

변풍량 공조시스템의 요구외기량 확보를 위한 제어방식

한 도 영^{*}, 주 영 덕^{*}, 김 진^{*}, 이 준 호^{*}

국민대학교 기계·자동차공학부, ^{*}주식회사 나라컨트롤

Control Methods of the VAV Air Handling Unit for the Required Outdoor Air Demand

Doyoung Han^{*}, Youngduk Ju^{*}, Jin Kim^{*}, Joonho Lee^{*}

School of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

^{*}Nara Controls Inc., Seoul 135-010, Korea

(Received September 9, 2002; revision received January 23, 2003)

ABSTRACT: Control algorithms of an air handling unit by using the mixing box plenum pressures were developed and verified by experiments. Control algorithms developed for this study were the setpoint algorithms for the outdoor damper position, the outdoor/mixed plenum pressure, and the return/exhaust plenum pressure. The outdoor/mixed plenum pressure setpoint was used to control the bypass damper position, and the return/exhaust plenum pressure setpoint was used to control the return fan speed. Experimental results showed the good control of the required outdoor air demand. Therefore, setpoint algorithms developed for this study may effectively be applied for the control of the VAV air handling unit.

Key words: Air handling unit(공기조화기), Outdoor air demand(요구외기량), Outdoor/mixed plenum pressure(외기/혼합기 챔버 압력), Return/exhaust plenum pressure(환기/배기 챔버 압력), Setpoint algorithm(설정 알고리즘)

기 호 설 명

BPD : 바이패스댐퍼개도 [%]
MinOA : 요구외기량 [CMH]
OA : 외기량 [CMH]
OD : 외기댐퍼개도 [%]
Pmx : 외기/혼합기 챔버 설정압력 [mmAq]
PPM : 실내 CO₂량 [ppm]
Pre : 환기/배기 챔버 설정압력 [mmAq]
SA : 급기량 [CMH]
SD : 급기댐퍼개도 [%]

1. 서 론

최근 에너지 절약의 필요성이 대두되고 생활의 질 향상에 따른 쾌적한 실내환경 유지에 대한 요구가 증대되어 중대형 건물에 변풍량 공조시스템 적용이 가속화되고 있다. 변풍량 공조시스템은 급기온도를 일정하게 유지시키면서 실내 부하변동에 따라 급기량을 변화시키는 방식으로써 Fig. 1에서 보듯이 일반적으로 외기/배기/바이패스댐퍼는 CO₂ 감지기에 의해 측정된 실내 오염도에 따라 제어되고, 급기팬은 급기정압에 의해 제어되며, 환기팬은 풍량측정장치(FMS)에 의해 측정된 급기량과 환기량의 비율에 의해 제어된다.⁽¹⁾ 그러나 풍량측정장치의 현장 설치공간의 부족으로 인한 와류로부터의 오차, 차압 트랜스미터의 오차, 풍량계산시 적용되는 단위환산에 따른 오차 등으

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-910-4675; fax: +82-2-910-4839

E-mail address: dyhan@kookmin.ac.kr

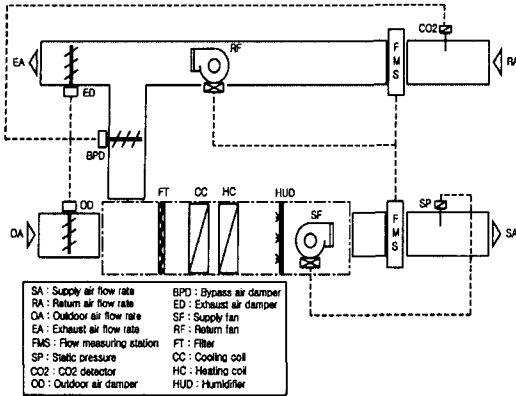


Fig. 1 Previous AHU control system.

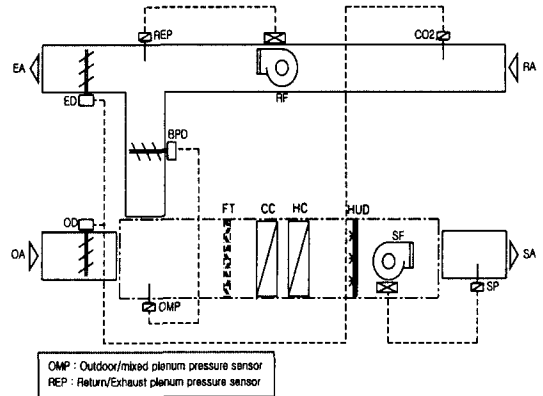


Fig. 2 Newly developed AHU control system.

