

200kW 탑형 태양열발전시스템을 위한 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘의 헬리오스타트 반사목표점 할당 방안 개발

Development of Heliostat Aiming Point Allocation Scheme in Heliostat Field Control Algorithm for 200kW Tower Type Solar Thermal Power Plant

박영철*

Park Young Chil*

(Submit date : 2014. 3. 24., Judgment date : 2014. 3. 26., Publication decide date : 2014. 5. 27.)

Abstract : Heliostat field control algorithm is the logics to operate the heliostat field of tower type solar thermal power plant and it could include various methodologies of how to control the heliostat field so as to optimize the energy collection efficiency as well as to reduce the system operating cost. This work, as the first part of the consecutive works, presents heliostat aiming point allocation scheme which will be used in the heliostat field control algorithm for 200kW solar thermal power plant built in Daegu, Korea. We first discuss the structure of heliostat field control system required for the implementation of aiming scheme developed in this work. Then the methodologies to allocate the heliostat aiming points on the receiver are discussed. The simulated results show that the heliostat aiming point allocation scheme proposed in this work reduces the magnitude of peak heat flux on the receiver more than 40% from the case of which all the heliostats in the field aim at the center of receiver simultaneously. Also it shows that, when the proposed scheme is used, the degradation of heliostat field optical efficiency is relatively small from the maximal optical efficiency the heliostat field could have.

Key Words : 탑형 태양열발전시스템(Tower type solar thermal power plant), 헬리오스타트 필드(Heliostat field), 헬리오스타트 필드 제어시스템(Heliostat field control system), 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘(Heliostat field control algorithm), 헬리오스타트 반사목표점 할당 방안(Heliostat aiming point allocation scheme)

*박영철 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과
E-mail : ycpark@seoultech.ac.kr, Tel : 02-970-6541

*Park Young Chil : Department of Electrical & Information Engineering,
Seoul National University of Science & Technology, Seoul, 139-743, Korea

1. 서 론

탑형 태양열발전시스템의 헬리오스타트 필드(heliostat field)는 수백 또는 수천 개의 반사거울시스템으로 구성되어 있는 태양열 집열시스템으로, 탑형 태양열발전시스템의 효율을 결정하는 가장 중요한 부분이며 동시에 태양추적과 같은 기본 동작의 수행을 위한 다량의 에너지를 소비하는 시스템이기도 하다. 이는, 바꾸어 말해서, 탑형 태양열발전시스템의 효율적 운영은 헬리오스타트 필드의 효율적 운영을 조건으로 하며, 따라서 헬리오스타트 필드는 집광 효율의 극대화뿐만 아니라, 동시에 헬리오스타트 필드가 소비하는 에너지의 최소화와 과도한 열유속(heat flux) 집중으로 인한 흡수기의 파손과 같은 태양열발전시스템의 손상이 발생되지 않도록 제어되고 또한 운영되어야 한다는 것을 의미한다.

헬리오스타트 필드 제어시스템(heliostat field control system)은 탑형 태양열발전시스템의 헬리오스타트 필드의 운영을 위한 제어시스템으로, 다양한 알고리즘들로 구성되어 있다 [1]. 즉 탑형 태양열발전시스템의 헬리오스타트 필드 제어시스템은, 개별 헬리오스타트의 정상 운전을 위한 기본 제어로직은 물론, 태양열발전시스템을 구성하는 기타 부분에서의 발생 가능한 응급상황에 대처하는 방안을 포함하고 있는 제어시스템이며, 특히 헬리오스타트 필드로부터 반사되어 흡수기에 도달되는 태양열유속의 국부적인 과도한 집중으로 인해 발생 가능한 흡수기 손상을 방지하기 위한 특별한 제어로직들을 포함하고 있는 제어시스템이다.

본 연구는 현재 대구에 건설된 200kW 탑형 태양열발전시스템[2]에서 적용될 헬리오스타트 필드 제어시스템의 운영 알고리즘의 개발

에 관한 것이다. 대구에 건설된 200kW 탑형 태양열발전시스템은 $4m^2$ 의 반사 면적을 갖는 450개의 헬리오스타트로 구성된 헬리오스타트 필드[3]를 가지고 있으며, 공기를 흡수기의 열교환 매체로 사용하는 태양열발전시스템이다.

