열사이폰관형 태양열집열기를 주열원으로 하는 하이브리드 난방시스템 성능 평가

전태규* · 양영준†

부산대학교 건축공학과 대학원*, 경남과학기술대학교 자동차공학과†

(2012년 8월22일 접수, 2012년 11월 23일 수정, 2012년 11월 23일 채택)

Evaluation on Performance of Hybrid Heating System with Solar Collector of Thermosyphon Tube Type

Tae-Kyu Chun* · Young-Joon Yang†

*Graduate School of Architectural Engineering, Pusan National University

Dept. of Automotive Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology†

(Received 22 August 2012, Revised 23 November 2012, Accepted 23 November 2012)

요 약

지열, 풍력, 태양열에너지 등과 같은 신재생에너지 분야에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으나 전체 에너지 중에서 차지하는 비율은 아직 미미하다. 본 논문은 주열원인 열사이폰관형 태양열집열기와 보조열원인 X-L 파이프 보일러장치를 서로 결합한 하이브리드 난방시스템에 관한 연구이다. 특히 새로운 형태의 열사이폰관형 태양열집열기에 관한 성능 평가와 함께 보조열원장치의 성능 및 안전성에 대해 조사하였다. 그 결과, 열사이폰관형 태양열집열기는 이중관형 태양열집열기보다 집열효율이 그 구조적 특성 때문에 최대 20.7% 더 증가하였다. 또한 보조열원장치의 X-L 파이프 내 특수열매체는 순수 물보다 약 20% 더 빠르게 온도가 상승하였으며, X-L 파이프 보일러는 안정성 때문에 팽창압력 해소장치가 필요함을 확인하였다.

주요어 : 신재생에너지, 태양열에너지, 하이브리드 난방시스템, 열사이폰관형 태양열집열기, 특수열매체

Abstract - Recently, even though the researches on renewable energy like geothermal, wind, solar energy have been performed widely, its use-rate in total energy is still low. This study was carried out to investigate the performance of hybrid heating system, which consisted of solar collector of thermosyphon tube type and X-L pipe boiler. Especially, new type of solar collector was tried and compared with double tube type and, furthermore, performance and safety on X-L pipe boiler were investigated. As the results, efficiency of solar collector of thermosyphon tube type was higher 20.7% than that of double tube type, mainly due to its structural characteristics. It was also confirmed that temperature of special heat medium used X-L pipe boiler rose up about 20% rapidly in comparison with that of pure water.

Key words : Renewable energy, Solar heat energy, Hybrid heating system, Solar collector of thermosyphon tube type, Special heat medium

1. 서 론

†To whom corresponding should be addressed.

Dept. of Automotive Engineering,
Gyeongnam National University of Science and Technology,
150 Chilam-dong, Jinju, Gyeongnam, Korea
Tel : 055-751-3646 E-mail : yangyj@gntech.ac.kr

인류가 에너지원으로 사용하고 있는 화석연료는
탄소배출이 불가피하며 이로 인한 환경오염이 심각하

대[1]. 따라서 화석연료의 사용에 대한 보완 및 해결책의 하나로써 친환경 저탄소 배출에너지 또는 에너지 절약 기술을 적극적으로 개발하고 있다[2-3]. 친환경 저탄소 배출에너지로서 지열, 풍력, 태양열에너지 등과 같은 신재생에너지 분야에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으나, 이 분야가 전체 에너지 사용량 중에 차지하는 비율은 현재 약 2%로 아직 미미한 실정이다[4]. 에너지 절약 기술로서는 여러 가지 많은 신기술이 나오고 있으나 난방장치에 관한 신기술은 수요에 비해 예상외로 그다지 많지 않은 편이다[5-7]. 따라서 친환경 에너지 재생장치와 같은 에너지 절약 기기에 관한 연구가 보다 활발히 이루어져야 할 것이다. 태양열 집열장치 부분에서는 중국이 세계시장의 대부분을 차지하고 있으며 또한 많은 특허를 보유하고 있는 것으로 알려지고 있다[8]. 따라서 우리나라도 태양열 집열부분에 대해, 외국제품의 특허 회피 전략과 더불어 새로운 집열분야에 대한 집중적인 투자와 연구가 더 활발히 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 열사이폰관형 태양열집열기를 주열원으로 하고 또한 야간이나 일사량이 부족할 때를 대비해 보조열원으로 사용되어지는 X-L 파이프 보일러장치를 서로 결합한 하이브리드 난방시스템의 성능 평가에 관한 것이다. 특히 새로운 형태의 열사이폰관형 태양열집열기를 연구·개발하여 그 성능을 평가하고자 하였으며, 보조열원으로 사용되어지는 장치의 성능 및 안전성에 관한 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구의 대상인 하이브리드 난방시스템의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 주 열원인 열사이폰관형 태양열집열기가 건물 외부에 설치되어 온수를 생산한다. 보조열원은 야간이나 일사량이 부족할 때를 대비하여 건물 내부에 설치되며 X-L 파이프내에 특수열매체를 전기식으로 가열하여 물의 온도를 상승시키게 된다. 여기서는 주열원인 열사이폰관형 태양열집열기와 보조열원으로 사용되어지는 특수열매체의 성능 평가 실험을 수행하였다.