로 인하여 많은 누적오차가 발생하게 되어 풍량 측정장치로부터 측정된 풍량이 부정확하며 외기/배기댐퍼와 바이패스댐퍼가 연동되어 있어 댐퍼 개도 변경에 따라 외기량이 비선형⁽²⁾으로 변화하게 되어 실내 오염도에 따른 댐퍼개도 변경시 요구외기량에 비해 많은 오차를 갖게 된다. 또한 실내 냉·난방부하의 변화로 인한 풍량변화시 바이패스댐퍼 전후단의 혼합챔버 압력이 변하게 되어 외기량을 일정하게 유지하지 못하며, 특히 공조기 내에 필터가 막힐 경우 챔버 내의 압력이 상승하여 외기량 도입이 감소되는 문제점⁽³⁾을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 풍량측정장치를 사용하지 않고 CO₂ 감지 결과에 따라 외기/배기댐퍼를 독립적으로 제어하고 외기/혼합기 챔버 압력을 이용하여 바이패스댐퍼를 독립적으로 제어하며 환기/배기 챔버 압력을 이용하여 환기팬을 제어하는 혼합 챔버 압력을 이용한 제어방식을 개발한 후 실제 적용함으로써 실내 CO₂ 변화에 따른 요구외기량 확보와 실내 냉·난방부하 변화시 요구외기량을 일정하게 유지하는 것을 확인함으로써 혼합 챔버 압력을 이용한 제어방식의 유효성을 확인하는 것을 목적으로 한다.

2. 새로운 제어방식

본 연구에서 사용된 변풍량 공조 제어시스템은 Fig. 2와 같이 구성되어 있다. 새롭게 개발된 제어시스템은 혼합 챔버 압력을 이용한 제어방식⁽⁴⁾으로써 그림과 같이 CO₂ 감지기에 의해 외기/배기댐퍼가 제어되고, 급기덕트의 정압감지기에서 측

정된 정압과 설정정압과의 차이에 의해 급기팬이 제어되며, 외기/혼합기 챔버 압력 OMP와 설정압력과의 차이에 의해 바이패스댐퍼가 제어되고, 바이패스댐퍼 제어에 의해 변하는 환기/배기 챔버 압력 REP와 설정압력과의 차이에 의해 환기팬이 제어된다.

3. 혼합 챔버 압력 제어알고리즘

혼합 챔버 압력을 이용한 알고리즘의 전체 개략도가 Fig. 3에 나타나 있으며 혼합챔버 초기 설정압력을 설정하기 위한 초기화 단계, 부하변동에 따른 혼합챔버 설정압력의 재설정 단계, 바이패스댐퍼의 허용위치 만족 여부에 따른 혼합챔버 설정압력의 재설정 단계, 설정압력에 의한 바이패스댐퍼, 환기팬의 비례적분 제어 단계로 구성되어 있다. 초기화 과정에서 설계풍량인 최대급기량, 실내 CO₂ 설정량, 실내 CO₂ 최대량, 바이패스댐퍼 최소개도, 감지시간 간격, 외기댐퍼 초기개도 등이 사용자에게 의해 입력되고, 외기댐퍼 초기 개도와 초기 요구외기량에 의해 혼합챔버 초기 압력이 설정된다. 초기화 과정 이후에는 감지시간 $\Delta time1$ 간격마다 실내 CO₂량이 감지되어 CO₂ 설정량과의 차이에 의해 외기댐퍼개도가 설정되고 외기댐퍼 설정개도에 의해 요구외기량이 계산된 후 외기댐퍼 설정개도와 요구외기량에 의해 혼합챔버 압력이 재설정된다. 바이패스댐퍼개도 상태에 따른 재설정 구간은 감지시간 $\Delta time2$ 간격마다 적용된다. 챔버 내에 급격한 압력 상승을 방지하고 에너지소비를 절감시키기 위하여 바이패스댐퍼의 최소 개도가 요구되며 이를 위해

