

전열교환 환기시스템의 운전 상태에 따른 결로 발생에 관한 연구

A Study on the Dew Condensation According to the Operational Conditions of a Heat-Recovery Ventilator

전병헌(Byung-Heon Jeon)¹, 김종원(Jong-Won Kim)¹, 이승갑(Seung-Kap Lee)¹
이영주(Young-Ju Lee)², 안영철(Young-Chull Ahn)^{3†}

¹부산테크노파크, ²(주)남양기계금속, ³부산대학교 건축공학과

¹Mechanical Material AND Parts Center, Busan Techno-Park, Busan 618-230, Korea

²Namyang Mechanical Metals, Noksan, Kangseogu, Busan 618-210, Korea

³Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Received May 11, 2013; revision received August 1, 2013)

Abstract Heat-recovery ventilators are being adopted in most newly built apartment houses for energy reduction and indoor environment improvement. In winter, however, the dew condensation resulting from the difference between the indoor and outdoor temperatures may reduce the ventilator's performance and threaten the health of indoor residents. This study analyzes the occurrence of dew condensation according to the ventilator's operational conditions and the changes of temperature and products. The experimental results show that condensations is formed at 26°C and 60%R.H, which is an unfavorable climatic condition, and when the damper is not closed tightly. Therefore it is important to ensure damper performance to prevent back flow.

Key words Heat recovery ventilator(전열교환 환기시스템), Dew condensation(결로), Operation(운전),
Motor damper(모터 댐퍼)

† Corresponding author, E-mail: ycahn@pusan.ac.kr

1. 서 론

전열교환 환기시스템은 냉난방이 되고 있는 실내의 공기에서 환기에 의해 버려지는 온열에너지를 회수하여 손실을 최소화하는 장치로써, 현재 에너지 저감과 실내 환경 개선을 위하여 대부분 신축 공동주택에서 채택되어 사용되고 있다. 우리나라는 사계절이 뚜렷하여 겨울철에는 저온 건조하고 여름철에는 고온 다습한 특징을 가지고 있어 실내·외 온도와 습도에 따라 열교환 효율 특성 및 환기시스템의 에너지소비 특성이 다르게 나타난다. 이에 전열교환 환기시스템과 관련한 지속적인 연구 개발을 통해 일상적인 운전 조건에서는 최고의 효율 수준으로 개선되어왔다.⁽¹⁻⁴⁾ 하지만 저온 건조한 겨울철에 지속적인 실내 가습이나 샤워 또는 조리 등에 의한 수증기가 발생할 경우에 전열교환 환기시스템의 내부 및 덕트부에 결로가 발생할 수 있다. 이

때 생성된 결로수는 Fig. 1과 같이 환기시스템의 내부에 부식을 발생시키고 효율을 저하시키게 되며 Fig. 2와 같이 곰팡이의 발생 또는 미생물이 서식하고 번식할 수 있는 환경을 제공하여 실내 거주자의 건강을 위협할 수 있다.

특히 남부지역 보다 상대적으로 기온이 낮은 중부 이상의 지역으로 갈수록 환기시스템의 결로현상이 빈번히 발생되며, 이러한 현상을 줄이기 위하여 외기 도입부(OA)에 히터를 설치하여 실내·외 온도 편차를 줄여 결로 발생을 방지하기도 한다.

하지만, 전기히터의 사용으로 소비전력이 증가하여 '에너지 절감'이라는 전열교환 환기시스템의 본연의 목적이 사라지는 단점이 있다.

이에 본 연구에서는 겨울철 전열교환 환기시스템의 실내외 온도, 습도 변화 및 운전 상태에 따른 결로 발생 특성을 분석하고 결로 억제 방안을 제안 하고자 한다.



Fig. 1 Corrosion of a heat recovery ventilator by dew condensation.



Fig. 2 A photo of a heat exchange core covered with mold.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험제품 및 장치

본 연구의 검토 대상인 전열교환 환기시스템은 상용 제품으로 정격 풍량은 250 m³/h이며, 판금으로 제작되어 내부에는 단열재가 부착되어 있다. 그리고 제품의 조건별 결로 확인을 위하여 제품에 Motor Damper와 Back Draft



Fig. 3 Performance test facility of a heat recovery ventilator.

Damper를 장착하였다. 제품의 성능평가는 ANSI/ASHRAE Standard 37-1978⁽⁵⁾, Korea Standard KS B 6879:2007⁽⁶⁾의 조건을 만족하는 2실 방식의 칼로리미터를 사용하였으며 장치의 모습을 Fig. 3에 나타내었다.

