

# 콘덴싱 가스보일러 이용 코제네레이션 열저장 시스템 연구

조은성, 신성철, 임경수, 김용범

(주)경동나비엔

## A Study on the Heat Storage System of Cogeneration Using Condensing Gas Boiler

Eun-Seong Cho, Seong Chul Shin, Kyung Su Lim, Yong-Bum Kim

Kyung Dong Navien Co. Ltd.

### 1. 서론

산업발전에 따라 에너지 소비가 증대되고 공해물질 배출이 증가하고 있다. 따라서, 연소효율 향상과 저공해 실현을 위한 시스템 개발에 대한 관심이 높아지고 있다.

분산형발전 시스템에는 마이크로터빈, 가스엔진, 디젤엔진, 연료전지, 태양광 등 다양한 시스템이 있으며[1-2], 자가 발전을 통한 전기를 발생함으로써 전기발생 효율을 높일 수 있으며 부수적으로 발생하는 폐열을 이용함으로써 전체시스템의 효율향상을 얻을 수 있는 방법이다. 또한, 전기 공급중단, 즉 정전에 의한 손실을 최소화할 수 있으므로 현대 산업화 사회의 필수 발전시스템이라고 할 수 있다.

이러한 분산 발전 시스템의 전기발생 부분 이외의 열저장 시스템에 대하여 가정용 보일러 업체 입장에서는 관심을 가지며 경쟁력을 갖는 부분이라 생각되며, 특히 최근 신재생 에너지부분에 각광을 받고 있는 연료전지 및 태양광 등에 적용할 수 있는 열저장시스템 제품을 개발하기 위하여 연구를 수행하였다.

이러한 전기와 열을 함께 사용할 수 있는 코제네레이션시스템은 가정에서 분산발전 시스템으로 계속적으로 보급이 확대될 것으로 생각된다.

### 2. 실험장치 및 운전조건

콘덴싱 가스 보일러 이용 코제네레이션 시스템의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 본 시스템은 크게 세부분으로 나뉘지는데 전기를 발전하며 폐열을 발생시키는 전력시스템 부분, 전력시스템 부분에서 발생된 폐열을 탱크에 저장하여 온수 및 난방에 사용하도록 하는 열저장 부분, 그리고 열저장 부분의 열량이 소요 열량에 비해 부족할 경우 보충할 수 있는 가스보일러 부분이다. 전체 시스템의 효율향상을 위하여 가스보일러의 경우 일반형 보일러에 비해 최고 28.4% 효율이 높은 콘덴싱 보일러를 사용하였다[3].

전력시스템 부분의 경우 연료전지, 가스엔진, 태양광, 태양열 등 다양한 시스템을 적용할 수 있으며 전력시스템내의 열발생을 회수하기 위하여 상온의 물을 순환시킨다. 이 때 시스템을 통과하여 나온 물의 폐열을 열저장부의 탱크에 축열하게 된다. 열저장부에서는 전력부에서 생성된 폐열을 탱크내부에 축적하여 상부에서부터 온도차를 가지며 성층화 되며 축열이 진행된다. 이 축열된 열을 이용하여 온수 및 난방을 사용하게 된다. 열저장부의 탱크 크기는 회수되는 폐열의 열량 및 온수, 난방의 사용 방법에 따라 크기를 결정할 수 있다. Fig. 1의 경우 탱크내부의 자체의 물과 탱크내부에 코일을 설치하여 간접적 열교환을 통한 온수사용의 두 가지 용도로 사용되는데 이는 각각의 조건에서의 열전달율을 확인하여 코일길이 등의 상세설계가 가능하다. 보일러는 일반 가정에서 사용되는 보통의 보일러로 주로 가정의 난방 및 온수 사용에 사용된다.

이러한 시스템에 대한 전체 성능을 확인하기 전에 열저장시스템의 각 파트에 대한 부품에 대하여 개별 테스트를 수행하였다.

### 3. 열저장시스템 실험

#### 3-1. 축열탱크 실험

축열탱크의 경우 전력시스템에서 발생된 폐열을 축열하는 장치로 탱크내에 축열된 열을 난방 및 온수로 사용하게 되는 열저장 시스템에서 가장 중요한 부품으로 저장 탱크의 효율적인 사용을 위한 특성을 실험하는 것이다. 열저장 탱크의 사용방법은 두 가지로 대별될 수 있는데 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 탱크내부를 난방수로 사용하고 내부의 코일로 열교환을 통한 온수를 사용하는 방법 #1과 탱크내부를 온수로 쓰고 코일을 난방수로 사용하는 방법 #2가 있다. 탱크를 난방수로 사용할 경우 사용압력이  $1\text{kg}/\text{cm}^2$  이하의 저압이므로 압력용기 설계가 필요하지 않은 장점이 있다. 탱크의 하부로 난방수가 들어오고 상부의 고온의 물이 난방용으로 출수된다. 온수의 경우 탱크 상부의 축열된 열을 활용하기 위하여 탱크 상단에 코일을 설치하여 열교환을 통해 온수를 사용하게 된다. 탱크내부를 난방수로 사용할 경우 탱크내부에 온수가 항상 존재하기 때문에 부식 등에 주의하여야 하며 순환수에 필터를 장치할 필요가 있을 것으로 생각된다. 방법 #2의 경우 탱크를 온수로 사용하며 내부 코일을 이용하여 난방수를 사용한다. 일본의 코젠시스템의 경우 온수기만 사용하므로 내부 코일 없이 온수용으로만 사용하는 방법이 주로 사용된다.

