

## 트윈로터리 압축기 적용 냉방 및 급탕 겸용 이산화탄소 시스템의 성능특성에 관한 연구

조 홍 현\*, 이 호 성, 백 창 현, 김 용 찬\*\*, 조 성 욱\*\*  
고려대학교 기계공학과 대학원, \*고려대학교 기계공학과, \*\*삼성전자(주)

### Performance Characteristics of a CO<sub>2</sub> Cooling and Water Heating System with a Twin-rotary Compressor

Honghyun Cho\*, Hosung Lee, Changhyun Baek, Yongchan Kim\*\*, Sungwook Cho\*\*  
*Graduate School of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea*  
*\*Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea*  
*\*\*Samsung Electronics Co. ltd. Maetan-3Dong, Yeongtong-Gu, Suwon, Gyeonggi-Do 443-742, Korea*

(Received January 15, 2008; revision received February 26, 2008)

**ABSTRACT:** The objective of this paper is to investigate the performance characteristics of a CO<sub>2</sub> cooling and water heating system using a twin-rotary compressor with the compression volume ratio of 0.6. The cooling performances of the CO<sub>2</sub> heat pump were measured and analyzed with the variations of charge amount, EEV opening, and compressor frequency. In addition, the performance of the combined system including cooling and water heating was also measured and analyzed by varying inlet temperature of the EEV. As a result, the optimal normalized charge and cooling COP in the cooling mode were 0.307 and 2.06, respectively. The application of the water heating into the CO<sub>2</sub> heat pump improved the cooling performance over 78% and decreased the EEV inlet temperature by 8 °C, which can increase system reliability.

**Key words:** Transcritical CO<sub>2</sub> cycle(초월임계 이산화탄소 사이클), Water heating system(급탕 시스템), Twin-rotary compressor(트윈로터리 압축기), Compression volume ratio (압축체적비)

#### 1. 서 론

삶의 질 향상으로 인하여 여러 냉공조기기의 보급이 확대되고 국제적 환경문제에 대한 관심이 증가됨에 따라 기존의 냉매를 이용한 냉동공조 시스템에 대한 문제가 지속적으로 제기되고 있다. 특

히, 국제적인 환경문제가 전 세계적으로 큰 화제로 떠오르고 있는데 국내와 같이 수출이 주 시장을 이루고 있는 현실에서는 더욱 더 많은 관심과 노력이 필요하며 이를 통하여 국제시장에서 국내 제품의 시장점유율을 확대시켜야 한다. 이러한 시점에서 환경 친화적인 자연냉매에 대한 관심은 필수적이고 이를 적용한 시스템의 성능향상을 위한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 이중 이산화탄소는 오존층파괴와 지구온난화에 미치는 영향이 매우 적고, 열역학적 물성이 우수하

† Corresponding author

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

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

여 냉동공조기기 적용에 유리하다. 이산화탄소 사이클에 대한 기존의 연구는 시스템의 성능특성을 고찰하기 위한 기초적인 연구에서부터 성능향상을 위한 여러 가지 방법의 적용과 그 향상정도를 확인하는데 주력해왔다. 특히, 이산화탄소 사이클에서 급탕시스템의 적용은 이산화탄소 사이클의 특성을 이용하여 고온수를 얻을 수 있는 등 많은 이점이 있으며 이에 많은 제품들이 제작 및 판매되고 있다. 현재 이산화탄소를 적용한 시스템은 일반적인 가정용 냉난방기기에서부터 자동차용 공조 시스템, 자판기와 쇼케이스, 그리고 세탁기에 이르기까지 많은 분야에 확대 적용되고 있는 중이다.

이산화탄소를 적용한 냉방시스템의 경우 외기 조건에 크게 영향을 받으며, 외기조건이 사이클 운전 전에 불리할 경우 사이클의 성능저하가 크고 기존 냉매를 적용한 아임계 사이클보다 낮은 성능을 보인다.<sup>(1-3)</sup> 특히, 가스쿨러 출구의 온도와 가스쿨러 압력에 따라 성능 변화가 크게 나타나며 각각의 운전조건에 따라 최적의 사이클이 개별적으로 존재함으로 이러한 문제를 극복하고 성능을 최적화시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 이를 위하여 여러 가지 형태의 고성능 압축기가 이산화탄소 사이클에 적용되고 있는데 그 중 트윈로터리 압축기는 기존 압축기에 비해 맥동이 적고 조용하며 안정적인 특성을 가지고 있으며, 2단압축으로 여러 가지 사이클 구성이 가능하다. 뿐만 아니라 2개의 압축기를 사용하여 2단압축 사이클을 구성하는 것보다 소형화하여 제작할 수 있으며 성능향상을 위한 실용화 측면에서도 유리하다. 그러나 트윈로터리 압축기를 적용한 이산화탄소 시스템은 각각의 운전조건에 맞는 압축체적비의 최적화가 요구되며 이에 대한 구체적인 연구가 필요하다.