헬리오스타트 필드 제어시스템의 필요성은 탑형 태양열발전시스템의 정상운전을 고려하여 보면 명확하다. 그럼에도 불구하고 다만 과도한 열구배에 의한 흡수기의 손상을 방지하기 위한 체험적 지식(heuristic knowledge) 기반의 흡수기 보호 알고리즘의 개발에 관한 연구결과[4]만이 문헌에 보고되어 있을 뿐, 현재 실재하는 많은 탑형 태양열발전시스템의 헬리오스타트 필드 운영 또는 제어와 관련된 공개된 문헌자료가 없다. 이는, 다른 분야에서와 유사하게, 하드웨어에 해당되는 태양열발전시스템의 건설과 관련된 자료는 참고문헌을 통하여 공개되나, 소프트웨어에 해당되는 발전시스템의 운영과 관련된 정보는 일반적으로 공개되지 않기 때문인 것으로 생각된다.

본 연구는 국내기술로 대구에 건설된 200kW 탑형 태양열발전시스템에 적용될 헬리오스타트 필드 제어시스템에서 사용될 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘 개발 결과의 일부로서, 헬리오스타트 필드를 구성하는 개별 헬리오스타트의 반사목표점 할당 방안의 수립에 관한 것이다.

2. 헬리오스타트 필드 제어시스템의 기본 구조

본 연구에서 수립한 헬리오스타트 반사목표점 할당 방안의 설명에 앞서, 우선 본 연구와 후속 연구에서 개발되는 모든 알고리즘들이 적용되기 위한 헬리오스타트 필드 제어시스템의 기본 구조를 제시하는 것이 필요하다.

그림 1은 본 연구에서 개발되는 모든 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘이 적용되기 위한 헬리오스타트 필드 제어시스템의 기본 구조를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이, 헬리오스타트 필드 제어시스템은 태양열발전시스템을 통합 운영하는 통합제어시스템(master control system)으로부터 기상정보와 흡수기를 포함하는 주변 요소시스템의 운전 정보를 전달받는다. 헬리오스타트 필드 제어시스템은 이와 같은 정보와 헬리오스타트의 실제 동작을 제어하는 헬리오스타트 태양추적제어시스템(heliostat sun tracking control system)[5]으로부터 전송되어 오는 정보를 혼합적으로 사용하여 헬리오스타트의 운전모드(operation mode)를 결정하고 이를 다시 헬리오스타트 태양추적제어시스템에 보내주며, 동시에 필요한 경우 동적으로 특정 헬리오스타트의 반사목표점(aiming point)을 조정함으로써 흡수기에서 국부적으로 과도한 열유속 집중현상이 발생되지 않도록 한다.

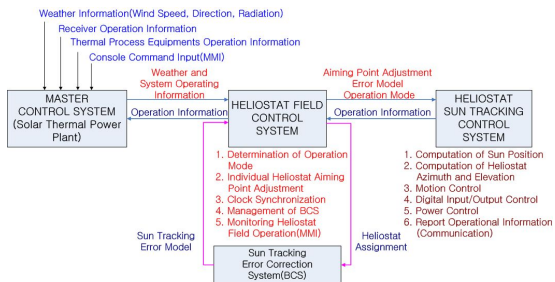


Fig. 1 Basic structure of heliostat field control system

헬리오스타트 필드 제어시스템은 또한 그림 1에서와 같이 헬리오스타트 개별 태양추적제어기가 태양위치계산에서 요구되는 실시간 정보의 주기적 갱신을 위하여 현재시간을 헬리오스타트 태양추적제어기에 보내주며, 마지막으로 개별 헬리오스타트의 태양추적오차를

측정하고 이를 모델링하여 개별 헬리오스타트의 태양추적오차를 보상하기 위한 BCS(beam characterization system)[6]의 운영을 관리하는 역할도 수행한다.

3. 헬리오스타트 반사목표점 할당 방안

헬리오스타트 필드는 헬리오스타트 필드의 집광효율이 극대화되도록 설계되어 있으며, 헬리오스타트 필드의 집광효율은 필드의 모든 헬리오스타트가 흡수기의 중심점을 반사목표점으로 하는 경우 최대값이 된다.

