

감염관리시설의 제어 시스템 구축

○ 김 남 조 | 나라컨트롤 기술부
상무이사
E-mail : njkim@naragr.com

1. 서론

근래에 우리나라에 사스 및 메르스 등의 전염력이 강력하고 치명적인 병원균이 유행을 하면서 이를 체계적으로 관리하기 위한 격리병상이 필요성이 증가하고 있으며, 현재 각 대학병원 및 대형 종합병원은 이를 수용 관리하기 위한 음압격리병상의 확보를 추진하여 점차 그 수가 증가하고 있다. 국가에서는 이의 확대를 위하여 의료기관평가인증원 평가 기준으로 300인 병실 이상으로 분류되는 병원의 경우 음압격리병상을 의무화하고 있는 실정이다.

이와 같이 사회적으로 국가적으로 중요시하는 시설의 경우 건축적인 요소만 갖추어진다고 안전한 시설이 되는 것이 아니고, 이를 운전하고 관리하는 자동제어 시스템이 완벽하여야 감염환자의 생물학적 안전과 외부로의 확산을 방지 할 수가 있다.

본 고에서는 자동제어 관점에서의 격리병상의 시스템 구축 방안과 운영에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 자동제어 시스템

2.1 격리 병상의 환경 이해

격리병상의 기본 원리는 병원내의 감염균을 보유한 환자의 호흡기를 통한 오염 물질의 외부 전달 및 교차 오염을 방지하는 것이다. 이를 위하여 공조 시

스템을 활용해 실내를 음압으로 유지하고 오염 물질 유출을 방지하여야 한다. 또한 실간 교차 오염 방지를 위하여 각실간의 차압이 일정하도록 기류를 형성하여 외부에서 병실의 공조 시스템을 통한 배기가 형성되도록 해야 하며 최소 2.5Pa 이상을 유지하여야 한다. 실간 차압의 경우 실간의 압력차가 클수록 오염원을 차단하기 용이하며 안전을 위하여 10Pa 이상을 유지하여도 무방하다.

또한 병실의 공기는 시간당 12회를 교환하기 위한 풍량을 공급하여 실내의 감염균을 외부로 배출하여야 한다. 환기 횟수가 많으면 청정하게 유지하기 쉬운 장점이 있으나, 공조 또는 항온항습을 위한 에너지비용이 급격히 증가하게 되어 적절한 환기 횟수를 유지하는 것이 매우 중요하다.

실내온도는 환자의 컨디션이 나쁜 상태이므로 환자 상태에 따라 조절이 가능하며 실내 습도는 너무

표 1. 격리 병상의 환경 조건

항 목	조 건
실내압력	음압(-)
환기횟수	12회/H 이상
실간차압	2.5 Pa 이상
실내온도	24 ℃
실내습도	60%RH

낮으면 세균이 번식하기 용이하고, 습도가 너무 높으면 곰팡이균이 왕성하게 활동 함으로 40~70% 사이를 유지하는 것이 좋다. 이러한 격리 병상 환경의 일반적인 환경 조건을 표 1.에 나타내었다.

2.2 격리병상의 기계 설비 이해

격리병상은 공조시스템 운영시 일반사무실과 달리 공기를 재순환하지 않고 전체를 버리고 전체를 외기에서 도입하는 방식인 전외기/전배기 시스템을 사용하여 오염을 방지한다. 공조 시스템의 구성 예를 그림 1에 나타내었다. 그림에서와 같이 오염을 방지하기 위하여 환자가 입원시 24시간 연속 운전이 필수이고, 공조기 팬(FAN)의 고장시 기류형성이 깨지므로 비상상황을 대비하여 공조기를 예비로 두거나 최소한 팬을 2대 설치하여 1대 고장시 즉시 전체 운전이 가능 하도록 한다.

급기와 배기는 각각 변풍량공조시스템 (VAV)를 설치하여 실내의 차압을 유지하도록 제어 되어야 하며 공조기의 필터는 PRE 필터, MID 필터, BAG 필터를 설치하여 실내에 설치된 HEPA 필터의 수

명을 연장한다.

열원은 병원의 일반 병실이나 사무실에서 사용하는 열원을 공용으로 사용하기도 하지만 단독으로 운전이 가능한 직팽식 냉동기, 난방 및 재열용 전기 히터를 주로 사용한다.

