

퍼지 제어를 이용한 태양광 발전시스템의 PV Output Senseless(POS) MPPT에 관한 연구

김상용*, 장성재*, 박상수*, 김경훈*, 서효룡*, 박민원*, 유인근*
 창원대학교*

A Study on the PV Output Senseless MPPT Control Method for PV Generation System Applied by Fuzzy Control

Sang-Yong Kim*, Sung-Jae Jang*, Sang-Soo Park*, Kyung-Hun Kim*, Hyo-Ryong Seo*, Minwon Park*, In-Keun Yu*
 Changwon National University*

Abstract - 기존의 MPPT제어의 방식은 태양전지의 출력을 비교하여 최대점을 추종하는 방식으로써 최대전력점을 추종하는데 많은 시간이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 새로운 MPPT제어법인 POS(PV Output Senseless) MPPT법에 최대전력추종의 시간이 빠른 퍼지제어를 적용하여, 기존의 MPPT제어의 방식과 퍼지제어와의 최대전력점의 추종 시간을 예측할 수 없는 기상조건에서 비교분석하여 제안된 방법의 유효성을 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다.

이를 이용한 MPPT를 제안하였다.

1. 서 론

최근 에너지자원의 이용 증가로 인하여 매장되어 있는 에너지의 한계와 화석에너지 자원의 이용으로 인한 환경오염이 문제점으로 제기됨으로써 대체에너지 자원 중의 하나인 태양광에너지를 이용한 생산 메커니즘(PV Generation System)에 관한 연구·개발이 활발하게 진행되고 있다. 태양광발전은 환경 친화적이고 안전하며 연료의 수송, 운전 및 보수가 불필요하며 무한한 에너지를 얻을 수 있는 미래의 에너지 자원이다.

태양광 발전시스템의 출력 특성은 일사량과 표면온도가 항상 가변하고, 매순간 변화하기 때문에 태양전지에서 항상 최대출력을 얻기 위해 MPPT제어는 반드시 필요하다. 또한 일반적으로 MPPT(Maximum Power Point Tracking)제어를 위한 방법으로 P&O제어가 사용되고 있지만 이 방법은 태양전지의 출력을 검출하여 단순히 비교하여 최대출력을 추종해가는 방법으로써 최대전력추종을 위해 태양전지의 전압, 전류 피드백이 필요하다.

본 논문에서는 태양광 출력의 전압과 전류의 피드백(feedback)이 전혀 필요가 없는 획기적이고 높은 안정성과 효율성 및 경제성을 바탕으로 한 POS MPPT제어법[1]에 추가적으로 주관적인 생각에 바탕을 둔 제어 규칙에 따라 제어하여 최대전력추종의 시간을 단축시키는 퍼지제어를 제안하였고 이에 대한 실험결과를 비교분석하여 나타내었다.

2. 본 론

2.1 PV Output Senseless MPPT 제어법

2.1.1 기존의 MPPT 제어법

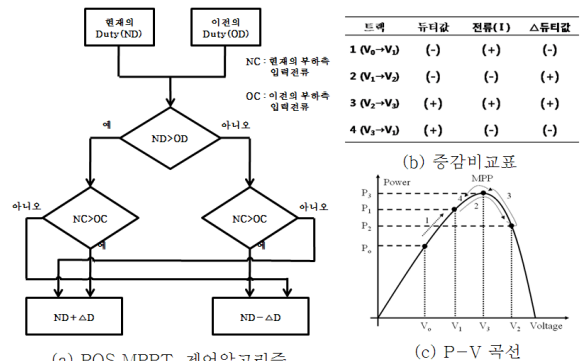
기존의 MPPT 제어법은 크게 전력비교법(P&O)과 일정전압제어를 이용한 방식으로 나눌 수 있다. 첫째, 전력비교법은 태양광 셀의 출력전압과 전류를 모두 피드백 받아 전력의 최대점을 추종하여 항상 최대의 출력을 추종하는 방식이다. 그러나 이 제어법은 제어 알고리즘이 복잡하고 이로 인한 최대 전력점 추종제어의 실패의 위험이 크다. 반면, 일정전압 제어는 태양광 셀의 출력전압만을 피드백 받음으로써 제어 알고리즘을 단순화하여 추종제어실패의 위험성을 최소화하였고 제어의 안정성을 극대화 하였다. 그러나 태양광 셀의 출력전압이 고정되어 있어 항상 최적의 출력을 내지 못하는 결점이 있다. 이처럼, 기존의 MPPT 제어법은 각각 제어법에 대한 특정한 결점을 가지고 있는 것이 사실이다. [2-4]

