

200kW 탑형 태양열발전시스템에서 사용되는 Heliostat의 집열특성 분석

박영철*

*서울과학기술대학교 제어계측공학과(ycpark@snut.ac.kr)

Analysis of Energy Concentration Characteristics of Heliostat used in 200kW Tower Type Solar Thermal Power Plant

Park, Young-Chil*

*Department of Control and Instrumentation Engineering
Seoul National University of Science and Technology(ycpark@seoultech.ac.kr)

Abstract

Heliostat in the tower type solar thermal power plant is a sun tracking mirror system to reflect the solar energy to the receiver and the optical performance of it affects to the efficiency of whole power plant most significantly. Thus a solid understanding of heliostat's energy concentration characteristics is the most important step in designing of the heliostat field and the whole power plant.

The work presented here is the analysis of energy concentration characteristics of heliostat used in 200kW solar thermal power plant, where the receiver located at 43m high in tower has 2x2m rectangular shape. The heliostat reflective surface is formed by 4 of 1x1m flat plate mirror facet and the mirror facet is mounted on the spherical frame.

The direct normal incident radiation models in vernal equinox, summer solstice, autumnal equinox and winter solstice are first derived from the actually measured data. Then the intercept ratio, heat flux distribution and total energy collected at the receiver for the heliostats located in the various places of the heliostat field are investigated. Finally the effect of mirror facet installation error on the optical performance of the heliostat is analyzed.

Keywords : 탑형 태양열발전시스템(Tower type solar thermal power plant), 헬리오스타트(Heliostat), 헬리오스타트 집광특성(Heliostat's energy concentration characteristics)

기 호 설 명

	f	: 헬리오스타트 초점거리
	η_{int}	: 흡수기 도달율
$H_M, M=1,2,3...$	θ_s	: 태양광 입사각

투고일자 : 2011년 5월 12일, 심사일자 : 2011년 5월 17일, 게재확정일자 : 2011년 6월 13일
교신저자 : 박영철(ycpark@seoultech.ac.kr)

1. 서 론

탑형 태양열발전시스템(tower type solar thermal power plant)의 헬리오스타트(heliostat) 집열 성능은 태양열 발전시스템의 효율을 결정하는 중요한 요소로서, 태양열발전시스템의 건설은 태양열발전시스템이 사용하는 헬리오스타트의 집열특성을 정확하게 이해하는 것으로부터 출발하여야 한다.

헬리오스타트의 집열특성은 헬리오스타트로부터 반사된 태양열에너지가 탑 상단에 위치하고 있는 흡수기(receiver)에 도달되어 형성하는 열유속분포(heat flux distribution)를 사용하여 분석한다. 그런데 헬리오스타트로부터 반사되어 흡수기에 도달되는 열에너지는 헬리오스타트의 위치에 따라 다르며, 아울러 시간에 따라 달라진다. 따라서 헬리오스타트 집열특성의 정확한 이해는 위치에 따른 그리고 시간 변화에 따른 헬리오스타트의 열유속분포 분석을 필요로 한다.

본 연구는 현재 국내에서 건설이 진행되고 있는 200kW 탑형 태양열발전시스템[1]에서 사용될 헬리오스타트의 집열특성을 분석한 것이다. $2 \times 2(m)$ 크기의 사각형 흡수기를 사용하는 200kW 탑형 태양열발전시스템의 헬리오스타트는, 그림 1에서와 같이, 4장의 $1 \times 1(m)$ 평판형 반사거울(flat plate mirror facet)을 구면형의 반사거울 장착 프레임(spherically shaped frame)에 조합(canting) 함으로서 집광이 이루어지도록 하는 구조를 가지고 있다[2].

헬리오스타트 집광특성 해석에 관한 연구는, 집광효율 향상을 위한 수차(aberration) 또는 비점수차(astigmatism)가 보상된 반사거울의 설계[3,4,5], 구면형 반사거울의 집광특성분석[6], 평판형 반사거울의 집광특성 해석[7], 반사거울의 특성 변화에 따른 집광특성의 변화[8], 그리고 열유속분포 계산을 위한 수학적 모델링[9,10]과 해석[11,12]과 같은 것들이 수행되었다. 그러나 이들 선행연구들

대부분은 정형화된 형태의 반사면을 갖는 헬리오스타트의 집광특성을 해석적으로 수행한 것이며, 따라서 이들 연구결과들을 반사거울들을 조합하여 구성된 불연속 반사면을 갖는 헬리오스타트의 집열특성을 해석하는데 직접 사용할 수 없는 문제점이 있다.

