

광도파 원리의 평면형 태양광 집광기 설계를 위한 광학해석

한종호^{*,***}, 김종선^{**}, 황철진^{**}, 윤경환^{*}, 강정진^{***†}

* 단국대학교 기계공학과, ** 한국생산기술연구원 금형기술센터, *** 한국생산기술연구원 미래융합연구그룹

Optical Analysis for Designing a Planar Solar Concentrator Based on Light Guide System

Jong Ho Han^{*,***}, Jong Sun Kim^{**}, Chul Jin Hwang^{**}, Kyung Hwan Yoon^{*} and JeongJin Kang^{***†}

* Dept. of Mechanical Engineering, Dankook Univ.

** Molds & Dies Technology Center, Korea Institute of Industrial Technology,

*** Advanced Convergent Technology R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology

(Received December 24, 2010 ; Revised November 14, 2011 ; Accepted November 17, 2011)

Key Words: Concentrator(집광기), Optical Analysis(광학해석), Concentration Photovoltaic System(집광형 태양광발전 시스템), Solar Cell(태양전지), Solar Energy(태양에너지)

초록: 최근 태양광발전 시스템에서 태양광을 집광하는 광학기술이 접목된 집광기가 대두되고 있다. 본 연구에서는 광도파로 원리를 기반으로 한, 간단하면서도 생산이 용이한 새로운 개념의 평면형 집광기를 제안하였다. 해당 집광기에서는 태양광 집광을 위하여 빛의 전반사와 굴절의 법칙에 의해 빛을 유도하는 마이크로 단위의 광학 패턴이 적용되었다. 본 집광기의 주요 설계변수로는 광도파 집광기의 기하집광비 R_c 와 마이크로 패턴의 두 각도 θ_1, θ_2 를 선정하였다. 광학해석을 위한 시뮬레이션은 SPEOS로 수행되었으며 주요 설계변수의 변화에 따른 집광기의 광학효율을 예측하였다. 기하집광비 4, 5, 6에 대해서 광학효율 최대치가 각각 65.60%, 54.78%, 46.78%로 예측되었다. 집광기의 마이크로 패턴의 두 각도 θ_1, θ_2 및 태양광 입사각에 따른 광학효율도 예측하였다.

Abstract: Recently, an optics-based concentrator for solar concentration has been a key issue in development of photovoltaic systems. In the present study, a new, simple, easily producible planar concentrator based on a light guide system is proposed. In this device, solar light is concentrated by microprism optical patterns guiding the light, mainly through total reflection and refraction. The main design variables of the concentrator are the geometrical concentration ratio (R_c) and the θ_1 and θ_2 of the microprism pattern. Ray tracing was simulated using commercial software, SPEOS, and the optical efficiencies of the light guide solar concentrator were predicted in each case. The predicted maximum optical efficiencies are 65.60%, 54.78%, and 46.78%, respectively, for R_c values of 4, 5, and 6. The variation of the optical efficiencies according to θ_1, θ_2 , and the incline angle of the incident light were predicted.

- 기호설명 -

η_{opt} : 광학효율(Optical efficiency)

i_c : 임계각(Critical angle)

n : 굴절률(Refractive index)

L_{inc} : 입사광(Incidence-light)

L_{con} : 집광량(Concentrated-light)

R_c : 기하집광비(Geometrical concentration ratio)

ECR : 유효집광률(Effective concentration rate)

1. 서론

태양에너지는 무한성과 청정성으로 인하여 대체 에너지원으로 많은 관심을 받고 있다. 태양에너지를 이용하는 기술 분야 중 태양광 발전 산업은 급

† Corresponding Author, doublej@kitech.re.kr

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

성장 중인 매우 유망한 분야로서, 보다 높은 효율의 태양광 발전을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.⁽¹⁾

한편 태양광 발전 시스템에서 태양전지 자체가 전체 단가에서 차지하는 비중이 가장 크고, 태양전지 원소재의 수급 불안정으로 인해 태양전지 단가가 높게 형성되고 이는 태양광 발전의 발전단가를 상승시키는 원인이 되고 있어 태양광 발전 모듈의 저가격화를 위한 기술연구 또한 활발히 진행되고 있다. 저가격화에 대한 기술로는 태양전지의 두께를 줄여 태양전지에 사용되는 재료의 양을 줄이거나,⁽²⁾ 주변장치들의 전력 변환효율을 높이거나, 광학렌즈나 반사판 등의 집광기를 이용하여 태양전지로 태양광을 집속함으로써 태양전지의 광변환효율을 증가시키면서 전체 발전 단가를 낮추는 기술 등이 있다.

현재 태양광 집광기 기술에 대한 연구는 세계적으로 활발히 진행되고 있으며, 우리나라에서는 아직 기초단계로서 연구·개발된 독자적인 기술이 많지 않은 상태이다.

