

비유리식 진공관형 태양열 집열기의 설계 및 제작

오승진, 현준호, 김남진, 이헌주, 이윤준, 천원기
제주대학교 공과대학 에너지공학과

Design and Fabrication of a Nonglass Solar Vacuum Collector

Seung Jin OH, Jun Ho Hyun, Nam Jin Kim, Heon Ju Lee,
Yoon Jun Lee, Wongee Chun¹⁾

Department of Nuclear & Energy Engineering, Cheju National University

초 록

본 논문은 현재 국내·외적으로 널리 공급되고 있는 유리식(glass) 진공관형 태양열 집열기를 대체할 수 있는 비유리식(non-glass) 진공관형 태양열 집열기의 설계 및 제작에 관한 실험적 내용을 소개하고 있다. 비유리식 진공관형 태양열 집열기는 유리식에 비해 그 내구성이 탁월할 뿐 아니라 적용성도 뛰어나지만 비유리식 집열기는 유리식 집열기와 달리 외부 공기 입자의 진공관 내부로의 확산을 억제하거나 그 내부의 진공도 유지를 위해 특수 설계를 하여야 하며 아울러 소재의 특성을 최대한 살릴 수 있는 응용 기술의 개발을 필요로 한다. 이를 위하여 진공관 내부의 일정한 진공도 유지를 위해 집열기와 별도로 설치된 Vacuum Chamber를 진공관과 튜브(vacuum connector)로 연결하여 진공관 내의 outgasing이 가능하도록 할 수도 있으며, 진공관 외피에 공기의 침투를 억제하기 위한 gas barrier coating을 고려할 수도 있다. 본 논문에서 소개하는 비유리식(non-glass) 진공관형 태양열 집열기는 기계, 화공, 재료 등 다양한 분야의 원천 기술을 복합적으로 적용한 것으로 기존의 유리식에 비해 설계 및 제작에 있어서 다소 복잡한 양상을 띠고 있다.

1. 서론

2005년 2월 16일 교토의정서 발효가 공식화됨에 따라 선진국들에게는 온실가스 배출량 저감 의무가 주어지는 동시에 온실가스 배출권을 사고 팔 수 있는 배출권 거래제도(Emission Trading, ET)가 형성되었다. 이에 따라 앞으로는 환경기준이 더욱 까다로워질 것으로 전망되며, 현재 우리나라는 1차 의무 감축 대상국에 포함되어 있지 않지만 에너지 소비 10위, 세계 CO₂ 배출량 세계9위로 2차 공약 기간이 시작되는 2013년에는 의무감축 대상국에 포함될 것이 불가피한 실정이다.

부존자원이 거의 없고 에너지 다소비형 산업구조를 가진 우리로서는 대체에너지 개발과 환경 친화적인 산업구조로의 전환이 시급한 상황이다.

이에 따라 태양 에너지 시스템은 다른 재생에너지 시스템에 비하여 경제적이고 온실가스 발생 저감을 위한 투자 효과가 높다. 특히 태양열 온수 급탕(SWH) 시스템은 가장 간단하면서도, 기술의 완성도가 높고 각국의 자체 생산이 가능하여 국민경제 파급효과가 크다. 또한 가정에너지의 30%이상인 온수 생산에 사용됨으로 화석연료 대체효과가 크다.

특히 태양열 난방 시스템에서 태양열 집열기는 가장 중요한 요소 중 하나로 물 또는 작동 유체에 복사에너지를 열로 변환시켜 공급한다.

