

실내환경 통합조절시스템 개발

윤 동 원 | 경원대학교 건축설비학과 교수
E-Mail : dwyoon@kyungwon.ac.kr

1. 서론

산업기술의 발달과 더불어 인간은 자신을 둘러싸고 있는 주위의 환경을 보다 쾌적하게 형성하기 위하여 부단히 노력하여 왔다. 현대인은 대부분의 시간을 실내의 한정된 공간에서 생활하기 때문에 환경조건은 중요한 문제로 부각되고 있다. 그 중에서도 열환경과 공기환경은 가장 기본이 되는 사항이며, 과거부터 실내공간을 열적인 쾌적환경으로 제어하고 공기환경을 안전하고 쾌적하게 제어하기 위한 여러 가지 방법이 적용되어 왔다. 이와 같은 쾌적환경(comfortable environment)을 제어하기 위해서는 반드시 에너지소비가 뒤따라야 하고 그러하기 때문에 어떻게 하면 소비되는 에너지를 최소화하고 최적 환경제어의 목표를 달성할 수 있느냐 하는 것도 중요한 관점이 된다. 최근 환경오염이 증대되면서 건물의 거주자들은 쾌적한 환경에서 거주하고 싶은 기대감이 증가하고 있다. 건물의 에너지절약 기술로 인하여 건물은 점차 고단열화, 고기밀화되도 이에 따라 실내공기환경은 상대적으로 악화되어왔다. 건물의 설계와 시공이 합리적으로 이루어 졌다하여도 환경요소들이 효율적으로 유지관리 되지 않는다면 쾌적한 실내의 거주환경을 확보하기 어렵고 거주자들의 건강과 작업능률에 영향을 미치게 된다.

실내에서는 재실자의 신진대사나 활동, 각종 기나 건축자재, 마감재료, 가구 등으로부터 방출되는 열이나 이산화탄소, 먼지, 각종 휘발성 유기화합물질(VOCs)이 실내환경 오염의 원인이 되며, 이러한 오염물질은 실내에 정체되어 재실자에게 질병이나 건물병증후군(Sick Building Syndrom)을 유발하여 인체의 건강에 직접적인 영향을 미치게 된다. 따라서 건물의 용도와 유형별로 실내환경의 개선을 위한 효율적인 기법의 확립이 시급하다고 판단되며, 쾌적한 실내환경을 제공할 수 있는 온열환경과 실내공기환경을 적절하게 관리할 수 있는 통합제어 시스템의 개발이 요구되고 있다.

실내의 온열환경요소와 공기의 오염상태의 특성

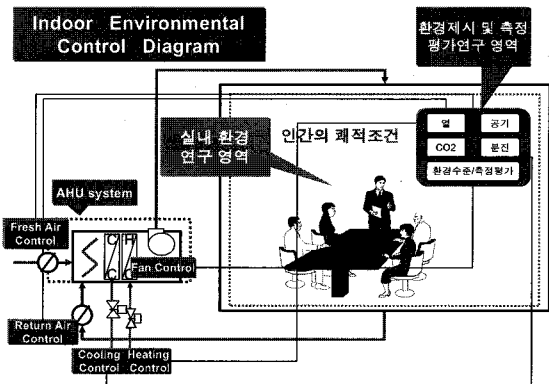


그림 1. 실내환경 통합조절시스템의 개념도

에 따라 실내환경을 효율적으로 관리할 수 있는 IAQ통합제어 시스템을 활용한 쾌적한 실내환경 통합관리방안을 제시하고 그 특성을 평가하고자 한다. IAQ 통합센서(온도, 습도, CO₂, 분진, 풍속)의 신호를 기초로 하여 BACnet(Building Automation Control network)과 같은 자동제어시스템(BAS)에 접속하여 실내의 부하변동에 따른 냉온열의 공급과 적절한 온열환경의 유지, 실내오염 정도의 변화에 따른 외기도입량을 제어할 수 있는 기법을 검토하고, 실내의 환경상태에 연동되는 적절한 외기도입량 및 쾌적한 온열환경을 확보할 수 있는 제어기술을 제시하고자 한다.

2. 실내환경 통합조절시스템의 구성

1) IAQ센서의 개발

IAQ(Indoor Air Quality)센서는 온도, 평균복사 온도, 기류속도, 습도, CO₂ 등의 물리적 환경인자와 활동량(MET), 착의량(Clo)등의 값을 이용하여 평균예상온열감(PMV: Predicted Mean Vote)을 계산하여 인체의 온열감을 예측하고자 하는 센서이다. 이를 통하여 예상불만족도(PPD: Predicted Percentage of Dissatisfied)를 산출하여 주어진 환경에서 덥거나 춥게 느끼는 사람들의 비율을 예측함으로써 열적 불쾌적 또는 열적 불만족에 대한 정보를 제공해주는 지표로 활용한다. IAQ 센서를 통하여 실내 공기질에 대한 평가와 공기질을 이용하여 실내 공기조절을 위한 자료로 활용하여 실내환경 조절시스템에 사용되는 효과적인 센서이다.

