

# 냉각시스템에 의한 태양광 발전의 효율 개선

(Solar Photovoltaic According to Installation of Cooling System)

염성배\* · 최홍규 · 최영준 · 홍성구 · 김태훈

(Sung-Bae Yum · Hong-Kyoo Choi · Young-Jun Choi · Seong-goo Hong · Tae-Hoon Kim)

## 요 약

태양광 발전은 일사량이 높을수록 발전량이 증가된다. 그러나 일사량이 높아짐에 따라 셀의 온도도 같이 증가해 발전 효율은 감소하게 된다. 냉각시스템의 설치에 이러한 문제점을 해결하기 위한 적절한 방법이 될 수 있으나 냉각 시스템 설치 후 태양광 발전량의 증가량, 냉각시스템의 설치비용, 냉각시스템의 유지 보수비용 등 실용화에 필요한 내용은 논의되고 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 냉각시스템의 효과 및 상용화 가능성에 대해 기술하였다. 실험 결과 냉각시스템 설치 후, 연평균 약 5.76[%]의 발전량 증가를 기대할 수 있다.

## Abstract

The solar photovoltaic power generator can get more power with the higher solar radiation quantity. However, if the higher solar radiation quantity on cell becomes high temperature, the efficiency of generate will be reduced. To install cooling system for this kind of device can be the way to solve high temperature problem on cell but another problems after install it such as increasing of solar generated quantity problem, cost to install cooling system and cost to be maintained cooling system weren't discussed to practical use this system. So the present paper described about effect and commercial business possibility of cooling system. After installing a cooling system, the results of experiment, about 5.76[%] average annual increasing of solar photovoltaic can expect.

Key Words : Solar Radiation Quantity, Cooling System, Effect And Commercial Business Possibility of Cooling System

## 1. 서 론

화석연료의 고갈 및 환경문제로 인한 신재생에너지의 중요성이 더욱더 부각되고 있는 가운데, 신재생 에너지의 효율의 증대는 신재생 에너지 발전 기술의 중요한 요소 중 하나로 적용되어져야 한다. 본 논문에서는 일사량에 따른 발전량을

\* 주저자 : 홍익대학교 화학시스템공학과 교수  
Tel : 041-860-2218, Fax : 041-866-6940  
E-mail : sungbae@wow.hongik.ac.kr  
접수일자 : 2009년 2월 24일  
1차심사 : 2009년 3월 4일  
심사완료 : 2009년 3월 17일

구하고, 태양광 발전에 적용되는 모듈의 집합체인 array의 표면에 노즐을 이용한 물 분사 냉각 시스템을 설치하여 모듈온도의 감소에 따른 발전량의 변화를 비교하였다. 실제 모듈 회사에서 제공하는 온도-발전량 데이터와 같이 온도변화에 따라 발전량이 선형적으로 변하는지 알아보고, 냉각시스템 설치에 따른 소모비용 및 발전량 증가에 따른 경제성을 평가 하였다. 또한 냉각시스템의 물분사로 인한 기타 기대 효과에 대해 연구 하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 태양광 발전설비와 온도와의 관계

#### 2.1.1 냉각설비의 필요성

태양광 모듈의 온도 상승은 크게 두 가지 문제점을 발생 시킨다. 첫째 최대 70[°C] 이상 까지 증가하는 모듈의 온도는 모듈 표면에 사용되는 백판 강화유리에 손상을 주고 모듈의 수명을 감소시킨다. 또한 박막형을 제외한 모듈의 온도를 1[°C] 변화시키면 효율이 약 0.45~0.55[%] 변화하는 특성을 가진다. 즉, 냉각시스템을 이용해 발전시간동안 모듈 평균온도를 감소시키면 태양광 모듈의 수명 증가와 발전량의 증가가 가능하다[1].

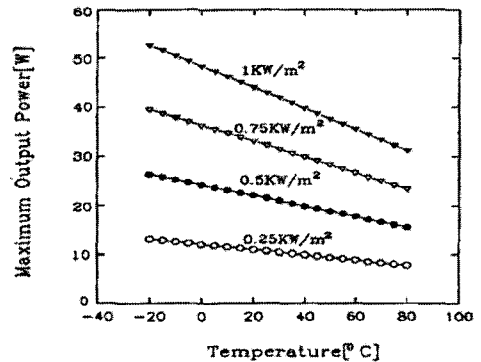
#### 2.1.2 모듈 온도와 발전량의 관계

표 1을 보면 2007년 일사량이 거의 같은 날에도 모듈온도와 발전량에 차이가 있다. 대기온도, 습도, 계절성 기단 등의 영향에 의해 발전시간동안 모듈 온도가 변하게 되고, 발전량에도 변화를 준다. 이 변화를 보면 온도가 증가할수록 발전량은 감소하는 경향을 알 수 있다. 7월 25일과 11월 27일의 경우 비슷한 일사량임에도 불구하고 겨울철인 11월 27일의 발전량이 211[kwh] 증가했다.

