한국마린엔지니어링학회지 제34권 제2호, pp. 282~288, 2010. 3 (ISSN 1226-9549)
Journal of the Korean Society of Marine Engineering

전자팽창밸브 개도에 따른 가변속 수냉각기의 용량제어 특성

백승문[1] · 문춘근[2] · 김현우[1] · 정석권[1] · 윤정인†

(원고접수일 : 2010년 3월 11일, 원고수정일 : 2010년 3월 18일, 심사완료일 : 2010년 3월 24일)

Characteristics of Capacity Control of Variable Speed Water Cooler with the Electronic Expansion Valve Open/Close Degree

Seung-Moon Beak[1] · Choon-Geun Moon[2] · Hyun-Woo Kim[1] · Seok-Kwon Jeong[1] · Jung-In Yoon†

요 약 : 본 연구는 전자팽창밸브의 개도변화에 따른 가변속 수냉각기의 용량제어 특성에 관한 논문이다. 인버터에 의한 가변속 압축기를 사용한 냉각기를 최적으로 제어하기 위한 선행 연구이며 압축기 회전수별로 제어대상인 전자팽창밸브를 조절하여 증발기 출구의 과열도를 일정한 값으로 제어함으로써 최적의 냉각능력을 얻을 수 있는 과열도 값을 찾는 것을 목표로 하였다. 본 실험의 결과 압축기 회전속도가 일정할 때 팽창 밸브의 개도변화에 따라서 냉각능력이 최대가 되는 지점의 개도량을 실험을 통해서 파악할 수 있었다.

주제어 : 인버터, 전자팽창밸브, 과열도, 용량제어

Abstract: The paper presents the characteristics of capacity control of variable speed water cooler with the electronic expansion valve open/close degree. It is a preliminary study on the optimum control of the water cooler system using a variable speed compressor controlled by inverter. The electronic expansion valve controlled by the variation of compressor speed maintains the constant degree of superheat at the evaporator outlet, which aims to find the degree of superheat obtaining the optimum refrigeration effect. The investigation indicates that there is a point achieving the maximum cooling capacity by the variation of the electronic expansion valve open/close degree with constant compressor speed.

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

1. 서 론

산업용 공작기계는 절삭속도가 빠르기 때문에 공작물의 가공부위에 상당한 열이 발생되며, 열은 공작기계 부품과 공작물에 열 변형을 초래하여 가공정밀도와 기계의 신뢰성을 떨어뜨린다.[1.2]

기존의 공작기계용 냉각기에 적용되어왔던 제어방식은 on-off 방식으로 운전되는 정속운전 냉각기가 대부분이다. 이는 시간에 따라 연속적으로 변하는 부하에 적절히 대응하지 못할 경우, 계속 반복되는 시동 및 정지 운전으로 인한 소비전력의 증가로 운전비용을 증가시킨다. 따라서 부하에 적절히 대응하여 냉각유를 냉각시켜 공작기계의 가공정밀도를 높이고 소비전력을 감소시키기 위한 방법으로 인버터 회로에 의한 가변속 압축기를 사용한 가변속 냉각기의 사용이 필수적이다.[3] 가변속 압축기를 사용한 냉각기는 부하에 따라 압축기 회전속도

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

를 조절하여 부하에 적절히 대응하며 부하가 크게 변하지 않는 운전조건일 때는 설정온도 근처에서 회전속도를 감소시켜 정지되지 않고 계속 운전할 수 있도록 제어함으로써 시동 및 정지시 발생하는 기토크에 의한 소비전력 증가를 줄임으로써 절전성능을 개선할 수 있다. 인버터를 적용한 냉방장치의 제어 알고리즘에 관한 연구로 압축기의 회전속도 제어에 관한 연구가 주로 이루어졌다. Lee[4] 등은 인버터 냉동시스템의 응축기와 증발기에 공급되는 2차 유체의 온도에 대하여 압축기의 운전주파수와 팽창장치를 변화시키면서 시스템의 성능특성의 변화를 측정하는 실험을 수행하였다. Li[5] 등은 냉동사이클의 과열도 제어와 회전수 제어 모델링을 통한 용량제어 모델을 구축하였다. Yang[6] 등은 압축기 출구 과열도 정보를 이용하여 외부조건이나 냉방부하의 변화에 적합한 가변속 증기압축 냉동시스템의 제어에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구는 인버터 회로에 의한 가변속 압축기를 사용한 냉각기를 최적으로 제어하기 위한 선행 연구이며 압축기 회전수 별로 제어대상인 전자팽창밸브를 조절하여 증발기 출구에서 과열도를 일정한 값으로 제어함으로써 최적의 냉동효과 값이 나오는 과열도 범위 값을 찾는 것을 목표로 하였다. 그리고 용량 제어의 주된 역할을 하는 압축기의 회전수 변화와 전자팽창밸브의 개도 변화가 전체 시스템에 미치는 영향에 대해 실험적으로 규명하였다. 이 결과를 통해서 최적 운전상태가 어떠한 지를 파악하고 이러한 최적 운전 상태와 압축기 출구 과열도와의 관계를 고찰하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

