

BLDC 모터용 인버터를 이용한 PV 양수펌프의 MPPT 제어

金城南, 白承吉, 趙正珉, 李丞桓, 吳鳳煥, 李勳九, 韓慶熙

MPPT Control of PV Water Pumping Using BLDC Motor-Inverter

Sung-nam Kim, Seung-gil Baek, Jeong-min Jho, Seung-hwan Lee,
Bong-hwan Oh, Hun-gu Lee, and Kyung-hee Han

요 약

본 논문은 PV어레이를 이용한 양수펌프 시스템의 전체적인 제어를 구상하는 방법을 제시하였으며, DC/DC 컨버터를 생략하기 위하여 BLDC모터의 벡터제어를 이용하고 DC량과 AC량의 관계를 찾아내어 인버터만으로 PV어레이의 최대출력점을 추적하였다. 기존의 최대출력점 제어기는 3상 인버터의 DC링크단에 나타나는 전류리플로 인하여 제어가 불안정하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 제어기의 불안정성을 보완하기 위해 BLDC 모터의 i_{qs} 전류를 이용한 MPPT(Maximum Power Point Tracker) 제어 알고리즘을 구성하였다. 이러한 제어기의 우수함을 입증하기 위하여, J.A. Domfnguez가 비동기모터에 적용한 제어방식을 BLDC모터에 적용한 결과와 본 논문에서 제시한 제어방식을 시뮬레이션 및 실험을 통하여 비교 검토하고 하였다.

ABSTRACT

This paper shows how to design a global control of water pumping system using PV array, and tracked maximum power point of PV array by only the inverter using the vector control of BLDC motor, and finding the relationships among the DC magnitudes and AC ones in order to omit the DC/DC converter. Conventional MPPT controller was unstable by reason of the ripple-current of DC link in three-phase inverter. Thus, in this paper the control algorithm of BLDC motor using i_{qs} current is composed to improve the insecurity of conventional MPPT controller. To prove the excellence of the proposed method, the contents of this paper is analyzed by means of simulation and testing for the result applying the method that J.A Domfnguez had applied to asynchronous motor to BLDC motor and that of the proposed method in this paper.

Key Words : MPPT(Maximum Power Point Tracker), BLDC(BrushLess DC),
Photovoltaic array Water pumping

1. 서 론

*대덕대학 전기과 교수

E-mail : leesh@mail.ddc.ac.kr

접수일자 : 2001. 8.16

1차심사요청일 : 2001. 8.17 2차심사요청일 : 2001.10. 8

심사완료일 : 2001.11. 2

현재, 요르단, 인디아, 네팔, 호주 등과 같은 나라들은 격오지나 산간벽지에 식수원 또는 관개용수로 사용하기 위해 많은 수의 PV(photovoltaic) 펌프세트를 설치하여 국가적 프로젝트로 수행하고 있다. 이러한 PV

를 이용한 펌프 시스템에 이용되는 모터는 비용 및 내구성을 고려하여 유도전동기와 BLDC모터가 주로 이용된다¹¹⁾. 그리고 전체적인 시스템의 구성은 두 개의 독립적인 제어부 즉, DC/DC 컨버터와 DC/AC 인버터로 되어있다. 그러나 이러한 시스템은 제어가 복잡하고 DC/DC 컨버터에 의한 부대비용상승과 전력 변환기의 손실이 많아지게 된다. 그래서 J.A. Domfnguez는 DC/DC 컨버터를 생략하고 인버터만으로 최대출력 및 모터를 구동하였고 DC/DC 컨버터를 생략하는 대신 DC링크단의 전압을 일정하게 하기 위하여 전압제어기를 이용하였다¹²⁾. 양수펌프를 구동하는 인버터는 최대출력을 얻기 위하여 PV어레이의 단자전압과 전류를 검출 받아 최대출력을 하고 있다. 그러나 이러한 방식은 3상 인버터가 6개의 스위치에 의하여 동작하므로 DC 링크 단에 흐르는 전류 과형이 모터에 구동되고 있는 전류 주파수에 6배가되는 전류 리플을 갖게되는데, 이것은 DC링크 단에 흐르는 전류의 리플에 의하여 산출된 전력 값에도 리플이 반영된다. 그래서 MPPT제어 알고리즘을 원활히 수행하는데 적합하지 않다.

