

에너지회수형 도서관의 환기설비

오 명 도
서울시립대학교기계정보공학과
교 수

1. 머리말

실내공기질(indoor air quality)에 나타난 주요 문제들은 대부분 불충분한 환기량과 부적절한 환기설비로 인하여 야기되고 있다. ASHRAE standard 62-1989 "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality"에서는 사무소 건물에 대하여 최소 필요환기량을 기존의 1인당 5cfm의 권장치에서 1인당 15cfm로 크게 증가한 값으로 권장치를 규정하고 있다. 이는 기존의 권장치에 대하여 3배나 증가한 최소환기량을 적용하는 새로운 설계지침이다. 이와같이 HVAC 시스템의 설계에 20여년간 적용되어 오던 환기량이 3배 이상으로 증가되어 실무에 적용되는 것은 IAQ 문제가 주된 요인으로 부적절한 환기설비와 부족한 환기량 때문인 것으로 알려져 있다. 이는 결과적으로 1973년부터 1989년 사이에 건축된 사무소 건물에서는 외기 도입량이나 환기설비가 불충분하게 설계·시공된 것으로 판단할 수 있다.

건물의 수명이 콘크리트인 경우 50년~100년

으로 잡고 건물의 냉난방을 위한 기계설비의 수명을 20-25년이라고 할 때 건물의 라이프사이클 동안에 최소 2~3번의 기계설비 대체가 이루어져야 하는 것을 감안하면 앞으로 이러한 설계지침의 변화는 건물의 리모델링 및 리노베이션사업에 큰 영향을 미칠 것이다. 즉 환기량의 증가는 곧 공조부하의 증가를 가져와 기계설비 대체시 기계설비인 열원장치와 반송장치의 용량과 크기를 증가시켜 한정된 건축조건에서 변경된 설계지침을 만족시키기 위한 기술적 문제를 가져오게 된다.

그동안 선진 외국에서는 건물의 실내환경에 대한 많은 조사가 이루어 졌으며, 대부분 더 많은 환기량을 확보하는 것이 실내공기의 오염물질을 희석하고 제거할 수 있는 가장 효과적인 방법임을 연구결과로 제시하였다. 부적절한 환기뿐만 아니라 실내 오염물질이 실내 환경의 악화요인으로 작용하게 되며, 이를 개선할 수 있는 방법이 환기설비의 적절한 운용과 유지관리라고 말할 수 있다. 1970년대 에너지 위기 이후의 건축자재의 개발과 건축기술 분야는 많

은 발전이 이루어져 왔다. 특히 에너지의 절약을 위하여 고단열 성능을 지닌 단열자재의 개발과 더불어 건물외부 부위의 기밀성능이 향상되었으며, 밀폐된 유리창호, 기밀화된 밀봉재료 등의 적용으로 실내에 침입되는 외기량이 현저하게 낮아지는 결과를 초래하였다. ASHRAE나 건축자재 생산업체들은 건물을 설계하는 과정에서 에너지 절약을 최우선 과제로 선택하였다. 단순히 재실자의 체취를 희석할 수 있는 만큼의 외기도입량을 설정하면서 에너지 소비량의 최소화 목표를 달성할 수 있는 기밀화된 건물("air tight building")의 설계, 시공이 이루어졌다.

1970년대와 1980년대에 이러한 기준과 설계 조건에 의해 시공된 건물에서 실내 공기환경의 문제점이 등장하기에 이르렀으며, 과거의 건물도 이러한 방법으로 보수가 이루어졌다. 결과적으로 그 당시의 건물들은 에너지 소비량을 경감할 수는 있었으나 상대적으로 실내의 공기환경은 상대적으로 악화되어 갔고 이로 인하여 실내 거주자들은 현기증, 구토, 두통, 피로감, 무력감, 피부발진 등을 호소하게 되었다. 선진 각국에서는 이러한 증상들이 빌딩증후군(sick building syndrome, SBS)이라는 문제로 주목을 받게 되었고 이에 대한 원인규명을 위하여 연구가 활발히 이루어졌다. 빌딩증후군의 원인은 아직까지 명확하게 규명되고 있지는 않으나 가습장치나 냉방, 공조설비, 실내의 VOCs 농도, 온도, 습도 등의 영향이 복합적으로 작용하여 야기되는 것으로 평가되고 있다. 이러한 오염물질들은 에너지절약을 위한 설계 허용 최소환기량 적용으로 인하여 유출이 어렵게 되고

이는 오염을 축적시키는 원인이 되어 더욱 큰 문제로 대두되고 있다. 실내 환경을 오염시키는 주요 오염물질과 오염원, 그리고 인체에 미치는 영향들은 표 1에서 보여주고 있다.

