



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

공 학 석 사 학 위 논 문

태양광 추적형 채광기의 광 특성 분석 및 설계에 관한 연구



2014년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

이미지시스템공학과

허 윤 정

공 학 석 사 학 위 논 문

태양광 추적형 채광기의 광 특성 분석 및 설계에 관한 연구

지도교수 김 종 태

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2014년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

이미지시스템공학과

허 윤 정

허윤정의 공학석사 학위논문을 인준함.

2014년 2월 21일



주 심 이학박사 김 종 수 인

위 원 이학박사 김 종 태 인

위 원 공학박사 오 정 수 인

목 차

목차	i
그림 차례	iii
표 차례	iv
Abstract	v
제 1 장. 서론	1
제 2 장. 태양광 추적형 채광기에 관한 기초 이론	
1. Non-Imaging Optics	2
1.1. The Edge-Ray Principle and The String Methods	2
1.2. Skew Ray	4
2. 태양광 추적형 채광기	
2.1. 추적형 채광기의 개요	6
2.2. 추적형 채광기의 분류	7
2.2.1. 구동축에 따른 분류	7
2.2.2. 태양 추적신호의 생성 방식에 따른 분류	9
3. 비결상 집광기 CPC(Compound Parabolic Concentrator)	
3.1. The Equation of the CPC	11
3.2. CPC 재질	14
3.3. 집광비	15
제 3 장. CPC 태양광 추적형 채광기 설계 및 분석	
1. 태양의 위치 계산	17
1.1. 태양의 적위각, 시간각 계산	18

1.2. 태양의 방위각, 고도각, 천정거리 계산 -----	20
2. 태양광 손실을 최소화 하는 채광기의 설치조건 -----	22
2.1. 측정 위치의 위도와 경도 -----	22
2.2. 방향성 및 설치 경사각도 -----	23
3. 태양전지 cell의 size와 효율 -----	24
4. Solar Tracking을 이용한 채광기 분석 -----	25
4.1. 구동축에 따른 Solar Tracking -----	26
4.1.1. 1-axis solar tracking -----	26
4.1.2. 2-axis solar tracking -----	38
4.2. 부산지역 일사량 Data 산출기준 -----	42
4.3. 태양광 추적형 채광기 효율평가 -----	44
제 VI 장. 결 론 -----	47
참고문헌 -----	50
감사의 글 -----	51

그림 차례

그림 1. Total Flux Output -----	5
그림 2. Radiant Intensity -----	7
그림 3. Luminous Intensity -----	8
그림 4. Irradiance -----	9
그림 5. Illuminance -----	9
그림 6. Radiance -----	11
그림 7. The Edge Ray Principle -----	13
그림 8. The String Method -----	14
그림 9. Skew Ray 와 Meridional Ray -----	15
그림 10. CPC내의 Skew Ray 경로 -----	16
그림 11. 경사도를 갖는 1축 태양추적 시스템 -----	18
그림 12. Azimuth-Elevation 추적 방식의 회전축 배열(왼쪽)과 Polar 추적 방식의 회전축 배열(오른쪽) -----	19
그림 13. CPC의 허용반각에 따른 광선의 전파 -----	22
그림 14. 포물선의 극 좌표 -----	23
그림 15. CPC 설계도 -----	23
그림 16. 허용반각에 따른 CPC 형상 -----	25
그림 17. Transmission-Angle Curve for a ideal and real CPC -----	28
그림 18. 태양 적위각 -----	29
그림 19. 태양 시간각 -----	30
그림 20. 태양 고도각, 방위각, 천정각 -----	32
그림 21. Solar Tracking -----	37
그림 22. Properties of CPC -----	50
그림 23. 채광기 효율 (준추분 / 1축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%) ---	39
그림 24. 채광기 효율 (준추분 / 1축 추적 / Input Angle 10° / Trim 0%) ----	40
그림 25. 채광기 효율 (준추분 / 1축 추적 / Input Angle 50° / Trim 0%) ----	40
그림 26. 채광기 효율 (하지 / 1축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%) ----	41
그림 27. 채광기 효율 (하지 / 1축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%) ----	41
그림 28. 채광기 효율 (하지 / 1축 추적 / Input Angle 50° / Trim 0%) -----	42

그림 29. 채광기 효율 (동지 / 1축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%) -----	42
그림 30. 채광기 효율 (동지 / 1축 추적 / Input Angle 10° / Trim 0%) -----	43
그림 31. 채광기 효율 (동지 / 1축 추적 / Input Angle 50° / Trim 60%) -----	43
그림 32. 채광기 효율 (춘추분 / 2축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%) ---	45
그림 33. 채광기 효율 (하지 / 2축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%) -----	45
그림 34. 채광기 효율 (동지 / 2축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%) -----	46
그림 35. 직달 일사량과 산단 일사량의 input data -----	48
그림 36. 일사량 Data와 태양광 Spectrum -----	49

표 차례

표 1. 금속에 따른 반사율 -----	15
표 2. 부산지역에서의 태양의 위치 (북위 35.13° 기준) -----	21
표 3. 계절별 방위각, 천정각, 일출·일몰시간 (기준지역 : 부경대학교) -----	27
표 4. 허용반각(Input Angle)에 따른 Input Size와 Overall length -----	44
(2차 추적 / 동지 기준)	
표 5. Trim 비율에 따른 결과 data 값 (2축 추적 / 동지 기준) -----	45
표 6. Input "610" 에 따른 계절별 Output 결과 값 비교 -----	46
(2축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%)	
표 7. 1축 추적과 2축 추적 비교 -----	47
(동지 기준/ Input Angle 10° / Trim 60%)	

**The study on the design and analysis of optical properties of a
solar tracking sunlight concentrator**

Yun Jeong Heo

**Department of Image System Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University**

Abstract

We studied on not only the design of a solar tracking sunlight concentrator comprised of a compound parabolic and a solar cell but the analysis of its optical properties.

Recently, A lighting system with a variety of daylighting devices has attracted a lot of attention to energy conservation as sunlight is one of the eco-friendly energy source.

Our study designed one of the daylighting devices which named CPC(Compound Parabolic Concentrator) as well as simulated solar tracking with two types of tracker under the same condition in order to check out which type of the concentrators has more efficiency.

Based on the theory related to sunlight concentrator we found out the properties of CPC such as an attendance angle that is the maximum angle at which incoming sunlight can be captured by a solar concentrator. after that, we designed the appropriate shape of CPC and simulated solar tracking with both 1-axis and 2-axis tracker. For 2-axis, we shouldn't need any condition but seasonal variations in zenith angles. For 1-axis, we tracked sunlight with East-West axis tracker to collect

more sunlight since Sun moves from East to West. also, we set each North-South Tilt which has the same angle as seasonal zenith angles using the equation of the sun position to compare the amount of sunlight passing through concentrator.

Consequently, you can see the study conclusion in the third chapter which shows efficiency comparison between 1-axis trace and 2-axis trace in figures and tables as well as analysis of the optical properties of the solar tracking sunlight concentrator that we designed.



제 1 장. 서론

자연 채광장치는 일조시간 동안 건물 실내 또는 지하공간의 조명을 위한 에너지원으로써 태양광을 모아 건물 실내 또는 지하 공간의 조명을 위해 사용되는 장치이다. 근래 들어 환경 친화적 실내 공간의 조성 또는 지하공간의 활용이 증대되면서 건물 또는 지하공간의 조명을 위한 에너지 소비량이 급격히 증대되고 있다. 사무실 건물, 학교 또는 산업용 시설에서 소비되는 총 에너지 소비량의 50% 이상이 조명을 위하여 사용되는 것으로 알려지고 있으며, 이는 전체 에너지 소비량의 30% 정도를 사용하는 냉난방 부하와 비교하여 대단히 많은 에너지가 조명을 위하여 사용되고 있음을 알 수 있다.

자연 채광장치에 의해 조명은, 건축 측면에서 시설이 용이하며 또한 동작이 편리한 전기조명시설에 밀려 1970년대 초반까지 비교적 큰 주목을 받지 못했다. 그러나 1970년대 중반의 에너지 위기 이후 에너지 소비량 감소를 위한 장치로서 뿐만 아니라, 환경 친화적 실내 공간 조성의 요구를 충족시키기 위한 수단으로 최근 많은 주목을 받고 있다. 자연 채광장치에 의한 건물 내부 또는 지하공간의 조명은, 에너지 부존자원이 부족한 국내 에너지 절약을 위한 중요한 수단을 제공할 것으로 생각된다. 또한 화석 연료 소비량의 감소에 따른 외화 절약은 물론, 환경 친화적 실내 작업 공간의 조성을 통한 생산성 증대와 같은 측면에서 본 연구가 목표로 하고 있는 자연 채광장치의 개발 중요성이 있을 것으로 기대된다.

제 2 장 태양광 추적형 채광기에 관한 기초 이론

총괄적인 연구 내용을 이해하기 위해서는 광학적 기본적인 배경지식이 요구된다. 태양광 추적형 채광기에 대한 사항 중 필요한 광학적 지식들은 아래와 같다.

1. Non-Imaging Optics

태양 집광기나 태양 집광기의 Receiver면에 태양 에너지를 최대한 도달하게 하거나, 조명에서 빛의 분포를 조절하기 위해서 결상 광학이 아닌 비결상 광학의 원리를 이용해야 한다. 최적화를 위한 대표적인 변수로 전체 방사속, 광학적 방출의 각 분포와 공간분포를 포함한다. 이 변수들은 광학 시스템의 집광율을 고려하면서 최적화 되어야 한다.

1.1. The Edge-Ray Principle and The String Method

비결상 광학계를 만들기 위한 가장 간단한 방법은 The Edge-Ray Principle을 적용한 The String Method를 이용하는 것이다.

The edge-ray principle이란 광원의 가장자리 끝에서 방출된 광선이 광학계를 통과한 후 Receiver의 가장자리로 나아가는 것을 말한다.

이때, 광원의 가장자리 내부에서 방출되는 모든 광선은 결국 Receiver면 내에 전부 도달한다. 이 가장자리 광선 원리는 상을 형성하기 위한 것이 아니라, 광원에서 방출되는 빛을 Receiver면 내로 도달하게 하는 것이 목적이다.

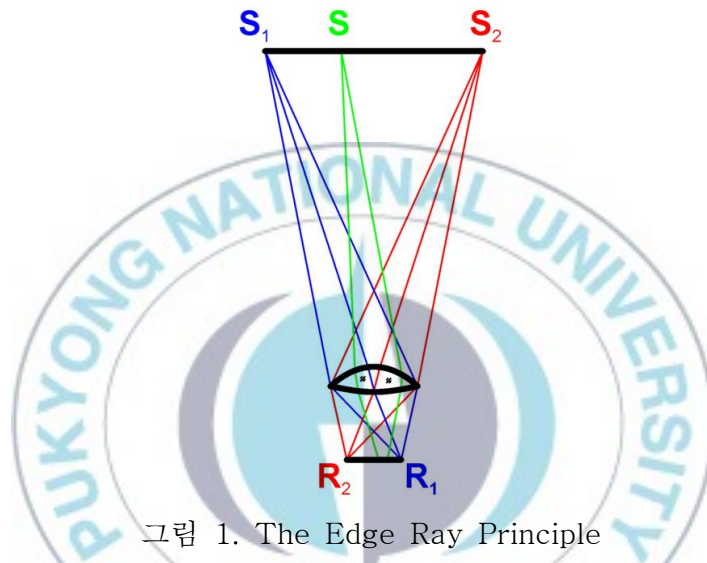


그림 1.을 보면, 광원 S_1S_2 에서 나온 빛이 광학계를 통과한 후 Receiver에 도달한다. S_1 에서 방출된 빛이 Receiver 가장자리 R_1 에 도달하는 것이 가능하며, 또한 대칭으로 S_2 에서 방출된 빛이 R_2 에 도달한다. S_1S_2 사이의 한 점 S에서 방출된 빛은 R_1R_2 사이에 도달하나, Point로 한 점에 맺히는 것이 아니므로 이미지를 형성하지 않는다. 즉, 광원이 Receiver에 결상되지 않음을 뜻한다.

The string method란 일정한 길이를 가진 끈을 고정된 한 점에서 파면을 따라 수직을 유지하면서 이동하면 포물면 형태를 만들 수 있다

는 것을 나타낸다. 그림 2.는 The string method를 적용시킨 것이다.

