

## BIPV에서 Flexible PV의 각도 조절을 이용한 MPPT 추적 알고리즘 연구

김재진\*

### *A study on the MPPT tracking algorithm using angle control of flexible PV in BIPV*

Kim Jaejin

#### 〈Abstract〉

In this paper presents the MPPT tracking algorithm using angle control of flexible PV in BIPV.

The proposed algorithm is based on MPPT tracking algorithm for curtain wall using flexible PV. It is an algorithm to find optimal power generation condition by controlling the angle of flexible PV using the air layer of window. The angle of flexible PV tests the power generation by separating the center of flexible PV into the interior angle in the interior direction and the external angle in the center of flexible PV. When the angle of flexible PV was used as interior angle, the generation amount was increased by 15.79% and increased by 8.45% compared with the external angle. MPPT tracking is performed on the generation amount of the interior angle which has the most power after comparing the generation amount according to the bending shape of the flexible PV.

This algorithm can be the most efficient method for the curtain wall using flexible PV because the bending pattern with the greatest amount of power generation may be different because the environment of the building applying the curtain wall is different.

Key Words : Flexible PV, Curtain Wall, MPPT Tracking, Power Generation, Angle

## I. 서론

CIGS(Copper Indium Gallium Selenide) 모듈은 휨이 가능한(Flexible) 태양전지(PV : Photovoltaic)로서 커튼월(Curtain Wall)방식의 BIPV(Building Integrated Photovoltaic System) 모듈로 적용이 용이하며, 특히 커튼월의 건물입면에서 비 조망부분인 스펀드렐(spandrel)부위에 적용이 가능하다. 커튼월

시스템은 건물의 하중을 받지 않는 비 내력벽으로 비전 부분과 스펀드렐 부분으로 나누어져 있다. 비전부위는 건물의 채광과 전망을 위해 창호 유리가 설치되는 부분으로 PV 적용 시 PV셀 간격 조정 및 투광형 PV 모듈을 적용하는 등 투과 및 조망이 가능하도록 고려되어야 한다[1].

CIGS 박막 태양전지는 다른 박막태양전지에 비해 발전효율이 결정질 실리콘 태양전지에 가장 근접하며, 동일용량 설치 시 결정질 실리콘 태양전지에

\* 강동대학교 신재생에너지과 부교수

비해 연간 총발전량이 많다[2]. CIGS 박막 태양전지는 온도저감계수가 낮기 때문에 후면 발열로 인한 발전량 감소가 적어 고온이나 그늘에서도 발전효율이 균일하며, 음영 손실(shading loss)에 의한 발전량 감소도 줄일 수 있다[3, 4]. 또한 외관이 미려하고 다양한 크기와 모양으로 모듈 제작이 가능하여 BIPV 시스템 적용에도 유리한 장점을 가지고 있다[5].

BIPV를 커튼월에 적용할 때 힘이 가능한 장점보다 박막형이라는 장점을 이용하여 고정식으로 설치되고 있어 발전 효율을 높일 수 있는 장점을 적용하지 못하는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 커튼월에 적용하는 박막형 태양전지의 힘을 이용하여 발전 효율을 비교함으로써 BIPV의 발전 효율을 향상시킬 수 있는 방향을 제시하고자 한다.

## II. 관련연구

### 2.1 CIGS 박막 태양 모듈

CIGS 박막 태양전지는 다른 박막태양전지에 비해 발전효율이 결정질 실리콘 태양전지에 장 근접하며, 동일용량 설치 시 결정질 실리콘 태양전지에 비해 연간 총발전량이 많다[2]. CIGS 박막 태양전지는 온도저감계수가 낮기 때문에 후면 발열로 인한 발전량 감소가 적어 고온이나 그늘에서도 발전효율이 균일하며, shading loss에 의한 발전량 감소도 줄일 수 있다[3, 4]. 또한 외관이 미려하고 다양한 크기와 모양으로 모듈 제작이 가능하여 BIPV 시스템 적용에도 유리한 장점을 가지고 있다[5].

