

실시간 일정압력 제어기술을 적용한 냉난방장치의 피크부하 저감과 에너지 효율 향상을 위한 시스템 개발

(Development of Heating and Cooling System with New Heat Exchange Cycle for High Efficiency and Peak Power Reduction Using Real time Constant Refrigerant Pressure Control)

최선영* · 이영국 · 최명광 · 최태원**

(Sun-Young Choi · Young-Kug Lee · Myeong-Gwang Choi · Tae-Won Choi)

Abstract

Systemic heating and cooling air conditioning systems are popular in various industrial fields and even home. Recently, the rate of supply of this kind of multi-heat pump has been increased under ESCO financing supporting system. Generally the heat pumping system has a structural simplicity and easy installation benefits. and has good running efficiency under normal designed condition. But under extreme climate condition (over +30°C, under -10°C), this system exposes abnormal power consumption. It causes high progressive electric power rates and resultant peak power capacity of power plant. In this paper, a novel system concept of buffering refrigerant accumulator and constant pressure control system to relieve peak power load is proposed and this system's utility is verified with an prototype experimental system

Key Words : Heat Pump, Buffering Refrigerant Accumulator, Constant Refrigerant Pressure Control

1. 서 론

현재 광범위하게 설치, 사용되고 있는 냉난방 시스템은 냉난방이 동시에 적용되는 시스템형 히트펌프 장치가 주를 이루고 있다[1]. 이는 구조적 간편성과 특

히 우리나라의 상대적으로 저렴한 전력요금에 기인하며, 한동안 에너지 합리화법과 같은 제도적 지원 아래 설치가 장려되어 냉난방 전력 수요에 주축을 이루고 있다[2]. 이러한 냉난방 시스템은 우리나라의 4계절 기후적 특징을 고려할 때 설계 적정범위가 필요하며, 이러한 설계 범위 내에서의 운전은 상당한 효율과 성능 충족을 제공하고 있다[3]. 하지만 냉난방의 실제적 사용조건은 2월 혹한기와 8월 혹서기 최대피크 전력의 가장 큰 수요를 일으키고, 이 시기의 전력 수급은 적정 예비율을 위협하는 수준이며, 이것은 냉난방의 원기능적 문제를 떠나, 블랙아웃이라는 국가적 재난

* Main author : Dept. of Electrical Engineering at Dong-A Univ. Assistant Professor
** Corresponding author : Dept. of Mechanical Engineering at Dong-A Univ. Assistant Professor
Tel : 051-200-0910, Fax : 051-200-7743
E-mail : drputt@dau.ac.kr
Received : 2015. 7. 16
Accepted : 2015. 9. 16

발생 가능성을 높이는 요인 중에 하나이다[4-5]. 이러한 연중 특정기간 동안에 국한된 문제를 해결하기 위하여 운전환경 요건을 충실하게 반영하는 설계는 제품 기준용량의 과설계 및 생산비용의 증가로 이어지며, 아울러 이러한 해법은 당면 피크전력 확대요소를 완화하려는 근본적 문제해결과는 거리가 있다고 할 수 있다[6].

본 논문에서는 위에서 언급한 문제를 효과적으로 수용하며, 전체적 열교환 시스템의 효율향상을 위한 새로운 열교환 사이클을 제안한다. 이 시스템은 열교환 사이클 내 냉매의 압력을 조절할 수 있는 정압 장치를 포함하며, 이 장치는 실시간으로 측정되는 압력 및 온도 요건에 따라서 적절한 냉매압력을 제어하기 위한 지능형 컨트롤 시스템과 함께 적정 열교환 조건을 이루기 위한 기능을 담당한다. 제안되는 방식의 프로토타입 시스템을 통한 실험은 소비전력과 출력 관찰은 물론 시스템의 내구성에도 상당한 영향을 미치는 압축기의 온도등도 제안된 방법의 효율성을 위하여 검토된다.

2. 새로운 열교환 사이클 설계

일반적인 냉난방의 구성은 그림 1과 같이 압축기, 증발기, 응축기, 팽창밸브 등으로 이루어진다.

