

실험을 통한 공동주택 환기시스템의 실제 운전 시 전열교환성능 검토

An Evaluation on Energy Recovery Performance of the Ventilation System in Multi-Residential Building by Field Measurement

최연희(Younhee Choi)¹, 송두삼(Doosam Song)^{2*}

¹성균관대학교 건설환경시스템공학과, ²성균관대학교 건축토목공학부

¹Department of Civil and Environmental System Engineering, Graduate School of Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea

²School of Civil and Architectural Engineering, Landscape Architecture, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea

(Received November 7, 2016; revision received December 2, 2016; Accepted: December 5, 2016)

Abstract Recently, energy recovery ventilators (ERVs) have been installed for energy saving in many multi-residential buildings in Korea. The performance of the heat exchanger of an ERV is analyzed in this study under specific indoor and outdoor conditions in a test-cell measurement. However, the performance of the heat exchanger varies according to the indoor and outdoor condition. In this study, the performance of energy recovery of the ventilation system was therefore analyzed in actual weather conditions using field measurement. Experiments were conducted under winter conditions in a multi-residential building for 20 days. Based on the measurement results, the characteristics of sensible heat and latent heat exchange rates were analyzed.

Key words Energy recovery ventilator(열회수형 환기장치), Performance evaluation(성능평가), Field measurement(실측), Sensible heat(현열), Latent heat(잠열), Enthalpy(전열)

* Corresponding author, E-mail: dssong@skku.edu

기호설명

T : 건구온도 [$^{\circ}\text{C}$]
 X : 절대습도 [kg/kg]
 H : 엔탈피 [kcal/kg]
 η : 열교환효율 [%]

하첨자

OA : 외기
 SA : 급기
 RA : 환기
 Tot : 전열
 t : 온도
 et : 유효온도
 e : 유효전열
 q : 누설

1. 서 론

항사, 미세먼지, 다양한 실내 공기오염 물질의 방출로

인해 주거공간에서 환기시스템의 필요성은 더욱 강조되고 있다. 이미 신축 공동주택에 대한 환기설비 설치 의무화가 시행되고 있다.⁽¹⁾ 이에 따라 전열교환 환기장치, 바닥열 환기장치, 하이브리드 환기장치 등 다양한 환기장치가 개발 및 보급되고 있으며, 이러한 환기시스템 성능에 관한 연구 결과들이 지속적으로 보고되고 있다.⁽²⁾

거주공간에서 환기시스템의 가동은 실내 공기질을 청정하게 유지시켜주지만 환기에 따른 팬 동력뿐만 아니라 외기의 도입으로 냉·난방에너지의 증가를 초래할 수 있다. 전열교환기는 이러한 환기에 따른 에너지 손실을 최소화하기 위한 것으로 최근 공동주택에 설치되는 환기시스템의 대부분은 전열교환 환기시스템이라고 할 수 있다. 그러나 제조업체에서 제공된 전열교환 환기시스템의 열교환(전열, 현열, 잠열) 성능은 KS B 6879⁽⁴⁾ 및 고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정⁽⁵⁾에서 정의하는 실험조건 하에서 산출된 결과로 실제 건물의 다양한 실내외 온도, 습도 조건에서는 다른 결과를 나타낼 수 있다. 기존 연구에서는 실험실에서 다양한 외기 온도조건을 구현하여 전열교환 환기시스

템의 열교환 특성을 분석하였다.⁽³⁾ 그러나 실제 건물에서 실시간 변화하는 실내의 온습도 조건에 대해 전열교환 환기시스템을 가동하면서 열교환 성능을 평가한 연구결과는 보고되지 않고 있다.

본 연구에서는 실험실 조건이 아닌 실제 거주환경과 유사한 조건에서 전열교환 환기시스템을 가동하여, 다양한 외기온도, 습도 조건에 대해 열교환(온도, 습도, 전열(엔탈피)교환)효율을 장기실측을 통해 평가하고자 한다. 본 연구에서 실제 공동주택과 동일한 면적과 난방을 실시하고 있는 실험주택에 전열교환 환기시스템의 일종인 창호부착형 하이브리드 환기시스템을 겨울철 다양한 외기조건에 대해 가동하여 전열교환 성능을 평가하였다.

