

내기순환 열회수 환기장치의 최적운전 방안에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Optimal Operation Strategies for Inner Return Energy Recovery Ventilator

강경모* · 김태연** · 태경응*** · 김기철**** · 이윤규*****

Kang, KyungMo* · Kim, TaeYeon** · Tae, Kyung Eung*** · Kim, Ki-Chul**** · Lee, Yun-Gyu*****

* Main author, Dept. of Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (kyungmokang@kict.re.kr)

** Coauthor, Dept. of Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (tkim@yonsei.ac.kr)

*** Coauthor, Eunsung Chemical Co., South Korea (tae8389@eunsung-ch.com)

**** Coauthor, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Korea (kichulkim@kict.re.kr)

***** Corresponding author, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Korea (yglee@kict.re.kr)

ABSTRACT

Purpose: Energy recovery ventilator(ERV) has provided fresh air with energy efficiency. However, ERV can be stop for cold outdoor temperature in the winter seasons. Cold temperature in supply air has made not only freezing(condensation) in the ERV but also impeding the thermal comfort. Therefore, this paper produces an alternative for ERV system in inner return mode with optimal operation strategies. **Method:** For verifying the inner return ERV, there were three sector based building and chamber experiments. First, CO₂ of representative of pollutant was criterion for maintaining the IAQ. We emitted CO₂ to 15liter/h -person. Power consumption of ventilator and heat loss through ventilation collected in winter season because inner return mode operated made different heat exchange. Third, freezing(condensation) concerned all of cases in chamber experiments. **Result:** CO₂ concentration exceeded 1,000ppm in case3(OA50+RA50). Power consumption of ventilator increased because of using inner return mode. On the other hand, inner return modes decreased heat loss through ventilation up to 47.1% in comparison with baseline mode. Freezing occurred in baseline model in -15℃, -20℃(OA side, EA side). Although lower outdoor temperature, inner return mode case3(OA50+RA50) does not founded freezing and condensation. We found weakness point of the inside (lowest temperature). All things considered, inner return mode take has advantage of merit during winter season.

© 2018 KIEAE Journal

KEYWORD

열회수 환기설비
결로, 결빙
내기순환
이산화탄소 농도
에너지 소비

Energy recovery ventilator
Condensation, freezing
Inner return
CO₂ concentration
Energy consumption

ACCEPTANCE INFO

Received Nov 19, 2017
Final revision received Dec 20,2017
Accepted Dec 25, 2017

1. 서론

열회수 환기장치는 실내에 환기량을 확보하여 쾌적한 실내공기 질을 유지함과 동시에 환기에 의해 소비되는 에너지를 절감하는데 그 목적이 있다. “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”에 의하면 100세대 이상의 공동주택 및 다중이용시설은 시간당 최소 0.5회 이상의 환기를 의무화하고 있으며, 자연환기설비 또는 기계환기설비 설치를 의무화하고 있다. 특히 공동주택에는 기계환기설비 유형인 열회수 환기장치(Energy Recovery Ventilator, ERV)가 가장 보편적으로 보급되고 있다.

하지만 열회수 환기장치는 혹한기, 혹서기 기간에 열교환 소자의 효율이 크게 떨어지는 문제가 발생할 수 있다. 이는 재실자의 쾌적에 악영향을 줄 수 있으며, 지속적인 환기는 에너지 소비 증가로 이어질 수 있다. 또한 2025년부터 시행될 예정인 Nearly zero energy building은 건물 에너지 절약을 강조하며 열회수 환기설비를 권장하고 있다. 이에 혹한기 환기장치의 성능개선을 통한 에너지 절감과 실내공기질 유지가 필요한 시점이다.

혹한기에는 전열교환기 가동 시에 장치 내부에 결로가 발생하는 사례가 발생할 수 있다. 이러한 기기의 내부 결로는 기기 내부의 부식, 곰팡이와 같은 문제를 함께 야기할 수 있으며, 내부에 결빙이 발생할 수 있다.

이렇게 열회수 환기장치 내부의 결로문제는 정상적인 환기를 불가능하게 만들어 재실자의 건강에 위협을 주는 요소가 될 수 있다. 이 때문에 열회수 환기장치는 KS B 6879의 시험항목 중 하나로 결로 시험을 제시하고 있다. 그러나 결로 시험에서 제시하고 있는 외부건구 온도조건은 $-5^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 로 혹한기 조건에서 주로 발생하는 결로, 결빙을 평가하기 위한 최적의 온도 조건은 아닌 것으로 사료된다.

현재까지 수행된 국내에서 열회수 환기장치에 대한 연구는 다음과 같다. 먼저 실내공기질 개선에 관한 연구로 Kim¹⁾은 실험실시험과 CFD 해석을 병행하여 열회수 환기장치의 운영변화에 따른 실내공

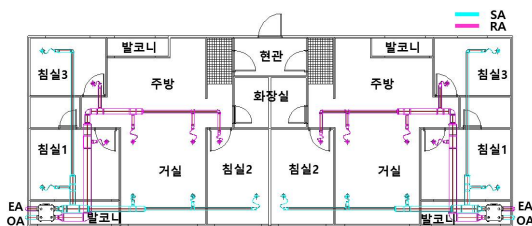


Fig. 1. Floor plan and ERV duct layout

기질을 측정 및 예측하였다. Hwang²⁾은 CONTAM 해석을 이용해 TVOC 저감을 위한 열회수 환기장치의 대안을 제시하였다.

한편 Kim³⁾은 하계, 추계, 동계의 열회수 환기장치의 mock-up test를 수행하여 기간 별 에너지 절감량 및 열교환효율을 분석하였으며 적절한 운영대안을 제시하였다. Kim⁴⁾은 mock-up test와 실험실 실험을 병행하여 열교환 효율 및 정풍량 환기시스템 대비 냉, 난방 에너지 절감량을 평가하였다.

