

## 히트펌프 온수기 개발을 위한 계측 및 성능평가시스템 구축

권성철, 양승권  
한전 전력연구원 배전기술그룹

### Development of Measurement and Performance Testing System for Heat Pump water Heater

Kwon Seongchul, Yang Seungkwon  
Distribution Technology Group, Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - In Korea Electric Power Corporation (or KEPCO), several Demand-Side Management (or DSM) program have been carried out to effectively meet electric power demand at least costs by modifying customers electricity use patterns. As one of them, KEPCO applies low-priced night thermal-storage power service for heat appliances to facilitate efficient use of power facilities by shifting relatively high daytime demands to night hours to build loads during the off-peak periods. In the market of heat-storage type water-heater, electric water heater has been mostly used, but it has low energy efficiency and needs high capacity electric equipments. So in order to replace these electric water heaters, 15 HP air-source heat pump water heater is developed in Korea Electric Research Institute (or KEPRI). This paper shows that measurement system for performance testing of heat pump water heater is established and heating capacity and performance is analyzed and measured for out-door environmental change.

히트펌프 온수기는 계속 시장점유율을 높여가고 있는 추세이다.

한전 전력연구원에서는 히트펌프온수기 개발 및 성능평가 기준제정에 관한 연구과제를 2000년부터 수행하여 왔다. 본 논문에서는 중형규모(15HP)의 히트펌프 온수기의 성능평가를 위한 계측제어 및 분석시스템에 대하여 설명하였다.

## 2. 히트펌프 온수기

### 2.1 개요

히트펌프는 일종의 냉동시스템이지만, 에어컨과 반대 방향의 냉동 사이클을 이용한다. <그림 1> 히트펌프시스템은 크게 압축기, 응축기, 팽창밸브 및 증발기의 4 가지 구성품으로 구성된다. 증발기를 외부열원에서 열을 흡수하고, 이 에너지와 전기를 통한 압축기에서 얻는 에너지를 응축기에서 물과 열교환을 통하여 온수를 만드는 데 이용하게 된다.

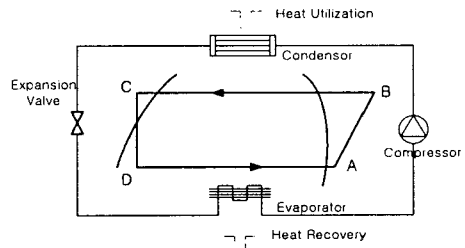


그림 1. 히트펌프의 냉동사이클 구성

## 1. 서 론

한전에서는 기저부하조성(Valley Filling)을 통한 전력부하평준화를 위하여 1985년 심야전력요금제도를 도입하고, 1986년부터 축열식 전기온수기등의 축열기기를 보급하여왔다. 심야전력 개발은 전력부하평준화를 통한 전력공급원가 절감에 있고, 그중에서도 기저부하의 조성은 전력계통에 투입되는 여러 가지 발전설비 중 발전단가가 저렴한 기저발전설비의 점유비와 밀접한 관계를 가진다.

전기온수기는 일반적으로 전기히터를 사용하는 데, 이는 에너지효율이 낮은 경향이 있다. 온수기의 용량이 커질수록 전기공급에 많은 부담을 가중시키게 되는 것이다. 그러나 히트펌프 온수기(Heat Pump Water Heater)는 일반적인 전기온수기의 3~5배의 에너지 효율을 가질 수 있어서 같은 온수용량을 공급하는 데 있어서 전기사용량을 1/3 ~ 1/5로 줄일 수 있다.

한전에서는 80년대 중반부터 히트펌프를 이용한 냉방 및 난방시스템을 보급하려고 하였으나, 낮은 기술력으로 확대보급에는 어려움이 있었다. 미국에서는 EPRI에서 1988년 패키지형 히트펌프시스템이 개발된 이후 히트펌프 시스템은 상업적으로 많이 보급되어왔다. 최근에는 주택용 전기온수기가 매년 10%정도 감소추세에 있고,

### 2.2 히트펌프온수기 사양

냉매로는 R22를 사용하는 공기열원식 중형규모의 히트펌프온수기를 개발하였다. 압축기 용량은 15HP이고, 온수공급용량은 약 6.5RT이다. 개발된 히트펌프 온수기의 사양은 아래의 <표 1>과 같다.

항목	사양
열원	공기
냉매	R22
온수공급용량	42,000 kcal/h nom. (7℃ DB, 6℃ WB)
냉각용량	39,000 kcal/h (35℃ DB)
중량t	510kg

표 1 히트펌프 온수기 사양

Accumulator가 압축기전단에 설치되어 역압축을 방지하고, Receiver Tank가 급탕부하에 따라 냉매순환량을 조절하도록 설계되었다. Thermo 팽창밸브가 냉매의 과열도를 조절한다. 모든 부품들이 사용하기 편리하도록 내부 배치를 설계하였다.



