전열교환형 환기장치

김 광 영
(주) 에 이 스 랩
대 표 이 사

1. 서 론

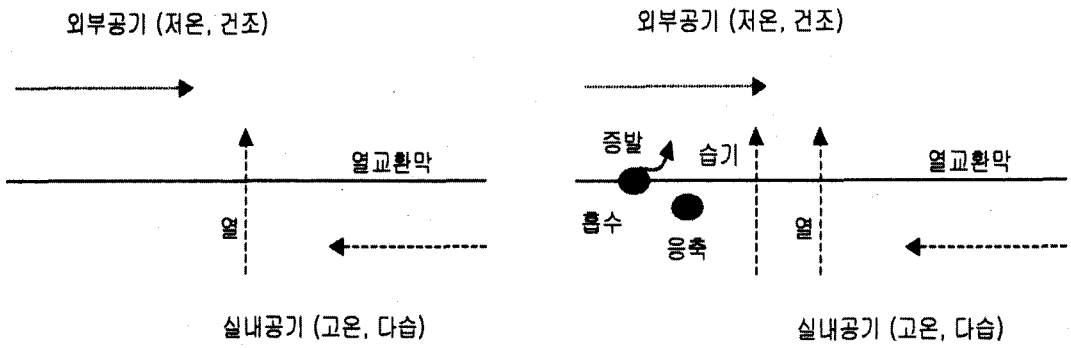
신선한 공기의 유입이 없는 밀폐된 건물 내부를 냉·난방할 경우 실내의 공기질이 악화되며, 또한 건축자재와 생활용품 등으로부터 유해물질이 발생되어 사람의 건강에 나쁜 영향을 미치게 된다. 최근에는 건축기술의 발달로 창의 기밀도가 높아 창을 통한 외부의 공기의 유입이 거의 없는 실정이어서 별도로 신선한 외부공기를 유입해야만 한다.

그러나 겨울철 차가운 공기의 실내유입은 고가의 난방에너지의 사용이 불가피하여 막대한 에너지 손실을 발생시키며, 여름철 고온의 실외공기의 실내유입은 냉방부하를 증대시켜 에너지 손실은 물론 여름철 전력 수급 문제를 야기시키게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 개발된 것이 급기공기(실외공기)와 배기공기(실내공기)간의 열교환을 적용시킨 건물 배기열 회수용 환기장치이다.

이러한 배기열 회수용 환기 장치는 배기공기중의 열에너지의 약 60~70%를 회수할 수 있으며, 기존에 설치되어 있는 공조기기에 간단히 환기장치를 추가로 설치하여 냉난방 부하를 줄여 년간 운전경비를 절감할 수 있는 효과적인 에너지 절약기기이다. 외국에서는 공조기기 설치시 환기장치의 병행 설치가 의무화되어 있어 환기장치가 이미 상용화되어(Z-DUCT(미국), HEATEX(스웨덴), PEMCO, ENERPAK(핀랜드), HELIOS(독일), DAIKIN, TERAL, NATIONAL, MITSUBISHI(일본) 등) 공조, 산업, 화학, 플랜트 분야 등 광범위하게 적용하여 에너지 절감효과를 거두고 있다.

현재 국내의 주상복합빌딩, 고급아파트 등에 사용되고 있는 것은 전량 외국으로부터 수입에 의존하고 있으며, 국내의 대기오염상태를 고려하지 않아 사용후 수개월 이내에 분진 및 미스트 등에 의해 열교환막이 오염되어 성능저하가 초래되고 있으며, 실내의 디퓨저까지 연결되는 덕트내의 오염을 가속화시켜 실내공기질의 악화를 초래할 수도 있는 실정이다.



(a) 현열교환방식 (b) 전열교환방식

그림 1 열교환 원리

2. 환기시스템의 개요

2.1 환기시스템의 원리 및 특징

일반 환기시스템에는 현열교환 환기, 전열교환 환기 그리고 배기 환기가 있다. 이 세 가지 환기의 특징 및 열회수 효과에 대한 내용은 표 1에 나타나 있다.

