

PV 시스템의 최대전력점 추적을 위한 신경회로망 제어기 개발

(Development of Neural Network Controller for Maximum Power Point Tracking of PV System)

고재섭* · 최정식 · 정동화

(Jae-Sub Ko · Jung-Sik Choi · Dong-Hwa Jung)

요 약

본 논문은 DC 전동기에 공급되는 PV 시스템의 최대전력점추적에 대한 신경회로망 제어기를 제시한다. 다양한 일사량은 PV 시스템의 MPPT에 대하여 가장 중요한 요소이다. 일사량은 비선형적, 비주기적이고 복잡하다. 신경회로망은 복잡한 수학적 문제를 해결하는데 광범위하게 사용되고 있다.

제안한 태양광 발전시스템은 신경회로망 제어기, DC-DC 컨버터, DC전동기, 부하로 구성되어 있다. 신경회로망 알고리즘은 컨버터의 초핑비를 계산하고 DC-DC 컨버터에 적용된다. 신경회로망의 출력은 수학적 모델링에 의해 계산된 값과 비교하고 알고리즘의 타당성을 제시한다.

Abstract

This paper presents an Neural Network(NN) controller for Maximum Power Point Tracking (MPPT) of PV supplied DC motor. A variation of solar irradiation is most important factor in the MPPT of PV system. That is nonlinear, aperiodic and complicated. NN was widely used due to easily solving a complex math problem.

Proposed photovoltaic system consists of NN, DC-DC converter, DC motor and load(cf, pump). NN algorithm apply to DC-DC converter through an Adaptive control of Neural Network, calculates Converter-Chopping ratio using an Adaptive control of NN. The results of an Adaptive control of NN compared with the results of Converter-Chopping ratio which are calculated mathematical modeling and evaluate the proposed algorithm. The experimental data show that an adequacy of the algorithm was established through the compared data.

Key Words : PV System, Neural Network, MPPT, DC-DC Converter

1. 서 론

최근 이산화탄소 감소 의무화 등의 환경적 이슈에 따라 신재생 에너지 연구에 대한 관심이 증가하고 있다.

이러한 신재생 에너지 중 태양광 발전은 연료의 비용이 없고, 유동적인 부분이 거의 없어 소음이 적고 유지보수 비용을 줄일 수 있는 장점 등으로 그 중요성이 증가되고 있다. 특히 PV 시스템은 그 영역이 급

* 주저자 : 순천대 공대 전기공학과
Tel : 061-750-3540, Fax : 061-752-1103
E-mail : koj2501@gmail.com
접수일자 : 2008년 3월 10일
1차심사 : 2008년 3월 14일
심사완료 : 2008년 7월 4일

PV 시스템의 최대전력점 추적을 위한 신경회로망 제어기 개발

격하게 확장되고 있으며, 전기 전력 기술에서도 그 역할이 증가되고 있다. 또한 현재 펌핑 시스템에 공급되는 계통보다 더욱 안전하게 전력원을 공급할 수 있다.

태양전지 어레이와 분권 DC전동기의 최적인전 조건은 태양전지의 스위칭 기법과 전동기 자속 제어와 같은 직류 변압기에 의해 이루어졌다[1]. Appelbaum은 PV 전압원으로 부터 공급되는 DC 전동기의 성능을 분석했다[2]. 이러한 연구들은 태양광 셀에 의해 전력이 공급되는 DC 분권전동기는 낮은 성능을 가지고, 원심펌프를 구동하는 타여자 DC 전동기는 태양광 발전에 적합한 드라이브라는 것을 나타낸다.

DC 전동기의 성능 분석은 컨버터를 통한 PV 공급으로부터 제시된다[3]. Saied는 셀의 하루 동안 최대 기계적 에너지 출력에 대한 전동기 V-I 특성을 구하고, 태양광 발전에 적합한 전동기의 최적 파라미터를 결정을 공식화했다[4].

