

## 인젝션형 가변속 스크롤 압축기를 적용한 히트펌프의 난방성능 특성에 관한 연구

고 석 빈, 허 재 혁, 조 일 용, 김 용 찬<sup>†\*</sup>

고려대학교 기계공학과 대학원, \*고려대학교 기계공학부

### Heating Performance Characteristics of a Heat Pump with a Variable Speed Injection Scroll Compressor

Suk Bin Ko, Jaehyeok Heo, Il Yong Cho, Yongchan Kim<sup>†\*</sup>

Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Korea University, Seoul 136-713, Korea

\*Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

(Received November 24, 2011; revision received January 27, 2012)

**ABSTRACT:** Vapor injection technique has been applied to prevent performance degradation of a heat pump at low ambient temperatures. In this study, the heating performance of a heat pump with a variable speed injection scroll compressor using R-410A was investigated by applying sub-cooler vapor injection(SCVI) and flash tank vapor injection(FTVI). The heating performance of the heat pump was measured by varying compressor frequency and outdoor temperature. The heating capacity of the FTVI system was 8~10% higher than that of the SCVI system at all operating conditions. On the other hand, the heating performance improvement with the increase in the compressor frequency was more prominent in the SCVI system than in the FTVI system.

**Key words:** Heat pump(히트펌프), Heating performance(난방성능), Injection(인젝션), Variable speed scroll compressor(가변 용량 스크롤압축기)

#### 기 호 설 명

Comp. : 압축기  
Cond. : 응축기  
COP : 성능계수  
EEV : 전자식팽창밸브  
Eva. : 증발기  
freq. : 주파수 [Hz]  
FTVI : 기액분리기 인젝션  
Q<sub>heating</sub> : 난방용량 [kW]

SCVI : 내부열교환기 인젝션  
SC<sub>cond</sub> : 응축기 출구 과냉도 [°C]  
SH<sub>eva</sub> : 증발기 출구 과열도 [°C]

#### 1. 서 론

히트펌프 시스템은 보일러 등 난방장치에 비하여 효율이 높은 에너지 장치이며, 최근 에너지절약 및 쾌적성에 대한 요구가 증가하면서 사계절 사용 가능한 히트펌프 시스템에 관한 관심과 수요가 증가하고 있다. 또한 2000년 이후의 급격한 시스템 에어컨 시장의 증가로 인하여 히트펌프를 주 난방기로 사용하는 사례가 점차 증가하는 추세이다. 반면 히트펌프는 겨울철 저온에서 압축과정의 비가역성이

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-3290-3366; fax: +82-2-921-5439

E-mail address: yongckim@korea.ac.kr

크게 증가하고, 시스템 내부의 냉매 질량유량이 감소하기 때문에 난방용량 및 효율이 크게 감소하는 문제점을 안고 있다. Sami and Tulej<sup>(1)</sup>의 연구에 의하면 외기온도 5°C 부터 난방효율이 저하되기 시작하며 -15°C에서 약 40% 정도의 용량저하가 보고되었다.

저온난방 시 난방용량 확보를 위한 방법으로 용량 가변형 압축기의 적용은 가장 널리 사용되는 방법 중 하나이다. 주로 인버터를 통한 회전수 제어형 또는 디지털 스크롤(digital scroll)과 같은 용량가변형 압축기가 사용되며, 탠덤(tandem)형태로 두 대 이상의 압축기들을 병렬로 연결하는 방식으로 필요 용량을 확보하고 있다. 그러나 인버터에 의해 압축기를 고속으로 작동시킬 경우, 압축기 토출가스의 온도는 더욱 상승하여, 시스템의 신뢰성 확보에 어려움을 겪을 수 있다. 따라서 냉매인젝션 기술은 압축기 토출 온도의 감소 및 냉매순환량의 증가를 통하여 히트펌프의 성능 및 신뢰성을 확보하기 위한 방안으로 강구되고 있다. 인젝션 히트펌프는 내부 열교환기를 사용한 SCVI(sub-cooler vapor injection) 방식과 기액분리기(flash tank)를 사용한 FTVI(flash tank vapor injection) 방식으로 크게 분류할 수 있다.