외국으로부터 수입되어지는 이중관형 유리 진공관식 태양열집열기의 구조와 그 파손 예를 Fig. 2에 나타내었다. 이중관형 유리 진공관식 태양열집열기는 제작이 완료되면 유리의 특성상 내부의 진공상태가 잘 유지되는 장점이 있다. 그러나 구성재료(유리) 및

Fig. 1. Schematic diagram of hybrid heating system.

Fig. 2. Structure of solar collector of double tube type and example of fracture.

형태(이중관)의 특성상 태양광에 장시간 노출되거나 과열되면 열 스트레스를 피할 수 없으며 또한 유리와 공기층을 이중으로 거쳐야 하므로 열효율을 떨어뜨리는 요인이 된다. 따라서 이와 같은 이중관형 유리 진공관식 태양열집열기의 단점을 극복할 수 있는 새로운 타입의 태양열집열기에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 태양열집열기의 파손에 대한 내구성과 효율 향상에 초점을 두고 열사이폰관형 태양열집열기를 연구하였다.

Fig. 3에 본 연구에서 주열원으로 사용되어지는 열사이폰관형 태양열집열기를 나타내었다. 열사이폰관은 금속과 유리 수지계열의 파이프를 혼용하여 열사이폰 현상을 유도할 수 있게 제작한 열교환장치이다. 금속으로 구성된 장치의 바깥 표면을 블랙크롬으로 어둡게 피막하여 태양광이 잘 흡수되도록 한 뒤 일정간격이 유지되도록 유리관을 덮어 씌워 온실효과를 유도할 공간을 확보하였다. 진공펌프를 이용하여

Fig. 3. Solar collector of thermosyphon tube type.

Fig. 4. Experimental apparatus for solar collector.

(A: Double tube type, B: Thermosyphon tube type)

소정의 진공상태를 구현한 뒤 파이프의 내부에 열매체를 충전, 태양광에 노출하여 내부의 열매체가 가온되게 하였다. 동시에 금속관 내부에 수직계열의 내관을 삽입하여 대류현상 시 유체가 상하 방향으로 열교환 속도를 신속하게 유도하여 집열효율을 높이고 집광단계를 최소화한 진공관식 열사이폰관형 태양열집열장치이다.

태양열 집열장치에서 집열효율은 시스템의 성능을 좌우하는 기준이 된다. 이러한 집열효율을 알아보기 위한 태양열집열기의 성능평가 장치를 Fig. 4에 나타내었다. A는 이중관형 태양열집열기이고 B는 Fig. 3에 나타낸 열사이폰관형 태양열집열기이다. 외국의 특허 제약 때문에 국내에서는 제작이 불가능하여 대부분 수입에 의존하고 있는 이중관형 태양열집열기와 연구대상인 열사이폰관형 태양열집열기의 집열효율을 서로 비교하기 위하여 동일한 집열면적과 유량을 사용하였다. 실험은 KS B 8203 「태양열집열

Table. 1. Specification of solar collector and experimental condition.

	Thermosyphon tube type	Double tube type
Initial temp. of water(°C)	20	
Max. temp.(°C)	52.3	28.1
Outer temp.(°C)	13~21	
Heat medium(fluid)	Water	
Slope angle(°)	45	
Collector area(m ²)	1.62	
Water capacity(ℓ)	6	
Mean temp.(°C)	43.3	24.9
Type	Natural circulation

Fig. 5. Experimental apparatus for special heat medium.

