

태양열 이용 난방용 공기가열기 개발을 위한 기초 운전 특성

김종열*, 홍부표**, 우중수***, 최광환****

*동명대학교 공과대학 냉동공조공학과, **한국폴리텍 I 대학 산업설비자동화과,
*한국폴리텍VII대학 산업설비자동화과, *부경대학교 공과대학 냉동공조공학과(choikh@pknu.ac.kr)

Basic Operational Characteristics for Developments of Solar Air Heater for Air Heating in Winter

Kim, Jong-Ryeol* Hong, Boo-Pyo** Woo, Jong-Soo*** Choi, Kwang-Hwan****

*Dept. of Refrigeration & Air-Conditioning Engineering, Tongmyong University,
**Dept. of Automation of Industry Facilities, Korea Polytech I College,
**Dept. of Automation of Industry Facilities, Korea Polytech VII College,
*Dept. of Refrigeration & Air-Conditioning Engineering, Pukyong National University(choikh@pknu.ac.kr)

Abstract

To develop the solar air heater, prototype of solar heater with test room set up on the roof of test chamber and operation characteristics were examined with solar radiation. Air induced from outside was supplied by a blower and also heated air was supplied to the test chamber(size of 1,000mm(in width)*2,000mm(in length)*2,000mm(in depth)) established already for performance.

It was clear that almost 30% of solar radiation was converted into effective heating energy at maximum and the highest air temperature was 46°C, and thus solar air heater in winter could be used as an possible alternative heating system in building. Furthermore, heat energy obtained from solar air heater can be applied to regenerate absorber in the solar desiccant cooling system.

Keywords : 공기가열기(Solar air heater), 태양열(Solar thermal energy), 태양열 패널(Solar panel), 분배시스템(Distribution system), 집열기(Collector)

1. 서 론

지금까지 태양열 이용 보급의 실용화는 주로 태양열 집열기를 이용한 가정용 태양열 온수기가 중심이 되어 활발하게 진행되어 왔으며,

정부의 강력한 의지와 제도 정립, 그리고 태양열 업체의 요소 기술 향상으로 태양열 온수기 보급이 더욱 활발해지고 있다. 최근에는 태양열 집열기를 여름철에 운전하여 만든 온수를 개방형 흡수식 제습시스템의 흡수제를

투고일자 : 2011년 6월 30일, 심사일자 : 2011년 7월 4일, 게재확정일자 : 2011년 8월 23일
교신저자 : 최광환(choikh@pknu.ac.kr)

재생하는 열원으로 대신 활용하려는 연구가 한창이다. 즉, 태양열을 다양한 용도로 활용하기 위하여 지금까지의 난방이나 급탕뿐만 아니라, 나아가 여름철 제습이나 냉방에도 활용하려는 연구들이 활발히 이루어지고 있다.

이렇듯 태양열을 효과적으로 얻을 수 있는 대표적인 시스템이 태양열 온수기인데, 이 외에도 태양열로 가열판에서 공기를 직접 가열하여 사용하는 태양열 공기가열기(Solar air heater)를 들 수 있다.

태양열 공기가열기와 태양열 온수기의 근본적인 차이점은 태양열 온수시스템이 태양열을 이용하여 뜨거운 물을 제조하는 반면에, 공기가열기는 공기를 유입하여 직접 가열하여 난방열원으로 제공하기도 하고, 태양열 냉방제습시스템에서는 흡착제의 재생열원으로 사용할 수도 있다.

그러나 공기가열기는 장점을 갖고 있는 반면에, 그 한계점도 갖고 있는데, 먼저 장점으로는, 1)태양열 온수기에서는 겨울철에 동파를 방지하기 위하여 부동액을 사용하여야 하며, 2)부식을 피하기 위하여 계통을 동관이나 알루미늄 등으로 제작할 필요가 있으나, 공기가열기 시스템에서는 이러한 복잡성을 걱정하지 않아도 되며, 3)온수 대신에 열용량이 적은 공기를 직접 가열하기 때문에 태양이 얻어지는 시간에 빠른 열회수가 가능하기 때문에, 낮은 일사량에도 불구하고 따뜻한 공기를 건물로 공급할 수가 있다.

