

# 생물안전 3등급연구시설의 시공 사례

김 봉 신, 임 승 호, 정 충 수  
 (주)태영건설 건축사업본부, (주)정림건축

## Bio Safety Level 3 Laboratory Construction Case

Bong-Shin Kim, Seon-Ho Lim, Choong-Soo Jung  
 Division of Building Works, Taeyoung E&C Corporation, Seoul, Korea  
 Junglim Architecture Corporation, Seoul, Korea

**ABSTRACT:** Bio safety level-3 laboratory is the research facility with concerns for the BL-3 contamination, at the same time the safety of it is guaranteed. Based on comfortable environmental maintenance of the research laboratory, building, machinery, electricity, and controls are facilitated to keep airtightness(minus pressure) of each room in case of not only access and operation, but even emergency.

**Key words:** BL-3(생물안전3등급), BSC(생물안전캐비닛)  
 Iso-cage(격리상자)

### 1. 개 요

시공사례로 소개 될 00연구소 생물안전 3등급 연구시설은 생물안전 3등급 및 그 이하 등급의 병원체 실험을 할 수 있는 연구시설로서 생물안전위원회에 의하여 운영되고 있다.

위의 연구시설은 경기도와 교육과학기술부가 출연하고 (주)태영건설이 Turn-key로 수주(설계 - (주)무영건축, 한일MEC, 책임감리-(주)정림건축)하여 약 24개월에 걸쳐 시공하였으며, BL-3 실험실의 시공 협력사는 (주)나라컨트롤이다.

#### 1.1 시설 개요

생물안전3등급 연구시설은 경기도 내에 위치하며 2007년 4월부터 2008년 12월까지 시공하여 질병관리본부의 인증을 거쳐 2009년 3월에 준공하였다. 지하 1층 지상 7층 연면적 14,989 m<sup>2</sup> 철근콘크리트 구조의 건축물 중 실험실과 설비층의 면적이 각각 330 m<sup>2</sup> 이고, 연구시설 용의 독립된 공조실의 면적이 200 m<sup>2</sup> 이다.

연구시설은 5개의 BL-3 실험실과 각 전실 그

리고 실험복도로 구성되어 있으며 실험실의 천정 높이는 2.75m이다. 그리고 내부벽체는 Tongue & globe 방식의 대전방지 우레탄판넬(Urethane Panel)로 되어있고, 바닥은 전도성 에폭시라이닝으로 시공하였다.

### 2. 설 계

#### 2.1 설계 개요

본 실험실은 물리적으로 각 존은 밀폐되고, 실간의 차압을 유지하여 오염물질이 외부로 누출되는 것을 방지할 수 있는 시설이다. 또한 실험 시설 내에서는 사용자의 안전성과 편의성을 극대화할 수 있어야 한다. 이와 같은 최적의 실험환경을 구현함으로써 과학적인 실험결과를 얻을 수 있는 안전한 생물안전 3등급 연구시설은 질병관리본부의 생물안전3등급연구시설 검증기술서에 부합하기 위하여 Health Canada의 Laboratory Biosafety Guideline, NIH의 Design Policy and Guidelines 등과 같은 문헌을 적극 활용하여 설계에 반영하였고, 설계의도에 입각하여 충실히

시공하였다.

Table 1 Design criteria

Category	Description
Temperature	22 ± 2°C
Humidity	50 ± 10%
Diff. pressure	Laboratory minimum diff. pressure -40Pa
Alarm	SMS
Management	Remote management system

## 2.2 설계 조건

경기도에 위치한 연구시설은 하절기 31.2°C, 동절기 -12.4°C 의 외기조건으로 공조 설계가 되었으며 지역난방을 이용한 온수공급과 흡수식 냉동기를 이용한 냉수공급을 기본으로 하고 비상시 및 환절기를 고려하여 직팽식 코일과 E/H의 보조열원을 적용하였다. 실험구역 내에는 실간 차압을 형성하여 공기의 흐름이 항상 BL-3 실험실 방향으로 흐르도록 제어시스템 구성을 하였고, 실험실 내부에서 가장 위험한 실험이 이루어지는 BSC 와 Iso-cage 의 배기는 독립적인 덕트라인 및 배기장치를 적용하였다.

