



히트펌프의 양방향 전자식 팽창밸브 개도 따른 냉방성능 Cooling Performance of Heat Pump with Interactive Electronic Expansion Valve

손창효* · 이준혁** · 이상우** · 윤정인* · 문춘근****

Chang-Hyo Son*, Joon-Hyuk Lee**, Sang-Woo Lee**, Jung-In Yoon*
 and Choon-Geun Moon****

(Received 09 October 2019, Revision received 15 October 2019, Accepted 16 October 2019)

Abstract: Heat pumps consist mainly of compressors, evaporators, condensers and expansion valves, and change the flow of refrigerant to allow cooling or heating in a single unit. The expansion valve used in the heat pump is mainly used with the electronic expansion valve for the conventional manufactured cooler, which flows in a single direction, requiring a separate bypass line and check valve, thereby reducing the performance of the freezer. Therefore, in this study, the cooling performance according to the opening step was analyzed using a interactive expansion valve for R-404A, which does not require a bypass line and a check valve during the design of the heat pump. The cooling performance coefficient for R-404A was 3.633 for thermostatic expansion valve, 3.795 for conventional electronic expansion valves and 3.851 for interactive electronic expansion valves. This is an improvement of 6.001% compared to the temperature formula and 1.476% over the conventional electronic system.

Key Words : Heat Pump, Expansion Valve, Interactive Valve, COP, Cooling Performance

— 기 호 설 명 —

Q : 열전달량 [kW]

G : 질량 [kg]

CP : 정압비열 [kJ/kg °C]

T : 온도 [°C]

**** 문춘근(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-3183-6591) :
 이사, ㈜대일
 E-mail : drmchg@gmail.com, Tel : 051-730-8500
 *손창효(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-2143-0515) :
 부교수, 부경대학교 냉동공조공학과
 *윤정인(ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1099-3435) :
 정교수, 부경대학교 냉동공조공학과
 **이준혁(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-4575-8099) :
 대학원생, 부경대학교 냉동공조공학과
 **이상우(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-4678-001X) :
 대학원생, 부경대학교 냉동공조공학과

**** Choon-Geun Moon(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-3183-6591) : Director, Daeil Co., Ltd.
 E-mail : drmchg@gmail.com, Tel : 051-730-8500
 *Chang-Hyo Son(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-2143-0515) :
 Associate professor, Department of Refrigeration and Air Conditioning, Pukyong University.
 *Jung-In Yoon(ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1099-3435) :
 Professor, Department of Refrigeration and Air Conditioning, Pukyong University.
 **Joon-HyukLee (ORCID:https://orcid.org/0000-0002-4575-8099) :
 Graduate student, Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering, Pukyong National University
 **Sang-Woo Lee(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-4678-001X) :
 Graduate student, Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering, Pukyong National University

W : 소요동력 [kW]
COP : 성능계수

하첨자

e : 증발기
I : 내부유닛
O : 외부유닛
w : 물
com : 압축기

1. 서 론

히트펌프는 압축기, 증발기, 응축기, 팽창밸브로 주로 이루어져 있으며, 냉매의 흐름을 바꿔 단일 장치에서 냉방 또는 난방이 동시에 가능하다.^{1,2)} 히트펌프 시스템에서 팽창밸브는 가장 기본적인 제어기기로서, 증발기에 냉매액을 공급하여 증발에 의한 열흡수 작용이 용이하도록 압력과 온도를 강하시키며, 동시에 냉동부하의 변동에 대응하여 적절한 냉매유량을 조절 및 공급하는 역할을 한다. 따라서 팽창밸브는 항상 증발기가 최대의 효과를 발휘할 수 있도록 냉매량을 조절해야하며 최근에는 히트펌프의 효율을 더 높이기 위하여 냉매의 압력과 온도변화에 응답속도가 빠른 전자식 팽창밸브가 주로 사용되고 있다.^{3,4)} 히트펌프에 사용되는 팽창밸브는 주로 기존의 제작된 냉동기

