CO_2제어 개보수 평가

Mike Schell and Doug Smith
(ASHRAE Journal- Vol.44, No.11, 2002)

번역 : 허정호/ 정회원, 서울시립대학교 건축도시조경학부(건축공학전공) 교수(huhj0715@uos.ac.kr)

키워드: 환기, CO_2환기제어, 수요제어환기(DCV: Demand Control Ventilation), 개보수(retrofit), HVAC 시스템평가, 건물자동화시스템(BAS: Building Automation System) 평가, 에너지절약 분석

CO_2환기제어는 신축건물에서 흔히 사용되고 있지만, 기존의 건물에서는 그 적용 예가 흔하지는 않다. 아마도 개보수라는 것이 가능하다고 여겨지는 자원절감이나 이익에 대한 방대한 기록이 요구되기 때문이며 게다가 제어에 관한 개보수는 복잡하다는 인식에 기인한다. 공교롭게도, 에너지 사용 패턴에 대한 명확한 기록이 있는 기존의 건물에 가장 에너지절약적인 기회가 많다는 사실이다.

이 기고문에서는 기존 건물의 CO_2개보수에 관하여 그 가능성 평가에 대한 방법론을 제시하고 있으며, 현장 평가와 이 방법론을 적용한 A-등급 사무소 건물에서의 개보수를 통한 성능개선에 관하여 분석하고 있다. 대상은 첨단 DDC시스템이 있는 미국 환경청의 에너지스타 등급을 획득한 건물이다.

1. 배경

대부분의 건물에서 외기를 이용해서 환기를 실시할 때, 재실 상태의 변동에 대한 영향을 반영하지 않고 있다. 대개는, 최대 재실자에 적합한 일정 외기량을 도입하는 방법을 사용해 왔다. 기류 스테이션이 없는 대부분의 건물에서는, 건물 커미셔닝 단계에서 에어 발랜서를 사용하여 일정량으로 설정해 놓는다. 건물이 재실되어 환기설정이 조절되게 되면, 원래의 재실상태에 대한 가정은 더 이상 유효하지 않게 된다. CO_2를 이용한 환기제어는 건물이 가동되는 전 기간 동안 외기환기량을 확보할 수 있는 운전방법이다.

측정하지 않으면 제어할 수도 없다. 환기의 경우, 적절하고 안정된 센서기술은 존에서의 신선 외기환기량을 평가하기 위하여 CO_2농도를 이용한다[1]. CO_2 측정치를 적절하게 이용하면, 항상 환기량(cfm/인)을 확보함으로써 제어할 수 있다[2].

CO_2환기제어의 가장 대표적인 예는 재실상태가 상당히 유동적이거나 간헐적인 용도의 공간이다(예를 들면, 극장, 회의실, 학교 체육관, 교실, 소매점, 병원). 그러나, 재실상태가 이 보다 더 안정적이고 재실밀도가 낮은 건물에서도 CO_2센서를 이용하는 환기제어는 효과적으로 적용할 수 있다. 자동화건물 제어시스템과 통합된 CO_2 존제어는 건물전생애 기간 동안 원래의 설계환기량에 부합되도록 해준다. 어쩔 수 없이 변경되는 재실밀도 및 재실스케줄은 CO_2환기제어를 통하여 측정되고 보상될 수 있다.

외기환기를 측정하고 제어할 수 있는 기능은 건물 운영자에게는 중요한 도구이다. 외기도입의 초기 설정 값은 흔히 재실자의 불만으로 인해 재조정된다. 어떤 경우, 시설관리 요원은 경험적으로 외기 대비 재순환공기 비율 20%을 이용하여 외기도입 댐퍼를 설정한다. 댐퍼위치와 공기량간의 관계가 지수함수라면, 20% 댐퍼위치는 흔히 20% 외기량을 훨씬 상회하게 된다. 이러한 커미셔닝 후단계 조정은 많은 건물이 훨씬 과도하게, 심지어는 원래의 설계최대 공기량보다 더 환기된다는 것을 의미한다. CO_2제어는 외기도입 댐퍼의 수동조절을 불필요하게 하고 건물의 현재 재실상태에 맞게 외기량을 도입할 수 있게

유지한다.

CO_2기반 제어방안은 재실밀도 혹은 아래와 같은 재실상태에 상관없이 건물운영을 향상시킬 수 있다.