실내 필터의 오염정도에 따라서 풍량이 달라질 수 있으므로 급기와 배기 팬에 인버터를 설치하여 덕트 내의 정압을 일정하게 유지한다. 이러한 격리 병상 기계적 설비 구성의 조건을 다음 표 2에 나타내었다.

표 2. 격리 병상의 기계 설비 구성 조건

항 목	조 건
공조방식	전외기/전배기 시스템
공조기	이중화 혹은 급기팬 x 2EA + 배기팬 x 2 화장실 배기팬 x 2EA
급기 배기	급기 VAV + 배기 VAV
필터	공조기 PRE + MID + BAG 필터
실내필터	급기 HEPA + 배기 HEPA
열원	직팽식 냉동기 + 전기히터
인버터	급기팬, 배기팬, 화장실배기팬 적용
폐수처리	별도의 폐수처리조 + 약품투입장치

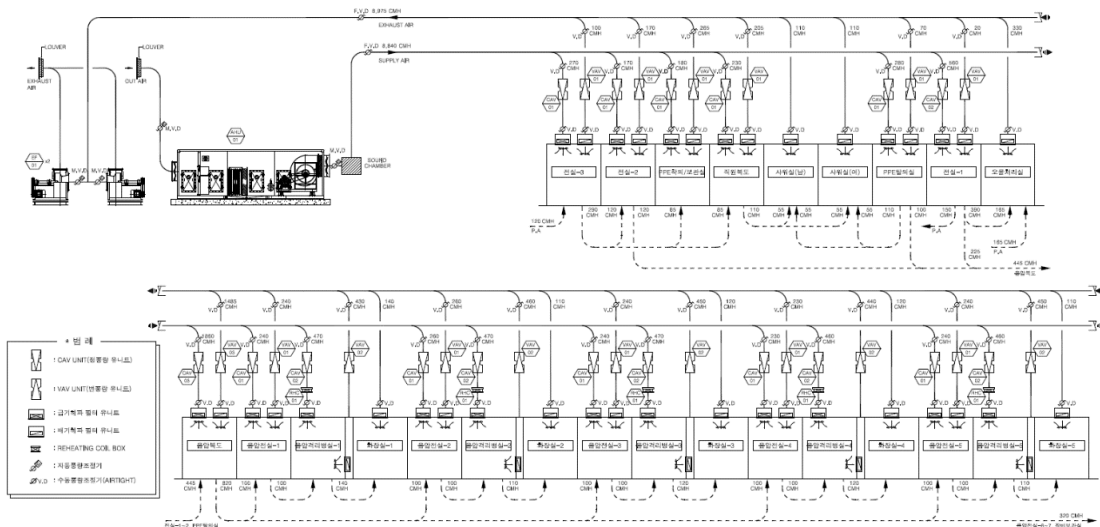


그림 1. 격리병상 기계 설비의 구성 예

2.3 격리병상의 정상 운전 저해 요소

격리 격리병상에서 제일 중요한 것은 오염을 방지하는 것으로 이를 위해서는 기류흐름의 확보가 최우선 사항이다. 병실내의 환자의 쾌적한 환경을 유지하기 위하여 항온항습을 수행하여야 하며, 냉방, 난방, 가습, 제습 운전을 수행하여야 한다. 공조기의 팬 고장 혹은 기기의 이상에 대비하여 예비공조기 혹은 예비팬을 구비하여 안전에 대비하여야 한다. 공조기 고장시 빠른 시간에 예비공조기 혹은 팬으로 교체되어 실내의 기류를 형성하여야 한다.

기류 흐름을 조절하는 것은 배기 VAV에서 제어하며, 기타의 제어시스템이 고장이 발생하여도 지속적으로 유지하기 위하여 하드웨어적으로 이중화된 전용 컨트롤러를 사용하여야 한다.

HEPA 필터의 오염 및 공조기 필터의 오염으로 풍량이 확보되지 못하면 환기횟수가 부족해지거나, 실간차압 즉 기류흐름을 유지할 수 없게 된다. 이를 방지하기 위해서는 팬에 인버터를 설치하여 팬 회전 속도를 조정하여 급기 풍량과 배기 풍량을 일정하게 유지하여야 한다.

