stoop lifting) 대신 무릎굽혀 들기(squatting lifting) 자세를 취한다.

중량물은 몸 가까이 밀착시킨 후 구부렸던 무릎을 서서히 펴면서 들어 올린다.



그림 4-14. 중량물 취급 기계장치

## (15) VDT 작업과 연구실 환경

### 1) VDT 작업의 위험요인

최근의 연구활동에서 컴퓨터가 차지하는 비중은 대단히 크다. 그 가운데 많은 부분이 실험이 끝난 후, 데이터의 입력, 분석, 보고서 작성 등에 많은 시간을 컴퓨터를 사용하면 보내게 된다. 기계, 전자 설계 관련 연구활동에서는 CAD 작업에 컴퓨터를 장시간 사용한다. 컴퓨터 모니터와 같이 영상표시장치를 사용한 컴퓨터 입력작업을 VDT(Visual Display Terminal) 작업이라고 한다.

VDT 작업으로 인한 시각적 피로와 근골격계 질환 등의 문제가 산업현장에서 문제가 되고 있는데, 연구 현장에서의 문제는 더 심각할 수 있다. 산업현장에서는 컴퓨터 작업을 한다고 해도 일 8 시간이 최대시간이 되나, 특별한 근무 시간이 없는 연구현장은 실험실을 나와서 휴식을 취해야 하는 집에서조차 노트북 등으로 일을 하고 있는 실정으므로 더 문제가 되는 것이다.



그림 4-15. VDT 작업

### 2) VDT 작업의 안전한 요령

#### 출력장치 — 모니터

눈으로부터 모니터 중심까지의 거리는 40~80 cm에 위치하도록 한다. 대략 바로 앉은 자세에서 자신의 팔이 닿는 위치에 모니터가 있으면 된다.

모니터의 수직 위치는 앉은 눈높이로부터 10~15° 하방에 모니터의 중심이 위치하는 것이 좋다. 적어도 0~30° 사이에 놓이도록 해야 한다. 만일 현재의 모니터 위치가 이 범위보다 낮으면 두꺼운 책이나, 박스 등으로 모니터의 높이를 높여준다. 만일 모니터 등을 본체 위에 올려놓아 추천범위 보다 높으면 의자의 좌면 높이를 올려 눈높이를 모니터에 맞추어 주거나, 반대로 모니터의 높이를 낮추도록 해야 한다.

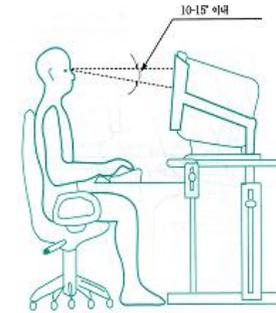


그림 4-16. 모니터의 수직 위치

모니터 화면은 회전 및 경사(tilt) 조절이 가능해야 한다.

화면의 깜박거림은 느낄 수 없을 정도이어야 하고 화질은 항상 선명해야 한다.

화면에 나타나는 문자·도형과 배경의 휘도비인 대비(contrast)는 연구활동 종사자가 용이하게 조절할 수 있어야 한다.

#### 입력장치 — 마우스와 키보드

키보드는 특수목적으로 고정된 경우를 제외하고는, 그 위치를 조정할 수 있도록 이동 가능한 것으로 사용한다.

키보드의 두께는 3 cm 이하인 것이 좋으며, 경사는 5~15° 로 맞출 수 있어야 한다.

키보드 입력 시, 손목을 지지해 줄 수 있도록 작업대 끝 면과 키보드 사이는 15 cm 이상을 확보하고 손목의 부담을 경감할 수 있도록 적절한 받침대(패드)를 이용하면 좋다.

마우스는 쥐었을 때 손이 자연스러운 상태를 유지할 수 있어야 한다.

## 작업대

일반 책상의 높이는 팔꿈치 높이보다 약간 낮은 것이 좋다. 키보드의 높이는 팔꿈치 높이보다 5-10cm 낮게 있는 것이 좋다. 따라서 책상 밑에 키보드트레이를 별도로 사용하면 좋다.

수작업의 대상물들을 최소한 손이 닿는 최대 작업영역 범위 내에 있어야 한다. 그 중 자주 사용하는 대상물들은 정상작업 영역 내에 오도록 한다.

최대작업영역: 팔을 구부림 없이 최대로 뻗을 때 손끝이 닿는 범위

정상작업영역: 아래팔을 직각으로 구부렸을 때 손끝이 닿는 범위

작업대는 모니터, 키보드, 마우스, 서류받침대, 기타 작업에 필요한 기구를 적절하게 배치할 수 있도록 충분한 넓이를 가지고 있어야 한다.

작업대는 가운데 서랍이 없는 것을 사용하여야 한다. 보통 서랍이 있으면 넓적다리 부분이 서랍에 닿기 쉬워 불편한 자세가 되기 쉽다. 작업대 밑의 공간은 다리를 편안하게 놓을 수 있도록 충분한 공간이 확보되어 있어야 한다.

## 의자

의자는 안정감이 있어야 하며 이동 회전이 자유로운 것으로 하되 미끄러지지 않는 구조이어야 한다.

높이 조절 가능한 의자는 무릎을 직각으로 해서 앉았을 때, 발이 바닥에 닿는 높이로 맞추어 앉는다. 고정 높이 의자를 사용할 때, 자신의 발이 바닥에 닿지 않으면 바닥에 발받침대를 설치해 사용해야 한다.

의자는 충분한 넓이의 등받이가 있어야 하고, 사용자의 체형에 따라 요추(lumbar) 부위를 지지해 주어야 한다. 의자가 요추를 충분히 지지하지 못하면 별도의 쿠션 등을 사용할 수 있다.

의자의 앉는 면은 엉덩이가 앞으로 미끄러지지 않는 재질과 구조로 되어야 하며 그 폭은 40~45 cm 범위로 할 것.



그림 4-17. 작업용 의자



그림 4-18. 작업용의자의 발 받침대

## 연구실 환경

VDT 작업이 이루어지는 연구실의 조도는 컴퓨터 모니터의 바탕 색상이 검정색 계통일 때 300~500 Lux, 화면의 바탕색상이 흰색 계통일 때 500~700 Lux를 유지하도록 하여야 한다.

창문에는 차광막 또는 커튼 등을 설치하여 직사광선이 화면·서류 등에 비치는 것을 방지하고 필요에 따라 언제든지 그 밝기를 조절할 수 있도록 하여야 한다.

지나치게 밝은 조명·채광 또는 깜박이는 광원 등이 직접적으로 시야 내로 들어오지 않도록 하여야 한다.

눈부심 방지를 위하여 화면에 보안경 등을 부착하여 빛의 반사가 증가하지 않도록 하여야 한다.

프린터나 기타 기계·설비에서의 소음이 심할 때는 소음 차단 칸막이 등을 설치해야 한다.

연구실내의 온도는 18~24℃, 습도는 40~70%를 유지하는 것이 좋다.

연구실내의 환기·공기정화 등을 위하여 필요한 설비를 갖추도록 하여야 한다.

## 참고문헌

- 김두환, 연구실 안전기술지침개발을 위한 정책연구, 한국과학재단, 2005.
- 김두환, 연구실험실의 안전대책, 안전보건, No9. 2000.
- 김두환. 화학실험실의 재해예방 대책 보고서, 한국산업안전공단, 1999.
- 동경대학 공학부 공학계 연구과, 안전 Manual.
- 동북대학교, 안전매뉴얼, 일본 동북대학교, 2005.
- 서울대환경연구소, 연구실 안전 길잡이, 동화기술, 2001.
- 오쿠다, 화학재해의 방지대책, 일간공업신문사, 2000
- 요코하마대학교, 실험실습을 위한 안전매뉴얼, 요코하마대학, 1988.
- 이화학연구소 요코하마센터, RC활동실시요령, 2006.
- 이화학연구소 안전관리실, 고압 가스 위해예방 규정집.
- 일본 안전공학 협회, 안전공학, vol. 39, No.1, 2000.
- 일본산업기술종합연구소, 안전가이드라인, 2006
- 일본화학회, 화학실험의 안전지침, 환선(주), 1998.
- 일본화학회, 화학실험의 안전가이드, 화학동인, 2006.
- 전략기술경영연구원, 연구소 운영규정집, 2004.
- 한국산업안전공단, 실험실 안전지침, 1999.
- 한국학술재단, 대학 실험실 안전보건관리 지침 개발 및 점검 체계 구축, 2004.
- Carl Heymanns, 독일실험실안전지침, 1993.
- CRC, Handbook of Lab safety, CRC
- OSHA, Laboratory Safety Pocket Handbook, OSHA. 1996
- The American Chemical Society, Safety in Academic Chemistry Laboratories, 1995.
- OSHA, SLTC Safety and Health Program, OSHA. 1999.
- University of Oklahoma, Safety Manual, 2005.
- <http://www.kosha.net>

## 제 5 장 연구실 사고대처

### 5.1 오염물질 제거

연구를 수행도중 유해 화학물질 등에 신체가 오염되는 사고를 입었을 경우 즉시 이를 제거해야 한다. 전신에 오염물질이 묻었을 경우에는 안전 샤워 장치를 사용해 이를 제거한다. 특별히 눈에 오염물질이 침투했을 경우에는 세안장치를 이용한다. 우리나라 연구실에는 이러한 설비를 갖추지 못한 곳이 많은데, 유해물질의 오염이 예상되는 곳에는 이를 설치해야 한다.

#### (1) 안전 샤워장치

안전 샤워장치는 의복에 불이 붙은 경우나 화학물질에 온 몸이 노출된 경우 등에 물을 쏟아 붓기 위해 고안된 장치이다. 안전 샤워장치의 올바른 설치와 사용법은 다음과 같다.

연구활동 종사자들은 안전 샤워장치의 위치를 알고 있어야 한다.

연구활동 종사자들은 안전 샤워장치의 작동법을 알고 있어야 한다.

유해물질을 뒤집어 쓴 경우 약 15~30 분 정도 샤워를 하면 된다.

부식성 액체가 유출된 경우 연구활동 종사자는 오염된 의복의 부위를 제거한다. 의복의 제거는 샤워 중에 하면 된다.

샤워장치를 사용하였으면 그 사고에 대해 연구실 책임자나 안전관리 부서에 알려야 한다. 안전 샤워장치는 매년 작동 상태를 점검해야 한다.



그림 5-1. 안전 샤워장치와 세안장치

#### (2) 세안장치

샤워장치와 비슷한 역할을 하나 특히 눈에 유해물질이나 이물질 등이 침투했을 때 사용하기 위해 고안된 장치이다.

연구활동 종사자들은 세안장치의 위치에 대해서 잘 알고 있어야 한다.

콘택트렌즈를 착용하고 있는 사람은 즉각 콘택트렌즈를 빼내고 씻은 후 의료진을 찾아야 한다.

세안하는 시간은 적어도 15~30 분간 부식성 액체가 남아 있지 않을 정도까지 눈의 바깥 방향으로 씻어야 한다.

세안을 한 후에는, 연구책임자에 이를 보고하고 의료진을 찾아야 한다. 왜냐하면 안구를 씻기 이전에 이미 안구에 손상이 가해지는 경우가 있고 그 손상이 서서히 나타날 수 있기 때문이다.

세안장치는 매주 작동여부와 박테리아의 오염 여부 등을 확인하기 위해 점검해야 한다. 안전관리 부서는 매년 세안장치의 설치 장소와 작동 상태에 대해 점검해야 한다.

## 5.2 화재와 비상대피

### (1) 비상대피

화재는 화학 관련 연구실에서 발생 가능성이 가장 높으나, 누전 등 다른 요인에 의해서도 발생할 수 있으므로 모든 연구실에 공통된 사고 유형이다. 화재 발생에 따른 대처요령은 다음과 같다.

만일 자신에게 위험이 없다면, 긴급한 위험에 처한 사람을 도와준다.

건물의 화재경보 시스템(fire alarm system)을 즉각 동작시킨다. 화재경보 시스템은 담당부서에 연락이 될 것이고, 건물에 있는 사람들을 대피시키기 위한 것이다.

만일 화재가 초기 상태여서 그 규모가 작으면 가까운 곳에 있는 소화기를 사용해 소화시킨다. 그러나 진압하기에 너무 큰 화재나 유해물질이 나오는 화재에 대해서는 진압을 시도하지 말고 즉시 대피한다.

만일 화재를 진압하려고 시도하였으나, 진압되지 않는 경우에도 즉시 화재 장소로부터 대피한다.

마지막으로 대피하는 사람은 가능한, 연구실 등의 도어와 창문 등을 모두 닫고 대피한다. 대피 시 엘리베이터를 이용해서는 안 된다. 비상계단을 이용해야 한다.

화재경보가 울린 건물의 사람들은 경보를 듣는 즉시 건물에서 대피해야 한다.

건물에서 대피해 나온 사람들은 적어도 건물로부터 45 m 이상 떨어져 지정된 대피 장소에 모여야 한다. 그곳에서 연구실 책임자(supervisors) 등은 대피한 인원을 점검, 확인해야 한다. 아직 우리나라 건물에는 화재 시 대기 장소가 지정되어 있지 않은 곳이 대부분이다. 조속히 대기 장소를 지정해야 한다.

어느 누구도 안전관리 부서 등의 허락 없이 건물로 다시 들어가서는 안 된다.

모든 화재는 화재 담당부서에 보고하여야 한다. 또한 모든 화재는 조사하여야 한다.

## (2) 소화

### 1) 소화기의 종류

대학이나 연구소의 안전 관리자는 화재 발생 가능성이 있는 연구실 별로 적절한 종류의 소화기(fire extinguisher)를 구입해서 설치해야 한다. 소화기는 A, B, C, D 네 종류가 있다. A 형은 가장 일반적인 소화기이고, 나머지는 화재 물질에 따라 적절한 소화기를 설치하고 사용하여야 한다. 소화기에는 그 사용 목적에 맞도록 명확하게 라벨이 붙어 있어야 한다. 할론(halon) 소화기는 특별히 고안된 것이므로 기계나 컴퓨터 등에 피해가 안 가도록 설계된 것이다. 그러나 화재 진압 후 그 장소에 들어가기 전에 충분히 환기시켜야 한다. 소화기에 따라 약간씩 차이는 있을 수 있으나, 일반적인 소화기의 구조와 각 부분의 명칭은 그림 5-2에 나타내었다.

표 5-1. 화재물질 별 소화기의 종류

소화기종류	화재종류	화재 물질 예
A 형	일반적 연소물질	나무, 섬유, 종이, 고무, 플라스틱
B 형	연소성 액체	오일, 윤활유, 타르, 페인트, 래커(lacquer), 가스
C 형	가압 전기장치	소화시키는 재료의 전도성이 중요
D 형	연소성 금속	마그네슘, 티타늄, 지르콘, 리튬, 나트륨, 칼륨



그림 5-2. 소화기 각 부분의 명칭

## 2) 소화기의 유지 관리

연구실 안전관리 부서는 기관 내에 설치된 모든 소화기에 대한 유지, 보수 의무를 갖는다.

소화기는 일반적 시야 범위에서 가려져 있거나, 접근이 어려운 곳에 놓여 있으면 안 된다.

소화기를 설치하고 나면 계속적으로 점검해야 한다.

소화기에 충전제가 소진되었거나, 부족한 경우, 안전핀이 제거되어 있는 경우에는 즉시 안전관리 부서에 신고한다.

## 3) 화재진압

소화기를 사용한 화재를 진압하는 올바른 방법과 절차는 다음과 같다.

연구활동 종사자들은 자신의 연구활동과 관련해 발생할 수 있는 화재에 대한 적절한 화재 진압 훈련을 받아야 한다.

불이 나면 우선 소화기를 불이 난 장소로 가져간다. 소화기를 바닥에 놓은 상태에서 소화기의 손잡이 레버를 고정시키고 있는 안전핀을 뽑는다. 이 때 손잡이를 꼭 움켜진 상태에서 안전핀을 뽑으려고 하면 잘 뽑히지 않을 수 있으므로 주의하여야 한다.

안전핀을 뽑은 다음 소화기 호스 끝의 노즐을 잡고 노즐을 불이 난 방향으로 향한 다음 손잡이 레버를 누른다. 레버를 누르면 소화약제가 방출되기 시작한다.

이 때 사용 위치는 바람을 등진 상태에서 사용하여야 한다. 바람이 불지 않는 실내인 경우에는 상관 없지만 바람이 부는 실외에서 바람을 마주하고 사용하면 약제가 사람 쪽으로 날려와 피해를 보거나 소화 효과가 떨어지기 때문이다.

소화 약제가 방출되기 시작하면 불이 난 물질에 대고 빗자루로 마당을 쓸 듯이 표면을 끌고 두텁게 덮어야 한다. 연기 위에도 뿌리거나 한 곳에만 뿌리면 소화가 지연되거나 불이 잘 꺼지지 않을 수 있다.

## 5.3 응급조치

### (1) 응급조치요령

응급 구호를 위한 전화번호 119는 전화 옆에 표시되어 있어야 한다. 또한 응급 구조 훈련 등을 받은 사람들의 이름을 각자의 전화 근처에 적어 놓아야 한다.

응급조치에 대한 최초의 책임은 그 사고 장면을 목격한 사람에게 있다. 119 호출이 필요한 경우와 그렇지 않고 현장 응급조치만으로 치료가 가능할지를 판단해 즉각적인 조치를 취해야 한다.

119를 호출했더라도, 심폐소생술이나 응급조치키트를 이용한 처치가 필요한 경우 이를 실시한다.

119를 호출한 경우, 다친 사람의 상해 종류, 상해자의 위치, 구호에 필요한 것들을 알려줘야 한다. 의료 구호진을 맞을 사람을 건물의 현관에 보내 맞이하도록 한다. 다친 장소에 그대로 머물 경우, 추가적인 상해가 있을 것으로 여겨지는 경우를 제외하고는 상해자를 움직이게 하면 안 된다.

응급조치는 한 번의 치료 후, 추가적인 관찰이나 일반적 의료 조치가 요구되지 않는 경미한 찰과상, 베임, 화상 등에 대한 조치를 의미한다.

응급조치는 단어 그대로 응급을 위한 것이므로, 문제가 있을 것으로 예상되는 경우는 간호사나 의사 등이 추가적인 검사나 조치를 취해야 한다.

응급조치를 취하는 도중 상해자의 혈액으로부터 HIV나 다른 병원균 등에 감염될 수 있으므로 조심해야 한다.

응급조치자는 상해자의 혈액 등으로부터의 노출을 제거하거나 최소화하는 교육과 훈련을 받아야 한다. 필요하다면 응급조치시 장갑, 마스크, 보호의 등 위험물질과 연구활동 종사자 사이를 격리해 주는 개인보호구를 사용해야 한다. 대부분의 응급 조치에 있어 다음과 같은 가이드라인이 적합하다.

지혈과 병원체 등의 감염이 의심되는 기구의 세척과 처리에는 일회용 장갑만으로 충분하다.

분출하는 혈액에 대해서는 일회용 장갑, 가운, 마스크, 보안경 등의 사용이 추천된다.

체온이나 혈압을 측정할 때는 보호구가 없어도 된다.

응급조치를 취한 후, 손과 다른 노출된 피부는 즉시 씻어야 한다. 혈액이 묻은 부위는 미지근한 물과 비누를 이용해 깨끗이 씻어낸다. 장갑이 손상된 부위가 없더라도 장갑을 벗은 후에도 항상 손을 씻어야 한다.

각 연구실 당 적어도 한 명 이상은 인공호흡법과 심폐소생술 등의 응급조치 요령에 대한 교육을 받도록 한다.

고압용 장비를 사용하는 연구실에서는 응급 전기보드(emergency electrical response board)를 설치해야 한다.

중화제나 해독제 등을 사용하는 연구실의 경우 이를 사용하기 쉽도록 확실히 해야 한다.

상해자를 응급조치 시설로 옮길 경우에는 사고를 알고 있는 사람이 대동해야 하고, 사고에 관계된 화학물질 등의 MSDS(Material Safety Data Sheet)의 사본을 가지고 간다.

경미한 상해라도 연구실 책임자 등에게 일정한 양식으로 보고해야 한다. 경미한 상해사고라도 보고해야 하는 이유는 다음과 같다. 경미한 사고는 위험한 상황을 예견해 주는 것이다. 같은 이유로 미래에 닥칠지 모르는 위험을 미리 예방하기 위하여, 개선을 해야 하기 때문이다. 또한 경미한 상해라도 나중에 감염이 더 확대되어 심각한 상황이 되는 경우 연구 관련성 등을 입증하기 위해서도 필요하다.

### 1) 응급조치키트

연구실 내에서 발생하는 경미한 화상이나 베임과 같은 상해에 대해서는 응급조치 키트(first aid kit)를 이용해 즉각적으로 조치를 취하면 상해가 악화되는 것을 막을 수 있다. 그러나 상해의 정도가 응급조치의 범위를 벗어난 것이라면 119에 즉시 연락해 도움을 요청해야 한다.

응급조치키트는 항상 연구실에서 눈에 잘 띄는 곳에 표지와 함께 비치해야 한다. 응급조치키트는 경미한 베임 사고나 화상과 같은 상해에 사용해야 한다.

안전관리 부서에서는 응급조치키트를 관리하고 그 내용물을 유지하여야 한다. 응급조치키

트에는 키트를 마지막으로 확인한 날짜와 검사한 사람을 표기하여야 한다.

응급조치키트에는 플라스틱 밴드, 반창고, 위생거즈 패드, 가위, 일회용 장갑, 연고(ointments), 응급조치카드 등을 포함하고 있어야 한다. 응급조치키트는 표 52와 같은 것으로 구성한다.



그림 5-3. 응급조치키트

표 5-2. 응급조치키트의 내용물

내용물	수량	내용물	수량
1회용 밴드	다수	연고제	1개
반창고	1개	화상완화 팩	1개
팔꿈치, 무릎용 밴드	1개	소독패드	1개
거즈 (크기별)	다수	소독액	1병
롤 거즈 (크기별)	다수	롤 테이프	1개
붕대	1개	아스피린(진통해열제)	6정
삼각건 붕대	1개	가위	1개
클랙	1개	핀셋	1개
위생장갑	1쌍	체온계	1개
안대	1개	응급조치 안내책자	1권

그러나 다음의 물품 등은 응급조치키트에서 제외하는 것이 좋다.

- 요오드제: 잘 못 사용할 경우 세포의 손상이 있을 수 있다.
- 아이스팩 컴프레스(Ice Pack Compress): 부풀어 오른 조직에 아이스팩이 요구되는 경우 외과 의사가 미리 검사를 하고 사용해야 한다.
- 암모니아 흡입기(Ammonia Inhalants) : 상해자가 의식이 없는 경우 도움을 요청해야지 암모니아를 사용해서는 안 된다.
- 지혈대(Tourniquet) : 경미한 상해에는 필요치 않다. 의료진이 도착하기 전까지는 압박으로만 지혈한다.

## (2) 심폐소생술

### 1) 심폐소생술이란

심폐소생술(CPR; cardiopulmonary resuscitation)은 갑작스런 심장마비이거나 사고로 인해 폐와 심장의 활동이 멈추게 되는 때에 필요한 기본적인 생명연장 차원의 꼭 필요한 기술이다. 보통 심폐소생술은 의사나 간호사 혹은 특별하게 훈련받은 전문요원들이나 할 수 있다고 생각하기 쉬운데 기본적인 심폐소생술은 조금만 배우고 익히면 의학지식이 많지 않은 일반인도 응급상황에서 심폐소생술을 하여 전문 의료진이 도착할 때까지 생명을 연장시키는 데 커다란 도움을 줄 수 있다.

### 2) 심폐소생술의 목적

심폐소생술의 주된 목적은 우리 몸에 가장 기본이 되는 장기인 심장, 뇌, 그리고 그 외의 장기에 강제적으로 외부에서 산소를 공급하는 데 있다. 이 때 가장 중요하게 기억해야 할 것이 시행하는 속도이며, 이것이 또한 심폐소생술의 성공여부를 결정하는 중대한 열쇠이다.

심장마비가 일어난 후에도 우리 몸 속의 폐와 혈관 내에는 6분 정도까지는 생명을 유지시킬 수 있는 여분의 산소가 있다. 만약 숨이 먼저 그쳐도 수 분 동안은 심장이 뛰게 되어 폐 속의 산소는 계속 이용되게 된다. 그러나 심장이 멈추게 되면 폐와 혈관 속의 여분의 산소가 더 이상 순환될 수가 없으므로 이 때 심폐소생술이 그 위력을 발휘할 수 있다. 심장과 폐가 멎고 나서 즉시 4분 이내에 심폐소생술이 시행되면 거의 대부분에서 완전소생의 기회가 높다.

그렇지만 4-6분 이상 혈액순환이 안 되면 뇌에 손상이 올 가능성이 크다. 6분 이상 이러한 상태가 계속되면 뇌의 기능이 완전히 정지되고 생명을 잃게 된다. 이러한 이유에서 유사시에는 무엇보다도 중요한 것이 바로 심폐소생술을 해야 하는지의 여부를 파악해야 하고, 필요한 경우로 판단되면 즉시 올바른 심폐소생술을 실시하여 상해자를 소생시키거나, 혹은

전문 의료진이 도착할 때까지 생명을 연장시켜야 한다.

### 3) 환자의 관찰

#### 의식상태의 확인

심폐소생술을 시행하기 앞서 환자의 의식 상태를 파악하는 것이 필요하다. 그러므로 환자가 생겼을 때는 부드럽게 흔들며 "괜찮으세요?" 하고 확인해야 한다. 이 때 주의할 일은 목이나 머리에 외상을 받은 사람이라면 움직임으로 인해서 치명적인 손상을 받을 수 있으므로 몹시 주의해야 한다. 반응이 없으면 대부분이 의식이 없는 것으로 간주할 수 있다. 호흡 여부는 다음과 같은 요령으로 확인할 수 있다.

약 5초 동안 환자의 상태를 보고, 듣고, 느낀다

환자의 가슴이 오르내리는지 보고, 환자의 호흡음을 듣고, 숨결을 느낀다.

#### 도움 요청

환자가 의식이 없다면, 주위의 도움을 요청하는 것이 좋다. 혼자서 응급전화를 하고, 심폐소생술을 시행하는 등 모든 것을 다 할 수는 없으므로 큰 소리로 주위의 도움을 요청해야 한다.

#### 환자의 위치를 바르게 한다.

환자가 엎드려 있거나 옆으로 누워있을 때는 바로 천장을 보게 딱딱하고 평평한 표면 위에 수평이 되게 놓는다. 환자가 옆으로 놓게 되면 아무리 효과 있게 가슴을 압박해도 혈액이 뇌에까지 이르지 못한다. 또한 기도의 유지나 인공호흡도 바로 누운 자세에서 더 효과적이다. 돌려 눕힐 때는 머리부터 발끝까지 함께 돌려 몸이 틀어지는 일이 없도록 하는 것이 바람직하다. 몸이 틀어질 경우 목이나 척추손상이 있는 환자에게는 치명적인 손상을 더할 수 있다.



의식상태 확인

도움 요청

환자의 위치를 바르게

그림 5-4. 환자의 관찰

#### 4) 심폐소생술의 3 요소

무엇보다도 심폐소생술의 기본적 3요소를 아는 것이 중요하다. 심폐소생술의 기본적인 3요소는 기도의 확보, 호흡, 순환이다.

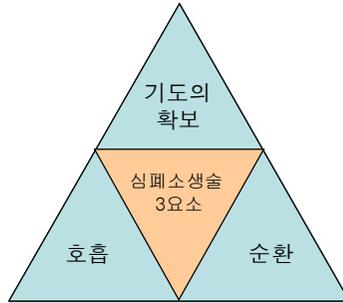


그림 5-5. 심폐소생술의 3요소

#### 기도의 확보

심폐소생술의 가장 중요한 것은 기도(airway)의 확보이다. 무의식 환자에서는 혀가 기도를 막는 일이 자주 있다. 그러므로 머리를 뒤로 젖히고, 아래 턱을 앞쪽으로 올려서 혀를 앞쪽으로 오게 하면 기도를 열 수 있다. 환자가 척추 부상이 의심될 경우에는 환자의 목이나 머리를 움직여서는 안 된다.

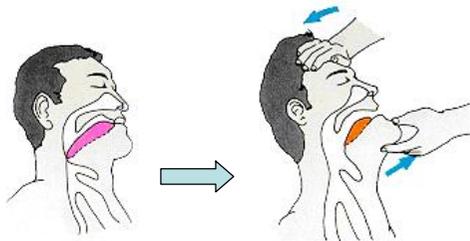


그림 56. 기도의 유지

#### 호흡

기도가 유지되어도 호흡(breathing)이 멎으면 장기에 필요한 산소가 부족하거나 없어지게 된다. 그러므로 인공 호흡은 환자의 폐에 산소를 공급하는 기본이 된다. 인공호흡을 실시하는 요령은 다음과 같다.

머리를 뒤로 젖히고 턱을 들어 올리면서 환자 코를 엄지와 검지 손으로 잡는다. 숨을 크게 들어 쉬어 환자의 입으로 1.5~2초에 걸쳐 공기를 천천히 불어 넣는다. 입을 떼고 손을 놓아 공기가 쉽게 나오도록 한다.

인공호흡을 2회 실시한 후 경동맥에서 맥박을 확인한다.

맥박은 있으나 호흡이 없을 경우에는 1분당 12~15회 정도로 인공호흡만 실시한다.

맥박이 없을 경우에는 순환을 위한 흉부압박을 실시한다.



그림 5-7. 인공호흡

#### 순환(Circulation)

심장박동이 멎은 경우, 가슴을 압박하여 다시 심장박동을 소생케 하려는 시도이다. 이로써 혈액을 뇌와 다른 기본 장기에 공급하게 된다. 인공호흡과 함께 실시해야 효과가 있다. 흉부압박을 실시하는 요령은 다음과 같다.

환자의 가슴 쪽을 향해 무릎 꿇고 둘째와 셋째 손가락으로 늑골 끝에서 위쪽으로 미끄러져 가며 셋째 손가락을 가슴뼈의 맨 아래 끝(견상돌기)에 위치시킨다.

흉부 위에서 머리 쪽에 있는 손바닥 끝이 둘째 손가락의 옆에 오게 한다.

다른 손은 그 뒤에 얹고 손가락은 흉부에 닿지 않게 한다.

팔꿈치는 고정 시키고, 팔은 곧게 뻗은 상태로 손 위쪽에 어깨가 오게 한다.

흉부압박은 분당 80~100회의 속도로, 깊이는 4~5 cm 정도로 하여 15 회 정도 실시한다.



그림 5-8. 흉부압박

## 5.4 사고보고 (accident reporting)

### (1) 사고보고 원칙

모든 사고는 연구실 책임자와 안전관리 담당부서에 보고하여야 한다. 경미한 사고의 경우 창피하다는 이유와 처벌 받을지 모른다는 생각에 보고를 하지 않는 경우가 많은데, 이런 것들이 향후에 큰 사고로 이어지게 마련이다. 보험과 책임성의 문제도 초기 사고 기록이 존재한다면 효과적으로 처리될 수 있다.

추가적으로 모든 사고는 안전관리자가 조사하여야 한다. 경미한 사고라도 조사를 통해 조처가 취해질 때 큰 사고를 막을 수 있다. 연구활동 종사자들도 이러한 사고보고가 책임을 묻고, 비난하기 위한 것이 아니라 동종 혹은 유사한 사고를 막기 위한 것에 목적이 있다는 것을 알 필요가 있다. 유해물질에 의한 장기적 노출도 같은 요령으로 안전관리 부서에 제출해야 한다.

### (2) 사고보고서 작성

사고보고서에는 다음과 같은 내용들을 담아야 한다.

#### 사고발생 일시

사고의 최초 발생 일시를 기록한다. 가능한 분 단위까지 기록하고 정확하지 않을 때는 추정 기록한다.

#### 사고발생 장소

사고가 발생한 조직과 물리적 장소를 구분해 기록한다.

#### 사고형태

사고형태로는 다음과 같은 것들이 있다.

표 5-3. 연구실 사고 형태

사 고 형 태	내	용
추락	사람이 고소에서 떨어지는 사고	
전도	사람이 수평면에서 넘어지는 사고	
충돌	사람이 정지된 물체에 부딪치는 사고	
낙하	물체가 중력에 의해 수직으로 떨어지는 사고	
비래	물체가 날아와서 사람이 이에 맞는 사고	
붕괴	적재물이 넘어지는 사고	
도괴	건축물, 비계물 등이 넘어지는 사고	
협착	좁은 틈에 신체 부위가 끼는 사고	
감전	전기에 접촉되어 신체에 전류가 흐르는 사고	
폭발	압력의 급격한 증가로 용기 등이 터지는 사고	
과열	용기 또는 장치가 물리적 압력에 의해 깨지는 사고	
무리한 동작	부자연스러운 자세나 동작으로 인해 상해를 입는 사고	
이상온도접촉	고온이나 저온에 접촉해 입는 사고	
유해물질접촉	유해물질 접촉으로 중독이나 질식, 피부질환을 얻는 경우	

#### 사고발생 경위

사고 발생과정을 시간 순서에 따라 6하 원칙에 의해 자세히 기록한다.

#### 사고의 원인

사고 발생과정에 근거해 사고의 원인을 기록한다. 사고의 원인이 정확하지 않을 경우 잠정적으로 추정되는 원인을 적는다. 사고의 원인은 직접적 원인, 간접적 원인, 관리적 원인 등으로 나누어 기록한다.

직접원인: 사고 발생 직전에 나타났던 가장 직접적인 원인으로 주로 인간의 불안정한 행동이나 불안정한 상태가 여기에 해당된다.

기본원인: 직접원인이 나타날 수 밖에 없게 했던 기본적인 원인이 있다면 이를 찾아 적는다.

관리적 원인: 모든 사고의 원인에는 관리상의 문제점을 포함하고 있다고 할 수 있다. 관리적 원인 중 교육적 문제인지, 규정 미비인지, 인력 부족 등인지를 규명해 적는다.

**기인물과 가해물**

앞에서 정리한 원인들 가운데 사고의 직접적 원인을 제공한 물질·기계·기구 등을 기인물로 찾아 기록한다. 만일 상해사고라면 별도로 상해를 입힌 대상을 찾아 가해물에 기록한다. 기인물과 가해물은 동일할 수도 있고, 서로 다를 수도 있다.

**재산 피해**

재산 상의 피해가 있다면 손상이 간 자산과 그 피해 규모를 추정해 기록한다.

**상해자**

상해자가 있는지 여부를 확인하고, 상해자의 인적 사항을 기록한다. 상해자가 여러 명이면 각각 별도의 용지에 기록한다.

**상해부위**

상해를 입은 신체 부위를 기록한다.

**상해정도**

각 상해부위 별로 상해 정도를 기록한다.

**표 5-4. 상해의 종류와 그 내용**

상 해 종 류	내 용
골 절	사고에 의해 뼈가 부러진 상태
동 상	저온 물체에 접촉하여 생긴 동상 상태
부 종	혈액 순환의 이상으로 신체 부위가 부어 오른 상태
찢 립 (자 상)	칼날 등 날카로운 물체에 찢린 상태
절 단	신체 부위가 잘린 상태
중 독	음식, 약물 등의 중독 물질에 의해 신체에 이상 발생
질 식	음식, 가스 등에 의해 호흡에 이상이 생긴 상태
찰 과 상	스치거나 문질러서 신체 피부가 벗겨진 상태
화 상	화재, 고온 물체에 접촉으로 인해 피부 이상이 생긴 상태
좌 상	충돌, 추락, 전도 등에 의해 신체 부위가 뺀 상태
창 상	칼 등에 의해 신체 부위가 베인 상태
시 력 장 애	시력이 감퇴 또는 실명된 상태
청 력 장 애	청력이 감퇴 또는 난청이 된 상태

## 제 6 장 안전이념과 경영

### 참고문헌

김두환, 안전관리실무론, 중앙경제사.  
동북대학교, 안전매뉴얼, 일본 동북대학교, 2005.  
시미즈히사치, 대학 공학부에 있어 안전활동 경험, 일본안전공학, vol. 33, No.4, 1994.  
요코하마대학교, 실험실습을 위한 안전매뉴얼, 요코하마대학, 1988.  
일본화학회, 화학실험의 안전지침, 환선(주), 1998.  
일본화학회, 화학실험의 안전가이드, 화학동인, 2006.  
한국산업안전공단, 실험실 안전지침, 1999.  
Carl Heymanns, 독일실험실안전지침, 1993.  
CRC, Handbook of Lab safety, CRC  
OSHA, Laboratory Safety Pocket Handbook, OSHA. 1996

안전관리의 잘되고 못됨, 연구주체의 무재해를 유지시키는 열쇠는, 대학 총학장 혹은 연구주체장 등 최고경영자가, 안전에 대한 엄격한 자세와 안전에 대한 확고한 기본이념을 가지고 안전철학을 몸소 실천하는 열의가 있지 않으면 안 된다.

안전을 직접 숭선수범한 대표적인 예로서 U.S. Steel Co.의 G. H. Gary 사장을 들 수 있다. Gary 사장은 회사의 산업재해를 줄이고자 그전까지의 생산 중심의 경영방침을 과감하게 안전 중심으로 바꾸었다. 그는 비참하게 재해를 입은 근로자들의 불행을 보고만 있을 수 없다는 굳은 의지표현으로 경영방침 가운데 한 사람 한 사람의 인간과 인명의 존중이 모든 경영목표보다 우선하는 안전이 필수조건임을 제시하고 있다. 새로 채택된 경영방침은 ‘안전, 품질, 생산’ 순으로 중요성을 강조하였다. 바로 이때 나온 구호가 바로 ‘안전제일(Safety First)’로 지금도 전세계의 사업장에서 채택되어 사용되고 있다.

이제는 연구실의 연구활동 종사자들의 사회적인 인간존중의 가치가 더욱 요구되고 있어, 경영 이념에 안전의 중요성을 간과할 수 없다. 급속한 산업의 하이테크화 고도화의 진전에 따라 연구환경과 실험작업의 시스템화는 연구활동 종사자에게 심신스트레스나 노심혈 등과 같은 직업관련 질환을 초래하고 있다. 단순히 연구실 재해방지에 머무르지 않고 쾌적한 연구환경 조성을 포함한 경영이념으로서 인간존중이 요구되는 것도 이러한 이유에 있다. 이 경영이념은 연구활동 종사자들에게 명확하게 알려주고 이해가 되고 납득이 됨으로써 꿈이 있는 것이다. 안전이념에는 실천과 책임이 따른다. 경영안전이념에 대한 기본방침이 명확하게 되고 각 연구조직책임자를 통해서 철저하게 이행되도록 해야 한다.



그림 6-1 톱의 안전조직 관심은 연구주체 백년안전을 내다본다

## 6.1 최고경영자의 안전책임

대학이나 연구기관의 최고경영자 즉 연구주체의 장(長)에게 부여된 책임은 ‘연구실 안전환경 조성에 관한 법률’ 제5조에 “연구주체의 장은 연구실의 안전유지와 관리를 철저히 함으로써 연구실의 안전환경을 확보할 책임이 있다”로 규정되어 있다.

최고경영자는 안전관리 경영이념을 기반으로 안전기본 방침을 명확히 제시하고 기본 사항을 실천할 책임을 갖고 있다. 안전관리와 관련해 최고경영자가 수행해야 할 일들은 다음과 같은 것들이 있다.

안전은 라인에서 수행하는 것을 기본으로 한다.

전 조직에 대해서 안전관리기본 방침을 명시하여 철저히 지키도록 한다.

기본방침을 기반으로 전 조직 중에 있는 구체적 문제점과 그 해결책을 구상하여 안전관리의 기본계획을 책정하고 확실하게 실천 추진한다.

각 연구실 책임자의 안전책임과 조치권한을 명확히 한다.

업무수행상의 안전작업표준은 항상 수준을 향상시키도록 한다.

전 연구실의 안전관리 기본계획과 그 추진활동을 담당할 안전관리 스태프(staff)의 지위 부여와 역할 책임 및 직무를 명확히 하여 실천시킨다.

연구주체의 전 연구실 조직에 대해서 안전의식과 안전행동의 교육훈련 체계를 세워서 이것을 바탕으로 안전교육 훈련을 철저히 실시하도록 한다.

본질(근본적) 안전화를 항상 추구하고 연구 활동의 개시 전과 실시 중에 있어 안전관리평가 시스템화를 도모하여 안전관리 계획에 피드백 하는 시스템을 확립한다.

특히 상향식(bottom-up) 방식에 의한 안전관리 활동 활성화를 꾀하여 연구활동 종사자들이 자발적으로 안전관리에 참여할 수 있도록 한다.

## 6.2 연구주체의 안전관리 전략적 사고(思考)

안전관리의 종합적인 시스템 구축은 산발적, 대응요법적인 시책으로는 효과가 절대로 나타

나지 않는다. 안전한 실험환경을 실현하기 위한 체계적인 파악이 필요하며 여기에 조직적이고 전략적인 사고(思考)방식이 불가결한 것이다.

안전 종합시스템(safety total system)의 구축은 미래지향적인 적극적인 안전관리의 이상적 모델의 설정으로 되지 않으면 안 된다. 연구기술은 항상 새로운 가능성을 창출하며 항상 진보적인 생산활동과 연계한 자동화, 무인화로 급속하게 전진되고 있다. 반면에 화학약품 및 설비와 연구활동 종사자의 접점이 큰 사고나 재해를 발생시키고 있다. 연구실 기술발전은 인명과 건강을 대가로 얻어져서는 안 된다. 기술대국은 이와 동시에 안전대국이 되지 않으면 안 된다.

종합안전 시스템추진에서 적극적으로 배제해야 하는 요소가 있다. 안전관리 업무수행 상 ① 연구생산 저해요인, ② 연구활동 종사자의 부주의, ③ 재해의 우연성, ④ 재해 불가피성, ⑤ 무질서한 연구실 실험환경 등 안전에 대한 소극적인 자세를 배제하는 것이다. 이런 자세에서 안전관리의 종합적 시스템 재구축의 필요성과 의의를 구하는 것이다.

### (1) 안전관리 시스템의 기반

#### 1) 연구주체에 부과되는 기본목표

##### 연구주체의 존속적인 발전과 안전실천 행동

연구주체가 존속하는 목적은 인간, 국가사회, 인류의 복지에 과학기술연구가 공헌하여 사회적 존재가치로 인정받는 데 있다. 연구주체의 존속과 번영 확보를 위해서는 안전확보가 필수조건이며 인명존중을 제일로 하는 연구주체의 안전제일 행동실천이 기본적인 조건이다.

##### 안전기본목표와 평가

연구주체의 안전기본 이념 가운데는 안전신뢰, 안전과 연구생산의 표리일체 확립, 안전, 품질, 원가의 일체 원칙이 명확하게 실현되지 않으면 안 된다. 이 원칙의 도달점은 다음 조건에 의해 평가를 얻을 수 있다. 연구주체에 부과되는 목표로서 첫째 고객 만족을 얻고, 둘째 지역사회로부터 신뢰와 안전한 연구주체로 이미지를 창출하고, 셋째 정부 및 재해방지단체 등의 전문기관으로부터 높은 평가를 얻는 데 있다.

#### 2) 기본목표 달성을 위한 노력

연구주체에 부과된 기본목표는 연구주체의 안전 이념으로부터 연계된 것이며, 기본목표를 실현하기 위해서는 첫째 경영 안전기본이념을 널리 알려 인명존중으로서 안전제일이 연구활동 종사자 모두의 마음을 움직여 조직적인 행동으로 안전제일이 확보되어야 한다. 곧 연구주체의 안전조직 문화 풍토조성이 확립되어야 하는 것이다.

둘째로, 안전에 대한 기본 이념이 하향식(top-down) 방법으로 철저히 이해된 상태에서, 전 연구활동 종사자 한 사람 한 사람이 안전과 건강한 직장을 만드는 데 적극적인 참가 체제로 상향식(bottom-up) 활동의 전개가 필요하다. 즉, 연구활동 종사자의 본인의 건강과 안전한 연구실 만들기에 적극 참여하여 개선추진 제안이 가능하도록 만드는 데 자율적인 의식 확립이 필요하다.

셋째, 안전한 연구실 만들기의 자율적이고 주체적인 활동을 촉진하기 위하여, 연구실 책임자의 적극적 지원활동과 그 기반 정비로서 연구원(학생) 전원참가 체제로 재해를 발생시키지 않도록 조직적으로 전개가 가능한 관리체제가 도모되어야 한다.

### 3) 기본과제 달성의 요건

연구주체의 궁극적인 기본목표는 무재해를 지키고 지속시키는 것이다. 따라서 기본 과제 달성하기 위해서는 그 조직기반이 필요하며 조직기반을 만드는 필수 요건은 다음과 같다.

첫째는 인명존중, 안전제일의 경영 기본 이념을 바탕으로 안전과 건강 유지 존속에 최고경영자, 연구실 책임자가 혼연일체 원칙을 확립시켜야 한다.

둘째는 최고경영자와 연구활동 종사자가 협력하여 인명존중 안전제일의 경영이념 공유화를 실천하여 안전하고 건실한 연구주체 만들기를 조직적으로 추진하는 데 있다.

셋째는 시대의 급 변화에 따라 연구실 안전의 다양화 (설비 발전에 따른 재해의 대형화 등)에 적응하도록 보다 안전관리 수준 정도를 높여, 한층 사회의 기대에 공헌하도록 한다.

## (2) 안전관리 기본시스템의 확립.

### 1) 기본영역

안전관리 기본시스템을 확립하기 위한 조건들은 다음과 같은 것들이 있다.

첫째, 연구주체의 경영에 안전관리 기본 이념을 수립하여 그 기본이념을 철저히 실현하는 데 있다.

둘째, 기본이념의 실현을 위한 기본전략이 필요하다.

셋째, 기본전략의 실행을 위한 강력한 관리시스템이 필요하고 안전관리의 체제확립이 요구된다.

넷째, 조직 관리시스템을 충족시키기 위해 모든 연구활동 종사자의 안전보건에 대한 마음가짐, 자세, 지식, 기술, 자격이 필요하게 되고 그러기 위해 교육훈련에 따른 보강이 필요하다.

다섯째, 위의 4가지를 기반으로 하여서 건강 유지와 쾌적한 연구환경 유지증진 조치가 필요하다.

여섯째, 연구주체의 존속발전을 위하여 많은 연구주체의 타 조직과의 협력과 상호보완관계가 유지되지 않으면 안 된다.

일곱째, 사회의 시스템은 점점 복잡화되고 고도 기술사회로 발전되고 있다. 이런 변화 속에 연구주체가 무재해를 지키고 확보하기 위해서는 연구실의 변화를 끊임없이 체크하고 안전 확보를 위한 계획과 평가 확인조정 및 개선 등 안전관리 문제해결시스템과 그 관리체도를 한층 높여나갈 필요가 있다. 즉, 안전관리 계획과 평가제도의 확립에 있다. 이상 일곱 가지 기본영역 구축을 통해 종합적인 안전관리의 기본시스템이 확립되는 것이다.

## 2) 기본 이념의 개요

### 기본이념의 기본적 개요는 무재해 지속유지에 있다

연구주체의 목적은 주변사회의 고객에 공헌하는 것이지만 그보다 먼저 연구주체 내 연구활동 종사자의 복지향상을 확보하는 것이 연구주체 목적의 우선적인 중요한 포인트다. 연구실 안전환경 조성법은 연구주체의 임무로서 연구활동 종사자의 안전과 건강확보, 쾌적한 연구환경 조성 유지로 규정되어 있다.

### 기본전략 체제 구성

#### 안전의 체계화

기본전략의 첫째는 안전의 체계화로, 조직을 통한 연구주체와 연구기관에 맞는 무재해활동 전개가 필요하다. 곧, 안전 체계화의 첫째 조건은 스스로 만든 독자적인 무재해 활동기법의 구축에 있다. 이것은 연구실 안전환경 조성법 상에 규정되어 있는 연구주체의 자율적인 안전활동의 조치가 강구된 항목에 해당한다.

둘째 조건은 무재해를 유지시킨다고 말하는 연구주체 이념이 연구활동 종사자 각자에게 필요 불가결한 이념으로 받아들일 필요가 있다. 이것은 연구활동 종사자들의 협력의무다. 이것을 근거로 하여 무재해 유지가 명령으로서가 아니고 연구활동 종사자 의지를 적극적 활동으로 전환시켜 소집단 활동 곧 개별연구실 그룹의 연대 속에서 추진될 필요가 있다. 또 이 위에 연구활동 종사자의 안전에 대한 창의적인 연구를 축적시킬 필요가 있다.

셋째 필요 조건은 쾌적한 연구환경의 촉진에 있다. 이것은 경영자의 책무이자, 연구활동 종사자의 책무이기도 하다. 스스로 연구실을 정리, 정돈, 청결, 청소의 기본원칙을 준수하고 자신들에게 보다 더 최대로 자부심을 가질 수 있는 좋은 심적, 정신적 연구 환경을 만드는 데 있다.

넷째 조건은 급변하는 연구 환경에 적응하도록 선취 안전경영 전략과 정책을 전개하고 양질의 높은 연구 업적과 활력 있는 연구실을 연구활동 종사자 스스로가 만들어가는 일체감 조성이 주인의식 안전행동에 의해 체계적으로 실현시켜야 한다.

이상의 순서에 따라서 무재해는 반드시 지켜져야 한다는 자부심이 조직전체에 침투되고 있을 때 연구실 안전은 성숙된다.

#### **자율관리활동의 조건정비**

자율적 안전관리 추진을 위해서는 첫째 관리, 감독체계의 정비가 되어있고, 둘째는 추진 체계 확립이 명확해야 하며, 제안제도, 점검 평가제도, 자율감사 제도 등의 정비 보강이 필요하게 된다.

#### **안전관리 표준화와 개선**

‘연구실 안전환경 조성법’에 규정하고 있는 위험방지 기술의 확립기반에 있다. 무재해 기본은 먼저 확인이며 기본에 충실해야 한다. 기본이란 안전행동 매뉴얼과 기준이 정비되어 있는 것을 의미한다. 그러기 위해서 위해방지를 위한 매뉴얼이나 기준이 정비되어 있는 것이 모든 행동에 우선한다. 이들 발전에 따라 시스템, 설비, 재료 등 모든 면의 안전 변화가 빨라지질 수 있다. 그 상황에 가장 적절한 안전 표준화를 추진하여 안전개선이 동시에 이루어져야 한다.

#### **참고문헌**

- 김두환, 연구실 안전환경 조성에 관한 법 시행과 기술사 역할, 제35회한일기술사심포지움자료집, 2005.
- 김두환, 대학원 안전세미나 특강집, 1996.
- 김두환, 연구실 안전환경 조성에 관한 법 시행에 따른 안전대책, 토론회자료집, 2005.
- 아오시마겐지, 안전관리자를 위한 15장, 육사, 1972.
- 마즈다, 전원참가의 직장활동, 기술평론사, 1985.
- 일경련, 안전관리 세미나집, 1994.

## 제 2 부

### 분야별 연구실 안전

## 제 7 장 화학적 위험과 안전

### 7.1 개 요

연구·실험실이란 비생산을 기초로 과학적인 연구를 통하여 만성적으로 또는 심각한 영향이 건강에 미칠 수 있는 화학물질을 사용하는 장소라고 한다. 연구·실험실은 많은 양의 화학물질을 취급, 제조하지 않는다. 화학물질이나, 다른 물질을 판매도하지 않는다. 연구용 화학물질과 일반물질을 합성하는 방법, 시료분석 등의 결과를 생산한다. 이러한 과정에서 유해위험물의 폭발, 인화에 의한 화재, 고열물 접촉에 의한 화상, 유해성가스의 흡입에 의한 중독, 약품의 피부 접촉에 의한 약상과 피부손상, 약 액에 의한 눈의 부상, 유리에 의한 부상, 약제에 의한 동상 등의 상해가 발생하고 있다.

### 7.2 연구·실험실의 위험성의 분류 및 재해종류

연구·실험실에서 각종 재해를 미연 방지하기 위하여 사전에 실험의 내용, 사용기구, 약품 등을 충분히 검토하고 방지대책을 세울 필요가 있다.

#### (1) 폭발 위험성이 있는 실험

가장 피해가 크고 발생빈도가 높은 사고의 하나이며, 가연성 시약, 폭발성 시약, 고압가스, 밀폐고압, 감압, 화재, 불꽃, 충격, 마찰, 가열 등에 의한 폭발, 화재에 의한 비례, 약제의 비산에 의한 약해, 연소, 고열에 의한 화상, 기자재 파괴, 비산에 의한 부상 등이 있다. 이들 재해는 필요 최소한의 실험규모, 방호벽의 사용, 보호구의 착용, 실험실의 격리 등에 의해 방지할 수 있다.

#### (2) 인화 위험성이 있는 실험

약품 중에 인화성이 있는 것이 대단히 많다. 따라서 실험 중에 인화에 의한 사고 사례는 끊임없이 일어난다. 여기서 인화, 폭발이란 조건의 차이에서 일어나므로 그 대책은 대개 동일하다고 생각된다.

#### (3) 유해성 가스 발생의 위험성이 있는 실험

실험실 내에서 유해가스를 취급하거나 누출이 발생함으로 수시 점검하여 성능이 충분한 배기 덕트(duct)를 사용해야 한다. 성능이 불충분할 때는 실내에 유해가스가 축적할 수가 있다. 또 기타 고압가스 용기에서 가스 누설이 되어 중독되는 사고가 적지 않다. 따라서 실험실내에는 냄새가 없도록 하는 것이 하나의 지표이다.

**(4) 약품의 위험을 수반하는 실험**

약품을 사용하여 실험하는 중에, 눈, 피부, 의복 등에 튀어서 눈의 장애, 피부의 염증, 중앙, 후각장애, 신경장애, 중독 등이 생기므로 관심을 기울이지 않으면 안 된다.