공기 중에 포함되어 있는 수증기가 가지고 있는 열을 잠열이라고 한다. 이 잠열의 열교환 유무에 따라 환기에 대한 전체 열부하가 달라진다. 현열교환은 온도만의 차로 열교환을 하여 열회수를 하는 것이며, 전열교환이란 온도와 습도를 동시에 열교환한다. 또한 배기 환기는 온도 및 습도를 교환하지 않는 환기를 말한다.

그림 1에서와 같이 겨울철 난방시 전열교환 환기를 하면 외부공기에 비하여 상대적으로 고온다습한 실내의 공기와 외부의 저온저습한 공기가 열교환을 하면서 수증기의 상변화에 의한 잠열교환이 이루어지나 현열교환 환기는 온도만의 차로 열교환하므로 열회수 측면에서 전열교환 환기를 선택하는 것이 에너지 절약 측면

표 1 환기 형식에 따른 열회수 효과 비교

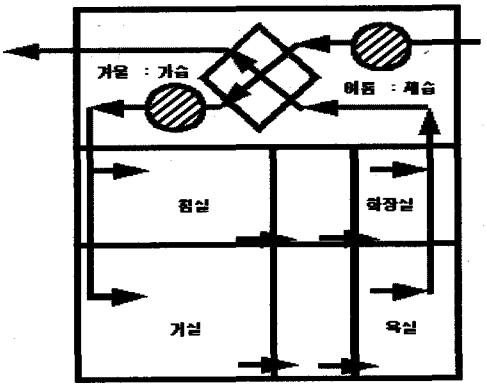
		현열교환 환기		전열교환 환기		배기 환기	
		열교환 효과	기능	열교환 효과	기능	열교환 효과	기능
여름	현열	○	열회수	○	열회수	×	-
	잠열	×	-	○	제습효과	×	-
겨울	현열	○	열회수	○	열회수	×	-
	잠열	×	-	○	가습효과	×	-

※ ○ : 양호, × : 불량

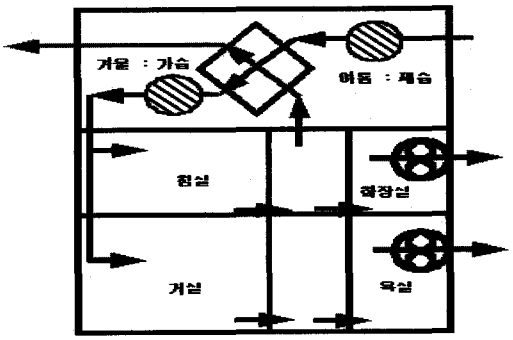
에서 유리하다고 볼수 있으며, 배기형태의 환기는 전혀 열회수가 되지 않는다.

일본의 예를 들어 살펴보면, 일본 기후의 특성상 여름은 실내외의 온도차가 작기 때문에, 열교환하는 비율이 작아져 열회수 효과에는 큰 차이가 없으나 실내 제습효과가 있으며, 겨울에 있어서 잠열을 교환한다는 것은 열회수 측면과 실내의 습도 조절에 탁월한 효과가 있다.

또한 에너지절약 측면만이 아니고, 잠열를 교환한다는 것은 겨울철의 실내 과건조를 방지할 수 있어 고단열·고기밀로 전실난방의 주택에 있어서 저온·저습의 외부 공기를 도입해 난방을 하게 되면 실내는 건조해 질것이며 환기를 하면 할수록 실내는 더욱 더 건조해질 것이다. 그러나 전열교환 환기를 하면 과건조를 막을 수 있다. 전열교환 환기는 위와 같은 장점을 가지고 있기에 고단열·고기밀 주택의 열교환 환기시스템에서는 전열교환 환기시스템이 주류를 이루고 있다.



