

200kW 타워형 태양열발전시스템의 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘 개발

Development of Heliostat Field Operational Algorithm for 200kW Tower Type Solar Thermal Power Plant

박영철
Park Young Chil

(Submit date : 2014. 7. 31., Judgment date : 2014. 8. 3., Publication decide date : 2014. 10. 22.)

Abstract : Heliostat field in a tower type solar thermal power plant is the sun tracking mirror system which affects the overall efficiency of solar thermal power plant most significantly while consumes a large amount of energy to operate it. Thus optimal operation of it is very crucial for maximizing the energy collection and, at the same time, for minimizing the operating cost. Heliostat field operational algorithm is the logics to control the heliostat field efficiently so as to optimize the heliostat field optical efficiency and to protect the system from damage as well as to reduce the energy consumption required to operate the field. This work presents the heliostat field operational algorithm developed for the heliostat field of 200kW solar thermal power plant built in Daegu, Korea. We first review the structure of heliostat field control system proposed in the previous work to provide the conceptual framework of how the algorithm developed in this work could be implemented. Then the methodologies to operate the heliostat field properly and efficiently, by defining and explaining the various operation modes, are discussed. A simulation, showing the heat flux distribution collected by the heliostat field at the receiver, is used to show the usefulness of proposed heliostat field operational algorithm.

Key Words : 타워형 태양열발전시스템(Tower type solar thermal power plant), 헬리오스타 필드(Heliostat field), 헬리오스타트 필드 제어시스템(Heliostat field control system), 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘(Heliostat field operational algorithm)

*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

타워형 태양열발전시스템의 헬리오스타트 필드(heliostat field)는 타워형 태양열발전시스템의 발전효율에 가장 큰 영향을 미치는 부분이며, 동시에 다량의 에너지를 소비하는 부분이기도 하다. 이는, 바꾸어 말해서, 타워형 태양열발전시스템의 효율적 운전은 헬리오스타트 필드의 효율적 운전을 선행 조건으로 하여야 하며, 따라서 헬리오스타트 필드는 필드 광학효율의 극대화과 동시에 필드가 소비하는 에너지의 최소화가 이루어지도록 운영되어야 한다.

헬리오스타트 필드 제어시스템은 타워형 태양열발전시스템의 헬리오스타트 필드의 효율적 운전을 위한 제어시스템으로, 다양한 운영 알고리즘들로 구성되어 있는 통합제어시스템이다[1]. 즉 타워형 태양열발전시스템의 헬리오스타트 필드 제어시스템은 헬리오스타트 필드를 구성하는 개별 헬리오스타트가 다양한 운전 조건에 효율적으로 대응하는 운전을 수행함으로써, 태양열발전시스템 발전효율의 극대화는 물론 필드가 소비하는 에너지의 최소화가 이루어지도록 하는 제어시스템이다.

현재 세계적으로 다양한 형태의 타워형 태양열발전시스템[2]이 상용 발전을 수행하고 있으며, 따라서 이들 발전시스템에서 사용되는 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘을 포함하는 헬리오스타트 필드 제어시스템이 실재한다. 그럼에도 불구하고, 다만 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘의 일부로서, 과도한 열구배에 의한 손상으로부터 흡수기를 보호하기 위한 알고리즘의 개발에 관한 연구[3]만이 현재까지 공개되어 있을 뿐, 그 어떤 형태의 헬리오스타트 필드 제어시스템과 관련된 자료가 공개되어 있지 않다.

타워형 태양열발전시스템의 효율적 운전을 위한 헬리오스타트 필드 제어시스템은, 따라서, 순수 국내 기술에 의하여 독자적으로 개발되어야만 된다. 본 연구는 현재 대구에 건설된 200kW 타워형 태양열발전시스템[4]의 헬리오스타트 필드 제어시스템에서 사용될 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘의 개발에 관한 것으로, 흡수기로 유입되는 열유속의 과도한 집중을 방지하기 위한 반사목표지점 할당 방안을 개발한 선행연구[5]에 더하여, 헬리오스타트 필드의 통합적 그리고 효율적 운전을 위하여 요구되는 운전 모드들을 분류하고, 이들 개별 운전 모드들의 역할 및 기능을 정의한 것이다.

