

인버터 압축기를 채용한 산업용 수냉각기의 외기온도 변화에 따른 용량제어 특성

백승문¹ · 문춘근² · 김은필¹ · 정석권¹ · 윤정인[†]

(원고접수일 : 2011년 2월 28일, 원고수정일 : 2011년 3월 7일, 심사완료일 : 2011년 3월 9일)

The Characteristic Study of Capacity Control of an Industrial Cooler Using an Inverter Compressor with Varing the Ambient Temperatures

Seung-Moon Baek¹ · Choon-Geun Moon² · Eun-Pil Kim¹ · Seok-Kwon Jeong¹ · Jung-In Yoon[†]

요 약 : 인버터형 가변속 압축기를 사용한 냉각기를 최적으로 제어하기 위한 선행 연구이며, 외기온도를 변화 시켰을 경우 압축기의 회전수 변화와 전자팽창밸브의 개도 변화가 전체 시스템에 미치는 영향에 대해 실험적으로 규명하였다. 외기온도 35℃와 외기온도 30℃의 30Hz에서는 제어 시 피해야할 영역으로 판단됨을 확인할 수 있었으며, 압축기 회전수 제어에 의한 용량 제어범위는 외기온도 35℃에서의 약 43~100%, 외기온도 25℃에서는 46~100%, 외기온도 10℃에서는 48~100%로 외기온도가 낮아질수록 용량제어범위는 작아짐을 알 수 있었다.

주제어 : 산업용 냉각기, 인버터, 전자팽창밸브, 과열도, 용량제어

Abstract: The ambient temperature of the experimental conditions changes by varying the speed of the compressor and the electronic expansion valve opening. The effects of changing valve opening to the entire system has been investigated. The results show that the ambient temperatures of 35℃ and 30℃ controlled at 30Hz must be avoided. The capacity control range of the control compressor with changing speed is about 43~100% at 35℃, 43~100% at 25℃ and 48~100% at 10℃, respectively. The results show the capacity control range decreases with decreasing ambient temperature.

Key words: Industrial cooler, Inverter, Electronic expansion valve, Superheat, Capacity control

1. 서 론

최신 최첨단 산업기계의 초고속화 및 초정밀화로 인해 산업기계의 구동장치계, 열교환장비, 금형, 제품냉각 등에 필수적으로 열변형방지를 위한 정밀한 온도제어가 가능한 냉각기의 필요성이 요구되고 있다. 이와 같은 요구를 반영하여 저가 제품이면서 온도 정밀도를 어느 정도 높은 핫가스 제어 방법 [1-2]을 이용한 산업용 냉각기가 출시되었다.

현재까지 일반적으로 많이 사용되고 있는 공작기계용 냉각기에 적용되어왔던 제어방식은 단순히 전원을 끄고 켜는 방식으로 부하의 변동에 따라 적절하게 용량을 조절하지 못하며 단속운전을 실시함으로써 정밀한 온도제어가 불가능하며 또한 기동시의 소비전력의 증가로 인한 효율감소를 가져왔다. 에어컨인 히트펌프 제품을 중심으로 압축기 회전수 제어에 의한 정밀 온도 및 용량제어에 관한 연구

† 교신저자(부경대학교 냉동공조공학과, E-mail: yoonji@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6180)

1 부경대학교 냉동공조공학과

2 (주) 대일

[3]가 상당히 진전되어 있다.

한편 산업용 냉각기에 인버터형 가변속 압축기를 사용하여 그 성능특성을 파악한 논문[4] 및 과열도 제어에 관한 연구[5]가 최근 발표되고 있다. 인버터를 적용한 냉방장치의 제어 알고리즘에 관한 연구는 압축기의 회전속도 제어에 관한 연구가 주로 이루어졌다.

[6]은 냉동사이클의 과열도 제어와 회전수 제어 모델링을 통한 용량제어 모델을 구축하였으며, [7]은 압축기 출구 과열도 정보를 이용하여 외부조건이나 냉방부하의 변화에 적합한 가변속 증기압축 냉동시스템의 제어에 관한 연구를 수행하였다. 또한 [8]은 소형 및 상업용 에어컨에서 가변속 압축기를 사용했을 때의 에너지 소비 패턴을 해석적으로 분석하였고, [9]은 회전식 압축기의 회전수 변화에 따른 히트펌프의 성능평가를 실험적으로 수행하였다.

