

창호통합형 배열회수 환기시스템의 열성능 및 경제성 평가

성 옥 주[†], 조 수*, 송 규 동**

한양대학교 대학원 건축공학과, *한국에너지기술연구원, **한양대학교 건축공학부

An Analysis on Thermal Performance and Economic of Heat Recovery Ventilation System Integrated with Window

Uk-Joo Sung[†], Soo Cho*, Kyoo-Dong Song**

Department of Architectural Engineering, Graduate School of Hanyang University, Seoul 133-791, Korea
*Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

**Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received May 22, 2012; revision received July 9, 2012)

ABSTRACT: This study is intended to analyze the thermal performance and evaluate the applicability about non-duct type heat recovery ventilation system integrated with window. Eventually, economic analysis of the system is conducted according to building energy saving ratio of it. As results of the thermal performance, the U-factor of the window conducted on the basis of KS F 2278 appears to 1.8 W/m²K, and the effective heat exchange efficiency of the ventilator conducted on the basis of KS B 6879 appears 49.95% for cooling, 66.89% for heating. In the applicability evaluated by TRNSYS 16, the caes of applying the heat recovery ventilator integrated with window is found to reduce the cooling or heating load by 2.9% or 13.5% than the non-ventilator case. The results of economic analysis taking a side of consumer is verified as the payback is 3 years, and the accumulated earning is 1,408,133 won in terms of '600,000 won/unit' for initial cost, 10 years for useful life of the system.

Key words: Heat recovery ventilation system(배열회수환기시스템), Window(창호), Energy performance(에너지성능), Economic analysis(경제성 평가), TRNSYS(트랜시스)

기 호 설 명

T_{SA} : 급기온도 [°C]
 T_{OA} : 외기온도 [°C]
 T_{RA} : 환기온도 [°C]
 X_{SA} : 급기절대습도 [kg/kg']
 X_{OA} : 급기절대습도 [kg/kg']

X_{RA} : 급기절대습도 [kg/kg']
 PW : 현재가치
 FW : 미래가치

그리스 문자

η_s : 현열교환 효율 [%]
 η_l : 잠열교환 효율 [%]

상첨자

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3057; fax: +82-42-860-3202

E-mail address: suj21c@kier.re.kr

n : 내구연한 [년]

1. 서 론

건물부문의 에너지 절약을 위하여 외피, 기계, 전기, 제어와 관련한 다양한 고효율 기술 및 부문 간 통합운영 방안이 활발히 제시되고 있다. 특히 건물 외피부분의 경우, 고단열화와 함께 외피의 고기밀화가 건물에너지 절약을 위한 주요 전략으로 추진되고 있다. 하지만, 에너지 절약을 위한 고기밀화 건물에서는 환기설비 및 환경관리에 대한 면밀한 검토를 통하여 건물의 용도별로 적정한 수준의 실내 공기질을 유지시켜야 한다.⁽¹⁾

국토해양부에서는 “건축물의 설비기준등에 관한 규칙(2006)”의 개정을 통하여 신축 공동주택에도 시간당 0.7회 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 자연환기설비 또는 기계환기설비를 적용할 수 있도록 권고하고 있다. 하지만, 최근 들어 공동주택의 고층화로 인하여 외피를 통한 자연환기보다는 외부환경의 영향성이 상대적으로 낮으며 지속적으로 적정 수준의 환기가 가능한 기계환기 방식이 강조되고 있다.⁽²⁾ 또한, 24시간 상시 냉난방이 운영되는 주거형 건물에서의 환기는 실내 공기질과 함께 에너지절약적 측면에서 접근해야 한다. 이런 복합적인 기능을 구현하는 대표적인 환기 기술로 배열회수 환기시스템을 들 수 있다.⁽³⁾

배열회수 환기시스템에 관한 선행 연구를 살펴보면, 열교환 효율에 대한 자체성능 평가와 다양한 실내외조건에 대한 적용성 평가가 내용의 주를 이루고 있다.

자체성능평가와 관련한 선행연구로서, Chang and Hong⁽⁴⁾은 당시 유통되고 있는 7개 제품을 대상으로 열교환 효율을 실측하고 각 제품들의 실제 성능을 진단 및 검증하였다. 또한, 진단결과를 정리하여 열교환 효율 향상을 위한 기술자료로 제시하였다.

열교환기의 구성 재료 및 치수설계에 따른 성능평가도 진행되었다. Kim et al.⁽⁵⁾는 Element core에 적용되는 liner의 밀도, 기체차폐도, 투습도에 따른 열교환 효율을 평가하였다. Lim et al.⁽⁶⁾은 섬유간의 간격이 매우 치밀한 특수 spacer가 적용된 시스템에 대한 열교환 효율을 분석하였으며, 분석결과를 고효율 열교환 소자의 생산기술 구축을 위한 기술자료로 제시하였다. Chung and Oh⁽⁷⁾는 경량벽체 매립을 위한 Element core 2개를 직렬로 제작하고 spacer의 높이를 달리하여 열교환 효율을 평가하였다.

