

## X. 검사실감염 및 안전관리

### A. 생물안전지침

사스, 메르스, 코로나-19 및 조류인플루엔자 등 세계적으로 유행하는 감염병과 2001년 미국에서 발생한 탄저 생물테러 등은 국제적으로 생물안전 및 생물보안의 강화를 위해 감염병 병원성 미생물의 체계적인 관리와 운영이 필요하다는 인식을 확산시키게 되었다.

따라서 감염병 병원성 미생물을 다루거나 보존하고 있는 실험실에서 감염성물질 유출 방지 및 실험 중 발생할 수 있는 실험실 획득 감염의 예방은 지역사회에 감염병 발생 및 전파 예방뿐만 아니라 시험·연구종사자에게 안전한 실험 환경을 제공하고 연구의 질적 향상에도 도움을 준다.

병원성 미생물 등 감염성물질을 취급하는 과정에서 발생할 수 있는 재해 방지 및 실험실 생물 안전 확보를 위해서는 실험실의 체계적인 위해성 평가 능력과 취급 생물체에 대한 적합한 물리적 밀폐(physical containment) 및 적절한 생물안전관리 운영체계를 확보하는 것이 중요하다.

본 지침서는 질병관리청 국립보건연구원의 “실험실생물안전지침-2019” 원본을 그대로 인용하였으며 고위험병원체 등 병원성 미생물 및 감염성물질을 취급하거나 유전자재조합실험을 수행하는 검사실의 환경과 검사자들에게 실험을 수행하는 과정에서 필요한 생물안전 확보에 도움이 되었으면 한다.

#### 1. 생물안전의 원칙과 시행

##### 1) 생물안전(biosafety) 이란

실험실에서 병원성 미생물 및 감염성물질 등 생물체를 취급함으로써 초래될 가능성이 있는 위험으로부터 시험·연구종사자와 국민의 건강을 보호하기 위하여 적절한 지식과 기술 등의 제반 규정 및 지침 등, 제도 마련 및 안전장비·시설 등의 물리적 장치 등을 갖추는 포괄적 행위를 의미한다.

##### 2) 생물재해(biohazard) 란

병원성 미생물로 인하여 발생할 수 있는 사고 및 피해로 실험실감염과 확산 등이 포함된다. 이러한 생물재해를 방지함으로써 시험·연구종사자 및 국민의 건강한 삶을 보장하고 안전한 실험실 환경을 유지하는 것이 생물안전의 목표이다.

### 3) 생물안전을 확보하기 위한 중요 요소

(1) 첫째, 실험실의 체계적인 위해성 평가 능력을 확보하는 것이 필요하다.

- 실험실 생물안전을 위해서는 취급하는 미생물 및 감염성물질 등이 갖는 위해정도에 따라 등급을 정하고 실험내용에 따라 생물안전 수준과 연관 지어 판단하는 것이 필요하다.  
수행하고자 하는 실험에 대한 적절한 생물안전 수준을 결정하기 위해 고려해야 할 사항은 취급하는 미생물 및 감염성물질 등에 의해 발생할 수 있는 잠재적 위해성이다.
- 일반적으로 미생물은 사람에 대한 위해도에 따라 4가지 위험군(risk group)으로 분류된다.



(출처: 질병관리본부/국립환경보건연구원. 실험실 생물안전지침 2019.)

2) 둘째, 취급 생물체에 대한 적합한 물리적 밀폐(physical containment)를 확보하는 것이다.

- 실험 대상 생물체의 특성 및 실험 내용에 따른 적절한 기준에 맞게 설치된 실험시설 확보.
- 생물안전등급은 4가지(생물안전 1등급부터 생물안전 4등급까지)로 분류되며, 단계별 실험실 준수 사항과 안전기술, 안전장비와 실험실 설비를 조합하여 준수하도록 규정하고 있다.

3) 셋째, 기관생물안전위원회 구성 및 역할, 생물안전관리책임자 임명 및 기관생물안전관리규정 등 적절한 생물안전관리 및 운영을 위한 방안들을 확보하고 이행해야 한다.

## 2. 위해성 평가

### 1) 실험실 위해성 평가

실험실 위해성 평가는 실험실 내 실험 수행의 모든 절차와 시설에 대한 유해요소를 검토한다.

## (1) 주요한 실험실 위해요소

### ① 생물학적(biological hazards) 요소

세균·바이러스·진균 및 그 생산독소, 기생충, 실험동물, 식물, 곤충, 유전자재조합생물체 등

### ② 화학적(chemical) 요소

물리적 위험성(반응성, 인화성, 부식성, 금수성, 폭발성) 및 건강유해성(독성, 발암성)

### ③ 기계적(mechanical) 요소

손상성기기(주사바늘, 수술용 칼, 핀셋, 가위 등), 유리, 압축가스 실린더, 진공장비의 파손 및 과부하된 압력으로 인해 발생하는 폭발

### ④ 전기적(electrical) 요소

전기누전, 합선, 용량초과, 전기쇼크 등에 의한 화재, 고압전류, 부적절한 전기 배선의 설치 및 차단기 이상

### ⑤ 열역학적 요소

발열기기(가스레인지, 버너, 알코올램프 등), 고압증기멸균기, 드라이오븐, 드라이아이스

### ⑥ 방사능적(radiations) 요소

방사능동위원소, 레이저, BSC, 클린룸, 전자레인지 등에서 발생하는 자외선 등

(2) 실험실 위해성 평가는 앞서 설명한 주요 위해요소의 세부사항을 바탕으로, 실험과정의 특수성과 실험장소의 복잡성, 이용자 및 위해요소 취급자의 경험 수준 등 상호 관련된 영향 관계에 따라 다양한 정성·정량평가 기법을 활용하여 수행되는 종합적 위해성 평가 과정이다

## 2) 실험 위해성 평가

(1) 위해성 평가는 위해성 관리(risk management)와 위해성 정보교류(risk communication)와 상호 연계되며, 위해성 평가는 위해성 분석(risk analysis)과 위해성 판단(risk evaluation)으로 세분화 된다. 그러나 대부분의 경우 위해성 분석과 위해성 평가는 동일한 의미로 받아들여지고 있다.

