

소형 태양 반사경 Cluster를 이용한 태양열 발전에 대한 타당성 연구

오승진*, 현준호, 천원기

A Feasibility Study of using Mini-dish Systems for Solar Power Generation

Seungjin Oh, Joonho Hyun, Wongee Chun, Hyunjoo Han, Jeong-Tai Kim

Abstract This paper introduces a preliminary work for the design of a mini-dish cluster system for power generation. Each mini-dish (typically has a 20 to 30 cm in diameter) is designed with a simple parabolic profile concentrating sun light (after the glass glazing cover to avoid dust deposition on the reflector and facilitate cleaning) onto a centrally located small plane(or concave) mirror which is placed on the bottom side of a transparent glass cover. The mirror with a mini-dish concentrator is designed to focus beam radiation onto a focal point before it enters a bundle of optical fibers connected to a remote receiver for power generation. Different options are considered in designing a mini-dish concentrator to maximize its effectiveness for the collection and use of solar energy.

Key words Solar mini-dish system(소형 태양 반사경 시스템), Parabolic dish(포물 반사경), Homogenizer, Optical fiber cable(광섬유 케이블)

* 제주대학교

■E-mail : osj2558@cheju.ac.kr ■Tel : (064) 754-3646 ■Fax : (064) 757-9276

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 전 세계적으로 산업의 발달이 지구 온난화 현상과 환경 오염을 야기 시키고 있는 실정이며 또한, 기후변화 정책에 따른 온실가스 배출억제, 화석에너지 사용제한 에너지/탄소세의 도입, 에너지 효율 기준 강화 등에 대한 국제적 압력이 경제성장의 제약요인으로 등장하고 있으나, 에너지 다소비형 산업구조로 형성되어 있는 우리나라의 경우 이산화탄소 등 온실 가스

배출량은 지속적으로 증가 될 수밖에 없어 우리 경제에 엄청난 영향을 초래 할 것으로 보고 있다.

이런 현시점에서 화석연료를 대체하고 온실가스저감을 위하여 청정하고 지속가능한 에너지이며 환경 친화적인 대체 에너지의 개발이 크게 주목을 받고 있는 상황이다.

태양에너지를 이용한 에너지 시스템들은 기존의 연료를 대체할 다양한 신재생 에너지들과 함께 매우 경쟁력이 있는 분야 중의 하나로 평가 받고 있으며, 태양열 집광장치는 선진국에서 태양열 발전 및 산업공정열 등에 널리 보급되고 사용되어 지고 있는 실정이다.

이런 태양열발전 시스템에서의 중요한 요소로서 집광장치를

들 수 있는데, 효율적인 집광기를 설계하는 것이 전체적인 발전시스템의 효율을 높일 수 있다.

태양열 발전을 위해서는 태양 복사 에너지를 고밀도로 집적하는 집광장치와 이를 통해서 발생된 열원을 획득하기 위한 흡수장치, 그리고 흡수된 열에너지를 이용하여 발전을 행하는 발전장치가 필요하며, 또한 시간과 기후조건에 의한 태양에너지 공급의 불균일성을 극복하고 발전 가동성을 높이기 위해 별도의 열에너지 저장장치를 함께 사용하거나 화석연료와 함께 발전을 병행하는 복합시스템을 구성하기도 한다.