본 논문에서 제안하는 집광기는 광도파 원리에 의해서 태양광을 집광한다(Fig. 1 참조). 이 광도파 집광기의 주요 설계 변수는 기하집광비와 마이크로 패턴 형상을 결정하는 각도로서 본 연구에서는 각 설계 변수의 변화에 따른 광학효율과 그에 따른 유효집광률을 예측하고 그 관계를 분석하여 제안한 광도파 집광기의 유용성과 한계를 살펴보고자 한다.

2. 집광기

2.1 집광형 태양광발전 시스템

소재 측면에서는 태양전지 소재의 개선을 통해 광변환효율을 향상시키거나 사용되는 소재의 양을 줄임으로써 태양전지 모듈의 발전단가를 낮추는 방법 등이 있다. 한편 주변장치와 관련해서는 태양광 발전단가를 낮추는 방법의 하나로 태양전지 모듈에 광학 부품을 응용한 집광형 태양광발전 시스템(concentration photovoltaic system, CPV)을 들 수 있다. 집광형 태양광발전 시스템에서 태양전지로 태양광을 집속시켜 주는 광학 부품은 집광기이며, 태양전지에 태양광을 집속하여 발전량을 증가시킨다. 이와 함께 시스템 단가의 큰 비중을 차지하는 태양전지의 사용 개수를 줄일 수 있어서 최종적으로 태양광에 대한 발전단가를 낮추는 효과를 얻을

수 있다. 집광기로는 현재 광학렌즈, 반사판이 주로 쓰이고 있다.

2.2 기존의 집광기

집광기에 쓰이는 광학렌즈로는 프레넬 렌즈가 집광형 태양광발전 시스템에서 가장 널리 쓰이고 있으며, 이미 프레넬 렌즈를 이용한 상용화된 집광형 태양광발전 시스템들도 있다. 대부분의 프레넬 렌즈는 기하집광비가 300~1,500 배이며 최고 기록은 약 2,000 배로 보고되고 있다.⁽³⁾ 이와 같이 프레넬 렌즈를 이용한 태양광발전 시스템은 상대적으로 많은 양의 태양광을 집광한다. 이는 태양전지 온도의 과도한 상승을 유발하며 태양전지의 광변환효율을 떨어뜨리는 요인으로 작용한다. 이를 보완하고 태양전지의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 별도의 냉각장치가⁽⁴⁾ 적용된다.

집광기로 사용되는 반사판의 경우는 대부분 표면이 경면처리된 금속소재로 만들어지며, 기하집광비는 10~500 배 정도로 프레넬 렌즈에 비하여 낮지만 상대적으로 낮은 기하집광비로 인하여 열적으로는 프레넬 렌즈보다 유리하다. 반사판을 이용한 집광형 태양광발전 시스템은 반사판의 특성에 따라 부피가 커지는 단점이 있다. 그리고 반사판의 광학계는 대부분 특수한 경우가 많아 태양광발전 시스템의 설치단가가 증가될 가능성이 있다.

2.3 광도파 집광기

일반렌즈의 곡면을 같은 평면상에 일정한 두께로 투영하면 프레넬 렌즈가 되듯이, 본 연구에서 제안하는 광도파 집광기는 프리즘의 반사면을 일정한 각도로 기울어진 같은 평면상에 투영한 형상을 갖는다. 프리즘의 반사면에서 광 경로가 꺾이듯

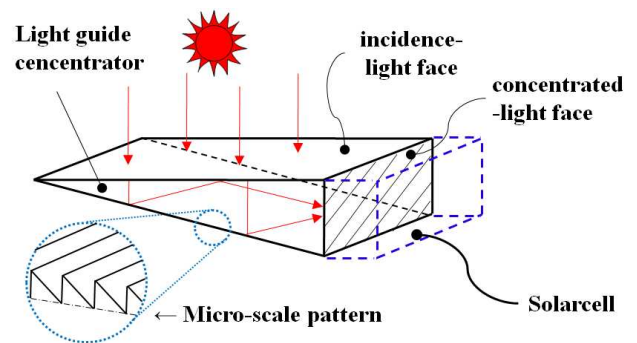


Fig. 1 Schematic diagram of light guide solar concentrator

이 광도파 집광기의 마이크로 패턴 상에서 태양광의 경로가 바뀌고 연이어 집광기 내에서 전반사에 의해서 집광면으로 집광이 된다. 이는 일반적인 광도파의 원리와 일맥상통한다.

부연하면, 집광기가 광도파로 역할을 하도록 광도파 집광기 내부에 광의 전반사 및 효과적인 굴절을 유도할 수 있는 마이크로 패턴을 포함시켰으며, Fig. 1에서 보는 바와 같이 프리즘 형상의 이 패턴은 입광면으로 들어온 태양광을 집광면에 위치한 태양전지로 유도하는 역할을 한다.