한편, 단점으로는, 1)송풍팬을 부착하였을 때, 전력사용량을 최소한으로 하기 위한 대책이 강구되어야 하며, 일정한 열량을 공급하기 위해서는 큰 덕트(Duct)를 설치할 필요가 있으며, 2)개방형 시스템에서는 먼지와 수분을 제거하기 위하여 필터나 수분 제거기를 부착할 필요가 있다.

이러한 특징을 갖는 태양열 공기가열기는 난방과 환기를 동시에 필요로 하는 건물 등에 적용될 가능성이 매우 높다. 따라서 겨울철에

태양열 공기가열기(Prototype임)를 제작하여 난방용으로 활용하고자 할 때의 가능성 및 문제점을 파악할 필요가 있다.

본 연구에서는 태양열 공기가열기를 직접 설계, 제작하여, 같은 크기의 챔버 2개로 구성된 간이건물(공조실과 비공조실로 구분) 옆에 직접 설치하여 운전함으로써 얻어진 측정치들을 해석하여, 공기가열기의 난방능력 및 문제점 등을 열적 특성 면에서 분석, 평가하여 상업용 공기가열기 제작의 기초자료를 확보하는데 그 목적이 있다.

2. 태양열 공기가열기의 성능 실험

2.1 시스템 개요

실측에 사용한 공기가열기는 유체로서 액체 대신 공기만을 순환시키는 공기순환형 타입이며, 단일 유로형이 아닌 멀티 유로형을 채택하여 제작된 공기가열기를 실제로 간이 건물에 부착하여 열적특성을 조사하는데 활용하였다.

그림 1은 공기가열기의 구조를 나타낸 것으로, 기본적인 개념은 공기의 유로를 동일한 표면에서 리턴시킴으로서 온도상승을 기대하는 비집광형 멀티 유로형으로 되어 있다. 크기는 가열기의 폭이 800mm, 길이는 1,200mm인 장방형 구조로 되어 있으며 집열기의 끝부분에서 유로를 바꾸어 되돌아와서 실내로 빠져나가는 구조로 되어 있다.

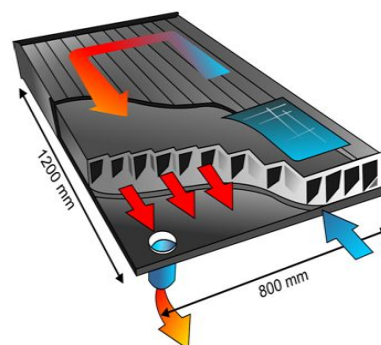


그림 1. 태양열 공기가열기의 구조

2.2 실측 모델

먼저, 태양열 공기가열기의 성능을 파악하기 위해 그림 2와 같이 50mm 우레탄 단열재로 실험용 챔버를 제작하였다. 오른쪽은 태양열 공기가열기에 의해 난방이 가능한 공조실이고 왼쪽은 난방이 되지 않는 비공조실이다. 공조실과 비공조실의 크기는 각각 1,000mm × 2,000mm × 2,000mm로 동일하며, 체적은 각각 4m³이다.



그림 2. 제작된 간이실험실 챔버

그림 3은 실험실 챔버에 설치된 태양열 공기가열기의 전경이다. 공기가열기는 두 장의 패널을 이은 것으로 그림에서 중앙에 흰 선으로 표시되어 있는데, 상부와 하부가 각각 한 장씩 이어져 있다.



그림 3. 간이건물에 설치된 공기가열기

즉 공기가열기의 크기가 800mm × 1,200mm가 되며, 이때 도입공기는 집열표면의 아래쪽에 금속으로 설치되어 있는 구멍으로 들어와 이동하다가 끝부분에서 다시 유평하여 상부에 설치되어 있는 공기가열기 집열판으로 들어가 가열되어 실내로 향한다.

2.3 실측 방법

측정기간은 2009년 1월 1일부터 4월 30일까지 난방기간을 대상으로 오전 9시부터 오후 5시까지 일사를 확보할 수 있는 시간에 측정을 반복하였으며, 우천 시에는 실측을 하지 않았다.

