

VAV시스템의 테스트 커미셔닝

김 천 용

한미설비(주) (cykim@hanmitab.co.kr)

머리말

국내 대형건물에 많이 적용되고 있는 변풍량 공조 시스템은 시스템이 갖는 많은 장점에도 불구하고 대부분 건물에서는 준공 후 어느 정도만 지나면 정상적인 운전이 되지 않고 있는 실정이다. 이것은 설계, 시공 및 유지관리 상의 여러 가지 원인이 있겠지만 크게는 유지관리자의 시스템에 대한 이해부족과 건물 준공 시 시스템의 성능 검증이 불확실한데 원인이 있다고 본다.

본고에서는 변풍량 시스템의 성능검증을 위한 테스트커미셔닝 항목과 급기 풍량제어에 따른 환기풍량제어와 이와 연관된 외기 및 배기 풍량제어에 대하여 기술한다.

VAV시스템의 테스트 커미셔닝(Test Commissioning)

VAV시스템은 본질적으로 송풍량을 변화하면서 운전되는 특성이 있다. 따라서 최대부하를 제외한 부분부하 시에는 항상 실내공간의 급배기풍량이 변화되기 때문에 실내공간의 압력도 변동하게 된다. 시스템에 형성되는 압력이나 풍량값을 주위 깊게 관찰하고 제어하지 않으면 건물내부에 심각한 양압이나 음압이 형성되어 외기조건에 따라서는 큰 문제가 될 수도 있다.

근래에 설치되는 변풍량 유닛은 대부분 압력독립형이 설치된다. 이러한 유닛은 덕트 시스템압력과는 별도의 독자적인 유량값과 이를 제어하는 장치가 구비되어 있으므로 유닛 하나하나를 정밀하게 시험하지 않으면 전체 시스템에 영향을 미치지 때문에 유닛 제작자, 자동제어 담당자, TAB수행자등과 함께 급기풍량값 보정, 제어장치 동작여부 및 실내온도감지기 교정 등에 대한 검증이 필요하다.

VAV시스템이 성공하기 위해서는 계절별 또는 외기조건에 따른 급기온도 설정과 각 개별 변풍량 유닛의 최대 및 최소 풍량값 설정이 매우 중요하지만 현재 국내에서 설계된 설계도서에는 이러한 것에 대한 정확한 자료가 미비하고 단순히 최대 풍량값만 표기되어 있으므로 초기에 유닛의 최소 풍량값과 급기온도 설정이 어려워 혼란을 초래하고 있다.

국내대형 건물 상당수에는 VAV시스템이 적용되어 있으나 제대로 설계의도와 같이 운전되고 있는 곳이 거의 없는 실정이다. 이것은 VAV시스템이 갖는 특성을 이해하지 못한 유지관리자의 책임도 있지만, 당초 설계 시 시스템운전에 대한 검토가 미비하여 공조기 조닝 시 동일 급기온도로는 실온유지가 곤란하게 공조기가 배치되거나 개별 변풍량유닛의 조닝 설정이 잘못된 부분도 다수가 있는 것이 사실이다.

VAV시스템에는 정풍량 시스템보다 월등히 많은 자동제어 관계점이 필요하게 된다. 개별유닛을 포함한 전체적인 자동제어 계통 중 어느 하나라도 정상적으로 작동되지 않으면 시스템 전체에 악영향을 미

치게 되므로 자동제어 계통의 점검과 검증은 매우 중요하다. 기존건물 대부분에서 나타나는 공통적인 문제점은 개별 변풍량 유닛의 동작이 완전하게 되지 않는 것이다. 이것은 각 유닛마다 감지부, 제어부 및 동작부가 개별로 있으므로 유지관리에 각별한 주의와 노력이 필요함에도 이를 소홀히 하는데 원인이 많다.

VAV시스템은 기본적으로 공조기 한 대에 다수의 변풍량유닛이 설치되어 하나의 시스템으로 운전된다. 만약 다수의 변풍량유닛 중 하나가 고장이 발생되면 그 유닛이 담당하는 지역은 심각한 문제가 발생될 수 있기 때문에 유닛의 보수가 시급히 되어야 하지만 그렇치 못하면 유지관리자는 편의상 시스템의 각종 설정치를 나름대로 변경하여 운전함으로써 시스템 전체가 불능이 되는 경우가 많다.

