

# 생물안전 4등급(BL4) 실험시설의 동선계획에 관한 연구

A Study on the Circulation System of Biosafety Level 4 Laboratory Facilities

권순정 Kwon, Soonjung\* | 최홍빈 Choi, Hongbin\*\*

## Abstract

Recently, with the advent of high risk infectious agent such as the Ebola virus, SARS, special research facilities dealing with such dangerous pathogenic are drawing attention gradually. Especially, this kind of facilities can be called BL4(Biosafety Level 4) facility. At the moment, Korean government is going to construct BL4 institute in order to handle efficiently such kind of pathogen. However, there are no proper design guidelines for BL4 facility. This paper proposes circulation system of BL4 facility on the basis of analysis of existing BL4 guidelines of Canada, and Korean BL3 facilities. The outcomes of this study are as follows.

At first, functional areas of BL4 facilities have been divided into three categories according to the hazard level ; dangerous area, transitional area, and ordinary area. Secondly, circulation system of BL4 facility has been explored as a form of diagram according to the circulating subjects. These include human, laboratory animals, hazardous pathogen, equipments and cloth. This study has some limitations in that it lacks empirical evidences and concrete SOPs(Standard Operating Procedure). Despite of some weaknesses, it is expected to give some preliminary guidelines for the design of circulation system in BL4 facilities.

**키워드** 생물안전등급, 실험시설, 동선계획, 생물테러, 전염병, BL4

**Keywords** Biosafety Level, Laboratory Facilities, Circulation System, Bioterrorism, Infectious Disease, BL4

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국제적으로 에볼라바이러스, 두창바이러스 등과 같은 고위험 병원체가 출현하고 있다. 이러한 병원체는 국내로 유입되어 전염병을 유발시키거나 생물테러의 용도로 이용될 수 있다. 위와 같은 고위험 병원체에 효율적으로 대비하기 위해서는 이들 병원체의 특성을 체계적으로 연구하기 위한 실험시설의 구축이 필요하다. 그러나 현재 국내에는 생물안전 4등급(BL4)의 고위험 병원체에 대한 연구실험시설이 없으며 2002년 BL4 실험시설 건립 추진 이후 2010년 현재까지 건립되지 못하고 있는 실정이다.

BL4 실험시설의 부재로 인하여 현재 한국은 국제 BL4 Working Group의 가입이 불가능하다. 이에 따라 이에 관련된 국내 기술수준의 정체 등 부정적 파급효과 및 대규모의 심각한 전염병 발생 시 효율적인 대처가 어

려울 것으로 예상된다. 이러한 점을 감안할 때 국내 병원체 연구기술 수준향상 및 국가 안전망 확보 차원의 BL4 실험시설의 건립이 필요하다.

BL4 실험시설의 경우 "통제구역"이라는 시설의 특성상 설비적인 측면이 매우 중요시된다. 그러나 우선적으로 건축계획상의 합리적인 공간구성 및 동선계획이 적용된다면, 효율적인 오염 및 청결관리가 이루어져 시설 유지관리비의 절감, 실험자의 안전성 및 쾌적성 향상 등에 크게 기여할 수 있다.

본 연구는 외국 BL4 실험시설 가이드라인과 국내에 건립된 BL3 실험시설의 공간구성 및 동선계획 사례를 분석하여, 국내 BL4 연구실험시설의 계획시 합리적인 동선계획을 위한 기초자료를 도출하는 것을 목적으로 한다.

### 1.2 연구의 내용

본 연구의 내용은 다음과 같다.

첫째, 생물안전등급(BL)에 관한 국내외 기준과 현황을 분석하여 생물안전등급의 개념을 정립한다.

둘째, 캐나다 BL4 실험시설 가이드라인과 최근 국내

\* 학회이사, 아주대학교 건축학부 교수, 공학박사,

\*\* 아주대학교 건축학부 석사과정

건립된 BL3 실험시설의 설치기준 및 공간구성, 동선계획 등을 분석한다.

셋째, 사례분석을 바탕으로 BL4 실험시설의 기본적인 기능공간을 설정한다.

넷째, 국내 BL4 실험시설의 건립을 위한 기본적인 동선체계를 도출한다.

본 연구의 절차 및 범위는 다음과 같다.

먼저 생물안전등급(BL)에 관한 정의는 생물안전등급과 등급에 따른 연구시설의 개념, 시설별 특징, 그리고 국내시설의 설치 현황을 중심으로 파악한다.

BL 실험시설의 정의를 바탕으로 캐나다의 가이드라인과 국내시설사례의 건축평면도를 분석한다. 공간의 종류 및 조닝, 각 주체별 동선을 파악하고, 공간구성과 동선의 상관관계를 분석한다. 주체별 동선에는 사람, 물품, 동물, 병원체, 실험 후 폐기물 동선 등이 포함된다. 실험시설 내 공기, 급·배수 등에 관련되는 유체의 동선은 건축계획적인 측면보다는 설비적인 측면이 강하므로 본 연구에서는 제외한다.

사례조사에서 분석된 내용을 바탕으로 국내 BL4 실험시설의 기능공간을 설정하고, 각 주체별 동선계획을 다이어그램으로 제시한다. 동선계획의 경우 BL4 실험시설의 특성상 상하의 버퍼존과 설비층으로 인하여 수직동선이 거의 발생하지 않기 때문에 본 연구에서는 수평동선만 논하기로 한다.

실험시설의 공간별 면적은 건축계획시 중요한 요소이지만 시설의 목적과 규모에 따라서 달라지기 때문에 본 연구에서는 제외하였으며, 이러한 내용은 전문시설별로 심도 있게 다루어질 필요가 있다.

### 1.3 분석 대상

분석은 캐나다의 BL4 Laboratory Biosafety Guidelines 및 한국의 생물안전등급 적용 실험시설의 사례분석을 통하여 이루어졌다. BL4 시설 사례분석 대상으로 캐나다 시설을 선택한 이유는 세계적으로 생물안전 실험시설에 대한 가장 진보된 기술을 보유하고 있는 나라가 캐나다이며(녹십자, 2003), 국내는 아직까지 BL4 실험시설의 건립 사례가 없기 때문이다. 2010년 현재 전 세계적으로 BL4 생물안전 실험시설은 16개국에 36개소 정도가 설치 운영되고 있다(KDI, 2010 : 19).

캐나다의 가이드라인은 작성된 시기가 10년 정도 지났고, 국내 상황 및 현대의 설비시설과 상이할 수 있기 때문에 국내에서 최고수준의 생물안전등급이 적용된 BL3 실험시설을 추가로 분석하였다. 현재 국내 BL3 실험시설은 15개소<sup>1)</sup>가 있으며, 이중 최근 건립된 2개 시설

을 분석하였다. 분석을 위하여 조사한 시설은 [표 1]과 같다.