(2) 올바른 위해성 평가를 수행하기 위해서는 취급 미생물 또는 독소 등의 병원성, 질병 발생 위험성, 전파방식, 에어로졸 발생 여부 등에 대한 과학적 근거뿐만 아니라 감염 위해를 최소화시키거나 제거하기 위해 생물안전 연구시설, 안전 장비 등에 대한 적절한 과학적 지식과 이해가 중요하다.

(3) 미생물학적 위해성 평가(microbiological risk assessment)는 실험실의 생물안전 위해성 평가를

위하여 과학적 근거를 바탕으로 미생물 및 이들이 생산하는 독소 등으로 야기될 수 있는 질병의 심각성 및 발생 가능성을 5단계에 걸쳐 평가하는 체계적인 과정이다.

- (4) 위해성 평가는 연구실 환경, 시험·연구종사자 및 작업 형태 등 평가하고자 하는 대상 및 목적에 따라 위험요소, 위해성의 특성, 노출의 종류 등이 달라질 수 있다.

#### ● 위험요소 확인(hazard identification)

위험요소 확인은 위해성 평가의 첫 단계로 인체 질병을 유발할 수 있는 대상 병원성 미생물이나 실험활동을 정하고 미생물이나 실험활동에 존재하는 위험요소를 찾아내는 과정으로 병원성 미생물의 정보, 실험실 획득 감염사례, 실험과정에 사용되는 기술 및 실험 조건, 동물 실험의 실시 여부, 유전자재조합실험 여부 등에 대한 정보를 수집한다.

#### ● 노출 평가(exposure assessment)

노출 평가는 병원성 미생물이 실험자에게 실질적으로 노출된 양 또는 노출 예상치에 대한 정성적, 정량적 평가를 하는 과정이다. 즉, 병원성 미생물 또는 독소의 농도, 노출량, 빈도 및 기간, 숙주의 면역 수준 및 병원성 미생물에 대한 감수성, 오염물질에 노출됨으로 발생하는 위해정보 등을 이용하여 병원성 미생물 또는 독소의 위해 가능성을 정성적, 정량적으로 평가하는 것이다. 이러한 노출 평가는 실험의 위해 제어 및 관리에 유용하게 이용될 수 있을 것이다. 따라서 보다 과학적 판단에 근거를 두어야 하며, 불확실성도 함께 설명되어야 한다.

#### ● 용량반응 평가(dose-response assessment)

용량반응 평가는 어떤 물질에 대한 위해성이 확인되었다면, 그 물질이 과연 어느 만큼의 위해성을 보이는지를 정량적으로 평가하는 단계이다. 일반적으로 독성학적 역치(threshold)의 유무를 평가하고 그 결과에 따라 무해용량(NOEL), 최소독성용량(LOAEL)을 산출한다. 만일 역치를 확인할 수 없을 경우 DNA에 대한 돌연변이 유발 등 저농도에 의한 장기적 영향에 대한 위해 가능성을 정성적, 정량적으로 평가하게 된다.

병원성 미생물의 경우 유전자 수준의 병리기전(pathogenesis)을 기반으로 기존에 알려진 발생률, 이환율, 유병률, 빈도, 사망률, 치사율 등을 반영하여 위해성을 판단할 수 있다 이러한 용량반응 평가는 노출 평가와 연계되어 위험요소의 불확실성을 설명한다.

● 위해 특성(risk characterization)

위해 특성 단계에는 병원성 미생물, 환경과 인간 집단 간의 상호 관계의 평가가 포함되며 위험의 심각성이나 기간을 정성·정량적으로 기술하는 과정으로 주요 위험요소는 다음과 같다.

• 병원성 미생물의 특성

복제 가능성, 잠재적 독성인자 방출력, 숙주와 환경의 상호 작용에 따른 병원성 미생물의 동적 진화, 환경에서의 병원성 미생물 안전성 및 다양성, 미생물사이에서의 유전물질 전달성, 항생제 내성 및 병독성 인자 특성의 전이 가능성

• 숙주의 특성

면역상태, 연령, 기저질환, 질병에 대한 과거력, 개별 숙주의 감수성, 상재균총의 특성 등

• 환경적 특성

사용하는 병원성 미생물의 농도 및 양, 숙주 노출 빈도 및 기간, 전파경로 및 감염량, 실험 과정에서 에어로졸 발생 여부, 병원성미생물 매개체의 접촉, 동물실험 여부, 실험환경 등

● 위해성 판단(risk evaluation)

위해성 판단은 추정된 최종 위해 신뢰도에 따라 복합적인 정책·관리적 결정을 내리는 과정이다. 일반적으로 위해 기준을 선택하고 추정된 각 위해요인들을 상호비교(compare estimated risks)한다. 이 과정을 통해 위해의 우선순위(priorities/rank risks)를 선정하게 되는데, 기본적으로 이 과정은 위해성 관리(risk management)의 전략과 수단을 개발하거나 제안하기 위한 것이다.