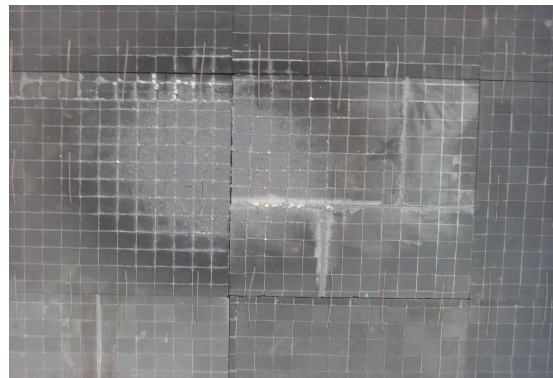


Fig. 2 Damage caused by highly concentrated heat flux at the center of receiver surface

그러나 만약 헬리오스타트 필드의 모든 헬리오스타트들이 흡수기의 중심점을 반사목표점으로 하여 태양추적을 수행하면 흡수기로 도달되는 태양열유속(solar heat flux)이 중심부에 국부적으로 집중되고 따라서 과도한 열 집중(heat concentration) 현상으로 인한 흡수기 손상이 발생할 수도 있다. 그림 2는 현재 대구에 건설된 200kW 태양열발전시스템의 모든 헬리오스타트가 흡수기의 중심점을 반사목표점으로 하여 태양추적을 수행하는 과정에서 발생된 흡수기 표면 손상을 실제 촬영한

사진이다.

헬리오스타트 반사목표점 할당 방안은 헬리오스타트 필드의 개별 헬리오스타트 반사목표점을 분산하여 할당함으로써 흡수기에 도달되는 열유속의 최대값 및 구배가 흡수기 설계조건을 충족시키도록 만드는 로직이다.

그런데 헬리오스타트 반사목표점 할당 방안 수립에서 가장 중요한 것은, 헬리오스타트들이 분산된 반사목표점을 사용함으로써 감소되는 헬리오스타트 필드의 광학효율이 최소화되도록 하는 로직으로 할당 방안이 수립되어야 한다는 것이다. 이는 집열밀도를 높이기 위한 목적에서 당초 충분히 크지 않은 면적으로 설계된 흡수기에 중심점이 아닌 분산된 반사목표점을 사용함으로써 헬리오스타트 필드의 집광효율은 감소할 수밖에 없으며, 따라서 헬리오스타트 반사목표점 할당 방안은 흡수기 보호를 위한 과도한 열유속 집중 현상을 방지하면서도 동시에 헬리오스타트 필드의 집광효율이 당초 설계 효율로부터 과도하게 감소하지 않도록 하는 로직으로 구성되어야 한다는 것이다.

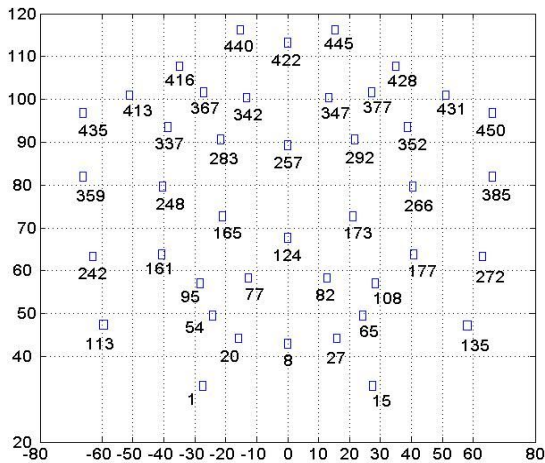


Fig. 3 Heliostat used to investigate the variation of optical efficiency depending on different aiming point

헬리오스타트 반사목표점 할당 방안의 수립을 위하여, 본 연구에서는 우선 그림 3에서와 같이 헬리오스타트 필드의 다양한 지점에 위치하는 헬리오스타트가 그림 4에서와 같은 흡수기 지점들을 반사목표점으로 사용하는 경우의 연중 집광효율 변화를 분석하였다.

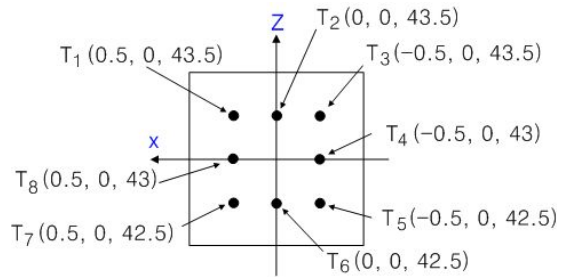


Fig. 4 Coordinate of aiming point on the receiver

Table. 1 Variation of annual average optical efficiency of heliostat depending on different aiming point

헬리오스타트	연평균 집광효율(%)							
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈
1	0.73	0.75	0.61	0.70	0.72	0.76	0.64	0.72
8	0.69	0.74	0.69	0.72	0.70	0.74	0.70	0.72
15	0.61	0.75	0.73	0.72	0.64	0.76	0.72	0.70
242	0.64	0.64	0.46	0.60	0.63	0.67	0.53	0.64
257	0.60	0.67	0.60	0.67	0.63	0.69	0.63	0.67
272	0.46	0.64	0.64	0.64	0.53	0.67	0.63	0.60
435	0.60	0.63	0.48	0.61	0.61	0.66	0.53	0.64
422	0.57	0.64	0.57	0.66	0.60	0.68	0.60	0.66
450	0.48	0.63	0.60	0.64	0.53	0.66	0.61	0.61

헬리오스타트의 위치 변화와 반사목표점의 변화에 따른 연중 집광효율은, 분석에 사용된 일부 헬리오스타트의 집광효율 변화를 나타낸 표 1에서와 같이, 다음과 같은 규칙에 따라 변화하는 것으로 나타났다.

