

PSCAD/EMTDC를 이용한 계통연계형 태양광발전시스템의 MPPT제어를 위한 Double Fuzzy 제어기 설계에 관한 연구

논 문
60-3-2

Maximum Power Point Tracking using Double Fuzzy Logic Controller for Grid-connected Photovoltaic System

김 규 한* · 김 형 수** · 박 준 호†
(Kyu-Han Kim · Hyung-Su Kim · June-Ho Park)

Abstract - This paper proposes a method of maximum power point tracking (MPPT) using fuzzy logic control for grid-connected photovoltaic systems (PV). First, for the purpose of comparison, because of its proven and good performances, the incremental conductance (IncCond) technique is briefly introduced. A double fuzzy logic controller (DFLC) based MPPT is then proposed which has shown better performances compared to the IncCond MPPT based approach. Modeling and Simulation in grid-connected PV system results are provided for both controllers under same atmospheric condition based PSCAD/EMTDC. The double fuzzy logic MPPT controller is then simulated and evaluated, which has shown better performances.

Key Words : Maximum Power Point Traking(MPPT), Photovoltaic system, Fuzzy Logic Controller(FLC)

1. 서 론

최근 국제적인 에너지 환경 문제에 부응하고자 일본, 미국, 독일 등의 선진국을 비롯하여 국내에서도 태양광발전시스템의 개발이 진행되어 이미 국내에서도 독립형 태양광발전시스템은 물론이거니와 전국 1000여 곳에 계통연계형 태양광발전시스템이 설치되어 운전되고 있는 실정이다. 향후 소형의 태양광발전시스템이 개발되어 일반 가정에 설치되어 배전선에 연계 운전되면 에너지, 환경문제에 크게 기여 할 것으로 기대된다. 그러나 태양전지는 가격이 비싸 태양광발전설비의 건설에는 높은 초기 투자비용이 요구되므로 상용전력에 비하여 발전단가가 높으며, 또한 일사량에 따른 발전량 편차가 심해 안정된 전력공급을 위해서는 추가적인 시설을 필요로 한다.[1]

태양광발전시스템에서 태양전지 어레이의 에너지변환 효율은 동작 상태에 따라 매우 큰 차이를 보이므로 어레이로부터 항상 높은 전력생산 효율을 얻을 수 있도록 동작시켜야 한다. 어레이의 전압 및 전류가 최대출력을 얻을 수 있는 지점에서 동작되도록 한다면 최대전력을 얻을 수 있다. 따라서 태양전지를 효율적으로 동작시키기 위해서는 태양전지 어레이 출력을 항상 최대전력점에서 동작하도록 하는 제어가 필요하다.

* 준 회 원 : 부산대 공대 전자전기공학과 석사과정

** 정 회 원 : 경남도립남해대학 전기과 전임강사

† 교신저자, 펠로우회원 : 부산대 전자전기공학과 교수

E-mail : parkjh@pusan.ac.kr

접수일자 : 2010년 12월 1일

최종완료 : 2011년 2월 11일

현재는 주로 전압형 최대전력점 추종기법으로 P&O (Perturbation & Observation)법과 IncCond(Incremental Conductance)법등이 주로 이용되고 있으며, 추종성능이 강화된 추종기법들이 꾸준히 제안되고 있다.

본 논문에서는 PV시스템의 Maximum Power Point Tracking(MPPT) 제어를 위해서 Double Fuzzy Logic을 이용한 제어기를 제안한다. 제안한 제어기를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링한 계통연계형 PV시스템에 적용하여 최대전력점에 대응하는 최적전압을 찾도록 하며, 구현한 시스템을 IncCond법 및 기존의 퍼지제어기와 MPPT성능을 비교 분석하여 제안한 방법의 유용성을 확인하고자 한다.

2. 본 론

2.1 계통연계형 태양광발전시스템 모델링

태양광발전시스템의 일반적인 구성은 태양전지 어레이, 축전지와 전력변환기 등 주변기기 등의 조합에 따라 여러 가지 형태로 이용시스템을 구성할 수 있다.

본 논문에서는 태양광으로부터 전기를 발생하는 태양전지 어레이, 최대전력점 추종기법을 수행하는 DC/DC컨버터, 직류출력을 교류출력으로 변환시키는 인버터, 그리고 이 교류출력전압을 연계계통의 전압과 일치하게 만드는 연계변압기로 구성하여 PSCAD/EMTDC로 계통연계형 태양광발전시스템을 모델링하였다.

2.2 태양전지의 출력제어를 위한 MPPT 제어

태양전지 어레이로부터 항상 높은 전력생산 효율을 얻을

수 있도록 동작시키기 위해서는 어레이의 전압 및 전류가 최대출력을 얻을 수 있는 지점에서 동작되도록 해야 한다. 따라서 태양전지를 효율적으로 동작시키기 위해서는 태양전지 어레이 출력을 항상 최대출력전력점에서 동작하도록 하는 제어가 필요하다. MPPT는 태양전지 어레이에 연결된 부하를 제어하여 임피던스 매칭을 최적화함으로써 최대출력전력점 동작이 가능하게 되며 그 제어방법은 크게 아날로그 방식과 디지털 방식으로 분류되며 제어기법으로는 정전압제어법, 비선형 함수 계산법, P&O법, IncCond법등이 있다.

