

## 열펌프 성능향상을 위한 공기 열교환기 부착효과

# Attachment of the Air Heat Exchanger for COP Improvement in the Heat Pump

노정근 정회원 J. G. Ro	송현갑 정회원 H. K. Song	박용규 비회원 Y. G. Park
------------------------	--------------------------	--------------------------

### ABSTRACT

Performance of the heat pump with attaching an air heat exchanger was investigated in the heating condition when the air heat exchanger was worked in the ambient air temperature of  $-5$  to  $11^{\circ}\text{C}$  and air flow rate of  $542$  to  $747\text{ m}^3/\text{h}$ .

Performance tests for heating condition were conducted in an experimental room equipped with heat pump. The performance tests were performed in a ambient temperature of  $-4\sim 11^{\circ}\text{C}$ , and room temperature of  $4\sim 22^{\circ}\text{C}$  respectively. Measured data(temperature, capacity of heat transfer and consumption of electronic power) were analyzed to the efficiency of HEEVA(Heat Exchanger for the Evaporator), overall heat transfer coefficient and COP of heat pump.

The results of inlet temperature for evaporator increased that the temperature was  $2\sim 6^{\circ}\text{C}$ , and inlet temperature for condenser decreased that the temperature was  $3\sim 8^{\circ}\text{C}$ .

The results of comparing efficiency of HEEVA for the ratio of heat exchange between hot air and cold air showed that efficiency were considered to 91% because of the ratio of 83~98%.

The results of comparing of COP for the heat pump increased that improvement COP was approximately 0.3~0.5 than HEEVA had not been operated.

**Keywords** : Heat exchanger, Heat pump, COP.

### 1. 서 론

화석에너지 절약방법으로 자연에너지, 특히 외기 공기 중에 잠재되어있는 저온 열에너지를 열원으로 하는 냉난방 겸용 열펌프 시스템의 실용화 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 열원으로 이용되고 있는 외기 공기온도가 영하로 강하함에 따라, 증발기에서 저온 열에너지의 흡수저하로 인

해 가열 목적 열펌프 시스템의 성능이 급속히 떨어질 뿐만 아니라, 압축기 입구에서 냉매온도가 급격히 저하됨에 따라 압축에 무리가 오게 된다. 또한 겨울철 눈으로 인한 공기 중 수분증가로 증발기에 성애가 자주 형성되어 제상의 어려움이 발생된다. 이와 같은 현상은 열 공급량을 감소시키기 때문에 난방부하를 감당할 수 없게 되어 저온 열원으로서의 공기 대 공기 또는 공기 대 물 열펌

This article was submitted for publication in February 2002, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in May 2002. The authors are J. G. RO. Research professor, The Institute of Life Science and Technology, Sungkyunkwan University, Korea; H. K. Song, Professor and Y. G. Park. Graduate student, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chungbuk National University, Korea. The corresponding author is J. G. Ro. Research professor, The Institute of Life Science and Technology Sungkyunkwan University, Suwon. 440-746, Korea. E-mail : <jgro@nature.skku.ac.kr>

프를 극한 추위에서는 사용할 수 없게 된다.

열펌프 시스템은 응축기에서 얻은 열에너지를 난방에 사용하게 되는데 그중 일부는 남아서 응축기로 다시 회귀하게 된다. 이것은 응축기의 기능을 저하시키고 열펌프의 성능저하로 이어진다. 열펌프의 성능향상을 위해 AVACTHE (Automatic Variable Area Capillary Type Heat Exchanger)를 냉매 순환 회로 내에 설치하여 응축기의 잉여 열을 회수하고, 압축기 입구에서의 냉매온도를 높여 압축기의 작동을 원활하게 할 수 있는 시스템 연구<sup>(3)(5)(6)(7)</sup> 등이 있으나, 관련된 연구가 미진한 실정이다.