이산화탄소 사이클에 대한 기존의 연구는 기본적인 사이클 특성 파악에서 성능향상을 위한 여러 가지 방법의 적용으로 진행되어 왔다. Neksa et al.<sup>(1)</sup>, Hrnjak et al.<sup>(2)</sup>, 그리고 Hwang et al.<sup>(3)</sup>은 이산화탄소 사이클의 최적화를 위하여 여러 운전 변수 제어를 통한 사이클의 최적화와 특성파악에 관한 연구를 수행하였다. Huff et al.<sup>(4)</sup>와 Agrawal et al.<sup>(5)</sup>은 이산화탄소 2단압축 시스템의 성능특성을 시뮬레이션을 통하여 연구하였으며 최적의 중간압력에 대한 고찰과 성능향상 정도를 비교하였다. 또한 Hermann et al.<sup>(6)</sup>와 Hanfner et al.<sup>(7)</sup>은 이산화탄소를 이용한 급탕시스템에서 내부열교환

기를 적용하여 사이클 성능의 변화를 다른 냉매와 비교하여 보고하였으며 Richter et al.<sup>(8)</sup>은 R410A와 이산화탄소 사이클의 난방성능 비교를 통하여 이산화탄소 사이클이 난방용량에서 많은 이득이 있음을 보였다. 그리고 Baek et al.<sup>(9,10)</sup>은 piston-cylinder 형태의 팽창기를 적용한 사이클에 대하여 이론적 해석과 실험적 연구를 동시에 수행하였다. 국내에서는 Kim et al.<sup>(11)</sup>이 이산화탄소를 이용한 온수용 열펌프의 성능 특성에 관한 연구와 R744-R134a, R744-R290의 오토캐스케이드(auto-cascade) 사이클의 성능을 비교 고찰하였다.

이와 같이 이산화탄소 사이클에서 성능향상을 위한 여러 연구가 국내외에서 활발하게 이루어지고 있지만 이산화탄소를 이용한 열펌프 사이클에서 트윈로터리 압축기를 적용하여 사이클 특성을 고찰한 연구는 거의 전무하며, 특히 급탕시스템의 적용에 따른 성능향상 및 사이클 특성에 대한 연구는 절실히 필요하다. 따라서 본 연구에서는 압축체적비가 0.6인 트윈로터리 압축기를 적용한 이산화탄소 열펌프에서 냉방시스템의 성능을 여러 가지 운전변수에 따라 알아보고 이에 급탕시스템을 적용하여 성능 향상정도 및 특성을 고찰하려 한다.

## 2. 실험장치 및 조건

### 2.1 실험장치

트윈로터리 압축기를 이용한 이산화탄소 시스템의 성능특성을 파악하기 위한 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 이산화탄소 사이클의 성능측정을 위하여 실외측과 실내측으로 구성된 열량계에 시스템을 설치하였다. 본 실험에는 표준 냉방능력 3 RT급의 트윈로터리 압축기를 사용하였는데 트윈로터리 압축기는 두 개의 다른 체적을 가지는 압축실을 하나의 모터에 의해 구동되며, 두 압축실의 체적비에 따라 압축기 성능과 작동압력이 달라진다. 본 연구에서는 1단과 2단의 압축실의 체적비가 0.6인 압축기를 사용하였다. 또한 실내의 열교환기는 핀튜브 형태의 열교환기로 외경 7mm, 내경 5mm로 고압에 견딜 수 있게 설계하였으며 팽창장치는 전자팽창장치(EEV)를 시스템 용량에 맞게 선정하여 사용하였다. 급탕시스템(Water heating system)은 판형 열교환기를 이용한 형태로 난방용량 1 RT급으로 설계