MPPT 알고리즘은 일사량과 표면온도의 변화에 따라 가변하는 태양전지의 최대전력출력점을 추정하여 전압 지령치로 출력하는 동작을 한다. 그림 1에서 가로축은 직류단 전압으로서, 태양전지의 단자전압이며, 세로축은 태양전지의 출력이며 최대출력점인 Pmax를 기준으로 좌 반면에 최초동작점이 있을 때와 우 반면에 최초동작점이 있을 때를 동시에 나타내었다. MPPT 알고리즘은 $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}}$ 를 계산하여 그 값이 0이 되는 최적 동작점 전압을 찾아가는 것을 기본으로 한다. 먼저 그림의 좌반면에서, t_1 에서 t_2 로 이동시 $dV_{pv} = V_{c2} - V_{c1}$ 는 양수, $dP_{pv} = P_2 - P_1$ 도 양수이며, 따라서 $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}}$ 의 부호는 양수가 되고 t_2 에서 전압 지령치는 증가하

여 t_3 에 이르게 된다. 역시 t_3 에서도 $dV_{pv} = V_{c3} - V_{c2}$ 는 양수, $dP_{pv} = P_3 - P_2$ 도 양수이므로 전압 지령치는 계속 증가할 것이 예상되고, Pmax 근방에 도달하면 전압 지령치는 Vmax 근방에서 진동하게 될 것이다. 또한 최초 전압 지령치의 이동방향이 Vmax 점과는 반대방향일 경우에도 그림 2에서와 같이 전압 지령치는 Vmax 방향으로 이동하게 된다. [1]

2.3 Incremental Conductance (IncCond) MPPT 제어 알고리즘

현재 널리 쓰이고 있는 IncCond MPPT 제어기법은 임피던스 비교법, 컨덕턴스 증가법으로도 불린다.

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = \frac{d(V_{pv}I_{pv})}{dV_{pv}} = I_{pv} \frac{dV_{pv}}{dV_{pv}} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (1)$$

여기서, P_{pv} 는 태양전지의 출력전력을 나타내고, V_{pv} 는 태양전지의 출력전압, I_{pv} 는 태양전지의 출력전류를 나타낸다.

위의 식 변환을 통해 $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}}$ 의 부호를 판별하는 기법으로 고정폭 변동식에서는 $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}}$ 의 부호만이 중요하므로 $V_{pv} > 0$ 이라는 가정 하에 식 (1)의 양변을 전압으로 나눈 식 $\frac{I_{pv}}{V_{pv}} + \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}}$ 의 부호를 계산하여 전압의 상승 또는 하강을 결정한다.

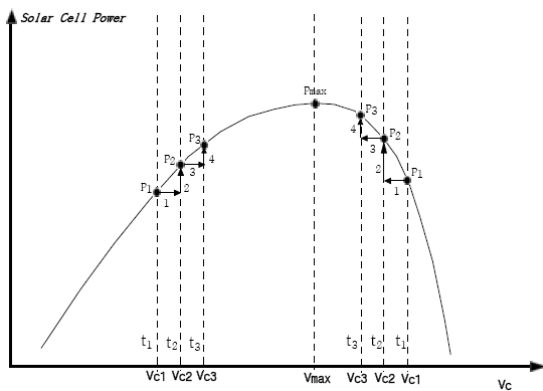
$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = \frac{d(V_{pv}I_{pv})}{dV_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (2)$$

또한 식(1)의 양변을 전압으로 나누었으므로 측정된 전압의 변동폭이 0일 경우 전류에 대한 수식을 추가하여 검토한다. 즉, 온도가 일정하고 일사량 증가 시, 전류는 증가하므로 최대전력점에 대응하는 전압은 태양전지 특성을 이용하여 전압의 변동폭이 0일 경우 전류의 증가시 전압 지령치를 올리고, 전류의 감소시 전압 지령치를 내리는 흐름을 통해 제어한다. 이러한 과정을 차분 방정식으로 표현하면, 위의 식(2)와 같다. 따라서 결과적으로 아래 식으로 부호를 판단한다.

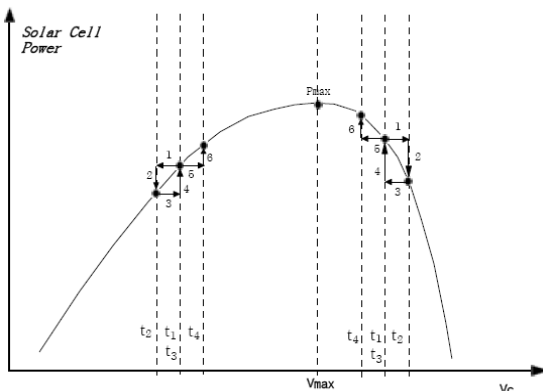
$$\frac{I_{pv}(k)}{V_{pv}(k)} + \frac{I_{pv}(k) - I_{pv}(k-1)}{V_{pv}(k) - V_{pv}(k-1)} \quad (3)$$

IncCond법은 다른 MPPT 제어기법중 하나인 P&O법보다 향상된 알고리즘임을 많은 실험으로 증명하고 있으며, 특히 빠른 일사량 변동시에 유리한 제어기법으로 알려져 있다. IncCond법은 P&O법에서는 간과하고 있는 전압변동폭이 0일 경우의 기법이 추가되어 있으므로 좀 더 향상된 알고리즘이 적용된 제어기법이라고 할 수 있다.