신경회로망은 복잡한 문제를 해결하기 위한 방법으로 인정되고, 많은 부분에 적용되고 있다. 복잡한 사상 모델링과 시스템 증명에서 신경회로망의 능력은 입증되었다[5]. 또한 계통연계 PV 시스템을 위해 신경회로망을 이용한 실시간 최대 전력점 추적 제어기가 연구되어졌다[6]. 이 연구들은 신경회로망에 의해 증명된 전압 제어형 인버터를 사용하여 최대 전력점으로 이동되는 태양전지 어레이의 동작점에 중점을 두었다. 또한 최대전력점 추적에 대한 다양한 방법들은 연구되었다. P&O 법은 어레이 전압을 주기적인 증가 또는 감소에 의해 최대 전력점으로 동작점이 이동하며 태양광 일사량이 천천히 변화할 경우 양호한 성능을 나타낸다. IncCond 방법은 급격한 일사량 변화에 양호한 성능을 나타내지만 고 분해능 센서가 필요하여 경제적인 제약점을 갖는다.

본 논문은 DC 전동기에 공급되는 PV 시스템의 최대전력점추적에 대한 신경회로망 제어기를 제시한다. 신경회로망 제어기는 다양한 일사량 변화에 따른 최대출력 및 GME(Gross Mechanical Energy) 동작을 얻기 위하여 초평비를 출력한다. 제한한 태양광 발전 시스템은 신경회로망 제어기, DC-DC 컨버터, DC전동기, 부하로 구성되어 있다. 신경회로망 알고리즘은 컨버터의 초평비를 계산하고 DC-DC 컨버터에 적용된다. 신경회로망의 출력은 수학적 모델링에 의해 계

산된 값과 비교하고 알고리즘의 타당성을 제시한다.

2. 시스템의 수학적 모델링

조합된 시스템은 그림 1에 나타난 것과 같이 태양전지 어레이, DC-DC 컨버터, 펌프부하에 결합된 DC 전동기로 구성된다.

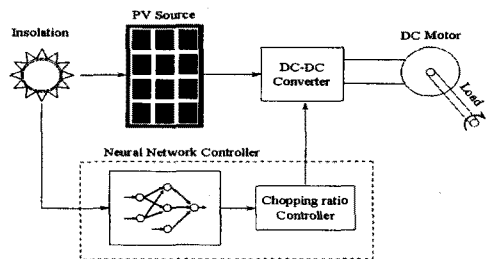


그림 1. 태양광 발전시스템의 전체 시스템 구성도

Fig. 1. Total system block diagram of PV system

2.1 PV 모델링

PV 시스템은 요구된 출력 전압 및 전류를 공급하기 위하여 직렬 및 병렬의 형태로 연결된 많은 PV 셀의 조합으로 구성되어져 있으며 V-I 특성은 다음과 같다.

$$V_g = -I_g R_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) + \left(\frac{N_s}{\Lambda} \right) \ln \left[1 + \left(\frac{N_s I_{ph} - I_g}{N_p I_o} \right) \right] \quad (1)$$

여기서, N_p 는 셀의 병렬개수, N_s 는 셀의 직렬개수, $\Lambda = q/ AKT$, q 는 전하, A 는 제조상수, K 는 볼츠만 상수, T 는 절대온도이다. 그림 2는 태양전지 어레이의 등가 회로를 나타내며, 그림 3은 태양전지 어레이의 출력에 대한 V-I, P-I 특성을 나타낸다.