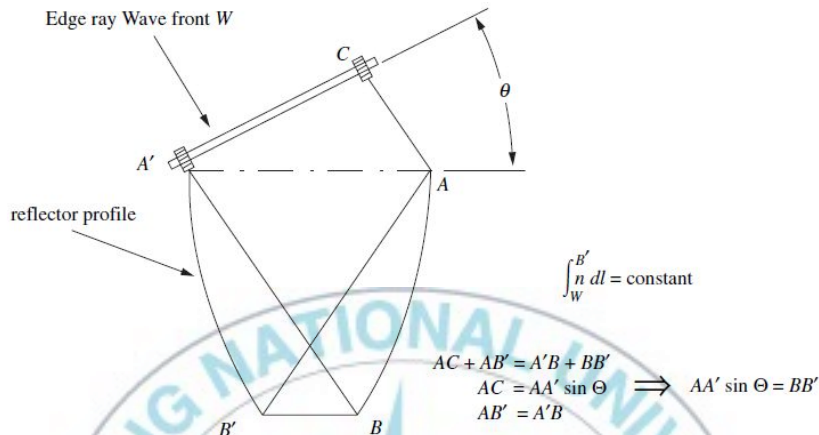


그림 2. The String Method

파면 $A'C$ 의 Edge point인 A' 에서 Receiver의 Edge point B' 로 고정된 선이 파면에 수직 상태를 유지하며 Edge point C 로 이동함에 따라 포물면 형태를 그릴 수가 있으며, 이때 Point를 각각 연결한 선 $A'B'$ 와 CAB' 의 길이는 항상 일정하며, 파면 A' 에서 C 사이의 point에서 수직을 유지하며 Edge point B' 로 고정되는 모든 광선 또한 길이가 일정하다. 반대 방향의 파면에서 들어오는 가장자리 광선도 위의 조건을 만족한다. 결상을 위한 것이 아니라 해당 범위에 빛을 모으기 위해서는 The Edge-Ray Principle을 만족하며 가장자리 광선을 Receiver 가장자리로 도달하도록 The String Method를 만족하는 Concentrator를 만들어야 한다.

1.2. Skew Ray

Skew ray란 광축에서 벗어난 광이 광학계로 입사할 때, 광축을 지나지도 않고 광축에 평행하게 나아가지도 않는 광선을 말한다. 이 때 Optical system의 광축을 기준으로 그 축을 포함하여 가로지르는 면을 자오면이라 하며, 자오면 내에서 전파하는 광선을 자오광선이라 한다. 자오광선과 Skew 광선이 평행하게 입사하더라도 그림 3.과 같이 자오광선은 자오면 내에서 전파하며, Skew ray는 자오면에서 벗어나 광축을 지나지 않으며 광학계의 가장자리를 따라서 나선형으로 전파하게 된다.

2차원 시스템(y,z)에서, 임의의 y 축 선대칭의 광학계는 skew ray에 어떠한 영향도 받지 않는다. 이는 2차원에서 skew ray는 0이 아닌 y 방향코사인 k_y 를 가진 광선일 것이고, 이 광선은 x 방향으로 전파 되지 않기 때문이다. 그러나 3차원 시스템(x,y,z)에서는 항상 자오면을 벗어난 광선들이 존재하기 때문에 skew ray의 광선 개념이 도입되어야 한다.

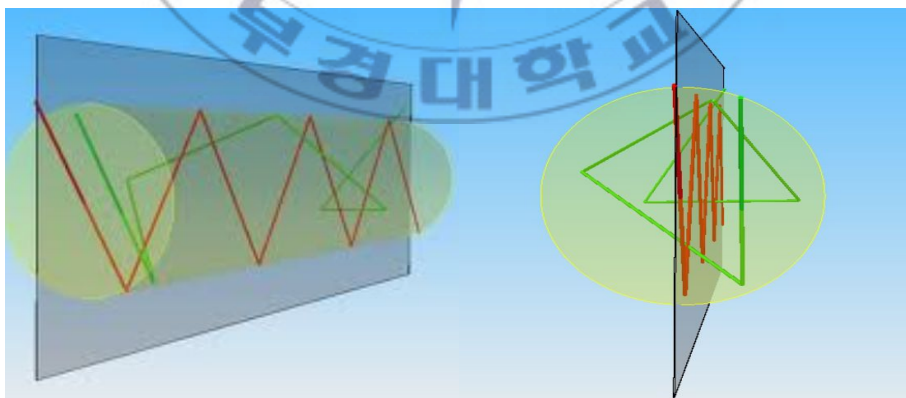


그림 3. Skew Ray 와 Meridional Ray

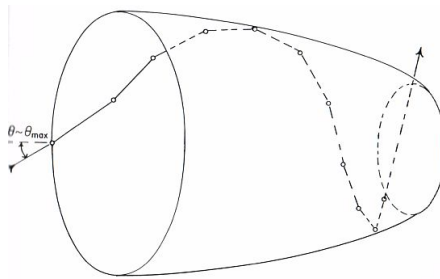


그림 4. CPC내의 Skew Ray 경로

2. 태양광 추적형 채광기

2.1. 추적형 채광기의 개요

태양광 집광기는 지구로 복사되는 태양에너지를 집광하여 이를 작동유체에 전달시키는 중요한 역할을 한다. 집광성능에 따라 전체 태양광 시스템의 효율을 결정하며, 집광기의 설치 조건에 따라 집광성능이 크게 달라진다.

집광기로 입사되는 태양광선이 집광면에 수직으로 입사되지 못할 경우, 이로 인해 발생하는 코사인 손실의 양이 달라지기 때문에 집광기는 이런 손실을 최소화하도록 설계 되어야 한다.

추적형 채광장치는 고정형 채광장치와 달리 추적을 할 수 있는 구동부를 포함하고 있기 때문에 태양고도의 변화가 따라 태양광을 추적하여 입사광선 각도에 직각으로 유지할 수 있어 보다 많은 태양에너지를 모을 수 있다는 장점이 있다.

2.2. 추적형 채광기의 분류

집광기를 태양열이 입사되는 방향으로 일치시키기 위한 태양 추적 시스템은 다양한 형태를 취하고 있다. 구동축의 수와 태양 추적신호의 생성 방식에 따라 채광기가 각각 분류 된다.

2.2.1. 구동축에 따른 분류

태양광 집광기를 태양빛이 입사되는 방향으로 일치시키기 위한 태양추적 시스템은 다양한 형태를 취하고 있다. 그러나 태양 추적시스템은 구동축에 따라 1축 또는 2축 구동형 태양추적시스템으로 대별되며, 또한 태양추적신호의 생성방식에 따라서 자연형, 프로그램식, 센서식 및 프로그램&센서 복합식 태양추적시스템으로 분류되기도 한다. 1축 구동형 태양 추적시스템은 1개의 회전축을 중심으로 집광기를 회전시킴으로서 태양열 집광기가 태양의 위치 변화에 따른 고도각 또는 시간각만을 추적할 수 있도록 설계된 추적 시스템이다. 일반적으로 회전축은 집광기 설치점을 기준으로 하여 동서 또는 남북으로 고정시킨다.

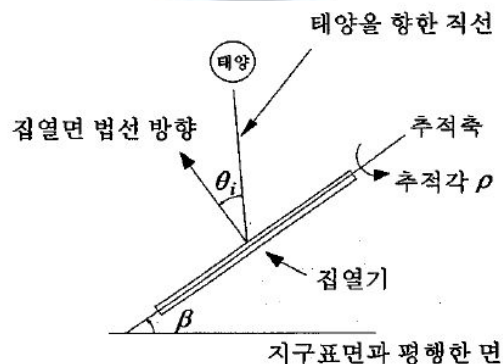


그림 5. 경사도를 갖는 1축 태양추적 시스템

일부 시스템의 경우, 집광기는 설치 지방의 위도(또는 위도의 $\pm 10^\circ$ 이내)의 경사각으로 고정되고, 따라서 회전축은 지구의 자전축과 평행하도록 설계되어 집광기의 회전은 태양의 시간축만을 추적하도록 하는 경우도 있다. 대표적인 1축 구동형 태양추적 시스템을 탑재한 집결기로 Parabolic Trough Collector(PTC)와 Compound Parabolic Concentrator(CPC)가 있다.

2축 구동형 태양추적시스템은 태양의 고도각은 물론 시간각에 대해서도 태양을 추적함으로써 보다 정확한 태양 추적이 가능한 시스템이다. 2축 내에서도 태양의 위치를 추적하기 위하여 사용되는 구동축의 배열 방법에 따라서 polar 추적방식, azimuth-elevation 추적방식, exocentric gimbal 추적방식으로 나뉘어진다.

그림 11.(왼쪽)과 같이 AE추적 시스템에서의 채광부는 지표면에 수직인 축을 중심으로 회전하고(A축), 동시에 지표면에 평행한 축을 기준으로 하여 회전한다(E축)



그림 6. Azimuth-Elevation 추적 방식의 회전축 배열(왼쪽)과 Polar 추적 방식의 회전축 배열(오른쪽)

그림 11.(오른쪽)은 polar 추적시스템의 추적 축을 나타낸 것이다. polar 추적 시스템에서의 채광부는 지구의 자전축과 평행한 축(polar 축)에 대하여 시간당 15° 회전하고 동시에 이와 수직한 축(declination 축)을 기준으로 하여 연 $\pm 23.5^\circ$ (최대 $0.0016^\circ/\text{시간}$) 이내에서 회전한다. Exocentric gimbal 추적방식은 채광부를 자이로에서 사용하고 있는 것과 같은 gimbal 메커니즘에 장착하고, 이를 각각 구동시킴으로써 채광부로 입사되는 태양광이 집광될 수 있도록 한다. 일반적으로 1축 구동형 시스템은 2축 구동형 시스템과 비교하여 태양 추적의 정확성은 떨어지고, 따라서 채광 가능한 태양 에너지 양이 작고 이로 인한 효율도 떨어진다. 그러나 추적 장치의 단순성 및 경제성의 측면에서 비교하면 1축 구동형 추적 시스템이 2축 구동형 시스템 보다 우위에 있으며, 따라서 고효율을 요구하지 않는 응용 분야에서 많이 사용되고 있다. 반면 2축 구동형 태양 추적시스템은 고효율이 요구되는 고소 또는 자연 채광장치와 같은 곳에 적합한 형태의 시스템이다.

2.2.2. 태양 추적신호의 생성 방식에 따른 분류

태양 추적 시스템은 태양 추적신호의 생성 방식에 따라서 크게 4가지 방식으로 나눌 수 있다. 자연형 방식, 태양의 위치를 계산하여 시스템을 구동시키는 프로그램 방식, 광센서를 이용하여 태양의 위치를 찾아 구동시키는 센서식 및 프로그램&센서 복합방식으로 나눌 수 있다.

자연형 방식은 1축 추적형 시스템에서 주로 사용되며, 집광기의 회전을 위한 전자회로나 모터가 없이 태양을 추적하는 방식으로, 구조가 간단하고 유지비가 적게 드는 장점은 있으나 정확한 추적을 기대하기가 어렵고 특히 일출 또는 일몰과 같이 태양의 고도가 낮을 때에

는 일사량의 강도가 약하여 효율이 떨어진다.

태양의 위치를 계산에 의하여 설정하고, 이를 구동 모터에 전달함으로써 태양을 추적하는 프로그램식은 구조가 복잡하고 값이 비싸며 구동 중에 태양의 위치를 파악하는 센서가 없으므로 처음에 정확한 설치가 이루어지도록 해야 하는 단점이 있으나 비교적 태양을 추적하는 정확도가 높다는 장점을 가지고 있다.

주로 광센서를 이용하는 센서식은 프로그램식에 비교하여 간단하고 값싼 장점이 있으나 광센서가 빛을 감지하는 각도 밖에 태양이 있거나, 구름등에 의해 햇빛이 산란 될 때 또는 지면에 의하여 빛이 반사 될 때 오작동이 일어날 수도 있다.

마지막으로 프로그램식과 센서식의 장점을 조합하여, 두 방식의 단점을 보완하는 프로그램&센서 복합방식은 보다 정확한 태양 추적을 필요로 하는 데 사용된다. 이 방식은 주된 추적은 프로그램 식으로 하고 그 오차를 센서식으로 보정하는 방식과, 센서식의 단점인 구름등에 의한 태양광의 산란 등으로 인한 오동작을 방지하기 위하여 주된 추적은 센서식으로 하지만 이상 동작의 경우에는 프로그램식을 사용하여 보완하는 방식이 있다.

3. 비결상 집광기 CPC (Compound Parabolic Concentrator)

CPC는 포물선형 트루프나 원통형 트루프의 단점을 보완한 것으로 초점(receiver) 하단부에 두어 집광하는 개념으로 개발되었다.

CPC를 설계할 때 중요한 의미를 가지는 허용각은 집광 가능한 입사각의 영역을 말하고 그 1/2을 허용반각($\theta_{\max}$)이라고 정의한다.

허용반각 θ 를 기준으로, $\theta > \theta_1$ 으로 입사되는 광선들은 Receiver 가

장자리가 아닌 안쪽으로 입사하게 되고, $\theta < \theta_2$ 으로 입사되는 광선들은 CPC 내부에서 몇 번의 반사 후 다시 밖으로 빠져 나가 Receiver면에 도달하지 않는다. 이 허용반각은 CPC를 설계함에 있어서 중요한 특성 중 하나로, CPC 형상에 영향을 미친다. 그림 13은 허용반각에 따른 광선의 변화를 나타낸다.