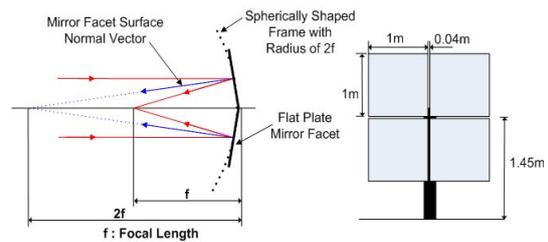


그림 1. 평면반사거울과 구면 반사거울 장착프레임을 사용하는 헬리오스타트

본 연구에서는 궤적추적기법(ray tracing technique)을 기반으로 하는 헬리오스타트 집광특성해석 프로그램[2]을 사용하여, 200kW 탑형 태양열발전시스템에서 사용될 헬리오스타트의 집열특성을 분석하였다. 우선 태양열발전시스템이 건설되는 대구지역의 법선면 직달일사량을 실제 측정된 데이터로부터 모델링하였으며, 태양열발전시스템 건설부지 내의 위치 및 년중 시간 변화에 따른 헬리오스타트의 집열량(intercepted heat energy), 흡수기 도달율(intercept ratio) 그리고 열유속분포를 분석하였다. 아울러 헬리오스타트 반사거울 장착 프레임의 초점거리 오차와 반사거울 설치 방향오차에 따른 집열특성의 변화를 분석하였다.

2. 법선면 직달일사량 모델

헬리오스타트에서 반사되어 흡수기에 도달되는 태양열에너지는, 태양으로부터 지표면에 도달되는 태양열 중의 법선면 직달일사량(direct normal incident radiation) 성분에 의한 열에너지이다[13]. 따라서 헬리오스타트

집열특성의 분석은 우선 태양열발전시스템이 건설되는 지역의 법선면 직달일사량에 대한 정확한 정보를 필요로 한다.

지역별 법선면 직달일사량은 현재 태양열 활용시스템의 설계 등에서 널리 사용되고 있는 표준기상데이터에 포함되어 있다. 그러나 이들 표준기상데이터들은, 비록 현재 활용되고는 있으나, 데이터의 출처 및 산출방법 등이 명확하지 못한 경우가 대부분이며[14], 특히 직달일사량의 경우 실제 측정된 것과는 많은 차이가 있다[13].

태양열발전시스템의 헬리오스타트 집광특성을 보다 정확하게 분석하기 위하여, 본 연구는 표준기상데이터를 사용하는 대신, 한국에너지기술연구원이 2000년부터 2005년까지 태양열발전시스템이 건설되는 대구에서 실제 측정된 법선면 직달일사량[13]으로부터 대구지역의 법선면 직달일사량을 모델링하고 이를 사용하였다.

직달일사량은 시간 그리고 기상 조건에 따라 항상 변화한다. 그러나 본 연구에서는 년중 직달일사량은 12개의 다른 패턴을 사용하여 모델링 될 수 있는 것으로 가정하였다. 즉 직달일사량은 해당 월 기간 동안에는 동일한 형태를 갖는 것으로 가정하였으며, 이는 예를 들어서 만약 3월의 직달일사량을 생각한다면, 3월 1일부터 3월 31일까지 매일 동일 시간에서의 법선면 직달일사량은 동일하며, 다만 일조시간의 변화에 따른 차이만이 다른 것으로 가정하였다는 것이다.

대구지역 월별 법선면 직달일사량의 모델링을 위하여, 해당 월의 날 중에서 일출부터 일몰까지 매시간 연속 측정이 이루어졌으며 또한 측정된 값이 하루 중의 직달일사량 변화 분포를 잘 표현할 수 있는 날을 선택하고, 이와 같이 선정된 날 측정된 데이터를 4차 방정식으로 보간하였다. 그림 2는, 이상과 같은 과정을 거쳐 얻어진 3월(2001년 3월 9일 측정값 사용), 6월(2001년 6월 15일 측정값 사용), 9

월(2001년 9월 23일 측정값 사용) 그리고 12월(2001년 12월 22일 측정값 사용)의 대구지역 법선면 직달일사량 모델을 나타낸 것이다.

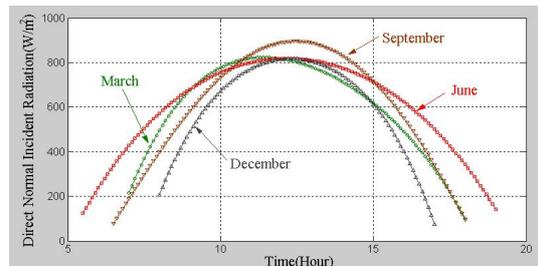


그림 2. 대구지역 월별 법선면 직달일사량 모델

3. 헬리오스타트 집열특성 분석

3.1 태양열 발전시스템 부지

그림 3은 200kW 태양열발전시스템 부지를 도식적으로 나타낸 것이다. 그림에서와 같이, 대구시 북구 서변동에 위치하고 있는 태양열발전시스템 건설부지[1]는 동서방향으로 140m, 남북방향으로 120m의 장방향으로, 흡수기는 지상으로부터 43m 지점의 탑 상부에 2×2(m)크기를 가지고 헬리오스타트가 설치되는 헬리오스타트 필드(heliostat field)를 향하여 28° 기울어져 설치되어 있다.