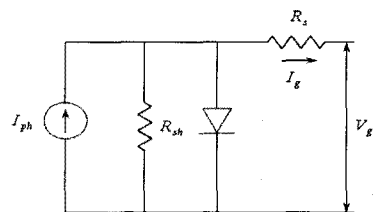


그림 2. PV시스템의 등가회로

Fig. 2 Equivalent circuit of the PV system

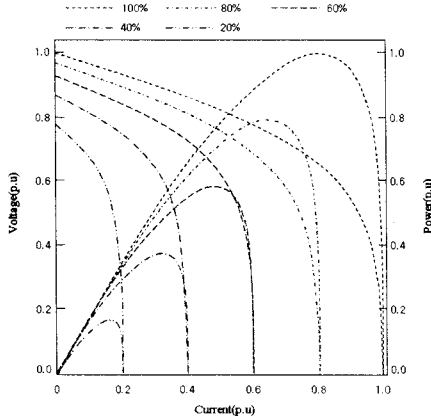


그림 3. 다양한 일사량에서 PV 시스템의 V-I/P-I 특성
 Fig. 3. The V-I/P-I characteristics of PV generator at different solar insolation

태양광 일사량이 변화하였을 때 그림 3의 태양광 어레이의 최대 전력점이 이동한다는 것을 볼 수 있다. 식 1에서 셀 상수를 대입한 후에 V-I 특성 결과를 간략화 하면 다음과 같다.

$$V_g = -0.9I_g + 23.697 \ln \{ 1.0 + 123.456(1.345K_{ins} - I_g) \} \quad (2)$$

여기서 I_g , V_g 는 각각 태양전지 어레이의 출력 전류, 및 전압을 나타내고 K_{ins} 는 일사량을 나타낸다.

2.2 컨버터 모델링

DC-DC 컨버터는 듀티비 또는 초핑비를 변화할 수 있는 Buck-Boost 컨버터를 나타낸다. 이 컨버터는 초핑된 DC 전압을 발생하고, 전동기 평균 전압 및 전류를 제어한다. 또한, 태양전지 어레이가 최대 전력점에서 동작하게 하거나, 시스템의 전체 기계적 에너지가 최대가 되도록 전동기의 입력 특성에 PV 시스템의 출력 특성을 연속적으로 대응시킨다. DC-DC 컨버터가 이상적이라고 가정하면, 듀티비 δ 에 대하여 컨버터의 출력 전압 및 전류와 태양전지 어레이 전압(V_g) 및 전류(I_g)에 대하여 다음과 같은 관계식을 얻는다.

$$V_{av} = \frac{\delta V_g}{(1-\delta)} \quad (3)$$

$$I_{av} = \frac{I_g(1-\delta)}{\delta} \quad (4)$$

$$\delta = \left(\frac{t_{on}}{T_p} \right) \quad (5)$$

$$Y = \frac{\delta}{(1-\delta)} \quad (6)$$

여기에서 δ 는 듀티비, Y는 초핑 비, T_p 는 컨버터의 스위칭 주기이다.(buck : $\delta < 0.5$, Boost : $\delta > 0.5$)

2.3 DC 전동기의 모델링

타여자 DC 전동기가 컨버터를 통해 PV 시스템으로부터 공급될 때 정상상태에서 전동기 전압 및 토크 식은 다음과 같다.

$$V_{av} = E_b + I_{av}R_a \quad (7)$$

$$T_e = C_e I_{av} \quad (8)$$

$$E_b = C_e \omega \quad (9)$$

2.4 펌프 부하에 대한 모델링

펌프는 다른 Head-vs-flow 특성을 가지는 원심 또는 정량 형태가 될 것이다. 이러한 펌프 부하는 토크에 의존하여 속도를 나타낼 것이다. 마찰 토크를 포함한 원심(T_{L1})과 정량(T_{L2})부하의 속도-토크 특성은 다음과 같이 주어진다.

