

해설논문

탠덤 히트펌프의 스마트형 운전제어 Smart Type Operation Control of Tandem Heat Pump System



손 지 훈
Ji-Hoon Son

· 한국해양과학기술원 연구원
· minyoujin@kisot.ac



이 호 생
Ho-Saeng Lee

· 한국해양과학기술원 선임연구원
· hoslee@kiost.ac



김 현 주
Hyeon-Ju Kim

· 한국해양과학기술원 책임연구원
· hyeonju@kiost.ac

1. 서 론

히트펌프는 저온의 열원으로부터 열을 흡수하여 고온의 열원에 열을 주는 장치로서 실내의 난방에 널리 사용되고 있는데, 난방 및 난방이 선택적으로 이루어지게 시스템을 구성하고, 응축기에서 방출되는 고온의 열을 난방 및 급탕에 이용하며, 또한 증발기에서 차가워진 냉열을 건물의 난방에 이용한다. 이러한 히트펌프는 저급열원(공기, 물, 지열, 배열 및 폐열 등)으로부터 에너지를 취득하여 냉·난방 및 급탕과 플랜트 공정용의 고급에너지로 변환시키는 비연소성이고 환경 친화적인 열원기기로, 지열에너지, 태양열과 더불어 CO₂ 배출저감에 크게 기여하여 에너지 소비 절약 수단의 하나로 주목받고 있다.¹⁾

히트펌프의 고효율화는 히트펌프를 구성하고 있는 주요 구성부품과 시스템 최적화를 통해 이루어진다. 그중에서도 히트펌프의 제어는 시스템의 최적화 및 성능·효율 향상을 위해서 필수적이다. 따라서 본고에서는 히트펌프시스템의 제어를 위한 정보제공을 목적으로 히트펌프시스템 제

어의 종류와 다수대의 히트펌프를 사용하는 시스템에서의 통합적인 제어가 가능한 탠덤 히트펌프의 스마트 운전제어 방법에 대해 소개하고자 한다.

2. 히트펌프

구동 방식에 따라 전기식과 엔진식, 열원에 따라 공기열원식·수열원식(폐열원식)·지열원식 등으로 구분된다. 또 열 공급방식에 따라 온풍식·냉풍식과 온수식·냉수식, 펌프의 이용 범위에 따라 난방·냉방·제습 및 냉난방 겸용 등으로 분류된다.

구조는 압축기·증발기·응축기·팽창밸브 등으로 이루어져 있다. 작동원리는 난방용의 경우, 압축기에서 고온·고압으로 압축된 냉매를 기화시킨 다음 응축기로 보내 높은 온도의 열을 온도가 낮은 바깥쪽으로 내뿜는 사이클을 반복하도록 구성되어 있다. 냉방용은 이와 반대로 응축기는 증발기로, 증발기는 응축기로 작용하도록 만들어 응축된 냉매가 더운 바깥 공기와 열교환됨으로써 냉방을 하고자 하는 대상 지점을 차갑게 만들도록 시스템이 구성되어 있다. 현재 대부분의 히트펌프는

냉방과 난방을 겸용하는 구조로 되어 있다. 히트펌프는 저온부에서의 흡수하는 열원을 다양하게 이용할 수 있으며 열원에 따라 히트펌프의 성능은 많은 차이를 보이게 된다.

2.1 히트펌프의 제어

히트펌프의 성능과 효율을 높이기 위한 제어는 1977년부터 전기·전자기술의 발달로 히트펌프 시스템에 마이크로프로세서(Micro-processor, MICOM)를 장착한 제품이 시장에 나타났으며, 현재는 대부분의 히트펌프 시스템에는 마이크로프로세서를 장착하여 사용하고 있다. Table 1 은 히트펌프의 제어에 대해 나타내고 있다. 히트펌프의 제어에는 유량제어, 보조가열, 압축기용량, 열교환장치, 안전제어, 축열제어 등으로 구분된다.

