

# 생물 안전 실험실의 자동제어 시스템 적용 사례 분석

주 영 덕, 김 진<sup>†</sup>, 함 호 석

주식회사 나라컨트롤 산업사업본부

## A Case Study on Biosafety Laboratory HVAC Control System

Young-duk Ju, Jin Kim<sup>†</sup>, Ho-suk Ham

Nara Controls Inc., Seoul 135-100, Korea

**ABSTRACT** : The biosafety laboratory HVAC control technology may be applied in order to protect contamination of the researcher, supervisor and to prevent diffusion of biological pollution. In this study, a biosafety level, general configuration of control system, differential pressure control, distributed control system and network structure were discussed. These systems able to increase laboratory safety and efficiency of HVAC system.

**Key words:** Biosafety laboratory (생물안전실험실), HVAC control system (공조제어시스템), Bio safety level (생물안전등급), Differential pressure control (차압제어)

### 1. 서 론

특수 생물 안전 실험실에 적용되는 공조 설비와 자동제어 시스템은 거주하는 연구자, 관리자의 보호와 내부 오염 물질의 외부 확산 방지를 위한 안전한 환경이 구축되도록 설계되고 운전되어야 한다. 이런 환경의 구축을 위해서 제어되는 대상은 주로 실험실내의 온습도, 압력, 기류, 청정도, 소음, 진동에 관련된 사항들이며 또한 실험실은 공조 시스템의 특성상 전외기 방식을 적용하는 경우가 일반적이어서 사무용의 건물에 비해서 많은 에너지를 소비하는 특성이 있어 에너지 절감을 위한 제어 방식이 고려되어야 한다. 따라서 안전한 환경 및 에너지 절감을 위해서는 제어 시스템의 설계자는 특수 실험실의 사용 목적, 적용된 공조 방식과 실험실 실험 장치의 종류, 작동 원리 및 공조 시스템과의 연동 관계 등을 정확히 이해하여 제어 시스템을 설계하여야만 안전하고, 쾌적한 환경유지와 에너지와 운전비

절감, 장비의 수명의 연장 등 LCC (Life Cycle Cost) 저감에 필요한 신뢰성 있고 정확한 제어 시스템을 제공 할 수 있다.

### 2. 생물안전등급

위해 가능성이 큰 유전자변형 생물체를 취급하는 실험실에서는 감염이나 생물학적 오염사고가 발생할 가능성이 있다. 이러한 사고 위험을 방지하고자 하는 것이 생물안전이다. 일반적으로 생물안전은 “생명과학분야에서의 연구 활동과 관련하여 사람과 환경에 대한 안전성을 확보하기 위한 일련의 활동”<sup>(1)</sup>이라고 정의 한다. 이러한 생물안전은 실험자의 감염과 외부 환경으로 오염이 확산되는 것을 방지하기 위한 생물학적 물리적 밀폐로 정립되었다.

시설 구축시 설비 엔지니어가 고려해야 할 부분이 물리적 밀폐 부분이고 이러한 밀폐는 Fig. 1에서와 같이 외부의 오염 요소가 내부로 침투하는 것을 방지 하고자 하는 Keep in (Isolation), 내부의 위험요소를 외부로 확산되는 것을 방지하고자 하는 Keep out (Containment)이 있다. Keep

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel: +82-2-3440-3000; fax: +82-2-3440-3300  
E-mail address: jkim@naracontrols.co.kr

out 개념은 청정한 환경을 요구하는 실험실 내부나 특수동물 사육실에 적용되며, 생물안전밀폐실험실은 Keep in 개념이 적용된다. Keep out에서 오염 확산의 요소는 공조 설비, 실내공기 누기, 설비배관, 폐수, 생물실험조각, 폐기물, 동물사체, 사육용 케이지 (Cage), 사람으로부터 오염이 외부로 누출 될 수 있는 가능성을 보여 준다. 이러한 위험 요소를 취급하는 위험도에 따라 등급을 정한 것을 생물안전 등급이라고 하며 Table 1 에서와 같이 1등급에서 4등급으로 나누어진다. 생물안전등급에 따라 시설물의 밀폐 정도를 정하게 되는데 밀폐에는 실험자와 실험실 내부 환경이 오염되는 것을 방어하는 1차적 밀폐가 있고, 실험실 외부 환경이 오염되는 것을 방어하는 2차적 밀폐가 있다. 1차적 밀폐는 연구원의 숙련도와 실험장비 즉 생물안전작업대 (BSC : Bio Safety Cabinet)에 의하여 확보되며, 2차적 밀폐는 안전시설 설계, 구축에 의하여 확보된다.