$$T_{L1} = A_1 + B_1\omega + C_1\omega^{1.8} \quad Nm \quad (10-A)$$

$$T_{L2} = A_2 + B_2\omega \quad Nm \quad (10-B)$$

3. 시스템의 최대 전력 운전

3.1 태양전지의 최대전력 운전

태양전지 어레이의 출력을 최대화하기 위하여 컨버터는 태양전지와 전동기 사이에 사용된다. 컨버터의 듀티비는 태양전지의 출력과 전동기 부하 특성에

PV 시스템의 최대전력점 추적을 위한 신경회로망 제어기 개발

따라 변화한다. 태양전지 어레이의 전체 출력 전력을 전동기로 전송하는 컨버터를 최대 전력 점에서 이상적이라고 가정하면 전동기에 의해 흡수된 전력은 태양전지 어레이에 의해 전송된 전력과 같다. 즉,

$$P_m = V_{av} I_{av} = V_m I_m \quad (11)$$

여기에서 V_{av} , I_{av} 는 전동기 전기자 전압 및 전류이고, V_m , I_m 은 각각 태양전지 어레이의 최대 전력 점에서 태양전지 전압 및 전류이다. 전동기 전기자 전압 및 전류는 아래와 같이 최대 전력점에서 태양전지 전압 및 전류의 항으로 표현된다.

$$V_{av} = \delta_{mp} V_m \quad (12)$$

$$I_{av} = \frac{I_m}{\delta_{mp}} \quad (13)$$

$$V_{av} = E_b + I_{av} R_a \quad (14)$$

그림 4와 같이 식 (14)에 (12), (13)를 대입하여 태양전지어레이 측면에서 등가회로를 변형하면 전동기 전기자 전압 식은 다음과 같다.

$$V_m = \frac{E_b}{\delta_{mp}} + I_m \frac{R_a}{\delta_{mp}^2} \quad (15)$$

식 (15)을 재정리 하면 다음식과 같다.

$$V_m \delta_{mp}^2 - E_b \delta_{mp} - I_m R_a = 0 \quad (16)$$

이 때, 컨버터의 듀티비는 식 (17)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_{mp} = \frac{E_b}{2V_m} + \left(\left(\frac{E_b}{2V_m} \right)^2 + \left(\frac{I_m R_a}{V_m} \right) \right)^{1/2} \quad (17)$$

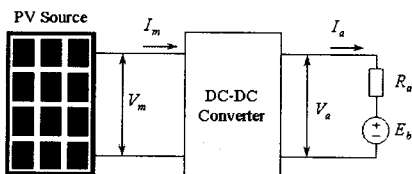


그림 4. 전체 시스템의 등가회로
Fig. 4 Equivalent circuit of total system

태양전지의 최대 전력을 인가하기 위한 전동기 아마추어 전류는 식 (18)과 식 (19)로부터 얻을 수 있다.

$$P_m = E_b I_{av} + I_{av}^2 R_a \quad (18)$$

$$R_a I_{av}^2 + E_b I_{av} - P_m = 0$$

$$I_{av} = -\frac{E_b}{2V_m} + \left(\left(\frac{E_b}{2V_m} \right)^2 + \left(\frac{P_m}{R_a} \right) \right)^{1/2} \quad (19)$$

여기에서 E_b 는 식 (9)에 의해서 주어졌으며, 컨버터의 듀티비(식 (17))는 전동기 부하에 따라 변화하는 전동기 역기전력에 의존한다. DC 전동기가 부하에 연결되었을 때 주어진 태양전지의 전력(P_m)에서 역기전력은 원심펌프일 경우에는 식 (8) ($T_e = T_L$)과 식 (10-A) 및 식 (19)를 이용하고, 정량펌프의 경우에는 식 (8)과 식 (10-B) 및 식 (19)을 이용하여 얻을 수 있다. 역기전력은 P_m 에 따라 계산되며 컨버터의 듀티비는 식 (17)로부터 얻어진다. 이러한 계산된 값은 신경회로망 학습을 위하여 참조 패턴으로 사용한다.