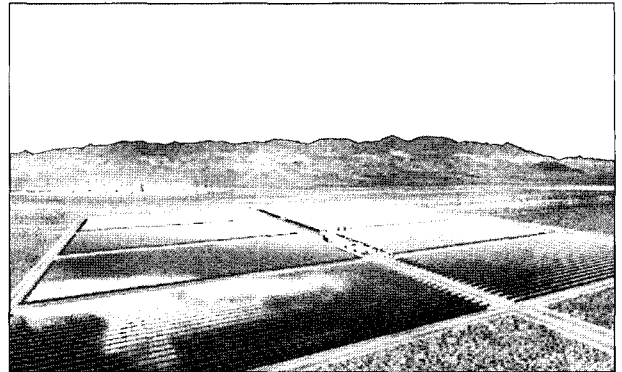
태양열 발전 기술에서 열에너지 공급 이후에 이루어지는 공정은 기존의 화석연료를 이용하는 발전과 동일하다고 할 수 있으므로, 어떻게 태양에너지로부터 고온의 열원을 얻을 것인가 하는 문제가 태양열 발전의 핵심요소라 할 수 있다. 복사 에너지를 열에너지로 전환시키기 이전에 광학적인 방법으로 빛에너지의 밀도를 높여주어야 하는데, 이러한 집광의 정도를 높이기 위해 고효율적인 집광장치의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 기존의 태양열 집광장치의 문제점을 보완하면서도 효율을 증대시키며 가볍고, compact한 장치를 고안, 설계하는데 중점을 두고 있다. 따라서 초점지역에서의 높은 flux를 위한 parabolic dish 설계와 집열부의 효율을 높일 수 있는 homogenizer의 설계 및 집광장치의 효율 및 내구성 향상을 위한 cover를 설계하고, 서로 다른 형태의 반사경을 사용하였을 때의 flux를 비교해봄으로써 소형 태양 반사경 시스템의 성능을 향상시키고자 한다.

1.2 태양열 발전 시스템 분류 및 특징

태양열발전시스템은 집광방식에 따라 구유형, 타워형, 접시형으로 분류가 된다.

그림 1은 구유형 집광장치를 보여주는데, 태양의 고도만을 추적하는 포물면 반사경을 이용하여 집광하게 되는데, 이 장치의 획득 가능한 온도는 약 300~500°C 정도이고 현재까지는 비교적 낮은 비용으로 발전 설비를 구축 할 수 있다는 이점으로 인해 수백 MW급 대규모 발전설비에 널리 사용되는 발전 방식이다. 그러나 획득온도의 한계, 높은 열손실, 오일 등 사용되는 열전달 매체의 제한, 스팀터빈에 기초한 발전의 한계 등에 기인한 10%대 초반의 낮은 효율(태양복사에너지 대비 생산전력)을 극복해야 숙제를 갖고 있다.



(그림 1) 100MW 급 구유형 태양열발전설비

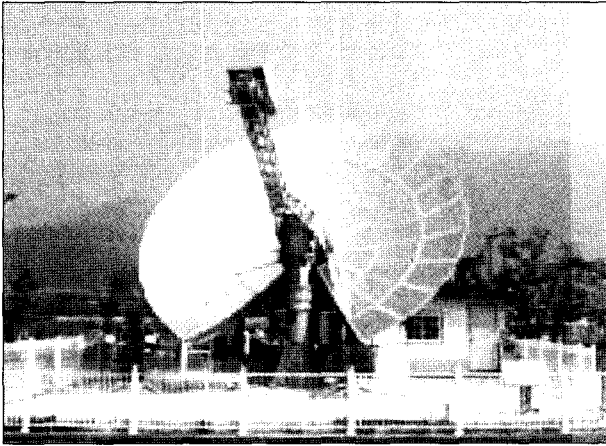


(그림 2) 100MW 급 타워형 태양열발전설비

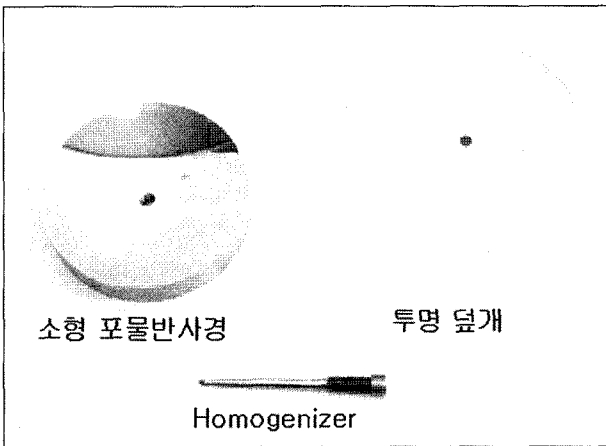
그림 2는 타워형 태양열 발전을 보여주고 있다. 이 발전 설비는 헬리오스테트라고 불리는 수백, 수천 개의 평판형 거울을 사용하여 집광을 행하게 되며 각각의 거울은 중앙부에 위치한 타워의 상단으로 태양빛을 반사시켜 집광을 행하게 된다.

