

## 이중관 재질에 따른 이중관형 열회수 환기장치의 열회수 특성 연구

김은영<sup>1\*</sup>, 조진표<sup>2</sup>

<sup>1</sup>인천대학교 기계공학과, <sup>2</sup>인천대학교 기계·전자 RIC

### A study on the heat recovery Characteristics of double tube type heat recovery ventilation system by double pipe material

Eun-Young Kim<sup>1\*</sup>, Jin-Pyo Cho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Incheon National University

<sup>2</sup>Mechanic·Electron Regional Innovation Center, Incheon National University

**요약** 본 연구에서는 이중관형 열회수 환기장치의 제품 적용 가능성을 검토하기 위해 성능 시험을 수행하였으며 이중관의 내측관의 재질에 변경에 따른 검토를 하기 위해 종이관, 알루미늄관, 폴리머관을 제작하여 동일한 급/배기 풍량을 인가하여 측정하였다. 온도 교환 효율은 모든 경우에서 알루미늄관의 경우가 가장 큰 값을 나타냈으며 종이관과 폴리머관은 비슷한 결과를 보였다. 이는 내측관으로 사용된 재료의 열전도율과 두께의 차이 때문인 것으로 판단된다. 습도 교환 효율은 모든 경우에서 종이관의 경우가 가장 큰 값을 나타냈으며 알루미늄관과 폴리머관은 비슷한 결과를 보였다. 이는 종이 재질은 습도 교환이 가능하지만 알루미늄과 폴리머재질은 습도 교환이 불가능하기 때문인 것으로 판단된다. 습도 교환과 온도 교환의 두 값을 포함하는 전열 교환 효율은 종이관의 경우가 가장 큰 값을 나타냈으며 알루미늄관과 폴리머관은 비슷한 결과를 보였다. 에너지계수(COE)는 현열과 잠열교환이 동시에 일어나는 종이관의 경우 전열에너지계수 값을 현열교환만 일어나는 알루미늄관과 폴리머관은 현열에너지계수를 비교해 보면 종이관의 에너지계수가 가장 큰 값을 나타낼 수 있었다. 본 연구를 통하여 이중관형 열회수 환기장치의 내부관 재질에 따른 성능을 비교 분석 하였으며 환기장치로 적용이 가능한 것을 알 수 있었다.

**Abstract** In this study, performance tests were conducted to investigate the applicability of a double-tube heat recovery ventilation system. Paper, aluminum, polymer, were investigated as materials for the inner tube using the same exhaust-air volume. In all cases, the temperature exchange efficiency of the aluminum tube was the highest, while the paper tube showed similar results to those of the polymer tube. This probably resulted from the differences in thermal conductivity and thicknesses of the materials. The humidity exchange efficiency was the highest for the paper tubes in all cases, while the aluminum tubes and polymer tubes showed similar results. The total heat exchange efficiency, which includes the values of humidity exchange and temperature exchange, was highest in the case of the paper tube, and the aluminum tube and the polymer tube showed similar results. In the case of the paper tube, sensible heat and latent heat exchange occur at the same time, and the coefficient of energy of the aluminum tube and polymer tube are large values, when to be compared with only applicably sensible heat exchange coefficient of the aluminum tube and the polymer tube of total heat exchange efficiency value. The results of this study could be applied to the design of a ventilation system.