기존의 연구에서도 가스 인젝션 사이클은 히트펌프의 난방운전 시 난방능력 향상에 크게 기여하는 것으로 알려져 있다. Heo et al.<sup>(2)</sup>은 로터리 압축기를 사용한 FTVI 히트펌프의 난방성능 특성에 대해서 연구하였다. 인젝션 히트펌프의 경우 기존 히트펌프 보다 COP는 10%, 난방용량은 25% 높게 나타났다. Wang et al.<sup>(3)</sup>은 스크롤 압축기를 사용한 인젝션 히트펌프에 대한 성능 실험을 실시하였다. 인젝션 히트펌프는 외기온도 46.1°C에서 기존 시스템에 비하여 난방용량은 14%, COP는 4% 높게 나타났고, 외기온도 -17.8°C일 때 난방용량은 30%, COP는 20% 향상되었다. Xu et al.<sup>(4)</sup>은 최근 인젝션 히트펌프 연구동향에 대한 종합적인 리뷰 논문을 발표하였다. Fernandez et al.<sup>(5)</sup>은 CO<sub>2</sub> 히트펌프에 SCVI 방식을 적용한 경우 외기조건이 10°C일 때 COP가 7.5~7.9% 향상됨을 보고하였다. Kobayashi et al.<sup>(6)</sup>은 CO<sub>2</sub> 히트펌프에 SCVI 방식과 유사한 분리형 사이클(split cycle)을 적용한 경우 외기온도 -10°C에서 기존 히트펌프에 비해 난방용량과 COP는 각각 30%, 15% 향상됨을 보고하였다. Heo et al.<sup>(7)</sup>은 트윈로터리 압축기를 사용한 FTVI 히트펌프의 최적 충전량에 대한 연구를 수행하였으며, 표준 난

방조건에서 최적 충전량 상태에서 난방용량과 COP는 기존 히트펌프에 비하여 2~10% 향상됨을 보였다. Nguyen et al.<sup>(8)</sup>은 R-407C를 적용한 SCVI와 FTVI 히트펌프에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 인젝션 히트펌프는 외기온도 -7°C에서 난방용량은 24%, COP는 10% 향상됨을 보고하였다. Ma and Zhao<sup>(9)</sup>는 R-22를 적용한 FTVI와 SCVI 히트펌프를 비교하였다. FTVI 히트펌프가 SCVI보다 난방용량은 10.5%, COP는 4.3% 높게 나타났다. Heo et al.<sup>(10)</sup>은 트윈로터리 압축기를 적용한 DESC(double expansion sub-cooler) 및 FTSC(combined flash tank and sub-cooler)을 제안하였다. FTVI, DESC 및 FTSC 히트펌프는 SCVI 히트펌프에 비해 14.4%, 6.0%, 3.0%의 난방용량 향상을 보이고, COP는 유사한 경향을 나타냈다.

외기온도 -15°C 이하에서 정격조건과 비교하여 40% 이상의 성능저하가 발생하는 것을 고려할 때 용량가변형 압축기 및 인젝션 사이클의 적용은 성능저하를 극복하는 좋은 방법이 될 수 있다. 기존의 연구에서는 주로 정속형 스크롤 압축기를 적용하여 인젝션 성능을 고찰하였으며, 용량가변형 스크롤 압축기 및 인젝션 사이클을 함께 적용한 연구는 상당히 미흡한 실정이다. 본 논문은 R-410A를 적용한 히트펌프의 난방성능 향상을 위하여 SCVI와 FTVI 두 가지 인젝션 시스템의 성능을 기존 시스템과 비교하여 실험을 실시하였으며, 이를 통하여 여러 가지 운전조건에 대한 성능 특성을 고찰하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 사용한 인젝션 히트펌프는 R-410A를 사용한 물 대 물 시스템이다. Fig. 1과 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 SCVI 및 FTVI 방식의 인젝션 히트펌프를 개별적으로 구현할 수 있도록 실험 장치를 구성하였다. FTVI 히트펌프에서는 플래쉬(flash) 탱크에서 냉매가 기체와 액체로 분리되어 기체 냉매는 압축기로 인젝션 된다. 반면에 SCVI 히트펌프에서는 고압축 팽창장치 전후의 온도차를 이용한 열교환에 의해 냉매가 기화되어 인젝션 된다. 두 가지 방식의 인젝션 히트펌프는 크게 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기 그리고 인젝션을 하기위한 내부열교환기 또는 기액분리기(flash-tank)로 구성되며, 각 요소

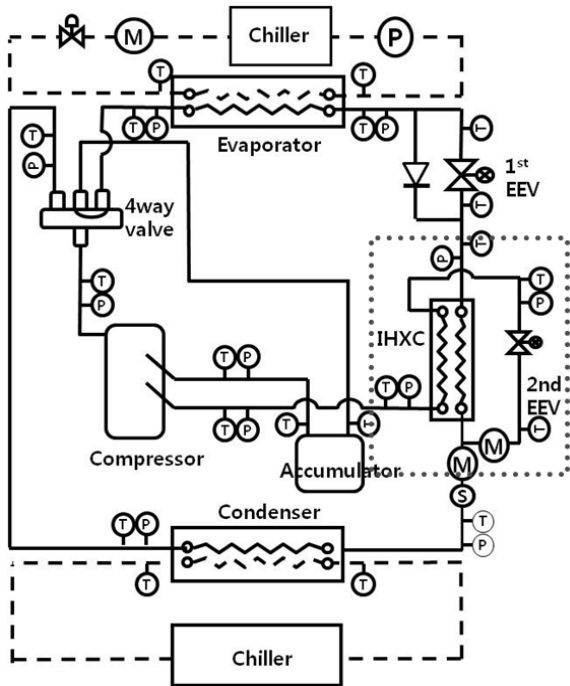


Fig. 1 Schematic diagram of the SCVI heat pump experimental setup.