따라서 VAV시스템의 테스트 커미셔닝은 건물 준공시점에서 수행하는 것도 중요하지만 건물사용 시에도 정기적으로 수행하여야만 원활한 시스템 운전을 기대할 수가 있다. 다음에서는 VAV시스템의 테스트 커미셔닝 수행 시 필요한 점검항목이다. 일반적으로 수행하는 TAB보고서 및 절차서는 생략한다.

VAV유닛

- 모델번호/용량
- 설치적정성
- 유지보수 및 점검용이성
- 최대 및 최고풍량값 확인 및 교정
- 실내온도감지기 설치위치 적정성 및 온도지시값 교정
- 실내온도감지기 설정점에 따른 댐퍼동작상태
- 소음도 발생여부
- 냉방/난방 절환여부
- 각 구역별 실내온도 유지상태

VAV공기조하기

- 외부손상여부
- 방진구설치의 적정성
- 덕트시공상태
- 필터설치여부
- 드레인배관 및 트랩설치 적정성
- 모터동력 및 전압, 전류치

- 전부하시의 급기 및 환기풍량, 압력
- 전부하시의 외기 및 배기풍량
- 부분부하시의 외기 및 배기풍량
- 코일입출구 건구온도
- 급기덕트 압력 설정치
- 정압감지기에 의한 급기팬 제어상태
- 환기팬의 트래킹상태
- 급기공기온도에 의한 냉수제어 밸브의 작동상태
- 급기공기온도에 의한 온수제어 밸브의 작동상태
- 환기덕트의 습도감지기에 의한 가습밸브의 작동상태
- 동하절기/위밍업/팬정지시 댐퍼동작상태
- 최소외기 도입량 확보여부
- 동파방지작동상태
- 각종센서류(압력, 온도, 습도)의 교정상태
- 하절기 및 동절기 실내압력상태

VAV시스템에서 급기풍량 변화에 따른 환기, 외기 및 배기풍량 제어방법

VAV시스템에서의 급기 풍량변화에 따른 환기, 외기 및 배기풍량제어는 현재까지도 많은 문제점과 논쟁이 되어오고 있다. 몇 가지 방법들이 고안되었으나 대체적으로는 부적절한 것으로 판명되었고 거의 제기능을 발휘하지 못하고 있다.

송풍기 풍량제어 방법의 논쟁이 되어왔던 문제점은 아래와 같다.

- 설계 검토 미비에서 오는 설계오류
- 자동제어 계통의 정확도 및 신뢰도 미비
- 유지관리상에서 나타난 문제점에 대한 시스템 인식부족
- 환기 및 실내 공기질보다는 온도 유지만 강조

다음에서는 일반적으로 적용하는 송풍기 풍량 제어방법 및 이와 관련된 문제점을 소개한다.

환기송풍기 종속제어 방법

급기덕트에 설치된 압력감지기 신호에 의해 급기 송풍기가 제어되면 환기송풍기도 급기송풍기 제어량과 같은 비율로 제어되는 방법이다. 급기송풍기의 회전수가 변하거나 댐퍼 또는 날개각이 바뀌면 환기 송풍기도 회전수, 댐퍼 또는 날개각이 비례적으로

변하는 방법이다. 이 경우 송풍기 및 덕트의 형상이 아주 단순한 경우에는 큰 문제가 없으나 실질적으로는 그러한 경우는 거의 없다.

일반적으로 이 방법은 급기송풍기의 풍량은 일정한 압력으로 설정된 덕트의 정압감지기에 의하여 제어되나, 급기송풍기와 환기송풍기는 성능곡선에서 상당한 차이가 있으므로 실내의 압력과다 또는 과소, 외기유입량 제어 불능상태를 초래하여 실패하는 경우가 많다.

실내압력제어 방법

실내압력이 일정하게 유지되도록 환기송풍기를 제어하는 방법이다. 실내압력이 높게 올라간다면 환기송풍기의 회전수를 높이고, 실내압력이 낮게 되면 환기송풍기의 회전수를 낮추는 방법이다.

이 방식은 환기송풍기 제어방법이 회전수제어, 볼텍스댐퍼 또는 날개 각도제어에 관계없이 현실적으로 적용이 곤란하다. 문제는 건물의 누기가 많이 발생하고, 실제 실내압력이 아주 낮는데 있다.