본 시공에서 생물안전 3등급실험실은 Table 1 과 같은 조건을 만족하도록 설계하였다.

## 2.3 시설 안전성 확보

생물안전 3등급 연구시설에 그림 1과 같이 신뢰성, 견고성, 안정성을 구현함으로써 연구시설 안전 극대화를 위한 전략을 세웠다.

BSC 및 Iso-cage 배기에 용접식 STS 덕트와 이중 HEPA필터를 적용하여 덕트시스템을 통한 오염원 누출을 차단함과 동시에 각 실마다 전용 컨트롤러 개별 구성을 통한 분산/독립제어를 구현함으로써 시설의 신뢰성을, 차압복귀 제어 응답성을 강화함으로써 시설의 안정성을, 또한 공조장비의 자동절환 및 컨트롤러 이중화를 통하여 시설의 견고성을 구현하여 실험실 및 연구원의 안전을 극대화하였다.

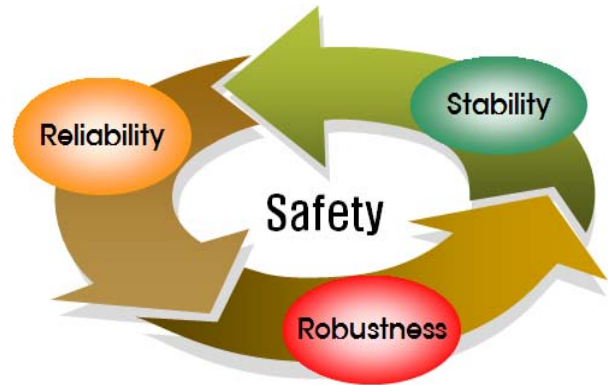


Fig. 1 Safety of facilities.

## 3. 시 공

### 3.1 건축

#### 3.1.1 외벽 및 내부

Fig. 2에서 보듯이 실험실은 지상 5층에 있으며, 외부공간과의 분리를 위하여 철근콘크리트 구조의 외벽과 대전방지 우레탄 판넬로 구성된 내부로 구성된다. 6층에는 BL-3실험실용 설비층을 두어 필터교체를 비롯한 각종 유지보수를 안전하게 수행할 수 있도록 하였다.

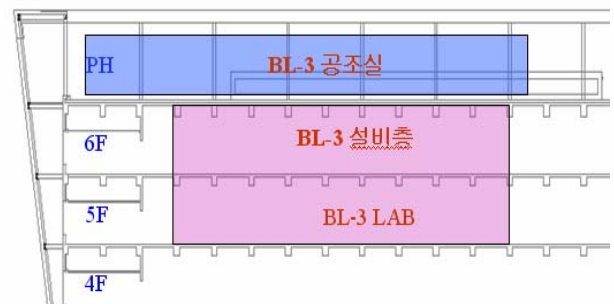


Fig. 2 Building structure.

#### 3.1.2 단계적 실험실 구조

실험실의 구조는 단계적 배리어 형성을 위해 전실-1, 2, 실험복도, 5개의 BL-3실험실로 구성되었으며, 장비의 입·출입 및 소독을 위하여 장비전실-1, 2가 구성되었고, 2개의 중요 실험실 출입 전에는 원활한 차압제어 및 교차오염 방지를 위한 출입전실-3, 4를 구성하였다. 메인출입구 및 출입전실에는 Airtight door를 적용하여 3개 Zone으로의 물리적 밀폐 및 장비소독을 위한 공

간을 확보하였다.

### 3.1.3 레이아웃

실험실 목적에 부합하고, 실험자의 안전과 최선의 실험 결과를 얻기 위하여, 사람과 물품의 동선이 분리되게 시공하였다. 또한 실험실 장비 및 실험기구 등의 위치를 고려하여 설비 계통을 구성하였으며, 비상탈출 경로를 확보하였다.

### 3.1.4 바닥 시공

실험실 바닥은 먼지 입자의 침전을 예방하고 청소 및 살균의 용이성을 고려하여 코나를 라운드 처리하였고 동시에 측정 및 실험장비의 오류 발생을 최소화하기 위하여 전도성 에폭시가 적용되었다.