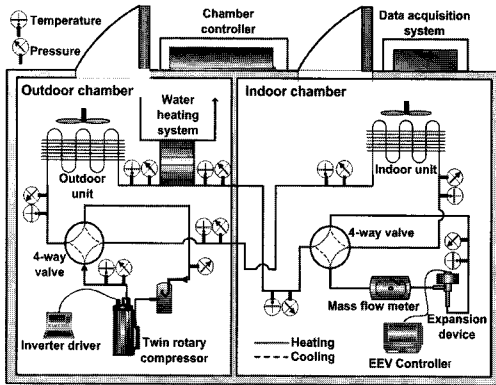


Fig. 1 Schematic of experimental setup.

되었으며, 2차 유체로는 물을 사용하였다. 급탕시스템에서 냉매와 물의 흐름은 열교환 효율을 높이기 위하여 대항류로 설계하였으며 이는 가스쿨러 출구의 고온의 냉매의 온도를 충분히 떨어뜨릴 수 있게 제작되었다. 시스템의 각 부분의 온도와 압력, 질량유량을 측정하기 위해 열전대와 압력계 및 질량유량계를 시스템의 주요 부분에 설치하였다. 본 실험에 시스템 각 부분의 물성치를 측정하기 위한 실험장치의 정확도와 이를 통하여 얻어진 냉동용량 및 성능계수의 불확실도를 Table 1에 나타내었다.

2.2 실험조건

트윈로터리 압축기를 장착한 이산화탄소 시스템의 특성을 고찰하기 위하여 우선 충전량 실험을 실시하여 최적충전량을 찾은 후 EEV 개도와 압축기 주파수에 따른 시스템 성능을 파악하였다. 또한 이산화탄소 시스템은 가스쿨러 출구(EEV 입구)의 냉매온도에 따라 시스템의 성능이 크게 영향을 받으므로, 이에 따른 성능변화를 고찰하기 위하여 급탕시스템을 이용하여 EEV 입구의 온도

Table 1 Experimental uncertainties

Parameters	Uncertainties
Temperature(T-type)	±0.1 °C
Pressure	±0.2% of full scale
Mass flow rate	±0.2% of reading
Power input	±0.01% of full scale
Cooling capacity	±3.71%
COP	±3.73%

Table 2 Test conditions

Parameters	Value
Operating conditions (db/wb)	Indoor = 27/19.5°C Outdoor = 35/24°C
Compressor frequency (Hz)	40, 45, 50
EEV opening (%)	35, 40, 45
EEV inlet temperature (°C)	32, 33, 34, 35,

Table 3 Refrigerant charge amount vs. normalized charge

Refrigerant charge amount(g)	Normalized charge
4400	0.016
4800	0.064
5200	0.113
5600	0.162
6000	0.210
6400	0.259
6800	0.307
7200	0.356

를 변화시켜가면서 실험을 실시하였다. 본 실험에서 설정된 운전조건, EEV 개도와 압축기 주파수, 그리고 EEV 입구의 온도 등의 사양을 Table 2에 나타내었다. 이산화탄소 시스템의 냉방 실험조건을 설정하기 위하여 우선 단일유닛 시험조건인 ASHRAE Standard 116<sup>(12)</sup>에 근거하여 건구온도와 습구온도를 설정하였으며 설계된 시스템의 열량은 냉매 엔탈피법을 이용하여 계산하였다. 시스템 크기변화에 상관없이 시스템 특성을 고려한 절대적인 이산화탄소 냉매충전량을 제시하기 위하여 시스템의 총체적에서 25 °C 대기압 상태의 이산화탄소가 기상으로 모두 이루어져 있을 때를 0, 액상으로 이루어져 있을 때를 1로 표현하여 냉매충전량을 무차원화하였다. Table 3은 실제 충전된 냉매량과 이를 무차원화한 냉매충전량을 나타내고 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 트윈로터리 압축기를 적용한 이산화탄소 사이클의 냉방성능 특성