본 연구는 인버터형 가변속 압축기를 사용한 냉각기를 최적으로 제어하기 위한 선행 연구이며, 외기온도를 변화 시켰을 경우 압축기의 회전수 변화와 전자팽창밸브의 개도 변화가 전체 시스템에 미치는 영향에 대해 실험적으로 규명하였다. 이를 통하여 산업용 냉각기를 최적의 조건으로 제어하기 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

실험 장치는 주 냉동기 부분과 이를 보완해주는 보조 열원기기로 구성되어 있다. 먼저 냉매가 순환하는 냉각시스템 계통은 압축기, 응축기, 증발기, 팽창밸브 등으로 구성되어 있으며, 이를 보완하는 보조 열원기기는 항온설비로 구성되어 있다.

Figure 1은 실험 장치의 개략도와 실제 실험 장치사진을 나타낸 것이다. 이 실험에 사용된 인버터용 압축기는 3.5kW급 가변속 밀폐형 왕복동식 압축기이다. 또한 응축기 보편적으로 사용되고 있는 핀튜브형 공랭식 응축기를 장착하였으며, 증발기는 나관식 증발기를 장착하였다. 작동범위는 0~480 step이고 전원은 12V 입력이며 한계압력은 3.3MP인 전자팽창밸브를 장착하였다. 압축기 토출과 흡입 측, 즉 고압과 저압을 측정하기 위하여

오차범위 $\pm 0.2\%$ 인 압력센서를 장착하였으며, 고압은 팽창밸브 입구 측의 압력 센서로 측정하였다. 증발기와 응축기, 압축기, 전자팽창밸브 등 주요 입·출구에는 오차범위 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ T형 온도센서를 설치하여 온도를 측정하였으며, 냉매 유량은 질량 유량계를 응축기 출구 측에 설치하여 측정하였으며, 냉수 유량은 디지털 수유량계로 측정하였다.

2.2 실험 방법

산업용 공작기기에 사용되는 수냉각기는 4계절 모두 사용이 요구되고 있다. 이는 외기온도가 변하더라도 공작기기에 일정한 수온의 냉각수가 공급이 되지 않는 경우 산업용 공작기기의 스핀들 등의 파손 및 크랙 등이 발생할 우려가 있기 때문이다. 따라서 외기온도 조절을 위하여 항온항습실내에 실험장치를 설치하였으며, 실제로 공작기계를 직접 부착시켜 가동하는 실험은 현실적으로 어려운 점과 공작기계의 가동조건 변화에 따른 변수가 너무 많아 공작기계의 부하 담당을 위해 부하조절이 가능한 히터를 설치하여 Table 1에 제시한 조건들로 변화시켜 각각 실험하였다.

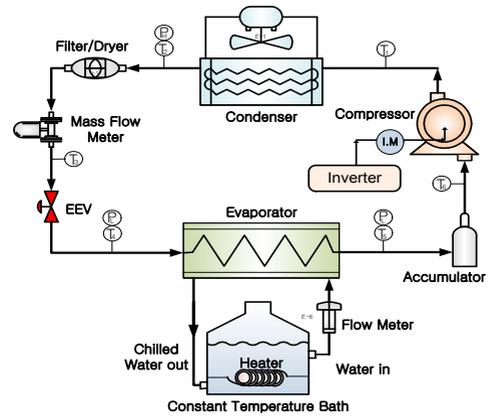


Figure 1: Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1: Experimental conditions

Parameters	Conditions
Chilled water flow rate [l/min]	19
Chamber temperature [°C]	35, 25, 10
Chilled water outlet temperature [°C]	25
EEV step	160~480
Inverter Frequency [Hz]	30, 60, 90

