

소형 수축열식 전기 보일러의 성능 평가에 대한 연구

모종근* · 신재호* · 배철환* · 서정세** · 정한식† · 정효민**

A Study on the Performance Valuation of Small Size Water Storage Electric Boiler

Joung. Gun. Mo* · Jae. Ho. Shin* · Chul. Whan. Bae* · Jeong. Se. Suh**
· Han. Shik. Chung† · Hyo. Min. Jeong**

Key Words: Electric boiler(전기 보일러), Midnight(심야), Performance valuation(성능평가)

Abstract

We was made 150L an water storage electric boiler and obtained various performances of the storage, radiant and keeping by experimentation. The storage performance is that the heat were off about 50 minutes after heating start. Then the temperature of outlet was arrived the stead state at 91°C and the storage performance was appeared 93.64%. In the radiant performance, the water temperature was decreased from 90°C to 44.8°C after 960 minutes. Then the calorific value changed from 675kcal/h to 72kcal/h and the temperature decreased about 50%. The keeping performance showed mean temperature, 67.06°C according to progress 800 minutes and the maximum temperature drop were 0.2°C. By the results of the performance valuation, the water storage electric boiler was verified fitted quality on the test prescription of KERI(Korea Electrotechnology Research Institute).

기호설명

F_{pump} : 펌프 P1의 순환유량 (ℓ/min)
 H_1 : 심야 전력 공급시간
 L : 표준 난방 면적 (m^2)
 N_1 : 축열 성능 시간

N_2 : 축열조의 온수 순환시간(min.)
 P : 소비전력량 (kWh)
 Q : 최대축열량 [$Q_s \times (90^\circ C - 40^\circ C)$]
 Q_h : 축열매체 용량 (ℓ)
 Q_m : 저장된 열량
 Q_s : 방열 배출유량 (ℓ)
 Q_{out} : 재사용을 위해 회수된 열
 T_1 : 가열 전 축열조의 물의 온도 ($40^\circ C$)
 T_2 : 가열 후 축열조의 온수의 온도
 η : 축열 효율 (%)

† 경상대학교 기계항공공학부
 E-mail : hschung@nongae.gsnu.ac.kr
 TEL : (055)640-3185

* 경상대학교 대학원
 ** 경상대학교 기계항공공학부

1. 서론

지금 세계 에너지의 주 원천인 화석연료는 매장량이 한정되어 있을 뿐만 아니라, 화석연료의 대량 소비에 따른 이산화탄소의 발생량 증가로 지구온난화 및 대기 오염 등이 심각한 문제로 대두되고 있다. 이를 극복하기 위해서는 새로운 에너지원으로서 개발되고 있는 무한한 연료인 태양열, 수력, 풍력 등 자연에서 얻을 수 있는 에너지에 눈을 돌리기 시작하였고 대체에너지원의 이용하기 위해서는 에너지의 발생원과 에너지의 사용처 사이의 에너지 저장시스템을 이용하여 에너지를 적당한 형태로 저장하는 것이 필요하다.^{1~2)}

열을 발생하는 열원과 그 열을 이용하는 열기기 사이에는 대체로 공간적이나 시간적인 거리가 있다. 공간적인 거리를 극복하기 위하여 열을 이동시킬 수 있는 열 교환기나 배관이 필요하며, 시간적인 거리를 극복하려면 축열이 필요하다.^{3~5)} 더욱이 축열 시스템은 열원과 열기기 사이의 순간적인 부하 불균형을 조정함으로써 전체 시스템의 성능을 증가시키며 또한 낮은 밀도의 에너지(low-density energy)를 높은 밀도의 에너지(high-density energy)로 전환시킬 수도 있다. 따라서 축열 시스템의 기능은 열원과 열기기 사이의 시간적, 질적, 양적인 불일치를 감소시키는 것이라고 할 수 있다.^{6~7)} 특히 태양 에너지를 이용한 시스템에 있어서는 열원인 태양의 일사량 자체의 주기적인 비연속성과 간헐성(예: 낮과 밤 또는 맑음과 흐림) 때문에 축열 시스템은 집열 시스템과 더불어 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 축열을 가장 효과적으로 하기 위하여 축열조의 개발과 이의 성능평가가 요구된다. 본 연구에서는 150L 소용량의 수축열식 전기 보일러를 개발하여 보온과 축열 그리고 방열 성능을 연구하고자 한다.