[표 1] 조사시설(기준) 개요

시설(기준)	생물안전등급	국 가	위 치	건립년도
Laboratory Biosafety Guidelines	BL4	캐나다	-	1999*
파스퇴르연구소 생물안전밀폐실험실	BL3	한국	경기도 성남시	2009
결핵연구원 백신생산실험실	BL3	한국	충청북도 청원군	2010

\* 주 : Guideline의 작성년도

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 BL(Biosafety Level) 및 BL 실험시설의 정의

생물안전 실험시설의 등급은 생물안전등급(BL)과 동일한 등급으로 책정되며, 1등급에서 4등급으로 갈수록 위험도가 증가한다. 생물안전등급은 [표 2]와 같이 정의된다.

[표 2] 생물안전등급(BL)의 정의

안전 등급	정 의	바이러스 예시
BL1	<ul style="list-style-type: none"> <li>개인인 집단에게 낮은 위험도</li> <li>건강한 성인에게는 질병 유발이 없으며, 주위 환경에 영향을 주지 않는 병원체</li> </ul>	대장균
BL2	<ul style="list-style-type: none"> <li>개인에게 중간 위험, 집단에게 낮은 위험도</li> <li>병원체가 인간이나 동물에게 질병을 일으킬 수 있지만, 심각한 피해를 주지 않음</li> <li>감염 시 효과적인 처리방법이나 예방법이 있으며, 전파될 위험이 낮은 병원체</li> </ul>	간염, 홍역, 콜레라균
BL3	<ul style="list-style-type: none"> <li>개인에게 높은 위험, 집단에게 중간 위험도</li> <li>병원체가 인간이나 동물에게 심각한 질병을 일으킬 수 있으며, 호흡기 등을 통하여 전염될 수 있음</li> <li>감염 시 효과적인 처리방법과 예방법이 있는 병원체</li> </ul>	페스트균, 탄저균, 브루셀라균
BL4	<ul style="list-style-type: none"> <li>개인인 집단에게 높은 위험도</li> <li>병원체가 인간이나 동물에게 심각한 질병을 일으킬 수 있으며, 감염 시 증세가 매우 심각함</li> <li>호흡기 등을 통하여 전염될 수 있으며, 아직까지 효과적인 처리방법과 예방법이 없는 질병을 일으키는 병원체</li> </ul>	헤르페스 B, 에볼라, 두창, 라싸, 마버그

출처 : WHO, Laboratory Biosafety Manual(3rd Ed), 2004

과, 질병관리본부)에 따른 전국 국공립 연구소 및 대학 연구실의 BL3 실험실 개소

1) 2010년 3월 기준, 생물안전 연구시설 국내현황(생물안전평가

BL에 따른 생물안전 실험시설은 보통 4 단계로 구분되며, 국가 기관에 신고 또는 허가에 의해서 건립될 수 있다. 자세한 내용은 [표3]과 같다.

[표 3] 생물안전 실험시설의 기능과 등급별 연구수준

안전등급	실험실 기능	안전장비 수준	취급병원체
BL1 Lab (Basic)	기초병원체 예방/처리 연구	• 오픈형 실험대	제1위험군 (BL1)
BL2 Lab (Basic+)		• BL1 + BSC*	제2위험군 (BL2)
BL3 Lab (Containment)	위험병원체 예방/처리 연구	• BL2 + 특수복, 접근 통제, 음압설비, 퇴실 샤워시설	제3위험군 (BL3)
BL4 Lab (Containment+)	고위험병원체 예방/처리 연구	• BL3 + ClassIII BSC, 양문형 멸균기, 입퇴실 샤워시설, 특별 폐기물 처리시설	제4위험군 (BL4)

\* 주 : BSC(Biological Safety Cabinet, 생물안전작업대)  
출처 : WHO, Laboratory Biosafety Manual(3rd Ed), 2004

## 2.2 BL 실험시설의 국내 설치 현황

현재 국내에 설치된 생물안전 실험시설은 BL1 등급 961개, BL2 등급 463개, BL3 등급 15개소로 알려져 있으며, 현황은 다음과 같다(표 4).

[표 4] 생물안전 실험시설의 국내 설치 현황

안전등급	시설현황	시설의 역할	기관 현황	비고
BL1	961개소	제1,2위험군 분류 병원체 진단, 연구	국공립연구기관 및 대학, 기업	신고
BL2	463개소			
BL3	15개소	제3위험군, 고위험 병원체 진단, 연구		허가

출처 : 질병관리본부, 생물안전 연구시설 국내현황, 생물안전평가과, 2010

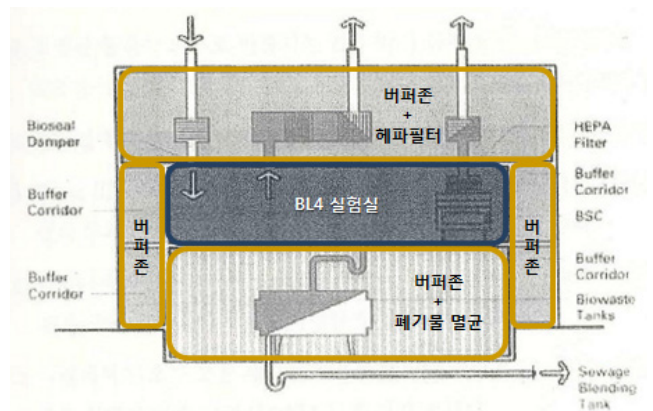
BL 실험시설의 국내 설치 현황을 보면 알 수 있듯이, 아직까지 우리나라에는 BL4 실험시설이 없다(현재 질병관리본부에서 건립 추진 중). BL4 실험시설은 주변 환경으로 미생물의 확산을 막는 특별한 구조를 가지고 있어야 하며, 엄격하게 통제된 실험실 접근이 요구된다. 또한 최적의 동선계획이 구현되어야 실 면적의 낭비를 줄이고 병원체의 전염을 효과적으로 차단하는 것은 물론 적절한 실험을 수행할 수 있다.