Yee⁵⁾는 공동주택의 특성에 따라 열교환 장치의 제어 대안을 제시하였는데, 엔탈피 제어에 비해 온도 제어를 통한 에너지 절약이 상대적으로 효과적임을 밝혔다. 또한 바이패스 모드를 운전제어 대안으로 제시하였다. Sung⁶⁾은 환기설비의 덕트 없이 개별제어가 가능한 상호통합형 열회수 환기장치를 적용하여 에너지 절감 및 Life cycle cost를 분석하였다.

열회수 환기장치의 결로에 관한 연구는 다음과 같다. Jeon⁷⁾은 실험실 실험을 기반으로 한계운전 조건을 제시하였다. 환기장치의 밀폐성능을 높여 결로, 결빙 문제를 해결하기 위해서 환기장치 내부를 노점온도 이상으로 유지하였다.

Kim⁸⁾은 항온항습실에서 특정조건으로 열교환소자를 통과하는 유량을 조절하거나, 예열코일(열선히터)을 적용하여 환기장치의 댐퍼 주변에서 발생하는 결로를 방지하고자 하였다. 그러나 예열코일의 사용은 결로 해결에 매우 유용하지만 이에 따른 추가적인 에너지 소비가 큰 것으로 나타났다. Kim⁹⁾은 지역별 열회수 환기장치의 내부 결로를 방지하기 위하여 전열, 현열 방식 각각의 적정 예열코일 용량을 산정하여 혹한기의 적절한 용량 및 운영대안을 제시하였다.

Table 1. TAB result of ERV (Unit: CMH)

ERV Mode		Living 1	Living 2	Room1	Room2	Room3	Overall volume
Inner Return Mode	SA	45.1	22.9	33.1	19.7	22.3	143.1
	RA	42.6	33.7	32.4	23.5	26.1	158.3
Baseline Mode	SA	43.9	29.2	28.0	24.2	22.3	147.5
	RA	39.4	34.3	30.5	24.2	24.2	152.6

Table 2. Measuring Instrument

Measuring Target		Measuring Instrument
Temperature Humidity		Data logger (Agilent)
		Data logger (SATO SK-L200)
Energy Consumption	Electricity	Digital Power Meter (Yokogawa WT310)
	Flow (Oil)	Micro stream flow sensor (Wintech OF-Z Series)
CO ₂ gas		Photoacoustic multi-gas monitor (INNOVA 1412)

선행연구를 종합적으로 분석한 결과 열회수 환기장치에 대한 연구는 다양하게 수행되었다. 혹한기 운영문제에 대한 연구는 현재 예열코일에 대한 연구가 중요하다. 예열코일을 사용할 경우, 결로, 결빙 문제를 매우 효과적으로 해결할 수 있을 뿐만 아니라 혹한기에 환기에 따라 발생하는 열적 불쾌적 문제 또한 해결할 수 있다. 그러나

예열코일 사용은 추가적인 에너지 소비를 요구하는 단점이 있다.

이에 본 연구에서는 열회수 환기장치 내부에 전동 댐퍼(이하 리턴 댐퍼)를 활용하여 내기순환모드(Inner return mode)를 대안으로 제시하였다. 이 대안은 열회수 환기장치의 실내공기 재순환을 유도하여 혹한기 운영문제를 해결할 수 있다. 이를 위해 내기순환모드의 실험적 접근을 통해 열회수 환기설비 동절기 적용가능성을 평가하였다.

2. 성능평가 실험 개요

2.1. 실험 방법

본 연구에서는 열회수 환기설비장치 내부에 리턴 댐퍼를 적용하여 내기순환모드로 가동하여 아래와 같은 방법으로 환기장치의 실내공기질, 교환효율, 결로 및 결빙방지 성능 평가를 평가하였다.

- 1) 실물실험을 통하여 내부공기의 순환에 따른 실내공기질을 평가하였다. 실내공기질 평가는 내기순환에 가장 영향을 받을 수 있는 CO₂를 기준으로 평가하였다.
- 2) 리턴 댐퍼가 적용된 열회수 환기설비의 소비전력과 열손실을 분석하였다.
- 3) 실험실 실험을 통한 혹한기 조건에서의 내부 결로, 결빙방지 성능을 평가하여 적정 운전제어 방안을 제시하였다.

환기장치의 적정한 용량을 산정하기 위하여 한국건설기술연구원에서 실시한 전국 신축공동주택의 실태조사결과를 활용하였다¹⁰⁾. 조사결과 열회수 환기장치가 설치된 전국의 공동주택 89개 단지 중 41%는 150~200CMH 규모의 환기장치를 설치한 것으로 조사되었다. 또한 면적이 100m²이하인 공동주택의 환기장치의 용량은 150CMH가 가장 많은 것으로 조사되었다.

이를 고려하여 본 연구에서는 환기장치의 용량을 150CMH로 하여 실물실험주택에 설치하여 실제 공동주택의 조건과 유사한 조건에서 실험을 수행하였다.

열회수 환기장치의 누설률은 6.9%이며, 표준소비전력은 60W이다. 온도교환 난방효율은 82.2%, 전열교환 난방효율은 78.2%이다. 열회수 환기장치는 설치 후 TAB(Testing Adjusting and Balancing)를 수행하여 각 실에 급, 배기 풍량이 적절하게 공급되도록 조정하였다. TAB 수행 후 각 실에 적용된 풍량은 Table 1과 같다.