격리병상을 음압격리병상으로만 사용시에는 대상 병실을 평상시에는 사용을 하지 못하는 결과를 초래한다. 이는 곧 병원의 수익과 직결됨으로 평상시에는 양압으로 변경하여 중환자실로 사용하는 방안도 검토가 필요하다. 이를 위해서는 공조기 팬의 인버터 설치 및 급배기 VAV를 조정하여 충분히 대응이 가능하다.

표 3. 격리 병상의 정상 운전 저해 조건

조 건
기류의 흐름 확보
실내의 항온항습 운전
공조기의 고장
기류흐름제어기 고장
HEPA 필터의 오염
환기횟수의 확보
비 상황시 운전방안

2.4 자동제어 계통도

격리 병상의 자동제어 계통도는 그림 2와 같이 중앙감시 장치, 간호사 스테이션 감시 장치, 문자전송 장치, 자동제어네트워크, 통합 제어기(DDC : Direct Digital Controller) 등으로 구성되며 각 기능은 다음과 같다.

- 중앙감시장치 : 기계 장비의 기동/정지 및 이상 경보상태를 통제실에 설치되는 중앙감시장치에서 감시/제어할 수 있으며, 병실의 차압 및 온/습도를 실시간으로 기록 감시할 수 있다.

- 간호사스테이션 감시 장치 : 간호사가 상주하는 간호사스테이션에서 실내의 온도, 습도 및 병실의 차압을 감시할 수 있어야 한다. 이상 발생시 시설 관리자에게 정보를 전달하여 신속히 조치하여야 한다.

- 문자전송 : 장비의 이상 또는 병실 온도/습도/차압 이상 발생시 입력된 다수의 담당자에게 일괄 경보문자를 전송하여 사고의 확산을 방지하고 신속한 사고조치를 가능하게 한다.

- 통합 제어기 : DDC로 구성되며 각 실내의 공조 상태를 통합 관리하는 기능을 수행한다.

- LCM : 병실 내부의 환경제어를 위한 실별 제어기 LCM (LAB Control Module)을 설치하며, LAB Controller는 중앙감시장치와 별도로 CPU를 가지고 있어 통신 연결이 되지 않더라도 설정값에 의해 독립적으로 운전하며, 모든 회로의 고장시 자동으로 예비회로로 전환동작하여 병실의 안전성을 확보할 수 있다.

2.5 자동제어 운전의 고려 사항

격리 병상의 자동제어를 위해서는 온도/습도제어, 차압 제어, 비상시 대응 절체 운전, 에너지 절감 운전, 독립 제어 운전 등을 고려하여야 하면 각 운전시 주요 고려 사항은 다음과 같다.

2.5.1 공조 계통 운전

공조기의 운전이 병실의 환경을 유지하는 중요한

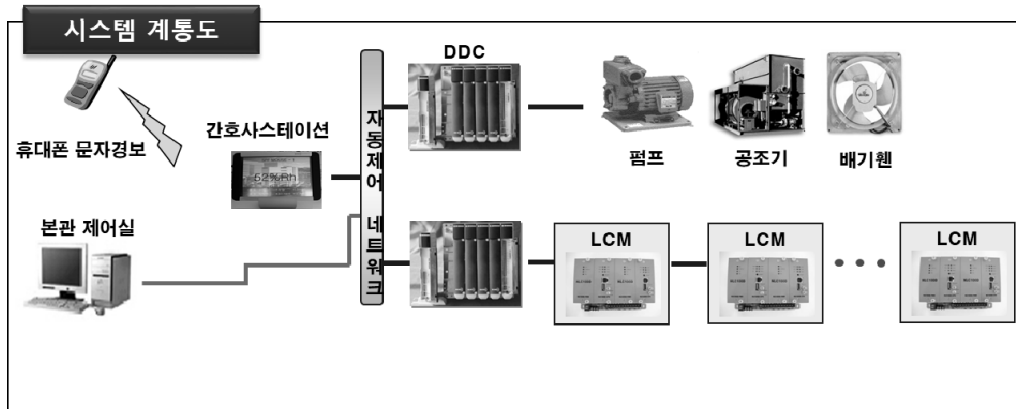


그림 2. 격리병상 자동제어 시스템 계통도

역할을 한다. 공조 시스템의 구성 예를 아래 그림에서 나타내었는데 예비공조기를 가지고 있는 공조 시스템의 예시이다. 열원은 스팀난방과 직팽식냉동기, 전기히터로 구성되며 스팀가습으로 냉난방 가

습제습을 하는 방식이다. 급기팬과 배기팬에 인버터를 설치하여 실내의 환기횟수 및 기류흐름을 유지할 수 있도록 구성되어 있으며, 운전 기본 방식은 다음과 같다.