3.2 최대 기계적 에너지 출력 운전

주어진 기기의 자속 계수에 대하여 모든 일사량에서 최대 전력점(P_m , V_m , I_m)으로 운전하기 위한 전동기나 태양전지를 만드는 것은 불가능하다. 이것은 V-I 특성이 기기에서 동손과 자속 계수에 의존하기 때문이다. 이런 경우에 시스템은 주어진 일사량 곡선에 대하여 기계적 에너지 출력의 점(P_m^* , V_m^* , I_m^*)에서 운전하게 되며 동작점의 경로는 그림 5와 같다. 이러한 동작점에서 $V_m^* > V_m$, $I_m^* < I_m$ 이다. 주어진 태양광 일사량에서 최대 전력점 동작에 대응하는 전압과 전류(V_m , I_m)는 결정된다. 결정된 V_m , I_m 을 가지고 최대 기계적 에너지의 동작에 대응하는 전압과 전류(V_m^* , I_m^*)는 아래의 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$V_m^* = \frac{V_m(2R_a + 89.8I_m^{0.127})}{(R_a + I_m^{0.127})} \quad (20)$$

$$I_m^* = \frac{89.8I_m^{0.127}}{(R_a + I_m^{0.127})} \quad (21)$$

$$P_m^* = V_m^* I_m^* \quad (22)$$

$$I_{av}^* = -\frac{E_b^*}{2V_m^*} + \left(\left(\frac{E_b^*}{2V_m^*} \right)^2 + \left(\frac{P_m^*}{R_a} \right) \right)^{1/2} \quad (23)$$

여기에서 역기전력(E_b^*)은 마찬가지로 태양광 일사량에서 원심펌프 부하일 경우 식 (8), 식 (10-A), 식 (23)을 이용하여 계산하고, 정량펌프 부하일 경우에는 식 (8), 식 (10-B), 식 (23)을 이용하여 계산한다. 최대 기계적 에너지의 동작을 위한 buck -boost 컨버터의 듀티비는 아래 식으로부터 얻어진다.

$$\delta_{mg}^* = \frac{E_b^*}{2V_m^*} + \left(\left(\frac{E_b^*}{2V_m^*} \right)^2 + \left(\frac{I_m^* R_a}{V_m^*} \right) \right)^{1/2} \quad (24)$$

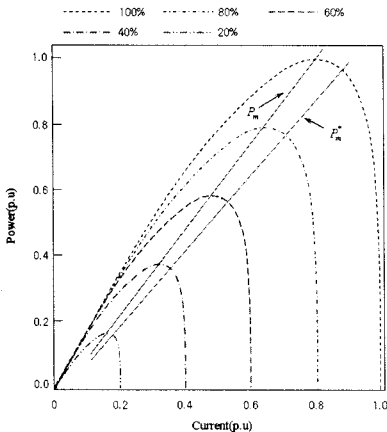


그림 5. 다양한 일사량에서 태양전지의 최대 전력점 및 최대 기계적 에너지 동작 곡선
Fig. 5. MP and GME operation points trajectory of solar cell array at different solar insulations

4. 신경회로망 제어기

본 논문에서는 최대 전력점 또는 최대 기계적 에

너지로 동작하기 위한 최적의 초평비를 신경회로망에 의하여 결정한다. 신경회로망은 비선형성 사상을 학습할 수 있는 능력과 고속 응답 및 강인성의 장점을 가지고 있다. 계산시간은 신경회로망의 고속 응답시간으로 매우 빠르며, 이와 같은 신경회로망의 특징은 컨버터의 초평비를 계산하는데 매우 효율성이 높다.

그림 6은 본 논문에서 제시한 2개의 입력층, 4개의 은닉층, 1개의 출력층을 가진 신경회로망의 구조를 나타낸다.