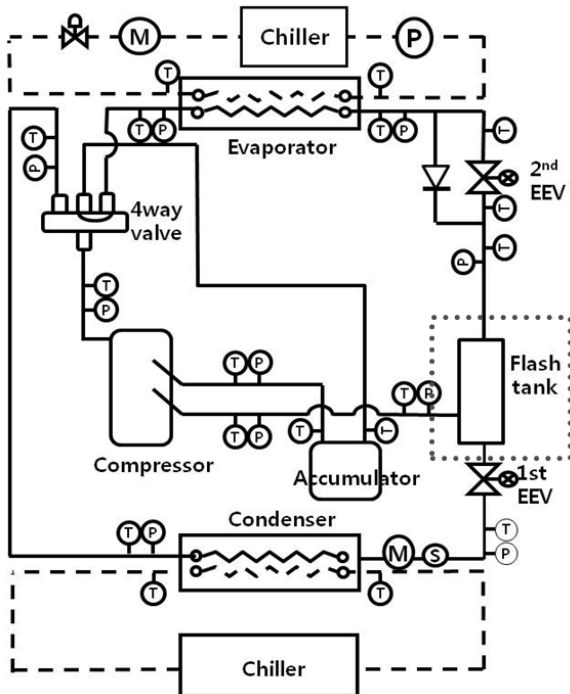


Fig. 2 Schematic diagram of the FTVI heat pump experimental setup.

에 대한 주요 제원을 Table 1에 나타내었다. 본 연구에서 적용한 인젝션 스크롤 압축기는 가변속 BLDC 모터를 사용하고 있다. 인젝션 방식에 따라서 SCVI

Tool	Specification	
Compressor	Type	Inverter-driven scroll compressor
	Capacity(RT)	10
	Frequency(Hz)	30~110
Indoor unit	Type	Plate-type heat exchanger
	No. of plate	40
	Heat transfer area(m <sup>2</sup> )	4.198
Outdoor unit	Type	Plate-type heat exchanger
	No. of plate	50
	Heat transfer area(m <sup>2</sup> )	5.373
Intercooler	Type	Plate-type heat exchanger
	No. of plate	10
Flash tank	Size(L)	10

히트펌프는 내부 열교환기로 판형 열교환기를 사용하였고, FTVI 히트펌프는 약 10 L의 기액분리기 (flash-tank)를 적용하였다.

팽창밸브는 인젝션 방식에 따라서 크기와 위치가 다르게 설치되었다. SCVI 히트펌프에서는 내부열교환기를 지나 증발기로 유입되기 전의 메인 유로에 첫 번째 EEV를 설치하였다. 두 번째 EEV는 응축기 출구에서 바이패스 되어 내부열교환기로 들어가기 전의 인젝션 유로에 설치하여 인젝션 가스의 압력 및 유량을 조절하도록 하였다. FTVI 히트펌프에서는 기액분리기의 입구에 첫 번째 EEV를 설치하여 이상상태의 냉매가 기액분리기로 유입되도록 하였다. 두 번째 EEV는 기액분리기에서 액상상태로 배출되는 유로에 설치하여 증발기 출구의 과열도 제어하는 역할을 담당하도록 하였다.

응축기 및 증발기는 판형 열교환기를 사용하였고, 실내조건과 실외조건을 일정하게 유지하기 위해 칠러를 사용하였다. 냉매와의 열 교환을 위한 2차 유체는 50% 에틸렌글리콜 수용액을 사용하였다. 2차 유체의 온도는 열교환기의 입구 및 출구에 열전대를 삽입하여 측정하였다. Table 2는 실험에 사용한 주요 계측장치의 제원을 나타내고 있다. 실험은 정상상태에서 수행하였고, 온도와 압력 데이터는 데이터 수집 장치를 통하여 2초 단위로 저장하였다.

Table 2 Uncertainties of measured and reduced parameters

Parameters	Uncertainty	Full scale
Temperature	±0.2°C	-270~400°C
Power meter	±0.01%	20 kW
Mass flow meter	±0.2%	0~360 kg/h
Pressure transducer	±0.13%	0~5000 kPa
Electronic balance weight	±0.5 g	41 kg
Heating capacity	3.24%	
COP <sub>heating</sub>	3.57%	

Table 3 Test conditions

Parameters	Value
Injection type	Non-injection
	Injection SCVI FTVI
Refrigerant	R-410A
Eva. inlet temperature of secondary fluid(°C)	7, -7, -15
Cond. inlet temperature of water(°C)	20
Comp. freq.(Hz)	60, 70, 80, 90, 100

본 연구에서는 비인젝션 히트펌프와 각각 인젝션 방식에 대하여 증발기의 2차 유체 입구조건, 압축기 주파수를 변화시키면서 시스템의 성능을 측정하였다. Table 3은 본 연구에서 적용한 시험조건을 나타내고 있다. 시험조건에서 실외측 온도는 7°C ~ -15°C까지 KS C 9306에서 지정한 저온조건에 따라서 설정하였으며, 응축기 입구온도는 실내측 난방조건을 모사하기 위하여 20°C로 고정하였다. 압축기 운전주파수를 60 Hz에서 100 Hz로 가변하고, 증발기 2차 유체의 입구온도를 7°C, -7°C, -15°C로 변화시키면서 히트펌프의 성능을 측정하였다. 본 연구에서는 모든 경우에 대하여 EEV 개도 조절을 통하여 증발기 출구 과열도를 5°C로 고정하였다. 또한, 응축기측 2차 유체의 유량은 70 LPM으로 고정하였다.

