

## Hot mirror를 이용한 고밀도 태양광의 광분리에 관한 기초실험 연구

김영민\* · 모용현\* · 신상웅\* · 오승진\*\* · 천원기\*

\*제주대학교 에너지공학과, \*\*싱가포르 국립대학 기계공학과

(2014년 9월 1일 접수, 2014년 12월 15일 수정, 2014년 12월 17일 채택)

### An Experimental Study on the Optical Separation of Highly Concentrated Sunlight

Yeongmin Kim\* · Yonghyun Mo\* · Sangwoong Shin\* · Seungjin Oh\*\* · Wongee Chun\*<sup>†</sup>

\*Department of Nuclear and Energy Engineering, Jeju National University

\*\*Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore

(Received 1 September 2014, Revised 15 December 2014, Accepted 17 December 2014)

#### 요약

태양추적 장치에 장착된 집광기를 이용하여 획득한 고밀도의 태양광에너지는 적외선 범위 및 가시광선 범위의 두 파장 영역으로 분리할 수 있다. 적외선 범위의 파장은 열음향 시스템으로 활용할 수 있으며, 가시광선 범위의 파장은 조명시스템을 통하여 실내 태양광 조명에 활용할 수 있다. 즉, 집광된 태양광은 2차 반사경을 통해 광분리 장치로 입사되며, 입사된 태양광은 Hot mirror를 통하여 가시광선 영역과 적외선 영역으로 분리된다. 본 연구에서는 자연 태양광 및 실내의 인공광원을 대상으로 분리 실험을 하였다. 실내 광원 발생장치 실험에서 분리된 인공광원이 가시광선 영역의 파장은 400nm부터 720nm 범위이며, 적외선 영역의 파장은 620nm부터 940nm 범위이다. 또한, 태양추적 장치의 집광된 태양광을 통한 실험에서 가시광선 영역의 파장은 460nm부터 680nm 범위를 보이며, 적외선 영역의 파장은 620nm부터 940nm 범위인 것을 확인하였다.

주요어 : 핫미러, 태양추적 장치, 광분리 장치, 열음향 시스템, 태양조명 시스템

Abstract - Highly concentrated sunlight obtained from a solar concentrator mounted on a solar tracker can be divided into the infrared and visible region before it is actually applied. That is, solar rays are directed toward a unit optically separating sunlight into the infrared and visible region by a hot mirror as they impinge on the surface of a secondary reflector. The Infrared rays can be utilized for thermoacoustic applications while visible rays can be utilized for indoor lighting. This work introduces the separation of two different kinds of light; sunlight and artificial light. As for the artificial light, its wavelength extended from 400nm to 720nm for the visible region and 620nm to 940nm for the infrared region. Comparatively, a series of tests performed on sunlight revealed its separation in the visible region from 460nm to 680nm whereas from 620nm to 940nm for the artificial light.

**Key words** : Hot mirror, Solar Tracking System, Optical Separation System, Thermal-Acoustic System, Solar Lighting System

#### 1. 서 론

지구의 한정된 자원문제, 그리고 환경오염으로 인

한 기후 변화 등에 대한 해결책으로 거의 무한한 부존량을 갖고 있는 동시에 깨끗한 청정한 에너지 자원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 여러 가지 청정 에너지원 중에서도 태양에너지는 자원과 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 가장 적격인 에너지원이라 할 수 있다.

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.

Department of Nuclear and Energy Engineering, Jeju National University

Tel : 064-754-3646 E-mail : wgchun@jejunu.ac.kr

기존의 태양에너지 이용 기술은 대부분 태양광 발전이나 태양열 급탕 등에 치우쳐 있었다. 그러나 태양에너지는 다양한 분야에 활용이 가능하며 필요성에 따라 그 활용방법도 달라진다. 예를 들어 태양광원을 이용한 조명 및 기타 태양에너지 적용 기술은 전 세계적으로 많은 연구가 진행 중이며 상업용 건물과 주거 건물에서 간접 또는 직접적으로 태양광이 실내 조명원으로 도입되어지고 있다.

한편 음향 레이저의 개념은 수년 전부터 제안되어 왔으며 현재 다양한 형태의 연구가 진행 중이다. 최근 개발된 음향레이저는 약한 전원 공급을 통하여 고주파를 생산해 낼 수 있으며, 열음향 레이저로 알려져 있는 소형 열음향 에너지 변환장치는 저온의 태양열을 음향에너지로 변환시킬 수 있다. 이처럼 태양에너지에 대한 연구는 여러분야에서 독립적으로 활발하게 진행되고 있다. 그러나 두 개 이상 특징이 결합된 시스템에 대한 연구는 미미한 실정이다.