비록 비싼 미차압센서와 고성능의 컨트롤러를 사용한다 하더라도 2 ~ 7 Pa의 실내압력을 감지하기는 어렵기 때문이다. 또한 많은 VAV시스템의 구역은 압력유지를 위한 벽체가 없기 때문에 직접적인 실내압력 측정만으로 송풍기 풍량제어 문제를 해결하고자 한다는 것은 현실적으로 불가능하다.

실내압력 제어방법의 변형으로써 환기덕트 내에 압력감지기를 설치하여 일정한 압력을 유지하는 방법이 있으나 압력감지기의 위치만을 변경하는 것으로는 앞서 제기된 문제점이 해결되기는 어려울 것이다.

덕트풍량 측정에 의한 방법

지금까지 나타난 방법 중 가장 보편적으로 사용되고 있는 것으로 급기 및 환기덕트에 풍량측정장치를 설치하여 급기 및 환기량을 측정하고 급, 환기송풍기를 제어하는 방식이다. 이 풍량측정장치는 당초에는 공기압기기를 이용하였으므로 상당히 비싸고 교정에 어려움이 있었으나, 근래에 와서는 반도체등을 이용한 측정방식이 사용되고 있다.

풍량측정 장치의 풍량검출값은 제작자가 제시하는 정확도는 $\pm 1 \sim 5\%$ 정도까지 아주 높으나 실제 현장에서 환기풍량제어를 수단으로 이용하기에는 상당

부분 부정확한 것으로 판명되었다. 실측 시 풍량측정장치 설치위치와 덕트형상에 따라 $\pm 20\%$ 내외가 보통이다.

공기 밀도에 의한 풍량 보정치는 거의 무시되고 있을 뿐만 아니라 이상적인 설치위치인 직관덕트 또는 정상류지역을 현장에서는 거의 찾아보기 힘들다. 트랜스미터의 오류, 공기와류, 전환오류 및 기타 제어시스템의 제한등으로 풍량의 정확도는 대부분의 현장에서 $\pm 15 \sim 20\%$ 이상의 오차범위를 나타내고 있다. 이러한 오차범위는 제어용 값으로 현장에 적용하기에는 어려움이 있다.

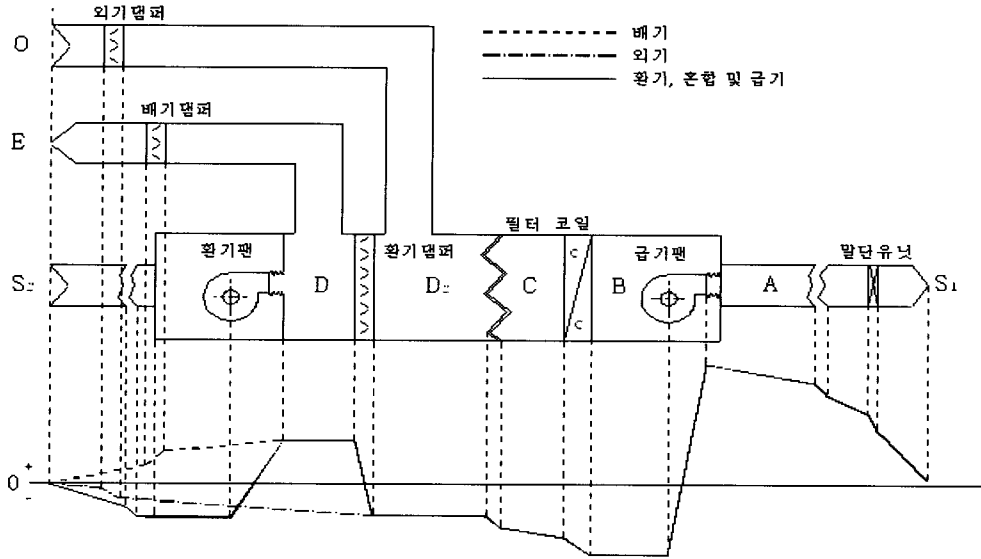
덕트풍량측정에 의한 방법은 급기덕트와 환기덕트의 풍량값을 매개변수로 설정하여 풍량조절이 되도록 가정하는데 바탕을 둔다. 이러한 가정은 직관적으로 볼 때는 완전한 것 같지만 사실상 그렇지 못하다. 문제는 그림 1의 압력 D와 D₂의 제어가 잘 안 된다는 것이다. 만약 이런 압력이 잘 제어되지 않으면 환기송풍기 제어는 실패하게 된다. 만약 이 압력이 일정하지 않거나 원하는 대로 제어되지 않는다면 외기도입구 및 배기구의 풍량이 변하여 실내압력 유지에 필요한 올바른 비율이 되지 못한다. 이 압력의 문제는 급기 및 환기 송풍기의 풍량 트레이킹에 의한 자동제어 시퀀스와는 상충될 수도 있다.

