

외기온도와 부하변화에 따른 산업용 냉각기의 인버터제어 특성 The Characteristic of Inverter Control by Variation of Refrigeration Load and Outdoor Temperature on Industrial Cooler

백승문*†

Seung-Moon Baek*†

(접수일 : 2014년 9월 26일, 수정일 : 2014년 10월 5일, 채택확정 : 2014년 10월 7일)

Abstract: This paper presents The performance analysis of inverter control type-industrial cooler with respect to refrigeration load and outdoor temperature. Aside from materials about simulations and foundation data regarding inverter control compressors, currently, data about commercial coolers with inverter control still lack information for performance comparison. Thus, in this paper, the experiments are done to see characteristics of condensation capacity, evaporation capacity, compressor power and COP with respect to outdoor temperature and load by using a commercial inverter control cooler model. As a result, COP difference of the inverter control cooler with respect to load is 30% at the outdoor temperature of 35°C, 29% at the outdoor temperature of 30°C, 34% at 25°C, respectively.

Key Words : Inverter control type, COP(coefficient of performance), Industrial cooler

— 기 호 설 명 —

P : Pressure [kPa]

P_c : Condensing pressure [kPa]

P_E : Evaporating pressure [kPa]

T : Temperature [°C]

1. 서 론

산업용 공작기계는 공작물의 가공시에 가공부위에 고온의 열이 발생된다. 발생된 열은 공작기계 부품과 공작물의 열변형발생을 초래하여 정밀도와 신뢰성을 떨어뜨린다. 따라서 공작기계의 가공부위에 발생되는 열을 방지하기 위해 산업용 냉각기를 부

착하여 일정온도로 냉각된 오일 및 냉수를 공급하여 공작물의 열변형을 방지할 수 있다.¹⁻⁴⁾

기존의 산업용 공작기계용 냉각기의 온도제어 방식은 단순히 압축기 기동을 on-off하는 방식이 대부분 사용되고 있다. 그러나 이러한 방식은 냉각기가 담당해야 되는 부하의 변동에 따라 냉각수의 온도제어가 정밀하지 못하며, 압축기 구동반복에 따른 소비전력 증가에 따른 효율감소의 단점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 최근 인버터를 이용한 압축기 회전수 제어를 통한 용량제어 연구가 다각적으로 진행되고 있다.

Cohen 등⁵⁾은 상업용 소형 에어컨에서 회전수변화가 가능한 압축기를 사용했을 경우 에어컨의 에너지 소비 패턴에 대해 분석하였고, Li 등⁶⁾은 냉동사이클의 압축기 입구 냉매의 과열도 제어와

*† 백승문: 부경대학교 냉동공조공학과

*† Seung-Moon Baek : Department of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University.

압축기 회전수 제어를 통한 모델링으로 용량제어에 대한 실험 모델을 구축하였으며, Linda 등⁷⁾은 가변식 압축기의 회전수 변화에 따른 히트펌프에 대한 실험을 실시한 결과에 따른 성능평가를 실시하였다.

그러나 인버터제어 압축기에 대한 모델링과 기초적인 실험에 대한 자료를 제외하고는 인버터를 이용한 압축기 회전수 제어기가 장착시킨 시제품에 대한 실험적인 성능 비교에 대한 자료가 부족한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 인버터제어 산업용 냉각기의 시제품을 사용하여 응축압력, 증발압력과 압축기소비동력, 성능계수 등이 외기온도와 부하변화에 따라 어떠한 특성을 가지고 있는지에 대한 비교실험을 실시하여 성능특성을 확인한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험대상인 인버터제어 산업용 냉각기 시제품을 실험하기 위한 실험장치를 나타낸 사진이다. 인버터 타입 냉각기에 사용된 압축기는 30에서 90Hz까지 회전수 조절이 가능한 AC 인버터 압축기가 장착 사용되었으며, 압축기의 구동조건을 Table 1에 나타내었다. 응축기는 핀튜브형 공랭식 응축기가 사용되었고, 팽창밸브는 전자팽창밸브를 사용하였으며, 냉각기 하단부에 증발기가 장착된 수조를 설치하여 유체용 펌프를 이용하여 냉각기로 유입된 피냉각유체와 열교환이 원활하게 이루어지도록 하였다.

