

## 고효율 공기열원 히트펌프시스템 실용화 연구

\*한 장민<sup>1)</sup>, 김 영택<sup>2)</sup>

### Study for High Efficiency Heat Pump System Commercialization with Air Heat Source

\*Jang-Min Han, Young-Taek Kim

#### Abstract :

공기열원 히트펌프시스템의 문제점, 즉 열효율, 안정성, 착상에 대한 현황을 파악하고 이를 해결하기 위한 연구를 수행하였다. 열효율과 안정성을 위해 기존 시스템을 보완한 8행정 냉매사이클시스템 개발과 제어시스템의 개발을 통해 히트펌프 시스템의 효율을 2배 정도 증가시키고, 안정성을 높이며, 착상 문제를 최소화할 수 있도록 하였다. 개발된 공기열원 히트펌프시스템의 COP는 평균 5정도이고, 안정적으로 운용되는 외부 온도는 -10 °C에서 55 °C까지이다. 토출되는 온수의 온도는 50 ~ 60 °C 정도이다. 평균 제상시간은 1분 이내이다. 앞으로 개발해야 할 문제는 외부 온도 -10 °C 이하지역에서 보조열원 없이 난방을 할 수 있고 친환경 냉매를 사용하며 COP가 7이상인 고효율 히트펌프시스템을 실용화하는 것이다.

**Key words** : Air Heat Source(공기열원), Heat Pump(열펌프), Compressor(압축기)

#### Nomenclature

°C : Celsius Temperature  
kW : kilowatt

#### subscript

COP : coefficient of performance  
IEA : International Energy Agency  
ETP : Energy Technology Perspective

### 1. 서론

자연에서 얻을 수 있는 에너지원은 태양광, 수력, 조력, 풍력 등 운동에너지를 이용한 전기와 공기, 물, 땅 등이 저장하고 있는 위치에너지를 이용한 열이 있다. 이번에 기술하고자 하는 것은 무한 청정에너지원인 공기, 물, 땅이 갖고 있는 에너지를 얼마나 효율적으로 열로 변환할 수 있는가 하는 것이다. 이들 가운데 공기는 지구상 어느 곳에서든 쉽게 접할 수 있는 에너지원이다. 이것은 열에너지를 최대 효율로 활용할 수 있는 장비의 개발을 필요로 한다.

장비는 기본적인 구동원으로 최저비용이 소요되는 전기를 사용한다. 즉, 1kW의 전력으로 최대

의 열량을 생산할 수 있는 장비를 개발하는 것이다. 지금까지 개발된 장비 가운데 최대의 효율을 내는 것은 히트펌프시스템이다.

최근 선진국에서 냉난방시스템으로서 히트펌프시스템이 채택되고 있는 것은 시스템의 고효율성 때문이다. 또한 히트펌프시스템이 지구온난화 가스인 이산화탄소의 증가로 인한 기후변화대책과 국제규약제약 등에 가장 효율적인 시스템이라는 IEA ETP 보고서에 근거를 두고 있다. 이에 따라 히트펌프의 효율과 에너지 절감량을 정량화하기 위한 신규 제정을 서두르고 있다. <sup>(1-3)</sup>

히트펌프시스템은 냉동공조용으로 개발된 것으로 난방 및 급탕에서 요구하는 50 °C 이상의 열을 장시간 안정적으로 공급하는 장비로는 부적합하다. 따라서 장시간 안정적으로 50 °C 이상의 열을 낼 수 있는 히트펌프시스템의 개발은 핵심사항이다.

본 논문에서는 냉매사이클시스템의 최적화를 통해 저온과 고온에서 냉방과 난방을 할 수 있는 고효율 공기열원 히트펌프시스템의 실용화에 대한 현황을 기술한다.

