

바닥 급기 공조의 전망

출처: F. Bauman and T. Webster, 2001. Outlook for Underfloor Air Distribution, ASHRAE Journal, June, 18-25.

F. Bauman과 T. Webster은 둘 다 기술사이며 미국 California Berkeley의 California 대학의 건축 환경 센터의 연구원이다.

김 영 일

바닥 공기 급기(UFAD, underfloor air distribution)는 사무실과 상업 건물의 공조를 위하여 바닥 하부 공간을 사용하는 혁신적인 기술이다. 북미에서는 UFAD가 기존 천장 공기 급기 방식에 비하여 많은 장점을 지니므로 그 수요가 날로 증가하고 있다.

잘 설계된 UFAD 시스템은 다음과 같은 장점을 지닌다.

- 건물의 용도 변경에 따른 유연성이 우수하므로 건물의 생애 주기 비용을 감소시킨다.
- 개별 쾌적성 제어가 가능하므로 온열 쾌적성, 거주자의 만족도 그리고 생산성을 향상시킨다.
- 거주자 주변에 직접 신선한 공기를 공급하므로 환기 효율, 실내 공기질 그리고 건강 상태를 향상시킨다.
- 이코노마이저 운전, 온도 성층화 그리고 낮은 정압 운전에 의하여 에너지 비용을 감소시킨다.
- 설비 공간이 축소되고 표준 철골 구조에서는 콘크리트 구조체 변경이 가능하므로 새 건축 공법에서는 충고를 감소시킬 수 있다.

1995년까지만 해도 UFAD는 파격적인 설계 기법이라고 여겨졌지만, 이제 설계자와 건축업자들은 2004년까지 신축되는 사무용 건축물의 35%는 바닥을 높인 기법이 적용되며 이 중 반 정도가 UFAD를 채택할 것이라고 예측하고 있다. 2000년 2억불이라고 추정되던 바닥을 높이는 건축의 시장 규모가 2004년에는 최소 10억불이 되리라고 예측된다. UFAD는 기본 연구에

의한 정립된 표준화된 설계 기법과 지침이 아직 마련되지 않았음에도 불구하고 현재 설계, 시공되고 있다. 이러한 경향은 필수적인 연구가 수행되어 관련 업계가 지식과 경험을 충분히 쌓기 전까지는 계속될 전망이다. 본고는 시스템 설계와 운영의 주요한 특징, 기존 방식과 비교하여 지니고 있는 잠재적인 장점, 한계와 기술 개발의 필요성, UFAD 기술 개발을 위하여 계속적으로 요구되는 연구 분야 등을 서술함으로써 현재 UFAD 기술에 대한 평가를 한다.

시스템의 개념

UFAD 시스템은 냉방 및 난방을 위한 열원기와 1차 공기조화기 측면에서는 기존 천장 시스템과 유사하다. 주 차이점으로는 급기를 위한 바닥 하부 공간, 상대적으로 높은 급기 온도, 국소 급기 장치(개별 제어의 유무), 바닥에서 천장으로의 속도 분포, 그리고 외부에 접한 공간의 공조 방식이다. UFAD 시스템을 구성하는 방법으로는 다음 3 가지 방식이 있다.

- 그릴/급기구, 제어되는 급기구, 또는 팬으로 작동되는 혼합실을 이용하여 하부 공간을 통하여 실내로 급기하는 중앙 공기조화기를 이용한 가압된 하부 공간
- 압력이 0인 하부 공간으로 중앙 공기조화기와 조합되어 급기는 국소적으로 설치된 팬으로 작동되는 급기

김 영 일 한국과학기술연구원 (yikim@kist.re.kr)

장치에 의한 방식

- 하부 공간에 설치된 덕트에 의해 말단 급기구까지 공기를 수송하는 방식이다.

압력을 0으로 유지하는 방식은 공조 또는 주변 공간으로의 누설에 대한 위험 부담은 없지만 현재로서는 방식 1이 주 관심의 대상이다. 공조 부하의 변동에 대한 응답성을 높이기 위하여 팬 급기 방식이 종종 사용된다. 모든 시스템의 경우, 과도한 외부 영역 부하를 처리하기 위하여 에너지 절약형 설계는 1차적인 방안이다.