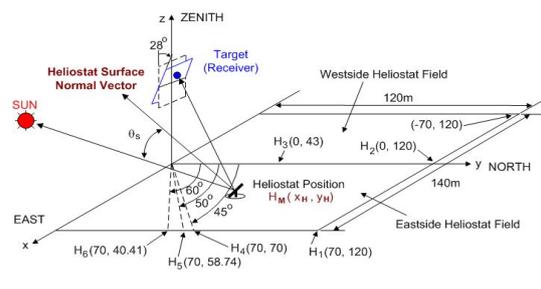


그림 3. 200kW 태양열 발전시스템 건설부지 및 헬리오스타트 위치

3.2 위치 변화에 따른 헬리오스타트 집열특성의 변화

태양열발전시스템의 헬리오스타트 집열특

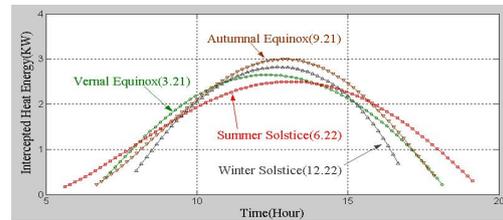
성 분석은 헬리오스타트 필드의 다양한 지점에 위치하는 서로 다른 헬리오스타트의 집열량과 다음의 식 (1)에서와 같이 정의되는 흡수기 도달율 η_{int} 의 분석을 필요로 한다.

$$\eta_{int} = \frac{\text{Energy Reached to the Receiver}}{\text{Energy Reflected by the Heliostat}} \quad (1)$$

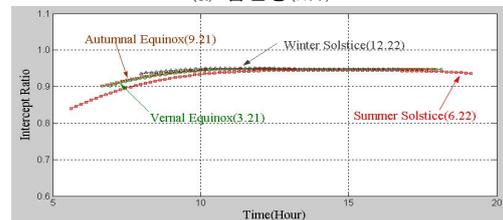
본 연구에서는 헬리오스타트 위치 변화에 따른 집열특성 변화를 분석하기 위하여, 그림 3에서와 같이 헬리오스타트 필드의 동쪽 필드 모서리 지점인 $H_1 \sim H_6$ 헬리오스타트들의 집열특성을 분석하였다. 이는 헬리오스타트 필드 각 모서리에 위치하는 헬리오스타트들의 집열특성이 다른 지역에 위치하는 헬리오스타트의 집열특성을 대표할 수 있기 때문이며, 아울러 동쪽만을 고려한 것은 헬리오스타트 필드가 필드의 중심축인 y 축을 기준으로 대칭이기 때문이다.

그림 4는 헬리오스타트 필드의 북동쪽 모서리에 해당되는 $H_1(70, 120)$ 헬리오스타트의 춘분, 하지, 추분, 그리고 동지에서 일출이후 30분이 경과된 시간부터 일몰 30분전까지의 집열량, 흡수기 도달율 그리고 열유속분포를 나타낸 것이다. 우선 집열량을 나타내는 그림 4 (a)를 살펴보면, 비록 직달일사량은 태양남중시간을 기준으로 좌우 대칭의 구조를 가지고 있으나, $H_1(70, 120)$ 헬리오스타트의 집열량은 오후가 오전보다 큰 값을 가지고 있음을 볼 수 있다. 아울러 오후 14시 이후의 집열량은, 직달일사량 모델과 동일하게, 여름철의 집열량이 다른 계절의 집열량 보다 큰 값을 가지고 있다. 그러나 오전 9시부터 오후 14시 이전까지의 집열량을 살펴보면, 여름철의 직달일사량이 봄 또는 겨울의 직달일사량 보다 큰 값을 가지고 있음에도 불구하고, 실제 흡수기에 모아진 집열량은 여름철이 가장 작다. 아울러 최고값에서도, 봄, 여름 그리고 겨울 직달일사량의 최고값이 거의 동일함에도 불

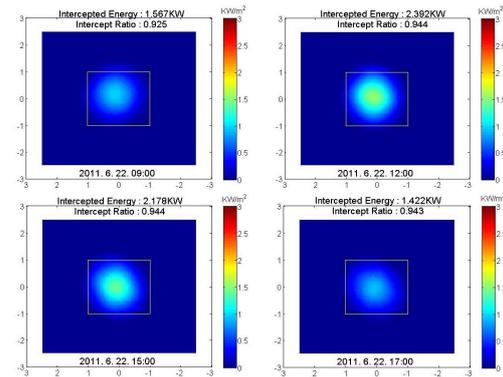
구하고, 여름철 집열량의 최고값이 다른 계절과 비교하여 가장 작다.