압력 D가 아주 낮으면 배기량이 충분치 못하여 실내압력은 올라가거나 또는 과도한 누기현상이 발생한다. 반대로 압력 D가 아주 높으면 배기량이 과다하여 실내압력은 내려가서 침기현상을 일으킨다.

만약 압력 D₂가 아주 낮으면 외기량이 과다하게 시스템으로 유입되어 실내압력이 상승하여 과도한 누기현상이 일어나며 반대로 아주 높으면 필요한 외기량이 들어오지 못하여 실내압력이 아주 낮게 된다.

또 다른 문제는 공조기 풍량 증감에 따라서 압력의 변화가 발생한다는 점이다. 최대풍량에서 뎀퍼 설정점은 부분 풍량에서는 필히 변경되어야 하나 자동제어 시스템은 이러한 것을 보상하는 데는 이용되지 않는다. 또한 환기댐퍼는 일반적으로 너무 크게 되어 뎀퍼가 완전히 닫히지 않는 한 뎀퍼의 정확한 차압을 얻기란 거의 불가능하다.

이 시스템의 또 다른 문제는 제어상의 본질적인 히스테리시스이다. 환기송풍기는 급기송풍기와 직렬로 연결되어 있고, 환기송풍기의 흡입상태는 급기송



[그림 1] 공조기운전에 따른 압력분포

풍기에 의한 가압으로 이어질 수 있다. 따라서 실내의 기밀성이 아주 좋다면 실내압력은 환기송풍기에 주어진 풍량으로 운전되는 점까지 올라갈 수도 있다. 자동제어 시스템에 의해 환기송풍기를 정지하였을 때 실내압력만으로도 실내 공기가 공조기로 유입되는 것을 예측할 수 있다.

만약 풍량측정장치를 설치한다면 외기 및 배기덕트에 설치되는 것이 한결 낫다. 비록 부정확도가 있다하더라도 이 위치에 설치하는 것이 하나의 성공적인 방법이다. 그러나 이 풍량측정장치는 고가이고, 올바른 기능을 할 수 있는 정상류지역의 직관덕트 부분을 현장에서는 찾기도 상당히 어렵다.

프레넘 압력제어방법

일반적인 방법은 대부분 외기, 환기 및 배기덤펀 제어에 기초로 한 것이다. 여기에 사용된 덤퍼는 그 크기가 공기 유동에 대하여 부적절하며, 자동제어 시스템은 덤퍼를 통한 풍량과 영향이 있는 프레넘 압력을 고려하지 못하였다. 궁극적으로 풍량제어가 제대로 되지 않아 실내공기질과 실내압력에 문제가 발생하였다.

덤퍼크기는 VAV시스템의 최대풍량을 기준으로 선정될 수 있다. 그러나 이것은 시스템이 최대 풍량으

로 운전 되지 않을 때에는 큰 사이즈가 된다. 대체로 이러한 덤퍼는 프레넘 또는 덕트 사이즈와 같은 크기로 되거나 설치공간에 따라서 결정되므로 결과적으로 올바른 풍량과 압력을 유지하기가 어렵게 된다.

덕트, 덤퍼 또는 오리피스를 통과하는 공기의 유동은 통과면적에 대한 저항과 차압에 의하여 결정되며 이러한 상관관계가 정밀한 환기송풍기 제어방법을 구성하는데 기초가 된다.

프레넘 압력제어 방법 중 첫 번째는 프레넘 고정압력, 가변덤퍼방식이며, 두 번째는 프레넘 가변압력, 덤퍼고정방식이다.