트윈로터리 압축기를 적용한 이산화탄소 시스템

의 냉방성능 특성을 알아보기 위하여 압축기 주파수를 40 Hz로 고정하고 냉매충전량과 EEV 개도를 변화시켜 실험을 실시하였다. Fig. 2는 냉매충전량에 따른 중간압력과 토출압력의 변화를 보여주고 있다. 냉매충전량이 증가할수록 증발압력은 상승하고 이에 중간압력과 압축기 토출압력은 동시에 상승하게 된다. 냉매충전량이 최적의 충전량보다 적은 경우 중간압력은 EEV 개도에 따라 약간의 차이를 보이며 이 때 EEV 개도가 클수록 높은 중간압력을 나타낸다. 이는 큰 EEV 개도에서 상대적으로 높은 증발압력을 가지며 1단 압축실의 토출압력 또한 높게 형성되기 때문이다. 하지만 최적충전량보다 많은 냉매가 충전되었을 경우 그 차이는 점점 줄어들고 거의 비슷한 압력을 보임을 확인할 수 있다. 일정 충전량 이상에서 충

전량이 증가할 경우 증발압력의 상승정도는 점점 감소하고 이에 각각의 EEV 개도에 대하여 거의 유사한 증발압력을 형성한다. 반면에 압축기 토출압력의 경우 냉매가 저충전되었을 때 EEV 개도와 상관없이 비슷한 값을 보이며 과충전영역으로 갈수록 그 차이가 크게 나타남을 확인할 수 있다. 이 때 작은 EEV 개도가 더 높은 토출압력을 형성하는데 이는 작은 EEV 개도로 인하여 EEV를 통과하는 냉매의 양이 줄어들고 이에 가스쿨러에서 냉매의 정체가 증가되었기 때문이다.

본 연구에서 압축기 주파수가 40 Hz이고 EEV 개도가 40% 일때 최적의 냉매충전량은 0.307이며 이때 최적의 토출압력과 중간압력은 각각 9.6 MPa와 8.3 MPa를 나타내었다. 이는 각각의 실험조건들이 상이함을 고려하였을 때 기존의 연구<sup>(1, 13)</sup>와 비슷한 최적의 토출압력을 나타냄을 확인할 수 있다. 압축체적비가 0.6인 트윈로터리 시스템에서 1단의 압축비와 2단의 압축비를 비교하였을 때 1단의 압축비는 1.7~1.8의 압축비를 가지며 2단의 압축비는 1.2~1.3으로 상대적으로 작게 나타났다. 이는 대부분의 압축압력이 1단의 압축실에서 형성됨을 의미하며 이에 트윈로터리 압축기의 효율은 저하된다. 따라서 압축기 효율과 시스템 성능을 향상시키기 위해서는 2단의 압축체적비를 증가시켜야 하며 이를 통하여 1단과 2단의 압축일을 고르게 분포시켜 시스템 전체의 일을 줄일 수 있으며 이에 사이클 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

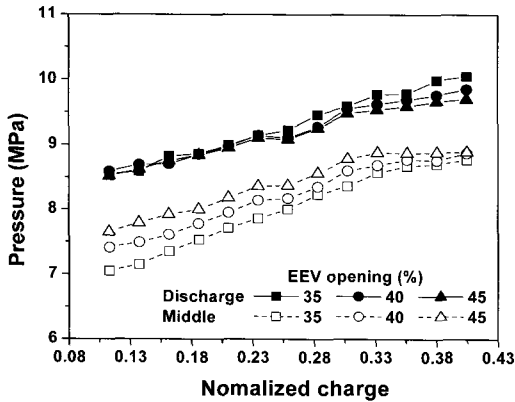


Fig. 2 Variations of discharge and middle pressures with normalized charge.

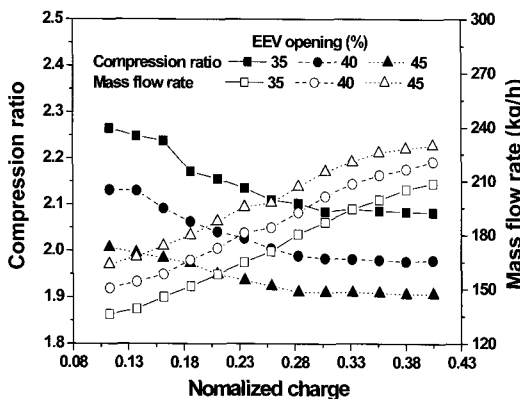


Fig. 3 Variations of compression ratio and mass flow rate with normalized charge.