2.4 전반사

집광기 내부에서 광도파의 주 역할을 하는 마이크로 패턴은 주로 전반사(total reflection) 원리를 이용하는데 전반사란 임계각보다 큰 입사각으로 입사한 빛이 계면에서 굴절하지 않고 100% 반사되는 현상을 말한다.

굴절률이 큰 물질(n_1)에서 작은 물질 (n_2)로 빛이 입사하면 굴절각이 입사각보다 커진다. 이때 입사각이 커짐에 따라 굴절각도 커지다가 굴절각이 90° 가 될 때의 입사각을 임계각(i_c)이라고 하는데, 굴절률이 큰 물질(n_1)에서 작은 물질(n_2)로 임계각보다 더 큰 각으로 빛이 입사할 때 전반사가 일어난다.⁽⁵⁾

$$\sin i_c = \frac{n_2}{n_1} \text{ 또는 } i_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (1)$$

3. 집광기의 설계 및 광학 해석 방법

해당 집광기의 설계 및 분석을 위하여 광학해석 프로그램인 OPTIS사의 SPEOS를 이용하였다. SPEOS에는 Fresnel loss와 같은 일반적인 광학이론들이 구현되어 있다.

본 연구에서 집광기의 재질은 굴절률 1.585의 투

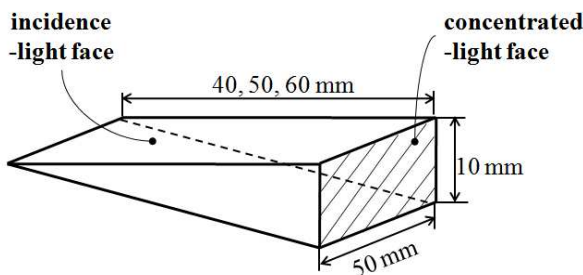


Fig. 2 Dimension of light guide solar concentrator

명한 PC(polycarbonate)로 설정하였다. 해석 시의 입사광은 Fig. 1과 같이 입광면 면적과 같은 크기의 수직광으로 설정하고, 입사광량은 10 lumen (L_{inc})으로, 해석에 사용된 광원 ray의 총 개수는 1억 개로 설정하였다.

집광면에는 집광면의 면적과 같은 크기의 검출기를 설치하여 출광량(L_{con})을 감지하도록 하였다. 이때 광원의 입사량 대비 집광되는 광량의 비를 광학 효율(η_{opt})이라 하며 다음의 식 (2)로 정의하였다.

$$\eta_{opt} = \frac{L_{con}}{L_{inc}} \quad (2)$$

광학 해석할 광도파 집광기의 입광면의 면적을 집광면의 면적(검출기 면적)으로 나눈 비율을 기하 집광비(R_c)로 정의하였으며, 본 연구에서는 R_c 를 4, 5, 6으로 설정하여 해석을 수행하였다.

해석을 위하여 Fig. 2에 보이는 바와 같이 집광면의 크기는 $10 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 으로 동일하게 고정시켰으며 입광면의 면적은 각 기하집광비에 맞게 각각 $40 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, $60 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 으로 하였다.

한편, 식 (2)의 광학효율에 집광기의 기하집광비(R_c)를 곱한 양을 유효집광률(effective concentration rate, ECR)로 정의한다.

$$ECR = \eta_{opt} \times R_c \quad (3)$$

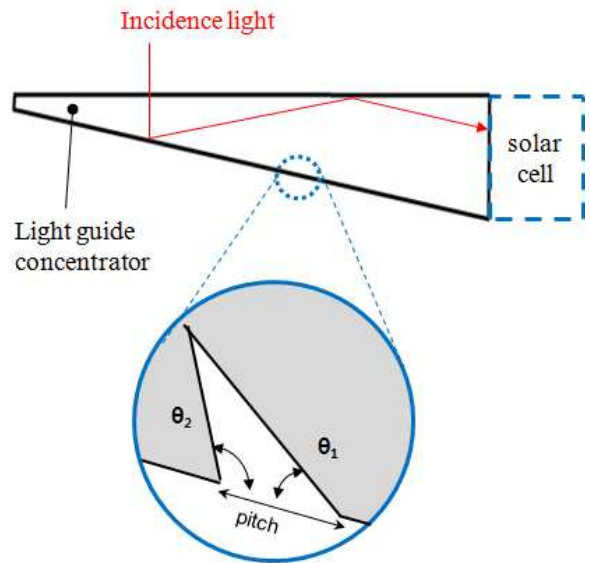


Fig. 3 Micro-scale pattern of light guide solar concentrator

예를 들어 유효집광률 200%인 집광기는 태양전지에 200%의 태양광이 입사되도록 한다. 만약 집광기를 포함한 모듈에 태양전지를 1 개 사용하였다면, 동일한 광량이 입사되도록 하기 위해서 보통의 태양전지는 2개를 사용해야 한다는 뜻이다. 따라서 ECR은 태양전지 면적당 광의 밀도 증가를 나타내는 지표가 될 수 있다.