¹⁾Corresponding author: wgchun@cheju.ac.kr

현재 국내·외적으로 유리식 진공관형 태양열 집열기는 그 보급이 활발하게 이루어지고 있으나 유리의 기계적 취약성으로 인해 그 보급에 상당한 어려움이 존재한다. 본 연구에서 개발하고자하는 비유리식 진공관형 태양열 집열기는 이러한 유리식 태양열 진공관이 가지고 있는 취약성을 보완할 수 있을 뿐 아니라 그 적용성도 우수해 다양한 형태로 태양열의 이용을 용이하게 할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실험장치 설계 및 제작

비유리식 진공관형 태양열 집열기 설계 및 제작에 관한 기술의 개발은 기계, 화공, 물리, 재료 등 여러 분야의 원천 기술을 복합적으로 응용하여 새로운 형태의 시스템 요소 기술을 창출하는 것이라 할 수 있다. 비유리식 진공관형 태양열 집열기는 유리와 달리 진공관 내로 공기의 침투가 발생하므로 이를 억제하거나 진공도 유지를 위한 메카니즘이 고려되어야 한다. 이를 위해서는 진공관 내부의 일정한 진공도 유지를 위해 집열기와 별도로 설치된 Vacuum Chamber를 진공관과 연결하여 진공관 내의 Outgasing이 가능하도록 할 수도 있으며(그림1 참조), 진공관 외피에 공기의 침투를 억제하기 위한 Gas Barrier Coating을 고려할 수도 있다.(그림2 참조)

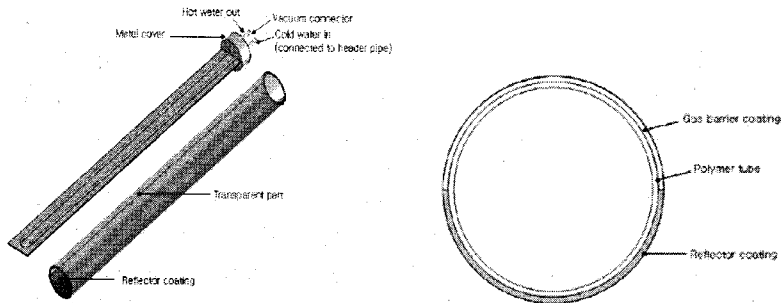


그림 1. 비유리식 진공관형 집열기 개념도 그림 2. 비유리식 진공관 단면도

본 연구에서는 이들 두 개념의 실질적 적용을 위한 주요 요소 기술의 개발을 추진하여 비유리식 진공관형 태양열 집열기의 Prototype을 설계·제작하고 이를 바탕으로 유리식 단일 진공관형 태양열 집열기를 대체하기 위한 기술적 체계를 단계적으로 구축하고자 한다.

2.1 비유리식 진공관 (Nonglass vacuum tube)

비유리식 진공관의 크기는 비교 실험을 위하여 기존의 유리식 진공관형 집열기에 근거하여 설계 및 제작 되었다. 주재료는 구입이 용이하고 다른 재료에 비해 비교적 저렴한 아크릴을 사용하였다. 히트파이프와 집열판을 관 내부에 삽입하기 위하여 아크릴 관의 끝은 Cap의 형태로 제작 하였고, 접합 물질로는 클로로포름 용액을 사용하였다.

그림 3 은 비유리식 진공관의 주요 부품을 나타내고, 그림 4는 설계를 바탕으로 제작된 비유리식 진공관의 1단계 제작 모형을 보여주고 있다. 비유리식 진공관의 주요 부품으로는 아크릴 튜브, 아크릴 캡, 히트파이프, 진공 배기관 등으로 구성되어 있다.

비유리식 진공관은 2단계로 아크릴과 함께 Polycarbonate 등을 이용하여 제작하여 그 성능과 타당성을 검토할 것이다.