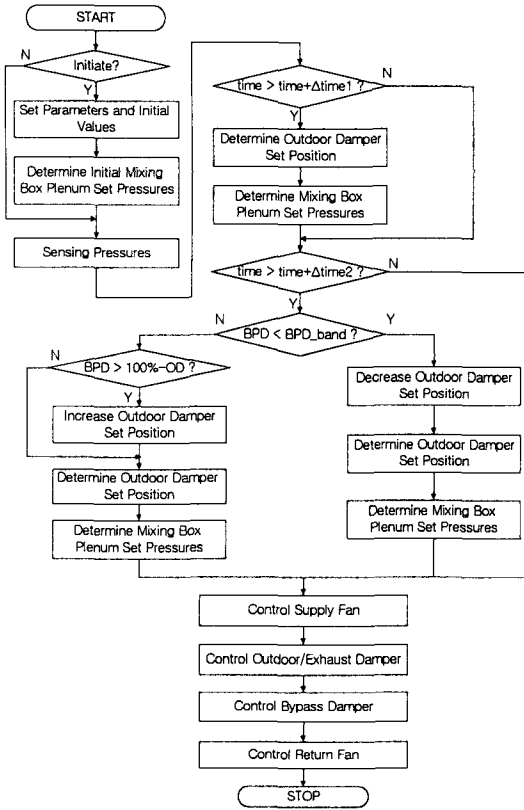


Fig. 3 Newly developed control algorithm.

바이패스댐퍼개도 BPD가 바이패스댐퍼 최소 개도 BPD_band보다 작을 경우 외기댐퍼를 닫아 바이패스댐퍼가 개방되도록 외기댐퍼의 개도가 재설정되고 재설정된 외기댐퍼와 요구외기량에 의해 혼합챔버 압력이 재설정된다. 바이패스댐퍼개도가 바이패스댐퍼 최소 개도보다 크고 100%-OD보다 큰 경우는 외기댐퍼개도를 증가시켜 바이패스댐퍼개도가 감소될 수 있도록 외기댐퍼개도가 재설정되고 재설정된 외기댐퍼개도와 요구외기량에 의해 혼합챔버 압력이 재설정된다. BPD가 100%-OD보다 작을 경우에는 이미 설정된 혼합챔버 설정압력을 사용한다.

3.1 외기댐퍼개도 설정알고리즘

실내에서 요구되는 CO₂로 유지하기 위하여 외기댐퍼를 사용하며 외기댐퍼의 개도를 설정하기 위하여 외기댐퍼 설정개도 SetOD는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있으며

$$SetOD = \frac{MaxOD - MinOD}{MaxPPM - SetPPM} (PPM - SetPPM) + MinOD \quad (1)$$

여기서 PPM은 실제 측정된 실내 CO₂량, SetPPM은 실내에서 요구되는 CO₂ 설정량, MaxOD는 외기댐퍼 최대개도, MinOD는 외기댐퍼 최소개도를 나타낸다.

3.2 혼합 챔버 압력 설정알고리즘

외기/혼합기 챔버 설정압력 Pmx와 환기/배기 챔버 설정압력 Pre를 외기댐퍼 설정개도 SetOD와 요구외기량 MinOA에 대한 함수로 다음과 같이 표현할 수 있으며

$$Pmx = a1 + a2 \times MinOA + a3 \times SetOD + a4 \times MinOA^2 + a5 \times SetOD^2 + a6 \times MinOA \times SetOD \quad (2)$$

$$Pre = b1 + b2 \times MinOA + b3 \times SetOD + b4 \times MinOA^2 + b5 \times SetOD^2 + b6 \times MinOA \times SetOD \quad (3)$$

여기서 a₁~a₆와 b₁~b₆는 외기댐퍼 설정개도에 대한 요구외기량과 혼합 챔버 압력과의 관계에 의해 주어진 파라미터를 의미한다. 또한 외기댐퍼 설정개도에 따른 요구외기량 MinOA는 다음과 같이 계산할 수 있으며

$$MinOA = \frac{0.4MaxSA}{MaxOD - MinOD} (SetOD - MinOD) + 0.3MaxSA \quad (4)$$

여기서 최소 요구외기량은 최대 급기량 MaxSA의 30%, 최대 요구외기량은 최대 급기량의 70%로 가정하였다.