본 연구에서는 전자팽창밸브의 개도값과 압축기 회전수가 변화할 때 시스템의 특성을 알아보기 위해 약 3.0 kW 냉동능력을 발휘하는 시스템을 구성하였다. 구성요소로는 압축기, 응축기, 전자뱅창밸브, 증발기와 압축기 회전수 조절을 위한 인버터로 구성하였다.

Figure 1과 Figure 2는 실험 장치도와 실제 장치사진을 나타낸 그림이다. 사용된 압축기는 용량

Table 1: Specification of test unit

Compressor	30~120Hz, 3Φ-57~228V, Rotary type
Condenser	Air-cooled fin and tube type
Evaporator	Bare tube coil type
Expansion device	0~480 step, 12V
Inverter	LS SV022ig5A (30~90 Hz)
Refrigerant	R-22

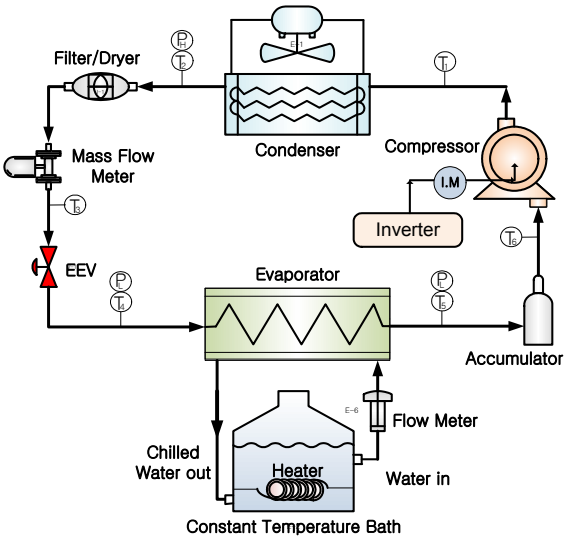

Figure 1: Schematic diagram of experimental apparatus

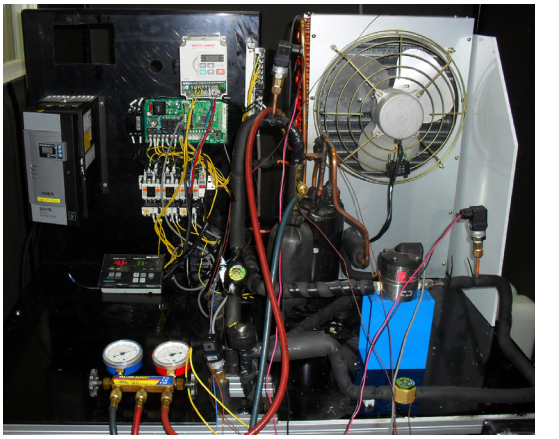

Figure 2: Photograph of experimental apparatus

조절이 가능한 가변속 왕복동식 압축기이며, 저압을 측정하기위하여 압축기 냉매 흡입 측에 압력센서를 장착하였고 고압을 측정하기 위하여 팽창밸브 입구 측의 압력 센서로 압력을 측정하였다. 그리고 파워메터(Yokogawa사)를 부착하여 각각의 운전조건에 따라 압축기에서 소요되는 동력을 측정하였다. 또한 배관내 냉매상태 파악을 위하여 사이트 그라스를 응축기 출구와 압축기 입구에 각각 설치하여 냉매상태를 파악하였다. 그리고 증발기와 응축기, 압축기, 전자팽창밸브 등 주요 입·출구에는 T형 온도센서를 설치하였으며, 냉각기 냉수 입구와 출구에는 PT-100을 설치하여 실시간으로 데이터 로거(Yokogawa사)를 통하여 데이터를 PC에서 확인 및 저장되도록 하였다. 냉매 유량 측정을 위해 질량 유량계를 응축기 출구 측에 설치하였다. 증발기에 공급하는 냉수의 온도 조절을 위해 히터를 설치하였고, 유량 측정을 위해 디지털 수유량계를 설치하였다.

2.2 실험조건 및 방법

본 실험 조건을 Table 2에 나타내었다. 냉수 유량은 19 l/min으로 고정하였으며, 냉수는 온도조절이 가능한 히터를 설치하여 냉수 출구 수온이 25℃가 되도록 부하를 조정하였고, 외기는 외부공기 온도를 일정하게 유지시킬 수 있는 항온챔버를 이용하여 응축기가 일정하게 열교환하도록 하였다.