2.2. 실물실험 개요

실물실험은 경기도 고양시에 위치한 3층 규모의 실험용 주택을 대상건물로 하였다. 리턴 댐퍼의 대안 별 평가를 위하여 Fig. 1과 같이 동일 조건의 2개 실물실험실에서 동시에 환기장치를 가동하였다. 대상건물의 바닥면적은 83.8m², 층고는 2.3m이다.

본 연구에서는 CO₂ 농도를 측정을 위해 일정량의 CO₂가스를 실내에 고르게 분사한 상태에서 9시간 이상 실내농도를 측정하였다. 실험에 이용한 측정장비는 Table 2와 같으며, 측정점은 거실과 주방, 침실1에서 각각 측정하였다.

CO₂ 방출량은 인체 호흡을 고려하여 산정하였다. 인체의 호흡에 의한 CO₂ 방출량은 성별, 나이, 대사량 등 다양한 조건에 의해 결정된다. 이에 본 연구에서는 성인 1명 당 CO₂ 방출량을 15liter/h - person로 고정했다. 또한 실제적을 고려해 재실인원을 3명으로 가정하여 일정하게 CO₂를 방출하였다.



Fig. 2. Pictures of experiment

본 연구에서는 내기순환모드 운영을 위하여 환기장치의 내부에 Fig. 2 (a)와 같이 리턴 댐퍼를 적용하였다. 댐퍼를 적용하였을 경우, 열회수 환기설비의 유로 및 운영은 다음과 같이 요약할 수 있다.

먼저 일반적인 열회수 환기장치는 Fig. 3(a)와 같이 외기(Outdoor Air, OA)가 열교환소자를 거쳐 연중 100% 급기(Supply Air, SA)를 한다. 그와 동시에 실내의 공기를 환기(Return Air, RA)시켜 열교환소자를 통한 열교환 후 100% 배기(Exhaust Air, EA)시키는 것을 원칙으로 한다. 본 연구에서 적용한 내기순환모드는 Fig. 3 (b)와 같다. 열회수 환기장치 내부(배기와 외기 측 사이에 설치)에 장착된 리턴 댐퍼는 열교환소자를 거친 RA의 일부를 실내로 재순환해 OA와 혼합해 실내로 공급하는 방식이다.

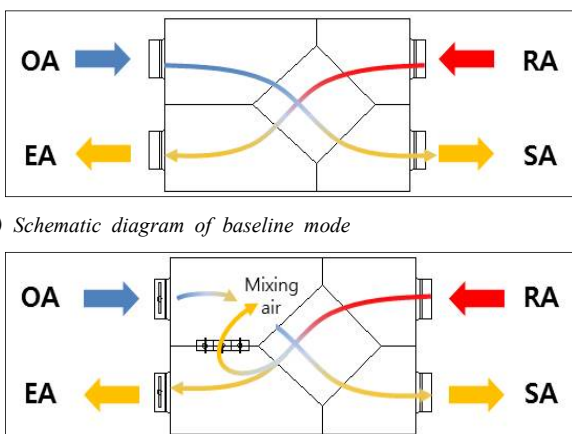


Fig. 3. Alternative plan of ERV

본 연구에서는 내기순환모드와 기본모드 열회수 환기장치를 동시에 가동하여 비교실험을 하였으며, 내기순환모드의 경우 내부리턴 댐퍼의 각도에 따라 환기장치의 유로를 변경하여 실험을 수행하였다(Table 3). 내기순환모드 환기장치를 가동하면 실내에서 발생한 오염물질의 농도가 상승할 수 있는데 특히 재실자의 호흡에 따른 CO₂가 증가할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 실내 CO₂를 대표오

염물질로 하여 내기순환모드 운영에 따른 변화를 기본모드와 함께 비교 실험하였다.

Table 3. Characteristic of ERV condition in Field Measurement at the Apartment

Operation type	Mixing Air		Open Angle of Return Damper(°)	Air Changes per Hour(h ⁻¹)
	OA Ratio (%)	RA Ratio (%)		
Baseline mode	100	0	0	1.3
Inner Return mode	Case1	75	25	22.2
	Case2	65	35	33.3
	Case3	50	50	45

실내 공간의 CO₂ 농도 기준은 다음과 같다. 국내에서는 환경부의 “실내공기질관리법”에 의해 다중이용시설에 한해서 CO₂ 농도를 1000 ppm으로 규정하고 있으며 공동주택의 기준은 별도로 마련되어 있지 않다.

국외에서는 다수의 선행연구를 거쳐 다음과 같은 권장 농도를 제시하고 있다. AIVC¹¹⁾에서는 적절한 CO₂ 농도를 1,000ppm으로 규정했으며, TNO¹²⁾에서는 1,000~1,500ppm을 적정 기준으로, ASHRAE¹³⁾는 1000~1200ppm을 실내 CO₂농도의 적절한 기준으로 제시하고 있다. 이를 종합적으로 고려하여 본 연구에서는 1000ppm 이하를 적절한 실내 농도 기준으로 설정하여 내기순환모드에 운영에 따른 실내공기질 농도를 판단하였다.

2.3. 실험실 실험 개요

본 연구에서는 실험실 실험으로 결로, 결빙 발생을 분석하였다(Fig. 4). 본 실험에 사용된 실험실의 실험조건은 KS B 6879와 동일하게 하였다. 실험 챔버의 실내 온도는 건구 온도는 22±0.3℃, 습구 온도는 13.9±0.2℃로 고정하였다. 실외 온도의 경우, 기준온도는 -5℃이나 실제 혹한기를 고려하여 -5℃~, -10℃, -15℃, -20℃로 5℃ 간격 별 결로, 결빙평가를 수행하였다.