## 3. 사례분석

### 3.1 Laboratory Biosafety Guidelines (BL4)

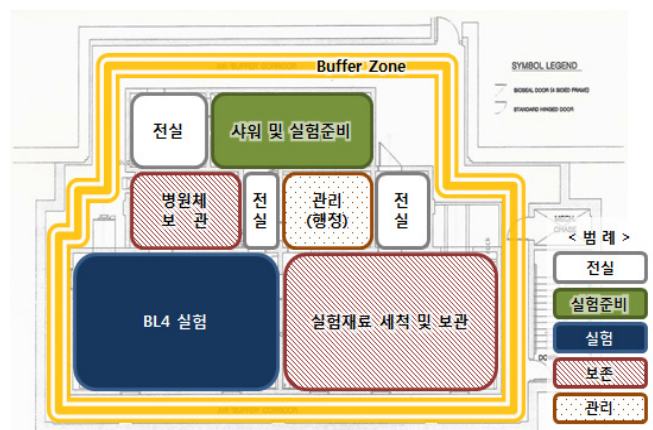
#### 1) 공간의 구성

캐나다의 BL4 실험시설 가이드라인은 최소한의 필요 공간으로 구성되어 있다. BL4 실험시설은 위험도가 높기 때문에 사방의 모든 접촉면에 대하여 버퍼존을 두고 있으며, 단면에서 본 버퍼존은 [그림 1]에서 볼 수 있듯이 설비통로 외에는 전부 HEPA필터로 정화되는 공간으로 외기와의 직접적인 접촉을 차단하고 있다.



[그림 1] BL4 실험시설의 버퍼존 (단면)

설비층을 실험실의 상하로 배치하여 환기 및 폐기물의 멸균, 급배수, 전기배선 등 필요한 작업을 수행할 수 있도록 하였고, 실험실이 있는 층에는 실험실 전용용도로만 계획하였다.



[그림 2] 캐나다 BL4 실험시설 가이드라인의 실험실 공간구성

평면에서 본 버퍼존은 [그림 2]와 같이 BL4 실험실 및 보조 공간을 둘러싸고 있으며, 이 공간 또한 고위험병원체가 밖으로 나가는 것을 차단하고 있다. BL4 실험실을 둘러싸고 있는 버퍼존으로 인한 공용면적의 증가는

공간의 효율성을 떨어뜨리는 주요 요인이지만, 또한 특징이기도 하다. 캐나다 BL4 실험시설 가이드라인에서는 평면상 버퍼존의 너비를 최소 1m로 책정하고 있다.

평면적인 실 구성은 크게 BL4 실험실, 재료 및 병원체 보관실, 관리 및 행정을 하는 사무실, 샤워 및 탈의를 위한 준비실 그리고 전실 등으로 구성되어 있다.

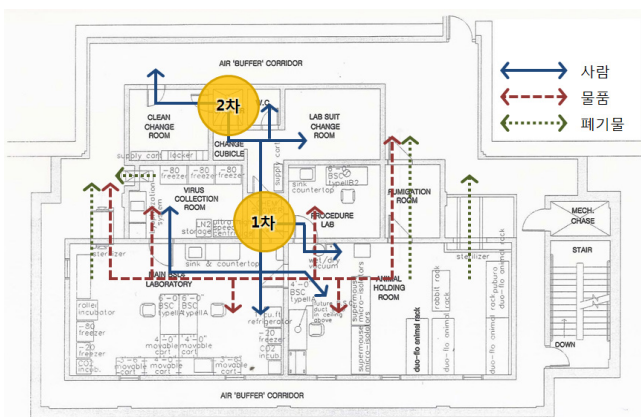
BL4 실험실은 BSC(생물안전작업대)를 중심으로 의자 및 사람의 활동반경이 충분히 고려된 크기(연구원 1인당 10㎡ 이상)로 하여 각종 실험시 위험상황 발생을 최소화하고 있다. 또한 연구원으로 인한 병원체의 외부 유출을 방지하기 위하여 사람의 동선은 BL4 실험실에서 종결되며, 퇴실시에는 샤워 및 탈의를 하도록 계획되어 있다.

실험재료(동물) 세척 및 보관실은 멸균전실을 통하여 재료의 유입 및 폐기물을 배출하며 관리실과 BL4 실험실의 사이에 위치해 연구원의 동선 낭비를 줄인다. 병원체 보관실은 오직 BL4 실험실을 통해서만 출입할 수 있으며, 폐기물은 멸균처리 후 별도의 통로를 통해서 외부로 배출된다.

BL4 실험실과 직접 면하는 모든 실은 에어락 도어를 사용하였고, 전실을 통과하도록 하여 위험을 최소화하고 있다.

### 2) 동선분석

동선은 전실을 경계로 일반동선(실험실 외부)과 오염동선(실험실 내부)을 명확히 구분하고, 일반구역에서 오염구역으로의 일방향 흐름을 원칙으로 계획되었다. 고위험병원체를 다루는 시설이기 때문에 최대한 교차감염을 예방하기 위한 것으로 판단된다. 폐기물의 동선 또한 사람의 동선과 겹치지 않게 하여 2차 감염의 위험성을 줄이고 있다.



[그림 3] 캐나다 BL4 실험시설 가이드라인의 동선분석

실험실에 들어갈 때는 갱의실에서 양압복 또는 특수 보호복으로 환복하고 음압설비가 된 전실을 통과한다. 실험을 마치고 퇴실하는 모든 연구원은 1차적으로 BL4

실험실의 출구에서 화학 멸균 소독기를 통과하고 2차적으로 실험시설의 메인 출구에서 샤워 및 환복을 하여 병원균에 의한 감염을 예방한다.

BL4 실험시설은 내부가 오염구역이기 때문에 실험실 진입시에는 샤워를 하지 않고 들어갈 수 있다<sup>2)</sup>. 캐나다의 가이드라인에서는 모든 연구원이 샤워실을 거쳐서 출입하도록 동선이 계획되어 있는데, 이는 공간을 최대한 효율적으로 쓰기 위함으로 보인다<sup>3)</sup>.

## 3.2 파스퇴르연구소 생물안전밀폐실험실 (BL3)

### 1) 시설개요

- 건물용도 : 교육연구시설 (연구소)
- 규모 : 지상 7층
- 구조 : 철골철근콘크리트조
- 대지면적 : 14,287.0㎡ (4,321.8평)
- 건축면적 : 4,030.1㎡ (1,219.1평)
- 연 면 적 : 14,989.5㎡ (4,534.3평)

### 2) 공간의 구성

한국 파스퇴르연구소는 신약개발 및 응용(상업화)의 중간역할을 수행하면서 질병퇴치연구를 목적으로 건립되었다. 시설은 지상 7층의 복합연구시설<sup>4)</sup>로 이루어져 있으며, 1층은 대규모 강당 및 설비실, 2층과 3층은 BL1 실험실 및 연구실, 4층은 BL2 실험실이 자리 잡고 있다. 사무행정을 하는 관리구역을 별도의 건물로 구성하여 프로그램에 따른 공간의 구획을 명확히 하였다. 3층까지는 이 두 개의 매스가 브리지로 연결된다.