따라서 본 논문에서는 DC/DC 컨버터의 사용을 피하기 위하여 DC량과 AC량의 관계를 찾아내고 자속 기준 벡터제어를 이용하여 전체적인 제어를 구성하는 방법을 제시하였다. 또한, BLDC 모터에 흐르는 3상 전류를 좌표 변환한 도크성분 전류를 이용하여 MPPT (Maximum Power Point Tracker) 제어 알고리즘을 원활히 수행하는데 적합하도록 제어하였다. 이것을 확인하기 위하여, J. A. Domfnguez가 비동기모터에 적용한 제어방식을 BLDC모터에 적용한 결과와 본 논문에서 제시한 간략화 된 제어방식을 시뮬레이션 및 실험을 통하여 그 타당성을 입증하였다.

2. 전체 시스템 구성

2.1 태양광 시스템의 전체구성도

양수 펌프를 위한 태양광 발전 시스템의 고전적인 제어 방법으로는 DC/DC 컨버터와 축전지 그리고 DC/AC 변환부로 구성되어져 있었다. 그러나, 이러한 구조는 전체적인 비용상승 뿐만 아니라, 축전지의 균등충전 및 일정시간이 지나면 축전지를 교체해야하는 번거로움이 있으며 축전지 설치는 양수 펌프 시스템에 있어서 비효율적으로 명기되어져 있다¹³⁾.

따라서, 본 논문에서는 전체 시스템의 구성을 PV어레이, 인버터부, 그리고 펌프로 구성하였으며, 그림 1과 같이 나타내었다.

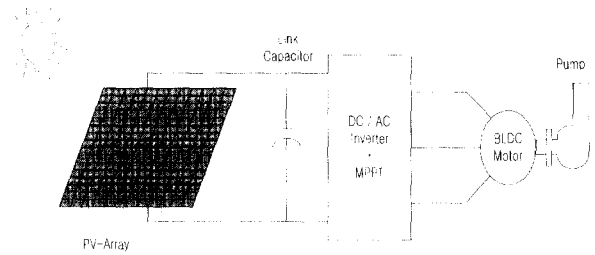


그림 1 PV 양수펌프의 구성도

Fig. 1 Schematic diagram of a PV water pump system

2.2 PV-어레이의 모델링

태양전지는 낮은 전압과 전력을 갖는 전자적인 셀로 구성되어 있으며, 원하는 전압과 전력을 얻기 위하여 직병렬 접속을 한다. 그림 2는 PV-어레이의 등가회로는 나타낸다.

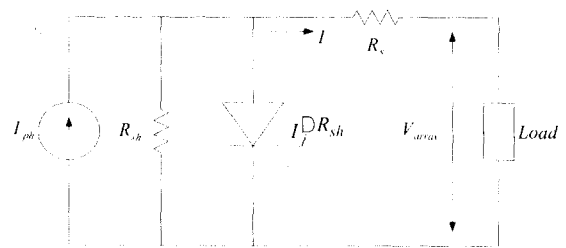


그림 2 PV 어레이 등가회로

Fig. 2 PV Array Equivalent Circuit

PV어레이의 전압과 전류의 관계는 그림 3과 같이 일사량 변화에 따른 I-V 특성곡선에 의해 나타내어진 다.

태양전지의 I-V 방정식은 식 (1)로 표현된다^{14), 15)}.

$$V_{pv} = -IR_s + (1/D) \ln[1 + (I_{ph} - I)I_0] \quad (1)$$

여기서, I_{ph} = 태양빛에 비례하는 광전류

I_0 = 셀 역포화전류

I = 부하전류

R_s = 셀의 직렬저항

$D = q/AKT$

q = 전자의 전기적 충전

K = 볼츠만 상수

T = 절대온도

A = compilation factor

직렬로 N_s 개와 병렬로 N_p 개의 셀로 이루어진 태양전지의 I-V 방정식은 식 (2)와 같다.

$$V_g = -I_g R_s N_s / N_p + (N_s / D) \ln [1 + (I_{ph} - I_g / N_p I_0)] \quad (2)$$

본 논문에서 사용되는 BLDC모터는 정격전류가 3.4[A]이다. 그래서, 36개의 셀을 직렬접속으로 만들어진 모듈을 직렬로 10개 접속하여, 개방전압은 180[V]이고 정격전압은 140[V]정도에서 3[A]의 출력을 얻도록 하였다. 그림 3은 식 (2)를 이용하여 PV특성을 시뮬레이션한 결과이다. 최대출력점은 140[V], 3[A]로써 개방전압의 78[%]로, 본 논문에서 이용된 SIEMENS사의 M65 태양전지와 유사한 특성을 보여주고 있다.