(a) 현열교환 환기시스템



(b) 전열교환 환기시스템

그림 2 열교환 환기시스템

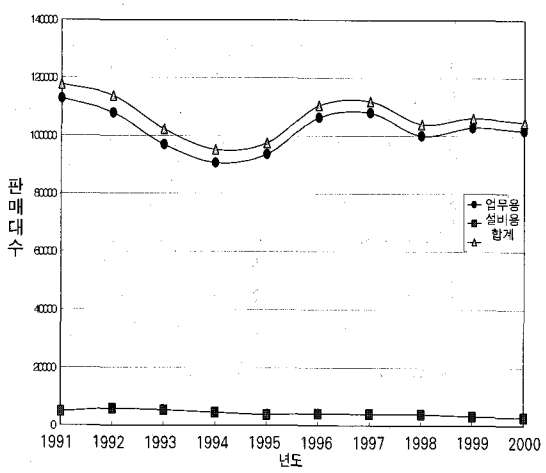
2.2 열교환 환기시스템

위에서 기술했듯이 전열교환 환기시스템이 무조건 장점만 있는 것이 아니다. 전열교환이 수증기를 교환하기 때문에 욕실이나 화장실에서는 전열교환 환기에서 환기 경로에 두어서는 안된다.

그림 2는 현열교환 환기시스템과 전열교환 환기시스템의 환기경로에 대한 예이다. 전열교환 환기시스템에서는 환기경로가 2개 만들어지고 욕실이나 화장실의 경로에는 일반적인 배기팬이 장착된다. 두 개의 계통으로 나누어진다는 것은 환기 계획에 있어 환기 발란스에 영향을 미칠 수 있다. 그리고 또 다른 문제점 중의 하나는 열교환 환기시스템은 배기 형태 환기시스템에 비해 초기비용(Initial cost)이 비싸다는 점이다.

2.3 현열교환 환기시스템

현열교환은 습기의 문제가 있으나, 그 결점을 가습과 제습으로 이 문제를 해소하고 있다. 이 장치는 전열교환 환기시스템에 비해 장치비의 부담이 크지만, 신선한 공기를 그대로 받아들이기 때문에 실내공기를 쾌적하게 유지한다.



※ 업무용 : 일반적으로 빌딩의 천장에 설치하는 중규모의 것으로 급배기용의 송풍기가 설치된 유닛

설비용 : 일반적으로 에어핸들링유닛과 덕트로 접속하는 대형

그림 3 일본의 전열교환기 판매 현황

일본은 고단열·고기밀화가 시작할 때쯤에는 고기밀이 되면 실내가 다습하게 된다고 해서 수증기를 버리는 현열교환이 주류를 이루었지만, 고단열·고기밀 주택은 건조한 것으로 판명되어 전열교환형 환기시스템이 다시 주류를 이루게 되었다. 그러나 지금은 전열교환의 단점을 보완할 수 있는 현열교환 환기시스템이 등장하는 등, 열교환 환기의 제품 개발에서도 다이나믹한 전개를 보이고 있다.

2.4 전열교환기의 수요

그림 3은 지난 10년간 일본에서의 전열교환기 수요를 연도에 따라 그린 그래프이다. 그림 3에서 알 수 있듯이 일본은 전열교환기를 이용한 환기장치가 10여년 이전부터 보편화되었으며, 그 수요는 변동폭이 20% 정도에서 일정함을 알 수 있다. 향후 국내의 수요는 일본의 1/5 정도로 추산되고 있어, 그 수요가 점점 증대되리라 예상된다.

3. 전열교환기

3.1 전열교환기의 종류 및 특성

1) 회전형

회전형은 그림4와 같이 흡습성이 있는 허니컴(honeycomb)형의 로터(roter)를 외기 유로와 배기의 유로를 교대로 회전시킨다. 로터의 소재로는 알루미늄판, 난연지, 아스베스토스 등이 사용되며, 흡습제로는 실리카겔이나 염화리튬 등이 사용된다. 여름철에는 로터의 엘레먼트는 외기의 유로에서 고온고습의 외기에 의하여 가열되고 흡습한다. 그리고 이 부분이 회전하여 실내에서의 배기의 유로에 들어가면 배기에 의하여 냉각제습된다. 이와 같은 순환으로 도입외기는 냉각제습되고 배기는 가열가습된다. 겨울에는 외기가 저온저습하므로 여름과 반대로 작용하여 도입외기는 가열가습된다.

