

집광형 태양전지를 이용한 난방장치 개발[§]

이 동 일* · 백 승 옥*[†]

* 한국과학기술원 항공우주공학과

Development of Heating Device Using Concentrator Solar Cells

Dong Il Lee* and Seung Wook Baek*[†]

* Dept. of Aerospace Engineering, KAIST

(Received June 30, 2013 ; Revised October 24, 2013 ; Accepted October 31, 2013)

Key Words: Concentrator Solar Cell(집광형 태양전지), Heating Device(난방장치), Thermal Efficiency(열효율), Electrical Efficiency(전기효율)

초록: 본 연구는 집광장치와 태양추적장치를 이용함으로써 제한된 면적을 가지는 집광형 태양전지의 발전효율을 증가시키는 연구를 진행하였다. 태양전지에서 발생된 열은 온수나 난방에 사용되도록 흡열기를 이용하여 회수하였다. 이로서 집광형 태양전지를 이용한 시스템은 전기와 열을 동시에 공급할 수 있다. 태양위치에 따른 실시간 추적, 일몰 이후 난방장치의 동쪽방향 원상복귀, 원상복귀후 자동종료는 조도센서와 Simulink 프로그램으로 구현하였다. 흡열기 입구 속도, 핀설치 유무, 입구위치에 따른 흡열기 온도를 해석하였으며 실험결과와 일치하였다.

Abstract: In this study, the generation efficiency of the limited area of a concentrator solar cell was increased by using a solar concentrator and a tracking device. Heat generated by the solar cell was collected using a thermal absorber for supplying hot water or heating. Thus, the concentrator solar cell system provided electricity and heat simultaneously. Tracking of the sun by detecting the sun's position, repositioning of heating device towards the east after sunset, and shutting down of system after sunset were successfully implemented using an illuminance sensor (CdS) and Simulink, a commercial software package. We performed parametric analysis of the velocity, fin installation, and entrance location with respect to the operating temperature of the concentrator solar cell. A heat transfer simulation model was developed for comparing the actual temperature profiles of the concentrator solar cell and thermal absorber, and good agreement was found between the results of the simulations and the experiments.

- 기호설명 -

α : 태양전지의 흡수율
 τ : 프리넬렌즈의 투과율
 ε : 표면 방사율
 n_{elec} : 전기 효율
 n_{th} : 열효율
 A_o : 태양전지의 면적
 h : 대류 열전달 계수
 q''_{irr} : 일사량
 T : 흡열기 표면 온도
 T_{in} : 흡열기 입구 온도

T_o : 대기 온도
 T_{out} : 흡열기 출구 온도

1. 서론

에너지 고갈 및 지구환경 문제의 심각화에 따라 세계 각국들은 그린 에너지 기술개발을 통하여 탄소 의존형 경제 패러다임에서 벗어나고 더불어 향후 시장선점을 위해 전략적 대응을 강구하고 있다.^(1,2) 신재생에너지 중에서도 고배율 집광에 유리하며 효율이 높은 집광형 태양전지를 이용한 전력 발전은, 전체 시스템 가격의 높은 비중을 차지하고 있는 태양전지 셀의 가격 비중을 낮춤으로서 태양광 발전 단가를 실리콘 태양전지와 비교하여 획기적으로 낮출수 있는 장점을 갖고 있다.⁽³⁾ 하지만 집광으로 인한 태양전지의 온도상승으로 출력

§ 이 논문은 대한기계학회 열공학부문 2013년도 춘계학술대회 (2013. 5. 22.-24., BEXCO) 발표논문임.

† Corresponding Author, swbaek@kaist.ac.kr

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

저하가 발생하기 때문에 냉각을 시켜주어야만 한다.^(4,5) 기존에는 자연대류방식의 냉각핀이나 히트파이프를 이용하여 집광형 태양전지의 온도를 조절하였으나, 이러한 방식은 집광형 태양전지에 의해 생성된 열을 대기중에 방출해 버리므로 태양에너지(집광형 태양전지에 의해 생성된 열)의 활용이 불가능하다는 점에서 비효율적이었다.⁽⁶⁻⁸⁾ 최근에는 공기를 이용하거나 상변화 물질을 이용한 난방장치기 있지만 집광과 태양추적을 하지 않기 때문에 효율이 낮은 단점이 있다.⁽⁹⁻¹¹⁾

따라서 본 연구는 집광장치 및 태양추적장치를 이용하여 제한된 면적을 가지는 태양전지의 발전 효율을 높이고, 동시에 태양열 흡열기를 이용하여 태양전지에서 발생된 열을 회수하여 난방에 사용하거나 온수를 공급할 수 있는 집광형 태양전지를 이용한 난방 장치에 관한 연구를 진행하였다.

