

재해임시주거 냉난방을 위하여 기존 에어컨을 열펌프로 전환하는 변환기 개발

송헌*

*홍익대학교 건축공학부(archilieu@hotmail.com)

Development of a Conversion Unit converting the existing air conditioner to Heat Pump System for the Emergency Shelter

Song, Heon*

*School of Architectural Engineering, Hongik University(archilieu@hotmail.com)

Abstract

Korea and some other countries located in the northern hemisphere employ the air conditioner for the space cooling in the hot summer season and also some kinds of heaters for the space heating in the cold winter season.

Especially in Korea, a great number of air conditioners of about 12,700,000 sets have been used these days. However, they are used for a short operation period of only 58 days a year, which results in the material and economic losses.

To solve this problem and employ this system for the emergency shelter, a new conversion unit which could convert the existing air conditioner to a heat pump system for simultaneous heating and cooling was developed in this study, and the thermal performance was tested.

The results indicated that the indoor air could be heated from 27°C to 39°C by the air conditioner converted to a heat pump system with the ambient temperature variation of -10°C~10°C, and cooled from 20°C to 15°C by the converted system with the ambient temperature variation of 20°C~35°C.

And also the heating COP increased from 3.3 to 5.3 in case of the heat exchange of the super cooling(HESC) circuit and from 3.0 to 4.0 in case of the By-pass with the ambient temperature variation of -10°C~10°C, respectively, whereas the cooling COP decreased from 3.1 to 2.1 with the increase of the ambient temperature from 20°C to 35°C.

Keywords : 공간냉방(Space cooling), 변환기(Conversion unit), 열펌프(Heat pump system), 성능계수(COP), 외기온(ambient temperature)

기 호 설 명

$\dot{Q}_{gain,gc}$: heat gain in the general circuit (kW)
$\dot{Q}_{EVA,gc}$: heat absorbed from evaporator in the general circuit (kW)
\dot{Q}_{comp}	: power consumption of compressor (kW)
$\dot{Q}_{gain,H}$: heat gain by the HESC (kW)
\dot{Q}_{Loss}	: the other heat loss from the heat pump system (kW)
q_{Loss}	: heat loss per unit mass of refrigerant (kcal/kg or kJ/kg)
\dot{G}_0	: mass flow rate of refrigerant (kg/hr)
Δh	: enthalpy difference between two conditions (kcal/kg or kJ/kg)
COP_{HESC}	: COP of the new circuit with HESC
COP_{gc}	: COP of the general circuit without HESC
\dot{Q}_{EXP}	: heat analysed experimentally (kW)
COP_{EXP}	: COP analysed experimentally
$\dot{Q}_{consumption}$: power consumption of the system (kW)
A	: area of air flow (m ²)
v_{air}	: velocity of air flow (m/s)
ρ_{air}	: air density (kg/m ³)
Cp_{air}	: specific heat of air (kJ/kg.°C)
ΔT	: temperature difference between the inlet and outlet of the condenser (°C)

1. 서 론

한국을 비롯한 북반구에 위치한 국가에서는 주택과 건물 등 생활공간의 열환경 조절을 위하여 여름철 더위에는 냉방용 에어컨을 설치 이용하고, 겨울철에는 화석에너지, 전기에너지 그리고 기타 자연열에너지를 이용하여 추위에 대비하고 있으며, 최근에는 냉난방 가능한 전용 열펌프를 일부에서 보급이용하고 있으나 이 역시 전기히터를 보조열원으로 사용해야 한다. 겨울철 난방용 기기와 이용열에너지는 다양하지만 냉방용 기기와 이용에너지는 한정되어 있으며 냉방용 에어컨의 한계를 벗어나지 못하고 있다.