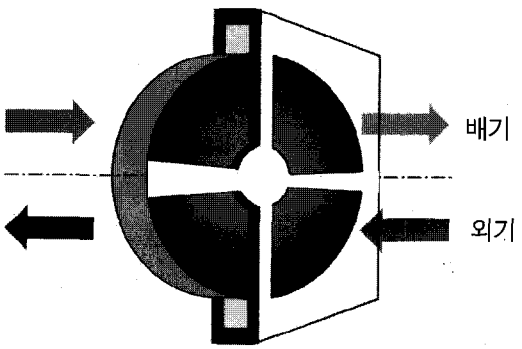


그림 4 회전형 열교환기

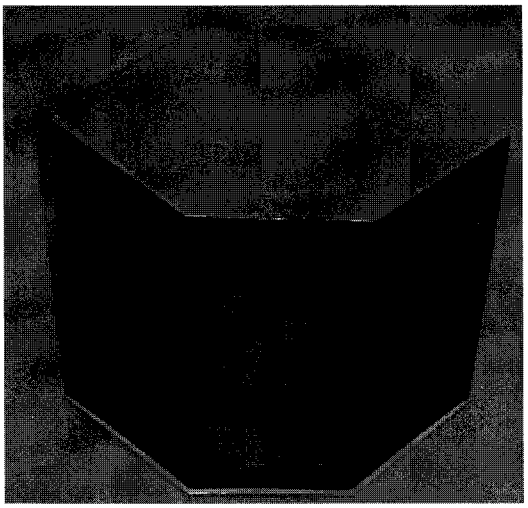


그림 5 고정형 전열교환기

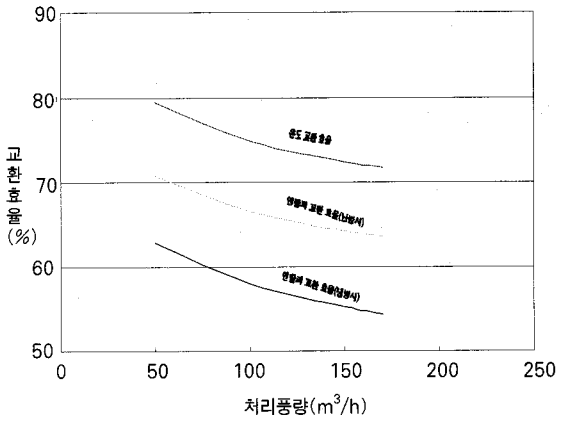


그림 6 고정형 전열교환기의 효율 곡선

2) 고정형

그림 5는 당사의 고정형 전열교환기로 외기가 실내로 들어오는 유로와 실내공기가 외부로 빠져나가는 유로 사이에 고분자 수지 또는 특수 펄프지로 열교환막을 만들며, 이 열교환막을 통하여 전열교환(잠열 + 현열)이 이루어진다. 고정형 전열교환기에서는 실내공기와 실외공기가 섞이지 않으나, 투습성은 지니고 있어야 한다. 그림 6은 당사 150cmh 전열교환기의 효율곡선이다. 열교환기와 통과풍속과는 반비례하며, 전열교환효율(엔탈피교환효율)을 보면 냉방할 때 보다 난방할 때가 효율이 더 좋은 것을 알 수 있다.

3.2 전열교환 환기장치의 국산화

1) 전열교환막의 특성

전열교환막 소재는 고분자 수지 또는 특수 펄프지 등으로 만들어진다. 종래에 당사는 고분자 수지를 열교환막 소재로 채택하였으나, 잠열교환효율을 향상시키기 위해 현재는 특수 펄프지로 열교환막 소재를 채택하고 있다. 당사의 열교환막은 섬유소재와 기능성 충진재인 항균제, 난연제를 배합하여 내수성, 항균성 및 난연성을 향상시켰으며, 전열교환효율을 선진국 수준까지 개선시켰다.