- ① 중심점을 제외하면 모든 헬리오스타트는 T₆를 반사목표점으로 할 경우 가장 큰 집광효율을 갖는다.

- ② 모든 헬리오스타트에서 T_2 , T_6 를 반사목표점으로 하는 경우가 T_1 , T_3 , T_5 , T_7 을 반사목표점으로 하는 경우보다 높은 집광효율을 갖는다.
- ③ 집광효율은 탑에서부터 멀어질수록 그리고 필드의 중심축으로부터 멀어질수록 낮아진다.
- ④ 탑 가까이 위치한 헬리오스타트에서는 T_6 를 반사목표점으로 하는 경우의 집광효율과 T_2 를 반사목표점으로 하는 경우의 집광효율의 차이가 크지 않다. 그러나 탑으로부터 먼 거리에 위치한 헬리오스타트는 반사목표점을 T_6 또는 T_2 로 하는 경우의 집광효율이 상대적으로 탑 가까이 위치한 헬리오스타트보다 큰 차이를 갖는다.

3.1 정적 반사목표점 할당

분산된 반사목표점의 사용에 따른 헬리오스타트 필드의 집광효율 감소를 최소화할 수 있는 반사목표점 할당 방안은, 헬리오스타트 필드의 다양한 지점에 위치하는 개별 헬리오스타트의 연평균 집광효율 분석 결과에 근거하여, 다음과 같은 규칙들을 반사목표점의 할당 방안으로 사용함으로써 실현될 수 있다.

- ① 탑으로부터 먼 거리에 위치하는 헬리오스타트들의 반사목표점은 T_6 로 설정되어야 하며, 다른 지역과 비교하여 높은 집광효율을 갖는 탑 가까이에 위치하는 헬리오스타트의 반사목표점은 T_2 가 되어야 한다.
- ② 헬리오스타트 필드의 중앙부에 위치하는 헬리오스타트들의 반사목표점은 T_4 또는 T_8 로 설정되는 것이 필요하다.
- ③ 필드 중심축을 기준으로 좌우 대칭지점에 위치하는 헬리오스타트의 집광효율은 일중 시간 변화에 따라 대칭적으로 변화하며 따라서 필드 중심축을 기준으로 좌우대칭에

- 위치한 헬리오스타트는 동일한 반사목표점을 갖도록 할당해 주는 것이 필요하다.
- ④ 탑으로부터 먼 거리에 위치하는 헬리오스타트가 담당하는 반사목표점으로 태양열을 반사시키는 헬리오스타트의 수는, 가까운 거리에 위치하는 헬리오스타트가 담당하는 반사목표점으로 태양열을 반사시키는 헬리오스타트의 수보다 많아야 된다.

그림 5는 이상과 같은 규칙을 적용하여 얻어진 200kW 탑형 태양열발전시스템의 헬리오스타트 필드의 정적(static) 반사목표점 할당 방안을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이, 본 연구에서 수립된 헬리오스타트 반사목표점 할당 방안은 헬리오스타트 필드를 90개의 작은 소그룹으로 나누며 동시에 G_1 , G_2 , G_3 , G_4 와 같은 4개의 대영역으로 나누고, 이들 각각의 대영역에 속한 헬리오스타트들이 흡수기의 T_2 , T_4 , T_8 , T_6 를 각각의 반사목표점으로 하여 태양추적을 수행하도록 하는 것이다. 그림 5의 숫자는 헬리오스타트 필드를 90개의 소그룹으로 나눈 소그룹 번호를 나타내며, 소그룹 번호의 괄호 안에 있는 수는 해당 소그룹에 소속되어 있는 헬리오스타트의 수를 나타낸다.