Fig. 3은 냉매충전량에 따른 사이클 압축비와 냉매의 질량유량의 변화를 보여주고 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 냉매충전량이 증가하면 압축기 입구의 압력이 크게 상승하고 이에 압축비가 감소하게 된다. 이 경우 압축과정의 누설되는 냉매의 양이 줄어들고 저압의 상승으로 인하여 압축기의 체적효율이 증가하게 된다. 따라서 압축기에서 토출되는 냉매의 질량유량은 냉매충전량이 증가할수록 증가하게 된다. 냉매유량의 증가량은 최적충전량보다 작은 경우 선형적으로 증가하며 최적충전량을 초과하면 점점 그 기울기가 줄어드는 경향을 보인다. 이는 냉매충전량이 증가할수록 압축비 감소정도가 점점 줄어들고 EEV에서 통과되는 냉매의 양은 압력이 크게 증가될수록 그 증가폭이 감소하기 때문이다. 시스템에 흐르는 냉매의 질량유량은 냉동능력과 직접적인 관계가 있으며 냉매충전량이 증가할수록 증발기

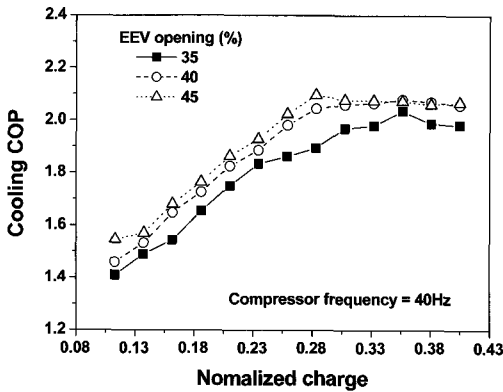


Fig. 4 Variation of cooling COP with normalized charge.

내의 냉매유량이 증가하고 이에 증발기에서 과열 영역이 작아져 냉방용량이 증가하게 되며 증발압력도 함께 상승한다.

Fig. 4는 압축기 주파수를 40 Hz로 일정하게 고정하고 EEV 개도가 35%, 40%, 45%일 때 냉매충전량에 따른 냉방성능계수의 변화를 보여주고 있다. 냉매충전량이 최적충전량보다 증가하면 증발기에서 과열영역은 충전되지만 증발압력은 계속 증가하게 되어 외기와 온도차가 감소하고 이에 열교환기 효율성이 줄어든다. 따라서 냉방용량은 감소하게 된다. 반면 압축기 소비전력은 냉매유량의 증가에 비례하여 계속적 커지며 그 기울기는 점점 증가된다. 결국 최적의 냉매충전량을 기점으로 냉방성능계수는 증가하다가 감소하는 경향을 보이게 된다. 본 연구에서 EEV 개도가 40%일 때 최적의 무차원화된 냉매충전량은 0.307로 나타났으며 이 때 냉방성능계수는 약 2.06을 보였다. 또한 EEV 개도가 35%, 45%일 때 냉방성능계수는 각각 2.01, 2.08을 나타냈다. 본 연구에서 EEV 개도가 증가함에 따라 높은 성능을 보이는 것으로 나타났는데 이는 작은 팽창저항으로 인하여 압축일이 크게 감소한데 그 원인이 있다.

### 3.2 급탕시스템 적용에 따른 시스템 성능특성

기존의 연구에서도 알려져 있듯이 이산화탄소를 적용한 냉방사이클의 성능은 압축기 토출압력의 영향을 크게 받으며 이에 매우 민감하다. 또한 압축기 토출압력이 매우 높기 때문에 시스템 특성을 알아보기 위한 모든 실험을 실시하기엔 많

은 제약이 존재한다. 기존의 연구 결과에 의하면 이산화탄소를 이용한 냉방시스템의 경우 토출압력 9.2 MPa 근처에서 최적의 냉방성능을 나타내는 것으로 보고되었다.<sup>(13)</sup> 따라서 본 연구에서는 급탕시스템의 적용으로 인한 성능향상 정도와 특성을 파악하기 위하여 압축기 토출압력을 9.2 MPa를 기준으로 무차원화된 냉매충전량인 0.235를 급탕시스템의 냉매충전량을 결정하였으며 이 때 압축기 주파수와 EEV 입구의 온도를 변화시켜가면서 실험을 실시하였다.

