

공동주택 열교환기의 성능 및 에너지소비 특성 평가

김 상 민[†], 박 병 윤^{*}, 손 장 열^{**}

현대건설 기술연구소, ^{*}수원과학대학 건축과, ^{**}한양대학교 건축대학

Evaluation of the Performance and the Energy Consumption Characteristics of Heat Recovery Ventilators in Apartments

Sang-Min Kim[†], Byung-Yoon Park^{*}, Jang-Yeul Sohn^{**}

Hyundai Institute of Construction Technology, Yongin 449-710, Korea

^{*}Department of Architecture, Suwon Science College, Hwasung 445-742, Korea

^{**}College of Architecture, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received March 18, 2005; revision received April 6, 2005)

ABSTRACT: Heat recovery ventilators (HRV) are developed in order to satisfy both energy conservation and the improvement of indoor air quality as an alternative for current natural ventilation systems and local mechanical ventilation systems in kitchens and bathrooms. However, the performance of HRV system and the consequent effect on heating and cooling energy saving have not been sufficiently validated quantitatively in case of the application of HRVs in real residences. In this study, field measurement and computer simulation were conducted in both summer and winter period to assess the performance and validate energy conservation effect of HRVs. Under the Korea weather condition, average total heat recovery efficiency was 27% in summer and 46% in winter. According to the field measurement, HRV system can save the energy by 10% in summer and 15% in winter. Furthermore, according to the simulation assessment, HRV system can save the energy by 17% in summer and 14% in winter.

Key words: Heat recovery ventilator(HRV, 열교환기), Indoor air quality(실내공기질), Heating energy(난방에너지), Cooling energy(냉방에너지)

기 호 설 명

상첨자

C : 가스농도 [PPM]
 E : 보정열교환효율 [%]
 Q : 풍량 [m^3/h]
 q : 누기풍량 [m^3/h]
 X : 온도 [$^{\circ}C$], 절대습도 [kg/kg'] 또는 엔탈피 [$kcal/kg'$]

' : 보정

하첨자

C : 누기풍량 제외된 OA-SA의 풍량
 c : OA에서 EA로 누기되는 풍량
 EA : 배기(exhaust air)
 H : 누기풍량이 제외된 RA-EA의 풍량
 h : RA에서 SA로 누기되는 풍량
 OA : 외기(outdoor air)

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-280-7355; fax: +82-31-280-7070

E-mail address: smkim@hdec.co.kr

RA : 환기(return air)

SA : 급기(supply air)

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근에 시공되는 초고층 공동주택은 창문과 외피의 기밀성능 향상으로 에너지절약에는 매우 효과적이지만 실내공기환경이 악화될 수 있는 요인이 되기 때문에 적절한 환기시스템에 대한 요구가 증가하고 있다. 그 대안으로 에너지절약과 실내공기질 향상의 상반된 두 가지 목표를 동시에 만족시킬 수 있는 공기식 열교환기(Heat Recovery Ventilator, HRV)를 도입하고 있다.

공동주택의 열교환기 설치와 운전은 일반 사무소건물과 달리 공동주택 단위세대에 설치하고 거주자가 운전하는 개별방식이 대부분이다. 국내의 기후조건은 사계절이 뚜렷하고 겨울철에는 저온·저습하고 여름철에는 고온·다습한 특징을 가지고 있다. 이러한 기후조건에서는 열교환기의 열교환 소재의 종류, 외기 온·습도에 따른 열교환 효율 변화 특성, 그리고 입주자의 운전패턴에 따라 냉·난방에너지를 효과적으로 절약하지 못할 수도 있기 때문에 외기도입량을 적정하게 유지하면서 열교환기를 효율적으로 운전하는 것이 에너지절약과 실내공기환경을 동시에 만족시키는 방법이라 할 수 있다. 그러나 공동주택에 사용되는 열교환기의 에너지절약 효과에 대한 검증이 아직 부족한 상태이기 때문에 본 연구에서는 현재 국내 공동주택에 설치되고 있는 현열교환기와 전열교환기의 열교환 성능과 에너지절약 효과를 실제적으로 평가하기 위해서 건물에 설치된 현열 및 전열교환기의 에너지소비 특성을 실측하고 시뮬레이션 결과와 비교·분석함으로써 주택용 열교환기의 열교환 종류별 효율적인 운전방법에 필요한 자료를 제시하였다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구에서는 국내 공동주택에 사용되고 있는 현열 및 전열교환기가 설치된 2개의 대상건물에서 동절기와 하절기에 현장측정을 통하여 열교환기의 열교환효율, 환기횟수, 냉·난방 에너지소비

량 등을 평가하였다. 또한 대상건물과 동일한 건축 및 설비요소와 현장측정과 동일한 실내조건을 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 도출된 에너지소비량은 실측된 냉·난방에너지 소비량과 비교·평가하는데 이용되었으며, 열교환기의 종류와 사용 유무에 따른 에너지절약 효과를 구체적으로 파악할 수 있도록 하였다.