(a) 집열량(kW)



(b) 흡수기 도달율



(c) 2011. 6. 22.(하지)의 열유속분포

그림 4. (70, 120)에 위치하는 헬리오스타트의 집열 특성

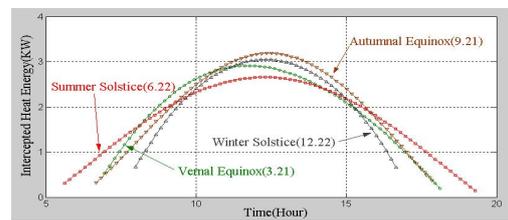
$H_1(70, 120)$ 헬리오스타트의 집열량을 나타내는 그림 4 (a)는, 헬리오스타트의 위치가 헬리오스타트의 집열특성에 미치는 영향을 잘 보여주고 있다. 바꾸어 말해서 헬리오스타트의 집열량은, 직달일사량의 크기에 따라 달라지나, 동시에 태양과 헬리오스타트의 상대적 위치에 따라 달라지는 코싸인 효과(cosine effect)에 의한 유효반사면적의 변화에 따라 크게 달라진다. 여름철은 헬리오스타트로 입사되는 태양광의 입사각 θ_s 가 다른 계절 동일

시간에서의 입사각 보다 크다. 특히 오전에는 여름철의 입사각과 다른 계절의 입사각의 차이가 더욱 커지고, 따라서 여름철 오전에는, 다른 계절과 비교하여 비록 큰 직달일사량을 가지고 있음에도 불구하고, 집열량은 작은 값을 가지게 된다. 그러나 오후 14시가 넘어가면서 여름철과 다른 계절의 입사각의 차이는 줄어들고, 따라서 집열량은 코사인 효과보다는 직달일사량의 크기에 따라 결정됨으로 상대적으로 큰 직달일사량을 갖고 있는 여름철의 집열량이 다른 계절보다 큰 값을 가진다.

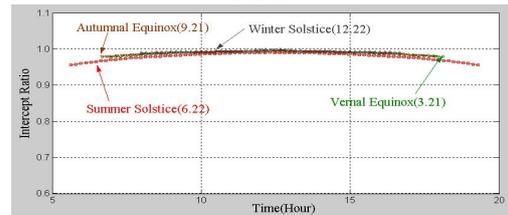
$H_1(70,120)$ 헬리오스타트의 흡수기 도달율을 나타내는 그림 4 (b)를 살펴보면, 헬리오스타트가 동쪽에 위치하고 있음으로 인하여 오전에는 흡수기 도달율이 작고, 오후에는 0.95에 가까운 값을 가지고 있다. 특히 여름철 아침 이른 시간에는, 태양이 헬리오스타트 보다 북쪽에 위치함으로 인하여 헬리오스타트로부터 반사되어 흡수기에 형성되는 열유속 분포가 넓은 면적으로 퍼져나가면서 따라서 0.85 정도의 낮은 흡수기 도달율을 가지고 있다. 만약 헬리오스타트가 헬리오스타트 필드의 북서쪽 모서리에 위치하면, 집열량 및 흡수기 도달율은 그림 4 (a)와 (b)를 태양남중시간을 기준으로 대칭적으로 투명한 형태를 가지게 된다. 즉 흡수기 도달율의 경우 오전에는 0.95 부근에 그리고 오후 늦게는 0.85 부근의 값을 가지며, 집열량에서도 오전이 오후보다 큰 값을 가지게 된다. 그림 4 (c)는 $H_1(70,120)$ 헬리오스타트가 2011년 6월 22일 (하지) 형성한 열유속분포를 나타낸 것이다.