Table 1 Control Types of the Heat Pump

Control	Contents
Discharge	Refrigerant Flow Control
	Heat Exchange Medium Flow Control
	Flow Control for Stable Operation of Compressor
Support Heat	Heating using Refrigerant Heater
	Indoor Evaporator Heating
	Direct Heating of Heat Exchange Medium
Compressor Capacity	Capacity Control Method for Comfort
	Control of Operation Stability
Heat Exchanger	Evaporator / Condenser
	Unused Energy related to the heat exchanger
	System Configuration for a Heat Exchanger
Safety	Operation Monitoring / Safety Control
	Compressor Safety Control
	Refrigerant / Oil Safety Control
Thermal Storage	System Configuration and Operation Method
	Structure and method of Heat Storage Tank

히트펌프 시스템 주요부위의 온도, 압력값을 입

력으로 하여 압축기, 팬, 밸브 등의 요소기기에 대한 제어를 수행하여 기존시스템에 비하여 시스템의 효율 향상 및 최적화와 쾌적성 향상을 이루었다. 히트펌프제어에 관한 분야는 다양하지만, 마이크로프로세서의 출현과 함께 히트펌프 시스템의 최적화, 과도적 성능 향상, 부하 변동 대응 등의 히트펌프 핵심 기술에 가장 큰 영향을 준 것은 가변속 압축기와 전자팽창밸브이다.²⁾

3. 스마트형 운전제어방법

히트펌프는 적용대상이 매우 다양하다. 적용대상의 규모가 커지면 커질수록 시스템 또한 복잡해지기 마련이고, 복잡해진 시스템은 여러 가지 문제점을 발생시킬 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 가장 기본적인면서도 효율적인 방법은 제어시스템의 적용이다. 그중에서도 무분별한 히트펌프의 가동으로 인한 압축기의 파손은 가장 흔히 일어나는 고장 원인 중에 하나이다.

기존의 압축기는 초기 운전시에 압축기내에 냉매액이 잔류하여 압축기 기동 입력전류가 한계전류치를 넘는 경우가 자주 발생함에 따라 단순 횡수에 의해서만 압축기의 온오프동작을 반복하는 경우 압축기 기구부의 파손과 모터의 손상으로 신뢰성에 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 인버터 압축기를 사용하여 제어를 하게 되는데, 인버터 압축기는 히트펌프에서 냉매를 압축하는 일을 수행하고, 운전주파수에 따라 냉매 압축 정도가 달라진다. 운전 주파수가 높아지면 인버터 압축기는 낮은 주파수에 비해 보다 많은 냉매를 압축한다. 냉매 압축률이 상승하면 냉매 압력도 증가하고, 응축기의 응축온도도 상승한다.

상기와 같이 인버터압축기는 최대 운전 주파수가 낮게 설정되어 있을 경우 응축온도 상승을 억제하지만 실내 온도가 낮을 때 급속난방을 수행하지 못하므로 난방 용량을 약화시켜 제품 신뢰도를 하락시키는 문제점이 발생할 수 있다. 또한, 최대 운전 주파수가 높게 설정되어 있을 경우 실내온도가 높을 때 실내 온도 상승으로 인한 응축온도의 상승부분을 고려하지 않으므로 응축 온도

상승으로 인버터 압축기에 과부하를 주는 문제점이 있고 여러 대의 히트펌프가 가동되기 때문에 효율적인 운전이 되지 않으면 과도한 전력소모와 장비의 내구도 하락이 발생할 수 있다.

상기와 같은 문제점들을 고려하여 다수대의 히트펌프를 적용한 시스템의 제어방법에 대한 스마트형 운전제어방법에 대해 소개해보고자 한다.

3.1 실내온도를 이용한 제어

Fig. 1처럼 다수대의 히트펌프를 배치하여 가동할 경우, 다수대의 히트펌프 중 1대는 인버터압축기가 포함된 히트펌프와 나머지는 다수대의 일반 히트펌프를 탠덤형으로 배치하여 실내 온도에 따라 운전제어를 하게 된다.