2. 헬리오스타트 필드 제어시스템의 구조1)

본 연구에서 제안되는 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘의 적용을 위한 헬리오스타트 필드 제어시스템은 그림 1과 같은 구조를 가진다. 즉 본 연구의 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘은 그림 1에서와 같은 구조의 제어시스템에서 사용되며, 그림에서와 같이 헬리오스타트 필드 제어시스템(heliostat field control system)은 기상정보, 발전시스템의 운전정보 그리고 개별 헬리오스타트 운전정보를 기반으로 헬리오스타트 필드의 운전 모드(operation mode)를 결정하고, 이를 헬리오스타트 태양 추적제어시스템(heliostat sun tracking control system)을 통하여 실행함으로써 개별 헬리오스타트가 태양열 발전시스템의 통합된 요소시스템으로서의 역할을 수행하도록 한다.

1) 헬리오스타트 필드 제어시스템의 구조는 선행연구[5]에서 이미 설명되었음에도 불구하고, 본 연구에서 개발되는 알고리즘이 적용되는 개념적 골격을 제공하기 위하여 반복 제시하였다.

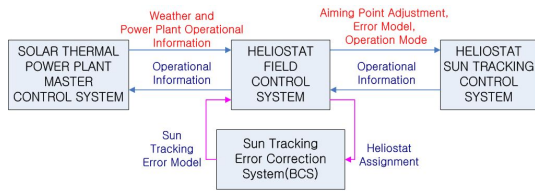


Fig. 1 Basic structure of heliostat field control system[5]

3. 헬리오스타트 운전 모드

헬리오스타트 운전 모드는 헬리오스타트 필드 제어시스템이 결정하는 헬리오스타트 필드의 운영 형태로서, 200kW 타워형 태양열발전시스템을 위한 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘은 운전개시 및 운전종료 모드, 정상추적 모드, 회피 모드, 대기 모드, 비상 및 정상파킹 모드, 특정 방향 이동 모드, 오차보정 모드들로 구성되어 있다.

3.1 운전개시 및 운전종료 모드

헬리오스타트 필드 운영 알고리즘의 운전개시 모드는, 매일 일출이후 헬리오스타트 필드의 운전개시 시간을 결정하며, 동시에 야간동안 대기온도까지 냉각된 흡수기 표면 온도의 점진적 상승을 위하여 헬리오스타트들의 태양 추적을 순차적으로 개시하는 과정을 포함하고 있는 운전 모드이다.

본 연구에서 개발하는 200kW 타워형 태양열발전시스템의 운전개시 모드는, 매일 일출이후 태양 고도각이 5°에 도달하는 시점부터 시작하여, 계산된 헬리오스타트 필드의 광학효율²⁾ η_f 와 해당 시간에 측정된 직달일사량 $I_N [W/m^2]$ 이 식 (1)에서와 같이 발전시스템의

2) 헬리오스타트 필드 광학효율 η_f 는 필드의 모든 헬리오스타트로 입사되는 총 열에너지 $1800I_N$ (I_N :직달일사량)에 대한 흡수기 개구부에 도달되는 열에너지의 비율로 정의된다[6].

초기 동작을 위한 최소 집열에너지³⁾ $Q_{start} [W]$ 보다 커지는 조건을 충족시키는 시점을 헬리오스타트 필드 운전개시 시간으로 설정한다.