2. 열교환기 개요 및 관련이론 고찰

2.1 열교환기의 개요

Fig. 1에 나타낸 공기식 열교환기의 작동원리는 실내에서 배출되는 공기로부터 열과 습기를 회수하여 환기를 위해 외기로부터 유입되는 공기에 엔탈피를 전달하는 장치이다. 겨울철에 신선하고 건조한 외부의 차가운 공기는 열교환기의 코어를 통해서 실내로 유입되고 오염된 실내공기는 반대 방향으로 유출된다. 신선한 공기는 외부공기와 실내공기 온도차로부터 최대 80%⁽⁴⁾까지 열회수가 가능한 것으로 알려져 있으며, 이때 급기되는 공기유량은 거주자의 필요에 의해 조정할 수 있다.

2.2 열교환효율

열교환효율은 공급되는 외기(OA)와 배기되는 공기(EA)의 건구온도, 절대습도, 엔탈피의 비율로 각각 현열교환효율, 잠열교환효율, 전열교환효율을 나타내며, 공급 및 유출되는 공기의 유량에 대한 질량을 고려하여야 한다. 또한, 열교환기의 성능평가에 관련된 KS B 6879-2003 규격, 유럽의 BS EN 308 규격 및 캐나다의 CAN/CSA-

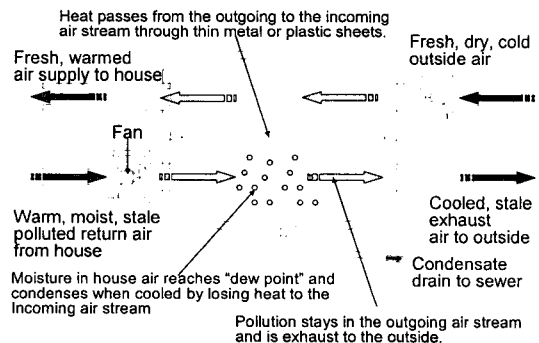


Fig. 1 Operation of air-to-air HRV.

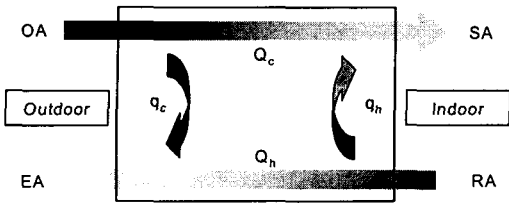


Fig. 2 Air leakage in HRV.

C439-88 규격에서는 공통적으로 열교환효율에서 누기에 대한 효율보정을 하고 있으며, SA측의 건구온도, 절대습도, 엔탈피는 누기량 q_c 와 q_h 에 의한 영향이 있기 때문에 열교환효율 계산식(5)는 식(3)과 (4)를 이용하여 보정하고 있다.

Fig. 2에 나타낸 바와 같이 이러한 보정과정은 열교환기 내부에서의 공기 및 엔탈피 이동경로에서 설명할 수 있는데 실내로 공급되는 OA-SA 계통에서는 유출공기 q_c 와 유입공기 q_h 가 발생되고, 실외로 배출되는 RA-EA 계통에서는 유출공기 q_h 와 유입공기 q_c 가 발생되어 혼합공기가 되므로 효율계산에서 q_c 와 q_c 의 영향을 제거하여 유효 열교환효율을 계산하여야 한다.

$$Q_{EA} = Q_H + q_c \quad (1)$$

$$C_{EA} Q_{EA} = C_{RA} Q_H + C_{OA} q_c \quad (2)$$

$$Q_C (X_{SA} - X'_{SA}) = q_h (X_{RA} - X_{SA}) \quad (3)$$

$$X'_{SA} = X_{SA} + (X_{SA} - X_{RA}) \times \left(\frac{q_h}{Q_C} \right) \quad (4)$$

$$E = \frac{Q_C \times (X_{OA} - X_{SA})}{Q_{H \text{ or } C} \times (X_{OA} - X_{RA})} \quad (5)$$