그림 2는 IncCond법의 제어 흐름도를 나타낸다. [1]



a. 일반적인 MPPT제어 (최초 전압지령치가 Vmax와 같은 방향인 경우)



b. MPPT제어 (최초 전압지령치가 Vmax와 반대방향인 경우)

그림 1 MPPT제어를 위한 태양전지 어레이의 P-V곡선
Fig. 1 PV array characteristics curve for MPPT control

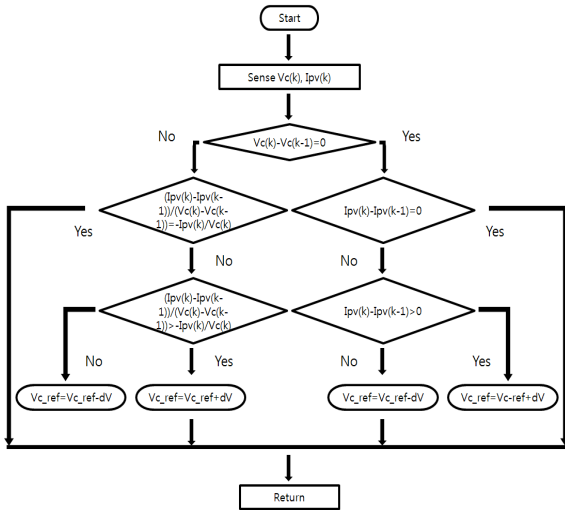


그림 2 Incremental Conductance Algorithm 흐름도
Fig. 2 Incremental Conductance Algorithm Flow Chart

2.4 MPPT제어를 위한 Double Fuzzy Logic Controller

퍼지제어는 퍼지논리에 기초를 두고 있으며, 퍼지논리는 기존 논리 체계보다 인간의 사고나 자연어의 특성과 많은 유사성을 가지고 있다. 그러므로 현실에서 근사적이고, 불확실한 현상을 기술하는데 효과적으로 이용될 수 있다. 이러한 관점에서 퍼지 제어를 퍼지논리 제어기(Fuzzy Logic Controller : FLC)라고 부른다. 퍼지 제어기의 핵심적인 부분은 일련의 언어적 형식의 제어규칙이며, 여기에는 퍼지 연관관계가 포함되어 있고, 퍼지합성 규칙에 의해서 제어입력이 생성된다. 결국 퍼지논리 제어기는 전문가의 제어지식을 언어적 형태로 기술한 제어규칙을 자동 제어기가 동작하도록 역할을 바꾸어 주는 기능을 한다.

일반적으로 퍼지제어기는 시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해석할 수 없거나, 얻어지는 정보가 정성적이고, 부정확하고, 불확실한 경우에 기존 제어기들보다 우수한 제어성능을 나타낸다. 퍼지 제어에서는 퍼지 알고리즘을 주로 제어 알고리즘으로 사용하며, 이러한 퍼지이론의 도입으로 인하여 퍼지제어는 기존의 정확한 수학적 모델을 기초로 한 제어기의 단점을 보완하고, 인간의 의사결정 방식을 도입하는 보다 인공지능적인 제어기가 될 수 있다. 그림 3은 본 논문에서 제안한 Double Fuzzy Logic Controller의 기본적인 구성을 네 부분으로 간략하게 보여주고 있다.

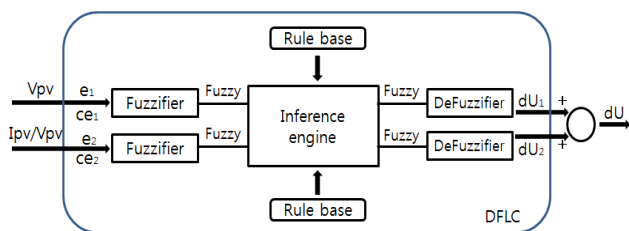


그림 3 제안한 퍼지 제어기의 구성도
Fig. 3 Schematic diagram of the Proposed Double Fuzzy Logic Controller

태양전지 어레이의 출력특성은 일사량, 동작전압 및 온도 등에 따라 동작특성이 항상 변화한다. 즉 태양전지 어레이의 특성은 비선형적이기 때문에, 제어가 매우 어려운 점이 있다.

본 논문에서는 이러한 태양전지 어레이의 출력특성에 의하여 최대출력전력점에 대응하는 최대출력전압점을 추종하는데 퍼지제어 기법을 도입하였다. 기존의 IncCond MPPT 제어 방법을 토대로 하여 태양전지의 출력전압의 오차와 태양전지의 컨덕턴스의 오차를 입력으로 가지는 퍼지 제어를 구현하였다. 이렇게 구성된 기존의 퍼지제어기와 본 논문에서 제안한 태양전지의 출력전압의 오차와 출력전압의 오차의 변화량 그리고 태양전지의 컨덕턴스의 오차와 컨덕턴스의 오차 변화량을 입력으로 가지는 퍼지 제어기로 구성된 Double 퍼지 제어기를 설계하여 MPPT제어에 적용하였다.