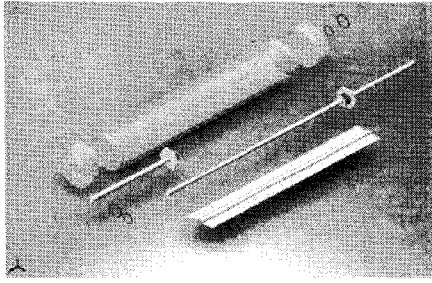


그림 3. 비유리식 진공관의 주요 구성요소

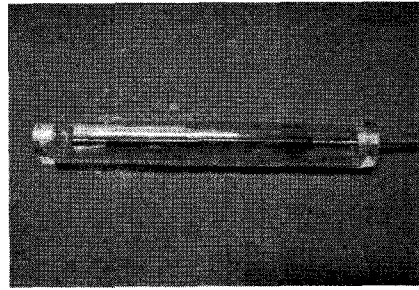


그림 4. 비유리식 진공관의 Prototype

2.2 전열소자(Heat pipe)제작

전열소자(히트파이프)의 제작은 크게 사양 및 재질 선택, 용기가공, 조립 및 세척, 용접, 진공 누설시험, 진공, 작동유체 주입과 밀봉 과정으로 이루어진다. 특히, 세척 및 조립과정에서는 재질의 오염을 방지와 성능향상을 위해 산성용액처리, 알코올 처리 등의 과정을 거쳐 재료에 묻어있는 산화피막이나 유기성분 등을 제거하였다.

1차적으로 히트파이프의 재질은 구리(열전도도 $400\text{W/m}\cdot\text{K}$)를 채택하였으며 작동유체로 에틸알코올을 사용하였다. 에틸알코올은 대기압에서 끓는점이 78°C 이고 사용온도 범위는 $0\sim 130^\circ\text{C}$ 이다.

2.3 전열소자(Heat pipe) 및 진공 제작 장치

히트파이프의 제작 및 진공관의 진공을 위한 기계장치는 Rotary Pump와 Diffusion Pump를 이용하여 원하는 진공을 얻고, 진공도를 유지하고자 하였다. 전체적인 기계장치의 구성은 그림5 와 같이 구성하였고, 그림 6은 그림 5를 바탕으로 제작된 히트파이프 및 진공제작 장치이다. 이러한 제작 장치를 이용하여 히트파이프와 비유리식 진공관을 제작하고 최대 6개 진공 Gauge를 사용하여 얻어지는 진공을 Multi- Channel Controller로 display하였다. 또한 RS-232 케이블을 이용 컴퓨터와 Controller 를 연결하고 실시간으로 데이터를 저장, 비교·분석하고 원격제어 할 수 있도록 LABVIEW를 이용하여 프로그램을 작성 하였다.

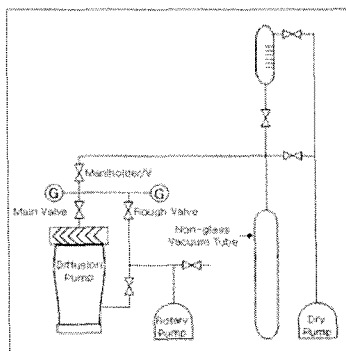


그림 5. 히트파이프 및 진공제작 장치 구성도

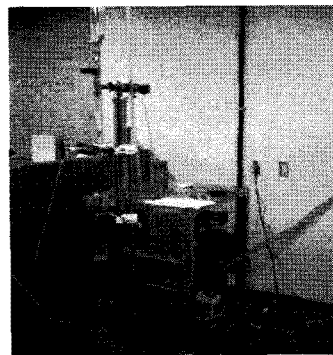


그림 6. 히트파이프 및 진공 제작 장치

그림 7은 Multi- Channel Controller로서 6개의 압력게이지를 동시에 측정이 가능하고 제어할 수 있다. 그림 8은 LABVIEW를 이용하여 작성된 프로그램으로서 Multi-Channel Controller의 데이터를 그래프로 표시해주고 파일로 저장한다.