그림 2 히트펌프 온수기 내부사진

### 3. 계측제어시스템 구축

#### 3.1 계측시스템 개요

히트펌프 성능평가를 위한 계측시스템은 모두 42개의 데이터를 각종 센서로부터 수집한다. 수집되는 데이터의 종류는 압력, 온도, 습도, 유량 및 전력 등이 있다. 센서에서 계측된 데이터는 National Instrument사의 Field-Point 시스템을 통하여 주 계측장치로 전송된다. 전송은 LAN 케이블을 통하여 TCP/IP 프로토콜을 이용한다. NI사의 Field-Point System은 모듈화된 장치로서 Hot-Plugging 기능을 지원하여 동작중에 모듈을 교체할 수 있는 장점이 있다.

#### 3.2 센서의 설치

히트펌프 온수기는 히트펌프와 온수탱크로 구성되어 있다. 앞서서도 설명했듯이 계측시스템은 모두 42개의 데이터를 수집하는 데, 각 센서의 설치위치는 <그림 3>에 간략히 나타내었다.

온도센서는 2가지종류가 사용되었다, 하나는 Pt 100 Ω의 RTD(Resistor Temperature Detector)를 사용하여, 주로 히트펌프 외부의 배관온도를 측정하는 데 사용하였고, 다른 하나는 T형 Thermocouple로 히트펌프 내부의 냉매배관에서의 온도를 측정하는 데 사용하였다. 이외에 히트펌프의 판형열교환기와 온수조사이의 물의 유량을 측정하였고, 히트펌프에서 소비되는 전력을 측정하였다.

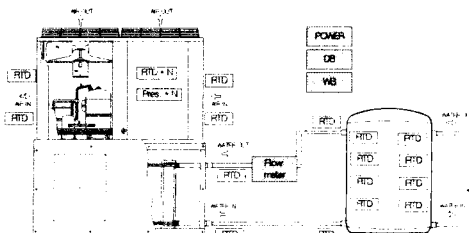


그림 3 센서 설치

히트펌프의 성능은 증발기에서의 외부열원에서의 열회수에 좌우된다. 따라서 개발한 히트펌프온수기는 공기열원식이어서 외부공기의 온도의 변화에 따라 상당한 성능의 차이를 보인다. 본 실험에서는 다양한 외기조건에 모사하기위하여 별도로 제작된 환경챔버내에서 실험을 수행하였다

환경챔버는 내실과 외실로 구분되어있고(내실: 4350mm×4500mm×2400mm, 외실: 6300mm×6300mm×4000mm), 각각의 공간은 2개의 냉동기, 히터와 블로어 한개씩으로 구성되어 있다. 내실은 습도제어를 위한 제습히터가 추가되어 있다. 실내온도는 약 -20℃~50℃ 범위내에서 조절할 수 있고, 각 실의 온도 및 습도 데이터는 LAN을 통하여 주 계측장치로 전송되어져서, 원격에서 데이터 계측이 가능하다.

#### 3.3 데이터 계측 프로그램 개발

개발된 히트펌프 온수기의 성능평가를 위한 데이터 계측 및 분석을 위한 프로그램을 개발하였다. 계측프로그램은 NI사의 그래픽 개발도구인 LabVIEW를 개발 플랫폼으로 하여 히트펌프온수기, 환경챔버 등에서 데이터 수집, 컨디셔닝, 제어 및 분석용 프로그램을 개발하였다. 히트펌프 온수기 시스템 전체, 히트펌프 내부 및 온수조 3개의 부분으로 나누어진다. 계측된 신호는 붙여진 Tag Name에 따라 Tag Engine에서 관리되게 되는데, 이 때 data는 NI 자체적인 DB인 Citadel DB에 저장된다. 개발한 VI 프로그램에서는 Tag Engine과 상호작용을 하여 data의 분석 및 표현기능을 수행하게 된다. VI프로그램은 Graphic Interface인 Front Panel 부분과 프로그래밍 부분인 Diagram 부분으로 나누어져서 개발되게 된다. 아래그림은 성능평가 시험을 위하여 개발된 프로그램의 캡처화면이다.

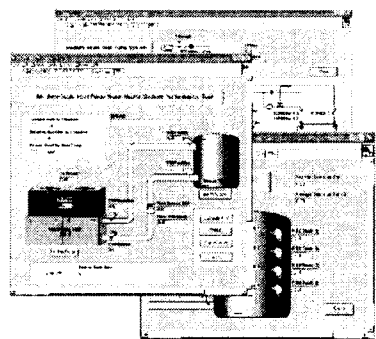


그림 4 계측프로그램의 Front Panel

### 4. 성능시험 및 실험 결과

히트펌프온수기가 5000ℓ 급으로 제작되었으나 동일한 2개의 UNIT으로 구성되어있어서, 성능평가시험에서는 2500ℓ의 온수조를 사용하고, 히트펌프 UNIT중 하나만 작동시켜 실험을 하였다. 시험조건은 KSC9306에 따라서 수행하였고, 표준에는 시험조건은 일반조건, 중은, 저온, 제상의 4부분으로 나누어져있다, 공기열원 히트펌프의 경우에는 각각의 조건에 건구온도와 습구온도를 지정해 놓았다. 본 실험에서는 설정외기조건은 건구

온도 5개, 상대습도 3개로 나누어서 실험을 하였다.