2. 실제 운전 시의 전열교환효율의 분석

2.1 실험조건 및 장치

실험은 용인 동백에 위치한 A사 주거성능 실험동에서 2016년 02월 24일부터 2016년 03월 14일 까지 약 20 일간에 걸쳐 실시되었다. 실험주택은 전용면적 84 m²의 공동주택 단위세대를 동일하게 모사한 것이다. 실험대상공간은 실험주택의 거실 및 주방공간으로 바닥면적은 49.26 m², 층고 2.43 m인 공간이며, Fig. 1과 같이 외측에 면하는 창에 자연환기와 전열교환형 기계환기를 병용하는 창문형 하이브리드 환기장치가 설치되어 있다. 실험은 전열교환을 실시하는 기계환기 모드에 대해서 실시하였다. 본 연구에서 검토한 전열교환기는 한국산업기술시험원의 시험결과, 환기량, 누기율, 에너지 계수, 소비전력을 포함한 모든 결과에서 적합판정을 받은 제품이다. 유효온도교환효율은 냉·난방모드에서 각각 53.7%, 73.0%로 냉·난방 시의 열교환 법적기준인 45%, 70% 이상을 모두 상회하는 결과를 나타냈다.

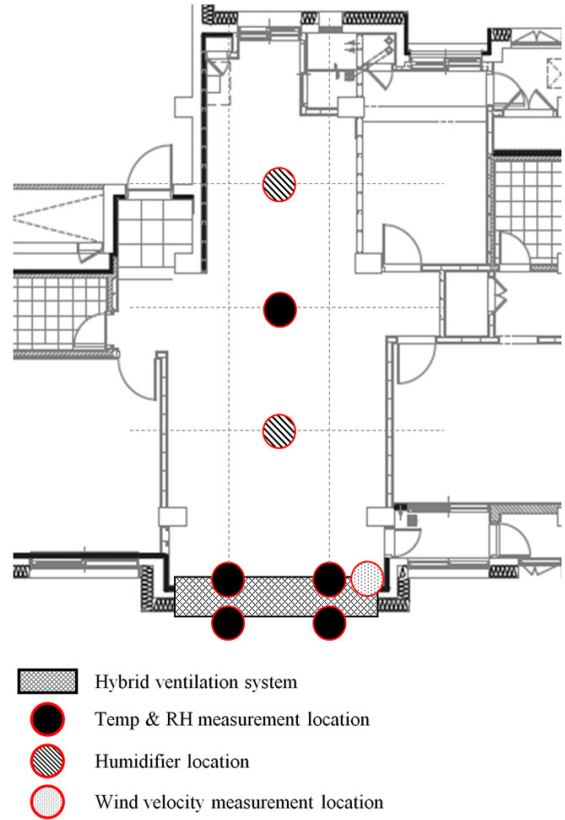


Fig. 1 Measurement configuration.

2.2 실험방법

KS B 6879⁽⁴⁾ 및 고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정⁽⁵⁾에서는 전열교환효율 측정방법을 권고하고 있다. 그러나 이 가이드라인은 실내외 온습도를 제어하는 실험실 실험을 위한 기준이다. KS B 6879 및 고효율

Table 1 Measurement items and instruments

item	location	instrument	specification
Wind velocity	Supply air	TESTO multi monitor	Meas. Range : 0 to 10 m/s Accuracy : ±(0.3 m/s ±5% of mv) Resolution : 0.01m/s Sensor type : thermal
Indoor Temp. /RH	indoor, outdoor, inlet, outlet	TESTO temp. & RH logger	NTC : temp. Range : -20 to +55°C Accuracy : ±0.4°C Resolution : 0.1°C Range : 0 to 100% RH Accuracy : ±2% RH a +25°C Resolution : 0.1% RH
Humidification	humidifier	Novita nhu 5,500	Electronic 5.5L affordable Last for 12 hours

에너지기자재 보급촉진에 관한 규정의 전열교환 효율 시험을 위해 난방 시 실내외 공기조건은 각각 건구온도 실내 $22\pm 0.3^{\circ}\text{C}$, 외기 2 ± 0.2 , 상대습도 실내 40.0%, 외기 75.1%로 규정하고 있다. 본 연구에서는 열교환효율 산출에 관한 이론식 및 측정방법, 실내 온/습도 조건은 KS B 6879 및 고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정을 준수하였다. 그러나 외기조건은 성능시험조건과 같이 일정한 조건이 아닌 실제 겨울철 외기 변동 조건 하에서 실시하였다.