2. 축열 효율

열에너지는 현열 또는 잠열 등의 형태로 저장된 후 필요할 때 다시 사용될 수 있다. 따라서 축열 효율은 개념적으로는 저장된 후에 재 사용될 수 있는 열량의 저장한 열량에 대한 비로 정의된다. 이는 열역학 제1법칙의 효율이다.⁸⁾

$$\eta_1 = \frac{Q_{out} - Q_{loss}}{Q_{in}} \quad (1)$$

식(1)로 정의된 효율은 단지 열량만으로 계산되는 양적 평가(quantitative evaluation)이며 가용 온도의 개념을 도입한 열역학 제2법칙의 효율은 질적 평가(qualitative evaluation)라 할 수 있다. 축열 시스템이 기계 에너지나 전기에너지의 발생 장치에 사용되었다면 열역학 제2법칙 효율은 식 (2) 와 같다.⁸⁾

$$\eta_2 = \frac{T_{in}(T_{out} - T_{sink})}{T_{out}(T_{in} - T_{sink})} \quad (2)$$

여기서 T_{in} , T_{out} 과 T_{sink} 는 절대 온도이며 각각 상수라고 가정하였다.

3. 실험장치 및 결과

축열 성능 실험은 한국전기연구소 시험 규정에 의하여 실시하였다. 시험 대상은 원통형 전기 보일러로서 용량은 150L이다. Fig.1은 축열식 전기 보일러 실험장치의 전체 개략도를 나타내고 있다. Fig. 2는 축열조 전체사진이며, Fig. 3은 각종 실험 장비이다. Fig. 4는 배전판 사진을 나타낸다.

3.1. 축열 성능 실험

축열 성능 실험을 수행하기 위하여 실내 온도를 20℃이하로 유지시키고, 축열탱크에 150ℓ의 물을 전기히터를 가동하여 40℃로 가열시킨 후 다시 순환펌프를 유동시켜 축열조내부의 온도를 40℃ 고루게 유지하여 탱크에 저장 시켰다. 이때 유입수와 유출수의 밸브는 잠긴 상태이고, 펌프와 전력 적산계도 정지상태이다. 전기 히터에 전기를 공급하는 시점을 실험 시작점으로 하였다. 온도를 측정하기 위해 T-type의 열전대를 설치하고 data logger를 사용하여 온도를 측정하였다. 실험을 시작하기 이전에 전력 적산계를 살펴보고 그 이상 유무를 확인하고 전기 히터에 전원을 공급하여 실험을 시작한다. 축열성능 실험을 하기 위하여 온도 조절 센스를 90℃로 설정하고 축열