공기가열기의 성능을 평가하기 위해 각 필요 지점에 센서를 설치하였으며, 실내 및 실외, 공기가열기 내부에 T타입 열전대를 설치하여 온도를 측정하였다. 또한 공기가열기의 출구 덕트에 풍속센서(Testo 435)를 직접 삽입하여 측정하였다.

한편, 공기가열기에서 발생하는 열거동은 온도와 습도에 전적으로 의존하기 때문에, 습도를 정확히 측정하기 위해 고성능 센서(YOKOGAWA CA-12)를 이용하였다. 일사량은 일사계(EKO사, ME-801)를 간이실험실 위에 설치하여 수평면 전천일사량을 측정하였다.

또한 데이터는 집록장치(FLUKE사, NETDAQ 2640A)를 사용하여 측정기간 동안 연속적으로 저장하여 실측이 완료된 이후, 데이터 해석에 활용하였으며, 대표적인 측정 지점은 다음과 같다.

1. 공기가열기 유리 커버의 바깥쪽 지점, 2. 집열표면과 유리사이의 공기층, 3. 공기가열기의 집열표면, 4. 공기가열기의 입구, 5. 공기가열기의 출구, 6. 공조실의 중간 지점 온도, 7. 풍속계(도입공기 입구), 8. 습도계(덕트 입·출구)

금번 실험에서는 측정과 동시에 컴퓨터 화면에 각각의 측정값들이 실시간으로 표시될 수 있는 프로그램을 제작하여 사용하였다. 또한, 측정시간의 간격은 측정값의 신뢰 및 정확

성을 피하기 위해 30초 간격으로 하였으며, 이때까지의 값들이 정상상태에 도달한 후 측정되어 자동으로 저장되도록 설정하였다. 실측은 시간대에 따라서 약간 달라졌지만, 기본적으로 아침9시부터 운전을 개시하는 것으로 하였으며, 일사량이 얻어지지 않는 오후 5시에 가동을 중지하는 것으로 실험하였다. 그러나 습도계는 저장능력이 7일 정도이므로 연속적으로 사용하였으며, 공기가열기로 들어가는 실내공기를 공기가열기의 출구에서 흡입하여 유도하는 방식으로 공기를 강제 순환시켰다.

이러한 과정은 실측 기간 동안 계속해서 반복적으로 행하였으며, 우천 시에는 실측을 하지 않는 것으로 하였다.

3. 실측 결과

앞에서 언급하였듯이 실측에 통해 얻어진 모든 측정값들은 분석의 대상이었으나, 최종

적인 목적이 외기온도가 낮아서 난방이 필요할 때에 이 시스템을 가동하여 난방을 대신하는 것이 궁극적인 목적이므로 실측일 전부를 해석하여 외기온도가 1) 가장 추운 날, 2) 보통인 날, 3) 따뜻한 날로 3단계로 나누어 각각의 특징을 중심으로 공기가열기의 열적 특성을 파악하였으나, ‘따뜻한 날’은 겨울철이라고 가정하기에 너무나 외기온도가 높았기 때문에 본 논문 실측결과 부분에서는 생략하였다. 그러나 실측치와 공기가열기의 타당성을 확보하기 위해 3단계 모두 각각 5일을 선정, 데이터를 추출하여 분석하였다.

3.1 외기온도에 의한 가열기의 능력

부산의 2009년 1월부터 4월까지 외기온도가 가장 낮은 날을 순서대로 5일을 선택하였으며, 그 중 1월 13일의 외기온도에 따른 일사량 및 실내외의 온도변화를 나타낸 그래프이다.