2.1.2 POS MPPT 제어법(PV Output Senseless MPPT)

그림 1은 본 연구팀에 의해 제안된 POS 기법(PV Output Senseless MPPT Control)의 알고리즘을 나타낸 것이다. 부하에 관계없이 전력변환장치의 입력으로 유입되는 전력이 최대가 되면 출력되는 전력 역시 최대가 되는 기본적인 물리적 원리가 성립하는 모든 시스템에서 적용 가능하다. [1]

부하로 유입되는 전력이 공급전력에 비례하여 증가한다면 부하전력(P)은 전압(V)과 전류(I)의 곱과 같으므로 부하에 유입되는 전류(I)도 증가하여 전력성분과 전류성분을 동시에 할 수 있다. 그러면, 셀의 출력이 최대가 될 때 전력변환장치의 출력전류(본 논문에서 부하전류)도 최대가 된다.

본 논문에서는 POS MPPT법의 부하에 유입되는 전류를 변화시켜 최대 출력을 얻을 수 있음을 응용하여 그림 1과 같이 태양전지의 출력을 검출하여 단순히 비교하는 방식이 아닌 주관적 컨트롤 방식의 퍼지 제



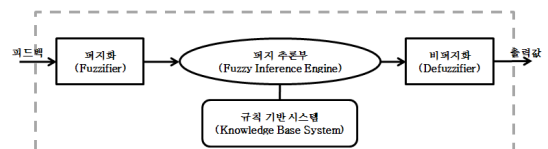
〈그림 1〉 POS MPPT 제어법의 알고리즘

2.2 퍼지 컨트롤(Fuzzy Control)을 이용한 MPPT 제어

기존의 MPPT를 위한 제어방법은 Boehringer에 의한 P&O법이 사용되고 있지만 이 방법은 태양전지의 출력을 검출하여 단순히 비교하여 최대출력을 추종해가는 방법으로써 태양전지의 전압, 전류 피드백이 필요하다.

본 논문에서는 MPPT를 위한 제어방법을 다양한 기상조건에 대해서 빠른 시간에 정확하게 최대전력점에서 운전이 가능한 퍼지제어를 이용하여 POS MPPT법에 기초를 두어 제어하는 것을 제안하게 되었다.

퍼지 컨트롤은 그림 2와 같은 구조로 제어를 하게 된다.



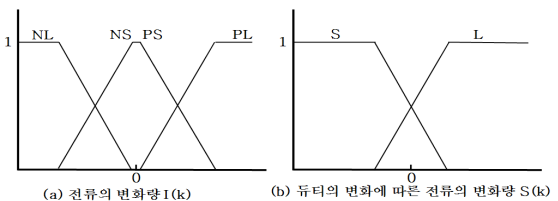
〈그림 2〉 퍼지 제어시스템의 기본구조

본 논문에서의 퍼지제어기는 2개의 입력변수를 갖는다. 이때 2개의 입력변수를 I(k)와 S(k)라 하고 다음과 같이 정의 한다.

$$I(k) = i(k) - i(k-1) \quad (1)$$

$$S(k) = \frac{i(k) - i(k-1)}{duty(k) - duty(k-1)} \quad (2)$$

퍼지언어변수는 I(k)에서는 NL(Negative Large), NS (Negative Small), PS(Positive Small), PL(Positive Large)의 4단계로 정하였으며, S(k)에서는 S(Small), L(Large)의 2단계로 정하였다. 그림 3 (a)와 (b)는 각각 I(k)와 S(k)의 소속함수를 그래프로 나타낸 그림이다. 이때의 소속함수에 의해 피드백 받은 입력변수는 퍼지화 단계를 거치게 된다. 퍼지화 단계를 거친 입력변수는 퍼지 제어 규칙에 따라 출력값이 결정된다.