### 3.1.5 인터록

물리적인 교차오염을 예방하기 위하여 인접한 실간에 도어인터록(Interlock)을 적용하였으며, 각 도어마다 인터록 강제 해제장치를 설치하여 비상 상황에 사용할 수 있도록 하였다. 또한 장비전실 2개의 출입문은 동시에 개방되지 않도록 제어된다.

## 3.2 기계설비

### 3.2.1 공조시스템

열원설비로는 지역난방의 중온수, 중온수흡수식냉동기, 지열이용 EHP, 예비용 스크류냉동기 및 직팽식 공조기와 증기보일러를 설치하여 안정성을 확보하였다. 공조설비는 신선외기 도입과 적정 환기횟수 유지 및 오염방지를 위한 전외기 공조방식과 BSC 등 실험장비와 연동하여 급배기 제어가 가능토록 VAV방식을 채택하였다. 또한 예비 공조기를 적용하여 유지보수 및 비상상황 발생 시 실험실내 공조운전의 중단 없이 실내 환경을 유지할 수 있도록 하였다. 급·배기에는 안전성을 위하여 누기 테스트가 가능한 헤파필터유닛을 설치해 필터 교체 시 마다 안전성 검사를 실시할 수 있도록 하였으며, 실험실과 헤파필터 유닛 사이의 구간은 누기에 의한 오염방지를 위하여 STS 용접형 덕트로 시공하였다.

### 3.2.2 고압증기 멸균기

양문형 고압증기 멸균기(Autoclave)를 3대 설치하여 각 Zone 별 실험실에서 발생하는 폐기물 반출에 안전성을 확보하였다.

또한 고압증기 멸균기에서 발생하는 응축수도 화학적 멸균과정을 거쳐 전문 업체에서 수거하도록 하여 안전성을 확보하였다.

### 3.2.3 BSC와 Iso-cage

각 BL-3 실험실에는 A2 타입의 BSC가 설치되어 있으나 B2 타입의 증설에 대비하여 배기덕트와 배기필터유닛, 전용 배기송풍기를 설치하였다. 또한 Iso-cage의 증설도 대비하여 배기덕트를 추가로 설치하였고 배기송풍기에 여유 풍량을 확보하고 있으며, 급기량도 고려하였다.

### 3.2.4 소방시스템

연구시설에는 스프링클러, 소화가스 및 자동화 채탐지기 등의 소방설비가 구축되어있고, BL-3 실험실에는 전역방출방식의 가스계소화설비(FM-200, HFC227ea)를 적용하였으며, 6층에 전용실린더를 설치하여 중앙식으로 각 실험실의 용량에 맞게 소화가스방출 헤드를 설치하였다.

## 3.3 전기 및 통신

### 3.3.1 전원공급 장치

실험실 환경유지를 위한 동력과 주요실험장비의 전원 및 콘센트는 1차 UPS(Uninterrupted Power Supply), 2차 비상발전기를 예비용으로 연결하여 정전과 같은 비상시를 대비한 전원공급의 안전성을 극대화 하였다. 실험실에는 단상 220V, 단상 110V, 3상 220V, 3상 380V의 모든 전원을 구성하여 여러 가지 실험장비가 요구하는 전원의 사용에 유연함을 부여하였다.

### 3.3.2 조명 및 전선

실험실의 조명은 실험실 외부에서 램프 및 안정기를 교체할 수 있고, 실험실의 기밀에도 이상이 없는 상부 매립형 조명기구를 채택하였다. 또한 전선관 및 인입부위의 밀폐를 위해 인입되는 라인을 한곳에서 처리할 수 있는 전선 관통 액세서리를 별도 제작하여 적용하였고, 비경화성 밀봉제 및 에폭시를 사용하여 기밀성을 확보하였

다. 한곳으로 인입된 전선은 Wire duct를 통하여 실험실내 필요위치로 분산되어지고, 추후 콘센트 확장 및 이동에 용이하도록 설치하였다.

