

수요제어환기(DCV) 방식에 대한 새로운 고찰

■ 한 화택 / 국민대학교 기계시스템 공학부, hhan@kookmin.ac.kr

본 원고는 2009년 10월호 ASHRAE 저널에 기고된 Emerging Technologies “An Updated Look at DCV Approaches”를 요약 번역한 것이다. 저자 Kurtis McKenney와 John Dieckmann는 매사추세츠 캠프리지 소재 TIAx의 선임기술자와 팀장이며 James Brodrick 박사는 에너지성 건물기술프로그램의 과제책임자이다.

수요제어환기(DCV: Demand Controlled Ventilation)는 재실인원이 적을 때 에너지 소비를 감축시키며 아울러 필요환기량을 충족시킬 수 있는 환기방식이다. 약 6년전 ASHRAE 저널에 DCV가 소개된 바 있는데, 이후 ASHRAE 표준 62.1-2007이 개정되었고 또 이 분야의 연구와 개발이 상당히 진전된 현 시점에서 다시 다루게 된 것이다.

DCV는 에너지를 절약하고 IAQ를 유지하기 위해 현재의 재실인원에 근거하여 환기 레벨을 조정한다. DCV시스템에서는 외기량 제어 기준을 제시하기 위해 대부분 이산화탄소 센서가 이용된다. 총휘발성 유기화합물(TVOC), 입자상 물질(PM), 일산화탄소(CO), 폼알데히드(HCHO), 상대습도 등도 IAQ 제어를 위한 여러가지 변수로 활용된다.

ASHRAE 62.1-2007

ASHRAE 62.1-2007에는 적정 환기량을 결정하기 위해 두 가지 접근방법이 제시되어 있다. 환기량 방법(VRP: Ventilation Rate Procedure)은 예방적 방법으로 상업용, 주거용, 공공 건물 등에 대하여 바닥면적과 재실밀도에 따른 최소 외기도입량을 제시한다. 바닥면적은 DCV시스템에서 인체발생

외적인 오염물을 처리하기 위한 기본 환기량을 제시한다. ASHRAE 62.1-2007은 최소 환기량을 제시하고 있는데 이것은 과거에 제시된 허용 환기량과는 다른 것이며, DCV시스템에서 기본 환기량 설계 사양을 제시할 수 있도록 하고 있다.

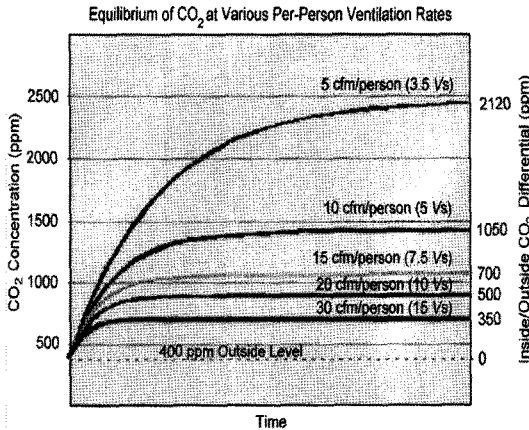
실내공기질 방법(IAQP: Indoor Air Quality Procedure)은 특정 건물에서 적정 IAQ를 제공하기 위한 엔지니어링 방법론을 제시한다. IAQP는 VRP의 최소환기량을 대신하여 공기정화 장치의 설치가 고려되는 경우 필요하다. 하지만 IAQP에 의한 방법은 건물 설계자나 운전자들이 DCV를 적용함에 있어서 일반적으로 회피하고 있다.

DCV 방식

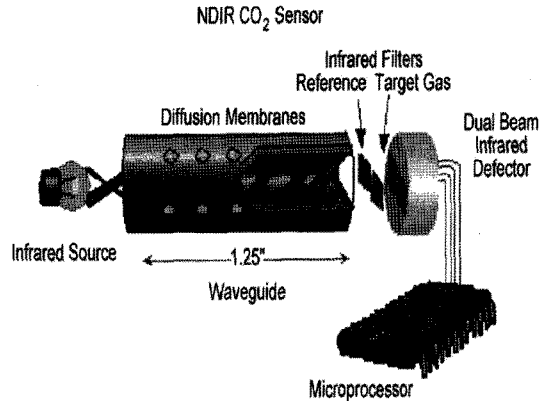
DCV시스템은 매우 단순한 하나의 CO₂ 센서에 의한 제어로부터 일련의 선정된 오염물질의 농도를 측정하고 경고에서 환기작동에 이르는 복잡한 시스템까지 광범위한 범위에 걸쳐 있다. 멀티 존 건물에서는 존별로 개별적인 센서를 사용하거나 다중 센싱에 의한 집중화된 제어시스템을 사용할 수 있다. CO₂측정에 있어서도 급기, 실내 공기, 그리고 실내외 농도차이에 의한 구동방식 등 여러 가지 접근방식이 있을 수 있다.