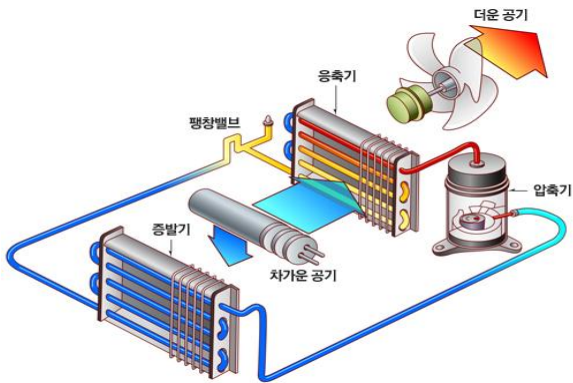


Fig. 1. Standard Heat Exchange Cycle for Cooling or Heating System

2.1 일반방식의 열교환사이클의 문제점

현재 대부분의 냉난방장치는 냉방과 난방을 겸용

하는 구조로 되어있는 것이 보편적인데, 사용되는 냉매는 외부 온도에 민감하여 여름 고온과 겨울 저온의 환경에 따라 성능이 떨어지고 이는 소비전력 증가로 이어진다. 또한 이로 인한 과부하로 기계적 손상도 발생해 기기의 작동 및 수명을 단축시키는 단점이 있다[7].

특히 멀티에어컨 등이 널리 보급되면서 냉매의 압력 제어에 많은 어려움을 겪고 있는 상황이다. 감압기구가 캐필러리 튜브인 경우는 인버터 압축기를 사용할 경우 냉매 토출량이 가변될 때의 즉각적인 대응이 어렵고, 각 실내 열교환기들의 부하가 다른 경우 각 실내 열교환기에 냉매 유량을 적절히 공급할 수 없는 문제점이 있다[8].

또한 표준운전조건 KSC9306(난방 7°C와 냉방 21°C의 시험조건)을 벗어난 저온과 고온의 기온조건에서 인버터 압축기의 경우 표준조건대비 소비전력이 약 3배 이상 증가함을 실험을 통해 알 수 있고, 실제로 냉난방 장치의 설치 시 표시전력보다 약 2~3배 높은 인입전력공사와 차단기가 설치가 되고 있음을 확인할 수 있다. 그리고 표준조건 또한 실제적 냉난방 체감수준을 고려하면 기온과 가동조건에 따라 강화되어야 한다고 할 수 있다. 즉 표준조건 상태에서 냉방과 난방을 사용하는 사용자는 극히 제한적이다.

이러한 기준으로 설계된 냉난방장치의 경우 실내외 온도 상승 및 급변하는 외부 환경 변화에 맞추어 냉매의 압력을 적절히 조절하지 못하게 되며, 그로 인해 냉난방장치의 운전능력 저하 및 운전 불가능 상태가 발생된다. 또한 지나친 소비전력 증가에 따른 전력요금은 누진가중치가 적용되어 소비자에게 과도한 요금 부과되는 불편을 초래한다.

2.2 현재 적용되고 있는 열교환 방식 한계

문제 개선을 위해 적용되고 있는 기존의 방법은 실외열교환기가 외기로 인해 성능이 저하된 경우 실외열교환기가 제 기능을 확보할 수 있도록 실외열교환기에 저온저압의 기체 냉매를 바이패스 시키는 방식과 전자 팽창변을 통한 냉매량을 조절하는 방식 등이 제시되고 있다[8-9].