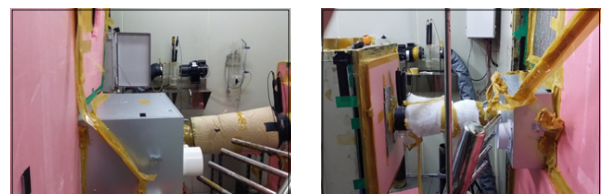
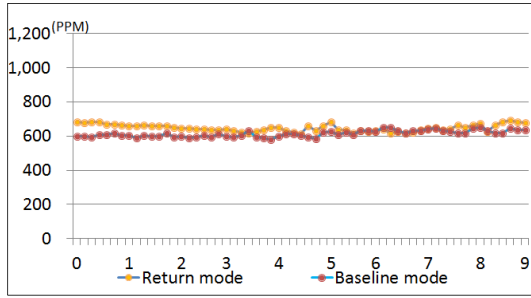


Fig. 4. Freezing test of ERV

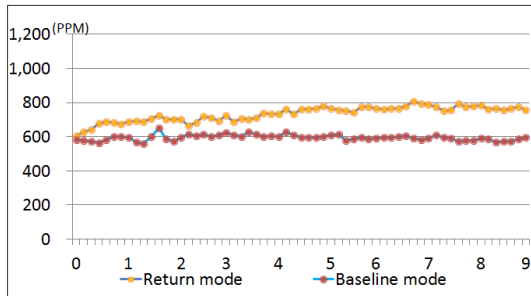
3. 리턴 댐퍼가 적용된 환기설비의 성능

3.1. 실내공기질 분석

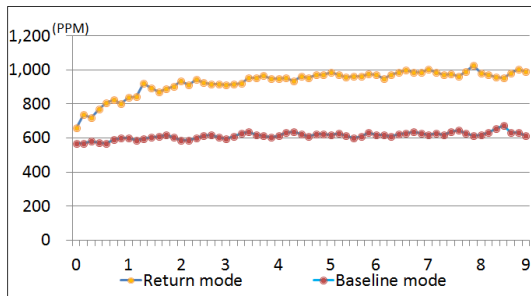
실내공기질 평가를 위해서 Table 1과 같이 Case 별 CO₂ 농도를 측정하였다. Fig. 5와 Fig.6은 각 case 별 CO₂농도 변화에 관한 그래프이다. 이를 통해 내기순환모드운영에 따른 CO₂농도 변화가 상이하다는 것을 알 수 있다.



a) Case 1



b) Case 2



c) Case 3

Fig. 5. Variations of CO₂ Concentration

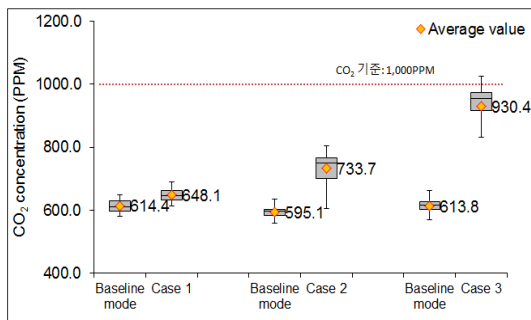


Fig. 6. CO₂ Concentration by cases of HRV. Boxes show interquartile range(IQR). Whiskers are set at 1.5 IQR.

Table 4. Baseline CO₂ concentration (PPM)

	Inner return mode	Baseline mode
Case1	682.9	597.9
Case2	606.4	580.1
Case3	659.4	569.3

실내공기질 분석에 대한 실험 과정에서 case 별 실험 전후로 환기를 하여 실험 전 각 case 별 CO₂농도를 측정하였다. 실험 전 초기농

도는 Table. 4와 같으며, case 별 공급 풍량과 배기 풍량은 동일한 상태에서 실험을 수행하였다. Baseline mode의 초기농도는 569.3~597.9ppm으로 case 별 농도차가 크지 않았다. 반면에 inner return mode의 초기 농도는 606.4~682.9ppm으로 농도차가 일부 발생하였다.

실험결과는 다음과 같다. 먼저 Baseline mode는 측정시점에 따른 농도 차이가 일부 존재하나 실험기간 동안 CO₂농도는 580~650 ppm으로 각 case 별 농도변화폭은 크지 않은 것을 확인할 수 있다.

반면에 inner return mode는 case 별 농도 변화가 분명하게 나타났다. 먼저 내기순환비율이 25%인 case1은 613~690ppm으로 변화하였다. Case1과 baseline mode의 평균농도차는 33.8ppm으로 측정되었으며, 최대 87.3ppm까지 농도차이가 발생하였다. 이는 장기적인 내기순환과정에서 발생한 농도차의 증가한 것 때문인 것으로 보인다. 이를 통해 25%의 내기순환비율은 CO₂ 증가에 미치는 영향이 미비한 것을 알 수 있다.

Case2는 CO₂농도가 측정 위치에 따라 차이가 있으나, 606ppm~806ppm까지 급격히 증가하였다. Case2는 환기장치가 가동된 후 약 5시간이 지난 시점부터 농도가 750~800ppm사이로 수렴하여 실험 종료시점까지 일정하게 유지하였다.

실험기간 동안 발생한 농도차는 최대 217.5ppm이었으며, 농도차는 평균 138.6ppm으로 측정되었다. 이를 통해 case2와 같이 inner return mode로 열회수 환기장치를 24시간 상시 운영할 경우, CO₂가 충분히 제거되지 않아 농도가 800ppm까지 증가할 수 있다. 그러나 장기적으로 환기시스템을 가동하더라도 기준 농도인 1,000 ppm이하의 농도로 환기할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 실내공기질 측면에서 case2와 같은 운영은 적절한 것으로 사료된다.