다양한 실내외조건에 대한 적용성 평가연구로서,

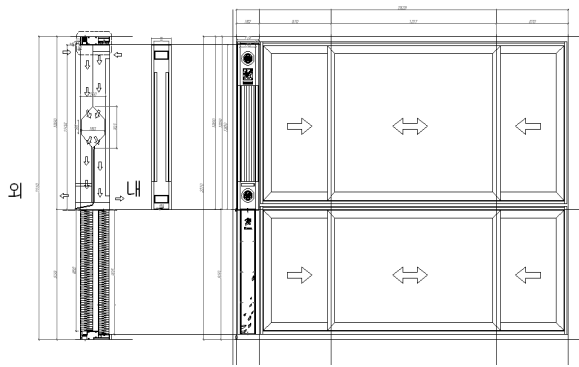
Kim et al.⁽³⁾은 Mock-up house에서 외기와 실내가 연결된 소형 덕트에 배열회수 환기시스템을 설치하여 동계 및 중간기의 외기조건에서의 전열교환 효율과 냉난방 에너지 절약 효과를 평가하였다. Kim and Yee⁽¹⁾는 Kim et al.에 추가적으로 중간기에 bypass 기능을 추가하여 운용했을 경우 에너지 절감이나 기기의 운전능력 면에서 유리하다는 결론을 도출하였다. 또한, Chang⁽⁸⁾은 중앙 덕트형 배열회수 환기시스템을 대상으로 연간 에너지 시뮬레이션을 실시하여 풍량변화에 따른 에너지 소비량을 분석하였다.

선행 연구를 종합해보면, 주로 중앙 환기덕트와 연결되는 시스템을 대상으로 실내외부 환경에 대한 운용성 평가가 주를 이루고 있다. 하지만, 최근에는 중앙공조장치 및 덕트에 연결되지 않고벽이나 창호에 삽입되어 국부환기나 개별제어가 가능한 무덕트형 배열회수 환기시스템의 적용이 증가하고 있다. 이러한 배열회수 환기시스템은 유량, 기류, 풍속, 전원 등을 손쉽게 조절하고 실내공기질을 개선시킬 수 있는 장점을 갖고 있다.

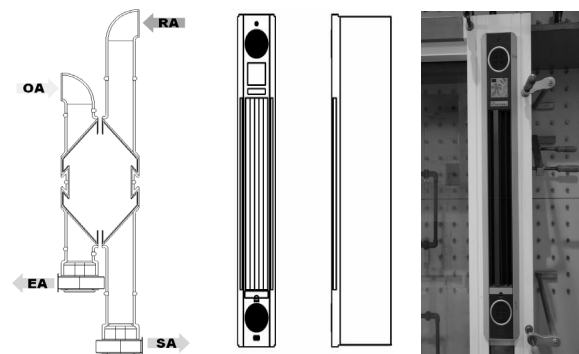
본 연구에서는 무덕트 방식의 배열회수 환기시스템 통합창호에 대한 자체 열성능을 평가하였다. 또한, 건물에너지해석 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS 16을 통하여 주거형 건물을 대상으로 배열회수 환기시스템 통합창호의 연간 냉난방 부하 절감량을 분석하였다. 최종적으로, 배열회수 환기시스템 통합창호의 에너지절감 효과를 에너지절감 비용으로 환산하여 경제성 평가를 실시하였다. 분석결과를 통하여 배열회수 환기시스템 통합창호의 운용성능에 대한 기술적 판단자료를 제시하고자 한다.

2. 분석대상 시스템

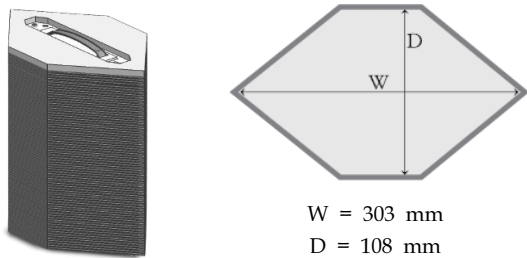
Fig. 1과 Table 1은 분석대상 무덕트 방식 배열회수 환기시스템의 창호통합 형태와 구성사양을 나타내고 있다. 창호에 통합된 배열회수 환기시스템은 수직형 구조로써, 실내에서는 하부에서 내부로 급기(SA)를 실시하고 상부에서 환기(RA)되는 방식이다. 실외에서는 상부에서 외기(OA)를 취입하여 하부에서 배기(EA)하는 구조이다. 기류유도 환기팬은 급기(SA) 부분과 배기(EA)부분에 위치해 있다. 각 팬에 의해 유도된 공기는 Element core에서 대향류 방식으로 열교환이 이루어지는 구조로 제작되었다.