기」에 명시된 실험장치 구성도를 바탕으로 실시하였다. 집열면적은 1.62m², 집열기에 사용된 물의 용량은 6L의 수돗물을 사용하였다. 주요 온도측정은 T-type 열전대 사용하여 태양열집열기 매니폴더의 온도를 Data Logger(GL220_820APS)로 수집하였으며 일사가 충분한 오전 11시 52분부터 오후 5시 52분까지의 시간대에 매 1분마다 수집한 데이터를 30분 평균으로 나타내었다. 집열기에 대한 채원 및 실험조건을 Table 1에 나타내었다.

Fig. 5에 보조열원으로 사용되어지는 특수열매체의 실험장치를 나타내었다. 전기식 난방시스템으로 사용되어지는 X-L 파이프보일러에 대한 연구는 열매체로서 일반 물을 사용한 결과가 이미 보고된 바 있다[9]. 여기서는 열매체로서 일반 물이 아닌 특수 열매체의 이용을 시도하고자 한다. 파이프 보일러에서 열매체 반응속도의 차이는 전기에너지를 절약하는 매

우 중요한 사항이므로 물과 에탄올 및 포도당을 포함한 다수의 성분이 혼합된 열매체를 제조하여 실험하였다. 열매체의 발열속도는 태양열 난방장치의 보조 장치에서 중요한 부분이며 난방능력을 좌우하는 기준이 될 수 있다. X-L 파이프에 들어가는 열매체 응답 속도의 차이를 분석하기 위하여 Fig. 5와 같은 X-L 파이프 대체 실험장치를 제작하였다. 실험장치 내에 12m 전열선을 삽입하고 한쪽의 장치에는 물, 에탄올, 포도당을 50:49:1의 비율로 넣고 다른 장치에는 물 100%를 사용하였다. 즉 난방시에 어느 설정온도에 도달하는 시간을 알아보기 위한 것으로서, 삽입한 전열선에 전기에너지를 보내 열매체의 온도 상승이 어느 쪽이 빠른지 조사하였다. 실험장치는 직경 100mm, 길이 700mm이며 사용된 열매체의 용량은 두 실험장치 모두 5L이다. 온도 측정은 T-type 열전대를 사용하여 실험장치 내부의 온도를 Data Logger(GL220_820APS)로 수집하였으며 매 1분마다 수집한 데이터를 5분 평균으로 약 1시간을 측정하였다.

3. 결 론

3-1 주열원 열사이폰관형 태양열집열기의 성능 평가

열사이폰관형 및 이중관형 태양열집열기의 집열 효율 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 온도측정은 일사가 충분한 오전 11시 52분부터 오후 5시 52분까지 측정하였다. 본 연구 대상의 열사이폰관형 태양열집열기는 각 측정 시간별로 최대 8.2℃의 높은 온도차이를 보이며 집열온도가 큰 차이를 보인 반면, 이중관형 태양열집열기는 최대 1.6℃로 온도차이의 큰 변화가 없다. 집열면적이 같고 실험조건이 동일함에도 불구하고 이와 같이 집열온도의 차이가 크게 나타나는 것으로부터, U자관 삽입 타입의 이중관형보다 열사이폰관형의 집열효율이 더 높은 것을 알 수 있다. 즉, 열사이폰관형 태양열집열기는 뜨거워진 열매체가 밀도차에 기인한 대류에 의해 자연스럽게 상부로 모이게 되어 자연순환이 되지만 이중관형 태양열집열기는 열사이폰관형과 비교하여 관내부의 열매체의 순환이 느리고 이로 인해 메니폴더부에서 온도상승이 떨어지며, 또한 U자관에서 외부 공기에 의한 열손실 등이 집열효율을 떨어뜨리는 요인으로 판단된다. 열사이폰

Fig. 6. Comparison of collector efficiency.

관형 태양열집열기의 최고 온도값은 4시 22분경 52.3℃, 이중관형은 28.1℃로써 가장 큰 온도차이가 나타났다으며, 전체적으로 열사이폰관형이 약 0.6~24.2℃ 정도 이중관형보다 더 높게 관측되었다. 이것은 열사이폰관형 열매체의 빠른 온도상승과 원활한 순환 및 열손실의 감소에 기인한 것으로 판단되어진다.

