

퍼지제어에 의한 PV시스템의 PCS 출력특성

문은아*, 임홍우*, 백형래*, 조금배*, 오금곤*, 임양수**, 김평호**
조선대학교*, 서강정보대학**

PCS Power Characteristics of PV System by Fuzzy Controller

E.A.MOON, H.W.LIM, H.L.BAEK, G.B.CHO, G.K.OH, Y.S.LIM, P.H.KIM
Chosun University*, Seokang College**

ABSTRACT

Maximum power point tracking for PV systems traditionally uses either perturbation and observation method or incremental conductance method. Both methods require modulation of the output voltage and this leads to significant power loss. In this paper, a method, which senses output circuit voltage and short circuit current and use the above two parameters for optimum control with a fuzzy controller, is introduced. The short circuit current of PV cell represents illumination, and the output circuit voltage carry on information about the temperature.

PCS(power conditioning system) is controlled not only feed to inverter for stability voltage variation despite of variety external environment, but also operate in order to feeding voltage and current at maximum power point by boost type chopper.

1. 서론

신 에너지원의 하나로 각광받고 있는 태양에너지는 청정에너지원이고, 무진장하기 때문에 대체 에너지원으로써 특히 주목을 받고 있으며, 이를 이용한 태양광 발전은 반도체 소자인 태양전지를 이용하여 빛에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 새로운 발전방식이다. 태양광 발전은 운전이 용이하고 운전관리비를 최소로 할수 있으며, 설치 또는 이동이 용이한 규격화된 모듈구조이기 때문에 적용성이 뛰어난등 여러 가지 장점이 있는 반면에 태양전지모듈이 아직은 고가이고 외부환경에 따라 최대 출력점이 변하는 특성을 가지고 있으며 변환효율이 12~14 [%] 정도밖에 되지 않기 때문에 가능한 많은 에너지를 태양전지에서 얻을 수 있도록 해야하며, 항상 최대출력점에서 동작하도록 제어해야 할

필요가 있다.

본 논문에서는 퍼지논리를 사용한 최대출력점 추종 방법을 인버터에 적용하여 최대전력점을 추적해 가는 방식을 제안하고, 제안된 퍼지제어 알고리즘은 시뮬레이션을 행하여 제안한 시스템의 타당성을 입증하고자 한다.

2. FUZZY제어기를 이용한 MPPT제어

2.1 FUZZY 제어기의 구성

퍼지제어는 인간의 판단등, 애매성을 포함한 제어 알고리즘을 if-then 형식으로 표현하고, 퍼지 추론을 이용하여 컴퓨터로 실행시키는 것이다. 퍼지 제어기의 구조는 그 내부에 취급되는 정보가 퍼지 집합의 형태이므로 재래식 제어기와는 매우 다를 것으로 예상되지만, 퍼지 제어기도 하나의 제어기로서의 기본 골격은 일반 제어기와는 다를 바가 없으며 단지 제어기 안에서 유통되는 정보량의 형태가 다를 뿐이다. 퍼지 제어기는 아래 그림1과 같이 퍼지화 (fuzzification), 비퍼지화 (defuzzification), 그리고 퍼지제어규칙 (fuzzy control rule) 및 퍼지연관 (fuzzy implication) 법칙을 바탕으로 한 퍼지추론 (fuzzy reasoning)의 세 부분으로 나눌 수 있으며 각 부분의 기능은 다음과 같다.

퍼지추론 방법에는 여러가지가 있는데 크게 직접법 (direct method), 간접법 (indirect method), 하이브리드법 (hybrid method)으로 분류될 수 있다.

직접법으로는 Mamdani's method, Larsen's method, Mizumoto's method 등이 있으며 이중에서 Mamdani의 추론법이 가장 널리 사용되고 있다. 그리고 간접법으로는 Baldwin's method를 들 수 있으며, 하이브리드법으로는 Sugeno's method등이 있다.