3.3 비례적분 제어알고리즘

혼합 챔버 압력 설정알고리즘에서 설정된 외기/혼합기 챔버 압력으로 유지하기 위한 바이패스댐퍼 제어, 환기/배기 챔버 압력으로 유지하기 위한 환기팬 제어, 급기설정압을 유지하기 위한 급기팬 제어 등에 비례적분 제어알고리즘을 사용하

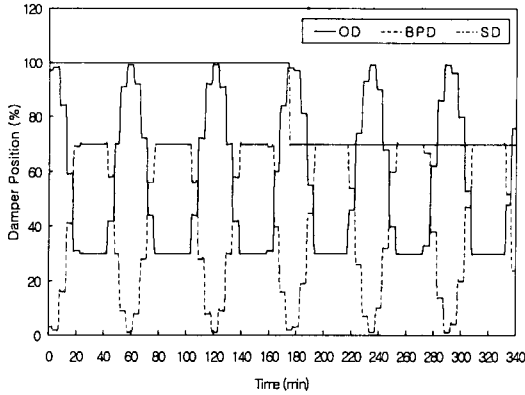


Fig. 5 Damper positions in the case of using the previous control algorithm.

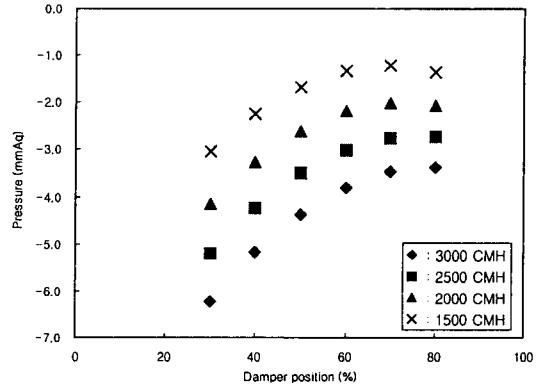


Fig. 7 Outdoor/mixed plenum pressure.

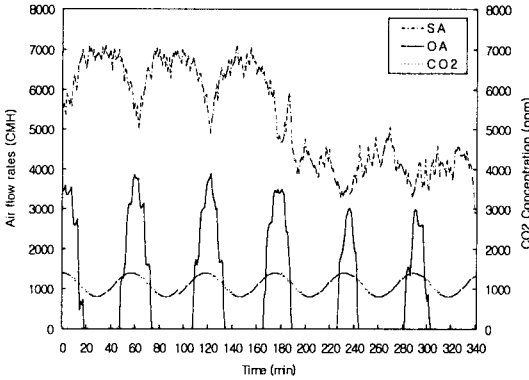


Fig. 6 Air flow rates and indoor CO₂ concentration in the case of using the previous control algorithm.

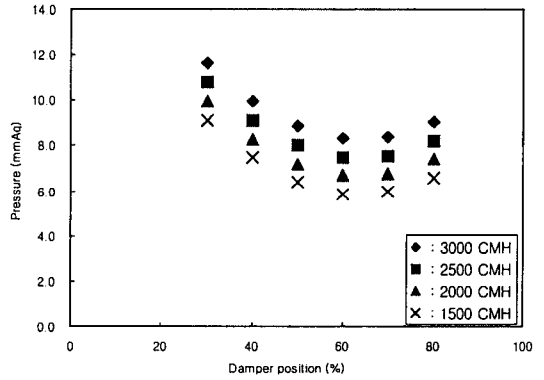


Fig. 8 Return/exhaust plenum pressure.

되었고, 특히 외기댐퍼개도가 40% 이하에서 외기량이 공급되지 않아 최소 요구량의 외기를 공급할 수 없음을 확인할 수 있었다. 또한 실험 시작 후 181분이 지난 후 실내부하 감소에 대한 실험을 위해 급기댐퍼개도를 100%에서 70%로 변화시켜 급기량을 6000 CMH 정도에서 4000 CMH로 변화시켰을 때 외기량이 전체적으로 감소하여, 실내 CO₂량이 증가하여 더 많은 외기량이 필요한 경우에 요구외기량을 만족시킬 수 없음을 확인할 수 있었다.