CIGS 모듈은 커튼월방식의 BIPV 모듈로 적용이 용이하며, 특히 커튼월의 건물입면에서 비 조망부분

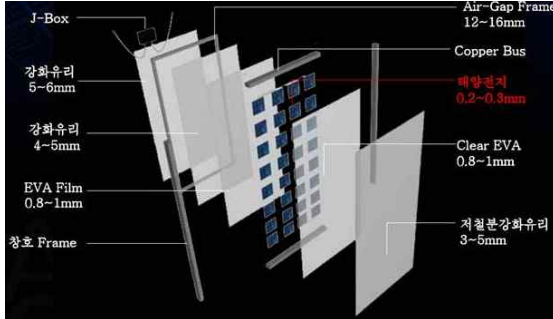
인 스펠드럴부위에 적용이 가능하다. 커튼월 시스템은 건물의 하중을 받지 않는 비 내력벽으로 비전 부분과 스펠드럴 부분으로 나누어져 있다. 비전부위는 건물의 채광과 전망을 위해 창호 유리가 설치되는 부분으로 PV 적용 시 PV셀 간격 조정 및 투광형 PV 모듈을 적용하는 등 투과 및 조망이 가능하도록 고려되어야 한다. 반면 스펠드럴 부분의 경우 채광을 고려할 필요가 없어 투광형 PV모듈과 불투명 PV 모듈 모두 적용이 가능하다[1].

### 2.2 커튼월

BIPV는 설치 방식에 따라 벽면형과 지붕형, 아트리움형, 발코니형, 루버형, 차양형, 파사드형 등이 있으며 국내에서는 대부분 지붕형과 파사드형 두 가지 종류가 일률적으로 사용되고 있다. 커튼월은 건물의 벽면을 이용하여 태양광 발전을 하는 방식으로 벽면을 이용한 설치 방식과 활용 예는 <표 1>에 나타내었으며 커튼월의 창호 구조는 <그림 1>에 나타내었다.

<표 1> 벽면 태양광 발전의 설치 방식과 활용 예[6]

구분	설치방식	활용 예
벽면	차양형	모듈을 건물의 차양재로 활용 하부 음영을 고려하여 모듈의 경사각 산정
	벽부형	모듈을 건물의 외장재로 활용 경사각이 90도로 효율 약 30% 감소
	창호형	자연채광이 가능한 건물 외장재 및 창호재로 활용 대부분 90도 경사각으로 발전량 감소



<그림 1> 커튼월의 창호구조[7]

<그림 1>의 창호 구조에서 태양전지를 부착한 전면의 유리와 후면 유리와는 12~20mm의 공기층이 존재한다. 공기층을 이용하여 휨이 가능한 태양전지의 각을 만들어 발전 효율을 비교하여 최적의 발전 효율을 갖는 MPPT(Maximum Power Point Tracking)를 찾고자 한다.

### 2.3 태양전지 효율

태양전지에서 입력되는 전압의 평균값을  $V_{in}$  이라하고 입력 전류의 평균값을  $I_{in}$ , 평균 출력 전압을  $V_{out}$ , 컨버터 PWM(Pulse Width Modulation)의 구간비율(duty ratio)을  $PWM_{DR}$ 이라 할 때 컨버터의 관계식은 (식 1)과 같다[8].

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1 - PWM_{DR}} \quad (\text{식 1})$$

MPPT 효율은 태양전지의 전류-전압 특성으로 결정되는 최대 출력에 대하여 실제로 전력변환장치에 MPPT제어기능을 적용했을 때 받아들여진 전력의 비율을 의미한다. 관계식은 (식 2)와 같이 나타낼 수 있다[9-11].

$$\eta_{MPPT} = \frac{P_{IN}}{P_{MPP}} \times 100[\%] \quad (\text{식 2})$$

$\eta_{MPPT}$  : MPPT 효율

$P_{IN}$  : PCS의 입력 단에서 입력된 전력

$P_{MPP}$  : 태양전지의 전류-전압 특성으로 결정되는 최대 출력

$\eta_{MPPT}$ 가 95% 이상의 효율을 나타낼 때 MPPT 제어기능의 성능이 양호하게 동작되는 것으로 판단할 수 있다[10, 11].