3대의 히트펌프를 탠덤형으로 구성하여 가동한다면 초기 운전시 설정온도를 결정하고, 설정온도와 실내온도의 차를 단계별 운전주파수를 설정하여, 인버터 압축기의 운전을 시작한다. 실내온도가 설정온도에 도달하면 인버터압축기는 운전을 정지하고, 실내온도감지부를 통해 실내온도를 감지한다. 감지된 실내온도를 판단하여 설정된 운전주파수대로 인버터 압축기의 운전을 재시작한다.

운전 시작후에 3대의 히트펌프가 탠덤으로 구동될 때, 설정온도와 실내온도의 차이를 지속적으로 감지하여 단계별 운전제어를 시작한다.

사용자가 설정한 설정온도와 실내온도 차이의 최고온도가 100%일 경우, 각 단계별로 설정온도와 실내온도차이율에 따른 운전방법은 총 4단계로 나눌 수 있다.

1단계에서 설정온도와 실내온도의 차이가 30%일 때, 인버터압축기만 90%를 운전하게 되고(3대의 히트펌프는 각 33%씩의 분담율을 가진다), 2단계에서 설정온도와 실내온도의 차이가 50%일 때, 전체 온도차 50%중에서 33.33%는 일반압축기 1대를 100%로 운전하고, 나머지 16.67%는 인버터 압축기를 50%로 운전하게 된다. 3단계에서의 설정온도와 실내 온도의 차이가 70%일 때, 전체 온도차 70%중에서 66.66%는 일반압축기 2대를 100%씩 운전하고, 3.34%는 인버터 압축기를 10%로 운전하여 나머지 분담율을 해결한다. 4단계 설정온도와 실내온도의 차이가 100%일 때는 인버터, 일반압축기인 총 3대의 압축기가 담당하여 운전하는 단계로 구분된다. 다음으로 각 부에 흐르는 유량은 각 단계별 히트펌프의 상태를 감지한

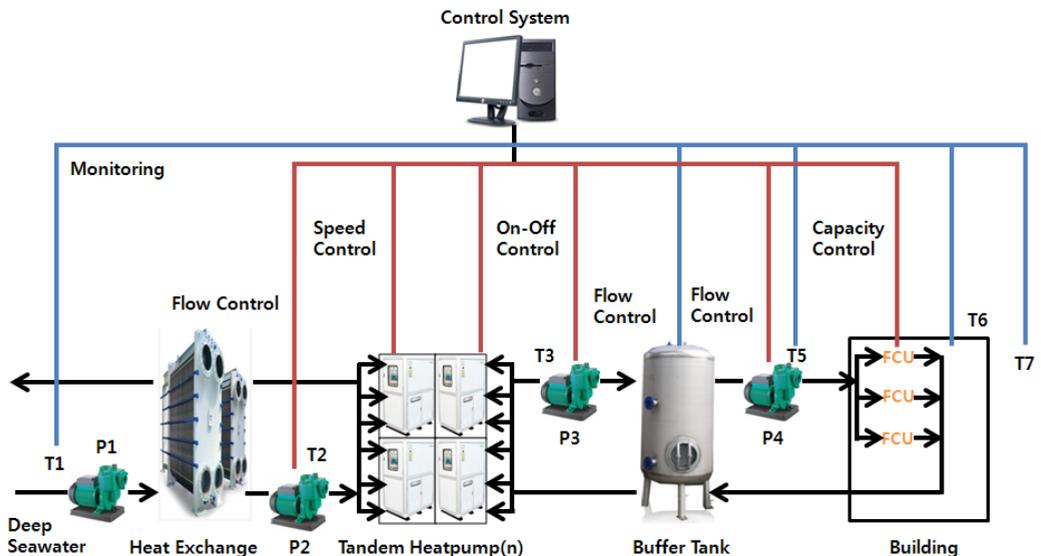


Fig. 1 Schematic diagram of smart control system on seawater air conditioning system

후, 그에 해당하는 만큼의 적정유량을 공급하게 되고, 실내로 공급되는 FCU는 각 단계별 히트펌프의 상태에 따라 회전수제어를 통해 풍량제어를 실시한다.