산업용 냉각기의 내부에 장착된 증발기와 응축기, 압축기, 증발기 등 주요 부속장치의 입·출구에는 T타입 온도센서를 부착 설치하였다. 냉매배관의 두께가 센서를 관내에 심어 테스트하기 어려운관계로 온도센서를 관벽에 부착시켜 실험준비를 하였지만, 센서가 장착된 부위가 냉각기에서 배출되는 고온 공기에 의해 영향을 받을 우려가 크기 때문에 별도의 외부단열재를 이용하여 최대한 외부공기와 차단시켜 외부공기로 인한 온도상승을 최대한 억제 하도록 하였다.

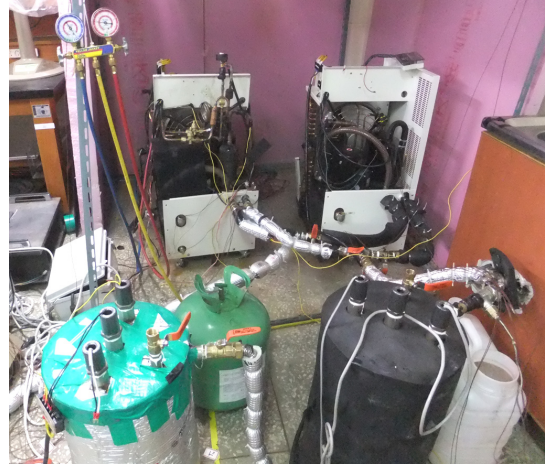


Fig. 1 Experimental apparatus

2.2 실험방법

Table 1 Compressor operating conditions limit

Item	Inverter [Hz]	30~90
Discharge pressure [MPa(g)]	2.06 Max	2.60 Max
Suction pressure [MPa(g)]	0.29~0.59	0.1~0.69
Discharge temperature [°C]	100	115

Table 2 Test conditions

Refrigeration load	[kW]	1.5~3.5
Outdoor temperature	[°C]	25, 30, 35
Water temperature of evaporator outlet	[°C]	25
Superheating degree	[°C]	10
Refrigerant	-	R-22
Inverter	[Hz]	30~90

실험에 사용된 인버터제어 산업용 냉각기는 3 KW급 소형냉각기으로써 냉각기에서 배출되는 냉수 온도는 실제 동작기계에서 요구하는 기본세팅온도인 25℃를 유지하도록 하였다. 냉각기의 운전특성 실험을 위한 실험조건을 Table 2에 나타내었다. 실제 산업용 냉각기가 부착되어 사용되는 동작기계의 부하변화와 장치가 사용되는 공간인 외기온도의 변화에 따른 시스템의 특성을 살펴보기

위하여 항온실 내부 외기 온도를 25, 30, 35℃로 변화시켜 실험하였다. 주요장치에 부착된 온도센서는 데이터 로거로 연동 시켜 실시간으로 온도를 측정하여 모니터링이 될 수 있도록 하였으며, 냉각기 출구에서 배출 되는 냉수 유량은 데이터 로거와 연동시켜 실시간으로 배출되는 냉수의 유량측정이 가능하도록 디지털 수유량계를 부착하여 측정하였다. 또한 항온실 상단에는 8개의 대형 팬을 설치하여 내부에 설치된 온도센서와 연동시켜 항온실 내부의 공기온도가 설정한 온도 이상 및 이하가 되면 자동적으로 팬이 가동 및 정지가 되도록 하였으며, 이를 통해 세팅된 외기온도가 일정하게 유지 되어 냉각기의 공랭식 응축기와 일정한 온도로 열교환 될 수 있도록 하였다. 냉매 배관중에 열손실이 발생될 수 있는 곳은 단열재를 사용하여 단열하여 열손실이 최소화 될 수 있도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 외기온도 변화와 부하 변동에 따른 압축기 토출온도 변화를 나타낸 그래프이다. 압축기에서 토출되는 냉매온도가 최대 구동조건온도 이상으로 지속적으로 구동하는 경우 압축기 내부의 오일 열화 등의 발생 우려가 매우 크기 때문에 압축기 토출 냉매온도의 확인은 냉각기의 내구성 및 안정성 측면에서는 대단히 중요하다. 그러므로 압축기의 안정적인 구동을 위해 압축기 제조사는 Table 2와 같이 압축기의 구동조건을 제시하고 있다.