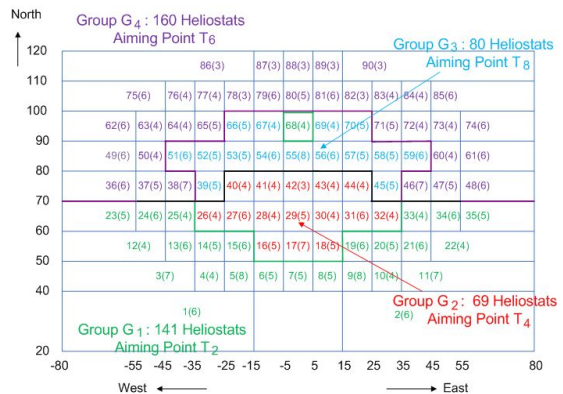


Fig. 5 Heliostat static aiming point allocation scheme

그림 6은, 헬리오스타트 필드가 그림 5에서와 같이 할당된 정적 반사목표점 할당 방안을 사용하여 2013년 3월 20일(춘분) 태양남중시간(12시 33분 12초) 단위 직달일사량($1W/m^2$) 조건에서 흡수기로 반사시킨 태양열유속의 분포를 나타낸 것이다. 또한 그림 7은 동일 시간에서 필드의 모든 헬리오스타트가 흡수기의 중심을 반사목표점으로 설정한 경우 흡수기에 도달된 열유속 분포를 나타낸 것이다. 그림 6과 그림 7을 비교하여 보면, 수립된 헬리오스타트 반사목표점 할당 방안은 춘분 시기에 최대 열유속의 크기를 41.8% 감소시켰으며 따라서 흡수기의 열유속 구배(heat flux gradient) 역시 감소시킬 수 있게 함을 알 수 있다.

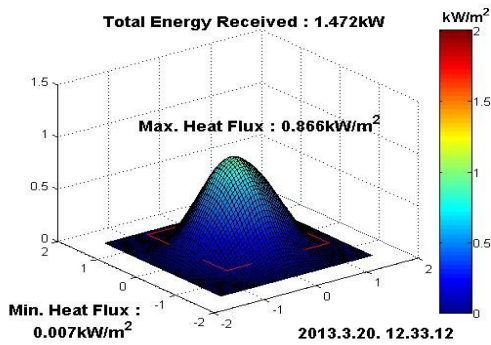


Fig. 6 Heat flux distribution at solar noon time of 2013. 3.20. when static aiming point allocation scheme is used

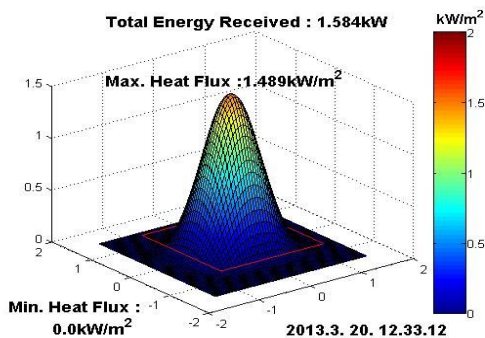


Fig. 7 Heat flux distribution at solar noon time of 2013. 3.20. when all heliostats aim at the center of receiver

Table. 2 Heat flux distribution on the receiver at vernal equinox, summer and winter solstice of 2013 using static aiming point allocation scheme

일자	시간 (태양고도)	열유속(kW/m^2)				
		중심	T_2	T_4	T_6	T_8
3.20 (춘분)	7:48:9(15°)	0.62	0.46	0.37	0.43	0.49
	12:33:12(54°)	0.87	0.60	0.61	0.61	0.61
	17:18:46(15°)	0.62	0.45	0.52	0.42	0.34
6.21 (하지)	6:34:59(15°)	0.51	0.41	0.30	0.32	0.40
	12:27:26(78°)	0.81	0.61	0.58	0.54	0.57
	18:19:50(15°)	0.52	0.40	0.44	0.31	0.26
12.22 (동지)	9:9:35(15°)	0.71	0.47	0.44	0.52	0.53
	12:24:10(31°)	0.86	0.56	0.59	0.65	0.61
	15:38:45(15°)	0.72	0.46	0.54	0.51	0.44

표 2는 그림 5에서와 같이 할당된 정적 반사목표점을 사용한 경우에 단위 직달일사량 조건에서 2013년 춘분(3월 20일), 하지(6월 21일) 및 동지(12월 22일)에서 흡수기의 T_2 , T_4 , T_6 , T_8 및 중심점으로 입사되는 열유속들을 나타낸 것이다.

표 2를 살펴보면, 그림 5와 같이 할당된 반사목표점을 사용하면 비록 춘분 또는 추분의 태양남중시간에 흡수기 T_2 , T_4 , T_6 , T_8 점에서 균일한 열유속 분포를 얻을 수 있으나, 기타 시간 또는 기타 계절에서는 T_2 , T_4 , T_6 , T_8 로 입사되는 열유속이 균일한 분포가 되지 않음을 알 수 있다.