ECR이 크다는 것은 태양전지 단위면적당 전체적인 집광효율이 높다는 것을 의미하며, 같은 에너지를 얻기 위해서 필요한 태양전지의 면적이 작다는 것을 의미한다.

광도와 집광기의 밑면에 적용되는 마이크로 패턴은 Fig. 1의 프리즘 형상이며, Fig. 3처럼 삼각형 밑면의 두 각도 θ_1 , θ_2 와 피치(pitch)로 그 크기가 결정된다. 본 연구의 해석에서 피치는 0.1 mm로 고정시켰다.

각도 θ_1 은 Fig. 4의 광 경로 (1)과 같이 입사된 태양광을 전반사하는 면의 기울기를 정의하고, 각도 θ_2 는 θ_1 의 면에서 전반사된 태양광을 Fig. 4의 광

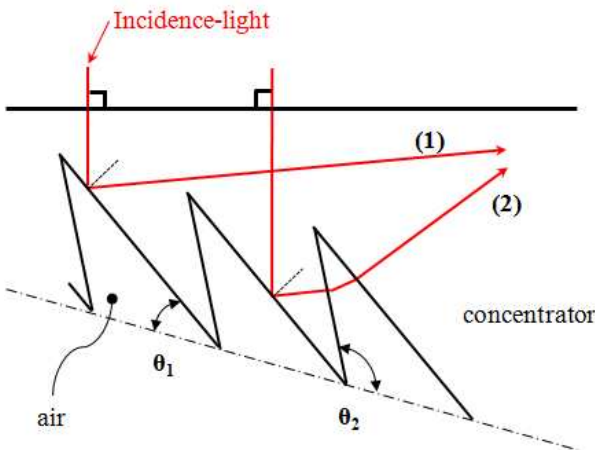


Fig. 4 θ_1 , θ_2 as design variables of micro-pattern

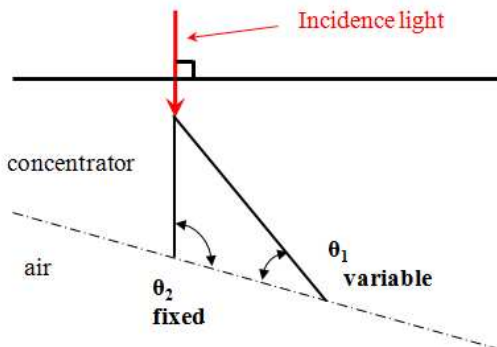


Fig. 5 Design variable of θ_1 for the first optical analysis

경로 (2)와 같이 광의 굴절 정도를 조절해서 태양광을 태양전지가 위치한 집광면으로 효과적으로 유도하는 역할을 한다.

첫 번째 광학 해석은 θ_2 에 의해 결정되는 면을 Fig. 5와 같이 태양광의 입사 방향과 평행하게 놓고 수행하였으며, θ_1 의 각도를 전반사가 시작되는 임계각을 전후로 1°씩 변화를 주면서 광학효율의 변화를 살펴보았다.

첫 번째 광학 해석의 결과를 바탕으로 식 (3)으로 정의된 유효집광률을 비교하였다.

두 번째 광학 해석에서는 Fig. 6과 같이 θ_1 을 첫 번째 해석에서 가장 높은 광학효율을 보인 각도로 고정하고 θ_2 를 5°씩 변화를 주었을 때의 광학효율 결과를 살펴보았다.

세 번째 광학 해석에서는 시간대별, 계절별 태양 위치 변화에 따른 광도와 집광기의 집광 특성을 알아보기 위해 Fig. 7과 같이 태양광 입사각(θ_i)이 변할 때의 광학효율 변화를 살펴보았다.

또한, Fig. 8에 보이는 바와 같이 광도와 집광기의 태양광 입사 위치에 따른 광학효율 변화도 살펴볼 것이다. 이는 광도와 집광기의 성능 최적화를 위한 기초 데이터로 활용될 수 있다.