2.2 실험결과 처리

본 실험에서 측정된 결과를 이용하여 시스템의 난방용량( $q_{heating}$ )을 다음과 같이 계산하였다.

$$q_{heating} = m C_p \Delta T \tag{1}$$

여기서  $C_p$ 는 2차 유체의 비열을,  $m$ 은 질량유량을 그리고  $\Delta T$ 는 2차 유체의 응축기 입구와 출구의 온도차를 나타낸다.

히트펌프의 COP는 난방용량과 압축기의 총 소비 전력( $W_c$ )의 비로 나타내었다.

$$COP = \frac{q_{heating}}{W_c} \tag{2}$$

인젝션 비는 응축기 출구측 전체적인 냉매유량에 대한 인젝션 유량의 비로 나타내었다.

$$Injection_{ratio} = \frac{Injection\ mass}{Total\ mass\ of\ the\ condenser} \times 100 \tag{3}$$

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 압축기 주파수 변화에 따른 난방용량의 변화를 외기온도 7°C와 -15°C에 따라서 나타내고 있다. 외기온도의 변화가 7°C에서 -15°C로 감소하면서 모든 경우(non-injection, SCVI, FTVI)에 대하여 난방용량이 평균 45% 감소하였다. 압축기 주파수가 60 Hz에서 100 Hz로 증가하는 경우, 모든 경우에 대하여 난방용량은 외기온도가 7°C일 때 147% 증가하였고, -15°C일 때는 139% 증가하였다. 압축기 주파수가 증가할수록 비인젝션 대비 인젝션 시스템에서 난방용량의 증가량은 더욱 커진다. 외기온도가 7°C

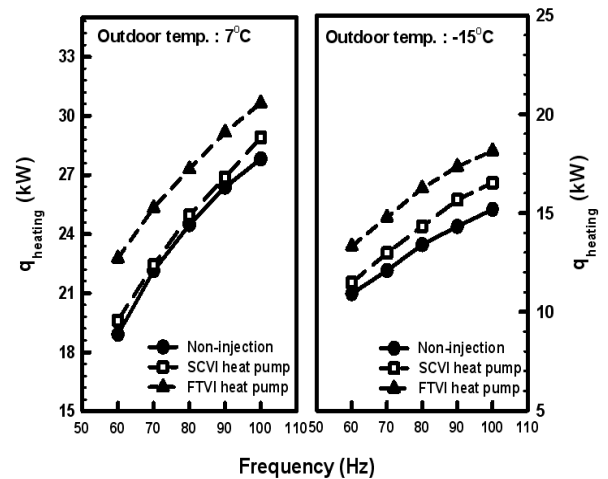


Fig. 3 Variation of heating capacity with compressor frequency.

일 때 비인젝션 대비 SCVI 히트펌프의 난방용량은 4~5%, FTVI 히트펌프의 난방용량은 18~20% 향상되었으며, 외기온도가 -15°C일 때 SCVI 히트펌프의 난방용량은 8~10%, FTVI 히트펌프의 난방용량은 20~22% 향상되었다. 그 이유는 압축기 주파수가 증가하면서 인젝션 유량비가 증가하면서 응축기를 통과하는 총 냉매유량이 증가하기 때문이다. 따라서 외기온도가 낮아지면서 SCVI, FTVI 적용을 통한 냉매 인젝션의 효과는 더욱 증가하게 된다. 그리고 FTVI의 인젝션 비가 SCVI보다 크기 때문에 비인젝션 대비 난방용량 증가는 FTVI가 더 크게 나타났다.