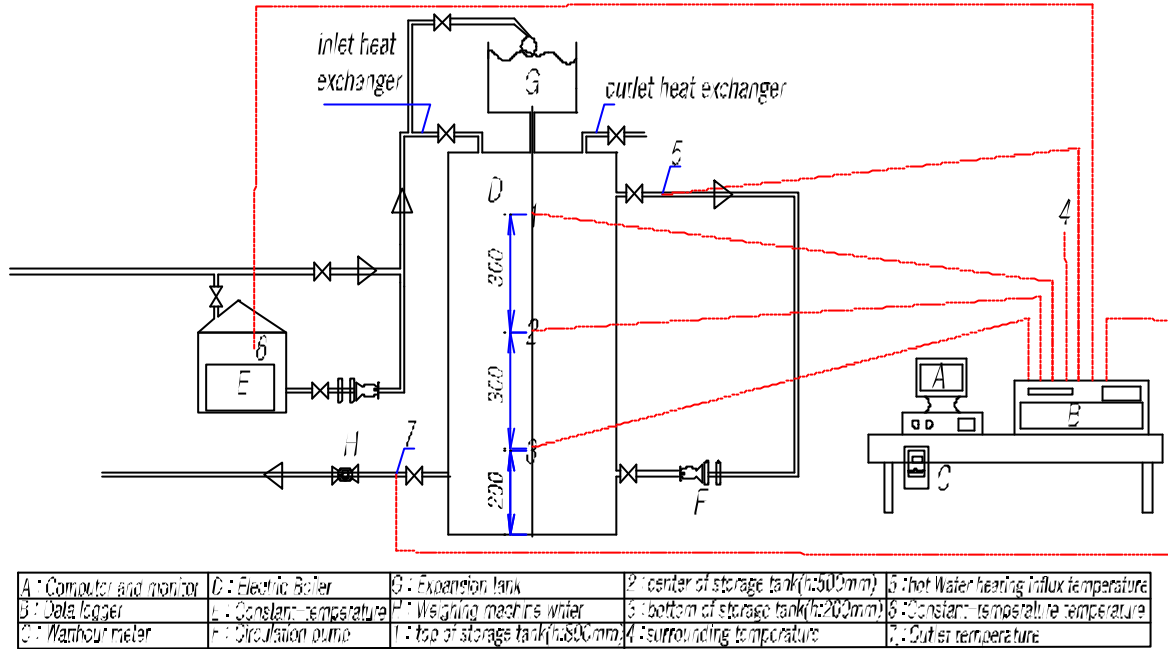


Fig. 1 Test apparatus of the midnight electric boiler.



Fig. 2 The front of the midnight electric boiler.



Fig. 3 Data logger and computer.



Fig. 4 Electric supply plate, the midnight electric boiler.

조 내의 온수의 온도가 90℃가 되면 전원은 자동적으로 꺼지고 이때 사용된 전력량을 측정하였다. 그리고 이때의 종료 시간을 확인하여 축열되는데 필요한 소요시간을 기록하였다. 전기 히터가 정지 된후 30분 후 축열조의 순환펌프를 작동하여 축열조 안의 온수를 15.5 분 (총 순환시

간: $N_1 = (N_2) + (10)$ 동안 순환시켜 혼합하고 이후 1 분 간격으로 순환되는 온수의 출구 온도(S_2)를 측정하여 평균 값(T_2)을 구하였다. 성능실험 결과는 표1과 같다. Fig.5는 시간 경과에 대한 축열 성능을 온도의 변화로서 나타낸 것이다. 가열 시작 후 50분이 경과하면 토출 물의 온도가 90℃

Table 1. The heating test results.(2003.1.22)

mix		40°C ~ 90°C			
Time (min)	Temp (°C)	Surrounding temperature	Time	electric energy (kWh)	Temp (°C)
1	83.1	start 11.2	11:35	30.1	40.1°C
2	83	10min 11.2	11:45	32	49.7°C
3	83	20min 11.1	11:55	33.9	60.8°C
4	83	30min 11.2	12:05	35.8	72°C
5	83.1	40min 11.3	12:15	37.7	83.4°C
6	83.1	50min 11.2	12:25	39.6	91°C
7	82.9				
8	82.8				
9	82.8				
10	82.8	mean 11.2°C	50 min	9.5	OFF: 91°C
sum	829.6				
mean	82.96				
T ₂	82.96	circulating pump time : display 35 ℓ/min (measured value 33 ℓ/min)			
ΔT	8.14				
$N_2(\text{circulating pump time}) = Q_g/PUMP + 1$ $= 4.5\text{min} + 1\text{min} + 10\text{min} = 15.5\text{min}$ $\text{efficiency} = Q_g(T_2 - T_1)/P \times 860 \times 100$ $= 150 \times (91 - 40) / 9.5 \times 860 \times 100 = 93.64\%$					

정상상태에 도달된다. 이때의 평균 주위 온도는 11.2°C이며, 순환 펌프시간은 33 ℓ/min이다. 순환 펌프의 총 소요시간은 15.5분으로서 시스템의 효율은 93.64%로 나타났다.