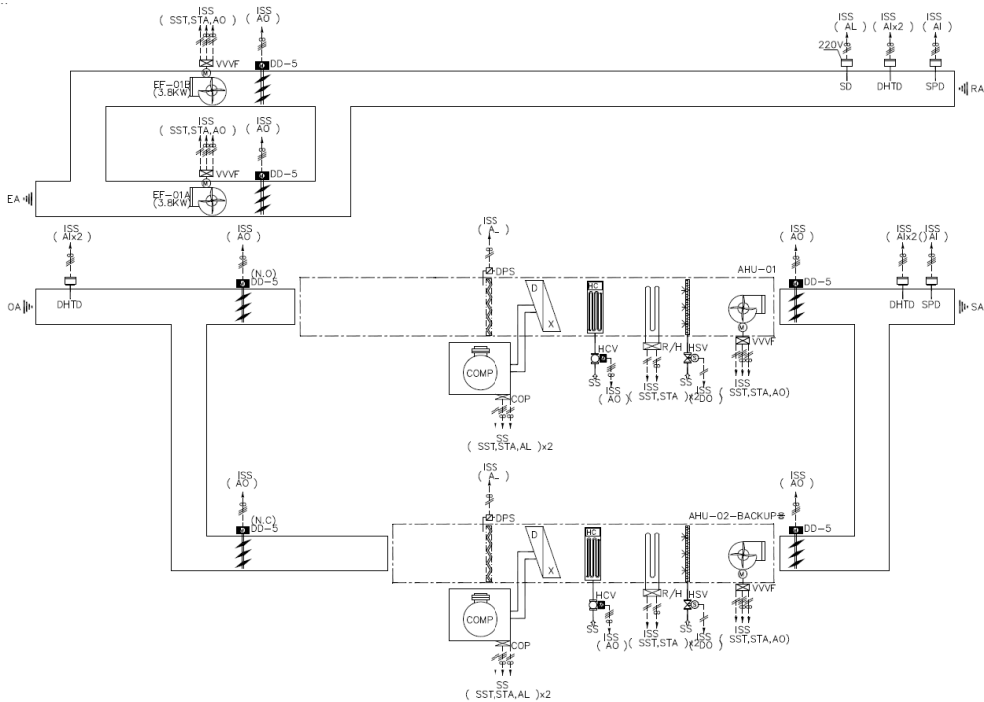


그림 3. 격리병상 공조기 구성 예

- 온도 운전은 실내온도 혹은 환기온도를 일정하게 유지하여 운전한다.
- 습도 운전은 실내습도 혹은 환기습도를 일정하게 유지하여 운전한다.
- 급기팬운전은 급기덕트 말단 1/3지점에 설치된 정압 감지기의 정압을 일정하게 유지한다. 이때 요구되는 정압은 감지기의 설치위치에 따라서 달라진다. 급기 덕트내 정압이 일정하여야 급기덕트에 설치된 급기 VAV가 정상동작하여 환기횟수를 일정하게 유지할수 있다.
- 배기팬은 배기덕트의 정압을 일정하게 유지한다. 배기 덕트에 설치된 배기 VAV가 정상적으로 동작하여 실내의 기류흐름을 유지할수 있다.
- 절체 운전의 경우 공조기-1에 이상 발생시 즉시로 공조기-2로 즉각 절체되어야 한다. 이때

배기팬도 급기팬과 연동하여 실내가 과도한 음압 혹은 양압이 되지 않도록 하여야 한다.

2.5.2 실내 공조 운전

병실에는 하드웨어 이중화된 통합제어기 및 실별 제어기를 설치하여 각 실별로 급기 VAV와 배기 VAV를 제어하여 환기횟수와 기류흐름을 제어한다.

각 병실에는 온습도센서를 설치하여 환경을 관리하고 온도, 습도가 일정하게 유지되도록 공조기에 서 제어 되어야 한다.