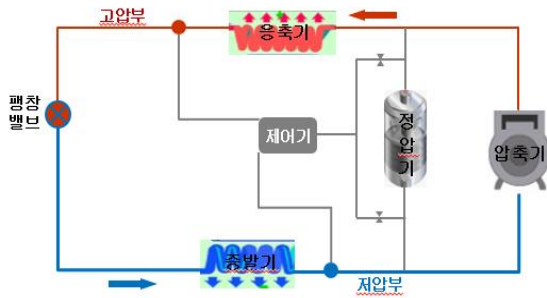


Fig. 2. Proposed Novel Heat Exchange Cycle

그러나 이러한 대안은 히트펌프를 구성하는 요소들 사이에 설계치를 벗어난 냉매 압력이 지속적으로 가해짐으로 인하여 발생하는 응축기의 과부하, 냉매의 증발 불량, 압축기 측 흡입배관으로 인입되어야 할 냉매의 액화 등의 문제를 해결할 수 없어 장치의 냉난방 성능 향상을 크게 기대할 수 없다. 특히 이러한 현상은 외기가 고온일 때 설계 용량 이상의 냉매가 응축기로 유입되고, 응축기는 냉각이 불량한 상태의 냉매를 팽창기로 통과시키게 되며, 이로 인해 냉매가 증발기에서 원활하게 증발되지 않음으로 발생한 액체상태의 냉매가 압축기에 유입되어 압축기의 소손을 가져올 수 있는 순환적 문제점을 야기 시킨다[10].

동계 저온상태에서는 낮은 외부온도로 인해 압축기의 저압압력배관이 냉매 압력 부족상태 또는 진공상태가 된다. 그로 인해 압축기에는 냉매 부족 현상이 발생하고, 이는 응축기 내부에 투입되는 냉매 부족현상을 유발하게 되고, 그 결과 다시 응축기에서의 열교환량이 줄어들어 난방이 원활히 진행되지 않는 순환적 문제점을 초래한다[8,11].

2.3 냉매 정압력제어를 위한 시스템 구현

이와 같은 문제점을 개선하기 위해 본 논문에서는 히트펌프를 구성하는 압축기, 응축기, 팽창기, 증발기 등의 요소들 사이에 온도, 압력을 실시간으로 측정하여 외부기온 변화에 따른 냉매량을 추정하고, 설계치를 벗어나는 냉매가 응축기로 공급될 시 발생하는 히트펌프 성능저하를 개선하기 위한 방법을 제안한다.

이는 하계의 고온 조건에서 히트펌프가 운전될 시 발생하는 히트펌프의 응축 불량 및 과부하로 인한 히트펌프의 성능저하 그리고 압축기의 소손등 문제점을 해결할 수 있다.

응축열교환기의 설계 전열량 Q 는 다음 식 (1)과 같다.

$$Q = \epsilon (m c_p)_{\min} (T_{h,\epsilon} - T_{c,\epsilon}) \quad (1)$$

여기서 $(m c_p)_{\min}$ 는 냉매 질량과 비열의 곱 중 작은 값을 나타내며 $T_{h,\epsilon}, T_{c,\epsilon}$ 는 고온, 저온의 냉매온도이다.

또한 ϵ 는 열교환에 대한 유용도를 나타내며, 냉매와 공기가 직교류의 경우 가중치 W 를 곱한 식 (2)로 표현된다.

$$\epsilon = \frac{1 - e^{-Ntu(1 - C_{\min}/C_{\max})}}{1 - (C_{\min}/C_{\max})e^{-Ntu(1 - C_{\min}/C_{\max})}} \times W \quad (2)$$

C_{\min}, C_{\max} 는 냉매량과 비열 곱의 최소, 최대값이다.

냉매와 공기 사이의 전열능력은 외기온도의 상승에 따라서 축소되며, 이러한 전열능력의 감소는 전체 냉방사이클에 영향을 주며 특히 실내 열교환기와 압축기의 입력냉매에 연쇄적인 영향을 미친다. 따라서 고정된 열교환기의 상대적인 전열능력의 회복이 필요하며, 본 논문에서 제안되는 시스템의 경우 증발기 입구에서 유입 냉매량을 조정하여 즉각적인 사이클 안정화를 도모한다.

제안되는 새로운 형태의 냉매 압력조절 사이클은 냉매압력제어를 위한 정압장치와 순환 사이클의 정압력 조절을 위한 실시간 지능형 제어시스템으로 구성된다 (그림 2)(그림 3).