주열원인 열사이폰관형 태양열집열기 내 열매체의 집열능력을 알아보기 위해 사이폰관에 흐르는 흡입열매체(inlet heat medium)와 토출열매체(outlet heat medium)의 온도를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 3에 보는바와 같이 메니폴더부의 바로 아래부분에 위치한 태양열집열기에서 유입되어지는 냉수의 온도 및 집열기에서 가열되어진 후 유출되는 온수의 온도, 즉 태양열집열기에서의 유입 및 유출 온도를 각각 T-type 열전대를 사용하여 측정하였다. 일사량 및 주변 공기온도를 같게 하기 위하여 동일한 시간에 동일한 장소에서 정남향 방향에 설치하여 실험을 실시하였다. 열사이폰관형 태양열집열기의 경우, 오후 4시 49분일 때 최대 흡입열매체의 온도는 53℃, 최대 토출열매체의 온도는 64.5℃로 관측되었다. 흡입열매체와 토출열매체의 온도차는 최대 11.5℃로 나타났다.

열사이폰관형 태양열집열기와 비교 대상인 이중관형 태양열집열기의 흡입열매체와 토출열매체의 온도를 Fig. 8에 나타내었다. 이중관형 태양열집열기의 경우, 오후 4시 49분일 때 최대 흡입열매체의 온도는 52℃, 최대 토출열매체의 온도는 55.5℃로 관측되었다. 흡입열매체와 토출열매체의 온도차는 최대 4.2℃로 나타났다. Fig. 7과 Fig. 8의 실험 조건이 동일

Fig. 7. Temperature difference in case of thermosyphon tube type.

Fig. 8. Temperature difference in case of double tube type.

Fig. 9. Response difference between special heat medium and water.

Fig. 10. Effect of expansion tube.

함을 고려하면, 열사이폰관형 태양열집열기가 이중관형 태양열집열기보다 열매체의 토출온도가 최대 약 9°C 더 크고, 또한 시간이 경과할수록 열사이폰관형 태양열집열기의 온도편차가 더 크다는 것을 알 수 있다. 즉 Fig. 6에서 설명한 바와 같이 열사이폰관형 태양열집열기는 이중관형 태양열집열기와 비교하여 그 구조적 특성 때문에 집열효율이 더 높은 것으로 판단되어진다. 열사이폰관형 태양열집열기의 효율은 35.3%, 이중관형 태양열집열기는 14.6%로 관측되어 열사이폰관형의 효율이 20.7% 더 높은 것을 알 수 있었다.

3-2 보조열원의 성능 평가

여기서는 Fig. 5에 나타난 실험장치를 가지고 보조열원인 X-L 파이프에 들어가는 열매체의 응답 차

이에 관하여 조사하였다. Fig. 9에 열매체로서 특수열매체(물:에탄올:포도당=50:49:1)를 사용한 경우와 순수 물만을 사용한 경우의 응답 차이를 나타내었다. 약 1시간의 전기적 가열로 최고온도가 특수열매체는 81°C, 물은 64°C에 도달하였으며 이때 온도차이는 16°C로 관측되었다. 이것은 특수열매체의 경우가 물만을 사용한 경우보다 온도상승속도가 더 빠르다는 것을 나타내며, 이는 난방용 바닥의 온도를 더 짧은 시간 내에 상승시킬 수 있음을 의미한다. 본 실험에서는 특수열매체가 물보다 약 20% 더 빠르게 온도상승이 일어나는 것으로 관측되어졌다. 동일한 실험장치 및 실험조건에서 이와 같은 열매체 응답속도의 차이는 특수열매체의 열전도계수(thermal conductivity)가 물의 열전도계수보다 크기 때문인 것으로 판단되어진다. 따라서 본 실험에서는 특수열매체 1가지 경우에만 실험을 수행하였으나 향후 여러 혼합비율을 설정

하여 최적의 특수열매체를 연구할 수 있을 것으로 판단되어진다.