**Keywords** : Double tube, Exhaust air, Heat recovery ventilation system, In door air quality, Supply air

본 논문은 국립 인천대학교 2015년도 자체 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

\*Corresponding Author : Eun-Young Kim (Incheon National University)

Tel: +82-32-835-8666 email: kimey@inu.ac.kr

Received March 7, 2017

Revised April 6, 2017

Accepted April 7, 2017

Published April 30, 2017

## 1. 서론

지구의 에너지 자원은 한정되어 있다. 최근 들어 기후 변화의 주범인 이산화탄소 배출을 줄이기 위해 화석 연료에 기반한 에너지 소비를 최소화하는 노력이 모든 산업 분야에서 연구되고 있다.[1] 우리가 사용하는 전체 에너지의 36%를 아파트, 주택 등 주거공간과 백화점, 병원, 학교 등 상업용 및 공공용 건물에서 사용하고 있으며, 실제 자동차나 공장에서의 에너지 소비보다 우리가 살고 먹고 생활하는 주택과 빌딩의 에너지 소비가 더 크다 주거 부분에서 주요 에너지 사용은 냉·난방시에 사용되고 있으며 주거 에너지의 55%를 차지하고 있다.

2020년부터 의무화 예정인 제로에너지건물은 최근 전 세계적으로 건물에너지의 고효율화를 위하여 각 국에서 적극적으로 추진 중에 있으며, 국내에서도 한국에너지기술연구원 등 일부 건설회사에서 파일럿 상태의 제로에너지주택을 건설하여 운영 중에 있다. 이러한 에너지 절감은 실내 에너지의 보호를 위해 가옥구조를 밀폐형으로 변화하게 만들어야 하며 그에 따라 밀폐된 실내공간의 공기오염의 심각성은 에너지 보존과 신선한 공기의 호흡이라는 양립할 수 없는 것으로 여겨졌던 두 가지 쟁점 사이에서 해결하여야 할 중요한 과제로 대두되고 있다. [2]

이러한 목적을 충족하기 위해 개발된 제품이 열회수형 환기장치(Heat Recovery Ventilator)이며, 이는 열 분리재생장치의 원리를 원용하여 제품화된 환기설비로서 "다중이용시설 등의 실내공기질관리법"에 의해 100세대 이상 신축 또는 리모델링하는 공동주택에 시간당 0.5회 이상 환기될 수 있도록 환기설비를 설치하도록 의무화 되어있어 환기장치 제품 시장이 급속도로 확대되고 있다.

열회수형 환기장치에 사용되는 열교환기로는 판형 열교환기, 회전형 열교환기, 히트파이프형 열교환기가 있다. 판형 열교환기는 주로 소용량 환기 장치에 적용되며 누설율이 적어서 오염된 실내 공기가 실내로 재유입 되는 것을 방지하는 장소에 사용된다. 회전형 열교환기는 주로 대용량 환기 유닛에 적용되며 뛰어난 열교환 성능으로 에너지 회수 측면에서는 유리하지만, 로터 회전부와 로터의 공극을 통한 누설율이 큰 단점으로 나타난다. 히트파이프형 열교환기는 실외공기의 통로와 환기공기의 통로가 구분되어 누설율이 없고 반영구적으로 사용이 가능하지만 온도차가 높은 곳에 사용이 용이하고 온도차가 적을 때는 낮은 현열교환이 가능하여 실제적인 열회수는 적다.[3-5]

본 연구에서는 지금까지 열회수 환기장치에 적용된 사례가 없는 이중관형 열회수 환기장치에 관한 연구로, 이중관형 열회수 환기장치의 구성은 실내공기와 실외공기 급배기를 위한 환기장치와 열회수를 위한 이중관으로 구성되어 있다. 환기장치는 1개의 모터를 이용해서 2개의 팬 블로워로 급배기 하는 방식으로 되어 있다. 실내공기와 실외 공기의 열교환은 환기장치 후단부의 이중관을 통해서 이루어지는데 오염된 실내공기를 신선한 실외공기 치환을 하면서 버리는 열을 회수하는 구조로 되어 있다.