현재 대부분의 공기조화설비에 의해 관리되는 주된 인자는 환기와 온도, 습도 뿐인데 앞으로는 미세분진, 가스 등 실내공기 오염물의 제어 등이라 할 수 있다. 이러한 인자들 중에서 어느 한 가지만이라도 부적절하게 관리될 경우에 실내 공기환경과 재실자의 쾌적감 확보에 문제가 발생한 것으로 평가할 수 있다. 또한 너무나 환기적인 측면만을 고려한다면 많은 양의 외기의 도입에 의한 부하증가와 공기청정기, 가스제거기 등의 과사용으로 인한 경제성이 떨어질 우려가 발생한다. 따라서 공기조화설비에 적용되는 환기설비는 에너지 효율이 우수한가 하는 점과 실내공기질의 유지관리는 효율적으로 이루어지고 있는가를 동시에 고려해야 할 필요성이 크다고 할 수 있다.

본 고에서는 에너지를 절감하고 실내 공기환경을 적절하게 유지시킬 수 있는 에너지 회수형 환기시스템에 대해서 간략하게 소개하고 실제로 대학 도서관에 설치된 사례를 통해 에너지 절감과 실내공기질의 일차적인 개선이 어떻게 이루어졌는가를 논하고자 한다.

2. 에너지회수형 환기설비

2.1 필요성 및 특징

기존 대부분의 중, 소형 상용건물의 경우는 대부분 난방만 되어 있고 냉방은 개별적인 에어컨 등으로 대처하고 있으며 에너지 절약을

표 1. 주요 실내공기 오염물질 및 발생원, 인체에 미치는 영향

오염물질	발생원	인체영향
먼지	대기중의 먼지가 실내 유입, 실내 바닥의 먼지, 담배재	규폐증, 진폐증, 탄폐증 등
담배연기	담배, 켈연	두통, 피로감, 기관지염, 폐렴, 기관지 천식, 폐암
연소가스 (CO, NO ₂ , SO ₂ 등)	각종 난로(연탄, 가스, 석유), 벽난로, 연료연소, 가스렌지 등	만성폐질환, 기도저항증가, 중추신경 영향
라돈	콘크리트, 흙, 지하수, 화장암	폐암 등
포름알데히드	각종 합판, 보드, 가구, 단열재, 소취재, 담배연기, 화장품, 옷감, 실험실 등	눈, 코, 목자극증상, 어지러움, 기침, 정서불안, 기억력 상실, 설사, 피부질환 등
석면	단열재, 절연재, 석면타일, 방열재	피부질환, 호흡기 질환, 석면증, 폐암
미생물성 물질(곰팡이, 박테리아, 꽃가루)	가습기, 냉방장치, 냉장고, 애완동물, 세탁소, 왁스, 방향제 등	피로감, 정신착란, 두통, 구역, 현기증, 중추신경 억제작용
휘발성유기화합물(알데히드, 케톤 등)	페인트, 접착제, 스프레이, 연소과정, 세탁소, 왁스, 방향제 등	피로감, 정신착란, 두통, 구역, 현기증, 중추신경 억제작용
악취	각종 악취 발생원	식욕감퇴, 구토, 알레르기증, 불면, 정신신경증 등
전자파	각종 전자제품	식욕감퇴, 호르몬감소, 백혈병 등

위해서 난방이나 냉방 중 환기를 못하고 있는 실정이다. 실내에 적용되고 있는 난방기나 냉방기는 실내공기를 재순환시키면서 단순히 현열만 조절하므로 실내의 분진, CO, CO₂, 유해가스 등의 농도가 증가하여 실내공기의 오염을 촉진시키고 있다.

그러나 실내에서 생활하는 사람들의 환경을 개선하기 위한 최소환기량에 대한 규제가 강화되고 있으며, 특히 도서관, 교실, 학원, 학습실 등 재실자가 밀집되어 있는 공간에서는 법적규제를 떠나서 현재의 환기량을 증가시켜야 할 필요성이 커지고 있다. 이러한 문제를 해결할

수 있는 기술적 방안으로 현재의 냉방 및 난방 설비에 추가해서 에너지회수형 환기설비를 적용하는 것이 바람직하다.

건물의 공조시스템이나 환기시스템에서는 적절한 실압과 쾌적한 환경을 확보하기 위하여 일정량의 신선한 외기를 유입시키고 동량의 실내공기를 배기하여 환기를 할 필요성이 있다. 우리나라의 경우 여름철에는 배기(exhaust air)보다 외기(outdoor air)의 엔탈피가 크고 반대로 겨울철에는 배기의 엔탈피가 크므로 환기를 위해서는 실내의 공기를 냉각 또는 가열해야 하는데 이를 위해서는 많은 에너지를 소비하게

된다. 이러한 배기와 외기 사이의 에너지 회수와 실내 공기의 환기시키는 시스템이 에너지 회수형 환기설비(또는 전열교환기)이다. 이는 공기 대 공기의 열교환기(air-to-air energy recovery system)로서 전열(total heat, 현열+잠열)을 또는 현열(sensible heat) 등의 엔탈피를 교환하는 장치이다. 에너지회수형 환기설비는 공조시스템 내 또는 외조기에 설치되며 배기와 도입 외기 사이에서 에너지를 서로 교환함으로써 고온 다습한 환경에서는 외기를 냉각, 제습을 시키고 저온 건조한 환경에서는 가열, 가습을 한다. 이러한 열적효과를 이용하여 건물이나 산업설비의 냉·난방부하를 줄여 에너지의 절감을 얻을 수 있다. 이러한 에너지회수형 환기설비는 일반 사무조건물, 병원, 학교, 공장 등 거의 모든 건물에 사용될 수 있으며 열원기기의 소용량화와 고효율 전달, 실내공기질의 개선을 가능하게 한다.