5.3 새로운 제어방식 실험결과

혼합 챔버 압력 설정알고리즘에 사용되는 외기/혼합기 챔버 설정압력 관계식과 환기/배기 챔버

설정압력 관계식의 파라미터를 계산하기 위해 외기댐퍼 설정개도에 대한 혼합 챔버 압력과 외기량 측정실험을 수행하였다. Fig. 7과 Fig. 8은 외기댐퍼개도에 대한 외기/혼합기 챔버 압력과 환기/배기 챔버 압력의 실험결과로써 외기량별로 나타내었다. 그림에서 보듯이 같은 외기댐퍼개도에서 외기량이 증가할수록 외기/혼합기 챔버 압력은 낮아지고 환기/배기 챔버 압력은 증가하는 것을 알 수 있었고 같은 외기량에서 외기댐퍼개도가 증가할수록 외기/혼합기 챔버 압력이 높아지고 환기/배기 챔버 압력은 낮아지는 것을 알 수 있었다. 실험결과로부터 곡선적합방법을 사용하여 계산된 외기/혼합기 챔버 설정압력 관계식과 환기/배기 챔버 설정압력 관계식의 파라미터를 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Parameter values

Parameter	Value	Parameter	Value
a1	-0.28E+02	b1	0.15E+02
a2	-0.29E-02	b2	0.16E-02
a3	0.14E+00	b3	-0.37E+00
a4	0.60E-06	b4	0.21E-06
a5	-0.12E-02	b5	0.29E-02
a6	0.16E-03	b6	-0.88E-05

혼합챔버 압력을 이용한 제어 실험결과가 Fig. 9에서 Fig. 11까지 나타내었다. Fig. 9는 외기댐퍼 개도(OD), 바이패스댐퍼개도(BPD), 급기댐퍼개도(SD)를 나타내고 있으며, Fig. 10은 그때의 급기량(SA), 외기량(OA), 실내 CO₂량(CO₂)을 나타낸

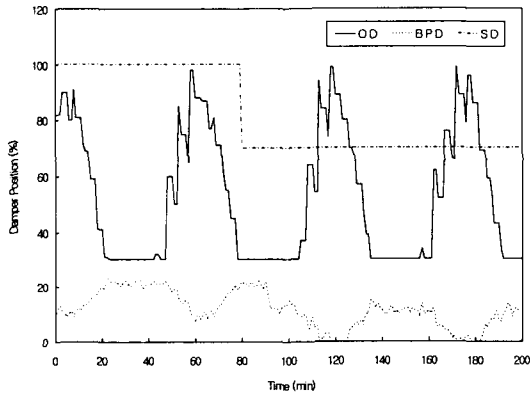


Fig. 9 Damper positions in the case of using the newly developed control algorithm.

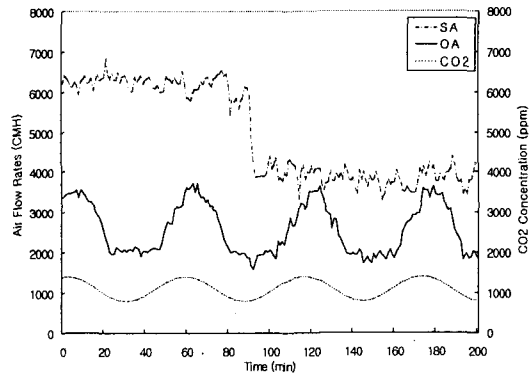


Fig. 10 Air flow rates and indoor CO₂ concentration in the case of using the newly developed control algorithm.

다. 그림에서 보듯이 외기댐퍼는 실내 CO₂량의 변화에 따라 최소 30%에서 최대 100%까지 제어되고 있으며 바이패스댐퍼는 실내 CO₂량의 변화에 따라 요구되는 외기량을 확보하기 위해 재설정된 외기/혼합기 챔버 설정압력에 의해 제어된 결과를 나타낸다. 실내 부하감소에 따른 영향을 확인하기 위해 실험시작 후 81분이 지난 후 급기댐퍼개도를 100%에서 70%로 변경하였을 때 외기/혼합기 챔버 내의 압력이 높아지게 되어 95분 이후부터 바이패스댐퍼개도가 이전보다 감소되었고 급기량은 6000 CMH 정도에서 4000 CMH로 감소하였지만 외기량은 실내 CO₂량의 변화에 따라 독립적으로 필요한 외기량을 공급할 수 있었으며 실내 CO₂량이 실내 CO₂ 설정량 이하에서도 최소 요구외기량인 1800 CMH 정도를 유지하고 있는 것을 알 수 있었다. 또한 외기댐퍼개도가 40% 이하일 경우일 때도 요구외기량이 도입되지 못하는 기존 제어방식과는 달리 최소 요구외기량을 확보할 수 있음을 확인하였다.