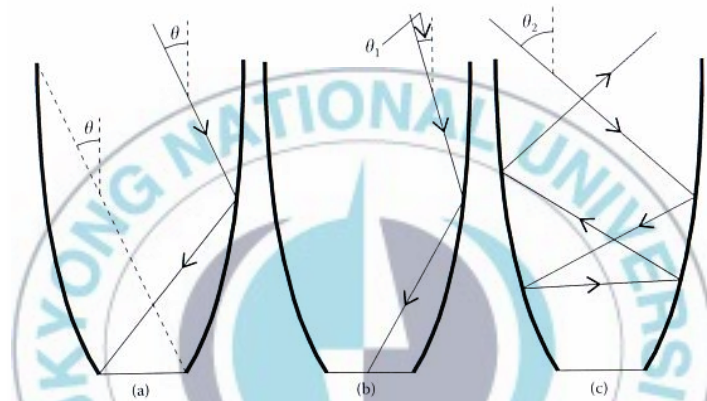


그림 7. CPC의 허용반각에 따른 광선의 전파

3.1. The Equation of the CPC

포물선 공식으로부터 CPC의 기본 특성을 쉽게 얻을 수 있다.

$$r = 2f / (1 - \cos \varphi) = f / (\sin^2 \frac{1}{2} \varphi)$$

(초점 F부터 포물면 임의의 점P 까지 거리 r,
포물선 축에서 $\overline{FP}$ 까지 각도 φ)

초점거리 f 는 초점 F에서 정점 A까지의 거리 AF를 나타낸다.
 이 공식을 적용하여 그림 8., 9.와 같은 CPC 형상을 만들 수 있다.



그림 8. 포물선의 극 좌표

그림 9. CPC 설계도

먼저 광학계의 입구와 출구, PP'와 QQ'를 원하는 비율로 설정한 후 집광기 입구의 가장 바깥 부분에서 들어오는 광선 PQ'(또는 P'Q)과 집광기의 사이의 각인 최대 집광 허용각 θ_i 을 결정하기 위해서 입구와 출구 사이의 거리인 CPC의 높이를 정한다.

CPC의 단면 P'Q'은 Q에서 초점을 가지며 극좌표계 (r, φ) 로 표현할 수 있다. 광학계 출구에 공식을 사용하여

$$QQ' = 2f / [1 - \cos(\pi/2 + \theta_i)]$$

만약 $QQ' = 2a'$ 라면, 아래와 같이 표시할 수 있다.

$$f = a' (1 + \sin \theta_i)$$

$$QP' = 2f / (1 - \cos 2\theta_i) \text{ 또는 } QP' = a' (1 + \sin \theta_i) / \sin^2 \theta_i$$

식들을 연립하여 아래와 같은 식을 얻는다.

$$a + a' = QP' \sin \theta_i = a' (1 + \sin \theta_i) / \sin \theta_i$$

결과적으로 집광기의 길이인 L은

$$L = QP' \cos \theta_i = a' (1 + \sin \theta_i) \cot \theta_i / \sin \theta_i = (a + a') \cot \theta_i$$

로 표현할 수 있다.

그림 16.으로 동일한 출구면 크기는 모두 동일하나 허용반각에 따라

CPC의 입구면 크기와 길이가 달라짐을 확인할 수 있다.



그림 16. 허용반각에 따른 CPC 형상

3.2. CPC 재질

대부분의 집광기들은 태양광을 조그만 면적에 집중시키는 반사 표면에 따라 성능이 좌우된다. 반사 표면의 재질은 대부분 금속이며, 유리나 플라스틱 앞면이나 뒷면에 polished aluminum, silver, aluminum이 도금될 때의 표면을 back-surface mirror 혹은 second surface mirror 라고 한다. 반사 표면의 성능은 반사율(Reflectance)과 반사도(Specularity)에 의해서 측정된다. 반사율은 입사광이 표면에서 반사되는 퍼센트 비율로 정의되고 반사도는 반사표면이 입사광을 입사각 이외의 각으로 산란시키지 않고 태양광을 반

사하는 능력의 척도를 말한다. 이상적 반사 표면은 모든 태양광을 입사각과 동등한 각도에 입사 방향과 반대 방향으로 반사시킨다. 알루미늄판은 커다란 크기로 이용 가능하고 가격이 비교적 저렴하다는 장점이 있다. 최근에 개발하고 있는 개념은 알루미늄 표면에 은을 직접 도금하는 형태이다.

본 연구에서는 Light Tools에 반사체의 기본 물질로 지정된 알루미늄을 CPC의 재질로 결정하였다. 알루미늄과 그 외의 금속에 따른 반사율은 표 1.과 같다.

Material	ρ
Silver	0.93~0.95
Back Silvered low iron glass	0.88
Back Aluminiumed glass	0.76~0.80
Plated Silver	0.96
Aluminium sheet	0.83
Aluminiumed PTFE	0.77
Silvered PTFE	0.86

표 1. 금속에 따른 반사율

3.3. 집광비

2차원 CPC는 일정 범위의 입사각으로 입사하는 광선은 Receiver에 도달하게 하고 이외의 각도로 입사하는 광선은 방출시킨다. 이때 집광 가능한 입사각의 영역을 허용각(acceptance angle)이라고 하고 그 1/2을 허용반각($\theta_{\max}$)이라고 정의한다. 3차원 CPC의 경우 2차원 CPC 단면에 축을 기준으로 대칭인 형태이므로 이차원 집광율의 제공에

비례한 값으로 얻을 수 있다.

기하학적 집광률 C 는 아래와 같다.

$$\frac{a}{a'} = \frac{n' \sin \theta'}{n \sin \theta}$$

a 는 집광기 입구면 크기, a' 는 집광기 출구면 크기를 의미하고 n 은 집광기에 입사하기 전 매질의 굴절률, n' 는 집광기에 출사 후 매질의 굴절률을 의미한다.

집광기에 입사, 출사할 때의 매질은 공기이므로 굴절률 $n, n' = 1$ 이 되고, θ' 은 최대 90을 넘길 수 없으므로 $\sin \theta' = 1$ 로 두어 계산하면 포물면 형태의 집광기의 집광률을 구할 수 있다.

$$2\text{차원 } C_{\max} = \frac{n'}{n \sin \theta}, \quad 3\text{차원 } C_{\max} = \left(\frac{a}{a'}\right)^2 = \left(\frac{n'}{n \sin \theta}\right)^2$$

단, $\theta = \theta_{\max}$

광학적 집광률 C_{opt} 은 기하학적 집광률 C 에 광학적 효율인 E_{opt} 을 곱해준 값으로, 입사각도에 따라 변하게 된다.

그림 17.은 이상적인 CPC와 실제 CPC의 허용반각에 따른 광학적 효율을 나타낸 것이다.

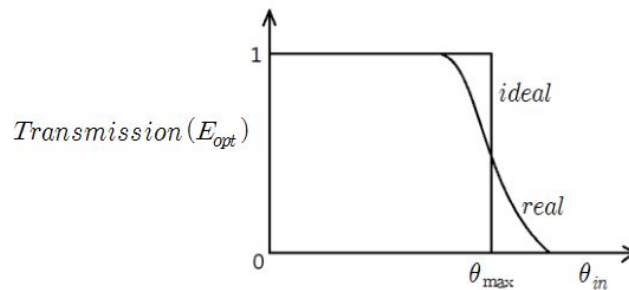


그림 17. Transmission-Angle Curve for a ideal and real CPC

제 3 장. CPC 태양광 추적형 채광기 설계 및 분석

1. 태양의 위치 계산

태양 추적시스템이 프로그램식으로 동작되는 시스템이라면, 시스템의 구동을 위한 입력신호로서 정확한 태양의 위치가 필요하기 때문에 먼저, 태양과 지구사이에서 정의되는 태양의 적위각, 시간각에 대해 알아 본 후 태양광 채광기가 설치되어 있는 지점에서의 방위각, 고도각, 천정각을 정의한다.

1.1. 태양의 적위각, 시간각 계산

지구 적도를 포함하고, 지구의 자전축에 수직인 평면을 적도면이라고 하며 이 적도면과 지구중심에서 태양의 중심을 연결하는 직선이 이루는 각을 적위각(δ)이라고 한다. 그림 18.에서와 같이 하지의 23.5° 로부터 동지의 -23.5° 의 값에 이르기까지 연중 $\pm 25^\circ$ 이내에서 변화하는 각이며, 춘분과 추분 때의 적위각은 각각 0° 이다.

적위각(δ)은 태양광선이 지구 표면에 도달되는 각을 정의하는데 사용되는 값으로서, 아래 식에 의하여 얻어 질 수 있다.

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 81) \right]$$

위의 식에서 값의 단위는 각도($^\circ$ degree)이며, N은 연중일로서 1월 1일부터 가산하여 몇 번째 날인가를 의미한다.

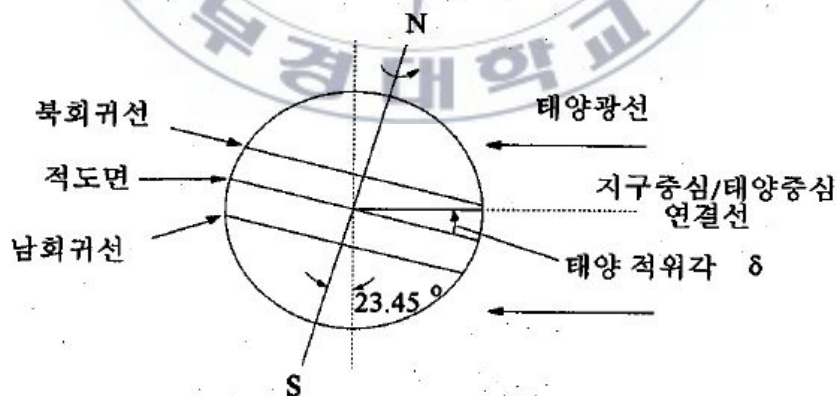


그림 18. 태양의 적위각

시간각 ω 는 그림19. 와 같이 집광기의 설치점 또는 관측점 Q를 지나
는 자오면과 태양광선에 평행한 자오면과의 이루는 각으로 정의되며,
태양이 정남에 있을 때를 0° , 정동에 있을 때를 -90° , 정서에 있을 때
를 90° 로 나타내고, 다음과 같은 관계식에 의하여 얻어지는 값이다.



그림 19. 태양 시간각

1.2. 태양의 방위각, 고도각, 천정각 계산

집광기가 설치되어 있는 위치 또는 태양의 위치를 관측하는 관측점을 기준으로 한 태양의 위치는 태양의 방위각(Azimuth), 고도각(Altitude) 또는 천정각(Zenith Angle)으로 표시되며, 이는 관측점에 설정되어 있는 구면 좌표계에서 그림 20.과 같이 정의된다.

태양의 고도각 α 는 관측점에서 지표면에 평행한 평면과 관측점과 태양의 중심을 연결하는 선과의 각도를 나타내며, 아래 식에 의해 구할 수 있다.

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin\delta\sin\phi + \cos\delta\cos\omega\cos\phi)$$

위의 식에서 δ 는 태양의 적위각, ϕ 는 관측점의 위도, ω 는 관측점의 시간각 (1시간은 15° , 24시간은 360°)을 나타낸다.

태양의 방위각은 그림 20. 과 같이 관측점의 정북으로부터, 관측점과 태양을 연결한 직선과 지표면과 평행한 평면에 투영시켰을 때 얻는 직선을 시계방향(동쪽)으로 측정한 각도를 나타낸다.

태양의 방위각은 아래 식에 의해 구한다.

$$A = \sin^{-1} \frac{-\cos\delta\sin\omega}{\cos\alpha}, \quad \text{if } \cos\omega \geq \left(\frac{\tan\delta}{\tan\phi}\right), \quad A = 180^\circ - A$$

태양의 천정각은 아래 식에 의해 구한다.

$$Z = 90 - \alpha$$

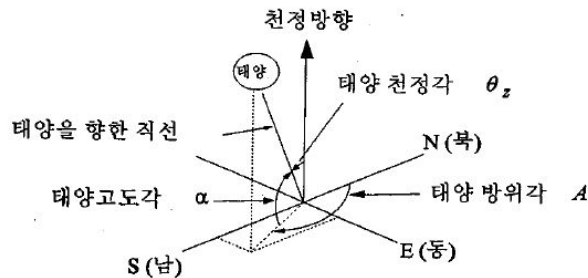


그림 20. 태양 고도각, 방위각, 천정각

위의 식들을 적용하여 부산지역의 연간 365일에 대하여 오전 8시에서 오후 5시 사이의 7시간 동안 사이에 1시간 간격으로 태양의 위치를 계산하였다. 표 2.은 년 중 대표일인 춘추분(춘분기준 3월 21일), 하지(6월 22일), 동지(12월 22일)에서의 태양위치를 나타낸 것이다.