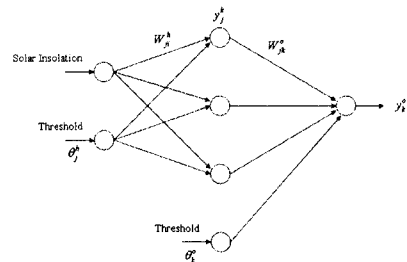


그림 6. 신경회로망의 구조
Fig. 6. Structure of neural network

입력 벡터 $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)^t$ 는 신경회로망의 입력층에 적용된다. 은닉층 “j”에 net 입력은 다음과 같다.

$$net_j^h = \sum_{i=1}^n w_{ji} x_i + \theta_j^h \quad (25)$$

여기에서 w_{ji} 는 i^{th} 입력으로부터 연결된 하중이다. $j = 1, 2, \dots, N_h$ 에 대한 θ_j^h 는 은닉층 뉴론에 대한 문턱값을 나타낸다. 현재, 히든층에서 뉴론의 출력은 다음과 같다.

$$y_j^h = f \left(\sum_{i=1}^n w_{ji} x_i + \theta_j^h \right) \quad (26)$$

그리고 출력층에서 뉴론에 net 입력은 다음과 같다.

$$net_k^o = \sum_{j=1}^{N_h} w_{kj} y_j^h + \theta_k^o \quad (27)$$

여기에서 θ_k^o 는 출력층에서 뉴론에 대한 문턱값을

PV 시스템의 최대전력점 추적을 위한 신경회로망 제어기 개발

나타낸다. 마지막으로 출력층에서 뉴런의 출력은 다음과 같다.

$$y_k^o = f\left(\sum_{j=1}^{N_k} w_{kj} y_j^h + \theta_k^o\right) \quad (28)$$

오차 함수는 다음과 같이 정의한다.

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot \sum_j (t_{pj} - o_{pj})^2 \quad (29)$$

$$E = \sum_{p=1}^m E_p \quad (30)$$

신경회로망의 학습과정은 다음과 같다.

단계1: 신경회로망을 사용할 목적을 선정하고 신경회로망을 적절하게 구성한다.

단계2: 목적에 따른 학습패턴 및 목적패턴을 확보한다.

단계3: 신경회로망의 연결가중치를 초기화한다.

단계4: 신경회로망에 입력패턴을 입력한다.

단계5: 출력패턴을 계산한다.

단계6: 출력패턴과 목적패턴을 비교하여 오차를 계산한다.

단계7: 오차가 적정수준이면 학습을 마치고, 그렇지 않을 경우 다음을 실행한다.

단계8: 선택한 학습규칙과 단계 6에서 계산된 오차를 이용해 연결가중치를 조절한다.

단계9: 단계 4부터 다시 반복한다.

최대 전력점 또는 최대 기계적 에너지 동작을 위한 신경회로망의 학습 블록다이어그램은 그림 7과 같이 나타낼 수 있다. 수학적 모델을 사용하여 최대 전력

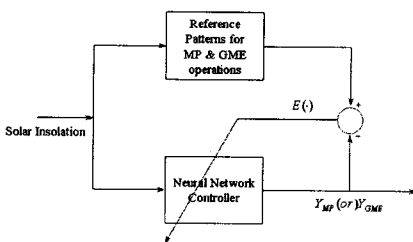


그림 7. 신경회로망 학습을 위한 구성도
Fig. 7. Block diagram for neural network training

점과 최대 기계적 에너지 동작을 위한 기준 패턴을 계산한다. 이 때, 본 논문에서 제시한 신경회로망의 학습율은 0.55, 모멘텀 요소는 0.80이며, 학습 과정은 평균제곱오차 E(.)가 정의된 값보다 작을 때 끝난다.

5. 실험 및 결과

그림 8은 본 논문에서 제시한 실험 장치 구성을 나타낸다. DC 전동기의 전력을 위한 태양전지 어레이와 데이터 수집 및 신경회로망 알고리즘 개발을 위한 PC, 그리고 알고리즘 적용을 위한 DC-DC 컨버터로 구성되어 있다.

수학적 모델 기반 변환 초핑비는 위에서 언급한 두 개의 부하에 대하여 다양한 일사량에서 태양전지의 최대전력점 동작(MP)과 최대 기계적 에너지 출력 동작(GME)을 계산한다. 위 2가지 경우에 대하여 계산된 값은 그림 9와 같이 나타낼 수 있다.