또한 압축기 회전수 별 전자팽창밸브의 개도량은 압축기 입구의 냉매온도가 냉수온도와 같아지게 되는 값으로 찾았다. 나머지 전자팽창밸브 개도량은 두 개도량 사이를 4등분한 전자팽창밸브 개도량 값을 설정하여 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Figure 2는 압축기 회전수 변화와 외기온도변화에 따른 저압부인 증발기 출구의 압력을 전자팽창밸브 개도변화별로 나타낸 그래프이다. 압축기 회전수 30Hz의 외기온도 35℃와 외기온도 30℃에서의 증발기 출구압력은 0.84~0.94MPa의 값을 보였는데 이는 **Table 2**에서 나타난 압축기 제조사에서 제시하는 허용 한계압력 이상의 값이다. 이때에는 압축기 자체의 진동이 심하여 장시간 가동이 어려웠으며, 이로 인하여 장시간 가동 시 압축기 자체의 안정성이 저해할 수 있을 것으로 판단되었다.

따라서 회전수 제어 시 외기온도 35℃와 외기온도 30℃의 30Hz에서의 제어는 피해야 될 영역으로 판단된다. 그리고 동일한 외기온도에서는 압축기 회전수가 낮아질수록 증발기 출구압력이 상승함을 보였으며, 동일한 압축기 회전수에서는 외기온도가 낮을수록 증발기 출구 압력은 낮아짐을 보였다.

Figure 3은 압축기 회전수 변화와 외기온도변화에 따른 고압부인 응축기 출구의 압력을 전자팽

창밸브 개도변화별로 나타낸 그래프이다. 응축기 출구압력의 분포는 1.45~2.16MPa의 값을 보였는데 이는 **Table 2**에서 나타난 압축기 제조사에서 제시하는 허용 한계압력 이내의 값이다. 향후 냉각기 제어 시 고압에 관해서는 우려할 필요가 없으리라 판단된다.

또한 동일한 외기온도에서는 압축기 회전수가 높아질수록 응축기 출구압력이 상승함을 보였으며, 동일한 압축기 회전수에서는 외기온도가 낮을수록 응축기 출구 압력은 낮아짐을 보였다.

Figure 4는 압축기 회전수 변화와 외기온도변화에 따른 압축기 토출온도를 전자팽창밸브 개도변화별로 나타낸 그래프이다. 압축기 토출온도가 제조사에서 제시하는 한계온도 이상으로 지속적으로 사용 시에는 압축기 과열로 인한 오일의 열화 및 심한 마모 발생의 우려가 있다. 따라서 운전조건에 따른 압축기 토출온도의 확인은 내구성 측면에서는 대단히 중요하다. 외기온도 35℃ EEV 224 스텝에서 압축기 최대 토출온도는 107℃로 나타났는데

Table 2: Compressor application limitation

Item	Standard condition	Variable condition
Discharge pressure [MPa]	2.16 Max	2.7 Max
Suction pressure [MPa]	0.39~0.69	0.2~0.79
Discharge temperature [℃]	100	115

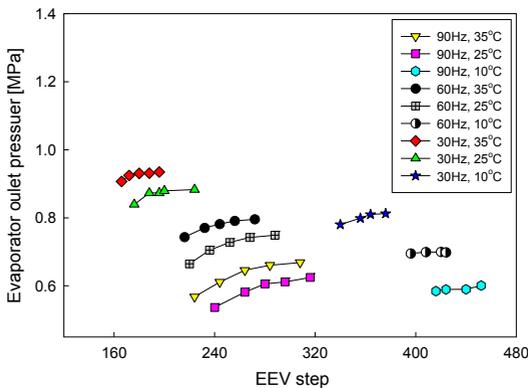


Figure 2: Variation of evaporator out pressure with respect to EEV(Electronic expansion valve) step