Fig. 5는 압축기 주파수에 따른 토출압력, 중간압력, 그리고 증발압력의 변화를 급탕시스템 적용 유무에 따라 비교하여 보여주고 있다. 냉방 사이클에 급탕시스템을 적용하면 EEV 입구의 온도를 크게 낮출 수 있으며 이에 시스템 성능은 향상된다. 특히, 가스냉각 과정에서 열교환량의 증가로 시스템의 신뢰성과 성능향상의 가능성을 크게 높일 수 있다. 본 연구의 결과에 의하면 압축기 주파수가 40 Hz일 때 급탕시스템을 적용함에 따라 압축기 토출압력은 9.3 MPa에서 8.4 MPa로, 증발압력은 4.2 MPa에서 4.5 MPa로 각각 변화하는 것으로 나타났다. 중간압력 또한 8.4 MPa에서 7.0 MPa로 크게 낮아졌다. 급탕시스템을 적용할 경우 EEV 입구의 온도가 낮아지면서 가스쿨러의 압력이 줄어들며 이는 2단의 압축실의 토출저항을 감소시킴으로 중간압력을 또한 크게 낮아지게 된다. 반면 증발압력의 경우 냉매유량의 증가로 인하여 약간 상승하게 되고 시스템의 압축비는 감소한다. 결국 시스템을 흐르는 냉매유량이 증가하게 되고

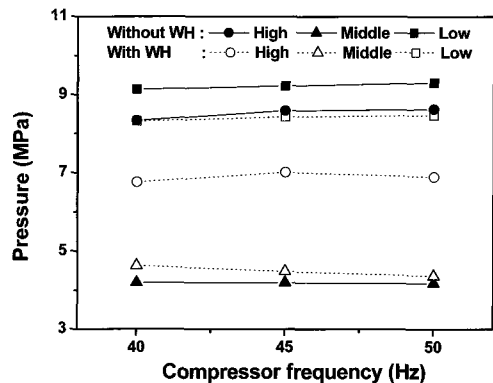


Fig. 5 Variations of pressures with compressor frequency between with and without the water heating system.

압축일은 감소하게 된다. 그리고 냉매유량의 증가는 냉방용량의 상승으로 이어지고 따라서 시스템 성능은 크게 향상된다. 시스템의 압력변화는 압축기 주파수가 35 Hz에서 40 Hz로 증가하였을 때보다 40 Hz에서 45 Hz로 증가할 때 작게 나타나는데 이는 40 Hz에서 시스템의 토출압력이 최적압력에 가까게 형성되어 운전되며 냉매유량의 증가율이 작아지기 때문이다.

Fig. 6은 급탕시스템의 적용에 따른 냉방성능의 향상정도를 각각의 주파수에 대하여 보여주고 있다. 급탕시스템의 적용으로 모든 주파수에 대하여 냉방성능이 크게 향상됨을 확인할 수 있다. 가스쿨러 출구에 급탕시스템의 적용으로 인한 냉방성능의 향상정도는 저주파수에서 크게 나타났고 주파수가 증가할수록 그 증가폭이 감소하게 된다. 이는 압축기 주파수가 낮아질수록 토출압력이 낮

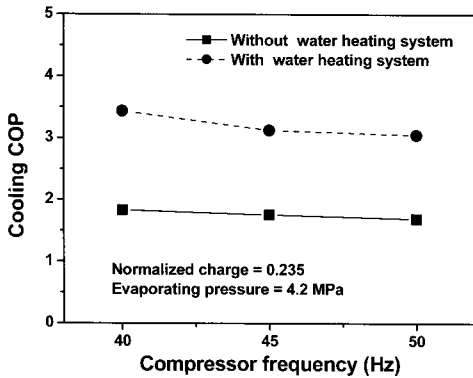


Fig. 6 Variation of cooling COP with compressor frequency between with and without the water heating system.

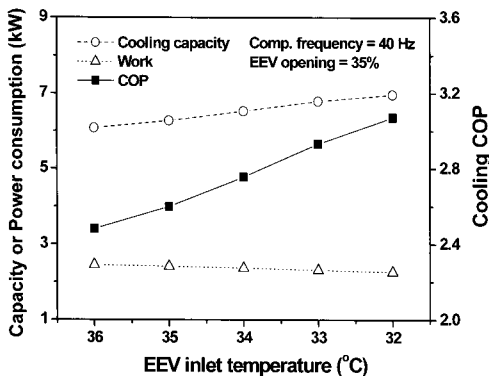


Fig. 7 Variations of work, cooling capacity and COP with EEV inlet temperature.