산업자원부에서 중기거점 과제로 추진하고 있는 “실내환경 통합조절시스템 개발” 과제와 관련하여 IAQ센서 개발이 1차적으로 완료되어 이를 통하여 단일공간에 대한 성능 테스트가 이루어 졌으며, 기존의 1차 제작 IAQ 센서에 대한 정밀도 보강 및 상

용화 검토를 위한 2차 IAQ 센서 개발을 추진하였다. 본 개발에서는 기존의 센서에서 처리되지 않았던 PMV 및 PPD 계산식을 IAQ 센서에서 담당하게 되며, 전원 공급 및 출력 제공 포트 구성을 변경하여 실제 현장에서 수용 가능한 구조로 변경 설계하여 제작하였다. 하드웨어는 기본적으로 하나의 보드로 이루어지며, 현재 현장에 적용되고 있는 센서의 특성을 감안하여 24Vac전압으로 입력으로 받는다. PMV 및 PPD 계산 및 아날로그 입력 요소를 위하여 8비트 마이크로 프로세서를 탑재하며, 계산된 PMV 및 PPD를 0-10Vdc 출력으로 제공한다. 아울러 시리얼 통신방식을 통하여 상세한 정보를 사용자에게 공급할 수 있다. IAQ 센서에서 측정되는 요소로는 온도, 습도, 복사열, CO₂와 기류로서 총 5가지의 입력이 있으며, 이들 입력을 10비트의 분해능으로 세분화하여 입력 받은 으로서 정밀한 측정이 되도록 하였다. 현장에서 개별 센서 값이나 계산값을 확인할 수 있도록 LCD형태의 출력을 제공할 수 있으며, 활동량이나 의복 착의량 등의 변경을 위한 입력 스위치를 제공한다. 하드웨어에 적용되는 소프트웨어는 크게 3가지로 구성된다. 즉, 입력 센서로부터 전달된 아날로그 값을 해당 센서값으로 변환하는 부분, 변환된 센서값을 통하여 PMV와 PPD를 계산하는 부분, 그리고 계산된 PMV 및 PPD 값을 전압 출력 혹은 시리얼 출력으로 제공하는 부분으로 구성된다.

2) 외기량 제어를 위한 DCV시스템

DCV(Demand Controlled Ventilation)란 오염 정도에 영향을 미치는 실내 공간과 재실자 그리고 실내의 필요환기량에 관련하여 각종 인자를 분석하고 쾌적한 실내환경(Indoor Air Quality)를 확보하기 위한 제어기법이다. DCV시스템의 제어원칙은 시간에 따라 변화하는 실내의 오염농도와 환기량의

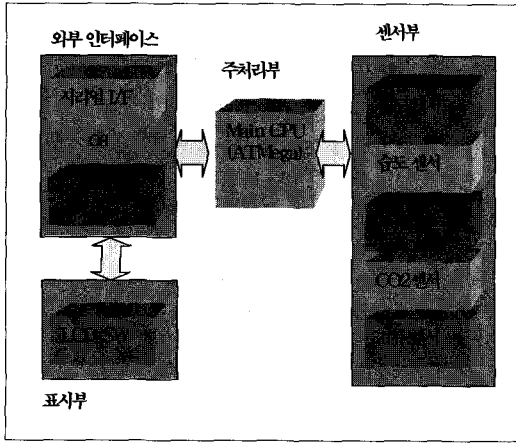


그림 2. IAQ통합센서 하드웨어 구성도

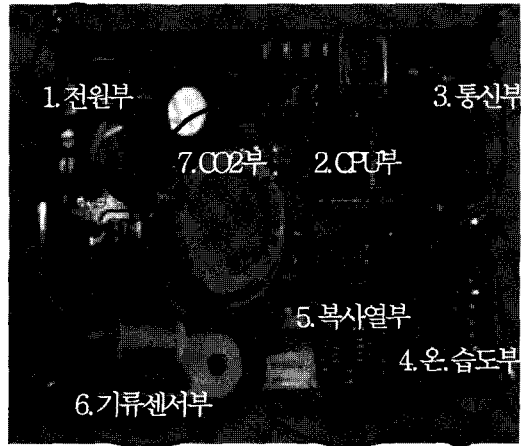


그림 3. IAQ센서 보드의 구성

변화에 기초를 두고 있다. 실내의 오염원의 종류와 적절한 기준농도, 환기량 등의 결정이 중요한 사항이다. 예를 들어 인체에서 발생하는 CO₂농도, 건물 재료에서 발생하는 화학물질이나 그 외에도 열과 습기 등 실내의 주요 오염원을 파악하고 이에 대하여 제어 대상물질을 선정하여 이에 적합한 센서의 종류를 선정하는 것이 중요하다.

DCV 제어시스템은 가장 효율적인 방법으로 오염 물질을 제거하고 재실하는 동안 쾌적한 실내공기환경을 유지하며, 이 과정에서 에너지를 절약하기 위한 수단이다. 환기시스템의 적용범위와 설계조건에 따른 센서의 위치와 기류패턴 등은 실내오염물질의 농도에 큰 영향을 미치게 된다. DCV시스템의 설계는 외기냉방 등의 실현을 위한 온열환경요소의 제어와 연계하여 환기시스템을 구성하는 것도 바람직하다. 중간기에는 외기냉방을 위하여 다량의 외기가 필요하며, 온도제어를 위한 환기량으로 실내공기질을 조절할 수 있다. 쾌적한 실내공기와 열환경을 제어하기 위하여 동시에 공기의 오염농도와 온도제어를 동시에 고려한 시스템의 구성도 필요하며, 외기냉방 기간에는 환기와 외기에 의한 냉방이

동시에 이루어지는 것이 바람직하다.

(1) 오염물질의 지표선정

CO₂ 센서 : 흡연자와 같은 특별한 오염원이 없는 건물의 환기시스템에 적용하기가 가장 좋은 오염물질의 대표지표로 활용된다. 1인당 환기량을 설정하기에 용이하고 기존의 많은 연구로부터 실내의 CO₂농도가 재실자수에 따라 실내공기오염을 대표할 수 있다. CO₂ 센서는 비교적 안정성이 있는 기술로 인정받고 있다.