온수탱크의 경우 주 특성은 축열 및 방열 특성이라고 할 수 있는데 탱크내 축열 및 방열 특성을 확인하여 보았다. 탱크는 15 mm 두께의 보온재로 감싸 방열이 잘 안되도록 하였으며 탱크 벽면에 일정간격으로 상부에서 하부까지 열전대 (K type Thermocouple)를 설치하여 탱크내부의 온도를 확인하였다. Fig. 3은 축열 및 방열시 탱크내부의 온도를 외기온도와 같이 나타낸 것으로 탱크 하단에 전기히터를 설치하여 실험하였다. 탱크는 195리터 정도의 용량으로 1.5kW의 전기히터로 8시간 가열하였다. 이때 탱크온도는 상온  $25^\circ\text{C}$  에서  $75^\circ\text{C}$ 로 온도가 상승하였다. 탱크하단의 경우 전기 히터 하단부라 고온은 상층으로 대류되므로 하단부의 온도는 탱크 온도보다는 낮게 나타나고 있다. 8시간의 축열 후에 히터를 끄고 방열을 하였는데 시간이 지날수록 온도가 서서히 떨어지지만 3일간 72시간이 지나도 상온까지 떨어지지 않아 탱크자체의 보온특성은 좋은 것으로 생각된다.

탱크내부가 축열되었을 경우 온수사용에 따른 탱크내부의 방열특성을 살펴보기 위하여 방법 #1의 경우에서 실험을 수행하였다. 탱크내부를  $60^\circ\text{C}$ 로 축열시킨 후 보일러와 연동하여 온수 온도를  $50^\circ\text{C}$ 로 설정하여 보일러를 가동하였다. 온수 출구단의 온도는 설정온도  $50^\circ\text{C}$ 를 맞추기 위해 초기 overshoot와 undershoot의 온도 분포를 보이다 설정온도를 맞춰가는 것을 Fig. 4에서 볼 수 있다. 탱크내부의 온도는 온수사용에 따라 서서히 감소하는 것을 알 수 있는데 이는 탱크내의 온도를 적절히 잘 이용하여 온수시스템이 성공적으로 작동함을 알 수 있다. 탱크 상단의 경우 온수코일 상부의 경우라 열을 빼앗기지 않고 초기 축열 온도를 유지하고 있다. 이외 난방수 순환에 따른 탱크 내부 온도 등도 확인하여 보았으며 상기 실험을 #2 탱크 조건에서도 수행하였음.

#### 3-2. 부품 실험 (순환펌프, 열교환기)

Fig. 1의 열저장 시스템 개략도의 전기발생부와 열저장 탱크사이의 폐열회수 라인에 물의 순환을 위하여 워터펌프를 사용하며 탱크에 축열되고 리턴되어 나오는 물의 온도가 높을 경우 냉각효과를 줄 수 없기 때문에 온도를 낮춰주기 위하여 열교환기를 설치하였다. 이때 사용되는 워터펌프 및 열교환기에 대하여 시스템에 맞는 적정 제품을 선정하기 위하여 테스트를 수행하였다.

워터펌프의 경우 시중에 유통되는 다양한 타입의 제품을 구매하여 각각의 특성을 살펴보았는데 대표적인 예로 Fig. 5에 나타낸 (a) 기어(Gear) 타입과 (b) 임펠러(Impeller) 타입 그리고 (c) 다이어프램(Diaphragm) 타입이다. 임펠러나 다이어프램 타입의 경우 초기 펌프내에 물이 공급되지

않았을 경우 시동성이 떨어지나 Gear 타입의 경우 초기 물을 흡입하는 힘이 좋아 작동성이 좋은 것으로 나타났다. Gear 타입 펌프에서 모터부의 전압 및 압력변경에 따른 유량특성을 Fig. 6에 나타내었다. 그래프의 특성값을 이용하면 적당한 전압조정을 통하여 순환유량을 조절하여 전기발전부의 쿨링 유량을 컨트롤할 수 있다.