기존의 퍼지제어기의 입력은 태양전지의 출력전압의 오차와 컨덕턴스의 오차를 가지며, 다음과 같이 정의된다.

$$E_v(k) = V_{pv}(k) - V_{pv}(k-1) \tag{4}$$

$$E_c(k) = \frac{I_{pv}(k)}{V_{pv}(k)} - \frac{I_{pv}(k-1)}{V_{pv}(k-1)} \tag{5}$$

본 논문에서 제시한 Double 퍼지 제어기는 각각 2개의 입력변수를 가지며, 다음과 같이 정의된다.

$$E_1(k) = V_{pv}(k) - V_{pv}(k-1) \tag{6}$$

$$CE_1(k) = E_1(k) - E_1(k-1) \tag{7}$$

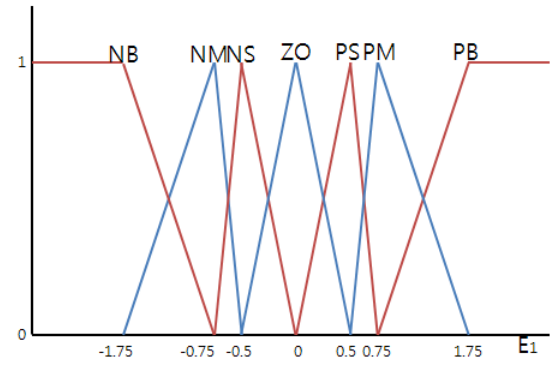
여기서, E₁, CE₁는 태양전지의 출력전압의 오차와 출력전압의 오차변화량을 입력으로 가지는 퍼지제어기의 입력변수를 나타낸다.

$$E_2(k) = \frac{I_{pv}(k)}{V_{pv}(k)} - \frac{I_{pv}(k-1)}{V_{pv}(k-1)} \tag{8}$$

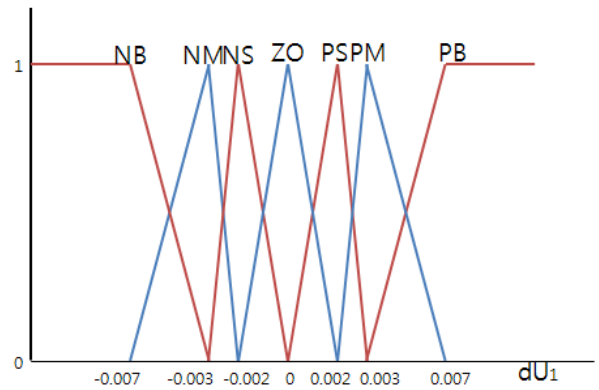
$$CE_2(k) = E_2(k) - E_2(k-1) \tag{9}$$

마찬가지로 E₂, CE₂는 태양전지의 컨덕턴스의 오차와 컨덕턴스의 오차 변화량을 입력으로 가지는 퍼지제어기의 입력변수를 의미한다.

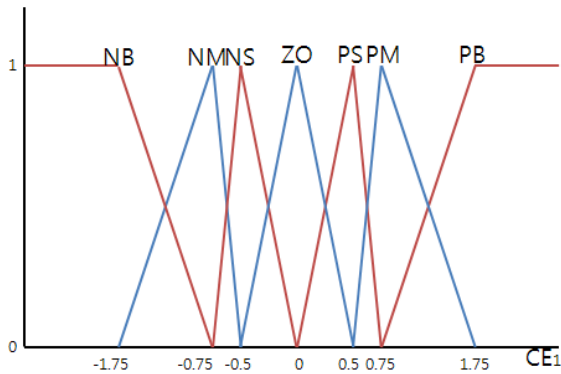
기존의 퍼지제어기와 본 논문에서 제안한 Double 퍼지제어기의 퍼지언어 변수는 기본적으로 이용되는 PB(Positive Big), PM(Positive Medium), PS(Positive Small), ZO(Zero), NS(Negative Small), NM(Negative Medium), NB(Negative Big)로 정하였으며, 아래의 그림들은 Double 퍼지제어기의 입, 출력에 대한 7단계의 기본 언어변수에 따른 소속함수를 보여주고 있다.