용 전자식 팽창밸브가 사용되며 이는 단일 방향으로 흐르기 때문에 별도의 바이패스라인과 체크밸브가 필요하며 이에 따른 냉동기의 성능저하가 발생한다. 전자식 팽창밸브의 종래연구를 살펴보면 다음과 같다. R. Lazzarin 등⁵⁾은 온도식 팽창밸브를 대체하는 전자식 팽창밸브의 가능성을 평가하기 위한 실험적 연구를 실시하였으며, 시스템 개량에 매우 적은 비용을 소요하면서도 전자식 팽창밸브의 우수한 제어 특성으로 상당한 양의 에너지 절감효과를 확인하였다. H. S. Yang⁶⁾은 수동식 팽창밸브를 사용하여 개도를 조절하여 냉매 순환량에 따른 냉동시스템의 성능변화를 연구하였다. J. D. Kim 등⁷⁾은 공조·냉동장치의 제어시스템 개발을 위해 팽창밸브의 종류에 따른 냉동장치의 성능특성을 평가하였으며, 전자식 팽창밸브가 온도식에 비해 상당히 안정적인 것을 확인할 수 있었다. 또한 장치의 과열도가 증가함에 따라 냉동능력, 증발온도 및 소요동력은 감소하는 경향을 나타내었다. 이와 같이 전자식 팽창밸브와 히트펌프 관련 연구들이 꾸준히 진행되었지만 각각의 변수에 따른 분석이 부족하며 여러 종류의 전자식 팽창밸브의 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 히트펌프 설계 시 바이패스라인과 체크밸브가 필요 없는 R-404A용 양방향 팽창밸브를 사용하여 개도에 따른 냉방성능을 분석하였다.

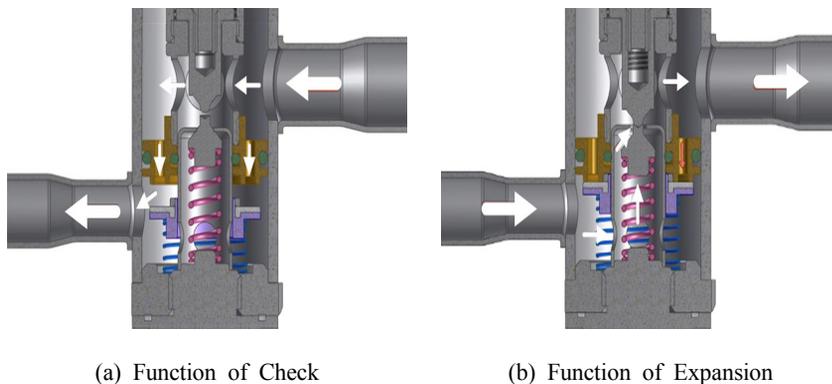


Fig. 1 Interactive electronic expansion valve

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 양방향 전자식 팽창밸브

Fig. 1은 본 연구에 사용된 R-404A용 양방향 전자식 팽창밸브의 구조이다. Fig. 1(a)에서 스냅 모터가 작동하여 샤프트의 드릴이 올라가면서 오리피스를 누르지 않기 때문에 체크역할을 하는 유로는 항상 열려 있으며, 팽창밸브 내에서 냉매는 이 유로를 통해 바이패스하게 된다. Fig. 1(b)에서 마찬가지로 스냅모터가 작동하여 샤프트의 드릴이 내려오면서 오리피스를 누르게 되고 체크기능을 하던 유로는 닫히게 된다. 이에 따라서 샤프트의 하단부와 오리피스 상단 사이에 틈이 생기고 이 틈을 통해 팽창밸브의 역할을 하게 된다. 이에 따라서 양방향 전자식 팽창밸브를 설치 시 별도의 바이패스 라인과 체크밸브를 설치하지 않아도 되는 장점이 있다.