Fig. 2에서 보듯이 압축기 토출온도는 부하가 클수록 외기온도가 높을수록 압축기 토출온도는 높음을 보였다. 그리고 외기온도 35℃와 30℃에서의 압축기 토출온도 차이는 4%내외로 거의 차이가 없었으나, 외기온도 30℃와 25℃의 압축기 토출온도의 차이는 5~14% 사이로 외기온도 30℃에서의 압축기 토출온도가 높음을 보였다. 또한 모든 실험조건에서 압축기 토출온도는 압축기 구동조건 이하의 온도를 보여 안전성에는 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

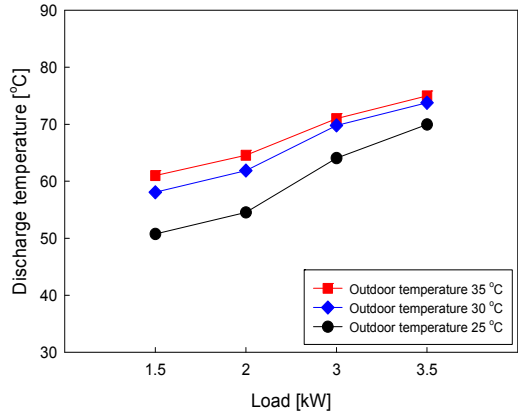


Fig. 2 Variation of discharge temperature with respect to load

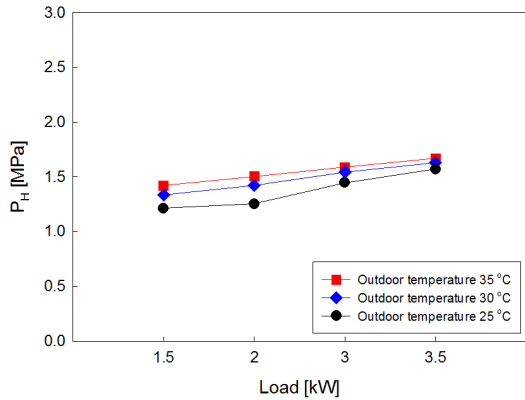


Fig. 3 Variation of condensing pressure with respect to load

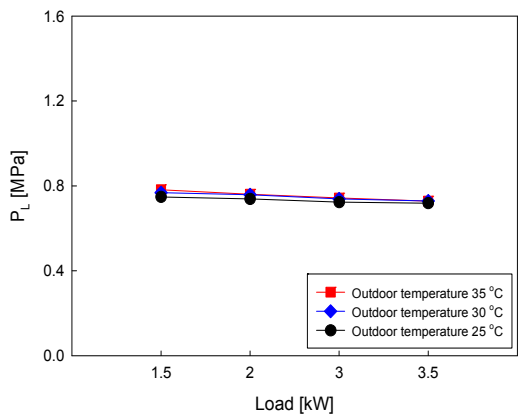


Fig. 4 Variation of evaporating pressure with respect to load

외기온도 35℃에서의 부하변화에 따른 압축기 토출온도의 차이는 23%의 차이를 보였으며, 외기온도 30℃에서의 부하변화에 따른 압축기 토출온도의 차이는 27%, 외기온도 25℃에서의 부하변화에 따른 압축기 토출온도의 차이는 37%로 외기온도가 낮을수록 압축기 토출온도의 차이는 부하변화에 따라 차이가 큼을 알 수 있었다.