4단계의 조건후에도 설정온도와 실내온도차이에 따라 단계별로 인버터압축기와 다수개의 일반 압축기를 사용자가 설정한 조건범위내에서 계속적으로 감지 및 운전제어를 하고, 각 부에 흐르는 유량 및 실내의 FCU의 풍량제어를 한다. Table 2는 탠덤형 히트펌프의 스마트형 운전제어방법을 나타낸 것으로 통합적인 시스템제어를 통해 선택적이고 유동적인 제어가 가능하다.

Table 2 Specification of Smart Type Control of Tandem Heat Pump System

Process	Contents
1	Operation set(Indoor temperature and load)
2	Set temperature reach → Stop
3	Restart → Indoor temperature and load sensing
4	Indoor temperature and load occurrence 1. Reducing of load on compressor 2. Reducing of remaining temperature and load on inverter compressor
5	Heat pump condition sensing 1. Flow control(each part) 2. FCU capacity control of indoor

3.2 실내부하를 이용한 제어

실내부하를 이용한 제어의 경우에는 전체적으로 실내온도를 이용한 제어방법과 유사하지만, 감지하는 부분에 다른 차이가 있다. 실내부하를 이용한 제어의 경우에도 다수대의 히트펌프를 배치하여 가동할 경우, 다수대의 히트펌프 중 1대는 인버터압축기가 포함된 히트펌프와 나머지는 다수대의 일반히트펌프를 탠덤형으로 배치하여 실내 부하판단에 따라 운전제어를 하게 된다.

실내부하에 따라 단계별 운전주파수를 설정하여, 인버터 압축기의 운전을 시작한다. 설정부하에 도달하면 인버터 압축기는 운전을 정지하고, 감지부를 통해 실내부하를 감지한다. 감지된 실내

부하를 판단하여 설정된 운전주파수대로 인버터 압축기의 운전을 재시작한다. 운전시작후에 3대의 히트펌프가 탠덤으로 구동될 때, 실내부하를 지속적으로 감지하여 단계별 운전제어를 시작한다.

사용자가 설정한 실내부하가 최고 100%일 때, 각 단계별로 실내부하에 따른 운전방법 또한, 4단계로 나눌 수 있다. 1단계에서 실내부하가 30%일 때, 인버터압축기만 90%를 운전하게 되고(3대의 히트펌프는 각 33%씩의 부담율을 가진다), 2단계에서 실내부하가 50%일 때, 전체 부하 50%중에서 33.33%는 일반압축기 1대를 100%로 운전하고, 나머지 16.67%는 인버터 압축기를 50%로 운전하게 된다. 3단계에서의 실내부하가 70%일 때, 전체 온도차 70%중에서 66.66%는 일반압축기 2대를 100%씩 운전하고, 3.34%는 인버터 압축기를 10%로 운전하여 나머지 부담율을 해결한다. 4단계 실내부하가 100%일 때는 인버터, 일반압축기인 총 3대의 압축기가 담당하여 운전하는 단계로 구분된다. 각 부에 흐르는 유량은 각 단계별 히트펌프 상태에 따라 그에 해당하는 만큼의 적정유량을 공급하고, 실내의 FCU는 각 단계별 히트펌프 상태에 따라 회전수제어를 통해 풍량제어를 실시한다. 일반적으로 각 설정단계별로 일반압축기가 담당하는 부분과 나머지 부하율을 인버터압축기가 담당하는 부분으로 구분된다. 현재까지의 운전제어방법들은 3대를 가동할 경우지만, 대수에 따라서 적용율은 다양하게 적용이 가능하다.

3.3 스마트형 운전제어를 통한 효과

탠덤형 히트펌프의 스마트형 운전제어는 단계별 운전주파수를 설정하여 인버터 압축기를 포함한 일반 압축기의 회전수제어를 통해 제어를 하게 된다. 이러한 제어를 통해 급격한 온도 변화가 발생해도 기존의 압축기의 잦은 on-off 방식이 아닌 설정온도와 실내온도 차이로 인해 설정된 최대운전주파수내에서 선택적으로 제어를 하여 유동적인 운전제어가 가능하기 때문에 신속한 대응이 가능하여 쾌적한 냉난방을 실시할 수 있으며, 압축기의 무리한 운전이나 비효율적인 운전을 방지하여 불필요한 전력소모를 줄일 수 있다.