Case3은 측정시작 직후부터 CO₂농도가 급격하게 증가하여 환기장치 가동 후 약 4시간 뒤부터 950~1,000ppm 사이로 농도가 수렴하였다. 수렴 기간 중 일부 측정구간에서는 1,000ppm을 초과하여 최대 1,025ppm까지 증가하였다. 마찬가지로 baseline mode와 case3은 최대 410.7ppm까지 차이가 났으며, 평균 316.6ppm차이가 났다. 이는 RA 50%가 실내로 재공급된 결과로, 실내농도가 지속적으로 증가한 뒤 950ppm 이상으로 수렴하였다. 이를 통해 Case3과 같이 내기순환율이 50%인 경우, 실내공기질 문제가 발생할 수 있는 것으로 평가된다.

3.2. 에너지 소비 분석

중간기에는 열회수 환기장치를 바이패스 모드 운영하면 환기유닛 내부의 유로 변경으로 인해 기기자체의 소비전력을 기존 운영에 비해 크게 절감할 수 있다⁵⁾.

Table 5. ERV power consumption (W)

Baseline mode	Inner return mode		
	Case1	Case2	Case3
61.0	61.4	63.0	64.1

이처럼 본 연구에서는 내기순환모드 운영에 따라 변동되는 열회수 환기장치의 소비전력을 측정하였다(Table 5).

측정결과 baseline mode의 소비전력은 표준소비전력과 유사하게 61.0W로 측정되었다. 내기순환모드를 측정한 결과 baseline mode 대비 case1은 0.7%, case2는 3.3%, case3은 5.1% 소비전력이 증가한 것으로 나타났다.

소비전력은 내기순환 비율에 따라 소비전력량이 소량 증가하는 경향을 보였다. 이는 리턴템퍼에 따라 열회수 환기장치 내부에서 유로가 변경되어 발생한 결과로 추정된다.

동절기에는 열회수 환기장치를 가동하여 에너지를 회수하더라도 실내온도, 외부온도 그리고 열교환 소자의 성능에 따라 환기에 의한 열손실이 다르게 발생한다.

환기에 의한 열손실은 열회수 환기장치를 거친 급기의 온도에 영향을 받는다. 또한 이 급기온도는 외기온도에 직접적인 영향을 받는다. 이에 본 연구에서는 열회수 환기장치 운영에 의해 발생하는 열손실량을 함께 분석하였다. 실험실의 특성상 각 case 별 외기온도는 최대 1.9 °C 차이가 발생하였기 때문에 절대적인 비교는 어려우나 환기 유형 별 발생하는 열손실량의 경향을 파악할 수 있다.

열손실 계산은 Equation 1을 활용하였으며, 각 case 별 다른 환기 방식에 따른 열손실량을 추정하였다.

$$Q_{loss} = m \times C_p \times (t_{SA} - t_{RA}) \dots\dots\dots (1)$$

여기서, Q_{loss} : 환기에 의한 열손실량 (W)

m : 공기의 유량 (Kg/s)

C_p : 공기 비열 (J/kg·K)

t_{SA} : 급기 측 건구온도 (°C)

t_{RA} : 환기 측 건구온도 (°C)

Baseline mode의 평균 열손실량은 341.5W가 발생한 반면, baseline mode 대비 case1은 20.2%, case2는 30.1%, case3은 47.1%가 감소하였다. 각 case 별 내기순환율을 고려했을 때, 이를 통해 환기에 의한 열손실량은 내기순환율과 반비례하는 경향을 보였다(Fig. 7).

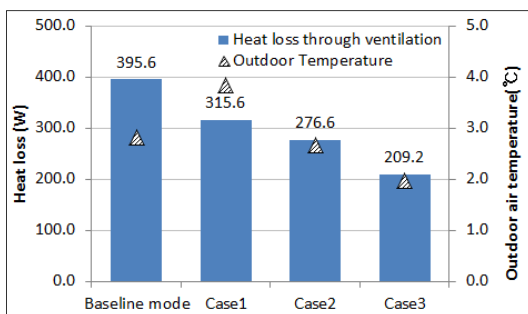


Fig. 7. Heat loss through ERV ventilation

3.3. 결빙(결로) 실험

본 연구에서는 CO₂ 실험과 동일한 환기장치를 대상으로 결로, 결빙 실험을 진행하였다. 실험은 KS B 6879 기준과 유사한 조건의 실험실에서 진행하여 4시간 후 열회수 환기장치 내부에 발생한 결로,

결빙 확인하였다. 또한 KS B 6879¹⁴⁾에 명시된 Equation 2를 이용하여 온도교환 효율을 계산하였으며, 환기장치의 OA, SA, EA 측 내부 온도를 함께 측정하였다.

측정결과 RA는 chamber의 실내 기준 온도인 22°C, OA는 각 case 별 실험조건과 일치하게 일정한 값으로 측정되었다. 이를 제외한 SA, EA 덕트의 온도는 Table 6과 같다.