타워형의 집광비는 반사경의 수의 비례하여 증가하므로 온도가 높아질수록 발전 사이클의 효율 또한 증가한다. 따라서 구유형 발전보다 집광비가 우수하며 열손실이 적다는 이점이 있고, 대규모발전 시스템에 이용된다. 이러한 이점들은 타워형 태양열발전설비의 경제성 획득에 유리함을 제공하는 주요 인자가 될 수 있다. 그러나 수백, 수천의 반사경이 모두 개별적으로 태양을 추적해야하기 때문에 이를 위한 추가 비용, 유지 보수문제, 그리고 고온의 열원을 흡수하고 전달하기 위한 장치의 개발 및 열매체의 선정문제 등 문제점 또한 갖고 있다.

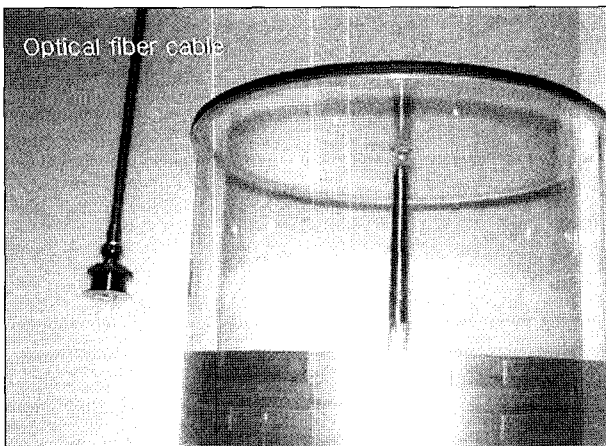
그림 3은 접시형 집광방식으로서 보다 작은 면적에서 고 배율의 집광이 가능하도록 고안된 집광 방식으로 포물면을 가지는 접시 모양의 태양추적 반사경을 이용하여 태양빛을 한 곳으



(그림3) 10kW 급 접시형 태양열발전설비



(그림 4) 소형태양 반사경 시스템의 주요 부품



(그림 5) 소형 태양 반사경 시스템(시제작품)

표. 1 기존의 태양열 발전설비의 문제점

기존의 태양열 발전설비의 문제점	
1	대규모 발전에 이용(접시형 제외)
2	발전 설비 설치시 장소의 제한
3	높은 초기 설치비
4	10~30%대의 낮은 효율
5	추가적인 위험요소

로 모아 고온 획득이 가능토록 하는 방식이다. 접시형 태양열 발전 시스템은 일반적으로 태양을 추적하는 접시형 반사경으로 이루어진 집광기에 외연기관인 스테링 엔진 등을 장착한 장치를 의미한다.

최근에는 구형 집광의 다른 형태로 작은 너비의 평판형 반사경을 평면에 순차적으로 배열하고 각각의 반사경이 서로 다른 각도로 태양빛을 반사시켜(결과적으로 포물면의 효과를 가지도록 하여)상부에 선형의 집광이 이루어지도록 하는 프레즈넬(Fresnel)형 집광장치가 개발되어 응용되던 사례도 종종 찾아볼 수 있다.