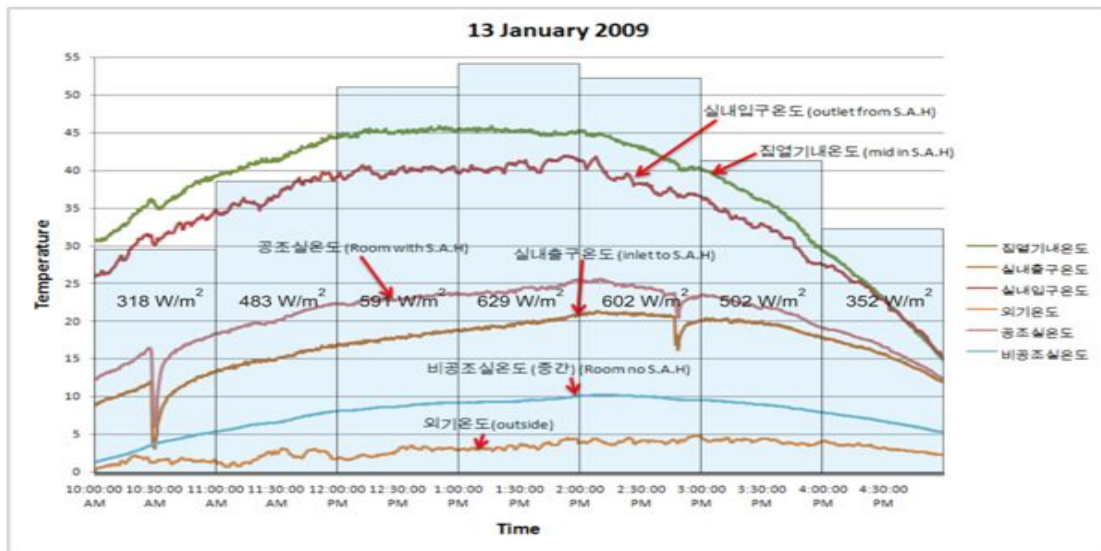


그림 4. 외기온도가 낮은 날의 일사량 및 실내외 온도변화(1월 13일)

측 외기온도가 한낮에도 5°C를 밑돌았으나 일사량은 양호하였다. 그 결과 공기가열기를 거쳐 실내로 공급되는 공기온도는 45°C까지

상승하였으며, 공조실의 실내온도는 25°C까지 상승하였다. 이때 공기가열기의 입구 및 출구온도의 온도차를 살펴보면 약 5°C 정도

밖에 차이가 나지 않았으며, 전체적으로 5°C 미만의 낮은 온도차만 유지하고 있음을 알 수 있었다.

이 온도차는 공기가열기로 들어가서 가열되어 되돌아오는 공기가 단열재 미흡이나 공기가열기의 기밀도에 따라 손실되는 열량이 많은 것으로 간주할 수 있다. 특히 본 실측에

서는 덕트 길이가 짧음에도 불구하고 5°C 정도의 온도차가 발생하는 것은 단열재 마감처리의 미숙이나 공기가열기의 기밀도가 그다지 완벽하지 않다는 것을 의미한다.