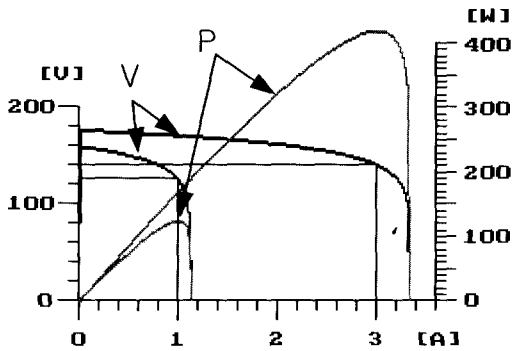


그림 3 PV 어레이의 I-V 특성곡선
Fig. 3 I-V characteristics of PV-array

2.3 BLDC 모터의 방정식

BLDC 모터 방정식을 정리하면 식 (3)과 같은 $d-q$ 방정식으로 나타낼 수 있다.^[6]

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_s/L_s & \omega_r \\ -\omega_r & -R_s/L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} + \frac{1}{L_s} \begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \end{bmatrix} - \frac{1}{L_s} \begin{bmatrix} 0 \\ e_{qa} \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서, R_s 는 고정자저항, L_s 는 고정자 인덕턴스, ω_r 는 회전자 각속도, e_{qa} 는 역기전력을 나타낸다. 식 (3)은 $d-q$ 축 전기자 전압인 v_{ds} 와 v_{qs} 로 전기자 전류인 i_{ds} 와 i_{qs} 를 제어할 수 있음을 나타낸다. 또한 토크식을 정리하면, 식 (4)와 같다.

$$T_e = P \lambda_m i_{qs} \quad (4)$$

여기서, P 는 극수, λ_m 는 쇠교자속의 크기를 나타낸다.

운동방정식에서 점성 마찰계수를 무시한 모터 출력축의 회전각속도(기계각)를 w_{re} , 극수를 P 로 하면 식 (5)와 같이 표현될 수 있다.

$$pJ \left(\frac{w_{re}}{P} \right) = pJ w_m = T_e - T_L \quad (5)$$

여기서, T_L 는 모터의 부하 토크, J 는 모터와 부하의 관성 모멘트($J_L + J_M$), $p(=d/dt)$ 는 미분 연산자이다.

3. PV 양수펌프를 위한 제어기법

3.1 J.A. Domínguez의 방식을 적용한 PV 양수 펌프의 제어 블록도

그림 4는 J.A. Domínguez가 비동기 모터에 적용한 제어 알고리즘을 BLDC모터에 적용한 제어블록도이다.

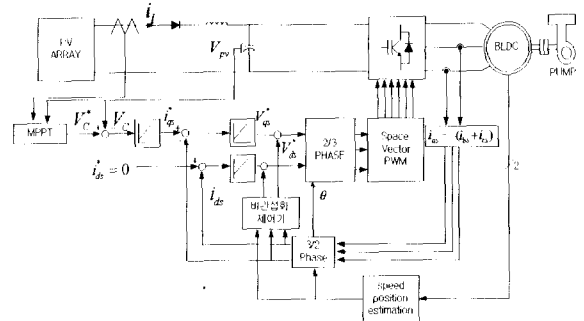


그림 4 J.A. Domínguez가 제안한 제어 블록도
Fig. 4 Schematic diagram proposed by J.A.Domínguez

PV양수펌프 시스템을 구성하는데 있어서, DC/DC 컨버터가 필요하지 않기 때문에 PV어레이를 포함한 DC부와 링크 캐패시터, AC 인버터부 및 펌프로 구성 되어 있다. 그리고, DC/DC 컨버터를 대신하기 위하여 DC링크 전압제어기를 첨부하여 원하는 DC링크전압을 얻을 수 있었다. 그러므로 인버터의 역할은 PV어레이로부터 최대출력을 얻을 수 있도록 MPPPT 제어를 하고, MPPPT제어를 수행할 수 있도록 최대치 전력을 얻을 수 있는 지령 전압을 DC링크 전압제어기의 입력으

로 사용하였다.

PV 어레이는 전류원으로써, 제어의 용이성을 위해 전압원으로 동작될 수 있도록, PV어레이와 DC/AC 인버터 사이에 링크 캐패시터가 필요하다. 그리고 이 전압은 BLDC 모터에 의해 요구되는 에너지와 PV에 의해 공급되는 에너지가 독립적으로 일정하게 유지되어야 한다. 그래서 DC/AC 인버터 및 그 외의 손실을 무시한다면 DC 인버터 입력 전류는 BLDC모터의 기계적 출력으로 식 (6)과 같이 변환될 수 있다.

$$V_{cc} \cdot I_{inv} = T_m \cdot \omega_m \quad (6)$$

여기서, ω_m 은 기계적각속도, T_m 기계적토크, I_{inv} 인버터단으로 흐르는 DC 링크단 전류이다. 그리고, 캐패시터 링크에서 모든 전류의 합은 zero이다.

$$I_{PV} = I_c + I_{inv} \quad (7)$$

여기서, I_l 은 PV 어레이로부터 출력되는 전류, I_c 는 캐패시터에 흐르는 전류이다. 따라서, 링크 커패시터의 특성 방정식으로 시스템은 그림 5와 같은 블록 다이어그램으로 표현될 수 있다.