이 방식은 수~수십 kW규모의 소규모 독립형 발전을 위한 집광장치에 사용되고 있으며, 최고 30%를 육박하는 높은 효율을 구현할 수 있지만 대량생산이 이루어지기 전까지는 제작 비용의 절감을 기대하기 어렵다는 점과, 대형 발전설비를 구축할 경우 다수의 소형 시스템을 연계해야 한다는 것이다. 또한 이러한 발전 방식에 적합한 규모와 성능의 스테링 엔진을 개발하고 장시간의 안정적인 운전을 가능토록 내구성을 향상시키는 노력이 필요하다.

표 1에서와 같이 이러한 기존의 태양광 발전장치들의 문제점들에는 접시형을 제외하고는 모두 대규모 발전에 사용되고, 발전 설비를 설치할 때의 장소가 제한적이고, 높은 초기 설치비와 10~30%의 낮은 효율을 지니고 있다. 또한 집광장치들이 모두 규모면에서 크기 때문에 태풍과 같은 자연재해에 노출이 되었을 때 2차적인 위험을 수반하게 된다.

2. 구성 요소

본 연구의 핵심인 소형 태양 반사경 시스템은 우선 제작비가 설치비가 저렴하고, 내구성이 강하며 건물 옥상과 같은 좁은 장소에서 사용이 가능하다. 또한, 지하공간에 소규모 발전시설을

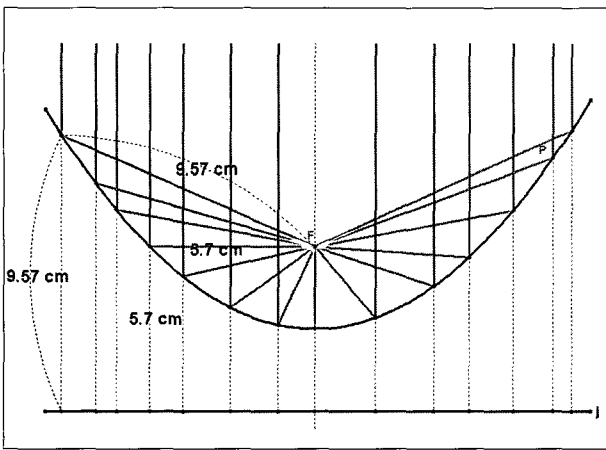
구축하여 에너지 생산을 목적으로 이용이 가능하며, 직접적으로 광섬유 케이블을 이용하여 낮 시간에 지하실 등 어두운 공간에 실내조명으로도 활용할 수 있다. 무엇보다 기존의 태양열 발전 설비가 외형적으로 크고, 또 이에 따라 별도의 설치 공간과 구조물을 필요로 하는 것에 비해 본 연구에서 제안한 시스템은 설치가 용이하고 대형 구조물 등이 필요 없어 경제적이고 설치에 따른 위험성도 없다는 장점이 있다.

그림 4와 그림 5는 이런 태양 반사경 시스템의 주요한 요소의 사진이다. 이 시스템은 포물 반사경(parabolic dish)과, 반사거울, 투명덮개, homogenizer, optical fiber cable 등으로 구성되어 있다.

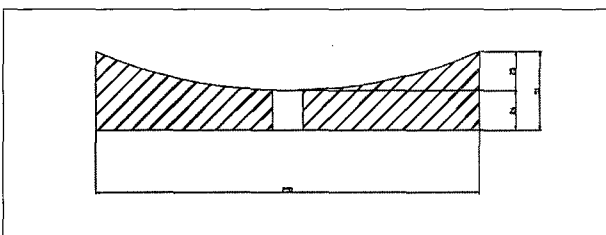
2.1 포물 반사경(Parabolic dish)

본 실험에서는 그림 6 에서와 같은 포물선의 원리와 빛의 반사 법칙을 이용하여 포물 반사경(parabolic dish)을 제작한다.