3. 측정개요

3.1 측정개요 및 항목

열교환기 종류와 사용 여부에 따른 에너지절약 효과를 파악하기 위하여 A, B 대상건물 각각 2세대에서 1세대는 열교환기를 가동하고 다른 세대는 열교환기를 정지하고 동일 풍량의 외기를 바로 실내로 공급하여 2가지 실험조건 모두 환기횟수가 약 0.5회/h 정도로 유지되도록 하였다.

하절기 측정은 6월 2일부터 8월 25일까지 전열교환기가 설치된 A공동주택에서 면적, 방향 및 건축적 요소가 동일한 39층, 40층을 대상으로 평

가하였으며, 실내온도는 26℃로 유지하고 별도의 가습과 감습은 하지 않았다. 동절기 측정은 1월 3일부터 2월 28일까지 현열교환기가 설치된 B공동주택에서 면적, 방향 및 건축적 요소가 동일한 10층, 11층을 대상으로 평가하였으며, 실내온도는 20℃로 유지하고 가습과 감습은 하지 않았다. 열교환기 효율은 외기(OA), 급기(SA), 환기(RA), 배기(EA)측 입구에 운습도센서를 설치하여 측정하였다. 총풍량은 OA, SA, RA, EA에서의 취출풍량을 측정하였으며, Fig. 3과 같이 각 실 디퓨저에서 급배기 풍량을 측정하여 환기횟수를 계산하였다. 냉·난방에너지 소비량은 Fig. 4와 같이 적

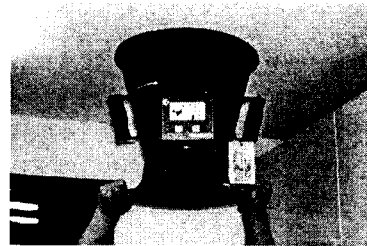
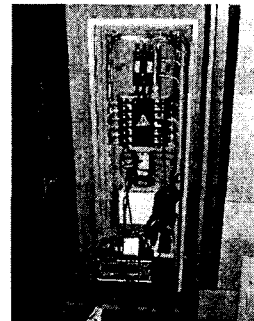
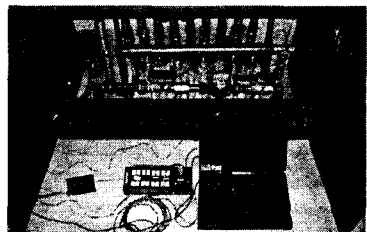


Fig. 3 Supply and return air volume measurement.



(a) Cooling energy consumption



(b) Heating energy consumption

Fig. 4 Cooling and heating energy consumption measurement in field test.

산전력계를 이용하여 에어컨 소비전력을 측정하였고, 동절기에는 온수유량을 데이터 로거를 설치하여 난방에너지 소비량을 측정하였다.

3.2 측정대상 공동주택 및 열교환기의 개요

Table 1과 Fig. 5, 6은 측정대상 A, B공동주택의 개요와 환기시스템 계통도를 나타내고 있다. 세대공조실의 열교환기에서 외기(OA)와 배기(EA)가 열교환되어 거실과 각 실로 급기(SA)되고 거실과 식당의 배기구를 통하여 외기로 배기(RA)된다. Table 2에 나타난 대상 열교환기의 성능제원은 유럽 BS EN 308 규격과 캐나다 CAN/CSA-C439-88 규격에 의하여 실험실에서 성능평가를 수행한 결과이며, Fig. 7에는 항온항습챔버를 이용한 열교환효율 실험장면을 나타낸다.

Table 1 Summary of field test buildings

	A apartment	B apartment
Site	Mokdong, Seoul	Seochodong, Seoul
Complete time	Jun. 2003	Oct. 2003
Use	Apartments: 4 towers, Officetel: 1 tower	
Structure	SRC	
Heating source	District heating	
Cooling	Package air-conditioner	
HRV type	Total heat	Sensible heat
Test household	39 fl., 40 fl.	10 fl., 11 fl.