3. 물리적 밀폐의 확보

- 1) 미생물 및 감염성 물질 등을 취급 보존하는 실험 환경에서 이들을 안전하게 관리하는 방법을 확립 하는데 있어 기본적인 개념은 '밀폐' 이다.
- 2) 밀폐의 목적은 시험 연구종사자, 행정 직원, 지원 직원(시설관리 용역 등) 등 기타 관계자, 그리고 실험실과 외부 환경 등이 잠재적 위해 인자 등에 노출되는 것을 줄이거나 차단하기 위함이다.
- 3) 밀폐의 세 가지 핵심 요소는 다음과 같다.
  - 안전장비
  - 안전시설
  - 실험실 준수사항 및 관련기술

#### 4) 일차적 밀폐(primary containment): 안전장비

- 시험·연구종사자와 실험환경이 감염성 병원성 미생물에 노출되는 것을 방지하고 정확한 생물학적 기술의 확립과 적절한 안전장비를 사용하는 것이 중요하다.

- 생물안전작업대(biological safety cabinet, BSC)

병원성 미생물 및 감염성물질 등에 노출되는 것을 차단하거나 최소화시키기 위한 물리적 밀폐 기능이 있는 중요 안전장비로 미생물실험 수행 시 발생하는 유출물, 감염성 에어로졸 등으로 부터 시료뿐만 아니라 취급자를 보호하기 위한 안전장비로 매우 유용하다.

- 기타 안전장비로 원심분리과정 중 에어로졸이 방출되는 것을 방지하기 위한 안전 원심 캡과 개인보호구로 장갑, 실험복, 가운, 신발덮개, 장화, 호흡보호구, 안면보호대, 보안경 등이 있다.

#### 5) 이차적 밀폐(secondary containment): 생물안전 연구시설

- 실험실 외부환경이 감염성 병원성 미생물에 오염되는 것을 방지하기 위한 것으로 연구 시설의 올바른 설계 및 설치, 그리고 시설을 관리·운영하기 위한 수칙 등을 마련하고 준수하는 것이 중요하다.

- 생물안전 연구시설의 밀폐수준은 취급하는 미생물의 전파 위험도에 따라 달라진다. 따라서 생물안전 연구시설 설계에서 중요한 것으로는 환기 시스템 및 배출되는 공기에서 병원성 미생물을 제거시키는 공기 처리 시스템, 실험실 입구의 공기 차단 장치, 별도의 격리된 실험시설 설치 등을 들 수 있다.

- 6) 일반 미생물실험실에서 밀폐를 확보하기 위해 가장 중요한 요소는 표준 미생물실험실의 생물안전수칙 및 안전기술(실험법 등)을 엄격히 준수하는 것이다.

#### 4. 안전관리체계

생물안전에 관한 사항이 적절히 운영, 관리되도록 하기 위한 아래의 필수적인 요소들이 필요하다.

- 1) 조직과 인력을 구성하고 관리
- 2) 병원성 미생물 등록 및 기록물 관리
- 3) 생물안전 교육 프로그램 실시
- 4) 생물재해에 대한 위해성 평가능력 확보
- 5) 감염 및 유출 등에 대한 응급조치 확보

## B. 개인보호구

### 1. 개인보호구(personal protective equipment, PPE)-표 1 참조

개인보호구란 실험실에서 미생물을 취급하거나 유해화학물질 등을 다루는 과정에서 발생 가능한 위해로부터 시험·연구종사자의 안전을 지켜주는 가장 기본적인 장비이다. 병원성 미생물을 포함한 미생물을 취급하는 실험실에서는 적절한 실험복을 반드시 착용하고 실험방법에 따른 적절한 기타 보호구를 선택하여 사용해야 한다. 또한 사무실, 화장실 등의 일반구역 출입 및 실험실에서 퇴실할 경우 실험복 등을 벗고 손을 세척한다.

#### 1) 일반적 사항

- (1) 개인보호구를 선택할 때에는 취급하는 미생물 및 위해물질의 감염경로 및 신체 노출부위를 고려한다(예: 흡입, 섭취, 주사 또는 주입, 흡수 등).
- (2) 개인보호구는 시험·검사종사자가 항상 착용하기 쉬운 곳, 접근이 용이한 곳에 보관·관리하며 깨지거나 오염된 개인보호구는 반드시 폐기한다.
- (3) 검사실책임자 및 생물안전 관리자는 해당 연구실에서 진행하는 실험에 맞는 개인 보호구를 선택하고 올바른 사용 및 관리를 위해 시험·연구종사자들에게 교육한다.
- (4) 개인보호구는 미생물 및 감염성물질을 취급하거나 실험을 수행하기 전에 착용하고 실험종료 후 신속히 탈의한다.
- (5) 개인보호구를 착용한 상태로 일반구역(복도, 출입문 등)의 출입을 삼가고, 비오염 물품, 공용 장비(실험에 사용하지 않은 원심분리기, 배양기 등)를 만지는 등의 행위로 오염을 확산시키지 않는다.

### 2. 개인보호구 사용 및 관리

#### 1) 실험복(laboratory gown, lab coat)

- (1) 실험 수행 시, 실험복은 항상 착용해야 하며 계절에 상관없이 평상복을 모두 덮을 수 있는 긴 소매이어야 하며, 평상복과 구분하여 지정된 장소에 보관한다.
- (2) 감염성물질에 오염된 실험복을 개인 가정으로 반출하지 않는다.
- (3) 사무실, 화장실 등 일반구역에는 실험복을 탈의하고 출입한다.
- (4) 감염성물질, 미생물 등이 튀거나 묻은 경우 적절한 소독 또는 멸균법을 선택하여 불활성화시켜 폐기하거나 세탁하여 재사용한다.