1) (주)엑셀코리아

E-mail : jmhan@accelkorea.co.kr

Tel : (042)933-1551 Fax : (042)933-1881

2) (주)엑셀코리아

E-mail : ytkim@accelkorea.co.kr

Tel : (042)933-1551 Fax : (042)933-1881

## 2. 공기열원 히트펌프시스템 연구

현재 다양하게 개발되고 있는 공기열원 히트펌프시스템의 경우, 압축기, 열교환기, 냉매 및 오일, 냉매 사이클시스템, 제어시스템, 보조가열장치에 대하여 다양한 연구가 진행되고 있다.

### 2.1 압축기

히트펌프시스템에서 압축기는 핵심 부품으로 10 °C 내외의 저온 저압의 가스(냉매)를 흡입하여 70 °C 내외의 고온 고압 가스를 토출하고 냉매에 순환력을 주며 에너지효율을 결정한다. 압축기가 최대 효율을 내기 위해서는 공기열원이 안정적인 즉, 10 °C- 30 °C 정도를 지속적으로 유지하는 것이 중요하다. 최근 개발되고 있는 2단 압축기는 영하 15 °C에서도 안정적으로 작동이 가능하다. 그러나 장비 가격이 기존 압축기에 비해 1.5배 이상인 관계로 소비자들이 구입을 선호하지 않는다.

### 2.2 열교환기

히트펌프시스템에서 열교환기는 응축기와 증발기 부분에 위치하며 공기와 냉매, 물과 냉매의 열교환을 담당한다. (4) 공기와 냉매가 접촉하는 부분의 1차 열교환기는 특수한 경우를 제외하고 일반적으로 부식의 염려가 없기 때문에 알루미늄, 구리 등 열전도성이 뛰어난 소재를 사용하여 제작한다. 그러나 물과 냉매가 접촉하는 1차 열교환기 혹은 물과 물이 접촉하는 2차 열교환기는 물의 성분 즉 순수한 물, 오수, 바닷물에 따라 특수한 소재를 사용하여 제작한다. 제작 시 일반적으로 고려되는 것은 장비 가격과 안전성 즉, 내부 식성이 얼마나 우수한가 하는 점이다. 순수한 물에 사용하는 열교환기 소재로는 철, 스테인레스 316이 많이 사용된다. 염분이 함유된 물의 경우, 열교환기 소재로 티타늄과 플라스틱이 사용된다. 티타늄의 경우, 열전도성이 우수하나 가격이 스테인레스스틸 보다 5배 이상 비싸 사용을 선호하지 않는다. 플라스틱의 경우, 가격이 저렴하나 열전도성이 낮아 열변환 효율이 낮은 것이 단점이다. 최근 열전도성이 뛰어난 플라스틱, 구리의 10분의 1정도,의 개발이 이루어지고 있어 향후 히트펌프 시스템에 다양하게 활용될 것으로 예상된다.

### 2.3 냉매 및 오일

히트펌프시스템에서 사용되는 냉매는 고온 고압의 기체부터 저온 저압의 액체 상태로 유지할 수 있으며 열교환에 필요한 열을 함유하고 있는 유동성 물질이다. 현재 주로 사용되고 있는 냉매는 R11, R22 계열이나 환경에 유해한 물질로 알려져 있어 CO<sub>2</sub> 와 같은 대체 냉매를 사용하기도 한다. 일반적으로 친환경적인 냉매를 개발하여 사용할 경우, 압축기의 신규 개발이 병행되고 따라서 히트펌프시스템 가격이 상승하는 문제가 발생한다.