그림 1은 공조시스템에서 에너지회수 시스템의 개념을 보여주는 것으로서 에너지회수가 이루어지는 경로는 도입되는 신선한 외기와 실내의 오염된 배기 사이에서 이루어진다. 이에 대한 대책으로 에너지회수설비에 공기청정 시스템을 추가하면 일반 건물이나 주택에서 상시적으로 공기청정이 가능하게 되며 냉·난방시 실내에 자연스러운 외기의 순환을 발생시켜 실내의 모든 공간에서 적절한 습도와 온도가 유지되고 미세먼진이나 CO, CO₂ 등의 농도가 감소하여 쾌적한 실내환경을 확보할 수 있다. 에너지 회수효율을 극대화시키기 위해서는 일반적인 공조공간인 경우 현열 뿐 아니라 잠열을 포함한 전열 엔탈피 교환이 이루어 질 수 있는

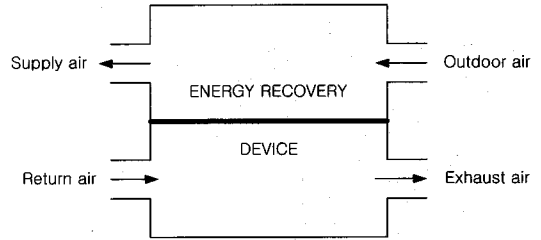


그림 1 에너지회수형 환기시스템 개념도

설비의 개발과 적용이 필요하다.

2.2 종류 및 특성

에너지회수시스템의 종류에는 고정식(fixed plate type)과 회전식(rotary wheel type), 분리식(runaround type), 히트파이프(heat pipe) 등이 있고 공기의 유동방식에 따라 대향류형(counter flow), 교류형(cross flow), 병행류형(parallel flow)으로 분류가 된다.

2.2.1 고정식 판형 열교환기(fixed plate energy exchanger)

이 시스템에서 열회수는 따뜻한 공기에서 찬 공기로 분리판을 통해 직접적으로 이루어진다. 열회수 효율은 50~80%정도로 대향류형이 제일 우수한 효율을 나타내고 병행류형이 가장 낮은 효율을 나타낸다. 판의 소재로는 일반적으로 열전달율이 좋고 부식에 강한 알루미늄이 가장 많이 쓰이지만 200℃이상의 고온이나 설치비용에 큰 부담을 느끼지 않은 경우에는 합금강을 사용한다. 저비용을 요구하는 시스템에는 부식방지를 목적으로 플라스틱이나 유리가 판으로 사용되기도 하고 잠열교환(수분의 교환)을 목적으로 특수처리된 종이 열교환기가

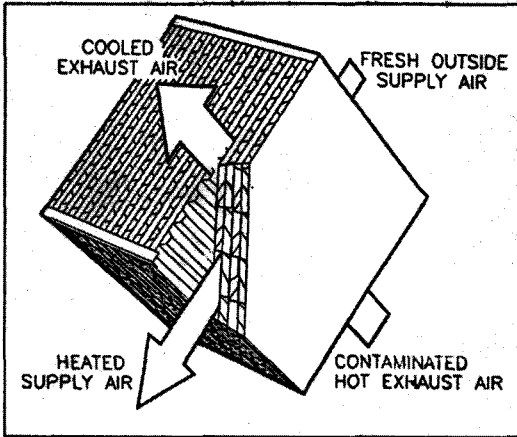


그림 2 교류형 에너지 회수 시스템

사용되기도 한다. 구조가 단순하고 움직이는 부분이 없기 때문에 급·배기간에 누출의 위험이 적고 내구성이 좋으며 회전식의 로터(rotor)에 사용되는 동력과 같은 보조에너지가 필요치 않다. 속도가 증가함에 따라 압력강하량은 지수함수적으로 증가하지만 일반적으로 1kPa이하이므로 큰 문제는 없다.

2.2.2 회전식 열교환기(rotary wheel energy exchanger)

회전식 열교환기는 공기를 통과시키는 여재 (medium)가 부착된 회전 실린더가 부착되어 있다. 외기와 배기는 그림 4에서 보는 바와 같이 대향류 형태로 실린더의 반을 통해서 흘러가고 여재를 통해서 열교환이 이루어진다. 열회수 여재는 현열 또는 전열을 전달하는냐에 따라 선택이 된다.