2.2 실험 장치

본 논문의 실험장치는 물 - 물 히트펌프 시스템으로 양방향 전자식 팽창밸브, 기존의 전자식 팽창밸브, 온도식 팽창밸브를 적용하여 그 성능 특성을 비교하였다. Fig. 2는 기존의 전자식 팽창밸브를 사용한 히트펌프 시스템의 개략도이다.

히트펌프는 냉방운전시 증발기에서 증발한 냉매증기가 압축기를 지나 고온, 고압의 냉매증기로

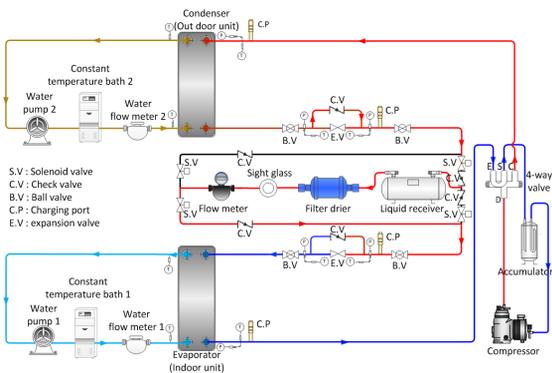


Fig. 2 Schematic diagram of heat pump system applied conventional electronic expansion valve⁸⁾

사방밸브를 지나 응축기로 들어간다. 그리고 응축기의 냉각관에서는 열이 냉매에서 냉각수로 전달된다. 응축기를 나온 냉매는 체크밸브를 지나 수액기에 냉매액의 상태로 들어간다. 냉매액은 수액기를 나와 필터드라이어, 사이트글라스, 질량유량계를 지나 팽창밸브에서 교축과정을 통해 증발기로 들어가게 된다. 증발기에서 다시 냉수와 열교환을 통해 증발한 냉매증기는 다시 압축기를 들어가면서 반복 순환하게 된다.⁹⁾

2.3 실험 조건 및 방법

실험은 KSB ISO 13256-2¹⁰⁾의 물 순환식 히트펌프에 바탕으로 조건을 설정하였다. Table 1은 본 연구의 세부 실험 조건을 나타내었다. 증발기인 Indoor unit의 냉수 온도를 12℃, 응축기인 Outdoor unit의 냉각수 온도를 30℃로 유지하였으며, 두 개의 유닛 모두 각각 질량유량을 2,000 kg/h, 유지하면서 과열도를 6℃, 과냉각도를 1.5℃로 하여 실험을 진행하였다.

Table 1 Experimental conditions

Parameter	Valve	
	Cooling mode	
Refrigerant [-]	R-404A	
Water inlet temperature of indoor unit [°C]	12	
Water inlet temperature of outdoor unit [°C]	30	
Water mass flow of indoor unit [kg/h]	2000	
Water mass flow of outdoor unit [kg/h]	2000	
Refrigerant pressure of indoor unit [bar]	T.E.V	6.31
	E.E.V	6.27
	I.E.V*	6.21
Refrigerant pressure of indoor unit [bar]	T.E.V	18.12
	E.E.V	17.58
	I.E.V*	17.11
Degree of superheat [°C]	6	
Degree of subcool [°C]	1.5	

*Interactive Electronic Expansion Valve

2.4 데이터 해석 방법

본 연구의 냉매 R-404A와 냉·온수의 열 물설치 값 계산은 NIST에서 개발한 냉매 물성치 계산 프로그램인 REFPROP 10.0⁽¹¹⁾을 사용하였으며, 팽창밸브의 다른 히트펌프의 성능 분석을 위해 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$Q_c = G_I \cdot c_{p,w} \cdot \int_{T_{L,out}}^{T_{L,in}} dt \cdot \frac{1}{3600} \quad (1)$$

$$COP = \frac{Q_c}{W_{com}} \quad (2)$$

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 양방향 전자식 팽창밸브를 사용하여 스텝(step)변화에 따른 히트펌프 시스템의 온도 및 압력 변화 특성 시험 파악 및 평가하였다.