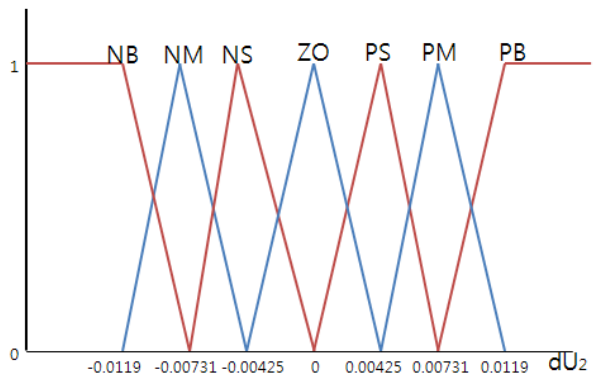
(a) Input E_1



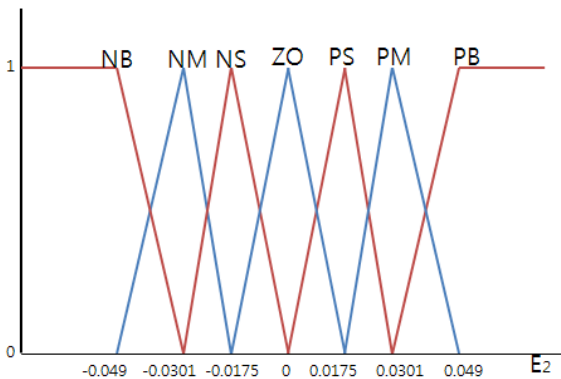
(e) Output dU_1



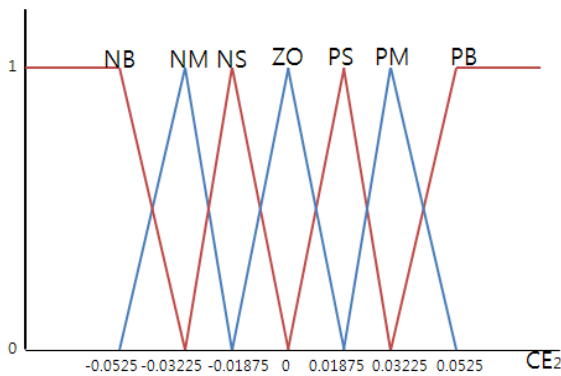
(b) Input CE_1



(f) Output dU_2



(c) Input E_2



(d) Input CE_2

그림 4 Double Fuzzy Logic Controller의 입,출력의 소속함수
Fig. 4 Input and Output membership function in DFCL

표 1은 퍼지제어기의 제어규칙을 나타내는데, 행렬의 각각의 요소들은 E_1 , CE_1 와 기준전압 변화량 dU_1 를 나타낸다. 그리고 E_2 , CE_2 와 dU_2 에도 동일한 제어규칙을 적용하였다.

표 1 퍼지 규칙 표

Table 1 Rule base of DFCL

E_1 CE_1	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

“IF E_1 is PB AND CE_1 is ZO Then dU is PB.” 즉, 태양전지의 출력전압의 오차가 매우 크고, 출력전압의 오차 변화량이 Zero일 경우에는 제어출력값인 기준출력전압의 값을

매우 크게 증가시켜야 한다는 의미이고, 태양전지의 출력전압의 오차가 0일 경우에는 전압오차변화량의 오차에 비례하여 출력값을 변화시킬 수 있게 제어규칙을 설정하여야 한다.

퍼지제어기의 마지막 과정인 비퍼지화는 퍼지추론에 의해 결정된 퍼지값을 실제 사용할 수 있는 값으로 바꾸어 주는 과정을 말한다. 일반적인 비퍼지화 방법으로는 최대평균법과 무게중심법을 많이 사용한다. 본 논문에서는 무게중심법을 사용하고, 이산적인 계산을 수행하기 위해서는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$dU = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(dU_j) \cdot dU_j}{\sum_{j=1}^n \mu(dU_j)} \quad (10)$$

각 규칙으로부터 산출된 결과값 dU_j 값을 가중평균하여 전압 제어값 dU 를 구하게 되며 인버터에 입력되는 기준 전압값은 다음과 같이 이전의 전압제어값에 구해진 전압제어값을 더하여 얻을 수 있다.

$$V(k) = V(k-1) + dU \quad (11)$$

3. 시뮬레이션 및 고찰

본 논문에서는 53kW급 계통연계형 태양광발전시스템을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링하였다. 그리고 기존의 MPPT 제어 기법중의 하나인 IncCond 기법과 제한한 퍼지제어 기법에 의한 출력특성을 시뮬레이션 하였다. PSCAD/EMTDC에서 구현한 태양전지 어레이 모델은 일사량과 온도를 입력 변수로 가지고, 표 2는 태양전지 어레이 모델에 입력되는 데이터 및 파라미터를 나타낸다.[1],[2]

표 2 태양광발전시스템 모델의 파라미터
Table 2 Parameters of Photovoltaic System Model

구분	데이터	기호	값
태양전지 모듈 데이터(단, $T=T_{ref}$, $S=S_{ref}$)	개방전압	V_{oc}	21.7[V]
	단락전류	I_{sc}	3.35[A]
	최대출력점 전압	V_{mp}	17.4[V]
	최대출력점 전류	I_{mp}	3.05[A]
	최대출력	P_{max}	53Wp
태양전지 어레이	모듈 내 cell수	m	36
	모듈의 직렬 연결수	N_s	50
	모듈의 병렬 연결수	N_p	20
기타 데이터	이상정수	n	1.5
	온도이론 계수	γ	3
	기준온도[°C]	T_{ref}	25[°C]
	기준 일사량[W/m ²]	S_{ref}	1000[W/m ²]
	단락전류 온도계수[%/°C]	J	0.065

그림 5는 구현한 계통연계형 태양광발전시스템을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 나타낸 모델을 보여준다.

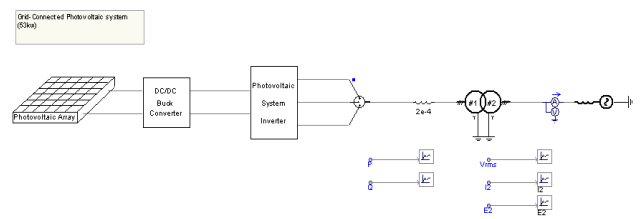


그림 5 PSCAD/EMTDC를 이용한 계통연계형 태양광발전시스템의 모델 구현

Fig. 5 Grid-connected Photovoltaic system modeling in PSCAD/EMTDC

아래의 그림 6은 PSCAD/EMTDC로 구현한 MPPT 제어가 적용된 DC/DC Buck converter를 나타내고 있다.