실내의 상부 측에 있는 난방에너지와 냉매 내에 남아있는 잔여 열을 증발기 쪽으로 보내어 재 흡수시키면, 증발기 내를 흐르는 냉매의 증발효과를 높여 냉 공기로부터 열흡수를 증진할 뿐만 아니라, 겨울철 열교환기 증발기 표면의 성애를 제거하는 효과도 얻게 될 것이다. 하지만 실내 상부측 잉여에너지를 재흡수 이용하기 위해서는 새로운 시스템의 개발이 선행되어야 한다.

따라서, 본 연구의 목적은 냉온 공기 열교환기 (Heat Exchanger for the Evaporator, 이하 HEEVA라 한다)를 개발하고, 냉온 공기 열교환기가 열펌프의 성능과 난방에 미치는 특성을 분석하여, 성능향상 실용화 열펌프 시스템을 개발하는데 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 이론 분석

#### (1) 전열량과 총합열전달계수

HEEVA에 대한 이론치와 실험치의 전열량을 식 (1)과 식 (2)로 나타내었으며, 총합열전달계수는 식 (3)으로 표현하였다.

$$\dot{Q}_{the} = U A_T \Delta T_{LMTD} \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{exp} &= \dot{m}_H C_{p,H} (T_{H,inlet} - T_{H,outlet}) \dots\dots\dots (2) \\ &= \dot{m}_C C_{p,C} (T_{C,outlet} - T_{C,inlet}) \end{aligned}$$

$$U = \frac{\dot{Q}_{exp}}{A_T \Delta T_{LMTD}} \dots\dots\dots (3)$$

#### (2) 대류 열전달 계수

HEEVA 더운 공기의 열전달 계수를 구하기 위하여 식 (4)를 사용하였으며, 여기서 Nusselts수는

Petukhov 상관식(4) 식 (5)를 이용하였다.

$$h_H = \frac{\overline{Nu}_H k}{D} \dots\dots\dots (4)$$

$$\overline{Nu}_H = \frac{(f/8) Re_D Pr}{1.07 + 12.7(f/8)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)} \dots\dots\dots (5)$$

HEEVA에서 찬 공기의 대류열전달 계수는 식(6)을 사용하였으며, 여기서 Nusselt수는 식(7)을 이용하였다.<sup>(2)</sup>

$$h_C = \frac{\overline{Nu}_C k}{D_h} \dots\dots\dots (6)$$

$$\overline{Nu}_C = 3.66 \dots\dots\dots (7)$$

### (3) 총합열전달계수

HEEVA에서 더운 공기와 차가운 공기간 열교환기의 총합열전달 계수를 구하기 위해 식 (8)를 사용하였다.<sup>(1)</sup>

$$U = \frac{h_C h_H}{h_C + h_H} \dots\dots\dots (8)$$

여기서,

$A_T$  : HEEVA의 표면적(m<sup>2</sup>)

$C_{p,C}$  : 찬 공기의 정압 비열(kJ/kg °C)

$C_{p,H}$  : 더운 공기 정압 비열(kJ/kg °C)

$D$  : 튜브 직경(m)

$D_h$  : 수력직경(m)

$f$  : 마찰계수

$h_C$  : 찬 공기 대류 열전달계수(W/m<sup>2</sup> K)

$h_H$  : 더운 공기 대류 열전달계수(W/m<sup>2</sup> K)

$k$  : 열전도율(W/m K)

$\dot{m}_C$  : 찬 공기의 질량유량(kg/h)

$\dot{m}_H$  : 더운 공기 질량유량(kg/h)

$\overline{Nu}_C$  : 찬 공기 Nusselt 수

$\overline{Nu}_H$  : 더운공기 Nusselt 수

Pr : 프란틀 수

$\dot{Q}_{the}$  : 이론열량(kJ/h)

$\dot{Q}_{exp}$  : 실험열량(kJ/h)

$Re_D$  : 레이놀즈수

$T_{C,inlet}$  : 대기로부터의 찬공기 온도(°C)

$T_{C,outlet}$  : 증발기 입구의 찬공기 온도(°C)

- $T_{H, inlet}$  : Room의 더운 공기 온도(°C)
- $T_{H, outlet}$  : 응축기 입구의 더운 공기 온도(°C)
- $\Delta T_{LMTD}$  : 대수평균 온도차(°C)
- $U$  : 총합전열전달계수(W/m<sup>2</sup> K).