그림 5는 외기온도가 측정기간중 보통에 해당하는 4월 2일의 외기온도에 따른 일사량 및 실내외의 온도변화를 나타낸 그래프이다

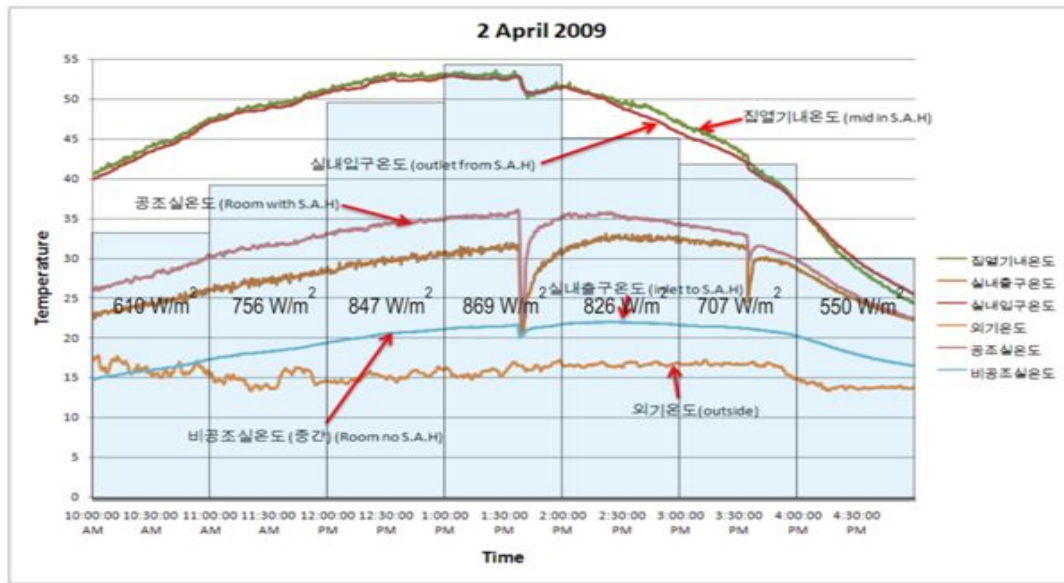


그림 5. 외기온도가 보통인 날의 일사량 및 실내외 온도변화(4월 2일)

비공조실의 실내 평균온도는 15°C 전후였으나 공조실의 실내 평균온도는 35°C를 최고로 거의 30°C 전후였다. 이 결과들은 공기가열기 내부로부터 바깥인 외부로의 열손실이 외기온도가 5°C 미만인 추운 날에 비해 낮아졌기 때문이라고 판단된다. 다시 말하면 단열에 따른 열손실이 있다는 것을 간접적으로 확인할 수 있었으며, 외기온도가 낮을수록 공기가열기로부터의 열손실이 많다는 것을 추측할 수 있다.

3.2 일사량 변화에 따른 온도변화

외기온도가 가장 낮았던 날들의 일사량 변화에 따른 온도변화를 통계 처리하여 그림 6에 나타냈다.

통계처리는 Kolomogorov Smirnov(K-S test) 법과 Anderson darling(A-D test)법을 이용하여 데이터를 처리하였다.

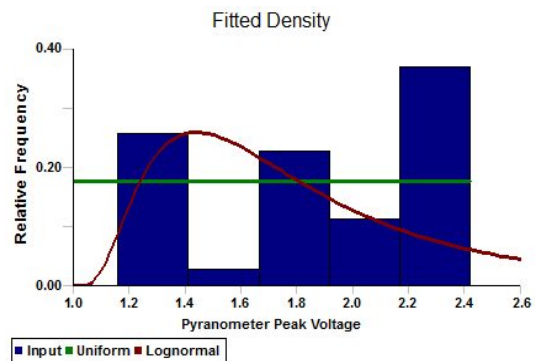


그림 6. 외기온도가 가장 낮았던 기간의 일사량 분포

이 그림은 일사량의 분포가 일정한 분포 경향을 보여주고 있다는 점이다. 즉 일사의 강도가 추운 날에 온도변화에 대해 일사량의 분포가 균일하다는 점을 보여주고 있다.

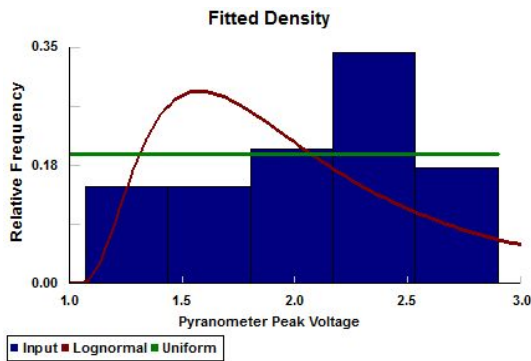


그림 7. 외기온도가 보통인 기간의 일사량 분포

그림 7은 측정기간 중 온도가 보통에 해당하는 날의 결과로, 추운 날과 같이 일사량의 데이터 값이 균일한 분포를 갖는 경향을 띠고 있음을 보여주고 있다. 또한 Lognormal 분포를 수용하고 있음도 알 수가 있다. 그러므로 이러한 결과는 외기온도가 실측일 전체로부터 중간영역이라고 대표되는 날 일사량의 강도가 균일한 분포에서 Lognormal 분포까지의 천이영역을 갖고 있음을 보여주고 있다.

3.3 공기가열기에서의 열의 이동

전체 실측일 중에서 외기온도가 가장 낮았을 때의 5일간의 실측결과를 열이동 측면에서 분석한 결과가 그림 8에 나타나 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 일사량의 열량 중 약 30%가 획득열량으로 얻어지고 나머지 70%인 0.39W/h가 열손실의 형태로 나타났다.