KS B 6879 및 고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정에서 정의하는 전열교환효율 산출식은 다음과 같다.

$$\text{온도교환효율 } \eta_t = \frac{t_{OA} - t_{SA}}{t_{OA} - t_{RA}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

$$\text{습도교환효율 } \eta_x = \frac{X_{OA} - X_{SA}}{X_{OA} - X_{RA}} \times 100 [\%] \quad (2)$$

$$\text{전열교환효율 } \eta_{Tot} = \frac{h_{OA} - h_{SA}}{h_{OA} - h_{RA}} \times 100 [\%] \quad (3)$$

$$\text{유효온도교환효율 } \eta_{et} = \frac{\eta_t - \eta_q}{100 - \eta_q} \times 100 [\%] \quad (4)$$

$$\text{유효전열교환효율 } \eta_e = \frac{\eta_{Tot} - \eta_q}{100 - \eta_q} \times 100 [\%] \quad (5)$$

위 관련기준에서 온/습도 측정위치는 충분히 혼합된 공기를 측정하기 위해 ‘시험품에서 환경의 3배 이상의 거리에서 측정할 것’을 권고하고 있다. 본 하이브리드 환기시스템은 전열교환 소자가 환기시스템 내에 장착되어 있으며 덕트가 없기 때문에 급/배기구를 세분화하여 풍속을 측정한 후, 평균풍속을 나타내는 지점, 즉 충분히 혼합되었다고 판단되는 지점의 온/습도를 측정하였다. 실내 온도조건은 실제 공동주택의 바닥난방을 통해 평균 22°C 로 유지하였으며, 습도의 경우 전자식 가습기 2대를 희망습도 40% RH로 설정하여 조절하였다. 위 기준에서 ‘정격 전압, 정격주파수의 최대풍량’으로 규정하고 있는 실험방법을 소비자의 실제 사용모드인 강, 중, 약풍 모드로 실험을 진행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

실험기간 동안 실내외 온습도 변화의 측정결과는 Fig. 2와 같다. 외기온도는 $-10^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ 로 비교적 추운 날씨에서 비교적 온화한 날씨의 다양한 외기조건을 나타냈다. 외기습도도 겨울철의 건조한 날이 많았지만

눈이나 비로 인해서 습한 경우도 있었다. 결과적으로 외기 상대습도는 20%~95%의 변화를 보였다. 실내외의 경우 앞서 제 2장에서 언급한 바와 같이 실내 공기조건은 22°C 를 설정온도로 하여 $19.5 \sim 24.8^{\circ}\text{C}$ 의 범위를 나타냈다. 상대습도는 가정용 가습기를 사용하였기 때문에 평균 상대습도 40% RH 범위에서 변동하였다.

3.1 전열교환효율

실험기간 동안 외기온습도 변화에 따른 환기시스템의 전열교환효율은 다음 Fig. 3과 같다. 외기온도 구간에 따라 다양한 범위의 값을 보이지만 Fig. 3과 Fig. 4에 의하면 외기온도가 높을수록 즉 실내외 온도차가 작을수록 전열교환효율은 낮게 나타났으며, 외기온도가 낮을수록 실내외 온도차가 클수록 전열교환효율은 높게 나타났다. Fig. 4에서 외기온도가 낮은 구간부터 높은 구간까지 각 구간에 대한 평균적(mean값)인 전열교환효율은 각각 66.3, 63.13, 60.75, 60.93, 51.02%로 나타났다. 실험실 조건에서의 일정한 전열교환효율을 나타내는 것과 달리 실제 운전조건의 다양한 실내/외 조건에서 전열교환효율은 최소 35%, 최대 83%의 다양한 분포를 나타냈다.

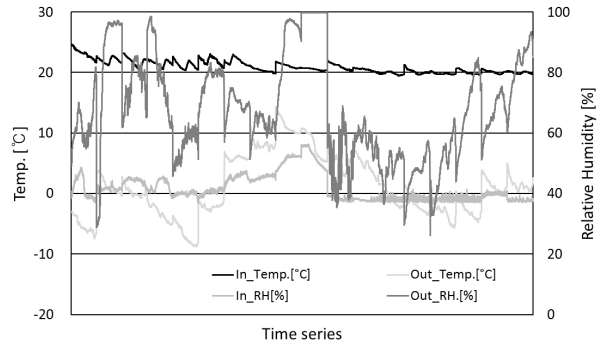


Fig. 2 Indoor/Outdoor Temp. and RH changes.