그림 5는 헬리오스타트 필드 북쪽 중앙에 위치하는 $H_2(0,120)$ 헬리오스타트의 집열특성을 나타낸 것이다. 집열량은 $H_1(70,120)$ 헬리오스타트와 유사한 형태를 가지고 있다. 그러나 코사인 효과로 인한 집열량 감소 정도가, 헬리오스타트가 필드의 중앙에 위치함에 따라 $H_1(70,120)$ 헬리오스타트의 경우보다 작아지며, 동시에 태양남중시간을 기준으로 좌

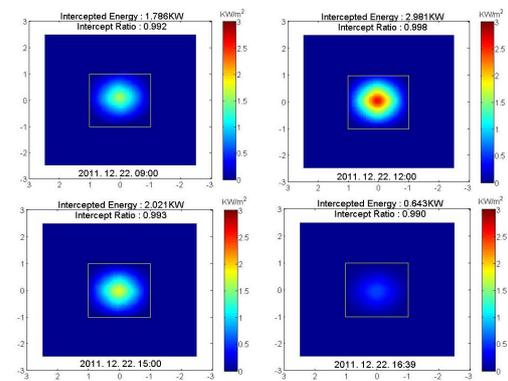
우가 직달일사량 모델과 동일하게 대칭적으로 형성된다. 흡수기 도달율은 헬리오스타트가 필드의 중앙 축위에 위치함으로 인하여 그림 5 (b)에서와 같이 태양남중시간을 기준으로 좌우 대칭적인 분포를 가지며, 아울러 1.0에 가까운 값을 가지고 있다. 그림 5 (c)는 $H_2(0,120)$ 헬리오스타트의 2011년 12월 22일 (동지) 열유속분포를 나타낸 것이다.



(a) 집열량(kW)



(b) 흡수기 도달율

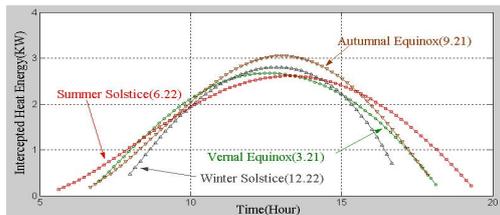


(c) 2011. 12. 22.(동지)의 열유속분포

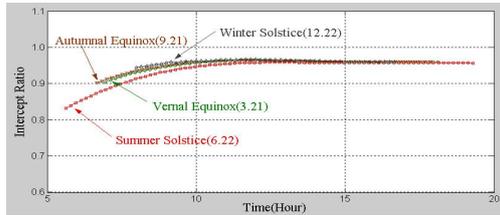
그림 5. (0,120)에 위치하는 헬리오스타트의 집열 특성

헬리오스타트 필드 중심축에 위치하며, 다만 $H_2(0,120)$ 헬리오스타트 보다 탑 가까이에 위치하는 $H_3(0,43)$ 헬리오스타트의 집열특성은 그림 5와 대단히 유사한 형태를 가진다.

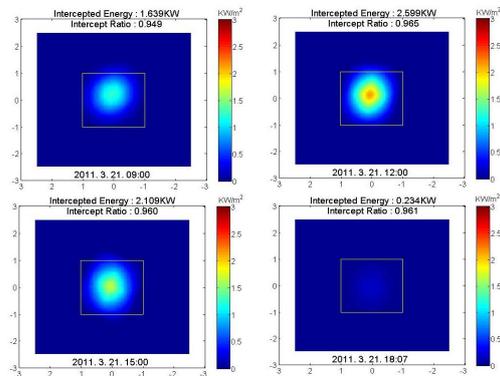
즉 집열량은, 계절별 태양남중시간 부근에서 차이가 줄어든 것을 제외하고는, 그림 5 (a)와 거의 동일한 패턴을 가지고 있으며, 아울러 흡수기 도달율 또한 일출부터 일몰까지의 변화폭이 그림 5 (b)에서보다 작다는 것을 제외하고는 동일한 형태를 갖는다.



(a) 집열량(kW)



(b) 흡수기 도달율



(c) 2011. 3. 21.(춘분)의 열유속분포

그림 6. (70, 70)에 위치하는 헬리오스타트의 집열 특성

그림 6은 $H_4(70, 70)$ 헬리오스타트의 집열특성이다. 그림에서와 같이, $H_4(70, 70)$ 헬리오스타트의 집열량 변화 특성은, 헬리오스타트가 필드의 동쪽 가장자리에 위치함으로써 그림 4 (a)의 $H_1(70, 120)$ 헬리오스타트 집열량 변화 특성과 유사하다. 즉, 태양남중시간 부근

에서 $H_4(70, 70)$ 헬리오스타트가 $H_1(70, 120)$ 헬리오스타트 보다 조금 큰 집열량 값을 갖는 것을 제외하면, 오후의 집열량이 오전보다는 크고, 아울러 여름철 오전 9시부터 오후 14시 이전까지의 집열량이 동일 시간대의 다른 계절보다 작다. $H_4(70, 70)$ 헬리오스타트의 흡수기 도달율 역시 $H_1(70, 120)$ 헬리오스타트의 흡수기 도달율을 나타내는 그림 4 (b)와 유사한 형태이다. 다만 헬리오스타트의 위치가 탑에 가까워짐에 따라 여름철 이른 아침시간의 흡수기 도달율이 $H_1(70, 120)$ 헬리오스타트의 흡수기 도달율보다 더욱 작아지는 점이 다르다.