게 형성되어 EEV 입구의 온도에 시스템 성능이 크게 영향을 받기 때문이다. 본 연구에서 급탕시스템의 적용으로 냉방성능은 압축기 주파수가 40 Hz일 때 약 87% 향상되었으며, 50 Hz일 때 78% 정도 향상되는 것으로 나타났다.

Fig. 7은 EEV 입구의 온도변화에 따른 소요동력, 냉방능력, 그리고 성능계수의 변화를 보여주고 있다. EEV 입구에서 냉매의 온도가 1°C 낮아짐에 따라 평균적으로 냉방용량 3.5% 증가, 압축기 전력소비 1.9% 감소하는 것으로 나타났다. 이에 냉방성능계수 또한 약 5.5%씩 증가한다. EEV 입구의 온도가 낮아지면 압축기 토출압력은 감소하게 되고 증발기로 들어가는 냉매의 건도가 낮아져 증발기내의 과열영역이 줄어들며 이에 과열도가 감소한다. 따라서 시스템의 냉방용량은 증가하게 되고 이에 시스템 성능이 향상된다. 특히 주어진 운전조건에서 형성되는 압축기 토출압력인 9~9.5 MPa에서는 외기온도 변화에 냉방용량이 일정하게 비례하여 증가하는 모습을 보여주고 있다. 그러나 낮은 토출압력에서 EEV 입구의 온도가 더욱 상승하게 된다면 냉방성능은 크게 낮아질 것이다.

Fig. 8은 EEV 입구온도가 42°C, 35°C, 그리고 32°C일 때 각각의 사이클 변화를 압력-엔탈피 선도에 비교하여 보여주고 있다. 급탕시스템의 적용으로 같은 운전조건에서 EEV 입구의 온도를 40°C에서 32°C로 감소시킬 수 있으며 이를 통하여 시스템 신뢰성과 성능은 크게 향상된다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 EEV 입구의 온도가 감소함에 증발기 입구의 건도가 작아지고 증발압력은 약간

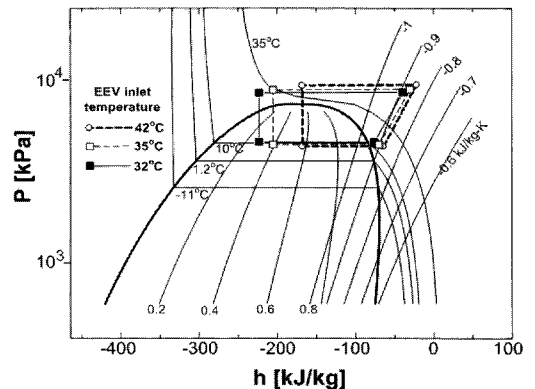


Fig. 8 Cycle variation on pressure-enthalpy diagram with EEV inlet temperature.

상승하는 경향을 확인할 수 있다. 또한 증발기 입출구에서 엔탈피차가 증가하여 냉방용량이 증가됨을 볼 수 있다. 냉방용량의 증가비는 가스쿨러 출구의 온도가 42°C에서 35°C로 변화할 때 크게 증가함을 확인할 수 있는데 이를 통하여 이산화탄소의 열역학적 물성이 사이클 성능에 어떻게 영향을 미치는가를 확인할 수 있다. 이산화탄소 사이클에서 가스쿨러 출구의 온도는 시스템의 성능에 큰 영향을 미치는 중요한 요인중에 하나이며 가스쿨러에서 충분한 열교환이 이루어지지 않거나 가스쿨러가 상대적으로 작은 경우 다른 아임계 사이클에 비하여 매우 낮은 성능을 보이게 된다. 따라서 주어진 토출압력에서 가스쿨러 출구의 온도를 일정온도 이하로 유지해야 원하는 시스템의 냉방용량을 확보할 수 있으며 이에 냉방 성능 또한 높게 유지할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 트윈로터리 압축기를 적용한 이산화탄소 사이클의 냉방 성능특성과 급탕시스템 적용에 따른 성능향상 및 사이클 변화에 대하여 고찰해 보았다. 트윈로터리 압축기를 적용한 사이클의 특성을 알아보기 위하여 냉매충전량, 압축기 주파수, 그리고 EEV 개도를 변화시켰으며, 급탕시스템 적용에 따른 성능향상 및 사이클 변화를 고찰하기 위하여 압축기 주파수 및 EEV 입구의 온도를 변화키면서 실험을 실시하였다. 이를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) 압축체적비가 0.6인 트윈로터리 압축기를 적용한 이산화탄소 사이클에서 최적의 무차원화된 냉매충전량은 0.307이며 이 때 냉방성능계수는 2.06로 나타났다. 또한 1단의 압축비가 2단의 압축비에 비하여 매우 크게 나타났으며 압축체적비의 증가를 통하여 성능향상을 기대할 수 있다.