실험에 사용된 시스템은 냉매배관을 통해 상호 영향을 미치는 간섭계를 이루고 있어 전체시스템의 특성 파악이 쉽지 않다. 또한 냉동사이클에서는 각 구성 요소 가운데 어느 하나의 특성이 변동하며 다른 요소에 영향을 미치게 되므로 시스템의 최적의 조건으로 운전하도록 하는 것은 용이하지 않다.

따라서 이번 실험에서는 장치 중 조정 가능한 변수인 응축기 팬 회전수와 전자팽창밸브 개도량, 압축기 회전수 조절 중에서 장치 특성상 응축기의 회전수는 고정하였다.

냉동효과를 높이기 위해서는 전자팽창밸브의 과열도가 필요하다. 따라서 압축기 회전수별 전자팽창밸브의 개도량에 따른 압축기 입구 냉매의 과열도 값을 파악하여야 한다. 그래서 압축기의 회전수는 장착된 인버터를 이용하여 30Hz에서부터 90Hz까지 10Hz단위로 조절하였고 각 Hz별로 전자팽창밸브의 개도량은 압축기 입구에 설치한 사이트 글래스에서 냉매액이 넘어가려고 하는 개도량 값과 압축기 입구의 냉매온도가 냉수온도와 같아지게 되는 개도량 값을 0에서 480step 사이에서 변화시켜 실험하였다.

Table 2: Experimental conditions

Parameters	Conditions
Chilled water flow rate 〔l/min〕	19
Chamber temperature 〔℃〕	35
Chilled water outlet temperature 〔℃〕	25
EEV step	0~480
Inverter 〔Hz〕	30~90

3. 실험결과 및 고찰

본 실험 장치에 장착된 압축기의 작동한계 값을 Table 3에 나타내었다. 본 시스템의 압축기 사용시 주의해야할 점은 인버터를 이용하여 제어하는 전 영역에서 Table 3의 한계값 안에서 시스템을 제어해야 된다는 점이다. 특히 압축기의 한계값을 살펴보면 게이지압으로써 토출압력인 고압은 2.6MPa, 저압은 0.69MPa으로 확인이 되었다.

이는 시스템 구동 제어시 압축기 회전수를 조절하여 사용할 경우 위의 압력 조건 이하의 값에서 사용을 해야 하며, 한계 값 이상시 시스템 이상발생으로 압축기 크랙이나 파손이 생길 수 있다는 것이다. 이에 실험값들이 압축기의 한계값 안에서 구동되어야 된다는 것은 자명하다.

Figure 3은 전자팽창밸브의 개도변화와 압축기 회전수 변화에 따른 고압부인 냉매의 응축기 출구 압력변화를 나타낸 그래프이다. 압축기 회전수가 높을수록 응축기 출구압력은 상승하고 회전수가 낮을수록 응축기 출구압력은 낮음을 보였다.

이는 전자팽창밸브 개도가 증가할수록 냉매순환량의 증가 하는데 이로 인해 응축압력의 상승으로 이어지는 것으로 판단된다.