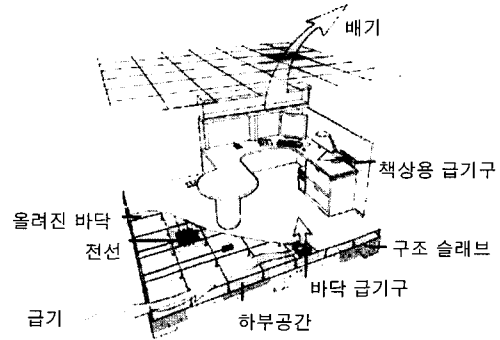
전통적으로, 상용 건물의 공기조화 설계는 광범위하게 설치된 덕트 설비에 의해 천장에 균일하게 설치된 급기구로 공조된 공기를 공급하는 방식이 주로 사용되었다. 공조된 공기는 천장에서 공급되고 천장으로 배기되며 많은 급기 덕트를 설치하기 위하여 큰 천장 공간이 요구된다. 배기는 주로 덕트 없이 천장의 공간을 활용한다.

중중 혼합 공기 분포형이라고 불리어지는 전통적인 공기조화 방식은 급기된 공기가 실내의 공기와 완전 혼합할 수 있도록 설계되었다. 따라서 거주 공간 전체가 설정 온도로 유지되고 급기 공기는 균일하게 분배된다. 이 제어 방식은 영역을 증가시키는 방법 외에는 거주자의 다양한 열환경 취향과 다르게 요구되는 거주 공간의 환기 조건에 대응하기 어렵다.

천장 방식으로는 영역을 증가시키는 방법조차도 개방된 사무실 공간의 국소 업무 환경을 개별적으로 제어하지는 못한다.

바닥 급기 시스템은 구조체인 콘크리트 슬래브와 높여진 바닥의 하부 사이의 공간을 전선 또는 통신선과 공동으로 사용하면서 공조된 공기를 직접 건물의 거주 공간으로 공급하는 통합된 시스템이다 (그림 1). 급기 온도는 17~18℃ 이상으로 유지하여 거주자에게 불쾌한 냉열감을 주지 않도록 한다.

기존의 천장 시스템은 크기가 큰 급기구를 넓은 간격으로 설치하는데 반하여 바닥 급기 시스템은 상대적으로 작은 급기구를 다량으로 설치한다. 급기구로는 바닥용 또는 작업/주변 공조(TAC, task/ambient) 시스템의 한 부분인 경우 개별 제어가 가능한 책상용 또는



[그림 1] 바닥 급기 공조가 적용된 사무실

구획용 급기구를 사용한다. 급기구는 일반적으로 조절이 되므로 거주자에게 국소적으로 열쾌적성을 제어할 수 있는 기회를 제공한다. 배기는 실내의 천장 높이 또는 거주 영역 상부의 최대 높이에서 이루어진다. 이는 전체적으로 바닥에서 천장으로 흐르는 기류를 형성하여 사무실 내에서 발생하는 열에 의한 자연 부력을 활용할 수 있게 하므로, 특히 냉방시 열부하와 오염물질을 실내로부터 효율적으로 제거한다.

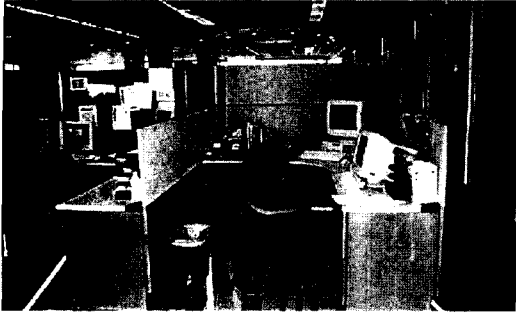
냉방시(내부에 위치한 사무실 공간의 경우 1년 내내 냉방 요구), 바닥 급기 시스템은 온도가 상승되고 오염이 많은 공기를 머리 높이보다 위에 존재하도록 하여 거주자에 미치는 영향을 감소시킨다. 이를 위하여 어느 정도 성층화가 되도록 최적화할 필요가 있다.