이 두 가지 방식 모두 환기송풍기 트래킹과 실내압력 제어가 잘되며 무엇보다도 중요한 것은 실내공기질을 위한 외기량을 제어할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

a) 프레넘 고정압력방식

그림 1에서 보면 압력 D를 측정하기 위하여 환기 및 배기프레넘에 압력감지기를 설치한다. 환기송풍기의 운전성능은 이 지점의 압력설정점에 의하여 제어되어 압력이 일정하게 유지하도록 한다.

압력 D의 설정점은 필요한 배기풍량 전체가 배기루버로 나가도록 TAB작업에 의하여 결정되어야 한

다. 통상적으로 이 압력은 자동제어기기를 사용할 수 있는 범위 내에서 가능한 낮게 설정한다. 그러나 이 압력이 자동제어기기의 압력의 허용치보다 너무 낮게 되면 배기댐퍼를 일부분 닫아서 제어기 사용 범위에 들어오도록 압력을 높인다.

압력 D는 또 다른 압력 감지기에 의해 측정된다. 그리고 외기도입 프레넘 압력은 환기댐퍼를 제어하여 고정 값이 되도록 한다. 압력 D₂의 설정점은 필요한 외기 풍량전체가 완전히 열린 외기댐퍼를 통하여 들어오도록 TAB작업에 의하여 결정되어야 한다. TAB 작업절차에는 최소한 25, 50, 75 및 100%의 4개소의 댐퍼위치에서 피토크를 이용한 덕트풍량측정 또는 기타 방법의 풍량측정으로 압력과 풍량에 의한 댐퍼특성 곡선이 구비되도록 한다. 만약 이 압력이 정확한 측정의 허용치 보다 너무 낮게 되면 외기댐퍼를 일부분 닫아서 제어기기의 사용 범위에 들어오도록 압력을 높인다. 압력 D₂는 자동제어기기에 의하여 환기댐퍼의 날개 각도가 조절이 되도록 되어야 한다.

올바른 외기 및 배기풍량이 유지되도록 하려면 외기댐퍼 및 배기댐퍼가 자동제어 시스템에 의하여 조절되도록 되어야 하지만 댐퍼의 움직임에 대한 풍량이 1차 선형으로 되지 않기 때문에 이러한 댐퍼 위치는 달라질 수도 있다. 그리고 가끔 외기 풍량은 실내 정압유지, 시스템 이외의 배기량 또는 기타 필요에 따라서 커지게 된다. TAB작업은 외기 및 배기풍량과 댐퍼위치의 연관관계를 결정해야 하므로 대단히 중요한 요소가 된다.

프레넘 고정압력방식의 제어시스템은 공조기 풍량과는 독립적으로 외기 및 배기댐퍼 위치를 조절하여 외기, 배기량을 원하는 값으로 제어할 수 있도록 한다. 이 방식은 공기조화기 크기에 상관없이 동일한 제어기기에 의하여 동일한 기능이 발휘 될 수 있으며, 환기송풍기 트래킹, 실내압력 및 실내공기질을 제어하고 관리한다.

프레넘 고정압력방식은 두 가지 결점이 있다. 첫째는 프레넘 내부를 실제로 필요한 압력보다 높은 고정 압력을 유지해야 하기 때문에 송풍기 동력 낭비의 가능성이 있다. 두 번째는 정밀한 풍량측정과 밸런싱작업에 의하여 제어기기 설정점이 결정되어야 하기 때문에 TAB작업에 많은 비용이 발생될 수 있다는 것이다.

b) 댐퍼고정방식

프레넘 고정압력 방식의 동력낭비를 개선하기 위하여 이 방식이 고안되었다. 이 방식에서는 공조기가 운전되어 프레넘 압력 D와 D₂의 동작에 의하여 외기 및 배기량이 제어될 때 외기 및 배기댐퍼를 일반적으로 완전히 열리게 고정한다.

환기송풍기의 운전성능은 압력 D를 측정된 압력 감지기의 반응에 따라서 조절하게 되며 압력 D가 올라가면 배기량이 증가하고 낮아지면 배기량이 적어진다. 실제 압력은 TAB작업에서 나타난 설정점으로써 자동제어 시퀀스에 설정되고, 이 설정점을 찾기 위해서는 TAB작업 절차상에서 피토크를 이용한 덕트풍량측정 또는 기타 방법의 풍량측정방식을 이용하여 실제 풍량과 프레넘 내부압력에 대한 곡선을 구하는 것을 필요로 한다. 배기댐퍼는 제어기기의 정밀한 성능확보에 필요한 측정압력을 높게 하기 위하여 부분적으로 닫을 수도 있다.