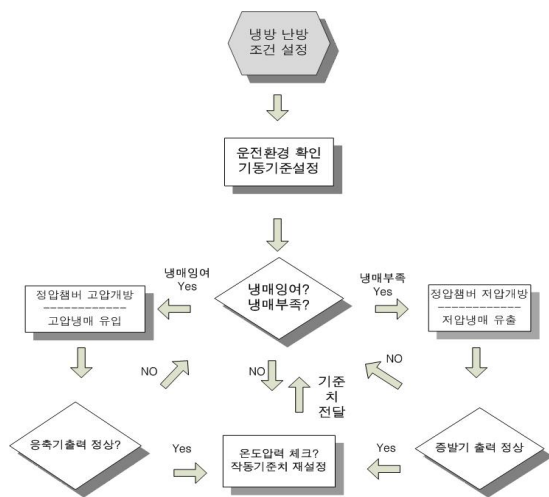
시스템의 작동프로세서는 그림 4와 같다. 그 과정은 다음과 같이 설명될 수 있다. 외기가 고온 환경에서 작동시 설계 용량 이상의 냉매가 응축기로 유입되는 현상을 방지하기 위해 압축기에서 응축기로 투입되는 고온고압의 냉매 압력이 일정범위 이상일 때, 냉매의 일부를 정압장치에 보관함으로써 응축기에 전달되는 냉매압을 효율적으로 조절한다. 내장된 임베디드 제어시스템은 제어알고리즘을 통해 응축기에서 팽창기, 팽창기에서 증발기를 통해 다시 압축기로 전달되는

실시간 일정압력 제어기술을 적용한 냉난방장치의 피크부하 저감과 에너지 효율 향상을 위한 시스템 개발

사이클에 있어서 냉매압을 실시간으로 제어한다.



Fig. 3. Buffering Refrigerant Accumulator



Control Process

Fig. 4. Flow Chart of Control Process

또한 이 제어시스템은 외기가 저온일 때 낮은 외부 온도로 인해 과냉각된 포화증기의 온도를 상승시킴으로써 압축기로 흡입되는 냉매압력의 변화를 가져오며, 이는 동계 냉매배관의 진공현상을 방지하게 되고 이로 인한 장비의 소손과 성능저하를 일정부분 감당할 수 있다. 이는 다시 저압냉매가스(과열증기)의 온도와 압력 변화를 야기시켜 기체 냉매의 밀도를 상승시킨다. 결과적으로 압축기에서 효율적인 압축을 가능하게 하여 과열증기의 온도를 기준보다 10도 이상 상승시킬 수 있다. 따라서 최종적으로 응축열량을 높일 수 있고, 저온시 발생하는 압축기 운전/정지 반복현상을

상쇄할 수 있으며, 냉동사이클의 정상적인 운전을 가능하게 한다.

3. 제안되는 시스템을 적용한 실험

본 실험을 위해서 제작된 시스템은 R-22 냉매가 사용되며, 냉매 압축을 위한 압축기는 Copland Compressor ZR-108 사용된다. 외부열교환기는 160m²의 응축 전열면적을 갖는 응축기로 구성된다. 그림 5는 실험시스템을 보여주고 있다.



Fig. 5. Prototype Experimental System

3.1 제안 시스템 실험 결과

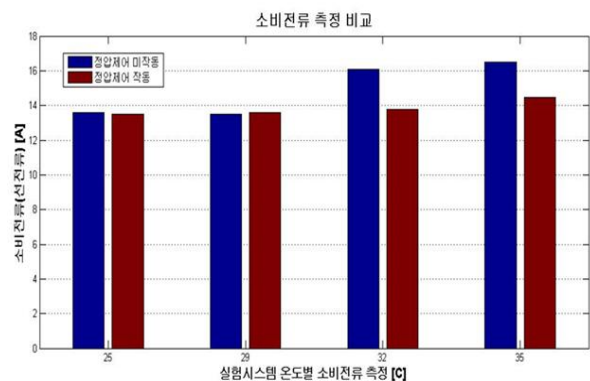


Fig. 6. Comparison of Line Currents

그림 6은 온도별 소비전류를 비교한 것으로 특히 고온(30℃이상)경우 제안된 시스템으로 약 20% 소비전류가 감소됨을 확인할 수 있다.