## 2.4 냉매사이클시스템

히트펌프시스템에서 사용되는 기본 냉매사이클시스템은 압축, 응축, 팽창, 증발 등 4행정으로 구성되어 있다. 최근 열변환 효율과 안전성을 높이기 위해 다양한 개발이 진행되고 있고, 그림 1-3에서 보는 바와 같이 기존 4행정 냉매사이클시스템에 기능을 첨가한 6행정, 8행정 냉매사이클시스템을 사용하기도 한다. 그림 2에서 보여주는 6행정 냉매사이클시스템은 4행정 냉매사이클시스템의 열효율 문제를 개선하기 위해 제2응축과 제2증발 과정을 추가하여 개발한 시스템으로 안전성에 많은 문제점이 발생되어 현재는 사용을 하지 않고 있다. 그림 3에서 보여주는 8행정 냉매사이클시스템은 안전성을 해결하기 위하여 (주) 엑셀코리아에서 개발된 것으로 제2응축과 제2증발 과정을 도입하여 열교환 효율을 기존 냉매사이클시스템 대비 1.5배이상 증가시켰고 감속, 증속, 제어를 통해 시스템 안전성과 안정성을 높인 것이 특징이다.

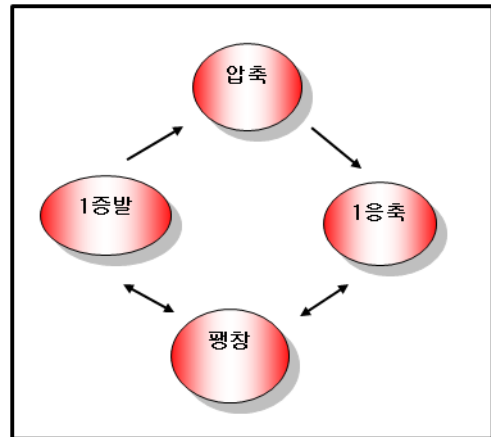


그림 1 4행정 냉매사이클시스템

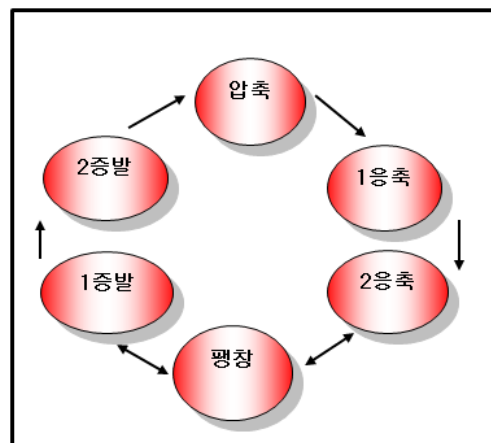


그림 2 6행정 냉매사이클시스템

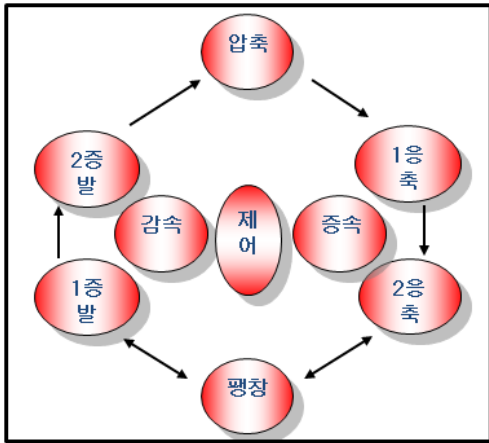


그림 3 8행정 냉매사이클시스템

그림 4는 기존 4행정 냉매사이클 시스템과 8행정 냉매사이클시스템의 외부 온도 대비 열효율 즉 COP의 특성을 보여준다. 실험에서 외부 온도는 물을 사용하여 조절 하였고, 냉매는 R22를 사용하였고, 압축기는 EMERSON사의 1.5kW와 10kW Scroll 타입을 사용하였다. 그림에서 보는 바와 같이 8행정 냉매사이클시스템은 외부 공기 온도가 섭씨 50도 영역까지 안정적으로 고효율로 운용됨을 알 수 있다. 일반적인 4행정 냉매사이클 시스템의 경우, 압축기의 기본 성능특성에 의해 외부열원이 저온과 고온 영역에서 열효율이 급격히 감소함을 알 수 있다. 8행정 히트펌프시스템을 통해 장시간 안정적으로 토출되는 온수의 온도는 평균 50 ~ 60 °C 정도이다.