본 연구에서는 이중관 열교환기 내측의 재질을 온도와 습도가 교환되는 전열 교환막 재질과 현열만 교환되는 알루미늄 박판 재질, PET재질 합성수지 필름인 폴리머 박판 재질로 변경하여 각 열교환 재질에 따른 열회수 성능을 비교 검토하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 이중관형 열회수 환기장치 개략도

본 연구에 사용된 이중관형 열회수 환기장치의 개략도를 Fig. 1 나타내었다. 환기장치는 1개의 모터로 구동되고 열회수는 이중관 열교환기를 통해 이루어진다. 이중관 열교환기 내측의 직경은 100mm이고, 외측의 직경은 150mm의 원통형 배관으로 구성되어 있다. 열교환이 되는 이중관부의 길이는 3m길이를 구성되어 있으며 내측 원통을 통해 실내공기가 밖으로 배출되고, 외측과 내측의 환형부에서 실외 공기가 실내로 유입 되는데 이 과정에서 열교환이 일어난다.

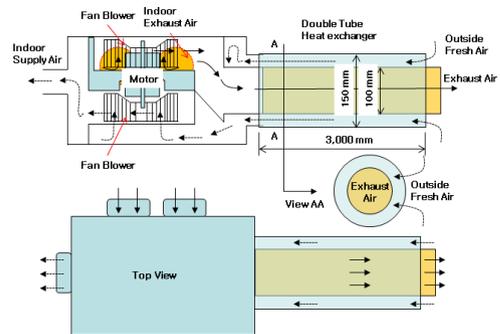


Fig. 1. Schematic of double tube ventilation system

Table 1. Inner tube materials

Inner tube materials	Thickness	Thermal conductivity
Paper	45 $\mu\text{m}$	0.13 W / (m K)
Aluminum	80 $\mu\text{m}$	200 W / (m K)
Polymer	37 $\mu\text{m}$	0.2 W / (m K)

실험에서 외측 원통형 배관은 함석관을 사용하였고, 내측 원통 배관은 종이 재질의 전열교환막, 알루미늄 박판 재질, 폴리머 박판 재질로 변경하여 측정하였다.

내측 원통 배관 재질은 Table 1에 나타내었다. 종이 재질의 열교환 막의 두께는 45  $\mu\text{m}$ , 열전도율은 0.13 W/(m K), 습도교환을 위한 지수분은 15%, 공기 투과도는 3,000초 이상이고, 알루미늄 박판 재질은 80  $\mu\text{m}$ 로 종이 재질의 두배의 두께를 가지고 열전도율은 200 W/(mK)로 종이 재질에 비하여 1,000배 이상 크다. 폴리머 박판 재질은 37  $\mu\text{m}$ 로 세 가지 샘플중 가장 얇고, 열전도율은 0.2 W/(mK)이다. 알루미늄 재질과 폴리머 재질은 공기 및 수분 침투가 되지 않는 재질이다.

### 2.2 실험 장치의 구성

이중관형 열회수 환기장치의 실험 장치는 Fig. 2에 나타내었다. 실험 장치는 항온항습으로 제어되는 2룸 방식의 칼로리미터로 시험은 KS B 6879[6] 열회수형 환기장치 시험 기준의 냉방 조건과 난방 조건으로 시험하였다.

냉방 조건과 난방조건의 시험기준은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Test conditions(KS B 6879 : 2015)

Test condition	Indoor	Outdoor
	dry / wet Temp.	dry / wet Temp.
Cooling	24.0 / 17.0 $^{\circ}\text{C}$	35.0 / 24.0 $^{\circ}\text{C}$
Heating	22.0 / 13.9 $^{\circ}\text{C}$	2.0 / 0.4 $^{\circ}\text{C}$

이중관형 열회수 환기장치의 풍량 및 온도/습도 측정은 실내측과 실외측에 구비되어 있는 풍량 측정 챔버와 온도 샘플러를 이용하여 측정하였다. 공기측 온도/습도 측정은 정밀도  $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 로 교정된 PT-100용 센서를 장착한 공기 취득 장치를 이용해 건구 온도와 습구 온도를 측정하였다. 실험의 오차해석을 ANSI/ASHRAE 37[7]에 따라 수행 하였는데 공기측 풍량 측정 오차는  $\pm 0.5\%$  이내로 나타났다.