토출온도의 실험측정 비교 그림 7과 압축기 표면온도 비교 결과, 그림 8로부터 제안된 시스템이 외부 고온환경에서 동작 중 압축기에서 발생한 고온고압의 기체 상태의 냉매가 응축기로 이동시, 응축기의 설계 용량보다 큰 용량의 냉매가 압축기에서 응축기로 보내질 경우 응축기에 설정된 냉매압력 범위를 벗어난 잉여 냉매를 냉매챔버에 저장하여 응축기의 과부하를 방지하고 냉매의 원활한 흐름을 확보하는 과정을 잘 파악할 수 있다. 그 결과 고효율의 출력을 확인할 수 있다.

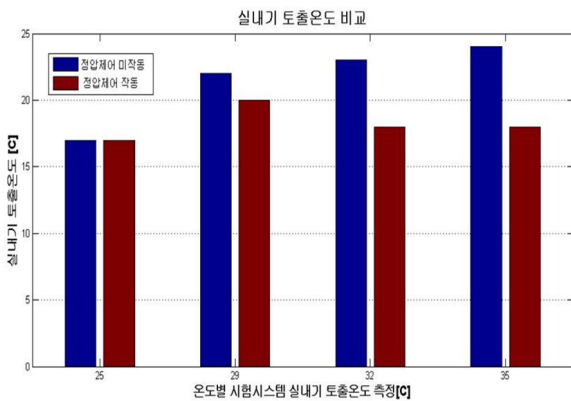


Fig. 7. Comparison of Outlet Temperature

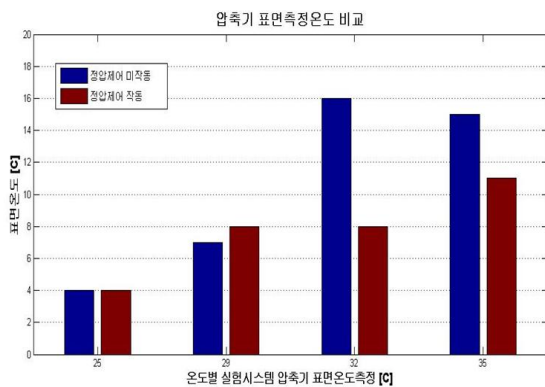


Fig. 8. Comparison of Temperature on Compressor

아울러 외기온도 상승으로 인한 응축기 응축능력 저하시 압축기에서 발생한 일정량의 냉매 중 일부를 저장하여 응축기의 과부하를 방지하고 냉매의 원활한 흐름을 확보한다. 또한 증발기에서 압축기로 이동되

는 저온저압의 기체상태의 냉매는 외기 영향으로 인한 팽창기 또는 증발기의 성능저하 및 오작동이 발생할 경우 기체 냉매의 일부가 액화되어질 수 있는데, 이 경우 압축기는 응축기로 보내기 위한 필요량만큼의 기체 냉매를 확보할 수 없게 된다. 이와 같은 경우 기보관된 기체냉매를 압축기로 이동시켜 압축기가 압축해야할 충분한 양의 냉매를 확보할 수 있게 한다.

실험을 통해서 제안된 사이클과 제어장치는 압축기, 응축기, 팽창기 및 증발기 내에서의 냉매의 압력을 적절히 조절할 수 있으며, 그 결과 응축기의 과부하로 인한 냉난방 효율의 저하를 사전에 방지할 수 있어 운전 효율을 증대시킬 수 있음을 확인할 수 있다. 아울러 완전히 기체 상태로 상변화되지 못한 냉매가 압축기로 유입되거나 냉매의 압력이 부족한 상태로 압축기에 냉매가 전달되어 발생할 수 있는 압축기의 소손 문제를 방지할 수 있다.

4. 결론 및 향후연구

이번 연구에서 새롭게 제안된 냉매 챔버를 포함하는 압력제어 기법을 적용한 냉난방 시스템은 제한된 범위의 열교환 능력만을 고려한 냉난방 시스템과 비교하여 특히 30°C 이상 기본설계 한계를 넘는 고온 환경에서 월등한 소비전력의 감소를 보여주었다. 이러한 시스템은 현재 우리나라에서 8월과 2월에 전력 예비율을 위협하는 피크 부하를 낮추는데 효과적이며, 압축기 부하의 감소에도 크게 기여하여 시스템의 안정성 향상 및 수명연장에 도움을 줄 수 있다. 아울러 제안된 시스템은 통신모듈을 내장하고 있어서, 특히 현재 진행되고 있는 ICT연계형의 스마트 그리드 기술과 접목되면 한시적 피크부하에 기인하는 불가피한 발전용량 증설 및 제한 급전과 같은 문제점을 완화할 수 있는 좋은 방안이 될 수 있다. 아울러 산업용 냉장 시스템 및 냉장고에도 적용함으로 피크부하의 절감 및 열교환 주요 구성품의 내구성 향상에 크게 기여할 수 있다. 향후 연구는 설계 온도범위의 조건에서도 단계별 압력제어를 통하여 에너지 절감의 대한 최고 효율을 기대할 수 있는 통합적 제어장치를 개발하고자 한다.