Fig. 4는 외기온도 및 주파수 변화에 따른 전체 냉매유량에 대한 인젝션 냉매유량의 비를 나타내고 있다. 인젝션 히트펌프에서 인젝션 되는 기상의 냉매유량은 난방용량에 큰 영향을 미친다. SCVI 히트펌프에서는 인젝션 냉매유량을 두 번째 EEV의 개도에 의해 조절이 가능하지만, 첫 번째 EEV로 향하는 냉매와 내부 열교환기 내에서 충분히 열교환이 이루어지지 못하면 액냉매가 압축기로 유입되어 액(wet)압축을 유발할 수 있다. 반면 FTVI 히트펌프의 최대 인젝션 냉매유량은 첫 번째 EEV를 지나 기액분리기로 유입되는 냉매의 건도에 의해 결정된다. 전체 냉매유량에 대한 인젝션 최대 냉매유량의 비율은 건도와 유사하게 나타난다. 압축기 주파수가 증가할수록 인젝션 비가 커지기 때문에 비인젝션 시스템과의 난방용량 차이도 커진다. 게다가 외기온도가 낮을 때 인젝션 비가 더 크기 때문에 외기온도가 저온으로 내려갈수록 인젝션의 영향은 커

진다고 볼 수 있다. FTVI 히트펌프는 SCVI 히트펌프 보다 인젝션 비가 평균 3% 크게 나타났지만, 압축기 주파수가 증가하면서 SCVI 히트펌프의 인젝션 비가 크게 증가하기 때문에 둘 사이의 차이는 점차 감소되었다. 따라서 SCVI와 FTVI 히트 펌프의 난방용량에 대한 차이는 전체 냉매유량에 대한 인젝션 냉매유량 비율에 따라 결정된다.

Fig. 5는 압축기 주파수 변화에 따른 COP의 변화를 외기온도 7°C와 -15°C에 따라서 나타내고 있다. 일반적으로 히트펌프의 압축기 주파수가 증가하면서 냉매유량의 증가에 따라 난방용량과 소비전력 모두 증가하지만 난방용량의 증가율보다 소비전력의 증가율이 크기 때문에 COP는 감소하게 된다. 외기온도가 감소할수록 히트펌프의 전체 냉매유량이 감소하여 난방용량과 소비전력은 모두 감소하였지만 난방용량의 감소율이 소비전력 감소율보다 크기 때문에 COP는 낮아진다. 하지만 외기온도가 낮아질수록 인젝션에 의한 난방용량의 증가 효과가 커지면서 비인젝션 대비 SCVI 히트펌프는 4%, FTVI는 6% COP가 향상되었다.

Fig. 6은 압축기 주파수 변화에 따른 소비전력의 변화를 외기온도 7°C와 -15°C에 대하여 나타내고 있다. Cho and Kim<sup>(11)</sup>은 인젝션이 압축기의 소비전력에 미치는 영향을 두 가지로 기술하였다. 첫 번째, 인젝션에 의한 냉매의 증가로 압축과정의 소비전력의 증가와, 두 번째, 저온의 냉매가 인젝션 되면서 중간냉각에 의한 소비전력의 저하가 있다. 따라서 인젝션 시에 이 두 가지 요소가 서로 상반된 영향을 미치므로 각 요소의 크기에 따라 소비전력의 변

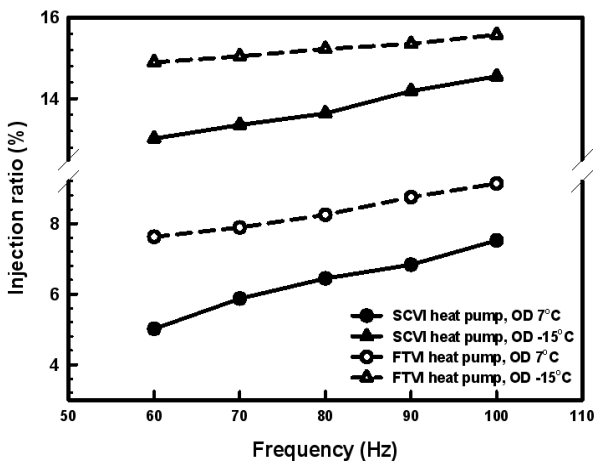


Fig. 4 Variation of injection ratio with compressor frequency.

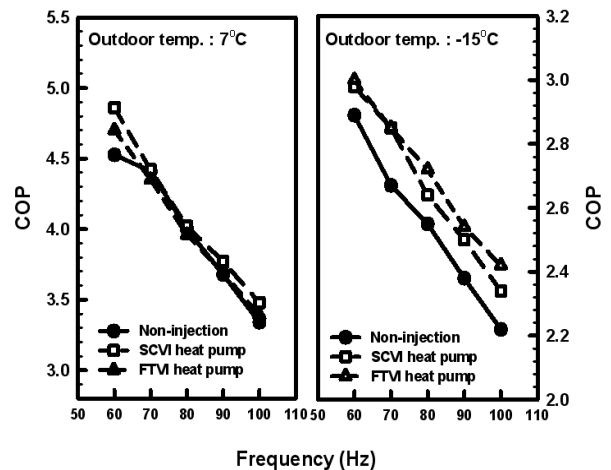


Fig. 5 Variation of COP with compressor frequency.