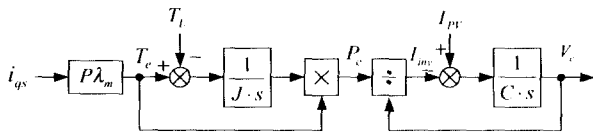


그림 5 BLDC모터와 링크 캐패시터와의 관계
Fig. 5 Relation of BLDC Motor and Link Capacitor

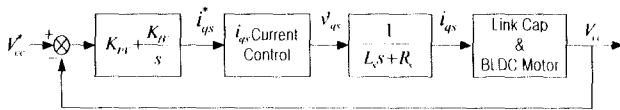


그림 6 DC 전압 제어 루프
Fig. 6 DC Voltage Control Loop

PV어레이를 이용한 모터구동방법에 J.A.Domfnguez가 제안한 비동기 모터 제어방식을 BLDC 모터에 적용한 DC 전압제어루프는 그림 6과 같다. 여기에서 DC 전압제어는 고정자 전류의 q축 성분으로 가능하다.

이러한 제어블럭도는 DC 전압 제어의 지령전압이 PV어레이의 최대출력점(Maximum Power Point)을 추종하도록 한 값이고 DC/AC인버터는 이러한 기능을

충분히 수행할 수 있기 때문에 DC/DC 컨버터를 생략할 수 있는 방식이다.

만일 DC/AC 인버터로 DC전압을 제어할 수 있고, 매 순간마다 BLDC 모터에 발생하는 유효전력을 계산할 수 있다면, MPPT를 추적할 수 있는 지령치 V_{cc}^* 값을 알고리즘에 이용하여 계산할 수 있다. 따라서 DC/DC 컨버터를 이용하지 않아도 된다. 그러나 이와 같은 방법은 다중의 제어루프를 갖게 됨으로 최종 제어루프의 제어주기는 자연히 길어지게 된다. 따라서, 시스템의 Bandwidth를 높일 수 없는 단점이 있다.

3.2 DC링크단의 입력전류

대부분의 태양광 발전시스템에서 최대출력을 얻기 위하여 DC링크단의 전압과 전류를 검출 받는다. 그러나, 태양전지를 DC/AC 인버터에 직결하여 사용할 경우, 3상 인버터의 6개의 스위치 상태가 식 (8)과 같이 동작되므로, 직류측 입력전류 성분에는 리플성분이 포함된다.

$$i_{DC} = S_1 i_a + S_3 i_b + S_5 i_c - \frac{1}{2} (i_a + i_b + i_c) \quad (8)$$

$$= S_a i_a + S_b i_b + S_c i_c$$

따라서, i_{DC} 의 리플성분 파형의 기본 주파수는 인버터 출력 주파수의 6배가 된다. 이러한 전류리플은 MPPT 제어를 하는데 있어서 단점이 될 수 있다. 그래서 본 논문에서는 인버터의 출력전류를 좌표변환하여 DC량으로 표현된 전류를 이용하여 리플이 저감된 전력값을 구하여, 최대출력점 부근에서 자력진동할 수 있도록 하였다.

3.3 제안한 MPPT 제어기법

그림 7은 제안한 PV 양수펌프 시스템의 제어블럭도이다. 시스템의 전체적인 제어처리는 DC/AC 인버터의 출력전류를 입력받아 동기회전 좌표계로 좌표 변환한다.

그 다음 변환된 전류와 DC 링크단의 전압을 입력받아 MPPT 제어하여 지령치 q축 전류를 산출한다. 산출된 q축 전류와 모터를 효율적으로 운전할 수 있도록 d축 전류지령치를 zero로 설정하여 전류제어를 통하여 제어한다. 마지막으로 산출된 출력전압 값을 좌표 변환하여 PWM을 수행하는 방식으로 운전된다.

그림 8은 제안한 MPPT제어를 위한 알고리즘 순서도이며, 동기회전좌표계의 토크성분전류 i_{qs}^* 를 다음과 같이 제어하였다.