한국전기연구소의 축열효율 규정은 1000 ℓ 미만 시 91% 이상이면 합격이므로 이모델은 축열성능 규정에 적합하다.

$$N_2 = \frac{Q_s}{F_{pump}} + 1 \quad (3)$$

$$\eta = \frac{Q_k \times (T_2 - T_1)}{P \times 860.0} \times 100 \quad (4)$$

축열성능 시간(H₂)은 N₂ ± 20분이다.

$$M1 = N_{night} \left(1 - \frac{N_{night}}{24} \times 1.1\right) \quad (5)$$

3.2. 방열 성능 실험

Table 2. Keeping warm and radiation test results.

Keeping warm			OFF time : radiation test results(45°C to)						
OFF :	TN	Temp (°C)	DMI (ℓ)	Continuous (ℓ)	CV (kcal/h)	ST (°C)			
MT : (01:27 ~ 01:36)			83.1	15	1435	1450	646.5	11	
S4: °C			2	78.2	15	1450	1465	573	11.5
Time (min)	Temp (°C)	ST (°C)	3	75.4	15	1465	1480	531	11.5
1	67.2	10.9	4	71.9	15	1480	1495	478.5	11.3
2	67.2	10.9	5	67	15	1495	1510	405	11.6
3	67.1	10.8	6	63.4	15	1510	1525	351	11.4
4	67.1	10.7	7	60.9	15	1525	1540	313.5	11.2
5	67	10.7	8	58	15	1540	1555	270	11
6	67	10.7	9	55.5	15	1555	1570	232.5	11.1
7	67	10.8	10	52.5	15	1570	1585	187.5	11
8	67	11	11	50.3	15	1585	1600	154.5	10.9
9	67	10.8	12	49	15	1600	1615	135	10.7
10	67	10.9	13	47.8	15	1615	1630	117	10.4
sum	670.6	108.2	14	46.3	15	1630	1645	94.5	10.0
mean	67.06	10.82	15	44.8	15	1645	1660	72	10.0
2003. 01. 23.			sum	904.1	225			4561.5	
the others :			2003. 01. 23, 10:00 ~ 24. 01:00						
			efficiency radiation(45.1 %)						
			the others :						
TN : the number of times, MT : measurement time,									
ST : Surrounding temperature, DMI : displacement,									
CV: Calorific value									

방열 성능 실험은 한국전기연구소 시험성적 규정 9.2.5항에 의거한다. 방열 성능 실험 결과는 표2의 방열 성능 기록과 같다. 방열 성능 실험을 하기 위하여 먼저 축열조 안에 물을 가득 채우고 물의 온도를 90°C로 가열 한 후 전기 히터가 정지되는 상태를 기준으로 하여 실험을 시작하였다. 1시간 경과시 마다 축열조 용량의 1/10만큼의 온수를 송수관으로 배출하면서 배출되는 온수의 온도와 수량을 측정하였고, 같은 양의 물을 공급하였다. 이 과정에서 공급되는 물의 온도는 40°C로 일정하게 유지하였고, 공급된 유량은 분당 축열조 용량의 1/100로 하였다. 여기서 1시간이란 배출되는 시간을 포함한 시간을 말하며 온수의 온도 측정은 매회 배출된 양의 1/2이 배출 될 때를 측정하였다. 시간 경과에 따른 온도 변화를

Fig.6에 나타내었다. 방열 시간인 900분 경과에 따라서 90℃의 물이 44.8℃로 낮아진다. 이에 따른 방열량도 675kcal/h에서 72kcal/h로 변화함을 알수 있다. 약 50%의 온도 저감이 이루어 졌다.