장점

잘 설계된 UFAD 시스템은 다음과 같은 장점을 제공한다.

빌딩의 생애 주기 비용의 절감

현대 건물에서는 내부 변경은 피할 수 없는 사실이다. 1997년 통계에 의하면 평균 변경율(1년 동안 근로자와 근무 공간이 변경되는 비율)은 44%이다. 액세스(access) 바닥을 설치하는 주요 이유는 빌딩 구조 변경에 있어 비용이 절감되기 때문이다. 건물의 공조와 케이블 관리 시스템을 쉽게 접근할 수 있는 바닥 하부 공간으로 통합함으로써, 바닥 급기구, 전력, 음성 및 데



[그림 2] 개인 사무 공간마다 급기구가 1개씩 설치된 모습

이더 포트 출구는 어느 곳이나 설치할 수 있는 편리함이 있다. 내부 관리인은 간단한 도구와 모듈식 연장으로 재설치를 매우 저렴한 비용으로 할 수 있다.

건축과 사무실 가구의 비용을 무시하고 44%의 변경율을 고려하여 공조와 전기 시설을 재배치하는 비용을 두 방식에 대하여 비교해 보면 바닥 급기 방식이 천장 방식에 비하여 16~25 \$/m²을 절약할 수 있다. 바닥 급기 시스템을 설치하는 회사는 보다 많은 내부 구조 변경을 하는 경향이 있다. 바닥 급기 시스템 공사시 추가로 소요되는 비용은 첫 번째 변경 때 회수된다고 한다.

개선된 열쾌적성

실내 거주자가 자기 주변의 열환경을 제어할 수 있으므로 각 개인의 취향을 맞출 수 있다. 최근의 사무 환경에서는 근무자의 의류, 활동량 그리고 개인의 취향에 따라 최적 쾌적성 조건은 사람마다 큰 차이를 보인다. 예를 들어, 사무실에서 계속 걸어다니는 사람(1.7 met 또는 99 W/m²)은 책상에 가만히 앉아 있는 사람에 비하여 유효온도가 약 2~3℃ 높게 느끼게 된다.

최근 실험에 의하면 상업화된 급기팬이 부착된 작업/주변 공조 시스템(급기 유동이 거주자로 향함)은 거주자의 주변 환경을 큰 범위의 온도로 제어할 수 있다. 제어 범위는 책상급기는 7℃, 바닥급기는 5℃이다. 이 정도의 범위는 개인의 열환경 취향을 전 영역에 걸쳐 만족시키기에 충분하다.

바닥급기용 선회류 급기구와 같이 수동적인 급기구(팬이 없는 방식)는 큰 범위의 온도 제어는 가능하지

않지만 2~3℃ 범위의 온도 제어가 가능하다면 여전히 효과적이다. 이 방식으로는 그림 2에서 보여주는 바와 같이 개방형 사무실에서 각 개인 사무 공간마다 하나의 급기구가 설치된 예를 참조한다. 또한 최근의 현장 실험에서는 개인 공조가 가능하지 않은 거주자는 개인 공조 제어가 가능한 거주자에 비하여 온도 변화에 대하여 약 2배 민감하다는 연구 결과가 보고되고 있다.

개선된 환기효율과 실내 공기질

신선 급기 공기를 바닥에서 공급하고 천장으로 배기하여 실내 공기와 오염물질의 유동을 하부에서 상부로 치환식으로 유도하면, 사람이 숨쉬는 높이에서는 환기와 공기질 개선이 기대될 수 있다. 이것은 스칸디나비아에서 종종 사용되는 치환 환기(displacement ventilation) 시스템의 유동 방식과 유사하다. 치환 환기 시스템(냉방에만 사용)에서는 쾌적 조건에 비하여 약간 낮은 온도의 외기 100%를 낮은 속도(0.5 m/s 이하)로 공급함으로써 환기 성능을 향상시키게 된다. 급기된 공기는 운동량이 거의 없으므로 부력이 유동장에 큰 영향을 미치게 된다. 급기된 공기는 바닥으로 퍼져 나간 후 상부로 향하게 된다. 치환 영역에서는 공기 온도와 오염 물질의 농도는 높이에 따라 증가한다. 내부의 열 발생과 실내로 급기되는 공기량의 균형에 따라 치환 시스템은 하부에서 상부로의 치환(즉 성층화) 유동장을 만들며 상부는 잘 혼합된 영역이 된다.