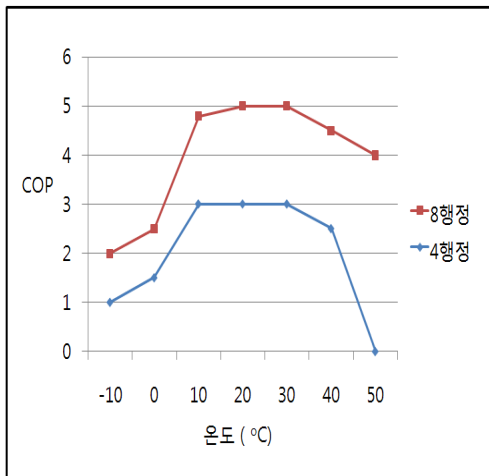


그림 4 냉매사이클시스템의 외부 온도 대비 열효율

## 2.5 제어

히트펌프시스템에서 사용되는 제어시스템은 최근 인버터 방식의 도입을 통해 효율을 높임과 동시에 보조열원 없이도 난방을 할 수 있는 정도

까지 기술이 발전하고 있다. 그러나 겨울철 난방 시 실외기에 발생하는 착상 문제를 해결하지 못했다. 착상 문제는 제상을 위해 평균적으로 10-20분간 에어컨을 사용해야 하기 때문에 불필요한 전기 소모를 발생시키고 히트펌프시스템의 효율을 급격히 떨어 뜨린다. 따라서 착상을 최소화 하는 시스템의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 제어시스템을 통해 착상이 최소화되는 히트펌프시스템을 개발하였다.

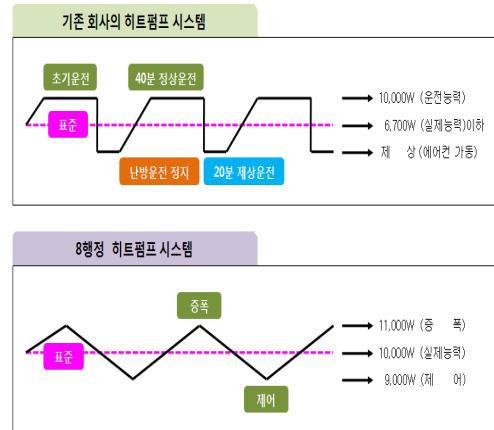


그림 5 실외기 착상 제어 시스템

## 2.6 보조가열장치

공기를 열원으로 사용하는 난방용 히트펌프시스템의 가장 큰 단점은 그림 4에서 보는 바와 같이 영하의 날씨에서 열변환 효율이 급격히 감소한다는 점이다. 이것을 해결하기 위해 시장에 나와 있는 제품들은 대부분 보조 열원, 즉 전기 히터를 내장하고 있다. 이 부분은 향후 히트펌프시스템이 해결해야 할 숙제이다.

## 3. 공기열원 히트펌프시스템 실용화 현황

공기열원 히트펌프시스템은 녹색성장 산업에 발맞추어 국내와 국외에서 다양하게 제품화하고 있다. 독일과 핀란드의 경우, 히트펌프를 사용한 냉난방 시설이 전체 냉난방시설의 40% 이상을 차지하고 있다. 전세계적으로 히트펌프 시장의 연평균 성장률은 10% 이상이다.

한국의 히트펌프 기술력은 세계 최상위 그룹에 속해 있다. 공기열원 히트펌프시스템은 주로 냉온풍기 분야에 많이 사용되고 있다. 현재 LG전자, 삼성전자, 귀뚜라미 보일러 등에서 인버터를 내장한 냉온풍기를 주로 생산하고 있다. 이들 제품의 평균 COP는 3 이상 이고 최근 4.3되는 제품이 출시되고 있다. 인버터 시스템을 채택한 제품의 가격은 기존 제품 대비 1.5 이상 높다. 겨울철 제상시간은 평균 10분 내외이다.