포물선은 초점과 준선에 이르는 거리가 같은 점들의 집합으로써, 포물선의 축과 평행하게 들어오는 모든 빛들은 초점에



(그림 6) 포물선의 원리



(그림 7) 포물 반사경 단면도

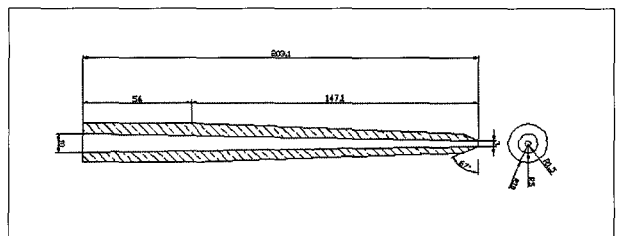
모인다. 또한 이 포물선을 회전시키면 포물면이 되며, 이를 이용하여 적합한 포물 반사경(parabolic dish)을 제작한다.

그림 7 은 상기의 원리를 이용하여 설계한 포물 반사경을 중심을 따라 절개한 그림이다. 반사경 본체의 재질은 알루미늄이며, 반사도를 극대화할 수 있도록 은(Ag) 또는 알루미늄(Al)으로 그 표면을 처리한다. 포물면의 반경 12.5cm, 높이 5cm의 크기로 CNC 밀링 머신을 이용하여 제작하였는데 대량 생산시 압출로 제작할 경우 그 두께를 획기적으로 줄일 수 있다. 그림 6 에서 알 수 있듯이 반사경은 입사광선을 2차 반사 지점(반사거울)으로 집중시키는 역할을 한다.

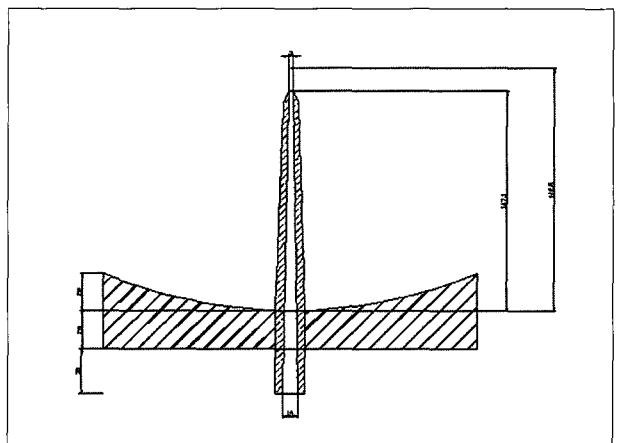
2.2 Homogenizer

Homogenizer는 포물 반사경으로부터 반사되어진 광선이 반사유리에 의해 재반사 되어 광섬유 케이블(optical fiber cable)로 안전하게 도달 할 수 있게 해주는 요소이다.

그림 8과 9에서 보는바와 같이 homogenizer의 장착되기 전의 전체 길이는 20cm이며, 장착 후 포물 반사경면으로부터의



(그림 8) Homogenizer 제원



(그림 9) Homogenizer의 장착도

길이는 14.7cm이다. 상?하단의 내경의 크기는 입구 쪽이 직경 0.3cm 그리고 출구 쪽은 1cm이다. Homogenizer의 핵심은 빛이 그 내부를 통과할 때 손실을 최소화하기 위하여 반사도를 극대화하고 반사경으로부터 효율적으로 고밀도의 태양광이 진입하게 하는 것이다.

2.3 투명덮개

투명 덮개는 자외선이나 비?바람?먼지 등과 같은 자연에 의한 부식을 막아줌으로써 포물 반사경의 수명을 연장시켜주고, 또한 homogenizer를 보호해주는 역할도 수행한다. 투명 덮개의 상면은 투과율이 우수한 유리로 제작되었으며, 측면은 아크릴을 사용하였다. 한편, 투명 덮개 내부의 열을 빠르게 발산하기 위해서는 아크릴보다는 금속재질이 바람직할 것으로 판단되며 현재 이를 제작 실험 중에 있다.