기류흐름은 각실별로 차압감지기를 설치하여 실별로 차압이 유지되도록 하고 차압 이상시 경보를 발생하여 오염원의 확산을 방지하여야 한다. 실내 공조의 계통도 예를 아래 그림 4에 나타내었다.

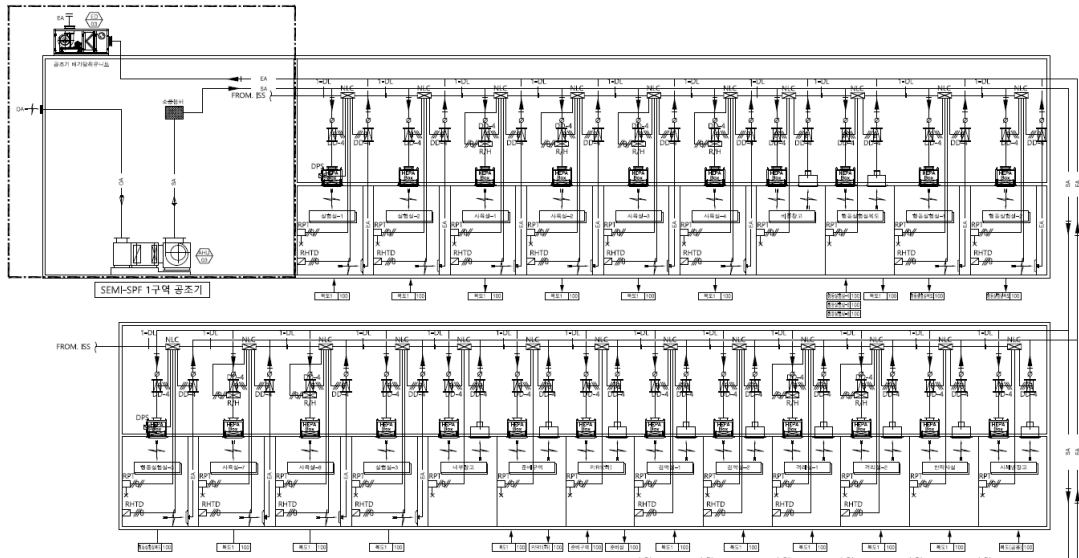


그림 4. 격리병상 실내 공조 구성 예

2.6 자동제어 제어 요소

격리 병상의 자동제어를 위한 제어 요소는 다음

표에서와 같이 온도, 습도, 직팽식 냉동기(CDU), 난방, 전기히터, 제습, 팬 제어 등으로 구분 가능하며 각 운전 방식은 다음과 같다.

표 4. 격리 병상의 자동제어 요소

항 목	온 도	습 도	CDU	난 방	전기히터	가 습
난 방	난 방	가 습	X	O	O	O
	난 방	제 습	O	O	O	X
냉 방	냉 방	가 습	O	X	X	O
	냉 방	제 습	O	O	O	X

2.6.1 온도, 습도 제어

외기 온도의 영향을 크게 받는 병실은 항상 항온이 되도록 유지하여야 한다. 각 실에 설치된 온도 센서의 평균값을 기준으로 유지하는 것이 적절하며, 이때 평균온도를 산출시 이상이 있는 온도는 제외하고 산출하여 센서 이상에 대응하여야 한다.

상기 표에서 보듯이 상식적으로 난방제습과 냉방가습은 존재하지 않다고 생각할 수 있으나, 환절기에는 반드시 일어나는 현상으로 반드시 제어에 고려 되어야 한다.

예시된 공조기는 열원이 스팀으로 타 구역과 같이 사용함으로 이에 대하여 고려 되어야 하며, 가스비용과 전기비용의 단위열량당의 비용에 따라서 선택적으로 사용이 가능하도록 하는 것이 바람직하다.

2.6.2 직팽식 냉동기 (CDU) 제어

CDU 제어시의 고려 사항은 다음과 같다.

- CDU는 교번 운전 댁수제어를 수행해야 한다.
- 교번운전은 CDU-1을 우선하여 사용시 장기간 사용으로 고장이 발생할 수 있으므로 CDU-2 과 교대로 운전되어 2대의 가동시간이 균일하게 유지하는 것이 고장을 배제할 수 있다. 또한 1대 고장시도 대응되어야 한다. 설비 설계시 CDU의 용량을 3개정도로 분산하는 것이 예비 개념도 도입되고 제어성도 좋아져 바람직하다.
- 댁수제어는 운전 댁수를 부하에 따라 결정되어야 한다. 빈번한 기동/정지는 고장의 원인이 되므로 주의 하여야 한다.