또한, 급격한 부하 발생시에도 신속한 대응이 가능하기 때문에 쾌적한 냉난방이 가능하며, 압축기의 무리한 운전이나 비효율적인 운전을 방지하여 압축기의 수명연장과 사이클의 안정성을 확보할 수 있다. 전체적으로 각 설정단계별로 통합적인 시스템제어를 통해 선택적인 제어가 가능하기 때문에 장소나 환경에 따라 유동적인 제어를 함으로써, 제어방법의 적용가능성이 매우 높다.

4. 결 론

지금까지 히트펌프, 히트펌프시스템의 제어, 스마트형 운전제어 등에 대해 개략적으로 살펴보았는데, 요약하면 다음과 같다.

히트펌프는 여러 가지 열원을 적용하여 사용하고 다양한 부분에 적용이 가능한 친환경적이고 비연소적인 장치이다. 하지만 히트펌프의 성능과 효율에는 한계가 존재하고 완벽한 성능을 내기에는 여러 가지 변수가 따른다. 이를 위해 히트펌프의 고효율화가 필요하고, 그중에서도 히트펌프의 제어는 시스템의 최적화 및 성능·효율향상을 위해서는 필수적이다. 히트펌프는 구동, 열원, 열공급방식에 따라 구분되고, 히트펌프의 제어는 기본적으로 마이크로프로세서를 장착하여 제어를 한다.

히트펌프의 적용대상의 규모가 커지면 시스템이 복잡해지고 여러 가지 문제점도 발생할 수 있다. 이런 문제점의 해결을 위해서는 제어시스템의 적용은 필수적이다. 적용대상의 규모가 큰 경우 여러대의 히트펌프를 적용하여 사용하게 되고, 이를 위한 효율적인 스마트형 운전제어에 대한 방법을 소개하였다. 스마트형 운전제어방법은 인버터압축기가 포함된 1대의 히트펌프와 다수개의 일반히트펌프를 탠덤형으로 배치하여 실내온도 및 부하판단에 따라 최대 운전 주파수를 단계별로 설정한 인버터압축기가 포함된 1대의 히트펌프와 다수개의 일반히트펌프를 조건범위내에서 운전 제어하고, 제어되는 히트펌프의 상태를 감지하여 각 부에 흐르는 유량 및 실내의 FCU의 풍량 제어를 포함한 통합적인 시스템제어를 통해 불필요한 전력소모를 줄이고, 쾌적한 냉난방을 실시할

수 있으며 압축기의 무리한 운전이나 비효율적인 운전을 방지하여 압축기의 수명 연장과 사이클의 안정성을 확보해 선택적이고 유동적인 제어가 가능하게 한다.

히트펌프시스템의 고효율화를 위해서는 히트펌프 장치의 부품개발, 사이클 개발 등 많은 부분에서의 연구개발이 진행되어야 하지만 히트펌프를 설치 후 후속조치가 이루어지지 않는다면 히트펌프의 원래 성능조차도 기대하기 힘들 것이다. 성능향상과 더불어 에너지 절약이라는 더 중요한 과제를 이루기 위해서는 지속적인 연구개발은 필수적일 것이다.

후 기

본 연구는 국토해양부의 지원으로 수행된 “해양심층수 에너지 이용 기술개발” 과제의 연구결과 중의 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. D. B. Na, 2010, "Heat Pump Technical Trend and Patent Information Analysis", Report of Korea Institute of Science and Technology Information
2. J. G. Kim, 2004, "Heat Pump", PM Report, Korea Intellectual Property Office, Korea Invention Promotion Association.
3. H. S. Lee, 2012, "An Experimental Study for Performance Characteristics of 60RT Seawater Air-Conditioning System", Journal of the Korea Society of Ocean Engineers, Vol. 1, No. 1, pp. 1670-1675.
4. H. S. Lee, 2012, "Performance Characteristics of Cooling Heat Pump using Seawater", Journal of the Korea Society for Marine Environment and Energy, Vol. 1, No. 1, pp. 344-350.