(a) Diagram of ventilator integrated with window.



(b) Heat recovery ventilator for analysis.



W = 303 mm
D = 108 mm

(c) Element core.

Fig. 1 Ventilator integrated with window for analysis.

Table 1 Specification of window for analysis

Window	
Frame depth	195 mm
Overall area	4 m ² -2 m(H)×2 m(W)
area ratio	0.39(frame/glazing)
Glazing composition	26 mm Low-e 7 mm CL(outside)+12 mm Air +7 mm Low-e(inside)
Heat recovery ventilator	
Input Power	12 W
Maximum Air Flow	150 CMH

Element core는 단위 면적당 50 g/m²의 얇은 열교환 Sheet를 경계로 실내외부의 유도 공기가 층별로 분리된다. 실내 공기는 membrane sheet로 열과 수분을 전달하게 되고 맞은편의 외부공기에 방열하여 배열을 회수하는 형식으로 구성되어 있다.

3. 자체성능 평가

자체 열성능 평가는 배열회수 환기시스템이 통합된 상태에서의 외피의 단열성능을 우선적으로 측정하였으며, 배열회수 시스템의 가동에 따른 열교환 효율을 독립적으로 측정하였다.

3.1 창호 단열성능

배열회수 환기시스템 통합창호의 단열성능은 KS F 2278 “창호의 단열성시험 방법”에 의거하여 총 3회에 걸쳐 열관류율을 측정하였으며, 각 회수별 결과의 평균치를 적용하여 산출하였다

Table 2는 배열회수 환기시스템이 통합된 분석대상 창호의 열관류율 측정결과를 나타내고 있다. 측정결과, 열관류율이 1.8 W/m²K로 현행되고 있는 ‘고효율에너지기자재’ 항목 중 ‘고기밀성 단열창호’의 인증이 가능한 2.63 W/m²K이하의 수준임을 확인하였다.



Fig. 2 Measuring U-factor of window.

Table 2 Results of measuring window U-factor

Measuring factor		Results
Air temperature	Cool chamber	0.14°C
	Hot box	20.29°C
Heat transfer rate of surface	Cool chamber	20 W/m ² K
	Hot box	9.09 W/m ² K
Quantity of heat through window		204.27 W
U-factor		1.80 W/m ² K

3.2 배열회수 환기시스템 열교환 효율

‘KS B 6311’에 규정하는 복합 노즐에 의해 부착된 환기팬 정격주파수의 정격 전압에서 급기량을 측정하였다. 유효환기량은 시스템 자체의 누기량을 제외한 실제 신선한 외기의 급기량으로 비활성 가스를 이용하여 누기율 및 누설량을 측정하고 전체 급기량에서 누설량을 차감하여 산출하였다. 본 연구에서는 누설량 측정 시 CO₂를 이용한 농도저감법을 사용하여 유효환기량을 측정하였다. 측정결과, 급기량 150 CMH와 누기율 6%로 평가대상 시스템의 유효환기량이 141 CMH임을 확인하였다.

Table 3은 전열효율 측정을 위한 냉난방 설정 환경을 나타내고 있다. 측정결과, 냉방시의 유효전열교환 효율이 49.95%, 난방시에는 66.81%로 나타났다. Table 4와 Table 5는 냉난방 환경조건에서 시스템 각 부분의 엔탈피와 각 엔탈피를 통하여 산출된 현열, 잠열, 전열, 유효 열교환 효율 분포를 나타내고 있다.



Fig. 3 Figure of measuring heat exchange efficiency.

Table 3 Environmental conditions for measuring heat exchange efficiency of ventilator

Indoor					
Class.	DBT [°C]	WBT [°C]	Enthalpy [kJ/kg’]	AH [kg/kg’]	RH [%]
Cooling	24.0±0.5	17.0±0.3	47.64	0.00924	49.66
Heating	22.0±0.5	13.9±0.3	38.86	0.00658	40.13
Outdoor					
Class.	DBT [°C]	WBT [°C]	Enthalpy [kJ/kg’]	AH [kg/kg’]	RH [%]
Cooling	35.0±0.5	24.0±0.3	71.78	0.01426	40.36
Heating	2.0±0.5	0.44±0.3	10.20	0.00327	75.07

Table 4 Results of heat exchange efficiency for cooling

Factor	RA (DBT)	RA (WBT)	OA (DBT)	OA (WBT)	SA (DBT)	SA (WBT)
Temperature(°C)	23.92	16.94	34.96	23.97	27.10	20.48
Air condition						
AH(kg/kg’)	0.0093		0.014		0.012	
RH(%RH)	49.88		40.52		55.29	
Enthalpy(kj/kg’)	47.83		72.25		59.32	
Heat exchange efficiency						
Efficiency of sensible heat change(%)	71.22		Barometric pressure (mmHg)		750.98	
Efficiency of laten heat change(%)	36.90		Leakage rate(%)		6	
Effective efficiency of total heat change (%)	49.95		Supply air flow rate (CMH)		150	