특히 한국의 에어컨에 관한 보급 사용의 현황을 보면, 주택1588만 가구 (2005년 기준)중, 1270만 가구 (전체가구의 약 80%)에 에어컨이 보급되어 있으며, 1년 중 6월에 6일, 7월에 24일, 8월에 21일 그리고 9월에 7일간 에어컨을 사용하므로 1년 중 58일 사용하고 있는 것으로 보고되고 있다. 주택뿐만 아니라 대형 사무실용 건물이나 큰 호텔의 경우에도 같은 실정이다. 실내기(증발기), 실외기(응축기), 압축기와 자동제어시스템이 완벽하게 구성되어 있는 에어컨시스템을 연중 짧은 기간만 사용하는 것은 물질적 자원 낭비뿐만 아니라 경제적으로도 큰 손실이다. 이렇게 한시적으로 사용하는 기존 에어컨을 냉난방겸용으로 전환하여 재활용한다면, 혹한과 혹서에 취약한 재해 임시주거에 저렴한 가격으로 보급할 수 있을 것이다.

2. 변환기의 상세회로 구성요소 및 기능

그림 1은 에어컨의 실외기 (응축기)와 실내기 (증발기) 사이에 설치하여 에어컨을 공기열원 열펌프로 전환하는 변환기의 상세회로도이다.

변환기 회로의 구성요소는 ①~⑦ 로 구성되었으며, 요소별 기능은 다음과 같다.

① 사방변(4 way valve)으로 압축기와 연결되어 있으며 좌측으로 열릴 때는 난방회로가 형성되고, 우측으로 열릴 때는 냉방회로가 형성된다.

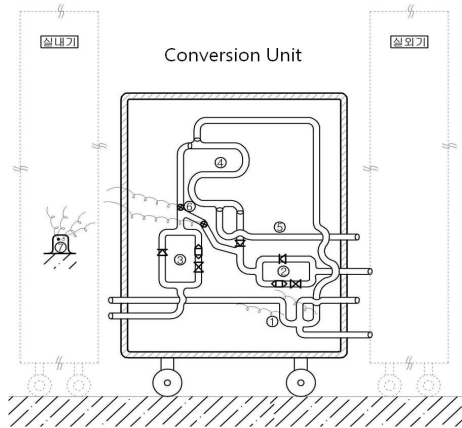


그림 1. Conversion Unit converting the existing air-conditioner to a heat pump system

- ② 팽창변(Expansion valve)로 냉방회로 형성의 경우에는 폐쇄되고 난방회로가 형성될 때 개방되어 난방용 증발기 역할을 한다.
- ③ 팽창변으로 난방회로 형성의 경우에는 폐쇄되고 냉방회로가 형성될 때 개방되어 냉방용 증발기 역할을 한다.
- ④ 과냉효과와 과열효과를 촉진하여 외기온이 -15°C 에서도 COP를 2.0이상으로 유지시켜주는 열교환기(HESC)로 압축기 부하를 최소화 시켜 전력소모를 줄여 주는 역할을 한다. 이 열교환기는 변환기에 장착하는 경우와 장착하지 않는 경우로 실험한다.
- ⑤ 전체 회로를 연결하는 동파이프
- ⑥ 냉난방에서 냉매흐름방향을 조절하는 자동밸브
- ⑦ 냉방과 난방회로를 조절하는 제어장치

3. 열평형 및 성능계수 (COP)

에어컨에 변환기를 장착하여 열펌프로 전환하는 경우, 이 시스템의 열평형과 성능계수 변화에

관한 이론식을 정리하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

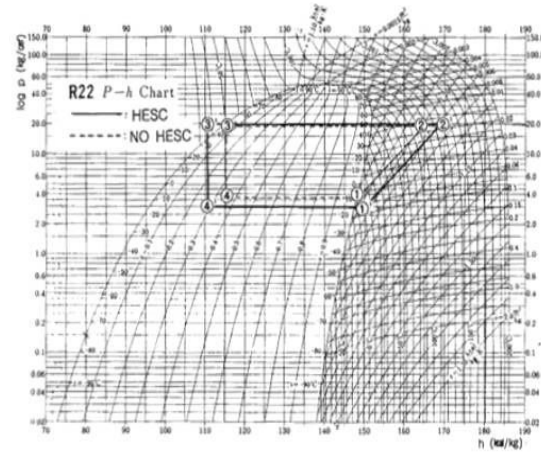


그림 2. Heat pump cycle installed with / without HESC

그림 2에서 보는 바와 같이 냉매 R₂₂을 사용한 경우, 사이클 ①-②-③-④는 변환기내에 열교환기 HESC를 장착하지 않은 경우이고, 사이클 ①'-②'-③'-④'는 변환기내에 열교환기 HESC를 장착한 경우이다.