2.2 실험 조건 및 방법

전열교환 환기시스템의 운전 상태에 따른 결로 발생을 확인하기 위하여 운전 상태를 가동 상태와 정지 상태로 분류한다. 정지 상태에서는 실외 풍압에 의한 외기도 입을 고려하여 임의로 풍량 50 m³/h를 가정하여 기내로 강제 송풍하였다. Table 1과 같이 온도조건은 가동 시 실외 -9℃(-10℃ 이하의 경우 자동 정지 설정)를 유지하고, 실내는 KS 기준인 22℃/40%RH, 고온 다습한 조건인 24℃/50%RH, 약조건으로서 26℃/60%RH 세 가지 조건으로 설정하였다. 반면 정지 시에는 실외 -13℃이며, 실내는 가동 시와 동일하게 진행하였다. 또한 제품의 이상 조건으로 실험 대상체에 임의로 Motor Damper와 Back Draft Damper 개폐 불량, 단열재 부착 불량, 내부누설 등을 적용하여 가동 시와 정지 시 동일하게 평가하여 결로 발생 유무 및 특성을 분석하였다. 이때 결로 생성이 확인되면 대책을 마련한 후 개선 시험을 진행하였다.

Table 1 Test Conditions

	Outdoor	Indoor	Conditions of Products
Operation Condition	-9℃	22℃, 40%R.H.	<ul style="list-style-type: none"> • Normal product • Faulty Damper • Fault in attachment of a heat insulator • Internal leakage
		24℃, 50%R.H.	
		26℃, 60%R.H.	
Shutdown Condition	-13℃	22℃, 40%R.H.	
		24℃, 50%R.H.	
		26℃, 60%R.H.	

※ four-hours operation, based on the KS B 6879

3. 실험 결과

3.1 결로 발생 조건 분석

겨울철 다양한 운전조건에 따른 결로 발생 유무를 확인한 결과를 Table 2에 나타내었으며 주요 부위에 응축수가 맺혀서 결로가 형성된 모습을 Fig. 4에 나타내었다. 온도 변화 조건의 경우 내부온도가 26℃/60%일 때는 모든 상황에서 결로가 발생됨을 확인할 수 있었다. 특히, 실외측으로 인접한 부분에 다량의 결로가 발생되었는데, 이는 실내측의 고온다습한 공기가 기내로 유입되고 환기시스템의 외부에서 유입되는 낮은 온도의 공기가 만나 결로가 생성되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 제품 상태 변화 조건으로 시험을 수행한 결과에서 정지 시 Motor Damper 밀폐 불량 조건일 때는 세 가지 온도/습도 조건에서 모두 결로가 발생되었다. 정상적으로 작동하는 Motor Damper의 경우는 밀폐상태를 잘 유지하여 Damper 외표면에는 결로가 발생되었지만 기내에는 이상이 없는 것을 확인할 수 있었고 이에 Motor Damper의 정상작동이 내부 결로 발생에 중요한 요소임을 확인하였다.



Fig. 4 Pictures of dew condensed parts.

3.2 개선방안 도출 실험

Table 2에 나타낸 바와 같이 실내조건 26℃/60%RH의 모든 실험 조건들과 정지시 실내조건 22℃/40%RH의 Motor Damper 밀폐 불량일 때 결로가 발생하였으므로 이에 대한 개선 방안 도출을 위하여 다음과 같은 실험 분석을 진행하였다.

3.2.1 운전제어를 통한 개선방안

환기시스템의 내부 온도가 노점온도 이하가 되지 않도록 운전 제어하는 방안을 적용하였다. 현재 적용되는 한계운전은 실외온도가 -10℃ 이하일 때 작동되도록 되어 있으나, 본 연구에서 제안하는 한계운전은 기존의 조건인 -10℃ 이하의 경우와 추가적으로 실외온도가 -2℃ 이하이며 실내온도 25℃ 이상일 경우 적용되도록 하였다. 실제 실외온도 -2℃에서 실내 26℃ 50%RH에서는 소량의 결로가 발생하였으며 26℃ 60%RH에서는 확연하게 결로가 발생하였으며, 이에 따른 개선안으로 실험을 진행한 결과, 결로 발생이 현저히 줄어드는 것을 확인하였다.