- 제습 운전시 환기습도 혹은 실내습도가 요구되는 습도보다 높을 경우 제어되며, 현재 습도와 요구되는 습도에 따라서 CDU를 100% 운전하고 다시 가습을 하는 제어는 에너지낭비가 심하여 적절 부하량만 제어되어야 한다. 제습에 따른 제어량을 결정하고 제습하여 재가습을 하지 않도록 하여야 한다.
- 외기온도가 낮을 경우 CDU 동작시 효율이 나오지 않으므로 외기온도가 일정온도 미만시 CDU 가동을 중지하여야 한다. 이 경우 외기만으로 운전이 가능하다.

2.6.3 난방 밸브

난방 밸브 제어의 고려 사항은 다음과 같다.

- 난방 운전은 환기온도와 설정온도에 따른 급기재설정온도를 산출하고 급기온도를 유지하도록 비례-미분-적분(PID) 제어를 수행한다.
- 이때 전기히터는 댁수교번 운전을 수행한다.
- 급기온도가 일정온도 이상이 되지 않도록 한계값을 지정하여 한계값 이상이 되면 난방밸브 및 전기히터를 차단하여야 한다.
- 제습에 따른 재열시 급기온도를 급기재설정온도가 되도록 제어한다.

2.6.4 가습 제어

가습 제어의 고려 사항은 다음과 같다.

- 가습은 환기습도 혹은 실내평균 습도값이 설정한 습도를 유지 하도록 되도록 PID 제어 한다.
- 가습시 덕트의 길이와 가습기 용량에 따라서 제어응답성이 결정되므로 충분한 튜닝하여 최적의 제어점을 찾아서 설정하여야 한다.
- 가습시 급기습도가 과다하면 결로 등 2차적인 문제가 발생할 수 있으므로 급기습도 상한을 지정하여 일정습도 이상이 되지 않도록 한다.

2.6.5 급기 팬 제어

급기 팬의 제어를 위한 유의 사항은 다음과 같으

며 공조 시스템의 급배기 계통 제어의 예를 아래 그림에 나타내었다.

- 급기팬 기동시는 배기팬이 우선 기동한 후에 기동하여야 실내가 양압이 되지 않는다.
- 급기팬은 급기덕트의 정압을 일정하게 유지하기 위하여 인버터를 PID 제어를 한다.
- 급기덕트 정압이 일정하게 유지되어야 급기 VAV가 정상동작을 하고 환기횟수를 지속적으로 유지할 수 있다.
- 이때 급기정압 설정점은 정압감지기의 설치 위치 및 덕트의 저항에 따라 달라지므로 T.A.B 과정에서 풍량이 정상상태에서 정압감지기 위치

정압을 측정하여 설정하면 된다.

2.6.6 배기 팬 제어

배기 팬의 제어를 위한 유의 사항은 다음과 같다.

- 배기팬은 급기팬보다 우선 기동하여 병실을 음압으로 유지하면서 기동하여야 한다.
- 배기덕트의 정압을 일정하게 유지하여 배기 VAV가 원활한 풍량을 토출하면서 실간의 차압을 유지할 수 있도록 하여야 한다.
- 배기덕트의 설정정압은 급기설정정압과 같은 방식으로 찾아서 조정하면 된다.