표 1. 개인보호구(personal protective equipment, PPE) 종류와 특성

개인보호구 종류	관련 위해요소	특 성	비 고
실험복 (Laboratory gown)	의복의 오염	평상복 전체를 덮는 전신실험복	실험 수행 시 항상 착용할 것
보호복 (protective clothing)	신체의 오염	위해물질로부터 신체를 보호	
플라스틱 앞치마 (plastic apron)	의복의 오염	방수기능	
신발류(Footwear)	충돌 튀는 것 등	앞이 막힌 것 *덧신: 방수기능이 있는 부츠형	
고글(Goggle)	충돌 튀는 것 등	- 일반안경위로 덮어 쓰거나 바로 쓰고 볼 수 있는 것 - 측면보호	
보안경 (Safety spectacle)	충돌 튀는 것 등	- 바로 쓰고 볼 수 있는 것 - 측면보호	
보안면(Face shield)	충돌 튀는 것 등	- 얼굴전체를 덮을 수 있는 것 - 탈·착용이 용이한 것	
장갑(Glove)	접촉차과상 절단, 화상 등	- 라텍스, 비닐 또는 나이트릴 장갑 - 손 보호기능 - 내열성 특수 장갑	실험 수행 시 항상 착용 할 것
호흡보호구 (Respirators)		- 부위별 : 안면부 전체 또는 입·코를 덮는 것(Full-face or half-face)	
	에어로졸 흡입	- 일회용 또는 재사용 : 외과용 마스크(Surgical masks) ○ 일회용 필터 호흡보호구 (Disposable particulate respirator) ○ 재사용 필터 보호구 (Replaceable particulate respirator) ○ 전동식 공기정화 호흡보호구 (Powered air-purifying respirator, PAPR)	○ 입자특성별* N(Non-oil aerosol), P 또는 R ( Includes oil aerosol) ○필터 효율별7) 95%: N95, P95, R95 99%: N99, P99. R99 99.7%: N100, P100 R100

(출처: 질병관리청 국립환경보건연구원. 실험실 생물안전지침, 2019.)

\*0.3  $\mu\text{m}$  에어로졸 입자를 걸러내는 필터의 효율을 나타낸다(42CFR84, USA).



## 2) 보호복(protective clothing)

- (1) 보호복은 사용 목적, 환경 및 취급 물질 등에 따른 위험요소로부터 시험·검사자를 보호할 수 있는 재질로 구성되어야 하며, 신체 치수에 맞는 크기로 머리부터 발목까지 보호할 수 있어야 한다.
- (2) 보호복의 기준으로 가장 널리 적용되는 것은 「보호구안전인증고시(2014-46호)」 및 유럽기준 EN340이다. 이 규정은 단독으로 사용되기 보다는 다른 여러 규정들과 함께 사용되며 보호복에 대하여 6가지 유형으로 분류하고 있다. 보호복 유형별로 복합적으로 기능을 하고 있으므로, 작업 조건에 맞는 것을 선택하여 착용한다(표 2).

표 2. 보호복(protective clothing) type 특성

구 분		특 성	규 정	표 시
Type 1	가스 차단 보호복 (gas tight suits)	주위환경으로부터 완전 차단, 완전 밀폐	EN 943-1	
Type 2	비 기체 차단 보호복 (non-gas tight suits)	가스이외의 유해인자의 유입 차단 완전 밀폐는 되지 않음	EN 943-1	
Type 3	액상 차단 보호복 (liquid tight suits)	인체위험이 높은 방향성 액상 화학물질에 대한 보호능	EN 14605	
Type 4	스프레이 차단 보호복 (spray tight suits)	보호복에 고일 정도로 분사되는 응축 액상 물질에 대한 보호능	EN 14605	
Type 5	분진 차단 보호복 (dry particle tight suits)	유해 분진 입자로부터 보호능	EN 13982	
Type 6	제한적 스프레이 차단 보호복(limited spray tight suits)	비 방향성 액상 화학물질의 분무에 대한 보호능	EN 13034	
/	정전기 방지	보호복의 정전기 발생방지 및 전산 분산능력	EN 1149	
/	방사능 오염	방사능 입자에 대한 보호능	EN 10703	
/	항바이러스 보호력	바이러스, 박테리아, 체액 등과 같은 감염성물질에 대한 보호능	EN 14126 ASTM 1671	

(출처: 질병관리청 국립환경보건연구원. 실험실 생물안전지침, 2019.)

### 3) 장갑(glove)-표 3 참조

- (1) 실험을 수행할 경우 취급물질, 실험방법 등을 고려하여 적절한 장갑을 반드시 착용한다.
- (2) 장갑은 실험방법, 위험요소, 취급물질 뿐만 아니라 개인의 상황을 고려하여 선택·착용 한다.
- (3) 장갑 착용 시, 실험복을 장갑 목 부분 아래로 넣어 틈이 생기지 않도록 한다. 특히, 감염성물질 및 고위험병원체 등 인체에 해를 줄 수 있는 물질을 다룰 때에는 추가로 덧소매를 착용하여 손목이나 팔 등의 피부가 직접 노출되는 것을 방지한다.
- (4) 장갑은 가장 나중에 착용하고, 실험 종료 후 가장 먼저 탈의한다.
- (5) 일회용 장갑을 탈의할 때는 손목부분을 뒤집어서 손가락 방향으로 뒤집어서 빼내 감염성물질이 직접 닿지 않았던 부분이 보이도록 벗는다(그림 2 ①~④).
- (6) 장갑탈의 후, 손위생을 수행한다(그림 2 ⑤).