**(5) 감전의 위험을 수반하는 실험**

고전압의 전기를 사용하는 실험도 많으므로 감전사고가 유발하지 않도록 배려하지 않으면 안 된다. 또한 저 전압에서도 조건에 따라서는 감전사고를 유발할 수도 있다.

**(6) 부상 위험을 수반하는 실험**

가스기구, 기타 기구의 취급 중에 파손에 의한 부상, 실험조작의 과실 등에 의한 사고에 주의하여야 한다.

**(7) 방사성 위험을 수반하는 실험**

방사성 물질, X선 등에 대한 실험자의 방호 이외에 폐기물 처리에 특히 주의하고 문제가 일어나지 않도록 해야 할 것이다.

**(8) 주의 환경에 미치는 오염가스의 방출**

각종의 오염 가스는 덕트를 통해 옥외로 방출, 확산되므로 가스를 제거하지 않으면 안 된다. 특히 악취가스가 분산되기 쉬우므로 처리하여 공기 중에 배출한다.

**(9) 실험실 폐수의 방류**

실험실에서 나오는 폐수는 각종의 유독 물, 가연물 등을 함유하는 일이 많으므로 제거하는데 노력하지 않으면 안 된다. 특히 수은이나 시안 등의 독극물은 방류해서는 안 된다.

**(10) 폐기물의 처리**

실험실에서 나오는 각종의 폐기물에 대하여는 하청업자에게 처리를 위탁하는 경우가 많다. 하청업자의 부적당한 처리에 의한 사고가 발생한 사례가 많으므로 그 감독, 지도도 대단히 중요하다.

이와 같은 연구·실험실의 원인별 재해종류를 비교하여 보면 <표 7-1> 과 같다.

**표 7-1. 연구·실험에 관련한 재해종류 및 원인**

종 류	원 인 물 질	직 접 원 인	인 체 등 의 피 해
폭 발	가연성 시약(기체, 액체), 폭발성 시약, 고압·저압의 급격한 방출	화약, 불꽃 충격, 마찰, 자연발화, 혼합조작, 파괴, 오 조작	기계기구, 파편 비산, 폭풍, 장해고열에 의한 화상 약품비산에 의한 약해
화 재	가연성 액체, 발화성 약품, 전기, 가스	화재, 열, 불꽃에 인화, 공기, 수분 등에 의한 자연발화	화상, 폭발에 의한 장해 유독가스 발생에 의한 중독
중 독	자극성 시약, 중독성 시약, 유해가스, 분진, 미스트, 흡, 일반화합물 증기, 병원균	접촉(피부, 눈), 흡입(구강) 화학물질의 취급, 실험시 부주의, 인식부족, 흡입(호흡기)접촉	염증, 후각장애, 빈혈, 오한, 의식상실, 신경장애, (급·만성) 두통, 식욕부진, 호흡기 장애, 급·만성 중독 감염 증
부 상	유리 기구, 기계 장치 동물	유리 기구, 기타 취급 중의 파손, 접촉, 전도 등 물림	절상, 찰과상, 출혈, 골절장해,
감 전	전기장치, 배전 장치	접촉, 누전	전기외상, 쇼크사 심장마비
방 사 선	방사선 물질, X선	방사, 들어 삼킴, 접촉	피부 이상, 혈구 감소, 생식장해, 전기능 저하
배 기 가 스 약 취	유해가스, 분진, 미스트, 흡, 화합물 증기	부주의 배출제거장치 불비	최근 주민에 영향, 악취에 의한 불쾌감, 자극성 물질에 의한 호흡기 장애
폐 수	화공약품, 일반 병원균	부주의 불법폐기, 폐수 처리, 설비의 불비	배수 기준 이상 하수, 지하수 등의 오염
폐 기 약 품	화공약품, 일반 병원균	부주의 불법폐기	토질오염, 지하수오염, 식물고사
지 진	가연성 시약 유독성 시약	유리기구의 파손, 전도	화재 폭발 중독

안전지침서는 연구주체의 안전수행 기준을 검토하고 일반 정보와 참고문헌을 제공하며 특정한 연구실험실 안전 규칙과 정책을 설명하기 위한 것이다.

연구실험실의 안전책임은 관련된 모든 사람이 안전 책임을 공유해야 한다.

연구실험실의 안전규정 준수를 당연한 것으로 받아들이고 반드시 지켜야 한다. 이것은 실험활동 종사자, 안전점검 테스트를 수행하는 안전관리자, 설비관리자, 연구주체 모두를 위하는 것이다. 연구·실험실의 부주의를 당연한 것으로 보면 건강과 삶의 질을 위태롭게 만든다. 유리기구를 취급할 때 보안경을 착용하지 않아 시력을 잃게 될 수도 있다. 부적절한 혈액 샘플을 취급하여 B형 간염에 감염될 수도 있다. 이와 같이 연구·실험실 내에서 안전보호구 착용은 자신의 안전과 건강을 위하여 반드시 착용하고 사용 후 다음 연구실험시 사용하도록 잘 관리할 수 있는 곳이 지정되어 있어야 한다.

세계화로 급변화하는 연구·실험실의 연구활동 종사자들은 안전을 반드시 지키는 습관이 되지 않으면 살아남기 어렵게 될 것이다. 화학물질, 생체물질, 전기장치, 방사능 등을 취급할 때 잠재위험에 대한 안전지식과 이해는 시간이 지남에 따라 지식수준이 향상되어야 한다.

### 7.3 화학 연구·실험실의 안전관리

#### 7.3.1. 안전절차

안전절차는 실험공정을 안전하게 유지하고 연구활동 종사자들의 안전을 확보하는 데 필요한 순서를 말한다. 화학실험을 할 때는 화학약품이 갖고 있는 특성을 먼저 충분히 인지하고 안전한 마음가짐으로 행동해야 한다. 화학물질은 실험진행 중에 온도, 압력, 속도, 누출 등 이상반응에 따른 각종 위험이 상존하므로 절차대로 지켜지지 않으면 급격한 화학반응이 순간적으로 폭발화재로 진전되어 위험이 발생할 수 있으므로 철저하게 준비 계획단계부터 실험계획에 따른 안전매뉴얼을 충분히 숙지하고 반드시 안전 절차대로 실험을 진행하여 안전을 유지하지 않으면 안 된다.

#### 7.3.2. 화학 연구실험실내의 위험요인 파악

화학실험을 실시하기 전에 계획단계부터 안전을 챙기지 않으면 안 된다. 각종 안전점검을 사전에 실시하여 안전을 확인한 후에 실험을 실시하는 습관이 필요하다

- ① 연구실험실에서 무엇을 생산하는가?
- ② 어떤 위험스러운 화학물질을 취급하고 있는가? 있다면 양은 어느 정도인가?

- ③ 사용 절차는 어떻게 정해져 있는가?
  - ④ 사용 도구는 어떤 것이 있는가?
  - ⑤ 사용 장비는 어떤 것이 있는가?
  - ⑥ 사용 전에 사전위험성 평가는 되고 있는가?
  - ⑦ 안전교육은 사전에 실시되고 보호구는 실험내용에 맞게 준비되어 착용되고 있는가?
- 등의 항목을 체크하여 이에 잠재한 위험요인을 사전에 제거할 필요가 있다.

연구에 집중하다 보면 ‘연구제일(研究第一) 안전제이(安全第二)’ 의식이 생겨 위험을 일으키는 불안정한 행동의 실수를 범할 수 있다.

관리책임자가 연구는 사람이 한다는 생각이 밀바닥에 깔려 있어 연구활동 종사자가 자유롭게 설비 기기를 사용하고 있으므로 사용방법이나 안전관리는 자율에 맡긴다고 말하면서 확인을 하지 않는다면 약품이나 기기의 오조작 등 연구활동 종사자의 휴먼에러에 의한 사고로 상해를 입을 수 있다. 그러므로 항상 위험요인을 파악하여 확인하는 습관이 생활화되어야 한다.

**사고사례**

[개요]  
반응장치의 오일 순환식 전기히터를 오일 패스에 접속시켰다고 생각하고 전원을 넣었다. 전기히터 내 오일을 밀폐상태로 200℃ 이상 상승시키는 동시에 유압도 수십 기압으로 되었다고 생각했다. 오일패스의 접속파이프(금속제)로 오일을 빨아내었으나 유압에 따라 히터가 과열하면서 화재폭발이 되었다.

[원인]  
1. 전기히터와 오일패스가 접속되지 않은 상태에서 전원을 넣었다(명칭한ミス).  
2. 반응장치 사용방법을 잘 모르고 자기 판단으로 적당히 조작(지식 부족).  
3. 사용 매뉴얼을 비치하지 않음(관리불비).

안전지식이 적은 사람에게 단독 연구를 시키는 것은 자율적 행동이 허용되지 않는 반면 폐쇄적이 되므로 시험연구의 복잡화, 고도화에 따라 고독감 등 스트레스를 받기 쉽다. 연구·실험실 내에서 실험하는 동안 같은 연구자 간에 대화가 적고 인간관계가 희박하므로 개인적으로 스트레스가 높아 정서적인 불안감을 느낄 수 있다. 이러한 특징은 사고로 연결될 수 있어 종합적인 안전대책이 요망된다.

유해 위험성 예측이 어려운 화학약품은 무엇이 있는가, 소량인가 데이터를 빨리 얻겠다는 안일한 생각에서 안전대책을 뒤로 미루는 것은 대단히 위험한 발상이다. 취급물질이나 설비기기에 대한 연구목적 수단을 숙지하고 있는 자가 충분한 안전확인을 행하고 사용할 필요가 있다.

특히 연구주체의 계획진행에 따라 연구테마, 연구조직 팀의 구성해체가 빈번하면 고정적인 업무가 아니므로 근본 단위 연구실 안전관리시스템 구축이 어렵고 안전 교육이 불충분하여 관리자 입장도 연구업무 우선으로 철저한 관리가 되지 못하게 될 수도 있다. 따라서 기술적인 안전업무 등을 지원할 수 있는 전문 안전 스태프(staff)의 도움이 필요하다. 가능한 1인 실험을 배제하고 특히 야간, 휴일, 아침시간의 실험은 명확하게 관리체계가 요망된다. 연구활동 종사자들의 연구업무에 따라 강한 스트레스는 안전행동에 영향을 미치므로 건강체조 등 변화성 있는 시간을 갖도록 하는 것도 준비단계에 신경 써야 할 사항이다. 연구·실험실 안전책임자는 연구활동 종사자들에게 비상 통보 체계를 평소에 훈련시켜 가스취급, 가스검지, 화재경보기, 경보작동시에 대응할 수 있는 행동, 피난유도 방법 및 장소, 소화 구급활동, 착화원 제거, 비상 스위치 등을 매뉴얼화하여 숙지하고 확인 시켜야 한다.

### 7.3.3 화학물질 안전취급 계획의 필요 요소

- ① 위험한 화학물질의 안전한 취급을 위한 표준 운전절차 작성
- ② 정확한 제어가 사용되도록 공학적 제어, 개인보호장비, 작업환경측정
- ③ 증기 후드나 다른 보호장비가 어떻게 유지될 것인지, 정밀 검사나 일상검사는 언제, 어떤 방법으로 누가 운영할 것인지
- ④ 안전 교육프로그램은 무슨 내용을 어떤 방법으로 누가 지도할 것인지
- ⑤ 화학물질사용 승인 전의 필요 요소는 무엇인지
- ⑥ 잠재위험으로부터 과도한 노출이나 상해에 대한 의학상의 치료법은 어떤 것이 있는지
- ⑦ 화학물질 안전 관리자와 안전위원회를 포함한 화학물질 안전계획에 책임 있는 사람의 이름
- ⑧ 특정 위험물질 작업을 위해 필요한 추가적으로 갖추어야 할 보호 장구는 어떤 것이 있는지
- ⑨ 화학물질의 위험성평가는 어느 단계에서 어떤 방법으로 누가 주관할 것인지 등을 검토하여 사전안전 실험계획을 확립할 필요가 있다.

### 7.3.4 위험예측과 안전실험계획

#### (1) 실험실시 전 계획과 준비

- ① 실험에 내재하는 위험을 예측 파악하여 사고를 미연방지하기 위하여 사전에 사용할 화학물질의 MSDS조사
- ② 화학약품, 기계장치 조작 등의 예비 안전지식 제공
- ③ 가연성 화학물질취급과 점화원 관리 및 적정보호구 착용
- ④ 화학약품 보관대 정리정돈 유별 분리 전도방지 조치

실험계획을 수립하고 실시순서에 따라 실험준비 단계부터 예상되는 사고를 예측하여, 전반적인 사고예방대책을 충분히 검토하여 대응할 필요가 있다. 참고로 다음 그림은 안전성평가를 예상한 진행 흐름도를 나타낸 것으로 실시순서에 따라 조사해야 할 대상, 예상되는 사고를 표시하였다.

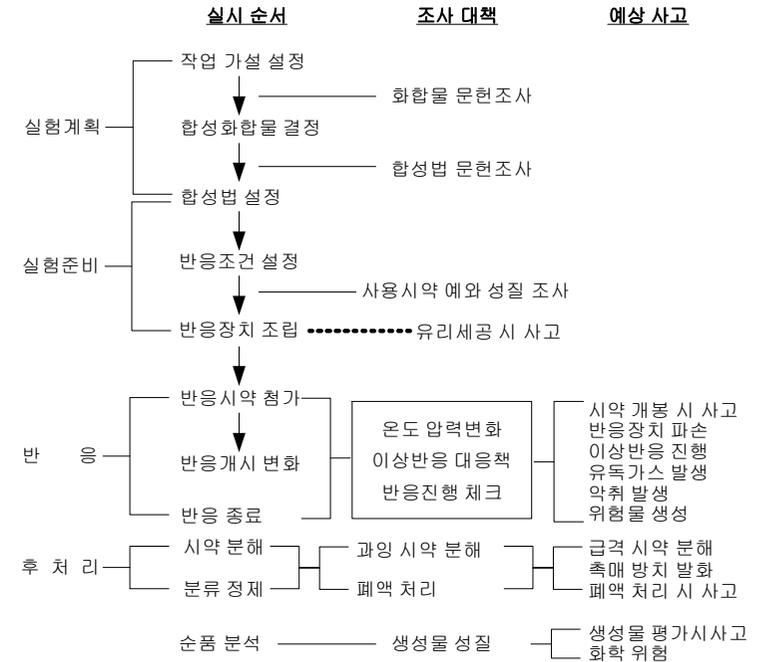


그림 7-1. 실험계획 순서와 예상사고흐름도

### 7.3.6 유해·위험물질의 안전성 평가 관리

#### (1) 유해·위험물질 안전성평가 기본

##### 1) 안전성평가

연구기관에서 사용되는 화학물질은 수만 가지로 고부가가치 제품을 지향해서 다품종 소량 생산되어 연간 수 천 종의 신규화학물질이 연구개발, 생산되고 있다.

이 화학물질 가운데는 반응성이나 분해성분의 성질에 따라 잘 알려지지 않은 위험성을 내재하고 있는 것이 많이 있다. 이러한 화학물질을 부적절하게 취급한 결과 폭발화재가 발생하고 있다. 따라서 사전에 안전성 평가를 행하지 않고 사용 취급시 사고가 발생하여 인적, 물적인 많은 피해를 입게 된다.

그러므로 화학물질의 잠재위험성을 간편한 실험도 행하지 않고 스크린 하거나 위험성평가를 예측하기는 대단히 어렵다. 시험을 하지 않고 위험성을 예측, 평가하는 방법으로서 문헌조사가 있으며 신규 화학 물질인 경우 관련 정보를 얻지 못할 경우 위험성을 평가하기 위한 필요정보를 계산에 의해서 구하기도 한다. 이러한 방법은 미국 재료시험협회 폭발위험성 예측 프로그램이 대표적이다. 화학물질의 유해성은 화학구조와의 상관관계에 착안하여 분석하는 경우가 대단히 많다.

초기소량 연구계획 단계에서 충분한 유해위험 정보가 얻어지지 않은 상황에서 실험을 행함에 따라 커다란 위험성이 잠재하고 사고가 발생하게 됨으로 설비의 근본적인 안전이나 안전보호구 착용이 반드시 필요하다. 신규화학물질을 생성하면서 생기는 유해위험성을 사전에 조사하는 것은 별도의 정보수집시간 과 많은 비용이 요하므로 대개 위험성평가를 안하고 시작하는 경우가 있어 사고가 발생한다. 따라서 반드시사전에 위험성 해석(신뢰성 해석)을 실시한다. 리스크 정보 제공, 연락체제를 구축(사고 사례의 조기통보), 경고표시의 부착 및 이행 철저화 등을 생각할 수 있으나 현실점에서 ②이외에는 실현이 안 되고 있는 경우가 많다.

#### 2) 대응방법

##### - 기초대응

취급물질을 가능한 최소화 취급하고 초기단계에서 충분한 예비조사를 행한다  
원료 반응 위험성 데이터를 실험 개시 전에 조사하고 물질영향계산법 등을 참고로 한다.  
미량이라도 인체에 영향을 주는 유해물은 국소배기 밀폐 등을 고려한다.  
유해위험물사용 폐기시 기준을 명확히 지키고, 폐기자, 폐기약품명, 수량, 폐기시기를 반드시 기록하고 반응상 이상이 있는 물질 혼용을 철저히 금하는 관리가 필요하다.  
정보수집에 필요한 데이터를 충분히 얻는 데는 어려운 경우가 많이 있다. 이것을 보완하

는 명확한 데이터를 얻기 위한 기본실험을 실시한다.

##### - 기본실험

###### ① 위험성 시험

불안정 물질에 주의할 것은 혼합 위험성을 포함한 시험을 실시한다.

###### ② 유해성 시험

물질에 갖고 있는 유해성을 각 시험에 따라 조사하여 적정 관리한다.

###### ③ 환경 영향 평가

환경파괴가 발생하지 않도록 물질 분해 성, 유해성, 축적 성 등에 대한 시험을 실시하고 철저한 폐기물 관리를 행한다.

#### (2) 물질의 취급 설비환경에 따라 유해 위험성 예측조사

물질의 유해위험성은 사용하는 방법이나 취급하는 조건에 따라 달라지는 경우가 있어 예측 조사가 필요하다.

##### 1) 취급 환경조건이 다음 사항일 때 물질이 갖고 있는 여러가지 유해위험성을 생각해야 한다.

① 고압, 저압, 고온, 저온일 때 취급방법을 어떻게 할 것인가, ② 취급물질이 진공상태 또는, 질소로 치환된 상태 인가, 산소가 많아 인화되기 쉽지 않은지, ③ 가속이나 진동은 없는지, ④ 유해위험성 물질을 사용하는지, 그 형태나 양은 어느 정도인지를 조사한다

##### 2) 예측 조사항목으로

① 문헌조사(특수환경에 있는 물질의 유해위험성), ② 환경인자조사, ③ 취급하는 환경에 있는 물질 성상, ④ 소량 실험에서 얻어진 결과 예측, ⑤ 특수환경의 사고사례 기타 등 유해위험성이 있는지를 조사한다

#### (3) 위험성 평가가 곤란한 물질(미지물질) 대응

##### 1) 미지물질의 위험성 평가

물성이 불안정한 경우 예상치 못한 반응이 일어나고 환경조건에 따라서 전혀 다른 성질로 나타난다. 불안정 물질에 대한 위험성 평가방법을 [그림7-2]에 나타내었다. 이 시험 방법은 기본적인 것을 유보하기 위하여 위험성평가는 한계가 있다.

시험결과에 따라 변경된 위험성에 따른 시험을 실시하는 것이 필요하다.

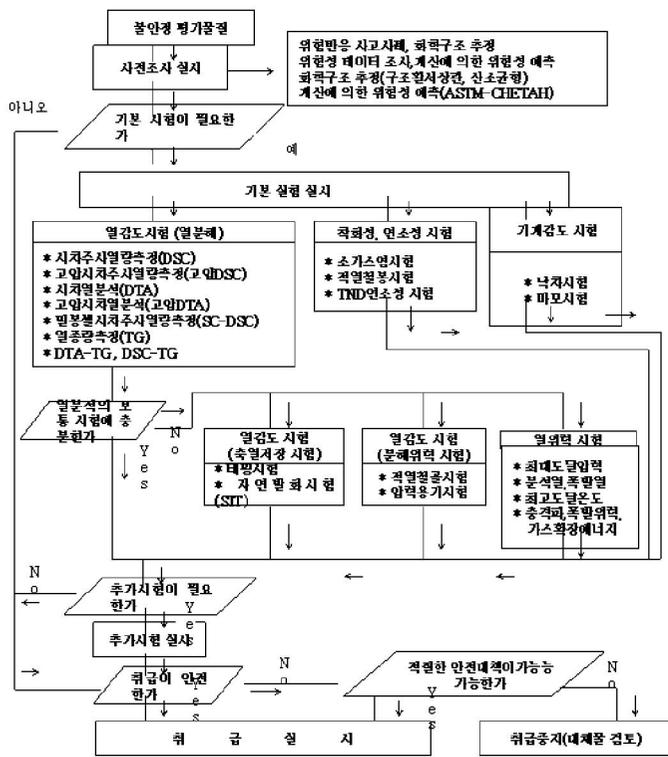


그림 7-2-1. 불안정물질의 위험성평가 출처: 일본화학공업협회 1982

시험 재료에 포함하고 있는 불순물이나 반응과정, 중간체에 있는 예기치 못한 현상에 주의가 필요하다. 불순물이나 반응과정에서 중간체 생성에 따른 예기치 못한 현상에 주의할 필요가 있다.

### 3) 미지 물질 도입 계획단계 위험성 체크리스트

- ① 유해위험성에 알지 못하는 유사위험물은 없는가?
- ② 폭발성 원자단을 갖고 있지 않는가?
- ③ 중독을 일으키는 물질과 유사구조는 있지 않은가?
- ④ 발암성이 나타나기 쉬운 부분의 화학구조는 있지 않은가?

⑤ 안전에 필요한 설비 보호구는 준비되어 있는가? 이상시 대비능력은 충분한가?

신규물질 연구에 적용되는 위험성평가 순서는 [그림 7-2-2]와 같다.

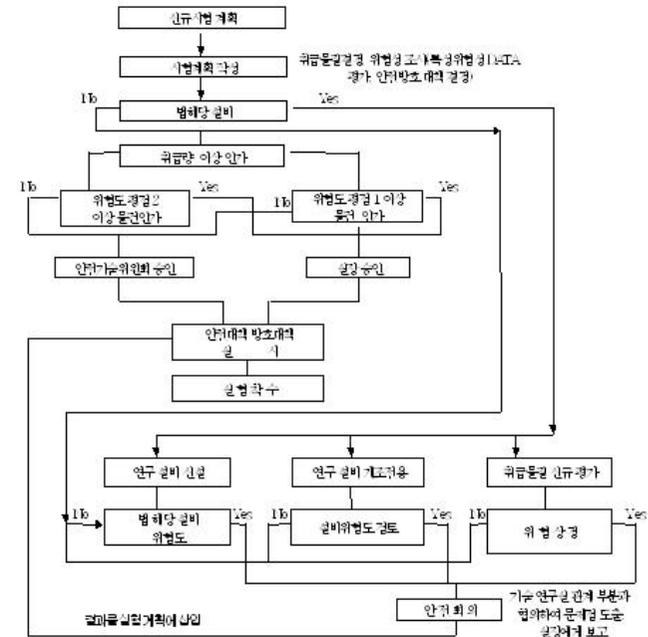


그림 7-2-2. 신규물질의 실험실 위험성 평가 흐름도

### (4) 소량기초 연구단계 위험성평가

우선 정보수집을 한다. 소량물질의 유해위험성, 물질사용방법, 문헌조사, 물질취급 연구 중 사고사례 등 유해·위험물질 위험성평가를 기본으로 실시한다.

유해·위험 예비시험을 실시한다.(폭발, 발화경향, 온도, 압력변화, 반응관리, 제어여부, 이상 가스 발생, 조건변동여부) 안전대응(일정기간 경시변화, 안전장치부착, 방폭구조, 안전벨트, 국소배기장치 설치 등)

**(5) 대량연구 본 단계**

소량단계 결과 정보보완 유해·위험성 예측·추가시험-장치공정-유해위험성 수치 측정. (경험자의 안전지도)

**1) 정보수집 조사항목**

- ① 물질안전보건자료(MSDS)
- ② 사고사례원인분석 대책, 사용기기설비의 위험성,
- ③ 취급폐기 대응방법
- ④ 법적 규제
- ⑤ 정보제공기관 제조업체
- ⑥ D/B구축—정보관리체계구축

**2) 교육훈련**

유해·위험성의 규칙, 유해·위험성데이터 활용 및 안전대책, 비상시 안전대책

**표 7-2. 화학물질의 위험성 지표**

위험	평가	감도	위력	위험반응유무
열분해 위험성 (고체, 액체, 기체)		발화점 자기가속분해 온도 발열개시 온도	최대도달 압력 최대 압력상승 속도 최고 도달 온도 분해열 폭발열	분해열
폭발위험성 (고체, 액체, 기체)		타격감도 마찰감도 충격감도 착화감도 전기불꽃감도	폭발열 폭발위력 폭발속도 충격파에너지 가스팽창에너지	전폭직경
자기연소 위험성		착화성	연소격렬 정도 연소속도 연소열	연소지속성
공기존재하의 연소		인화점 발화점 최소발화 에너지 정진기 발생용이 착화성	연소속도 연소열 폭발열 연소폭발 격렬	폭발범위

감도: 에너지가 주어졌을 때 분해폭발 반응이 일어나기 쉬운 것

위력: 분해폭발 반응에 따른 에너지 발생량 및 발생속도

**안전교육**

화학실험은 잠재하는 위험성이 상존하므로 지속적인 관심과 노력이 필요하다. 시작하기 전에 연구책임자가 연구활동 종사자들에게 연구과제에 대한 전반적인 안전에 대한 사항을 교육한다. 연구준비 순서, 화학약품재료, 설비 등의 위험성평가에 대한 제반 사항, 보호구 착용, 만약 사고발생시 보고, 연락 대처요령 등 안전관리에 대한 지식교육을 실시하여야 한다. 이 때 다음과 같은 내용을 강의나 토의식 시청각기자재를 활용하여 교육하는 것이 바람직하다.

**안전교육내용**

- ① 화학물질의 특성, 안전계획의 접근성과 저장위치 및 저장방법, 안전점검취급요령
- ② 화학물질 노출로부터 연구활동 종사자를 보호하기 위한 실험공정의 수행순서,
- ③ 안전 보호장비 보관위치 사용법(세안기, 안전샤워, 소화기, 피난기구), 비상응급조치방법,
- ④ 연구활동 종사자가 취급하는 모든 화학물질에 대한 공정 반응시 위험성, 사고사례, 안전 표준절차나 안전 행동. 연구실 안전법규 및 기준
- ⑤ MSDS의 이용방법, 보관위치와 안전 취급을 위한 화학물질의 처리방법
- ⑥ 과다 노출 징후와 시설장비사용, 위험을 방호하기 위한 방법, 안전수칙 및 안전표지인식

**안전관찰 점검 - 노출단계 결정**

실험실에서 위험한 화학물질의 노출 정도를 관찰 감시하는 것은 일상적으로 필요한 것이다. 인증된 보호구착용, 공학적 제어(후드 덕트, 환기설비)의 안전작업 수행과 유해화학물질의 올바른 사용여부, 작업한계 내에서 노출되는지 여부를 관찰 점검한다. 관찰점검은 화학물질을 취급하는 데 필요한 기준을 따르고 있는지를 확인하는 것이다.

## 5) 관찰점검 단계

### ① 초기 관찰

신뢰할 수 있는 지역이라면 일상적으로 노출단계가 안전한계를 넘어섰을 때 관찰점검을 시작한다.(노출 또는 다른 화학물질의 작업한계를 알려준다.) 이 때 방법은 연구활동 종사자가 어느 정도 량의 노출환경에 폭로되고 있는지를 관찰함으로써 유연성이 필요하다.

### ② 주기적 관찰점검

만일 초기 관찰이 안전한계 이상의 징후를 보이면 연구주체의 장은 관찰점검을 계속하여야 할 것이다. 이 절차와 빈도는 관찰된 화학물질 기준에 따라야 한다.

### ③ 관찰 종료

관찰은 안전한계 이하로 내려간 단계에서는 계속적인 관찰이 필요치 않다.

### ④ 연구활동 종사자에게 통보

연구주체의 장은 안전한계 이상의 노출을 통보한 후 15일 이내에 관찰 결과를 연구활동 종사자에게 알려주어야 한다. 그 결과는 보고서로 써서 공고하거나 전달할 것이다. 연구활동 종사자의 안전예방을 위해 화학물질의 잠재위험을 인식하는 것은 중요하나, 이것으로는 충분치가 않다. 계속해서 안전 작업계획에 따라, 연구활동 종사자는 안전을 유지하여야 하는 것으로 연구활동 종사자의 안전태도에 달려있다고 할 수 있다. 연구활동 종사자는 작업에 알맞은 개인 보호장비를 착용해야 하며 작업시 작업에 맞는 안전한 절차에 따라 작업을 수행하여야 할 것이다. 연구활동 종사자가 작업시 반드시 안전수칙을 준수하는 것은 연구활동 종사자 직무에 한 부분이며 여러 가지 작업안전 규칙을 준수하지 않으면, 연구활동 종사자는 상해를 입을 수 있는 확률을 감소시킬 수 없기 때문이다.

## 6) 일반 실험실 안전규칙

실험실에서는 연구활동 종사자가 지켜야 할 명확한 안전행동에 대한 방침을 수립하고 시행되어야 한다. 실험실은 다음과 같은 일반적인 안전 규칙을 수반하고 있다.

### 안전제일 주의

연구책임자는 연구절차에 대한 재검토와 화학물질 그리고 장비에 내재되어 있는 잠재위험을 찾아내어 개선하는 것을 최우선으로 하여야 한다. 연구활동 종사자의 업무계획 작성, 공학적 조치나 장비 그리고 개인보호 장비 또는 안전절차서와 같은 어떤 보호조치가 필요한지를 결정해야 한다.

## 작업 내용에 대한 인지

모든 화학 물질에 대하여 물질안전보건자료(MSDS)와 용기에는 안전라벨을 붙여야 한다. 화학 물질이 인체에 어떻게 손상을 가하는지, 작업 지역 내에 유해한 환경에서 어떻게 대처할 수 있는지, 사고에 대해 적절한 대책 방안을 숙지해야 한다

### ① 무엇을 해야 하는지에 대해 생각해야 한다.

실험실에서 습관대로 일상 과정을 전개하기는 쉽다. 비록 수 년 동안 연구활동 종사자가 특정한 절차에 익숙해 있다 하더라도, 연구활동 종사자는 하는 안전업무에 대해 주의를 기울여야 한다. 사고는 연구활동 종사자가 산만하거나 집중력이 떨어졌을 때 발생하기 쉽다. 특히 연구실험실 내에서 처음부터 사고가 존재하지는 않지만, 연구활동 종사자가 더 좋은 습관을 가진다면 보다 더 안전하고 건강할 수 있을 것이다.

### ② 모든 안전순서 절차를 따르도록 해야 한다.

연구실험실 내 부착된 주의 사항을 준수하고, 화학물질 라벨의 예방책이나 지시사항에 따라야 한다. 지시사항이 요구하는 것처럼 기술적으로 제어한다. 증기나 먼지가 누출되면 배기후드를 사용하도록 하고 폭발이나 누출에 대해 방호를 위해서는 차폐물을 사용한다. 항상 승인된 보안경, 취급하는 화학물질에 대한 방독마스크 등 지정된 보호구를 착용해야 한다.

### ③ 충분한 예측과 개인적 안전 수행.

화학물질 잔여물을 안전하게 처리하고 연구실험실을 깨끗하게 정리정돈 한다. 화학물질 취급시 고무장갑을 착용한 후 수시로 손을 깨끗이 씻어야 한다. 실험실을 떠날 경우 보호구를 벗어야 한다(상의와 앞치마도 포함된다). 오염된 모든 작업복은 깨끗하게 세탁하여야 하며 보관 장소도 오염되지 않도록 보관한다.

### ④ 위험스런 활동이나 상황을 기입한다.

위험 물질을 취급하는 다른 연구활동 종사자를 주시한다. 누군가의 실수로 당신이 상해를 입을 수 있다. 낡은 전선 코드나 플러그, 분전함, 화학물질, 가스등이 유출된 곳, 라벨표시, 명패 없는 컨테이너, 기능불량 기계 등이 있는지 여부를 점검한다. 만일 혼자서 작업을 할 수 없다면 관리자에게 알려야 한다. 이러한 잠재 위험은 연구활동 종사자 자신들이 제어할 수 없으며 상해를 유발할 수 있다.

### ⑤ 비상 대응을 숙지해야 한다.

연구실험실의 안전 정 책, 비상전화번호가 있는 곳, 최초 지원처, 세안실, 안전샤워실, 소화기, 대피경로를 숙지하여야 한다. 사고 발생시 빠른 대응은 재해나 위험을 감소시킬 수 있다. 모든 재해나 사고는 안전관리자에게 보고해야 한다.

**⑥ 만일 충분히 알지 못한다면 관리자에게 물어 보도록 한다.**

만일 안전 절차가 잠재위험으로부터 연구활동 종사자 자신을 보호하지 못할 것 같으면 연구실 책임자에게 보고하고, 경험상 위험 물질이 과다 노출될 것 같은 징후가 발견되면 즉시 안전 관리자에게 보고한다. 화학약품의 안전취급.

화학 약품들을 안전하게 취급하기 위한 자신의 지식을 때때로 점검하기 위해 이하의 목록을 다시 확인하도록 한다.

## 7.4 화학 물질의 취급 안전

### 7.4.1 화학약품의 종류 및 취급

#### (1) 법적 분류와 관리

화학물질은 취급에 따라 의약품과 의약품 외 약품으로 구분하며 의약품은 약사법으로 의약품이 아닌 농약, 화공약품, 시약, 도료용 약품, 식품첨가물, 위험물 등은 농약법, 산업안전보건법, 위험물 안전관리법, 독극물법 등에서 관리하고 있다. 위험물 안전관리법에서는 산화성 고체(1류), 가연성 고체(2류), 자연발화성 물질 및 급수성 물질(3류), 인화성 액체(4류), 자기반응성 물질(5류), 산화성 액체(6류)로 분류한다.

#### (2) 연구실험실에서의 분류

실험실에서 사용하는 화학약품은 발화성, 인화성, 폭발성, 부식성, 유해성, 산화성 등으로 분류하고 보관, 취급, 관련 법에 따라 규제가 행해지고 있다.

#### (3) 사용 용도에 따른 분류

- ① 산의 종류로는 황산, 염산, 질산, 플루오린화 수소산, 인산 등 무기산과 카보닐산, 아세트산, 술폰산 등 유기산이 널리 사용되며,
- ② 염기로는 강알칼리성인 수산화 나트륨, 수산화 칼륨과 암모니아수 등이 있는데, 이들은 부식성이 강하고 진한 용액을 가열할 때에는 취급에 주의를 요한다.
- ③ 유기용제는 인화성 물질로 인화점이 낮고 발화성이 높다. 사용빈도가 높고 사용량이 많다. 소방법에서 4류에 해당한다. 빈번히 사용하는 메탄올, 아세트산 에틸 등은 독극물로 지정되어 주의를 요한다. 특수인화물로 다이에틸에테르, 이황화 탄소, 아세트알데하이드, 펜테인(펜탄) 등이 있다.

화학물질의 위험성에는, 폭발성·인화성과 같은 물리적인 위험성, 산화성·급수성과 같은 반응성, 그리고 독성·발암성과 같은 건강에의 위험성이 있다. 이러한 위험성 물질을 취급할 때에는 그 물질이 어떠한 위험성을 갖고 있는가를 사전에 충분히 알 필요가 있다.

### 7.4.2 화학약품 취급안전

화학물질이 들어있는 용기에서 연구에 필요량만큼 덜어낸 후 즉시 뚜껑을 꼭 닫아 지정된 보관 장소에 보관하고 안전하게 정리정돈하여야 한다. 연구하려는 화학물질이 정확한지 반드시 라벨을 읽어 확인한다. 예를 들어 싸이오황산 나트륨(sodium thiosulfate)과 싸이오아황산 나트륨(sodium thiosulfite)은 비슷하나 반응에 차이가 있다. 연구활동 종사자가 약품을 잊지르거나 착각하기 쉬운 위치인 경우 특히 요주의 표시를 하여 행동을 서두르지 말고 신중을 기하도록 촉구한다.

#### (1) 충분한 휴식을 취하도록 한다

피로는 판단에 영향을 줄 수 있다. 다른 절차나 임무가 종료시간에 촉박하면 서두를 수 있다. 연구활동 종사자가 여유있게 시간을 활용, 유지하려면 주기적으로 휴식시간을 가져야 한다. 휴식이 불충분하면 위험한 상황이 생길 수도 있으므로 주의해야 한다. 만일 신체적으로 감기 등 질병 때문에 부득이 약물을 복용할 때는, 위험한 화학 약품 또는 장비를 취급하는 것을 중단하고 몸 컨디션이 회복된 후 실험에 착수하도록 한다. 만일 실험에 집중하는 것이 불가능하고, 피로하거나, 정신이 혼란하면, 즉시 상사에게 보고하여 충분히 휴식을 취하도록 한다.

#### (2) 지시에 반드시 따르는지 확인한다.

연구책임자는 연구활동 종사자가 연구실험 지시에 따라 정확한 절차, 연계되는 잠재위험, 사용되는 기술이나 실험분석을 분명히 알고 있는지 확인해야 한다. 때때로 많은 양의 위험물질을 사용하다 보면 누출 폭로에 따라 추가 보호구나 다른 절차가 필요할 수도 있다. 어떤 발열 반응은 많은 열을 발생할 수 있고 일정 비율이 증가한다면 폭발될 수 있으므로 다른 장비나 안전 기술관리가 필요할 것이다. 새로운 기술이나 새로운 방법으로 혼합된 합성물을 실험한다면 연구책임자는 새로운 안전사항을 알려주어야 할 것이다.

#### (3) 발열 반응에 주의한다.

열이 발생하는 반응을 감시해야 한다. 반응할 때 끓는점을 넘어, 용매가 증발할 수 있다. 용액의 온도에서 물, 기름 등을 측정하여 체크해야 한다. 반응과정에서 생기는 생성물(액체, 고체, 기체)은 유독성이거나 가연성일 수도 있다. 용액과 함께 부딪치는 마찰은 물질이 접화할 수 있는 불꽃이나 충분한 열을 발생할 수 있다. 만일 가연성 용매를 가열해야 한다면 끓는점을 이용하거나 필요한 최소한의 열을 사용해야 한다. 특히 다이에틸 에테르, 암모니아 등은 폭발하기 쉬운 용액이므로 주의해야 한다.

#### (4) 다른 종류의 물질 취급에 주의한다.

다른 종류의 물질은 서로 멀리 보관한다. 예를 들어, 강염기 근처에 산성 용액, 유기 용매 근처에 과산화물, 염소 근처에 표백제를 함께 두어서는 안 된다. 산화제와 환원제, 산과 염기성 물질을 혼합할 때는 먼저 희석해서 사용한다.

#### (5) 접촉을 피해야 한다.

적당한 보호장구를 착용한다. 눈을 보호하는 보안경은 화학물질을 취급할 때 반드시 착용해야 한다. 직접적인 피부 접촉은 피해야 한다. 만일 유기 용매 또는 가연성 액체를 사용할 때는 고무장갑을 착용해야 한다. 먼지나 증기 같은 유해 위험성이 발생한다면 후드 덕트 시설로 배기한다.

#### (6) 안전위생

- ① 화학약품으로부터 자신의 몸을 깨끗하게 보호한다
- ② 눈과 입에 유해화학물질 접촉을 피하기 위해 안면 보호구(face mask)를 착용한다. 실험실 내에서 담배, 식사, 술, 음료수, 화장, 향수를 금한다. 승인된 피켓으로 용액을 측정할 때 입을 대지 않고 자동흡입용 피켓을 사용하도록 한다.
- ③ 손이 화학물질에 오염될 수 있다면 장갑을 착용해야 한다. 자주 손을 씻고 실험실에서 나와서 깨끗하고 신선한 공기를 마시도록 한다.
- ④ 었질러진 화학 물질은 즉시 깨끗하게 청소한다. 혼자서 화학물질을 이동하면 다른 지역을 오염시킬 수 있다.
- ⑤ 연구 실험실에서 나오기 전에 오염된 장갑, 작업복, 앞치마 등을 모두 벗는다.
- ⑥ 실험실 내에서 긴 머리는 묶거나 모자를 쓰고, 넥타이는 가능한 매지 않도록 하고 귀고리, 반지 등의 착용을 피해야 한다.

#### (7) 화학약품의 운반

실험실과 저장지역 사이에 화학약품을 운반할 때는 안전한 운반 장비를 이용한다. 유리제 품이 벽이나 문, 다른 장애물에 부딪히면 깨질 수 있다. 손에서 손으로만 운반해야 한다. 유리병이나 유리 기구는 가까우면서 안전한 곳에 보관한다. 다른 사람이 걸어올 때나 컨테이너로 운반할 때 걸려 깨질 수 있기 때문이다. 만일 많은 양을 운반해야 한다면 키트를 이용한다. 다른 종류의 화학약품들은 동시에 섞어 이동하지 않도록 한다.

### 7.4.3 화학물질의 종류별 위험성 관리

#### (1) 화학물질의 종류별

##### 가. 폭발성 물질

##### 1) 폭발성 물질의 종류

가열, 마찰, 충격 또는 다른 화학물질과의 접촉 등으로 인하여 산소나 산화제의 공급이 없더라도 폭발 등 격렬한 반응을 일으킬 수 있는 고체나 액체로서 다음에 해당하는 물질

##### 2) 폭발성 화합물

- 질산 에스테르류
- 나이트로(nitro) 화합물
- 나이트로소(nitroso) 화합물
- 아조(azo) 화합물
- 다이아조(diazo) 화합물
- 하이드라진(hydrazine) 및 그 유도체
- 유기 과산화물
- 기타 위의 물질과 동등한 정도의 폭발의 위험이 있는 물질
- 위의 물질을 함유한 물질

##### 3) 폭발성 혼합물

2종 이상 화합물이 혼합물로 안정하게 존재하여도 폭발성이 나타나는 것도 있다. 폭발성 혼합물을 취급하는 방법은 다음과 같다.

##### 4) 폭발성 물질의 안전취급

- 충격 마찰을 주지 않도록 주의한다.
- 화기 가열을 피한다.
- 전기기계기구는 방폭성 물건을 사용한다.
- 통풍이 좋은 냉소에 저장한다.
- 순수한 물질 취급에 주의한다.
- 소량 시료를 사용하여 가열 충격시험을 관찰한다.
- 안정제, 중합방지제, 안전에 필요한 첨가물을 고려한다.
- 녹는점을 측정할 때 폭발분해가 보이는 화합물은 취급을 신중하게 한다.
- 실험할 때에 보호막을 사용한다.

## 사고사례

### [개요]

반응장치의 오일 순환식 전기히터를 오일 패스에 접속시켰다고 생각하고 전원을 넣었다. 전기히터 내 오일을 밀폐상태로 200℃ 이상 상승시키는 동시에 유압도 수집 기압으로 되었다고 생각했다. 오일패스의 접속파이프(금속제)로 오일을 빨아내었으나 유압에 따라 히터가 과열하면서 화재폭발이 되었다.

### [원인]

1. 전기 히터와 오일패스가 접속되지 않은 상태에서 전원을 넣었다(명칭한ミス).
2. 반응장치 사용방법을 잘 모르고 자기 판단으로 적당히 조작(지식 부족)
3. 사용 매뉴얼을 비치하지 않음(관리불비)

## 나. 발화성 물질

### 1) 일반성질 및 종류

스스로 발화하거나 물과 접촉하여 발화하는 등 쉽게 불붙을 수 있는 가연성 기체가 발생할 수 있는 물질로서 다음에 해당하는 물질로 취급에 특히 주의해야 한다.

- 리튬
- 칼륨·나트륨
- 황
- 황인
- 황화 인, 적린
- 셀룰로이드류
- 알킬 알루미늄, 알킬 리튬
- 마그네슘 분말
- 금속 분말(마그네슘 분말 제외)
- 알칼리 금속(리튬, 칼륨, 나트륨 제외)
- 유기금속 화합물(알킬 알루미늄 및 알킬 리튬 제외)
- 금속 수소화물
- 금속 인화물
- 칼슘 탄화물, 알루미늄 탄화물
- 기타 위의 물질과 동등한 정도의 발화성이 있는 물질
- 위의 물질을 함유한 물질

### 2) 발화성 물질의 안전취급

- 저장용기는 완전 밀폐하여 공기와의 접촉을 방지하고 습기나 물의 침투와 접촉을 엄금한다
- 강산 및 산화성 물질과의 혼합을 금한다.
- 용기는 금속제의 견고한 것을 이용하고, 저장용기가 파손되거나 용기가 가열되지 않도록 한다.
- 칼륨, 나트륨은 석유류에 저장 보관한다.
- 저장용기의 부식과 균열, 충격을 방지한다
- 알킬알루미늄, 알킬리튬 및 유기금속 화합물류는 화기를 엄금하고 용기내 압력이 상승되지 않도록 한다.
- 알킬 알루미늄, 알킬 리튬 취급 설비는 불활성 기체 봉입장치를 설치한다.
- 자연발화성 물질은 점화원에의 접근을 방지한다.
- 종류가 다른 위험물과 동일한 저장소에 저장해서는 안 된다.
- 저장 또는 취급장소는 부식성 가스가 발생하는 장소, 습도가 높은 장소, 빗물이 침투되는 장소 및 습기대를 피한다.
- 다른 위험물, 수용액, 합성물, 흡습성 물질, 수용성 위험물 또는 결정수를 가진 염류 등과의 저장을 피한다.
- 자연발화 위험성이 있는 물질은 불티, 불꽃 또는 고온체와의 접근을 막는다.

## 다. 산화성 물질

### 1) 일반성질 및 종류

산화력이 강하여 열을 가하거나 충격을 줄 경우 또는 다른 화학물질과 접촉할 경우에 격렬히 분해되는 등의 반응을 일으키는 고체 및 액체로서 다음에 해당하는 물질

- 하이포아염소산(차아염소산) 및 그 염류
- 아염소산 및 그 염류
- 염소산 및 그 염류
- 과염소산 및 그 염류
- 브로민산(브롬산) 및 그 염류
- 아이오딘산(요오드산) 및 그 염류
- 과산화 수소 및 무기 과산화물
- 질산 및 그 염류, 과망가니즈산(과망간산) 및 그 염류
- 중크로뮴산(중크롬산) 및 그 염류
- 기타 위의 물질과 동등한 정도의 산화성이 있는 물질
- 위의 물질을 함유한 물질

## 2) 산화성 물질의 안전취급

- 화기나 분해를 촉진하는 물품을 엄금하고, 직사광선을 차단한다.
- 가열을 피하고 강한 환원제, 유기물질, 가연성 위험물과의 접촉을 피한다.
- 염기 및 물과의 접촉을 피한다.
- 용기는 내산성의 것을 사용하며, 용기의 파손, 전도, 용기변형 방지에 주의한다.
- 강한 산화성 고체와의 혼합이나 접촉을 방지한다.
- 다른 종류의 위험물과 같은 저장소 내에 저장해서는 안 된다.

### 사고사례

자동차 연구소 연소 실험에서 모토그래프에 고무바퀴를 미끄러지게 하고 산소 7~9 kg/cm<sup>2</sup>, 100°C에서 열화 테스트 중 폭발 비산파편이 휘발유통에 부딪혀 휘발유가 유출되어 화재가 발생함

### 사고사례

약대 추출실험실에서 용기용매 혼합 탱크에서 벤젠과 헥세인(헥산) 18 ℓ를 넣고 가열 중 고무마개가 비산하면서 흰 증기가 충만하여 폭발하여 실험실 30 m<sup>2</sup> 전소하고 2명의 학생이 부상당함

## 라. 인화성 물질

### 1) 일반성질 및 종류

대기압 하에서 인화점(1기압 상태에서 태그 밀폐식, 페스키마텐식, 클리브랜드개방식 또는 세탁식의 인화점 측정기로 측정한 값)이 65°C 이하인 가연성 액체. 공기보다 무겁다. 인화점이 낮을수록 위험성이 높다. 물에 녹지 않는 것이 대부분이다. 정전기에 인화.

- 에틸 에테르, 가솔린, 아세트알데하이드, 산화 프로필렌, 이황화탄소 기타 인화점이 영하 30°C 미만인 물질
- 노르말 헥세인(헥산), 산화 에틸렌, 아세톤, 메틸 에틸 케톤, 기타 인화점이 영하 30°C 이상 0°C 미만인 물질
- 메틸 알코올, 에틸 알코올, 자일렌(크실렌), 아세트산 아밀, 기타 인화점이 0°C 이하 30°C 미만인 물질
- 등유, 경유, 테레핀유, 아이소펜틸알코올(이소아밀알코올), 아세트산 기타 인화점이 0도 내지 65도 이하인 물질

## 2) 인화성 물질의 안전취급

- 고온, 스파크, 불꽃 등에 접근을 피할 것
- 가연성 증기 하한계를 피할 것. 충분한 환기, 통풍이 되도록 할 것
- 정전기 축적을 피할 것
- 인화성 설비의 전기설비는 방폭 설비를 할 것.

## 마. 가연성 가스

### 1) 일반성질 및 종류

폭발한계 농도의 하한이 10% 이하 또는 상하한의 차가 20% 가스로서 다음 중 하나에 해당하는 가스.

- 수소
- 아세틸렌
- 에틸렌, 메테인(메탄)
- 에테인(에탄)
- 프로페인(프로판)
- 뷰테인(부탄)
- 기타 15°C, 1기압 하에서 기체 상태인 가연성 가스

### 2) 가연성 물질의 안전취급

- 누설되지 않도록 할 것
- 절대 화기사용 금지
- 충분한 환기
- 통풍이 되도록 할 것
- 가열, 충격, 난폭한 취급을 금할 것
- 직사광선을 피할 것

## 바. 금속성 물질

### 1) 일반성질 및 종류

물과 접촉하여 가연성 가스를 발생하는 물질  
칼륨, 나트륨, 탄화 칼슘, 질산 나트륨 등.

### 2) 금속성 물질의 안전취급

- 발화성 물질과 같이 화기엄금
- 물, 산과 접촉금지

## 사. 부식성 물질

금속 등을 쉽게 부식시키고 인체에 접촉하면 심한 상해(화상)를 입히는 물질로서 다음에 해당하는 물질

### 1) 부식성 산류

농도가 20% 이상인 염산, 황산, 질산, 기타 이와 동등 이상의 부식성을 가지는 물질  
농도가 60% 이상인 인산, 아세트산, 플루오린화수소산, 기타 이와 동등 이상의 부식성을 가지는 물질

### 2) 부식성 염기류

농도가 40% 이상인 수산화 나트륨, 수산화 칼륨, 기타 이와 동등 이상의 부식성을 가지는 염기류

## 아. 독성 물질

### 1) 종류

- 쥐에 대한 경구투입 실험에 의하여 실험 동물의 50%를 사망시킬 수 있는 물질의 양, 즉 LD50(경구, 쥐)이 kg(체중) 당 200 mg 이하인 화학물질.
- 쥐 또는 토끼에 대한 경피 흡수실험에 의하여 실험 동물의 50%를 사망시킬 수 있는 물질의 양, 즉 LD50(경피, 토끼 또는 쥐)이 kg(체중) 당 400 mg 이하인 화학물질.
- 쥐에 대한 4시간 동안의 흡입실험에 의하여 실험 동물의 50%를 사망시킬 수 있는 물질의 농도, 즉 LD50(쥐, 4시간 흡입)이 2,000 ppm 이하인 화학물질.

### 2) 급수성 물질의 안전취급

- 저장취급을 최소화 할 것.
- 설비 작동 중지시 경보설비로 알릴 것.
- 매월 연결부분 점검을 할 것

## 7.4.3 화학물질 혼재 위험

### 가. 화학물질 혼재

화학물질의 혼합에 의한 발열 발화가 되는 위험은 2가지로, 과산화 나트륨과 같은 산화제와 가연성 물질과 혼합하는 경우가 있다.

혼합접촉에 따른 화학반응으로 발화되어 화재폭발의 잠재 위험성 있는 혼합물을 형성한다. 혼합접촉에 따라 열, 화염, 타격, 마찰, 충격 등에 예민한 혼합물의 형성된다. 예로서

- 열에 대해 예민한 혼합접촉 위험 혼합물 (아이오딘산 염 + 가연성 물질)
- 불꽃에 대해 예민한 혼합접촉 위험 혼합물 (옥시화이드로젠 + 가연성 물질)
- 타격, 마찰에 대해 예민한 혼합접촉 위험 혼합물 (옥시화이드로젠산 염류 + 가연성 물질)
- 충격에 대해 예민한 혼합접촉 위험 혼합물
- 공기와 혼합접촉에 의한 폭발위험 (자연발화성 물질 + 산소)
- 물과 접촉에 의한 발화 및 가연성 가스 발생위험
- 탄화 칼슘(카바이드) + 물 → 수소



그림 7-3 화학물질 혼합 폭발

유기물과 염소산 칼륨을 혼합 보관하면 환원성 물질과 산화성 물질이 혼합되어 폭발한다.

## 나. 혼합 위험성 평가법

### 1) 실험에 의한 위험성평가

약품을 혼합시켰을 때 실제로 반응이 일어나는지 여부는 계산으로 예측이 곤란하다. 특정 물질을 혼합 발열반응이 일어나는가는 실험을 의뢰한다. 미국 DOW사는 5개 그룹으로 나눠 그룹 중 가장 최고 반응성이 높은 물질이라 생각되는 물질을 선정하여 상호 조합시킨 후 단계적 방법으로 실험한다. 1단계물질 x Y를 물 비로 전량10mL이 되도록 하고 주사기로 듀와빈을 혼합 후철 코스탄 열전대로 온도상승 측정하고, 2단계 발열반응이 있는 경우 혼합시료를 300℃로 하여 발열반응이 일어날 때까지 시차열분석 결과를 평가한다. 3단계 분류시켜 조합된 텔타max와 압력 상승을 측정예비, 평가분류표에 의하여 분류시킨다.