상대습도센서 : 환기시스템을 운전하기 위한 연관성을 분석하기 위해 상대습도와 재실자의 수에 대하여 평가하고 있다. 실내의 재실자와 상대습도 사이에 뚜렷한 상관관계가 없는 것으로 나타나고 있으며, 습기가 건물구조체, 가구, 카펫 등에 의해 흡수와 방출이 발생한다. 상대습도는 재실자의 지표로 사용하는데 한계가 있으며, 특별히 실내공간의 습도를 정확히 관리하여야하는 조건에서 제한적으로 적용할 수 있다. 습도센서는 그 특성으로 인하여 일부 공업용 시스템에 활용되고 있으며, 일반 거주공간에서 적용하기에는 상대적으로 신뢰성이 낮은 것으로 평가되고 있다.

혼합가스센서 : 냄새 및 담배연기 제어를 위해 혼합가스센서에 대한 연구가 진행되고 있으며, 공기질 (IAQ)센서로 알려져 있다. 본 센서는 담배연기에 대해서는 잘 반응하고 있으나 냄새에 대해서는 매우 약한 감지특성을 보이고 있다. 또한 센서의 출력신호는 냄새와 담배연기에 모두 신뢰성이 약하게 나타나고 있어 아직까지 제품의 신뢰성에 문제가 있다.

(2) 센서의 위치와 환기효율

오염물질의 검출용 센서의 위치는 주로 배기 덕트 에 설치하는 것이 가장 이상적이며, 특별히 실내의

농도를 조사하고자 할 때 실내공간에 추가로 설치하는 경우도 있다. 일반적으로 공조영역이 넓은 중앙식 공조시스템에서는 경우에 따라 층별, 또는 일정구획별 배기덕트에 CO₂ 센서를 설치하고 이때 외기 도입 제어를 위해 가장 높은 값을 선택하여 사용하게 된다. 또한, 재실자 수에 따른 기류패턴의 변화와 센서신호의 영향에 대해 특별한 주의가 요구된다.

(3) 에너지 절약

CO₂ 농도제어에 의한 에너지절약 효과는 재실자 수의 변화가 크고 예측하기 어려운 상황일 경우에

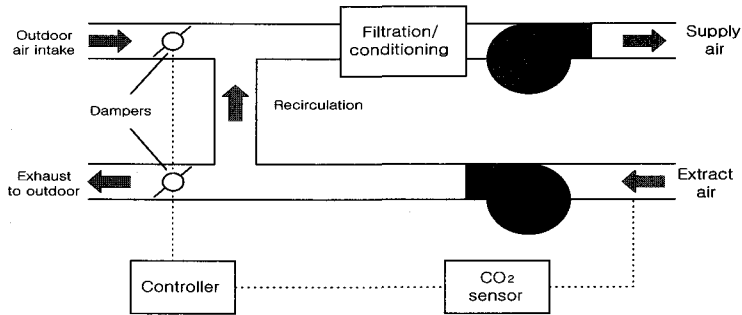


그림 4. DCV제어의 개념도

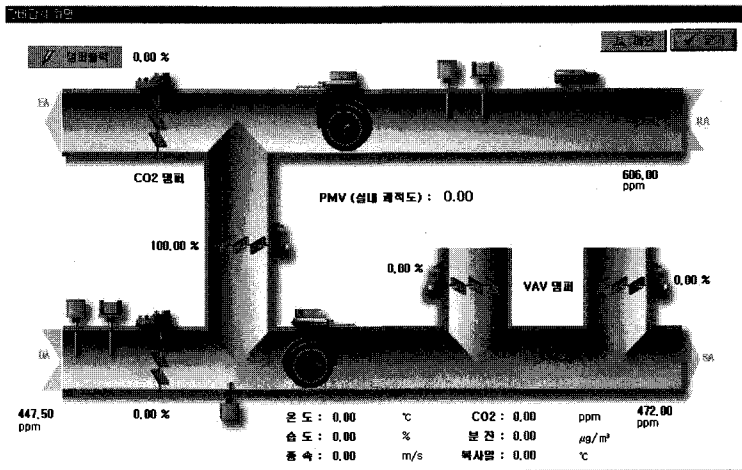


그림 5. DCV제어 모니터링 프로그램

가장 효과적인 것으로 나타나고 있다. 에너지절약 효과는 시뮬레이션에 의하여 30~60% 정도로 나타나며, 실제 건물에서는 8%~40%정도의 효과가 있는 것으로 나타나고 있다. CO₂센서에 의한 DCV시스템에서 60% 정도의 환기풍량이 감소되어 DCV시스템이 전열교환기 설치시 보다도 경제적인 측면에서 효과적이라는 연구결과도 보고 되고 있다. 적절한 방식을 채택하면 적어도 30% 이상의 에너지 절약을 기대할 수 있고 초기투자비용의 회수기간은 2~5년 정도 인 것으로 보고 되고 있다.

