

온도보상효과를 고려한 태양광 발전 시스템의 MPPT제어 특성

강병복\* 차인수\*  
 동신대학교 전기전자공학부\*

유권중\*\* 정명웅\*\*  
 한국에너지기술연구소\*\*

The Characteristic of MPPT Control for Photovoltaic System by Temperature Compensation Effect.

Kang Byung-Bog\* Cha In-Su\*  
 Dept. of Electrical and Electronic Eng.  
 Dong Shin University

Yu Gwon-Jong Jung Myung-Woong  
 KIER

Abstract

In this paper, a new maximum power point tracker (MPPT) using Fuzzy Controller is proposed to improve energy conversion efficiency. Temperature compensation effect means that Photovoltaic voltage is change in condition irradiation, temperature and ect.. Fuzzy algorithm is applied to control Boost MPPT converter by Temperature compensation effect. In this paper, temperature compensation range is -40℃ ~ +100℃

I. 서론

태양광발전은 깨끗하고 안전하며, 인료의 수송, 운전 및 보수가 불필요한 에너지원으로써 무한정으로 전기를 얻을 수 있는 미래의 에너지원이다.

태양전지에서 최대출력을 얻기 위해서는 태양전지의 동작점이 최대전력점에 위치하도록 제어해야 하는데 최대전력점은 복사에너지와 온도에 따라 변동하고 태양전지 제조업체마다의 특성이 다르므로 MPPT (Maximum Power Point Tracking) 을 실행할 필요가 있다. 그러나 태양전지의 발생 전력은 일사량, 태양전지 소자 온도 등의 외부 조건에 의존하기 때문에 가능한 한 많은 에너지를 태양전지에서 얻어내기 위해서는 항상 최대출력점에서 동작하도록 제어하여야 할 필요가 있다.<sup>[1]-[3]</sup>

이러한 태양광 발전 시스템의 실용화를 위해서는 시스템의 구성을 간단히 하는것은 필수 조건이며, 태양전지의 최대출력 추지제어 방법으로는 태양전지의 출력이 최대가 되는 동작점을 태양전지의 출력기출에 의해 구하는 방법이 일반적으로 이용되고 있으며, 그 외에도 전류 기출 및 전압 기출에 의한 제어 방법이 제안되어 왔다.<sup>[4]</sup>

본 연구는 태양전지 모듈로부터 직류전력을 얻으나 일사량, 온도 등에 따라 효율이 다르므로 승압형 DC-DC Converter에 Fuzzy Rule을 적용하여 태양전지 발생전력이 일사량, 태양전지 소자의 온도 및 동작전압등에 의존하는 것을 고려하여 항상 최대전력점에서 동작하도록 제어하고자 한다.

II. 태양전지의 기본원리

태양전지는 광기전력효과(Photo voltaic Effect)를 이용하여 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 반도체 소자로서, 등가회로는 그림 1과 같다.

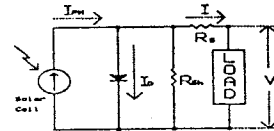


그림1. 태양전지의 등가회로

Fig. 1 Equivalent circuit of Photocell

이상적인 경우, 광 투사시의 전압 전류 특성은

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

이 되지만, 실제로는 직렬 저항 R\_s와 병렬 저항 R\_sh가 가해져 그림 1과 같이 되고, 식 (1)은

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{2} \quad (2)$$

가 된다. 여기서, I는 출력전류, I\_ph는 광전류, I\_0는 다이오드 포화전류, n은 diode quality factor, K는 볼츠만 상수이고, 이를 전압-전류 특성 곡선으로 나타내면 그림2와 같이 된다.

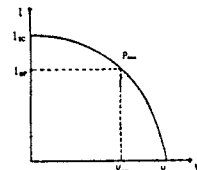


그림2. 태양전지의 전압 전류 특성 곡선

Fig.2 Voltage-Current Characteristic curve of Photocell

그림2에서 V\_oc는 개방 전압이고 I\_sc는 단락전류이다.

III. Boost Converter for MPPT

그림 3은 항상 최대전력점에서 동작하도록 하기위하여

Fuzzy Rule을 적용한 승압형 Boost Converter의 기본 회로도틀을 보여 주고 있다.

이곳에서 스위칭 소자로는 Power MOSFET을 사용하여 높은 주파수에서 운전이 가능하도록 하였고, 최대전력추출을 한 태양에너지를 축전지에 축적시킬때 과충전과 과방전시 축전지에 악영향을 미치므로 이것에 대비한 축전지 보호회로를 추가 하였다.

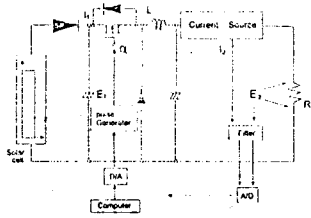


그림 3. 최대전력추출을 위한 시스템 구성  
Fig. 3. System for MPPT

다음은 온도보상을 했을 경우와 하지 않았을 경우의 최적 전압과 시비율에 관한 식을 나타낸다.