Table 6. Thermal characteristic of ERV system

Case	Temperature (°C)				Temperature efficiency (%)
	OA side	SA side	SA side Wet-bulb	EA side	
Baseline mode	-20	13.6	7.9	-7.2	79.9
Case1		17.3	10.3	-1.8	88.8
Case2		18.6	11.2	1.0	91.9
Case3		19.3	11.6	5.5	93.6
Baseline mode	-15	15.3	9.2	-3.7	81.8
Case1		17.9	10.8	0.8	89.0
Case2		18.8	11.7	4.4	91.3
Case3		20.4	12.6	8.8	95.8
Baseline mode	-10	16.9	10.2	0.2	84.0
Case1		18.5	11.1	3.7	88.9
Case2		19.3	11.9	6.6	91.5
Case3		20.6	12.7	10.2	95.4
Baseline mode	-5	18.2	10.9	3.9	86.0
Case1		18.9	11.6	6.1	88.5
Case2		19.5	12.0	7.6	90.7
Case3		20.3	12.4	10.2	93.6

Baseline mode의 온도교환효율은 외기온도 조건에 따라 79.9~86.0%로 측정되었으며 평균 온도교환효율은 82.9%로 측정되었다. 그러나 내기순환모드의 온도교환효율은 다른 결과를 보였다. 내기순환모드의 효율은 최대 95.8%까지 증가하였으며, case 별 평균 온도교환효율은 case1은 88.8%, case2는 91.4%, case3은 94.6%로 증가하였다(Table 6). 이는 내기순환적용에 따른 급기 온도의 변화가 생겼기 때문으로 내기순환모드의 급기 온도는 baseline mode보다 -0.7~5.7°C까지 증가하였다.

$$\eta_t = \frac{t_{OA} - t_{SA}}{t_{OA} - t_{RA}} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

여기서, η : 온도교환효율(%)

t_{OA} : 외기건구온도(°C)

t_{SA} : 급기건구온도(°C)

t_{RA} : 환기건구온도(°C)

내기순환모드를 통한 혼합공기의 온도 변화를 알아보기 위해 Fig. 8과 같이 5곳의 온도를 측정하였다. 1,2번은 damper 근처, 3번과 4번은 core 주변, 5번은 OA측 중앙에서 측정하였다. 또한 KS B 6879에 따라 열회수 환기장치와 연결된 3곳의 덕트 내부 온도를 측정하였다.

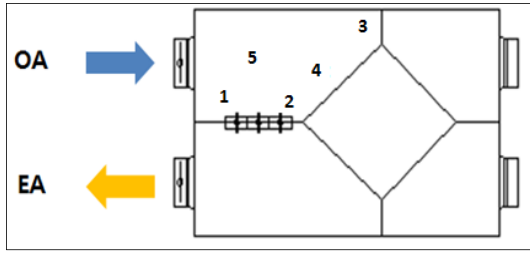


Fig. 8. Measurement point of temperature in ERV

측정결과는 Table 7과 같다. 먼저 Baseline mode의 경우, 측정점1은 OA온도가 1.7~2.9℃ 만큼 온도가 상승했다. 이는 OA가 덕트내부에서 열회수 환기장치 내부로 공급되기 전 상승된 온도이다. Case1의 측정점1은 외부온도에 비해 9.8~15.6℃ 증가하였다.

Table 7. Internal temperature of ERV system

	Point Temperature (°C)					
	OA Side	no.1	no.2	no.3	no.4	no.5
Baseline mode	-20	-18.3	-18.2	-17.0	-17.3	-17.1
Case1		-4.4	-10.8	-12.4	-11.8	-9.2
Case2		-2.1	-11.1	-9.1	-9.0	-7.2
Case3		6.0	-0.8	0.2	0.1	2.9
Baseline mode	-15	-12.1	-13.0	-13.2	-11.9	-12.9
Case1		-1.0	-7.4	-8.7	-7.4	-7.2
Case2		3.8	-2.1	-2.6	-1.7	0.6
Case3		10.1	6.5	5.9	6.2	8.7
Baseline mode	-10	-7.4	-8.6	-8.6	-7.1	-8.5
Case1		1.7	-3.7	-4.7	-2.8	-3.4
Case2		6.1	1.2	0.9	1.0	3.0
Case3		12.0	9.3	9.0	9.2	10.9
Baseline mode	-5	-2.1	-3.8	-3.9	-3.0	-4.0
Case1		4.8	0.1	-1.3	1.5	-0.2
Case2		5.7	0.8	1.3	2.1	1.7
Case3		7.4	4.4	4.5	5.9	8.6

온도상승은 RA(22℃)의 20%가 실내로 재순환됨에 따른 결과이다. Case2의 측정점 온도는 10.7~17.9℃, Case3에서는 12.4~26.0℃ 각각 상승하였다. 다른 측정점 역시 내기순환비율에 따라 온도 경향이 매우 유사한 것으로 나타났다.

OA와 열교환 소자 사이에 위치한 4, 5번 측정점은 내기순환이 이뤄지는 경우 -12.4~9.3℃로 1번 측정점에 비해서 1~6℃가량 낮았다. 이는 대부분의 온도조건에서 측정점 중 온도가 가장 낮게 측정되었다. 4, 5번 측정점은 OA와 RA가 만나 혼합되는 위치이므로 외부온도에 가장 큰영향을 받는 1번 측정점에 비해 낮은 것으로 나타났다.

열교환 소자 근처이면서 열회수 환기장치 마감재에 가장 가까운 3번 측정점은 모든 온도조건에서 최저온도인 것으로 밝혀졌다. 이를 통해 열회수 환기설비 내부에서 3번 측정점 부분이 결로에 가장 취약한 부분으로 판단된다.

실험에 의한 내부 결로, 결빙 실험 결과는 Table 8과 같다. KS 결

로 실험조건인 -5℃에서는 결로, 결빙이 발생하지 않았으며, -10℃ 조건에서 또한 결로가 발생하지 않았다. 일반적인 열회수 환기설비의 한계 운전가능 실외온도가 -10℃인 것을 감안할 때, 내기순환과 관계없이 일반적인 결과로 판단된다.