그림 10은 투명덮개의 평면도를 보여준다. 중심에는 반사거울이 부착되어 있다. 반사거울은 포물 반사경으로부터 반사된 광선을 homogenizer 또는 optical fiber cable로 직접적으로 재반사시킨다. 반사 거울은 평면경이나 오목 거울을 이용할 수 있으며 다음에 소개하는 바와 같이 반사광의 경로에 큰 영향을 미친다.

후자의 경우, mini-dish를 통과한 빛이 평행한 광선을 이루어 homogenizer를 향하게 하거나 광화이버로 직접 진입하는 것을 고려해 볼 수도 있다. 이 때, 오목 반사경의 표면은 mini-dish로부터 반사된 빛이 초점을 지나 일정한 반지름을 갖을 때 형성되는 면으로서 mini-dish의 최외곽으로부터 반사되는 태

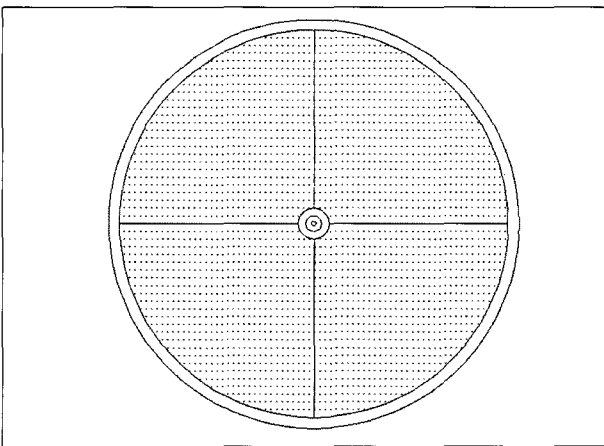
양광까지 반사시킬 수 있도록 설계하여야 한다. 이 방식은 homogenizer의 높이를 획기적으로 낮출 수 있어 빛을 더 효율적으로 모을 수 있을 뿐아니라 시스템의 실제 제작에도 다양성을 제공한다.

3. 분석 비교

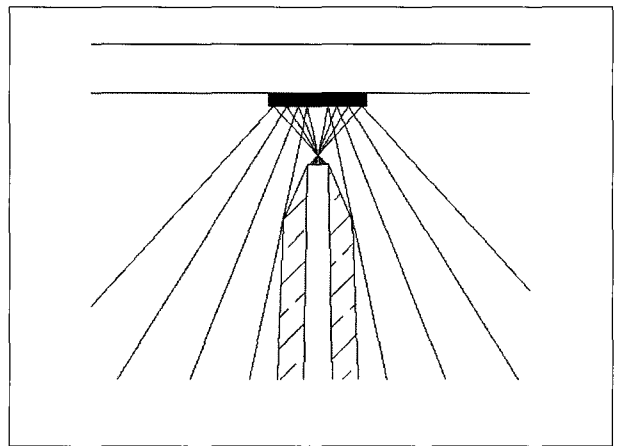
3.1 평면 반사거울

그림 11에서와 같이 투명덮개에 부착된 반사거울을 평면거울로 할 경우, 포물 반사경에 입사된 빛은 평면반사경을 거쳐 homogenizer로 들어가게 된다. 즉, 빛의 광학적 성질과 반사경의 설계에 대한 수학적(기하학적) 분석을 통해 이를 자세히 살펴보면 이를 쉽게 이해할 수 있다. 그림에서 보듯이 mini-dish에서 반사된 빛은 초점에 도달하기 전에 거울에서 반사되어 homogenizer 입구를 향하게 되는데 이 때 초점과 반사경 그리고 반사경과 homogenizer 입구의 거리는 각각 0.7cm가 됨을 알 수 있다.