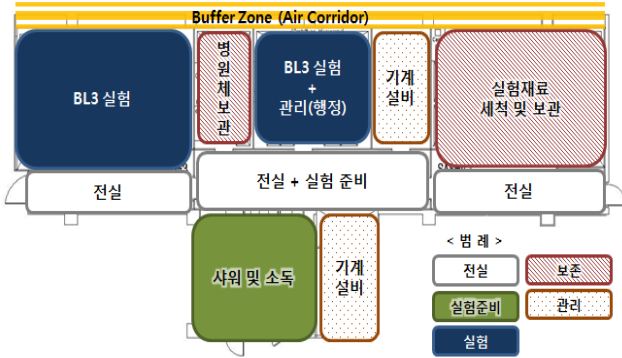


[그림 4] 파스퇴르연구소 5층 평면도

파스퇴르연구소의 BL3 생물안전밀폐실험실은 5층에 위치하고 있다. 5층 코어(엘리베이터 홀)에서 나와 서측의 2층 에어락으로 된 문을 거치면 BL3 실험시설의 입구에 도달한다. 입구의 좌우에는 기기 보관과 세척실, 직원 휴게실 등 서비스실이 배치되어 있다. 6층에는 실험실과 수직적으로 연결되는 설비층을 두어 실험실에서 나

- 2) 샤워를 해야 하는 때는 실험실 밖으로 나가는 경우이다.
- 3) 진출입 동선을 나눈다면, 연구원의 편의를 향상시킬 수 있고, 동선의 교차를 막을 수 있지만, 그만큼의 면적이 증가된다.
- 4) 동물실험실 및 BL1 실험시설부터 BL3 실험시설까지 설치

오는 모든 공기가 고성능 HEPA필터를 거치도록 되어 있으며 내부로의 재유입을 방지하고 있다. BL3 실험시설 내부에도 공조 및 환기실을 두어 외기와의 접촉을 피하고 내부를 음압으로 만들고 있다.



[그림 5] 생물안전밀폐실험실(BL3)의 공간구성

파스퇴르연구소의 BL3 실험실 또한 외벽과 접하는 공간에 버퍼존을 둬므로써 고위험병원체의 외부유출을 막고 있다. 버퍼존은 폭 60cm의 좁은 공간으로 설계되었다. BL3 버퍼존은 외기와 직접 면한 부분에만 설치가 요구<sup>5)</sup>되기 때문에, 앞선 캐나다 BL4 실험시설 가이드라인의 사방을 둘러싼 복도형 버퍼존과는 다른 모습을 보여준다

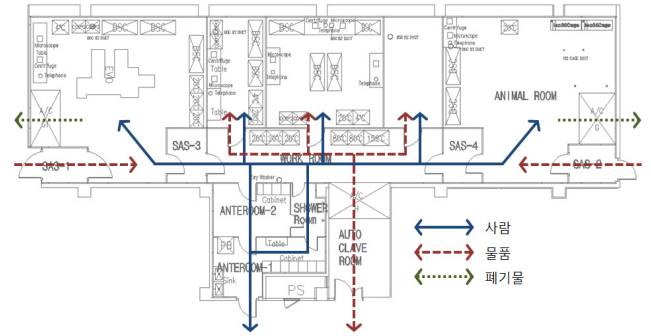
전실과 에어락 도어를 통하여 공기를 통제하며 주요 내부환경(온도, 습도, 기압 등)을 모니터링하는 시스템을 설치하였다. 이러한 설비는 출입구와 실험실의 중간에 길게 자리 잡은 전실 및 실험준비실에서 확인 가능하다. 또한 이러한 전실을 중심으로 오염구역과 일반구역을 명확히 구분하여 교차감염의 가능성을 최소화하고 있다.

### 3) 동선분석

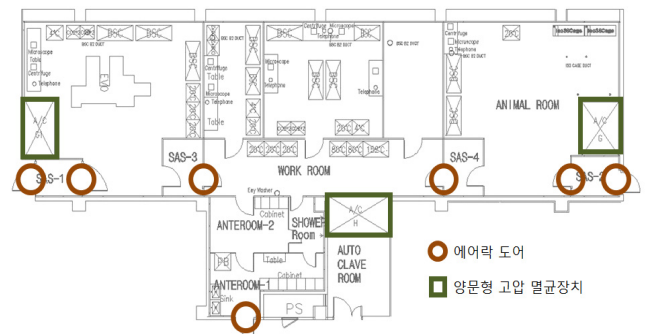
동선계획에서는 병원균의 교차오염을 방지하기 위하여 사람, 물품, 폐기물의 동선이 명확히 구분되어 있다. 사람의 경우 들어가는 동선과 나오는 동선을 분리하였고, 나올 때는 항상 샤워실을 거쳐서 나오도록 설계하였다. 물품의 경우 에어락 도어를 통과하여 실험실과 재료 보관실에 직접 유입되고, 폐기물은 양문형 고압 멸균장치를 통하여 직접 배출된다.

또한 전실과 준비실을 겸하는 "WORK ROOM" 개념의 도입으로 위험요소가 낮은 재료의 동선과 사람의 동선을 한 번에 처리하고 있다. 사용자의 주의가 요구되기는 하지만, 실험 절차의 간소화, 연구원의 편의 증진, 공간 및 동선절약 측면에서 유리한 점이 있다.

5) 미국 질병관리본부 홈페이지 "Buffer Zone Setting"  
<http://www.cdc.gov/OD/OHS/biosafety/biosafety.htm>



[그림 6] 생물안전밀폐실험실(BL3)의 동선분석



[그림 7] 동선절약 및 공간효율화를 위한 설비 배치



[그림 8] 양문형 고압멸균장치(좌), 에어락 도어(우)

## 3.3 결핵연구원 백신생산실험실 (BL3)

### 1) 시설개요

- 건물용도 : 교육연구시설 (연구소)
- 규모 : 지하 1층, 지상 2층
- 구조 : 철골철근콘크리트조
- 대지면적 : 9,913.6㎡ (2,998.9평)
- 건축면적 : 1,789.9㎡ ( 541.5평)
- 연 면 적 : 3,824.9㎡ (1,157.0평)

## 2) 공간의 구성

대한결핵협회의 결핵연구원은 결핵균에 대한 검사 및 치료연구를 목적으로 건립되었다. 1층은 강당 및 문서보관실, 미생물 사무실, 전산실 등 행정을 지원하는 공간으로, 2층은 BL3 백신생산실험실과 배양실, 균주보관실 등 실험 및 연구공간으로 구성되었다.



[그림 9] 결핵연구원 2층 평면도

BL3 실험시설은 [그림 9]와 같이 2층의 남동쪽 측면에 배치되어 있다. 완전한 밀폐가 요구되는 실험실(6)을 향이 좋은 남측에 배치한 것은 일조이용의 측면에서 불리하다. 또한 2면이 외기와 접하고 있어 엄격한 실내 환경 조절에 불리하다.