3.1 열평형

변환기내에 열교환기(HESC)가 장착되지 않은 경우의 열평형식:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{gain,gc} &= \dot{Q}_{EVA,gc} + \dot{Q}_{comp} - \dot{Q}_{Loss} \\ \dot{Q}_{gain,gc} &= \dot{G}_0(\Delta h_{1-4} + \Delta h_{2-1} - q_{Loss}) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(1)$$

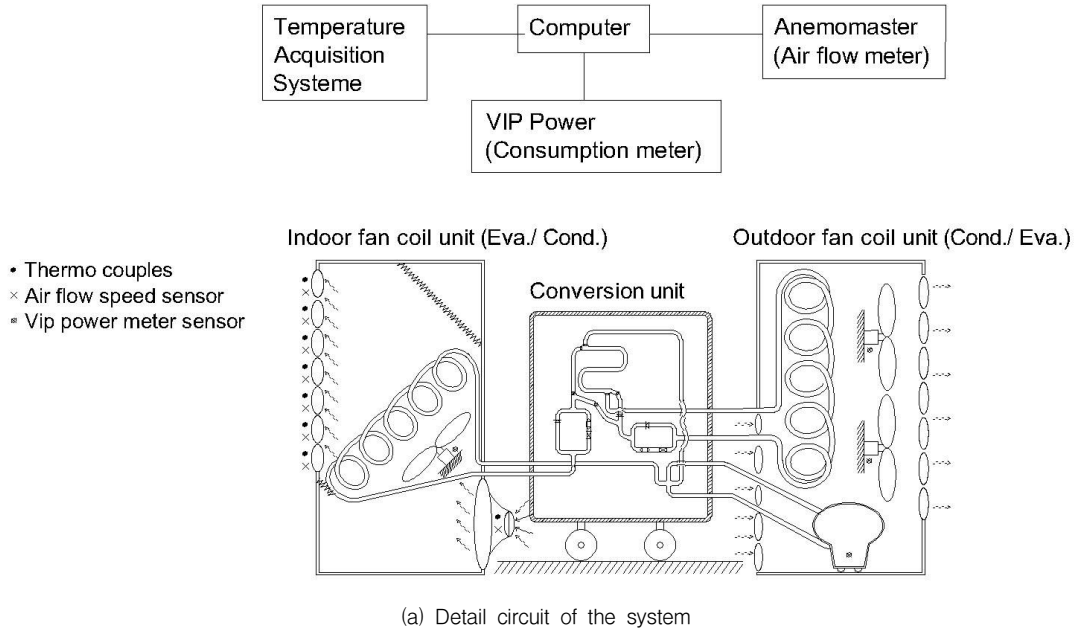
변환장치 내에 열교환기(HESC)를 장착한 경우의 열평형식:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{gain,H} &= \dot{Q}_{EVA,gc} + \dot{Q}_{comp} + \dot{Q}_{HESC} - \dot{Q}_{Loss} \\ \dot{Q}_{gain,H} &= \dot{G}_0(\Delta h_{1-4} + \Delta h_{2-1} + \Delta h_{3-3'} + \Delta h_{2'-2} - q_{Loss}) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2)$$

3.2 성능계수 (COP)

변환기내에 열교환기(HESC)가 장착되지 않은 경우

$$COP_{gc} = \frac{\Delta h_{2-3} - q_{Loss}}{\Delta h_{2-1}} \quad \dots\dots\dots(3)$$