표 1. 모듈평균온도와 발전량의 관계  
Table 1. The Relationship of module mean temperature and the power generation

날짜 [월.일]	일사량 [w/m <sup>2</sup> ]	모듈온도 [°C]	발전량 [kwh]
10.6	206.4	33.9	4,281
3.26	206.16	23.9	4,711
10.27	175.33	29	3,742
5.19	175.32	22.8	4,013
7.25	129.55	31.2	2,750
11.27	129.4	16.3	2,953
6.24	79.59	25	1,728
2.17	79.41	13.1	1,784
9.18	40.64	24	817
12.6	40.62	9.1	869

#### 2.1.3 S사의 모듈온도와 발전량



$$P_m(t) = P_m \times Q \times (1 + \alpha(t - 25))$$

$P_m(t)$  : 동작조건에서의 최대출력

$P_m$  : 정격 출력(온도 25[°C], 일사강도 1[kw/m<sup>2</sup>])

$Q$  : 동작조건에서의 일사강도[kw/m<sup>2</sup>]

$t$  : 동작조건에서의 태양전지 표면온도[°C]

$\alpha$  : 온도계수 -0.005/[°C]

위 데이터는 S사의 모듈온도와 최대출력에 대한 그래프이다. 모듈온도 1[°C] 변화에 0.5[%]의 발전량 변화를 갖는다.

냉각시스템에 의한 태양광 발전의 효율 개선

2.1.4 일사량과 발전량의 관계

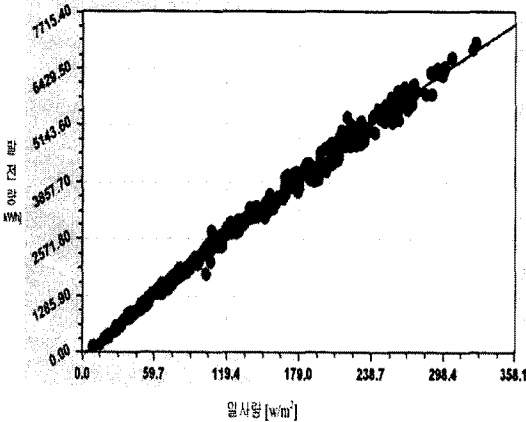


그림 2. 일사량과 발전량의 관계  
Fig. 2. Relationship of solar radiation quantity and the power generation

$y = ax + b$  (1)

a=21.9, b=0.15, 상관계수 : 0.996

위의 그래프와 식은 2007년 1[MW] 태양광 발전소의 1년 동안의 실측 자료로 하루 평균 일사량과 하루 평균 발전량의 관계를 Curve fitting 프로그램을 이용해 나타낸 것으로 일사량과 발전량은 서로 비례하고 1[w/m²]당 21.9[kwh]의 전기를 발생한다.

2.1.5 일사량 차이에 따른 오차를 줄인 발전량 비교

모듈 온도변화에 따른 보다 정확한 발전량의 변화를 찾기 위해 일사량이 비슷한 두 날을 찾고, 두 날의 일사량 차이에 의한 발전량 변화를 더해준 뒤, 모듈 온도에 따른 발전량 차를 알아보았다.

일사량 차이를 고려한 발전량은 두 날의 일사량 차에 식 1에서 나온 21.9를 곱하고 일사량이 작은 날의 발전량을 더하였다. 표 1과 표 2를 조합해보면 일사량이 206.4[w/m²] 일 때 모듈 온도가 10[°C] 내려가면 발전량이 10.17[%] 증가하고, 일사량이 40.64[w/m²] 일 때 모듈 온도가 14.9[°C] 내려가면 발전량이 6.42[%] 증가한다. 모듈온도 1[°C] 감소시

0.5[%] 증가한다는 모듈 특성과 비교하며 14.9[°C]×0.5[%]는 6.7[%]가되고 실제 증가량인 6.42[%]로 이론적인 수치보다 조금 감소하였다. 다른 날의 데이터를 보면 모듈 회사의 데이터에 비해 최대 두 배에서 최소 0.5배까지 차이가 난다. 평균으로 보면 온도 1[°C]당 0.45[%]정도 변화하였다.