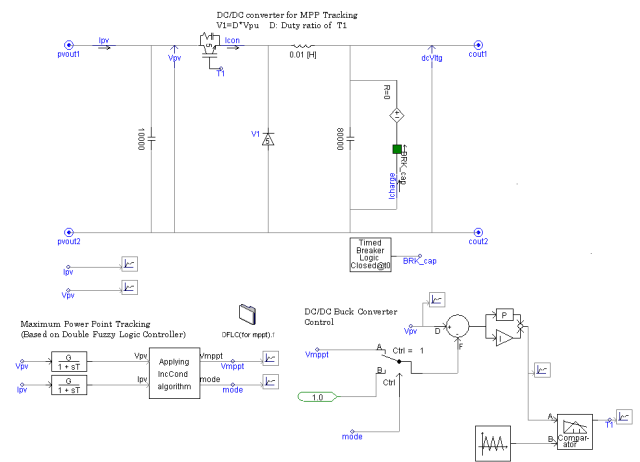


그림 6 PSCAD/EMTDC를 이용한 MPPT 제어가 적용된 DC/DC Buck Converter 모델

Fig. 6 DC/DC Buck Converter model of applying MPPT controller in PSCAD/EMTDC

그림 7은 태양전지 어레이의 출력전압을 기존의 MPPT 알고리즘중 하나인 Incremental Conductance 제어기법을 적용하여 태양전지 어레이의 최대전력점에 대한 최대출력전압의 추종결과를 보여주고 있으며, 그림 8은 태양전지의 출력

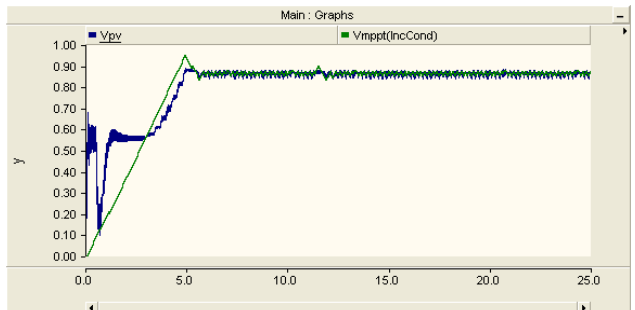


그림 7 태양전지 어레이의 출력전압과 IncCond MPPT제어 추종 출력전압 파형

Fig. 7 Photovoltaic Array output voltage and voltage in applying Incremental Conductance algorithm for MPPT

전압 V_{pv} 의 오차와 태양전지의 컨덕턴스인 $\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$ 의 오차를 입력으로 가지는 기존의 퍼지제어기로 MPPT제어를 구현하여 태양전지 어레이의 최대전력점에 대한 최대출력전압의 추종결과를 나타내고 있다. 그림 9는 본 논문에서 제시한 Double Fuzzy Logic Controller(DFLC)를 적용하여, 태양전지 어레이의 최대전력점에 대한 태양전지 어레이의 최대출력전압 추종결과를 보여주는 그림이다.

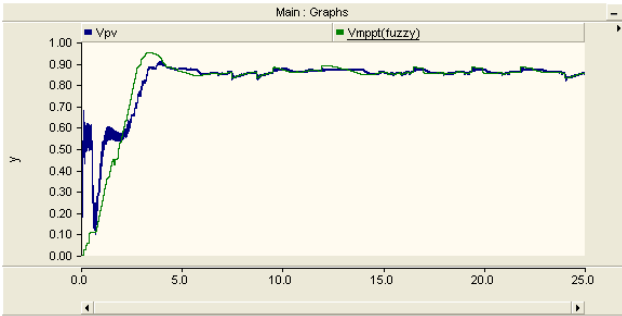


그림 8 태양전지 어레이의 출력전압과 MPPT제어를 위한 FLC의 추종 출력전압 파형

Fig. 8 Photovoltaic Array output voltage and voltage in applying Fuzzy Logic Controller(FLC) for MPPT

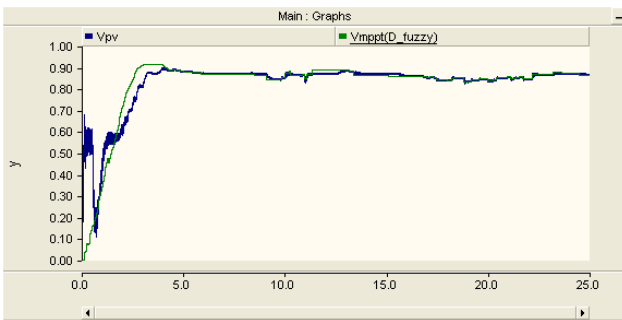


그림 9 태양전지 어레이의 출력전압과 MPPT제어를 위한 DFLC의 추종 출력전압 파형

Fig. 9 Photovoltaic Array output voltage and voltage in applying Double Fuzzy Logic Controller(DFLC) for MPPT