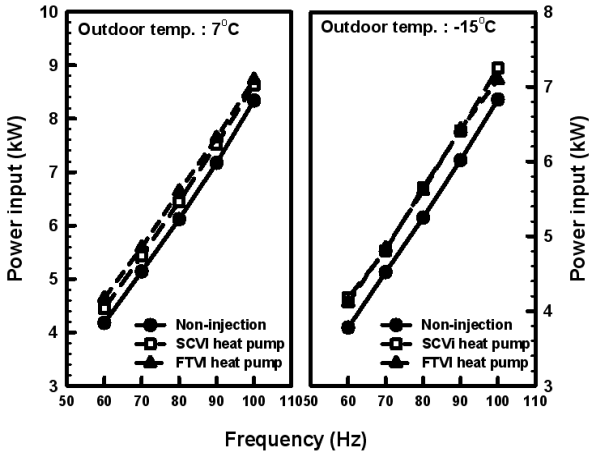


Fig. 6 Variation of power consumption with compressor frequency.

화가 결정된다. 외기온도가 7°C일 때는 첫 번째 요소가 크게 작용하기 때문에 FTVI 히트펌프의 소비 전력이 조금 높지만 외기온도가 -15°C로 저온으로 내려가게 되어 질량유량의 감소로 압축과정 중 냉매의 양이 작아지기 때문에 인젝션 냉매에 의한 중간냉각의 효과 커지게 된다. 이와 같은 효과가 저온에서 80 Hz 이상의 고주파수 영역에서 커지기 때문에 인젝션 비가 더 높은 FTVI 히트펌프의 소비 전력이 SCVI보다 낮아지게 된다. 따라서 외기온도가 -15°C에서 압축기 주파수가 80 Hz 이후부터는 FTVI 히트펌프와 SCVI의 COP 차이가 크게 나타난다.

Fig. 7은 압축기 주파수 변화에 따른 시스템 전체 냉매유량의 변화를 외기온도 7°C와 -15°C에 대하여 나타내고 있다. 압축기 주파수 증가에 따른 냉매유량 변화는 비슷한 경향을 나타낸다. 외기온도의 변

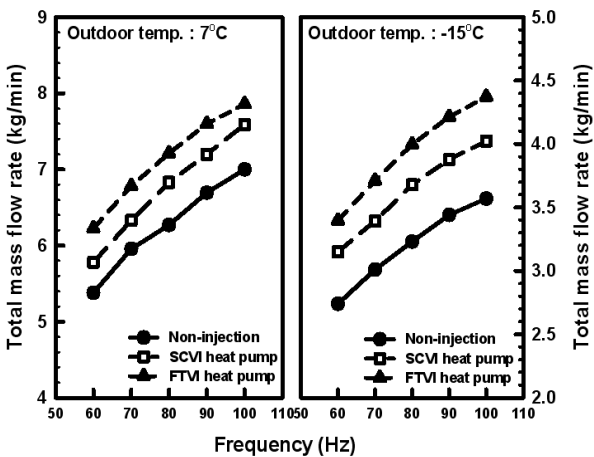


Fig. 7 Variation of total mass flow rate with compressor frequency.

화에 따라서 7°C일 때는 비인젝션 히트펌프에 비해 SCVI 히트펌프는 5~7%, FTVI 히트펌프는 13~15% 냉매유량이 증가하였고, -15°C일 때 SCVI 히트펌프는 약 11~15%, FTVI 히트펌프는 18~23% 증가하였다. 압축기 주파수가 증가할수록 인젝션 히트펌프의 전체유량이 더 크게 증가하여 비인젝션 히트펌프의 유량과의 차이가 커지는 것을 알 수 있다. 이는 주파수 증가에 따른 인젝션 유량의 증가에 기인한다. 외기온도가 낮아수록 인젝션 비는 커지기 때문에 시스템 전체유량도 외기온도 -15°C에서 비인젝션과 비교하여 더 많이 증가하였다.

Fig. 8은 압축기 주파수 변화에 따른 응축압력을 외기온도 7°C와 -15°C에 대하여 나타내고 있다. 주파수 변화에 따라서 응축압력은 외기온도가 높을 때는 FTVI가 SCVI보다 상당히 높게 나타났지만, 외기온도가 낮아질수록 두 경우 서로 압력차이가 작아지는 경향을 보였다. 이는 외기온도 저하 및 주파수 증가에 따라 인젝션에 의한 인터쿨링이 증가하고 그 효과가 FTVI 사이클이 더 크기 때문에 압축기 주파수 증가에 따른 응축압력 증가율이 낮아지는 것으로 판단된다.

Fig. 9는 주파수 변화에 따른 인젝션 압력 변화를 나타내고 있다. 압축기 주파수가 증가하면서 일반적으로 증발압력이 낮아지고 응축압력은 증가하는 경향을 보이면서 압력차가 커진다. 하지만 응축압력의 증가에 비해 증발압력의 압력 감소가 보다 크기 때문에 이에 인젝션 포트의 압력이 내려갈 것으로 예상된다. 이에 영향을 받으면서 인젝션 압력이 낮아지는 것으로 판단된다.