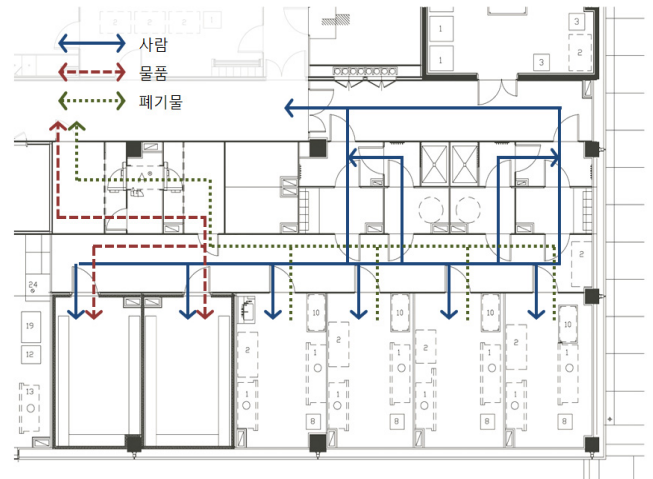
[그림 10] 백신생산실험실(BL3)의 공간구성

[그림 10]과 같이 BL3 실험실의 공간은 매우 단순하게 구성되어 있다. 안전을 위하여 갱의실 및 샤워실, 전실을 2층으로 구성한 것은 바람직하다고 할 수 있으나, 실험실 자체에서 폐기물의 멸균소독을 할 수 없고 멸균실이 떨어져 있기 때문에 체계적인 멸균작업이 잘 이루어지지 않을 수 있다. 또한 에어락 도어가 첫 번째 전실

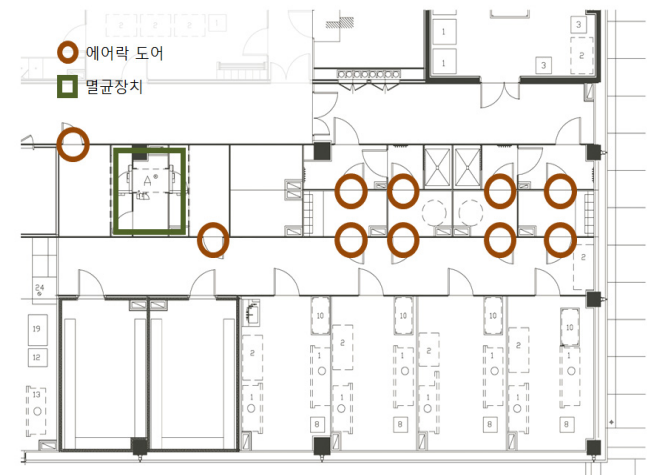
6) 결핵연구원 BL3 백신생산실은 창문이 없으며, 첫 번째 전실을 지나면 외부와 연결되는 통로는 단절된다.

에만 설치되어 있고 내부 전실과 BL3 실험실 사이에는 일반 도어가 설치되어 있기 때문에 사고의 위험성을 내포하고 있다. 설비층을 따로 두지 않고 기계실 및 2층 천장의 층간 공간에 HEPA필터를 설치하여 공조 및 멸균을 하고 있어 추후 유지관리에 문제점을 일으킬 가능성이 있다.

## 3) 동선분석



[그림 11] 백신생산실험실(BL3)의 동선분석



[그림 12] 에어락 도어의 설치와 멸균실

결핵균을 다루는 시설의 특성상 실험자의 감염이 우려된다. 따라서 사람과 실험물품, 그리고 폐기물의 동선이 중복되지 않아야 하고, 일반구역인 외부와 오염구역인 BL3 실험실이 전실로 구분되어야 한다. 또한 실험자의 실험복 착용이 무엇보다 중요하다.

전실을 경계로 일반구역과 오염구역이 차단되어 있지만, 동선계획은 명확하게 구분되지 않아서 사람과 물

품, 폐기물의 동선이 중복되는 모습을 보여주고 있다. 특히 양문형 고압멸균장치로 폐기물을 실험실에서 바로 배출하는 것이 아니고 복도 및 멸균실을 거쳐야 되기 때문에 사람과 폐기물의 동선이 중복된다. 소규모 실험실이기 때문에 멸균실을 따로 설치해야했고, 그만큼 실험자의 위험은 높아졌다고 할 수 있다.

#### 4. 사례분석을 통한 동선계획의 전제

##### 4.1 공간구성의 설정

BL4 실험시설은 실험의 목적 및 내용, 방법 등에 따라 공간구성이 달라지기 때문에 범용적인 세부공간기준을 정하기가 어렵다. 따라서 기본적인 공간구성은 캐나다의 BL4 실험시설 가이드라인과 최근 건립된 국내 BL3 실험시설의 분석내용을 토대로 설정하였다. 이때 각 기능공간의 영역은 공간의 위험도(오염도)에 따라 일반구역, 통과구역, 오염구역으로, 공간의 기능에 따라 실험구역, 보관구역, 서비스구역, 행정구역, 설비구역 등으로 구분하였다.

[표 5] BL4 실험시설의 공간구성

구 분	기 능 공 간		
	일반구역	통과구역	오염(위험) 구역
실험 구역		전실, 화학멸균소독실	BL4 실험실, 실험준비실
보관 구역	외부창고, 실험동물보관실	물품반입구, 전실	병원체 보관실, 기자재 창고
서비스 구역	휴게실, 외부준비실, 물품소독실, 탈의실(전)	출입구, 전실, 샤워실, 세탁실	탈의실(후)
행정 구역	관리실, 일반연구실		
설비 구역	기계실(공조 등)	고압멸균장치(설비)	

실험의 재료로 쓰이는 동물보관실은 동물이 병원균에 오염되지 않는 것을 전제로 일반구역으로 분류하였다. 연구원들의 휴게실, 관리실 및 유지보수가 필요한 설비구역 또한 일반구역으로 분류하였다.

오염구역은 BL4 실험실과 실험 준비실, 병원체 보관실 등이 있고, 오염구역에서 일반구역으로 이동할 경우에는 전실과 샤워실, 화학멸균소독실 등을 통과<sup>7)</sup>하여 교

차감염을 최소화하도록 설정하였다.

탈의실의 경우 실험복으로 갈아입는 즉, 진입하는 탈의실과 실험 후 퇴실할 때의 탈의실로 구분하였다. 외부에서 진입하는 탈의실(실험 전)의 경우 일반구역으로, 나오는 탈의실(실험 후)의 경우 오염구역으로 구분하여 동선을 계획하였다. 또한 버퍼존은 전실의 확장개념이므로 전실과 같은 정도의 오염차단역할을 하는 것으로 보았다.

##### 4.2 동선계획의 주안점

첫째, 생물안전 실험실은 시설의 특징상 실험구역(BL4)이 주된 오염구역이고 그 외의 지역이 일반구역이다. 동선계획은 오염구역에서 일반구역으로 전역되는 고위험병원체의 차단을 중심으로 한다.

