

PV모듈의 배면온도를 고려한 수상 태양광발전 부유구조물의 최적 설계

김석기*
한국에너지기술연구원*

Optimization Design of Floating PV Structure for Back Surface Temperature of PV Module

Seok-Ki Kim*
Korean Institute of Energy Research*

Abstract - 본 논문에서는 태양광발전시스템의 발전 효율을 극대화하기 위한 태양전지 모듈의 배면온도를 낮출 수 있는 부유구조물의 최적화 설계에 대한 것이다. 저수지 수면은 태양에너지를 흡수하게 되면 물 온도의 상승으로 밀도저하가 발생되고 저수지의 수면이 최상층에 위치하여 지속적으로 태양에너지가 흡수는 경우 최상층의 수면온도가 60 ℃ 이상 상승하게 된다. 이는 태양전지 모듈의 배면온도 상승을 주도하여 시스템 발전량의 감소원인으로 작용한다. 수상 태양광발전시스템의 효율 향상을 위해 태양전지 모듈의 온도 저하가 반드시 필요하고, 더불어 저수지 지리적 요건에 따른 바람의 영향 등을 고려한 태양광발전 부유구조물 최적 설계가 요구된다. 열전달 수치해석을 통해 태양광발전 구조물에 대한 최적설계, 태양전지 모듈의 온도 측정 및 성능 검증을 통해 태양광발전 구조물의 상하단의 높이의 최적 설계 조건을 확립하였다.

1. 서 론

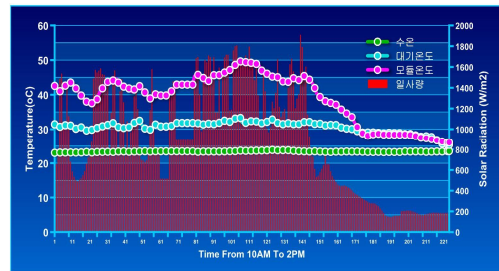
수상 태양광기술은 기존의 지상용 태양광발전기술에 부유구조물 및 계류장치가 부가된 기술로서, 에너지 수입의존도가 큰 국내의 경우 육상 태양광의 환경과피 문제점을 해결하고 동시에 유휴 수면의 활용 측면에서 수상환경에 적용 가능한 태양광발전시설의 개발이 활발히 진행되고 있다. 수상 태양광발전시스템에서 가장 중요시 되는 인자는 태양전지 모듈의 배면온도를 저하시키는 것으로써, 수상 환경에서의 저수지 수면은 태양에너지를 흡수하게 되면 물 온도의 상승으로 밀도저하가 발생되어 저수지의 최상층에 위치하게 되고, 지속적인 태양에너지 흡수는 최상층 수면온도가 상승되어 수상 태양광발전 부유구조물을 구성하는 태양전지 모듈의 배면온도에 영향을 줌으로서 태양광 발전량의 감소를 초래하게 된다. 수상에서의 태양광 발전 출력 향상을 위해 태양전지 모듈의 온도 저하가 필요하고, 저수지 수면의 수상에서의 바람의 영향을 고려한 구조물의 설계 등 저수지 수면과 태양광발전 구조물의 높이에 대한 최적설계가 매우 중요한 변수이다.

본 논문에서는 수상용 열전달 수치해석을 통해 태양광발전 구조물에 대한 최적설계를 하였으며, 태양전지 모듈의 온도 측정 및 성능 검증을 통해 태양광발전 부유구조물의 상하단의 높이가 최적 설계 조건을 확립하고자 한다.