(b) Photo of the system

그림 3. Detail circuit and photo of the system converted from the existing air conditioner to the heat pump by the installation of the conversion unit and experimental apparatus

변환기내에 열교환기(HESC)를 장착한 경우, 과냉과 과열 현상을 유발함으로 아래식과 같이 성능계수, COP가 HESC를 장착하지 않은 경우보다 크게 나타난다.

$$COP_{HESC} = \frac{\Delta h_{2'-2} + \Delta h_{3-3'} + \Delta h_{2-3} - q_{Loss}}{\Delta h_{2'-1'}} \dots\dots\dots(4)$$

3.3 실험적 방법으로 분석하는 성능계수 (COP)

(1)~(4) 식까지의 이론식은 열펌프 회로 내를 압축기에 의하여 냉매가 압축, 응축, 팽창, 증발하면서 외부로 흡수 방출하는 열적 현상과 성능을 이론적으로 정리하여 정립한 수식이다.

이와 같이 내부에서 Enthalpy 수준으로 일

어나는 열적 현상은 결과적으로 압축기를 비롯한 전체적인 소요전력과 실내기 (증발기/응축기)에서 얻어지는 열량을 실험적으로 측정 분석하므로써 성능계수가 정량적으로 구체화 된다. 이와 같은 과정을 실험적 성능분석이라 한다. 실내기에서 발생하는 입·출구 온도와 풍량을 실험적으로 측정하여 열량과 성능 분석에 이용되는 수식은 다음과 같이 정리된다.

$$\dot{Q}_{EXP} = Av_{air}\rho_{air}Cp_{air}\Delta T \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$COP_{EXP} = \frac{\dot{Q}_{EXP}}{\dot{Q}_{consumption}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

4. 실험장치 및 방법

기존의 에어컨을 Heat pump 시스템으로 전환하기 위한 변환기를 그림 1와 같이 구성하였으며, 이 변환기를 에어컨의 실내기(증발기)와 실외기(응축기) 사이에 장착하여 냉난방용 Heat pump 성능을 갖도록 구성한 전체 시스템의 회로도 는 그림 3과 같다.

4.1 실험장치

이 시스템의 냉난방 성능을 분석하기 위하여, 그림 3 (a), (b)에서 보는 바와 같이, 시스템 전체의 소모 전력을 측정하기 위하여 VIP power meter를 이용하였고, 실내기 (증발기 / 응축기)의 입·출구온도와 외기온도를 측정하기 위하여 Agilent Technologies의 temperature acquisition system을 computer에 연결하여 시간경과에 따라 자동으로 연속 측정하였으며, 실내기를 통과하는 풍량을 측정하기 위하여 KANOMAX ANEMO MASTER의 풍속계를 사용하였다. 풍량 측정을 정확하게 하기 위하여 입구에 나팔모양의 풍량 집적기를 설치하였고 출구에서의 풍속을 다점(18점)에서 측정하여 입출구의 풍량을 비교 점검하였고, 자연 상태에서 습도가 크게 다르지 않은 날씨를

택하여 정확을 기하였다.

그림 3(a)은 기존 에어컨(Winia)에 변환기를 장착하여 에어컨을 heat pump 로 전환한 전체 시스템의 회로도이고, 그림 3(b)은 이 시스템의 성능을 측정 분석하기 위한 실험장치가 결합된 외형도이다.

4.2 실험방법

에어컨의 heat pump 전환시스템 (그림 3)의 성능을 실험적으로 분석하기 위하여 표 1과 같이 변수들과 측정항목을 조합하였다.

표 1. Combination of Variables and measuring items
*D.A.: Data Acquisition

Variables items				Measuring items			Test interval (min)
Operation mode	Circuit mode	Ambient temp. (°C)	Air flow rate (m³/s)	Inlet air temp. (°C)	Outlet air temp. (°C)	Power consumption	
Heating	HESC	-9.8 ~10	0.324 ~0.756	D.A.	D.A.	D.A.	20
	By-pass	-9.8 ~10	0.324 ~0.756	D.A.	D.A.	D.A.	
Cooling	By-pass	20~35	0.324 ~0.756	D.A.	D.A.	D.A.	