- CO_2레벨은 재실상태를 알려주는 좋은 신호이며 건물 가동/중단 사이클 강화를 위하여 사용될 수 있다. 어떤 서모스탯은 재실 및 비 재실을 결정하기 위하여 CO_2레벨을 이용한다.
- 환기되는 공기는 공기측 주요 기기장치 이외에 다양한 원인(예, 건물 내에서 기류전달, 침입공기, 문 및 창문의 개방)으로부터 기인한다. 만약, 요구 환기량의 전부 혹은 일부가 이러한 원인으로 만족된다고 보면, CO_2환기제어시스템은 추가로 기계시스템에 의해 외기를 공조할 필요가 없게된다.
- CO_2레벨이 기준치와 차이를 보인다면 건물의 운영상태를 나타내는 지표로 볼 수 있다. 예를 들면, 만약 CO_2레벨이 특히 높거나 낮다면, 공기계통 시스템에 이상이 있을 수 있다. 급기의 높은 CO_2레벨은 연소된 공기가 외기도입부로 들어온다는 근거로 사용되어왔다(연소공기는 CO_2부피농도로 대개 8~12%임)[3]. **그림 1**에서와 같이, CO_2레벨은 막힌 공조기필터로 인하여 교실에 공기를 효과적으로 공급하지 못하는 시기를 알려주는 데에도 이용되어왔다[4].

CO_2환기 제어시스템이 적절하게 작동하기 위해서는 건물전체 제어시스템이 정상적으로 운영되어야한다. 흔히, CO_2환기제어를 실행하기 전에 고쳐야하는 기존건물의 문제는 규명되어야한다[5]. 또한, CO_2환기제어의 개보수 프로세스를 통하여 과거에는 알지 못했거나 무시했던 건물의 문제점을 파악하기도 한다.

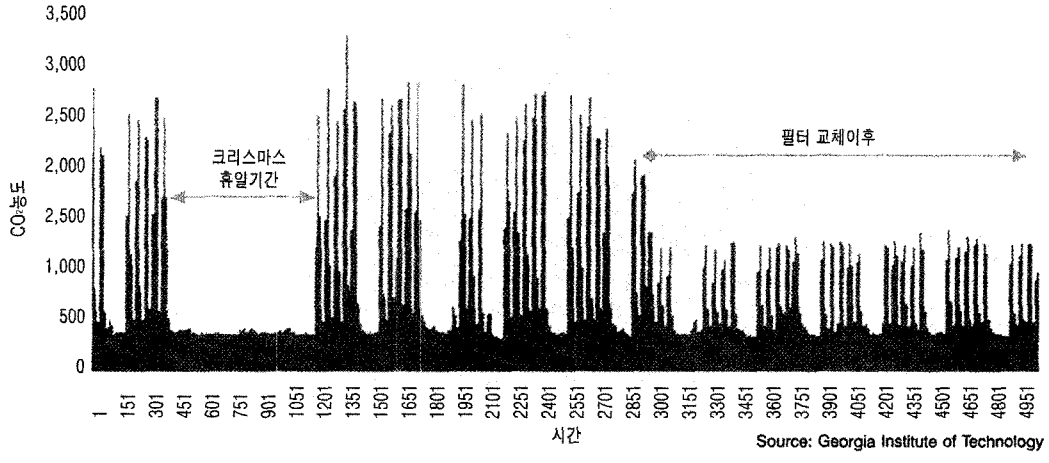
2. CO_2환기제어 개선의 대상

CO_2환기제어 개보수가 얼마나 복잡한가는 현재 사용되고 있는 건물자동화시스템의 종류와 관련된다. 이상적으로는, 계측과 제어는 같은 층 혹은 존레벨과 중앙 공조기에서 이루어져야 한다.

이상적인 대상은 존기반 센서용 입출력 점이 있고, CO_2기반 환기제어가 가능하거나 혹은 이를 위한 프로그램이 가능한 DDC시스템이 있는 건물이다. 센서의 선택은 가격에 의해 좌우되기보다 오히려 정확도, 안정성과 신호의 재현성에 따라 결정해야한다. 또한, 다수의 자동제어 기술자는 단지 DCV 디자인 시퀀스를 개발경험이 없으므로 경험있는 컨설턴트의 역할이 필요하다. 흔히 새로운 시스템은 설치하기는 매우 쉽지만, 개보수 구성은 전문성을 더 요구하게 된다.

센서를 새로이 개발함으로써 아래와 같은 적용사례에는 개보수를 용이하게 된다.

- 몇몇 시스템은 개별 존에 설치된 CO_2겸용 온도센서로 VAV시스템의 일부분으로서 CO_2와 온도제어를 통합하고 있다.
- 온도 및 CO_2에 의해 VAV박스를 로컬 제어할 수



[그림 1] 학교건물의 CO_2레벨과 공기필터 청소(1998년 12월~1999년 3월)

있는 센서가 있다.
- 셋백 온도제어, CO_2환기제어, 이코노마이저 제어 기능을 통합할 수 있는 저렴한 단일 존용 CO_2센서가 있다.