헬리오스타트 필드의 동쪽 가장자리에 위치하면서 $H_4(70, 70)$ 헬리오스타트보다 탑에 더욱 가까이 위치하고 있는 $H_5(70, 58.74)$ 헬리오스타트와 $H_6(70, 40.41)$ 헬리오스타트의 집열특성은 여전히 $H_1(70, 120)$ 또는 $H_4(70, 70)$ 헬리오스타트의 집열특성과 대단히 유사하다. 그러나 태양남중시간 부근에서의 집열량을 비교하여 보면, $H_4(70, 70)$ 헬리오스타트가 $H_1(70, 120)$ 헬리오스타트 보다 조금 큰 값을 가지고 있는데 반하여(그림 4 (a) 및 그림 6 (a)의 비교), $H_5(70, 58.74)$ 및 $H_6(70, 40.41)$ 헬리오스타트는 $H_1(70, 120)$ 헬리오스타트보다 작은 집열량 값을 가지고 있다. 이는 헬리오스타트 필드의 동쪽 또는 서쪽 가장자리에 위치하고 있는 헬리오스타트들의 집열량은, 탑과 헬리오스타트를 연결하는 직선이 헬리오스타트 필드의 중심축과 이루는 각도(rim angle)가 증가함에 따라 초기에는 증가하다가 50° 이후에서부터 감소하기 때문이다.

$H_5(70, 58.74)$ 및 $H_6(70, 40.41)$ 헬리오스타트의 흡수기 도달율 역시 $H_1(70, 120)$ 또는 $H_4(70, 70)$ 헬리오스타트와 유사한 분포 형태를 가지고 있다. 다만 헬리오스타트가 탑에 가까워짐에 따라 전체적인 흡수기 도달율은 더욱 작아지며, 특히 여름철 이른 오전의 흡수기 도달율

이 크게 감소한다. 그림 7은, 그림 4 및 그림 6과의 비교를 목적으로, $H_0(70, 40.41)$ 헬리오스타트의 집열량과 흡수기 도달율을 나타낸 것이다.

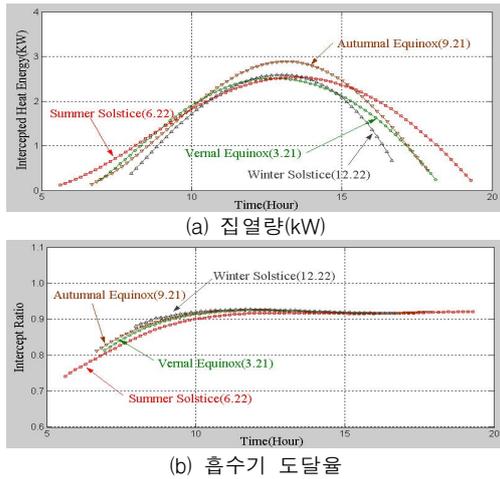


그림 7. $(70, 40.41)$ 에 위치하는 헬리오스타트의 집열량 및 흡수기 도달율

3.3 초점거리 변화에 따른 헬리오스타트 집열특성의 변화

태양열발전시스템의 헬리오스타트는 비록 평판형 반사거울을 사용하지만, 구형의 반사거울 장착프레임에 설치되어 있어 집광이 이루어지도록 하는 구조를 가지고 있다. 즉 집광을 위한 구형의 헬리오스타트 반사거울 장착 프레임은, 그림 1에서와 같이, 헬리오스타트의 중심으로부터 흡수기 중심까지의 거리로서 정의되는 헬리오스타트 초점거리 f 의 2배에 해당되는 반지름을 가지고 있다.

그런데 만약 반사거울 장착 프레임이, 프레임 제작 또는 반사거울의 설치오차로 인하여, 당초 설계된 반지름과는 다른 반지름을 갖게 되면, 그와 같은 경우의 헬리오스타트 집열특성은 오차를 갖지 않는 경우와는 다른 것이 될 것이다. 그림 8과 그림 9는 2011년 6월 22일, 설계사양 145m의 초점거리를 갖는 $H_1(70, 120)$ 헬리오스타트와 설계사양 126.99m의 초점거

리를 갖는 $H_2(0, 120)$ 헬리오스타트의 초점거리가 설계사양으로부터 $\pm 10\%$ 내외로 변화함에 따른 흡수기 도달율의 변화를 표시한 것이다.