Fig. 3은 외기온도 변화와 부하 변동에 따른 응축압력 변화를 나타낸 그래프이다. 응축압력은 부하가 클수록 외기온도가 높을수록 응축압력은 높은 경향을 보였다. 외기온도 35℃와 30℃에서의 응축압력 차이는 2~6%내외의 차이를 보였으며, 외기온도 30℃와 25℃의 응축압력의 차이는 3~12% 사이로 외기온도 30℃에서의 응축압력이 높음을 확인 할 수 있었다. 외기온도 35℃에서의

부하변화에 따른 응축압력의 차이는 최대 17%의 차이를 보였다. 그리고 외기온도 30℃에서의 부하변화에 따른 응축압력의 차이는 21%, 외기온도 25℃에서의 부하변화에 따른 응축압력의 차이는 29%로 외기온도가 낮을수록 응축압력의 차이는 부하변화에 따라 차이가 큼을 확인 할 수 있었다.

또한 응축압력은 냉각 부하가 감소할수록 낮아지며 냉각부하가 커질수록 높아지는 경향을 보여 주고 있다. 이것은 냉각기가 담당해야 하는 부하가 증가할수록 증발기에 필요한 냉매량이 증가하게 되고 응축기에서 더욱 많은 냉매를 응축시켜

야 되기 때문에 제한된 응축기 용량에 의해서 응축압력이 상승하게 되는 것이라 판단된다.

Fig. 4는 외기온도 변화와 부하 변동에 따른 증발압력 변화를 나타낸 그래프이다. 증발압력은 부하가 클수록 외기온도가 높을수록 증발압력은 거의 변화가 없는 경향을 보였으며, 외기온도 변화에 따른 증발압력의 차이는 2%내외로 거의 차이가 없음을 보였다. 동일한 외기온도에서 부하변화에 따른 증발압력의 차이는 5%이내의 차이로 거의 변화가 없음을 보였다. 이는 압축기 보호를 위하여 Table 2의 조건과 같이 전자팽창밸브 조절을 통해 압축기 흡입 냉매 과열도를 10℃로 맞춰 압축기 흡입냉매의 압력이 한계압력 이상으로 상승방지와 냉각능력의 향상을 꾀하도록 하였는데 이로 인한 것으로 판단된다.

Fig. 5는 외기온도 변화와 부하 변동에 따른 압축기 흡입냉매의 온도 변화를 나타낸 그래프이다. 외기온도 변화와 부하 변동에 따른 압축기 흡입냉매의 온도는 27.27~29.06℃ 사이의 분포를 보여 조건 변화에 따른 차이가 거의 없는 결과를 보였다. 동일한 외기온도에서의 부하변화에 따른 편차도 3% 내외로 거의 차이가 없는 것으로 확인 가능하였다.