환기댐퍼는 압력 D₂를 측정된 압력 감지기의 반응에 따라서 개도가 조절되며, 자동제어 시퀀스는 필요한 외기량에 따른 댐퍼 개도와 측정된 압력에 따라 변한다. 다시 한 번 말하지만 자동제어의 설정점은 TAB작업에서 나타난 자료를 토대로 적용한다.

이 방식은 프레넘 고정압력 방식과 똑같은 하드웨어를 사용하고 마찬가지로 공조기 풍량과는 독립적으로 외기량 및 배기량이 원하는 값으로 제어되도록 한다.

이 방식으로 하면 송풍기 트래킹, 실내압력 및 실내공기 질을 관리하기가 용이하다. 그리고 프레넘 고정압력 방식에 비하여 송풍기 동력을 절감할 수 있으며, 공조기의 급기송풍기 풍량과 비례하는 외기량보다는 필요한 외기량을 확보할 수 있다.

또한 열부하가 떨어져도 환기량은 변하지 않는다. 그리고 외기량은 덕트 구조가 허용하는 한 전체 급기송풍기 풍량까지도 변할 수 있다. 실내냉방부하와 관계없이 주어진 외기량을 유지하는 것이 실내 공기질을 관리하는데 열쇠가 된다. 송풍기 동력은 시스템의 전체 송풍기 압력이 부분풍량 조건에서 낮기 때문에 프레넘 고정압력 방식에 비하여 절감된다.

이 방식에서의 두 가지 단점은 관리자가 댐퍼의 풍량에 관계없이 완전히 열려 있으므로 공조기를 외부에서 관찰하면 컨트롤과정을 직관할 수 없다는 것이

고 또 하나는 프레넘 고정압력방식과 마찬가지로 시스템을 올바르게 운전하는 데는 TAB측정 자료가 결정적 요소가 되므로 TAB작업에 많은 비용이 발생될 수 있다.

두 가지 방식은 시스템에서 풍량성능의 비 직선적 특성을 극복하는데 하나의 수단으로 제시된다. 댐퍼 크기의 과대 또는 과소와 덕트 및 루버에서의 과도한 압력 손실의 영향에 대처할 수도 있다. 송풍기 트래킹오류 및 환기부족 등에 대한 지난 문제들을 간단한 해결책으로 제시될 수 있을 것이다.

중간 또는 대규모의 VAV 공조기는 대부분 적절한 실내압력을 유지하기 위하여 환기송풍기를 필요로 한다. 그러나 대부분의 VAV시스템에서 송풍기 트래킹방법이 적절치 못한 것으로 나타났다. 주된 문제는 실내압력제어, 환기 및 실내공기질의 관리가 잘 안 된다는 것이다. 적절한 시스템 성능보장은 TAB 자료에 의한 공기 밸런싱 측정과 자동제어 시퀀스 설정점의 결정이 성능보장에 중요한 단계로 남는다. 비록 권장한 방법이 송풍기 트래킹과 안정된 컨트롤 운전을 가져오지만 궁극적으로 시스템의 성능은

TAB작업의 정확도에 달려있다.

맺음말

VAV시스템이 성공적으로 운전이 되려면 시스템을 구성하고 있는 각종 구성품과 운영체계의 성능검증이 필수적이다.

변풍량 공조기, 환기팬, 개별 변풍량유닛, 덕트계통, 디퓨저와 전형적인 자동제어기기 등의 하드웨어만 설치하면 잘 될 것이다라는 막연한 기대로 시스템을 설계하고 시공하지만 시스템을 운전하는 관점에서 보면 대단히 많은 문제점이 있는 것이 현실이다.

현재 국내에서 수행하고 있는 TAB작업이 시스템 성능 검증에 일부 기여하고 있으나, VAV시스템과 같이 구성요소가 많고 운영체계가 까다로운 부분에 대하여는 상당히 미흡하다고 본다.

근래에 국내에서도 시스템 성능검증에 커미셔닝기법이 도입되어 일부현장에서 적용하고 있으므로 이를 적극 활용하면 VAV시스템이 정상적으로 운전될 것으로 기대한다. (주)