나. 실험장치

(1) 열펌프 시스템

본 실험에 사용된 공기 대 공기 열펌프 시스템의 압축기는 밀폐형 왕복동식 3PS이고, 응축기와 증발기는 직교류 열교환기로서 냉매와 공기 두 유체가 비 혼합되는 환이 있는 열교환기를 사용하였다. 또한 낮은 외기온에서의 성능 저하를 막기 위해 증발기 출구와 응축기 출구 사이에 AVACTHE (Automatic Variable Area Capillary Type Heat Exchanger)를 설치하였고, 냉매는 R<sub>22</sub>(CH<sub>2</sub>ClF<sub>2</sub>)를 사용하였다. 본 실험에 사용된 열펌프 시스템의 제원은 표 1과 같다.

Table 1 Specifications of the air to air heat pump system

Item	Specification
Compressor	Reciprocating(3PS)
Condenser	Cross-flow staggered tube heat exchanger finned with both fluids unmixed
Expansion valve	TEV(thermostatic expansion valve)
Evaporator	Cross-flow staggered tube heat exchanger finned with both fluids unmixed
AVACTHE	Automatic variable area capillary type heat exchanger
Refrigerant	R <sub>22</sub> (CH <sub>2</sub> ClF <sub>2</sub> )

(2) 냉온공기 열교환기 (HEEVA)

본 실험에 사용된 냉온 공기 열교환기인 HEEVA의 개략도는 그림 1과 같으며, 커버는 스테인레스 강판을 사용하였고, 튜브는 지름 20mm, 두께 1mm의 동관으로 제작하였다. 배열은 대향류 정렬배열로 가로 8배열, 세로 13배열로 구성되어 있다. 주위로의 열손실을 막기 위해 단열을 하였

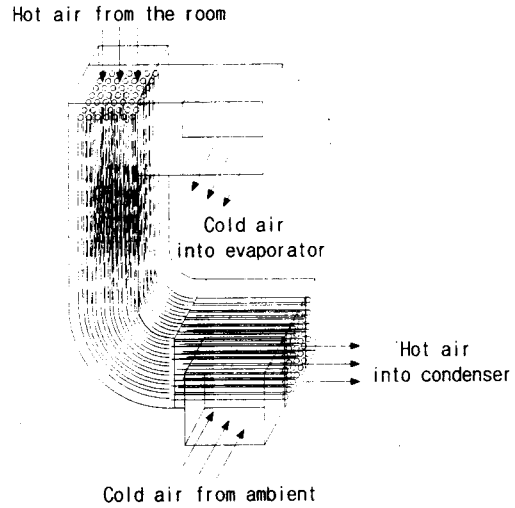


Fig. 1 Schematic diagram of HEEVA.

Table 2 Specification of HEEVA

Material	Copper
Heat exchanger size (mm)	200×1900×360
Number of tubes (ea)	8×13
Tube diameter (mm)	20
Tube thickness (mm)	1
Longitudinal tube pitch (mm)	25
Transverse tube pitch (mm)	25
Transverse plane (mm)	5

으며, HEEVA on/off 실험을 위해 튜브관군이 없는 더운 공기 덕트를 함께 제작하여 실험을 수행하였다. HEEVA의 제원은 표 2와 같다.

열전달 흐름 블록선도는 그림 2와 같으며, 찬 공기는 실내공기가 지나가는 튜브군을 통과하여 가열된 후 열펌프의 증발기에 유입되므로 증발기의 냉매증발을 활성화하여 열펌프 성능을 향상시키고, 성에방지와 제거의 역할을 한다. 튜브군을 통해 열교환된 실내의 더운 공기는 열펌프의 응축기에 유입되며, 잉여 에너지로서 다시 HEEVA로 귀환하여 찬 공기에 열량을 공급한다.