일반적으로 설계자는 시스템의 비용을 줄이기 위하여 환기덕트 내에 단독으로 CO_2센서를 설치한다. 이런 방법은 단일존에서는 괜찮지만, 복합존 시스템에서는 온도센서를 환기덕트 내에 설치하지 않는 것과 같이 권장할 만한 사항은 아니다. 덕트 내 어떤 측정치는 모든 존의 평균을 의미하거나 어떤 존이 과도한 환기가 일어나거나 환기가 덜 된다는 것을 의미하지는 않는다.

3. 방법론

본 기고문에서 언급하는 방법론은 지난 몇 년간 미국 전역에 걸쳐 건물관리 업체의 실무를 통하여 개발되어왔다. 이것은 다른 방안과 비교하여 CO_2개보수 방안의 경제성을 평가하고자 하는 건물주의 요구로 개발되었다.

CO_2개보수의 평가방법론과 절차가 여기에 간단히 요약되어 있다. 좀더 세부적인 사항은 다음과 같은 사례연구에 기술되어있다

3.1 프로젝트 에너지소비량 예비분석

과거 12개월 동안 에너지소비량 데이터를 수집하고 에너지통계를 미국 에너지성(DOE)의 건물운영 데이터와 비교한다.[6] 이 DOE데이터는 매년 변동하는 에너지소비량을 기상의 영향만을 고려하여 에너지데이터를 정규화하는 데에 사용할 수 있는 기상데이터(냉난방도일)를 포함하고 있다. 이 데이터의 분석은 대상건물이 일반적으로 그 지역의 다른 건물과 비교하여 에너지를 어떻게 사용되고 있는 가를 보여준다.

3.2 현장데이터 및 분석

두 번째 단계는 실내환경조건인 온도, 상대습도, 이산화탄소를 데이터 로거로 개략적인 자료수집을 실행한다. 일산화탄소와 같은 다른 요소도 측정할 수 있다. 최소 1주일 동안은 측정을 실시해야 한다. 공조기의 환기용 외기가 조절되는 장소마다 적어도 1대 정도의 모니터가 설치되어야한다. 만약, 어떤 장소가 다른 재실밀도 혹은 재실패턴을 갖는 존을 포함한다면 모니터가 설치되어야한다. 이러한 데이터는 재실패턴을 파악할 수 있게 하고, CO_2농도에 따른 환기횟수를 평가할 수 있게 된다. 이상적으로는, 이코노마이저 모드에서 CO_2농도가 매우 낮아져서 건물이 정상적인 난방 또는 냉방모드일 때 CO_2와 외기환기 레벨에 대표성이 없어지면서, 건물이 냉방을 위한 이코노마이저 운전을 하지 않을 때에는 측정되어야 한다

측정기기를 설치하는 동안, 건물관리자와 동행하여 건물 자동제어시스템의 운영을 이해하기 위하여 개략적인 답사가 필요하다. 입주자의 불만이나 건물 운전상의 문제점도 검토한다. 각 존의 재실 패턴과 밀도를 파악한다.

현장데이터를 이용하면, 건물이 전반적으로 과도하게 환기되어 에너지를 절약할 수 있는 기회나 혹은 환기부족의 결과, 환기기준을 유지하기 위하여 건물을 재정비하는데 추가로 소요되는 운영비용을 산정할 수 있다. 어느 경우든, CO_2환기제어는 요구환기에 부응하는 가장 에너지가 적게 소비되는 경제성이 있는 방법이다. 건물주들이 부딪히는 한가지 문제점은: 시공당시의 환기 요구수준을 유지해야하는지 아니면, 현재의 환기기준에 변동이 있다면 이를 반영해야하는가? 이다. 흔히, 외기량을 증가시키고자하는 건물주의 요구에 상관없이 기계/ 건물 디자인의 제약조건으로 환기를 더 이상 증가시키지 못하기도 한다. 증가된 외기량을 공조하는 용량이 부족하거나 관련된 설비기기에 대한 상당한 투자 없이는 더 많은 외기를 공조기로 처리할 수는 없다.

3.3 HVAC 시스템 평가

이 단계에서는 건물의 원 설계자료 건물운영 절차와 스케줄, 설계용 재실상태, 설계용 환기요구량, 설계의 기반으로서 기준 혹은 법조항의 버전을 검토한다. 현 운영상태를 원래의 설계상태와 비교하여야 한다.

3.4 건물자동화시스템 평가

다음은, 건물의 자동화시스템과 통합된 CO_2환기제어의 가능성을 평가한다. 고려해야하는 인자는 다음과 같다.

