

단일 모듈 반사경을 이용한 태양열 집열 시스템의 설계, 제작 및 온도측정 시험연구

양병수¹ · 양우¹ · 서태일¹ · 손창우[†]
인천대학교 기계공학과^{1,†}

Design, Fabrication and temperature measuring experiments of solar collecting system using a single module reflectors

Byeong-Soo Yang¹ · Woo Yang¹ · Tae-Il Seo¹ · Chang-Woo Son[†]

Department of Mechanical Engineering, Incheon National University^{1,†}

(Received December 17, 2018 / Revised March 26, 2019 / Accepted March 31, 2019)

Abstract: Currently, the world is paying keen attention to the production of renewable energy along with environmental issues, and the share of renewable energy in the world is rising above that of nuclear power. Especially when Korea, which is heavily dependent on foreign countries, needs to reconsider its national competitiveness due to the recent high oil prices, the government's energy policy is to develop and use renewable energy that replaces fossil fuels. In particular, solar energy, the most actively studied and commercialized field of renewable energy, is the main research for solar energy and is commercialized and used. However, the efficiency of solar energy has already reached saturation. Studies are also focusing on increasing the reflectivity of solar energy to increase efficiency. Therefore, this paper proposes a solar collection system that can utilize solar energy rather than solar energy. The proposed solar heat collection system uses solar tracking systems to effectively collect solar energy, particularly those that can be easily produced using single-modular reflectors and have price competitiveness. In addition, temperature measurement experiments with temperature measuring sensors were conducted to ensure reliability in order to verify the results interpreted.

Key Words: Renewable energy, Single module reflectors, Stirling Engine, Solar collection system, Temperature experiments

1. 서 론

현재 세계의 에너지 생산은 신재생에너지 비중이 원자력보다 높아지고 있는 추세이다. 하지만 우리나라의 경우 원자력발전이 신재생에너지와 비교하여 높은 비중을 차지하고 있으며, 이는 일본 후쿠시마 원전사고등의 위험요소, 원전 폐기물 문제 등을 볼 때 신재생에너지에 대한 비중을 늘려야 할 필요성이 강조되고 있는 실정이다. 또한, 우리나라는 에너지자원의 절대적 부족으로 에너지 수요의 97%이상을 해외 수입에 의존하고 있다. 해외 의존도가 높은 우리나라는 최근 고유가에 따른 국가 경쟁력을 재

고해야하는 시점에서 화석연료를 대체하는 신재생에너지 개발과 이용이 국가 에너지 정책의 중요한 목표가 되고 있다¹⁾. 연간 태양으로부터 지구에 도달하는 태양에너지의 1%만 활용하더라도 전 세계 에너지 수요를 감당할 수 있기 때문에 신재생에너지 중에서도 태양에너지는 화석연료를 대체할 수 있는 가장 경쟁력 있는 분야로 평가 받고 있다²⁻⁴⁾. 태양에너지를 이용한 기술에는 태양광에너지와 태양열에너지로 나뉜다. 현재까지 연구 및 개발되어 가장 효율화 및 고도화 보급이 잘된 태양에너지 분야는 태양광에너지를 활용한 분야이다.

하지만, 태양광에너지는 효율이 낮다는 단점을 가지고 있으며, 이를 해결하기 위해 태양열에너지를 이용한 연구도 지속되어야한다. 본 논문에서 연구한 태양열 집열 시스템은 결과적으로 하나의 초점에

1. 인천대학교 기계공학과
† 교신저자: 인천대학교 기계공학과
E-mail: mechangwoo@inu.ac.kr

집열을 하여 스텔링엔진을 구동시켜 에너지를 생산하고자 하는 시스템이다. 이러한 시스템의 효율은 태양추적 여부 및 성능에 따라 크게 달라진다⁹⁾. 외국의 경우 태양추적장치의 상용화에 많은 연구가 진행되고 있다⁶⁾¹⁾.