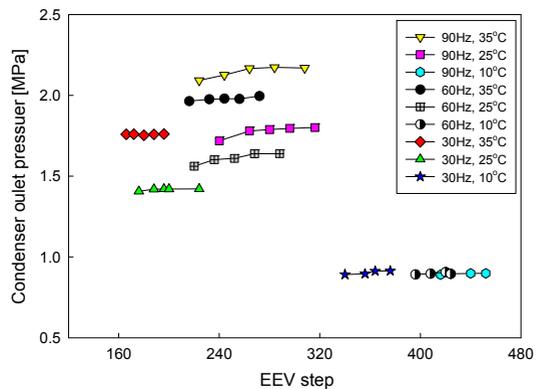


Figure 3: Variation of condenser out pressure with respect to EEV step

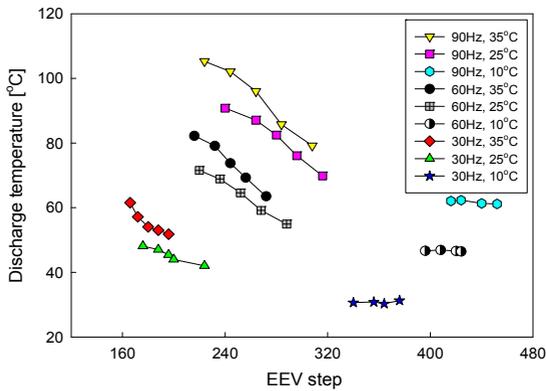


Figure 4: Variation of discharge temperature with respect to EEV step

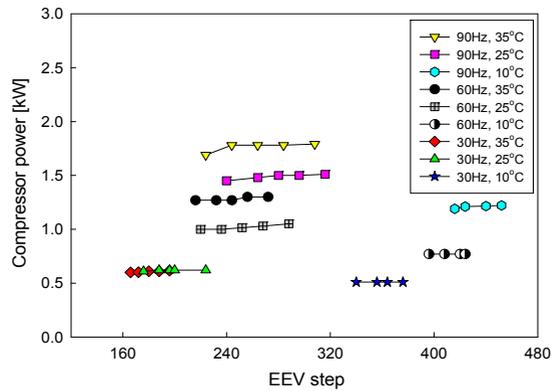


Figure 5: Variation of Compressor power with respect to EEV step

이는 Table 2의 압축기 제조사에서 제시하는 한계온도를 넘는 수치는 아니지만 권장 사용온도를 넘는 수치이다. 장시간 누적 사용 시 문제의 우려가 있을 경우가 커 외기온도 35°C EEV 224 스텝 이하는 제어 시 피해야 할 영역으로 판단된다.

외기온도 35°C와 외기온도 25°C에서는 EEV 스텝을 증가 시킬수록 압축기 토출온도는 낮아지는 경향을 보였으나 외기온도 10°C에서는 압축기 회전수의 변화에 따른 토출온도의 변화는 다른 외기온도와 같은 경향을 보였으나 EEV 스텝의 개폐 여부와 상관없이 거의 일정한 경향을 보였다. 또한 동일한 외기온도에서는 압축기 회전수가 높을수록 압축기 토출온도가 상승하고 압축기 회전수가 낮을수록 압축기 토출온도는 낮음을 보였으며, 동일한 압축기 회전수에서는 외기온도가 높을수록 압축기 토출온도는 높음을 보였다.

Figure 5는 압축기 회전수 변화와 외기온도 변화에 따른 압축기 소요동력을 전자팽창밸브 개도 변화별로 나타낸 그래프이다. 압축기 회전수 90Hz 외기온도 35°C기준으로 외기온도가 25°C일 때 압축기 소요동력은 16% 감소하였으며, 외기온도가 10°C인 경우에는 32%정도 압축기 소요동력이 하락하는 것으로 파악되었다. 압축기 회전수 30Hz에서는 외기온도의 변화에 따른 압축기 소요동력의 하락은 2% 이내로 거의 없음을 보였다. 또한 동일한 외기온도에서는 압축기 회전수가 높을수록 압축