UFAD 시스템의 급기구 출구 속도는 실제 치환 시스템에 비하여 높으므로 보다 많은 혼합이 이루어지며 따라서 치환의 정도가 감소된다. 또한 일부 바닥급기 시스템에서 발생하는 급기 공기의 재순환은 실내 공기와 오염 물질의 혼합시킨다. 최적화된 전략으로는 급기된 공기가 실내의 공기가 혼합되는 영역은 거주역(1.2~1.8 m)으로 국한시키도록 설계하는 것이다. 이 이상의 높이에서는 성층화되고 보다 오염이 많은 공기가 발생되도록 한다. 이 경우 거주자가 숨쉬는 공기는 기존의 완전 혼합 방식에 비하여 낮은 비율의 배기가 포함되어 있다.

실험실 연구에 의하면 이코노마이저(economizer) 방식(100% 외기)과 혼합을 감소시키는 소 급기량 방

식을 적용한 바닥급기 시스템에서는 환기 성능이 향상된다. 숨쉬는 영역에서는 공기의 연령(age)이 20~40% 감소한다. 국부적으로 공기를 공급함으로써 얻는 다른 장점으로는 실내 공간의 공기 유동이 증가하여 공기가 정체된다는 느낌을 방지한다는 점이다. 공기가 정체되면 종종 공기질이 불량하게 된다.

감소된 에너지 사용량

천장 방식에 비하여 다음과 같은 주요 요인에 의하여 에너지 절약이 이루어진다. 이코노마이저 운전과 냉동기의 성능계수 향상에 의한 냉방 에너지 절약, 그리고 송풍팬의 동력 절감이다. 이코노마이저에 의한 절약은 다음과 같이 2가지이다.

- 성층화에 의하여 배기 공기의 온도가 높아져(기존의 24℃에 비하여 25~30℃이다) 이코노마이저의 운전 시간이 증가한다. 냉동기의 운전 시간이 줄어들고, 급기 공기의 온도를 높일 수 있으므로(기존의 13℃에 비하여 17~20℃이다) 냉동기의 소요 동력이 절감된다. 급기 공기의 온도를 높일 수 있으면 냉동기 냉수의 출구 온도도 높일 수 있으므로 냉동기 소요 동력이 절감된다.
- 송풍팬 동력의 절감은 낮은 요구 정압과 감소된 공기 순환량에 기인한다. UFAD 시스템의 성층화된 공기 유동장, 즉 바닥으로부터 천장으로의 유동은 거주 영역의 외부에서 발생한 대류 열 발생을 실내로 침투시키지 않고 천장 높이에서 외부로 직접 배출될 수 있도록 한다. 실내 쾌적성을 유지하기 위한 최적 공기 급기량은 다음과 같이 여러 요인의 종합적인 검토에 의해 정해진다. 거주역과 창문에서의 열원이 발생시킨 열기둥(thermal plume), 바닥 급기용 급기구의 작동 특성, 바닥 패널을 통한 열전달에 의한 냉방, 그리고 시스템 설계와 제어이다. 이러한 요인이 어떻게 상호 작용하고 있는가에 따라 전체 공기 급기량은 높은 급기 온도에도 불구하고 기존 천장 방식에 비하여 매우 낮은 값에서부터 약간 높은 값을 가질 수 있다.
- 대부분의 UFAD 설계에서는 공기가 바닥 하부 공간을 자유롭게 유동하므로 많은 덕트 작업이 줄어들어 정압 손실이 낮아진다. 대부분의 경우 정압 손실은 25 Pa (2.5 mmAq) 이하이다. 최근에 이루어진 UFAD

시스템의 급기팬 동력 분석에 의하면 기존 방식에 비하여 평균 절약량은 약 48%이다. 추가적인 잠재 에너지 절약 가능성(예를 들어 야간 환기에 의하여 콘크리트 바닥 매체에 축열하는 방법)은 계속되는 연구에 의하여 분석 중이다.