### 2.1 생물안전등급-1 (BSL-1)

별도의 특별한 설비 시설을 필요로 하지 않으며 실험자가 기본적인 안전장구만 착용하는 것을 권장한다.

### 2.2 생물안전등급-2 (BSL-2)

1차적 밀폐로는 감염물의 에어로졸이 발생할 수 있을 경우 기밀을 유지 할 수 있는 실험장비 또는 생물안전작업대를 권장한다. 2차적인 밀폐로는 별도의 구획 계획 및 별도 공조시스템을 권장하고 있다.

### 2.3 생물안전등급-3 (BSL-3)

1차적 밀폐로는 생물안전작업대를 사용하도록 하고 있으며 2차적인 밀폐로는 전실을 통한 단계별 실험실 내부 출입, 손세척기 설치 등과 덕트에 의한 배기 시스템이 설치되어야 하며, 공기의

Table 1 Bio Safety Level

등급	구분
BSL-1	미생물의 특성이 충분히 밝혀져 있고 병원성이 없으며, 환경에 어떠한 해로움도 없는 Sample을 허용한 실험을 하는 안전도
BSL-2	인체에 대한 위해성이 경미한 병원체 (LMO* 포함)를 개발하거나 이를 이용한 실험을 실시하는 시설
BSL-3	인체에 대한 위해성이 상당한 병원체 (LMO* 포함)를 개발하거나 이를 이용한 실험을 실시하는 시설
BSL-4	인체에 대한 위해성이 명백하거나 높은 병원체 (LMO* 포함)를 개발하거나 이를 이용한 실험을 실시하는 시설

\* LMO (Living Modified Organisms) : 환경으로의 자가 방출 능력이 있어 생존·증식할 수 있는 유전자변형생물체

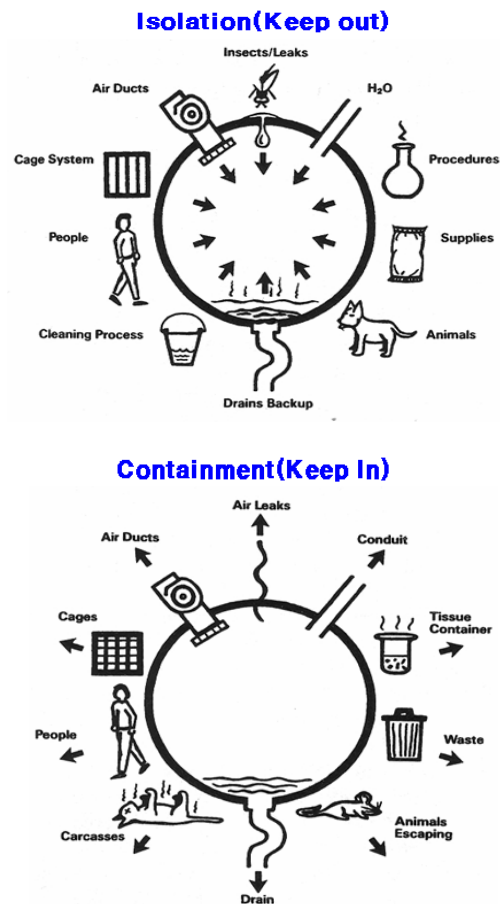


Fig. 1 Keep in, Keep out concept

을 갖고 흘러야 한다. 실내공기가 재순환이 되어 흐름은 비 오염지역에서 오염지역으로 일정방향 서는 안 된다. 배기되는 공기는 HEPA 필터를 통하여 배출되어야 하며 실험실 입구에는 실험실 내부를 모니터링 할 수 있어야 하며 공기 흐름을 조정 할 수 있는 공기조절 시스템이 실험실에 설치되어야 하며 공조시스템 이상을 인지할 수 있는 경보시스템을 갖추어야 한다. 생물안전작업대가 동작 할 경우 실내 공기 흐름에 영향을 주어서는 안 된다.