(2) 이산화탄소 사이클에서 급탕시스템의 적용으로 EEV 입구의 온도는 40°C에서 32°C로 감소하였고 이를 통하여 시스템 성능은 최소 78% 이상 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

(3) 가스쿨러 출구의 냉매 온도가 1°C 낮아짐에 따라 평균적으로 냉방용량은 3.5% 증가, 압축기 소비전력은 1.9% 감소, 그리고 냉방성능은 약 5.5% 증가하였으며 가스쿨러 출구의 온도변화에 시스템 성능이 크게 변화하는 것을 확인하였다.

#### 후 기

본 논문은 산업자원부 차세대 신기술 개발사업의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Neksa, P., Rekstad, H., Zakeri, R., Schiefloe, P., 1998, CO<sub>2</sub>-heat pump water heater : characteristics, system design and experimental results, *Int. Journal of Refrigeration*, Vol. 21, No. 3, pp. 172-179.
2. Hrnjak, P., Richeter, M., Song, S., Kim, M., Bullard, C., 2000, Transcritical CO<sub>2</sub> heat pump for residential application, 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference, pp. 9-16.
3. Hwang, Y., Radermacher, R., 1999, Experimental investigation of the CO<sub>2</sub> refrigeration cycle, *ASHRAE Transactions*, Vol. 105, No. 1, pp. 1219-1227.
4. Huff, H., Hwang, Y., Radermacher, R., 2002, Options for a two-stage transcritical CO<sub>2</sub> cycle, 5th IIR-Gustav Lorentzen on Natural Working Fluids Conference at Guangzhou, pp. 143-149.
5. Agrawal, N., Bhattacharyya, S., Sarkar, J., 2007, Optimization of two-stage transcritical carbon dioxide heat pump cycles, *Int. Journal of Thermal Sciences*, Vol. 46, pp. 180-187.
6. Hermann, H., Rene, R., 2000, CO<sub>2</sub> as refrigerant-possible applications, 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference, pp. 43-50.
7. Hanfner, A., 2000, Experimental study on heat pump operation of prototype CO<sub>2</sub> mobile air conditioning system, 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference, pp. 177-184.
8. Richter, M., Song, S., Yin, J., Kim, M., Bullard, C., Hrnjak, P., 2003, Experimental results of transcritical CO<sub>2</sub> heat pump for residential application, *Energy*, Vol. 28, pp. 1005-1019.
9. Baek, J., Groll, E., Lawless, P., 2005, Piston-cylinder work producing expansion device in

- a carbon dioxide cycle, Part I : experimental investigation, *Int. Journal of Refrigeration*, Vol. 28, No. 2, pp. 141-151.
10. Baek, J., Groll, E., Lawless, P., 2005, Piston-cylinder work producing expansion device in a carbon dioxide cycle, Part II : theoretical investigation, *Int. Journal of Refrigeration*, Vol. 28, No. 2, pp. 152-164.
  11. Kim, S., 2002, Study on performance of heat pump for hot water heater and aut cascade cycle using CO<sub>2</sub>, Ph.D. Thesis, Seoul National University, Seoul, KOREA.
  12. ASHRAE, 1983, Methods of testing for seasonal efficiency of unitary air-conditioner and heat pumps, ASHRAE Standard 116.
  13. Cho, H., Ryu, C., Kim, Y., 2005, Experimental Study on the Cooling Performance of a Variable Speed CO<sub>2</sub> Cycle with Internal Heat Exchanger and Electronic Expansion Valve, *Korea Journal of Air-conditioning and Refrigeration*, Vol. 17 No. 3, pp. 209-215.