다. 실험방법

본 실험은 2001년 1월 12일부터 2001년 4월 28

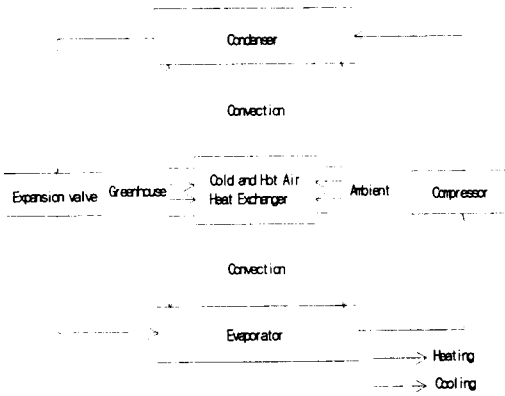


Fig. 2 Block diagram of the heat pump.

일까지 충청북도 청주시 충북대학교 농과대학에서 수행하였으며, 실험기간중 외기온은  $-5^{\circ}\text{C} \sim 28^{\circ}\text{C}$  이었고, 외기온의 인위적 조절 없이 실험을 수행하였다. 실험조건으로 열펌프를 bypass로 작동하였고, HEEVA를 on/off 하여 실험을 수행하였으며, HEEVA의 성능분석을 위해 HEEVA 입출구 공기 온도를 측정하여 찬 공기와 더운 공기간의 전열량 분석과 HEEVA의 효율을 분석하였다.

난방시 HEEVA에 의한 열펌프 성능특성 분석을 위하여 외기온과 더운 공기의 온도에 따라 응축기 출구의 공기풍량을  $542 \sim 747 \text{ m}^3/\text{h}$ 로 변환시켜가며 실험하였다. 그리고 응축기·증발기 공기 토출 온도를 측정하고, 소비전력은 전력계로 측정하여 열펌프의 성능계수를 분석할 수 있도록 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 냉온 공기 열교환기(HEEVA) 성능분석

##### (1) 난방시 HEEVA 입출구 공기온도 변화

그림 3은 외기온이  $-4 \sim 11^{\circ}\text{C}$ 로 변할 때 HEEVA의 작동 유무에 따른 찬 공기 출구의 온도변화를 보여주고 있다. 외기온이  $0 \sim 11^{\circ}\text{C}$ 일 때 HEEVA에 의한 영향으로  $2 \sim 6^{\circ}\text{C}$  정도 상승된 공기가 증발기 입구로 유입되는 것으로 나타났으며, 외기온이  $-4^{\circ}\text{C}$ 에서  $11^{\circ}\text{C}$ 로 증가 할 때 HEEVA 찬 공기 입·출구 온도차 변화도  $4.5 \sim 9^{\circ}\text{C}$  정도로 증가하는 것으로 나타났다.

한편, HEEVA를 작동하지 않을 경우의 자료가 없는 외기온  $-4 \sim 0^{\circ}\text{C}$  구간은 그래프의 경향으로

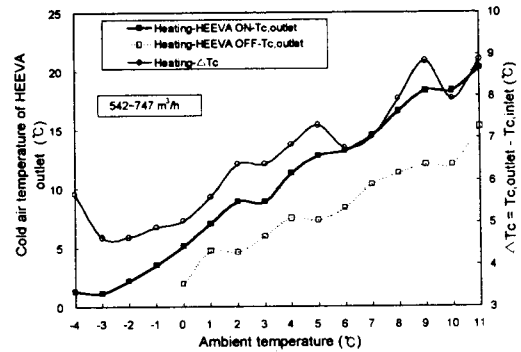


Fig. 3 The outlet temperature variation of cold air from the HEEVA in the ambient temperature at heating.