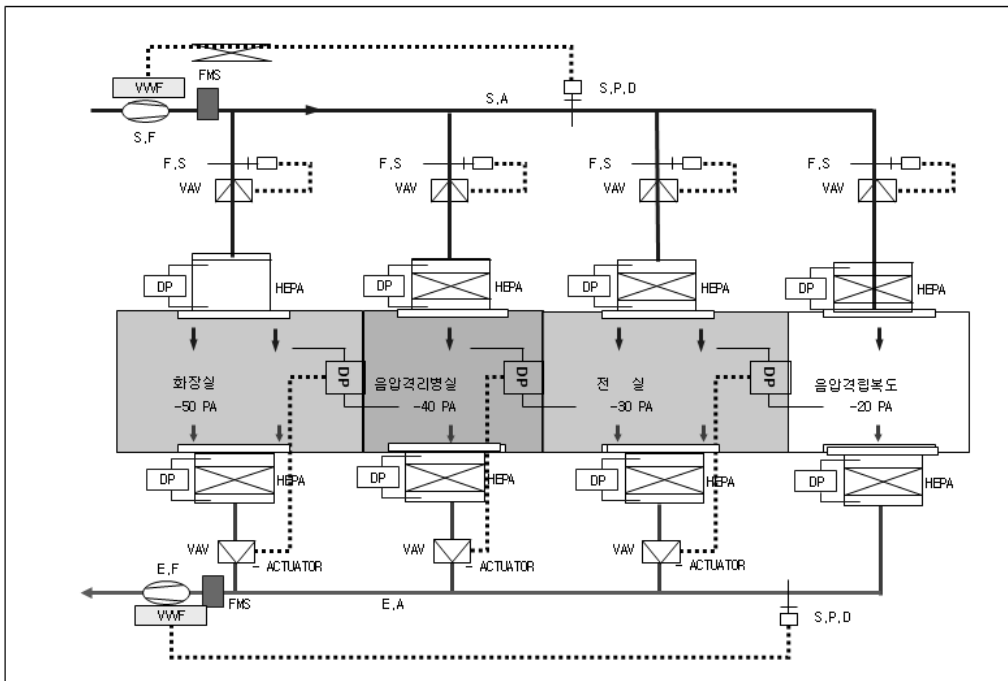


그림 5. 공조 시스템 급배기 계통 제어

2.6.7 급기 VAV 제어

급기 VAV의 제어를 위한 유의 사항은 다음과 같다.

- 급기 VAV의 기능은 환기횟수를 일정하게 유지하는 제어를 수행한다.

- 실내온도를 급기풍량으로 조정하게 되면 풍량의 변화가 심하여 실내의 차압을 유지하기가 곤란하므로 환기횟수에 의한 풍량만 유지 하도록 한다.

- VAV 타입은 댐퍼타입을 적용하며 벤추리 타입은 배제하는 것이 좋다. 벤추리는 스프링의 탄성과 정압의 관계로 동작하므로 압력이 지속적으로 변동이 일어나서 병실의 차압이 계속 흔들리게 된다.

2.6.8 배기 VAV 제어

배기 VAV의 제어를 위한 유의 사항은 다음과 같다.

- 배기 VAV의 기능은 기류 흐름을 유지하기 위하여 실간의 차압제어를 수행한다.
- 차압은 전기스위치, 콘센트 등 병실내에 설치되는 기구물이 틈새가 없어야 한다. 이들 틈새로 유입되는 바람이 많을 경우 적정차압을 유지할수 없으므로 우선적으로 틈새가 없도록 시공을 보완하여야 한다.
- 또한 출입문의 틈새공간을 최소화하여야 한다. 병실의 경우 슬라이딩도어를 사용하는 경우가 많으며 이 경우 틈새공간이 최소화 되어야 한다.
- 실간차압은 2.5Pa이상을 유지하도록 하고 있으나, 10Pa정도는 유지되는 것이 안전상 유리하다.

2.7 시스템 안전성 확보 방안

격리 병상의 자동제어를 위한 가장 중요한 요소는 시스템의 안전성을 확보하는 것이며 밀폐성 확보 방안, 실내 기류형성 방안, 음압 유지 방안, 공조기 팬의 고장 방지 및 고장시 대책, 냉/난방 열원의 고장

시 대처 방안, 온/습도 센서의 고장시 긴급대처방안, 자동제어 고장시 대처방안, 정전발생시 병실 운전 방안, 병실의 상태감시 및 이상시 경고 전파 등이 있다.