보조열원으로 사용되어지는 파이프 보일러 내부는 전기적 가열에 의해 열매체의 체적팽창으로 압력 상승이 예상되어진다. 따라서 파이프 보일러 내부에 발생하는 압력을 해결하기위한 조치가 필요하며, 동일한 조건에서 팽창튜브를 부착하였을 경우와 부착하지 않은 경우를 비교하여 장치에서 발생하는 내부압력 상승에 기인한 치명적인 폭발에 대한 안전성 검증 실험이 필요할 것으로 판단된다. Fig. 5의 실험장치 내부에 12m의 전열선을 삽입하고 팽창튜브를 부착한 경우와 팽창튜브를 부착하지 않은 경우에 대해 물 100% 넣고 전기에너지를 흘려보내 그 압력변화를 나타낸 것이 Fig. 10이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 팽창튜브를 부착한 경우와 부착하지 않은 경우 모두 80℃에 도달하였을 때, 팽창튜브를 부착한 경우는 압력변동이 거의 없는 반면에 팽창튜브를 부착하지 않은 경우는 압력이 온도에 거의 선형적으로 비례하며 증가하는 것을 알 수 있다. 본 실험장치에서는 온도가 80℃에 도달하였을 때 팽창튜브를 부착하지 않은 경우는 압력이 약 1.7 kgf/cm²에 도달하였다. 팽창튜브를 부착한 경우는 상승하는 압력에 대해 팽창튜브의 체적이 증가함으로써 상승압력을 완화시켜 주기 때문이다. 따라서 밀폐된 체적 내의 전기적 가열에 의한 난방장치에 대해서는 폭발에 대한 안정성 확보 차원에서 팽창압력을 해소할 수 있는 장치가 필요할 것으로 판단되어진다.

4. 결 론

주열원인 열사이폰관형 태양열집열기와 보조열원인 X-L 파이프 보일러장치를 서로 결합한 하이브리드 난방시스템에 관한 성능 평가를 수행하였다. 열사이폰관형 태양열집열기와 이중관형 태양열집열기를 서로 비교하였으며 또한 보조열원의 성능 및 안전성 평가를 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 실험에서 열사이폰관형 태양열집열기는 이중관형 태양열집열기보다 집열효율이 그 구조적 특성 때문에 최대 20.7% 더 높다.
2. 열사이폰관형 태양열집열기는 이중관형 태양열집열기보다 열매체의 토출온도가 약 9℃

더 높고 시간이 경과할수록 온도편차도 증가한다.

3. 보조열원에 사용되어지는 X-L 파이프 내 특수 열매체는 순수 물보다 약 20% 더 빠르게 온도가 상승하며 최적의 특수열매체 혼합비율을 찾기 위해 추가 실험이 필요하다.
4. X-L 파이프 보일러와 같은 밀폐된 체적 내에서 전기적 가열에 의한 난방장치는 폭발에 대한 안정성 확보 때문에 팽창압력 해소장치가 필요하다.

참고문헌

1. 최정우, 윤기봉, “에너지 안전 기술의 현황 및 개발 전략”, 한국에너지공학회, Vol. 17, No. 4, pp. 175-181, 2008.
2. Lund, J.W., "Direct-use of geothermal energy in the USA", Applied Energy, Vol. 74, pp. 33-42, 2003.
3. 전수영, 박상원, 송호준, 박진원, “원자력과 신재생 에너지 발전설비 확대에 따른 온실가스 저감 잠재량에 관한 연구”, 한국에너지공학회, Vol. 18, No. 3, pp. 191-202, 2009.
4. 박용정, 김경훈, “수평형 지열원 히트펌프 시스템에 관한 연구”, 한국에너지공학회, Vol. 15, No. 3, pp. 160-165, 2006.
5. 최병권, 장시혁, 박강호, 정봉철, 남임우, “소형 가스 흡수식 냉난방기의 난방특성”, 대한설비공학회 하계학술발표대회논문집, pp. 1018-1022, 2002.
6. 정광섭, 김영일, 사기용, “단열 규정의 강화가 지역 난방 공동주택의 난방열사용량에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제26권, 제6호, pp. 357-364, 2010.
7. 이태원, 김용기, “중앙집중난방방식 공동주택의 난방열량 계량 및 요금부과방안 연구”, 대한설비공학회 하계학술발표대회논문집, pp. 27-32, 2009.
8. 에너지관리공단 신재생에너지센터, “태양열”, 신재생에너지 RD&D 전략 2030 시리즈, 북스힐, 2007.
9. 김수만, 전태규, 양영준, “전열밀폐식 X-L 파이프 보일러 난방장치의 특성 및 경제성 평가”, 한국에너지공학회, Vol. 20, No. 4, pp. 330-337, 2011.