〈그림 3〉 I(k)와 S(k)에 대한 소속함수

표 1은 퍼지제어기의 제어규칙을 나타낸 것이다. 행렬의 각각의 요소들은 I(k)와 S(k)의 변화에 따른 컨버터의 듀티값(Duty ratio)의 변화하게 될 양 G를 나타낸다.

〈표 1〉 퍼지 제어 규칙 Table

S(k) I(k)	NL	NS	PS	PL
	L	NS	NS	PS
S	NL	NS	PS	PL

퍼지제어기의 출력값은 퍼지변수로 표현되는 반면, 실제의 시스템에서는 퍼지변수가 적합하지 않으므로 실제 시스템에 적합한 값으로 변환시켜야 한다. 이때 비퍼지화 단계가 필요하다. 이러한 단계를 수행하기 위해서는 다음과 같은 식이 필요하다.

$$W_i = I(x_1)S(x_2) \quad (3)$$

$$f_i = G_i(1 - duty) \quad (4)$$

$$\Delta Dutyratio = \frac{\sum_{i=1}^6 W_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^6 W_i} \quad (5)$$

그림 2와 같은 퍼지 제어시스템의 기본 구조를 반복함으로써 최대전력점 추종을 해나가게 된다.

3. 시뮬레이션 결과 및 운전 특성 분석

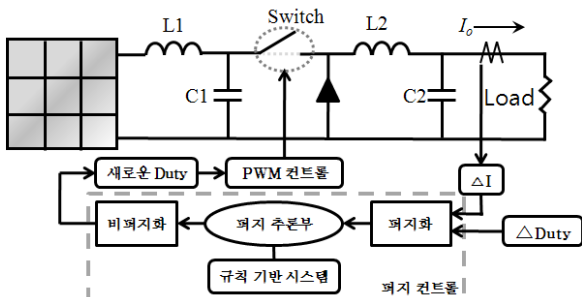
3.1 시뮬레이션 조건

본 연구에서는 퍼지제어기 적용된 PV Output Senseless MPPT법의 동작특성을 분석하기 위하여 PSCAD/EMTDC를 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션의 조건은 표 2와 같은 모의 태양광 모듈에 일사량은 제어방법에 따른 태양광 최대출력점을 추종하는 시간을 비교분석하기 위해 1.0[kW/m²]라는 일정한 값에서 시뮬레이션을 하였다.

〈표 2〉 모의 태양광 모듈 규격

용량	단락전류	개방전압	직렬연결수	병렬연결수
160 [W]	8.3 [A]	33.64 [V]	1	1

그림 4는 시뮬레이션에서의 제어 블록 다이어그램을 나타낸 것이고 이때 사용된 DC-DC 컨버터는 강압형 컨버터를 사용하여 실험을 모의하였다.



〈그림 4〉 퍼지 컨트롤이 적용된 태양광 발전시스템 블록다이어그램

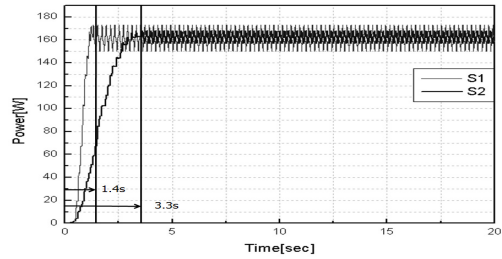
3.2 PSCAD/EMTDC를 이용한 시뮬레이션결과

〈표 3〉 퍼지언어변수에 따른 G의 값

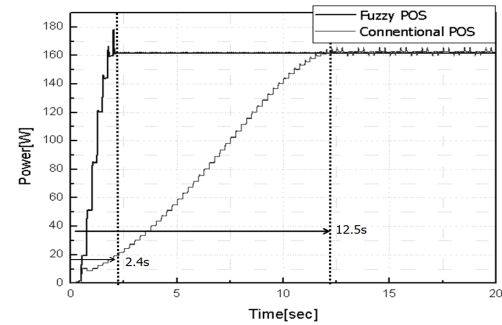
퍼지언어변수	S1 (G ₁)	S2 (G ₂)
PL	0.05	0.02
PS	0.13	0.03
NS	-0.15	-0.0305
NL	-0.06	-0.0205