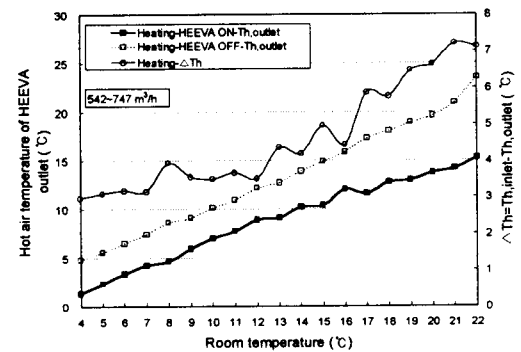


Fig. 4 The outlet temperature variation of hot air from the HEEVA in the room temperature at heating.

보아 증발기 입구온도가 HEEVA 작동시 보다  $2^{\circ}\text{C}$  이상 낮을 것으로 사료된다.

그림 4는 Room온도가  $4^{\circ}\text{C} \sim 22^{\circ}\text{C}$ 로 변할 때 HEEVA의 작동유무에 따른 HEEVA 더운 공기 출구의 온도변화를 보여 주고 있다. HEEVA에 의한 영향으로 응축기 입구 공기온도가  $3 \sim 8^{\circ}\text{C}$  낮게 유입되는 것으로 나타났으며, Room 온도가 상승함에 따라 HEEVA 더운 공기 입출구 온도차도  $3 \sim 7^{\circ}\text{C}$  정도로 증가하였다.

##### (2) 찬 공기와 더운 공기간의 전열량과 HEEVA 효율

그림 5는 HEEVA에서 더운 공기 공급열량에 따른 찬 공기에 실제 전달된 열량과 HEEVA의 효율을 나타낸 것이다. HEEVA에서 열교환을 하여 얻

열펌프 성능향상을 위한 공기 열교환기 부착효과

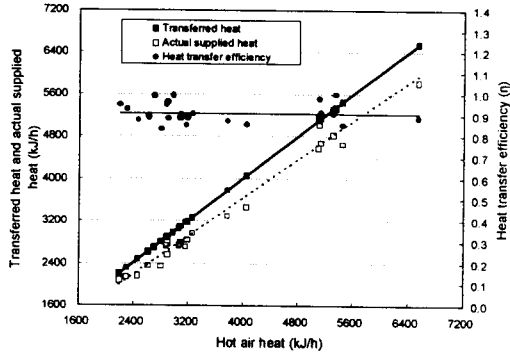


Fig. 5 Transferred heat, actual supplied heat amount and heat transfer efficiency with the air heat.

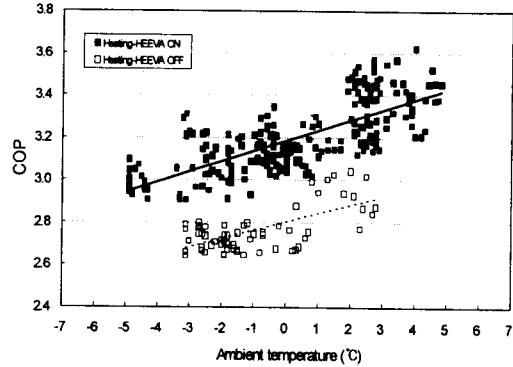


Fig. 7 Heating COP variation in the ambient air temperature.

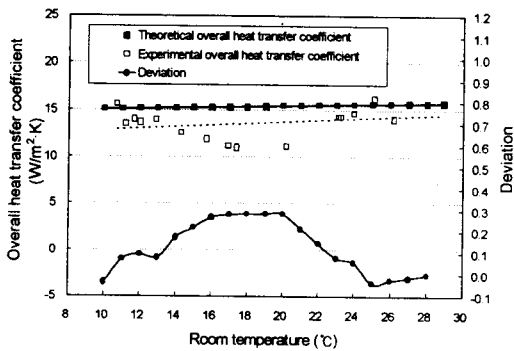


Fig. 6 Comparison between theoretical and experimental overall heat transfer coefficient in the room temperature.