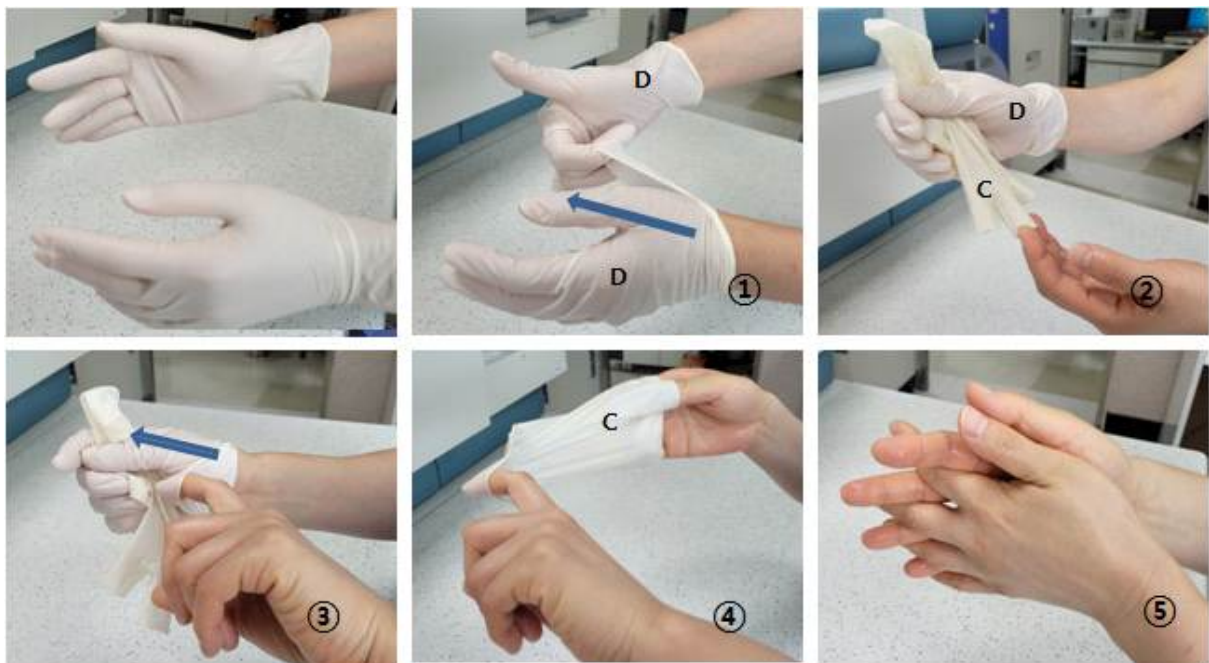


그림 2. 장갑 탈의법(출처: blog.naver.com/mmrkang)

\* C (clean) : 장갑 안쪽으로 감염성물질에 접촉되지 않은 깨끗한 부분.

\* D (dirty) : 장갑 바깥쪽으로 감염성물질을 직접 취급하거나 접촉가능성이 있는 오염 부분.

- (6) 에어로졸 발생 및 확산의 위험이 있을 수 있으므로, 장갑의 손가락 부분을 잡아 당겨서 벗지 않는다.

표 3. 용도별 장갑의 특징

구 분	용 도	고려 사항
일회용장갑	병원성 물질 및 감염성 물질 등을 막아 주는데 적합하며 보통 의료용으로 많이 쓰임	라텍스 장갑은 두께가 얇아 쉽게 찢어지고 대부분의 유기용매에 취약하며 알레르기 반응을 일으킬 수 있음
화학물질 보호장갑	높은 급성독성 및 고농도의 부식성 화학 물질 등을 다루거나 장기간 손을 담그고 화학물질을 다룰 때 사용	‘보호구안전인증고시’에 따른 재료 시험성능기준 및 침투시험을 통과하여 안전인증 마크를 획득한 제품 사용
찢림 방지 장갑	침, 주사바늘 등 뾰족한 것에 의해 발생할 수 있는 찢림 사고를 방지하기 위해 사용	기계적 위험 중 마모, 절삭, 찢김 등에 대해 보호가 가능하더라도 주사바늘 찢림에 대한 보호는 어려울 수 있으므로 반드시 관련 규격 확인
초저온 보호장갑	액화질소나 드라이아이스 등의 극저온물질을 다룰 때 냉동화상이나 동상을 방지하기 위해 사용	장갑은 물이 스며들지 않게 방수처리가 되어 있어야 하고 혈령하고 절연성이 있어야 하며 손뿐만 아니라 팔도 보호할 수 있을 정도의 긴 장갑 착용
내열장갑	뜨거운 물체를 취급하는 등 고열로부터 화상을 방지하기 위해 사용	접촉열 차단 뿐 아니라 증기 차단 기능이 있으며 절단방지 기능도 추가적으로 있는 장갑이 있으므로 취급 작업에 따라 적합한 장갑 선택

(출처: 질병관리청. 국립환경보건연구원 실험실 생물안전지침, 2019.)

