

퍼지제어기에 의한 온도보상효과를 고려한  
태양광 발전 시스템의 MPPT제어 특성

The Characteristic of MPPT Control for Photovoltaic System  
by Temperature Compensation Effect using Fuzzy Controller

강병복\* 차인수\* 유권중\*\* 정명웅\*\* 송진수\*\*

\* 동신대학교 전기전자공학과

\*\* 한국에너지기술연구소

Byungbog Kang\* Insu Cha\* Gwonjong Yu\*\* Myungwoong Jung\*\* Jinsoo Song\*\*

\* Dept. of Electrical & Electronic Eng. Dongshin Uni.

\*\* Korea Institute of Energy Research

< Abstract >

In this paper, a new Maximum Power Point Tracker (MPPT) using Fuzzy Controller is proposed to improve energy convention efficiency.

Temperature compensation effect means the photovoltaic voltage is change in condition irradiation, temperature and etc.

Fuzzy algorithm is applied to control Boost MPPT converter by Temperature compensation effect. Temperature compensation range is -40 ~ +100°C .

I. 서론

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

태양전지에서 최대출력을 얻기 위해서는 태양전지의 동작점이 최대전력점에 위치하도록 제어해야 하는데, 태양전지 모듈에서의 발생전력이 일사량, 태양전지 소자 온도 등의 외부조건에 의존하기 때문에, 가능한 많은 에너지를 태양전지에서 얻어내기 위해서는 MPPT (Maximum Power Point Tracking) 을 실행해야 할 필요성을 가진다. [1] ~ [3]

이러한 태양광 발전시스템의 실용화를 위해서는 시스템의 구성을 간단히 하는 것을 필수조건으로하며 태양전지의 최대출력 추적제어 방법으로는 태양전지의 출력이 최대가 되는 동작점을 태양전지의 출력 검출에 의해 구하는 방법이 일반적으로 이용되고 있으며, 그 외에도 전류 검출 및 전압 검출에 의한 제어 방법이 제안되어 왔다.[4]

본 연구는 Solar Cell Module로부터 직류 전력을 얻으나 일사량, 온도 등에 따라 전력변환 효율이 다르므로 승압형 DC-DC Converter에 Fuzzy Rule을 적용함으로써 태양전지 발생전력이 일사량, 태양전지 소자 온도 및 동작전압 등에 의존하는 것을 항상 최대전력점에서 동작되도록 제어하고자 한다.

II. 태양전지의 기본원리

태양전지는 광기전력효과(Photo voltaic Effect)를 이용하여 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 반도체 소자로서, 등가회로는 그림1과 같고, 전류전압특성 곡선은 그림2와 같다.

[그림1] [그림2]

III. MPPT제어를 위한 Boost Converter

그림3은 항상 최대전력점에서 동작하도록 하기 위한 Fuzzy Rule을 적용한 승압형 Boost Converter 회로의 구성도를 보여 주고 있다. 여기에서 스위칭 소자로는 POWER MOSFET을 사용하여 높은 주파수에서 운전이 가능하도록 하였고, 최대전력추종을 한 태양에너지를 축전지에 축적시킬 때 과충전과 과방전시 축전지에 악영향을 미치므로 이것에 대비한 축전지 보호회로를 추가하였다.

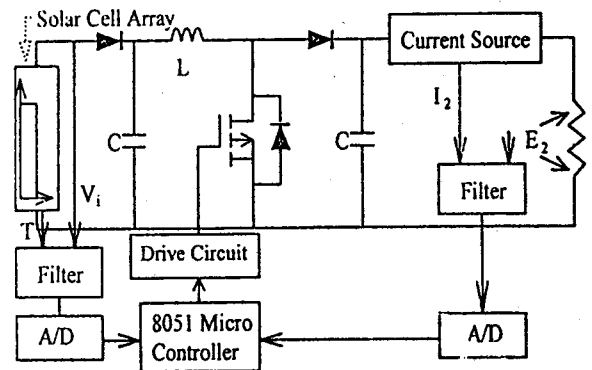


그림 3. MPPT을 위한 승압형 전압이터의 구성도

다음은 온도보상을 했을 경우와 하지 않았을 경우의 직류 전압과 Duty ratio에 관한 식을 나타내고 시뮬레이션 하여보았다.