Fig. 3에는 실제 시험에 사용된 이중관을 나타내었다. (a)는 외측 원통에 사용되었던 함석 배관, (b)는 종이 재질의 전열교환 배관, (c) 알루미늄 배관, (d) 폴리머 배관으로 종이 재질의 전열교환 배관과 폴리머 배관은 내측 형상 유지를 위해 철심의 링을 만들어 10cm 간격으로 배치하였다. 또한 외측 함석 배관과 내측 배관과의 환형 공간 유지를 위해 삼각형 형태의 구조물을 만들어서 지지 하였다.

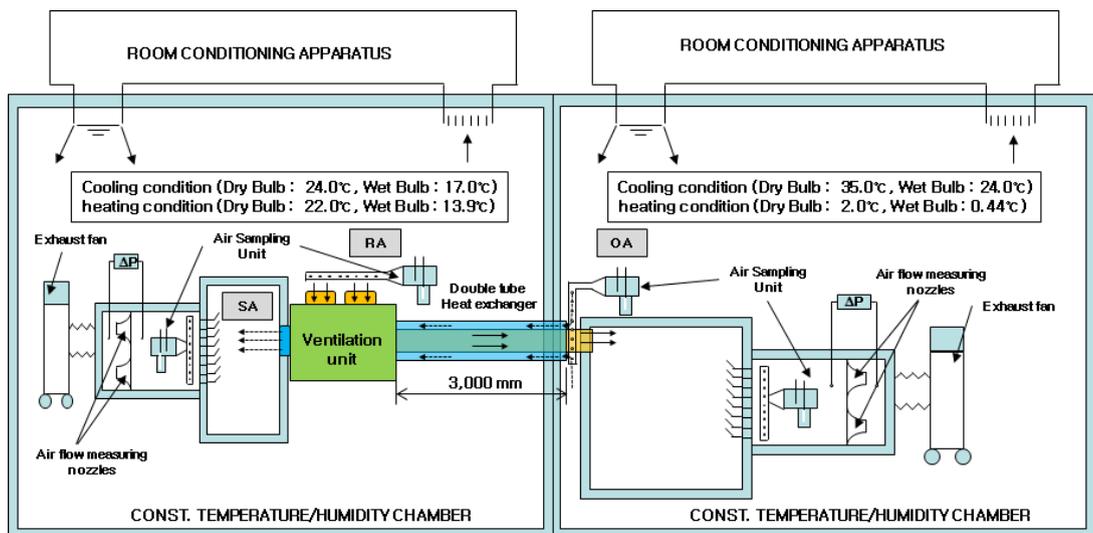


Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus

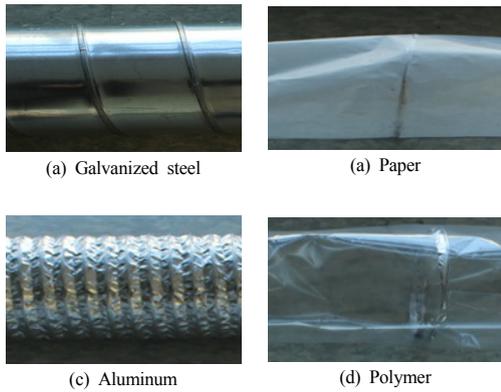


Fig. 3. Test double tube heat exchanger material

### 3. 실험 결과 및 분석

이중관형 열회수 환기장치의 실험 데이터 분석은 KS B 6879(2015)의 시험 규격에서 규정한 계산식을 사용하여 분석하였다. 온도 교환 효율, 습도 교환 효율, 전열 교환 효율, 현열량, 전열량, 에너지 계수(COE)를 아래식을 사용해서 구하였다.