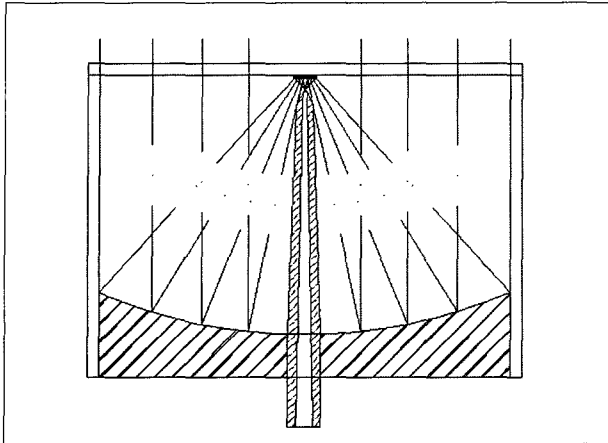
그림 12는 포물 반사경 중심으로부터 반경 2cm의 원내부로 입사하는 태양광이 반사거울까지 도달하지 못하는 것을 보여주고 있다. 즉, 빛의 직진성은 반사경 표면으로부터 초점을 향하는 빛의 일부가 homogenizer에 의해 차단되는 결과를 초래한다. 이는 전체 반사 유효 면적의 2.56%에 해당하는 양으로서 homogenizer가 시스템의 성능에 미치는 영향을 무시할 수 없음을 알 수 있다.



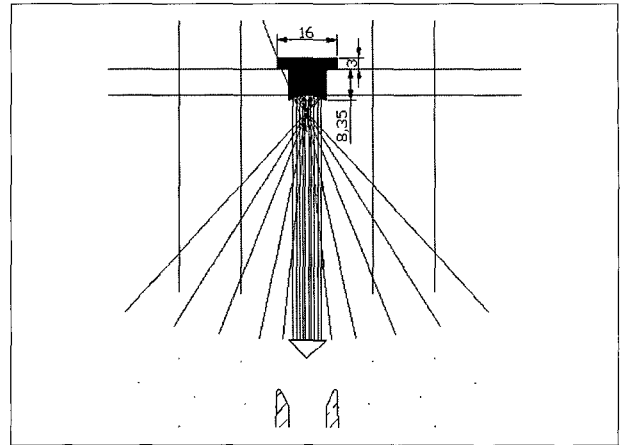
(그림 10) 투명 덮개 단면도



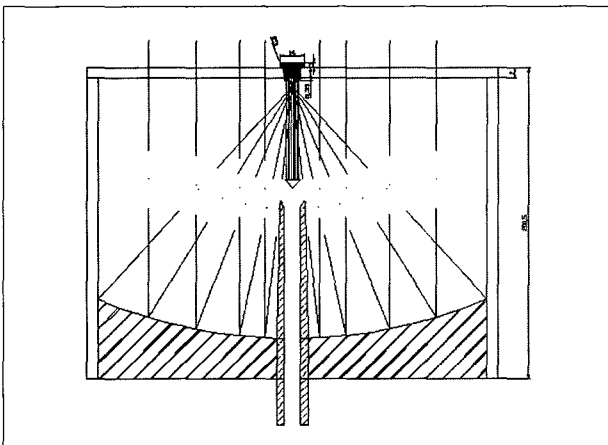
(그림 11) 평면 반사거울을 사용한 소형 Mini-dish 시스템



(그림 12) 평면반사거울을 사용한 소형 Mini-dish 시스템



(그림 14) 오목 반사거울을 사용한 소형 Mini-dish 시스템



(그림 13) 오목 반사거울을 사용한 소형 Mini-Dish 시스템

3.2 오목 반사거울 사용

그림 13과 14는 오목반사거울을 사용한 소형Mini-dish 시스템을 보여주고 있다.

오목거울을 반사거울로 사용할 경우에는homogenizer의 높이를 낮게 조정함으로써 homogenizer로 인한 간섭을 피할 수 있다. 이 경우 평면거울을 사용할 때보다 더욱 많은 빛이 반사거울을 향할 수 있어 보다 높은 flux를 가지며 이는 효율의 향상을 가져온다. 하지만, 오목 반사거울을 소형으로 가공하고, 투명덮개에 장착하는 데에는 보다 많은 기술적 노력이 수반된다.