3.2 동적 반사목표점 할당

동적 반사목표점 할당은 일중 시간 및 계절이 변화하여도 설정된 흡수기 지점들에서 여전히 균일한 열유속 분포를 갖도록 하기 위하여 그림 5에서 설정된 정적 반사목표점 할당 방안에 추가하여 헬리오스타트의 반사목표점을 시간에 따라 동적으로 조정하는 것이다.

그림 5의 정적 반사목표점 할당 방안의 적용 결과인 표 2를 다시 살펴보면, 오직에는

T_8 에 도달되는 열유속이 T_4 에 도달되는 열유속보다 크며, 반대로 오후에는 T_4 에 도달되는 열유속이 T_8 에 도달되는 열유속보다 크다. 동시에 하절기에는 T_2 로 입사되는 열유속이 T_6 의 것보다 크며, 동절기에는 반대로 T_6 로 입사되는 열유속이 T_2 에 도달되는 열유속보다 크다.

본 연구에서는 이와 같은 일중 및 연중 시간의 변화에 따라 설정된 반사목표점에서 불균일하게 되는 열유속을, 춘분 또는 추분의 남중시간에서와 유사한 균일성을 갖는 분포로 만들기 위하여 다음과 같이 헬리오스타트의 반사목표점을 일중 시간 및 계절의 변화에 따라 동적으로 조정하는 방안을 추가하였다.

- ① 대영역 G_1 의 소그룹 68에 소속되어 있는 4개의 헬리오스타트는 하루 중의 태양고도각의 변화에 따라 그림 8에서와 같이 반사목표점을 조정한다. 그림 8의 E_N 은 해당일의 태양 남중 고도각이다.
- ② 대영역 G_3 의 소그룹 54, 55, 56에 소속되어 있는 20개의 헬리오스타트를 다시 S_1, S_2, S_3 과 같은 세그룹으로 나누고, 이들을 태양남중 시간 기준으로 오전 중에 태양고도각 변화에 따라 그림 9에서와 같이 반사목표점을 조정한다. 그림 9의 S_1, S_2, S_3 에 포함되어 있는 수는 해당 그룹에 소속된 헬리오스타트 번호를 나타내는 수이다.
- ③ 대영역 G_2 의 소그룹 17, 28, 29, 30, 41, 43에 소속되어 있는 헬리오스타트 28개를 그림 10에서와 같이 다시 S_4, S_5, S_6 의 세그룹으로 나누고, 이들을 태양남중 시간 기준으로 오후 중에 태양고도각 변화에 따라 그림 10에서와 같이 반사목표점을 조정한다.

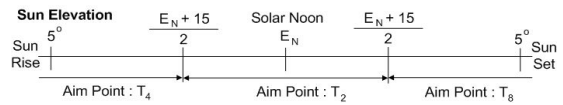


Fig. 8 Dynamic aiming point allocation scheme for the heliostats in group 68

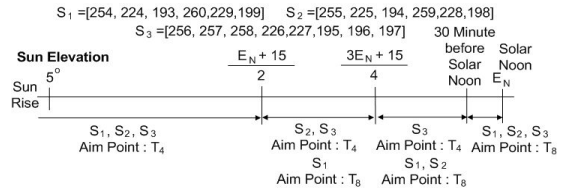


Fig. 9 Dynamic aiming point allocation scheme for the heliostats in group 54, 55, 56

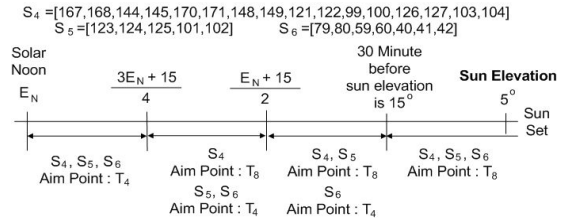


Fig. 10 Dynamic aiming point allocation scheme for the heliostats in group 17, 28, 29, 30, 41, 43

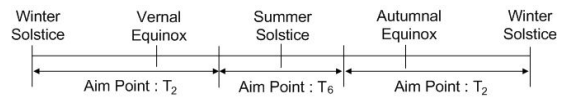


Fig. 11 Dynamic aiming point allocation scheme for the heliostats in group 6, 7, 8

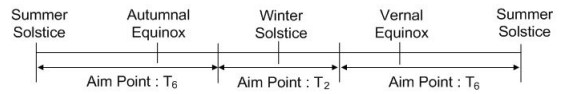


Fig. 12 Dynamic aiming point allocation scheme for the heliostats in group 79, 81

- ④ 대영역 G_1 의 소그룹 6, 7, 8에 소속되어 있는 헬리오스타트 15개를 연중 계절 변화에 따라 그림 11에서와 같이 반사목표점을 조정한다.
- ⑤ 대영역 G_4 의 소그룹 79, 81에 소속되어 있는 헬리오스타트 12개를 연중 계절 변화에 따라 그림 12에서와 같이 반사목표점을 조정한다.