- 적절한 CO_2환기제어 알고리즘을 시스템에 프로그래밍 할 수 있는가?
- 중앙 외기취입구에서 외기를 조절할 수 있는 포인트가 시스템에 있는지? 이 제어 능력이 없다면 추가 기기장치가 필요하다.
- CO_2센서를 위한 충분한 입력포인트가 건물자동화시스템에 있는지?
- 건물을 최적으로 운전하기 위해서는 어떤 다른 기기, 제어전략 혹은 프로그램 수정이 권장되어야 하는가?

3.5 CO_2제어 시뮬레이션 및 에너지절감 분석

1주간의 CO_2측정데이터를 기반으로, 최대 CO_2농도를 이용하여 각 존에 공급되는 환기량을 평가한다. 이러한 방법은 CO_2농도가 최대가 되고 CO_2 발생량과 외기환기량 간에 평형이 이루어져야 한다.

그 다음은, 고정된 환기량에 의해 외기를 공조하는 비용과 재실밀도와 패턴을 기반으로 CO_2제어 방법을 상호비교하기 위하여 에너지분석을 실시한다.

센서 및 기기 제조사들은 이러한 에너지분석을 위하여 에너지가격 및 기상자료를 사용하는 자체 시뮬레이션 프로그램을 출시하고 있다. 아래의 사례연구는 저자들이 개발한 프로그램에 의한 것이다. 이 프로그램의 CO_2분석 부분은 ASHRAE Transactions[7]에 게재되어 있다. 이 프로그램은 시간별 이슬점과 온도 데이터를 사용하며 자연냉방이 가능한 조건에서는 이코노마이저 운전을 크게 고려하지 않는다. DOE-2와 같은 다른 프로그램도 이러한 분석이 가능하다.

분석결과와 개보수 예상비용에 의해 프로젝트의 투자비 회수가 계산된다.

3.6 시공 후 평가

예상되는 절약량과 실제 기상데이터에 의해 건물의 전반적인 성능을 검토한다. 원래 프로젝트 평가에 사용된 방법에 의해 상황 보고서를 준비하여 프로젝트가 완료된 지 6~12개월 후에는 고객에게 제출한다.

4. CO_2 개보수의 사례연구

사례대상은 28층 건물로서 기업체소유이며 자산관리가 되고 있다. 이 건물은 남부의 한 주에 있으며 HVAC 냉방부하가 상대적으로 크며, 겨울철 난방부하도 존재한다. 고객의 포트폴리오가 많은 다양한 건물로 이루어져 있어서, 에너지가격은 상당히 저렴하다. 이러한 측면은 에너지절약비용을 추출하는 프로세스를 더욱 어렵게 만든다. 대상건물은 전반적인 DDC 자동화시스템을 갖추고 있다.

에너지스타 인증을 받은 건물이므로 건물주는 에너지절감을 더 실현한다는 측면에 대하여 CO_2기반 환기제어조차도 처음에는 회의적이었다.

CO_2센서는 보통 재실되는 곳 혹은 각 층에서 환기를 반드시 해야하는 핵심구역에서는 벽에 설치되었다. 각 실에 들어가는 외기환기는 해당 층에서 측정된 CO_2 최고농도에 비례제어 된다. 최소 환기량은 재실자와 무관한 인자를 제어하고 건물의 가압을 유지하기 위하여 재실시간 동안 유지되었다.

가동 후 처음 6개월 이내에 전기 및 증기부하가 현저히 낮아져서 연간 예상 절감량의 57%이상이 감소되었다(연간 50%정도 만이 적극적인 CO_2환기제어가 됨). 원래의 단순 투자수익율은 2.2년이었으나 지금은 1.5년 미만으로 예상되고 있다.

다음은 사례건물에 CO_2개보수 방법론을 어떻게 실행하였는가에 대한 설명이다.

4.1 프로젝트 에너지소비량 예비분석

과거의 12개월 동안의 전기 및 증기 사용량을 이용한다. 동일한 기상조건에 있는 유사한 건물의 그래프 및 EIA 지표를 비교할 때, 건물의 전반적인 성능은 유사한 건물의 좀더 큰 데이터베이스와 비교해 볼 수 있다.

그림 2는 EIA 기상 존 혹은 남부의 평균 건물보다 대상건물이 더 많은 에너지(Btu/ft^2/yr)를 사용하고 있는 것을 보여주고 있다. 그래서, 에너지스타 건물로 등급 지정되었지만 에너지경비를 최소화하는 최적상태로 운전되지는 않고 있었다. 이것은 과도한 환기와 재열 그리고/ 또는 과도한 운전 스케줄이 원인이다. 이러한 데이터는 성능향상이 가능하다는 것을 보여준다. 운전비용분석을 위하여 단위면적당 비용과도 비교하였다.

그림 3에서와 같이, 사무용건물의 운전비용은 EIA 평균 보다 더 든다. 두 지표로부터, 대상건물이 CO_2 환기제어를 이용하여 에너지절감 가능성이 높다는

것으로 결론지을 수 있다. 실제 CO_2 제어의 가능성이 건물 평가의 모니터링 단계의 일부분으로 평가될 것이다.