3.1 양방향 팽창밸브의 성능 특성

양방향 전자식 팽창밸브의 기본적인 성능 특성을 분석하였다. Fig. 3을 보면 스텝이 증가할수록 증발 압력은 증가하는 경향을 보였지만 응축 압력은 감소하는 경향을 보였다. 증발기 출구 측 냉매의 온도는 감소하고 응축기 출구 측 냉매의 온도는 증가하는 경향을 보였다. 또한 Fig. 4와 Fig. 5에서 스텝이 증가할수록 냉방능력은 증가하는 경향을 보였으나 압축 일량은 감소하는 경향을 보였으며, COP는 증가하는 경향을 보였다. Fig. 6과 Fig. 7은 과열도, 냉방능력에 대해 시간에 따라 나타냈다. 과열도와 냉방능력 모두 시간에 따라 안정적인 능력을 보여주는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 8은 다른 팽창밸브와 COP를 비교하였다.

3.2 다양한 조건에 따른 성능 특성

양방향 전자식 팽창밸브를 적용한 히트펌프의 성능을 다양한 조건에 대해 분석하였다.

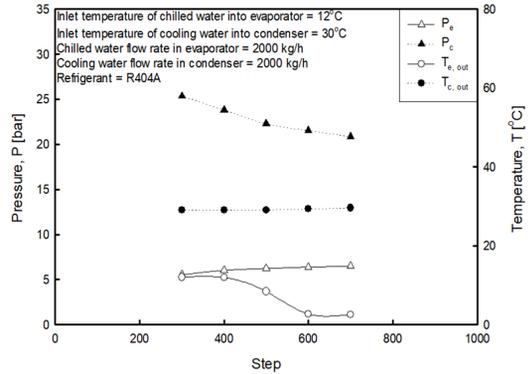


Fig. 3 Pressure & Temperature of evaporator and condenser with respect to opening step