Fig. 10은 외기온도의 변화에 따라 압축기 주파

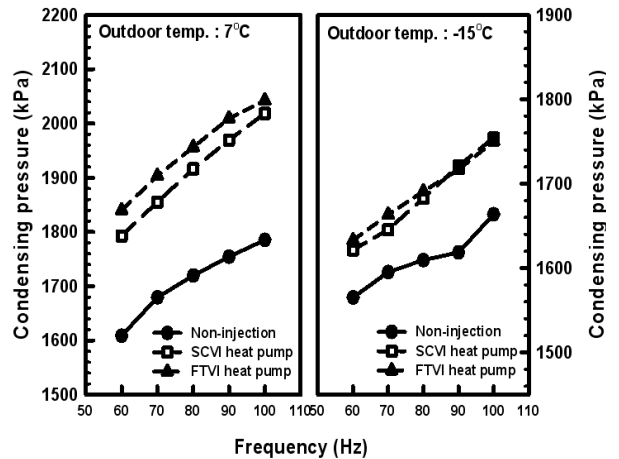


Fig. 8 Variation of condensing pressures with compressor frequency.

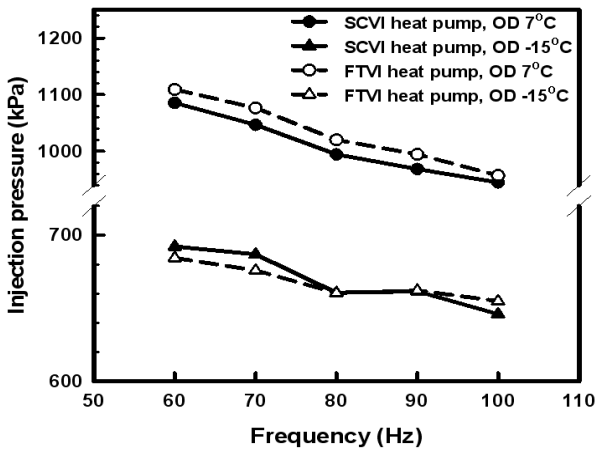


Fig. 9 Variation of injection pressure with compressor frequency.

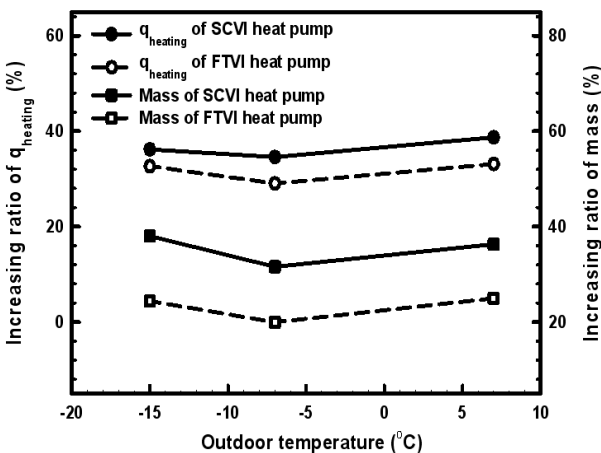


Fig. 10 Increasing ratio of heating capacity and mass flow rate with outdoor temperature.

수를 60 Hz에서 100 Hz로 증가시켰을 때 난방용량과 냉매유량의 증가율을 나타내고 있다. 난방용량은 총 냉매유량의 영향을 많이 받기 때문에 증가율 또한 비슷한 경향이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 외기온도가 변하더라도 SCVI 히트펌프는 FTVI에 비해 압축기 주파수 증가에 따른 난방용량과 냉매유량 향상 정도가 크게 나타났다. 이는 SCVI 히트펌프는 FTVI에 비해 압축기 주파수 증가 시 인젝션 비의 증가율이 두드러지게 나타나기 때문이라고 판단된다. 그리고 외기온도가 7°C에서 감소할수록 전체 냉매유량의 감소로 난방용량의 증가율은 감소하다가 -7°C 이하로 낮아지게 되면 인젝션의 효과가 커지므로 다시 난방용량과 냉매유량의 증가율은 증가하는 경향을 보인다.

또한 인젝션 히트펌프의 신뢰성 측면에서 압축기 주파수에 따른 FTVI 히트펌프의 기액분리기의 크기에 대하여 고려할 필요가 있다. Jung et al.<sup>(12)</sup>은 압축기 주파수가 증가하면서 시스템의 냉매유량이 기액분리기의 용량을 초과하게 되면 기액분리기가 정상적으로 작동하지 않을 수 있다고 기술하였다. 따라서 가변용량 압축기를 사용할 때 최대 주파수를 기준으로 기액분리기의 크기를 결정하여야 한다. 하지만 SCVI 히트펌프는 주파수에 따라 EEV 개도의 조절만으로 최적의 상태를 유지할 수 있다.