$$1800 \times \eta_f \times I_N > Q_{start} \text{ or } Q_{normal} \quad (1)$$

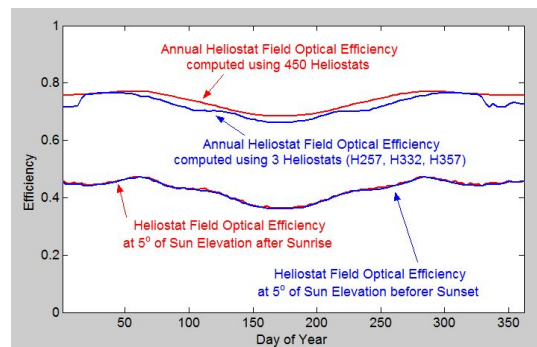


Fig. 2 Annual heliostat field optical efficiency

그림 2는 운전개시 시간 결정을 위하여 일출이후 태양 고도각이 5°에 도달한 시점이후부터 필드의 광학효율을 계산하는 이유를 설명하기 위한 것이다. 그림에서와 같이, 현재 대구에 건설된 200kW 태양열발전시스템은 일출이후 태양의 고도각이 5°가 되는 순간 연평균 43.1%, 최대 47.4%의 필드 광학효율을 가지고 있다. 최대 $100(W/m^2)$ 를 넘지 못하는 대구지방 일출 직후의 직달일사량[7]과 함께 50%를 넘지 못하는 필드 광학효율은 태양열발전시스템을 기동시키기에 충분한 열에너지

3) 식 (1)의 Q_{start} 와 Q_{normal} 그리고 식 (2)의 Q_{end} 은, 각각 일출이후 태양열발전시스템의 운전개시 조건 설정을 위한 최소 집열에너지, 운전개시부터 운전종료까지의 기간 중 발전시스템 운전 조건 설정을 위한 최소 집열에너지, 그리고 일몰 이전 시스템 운전종료 조건 설정을 위한 최소 집열에너지의 량을 나타내며, 이들 최소 집열에너지의 정량적 크기는 발전시스템을 구성하는 증기발생기와 같은 기타 요소 시스템의 동작조건, 생성 및 소비 에너지 밸런스를 종합적으로 고려하여 현장에서 실험적으로 결정되는 값이다.

지를 제공할 수 없으며, 따라서 본 연구에서는 태양 고도각이 5° 이하가 되는 시간에서는 태양열발전시스템을 동작시키기 위한 최소한의 요구 조건이 충족될 수 없다고 판단하였다.

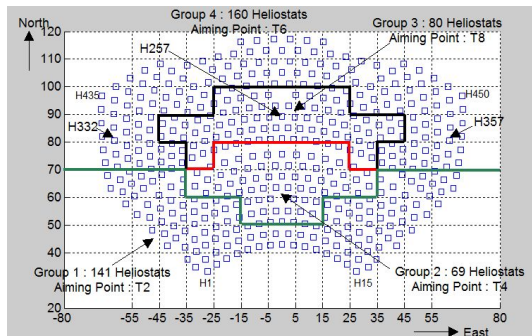


Fig. 3 450 heliostats in the heliostat field and static aiming point allocation of each heliostat[5]

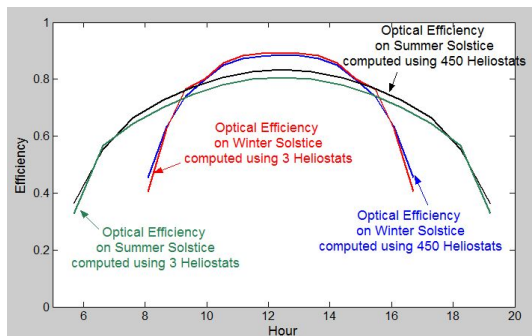


Fig. 4 Heliostat field optical efficiency on summer solstice and winter solstice

일출이후 태양 고도각이 5° 를 넘어서면 헬리오스타트 필드 제어시스템은 그 순간부터 연속적으로 필드 광학효율을 계산하여 운전개시 시간을 찾는다. 그런데 450개의 헬리오스타트로 구성되어 있는 필드의 광학효율의 계산은, 만약 450개의 모든 헬리오스타트를 사용하면 상당한 크기의 연산시간을 필요로 하며, 따라서 실시간 계산을 바탕으로 하는 운전개시 시간의 설정이 불가능해진다. 이에 본 연