현열 전달은 여재를 통해 따뜻한 공기 측으로부터 열을 흡수, 저장하여 찬 공기 측에서 열을 방출하여 이루어진다. 잠열 전달은 여재

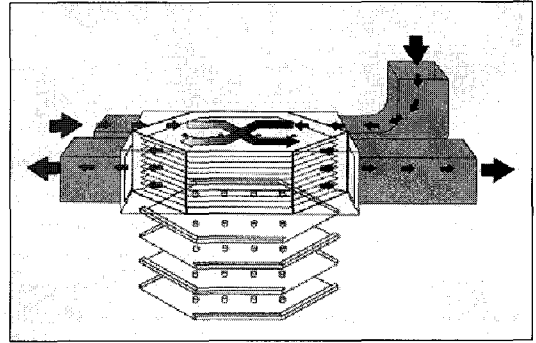


그림 3 대향류형 에너지 회수 시스템

의 온도가 이슬점온도(dew point) 이하인 경우이거나 액체 건조제나 고체 건조제에 의한 흡착의 방법을 이용하여 고습측에서 수분을 흡수하여 저습측에서 증발(또는 열흡수)에 의해 수분을 전달하여 이루어진다. 일반적인 경우 회전식에서의 열전달은 현열과 잠열 전달이 동시에 일어난다. 회전식 열교환기는 유동형태가 대향류이고 로터(rotor)의 직경이 작기 때문에 소형이지만 높은 열회수 효율을 나타낸다.

여재는 일반적으로 필터처럼 주름진 메쉬나 잘 짜여진 천의 형태를 하고 있으며 현열 또는 전열을 회수하느냐에 따라 사용되는 소재가 달라진다. 현열만 회수하는 경우에는 알루미늄, 구리, 강, 모넬 등이 사용되고 있다. 전열을 회수하는 경우에는 일반적으로 알루미늄, Al_2O_3 , LiCl 등이 건조제로서 처리된 수많은 종류의 소재가 사용되고 있다.

회전식 열교환기는 구조상 교차오염(cross contamination)이 발생할 수 있고 사용시간이 지속됨에 따라 압력강하량이 증가할 수 있다. 교차오염은 여재의 회전에 의한 공기의 이송(carry over)에 의해 배기측에서 급기측으로 오

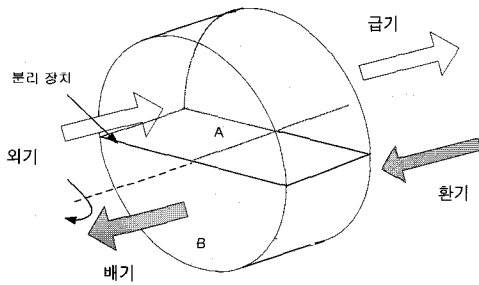


그림 4 회전식 에너지회수 시스템

염공기가 유입되거나 또는 두 유동방향에서의 다른 정압차에 의한 누출(leakage)에 의해 발생한다. 송풍장치나 정화장치의 설치에 의해 교차오염은 어느 정도 감소시킬 수 있다.

2.2.3 기타 열교환기

분리식 열교환기(runaround loops)는 단지 현열 교환에만 사용되는데 병원과 같이 급·배기를 완전히 분리시켜 전외기 방식의 공조를 취해야 하는 곳, 즉 원거리에 떨어져 있는 급·

배기의 열교환시에 설치된다. 이 시스템은 기존의 열교환기를 적용할 수 없는 어떠한 구조물에도 설치가 용이하여 재건축이나 산업용으로 적합하다.

작동원리는 그림 5에서 보는 바와 같이 배기코일을 통과하여 배출되는 공기로부터 폐열을 회수한 후 이 열을 열전달 배관을 통해 원거리에 떨어진 급기코일에 전달한다. 급기코일은 외기에 이 열을 전달함으로써 공조기의 냉·난방부하를 줄여 에너지를 절감하게 된다. 코일은 핀형으로 되어 있어서 열전달 뿐만 아니라 필터의 기능을 대신하고 급·배기 코일이 완전히 분리되어 있기 때문에 교차오염의 위험이 없다. 코일 내부를 통과하는 열전달 유체로는 물이나 부동액(에틸렌글리콜 30%수용액 등)을 사용되고, 팽창탱크(expansion tank)는 사용되는 유체의 팽창·수축뿐만 아니라 에틸렌글리콜의 산화를 최소화하는데 이용된다.