$$\eta_t = \frac{t_{OA} - t_{SA}}{t_{OA} - t_{RA}} \times 100 \quad (1)$$

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

$$\eta_I = \frac{I_{OA} - I_{SA}}{I_{OA} - I_{RA}} \times 100 \quad (3)$$

$$Q_s = C_{FP} Q (t_{OA} - t_{SA}) \quad (4)$$

$$Q_t = \rho Q (I_{OA} - I_{SA}) \quad (5)$$

$$COE = \frac{\rho \eta_I Q (I_{OA} - I_{RA})}{W} \quad (6)$$

여기서  $\eta_t$ 는 온도 교환 효율(%),  $t_{OA}$ 는 외기 건구 온도(°C),  $t_{SA}$ 는 급기 건구 온도(°C),  $t_{RA}$ 는 환기 건구 온도(°C),  $\eta_X$ 는 습도 교환 효율(%),  $X_{OA}$ 는 외기 절대 습도(kg/kg(DA)),  $X_{SA}$ 는 급기 절대 습도(kg/kg(DA)),  $X_{RA}$ 는 환기 절대 습도(kg/kg(DA)),  $\eta_I$ 는 전열 교환 효율(%),  $I_{OA}$ 는 외기 엔탈피(kcal/kg(DA)),  $I_{SA}$ 는 급기 엔탈피(kcal/kg(DA)),  $I_{RA}$ 는 환기 엔탈피(kcal/kg(DA)),  $Q_s$ 는 현열량(W),  $Q_t$ 는 전열량(W),  $C_p$ 는 급기측 공기 비열량

(kJ/kg K),  $\rho$ 는 급기측 공기 밀도(kg/m<sup>3</sup>),  $Q$ 는 급기량(m<sup>3</sup>/h),  $W$ 는 모터 소비동력(W)이다. 현열 교환만 이루어지는 경우에 대해서는  $(I_{OA} - I_{RA}) = C_p(t_{OA} - t_{RA})$ 로 계산한다.

이중관형 열회수 환기장치에서 측정된 급/배기 공기 풍량은 150 m<sup>3</sup>/h 이었고, 모터측 소비전력은 65W 이었다. 냉방시험 조건에서 시험한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 온도 교환 효율은 알루미늄관의 경우가 44.9%로 가장 높았고, 종이관과 폴리머관은 비슷한 값을 나타내었다. 습도 교환 효율은 종이관의 경우 26.2%로 알루미늄관(7.6%)과 폴리머관(8.7%) 보다 월등한 우위를 보였다. 전열 교환 효율은 종이관의 경우 33.6%로 가장 큰 값을 보였으며, 알루미늄관과 폴리머관은 비슷한 전열 교환 효율을 보였다. 이는 알루미늄관과 폴리머관의 경우 열 교환시에 습도 교환이 거의 발생하지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

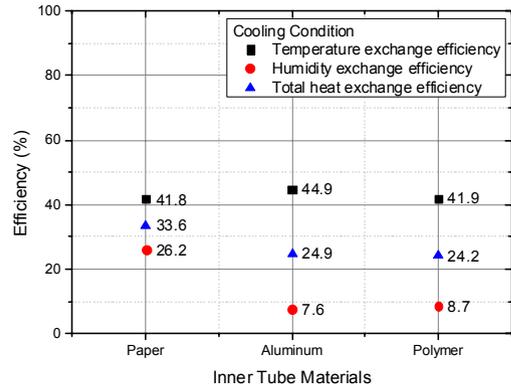


Fig. 4. Efficiency of double tube heat exchanger (Cooling condition)

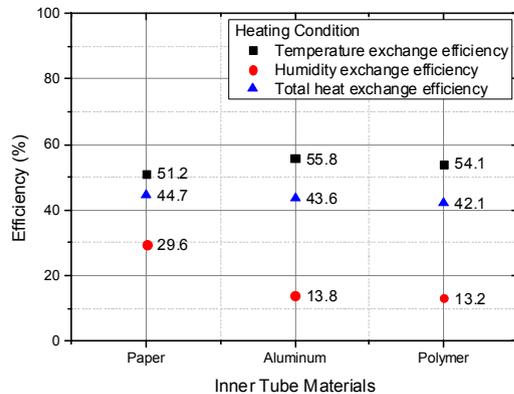


Fig. 5. Efficiency of double tube heat exchanger (Heating condition)