2) 성능테스트

당사에서 개발한 그림 7과 같은 개요의 전열교환 환기장치는 아파트, 오피스텔 등 공동 주택용으로 에너지 절약은 물론 실내 공기질 향

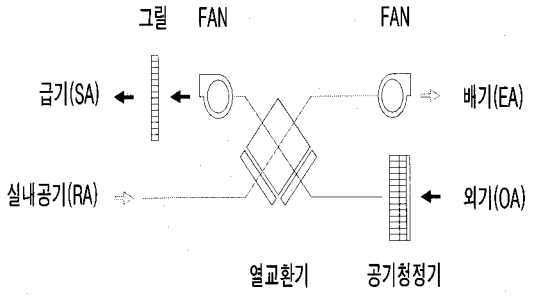


그림 7 전열교환 환기장치의 개요

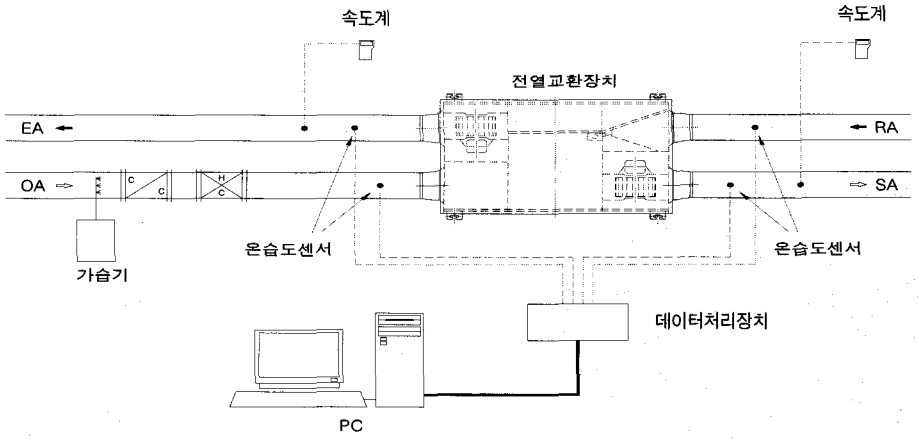


그림 8 실험 장치도

상을 위한 장치이다. 따라서 당사는 2000년 11월에 아파트 현장에 당사 전열교환 환기장치를 설치하여 테스트하였다.

그림 8은 실험장치도이며, 그림 9는 부하테스트(Load test)를 위한 전열교환 환기장치의 설치도이다. OA(Outdoor Air) 쪽에 공조기를 설치하여 온습도조건을 맞추어 효율테스트를 실시하여야 하나 현장의 여건상 냉각코일(Cooling Coil), 가열코일(Heating Coil) 및 가습기(Humidifier)로 여름 및 겨울 온습도 조건을 맞추어 현장 테스트를 실시하였다.

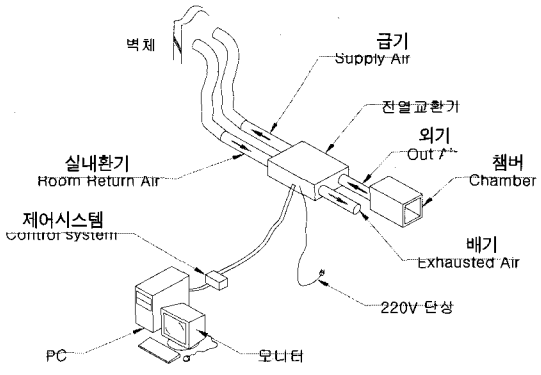


그림 9 Load test를 위한 전열교환 환기장치 설치도

3) 성능테스트 결과

(1) 여름 조건

표 2와 표 3은 풍량이 강(150cmh)이었을 경우와 약(100cmh)이었을 경우의 실험조건이며 그림 10과 그림 11은 실험결과이다.