본 실험은 2009년 2월과 4월에 실시하였으며, 실험 기간 중에 외기온은 - 9.8°C ~35°C 범위 내에서 변화하였다.

변수조합으로는 변환기내에 장착된 특수열교환기인 HESC을 냉매가 통과하는 경우와 By-pass하는 경우로 구분하여 실험하였고, 각 경우에 실내기 (증발기/응축기)를 통과하는 풍량을 풍량조절버튼을 이용하여 3~7m/sec로 조절변수로 하여 실내기의 입구와 가열 혹은 냉각된 출구공기온도를 Agilent acquisition system을 computer에 연결하여 20분 간격으로 연속해서 측정하였으며, VIP power meter를 이용하여 시스템 전체 소모전력을 측정하여 본 전환시스템의 성능을 분석 할 수 있도록 하였다. 본 시스템에 사용된 Compressor의 용량은 3 RT 이었다.

5. 결과 및 고찰

자원 절약 차원에서 기존의 에어컨을 그대로 활용하여 냉방뿐만 아니라 난방에도 이용할 수 있는 변환기를 고안하여 에어컨의 실내기와 실외기 사이에 설치할 수 있도록 하였다.

이와 같이 구성된 냉난방용 heat pump 시스템의 냉난방성능을 표 1에 나타낸 변수조합에 따라 실험적으로 측정 분석하였으며 그 결과를 다음과 같이 요약할 수 있었다.

5.1 난방의 경우 공기유량에 따른 입·출구 온도차

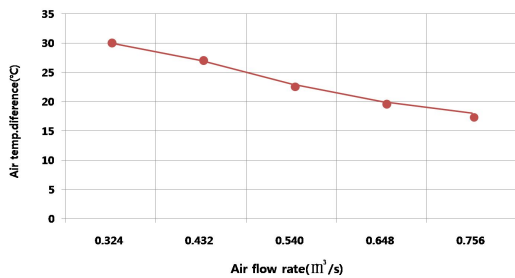


그림 4. Difference of inlet and outlet air temp. with air flow rate

그림 4에서 보는 바와 같이 난방의 경우에는 실내기가 응축기 역할을 하게 되며 실내기에 공기유량이 0.324m³/s에서 0.756m³/s로 증가함에 따라 입구와 출구온도차는 30°C에서 18°C로 직선적으로 감소하는 것으로 나타났다.

이와 같은 변화는 일정량의 에너지를 사용하는 열 이용시스템에서 나타나는 정상적인 현상이다. 이때 외기온은 -2~0°C 범위 내에서 변화하였으며 실내기의 입구온도는 15~18°C이었다.

5.2 외기온이 실내기 (응축기/증발기)의 출구온도에 미치는 영향

냉방기능 에어컨에 냉난방 기능을 가능하

게 하는 변환기 (Conversion Unit)을 장착하여 새로운 형태의 heat pump를 구성하였으며 냉난방 성능을 분석하기 위하여 실내기 (응축기/증발기)의 출구온도가 외기온 변화에 의하여 어떤 영향을 받는 지 분석하여 그림 5와 같이 정리하였다.

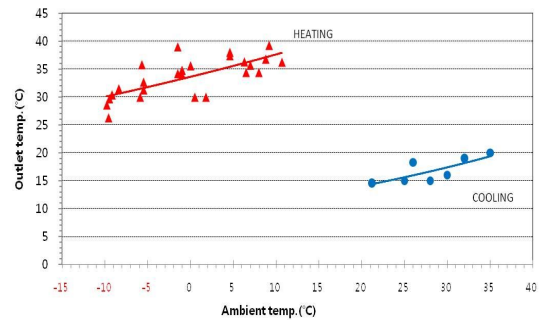


그림 5. Outlet air temp. with ambient temp. in case of heating and cooling

5.2.1 난방의 경우

실내기가 응축기 역할을 하는 난방의 경우 그림 5의 좌측 적색그림에서 보는 바와 같이 외기온이 -10°C에서 10°C까지 20°C 증가함에 따라 출구온도는 27°C에서 39°C범위에서 지수 곡선적 증가를 보였다. 일반적으로 난방적 정실온을 고려할 때 외기온이 -10°C의 추운 겨울철에도 보조 열원 없이 난방이 가능함을 입증할 수 있었다.