둘째, 밀폐공간에서 오랜 시간 연구 및 실험을 해야 하는 연구원들의 업무 효율을 증진할 수 있도록 간결하고 편리한 동선이 요구된다. 동선이 길어질 경우 시설 내 근무자들이 계획된 동선에 따라 움직이지 않고, 교차 감염의 우려가 있는 대체 동선을 사용할 가능성이 높아지기 때문이다(권순정, 2006.03:3).

셋째, 국내 사례를 볼 때 2중 전실을 크게 구성하는 것은 동선의 중복으로 인한 교차 감염의 우려가 있다. 따라서 소규모 전실의 분산 배치, 폐기물 멸균장치의 분산 설치 등으로 동선을 최소화하고 고위험병원체의 유출경로를 줄여야 한다. 이와 더불어 에어락 도어 또한 꼭 필요한 전실에 분산 설치함으로써 예산낭비를 줄이고 효과적인 오염차단 시스템을 조성해야 한다.

#### 5. 동선주체별 동선계획

동선의 주체는 크게 사람, 물품(동물 및 병원체 포함), 실험 후 폐기물 등으로 구분할 수 있다. 여기서 폐기물의 동선계획은 멸균장치 등 설비적 측면에 따라 결정되는 경우가 많으며, 동선이 실험대에서 최소화<sup>8)</sup> 될수록 바람직하기 때문에 본 연구의 분석대상에서는 제외하기로 한다. 따라서 동선계획은 사람과 물품, 두 가지 주체에 한정하여 분석한다.

##### 5.1 사람의 동선

사람은 실험을 하는 연구원과 기자재 및 시설을 관리하는 관리 및 행정직원의 동선으로 구분된다. 방문객 또는 일시적으로 출입하는 사람들의 동선은 제외하기로

이 발생하지 않도록 적절한 공조 및 음압 설비가 필요하다.  
8) 멸균실을 두는 사례도 있지만, 고성능 멸균설비의 분산배치에 비해 효율적인 동선계획이 이루어지기 어렵다.

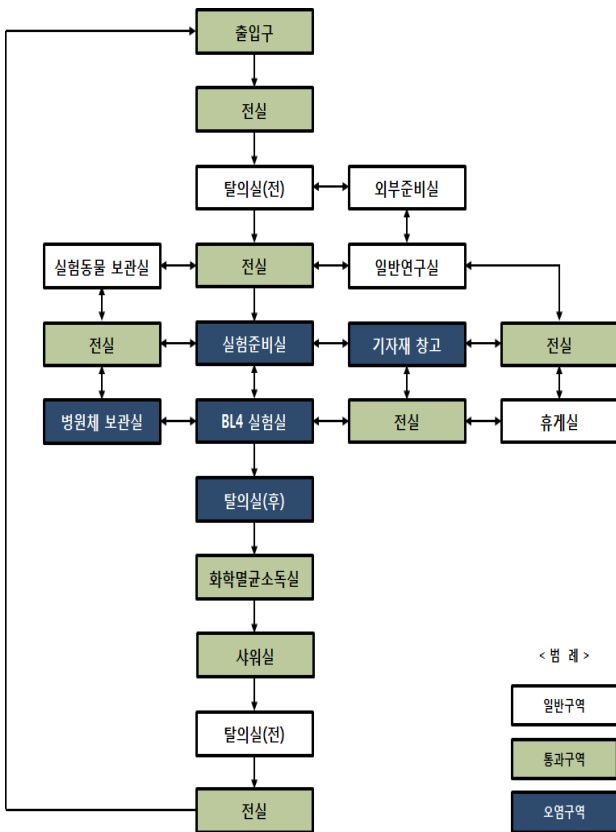
7) 통과구역은 각 주체별 동선이 중복되는 구간이므로 교차감염

한다.

### 1) 연구원

연구원의 경우 출입구에서 첫 번째 전실을 거쳐 탈의실로 들어간다. 고위험병원체에 노출되기 쉽기 때문에 양압복 등의 실험복으로 환복한 후 두 번째 전실을 거쳐 오염지역인 BL4 실험실로 들어가게 된다. 이 때, 두 번째 전실에서 실험동물 보관실 또는 일반 연구실로의 출입 동선이 연결된다.

국내 BL3 실험시설의 전실은 여러 동선을 공유하지만, BL4 실험시설의 경우 전실이 동선주체별로 독립되어야 하고 기압조절 및 공조 설비로 오염지역의 공기가 침투되지 않아야 한다.



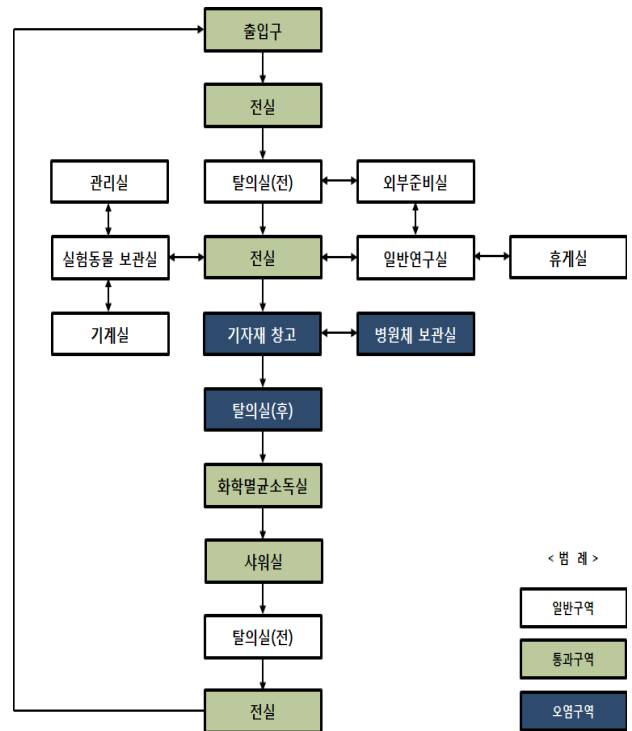
[그림 13] 실험실 내 연구원 동선체계

실험실에서 연구원의 동선은 같은 오염구역인 병원체 보관실 및 기자재 창고로 이동 가능하고, 전실을 거쳐서 휴게실로의 이동도 가능하다. 단, [그림 13]에서 볼 수 있듯이 오염구역과 일반구역에서 교차 감염이 일어날 수 있는 공간은 실험동물 보관실과 휴게실이다. 이러한 공간들은 출입이 빈번할 수 있지만 일반구역으로 유지되어야 할 공간이기 때문에, 출입에 있어서 운영 및 설비적인 조치가 필요할 것으로 판단된다.