2) 문헌정보

- 폭발 등 혼합 조작 시 피해를 최소화 하도록 설비대책을 수립한다
- 원격 무인화 조작을 행한다

3) 열화학 계산

$$\text{반응열계산 } \text{CH}_3\text{NO}_2 - 3/2\text{H}_2\text{O} + 1/4\text{CO}_2 + 1/2\text{N}_2 + 3/4\text{C}$$

$$27.0 \quad 68.4 \quad 94.1 \quad 0 \quad 0$$

$$\text{발열량} = 3/2 \times 68.4 + 1/4 \times 94.1 - 27.0 = 1.62 \text{kcal/g}$$

① 알킬 금속 용액과 다음의 용액 혼합위험

알킬 리튬 용액, 트라이알킬 알루미늄, 수소화할로젠화알킬 알루미늄 용액, 리튬 다이알킬 아미드 용액, 그리나르 시약 용액

② 보레인 유도체 용액과 다음의 용액 혼합위험

보레인 용액, 보레인 Me<sub>2</sub>S 용액, 9-BBN 용액, KBH(O-iPr)<sub>3</sub> 용액, 세레크드라이드 용액

③ 불안정 인화성 시약과 다음의 용액 혼합위험

아세트알데하이드, 아크롤레인, 산화 프로필렌, 인아일나이드 라이트

④ 가연성 가스 간이용기(비닐 포대에 넣어 보존)와 다음의 용액 혼합위험

뷰타다이엔, 인프텐, 산화 에틸렌, 프로페인(프로판), 메틸 바이닐 에테르, 다이메틸 에테르, 다이메틸아민

⑤ 인화성이 높은 용매를 사용할 재결정이나 저온반응은 꼭 막아 방폭 냉장고 중에서 행하는 것이 좋다. 시약에 위험, 냉(冷) 마크를 붙여 방폭 냉장고에 보관한다.

다. 화학물질표시와 라벨링

실험실에서 비상출구 표시와 방사능 물질, 이온화 방사능, 전염성 행위, 압축가스용기, 발암성 물질 등 위험물질 표시와 라벨링을 반드시 요소에 부착해야 한다.



그림 7-4. 화학연구실의 안전표지

혼합 접촉에 의한 폭발위험 방지

화학실험실에서 발생하는 사고 중 약품의 접촉에 의한 폭발화제가 많다. 2가지 이상 약품이 누설 접촉 혼합 등에 따라 격렬한 반응이 일어난다. 반응의 유무를 정확히 예측하기는 어렵다.

따라서 미지의 2가지 화학 물질을 혼합할 때는 다음 사항에 유의한다.

- 과거 사고사례 등 문헌조사를 한다
- 가능한 소량을 취급한다.
- 혼합조건으로 가혹한 조건을 제거한다.
- 실험 작업 시 반드시 적정 보호구를 착용한다
- 실험환경을 정리하여 2차 재해를 예방한다



그림 7-5. 위험물질의 정보시스템 (HMIS)표지

**라. 유해위험물질 안전성평가 기본**

- 0 - 약간 위험성 사고와 건강에 중요치 않은 상태
- 1 - 보여지는 위험성 작은 손상
- 2 - 보통 위험성 일시적 작은 손상을 일으키는 정도
- 3 - 중대 위험성 큰 손상이나 치료가 필요한 정도
- 4 - 치사 시킬 위험성 중대한 손상을 남기는 정도

화합물의 합성에 따라 생성물질의 유해 위험성을 사전에 조사하려면 돈이 들므로 멀리한다. 이러한 상황에서 안전한 실험을 행하려면 그 물질의 안전성 평가에 더해서 유해 위험성을 상정한 설비의 안전화 취급 매뉴얼 보호구 등 만전을 기할 필요가 있다. 이에 대응한 안전성 평가방법은 다음과 같다.

**(1) 연구규모에 따라 초기 소량 연구단계 안전성 평가**

- ① 취급물질 유해 위험성 정보를 수집한다.
- ② 유해위험성 확인에 필요한 예비 테스트를 행하여
- ③ 취급물질의 약간 변화를 관찰한다.
- ④ 처음 소량 연구를 실시할 때 만전을 기하여 대응한다

**(2) 변경 스케일업 단계 안전성평가**

- ① 비커 눈금으로 관찰결과 정보를 정리하여 정율 증가에 따른 위험 유해성을 예측한다.

- ② 유해 위험성 정보를 보강 수집하여 추가 시험을 실시한다.
- ③ 정율 증가에 따른 장치나 공정조건 변경을 가한 경우는 소규모 장치로 충분히 확인한다(한 번에 정율 증가하지 않음).
- ④ 물성치 및 위험 유해성을 나타낸 수치의 측정에 관해서는 경험자로 부터 대상 기기의 취급방법에 대해서 지도를 받도록 실시한다.

**마. 미국 소방협회 라벨 표시내역**

미국 소방협회에서는 화학물질 등에 의한 화재 위험성 등을 평가하기 위해 다이아몬드 형태의 위험성 평가 라벨을 제시하였는데, 전세계적으로 널리 사용하고 있다. 미국 화재안전위원회 규정 704M 라벨 시스템은 다수의 대학 연구시설에서 사용되고 있다. 다이아몬드 라벨의 내용은 다음과 같다.



그림 7-6. 미국 소방협회(NFPA)의 다이아몬드 라벨

**(1) 건강(health) - 청색**

- 4. 치명적 : 본 물질에 대한 최소한의 노출도 생명을 위협하는 수준으로 특수 보호 장비를 착용해야 한다
- 3. 매우 위험 : 본 물질에 대한 노출로 심각한 상해를 입게 되며 완전한 보호 장비를 착용해야 한다
- 2. 위험 : 본 물질에 대한 노출은 건강에 위험함
- 1. 다소 위험 : 본 물질에 대한 노출로 약한 상해 또는 자극을 받을 수 있음
- 0. 위험 없음 : 본 물질에 대한 노출은 건강 위해 요소가 없음

**(2) 화재(flammability) - 적색**

- 4. 극도의 인화성 : 73°F 이하의 인화점
- 3. 높은 인화성 : 100°F 이하의 인화점
- 2. 인화성 : 200°F 이하의 인화점

1. 200°F 이상의 인화점
0. 발화되지 않음

**(3) 반응성(reactivity) - 황색**

4. 폭발 가능 : 상온 또는 상압에서 폭발 가능성이 있는 물질로 화재에 노출될 경우 대피해야 한다.
3. 폭발적 : 열, 충격 또는 물 등의 강한 자극에 의하여 폭발 가능한 물질로 폭발 보호막 뒤에서 관측해야 한다.
2. 불안정 : 실온, 가열 또는 가압된 상태에서 격렬한 화학반응을 보일 수 있어 거리를 두고 관측해야 한다
1. 보통 : 가열 또는 가압된 상태에서 불안정해질 수 있는 물질
0. 안정 : 열, 압력 또는 물 등의 자극에도 안전한 물질

**(4) 특수 위험(special) - 백색**

- W : 물과 반응
- ACD : 산
- OX : 산화물질
- RAD : 방사성 물질
- COR : 부식성
- ALK : 알칼리성 물질

**바. 화학약품 사용자의 이행 책임**

납입되는 화학약품 용기들의 라벨이 손상되지 않아야 한다. 라벨 표기가 판독 불가능하지 않은 이상 모든 유해 물질들은 원 납품기관의 라벨을 붙여서 보관해야 한다. 판독 불가능한 라벨의 경우 화학약품의 품명 및 위험요인을 설명하는 위험 표기를 해야 한다

화학약품을 새 용기로 옮길 경우 상기 사항들을 준수해야 하며 품명 및 위험표기를 해야 한다.

실험실 밖으로 옮겨야 하는 화학약품 용기들은 품명, 위험 경고, 농도, 포장일, 용기를 준비한 사람의 약자를 포함해야 한다.

비유해성 물질의 라벨(중류수 또는 증류한 모래)도 유해 화학약품만큼 중요하다.  
- 라벨은 유해위험물질과 비 유해위험물질 간의 판단하는 데 혼돈을 막아준다.

**7.5 화학약품 폐기물의 안전 취급 처리**

연구활동 종사자들은 발생하는 폐기물이 어떤 위험성이 있는지를 판단하여 유별을 달리 한 용기에 적절한 라벨 및 포장을 하여 친환경적이고 안전하게 임시저장 취급이 되도록 노력하여야 한다. 연구활동 종사자들은 폐기물들을 인지 및 분리 보관하여 폐기물 처리 기사들이 안전하게 수거할 수 있도록 협력해야 한다.

**7.5.1 실험실 폐기물 분류**

- 폐기물들이 각기 다른 방식으로 처리되므로 폐기물들이 서로 섞이지 않도록 해야 한다.
- 방사성 폐기물
  - 화학 폐기물
  - 의료 폐기물

**7.5.2 폐기물 안전보관 처리 요령**

**(1) 폐기물 보관**

위험 폐기물을 보관하는 용기는 누설되지 않아야 하며 내용물과 부합해야 한다. 용기 별로 다음과 같은 기준에 따라 라벨을 부착해야 한다.

수집되기 시작한 날짜와 함께 ‘위험 폐기물’로 라벨을 부착해야 한다.

**내용목록 및 해당 농도**

- 본래의 라벨이 붙어 있는 용기에 담긴 화학약품은 추가적인 라벨이 필요 없다.
- 폐기물별로 분리해야 한다
- 적절한 뚜껑(고무마개, 코르크, 파라필름은 해당되지 않음)으로 밀봉한 용기에 보관해야 한다.
- 고체 폐기물은 플라스틱 봉지, 섬유성 상자(내구성이 높은 상자) 또는 플라스틱 용기에 수집해도 된다.
- 바늘, 바늘 호스, 면도날은 날카로운 물건을 보관하는 용기로 폐기해야 한다

**(2) 서류 및 문서**

- 발생된 폐기물이 수거되기 위해서는 적절한 위험 폐기물 등록 서류를 작성해야 한다.
- 주요 검사관의 성명
  - 기관명, 방 번호, 전화번호, 날짜
  - 화학약품의 경우 : 화학약품명, 농도, 양, 형태

- 방사성 물질의 경우 : 폐기물 종류, 방사성핵종, RMC 번호, 화학구조, 용매 및 사용량, 오염검사, PI의 서명, 날짜

### (3) 미상물질

미 안전국에서는 미상의 물질의 이동, 보관 및 폐기에 대해 특별히 규제하고 있어서 수거하지 않는다. 미상의 물질을 발견할 경우, 이를 식별할 수 있는 몇 가지 단계가 있다.

- 내용물에 대해 타인(알고있는 사람)에게 문의한다.
- 해당 지역 (미상의 물질이 이동해 온 지역) 및 전에 사용한 기관(폐기 의뢰한 기관)에 문의한다.
- 산성도 검사와 같은 간단한 시험을 한다.
- 주변에 있는 시약 또는 진행 중인 프로젝트를 조사한다.

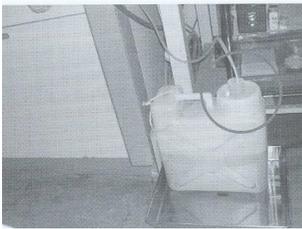


그림 7-7 약품폐기 저장

실험폐액 용기는 비닐봉에 넣고 유기용제가 기화한 것은 호수를 통해 드래프트 내 배기시켜 실험실 내 휘발을 예방한다.

## 7.6. 실험실 기준

### 7.6.1 기준목적

실험실 기준은 실험실 내에 비치 취급되는 기계, 전기, 설비, 화학약품, 저장, 보관 등 연구활동 종사자가 취급하는 과정에 잠재한 실험실의 위험을 평가하여 사전에 안전조치를 취함으로써 적정안전을 유지하기 위하여 기준을 설정한다.

### 7.6.2 적용범위

실험실 내에 취급 하는 화학물질의 저장 보관, 사용하는 기계 설비조작으로 인한 가스, 흙, 먼지, 미스트 등의 노출량이 화재폭발위험 및 연구활동 종사자의 건강에 영향을 미치는 하한범위를 정하여 안전보건을 유지하여야 한다. 실험실은 생산현장과 다르게 기초적인 생산 없이 위험한 화학물질을 실험에 사용하는 장소이다. 따라서 실험결과물은 시료분석 및 화학물질의 종합 분석으로 새로운 생산 방법 및 조사에 사용되므로 이에 따른 위험을 예방하기 위하여 모든 실험실 내에 안전기준을 적용한다.

### 7.6.3 화학물질 노출한계

- 초기 관찰 : 승인된 적용한계 이상의 노출기미가 있을 때 시작
- 주기적 관찰 : 초기관찰은 안전한계 이상의 징후를 보이면 계속 관찰
- 관찰 종료 : 안전한계 이하일 때
- 연구활동 종사자 통보 : 연구주체의 장은 통보 후 15일 이내 감시결과 서면 통보 게시

### 7.6.4 연구실 배치

#### (1) 연구실의 일반적 배치

- 출입통로 표시 (2개)
- 비상 경로는 (2개) 외부로 짧고 직선일 것. 비상등을 표시
- 물품 전기콘센트, 방폭용, 과부하 방지 스위치 표시
- 가스, 수도 배관은 걸리지 않게 차단밸브 표시
- 환기시스템 소화설비 비치, 보호구 비치, 특수냉장 시설

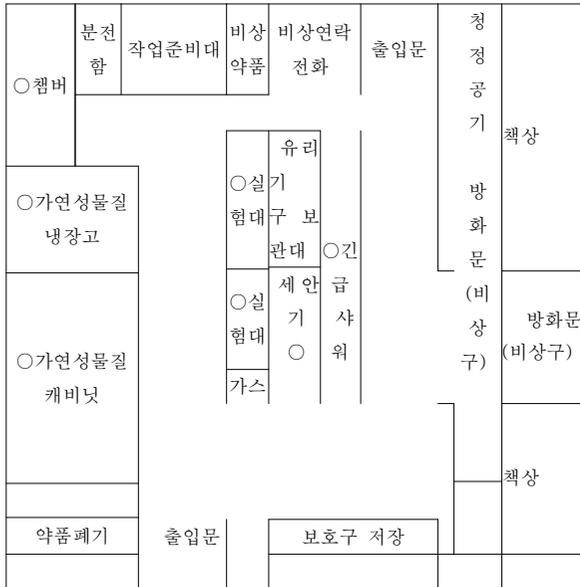


그림 7-8. 화학실험실의 일반적인 배치

- 경보시스템 설치, 가스, 열, 연기감지, 스프링쿨러 시스템 설치 및 교육훈련. 비상전화 시스템, 응급조치도구, 세안, 긴급샤워
- 잠재위험의 정도에 따른 봉쇄 - 독극성 물질, 방사선 물질, 전염성 질병이 있는 실험실, 폭발성 물질



그림 7-9 화학실험대 위 배기시설 및 캠버

- 실험대에도 적정 국소배기를 설치한다

## (2) 통풍실 (Draft Chamber)

### 1) 통풍실의 설치

- 드래프트 챔버 바닥 벽면재는 불연성 내부식성으로 하고 유기용제의 영향을 받지 않도록 한다.
- 배기용 센서, 온습도 센서를 설치한다.
- 풍차 등을 설치하여 배기 상황을 파악한다.
- 정전기 방지를 위한 바닥에 도전성 매트 설치
- 수동 스위치는 장치 상부에 설치
- 사용 용제 명은 눈 위치에 명기할 것.
- 폐액 통을 설치한다.
- 배기 덕트에 덤퍼를 설치한다.

### 2) 일반 실험대에서 실험 중 용제 증기가 발생하여 냄새, 인화 분위기를 만들 위험이 있다. 따라서 유기용제 취급 실험대는 후드를 설치하여 배기한다.

- 후드 내에서 불꽃이 생기지 않도록 한다.
- 정전기를 방지할 도전 매트를 설치
- 실험대 조명은 방폭형으로 한다.
- 사용할 기기는 허가제로 한다.
- 위험한 농도의 또는 위험한 양의 가스, 증기, 부유물이 발생 될 수 있는 작업은 환기구 안에서만 작업하여야 한다. 앞여단이 문은 이러한 작업 시에는 항상 닫은 상태를 유지하도록 한다.
- 여단이 문을 열고 작업할 경우에는 이유가 있는 예외의 경우에만 가능하다. 앞여단이 문을 열고 작업할 경우에는 유해성분 유출이 더 높아지고, 환기구 사용자가 위험 성분이 튀거나 유리조각이 날아오는 경우에 보호가 되지 않기 때문이다

## (3) 약품보관 장소

- 화학약품을 취급하는 실험실에서 냄새, 혼합보관, 지진 등에 의한 약품 보관고의 전도, 파손, 유출, 누설 등이 일어나 발화 폭발이 발생하므로 깨짐 방지용으로 약품 병에 네트(net)를 씌운다.
- 위험성 및 유독성 약품 등 병은 전도방지를 위한 받침목 설치
- 냄새가 남지 않도록 보관창고(시약장) 내 배기를 한다.

## 7.6.5 실험실에 적용하는 다른 법규

실험실 기준은 화학물질 취급량을 제한한다. 다른 법규 즉, 산업안전보건법, 유해위험물질법, 원자력 안전법, 소방법, 고압가스 안전법, 등은 연구실에 존재하는 유해위험 물질량에 따른 위험(Hazard)을 제거하기 위해 적용되는 법이므로 연구활동 종사자에게 알려야 한다.

**7.6.6 화학물질 취급상 주의사항**

- 1) 세심한 주의를 기울인다.
  - 어디에 약품용기를 놓았는지. 실험 작업이 끝나면 반드시 뚜껑을 닫는다.
- 2) 맑은 정신이 되도록 충분한 휴식을 취한다.
  - 피로는 판단에 영향을 주어 사고를 유발할 수 있다.
- 3) 감독 준수
  - 정확한 절차, 연계된 위험, 사용기술 실행분석을 알고 있는지 확인한다.
- 4) 발열하는 물질의 다른 반응을 감시한다.
  - 온도, 압력, 발열 체크
- 5) 서로 반응하는 물질은 떨어뜨려 놓는다.
  - 강염기 근처에 산성 용액, 유기용제 근처에 과산화물 등의 혼합 방지
- 6) 접촉을 방지한다.
  - 적절한 보호구를 착용하여 피부접촉을 피한다.
- 7) 화학물질이 묻어있지 않도록 청결을 유지한다.
  - 자주물로 깨끗이 얼굴과 손 등을 씻는다.
  - 몸에 착용했던 각종 장신구를 제거한 후 실험을 행한다.
- 8) 화학물질의 수송
  - 실험실과 저장 지역 사이에 화학물질을 운반할 때는 상자에 넣어 안전한 운반 장비로 운반한다.

**7.6.7 시약 등 화학물질 저장**

- (1) 시약장에 저장할 때 알파벳 순서로 저장하되 유기·무기물질 별로 구분하고 류별을 달리하여 증기를 흡기할 수 있도록 덕트 시설이 연결되어야 한다.
- (2) 설계된 지정지역에 저장
  - 캐비닛, 분리된 방, 고립된 구석 등
  - 화학물질은 주변에 해를 끼칠 수 있다.
  - 분해폭발은 온도에 민감하며 빛에 노출되면 분해된다.
  - 실험실에 저장 지역은 화학물질 성질에 맞게 설계 배치되어야 한다.  
(내화성 캐비닛, 냉장장치, 열, 빛 물로부터 이격 지역의 선반, 캐비닛 포함)
- (3) 종류별을 달리하는 화학물질은 분리한다.
  - 산성, 염기성, 산화제, 환원제, 과산화물, 금속성 물질, 인화성, 발암성, 독성물질 등
  - 아세트산 + 황산 폭발하기 쉽다.
- (4) 주기적으로 화학물질의 저장수명을 검사한다.
  - 유통기한 지난 물질, 변색 화학물질 등은 위험하다.
- (5) 필요한 양의 화학물질만 저장한다.

**(6) 캐비닛이나 선반에 적절하게 저장한다.**

- 화학물질이 떨어지거나 넘어지지 않게 가드를 설치한다.

**(7) 저장소의 높이는 1.8 m 이하로 힘들이지 않고 손이 닿을 수 있는 곳, 이보다 위쪽이나 눈높이 위에 저장하지 않는다.**

- 선반 위는 작은 용기, 무거운 용기나 용적이 큰 것은 밑에 보관한다.

**(8) 적절한 저장용기를 사용한다.**

- 빛에 민감한 화학물질은 갈색 병, 불투명 용기에 보관
- 공기, 습기에 민감한 화학물질은 2중병에 보관
- 연구실 안전환경 조성법 준수, 금연, 금주
- 화학물질 취급 후는 반드시 손을 세척한다
- 후드에 화학물질 저장 금지
- 가연성 용액과 맹독성 화학물질은 특정장소에 보관
- 독성 화학물질, 통제된 화학물질은 캐비닛에 저장하고 잠근다.
- 밀폐된 용기를 사용한다

**화학약품의 혼합보관 위험**

표 7-3. 화학약품 혼합에 따른 위험 반응

no.	A약품	B약품	반응
1	칼륨, 나트륨	물, 이산화 탄소, 사염화 탄소	격렬한 반응
2	구리	아세틸렌, 과산화 수소	분해 반응
3	과망가니즈산칼륨	에틸 알코올, 메틸 알코올, 빙초산, 벤즈알데하이드, 아세트산 에틸	급격한 산화반응
4	염소	암모니아, 아세틸렌, 뷰테인(부탄), 프로페인(프로판), 수소, 나트륨, 벤젠	격렬한 발열반응, 생성물 분해
5	과산화 수소	구리, 철, 금속, 아세톤, 아닐린, 유기물	급격한 분해반응
6	질산	아세트산, 아닐린, 크로뮴산, 인화성 액체	발열, 산화반응
7	아세틸렌	염소, 아이오딘(요오드), 플루오린, 구리, 은, 수은	격렬한 발열반응, 생성물 분해, 아세틸라이드 생성
8	인화성 액체	질산 암모늄, 삼산화 크로뮴, 과산화 수소, 과산화 나트륨	산화 반응, 과산화물 생성, 급격한 반응

위험물을 혼합 보관하면 표와 같이 폭발화재 발생 가능성이 높다. 소방법, 산업안전보건법 등에서는 유별을 달리하는 위험물을 혼합 보관해서는 화재폭발 위험이 상존하므로 같은약품 보관대에 섞어 보관해서는 안 되고 별도 칸에 보관해야 한다. 알루미늄 용기는 염화탄화수소 성분을 지닌 것에 적합하지 않고, 유리 용기는 플루오린화 수소산(HF) 물질이나 준비에 사용되어서는 안 된다.

플라스틱 용기에 담은 화학물질의 보관은 갈라짐, 융합과 변형의 위험이 명시되어야 한다.

위험물질을 지닌 용기들은 선반과 장 그리고 다른 설비시설에 안전하게 꺼내고 넣을 수 있는 높이까지만 보관을 하여야 한다.

일반적으로 양손으로만 운반이 가능한 용기들은 손이 닿는 높이(170~175 cm) 이상에 두고 넣고 빼서 사용하여서는 안 된다.

특히 위험물을 나누거나 운반할 때에는 양을 적게 하여 운반기를 이용하고 운반 용기는 파손되지 않도록 이중 용기를 사용하는 것이 좋다.

표에 예시된 약품은 같은 운반기에 동시에 운반하는 것을 피하도록 한다. 실험시 유기용제는 인화점이 낮고 증기압이 높아 점화원을 피하도록 유의해야 한다. 전기불꽃, 정전기, 불티, 스파크 등의 접촉을 엄격히 피하도록 주의하여 취급해야 한다. 인체에는 고농도 폭로가 없는 한 급성 증독은 되지 않지만 저농도의 증기를 계속 흡입하면 만성 독성이 될 수 있으므로 환기가 충분히 이루어지는 장소에서 실험을 행하도록 한다. 특히 드리프트 챔버 내에서 행하기 어려운 실험장치인 경우의 실험에서 유기용제가 발생할 때 부분국소 배기장치도 좋다.

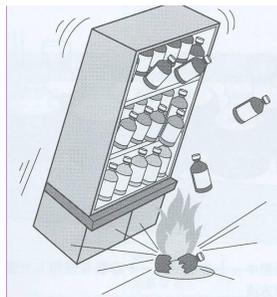


그림 7-10 약품 진열대 미고정

## 화학실험 연구시설의 예방대책

### (1) 화학물질의 누설방지

- 약품장이 넘어지지 않도록 바닥 또는 벽에 고정하여 진도방지
- 약품장 내 용기의 전락 충돌 파손 방지할 수 있는 가드 설치 세파레드 용기, 완충네트 사용
- 약품전도, 용기 낙하, 충돌누출이 없도록 전용약품 캐비닛 사용 화학물질의 보관배치도 작성

### (2) 수납된 약품의 종류별 보관

### (3) 약품 인화 위험성 평가

### (4) 화학물질의 적정보관

- 실험실 내 약품 보유량 최소화
- 불필요한 시약, 사용빈도가 적은 화학물질 제거
- 중복구입, 필요량 이상 구입을 피함
- 위험물은 소량용기 사용
- 인화성, 가연성 물질의 지정위험물 저장고에 보관
- 방폭 냉장고에 보관할 것
- 기본생각 : 인화성이 높고 실온에서 불안정하다고 생각되는 것과 반응이 냉각을 필요로 하는 것에 주의한다

### 사고사례

#### [개요]

유기용제 여액을 거르기 위하여 깔때기에 여과지를 깔고 여액을 부어 여과 중에 인화하여 실험자가 화상을 입었다.

#### [원인]

유기용제 흡이 정전기에 의하여 인화됨

#### [대책]

작업실의 환기, 어스에 의한 접지, 연구활동 종사자의 입고 있는 옷의 대전방지, 실험실 내 습기조절 등.

### 실험실 내 약품 관리

각 실험실에 축적된 이름을 모르는 약품 처리가 새로운 문제가 되고 있다. 오랫동안 지난 약품의 라벨이 떨어져 있는 화학약품이 많고 그 내용도 알지 못하여 회수되지 않은 상태에 있다. 이러한 이름을 모르는 약품은 발화, 폭발성이나 독성 등의 잠재 위험성이 있으므로 하루 빨리 폐기처리 하는 것이 중요하다. 이름을 모르는 약품을 취급할 때는 발화, 폭발성, 독성 등의 안전에 배려할 필요가 있다. 유해 폐기물 취급방법을 참고로 하여 용기 개봉은 드래프트가 있는 상자 안에서 행하고 비닐장갑 착용을 하는 등 주의한다.

### 현 시점에서 불량약품처리 문제점과 금후의 검토 과제

- 이름을 모르는 약품이 생기지 않도록 약품관리 및 교육시스템의 확립
- 이름을 모르는 약품의 안전성 평가 기법의 확립
- 간편하고 합리적인 분석 시스템 확립

### 냉장장치

- 실온에서 빠른 분해를 하는 화학물질은 냉고고에 보관
- 화학물질 저장에 위해 설계된 냉장장치
- 챔버 외부에 방폭 스위치 설치
- 적당한 시간 내 사용할 양의 화학물질을 저장
- 냉장장치 보관 화학물질은 저장 수명이 있다.
- 냉장 장치에 음식과 화학물질 함께 저장 금지
- 음식물 저장금지 표지
- 냉장장치의 배선 등 전기 결함을 사용 전에 체크

### 저장량

- 가연성, 연소성 액체 총량, 등급, 용기형태, 저장공간을 정함.
- ANSI, NFPA 45, 권고사항 기준제정
- OSHA 권고사항 채택
- 화재 캐비닛은 10분 이상 소방관이 화재현장 도착, 연구활동 종사자가 대피하기에 충분한 시간 내부 저장된 액체가 인화되지 않는 구조로 화염을 보호할 수 있어야 한다.
- 가연성 물질 저장 : 배출구, 스프링클러 시스템 시설 설치

## 7.7 압축 가스 잠재위험 및 종류 대책

거의 모든 연구실에서 압축 가스를 사용하는데, 기체 크로마토그래피, 유리 기구 제작, 각종 기기 및 합성 공정기 등에 사용한다.

### 압축 가스

21°C(70°F)에서 절대압력 276 kPa(40 lb/m<sup>2</sup>) 이상, 54°C(129°F)에서 절대압력 717 kPa(104 lb/m<sup>2</sup>) 이상을 포함하고 있는 물질이나 혼합물 또는 38°C(100°F)에서 증기압력 276 kPa(40 lb/m<sup>2</sup>) 이상의 증기 압력을 포함하는 액화 가연성 물질

#### 7.7.1 압축 가스

상온 또는 35°C 게이지(Gage) 압력 10 kg/cm<sup>2</sup>인 가스를 ‘고압 가스’로 정의하고 규제하고 있다. 물성표를 볼 때는 실제로 사용하고 있을 때의 온도가 임계온도보다 높을 때는 압축 가스로 된다. CF<sub>4</sub>의 임계온도는 -45.6°C에서 사용시의 온도보다 낮은 압축 가스가 된다. 일반적으로 압축 가스는 액화 가스에 비해 용기 내의 압력이 높기 때문에 누설이나 단열 압축에 의한 온도 상승의 위험성이 높고 용기의 취급을 잘못하면 사고 위험성이 높다.

##### ◆ 가스 용기의 안전

압축 가스 용기는 고 에너지원이다. 용기의 밸브가 파손하면 중대한 위험성이 발생한다. 용기를 이동 또는 보관하는 경우는 경부를 보호하기 위해서 안전 캡을 붙인다. 보관에는 용기를 수직으로 세워 밴드, 체인 또는 고정대에 지지해야 한다.

##### ◆ 긴급시의 처치

화재, 폭발, 유출이나 상처에의 대응과 급성 유독 화학물질의 방사능 노출에 의한 증상 등의 긴급 처치법을 작성한다. 적어도 다음의 요건이 필요하다.

- 연락처(담당 교수 또는 연구책임자의 연락처, 관련 학과 사무실, 의무실, 시설계)
- 모든 안전 설비의 위치(샤워, 눈 세척기, 소화전, 소화기 등)
- 해당 실험실에서 취급하는 급성 유독 화학물질의 종류와 응급 처치법

##### ◆ 눈의 보호

압축 가스를 취급할 때는 항상 눈의 보호를 위해 보호 안경을 착용한다.

##### ◆ 드래프트(Fume Hood)

압축 가스가 자극성, 산화성, 질식성 또는 그 외의 위험성을 가지는 물질이면 드래프트 내에서 조작한다.

◆ 장갑

압축 가스를 운반할 때는 장갑을 착용한다.

◆ 위험성의 평가

압축 가스를 동반하는 작업에서는, 작업자가 그 고유의 사용법 및 취급 주의에 대해 잘 이해해 둘 필요가 있다. 압력 조절기는 고장 나 있지 않은가, 사용 목적에 있던 조절기인가, 배관은 올바르게 접속되어 있는지, 또한 사용 압력은 적정인가 등에 주의한다.

◆ 보호 의류

압축 가스를 취급할 때는, 실험의, 발끝을 가린 구두, 긴 소매의 옷을 착용할 것. 추가의 보호도구가 필요한 경우는 담당 교수나 연구책임자가 결정한다.

◆ 안전 실드(shield)

폭발, 비산의 위험성이나 고도의 발열 반응의 위험성이 있을 때는 항상 안전 실드(shield)가 필요하다. 급성 유독 화학물질을 조작할 때는 가능한 한 문을 닫은 드래프트 내에서 실시한다. 실험자를 보호하는 휴대용 실드도 사용할 수 있다.

◆ 표시와 라벨

용기 : 모든 압축 가스는 올바른 화학명을 명확하게 표시해야 한다.

◆ 특별한 저장

압축 가스는 벽 또는 실험대에 따라 수직으로 세워 체인이나 밴드로 고정해 보관한다. 압력 조절기는 떼어내어 불베 캡을 한다. 열원의 근처나, 직사 광선, 증기 배관이 있는 장소에서의 보관은 절대로 피한다.

◆ 환기

자극성, 산화성, 질식성 또는 그 외의 위험성을 가지는 압축 가스를 드래프트 이외에서 취급할 때는, 그 노출을 최소한으로 하기 위하여 특별한 환기가 필요하다. 드래프트는 최적인 환기를 할 수 있어 압축 가스의 노출로부터 보호하는 최선의 장치이다. 항상 드래프트 내에서 취급하도록 하는 것이 필요하다.

◆ 유출에 대한 대응

자극성, 산화성, 질식성 또는 그 외의 위험성을 가지는 압축 가스가 유출했을 경우는, 그 장소에 있는 실험자에게 경고를 하고, 시급하게 실험실을 퇴거하여 도움을 청한다. 사고 및 연락 후에는, 돕는 사람에게 상황 설명을 위해, 안전한 거리를 유지한 채로 현장에 남는다.

◆ 폐기처분

비거나 일부만 남아 있는 압축 가스 통은 업자에게 반환한다.

### 7.7.2 가스 위험성 및 방지대책

#### 압축 가스의 위험성

용기는 내압에 따라 팽창한다. 가령 150 kg/cm<sup>2</sup> 로 충전되어 있는 용기 밸브가 파손되면 60 kg인 용기가 미사일처럼 날아다녀 사람이나 설비 등을 파괴하는 위험성을 갖게 되므로 난폭한 취급을 하지 않도록 세밀한 주의를 요한다. 용기는 습기 등 부식이 쉬운 장소에는 놓지 않도록 하며 체인 등으로 2군데 이상 고정시켜야 한다.

가스는 누출되기 쉽다. 압력이 높으면 높을수록 미세한 틈 사이로 누설되기 쉽다. 가연성 가스에 의한 화재, 폭발, 독성 가스에 의한 중독, 부식성 가스에 의한 인체에의 부작용, 배관부식, 막힘 등의 위험성이 높게 된다.

단열 압축에 의해 온도가 상승한다. 발생한 열이 빠져나갈 수 없는 상태에서 압축하는 것을 단열 압축이라고 한다. 고압용기에 압력계를 부착할 때에 급격히 용기의 밸브를 열면 15 기압에서 충전된 공기의 경우 압력계의 풀다운(Fulldone) 관이 단열 압축된 때의 온도는 900~100℃로 되고 특히 가연성 가스의 경우는 발화원이 될 위험이 있다. 다른 고압 공기설비에 의한 윤활유의 발화나 고압 산소의 배관연소 사고도 발생했고 고압가스 설비에서는 밸브조작에 의한 단열압축이라는 발화원이 있다는 것에 충분히 주의하고 충전용기의 개폐는 정교하게 조작해야 한다.

온도가 상승하면 압력도 올라간다. 이상(理想)기체에서는 용기 내의 가스 압력은 온도가 1℃ 상승할 때마다 1/273만큼 상승하고, 27℃ 온도상승에서는 10% 정도의 압력상승이 따른다. 온도 상승에 따른 압력 상승에 의해 용기안전 밸브가 과열하여 가스누설이 일어난다. 최악의 경우에는 용기 과열 등의 위험이 있기 때문에 용기는 항상 40℃ 이하로 보관하여야 한다. 또한 스크리머 장치를 설치하고 긴급 시에는 용기를 냉각시켜 급격한 압력 상승을 방지하여야 한다.

#### 사용상 주의사항

- 사용용기를 용량이 큰 것으로 바꾸고 충전 압력을 내린다.
- 배관계통에는 고압부나 접합부분을 최대한 적게 한다.
- 배관접합은 최대한 신뢰성이 높은 방법을 이용한다. 일반적으로 신뢰성은 용접 부분의 구조나, 용접공의 기능에 따라 다르므로 시공관리나 용접공의 기능관리도 할 필요가 있다.

다. 또 누설방지를 위해서는 완성 후 내압시험 누출테스트, X선 검사 등을 하는 것이 중요하다.

- 용기를 부착 시에는 밸브 접합부에 금힘 생체기가 있는 용기는 사용하지 않도록 하고 실링 테플론 테이프는 매번 새 것으로 교환하도록 한다.
- 정기검사는 매우 조심스럽게 한다.

**누설위험 주의를 위한 사용 안전대책**

- 조기발견을 위한 정지경보기를 설치하고, 일상 정기점검을 매우 조심스럽게 한다
- 누설된 가스가 직접 작업공간에 나오지 않도록 조치(가스용기 캐비닛이나 2중관)를 강구한다.
- 용기비치장소나 설비부근에는 화기를 취급하지 않는다.
- 새어나온 가스가 정체가 있지 않도록 조치를 취한다.
- 만일 가스가 유출하여도 유출속도를 느리게 하는 오리피스(Orifice)를 용기 밸브에 부착한다.
- 가스가 유출하여도 기계에 따라 안전하게 조치할 수 있도록 긴급차단, 인터록 기구, 소방 소화설비, 보안전력, 재해설비 등의 보안설비를 설치해 둔다.
- 만일 가스가 누설하여도 긴급시 사람들이 신속하게 대응하도록, 평상시에 교육과 훈련을 실시한다.

**표 7-4. 가연성 연소성 액체 최대용기 용적 (OSHA)**

용기형태	미 안전보건청 필요 최대 용적				
	1A	1B	1C	2	3
액 체	1A	1B	1C	2	3
유 리	1병	1리터	4리터	4리터	4리터
인증된 플라스틱	1병	1리터	4리터	4리터	4리터
금속 (DOT 드럼 아님)	4리터	20리터	20리터	20리터	20리터
금속 안전 양철통	8리터	20리터	20리터	20리터	20리터
금속 드럼 (DOT)	200리터	200리터	200리터	200리터	200리터

**표 7-5. 가연성 연소성 액체 최대용기 용적 (미 표준협회 / 미 소방협회 ANSI/NFPA)**

용기형태	미 규격협회 / 미 소방협회 권고 최대 용적				
	1A	1B	1C	2	3
액 체	1A	1B	1C	2	3
유 리	1병	1리터	4리터	4리터	4리터
인증된 플라스틱	5병	20리터	20리터	20리터	20리터
금속 (DOT 드럼 아님)	4리터	20리터	20리터	20리터	20리터
금속 안전 양철통	8리터	20리터	20리터	20리터	20리터
금속 드럼(DOT)	NA <sup>2</sup>	20리터	20리터	20리터	200리터

**7.7.3 캐비닛 안에서의 가스 취급 방법**

- (1) 관리상의 책임을 명확히 하기 위해 특수 가스의 취급을 숙지한 자 중 관리책임자를 정하여 가스 취급은 관리책임자의 감시 하에 해당 가스의 취급에 관한 지식을 가지고 충분한 훈련 받은 자가 하도록 한다.
- (2) 접촉 또는 혼합하는 것에 의해 반응하고 위험한 상태로 될 우려가 있는 지연성 가스와 가연성 가스나 금속 수소화물과 할로젠화물 등은 같은 캐비닛에 수납하지 않도록 한다.
- (3) 연성이나 부식성 가스는 사고 예도 많고, 누설됐을 때에 다른 가스 배관, 설비 등에 대해서 가열이나 부식 등의 나쁜 영향을 미치지 않고 2차 재해를 유발하기 때문에 단독 캐비닛으로 한다. 가연성 가스가 수납된 캐비닛은 정전기를 제거하는 조치를 취하여야 한다.

- 가스를 사용할 때는 40℃이하로 유지할 것

- 용기의 열고 닫음은 정교하고 세심하게 할 것

- 장기간 사용하지 않는 용기는 캐비닛에 부착된 그대로 두지 말도록 할 것

- 캐비닛 내의 배관에는 가스의 명칭 및 그 흐르는 방향표시를 꼭 해둘 것, 밸브는 해당 밸브의 개폐상태를 알 수 있게 표시할 것.

- 실레인 가스와 같은 자연성 가스를 진공 펌프로 빨아 낼 경우는 진공펌프 출구에서 발화나 소형폭발이 일어날 수 있으므로 주의가 필요함. 통상 이와 같은 경우에는 진공펌프 출구배관에 회석용 질소라인을 연결하여 빨아들일 때에 질소로 희석하는 방법이 일반화되어 있다

- 증기압이 낮은 가스는 배관에 온도변화가 있으면 배관 도중에서 액화하고, 압력이 내려가는 수 가있다 이와 같은 때는 온도가 낮은 곳을 보존하여 온도변화가 없도록 한다. 경우에 따라서는 보내는 가스의 압력을 내리는 것도 하나의 방법이다. 또 증기압이 낮은 가스는 조정기 출구 부근의 배관구경이 큰 곳에서 가스팽창이 된다. 배관의 온도가

내려가 액체로 될 수 있어서 그와 같은 때는 열을 가하는 방법으로 온도의 편차가 없도록 조정한다.

- 캐비닛 속 또는 그 근방에는 용기의 교환 작업에 필요한 전용공구를 갖추어 둔다. 캐비닛 근방에는 긴급 시를 대비해 내열포대, 비상등, 긴급공구 및 양압식 공기호흡기 등의 보호구를 필요 수량만큼 비치해 둔다
- 긴급시의 대응이 재빠르게 되도록 캐비닛을 보기 쉬운 위치에 가스의 명칭, 관리책임자, 취급책임자, 긴급연락처, 긴급 시 조치 방법 등을 표시해둔다
- 캐비닛 내의 배관계통, 보안설비 등의 정정, 용기의 교환 작업, 긴급시의 대응 등은 순서를 작성하여 작업자에게 주지를 철저히 해준다.
- 용기의 출입창에는 수불대장으로 관리한다.
- 실린더 캐비닛은 시프트당 1회 이상 관리책임자 또는 그 지시를 받는 사람이 순회하여 점검한다.
- 다음 사항에 대해 점검해야 한다.
  - 캐비닛 내의 가스잔량
  - 캐비닛 내의 부압 확인
  - 감지 경보기의 검출 단 부위의 이상 유무 확인
  - 배관, 기기류, 배기가스 등의 녹슬, 비틀어짐 등의 이상 유무 확인
  - 전용공구의 비치확인
  - 보호구의 비치확인
- 안전에 필요한 보안설비 등은 일상 사용하지 않기 때문에 그 기능에 손상이 있지 않은지 전문가에 의한 정기적인 보수 관리를 철저히 하도록 한다.
- 차압계 또는 배기 풍량 용기밸브 차단장치 또는 긴급차단 밸브 소방설비, 보안존 제해설비, 배기설비, 기타 공구류 등
- 정기점검의 방법은 과거의 일상점검이나 정기점검 결과를 고려하여 검사기준(대상기기의 점검개소, 검사 및 교환주기, 검사방법, 검사항목, 판정기준 조치 등)을 정하여 둔다.
- 기록은 설비보전 대장 등에 기록을 남기고 보수관리를 철저히 하기 위한 자료로 사용한다.
- 실린더 캐비닛 내의 가스배관 설비 등은 내압시험, 기밀시험, 작동시험, 부품교환을 주체로 하여 정기적으로 검사기준을 정하여, 보수관리를 철저히 하도록 한다.

#### 7.7.4 실린더 캐비닛 내에 용기 교환 방법

- (1) 용기교환 작업은 반드시 2명 이상 할 것. 이상 시에 즉각 긴급 연락에 대응이 취하도록 하고 해당가스의 취급에 관한 지식을 갖고 충분한 훈련을 받은 사람이 하게한다.
- (2) 새로운 용기는 미리 용기 비치장소에서 누설 등의 이상 유무를 확인한다.
- (3) 용기 운반 시 사고를 방지하기 위해 용기 아랫부분과 윗부분에 쇠사슬 등으로 고정 전용

운반 수레로 운반한다.

- (4) 공병을 취급할 때는 먼저 최초로 용기의 밸브가 완전히 잠겨 있는지 점검하고, 다음으로 퍼지(PURGE)가 완료된 것을 확인한 후에 분리작업을 할 것
- (5) 용기 교환 작업 시에는 취급 순서에 따라서 전용공구를 사용하여 신중히 할 것,
- (6) 새로운 용기의 연결 오류를 방지하기 위해 연결 전에 용기의 표시(가스명칭, 압력, 농도)를 확인한다. 사용 년월일, 취급자, 압력(또는 중량) 등의 필요 사항을 기록하고 누가 보아도 알 수 있게 기록한다.
- (7) 새로운 용기 밸브 보호 캡은 용기를 설치하고자 하는 장소에 장착한 뒤에 떼어 낼 것
- (8) 새로운 용기의 캡을 떼어낼 때는 운반도중 밸브가 느슨하여 가스가 새어있을 수 있으므로 캐비닛 안에서 용기의 밸브가 풀려있지 않은가를 확인 후 밸브를 얼굴로 향하지 않도록 하여 조심스럽게 떼어낸다. 또 안전밸브와 캡이 서로 부딪치지 않게 조심해야 한다.
- (9) 새로운 용기의 캡 부분에 이물질이 묻어있지 않나 확인하고 이상이 없으면 알코올로 미량의 먼지, 수분, 기름을 닦아낸다. 캡 부분에 금힘이 생겼을 때 이것이 누설원인이 되므로 메이커에 반납한다.
- (10) 용기교환 후에는 신속하게 전도방지 체인을 채운다
- (11) 새로운 용기를 장착할 때는 누설방지용 실와셔(테프론)를 새 것으로 교환한다. 가연성 가스에 장착할 때는 불꽃이 나지 않는 구리나 베릴륨으로 된 공구를 사용하도록 한다. 용기에 정전기 착화방지용 접지를 하도록 한다.
- (12) 새로운 용기로 교환한 뒤에는 퍼지 기밀 테스트를 엄두에 둔다. 가스 등으로 불활성 가스 치환이 불충분하여 공기가 남아있게 되면, 실레인 가스인 경우에는 산화규소의 가루가 생겨 밸브 작동불량의 원인이 된다. 염화물이나 플루오린화물 등은 공기 중의 수분과 반응하고 염화 수소나 플루오린화 수소 등의 부식성 가스를 발생시켜 배관부식의 원인이 된다는 것에 주의한다.
- (13) 사용이 완료된 용기를 반납할 때는 용기에 공기혼입을 방지하기 위해 수 kg/cm<sup>2</sup> 정도의 진압을 남겨 놓고 이동시의 안전을 위해 캡을 채우고, 밸브를 한번 더 잠근 후 캡을 닫도록 한다.

#### 7.7.5 용기비치 장소에서의 가스취급 안전대책

- (1) 용기의 입실과 퇴실은 정해진 장소에서 하고, 이에 관한 필요사항을 용기관리 대장에 기입하고 적정 관리한다.
- (2) 용기는 난폭하게 취급하지 않는다. 특히 우천시 등 물에 젖었을 때는 용기가 구르기 쉬운 상태에 주의한다.
- (3) 특수재료가스의 성능, 상태 및 농도를 감안하여 혼합 위험한 상태로 되는 가스의 용기는 구분 저장한다. (1. 가연성. 독성 및 산소, 2. 가연성. 지연성, 3. 금속 수소화물과 할로젠화물 독극물과 기타 가스).
- (4) 용기 비치 장소에는 충전 용기와 잔류가스 용기를 구분하고 또한 그 표시를 용기마다 표

시해 둔다.

- (5) 잔류가스 용기에도 규정의 용기 비치장소에 저장한다.
- (6) 잔류가스 용기를 보존할 때는 반드시 가압상태로 해 둔다.
- (7) 안전측면에서 잔류가스 용기는 빨리 구매했던 판매업자에게 반납하고 장기 정채되지 않게 한다.
- (8) 용기 비치장소는 비상시에 용기를 반출할 수 있도록 해두고, 비치장소 면적의 20%이상 확보된 통로를 만들어 둔다. 통로는 페인트로 명시하여야 하고 용기 보관장소 내에는 작업에 쓰이는 불필요한 것을 두지 않는다.
- (9) 용기는 넘어지지 않게 밴딩 등으로 2 곳 이상 고정시킨다.
- (10) 용기는 40℃ 이하로 보관한다.
- (11) 용기 보관장소 주변 2 m 이내에 화기, 인화·발화성 물질을 두지 않는다.
- (12) 용기 보관장소는 외부인이 함부로 들어오지 못하게 하고, 용기 입수, 반납, 점검, 기타 개폐가 필요한 때 제외하고는 시건장치를 해 둔다.
- (13) 입고되는 용기는 누설 등 이상이 없는 것을 확인하고, 입·출고에 관한 필요사항을 용기 관리 대장에 기입하고 적절하게 관리한다.
- (14) 입·출고하는 용기는 두 사람 이상이 취급한다.
- (15) 용기의 운반은 전용 운반차를 사용하고 전도 전락을 방지하기 위해 체인 등으로 고정한다.
- (16) 저장고의 관리자를 선임한다.
- (17) 긴급 시 대응 설비 및 공구 등, 재해 장치 검지 경보기, 배기 덕트, 보안전원, 긴급공구, 소화기 등은 항상 사용할 수 있도록 정비해 두고 정기적으로 실기 연습 등을 실시한다. 응급조치는 2차 재해를 막기 위해서도 신속하고 적절히 해야 한다.

## 7.7.6 잠재 위험성

**압축가스의 잠재 위험성은 크게 4가지로 구분할 수 있다**

- (1) 화학적 위험 : 폭발, 화재, 부식성
- (2) 반응성 : 프로페인(프로판), 수소, 아세틸렌
- (3) 인체적 위험 : 흡입, 중독, 자극
- (4) 산소 결핍 : CO, Ar, He, N<sub>2</sub>, 현기증

자연 발화성 약품은 안전한 용기에 저장하여 가연성 약품, 폭발성 약품과 분리하여 별도 보관한다. 혼합 위험성 물질도 종류별로 달리하여 별도 보관한다.

## 7.7.7 특수가스

광파이버 태양건전지, 파인세라믹 등 신소재 제조에 특수가스인 모노실레인을 처음 반응시킨다.

수소화물은 발화온도가 낮고 연소 폭발위험이 높다.

자연발화성 가스 : 상온에서 지연성 gas와 혼합하여 발화한다. 모노실레인, 다이실레인, 포스핀 등의 특수 gas가 있다.

모노실레인은 질소, 아르곤 등 불활성 gas를 첨가해도 폭발화 한계 농도가 낮게 된다. 조건에 따라서 공기 중에 나오면 발화하고 폭발성 혼합물을 생성하는 것이 있다. 할로젠은 모노실레인의 지연성 gas로, 상온에서 폭발적인 반응을 하므로 모노실레인의 불꽃에는 할로젠계 소화기를 사용해선 안 된다. 모노실레인은 한계산소 농도가 낮아 질식성 소화제는 효과가 없다. 모노실레인은 공급을 차단하는 방법밖에 없다.

분해 폭발성 가스 : 지연성 gas가 없어도 발화원이 있으면 폭발하는 가스  
(저메인, 텔루르화 수소, 스티빈, 수소화 주석 등)

### 사고사례

1. 미국연구소에서 아산화질소 혼입한 실레인 가스통이 폭발하여 3명이 사망, 1명이 부상되었다. 폭발원인은 모르겠으나 실레인 가스통 가운데 아산화질소가 혼입한 것으로 추정된다.
2. 대학 반도체 연구실에서 광CVD장치를 사용하여 실험중 모노실레인 가스 용기가 과열하여 부근 유기 용제에 인화하여 화재로 5명 사망, 5명 경상자가 나왔다.
3. 대학 연구실내 냉장고에 용매용 액화가스가 200 g 있는 통 4개를 열었을 때 액화가스통이 폭발하여 30 m<sup>2</sup> 연소시킴
4. 연구소의 폭발 실험장치 메테인(메탄)가스 통에 조정기를 취부 주 밸브를 열고 조정밸브를 천천히 늦추어 2차 압력계가 과열되었다. 다행스럽게도 커버는 플라스틱이고, 연구원도 보안경을 껴서 무사했다.
5. 대학 이학부 화학연구실에서 학생이 실험용 염소통(길이 47 cm, 직경 13.5 cm, 3.6 ℓ)을 운반해서 밸브를 채우고 감압 밸브를 밖으로 돌렸을 때 가스가 분출하여 학생 18명과 교직원 3명이 가벼운 가스 중독이 되었다. 봄베는 1976년 10월부터 실험에 사용하여 부식된 밸브였다

### 주요 특수 가스의 관리

- 산소 : 공기 중 21% 함유. 연소를 돕는 역할을 하여 태우는 데 도움을 준다. 의료용으로 마취로부터 소생 등에 이용. 용접, 용단에 다른 gas와 같이 사용. 충전하여 용기에 저장, 화염온도 상승.
- 수소 : 대단히 가볍다. 산소와 급격하게 반응. 누설시 폭발, 점화온도 560℃. 많이 마시면 질식성이 있다. 폭발 및 인화성이 있다.
- 아세틸렌 : 산소-아세틸렌으로 용접, 용단에 사용. 800℃에서 분해하여 카본블랙을 만들. 뷰타다이엔(부타디엔)과 에틸렌의 제조에 사용. 폭발성 및 인화성 혼합가스 형성. 폭발범위가 넓으며 질식성이 있다.
- 염소 : 황록색의 맹독성 가스. -34℃로 냉각하며 6~7기압 가하면 액화됨. 누설시 흰 연기 발생. 소석회로 중화시킴. 호흡기 자극. 유해함. 중화는 가성 소다 15%, 670 kg 이상 사용. 반드시 보호구 착용.