5.2.2 냉방의 경우

실내기가 증발기 역할을 하는 냉방의 경우 그림 5의 우측 청색그림에서 보는 바와 같이 외기온이 20°C에서 35°C까지 15°C 증가함에 따라 출구온도는 15°C에서 20°C까지 5°C 범위 내에서 지수 곡선적으로 증가 하는 것으로 나타났다. 이 결과는 여름철 더운 날씨에 실내 적정 냉방온도를 유지하고 있음을 보여 주었다.

5.3 외기온이 성능계수(COP)에 미치는 영향

Heat pump system에서 냉방의 경우에는

외기온에 의한 COP 감소는 크게 문제가 되지 않으나, 난방의 경우에는 추운 겨울철 외기온에 따라 크게 감소하는 경향이 있으며, 특히 공기열원 Heat pump의 경우에는 외기온이 -7℃이하만 되어도 COP가 급격히 감소하기 때문에 현재까지 혹한이 지속되는 지역에서 실용화되지 못하고 지중열 Heat pump 위주로 실용화되고 있는 것이 현실이다. 이와 같은 문제를 극복하기 위하여 본 Conversion Unit 내에 낮은 외기온에 의한 COP 급감을 방지하기 위하여 과냉과 과열을 유도하는 특수열교환기(HESC)를 내장하였고 그 효과를 By-pass와 비교분석하였다.

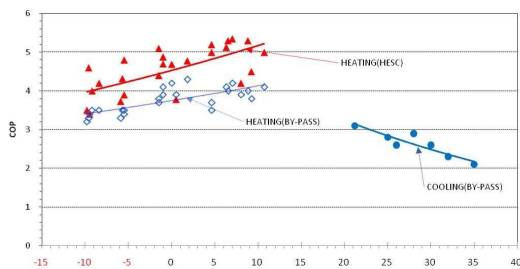


그림 6 COP with ambient temp. in case of heating and cooling

5.3.1 외기온이 Heat pump 난방 성능계수 (COP)에 미치는 영향

표 1의 변수조합에 준하여 실험한 측정치를 (5)식과 (6)식에 대입함으로써 실험대상 시스템의 성능계수를 분석할 수 있었다.

(5)식과 (6)식에서,

$A = 0.108\text{m}^2$, $\rho_{air} = 1.21\text{kg/m}^3$, $Cp_{air} = 1\text{kJ/kg.K}$ 이었고, v_{air} , ΔT 그리고 \dot{Q}_{comp} 는 실험에서 측정된 값을 대입하였다.

위와같이 실험적으로 분석한 성능계수 (COP)를 외기온 변화에 대응하여 그림 6의 좌측에 적색그림으로 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 Conversion Unit (변환기) 내에 내장된 HESC를 포함하는 회로의 경우에는 외기온이 10℃에서 -10℃까지 20℃ 감소

함에 따라 COP가 5.3에서 3.3까지 감소하였다. 외기온 -10℃에 COP가 3.3이고, 출구온도가 27℃ (그림 5 참고)인 결과는 -10℃인 겨울철 기후조건에서는 보조 열원 없이 난방이 가능함을 입증해주는 것이다. 그림 6의 좌측 청색표로 나타낸 그림은 변환기(Conversion Unit)내 HESC를 회로에 포함시키지 않고 By-pass한 경우 외기온 변화에 대응한 난방 COP 변화이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 외기온이 10℃에서 -10℃까지 20℃ 감소함에 따라 COP는 4에서 3까지 감소하고 있다. 이 결과는 HESC를 포함하는 회로의 경우보다 평균 COP 1.0 이 낮았으며, 이와같은 현상은 변환기(Conversion Unit)내 HESC를 포함한 회로가 난방 COP를 1.0 증가 시켜주는 바람직한 결과였다.