1단계의 마지막부분은 시스템향상을 통하여 가능한 년간 절감량을 평가하는 것이다. 실제 에너지 소비량 데이터는 데이터분석과 실물크기의 건물 운전비용을 계산하기 위하여 구입된 에너지가격을 EIA 지표와 곱함으로써 전 에너지비용 측면에서 비교된다(**그림 4**).

전반적으로, 건물의 평가는 년간 약 205,000달러의 운전비용의 절감을 의미한다.

4.2 현장데이터 및 분석

건물의 주요 존에 대한 실내 환경데이터를 수집하였으며, 거의 대부분의 평면은 오픈식으로 되었다. **그림 5**는 7.5인/1000ft^{2}의 재실밀도를 갖는 대표적인 층의 결과를 보여주고 있다. 다른 층은 재실밀도에 따라 경미하게 변하며 유사한 결과를 보이고 있다. 환기량을 평가하기 위하여 CO_2 측정을 할 때, 두 가지의 중요한 규칙이 있다.

- 내외 CO_2 농도 차에 따라 계산하며 재실자의 활동량을 고려하여야 한다.
- 농도는 실내에서 평형상태 혹은 이에 근접해야한다. 일반적으로, 이 점은 CO_2 레벨이 피크가 되고 1~2시간 동안 농도변화가 거의 일어나지 않는다.

실내외 CO_2 차이로부터 환기율(cfm/인)을 유도하기 위하여 다음과 같은 식이 사용된다.

$$Voa = \frac{N}{(Cs-Coa)} \qquad (1)$$

여기서,

Voa: 실내에 들어오는 외기량[cfm]
혹은 [L/s · 인]

N: 재실자의 활동량에 따른 CO_2 발생량 (가이드라인은 ASHRAE Handbook-Fundamentals, 8장, **표 4**를 참조)

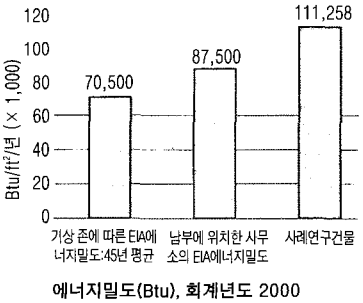
Cs: 평형상태의 실내 CO_2 농도

Coa: 외기의 CO_2 농도

본 대상건물의 경우, 외기농도는 10일간의 측정을 통하여 대략 400ppm 근방에서 평형을 이룬다는 사실을 알 수 있었다. 재실자의 활동량은 사무실환경에서 흔히 볼 수 있는 정도로 관찰되었다. 그러므로, 활동량 정도는 1.2met(70W/m^2)로 가정하였다. **그림 6**에서와 같이 하루동안의 변동 데이터를 자세히 볼 수 있고, 보통의 재실상태에 따른 주기적인 변화로 몇 시간동안 CO_2농도 675ppm정도에서 평형상태를 보인다. CO_2농도가 675~720ppm 범위에서 평형을 이룬다면, 식 (1)을 이용하여 환기량은 34 cfm/인(17 L/s)이상으로 계산된다.

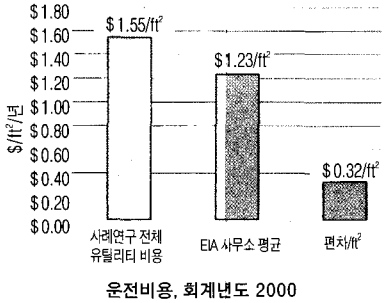
그림 5에서와 같이, CO_2농도 변화추이는 측정이 실시된 평일 내내 같은 양상이었다. 만약, 실내가 20 cfm/인(10 L/s)로 환기된다면, 평형상태가 되는 CO_2농도는 930ppm이 된다. 토요일의 농도는 낮아 환기가 많이 된다는 것을 의미하며 이는 흔히 볼 수 있는 주말 재실밀도가 낮은 것과 유사하다. 이와 같이, 낮은 재실상태이지만 건물은 재실상태가 최대인 것처럼 운전되고 있다.