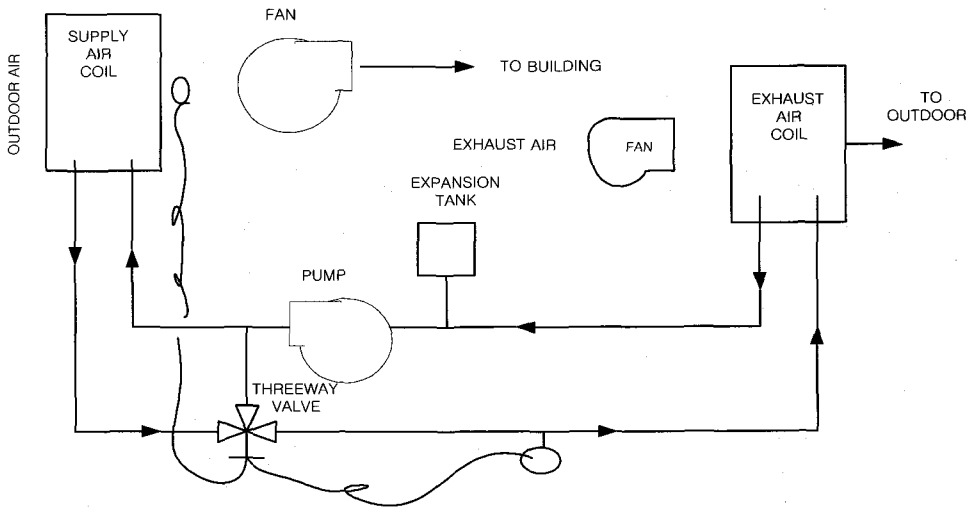


그림 5 분리식 에너지 회수 시스템

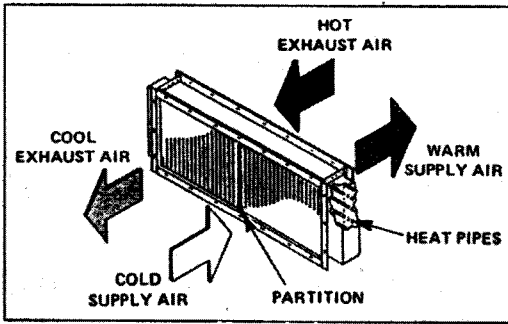


그림 6 히트파이프 에너지 회수 시스템

그림 6에서 보는 바와 같이 히트파이프 열교환기는 일반적으로 판형 핀이 있는 코일의 형태이고 교환기 중간에 분리판이 있어 응축부와 증발부로 분리된다. 따뜻한 공기의 열이 열교환기의 증발부에 유입되어 코일내부의 작동유체(working fluid)를 증발시키고 분압차에 의해 증기는 응축부로 이동하게 된다. 응축부에서

찬 공기에 열을 전달한 후 응축되어 다시 처음과 액체상태로 되고 이 액체들은 분압차에 의해 증발부로 이동하게 된다. 이 시스템의 중간에는 이중의 분리판이 존재하여 두 유동사이의 압력차가 12kPa이하이면 교차오염은 발생하지 않는다. 열회수 효율은 히트파이프의 개수가 증가함에 증가한다.

2.3 열회수 특성

에너지회수 시스템을 사용한 공조시스템에서 열회수량은 그림 7과 같이 실내·외의 온도차가 클수록 많아지며 에너지회수 시스템을 사용함으로써 절약할 수 있는 열량은 외기와 열회수 후에 도입된 외기의 엔탈피 차로 나타낼 수 있다. 일반적으로 우리나라의 여름철과 같은 고온·다습한 조건 하에서는 전열교환설비가 현열만을 교환하는 설비보다 3배정도 많은 에

표 2. 에너지 회수형 환기설비의 비교

	고 정 식	회 전 식	히트파이프	분 리 식
공기유동 배열	역류형, 직교형, 평행형	역류형, 평행형	역류형, 평행형	역류형, 평행형
허용유량(L/s)	25 이상	25~35000	50 이상	50 이상
열전달형태(효율)	현열(50~80%)	현열(50~80%) 전열(55~85%)	현열(45~65%)	현열(55~65%)
속도(m/s)	0.5~5(1~5)	2.5~5	2~4(2.2~2.7)	1.5~3
압력강하량(Pa)	5~450(25~370)	(100~170)	(100~500)	(100~500)
온도범위(℃)	-60~800	-60~800	-40~35	-45~500
제 한	흡습성의 재료를 사용하여 잠열전달	찬 기후에서 교차오염 증가	압력강화와 비용에 의해 효율이 제한됨	높은 효율시 정확한 시뮬레이션 모델요구
누 설 율	0~5%	1~10%	0%	0%

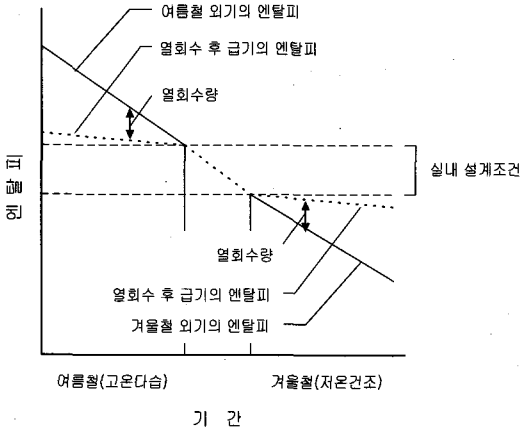


그림 7 외기조건에 따른 열회수 특성

너지를 회수할 수 있고 저온·건조한 겨울철에는 25%정도의 에너지를 회수할 수 있다.