일반적인 태양열 집열기는 비구면으로 설계된 대형 반사경 하나가 초점을 모아서 집열하는 방식이다. 이는 설계 및 제작 단계에서 어려움을 많이 겪고 본 논문에서는 이러한 태양추적장치 중에서 GPS Data를 기반으로 한 태양 추적프로그램을 이용하였다. 또한, 단일 모듈 반사경을 이용하여 태양열 집열 시스템의 프로토타입에 관한 연구를 수행하였으며, 신뢰성을 확보하기 위해 온도측정 실험도 수행하였다.

이를 위하여 광학시뮬레이션인 TracePro를 이용하여 반사율, 배열에 따른 집광분포를 시뮬레이션하고 결과를 분석하였다. 태양열 집열 시스템의 효율을 최대화하기 위한 태양추적프로그램을 연구하여 가장 효과적인 방식을 적용하였다. 스텔링엔진을 구동시켜 전기를 생산하기 위한 온도를 집열시키기 위해 온도 측정실험을 통하여 발전 가능성을 확인하였다.

2 단일 반사경 방식 태양열 집열 시스템 설계

태양열 집열 시스템의 단가를 줄일 수 있는 방법은 단일 반사경을 제작하는 방법이다. 일반적인 대형 반사경은 한점에 초점을 모으기 위하여 비구면 형태의 반사경이 필요하지만 본 시스템은 일정 곡률의 단일 형태의 소형 반사경을 설계 제작하고 정확한 위치 및 자세로 장착하여 초점을 한곳에 모으는 방식이다. 이는 반사경 가격을 줄일 수 있고, 지역에 따라 반사경 개수를 조정하면서, 효율을 높일 수 있다는 장점이 있다.

단일 모듈 형태의 반사경을 효율적으로 배치하기 위하여 반사경을 육각 형상으로 설계하였으며, 단일 모듈을 배치할 방법을 연구하였다. 각 모듈간의 거리는 풍하중을 감소시키기 위하여 50mm로 간격을 두어 설계하였으며, 흡수기의 위치는 2,500mm로 반사경의 초점의 위치에 두었다. 하나의 모듈 반사경은 0.23m²의 면적을 가지며, 3열까지 배열했을 때 전체 면적은 4.44 m²이다. 각 거울배치에 따른 초점영역에서의 열유속이 어떻게 분포하는지를 보기 위해 TracePro를 사용하였다.

직달일사량의 경우 기준에 측정된 데이터 결과인 800 W/m²의 태양광을 반사경에 입사시켰다. 또한 모든 태양빛이 반사경 개구부를 향해 수직으로 입

사하도록 하였으며, 반사율을 85%, 90%, 95%로 나누어 시뮬레이션하여 반사율에 따른 집광분포를 확인하고자 하였다. Fig. 1은 본 시스템의 3차원모델링 설계형상을 보여 주고, Fig. 2는 실제 제작된 시스템의 형상을 보여주고 있다.

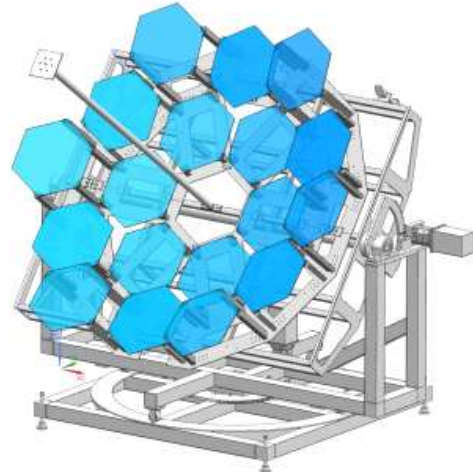


Fig. 1 3D design of hexagonal reflector module combined type solar collector system



Fig. 2 Collecting solar system prototype

3. 태양열 집열 시스템 연구

3.1. 광학시뮬레이션을 이용한 집열 해석

태양열 반사판에 대한 집광 효율 측정과 분석을 위해 광학시뮬레이션 프로그램인 TracePro를 이용하였다. 각 반사경 배치에 따른 초점영역에서 열유속 분포 모습을 보여주고 있다. Fig. 3, 4, 5는 3열까지 배치하였을 때의 반사율 85%, 90%, 95%의 경우 발생하는 결과데이터를 나타내고 있다.