직접법으로는 Mamdani's method, Larsen's method, Mizumoto's method 등이 있으며 이중에서 Mamdani의 추론법이 가장 널리 사용되고 있다. 그리고 간접법으로

는 Baldwin's method를 들 수 있으며, 하이브리드법으로는 Sugeno's method등이 있다.

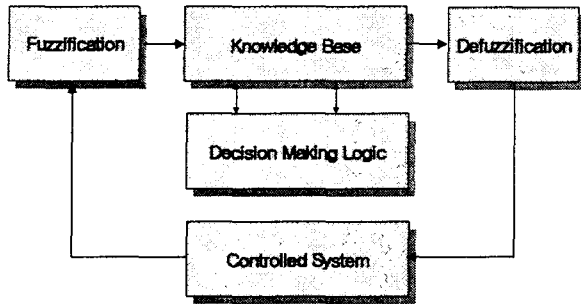


Fig. 1 Configuration of fuzzy controller

본 논문에서는 일반적으로 가장 많이 사용되는 Max-Min 합성법을 이용한 Mamdani의 추론법을 사용하였다.

추론의 결과로써 얻어지는 것은 퍼지집합이며 제어 정도의 확률분포를 나타낸다. 비퍼지화는 추론의 결과로써 얻어진 퍼지 제어값으로부터 가장 좋은 확률분포를 가지는 애매하지 않은 제어값을 결정하는 것으로 출력 전체 공간에서 정의된 애매하지 않은 제어값으로 대응시키는 과정을 말한다. 이는 실제 플랜트를 제어하는데 정확한 값을 필요로 하기 때문이다.

2.2 FUZZY 제어를 이용한 MPPT 제어

태양전지의 출력특성은 일사량 및 온도 등에 따라 항상 변하고 있으므로 최대전력출력점도 항상 변화하는 것을 알 수 있는데 본 논문의 제어기의 목적은 어떠한 일사량 변화에 대해서도 빠른 시간에 섭동없이 정확하게 최대전력점에서 운전할 수 있도록 제어하는데 있다.

퍼지제어기는 2개의 입력변수를 갖는데, 샘플링구간 k 에서의 입력변수 $E(k)$ 와 $CE(k)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$E(k) = \frac{V_{ph}(k) \cdot I_{ph}(k) - V_{ph}(k-1) \cdot I_{ph}(k-1)}{I_{ph}(k) - I_{ph}(k-1)} \quad (1)$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (2)$$

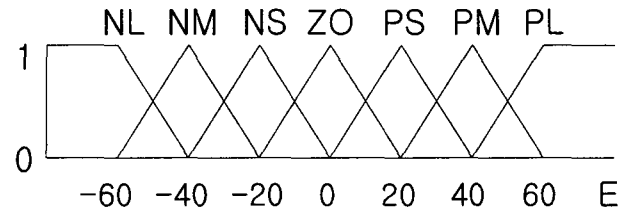
퍼지언어 변수는 7단계, 즉 PL (positive large), PM (positive middle), PS (positive small), ZO (zero), NS (negative small), NM (negative middle), NL (negative large)로 정하였으며, 그림 2은 입출력에 대한 7개의 기본 언어변수에 따른 삼각형 모양의 소속함수를 갖도록 하였다.

표 1은 퍼지제어기의 제어규칙을 나타내는데, 여기서는 행렬의 각각의 요소들은 E (error), CE 와 컨버터의 시비율 변화량 dD 를 나타낸다.