## 2.4 생물안전등급-4 (BSL-4)

BSL-4 등급은 상기와 같은 조건에서 실내는 완전 기밀을 유지하여야 하며 배기되는 공기는 HEPA 필터를 통해 배기하며 필요에 따라 소각 처리 배기 한다. 내부에서는 실험자가 별도의 호흡장비를 사용할 수 있는 장비가 구축되어야 한다.

## 2.5 연구시설 신고·허가제도

생물안전강화와 안전의 확보를 위하여 지난 2000년 2월 생물다양성 보존 및 환경과 인체에 대한 국제적 안전 보호 장치로 “카르타헤나 바이오안전 의정서”(Cartagena Protocol on Bio safety)가 채택되었고 우리나라도 이에 대한 국내 법으로 “유전자 변형 생물체의 국가 간 이동에 관한 법률”<sup>(2)</sup>이 채택 되었다. 이 법 제22조 및 시행령 23조에는 인체위해등급 1 및 2 시설은 교육과학기술부 장관에게 신고하고 3 및 4등급 시설은 보건복지부가족부 장관에게 허가를 받도록 되어 있으며 질병관리본부에서 이를 수행 하도록 규정되어 있다. 이 가이드라인<sup>(3)</sup>은 기존 연구시설과 신규 연구시설에 같이 적용이 되어 진다. 관련 기관 검증 시 기준을 통과하지 못하면 실험실 사용 허가는 불가능하며 많은 비용을 투자하여 시공한 건물을 처음부터 사용하지 못하고 다시 비용을 투자하여 보수공사를 실시하여야 하기 때문에 불필요한 손실을 방지하기 위하여서는 사업 초기부터 치밀한 계획과 관련 전문가의 엔지니어링을 통하여 가이드라인에 준하는 실험실을 시공

하여야 한다.

## 3. 생물안전밀폐 등급에 따른 자동제어 구축

### 3.1 시스템 일반 사항

생물안전 밀폐실험실의 원활한 설치와 운영을 위해서는 제어 기능의 목표를 명확히 하는 것이 중요하며 다음 Table 2와 같이 각 목표를 구분하여 시스템을 구축하여야 한다.

### 3.2 생물안전등급별 시스템 구축

국내에 구축된 생물안전 실험실은 BSL-1, 2등급의 경우 별도의 특별한 시설이 구축되어 있지 않기 때문에 자동제어설비 또한 특별히 고려할 사항이 없다. BSL-2 등급에서 BSC가 설치 될 경우 실내 공기 흐름의 안정화와 실험자의 안전을 위하여 BSC의 개도에 따른 먼 풍속이 일정하

Table 2 Object of control system<sup>(4-5)</sup>

구분	제어 목표						
	실험실 최적 환경	실험동물 최적환경	연구원 안전	신뢰성 안전성	에너지 절감	유연성 확장성	유지 관리 편리성
실간 치압 설정	○	○	○	○	○	○	○
급기 풍량 제어	○	○		○	○	○	
차압 제어	○	○	○	○	○	○	○
창정도 제어	○	○		○	○	○	
공조기 Fan 제어	○	○		○	○	○	
Fume Hood 제어			○				○
급수 제어	○	○		○	○	○	
배수 제어	○	○		○	○	○	
온도 제어		○				○	
습도 제어	○	○		○	○	○	
조도 제어	○	○		○	○	○	
분산 제어	○	○		○	○	○	
Network							
경보 시스템			○				○