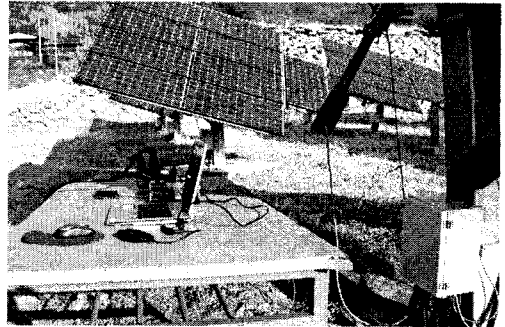


그림 8. 본 논문에서 제시한 실험장치의 구성
Fig. 8. Proposed construction of experimental installation in this paper

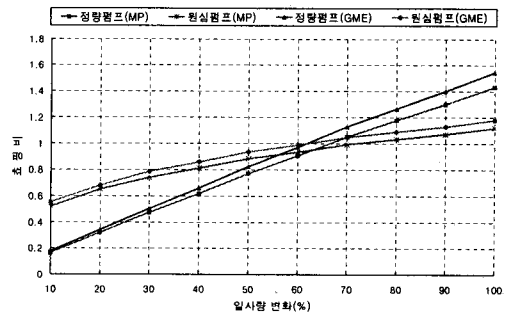


그림 9. 계산된 초핑비 특성
Fig. 9. Computed chopping ratios characteristic

최대전력점 동작과 최대 기계적 에너지 출력 동작에 일치하는 초핑비는 다양한 태양광 일사량에 대하여 신경회로망 제어기로부터 얻을 수 있다. 그림 10과 11은 위의 그림 9에서 나타난 계산된 초핑비와 본문에서 제시한 신경회로망에 의한 초핑비를 최대 전력점동작 및 최대 기계적 에너지 동작의 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 신경회로망에 의한 초핑비는 수학적 방법에 의해 계산된 초핑비에 양호하게 추종하고 있다. 이것은 신경회로망의 학습을 통한 초핑비의 추적값이 수학적 방법에 의해 계산된 값과 거의 일치하게 나타남을 알 수 있으며, 우수한 학습 성능을 나타내고 있다.

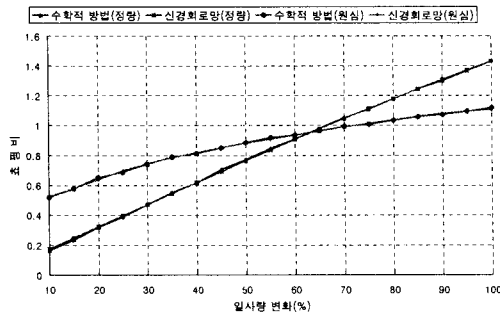


그림 10. MP 동작에 대한 초핑비 특성
Fig. 10. Chopping ratios characteristic for MP operation

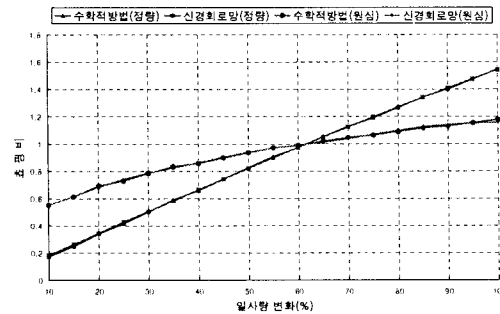


그림 11. GME 동작에 대한 초핑비 특성
Fig. 11. Chopping ratios characteristic for GME operation

그림 12와 그림 13은 수학적 방법에 의한 초핑비에 대한 신경회로망에 의한 초핑비의 퍼센트 오차를 나타내고 있다. 신경회로망에 의한 초핑비의 오차는 최대 전력점 동작에서는 원심펌프 부하에서 1%, 정

량펌프 부하에서 6%로 매우 양호하게 나타나고 있다. 마찬가지로 최대 기계적 에너지 동작점에서의 추적성능도 각 부하별 1%와 5%로 우수한 성능을 나타내고 있다.