가. 온도 보상을 고려할 경우

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

$V_m(t)$ : 동작조건에서의 최대출력시의 전압 [V]

- $\gamma$  : 최저전압에서의 온도계수  $\Rightarrow -0.0038 / 1^\circ\text{C}$
- $\delta$  : 최저전압에서의 일사량 계수  $\Rightarrow 0.000094 \text{ mW/cm}^2$
- L : 일사량 값
- t : 온도

$$t = (V_0 - 1) \times \frac{140}{4} - 40 \quad (2)$$

( $V_0$  : 부스트 컨버터의 출력전압 [V])

$\alpha$  : Duty Ratio (시비율 또는 듀티비)

$$\alpha = \frac{V_m(t) - V_2}{V_m}(t) \quad (3)$$

( $V_2$  : 태양전지 모듈 전압의 변화치)

위 식에서 태양 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

t : 주변환경 온도

## IV. MPPT제어를 위한 퍼지제어기

본 논문에서는 퍼지제어기를 이용하여 Boost Converter를 MPPT제어함으로써 최대전력점을 추종하고 추론하였다.

### 가. 퍼지화

PV Array로부터 실제적인 태양전지의 전압과 전류값을 Microprocessor 8051의 A/D Converter에 의해 계속해서 측정하고, 전력은 이 두개의 값에 의해 구해진다. 여기서 이러한 값을 가지고, E와 dE를 계산하여 퍼지제어기의 입력으로 사용한다. 본 연구에서의 퍼지제어기는 2개의 입력변수로 샘플링 구간 k에서의 입력변수 E(k)와 dE(k)가 있고 출력변수로는 dD(k)가 있으며 다음과 같이 정의된다.

$$E(k) = \text{setpoint} - \text{outputpoint} \quad (4)$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (5)$$

$$dD(k) = \text{Output of Fuzzy Controller} \quad (6)$$

입력변수는 7단계의 변수, 즉 PB(Positive Big), PM(Positive Middle), PS(Positive Small), ZO(zero), NS(Negative Small), NM(Negative Middle), NB(Negative Big)로 표현하였으며, 그림4-1과 4-2는 온도보상의 유무에 따라 입출력에 대한 7개의 기본 언어변수에 의한 Membership Grade를 보여주고 있다.

[그림4-1.] [그림4-2.]

### 나. 추론방법

표 1. 은 퍼지제어기의 제어규칙을 나타내는데, 여기서 행렬의 각각의 요소들은 E(Error), dE와 컨버터의 Duty Ratio 변화량 dD를 나타낸다. 표.1를 사용하여 제어 규칙의 한가지 예를 들면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

즉, "최대동작전압과 태양모듈 측정전압의 차가 심하고 전압

에러변화가 0일 때 Duty Ratio은 크게 하라."라는 의미이다. 결국은, 입력신호 E를 영 (zero)이 되도록 제어 규칙을 설계하여야 한다.

표 1. 퍼지제어규칙 표

|         |    |    |    |    |    |    |    |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|
| CE<br>E | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
| NB      | NB | NB | NB | NB | NM | NS | ZO |
| NM      | NB | NB | NB | NM | NS | ZO | PS |
| NS      | NB | NM | NS | NS | ZO | PS | PM |
| ZO      | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
| PS      | NM | NS | ZO | PS | PS | PM | PB |
| PM      | NS | ZO | PS | PM | PM | PB | PB |
| PB      | ZO | PS | PM | PB | PB | PB | PB |

퍼지추론 방법으로써는 그림 4.에 나타난 언어변수에 대한 소속함수와 표1.와 같은 제어규칙에 의하여 본 연구에서 가장 많이 사용되는 Mandani의 MAX-MIN합성법을 이용하였다.