3) 시스템 인터페이스 구성도

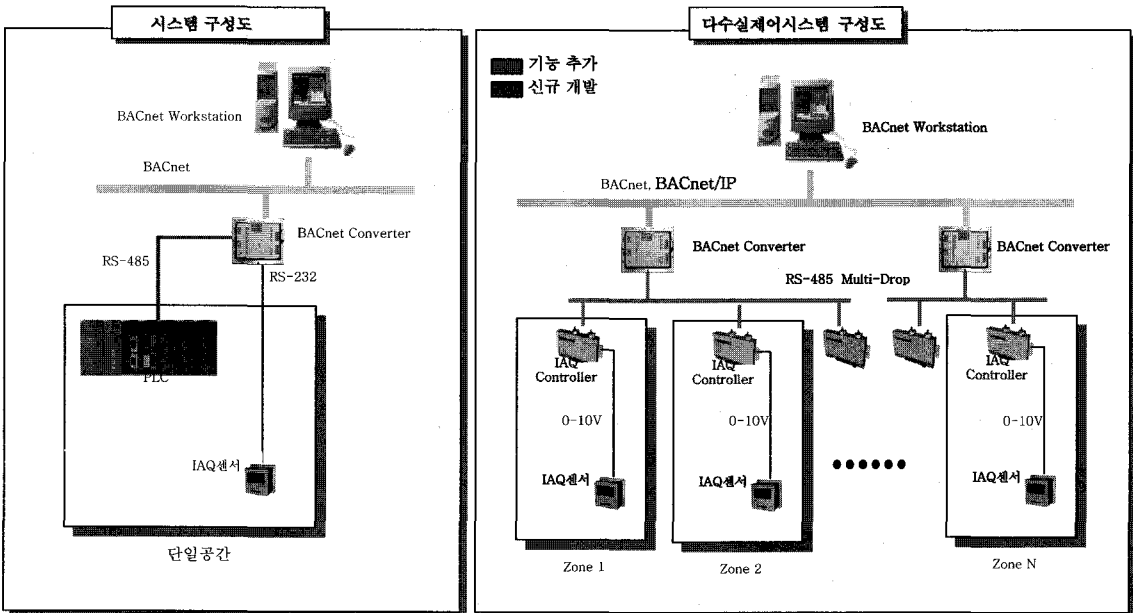
IAQ 센서는 0~10V 출력 라인을 통하여 제어기와 연결되어지며, 이는 현재 건물에 적용되는 습도 센서 또는 기타 전압입력센서와 연결되어지는 형태와 같은 것이다. 이는 기존의 현장에 설치된 전압입력 센서의 대치가 용이하고 새로운 적용에 대하여 기존의 배선방법에 따라 설치가 이루어지면 된다.

IAQ센서는 PMV값을 계산하여 이를 활용하기 위한 것이기 때문에 전압 형태로 출력되는 값은 IAQ센서에서 계산된 PMV값 만을 전달하는 것으로 한다. 디버그용도를 위하여 RS-232방식으로 데이터를 제어기 혹은 PC에 전송할 수 있으며, 이를 위해서는 IAQ센서에서 제공하는 통신 프레임 구조를 확인할 수 있는 프로그램이 구비되어 있어야 한다.

3. 실험장치의 구성과 측정 방법

1) 실험 개요

IAQ센서에 의한 실내 온열환경 통합조절시스템에 대한 성능평가실험은 CO₂농도에 의한 DCV(Demand Controlled Ventilation)작동 성능과 IAQ센서에 의한 실내온열환경을 통합조절성능을 실측하여 분석하기 위한 것이다. 김포시에 위치한 프라이م 빌 모델하우스를 실험 대상공간을 설정하여 실험을 진행하였다(그림 7-43 참조). 대상공간에서



실내 온도, 습도, 복사열, 기류 등 온열환경요소가 측정되어지는 IAQ센서를 설치하였고 IAQ센서에 연동되는 VAV 유닛을 급기·배기 덕트 부분에 설치하여 풍량을 조절하며, 급기팬 토출부의 정압센서를 통하여 팬의 회전수를 제어하도록 하였다. 실의 대표점에서의 센서의 성능을 평가하기 위하여 실에서 기류의 연동공간에 여러 측정점을 설정하였고, 개발한 IAQ센서의 정밀도를 측정하기 위해 Innova사의 PMV측정기와 PMV지수를 비교·평가하였다.

CO₂농도에 의한 DCV제어 시스템의 성능을 평가하기 위하여 경원대학교 건축설비학과 실험실에 실험장치를 구성하였다. 그림 1은 실험장치의 구성과 덕트계통도 및 CO₂센서의 구성도를 나타낸다. 실험실 내부를 실내공간으로 가정하고 외기도입(OA)용 덕트와 배기(EA)용 덕트의 끝단을 외부로 개방하여 설치하였다.

실내의 풍량 조절을 위하여 급기(SA)용 덕트와 순환(RA)용 덕트에 회전수 제어에 의한 풍량 조절이 가능한 송풍기를 설치하였으며, 덕트의 내부에는 풍량조절이 가능한 전동댐퍼와 액츄레이터를 설치하였다. 각각의 CO₂농도에 따라 댐퍼의 각도를 조절하여 환기량을 조절이 가능하도록 제어용 알고리즘을 작성하여 자동제어용 프로그램에 연결하였다. 실내의 CO₂농도를 설정치로 입력하고 실내의 CO₂농도가 설정치의 수준에 도달하도록 급기(OA)용, 배기(EA)용·순환(RA)용 덕트에 설치된 각각의 CO₂센서 및 댐퍼, 액츄레이터가 작동하여 실내의 설정 CO₂농도를 제어하도록 구성하였다. CO₂센서에 의해 측정된 농도를 이용하여 자동으로 댐퍼가 연동되도록 제어방식을 적용하였다. 실험실 내부의 CO₂농도를 변화시키면서 외기의 농도와 연계된 댐퍼의 개도율을 조절하면서 실내농도가 설정치까지 도달하도록 실험장치를 구성하여 시스템



그림 7. DCV 실험을 위한 실험장치



그림 8. IAQ센서 및 DCV 평가 실험전경

의 성능을 평가하였다.

4. 실내환경 통합조절시스템의 성능평가

1) IAQ 센서의 실험 결과

본 실험은 실내 설정조건을 온도 22℃, 상대습도 50%(동계의 쾌적조건)를 기준으로 유지시키며 실험을 진행하였다. 측정시 덴마크의 Innova사의 PMV미터와 IAQ통합센서를 동일 위치에 설치하여 비교, 실험하였다.