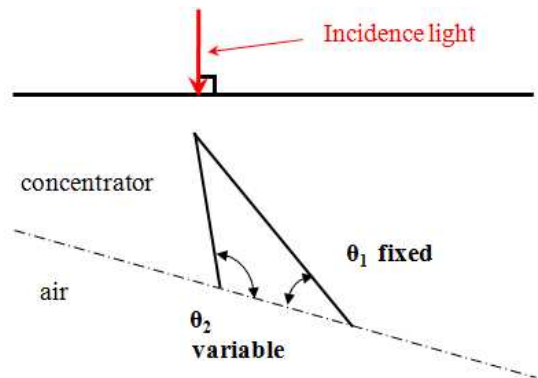


Fig. 6 Design variable of θ_2 for the second optical analysis

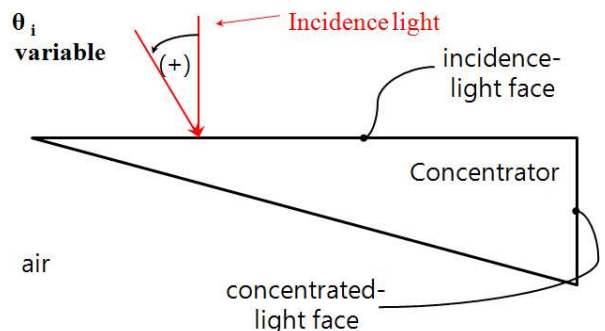


Fig. 7 Design variable, θ_i for the third optical analysis

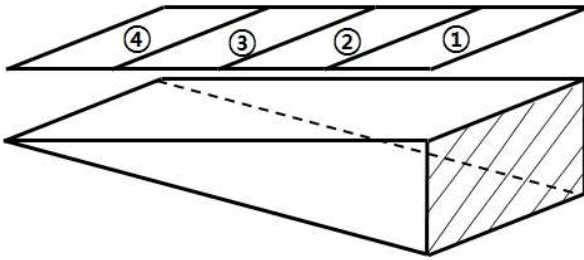


Fig. 8 Position of solar incidence-light

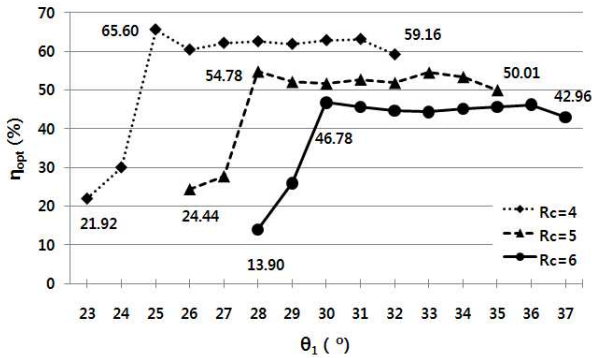


Fig. 9 Prediction of optical efficiency for Θ_1

4. 결 과

4.1 Θ_1 변화에 따른 광학효율

첫 번째 광학 해석을 통하여, Fig. 5와 같이 Θ_2 의 면을 태양광 입사 방향과 평행하게 설정하고 각 기하집광비에서 Θ_1 의 변화에 따른 광학효율의 변화를 Fig. 9에 도시하였다.

기하집광비 4의 경우 Θ_1 의 각도를 23°~ 32°에서 1°씩 변화를 주어 광학해석을 진행한 결과, Θ_1 이 25.08°보다 작은 각도에서는 광학효율이 급격하게 감소하지만 25°이상에서는 59.16%~ 65.60%의 광학효율을 보였으며, 특히 25°에서 65.60%로 최고의 광학효율을 보이는 것으로 예측되었다.

기하집광비 5의 경우 Θ_1 의 각도를 26°~ 35°에서 1°씩 변화를 주어 광학해석을 진행한 결과,

Θ_1 이 27.80°보다 작은 각도에서는 광학효율이 급격하게 감소하지만 28° 이상에서 50.01%~ 54.78%의 광학효율을 보였으며, 28°에서 54.78%로 최고 광학효율을 보였다.

기하집광비 6의 경우 Θ_1 의 각도를 28°~ 37°에서 1°씩 변화를 주어 광학해석을 진행한 결과, Θ_1 이 29.66°보다 작은 각도에서는 광학효율이 급격하게 감소하지만 30°이상에서 42.96%~ 46.78%의 광학효율을 보였으며, 30°에서 46.78%로 최고 광학

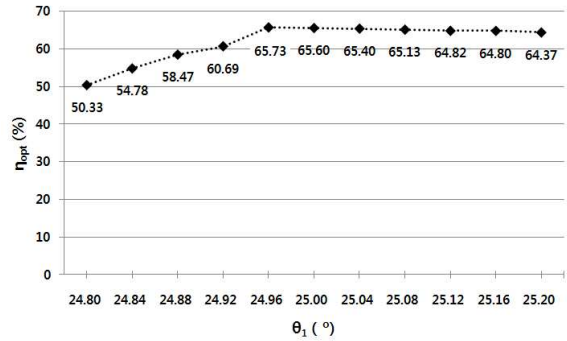


Fig. 10 Prediction of optical efficiency at Rc 4

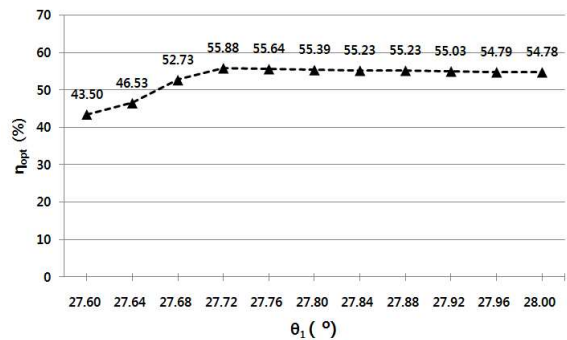


Fig. 11 Prediction of optical efficiency at Rc 5

효율을 보였다. 위의 25.08°, 27.80°, 29.66°는 각 기하집광비의 경우에 Θ_1 의 면에서 전반사가 시작되는 경계각이 되는 각도이다.