3. 도서관 설치사례

3.1 기본설계

서울시립대학교 도서관은 대부분의 대학 도서관과 마찬가지로 겨울철 난방을 위해서 창가에 라디에터(radiator)가 설치되어 있으며, 난방을 보조하기 위한 온풍 난방기가 설치되어 있다. 여름철 냉방을 위해서는 대형 패키지 에어컨이 설치되어 있다. 별도의 환기설비는 없으며 창문을 개폐하거나 열람인들의 유·출입의 해 실내 공기의 환기가 이루어 졌다. 그러나 난방이나 냉방이 되고 있는 겨울철이나 여름철에는 환기설비가 별도로 되어 있지 못하므로 열람실에서 공부하는 학생들은 심각한 실내오염에 노출되어 있었고, 강제 환기를 위해 창문을 일부 열 경우에는 에너지의 손실이 크게 발생하고 있었다.

이에 따라 대학에서는 열람실에서 거주하는 학생들에게 쾌적한 환경을 제공하여 면학 분위기를 조성하고 동시에 에너지의 절감을 목적으로 전열을 교환할 수 있는 회전식 에너지회수형 환기설비를 열람실에 설치하게 되었다. 에너지회수형 환기시스템에 급기 덕트를 적용하여 도입되는 외기가 실내에 고르게 분포되게 하였다.

그림 8은 서울시립대학교 도서관의 제1 자유 열람실에 설치된 에너지회수형 환기설비와 덕트시스템의 구조를 보여준다. 설치된 에너지회수형 환기설비는 1대당 풍량이 600m³/h이고 종류는 회전식으로 현열과 잠열을 모두 회수할 수 있다.

3.2 필요환기량 및 설치대수 산정

- 1인 기준 환기량 : 25m³/h(일본 건설성 연구보고서 기준)

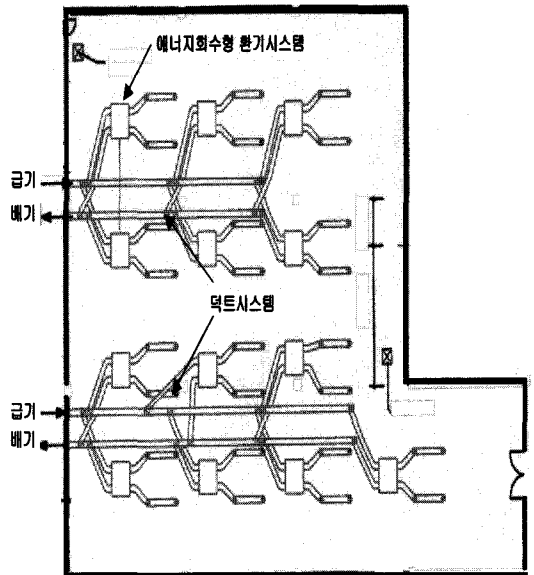


그림 8 환기시스템 설계도

· 제1 자유열람실의 체적 : $518.4\text{m}^2 \times 2.4\text{m}$
 $= 1,244\text{m}^3$

좌석수 : 400석

필요환기량 : $25\text{m}^3/\text{h} \times 400\text{석} = 10,000\text{m}^3/\text{h}$

· 설치대수 = 필요환기량 ÷ 환기설비 1대당
 풍량(덕트손실 고려한 예상값)
 $= 10,000\text{m}^3/\text{h} \div 600\text{m}^3/\text{h} = 17\text{대}$

그림 8에서 보는 바와 같이 실제로 도서관에
 설치된 환기설비의 대수는 13대이다. 이는 1인당
 기준 환기량을 $20\text{m}^3/\text{h}$ 로 하여 계산된 값이다.

3.3 설비시스템 on/off시 실내 환경의 변화

설치된 시스템의 효율과 실내 환경의 변화를
 관찰하기 위하여 시스템을 on/off시키고 각각에
 대해 온도 및 습도, 이산화탄소와 일산화탄소
 의 농도를 조사하였다. 조사를 실시한 시기는
 2000년 2학기 말 시험기간인 12월이었고, 그 때
 의 실외온도는 -1°C , 상대습도는 10%이하, 이
 산화탄소의 농도는 약 370ppm이었다. 조사한
 시간에 재실자의 수는 350인 이상으로 좌석의
 일부를 제외하고는 모든 좌석에 열람인들이 착
 석하고 있었다.

