

## 지역난방 급탕공급 부하균등화를 위한 잠열축열조의 현장 적용

박성용\*, 유호선\*\*\*†

\*한국지역난방공사 \*\*\*† 대한기계설비산업연구원

### Field Application of a Latent Heat Storage Tank for Load Shaving of Domestic Hot Water Supply in District Heating

Sung Yong Park\*, Hoseon Yoo\*\*\*†

\*Korea District Heating Corporation

\*\*\*† KRIMFI

**ABSTRACT** : In terms of district heating operation, efficient production and supply of heat by alleviating the peak load at a specific time require an application technology that can solve the inconvenience of the user and the difficulties of the supplier. In this study, a 78 °C class PCM heat storage tank suitable among the technologies that can solve these problems was manufactured and applied to the hot water supply facility for apartments in district heating users. As a result of the application of this system, it was confirmed that the supply temperature was constant to the user compared to the existing supply method. In addition, it was confirmed that the reduction of the peak load due to load equalization reduced the heat supply margin of 10% in the existing heat supply facility. And the construction cost of the new heat supply facility and the construction cost of heat users is decreased by 5% and 10%, respectively.

**초록** : 지역난방의 운영적 측면에서 특정시간의 피크부하 완화를 통한 효율적인 열생산과 공급 및 지역난방 공급 중단 시 급탕 공급은 난방 대비 대체가 어려워 사용자 측면의 불편함과 공급자 측면의 애로사항을 해결할 수 있는 적용 기술이 요구되고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 기술 중 열저장 능력과 급탕공급에 적합한 78°C급 수화물계 잠열축열조를 제작하여 지역난방 사용자 아파트 급탕공급설비에 현장 적용하였다. 본 시스템의 적용 결과 기존 공급방식 대비 급탕온도의 변화가 거의 없이 일정하게 사용자에게 공급됨을 확인하였으며, 피크 열부하는 평균 35% 감소와 비상열원으로서의 활용 가능성을 확인하였다. 또한 부하균등화에 따른 피크부하 감소로 기존 열 공급시설에서 10%의 열공급 여유와 신규 열공급시설 건설비용 및 열사용자의 공사비부담금이 각 5%와 10%가 감소됨을 확인하였다.

**Key words** : Combined Heat and Power(열병합발전), District Heating(지역난방), Phase Change Material (잠열재), Thermal Energy Storage(열저장), Load equalization(부하균등화)

#### -기호설명-

PCM : 잠열재  
DHW : 지역난방수  
HX : 열교환기

AV : 자동밸브  
TCA : 온도제어밸브  
TES : 열에너지저장장치

T : 온도 (°C)  
t : 시간 (h)  
Q : 열량 (kJ/kg)

Corresponding Author, hsyoo@ssu.ac.kr

# 지역난방 급탕공급 부하균등화를 위한 잠열축열조의 현장 적용

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

기후변화의 국제연합 기본협약을 능동적으로 대응하고, 에너지 절약과 국민생활의 편익에 이바지함을 목적으로 운영하는 집단에너지사업 자는 열과 전기를 동시에 생산하여 판매하는 사업을 수행하며, 그 중 열 생산시설에서 생산된 증온수를 열수송관을 통하여 사용자에게 공급하여 사용자 기계실의 열교환기를 통해 각 세대로 난방과 급탕 등을 공급한다.

그러나 2019년 12월 경기도 고양시 백석동 열수송관 파열사고 등으로 열공급 중단 시, 지역난방 사용자는 난방 및 급탕 사용에 제한이 발생된다. 이 중 난방의 경우에는 전열기 등으로 임시 대체가 가능하나 급탕은 별도의 대체 수단을 찾기가 어려워 사용자 측면의 불편함과 공급자 측면의 애로사항을 해결할 수 있는 적용 기술이 요구되고 있다.

또한, 엄지영 등(1)은 경기도 수원시 지역 난방 사용자 A 아파트의 급탕 사용량 데이터를 원격검침 방법을 통해 수집하여 분석하였으며 Fig. 1-1에서 볼 수 있듯이, 지역난방 사용자의 난방과 급탕 부하 패턴은 모두 오전 8시 및 오후 10시 전후의 출퇴근 시간대에 피크부하가 발생되며 특히 난방부하 보다 변동 폭이 크고 집중되는 이봉분포가 나타난다.

이러한 피크부하 발생은 열병합발전 시스템의 운영 효율에도 영향을 미친다.