#### 4) 호흡보호구(mask, respirators)

(1) 감염성이 있는 에어로졸의 흡입 가능성이 있거나 잠재적으로 오염된 공기에 노출될 수 있는 실험을 수행할 경우 호흡보호구를 착용한다.

(2) 호흡보호구는 소재별, 기능별로 여러 종류가 있으므로 취급 병원성 미생물, 실험방법, 위험요소 등에 따라 선택·착용한다. 착용자의 얼굴에 적합한 호흡보호구를 선택하고 올바른 착용방법을 숙지하기 위해 밀착도 검사(fit test)를 권장한다.

\* 밀착도 검사(fit test): 사용자의 얼굴에 적합한 마스크를 선정하고, 올바르게 착용하였는지 확인하기 위한 검사로 사카린(saccharin) 에어로졸법 등을 이용한 정성시험법과 밀착도 검사 장비를 이용한 정량시험법이 있다.

(3) 안면부 여과식 마스크를 쓸 때에는 코, 입, 뺨 위로 잘 배치하여 호흡기를 덮도록 하고, 연결 끈은 귀 위와 뒷목으로 가도록 묶고 코 부분의 철심을 눌러 코에 밀착시킨다. 착용 후 밀착도 자가 점검을 실시하여 올바르게 착용하였는지 확인하여야 한다.

\* 밀착도 자가 점검(seal check): 실험실 출입 전 마스크를 올바르게 착용하여 밀착이 되었는지 사용자 스스로 하는 점검한다.

(4) 안면부 여과식 마스크를 벗을 때에는 뒷목 부분에 고정시킨 끈을 머리 뒤에서부터 앞으로 잡아 당겨서 얼굴 앞면에서 끈을 빼고 잡은 후 왼손으로 잡고 오른 손으로 동일한 방법으로 나머지 끈을 얼굴 앞면으로 가져와 두 끈을 함께 잡아 벗는다.

(5) N, P, 또는 R 마스크 등의 필터-호흡보호구의 입자특성별 효율에 대해 미국 연방규정(42 CFR 84)에 명시된 기준은 표 4. 와 같다.

표 4. 필터-호흡 보호구의 입자특성별 효율기준 미국 연방규정(42 CFR 84)

42 CFR 84	Aerosol Test		
Minimum Efficiency	NaCl (Non-Oil aerosol)	DOP (dioctylphthalate) includes oil aerosols	DOP includes oil aerosols
95%	N <sup>1)</sup> 95	R <sup>2)</sup> 95	P <sup>3)</sup> 95
99%	N99	R99	P99
99.7%	N100	R100	P100

(출처: 질병관리청 국립환경보건연구원. 실험실 생물안전지침, 2019.)

\* CFR, Codes of Federal Regulations

<sup>1)</sup> N등급 마스크(N95, N99, N100)는 미세입자 및 에어로졸에 대해 방호하는 수준을 말하며 Oil 성분에 대한 방호기능은 없다

<sup>2)</sup> R등급은 마스크는 N등급 마스크의 방호수준에 Oil성분에 대한 방호기능이 추가 되지만 마스크의 유효기간이 8시간으로 제한된 제품이다.

<sup>3)</sup> P등급 마스크는 R등급보다 강력한 효과가 있으며 유효시간에 대한 제한도 없다.

(6) 필터-호흡보호구는 취급미생물 및 감염성물질의 특성을 고려하여 선택하고 착용 시 몸에 무리가 가지 않고 내쉬는 숨에 새는 곳이 없는지 확인한다(표 5 참조).

(7) 재사용 필터-호흡보호구(replaceable particulate respirator) 또는 전동식 공기-정화 호흡보호구

(powered air-purifying respirator, PAPR)는 전지 충전 및 필터 교환, 장비 소독 등 철저한 점검과 관리가 필요하다.

- (8) 깨지거나, 균열이 있거나, 제대로 작동이 되지 않는 등 이상이 있는 경우 즉시 교체 착용하고, 이상 제품의 경우 철저한 소독 후 점검·수리하거나 즉시 폐기하도록 한다.

표 5. 호흡보호구 종류에 따른 특성

구 분		용 도	특 성
공기 정화식 호흡보호구	안면부 여과식	생물학적 에어로졸과 같은 입자성 유해물질을 걸러내는 용도	안면부 자체가 여과재인 방진마스크를 의미하며, 가스나 증기와 같은 비입자성의 유해물질로부터는 보호하지 못함
	분리식		별도의 정화통을 본체에 부착·연결하여 사용하는 마스크를 의미하며, 취급 유해물질에 따라 정화통 선택 가능
공기 공급식 호흡보호구		산소농도가 18% 미만인 곳이나 유해물질 농도와 독성이 매우 높은 곳에서 사용	공기공급관, 공기 호스 또는 자급식 공기원을 가진 호흡용 보호구로 산소를 직접 연구자 호흡기로 공급하며 송기마스크, 산소호흡기, 공기호흡기가 해당

(출처: 질병관리청 국립환경보건연구원. 실험실 생물안전지침, 2019.)

#### 5) 고글, 보안면(goggle, face-shield)

- (1) 콘택트렌즈를 착용한 시험·연구종사자가 감염성물질 등을 취급하거나 BL3 시설 내 밀폐구역에 출입할 경우, 반드시 고글을 착용하도록 한다.
- (2) 고글, 보안면은 실험 수행 방법 및 취급 물질 등에 따른 위해성 평가를 실시하고 그 결과에 따라 착용한다.
- (3) 고글 및 보안면을 쓸 때는 보호하고자 하는 안면 범위를 모두 덮을 수 있어야 한다. 벗을 때는 오염되지 않은 부분은 장갑을 끼지 않은 손으로 잡고 그대로 앞으로 빼서 탈의한다.
- (4) 고글, 보안면을 재사용할 경우 취급한 감염성물질 및 병원성 미생물에 가장 효과적인 소독제를 선택하여 노출된 부분 등을 소독 또는 세척하여 보관한다.