표 2 실험 조건 (풍속 강)

	OA	SA	RA	EA
온도(C)	31.65	22.65	21.17	26.20
상대습도(%)	31.57	48.49	43.08	36.42
절대습도(g/kg)	9.13	8.27	6.70	7.67
엔탈피(kJ/kg)	54.92	43.61	38.18	45.71

표 3 실험 조건 (풍속 약)

	OA	SA	RA	EA
온도(C)	28.41	22.32	21.14	25.35
상대습도(%)	41.11	51.35	47.37	40.36
절대습도(g/kg)	9.88	8.58	7.36	8.09
엔탈피(kJ/kg)	53.51	44.08	39.80	45.90

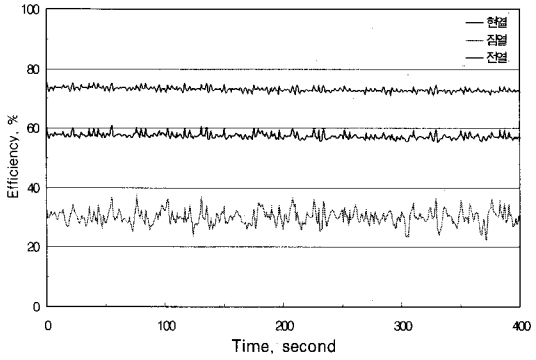


그림 10 시간에 따른 열교환 효율 (풍속 강)

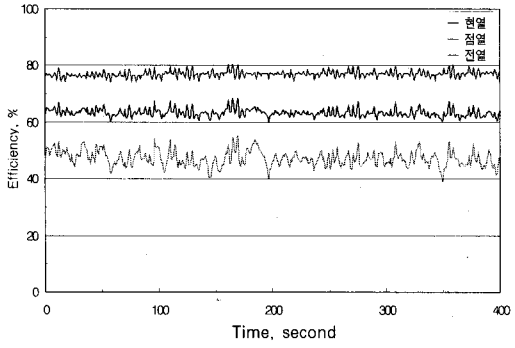


그림 11 시간에 따른 열교환 효율 (풍속 약)

(2) 겨울 조건

표 4와 표 5는 풍량이 강(150cmh)이었을 경우와 약(100cmh)이었을 경우의 실험조건이며, 그림 12와 13은 실험결과이다.

표 4 실험 조건 (풍속 강)

	OA	SA	RA	EA
온도(C)	5.79	19.03	19.33	12.19
상대습도(%)	75.55	37.75	45.00	61.74
절대습도(g/kg)	4.30	5.14	6.24	5.42
엔탈피(kJ/kg)	16.61	32.06	35.15	25.88

표 5 실험 조건 (풍속 약)

	OA	SA	RA	EA
온도(C)	5.62	20.79	20.70	12.24
상대습도(%)	72.77	33.69	40.08	59.31
절대습도(g/kg)	4.10	5.12	6.05	5.22
엔탈피(kJ/kg)	15.92	33.79	36.06	25.43

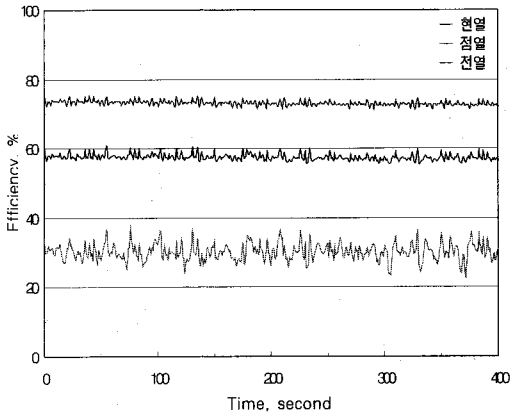


그림 12 시간에 따른 열교환 효율 (풍속 강)