### 1. 온도 보상을 고려할 경우

$$V_m(t) = V_m \times [1 + \gamma(t-25) - \delta(100-L)] \quad (4)$$

$V_m(t)$  : 시험조건 하에서 최적전압 [V]

$V_m$  : 표준조건에서 최적전압 [V]

$\gamma$  : 최적전압의 온도 계수  $\Rightarrow -0.0038 / 1^\circ\text{C}$

$\delta$  : 최적전압의 인사량 계수  $\Rightarrow 0.000094 \text{ mW/cm}^2$

$L$  : 인사량 값

$t$  : 온도 (출력전압에 따른 온도)

$$t = \left( (V_0 - 1) \times \frac{140}{4} \right) - 40$$

( $V_0$ : 센서로써 측정된 전압)

$a$ : 시비율  $a = \frac{V_2 - V_m(t)}{V_2}$

( $V_2$  : 컨버터 출력 전압 )

위 식에서 만약 센서 측정 전압인  $V_0$ 가 1 ~ 5 V에서 변화한다면 온도는  $-40^\circ\text{C}$  에서  $100^\circ\text{C}$ 로 변화한다.

### 2. 온도를 보상하지 않은 경우

$$V_m(t) = V_m \times [1 + \gamma(t-25) - \delta(100-L)] \quad (6)$$

$V_m(t)$  : 시험조건에서 최적전압 [V]

$V_m$  : 표준조건에서 최적전압 [V]

$\gamma$  : 최적전압의 온도 계수  $\Rightarrow -0.0038 / 1^\circ\text{C}$

$\delta$  : 최적전압의 인사량 계수  $\Rightarrow 0.000094 \text{ mW/cm}^2$

$L$  : 인사량 값

$t$  : 온도

$a$  : 시비율  $a = \frac{V_2 - V_m(t)}{V_2}$

( $V_2$  : 컨버터 출력 전압 )

## IV. 퍼지제어를 이용한 MPPT

### 4.1. 퍼지화

실제적인 태양전지의 전압과 전류값은 마이크로 콘트롤러 8051의 A/D컨버터에 의해 계속해서 측정하고, 전력은 이 두개의 값에 의해 구해진다. 여기서 이러한 값을 가지고, E와 dE를 계산하여 퍼지제어의 입력으로 사용한다.

본 연구에서의 퍼지제어기는 2개의 입력변수를 갖는데, 샘플링 구간 k에서의 입력변수 E(k)와 dE(k)는 다음과 같이 정의 된다.

$$E(k) = \text{setpoint} - \text{outputpoint} \quad (7)$$

$$dE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (8)$$

이곳서,  $P_{ph}(k)$   $i_{ph}(k)$ 는 태양광 모듈의 전력과 전류를 나타낸다. 따라서, E(k)가 영(zero)일 경우 태양광 모듈의 최대출력이 된다.

변수는 7단계, 즉 PB(Positive Big), PM(Positive Middle), PS(Positive Small), ZO(zero), NS(Negative Small), NM(Negative Middle), NB(Negative Big)로 정하였으며, 그림 4.는 입출력에 대한 7개의 기본 언어변수에 따른 삼각형 모양의 소속함수를 갖도록 하였다.

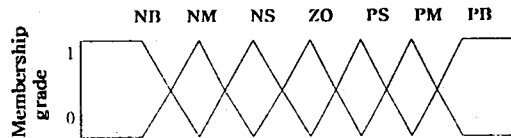


그림 4. 소속함수  
Fig. 4 Membership Function

### 4.2. 추론방법

표 1.은 퍼지제어기의 제어규칙을 나타내는데, 여기서 행렬의 각각의 요소들은 E(Error), dE와 컨버터의 시비율 변화량 dD를 나타낸다.

표 1. 퍼지제어규칙.  
Table. 1 Fuzzy Rule

dE E	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	ZO	NB	ZO	NB	NB	NS	NB
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS
NS	ZO	NM	ZO	NS	NS	PS	NS
ZO	NS	NM	ZO	ZO	ZO	PM	PS
PS	PS	NS	PS	PS	ZO	PM	ZO
PM	NS	ZO	PS	PM	PM	PB	PB
PB	PB	PS	PB	PB	ZO	PB	ZO

표1에서 제어 규칙의 한가지 예를 들면 다음과 같다.

IF E is PB AND dE is ZO THEN dD is PB.