### 3.3.3 보안 설비

실험실 출입 시 안전팀으로부터 인가된 사람만 출입할 수 있도록 카드키+얼굴인식 시스템을 적용하여 보안을 강화하였고, 각 실험실 및 출입 동선에는 사각이 없도록 CCTV를 설치하여 실험실 보안 및 실험자 안전을 확보하였다.

### 3.3.4 통신 설비

각 실험실에는 외부와 연락이 가능한 전화와 네트워크를 사용할 수 있는 LAN 설비를 설치하였고, 화재 발생 시의 사이렌과 비상방송 시스템을 및 경광등을 갖추어 재실자 및 외부 인원의 안전을 확보하였다.

## 3.4 자동제어

### 3.4.1 압력제어

정밀하고 안정성 있는 차압을 제어하기 위하여 급기에 CAV UNIT 을 설치하여 환기회수에 맞는 풍량을 제어하고, 실배기 및 BSC배기에 VAV UNIT을 적용하여 차압을 제어한다. VAV UNIT 에 설치되는 실험실 전용 컨트롤러는 이중화하였고, 신속한 응답성을 위해 Fast 댐퍼 구동기를 채택하였다.

실 간은 15 Pa 의 압력으로 다단구성되어 있으며 BL-3 실험실과 외부와의 압력차는 35~40 Pa 를 유지한다. 또한 BSC 및 Iso-cage 장비의 배기가 동작함에 따른 자동 차압유지가 가능하며, 장비의 가동이 없는 경우 공기조화기 팬의 풍량을 인버터로 조정하여 적절한 수준의 환기 횡수로 낮추어 운전되도록 하였다.

### 3.4.2 통합관리 프로그램

자동제어 프로그램은 실험실 장비의 가동상태 및 실험실 환경을 실시간 모니터링 및 기록하여 비상상황 발생 시 각 관제점에 대한 설정을 통합 관리하도록 구성하였다. 기록된 이력에 대해서는 자동으로 보고서가 출력되며, 일정용량을 초과할 경우 자동으로 백업된다.

### 3.4.3 비상상황

비상상황 시 경광등, LCD 표시, SMS 문자전송 등을 통하여 실험자 및 외부관리자가 시각 및 청각으로 쉽게 인지할 수 있도록 하였으며, 원격유지보수 시스템의 적용으로 어디서나 비상상황에 대응할 수 있도록 하였다. 공조기 및 배기팬의 경보 발생 시에도 예비 장비로 전환이 자동으로 이루어지도록 프로그램되어 있으므로 실험실내의 오염원이 외부로 유출되는 것을 방지한다.

## 4. 주요시설

### 4.1 Airtight door

Airtight door는 Fig. 4와 같으며 도어의 프레임과 도어 사이에 기밀성을 유지하기 위하여 공기 주입이 가능한 튜브를 적용하여 도어가 닫히면 4면 모두에 공기가 주입된 튜브가 밀착되어 공기의 유·출입을 완전히 차단할 수가 있고, 이 Airtight door에 의하여 실험구역은 크게 3개 Zone 으로 나누어져 있다.



Fig. 4 Airtight door.

### 4.2 공기조화기

공기조화기는 전외기 방식을 적용하고, OA Louver와 EA Louver의 위치를 격리하여 교차오염에 대한 우려를 제거하였다. 중앙 기계실에서 공급되는 냉·온수·증기로 실내요구 온·습도를 조절하며 비상시를 대비하여 전기히터와 직랭식 코일을 냉온수 코일과 병렬로 설치하여 실

험실 부하에 대한 무중단 대응이 가능토록 하였다. 장비 이상 발생 또는 유지보수를 위한 예비 공조기를 함께 구성함으로써 실험실 환경을 항상 최적의 상태를 유지하도록 하였다.

사용된 공기조화기의 팬, 코일, 가습기 등은 다음과 같다.