2. 실험구성

2.1 전체적인 시스템

Fig. 1 은 집광형 태양전지를 이용한 난방장치 시스템의 도식도를 나타낸다. 위 시스템은 태양의 위치를 추적하는 추적부, 상기 추적부를 통해 태양을 추적하여 태양광을 집광하는 집광형 태양전지, 냉각수를 이용하여 상기 집광형 태양전지에서 발생하는 열을 흡수하는 태양열 흡열기, 태양전지에서 전기를 생산하는 발전부로 이루어져 있다.

집광형 태양전지는 태양전지를 적층한 구조로서 여러 과장대를 이용하기 때문에 프리넬 렌즈와 같은 집광장치를 이용하여 태양광을 집광한다. 이때 태양과의 각도가 조금만 틀어지더라도 집광장치의 초점이 어긋나 태양광 집광이 불가능하므로 항상 태양과 집광형 태양전지가 수직이 되도록 태양의 위치를 추적하는 장치를 필요로 한다.

추적부는 기둥형상의 하우스, 하우스 주위에 위치한 조도센서를 이용하여 태양광을 감지하는

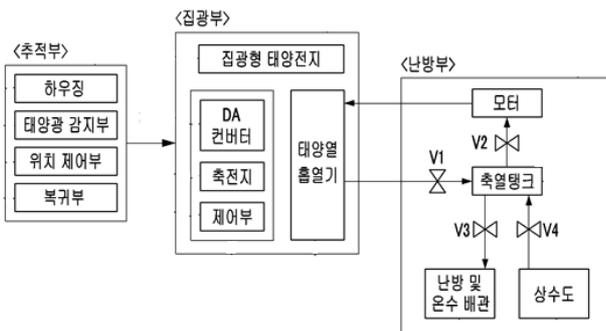


Fig. 1 Schematic diagram for the heating device using concentrator solar cell

태양광 감지부, 태양광 감지 결과에 따라 태양의 현재 위치를 산출하고, 상기 태양의 위치로 상기 하우스의 이동을 제어하기 위한 모터의 구동펄스를 산출하여 상기 하우스의 이동을 제어하는 위치 제어부 그리고 일몰후 상기 하우스의 태양 추적을 종료하고 서쪽에 위치한 상기 하우스를 동쪽으로 이동시키는 복귀부로 이루어진다.⁽¹²⁾

본 연구에 사용된 집광형 태양전지는 미국 Emcore 사에서 삼중접합(Triple-junction)으로 제작한 것으로서 가로 세로 길이는 각각 10mm 이다. 태양전지 원료로는 InGaP, InGaAs, Ge 가 사용되었다. 또한 프리넬 렌즈는 미국 Fresnel factory 에서 제작한 것으로서 가로 세로 길이는 238mm 이며 초점 길이는 290mm 이다. 일사량계는 Tenmars electronics 회사에서 제작한 TM-207 로서 오차는 $\pm 1W/m^2$ 이다.

2.2 태양추적장치

Fig. 2 는 태양 추적 장치의 개략도로서 위치 제어부, 복귀부, 4 개의 조도 센서로 구성되어 있다. 위치 제어부와 복귀부는 Simulink(Mathworks) 프로그램을 이용하여 태양의 위치를 계산하고 스텝핑 모터를 작동시킨다. 스텝핑 모터는 정확한 위치 제어를 위해 사용되었으며 사양은 작동전압이 24 V, 스텝각은 5 상으로서 0.072° 이다. 태양의 위치가 변화에 따라 태양추적장치의 원기둥 그림자 형상은 변하게 되고 원기둥 바깥에 동, 서, 남, 북으로 접해있는 조도센서는 빛의 밝기를 감지하게 된다. 빛의 밝기에 따라 변하게 되는 조도센서의 전압값은 아날로그-디지털 변환기로 입력되어 제어부로

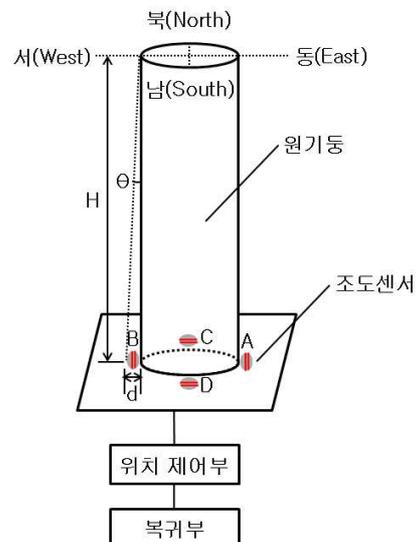


Fig. 2 Schematic diagram of the solar-tracking device

전송된다. 4 개의 조도센서 중에서 A, B 는 방위각 감지용이며 C, D 는 고도각 감지용이다.