## 6) 올바른 실험실 복장 및 탈·착의 순서

### (1) 생물안전 1등급 또는 2등급 시설의 실험실에서의 올바른 복장

- ① 단정한 머리
- ② 마스크, 호흡 보호구(필요한 경우)
- ③ 긴소매 실험복
- ④ 시험장갑
- ⑤ 긴 하의
- ⑥ 앞이 막힌 신발

### (2) 생물안전 1등급 또는 2등급 시설의 실험실에서의 개인보호구 탈·착의 순서는 아래와 같다.



※ 레벨 D 개인보호구 착·탈의법은 코로나-19 검체채취 편 참조

## C. 실험장비 감염 및 안전관리

### 1. 생물안전 작업대

생물안전작업대(biosafety cabinet, BSC)는 병원성 미생물 및 감염성물질을 다루는 실험실에서 취급 물질, 시험·연구종사자 및 연구 환경을 안전하게 보호하기 위해 사용하는 1차적 밀폐장치로 물리적 밀폐능이 있는 대표적인 실험 장비이다. 생물안전작업대는 Class I, II, III로 구분되며, 특성 및 세부 사항은 아래와 같다.

## 1) 일반적 사항

- (1) 생물안전작업대는 취급 미생물 및 감염성물질에 따라 적절한 등급을 선택하여 공인된 규격을 통과한 제품을 구매하고(예: KSJ0012, EN12469, NSF49 등) 생물안전작업대의 성능 및 규격을 인증 받을 수 있는 인증서 및 성적서 등을 구매업체로부터 제공 받아 검토하고 보관한다.
- (2) 생물안전작업대는 항상 청결한 상태로 유지한다.
- (3) 생물안전작업대에서 작업하기 전·후에 손을 닦고, 작업 시에는 실험복과 장갑을 착용한다.
- (4) 생물안전작업대의 일정한 공기흐름을 방해할 수 있는 물체들(검사지, 실험노트, 휴대폰 등)은 생물안전작업대 안에 두지 않는다. 피펫, 실험기기 등의 저장을 최소화하고 생물안전작업대 근처에 실험에 필요한 물건들을 놓아둔다.
- (5) 생물안전작업대 내에서 실험하는 작업자는 팔을 크고 빠르게 움직이는 행위를 하지 말아야하며, 작업대 내에서 실험 중인 작업자의 동료들은 작업자 뒤로 빠르게 움직이거나 달리는 등의 행위들은 하지 말아야 한다. 이러한 행위 들 뿐만 아니라 실험실 문을 열 때 생기는 기류, 환기 시스템, 에어컨 등으로부터 나오는 기류는 방향 등에 따라 생물안전작업대의 공기흐름에 영향을 줄 수 있다.
- (6) 생물안전관리자 및 연구(실) 책임자 등은 일정기간을 두고 생물안전작업대의 공기흐름 및 헤파 필터 효율 등에 대한 점검을 실시한다.

## 2) 생물안전작업대 구분에 따른 특성(표 6)

표 6. 생물안전작업대 구분에 따른 특성

구 분		배기량	전면부 최소 평균기류속도 (m/sec)	특 성	비 고
Class I		급기의 100%	0.36	여과 배기, 작업대 전면부 개방 최소 유입풍속 유지, 시험·연구 종사자 보호	일반 미생물 실험 수행 단, 실험물질 오염의 가능성이 있음
Class II	A1	급기의 30%	0.38~0.51	여과 급배기, 작업대 전면부 개방최소, 유입풍속 및 하방향 풍속 유지, 시험·연구종사자 및 실험물질 보호 가능	구조, 기류 속도, 흐름 양상, 배기 시스템 등에 따라 Type A1, A2, B1, B2로 구분
	A2	급기의 30%	0.51		
	B1	급기의 70%	0.51		
	B2	급기의 100%	0.51		
Class III		급기의 100%		최대 안전 밀폐환경 제공시험·연구 종사자 및 실험물질 보호가능	

3) 생물안전작업대의 type에 따른 내부 구조와 작동원리(그림 4)



(출처: 질병관리청 국립환경보건연구원. 실험실 생물안전지침, 2019.)



※ 생물안전작업대는 내부에 장착된 고효율미세공기정화필터인 헤파필터(high efficiency particulate air filter)를 통해 유입된 공기를 처리하여, 공기흐름의 방향을 안쪽으로, 위에서 아래로 일정하게 유지함으로써 등급에 따라 시험·연구종사자, 연구 환경, 그리고 취급 물질 등을 안전하게 보호할 수 있게 된다. 이러한 일정한 공기흐름을 통해 밀폐능을 갖는 생물안전작업대의 작동원리를 올바르게 이해하고 사용하는 것은 매우 중요하다.