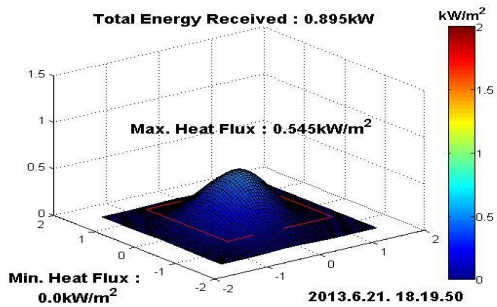


Fig. 13 Heat flux distribution at 18:19:50 of 2013.6.21. when static and dynamic aiming point allocation scheme are used simultaneously

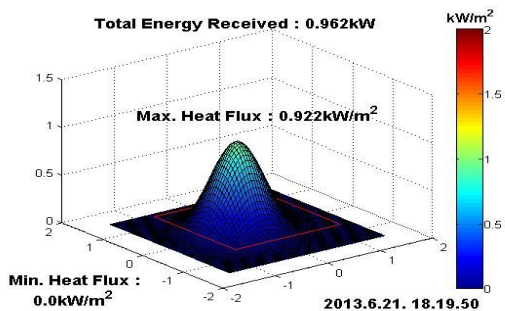


Fig. 14 Heat flux distribution at 18:19:50 of 2013.6.21. when all heliostats aim at the center of receiver

그림 13은 헬리오스타트 정적 반사목표점 할당 방안에 더하여 추가적으로 동적 반사목표점 할당 방안이 사용된 경우의 흡수기로 입사되는 열유속 분포 예를 보여주기 위한 것으로서, 2013년 6월 21일(하지) 18시 19분 50초에서의 흡수기로 입사되는 열유속 분포를 나타낸 것이다. 또한 그림 14는 그림 13의 열유속 분포와의 비교를 위하여 동일시간에 헬리오스타트 필드의 모든 헬리오스타트가 흡수기 중심점을 반사목표점으로 설정하고 태양추적을 수행하는 경우 생성된 열유속 분포를 나타낸 것이다.

표 3은 정적 반사목표점 할당 방안에 추가하여 동적 반사목표점 할당 방안이 동시에 적용된 경우에 단위 직달일사량($1W/m^2$) 조건에서 2013년 춘분(3월 20일), 하지(6월 21일)

및 동지(12월 22일)에 흡수기 T_2 , T_4 , T_6 , T_8 및 중심점으로 입사되는 열유속들을 나타낸 것이다. 표 3을 표 2와 비교하여 보면 동적 반사목표점 할당 방안이 추가된 경우, 정적 반사목표점 할당만을 사용한 경우 시간 및 계절 변화에 따라 나타나는 열유속의 불균일 현상을 제거하고 있음을 볼 수 있다.

Table. 3 Heat flux distribution on the receiver at vernal equinox, summer and winter solstice of 2013 using static and dynamic aiming point allocation scheme simultaneously

일자	시간 (태양고도)	열유속(kW/m^2)				
		중심	T_2	T_4	T_6	T_8
3.20 (춘분)	7:48:9(15°)	0.63	0.46	0.43	0.44	0.44
	12:33:12(54°)	0.87	0.60	0.61	0.61	0.61
	17:18:46(15°)	0.64	0.46	0.44	0.45	0.43
6.21 (하지)	6:34:59(15°)	0.53	0.37	0.35	0.37	0.35
	12:27:26(78°)	0.80	0.55	0.59	0.59	0.57
	18:19:50(15°)	0.55	0.38	0.36	0.36	0.35
12.22 (동지)	9:9:35(15°)	0.72	0.50	0.51	0.50	0.47
	12:24:10(31°)	0.87	0.60	0.59	0.61	0.61
	15:38:45(15°)	0.74	0.50	0.47	0.50	0.51