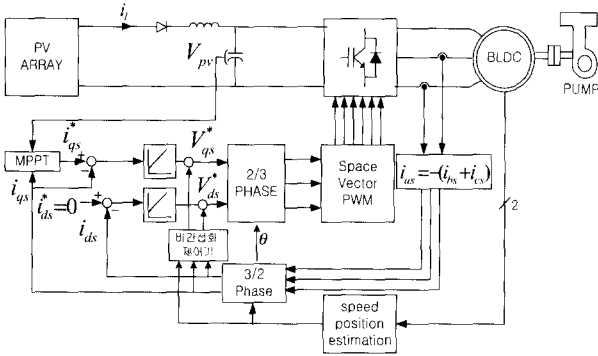


그림 7 PV 양수 펌프 시스템의 제어블럭도
Fig. 7 Schematic Diagram of PV water Pumping system.

- 1) MPPT 제어기의 제어주기가 되면, DC 링크단으로부터 전압검출과 BLDC 모터로부터 좌표 변환된 토크성분전류 i_{qs} 로 전력을 계산한다.
- 2) 계산된 전력 $P(n)$ 과 $P(n-1)$ 값을 비교하고, 판단한다.
- 3) $i_{qs}^*(n)$ 과 $i_{qs}^*(n-1)$ 를 비교하여 제어전류의 진행 방향을 감지하여 지령치 전류를 산출한다.
- 4) 산출된 지령전류 값은 전류제어기로 전달된다.

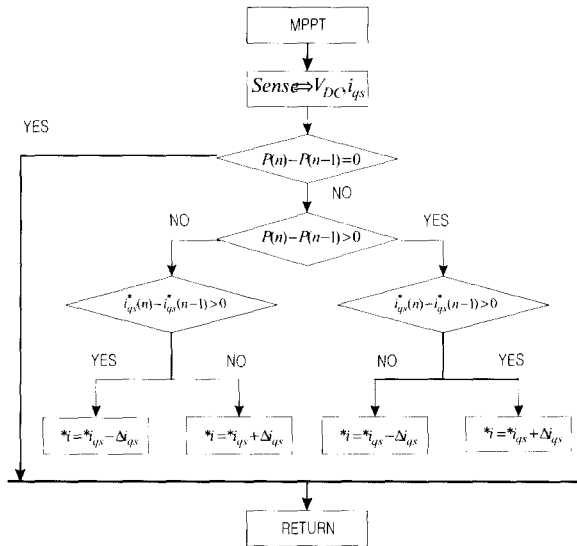


그림 8 제안된 MPPT의 알고리즘 순서도
Fig. 8 Algorithm FlowChart of the proposed MPPT

4. 시뮬레이션 및 실험파형

표 1은 BLDC 모터의 파라미터로서 시뮬레이션 및 실험에 적용하였다.

표 2는 실험에 적용한 태양전지의 파라미터로서 SIEMENS사의 M65모델을 직렬로 10개 연결하여 실험하였다.

표 1 BLDC 모터의 파라미터
Table 1 Parameter of BLDC Motor

최대연속토크, T_{cs}	: 3.4 Nm
토크 상수, K_T	: 1.13 Nm/A
상간 인덕턴스, L_a	: 18 mH
상간 저항, R_a	: 6.4 Ω
관성, J	: 0.32 $\text{Kgm}^2 \times 10^{-3}$
최대 연속 정격 전류, I_{cs}	: 3.4 A

표 2 태양전지의 파라미터
Table 2 Parameter of Solar Cell

직렬로 접속된 셀의 개수, N_s	: 10
병렬로 접속된 셀의 개수, N_p	: 1
개방전압, V_{oc}	: 18.0 V
단락전류, I_{sc}	: 3.32 A
정격전압, V_{max}	: 13.6 V
정격전류, I_{max}	: 2.95 A
각 솔라셀의 직렬저항, R_s	: 0.003 Ω
역 포화전류, I_0	: 0.00004A
Compilation factor, A	: 1.66
Electric charge, q	: 1.6e-19
볼츠만 상수, K	: 1.38e-23
절대온도, T	: 300K

그림 9~그림 11의 시뮬레이션 조건은 0.92초에 일사량이 1/2로 감소하고, 1.85초에 복원된다.