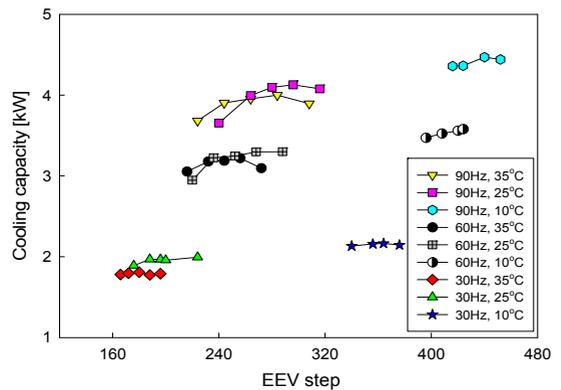


Figure 6: Variation of cooling capacity with respect to EEV step

기 소요동력은 상승하고 회전수가 낮을수록 압축기 소요동력은 낮음을 보였으며, 동일한 압축기 회전수에서는 외기온도가 높을수록 압축기 소요동력은 큼을 보였다.

Figure 6은 압축기 회전수 변화와 외기온도 변화에 따른 냉각능력을 전자팽창밸브 개도 변화별로 나타낸 그래프이다. 동일한 외기온도에서는 압축기 회전수가 높을수록 냉각능력은 상승하고 회전수가 낮을수록 냉각능력은 낮음을 보였으며, 동일한 압축기 회전수에서는 외기온도가 낮을수록 냉각능력이 큼을 보였다. 그리고 압축기 회전수가 높은 경우 보다 압축기 회전수가 낮은 경우 냉각능력의 변화폭이 상대적으로 좁음을 보였다. 외기온도 35°C

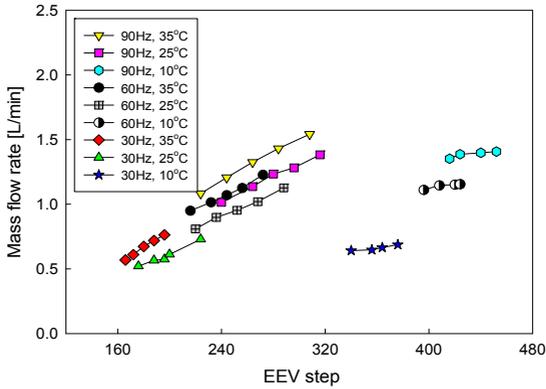


Figure 7: Variation of Mass flow rate with respect to EEV step

에서의 압축기 회전수 제어에 의한 용량 제어범위는 약 43~100%정도였으며, 외기온도 25°C에서는 46~100%, 외기온도 10°C에서는 48~100%로 외기온도가 낮아질수록 용량제어범위는 작아짐을 알 수 있었다.

Figure 7은 압축기 회전수 변화와 외기온도 변화에 따른 냉매 순환량을 전자팽창밸브 개도변화별로 나타낸 그래프이다. 냉매 순환량의 변화는 선형적인 변화를 보였으며, 외기온도 35°C와 25°C에서는 압축기 회전수가 높을수록 냉매 순환량은 상승하고 회전수가 낮을수록 냉매 순환량은 낮음을 보였으며, 동일한 압축기 회전수에서는 외기온도가 높을수록 냉매 순환량은 큼을 보였다. 하지만 외기온도 10°C에서는 상대적으로 냉매 순환량이 다른 외기온도에 비해 많음을 보였는데 이는 압축기 회전수 별 전자팽창밸브의 개도량은 압축기 입구의 냉매온도가 냉수온도와 같아지게 되는 값으로 찾고 나머지 전자팽창밸브 개도량은 두 개도량 사이를 4등분한 전자팽창밸브 개도량 값을 설정하여 실험을 하였는데, 외기온도 10°C에서 앞의 조건을 맞추기 위해서는 전자팽창밸브 개도를 상대적으로 크게 하여 실험을 한 것에서 기인한 것으로 판단된다.

4. 결 론

압축기의 회전수 변화와 외기온도변화에 따라 전자팽창밸브의 개도를 조절하였을 경우 전체 시스템

에 미치는 영향에 대해 실험적인 방법으로 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 시스템의 고압과 저압의 압력 분포를 전자팽창밸브 개도변화와 외기온도 변화별로 확인할 수 있었다.

(2) 외기온도 35°C와 외기온도 30°C의 30Hz에서는 허용 한계압력 이상과 압축기의 심한 진동으로 인해 제어 시 피해야할 영역으로 판단됨을 확인할 수 있었다.