그림 9는 착의량을 0.8clo, 활동량(또는 운동량)을 1.6met로 설정한 상태의 PMV값의 변화를 나타낸 것으로 2가지 센서의 PMV값은 평균 0.02 정도

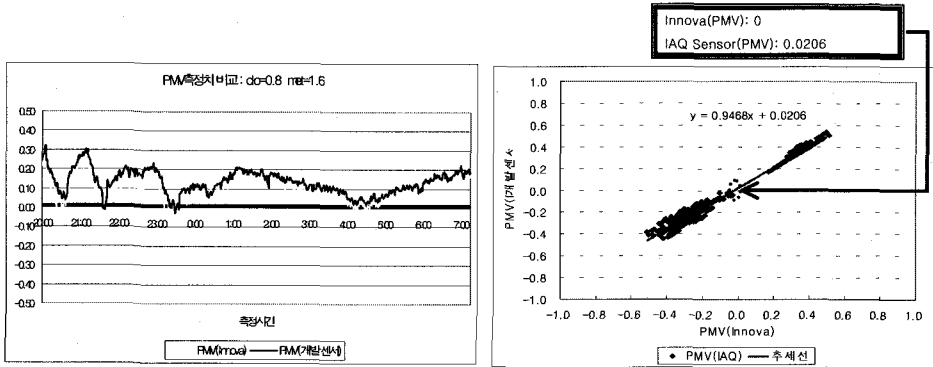


그림 9. PMV Meter(Innova)와 통합 IAQ 센서의 PMV값 비교

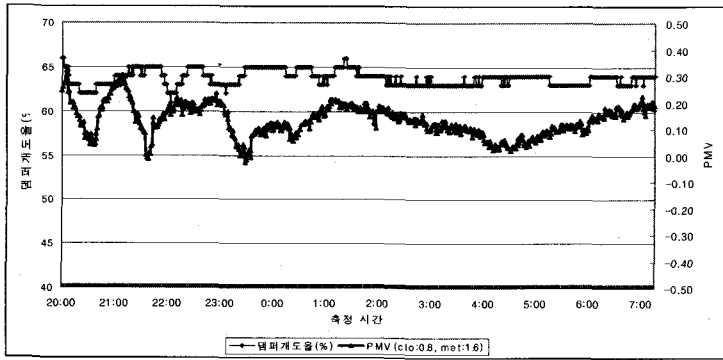


그림 10. PMV 값이 변화에 따라 공급공기(SA)의 풍량팬퍼의 개도를 변화

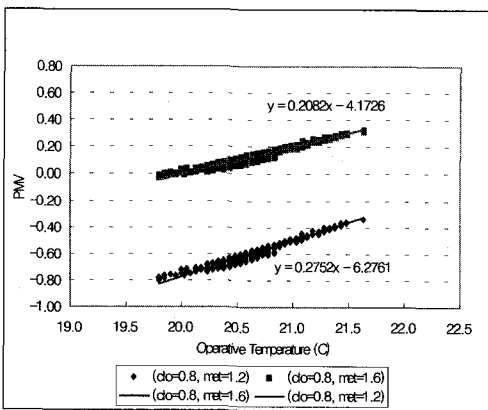


그림 11. 활동량 변화에 따른 PMV 변화 (clo=0.8동일)

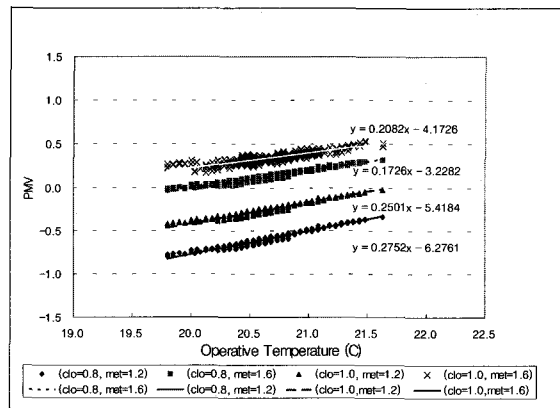


그림 12. 착의량과 활동량에 따른 PMV와 OT 변화량 비교

의 매우 근사한 차이를 보이고 있다. 이때의 실내의 평균 온도와 습도는 각각 건구온도 22℃, 상대습도 43.9%를 나타내었다. 실내 거주자의 상태는 소매를 걷은 상태의 착의량이며, 또한 인체의 대사량은 서 있는 상태와 쇼핑, 연구실 등의 작업을 하는 상태를 나타낸다. IAQ센서에 의한 실내 환경의 제어는 매우 유효하게 작용함을 알 수 있다. 동일한 측정시간대의 IAQ센서와 Innova사의 PMV미터의 PMV값은 최대 2.8%의 오차를 나타냈다. 그림 10에서와 같이 실내의 온습도를 조절하기 위하여 PMV 값이 변화함에 따라 공조시스템 공급공기(SA)의 풍량덤퍼가 연동하여 개도율을 조절하는 상태를 표시하고 있다. 그림 11과 그림 12은 재실인원의 활동량 변화에 따른 PMV 값의 변화를 나타낸 것이다. 동일한 착의량(Clo)에서 활동량이 변화될 경우에 재실자가 느끼는 실내 온열감은 다른 것을 뜻하고 있으며, 실내의 용도에 따라 사용상황을 설정하고 실내의 온열 쾌적성을 제어하기 위하여 온도와 습도를 다르게 유지하는 것을 보여주고 있다.

그림 11과 그림 12는 활동량과 착의량 변화에 따른 PMV 변화량을 OT와 비교하여 나타내었다. 동일한 착의량 상태에서 활동량이 많고 적음에 따라 재실자가 느끼는 온열감은 달라질 수 있다는 것을 알 수 있으며 또한 동일한 활동량에서 착의량이 다를 경우에도 재실자가 느끼는 온열감은 달라지는 것을 알 수 있다. 이는 실의 용도와 재실자의 활동량을 고려하여 실내 온열환경을 구성해야 함을 보여준다.