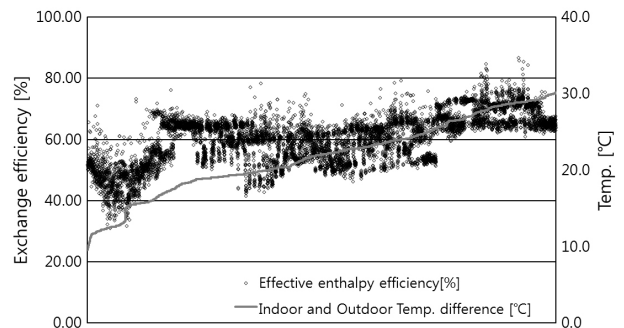


Fig. 3 Effective enthalpy exchange rates according to temperature differences between indoor and outdoor air.

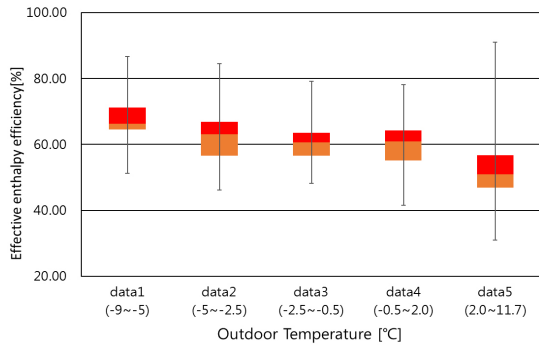


Fig. 4 Effective enthalpy exchange rates according to outdoor air temperature changes.

3.2 온도교환효율

온도교환효율은 Fig. 5와 같이 40~80%의 비교적 일정한 범위에서의 효율을 나타내며, 실내의 온도차가 클수록 높은 열 교환 효율을 보였다. 실내의 온도차에 대한 열교환 효율의 상관관계는 약 0.67이었다. 상관관계가 높지 않은 이유는 동일한 외기조건에서도 실내 온도변화에 따라 열교환 효율이 일정하지 않고 변하기 때문이다. 이는 실제 공동주택에서 바닥 난방시스템으로 실내 공기온도를 일정하게 유지하기 어려운 점과도 관련이 있다. 또한 Fig. 6을 통해 온도교환효율과 전열교환효율은 거의 동일한 추세를 보이는 것을 확인할 수 있으며, 양자간의 상관관계는 0.95로 상당히 높다. 이를 통해 전열교환환기시스템의 동절기의 난방 전열교환효율은 외기습도보다는 온도변화에 지배적인 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

3.3 습도교환효율

습도교환효율은 실내 및 외기의 절대습도에 의해 결정되므로 실내의 절대습도 차이에 따른 효율을 살펴 보았다. 습도교환효율은 Fig. 7과 같이 20%~80%의 넓은 범위를 나타내었다. Fig. 7과 같이 실내외 절대습도 차이가 커짐에 따라 그 잠열교환효율의 평균값(mean)은 구간에 따라 각각 55.1, 57.36, 65.80%로 서서히 증가하는 추세를 보였다. 전열 및 현열교환효율 대비 습도교환효율의 변화는 뚜렷하지 않다. 그 이유는 일반적으로 겨울철 외기 습도가 낮지만 눈이나 비로 인해 외기 절대습도가 높게 나타나는 경우도 많기 때문이다. 한편 Fig. 8에서 나타난 바와 같이 내외 절대습도차 0.003 kg/kg' 이하에서는 다른 경향을 보이고 있는데 이는 ASHRAE standard 84(1991)⁽⁶⁾에서 열 회수 환기시스템의 난방 시 열 교환 효율 평가를 위한 최소 습도차를 0.003 kg/kg' 이상으로 규정하고 있으며, 그 이하에서의 결과는 유의하지 않다는 것을 의미한다.

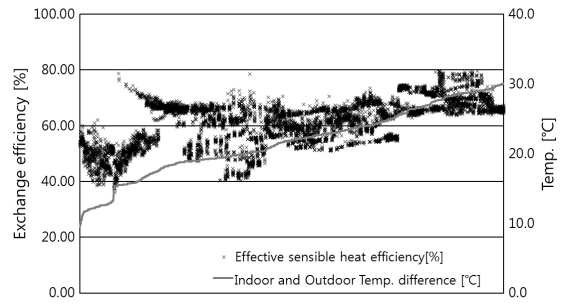


Fig. 5 Effective sensible heat exchange rates according to temperature differences between indoor and outdoor air.

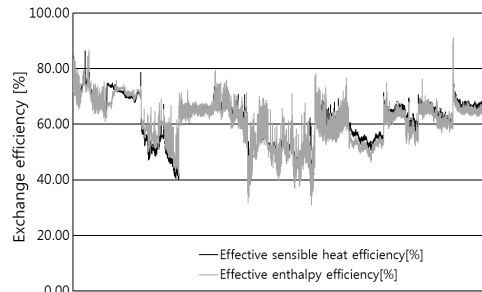


Fig. 6 Comparison between effective enthalpy efficiency and effective sensible heat efficiency.