구는, 그림 3에서와 같이, 3개의 헬리오스타트 H257, H332, H357를 선택하고, 이들 3개의 헬리오스타트만을 사용하여 계산된 광학효율을 헬리오스타트 필드 전체의 광학효율로 간주함으로써 필드 광학효율의 실시간 계산이 가능하도록 하였다. 그림 2는 선택된 3개의 헬리오스타트만을 사용하여 계산된 필드 광학효율이 450개 헬리오스타트 모두를 사용하여 계산된 필드 광학효율과 대단히 유사하다는 것을 보여주고 있다. 또한 그림 4는 하지 및 동지의 필드 광학효율을 나타낸 것으로, 선택된 3개의 헬리오스타트를 사용하여 계산된 필드 광학효율은, 특히 일출과 일몰시간 부근에서 450개 전체를 사용하여 계산된 광학효율보다 조금 작은 값을 가짐으로서, 3개의 헬리오스타트를 사용하여 계산된 필드 광학효율이 운전개시 시간 결정에 보수적으로 사용되도록 하는 효과를 내고 있음을 보여주고 있다.

운전개시 시간에 도달되면 헬리오스타트 필드 제어시스템은, 정적 및 동적 반사목표점 할당 방안[5]에 따라 개별적으로 설정되어 있는 해당 시간의 반사목표점(aiming point)으로 태양열이 반사될 수 있도록 개별 헬리오스타트의 태양추적 개시를 지시한다. 이 과정에서 만약 모든 헬리오스타트가 동시에 태양추적을 시작하면 흡수기의 표면온도는 야간동안 냉각된 낮은 온도로부터 대단히 높은 온도로 순식간에 상승하게 될 것이며, 이와 같은 급격한 온도상승은 흡수기의 파손을 초래할 수도 있다.

급격한 온도 상승에 따른 흡수기의 손상을 방지하기 위하여 헬리오스타트 필드 알고리즘은 각각의 반사목표점에 배당된 헬리오스타트들을 목표점별로 다시 5개의 소그룹으로 나누고, 이들 각각의 소그룹들이 흡수기에서 측정된 온도를 기반으로 결정되는 명령에 따라 순차적으로 태양추적을 개시하도록 한다.

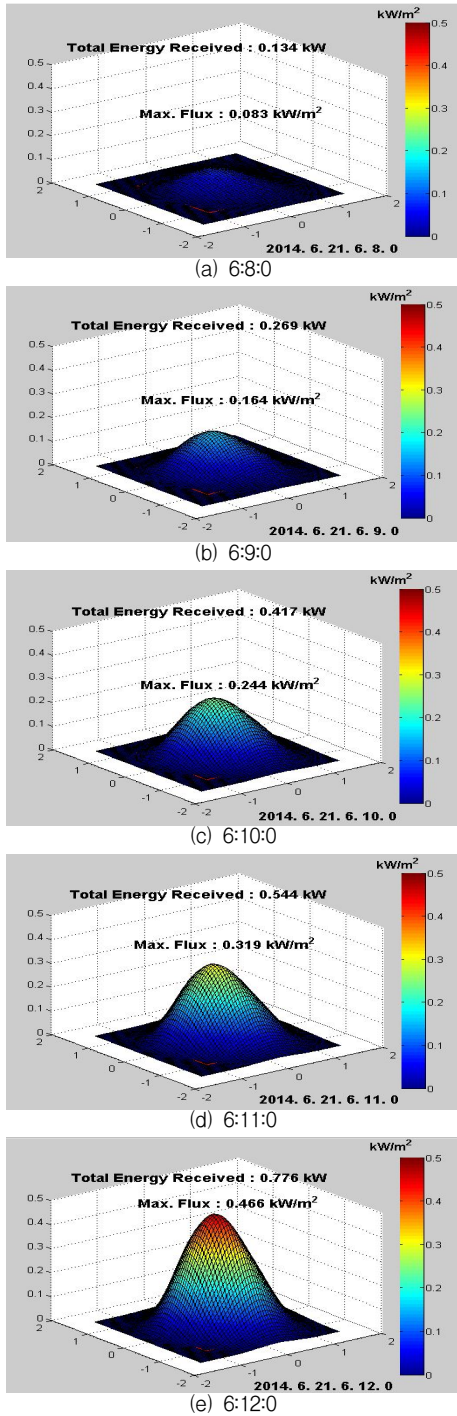


Fig. 5 Sequential increment of solar heat flux after the heliostat field operation start time of 2014. 6. 21. assuming incident solar radiation be $1W/m^2$