그러나 동일한 회전수이면서 전자팽창밸브 개도가 증가할 때 압력이 상승 후 하강하는 팽창밸브개도 부분이 확인 되었는데 이 개도부분은 각 회전수별 압축기 입구에 설치한 사이트 글라스에서 냉매액이 넘어가려고 하는 팽창개도부분과 일치한다. 이로 인한 것으로 판단된다.

Table 3: Compressor application limitation

Item	Standard condition	Overload condition
Discharge pressure 〔MPa(g)〕	2.06 Max	2.60 Max
Suction pressure 〔MPa(g)〕	0.29~0.59	0.1~0.69
Discharge temperature 〔℃〕	100	115

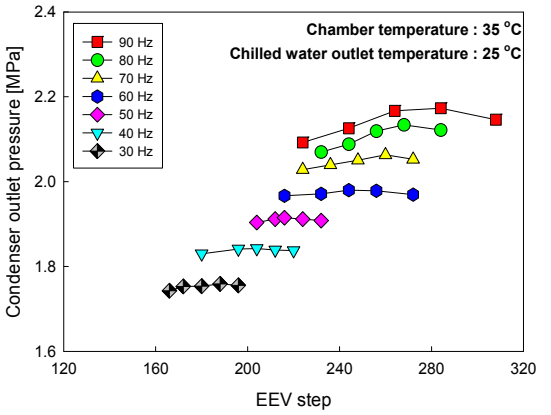

Figure 3: Variation of condenser out pressure with respect to EEV (Electronic expansion valve) step

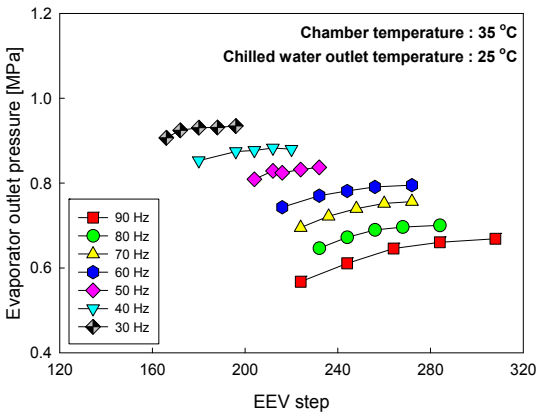

Figure 4: Variation of evaporator out pressure with respect to EEV step

Figure 4는 전자팽창밸브의 개도변화와 압축기 회전수 변화에 따른 저압부인 증발기 출구의 압력 변화를 나타낸 그래프이다. 압축기 회전수가 낮을수록 증발기 출구압력은 상승하고 회전수가 높을수록 증발기 출구압력은 낮음을 보였다. 그리고 같은 회전수인 경우 전자팽창밸브 개도가 증가할수록 증발기 출구압력도 상승함을 보였다. 이는 전자팽창밸브 개도가 증가할수록 냉매순환량이 증가 하는데 이로 인해 증발압력의 상승으로 이어지는 것으로 판단된다.

그리고 Figure 3의 응축기 출구압인 고압은 Table 3의 압축기 한계값 이하로 나와 문제가 없는 것으로 확인되었으나 Figure 4의 증발기 출구의 저압은 30, 40Hz에서는 장착된 압축기의 한계값을 넘어서는 값을 보여 이후 제어에 반영할 경우 피해야할 회전수 영역으로 판단된다. 이에 따른 보완이 필요함을 알 수 있었다.

Figure 5는 전자팽창밸브의 개도변화와 압축기 회전수 변화에 따른 냉각능력 변화 값을 나타낸 그래프이다. 압축기 회전수가 높을수록 냉각능력은 상승하고 회전수가 낮을수록 냉각능력은 낮음을 보였으며, 동일한 회전수인 경우 전자팽창밸브 개도

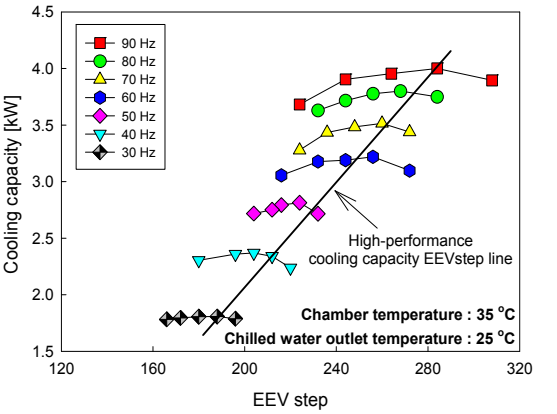

Figure 5: Variation of cooling capacity with respect to EEV step

가 증가할수록 냉각능력은 서서히 상승 후 낮아지는 경향을 보였다.