일일 실내온도는 재실패턴에 따라 달라진다. 이것은 에너지비용을 줄이기 위한 야간 세드백온도의 함수이며 비재실기간 발생되는 부압으로 인하여 외기



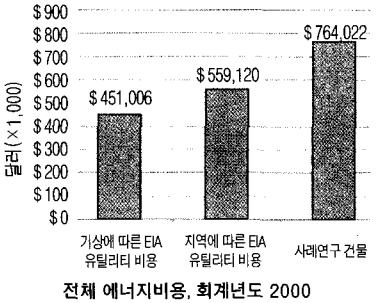
에너지밀도(Btu), 회계년도 2000

[그림 2] DOE 기준데이터와의 에너지 소비량(Btu) 비교



운전비용, 회계년도 2000

[그림 3] DOE 기준데이터와의 년간 단위 면적당 에너지비용($/ft^2) 비교



전체 에너지비용, 회계년도 2000

[그림 4] DOE 기준데이터와의 년간 에너지비용 비교

가 건물에 들어온 결과이다. 부압은 각 층의 공조기가 정지된 후에도 건물의 배기팬이 계속 가동된 결과이다. 그 명확한 근거는 각 층의 기록된 온도와 같이 CO_2농도가 급격히 낮아진다는 것이다(**그림 5** 및 **그림 6**). 최대 재실상태가 시작된 몇 시간 내에 CO_2레벨은 외기 기준조건에 접근하면서 폭락한다. 배기가 현저히 줄어들거나 없어진다면, CO_2레벨이 낮아지는 정도가 늦추어져서 침입외기가 적어지고 따라서, 나중에 재실기간동안 이 외기를 공조할 필요가 줄어들게 된다.

대상건물이 다습한 기후에 있다면, 비 재실기간동안 인입된 습기의 실내공기질에 대한 영향이 걱정이다. 이러한 배기 문제를 해결하면 연중 실내조건이 향상되며 에너지절감을 위한 각층 공조시스템의 시작시간을 상당히 늦추게 된다. 이러한 사이클에 있어서, 하루동안의 시스템 동적인 양상을 **그림 6**에서 자세히 볼 수 있다. 오전2:45 이전 실내온도의 변화와 같이, 쾌적조건이 다시 되려면 몇 시간 소요되므로 일요일 하루동안 가동을 중단한 후 층별 공조기는 미리 공조를 시작한다. 그러나, 20~30분내에 실내 겨울철 난방 설정점(72°F(22℃))에 이른다는 사실도 알 수 있다. 이후 몇 시간 동안 아직 실내근무지는 없다. 이러한 데이터는 다른 층과 같이 모든 공조기의 가동/정지 횟수를 효과적으로 진단하기 위하여 사용된다.

4.3 HVAC 시스템 평가

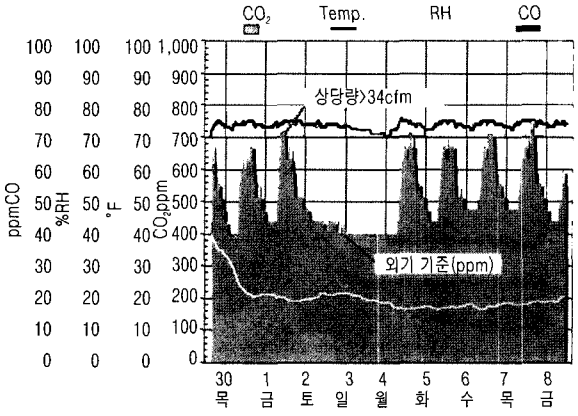
사례연구 대상 건물의 핵심 HVAC설계에는 각 층에 2대의 공조기, 원 설계에는 외기가 이 공조기에 인입되어 릴레이(개폐식)댐퍼에 의하여 제어되는 것으로 되어있다. 보통의 건물 배기는 기류량이 약간 틀려도 한 쌍의 수직 입상덕트에 의하여 이루어진다. 열원시스템은 약간의 수정을 통하여 DCV 적용에 이상적으로 적합하다.

4.4 건물자동화시스템 평가

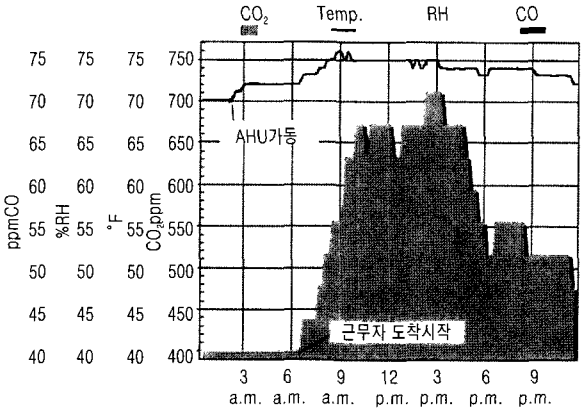
전술의 운전실적 분석으로부터 계획단계로의 피드 사례연구대상 건물은 DCV를 실행할 수 있는 DDC BAS를 가지고 있으며, 추가로 필요한 기기품목(CO_2 센서, 주변 입출력 모듈 등)을 첨가할 수 있는 능력이 충분히 있었다. 각 층 공조기는 해당 층에 급기를 조절하기 위하여 릴레이식 외기댐퍼 구동기를 완전 전기모터식 구동기로 전환할 필요가 있었다. 건물의 일정한 부압을 완화시키고, 양압 또는 부압의 측정오차가 생기지 않도록 새로운 정압센서를 바람이 불어나가는 쪽의 로비부근에 설치하였다. 외기에 비해 양압을 유지하면서 외기취입량과 배기요구량의 균형을 위하여, 배기 팬에 가변 주파수 드라이브(VFDs)를 첨가 설치하였다.