Fig. 5에는 난방조건 시험 결과가 보여진다. 온도 교환 효율은 냉방조건 시험결과와 마찬가지로 알루미늄관의 경우가 55.8%로 가장 높았으며, 습도 교환 효율은 종이관의 경우가 29.6%로 가장 높았다. 전열 교환 효율은 냉방시험의 경우 9% 차이를 보였지만 난방시험의 경우 2%의 차이를 보였는데 이는 습도 교환 효율이 상대적으로 영향을 준 것으로 판단된다. 냉방시험 조건에서는 습도교환 효율이 전열 교환 효율에 큰 영향을 주나 난방시험 조건에서는 영향이 크지 않은 것으로 판단된다.

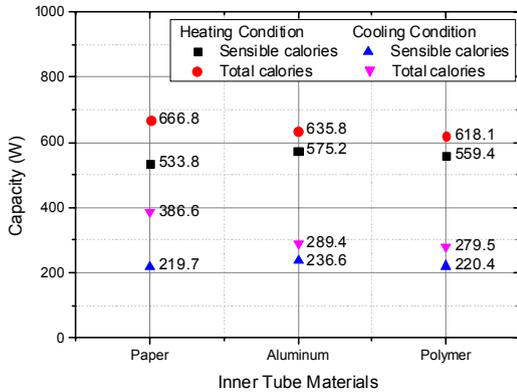


Fig. 6. Capacity of double tube heat exchanger

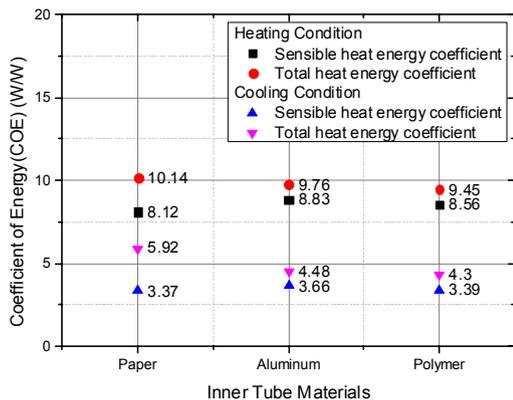


Fig. 7. COE of double tube heat exchanger

Fig. 6에는 냉방/난방 시험에서 현열량과 전열량이 표시 되었다. 현열량은 냉방/난방 모든 시험결과에서 알루미늄관의 경우가 가장 높았으며 종이관의 경우가 가장 낮은 값을 나타냈다. 현열량의 차이는 난방 시험일 경우가 냉방 시험의 경우 보다 크게 나타났다. 전열량은 냉방/난방 모든 경우에서 종이관의 경우가 높게 나타났는데 이는 열교환 과정에서 종이관 내외부로 열 및 습도교환이 동시에 일어났기 때문으로 생각된다.

Fig. 7에는 냉방/난방 시험에서 현열에너지계수와 전열에너지 계수를 나타냈다. 현열에너지계수는 모든 경우에서 알루미늄관일 경우가 가장 높은 값을 보였으며, 전열에너지계수는 종이관의 경우가 가장 높은 값을 나타내었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 이중관형 열회수 환기장치의 제품 적용 가능성을 검토하기 위해 성능시험을 수행하였으며 이중관의 내측관의 재질에 변경에 따른 검토를 하기 위해 종이관, 알루미늄관, 폴리머관을 제작하여 동일한 급/배기 풍량을 인가하여 측정하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

온도 교환 효율은 모든 경우에서 알루미늄관의 경우가 가장 큰 값을 나타냈으며 종이관과 폴리머관은 비슷한 결과를 보였다. 이는 내측관으로 사용된 재료의 열전도율과 두께의 차이 때문인 것으로 판단된다.