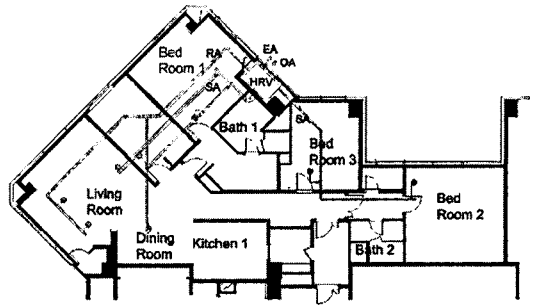


Fig. 5 Schematic of HRV and duct (A apartment).

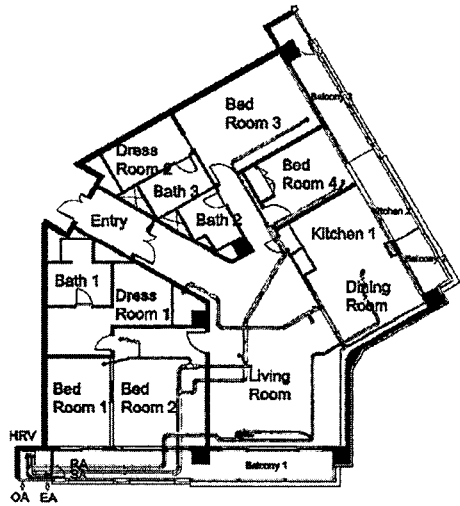
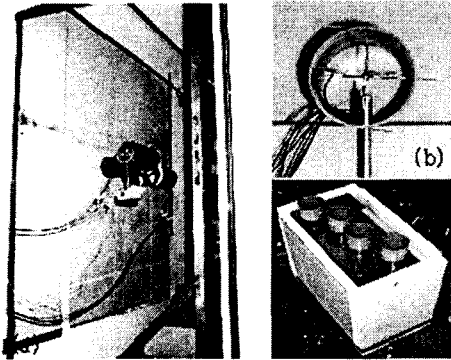


Fig. 6 Schematic of HRV and duct (B apartment).

Table 2 Summary of field test HRVs

		A apartment	B apartment
Static pressure (mmAq)		8.8	9.6
HRV type		Total heat	Sensible heat
Air volume (m ³ /h)		165	191
Control mode		High/medium/low	High/medium, Low/sleep
Power consump. (w)		196 (high mode)	201 (high mode)
Number of diffuser	SA	5	5
	RA	3	3
Efficiency* (%)	Sensible	62	55
	Latent	39	-
	Total	51	35

* Tested in laboratory by BS EN 308 std. (indoor condition: D.B. 25°C, R.H. 28%, outdoor condition: D.B. 5°C)



(a) Sensors in constant temp. and humid. chamber
 (b) Temp. and humid. sensors
 (c) Insulation of HRV case

Fig. 7 Heat recovery efficiency test in laboratory.

4. 시뮬레이션 개요 및 설정조건

시뮬레이션에 사용된 프로그램의 구성은 입력 자료의 처리와 계산을 담당하는 부분으로 분류할 수 있으며, load, design, system simulation, equipment simulation, economic analysis의 5개 모듈로 구성되어 있다.

본 연구에서 설정된 입력조건은 다음과 같다. 측정세대의 일반적인 실면적, 층고 등과 벽체조건 및 창호특성을 고려하였으며, 재실자는 4명을 기준으로 하고 조명부하를 고려하였다. 냉난방에 관계된 환기시스템을 비롯한 설비시스템은 측정세대와 동일하게 채택하였다. 각 실 급배기풍량은 실측데이터를 입력하였으며, 열교환효율은 제

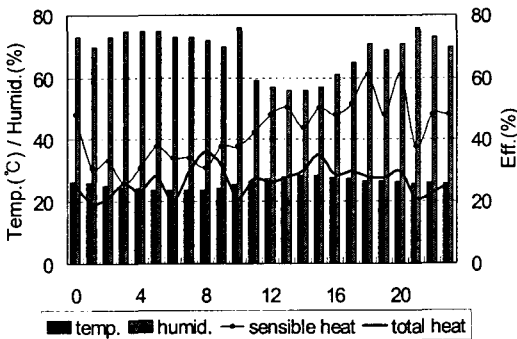


Fig. 8 Heat recovery efficiency of A apartment in summer.

작사의 성적서에 기록된 효율을 입력하였다. 실내온도는 냉·난방 설계조건인 하절기 26℃, 동절기 20℃로 설정하였다.