표 2. 일사량 차이에 따른 오차를 줄인 발전량 비교  
Table 2. The power generation comparison which reduces the error which follows in solar radiation quantity difference

날짜	모듈 온도차 [°C]	발전량 [kwh]	증가량(%)
10.6	10	4,281	10.17
3.26		4,716.26	
10.27	6.2	3,742	7.25
5.19		4,013.22	
7.25	14.9	2,750	7.5
11.27		2,956.29	
6.24	11.9	1,728	3.47
2.17		1,787.94	
9.18	14.9	817	6.42
12.6		869.44	

2.2 냉각시스템 적용사례 연구

2.2.1 냉각시스템 정지시 발전량 변화

냉각시스템을 가동시켜 모듈온도를 제어하고 있는 도중 오후 12시 50분에서 오후 2시 까지 1시간 10분 동안 냉각시스템을 정지시켰다. 냉각시스템이 동작하고 있는 동안에는 최고 817.52[kw]까지 발전량이 증가했지만, 냉각시스템이 정지되고 모듈온도가 증가되면서 발전량이 735.66[kw]까지 감소했다. 약 11[%]가 감소하였다. 즉 냉각시스템을 계속 가동하였다면 냉각시스템이 처음 가동한 8시 26분부터 2시 14분까지 약 11[%] 증가하고 하루 평균 5.3[%]정도 증가한다.

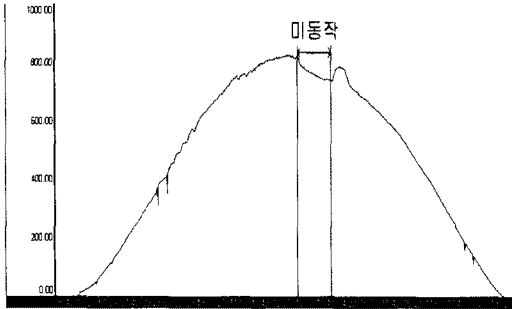


그림 1. 냉각시스템 정지시 발전량의 변화  
Fig. 1. When cooling system is off, Change of the power generation

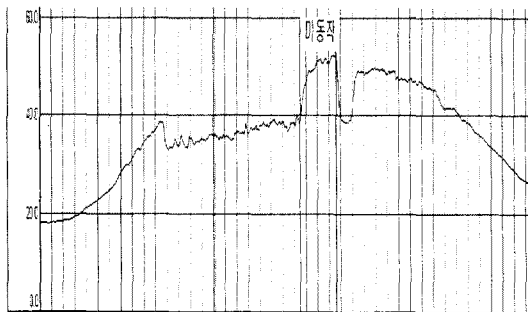


그림 2. 냉각시스템 정지시 온도의 변화  
Fig. 2. When cooling system is off, Change of the temperature

표 4. 냉각시스템의 동작조건  
Table 4. Operating condition of cooling system

모듈과 외기 온도차	10[℃] 이상시 분사
모듈온도 45[℃]이상	연속분사
물 분사시간	12초
1회 물 분사량	1[ton]
풍속	1.3[m/s]이하시 분사

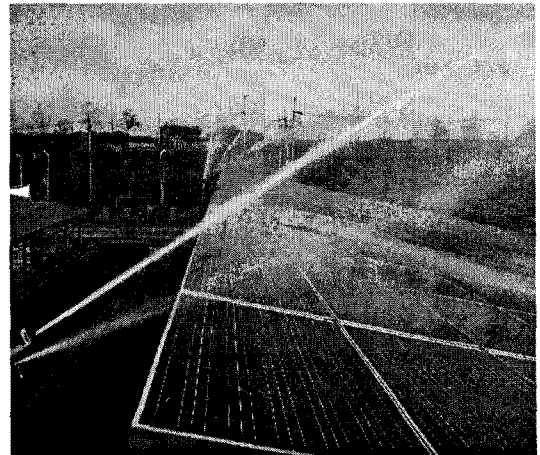


그림 3. 냉각시스템의 형태  
Fig. 3. Form of cooling system

### 2.3 비냉각시스템과 냉각시스템

2.2절에서 구한 발전량의 증가[%]가 정확한 계산인지 확인하기 위해 1[MW] 태양광 발전소(0.25[MW] 4기)의 0.25[MW] array 두개를 이용해 0.25[MW]에는 냉각시스템을 가동하고, 다른 0.25[MW]에는 냉각시스템을 가동하지 않고 발전량을 비교하였다.