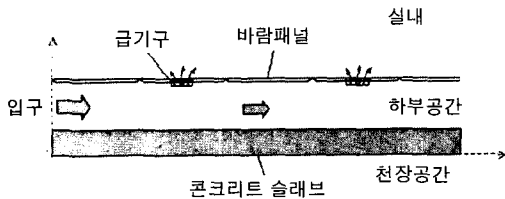
- 새 건축에 적용할 수 있는 감소된 층고
UFAD를 적용한 건축물은 천장 공기 급배기 방식을 적용한 기존의 건물에 비하여 5~10% 정도 층고를 낮출 수 있는 잠재력이 있다. 이것은 천장 서비스 공간을 축소하거나 또는 표준 철골 구조체에서 콘크리트(평슬래브) 구조체로 변경하면 된다. 큰 급기 덕트를 설치하기 위한 하나의 큰 천장 공간은 배기를 위한 작은 천장 공간과 덕트 없는 공기 유동과 기타 설비를 설치할 수 있는 낮은 하부 공간의 조합으로 대체할 수 있다.
- 생산성과 건강의 개선. 연구 결과에 의하면 거주자에게 개인의 주변 환경에 대한 제어 기능을 부여하고 실내 환경의 질(열, 음향, 환기, 조명)을 향상시킴으로써 만족도와 생산성이 향상된다고 한다. 과거의 연구에 대한 최근 분석에 의하면 냉방 또는 난방에 대하여 유효온도 ±3℃를 제어할 수 있다면 조직의 작업 생산성이 3~7% 향상된다고 한다. 다른 유사 연구에서는 열과 조명의 질적 향상에 의해 생산성이 0.5~5% 향상된다고 결론 내리고 있다. UFAD 시스템이 제공하는 개선된 환기와 열환경에 의해 실내 건강에 대한 부작용이 감소된다.

기술적 요구

바닥급기 시스템은 많은 장점을 지니고 있지만, UFAD 기술의 넓은 보급을 위해서는 어려운 점이 존재한다. 객관적인 자료와 표준화된 설계 기준의 부족, 고비용, 기준과 규격에 대한 문제, 전체 건물의 성능과 에너지 절약 데이터의 문서화된 자료 등의 문제가 존재하므로 설계자와 건물주에게는 많은 모험이 따른다. 이러한 어려운 점과 대처 방안에 대하여 설명한다.

새롭고 친숙하지 않은 기술

대부분의 건물주, 개발업자, 시설 관리자, 건축가, 엔



[그림 3] 바닥 하부 공간의 개략도

지니어 그리고 설비 제조업체에게는 UFAD 시스템은 아직도 상대적으로 새롭고 친숙하지 않은 기술이다. 친숙하지 않기 때문에 전체적인 건축 설계, 시공, 고비용을 포함한 운전 과정, 불합리한 시공 방법, 잘못된 빌딩 제어와 운전 등의 문제점을 설비 관리자나 건물 거주자에게 유발시킬 수 있다. UFAD 기술이 성장함에 따라 이러한 문제점들은 해결되리라 본다.

• 자료와 설계 지침의 부족

최근에 설계 방법을 포함한 UFAD 기술에 대한 많은 문헌이 나오고 있으나 아직도 표준화된 설계 지침은 마련되어 있지 않다. UFAD 시스템에 대한 경험이 있는 설계자는 나름대로의 지침서를 개발했다. ASHRAE(미국 공기조화 냉동 공학회)는 개별과 UFAD 시스템에 대한 설계 기준을 마련하여 전문 설계자에게 제공하기 위하여 프로젝트 1064-RP를 지원하고 있다. 본 저자들이 개발한 UFAD 기술은 인터넷 주소 www.cbe.berkeley.edu/underfloor에서 볼 수 있다.

• 기본적인 이해의 부족

UFAD 시스템 설계에서 에너지와 쾌적성에 관련된 여러 중요한 문제에 대한 기본적인 이해의 증진이 필요하다.