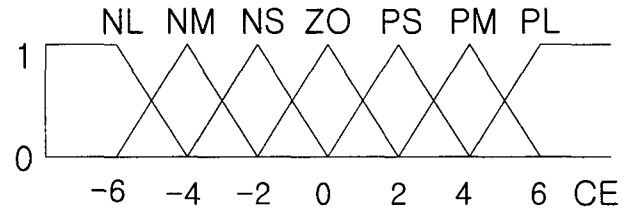
Table 1. Fuzzy Rule Table

CE \ E	NL	NM	NS	ZO	PS	PM	PL
NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	ZO
NM	NL	NL	NM	NM	NS	ZO	PS
NS	NL	NM	NS	NS	ZO	PS	PM
ZO	NL	NM	NS	ZO	PS	PM	PL
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PL
PM	NS	ZO	PS	PM	PM	PL	PL
PL	ZO	PS	PM	PL	PL	PL	PL

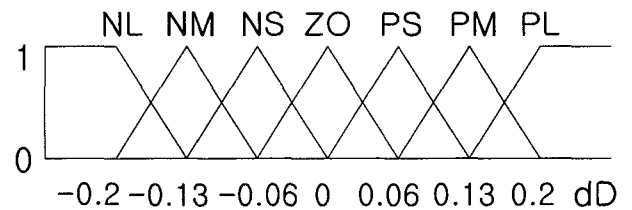
NL: Negative Large NM: Negative Medium NS: Negative Small ZO: Zero PS: Positive Small PM: Positive Medium PL: Positive Large



(a) Variable E



(b) Variable CE



(c) Variable dD

Fig. 2 The membership function for the input E and CE, output dD

표 1에서 제어규칙의 한가지 예를 들면 아래와 같다.

“ IF E is PL AND CE is ZO THEN dD is PL ”

즉, 전류에 대한 전력의 특성곡선에서 기울기가 매우 크고 그 기울기에 대한 변화량이 없으면 제어출력값을 매우 크게 증가시키라는 의미이며 결국 입력신호 E 를 zero로 취하는 의미는 시비율이 0이 되도록 제어규칙을 설계함을 뜻한다.

제어기의 출력값은 퍼지변수로서 소속함수로 표현되는

반면, 실제 플랜트에는 퍼지변수가 적합하지 않으므로 플랜트에 적합한 보통값으로 변환하는 과정인 비퍼지화 단계가 필요하다. 일반적인 비퍼지화 방법으로는 최대평균방법과 무게중심방법을 많이 사용하는데, 본 연구에서는 무게중심방법을 이용하고 이산적인 계산을 수행하기 위해서는 다음과 같은 식으로 표현된다.

아래식에서, 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.

$$dD_n = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(dD_j) \cdot dD_j}{\sum_{j=1}^n \mu(dD_j)} \quad (3)$$

3. 시스템 시뮬레이션

3.1 시스템 모델링

본 논문에서는 태양전지의 출력특성 및 기존의 MPPT제어 기법과 제안한 퍼지제어기법에 의한 출력특성을 시뮬레이션을 통하여 고찰하였고 퍼지제어기를 이용하여 MPPT를 위한 태양광발전시스템 부분을 모델링하였다. 시뮬레이션 툴은 Matlab m-file을 이용하였고 태양전지 모듈의 파라미터는 표 2와 같다.

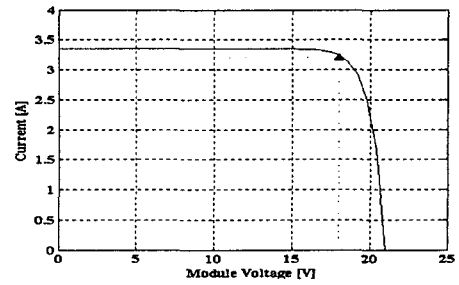
Table 2. Parameter of Photovoltaic module

Parameter	Value	Parameter	Value
최대전력	53 [W]	표준온도	25 [°C]
개방전압	21.0 [V]	정격전압	17.4 [V]
단락전류	3.35 [A]	정격전류	3.04 [A]