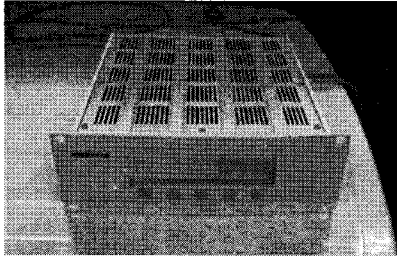


그림 7. Multi-Chanel Controller

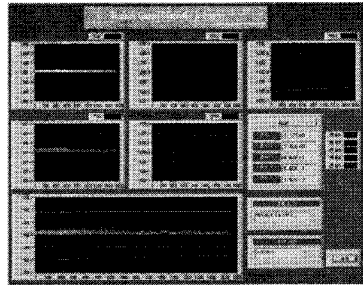


그림 8. LABVIEW를 이용한 진공도 측정 어플리케이션

2.4 플라즈마트론을 이용한 ZnO 코팅

진공관형 집열기 제작에 있어서 아크릴의 사용은 진공도 유지를 위하여 몇 가지 특수한 메카니즘을 필요로 한다. 대기로부터 아크릴 벽을 통하여 유입되는 공기 입자를 방지 하기 위하여 플라즈마 트론을 이용하여 ZnO 증착을 하였다. 그림 9는 아크릴 튜브에 ZnO film을 코팅하는 모습을 보여주고 있다.

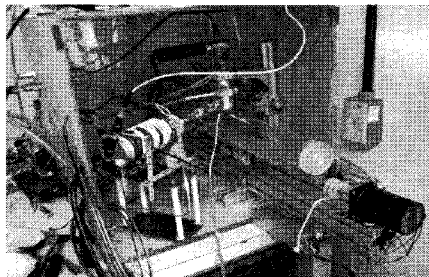


그림 9. 플라즈마트론을 이용한 ZnO film 코팅

3. 결과 및 고찰

아크릴 튜브안의 진공도는 대기로부터의 공기 유입과 아크릴 재질 내부에서의 가스 입자의 방출로 인하여 시간이 지남에 따라 떨어진다. 따라서 실시간으로 아크릴 튜브 내부의 진공도를 모니터링 하였다.

본 연구에서는 ZnO 코팅 처리를 한 아크릴 튜브와 어떠한 처리도 하지 않은 순수 아크릴 튜브의 진공도를 초기 설정치를 4torr로 고정하여 측정하고 비교 하였다.

아크릴 튜브내의 초기 진공도를 다양하게 조정함에 따라 발생하는 진공도 누설 속도를 측정하는 실험이 진행 중에 있다. 또한, ZnO film 외에 다른 종류의 코팅 기술을 도입하여 측정해 볼 계획에 있다.

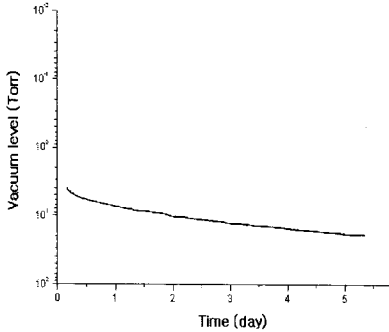


그림 10. 무 코팅 아크릴 튜브내의 진공도 변화

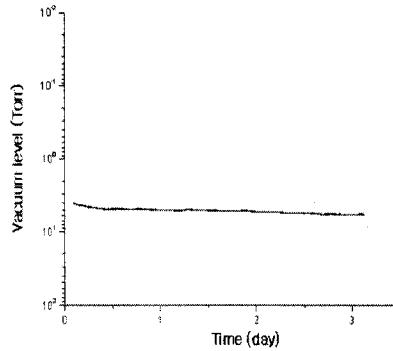


그림 11. ZnO flim을 증착한 아크릴 튜브내의 진공도 변화

그림 10은 아크릴 튜브내로 공기입자 침투를 막기 위한 어떤 처리도 하지 않은 순수 아크릴 튜브내의 시간에 따른 진공도 변화를 보여 주고 있다. 5일 동안의 진공도는 4torr에서 시작하여 19torr 까지 감소 한 것을 볼 수 있다. 반면, 그림 11은 아크릴 외부에 ZnO film을 코팅한 것으로서 겨우 0.2 torr만 감소 한 것을 알 수 있다. 이는 대기로부터 공기 입자가 아크릴 내부로 침투한 다는 것이 증명되는 것이고, 또한 ZnO flim 코팅이 이 현상을 감소시킬 수 있다는 것이 입증되었다.