VAV와 같은 멀티 존 HVAC시스템에는 DCV시스템을 적용해 볼 만 하다. 단일 존의 이산화탄소 농도가 증가하여 환기량 증가가 요구된다고 하여 건물 전체에 대한 환기량을 증가시키는 것은 바람직하지 못하다.

반면, 단일 존에서 환기량을 변화시키는 것은 실내온도를 일정하게 유지하기 위해 냉각된 공기의 재열이 필요할 수도 있다. 이것도 역시 바람직한



[그림 1] 일인당 환기량에 따른 평형 이산화탄소 농도 (참고문헌 13)



[그림 2] 비분산 적외선 CO₂ 센서 (참고문헌 13)

것은 아니다. 그럼에도 불구하고 이러한 DCV 방식은 전 시간대에 전 부하로 환기 운전하는 것보다 더 효율적일 수 있다. ASHRAE 1547 연구과제는 멀티존 시스템에서의 DCV 이슈를 다루고 있다.

다른 방법

에너지회수 환기(Energy Recovery Ventilation)와 실내 공기정화(Air Purification)는 DCV와 함께 조합하거나 또는 대체하여 사용할 수 있다. ERV는 들어오는 외기와 배출되는 배기 사이에서 현열과 습기를 교환하여 냉난방부하를 경감시킨다. 공기정화를 사용하면 실내공기에서 오염가스와 분진을 제거하여 IAQP에 따라 설계환기량을 경감시킬 수 있다. 그러나 ASHRAE 62.1-2007에서는 고려 대상 오염물질의 농도를 동적으로 모두 센싱하지 않는 한 부분부하 조건하에서 외기도입량을 줄이는 것을 명시적으로 허용하고 있지 않다.

에너지 절감 효과

대부분의 건물에서는 DCV시스템(또는 환기관련 에너지 소비를 줄이기 위한 대체 기술)을 채용하고 있지 않기 때문에 에너지 절감 가능성은 전술한 바와 다를 바 없다. 미국의 상업용 건물의 환기관련 연간 에너지 소비는 송풍기 전력과 교체

공기의 공조에 필요한 에너지를 포함하여 1.5 quads (quadrillion Btu)로 추산된다. 여기서 1 quad는 전기에너지 293 TWh에 해당한다.

앞서 언급한 바와 같이 건물환기는 최대 재실인원을 고려하여 설계된다. 하지만 대부분의 건물은 설계용량보다 훨씬 적은 재실인원 조건에서 운전되고 있다. 한 연구결과에 의하면 사무실 건물은 설계용량보다 10-40% 낮은 상태에서 운전되고 있고 식당은 30-60%, 학교나 회의실은 10-70% 낮게 운전되고 있다고 보고하고 있다.

종합해 보면, 국가 전체적으로 DCV의 에너지 감축 효과는 0.4-0.5 quads 정도로 추산된다. 재실밀도가 높은 조건으로 설계되었으나 그런 상태에서 운전되는 빈도가 낮은 건물에서의 에너지 절약 효과가 특별히 크게 나타난다. 냉난방 부하가 큰 지역에 위치한 건물에서 DCV시스템을 채용함으로써 기대되는 에너지 절감 효과가 크다.

시장 변수

전술한 바와 같이 전통적인 DCV시스템은 일인당 외기도입량을 나타내기 위해 이산화탄소 센서를 이용한다. CO₂ 레벨과 일인당 외기도입량 사이의 정확한 상관관계를 구하려면 센서가 설치되고, 보정되고, 올바르게 유지되어야 한다.

최근 연구에 의하면 DCV를 채용한 건물에서 이



리한 절차가 지켜지지 않고 있는 것으로 나타나고 있다. 이산화탄소 센서의 80%가 실제 농도에 비하여 평균 40% 정도 크게 측정됨으로써 DCV의 운전시 필요 환기량보다 상당히 큰 상태로 운전되고 있다. 그런가 하면 DCV시스템이 제대로 작동되지 않아서 IAQ관련 불만이 접수되는 경우가 빈번하게 발생하고 있다.