즉, "최대동작전압과 태양모듈 측정전압의 차가 심하고 전압변차가 0일때 듀티비는 크게 하라."라는 의미이다. 결국은, 입력신호 E류 영(zero)이 되도록 제어 규칙을 설계하여야 한다. 그림 4에 나타난 언어변수에 대한 소속

함수와 표1.와 같은 제어규칙에 의하여 본 연구에서 가장 많이 사용되는 MAX-MIN합성법을 이용하였다.

### 4.3. 비퍼지화

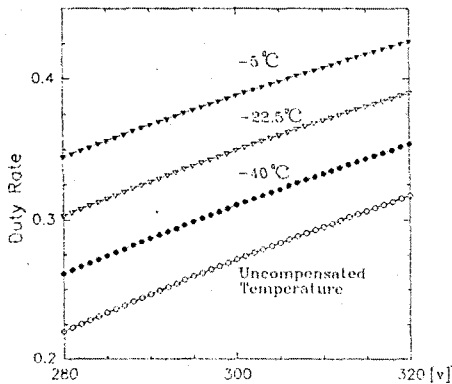
제어의 출력값은 퍼지변수로써 소속함수로 표현되는 반면에 실제 플랜트에는 퍼지변수가 적합하지 않으므로 플랜트에 적합한 보통값(crisp value)으로 변환하는 과정인 비퍼지화 단계가 필요하다. 일반적인 비퍼지화 방법으로는 최대평균방법(Mean of Maximum Method)과 무게 중심방법(Center of Area Method)을 많이 사용하는데 본 연구에서는 무게중심방법을 이용하고 이산적인 계산을 수행하기 위해서는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$dD_n = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(dD_j) \cdot dD_j}{\sum_{j=1}^n \mu(dD_j)} \quad (9)$$

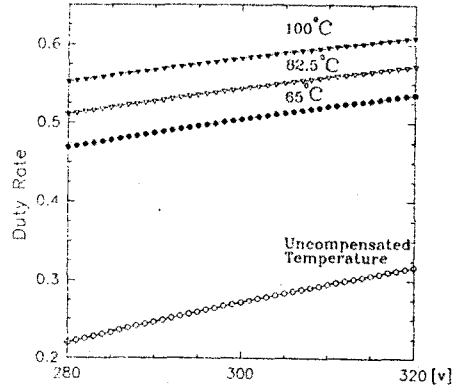
이거시,  $n$ 은 제어입력 변화량에 대한 양자화 단계이고,  $dD_j$ 는  $j$ 번째 양자화 단계에서 제어입력 변화량을 의미하며,  $\mu(dD_j)$ 는 그 변화량에 대한 소속함수값을 나타내고 있다.

### V. 시뮬레이션 및 결과 고찰

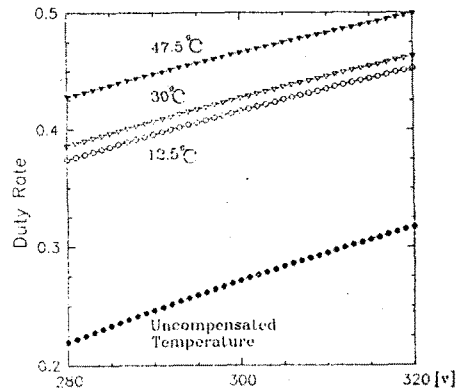
그림 5.는 온도비보상과 극한지역, 사막지역, 온대지역에서의 듀티비의 변화를 나타내고 있다.



(a) 극한지역 ( Severe Cold region )



(b) 사막지역 ( desert region )



(c) 온대지역 ( Temperate region )

그림 5. 온도보상에 따른 duty rate의 변화  
Fig.5 Change of Duty Rate with Temperature Compensation

온도 보상을 했을 경우 높은 온도에서 보다 큰 Duty Rate와 전압을 얻을수 있었고, 온도가 낮아질수록 Duty Rate와 전압은 비례하여 감소 하였다.

또한, 온도 보상을 하지 않았을 경우에는 가장 낮은 Duty Rate와 전압을 얻을수 있었다.

그 결과 Duty Rate를 이용하여 최대전력추종을 위한 전압을 조종할 수 있다.

### 참고문헌

- [3] Vittorio Arcidiacono, Sandro Corsi, and Luciano Lambri, "Maximum power point tracker for photovoltaic power plants.", In Proceedings of the 16th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pages 507-512, September 1982.
- [4] Charles R. Sullivan, Matthew J. Berkeley, "A High-Efficiency Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays in a Solar-Powered Race Vehicle.", IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1993, pp 574-580.
- [1] Tomonobu Senju, Katsumi Uezato, Shigeru Okuma, "Maximum Power Point Tracking Control of Photovoltaic Array Using Fuzzy Control.", T.IEE Japan, Vol.114-D, No.9, '94, pp 843-848.
- [2] Alberto Bonazzelli, Angelo Repetto, "Guidelines for Photovoltaic System Power and Supervising Electronic.", EPE FIRENZE, 1991, pp 331-338.