4. 결론

본 논문은 유리식(glass) 진공관형 태양열 집열기를 대체할 수 있는 비유리식(non-glass) 진공관형 태양열 집열기의 설계 및 제작에 관한 실험적 내용을 소개하였고, 기초적인 성능 실험을 하였다. 비유리식 진공관형 태양열 집열기는 유리식에 비해 그 내구성이 탁월할 뿐 아니라 적용성도 뛰어나지만 유리와는 달리 아크릴 재질의 특성상 외부 공기 입자의 진공관 내부로의 확산과 재질 자체에서의 가스 입자들의 방출을 억제할수 있는 특수 설계 및 응용 기술이 필요하다. 플라즈마트론을 이용한 ZnO flim 증착은 뛰어난 효과를 보였으며, 더욱 많은 조건하에서의 실험을 위하여 다양한 기술 개발 및 적용이 필요하다. 이를 위해 Vacuum Chamber를 진공관과 튜브(vacuum connector)로 연결하여 진공관 내의 outgasing 이 가능하도록 할 수 있으며, ZnO film coating 이외의 다른 메카니즘도 고려중에 있다.

5.참고문헌

1. K. Chen, and W. G. Chun, et al. Solar Energy : New Research, 1st ed., Nova Science Publishers, Hauppauge, NY 2006
2. H. H. Bau, and K. E. Torrance, On the Stability and Flow Reversal of an Asymmetrically Heated Open Convection Loop. J. Fluid Mech., 106, pp. 417-433, 1981.
3. M. Groll, et al. Development of a Liquid-Trap Heat Pipe Thermal Diode, J. Spacecraft, Vol. 16, No. 4, pp.195-202, 1979.
4. K. Chen, Design of a Plane-Type Bidirectional Thermal Diode. ASME J. Solar Energy Engineering, 110, pp. 299-305, 1988.
5. K. Chen, R. W. Shorthill, S. S. Chu, P. Chailapo, and Narasimhan, S. An

Energy-Efficient Construction Module of Variable Direction of Heat Flow, Heat Capacity, and Surface Absorptivity, USAF Report WL-TR-95-3046. 1995.

6. 김용, 서태범, 강용하, 흡수관 형상과 일사각도에 따른 진공관형 태양열 집열기의 성능 변화. 설비공학논문집 제 17권 제 7호 pp. 659-668, 2005.
7. 이용훈, 최석천, 이광성, 지명국, 정효민, 정한식, 흡수식 태양열 집열기의 열전달 특성에 관한 연구. 대한기계학회 2002.
8. 황용하, 재생형 태양열 집열기의 성능에 대한 연구. 충남대학교 논문집 제 36호 1호 2001.
9. 황여규, 김종학, 자연 대류하에 히트싱크의 실험적 해석. 성균관대학교 논문집 기계기술편 제 1집 제 1호
10. 김병기, 정경택, 배찬호, 서정세, 태양열 집열기용 히트파이프의 열전달 특성에 대한 해석. 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집 pp.317-322, 2005.
11. 지명국, 정효민, 정한식, 이철재, 지관 형상에 따른 평판형 태양열 집열기의 최적설계. 공기조화 냉동공학회 동계학술발표회 논문집 pp.675-681, 2000.
12. 백남춘, 정시영, 신우철, 윤용상, 주문창, 박상래, 중온용 집열기를 이용한 태양열 냉난방 시스템 연구. 태양에너지 Vol. 16, No. 3, 1996.
13. 강용혁, 광희열, 이동규, 강명철, 자연 대류형 태양열 온수기 최적설계에 대한 연구
14. 신희영, 이경희, 자연 대류식 태양열 집열기(TAP)의 설계와 평가. 태양에너지 Vol. 4, No. 2, 1984.
15. 광희열, 산업용고효율 태양열 집열기 개발 필요성. 태양에너지 Vol. 18, No. 2, 1998.