2.7.1 공조기 팬 고장 방지 및 고장시 대책

- 팬의 고장을 방지하기 위하여 평상시 교번운전 시행
- 교번운전시 실내 차압유지 제어
- 팬고장 발생시 급속 전환하여 실내 차압을 계속 유지하도록 제어

2.7.2 자동제어 고장시 대처방안

- 중앙제어장치 (CPU 모듈) 이중화
- 데이터 통신 라인 이중화
- 하드웨어 이중화된 통합 및 실별 제어기 적용

2.7.3 정전 발생시 병실운전 방안

- 정전발생시 자동제어와 팬의 전원을 비상전원이 공급되도록 하고 필요시 무정전전원장치 (UPS) 를 설치한다.
- 최소한 단시간의 정전에 대비해서는 배기팬 UPS 전원 공급

2.7.4 병실의 상태 감시 및 이상시 경고 전파

- 중앙감시 장치 및 간호사 스테이션에서 온도/습도/차압을 항상 감시
- 경고 발생시 관리자에게 경보를 전파하여 시청

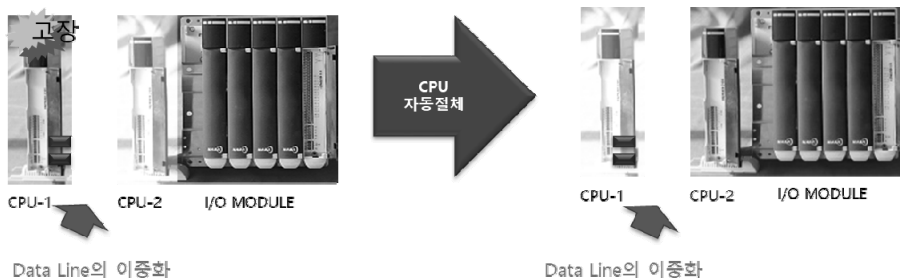


그림 6. 자동제어 시스템 고장시 대처 방안 (CPU 모듈 이중화)

각적으로 확인이 가능하도록 한다.

- 병실에서 이상이 발생하면 운영자 휴대폰에 문자 메시지를 전송하여 긴급 대응이 가능하도록 하여 상시 정상 운영이 되도록 한다.

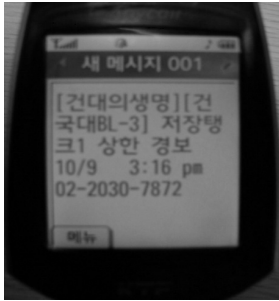


그림 7. 문자 전송 예



2.8 에너지 절감 방안

격리 병상의 환기를 위해서는 전외기 방식으로 시스템이 운전되며 이는 필수적으로 많은 에너지의 손실을 가져오게 된다. 이에 대한 대응 방안으로는 에너지 절약형 히트펌프 (Heat Pump) 이용 방안, 실내 온/습도 유지 방안, CDU 장비 효율저하 방지 및 수명연장, 야간 혹은 공실시 운전 방법 변경 등이 있다.

2.9 자동제어 자재 구성의 예

아래 표에는 자동제어 자재의 구성 예를 나타내었다.

표 5. 자동제어 자재의 구성 예

사 진	항 목
	DDC · 고성능 마이크로프로세서와 대용량 메모리 · BACnet 표준프로토콜
	LCD 모듈 · 10" Touch Screen으로 간호사 스테이션에 설치 · 각병실의 온도/습도/차압 감시

사 진	항 목
	온습도센서 · LCD 화면에 온습도 표시 · 병실 소독시 센서봉을 분리하여 센서오염/고장방지 · 내화학성 기판적용
	차압센서 · 병실의 차압값을 표시하여 현장 확인 가능
	급배기VAV용 댐퍼구동기 · 급기VAV, 배기VAV에 설치하여 공기량 제어
	인버터 · 팬의 회전 속도 조절
	정압센서 · 덕트내 정압 측정

3. 결론

감염병실의 자동제어는 앞서 언급한 내용들을 최적상태로 조합하여 24시간 365일 운전시에도 문제가 발생하지 않도록 하여 사고발생을 미연에 방지하여 안전성이 보장되도록 하여야 하며, 이 시설은 심각한 환경에 처한 환자의 쾌적성을 통하여 완치로 유도해야 함으로 정지되어서 안되는 시설로 향 온향습에 따른 에너지비용이 일반병실과 달리 많이 소요됨으로 자동제어를 검토시에 에너지의 사용량 최소화에 중점을 두어야 한다.

또한 이와 같은 고위험시설은 반드시 전문가와 충분한 협의 및 검토가 이루어져야 성공적인 목적물을 완성할 수 있다.

본 고에서는 자동제어 관점에서의 격리병상의 시스템 구축 방안과 운영에 대하여 고찰하였으며 격리병상이나 유사 시설의 사용자 및 관리자에게 좋은 정보가 되기를 희망한다.