기하집광비가 4에서 6으로 증가하면서 광학효율이 전반적으로 감소하는 것으로 예측되었다. 이는 본 연구에서 제안한 평면형 집광기의 구조적인 특성에 기인하는 것으로 사료된다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 Θ_1 으로 정의된 면에서 전반사된 광은 크게 경로 (1) 또는 경로 (2)를 따라서 진행한다. 바람직하게는 다음 패턴을 거치지 않고 경로 (1)과 같이 온전히 집광면을 향하는 것이 광학효율을 높이는 것에 효과적이다. 기하집광비가 커질수록 집광 방식의 구조적인 특성으로 인하여 경로 (1)로 진행되는 광의 비율이 줄어들면서 광학효율이 전반적으로 감소하는 경향을 보이는 것으로 예측되었다.

기하광학비 별로 전반사가 시작되는 경계각에서 실제로 전반사가 발생하는지 살펴보기 위해 해당 경계각 부근을 0.04°간격으로 쪼개어서 보다 세밀한 광학 해석을 수행하였다.

기하집광비 4에서는 임계각 Θ_c 25.08°를 기준으로 24.80°~ 25.20° 범위에서 Θ_1 을 0.04°씩 증가시키면서 광학해석을 수행하였다. 임계각 Θ_c 25.08°

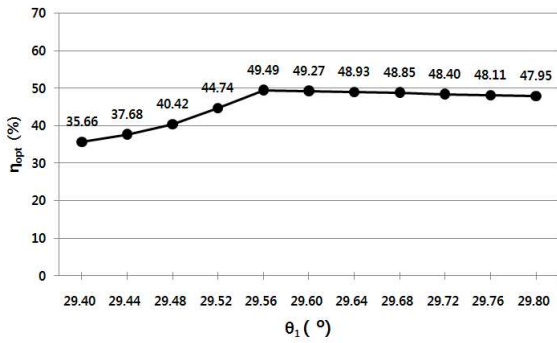


Fig. 12 Prediction of optical efficiency at R_c 6

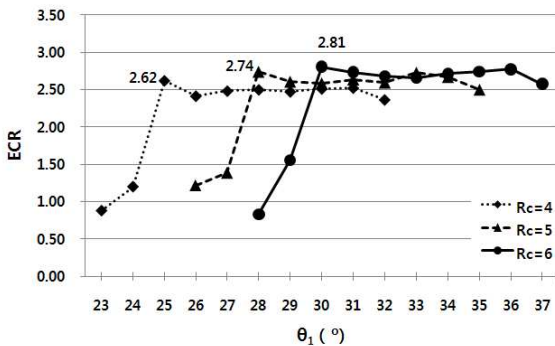


Fig. 13 Prediction of ECR for θ_1

보다 0.12° 작은 24.96° 에서 광학효율 65.73%로 최고 광학효율을 나타냈다.

기하집광비 5에서는 입계각 θ_c 27.80° 를 기준으로 $27.60^\circ \sim 28.00^\circ$ 범위에서 위와 같은 조건으로 광학해석을 수행하였다. 입계각 θ_c 27.80° 보다 0.08° 작은 27.72° 에서 광학효율 55.88%로 최고 광학효율을 나타냈다.

기하집광비 6에서는 입계각 θ_c 29.66° 를 기준으로 $29.40^\circ \sim 29.80^\circ$ 범위에서 위와 같은 조건으로 광학해석을 수행하였다. 입계각 θ_c 29.66° 보다 0.1° 작은 29.56° 에서 광학효율 49.49%로 최고 광학효율을 나타냈다. θ_1 이 입계각보다 작은 각도로 정의된 면에서는 광이 전반사하지 않고 그 계면을 투과하기 때문에 입계각보다 약 0.1° 작은 각도에서 집광효율이 최대가 되는 것은 엄밀하게는 설명하기 힘든 예측결과이다. 추정하기로는 광학 해석에 사용된 SPEOS에서 수치해석 시 허용하는 오차 범위가 예측 결과에 영향을 미친 것으로 사료된다.

4.2 θ_1 변화에 따른 유효집광률

첫 번째 광학해석의 결과를 토대로 식 (3)에서 정의한 유효집광률(ECR)을 계산하였다.