그림 5는 소그룹별 헬리오스타트들의 순차적 태양추적에 따른 흡수기에서의 집열량 변화의 효과를 설명하기 위한 예로서, 2014년 6월 21일(하지) 태양 고도각이 5° 에 도달된 오전 5시 41분 9초 이후 약 27분이 경과된 오전 6시 8분 운전개시 조건이 충족되었다고 가정하며, 동시에 운전개시 이후 매 1분이 경과될 때마다 단계별 소그룹의 태양추적이 허용되는 상황으로 헬리오스타트 필드의 운전개시가 이루어졌다고 가정된 경우, 흡수기에 도달되는 태양열유속의 변화를 보여주고 있다.

운전종료 모드는 일중 헬리오스타트 필드의 운전을 종료시키기 위한 동작모드로서, 헬리오스타트 필드 운전종료 시간 결정 및 운전종료 시간 이후 흡수기 온도 하강 구배의 설정값 유지를 위한 개별 헬리오스타트의 태양추적 종료 명령 설정을 포함하고 있다.

$$1800 \times \eta_f \times I_N < Q_{end} \quad (2)$$

헬리오스타트 필드의 운전종료는 운전개시의 역순으로 이루어진다. 즉 계산된 헬리오스타트 필드의 광학효율과 현재 시간에서 측정된 직달일사량이 식 (2)에서와 같이 Q_{end} 보다 작아지는 최초의 시간에 도달되면 헬리오스타트 필드 제어시스템은 개별 헬리오스타트들을 각 그룹의 소그룹별로 순차적으로 태양추적을 중지하고 정상파킹 위치로 이동하게 하며, 동시에 정상파킹 위치로 이동한 개별 헬리오스타트의 구동부 전원이 개별 헬리오스타트 태양추적제어시스템을 통하여 차단되도록 한다.

3.2 정상추적 모드

헬리오스타트 필드 운영 알고리즘의 정상추적 모드는, 운전개시 이후 실시간으로 측정된

직달일사량과 계산된 필드 광학효율이 식 (1)의 $Q_{normal} [W]$ 로 정의되는 태양열발전시스템 운전 조건을 충족시키는 경우, 모든 헬리오스타트가 해당 시간의 정적 및 동적 반사목표점 할당 방안[5]에 따라 설정된 개별 헬리오스타트의 반사목표점으로 태양열에너지를 반사시키기 위한 정상 태양추적을 수행하는 동작모드이다.

3.3 회피 모드

회피 모드는 흡수기를 포함하는 태양열발전시스템의 요소시스템의 파손, 오동작 또는 기타 응급상황 발생 등으로 인하여 헬리오스타트 필드의 집열동작을 즉시 중지시켜야 하는 경우에 사용되는 운전 모드이다. 헬리오스타트 필드 제어시스템이 회피 모드를 결정하면, 모든 헬리오스타트는 즉각적으로 그림 6에서와 같이 흡수기 외부에 설정된 대기점(standby point)으로 태양열이 반사될 수 있도록 자세를 수정하고 태양추적을 중지한다.