그림 9는 DC링크단의 전류를 검출받아 현재전력을 구한 후 최대출력점을 찾고 DC링크단의 전압을 조절하여 최대출력을 얻는 방법에 관한 것으로 그림 9(b)는 일사량이 충분한 경우 PV 어레이의 출력전압이 420[W]정도이고, 일사량이 1/2로 줄었을 경우 200[W] 정도로 최대출력을 얻고 있으나, 최대출력점 부근에서 불안정한 상태를 나타내고 있다. 따라서 펌프의 속도에도 리플을 볼 수 있다. 이러한 현상은 양수펌프의 전체적인 효율 저하와 내구성에 악영향을 준다.

그림 10은 DC 링크단의 전류검출을 BLDC 모터의 q축 전류로 대치한 경우의 출력파형으로, 최대출력점

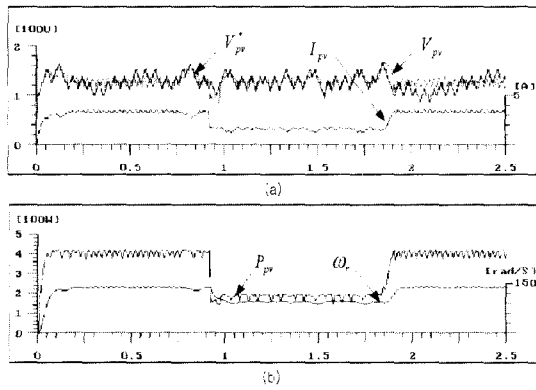


그림 9 J.A. Domínguez가 제시한 방법에 의한 출력파형 ($\Delta V: 10V$)
 Fig. 9 Output waveform of PV-system controlled by the method proposed J.A Domínguez

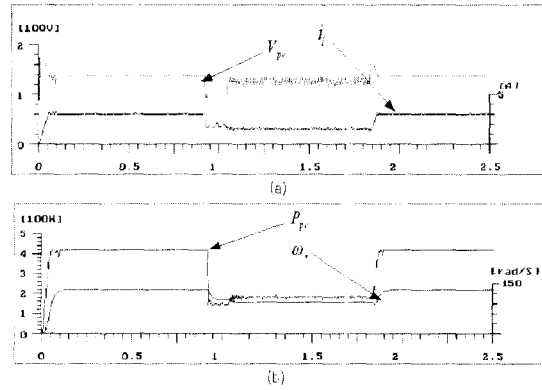


그림 11 간소화된 제어방법에 의한 출력파형 ($\Delta I : 0.1[A]$)
 Fig. 11 Output Waveform of PV-system controlled by the reduced method

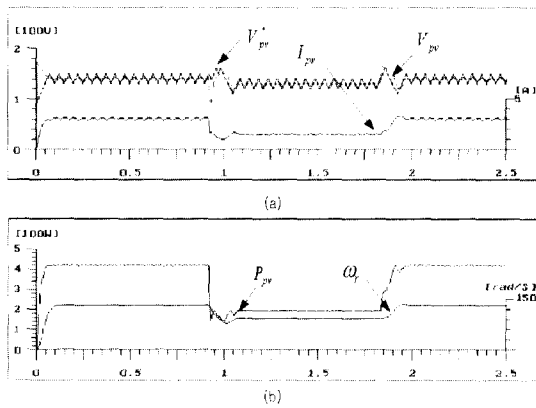


그림 10 DC 링크단 전류검출을 q축 전류로 대치한 경우의 출력파형
 Fig. 10 In case q-axis current replace the current to be detected in DC link, output Waveform of PV system

은 셀 개방전압의 78[%]정도이며, 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 리플이 없는 전류를 검출 받아 제어됨으로 전체적으로 양호한 결과를 보여준다.

그림 10(a)에서는 MPPT의 제어결과로 지령치 출력 전압이 최대출력점 부근에서 자려진동함을 볼 수 있다. 그것으로 인하여 DC 링크단 전압도 충실히 제어됨을 볼 수 있다. 그러나, 이로 인하여 DC 링크단의 출력전류에도 리플이 보이게 되지만 이 정도의 전류리플은 기계적 관성 및 펌프부하로 인하여 출력속도에는 리플현상을 볼 수 없다. 그러나, 셀의 조건 변화 시 BLDC모터의 속도는 과도상태가 길어짐을 볼 수 있다.