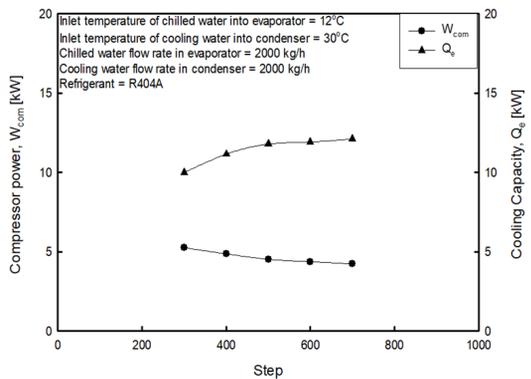


Fig. 4 Compressor power & Cooling capacity with respect to opening step

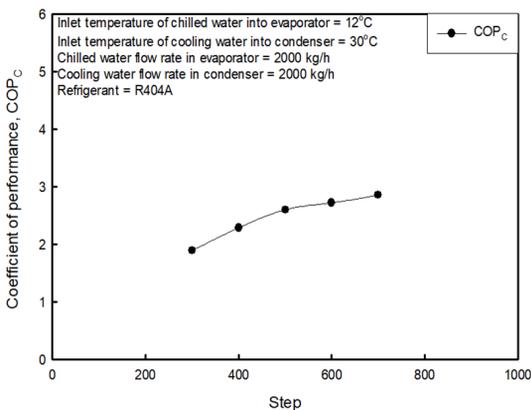


Fig. 5 COP of interactive expansion valve with respect to opening step

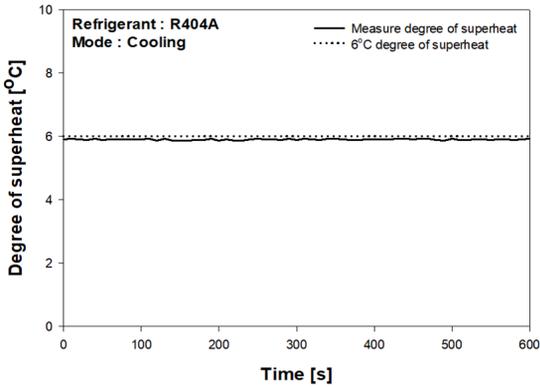


Fig. 6 Degree of superheat with respect to time

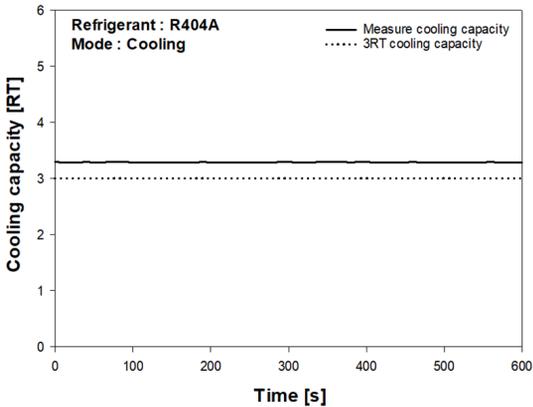


Fig. 7 Cooling capacity with respect to time

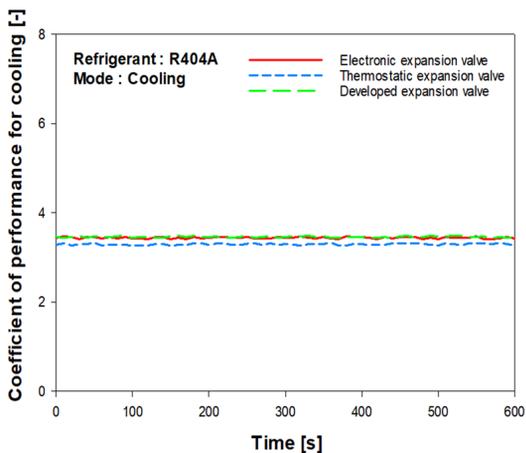


Fig. 8 COP of each expansion valves with respect to time

3.2.1 냉수 온도에 따른 영향

Fig. 9에서 냉수의 온도가 상승하였을 때 같은 응축압력에서 더 많은 팽창밸브의 개도가 열림으로써 더욱 많은 냉매가 흐르는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 10에서 증발압력이 증가한 것을 확인할 수 있다. 그러나 Fig. 11에서 압축일량의 경우 냉매량이 증가하였지만 압축일량의 경우 냉수와 냉각수의 온도차가 줄어들면서 압축비가 작아져 오히려 압축일량이 감소한 것을 확인할 수 있었다. Fig. 12에서 냉수의 온도가 낮은 경우 냉매의 냉매효과가 작을뿐더러 냉매의 유량도 적게 흘러가 냉수의 온도가 감소할수록 냉동능력이 작아짐을 확인할 수 있었다.