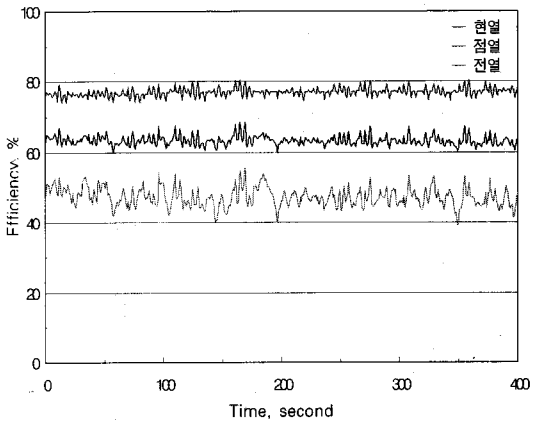


그림 13 시간에 따른 열교환 효율 (풍속 약)

(3) 현열교환기

본 실험은 아파트에 기설치되어 있는 외국산의 현열교환기 환기장치에 연결하여 실험하였다. 실험조건은 표 6과 같으며, 그림 14는 실험결과이다.

현열교환에 있어서는 당사의 전열교환기와 아파트에 기설치되어 있는 현열교환기 효율이 비슷한 것으로 나타났다. 그러나 전열교환기는 잠열교환을 행함으로써 에너지 효율에서는 10% 이상의 에너지 절약을 할 수 있으며, 실내의 습도 문제를 감안한다면 전열교환기를 채택하는 것이 실내 쾌적성을 더욱 향상시킬 수 있다.

표 6 테스트 조건 (여름조건)

	OA	SA	RA	EA
온도(C)	29.54	23.46	22.46	24.37
상대습도(%)	32.76	46.60	42.07	37.30
절대습도(g/kg)	8.40	8.40	7.08	7.08
엔탈피(kJ/kg)	50.91	44.76	40.44	42.37

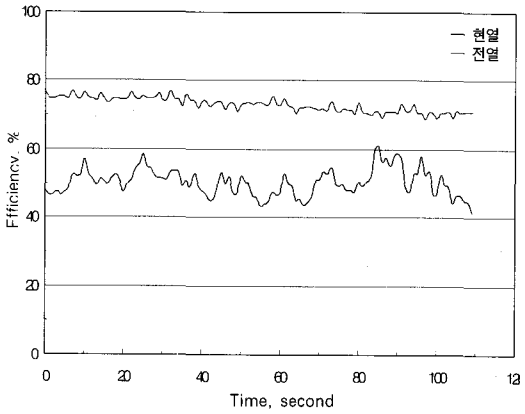


그림 14 시간에 따른 열교환기 효율
(현열교환기)

(4) 집진효율

그림 15는 당사의 전열교환 환기장치에 내장되어 있는 공기정화유닛의 테스트 결과이다. 측정장치는 LPC(Laser Particle Counter)로 입자의 갯수 농도를 측정하였다. 본 장치에 설치된 집진필터는 반도체 수지형 집진전극을 채용한 전기집진방식의 것으로 크기는 260(W)×56(D)×100(H)mm이며, 당사 환기장치가 강(150cmh)으로 운전되었을 때 공기정화 유닛의 면 풍속은 1.9m/s이며, 이 때 집진효율은 0.5 ㎛ 이상의 분진에 대해 95 % 이상의 포집효율을 가지고 있다. 현재 서울 시내의 대기오염상태를 고려하면 대기중에 포함되어 있는 분진(타이어 분진, 매연), 미스트, NOx, VOC 등의 제어는 열교환기의 성능유지 및 실내 공기질 확보 관점에서 필수적으로 취해져야 한다.