4.5 CO_2제어 시뮬레이션 및 에너지절감 분석

사례연구 대상 건물은 년간 에너지절감을 정확하게 평가하기 위하여 층별로 모델링하였다. 소프트웨어는 CO_2기반 환기를 제어하기 위하여 환기목적으로 일정한 환기량으로 인입되는 외기를 공조하는데 드는 비용을 비교한다. 제어알고리즘은 CO_2농도가 실



[그림 5] 사례연구 건물 한개 층에서 7일간의 환경프로파일



[그림 6] 사례연구 건물 한개 층에서 하루 동안의 환경프로파일

내 CO_2농도에 따라 선형적으로 조절된다고 가정한다. 재실상태는 10일간 모니터링한 것과 비슷하다고 가정하였다.

사례건물의 경우, CO_2 모델링은 년간 절감량이 $81,000이상으로 예측되었다. 이 절감량은 에너지 비용 전체의 10% 절약량과 같으며 평균 $3,000/층/년, $0.22/ft^2/년($2.37/m^2/년)과 같다. 이러한 절감량으로 투자비회수가 2.2년이 된다.

4.6 시공 후 평가

주로 CO_2기반 환기제어의 가능성을 결정하기 위하여 건물을 연구한 결과, 에너지를 더욱 절감할 수 있는 다른 운전문제가 발견되었다. CO_2제어시스템의 수정은 센서설치, 각층 공조기의 외기 댐퍼 구동기 그리고 실내 CO_2농도에 따라 외기를 제어하기 위한 DDC시스템의 프로그래밍을 포함한다. 건물의 다른 수정사항은 CO_2제어시스템과 직접적인 관련이 없지만 다음을 포함한다.

- 모니터링하면서 조사된 재실 패턴을 검토하고 이전에 사용된 것 보다 더 짧은 재실 전 공조시간을 수용하기 위하여, 공조기 일일 재실스케줄을 약간 수정함
- 침입외기를 줄이고 건물 가압제어를 향상시키기 위하여, 건물내의 압력센서를 재 위치시키고 건물 외기취입과 배기구에 VFDs를 설치함

6개월 이내에 아래와 같은 절감이 모두 이루어짐:

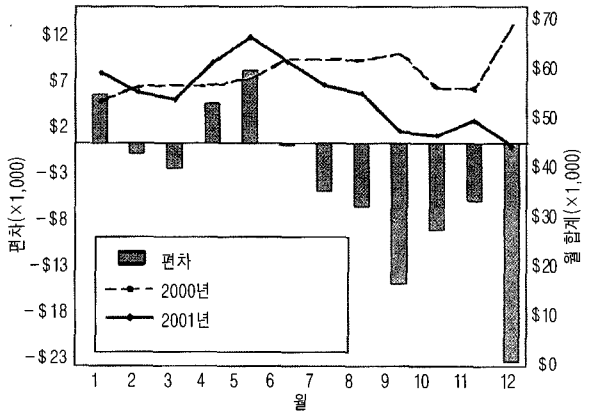
- 설치된 이래, 조정되지 않은(년간 기후변동 영향을 위한) 절감량, $46,879
- 감소된 전체 에너지지표, 13,724 Btu/ft^2
- 감소된 전기사용량 밀도, 2kWh/ft^2
- 전체 유틸리티 비용의 감소, $0.05/ft^2/년
- 감소된 전체 kWh 소비량, 1,141,500 유니트
- 감소된 스팀 소비량, 132MLbs

동시에, 구입된 에너지 유니트 비용의 증가는 다음과 같음:

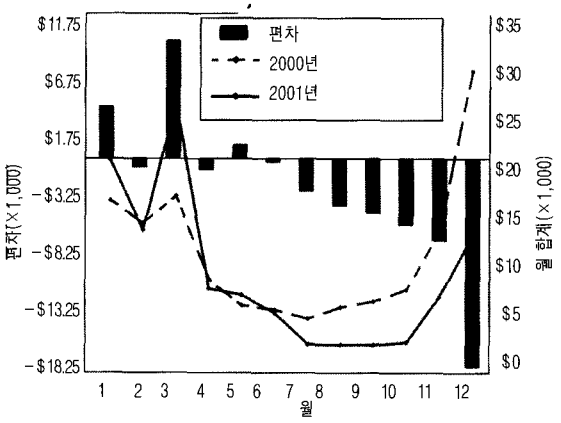
- 구입된 전기비용(비용/Btu)의 증가, 9%
- 구입된 증기비용(비용/Btu)의 증가, 9.7%