표 7-6. 주요 특수가스 연소폭발 위험성

가 스	폭발범위(vol %)	발화점 등	분해폭발성
실레인(SiH <sub>4</sub> )	1.37 ~	자연 발화성	×
다이실레인(Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	0.5 ~	자연 발화성	×
다이클로로실레인(SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> )	4.1 ~ 98.8	약 50℃	×
트라이클로로실레인(SiHCl <sub>3</sub> )	불명	약 200℃	×
다이보레인(B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	0.84 ~ 93.3	약 80℃	△
포스핀(PH <sub>3</sub> )	1.6 ~	자연 발화성	×
저메인(GeH <sub>4</sub> )	2.28 ~ 100	약 150℃	○
아르신(AsH <sub>3</sub> )	5.1 ~ 78	자연발화 안함	×
셀레늄화 수소(H <sub>2</sub> Se)	12.5 ~ 63	자연발화 안함	×
스타네인(SnH <sub>4</sub> )	~ 100	불명	○
스티빈(SbH <sub>3</sub> )	~ 100	불명	○
텔루르화 수소(H <sub>2</sub> Te)	~ 100	불명	○

○: 폭발한다    △: 폭발하는지 모름    ×: 폭발 안함



그림 7-11. 가스의 안전한 사용

- 용기는 안전장치를 비친 용기 BOX에 수납한다.
- 가스누설 경보기 자압센서 부착
- 가스 긴급차단기 설치
- 가스 배기는 제해장치를 통해서 행한다.
- 실험 종료 후 배관 장치 내에 청소는 방폭형 청소기를 사용하고 포집된 물질도 즉시

연소 처분한다.

- 정전 시는 원 밸브를 닫는다.
- 정전 후 순서를 다르지 않게 시동시키고, 무정전 전원화가 바람직하다.
- 제해장치까지 배관을 짧은 쪽이 바람직하다.

### 7.7.8 고압가스 취급

고압가스는 용기 내 고압상태로 존재하는 기체를 말한다.

고압가스는 우리들의 일상생활, 산업계의 최첨단 산업에 이르기까지 광범위하게 사용되고 있다. 또 사용되는 가스의 종류도 다양하며 계속 증가하고 있으며 대학실험 연구실에서도 대단히 많이 사용하고 있다. 사용시 취급이 잘못될 경우 폭발화제가 발생하므로 취급에 주의해야 한다.

고압가스는 취급압력단위를 Pa (N/m<sup>2</sup>)로 하며 보통 kgf/cm<sup>2</sup> (f는 중력가속도 9.8m/s<sup>2</sup>로 표시)로 사용하기도 한다. 또 기압단위로 나타낸다. 1 기압(1 atm) = 1.01×10<sup>5</sup> Pa = 1.03 kgf/cm<sup>2</sup> 질소의 표준충전 단위는 14.7 MPa(14.7×10<sup>6</sup> Pa), 145.5 atm 또는 150 kgf/cm<sup>2</sup>이다.

#### (1) 용기 속의 상태에 따른 분류

- 압축 가스 : 기체 상태에서 압축된 상태로 실온 또는 35℃에서 압력 1 MPa 이상을 말한다. 수소, 산소, 질소, 베릴륨, 메테인, 아르곤 등이 있다.
- 액화 가스 : 실온, 상압 하에서 기체물질을 압축시킨 상태로 실온 또는 35℃에서 0.2 MPa 이상인 것을 말한다. 이산화탄소, 암모니아, 염소, 액화 석유 가스, 액체질소 등 압축 아세틸렌 가스는 실온 또는 15℃에서 압력이 0.2 MPa 이상으로 정의한다.

#### (2) 기체 성질에 따른 고압 가스 분류

화재나 폭발을 방지하기 위해서는 기체의 성질을 잘 알 필요가 있다.

- 가연성 가스 : 공기 중에 또는 산소 중에서 불에 연소하면서 충격에 따라 폭발한다. 공기에 접촉하여 발화한다. 수소, 메테인, 에틸렌, 아세틸렌, 프로페인, 뷰테인(부탄) 등 액화석유가스
- 지연성 가스: 가연성 물질을 연소시키는 것을 도와주는 가스. 산소가 있다.
- 불연성 가스: 자체는 연소되지 않으나 기체를 연소시키지 않는 성질의 가스. 불활성 가스, 질소, 이산화탄소

#### (3) 고압 가스 용기의 안전취급

- 고압 가스 용기에는 용기 증명서 및 각인이 있으므로, 사용 전에 그 내용을 확인한다. 고압 가스 취급은, 충분한 지식과 경험을 가진 사람이 실시하지 않으면 안 된다. 용기는 중량물로 튼튼하게 보이기 때문에 난폭하게 다루어지고 쉽다. 타격이나 낙하 등의 부주의 취급으로 용기 벽이나 밸브, 거기에 부착되어 있는 안전 장치가 손상되어 누설, 파열 등의 위험을 일으키는 원인이 된다.
- 용기는 세워져, 전도하지 않게 벽이나 기둥에 체인 등으로 고정한다. 용기를 세워 두는 경우에는, 전도 방지를 위하여, 쇠사슬 또는 로프 등으로 벽 등의 적당한 물체에 고정한다. 누워서 보관하는 경우나 운반 시에는 용기가 구르지 않도록 지지도구를 이용해 확실히 고정하도록 한다.
- 여름의 직사 광선, 가열로, 스토브, 그 외 가열된 바닥 등 뜨거운 장소의 근처에서 용기를 사용하지 않는다. 보관은 서늘하고 공기 유통이 잘되는 장소에 보관한다.
- 용기를 전용 이동차에 실는 경우를 제외하고, 이동 전에 압력 조절기를 제거하여 밸브를 닫아 캡을 설치한다.
- 용기 교환 후에는, 압력 조절기의 설치부에 누설이 없는지 비눗물 등으로 검사한다. 5분 이상 경과하고 나서 돌연 누설하는 일도 있으므로, 시간을 소요되더라도 실시하도록 한다. 밸브를 급격하게 열어서는 안 된다. 여는 경우에는, 가스가 나오는 방향을 옆으로 향하게 하여 출구 측에 사람이 없는 것을 확인하고 전용의 핸들, 스페너를 사용하여 손으로 조용하게 연다. (밸브 출구가 막힌 배관이나 조절기에 접속되어 있는 경우, 급격하게 밸브를 열면 단열 압축에 의해 1000℃이상의 고온이 되어, 또는 매우 큰 가스 유속에 의한 마찰열이나 정전기가 발생하여 발화에 이르는 일이 있다.)
- 가스의 사용 중에는 밸브를 충분히 열어 둔다.
- 가스의 사용 후에는, 완전히 밸브를 닫아 캡을 씌운다.
- 용기에 조절기를 설치했을 경우에는, 밸브를 열기 전에 조절기의 핸들을 왼쪽으로 돌려 완화해 둔다. 또한 조절기는 먼지가 들어오면 고장 나기 쉽기 때문에 유의한다. 용기 밸브 나사와 조절기 나사에 반동이 있는 것은 사용하지 않는다.
- 압력 조절기는, 가스의 종류에 맞는 것을 사용한다. 특히 산소는, 유지와 반응하여 발화하는 일이 있으므로 전용 조절기를 사용한다. 조절기, 압력계, 호스, 도관 등은, 사용 가스 전용의 것을 사용하고, 다른 가스의 것을 유용하지 않는다. 자주 잘못 사용되는 예는 산소 가스로, 다른 가스의 기구를 사용하면 기름 성분이 묻어 있는 것만으로도 폭발 위험성이 있다.
- 고압 가스의 나사 접촉부에 누설이 있는 경우에는, 반드시 밸브를 조여 압력을 내린 후에 대책을 강구한다.

(4) 고압 가스 용기의 색채

표 7-7. 색채표시 방법

가스종류	문자 색상		용기 색상		
	공업용	의료용	공업용	의료용	
액화 석유가스	적색		회색		의료용 그 밖의 것
수소	백색		주황색		회색
아세틸렌	흑색		황색		
액화 암모니아	흑색		백색		
액화 염소	백색		갈색		
산소	백색	녹색	녹색	백색	
액화 탄산가스	백색	백색	청색	회색	
질소	백색	백색	회색	흑색	
아산화질소	백색	백색	회색	청색	
헬륨	백색	백색	회색	갈색	
에틸렌	백색	백색	회색	자색	
사이클로프로페인	백색	백색	회색	주황색	

(5) 독극물의 독성

독성이 강한 약품은 소량이라도 몸에 닿게 되면 현저한 장애를 주게 된다. 따라서 지정 수량 내에서 지정장소에 보관하여야 한다. 보관 장소에는 시건장치가 되어 있어야 한다. 라벨은 독극물로 [의약품 독극물] 이라고 백색바탕에 흑색글자로 표시한다. 용기에 소분할 때도 적색 바탕에 흰색으로 소분한 것에 라벨표시가 있어야 한다.

약품 출입시 재고량을 기록하면 사용일시, 사용자, 사용량 등을 기록하여 잔량을 철저히 관리하여야 한다.

- 위험약품 : 염소산 칼륨, 염소산 나트륨
- 유해약품 : 시안화 칼륨, 시안화 나트륨
- 마약 : 모르핀, 코카인 등
- 각성제 : 아드레날린, 알포타민 등

(6) 독성 가스의 종류

- 1종 독성 가스 : 독성 가스 중에 염소, 사이안화 수소, 이산화질소, 플루오린, 포스젠, 그밖에 허용농도가 1 ppm 이하인 것

- 2종 독성 가스 : 독성가스 중에 염화 수소, 삼플루오린화 수소, 이산화 황, 플루오린화 수소, 브로민화 메틸 및 황화 수소, 그 밖에 허용농도가 1 ppm 초과, 10 ppm 이하인 것
- 3종 독성 가스 : 1종, 2종 가스 이외의 것을 말한다.

표 7-8. 주요 고압 가스 종류와 분류

	화학 기호	용기 상태 분류				성상에 의한 분류				
		압축 가스	용해 가스	액화 가스	초저온 액화가스	가연성 가스	지연성 가스	불연성 가스	독성 가스	부식성 가스
산소	O <sub>2</sub>	○			○		○			
수소	H <sub>2</sub>	○			○					
염소	Cl <sub>2</sub>			○			○		○	○
암모니아	NH <sub>3</sub>			○		○			○	○
프로페인				○		○				
뷰테인				○		○				
프로필렌				○		○				
아세틸렌	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>		○			○				
질소	N <sub>2</sub>	○			○			○		
아르곤	Ar	○			○			○		
헬륨	He	○			○			○		
탄산가스	CO <sub>2</sub>			○				○		

그림 7-12. 공동 가스설비



그림 7-13. 가스 용기 운반 수레

그림 7-14. 출입문 경고표시 부착

**(7) 독성가스 보관 사용관리**

- 실린더 헤드와 밸브의 가스누출 관리
- 운반 실린더 덮개 장착
- 올바른 위치에 저장
- 고정된 방화벽으로 구분, 체인으로 고정
- 점화원 격리
- 서늘한 지역에 보관
- 연구실에는 필요한 실린더만 비치한다. 색상표시·라인과 결합
- 빈 통은 MT 표시 부착하여 저장소로 운송한다.

**(8) 저온냉매 가스의 안전**

- 저온 액화 가스 또는 저온으로 냉각된 부분을 취급할 때는, 가죽제품의 장갑을 이용한다. 목장갑 등은 바람직하지 않다.
- 저온 액화 가스에 직접 손이나 손가락이 닿지 않도록 한다. 극히 짧은 시간이라면 손이나 손가락의 표면에 열 절연의 증발 막이 생기므로 동상에는 이르지 않는다.

- 개방한 보온병 등의 저온 액화 가스에, 호스, 파이프 튜를 넣는 것은 위험하다. 파이프 속을 액이 뽑어 올려 나와 눈 등에 손상을 끼칠 우려가 있다.
- 저온 액화의 작업을 실시할 때, 고압이 걸리는 장소를 잘 분별하여 필요 이상 그 주변에 머무르거나 접근하지 않도록 하는 것이 현명하다.
- 액화기 내에 공기가 들어가 있으면, 수분도 함께 혼입되어 액화 도중에 단 시간 내에 고체화 되어 파이프를 막기 때문에 위험하다. 반드시 액화 운전 전에 앞서 액화기 내부를 충분히 진공 배기해 두지 않으면 안 된다.
- 저온 액체가 용기에 충전된 후, 밀폐해 버리면 내압이 높아져 위험하므로, 다소의 유통이 가능하도록 작은 구멍이 있는 뚜껑을 이용하는 것이 좋다

표7-9. 가스의 성질과 검지·처리방법

가스	화학식	비중	증기압	독성	가연성 (폭발범위)	검지방법	처리방법 (중화제)
암모니아	NH <sub>3</sub>	0.597	8.19	25	상온상압으로 공기 중에서 15~28%	코를 강하게 자극하는 냄새	대량의 물
아르신	AsH <sub>3</sub>	2.695	14.4	0.05	산소 또는 공기와 혼합 가스는 폭발성이 크다	Snoop등 검지액 가스검지기	과망간산칼륨 염화철(III) 황성탄(금속산화물)
삼염화 붕소	BCl <sub>3</sub>	40	1 atm	1 ppm	불연성	공기 중에서 흰 연기 발생	대량의 물 가성 칼리(KOH)등 알칼리 수용액
삼플루오린화 붕소	BF <sub>3</sub>	2.37		1 ppm	불연성	공기 중에서 흰 연기 발생	가성 칼리(KOH)등 알칼리 수용액
염소	Cl <sub>2</sub>	2.49	6.7 atm	1 ppm	지연성	암모니아수를 접촉시키면 흰 연기 발생	소석회 또는 소석회 수용액
다이보레인	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.95		0.1 ppm	공기 중에서 폭발범위는 20℃, 1기압에서 0.8% ~ 98%	가스검지기 등	대량의 물 가성 칼리(KOH)등 알칼리 수용액
다이클로로실레인	SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	3.94	1.65 atm	0.5 ppm	공기 중 20℃, 1기압에서 4.1% ~ 98.8%	공기중에서 흰 연기 발생	대량의 물 가성 칼리(KOH)등 알칼리 수용액
다이실레인	Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1.8	3.5 atm	명확하지 않음	공기중에서 자연발화	Snoop등 검지액 가스검지기	
저메인	GeH <sub>2</sub>	2.645	41 atm	0.2 ppm	공기중에서 자연발화	Snoop등 검지액 가스검지기	
염화 수소	HCl	1.25	50 atm	5 ppm	불연성	공기중에서 흰 연기 발생	대량의 물 가성 칼리(KOH)등 알칼리 수용액
포스핀	PH <sub>3</sub>	1.184	34.6 atm	0.3 ppm	가연성이 강하며 공기 중에서 폭발범위는 명확하지 않음 공기 중 불순물과 접하면 자연연소하기도 함	Snoop등 검지액 가스검지기	과망간산칼륨수용액 염화철(III) 황성탄(금속산화물)
실레인	SiH <sub>4</sub>	1.12		5 ppm	공기 중에서 자연발화 1% 이하는 불연성	Snoop 등 검지액 가스검지기	가성 칼리(KOH)등 알칼리 수용액

					3% 이상은 자연발화 1~3%는 가연성일 경우도 있음		활성탄(금속산화물)
사 플 루 오 린 화 규 소	SiF <sub>4</sub>	3.58	0.5 ppm	불연성	공기 중에서 흰 연 기 발생	알칼리 수용액 활성탄(금속산화물)	
셀 레 늄 화 수 소	H <sub>2</sub> Se	1.189	17.7 atm	0.05 ppm	가연성 가스이지만 공기 중에서 폭발범위가 명확하 지 않음	가스검지기 염화철(III) 활성탄(금속산화물)	
플 루 오 린 화 인	PF <sub>5</sub>	4.34	공기 중 수분과 반응 독성 발생	불연성(소화성이 있음)	공기 중에서 흰 연기 발생	대량의 물 가성 칼리(KOH)등 알칼리 수용액	

## 7.8 유리 기구의 취급 및 유리가공

### 7.8.1 유리 기구 유리가공 개요

유리 기구는 장점과 단점이 있다. 이것을 잘 습득해서 적절한 기구를 용도에 맞게 잘 사용하는 것이 바람직하다. 유리 기구에 의한 재해는 정밀 취급시에 절상과 유리 가공시에 화상이 있다. 특히 절상은 기구류 파손이 원인으로 발생한다. 파손이 일어나는 요인, 파손하기 쉬운 부분에 유의하는 것이 유리취급에 가장 중요하다.

#### (1) 유리의 특징

- 큰 기구는 금이 가기 쉽다. 작은 것도 보기 흉하게 된다.
- 시험관, 비커, 플라스크 등은 금이 가기 쉽다.
- 두꺼운 것은 열을 가하면 금이 가기 쉽다.
- 얇은 것은 기계적 충격에 의해 금이 가기 쉽다.
- 유리를 열로 가했을 때 금이 가는 부분은 이물질 흡이 원인이다.
- 유리관은 길수록 파손되기 쉽다.

#### (2) 유리 취급상 주의사항

- 유리관, 봉의 절단부분은 불꽃에 대고 돌려 예리한 부분을 둥글게 한다.
- 유리 기구 및 장치는 실험 개시 전에 금이 갔거나 깨진 부분을 확인하고 이상이 없는 것을 사용한다.
- 사용온도에 견디는 소재를 선택한다. 500℃ 이하는 일급 경질(파이렉스 급)을 사용한다.
- 실온, 상압, 감압 등 사용 상황에 따라 형상을 검토한다.
- 유리 기구는 급격한 가열, 냉각을 행하여서는 안 된다. 열전도가 나쁘고 부분에 따라 온도 차가 있어 금이 가기 쉽다.
- 비커, 플라스크, 시험관 등에 고형물을 넣을 때는 낙하충격을 주어서는 안 된다. 용기를 뒤어서 미끄러져 들어가도록 한다.
- 유리 기구를 같이 보관할 때는 유리 사이에 종이를 사이에 넣어 보관한다.
- 밑바닥이 둥근 플라스크 등 불안정한 기구를 사용시는 적절한 받침대를 사용한다.

### 7.8.2 유리기구의 사용

#### (1) 다른 재료와 접합

- 고무 마개에 구멍을 뚫을 경우 직경에 맞는 같은 외경의 코르크 보라를 수직으로 세워 힘을 주어 정확히 뚫는다. 비뚤어지지 않게 주의하여 관통하기 직전에 비틀어 목재 등에 놓고 구멍을 뚫는다.

- 고무 마개, 고무관 등에 유리관을 삽입할 때는 삽입할 끝을 불로 둥글게 만들어 물이나 글리세린을 발라 쉽게 삽입 가능하도록 한다.
- 다음에 유리관은 그림과 같이 끝부분을 짧게 잡고 고무 마개, 고무관을 회전하면서 가볍게 조금씩 삽입한다. 파손시 안전을 위해 장갑을 착용한다.
- 비닐 (플라스틱) 관등을 유리관에 삽입할 때는 장갑을 끼고 가열하여 연화시킨 후 삽입한다. 이 때에도 물, 글리세린을 바르는 것이 좋다. 구멍이 다를 때 무리하게 넣어서는 안 된다.

#### (2) 샘플병 시험관에 플라스틱

- 알칼리, 인산 등 유리와 반응하기 쉬운 화합물은 테시케이터를 사용하지 않는다. 사용한 경우는 사용 후에 직접 세정한다.
- 접합부분에 도포할 그리스는 각부에 균일하게 칠한다.
- 접합부분에 삽입할 경우 특별한 경우를 제외하고 나사모양으로 넣어서 안 된다.
- 접합부분에 자연 외 무게가 있을 때 (플라스크에 환류 냉각기를 사용할 경우)에는 무리한 무게가 있는 접합부에 조립한다.

#### (3) 접합부가 밀착해도 되지 않을 때 처리

- 접합부가 밀착되지 않을 시는 가능한 한 내용물을 뽑아내고 행한다.
- 강하게 비틀면 파손하고 손을 상할 수 있으므로 장갑을 끼고 또는 헝겊을 써서 행한다.
- 힘을 주어 밀어 넣을 때는 무리하지 말고 드라이어나 더운 물 등으로 가열하여 내외 팽창 차를 이용하여 연다.
- 나무 망치로 가볍게 때릴 때도 있으나 유리 가공실에 상담하는 것이 좋다.

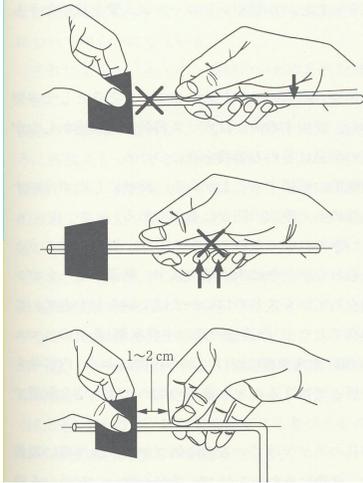


그림 7-15. 유리관을 고무마개 삽입시 파손우려

고무마개에 유리관 삽입시 파손, 중지 약지에서 파손 부상우려가 있음

#### (4) 증류장치의 조립시 주의

- 플라스크는 원칙적으로 둥근바닥형을 사용한다. 삼각 플라스크를 사용한 감압증류는 파손 위험이 있으므로 절대 사용해서는 안 된다.
- 유리 기구를 클램프에 부착할 때는 무리한 힘을 가해서는 안 되므로 주의하여 필요 이상 강하게 채우지 않도록 한다.
- 여러 개를 클램프로 채울 때는 가장 중요한 부분부터 채우고 다소 여유가 있을 때 채운다. 클램프에는 두꺼운 천이나 거즈 등을 또는 유리에 고무판을 써서 금속이 직접 유리에 접촉하지 않도록 한다.

#### (5) 가압, 감압 유리기구

- 내압병은 용량 300 mL~10 L 정도까지 있고 병 밑바닥은 11 kg/cm<sup>2</sup> 감압에 견디는 적당한 두께가 되지 않으면 안 된다. 구입할 때 이점을 유의해야 한다.
- 감압하여 사용할 테시게이터 흡인병 등은 철사망으로 덮거나 나무 상자에 넣어서 파손시의 비산을 방지한다. 대형 기구는 고무 매트 등을 깔아놓는 것이 좋다.

#### (6) 대형 비커

비커는 50 mL~5 L의 것이 시판되고 있다. 대용량 비커는 내용물을 넣어서 운반시에는 잡는 방법이 나쁠 때 파손할 가능성이 높아 용제를 처음부터 물에 데워서 사용하지 않는 방법이 좋다.

### 7.8.3 유리기구 씻기

#### (1) 일반적인 씻기

- 씻기 전에 정리정돈을 행하여 깨진 것, 금간 것 유무를 가려서 폐기한다.
- 기구에 플랜지(flange)를 사용하고 작업내용에 따라 고무장갑을 착용하여 1개 기구를 갖고 행한다.
- 플랜지 금속부 부분에 유리 기구에 상처를 내지 않도록 하고 금속 부분은 고무판 등으로 씌우는 것이 좋다.
- 큰 기구를 씻을 때는 흐르는 물에 헹궈, 고무 매트 등을 깔아 기구의 한쪽을 흐르는 위에 설치한다. 사용시 파손되지 않도록 특히 주의하고 유리 기구는 후치가 금이 가지 않도록 주의한다.
- 시험관 세정시는 아래 부분을 잡도록 한다.
- 일반 세정에서 더러운 것을 무리하게 세정하지 말고 오염 성질에 따라 다른 방법으로 세정한다.

#### (2) 세정액으로 세정

- 액체 세정제 세정은 더러운 정도에 따라 물에 희석해서 담가 세정한다.
- 오염이 심한 경우 그 부분을 예비 세정하여 오염물을 제거한다.

#### (3) 유기용제에 의한 세정

- 오염물의 성질에 따라 용해할 수 있는 적당한 유기용제로 세정하면 효율적이다.
- 유기용제는 폐용제 회수나 인화, 중독 위험성이 있어 쉽지 않는 단점이 있다.

### 7.8.4 유리가공

#### (1) 유리 기구의 안전

유리제품은 실험실에서 많은 목적을 위해 사용된다. 유리 기구는 청결해야 하고 반응용기 내에 보기가 쉬워야 한다. 빠른 반응, 분석, 역류, 적출, 증류를 위해 필요한 장치와 연결되어 많은 형태를 생산하기 위해 다른 부품들과 조립해야 한다. 용해제와 생성물을 담은 용기로도 사용한다. 유리가 파손되면 상해를 입기 쉽다.

## (2) 실험실의 유리 제품 종류

연질 유리나 소다석회 유리는 비싸지 않으므로 눈금 실린더와 같은 측정기구, 깃개, 유리 배관에 대부분 사용한다. 이 유리는 분젠버너나 많은 화염에 부드럽게 자르거나 모양을 만들기 쉽고 연결된 기계장치 같은 쉬운 작업에 이상적이다.

붕규산 유리는 연질 유리보다 강하고 더 단단하며 온도나 압력에 저항성이 있으므로 연질 유리보다 작업하기 어렵다. 여러 가지 가스나 진공에 사용하는 기구는 붕규산 유리로 만든다. 비커, 역류기, 증류 기구, 다양한 플라스크에 사용된다. 붕규산 유리로 만든 피펫이나 부피 측정용 플라스크 같은 측정용 기구나 반응병은 더 내구성이 있다.

## (3) 유리기구 사용시 주의 사항

실험실에서 가장 빈번하게 대하는 실험기구가 바로 유리기구이다. 이들을 사용할 때 주의할 점은 다음과 같다.

- 유리는 원래 깨지기 쉽다는 것을 항상 명심하여야 한다.
- 유리 기구를 사용하기 전 깨지거나 금이 간 곳이 없는지 꼭 확인하고 사용해야 한다. 특히 고온으로 가열하거나 진공을 걸어줄 때는 반드시 확인하여야 한다.
- 실험에 사용할 화합물이 유리와 반응하는지 항상 염두에 두고 실험한다. 예를 들면 HF, NaOH 등은 유리와 반응한다.
- 유리 기구를 운반할 때는 반드시 두 손으로 잡고 옮기고, 오븐에서 말린 유리 기구는 뜨겁기 때문에 반드시 두꺼운 가죽장갑 등을 착용하고 만지도록 한다.
- 유리 기구를 세척할 때는 적당한 솔을 사용하고 너무 무리한 힘을 가하지 말아야 한다.
- 진공을 가하는 유리 기구는 보통 유리와 달리 두꺼운 진공용 유리를 사용하여야 하고, 로타리 증발기(rotary evaporator), 여과 플라스크, 진공 데시케이터, 듀와 플라스크(Dewar flask) 등에는 플라스틱 망이나 절연 테이프로 감아 깨어질 때 유리 파편이 날아가지 않게 보호한다. 플라스틱으로 된 제품으로 대체할 수 있으면 그렇게 하는 것도 좋은 방법이다. 감압증류를 할 때는 둥근 플라스크를 사용하라. (여과 플라스크 등 특별하게 진공에 견디게 만들어진 것을 제외하고는 삼각 플라스크는 내파하기 쉽다.) 1 L 이상의 둥근 플라스크를 감압하는 것은 아주 위험하다. 곡률(curvature)이 작은 유리 기구가 상대적으로 튼튼하다.
- 고온으로 가열한 후 차가운 실험대 위에 올려놓으면 유리가 깨지고 내용물이 흘러나오게

되므로 주의하여야 한다.

- 깨진 유리는 절대 맨손으로 만지지 말고, 장갑을 끼고 만져야 한다.
- 분별 깔때기를 사용할 때는 수시로 코르크를 열어 압력을 조절하여야 한다.
- 유리봉을 자를 때는 줄이나 다이아몬드 칼로 한 번에 흠집을 낸 후 꼭 장갑을 끼고 금이 간 부분을 형철 등으로 싸고 몸 바깥쪽을 향하여 부러뜨린다. 그리고 꼭 고온 가열로 잘라진 끝 부분을 부드럽게 한다. 고온 가열이 가능하지 않는 경우는 줄로 돌려가며 갈아낼 수도 있으나 고온가열 방법이 더 바람직하다.
- 유리 마개가 꼭 끼어 빠지지 않는 경우는 절대 힘으로 해결하려 하지 말고 뜨거운 물에 담가두어 유리가 팽창하게 한다. 이 방법이 안 되는 경우에는 chloral hydrate : glycerin : water : conc. HCl(2:1:1:1)의 특수용액을 사용한다. 유리 마개를 제거할 때는 꼭 장갑을 끼고 한다.
- 일반 가정용 보온병은 유리가 너무 얇아 아주 쉽게 깨져 위험하므로 Dewar flask 대용으로 사용할 수 없다.
- 증류장치에는 냉각수가 흐르는지 반드시 확인하고 가열을 시작한다. 특히 유기화학 실험실의 용매 정제장치의 경우 일반적으로 나트륨과 같은 금속들을 사용하므로, 용매가 다 증발되고 맨틀이 직접 유리 기구를 가열하게 되면 아주 위험하게 된다. 특히 단수가 될 경우는 반드시 냉각수를 확인하여야 한다.
- 유리 기구를 사용할 때 가장 빈번하게 일어나는 안전사고는 유리관을 호스나 고무마개 등에 끼울 때 발생한다. 고무마개나 고무관에 유리관이나 유리봉을 끼울 때는 다음과 같은 순서에 따라 한다.
  - 고무마개나 고무관의 지름과 유리봉의 지름이 서로 잘 맞는지 확인한다.
  - 유리봉을 볼로 끝을 무디게 한다.
  - 유리를 물이나 글리세롤 등으로 윤활한다.
  - 두꺼운 장갑을 끼고 천천히 돌려 가며 조심스럽게 끼운다.
- 유리 가공장소는 가열물에 따라 충분히 떨어진 장소에서 직사광선을 피하고 바람이 없는 장소를 선택한다.
- 작업대는 버너가 넘어지거나 가공이 끝나 유리를 치울 때 조심하여야 하며 연기가 나지

않도록 하여 결함이 없도록 한다.

- 가공은 초자가공 버너를 사용한다. 산소는 일정 압에서 공급되는 장치로 하고 역류하는 것이 없도록 한다. 먼저 가스를 점화하고 그 후에 공기 또는 산소를 서서히 공급하여 온도조절을 행한다. 도중에 꺼질 경우 처음부터 다시 조작한다.
- 역화 방지를 위한 유리수봉기를 배관도중 버너 앞에 부착한다.
- 가공을 일시 중지할 때는 불꽃을 끄거나 적게 한다.
- 경질유리 가공에는 공기를 사용하는 것을 원칙으로 하고 산소 사용은 파이렉스 급 이상 가공에 사용한다.

#### (4) 핸드버너

- 핸드버너를 사용할 때는 주위에 가열물이 없도록 한다.
- 버너 이동 중 불이 꺼질 때는 즉시 공기, 산소, 가스 순으로 끄고 다시 첨가할 때는 가스, 공기, 산소 순으로 조작한다.

#### 사고사례

장해부위 : 좌측 귀 바퀴 뒤면 절상불휴 제해 ('83. 11. 10)  
사고원인 : 파열  
발생상황 : 신규 주입한 대형유리 챔버(파이렉스 유리 400 mm를 장진한 챔버 내를 진공 배기할 때 진공 배기밸브를 연 직후(2분 후) 챔버가 파괴하여 비산 유리 파편에 부상.  
대 책 : 챔버 밖에 보호 커버를 씌움.  
대형 챔버일 경우 금속제로 대체.  
유사제해 : 부상제해 1건 ('79. 6. 21)  
경미제해 1건 ('84. 10. 4, '81. 4. 13)

#### 사고사례

장해부위 : 우수 친지 내측 2 간접부(절상) 휴업제해 ('80. 11. 17)  
사고원인 : 조직상 파손  
발생상황 : 빈 유리 샘플병에 플라스틱 받침을 받칠 때 우수 2지와 손가락과 손가락 사이에 압착시 샘플 병이 파손되어 부상  
대 책 : 이봉 전시 고무시트를 바닥에 깔고 행한다.  
유리부가 꼭 맞게 들어간 구멍을 여는 기구사용, 나사식 샘플병 사용  
유사제해 : 부상제해 1건 ('79. 8. 1)  
경미제해 2건 ('97. 7. 1, '98. 2. 19)

#### 사고사례

장해부위 : 물적 재해 ('79. 12. 13)  
사고원인 : 폭발  
발생상황 : 유리가공을 한번 중단하기 위해 가스 밸브와 산소 조절기를 닫고 그 장소를 이탈했다. 닫힌 조절기로부터 산소가 미량 누출하여 버너 및 가스고무관에 역류하여 이것을 알아차리고 다시 한 번 첨가하려 했을 때 폭발.  
대 책 : 버너를 개조하여 손으로 조작하는 밸브를 설치한다. 조절기는 STOP 밸브가 아닌 것을 주지시켜 철저히 지키도록 한다.

#### 사고사례

장해부위 : 우수약지 부근 절상 (불휴제해) '94. 8. 26  
사고원인 : 부주의  
발생상황 : 오염유리를 넣은 비닐 포대를 뜯었을 때 유리면에 절상이 됨.  
대 책 : 장갑 사용  
포대를 파손에 강한 소재로 사용  
작업 전 위험감지활동 강화  
유사제해 : 경미상 ('70. 2. 3)

## 사고사례

장해부위 : 플라스틱 파손 (‘98.3.17)

사고원인 : 급격한 냉각

발생상황 : 반응액이 들어있는 3ℓ의 삼각 플라스크를 내온 140℃부터 130℃로 냉각하기 위하여 물에 1~2초 담근 플라스크를 올릴 때 급격한 온도차 때문에 플라스크에 금이 가 반응액이 냉각되고 드래프트 내에서 넘침.

대 책 : 내온이 90℃ 이상인 경우는 공기 중에서 냉각한다.  
플라스크에 상처가 있는 것은 깨어 버린다.

## 7.9 유기 용제

### 7.9.1 유기용제 개요

유기용제는 연구를 진행하는 동안 여러 물질을 녹이는 데 매우 편리한 것이다. 유기물을 취급하는 연구실은 물론, 유기물과 관계 없는 것 같은 연구실에서도 상당한 양의 유기용제를 보유하고 있다. 유기용제를 흡입하거나 몸에 닿거나 하였을 경우 대부분 건강에 좋지 않은 영향을 주는데, 유기용제를 안전하게 취급하기 위한 주의점을 알아 보았다. 특히 유기용제를 많이 취급하고 있는 사람은 정기적으로 건강진단을 실시하는 것이 좋다.

#### (1) 유해성이 높은 유기용제

유기용제 중독 예방을 위해서는, 설비, 환기장치, 작업 환경 측정, 관리(연구실 안전담당자의 선정, 게시, 표시), 저장, 보호도구, 건강진단, 교육 등에 관해서 상세한 규칙의 마련이 필요하다. 다음은 연구실에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 유해성이 높은 유기용제로 취급 방법을 잘못하면 건강을 현저하게 해칠 위험성이 있다.

아세톤, 뷰틸 알코올, 아이소프로필 알코올, 아이소펜틸 알코올, 에틸 에테르, 에틸렌글라이콜, 아세트산, 노말 뷰틸 에테르, 메틸에테르, 오르토-다이클로로벤젠, 자일렌, 크레졸, 클로로벤젠, 클로로포름, 아세트산 아이소뷰틸, 아세트산 아이소프로필, 아세트산 아이소펜틸, 아세트산 에틸, 아세트산 노말 뷰틸, 아세트산 노말 프로필, 아세트산 노말 펜틸, 아세트산 메틸, 사염화탄소, 사이클로헥산올, 다이클로로에테인, 염화아세틸렌, 다이크로로메테인, N,N-다이메틸폼아마이드, 스타이렌, 테트라클로로에테인(사염화아세틸렌), 테트라클로로에틸렌(피클로로에틸렌), 톨루엔, 이황화탄소, 노말 헥세인, 1-뷰탄올, 2-뷰탄올, 메탄올, 메틸 아이소뷰틸 케톤, 메틸 에틸 케톤, 메틸사이클로헥산올, 메틸 노말 뷰틸 케톤, 가솔린, 콜타르 나프타, 석유 에테르, 석유 나프타, 석유 벤젠, 테레빈유 등.

#### (2) 유기용제로 인한 건강장해

유기용제는 일반적으로 휘발성이 높고, 공기 중의 농도는 쉽게 상승한다. 그 결과, 두통, 피로감, 현기증, 구토, 식욕 부진, 복통, 체중 감소, 불면, 불안감, 집중력 저하, 손의 떨림, 기도의 자극 증상, 눈의 자극 증상, 피부 접촉의 이상, 사지 말단부의 동통, 지각 이상, 약력 저하, 시력 저하 등의 자각 증상이 나타난다. 또한, 검사에서는 신경 학문적 검사 이상, 간 기능 장애, 백혈구 감소를 나타낼 수 있다.

#### (3) 주의점과 안전대책

유기용제는 공기 중에서 확산하기 쉽다. 한 사람이 유기용제의 취급 방법을 잘못하면 취급자 자신만이 아니고 주위 사람의 건강을 해치게 되므로 연구실에서는 모두가 유기용제의 취급에 주의하는 것이 중요하다. 아래에 구체적인 주의점과 안전대책을 나타냈다.

##### 1) 주의점

- 공기의 흐름을 한 방향이 되도록 하여, 발산원이 바람이 불어오는 쪽으로 실험한다.
- 유기용제는 손으로 직접 만지지 않고 고무 장갑 등을 사용한다.
- 유기용제를 사용하지 않을 때는 반드시 마개를 해 둔다.
- 실험대 등을 탈지면이나 가재에 담긴 유기용제 나오고 식 있던 후는, 밀폐 가능한 폴리에틸렌 자루에 버린다.

##### 2) 대책

- 유기용제의 사용을 가급적 줄이며, 유해성이 적은 용제나 증발하기 어려운 용제로 바꾼다.
- 작업방법을 개선하여 발산을 최소화하기 위한 고려가 필요하다.
- 설비의 밀폐, 자동화, 원격 조작 등으로 실험자와 용제를 격리한다.
- 국소 배기, 환기 등으로 용제 증기의 확산을 억제한다.
- 전체 환기로 공기 중의 농도를 내린다. 예를 들면, 필요 환기량을 확보할 수 있는 환기팬을 사용하거나 흡기구를 확보하여 실험실 전체에 기류를 통하도록 한다.
- 정기적으로 작업 환경, 작업 상태를 체크한다.

## 7.10 실험관계자의 안전 마음가짐

### 7.10.1 실험 전 관리자 마음가짐

연구실 책임자는 “다스림에 있어서 혼란을 잊지 말라”의 정신을 갖고 자신의 연구실실정에 맞게 안전을 철저히 확보하기 위해서 가능한 구체적으로 주의를 환기시킬 필요가 있다. 같은 것도 몇 번 주의를 되풀이 하여 이해나 기억을 철저하게 하는 이외에 안전대책은 없

다.

실험을 시작할 때는 안전의 기본에 대해서 설명을 할 것-폭발, 화재, 중독 등도 언급하고 사고에 대한 주의를 환기시킨다. 문 단속, 도난 등에 관해서도 빠뜨리지 않는다.

실험시 보호구 착용유무, 책상의 정리정돈 상태, 실험자의 태도 등을 관찰하여 좋지 못한 연구활동 중사자에게는 주의를 환기시킨다.

실험에 앞서 목적한 바를 최소규모로 사전실험 계획을 한다. 불필요하게 크게 규모를 잡은 실험은 다량의 폐기물과 폐수를 배출하며 그 외에도 만일 사고가 일어나도 확대될 가능성이 뒤따른다. 또한 경제적인 면에도 비능률적인 때가 허다하다.

### 7.10.2 실험 전 연구활동 종사자 마음가짐

다음의 항목은 어느 것이나 초심자뿐만 아니라 모든 실험자가 실험을 시작하기 전에 마음에 새겨 두어야 할 안전에 관한 마음가짐이다.

- 실험 전에 마음을 편안하게 유지하고 급하게 서둘지 말며 마음에 여유를 가질 것, 몸이 불편할 때, 음주했을 때, 실험을 할 마음이 내키지 않을 때 또한 마음이 진정되지 않을 때는 실험에 착수해서는 안 된다.
- 실험대, 선반, 기타 실험실 내외의 정리정돈에 주의하고, 사용한 기구와 약품 등은 청소를 하고 보관할 장소에 저장하고, 필요 없는 것은 실험실 내에 내놓지 않는다.
- 실험실의 출입구는 필히 2개를 확보하고 만일의 경우 빨리 피난할 수 있도록 한다. 화재나 지진 등 긴급한 사태가 발생하였을 때는 단 1개의 출입구로서는 대피하기 곤란한 때가 생길 수 있다.
- 부득이한 경우 이외에는 한 사람 만으로 실험을 하거나 통상시간이 아닌 시간대(심야 등)에는 실험을 하지 말 것. 또한 무리하다고 생각하는 실험을 하지 않는 것이 좋다.
- 실험을 할 때는 실험복을 착용하고 위험이 예상되는 실험에는 보안면, 보안경의 착용을 잊지 말 것. 신체의 부상가운데 가장 곤란한 것은 실명 등의 눈의 부상이다. 약 액의 비산, 유리의 파편 등의 비산이 가끔 일어나므로 보안경은 필히 착용한다. 그러나 보호구 착용이 번거로움과 귀찮은 일도 있으며 철저를 기하기 어렵지만, 자신의 안전을 위하여 반드시 도수 없는 안경을 착용하도록 한다.

- 장갑이나 기타 보호구를 항상 준비하고 소화기, 구급용구, 비상연락망 등의 위치를 확인 해둔다.
- 사에틸납이나 사이안화물과 같은 독성이 강한 약품의 보관 시는 필히 열쇠를 채우고 도난 등이 일어나지 않도록 그 보관에 특히 주의를 한다.
- 실험실 내에 음식물, 흡연 등은 피하고. 또한 손과 얼굴을 씻는 것을 습관으로 한다.
- 소방법에 저촉하는 다량의 가연성 용제 등은 소정의 위험물 창고에 보관하고 각 실험실에 보관하지 않도록 한다.
- 약품용기에는 명칭 등을 쓴 라벨을 붙여두고 약액을 투입한 유리병 등에도 필히 명칭을 기입해서 기억해 둔다. 시간이 경과되면 잊어버려 곤란을 겪는 일이 적지 않다.
- 어떤 실험을 행할 때는 여러 가지 준비가 필요하다. 급하게 생각하고 행함에는 좋은 성적을 얻지 못하는 때가 많다.
- 무리한 실험을 하지 않는다. 실험을 개시했으나 예정대로 진행이 안 되고 마음이 다급하게 되면 장시간 실험을 계속하게 된다. 무리하게 하면 여러 사고로 연결되므로 언제나 강행하는 동작을 하지 말 것이며 일이 막혀 진척이 안 되면 그 실험을 중지하고 다음 기회로 미뤄두고 마음의 여유를 갖는 것이 필요하다.
- 사고 대책을 위한 마음가짐은 실험실에 있어서 각종의 사고를 언제나 예상하고 대응하는 것이 중요하다. 위험성 있는 가스의 누설과 가스 폭발에 대한 대책, 폐기물의 처리법, 급한 환자가 발생될 시 입원 등의 상시 안전대책을 생각한다.
- 지도자의 주의사항을 지킬 것, 실험내용과 사고대책 등에 대해서는 지도자의 주의에 겸허한 귀를 기울여 이를 지키지 않으면 안 된다.
- 실험실 공동사용의 에티켓을 지킬 것. 실험실을 자기 혼자서 사용하는 일은 거의 없고 여러 사람이 공동으로 사용하므로 타인에게 피해를 입히지 않겠다는 도의적 생각에서 자기가 점유하는 공간을 불필요하게 넓게 차지하지 않도록 주의하고 기타 책상의 정리정돈, 사용이 끝난 기구의 정리, 실험중의 태도 등을 주의해야 한다.
- 실험자가 실험을 계속하지 않으면 안 될 상황이면서도, 이유가 있어서 그 장소를 비워야

할 때가 있다. 이와 같이 실험자가 부재시에 생각하지 못했던 사고가 발생할 수 있다. 이러한 경우에는 (1) 정전 또는 누전에 의한 사고, (2) 가열원으로 가스버너(또는 가스 스토브)의 불꽃으로 인한 가스누설 사고, (3) 위험한 가스, 액체 등 실험 중 내용물의 누설, (4) 단수, 수압의 변동으로 인한 사고, (5) 증류 조작 등의 사고, (6) 위험물 보관 등의 사고, (7) 보관중의 폐기물에 의한 사고, (8) 부근의 화재 또는 폭발 등에 의한 사고, (9) 지진에 의한 사고, (10) 폭풍에 의한 사고, (11) 기타 사고 등이 있다. 실험실을 떠날 때는 실험을 중단해야만 한다.

## 참고문헌

- 국립대학 등의 실험 시설 안전조사 보고서, 일본, 2003  
김두환 등, 안전관리실무법규집 고압가스 안전법, 소방법위험물취급, 2003  
김두환, 산업안전보건법업무편람 2006.  
동북대학교, 안전매뉴얼, 일본 동북대학교, 2005.  
미스비시화학연구소, 안전관리규정, 2006.  
요코하마대학교, 실험실습을 위한 안전매뉴얼, 요코하마대학, 1988  
위험물 핸드북, 마루젠, 1987  
위험성 폐기물 1 그 발생, 대책, 처리」 토레 리서치 센터(1990  
특수재료 보안대책 자료집, 일본고압가스보안협회 1997  
화학실험 안전가이드, 化学同人, 2006.  
Bretherick L, Handbook of Reactive Chemical Hazards, 4th ed, 1990.  
CRC Handbook of Lab safety, CRC, 1980  
Heymanns, C., 독일실험실안전지침, 1993.  
OSHA, Laboratory Safety Pocket Handbook, OSHA. 1996  
The American Chemical Society, Safety in Academic Chemistry Laboratories, 1995  
University of Oklahoma, Safety Manual, 2005

## 제 8 장 생물학적 위험과 안전

### 8.1 생물학적 위험요소

#### 8.1.1 생물학적 유해물

미생물과 실험용 동물을 취급하는 실험실에서 발생할 수 있는 위험들은 직접적으로 연구 활동 종사자뿐만 아니라 실험 장소 외의 사람 또는 동물에게도 전파되기 때문에 매우 위험할 수 있다. 그러므로 생물적 재료를 취급하는 연구활동 종사자는 철저한 훈련을 받아야 하고 적절한 자격을 갖춘 사람에게 감독을 받아야 한다. 다중약물 저항성 결핵(multi-drug resistant TB)이라고 불리는 M-폐결핵이 인류를 긴장시키고 있다. 이 질병의 대부분은 마이코박테리움 박테리아에 의한 것이다. 다른 박테리아도 TB의 원인이 된다. 보통 AIDS 환자에 관계된 M. avium-intercellulare(인간에게 전염될 수 있고 소에서 발견할 수 있는 M. kansasii를 포함) TB는 고립된 병원 실험실에 존재할 수도 있다. 폐결핵 박테리아는 부적절한 작업장에서의 수행, 타액으로부터 야기된 공기 중에 떠다니는 에어로졸로부터 이동된다.

사람면역결핍 바이러스(HIV)는 초기에 HIV 감염은 독감처럼 느껴지고 다른 모든 증상이 나타나지 않았다. 이 병의 마지막 단계인 AIDS에 도달하기까지 10년 이상이 걸렸다. 이 단계에서 암이나 폐결핵같이 희귀한 병을 수반할 수 있다. 일반적으로 감염은 청결한 감염물질의 접촉으로부터 발생한다. 그러나 오염된 피의 혈관주사로 부터도 가능하다. 1992년 7월 미국의 47명의 근로자가 작업과 관련된 노출에 감염된 것이 증명되었다. 유입경로는 다음과 같다.

- ① 오염된 날카로운 것으로 베거나 바늘 같은 것에 찔림
- ② 피부 위에 벌어진 상처에 접촉
- ③ 점막 접촉(입, 코, 목구멍의 내면 피부)
- ④ 눈으로 침입(눈 접촉)

#### (1) 전염성 물질

실험실 내에서 식품을 먹거나 물을 마시는 것과 담배를 피우는 것은 금지되는 행동이다. 실험실 내로 음료수나 음식을 가지고 들어오는 것도 허용되어서는 안 된다. 또 손톱을 물어뜯거나 언필, 펜 등을 씹는 좋지 못한 습관을 가지고 있으면서 그 습관을 도저히 참을 수 없는 사람을 연구활동 종사자로 적당하지 않으며 높은 수준의 개인 위생이 모든 요원에게 있어서 필수적인 조건이다. 그리고 직접 입으로 피펫을 사용하는 작업은 적절한 안전장치를 갖추고 시행하여야 한다. 사용 후에는 반드시 피펫을 소독해 두어야 한다.

#### (2) 자기감염

이것은 깨어진 유리조각이나 해부도구 바늘과 같은 날카로운 물건을 잘못 다루어 상처가 났을 때 미생물이 매우 쉽게 피부에 접촉되어 언제나 일어날 수 있다. 자기감염의 위험은 기구의 사용을 완전하게 하고 예방조치를 취하면 줄일 수 있는데 손이나 팔에 베이거나 긁힌 상처가 있다면 실험하기 전에 방수 붕대로 상처를 덮어야 한다. 실험 중에 발생하는 상처의 경우에는 일반적인 1차 치료와 함께 항과상풍 주사를 접종하는 것이 좋다. 그리고 눈에 세균이 침입하는 것을 최소화하기 위하여 보호장비를 사용하는 것이 좋다. 실험 중 필요시 입과 코를 가리는 마스크의 사용도 사정에 따라서는 좋은 예방수단이 될 것이다.

#### (3) 실험복

의복이나 장비를 보호하기 위한 모든 실험복과 덧개는 실험실 비품으로 취급되어야 하고 작업지에서 절대로 빠져서는 안 된다. 이 실험복과 덧개는 반드시 세탁하여 살균처리가 되어야 하며 개인 소지품을 실험복 주머니에 넣어두는 일이 없어야 한다.

#### (4) 실험폐기물

유리조각, 수술용 칼, 주사 바늘 등의 폐기물은 살균한 다음 지정된 용기에 폐기하여야 하고 이 용기에는 분명한 표시가 되어 있어야 한다. 피하 주사기와 바늘은 사용 후에 재생하거나 다시 사용할 수 없도록 부수어서 폐기해야 한다. 또 폐기물의 살균은 실험실에서만 하여야 하고 소각할 재료도 자격을 갖춘 사람에 의해 안전한 방법으로 소각기에 운반될 수 있도록 비닐 백 같은 것에 담아 두어야 하며 소각은 확실하게 이루어져야 한다. 그러므로 이런 실험 조작은 잘 설계된 시설 하에서 실시하여야 한다. 특히 매우 위험한 병원 미생물은 공기여과장치가 부착된 안전한 캐비닛에서 취급하는 것이 바람직하다.

### 8.2 생물학적 안전

#### 8.2.1 생물학적 안전조치 단계

미생물과 생물학적 위험 물질을 다루는 연구실은 특정 감염성 질병에 대한 전염 위험성을 갖고 있는 특별한 곳이다. 역사적으로 많은 연구자들이 미생물과 생물학 연구의 역사를 통해서 실험실에서 감염이 되곤 했다. 이런 많은 사고들이 전염성 물질을 처리할 때 부주의와 미숙한 기술로 인한 것으로 생각된다.

생물학적 위험으로부터 연구실을 안전하게 유지하기 위해서는 적절한 위생계획을 세우고 위험요소를 효과적으로 차단하면 된다. 생물학적 위험요소에 대한 차단 계획은 3단계로 이루어질 수 있다.

1단계는 감염물질에 대한 노출로부터 좋은 생물학적 기술과 적절히 안전한 장비를 사용하

여 연구활동 종사자와 연구실을 보호하는 것이다. 백신의 사용은 이런 방법의 좋은 예이다.

2단계는 시설 설계와 운영체계 상에서 외부환경을 보호하는 것이다. 2 단계 차단의 목적은 연구활동 종사자와 관계자들의 위험물질에 대한 노출을 줄이고, 내제적으로 위험 물질의 외부 환경으로 누출을 막는 것이다.

3단계는 연구실에서의 실천활동과 기술, 안전 장비와 시설 설계를 통해 이루어 질 수 있다.

### 8.2.2 생물학적 안전 규정의 준수

생물학적 위험요소에 대한 가장 중요한 예방책은 연구과정에 표준 미생물학적 실습과 기술에 대한 엄격한 규정 준수에 있다.

감염성 물질이나 오염된 물질을 다루는 연구활동 종사자는 가능한 위험에 대해 숙지하고 위험 물질을 다루는 안전한 방법을 알아야 한다. 연구실 책임자는 사람들에게 이에 대한 적절한 교육을 시킬 책임이 있다.

생물학적 위험에 대한 표준적인 규정에 대한 실습이 위험을 통제하는 데에 충분하지 않을 때, 추가적인 조치가 필요할지도 모른다. 연구실 책임자는 추가적인 안전 실습을 교육시키는데 책임이 있다. 각 연구실은 위험을 최소화하거나, 제거하기 위해서 고안된 연습과 절차를 정하고, 생물학적 위험물질을 다루는 생물 안전 및 운영 매뉴얼을 작성하고 준수해야 한다.

모든 연구활동 종사자에게 생물학적 위험에 대해 통보하여야 하며, 필요한 실습과 절차를 읽고 따르는 것이 요구된다. 적절한 실험실 기술, 안전 절차와 감염성 물질을 다룰 줄 알고 훈련 받은 연구활동 종사자가 연구실 활동을 관리해야 한다.

연구활동 종사자들의 장갑 또는 다른 개인 보호용 장비를 제거한 후, 혈액이나 다른 감염성 물질과의 접촉 후 손을 즉시 씻어야 한다.

확실히 오염되었다면, 가능한 빨리 모든 개인 보호용 장비는 작업 지역을 떠나자마자 즉시 제거하고, 저장, 세탁, 오염 제거 또는 폐기를 위하여 적절하게 지정된 지역 또는 용기에 보관하여야 한다.

사용된 바늘과 칼날은 구부리거나 자르지 않으며 재생시키지 않으며 일회용 주사기에서 떼어 내지 않는다.

오염의 가능성이 있는 연구실 내에서 식사를 하거나, 흡연, 음주, 화장품이나 립스틱 등을 바르고, 콘택트 렌즈를 다루는 것은 금지된다.

음식과 음료수는 혈액이나 다른 잠재적 감염성 물질을 냉동고나 캐비닛 또는 오염이 가능한 곳에는 보관해서는 안 된다.