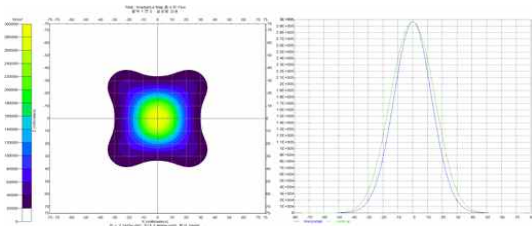


Fig. 3 3 Array Distribution of heat flux 85%

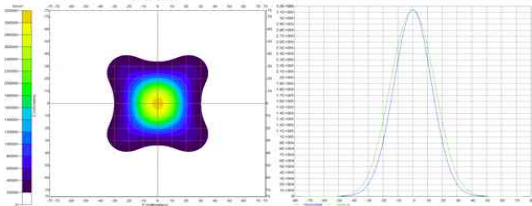


Fig. 4 3 Array Distribution of heat flux 90%

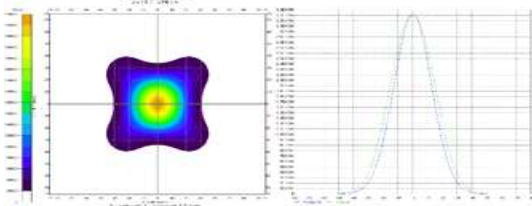


Fig. 5 3 Array Distribution of heat flux 95%

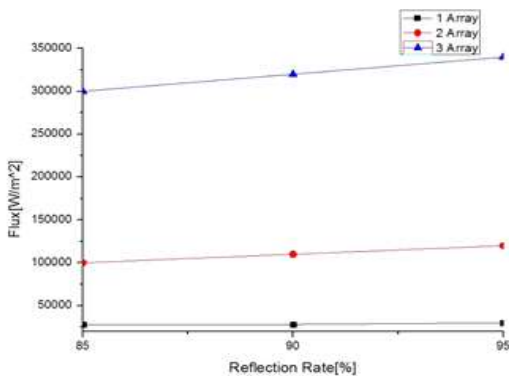


Fig. 6 Simulation results

Table 1 Results of array-reflection rate about simulation

Array/ Reflection Rate	85%	90%	95%
Array-1	28,000	28,000	30,000
Array-2	100,000	110,000	120,000
Array-3	300,000	320,000	340,000

Fig. 6은 1, 2, 3열의 반사율 85%, 90%, 95%일 경우에 따른 플릭스 변화를 그래프로 보여주고 있다.

Table 1은 Array별 플릭스의 시뮬레이션 데이터를 보여준다. Array란 중심에서 차례대로 배치된 반사경의 순서를 의미하며 숫자가 커질수록 중심에서 멀어지는 것을 의미한다.