방열 성능(η_e)

$$= \frac{\sum \text{방열량}(kcal)}{\text{최대축열량}(kcal)} \times 100 (\%) \quad (6)$$

$$\text{방열량}(kcal) = (T_o - 40) \times Q_o \quad (7)$$

$$\text{최대축열량}(kcal) = (T_2 - T_1) \times Q_h \quad (8)$$

3.3. 보온 성능 실험

보온 성능시험은 한국전기연구소 시험성적 규정 9.2.4항에 의 한다. 보온 성능 실험은 축열조의 물이 90℃로 축열이 완료된 상태에서 전기 히터가 차단되는 기점을 실험 시작점으로 하며, 축열조의 물을 13시간 동안 방치한 후 축열조 안의 온수순환 시간이상 순환시키고 이후 10분 더 순환시키면서 1분 간격으로 순환되는 온수의 온도를 T-type의 열전대를 사용하여 측정하였다. 보온성능 실험 결과는 표2의 보온 성능 기록과 Fig.7과 같다. 800분간의 보온실험 결과 평균 67.06℃의 보온 성능을 보여 주고 있으며 보온 시간내의 최대 온도 저하는 0.2℃로서 우수한 성능을 나타내었다.

$$\text{방열량}(kcal) = (T_o - 40) \times Q_o \quad (7)$$

$$\text{최대축열량}(kcal) = (T_2 - T_1) \times Q_h \quad (8)$$

3.4. 표준난방면적¹⁰⁾

$$\text{표준난방면적}(m^2) = Q / [270kcal/h \cdot \text{평} \times (24h - H1) \div 3.3057 m^2/\text{평}] \quad (9)$$

본 축열조 용량은 150ℓ 이므로 식(9)에 의하여 표준 난방면적을 계산하여 6.6(m²) 으로 나타낸다. 이 모델의 난방면적은 6.6(m²)으로써 약2평의 소규모 난방에 사용할 수 있음을 알 수 있다.

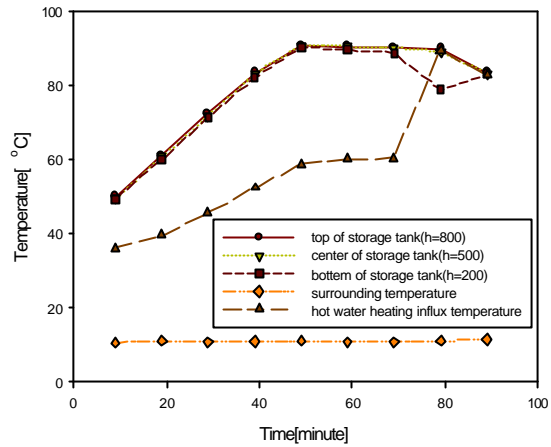


Fig.5 The temperature distributions of heating test.

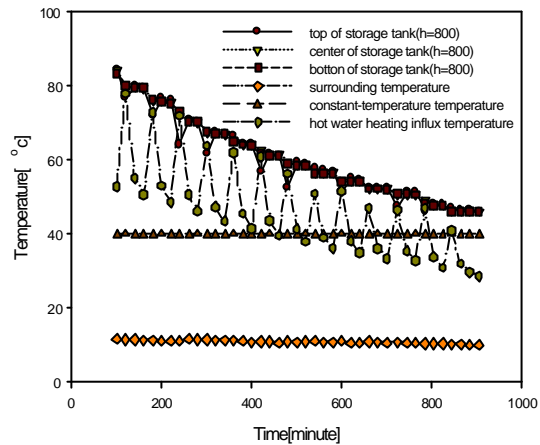


Fig.6 The temperature distributions of radiation test.