혈액이나 다른 잠재적 감염성 물질을 포함한 처리과정에서 물질의 에어로졸화 및 분사, 튀기는 것을 최소화해야 한다.

### 8.2.3 생물학적 안전 장비

생물학적 안전과 관련한 안전장비로는 생물학적 안전 캐비닛과 별도의 용기가 있다. 생물학적 안전 캐비닛은 실험실 과정에서 생성된 감염성 에어로졸을 차단하기 위해 사용되는 주요한 장치이다.

앞이 열린 Class I과 Class II의 생물학적 안전 캐비닛은 연구활동 종사자와 환경을 보호하는 데 있어 높은 수준을 제공하는 장치이다. 가스 밀폐형 Class III 생물학적 안전 캐비닛은 연구활동 종사자와 환경을 보호하는 최고 수준의 것이다.

안전 장비도 장갑, 코트, 가운, 구두 표지, 부츠, 방독면, 얼굴 방패와 안전 안경과 같은 개인 보호를 위한 아이템들을 포함한다. 생물학적 안전 캐비닛에서 작업하기 위해 비실용적인 약간의 상황에서, 개인 보호 장치는 사람들과 감염성 물질 사이의 주요한 장벽을 형성할지도 모른다. 그런 활동의 예는 유지보수, 서비스 또는 실험실 능력의 지원에 관해서 어떤 동물성 연구, 동물성 부검, 생산 활동과 활동을 포함한다.

### 8.2.4 개인 보호구

연구활동 과정에 생물학적 위험에 노출 가능성이 있을 때, 연구주체의 장은 적절한 개인 보호구를 이용할 수 있도록 지원해야 한다. 개인용 보호구로는 장갑, 가운, 유체의 방수용 앞치마, 실험실 코트, 모자, 발 덮개, 얼굴 가리개, 마스크, 보안경, 마우스피스, 소생 가방, 포켓용 마스크 또는 다른 환기 장치를 포함한다.

연구실 책임자는 개인 보호장비가 연구실에서 즉시 이용될 수 있도록 비치하거나, 연구활

동 종사자들에게 나누어 주어야 한다.

연구실 책임자는 개인 보호구를 청소, 세탁 또는 폐기할 수 있도록 지원해야 한다.

연구실 책임자는 개인 보호구를 효율적으로 이용할 수 있도록 유지 및 수리 또는 교체해 놓아야 한다.

연구활동 종사자가 혈액이나 전염성 물질을 피부에 직접 접촉할 가능성이 있을 때 장갑을 필히 착용하여야 한다.

가시적으로 더러워지거나 터지고 구멍이 났을 때 또는 보호기능에 문제가 있을 때 즉각 교체할 수 있는 수술 또는 검사용 장갑 같은 일회용 장갑이 준비되어 있어야 한다.

1회용 장갑은 재사용을 위해 씻거나 소독해서는 안 된다.

장갑의 기능에 문제가 되지 않는다면 장갑을 소독할 수는 있으나 구멍이 생기고, 금이 가고, 문제가 생길 가능성이 보이면 폐기해야 한다.

혈액의 분출, 스프레이, 전염성 물질의 에어로졸이 발생될 가능성이 있을 때는 언제나 마스크, 보안경 또는 안면보호대 등을 착용해야 한다.

연구활동 종사자는 감염물질에의 노출 가능성이 있을 때 적절한 보호복을 착용하여야 한다.

혈액이나 전염성 물질로 일반 의복이 더러워질 수 있다면, 실험용 가운, 실험용 코트, 앞치마 등을 착용하여야 한다.

혈액이나 전염성 물질이 튀거나 분사된다면 방수성 옷, 외과용 모자 또는 외투 등을 착용하여야 한다.

신발이 혈액이나 전염성 물질에 잠기거나 오염될 수 있다면, 방수성 보호 구두를 착용하여야 한다.

### 8.2.5 연구실 관리

연구실은 깨끗하고 위생적인 조건으로 유지해야 한다. 모든 장비, 환경과 작업 표면은 적

절하게 청결하여야 하며, 혈액이나 전염성 물질과의 접촉 후에는 소독해야 한다.

(1) 작업대에 혈액이나 전염성 물질의 유출되어 오염이 확인된다면, 작업 표면은 실험이 끝난 후 적절한 소독약으로 청소해야 한다.

(2) 플라스틱 포장지, 알루미늄 포일 또는 뒷면이 방수가 되는 흡수성 종이와 같은 보호용 덮개를 장비와 작업 표면을 보호하는 데 사용할 수 있다. 이 덮개도 명백히 오염되었을 때와 일정한 실험이 끝나면 제거되고 교체해야 한다.

(3) 혈액이나 전염성 물질로 오염될지도 모르는 장비는 서비스 또는 수송에 앞서 주기적으로 점검하고 필요하다면 소독이 필요하다.

(4) 혈액이나 전염성 물질로 오염될 수 있는 가능성을 가지고 있는 모든 박스, 통, 캔을 재 사용할 때에는 정기적으로 조사, 청소, 소독한다.

(5) 오염되었을지도 모르는 부서진 유리 제품은 손으로 직접 집어서는 안 된다. 그것을 사용하려면 브러시, 먼지 팬, 집게, 면봉, 핀셋과 같은 기계적 수단을 사용하여 청소해야 한다.

(6) 샘플로 채취한 혈액 또는 전염성 물질은 보관 및 수송 전에 라벨을 붙이고 밀폐 및 누출 방지가 되는 용기 또는 색칠된 가방에 두어야 한다. 만일 용기의 바깥쪽에 누출 가능성이 있으면, 더 큰 용기를 사용하여 이를 담고 밀폐해야 한다. 만일 주 용기에 유출이 의심되면, 누출 방지 및 저항력이 있는 외부 용기를 사용하여야 한다.

(7) 혈액이나 전염성 물질로 오염된 재사용할 수 있는 물품은 씻고 또는 재처리하기에 앞서 오염을 제거해야 한다.

### 8.2.6 전염성 폐기물 처리

유리조각, 수술용 칼, 주사 바늘 등의 폐기물은 살균한 다음 지정된 용기에 폐기하여야 하고 이 용기에는 분명한 표시가 되어 있어야 한다. 피하 주사와 바늘은 사용 후에 재생하거나 다시 사용할 수 없도록 부수어서 폐기해야 한다. 또 폐기물의 살균은 실험실에서만 하여야 하고 소각할 재료도 자격을 갖춘 사람에 의해 안전한 방법으로 소각기에 운반될 수 있도록 비닐 백과 같은 것에 담아 두어야 하며 소각은 확실하게 이루어져야 한다.

그러므로 이런 실험 조각은 잘 설계된 시설 하에서 실시하여야 한다. 특히 매우 위험한 병

원 미생물은 공기여과 장치가 부착된 안전한 캐비닛에서 취급하는 것이 바람직하다.

거하고 손을 반드시 씻어야 한다.

### 8.3 생물관련 실험실의 보호조치

#### 8.3.1 일반적 조치

실험실은 곤충, 새, 동물(특히 쥐, 참새, 개미, 바퀴벌레 등)의 방제가 철도록 설계되어야 한다. 실험실에서 사용하는 실험 동물은 완전한 시설에서 사육되고 보호되어야 한다. 미생물과 같은 기생생물은 병원성을 나타낼 수 있으므로 이런 위험성이 높은 생물을 취급할 때는 적절한 예방대책을 세워야 한다. 또 몇몇 종류의 곤충과 거미에게 물리거나 쓰이면 위험하므로 이러한 곤충을 사용할 때는 곤충의 탈출을 방지하는 것이 예방대책이 된다.

#### 8.3.2 감염의 제어

감염의 적절한 예방은 감염성 질병의 전염과정에 근거를 둘 수 있는데 다음과 같은 단계별 예방대책을 강구할 수 있다.

- 감염원인 물질과 근원
- 감염원에서 배출되는 형태
- 감염원의 전파형태
- 숙주에 침입하는 형태

이러한 것을 원인에 따라 적절히 차단함으로써 감염을 예방할 수 있으므로 차단방법을 확립할 필요가 있다.

#### 8.3.3 특별한 억제

병원성이 있다고 알려진 특수한 미생물은 (바이러스, 세균, 곰팡이) 훈련된 연구활동 종사자에 의해 특별히 고안된 실험실에서 취급되어야 한다.

#### 8.3.4 개인보호와 위생

개인보호는 위험에 직면할 가능성이 있는 모든 사람 즉 실험자, 보조원, 관리인, 청소원 등에게 적용된다. 이들에게는 최고 수준의 위생이 유지되어야 하는데 그렇게 하기 위해서는 최선의 시설이 되어있어야 한다. 특히 옷을 갈아입을 수 있는 시설과 손을 씻을 수 있는 설비가 실험실 자체에 구비되어 있어야 하고, 일회용 종이 수건을 사용하는 것이 가장 바람직하다. 그리고 마스크, 수술용 장갑, 보안경, 안면보호대 등과 같은 매우 정교한 보호장비를 때에 따라 사용하도록 요구된다. 또 실험실에서 떠날 때는 실험복과 모든 장비를 제

#### 8.3.5 소독

모든 장비와 실험복은 고압살균이나 적당한 화학약품으로 소독하는 것이 절대적으로 필요하다. 고압살균기의 정상적인 유지와 검사에는 숙련된 기술자가 있어야 하며, 화학적 살균제는 그 자체가 매우 높은 위험성을 지니고 있으므로 사용에 주의해야 한다.

#### (1) 바이러스성 감염

바이러스성 감염의 위험은 혈액과 같은 인체 물질을 취급하는 모든 연구활동 종사자에게서 제거되어야 한다. 이러한 재료의 취급에 대한 실험실의 규칙은 모든 연구활동 종사자에게 알려져 있어야 하고 규칙에 잘 따를 수 있게 해야 한다.

#### (2) 알레르기

연구활동 종사자는 알레르기 반응을 일으킬 수 있는 곤충에 대해 알고 있어야 한다. 거미와 같은 특정한 종류의 곤충에게 오랫동안 노출될 때는 보호복의 사용이 요구된다. 때로는 화학물질도 알레르기 반응의 원인이 된다. 포르말린은 알레르기성 천식과 피부병을 일으킨다고 알려져 있다. 또 피마자와 같은 식물류도 매우 불쾌한 알레르기 반응의 원인이 된다. 일부 식물 추출물 역시 높은 위험성을 가지고 있는데 이러한 물질은 독성물질로 고려되어야 한다. 알레르기 반응이 인식되거나 우려될 때는 언제나 의사와 상담할 필요가 있다.

#### 8.3.6 인간의 혈액 또는 다른 가능한 전염성 물질을 다루는 데 필요한 추가적인 절차

(1) 혈액이나 다른 가능한 전염성 물질에의 노출 위험성이 있는 연구실은 혈액성 전염병 기준에 따라서 노출 조절 계획안을 작성해야 한다.

(2) 보편적인 예방조치는 항상 준수해야 한다. 보편적인 예방조치는 혈액, 보이는 혈액, 다른 잠재적 감염성 물질을 포함한다.

- 생체 유체 타입의 식별이 어렵거나 불가능한 환경 아래에서, 모든 신체 체액은 잠재적 전염성 물질로 간주해야 한다.
- 가시적인 혈액을 포함하지 않는 한 대변, 코의 분비물, 가래, 침, 땀, 눈물, 소변 또는 구토에 대해서는 보편적인 예방조치는 적용하지 않는다.

- 인간의 다른 잠재된 전염성 물질로는 다음과 같은 것들이 있다.
    - 정액
    - 질 분비물
    - 심낭의 체액
    - 뇌척수의 체액
    - 관절의 체액
    - 늑막의 체액
    - 복막의 체액
    - 양수
    - 치과의 치료과정에서 발생하는 타액
    - 혈액이 섞여 보이는 오염된 어떤 신체 체액이라도, 체액 간에 구별하기 어렵거나 불가능한 상황의 모든 체액
    - 사람으로부터 떼어낸 조직 또는 기관(피부 이외의 것)
    - 인체면역결핍 바이러스(HIV)가 감염된 세포나 조직 배양체, 기관 배양체
    - HIV나 B형 간염 바이러스(HBV)를 포함한 배양액이나 용액
    - HIV, HBV나 사람에게 감염성 있는 병원체에 감염된 실험동물로부터 분리된 혈액, 기관 또는 다른 조직들
- (3) 연구활동 종사자는 장갑 또는 다른 개인 보호용 장비를 제거한 후와 혈액이나 다른 잠재성 전염성 물질과 접촉한 후에 즉시 손을 충분히 씻어야 한다.
  - (4) 오염된 바늘이나 칼 등은 캡을 다시 끼우지 않으며, 구부리거나 깨지 않고, 다시 사용하지 않는다. 올바르게 폐기될 때까지 적절한 용기에 보관한다.
  - (5) 샘플로 채취한 혈액이나 다른 잠재적 전염성 물질은 수집, 저장, 또는 수송하는 동안 누출을 방지하고, 라벨을 붙이거나 색칠하여 구분된 용기에 두어야 한다. 만일 주 용기가 오염되거나, 구멍이 나 새고 있으면 이를 담을 수 있는 외부 용기를 사용하여야 한다.
  - (6) 혈액이나 다른 잠재적 감염성 물질과 접촉하고 있었던 장비는 조사하여야 하고, 서비스나 또는 수송에 앞서 실험실 사람들에 의해 충분히 오염을 제거하여야 한다.
  - (7) 만일 장비가 완전히 오염을 제거할 수 없으면, 즉시 관찰이 쉬운 경고성 라벨을 오염된 장비에 붙이고 장비와 접촉하고 있을 법한 모든 사람에게 통지하여야 한다.
  - (8) 추가적으로 적절한 보호용 옷을 준비하고, 예상된 노출의 작업과 정도에 의해 착용하여

야 한다.

- 혈액이나 다른 잠재적 전염성 물질로 옷이 오염될 가능성이 있으면, 가운, 실험실 코트, 앞치마 등의 옷을 착용하여야 한다.
- 혈액이나 잠재적 전염성 물질이 튀기거나 분사될 가능성이 있으면 액체에 대한 방수성이 있는 옷(두건, 두포, 방수용 구두 커버 등)을 착용하여야 한다.

(9) 모든 작업 후 작업장이 명백히 오염되었을 때나 오염물 유출 후 즉시 적절한 소독약으로 오염을 제거하여야 한다

## 8.4 생물학적 안전 수준

4단계의 생물학적 안전 수준은 실험실의 기능, 활동, 전염성 물질의 위험성 정도, 실험시설, 안전장비, 실험실 실습과 기술 등을 모두 고려하여 설명할 수 있다.

### 8.4.1 생물학적 안전 수준 1 (Bio-safety level 1)

특성과 내용이 이미 잘 알려진 미생물을 사용하며 건강한 성인에게는 질병을 일으키지 않기에 적절한 안전 규정 실천, 안전 장비와 시설들의 준비만으로 위험을 막을 수 있다. 이러한 안전 수준에서 통제되는 바이러스로는 개의 간염 바이러스 등이 있다. 이런 미생물들은 인간의 질병 과정에 연관되지 않은 기회주의적 병원균들이다. 이것들은 어린이, 노인들, 혹은 면역 결핍 증세나 면역이 약화된 사람에게 감염을 일으킬 수 있다. 생체 내에서 여러 계대를 거친 백신 균주는 단순히 그들이 백신 균주라는 이유 때문에 무독성으로 생각하여서는 안 된다.

### 8.4.2 생물학적 안전 수준 2 (Bio-safety Level 2)

다양하고 심각한 인간 질병과 연관되어 있고, 사회 안에 넓은 범위로 존재하며 중간 정도의 위험성을 갖는 매개체를 가지고 연구를 할 때 적용되는 단계이다. Hepatitis B, Salmonellae, Toxoplasma spp. 등의 미생물들이 이 수준의 대표적인 것들이다.

에어로졸을 발생 가능성만 낮고 미생물을 다루는 좋은 기술을 가지고 있다면 밀폐공간이 아니라면 이러한 물질들을 안전하게 사용할 수 있다. 이러한 물질들을 갖고 작업할 때의 기본적 위험성은 우연한 사고로 발생하는 자동 접종, 섭취, 또는 피부나 점막에 노출되었을 때를 포함한다.

높은 에어로졸 가능성을 갖는 작업은 연구활동 종사자에게 노출 위험성을 증가시키는데, 이러한 경우 기본적으로 차폐된 시설 또는 장비 안에서 행하여야 한다.

#### 8.4.3 생물학적 안전 수준 3 (Bio-safety Level 3)

에어로졸에 의한 감염 가능성이 확실하며 그 결과 질병이 심각하거나 치명적인 결과를 가져올 수 있는 작업을 하는 경우가 이 단계에 적용된다. 이 단계에 해당하는 미생물로는 결핵균, Louis encephalitis virus, Ocilla brunette 등을 포함한다. 이러한 병원체를 갖고 일하는 사람들에게 자동 접종, 섭취 등이 기본적인 위험성에 속한다.

#### 8.4.4 생물학적 안전 수준 4 (Bio-safety Level 4)

생명을 위협하는 질병의 높은 위험성을 갖는 위험한 병원체를 갖고 실험하는 단계이다. 감염된 동물과 감염된 임상 물질 등에 대한 모든 조작이 연구실 내 모든 사람들에게 노출과 감염의 높은 위험성을 갖고 있다.

Lassa Fever 바이러스는 4단계에 해당되는 대표적 미생물이다. 이러한 병원체에 대해서는 질병통제본부나 국립보건원에서 추천하는 생물 안전 수준에 따르면 되고 병원성, 유독성, 항생제 내성 및 다른 요인에 대한 정보가 없으면 작업이 변경되어야 한다.

전형적으로, 임상 실험실은 환자 병력 같은 적절한 정보 없는 샘플 또는 전염성 병인을 가질 수 있는 샘플들을 받는다. 게다가, 그런 샘플은 여러 가지의 물질(예를 들면, 곰팡이 배양, 항상성 테스트, "일상적"으로 제출되는 가래 샘플)에 대하여 미생물학적 시험의 넓은 요구와 함께 종종 제출된다.

현실적으로 실험실에서 임상 샘플의 위험성을 없애는 표준 절차를 확립하는 것은 연구실 책임자의 책임이다. 특별한 환경(예를 들면, 출혈성 발열)을 제외하고 임상 샘플의 처음 과정과 분리체의 동정은 bio-safety level 2에서 요구되는 실습, 시설과 안전 장비의 조합을 이용하면서 안전하게 실시할 수 있다.

생물학적 안전 캐비닛(I 등급 또는 II 등급)은 감염성이 있거나 기본성질 시험이 요구될 때 사용되어야 한다. 이 지역에 들어가는 사람들은 생명 유지 장치에 의해 환기되는 양압을 갖는 실험복을 입으며, 생명 유지 장치는 경보와 비상시 산소통을 포함한다. 이 지역의 입구는 공기 밀폐 문을 갖는 기압으로 되어 있어야 한다. 연구활동 종사자가 실험 지역을 떠나기 전에 실험복 표면의 오염을 제거하기 위해 화학적인 샤워시설이 설치되어야 한다. 실험복으로부터의 배출 공기는 연속하여 설치된 HEPA 필터의 2 세트를 통해 여과하여야 한다. 이중의 여과 시설, 배출 팬과 자동적으로 시작하는 긴급 사태 전원이 필요하다. 작업 지역 안의 기압은 외부의 압력보다 낮게 유지되어야 한다. 긴급 사태 조명과 통신 시

스템이 필요하다. 작업지역으로부터 제거될 쓸모없는 물질의 오염을 제거하기 위해 이중문을 갖는 자동 멸균기가 필요하다.

생물학적 안전 수준 III 또는 IV 를 포함하고 있는 연구는 적절한 인가 절차를 가지고 있어야 한다. 일반적으로 연구에 대해 생물학적 안전위원회(Biological Safety Committee)에 보고되어야 한다. 생물학적 안전 수준 I 또는 II를 위해, 연구활동 종사자는 가이드라인과 검사에 대해 위원회와 함께 일하도록 강하게 권고한다. 모든 생물학적 안전 캐비닛은 위원회에 의해 조사되고 인증된 것이어야 한다.

표 8-1. 감염성 물질에 대한 추천 생물학적 안전 수준

생체 안전 단계	감염물질	실행(연습)	안전장비 (1 단계)	안전설비 (2 단계)
1	건강한 성인에게서 병의 원인이 알려지지 않음	일반적인 미생물학적 실행	요구되는 것 없음	개방형 실험대
2	인간의 병과 잠재위험이 결합됨=자기접종, 섭취, 점액질의 막 노출	BSL-1 실행 - 한정된 접근만 허용 - 인체 잠재위험 경고 표시 - sharps 예방조치 - 요구된 오염을 제거하거나 의학적 관리정책으로 정의하는 인체안전 매뉴얼	물방울 또는 에어로졸의 전염성 물질을 다룰 때 사용되는 Class I 또는 II의 BCSs(생물학적안전캐비닛) 또는 물리적 격납함, 실험복, 장갑, 안면마스크 등	BSL-1+ 압축
3	에어로졸로 이동될 가능성이 있는 전염성 또는 독성 에이전트: 병은 치명적이거나 치사의 결과를 가져올 수 있다	BSL-2 실행 - 접근의 규제 - 모든 폐기물의 정화 - 세탁 전 모든 실험복의 정화	BSCs에서 클래스 I 또는 II 또는 특수 설계된 BSCs에서 사용되는 다른 물리적 억제 장치, PPEs: 방호복, 장갑, 호흡용보류호구	BSL-2+ 복도 접근을 물리적으로 차단 자체적인 밀폐, 무순환 실�험실 내부의 부정기류
4	매우 위험성이 있거나 생명에 치명적인 질병 또는 공기적 전염성을 내재한 위험한 물질 또는 전염성의 위험성을 알 수 없는 물질	BSL-3 실행 - 입실 전 의복 갈아입기 - 퇴실시 샤워 - 퇴실시 설비의 모든 오염물질을 제거	BCS의 class III에서 지침된 모든 절차 또는 전신으로 조합된 BCS, 양압 개인용실험복	BSL-3+ 건물이나 고립된 지역의 분리 전용화된 적용/소비, 진공과 분산시스템

### 8.5 생물학적 안전 캐비닛 사용

공수성 미생물에의 노출은 연구실 종사자의 감염 또는 연구 물질의 오염을 일으킬 수 있다. 생의학적 기술의 발전은 여러 안전 장치를 제공해 왔으나 인간의 실수 또는 과오를 다 막을 수는 없다. 부주의와 부적절한 방법의 장비 사용으로부터 오는 위험은 매우 심각할 수 있다.

연구실의 병원균 누출은 공기 장벽과 배출용 에어 필터의 청소에 의해 막을 수 있다. 인증된 시험 방법과 장비를 사용하고, 자격을 갖춘 사람들이 설치 후 연간 기준에 맞추어 유지보수를 하여야 한다. 캐비닛이 옮겨지거나 필터가 교체되고 난 후에 인증 또한 필요하다. 만일 필터가 교체된 후 캐비닛은 첫 번째 오염을 제거하여야만 한다. 이러한 일들은 자격을 갖춘 사람에 의해 이루어져야 한다. 만일 연구실의 생물학적 안전 캐비닛이 인증되지 않았다면, 인증 기관의 전화번호와 이력기록을 안전관리 부서에 문의한다. 여기에는 3가지 시작 단계가 있다.

- (1) 불을 켜다.
- (2) 공기의 유출입이 방해 받고 있지 않은지 확인한다.
- (3) 캐비닛 안에서 작업을 하기 전 최소 5분간 팬이 작동하도록 한다.

일부 캐비닛은 자외선 등을 갖추고 있는데 주간에는 꺼져 있어야 한다. 캐비닛에서 연구의 전후에 손은 살균성 비누로 잘 씻어야만 한다. 연구활동 종사자는 밀착된 소매부리와 고무장갑, 긴 소매 가운을 입도록 권장된다. 실험 지역의 내부의 표면은 70%의 알코올로 철저히 소독하여야 한다. 캐비닛의 용량에 맞추어 일을 하며 필요한 모든 것은 작업 시작 전에 넣어 둔다. 아무 것도 캐비닛의 앞쪽의 유입구 또는 후방 배출 그릴에 놓지 않는다. 모든 물질이 캐비닛에 놓이고 난 후에, 일을 시작하기 전에 2-3 분을 방치한다. 불필요한 공기의 흐름을 막기 위해 방안에서는 활동을 최소화 한다.

작업이 시작되면 중간에 중단되지 않도록 한다. 손과 팔을 포함하여 물건의 움직임은 공기 장벽을 붕괴시키고, 공수성 오염 물질의 누출을 허용하는 난기류 흐름을 일으킬 수 있다. 작은 원심분리기 같은 기계의 회전에 의해 발생하는 난기류는 캐비닛 안의 공기의 흐름을 방해하여 오염된 공기의 누출을 시키기에 충분하다. 만일 원심분리기를 캐비닛에서 사용하여야 하면, 원심분리기가 작동하는 동안 캐비닛에서 다른 연구 활동을 수행하지 않는다.

보통의 실험실 오염 통제 절차와 무균 기술이 생물학적 캐비닛 사용시에도 필요하다. 생물학적 오염물질이 접촉된 장비는 오염이 제거될 때까지 캐비닛 안에서 나와서는 안 된다.

생물학적 안전 캐비닛에서는 분젠버너(Bunsen Burner)를 사용하지 않는다. 화염은 공기 중에서 난기류를 일으키며 열은 HEPA 필터에 손상을 입힐 수도 있다. 만일 실험 과정에 화염의 사용을 필요로 하면, 가벼운 파일릿 버너를 사용하여야 한다. 사용하더라도 난기류가 최소가 되도록 작업 공간의 배후에서 가볍게 이용한다.

## 8.6 실험동물의 안전 취급

실험동물은 새로운 약물의 평가, 질병에 대한 기작, 바이오 마커의 탐색 등 여러 분야에 이용되고 있으며 의학, 생물 등의 과학 분야와 우리의 일상생활에 실질적으로 많은 도움을 주고 있다. 여기에서는 동물 실험시 주의할 사항과 연구활동 종사자의 자세에 대해 언급하였다.

### 8.6.1 실험동물과 동물실험

#### (1) 실험동물과 실험용 동물의 정의

##### 1) 실험동물

실험동물(laboratory animals)이란 생물학, 의학, 약학, 수의학, 축산학, 심리학 등의 연구 목적에 부합되도록 육성·번식·생산된 동물을 지칭한다. 야생동물이나 가축도 실험에 사용되므로 이들을 합쳐서 실험용 동물이라 부르는 수도 있으나, 실험동물은 유전적으로 규제되고 육성환경도 명확한 점에서 야생동물이나 가축과는 구별되는 수가 많다.

##### 2) 동물실험

동물을 사용하여 의학적인 목적을 위하여 실험하는 자연과학의 한 방법을 말하며, 실험대상에는 인간을 제외한 원생동물에서 포유동물까지 모두 포함되며, 그 중에서도 특히 흰쥐, 기니피그, 토끼, 개, 고양이 등의 작은 동물들이 자주 이용된다.

실험동물은 생리학, 생물학, 축산학, 수의학, 약학, 치의학, 농학 등에 널리 이용되는데, 특히 의학에서 인체를 대상으로 한 연구에 인류와 가까운 동물을 실험의 대상으로 하는 것을 말한다. 실험의 결과는 결과분석에 따라 신중하게 인체에 적용되며 이 과정에서도 여러 가지 시도가 진행되고 있다. 가장 많이 쓰이는 곳은 세균학과 면역학 분야로 여러 종류의 세균을 실험용 동물에게 주사하여 세균의 면역성, 분리, 독(毒) 등의 시험 및 치료를 위한 연구실험을 한다.



그림 8-1. 대표적인 실험 동물들

표 8-2. 미생물 제어에 따른 실험 동물의 구분

보유균	의미	미생물상태	만드는 법	유지시스템
무균동물 (Germfree Animals)	무균처리를 통하여 얻으며 어떠한 미생물 및 기생충을 검출할 수 없는 동물	검출 가능한 미생물 없음	제왕절개, 자궁절단에서 유래	아이솔레이터
노토바이오츠 (Gnotobiotics)	보유한 미생물 명확하게 알려진 특수하게 사육된 동물	모두 명물이 명확	무균동물로 명확히 정의된 미생물을 정착	아이솔레이터
SPF 동물	특별히 지정된 미생물, 기생충이 없는 동물. 단 지정되지 않은 미생물 및 기생충이 반드시 없는 것은 아님	가지고 있지 않은 미생물이 명확함	무균동물. 노토바이오츠에 미생물 자연정착	베리어 시스템
일반동물	감염된 미생물이 확인이 안된 동물	미확인	자연번식	일반환경

## 8.6.2 동물 사육실의 관리

동물 사육실의 실험동물 관리는 지정된 관리자에 의해 특별한 계획 하에서 조심스럽게 이루어져야 한다. 동물 사육실의 필수적인 설비로는 환기장치, 온도 조절장치, 수세설비, 안전 전원장치, 설치류의 방어를 위한 특수방책 등이 있다.

- (1) 동물로부터 연구활동 종사자에게 자연적인 감염이 일어날 가능성이 있다.
- (2) 실험으로 감염된 동물에서 질병의 전파가 일어날 수 있다. 실험 과정에서 감염된 동물은 안전한 사육 상자에 넣어서 제한된 장소에 격리시켜야 한다. 또 이것을 취급하는 연구활동 종사자는 적절한 보호복을 착용하여야 하며 잘 훈련되어 있어야 한다. 물리거나 긁히는 상처를 방지하기 위해서는 항상 조심하여야 하고 설치류에게 물리거나 동물의 배설물에 접촉 또는 단순히 동물에게 접촉되더라도 인체에 질병이 전파될 수 있다.
- (3) 알레르기 반응은 동물의 털, 깃털, 먼지, 곰팡이로부터 유래될 수 있는데 알레르기 반응의 형태는 두통, 재채기, 피부, 발진, 기타 여러 가지 증상으로 나타난다. 알레르기 반응을 많이 나타내는 사람은 특별한 종류의 실험에는 적당치 않음을 뜻하는 것이다.
- (4) 위험 예방조치  
동물 사육실은 해충의 침입이 방지되어야 하며 바닥과 배수구는 연구활동 종사자에게 물리적인 위험을 주지 않도록 설계되어야 한다. 젖은 신발은 미끄러지기 쉬우므로 적절한 신발을 착용해야 한다.  
동물에 의한 상처는 비감염성 동물에 의한 것이라 하더라도 보고하여야 하며 적절한 조치를 취해야 한다. 금속제 사육상자나 장비, 파손된 기구의 예리한 끝은 위험성이 있으므로 적당한 방법으로 처리하여야 한다. 그리고 위험한 화학물질을 담은 병이나 용기는 안전하게 운반하고 안전한 장소에 두어야 한다. 필요한 경우 안전 표지를 부착한다.
- (5) 동물 사육실편제물 처리  
동물 사육실 관리의 중요한 부분으로 폐기물의 처리방법은 동물 사육실 밖에서 감염이 일어나지 않도록 확실하게 해야 한다. 그러므로 모든 동물의 배설물, 폐기물, 작은 동물의 사체는 처리하기 전에 살균하여야 하며 큰 동물이나 방사선 실험에서 사용한 동물의 경우에는 지역 보건 기관의 조언과 협조를 얻어 적절한 처리해야 한다.

## 8.7 생물학적 위험폐기물 관리

생물학적 폐기물이란 생물 관련 실험 등의 과정에서 발생하는 부산물 등을 의미한다. 생물학적 위험폐기물로는 전염성 폐기물과 화학적 폐기물이 있을 수 있다.

### 8.7.1 폐기물의 종류

#### (1) 전염성 폐기물

- 전염성 물질과 관련된 생물체의 배양물 및 보관물
- 인간의 피와 피에 오염된 물건
- 병리학상의 폐기물
- 오염된 날카로운 것,
- 오염된 동물성 시체, 신체 부분과 깔짚
- 외과, 부검과 다른 의학 절차로부터의 폐기물
- 생물관련 실험실의 쓰레기
- 격리된 쓰레기 (생물안전 위원회에 의해 비 전염성으로 결정되지 않는 것)
- 병리학적 물질의 오염의 가능성이 있는 물질이나 장비

#### (2) 화학적 폐기물

- 제약 쓰레기
- 전염성 체액으로 오염된 실험실 시약
- 세포독성 및 항종양성 물질과 접촉했던 모든 일회용 물질
- 전염성 물질에 오염될지도 모르는 화학제품

### 8.7.2 폐기물 처리

생물학적 폐기물의 적절한 처리를 위하여 다음과 같은 절차와 규정을 지켜 처리해야 한다. 생물학적 폐기물의 적절한 처리에 대해 잘 모른다면 안전관리 부서에 문의해 처리한다.

- 인가된 소각 장치를 이용해 소각한다.
- 충분한 시간과 온도에서 증기 살균 방법으로 처리한다.
- 전염성 물질을 파괴하기 위해 충분한 화학 소독제의 접촉 시간, 농도, 양이 고려되어야 한다.

- 방사성 생물학적 폐기물은 방사성 폐기물을 위해 필요한 조건에 따라 처리되어야 한다.
- 처리된 생물학적 폐기물은 지방 자치단체의 쓰레기에 합류해서는 안 된다. 모든 연구실의 쓰레기는 지방 자치체의 쓰레기 처리에 합류되기 전에 날카로운 것과 주사기를 포함하여 모든 생물학적 폐기물이 어떤 방법으로 다뤄지는지 확실하게 평가되어야 한다.
- 폐기될 모든 생물학적 쓰레기는 생물학적 위험 표시가 있는 봉투에 담겨야 한다. 오염된 모든 날카로운 것은 전용 용기에 동봉해야 한다.

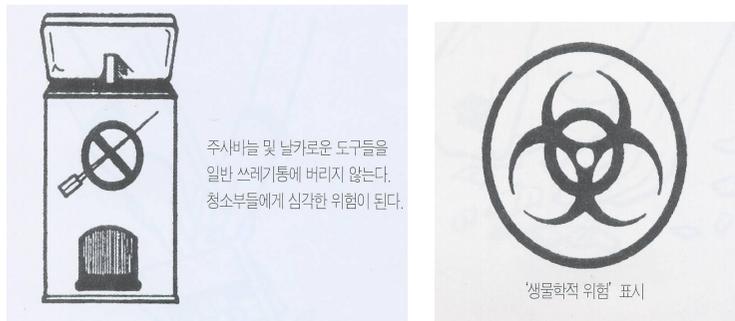


그림 8-2. 생물학적 위험 라벨

## 참고문헌

- 동북대학교, 안전매뉴얼, 일본 동북대학교, 2005.
- 일본 안전공학 협회, 안전공학, vol. 39, No.1, 2000.
- 일본산업기술총합연구소, 안전가이드라인, 2006
- 한국산업안전공단, 실험실 안전지침, 1999.
- Carl Heymanns, 독일실험실안전지침, 1993.
- CRC, Handbook of Lab safety, CRC
- OSHA, Laboratory Safety Pocket Handbook, OSHA. 1996
- OSHA, SLTC Safety and Health Program, OSHA. 1999.
- Safety in Biology Lab (Video)
- <http://medcity.com>

## 제 9 장 물리적 위험과 안전

### 9.1 개요

물리학 분야에 관계된 연구실들도 방사선, 자기장 및 저온, 전기, 화학, 기계, 가스 실린더, 폐기방법 등 매우 다양한 위험요소를 포함하고 있다. 이러한 특성은 일반 다른 학분 분야의 연구실에 비하여 다양한 위험 요소를 갖게 된다. 따라서 일반 분야를 비롯한 특수한 각 분야에 대한 안전사항이 고려되어야만 한다. 이러한 안전은 연구실 책임자 및 연구활동 중 사자뿐만 아니라 방문자를 포함한 개인의 안전 환경과 기준을 확보하여야 한다. 그러므로 이러한 물리분야 실험실에 있어서 연구활동 종사자들의 재해 예방을 위한 정보와 가이드를 제공하고자 한다. 특히 자기장, 레이저 등의 위험요소에 대해 자세히 다룬다. 방사선 분야 역시 매우 중요하나, 방사선 분야에 관한 위험은 연구실 안전법 외에 방사선법에 의해 별도 관리가 되고 있기에 본서에서는 생략하였다.

그림 9-1. 방사선과 자기장을 사용하는 물리 실험실

### 9.2 자기장과 극저온 안전

#### 9.2.1 자석과 극저온

##### (1) 자기장의 특징

초전도 자석에 의해 나타난 가장 큰 위험은 주변으로 퍼지는 자기장(fringing field)이다. 핵자기 공명 시스템과 같은 장치에서 영구자석이 사용되었다면, 시스템에서 모든 전원이 꺼져있다 하더라도 자기장은 남아 있다.

저온 실험실에서는 자기장을 가하는 자석에 대해서 자기장은 일정 시간에만 작동시킨다. 사람들은 자석을 보고 자기장이 가해지고 있는지 아닌지를 알 수 없으며 인증받은 사람(관리자)의 언급이 없다면, 자기장이 존재한다고 가정해야 하고 모든 예방 대책을 따라야 한다.

자기장은 자석 측면과 위, 아래로 문과 벽 그리고 바닥으로 전파된다. 자기장의 세기는 자석에 접근함에 따라 더욱 증가한다. 자기장으로부터 위험에 사물과 사람은 5가우스(G) 라인 밖의 안전이 고려되어야 한다.

##### (2) 자기장에 의해 존재하는 위험들

강한 자기장은 강자성 합금들을 강하게 끌어들이기 때문에 위험을 만든다. 강자성 금속 합금들은 철, 니켈, 코발트를 포함한다. 많은 합금들이 이러한 원소들을 포함하지만 잘 알려진 300 시리즈 스테인리스 강은 비자성(非磁性)이다. 대부분의 연장과 장비에 이용되고 일부 수술도구에 이용된다.

강한 자기장은 다음과 같은 위험을 가져올 수 있다.

- 발사체로서의 위험
- 외과 수술에서 삽입(이식)의 위치
- 전기적, 역학적 삽입(이식)장치들의 정지

렌치나 펜 같은 고정되지 않은 금속 도구는 자기장의 중심으로 끌려온다. 이러한 도구는 자석과 가까이 있을 때 자기적 중심으로 향하여 당기는 자기력처럼 발사체가 될 능력을 갖고 있다. 이 금속 발사체는 자석과 물체 사이에 있는 어떤 사람에게도 심각한 상해를 줄 수 있다.

강자성 금속들은 때때로 외과적인 교정과 보철 장치에 사용된다. 자기장은 외부로부터 금

속 고정기를 비틀어지게 하는데 이는 고정되고 있는 사람에게 고통을 주거나 조직에 위험을 주며 위협적인 삶의 환경을 가능하게 만든다.

일부 심장박동기, 생체 자극 장치, 신경 자극 장치들은 기계적으로 작동하고 자기장으로 인해 정지할 수도 있다.

심장박동기나 보형물이 없는 사람들에게 대해서는 자기장은 현재 직접적인 위험으로 알려져 있지 않다. 일반적으로 환자들은 자기공명영상장치(MRI)의 2 테슬라(20,000 가우스)의 자기장 하에서 검진을 받으며 실험적 장치는 부작용 없이 10 테슬라까지의 자기장을 받고 있다.

### (3) 출입금지 구역

5 가우스 이상 발생시킬 수 있는 자석이 있는 모든 방은 문에 경고표지를 갖추어야 한다. 출입금지 구역은 5가우스 라인 안의 영역(방과 복도 등)을 포함한다. 심장박동기나 기계적인 작동 보형물을 지닌 사람은 이 영역의 출입을 제한해야 한다.

5 가우스 라인은 방 안에 표시해야 하며 표지에는 지시사항은 안전표지에 설명된다.



그림 9-2. 자기장 위험구역 표지 부착



그림 9-3. 자기장 위험 및 출입 금지 경고 표지

표 9-1. 정 자기장의 지속적 노출에 의한 ACGIH 한계치

ACGIH threshold limit values for continuous exposure to static magnetic fields	
<b>Abbreviations used in this table:</b> G – Gauss; a unit of magnetic field intensity, equal to 0.0001 Tesla mT – millitesla T – Tesla; magnetic field strength is measured in Tesla TWA – time weighted average  <b>Note:</b> 1 Gauss (G) = 0.1 millitesla (mT)	
5 G (0.5mT)	Highest allowed field for implanted cardiac pacemakers
10G (1.0mT)	Damage to watches, credit cards, magnetic tape, and computer disks
30G (3.0mT)	Kinetic energy hazard from small ferrous objects
600 G (60mT)	Allowed TWA for routine exposure (whole body) (8-hour TWA*)
6000 G (600mT)	Allowed TWA for routine exposure (extremities) (8-hour TWA*)
20,000 G (2T)	Whole body ceiling limit (no exposure allowed above this limit)
50,000 G (5T)	Extremity ceiling limit (no exposure allowed above this limit)
* TWA exposure time is normally a concern only for extremely high field exposures to the whole body.	

<sup>1</sup>2003 TLVs® and BEIs® based on the "Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices," ACGIH Worldwide, p. 142.

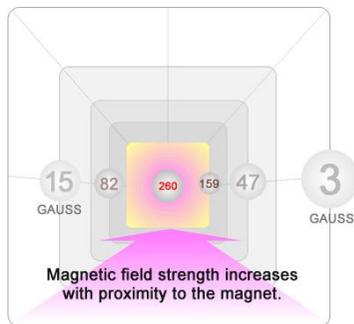


그림 9-4. 자석에 접근함에 따라 증가하는 자기장의 세기

#### (4) 액체 극저온의 특성

초전도 자석은 액체 헬륨과 액체 질소 두 가지 극저온 물질을 사용한다. 자연적으로 발생하는 불활성 가스인 헬륨은 약 4 K 온도에서 액체가 된다. 색과 냄새가 없고 불연성이고 유독성이 없다. 초전도 상태의 자석으로 유지하기 위해서 액체 헬륨 용기 내에 담는다.

질소는 자연 상태에서 가스이며 약 77 K에서 액체가 된다. 이 또한 색깔과 냄새가 없으며 불연성이고 유독하지 않다. 액체 헬륨 용기를 둘러싸고 있는 차폐체를 냉각하기 위해 사용된다. 액체 질소는 가끔 액체 헬륨을 사용하지 않는 실험실에서 그 자체로 냉각체로서 사용된다.

일반적으로 사용하는 동안, 액체 냉각제들은 증발하게 되고 일상적으로 지속적인 공급이 요구된다. 냉각제는 진공용기가 있는 곳에 전달될 것이다. 거의 모든 커다란 액체 질소용 진공용기(160 L-170 L)는 자성체를 위해 사용된다. 고자기장의 영역은 잠재적 위험이 있다. 일부 극저온 그룹에서는 자석으로부터 채워진 진공용기까지의 최소 이격 거리를 확보하기 위해 목재가 사용된다.



그림 9-5. 액체 질소 공급시 보안경 착용 예

#### (5) 극저온에 의한 위험

액체나 가스로서의 헬륨과 질소는 다음과 같은 위험이 있다.

- 액체 또는 냉각 가스는 극저온 화상의 원인이 될 수 있다.
- 극저온 액체를 채우는 동안은 과산화 액체가 만들어지는데 이는 가연성 물질에 떨어질

때 화재의 위험이 있다.

- 한 영역에 많은 양의 가스가 누설되어 환기가 잘 안되면 질식의 원인이 될 수 있다.
- 액체의 극저온과 이로 인한 냉각 증기는 심각한 동상이나 저온 화상을 일으킬 수 있다. 이는 주로 연결 호스와 다른 장치들이 매우 차갑게 될 때 용기에 액체를 채우면서 발생하는 위험이다. 연결 호스에 손을 대거나 옮기면서 장치의 다른 부분이 피부를 동결하거나 장비의 겉 표면에 붙을 수 있다. 보호 장갑과 얼굴 보호구는 극저온 화상을 방지하기 위하여 착용해야 한다. 흡수성 의류는 자주 볼 수 있는 하나의 위험이다. 두터운 양모 셔츠와 샌들과 함께 착용된 양말은 극저온에 선택될 수 있고 위험에 봉착되게 된다.

저온 액체를 공급하는 동안, 대기에 과산화 액체가 남기 때문에 공급관이나 파이프상에 압축된다. 이러한 과산화 액체가 기름이나 그리스와 같은 가연성 물질에 떨어지게 되면 화재가 발생할 수 있다. 이를 예방하기 위해 이러한 액체가 떨어지는 표면은 비가연성이거나 깨끗하도록 유지해야 한다.

잘 환기되지 않는 장소에 누출되는 헬륨이나 질소 가스는 공기와 치환될 수 있으며 질식은 유발할 정도의 안전하지 않은 상태까지 산소 함유량을 줄이게 된다.

가장 큰 위험은 자석이 작동하는 동안이 될 것이다. 그러나 자석을 사용한 후에 질식의 위험은 급랭되는 동안에 발생하게 된다. 자석이 초전도성을 잃을 때 급랭 현상이 발생하게 되며 액체 헬륨은 가스 상태로 변하게 되는 요인이 된다. 이렇게 많은 양의 가스는 자석을 꺼낼 때 발생하게 된다. 일단 자석의 급랭이 시작되면 바로 그 장소에서 물러나야 한다. 일단 급랭이 시작되면 멈출 기회가 없다. 빠져 나온 가스는 실내 산소 부족 환경의 원인이 될 수 있다. 실내의 산소 농도가 측정되고 19.5 %가 충분히 넘을 때까지 실내로 재진입을 시도하지 말아야 한다. 순간적으로 장비가 꺼지는 등의 일이 있다 하더라도 산소의 양이 10 % 이하 일 때 다시 방으로 들어가면 안 된다. (이러한 환경에서는 10분 이내에 의식을 잃게 된다)

헬륨 순환장치의 연결로 인하여 헬륨은 방으로 새지 않기 때문에 헬륨 위험은 크게 감소한다. 질소는 대부분의 경우에 있어서 가스 밀도체로서 전형적인 위험이 더 크다. 헬륨은 40 K (-230°C) 이상의 온도에서 상대적으로 방 내부 공기의 온도를 상승시킨다. 이는 저온 유지 장치로부터 유출된 후에 즉각적으로 발생한다.

액체 질소는 종종 160-170 ℓ 진공용기의 압축된 질소 가스의 공급원으로도 사용되며 200 psi까지 압력을 만들게 된다. 이러한 진공용기에 서서히 가스를 채울 때 가스의 압력 초과로 인해 처음으로 누출될 때 공급 라인에서 압력이 초과되지 않도록 하는 것이 중요하다.

압력은 밀폐된 공간에서 저온 액체 물질에 의해 만들어진다. 대기압의 수 백배의 압력(압축된 가스 용기에서 압력보다 더 큰 거의 10,000 psi까지)은 액체 질소로 완전히 채워진 공간에 의해 만들어진다. 그 때 밀봉하면 이 압력이 만들어지기 시작한다. 적절한 고압을 만들기엔 편리한 기술인 반면, 적절한 설계가 이용된다면 고의적이 아닌 폭탄을 만들기엔 매우 효과적이고 치명적인 방법이 될 수 있다. 압력 안전밸브와 또는 버스트 디스크는 액체 질소가 채워지는 용기나 배관에 설치되어야 하며 그 때 밀봉해야 한다.

낮은 레벨의 압력은 주의가 요구된다. 저온 용기들은 열용량을 최소화하고 열전도의 누설을 감소하기 위해 매우 얇은 진공의 공간으로 만들어져 있다. 그들은 결과적으로 최고의 낮은 압력 비를 갖는다. 이러한 용기에서의 초과 압력으로 인한 위험 환경과 잠재적인 폭발을 만들 가능성이 있다. 이러한 일은 질소 운반용기 압력 건물의 부주의한 사용으로 매우 자주 발생한다.

진공용기를 방 아래로 운반할 때 무게 중심으로부터 먼 쪽에서 움직이면 진공용기는 쓰러지게 된다. 그들을 꼭대기 부분을 걸지 말고 측면을 이용하여 이동하여야 한다.

질소 용기의 이동은 무겁고 관성이 크다. 내용물을 포함한 160 ℓ의 진공용기는 68 kg 정도의 무게가 나갈 것이다. 특별히 방향을 바꾸거나 빠르게 이동시키지 않는다.

## 9.3 레이저 안전

### 9.3.1 레이저의 위험

레이저(laser)는 강력하고 빛의 고 방향성을 만드는 특성이 있으며 만일 어떤 대상에 직접적, 반사적 또는 집중되면 부분적으로 흡수되고 표면이나 그 내부의 온도를 상승시킨다. 따라서 잠재적으로 재료를 변형시키거나 변질시킬 수 있는 원인이 된다.

이러한 특성은 세포 조직에 해로운 생물학적 영향을 줄 수 있다. 레이저 방사 파장이 충분히 짧을 때(적외선 또는 자외선 영역 스펙트럼) 광화학 효과들은 위험하다. 저 전력 레이저는 위험하지 않으며 전동보다 더 위험하지 않으며 빛과 같은 정도를 방출하게 된다.

일부 레이저는 매우 짧은 시간에 망막에 손상을 가할 수 있을 정도로 가시광선을 집중시킨다. 대부분 학부용 일반 물리 실험에 사용되는 레이저는 펄스가 아닌 지속파(continuous wave)인 저 전력(0.5~3.0 mW)으로 헬륨-네온 레이저 등이다. 하지만 연구에 사용되는 레이저는 이보다 출력이 매우 강한 레이저를 사용하기 때문에 아래와 같은 레이저의 분류를 통한 안전 사항을 고려해야 한다.

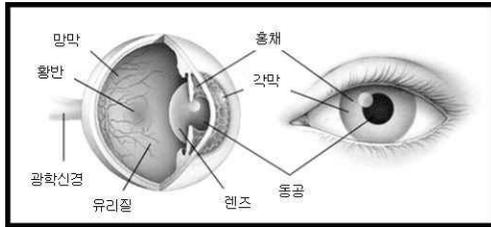


그림 9-6. 눈의 구조와 명칭

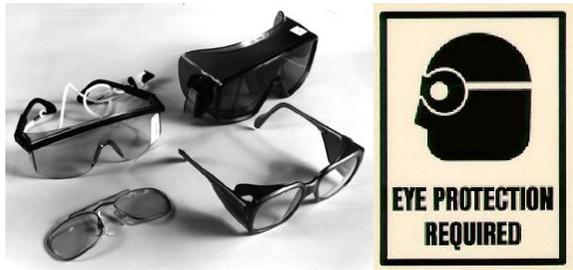


그림 9-7. 보안경과 보안경 착용표지

표 9-2. 레이저의 등급별 위험도

등급	경고표지	출력 (mW)	위험도 내용
I		<0.39	본질적으로 안전함. 모든 잠재 위험으로부터 안전함. 예: 레이저 프린터, CD 플레이어, CD ROM장치
II		<1.0	저전력 레이저로서 지속적으로(>15분) 직접 쳐다보면 위험. 예: 공개 실험용 레이저, 레이저 포인터, 레이저 스캐너 등
IIIa		<5.0	육안으로 직접 보면 눈에 약간의 위험. 예: 등급 II의 경우와 거의 동일
IIIb		<500	육안으로 직접 보면 위험. 레이저 종사자는 보안경 착용. 레이저 반사의 발산에 의한 것을 보는 것은 안전. 예: 분광기, 입체인쇄
IV		>500	레이저 반사의 발산에 의한 것을 보는 것도 위험, 피부위험과 화재위험 가능. 예: 수술, 연구 드릴링, 커팅, 미세기계가공 등

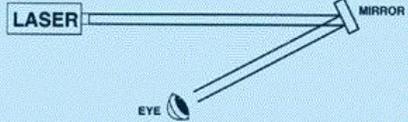
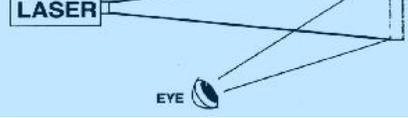
	<p>직접적으로 보는 가장 위험한 형태</p>
	<p>. 반사경에 의해 반사된 빔을 보는 형태로서 빔의 과장이 변하긴 하지만 위험을 고려해야 한다.</p>
	<p>조사된 빔을 평면거울에 반사된 간접적으로 보는 형태로 직접 반사된 것을 보는 것 보다 덜 위험하다.</p>
	<p>확산된 빔을 바라보는 형태, 고출력 레이저인 IV등급을 제외하고 일반적으로 위험하지 않다.</p>

그림 9-8. 레이저를 보는 각도에 따른 위험도

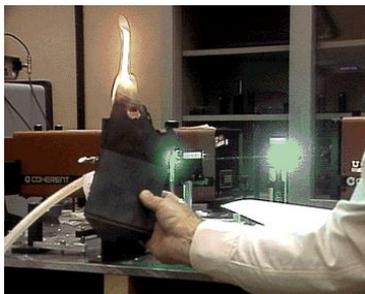


그림 9-9. 레이저에 의한 화재 위험

### 9.3.2 레이저의 전기 안전

#### (1) 전력배선

- 제어용 조작 이외에 다른 것은 만지지 말 것.
- 한쪽 손만을 이용할 것.
- 보안경을 착용할 것.
- 차단기로부터 얼굴을 돌리고 전원 차단기의 한쪽 면에 서 있을 것.
- 빠른 동작으로 밀거나 당길 것.
- 모든 사람이 회로가 작동 될 것이라는 것을 인지하도록 주지할 것.
- 장치가 활성화 될 때까지 차단기를 닫지 말 것.

#### (2) 축전기

축전기 또는 축전장치는 0.25 J의 충격 용량 가지거나 더 큰 전기적 쇼크 위험을 수반할 수 있다.