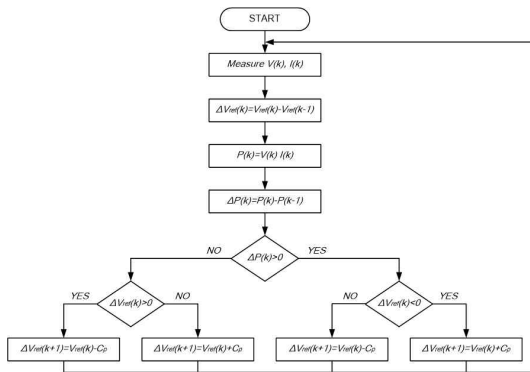
### III. MPPT 추적 알고리즘

태양전지에서 발생하는 전력은 일사량과 온도, 그림자와 같은 다양한 파라미터들에 의해 결정된다. 최대전력점은 일사량과 셀의 온도에 의해 결정되어진다. 그러나 일사량과 셀의 온도는 시시각각으로 변화하는 파라미터로서 최대의 전력점을 얻기 위해 MPPT제어가 제시되었다[12]. MPPT 제어 방법에는 PO(Perturbation and Observation) 제어방법과 IC(Incremental Conductance) 제어방법, CV(Constant Voltage) 제어방법이 있다[12].

PO 제어방법은 제어가 간단하며 만족할만한 MPPT 성능을 얻을 수 있다는 장점으로 태양광 발전시스템에 많이 사용하고 있다. PO 제어방법은 전압의 변화에 따라 전력의 변화를 측정하여 전력이 증가하는 방향으로 전압을 변화시켜 최대전력점을 추적하는 방법이다. PO MPPT의 제어 원리는 태양전지의 동작점을 규정하는 태양전지 출력단 전압 제어시에 전압을 일정한 폭으로 변동시킨 후 태양전지 출력전력을 관측하고, 이를 이전 출력전력과 비교하여 출력이 증가하는 방향으로 전압을 상승 또는 하강시킴으로써 최대전력점을 추종하는 방식이다[13]. PO 제어방법은 <표 2>와 <그림 2>에 나타내었다.

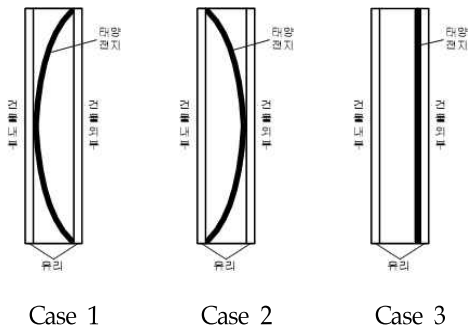
<표 2> PO MPPT의 동작상태[13]

Case	Perturbation [ $\Delta V_{ref}(k)$ ]	Change in Power [ $\Delta P(k)$ ]	Next Perturbation [ $C_p$ ]
1	Positive	Positive	Positive
2	Positive	Negative	Negative
3	Negative	Positive	Negative
4	Negative	Negative	Positive



<그림 2> PO 제어방법[13]

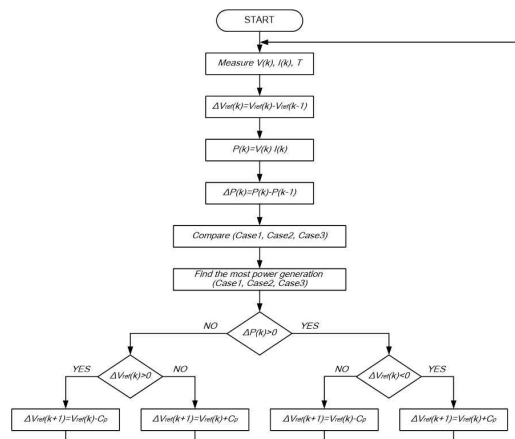
본 논문에서는 PO 제어방법을 이용하여 휨이 가능한 태양전지의 커튼월에 적용할 경우 변경가능한 각도에 따른 최대전력점을 찾을 수 있는 MPPT 추적 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 적용하기 위해 태양전지의 휨을 만들어야 한다. 휨의 모양은 <그림 3>과 같이 정의한다.