2) IAQ 센서에 의한 DCV제어 특성

(1) 환기량제어 알고리즘

본 실험은 측정대상 실(6m×8m×3.5m)의 CO₂농도를 1000ppm까지 상승시킨 후 실내 CO₂농도를 감지하여 오염농도에 의한 외기덤퍼의 개도율을 비

례제어하는 방식으로 진행되었다. 이때 실내 CO₂농도가 1000ppm 이상일 때 외기덤퍼의 개도율을 최대로 여는 것으로 하고 최대 개도율은 30%로 설정하였다. 이는 덤퍼의 개도율이 30% 이상이 되면 개도율 변화에 따라 풍량은 큰차이가 없이 거의 최대 풍량을 유지하는 것으로 나타났기 때문이다.

환기량제어 방식은 2가지 대표적인 제어기법을 적용하여 실험을 실시하였다. 첫째 방법은 실내의 CO₂농도에 의하여 정상상태(steady state)에서 필요 환기량을 연산하고 외기량 도입을 위한 외기덤퍼의 개도율을 설정하게 된다. 다음의 CO₂ 농도의 신호에 의하여 개도율을 자동으로 조절할 수 있도록 하여 외기량 조절이 가능하도록 구성되었다. 두 번째 방법은 실내 CO₂ 농도를 조절하는 제어로직 중 실내의 CO₂ 농도차와 실내와 외기의 CO₂ 농도차의 관계식으로 제어하는 방식이다. 즉 현재의 CO₂ 농도값과 10분전의 CO₂ 농도값의 차와 현재 실내 CO₂ 농도값과 현재 외기 CO₂ 농도값의 차에 의한 관계식에 의해서 덤퍼의 개도율을 조절하여 실내 CO₂ 농도를 조절하는 기법으로 실험을 하였다. 재실인원 1인당 CO₂ 방출량은 0.22 l/min으로 설정하였고 재실인원이 7인~16인으로 변화하는 것으로 가정하여 실험을 실시하였다. 또한 1인당 CO₂ 발생량에 따른 필요환기량은 25m³로 가정하였다.

(2) 실내 CO₂농도에 따른 환기량 제어(정상상태)

그림 14는 실내 CO₂ 농도에 의하여 환기량을 결정하고 덤퍼의 개도율을 조정하여 실내 CO₂ 농도가 설정치에 도달하도록 제어되는 모습을 나타낸다. 초기 실내 CO₂ 농도를 1000ppm 이상으로 상승시킨 후 1시간 동안 실내 CO₂ 방출량을 2.5 l/min(12인 기준)으로 설정하였으며, 이때 DCV제어가 작동되면서 실내 CO₂ 농도가 20분까지 급격히 감소하는 것을 보여주고 있으며, 실내 CO₂ 농도는 800ppm 이하로 유지되는 것으로 나타났다. 이

1) 제어로직 1: 정상상태 따른 환기량 제어

$$N(t) = Q_o(t) [C(t) - C_o(t)]$$

$N(t)$: 오염물질 발생량 (m³/h)
 $C(t)$: 실내 오염농도 (m³/m³)
 $C_o(t)$: 외기 오염농도 (m³/m³)
 $Q_o(t)$: 외기도입량 (m³/h)
 v : 실 체적 (m³)
 t : 측정시간 간격 10min

2) 제어로직 2: 재실자 예측에 의한 비례제어

$$N(t) = v[C(t) - C(t - \Delta t)] + Q_o(t) [C(t) - C_o(t)] \quad P(t) = N(t) / G$$

$N(t)$: 오염물질 발생량 (m³/h)
 $C(t)$: 실내 오염농도 (m³/m³)
 $C_o(t)$: 외기 오염농도 (m³/m³)
 $Q_o(t)$: 외기도입량 (m³/h)
 v : 실 체적 (m³)
 Δt : 측정시간 간격 (h)

$P(t)$: 재실자 수
 G : 1인당 오염물질 발생량

•재실인원 변화: 60분 간격
 ▪ 재실인원 수: 12명 (2.5ℓ/min), 16명 (3.5ℓ/min), 7명 (1.5ℓ/min)
 ※ 1인당 CO₂ 발생량: 0.006 ~ 0.013m³/h