##### 1) 위험의 형태

- 방전되거나 연결이 해제된 경우라 하더라도 축전기는 다시 전기적 충전을 하게 된다. 대기의 전기적 방해물의 통과는 축전기에 전기적 전하를 남길 수 있다.
- 방전 차단은 전기적 아크의 원인이 될 수 있고 결과적인 에너지 유출은 방사, 열 또는 불꽃 물질의 날림에 의해 화재의 원인이 될 수 있다.
- 축전기 내부의 결함은 종종 저장체(축전기) 과열을 발생시킬 수 있다.
- 내부 결함이 발생하면 케이스 과열의 원인이 되거나 누출은 전기적 아크 혹은 다른 점화 원인에 의해 점화가 되면 전해 축전기는 심각한 화재 위험이 될 수 있다.
- 위의 모든 위험과 관계해서 유도회로에 사용된 축전기는 일시적인 상태에서 충전되거나 과전압이 생성될 수 있다.

##### 2) 축전기에 대한 안전 고려사항

- 퓨즈나 저항, 전체 에너지를 확산시키거나 소거할 수 있는 고장 전류 제한 장치를 사용해야 한다.
- 적당한 봉입과 방어물의 사용에 의해 오류 동안 발생할 수 있는 발사체에 대비한 방호를 해야 한다.

- 단자, 케이블 또는 노출된 전기적 접촉과 연결된 사고를 예방하기 위해 고안된 봉입을 해야 한다.

- 록(lock) 또는 인터록(interlock) 접지된 금속 봉입을 해야 한다.

- 축전기 근처의 가연성 물질들을 줄임으로써 화재를 억제하거나 방지한다.

- 일정시간 적절하게 방전되는 접지 시스템을 이용한다.

- 적절한 계측기를 사용하여 축전기 지역에 일반적인 접근을 허용하기 전에 각 축전기가 방전되고 단락되고 접지되어 있는 지를 확인해야 한다.

- 확실한 접지, 단락 그리고 내부 잠금 장치를 제공해야 한다.

- 표지나 전등 같은 적절한 경고 장치를 제공해야 한다.

- 축전기가 충전되어 있는 동안 보수를 할 때는 각 축전기에 짧은 스트랩(strap)을 놓아야 한다.

- 전체 길이를 볼 수 있는 케이블 연결이 된 접지 장치 설명서가 제공되어야 한다.

- 안전 유리, 전압용 고무 장갑과 절연봉과 같은 안전장치를 공급해야 한다.

- 고장 상태라 할지라도 가능한 고전압으로부터 적절하게 방호되는 계측제어와 보조회로를 제공해야 한다.

- 변형에 대비한 일반 검사를 수행하고 축전기의 누출(leak)이 발견된다면 적절하게 제거해야 한다.

- 접촉점에 방전 저항이 달린 접지막대, 절연된 접지 케이블을 제공해야 한다. 이러한 접지 막대는 전체적으로 큰 정전용량의 축전기 접지에 사용하면 안 된다. 저항이 부착된 대형 정전용량 단락 막대는 고정설비의 일부가 되어야 한다.

- 25 J 이상의 축전기의 접지 방법은 다음과 같이 실행하여야 한다.

- ① 접지 막대 저항을 점검할 것
- ② 방전시간을 계산할 것

③ 장갑을 낀 손을 적절한 시간 동안 접지할 것

④ 전압을 측정할 것

⑤ 실제적인 곳에 접지 막대를 설치할 것

### 3) 전자장비(전원공급장치 포함)

본 절에서 논의되는 장비는 회로와 측정 및 모니터링, 관측 그리고 기계적, 전기적, 화학적 현상의 기록에 사용되는 측정 장비와 회로를 포함한다. 측정 장비와 고려되어야 할 조절 장치는 접지상태에서 300 V 이상에서 작동되고 15 J 을 초과하는 에너지가 저장되는 시스템을 갖고 사용되는 것에 한정된다.

고려해야 될 전원공급 장치는 단자간 600 V를 초과하는 교류나 직류 출력 또는 접지상태에서 300 V 이상을 초과하는 전위에서 작동할 수 있는 용량을 갖는 것들에 한정된다.

### 4) 측정장비와 조절장치

- 만일 제어나 인터록이 잘못되면 개인은 위험지역에서 잘못 접근할 수 있다. 이러한 오류는 인터록과 관련된 릴레이(relay)가 전기적으로나 기계적으로 손상될 때 또는 이러한 인터록과 릴레이가 사람의 작동에 의해 바이패스(bypass)될 때 결과적으로 초래할 수 있다.

- 오류 신호나 잘못 된 장치를 읽는 것은 위험한 상태를 초래할 수 있다.

- 장비상의 초과 전압이나 유도전압에 의한 제어 또는 고전압 성분과의 접촉은 작동하는 사람에게 위험할 수 있다.

- 보호 퓨즈의 부적절한 조합이나 회로 차단기는 전기적 오류나 과부하 때문에 전기적 전도체의 과열을 초래할 수 있다.

- 위험은 제어를 위해 반드시 요구되지 않는 시스템 하에서 측정 장비에 의해 만들어질 수 있다.

- 회로가 정격이 아니라면 보호 릴레이 코일과 그것들의 전기적 접촉은 회로에 있어 일시적으로 단락되어 녹아서 닫히거나 타서 열리며 그래서 차후 동작에 대해 보호회로는 제어하기 불가능하게 된다.

### 5) 위험을 제어하기 위한 안전 주의사항

① 주요 장치의 동작 중에 존재하는 일반적인 고장 상태를 고려하기 위해 주 전력 장치와 접해 있는 곳에서 적절히 격리된 제어와 모니터링 되는 전기적 제어와 계측 회로가 제

공되어야 한다.

- ② 변압기, 고 임피던스 부품 또는 전파, 빛 또는 소리 등과 같은 절연 장치들의 사용에 의해 위험 환경이 존재하는 것은 절연해야 한다.
- ③ 최소한 지정된 회로의 전압으로 연결 사용된 회로와 보호 퓨즈만큼 높은 정격 전류 또는 회로에서 사용되는 회로 차단기를 갖는 계측에 있어서 릴레이와 연동장치를 제공해야 한다. 그리고 릴레이나 연동장치의 적절한 적용에 있어서 회로의 인덕턴스를 주의 깊게 관찰해야 한다.
- ④ 전력 손실은 위험한 상태를 초래하지 않기 때문에 이중 안전 방법에서의 회로를 설계한다.
- ⑤ 작동 오류나 오류 장치가 위험을 초래 할 수 있는 시스템 영역에서 예측 가능한 조절, 지시 또는 장치가 제공 되어야 한다.
- ⑥ 각각의 특별한 명령에 대해 순방향 피드백(양 되먹임)을 갖는 원격 조절되는 장치 상태의 명확한 지시를 제공해야 한다.
- ⑦ 계측기 또는 제어기를 연결이나 해제할 때 계기용 변류기 사용에 있어서 단락 장치가 제공되어야 한다.
- ⑧ 고전압과 고전압 장치 사이에는 충분한 절연장치와 장벽을 제공해야 한다.
- ⑨ 조절 회로상 적절한 과부하 방지를 제공하고 큰 과전류 방지를 갖는 회로 연결로부터 지 전류 정격 도체를 보호해야 한다.
- ⑩ 조절 버튼, 단자 등을 위한 고정된 라벨링 절차를 제공해야 한다. 그리고 모의 제어 표의 사용을 권장해야 한다.
- ⑪ 단위 제어회로는 전기적으로 전체적 시스템 제어로부터 격리되어 있기 때문에 큰 시스템에 대하여 제어 장치를 준비해야 한다.
- ⑫ 제어에 있어서 시스템 설치 이전에 시뮬레이션 오류 또는 최상한 오류에 의한 제어를 시험해야 한다.
- ⑬ 한 공정 후에 자동적으로 세팅 되어야 하는 바이패스된 인터록이 보이는 가시적인 지

시계를 제공해야 한다.

- ⑭ 인터록과 문서상태의 일반적인 검사가 계획되어야 한다.

## 6) 전원공급장치

- 수동적인 또는 자동적인 스위치 장치를 통하여 전원 회로에 입력 연결을 만든다. 부하 공급의 형태에 따른 과전류, 부족전압, 또는 다른 보호장치 제공을 고려해야 한다.
- 저 전압 공급 장치 또는 제어회로에서 분산되는 것으로부터 고전압으로 저장된 에너지를 보호하기 위해 적절한 절연장치 또는 물리적 장벽을 제공해야 한다. 하나의 오류는 상해나 과격한 위험으로 초래하지 않기 때문에 두 가지 절연 방법을 고려해야 한다.
- 분리되고 절연된 봉입에 있어서는 모두 고전압 부품들을 설치해야 한다. 더불어 인터록은 입력 전압이 에너지가 없어지지 않는 한 접근하지 않는 고전압 영역으로 접근하기 어렵도록 요구된다. 그리고 접근은 단지 승인된 사람에 한하여 허용되어야 한다.
- 전원이 꺼져 있을 때 그리고 사람이 고전압 영역에 접근이 허용될 때 전원 공급장치의 접지와 단락에 대해서 수동장치뿐만 아니라 출력회로에 있어서 자동 스위치 또는 접촉이 제공되어야 한다.
- 전원 공급 시스템은 가연성 액체를 최소화해야 한다. 구조는 액체 자체를 포함하여 제공되어야 한다.
- 정상적인 작동 중에 접근이 어렵거나 덮개가 되어 있는 끝에 입력과 출력 연결을 만들어야 한다.
- 주요 입력 스위치는 전원 공급 장치의 시야 내에 있어야 하고 명확히 인식할 수 있어야 한다.
- 특별히 원격 부하나 전원공급장치 상에 있어서 사람에게 경고하기 위해서나 가압된 전원 공급 장치를 나타내기 위해서 표지, 불 빛과 같은 알람을 사용한다.
- 비 가연성 전도 물질의 덮개 또는 방호 벽을 구성하고 오류 상태에 대한 적절한 전도체를 갖는 인접한 건물 에 접지한다.
- 전원 장치 출력에 있어 과부하와 단락 회로 보호를 사용한다.

- 과열이나 화재를 방지하기 위해 원격 작동과 회로의 모니터링은 과부하 또는 단락회로를 보호하게 된다.
- 고 에너지 또는 고 전압에 대한 원격 제어와 회로의 모니터링은 적절하게 격리되어야 하며 설비는 개인적인 상해나 장치의 위험을 최소화하여야 한다.

## 참고문헌

化学実験安全ガイド, 東京化学同人, 2003.

静電気学会編「静電気ハンドブック」オーム社, 1981

田島泰幸監修, 産業おける静電気災害・障害の防止, OHM, 1995,

니혼화섬 학회편, 이화학 방재 지침 집성, 마루젠

일본 화재 학회편, 화재 편람, 공동설립

# 제 10 장 기계적 위험과 안전

## 10.1 기계안전 개요

연구실에서 사용되는 기계 설비는 연구의 성격이나 종류에 따라 매우 다양한 기계들이 사용될 수 있다. 대학 연구실 등에서는 화학기계, 전기기계, 열 유체원동기 등이 많이 사용된다. 그러나 기업연구소와 국공립 연구기관 등의 파일럿(pilot) 공장에서는 훨씬 다양한 각종 기계·설비가 사용되고 있다. 이에 본 장에서는 일반기계의 위험성과 안전의 기본원칙 및 기계·설비의 안전한 작업방법 등을 제시한다.

### 10.1.1 기계 및 기계설비

#### (1) 정의

기계란 서로 다른 2개 이상의 부품이 조립되어 상대운동을 하고 자연적 에너지를 기계적인 에너지로 바꾸는 일을 하는 것을 의미하며 작업을 하기 위해 필요한 기계 및 기타 부대 시설장치로 예를 들면 국소배기장치, 조명 및 절삭유 공급장치 등이 모두 합해진 기계작동을 위한 하나의 시스템 전체를 기계설비라고 정의한다.

#### (2) 분류

기계의 종류를 대별하면 동력기계와 작업기계로 구분되며, 동력기계로는 자동차 등의 원동기류를 들 수 있으며 작업기계로는 선반, 프레스, 밀링 등과 같은 생산기계와 컨베이어, 크레인, 호이스트 같은 운반·하역기계, 불도저, 믹서 등과 같은 건설용 기계 및 이앙기, 탈곡기 등의 농업용 기계 등으로 나눌 수 있다.

또 기계의 사용목적과 구조, 에너지 변환 등에 따라 다양하게 구분 지을 수 있다. 예를 들면 위험기계·기구로 분류는 공작기계 및 금속가공 기계들은 작업의 안전이 크게 강조되는 반면 원동기 화학기계류는 화재·폭발의 위험성이 강조된다.

운반 하역기계들은 와이어로프의 절단 등 구조적인 안전이 요구되며, 제철·제강 기계들은 고온의 용융금속으로부터의 방호가 문제시되며 건설기계류는 전도·봉괴 등이, 전기기계는 감전, 누전이 중요시된다. 따라서 안전측면에서 기계의 구분은 용도별로 분류하여 관찰하는 것이 적합할 것으로 보인다. 주요 용도별 대표적인 기계들을 분류하면 다음과 같다.

- ① 공작기계 : 선반, 드릴링 머신, 밀링 머신, 연삭기 등
- ② 금속가공기계 : 프레스, 전단기, 용접기 등

- ③ 제철제강기계 : 압연기, 인발기, 제강로, 열처리로 등
- ④ 목공기계 : 목공선반, 띠톱기계, 기계대패 등
- ⑤ 운반·하역기계 : 각종 기중기, 컨베이어, 엘리베이터 등
- ⑥ 섬유기계 : 제면기, 제사기, 방적기 등
- ⑦ 화학기계 : 증류탑, 열교환기, 저장탱크 및 각종 화학플랜트 등
- ⑧ 열·유체원동기 : 내연기관, 보일러, 펌프, 공기압출기, 터빈 등
- ⑨ 전기기계 : 모터, 발전기, 차단기 등
- ⑩ 건설기계 : 불도저, 해머, 포장기계, 준설선 등

이외에 광산기계, 제지기계, 수송기계, 인쇄기계 등 많은 분류가 가능하며 분류하기 어려운 각종 전용기계들과 원자력 발전소, 반도체 제조기계 등 새로운 산업에 부응한 신형 기계설비들이 계속적으로 생산되고 있다.

### (3) 기계재해 발생요인

#### 1) 기계적 위험 요인

사과의 원인을 분석하기 위하여 기계의 위험부를 나타내려는 많은 노력들이 지금까지 이루어져 왔다. 한편 이들의 단점을 보완하기 위하여 OSHA 기계방호 가이드(OAHA machinery guarding guide)는 기계의 운전형태(회전, 왕복 등)와 기계와 작동(절단, 편칭, 전단, 굽힘 등)에 의해 분류하는 방법을 제시하였으나 기계의 위험부를 결정하는 가장 좋은 방법은 기계 요소에 의해서 사람이 어떻게 상해를 입느냐를 기준으로 분류하는 방법일 것이다.

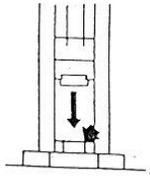
이에 의해 위험요소를 분류할 때 다음과 같은 다섯 가지 사항을 체크해야 할 것이다.

#### ① 1요소 : 트랩(Trap)

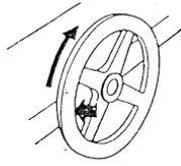
기계의 운동에 의해서 트랩 점(Trapping Point)이 발생할 가능성이 있는가. 즉, 기계의 일반적인 작업 점인 트랩의 위험성을 조사한다.

**손, 발 등이 들어가는 넘점(In-Running Nip Point) 등의 트랩이 끼어드는 곳이 없는가?**

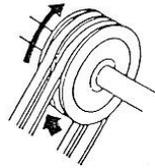
손, 발 등이 닫힘 운동이나 이송운동에 의해서 쉽게 트랩되는 곳이 있는가?



(a) 닫힘 운동의 트랩



(b) 회전이송운동 트랩



(c) 님(Nip)점의 트랩

그림 10-1. 트랩(trap)

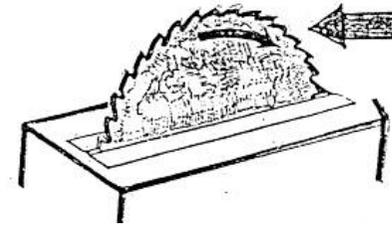


그림 10-3. 접촉(contact)

② 2요소 : 충격(Impact)

운동하는 어떤 기계요소들과 사람이 부딪쳐 그 요소의 운동에너지에 의해 사고가 일어날 가능성이 있는가?

사람과 물건의 접촉: 충격에는 다음과 같은 세 가지 유형으로 구분할 수 있다.

- 고정된 물체에 사람이 이동 충돌
- 움직이는 물체가 연구활동 종사자에게 충격을 줌
- 사람과 물체가 상호 움직임 상태에서 쌍방충돌

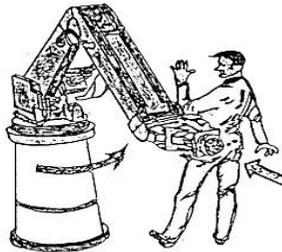


그림 10-2. 충격(impact)

③ 3요소 : 접촉(Contact)

날카롭거나, 뜨겁거나, 차갑거나 또는 흐름으로써 접촉 시 상해가 일어날 요소들이 있는가? (접촉 상태로 움직이거나 정지해 있는 기계를 모두 포함한다)

④ 4요소 : 얽힘 또는 말림(entanglement)

머리카락, 옷소매, 장갑, 넥타이, 고리 등이 작동중인 기계설비에 말려들어 갈 가능성이 있는가? 즉 연구활동 종사자를 기계설비에 말려들게 하는 사고를 일으킬 수 있는 경우이다.



그림 10-4. 얽힘 또는 말림(entanglement)

⑤ 5요소 : 튀어나옴(ejection)

기계요소나 피 가공체가 기계로부터 튀어나올 위험이 있는가?

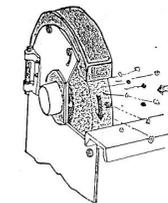


그림 10-5. 튀어나옴(ejection)

사고는 보통 복잡성을 띠게 되고 다음과 같은 점들이 관찰될 수 있다. 첫째, 어떠한 사고는 위에서 나열한 것들 중 2개 이상의 조합으로 인하여 발생된다는 점이다. 예를 들면, 압힘이 트랩 또는 접촉사고를 유도하는 것 등이다. 둘째, 사고에 대한 고려는 기계작동이 정상적일 때뿐만 아니라 기계요소의 파손에 의한 부수적인 위험들을 포함하여 기계의 기능 손실에 따른 직접적 결과에 대해서도 이루어져야 한다.

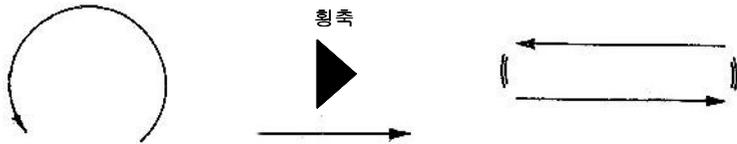
## 10.2 기계설비의 안전

### 10.2.1 기계설비의 위험성

#### (1) 기계설비의 운동과 위험

기계설비는 원칙적으로 많은 운동부를 갖고 있어, 기계에 말려들거나 협착, 충돌, 비산 등에 의한 재해발생의 가능성이 항상 내재되어 있다.

기계적인 작업과 동작은 그 자체가 위험하며 운동 및 동작형태를 기준으로 위험을 분류하면 다음 그림과 같다.



(a) 회전운동 및 동작      (b) 횡운동 및 동작      (c) 왕복운동 및 동작

그림 10-6. 운동 및 동작 형태

#### 1) 회전운동과 위험

플라이 휠, 웬, 풀리, 축 등과 같이 회전운동을 하는 기계 부위는 다음과 같은 위험성이 상존한다.

- 접촉 및 말려들
- 고정 부와 회전 부 사이의 끼임, 협착, 트랩 형성
- 회전체 자체 위험

#### 2) 직선운동과 위험

운동부와 고정부 사이에 위험이 형성되며 작업점과 기계적 결합부분에 위험상존

#### 3) 왕복직선운동과 위험

운동부와 고정부사이네 위험이 형성되며 운동부 전후, 좌우 등에 적절한 안전조치가 필요하다. 예로서 프레스 및 세이퍼 등을 들 수 있다.

#### 4) 기타 위험

- 전동 : 가공품이나 기계부품의 진동에 의한 위험
- 가공중인 소재 : 특히 회전소재 가공 접촉 위험
- 부착공구, 지그 등의 이탈 : 작동중인 기계에서 부착공구, 지그 등의 이탈에 의한 위험
- 가공결함 : 열처리, 용접불량, 가공불량 등에 의한 기계파손 위험

기계설비는 이와 같은 많은 위험요소를 갖고 있다. 따라서 기계설비의 운동부분에 대한 방호는 불안정한 행동에 기인한 재해방지의 가장 기본적인 대책이라고 할 수 있다.

전기설비의 충전부위나 고열설비 등의 방호조치는 운동부위 방호와 유사한 접근이 가능하며 설계, 제작과정에서 예상치 못했던 많은 위험요소들이 실제 가동 중에 발견되는 경우가 많으므로 지속적인 점검과 개선노력을 강구하여야 하며 안전성 확보뿐만 아니라, 생산성 저해 요소들을 해소해 나가는 것이 기계설비 안전의 근본적인 목표라고 볼 수 있다.

또한 기계에 의한 재해는 원동기, 회전축, 치차, 풀리, 키, 벨트 등의 동력전달장치, 기타 재료의 송·배급장치 및 부속주변기기 등 위험점에 연구활동 종사자가 노출되는 경우가 많아 이에 대한 체계적인 방호 대책의 수립시행이 반드시 필요하다. 기계설비에 의해 형성되는 위험점은 다음 6가지로 분류할 수 있다.

#### (2) 협착점(squeeze point)

왕복운동을 하는 운동부와 고정부 사이에 형성되는 위험점을 말한다(그림 2-2). 이러한 위험점은 작업점이라 지칭되기도 한다.

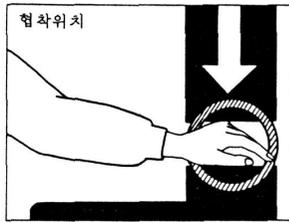
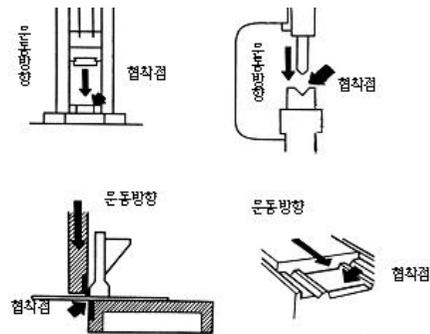


그림 10-7. 협착점



그림 10-9. 끼임 위치

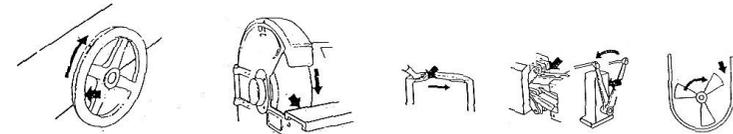


- (a) 프레스 금형 조립부위, (b) 프레스 트레이크 금형조립부위  
(c) 전단기 누름판 및 칼날부위, (d) 선반 및 평삭기 Bed 끝 부위

그림 10-8. 협착 위험점의 예

### (3) 끼임점(Shear Point)

기계의 고정부분과 회전 또는 직선운동부분이 함께 형성되는 위험점을 말한다. 이러한 것에는 연삭숫돌과 작업대, 교반기의 교반 날개와 **몸체 사이**, 반복 동작되는 링크기구 등이 있다.



- (a) 회전 플리와 베드사이, (b) 연삭숫돌과 작업대사이, (c) 탈수기 회전체와 몸체사이(d) 반복동작되는 링크기구, (e) 교반기 교반 날개와 몸체 사이

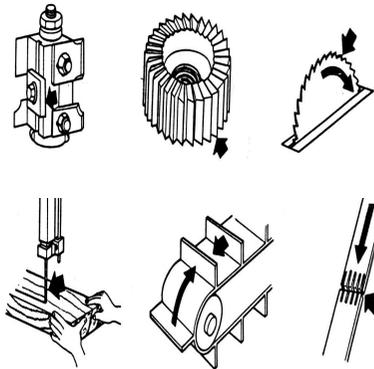
그림 10-10. 끼임점 형성 예

### (4) 절단점(Cutting Point)

절단점이란 운동부분과 고정부분이 만드는 위험점이 아니고 회전하는 운동부 자체와 운동하는 기계와의 위험이 형성되는 점을 말한다. 일반적인 예로서 밀링커터, 등근톱날, 목공용 띠톱날부분 등에 이러한 절단점이 형성된다.



그림 10-11. 절단점



(a) 회전대패날 부분 (b) 밀링커터부분 (c) 등근톱날부분  
(d) 목공용 띠톱부분 (e) 컨베이어 호퍼부분 (f) 평벨트 레싱 이음부분

그림 10-12. 절단점의 예

(5) 물림점(Nip Point)

물림점이란 회전(回轉)하는 두 개의 회전체에 물려 들어갈 위험성이 형성되는 것을 말한다. 이때 위험점이 발생하는 조건은 회전체가 서로 반대 방향으로 맞물려 회전되는 경우이며, 그 예로서 기어물림, 롤러회전 등이 있다.



그림 10-13. 물림위치

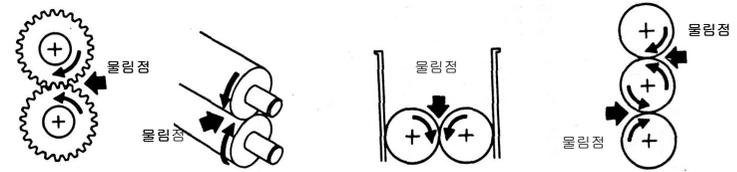


그림 10-14. 물림점의 예

(6) 접선물림점(Tangential Nip Point)

접선물림점이란 회전(回轉)하는 부분이 접선방향으로 물려 들어갈 위험이 형성되는 점을 말한다. 예를 들면 V-풀리와 V-벨트, 체인과 스프라켓, 기어와 락, 롤러와 평벨트의 물림점이 이에 해당한다.

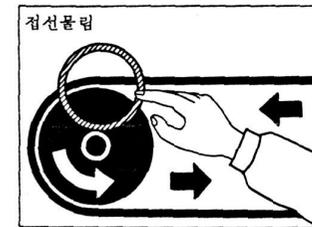


그림 10-15. 접선물림

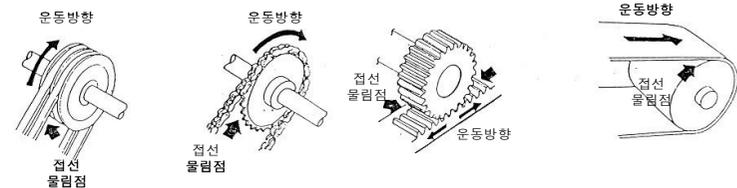


그림 10-16. 접선물림점의 예

### (7) 회전말림점(Trapping Point)

회전(回轉)하는 물체의 길이, 굵기, 속도 등의 불규칙 부위와 돌기회전부위에 의해 장갑 및 실험복 등이 말려들 위험이 형성되는 점을 말한다. 예를 들면 회전하는 축(Shaft), 커플링(Coupling), 회전하는 드릴축의 드릴(Drill) 등이 이에 해당된다.

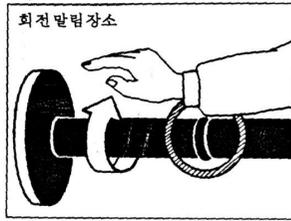


그림 10-17. 회전말림 장소

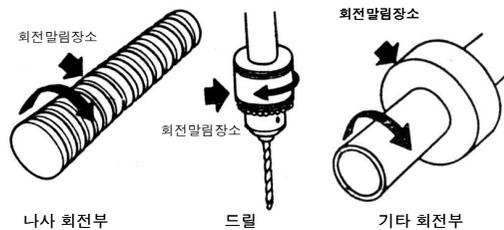


그림 10-18. 회전말림점의 예

## 10.2.2 기계설비 안전의 기본원칙

### (1) 외관상의 안전화

기계설비에 있어서 회전하는 왕복운동 등 운동부위나, 날카로운 돌출부분 등이 외관에 노출되지 않도록 하여야 한다. 더욱이 사용 중에 발생하는 미미한 위험성이라도 방지하거나 도외시해서는 안 되며 즉각적으로 안전조치를 해야 한다. 노출된 위험부위에 커버를 설치하거나, 인터록(interlock) 장치를 부착하여 차단하고, 가공 중 발생한 예리한 모서리, 버어(burr) 등은 연삭기로 라운딩(rounding) 처리하여 수리보수 및 청소 시에 손을 다칠 염려가 없도록 조치해야 한다.

또한 기계 접근을 위한 통로나 통로에 근접 설치된 기계에 의해 재해를 입지 않도록 하고 다른 연구활동 종사자들의 불의에 의한 접촉 및 오동작이 발생되지 않도록 하여야 한다. 아울러 감전의 위험이 있는 전기배선 및 전기기구에 커버 등을 설치하여 차단하고 실험실 내의 채색, 기동, 정지 및 급정지 스위치의 명확한 채색구분 등도 이들의 오조작을 방지하기 위한 외관상 안전장치의 한 방안이라 하겠다.

### (2) 기능상의 안전화

기계 및 설비는 전기나 압력에 의해 반자동이나 자동제어 기능을 갖춘 것이 많다.

자동화된 기계설비는 능률적이고 효과적으로 생산에 이용되고 있으나 재해측면으로는 불리한 조건이 포함되어 있는 경우가 많다. 예를 들면 전압의 강하, 정전시의 기계오동작, 단락스위치나 릴레이 고장시의 오동작, 사용압력 변동시의 오동작, 밸브계통의 고장에 따른 오동작 등을 예상할 수 있으며, 이상사태 발생에 대비하여 미리 적절한 대책을 강구해 두지 않으면 엄청난 재해를 입게 된다.

이러한 기계 설비에 대해 이상 시 기계를 급정지시키거나 방호장치가 작동되도록 하는 소극적인 대책과 전기회로를 개선하여 오동작을 방지하거나, 별도의 완전한 회로에 의해 정상기능을 찾을 수 있도록 하는 것이 적극적인 대책으로 이들 대책에 의해 기능상의 안전화를 이룰 수 있다.

기계설비의 고장에는 초기고장과 마모고장이 있다. 초기고장은 일정기간 연속사용에 의해서 배제할 수 있으며 초기고장 이후의 우발(자연) 사고를 방지하기 위하여서는 기계·설비의 신뢰성 평가가 필요하다.

### (3) 구조부분의 안전화

#### 1) 재료의 선정

재료의 조직이나 성분에 결함이 내제되어 있는 경우 필요한 재료의 강도를 얻을 수 없다. 또 가공 중에 발생된 미세한 균열(crack)은 사용과정에서 성장되어 파괴를 일으키는 원인이 된다. 특히 가공 시 가공조건이나 사용조건에 맞지 않아 사고가 일어나는 경우가 많기 때문에 사고 방지를 위하여 양질의 재료를 선정하여야 한다.

#### 2) 설계(設計)의 안전화

설계결함에서 오는 위험은 대부분 소재의 강도계산이 적정치 못함에 있다.

설계시 기계나 설비의 부재에 가해지는 국부적인 최대하중을 예측하여 소재의 굵기, 두께 등 치수를 결정해야 한다. 실제 최대하중의 추정이 용이하지 않은 경우가 많고 사용 중에도 부재의 강도가 변화되므로 적정한 안전율(Safety Factor)을 반드시 고려하여야 한다.

### 3) 가공시의 안전성

기계설비에 사용되는 재료와 부품들은 열처리를 하여, 강도와 인성 등을 부여하여 가공하는 경우가 많다. 따라서 열처리가 불량하게 되면 목적인 재질을 얻기 힘들고 이로 인하여 예기치 못했던 파괴를 초래하는 경우가 있다. 또 용접구조물의 경우 용접부위에 기계된 미세균열이나, 잔류응력 등에 의해 쉽게 파괴를 일으키기도 한다. 이와 같은 현상들을 방지하기 위하여 정해진 작업방법의 준수해야 한다. 또한 기계가공 시 모서리 부분이나 노치 등에 응력이 집중되는 것을 방지하기 위하여 설계 시부터 적절한 고려가 있어야 하겠지만 가공시에도 불필요한 노치 등을 개재시켜서는 안 되며 모서리부위 등에도 응력을 분산시킬 수 있는 구조로 제작하여야 한다.

### (4) 폴 프루프(Fool Proof)화 개념

미숙련자가 업무에 종사하여도 재해를 당하지 않도록 하는 것이 폴 프루프화의 개념이다. 폴 프루프는 확고한 안전을 말하며, 기계 등에서 연구활동 종사자가 기계조작을 잘못하거나 이상이 발생하거나 고장이 있어도 위험한 상태가 되지 않도록 기계설계 단계에서 안전화를 도모하려는 기본적 개념이며 구조의 개선 등에 의해서 가급적 목적하는 의도에 근접시켜야 한다. 이렇게 하려면 위험부분을 방호하는 덮개나 울, 이동식 가드의 인터록(Interlock)이 전제조건이며 그 실례는 다음과 같다.

- 동력전달부의 덮개를 벗기면 운전이 정지된다.
- 프레스 작업 중 연구활동 종사자의 신체 일부가 위험한 작업점을 들어가면 기계는 자동적으로 정지한다.
- 크레인의 권과 방지장치

### 5) 페일 세이프(Fail Safe)

페일(Fail)은 기계·설비가 정상적으로 작동하지 않는 고장을 말한다. 기계 등에 고장이 발생하였을 때 계속적인 운전상태로 사고·재해를 발생시키지 아니하고 안전을 확보하는 기구를 말한다. 다시 말해서 시스템 성분의 기능 확실성을 도모하기 위해 우선 성분의 여분사용을 반드시 도모하여야 한다. 여분 시스템에는 병렬형과 직렬형이 있다. 병렬형은 복수의 성분에 항상 같은 동작을 하게 하는 것이며, 2개가 동시에 고장이 발생하는 확률이 낮은 점을 이용하고 있다.

직렬형은 1개의 성분을 작동시켜 그것이 고장을 발생시키면 대기상태에 있는 다른 성분에 자동 또는 수동으로 전환하게 되어 있다.

이 캠식 스위치는 왼쪽과 같은 부착방법으로는 스프링이 절손되었을 때 복귀불능의 가능성이 있지만, 중앙의 그림과 같이 하면 스프링이 절손된다 하여도 캠 중력으로 확실한 기능 수행을 도모할 수 있다. 그 위에 오른쪽 그림과 같이 홈이 있는 캠을 사용하면 완전하다.

시스템 제어 면의 Fail safe 구조는 기능면에서 다음과 같이 분류한다.

- Fail passive : 성분의 고장 시 기계·장치는 정지상태로 옮겨간다. 일반적으로 산업기계는 이러한 방식의 구조로 되어 있다.
- Fail active : 성분의 고장 시 기계·장치는 경보를 나타내면서 단시간의 역전이 된다.
- Fail Operational : 성분의 고장이 있어도 다음 정기 점검시까지 운전이 가능하다. 이것은 병렬여분계의 성분을 구성한 경우를 말한다.

다음은 페일 세이프(Fail safe) 구조의 예로, 다음과 같은 것들이 있다.

- 프레스의 클러치나 브레이크에 고장이 발생하면 슬라이드가 급정지 한다.
- 내진 소화기구를 적용한 석유스토브
- 엘리베이터의 정전 시 브레이크 기구

### 6) 인터록(Interlock) 장치의 이용

가드를 자주 움직이거나 열 필요가 있는 곳에서는 그것을 고정시키는 것이 매우 불편하며 이 때 가드들은 기계식, 전기식, 공압식 등의 방법으로 전체 기계시스템제어의 일부로 연동시킨다. 이 경우 2가지 요건을 갖추어야 하는데,

첫째, 가드가 닫히기 전까지는 기계의 작동이 시작되면 안 되고

둘째, 가드가 열리는 순간 기계의 작동이 멈추어져야 한다. 만약에 완전정지까지 시간이 걸리는 경우는 지연 릴레이 장치(Delay Relay Mechanism)를 설치할 필요가 있으며 예기치 않은 운동을 막기 위해서는 시동 제어(Start Control)와 결합되어 있어야 한다.

인터록(Interlocked) 가드를 미끄럼 운동을 할 수 있게 설치할 때는 때때로 제거할 수 있어야 하며, 이 메커니즘의 설계가 사고방지에 가장 중요한 역할을 한다. 이 메커니즘은 신뢰성이 있어야 함은 물론 어떤 충돌이나 사고 등에 견딜 수 있어야 하며 특히 그 시스템은 페일 세이프 개념으로 설계되어야 한다.

인터록가드는 연구활동 종사자의 안전을 확신할 수 있어야 하며 또한 쉽게 접근할 수 있게 설치되어야 한다. 그러나 때로는 가드가 열렸을 때 기계가 움직이는 상황이 필요할 때도 있다. 예를 들면 기계의 설치, 청소, 고장처리 등이며 이 때 기계의 최소속도 등이 엄격하게 지켜지는 상황하에서만 허용되어야 한다.

연결방법(Interlocking)은 동력공급방식, 기계의 운전배열, 보호되어야 하는 위험의 정도, 그리고 방호장치의 작동불량에 따른 결과 등에 따라 선택된다. 선택된 시스템은 가능한 한 단순하며 직접적인 것이 좋다. 복잡한 시스템은 잠재적인 위험요인을 가지고 있어 눈에 보이지 않는 작동불량의 위험성을 가지고 있으며 이에 대한 이해와 보수·유지가 매우 어렵다.

연결기구(Interlocking Mechanism)는 동력에 의해 가드를 닫는 경우와 그 자체운동으로 가드를 닫는 것으로 나눌 수 있다. 아래에 설명하는 방법들은 각각 사용될 수도 있으나 효과적인 연결 시스템을 얻기 위해서는 조합해서 사용할 수도 있다.

**직접 수동스위치 인터록(Direct Manual Switch Interlock)**

가드가 닫혀질 때까지 동력원(Power Source)인 스위치나 밸브가 작동될 수 없다. 또한 스위치가 “실행”위치에 있을 때 가드는 열려지지 않는다.

그림 10-19은 그 예이며 스위치 문은 기계가 작동하지 않을 경우에만 열린다.

**기계적인 인터록**

수동 pusher feeder를 손으로 이송할 때, 안전틀레의 개폐 시 또는 금형의 부착, 조정, 해제 시 등 여러 가지 작업에의 하나의 동작이나 작업이 완료되지 않았는데 실수로 클러치 조작을 하여도 조작이 안 되도록 조작계통의 1부에 기계적으로 Interlock을 한다.

그림 10-20은 기계적 Interlock의 원리를 그린 것이다. 동작 I 부에 완료되지 않으면 n가 조작이 안 되도록 되어 있다. 이 원리는 수동 pusher feeder에 사용되며 (C)가 바로 그것이다. 가장 일반적인 적용 예로서 프레스 브레이크 가드가 크랭크샤프트에 직접 연결되어 있는 경우이다.

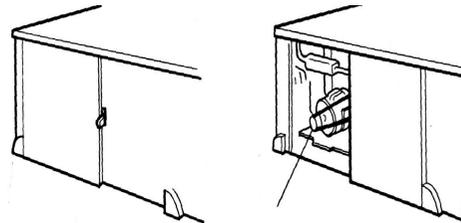


그림 10-19. 직접 수동스위치 인터록

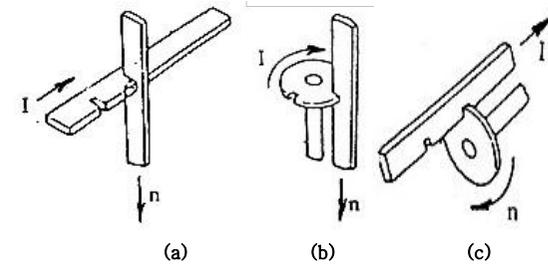


그림 10-20. 기계적인 인터록의 원리

**10.2.3 기계설비의 방호**

**(1) 방호원리**

**1) 위험제거**

잠재 위험요인이 원칙적으로 발생될 수 없게 하는 것을 위험제거라 한다. 예를 들면 신호 표시장치 등에 쓰는 전압을 낮추어 저전압으로 대체한다든지 건설작업에서 접착물질이나 나사 등을 사용해서 끝이 뾰족한 못의 사용을 피하는 방법 등이 있다. 위험제거 방법 외에도 재해예방을 위한 방법은 다음 표와 같다.

표 10-1. 재해예방의 원칙

위험 → 사람	위험의 제거
위험 → 사람	차단(위험해지는 상태의 제거)
위험 → 사람	덮어씌움(위험해지는 상태의 삭감)
위험 ⇄ 사람	위험에 적응

**2) 차단(위험해지는 상태의 제거)**

이는 위험성은 존재하고 있지만 재해의 발생은 불가능하다. 왜냐하면 위험으로부터 연구할 동종사자가 격리되어 있기 때문이다. 다시 말하면 작업을 수행하는 사람과 재해를 유발시키는 기인물이 서로 마주치지 않고 떨어져 있음을 뜻한다. (예: 위험한 작업과정의 자동화)

**3) 덮어씌움(위험해지는 상태의 삭감)**

위험은 여전히 존재하지만 재해발생 가능성은 희박해진다. 위험해지는 상태를 제거하는 차단방법과 같이 사람과 기인물이 겹쳐지는 재해가능영역의 한쪽을 안전하게 덮어씌운다. 예를 들면 위험한 작업점에 대한 방호덮개, 전기설비를 차폐가 가능한 문을 사용하여 외부 접근자와 격리하는 등 위험요소를 덮어씌우는 방법, 병커를 이용하여 발파작업을 수행하는

사람을 보호하는 방법, 연구활동 종사자에게 개인보호구를 착용시키는 방법 등 사람을 덮어씌우는 방법이 있다.

#### 4) 위협에의 적용

예를 들면 제어 시스템 글자판을 쉽게 읽을 수 있도록 개선한다든지 위협에 대한 정보제공, 안전한 행위를 위한 동기부여, 교육훈련 등이 이에 해당된다.

기계제해의 예방방법에서 가장 중요한 원칙은 사람에게 대한 격리나 차단보다 기인물에 대한 근본적 대책의 검토이다. 대책이 사람의 행위에 국한되면 될수록 그 대책은 기대하는 효과를 얻기 힘들다는 것을 통상의 경험에서 잘 알 수 있다. 예를 들면 재해예방 방법 중의 하나인 인간과 기인물의 영향영역을 덮어씌우는 방법은 사람의 불안정한 행위로 인해 전혀 무용화될 수 있다.

### (2) 방호장치

기계설비의 방호는 위험장소에 대한 방호와 위험원에 대한 방호로 분류할 수 있다. 위험장소에 대한 방호 방법으로 차단에 의한 격리형 방호와 연구활동 종사자가 위험영역에 접근할 수 없도록 위치를 제한하는 위치제한형 방호 및 위험구역에의 접근을 감지하여 기계기구의 동작을 정지하게 하는 접근반응형 방호 등이 있으며 위험원에 대한 방호방법으로는 위험원의 파괴 또는 위치 이탈시 자동으로 동작하도록 설치된 포집형 방호 등이 있다. 방호장치를 기계설비에 설치할 때는 다음 사항들을 사전에 철저히 간파하여 설치된 방호장치가 제 성능을 확보·유지할 수 있도록 하여야 한다.

- ① 방호정도: 위험발생을 경고하는 것인지, 위협을 방지하기 위한 것인지.
- ② 적용범위: 기계설비의 성능·기능에 부합될 수 있는 것인가.
- ③ 유지관리: 유지·보수의 편의성은.
- ④ 신뢰도: 방호능력의 신뢰도는 어느 정도인가.
- ⑤ 작업성: 작업을 저해하는 요인은 없는가.
- ⑥ 경비: 경비를 어느 정도로 잡아야 하는가.

### 1) 방호장치의 분류

방호장치를 체계적으로 분류하면 다음과 같다.

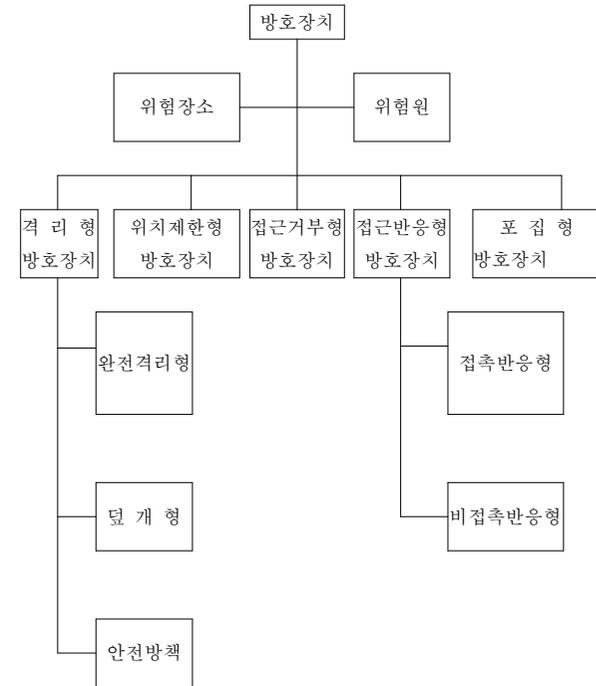


그림 10-21. 방호장치 분류

### 2) 방호방법

#### ① 격리형 방호장치

위험한 작업점과 연구활동 종사자 사이에 서로 접근되어 일어날 수 있는 재해를 방지하기 위해 차단벽이나 망을 설치하는 원리이며, 가장 흔히 볼 수 있는 방호 형태이다.

#### ② 완전차단형 방호장치

어떠한 방향에서도 위험장소까지 도달할 수 없도록 완전히 차단하는 것이다. 사람이 옷을 입어 알몸을 가리듯 모든 기계동작부분을 덮어씌우는 방법이다.

체인 또는 벨트 등의 동력전달장치에서 그 예를 쉽게 볼 수 있다. [그림 10-22]는 완전차단형 방호장치의 예이다.

③ 덮개형 방호장치

작업점 외에 직접 사람이 접촉하여 말려들거나 다칠 위험이 있는 위험장소를 덮어씌우는 방법으로 주위에서 쉽게 볼 수 있는 방호방법이고 그 사용처도 동력전달장치뿐만 아니라 모든 기계기구의 동작부분이나 위험점까지 확대될 수 있어 앞으로 더 많은 보급이 기대된다.

V 벨트나 평 벨트 또는 기어가 회전하면서 접선방향으로 물려 들어가는 장소에 많이 설치한다.

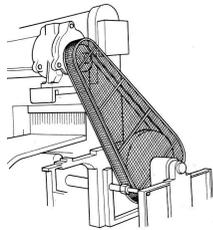


그림 10-22. 완전차단형 방호장치

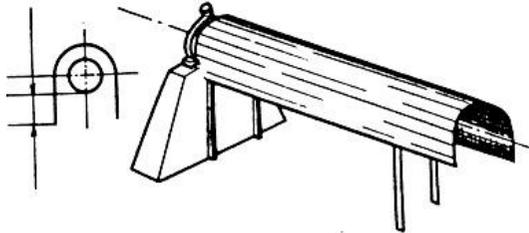


그림 10-23. 회전축의 덮개형 방호장치

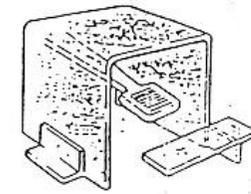


그림 10-24. 덮개를 사용 풋-페달(Foot-Pedal)

④ 안전방책(安全防柵)

위험한 기계·기구의 근처에 접근하지 못하도록 방호 울을 설치하는 방법으로 큰 마력(馬力)의 원동기나 발전소의 터빈(Turbine) 및 로봇실험실 또는 고전압(高電壓) 전기설비 등의 주위에 울타리를 설치하는 것이 대표적인 예이다. 승강기의 수직통로 전체를 둘러싸는 것도 안전방책이라 할 수 있다.

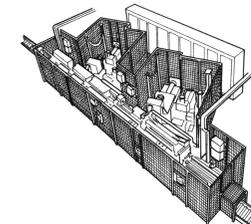


그림 10-25. 안전방책의 예

⑤ 위치 제한형 방호장치

위험을 초래할 가능성이 있는 기계에서 연구활동 종사자나 직접 그 기계와 관련되어 있는 조작자의 신체부위와 위험한계 밖에 있도록 의도적으로 기계의 조작 장치를 기계에서 일정거리 이상 떨어지게 설치해 놓고, 조작하는 두 손 중에서 어느 하나가 떨어져도 기계의 동작(動作)을 멈춰지게 하는 장치이다. 대표적인 예로 프레스(Press)에 많이 사용하는 양수 조작식 방호장치가 있다.

이 때 하강기는 슬라이드(Slide)나 기계의 위험작동 부분을 급속히 정지시킬 수 없는 구조의 기계에는 안전거리를 확보할 수 있도록 위치제한형 방호장치를 설치해야 하는데 이 때 안전거리(S)는 다음 식에 의해서 구해진다.

$$S = 1.6t$$

여기서  $t$ 는 급정지소요시간(ms)이며, 1.6의 수치는 사람이 반사적으로 움직일 수 있는 손의 속도로, 단위는 m/sec이다.

### 접근 거부형 방호장치

연구활동종사자나 그의 신체부위가 위험한계 내로 접근하면 기계의 동작위치에 설치해 놓은 기계적 장치가 접근하는 손이나 팔 등의 신체부위를 안전한 위치로 밀거나 당겨내는 방호장치이다.

책 제본기에서 손을 쳐내는 장치 또는 프레스의 수인식, 손쳐내기식 등은 이 원리를 이용한 방호장치이다. 그림 1026은 접근거부형 방호장치로 종이재단기 및 프레스에 설치된 것이다.

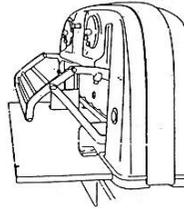


그림 10-26. 접근거부형 방호장치

### ⑥ 접근 반응형 방호장치

접근 반응형 방호장치는 연구활동 종사자의 신체부위가 위험한계 또는 그 인접한 거리 내로 들어오면 이를 감지하여 그 즉시 동작하던 기계를 정지시키거나 스위치 (switch)가 꺼지도록 하는 기능을 갖고 있다.

이러한 방호장치의 사용 예를 들면 프레스, 전단기 또는 압력을 이용해서 사용하는 기계 등에서는 많이 볼 수 있다. 이러한 장치에는 광전자식, 압력감지방식, 압력호스식 등이 있다. 그림 91은 유압 브레이크 프레스의 접근반응형 방호장치이다.

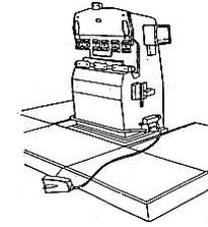
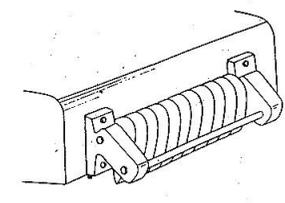
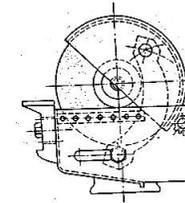


그림 10-27. 유압브레이크 프레스의 접근반응형 방호장치

### ⑦ 포집형 방호장치

위험장소에 대한 방호장치가 아니라 위험원에 대한 방호장치로써 그 예를 들어보면 회전하는 연삭숫돌이 파괴되어 비산될 때 회전방향(접선)으로 튀어 나오는 비산 물질이 덮개를 치면서 회전방향으로 밀려 나게 되고 이 때 덮개가 따라 움직이면서 연구활동 종사자의 신체 부위로 비산하게 될 때 파괴된 연삭 숫돌이 파석(破石)들을 포집하는 장치이다. 또 목재 가공작업에서 작업물질이나 톱밥, 재료가 튀어 오르는 것을 방지하기 위해 설치하는 반발예방장치도 포집형 방호장치에 속한다. 그림 92는 포집형 방호장치의 대표적인 예이다.



(a) 연삭기의 포집형 방호장치 (b) 자동일면 대패기계의 포집형방호장치

그림 10-28. 포집형 방호장치

### 가드 설치

#### ① 설치

재료 : 강판, 철망, 환봉, 타공망, 투명플라스틱, 목재 등

#### ② 설치조건

- 충분한 강도를 유지할 것
- 구조가 단순하고 조정이 용이할 것
- 작업, 점검, 주유 시 등 장애가 없을 것
- 위험점의 방호가 확실할 것
- 개구부 등 간격(틈새)이 적정할 것

### (3) 방호장치 설치시 유의사항

어느 경우에 방호장치가 필요한가를 결정하는 것이 방호방법의 적절성 여부를 결정하는 문제보다 더욱 어렵고 중요한 예가 많다. 아래 각 질문들은 안전 관리자와 생산라인의 안전담당자가 기계와 장비의 안전점검을 할 때 꼭 필요한 사항들을 나열한 것이다.

- 정상적 생산이나 보수작업시 기계의 운동부위에 사람이 접촉할 가능성이 있는가?
- 회전하거나 움직이는 스크류, 키, 머리나사, 버(Bur) 등이 노출되어 연구활동종사자의 옷이 걸릴 가능성이 있는가?
- 공구, 지그 또는 작업 고정물이 필요할 때 이들이 작업에 방해되지 않는 곳에 편리하게 보관되어 있는가?
- 작업영역에 조명이 잘 되어 있는가? 그리고 작업점에 부가적인 조명이 필요한가?
- 개인보호구가 필요한 작업과정의 경우 연구활동종사자는 이를 사용하는가?
- 바닥에 부스러기 등이 제거되어 주위환경이 만족스러운가?

이러한 질문에 대해 대답은 중요하고, 연구활동 종사자를 보호하는 데 부가적 방호장치가 필요한가에 대한 질문에 대한 의미 있는 대답을 줄 수 있는 것이다. 방호장치의 설치가 기계에 대해서 필요하다고 판단이 되면 방호장치의 설치시에 아래와 같은 사항을 고려해야 한다.