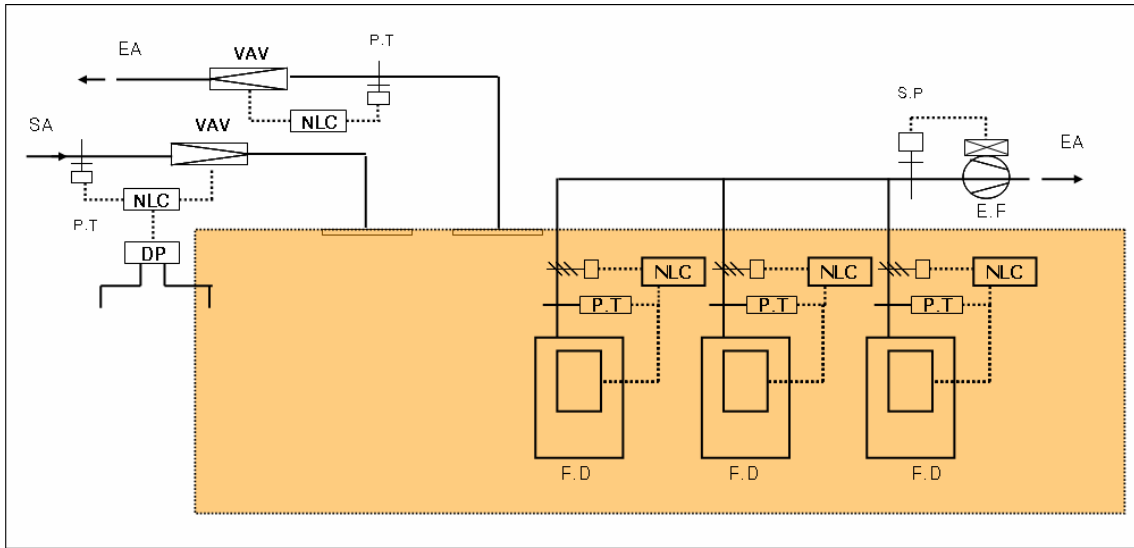


Fig. 2 Make-up AHU

게 나올 수 있도록 BSC 배기 풍량 제어와 실내 공기 흐름의 안정을 위한 Fig. 2와 같은 Make-up 공조기 제어가 필요하다.

BSL-3 등급에서는 전외기 방식의 공조 시스템을 적용하여야 하며 공기의 흐름을 항상 비오염 지역에서 오염지역 방향으로 일정하게 유지시켜야 한다. 일정한 공기 흐름을 위해서는 실간 차

압을 형성해야 하며, 이 차압은 2007년부터는 법적으로 2.5mmAq 이상을 유지하여야 한다. 또한 3등급 실험실에서는 실내 환기 횟수를 20회 이상으로 규정하고 있어 내부 실험 데이터의 안정된 환경을 유지하기 위한 항온항습제어 또한 중요한 제어 포인트가 된다.

### 3.3 차압 제어

차압제어는 공기의 흐름에 위한 오염을 방지하기 위한 장치로서 실간 차압제어를 권장한다. 즉 차압제어를 위한 방식으로는 Fig. 3, Fig. 4에 나타난 바와 같이 대기압을 기준으로 한 제어 방식과 실간 차압을 기준으로 한 차압 제어 방식이 있는데 Fig. 3과 같이 대기압 기준 차압 제어는 한 개 실의 제어 시스템 문제가 발생하였을 경우 인접한 실험실과 이상 차압을 형성할 수 있어 매우 위험한 상황이 발생하게 된다. Fig. 4와 같은 실간 차압 제어는 한 개 실의 차압제어에 문제가 생겼을 경우, 인접한 실은 변경된 차압에 의해 설정차압유지를 위해 제어 시스템이 동작하게 되어 발생하는 위험을 축소할 수 있다. 실간 차압은 사람의 동선과 물품의 동선에 따라 설계를 하며 생물안전밀폐실험실 특성상 5초 이내의 빠른 응답 속도와 정밀도  $\pm 15\%$  이내의 정밀한 제어를 요구한다. 또한 미세차압을 제어하기 위

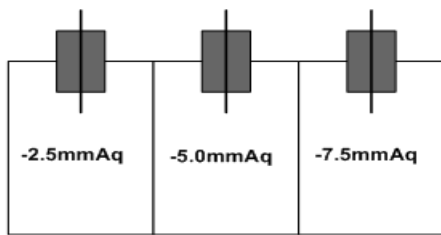


Fig. 3 Differential pressure control - case (1)