그림 7과 **그림 8**은 사례연구 대상건물의 사용된 유틸리티와 소비량의 주요 변화추이를 나타내고 있으며 CO_2환기제어로 예상되는 에너지절감을 확실히 보여주고 있다. 사실, 프로젝트 초기에 예상했던 것보다 절감량이 더 커 보인다. 절감량이 추가로 가능했던 것은 운전 스케줄의 변동과 건물 가압제어시스템을 개선시켰기 때문이다. 여름철 일일 공조되는 외기량이 감소되어 건물이 덜 습해지기 때문에 쾌적성에 불만족을 느끼는 건물 관리자와 근무자들의 수가 적어졌다. 부수적인 혜택은 또 다른 긍정적인 영향으로 직결된다. 즉, 모든 건물의 부품의 표면이 더 건조해져서 곰팡이와 박테리아의 서식이 차단되므로 곰팡이와 관련된 실내공기질의 문제점이 최소화되거나 제거가 가능해 진다는 것이다.

그림 7은 CO_2환기제어와 다른 개선이 7월 후반부에 일단 이루어져 전기사용량이 급격히 떨어진 모습



[그림 7] 사례연구의 전 · 후 에너지 사용량



[그림 8] 사례연구의 전 · 후 증기 사용량

을 보여주고 있다. 지난 몇 개월간 구입된 전기사용량(kWh 단위)은 전년도와 비교하여 그 이상이었다.

유사하게, **그림 8**은 증기사용량이 7월 초부터 큰 폭으로 변동하는 것을 보여주고 있다.

5. 결론

적절하고 단순한 평가방법을 적용하여 CO_2 제어 개보수 방안의 예상되는 절감량을 평가할 수 있다. 건물운전, 설비기기와 환기량의 체계적인 평가 없이는 건물의 에너지소비량에 대한 CO_2제어 효과를 정확하게 예측한다는 것은 어렵다. 요약된 측정방법은 에너지사용량 데이터가 있는 대부분 기존의 건물에 적용 가능하다.

사례연구와 EPRI(미국 전력연구원)의 유사연구에서 보는 바와 같이, 저자들은 건물에 CO_2환기제어 개보수의 가능성을 조사 연구함으로써 확신을 가지게 되었으며 에너지효율, 쾌적성 및 운전성능 향상을 위한 다른 방안도 있을 것이다. 어떤 경우에는, 이 방법으로 과거 알려지지 않았던 문제를 파악할 수 있을 것이다(예를 들면, 건물의 가압제어 문제).

잘 파악되고, 디자인되며, 계획 및 실행되는 환기제어전략의 실제사례를 통하여 상당한 에너지 절감이 가능해 진다. 이러한 절감은 현재의 실내공기의 질을 위한 환기 기준을 따르면서 실행이 가능하다. CO_2기반 환기제어를 적용함으로써 대상건물은 에너지스타 설계용 요구조건을 넘어서는 새로운 차원의 에너지 효율 향상이 가능해 졌다. 이 기고문에서 기술하고 있는 방법을 통하여 다른 건물에서의 유사한 절감방안이 파악될 수 있다.

참고문헌

1. Schell, M., D. Int-Hout. 2001. "Demand control ventilation using CO_2." ASHRAE Journal 43(2).
2. Emmerich, S.J., A.K. Persily. 2002. "State of the art review of CO_2 demand controlled ventilation technology and application." A report prepared for the California Energy Commission by the National Institute of Standards and Technology (NISTIR 6729).
3. Stickford, G.H., et al. 2002 "Reentrainment of flue gases and building air exhaust by packaged HVAC equipment." ASHRAE Transactions 108(2).
4. Bayer, C. 2002. Personal communications based on extensive investigation of air quality in schools in the southeastern U.S.
5. Schell, M. 2002. "Real-time ventilation control." Heating/Piping/Air Conditioning Engineering.
6. U.S. Department of Energy, Energy Information Administration. 2002. "Commercial Buildings Energy Consumption Survey." www.eia.doe.gov/emeu/cbecs/.
7. Schell, M.B., S.C. Turner, and R.O. Shim. 1998. "Application of CO_2 based demand controlled ventilation using ASHRAE Standard 62: optimizing energy use and ventilation." ASHRAE Transactions 104(2):1213-1225.
8. Electric Power Research Institute. 1997. "Environmental and energy code compliance, 3.2, demand controlled ventilation." Office Complexes Guidebook: Innovative Electric Solutions pp.79-86.