열람실의 환기풍량을 조사하기 위하여 실내의
 급·배기를 위해 천장에 설치된 디퓨저(diffuser)
 를 떼고 풍속과 온도, 습도를 측정하였다. 측정된
 급기부의 평균풍속은 약 1.5m/s , 온도는 약 25°C ,
 습도는 약 10%였다. 배기부의 풍속은 평균적으
 로 약 1.0m/s , 온도는 약 27°C , 습도는 약 16%로
 측정되었다. 시스템을 off시켰을 때 온도 및 습도
 는 외기의 도입량이 없다고 볼 수 있기 때문에
 측정하지 않았으며, 4곳의 측정지점에서 이산화
 탄소와 일산화탄소의 농도만을 측정하였다. 시스

표 3 환기시스템의 on/off시 열람실 공기
 환경의 변화

	off		on	
	급기	배기	급기	배기
총풍량(m^3/h)	-	-	10,530	7,020
온도($^\circ\text{C}$)	-	-	25	27
상대습도(%)	-	-	10	16
이산화탄소(ppm)	1,450	1,450	1,100	1,100
일산화탄소(ppm)	1	1	-	-

(이산화탄소의 측정값은 시스템을 off시킨
 후 30분 후의 값이고, on시 측정값은 1시
 간후의 값임)

템을 on시켰을 때에는 일산화탄소의 농도를 제
 외한 모든 값을 측정하였다.

표 3에 보여진 총풍량은 급·배기구에서 그
 값이 달라지는데 이는 재실자의 출입이나 틈새
 바람 등에 의해 외부로 빠져나가는 양에 의한
 차이로 볼 수 있다. 따라서 실제적인 환기풍량
 은 급기부에서의 총풍량이라 할 수 있다.

측정결과, 환기량은 3.2절에서 1인 기준 환기량
 에 의해 산정된 열람실의 필요환기량과 실제
 측정된 환기량은 거의 비슷한 값을 나타내었다.
 시스템을 off상태의 이산화탄소에 대한 측정실
 험에서는 시험기간에 공부 중인 학생들의 편의
 를 위하여 30분후 값을 관찰하고 기재하였다.
 측정당일 설치 후 처음으로 가동중인 시스템을
 off시키고 이산화탄소의 증가량을 관찰하였다.

표 3에서 보는 바와 같이 30분만 지나도 이
 산화탄소의 농도가 공중위생법 시행규칙 기준
 (1000ppm 이하)에 비해 상당히 높은 수치를 나

타내고 있다. 이는 시스템 설치이전 열람실의 실내공기질 환경이 상당히 나빴음을 보여주고 있다. 다시 시스템을 on시키고 1시간 후에 이산화탄소의 감소량을 측정한 결과 표 3에서 보는 것과 같이 1100ppm정도로 나타났다. 이는 공중위생법 시행규칙 기준(1000ppm)에 비해서는 100ppm정도의 높은 값으로 나빠진 실내공기질이 단시간 내에 쉽게 회복되지 않음을 보여주고 있다. 일산화탄소의 농도는 시스템을 가동시키지 않은 상태에서 1ppm이하로 측정되었고 이는 공중위생법 시행규칙 기준(10ppm이하)에 비해 상당히 낮게 나타났고 따라서 시스템 가동 후 더 이상의 측정은 하지 않았다.

측정실험에서 이산화탄소에 대한 측정실험이 계속해서 이루어지지 않은 이유는 설치된 시스템의 설비점검 시간 제한과 식사시간으로 인한 열람인 수의 급격한 감소 때문이었다. 만약 계속해서 이산화탄소의 농도에 대한 측정실험이 이루어졌다면 지수함수적인 감소를 보이는 농도감소변화의 특성상 4~5시간 후에 정상상태에 도달하고 그 농도는 500~700 ppm정도가 될 것으로 예상된다. 현재의 자료는 설치점검을 위한 예비측정으로 앞으로 에너지절약형 환기설비에 대한 보다 상세한 장기 측정 및 분석 결과가 진행될 예정이다.

3.4 에너지 절감효과

서울시립대학교 도서관에 설치된 에너지회수형 환기시스템에 대해 설치한 후의 에너지 회수효율을 단순한 방법으로 설명하면 다음과 같다. 실험당일의 외기조건을 기준으로 단순 환기시스템인 덕트와 송풍기만이 설치되어 차가

운 외기를 소요환기량만큼 도입한다면 이로 인한 에너지 손실은 외기부하량 계산법(외기부하량 $=0.29 \times$ 환기량 \times 실내외 온도차)에 의해 75,400 kcal/h 정도가 된다. 이 난방부하를 해결하기 위해서 열람실에 온풍 난방기만을 설치한다면 온풍 난방기의 1대당 소비전력이 15kW(기준에 설치된 온풍 난방기 기준)이므로 6대가 설치되어 동시에 가동되어야 한다.