#### 2.3.1 냉각시스템의 구성 및 동작조건

표 3. 태양광 발전의 조건  
Table 3. Condition of solar photovoltaic power generation

모듈용량	일사량	모듈종류	물 분사횟수
0.25×2 [MW]	224.61 [w/m <sup>2</sup> ]	다결정 실리콘	42회

#### 2.3.2 냉각시스템과 비냉각시스템의 비교

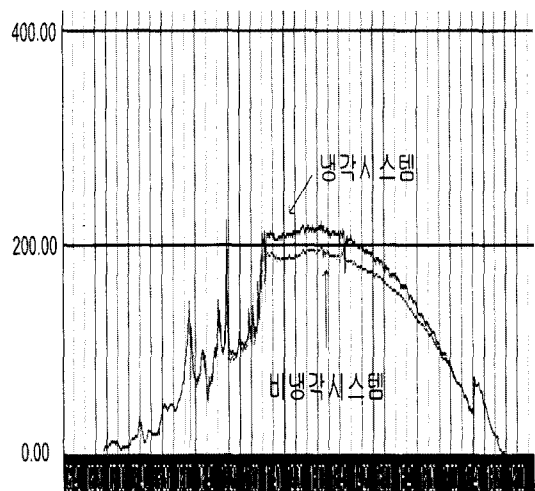


그림 4. 비 냉각시스템과 냉각시스템의 발전량  
Fig. 4. The power generation of cooling system and non-cooling system

냉각시스템에 의한 태양광 발전의 효율 개선

표 5. 냉각시스템과 비냉각시스템의 발전량 비교  
Table 5. The power generation comparison of cooling system and non-cooling system

	냉각시스템 동작중 발전량 [kwh]	1MW 환산 [kwh]
비 냉각시스템 발전량(38.3[°C])	1,191.23	4,999
냉각시스템 발전량(30.72[°C])	1,291.55	5,401

냉각시스템은 모듈온도와 대기온도의 차가 적은 아침시간과 저녁시간에는 동작하지 않고, 모듈온도와 대기온도가 10[°C]차 이상이 되는 낮시간에 동작하게 되어있다. 그래서 냉각시스템은 9:10~5:41에 동작하였고 이 시간 동안에 발전량의 차이가 나타났다.

태양광 발전설비 용량이 1[MW]인 상황 검토하기 위해 각 0.25[MW] 생산전력에 냉각시스템이 동작하지 않는 시간동안의 발전량(58.71[kwh])을 합하고, 4배를 한 뒤, 비 냉각시스템의 발전량과 냉각시스템의 발전량 차이를 [%]로 나타내면

$$\frac{5401 - 4921}{4921} \times 100 = 9.75\%$$

가 된다. 1[°C]당 0.45~0.55[%] 증가한다는 모듈 특성과는 다르게 1[°C]당 1.2[%]의 증가를 보였다. 일사량과 모듈온도가 일정량 이상이 되면 발전량의 감소는 1[°C]당 0.5[%]가 아닌 그 이상이 된다.

## 2.4 2007년 냉각시스템 설치시 기대 효과

### 2.4.1 냉각시스템 설치시의 손익

일사량과 모듈 온도는 비례적 관계라고 볼 수 있지만, 풍속·부분 음영·기온 등 주변 환경에 따라 달라져 일사량과 모듈 온도의 관계는 선형적으로 표시하기 어렵다. 그래서 일사량의 범위를 나누고 평균적으로 증가하는 발전량을 구한 뒤 1년 평균 증가량을 계산하였다. 2.3.2절에서와 같이 일사량이 높을수록 냉각시스템의 효과는 더욱 커지게 되어, 표 6과 같은 평균 증가량을 구할 수 있었다.

표 6. 발전량의 증가  
Table 6. Increase of the power generation

일사량[w/m²]	1년 중 일수	증가량 [%]
200이상	94일	11[%]
150이상 200미만	54일	8[%]
100이상 150미만	94일	5[%]
50이상 100미만	85일	2[%]
50미만	38일	0[%]
1년평균 증가량[%]	5.76[%]	
증가된 발전량(2007년대상) [kwh]	1,185,409*5.76/100 =68,396.475	
이익[만원]	68,396.475*700 =4,445.77만원	

표 7. 냉각시스템의 동작횟수 및 물 사용량  
Table 7. the number of action times of cooling system and the water usage