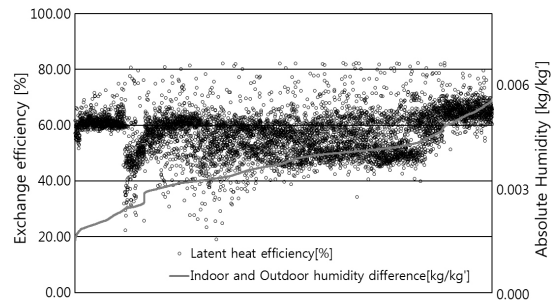


Fig. 7 Latent heat exchange rates according to absolute humidity differences between indoor and outdoor air.

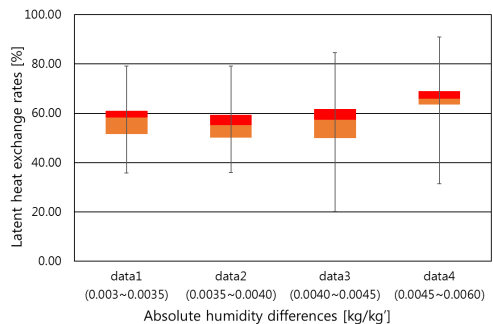


Fig. 8 Latent heat exchange rates according to absolute humidity differences between indoor and outdoor air.

3.4 통과풍속에 따른 전열교환효율

전열교환의 경우 실내외 공기조건 이외에도 열교환 소자의 대류 열전달율, 즉 통과풍속이나 접촉면적의 영향을 받는다. 통과풍속이 빠를수록 전열교환효율은 낮아진다는 것은 선행 연구들의 실험실 실험을 통해 입증되어 왔다.⁽⁷⁾ 그러나 실제 사용조건을 반영한 본 성능평가의 결과는 Fig. 9와 같이 전열교환 효율의 통과풍속에 대한 의존도는 유의하지 않은 것으로 나타났다.

Table 2 Element core specification of the heat exchanger

Item	Specification	
Element core	cross flow	
basis weight	45 g/m ²	
thickness	43 μm	
Liner property	densometer 5,000 sec/100 ml	
moisture movement	3,000 g/m ² ×24 h	
Size	160×80×500 mm	
Contact area	10.09 m ²	
Wind velocity	slow	1.6 m/s
	medium	2.1 m/s
	fast	2.7 m/s

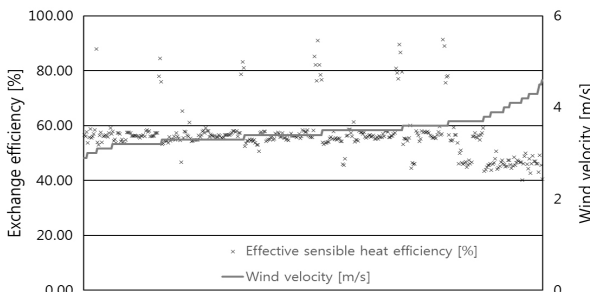


Fig. 8 Effective enthalpy efficiency according to inlet air-velocity.

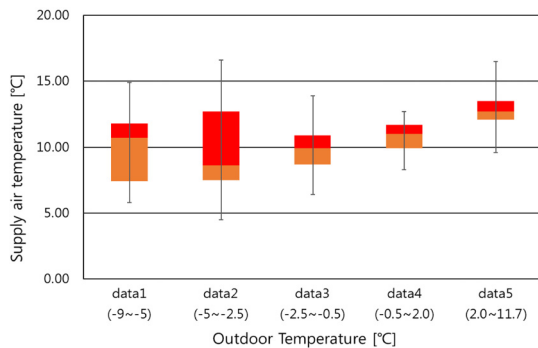


Fig. 9 Supply air temp. changes according to outdoor air temp.

풍속이 올라감에 따라 효율 낮아지는 현상이 일부 구간에서 확인되지만 이는 극히 일부에 해당된다. 이는 가정용 환기시스템의 제어모드별 풍속 차이가 Table 2에서 나타난 바와 같이 크지 않기 때문으로 판단된다. 또한 실내외 온도차 등이 매우 지배적으로 영향을 미치기 때문에 통과풍속의 영향은 전열교환효율에 있어서 크지 않은 것으로 판단된다.