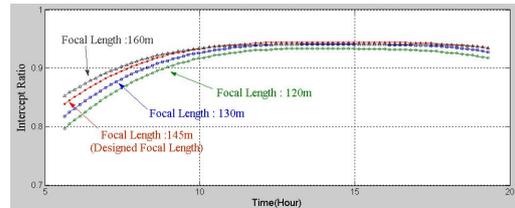


그림 8. 초점거리 변화에 따른 $(70, 120)$ 에 위치하는 헬리오스타트의 흡수기 도달율(2011. 6. 22.)

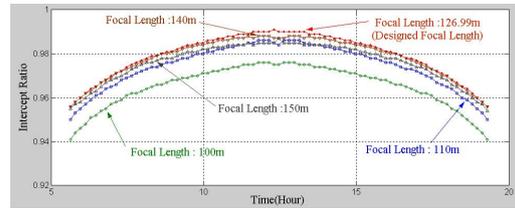


그림 9. 초점거리 변화에 따른 $(0, 120)$ 에 위치하는 헬리오스타트의 흡수기 도달율(2011. 6. 22.)

그림 8과 그림 9를 살펴보면, 헬리오스타트 필드의 중앙에 위치하고 있는 헬리오스타트는, 만약 초점거리가 설계사양과 달라지면 흡수기 도달율은 그림 9에서와 같이 무조건 감소하며 따라서 집열량도 감소한다. 그러나 헬리오스타트 필드의 동쪽 가장자리에 위치하고 있는 헬리오스타트는, 그림 8에서와 같이, 초점거리가 설계사양보다 다소 길어질 경우, 비록 오전의 경우이기는 하나 오히려 흡수기 도달율은 조금 높아지고 따라서 집열량이 다소 증가한다.

그림 8과 그림 9 그리고 헬리오스타트 필드의 다양한 지점에 위치하는 또 다른 헬리오스타트의 초점거리 변화에 따른 집열특성의 분석은 다음과 같은 결과를 알게 하였다. 만약 헬리오스타트가 헬리오스타트 필드의 중심에 위치하는 경우에는 설계된 초점거리를 갖는 것이 중요하다. 그러나 헬리오스타트가 필드

의 중심축으로부터 동쪽 또는 서쪽으로 벗어나 있는 경우에는 설계사양보다 조금 큰 초점 거리를 갖는 것이 작으나마 집열효율을 일부 향상시킬 수 있다.

3.4 반사거울 설치방향 오차에 따른 헬리오스타트 집열특성의 변화

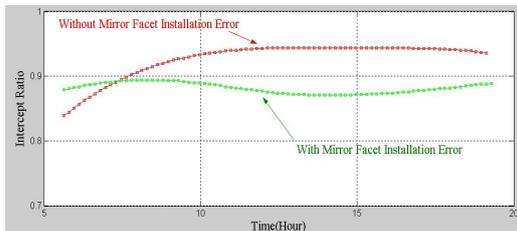


그림 10. 반사거울 장착오차를 갖는 (70, 120)에 위치하는 헬리오스타트의 흡수기 도달율(2011. 6. 22)

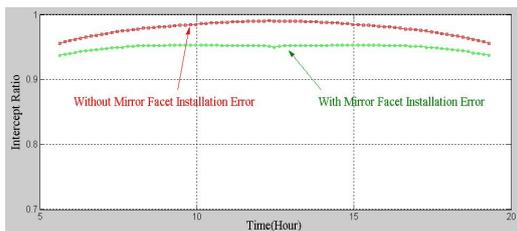


그림 11. 반사거울 장착오차를 갖는 (0, 120)에 위치하는 헬리오스타트의 흡수기 도달율(2011. 6. 22)

헬리오스타트 반사거울의 설치오차는 또한 헬리오스타트의 집열특성을 변화시킨다. 그림 10과 그림 11은 4장의 반사거울 각각이 독립적으로 동서방향과 남북방향에서 각각 $\pm 0.05^\circ$ 의 설치방향 오차를 갖는 경우, $H_1(70, 120)$ 헬리오스타트와 $H_2(0, 120)$ 헬리오스타트의 흡수기 도달율 및 열유속분포를 반사거울이 설치오차를 갖지 않는 경우와 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 반사거울 설치오차는 헬리오스타트 위치와는 무관하게 항상 헬리오스타트의 흡수기 도달율을 떨어뜨리며 따라서 집열량을 감소시키는 결과를 초래한다.

4. 결 론

본 연구는 200kW 탑형 태양열발전시스템에서 사용될 헬리오스타트의 집열특성을 분석한 것이다. 이를 위하여 본 연구는 태양열발전시스템이 건설되는 대구지역의 법선면 직달일사량을 모델링하였으며, 위치에 따른 헬리오스타트의 집열량, 흡수기 도달율 그리고 열유속분포를 분석하였다. 또한 헬리오스타트 초점거리 오차와 반사거울 설치오차가 집열특성에 미치는 효과를 분석하였다.

