

# PV Simulator를 위한 히스테리시스 가변구조 제어기

나재호, 김효성  
공주대학교 전기전자제어공학과

## Hysteretic Variable Structure Controller for PV Simulator

Jaeho Na, Hyosung Kim

School of EE and Control Engineering, Kongju National University

### ABSTRACT

태양광 발전용 PCS(Power Conditioning System)의 성능을 평가를 위해 사용되는 PV Simulator는 전압제어방식 또는 전류제어방식으로 제어할 수 있다.<sup>[1]</sup> 각각의 제어방식을 개별적으로 개방전압 운전점에서 단락전류 운전점까지 부하를 가변 하였을 때 서로 상반된 구간에서 불안정한 구간이 발생한 것을 실험을 통해 발견하였다. 이렇게 불안정한 제어 구간에서는 PV Simulator의 출력 전압과 전류가 심하게 바운싱되기 때문에 전 운전 범위에서 PCS의 성능평가를 하는데 제한이 있을 뿐만 아니라, 하드웨어에도 손상을 줄 수 있다. 본 논문은 전압제어방식과 전류제어방식이 각각 안정한 제어 구간에서 불안정한 제어 구간으로 이동되기 전에 히스테리시스 가변 구조로 제어함으로써 두 제어방식의 장점을 극대화 시킨 PV Simulator 제어기를 제안한다.

### 1. 서론

태양광 발전은 직류형태의 전력을 출력하며, 이를 상용 전원으로 사용하기 위해서는 교류 전력으로 변환해 주는 태양광 발전용 PCS가 필요하게 된다. 태양광 효율 기준 규정인 IEC의 EN50530에서는 태양광 발전용 PCS의 성능평가를 위하여 PV Simulator를 사용하도록 명시하고 있다.<sup>[2]</sup> PV Simulator는 다양한 PV Cell의 출력특성을 모사하기 위해 PV Cell의 모델링에 기반한 기준전압 또는 기준전류에 의해 제어하여야 한다. 출력전류를 검출하여 PV Cell의 모델링에 의한 기준전압을 추정하여 제어하는 전압제어방식의 경우 출력전류의 리플이나 노이즈에 의해 단락전류구간에서는 제어가 불안정하게 된다. 한편, 출력전압을 검출하여 PV Cell의 모델링에 의한 기준전류를 추정하여 제어하는 전류제어방식의 경우는 출력전압의 리플 등에 의해 개방전압구간에서 불안정하게 제어가 된다.<sup>[1]</sup>

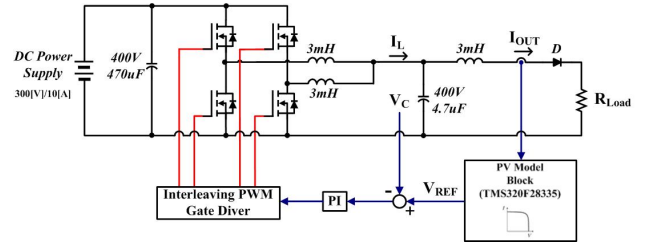
본 논문에서는 PV Simulator의 전압제어방식과 전류제어방식을 각각 안정한 제어 범위에서 히스테리시스 가변구조로 제어하여 전 운전 범위에서 안정적으로 동작하는 PV Simulator 제어방식을 제안하고 실험을 통하여 성능을 검증한다.

### 2. PV Simulator 제어기

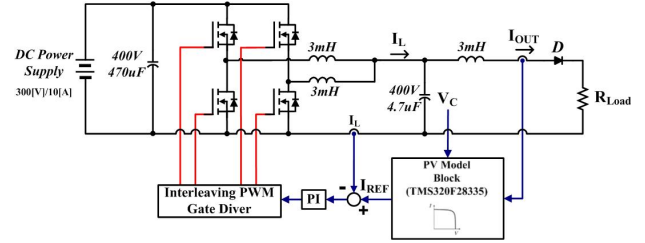
#### 2.1 기존 PV Simulator 제어기

그림 1은 실험을 위해 제작된 3kW급 2 Leg DC DC Converter(Step down)의 구조로, 그림 1a)와 그림 1b)는 각각 전압제어방식, 전류제어방식 블록다이어그램을 나타낸다. 로그함수로 구성된 식 (1)은 PV Cell의 전압제어방식 I V 특성방정식이며, 이는 식 (3)으로 나타낼 수 있다. 로그함수의 특성상