- Supply Fan (Air foil #4.5 DS 19 kW)
- Exhaust Fan (Air foil #4 DS 15 kW)
- Cooling Coil
- Heating Coil
- Emergency Coil : D.X Coil, E/H
- Steam injection humidifier

#### 4.3 배기 필터 유닛

배기 필터 유닛은 전체 용접형이며 입·출구 양단에 버블타이트 템퍼가 설치되어 필터 교체를 위한 소독이나 실내 소독을 위한 덕트 라인 봉쇄 시에도 오염원의 유출이 없도록 설치하였다. 또한 필터 교체 후 필터의 leak test 가 가능하도록 PAO test 홀이 별도로 설치되어 있다. 배기필터 유닛은 각 실별로 개별 구성되어 있다.

#### 4.4 폐수처리 시스템

Eye washer, Emergency shower 폐수 및 실험 폐수는 소독액이 저장되어 있는 밀폐탱크로 이동하여 1차 소독을 거친 후 의료폐기물업체에 의해 수거되며, 고압증기 멸균기를 통하여 발생하는 응축수는 ClO<sub>2</sub> 를 통한 멸균과정을 거쳐 지하 폐수 저장조에 저장하여 의료폐기물업체에 의해 수거된다.

폐수처리 시스템의 구성요소는 다음과 같으며 Fig. 5와 같다.

- Waste water storage tank
- Reaction tank
- Chlorine dioxide generator 5g/hr
- Control panel



Fig. 5 Wastewater disposer.



Fig. 6 Uninterrupted Power Supply.

#### 4.5 무정전 전원공급장치

전원의 1차 예비용으로 Fig. 6과 같은 30분 용량(320KVA)의 무정전 전원공급장치를 설치하였고, 2차 예비용으로 비상발전기를 5분 이내에 가동하여 공급함으로써 시험실 내의 실험장비 및 공기조화기의 급·배기팬 등에 안정적으로 전원을 공급하여 실험실내 차압을 유지하고 온·습도를 유지함으로써 실험자의 안전과 실험데이터의 오류를 막을 수 있게 하였다.

#### 4.6 DDC / 실험실 전용 컨트롤러

DDC 컨트롤러는 2개의 CPU 모듈이 설치되어 있으며 상호 통신을 교환하다가 마스터 CPU에 이상이 발생하면 슬레이브 CPU로 자동 전환되어 이상 없이 실험실 환경을 유지하게 하였다.

실험실 전용 컨트롤러는 실험실 환경을 유지하기 위하여 온·습도 및 차압을 독립적으로 제어하며, 마스터/슬레이브 모듈로 구성되어 이상 발생시 자동전환을 통해 실험실의 안전을 확보하도록 하였다. 중앙감시장치와 DDC 컨트롤러 간 혹은 DDC 컨트롤러와 실험실 전용 컨트롤러 간의 통신에 에러가 발생하더라도 각각의 모듈들은 내

장되어진 프로그램에 따라 독립적으로 제어명령을 수행하도록 되어있다.

#### 4.7 디스플레이

실험실의 출입문과 실험실 내에 Fig. 7과 같은 LCD 모듈을 설치하여 실험실내 온·습도, 차압, 공조상태 등을 확인할 수 있고, 실험실 경보 발생 시 빠른 경보상황 판단이 가능하도록 하였다. 또한 간단한 터치를 통하여 정보 확인 및 기록도 가능하다.



Fig. 7 LCD Module

#### 5. 맺음말

본 시설은 생물안전3등급 실험연구시설로서 검증기술서 및 사용자 요구사항에 부합하게 설계되어 시공되었으며 실험시설로서의 신뢰성과 안전성이 보장되어 있다. 지난 2009년 3월에는 질병관리본부로부터 시설허가를 득함으로서 연구시설의 안전성을 다시 한 번 확인하였다.

#### 참고문헌

1. 보건복지가족부 질병관리본부, 2007, 연구시설 신고·허가제도 및 유전자변형생물체 개발·실험 승인제도 가이드라인, pp.1-5.
2. 보건복지가족부 질병관리본부, 2007, 생물안전 3등급 연구시설 검증기술서
3. Health Canada, 2003, The laboratory biosafety guidelines, 3rd edition.
4. WHO, 2004, Laboratory biosafety manual, 3rd edition.

5. NIH, 2003, NIH design policy and guidelines, 4rd edition.
6. U.S. Department of Health and Human Services, 2007, Biosafety in Microbiological and biomedical laboratories, 5th edition.