날 짜	N	시간	적위	시간각	고도각	방위각
춘추분 (기준 03월 21일)	80	8	17.28	-60	18.12	102.58
	80	9	18.27	-45	29.52	113.20
	80	10	19.26	-30	40.32	126.18
	80	11	20.26	-15	49.16	143.38
	80	12	21.25	0	54.30	166.33
	80	13	22.24	15	54.37	192.35
	80	14	23.23	30	49.33	215.43
	80	15	24.23	45	40.56	233.15
	80	16	25.22	60	30.19	246.22
하 지 (06월 22일)	80	17	26.21	75	18.42	256.49
	173	8	23.25	-60	31.53	82.14
	173	9	23.25	-45	44.07	90.15
	173	10	23.25	-30	56.20	100.16
	173	11	23.25	-15	68.00	116.15
동 지 (12월 22일)	173	12	23.25	0	77.02	152.31
	173	13	23.25	15	68.00	116.15

	173	13	23.25	15	76.10	214.42
	173	14	23.25	30	66.28	246.36
	173	15	23.25	45	54.50	261.18
	173	16	23.25	60	42.26	270.54
	173	17	23.25	75	30.13	278.47
동지 (12월 22일)	356	8	-20.19	-60	8.51	122.37
	356	9	-20.19	-45	18.33	133.07
	356	10	-20.20	-30	26.32	124.40
	356	11	-20.20	-15	32.06	160.30
	356	12	-20.21	0	34.29	177.05
	356	13	-20.21	15	33.17	193.59
	356	14	-20.22	30	28.43	209.30
	356	15	-20.22	45	21.27	222.49
	356	16	-20.23	60	12.15	233.56
	356	17	-20.23	75	1.46	243.23

표 2. 부산지역에서의 태양의 위치
(부산시 남구 대연3동 부경대학교 - 북위 35.13° 기준)

2. 태양광 손실을 최소화하는 채광기의 설치조건

동일한 size의 태양전지로 높은 출력을 얻기 위해서는 태양전지의 표면을 가능한 한 최장의 일조 시간에 노출될 수 있도록 하여야 한다. 일사량은 설치장소의 위도와 계절에 따른 태양궤적변화 그리고 지역날씨에 의해 커다란 편차를 보이므로 그 지역의 특성에 상응한 설치조건을 적용시켜야 한다.

2.1. 측정 위치의 위도와 경도

위도와 경도는 지표상의 특정 지점의 위치나 장소를 나타내기 위해

사용되는 좌표체계로써 위도는 지구의나 지도에서 적도를 기준으로 한 남쪽과 북쪽의 위치를, 경도는 영국 그리니치를 본초자오선으로 하여 그 서쪽과 동쪽의 위치를 나타내는 것으로 위도와 경도를 이용하여 태양의 고도 값을 구할 수 있다.

본 논문에서는 연구가 진행 된 부산광역시 남구 대연 3동의 부경대학교를 측정 위치로 결정 하였으며, 해당 위치의 위도는 북위 35도 13분 38초로, 경도는 동경 129도 10분 37초로 나타낼 수 있다.

2.2. 방향성 및 설치 경사각도

지구 북반구에서의 태양은 정남향에 위치하는 정오에 태양 복사 에너지가 가장 강하기 때문에 채광기의 방향을 정남향으로 둘 경우 태양광을 많이 유입해 효율이 높게 나올 수 있으므로 태양 전지의 방향은 남향으로 하여야 하는 것은 자명한 일이다.

지축이 약 23.5도 기울어져 자전과 공전을 하는 지구의 특성상 태양의 고도가 매일 달라져 태양전지 수평면에 조사되는 입사각도가 변한다. 앞에 나왔던 태양의 위치 계산에서 태양의 고도각 계산을 참고로 하여 본 연구의 기준 위치로 정한 부산시 남구 대연3동 부경대학교의 경우, 위도 35.13° 기준으로 태양광의 입사각도는 하지 정오에 약 78.26도, 동지 정오에 약 31.41도, 춘추분 정오에 약 5도 범위에서 연간 태양의 고도가 변하게 된다.

태양 전지에 태양광이 가능한 직각으로 입사하도록 하여야 태양광선의 밀도가 커져 최대의 에너지량과 동시에 최대의 효율을 얻을 수 있으며, 이 최적각도는 90도에서 계절에 따른 태양의 고도값을 뺀 값으로 천정각과 같은 값을 가진다. 즉, North-South축으로 천정각도만

큼 기울기를 주면 됨을 의미한다.

고정식 발전설비는 특정지역에서의 최적설치각도와 방향파악을 위하여 해당지역에서 측정된 다년간의 일사량자료의 분석이 선행되어야 하나 태양광 추적형 채광장치는 이러한 태양고도의 변화에 영향을 받지 않는다.

3. 태양전지 cell의 size와 효율

태양전지 Cell은 실리콘결정제조법으로 생산된 응괴(ingot)를 웨이퍼의 형태로 자른 뒤 반도체제작 기법을 사용하여 전지로 만든 것으로서 0.6V, 3A 정도의 특성을 갖는 단일 전지이다.

시간이 흐름에 따라 태양전지의 크기가 점차적으로 커지고 있다.

초기의 태양전지 크기는 2인치에서 4인치 사이즈를 많이 사용했으며 1990년도에서 2000년도 초기에는 일반적으로 5인치 사이즈의 전지를, 2008년 이후로는 대부분 6인치 사이즈의 태양전지를 사용해오고 있다.

상용화된 태양전지는 결정질 실리콘태양전지와 Thin Film 태양전지 두 종류이며 결정질 실리콘태양전지가 시장의 90%를 점유하고 있다. 접합을 이용하는 결정질 실리콘태양전지는 재료에 따라 크게 단결정과 다결정으로 나뉜다. 단결정은 순도가 높고 결정결함밀도가 낮은 고품위의 재료로서 높은 효율을 달성할 수 있으나 고가이며, 다결정 재료는 상대적으로 낮은 품질의 재료를 사용하고 저가의 공정을 이용할 수 있어 생산비를 낮출 수 있는 반면 단결정에 비해 효율이 낮은 것이 결점이다.

단결정 태양전지의 광 변환효율은 실험실에서 24% 정도, 상용화할 때 16% 정도의 효율을 보이며, 다결정 태양전지는 실험실에서 약 19.8%, 상용화될 때 약 13%내외의 변환효율을 보이고 있다.

결정질 실리콘 태양전지의 광 변환효율 한계치는 단결정의 경우 35%, 다결정의 경우 약 19% 정도로 예측하고 있다.

새로이 개발되어 적용되고 있는 Thin Film 태양전지는 1 ~ 10 μ m 두께의 반도체 박막으로 결정질 전지보다 훨씬 적은 반도체를 사용하고 넓은 면적으로 생산할 수 있다는 장점이 있으나 상업 효율이 5~10%로 낮다.

위의 이론을 바탕으로, 본 연구에서는 시중에 많이 사용되는 6인치 (156mm×156mm) 사이즈의 태양전지에, 단결정 실리콘 태양전지의 실험실 최대 효율인 25%로 시뮬레이션을 진행하였다.

4. Solar Tracking을 이용한 채광기 분석

Light tools의 Solar Tracking Utility을 이용하여 춘·추분, 하지, 동지에 따른 태양의 위치 변화에 맞추어 채광기를 1축 또는 2축 추적시킨 후, 유입되는 광량을 확인할 뿐 아니라 설계한 채광기의 효율 및 성능을 분석해 볼 수 있다.

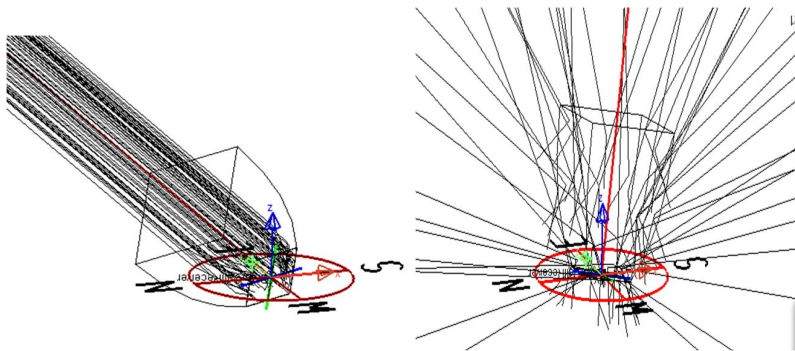


그림 21. Solar Tracking

4.1. 구동축에 따른 Solar Tracking

채광기의 태양전지면과 태양광선의 각도가 90° 가 될 때 태양 에너지가 가장 많이 입사할 수 있다. 2축 추적의 경우 두 개의 회전축을 가지므로 태양의 고도각과 시간각 각각에 대해 추적이 가능하므로 보다 정확한 태양 추적이 가능하며, 1축 추적의 경우 한 개의 회전축을 가지므로 고도각 또는 시간각 둘 중 하나만을 추적할 수 있다.

태양전지면의 기울기 각도(Tilt 각)가 해당 위치의 위도와 같을 때 연중 최대 출력을 얻을 수 있으므로, 1축 추적에서 채광기를 위도의 경사각으로 고정한다면 회전축은 지구의 자전축과 평행하도록 설계되어 태양의 시간 축만을 추적하더라도 집광 효율을 높일 수 있다.

4.1.1. 1-axis solar tracking

1축 추적은 추적방향에 따라 2가지로 분류된다.

N-S(North-South) 방향은 동서를 기준으로 한 회전축을 가지며 남북방향을 추적하며, E-W(East-West) 방향은 남북을 기준으로 한 회전축을 가지며 동서방향을 추적한다. 태양의 경우 동쪽에서 서쪽으로 이동하기 때문에 동서 방향을 추적할 때 더 많은 태양광을 받을 수 있어서 1축 추적에서는 E-W 방향을 가장 많이 사용한다.

본 논문에서도 E-W 방향을 1축 추적 방향으로 결정하였으며, 채광기를 통해 들어온 광 유입량을 비교하기 위해 최적 경사각도와 같은 천정각을 포함하여 4개의 각도에 해당되는 North-South 기울기 각도(N-S Tilt 값)를 정한 다음 시뮬레이션을 진행하였다. 이러한 최적 경사각도(Tilt 값)는 90°에서 고도각을 뺀 값으로 천정각과 같다.

태양의 계절별 천정각과 해당 지역의 위도에 기초하여 설치지역의 각 천정각을 최적 경사각으로 1축 추적형 채광기의 tilt 값을 결정한다.

	춘·추분(3,9월)	하지(6월)	동지(12월)
방위각	0.33	-4.95	-2.09
천정각	34.76	11.74	58.59
일출시간	6.5	5.24	7.55
일몰시간	18.53	19.61	17.19
기준시간	12.5		

표 3. 계절별 방위각, 천정각, 일출·일몰시간 (기준지역 : 부경대학교)

천정각이 최적각과 같으므로, 1축 추적에서 Tilt 값을 쉽게 구할 수 있다.

춘·추분, 하지, 동지에 태양 전지를 각각 약 35도, 12도, 59도만큼 Tilt 시켰을 때 최대의 효율을 얻을 수 있으며, solar tracking utility를 통해 시뮬레이션 한 결과, 계절마다 3개의 데이터 결과 값을 비교할 수 있었다.

추적 전에, 집광 효율에 영향을 미치는 CPC의 허용반각과 CPC 높이를 변화시키는 잘라내기(Trim) 비율을 결정하였으며, 그 과정은 다음 장에서 확인이 가능하다.

허용반각 10° 와 Trim 60%를 적용한 것이 본 연구에서 기준으로 잡은 CPC로 시뮬레이션 한 결과 값이고, 거기에 추가로 허용반각 10° 에 Trim을 적용하지 않은 것과 그 때의 Overall length와 비슷한 값을 가지는 허용반각 50° 를 비교 하였다.