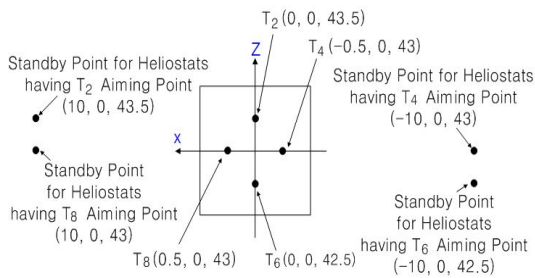


Fig. 6 Coordinates of standby and aiming points

만약 헬리오스타트의 자세가 회피 모드 발령시점에 고정되어 있다면, 회피 모드 발령이후 시간이 경과됨에 따라 헬리오스타트 필드로부터 반사되는 태양열이 다시 흡수기에 도달될 수 있다. 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘은 이와 같은 경우를 방지하기 위하여, 대기

점을 반사목표점으로 하는 자세로 정지되어 있는 헬리오스타트의 위치를 주기적으로 갱신함으로써 필드로부터 반사되는 태양열이 흡수기 또는 탑의 다른 영역에 도달되지 못하게 한다. 동시에 회피 모드 발령시간이 길어지면, 경우에 따라 흡수기의 온도가 대기온도까지 떨어질 수도 있다. 만약 그와 같은 경우가 발생되면 필드 제어시스템은 회피 모드의 해제시점에서 운전개시 모드에서와 같이 헬리오스타트들을 소그룹별로 순차적으로 태양추적을 수행하게 함으로써 흡수기에 과도한 온도상승구배가 발생되지 않도록 한다.

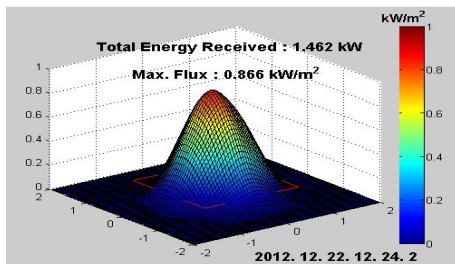
회피 모드의 해제는 다른 경우와는 다르게 태양열발전시스템의 운영자에 의해서만 가능하다.

3.4 대기 모드

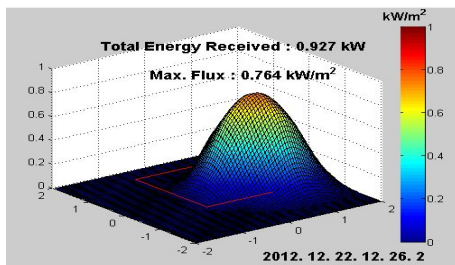
대기 모드는 태양이 일시적으로 구름에 가려워지는 경우와 같이 태양열발전시스템을 동작시키기에 충분한 열에너지의 집열이 불가능한 경우 발령되는 모드로서, 개별 헬리오스타트를 대기 모드 발령시점의 현재 자세에서 태양추적을 중지하고 대기한다. 그러나 만약 대기 모드 발령 시간이 길어지면, 대기 모드 해제가 발령되는 순간 필드로부터 반사된 태양열에너지가 흡수기 이외의 탑의 다른 영역에 순간적으로 집중될 수 있는 상황이 발생할 수도 있다. 따라서 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘은 대기 모드에서도 회피 모드에서와 같이 주기적으로 헬리오스타트들의 자세를 갱신하는 알고리즘을 포함하고 있다.

그림 7은 대기 모드에 있는 헬리오스타트의 자세를 주기적으로 갱신하여 주지 않을 경우 발생 가능한 상황을 묘사한 것으로서, 2014년 12월 22일(동지) 남중시간(12시 24분 2초)에 대기 모드가 발령되었으며, 대기 모드

발령 후 2분 동안 헬리오스타트의 자세를 조정하지 않은 상태에서 태양이 구름에서 갑자기 벗어나는 순간 흡수기 주변에 도달되는 열유속을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 만약 대기 모드에서 주기적으로 헬리오스타트의 자세 조정이 이루어지지 않을 경우, 비록 짧은 순간이기는 하나, 헬리오스타트 필드에 의하여 반사된 태양열이 흡수기 외부에 집중될 수 있으며, 따라서 흡수기 주변 부분의 화재로 인한 파손과 같은 손상이 발생할 수도 있게 된다.