혼합 챔버 압력에 의한 제어방식을 사용할 경우 필터 막힘에 대해서도 적절한 요구외기량을 확보할 수 있는지를 확인하기 위하여 실험시작 후 115분 경과 후 필터를 60% 정도 막아 실험을 수행하였으며 그 결과를 Fig. 11에 보여준다. 그림에서 보듯이 급기량, 외기량, 실내 CO₂량의 변화를 나타내고 있으며 새로운 제어방식을 적용할 경우 필터 막힘으로 챔버 내의 압력이 변하더라도 실내 CO₂량의 변화에 따라 필요한 요구외기량의 공급은 필터 막힘 전과 동일하게 유지되는 것을 알 수 있었다.

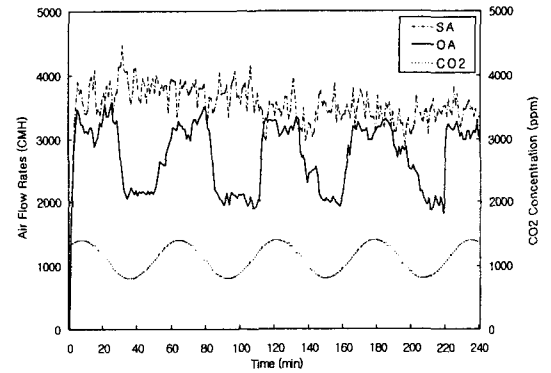


Fig. 11 Air flow rates and indoor CO₂ concentration when the filter is partially blocked.

6. 결 론

변풍량 공조시스템의 요구외기량 확보를 위하여 혼합 챔버 압력을 이용한 제어방식을 개발한 후 기존의 제어방식과 비교하여 실험한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

(1) 혼합 챔버 압력을 이용한 제어방식은 기존 제어방식에서 사용되는 2대의 FMS를 사용하지 않고 2개의 압력센서만 사용하기 때문에 기존 제어방식에 비해 초기 투자비가 절감될 수 있음을 확인하였다.

(2) 기존 제어방식을 적용할 경우 급기량이 변할 때 외기량도 변하여 실내 CO₂량에 따라 요구되는 외기량을 공급할 수 없었으며, 특히 외기덤퍼개도가 40% 이하에서 요구외기량을 공급하지 못하는 경우를 확인하였다.

(3) 혼합 챔버 압력을 이용한 제어방식을 적용할 경우 혼합 챔버 압력 설정알고리즘을 사용하여 바이패스덤퍼와 환기팬을 제어함으로써 급기량이 변할 경우에도 실내 CO₂량 변화에 따른 요구외기량을 공급할 수 있음을 확인하였다.

(4) 기존 제어방식에서 필터가 막힐 경우 요구외기량을 확보하기 위한 대처능력이 없었으나 혼합 챔버 압력에 의한 제어방식을 적용할 경우 필터 막힘에 대해서도 적절한 요구외기량을 확보할 수 있음을 확인하였다.

따라서 혼합 챔버 압력에 의한 제어방식이 기존 제어방식보다 우수함이 확인되었으므로 변풍량 공조시스템 제어에 보다 효율적으로 사용할

것으로 기대된다.

참고문헌

1. Choe, H., 1989, Control of variable air volume systems, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 4, SAREK, pp. 303-318.
2. Lizardos, E. and Elovitz, K., 2000, Damper sizing using damper authority, ASHRAE Journal, Vol. 42, No. 4, pp. 30-33.
3. Chen, S., 1996, Variable air volume systems for environmental quality, McGraw-Hill.
4. Han, D., Ju, Y. and Lee, J., 2001, Control of the return fan in air handling unit by using the mixing box plenum pressure, Proceedings of Summer Annual Conference, SAREK, pp. 737-743.
5. Franklin, G., 1995, Feedback Control of Dynamic Systems, Addison Wesley.
6. House, J. and Smith, T., 1995, A system approach to optimal control for HVAC and building systems, ASHRAE Transactions, Vol. 95, No. 3, pp. 647-660.
7. Carpenter, S., 1996, Energy and IAQ impacts of CO₂-based demand-controlled ventilation, Vol. 102, No. 2, ASHRAE Transactions, pp. 1-9.