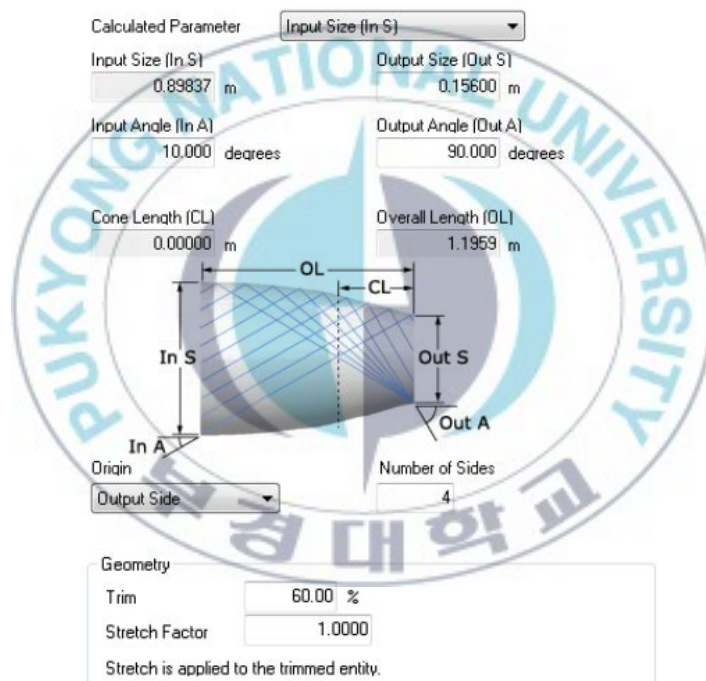


그림 22. Properties of CPC

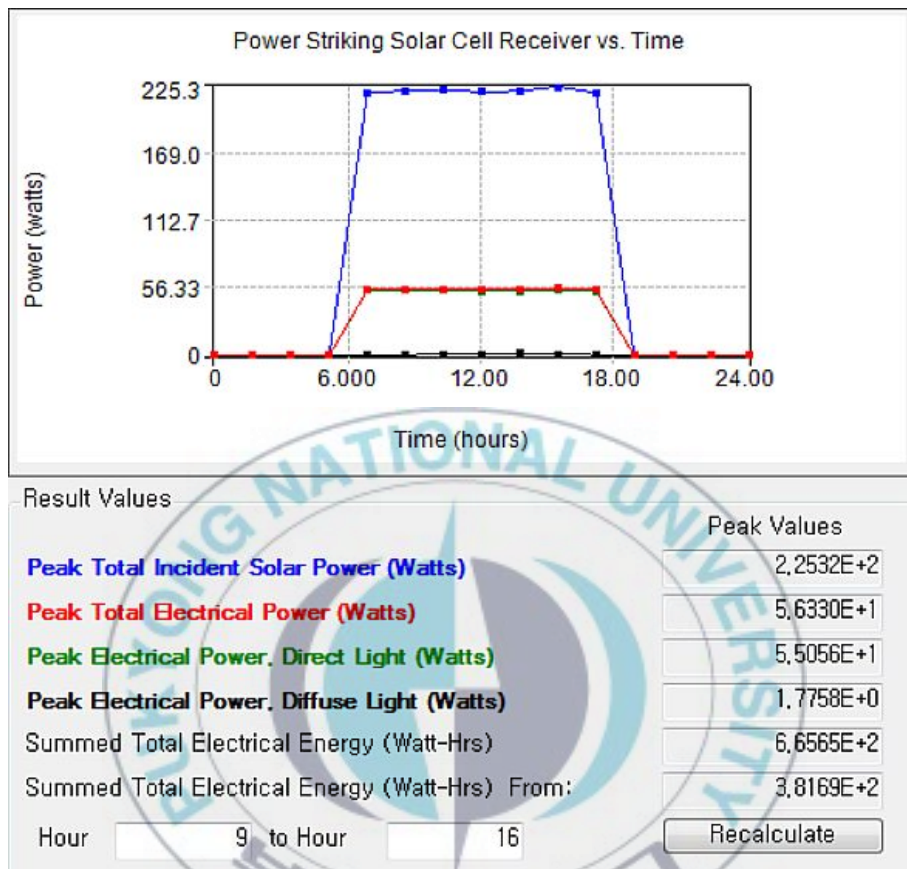


그림 23. 채광기 효율 (춘추분 / 1축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%)

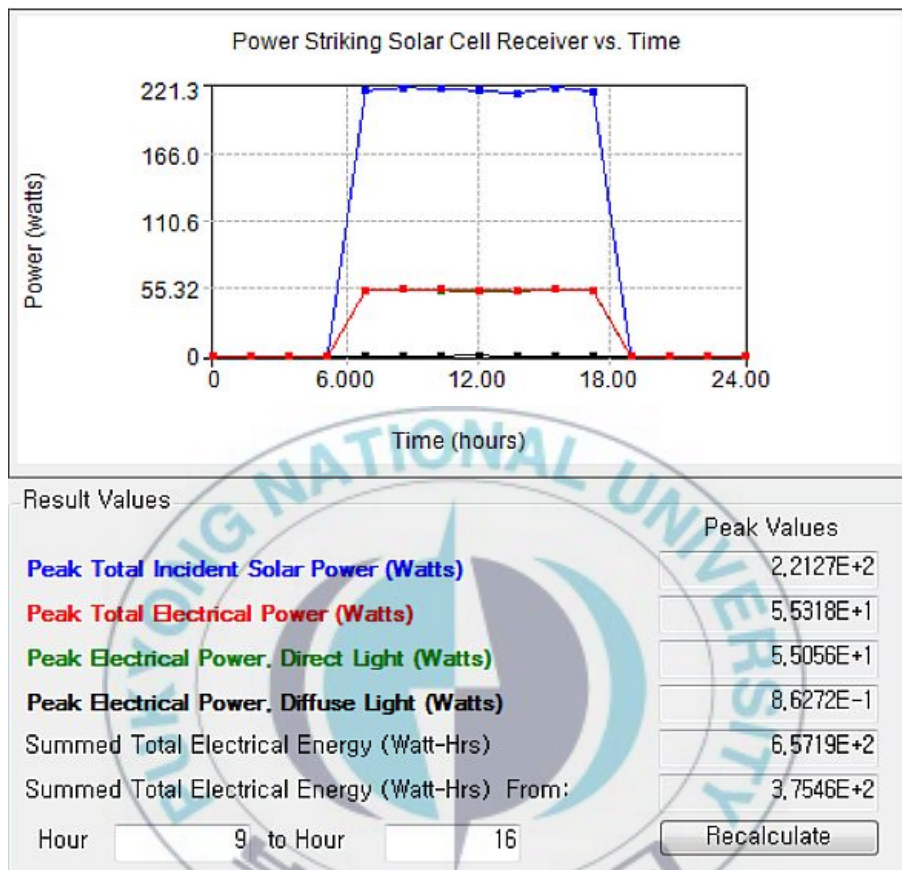


그림 24. 채광기 효율 (준추분 / 1축 추적 / Input Angle 10° / Trim 0%)

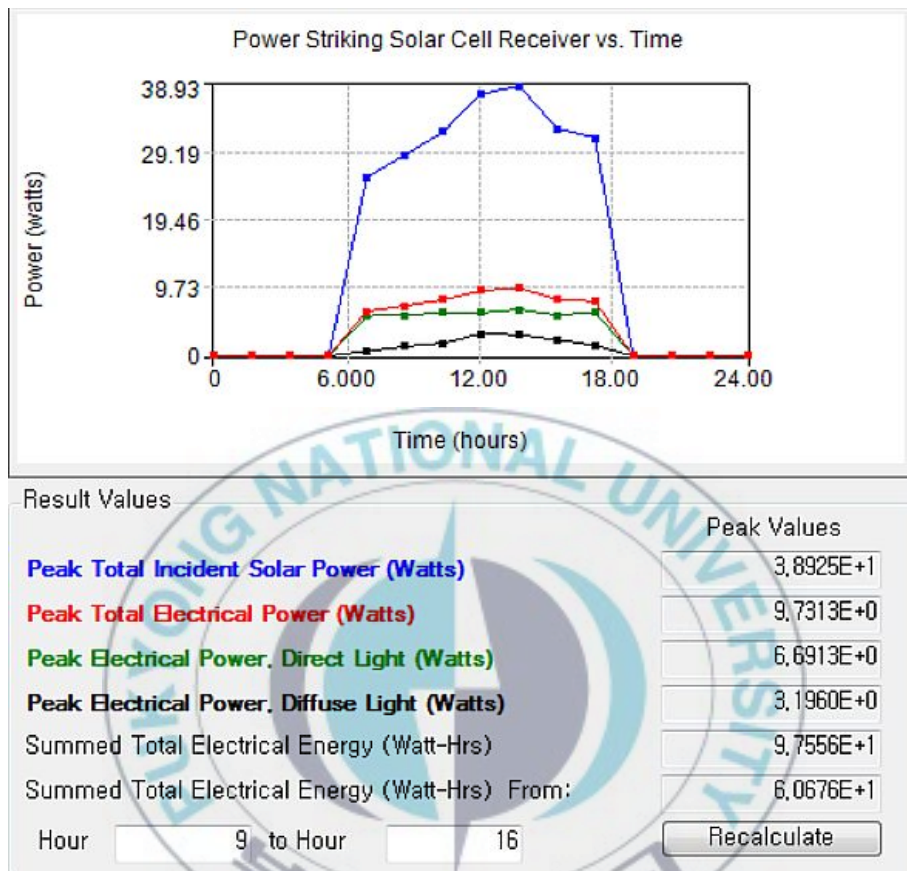


그림 25. 채광기 효율 (춘추분 / 1축추적 / Input Angle 50° / Trim 0%)

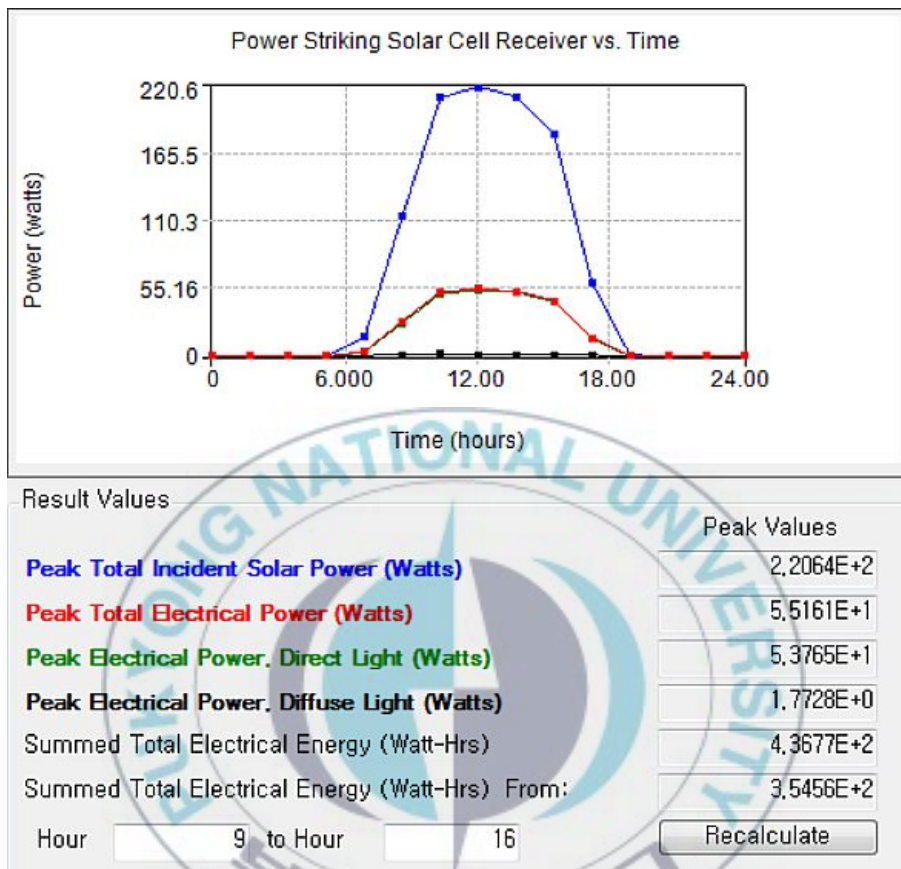


그림 26. 채광기 효율 (하지 / 1축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%)