원기둥의 높이는 다음과 같이 계산된다. H 를 원기둥의 높이, d 를 조도센서의 지름이라고 가정하면 삼각함수를 이용하여 $\tan\theta = \frac{d}{H}$ 와 같이 구할 수

있다. 원기둥 그림자가 1° 이내로 생성된다면 H 의 높이는 $H = \frac{d}{\tan 1^\circ} = \frac{0.003}{0.017} = 0.176m$ 에 의해서 구할

수 있다. 조도센서 R1 과 저항 R2 를 회로에 연결한다면, 출력 전압은 $V_{out} = \frac{R2}{R2+R1} \cdot V_{in}$ 로 계산된다. 위 식을 이용하면, 밝은 곳에서는 저항 R1 의 감소로 출력 전압이 증가하고 어두운 곳에서는 저항 R1 의 증가로 출력 전압이 감소하게 된다.

2.3 제어 시스템

Fig. 3 은 방위각과 고도각 제어 알고리즘이다. 본 연구에 사용된 조도센서는 오차율이 0.2% 이내이고 5volt 전압을 인가하여 주었다. 동, 서에 위치한 조도센서가 전압값을 감지하면, 두 조도센서의 평균값이 계산되어 문턱값으로 설정된다. 태양이 서쪽으로 이동함에 따라 동쪽에 원기둥 그림자가 생성되면 동쪽에 위치한 조도센서의 전압값이 서쪽에 위치한 조도센서의 전압값보다 작아지게 된다. 동쪽에 위치한 조도센서의 전압값이 문턱값보다 낮고 흐림 판단기준 문턱값보다 높다면 또한 두 조도센서의 전압차(동-서)가 0.01(5V 의 0.2%)보다 크다면 참값을 발생하게 되어 태양추적 장치의 모터를 서쪽방향으로 작동시켜 두 조도센서 A, B 전압값을 같아지게 만든다. 만약 문턱값(동-서 평균 전압값)이 흐림 판단 기준 문턱값보다 낮게 된다면 모터를 서쪽방향으로 1 분당 0.25° 움직이게 하여 방위각 추적을 하게 한다. 0.25° 는

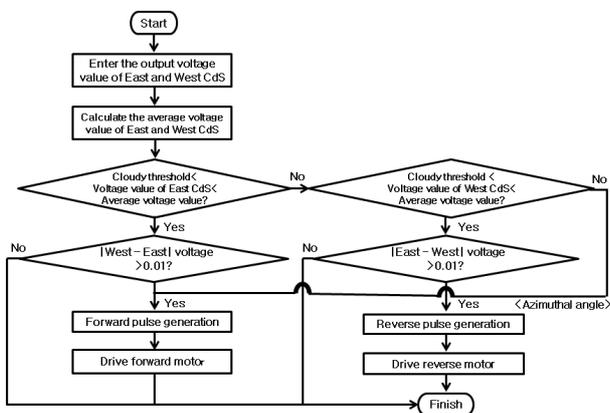


Fig. 3 Structural diagram of the azimuthal and elevation angle controls

360° 를 1440 분(24 시간)으로 나누어 계산한 값이다. 고도각 제어 알고리즘 역시 위와 동일하다. 하지만 문턱값(남-북 평균 전압값)이 흐림 판단 기준 문턱값보다 낮게 된다면 고도각은 태양 추적을 중지한다는 것이 방위각과 차이점이다.

방위각과 고도각 계산 알고리즘은 다음과 같다. 첫째, 모터가 서쪽방향으로 움직일 때마다 발생하는 펄스 개수를 덧셈한다. 둘째, 서쪽방향으로 움직인 각을 위에서 계산한 총 펄스 개수에 펄스당 움직이는 모터의 각을 곱하여 계산한다. 셋째, 서쪽방향으로 움직인 각에서 동쪽방향으로 움직인 각을 뺄셈한다. 넷째, 최종적으로 움직인 방위각은 초기 설정한 각을 덧셈 함으로서 계산된다. 고도각 계산 알고리즘 역시 위와 동일하다.

시스템 종료는 동, 서, 남, 북 방향의 조도센서 평균값이 종료판단 기준 문턱값보다 낮게 되면 원상복귀 펄스수를 발생시켜 태양추적장치를 원상복귀 시킨 다음 태양추적장치를 종료시킨다. 태양추적장치를 동쪽으로 원상복귀 시키게 되면 다음날 태양추적 효율을 높일 수 있게 된다.

Fig. 4 는 태양열 흡열기(가로: 80mm, 세로: 50mm, 높이: 30mm)로서 알루미늄 재질로 이루어진 4 개의 측벽과 상기 측벽의 상단 개구부에 가로: 10mm, 세로: 10mm 의 집광형 태양전지가 배치된 프레임 형태로 이루어진다. 집광형 태양전지와 흡열기는 ZEROtherm 사에서 만든 thermal greece 를 이용하여 부착하였다. 흡열기의 왼쪽이 입구, 오른쪽이 출구이며 직경은 6mm 이다. 냉각수 유량은 200cc/min 을 사용하였으며 k-type 열전대를 이용하여 입출구 온도를 측정하였다.