은 열전달 매체(공기)의 입출구 온도, 풍량을 측정하여 (2)식에 대입하여 얻은 결과이다. 풍량 346 m<sup>3</sup>/h의 찬 공기가 받은 열량과 풍량 747m<sup>3</sup>/h의 더운 공기가 준 열량간의 차는 209~627kJ/h로 나타났으며, HEEVA 효율은 더운 공기가 준 열량과 찬 공기의 비율로서 83~98% 정도로 나타나 평균 91% 정도의 효율을 보였다. HEEVA 설계시 가정으로서 주위로의 열량손실과 불결계수를 고려하지 않았으나, 실험상 주위로의 열량 손실과 냉운 공기 열교환기 자체의 불결계수를 고려한다면 공기-공기 HEEVA로서 설계상의 목적에 부합한 것으로 나타났다.

(3) HEEVA의 총합열전달계수

그림 6은 더운 공기의 온도 변화에 따른 이론식 (8)과 실험식 (3)에 의한 총합열전달계수 값의 비

교를 나타낸 것이다. 이때 찬공기의 경우 속도는 2m/s, 수력저름 0.005m이었으며, 더운 공기의 경우 속도는 6.34m/s, 지름 0.02m 일 때, 공기온도 8~30℃에서 이론값이 실험값보다 1~3W/m<sup>2</sup>K 크게 나타났으며, 편차는 10% 내·외를 나타냈다. 이것은 Petukhov 상관식의 자체오차 15%에 비해 크지 않으므로 이론상의 총합 열전달계수 유도식의 타당성을 입증한 것이라 하겠다. 편차의 원인은 HEEVA의 효율에 의한 열량차이로 인해 실험상의 총합 열전달계수 값이 저하된 주원인이라 판단된다.

나. 난방시 냉운 열교환기(HEEVA)에 의한 열펌프 성능특성

(1) 열펌프의 난방 COP 변화

그림 7은 외기온이 -5~5℃로 변할 때 난방시 HEEVA의 작동유무에 따른 COP변화를 보여 주고 있다. 난방시 HEEVA가 작동할 때 외기온이 증가함에 따라 COP가 2.9~3.6 정도로 증가하여 나타났으며, HEEVA를 작동하지 않을 때 COP가 2.6~3.1정도를 보였다. 즉, HEEVA가 작동할 때가 0.3~0.5정도 높은 결과를 보였다. 저온의 외기온하에서 COP의 감소는 증발기측에서 열흡수율이 낮기 때문이며, 난방시 HEEVA를 작동하여 증발기 유입시 찬 공기의 온도를 상승시켜 냉매의 증발효과를 통한 압축기 소비전력 감소가 COP를 향상시킨 것으로 나타났다.

(2) 열펌프의 응축기 출구 공기 토출 온도 변화

그림 8은 외기온이 -5~5℃로 변할 때 난방시 HEEVA의 작동유무에 따른 응축기 출구 공기토출

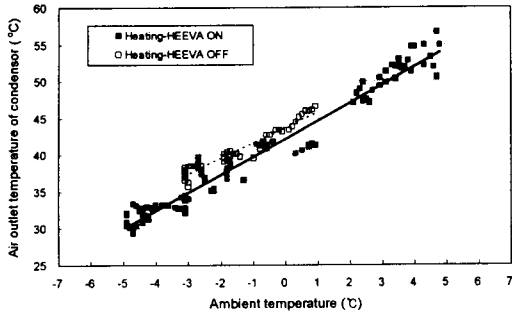


Fig. 8 Outlet air temperature variation in the condenser in the ambient temperature at heating.