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2014년도 산학연협력 기술개발사업(No.C0219472)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- [1] KINTI, "Current technique in Airconditioning using Heat-pump" Research Report Vol.85, 1992.
- [2] J. H. Cha, "Heat-pump for Refrigeration and Air-conditioning", 2004, Current technique Report, Korea Institute of Industry and Technology Information.
- [3] D. A. Reay, "Compact heat exchangers, enhancement and heat pumps", Int. J. Refrigeration, vol.25, June 2002.
- [4] S. D. Kim, Y. S .Kim, W. J. Lee "Empirical Analyses of the Effect of DSM on Peak Time Power Demand in Korea", Environmental and Resource Economics Review, Volume 17, Number 2, June 2008 pp.213-233.
- [5] W. C. Yun, Y. H. Sonn, "The Economic Comparison of EHP and GHP for Medium Capacity Air-conditioning ", Environmental and Resource Economics Review Volume 20, Number 2, June 2011 pp. 381-398.
- [6] C. G. Moon, S. D. Kim "An Application of the Multilevel Model Estimation and Prediction of the Heat Load Profile Using Weather and Heating/ Cooling Data", Environmental and Resource Economics Review Volume 16, Number 4, December 2007 pp. 803-832.
- [7] Y. S. Jang, B. H. Kang, "Contribution rate analysis of Multi-Heatputm System during to Peak Power during Winter Season", Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Volume 39, No.11, Nov. 2010, pp.17-21.
- [8] J.S. Song, "Simulation on the Performance of a Multi-type Heat-pump System with a Variation of Pipe Length and Height", Thesis for M. Sc. Eng Korea Univ. 2006.
- [9] K. M. Yeo, "The Heat-pump Superheat Control by using an IntelligentAlgorithm" Thesis for M. Sc. Eng Kookmin Univ.2012.
- [10] H. B. Choi, J. C. Lee, A. N. Kang, "Study on the Smart Energy Management Through the Peak Energy Monitoring and Load Controls by Level" The Journal of KIIT, Volume11, No. 1, 2013, pp.35-40.
- [11] D. H. Lee, "A study on performance improvement of air conditioner adopting condensed refrigerant bypass method", Thesis for M. Sc. Eng Chung Ju Univ, 2009.

◆ 저자소개 ◆



최선영 (崔善榮)

1991년 2월 동아대학교 전기공학과 졸업. 1994년 2월 동아대학교 전기공학과 전력전자 졸업(석사). 2015년 2월 창원대학교 전자공학과 졸업(박사). 2002~2010년 Whitestonet Korea Rep. 2012년~현재 동아대학교 전기공학과 조교수.



이영국 (李永國)

1996년 2월 포항대학 전자계산기와 졸업. 1989~1995년 육군 기술 부사관. 1997~2012년 세협기계 영호남지사. 2012년~현재 네오그린엔지니어링(주) 대표이사.



최명광 (崔銘洸)

2004년 2월 동명정보대학 로봇시스템 졸업. 2009년 2월 부경대학교 산업대학원 제어계측시스템 졸업(석사). 2015년 2월 동아대학교 대학원 전기공학과 재료(박사 수료).



최태원 (崔泰元)

1984년 2월 동아대학교 기계공학과 졸업. 1992년 8월 동아대학교 기계공학과 졸업(석사). 2003년 2월 동아대학교 기계공학과 졸업(박사). 1984년 4월~2009년 4월 (주)대우버스 공장장. 2012년~현재 동아대학교 기계공학과 조교수.