광학해석에서 광학효율은 기하집광비가 4, 5, 6

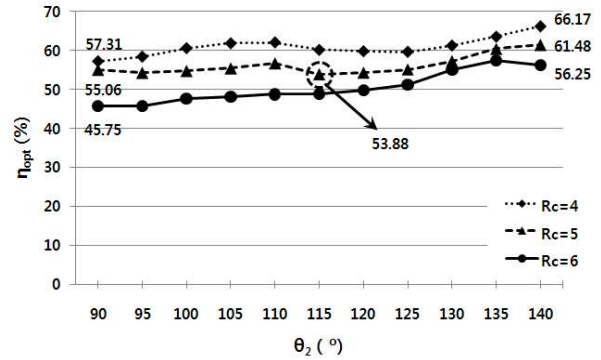


Fig. 14 Prediction of optical efficiency for θ_2

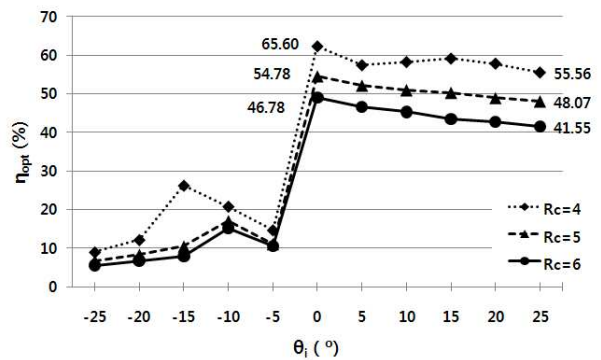


Fig. 15 Prediction of optical efficiency for θ_i

으로 커질수록 감소하는 경향을 보였지만, 유효집광률은 기하집광비가 커질수록 증가하는 경향을 보였다. 기하집광비 4, 5, 6 각각에 대해서 최대 ECR은 2.62, 2.74, 2.81로 계산되었다.

4.3 θ_2 변화에 따른 광학효율

두 번째 광학해석에서는, Fig. 6과 같이 θ_1 을 첫 번째 광학해석 결과에서 최고 광학효율을 보인 각도로 설정하고 θ_2 를 변화시키며 광학효율의 변화를 살펴보았다.

θ_2 를 $90^\circ \sim 140^\circ$ 범위에서 5° 씩 변화를 주면서 광학효율을 예측한 결과, 기하집광비 4에서 57.31%~66.17%의 결과가 나왔으며, 기하집광비 5에서는 53.88%~61.48%, 기하집광비 6에서는 45.75%~57.50%로 대체적으로 각도가 커질수록 광학효율은 미세하게 증가하는 경향을 보였다.

4.4 θ_i 변화에 따른 광학효율

세 번째 광학해석의 결과로 각 기하집광비별 태양광 입사각(θ_i) 변화에 따른 광학효율 변화를 살

펴보았다. 광도와 집광기의 기하집광비는 각각 4, 5, 6이며, 첫 번째 해석과 같이 θ_2 의 면이 태양광 입사 방향과 평행하도록 설정하였고, θ_1 은

첫 번째 해석에서 광학효율이 가장 높게 나온 각도로 설정하였다. θ_1 은 기하집광비 4에서 25.0°, 5에서 28.0°, 6에서 30.0°이다. 태양광 입사각은 Fig. 7처럼 입광면의 법선 방향인 0°를 기준으로 -25°에서 +25°까지 5°씩 변화를 주면서 해석을 수행하였다.

광학 해석의 결과, 입사각이 0°일 때 광학효율이 최대인 것으로 예측되었으며, 각 기하집광비별로 광학효율이 65.60%, 54.78%, 46.78%로 계산되었다. 태양광 입사각이 -5°인 경우 광학효율이 급격하게 감소하였고, -10°에서 광학효율이 조금 증가하였고, 기하집광비 4인 경우 -15°에서 조금 더 증가하였다가 -25°까지 감소하는 경향을 보였다. 기하집광비 5, 6인 경우에는 입사각이 -15°에서 -25°로 변화하면서 광학효율이 감소하였다.

태양광 입사각 0°를 기준으로 태양광 입사각이 (+)방향으로 기울어지면 0°에서 최고 광학효율을 나타내고 각도가 25°로 기울어질수록 각 기하집광비별로 광학효율이 감소하는 경향을 보이지만, 그 차이는 5% ~ 10% 내로 비교적 미미한 수준이다.

입광면에서 태양광 입사 위치에 따른 광학효율 결과를 살펴보기 위해서, 집광면에서 가까운 부분부터 먼 부분까지 순차적으로 4개 구역의 태양광으로 설정하고 광학해석을 진행하였다. 결과를 보면 1구역은 63.62%, 2구역 52.98%, 3구역 39.85%, 4구역은 28.38%의 광학효율을 나타냈다. 집광면에서 가까운 구역일수록 광학효율이 더 높게 예측되었다.