Fig. 6은 외기온도 변화와 부하 변동에 따른 압축기 소요동력을 나타낸 그래프이다. 압축기 소요동력은 부하가 클수록 외기온도가 높을수록 압축기

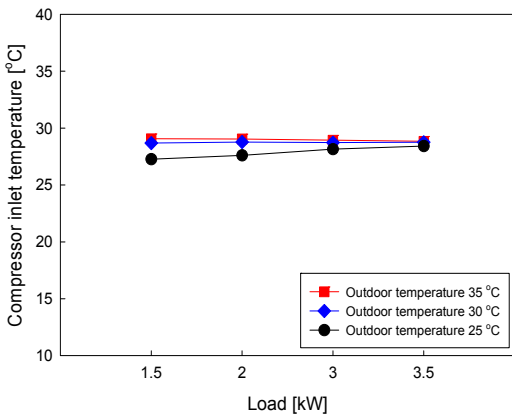


Fig. 5 Variation of compressor inlet temperature with respect to load

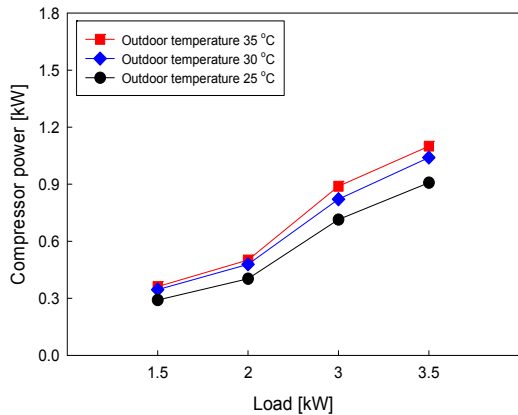


Fig. 6 Variation of compressor power with respect to load

소요동력이 커지는 경향을 보였다. 외기온도 35℃와 30℃에서의 압축기 소요동력의 차이는 4~8% 사이로 나타났으며, 외기온도 30℃와 25℃의 압축기 소요동력의 차이는 14~18% 사이로 외기온도 30℃에서의 압축기 소요동력이 큼을 보였다. 외기온도 35℃에서의 부하변화에 따른 압축기 소요동력의 차이는 204%의 차이를 보였으며, 외기온도 30℃에서의 부하변화에 따른 압축기 소요동력의 차이는 200%, 외기온도 25℃에서의 부하변화에 따른 압축기 소요동력의 차이는 211%로 동일한 외기온도에서 부하변화에 따른 압축기 소요동력은 2배 이상 차이가 있음을 확인 할 수 있었다.

Fig. 7은 외기온도 변화와 부하 변동에 따른 압축기 회전수변화를 나타낸 그래프이다. 압축기 회전수는 부하가 클수록 외기온도가 높을수록 압축기 회전수는 높아지는 경향을 보였다.

외기온도 35℃와 30℃에서의 압축기 회전수의 차이는 2~5% 사이로 나타났으며, 외기온도 30℃와 25℃의 압축기 회전수의 차이는 5~9% 사이로 외기온도 30℃에서의 압축기 회전수가 큼을 보였다. 또한 외기온도 35℃에서의 부하변화에 따른 압축기 회전수의 차이는 87%의 차이를 보였으며, 외기온도 30℃에서의 부하변화에 따른 압축기 회전수의 차이는 91%, 외기온도 25℃에서의 부하변화에 따른 압축기 회전수의 차이는 98%로 동일한 외기온도에서 부하변화에 따른 압축기 회전수의