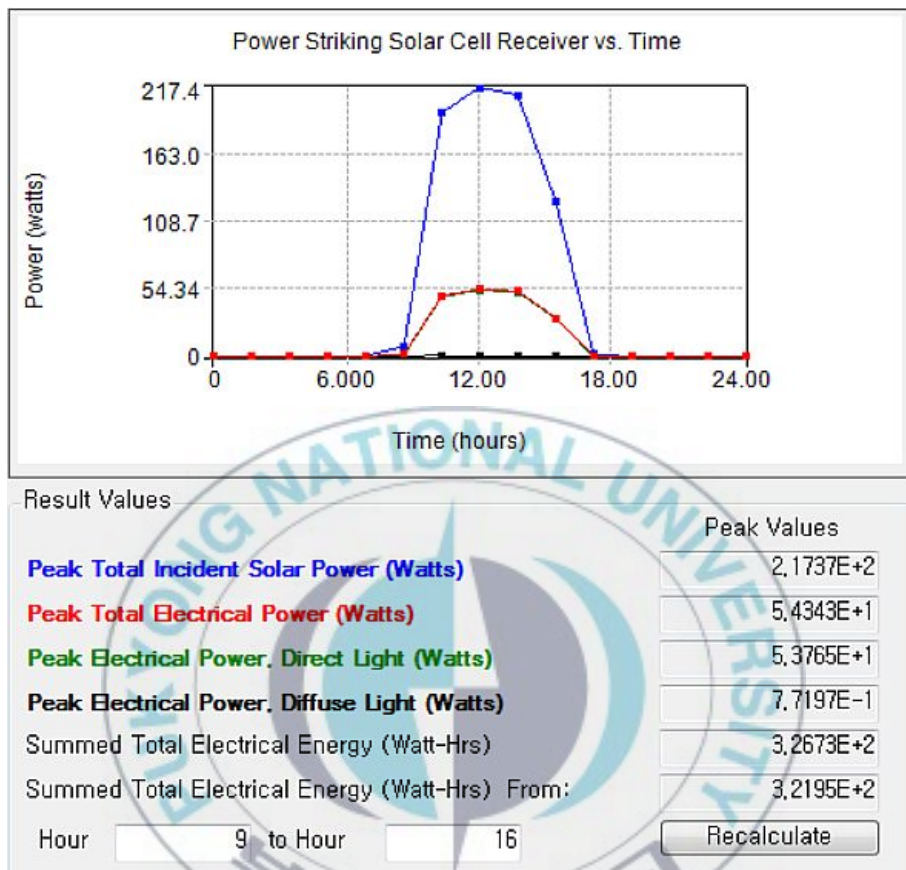


그림 27. 채광기 효율 (하지 / 1축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%)

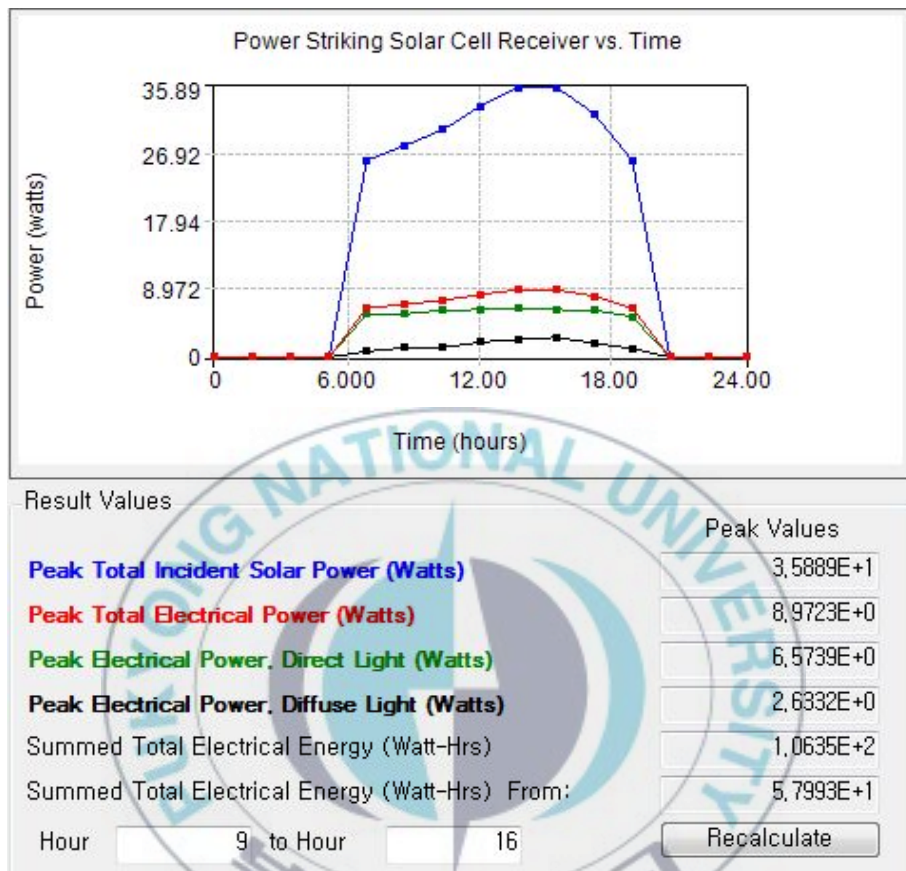


그림 28. 채광기 효율 (하지 / 1축 추적 / Input Angle 50° / Trim 0%)

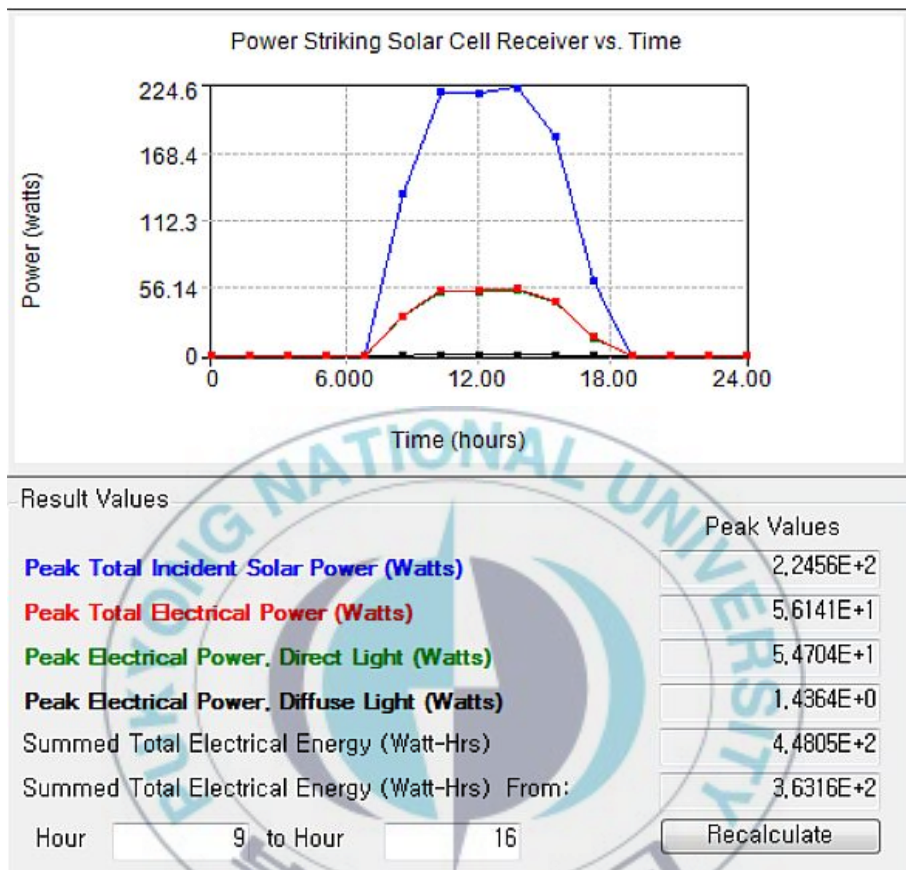


그림 29. 채광기 효율 (동지 / 1축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%)

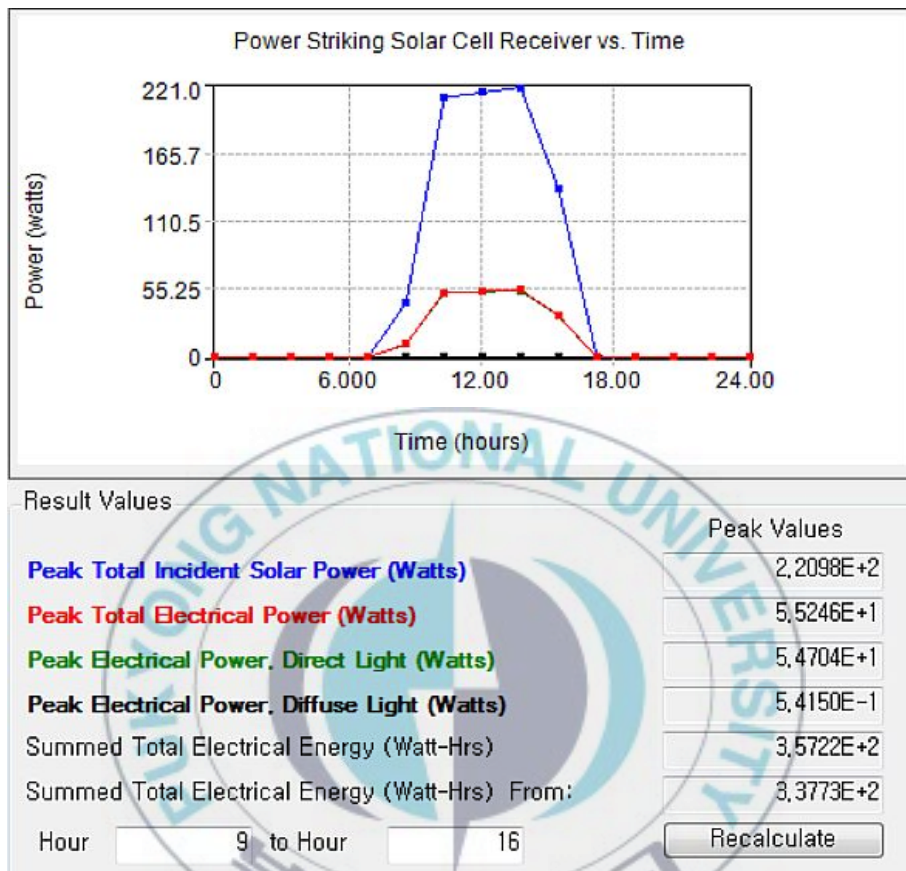


그림 30. 채광기 효율 (동지 / 1축 추적 / Input Angle 10° / Trim 0%)

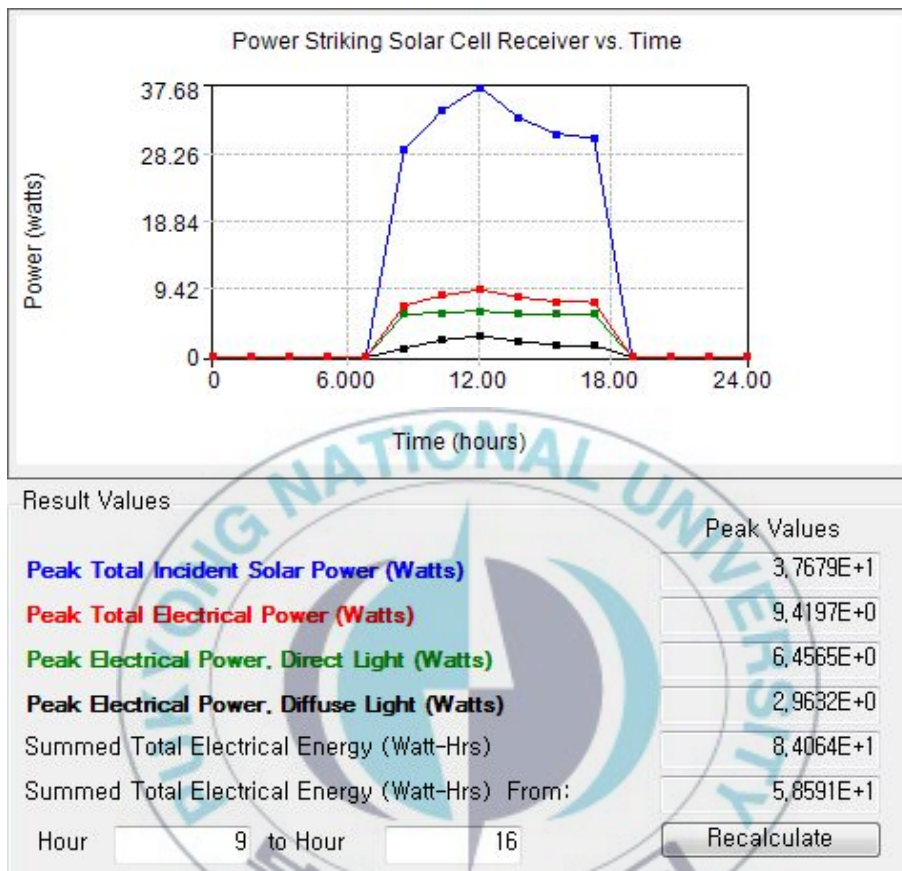


그림 31. 채광기 효율 (동지 / 1축 추적 / Input Angle 50° / Trim 60%)

그림 23~31은 Solar Tracking시, 설계된 채광장치에 부산지역 춘·추분, 하지, 동지의 일사량 Data를 적용한 결과 값이다. 그래프를 통해 동지의 경우는 춘·추분과 하지에 비해 적은 광량이 들어옴을 확인할 수 있다. 즉, 태양이 떠 있는 시간이 짧은 동지에서는 CPC 채광장치의 효율이 다소 떨어짐을 뜻한다.