열교환기의 경우 열교환기 내부를 물이 흐르고 팬을 이용하여 강제로 냉각시키는 방식을 사용하는데 알루미늄 재질의 핀튜브 열교환기에 팬을 부착하여 물의 온도저하 특성을 살펴보았다. Fig. 7의 실험사진으로서 다양한 온도로 데워진 물을 다양한 유량 조건에서 워터펌프를 이용하여 물을 순환하여 입출구의 온도차를 통하여 필요 용량의 열교환기를 선택하는 방법으로 실험을 수행하였다. 이러한 일련의 실험을 통하여 워터펌프 및 열교환기의 필요부품에 대한 적당한 선정이 가능해지면 전체 시스템에 대한 테스트를 수행하게 된다.

### 3-3. 열저장 시스템 테스트

Fig. 1의 열저장 시스템 개략도를 바탕으로 Fig. 8의 보일러를 포함한 3-D 열저장 시스템을 구성하였다. 전체적인 시스템의 구동을 위하여 보일러 컨트롤 이외에 별도 컨트롤러를 제작하여 보일러와의 연동 및 전기발전부의 회수열량에 대한 축열을 효과적으로 쓰기위하여 여러 상태를 정의하였다. 첫 번째로 보일러의 온수, 난방을 쓸 경우 탱크 내부의 온도를 확인하여 탱크온도가 충분히 데워졌을 경우 탱크쪽으로 물이 순환하여 열을 이용하고 탱크내부에 충분히 축열이 되지 않았을 경우 바로 보일러로 순환하도록 설계하여 효율적인 운전을 하도록 하였다. 전기 발생부의 효과적인 쿨링을 위해서도 탱크에 축열되고 리턴되어 나오는 물의 온도를 측정하여 설정온도 이하의 경우 바로 전기발전부로 공급하지만 일정 온도 이상일 경우 팬을 가동하여 열교환기에서 열을 뺏도록 운전한다. 열교환기를 이용하여도 온도가 떨어지지 않을 경우 저온의 직수를 바로 공급하도록 하는 시나리오를 컨트롤러상에 입력하여 운전을 수행한다.

이러한 시스템을 통하여 열저장시스템이 활용도를 높이 최고효율의 시스템이 되도록 계속적으로 연구를 수행하고 있음.

## 4. 결론

분산발전 전원의 효율향상을 위한 열저장 시스템의 개발을 위하여 기초실험으로서 각 부품 즉, 탱크, 펌프, 열교환기 그리고 보일러 연동을 통한 온수, 난방 테스트를 수행하였으며 이에 대한 결과는 다음과 같음.

1. 열저장 탱크의 축열 및 방열 특성을 통하여 폐열량에 따른 특성을 파악하여 적절한 탱크용량을 선정할 수 있으며, 축열된 열을 온수 및 난방에 사용함에 따른 특성변화를 확인하였다. 사용된 보온재의 경우 충분한 보온 역학을 함을 알 수 있었으며 온수 실험 등에서 설정온도에 맞춰 온수 출탕시 탱크 내부의 온도가 서서히 떨어지면서 온수로 열전달이 잘 되는 것을 확인하였으며 사용 유량에 따른 온도변화 추이를 확인할 수 있었음.

2. 워터펌프 및 열교환기 실험을 통하여 열저장시스템에 사용되는 부품의 사양을 확정하여 적용할 수 있었으며, 전체 시스템에 대하여 시제품을 제작하여 폐열회수 특성, 보일러 이용 온수, 난방 사용 특성 등을 확인하여 열저장시스템의 효율적인 운전방법에 대한 기초연구 자료로 활용할 수 있도록 하였다.

## 5. 참고문헌

1. 황인주, 신현준, 이흥철, 공동주택용 태양열원 급탕시스템의 운전특성에 관한 연구, 대한기계학회 2002년도 춘계학술대회 논문집, 2002, 2125-2130.
2. 주병수, 이호준, 고분자 전해질형 가정용 연료전지 시스템 개발 및 응용, 설비저널, V.36, No. 9, 2007, 29-36.
3. 가정용 가스보일러 열효율 측정 및 효율등급 기준개발 보고서, 한국가스안전공사, 2008.

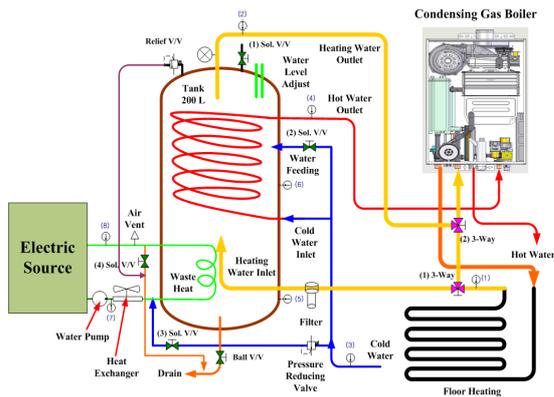


Fig. 1 Schematic diagram of heat storage system.