- 방호의 정도(단지 위험을 알리는 것인지, 아니면 위험의 방지를 목적으로 하는 것인지)

- 적용의 범위(기계의 유형과 성능조건에 적용되는 방호장치인지)
- 보수의 난이(방호장치의 고장 시에 보수하기 쉬운지, 어려운지)
- 신뢰도(방호능력의 신뢰도를 어떻게 할 것인가)
- 경비(경비를 어느 정도로 잡을 것인가)
- 작업성(작업의 저해는 없는가)

### (4) 방호장치의 발전 5단계와 그 책임

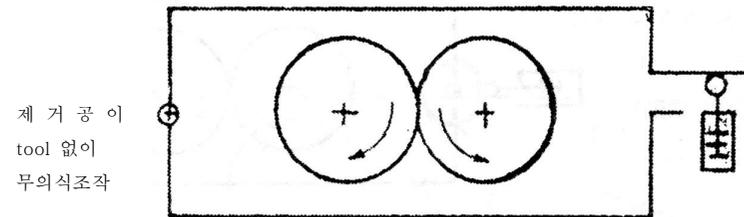
앞에서 방호장치의 일반적인 요건에 대해 살펴보았는데 이러한 방호장치의 발전은 기계, 기구의 발전과 그 시대의 사용자나 연구활동 종사자의 의식 및 사회의 발전과 더불어 조금씩 바뀌어져 왔다. 이러한 발전과정을 독일의 예를 들어 알아보기로 한다.

#### 1) 방호장치 발전 제1단계

다음 그림 10-29에서와 같이 서로 반대 방향으로 회전하는 두 회전체 사이에는 물려 들어가는 위험점인 물림점이 발생되는데 톨러나 기어 등이 대표적인 예이다. 따라서 이러한 곳에는 연구활동 종사자가 접근하지 못하도록 커버와 같은 방호장치를 씌워야 하는데, 연구활동종사자가 커버를 열 경우에는 위험에 노출될 수 있으므로 위험하다.

#### 2) 방호장치 발전 제2단계

이러한 1단계에다 커버를 제거하거나 열 경우 회전체를 돌리는 모터(원동기)와 리미트 스위치를 연동시켜 놓은 상태를 방호장치 발전 2단계라 보는데, 이러한 2단계의 조치는 어떠한 공구(Tool)없이도 무의식적으로 리미트 스위치를 눌러 놓아 커버를 벗겨놓은 상태로 만들어 연구활동 종사자가 위험에 노출될 수 있다.



제거공이  
tool 없이  
무의식조작

그림 10-29. 방호장치 발전 제1단계 및 제2단계

### 3) 방호장치 발진 제3단계

연구활동 종사자의 무지에 의한 또는 순간적으로 무의식적 행동을 배제하기 위해 방호장치 발진 제3단계에서는 제2단계에서 커버의 반대편인 돌쩌귀에 설치된 리미트 스위치가 눌러지면서, 이와 연동되어 있는 모터가 멈추면서 회전체가 정지하게 되므로 연구활동 종사자가 위험에 노출되지 않게 된다.

만약 방호장치 발진 제3단계에서의 방호장치를 제거하려면 이러한 방호장치에 대한 구조, 회로 등의 지식이 있어야 하며 손으로 제거하기는 불가능하므로 반드시 공구(Tool)를 이용하여야만 제거가 가능하도록 하였다. 이를 제거한 연구활동 종사자 또는 제3자 등을 엄하게 처벌함은 물론, 이를 제거하여 이로 인한 재해발생에 대한 재해 손실까지도 책임지게 하였으나 방호장치 발진 제1단계나 제2단계까지에서의 방호장치 등의 일시 작동을 불가능하게 만드는 행위자체는 처벌대상에서 제외하고 있다.

Tool을 갖고  
제거.  
유지.  
별 칩.

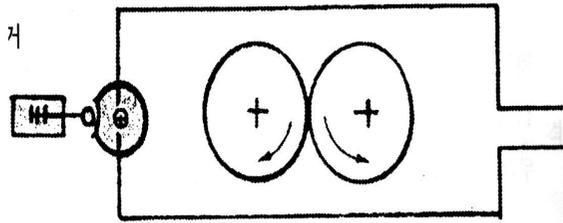


그림 10-30. 방호장치 발진 제3단계

제거곤란  
완 벽

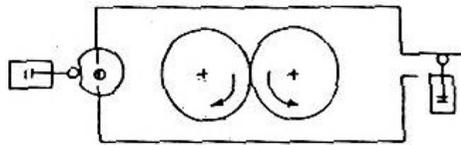


그림 10-31. 방호장치 발진 제4단계

### 4) 방호장치 발진 제4단계

보다 완벽한 안전방호 조치를 위해 방호장치 발진 제4단계에서는 제2단계와 제3단계에서 사용한 리미트스위치를 커버의 입구 및 장식 등에 부착하여 보다 안전한 방호조치를 강구한 단계이다.

### 5) 인간공학적 설계(제5단계)

방호장치발진 제5단계는 특별한 경우에 보완하는 조치로서 고속 회전체일 경우 회전체를 돌리는 모터(원동기)를 정지시켜도 회전체의 자체 관성력으로 어느 정도 회전한 후에야 서서히 정지하므로, 이와 같은 경우에 대비하여 방호조치에 별도의 키인터록(Key Interlock)을 달아 고속회전체가 정지하였을 경우에만 키가 빠져서 커버가 열릴 수 있도록 한 것이다.

- Process 중 Not
- 고속 회전체
  - Drill 작업
  - 로봇
  - 세탁기

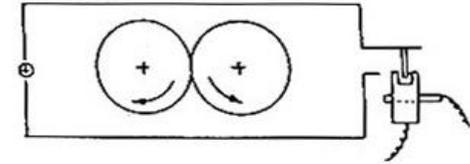


그림 10-32. 방호장치 발진 제5단계

이러한 5가지 방호장치 발진단계에서 가장 최소한의 방호조치로 보는 것은 제3단계의 방호장치로서 독일에서는 제3단계 이상의 방호장치만을 실질적인 방호장치로서 인정하고 있다.

기계·기구에서 위험점을 찾아 각 위험점에 알맞은 방호방법을 선정해야 하며 방호장치는 인간공학적인 기준에 맞춰 설계해야 한다. 연구활동종사자가 위험지역 내에 접근하지 못하게 하기 위해서는 사람이 서서 손을 뻗어도 도달할 수 없는 높이의 안전거리를 2500 mm로 한다.

위험점을 찾아 바닥으로부터 위험점까지의 높이를 a, 바닥으로부터 방호판의 높이까지를 b라고 하고 위험점으로부터 방호판까지는 c라고 하면 위험점에 가장 알맞은 안전거리는 위험점까지 수평, 수직높이에 따른 방호거리를 구할 수 있다. 예를 들어 위험점의 높이가 (a) 2,000 mm이고 위험점으로부터 방호장치까지 거리인 c가 250 mm일 경우 방호장치까지의 높이 b는 표에서 읽어보면 2,000 mm로 이 정도 높이로 하면 안전을 확보할 수 있다.

또한 실험실의 사정상 방호장치까지의 높이(b)가 제한되어 있을 경우 수평으로는 여유가 있다면 수평거리 c를 충분히 확보하여 안전을 도모할 수 있다.

## 10.3 기계설비의 안전한 실험 운전 방법

기계 가동 중 모터나 기계의 진동, 스파크, 누유 등 이상 발견시는 즉시 기계를 정지하고

책임자에게 이상을 알리는 등의 조치를 취하여야 한다. 또한, 다른 연구활동 종사자에 의한 기계의 오작동을 방지하기 위해 기동장치에 시건장치를 하고 열쇠를 별도 관리하거나 ‘작업중’이라는 표지판을 부착하는 등의 필요한 조치를 하여야 한다.

### 10.3.1 기계운전의 안전대책

#### (1) 기계구조, 운전에 대한 학습

실험실 선배로부터 설명을 듣는 것도 중요하지만, 기계의 사용설명서를 숙독할 필요가 있다. 각 기계의 조작방법과 정비를 위한 분해방법도 주의 깊게 살펴 둔다.

#### (2) 안전장치의 설계, 설치, 정비

위험 장소에 신체 부분이 들어가면, 기계가 정지하거나 아예 기동하지 않는 안전장치를 설치해 둔다. 예를 들면, 광전 스위치를 설치하여 빛이 차단되면 스위치가 절단되도록 한다. 또는 스위치를 2개소에 설치하여 양손으로 누르지 않으면 기계가 작동되지 않도록 하거나, 급정지 스위치를 근처에 설치할 수도 있다.

#### (3) 무심코 기계 스위치를 작동시키지 말 것

작업 또는 실험 중에 관련이 없는 자가 무단으로 들어와 사용 중인 기계의 스위치 류를 만져서 재해가 일어나지 않도록 한다.

#### (4) 휴일의 야간 운전

실험실 내에서 휴일에 단독으로 기계 운전을 하지 않도록 한다. 만일의 경우 누구에게 도움을 청할 수 없기 때문이다.

#### (5) 비산 방호벽

파편이 비산할 위험이 있는 장소에는 강판, 두꺼운 나무 판자, 플라스틱 판, 금망 등의 방호벽을 설치한다. 또한, 매우 작은 절삭 비산물에는 방호용 안경이 유효하다.

#### (6) 방해물의 정리

발 밑의 방해물이나 머리를 부딪힐 수 있는 물건이 놓여져 있는 경우, 기계동작에 의해 전도 또는 충격에 의해 재해가 일어날 수 있다.

#### (7) 복장의 주의

기계의 가동 부분에 말리기 쉬운 의복이나, 미끄러지기 쉬운 신발 등은 피하는 것이 좋다.

#### (8) 공구, 시험편의 확실한 고정

기계의 진동에 의해 고정된 공구나 시험편이 느슨하게 되어 떨어지거나 비산하는 경우가 있다. 설치 틈새에 먼지가 있거나 간격이 존재하는 경우 이를 점검해 둘 필요가 있다.

### (9) 기타 주의 사항

#### 1) 정리정돈과 중량물의 고정

사용한 공구, 시험편 등은 나중에 사용하는 사람에게 위해 요인이 되지 않도록 잘 정리하고, 높은 장소에 놓여진 중량물은 떨어지거나 쓰러지지 않도록 주의를 기울인다.

#### 2) 감각 기관을 활용

기계 사용 중에 눈, 귀, 코를 활용하여 이상이 보이거나, 들리거나 냄새 등이 나는 경우, 즉시 기계 작동 스위치를 끈다. 기계의 구동력을 인간의 힘으로 멈추는 하는 것은 대부분 불가능하다. 제어공학 관계의 실험에서는, 마이크로컴퓨터 등에서 계산하여 작성한 미소 레벨 신호로, 로봇 등의 기계를 작동시켜 큰 힘을 발생시킨다.

마이크로컴퓨터로 기계를 작동시키고 있는 실험실(마이크로컴퓨터실)에서는 다음 사항을 엄수한다.

- ① 금연.
- ② 차, 커피 등의 물기 있는 음식을 가지고 오지 않는다.
- ③ 자석 등 자기가 있는 것을 가지고 오지 않는다.
- ④ 디스켓에 대한 취급에 충분히 주의한다.

호이스트, 크레인 등의 동력을 이용한 이동 장치의 사용은 자격증이 있거나, 안전운전에 관한 특별 교육을 받은 사람으로 한정한다. 다만, 0.5 ton이하의 호이스트, 크레인 또는 체인 블록에 의한 이동은 예외로, 관리 담당자의 허가 및 사용상의 주의를 받도록 한다.

호이스트, 크레인 등의 이동 장치의 바로 밑에는 들어가지 않으며, 작업시에는 안전모를 착용하고 안전화를 사용한다.

펌프, 엔진 등의 기계안전

- (1) 소매나 의류가 큰 작업복 또는 백의, 장갑을 착용하지 말 것.
- (2) 물체가 비산할 가능성이 있는 회전체의 반경 방향으로는 가급적 들어가지 않는다.

### 10.3.2 기계 점검순서

#### (1) 정지 중 점검사항

- 급유의 이상유무
- 전동기 스위치 이상유무

- 볼트, 너트의 조임 상태, 풀림 상태 유무
- 안전장치, 동력전달장치 이상 유무
- 접지상태 이상유무
- 스위치 부근에 인화성액체, 가연성가스 보관 유무

#### (2) 운전 중 점검사항

- 클러치의 기능상태 유무
- 주유상태 및 누유발생 유무
- 커풀링, 키의 고정나사 돌기부분, 벨트, 풀리, 기어, 플라이휠 등 접촉 부분의 위험한 곳에 설치한 방호덮개, 울의 강도와 기능유지 유무
- 전동기에서 이상음, 진동, 과열현상이 나타나거나 스파크 발생 유무

### 10.3.3 프레스 작업안전

#### (1) 프레스 작업의 위험요소

##### 1) 프레스 자체의 위험성

확동클러치 프레스는 슬라이드가 하강하는 중에는 급정지가 안 된다.

##### 2) 비정상 작업 시

금형의 부착, 해체, 조정 작업을 하는 중에 상부 금형이 갑자기 떨어지거나 또는 다른 연구활동 종사자의 조작스위치 오조작으로 슬라이드가 하강하여 재해가 발생한다.

##### 3) 안전장치 취급 소홀

- 프레스의 종류, 형식에 부적합한 안전장치의 사용, 안전장치 설치위치의 부적정 또는 안전장치의 기능을 해제한 상태에서 작업한다.
- 금형의 부착, 해체, 조정중 클러치가 작동하거나 페달을 오조작한다.
- 페달 위에 재료가 낙하하여 프레스가 오작동한다.
- 공동작업 시 상대방 연구활동종사자의 프레스 오조작으로 재해가 발생한다.

#### (2) 프레스 안전작업

##### 1) 프레스 안전

프레스의 금형 안에 연구활동 종사자의 손이 들어가지 않도록 한다.

- ① 안전울이 부착된 프레스 사용
- ② 안전금형이 부착된 프레스 사용
- ③ 자동송금배출장치를 부착한 프레스 사용

프레스의 종류, 압력능력, SPM, 행정, 작업방법에 상응하는 방호장치가 부착된 것을 사용하여야 한다.

- ① 게이트가드식 안전장치

- ② 손쳐내기식 안전장치
- ③ 수인식 안전장치
- ④ 양수조작식 안전장치
- ⑤ 광전자식 안전장치

두 사람 이상이 공동 작업하는 경우에는 일정한 신호를 정하여 작업한다.

공작물을 가공하는 경우에는 가능한 수공구를 이용한다.

#### (3) 프레스작업 안전수칙

##### 1) 준비사항

- 작업 전에는 안전장치의 동작 이상유무와 사각지점이 없는가를 확인하여야 한다.
- 선택 스위치가 안전 1행정 위치에 있는가를 확인하여야 한다.
- 설비에 문제가 있거나 고장이 있을 경우에는 즉시 책임자에게 보고하여 수리정비를 받아야 한다.

##### 2) 가공작업

- 양수버턴 스위치를 반드시 사용하여 작업하여야 한다.
- 작동 스위치는 매회 조작하여야 한다.
- 금형 내 이물질들을 제거할 경우에는 전원을 차단하고 조치하여야 한다.
- 스크랩 등은 보조구를 사용하여 제거하여야 한다.

#### (4) 금형 교환작업 안전수칙

- ① 금형을 교환할 경우에는 전원을 차단하고, 스위치에는 「금형 교환중」 표시판을 설치하여야 한다.
- ② 안전블록은 정 위치에 확실하게 고정시키고 확인하여야 한다.
- ③ 공동작업 시는 상호신호를 확실하게 하여야 한다.
- ④ 금형을 무리한 힘으로 취급하지 않아야 한다.
- ⑤ 치수조정 작업 시에는 메인 스위치를 끄고 작업하여야 한다.
- ⑥ 시운전은 기계운전자가 주변의 이상유무를 확인한 후 하여야 한다.

### 10.3.4 연삭기 작업안전

#### (1) 연삭기 작업의 위험요소

- ① 회전하는 연삭숫돌에 연구활동종사자의 신체 접촉
- ② 연삭숫돌의 파손 시 파편 비래
- ③ 칩 비산

#### (2) 연삭기 안전작업

##### 1) 연삭기 안전

- ① 연삭기의 종류에 적합하고 숫돌 파손 시 견딜 수 있도록 강도가 높은 숫돌덮개를 부착한 후 작업하여야 한다.
- ② 숫돌덮개는 연삭기의 종류에 적당한 노출각도를 유지한다.
- ③ 플랜지 외경은 숫돌외경의 1/3 이상으로 한다.
- ④ 칩 비산 방지판을 부착하여 사용한다.
- ⑤ 연삭기 사용시 작업 시작 전에는 1분 이상, 연삭숫돌 교체 시에는 3분 이상 시운전을 하고, 연삭숫돌의 최고 사용회전 속도를 초과하지 않도록 한다.

##### 2) 연삭기작업 안전수칙

- ① 연삭숫돌에는 숫돌덮개를 부착하여 작업하여야 한다.
- ② 연삭숫돌을 교체한 경우에는 3분 이상 시운전하여야 한다.
- ③ 사용 전에 연삭숫돌을 점검하여 탁음이 나거나 균열이 있는 것은 사용하지서는 안 된다.
- ④ 연삭숫돌과 받침대 간격은 3mm 이내로 유지하여야 한다.
- ⑤ 가공물은 급격한 충격을 피하고 서서히 접촉시키면서 작업하여야 한다.
- ⑥ 양쪽의 플랜지는 동일한 외경으로 하며, 플랜지의 외경은 숫돌 외경의 1/3이상으로 하여야 한다.
- ⑦ 연삭작업은 숫돌의 측면을 사용하지서는 안 된다.
- ⑧ 연삭 작업시에는 보안경, 방진 마스크를 착용하여야 한다.
- ⑨ 연삭숫돌은 과도한 온도 차나 습기가 없는 건조한 장소에 보관한다.
- ⑩ 연삭숫돌은 규격 별로 구분하여 보관 장소에 세워서 보관하여야 한다.

### 10.3.5 롤러기 작업안전

#### (1) 롤러기 작업의 위험요소

롤러기에 의한 재해는 서로 반대방향으로 회전하는 롤러에 연구활동 종사자의 신체가 말려들어 발생

#### (2) 롤러기 안전작업

고무, 고무화합물 또는 합성수지를 소성 변형시키거나 연화시키는 롤러기에는 즉시 롤러를 정지시킬 수 있는 급정지장치가 설치된 것을 사용하여야 한다.

#### (3) 급정지장치의 종류

- ① 손조작식
- ② 복부조작식
- ③ 무릎 조작식

#### (4) 설치 위치

- ① 밀면에서 1.8 m 이내
- ② 밀면에서 0.8~1.1 m
- ③ 밀면에서 0.4~0.6 m

합판, 종이, 천 및 금속박 등을 통과시키는 롤러기에는 울 또는 가이드롤 등이 설치된 것을 사용하여야 한다.

#### (5) 롤러기 작업 안전수칙

- ① 롤러기는 급정지장치 등 안전장치의 작동상태를 확인한 후 작업한다.
- ② 급정지장치는 연구활동 종사자가 어느 장소에서나 활용할 수 있는 위치에 부착되어야 한다.
- ③ 롤러에 협착될 위험이 있는 부분에는 가이드롤, 울 등이 설치되어야 한다.
- ④ 롤러기를 청소하거나 점검 시에는 반드시 기계를 정지한 후 실시한다.

### 10.3.6 목재가공용 등근톱 작업안전

#### (1) 목재가공용 등근톱의 위험요소

- 목재가공 중 회전하는 톱날에 접촉
- 가공재를 톱에 송금할 때 후면날이나 톱 자체에 의해 가공재가 반발하여 연구활동 종사자를 강타

#### (2) 목재가공용 등근톱의 안전작업

##### 1) 안전작업

- ① 등근톱에는 톱날접촉예방장치(덮개)를 설치하여 연구활동 종사자의 신체가 톱날에 접촉하지 못하도록 한다.

- ② 등근톱에는 반발예방장치(분할날)를 설치하여 가공제가 반발하는 것을 방지한다.
- ③ 분할날은 톱날후면으로부터 12mm 이내 설치하되 두께는 톱 두께의 1.1배 이상으로 설치한다.

## 2) 등근톱작업 안전수칙

- ① 작업 전에는 시운전을 하여 이상 유무를 확인하여야 한다.
- ② 톱날의 균열, 마모, 손상이 있는가를 확인하여야 한다.
- ③ 안전장치의 파손, 작동불량 등 이상 유무를 수시로 확인하여야 한다.
- ④ 작업 중에는 보안경 등의 안전보호구를 착용하고 작업하여야 한다.
- ⑤ 톱날의 체결 볼트, 너트는 확실하게 고정하고 작업하여야 한다.
- ⑥ 톱날을 교체한 후에는 충분히 시운전한 후 작업하여야 한다.
- ⑦ 작업 종료 후 자리가탈 및 정전 시에는 전원을 반드시 차단한다.
- ⑧ 톱밥을 수시로 제거하는 등 실험실을 정리 정돈하여야 한다.

## 10.3.7 로봇안전

### (1) 로봇의 위험요소

로봇의 작동범위 내에 연구활동 종사자가 접근할 경우 매뉴플레이터(로봇의 손)와 충돌  
로봇의 수리, 점검 시 다른 연구활동 종사자가 기동스위치를 조작하여 불시에 작동

### (2) 산업용 로봇의 안전작업

- ① 로봇 작동 중 로봇에 접촉하여 연구활동 종사자에게 위험이 미칠 우려가 있을 때는 안전매트 및 방책을 설치하여야 한다.
- ② 작업을 하고 있는 동안은 로봇의 기동스위치에 작업중 표지판을 부착하여 다른 연구활동 종사자가 스위치를 조작하지 못하도록 하여야 한다.
- ③ 로봇의 작동 범위 내에서 수리, 검사, 급유, 청소 작업 시에는 로봇의 운전을 정지하고, 기동스위치에 시건장치를 하거나 「작업 중」 표지판을 부착하여 오조작을 방지하여야 한다.

로봇의 작업지침을 준수한다.

- ① 로봇의 조작방법 및 순서, 작업 중 매뉴플레이터의 속도
- ② 2인 이상 작업시 신호방법, 이상 발견시 조치사항
- ③ 로봇의 운전을 정지시킨 후 재가동할 때의 조치 등

로봇의 가동 범위 내에서 로봇에 대한 교시 등의 작업을 할 때에는 다음 사항을 점검하여야 한다.

- ① 외부전선의 피복 또는 외장의 손상 유무
- ② 매뉴플레이터 작동의 이상 유무
- ③ 제동장치 및 비상 정지장치의 기능 등

### (3) 로봇 작업 안전수칙

- ① 로봇 작동범위 내에 연구활동 종사자 접근을 방지하도록 인터록장치가 부착된 안전울 또는 안전방책을 설치하고 작업하여야 한다.
- ② 로봇조작은 지정된 담당자 외에는 조작하여서는 안 된다.
- ③ 위험요인이 발생한 경우에는 즉시 주위 연구실에 경광등, 벨을 이용하여 알려야 한다.

## 10.3.8 크레인 안전

### (1) 크레인의 위험요소

매달린 물건의 낙하로 인한 위험, 협착에 의한 위험

추락에 의한 위험, 크레인의 작업

크레인은 과부하방지장치, 권과방지장치, 비상정지장치, 해지장치 등의 안전장치가 부착된 것을 사용하여야 한다.

작업을 시작하기 전 안전장치 및 와이어로프의 이상 유무를 점검한 후 사용하여야 한다.

매달린 적재물의 이동거리내의 안전을 확인한다.

매단 적재물의 내리는 장소, 적재장소의 안전을 확인하여야 한다.

후크에 해지장치가 부착된 것을 사용한다.

다음과 같은 와이어로프를 사용해서는 안 된다.

- 이음매가 있는 것, 꼬인 것
- 심하게 손상, 변형 또는 부식된 것
- 지름의 감소가 공칭지름의 7%를 초과하는 것
- 와이어로프의 한가닥에서 소선(필러선 제외)의 수가 10% 이상 절단된 것

### (2)크레인 안전수칙

- 크레인은 지정된 자 이외는 운전하지 않아야 한다.
- 크레인에 의한 운반은 동시에 2방향 이상 조작을 하지 않아야 한다.
- 와이어로프는 충격에 약하므로 급격하게 감아 올리거나 감아 내려서는 안 된다.
- 체이나 로프를 화물에 경사지게 매달아 관상시켜서는 안 된다.
- 크레인 운전자에 대한 신호는 지정된 자가 하여야 한다.
- 크레인 신호수는 규정된 복장을 착용하고 규정된 신호방법으로 명확하고 확실하게 하여야 한다.

- 화물중심부에 후크를 위치시켰나 확인한 후 권상신호를 하여야 한다.
- 제한하중을 초과한 권상을 피하고 로프의 상태를 확인한다.
- 크레인에 매달린 화물의 아래에는 출입하지 않아야 한다.

### 10.3.9 사출성형기 안전

#### (1) 사출성형기의 위험요소

- 슬라이더 작동시 급행에 신체 협착
- 성형기의 수리, 점검시 다른 연구활동 종사자의 스위치 오조작으로 신체 협착
- 히터 전원선에 의한 누전으로 감전 위험
- 히터와 같은 고열부에 신체가 접촉하여 화상 위험

#### (2) 사출성형기의 안전

사출성형기의 문(덮개)이 열린 상태에서 슬라이드가 작동되면 관리자에게 보고하고 수리한 후 작업하여야 한다.

보수 점검시에는 기동스위치에 시건장치를 하거나 「작업 중」 표지판을 부착하여 다른 연구활동 종사자가 오조작 하지 않도록 하여야 한다.

히터와 같은 고열부에는 덮개를 설치하여 신체가 접촉하지 않도록 하여야 한다.

사출성형기는 운전을 순간적으로 정지시킬 수 있는 급정지용 누름버튼 스위치의 위치를 확인한다.

### 10.3.10 분쇄기 안전

#### (1) 분쇄기 등의 위험요소

- 분쇄기, 혼합기, 교반기 등의 개구부가 노출될 경우 원료 비산, 연구활동종사자 전도, 추락
- 기계의 작동부분에 신체 접촉
- 분쇄기의 내부에서 청소, 수리작업 할 때 다른 연구활동종사자에 의한 스위치 오조작

#### (2) 분쇄기 등의 안전

- 분쇄기, 혼합기, 교반기의 원료 투입구에 덮개의 부착 여부 및 기동장치와의 인터록(덮개가 열리면 기계의 가동이 정지)장치의 이상 유무를 확인한다.
- 분쇄기, 혼합기, 교반기에서 내용물을 꺼낼 때는 기계의 운전을 정지하여야 한다.
- 분쇄기의 내부에서 청소, 수리 등의 작업을 할 때는 반드시 기동스위치에 시건장치를 하고 키는 연구활동 종사자가 소지하여야 한다.

### 10.2.11 공작기계 안전

#### (1) 선 반

##### 1) 선반작업의 위험요소

- 가공재료의 칩, 냉각유의 비산
- 긴 가공물의 경우 원심력에 의해 휘어짐
- 칩 또는 칩에 물린 가공물에 연구활동 종사자가 접촉할 경우 먼장갑, 실험복의 말림
- 수공구 등이 회전하는 칩에 낙하시 비래

##### 2) 선반의 안전작업

- 선반에는 칩이나 냉각유의 비산을 방지하기 위해 칩 비산방지판을 부착한다.
- 긴 돌출부를 가진 가공물의 경우에는 방진구를 사용하여야 한다.
- 실험복은 단정하게 착용하고 먼장갑은 착용하지 않아야 한다.
- 수공구 등은 주축대 위에 보관하지 말고 별도의 보관함에 비치한다.

##### 3) 선반작업 안전수칙

- 절삭작업 중에는 보안경을 착용하여야 한다.
- 바이트는 가급적 짧고 단단히 고정시켜야 한다.
- 가공물이나 칩에 휘말리지 않도록 연구활동 종사자는 실험복 소매를 단정히 하여야 한다.
- 긴 물체를 가공할 때는 방진구를 사용하여야 한다.
- 칩을 제거할 때는 압축공기를 사용하지 말고 브러시를 사용하여야 한다.
- 먼장갑을 착용하고 작업하여서는 안 된다.

#### (2) 밀 링

##### 1) 밀링작업의 위험요소

- 칩이 연구활동종사자의 눈에 튀어 들어감
- 연구활동종사자의 소매가 커터에 말림

##### 2) 밀링의 안전작업

- 밀링커터의 상부 압에는 가공물에 적합한 덮개를 부착한다.
- 칩을 제거할 때는 브러시를 사용한다.
- 정면커터 작업 시에는 칩이 튀어나오므로 칩 커버를 설치하거나 보안경을 착용한다.
- 절삭 중에는 장갑을 착용하지 않는다.

##### 3) 밀링작업 안전수칙

- 가공물은 테이블 또는 바이스에 안전하게 고정된 후 작업하여야 한다.
- 커터를 설치하거나 교체할 경우에는 반드시 전원을 차단하여야 한다.
- 테이블 위에는 측정기구나 공구를 놓지 않아야 한다.
- 칩은 기계를 정지시킨 후 브러시로 제거하여야 한다.
- 칩이 비산되는 가공물을 작업을 할 때에는 보안경을 착용하여야 한다.

### 사고사례

2002년 4월 ○일, 경남 김해시 소재 실험실에서 LCD 모니터 백라이트 프레임 시험하던 중 프레스 서틀 로봇이 정지되자 시험자가 1~2번 프레스 사이에 들어가 1번 프레스에 부착된 근접 스위치용 센서의 이상 유무를 확인하던 중 로봇 이송부가 갑자기 작동하여 머리를 강타한 후 그 충격으로 프레스 상부 금형부에 2차 충돌하여 사망한 재해임.

#### 과정

150톤 프레스 6대를 이용하여 LCD 모니터 백라이트 프레임 시험공정에서 서틀 로봇으로 소재의 공급에서 제품 취출까지 자동화하여 제품을 시험하던중 서틀 로봇이 정지되자 위치 검출용 근접스위치 센서가 이상하다고 담당자에게 보고한 후 - 시험원이 직접 프레스 1~2번 사이(755 mm × 700 mm)에 들어가 1번 프레스에 부착된 근접스위치용 센서의 이상 유무를 확인하던 중 서틀 로봇 이송부가 갑자기 작동되어 머리 뒷부분을 강타한 후 그 충격으로 프레스 상부 금형에 2차 충돌하여 사망한 재해임.

#### 원인

- 정비 등 작업시 전원 미차단 : 제어반 비상정지스위치를 작동시키고 전원을 차단한 후 작업을 실시하여야 하나 이를 준수하지 않음.
- 무자격자 로봇 오작동 점검 : 무자격자인 시험원이 가동 범위내에 들어가 로봇 오작동을 점검하였음.

### 사고사례

2004년 2월 ○일, 부산시 기장군소재 ○○실험실일구 상부에 설치된 적재대 위에서 부품박스를 정리하고 이동식 사다리를 타고 내려오던 중 사다리가 전도 되어 추락 사망한 재해임

#### 과정

- 재해자가 실험실일구 상부 적재대 위에서 부품박스 등을 정리하고 이동식 사다리를 타고 내려오던 중 적재대에 기대 놓은 사다리의 상부가 고정되지 않은 상태에서 전도되어 3.1m 아래 바닥으로 추락하여 머리를 다쳐 사망한 재해임.

#### 원인

- 이동식사다리 전도방지조치 미실시 : 이동식사다리를 이용한 고소작업시 사다리의 전도방지를 위한 상부 및 하부에 전도방지장치를 미설치하였음.
- 추락방지 시설 미설치 : 높이 2 m이상의 추락위험이 있는 장소에 설치된 적재대에 오르내릴 경우 시험원이 안전하게 통행할 수 있는 안전난간 및 고정식 사다리 등을 미설치하였음.
- 안전모 미착용 : 고소 작업시 추락재해예방을 위해 작업자의 머리를 보호할 수 있는 안전모를 미착용 하였음.

### 참고문헌

- 미국 오클라호마 대학, Safety Manual
- 서울대환경연구소, 연구실안전길잡이, 동화기술, 2001
- 정병용, 이동경, 현대인간공학, 민영사, 2005.
- 중대재해 사례 및 원인분석, 2005.
- 최상복, 산업안전대사전, 2004.
- 한국산업안전공단, 기계안전(통신교육), 2000.
- 한국산업안전공단, 안전관리실무(베조), 2000.
- CRC, Handbook of Lab safety, CRC. 1980.

# 제 11 장 전기적 위험과 안전

## 11.1 전기의 위험성

전기 에너지는 편리함과 공해가 없는 에너지로 가정에서부터 학교, 직장 등 우리 생활 주변의 넓은 분야에 걸쳐서 많이 이용되고 있으나, 잘못 사용할 경우에는 전기에너지의 특성에 의해 감전 사고나 화재 등의 재해를 유발할 수 있다. 전기에 의한 사고 또는 재해의 종류는 상황에 따라 여러 가지로 구분할 수 있지만, 실험실에서 주로 일어날 수 있는 재해는 감전 사고와 전기 화재이다. 감전 사고는 전기가 흐르고 있는 전기 기기 등에 사람이 접촉되어 인체에 전기가 흘러 일어나는 화상 또는 불구자가 되거나 심한 경우에는 생명을 잃게 되는 현상을 말하며, 전기 화재는 전기가 원인이 되어 일어나는 화재를 말한다. 전기는 실험실 내부 모든 곳에 사용된다. 주위에 얼마나 많은 전기 도구와 장치들이 보이는가? 저울, 증기 후드, 생물학적 안전 캐비닛, 조명설비, 전화기, 적외선 등, 혼합기, 원심분리기, 냉장고, 열판, 히팅 맨틀(heating mantle), 증류기, 가압멸균기, 진공 펌프, 컴퓨터, NMR, 크로마토그래프, X-ray 장치, 레이저 등 많은 장치가 사용된다.

전기적 잠재위험이라 하면 대부분은 감전에 대하여 생각한다. 그러나 훨씬 더 많다. 전기는 에너지의 한 형태이고, 에너지는 한 상태에서 다른 형태로 변화할 수 있다. 전기에너지는 저항열과 스파크 같은 위험한 다른 에너지 형태로 변화할 수 있다.

전기화재에는 두 가지 원인이 있다. 저항열은 전류가 회로나 전선을 통해 흐를 때 생성된다. 전선은 “과부하” 되고 어떤 전기 에너지는 열로 변형된다. 열은 배선과 회로가 열이 분산되는 것을 내버려두기 위해 부적절하게 배출될 때 축적될 수 있다. 과부하는 너무 많은 기구들을 한 개의 콘센트에 연결하는 것에 의해 또는 필요한 전류보다 너무 적은 배선을 사용할 때, 즉 설비의 작동 지시보다 적은 확장코드를 사용할 때 생긴다.

스파크는 회로 내에서 짧은 단선 혹은 끊긴 부분을 뛰어 건널 때 발생된다. 정상적으로 사용하는 동안 계전기 스위치가 열판, 중탕 그리고 냉장고의 온도조절장치에 접촉될 때, 많은 조명 스위치와 다른 “on-off” 스위치와 모터는 스파크를 발생시킨다. 폭발방지 냉장고, 열판, 서미스터(온도 변화에 반응하는 전기 저항기), 그리고 다른 설비는 잠재적 가연성 증기와 접촉을 피하도록 설계된 스위치를 가지고 있다.

### 11.1.1 감전사고

전기가 우리의 신체의 일부에 흐를 때 감전을 당한다. 감전으로 인한 상처의 심각성은 전류의 세기, 감전시간, 감전된 신체부위에 따라 다르다.

전류는 전기의 흐름이다. 전류가 더 높으면 높을수록 감전은 더 심각해진다. 사람 신체에 대한 다양한 수준의 전류의 영향을 나타낸 표 6-5를 참조하라. 전압 역시 중요한 요소이다. 예를 들어 9 V의 작은 라디오용 전지의 극을 혀에 놓으면 약간의 따끔함을 느낄 것이다. 그러나 만약 12 V 차량용 전지의 단자에 두 손을 놓는다면 죽을 것이다. 단지 3 V의 차이만 있을 뿐인데도 말이다.

건전지는 몇 밀리암페어(mA)의 전류를 공급한다. 자동차 배터리는 라디오, 장난감, 회중전 등의 1,000배에 달하는 1~2 A로 시동을 건다. 고전압에 대한 많은 관심이 왜 있을까? 종종 “위험-고전압”이라고 쓰인 표지를 볼 수 있다. 고전압은 전류의 위험 등급과 관계된다. 벽 소켓에서 가정용 전압을 포함한 많은 전원으로부터 고전압을 얻을 수 있다. 그것은 110~220 V이다. 대부분의 벽 소켓은 15~20 A까지 운반할 수 있다. OSHA 규정과 NEC(National Electrical Code)에 따르면 약 50 V에서 작동하고 있는 전기설비는 활선에 사고접촉을 막기 위한 적절한 안전장치를 가지고 있어야 한다. 표 6-6은 보다 공통적 형태의 실험실 장비 중 몇 개에 대한 전류를 기재하고 있다. 이것을 표 6-5에 있는 자료와 비교하면 이들 전원으로부터 감전이 얼마나 위험한지 알게 될 것이다.

어디에, 그리고 얼마나 오래 전류가 몸에서 흘렀는가는 또한 상처의 정도를 결정한다. 전기는 전기를 전도하는 물질을 통해 흐르며, 우리 몸은 전기의 전도체이다. 만약 전류가 낮다면 몸 안으로 짧은 거리를 통과할 것이고, 단지 따끔거리는 정도만 느낄 수도 있다. 우리가 절연된다면 이것은 사실이다. 절연된다는 것은 고무발창 신발을 신고 있거나 다른 경로로 전류가 우리 몸에서 떠나는 것을 방지하는 다른 방법들을 의미한다. 그러나 절연되지 않았고, 우연히 물 속에 서있거나, 혹은 금속이나 어떤 다른 전도체를 만지고 있다면 우리를 감전시키는 전류는 우리 몸을 통해 흐를 수도 있다. 만약 전류가 심장 혹은 두뇌 같은 생명유지 기관을 통과한다면, 이런 유형의 감전은 우리를 죽일 수 있다. 이것은 우리가 한 손으로 전기설비를 다루면서 다른 한 손으로 금속을 만지거나 금속물질에 기대지 말아야 하는 하나의 이유이다. 감전 시간이 길면 길수록 더 많은 손상을 입는다. 만약 지속시간이 충분히 길게 유지된다면 낮은 전류라 할지라도 화상을 일으킬 수 있다.

대부분 보통 손과 팔 안에 빠르고 국부적으로 감전된다. 일반적으로 1초 미만에 반사적으로 우리 손을 제거할 수 있다. 하지만 고전류의 경우에는 이 반사행동을 잃을 수 있고, 팔을 풀 수 없을 수도 있다. 만약 감전된 사람을 본다면, 그리고 그들이 자유로워질 수 없다면 그 사람을 만지지 말라. 그러면 당신 역시 감전될 것이다. 가능한 한 빨리 설비의 전원을 꺼라. 만약 그럴 수 없다면 회로 차단기 혹은 비상 스위치를 꺼라. 만약 당신이 할 수 없다면 즉각 도움을 요청하라. 만약 유일한 선택이 피해자를 떨어뜨리는 것이라면 실험실 코트, 옷, 혹은 다른 절연물질을 사용하라. 만약 호흡곤란이 있거나, 고통이 심하거나,

감전 후 몇 분 동안 고통, 따끔거림 혹은 마비를 느낀다면 감전은 작은 것이 아니다. 심각한 감전은 의식을 잃게 만든다. 그것은 또한 호흡이나 심장박동을 멈추게 할 수 있다. 만약 응급 CPR 훈련을 받았다면, 감전된 사람을 소생하도록 시도하라.

**(1) 통전 전류에 의한 영향**

인체에 전류가 흐르게 되면 아주 작은 전류에서는 아무런 느낌이 없으나, 전류가 커지게 되면 "통전 전류의 크기 × 시간"의 크기에 따라 전류를 느끼게 되고, 그 이상에서는 고통-호흡의 정지 및 질식 또는 심실 세동 등이 일어나게 되어 아주 위험하게 된다.

**(2) 인체의 전기 저항**

통전 전류의 크기는 인체의 전기저항(임피던스)값에 의해 결정되고, 이 저항은 인가된 접촉 전압에 따라 다르나 최악의 경우를 감안하면 약 1,000 Ω(옴) 정도가 된다. 이 저항값이 작을수록 위험하므로 전기를 취급할 경우에는 이 값을 크게 하는 것이 중요하다.

**통전 경로의 영향**

인체 감전시의 영향은 전류의 경로에 따라 그 위험성이 달라지며, 전류가 심장 또는 그 주위를 통과하게 되면 심장에 영향을 주어 더욱 위험하게 되는데 이를 심장 전류 계수라고 한다.

**표 11-1. 인체의 전류 변화에 따른 생체반응**

흐름 (암페어)	반응
.001	지각 레벨, 희미한 따끔함.
.005	약간의 쇼크를 느낌; 불안해 하는, 그러나 고통은 없다. 보통의 사람은 걸어갈 수 있다. 그러나 이 범위의 쇼크들에 대한 활발한 무의식 중의 반응들은 사고들을 초래할 수 있다.
.006-.025(여자) .009-.030(남자)	고통 있는 쇼크, 근육 통제를 잃는다. 어느 것을 부르거나 "방중하다"는 범위. <sup>2</sup>
.050-.150	극단적인 고통, 호흡의 체포와 얽힌 근육의 수축들, 근육 행동에 의해 떨어져서 치게 되지 않는 한 개인은 통상 방중할 수 없다; 죽음은 가능하다.
1-4.3	가슴의 심실의 섬유성 연속(주기적인 펌프 작용은 끝난다.);근육의 수축과 신경 손상이 발생한다; 죽음은 최적이다.
10	심장의 체포, 심한 화상들, 그리고 아마도 죽음.

<sup>1</sup>연구소 안전의 CRC 안내서로부터. 허가로 재판된다.

<sup>2</sup>만약 외부근육들이 쇼크에 의해 흥분된다면 그 사람은 접촉으로부터 멀리 떨어져야 한다.



그림 11-1. 분전함 내 차단기



그림 11-2. 출력 전압 가변 장치

표 11-2. 실험실 장비 종류별 전류세기

도구	전류(A)
저울(전자외)	0.1-0.5
생물학적 안전 장식장	15
믹서	3-15
원심 분리기	3-30
크로마토그래프	15
컴퓨터(PC)	2-4
건조기	20
연무 두포 블로어	5-15
화로/오븐	3-15
열총	8-16
열망토	0.4-5
열판	4-12
Kjeldahl digster	15-35
냉장고/냉동고	2-10
정적들	8-10
소독기	12-50
진공 펌프(역행)	4-20
진공 펌프(확산)	4

<sup>1</sup> 연구소 전의 CRC(안내서)로부터의 허가료 재판된다.

## 11.1.2 전기화재

### (1) 전기화재의 형태

전기화재의 원인은 발화원과 출화의 경과로 나눌 수 있는 데 화재가 발생하는 주요 형태는 다음과 같은 것들이 있다.

- 전열기/조명기구 등의 과열로 주위 가연물을 착화시키는 경우
- 배선의 과열로 전선피복을 착화시키는 경우
- 전동기/변압기 등 전기기기의 과열
- 선간 단락/누선/정전기 등으로 분류할 수 있다

이와 같은 전기화재는 전기 기기 등의 구조적 결함과 전기 시설 취급소홀, 부주의 또는 안전수칙 미준수등의 요인에 의해 발생되고 있다.

### (2) 전기 화재의 발화원

전기 화재를 일으키는 기기에는 다음과 같은 것들이 있다.

- 전기 콘로, 전기 다리미, 전기 이불, 소독기, 용접기 등의 이동 가능한 전열기
- 전기 향온기, 전기 부화기, 오븐, 전기 건조기, 전기로 등의 고정된 전열기
- 배전용 변압기, 전동기, 발전기, 정류기, 충전기, 유입 차단기 등의 전기 장치
- 배전선, 인입선, 옥내선, 옥외선, 코드, 배선 접속부 등의 배선
- 스위치, 칼형 개폐기, 자동 개폐기, 접속기, 멀티 콘센트, 전기 측정기 등의 배선 기구
- 합석판의 이온 곳, 벽에 박은 곳, 금속판 또는 파이프의 접속부, 고압선과 접촉한 목재 등의 누선에 의하여
- 고무 피막기, 롤러, 판로 중의 유동 액체, 분체 마찰 등에 의한 정전기 스파크

### (3) 전기 화재의 원인

#### 1) 단락(합선)

전선피복이 벗겨지거나 전선에 못/핀 등을 박을 때 전선이 직접 또는 낮은 저항으로 접촉, 즉 단락되는 경우가 있는데, 이 때에는 단락되는 순간 폭음과 함께 스파크가 발생하고 단락점이 용융된다. 이 때 주위에 가연성 물질이 있을 경우에는 화재가 일어나게 되며 또한 전선 자체의 과열로 발화하는 경우도 있다.

#### 2) 누전 또는 지락

전선의 피복 또는 전기 기기의 절연물이 열화되거나 기계적인 손상 등을 입게 되면 전류가 금속체를 통하여 대지로 새어나가게 되는 데 이러한 현상을 누전이라 하며 이로 인하여 주위의 인화성 물질이 발화되는 현상을 누전 화재라 한다.

#### 3) 과전류

전선에 전류가 흐르면 전류의 제곱과 전선의 저항값의 곱( $I^2 \times R$ )에 비례하는 열이 발생하여 전선의 허용전류를 초과한 전류가 계속적으로 흐르면 전선의 과열로 피복이 열화되어 발화되게 되는데 특히 비닐전선의 경우에는 그 정도가 더 심하다.

#### 4) 전기 스파크

전기회로를 개폐하거나 퓨즈가 용단될 때 스파크가 발생하는데, 특히 회로를 끊을 때 심하며, 이 때 휘발성 증기 또는 분진 같은 가연성 물질이 있으면 착화/인화된다.

#### 5) 절연 열화 또는 단락

배선 또는 기수의 절연테 대부분이 유기질로 되어 있는데 일반적으로 유기질은 장기간 경화하면 열화로 그 절연저항이 떨어지고 고온상태에서 공기의 유통이 나쁜 곳에서 가열되면 탄화과정을 거쳐 도전성을 띠게 되면 여기에 전압이 걸리면 전류로 인한 단열로 탄화현상이 누적적으로 축진되어 유기질 자체가 타거나 부근의 가연물에 착화하게 된다.

#### 6) 접속부의 과열

전선과 전선, 전선과 단자 또는 접속편 등의 접속이 불완전한 상태에서 전류가 흐르면 접촉저항에 의한 접촉부 발열로 주위의 절연물을 인화시킨다.

#### 7) 정전기 스파크

물질의 마찰 등에 의하여 발생하는 정전기는 그 크기에 따라 방전 시 불꽃의 발생으로 주위의 가연성 물질을 인화시키게 된다.

## 11.2 전기 안전사고 예방

### 11.2.1 감전사고 예방 대책

전기사고의 발생 확률은 그리 높지 않으나, 일단 사고가 발생하면 사망 등의 중대 재해나 많은 재산피해가 발생할 가능성이 매우 높다. 그리고 감전사고는 순식간에 일어나고 감지했을 때는 이미 때가 늦는 경우가 많으므로 사전에 충분한 대비를 하여야 한다. 감전사고를 예방하기 위한 일반적인 방재 대책에는 다음과 같은 방법이 있다.

- 전기 기기 및 배선 등의 모든 충전부는 노출시키지 않는다.
- 전기 기기 사용시에는 필히 접지를 시켜야 한다.
- 누전 차단기를 시설하여 감전사고시의 재해를 방지한다.
- 전기 기기의 스위치 조작은 아무나 함부로 하지 않도록 한다.
- 젖은 손으로 전기 기기를 만지지 않는다.
- 개폐기에는 반드시 정격 퓨즈를 사용하고, 동선/철선 등을 사용하지 않는다.
- 불량하거나 고장난 전기제품은 사용하지 않도록 한다.
- 배선용 전선은 중간에 연결한 접속 부분이 있는 것을 사용하지 않는다.

### 11.2.2 전기화재 예방대책

#### (1) 전기 기기에 대한 대책

##### 1) 전기 기기 배선

##### ① 코드의 연결금지

코드는 가급적 짧게 사용하되 연장하고자 할 경우에는 임의로 꼬아서 접속해서는 안되며 반드시 코드 커넥터를 활용해야 한다.

##### ② 코드의 고정 사용 금지

코드를 못이나 스테플 등으로 박아 고정시켜 배선하면 피복이 손상되어 합선되거나 선이 짓눌리고 구부러져 선이 단선되는 경우가 있다. 이 때 단락에 의한 불꽃에 의해 발화될 우려가 있으므로 코드를 스테플 등으로 고정시켜 사용하는 것을 금해야 한다.

##### ③ 사용 전선의 적정 굵기 사용

전기 기기의 사용 전선은 용량을 고려하여 적정 굵기를 사용해야 하고, 한 가닥의 코드에 문어발식으로 많은 기구를 꽂아 사용하는 것도 금해야 된다.

#### 2) 배선 기구

배선 기구는 정격 범위 내에서 사용하고, 전선을 연결하는 부분이나 접속부분이 과열되는 등 나쁜 조건이 따를 수가 있으므로 다음 사항을 유의해서 사용해야 한다.

- 개폐기의 전선 조임부분이나 접촉면의 상태
- 콘센트, 플러그의 접촉 상태 및 취급 방법
- 멀티콘센트 사용시 문어발식 배선/콘센트 하나에 여러 개의 플러그를 꽂는 것을 금지하며 접속 불량에 의한 과열이 발생하지 않도록 완전하게 꽂는다.
- 퓨즈의 적정 용량의 것 사용

#### (2) 전기 기기 및 장치

##### 1) 전기로 및 전기 건조 장치

- 전기로나 건조 장치의 발열부 주위에 가연성 물질의 방치 금지
- 피건조물의 종류에 따라서 건조물의 낙하 방지, 열원과의 거리를 충분하게 띄울 것
- 설비와 접속부 부근의 배선은 피복의 손상, 과열 상화 등에 주의할 것
- 전기로 내 온도의 이상 상승 시 자동적으로 전원을 차단하는 장치를 신설할 것
- 전기로나 건조 장치의 발열부 주위에 가연성 물질의 방치 금지

##### 2) 전열기

- 열판의 밑부분에는 차열판이 있는 것을 사용할 것
- 접멸을 확실하게 할 것. (표시등 부착)
- 인조석, 석면, 벽돌 등 단열성 불연 재료로 받침대를 만들 것
- 주위 0.3 ~ 0.5 m 상방으로 1.0 ~ 1.5 m 이내에는 가연성 물질 접근 방지
- 배선, 코드의 용량은 충분한 것을 사용하여 과열 방지

##### 3) 전등

가연성 물질이 있는 곳에서 전등 파손에 의한 화재 방지를 위하여 다음과 같이 시설한다.

- 전구는 글로우브 및 금속제 가드를 취부하여 보호할 것
- 위험물 창고 등에서는 조명 설비의 수를 줄이거나 설치 금지(방폭형 설치)
- 소켓은 금속제등을 피하고 합성 수지제를 택하여 접속부가 노출되지 않게 할 것
- 이동형 전구는 캡타이어 코드를 사용하고 연결 부분이 없도록 할 것

#### 4) 전기 배선에 대한 대책

- ① 단락 및 혼촉 방지
- ② 이동전선의 관리 철저 : 고정기기에는 반드시 고정 배선을 하고 중량물이 이동되는 장소에 시설하는 이동전선은 가공으로 시설하거나 튼튼한 보호관 속에 넣어 시설한다.
- ③ 전선 인출부의 보강 : 단락사고 방지를 위하여 인출부에는 부싱을 설치하여 손상을 방지하고 전선의 구부림을 줄일 수 있도록 스프링을 끼워 주고 기기 사용시 전선이 비틀리지 않도록 주의한다.
- ④ 규격 전선의 사용 : 비닐 코드의 옥내 배선으로의 사용을 금지하고, 관련 기준에 적합한 규격 전선을 용도에 알맞게 사용하여야 한다.
- ⑤ 전원 스위치를 차단 후 점검/보수할 것 : 전원스위치를 넣은 채 기기의 점검이나 보수 시에는 합선으로 인한 화재의 우려가 있으므로 이와 같은 작업 시에는 전원을 차단하여야 한다.

#### 5) 누전방지

누전방지를 위해서는 절연파괴의 원인이 되는 과열/습기/부식 등을 방지하는 것이 가장 중요하며 충전부와 절연물을 다른 금속체인 건물의 구조재/수도관/가스관 프레임 등과 이격시키는 것이 필요하며 누전화재를 방지하기 위해서는 필요한 장소에 전기화재 경보기(누전 화재 경보기)를 설치한다.

- 물기/습기가 있는 장소에 전기 시설을 하는 경우에는 방습조치
- 전선 접속부는 충분한 절연효력이 있도록 소정의 접속기구 또는 테이프 사용
- 누전 여부의 수시 확인 및 누전 차단기의 설치 등
- 전기를 사용하지 않을 때에는 전원 스위치 끄

#### 6) 과전류 방지

- 적정 용량의 퓨즈 또는 배선용 차단기를 사용하여 과전류의 확실한 차단
- 한 개의 콘센트에 여러 개의 플러그의 사용이나 문어발식 배선 사용금지
- 스위치 등의 접촉 부분의 접촉 불량으로 인한 발열 등의 방지를 위해 점검
- 고장 난 전기 기기나 누전되는 전기 기기의 사용 금지
- 동일 전선관에 많은 전선의 삽입 금지

#### (3) 안전 점검 철저

전기 화재 방지를 위하여 점검이 필요한 항목을 주기적(매월 안전 점검의 날, 매 학기초등)으로 안전점검을 실시한다.