3.2. 태양추적시스템 연구

본 연구에서 수행한 태양추적장치는 2축 구동형 태양추적 장치로, 태양의 고도각은 물론 방위각에 대하여서도 태양 추적을 수행함으로써 보다 정확한 태양추적이 가능한 시스템을 설계하였다. 방위각/고도각 태양추적장치에서의 태양열 집열기는 지표면에 수직인 축(방위각, 추적축)을 중심으로 회전하고, 동시에 이에 수직인 축(고도각, 추적축)을 기준으로 회전한다. 또한, 태양열 발전은 고온을 활용하는 기술이므로, 태양추적에 실패했을 경우, Stirling Engine 등의 집광 장비의 손상이나 구조물의 손상 등을 초래할 수 있다. 따라서 기존 사용되는 태양추적 방식인 태양센서를 이용한 추적방식으로는 고정밀도의 태양추적이 필요없는 추적식 PV등에 활용이 가능하다 본 연구에는 적합하지 않다고 판단되었다. 따라서, 태양의 위치를 천문학에서 제공한 알고리즘에 의하여 계산하고, 이를 구동모터의 제어 명령으로 사용함으로써 태양을 추적하는 프로그램인 황도경사각 계산 추적방식을 이용하여, 본 시스템에 맞게 개량하여 재프로그래밍 하였다. 계산에는 율리우스 적일 형식으로 나타난 지구시를 사용하였다. C언어를 이용하여 GPS기반의 Data를 현재시간의 태양각도 상시계산, 현재 추적시스템의 각도계산, 현재 태양각 계산, 현재 시스템각과 태양각 간 지정된 오차를 벗어날 경우 자동운전으로 추적하는 프로그램을 하여 적용하였으며, 방위각과 고도각은 매 10초마다 계산 및 운전이 되도록 Microsoft사의 Visual Studio에 적용하여 Stirling Engine과 통신할 수 있는 프로그래밍 하였다. 또한, 태양열 발전은 고온을 활용하는 기술이므로 엔진이나 모터가 손상을 입거나 구동 시에 기계적으로 오차가 발생한다면 즉시 원점으로 복귀할 수 있도록 태양궤도 긴급탈출 시스템을 프로그래밍 하였다.

4. 온도측정실험

4.1. 온도측정을 위한 실험 장비

본 실험에서 적달 일사량계는 Kipp & Zonen사의 SHP1 Pyrheliometer를 사용하였다. 사용된 적달 일사

량계의 경우 $200 \sim 2,000 \text{ W/m}^2$ 의 일사량에 대하여 $0 \sim 1$ 볼트 범위에 해당하는 민감도를 가지고 있기 때문에 매우 정밀하게 직달 일사량을 측정할 수 있다. 직달일사량계와 추적시스템을 세팅한 후 7채널 입력방식의 온도센서를 통해 흡수기에 집열되는 시간에 따른 온도 변화를 측정하였으며, 열화상카메라로 주위부 온도를 측정하였다. 또한, 온도측정실험에 사용된 반사경은 반사율 85%의 아크릴필름을 이용하였다. Fig. 7은 7개의 온도측정센서를 집열 플레이트에 장착한 사진과 이때 실시간으로 온도측정데이터를 모니터링하는 모습을 보여주고 있다.



Fig. 7 Temperature measurement sensor and monitoring



Fig. 8 Results of a live photograph used cc camera

온도측정실험을 하기전 정확한 데이터 측정을 위해 CC카메라를 이용하여 태양 추적 정밀도 검증실험을 수행하였다. 원점을 맞춘 후 장비구동을 하고 실시간 영상을 녹화하여 카메라 속의 태양의 위치가 시간에 따라 어떻게 변화가 되는지를 확인하였다. 그 결과 오전 10시부터 1시간 간격으로 측정된 결과 날

씨가 약간의 구름이 있어서 구름이 덮여 상이 명확하게 맺히지 못한 부분도 있지만, 대체로 쾌청한 날 측정된 것으로, 그림에서 사진이 맑지 못한 것은 카메라 케이스 전면부의 솔라 필름으로 인한 것으로 확인되었다. 대체적으로 육안 상으로도 태양의 위치가 거의 변화가 없음을 알 수 있었으며, 추적정밀도를 확인한 후 온도측정을 수행하였다. 이는 방위각과 고도각의 기계적인 운동 정밀도를 확보하고 GPS 데이터를 기반으로 태양광을 추적하기 때문에 추적 정밀도를 유지할 수 있다고 판단된다. 태양광 센서방식으로 추적하는 시스템의 경우 외부환경의 영향을 받아 센서의 오작동 등의 문제가 발생할 수 있지만 본 시스템의 경우 이러한 우려가 없다.