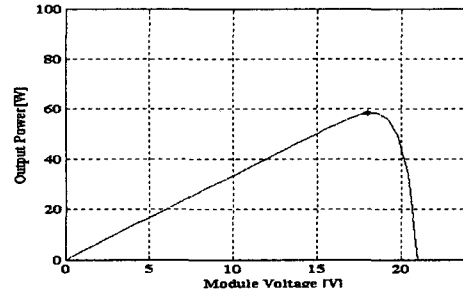
3.2 시뮬레이션 결과고찰

그림 3은 모델링 된 태양전지 모듈의 전압, 전류, 전력 특성곡선을 시뮬레이션 한 파형이다. 최대전력점에서 전압은 16.1 [V], 전류는 3.3 [A], 전력은 약 53 [W]로 나타났다. 그러나 실제 실험에서는 약 16 [V]에서 19 [V]의 전압과 3.1 [A]에서 3.6 [A]의 전류가 출력되었는데 이것은 부하 가변이나 태양광발전시스템 설계시 내부저항에 의한 손실에 의한 것으로 사료된다.

그림 4은 온도변화에 따른 태양전지의 전압-전류특성을 시뮬레이션 한 파형으로 온도변화가 0 [°C]에서 75 [°C]까지 변화시켰을 때 특성을 나타내고 있다. 온도가 변함에 따라 최대전력점이 변동함을 알 수 있으며, 따라서 최대출력점 기준값도 변동 값에 따라 가변 하여야 함을 알 수 있다.



(a) V-I Characteristics of Module



(b) Power characteristics of module

Fig. 3 Output characteristics curve of module

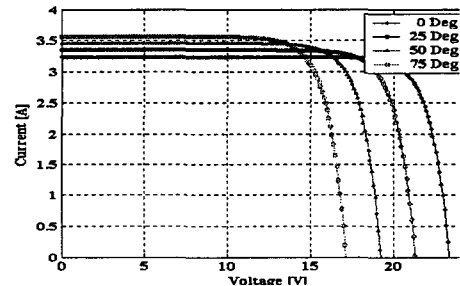


Fig. 4 V-I characteristic curve according to variation temperature

본 논문에서는 태양광어레이 출력을 최대전력점에서 동작하여 안정된 출력전류를 얻기 위한 제어 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 5는 기존의 제어기로 구현한 MPPT 시뮬레이션 출력파형을 나타내며 그림 6은 Fuzzy 제어기를 적용한 MPPT 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 일사량을 0에서 100 [ms] 동안에는 1000 [W/m²]로 설정하고 100 [ms]에서 200 [ms] 구간에는 어두운 환경을 가상하여 250 [W/m²]의 일사량으로 설정하였으며 200 [ms]에서 300 [ms] 구간에는 약간 어두운 기상조건을 가상하여 500 [W/m²]의 일사량으로 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 5는 정상적인 주기로 MPPT 동작 기준전압이 225 [V]로 추종되어 동작하지만 명암 변화시 속응특성이 떨어짐을 확인할 수 있었다.

반면 Fuzzy 제어기를 이용한 MPPT 제어특성을 모의결과 그림 6의 동작기준전압은 225 [V]로 추종됨을 확인하였다.

출력파형에서 알 수 있듯이 기존의 제어기보다 동작전압이 유동적으로 변하여 안정된 출력을 얻기 위한 MPPT 제어가 효과적으로 수행됨을 확인할 수 있었다.

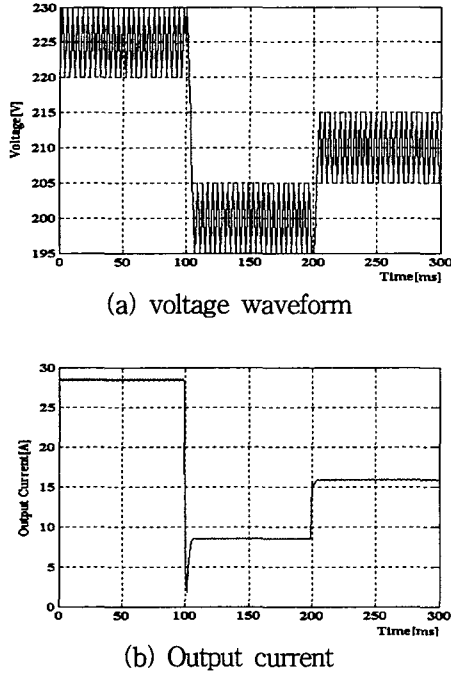


Fig. 5 Output characteristic according to variation insolation in conventional control method