Table 2 Conditions of condensation generation according to the experimental parameters

Parameters	Conditions of Products	Outdoor Temperature	Indoor Temperature/Humidity		
			22℃/40%RH	24℃/50%RH	26℃/60%RH
Operation Condition	Normal product	-9℃	-	-	Condensation formed
	Faulty insulator		-	-	Condensation formed
	Internal leakage		-	-	Condensation formed
Shutdown Condition	Normal product	-13℃	-	-	Condensation formed
	Faulty motor damper		Condensation formed	Condensation formed	Condensation formed
	Faulty insulator		-	-	Condensation formed
	Internal leakage		-	-	Condensation formed

3.2.2 비가동시 밀폐유지를 통한 개선방안

현재 양산되고 있는 환기시스템의 Motor Damper는 급기라인(OA → SA)에 1개씩 적용되고 있지만 배기라인(RA → EA)에 추가적으로 적용하면 Back Draft Damper의 오작동을 방지할 수 있으며, 이로 인해 기내의 밀폐가 유지되어 결로 발생을 최소화 할 수 있어 개선방안으로 적용하였다. 이에 대한 시험을 진행한 결과 Fig. 4에서처럼 결로가 발생하던 부분에서 결로가 발생하지 않았으며 이는 Fig. 5를 통하여 확인할 수 있다.

그러나 장시간 환기시스템이 정지되어 있을 경우 장치내부에 결빙현상이 발생됨을 확인하였으며, 이에 장치내부가 결빙의 가능성이 있는 온도이하에 도달 할 경우 노점온도를 고려하여 Motor Damper가 일정시간 동안 자동 개방되는 메커니즘을 적용하고 분석을 실시하



Fig. 5 No condensations occur by the improved air tightness.

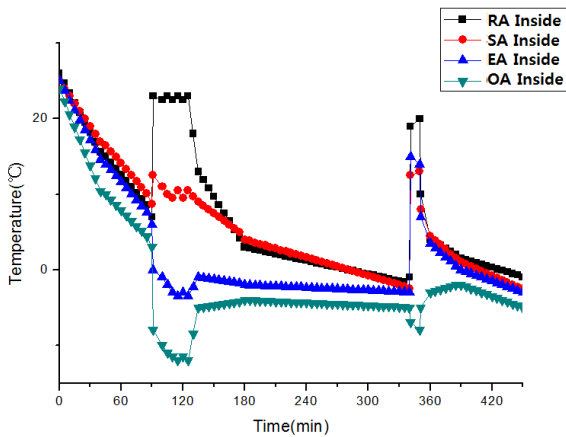
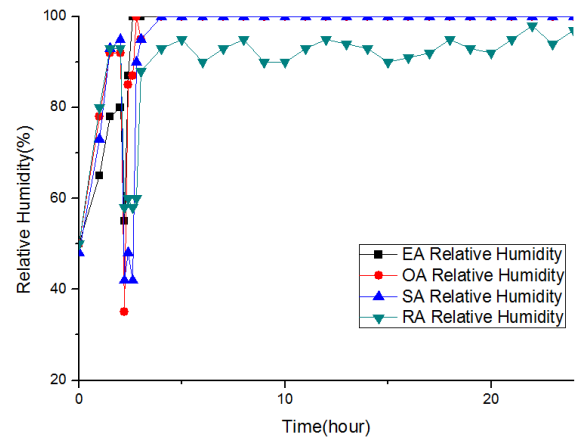


Fig. 6 Temperature variations by the open of motor damper when the ventilator does not work for long time.

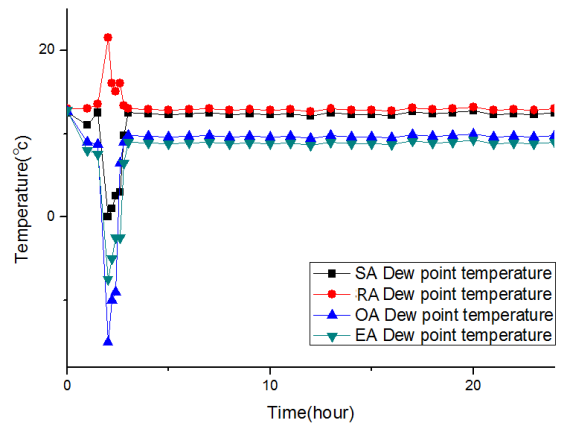
였다. 이러한 방법은 Fig. 6에 나타난 바와 같이 Motor Damper 개방시 실내에서 유출되는 열량을 이용하여 기내 온도 상승을 유도함으로써 내부의 결로 발생을 억제할 수 있는 효과적인 방법인 것으로 확인되었다.