열교환기의 사용 유무에 따른 에너지소비량 평가는 24시간 열교환기를 운전한 경우와 운전하지 않은 경우로 구분하여 열교환기의 작동유무에 따라 연간 에너지소비량을 계산하였다. 시뮬레이션 결과는 측정대상 공동주택에서의 여름철 3개월, 겨울철 2개월의 냉·난방에너지 실측결과와 비교하는데 사용되었고, 이 데이터를 근거로 연간 에너지소비량을 계산하여 열교환기 사용시 에너지 절약 효과를 평가하였다.

5. 결과분석 및 고찰

5.1 외기온·습도 변화에 따른 열교환효율

하절기 측정기간 동안 A공동주택에서 평가된 전열교환기의 평균 현열교환효율은 45%, 평균 전열교환효율은 27%로 나타났다.

Fig. 8은 하절기 측정기간 중 날씨가 맑고 실내·외 온도차 큰 2003년 7월 26일의 열교환효율을 나타내고 있는데 15시와 05시의 외부 온·습도가 각각 28.4℃, 57%에서 23.7℃, 75%로 변할 때 현열교환효율은 50%에서 38%로 감소하였고, 잠열교환효율은 27%에서 30%로 증가하였으며, 전열교환효율은 35%에서 28%로 감소하였다.

동절기 측정기간 동안 B공동주택에서 평가된 현열교환기의 평균 현열교환효율은 49%, 평균 전열교환효율은 46%로 나타났다.

Fig. 9는 동절기 측정기간 중 실내·외 온도차

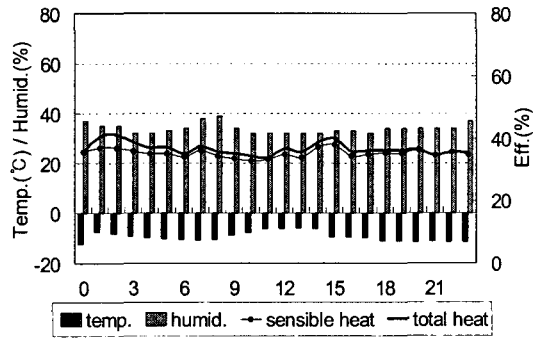


Fig. 9 Heat recovery efficiency of B apartment in winter.

가 가장 큰 2004년 1월 21일의 열교환효율을 나타내는데 13시와 01시의 외부 온·습도가 각각 -5.8℃, 32%에서 -12.3℃, 37%로 변할 때 현열교환효율은 33.8%에서 35.7%로 증가하고, 전열교환효율은 35.8%에서 35.6%로 약간 감소하고 있다. 동절기에는 실내·외 온도차가 크고 습도가 낮기 때문에 하절기보다 현열교환량이 높게 나타나는 경향을 보인다.

열교환기 성능 평가 규격에 의한 실험에서는 Table 2와 같이 정해진 온·습도조건에서 열교환효율이 계산되지만 현장실측에서는 외기 온·습도 조건의 변화에 따라서 열교환효율에도 많은 차이가 발생하게 된다. 따라서 계절별, 시간별 열교환효율 변화는 에너지소비량에 영향을 미치게 되므로 4계절이 뚜렷한 한국의 기후조건에서는 이러한 특성을 열교환기 운전스케줄에 적용함으로써 에너지절약 효과의 극대화가 가능할 것으로 사료된다.

5.2 급·배기 풍량

Fig. 10은 A, B공동주택 측정대상세대의 실별 급배기 풍량을 나타내고 있다. 각실의 주급기덕트에는 각각 정풍량계가 설치되어 실의 용적에 맞추어 취출풍량을 조절하게 되는데 실내 취출풍량의 총합은 급기에 해당하는 SA측의 총풍량 보다 적게 측정되고 있다. 이러한 이유는 플렉시블덕트, 정풍량계 및 덕트분배기에 의한 마찰손실과 누설이 원인으로 판단되며, 이에 대한 개선이 요구된다.

5.3 환기횟수

Fig. 11과 Fig. 12는 열교환기 작동시 실별 환기횟수를 나타내는데 대체로 적정 환기횟수 0.5회/h를 만족하지만, 일부 실에서 과도한 환기횟수가 나타나고 있어 실간 급배기 불균형이 발생하는 것을 알 수 있다.