Table. 4 Comparison of heliostat field optical efficiency

일자	시간 (태양고도)	중심점 사용		분산된 반사목표점 사용	
		집열량 (kW)	효율 (%)	집열량 (kW)	효율 (%)
3.20 (춘분)	7:48:9(15°)	1.149	63.8	1.067	59.3
	12:33:12(54°)	1.584	88.0	1.472	81.8
	17:18:46(15°)	1.153	64.1	1.076	59.8
6.21 (하지)	6:34:59(15°)	0.963	53.5	0.890	49.4
	12:27:26(78°)	1.485	82.5	1.386	77.0
	18:19:50(15°)	0.962	53.4	0.894	49.7
12.22 (동지)	9:9:35(15°)	1.287	71.5	1.192	66.2
	12:24:10(31°)	1.582	87.9	1.462	81.2
	15:38:45(15°)	1.291	71.7	1.20	66.7

표 4는 분산된 반사목표점 사용에 따른 헬리오스타트 필드 집광효율의 감소를 보여주기 위한 것으로, 당초 작동유체에 전달되는 열밀

도를 높이기 위한 목적에서 최소한의 입구 면적을 갖도록 설계된 흡수기에 분산된 반사목표점을 사용함으로써 발생될 수밖에 없는 집광효율의 손실 정도를 보여주고 있다. 표 4의 집열량은 해당 시간에서 단위 직달일사량을 기준으로 흡수기에 도달되는 총열량이며, 중심점 사용은 필드의 모든 헬리오스타트가 흡수기의 중심점을 반사목표점으로 하는 경우를 나타낸다.

4. 결 론

헬리오스타트 반사목표점 할당 알고리즘은 과도한 열유속의 국부적 집중현상으로 인한 손상으로부터 흡수기를 보호하기 위한 방안으로, 탑형 태양열발전시스템의 정상운전을 위한 필수 로직 중의 하나이다.

본 연구는 대구에 건설된 200kW 탑형 태양열발전시스템의 헬리오스타트 필드의 효율적 운영기술 개발을 목적으로 수행되고 있는 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘 개발 결과의 일부로, 헬리오스타트 필드를 구성하는 450개의 헬리오스타트의 반사목표점 할당 방안을 수립한 것이며, 다음과 같은 내용을 포함하고 있다.

- (1) 헬리오스타트 반사목표점 할당 방안은 정적 할당 방안과 동적 할당 방안으로 구성되어 있다.
- (2) 헬리오스타트 반사목표점 할당 방안은, 분산된 반사목표점 사용에 따른 헬리오스타트 필드 광학효율의 감소가 최소화되도록 하는 관점에서 수립되었다.
- (3) 시뮬레이션을 통하여 검증된 반사목표점 할당 알고리즘은, 흡수기로 유입되는 최대 열유속의 크기를 모든 헬리오스타트가 중심점을 반사목표점으로 사용하는 경우와 비교하여 40% 이상 감소시켰으며, 동시에 헬리오스타트 필드의 광학효율 감소가 연평균 5.5%이내가 되도록 한다.

본 연구의 헬리오스타트 필드 반사목표점 할당 방안은, 현재 개발이 진행되고 있는 헬리오스타트 필드 동작 시간의 설정, 응급상황 대처 방안 등과 같은 운전모드를 포함하는 헬리오스타트 필드 운전모드의 구성 및 개별 운전모드에서의 헬리오스타트 필드 운전 알고리즘과 더불어 적용되어 200kW 탑형 태양열발전시스템의 효율적 운영에 기여할 것으로 기대하고 있다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다(2013-0351).

Reference

1. PIER : California Energy Commission, "Renewable Energy : Solar two central receiver", October 1999
2. Park M.H., "Introduction of Daegu City Gas Power Tower Project", The Magazine of Korean Solar Energy Society, Vol. 9, No. 2, 2010, pp. 14-18
3. Park, Y.C., "Design of Heliostat Field for 200kW Tower Type Solar Thermal Power Plant", J. of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 5, 2012, pp. 41~51
4. Garcia-Martin F.J., Berenguel M., Valverde, A. and Camacho E.F., "Heuristic Knowledge Based Heliostat Field Control for the Optimization of the Temperature Distribution in a Volumetric Receiver", Solar Energy, Vol. 66, No. 5, 1999, pp. 355-369
5. Park, Y.C., "Heliostat Control System", J. of the Korean Solar Energy Society, Vol. 29, No. 1, 2009, pp. 50~57
6. Hong Y.P. and Park Y.C., "Measurement and Compensation of Heliostat Sun Tracking Error using BCS", J. of Institute of Control. Robotics and Systems, Vol. 18 No. 5, 2012, pp. 502-508