3. 실험 결과

3.1 태양추적장치 검증

Fig. 5(a)는 초기에 동쪽방향으로 향해있던 집광

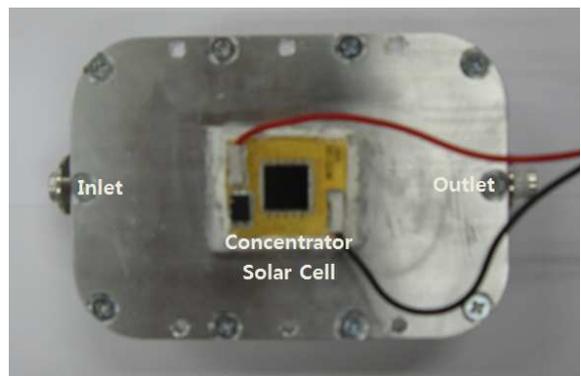


Fig. 4 Thermal absorber with a concentrator solar cell

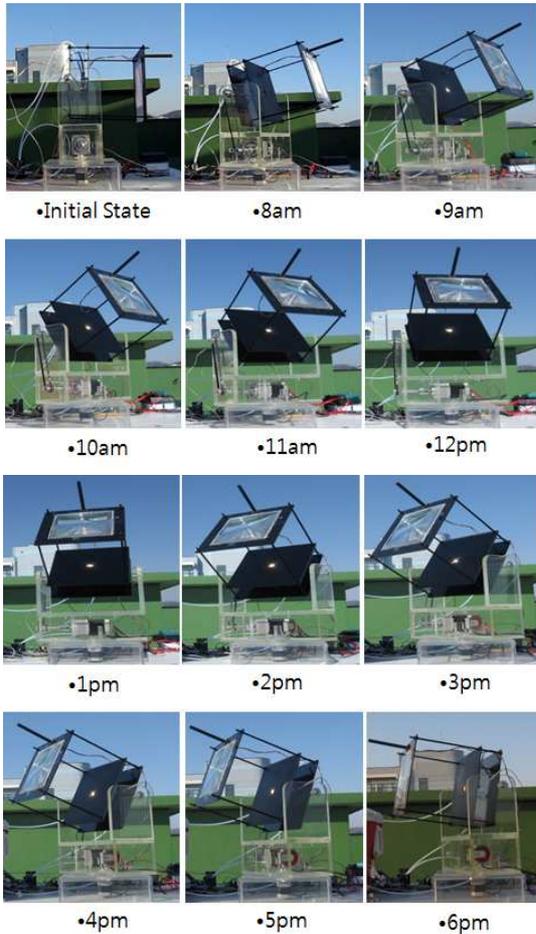


Fig. 5(a) Transient motion of the heating device as a function of time

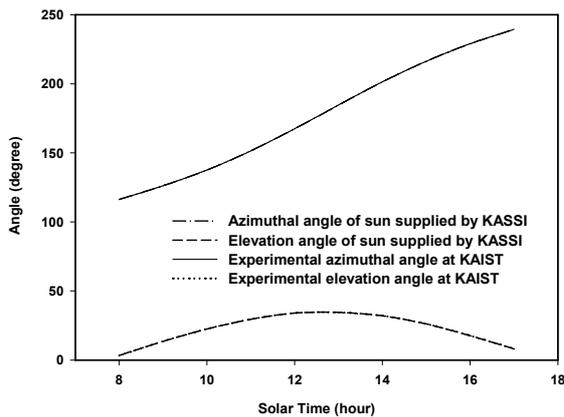


Fig. 5(b) Comparison of the actual values obtained from KASSI with experimental data (*KASSI: Korea Astronomy and Space Science Institute, KAIST: Korea Advanced Institute of Science and Technology)

형 태양전지를 이용한 난방장치가 일출 이후 태양 추적을 함에 따라 시간에 따른 위치 변화를 나타낸다. 사진의 오른쪽이 동쪽, 왼쪽이 서쪽을 가리킨다. 오전 8시부터 고도각이 상승하게 되며 오후

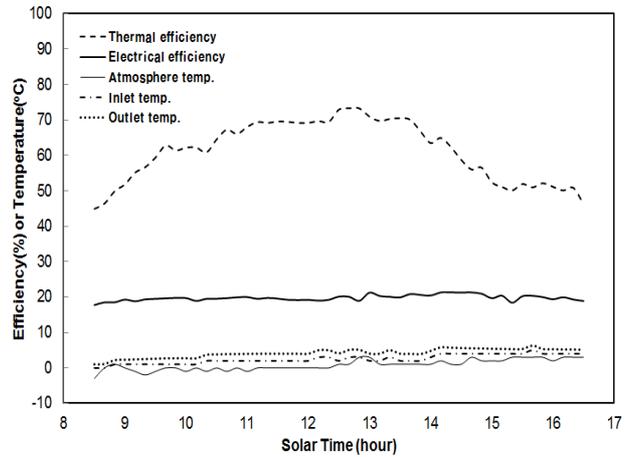


Fig. 6 Electrical and thermal efficiencies of the concentrator solar cell as a function of solar time

1 시 부근에서 남중고도 함에 따라 고도각이 가장 높아졌다가 이후에는 감소함을 알 수 있다.