4.2. 온도측정 결과

온도측정은 약 10일 동안 관측하였으며, 직달일사량은 평균 560 W/m^2 일 때 측정하였다. 실험날짜는 가을에 청명한 하늘에서 측정하였으며, 프로토타입이 설치된 지역의 특성상 08:30에서 해가 가려지는 시간인 15:30 까지 측정하였다. 아래 그림과 표는 실험한 결과이다. Table 2는 최대 직달일사량이 760 W/m^2 일 경우의 7개 채널의 온도센서를 통하여 측정된 온도 데이터이다. Fig. 9는 온도 측정된 낮시간 전체적인 직달일사량과 온도변화를 그래프로 보여준다. 이때 채널 4에서 809°C 로 최대치가 측정되었다.

Table 2 Results of measured temperature through 7 channels and radiance

	CH.1	CH.2	CH.3	CH.4	CH.5	CH.6	CH.7
Max $^\circ\text{C}$	385	267	331	809	287	464	596
Ave $^\circ\text{C}$	324	210	266	660	224	382	504
Max.Radiance	760W/m ²			Ave.Radiance		565W/m ²	

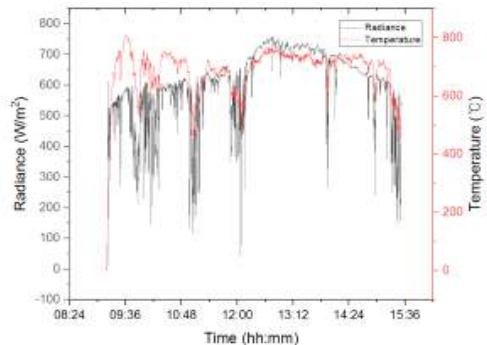


Fig. 9 Graph of measured temperature and radiance during daytime

Table 3는 다소 최대 직달일사량이 낮은 날인 567W/m²일 경우의 7개 채널의 온도센서를 통하여 측정된 온도 데이터이다. Fig. 10은 온도 측정된 낮 시간 전체적인 직달일사량과 온도변화를 그래프로 보여준다. 이때 채널 5에서 619°C로 최대치가 측정되었다.

Table 3 Results of measured temperature through 7 channels and radiance

	CH.1	CH.2	CH.3	CH.4	CH.5	CH.6	CH.7
Max °C	388	363	463	558	619	531	571
Ave °C	326	300	383	457	265	362	482
Max.Radiance	569W/m ²		Ave.Radiance		557W/m ²		

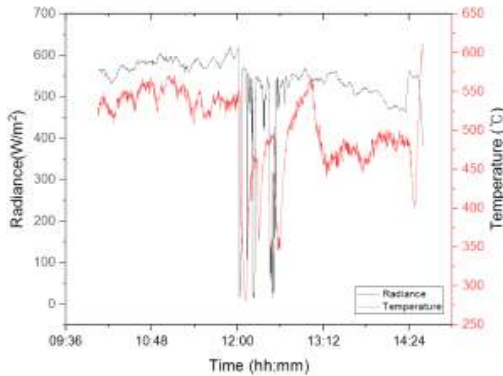


Fig. 10 Graph of measured temperature and radiance during daytime

일반적으로 직달일사량에 따라 변화하는 온도측정치를 관찰할 수 있었다. 일반적으로 스텔링엔진의 구동온도가 600°C 이상으로 알려져 있다. 직달일사량의 영향을 받기 하지만 적절한 일사량이 보장된 경우 발전 가능성을 확인할 수 있었다. 일사량의 부족이 우려될 경우 반사경의 추가 배치를 통하여 집열비의 개선이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