Table 5 Results of heat exchange efficiency for heating

Factor	RA (DBT)	RA (WBT)	OA (DBT)	OA (WBT)	SA (DBT)	SA (WBT)
Temperature(°C)	21.93	13.84	2.36	0.47	17.27	10.27
Air condition						
AH(kg/kg’)	0.0066		0.0032		0.005	
RH(%RH)	40.29		70.56		40.56	
Enthalpy(kj/kg’)	38.94		10.35		30.02	
Heat exchange efficiency						
Efficiency of sensible heat change(%)	76.16		Barometric pressure (mmHg)		752.73	
Efficiency of laten heat change(%)	52.33		Leakage rate(%)		6	
Effective efficiency of total heat change (%)	66.81		Supply air flow rate (CMH)		150	

4. 연간 부하절감량 평가

열회수 환기시스템 통합창호의 적용에 따른 건물 냉난방부하 절감량 분석은 표준공동주택을 대상으로 TRNSYS 16을 이용한 시뮬레이션을 실시하였다.

4.1 시뮬레이션 입력조건

Fig. 4는 분석대상 표준공동주택의 단위세대 평면도로써, 에너지 관리공단에서 수행된 표준원단위건물

Table 6 TRNSYS 16 Input parameter

Month		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
Weather data	Temperature (°C)	-1.3	0.5	5.7	12.3	17.5	21.8	25.3	26.0	20.5	14.5	6.7	1.0												
	Insolation (kJ/m ²)	7,238	8,437	12,789	15,622	18,381	16,232	12,862	16,267	11,549	11,006	7,367	6,478												
Indoor setting	Temp. for heating	Temp. for cooling			Lighting				Equipment			Human		Air change rate											
	22°C	26°C, RH 50%			4 W/m ²				14 W/m ²			22.4 m ³ /person		0.7/h											
Schedule of Internal gain	Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Hum.	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	1.0	1.0	1.0
Internal gain	Equip.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.3	0.3
	Lighting	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.3	0.3
Wall composition	Material name		Depth. [mm]		Conductivity [W/m · K]		Density [kg/m ³]		Specific heat (J/kg · K)		Thermal resistance [m ² · K/W]														
	External wall	Inner surf.		-		-		-		-		0.11													
		Wallpaper		0.05		0.21		700		-		0.002													
		Gypsum board		9.5		0.18		800		840		0.053													
		Insulation		50		0.034		30		1,600		1.471													
		Concrete		180		1.6		2,200		920		0.113													
	Internal wall	Outer surf.		-		-		-		-		0.043													
		Floor / Ceiling	Inner surf.		-		-		-		-		0.11												
			Mortar		100		1.4		2,000		840		0.071												
			Concrete		200		1.6		2,200		920		0.125												
			Air layer		-		-		-		-		0.086												
			Gypsum board		9.5		0.18		800		840		0.053												
		Wallpaper		0.05		0.21		700		-		0.002													
		Inner surf.		-		-		-		-		0.11													
		Inner surf.		-		-		-		-		0.11													
Wallpaper		0.05		0.21		700		-		0.002															
Concrete		160		1.6		2,200		920		0.10															
Wallpaper		0.05		0.21		700		-		0.002															
Inner surf.		-		-		-		-		0.11															
Window	U-Value				SHGC				Area ratio of frame				Absorptivity												
	1.8				0.636				0.39				0.9												

의 가정부문 기술조사 연구를 통하여 선정된 표준원 단위건물이다. 바닥면적 111.7 m², 난방면적 73.5 m², 천정고 2.4 m의 철근콘크리트구조이다. 창호면적은 전체 벽체면적의 약 58.4%(정면 73%, 후면 40.7%)를 차지하고 있다.

Table 6은 TRNSYS 16 시뮬레이션 입력조건을 나타내고 있다. 시뮬레이션은 동일한 건물(표준공동주택)을 대상으로 Table 7과 같이 환기구현을 달리 하여 상대적인 연간 부하절감량을 분석하였다.

부하 비교분석 기준이 되는 Case 1의 경우, Table 6의 입력조건과 동일하게 시뮬레이션을 실시하여 연간 냉난방 부하를 산출하였다.