그러나 동일한 회전수이면서 전자팽창밸브 개도가 증가할 때 냉각능력이 상승 후 하강하는 팽창밸브개도 부분이 확인 되었는데 이 개도부분은 각 회전수별 압축기 입구에 설치한 사이트 글라스에서 냉매액이 넘어가려고 하는 팽창개도부분과 일치한다. 그리고 압축기회전수가 높은 경우 보다 압축기 회전수가 낮은 경우냉각능력의 변화폭이 상대적으로 좁음을 보였다.

이로 인하여 향후 제어 시에는 압축기 저속 회전수에서는 좀 더 세밀한 제어가 필요함을 알 수 있었다. 또한 고회전수 일때의 냉각능력값과 최소 회전수 일때의 냉각능력값을 기준으로 압축기 회전수 제어로 인한 용량 제어범위는 약 60%정도 가능함을 알 수 있었다. 그리고 압축기 회전수별로 최대 냉각능력을 보이는 전자팽창밸브 개도값을 확인할 수 있었다. 이를 분석한 그래프를 Figure 5에 나타내었다. 이 분석 그래프를 이용하여 압축기 회전수에 따른 최대 냉각능력을 발휘하는 전자팽창밸브의 개도량을 향후 실시할 제어에 참고 자료로 활용할 예정이다.

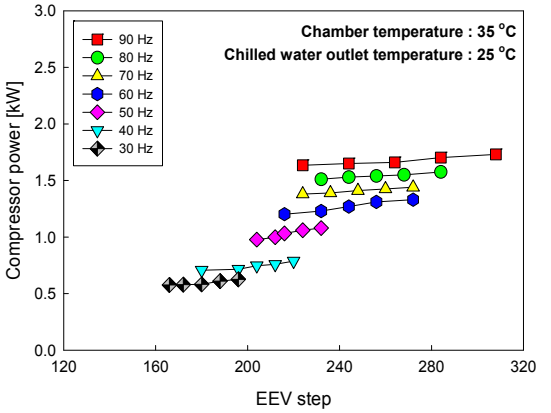

Figure 6: Variation of compressor power with respect to EEV step

Figure 6은 전자팽창밸브의 개도변화와 압축기 회전수 변화에 따른 압축기 소요동력을 나타낸 그래프이다. 압축기의 회전수를 높일수록 압축기 소요동력 값은 커지는 것으로 나타났다. 그리고 동일한 압축기 회전수에는 팽창밸브가 증가할수록 서서히 증가함을 알 수 있었다. 압축기의 고속회전수와 저속 회전수의 대비 압축기 소요 동력의 크기 차이는 최대 60% 이상 고속 회전수에서 소비되는 압축기 소요동력이 큰 것으로 파악되었다.

Figure 7은 전자팽창밸브의 개도변화와 압축기 회전수 변화에 따른 냉매순환량 값을 나타낸 그래프이다. 동일한 전자팽창밸브의 개도에서는 냉매순환량이 동일함을 보였으며, 압축기 회전수가 높을수록 냉매순환량은 크고 회전수가 낮을수록 냉매순환량은 작음을 알 수 있었고 그 변화는 선형적임을 알 수 있었다. 냉매순환량 편차는 최대 50%까지 차이남을 보였다.