$K_V$  는 항상 0보다 큰 조건이므로 PV Simulator에서 검출한 출력전류( $I$ )는  $I_{ph}$  보다 작거나 같아야한다. 하지만 전류센서의 정밀도나 출력전류의 리플 등에 의해  $I$  가 단락전류 부분에 근접하게 되면  $I$  는  $I_{ph}$  보다 큰 경우가 발생하여 기준전압( $V_{ref}$ ) 값이 순간적으로 0이 되어 제어가 불안정해지고, 이로 인해 하드웨어에 손상을 입을 수도 있다. 이와 달리, 전류제어방식의 경우는 검출된 출력전압( $V$ )에 의해 기준전류가 연산되므로 출력전압의 리플로 인해  $V_{OC}$  부분에서 불안정하게 제어된다.



a) 전압 제어방식 PV Simulator



b) 전류 제어방식 PV Simulator  
그림 1 PV Simulator의 제어 블록도

$$V_{ref} = V_t \ln \left( \frac{I_{ph} - I + I_0}{I_0} \right) - IR_{pv} \quad (1)$$

$$I_{ref} = I_{ph} - I_0 \left( \exp \left( \frac{V + IR_{pv}}{V_t} \right) - 1 \right) \quad (2)$$

이 때,  $K_V = (I_{ph} - I + I_0)/I_0$ ,  $K_I = (V + IR_{pv})/V_t$  라고 하면

$$V_{ref} = V_t \ln(K_V) - IR_{pv} \quad (3)$$

$$I_{ref} = I_{ph} - I_0 (\exp(K_I) - 1) \quad (4)$$

$I_{ph}$ : Current generated by the incident light  
 $I_0$ : Diode saturation current  
 $R_{sh}$ : Cell parallel(shunt) resistance,  
 $n_s$ : Number of PV cells connected in series  
 $v_t$ : Ideal unit Cell thermal voltage (=akT/q)

## 2.2 제안하는 PV Simulator의 제어기

제안하는 방식은 그림 2와 같이 Maximum Power Point (MPP) 전압을 중심으로 히스테리시스 경계를 설정하여, I-V 특성곡선 상의 유사전압원 동작구간에서는 전압제어를 하고 유사전류원 동작구간에서는 전류제어를 하도록 함으로써, 전압제어와 전류제어를 복합적으로 활용하는 히스테리시스 가변구조 제어기이다. IEC EN50530 규정에서는 정확한 Maximum Power Point Tracking (MPPT)를 위해  $V_{MPP} \pm 10\%$  구간에서 높은 정밀도를 요구한다. 따라서 제안하는 제어기는 전압제어방식에서 전류제어방식으로 변환되는 히스테리시스 경계값을  $0.9V_{MPP}$ 로 설정하였고, 전류제어방식에서 전압제어 방식으로 변환되는 히스테리시스 경계값을  $1.1V_{MPP}$ 로 설정하여  $V_{MPP} \pm 10\%$  구간에서는 제어구조를 바꾸지 않음으로써 과도현상에 따른 오차를 제거하였다.

## 3. 실험 결과

표 1은 태양광 효율 기준 규정인 EN50530에 제시된 박막형 PV Cell의 파라미터를 적용하여 구성된 PV Cell의 모델을 사용한 실험 조건을 나타낸다. PV Cell 단일 다이오드 등가회로 모델의 파라미터는 Wagner의 파라미터 추출 공식을 적용하였고, 다음과 같이 계산되었다.<sup>[3]</sup>( $V_t=20.81351$ ,  $R_{pv}=3.209$ ,  $I_0=1.53 \cdot 10^{-6}$ )