5.3.2 외기온이 에어컨의 냉방 COP에 미치는 영향

본 연구에서 새로 구성된 Heat pump system의 냉방회로는 Conversion Unit 내에 HESC 열교환기를 통과하지 않는 By-pass회로만으로 구성하였다.

그림 6의 우측 청색으로 표시한 그림에서 보는 바와 같이 에어컨 회로의 냉방 COP는 외기온이 20℃에서 35℃까지 15℃ 증가함에 따라 3.1에서 2.1까지 곡선적 감소를 보였다. 난방 COP는 외기온 증가에 따라 증가하는 반면 냉방 COP는 외기온 증가에 따라 감소하는 현상을 나타내었다. 지금까지 많은 연구 결과와 잘 부합하는 것으로 판단된다.

6. 결 론

에어컨에 냉방기능 뿐만 아니라, 난방기능을 갖게 하기 위하여 에어컨을 열펌프 (Heat pump)로 전환하는 변환기 (Conversion Unit)를 고안 구성하여 기존 에어컨의 실내기와 실외기 사이에 설치하였으며 이 시스템의 냉난

방 성능을 실험 분석하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었으며, 이를 재해 임시주거에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

- (1) 실내기가 난방용 응축기 역할을 하는 경우 실내기 공기유량이 0.324m³/s 에서 0.756m³/s 로 증가함에 따라 입·출구 가열공기 온도차는 30℃에서 18℃로 직선적 감소를 보였다.
- (2) 실내기가 응축기 역할을 하는 난방의 경우 외기온이 10℃에서 -10℃까지 20℃ 강하함에 따라 출구가열온도는 39℃에서 27℃로 지수곡선으로 감소하였다. 이 결과는 -10℃의 추운 겨울철에도 난방 가능성을 시사하는 것이었다.
- (3) 실내기가 증발기 역할을 하는 냉방의 경우 외기온이 20℃에서 35℃까지 증가함에 따라 출구 냉기온도는 15℃에서 20℃까지 5℃범위내에서 증가하였다. 이 결과는 실내적정 냉방온도를 유지하고 있음을 보여 주었다.
- (4) 난방성능계수 (COP)를 Conversion Unit (변환기)회로 내에 설치한 열교환기 (HESC)와 By-pass 경우로 나누어 실험하였으며, 외기온 -10℃에서 10℃까지의 변화에서 HESC의 경우 COP는 3.3~5.3이었고, By-pass의 경우에는 같은 외기온에서 3.0~4.0이었다.
- (5) 실내기가 증발기 역할을 하는 냉방의 경우, 외기온이 15℃에서 35℃로 증가하는 경우 난방의 COP와는 반대로 냉방 COP는 3.1에서 2.1로 감소하였다.

참 고 문 헌

1. 한윤호, 이종우, 열환경의 쾌적범위에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 4권 4호, 통권 18호, 1986, pp157-166
2. 유환규, 정동수, 가정용 냉방기의 대체냉매 성능분석을 위한 전산 해석 연구, 한국태양에너지학회지, 15권 3호, 1995

3. Fuad Kent, E., Performance Evolution of a Compact Air-to-air Heat pump., Energy Convers, 38(4), 1997
4. Marchal, D.A., Simulation model of refrigerating and Air-conditioning Equipment based on experimental data, ASHRAE 3532
5. Olympia Z., Anestassions S., Effect of climatic condition on the design optimization of heat pump systems for space heating and cooling, Energy Convers, 39(7), 1998
6. Blundell C.J., Optimizing Heat Exchangers for Air-to-Air space Heating Heat pumps in the U.K., Int.J, Energy Res 1, 1997