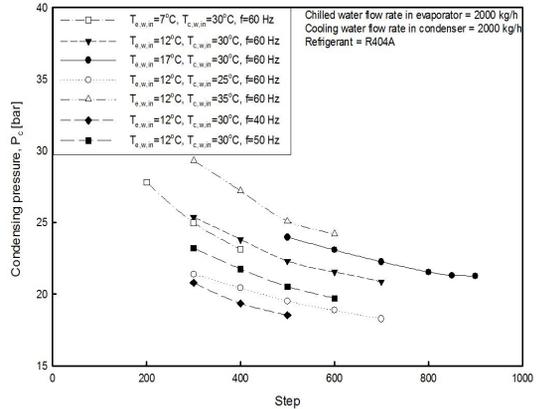


Fig. 9 Condensing pressure with various conditions

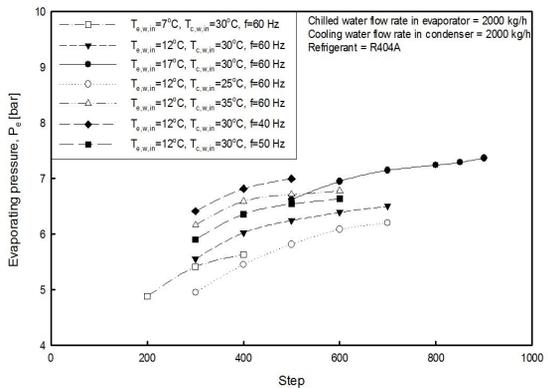


Fig. 10 Evaporating pressure with various conditions

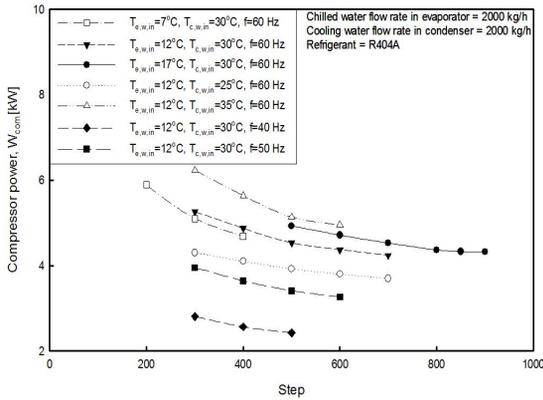


Fig. 11 Compressor power of various conditions

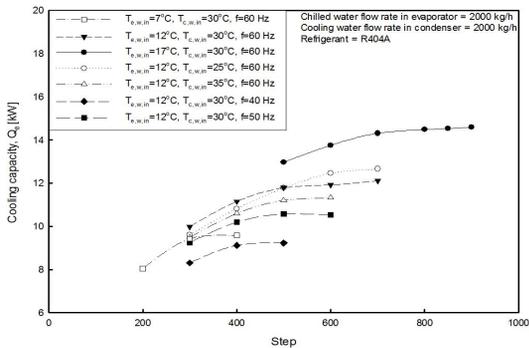


Fig. 12 Cooling capacity of various conditions

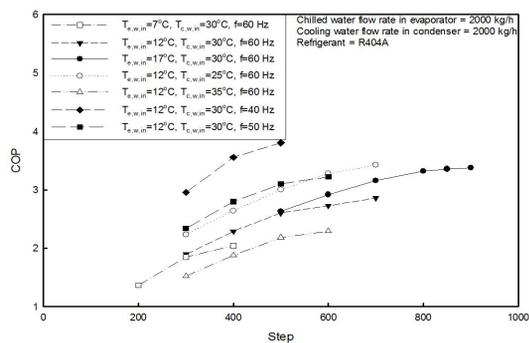


Fig. 13 COP of various conditions

3.2.2 냉각수 온도에 따른 영향

Fig. 9에서 냉각수의 온도가 증가함에 따라 같은 팽창밸브의 개도에서 응축압력이 증가함을 확인할 수 있었다. Fig. 11에서 압축일량은 증발압력과 응축압력이 증가하였지만 압축비와 냉매량이

증가하여 소요동력은 냉각수 온도가 증가함에 따라 증가하였다. 냉방능력의 경우 Fig. 12에서 개도에 따라 거의 비슷한 것을 확인할 수 있다.

3.2.3 압축기 회전수에 따른 영향

Fig. 9에서 압축기 회전수가 감소함에 따라 응축압력은 감소한 것을 확인할 수 있다. 이는 냉매가 응축기에서 체류하는 시간이 길어지기 때문이다. 또한 Fig. 10에서 증발압력의 경우 상승하는 것을 확인할 수 있는 것도 같은 이유 때문이다.