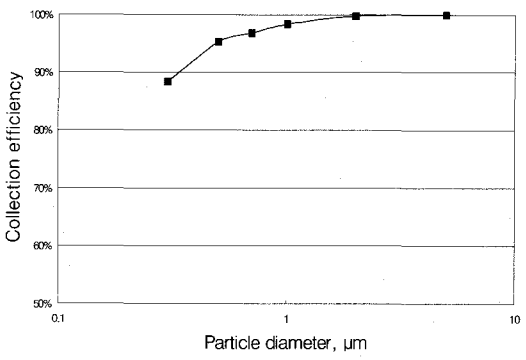


그림 15 입자 크기에 따른 효율

4. 전열교환 환기장치의 적용예

다음은 전열교환 환기장치의 적용 예이며, 운전은 상시 24시간이다. 열교환 유닛을 각층에 설치해 각 실에 신선한 공기를 덕트로 송풍하는 덕트식 열교환 환기시스템입니다. 전열교

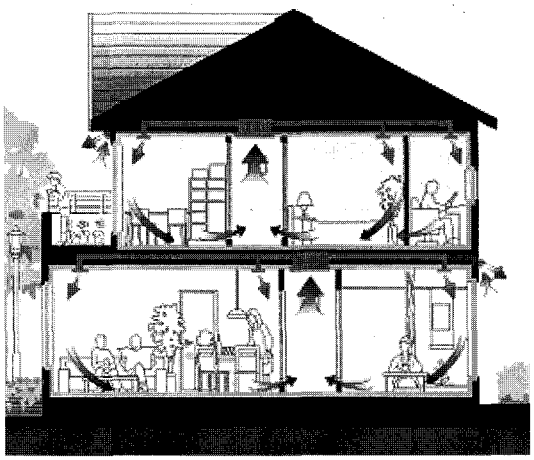


그림 16 전열교환 환기장치 적용 예

환을 하여 바깥 공기를 실온에 가깝게 만들기 때문에 난방시에는 실외공기의 찬바람에 의한 불쾌감이 줄어들며 외부의 유해 물질이 침입하는 것을 막기 위해서 급기 되는 부분에 필터를 장착하여 외부의 유해물질이 실내로 들어오는 것을 막아준다. 건물이 고기밀, 고단열화 됨에 따라 창의 여닫기를 할 수 없는 도시의 거주자에게 항시 쾌적한 실내 환경을 조성할 수 있다.

4. 결 론

최근 주택의 고기밀·고단열화가 진행되어 거주자의 건강을 유지하기 위해서는 계획 환기의 필요성은 폭넓게 인식되어 거주자들도 환기의 관심이 날로 높아지고 있다.

그렇지만, 기후 조건이나 환경·생활 습관의 차이 등에 의해 요구되는 환기 요구는 여러 가지이다. 지역별로 보면 한랭 지구에서는 겨울철에 발생하기 쉬운 결로를 억제해야 하며, 비한랭지구(준한랭지구·온난지구)에서는 담배연기나 가스 등과 같은 불쾌한 오염물질을 옥외에 배출해야 하기 때문에 환기시스템의 요구되는 사양은 여러 가지이다.

국내와 같이 여름에는 고온·다습하며 겨울에는 저온·저습한 기후를 나타내는 기후에서는 전열교환형 환기장치와 같이 온도뿐만 아니라 잠열까지 교환할 수 있는 환기장치가 필요하다.

서울과 같이 대기오염이 심한 경우에는 외기를 정화시켜 공기질을 향상시켜야 할뿐만 아니라, 외기 중의 분진 등을 제어하여 열교환기의 오염을 방지하여 열교환 성능을 유지해야할 필요가 있다.

-참고 문헌-

1. ASHRAE Handbook, "Heating, Ventilating and Air-Conditioning Applications" (1995).
2. ASHEAE Handbook, "HVAC Systems and Equipment" (1996).
3. ASHRAE Handbook, "Fundamentals" (1997).
4. ASHRAE Handbook, "Refrigeration" (1998).
5. N.R. Grimm and R.C. Rosaler, "Handbook of HVAC Design", McGraw-Hill (1990).
6. G.F. Hewitt, "Heat Exchanger Design Handbook", Vol.1~Vol.5, Begell House, Inc. (1998).
7. National(일본)의 열교환유닛 카타로그.