Fig. 5(b)에서는 태양추적장치를 통해 계산한 방위각과 고도각을 한국천문연구원에서 얻은 값과 비교하였다. 오전 8시부터 오후 6시까지 비교한 결과 평균 오차는 0.04° 이내였다. 이를 통해 집광형 태양전지를 이용한 난방장치의 태양 추적 장치에 사용된 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

3.2 전기 및 열효율

식 (1)은 집광형 태양전지가 태양으로부터 받는 총 에너지를 나타낸다. 여기에서 CR 은 집광비 (400), q''_{irr} 는 일사량, A_0 는 태양전지의 면적, τ 은 프리넬 렌즈의 투과율(0.9), α 는 태양전지의 흡수율(0.9)이다. 식 (2)는 최대출력으로서 최대 전압과 최대 전류의 곱이다.

$$Q_1 = \tau \cdot \alpha \cdot A_0 \cdot CR \cdot q''_{irr} \quad (1)$$

$$P = VI \quad (2)$$

$$Q_2 = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (3)$$

식 (3)은 태양열 흡열기에서 회수한 열량으로서 T_{out} 은 흡열기 출구 온도, T_{in} 은 흡열기 입구 온도를 나타낸다. 식 (4)와 (5)는 각각 전기 효율과 열 효율을 의미한다.

$$n_{elec} = \frac{P}{Q_1} \times 100(\%) \quad (4)$$

$$n_{th} = \frac{Q_2}{Q_1} \times 100(\%) \quad (5)$$

Fig. 6 은 식 (4)와 (5)를 이용한 시간에 따른 전기효율, 열효율을 각각 나타낸다. 하루 동안의 전

기 효율 평균이 약 20% 정도로서 일반적으로 사용되고 있는 단결정 실리콘 태양전지의 효율 15% 보다 높은 것을 확인할 수 있다. 또한 열효율의 평균은 약 61%이다. 따라서 복합(전기+열)효율이 81%로서 회수한 열을 이용할 수 있기 때문에 공기를 이용하여 냉각하는 것보다 효율이 좋다. 오전 8 시반부터 일사량이 증가함에 따라 열효율이 증가하다가 오후 1 시에 최고가 된 후 일사량이 감소 함으로서 열효율이 감소하게 된다. 전기효율이 시간의 변화에 따른 변화가 미미하기 때문에 열효율이 일사량에 더 민감함을 알 수 있다.

3.3 해석 및 검증 실험

집광형 태양전지는 렌즈를 이용하여 복사에너지인 태양광을 집광하게 된다. 입력에너지인 복사에너지가 출력에너지인 전기에너지, 흡열에너지, 열손실에너지와 같아지게 되면 온도는 정상 상태에 도달하게 된다. 대기로의 열손실은 복사와 대류에 의해 일어나며, 열평형에 도달하게 되면 다음과 같은 보존 방정식을 만족하게 된다.

$$\tau\alpha A_0 CRq''_{irr} - \eta_{elec}\tau\alpha A_0 CRq''_{irr} - \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) - A_r\epsilon\sigma(T^4 - T_0^4) - A_c h(T - T_0) = 0 \quad (6)$$

위 식에서 첫번째 항은 태양전지가 렌즈투과율 τ , 태양전지 표면 흡수율 α , 태양전지 면적 A_0 , 렌즈 집광비 CR, 일사량 q''_{irr} 만큼 태양으로부터 받는 총 복사에너지를 나타낸다. 두번째 항은 효율 η_{elec} 만큼 변환된 전기 에너지를 나타낸다. 세번째 항은 흡열기에서 회수한 열량을 나타낸다. 네번째 항은 표면적 A_r , 표면 방사율 ϵ , 스테판 볼츠만 상수 σ , 표면 온도 T, 대기 온도 T_0 에 의한 대기로의 복사 열손실을 나타낸다. 마지막 항은 표면적 A_c 와 대류 열전달 계수 h 에 의한 대기로의 대류 열손실을 나타낸다.

흡열기 안의 유동은 비압축성, 정상 상태로 고려되었으며, 연속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

위 식에서 ρ 는 물의 밀도, u, v, w 는 x, y, z 방향에서의 유속을 나타낸다.

x, y, z 방향의 모멘텀 방정식은 다음과 같다.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + F_x \quad (8)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + F_y \quad (9)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + F_z \quad (10)$$

위 식에서 p는 물에 작용하는 압력이며, $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{xz}$ 는 점성력, F_x, F_y, F_z 는 체적력을 나타낸다. 에너지 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u T)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v T)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w T)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{k}{C_p} \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{k}{C_p} \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{k}{C_p} \frac{\partial T}{\partial z} \right] + S_T \quad (11)$$

위 식에서 C_p 는 비열, T는 온도, k는 열전도율 그리고 S_T 는 내부 열원으로서 태양전지가 받는 복사에너지를 나타낸다.