### 다. 비퍼지화

제어기의 출력값은 퍼지변수으로써 소속함수로 표현되는 반면에 실제 플랜트에는 퍼지변수가 적합하지 않으므로 플랜트에 적합한 보통값으로 변환하는 과정인 비퍼지화 단계가 필요하다.

일반적인 비퍼지화 방법으로는 최대평균방법(Mean of Maximum Method)과 무게중심방법(Center of Area Method)을 많이 사용하는데 본 연구에서는 무게중심방법을 이용하였고 이산적인 계산을 수행하기 위한 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$dD_n = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(dD_j) \cdot dD_j}{\sum_{j=1}^n \mu(dD_j)} \quad (7)$$

여기서, n은 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

그림5는 일사량과 온도의 변화에 대한 최대출력전력을 나타내고 있는데 모듈의 표면 온도를  $-40^\circ\text{C}$ 에서  $100^\circ\text{C}$ 까지 변화시켰을 때 모듈의 최대출력을 시뮬레이션 하였다. 결과적으로 일사량을 같게 했을 경우 온도가  $1^\circ\text{C}$ 씩 증가함에 따라 출력이 0.5% 감소함을 알 수 있다.

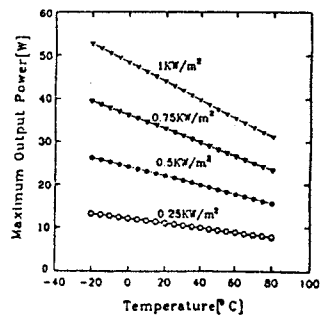


그림 5. 일사량, 온도변화에 따른 최대전력

그림 6.에서는 온도와 일사량의 변화에 대한 단락전류를 보여 주고 있는데 단락전류는 최대출력과는 반대로 온도상승에 따라서 미소하게 전류가 증가하고 일사량의 변화에 대해서는 비례적으로 변화됨을 알 수있다.

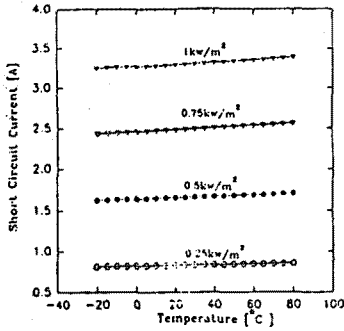


그림 6. 일사량, 온도변화에 따른 단락전류

그림 7.은 온도와 일사량의 변화에 대한 개방전압을 보여주고 있다. 이 그래프를 살펴보면, 온도의 증가에 따라 개방전압은 감소되고 일사량감소에 따라서 약간의 변화추세를 나타내고 있음을 알 수있다.

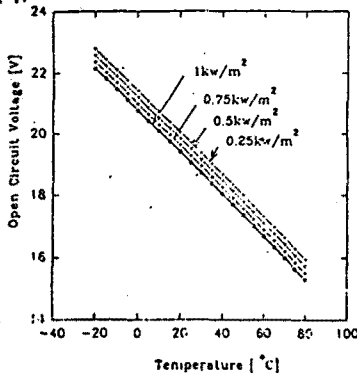


그림 7. 온도와 일사량의 변화에 대한 개방전압

그림 8.은 태양전지 모듈의 온도 및 일사량 변화에 따른 최대 출력전압을 나타내고 있는데, 그림에서 알 수 있듯이 일사량의 변화에 따라서는 출력전압의 감소가 미비하고 온도가 증가함에 따라 상당한 큰 폭으로 감소함을 보여주고 있다.

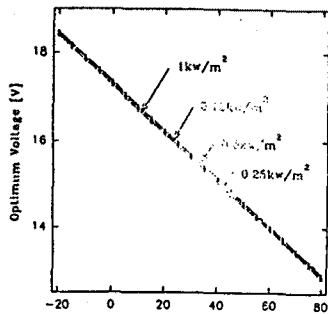
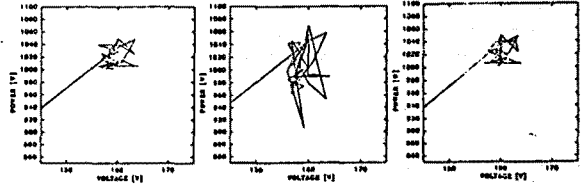


그림 8. 온도와 일사량의 변화에 따른 최대 출력전압

그림9.는 퍼지제어기를 이용한 MPPT특성을 나타낸다. 그림으로부터 퍼지제어기와 브랜뉴서를 합성한 방법이 가장 안정한 MPPT특성을 얻을 수 있었다.