3.2.3 내부 공기누설 방지를 통한 개선방안

환기장치의 내부습도는 내부 온도가 5°C일 때 Fig. 7의 (a)에 나타난 바와 같이 RA측에서만 약 90% 정도의 상대습도를 나타내며 나머지 부분은 장치 가동 후 수 시간 내에 100%에 도달하는 것으로 나타나 내부 결로가 발생할 가능성이 충분히 있음을 확인 할 수 있다. 또한 장치 내부의 노점온도는 실내측에 인접한 SA측과 RA측에서 높게 나타났고 상대적으로 실외측에 인접한 OA측과 EA측은 낮게 나타났다. 이는 실내측에서 습기가 유입되고 환기시스템의 낮은 온도에서 습기가 결로



(a) Relative humidity



(b) Dew point temperature

Fig. 7 Relative humidity and temperature variations of inside of the ventilator.

로 응축이 되어 실외측에 인접한 실의 습도가 낮게 나타나는 것으로 분석되어 실제로 실내에서 실외로 공기가 유출되고 있는 현상을 확인할 수 있다. 이에 환기시스템 제조시 접합부위 밀폐 및 실내외측 단열재 부착, 열교환기 설치시 내부 누설을 최소화 하면 결로 발생을 최대한 억제할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

국내 전열교환 환기시스템의 관련 기술은 환기 설비 의무화 등으로 비교적 짧은 시간에 널리 보급되고 있으며, 이에 맞춰 기술수준은 높아가고 있다. 하지만 환기시스템은 주로 실외기실이나 기계실에 설치되기 때문에 외기온도의 영향을 많이 받아서 영하로 온도가 떨어지는 경우가 많고 실내온도는 상대적으로 고온다습하기 때문에 온도차 및 제품 불량에 의한 결로가 발생하는 경우가 빈번하며, 이로 인한 환기시스템 성능 감소, 제품 내 곰팡이 등의 번식이 이루어져 재실자의 건강까지 위협하고 있다.

이에 본 연구에서는 겨울철 전열교환 환기시스템의 운전 상태에 따라 온도변화 및 제품 변화에 따른 결로 발생을 확인하고 결로 억제 방안을 제안하였으며, 연구 결과를 아래와 같이 요약·정리한다.

- (1) 실내·외 온도의 관계를 고려하여 실내온도 25℃ 이상일 때 실외온도 -2℃ 이하인 조건을 한계운전 조건에 추가할 경우 간단한 소프트웨어 조작만으로 결로 발생을 현저히 줄이는 것이 가능하다.
- (2) 하드웨어적인 개선으로 Motor Damper를 급기라인과 배기라인에 모두 적용할 경우, Back Draft Damper의 오작동을 방지하여 결로 발생을 억제할 수 있다.
- (3) 환기장치의 정지시 외부에서 유입되는 공기와 내부에서 유출되는 공기를 차단하는 Damper에 의한 기밀성능 확보로 결로 생성을 억제할 수 있다.

- (4) 환기시스템의 내부 누설부위를 최소화 하여 온도 차이를 줄이고 노점온도 이상으로 유지하였을 경우 결로 현상을 현저히 줄일 수 있다.

후 기

본 연구는 2012년도 산학연공동기술개발 지역사업(사업명 : 회전형 전열교환기 소형화 및 흡습소자 개발) 지원에 의하여 수행되었다.

참고문헌

1. Fehrm, M., Reiners, W., and Ungemach, M., 2002, Exhaust Air Heat Recovery in Building, International Journal of Refrigeration, Vol. 25, No. 4, pp. 439-449.
2. Lazzarin, R. M. and Gasparella, A., 1998, Technical and Economical Analysis of Heat Recovery in Building Ventilation System, Applied Thermal Engineering, Vol. 18, No. 1-2, pp. 47-67.
3. Kwak, K. M. and Bai, C. H., 2009, A Study on performance Improvement of Corrugated Type Total Heat Exchanger Considering the Structure of Flow Passage on Surface, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 23, pp. 1528-1535.
4. Nam, H. K., Bai, C. H., Kwon, Y. C., Kim, S. W., and Chu, E. S., 2011, A study on method of reducing condensation for total heat exchanger under humid conditions, Journal of Science and Technology, submitted.
5. ANSI/ASHRAE 37-1978, 1978, Method of testing for rating unitary air conditioning and heat pump equipment, The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.
6. KS B 6879, 2007. Heat Recovery Ventilation, Korean Standards.