4. 결 론

본 논문에서는 R-404A용 양방향 전자식 팽창밸브를 사용한 히트펌프의 기초성능실험과 다양한 조건에서 성능실험을 실시하였다. 또한 기존의 팽창밸브들과 냉방성능을 비교하고자 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1) 양방향 전자식 팽창밸브의 기존의 팽창밸브와 비교하여 COP 향상을 보였다. 이는 감온통을 사용하는 온도식 팽창밸브와는 비교적 큰 차이를 보였으나, 기존의 전자식 팽창밸브와 비교하였을 경우 미비한 향상을 보였다. 그러나 양방향 전자식 팽창밸브의 다양한 장점을 생각하였을 경우 유의미한 실험결과라고 생각된다.

2) R-404A용 양방향 전자식 팽창밸브는 냉수의 온도에 따라 압축일량, 냉동능력이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

3) R-404A용 양방향 전자식 팽창밸브는 냉각수의 온도에 따라 응축압력, 증발압력, 소요동력이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

4) R-404A용 양방향 전자식 팽창밸브는 압축기의 회전수에 따라 응축압력이 감소하고 증발압력이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

5) Fig. 13을 보면 여러 조건들마다 COP가 최대가 되는 스텝이 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지

지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구
과제입니다. (과제번호: 20162020107620)

Author contributions

C. H. Son; Conceptualization, Investigation J. H. Lee; Formal analysis S. W. Lee; Writing - original draft J. I. Yoon; Project administration C. G. Moon; Supervision.

References

1. D. K. Kim, J. U. Jeon, and K. S. Kim, 2011, "Comparison of actual cooling energy consumption with calculated cooling energy consumption and analysis of energy performance between GHP and EHP", Korean Architectural Society Proceedings Department of Planning, Vol. 27, No. 5, pp. 237-244.
2. S. R. Park, 2010, "Heat pump technology trends", International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, vol. 39, no. 6, pp. 4-13.
3. S. H. Lee and J. M. Choi, 2013, "Transient performance of a system heat pump with the variation of compressor speed and EEV openings", International Journal of Korea Society of Geothermal Energy Engineers, Vol. 9, No. 3, pp. 11-18.
(<https://doi.org/10.17664/ksgee.2013.9.3.011>)
4. D. Y. Han and P. S. Yoo, 2001, "Seasonal performance analysis of the EXV used heat pump system", International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration in Summer Conference, pp. 841-846.
5. R. Lazzarin, D. Nardotto, M. Noro and C. Y. Park, 2009, "Electronic Expansion Valves Vs. Thermal Expansion Valve", The Society of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 38, No. 8, pp. 65-71.
6. H. S. Yang, 2011, "Performance Analysis of Refrigeration System by Adjusting Manual Expansion Valve", Journal of The Korean Society of Industry Convergence, Vol. 14, No. 3, pp. 113-119.
7. J. D. Kim, J. E. Jang and J. I. Yoon, 1998, "Expansion Valves Characteristics for Development of Control System on Air Conditioning and Refrigeration Systems", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 2, No. 7, pp. 34-40.
8. C. H. Son, J. I. Yoon, K. H. Choi, S. J. Ha, M. J. Jeon, S. H. Park and S. B. Lee, 2017, "Cooling performance characteristics of 3RT Heat Pump System applied Electronic Expansion Valve", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 21, No. 6, pp. 79-85.
(<https://doi.org/10.9726/kspse.2017.21.6.079>)
9. C. H. Son, K. H. Choi, S. J. Ha, M. J. Jeon, S. H. Park, D. H. Choi, S. B. Lee and J. I. Yoon, 2018, "Performance comparison of heat pump with electronic and thermostatic expansion valve according to temperature variation of evaporator heat source", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 42, No. 7, pp. 518-523.
(<https://doi.org/10.5916/jkosme.2018.42.7.518>)
10. Water-source heat pumps-Testing and rating for performance-Part 2 : Water-to-water and brine-to-water heat pumps.
11. E. W. Lemmon, M. L. Huber, M. O. McLiden, 2013, NIST Standard Reference Database 23 : Reference Fluid thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, National Institute of Standards and Technology.