그러나 열람실에 에너지회수형 환기시스템이 설치되면 외기부하량이 5,800kcal/h로 줄어들어 시스템에 의한 에너지 회수효율은 $69,600 \div 75,400 \times 100 = 92.3\%$ 가 된다. 또한 에너지회수형 환기시스템이 13대가 설치된다면 1대당 소비전력이 0.25kW이므로 총 소비전력은 3.25kW밖에 되지 않아 시스템이 설치되지 않았을 때 난방기 6대의 소비전력(90kW)보다 훨씬 작아진다. 그만큼 환기의 목적을 달성하며 열회수로 인한 경제성이 높아진다는 것을 알 수 있으며 환기 시설투자에 대한 회수기간을 산정할 수 있다.

결국 에너지회수형 환기 시스템의 설치 후에 생기는 외기부하량 5,800kcal/h에 의한 에너지 손실을 보상하기 위해서 난방기를 1대만 설치하면 난방부하에 대한 문제는 해결된다고 볼 수 있다. 이로 인하여 총 소비되는 전력량은 에너지회수형 환기시스템의 소비전력과 난방기 1대의 소비전력의 합이라고 할 수 있다. 따라서 본 도서관 설계사례에서의 환기량 확보를 위해 에너지회수형 환기시스템을 사용할 때의 에너지소비량은 20,800kcal/h이며, 이 양은 동일한 조건에서 단순 환기시스템을 설치하였을 때 온풍 난방기 6대 소비량인 91,000kcal/h의 22.9%밖에 안된다. 이는 소비전력에 대한 실제

적인 절감효과가 77.1%정도 발생하여 소정의 환기 목적을 달성하며 상당량의 운전비용을 절약할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

4. 결론

본 고에서 살펴본 도서관 설치 에너지회수형 환기설비는 공기 대 공기의 열교환을 통하여 환기에 의한 외기부하를 감소시킬 뿐만 아니라 설치 후의 운전비용이 상대적으로 떨어지기 때문에 에너지 절약의 효과를 볼 수 있었다. 또한 외부공기를 실내로 유입시켜 실내를 환기시키기 때문에 실내 공기환경이 개선되는 효과도 볼 수 있었다. 또한 본문에서 다루지는 않았지만 도서관에 설치된 회전식 열교환기는 교환기 이전에 프리필터(pre-filter)가 존재하고 열회수가 이루어지는 여재가 잘 짜여진 그물망의 형상이기 때문에 필터의 역할을 수행하여 미세분진에 대한 일차적인 제거효과도 발생한다.

그러나 열람실 내의 습도는 일반 건물의 적정 습도조건보다는 상당히 낮은 수치로 나타나고 있다. 이는 우리나라의 겨울철 날씨가 저온 건조한 특성 때문이며 별도로 가습시스템이 존재하여 실내로 수분을 전달하지 않는 이상은 수분전달의 소스가 없어서 습도를 필요한 조건으로 맞출 수가 없다. 이처럼 실내에 수분이 충분하게 존재하지 않는 경우에는 습도에 대한 문제가 발생할 수 있다. 따라서 실내 공기질의 향상을 위해서는 에너지회수형 환기시스템도 실내에 가습기가 필요하다는 것은 주지해야 할 사실이다.

실내 생활자의 쾌적한 환경을 제공하고 에너지 절약이 매우 요구되는 국내·외의 실정으로 볼 때 이러한 에너지회수형 환기설비는 실내공기질

향상을 위해 적용이 확대되어야 할 설비라고 할 수 있다. 그러나 현재 보급되고 있는 설비의 핵심부품인 전열 열교환기 등은 외국 기술과 부품에 의존하고 있는 실정이므로 이러한 에너지회수형 환기설비에 대한 연구 개발이 활성화되어 경제성 있는 제품이 국산화되고 그 적용이 확대되어야 한다. 현재 설치되고 있는 제품들도 먼지·내외의 조건에 맞게 충분한 고려가 있어야 하고 그에 따른 시스템 설계상의 수정이나 개선이 이루어져 정량적인 설계와 객관적인 평가를 거쳐 실내 공기환경을 향상시키고 에너지 절감을 이룰 수 있도록 해야 할 것이다.

- 참고문헌 -

1. ASHRAE, 1989, "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", ASHRAE Standards 62-1989.
2. ASHRAE, 1996, "Air-To-Air Energy Recovery", ASHRAE Systems and Equipment Handbook 42-1996.
3. Teichman, K. Y., 1995, "Criteria for IAQ and Ventilation", PAN PACIFIC Symposium, pp.393-402.
4. 김동식, 2000, "공기배관에 적용된 일체형 열교환기", 에너지정보기술, 제12권, pp.90-94.
5. 배귀남, 1997, "실내공기질 측정 및 평가법", 공기청정기술, 제14권, 제10호, pp.48-57.
6. 윤동원, 1997, "실내 공기오염과 집단 건물증후군", 공기청정기술, 제14권, 제10호, pp.58-70.
7. 최대엽, 1993, "건물 공기조화시스템에서 전열교환기의 성능평가 및 에너지절약효과 관한 연구", 한양대학교, 석사학위논문.