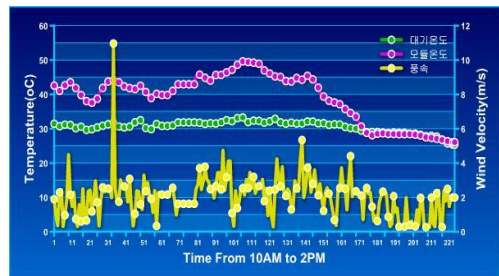
2. 본 론

2.1 태양광발전 인자 도출 및 분석

태양광발전시스템에서 태양전지 모듈의 온도 거동을 파악하기 위해 경사 일사량(W/m²), 대기온도, 수온, 풍속, 태양전지 모듈의 배면온도 측정 결과를 그림 1에 나타내었다. 태양전지 모듈의 온도 거동은 주로 일사량에 영향을 받으며, 정오 12시 부근에서는 태양전지 모듈의 온도는 50℃에 육박하는 수준이었다. 저수지 수면의 밀도는 태양광 일사량에 의해 온도가 올라가면 낮아지고 이 물이 계속해서 저수지 수면의 최상층부에 위치하는 관계로 저수지 수면의 온도는 수심 1.5미터 지점보다 온도가 25 ℃ 이상 높게 관측되었다. 또한 지상에 설치되는 태양전지 모듈은 최대 70 ℃ ~ 80 ℃까지 온도가 상승되는 것으로 보고되고 있다 [1]. 이와 같이 지상과 수상 태양광 발전시스템에서의 태양전지 모듈 온도가 차이가 나는 부분에 대해서는 장기적이고 체계적인 조사가 필요하지만, 이러한 차이를 규명할 수 있는 여러 가지 원인 중에 설치지역의 지리적 환경에 의한 바람 또한 하나의 원인으로 작용할 수 있다. 그림 1은 동일한 시간대에서 측정된 태양전지 모듈의 온도에 따른 일사량과 풍속과의 관계로 측정된 풍속은 1~4 m/sec 순풍 수준을 보였다.



(a) 태양전지 모듈 온도와 일사량

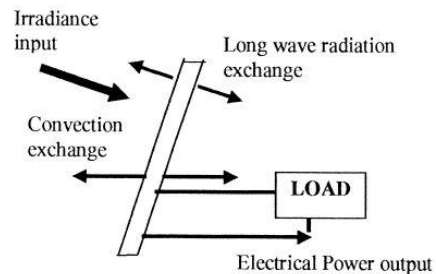


(b) 태양전지 모듈 온도와 풍속

〈그림 1〉 수상환경에서 PV모듈의 온도에 따른 일사량과 풍속

2.2 열전달 수치해석

열전달 수치해석을 통한 태양광발전 구조물의 높이 최적 설계를 위해 저수지 수면온도 및 출력측정결과를 바탕으로 열전달 수치 해석 실시하였다. Jones는 태양광 모듈의 온도 거동을 이해하기 위해 그림 2와 같은 수치해석 모델을 제안하였다. 태양전지 모듈에 입사된 태양에너지는 태양전지 모듈에서 장파장 영역대의 복사 열 교환, 대류에 의한 열 교환, 전도에 의한 열교환, 태양전지 모듈에서 생산된 전력의 합에 의해 평형을 이룬다는 개념이다.



〈그림 2〉 수상 태양전지 모듈의 온도와 풍속 개념

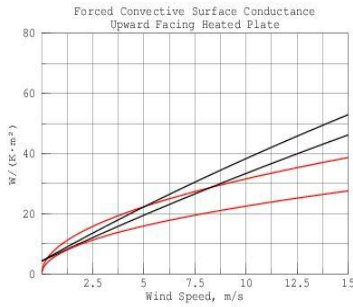
식(1)에 의하면, 태양전지 모듈의 온도를 낮추려면, 태양스펙트럼에서의 장파장 영역의 복사량을 늘리거나, 부유구조물에서 대류에 의한 열전달을 증대시키는 방법이 있다. 본 논문에서는 태양전지 모듈을 제외한 부유 구조물의 대류에 의한 열전달을 늘리는 방법을 모색하였다.

$$C_{module} \frac{dT}{dt} = q_{lw} + q_{conv} - P_{out} \quad (1)$$

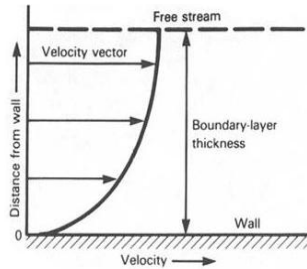
대류에 의한 열전달을 증가시키기 위해서는 태양전지 모듈의 표면적을 증가시켜 대류에 의한 열전달 계수를 높이는 것이 필요하다.

$$q_{conv} = -(h_{c,forced} + h_{c,free}) A (T_{module} - T_{ambient}) \quad (2)$$

대류 열전달 계수는 바람의 속도에 크게 좌우 된다. 아래 그림 3의 열전달 계수 측정결과에 의하면, 풍속 2.5 m/sec에서 대류 열전달 계수는 10 w/(k.m²)이며, 풍속이 5 m/sec일때는 20 w/(k.m²) 수준이었다. 한편 그림 4의 수면 부근에서의 바람과 속도분포에 대한 경계조건(boundary layer)에서는 수면에서는 풍속은 zero가 되고, 수면 위로 올라갈수록 풍속이 증가하기 때문에 태양전지 모듈을 수면위로 위치시키는 것이 대류 열전달 측면에서는 유리함을 확인할 수 있다.