그래프 형태와 데이터 값의 비교로 각각의 광량 분포도 차이를 더

욱 확연하게 볼 수 있다. 그림 24.와 25., 그림 27.과 28., 그림 30.과 31.의 비교로 비슷한 overall length를 가지더라도, 허용반각이 커질수록 도달하는 전체 광량이 굉장히 작아짐을 확인할 수 있었다. 또한 그림23.과 24., 그림26.과 27., 그림29.와 30.을 각각 비교 해보면 같은 허용반각을 가지는 CPC일 경우, Trim 한 것과 안 한 것의 차이가 크지 않다. 같은 허용반각를 가진다면 Trim 시켜서 불필요한 부분을 없애 버리는 게 훨씬 더 효율적이고 제조함에 있어서 경제적인 것이다.

4.1.2. 2-axis solar tracking

2축 추적의 경우 두 개의 회전축으로 태양의 고도각과 시간각 각각에 대해 추적이 가능하므로 별다른 변수 없이 그대로 시뮬레이션을 진행하였다. 그 결과는 그림 32.~34.에서 볼 수 있다.

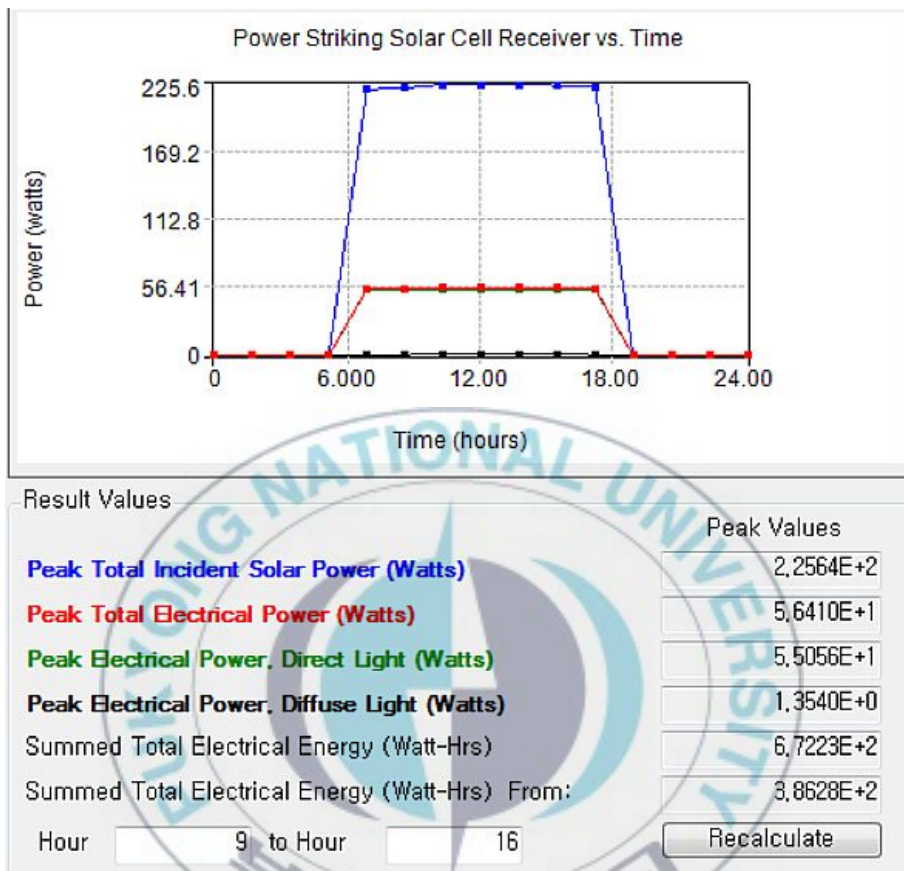


그림 32. 채광기 효율 (춘추분 / 2축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%)

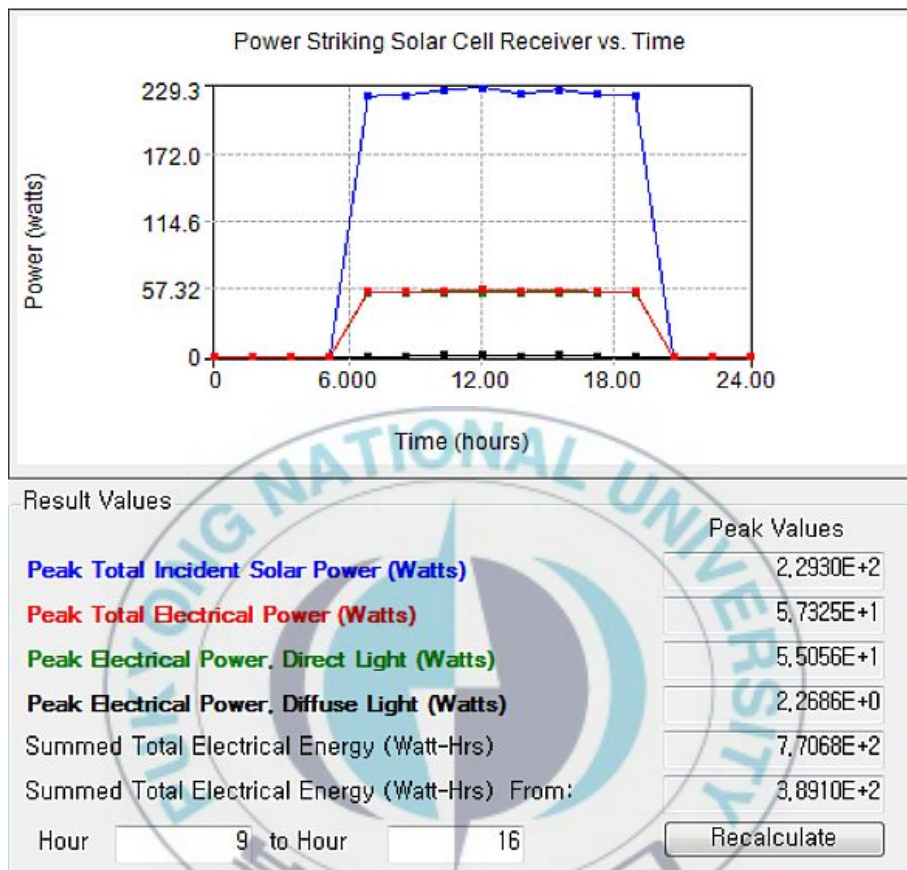


그림 33. 채광기 효율 (하지 / 2축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%)

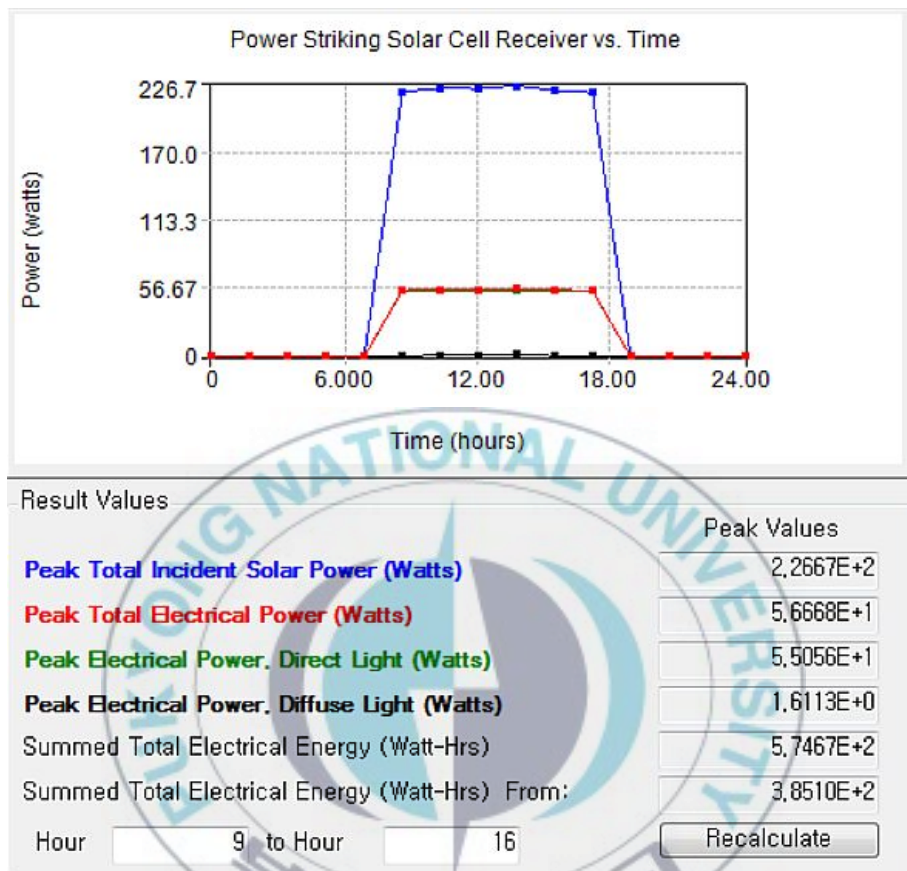


그림 34. 채광기 효율 (동지 / 2축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%)

그림 32.~34. 는 설계된 채광장치에 부산지역 춘·추분, 하지, 동지의 일사량 Data를 적용한 결과 값이다.

2축 추적의 경우 1축 추적보다 채광기의 Receiver면에 도달하는 광량이 조금 더 많고, 그래프 형태도 그림 36.의 일사량 분포도와 매우 유사하다. 결과 그래프로 동지의 경우 일조시간이 춘·추분과 하지에 비해 짧기 때문에 채광효율이 떨어짐을 알 수 있다. 춘·추분과 하지를 비교 하면, 채광기의 Receiver면에 도달하는 최대 에너지는 큰 차

이가 없지만, 채광기를 통해 입사한 전체 광량은 차이를 보인다. 이는 일출, 일몰 시간이 긴 하지 때의 채광효율이 더 뛰어나기 때문이다.

4.2. 부산지역 일사량 Data 산출기준

Solar Tracking을 통해 채광장치의 성능을 분석할 때에는 특정 지역의 일사량 Data가 필요하다. 이때, 일사량 Data에는 직달 일사량 (Direct insolation)과 산단 일사량(Diffuse insolation)의 값이 필요로 하며, 각각의 값들은 Meteornorm 프로그램을 이용하거나 txt파일로 직접 작성하여 적용한다. 직달 일사량과 산단 일사량 data 값을 txt 파일로 작성한 그림 34.와 해당 txt 파일을 적용했을 때의 일사광량 분포도로 표시한 그림 35.으로 확인할 수 있다.

```
# Sample Sunny Day Diffuse Insolation Data Set (Source: NREL, Elevation 339 m)
# Data format:
# # indicates a comment line
# Location (not used for calculations)
# Description (not used for calculations)
# Latitude (Decimal, + => N, - => S)
# Longitude (Decimal, + => E, - => W)
# Timezone (- => West of Greenwich, + => East of Greenwich)
# Year (Model is valid from 1950 through 2050)
# Month number
# Day
# Time1 Insolation Value1
# Time2 Insolation Value2
# ...
# TimeN Insolation ValueN
#
# insolation assumed to be in Watts/m^2 (typically, NREL charts are given in WattHours/m^2/Hour => Watts/m^2)
#
DFAT VERSION 1.0
Busan
Sunny Day
35.13
129.10
9
2012
3
21
DIRECT_DATA_BEGIN
1 0
2 0
3 0
4 0
5 0
```

```

6      610
7      610
8      610
9      610
10     610
11     610
12     610
13     610
14     610
15     610
16     610
17     610
18     610
19     610
20     610
21     0
22     0
23     0
24     0
DIRECT_DATA_END
DIFFUSE_DATA_BEGIN
1      0
2      0
3      0
4      0
5      0
6      390
7      390
8      390
9      390
10     390
11     390
12     390
13     390
14     390
15     390
16     390
17     390
18     390
19     390
20     390
21     0
22     0
23     0
24     0
DIFFUSE_DATA_END

```

그림 35. 직달 일사량과 산란 일사량의 input data

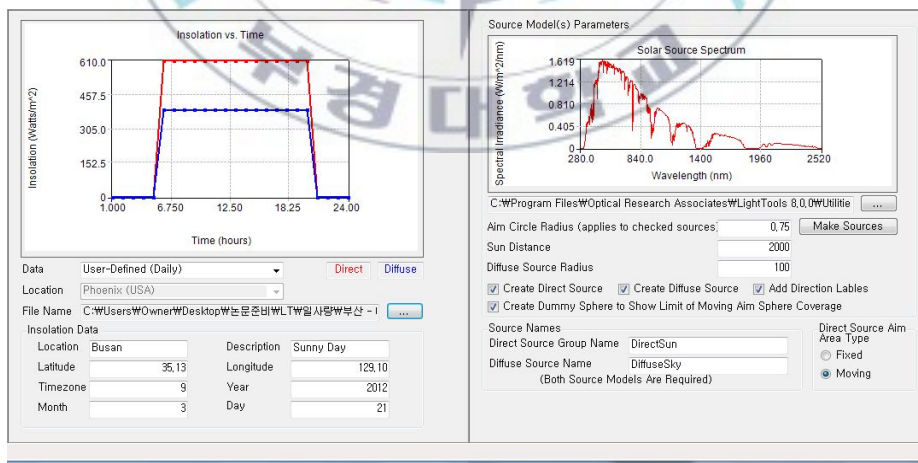


그림 36. 일사량 Data와 태양광 Spectrum

시간대별로 각각의 직달 일사량과 산단 일사량의 값을 txt 파일로 작성해야 하나 하루 내에서도 위치, 시간, 분, 날씨에 따라 변하는 일사량이기 때문에 어느 특정 시간대의 일사량을 정의하기에는 많은 변수가 따른다. 그래서 본 연구에서는 직달 일사량과 산단 일사량을 시간대에 상관없이 각각 "610"과 "390"으로 잡고, 총 일사량을 "1000"으로 정하였다. 그리하여 input 값이 "1000"으로 주어졌을 때, 채광기를 통과하여 Receiver에 도달하는 output 값을 Solar Tracking을 통하여 알아낸 다음, input 대비 output 값을 비교해 봄으로써 채광장치의 효율을 분석 할 수 있었다.