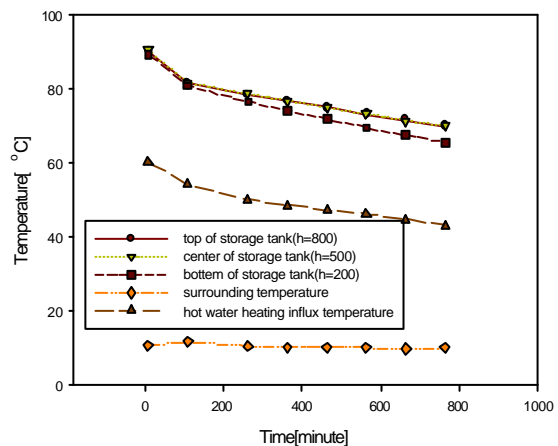


Fig.7 The temperature distributions of keeping warm test.

4. 결 론

소형 수축열식 전기 보일러 150L를 개발하여 축열 성능, 방열성능 그리고 보온 성능을 한국 전기 연구소의 규정에 의하여 실험을 수행하였다.

- 1) 축열 성능은 가열 시작후 50분이 경과하면 토출 물의 온도가 약 90℃의 정상 상태에 도달하였으며, 축열 성능은 93.64%로 나타났다.
- 2) 방열 성능은 90℃의 물이 900분 경과 후 45℃로 낮아지고, 이때의 발열량도 675kcal/h에서 72kcal/h로 변화하여 약 50%의 온도 저감이 이루어졌다.
- 3) 보온성능은 800분이 경과함에 따라 평균 67.06℃의 보온성능을 나타내었으며 최대 온도 저하는 0.2℃가 되었다.
- 4) 각 성능을 평가한 결과 한국전기연구소 시험 규정에 적합한 품질임을 확인하였다.
- 5) 축열조 150ℓ의 난방면적은 6.6㎡으로써 약2평의 소규모 난방에 사용할수 있음을 확인 하였다.
- 6) 심야전력을 기준으로하여 도시가스의 약1.4배 보일러 등유의 2.3배 LPG의 2.5배의 연료비를 절약할수 있다.

후 기

본 연구는 해양수산개발원 지원의 수산특정과제 (No. 19980004) 연구비와 경상대학교 BK21 지역대학육성사업단 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Joon Ho Han, 1988, "Policy Development Direction of Alternative Energy", The first seminar on nrse technologies and trends, pp. 1-5~1-14
2. W.S. Lee, J.W. Park, 1999, "A study on Characteristics of Heat Flow of Low Temperature Latent Thermal Storage System", The KOREAN SOLAR ENERGY SOCIETY, Vol.19.NO.4, pp. 3

3~43.

3. Garg H.P Mullic S.C, Bharagavcz A.K, 1985, "Solar Thermal Energy Storage", D.Reidel Pub. com, pp. 82~128.
4. Sun Sok Kwon, Han. Shik. Chung Sun Jung Kim, Yong Il Kwon, 1996, "Thermodynamics. BOSEONGGAK", pp. 53~88.
5. Han Shik. Chung, Kyung Kun Kim, S.G. Kim, 1997, "Thermodynamics. JINYEONGSA", pp. 200~238.
6. H.C.H. Jung, 1998, "Today and tomorrow of korea solar energy of technology utilization", The KOREAN SOLAR ENERGY SOCIETY, Vol.18.NO.3, pp. 1~7.
7. W. Cho, E.T. Pak, 1998, "The Study on Prediction of Hot Water Extraction in a Thermal Energy Storage System", The KOREAN SOLAR ENERGY SOCIETY, Vol.18.NO.3, pp. 71~80.
8. H.J. Jung 1991, "The KOREAN SOLAR ENERGY SOCIETY SOLAR ENERGY handbook", pp. 479~483.
9. Yoon Sub Yang, Nan Chun Baik, Je In Yoo, 1993, "An experimental study on the improvement of performance for the storage type off-peak electricity water heater" Architectural Institute of Korea, v.9, n.5, pp. 67~77.
10. <http://211.48.244.164/sim/tech/ja/boil/data/chukdesign.htm>