3.5 외기온도에 따른 급기구 온도

전열교환기 사용 시 취출구 급기온도는 실내 난방 에너지 소비에 영향을 미칠 뿐만 아니라 재실자의 온열쾌적감에도 영향을 미치는 중요한 요소이다. 본 연구에서 수행된 실험의 경우 외기에 인접한 창호부착형 환기시스템임에도 불구하고 매우 낮은 외기온도조건을 포함한 동절기 외기 온도구간에서 환기시스템 급기온도는 평균적으로 10°C를 유지하는 것으로 나타났다 (Fig. 10 참조). 외기온도가 -9°C~11.7°C인 구간에서 급기구의 토출온도는 8°C~14.0°C의 분포를 나타냈다. 이 결과를 통해 환기시스템이 가동하는 조건에서는 열교환소자의 동파 가능성이 낮음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 전열교환 환기시스템의 실제 공동주택에서 다양한 외기조건에 대해 실시간 현열, 잠열, 전열교환 효율을 평가하는 실험을 진행하였다. 실험 결과는 다음과 같다.

- (1) 난방 시 실내외 온도차가 클수록 전열교환효율은 상승하는 추세를 보이며, 외기온도구간에 따라 35%~83%의 전열교환효율을 나타냈다. 그리고 동절기의 전열교환효율의 경우 온도차의 영향이 지배적이며 온도교환효율과 거의 동일한 추세를 보이는 것을 알 수 있다.
- (2) 온도교환효율의 경우 실내외 온도차에 따라 40~80%의 다양한 효율을 보이며 실내외 온도차가 클수록 효율은 높아지는 추세를 보였다. 양자간의 상관관계는 0.67로 나타났다. 실제 공동주택에서 바닥난방으로 실내온도를 일정하게 유지하기 어려워 동일한 외기온도 조건에도 실내온도의 변화로 온도교환효율은 변동폭을 가지게 됨을 알 수 있다.
- (3) 습도교환효율은 20%~80%의 효율을 보이며, 실내외 절대습도차이가 커짐에 따라 그 잠열교환효율의 평균값(mean)은 구간에 따라 각각 55.1, 57.36, 65.80%로 서서히 증가하는 추세를 보였다.
- (4) 각 운전모드별 통과풍속이 차이가 크지 않은 공동주택 환기시스템의 가동 조건에서는 통과풍속에 따른 전열교환효율의 차이는 미미한 것으로 나타났다.

- (5) 외기온도가 -9℃~11.7℃인 구간에서 전열교환 환기 시스템의 급기구의 토출온도는 8℃~14.0℃의 분포를 나타냈다. 이 결과를 통해 환기시스템이 가동하는 조건에서는 열교환소자의 동파 가능성이 낮음을 알 수 있다.
- (6) 추후 연구로써 통상 고정 값으로 입력하는 전열, 현열, 잠열효율을 본 연구의 결과인 외기온습도 조건에 따른 변동치를 반영하여 시뮬레이션 분석을 통해 전열교환 환기시스템 가동에 따른 실내 온열환경의 변화, 에너지 소비량 등을 분석하고자 한다.

후 기

본 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비 지원(16RERD-B082204-03)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Department of the Environment, Regulation for Facility in Buildings(<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=172947&efYd=20150709#0000>)(accessed on 06 November 2016).
2. Land and Housing Institute, 2015, A Propose of the Ventilation System Considering the Energy Performance and Cost-effectiveness, Seoul, Korea.
3. Kim, S. S., Lee, J. J. and Lee, Y. G., 2008, Performance evaluation of an energy recovery ventilator with various outdoor climate conditions. architectural institute of korea, Vol. 24, No. 8, pp. 261-268.
4. KS B 6879, 2015. Heat Recovery Ventilator, Korean standard.
5. Korea energy agency, Korean Standards Association-Regulation on promoting the supply of high-efficiency energy equipment(http://bpms.energy.or.kr/efficiency_system/notice/read.aspx?searchfield=&searchword=&page=1§ion=B¬seq=91)(accessed on 06 November 2016).
6. ASHRAE, Standard 84-1991, 1992, Method of testing air-to-air heat exchangers. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.
7. Choi, S. K., Yee, J. J., Park, M. J., Kim, S. K., and Kim, K. H., 2008, A Performance Prediction on the Element Cores of Total Heat Recovery Ventilator According to Outdoor Conditions, Proceedings of the Korean institute of architectural sustainable environment and building systems'08 Fall Annual Conference, pp. 165-168.