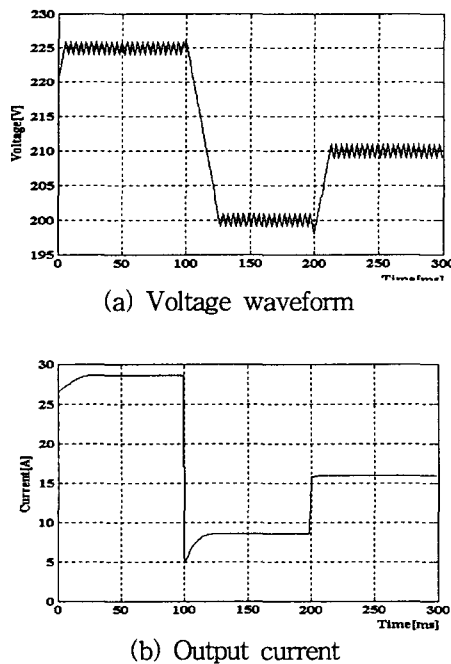


Fig. 6 Output characteristic according to variation insolation in Fuzzy control method

4. 결 론

본 논문에서는 퍼지논리를 사용한 새로운 최대전력 추종제어방식을 제안하였고 교류부하를 위하여 인버터를 시제작하여 특성을 평가, 검토하였다.

제안된 퍼지제어기는 Boehring에 의한 Hill climbing method에서 Trade-Off 관계로 인하여 추종시간의 길어지는 문제와 커다란 맥동이 나타났던 문제점을 보완할 수 있었고, 시뮬레이션에서 섭동이 거의 없이 최대전력을 추종하는 것을 확인했으며 그 결과 빛에너지를 전기 에너지로 변환하는 태양광발전시스템의 에너지 변환효율이 향상됨을 알 수 있었다. 또한 일사량 변화에 따른 태양전지어레이 출력전력을 시제작한 승압형 초퍼로 안정화된 출력전압을 얻을 수 있었으며 실험결과에서 볼 수 있듯이 MPPT 제어가 됨을 알 수 있었다

이는 본 논문에서 사용된 시작품이 최대전력점을 찾는 데 걸리는 시간과 이를 추종하는 시간을 최소화했을 뿐만 아니라 컨버터 출력맥동을 줄여 에너지변환 효율을 저하시키는 요인이 개선됨을 볼 수 있었다. 또한 최적화된 LC 필터소자값 제어도 가능하여 출력전압을 보다 안정되게 유지하는 인버터의 PWM 제어신호의 발생이 가능하였다.

참 고 문 헌

- [1] Hyeong-Ju Noh, Dong-Yun Lee, Dong-Seok Hyun, "An improved MPPT converter with current compensation method for small scaled PV-applications "IEEE IES, Vol2 , pp1113-1118, 2002. 11
- [2] Andoubi, R., Mami, A., Dauphin-Tanguy, G., Annabi, M. "Bond graph modelling and dynamic study of a photovoltaic system using MPPT buck-boost converter" IEEE ICS, Vol3 ,pp200-205, 2002. 10.
- [3] Nagayoshi, H., Orio, S., Kono, Y., Nakajima, H., "Novel PV array/module I-V curve simulator circuit "IEEE Photovoltaic Specialists Conference 2002 , pp1535-1538 , 2002. 5.
- [4] Ruther, R., de Silva, A.J.G., Montenegro, A.A., Salamon, I.T., Araujo, R.G., "The petrobras 45.5kwp, grid-connected pv system: a comparative study of six thin-film module types operating in brazil "Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference 2002 , pp1440-1443 , 2002.5.