배열회수 환기시스템이 적용된 Case 2의 경우, Table 6의 입력조건의 환기부분에서 환기량 0.7회/h는 Case 1과 동일하게 설정하되, 본 연구의 상시환기가 가능한 창호 통합형 배열회수 환기시스템의 냉난방 부하 절감성을 검토하기 위한 목적으로 분석대상 환기시스템을 구현하여 시뮬레이션을 실시

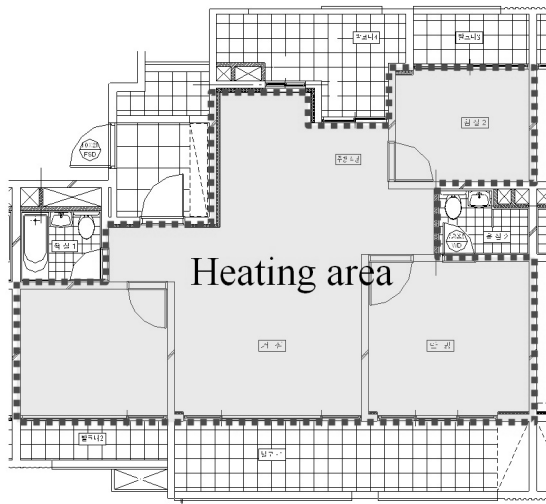


Fig. 4 Floor plan of standard apartment house.

Table 7 Methods for simulation

Class.	Volume of air change		Supply air flow rate
	Air change rate	Natural ventilation	Heat recovery ventilation
Case1 (Baseline)	0.7 per 1 h	192.12 CMH	-
Case2 (Applying heat recovery ventilation)	0.7 per 1 h	51.12 CMH	150 CMH Effective air flow rate+ Leakage rate (141+9)

하였다. 따라서 분석대상 창호통합형 배열회수 환기시스템의 측정된 열교환 효율에 의해 환기(RA)의 배열 회수 전열량을 급기(SA) 엔탈피로 공급되게 설정하였으며, 측정된 유효 환기량과 누설량을 합산하여 환기시스템의 급기(SA)량으로 적용하였다.

Case 1 경우, 0.7회/h의 환기회수를 만족하기 위한 환기 수단으로 외기가 직접 실내로 유입되는 자연환기 방식을 적용했으며 환기량은 대상 건물의 체적(257.48 m³)의 70%인 192.12 CMH를 설정하였다. 본 연구에서 분석하고자 하는 Case 2 경우, 환기시스템은 배열이 회수된 141 CMH의 유효 환기량을 부담하되 대상건물의 환기회수 0.7회/h를 만족하지 못하기 때문에 나머지 51.12 CMH는 자연환기방식을 통하여 외기를 직접 유입하는 조건으로 설정하였다.

배열회수 환기시스템의 가동은 24시간 상시 환기로 설정하였다.

배열회수 환기시스템 통합창호의 적용성 평가는 자체성능 평가 결과를 시뮬레이션의 입력변수와 해석 모델로 설정하여 실시하였다. 따라서 환기시스템의 통합된 창호의 열관류율 측정결과를 분석대상 표준 공동주택 창호의 열관류율로 적용하였으며, 창호의 Solar heat gain coefficient(SHGC)는 유리의 구성에 따라 'Window 6'를 통해 계산한 결과를 적용하였다. 또한, 배열회수 환기시스템은 'KS B 6879'의 열교환 효율계산식을 TRNSYS 16에서 'Equation card'에 의한 온도계산 식(1)과 습도계산 식(2)로 구현하여 OA와 RA의 상태에 따른 SA의 온도습도 분포를 산출하였다.

$$SA\ Temperature = T_{OA} - \frac{\eta_s}{100}(T_{OA} - T_{RA}) \quad (1)$$

$$SA\ Humidity = X_{OA} - \frac{\eta_h}{100}(X_{OA} - X_{RA}) \quad (2)$$

4.2 부하절감량 평가결과

Fig. 5(a)에 나타난바와 같이, 배열회수 환기시스템에 의해 환기를 실시했을 경우 겨울철에는 12~18℃, 여름철에는 22~27℃ 범위에서 급기온도를 확보할 수 있어 실내 냉난방 부하와 쾌적한 온열환경을 유지하기 위한 에너지 소비의 절감이 가능하다는 것을 확인하였다.

주거형 건물의 경우 공기의 습도분포는 겨울철 가습을 위한 별도의 기본 설비가 없기 때문에 여름철 냉방기 운전시에 발생하는 제습(잠열)부하에만 영향을 준다. Fig. 5(b)에서와 같이 여름철 배열회수 환기시스템의 급기(SA) 절대습도가 외기에 비하여 약 13% 낮은 분포를 나타냈다.