Table 1 은 해석에 사용된 경계조건을 나타낸다. 입구유량은 200cc/min, 입구온도는 2°C, 집광형 태양전지의 복사 열유속은 집광비 400 에 프리넬 렌즈의 투과율 90%와 태양전지의 흡수율 90%를 고려해 주었다. 또한 대기 온도는 0°C, 대류 열전달 계수는 풍속을 고려하여 10 W/m²K 를 사용하였다. 사용한 격자수는 930,000 개이다.

Fig. 7 은 태양열 흡열기를 해석한 결과이다. 해석 결과 태양전지의 최고온도는 18.28°C, 흡열기 상단(집광형 태양전지로부터 출구방향으로 10mm 떨어진 지점)은 10.08°C, 출구 평균온도는 4.26°C

Table 1 Setup conditions

Volume Flow Rate (cc min ⁻¹)	Inlet Temperature (°C)	Transmissivity of the lens
200	2	0.9
Surface absorptivity of the cell	Atmosphere Temperature (°C)	Heat Transfer Coefficient (W (m ² K) ⁻¹)
0.9	0	10

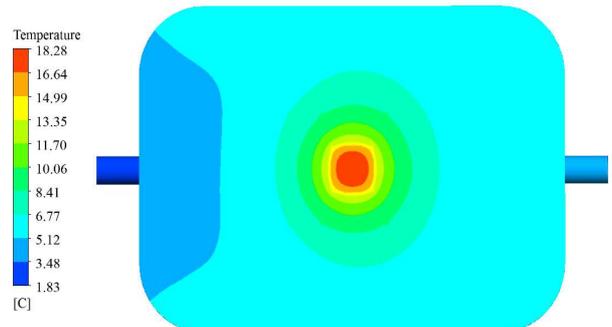


Fig. 7 Temperature distribution of the concentrator solar cell

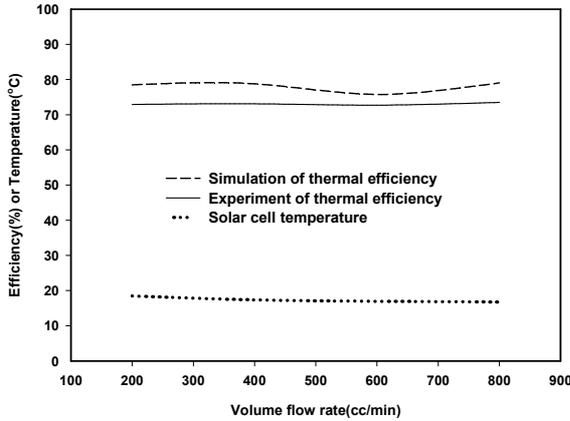


Fig. 8 Simulated and experimental values for the thermal efficiency and solar cell temperature as a function of the volume flow rate

를 나타내었다. 실험 온도는 k-type 열전대를 이용하여 측정하였으며 흡열기 상단은 9.3°C, 출구는 4.1°C 의 온도를 나타내었다. 해석과 실험 결과의 일치성을 통해 태양열 흡열기의 해석 검증은 완료하였다.

Fig. 8 은 유량 증가에 따른 열효율과 태양전지의 온도 변화를 나타낸다. 열효율은 식 (5)에 의해 유량이 200cc 에서 800cc 로 증가함에 따라 출구온도가 4.26°C 에서 2.56°C 로 감소하게 되지만 유량이 증가하기 때문에 열효율의 변화는 크지 않았다. 열효율 해석과 실험 결과의 차이는 평균 5%이내였으며 유량 증가에 따른 태양열 흡열기의 열효율 경향성이 해석과 일치함을 통해 검증은 완료하였다. 또한 유량 증가에 따라 태양전지의 온도가 18.28°C 에서 16.75°C 로 감소함을 통해 냉각수의 대류열전달이 증가함을 확인하였다.

3.4 여러 형상의 난방장치 해석

Fig. 9, 10 은 Fig. 7 에서 해석하였던 태양열 흡열기를 가로 5 개, 세로 7 개로 총 35 개 연결한 것으로 집광형 태양전지에서 발전도 하고, 동시에 태양열 흡열기를 이용하여 태양전지에서 발생된 열을 회수하여 난방에 사용하거나 온수를 공급할 수 있는 장치이다.