일반적으로 일사가 태양열 공기가열기로 입력형태로 내려왔을 때 그림 9와 같은 형태로 이동하기 시작한다. 여기서 공기 측으로 전달되는 열량이 많도록 시스템을 구성하고, 반면에 직접손실과 간접손실이 최소가 되는 구조를 갖추는 것이 이상적이다. 특히, 흡수

체의 표면이 고온이 되었을 때 대기로 방출되는 열량을 줄이기 위해서는 선택흡수막이 반드시 필요하며, 또한 공기가 대기로 빠져나가지 못하도록 기밀에 만전을 기해야 한다.

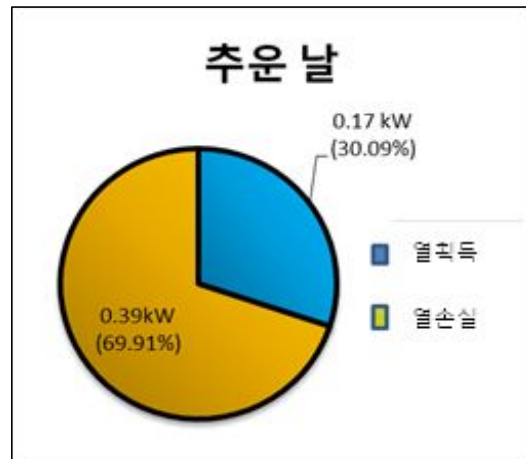


그림 8. 외기온도가 가장 낮았던 기간의 열에너지

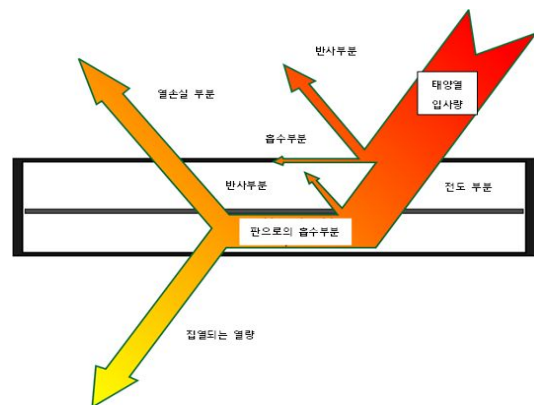


그림 9. 외기온도가 가장 낮았던 기간의 공기가열기에서의 일사량 분포

이러한 열거동을 실제로 외기온도가 가장 낮았던 5일간의 평균 일사량을 중심으로 공기가열기 시스템에서의 열거동을 도식한 결과가 그림 10에 구체적으로 나타나 있다. 즉 전체 0.61kW/h 중에서 아래로 향하는 0.15kW/h가 획득열량이며, 상부 방향으로 향하는 0.46kW/h가 손실열량으로 75%이상이 공기 측으로 전

달되지 않고 외부로 손실되고 있다.

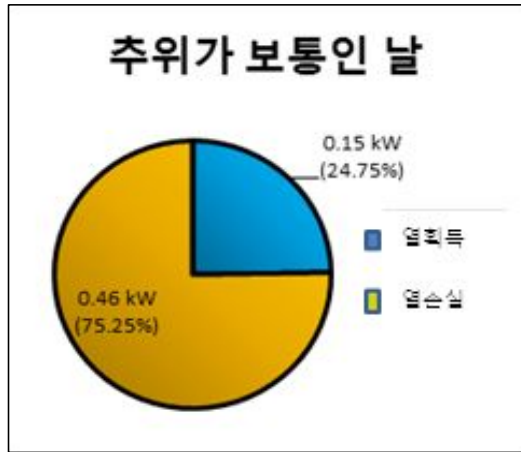


그림 10. 외기온도가 보통인 기간의 열에너지

그림 11에 외기온도가 중간에 해당하는 5일 동안의 열거동을 파악한 결과를 나타내고 있다. 날씨가 따뜻해지면서 5일 평균의 하루 획득열량이 추운 평균인 170W/h보다 적은 평균 150W/h로 비교적 양호하였다. 그러나 전체의 열획득은 가장 추운 날의 평균 30.1%보다도 적은 약 24.7%에 머물렀다.