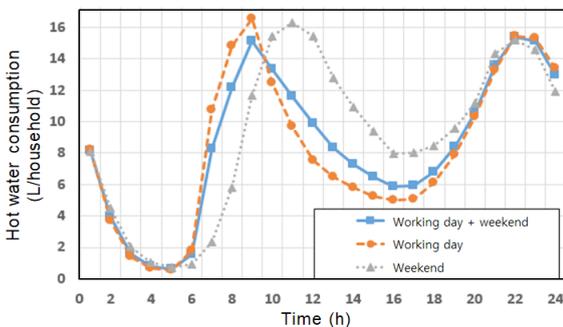


Fig. 1-1 The annual hot water usage trend of apartment A in the Suwon-city

열 공급 중단에 따른 급탕 공급열원의 보조 수단과 피크부하를 완화하기 위하여 사용자측에 일정시간 급탕 열원공급이 가능한 축열조가 필요하다.

그러나 지역난방 열원을 이용한 잠열축열 연구들은 아직 활발히 이루어지지 않고 있고, 특히 지역난방이 적용된 아파트 사용자측에 실증한 사례는 전무한 실정이다.

### 1.2 연구내용 및 방법

열축열조의 적용 및 효과 분석을 위하여, 지역난방을 사용하고 있는 경기도 중부지역에 위치한 공동주택 기계실 급탕 설비를 대상으로 연구를 수행하였으며, Fig. 1-2에 적용된 잠열축열 열저장 시스템의 개념도를 도시하였다.

본 연구에서는 기존 급탕공급 설비에 잠열축열조 현장 적용에 따른 급탕부하의 특성, 잠열축열조의 실제 적용에 따른 성능과 급탕 부하의 균등화와 비상열원으로 역할 및 지역 난방 적용 효과를 분석하였으며, 이를 통해 정량적인 균등화 지표를 도출하고, 최종적으로 열 공급 용량 확대 효과 및 신규 열 공급시설 건설비 감소 등의 경제적 효과를 분석하였다.

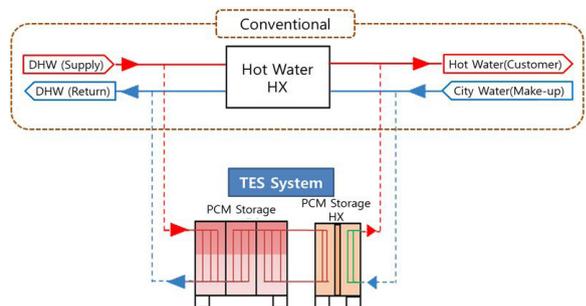


Fig. 1-2 Schematic diagram of thermal energy storage system

## 2. 축열조 설치 및 운전

### 2.1 적용대상 공동주택

지역난방 사용자의 온수 및 급탕 이용방식은 Fig. 2-1과 같이 일반적으로 난방은 외기온도에 따라 난방용 열교환기

를 통해 40~60℃ 및 급탕수는 예열·재열 급탕 열교환기에 서 시수가 열 교환되어 52~55℃ 로 각 세대에 공급된다.

본 연구의 실증 대상인 경기도 남부에 위치한 해당 아파트 는 20층 3개동으로 58㎡와 78㎡ 의 2가지 전용면적으로 총 386 세대로 구성되어 있으며, 1999년도에 중앙난방에 서 지역난방으로 전환된 공동주택으로 지역난방 사용자 중 말단에 위치하고 있다.

적용대상 공동주택 고·저층용 급탕열교환기로 나누어 공 급되고 있으며 전체 세대 중에서 실증대상인 저층부 126 세대의 급탕설비와 잠열축열조를 통해 공급되는 급탕 온도 와 시수 온도 차이를 시수 유량과 곱하여 하루동안 사용되 는 급탕 열량을 계산하였다.

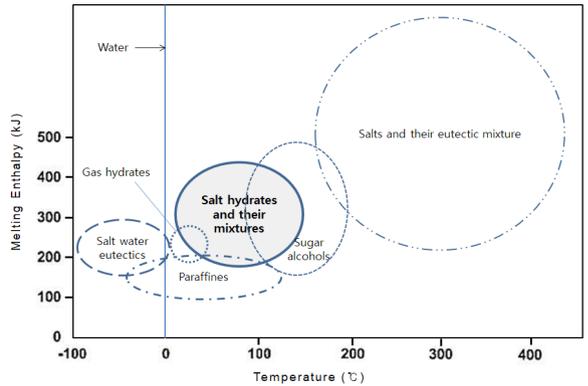


Fig. 2-2 Temperature and melting enthalpy for PCMs classification

### 2.3 운전 조건 및 방법

잠열축열조는 최저 부하 시간대에 최대 90℃의 온도로 축 열을 하고 최고 부하 시간대에 최대 52℃로 방열하였다.