일사량[w/m²]	일수	물 분사횟수
200이상	94일	50회
150이상 200미만	54일	29회
100이상 150미만	94일	18회
50이상 100미만	85일	7회
50미만	38일	2회
1년평균 분사횟수(횟수/일)	22.87회	
사용물의 량 (2007기준)[ton]	22.87*365*1 =8347.55	
소요비용(만원)	8347.55*400 =333만원	

위의 데이터는 1[MW] 태양광 발전소의 한 해 동안 냉각시스템 설치시 예상되는 증가량 및 소모량이다. 현재 태양광 발전시 생산되는 전기의 매입 가격은 2008년 8월 기준으로 1[kwh]당 약 700원, 물 1[ton]의 가격은 약 400원, 냉각시스템 설치비는 약 1.2억원이다.

### 2.4.2 냉각시스템 설치시 이득 그래프

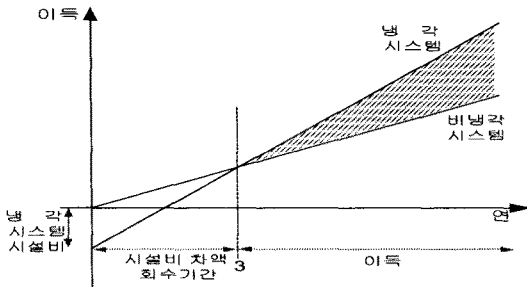


그림 6. 이득 그래프  
Fig. 6. Gain graph

2.4.1의 비용을 토대로 계산된 그래프로 매년 태양 광발전량 이득으로 생긴 비용에서 수도료 및 냉각시스템 설치비용을 뺀 값이다. 전력 및 물의 단가가 변동을 고려하지 않은 계산에는 냉각시스템 설치 후 약 3년 뒤에 냉각시스템 설치비용을 회수하고, 약 15년 동안 이득이 발생한다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 온실가스 배출 감소 협약, 화석연료의 고갈에 따라 증가하고 있는 신재생에너지 부분 중 냉각시스템을 이용한 태양광발전량 증대에 관계 기술 하였다. 실험 결과 1[MW]급 태양광 설비의 경우 1년에 약 5.76%의 발전량 증가가 있었고 약 4,000만원의 이득이 있었다. 실험한 태양광 발전소는 array의 경사가 10[°]이고 tracking 설비가 없는 태양광 발전소로서 하루 일사량을 최대로 이용하지 못한 설비를 대상으로 하였다. 태양광을 최대로 수집할 수 있는 각도와 tracking 설비가 되어있는 태양광 발전에 냉각시스템을 적용할 경우 더 많은 발전량의 증대가 예상되고, 모듈표면에 이물질 제거로 인한 음영 감소, 겨울철 모듈 표면에 쌓인 눈을 제거하는 제설 장비로도 용이하게 사용되므로 앞으로 태양광 발전량 증대에 기여할 것으로 생각된다. 향후에는 다양한 형태의 태양광 설비에 적용하여 효과를 검증하여야 할 것이다[2-3].

본 연구는 2006학년도 홍익대학교 교내 연구비로 수행되었음.

### References

- [1] 이현화 “태양전지 array의 음영 영향과 역저지 다이오드의 구성에 관한 연구” 2008.
- [2] German Solar Energy Society “Planning and installing Photovoltaic systems”.
- [3] 이순형 “태양광발전시스템의 계획과 설계” 2008.
- [4] [특허실용]태양광 발전기 냉각 시스템.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 염성배 (廉聖培)

1947년 2월 3일생. 1974년 2월 서울공과대학 화학공학과 졸업. 1977년 3월 서울대학교 대학원 졸업(석사). 1988년 2월 서울대학교 대학원 박사 졸업. 현재 홍익대학교 화학시스템공학과 교수.

#### 최홍규 (崔洪圭)

1950년 1월 7일생. 홍익대학교 전자·전기공학과 교수. 홍익대학교 전기설비연구센터 소장.

#### 최영준 (崔寧峻)

1970년 7월 31일생. 홍익대학교 전기공학과 졸업. 홍익대학교 전기공학과 졸업(석사). 홍익대학교 전기공학과 박사과정. (주)포스콘.

#### 홍성구 (洪性求)

1964년 12월 20일생. 홍익대학교 전기공학과 졸업. 홍익대학교 전기공학과 석사과정. (주)포스콘.

#### 김태훈 (金泰勳)

1983년 7월 27일생. 홍익대학교 전기공학과 졸업. 홍익대학교 전기공학과 석사과정.