(3) 압축기 회전수 제어에 의한 용량 제어범위는 외기온도 35°C에서의 약 43~100%, 외기온도 25°C에서는 46~100%, 외기온도 10°C에서는 48~100%로 외기온도가 낮아질수록 용량제어범위는 작아짐을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

- [1] J. H. Choi, S. M. Baek, B. J. Jin, W. J. Choi, C. G. Moon, H. S. Lee and J. I. Yoon, "Performance characteristics of cooler controlled capacity using hot-gas bypass," ICHMT CONV-09 Tunisia, pp. 502-505, 2009.
- [2] J. I. Yoon, S. T. Oh, S. M. Baek, J. H. Choi, J. Y. Byun, S. K. Jeong and C. G. Moon, "Temperature control of industrial water cooler using hot-gas bypass," WCSET Bali-2009, pp. 377-381, 2009.
- [3] Y. T. Lee and Y. C. Kim, "Performance characteristics of an inverter heat pump with various expansion devices," Proceedings of the Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 1998 Conference, pp. 8-13, 1998(in Korean).
- [4] H. W. Kim, S. M. Baek, C. G. Moon, E. Kim, and J. I. Yoon, "The

characteristics on the capacity control of inverter type in an industrial water cooler,” ICCHT2010-5th Indonesia, pp. 016-1~016-6, 2010.

- [5] D. S. Yang, G. b. Lee and M. S. Kim, Y. M. Cho, “A Study on the capacity modulation of a variable speed vapor compression system using superheat at the compressor discharge,” Proceedings of the SAREK 2004 Winter Annual Conference, p. 99, 2004(in Korean).
- [6] Hua, Li, J. I. Yoon, and S. K. Jeong, “Dynamic characteristics of refrigeration system for control evaporator superheat and compressor capacity”, The Korean Society for Power System Engineering, KSPSE The 2004 Spring Conference, pp. 170-174, 2004(in Korean).
- [7] H. S. Yang, H. S. Kim, J. H. Kim, S. B. Kim and J. S. Kim, “Control of refrigerating compressor capacity using inverter,” SAREK, vol. 5 no. 2, pp. 97-101, 1993(in Korean).
- [8] Cohen, R. J. F. Hnmilton and J. T. Pearson, “Possible energy conservation through the use of variable-capacity compressor”, Proc. Purdue Compressor Technology Cong., Purdue, USA. pp. 50-54, 1974.
- [9] Lida, K. T. Yamamoto, T. Kuroda and H. Hibi, Development of an energy saving oriented variable-capacity system heat pump, ASHRAE Trans. pp. 441-449, 1982.

저 자 소 개



백승문(白承文)

2001년 부경대학교 대학원 냉동공조공학과 졸업(공학석사), 2004년 부경대학교 교육대학원 수산교육과 졸업(교육학 석사), 현재 부경대학교 대학원 냉동공조공학과 재학 (박사과정)



문춘근(文春根)

2004년 부경대학교 대학원 냉동공조공학과 졸업(공학박사), 2006년 The University of Auckland 연구원, 현재 주식회사 대일 연구원



김은필(金恩弼)

1987년 부산대학교 기계공학과 졸업, 1991년 미국피츠버그 대학 기계공학과 졸업 공학석사, 1995년 미국 피츠버그대학 기계공학과 졸업(공학박사). 현재 부경대학교 냉동공조학과 교수.



정석권(鄭碩權)

1995년 Yokohama National Univ. 전자정보공학과 졸업(공학박사), 현재 부경대학교 냉동공조공학과 교수, 자동제어계설계, 고장진단-허용제어, 신뢰성 평가 등의 연구에 종사



윤정인(尹政仁)

1995년 Tokyo Univ. of A&T 졸업(공학박사), 현재 부경대학교 냉동공조공학과 교수, 한국마린엔지니어링학회 편집이사, 한국동력기계공학회 편집이사, 냉동기기의 정밀온도제어 및 초저온 액화사이클 개발 등의 연구에 종사