본 잠열축열조는 Fig. 2-3 및 Fig. 2-4와 같이 지역난방 열 원으로 직접 축열과 방열 시에는 축열조용 열교환기를 통해 기존 급탕 저장·재열 열교환기 사이에 급탕을 공급하도록 구성하였다.

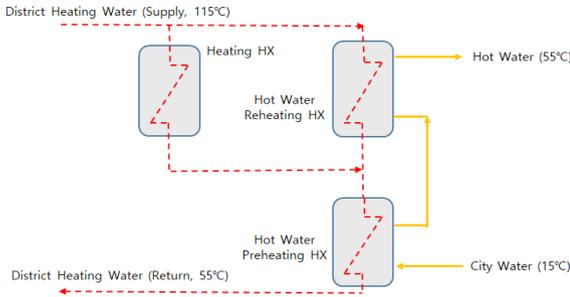


Fig. 2-1 Schematic diagram of hot water supply by using district heating system

### 2.2 축열조 설치

잠열축열조는 한국지역난방공사 급탕열교환기 설계기준 으로 사용자 기계실에서 사용 중인 열교환기 용량 229Mcal/h에 맞추어 80Mcal/h 3기로 총 240Mcal/h 용 량의 원통다관형로 제작하여 병렬 설치하였다.

최응수(2)에 따르면 Fig. 2-2와 같이, 일반적으로 사용하 고자 하는 온도범위에 따라 0~100℃는 파라핀계 및 염·수 화물계를 적용하고, 또한 김부호 등(3) 은 100℃ 이하의 저 온용 잠열축열재로 무기수화물이 많이 사용 된다고 하였다.

본 연구의 적용대상 공동주택 급탕공급 온도는 100℃ 이 하인 55℃이기 때문에 해당 온도에 적합한 물질 중 열전도 가 빠르고 열저장 밀도가 높은 물질중 78℃급 염·수화물계 잠열재로 한국생산기술연구원에서 개발한 물질 을 사용하 였다.

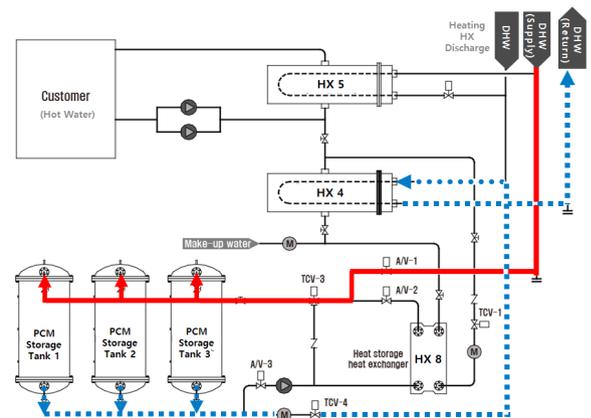
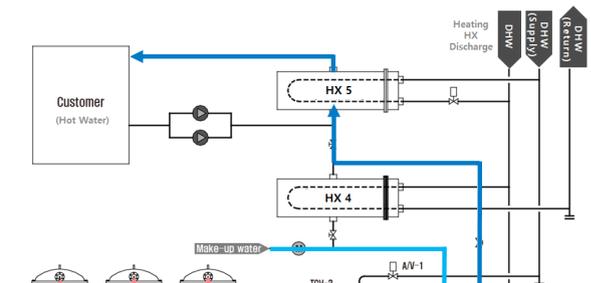


Fig. 2-3 The flow process of heat charge operation



## 지역난방 급탕공급 부하균등화를 위한 잠열축열조의 현장 적용

Fig. 2-4 The flow process of heat discharge operation

### 3. 현장 적용 결과 및 고찰

#### 3.1 잠열축열 특성

본 연구에서는 Case A 는 오후 시간대 축열과 방열을 각 1회, Case B 는 오전과 오후에 각각 축열과 방열을 1 사이클로 2회 진행 하였다.