(a) 12:24:2



(b) 12:26:2

Fig. 7 Solar heat flux near the receiver at solar noon and 2 minutes after solar noon on 2014. 12. 22, assuming no sun tracking after solar noon have been performed and incident solar radiation be $1W/m^2$

3.5 비상파킹 및 정상파킹 모드

헬리오스타트 파킹 자세는 헬리오스타트의 반사면이 하늘을 향하도록 하는 자세이며, 비상파킹은 돌발 조건으로부터 헬리오스타트를 보호하기 위한 모드이다.

비상파킹의 발령은, 측정된 순간 풍속 및

일정 시간 측정된 풍속의 평균값이 헬리오스타트의 기동조건에서 정한 값보다 큰 경우 발령되며, 비상파킹의 해제는 회피 모드의 해제에서와 같이 태양열발전시스템 운영자에 의해서 결정된다. 동시에 만약 비상파킹 모드가 작동되어 일시적으로 파킹 자세에 있던 헬리오스타트가 다시 정상추적을 개시하는 경우, 태양추적동작이 개시되는 시점의 흡수기의 온도에 따라 모든 헬리오스타트가 동시에 또는 순차적으로 정상적인 태양추적을 수행한다.

200kW 태양열발전시스템의 헬리오스타트 구동시스템은 순간풍속이 $14(m/s)$ 이하에서 동작하도록 설계되었으며, 따라서 태양열발전시스템으로 불어오는 바람의 세기가 허용풍속을 허용시간 이상 초과하면 필드 제어시스템은 비상파킹 모드를 발령하여 헬리오스타트를 보호한다.

정상파킹은 일중 헬리오스타트 필드의 동작이 완료된 후 야간 동안 모든 헬리오스타트를 파킹 자세로 위치시키고 구동을 위한 전원공급을 차단하는 것이다.

3.6 기타 모드

200kW 태양열발전시스템을 위한 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘은, 이상의 운전 모드에 더하여, 흡수기 영역별 온도 분포에 따라 일시적으로 일부 헬리오스타트의 태양추적을 반사목표점이 아닌 대기점으로 이동시켜 대기시키는 것 또는 개별 헬리오스타트의 유지 보수 등을 위한 지정된 방향으로 헬리오스타트를 회전시켜 대기시키는 것과 같은 특정방향이동 모드와 광특성분석시스템 [8]을 이용하여 개별 헬리오스타트의 태양추적오차를 보정하기⁴⁾ 위한 오차보정 모드를 가지고 있다.

3.7 운전 모드의 선택 및 적용

그림 8은 200kW 태양열발전시스템을 위한 헬리오스타트 필드 운영알고리즘의 개별 운전 모드가 선택되고 또한 적용되는 과정을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 헬리오스타트 필드

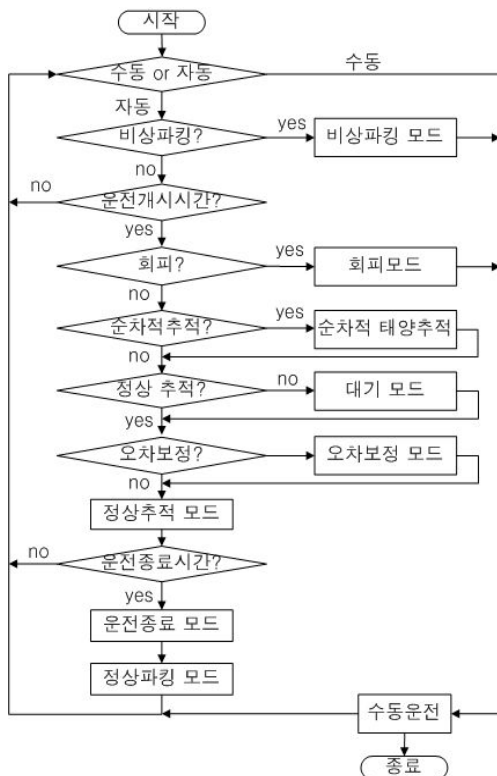


Fig. 8 Flow chart for selection and implementation of operation mode in heliostat field operation algorithm