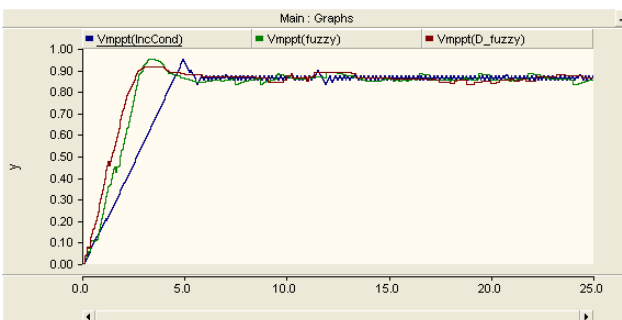


그림 10 IncCond, FLC 그리고 DFLC의 MPP에 대응하는 출력전압 파형의 비교

Fig. 10 The comparison among voltage in IncCond, voltage in FLC, and voltage in DFLC for MPPT

위의 그림 10은 각각의 MPPT제어 알고리즘을 적용시켜 태양전지 어레이의 최대전력점에 대한 최대출력전압 추종결과를 보여주고 있다. 마지막으로 그림 11은 각각의 MPPT제어 알고리즘들을 적용시켜 태양전지 어레이의 유효전력을 얼마나 빠르게, 안정적으로 출력하는가를 비교한 그림이다.

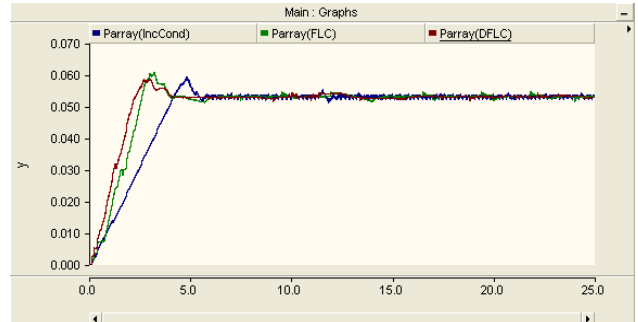


그림 11 IncCond, FLC 그리고 DFLC가 적용된 태양전지 어레이의 유효전력의 비교

Fig. 11 The comparison among power in IncCond, power in FLC, power in DFLC

그림 7, 8 그리고 9의 시뮬레이션 결과를 토대로, IncCond MPPT제어기법, MPPT제어를 위한 FLC 그리고, MPPT제어를 위한 DFLC 모두 최대전력점에 대한 최대출력전압을 잘 추종하는 것을 알 수 있다. 그림 10에서 세 개의 MPPT제어 기법들의 성능을 비교하여 분석할 수 있는데, IncCond기법의 제어성능이 제일 좋지 않는 것을 알 수 있고, MPPT제어를 위한 DFLC의 성능이 제일 뛰어난다는 것을 알 수 있다. DFLC는 다른 MPPT제어기보다 더 빠른 시간에 최적전력점에 대응하는 최대출력전압점에 도달하고, 동시에 오버슈트도 다른 제어기보다 낮은 비율을 가지는 것을 알 수 있다.

그리고 그림 11에서 각각의 MPPT제어기가 태양전지의 출력에 대한 영향을 분석할 수 있는데, 마찬가지로 DFLC가 태양전지 어레이의 유효전력을 다른 2가지 제어기보다 더 빠르고, 안정적으로 출력하는 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC로 53kW급 계통연계형 태양광발전시스템을 모델링하고, 태양전지의 출력전압 V_{pv} 과 태양전지의 컨덕턴스 $\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$ 의 오차를 이용하여 MPPT 제어를 하기위한 Double Fuzzy Logic Controller (DFLC)를 제안하였다. 제안한 더블 퍼지 제어기(DFLC)는 2개의 퍼지 제어기가 결합된 형태로 전압신호에 의한 퍼지 제어기와 컨덕턴스 신호를 이용한 퍼지 제어기의 조합으로 구성되어 있으며, 각 퍼지제어기는 과도 상태 응답과 정상상태 응답을 개선할 수 있도록 퍼지 규칙을 구성하였다. 제안한 방법의 유용성을 검토하기 위해 기존의 MPPT 알고리즘 중 하나인 Incremental Conductance (IncCond) 기법 및 기존에 제안한 단일 퍼지 제어기와 성능을 비교분석하였다.

그림 10에서 알 수 있듯이, MPPT 제어를 위한 DFLC가

나머지 2개의 MPPT 제어기보다 안정적이고, 좀 더 빠른 시간 안에 태양전지 어레이의 최대전력점에 대응하는 최대출력전압점을 잘 추종하는 것을 볼 수 있다.