농축산용으로 중소기업에서 냉난방시스템을 개발하여 판매하고 있으나, 겨울철 열효율이 급격히 감소하는 문제로 인하여 판매량이 많은 편

은 아니다.

그림 6은 공기열원 히트펌프시스템과 경유, 지열시스템을 사용했을 경우, 온실 내에서 사용 기간에 따른 누적관리비용을 보여준다. 난방기간은 170일이고, 기준면적은 1,000m<sup>2</sup>이며, 평균난방온도는 22 °C이다. 온실은 이중 차단막과 보온 처리를 하였다. 지열은 공기열에 비해 안정적인 열원을 제공할 수 있는 점이 장점이나 공간의 계약을 받고 초기 설치 비용이 많다는 점이 단점이다. 관리 및 운전비용은 지열과 공기열이 비슷함을 보여준다. 경유를 사용한 난방시스템의 경우, 초기 설치비용은 공기열 대비 10%정도이나, 관리 및 유지 비용이 급격히 증가함을 볼 수 있고, 일반적으로 2년 사용했을 경우 공기열과 경유 시스템의 설치 및 누적 관리비용이 비슷해짐을 볼 수 있다. 따라서 공기열원을 이용한 난방시스템이 가장 효율적임을 알 수 있다.

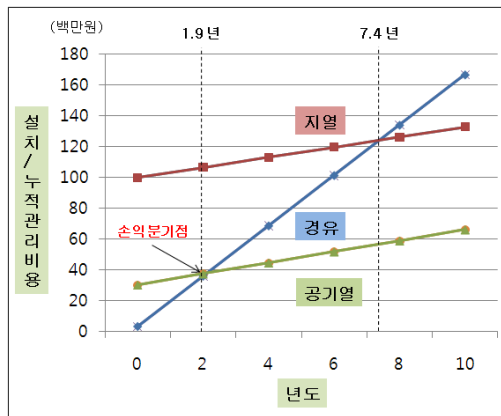


그림 6 열원별 설치 및 누적관리비용

히트펌프를 이용한 냉난방 및 급탕시스템은 주로 일본과 독일, 미국 등에서 생산되고 있다. 특히 일본의 경우, 세계 시장을 선점한다는 계획 하에 ECHO CUTE 라는 국가 브랜드로 히트펌프시스템을 이용한 다양한 제품을 개발 및 생산하고 있다. 유럽연합의 경우, SET-2020을 통해 고효율 히트펌프시스템 사용 권장을 위한 인센티제도를 시행 중에 있다. 생산되고 있는 히트펌프시스템 제품의 COP는 최대 6까지 이다.

#### 4. 결론

공기열원 히트펌프시스템의 문제점, 즉 열효율, 안정성, 착상에 대한 현황을 파악하고 이를 해결하기 위한 연구를 수행하였다. 8행정 냉매사이클과 제어시스템의 개발을 통해 히트펌프 시스템의 효율을 2배 정도 증가시키고, 안정성을 높이며, 착상문제를 최소화할 수 있도록 하였다.

개발된 공기열원 히트펌프시스템의 COP는 평균 5정도이고, 안정적으로 운용되는 외부 온도는 -10 °C에서 55 °C까지이다. 토출되는 온수의 온도는 평균 60 °C정도이다. 평균 제상시간은 1분이내이다.

앞으로 개발해야 할 문제는 보조열원 없이 난방을 할 수 있고 친환경 냉매를 사용하며 COP가 7이상인 고효율 히트펌프시스템을 실용화하는 것이다.

#### References

(바탕체 9pt)

- [1] 박성룡, 월간설비기술, pp118-123, 2009. 6.
- [2] 삼성경제연구원보고서, 제194호, 2008. 5.
- [3] "Heat Pump", HPTC 보고서, 2007.
- [4] 최종민 외, 한국신재생에너지학회 2007 추계 학술대회 논문집, pp.538-541, 2007. 11.