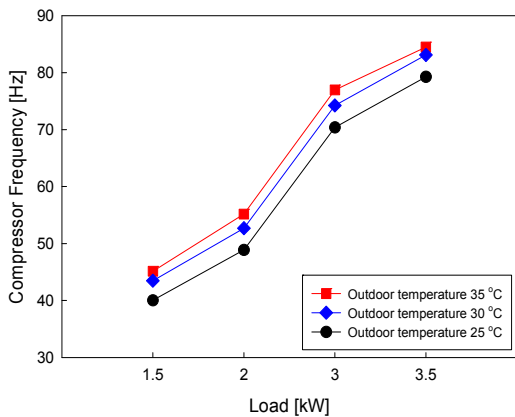


Fig. 7 Variation of compressor frequency with respect to load

차이가 큼을 확인 할 수 있었다. 이를 통하여 25~30℃ 외기온도 와 2.5kW 이하의 부분부하에서는 압축기 회전수 60Hz 이하의 회전수로 냉각부하를 담당할 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 8은 외기온도 변화와 부하 변동에 따른 냉각기의 COP를 나타낸 그래프이다. 인버터제어 냉각기의 COP는 외기온도가 높을수록 부하가 커질수록 COP값은 줄어드는 경향을 보였다. 그리고 외기온도 35℃와 30℃에서의 인버터제어 냉각기의 COP 차이는 4~8% 사이로 나타났으며, 외기온도 30℃와 25℃의 인버터제어 냉각기의 COP 차이는 14~18% 사이로 편차가 상대적으로 큼을 보였다. 또한 외기온도 35℃에서의 부하변화에 따른 인버터제어 냉각기의 COP 차이는 30%의 차이를 보였으며, 외기온도 30℃에서의 부하변화에 따른 인버터제어 냉각기의 COP 차이는 29%, 외기온도 25℃에서의 부하변화에 따른 인버터제어 냉각기의 COP 차이는 34%로 낮은 외기온도에서 부하변화에 따른 COP의 차이가 큼을 확인할 수 있었다.

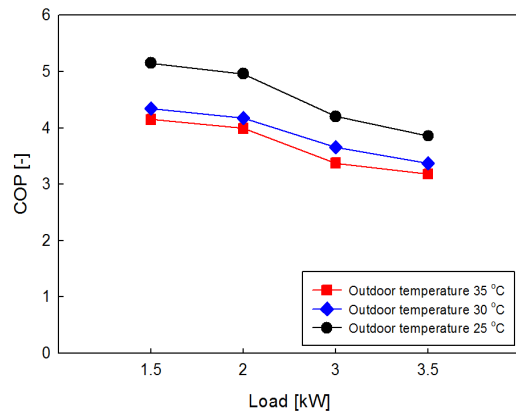


Fig. 8 Variation of COP with respect to load

4. 결 론

인버터제어기가 채용된 산업용 냉각기의 온도 제어 시스템의 외기온도와 부하변화에 따른 운전 특성을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- [1] 응축압력은 냉각 부하가 감소할수록 낮아지

며 냉각부하가 커질수록 높아지는 경향을 보였는데 이는 냉각부하가 증가할수록 증발기에 필요한 냉매량이 증가하게 되고 응축기에서 더욱 많은 냉매를 응축시켜야 되기 때문에 제한된 응축기 용량에 의해서 응축압력이 올라가게 되는 것이다.

[2] 인버터제어기가 채용된 산업용 냉각기의 동일한 외기온도에서 부하변화에 따른 압축기 소요 동력은 2배 이상 차이가 있다.

[3] 외기온도 35℃에서의 부하변화에 따른 인버터제어 냉각기의 COP 차이는 30%, 30℃에서의 29%, 25℃에서의 34%로 동일 외기온도에서 부하변화에 따른 COP의 차이가 크다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

Reference

1. J. H. Choi, S. M. Baek, B. J. Jin, W. J. Choi, C. G. Moon, H. S. Lee and J. I. Yoon, 2009, "Performance characteristics of cooler controlled capacity using hot-gas bypass," ICHMT CONV-09 Tunisia, pp. 502-505.
2. J. I. Yoon, S. T. Oh, S. M. Baek, J. H. Choi, J. Y. Byun, S. K. Jeong and C. G. Moon, 2009, "Temperature control of industrial water cooler using hot-gas bypass," WCSET Bali-2009, pp.377-381.
3. H. W. Kim, S. M. Baek, C. G. Moon, E. Kim, and J. I. Yoon, 2010, "The characteristics on the capacity control of inverter type in an industrial water cooler," ICCHT2010-5th Indonesia, pp.016-1~016-6.
4. D. S. Yang, G. b. Lee and M. S. Kim, Y. M. Cho, 2004, "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.

5. Cohen, R, J. F. Hnmilton and J. T. Pearson, 1974, "Possible energy conservation through the use of variable-capacity compressor", Proc. Purdue Compressor Technology Cong., Pursue, USA. pp. 50-54.
6. Hua, Li, J. I. Yoon, and S. K. Jeong, 2004, "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.
7. Lida. K, T. Yamamoto, T. Kuroda and H. Hibi, 1982, "Development of an energy saving oriented variable-capacity system heat pump", ASHRAE Trans. pp. 441-449.