그림 13. 외기도입량을 결정하는 환기량제어 기법

● 제어로직1 실험 결과

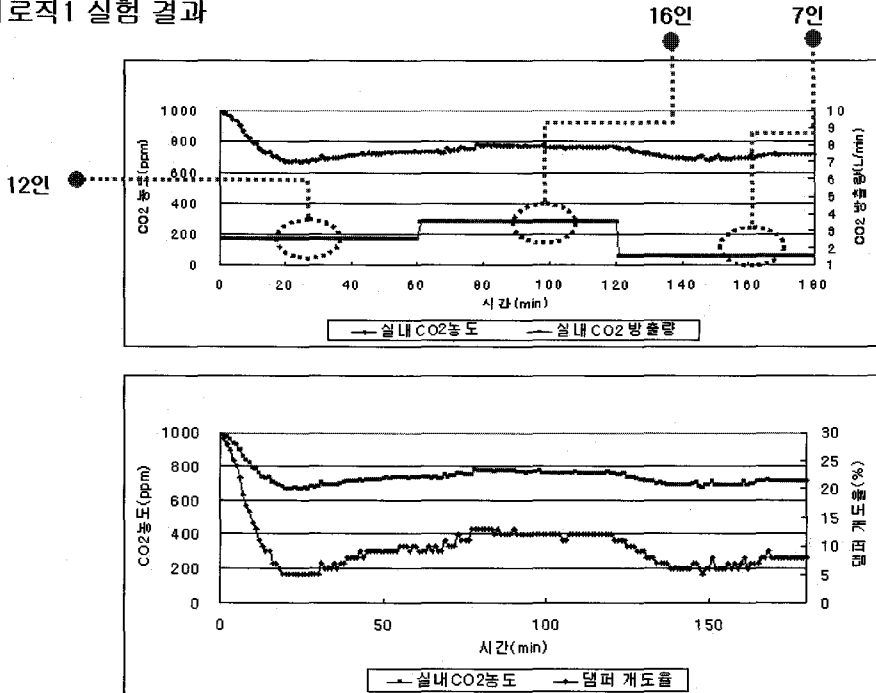


그림 14. 실내의 CO₂ 농도에 따른 정상상태의 DCV 제어와 실내 CO₂ 농도변화

● 제어로직2 실험 결과

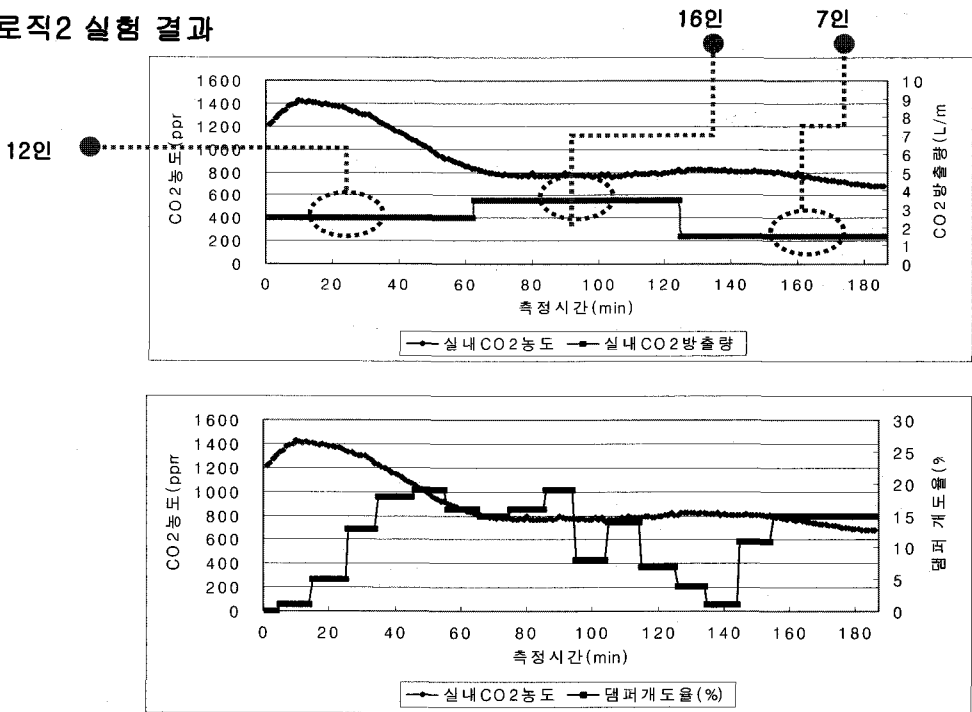


그림 15. 실내 CO₂ 농도의 전후 농도변화를 고려한 DCV 제어와 실내 CO₂ 농도변화

후에 재실인원의 수를 3.5 l/min(16인 기준)으로 증가시킨 뒤 1시간을 유지하고 그 다음 1시간 동안은 1.5 l/min(7인기준)로 낮추어 변화시키며, 실험을 실시한 경과를 보여 준다. 실내의 시뮬레이션 조건에 따라 CO₂ 농도가 800ppm 이하로 유지되고 있음을 보여준다. 실내 CO₂ 농도가 1000ppm 일 때 댐퍼의 개폐율은 30%로 나타났고 이후 1시간동안 개폐율은 5~10% 범위에서 변화하고 있으며, 실내 CO₂ 농도가 약 800ppm 이하로 제어되고 있다. 또한 실내 CO₂ 발생량을 2.5 l/min에서 3.5 l/min으로 증가했을 때 댐퍼의 개폐율이 10~15% 범위에서 변화하는 것으로 나타났고 실내 CO₂ 농도를 약 780ppm 정도를 유지하였다. 실내 CO₂ 발생량을 3.5 l/min에서 1.5 l/min으로 감소시켰을 경우에

댐퍼의 개도율은 5~8% 정도로 변화되어 재실인원 수의 변화에 따라 댐퍼 개도율이 이에 대응하여 외기량을 제어하고 있음을 보여주고 있다.

(3) 실시간 전후 CO₂ 농도차에 의한 환기량 제어

그림 15는 실내 CO₂ 농도와 외기 CO₂ 농도의 변화에 따른 DCV 제어 기법을 적용한 경우의 실내 CO₂ 농도 변화를 나타낸다.

실험결과를 보면 댐퍼의 개도율이 0~28%의 변화를 보이고 있으며, 실내 CO₂ 농도의 차이와 외기 CO₂ 농도의 차이에 의하여 산정된 적정한 외기량을 도입하기 위한 작동 상태를 나타내고 있다. 실험 시작 후에 초기 20분간 CO₂ 농도가 기준치보다 다소 높은 값을 나타냈으나 시스템이 안정되면서 이후에는 실내 설정치 이하를 보이고 있다. DCV 제어

기법에 의해서 실내 CO₂ 방출량의 증감의 시점에서 10분의 전후하여 CO₂ 농도도 증감하는 것으로 나타났다. 실내 CO₂ 농도와 외기의 CO₂ 농도차에 의한 실험은 실내 CO₂ 농도에 따른 정상상태의 제어로직에 비하여 댐퍼의 개도율의 변화 범위가 컸으며 실내 CO₂ 농도는 정상상태의 제어기법의 경우에 800ppm이하로 유지되고 있는 것에 비하여 실내 CO₂ 농도와 외기의 CO₂ 농도차에 의한 기법에서는 700~900ppm에서 다소 유동적인 실내 농도를 나타내고 있다.