실험을 마친 연구원은 탈의실(후)을 거쳐 실험복을 탈의한 후, 화학멸균소독실에서 1차, 샤워실에서 2차 소독을 하고 일반구역인 탈의실(전)로 나오게 된다. 탈의실(후)에서는 한 번 입은 실험복은 바로 멸균 및 세척작업을 하여 탈의실(전)에 비치된다. 탈의실 공간 사이에 양문형 고압 멸균장치 등을 설치함으로써 공간의 절약과 물품동선의 최소화를 이룰 수 있다. 평상복으로 갈아입은 연구원은 다시 전실을 거쳐 출입구로 나오게 된다.

### 2) 관리 및 행정직원

관리 및 행정직원의 경우 물품 검사 및 실험 결과물을 체크하기 때문에 기자재 창고 및 병원체 보관실을 출입한다. 오염구역에 출입하는 절차는 연구원과 동일하며, 일반구역의 경우 두 번째 전실을 통하여 관리실 및 기계실 등으로 이동한다[그림 14].



[그림 14] 실험실 내 관리 및 행정직원 동선체계

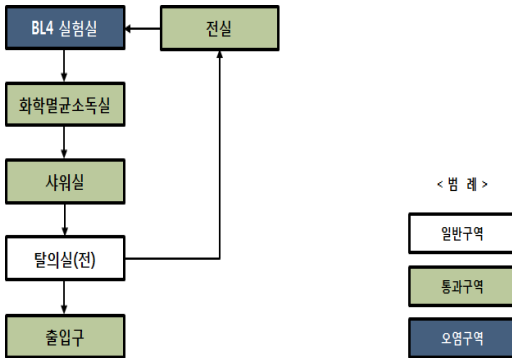
### 3) 비상시 사람의 동선

병원체의 유출사고를 제외한 나머지 안전사고는 비치된 세척액과 소독약품 등으로 해결하므로 사람의 이동이 발생하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 병원체 유출사고의 경우만 다루기로 한다.

병원체가 유출되었을 경우, 생물학적 유출 키트 (BIological Spill Kit)<sup>9)</sup>를 통하여 1차적인 감염방지를 하

9) 살균제, 감염성 폐기물 전용용기, 흡수용 물질, 개인보호장비

고, 2차적으로 미생물 비활성 살균제를 실험실에 뿌려 병원체를 제거한다. 연구원은 살균제의 에어로졸이 가라앉기 전에 병원체가 유출된 오염구역을 떠나 화학멸균소독실을 거쳐 탈의실 등 일반구역에 30분 정도 대기한다. 발생한 에어로졸이 가라앉으면 실험실로 돌아와 감염성 폐기물 전용용기에 파손된 기자재를 멸균 처리 후 버린다. 이후 연구원은 다시 화학멸균소독실을 거쳐 샤워실에 퇴실하도록 한다(질병관리본부, 2006 : 64).



[그림 15] 비상시 사람의 동선체계

## 5.2 물품의 동선

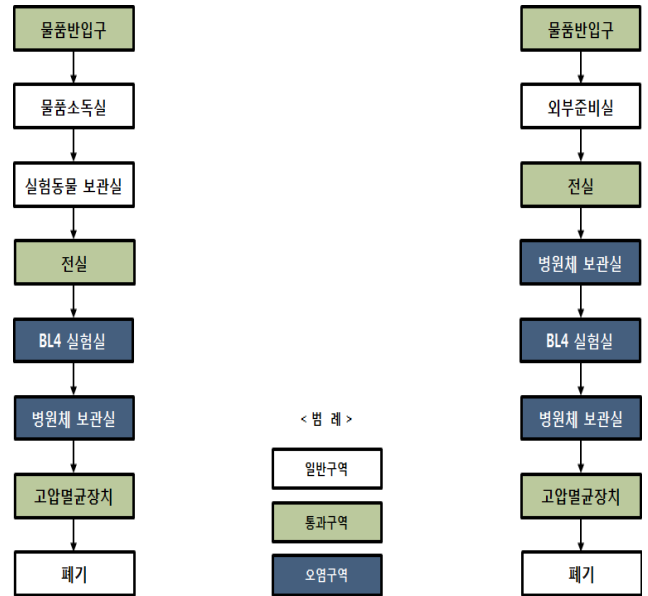
BSL4 실험실에서 다루는 물품의 종류는 실험의 목적에 따라서 매우 다양하지만, 본 연구에서는 실험을 위한 실험재료(흰쥐 등의 동물 또는 바이러스 등의 병원체), BSC 등의 기자재, 실험복 등의 의류 동선으로 한정하여 논하기로 한다. 동물의 사료는 기본적으로 동물의 반입동선과 같은 것으로 보았다.

### 1) 실험재료

실험재료의 경우 일반구역에 보관되어야 할 동물과 오염구역에 보관되어야 할 병원체로 동선이 나뉘게 된다. 임상실험의 재료로 쓰이게 되는 동물은 일반동선을 거쳐 일반구역인 실험동물 보관실로 들어가게 되고, 백신과 검사의 대상인 병원체는 오염구역인 병원체 보관실로 들어가게 된다. 병원체의 경우 외부로 유출되지 않게 3중 포장<sup>10)</sup>되어 반입된다.

(장갑, 마스크 등), 기계적 도구(핀셋) 등으로 구성되며, 안전 사고에 대비하여 항상 실험실 내부에 비치하여야 한다

10) 살아있는 병원체는 안전성을 위해 -180℃의 액체질소로 동결·건조되어 1차 진공포장하고, 2차로 방화성 밀폐용기에 담는다. 마지막으로 위험물 표시가 있는 3차 용기에 포장되어 운반된다(<http://www.hkn24.com/news/articleView.html?idxno=58144>).



[그림 16] 실험동물(좌), 병원체(우)의 동선체계

실험동물의 경우 물품반입구로 유입되면 물품소독실을 거쳐 일반구역인 실험동물 보관실로 이동된다. 보관 중인 동물은 전실을 통하여 BL4 실험실로 이동되어 실험에 쓰이게 된다. 실험이 끝난 후에는 고압멸균장치를 통하여 살균된 뒤 폐기된다[그림 16, 좌].

병원체의 경우 물품반입구로 유입되면 외부준비실에서 1차 포장을 제거하고 전실을 거쳐 오염구역인 병원체 보관실로 옮겨진다. 이곳에서는 실험 전 병원체와 실험 후 병원체로 나뉘어 보관되고, 실험이 끝난 병원체는 고압멸균장치를 거쳐 폐기된다[그림 16, 우].