- 사용하지 않은 전기 기계 기구는 전원을 차단한 후 플러그를 뽑아서 보관한다.
- 폭발 위험이 있는 장소에 대한 대책
- 인화성 액체의 증기 또는 가연성 가스등을 제고/취급 사용하는 장소 및 가연성 분진등을 제조/사용하는 장소 등 가스 또는 분진 폭발 위험 장소에서 전기/기계/기구를 사용하는 때에는 그 증기/가스 또는 분진에 대하여 적합한 방폭 성능을 가진 방폭구조 전기기계/기구를 선정 및 사용해야, 그 성능이 상시 유효한 상태로 유지/관리되도록 하여야 한다.

### 11.3 실험실에서의 전기 안전

#### 11.3.1 전기의 안전한 사용

##### (1) 전기 안전 일반사항

###### 1) 일반 주의사항

- 전기 스위치 부근에 인화성, 가연성 용매 등을 놓아서는 안 된다.
- 스위치 함(분전반) 내부에 실험 기자재 등 불필요한 물건을 보관해서는 안 된다.
- 전동기 등의 전기 장치에 스파크나 연기가 나면 즉시 전원 스위치를 끄고 전기 담당 부서 (시설팀)에 연락한다.
- 모든 스위치는 사용처, 이름을 명기해야 한다.
- 전기 수리 또는 점검할 때에는 "수리중", "점검중" 표시를 하고 관계자 이외는 출입금지를 시켜야 한다.
- 접지는 올바른 것을 확실하게 접속해야 한다.
- 스위치, 배전반, 전동기 등 전기기구에 가연성 물질이 닿지 않도록 한다.
- 스위치 개폐는 접속 부분의 안전을 확인하고 확실하게 접속한 다음 개폐해야 한다.
- 승낙 없이 임의로 전기 배선을 접속 사용하지 않는다.
- 결함이 있거나 작동상태가 불량한 전기기구는 사용하지 않는다.
- 전원으로부터 플러그를 뽑을 때에는 선을 잡아당기지 말고 플러그 전체를 잡아 당겨야 한다.

###### 2) 전기 기기의 일상 점검 요령(공통 사항)

- 습기나 물기가 많은 곳에서 전기를 사용할 때에는 기계 기구가 접지 시설이 되어 있어야 하고 손과 발에 물기가 없어야 한다.
- 전기 기기 사용을 위한 코드나 배선 기구는 용량과 규격에 맞는 것을 사용한다.
- 누전으로 인한 화재나 감전사고 예방의 기본 장치인 누전차단기는 월 1회 이상 시험 버튼을 정상작동 여부를 확인한다.
- 노후된 전선 설비의 계속 사용은 누전, 합선, 감전사고의 위험이 매우 높으므로 반드시 개/보수하여 사용한다.
- 무자격자에게 전기 설비의 개/보수를 의뢰하는 경우 더 위험한 결과를 불러올 수 있으므로 반드시 전기 담당 부서(시설팀)에 의뢰한다.

### 3) 전기 안전 작업 요령

- 장비를 점검하기 전에 회로의 스위치를 끄고, 플러그가 있는 장비는 플러그를 뽑는다. 스위치를 끌 때는 가급적 절연장갑을 착용하고 오른손을 사용하며 얼굴을 스위치 상자로 향하지 않게 하고 손잡이를 내린다.
- 전기 설비를 작업할 때 공구나 비품의 손잡이는 부도체로 된 것을 사용한다.
- 전기 장치의 충전부 전기가 흐르는 부분은 절연을 한다.
- 전원에 연결된 회로배선은 임의로 변경하지 않는다.
- 작업공간은 충분히 확보하고 항상 청결하게 유지한다.
- 플러그를 전원에 연결한 채 회로 변경 작업을 하지 않는다.
- 회로가 확실하게 연결되어 있지 않으면 플러그를 전원에 꼽지 않는다.
- 젖은 손이나 물건으로 회로에 접촉하면 안 된다.
- 전기 설비에 연결된 접지선의 접속을 확인한다.
- 연결코드 선은 최소한으로 가능한 짧게 사용한다.
- 전기 설비 근처에서는 가연성 용재를 사용하지 않는다.
- 다중 콘센트는 가능한 한 사용하지 않도록 한다. 만일 추가 콘센트가 필요하다면 전기 담당 부서(시설팀)에 의뢰해서 설치해야 한다.
- 전기 배전반의 진입로와 스위치 앞에는 장애물이 없도록 한다

### 4) 전기 안전 예방 조치 핵심체크

- 정기적으로 설비를 검사하라. 그것이 빠르게 접지되었는지 확인하라. 마모되었거나 손상된 전선과 코드를 교체하라.
- 모든 장비를 물과 떨어뜨려라. 모든 누출물을 즉시 청소하라. 하수구위로 전선을 지나가게 하지 마라. 필요하다면 적절하게 코드에 테이프를 붙이거나 안전하게 하라. 하수구나 다른 물 공급원 주위의 많은 배출구들은 현재 GFI(ground fault interrupt)이다. 만약 대표적으로 단락과 감전 같은 갑작스런 전력 변화가 있다면 그것들은 자동적으로 단할 것이다.

- 전기장치로 작업을 할 때는 금속이나 전도성의 장신구를 제거하라. 만약 그들이 활선에 접촉을 한다면, 당신이 회로에 포함될 수도 있다.
- 카펫의 아래에 전선들을 묻지 말고, 다른 물질로 그것을 덮지 않을 것.
- 설비의 배출구를 덮지 말고 벽에 너무 가깝게 혹은 환기를 방해할 수 있는 캐비닛 안에 설비를 위치시키지 말아야 한다.
- 인화성, 가연성 액체 근처에서는 스파크가 없는 장치를 사용하라. 후드 내에서 작업할 때 증기 온도조절장치를 이용하고, 원격 자동온도 조절장치 혹은 온도 조절장치를 가진 열판을 사용하라. 후드내의 제한된 공간에서 이 부품들은 스파크를 발생하기 때문에 그것을 안에 이 모든 구성요소가 있더라도 재래식 열판을 피하라. 불길의 역류 혹은 화재를 야기하는 충분한 증기가 있을 수 있기 때문이다.
- 오븐은 가연성 증기의 증가를 막기 위한 알맞은 환기장치를 가지고 있어야 한다.
- 화학물질을 저장하기 위해 사용된 냉장고나 냉동기는 외부 제어 스위치를 가지고 있어야 한다. 그래서 스파크가 증기로부터 외부에 떨어져서 유지된다.
- 전기 콘센트 또는 확장 코드에 과부하가 걸리지 않게 하라. 과열될 수도 있다. 많은 큰 기계들의 사용설명서는 확장코드를 사용하는 것에 대해 경고하였고, 확실한 최소용량의 것을 요구한다. 이 경우들에 있어서, 확장 코드 혹은 틀린 지수의 코드는 과부하 될 것이다. 코드가 따뜻하게 느껴지면 연결을 끊고 사용하지 말라.
- 승인을 받거나 유능한 전기 기술자들만이 전기장치를 수리하게 하라. 만약 당신이 무엇인가를 고치는 방법을 모른다면, 시도하지 마라. 어떤 장치들은 전기를 저장하고 당신은 감전될 수도 있다. 내부 조명전구, 튜브 혹은 다른 부품을 교환하는 것 같은 설비의 일상적인 유지를 위해 추천 대체품만을 사용하고, 제조업자의 지시를 따라라. 당신이 시작하기 전에 그 장치가 플러그가 뽑혀졌는지 확인하라.

### (2) 누전에 의한 감전예방

감전예방을 위하여 다음과 같은 조치가 필요하다.

#### 1) 규격, 검정품의 전기기계기구 사용

감전 사고를 야기한 대부분의 전기기계기구는 그 상태가 아주 불량하다. 불량한 것을 수리하거나, 새것으로 교체하는 것이 기본적인 자세이다.

#### 2) 절연저항 측정

전기기계기구가 누전이 되어 있는지 아닌지를 측정하여 판단하는 방법이 절연저항을 측정하는 일이다.

표 11-3. 절연저항 측정

측 정 치 상 태		
$\infty \Omega$	양	호
$0 \Omega$	누	전

기준: 0.1 MW 이상(전압, 설비 별로 다름)

주기적으로 절연저항을 측정하여 사전에 예방하는 것이 중요한데 항상 절연저항만 측정하고 있을 수는 없다. 그래서 불시에 누전이 되더라도 인명을 보호하는 수단이 접지이다.

### 3) 접지에 의한 감전 예방

접지는 전기안전의 핵심이면서 동시에 모든 전기설비의 원활한 운영을 위한 방법이다. 접지란 누전 즉, 지락사고를 처리하는 기술이라고도 표현할 수 있는데 지락사고전류가 발생할 때 어떻게 해야 하느냐가 주요 관건이다. 이에 대한 해결방법으로서 접지가 기본이지만, 이와 더불어 사용될 수 있는 것이 누전차단기를 사용하는 방법이다.

#### ① 접지의 원리

접지는 근본적으로 전력계통 운영과 관련된 계통접지와 인명을 보호하기 위한 보호접지로 구분되나, 감전예방과 밀접한 보호접지에 대해서 기술한다.

보호접지란 평상시 전류가 흐르지 않는 전기설비 또는 전기기계기구의 금속체의 외함을 접지하는 것이다. 그러므로 전등갓, 전기설비의 외함, 모터의 외함 등에 대하여 금속체를 접지 및 분당해야 한다.

#### ② 접지하면 어떻게 하여 인명이 보호되는가?

상기 감전사례를 전기기호를 사용하여 표현하면 다음과 같다.

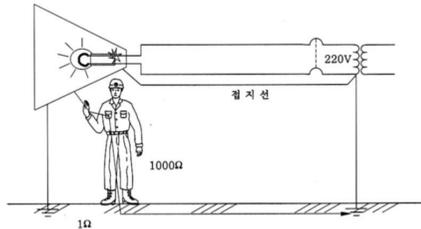


그림 11-3. 접지의 원리

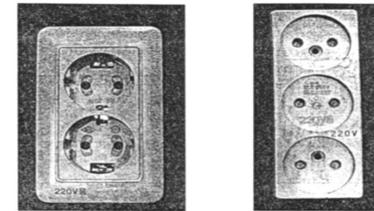
접지선이 없을 경우에는 외함의 누전에 의해 인체로 약 220 mA의 전류가 흐를 수 있는데 외함을 접지할 경우에는 접지선에도 전류가 흐른다. 중요한 점은 거의 모든 전류가 접지선으로 흐르고 인체에는 아주 작은 전류만이 흐르게 됨으로써 사망하지 않게 되는 것이다.

왜냐하면, 인체의 저항은 대체로 1,000 W을 유지하고 있는 데 반해 접지선의 저항은 인체에 비해 아주 낮으므로 전류는 거의 모두 저항이 낮은 쪽으로 흐르기 때문이다. 그러므로 접지는 항상 낮은 저항을 유지해야 하는데, 이를 위하여 접지모선 및 분당 등의 수단이 필요하다.

#### ③ 이동형 전기기계기구의 접지

접지가 중요하다 하지만, 그림과 같이 외함을 접지선에 의하여 땅에 연결하게 되면 기계 기구는 움직이지 못하므로 이동형으로는 적합하지 않다.

그러므로 이동형 전기기계기구는 접지형 플러그와 접지형 콘센트에 의하여 접지하는 것이 가장 보편적이고 쉬운 방법이나, 반면, 가장 잘 적용되지 않고 있는 실정이다.



(a)

(b)

그림 11-4. 접지형 콘센트(a)와 비 접지형 콘센트(b)

좌측은 220 V 접지형 콘센트이고 우측은 220 V 비접지형 콘센트이다. 연구기관의 건물은 접지형 콘센트로 설계 시공해야 근본적으로 누전에 의한 감전을 예방할 수 있다.

#### ④ 누전차단기

누전차단기란 누전 사고시 공급전원을 신속히 차단하는 장치로서 전원 측의 과전류 보호 장치가 감지하지 못하는 아주 작은 전류에서 동작하여 인체를 감전으로부터 보호한다. 그러므로 감전보호 목적의 누전차단기의 정격은 30mA, 0.03초이다.

누전차단기는 이렇게 작은 전류에서 복잡하게 동작되는 까닭으로 오동작 등 주의해야 할 사항이 많다. 결국 접지로서 감전을 예방하는 것이 기본적 자세이므로 접지 후 물

기가 있는 곳에 누전차단기를 추가하는 것이 바람직한데, 이 경우 콧을 접속식 누전차단기를 사용하는 것이 이상적이다.

누전차단기는 제작측면에서 분류하면 전류 동작형, 전압 동작형으로 구분할 수도 있고, 또는 전자식과 기계식으로 분류하거나 감도에 따른 분류방법이 있으나 감전예방을 위한 사용자 측면으로 분류하면 다음과 같다.

- 녹색 Test Button : 지락사고 전용품이므로 별도의 과전류 보호장치가 필요하다.
- 적색 Test Button : 지락사고 및 과전류 보호 겸용이므로 과전류 보호장치가 생략된다.

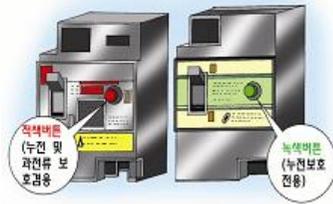


그림 11-5. 누전차단기 버튼

#### 4) 누전차단기의 동작원리

##### ① 정상상태

영상변류기에 발생하는 자계가 서로 상쇄되어 검출되지 않으므로 차단기가 동작되지 않는다.

##### ② 지락상태

전류 i에 의한 자계는 서로 상쇄되어 나타나지 않으나 사고전류 ig에 의한 자계는 영상변류기에 나타나, 검출됨으로써 차단기가 동작된다.

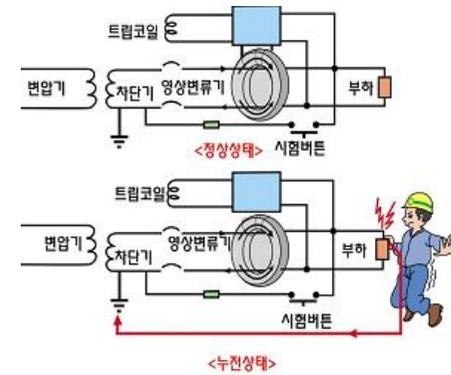


그림 11-6. 정상상태와 누전상태

#### 5) 록아웃/태그아웃

OSHA는 주요 설비에 대한 수리 혹은 일상적인 유지에 대한 특별 규정을 가지고 있다. 29 CFR 1910.147과 1910.333내의 Lockout/Tagout 표준이다. 예상하지 않았던 시동이나 다양한 유형(기계, 수력, 기체, 열, 화학, 전기에너지)으로 저장된 에너지 누출이 있을 수 있는 곳의 기계와 설비에 적용된다.

이런 유형들은 다른 전선과 에너지원에 직접 연결된 X-ray 기계, NMR, 증기 후드 및 다른 설비들은 포함한다.

그것들에 플러그를 꽂을 수 없다. 이 장치들을 손질하거나 수리하고 있을 때 모든 전원, 압축가스, 증기 및 다른 에너지는 단혀야 한다.

모든 스위치나 밸브 혹은 다른 연결 부위들은 'On' 상태가 되지 않게 꼬리표를 붙이거나 잠겨야 한다. 단지 허가된 수리공만이 잠김이나 꼬리표를 제거하거나 붙일 수 있다. 만약 기계의 자물쇠나 꼬리표를 본다면 혹은 기계의 어떤 연결부를 본다면 그것을 제거하지 마라. 그것은 누군가가 설비에서 작업을 하고 있다는 것을 뜻한다. 만약 전기를 On 한다거나 다른 전원들을 On한다면 설비를 수리하고 있는 사람에게 심각한 상해 또는 사망을 야기할 수 있다.

그 법은 전기 콘센트에 코드나 플러그로 연결되어 있는 컴퓨터, 냉장고, 도구 같은 "bench top" 장치들과 기구들에 적용되지 않는다. 일단 연결이 끊어지면 이 장치들은 더 이상 위험하지 않다.

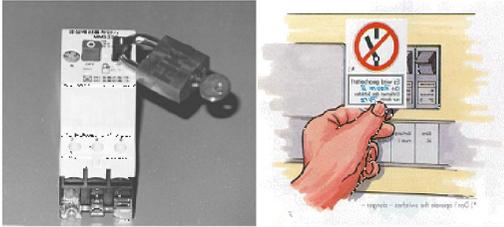


그림 11-7. 전기장치의 록아웃/태그아웃

## 11.4 전기안전작업의 국내 규정

### 11.4.1 전기작업안전

전기설비나 설비 주변의 기타 시설물을 점검하거나 수리하는 등의 전기작업을 실시할 때에 전선로를 정전시키고 작업을 하는 경우와 활선상태에서 작업을 실시하는 경우가 있는데, 전자를 정전작업(停電作業) 그리고 후자를 활선작업(活線作業)이라 한다. 전기작업을 할 때 전선로가 충전되어 있으면 그만큼 감전사고의 위험이 커지므로 부득이한 경우를 제외하고는 정전작업을 하는 것을 원칙으로 하여야 한다.

한편 정전작업에서는 감전사고의 위험이 없는 것으로 생각하기 쉬우나, 오송전 및 다른 활선과의 혼촉 등으로 정전회로가 충전되어 감전사고를 일으키는 경우가 많으므로 이에 대한 주의를 하여야 한다. 또 활선작업에서는 직접 충전부분을 취급하기 때문에 감전의 위험성이 극히 높다. 따라서 어떠한 경우든 충분한 안전대책을 마련하여 제해예방에 노력할 필요가 있다.

#### (1) 정전작업

##### 1) 전기작업의 준비

전기작업은 감전사고의 위험이 항상 존재하므로 반드시 작업책임자를 임명하고 지휘·명령 계통을 확립하여야 하며, 정확한 명령을 전달하기 위하여 작업책임자 이외의 제3자에 의한 지시 등은 금지하고 계획된 작업순서에 따라 작업을 실시하여야 한다. 작업준비 단계에서 감전사고의 방지를 위하여 고려해야 할 사항은 다음과 같은 것이 있다.

- 작업목적, 작업내용 등을 이해하고 작업장소, 작업개시시간과 완료시간 및 사용자제, 안전장구 등을 파악하여 사고가 발생하지 않도록 사전에 충분한 대비를 하여야 한다.
- 작업자 각자의 기능 정도, 심신의 상태 등을 파악하고 작업시 이를 감안하여 업무를 분담하도록 한다.
- 작업목적, 작업내용, 작업방법과 순서, 작업분담, 자재, 공구 등의 사용상 주의 및 필요한 안전사항을 작업 전에 충분히 납득시켜야 하며, 작업도중 새로 투입된 작업자에 대해서는 이 같은 안전사항이 소홀해지기 쉬우므로 특별히 배려하여야 한다.
- 작업장소, 취급전로 및 인접계통을 작업자에게 충분히 주지시키고 사고가 발생한 경우 인체 및 설비에 초래되는 영향의 중대성을 이해시켜야 한다.
- 2~3명의 작업자가 작업하는 소규모의 작업에서도 작업책임자를 임명하고 지휘하도록 해야 한다. 소규모의 작업 시에는 책임자가 작업자를 겸하여 직접작업을 하는 경우도 있는데, 정전과 재투전 및 활선절단 등의 중요한 작업에 대해서는 책임자가 반드시 임회하여 안전을 확인하면서 작업을 진행시켜야 한다.

#### 2) 정전작업의 안전

##### ① 정전작업요령의 작성

정전작업 시에는 감전사고의 위험을 방지하기 위하여 작업착수 전에 반드시 정전작업요령을 작성하고 항상 이 요령에 의거하여 작업을 실시해야 한다.

- 작업책임자의 임명, 정전범위 및 절연보호구, 작업시작 전 점검 등 작업시작 전에 필요한 사항
- 전로 또는 설비의 정전순서에 관한 사항
- 개폐기 관리 및 표지판 부착에 관한 사항
- 정전확인 순서에 관한 사항
- 단락접지 실시에 관한 사항
- 전원재투입 순서에 관한 사항
- 점검 또는 시운전을 위한 일시 운전에 관한 사항
- 교대근무 시 근무인계에 필요한 사항

##### ② 정전작업시의 안전조치

전로 또는 그 지지물의 신설, 증설, 이설, 접속, 교체, 점검 및 수리 등의 공사에 위험한 전로를 정전시켜 작업할 때에는 <표 11-1>에 의한 작업 단계별 조치를 강구하여야 한다.

### 제 3 장 정전작업

**제342조[정전작업시의 조치]** ① 사업주는 전로를 개로하여 당해 전로 또는 그 지지물의 설치·점검·수리 및 도장 등의 작업을 하는 때에는 전로를 개로한 후 당해 전로에 대하여 다음 각 호에 해당하는 조치를 하여야 한다. 당해 전로와 근접한 충전전로 또는 지지물을 설치·점검·수리 및 도장 등의 작업 또는 당해 전로에 근접한 시설물의 설치·해체·점검·수리 및 도장 등의 작업을 하는 때에도 또한 같다.

1. 전로의 개로에 사용한 개폐기에 시건장치를 하고 통전금지에 관한 표지판을 부착하는 등 필요한 조치를 할 것.
2. 개로된 전로가 전력케이블·전력콘덴서 등을 가진 것으로서 잔류전하에 의하여 위험이 발생할 우려가 있는 것에 대하여는 당해 잔류전하를 확실히 방전시킬 것.
3. 개로된 전로의 충전여부를 검진기구에 의하여 확인하고 오통전, 다른 전로와 혼촉, 다른 전로로부터의 유도 또는 예비동력원의 역송전에 의한 감전의 위험을 방지하기 위하여 단락접지기구를 사용하여 확실하게 단락 접지할 것.

② 사업주는 제1항의 작업중 또는 작업 종료 후 개로한 전로에 통전하는 때에는 당해 작업에 종사하는 근로자에게 감전의 위험이 발생할 우려가 없도록 미리 통지한 후 단락 접지기구를 제거하여야 한다.

**제343조[단로기 등의 개로]** 사업주는 부하전류를 차단할 수 없는 고압 또는 특별고압의 단로기 또는 선로개폐기를 개로하는 때에는 당해 개폐기의 오조작을 방지하기 위하여 근로자에게 당해 전로가 무부하임을 확인한 후에 조작하도록 주위 표지판 등을 부착하여 주지시켜야 한다. 다만, 당해 개폐기에 전로가 무부하로 되지 아니하면 개로할 수 없는 시건장치를 설치한 때에는 그러하지 아니하다.

**제344조[정전작업요령의 작성]** ① 사업주는 감전을 방지하기 위하여 정전작업요령을 작성하여 관계근로자에게 주지시켜야 한다.

② 제1항의 정전작업요령에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.

1. 작업책임자의 임명, 정전범위 및 절연보호기구 작업시작 전 점검 등 작업시작 전에 필요한 사항
2. 전로 또는 설비의 정전순서에 관한 사항
3. 개폐기관리 및 표지판 부착에 관한 사항
4. 정전확인순서에 관한 사항
5. 단락접지실시에 관한 사항
6. 전원재투입 순서에 관한 사항
7. 점검 또는 시운전을 위한 일시 운전에 관한 사항
8. 교대근무시 근무인계에 필요한 사항

표 11-4. 정전 작업 시의 조치 사항

단계별	조치 사항
작업시작 전	1. 작업지휘자의 임명 2. 작업지휘자에 의한 정전범위, 기기조작순서, 개폐기의 위치, 정전시간, 접지개소 및 송전시의 안전확인 등을 주지 3. 개로된 개폐기에 시건장치 및 통전금지 표지판 설치 4. 전력콘덴서 등의 잔류전하 방전 5. 검진기에 의한 정전확인 6. 단락접지기구로 접지 7. 일부 정전작업시 정전, 활선의 구분표시 8. 근접활선에 대한 절연방호 9. 활선경보기 등의 보호구 착용
작업 중	1. 작업지휘자에 의한 작업지휘 2. 개폐기의 관리 3. 단락접지상태 확인 4. 근접활선에 대한 방호상태 관리
작업 종료	1. 단락접지기구 및 표지류 철거 2. 작업자에 대한 위험요인이 없는가 확인 3. 개폐기 투입으로 송전 실시

### 개폐기 잠금, 자물쇠장치 및 통전금지표지

전로를 정전시킨 경우에는 어떠한 경우에도 무전압 상태로 유지해야 하며, 이를 위해서 가장 기본적인 안전조치는 정전에 사용한 전원스위치에 작업기간 중에는 투입이 될 수 없도록 시건장치를 하는 것과 그 스위치 개소에 통전금지표지 관련 사항을 표시하는 것, 그리고 필요한 경우에는 스위치 장소에 감시인을 배치하는 것이다. 예를 들어 금속성 개폐기 같은 경우는 조작용 레버를 체인으로 잠금장치하는 방법 또는 커버나이프 스위치 같이 퓨즈가 있는 개폐기의 경우는 퓨즈를 제거하여 작업책임자가 보관하는 방법 등을 들 수가 있다.

### 잔류전하 방전조치

정전시킨 전로에 전력케이블, 용량이 큰 부하기기, 전력용 콘덴서 등이 접속되어 있는 경우에는 전원차단 후에도 여전히 전하가 잔류한다. 부하기기나 전력케이블의 경우에는 짧은 시간 내에 자연 방전되지만, 전력용 콘덴서에는 상당히 장시간 동안 전하가 잔류하게 된다. 따라서 이와 같은 잔류전하에 의한 감전사고 위험을 없애기 위해서는 방전코일이나 방전기구 등에 의해서 안전하게 잔류전하를 제거하는 것이 필요하다.

### 정전의 확인(검전)

전로를 정전시킨 경우에는 전로에 접촉하기 전에 그 전로의 사용전압에 따른 검전기를 사용하여 정전을 반드시 확인하여야 한다. 이것은 정전작업 시 착각하여 다른 전로를 개로하거나 잔류전하가 남아 있는 경우 또는 비상발전기에 의한 역송전으로 전로가 충전되는 경우가 있기 때문에 정전작업 시에는 매우 중요한 안전조치가 되는 것이다.

### 단락 접지의 실시

전로가 정전된 경우에도 다른 전로와의 접촉 또는 다른 전로에서의 유도작용 및 비상용발전기의 가동 등으로 인하여 정전전로가 갑자기 충전되는 경우가 있으므로, 이에 따른 감전 위험을 제거하기 위해 작업개소에 근접한 지점에 충분한 용량을 갖는 단락접지기구(短絡接地器具)를 사용하여 정전전로를 단락 접지하는 것이 필요하다. 단락접지기구는 [그림 1]과 같은 구조로 되어 있으며, 이를 부착할 때는 먼저 접지클립을 접지단자에 물린 후 가까운 전선부터 차례로 단락시킨다. 또 이를 제거할 때는 부착할 때와 역순으로 하면 된다. [그림 1]은 단락접지기구를 사용한 예를 나타낸 것이다. 단락접지기구는 오송전에 대한 안전조치이므로 이 기구에 사용되는 전선은 단면적이 22mm<sup>2</sup> 이상이 되는 연선을 사용하는 것이 바람직하다.

정전작업 시에는 정전을 보장하는 개폐기 잠금장치와 검전이 매우 중요하지만 불시송전에 대한 안전대책으로서의 단락접지도 이에 못지 않게 중요하다.

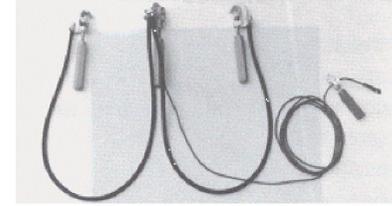


그림 11-8. 단락접지기구

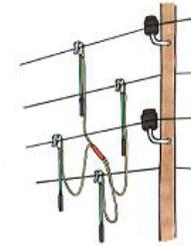


그림 11-9. 단락접지 기구의 사용 예

### ③ 재 통전시의 안전조치

정전작업이 끝나고 송전을 개시할 때는 더욱 신중하여야 한다. 이것도 물론 정전작업요령에 기록되어 있어야 하고 작업자 전원에게 주지시켜야 하는 것으로 다음과 같은 사항이 필요하다.

- 정전작업이 끝난 후 작업자 전원에게 대한 인원점검을 한다.
- 단락접지기구, 통전금지표시, 개폐기, 잠금장치 등의 안전장치를 제거한다.
- 작업책임자의 지휘하에 한 동작씩 지시하고, 전원 투입자는 이를 반복 확인한 후 그 동작을 시행한다.
- 작업지휘 현장과 스위치 개소가 떨어져 있으면 스위치 개소에 감시인을 배치하고, 작업책임자는 감시인과 직접 연락하면서 재통전을 지휘한다.

### 3) 오조작 방지

고압 또는 특별고압 전선로에서 고압 또는 특별고압용인 것이나, 단로기, 선로 개폐기 등

과 같은 부하전류를 차단하기 위한 것이 아닌 개폐기는 오조작에 의하여 부하전류를 차단하여 아트발생에 따르는 재해가 일어나지 않도록 다음과 같은 조치를 강구하여야 한다.

- 무부하 상태를 표시하는 파일럿 램프를 설치한다.
- 전선로의 계통을 판별하기 위하여 타블렛을 시설한다.
- 개폐기에 전선로가 무부하 상태가 아니면 개로할 수가 없도록 연동(interlock)장치를 설치한다.

#### 4) 정전절차

국제사회안전협회(ISSA)에서 제시하는 정전작업의 5대 안전수칙은 다음과 같다.

**첫째 : 작업 전 전원차단**

**둘째 : 전원투입의 방지**

**셋째 : 작업장소의 무전압 여부확인**

**넷째 : 단락접지**

**다섯째 : 작업장소의 보호**



그림 11-10. 정전작업 절차

#### 사고사례

2005년 7월 ○일, ○○실험실에서 위해 밸브 해체작업을 하던 중 작업장소의 조도를 높이기 위해 이동용 전등 외함에 실험실 연구원의 손이 접촉하는 순간 감전되어 사망한 재해임.

과정

실험실 하부 바닥철판을 교체하기 위해 밸브 해체작업을 하던 중 동료연구원이 작업장소의 조도를 높이기 위해 실험실 상부 1.5m에 있는 이동용 전등을 옮겨줄 것을 요청하여 재해자가 이동용 전등의 전선을 잡고 아래쪽으로 위치를 옮기던 중 외함에 재해자 손이 접촉하는 순간 감전되어 사망한 재해임.

사고 원인

- 전선의 관리상태 소홀: 이동용 전등의 전선의 접속부나 외함에 접촉되는 부분 등에는 절연피복이 손상되지 않도록 필요한 조치를 실시하지 않았음.
- 접지 미실시: 코드 및 플러그에 접속하여 사용하는 이동용 전등 등 전기기계기구에는 접지선이 포함된 3심 케이블을 사용하여야 하나 접지조치를 실시하지 않았음.
- 전원측에 누전차단기 미설치 : 임시 배선이 설치된 장소에서 이동형 전기기계기구에 의한 감전 재해를 예방하기 위한 전원측에 누전 차단기를 미설치하였음

## 사고사례

2000년 2월 ○일, 경기도 ○○실험실에서 간이혼합조로 사용하는 플라스틱용기에 용제인 메틸 에틸 케톤(M.E.K)과 수지(Polyester Resin)를 투입 후 혼합기(Dissolver)에 옮겨 혼합기축을 플라스틱 용기에 넣고 혼합 작업 중 과도하게 진동하는 것을 목격하고 용기를 고정시키려고 양손으로 잡는 순간 화재·폭발이 발생, 실험자 1명이 3도 화상을 입은 재해임.

### 과정

기인물 간이혼합조로 사용된 플라스틱용기(용량 100 kg)외관을 확인결과 폭발로 인하여 용기측면에 직경 30 cm 정도의 구멍이 생겼으며 직경 2 cm 정도의 작은 구멍이 많이 발생되어 있는 흔적으로 보아 혼합시 인화성이 강한 메틸 에틸 케톤의 증발로 폭발 분위기가 조성되어 용기내부에서 폭발이 발생된 것으로 판단됨.

### 재해원인

- 인화성 물질의 증기 환기 불충분 혼합기에 국소 배기후드가 설치되어 있으나 제어거리가 멀어 교반 혼합시 혼합용기 내부에서 생성되는 인화성이 강한 용제증기가 배출되지 못하고 내부에 정체되므로 폭발위험 분위기가 조성됨.

- 정전기로 인한 화재·폭발 방지조치 미흡

- 1) 비도전성 재질의 혼합용기에 비도전성 용제 등의 원료를 무리한 속도로 고속 혼합 함으로써 높은 전압의 정전기 축적됨.
- 2) 일반 안전화 및 작업복 착용으로 용기내부에 축적된 정전기가 인체에 일시 방전함.
- 3) 기타 이상시 조치요령에 대한 교육 미흡 이상 운전 지침서 및 안전수칙 미제정 및 미게시

## 참고문헌

- 미국 오클라호마 대학, Safety Manual  
서울대환경연구소, 연구실안전길잡이, 동화기술, 2001  
한국산업안전공단, 안전관리실무(제조), 2000  
한국산업안전공단, 전기안전, 전문화교육, 2000  
한국산업안전공단, 중대재해 사례 및 원인분석, 2004.  
한국산업안전공단, 중대재해 사례 및 원인분석, 2005.  
CRC, Handbook of Lab safety, CRC, 1980.

# 부 록

## 부록 A 실험 전의 안전점검체크리스트

점검 항목

체크

1. 실험 준비
  - 본 실험은 처음 실시하는가?
  - 실험은 이미 알고 있는 반응인가?
  - MSDS자료는 충분히 검토했는가?
2. 시약 및 생성물의 성질 조사
  - 독극물을 사용하는가?
  - 위험물을 사용하는가?
  - 유기용매를 사용하는가?
  - 유독, 악취가스가 발생하는가?
  - 고압가스를 사용하는가?
  - 냉매를 사용하는가?
  - 방사성 동위원소를 사용하는가?
3. 실험 조작
  - 유리 세공을 하는가?
  - 가열, 환류를 실시하는가?
  - 용매의 탈수를 하는가?
  - 증류를 실시하는가?
  - 실험 중에 건조 과정이 있는가?
  - 크로마토그래피를 사용하는가?
  - 농축이나 여과를 하는가?
4. 실험 장치의 사용법
  - 전기기구를 사용하는가?
  - 유리기구를 사용하는가?
  - 진공기구를 사용하는가?
  - 냉장고를 사용하는가?
  - 원심분리기를 사용하는가?
  - X선, γ선 등의 방사선 발생장치를 사용하는가?
  - 레이저를 사용하는가?
  - 강한 자기장을 필요로 하는가?
  - 고압 용기를 사용하는가?
5. 폐기물 처리방법
6. 사고시의 대처 방법
  - 소방서, 병원 등의 긴급 연락처를 알고 있는가?
  - 응급 처치법, 초기 소화법을 알고 있는가?

### 7. 실험 전의 준비 사항

- 실험에 맞는 복장을 하고 있는가?
- 실험실에 비상구 또는 피난구가 확보되어 있는가?
- 실험에 필요한 공간은 충분히 확보되어 있는가?
- 가스, 수도는 확보되어 있는가?
- 전기 용량은 충분한가?
- 드래프트는 정상 가동하고 있는가?
- 환기는 충분한가?
- 화재경보기, 소화기, 긴급용 샤워, 세안기의 위치를 파악하고 있는가?

## 부록 B MSDS

### 1. MSDS

MSDS는 Material Safety Data Sheet의 약자로 물질안전 보건자료라고 한다. MSDS에는 해당 화학물질에 대한 유해 및 위험성, 취급시 주의사항, 응급조치 요령 등이 기재되어 있어, 화학물질 취급으로 인한 재해나 인체 유해성에 신속히 대응할 수 있는 정보를 사용자가 사전에 파악할 수 있도록 제도화되어 있다. 그러므로, 연구종사자는 실험 중에 사용하는 화학물질에 대하여 MSDS 자료를 검토하여 위험성을 사전에 충분히 파악해 두어야 한다.

### 2. MSDS의 구성 항목

- |                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| 1. 화학 제품과 회사에 관한 정보 | 2. 구성성분의 명칭 및 함유량 |
| 3. 위험, 유해성          | 4. 응급조치 요령        |
| 5. 폭발, 화재 시 대처방법    | 6. 누출사고 시 대처방법    |
| 7. 취급 및 저장방법        | 8. 노출방지 및 개인보호구   |
| 9. 물리 화학적 특성        | 10. 안정성 및 반응성     |
| 11. 독성에 관한 정보       | 12. 환경에 미치는 영향    |
| 13. 폐기시 주의사항        | 14. 운송에 필요한 정보    |
| 15. 법적 규제 현황        | 16. 기타 참고사항       |

### 3. 물질안전 보건자료(MSDS)의 적용 대상 물질 분류 기준

#### 분류 상세 내용

- |         |  |
|---------|--|
| 물리적 위험  | (1) 폭발성 물질 : 산소 없이 마찰발생, 충격, 접촉 시 폭발, 폭연되는 물질                        |
|         | (2) 산화성 물질 : 다른 물질과 접촉하여 심한 발열반응을 나타내는 물질                            |
|         | (3) 극산화성 물질 : 인화점 0℃ 미만, 끓는점 35℃ 이하 액체, 또는 상온, 상압에서 공기 접촉 시 인화성인 기체. |
|         | (4) 고산화성 물질 : 인화점 21℃ 미만 액체, 상온에서 공기 접촉 시 발열, 발화하는 물질.               |
|         | (5) 인화성 물질 : 인화점 21℃ 이상, 55℃ 이하 액체                                   |
| 건강장해 위험 | (6) 급수성 물질 : 물, 습한 공기와 접촉 시 폭발성, 인화성 기체 방출 물질                        |
|         | (1) 고독성 물질 : 흡입, 섭취, 피부로 소량 흡수시 사망, 만성 장애 유발물질                       |
|         | (2) 발암성 물질 : 미국 산업위생전문가협의회가 규정한 발암성 물질                               |
|         | (3) 독성 물질 : 흡입, 섭취, 피부로 흡수시 사망, 만성 장애 유발물질                           |
|         | (4) 변이성 물질 : 흡입, 섭취, 피부 흡수시 유전자 변이와 결합 유발 발생률                        |

증대 우려 물질.

- (5) 생식독성 물질 : 흡입, 섭취, 피부 흡수시 비유전성 악영향, 생식기능, 능력장애 유발, 발생을 증대 우려 물질

- 환경 위험
- (1) 급성독성, 아급성독성, 만성장해 : 흡입, 섭취 등 흡수 시 급,만성 장해 우려물질 등
  - (2) 자극성 물질 : 피부 자극성, 눈 자극성, 호흡기계 자극성 물질
  - (3) 과민성 물질 : 흡입, 피부 침투시 민감성 작용물질
  - (4) 부식성 물질 : 접촉시 피부조직(세포) 파괴성 물질
  - (5) 환경 유해물질 : 환경 생태에 영향을 미치는 물질

#### 4. 물질안전보건자료 (MSDS)의 입수 방법

##### 4.1 국내는 KOSHA.net, 외국 수입품의 화학물질

- (1) 수출자는 MSDS 제공 의무가 있으며, 수입자는 번역 제공 의무가 있다.
- (2) 기초화학제품을 후진국에서 수입 시 선진국에서는 MSDS 구입, 번역 의무가 있다.

##### 4.2 외국 수입품의 화학물질

- (1) 선진국 생산 화학제품 ; 국내 제조자가 선진국 MSDS를 이용.
- (2) 선진국 MSDS 확보 불가 ; 제조자가 시험, 연구 후 MSDS를 개발하여 사용자에게 제공.
- (3) 신중 화학물질 ; 제조자가 시험, 연구 후 MSDS를 개발.

##### 4.3 기타

- (1) 타 회사에서 구매 사용 시 ; 판매자에게 MSDS를 요구
- (2) 외국에서 수입하여 사용시 ; 수입자가 외국의 수출자로부터 받아 번역하여 사용자에게 제공한다.
- (3) 직접 제조하는 경우
  - 선진국의 MSDS 이용 제공
  - 시험, 연구 후 MSDS 신규개발 제공



(OECD의 GLP기준에 적합한 시험연구소의 자료)

#### 5. 물질안전보건자료 (MSDS)의 일례

##### 1. 화학제품과 회사에 관한 정보

CAS 번호: 67-64-1  
 RTECS 번호: AL3150000  
 유럽연합(EU) 번호(EINECS): 200-662-2  
 EU 색인 번호: 606-001-00-8

물질명: 아세톤(ACETONE)

동의어/상품명:

2-프로판온(2-PROPANONE); 디메틸포름알데히드(DIMETHYLFORMALDEHYDE); 디메틸 케톤(DIMETHYL KETONE); 베타-케토프로판(BETA-KETOPROPANE); 메틸 케톤(METHYL KETONE); 프로파논엔(PROPANONENE); 피로아세트 에테르(PYROACETIC ETHER); KTI 아세톤 (KTI 화학)(KTI ACETONE (KTI CHEMICALS)); 글립탈 티너 1511F(GLYPTAL THINNER 1511F); 용액 "C" (MICROD INTERNATIONAL)(SOLUTION "C" (MICROD INTERNATIONAL)); RCRA U002; UN 1090; STCC 4908105; C3H6O; OHS00140

화학물질 군: 케톤류, 지방족 화합물

작성 일자: 1984.9.6

개정 일자: 1997.3.30

##### 2. 구성성분의 명칭 및 함유량

성분: 아세톤(ACETONE)

CAS 번호: 67-64-1

퍼센트(%): 100.0

##### 3. 위험 유해성

NFPA 등급(0-4 단계): 보건=2 화재=3 반응성=0

유럽연합(EU) 분류:

F; R 11

응급상황을 위한 개요:

색상: 무채색.

물리적 상태: 휘발성 액체.

냄새: 박하 및 달콤한 냄새.

주요한 건강위험성: 호흡기도 자극, 피부 자극, 눈 자극, 중추 신경 계통 억제

물리적 위험: 가연성 액체 및 증기. 증기는 증발 연소를 야기할 수도 있음.

잠재적 건강영향:

흡입:

단기간 노출: 자극, 구역, 두통, 현기증, 졸음, 명정.

장기간 노출: 단기간 노출시 보고된 영향과 같음.

피부 접촉:

단기간 노출: 자극.

장기간 노출: 얼얼한 느낌.

눈 접촉:

단기간 노출: 자극.

장기간 노출: 단기간 노출시 보고된 영향과 같음.

섭취:

단기간 노출: 위장 자극, 구역, 설사, 명정.

장기간 노출: 신장 이상, 간 이상.

발암성:

산업안전보건법 : 없음

미국 산업안전보건청(OSHA): 없음

미국 국립독성계획단(NTP): 없음

국제 발암성연구소(IARC): 없음

#### 4. 응급조치 요령

흡입: 노출로부터 즉시 이동할 것. 필요시 인공호흡(구조 호흡)을 할 수 있는 간이 구명기

또는 이와 유사한 장치를 사용하도록 함. 의사의 치료를 받도록 할 것.

피부 접촉: 오염된 의복, 장신구 및 신발을 즉시 제거할 것. 화학 물질이 완전히 제거될

때까지(최소 15-20분) 다량의 물을 사용하여 비누 또는 중성 세제로 세척할 것. 필요 시 의사의 치료를 받도록 할 것.

눈 접촉 : 화학물질이 완전히 제거될 때까지 많은 양의 물이나 생리식염수로 아래 위 눈꺼풀을 가  
끔씩 치켜 들면서 즉시 눈을 씻을 것. 즉시 의사의 치료를 받을 것.

섭취: 소방서(응급구조) 또는 의사에게 즉시 연락할 것. 의식 불명의 사람에게 토하게 하거나 음  
료수를 마시지 않도록 할 것. 구토를 하면, 구토물이 기도를 막는 것을 방지하기 위하여 머  
리를 둔부보다 낮추도록 할 것. 만약 사람이 의식 불명이면 머리를 옆으로 돌리게 할 것.  
즉시 의사의 치료를 받을 것.

의사에 대한 정보: 섭취하였을 때는 위 세척 및 활성탄 슬러리의 투여를 고려할 것.

#### 5. 폭발 화재시 대처 방법

화재 및 폭발 위험: 심각한 화재 위험이 있음. 증기는 공기보다 무거움. 증기 또는 가스는 원거  
리의 발화원으로부터 정화되어 순식간에 확산될 수 있음. 증기/공기 혼합물  
은 폭발성이 있음.

소화제: 알코올 방지 거품, 이산화탄소, 입자상 분말 소화약제, 물, 알코올 방지 거품.

대형 화재: 내알코올성 포말을 사용하거나 미세한 물 분무로 다량 살수할 것.

소방: 위험 없이 할 수 있으면 용기를 화재지역으로부터 이동시킬 것. 진화가 된 후에도 상당 시  
간 동안 물 분무로 용기를 냉각시킬 것. 탱크의 양 끝에는 접근하지 말 것. 입 출하 또는  
보관 장소에서 화재가 발생한 경우: 진화가 된 후에도 상당 시간 동안 물로 무인 호스 출  
터 또는 모니터 노즐을 사용하여 물을 뿜어 용기를 냉각시킬 것. 만약 이것이 불가능하면  
다음과 같은 예방대책을 강구할 것: 관계인 외의 접근을 막고 위험 지역을 격리하며 출입  
을 금지할 것. 타도록 내버려 둘 것. 화재로 인하여 안전장치가 작동하는 소리가 나거나  
탱크가 변색되는 경우에는 즉시 대피할 것. 탱크, 철도 차량 또는 탱크 트럭의 경우: 대피  
반경: 0.8 Km (1/2 마일). 물은 비효과적일 수도 있음.

소방 보호 장비: 전체 소방 복장(방커 기어), 송기마스크(복합식 에어라인 마스크), 공기호

흡기(전면형).

인화점: -4 F (-20 C) (CC)

발화하한치: 2.5%

발화상한치: 13%

자연 발화: 869 F (465 C)

발화등급 (OSHA): 1B

6. 누출사고시 대처방법

직업적 유출: 열, 화염, 스파크 및 기타 점화원을 피할 것. 발화원을 제거할 것. 위험없이 할 수 있으면 누출을 중단시킬 것. 물 분무를 사용하여 증기의 발생을 감소시킬 것. 소량 누출 시는 모래 또는 다른 비가연성물질을 사용하여 흡수시킬 것. 누출된 물질의 처분을 위해 적당한 용기에 수거할 것. 다량 누출 시는, 추후의 처리를 위한 제방을 축조할 것. 관계인 외의 접근을 막고 위험 지역을 격리하며 출입을 금지할 것. 바람을 안고 있도록 하고 저지대를 피할 것. 보고기준량(RQ): 2270 kg (5000파운드). 기준량 이상의 배출에 대해서는 중앙정부 및 지방자치단체에 배출내용을 통지할 것. 미국 내에서 유출이 되었고 또한 CERCLA Section 103 보고 기준에 적용되면, National Response Center로 통지하십시오. 전화는 (800)424-8802(USA) 또는 (202)426-2675(USA).

7. 취급 및 저장방법

현행법규 및 규정에 의하여 저장 및 취급할 것. 보관 규정: U.S. OSHA 29 CFR 1910.106. 접지 및 접속 필요. 혼합금지 물질과 분리할 것.

8. 누출방지 및 개인보호구

노출기준:

아세톤(ACETONE):

- TWA : 750ppm, 1780mg/m3
- STEL : 1000ppm, 2375mg/m3

아세톤(ACETONE):

- 1000 ppm (2400 mg/m3) OSHA TWA
- 750 ppm (1780 mg/m3) OSHA TWA (1993년 6월 30일 58 FR 35338에 의해 무효화됨)

1000 ppm (2375 mg/m3) OSHA STEL (1993년 6월 30일 58 FR 35338에 의해 무효화됨)

750 ppm (1780 mg/m3) ACGIH TWA

1000 ppm (2375 mg/m3) ACGIH STEL

250 ppm (590 mg/m3) NIOSH 권장 TWA 10 시간

500 ppm (1200 mg/m3) DFG MAK TWA

1000 ppm (2400 mg/m3) DFG MAK 피크 5 분 순간 값 8 회수/교대조

환기: 국소배기장치 설치할 것. 물질이 폭발농도의 위험이 있는 경우에는 해당. 환기장치는 방폭설비를 할 것. 해당 노출기준에 적합한지 확인할 것.

눈 보호: 비산물 또는 유해한 액체로부터 보호되는 보안경을 착용할 것. 작업장 가까운 곳에 분수식 눈 세척시설 및 비상세척설비(샤워식)를 설치할 것.

보호의: 적절한 내화학성 보호의를 착용할 것.

안전장갑: 적당한 내화학성 장갑을 착용할 것.

호흡 보호구: 다음 호흡용보호구 및 최대 사용 농도는 미국 국립산업안전보건연구소(NIOSH)및/또는 미국 산업안전보건청(OSHA)에서 작성한 것임.

2500 ppm

방독마스크(직결식 소형, 유기가스용).

전동팬 부착 호흡보호구(유기가스용).

공기여과식 호흡보호구(유기가스용 정화통 및 전면형).

송기마스크.

공기호흡기(전면형).

대피 -

공기여과식 호흡보호구(유기가스용 정화통 및 전면형).

공기호흡기(대피용).

미지농도 또는 기타 생명이나 건강에 급박한 위험이 있는 경우 -

송기마스크(복합식 에어라인 마스크).

공기호흡기(전면형).

9. 물리화학적 특성

외관: 투명

색상: 무채색  
물리적 상태: 휘발성 액체  
냄새: 박하 및 달콤한 냄새  
맛: 달콤한 맛  
분자량: 58.08  
분자식: C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O  
끓는점: 133 F (56 C)  
어는점: -139 F (-95 C)  
증기압: 180 mmHg @ 20 C  
증기 밀도(공기=1): 2.0  
비중(물=1): 0.7899  
물 용해도: 가용성  
수소이온지수(pH): 자료없음  
휘발성: 100%  
취기한계: 20 ppm  
증발율: 6 (부틸 초산염=1)  
용매 가용성: 가용성: 알코올, 에테르, 벤젠, 클로로포름, 디메틸포름아미드, 오일

#### 10. 안정성 및 반응성

반응성: 상온 상압에서 안정함.

피해야 할 조건: 열, 화염, 스파크 및 기타 점화원을 피할 것. 용기가 열에 노출되면 파열되거나 폭발할 수도 있음.

혼합금지 물질: 산, 아민, 할로겐, 할로 탄소 화합물, 산화제, 금속염, 과산화물, 가연성 물질, 염기.

위험한 분해생성물: 열분해생성물: 탄소 산화물.

중합 반응: 중합하지 않음.

#### 11. 독성에 관한 정보

아세톤(ACETONE):

자극성 자료: 500 ppm 눈-인간; 395 mg 노출 피부-토끼 약함; 500 mg/24 시간 피부-토끼

약함; 20 mg 눈-토끼 심함; 20 mg/24 시간 눈-토끼 보통.

독성 자료 : 50100 mg/m<sup>3</sup>/8 시간 흡입-쥐 LC50; 5800 mg/kg 구강-쥐 LD50.

발암성: 없음.

국소 영향:

자극제: 흡입, 피부, 눈.

급성독성 수준:

저독성: 흡입, 섭취.

표적 장기: 중추 신경계

노출에 의해 위험이 증가될 수 있는 경우: 호흡기계 이상, 피부 질환 및 알레르기.

변이원성 자료: 사용 가능.

생식독성 자료: 사용 가능.

추가 자료: 알코올은 독성을 상승시킬 수 있음.

#### 12. 환경에 미치는 영향

환경영향 등급: 4 (환경독성 자료) (범위 0-4, 4가 가장 유해함)

환경독성 자료 :

어독성 : 4 ug/L 96 시간 LC50 (사망율) 할리킨피시, 레드 래즈보러.

무척추동물 독성 : 35 ug/L 48 시간 EC50 (부동화) 물벼룩.

해조류 독성 : <14 ug/L 11-14 시간 MATC (성장) 홍조류.

기타 독성 : 0.21 ug/L 96 주 LC50 (사망율) 개구리.

(환경에서의)변화와 운송:

생물 축적 : 100000 ug/L 32 시간 BCF (잔여) 열간이 진흙 새우 4.3 ug/L.

환경 요약 : 수생생물에 매우 유독함.

#### 13. 폐기시 주의 사항

폐기물 처리관련 규정에 의하여 : U.S. EPA 40 CFR 262. 유해 폐기물 번호: U002.  
적용 규정에 따라 폐기할 것.

#### 14. 운송에 필요한 정보

U.S. DOT 49 CFR 172.101. 선적명-UN 번호: 위험 등급: 포장군: 경고표지: 아세톤-UN1090; 3; 11;

인화성 액체

과 격리할 것 - 흡연 금지. 가스, 흙, 증기 또는 분무액을 흡입하지 말 것. 정전기 방전에 대한 예방대책을 수립할 것.

15. 법적 규제 현황

16. 기타 참고사항

한국 규정:

- 산업안전보건법 : 유기2종, 표시대상, 허용농도
- 유해화학물질관리법 : 없음
- 소방법 : 4류 1석유류

미국 규정:

TSCA 물품목록 현황 : 있음

TSCA 12(b) 수출 통지 : 있음

아세톤(ACETONE) CAS 번호: 67-64-1 4 항목

CERCLA 103 규정 (40CFR302.4) : 있음

아세톤(ACETONE) : 5000 LBS RQ

SARA 302 규정 (40CFR355.30) : 없음

SARA 304 규정 (40CFR355.40) : 없음

SARA 313 규정 (40CFR372.65) : 없음

SARA 위험구분, SARA 311/312 규정(40CFR370.21):

급성 : 있음

만성 : 없음

화재 : 있음

반응성 : 없음

갑작스런 배출 : 없음

OSHA 규정(29CFR1910.119) : 없음

주 규정:

캘리포니아 제안 65호 : 없음

국제 법규:

유럽연합(EU) 번호(EINECS) : 200-662-2

유럽연합(EU) 위험 및 안전구문:

R: 11

고인화성.

S: 2-9-16-23-33

어린이의 손이 닿지 않는 곳에 보관할 것. 용기를 통풍이 잘 되는 곳에 보관할 것. 발화원