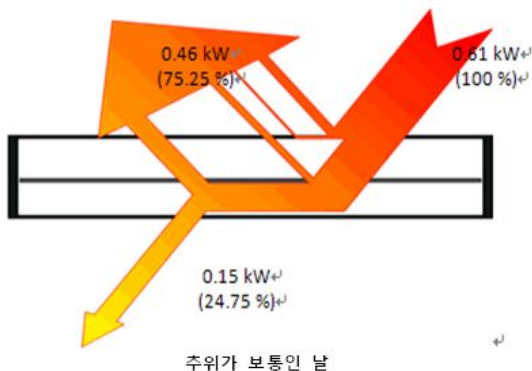


그림 11. 외기온도가 보통인 기간의 공기 가열기에서의 일사량 분포

4. 고찰

이상의 실측결과로부터 공기 가열기를 사용

하여 난방열원을 확보하기 위해서는 지금의 초기 모델로 다소 불충분함을 알았다. 또한 태양열 집열기로부터의 열획득 비율은 일사량에 비례하는 것보다는 오히려 집열기로 도입되는 외기온도의 범위에 크게 영향을 받을 것을 알 수 있었으며, 집열기로부터의 열손실도 매우 큼을 알 수가 있었다. 따라서, 향후 보완될 공기 가열기 시스템은 열손실을 최대한 줄일 수 있는 공리가 필요함을 알 수 있었다.

5. 결론

태양열 공기 가열기의 성능을 평가하기 위해 간이 실험동을 제작, 2009년 1월부터 3월까지 공기 가열 난방 실험을 한 결과, 태양열 공기 가열기는 겨울철에 얻어지는 일사량에 의해서도 실내의 공기를 난방할 능력이 있음을 확인할 수 있었으며, 또한 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전체 실측데이터 중에서 외기온도가 가장 낮은 5일간의 실측에서는 공조실과 비공조실의 온도차가 최고 18℃ 정도까지 발생하여 난방이 이루어지고 있음을 확인하였다. 1월의 외기온도가 3℃임에도 불구하고, 공기 가열기에서 가열된 출구 측 공기 온도가 최고 46℃에 도달하여 공기 가열기의 효과가 있었다.
- (2) 실측데이터로부터 획득한 총 일사량 중에서 공기로 전달된 열량을 비율로 환산할 때, 평균 일사량이 560w/h이며 외기가 5℃ 이하인 경우, 최대로 약 30%인 170W/h만 공기를 가열하는데 이용되었으며, 나머지 70%인 390W/h가 열손실로써 공기 가열기의 가열원으로 활용되지 못하였다. 따라서 향후 열량 손실을 최소화할 수 있는 업그레이드된 공기 가열기 개발에 필요한 인자의 영향 분석이 요구된다.
- (3) 또한 일사량 변화에 따른 온도 변화를 통계 처리하기 위한 차원에서 가장 신뢰성 있

는 Kolomogorov Smirnov법과 Anderson Darling법으로 수행한 결과, 일사량 강도에서 균일한 분포를 보여주고 있으며, 일사량의 강도가 가열공기의 온도변화에 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. ASHRAE Standard hand book 2005 chapter 6, Psychrometric, ASHRAE publisher
2. S. Jain, P.K. Bansal, Performance analysis of liquid desiccant dehumidification systems, International Journal of Refrigeration 30 (2007) 861 - 872
3. Fabio Struckmann, 2008, "Analysis of a Flat-plate Solar Collector", Department of Energy Sciences, Faculty of Engineering, Lund University, Sweden
4. Ian Morson, 2007, "Performance Review of the SH 1500G Solar Air Heater", Manufactured by Your Solar Home
5. Choi, K. H. et al., Development of solar/air conditioning system using hot water from solar collectors. Refrigeration and Air Conditioning Seminar, Pukyong National University, 70-78, 2004
6. J.R. Howell, J.L. Peterson, Preliminary performance evaluation of a hybrid vapor compression/liquid desiccant air conditioning system, ASME Paper 86-WA/Sol. 9, Anaheim, CA, 1986