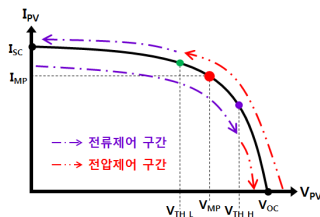
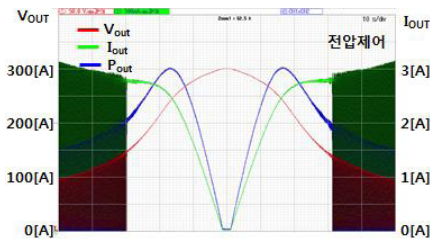
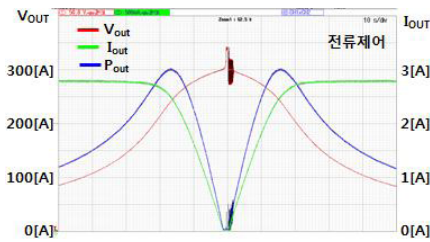


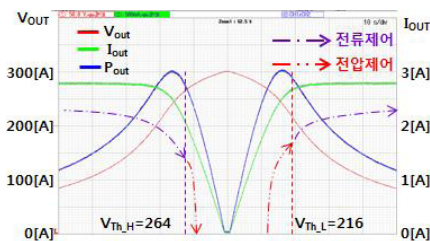
그림 2 제안하는 히스테리시스 가변구조 제어방식



a) 전압제어방식 PV Simulator의 출력 특성



b) 전류제어방식 PV Simulator의 출력 특성



c) 히스테리시스 가변구조 제어방식 PV Simulator의 출력 특성

그림 3 연속적인 부하 가변에 대응하는 PV Simulator의 출력 특성

표 1 실험에 사용된 PV Cell 사양

항 목	value
Maximum Power(Pmax)	602.64[W]
Voltage at Pmax (Vmp)	240[V]
Current at Pmax (Imp)	2.511[A]
Short circuit current(Isc)	2.79[A]
Open circuit voltage(Voc)	300[V]

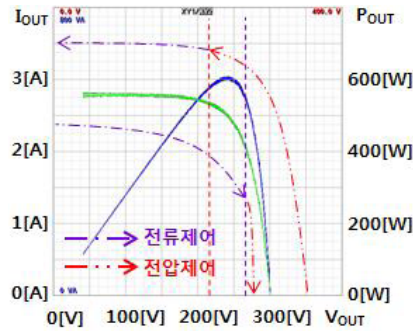


그림 4 히스테리시스 가변구조 제어기를 사용한 PV Simulator의 I-V 특성곡선

그림 3은 전 운전범위에서 각 제어방식을 비교하기 위해 저항 부하를 연속적으로  $15[\Omega] \rightarrow 900[k\Omega] \rightarrow 15[\Omega]$ 로 가변하며 얻은 PV Simulator의 출력전압, 출력전류, 출력전력의 파형을 보인다. 그림 3c)와 같이 히스테리시스 가변구조 제어방식을 사용한 PV Simulator의 출력특성은 그림 3a), 그림3b)와 같이 전압제어방식 또는 전류제어방식만을 사용한 PV Simulator의 출력과 비교하여 전 운전범위에서 안정적으로 동작되는 것을 확인할 수 있다. 그림4는 그림3c)의 출력파형을 이용하여 그린 I-V 특성곡선과 P-V 특성곡선이다.

## 4. 결론

본 논문에서는 PV Simulator의 전류제어방식과 전압제어방식의 장점을 조합한 히스테리시스 가변구조 제어방식을 제안하였다. 제안하는 제어기는 전 운전 범위에서 안정된 제어가 가능하고, IEC EN50530 규정에서 요구하는  $V_{MPP} \pm 10\%$  범위를 지난 후에 전압제어와 전류제어가 변환되도록 설정하여 MPP 운전 범위에서의 정밀도를 높였다. 따라서 제안하는 히스테리시스 가변제어기를 사용할 경우 태양광 PCS의 성능평가에 매우 효과적일 것으로 사료된다.

이 논문은 카코뉴에너지의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

## 참 고 문 헌

- [1] 유태식 "태양광발전용 PCS의 성능 시험을 위한 PV Simulator 연구", 공주대학교 박사학위논문, 2015, 2.
- [2] IEC EN50530 Standard for Overall efficiency of photovoltaic inverters, CENELEC, Stassart 35, B 1050 Brussels.
- [3] C.Bendel and A.Wagner "Photovoltaic measurement relevant to the energy yield" in Proc. WCPEC 3 World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11 18 May 2003, Pr.No 7P B3 09 pp 1 4.