Fig. 5(c)는 Case 1과 Case 2의 월별 냉난방 부하 분포를 나타내고 있다. 동절기에는 실내외 온도차

Table 8 Annual load distribution of heat recovery ventilation system integrated with window

Class.	supply air Temp.	Ratio of annual load saving	Amount of annual load saving
Cooling	22~27℃	2.9%	99.2 kWh/y
Heating	12~18℃	13.5%	2,788.5 kWh/y

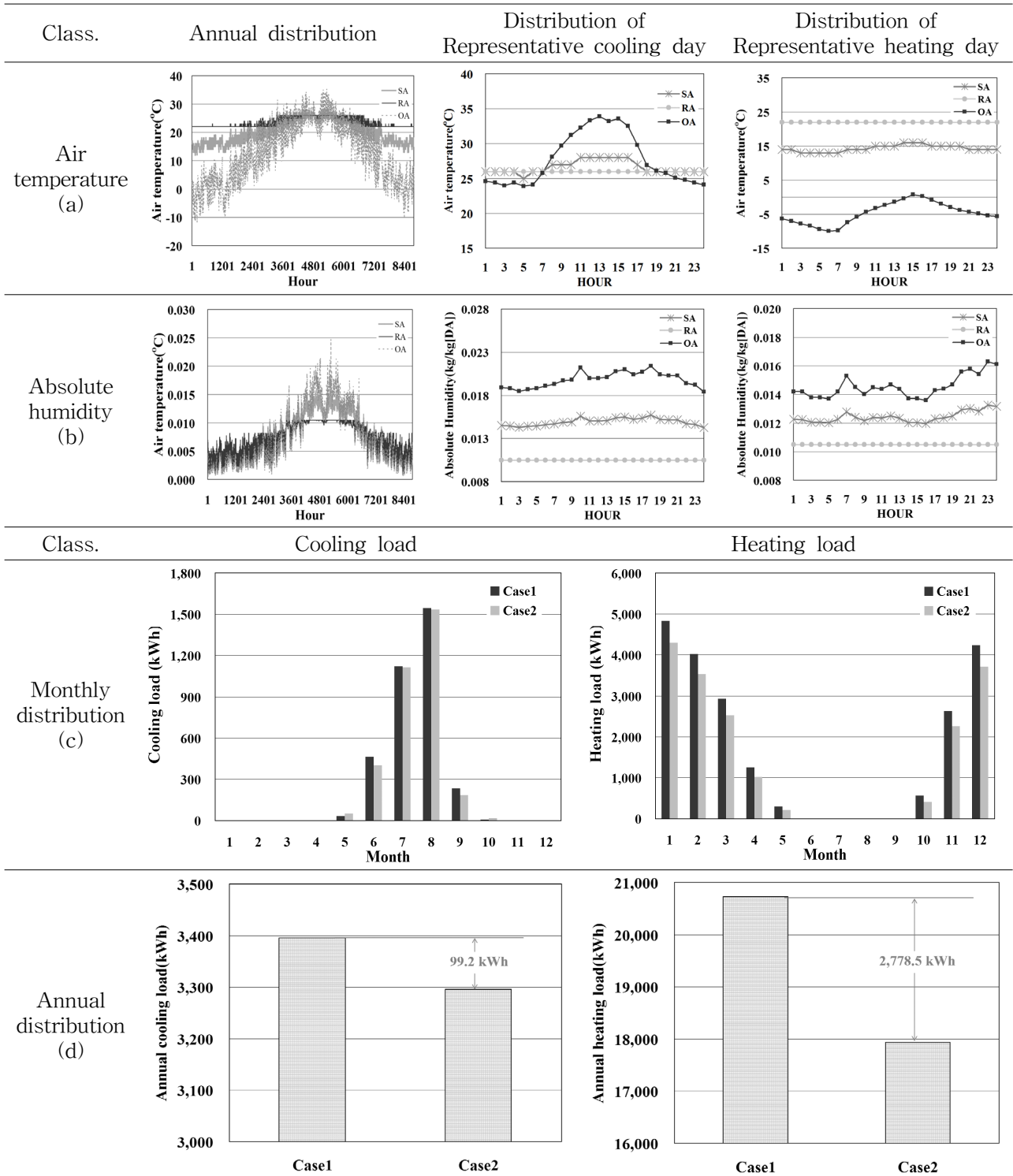


Fig. 5 Results of analysis on applicability for heat recovery ventilation system.

가 크기 때문에 Case 1에 비하여 Case 2에서 월 평균 약 17.3%의 높은 부하 절감 비율을 나타냈다. 냉방부하에서는, 4월 및 10월과 같은 중간기에는 실외 기온이 실내보다 낮기 때문에 Case 2의 냉방부하가 다소 높은 분포를 나타내고 있다. 하지만, 이런 현상

은 시뮬레이션 상 상시 환기 조건 설정에 의해 나타난 결과로서 사실상 부하가 발생하지 않는 것으로 간주해도 무방하다. 냉방부하가 점점 증가하는 5월에서 9월의 부하 분포를 비교해보면 Case 1에 비하여 Case 2에서 월 평균 약 8.8%의 부하 절감 비율

을 나타냈다.