Table 2 는 Fig. 9, 10 에서 사용한 경계조건이다. 집광비가 400 인 것은 태양전지 사이의 거리가 200mm 이며, 겨울 조건을 가정하기 위해 입구온도는 2°C, 대기온도는 0°C, 대류 열전달 계수는 10 으로 설정하였다. 유량은 Fig. 7 에서 해석한 것과 같이 200cc/min 으로 하였다. 또한 여름 조건은 입구온도를 25°C, 대기온도를 25°C, 대류 열전달 계수를 2 로 설정하였다. 450cc/min 은 Base 조건(냉각

Table 2 Temperature of the solar cell and thermal absorber under different conditions

Concentration ratio	400			
Inlet temp. (°C)	2		25	
Atm. temp. (°C)	0		25	
Flow rate (cc min ⁻¹)	200		450	
Convection (W (m ² K) ⁻¹)	10		2	
Organization	Base	Different position	Base	Different position
Max. temp. of solar cell (°C)	97.02	106.43	94.77	102.9
Average temp. at the outlet (°C)	58.96	59.15	61.34	61.36

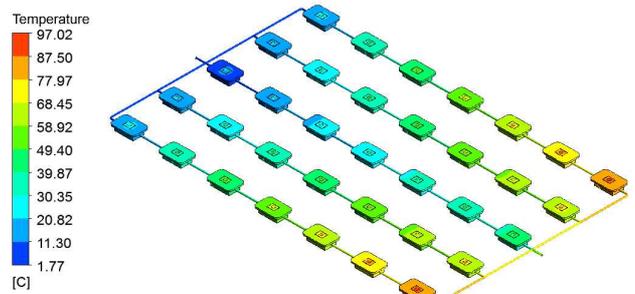


Fig. 9 Heating device using concentrator solar cells (Base: center inlet-outlet)

수 입구와 출구가 중간에 있는 형상)에서 태양전지의 온도가 100°C 이하가 되는 유량을 해석을 통해 계산한 것이다.

Fig. 9 는 집광형 태양전지를 이용한 난방장치에서 입구와 출구가 중간에 있는 난방장치를 해석한 것이다. 해석결과 태양전지의 최고온도는 97.02°C, 흡열기 출구 평균온도는 58.9°C 를 나타내었다. 위의 결과는 태양전지가 작동할 수 있는 최대 온도 범위인 100°C 부근을 만족하고 또한 출구온도가 60°C로서 난방 및 온수에 적합하다.

중간에 입구가 있는 난방장치는 좌우 가장자리에 위치한 흡열기에 상대적으로 유속이 작게 흐르게 된다. 이는 냉각수의 대류 열전달을 감소시켜 태양전지의 온도를 상승 시키게 되는 원인이 된다. 따라서 상용화를 하게 된다면 태양전지의 온도가 가장 높아지게 되는 좌우 가장자리 맨 아래의 태양전지 온도 측정을 통해 유량 제어를 하면 된다. 또한 흡열기를 단열시키게 되면 복사과 대류로 인한 열손실을 막을 수 있어 난방장치에서 더 높은 출구온도를 얻을 수 있다.

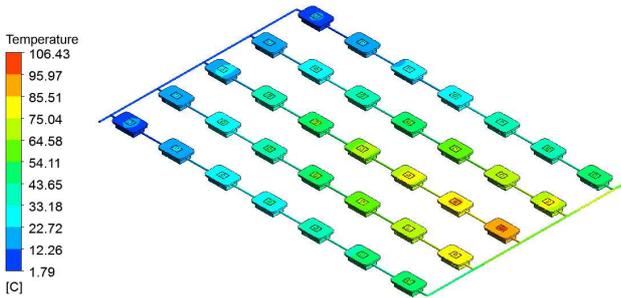


Fig. 10 Heating device using concentrator solar cells (Different position: left inlet, right outlet)

Fig. 10 은 집광형 태양전지를 이용한 난방장치에서 입구가 왼쪽에 출구가 오른쪽에 있는 난방장치를 해석한 것이다. 해석결과 태양전지의 최고온도는 106.43°C, 흡열기 출구 평균온도는 59.15°C 를 나타내었다. 냉각수 입구방향에 따라서 태양전지와 출구 온도는 각각 9.41°C, 0.19°C 차이를 보였다. 왼쪽에 입구, 오른쪽에 출구가 있는 난방장치는 중앙으로 유속이 작게 흐르게 되며 냉각수의 대류 열전달을 감소시켜 하부에 위치한 태양전지의 온도를 상승시키게 된다. 따라서 전기효율은 입구와 출구가 중간에 있는 난방장치가 더 높을 것으로 예상되지만 열효율은 56%로서 배열에 따른 큰 차이를 보이지 않았다.

여름 조건을 해석한 결과도 입구 조건에 따라 동일한 경향을 보였다. 다만 여름의 입구 온도 및 대기온도가 겨울에 비해 높기 때문에 유량을 여름에는 겨울에 비해 250cc/min 늘려주어야 한다. 따라서 여름에 더 많은 온수를 시간당 이용할 수 있다

4. 결 론

집광장치와 태양추적장치를 이용하여 집광형 태양전지의 발전효율을 높이고 동시에 집광에 따른 태양전지에서 발생한 열을 태양열 흡열기에서 회수함으로써 복합효율을 높이는 연구를 진행하였다.