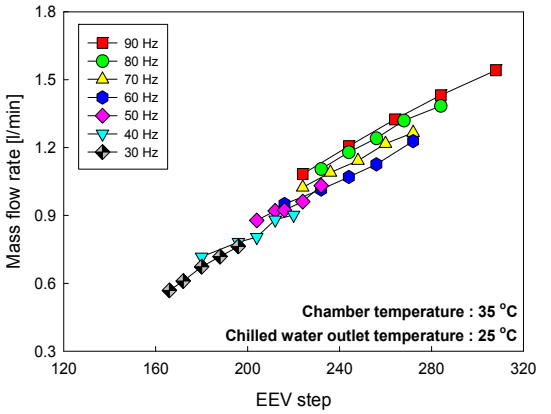

Figure 7: Variation of mass flow rate with respect to EEV step

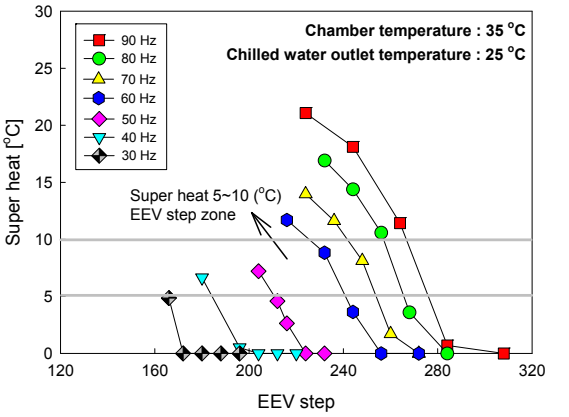

Figure 8: Variation of superheat with respect to EEV step

Figure 8은 전자팽창밸브의 개도변화와 압축기 회전수 변화에 따른 압축기흡입냉매의 과열도 변화 값을 나타낸 그래프이다. 압축기 회전수가 높을수록 전자팽창밸브 개도량 변화에 따른 과열도 값의 편차가 크며 회전수가 낮을수록 편차가 작음을 알 수 있었다. **Figure 6**을 통하여 향후 전자팽창밸브 과열도 제어에 사용하고자 하는 압축기 회전수별 과열도 5~10℃사이의 전자팽창밸브의 개도량 값을 파악할 수 있었으며 향후 실시할 제어에 참고 자료로 활용할 예정이다.

4. 결 론

압축기의 회전수 변화와 전자팽창밸브의 개도 변화에 따른 전체 시스템에 미치는 영향에 대해 실험적인 방법으로 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 압축기 회전수가 높은 경우 보다 압축기 회전수가 낮은 경우 냉각능력의 변화폭이 상대적으로 좁으며, 저속 회전수에서는 세밀한 제어가 필요함을 알 수 있었다.

(2) 압축기 회전수 제어로 인한 용량 제어범위는 약 60%정도 가능함을 알 수 있었다.

(3) 압축기 회전수별로 최대 냉각능력을 보이는 전자팽창밸브 개도값을 확인할 수 있었으며 향후 실시할 제어에 참고 자료로 활용할 예정이다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

[1] S. M.Beak, J. H. Choi, J. Y. Byun, C. G. Moon, H. S. Lee, S. K. Jeong. J. I. Yoon, "Characteristics of temperature control by hot-gas bypass flow rate on industrial water cooler", The Korean Society of Marine Engineering, vol.33, no. 8, pp. 55-62, 2009.(in Korean).

[2] 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 controled capacity using hot-gas bypass", ICHMT CONV-09 Tunisia, pp. 502-505, 2009.

[3] H. S Yang, H. S. Kim, J. H. Kim, S. B. Kim and J. S. Kim, "Control of refrigerating compressor capacity using inverter", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, vol. 5 no. 2, pp. 94-101, 1993. (in Korean).

[4] 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).

[5] Hua, Li, J. I. Yoon, and S. K. Jeong, "Dynamic characteristics of refrigeration system for control evaporator superheat and cCompressor capacity", The Korean Society for Power System Engineering, KSPSE The 2004 Spring Conference, pp. 170-174, 2004.(in Korean).

[6] D. S. Yang, G. B. Lee and M. S. Kim, and 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).

저 자 소 개

백승문(白承文)

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

문춘근(文春根)

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

김현우(金炫佑)

2009년 동의대학교 기계공학과 졸업(학사), 현재 부경대학교 대학원 냉동공조공학과 재학 (석사과정)

정석권(鄭碩權)

1995년 Yokohama National Univ. 전자정보공학과 졸업(공학박사), 현재 부경대학교 냉동공조공학과 교수, 자동제어 계설계, 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, 대한설비공학회 편집이사, 한국동력기계공학회 편집이사