온도를 보여 주고 있다. 풍량 542m<sup>3</sup>/h에서 HEEVA가 작동할 때 외기온이 증가함에 따라 공기토출온도가 29~57℃ 정도로 증가하는 것으로 나타났으며, 외기온 -3~1℃에서 공기토출온도가 2~3℃ 정도 낮은 결과를 보여 응축기출구 더운 공기의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 난방시 더운 공기가 찬 공기에 열량을 주어 응축기출구 더운 공기온도가 하강하였으나, 응축기측에서 더운 공기의 입·출구 온도차 상승폭이 HEEVA가 작동하지 않을 때 보다 크게 나타남으로서 응축효과가 상승하여 COP가 상승한 것으로 나타났다.

### 5. 요약 및 결론

화석에너지에 대한 경제적 부담과 환경오염문제를 줄이고, 열펌프의 성능계수향상을 위하여 냉온 공기 열교환기(HEEVA)를 개발하였으며, 이 열교환기의 열특성과 열펌프의 성능계수 향상에 미치는 영향을 분석하기 위하여 난방 실험을 수행하였다. HEEVA에 의한 찬 공기와 더운 공기의 온도 변화, 전열량 및 냉온 공기 열교환기 효율, 총열전달계수 등을 측정 분석하였고, 난방시 외기온에 따른 열펌프의 성능계수, 소비전력, 응축기·증발기 출구 공기 토출온도 변화를 측정 분석함으로써 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 외기온이 -4~11℃로 변할 때 열펌프의 난방과정에서 HEEVA 찬 공기 입출구 온도차는 4.5℃에서 9.0℃로 증가하였으며, HEEVA에 의한 영향으로 2~6℃ 상승된 공기가 증발기 입구로 유입되어 냉매증발을 촉진하였다.

2) 실온이 4~22℃일 때 HEEVA 더운공기 입출

구 온도차는 3℃에서 7℃로 증가하였으며, 응축기에 유입되는 공기온도를 3~8℃ 낮게 함으로서 압축기 소모전력을 감소시켜 COP 상승효과를 나타냈다.

3) 외기온과 실온변화에 따라 풍량 346m<sup>3</sup>/h의 찬 공기가 받은 열량과 풍량 747m<sup>3</sup>/h의 더운 공기가 준 열량간의 차는 209~627 kJ/h로 나타났으며, 더운 공기가 준열량과 찬 공기가 받은 열량의 비가 83~98%이었으므로 HEEVA의 열교환율은 91%을 보였다.

4) 총합열전달계수는 이론값이 실험값보다 1~3W/m<sup>2</sup>K 크게 나타났으며, 이 결과는 두 값 사이에 10% 내·외의 편차로서 Petukhov 상관식의 자체 오차 15%에 비해 크지 않으므로, 이론상의 총합열전달계수 유도식의 타당성을 입증한 것이라 하겠다.

5) HEEVA 작동시 난방 COP가 HEEVA를 작동하지 않았을 경우보다 0.3~0.5 향상된 것으로 나타났다. 이것은 HEEVA가 겨울철 난방 효율을 높일 수 있는 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. Frank P. Incropera and David P. Dewitt. 1998. Fundamentals of heat and mass transfer. 4ed.
2. Kays W. M. and M. E. Crawford. 1980. Convective Heat and Mass Transfer. McGraw-Hill.
3. Lee, S. C., Y. W. Cho and S. C. Nam. 1997. Transactions of the KSME (B) 21(1):185-194. (In Korean)
4. Petukhov B. S., T. F. Irvine and J. P. Hartnett. 1970. Advance in Heat Transfer. Vol. 6. Academic Press.
5. Rhee, K. J. and H. K. Song. 1999. Effect of the heat exchange between low and high temperature refrigerant on the heat pump performance. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 24(4):343-350. (In Korean)
6. Ro, J. G. and H. K. Song. 2001. Thermal characteristics and simulation model development for greenhouse heating system with heat pump. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 26(2):155-162. (In Korean)
7. Snyder, M. E., M. P. Case, S. Johns and R. Caron. 1992. Performance of a Condensing Heat Exchanger System at Lake City Army Ammunition Plant, Independence, MO, AD-A256356.