방열시간에는 잠열축열조의 온도가 잠열온도 78℃를 유지하면서 급탕 재열기로 공급 했으며, 사용자에게 공급하는 급탕온도는 52~54℃로 방열시간 외의 시간대 급탕공급온도의 변화와 비교하면 일정하게 공급됨을 확인 할 수 있다. 또한 잠열축열조 내부도 잠열재의 상변화온도 78℃로 일정하게 유지됨을 확인 할 수 있다.

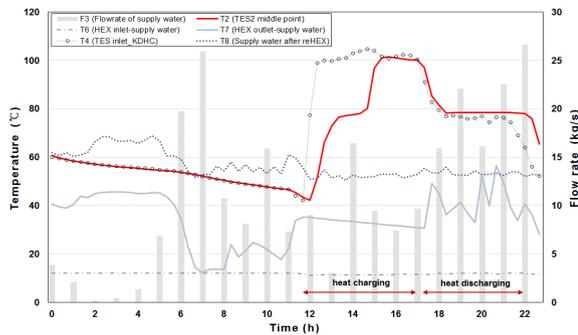


Fig. 3-1 Result of measured in Case A

#### 3.2 부하균등화

Fig. 3-2은 연구기간 중 3월의 급탕부하를 시간별 사용열량 측정하여 평균을 계산한 결과 와 시간별 평균열량과 사용열량의 차이를 계산 하여 부하 균등화에 필요한 각 축열열 구간별로 표기하였다.

필요 축열량은 3월 평균 약 171.4Mcal 에서 6월 평균 약 89.9Mcal 로 나타났으며, 0시~6시 사이에 하루 전체 필요 축열량의 약 70%, 9시~18시에 약 30% 축열이 필요한 것으로 나타났다. 방열 시, 6시~9시에 약 35%, 18시~24시에 약 65%가 방열되면 평균값과 동일해지는 것으로 분석되었다

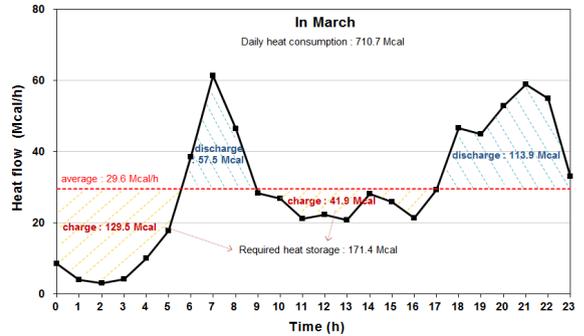


Fig. 3-2 Analysis of required heat storage and average heat consumption

필요 축열량을 피크 부하로 나눈 급탕 피크 부하 대응 가능시간을 계산하였다. 급탕 피크 부하 대응 시간 결과를 Fig. 3-3에 나타내었다.

부하균등화 조건에서 급탕 피크 부하 대응 시간은 최대 2.6시간, 최소 1.6시간이며, 평균 약 2.1시간 대응이 가능한 것으로 분석되었다.

본 열에너지 저장 시스템을 이용할 경우, 피크시간대의 부하량을 약 31~39% 감소되어 평균 35.4%를 확인하였으나 피크 시간대별 부하량 절감량만 나타낼 뿐이며 하루의 전체 사용열량의 균일도를 나타내기에는 한계가 있다.

사용열량의 균일도를 나타내기 위해 하루 사용되는 급탕 전체열량의 평균값을 기준값으로 하여 분산 및 표준편차를 구하고, 잠열축열조에 의한 부하 균등화 결과의 표준편차를 비교하여 균일도를 분석하고자 하였다.

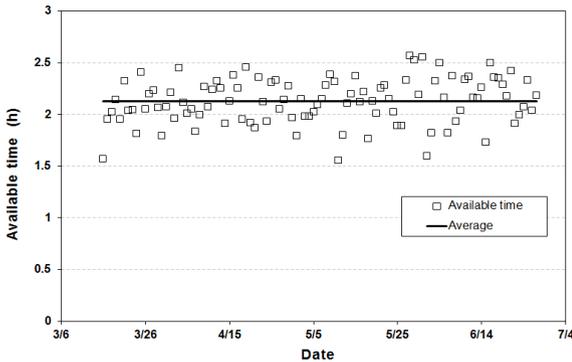


Fig. 3-3 Available time to hot water peak load by daily heat consumption

잠열축열조를 사용하지 않았을 때의 사용열량의 평균은 약 19,580Mcal/h, 표준편차는 약 14,394로 분석되었다. 잠열축열조 적용에 따른 시간별 사용열량 변동 시, 평균은 약 20,108Mcal/h으로서 기준 평균값과 약 2.69% 차이만 나타내었으며, 표준편차는 약 5,778으로서 약 59.9% 감소하였다. 시간별 전체 열량 및 평균값 비교 그래프를 Fig. 3-4에 나타내었다.