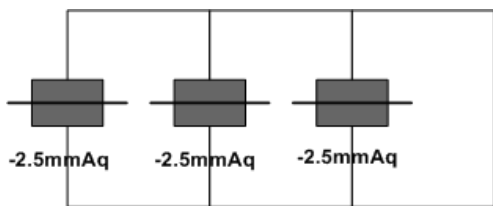


Fig. 4 Differential pressure control - case (2)

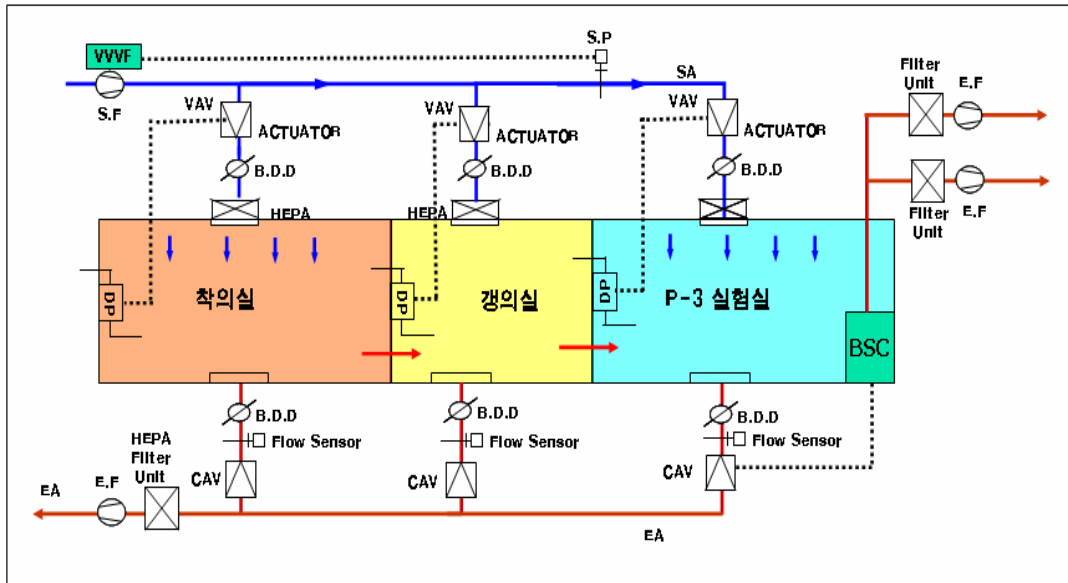


Fig. 5 LAB. HVAC system

한 정밀한 차압센서가 필요하다.

생물안전 3등급의 제어구성은 Fig. 5와 같이 각 실험실 제어를 실시하고 있으며 안정된 차압환경을 유지하기 위하여 급기 풍량과 배기 풍량 제어를 하고 있다. 또한 기타 FMS 시스템과 연계되어 항상 음압을 유지하여 오염사고를 방지하고 있다.

### 3.4 급배기 풍량 제어

생물안전실험실의 급배기 시스템은 실험실의 최적 환경을 유지하기 위해 활용되며 댐퍼 형식과 벤츄리 형식으로 구분이 가능하다. 실제 제어 시스템 구축의 용이성, 제어 알고리즘 등을 구성하기에는 벤츄리 형식이 유리하지만 벤츄리 형식 댐퍼의 스프링 탄성계수가 변경되거나 헌팅 현상, 생산시 설정의 유연성 부족 등의 여러 가지 단점이 있어 댐퍼 형식의 급배기 시스템을 활용하는 것이 적절하다.

### 3.5 독립 분산 제어

자동제어 설비는 시스템의 안전성을 위하여 각 실험실 별로 독립적인 제어를 하도록 하고 있다. DDC 판넬에 집중된 제어 시스템으로는 일부 고

장이 전체 실험실로 확산될 수 있기 때문에 Fig. 6과 같이 각 실험실로 독립 분산 제어를 권장한다. 각 제어기의 경우에는 단독 운전 (Stand alone) 과 이중화 구성이 가능한 것이 적절하다.