습도 교환 효율은 모든 경우에서 종이관의 경우가 가장 큰 값을 나타냈으며 알루미늄관과 폴리머관은 비슷한 결과를 보였다. 이는 종이 재질은 습도교환이 가능하지만 알루미늄과 폴리머재질은 습도교환이 불가능하기 때문인 것으로 판단된다.

습도 교환과 온도 교환의 두 값을 포함하는 전열 교환 효율은 종이관의 경우가 가장 큰 값을 나타냈으며 알루미늄관과 폴리머관은 비슷한 결과를 보였다.

에너지계수(COE)는 현열과 잠열교환이 동시에 일어나는 종이관의 경우 전열에너지계수 값을 현열교환만 일어나는 알루미늄관과 폴리머관은 현열에너지계수를 비교해 보면 종이관의 에너지계수가 가장 큰 값을 나타낼 수 있었다.

본 연구를 통하여 이중관형 열회수 환기장치의 내부관 재질에 따른 성능을 비교 분석 하였다. m<sup>2</sup>당 원재료 가격을 분석해 보면 종이 재질의 전열교환막의 경우 800원, 알루미늄 박판 재질의 경우는 600원, 폴리머 박판 재질의 경우는 300원으로 성능대비 폴리머 박판 재질의 경우가 가격 경쟁력이 가장 높은 것으로 조사 됐고 연구 결과 다양한 재질을 이중관형 환기장치로 적용이 가능한 것을 알 수 있다.

## References

- [1] G. T. Kim, C. Y. Chun, S. D. Kim "A Comparative Analysis of Energy Performance according to the Ventilation System in Apartment House", LHI Journal, vol. 6 no. 4, pp. 215-220, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.5804/lhij.2015.6.4.215>
- [2] J. H. Ku, "A Study on Characteristic Analysis for Indoor Ventilation Performance of Mechanical Ventilation System", Journal of the Korean Institute of Gas, vol. 16, no. 2, pp. 31-37, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.7842/kigas.2012.16.2.31>
- [3] K, H. Kim, "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, no. 1, pp. 57-64, 2008.
- [4] S. T. Jeon, J. P. Cho, "An experimental study on the performance of the separate type heat pipe in accordance with the refrigerant charge", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society vol. 16, no. 3 pp. 1600-1604, 2015.  
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.3.1600>
- [5] S. T. Jeon, J. P. Cho, "Study on the Performance of the Separate type Heat Pipe Using the Parallel Flow type Heat Exchanger", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society vol. 16, no. 8, pp. 5045-5050, 2015.  
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.8.5045>
- [6] Korea agency for technology and standards Ks B 6879, "Heat-recovery ventilators", KATS., 2015.
- [7] ANSI/ASHRAE Standard 37, "Standard measurement guide, engineering analysis of experimental data", ASHRAE., 2005.

### 조진표(Jin-Pyo Cho)

[종신회원]



- 1998년 2월 : 인천대학교 인천대학원 기계공학 (공학석사)
- 2005년 2월 : 인천대학교 인천대학원 기계공학 (공학박사)
- 1998년 2월 ~ 2000년 8월 : 대우전자 주임연구원
- 2000년 9월 ~ 현재 : 인천대학교 기계전자RIC 팀장

<관심분야>

기계공학, 공기조화 및 냉동

### 김은영(Eun-Young Kim)

[정회원]



- 1981년 2월 : 인하대학교 공과대학원 기계공학 (공학석사)
- 1995년 2월 : 인천대학교 인천대학원 기계공학 (공학박사)
- 1977년 3월 ~ 2010년 2월 : 인천전문대학 교수
- 2010년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

기계공학, 열·유체 분야