집광형 태양전지를 이용한 난방장치에서 태양 추적, 태양 위치 계산, 난방장치의 원상복귀, 시스템 종료는 Simulink 를 이용하여 프로그램화 하였다. 태양추적장치를 통해 계산한 방위각과 고도각은 한국천문연구원에서 얻은 값과 비교함으로써 태양 추적 장치에 사용된 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

실험 결과 하루 동안의 태양열 흡열기 전기효율은 20%, 열효율은 61%로서 회수한 열을 이용할 수 있기 때문에 공기를 이용하여 냉각하는 것보다 효율이 좋음을 확인하였다. 태양열 흡열기 표면

및 출구온도 실험결과는 해석한 결과와 일치하였다. 입구 유량 증가에 따라 흡열기 출구온도는 감소하게 되지만 유량이 증가하였기 때문에 열효율 변화는 크지 않았다. 유량 증가에 따른 태양전지의 온도는 감소하였으며 이를 통해 냉각수의 대류 열전달 증가를 확인하였다.

태양열 흡열기를 다량으로 연결하여 집광형 태양전지에서 발전도 하고, 동시에 태양전지에서 발생한 열을 회수하여 난방에 사용하거나 온수를 공급할 수 있는 조건을 계산하였다. 입구와 출구가 중간에 있는 난방장치는 좌우 가장자리에 위치한 흡열기에 상대적으로 유속이 작게 흐르게 되어 냉각수의 대류 열전달을 감소시켜 태양전지의 온도를 상승 시켰다. 또한 입구가 왼쪽에 출구가 오른쪽에 있는 난방장치는 중앙으로 유속이 작게 흐르게 되어 하부 태양전지의 온도를 상승시켰다. 따라서 상용화를 하게 된다면 태양전지의 온도가 가장 높아지게 되는 위치를 측정하여 이를 바탕으로 유량 제어를 하면 된다. 또한 날씨가 따뜻할수록 더 많은 온수를 시간당 이용할 수 있었으며 열효율 또한 증가하였다.

집광형 태양전지를 이용한 난방장치의 장점은 첫째, 저장기를 사용 함으로서 일몰 이후에도 난방이나 온수를 이용할 수 있어 경제적이다. 둘째, 다른 신재생에너지 발전 시스템에 비해 효율이 월등히 높다. 셋째, 지구 온난화 가스 발생을 감소시킬 수 있다. 넷째, 태양이 떠있는 한 이용할 수 있는 지속가능성이 높다

후 기

본 연구는 “KAIST 학부생 연구 참여 프로그램”의 지원으로 수행되었으며 이에 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

- (1) Timilsina, G. R., Kurdgelashvili L. and Narbel, P. A., 2012, “Solar Energy: Markets, Economics and Policies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, pp. 449~465.
- (2) Xie, H., Zhang C., Hao B., Liu, S. and Zou, K., 2012, “Review of Solar Obligations in China,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, pp. 113~122.
- (3) Cotal, H., Fetzer, C., Boisvert, J., Kinsey, G., King, R., Hebert, P., Yoon, H. and Karam, N. 2009, “III – V Multijunction Solar Cells for Concentrator Photovoltaics,” *Energy & Environmental Science*, Vol.

- 2, pp. 174~192.
- (4) Anja, R., Christopher, J. D. and David, R. M., 2005, "Cooling of Photovoltaic Cells Under Concentrated Illumination: A Critical Review," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 86, pp. 451~483.
- (5) Zhu, L., Wang, Y., Fang, Z., Sun, Y. and Huang, Q., 2010, "An Effective Heat Dissipation Method for Densely Packed Solar Cells Under High Concentrations," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 94, pp. 133~140.
- (6) Teo, H. G., Lee, P. S., M. N. and Hawlader, A., 2012, "An Active Cooling System for Photovoltaic Modules," *Applied Energy*, Vol. 90, pp. 309~315.
- (7) Kim, J. S., Ha, S. J. and Kwon, Y. H., 2011, "A Study on Cooling Performance of Aluminium Heat Sink with Pulsating Heat Pipe," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 11, pp. 1016~1021.
- (8) Kim, T. H., Do, K. H., Choi, H. I., Han, Y. S. and Kim, M. B., 2011, "Development of a Cooling System for a Concentrating Photovoltaic Module," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 35, No. 6, pp. 551~560.
- (9) Saxena, A., Agarwal, N. and Srivastava, G., 2013, "Design and Performance of a Solar Air Heater with Long Term Heat Storage," *Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 60, pp. 8~16.
- (10) Naphon, P., 2005, "On the Performance and Entropy Generation of the Double-pass Solar air Heater with Longitudinal Fins," *Renewable Energy*, Vol. 30, pp. 1345~1357.
- (11) Huang, M. J., Eames, P. C. and Norton, B., 2004, "Thermal Regulation of Building-Integrated Photovoltaics Using Phase Change Materials," *Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 47, pp. 2715~2733.
- (12) Lee, D. I., Jeon, W. J. and Baek, S. W., 2012, "Development of Optimal Control of Heliostat System Using Configuration Factor and Solar Tracking Device," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 36, No. 12, pp. 1177~1183.