5. 맺음말

본 연구에서는 건축물의 용도에 적합한 실내 환경의 창출을 위한 실내환경제어 및 에너지절약 시스템의 최적화 제어기술의 개발을 목표로 하여 실내환경 통합제어시스템을 개발하여 실용화하였다. 건축물의 냉·난방 계획, 환기 계획에 대한 요소별 기술과 공조 제어 방식을 검토하고, 공조 부하 특성을 정량적으로 분석·검토하며 실내환경을 최적화시킬 수 있는 기법으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 실내 쾌적환경은 PMV-PPD 알고리즘을 기초로하여 PMV 센서와 제어기를 국산화 개발하였으며, 또한 쾌적한 실내 공기환경을 확보하기 위하여 IAQ 센서를 기본으로 하는 환기량 최적제어인 DCV 알고리즘을 정립하였다. 이에 의한 공조시스템 제어기를 개발하였고, 실제 공간에서의 제어특성에 대한 검증과 평가실험을 통하여 개발제품의 신뢰성을 구축하였다. 이를 통하여 실내환경의 최적제어를 위한 통합센서와 공조시스템 제어기를 BACnet에 의하여 구동할 수 있도록 건물의 통합자동제어와 연계가 가능하도록 제반환경을 마련하였다.

1. IAQ 센서는 열환경의 6가지 인자(기온, 기류, 습도, 평균 복사온도, 활동량, 착의량)에 의한 영향

을 종합하여 열쾌적성을 평가하는 지표인 PMV값으로 나타내도록 제작하였고 이를 토대로 실내환경을 제어할 수 있도록 구성하였다. 또한 환기량제어 방식인 CO₂센서에 의한 DCV의 시스템 제어방식에 의하여 구성된 급기·환기·배기의 풍량제어를 통하여 실내온열환경과 공기환경을 통합제어 할 수 있는 제품을 개발하였으며, 이에 대한 시스템 통합제어기를 개발하고 BACnet 프로그램을 활용할 수 있는 표준 프로토콜의 신호를 입·출력을 받으며 설정된 상황에 따라 값을 변화하여 댐퍼를 자동적으로 연동 및 조절할 수 있게 설치하였고, 이를 제어용 컴퓨터에서 실시간으로 모니터링하고 요구하는 환경의 제어(조절)가 가능한 실내환경 통합제어 시스템을 완성하였다.

2. DCV 시스템 실험결과 재실자의 변화에 따른 환기량제어와 실내 CO₂ 발생량에 따른 환기량제어 방식을 개발하였다. 적용한 제어기법을 통한 실내 최적의 환기량제어는 실내 CO₂ 발생에 따라 댐퍼의 개도율을 조절하여 실내 CO₂ 환경을 700ppm~800ppm으로 유지시키며 제어되었다. DCV를 통한 환기량 조절방식은 기존건물에서 행해지는 방식에 비해 과다한 외기도입을 줄이면서 외기도입량에 따른 부하발생을 감소시켜 에너지의 절감과 쾌적한 공기환경을 확보할 수 있는 것을 확인하였다.

3. 통합 IAQ 센서의 성능의 정밀도를 검증·평가하기 위하여 Innova사에서 개발한 고성능 고가 장비인 PMV측정기와 본 연구에서 개발된 IAQ 센서를 동일조건에서 비교측정을 실시하였다. 동일한 측정시간대의 본 사업의 개발센서와 Innova사의 PMV측정기의 PMV값 최대오차는 2.8% 이내의 오차를 나타냈다. 따라서 개발된 IAQ 센서의 성능은 저렴한 가격 조건을 갖춘 중

분히 신뢰성 있는 제품으로의 구현이 가능하였다. 또한 기존의 온도, 습도 센서와 같이 단일 인자에 의하여 실내의 온습도 제어에 국한되었던 냉난방 공조설비의 제어환경을 거주자의 쾌적지표를 기초로 보다 적극적인 방법에 의한 종합환경 제어기법으로 확장하는 성과를 달성하였다.

현재까지 많은 연구에 의하여 재실자에게 알맞은 최적의 실내환경을 창출하기 위하여 실내 온열환경의 쾌적성, 실내공기오염의 원인과 제거를 위한 노력이 계속되고 있다. 결론적으로 실내환경의 질(Indoor Environmental Quality)은 재실자에게 안전하고 쾌적한 조건으로 유지되어야 하며, 실내에서 발생할 수 있는 오염물질을 충분히 제거 또는 희석시킬 수 있도록 고려되어야 한다. 에너지절약을 위하여 일방적으로 환경의 질을 저하시키는 것은 실내환경을 악화시킬 수 있으며, 불쾌적 환경이 조성되어 거주환경의 악화로 인하여 생산성의 저하, 보건, 건강의 피해 등이 나타날 수 있다. 따라서 에너지절약과 실내환경의 질적 향상이란 상반된 입장을 모두 만족시킬 수 있

는 방법들이 면밀히 검토되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 한국공기청정연구조합, 2001, 실내환경 통합조절시스템 기술개발에 관한 연구, 산자부보고서
2. ASHRAE, 1991, "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", ANSI/ASHRAE Standard 62-1989.
3. Liddament, M.W., 1996, *A Guide to Energy Efficient Ventilation*, The Air Infiltration and Ventilation Center, Univ. of Warwick Science Park, Great Britain.
4. Liu, R.-T. and Huza, M.A., 1995, "Filtration and Indoor Air Quality: A Practical Approach", *ASHRAE Journal*, February 1995, pp.18-23.
5. Moschandreas, D.J., Choi, S.W. and Meckler, M., 1995, "Testing of VAV/BPFS for Reduced Energy Consumption and Improved IAQ", *IAQ 95 Practical Engineering for IAQ*, ASHRAE.