헬리오스타트 필드의 다양한 지점에 위치하는 헬리오스타트들의 집열특성 분석은, 설계된 헬리오스타트가 필드 전부분에서 요구되는 집열량 및 흡수기 도달율을 충족시키고 있음을 확인시켜 주었다. 동시에 위치 변화에 따른 집열특성의 분석은, 탑과 헬리오스타트를 연결하는 직선이 필드의 중심축과 이루는 각도가, 헬리오스타트의 태양추적오차 및 거울면의 광학 오차 등을 고려한다면, 45° 를 넘지 않도록 하는 것이 필요함을 제시하였다.

헬리오스타트의 초점거리 변화에 대한 헬리오스타트 집열특성 변화 해석은, 헬리오스타트가 설계사양과 일치하는 초점거리를 갖는 것이 중요하다는 것을 제시하였다. 그러나, 만약 오차가 존재한다면, 초점거리가 설계사양보다는 다소 큰 것이 작은 것 보다는 우수하며, 따라서 헬리오스타트 제작에서 초점거리 설계값을 계산값보다는 다소 크게 설정하는 것이 헬리오스타트의 집열효율을 향상시키는 데 일부 도움이 될 수 있을 것임을 알 수 있었다.

반사거울 설치오차는 헬리오스타트의 집열효율을 떨어뜨린다. 비록 설계사양과 완전히 일치하는 헬리오스타트로 제작하는 것이 현실적으로 어렵기는 하나, 그림에도 불구하고 헬리오스타트의 반사면이 설계사양과 최대한 일치되게 제작하고 또한 설치하도록 노력하는 것이 중요하다.

헬리오스타트 집열특성의 정확한 이해는 탑형 태양열발전시스템의 건설을 위해 대단히 중요하다. 이는 헬리오스타트 집열특성에 대한 정확한 이해가 헬리오스타트 필드 설계의 가장 기초이기 때문이며, 본 연구에서 얻어진 결과는 현재 건설이 진행되고 있는 탑형 태양열발전시스템의 헬리오스타트 필드 설계에 적용되고 있다.

후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었습니다(2008-N-SO12-P -01).

참 고 문 헌

1. 박문희, “대구도시가스 파워타워 프로젝트 현황 소개”, 한국태양에너지학회지, 제 9권 제 2호, 2010, pp. 14-18
2. 박영칠, “200kW 탑형 태양열발전시스템을 위한 Heliostat 반사면 구조 설계”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 31, No. 2, 2011, pp. 53-62
3. Y.T. Chen, B.H. Lim and C.S. Lim, “Off-axis aberration correction surface in solar energy application”, Solar Energy, Vol. 80, 2006, pp. 268-271
4. R. Zaibel, E. Dagan, J. Karni and H. Ries, “An astigmatic corrected target aligned heliostat for high concentration”, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 37, 1995, pp. 191-202
5. E.A. Igel and R.L. Hughes, “Optical analysis of solar facility heliostats”, Solar Energy, Vol. 22, 1979, pp. 283-295
6. F.J. Collard, A. Gomez and J.A. Turegano, “An analytic function for the flux density due to sunlight reflected from a heliostat”, Solar Energy, Vol. 37, 1986, pp. 215-234
7. F.W. Lipps and M.D. Walzel, “An analytic evaluation of the flux density due to sunlight reflected from a flat mirror having a polygonal boundary”, Solar Energy, Vol. 21, 1978, pp. 113-121
8. R.B. Pettit, C.N. Vittitoe and F. Biggs, “Simplified calculational procedure for determining the amount of intercepted sunlight in an imaging solar concentrator”, Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 105, 1983, pp. 101-107
9. M.D. Walzel, F.W. Lipps and L.L. Vant-Hull, “A solar flux density calculation for a solar tower concentrator using a two dimensional Hermite function expansion”, Solar Energy, Vol. 19, 1977, pp. 239-253
10. J.C. Henne and J.L. Abatut, “An analytical method for reflected flux density calculations”, Solar Energy, Vol. 32, 1984, pp. 357-363
11. F.W. Lipps, “Four different views of the heliostat flux density integral”, Solar Energy, Vol. 18, 1976, pp. 555-560
12. F.W. Lipps, “A numerical approach to the flux density integral for reflected sunlight”, Solar Energy, Vol. 24, 1980, pp. 461-469
13. 조덕기, 강용혁, 오정무, “국내 태양열발전 단지건설을 위한 법선면 직달일사량 자원 조사”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 25, No. 1, 2005, pp. 11-18
14. 유효천, 이관호, 강현구, “대한민국 표준 기상데이터의 변화추이와 건물부하량에 관한 기초연구”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 29, No. 3, 2009, pp. 66-72