냉방부하가 난방부하에 비하여 부하 절감률이 낮은 이유로는, 여름철 실내외부 온도차가 겨울대비 크지 않으며, 또한 본 연구에서 실시한 시뮬레이션 조건이 주거형 건물의 상시 냉방으로 설정했기 때문으로 판단된다. 여름철 야간 및 새벽의 외기는 실내 기온보다 낮은 온도를 나타내며 이런 경우에는 일반 자연환기가 배열회수 환기시스템보다 냉방부하에 유리하게 작용했기 때문이다.

Fig. 5(d)은 Case 1과 Case 2의 연간 총 냉난방부하 분포를 나타내고 있다. 배열회수 환기시스템을 적용했을 경우, 연간 99.2 kWh/y의 냉방부하와 2,788.5 kWh/y의 난방부하를 절감하는 것으로 나타났다.

5. 경제성 평가

배열회수 환기시스템 통합창호의 경제성 평가는 실제 운영자(거주자)가 해당 시스템을 적용했을 경우의 투자비 대비 회수기간을 분석하였다. 또한, 적용 시스템의 내구연한(Useful life)동안에 에너지 절감에 의한 최종 수익성을 식(3)의 현재가법에 의해 산출하였다.

$$PW = \frac{FC}{(1 + d)^n} \tag{3}$$

경제성 평가방법은 우선적으로, 150 CMH 환풍량을 기준으로 한 유사 제품의 단가 및 시공비를 고려하여 분석대상인 배열회수 환기시스템의 초기투자비를 산정하였다. 다음으로, TRNSYS 16을 통하여 계산된 기준 Case(Case 1) 대비 배열회수 환기시스템 적용 Case(Case 2)의 연간 부하절감량을 에너지 절감비용으로 환산하였다. 또한, 환산된 에너지절감비용에서 배열회수 환기시스템의 운영으로 인한 유지비용을 차감하여 에너지물가 상승률을 고려한 연간 에너지 절감액을 산출하였다. 최종적으로, 초기투자비용에서 연간 에너지절감 비용을 차감하여 그 수익성이 양수로 전환되는 해수에 해당하는 투자비 회수기간과 내구연한 내 총 수익을 산출하였다.

5.1 초기 투자비용

본 연구에서는 창호에 배열회수 환기시스템의 설

치 유무에 대한 상대적인 경제성 평가를 실시했다. 따라서 발생하는 초기투자비는 창호부분의 시공 및 재료비용이 포함되지 않으며 환기시스템 유닛단위의 시공, 재료비를 고려하여 산정하였다. 유사 제품의 단가, 시공비, 150 CMH 환기량 기준으로 설치와 재료비를 포함한 초기투자비용을 '60만 원/Unit'으로 산정하였다.

5.2 시스템 연간 유지비용

본 연구에서는 배열회수 환기시스템 운용 시 소비되는 에너지 비용만을 연간 유지비용을 산정하였다. 운용 시 소비되는 에너지는 급기 및 배기구에 부착된 2개의 팬에 공급되는 전기에너지이다. 따라서 소비전력과 24시간 상시환기(1년 = 8,760 h)를 고려하여 연 210.24 kWh/y(24 Wh×8760 h)의 전기에너지 소비량을 산정하였다.

에너지소비에 대한 비용 산정은 기본적으로 발생하는 기저부하를 고려해야 한다. 따라서 주택 고압 전기요금율 기준으로 바닥면적 100 m² 세대의 1개월 동안 소비한 전력량을 400 kWh로 가정하였으며, 부가세를 포함한 전기요금율을 약 330원/kWh로 산정하였다. 산정된 전기에너지 소비량과 요금에 의하여 연간 약 69,370원/y(210.24 kWh×330원)의 시스템 유지비용을 산출하였다. 단위 전기요금율은 '한국전력공사' 홈페이지를 참고하여 산정하였다.

5.3 연간 에너지 절감액 산정

본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 산출된 냉난방 부하절감량을 에너지절감액으로 환산하였다. 따라서 냉난방설비를 COP 3의 패키지에어컨과 효율 87%의 고효율 도시가스 보일러로 가정하고 각 기기별로 부하에 근거한 공급에너지 절감량과 비용을 산출하였다.

냉방의 경우, 99.2 kWh의 냉방부하 절감량을 냉방설비(COP = 3)의 전기에너지 절감량으로 환산하면 약 33.1 kWh가 된다. 여기에 330원/kWh의 전기요금율을 적용하여 연간 약 10,912원의 에너지절감액을 산출하였다.

난방의 경우, 2,788.5 kWh의 난방부하 절감량을 도시가스 단위 체적당 발열량 10,500 kcal에 87%의 보일러 효율을 적용하여 약 262.52 m³의 도시가스 절감량을 산정하였다. 여기에 888.88원/m³의 도시가

스요금을 적용하여 연간 약 233,340원의 에너지절감액을 산출하였다. 단위 도시가스요금은 ‘한국도시가스협회’ 홈페이지의 2011년 10월 주택난방용 비용의 전국 평균값을 적용하였다.