- 실내 공기의 성층화. 공간 내 대류 열원의 어느 정도가 열기등으로 상승하여 천장 높이에서 직접 배기되어 냉방 부하 계산에서 무시될 수 있는가? 경험에 의한 설계 기법이 있기는 하지만 13, 신뢰성 있는 에너지 계산 기법, 설계 기법 그리고 기준을 개발하기 위하여 온도 성층화 제어/최적화에 대한 이해는 필수적이다.

- 바닥 하부 급기 공간. 기존과 UFAD 시스템 설계에서 중요한 차이점은 급기 공기가 하부 공간을 유동함

에 따라 발생하는 공기, 콘크리트 슬래브, 그리고 바닥 패널 사이의 열전달이다 (그림 3). 만약 바로 아래 층의 슬래브가 온도가 상승된 배기 공기에 의해 열을 흡수한다면, 급기 공기는 입구로부터 이동함에 따라 온도가 상승한다. 콘크리트 슬래브를 열저장 매체로 사용한다면 에너지와 운전 비용이 절약될 수 있지만 이 효과를 최적화하고 수치화하기 위해서는 보다 많은 연구가 필요하다.

- 전체 건물의 성능. 건물 전체에 대하여 UFAD 시스템에 의한 에너지 소비량을 시뮬레이션하는 정확한 모델링은 아직 개발되어 있지 않다. 이것은 시스템 설계자에게 가장 시급한 기술이다. 또한 완성된 UFAD 프로젝트로부터 에너지 사용량, 실내 공기질, 거주자 만족도, 쾌적성, 건강, 성능, 초기와 생애 운전 비용 형태의 건물 전체의 성능 데이터는 이 기술의 상대적인 장점을 정량적으로 분석하기 위하여 필요하다. 본 저자와 다른 연구소, 기기 제작업체 그리고 설계 사무소에서는 이러한 문제점과 다른 UFAD 기술을 설명하기 위하여 연구를 계속 진행하고 있다.

• 인지도된 고비용

인지된 고비용이 미국 건축 산업에서 UFAD 기술이 빠르게 채택되지 않는 주 원인이다. 앞에서 언급한 바와 같이, 건물의 생애 주기 관점에서 큰 절약이 가능하므로 이 상황은 변하고 있다. 일반적으로 추가되어야 하는 access 바닥의 초기 투자 비용은 축소된 덕트, 통선선 그리고 전선 작업에 의한 비용 감소보다 약간 크다고 알려져 있다 (32 \$/m²). 그러나 UFAD 시스템은 전선 작업과 구조 변경이 많은 상황에 대처하기 위하여 access 바닥을 설치하기로 결정한 후에 추가되는 작업이라는 점을 고려해야 한다. 이 경우 UFAD의 초기 투자 비용은 기존 시스템에 비하여 실질적으로 낮을 수 있다. 이 기술은 아직도 초기 단계에 있으며 UFAD 시공과 관련 기기들의 생산이 증가할수록 비용 절감이 예상된다.

• 개보수에서의 제한된 응용

UFAD 시스템의 설치와 장점은 새로 신축되는 건물에서 쉽게 실현될 수 있다. 그러나 개보수에서 바닥 급기의 적용은 건물 대부분의 문제인 제한된 층고 사이

에서 바닥 하부를 높이는 문제 때문에 난관에 봉착하고 있다. 또한 계단, 엘리베이터, 그리고 화장실의 바닥면을 맞추는데 많은 비용이 따른다. 층고가 높은 공간의 개보수에서는 UFAD는 천장 급기 방식의 복잡성을 감소시키고, 개방되고 정돈된 공간을 창출함으로써 작업 공간의 시각과 공간적인 면을 개선시킬 수 있다. 현재 설계에서는 바닥의 높이를 0.30~0.46 m로 하고 있다. 최근에 수행된 실물 크기의 현장 실험에서는 낮은 바닥 공간 (0.18 m 이하)에서도 300 m²의 면적에 균일한 풍량으로 제공한다는 결과를 얻었다.¹⁴ 이 보고서에서는 공기 유로를 위하여 최소한 75 mm 높이의 개방된 공간을 권장하고 있다.