<그림 3> 태양전지 휨의 모양

<그림 3>의 태양전지 휨 모양은 3가지로 나누어지며 Case 1은 휨의 중앙이 실내쪽으로 휘어진 모양으로 오목렌즈와 유사한 모양이다. Case 2는 Case 1과 반대로 휨의 중앙이 외부쪽으로 휘어진 볼록 렌즈의 모양이다. Case 3은 현재 사용되고 있는 형태로서 일자형으로 부착된 모양이다.

<그림 3>의 태양전지 휨 모양에 따라 제안한 알고리즘은 <그림 4>에 나타내었다.



<그림 4> 제안한 알고리즘

<그림 4>의 알고리즘은 휨이 가능한 태양전지의 휨에 따라 발전량을 비교하여 가장 높은 발전량을 나타내는 모양을 선택하여 MPPT를 추적하는 방식으로 입력되는 발전량을 비교하여 가장 높은 발전량으로 나타내는 휨 모양을 선택하여 발전하는 알고리즘이다.

#### IV. 실험 결과

휨이 가능한 태양전지의 휨 모양을 3가지로 구분하여 발전량을 실험하였다. 실험에 사용된 휨이 가능한 태양전지는 <표 3>과 같은 사양을 가지고 있다.

<표 3> 휨이 가능한 태양전지 사양

Model No.	SGM-FL-100W
Cell Brand	SunPower
Cell type	Monocrystalline
Peak power(Pmax)	100Wp
Power tolerance range(%)	±5%
Open circuit voltage/Voc(V)	20.8
Max.power voltage/Vmp(V)	17.6
Short circuit current/Isc(A)	6.14
Max.power current/Imp(A)	5.68
Maximum System Voltage(V)	100V DC
Dimensions(mm)	560×1200×3

<표 3>의 휨이 가능한 태양전지에 대한 실험은 한백전자의 HBE-Green-ETS-Solar의 Data Collector Module과 MPPT Module을 이용하여 실험하였다. 회로제작은 발전량을 검출하는데 소요되는 전력을 최소화하기 위해 저전력알고리즘을 사용하여 구현하였다[14]. 휨이 가능한 태양전지의 휨 모양에 따른 발전량 실험은 <그림 5>에 나타내었으며 1일 발전량 4시간을 기준으로 하루의 발전량과 30일을 1달로 설정하여 실험한 결과는 <표 4>에 나타내었다.



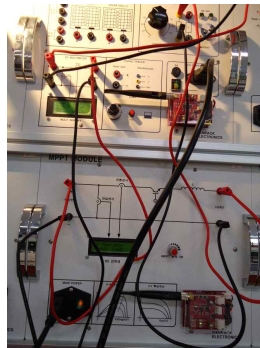
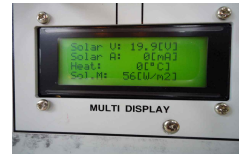
(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3



(d) MPPT 실험

<그림 5> 실험

<표 4> 실험 결과

	발전량	
	1일(W)	1달(W)
Case 1	243	7,268
Case 2	209	6,277
Case 3	223	6,702

<표 4>의 실험결과에서 Case 1의 경우가 가장 많은 발전량을 보였다. 발전량이 가장 작은 Case 2에 비해 약 15.79% 증가된 발전량을 나타내었다. 일반적인 커튼 월 방식인 Case 3에 비해 약 8.45% 증가된 값을 나타내었다.

## V. 결론

본 논문에서는 휨이 가능한 태양전지를 이용한 커튼 월의 발전 효율을 비교하였으며, 가장 좋은 발전량을 가진 휨 모양의 커튼 월에 대한 MPPT 추적 알고리즘을 제안하였다. 커튼 월을 적용한 건물의 방향과 높이, 주변 환경이 다르므로 경우에 따른 휨 모양을 설정하여 발전량을 비교한 후 가장 높은 발전량을 가진 휨모양을 이용하여 MPPT를 추적하는 방법이다. 실험 결과 건물의 실내쪽으로 휨의 모양을 가진 Case 1의 경우가 가장 높은 발전량을 나타내었다.