그림 5는 G 값에 따른 시뮬레이션 결과 그래프이다. 이에 따른 G값은 표 3과 같다. 여기서 G값의 의미는 퍼지 제어 규칙에 대한 duty 변화값을 의미한다. 따라서 S1의 값은 S2의 값보다 한 번에 약 2배 정도 많은 변화를 주도록 설정을 하였을 때 그림 5에서 S1값은 S2 값보다 약 2배 정도의 빠른 시간에 최대출력점을 찾아가는 것을 볼 수 있다. 하지만 최

대출력점을 찾아가았을 때 S1은 한 번에 변화하는 duty값이 크기 때문에 S2 보다 S1의 출력이 더 불안하게 운전되고 있는 것을 볼 수 있다.



〈그림 5〉 G 값에 따른 시뮬레이션 결과



〈그림 6〉 기존POS제어법과 퍼지 POS제어법의 시뮬레이션 결과비교

그림 6은 기존의 POS제어와 퍼지POS제어의 시뮬레이션 결과 그래프로서 기존 POS제어법은 단순히 비교하여 항상 일정한 변화량을 출력하기 때문에 최대전력점을 추종해나가는 어느 정도의 시간이 필요하다. 하지만 퍼지POS제어는 일정한 변화량을 출력하는 것이 아니라 이전 값과 현재 값을 비교하여 퍼지규칙에 따라 제어를 하기 때문에 항상 다른 값을 출력한다. 따라서 그림 6과 같이 기존POS제어보다 퍼지POS제어가 최대전력점의 추종시간이 짧으면서, 최대전력점에서도 더욱 안정적으로 제어되는 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 DC-DC 컨버터를 이용하여 PV Output Senseless MPPT법에 퍼지제어기 가능성을 알 수 있었다. 또한 기존의 POS MPPT법 보다 최대출력점 추종시간이 훨씬 빠르다는 것을 알 수 있었다. 하지만 최대전력점 추종시간이 빨라질수록 최대전력점에서의 출력은 불안정한 값으로 운전하는 것을 볼 수 있었다. 따라서 적절한 G의 값을 찾으면 좀 더 안정적이고 빠른 속도로서 운전이 가능하므로 G의 값을 조금 더 변화해나가면서 최적의 값을 찾아야 할 것이다.

향후, 저자들은 DC-DC 컨버터를 제작 후 컨트롤러를 이용하여 실제 시스템에서 운전을 할 것이고, 제어알고리즘을 보완하여 단상 DC-AC, 3상 DC-AC 시스템에서도 적용 가능하다는 것을 실험을 통하여 증명할 것이다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 지식경제부 노동부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업과 분산전원의 미래형 배전망 적용 기술개발 지원 사업에 의해서 수행된 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

[1] Seok-Ju Lee et al. "OPERATION CHARACTERISTIC ANALYSIS OF GENERATION SYSTEM FOR GRID CONNECTION BY USING A SENSELESS MPPT CONTROL", IASTED, 2007.
 [2] T. Kawamura et al. "Analysis of MPPT Characteristics in Photovoltaic Power System", Journal, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol.47, pp.155-165, 1997.
 [3] J.Chou, Y.Makino, Y.Hukuda, A.Danaka, E.Taniguchi, "A Study on the Constant Voltage Control of Photovoltaic Generation", National Convention Record IEEEJ, 588, Vol.5, pp.161-162, 1993
 [4] M.J.Case, J.J. Schoeman, "A minimum component photovoltaic array maximum power point tracker", Vector on Automation Products and systems, pp.8-11, June, 1999.