Table 8. Occurrence of condensation, and freezing

	Freezing occurrence	
	Outdoor air temperature in -20 (°C)	Outdoor air temperature in -15 (°C)
Baseline model		
	EA part, OA part	Surface
Case1		-
	OA part	-
Case2		-
	OA part	-
Case3		-
	-	-

하지만 -15℃ 조건 Baseline mode에서 결빙이 발생하기 시작했는데, Table 8과 같이 OA, EA 측 표면에 결빙이 발생하는 것으로 나타났다. OA 상단 표면과 EA내부 댄퍼 측 표면에 미량의 결빙이 발견되었으나, 결빙의 양이 소량이기 때문에 실제 운전하는 경우는 문제가 없을 것으로 사료된다.

반면에 -20℃ 조건에서는 결빙현상이 보다 뚜렷하게 발생하였다. 내기순환율이 가장 높은 case 3을 제외하고 모든 case에서 결빙이 발생하였다. 특히 Baseline mode에서는 OA측, EA측에서 모두 결빙이 발생하였다. 실제로 실험 시 측정된 내부온도는 -18.3~17.0℃로 OA 측 내부온도의 차는 최대 1.3℃로 측정됨에 따라 OA측에는 결빙 현상이 고르게 발생하였다. 앞서 밝힌바와 같이 OA측 내부온도와 실외온도의 차이가 미비할 정도로 낮기 때문에 OA측에 결로가 발생하였고, EA측에도 영향을 줘 함께 결빙이 발생하였다.

Case1은 OA측에서 결빙이 발생하였는데, OA측 내부온도는 -12.4~-4.4℃로 측정되었다. 결빙이 발생한 case2의 OA측 내부온도는 -11.1~-2.1℃로 case1에 비해 온도가 2~3℃가량 높았으나 유사한 형태로 내부에 결로가 발생했다. 반면에 case 3의 OA측 온

도는 $-0.8\sim 10.1^{\circ}\text{C}$ 로 case2보다 내부온도가 8°C 이상 높아 결빙 현상이 발생하지 않았다.

본 실험실 실험을 통해 열회수 환기설비의 결로, 결빙 방지 성능을 평가하였으며, 열회수 환기장치 내부에 결로, 결빙이 가장 취약한 위치를 발견하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 겨울철을 내기순환 열회수 환기장치를 통해 종합적인 측면의 실험을 하였다. 이를 위해 고려한 항목은 실내공기질(CO_2), 에너지 소비, 결로 및 결빙이다.

실험을 통해 OA 조건 외에도 열회수 환기장치의 내기순환율, 환기량 등을 종합적으로 고려하여 운영한다면 효율적인 환기 운영이 가능할 것으로 보인다. 3가지 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 내기순환모드가 적용된 열회수 환기장치의 CO_2 농도변화는 RA의 비율에 따라 크게 다른 양상을 보였다. 평균농도 기준으로 볼 때, 모든 case는 기준 농도에 비해 낮은 수준에서 운영되었다. 특히 실험기간 중 case1의 평균농도는 648.1ppm, case2는 733.7ppm으로 case 1, 2의 운영은 실내공기질 측면에서 합리적인 것으로 판단된다. 그러나 case3은 930.4ppm까지 농도가 증가하였으며, 일부 구간에서는 1000ppm을 초과하기도 하였다. 이를 통해 실내공기질 측면에서 case3의 운영은 적절하지 않은 것으로 보인다. 단, 본 실험은 재실스케줄을 고려하지 않고 재실인원 변동 없이 동일한 양의 CO_2 가스를 지속적으로 공급했던 조건이므로, 실제 운영 조건에서는 제한적으로 case 3의 운영을 고려해볼 수 있을 것으로 보인다.

둘째, 내기순환모드 적용 시, baseline mode의 소비전력은 61.0 W이다. 내기순환모드의 소비전력은 0.7~5.1% 증가하였다. 이는 내기순환모드에 따른 유로 변경에 따른 소비전력의 변화로 보인다. 또한 열회수 환기설비 가동에 따른 열손실은 baseline에서는 395.5 W로 측정되었다. 반면에 내기순환모드에서는 내기순환모드 대비 case별 각각 20.2% 30.1%, 47.1%까지 감소하였다.

셋째, 열회수 환기장치 내부 결빙에 관한 실험은 다음과 같다. 내부 결빙은 -15°C 에서 표면에 일부 결빙이 발생한 반면 -20°C 조건에서는 내부 결빙이 크게 발생하였다. 먼저 Baseline mode는 OA 내부와 EA 측 표면에 결빙이 발생하였다.

Inner return mode는 -20°C 조건에서는 case3을 제외하고 모든 case에서 OA측에 결빙이 발생했으며, baseline model은 OA측뿐만 아니라 EA측에서도 결빙이 발생하였다. 열회수 환기장치의 내부 결로, 결빙은 OA측에서 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다. 결빙은 환기장치 내부 표면에 가까운 측정점 3의 온도가 가장 낮아 결로에 가장 취약한 부분으로 나타났다. 환기 적절할 운영을 위해 측정점 3번의 단열 성능으로 높여 열회수 환기장치의 결로 방지 성능을 높이는 것이 필요한 것으로 판단된다.