(a)퍼지제어기의 경우 (b)인간제어기의 경우 (c)퍼지제어기+브랜뉴서  
그림9. MPPT의 특성

## VI. 결론

퍼지제어기를 이용함으로써 태양광발전기의 DC-DC 컨버터로부터 일정한 전압의 전력을 얻을 수 있었고, 온도를 보상하고 보상하지 않았을 경우의 입력전압, 출력전압, 듀티비를 비교하여 보았을 때 서로 차이가 있음을 알 수 있었다.

온도에 따른 개방전압, 최대출력전력 단락전류, 일사량의 변화에 따른 보상을 제어기 8051로써 제어함으로써 보다 정확한 Data를 얻을 수 있었으며, 보다 정확한 MPPT제어를 위해서는 일반적으로 25℃ - 50℃범위에서만 고려 되어진 종래의 온도보상효과와 개념은 대체되어야만 한다.

## 참고문헌

- [1] Tomonobu Senju, Katsumi Uezato, Shigeru Okuma, "Maximum Power Point Tracking Control of Photovoltaic Array using Fuzzy Control.", T. IEEE Japan, Vol. 114-D, No.9, pp. 843~848, 1994.
- [2] Alberto Bonazzelli, Angelo Repetto, "Guidelines for Photovoltaic System Power and Supervisory Electronic.", EPE FIRENZE, pp. 331~338, 1991.
- [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, pp. 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, pp. 574~580, 1993.

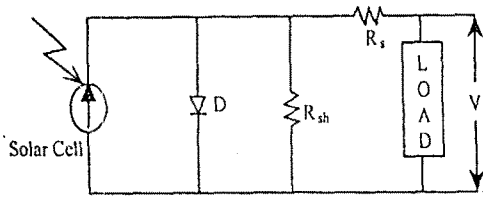


그림 1. 태양전지의 등가회로

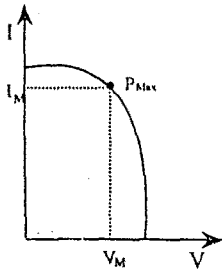


그림 2. 태양전지의 전압 전류 특성곡선

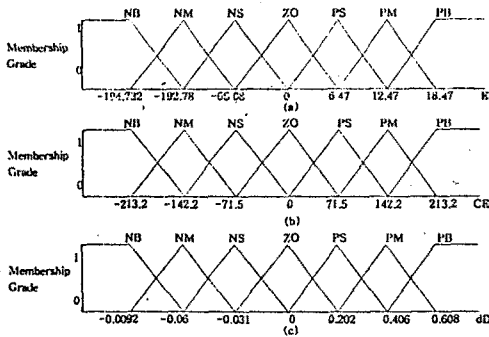


그림 4-1. 온도 보상에 의한 태양광발전 시스템의 입력 E, 출력 CE, 출력 dD에 대한 Membership Grade

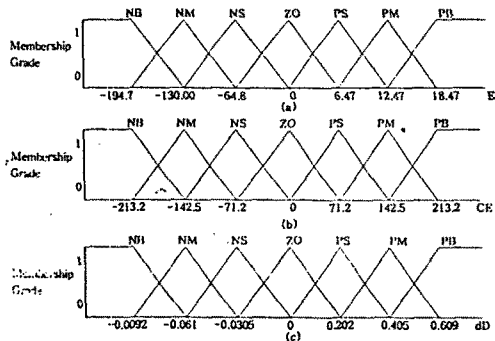


그림 4-2. 온도 비보상에 의한 태양광발전 시스템의 입력 E, 출력 CE, 출력 dD에 대한 Membership Grade