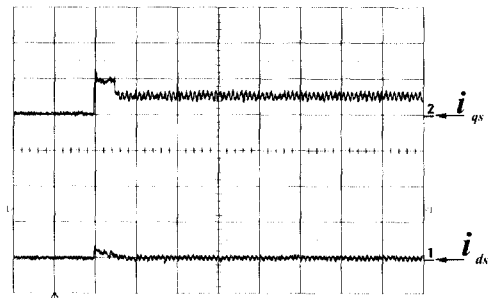


그림 12 BLDC 모터의 d-q축 전류파형
 CH 1:5[A/div], CH 2: 5[A/div], TD:5[S/div]
 Fig. 12 d-q axis current waveform of the BLDC motor

그림 11은 그림 7의 제어 블럭도를 이용한 것으로 그림 11(a)의 결과에서 볼 수 있듯이 최대출력점은 J.A. Domínguez가 제시한 방법과 같이 셀 개방전압의 78[%] 정도이며, 외부환경변화에 대체적으로 빠른 결과를 갖는다. 또한 출력전류에서 볼 수 있듯이 제안된 MPPT제어 출력 지령전류 값이 최대출력부근에서 자려진동함을 볼 수 있으나, 이러한 미소 전류리플은 부하관성 및 부하로 속도에 속도리플현상을 나타내지 않음으로 속도 출력파형에는 양호한 특성을 보여준다.

그림 12는 BLDC 모터의 동작특성을 알 수 있도록 상용전원을 투입한 결과의 전류파형으로써, q축 전류는 속도 지령에 의해 나타난 파형이며 d축 전류는 d축 전류로 인한 동손을 없애기 위해 지령치 값을 zero로 하였을 경우에 출력 전류파형으로 정상상태에 돌입하는데 걸리는 시간은 300[mS]정도로 모두가 양호한 특성을 나타내고 있다.

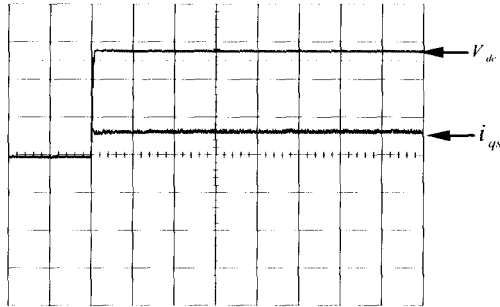


그림 13 DC 링크전압과 q축 전류파형
CH1:50[V/div], CH2:5[A/div], TD 10[S/div]
Fig. 13 DC link voltage & q-axis current waveform

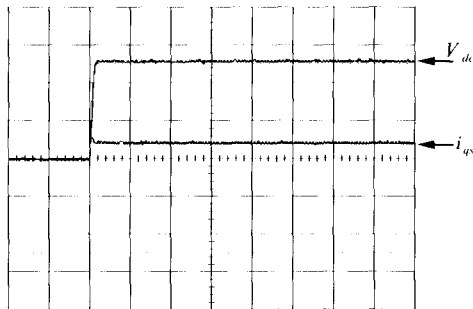


그림 14 DC 링크전압과 q축 전류파형
CH1:50[V/div], CH2:5[A/div], TD 10[S/div]
Fig. 14 DC link voltage & q-axis current waveform

그림 13은 일사량이 810[W/m²]로 충분히 공급되는 경우에 PV어레이의 DC링크단 전압과 BLDC모터의 q축 전류 파형으로, DC 링크단 전압은 138[V] 정도이고 출력 전류는 2.95[A] 정도로 최대출력이 78[%] 정도에서 이루어지며 시뮬레이션과 유사한 결과특성을 나타내었다.

그림 14는 일사량이 508[W/m²]로 감소하였을 경우에 PV어레이의 DC링크단 전압과 BLDC모터의 q축 전류 파형으로, 최대출력이 72[%] 정도에서 이루어지고 q축 전류는 2[A] 정도로 시뮬레이션과 조금 상이한 결과특성을 나타내고 있다. 이러한 이유는 시뮬레이션에서 일사량이 충분한 경우의 1/2인 경우에 출력특성을 나타내고 있지만, 실제 실험에서는 이러한 조건을 얻기가 곤란하여 시뮬레이션 조건과 조금의 차이가 있었고, 또한 PV 어레이특성 시뮬레이션과 실제 PV어레이 특성과 약간의 오차 때문에 이러한 결과를 얻게 되었다. 그러나 전체적인 결과로써 일사량이 감소한 경우에도 MPPPT 제어를 원활히 수행함을 알 수 있다.