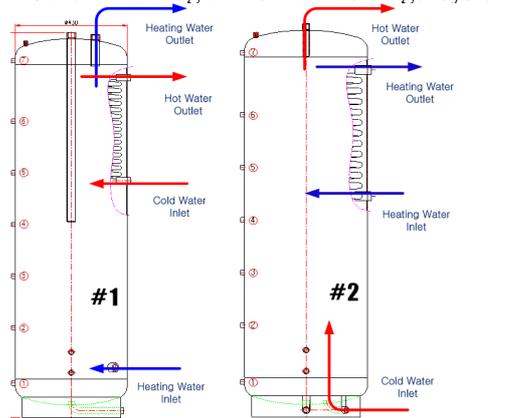


Fig. 2 Drawing of storage tank configuration.

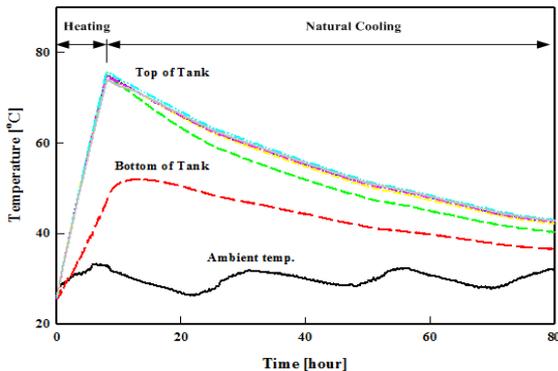


Fig. 3 Temperature distribution of storage tank in heating and cooling process.

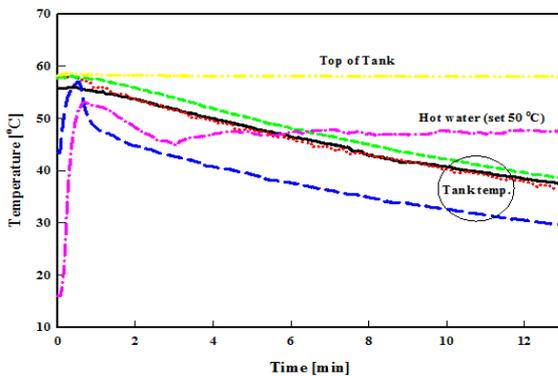


Fig. 4 Temperature distribution of storage tank and hot water in boiler operating condition.

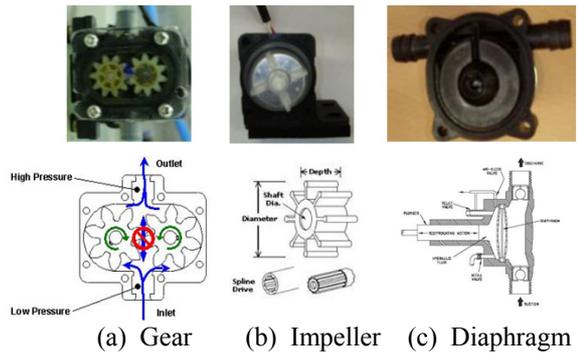


Fig. 5 Various types of circulation water pump.

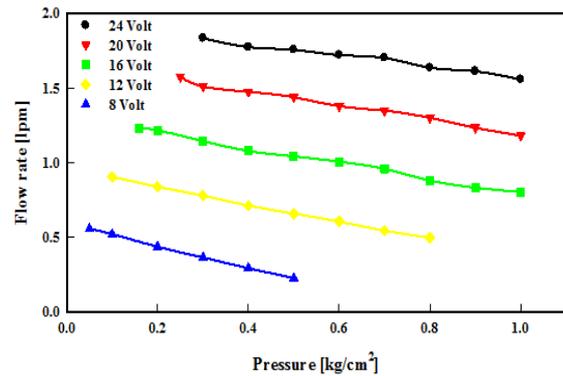


Fig. 6 PQ curve with voltage in water pump.



Fig. 7 Water cooling heat exchanger test.

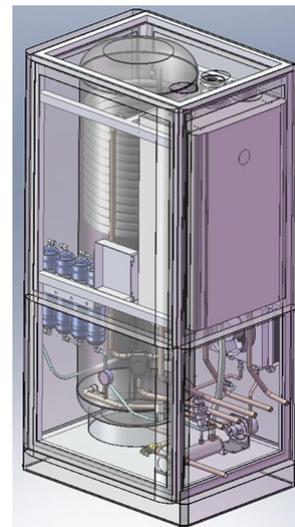


Fig. 8 Schematic 3-D configuration of heat storage system with condensing gas boiler.