5.4 LCC 분석변수 설정

경제성 평가를 위한 LCC 분석변수는 Lee et al.⁽⁹⁾의 LCC 분석을 위한 설정변수를 활용하였으며 Table 9와 같다. 시스템 내구연한은 일반가전기기의 내구연한인 10년으로 가정하였다.

5.5 경제성평가 결과

창호 통합형 배열회수 환기시스템의 건물 적용에 따른 경제성 평가결과, 투자비 회수기간은 3년으로 산출되었으며 내구연한 동안 총 1,408,133원의 수익

Table 9 Definition of variable for Economic analysis

Variable			
Useful life	Discount rate	Escalation of energy rate	Inflation rate
10 years	3.08%	5.78%	2.96%
Cost			
Initial cost	Operation cost	Energy saving cost	
600,000 won/Unit	69,370 won/y	233,340 won/y	

Table 10 Results of economic analysis (unit : won)

Number of Year	Annual earning	Accumulated earning
1	170,163	-429,837
2	176,515	-253,322
3	183,032	-70,290
4	189,718	119,428
5	196,576	316,004
6	203,612	519,615
7	210,829	730,445
8	218,234	948,679
9	225,831	1,174,510
10	233,624	1,408,133

이 발생하는 것으로 나타났다.

6. 결 론

본 연구에서는 무덕트 방식의 배열회수 환기시스템 통합창호에 대한 자체 열성능 측정과 적용성 분석 통하여 건물 에너지 절감에 따른 경제성 평가를 실시하였다. 연구결과는 다음과 같다.

(1) KS F 2278에 의거하여 배열회수 환기시스템 통합창호의 단열성능을 측정한 결과, 열관류율이 1.8 W/m²K로 나타났다.

(2) KS B 6879에 의거하여 무덕트형 창호통합 배열회수환기시스템의 열교환 효율을 측정한 결과, 냉방 유효전열교환 효율이 49.95%, 난방은 66.81%로 나타났다.

(3) 공동주택을 대상으로, TRNSYS16을 통하여 창호통합형 배열회수 환기시스템의 적용 유무에 따른 냉난방 부하를 분석한 결과, 배열회수 환기시스템을 적용했을 경우 적용하지 않은 경우에 비하여 냉방 2.9%, 난방 13.5%의 연간 부하절감률을 나타냈다.

(4) 분석된 부하절감률을 에너지절감액으로 환산하고 초기 설비투자비 60만원/unit과 내구연한 10년을 설정하여 운영자 입장에서의 경제성평가를 실시한 결과, 투자비 회수기간이 3년, 내구연한동안 총 1,408,133원의 수익이 발생하는 것으로 나타났다.

이상의 연구결과를 통하여, 무덕트방식의 배열회수 환기시스템 통합창호가 건물에너지 및 유지비용 측면에서 유리하게 작용하는 것을 확인할 수 있었다. 향후, 해당 시스템에 대하여 Airflow network 및 CFD를 통한 보다 상세한 운용성능 검증이 수반되어야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2010T100200422).

참고문헌

1. Kim, K. H. and Yee, J. J., 2008, A study on operating method by energy evaluation and performance evaluation of heat recovery ventilator according to outdoor conditions, Korean Jour-

- nal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 1, pp. 57-64.
2. Chung, M. H. and Yoo, S. Y., 2005, A study on the factors affecting the performance of total heat exchanger for exhaust heat recovery, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 10, pp. 956-964.
 3. Kim, S. S., Yee J. J., and Lee, Y. G., 2008, Performance evaluation of energy recovery ventilator with various outdoor climate conditions, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 24, No. 8, pp. 261-268.
 4. Chang, H. J. and Hong, S. J., 2008, A study on the performance of heat recovery ventilators for apartment houses, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 1, pp. 26-34.
 5. Kim, N. H., Cho, J. P., Song, G. S., and Kim, D. H., 2008, Performance of a plate-type enthalpy exchanger mode of papers having different properties, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 8, pp. 547-555.
 6. Lim, T. K., Jeon, B. H., Kim, J. W., Jung, S. H., Lee, S. K., and Ahn, Y. C., 2012, A study on the performance of heat recovery ventilator according to the properties of spacer, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No. 3, pp. 224-229.
 7. Chung, M. H. and Oh, B. K., An experimental study on performance of paper heat exchangers for exhaust heat recovery ventilation system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No. 3, pp. 240-246.
 8. Chang H. J., 2006, Long term energy simulation of ventilation system for apartment houses, Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference, pp. 114-119.
 9. Lee, S. R., Jeung, N. G., Lee, K. K., Lee, S. H., and Oh, M. D., 2010, Life cycle cost analysis of energy saving performance for apartment, Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference, pp. 254-259.