DCV에 의한 외기량의 경감은 건물의 가압요구 때문에 제한된다. 여름철에 건물은 외기에 대하여 양압으로 유지되어 (62.1-2007의 요구사항) 국부적으로 밖으로 누출된다. 건물코드(Building Code)는 특정한 최소 배기량을 요구한다. 그러므로 들어오는 공기량은 국부적인 누출량과 국소 배기량의 합 보다 적을 수 없다. 이러한 제한조건이 특별히 외기도입이 상대적으로 적은 사무실과 같은 건물에서는 DCV의 사용을 어렵게 한다.

그러나 적절히 채용하면 전통적인 개별 센서시스템이나 집중화된 시스템의 투자회수 기간은 1-3년 정도의 범위를 갖는다. 상대적으로 전기나 가스요금이 비싸고 냉난방 부하가 큰 지역의 건물에서 DCV 투자에 따른 회수기간이 짧아진다.

DCV를 채용할 것인가를 결정하는데 있어서 또 다른 고려사항은 그린빌딩 인증(Green Building Certificate)이다. 에너지를 절감한 DCV시스템에 대해서 LEED가 부여된다. 그러나 최소 요구량보다 30% 이상 재실영역의 외기량을 증가시키는 경우에도 인증이 주어진다.

설계자나 운전자는 책임문제를 회피하기 위해 과도 환기를 하는 오류를 범하는 경향이 있다. DCV에 관한 규정이나 표준은 책임문제로부터 이들을 보호할 수 있도록 하고 있다.

캘리포니아의 건물코드 24장에 의하면 DCV는 재실밀도가 높은 공간에 대해서 의무적으로 사용하도록 하고 있다. 하지만 단위 면적당 기본 환기량은 ASHRAE 62.1-2007에서 제시한 값보다 2.5배나 크다.

앞에서 언급한 바와 같이 ASHRAE 62.1-2007은 DCV의 사용을 허용하지만 반드시 요구하는 것은 아니다. ASHRAE 90.1-2007은 재실밀도가 높은 특별한 상황에서 DCV를 적용할 것을 요구하고 있다. 준비 중에 있는 ASHRAE 189.1P에서도 DCV

의 사용을 요구하고 있다.

건물에서 환기시스템이 종종 정상적으로 작동하지 않는다는 여러 가지 사례적인 증거를 볼 때, 아직까지 DCV를 광범위하게 채용하기 위한 장애를 완전히 극복했다고 보기 어렵다. 하지만 DCV에 의한 상당한 양의 에너지 절감 효과를 인식하고 이를 극복하기 위한 센서 기술과 시스템 운전 관련 이슈에 주목해야 할 것이다.

참고문헌

1. Roth, K., J. Dieckmann, and J. Brodrick. 2003. "Demand controlled ventilation." ASHRAE Journal 45(7):91-92.
2. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
3. Dieckmann, J., K. Roth, and J. Brodrick. 2003. "Air-to-air energy recovery heat exchangers." ASHRAE Journal 45(8):57-58.
4. Dieckmann, J., K. McKenney, and J. Brodrick. 2009 "Air purification to reduce OA." ASHRAE Journal 51(4):68-70.
5. Orme, M. 1998. "Energy Impact of Ventilation." Technical Note 49, International Energy Agency-Air Infiltration and Ventilation Centre, Coventry, UK.
6. Taylor, S. 2009. "CO₂ DCV Control Strategies." Seminar at the ASHRAE Winter Conference.
7. Fisk, W. 2009. "Carbon Dioxide Sensors Used for Demand Controlled Ventilation: Accuracy in Real Installations." Seminar at the ASHRAE Winter Conference.
8. Shrestha, S. and G. Maxwell. 2009. "Performance Evaluation of CO₂ Sensors for Demand Controlled Ventilation." Seminar at the ASHRAE Winter Conference.
9. Sharp, G. 2009. Personal communication with Gordon Sharp, Aircuity. August.
10. Clark, L. 2009. "Multiparameter demand-controlled ventilation." HPAC Engineering

- 81(8). <http://tinyurl.com/clark2009> (or <http://hvac.com/ventilation-iaq/multi-parameter-demand-controlled-ventilation-0809/index.html>).
11. ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.
 12. BSR/ASHRAE/USGBC/IESNA Standard 189.1P, Standard for the Design of High-Performance Green Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.
 13. Schell, M. and Inthout D., 2001, "Demand control ventilation using CO₂." ASHRAE Journal 43(2):1-6. 