설계단계에서부터 각 실은 약 0.5회/h의 환기횟수를 유지하기 위하여 덕트분배기와 정풍량계가 설치되었으나 정풍량계의 부정확성, 플렉시블덕트 길이에 따른 압력손실 차이, 덕트 및 피팅류에서의 누설 등의 원인으로 실별 급배기 불균형을 유발하게 되는데 이는 과도한 에너지소비와 재실자의 불쾌감을 유발할 수 있다. 따라서 적정

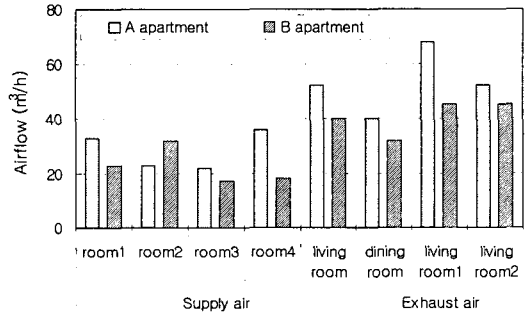


Fig. 10 Supply and return air volume.

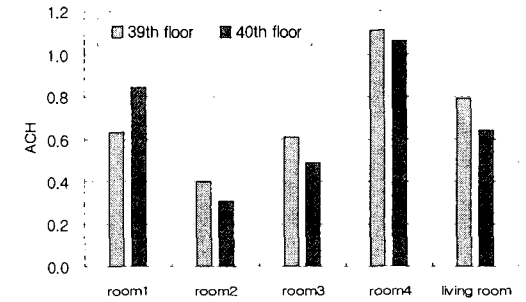


Fig. 11 Air change per hour of A apartment.

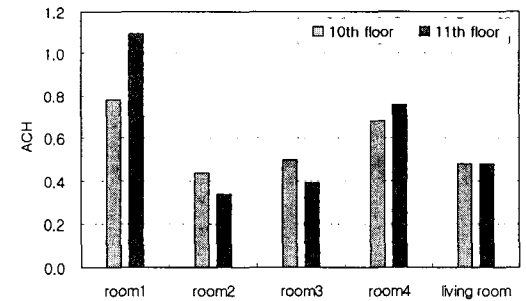


Fig. 12 Air change per hour of B apartment.

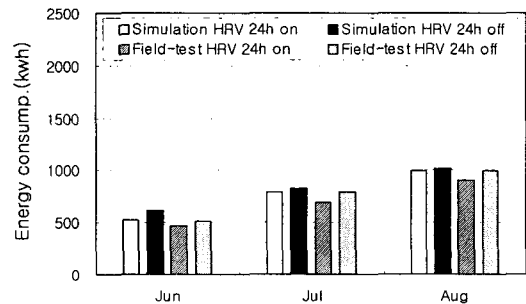


Fig. 13 Monthly cooling energy consumption of A apartment (total heat recovery type).

풍량 유지를 위해서 취출풍량을 정밀하게 조절할 수 있는 취출구의 도입이나 기존 플렉시블 덕트보다 마찰손실이 적은 덕트 사용 등의 개선이 필요하다.

5.4 에너지소비량 특성

5.4.1 하절기 전열교환기의 에너지절약 효과

Fig. 13은 하절기 A공동주택에 설치된 전열교환기의 난방에너지 소비량절약 효과를 평가하기 위하여 월별 실측 에너지소비량과 시뮬레이션 결과를 비교한 그래프이다.

실측결과를 보면 전열교환기 운전시(HRV 24h on) 6월, 7월, 8월의 난방에너지 소비량이 각각 464 kwh, 696 kwh, 905 kwh이며, 열교환기를 운전하지 않은 상태에서 동일 풍량의 외기를 실내로 직접 급기한 경우(HRV 24h off)는 각각 516 kwh, 788 kwh, 998 kwh로 나타나 전열교환기를 운전하는 경우의 난방에너지가 평균 7% 절약되는 것을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과를 살펴보면 전열교환기를 24시간 운전한 경우 6월, 7월, 8월 난방에너지 소비량은 각각 528 kwh, 793 kwh, 989 kwh이며, 전열교환기를 24시간 운전하지 않은 경우는 각각 618 kwh, 824 kwh, 1,016 kwh로 나타나 평균 약 10% 정도의 난방에너지가 절약되는 것으로 분석되었다.