4.3. 태양광 추적형 채광기 효율평가

본 연구에서는 집광 효율에 영향을 미치는 CPC의 허용반각을 비교해 보기 위해 하지 / 2축 추적을 기준으로 허용반각 값을 변화시키면서 시물레이션을 진행해 보았으며, 그 결과는 표 4.와 같다.

Input Angle (°)	Input Size (m)	Overall Length (m)	Peak Total Electrical Power (Watt)	Summed Total Electrical Energy (Watt-hrs)
10	0.89837	2.90010	53.954	551.82
20	0.45611	0.81566	32.941	331.35
30	0.31200	0.39314	16.842	165.50
40	0.24269	0.23044	11.888	108.83
50	0.20364	0.14636	9.737	86.78
60	0.18013	0.09412	8.324	76.77

표 4. 허용반각(Input Angle)에 따른 Input Size와 Overall length
(2축 추적 / 동지 기준)

위의 결과를 바탕으로 가장 효율이 높을 때의 허용 반각인 10° 을 선택하였으나, 집광기의 Receiver size가 같다는 가정 하에 허용반각이 커질수록 CPC의 overall length와 출구면 size가 작아짐을 알 수 있었다. 이는 반대로, 허용반각이 작아지면 CPC의 overall length가 길어짐을 의미한다.

허용반각이 10° 일 때 CPC의 overall length는 2.9001(m)로 다른 각도와 비교해 보지 않아도 크기가 굉장히 크다는 것을 알 수 있다.

CPC의 길이는 짧을수록 효율면 뿐만 아니라 제조면에서도 경제적으로 훨씬 좋기 때문에, 같은 허용반각을 가지더라도 더 짧은 overall length를 가지는 것이 좋다. 그래서 본 연구에서는 허용반각 10° 인 CPC의 size를 10%씩 줄여나가 보았다.

Input Angle (°)	Trim (%)	Peak Total Electrical Power (Watt)	Summed Total Electrical Energy (Watt-hrs)
10	10	54.028	552.27
	20	54.074	552.64
	30	54.162	552.91
	40	54.466	554.59
	50	54.466	555.83
	60	54.551	557.21
	70	54.799	558.84
	80	48.155	487.94
	90	27.757	278.63

표 5. Trim 비율에 따른 결과 data 값 (2축 추적 / 동지 기준)

표 5.의 data 값을 비교해 본 결과, 크게 차이는 나지 않지만 Trim 60~70%일 때의 결과 data 값이 가장 높음을 알 수 있고 또한, 잘라내는 비율이 높다고 무조건 도달하는 광량이 많아지는 것은 아님을 알 수 있다. 시뮬레이션을 통해 적절한 Trim 비율(%)을 찾음으로써 채광기의 효율을 높일 수 있을 것이라 생각된다. 본 연구는 허용반각이 10° ,

Trim 60%로 설계된 CPC를 기준으로 얻은 결과를 분석하였다.

표 6.은 Solar Tracking을 통해 얻은 ‘계절에 따른 부산지역 광량분포의 결과 값’을 나타낸 것으로, 태양으로부터 나오는 Input ray를 250,000개로 시뮬레이션을 진행하였다. “Peak Total Electrical Power”란 Receiver로 들어오는 태양광의 최대 에너지로 input insolation 1,000에 따른 output 값을 뜻하며, “Summed Total Electrical Energy”라 함은 광량분포의 전체면적을 뜻하는 수치이다. 전력량의 단위는 Watt로 1시간에 얼마만큼의 전력을 공급하는지를 나타내고, 전력의 단위는 Watt-hrs로 1초간 1J의 일을 하는 일률을 의미한다. 이 외에도 시간대별 광량분포가 어떻게 변하는지 그래프를 통해 확인할 수 있다.

	춘추분	하지	동지
Peak Total Electrical Power (Watt)	56.410	57.325	56.668
Summed Total Electrical Energy (Watt-Hrs)	672.23	770.68	574.67

표 6. Input “610”에 따른 계절별 Output 결과 값 비교
(2축 추적 / Input Angle 10° / Trim 60%)

일사량 Input 값으로 “610”이 주어 졌을 때, 채광기를 통해 Receiver면으로 들어간 Output값을 계절에 따라 비교 해 보았다. 결과 data 값을 보면 하루 동안 Receiver 면에 들어온 전체 광량이 하지에서 가장 높고 춘추분, 동지 순으로 낮아짐을 볼 수 있다.

	1축 추적 (NS Tilt 59°)	2축 추적
Peak Total Electrical Power (Watt)	56.141	56.668
Summed Total Electrical Energy (Watt-Hrs)	448.05	574.67

표 7. 1축 추적과 2축 추적 비교
(동지 기준/ Input Angle 10° / Trim 60%)

1축 추적과 2축 추적을 비교 했을 때, 정오에 받게 되는 태양광 최대 에너지는 비슷하나 하루 동안 Receiver 면에 들어온 전체 광량을 나타내는 Summed Total Electrical Energy는 2축 추적이 1축 추적보다 훨씬 높은 값을 가짐을 확인할 수 있다.

제 4 장. 결론

본 연구는 에너지 위기 이후 에너지 소비량 감소를 위한 장치로서 뿐만이 아니라, 환경 친화적 실내 공간 조성을 위한 미래의 대체 에너지로 각광받는 태양광 에너지를 모아 건물 실내 또는 지하 공간의 조명을 위해 사용되는 자연 채광장치에 관한 것으로, 태양광 채광기에 추적 기능을 더한 태양광 추적형 채광기를 설계하였다.

추적을 하기 앞서 채광을 위한 모델의 구조를 분석하고, 이를 근거로 하여 일사량이 가장 많이 들어올 수 있도록 CPC 형태의 채광기를

설계하였고, 설계된 채광기에 효율 분석을 위해 태양전지 Receiver와 추적기능을 달아준 후 시뮬레이션을 진행하였다.

기준 CPC를 설계하기 위해 집광 효율과 size에 영향을 미치는 CPC의 허용반각을 비교해 보았다. 10° 에서 90° 까지 10° 씩 변화를 준 결과, 허용반각이 10° 도일 때 효율이 가장 높았으며 Receiver size가 같다는 가정 하에 허용반각이 작을수록 CPC의 overall length와 출구면 size가 급격하게 커짐을 알 수 있었다. CPC의 길이는 짧을수록 효율적으로, 제조회에 있어서도 경제적으로 훨씬 좋기 때문에, 같은 허용반각을 가지더라도 더 짧은 Overall length를 가지는 것이 좋다. 그래서 본 연구에서는 허용반각 10° 인 CPC의 size를 10%씩 줄여나간 결과, 크게 차이는 나지 않지만 보통 Trim 60~70%일 때의 결과 data 값이 가장 높음을 알 수 있었다. 또한 Trim 비율이 70%를 넘을 때는 효율이 줄어들음을 관찰 할 수 있었다. 이는 잘라내 버리는 비율이 높다고 무조건 도달하는 광량이 많아지는 것은 아님을 뜻 한다. 시뮬레이션을 통해 적절한 Trim %를 찾음으로써 채광기의 효율을 높일 수 있을 것이라 생각된다.

본 연구는 data값을 토대로, 기준 CPC를 허용반각이 10° , Trim 60%로 설계한 후 태양광 추적을 시뮬레이션 하였다.

2축 추적의 경우 두 개의 회전축으로 태양을 추적하기 때문에 보다 정확한 태양추적이 가능하나 1축 추적의 경우 한 개의 회전축으로 태양을 추적하기 때문에 태양전지면의 기울기 각도(Tilt 값)가 천정각과 같게 시간축만 추적해 최대의 태양광을 얻을 수 있게 한다. 이 때 각 계절에 따른 태양전지의 최적 각도는 90° 에서 태양의 고도각을 빼 값인 천정각도와 같게 하였으며, 최적 방향은 하루 중 태양의 고도가 가장 높을 때인 정오의 방향인 정남향 방향으로 두었다. 태양의 경우 동쪽에서 서쪽으로 이동하므로, 본 연구에서는 동서 방향을 추

적할 때 더 많은 태양광을 받을 수 있는 E-W 방향을 1축 추적 방향으로 두었다. 또한 춘추분, 하지, 동지 각각에 최적 각도인 약 35도, 12도, 59도만큼 태양전지를 Tilt 시킨 후 설계된 채광기에 적용하여 시뮬레이션을 해 보았고, Solar Tracking Utility를 통해 부산지역 일사량 Data를 적용하여 그 효율을 분석할 수 있었다. 이때, 직달 일사량 610, 산단 일사량 390으로 총 일사량 1000을 input 값을 주고, input에 대한 output값을 비교해 봄으로써 채광장치의 효율을 분석할 수 있었다.

경도 위도에 따른 태양위치 계산식을 적용하여 방위각과 고도각(천정각)을 구한 다음 태양을 추적 하였을 때, 1축 추적과 2축 추적이 각각 정오에 받게 되는 태양광의 최대 에너지(Peak Total Incident Solar Power)은 비슷하나 하루 동안 Receiver 면에 들어온 전체 광량(Summed Total Electrical Energy)의 경우에 2축 추적이 1축 추적보다 약 30% 높은 발전 효율을 가진다는 것을 연구를 통해 관찰할 수 있었다. 이는 2축 추적이 1축 추적보다 정확한 태양 추적이 가능하기 때문이다.(동지 기준)

	1축 추적 (NS Tilt 59°)	2축 추적
Peak Total Electrical Power (Watt)	56.141	56.668
Summed Total Electrical Energy (Watt-Hrs)	448.05	574.67

표 7. 1축 추적과 2축 추적 비교
(동지 기준/ Input Angle 10° / Trim 60%)

<참고문헌>

1. C. Julio. 2008, "Introduction to Nonimaging Optics", Boca Raton, CPC Press.
2. W. T. Welford, R. Winston. 1989, "High Collection Nonimaging Optics", United Kingdom, Academic Press, Inc.
3. Light tools Solar Tracking Utility User's Guide
4. 박영칠, 1999, "집광형 태양열 집열기의 태양추적시스템". 공기조화 냉동공학회
5. 박영칠. 강용혁, 1998, "집광식 태양열 집열기의 태양추적장치를 위한 태양위치계산", 태양에너지, Vol. 18, No. 4, pp. 87~94
6. 윤지영, 2011, "프리즘 태양광 채광장치의 설계 및 성능분석 연구", 부경대학교
7. 전홍석 외, 1996, "중고온 집광 시스템 개발 및 응용", 한국에너지기술연구소 제 3차년도 보고서, KIER-966403/1
8. 천문우주지식정보, 일출일몰시각계산

<감사의 글>

이번 논문이 저에게는 대학원 2년의 마무리이자, 주변의 많은 사람들에게 고마움을 느낄 수 있는 계기가 되었습니다.

항상 무조건적인 사랑으로 제가 하고자 하는 일에 무한지원을 해 주신, 제 힘의 원천인 사랑하는 우리 가족, 학부 2학년 때부터 많은 관심을 주시고 여러 가지 지식을 가르쳐 주신, 저에게 큰 기둥이자 본받고 싶은 김종태 교수님, 학사와 석사기간 동안 제 옆에서 힘주시고 잘 챙겨주신 모든 분들께 감사드립니다.

대학원 기간 동안 많은 것을 배울 수 있었지만 한편으로는 조금 더 열심히 했으면 좋았을 텐데 하는 마음도 큼니다. 이 2년이라는 시간 동안 느낄 수 있었던 지식 뿐 아니라 경험을 바탕으로 저의 약점을 보완하며 더욱 더 발전할 수 있는 사람이 되겠습니다.