3가지 실험결과를 종합적으로 고려해볼 때, case3은 에너지 소비 관점과 내부 결로, 결빙 측면에서 가장 적절한 대안으로 평가되었다. 반면에 실내공기질 측면에서 내기순환의 비율이 높기 때문에 장기적인 운영 시에는 기준농도가 아닌 권장농도인 1,000ppm에 근접

하므로 위험한 수준은 아닐지라도 주의가 필요할 것으로 판단된다.

case 2 안은 환기 기준으로 장기 운영 시에 환기장치 내부에 결로, 결빙이 발생할 수 있다. 그러므로 환기장치 장기 운영 시에는 결로, 결빙에 가장 취약할 수 있는 환기장치의 OA 측 마감재의 단열을 강화하여 운영하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

그럼에도 불구하고 환기에 장비 내부에 발생할 수 있는 결로, 결빙 현상을 방지하기 위해서는 CO_2 농도 기준에 기반을 둔 내부순환율의 조절이 필요할 것으로 보인다. 내부순환율은 35%(case2)에서 최대 50% 사이(case 3)에서 순환을 변경하는 간헐적인 운영을 통해 환기에 발생하는 환기에 의한 에너지 소비 문제와 실내공기질 그리고 내부 결로, 결빙 문제를 개선하는 것이 가능할 것이다.

후 기

This study was carried out by the support of the research fund of residential environment research project of Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (18RERP-B082204-05).

Reference

- [1] 김석근 외2인, 공동주택에서 공기청정 겸용 전열교환 환기유닛 가동특성에 따른 실내공기질 측정 및 예측에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제23권 (제1호), 2007 // Kim, Seok-Keun, Yee, Jung-Jae, Measurement and Prediction on Indoor Air Quality according to Operating Conditions of Heat Recovery Ventilator Combined Air Cleaning Function in an Apartment, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol.23 (1), 2007
- [2] 황태철 외3인, 실내오염 저감을 위한 공동주택 환기시스템의 개선방안에 대한 연구, 설비공학논문집, 제20권 (제6호), 2008 // Hwang, Tae-Chul, Lee, Hyun-Woo, Choi, Sang-Gon, Hong, Jin-Kwan, The Study on the Renovation Method of Apartment House Ventilation System for Reducing Indoor Air Contamination, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.20 (6), 2008
- [3] 김선숙 외2인, 외기조건에 따른 열회수형 환기시스템의 성능평가, 설비공학논문집, 제24권 (제8호), 2008 // Kim, Sun-Sook, Yee Jung-Jae, Lee Yun-Gyu, Performance Evaluation of an Energy Recovery Ventilator with Various Outdoor Climate Conditions, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol.24 (8), 2008
- [4] 김광현, 이정재, 전열교환 환기시스템의 외기변화에 따른 성능평가 및 에너지평가를 통한 운전방안에 관한 연구, 설비공학논문집, 제20권 (제1호), 2008 // Kim, Kwang-Hyun, Yee, Jung-Jae, A Study on Operating Method by Energy Evaluation and Performance Evaluation of Heat Recovery Ventilator According to Outdoor Conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.20 (1), 2008
- [5] 김광현, 이정재, 공동주택 전열교환 환기시스템의 에너지 절약적 외기도입 운전제어 방안에 관한 연구, 설비공학논문집, 제25권 (제6호), 2009 // Kim, Kwang-Hyun, Yee, Jung-Jae, A Study on an Energy-efficient Outdoor Air Supply Operation Control Method of Apartment Heat Recovery Ventilation System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.25 (6), 2009
- [6] 성유주 외2인, 창호통합형 배열회수 환기시스템의 열성능 및 경제성 평가, 설비공학논문집, 제24권 (제8호), 2012 // Sung, Uk-Joo, Cho, Soo, Song, Kyoo-Dong, An Analysis on Thermal Performance and Economic of Heat Recovery Ventilation System Integrated with Window, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.24 (8), 2012
- [7] 전병현 외4인, 전열교환 환기시스템의 운전 상태에 따른 결로 발생에 관한 연구, 설비공학논문집, 제25권 (제10호), 2013 // Byung-Heon Jeon,

- Jong-Won Kim, Seung-Kap Lee, Young-Ju Lee, Young-Chull Ahn, A Study on the Dew Condensation According to the Operational Conditions of a Heat-Recovery Ventilator”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.24 (8), 2012
- [8] 김창연 외3인, 공동주택 폐열회수 환기장치 댐퍼의 결빙방지에 관한 연구, 한국친환경설비학회 논문집, 제8권 (제4호), 2013 // Kim, Chang-Yeon, Kim, Dong-Gyu, Shin, Byung-Hwan, Kum, Jong-Soo, “Study on Anti icing techniques for motor damper of Heat Recovery Ventilator in apartment house”, Journal of KIAEBS, Vol.8 (4), 2014
- [9] 김원준 외3인, 열회수형 환기장치의 결로 방지를 위한 지역별 예열코일 용량산정 및 분석, 설비공학논문집, 제32권 (제10호), 2016 // Kim, Won-Jun, Kim, Hui-Jeong, Yoon, Dong-Seob, Jeong, Jae-Weon, Regional Preheat Coil Capacity Estimation for Preventing Condensation in Sensible Heat or Energy Recovery Ventilators, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol.32 (10), 2014
- [10] 한국건설기술연구원, 환기설비의 에너지효율 성능개선을 위한 기술 지원 연구, 2016년도 주요사업 최종보고서, 2016 // Korea Institute of Civil Engineering & Building Technology, A Study on Technical support for improving energy performance of the various ventilation system, 2016
- [11] Usha Satish, Mark J. Mendell, Krishnamurthy Shekhar, Toshifumi Hotchi, Douglas Sullivan, Siegfried Streufert, William J. Fisk, Is CO2 an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO2 Concentrations on Human Decision-Making Performance. Environmental Science & Technology, vol.120, 2012, pp.1,671~1,677
- [12] Ventilatie van ruimten ten behoeve van personen, Achtergronden en eisen. TNO Report No.060-DTM-2011-00610, 2011
- [13] ASHRAE, ASHRAE Standard 62.2 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings, 2016
- [14] Korean Standards, KS B 6879, Heat Recovery Ventilators, 2017