5.4.2 동절기 현열교환기의 에너지절약 효과

Fig. 14는 동절기 B공동주택에 설치된 현열교환기의 난방에너지 소비량 절약효과를 평가하기 위하여 월별 실측 난방에너지 소비량과 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다.

실측결과를 보면 현열교환기 운전시(HRV 24h on) 1월, 2월의 난방에너지 소비량이 각각 1,565

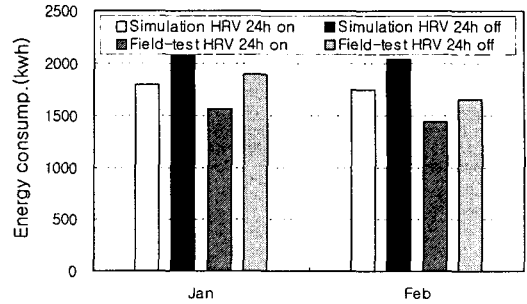


Fig. 14 Monthly heating energy consumption of B apartment (Sensible heat recovery type).

kwh, 1,448 kwh이며, 현열교환기를 운전하지 않은 상태에서 동일 풍량의 외기를 실내로 직접 급기한 경우(HRV 24h off)는 각각 1,896 kwh, 1,663 kwh로 나타나 현열교환기를 운전하는 경우의 난방에너지가 약 15% 정도 절감되었다.

시뮬레이션 결과를 살펴보면 현열교환기를 24시간 운전한 경우 1월, 2월의 난방에너지 소비량은 각각 1,799 kwh, 1,746 kwh이며, 현열교환기를 24시간 동안 운전하지 않은 경우는 각각 2,102 kwh, 2,049 kwh로 나타나 약 13%의 난방에너지가 절약되는 것으로 분석되었다.

5.4.3 전열교환기와 현열교환기의 에너지절약 특성

Table 3에 나타난 바와 같이 전열교환기를 운전한 경우와 운전하지 않은 경우의 월별 에너지 소비량 실측결과, 전열교환기를 운전하는 경우 6, 7, 8월의 에너지소비량은 각각 10%, 12%, 9% 절감되었으며, 현열교환기의 경우 1, 2월에는 각각 17%, 13% 가량 절감되는 것으로 나타났다. 또한 전열교환기와 현열교환기를 24시간 운전한 경우의 현장실측값과 시뮬레이션 결과를 보면, 공통

Table 3 Monthly energy consumption summary

		Summer (Sensible type, A apartment)			Winter (Total type, B apartment)	
		Jun	Jul	Aug	Jan	Feb
Field test result	HRV on (kwh)	464	696	905	1565	1448
	HRV off (kwh)	516	788	998	1896	1663
	Energy saving (%)	10	12	9	17	13
Simulation result	HRV on (kwh)	528	793	989	1799	1746
	HRV off (kwh)	618	824	1016	2102	2049
	Energy saving (%)	15	4	3	14	12

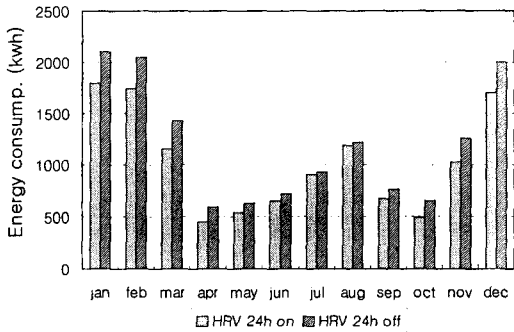


Fig. 15 Simulation result of monthly energy consumption between HRV 24 h on and off cases (A apartment, Total heat recovery type).

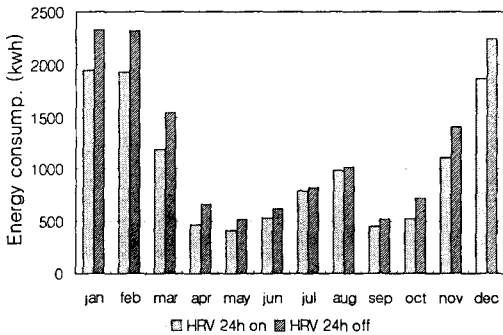


Fig. 16 Simulation result of monthly energy consumption between HRV 24 h on and off cases (B apartment, Sensible heat recovery type).