### 2) 기자재

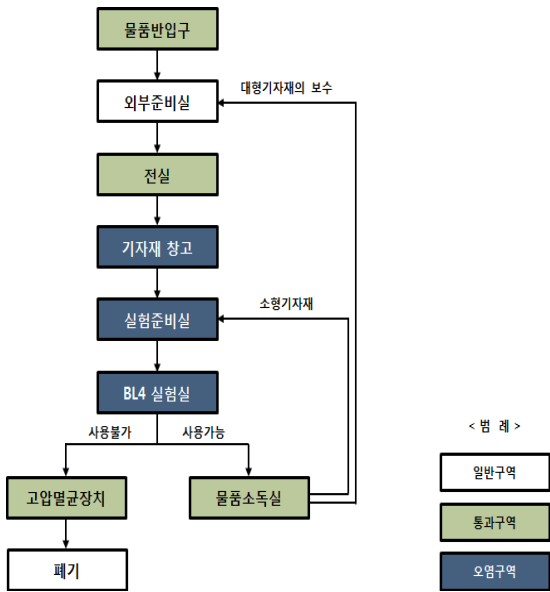
기자재에는 BSC(생물안전작업대)를 포함한 부속품, 병원균 배양기, 소독기, 실험도구 등이 있다. 기자재 공급은 병원체의 공급동선과 유사하며 실험실 내 오염구역인 기자재 창고에 보관된다. 창고에 보관된 물품은 필요시 같은 오염구역인 실험준비실에 비치되며, BL4 실험실로 이동되어 실험에 쓰이게 된다.

기자재가 사용된 후, 실험도구 등의 소형기자재는 물품소독실을 거쳐 재활용되거나, 고압멸균장치를 통해 폐기처리 된다. BSC, 병원균 배양기 등 대형기자재의 보수가 필요할 때는 물품소독실을 거쳐 외부준비실로 이동되어 수리한 후 사용된다<sup>11)</sup>[그림 17].

### 3) 의류

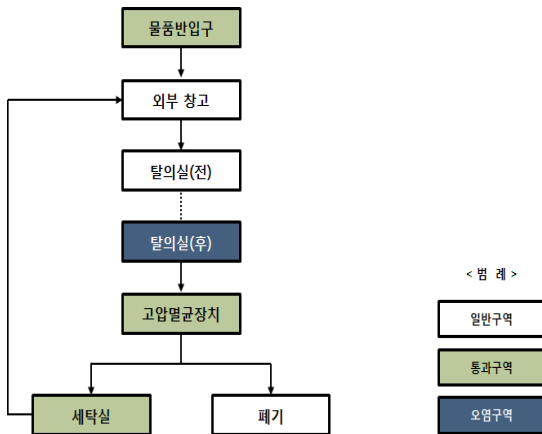
BSL4 연구실에 출입하는 모든 인원은 실험복을 착용해야 한다. 실험복은 물품반입구로 반입되어 외부 창고

11) 대형기자재의 경우 기자재를 옮기지 않고 외부에서 수리전문가가 실험실내로 들어와서 기기를 수리할 수 있다.



[그림 17] 기자재의 동선체계

에 보관되었다가 탈의실(전)로 이동한다. 연구원이 착용한 의류는 탈의실(후)에서 고압멸균장치를 통해 살균된 후 세탁실로 이동한다. 세탁이 완료된 의류는 다시 외부 창고에 보관되었다가 탈의실(전)로 옮겨진다[그림 18]. 사용한 의류가 오래되거나 많이 훼손된 경우에는 고압멸균기를 거쳐 살균·소독 된 후 폐기된다.



[그림 18] 의류의 동선체계

## 6. 결 론

최근 신종 전염병의 등장 및 생물테러 위험 등으로 인하여 고위험병원체 확산에 대비한 연구시설의 필요성이 제기되었다. 그러나 국내의 생물안전등급 적용 실험실은 BL3 수준으로 아직까지 최고 수준의 실험체계가 정립되지 않은 실정이다. 현재 질병관리본부 관할로 BL4 연구실험시설을 포함한 특수복합시설이 계획 중이며 시설의 성공적인 건립을 위해서는 합리적이고 효율적

인 공간 및 동선계획이 수립되어야 한다. 본 연구는 BL4 연구실험시설에 대한 기준 및 사례분석을 통하여 BL4 시설계획을 위한 효율적이고 합리적인 동선계획을 제시하고자 하였으며, 도출된 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 일반적인 BL4 연구실험시설에 대한 공간을 단위공간의 기능 및 청결도에 따라 구분하여 제시하였다. 기능에 따른 공간은 실험, 보관, 행정, 서비스, 설비 구역 등으로, 그리고 청결도에 따라서는 일반, 통과, 오염(위험) 구역 등으로 구분할 수 있다.

둘째, 교차오염의 가능성을 최소화하기 위하여 효율적이고 교차감염의 기회가 적은 동선체계를 동선주체별 다이어그램으로 제시하였다. 동선주체는 크게 사람과 물품을 대상으로 하였으며, 사람에는 연구원, 행정관리직원 등이, 그리고 물품에는 실험동물 및 병원체, 기자재, 의류 등이 포함되었다.

본 연구는 국내 BL4 실험시설의 건립 시 공간의 효율적인 배치를 위한 동선계획의 기초적인 지침으로 활용할 수 있다는 점에 의미가 있다. 그러나 BL4 실험시설의 프로그램이 매우 다양하기 때문에 본 연구에서는 공간구성 및 동선계획에 있어서의 원론적인 내용만 제시하였다. 따라서 본 연구의 결과를 각 시설 계획에 실제적으로 적용하기 위해서는 해당 시설의 정확한 SOP(표준운영방침)를 토대로 적절한 응용이 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 권순정 외, 무균폐지 사육시설 계획을 위한 사례연구, 의료복지시설학회지, 2006. 03
2. 권순정, 무균폐지 사육시설의 동선계획에 관한 연구, 의료복지시설학회지, 2006. 10
3. 기술경영연구원, 연구·실험실 레이아웃 실무매뉴얼, 2000. 09
4. 녹십자, BL4 생물안전 실험실 국내 신축을 위한 국제 실태조사 및 신축방안 계획연구, 2003. 08
5. 대한결핵협회 결핵연구원, BCG 백신생산실 및 결핵연구원동 신축공사 요약설계설명서, 2007. 11
6. 질병관리본부, 신종·고위험 바이러스성 출혈열 환자 국내 유입대비 실험실 진단체계 구축 연구, 고려대학교, 2009. 11
7. 질병관리본부, 실험실 생물안전지침, 2006. 12
8. 태영건설, 한국파스퇴르연구소 생물안전밀폐실험실 건설지, 2009
9. 한국개발연구원(KDI), 고위험병원체 관리 특수복합시설 건립사업 타당성 조사, 2010. 08
10. WHO, Laboratory Biosafety Manual(3rd Ed), 2004
11. <http://www.cdc.gov/OD/OHS/biosafety/biosafety.htm>

접수 : 2010년 12월 31일  
 1차 심사 완료 : 2011년 1월 19일  
 최종 수정본 접수 : 2011년 2월 14일  
 3인 익명 심사 필