4) BCS를 이용한 개별 헬리오스타트의 태양추적오차 보정은, 선행연구[8]에서 제시된 것과 같이, 우선 개별 헬리오스타트에서 반사되어 흡수기 하단에 설치된 열유속 측정면에 도달되는 태양열에너지 분포의 중심점이 열유속 측정면의 중심으로부터 벗어난 오차를 광학적으로 측정한다. 그 후 그림 1의 태양추적오차보정시스템(Sun Tracking Error Correction System)은 측정된 추적오차를 기반으로 해당 헬리오스타트의 태양추적오차를 선형 또는 뉴럴네트워크 형태로 모델링(그림 1의 Sun Tracking Error Model)하여 이를 헬리오스타트 필드 제어시스템을 통하여 개별 헬리오스타트 제어시스템으로 보내주며, 해당 헬리오스타트는 전달받은 오차모델을 사용하여 태양추적오차를 보정한다.

운영 알고리즘은 크게 수동운전과 자동운전으로 구분되어 필드를 운영하도록 구성되어 있으며, 수동운전은 필드 제어시스템을 통하여 입력되는 태양열발전시스템 운영자의 명령에 따라 헬리오스타트 필드가 운전되는 것이다.

자동운전 하에 있는 헬리오스타트 필드는 필드의 헬리오스타트를 보호하기 위한 비상파킹 모드의 수행 여부를 최우선으로 하여 운전되며, 동시에 회피 및 대기 모드 운전이 정상 추적 모드보다 우선순위를 갖도록 하는 알고리즘에 의하여 운전된다.

4. 결 론

본 연구는 현재 대구에 건설된 200kW 타워형 태양열발전시스템의 헬리오스타트 필드의 효율적 운전을 위하여 요구되는 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘의 개발 결과로, 선행연구의 반사목표점 할당 방안 수립 결과에 더하여, 필드의 효율적 운영을 위한 운전 행태를 운전 모드들로 구분 설정하고 이들 개별 모드에서의 동작 방안을 수립한 것이다.5)

수립된 헬리오스타트 필드 운영 알고리즘은 돌발 상황으로부터 태양열발전시스템 그리고 헬리오스타트 필드를 보호하기 위한 운전 조건의 선택을 최우선으로 하는 로직으로 구성되어 있으며, 동시에 개별 헬리오스타트의 불필요한 동작에 따른 필드 소비 에너지 감소를 우선하도록 하는 로직들로 구성되어 있다.

5) 본 연구에서 개발된 알고리즘을 태양열발전시스템에 적용하고 이에 따른 개발된 알고리즘의 효율성을 실험적으로 입증하는 과정은 현재 대구에 건설된 태양열발전시스템의 운영 사정으로 단시간 내에 이루어지기는 어려워 보인다. 그러나 본 연구에서 개발된 알고리즘의 적용 및 실험적 검증을 위한 후속 연구가 계속될 수 있도록 하는 방안은 현재에도 그리고 향후에도 지속적으로 검토될 것이다.

본 연구에서 개발된 헬리오스타트 필드 운전 알고리즘은 현재 대구에 건설된 200kW 타워형 태양열발전시스템 운전 기술의 국산화를 통하여 태양열발전시스템의 완전한 국산화에 기여할 것이며, 또한 PTC를 이용한 태양열발전시스템과 같은 유사한 형태의 에너지 활용 시스템의 운전기술 개발에도 기여 할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다(2014-0331).

Reference

1. PIER : California Energy Commission, "Renewable Energy : Solar two central receiver", October 1999
2. http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_thermal_power_stations
3. 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
4. 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
5. Park Y.C., "Development of Heliostat Aiming Point Allocation Scheme in Heliostat Field Control Algorithm for 200kW Tower Type Solar Thermal Power Plant", J. of the Korean Solar Energy Society, Vol. 34, No. 3, 2014, pp. 21~29
6. 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
7. Jo D.K., Kang Y.H. and Auh C.M., "A survey of direct normal insolation resources for the construction of solar thermal power generation sites in Korea", J. of the Korean Solar Energy Society, Vol. 25, No. 1, 2005, pp. 11~18
8. 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