### 3.6 네트워크

자동제어 네트워크는 효율적이고 안정적인 통신망 확보를 위하여 운용되며 이기종 제어 시스템과의 인터페이스 문제가 가장 발생하기 쉽다. 일반적으로 BA 제어, LAB 제어, Filter Unit 등을 단일 네트워크 망으로 구성하는 것이 적절하며 그때의 시스템 구성안을 Fig. 7에 나타내었다.

### 3.7 경보 시스템

자동제어 시스템에 문제가 발생 하였을 경우 Fig. 8과 같이 이러한 경보를 내부에 있는 실험자나 아니면 외부에 있는 관리자에게 빠르게 전

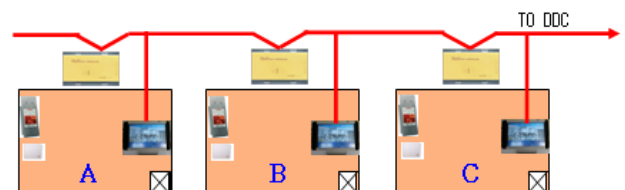


Fig. 6 Distributed control system

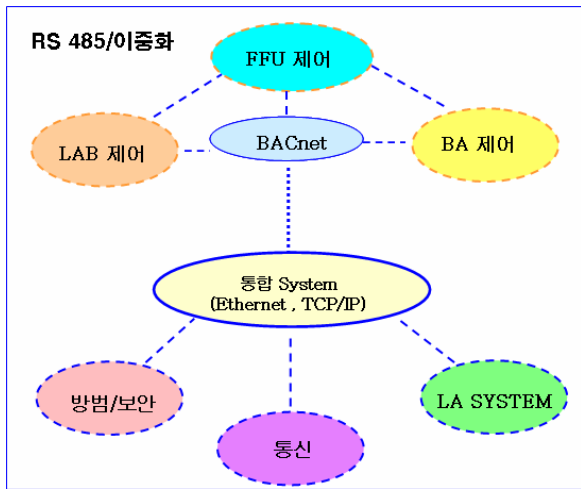


Fig. 7 Network structure diagram



Fig. 8 Alarm system configuration

과 할 수 있는 대책을 강구해야한다. 또한 정전이나 천재지변 발생 시 최소한의 음압을 형성하여 실험실을 안전하게 폐쇄할 수 있게 자동제어 설비 및 공조 설비 실험장비에 무정전 전원공급이 될 수 있게 한다. 그리고 전원 부분의 설계 고려도 필요하다.

## 5. 결론

최근 국내에서는 유전 공학 등의 첨단 기술의 발달로 인한 다양한 형태의 특수 실험실이 생기고 있으며 특히 실험실의 증가 추세는 계속될 것으로 예상된다. 하지만 이를 적절히 운전하기 위한 공조나 제어 시스템에 대한 연구는 부족한 실정이며 일반 건물의 방식을 그대로 적용하여 에너지 낭비, 안전성 저하, 공조 환경의 부적절한 제어 등의 많은 문제점이 발생하고 있다. 실험실의 효과적인 운용을 위해서는 연구 실험실의 공조 특성인 에너지 절감과 재실 인원의 안전을 고려한 공조 시스템과 자동 제어 시스템의 설계가 우선되어야 한다. 본 고에서는 이러한 관점에서 연구 실험실의 공조 방식과 이를 제어하기 위한 제어 시스템의 설계에 중점을 두어 설명하였고 향후 다양한 방식의 공조와 제어 시스템에 대한 이해와 연구가 수행되어야 할 것으로 예상된다.

## 참고문헌

1. Park, K. D., et al., 2005, Biosafety of microbiological laboratories in korea, Proceedings of the Korea Society for Preventive medicine, pp. 449-450.
2. 보건복지가족부 질병관리본부, 2007, 연구시설 신고·허가제도 및 유전자변형생물체 개발·실험 승인제도 가이드라인, pp. 1-5.
3. 보건복지가족부 질병관리본부, 2007, 생물안전 3등급 연구시설 검증기술서
4. Health Canada, 2003, The laboratory biosafety guidelines, 3rd Edition.
5. WHO, 2004, Laboratory biosafety manual, 3rd edition.