태양광에너지는 파장에 따라 엑스선, 감마선, 자외선, 가시광선, 적외선 등으로 분류되며 파장범위에 따라 활용분야가 다르다. 엑스선, 감마선, 자외선, 가시광선 등 적외선보다 파장이 상대적으로 짧은 영역은 광전효과를 이용한 전기에너지 생산이나 태양조명 시스템에 활용되며, 파장이 가장 긴 적외선 영역은 열과 관련된 열음향 레이저 등으로 활용된다. 따라서, 두 개 이상 특징이 결합된 시스템을 구현하기 위해서는 광분리를 통하여 파장범위의 특성에 맞는 활용방법을 적용하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 Hot mirror를 활용하여 태양광을 가시광선 영역과 적외선 영역으로 분리할 수 있는 광분리 태양추적 장치를 개발하였으며, 이를 확인하기 위하여 기초실험을 진행하였다. 아울러 자연 태양광 외에 실내에서 발생시킨 광원에 대해서도 분리실험을 수행하였다. 분리된 가시광선 범위의 파장은 Light system을 통하여 태양광 조명에 활용할 수 있으며 적외선 범위의 파장은 열음향 시스템으로 활용할 수 있다.

## 2. 실험장치 개발

### 2-1. AVR 기반의 태양추적 장치

본 연구에서는 태양에너지의 이용 효율을 극대화시키기 위하여 AVR 기반의 2축 태양추적 장치를 개발하였다. AVR 계열의 ATmega128 마이크로 컨트롤러를 사용하였으며 GPS, 기울기센서, 나침반센서

등이 사용되었다. 본 시스템은 정밀 제어를 수행하기 위하여 ATmega123 CPU에 의해 설치장소의 태양의 방위각 및 고도, 일몰 일출 시간을 계산하고 UART 통신에 의해 GPS로부터 시간, 날짜, 경도, 위도 데이터를 실시간으로 공급받는다.

현재 시스템에는 30cm의 소형 반사경 모듈이 장착되어 있으며, 태양광을 집광시켜 자연채광의 광원 및 열음향 레이저의 열원으로 사용된다.

### 2-2. Hot mirror를 활용한 광분리 장치

본 연구에서 개발된 광분리 장치는 집광된 태양광이 입사 부분, 입사된 태양광을 분리하는 Hot mirror, 분리된 가시광선과 적외선 부분으로 구성되어 있다. Hot mirror는 가시광선과 적외선의 일정 파장대를 선택적으로 반사하며 자외선을 투과시킨다. 본 장치에 설치된 Hot mirror는 가시광선과 자외선의 파장대를 투과시키며, 적외선 부분을 반사시킨다. 가시광선 부분은 광섬유를 이용해 태양광 조명으로 활용하기 위하여 광섬유를 연결할 수 있도록 제작하였으며, 반사된 적외선 부분은 열음향 시스템으로 활용하기 위하여 공명튜브의 형상으로 제작하였다. 광분리 장치의 크기는 태양추적 장치와 결합할 수 있도록 가로, 세로, 높이가 7cm, 8cm, 5cm로 소형 제작되었다.

그림 1은 본 연구에서 개발된 광분리 태양추적 장치를 보여주고 있다. 이 장치의 크기는 가로 40cm, 세로 30cm, 높이 60cm로 그 크기가 소형으로 휴대성이 뛰어나고 설치 장소에 구애 받지 않는다.

## 3. 실험방법 및 결과

### 3-1. 광원 발생장치를 이용한 광분리 태양추적 장치 실험 및 결과

본 실험에서는 광원 발생장치에서 나오는 인공광원을 광섬유 케이블을 이용해 Hot mirror에 직접 입사해 가시광선과 적외선이 분리되는지 확인하였다. 그림 2는 인공광원을 이용한 광분리 실험모습이며, 분광 광도계를 사용하여 광분리 전 인공광원의 파장과 광분리 후 가시광선 파장과 적외선 파장을 각각 측정하였다.

가시광선 영역이 파장 범위는 380nm부터 750nm이며 적외선 영역의 파장 범위는 780nm부터 1400nm이다. 그림 3(a)는 광분리 전 인공광원의 파장을 측정한 것으로