항목	2℃	7℃	10℃	15℃	20℃
40%	○	○	○	○	○
60%	○	○	○	○	○
80%	○	○	○	○	○

표 2 실험외기조건

히트펌프와 온수조 사이의 유량은 60[liter/min] 즉 3.6 [m<sup>3</sup>/hr]로 설정되었고, 냉매는 최적성능실험을 통하여 R22 5kg으로 충전되었다.

#### 4.1 운전시간 및 소비전력

히트펌프 온수기는 심야전력이 공급되는 시간인 22:00부터 8:00까지 10시간 동안 운전이 되어야 한다. 그리고, 외기온도가 낮을수록 외기와 열교환 성능이 떨어져서 운전시간이 더 많이 걸린다. 건구온도가 높아지면 운전시간이 짧아지는 것을 관찰할 수 있다. 건구온도가 높은 조건에서 상대습도가 높아지면 운전시간이 짧아지고, 낮은 온도에서는 상대습도가 높아지면 반대로 운전시간이 길어지는 것을 볼수있다. 이는 높은 온도에서는 상대습도가 높아지면 공기중의 습도가 높아져서 열교환성능이 좋아지고, 낮은 온도에서는 히트펌프가 제상모드로 동작하는 횟수가 많아져서 그만큼 열교환성능이 떨어지는 것으로 추정된다. 그 경제조건이 약 10℃로 60%의 상대습도를 기준으로 상대습도가 높아지거나 낮아지면 운전시간은 두 경우 동시에 감소하는 것을 볼수 있다.

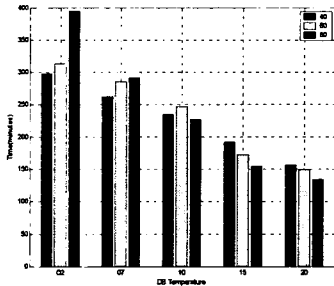


그림 5. 외기조건에 따른 운전시간 비교

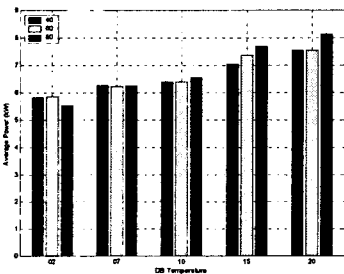


그림 6. 외기조건에 따른 소비전력의 비교

<그림6>은 동일한 외기조건에 변화에 따라 히트펌프 온수기에서 소비되는 전력을 비교한 것이다. Y축에서는

소비전력(kW)를 나타내는데, 역시 건구온도가 증가함에 따라, 대부분의 전력을 소비하는 압축기의 동력이 증가하여 많은 전력이 소비되는 것을 볼 수 있다.

#### 4.2 성적계수(Coefficient of Performance)

일반적으로 성적계수(COP : Coefficient of Performance)는 성능비교를 위하여 이용되는 데 아래의 식으로 계산된다.

$$COP = \frac{TotalHeatSorag(kcal)}{PowerDissipation(kWh) \times 860(kcal/kWh)}$$

$$= \frac{2500kg \times \Delta T \times Cp}{PowerDissipation(kWh) \times 860(kcal/kWh)}$$

앞절에서 알수있듯이 운전시간이 증가함에 따라 전력 소비량이 증가하여 순간 COP는 점점 감소하는 것을 알 수 있다. 외기온도 2℃에서 운전초기에는 약 COP=4정도 이었다가 운전종료시에는 약 COP=2.5나 3으로 떨어지는 것을 볼수있다.

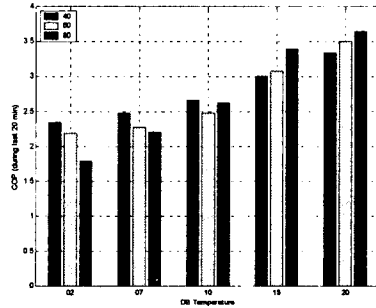


그림 7. 시험조건에 따른 COP비교

외기온도가 낮아짐에 따라 제상모드 진입횟수가 많아지고, 열교환성능이 저하되어 COP는 점점 낮아짐을 관측할 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 한전 전력연구원에서 개발한 5000 리터 급의 히트펌프 온수기의 성능평가를 위한 데이터 측정시스템 구축에 대하여 설명하였다. 외기조건 모사를 위한 환경챔버를 구축하고, 각종 센서 설치, 분산계측 및 계측프로그램을 개발하였다. 그리고 성능시험 결과를 대략적으로 기술하였다. 본 시스템은 앞으로 히트펌프 온수기를 비롯한 축열시스템의 성능평가에 사용될 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

1. 수요관리 직무교육 교재, 2004, 한국전력공사
2. 한승호, 권성철, "패키지형 히트펌프온수기개발 및 성능평가 기준제정" 최종보고서 2003