FTVI 히트펌프와 SCVI 히트펌프를 비교 한다면 저온에서는 충분한 난방용량의 확보가 우선이기 때문에 난방용량 획득 차원에서는 FTVI 히트펌프가 SCVI 히트펌프에 비해 우수하다고 말할 수 있다. 하지만 저온에서의 주파수 증가에 따른 난방용량의 증가율은 SCVI 히트펌프가 크다. 그리고 압축기 주파수 변화에 따른 제어 및 신뢰성 측면에서는 FTVI 히트펌프보다 SCVI가 EEV의 개도 조절만으로 자유롭게 시스템의 최적화가 가능하기 때문에 용량가변 압축기와의 조합에 대한 효과는 SCVI 히트펌프가 안정적이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 용량가변 스크롤 압축기를 적용한 SCVI와 FTVI 히트펌프의 성능 변화 및 특성에 대해서 연구하였다. 비인젝션 히트펌프 대비 두 종류의 인젝션 히트펌프의 난방용량, 성능계수, 소요전력, 압력 그리고 냉매유량의 비교를 통하여 두 히트펌프의 성능특성을 고찰하였다.

(1) 외기온도가 7°C일 때 비인젝션 대비 SCVI 히트펌프의 난방용량은 4~5%, FTVI 히트펌프는 18~20%의 향상하였고, 외기온도가 -15°C일 때는 SCVI 히트펌프는 8~10%, FTVI는 20~22% 향상하였고, 난방용량 측면에서는 FTVI 히트펌프가 SCVI 보다 우수하였다. 그리고 외기온도가 내려갈수록 인젝션 효과는 커지고, 압축기 주파수가 증가할수록 비인젝션 대비 난방용량의 증가량은 커진다.

(2) 외기온도가 낮아질수록 인젝션에 의한 효과가 커지고 난방용량이 증가하면서 외기온도 -15°C에서 비인젝션 대비 SCVI 히트펌프는 4%, FTVI는 6% COP가 향상하였다. 외기온도가 낮을 때 압축기 주파수가 80 Hz 이상일 때 인젝션 되는 냉매가 소요전력에 미치는 영향에 의해서 FTVI 히트펌프의 COP가 SCVI보다 좋아진다.

(3) FTVI 히트펌프는 SCVI 히트펌프 보다 인젝션 비가 3~4% 크게 나타났지만 압축기 주파수가 변화하면서 SCVI 히트펌프의 인젝션 비의 상승률이 더 높다. 따라서 SCVI 히트펌프는 FTVI 히트펌프에 비해 압축기 주파수 변화에 따른 난방용량 증가율이 크게 나타났다.

## 후 기

본 연구는 한국산업기술평가관리원 산업원천기술개발사업(과제번호 10035530) 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Sami, S. M. and Tulej, P. J., 1995, A new design for an air-source heat pump using a ternary mixture for cold climates, *Heat Recovery and CHP*, Vol. 15, No. 6, pp. 521-529.
2. Heo, J., Jeong, M. W., and Kim, Y., 2010, Effects of flash tank vapor injection on the heating performance of an inverter-driven heat pump for cold regions, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 33, pp. 848-855.
3. Wang, X., Hwang, Y., and Radermacher, R., 2009, Two-stage heat pump with vapor-injected scroll compressor using R410A as a refrigerant, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 32, pp. 1442-1451.
4. Xu, X., Hwang, Y., and Radermacher, R., 2011, Refrigerant injection for heat pumping/air conditioning systems : Literature review and challenges discussions, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 34, pp. 402-415.
5. Fernandez, N., Hwang, Y., and Radermacher, R., 2010, Comparison of CO<sub>2</sub> heat pump water heater performance with baseline cycle and two high COP cycles, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 33, pp. 635-644.
6. Kobayashi, M., Kuwabara, O., Hoshino, S., Koyama, K., Ishikawa, M., and Yamada, M., 2008, CO<sub>2</sub> heat pump heating and water heater system for cold area, 9th International IEA Heat Pump Conference.
7. Heo, J., Jeong, M. W., Jeon, J., and Kim, Y., 2008, Effects of gas injection on the heating performance of a two-stage heat pump using a twin rotary compressor with refrigerant charge amount, *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, Vol. 16, No. 3, pp. 77-82.
8. Nguyen, M., Hewitt, N., and Huang, M., 2007, Performance evaluation of an air source heat pump using economized vapor injection compressor and flash tank coupled with capillary tubes, *Proceedings of International Congress of Refrigeration*, Beijing, China, ICR07-E2-1110.
9. Ma, G. and Zhao, H., 2008, Experimental study of a heat pump system with flash-tank coupled with scroll compressor, *Energy and Buildings*, Vol. 40, pp. 697-701.
10. Heo, J., Jeong, M. W., Baek, C., and Kim, Y., 2011, Comparison of the heating performance of air-source heat pumps using various types of refrigerant injection, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 34, pp. 444-453.
11. Cho, H. and Kim, Y., 2000, Experimental study on the performance characteristics of an injection type scroll compressor, *Proceedings of KSME Spring Annual Conference*, pp. 193-198.
12. Jung, M. W., Heo, J., Jung, H. W., and Kim Y., 2009, The cooling performance enhancement of a variable speed heat pump using gas injection technique, *Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration*, Vol. 21, No. 8, pp. 425-432.