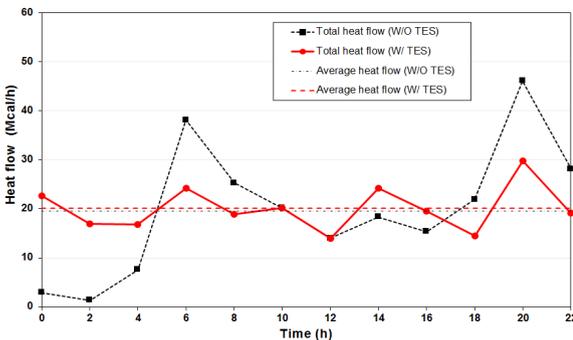


Fig. 3-4 Average of heat flow measurements in Case B

### 3.3 지역난방 파급효과

본 연구의 잠열축열조가 실제 사용 되면 제3장 부하균등화에서 확인한 31~40% 피크부하 감소율 중 최소값인 31% 부하 감소 결과와 지역난방의 난방과 급탕의 소비율 66:34을 적용한다면 약 10.54% 정도 열공급 부하에 여유가 발생한다는 것을 예측할 수 있다.

신규 열공급시설을 건설 시 지역난방설비의 열부하 부분 비용을 살펴보기 위하여 에너지경 제연구원에서 수행한 제4차 집단에너지공급기 본계획 수립 연구 최종보고서(4)를 참고하였다.

120 MW 규모 수도권 열병합발전소를 기준 으로 최대열 부하를 100 Gcal/h, 150 Gcal/h 250 Gcal/h 총 3가지 구성에 따른 세부 투자비 검토 내용을 참고하였다.

본 연구의 잠열축열조를 이용하여 신규 열공급시설의 열 부하 중 사용자 급탕 피크 부하량이 감소되었을 때 신규건설 비용은 약 5%의 감소 효과가 발생된다.

집단에너지사업법(5)에 의거하여 지역난방 사업자는 공급 시설 건설비용의 전부 또는 일부 를 그 사용자에게 부담하게 할 수 있으며, 부과 하는 목적은 중앙난방방식이나 개별 난방 방식의 경우 입주자가 난방설비 건설비용을 부담하고 있으며, 계약면적에 따라 열공급을 산정하므로 급탕 열부하 감소율 10.54%를 적용한다면, 85㎡(舊32평형) 세대당 125천원 부담비용이 감소함을 확인 할 수 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 지역난방 부하중 급탕부하의 균등화를 목적으로 중부지역에 위치한 126세대 규모의 공동주택단지에 상변화온도 78℃인 수화물계 화합물을 사용하고 기존 급탕열교환기 용량과 상응하는 240Mcal 용량의 잠열축열조를 적용하여 춘절기에 일중 축·방열 운전을 진행 하였으며 결론은 다음과 같다.

- (1) 본 시스템을 적용은 설정된 53℃의 급탕 온도로 기존 방식보다 균일하게 사용자가 사용 할 수 있음을 확인하였다.
- (2) 부하균등화 운전 시 피크시간대 부하량의 평균 35% 절감과 최소 2시간 급탕 대응 활용 가능성을 확인 하였다.
- (3) 부하 균등화에 따른 기존 열공급 용량에서 약 10%의 여유와 초기 지역 난방 공급에 따르는 공급자와 사용자의 투자비 각각 5%와 10% 절감이 가능하다.

## 지역난방 급탕공급 부하균등화를 위한 잠열축열조의 현장 적용

### 참고문헌

- (1) J.Y. Eum, W.U. Kim, and Y.K. Kim, 2018, "Analysis of Consumption Patterns by Energy Source in the Apartment House with District Heating System Using the K-apt Data and the AMR Data", Journal of Korea Facility Management Association, 13, pp. 31-40.
- (2) 최용수, 2014, 상변환소재를 활용한 에너지 저장기술 개발 동향, pp. 1-4
- (3) 김부호, 1990, 열저장 시스템용 축열재에 관한 기초연구, 한국동력자원연구소, pp. 14
- (4) 산업통상자원부, 2009, 제4차 집단에너지 공급기본계획 수립 연구 최종보고서, pp. 84-87
- (5) 법제처, 2020, 집단에너지사업법, pp. 84-87. 