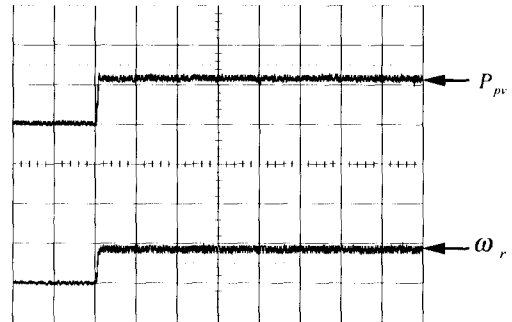


그림 15 일사량이 충분한 경우에 출력 전력과 속도 파형
CH.1: 400[W/div], CH.2:150[rad/S],
TD:10[S/div])

Fig. 15 Output Power and Speed waveform while the sunshine is supplied sufficiently

그림 15는 일사량이 820[W/m²]로 충분히 공급되는 경우에 PV어레이의 출력 전력과 속도를 나타내고 있다. 시험 결과로써 출력전력파형은 그림에서 볼 수 있듯이 시뮬레이션의 결과와 유사하게 420[W] 정도의 출력을 내고 있으며 출력 속도도 130[rad/s]로 시뮬레이션과 거의 일치한다. 따라서 PV 어레이에서 발생된 출력을 모터에서 충분히 활용함을 볼 수 있다. 또한 출력속도 파형에 있어서 출력 파형의 노이즈를 감안하면 출력속도 파형도 양호하게 나타남을 볼 수 있다.

이상으로부터 표 2에 나타난 셀의 특성 중 정격전압과 정격전류는 시뮬레이션 및 실험결과와 일치하므로 본 논문에서 제안한 MPPPT 제어 방법으로 최대출력이 원활히 수행되었음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 일사량, 환경등의 변화에 따른 어레이의 동작 특성을 DC/DC컨버터 없이 좌표 변환된 토크 성분전류를 검출 받아 MPPPT 제어 알고리즘을 원활히 수행함으로써 최대출력점을 추종하였다. 그 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 부대장치의 간소화로 기술적 격오지에 설치되는 양수펌프의 내구성을 향상시킬 수 있다.
- (2) 부수적으로 부대비용절감 및 전력 변환기의 손실을 줄일 수 있었다.
- (3) J.A. Domfnguez가 제안한 제어기법에 비하여 간략화함으로써 제어주기를 줄일 수 있었고 속도리플도 감소하였다.
- (4) 제안된 알고리즘을 검증하기 위해서, C++을 이

용하여 시뮬레이션을 수행하고, 실험을 통하여 알고리즘의 타당성을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Eduard Muljadi, "PV Water Pumping with a Peak Power Tracker Using a Simple Six Step Square Wave Inverter", IEEE Transactions on industry applications, Vol. 33, No. 3, May/June 1997.

[2] J. A. Dominguez, S.Lorenzo, S.de Pablo, S.Caceres. "Global control for two photovoltaic application : Pumping and connecting to the grid system". EPE. 1997.

[3] Sandia National Laboratories, "Water Pumping" UC 276, pp. 7.

[4] C. L. Putta Swamy, B.Singh, B.P. Singh "Dynamic performance of a permanent magnet brushless DC motor powered by a PV array for water pumping, ELSEVIER, Solar Energy Materials and Solar Cells 36(1995), pp. 187 ~200.

[5] 정영석, 유권중, 강기환, 송진수, 김홍성, "태양광·풍력 복합발전용 PCS시스템 제어특성분석", 전력전자학회지, Vol. 5, No. 1, pp. 19~25, 2000. 2.

[6] Hidehiko Sugimoto, Masato Koyama, Shinzo Tamai, AC サーボシステムの理論と設計の實際, 綜合電子出版社, 1990.

저 자 소 개



김성남(金城南)

1953년 9월 17일생. 1980년 명지대학교 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 두이전기통신(주) 부사장.



백승길(白承吉)

1972년 1월 24일생. 2000년 명지대 전기공학과 졸업, 2001년 동 대학원 전기공학과 석사과정.



조정민(趙正珉)

1972년 1월 10일생. 1997년 충주대 전기공학과 졸업, 1999년 명지대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2001년 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



이승환(李承桓)

1962년 2월 18일생. 1984년 명지대 전기공학과 졸업, 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 대덕대학 전기전자계열 부교수.



오봉환(吳鳳煥)

1959년 9월 1일생. 1985년 명지대학교 전기공학과 졸업, 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 일본 나고야대 대학원 전기공학과 졸업(박사), 1993년~1996년 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 선임연구원. 현재 명지전문대학 전기과 부교수.



이훈구(李勳九)

1948년 4월 27일생. 1971년 명지대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년~1992년 미국 아리조나 주립대학교 객원교수. 현재 용인송담대학 전기실비과 부교수.



한경희(韓慶熙)

1943년 4월 9일생. 1967년 명지대 전기공학과 졸업, 1983년 일본 나고야대 대학원 전기공학과 졸업(박사), 현재 명지대 전기·제어정보공학부 교수.