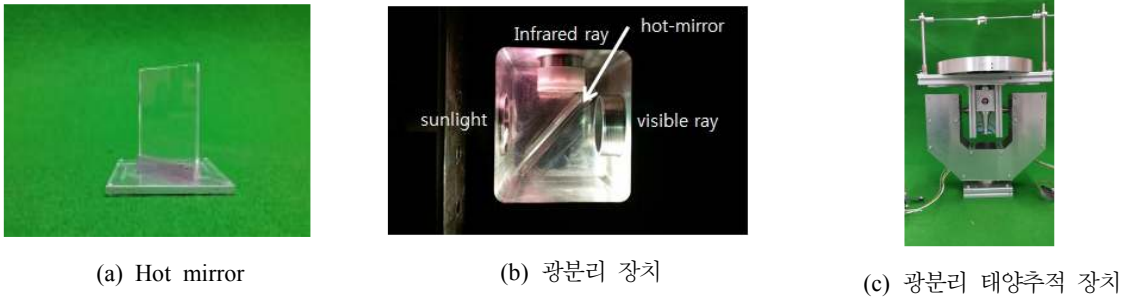


Fig. 1. 광분리 태양추적 장치

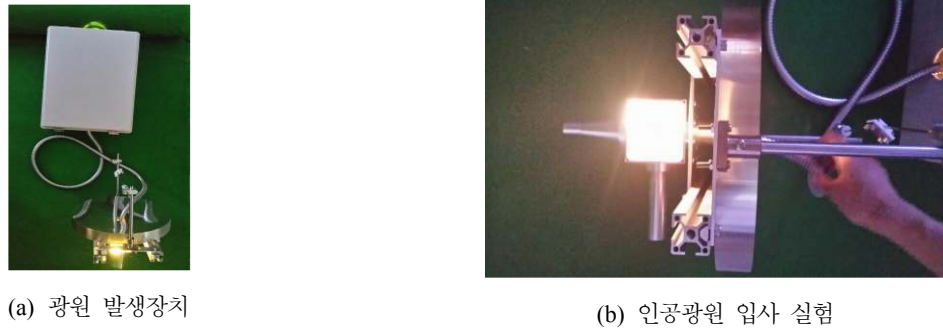


Fig. 2 광원 발생장치를 이용한 광분리 실험

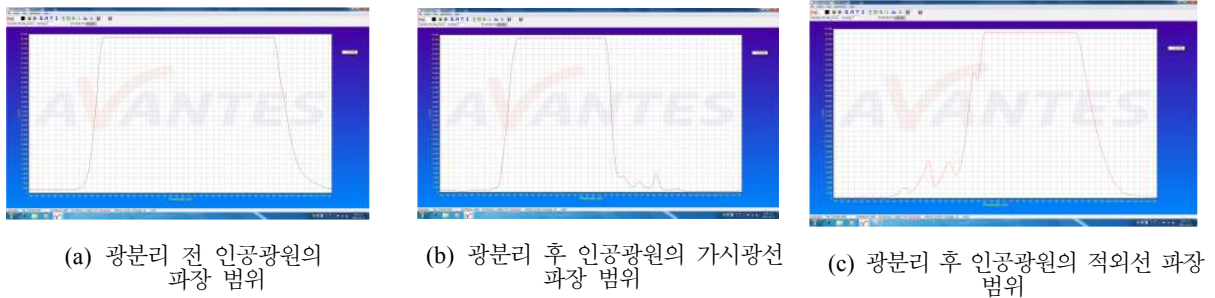
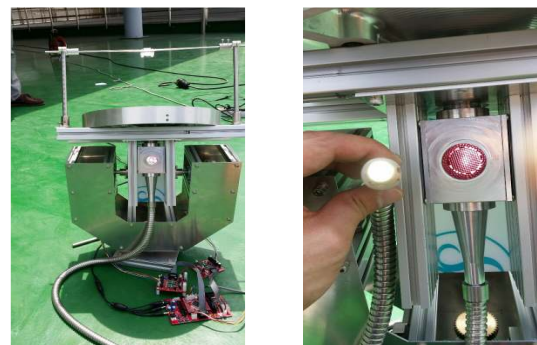


Fig. 3. 광원 발생장치를 이용한 광분리 실험 결과

로 파장 범위는 400nm부터 1000nm까지로 가시광선 영역과 적외선 영역이 분리가 안 됨을 확인할 수 있다. 그림 3(b), 3(c)는 Hot mirror를 이용하여 인공광을 분리한 것으로 그림 3(b)의 파장 범위는 400nm부터 720nm으로 가시광선 영역을 보이며, 그림 3(c)의 파장 범위는 620nm부터 940nm까지로 적외선 범위를 가진다.