#### 4) 사용 시

- (1) UV 램프를 끄고, 조명등을 켜다.
- (2) 생물안전작업대 앞면부의 그릴을 통한 공기 흡입을 막는 기타의 물체들을 치우고, 공기흡입이 잘 이루어지는지를 점검한다.
- (3) 의자에 앉았을 때, 창을 통해 작업하기에 적당한 위치가 될 수 있도록 의자 높낮이를 조절한다.
- (4) Blower motor를 켜고 5분 정도 에어커튼을 작동시켜 생물안전작업대 내부 공기를 정화시킨다.
- (5) 장갑을 착용하고 소매가 긴 실험복을 입으며, ‘평상복’을 입은 채로 생물안전작업대를 사용하지 않는다. 필요한 경우, 일회용의 덧소매와 2중 장갑을 착용한다.
- (6) 생물안전작업대 내부 표면은 70% 에탄올 등의 소독제를 적신 종이타월로 닦아 소독한다.
- (7) 생물안전작업대 내에 실험기기의 수나 양을 최소화시키도록 하고, 실험 중 물품 등으로 흡입용 그릴 위를 덮는 것을 피한다.
- (8) 오염된 물품들과 깨끗한 물품들을 구분하고, 실험은 비오염 물품이 있는 곳에서부터 오염된 물품이 있는 곳으로 수행한다.
- (9) 일반적인 미생물 실험 준수사항을 숙지하고 이행한다.
- (10) 생물안전작업대에서 물품을 빼거나 새로운 물품을 넣을 경우, 공기흐름에 주는 영향을 최소화 시킨다.
- (11) Sonicator, blender, 원심분리기 등 공기의 난기류 등을 발생시킬 수 있는 장비들을 사용할 경우, 흡입용 그릴로부터 12 cm 이상 떨어진 곳에 두고 작동시킨다.

#### 5) 사용 종료 시

- (1) 잠재적으로 오염 또는 감염가능성이 있는 물품의 외부 표면은 소독 후에 생물안전작업대 외부로 빼낸다.
- (2) 유리부분을 포함해서 앞면부와 생물안전작업대 내부 표면을 취급 병원성 미생물에 적합한 소독

제로 소독한다.

(3) Blower motor를 10분 이상 추가 작동 시킨 후 끈다.

(4) 조명등을 끈 후, UV 램프를 작동시키고 다음 사용자를 위해 UV 램프 작동시간을 볼 수 있도록 한다.

(5) 장갑, 덧소매, 실험복 등을 벗고 손을 세척하거나 필요한 경우 소독한다.

## 2. 원심분리기

- 1) 사용설명서를 완전히 숙지한 후 사용하여야 하며, 장비는 사용자가 불편하지 않은 높이로 설치한다.
- 2) 원심분리관 및 용기는 견고하고 두꺼운 재질로 제조된 것을 사용하며 원심분리 할 때는 항상 뚜껑을 단단히 잠가야 한다.
- 3) 버켓 채로 균형을 맞추어 사용하여야 하며, 동일한 무게의 버켓 내 원심관의 위치가 대각선방향으로 서로 대칭이 되도록 조정하여야 하고, 로터에 직접 넣을 경우 제조사에서 제공하는 지침에 따라 그 양을 조절한다.
- 4) 사용하고자 하는 원심관이 흡수일 경우 증류수나 70% 알코올을 빈 원심분리관에 넣어 무게 조절용 원심분리관으로 사용한다.
- 5) 병원성 미생물 또는 감염성물질을 다룰 때에는 반드시 버켓에 뚜껑이 있는 장비를 사용하며 사용한 후에는 로터, 버켓 및 원심분리기 내부를 알코올 솜 등을 사용하여 오염을 제거하는 등 청소한다.
- 6) 감염성물질을 원심분리 하는 동안 에어로졸 발생이 우려될 경우 생물안전 작업대 안에서 실시하여야 하며, 원심분리가 끝난 후에도 작업대를 최소 10분간 가동시키며 작업대 내부를 소독해야 한다. 버켓에 시료를 넣을 때와 꺼낼 때에는 반드시 생물안전작업대 안에서 수행한다.

## 3. 균질화기, 진탕기 및 초음파 파쇄기

- 1) 실험실에서는 가정용으로 판매되는 균질화 장비를 사용하지 않으며, 실험 전 장비의 결함 여부나 사용되는 뚜껑, 용기 등에 찌그러진 곳이 있는지 항상 살펴봐야 하고, 개스킷의 장착여부도 반드시 확인한다.
- 2) 균질화기, 진탕기 및 초음파 분쇄기 등의 장비 가동 시 용기 안에는 압력이 발생하며, 이에 따라 발생하는 내부의 에어로졸은 뚜껑과 용기 사이를 통해 외부로 누출될 수 있다.

- 3) 파손 가능성, 감염성물질의 노출 및 작업자의 부상 가능성이 있는 유리로 제조된 용기보다는 플라스틱, polytetrafluoroethylene (PTFE)로 제작된 용기를 사용하는 것이 좋다.
- 4) 장비를 사용할 경우 투명한 플라스틱 상자에 넣어 사용하거나 생물안전작업대 안에서 사용하는 것이 보다 안전하다.
- 5) 사용이 끝난 후 용기는 반드시 생물안전작업대 안에서 개봉하며, 초음파 파쇄기를 사용할 경우 귀마개를 하는 것도 종사자 안전에 도움이 된다.
- 6) 유리로 된 분쇄기(grinder)는 종사자가 실험 중 사용하는 장갑과 잘 붙으므로 플라스틱으로 된 분쇄기를 사용하는 것이 좋으며 조직분쇄기는 반드시 생물안전작업대에서 사용한다.

#### 참고문헌

1. 질병관리본부 국립보건연구원. 실험실생물안전지침(2019), 2019.
2. 한국바이오협회. 실험실 생물안전 매뉴얼(제3판), 2004.