적으로 하절기보다는 동절기에 많은 에너지절약 효과를 나타내고 있는데 이는 하절기보다 동절기의 난방시간과 에너지투입이 많기 때문에 열교환기를 통한 에너지절약 효과가 크기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 15와 Fig. 16은 A, B공동주택에서 각각 전열교환기와 현열교환기를 24시간 운전한 경우와 운전하지 않은 경우에 월별 에너지소비량을 시뮬레이션한 결과를 나타내고 있다.

A공동주택에서 전열교환기를 24시간 사용한 경우의 연간 에너지소비량은 12,236 kwh이며, 사용하지 않은 경우는 14,723 kwh로 약 17% 절약되었으며, B공동주택에서 현열교환기를 사용한 경우 12,326 kwh와 14,350 kwh로 약 14% 절약되는

것으로 나타나 전열교환기를 사용한 경우가 현열교환기를 사용한 경우보다 연간 에너지절약에 유리한 것으로 나타났다. 또한, 열교환기 종류에 상관없이 냉방에너지보다는 난방에너지 절약효과가 더욱 큰 것을 알 수 있는데 이는 동절기가 하절기보다 시간이 길고 온도차에 의한 현열교환효율이 잠열교환효율보다 크기 때문인 것으로 사료된다.

6. 결 론

공동주택에 열교환기를 설치한 경우의 성능평가와 냉·난방 에너지소비량에 대한 현장측정 및 시뮬레이션 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 하절기 A공동주택에 설치된 전열교환기의 평균 현열교환효율은 45%, 평균 전열교환효율은 27%로 나타났으며, 동절기 B공동주택에 설치된 현열교환기의 평균 현열교환효율은 49%, 평균 전열교환효율은 46%로 나타나 실험실 효율평가 결과와 외기 온·습도가 변화하는 현장에서의 장기간 측정결과와는 많은 차이가 발생함을 알 수 있었다. 따라서 계절별, 시간별 효율변화를 열교환기 운전스케줄에 적용함으로써 에너지절약 효과의 극대화가 필요할 것으로 사료된다.

(2) 실내공기질 향상 측면에서 열교환기의 필요성이 강조되고 있지만 하절기의 경우 운전시간이 길어질수록 에너지절약 효과가 감소되는 경향이 나타나고 있다. 이는 실내·외 온도차가 크지 않아 현열교환량이 줄어들기 때문인데 잠열교환이 강화된 열교환 소재의 개발과 적용이 필요할 것으로 사료된다.

(3) 열교환기의 각실 급기풍량은 대체로 적정 환기횟수를 만족하고 있으나 일부 실에서 풍량과다현상이 발생하였다. 급배기의 풍량이 과다하거나 불균형할 경우 재실자의 불쾌감과 외기부하에 의한 냉·난방에너지의 손실이 발생하므로 적정 환기횟수를 유지하고 실간의 급배기 균형을 맞추기 위한 정풍량계의 정밀성이 요구된다.

(4) 에너지소비량의 실측결과 열교환기를 운전한 경우 하절기의 에너지소비량은 평균 10% 절감되고, 동절기에는 평균 15% 절감되었으며, 시뮬레이션 결과에서는 하절기 17%, 동절기 14% 절감되는 것으로 나타났다. 또한 열교환기 종류

에 상관없이 냉방에너지보다는 난방에너지 절약 효과가 더욱 큰 것을 알 수 있는데 이는 동절기가 하절기보다 시간이 길고 투입되는 난방에너지가 크기 때문에 열교환기를 이용한 에너지절약 효과가 증가되기 때문인 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Kim, B. K., 2003, The performance of ventilator with total heat exchanger and optimization of operating condition in high-rise apartment, M. S. thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.
2. Park, Y. H., 2004, A study on the performance and energy consumption characteristics of heat recovery ventilators in high-rise apartment, M. S. thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.
3. Han, W. T. and Kim, M. K., 2004, An experimental study on the air leakage and heat transfer characteristics of a rotary type heat recovery ventilator, Journal of SAREK, Vol. 16, pp. 1197-1203.
4. ASHRAE Handbook, 2004, HVAC system and equipment, p. 44.17.
5. Canadian standards association, 1988, Standard methods of test for rating the performance of heat-recovery ventilators, CAN/CSA-C439-88.
6. British standards institution, 1997, Heat exchangers-test procedures for establishing the performance of air to air and flue gases heat recovery devices, BS EN 308.