유리를 사용한 건물의 경우 대부분이 2중창을 사용하며 창 사이에 12~20mm의 공기층이 있으며 이를 이용하여 휨이 가능한 태양전지를 삽입하여 커튼 월의 발전 효율을 얻을 수 있다.

공기층을 이용한 다양한 휨 모양에 대한 발전량을 실험하여 효율적인 모양을 찾는 연구가 지속되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 김상명, 김진희, 김준태, "환기 유무에 따른 CIGS BIPV 커튼월 유닛의 성능 비교 분석," 한국태양에너지학회 논문집, 제37권, 제2호, 2017.
- [2] Beck, M. E., Wiedeman, S., Huntington, R., VanAlsburg, J., Kanto, E., Butcher, R., and Britt, J. S., "Advancements in Flexible CIGS Module Manufacturing," Conference Record of the Thirty-First IEEE, 2005, pp. 211-214.
- [3] Wiedeman, S., Beck, M. E., Butcher, R., Repins, I., Gomez, N., Joshi, B., and Britt, J. S., "CIGS Module Development on Flexible Substrates," Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE, 2002, pp. 575-578.
- [4] Malmstrom, J., Wennerberg, J., and Stolt, L., "A Study of the Influence of the Ga Content on the Long-term Stability of Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> thin film solar cells," Thin Solid Films, Vol. 431, 2003, pp. 436-442.
- [5] Kang, J. G., Jang, H. H., Kim, J. H., and Kim, J. T., "The Characteristics on CIGS Thin Film PV Module for Curtain Wall Applications," Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 4, 2013, pp. 257-261.
- [6] 오현수, 김덕수, 윤혜경, "건물일체형태양광시스템을 활용한 건물입면 디자인 계획 연구," 대한건축학회 춘계학술대회논문집, 제36권, 제1호, 2016, pp. 175-178.
- [7] 고성능 신개념 창호시스템 <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=sbsim68&logNo=130079206332>
- [8] 지영혁, "태양전지 어레이의 부분음영 효과를 고려한 MPPT 기법에 관한 연구," 성균관대학교 대학원, 2008.
- [9] Massimo Valentini, Alin Raducu, Dezso Sara and Remus Teodorescu, "PV Inverter Test Setup for European Efficiency, Static and Dynamic MPPT Efficiency Evaluation," Optimization of Electrical and Electronic

- Equipment, OPTIM 2008. 11th International Conference on 22-24 May 2008, pp. 433-438.
- [10] 류권중, 김기현, 정영석, 김영석, "MPPT 제어 알고리즘 고찰 및 효율시험 평가법," 전력전자학회 논문지, 제6권, 제2호, 2001, pp. 164-172.
- [11] 유권중, 유병권, "태양광발전용 파워컨디셔너를 위한 국내 인증제도," 특집: 신재생에너지의 성능평가 및 인증시스템, 한국태양에너지학회지, 제4권, 제4호, 2005, pp. 10-21.
- [12] J. S. Choi, J. S. Ko, D. H. Chung, "Development of VPO MPPT of PV System Considering Shadow Influence," KIPE, Vol. 16, No. 5, 2011.
- [13] 고재섭, 정동화, "태양광 발전의 MPPT 성능 개선을 위한 변형된 PO 방법," Journal of KIIEE, Vol. 29, No. 12, 2015, pp. 40-46.
- [14] 김재진, "글리치를 고려한 매핑가능클러스터 생성 방법을 이용한 저전력 알고리즘," 디지털산업정보학회지, 제12권, 제2호, 2016, pp. 7-14.

■ 저자소개 ■



김 재 진  
(Kim Jaemin)

2001년 3월~2012년 2월  
강동대학교 컴퓨터정보과 교수  
2012년 3월~현재  
강동대학교 신재생에너지과 교수  
2003년 2월 청주대학교 전자공학과(공학박사)  
1995년 8월 청주대학교 전자공학과(공학석사)  
1993년 2월 청주대학교 전자공학과(공학사)  
관심분야 : 저전력알고리즘, CAD, 에너지  
E-mail : dkimjj@gangdong.ac.kr

논문접수일 : 2017년 08월 18일  
수정일 : 2017년 09월 11일  
게재확정일 : 2017년 09월 11일