태양열을 이용한 에너지 연구에 있어서 반사율의 효율을 증가시키려고 하는 노력이 많이 진행되고 있다. 하지만 반사율의 효율이 증가할수록 시스템 단가가 비싸진다는 문제점을 가지고 있고 본 논문은 이를 해결하기 위한 방안을 제시하고자 한다. 본

연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 반사경의 배열을 증가시키는 것이 높은 반사율을 가진 반사경보다 효율적이라는 것을 확인 할 수 있었다. 반사율의 개선을 위하여 재질이나 코팅소재 등을 변경하여 반사율을 높일 수 있으나, 반사율의 개선에 비하여 상대적으로 고비용이 발생하는 문제가 있다. 적절한 반사율의 선정과 집열비의 증가를 위하여 반사경의 개수를 증가시키는 것이 비용효율의 관점에서 유리할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 온도측정실험을 통해 직달일사량 760W/m²에서 최고 800°C까지 집열이 되는 것을 확인 할 수 있었다. 열역학적 관점에서 볼 때 온도만의 측정으로 열효율적인 판단은 용이하지 않다. 그러나 온도측정 실험을 통하여 발전 가능성을 확인할 수 있었다.

3) 단일 반사경을 이용하여 스텔링엔진의 최소 구동온도인 600°C 이상을 집열하였으며, 스텔링엔진의 구동이 가능할 것으로 보이며, 추후에 열효율, 열손실율에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) J. H. Shin, Performance Characteristics of the Solar Cogeneration System with Multi-Module, Master's degree Thesis, Kangwon National University, Republic of Korea, 2014.
- 2) D. Mills, Advances in solar thermal electricity technology, Solar Energy, Vol. 76, pp. 19-31, 2004.
- 3) Y. G. Jung, J. G. Lee, J. H. Lee and T. B. Seo, Analysis of Heat Transfer Performance for a Dish Type Solar Receiver, The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 134-137, 2009.
- 4) Y. H. Kang, H. Y. Kwak, H. K. Yoon, C. K. Yoo, D. G. Lee, M. C. Kang and H. S. Yoon, Flux Distribution of The Dish Concentrator, Journal of the Korean Solar Energy Society, pp. 127-133, 1999.
- 5) Y. C. Park and Y. H. Kang, Computation of Sun Position for the Sun Tracking Control System of Solar Concentrator, Journal of the Korean Solar Energy Society, pp. 87-94, 1998.
- 6) R. Zogbi and D. Laplaze, Design and construction of a sun tracker, Solar Energy, Vol. 33, No. 3/4, pp. 369-372, 1984.
- 7) P. Baltas, M. Tortoreli and P. E. Russell, Evaluation

- of power output for the fixed and step tracking photovoltaic arrays, *Solar Energy*, Vol. 37. No. 2, pp. 147-163, 1986.
- 8) D. M. Mosher, R. E. Boese and R. J. Soukupt, The advantage of sun tracking for planar silicon solar cells, *Solar Energy*, Vol. 19, pp. 91-97, 1977.
 - 9) A. Konar and A. K. Mandal, Microprocessor based automatic sun tracker, *IEEE Proceedings-A*, Vol. 138, No.4, pp. 237-241, 1991.
 - 10) W. A. Lynch and Z. M. Salameh, Simple electro-optically controlled dual-axis sun tracker, *Solar Energy*, Vol. 45. No. 2, pp. 65-69, 1990.
 - 11) B. Koyuncu and K. Balasubramanian, A microprocessor control automatic sun tracker, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 37, No. 4, pp. 913-917, 1991.
 - 12) Sode-Shinni Nmada Rumala, A shadow method for automatic tracking, *Solar Energy*, Vol. 37, No. 3, pp. 245-247, 1986.
 - 13) P. J. Hession and W. J. Bonwick, Experience with a sun tracker system, *Solar Energy*, Vol. 32, No. 1, pp. 3-11, 1984.