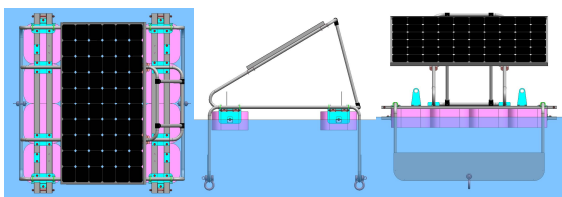
〈그림 3〉 공기의 대류 열전달 계수



〈그림 4〉 수면 부근에서의 바람-속도 분포

2.3 수상 태양광발전 부유구조물 최적 설계

대류 열전달 계수를 높이기 위해서는 태양전지 모듈을 수면 위로 높이 올리는 것이 필요하지만, 태풍 특히 여름철 기상 악조건 및 시스템상 풍화를 위한 단가절감 효과 등을 고려해야하므로 태양광발전 부유구조물의 높이 최적화를 위한 절충점을 필요로 한다. 부유구조물에서 태양전지 모듈의 최적면 위치가 수면위 50cm 지점에 배치되도록 설계 적용하였다. 그림 5는 개선된 수상 태양광발전 부유구조물의 모식도이고, 그림 6은 높이 최적화 설계값이 반영된 수상 태양광발전 부유구조물의 시제품 및 현장시험 테스트 사진을 보였다.



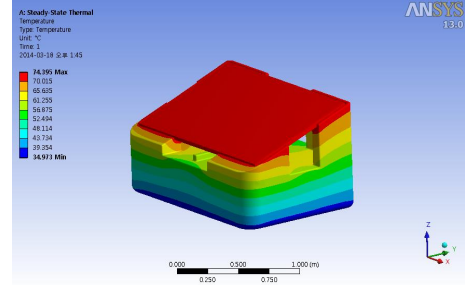
〈그림 5〉 개선된 수상 태양광발전 구조를 모식도



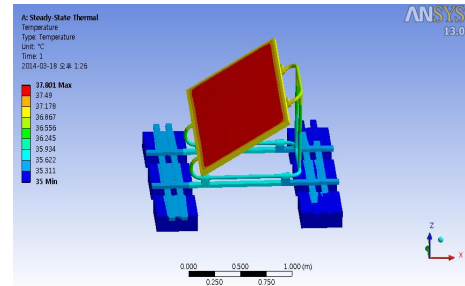
〈그림 6〉 시제품 제작 및 테스트 사진

2.3 수상 태양광발전 부유구조물의 온도 분포

그림 7은 설계된 수상 태양광발전 부유구조물에 대해서 수치해석을 통해 결과물에 대한 검증은 실시하였으며, 비교 대상으로 그림 7(a)와 같이 수면 위 높이를 25 cm로 낮추고 태양전지 모듈 배면의 통풍이 안 되는 폰툰식 구조와 그림 7(b)와 같이 수면 위 이격거리를 50cm 높이로 설계하고 바람이 잘 통하는 구조에 대해서 비교하였다. 결과적으로 폰툰식 부유구조물은 태양전지 모듈의 온도가 73 °C 도까지 상승한 반면, 반잠수식 부유구조물은 태양전지 모듈의 온도가 37 °C 나타내었다..



(a) 폰툰식



(b) 반잠수식

〈그림 7〉 수치해석에 의한 태양광발전 부유구조물의 온도 분포

3. 결 론

태양광발전기술은 최대 난제는 태양전지 모듈의 온도상승에 따른 발전량 감소로서, 이를 해결하기 위한 방안으로 수상태양광기술이 관심 받고 있다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 태양전지 모듈의 배면온도를 저하를 위해 수상용 태양광발전 부유구조물의 최적화 설계를 도모하였다. 저수지 수면은 태양에너지를 흡수로 인한 물 온도 상승으로 밀도가 저하하고, 이로 인해 최상층의 수면온도 상승을 고려하여 열전달 수치해석을 통해 태양광발전 구조물에 대한 최적 설계 및 태양전지 모듈의 온도 측정 및 성능 검증을 통해 태양광발전 구조물의 상하단의 이격거리를 설정하여 설계에 반영하였다. 폰툰식에 비해 이격거리 50 cm로 설계된 반잠수식 태양광발전 부유구조물에서 태양전지 모듈의 온도가 훨씬 낮은 결과를 보였으며, 시제품 제작 및 현장 테스트까지 마침으로서 태양전지 모듈의 배면온도 낮출 수 있는 설계조건을 확립하였다.