5. 결론

본 논문에서는 광도와 원리를 이용한 새로운 방식의 평면형 태양광 집광기를 제안하고, 수치해석적 방법을 이용하여 해당 집광기의 주요 설계 변수에 대한 집광 특성을 예측하였다. 집광기의 주요 설계변수인 기하집광비, 마이크로 광학패턴의 각도 등에 대한 광학효율과 유효집광률을 예측, 분석하여 집광 특성의 경향성을 파악하고, 해당 집광기의 설계, 제작을 위한 기초 데이터를 확보하였다.

집광기의 주요 설계 인자로서 θ_1 은 집광기 내부에서 입광면을 통과한 태양광이 전반사되는 면의 각도를 결정한다. θ_1 을 변수로 하여 광학해석

을 수행한 결과, 전반사가 일어나는 각도를 경계로 광학효율이 심하게 변동되는 것으로 예측되었다. 전반사가 일어나는 각도를 경계로 θ_1 이 보다 작은 경우에는 광학효율이 급격하게 떨어지는 것으로 예측되었다. 전반사가 일어나는 각도보다 큰 경우에는 광학효율이 약간 감소한 후 5°~ 6°의 완만한 변동 구간 이후에 감소하는 것으로 예측되었다.

집광면의 면적 대비 입광면의 면적으로 정의되는 기하집광비는 4에서 5, 6으로 커질수록 광학효율은 감소하는 것으로 예측되었다. 반면에 광학효율과 기하집광비의 곱으로 정의되는 유효집광률은 기하집광비가 커질수록 다소 증가하는 것으로 예측되었다. 태양광 집광기의 기하집광비, 집광효율, 유효집광률 등은 집광형 태양전지의 효율 및 생산 단가를 결정하는 인자로서 집광기의 전체적인 효율성 측면에서 보다 세밀한 검토가 이루어져야 할 것이다.

집광기의 또 다른 주요 설계 인자로서 θ_2 는 θ_1 으로 결정되는 면에서 전반사된 태양광이 그 다음 미세 패턴을 거치게 될 때 광의 굴절 또는 부분 반사되는 면의 기울기를 결정한다. θ_2 가 커질수록 광학효율이 점진적으로 증가하는 방향으로 예측되었는데, θ_2 가 커질수록 태양광이 집광면으로 더 집광되는 방향으로 광의 굴절을 유도하는 것으로 분석된다. 한 가지 유의하여야 할 것은 사출성형에 의한 생산공정에서 집광기의 성형성 및 취출 가능성 등을⁽⁶⁾ 고려해서 θ_2 를 결정하여야 한다. θ_2 가 클수록 광학효율 측면에서는 유리하지만, 과도한 θ_2 설계값은 집광기의 성형 및 취출을 어렵게 할 수 있다.

또한 광학해석을 통하여 태양광 입사각(θ_i)의 변화에 따른 광학효율의 변화를 예측하였다. 이 해석 결과는 제안된 태양광 집광시스템의 태양광 정렬 오차 허용범위를 결정하는 설계⁽⁷⁾ 단계에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 기획재정부 및 한국생산기술연구원 지원의 생산기술연구사업(Project NO. 11E-O5-0001)으로 수행한 결과로서 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

(1) Jeong, H., Lee, Y. W., Ju, S., Lee, H. J. and Boo S., 2008, "Fabrication and Evaluation of

- Low Concentrator Photovoltaic Modules with Aluminum Reflectors,” *Journal of the Korean Society for New and Renewable Energy*, Vol. 4, No. 4, pp. 18~22.
- (2) Kim, S. H., Lee, C. H. and Ryu, S. H., 2010, “The Development of Concentrator Photovoltaic Module Applying Holographic Film,” *Proceedings of The Korean Solar Energy Society Spring Meetings*, Vol. 30, No. 1, pp. 256~259.
- (3) Zubi, G., Bernal-Agustín, J. L. and Fracastoro, G. V., 2009, “High Concentration Photovoltaic Systems Applying III-V Cells,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 2645~2652.
- (4) Kim, T. H., Do, K. H., Choi, B. I., Han, Y. S. and Kim, M. B., 2011, “Development of a Cooling System for a Concentrating Photovoltaic Module,” *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 35, No. 6, pp. 551~560.
- (5) Hecht, C. E., 1996, “Optics,” Addison-Wesley Publishing Company
- (6) Yoo, J. H. and Park, K. H., 2010, Injection Mold Design, DongMyeongSa.
- (7) Ryu, K. S., Rhee J. G., Park K. M. and Kim J., 2006, “Concept and Design of Modular Fresnel Lenses for Concentration Solar PV System,” *Solar Energy* 80, pp. 1580~1587.