3-2. 태양광을 이용한 광분리 태양추적 장치 실험 및 결과

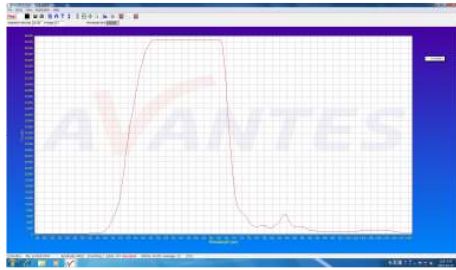
광원 발생장치를 이용한 실험에서 Hot mirror로 입사된 빛이 가시광선 영역과 적외선 영역으로 분리됨을 확인할 수 있었다. 이에 집광된 태양광의 파장을 알아보기 위하여 태양추적 장치를 적용한 광분리 실험을 진행하였다. 그림 4는 광분리 태양추적 장치와



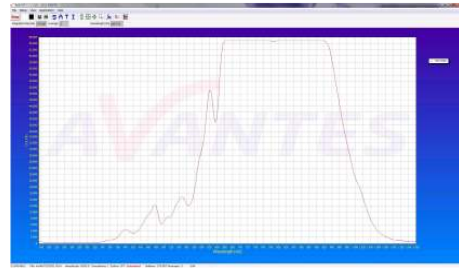
(a) 광분리 태양추적 장치 (b) Hot mirror에 의한 광분리 현상

Fig. 4 태양추적 장치를 적용한 광분리 실험

집광된 태양광이 Hot mirror로 인한 광분리 현상을 보여준다.



(a) 광분리 후 태양광의 가시광선 파장 범위



(b) 광분리 후 태양광의 적외선 파장 범위

**Fig. 5.** 광원 발생장치를 이용한 광분리 실험 결과

그림 5는 태양광추적 장치를 적용한 광분리 실험에서 측정된 가시광선 영역이 파장범위와 적외선 영역이 파장범위를 보여준다. 그림 5(a)에서 확인할 수 있듯이 집광된 태양광의 광분리 후 가시광선 파장 범위는 460nm부터 680nm까지이며, 그림 5(b)에서 광분리 후 적외선 파장 범위는 660nm부터 920nm이다. 광원 발생장치의 실험 결과와 비교 시 가시광선 파장 범위는 약 60nm의 차이를 보이며 적외선 파장 범위인 경우 약 20nm차이를 보였다. 가시광선 파장 범위와 적외선 파장 범위가 약간의 오차를 보이나 모두 가시광선 및 적외선 파장 범위에 포함되며, Hot mirror를 이용하여 태양광을 파장 범위에 맞게 분리할 수 있음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 실험에서는 광원 발생장치와 집광된 태양광을 Hot mirror를 이용하여 가시광선 영역과 적외선 영역으로 나누는 실험을 진행하였다. 광원 발생장치를 이용한 광분리 실험 결과는 가시광선 영역이 400nm부터 720nm이며, 적외선 영역은 620nm부터 940nm로 측정되었다. 태양광추적 장치를 적용한 태양광 분리 실험 결과는 가시광선 영역이 460nm부터 680nm이며, 적외선 영역은 660nm부터 920nm로 측정되었다. 두 실험 결과 약간의 차이를 보이나 모두 각각의 영역에 포함됨을 알 수 있다.

광분리 태양광추적 장치는 가시광선 영역과 적외선 영역을 동시에 활용 가능한 시스템이다. 이렇게 분리된 태양광의 가시광선 영역은 실내조명으로 사용하고 적외선 영역을 열음향 에너지로 이용한다면 이 시스템 한가지만으로 에너지 절감뿐만 아니라 다양한 용도로 태양에너지를 활용할 수 있다. 본 연구는 아

직 기초단계이나 꾸준한 연구가 진행된다면 다른 태양에너지 이용의 새로운 패러다임을 제공할 것이다.

#### 후 기

이 논문은 2014학년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

#### References

1. Pansoni P, et al. Design and development of compact solar collectors, IRT 2004
2. O. G. Symko, Using sound to turn heat into electricity, News Center, University of Utah, 2007(a)
3. Symco et al. 2004, Microelectronics Journal 35-2, 185-191
4. Seung Jin Oh, Yoon Joon Lee, Kuan Chen, Young Min Kim, San Hoon Lim, Wongee Chun. Development of an embedded solar tracker for the enhancement of solar energy utilization, International Journal of Energy Research, 2012, 36, 249-258
5. Kuan Chen, Seung Jin Oh, Yoon Joon Lee, Won Jong Oh, Ki-Hong Kim, Wongee Chun. Acoustic energy output and coupling effect of a pair of thermoacoustic lasers, International Journal of Energy Research, 2012, 36, 477-485
6. Seung Jin Oh, Muhammad Burhan, Kim Choon Ng, Yeongmin Kim, Wongee Chun. Development and performance analysis of a

two-axis solar tracker for concentrated photovoltaics(CPV), International Journal of Energy Research, 2014, In submission

7. 오승진, 오원중, 김남진, 이윤준, Kuan Chen, 천원기. 태양열 적용 열음향 레이저의 설계 및 개발 연구, 에너지기후변화학회지, 2010, 5, 165-174
8. 오승진, 이윤준, 김남진, 현준호, 임상훈, 천원기. AVR 마이크로 컨트롤러 기반의 태양추적 장치 개발, 한국에너지공학회 논문집, 2011, 20, 353-357