또한 태양전지의 어레이에서 출력되는 유효전력에 대해서도 그림 11에서도 본 논문에서 제안한 MPPT제어를 위한 DFLL가 안정적이고, 더 빠르게 유효전력을 출력하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과에서 보는 것처럼 본 논문에서 제안한 Double 퍼지제어기는 퍼지규칙과 퍼지함수의 동조가 필요한 면은 있으나 MPPT제어를 위한 우수한 성능을 보임을 알 수 있었으며, 향후 최적화 알고리즘 등을 도입한다면 퍼지 규칙 및 함수의 동조는 보다 용이해 질 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] 김응상, "태양광발전시스템 연계운전 보호협조 알고리즘"(최종보고서), 한국전기연구원, 산업기술연구회.
- [2] 김슬기, 전진홍, 김응상, "PSCAD/EMTDC를 이용한 계통연계형 태양광발전시스템의 모델링 및 모의 해석", Trans.KIEE. Vol. 54A, NO. 3, MAR, 2005.
- [3] Seul-Ki Kim, Jin-Hong Jeon, Chang-Hee Cho, Eung-Sang Kim, Jong-Bo Ahn, "Modeling and simulation of a grid-connected PV generation system for eletromagnetic transient analysis", Solar Energy 83 (2009) 664-678
- [4] 김규환, 김형수, 이상훈, 이화석, 박준호, "PSCAD/EMTDC를 이용한 계통연계형 PV시스템의 MPPT제어를 위한 Fuzzy 제어기 설계에 관한 연구" 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집(2010.11.5), P141-143.
- [5] Zhang, L., Al-Amoudi, A., Bai, Y., 2000. Real-time Maximum Point Tracking for Grid-Connected Photovoltaic Systems, Power Electronics and Variable Speed Drives, 18-19 September 2000. Conference Publication No. 475.
- [6] Nopporn Patcharaprakiti, Suttichai Premrudeepreechacharn, Yosana Sriuthaisiriwong, "Maximum power point tracking using adaptive fuzzy logic control for grid-connected photovoltaic system", Renewable Energy 30 (2005) 1771-1788.
- [7] Mohammad A. S. Masoum, Hooman Dehbonei, and Ewald F. Fuchs, "Theoretical and Explanation Analysis of Photovoltaic Systems With Voltage and Current-Based Maximum Power Point Tracking", IEEE Trans. on Energy Conversion Vol. 17. No. 4. pp. 514-522, December 2002.
- [8] Manitoba HVDC Research Center. PSCAD/EMTDC Power System Simulation Software User's Manual, 1998.
- [9] Olimpo Anaya Lara and E. Acha, "Modeling and Analysis of Custom Power Systmes by PSCAD/EMTDC", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 17, No. 1, pp. 266-272, January 2002.
- [10] Luis Castaner and Santiago Silvestre, Modeling Photovoltaic Systems Using PSpice, JOHN WILEY & SONS, LTD, 2002
- [11] H. Chihchiang and S. Chihming. "Study of Maximum Power Tracking Techniques and Control of DC/DC Converter for Photovoltaic Power System." IEEE PESC Power Electronics Specialists Conf., Vol. 1, 1998.
- [12] N. Khaehintung, P. Sirisuk and W. Kurutach. "A novel ANFIS controller for maximum power point tracking in photovoltaic systems." IEEE PEDS, 2003. Singapore, Nov. 2003.
- [13] Mummadi veerachary, Tomonobu senjyu, Katsumi uezato. "Feedforward Maximum Power Point Tracking of PV Systems Using Fuzzy Controller" IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems Vol. 38. No. 3 July 2002.
- [14] Hasan A. Yousef. "Design and Implementation of Fuzzy Logic Computer-Controlled Sun Tracking System" ISIE'99, pp 1030-1034, 1999.
- [15] 조근배, 최연옥, 백형래, "퍼지제어기를 이용한 태양광발전시스템의 MPPT제어기 구현", Journal of the Korea Solar Energy Society Vol.24. No.2, 2004.
- [16] T. Ohnishi and H. Okitsu, "Maximum power control of the solar cell by chopper control" Japan Society for Power Eletronics. No. 44 1981, pp 39-46.
- [17] K. Henman and W. Wienhofer. "Optimization of Photovoltaic Solar System by Controlled DC/DC Converter", Proc. of IPEC Tokyo, 1983, pp 1049-1059
- [18] 차인수, 이완규, 정명용, 유권중, 송진수, "퍼지제어기를 이용한 태양광발전시스템의 최대전력점추종 방법", Solar Energy Vol. 16. No. 1, 1996.
- [19] H. Sugimoto and H. Dong, "A New Scheme for Maximum Photovoltaic Power Tracking Control", Proceeding of IEEE Power Conversion Conference-Nagaoka, Vol. 2, pp 692-696, 1997.
- [20] M. Bodur and M. Ermis, "Maximum Power Point Tracking for Low Power Photovoltaic Solar Panels", Proceedings of IEEE Electrotechnical Conference, pp 758-761 Vol. 2 1994.
- [21] 이광형, 오길록 공저. "Fuzzy 퍼지 이론 및 응용 II 권: 응용", 흥릉과학출판사.
- [22] 유춘식. "그린에너지의 이해와 태양광발전시스템", 연경문화사
- [23] 이순형. "태양광발전시스템의 계획과 설계", 기다리

저 자 소 개



김 규 한 (金奎漢)

1979년 5월 15일생. 2007년 부산대 공대
전자전기정보컴퓨터공학부 졸업. 2011년
동 대학원 전자전기공학부 졸업(석사)

Tel : 051)510-3188

Fax : 051)515-5190

E-mail : cukh79@naver.com



김 형 수 (金亨洙)

1972년 1월 26일생. 2002년 부산대 공대
대학원 전기공학과 졸업(박사). 2006년
한국지역난방공사 근무. 현재 경남남해도
립대학 전기과 전임강사

Tel : 0550860-5353

Fax : 055)860-5351

E-mail : kimhsu@namhae.ac.kr



박 준 호 (朴俊灝)

1955년 9월 17일생. 1978년 서울대 공대
전기공학과 졸업. 1980년동 대학원 전기
공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전
기공학과 졸업(박사). 1984년~현재 부산
대 공대 전자전기공학부 교수

Tel : 051)510-3188

Fax : 051)515-5190

E-mail : parkjh@pusan.ac.kr