4. 결론

본 연구는 Mini-dish 반사경 system을 적용하여 집광 시스템의 초점 지역에 형성되는 집광 분포의 해석을 위해 최적의 집광장치를 설계하고, homogenizer의 정확한 위치를 설정하며, 반사경 제작에서의 효율을 증대시키기 위한 중요한 자료를 얻기 위해 수행되었다. 실험에 사용된 시스템은 포물반사경, homogenizer, transparent cover 그리고 2차 반사경으로 이루어져 있는데, 포물 반사경은 알루미늄으로 코팅 처리되었고, 추가적으로 부식을 방지하기위해 산화막으로 코팅처리를 하였다. 2차 반사경으로는 평면형과 오목형의 두 가지 경우가 고려되었다.

고밀도 플렉스의 정확한 이송을 위해서는 초점거리와 homogenizer의 개구부가 아주 중요한 parameters인데, 이는 시스템의 효율과도 밀접한 관계가 있다. 본 연구는 최적의 조건을 만들 수 있는 포물 반사경, 반사거울, homogenizer의 기하학적 크기에 대한 설계 변수를 도출하였으며, 이를 적용하면 보다 효율적인 소형 태양에너지 발전시스템을 설계할 수 있을 것으로 기대된다.

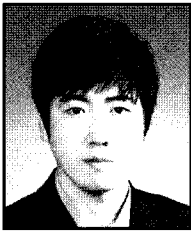
후기

본 연구는 한국과학기술재단의 기초과학연구사업(R01-2006-000-1072-0)의 일환으로 수행되었습니다.

References

- (1) Schubert, M. and Keller, J., 1991, "Flux Density Distribution in the Focal Region of a Solar Concentrator System, int. J. Solar energy Engineering, Vol. 113, No. 2, pp.112~116.
- (2) Daniel Feuermann, Jeffrey M.Gordon, 1999, "Solar Fiber-Optic Mini-Dishes:A new approach to the efficient collection of sunlight", Solar Energy, Vol.65, No. 3 , pp.159-170.
- (3) Abraham Kribus, Ory Zik, Jacob Karni, 2000, "Optical fibers and Solar Power Generation", Solar Energy, Vol.68, No.5, pp. 405-416
- (4) 현성택, 2001, "Study on Flux Distributions Produced by Dish Solar Concentration System" , 제주대학교 대학원 석사학위 논문
- (5) Daniel Feuermann, Jeffrey M. Gordon, 2001, "High-Concentration Photovoltaic Designs based on Miniature Parabolic Dishes" Solar Energy, Vol. 70, No. 5, pp.423-430
- (6) Daniel Feuermann, Jeffrey M.Gordon, Mahmoud Huleihil, 2002, " Solar Fiber-optic Mini-dish concentrators", Solar Energy ,Vol. 72, No. 6, pp.459-472.
- (7) 강용혁, 김진수, 2005, "테마기획 신재생에 너지; 고온 태양열 발전기술", 기계저널 제 45권 10호, pp. 47-51

오승진



2005년 제주 대학교 에너지공학과 공학사

현재 제주 대학교 에너지공학과 석사 과정
(E-mail ; osj2558@cheju.ac.kr)

현준호



2001년 제주 대학교 에너지공학과 공학사
2003년 제주 대학교 에너지공학과 공학석사

현재 제주대학교 에너지공학과 박사 과정
(E-mail ; junho@cheju.ac.kr)

천원기



1981년 한양대학교 원자력공학과 공학사
1984년 미국 Univ. of Utah 대학 공학석사
1986년 미국 Univ. of Utah 대학 공학박사

현재 제주대학교 기계·에너지·시스템공학부 교수
(E-mail ; wgchun@cheju.ac.kr)