• 적용할 수 있는 표준과 기준에 대한 문제점
 건축 산업에 있어 UFAD는 비교적 신기술에 해당하므로 적용을 위하여 익숙치 않은 기준이 요구될 수 있고 또한 기존의 표준과 기준에 모순되는 점이 있을 수 있다. ASHRAE 표준 3개가 UFAC 시스템과 관련이 있다. 'ANSI/ASHRAE 표준 55-1992 거주자를 위한 열환경 조건'은 거주자를 위하여 열과 인간적 요소의 최적 범위와 조합을 정하고 있다. 최근에 개정된 표준 55는 거주자가 국부 풍속을 제어할 수 있다면 과거의 표준에 비하여 높은 풍속을 허용하고 있는데, 대부분의 UFAD 시스템은 풍속 조절 기능이 있다.

'ANSI/ASHRAE 표준 62-1999, 적합한 실내 공기질을 위한 환기'에서는 적합한 공기질을 유지하기 위하여 환기회수를 결정하는 기준을 정하고 있다. 개정되는 표준 62는 급기 방식에 따른 환기 성능을 고려하여 환기회수를 조정하리라 예상된다. 그 경우, UFAD 시스템은 환기 성능이 좋으므로 유리하다. 그러나 표준 그리고 다른 대부분의 건물 기준에서는 거주자가 있는 공간에서는 최소한의 환기량을 요구하고 있다. 개인이 급기구의 개구부를 감소 또는 완전히 닫을 수 있는 UFAD 시스템에서는 건강을 해치는 수준까지 오염 물질이 축적되는 것을 방지하기 위하여 작업/주변 제어 기법이 고려되어야 한다.

국부적인 제어 특성에도 불구하고 전체 공간을 쾌적한 환경과 적합한 환기 상태로 유지하기 위해 작업/주변

공조 시스템이 설계된다. 이코노마이저를 장시간 사용하면 이러한 문제점은 경감될 수 있다. 'ANSI/ASHRAE 표준 113-1990 실내의 공기 확산을 시험하는 방법'은 급기 시스템의 공기 확산 성능을 평가하는 유일한 표준이다. 기존 천장 급기 방식에만 적용할 수 있는 이 표준을 현재 UFAD, 작업/주변 공조 그리고 치환 환기 시스템에 적용할 수 있도록 개정 중이다.

건물과 화재 기준은 설계 과정의 초기 단계부터 고려되어야 한다. UFAD 시스템에 대한 경험이 부족한 관리들은 기준 용어에 대한 잘못된 이해와 좁은 해석 때문에 예상치 못한 문제점을 만든다고 한다. 어떤 법에서는, 바닥 하부 급기 공간의 무한한 크기와 하부 공간에 설치된 케이블과 다른 시설의 연소성 때문에 화재 기준에 의해 금지하고 있다. 추가 연구 결과에 의해 UFAD 기술에 부합되는 개정과 예외가 곧 이루어질 전망이다.

결론

UFAD와 같이 비용과 에너지 절약, 건강, 쾌적성 그리고 생산성의 향상 등 종합적인 장점을 제공하는 혁신적인 공조 시스템은 많지 않다. UFAD의 인기는 VAV가 처음 소개되었을 때의 인기를 현재 접근하고 있다. 완성된 UFAD 프로젝트로부터 축적된 설계 기준, 설계 도구, 핵심 기술에 대한 기본 연구, 건물 전체에 대한 성능 데이터는 이 중요한 공조 시스템의 방향 설정과 종합적인 건물 해법의 성공적인 개발을 위해 필수적이다. 산업 사회가 UFAD와 기존 천장 시스템의 차이에 대한 지식과 경험을 연음에 따라, UFAD 기술은 보다 널리 보급되리라 예상된다.

후기

이 연구는 University of California-Berkeley의 NSF(National Science Foundation, 미국 과학 재단)/산업/대학의 협동 연구 센터인 건축 환경 센터(Center for Built Environment)의 지원으로 이루어졌다. 