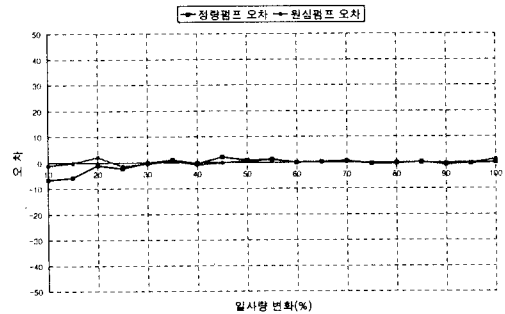


그림 12. MP 동작에 대한 신경회로망 제어기의 추적 오차
Fig. 12. Tracking error of neural network controller for MP operation

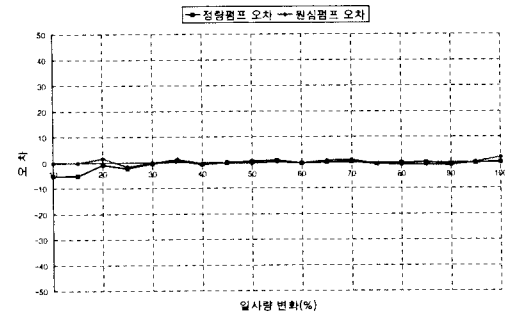


그림 13. GME 동작에 대한 신경회로망 제어기의 추적 오차
Fig. 13. Tracking error of neural network controller for GME operation

6. 결 론

본 논문은 신경회로망을 이용하여 PV 시스템의 최적 운전점을 추적하는 것을 제시하였다. 신경회로망 제어기는 원심 및 정량 펌프를 구동하는 타여자 DC 전동기에 전력을 공급하는 컨버터의 초핑비를 조절하여 PV 시스템의 최적 운전점을 추적한다. 신경회로망은 복잡한 시스템이나 비 선형적인 시스템에 대하여 우수한 성능을 나타내는 제어기이다. 수학적 모델링을 통해 원심 및 정량펌프 부하에 대한

초핑비 또는 듀티비를 계산한 후에 신경회로망을 통해 추적된 값을 비교하여 그 오차가 정의된 범위 내에 있을 때 최적의 초핑비 또는 듀티비를 출력한다.

본 논문에서는 다양한 일사량에 대하여 원심 및 정량 펌프 부하에 대하여 최적의 운전점을 신경회로망에 의해 추적하였다. 일사량이 변화하여도 신경회로망을 통해 출력된 값은 수학적 모델링에 의해 계산된 값과 거의 유사하게 나타났고 그 오차는 1~6%내로 매우 양호한 추적성능을 나타냈으며 따라서 본 논문의 타당성을 입증하였다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 교육인적자원부·산업지원부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구 결과입니다.

References

- [1] Zinger Z. and Braunstein A, "Optimum operation of a combined system of a solar cell array and a dc motor," IEEE Trans, on PAS 100, 1193-1197, 1981.
- [2] Appelbaum J, "Starting and steady-state characteristics of dc motors powered by solar cell generators," IEEE Trans, on Energy conversion 1, 17-24, 1986.
- [3] Veerachary M, "Steady state and dynamic performance of PV supplied dc motors fed from intermediate power converters," Solar Energy Materials and Solar Cells 61, 365-381, 2000.
- [4] Saied MM, "Matching of dc motors to photovoltaic generators for maximum daily gross mechanical energy," IEEE Trans, on Energy Conversion 3, 1988.
- [5] Narendra K.S. and Parthasarathy K, "Identification and control of dynamical systems using neural network", IEEE Trans, on Neural Networks 1(1), 4-27, 1990.
- [6] Takashi H. and Imakubo T, "Identification of optimal operating point of PV modules using neural network for real time maximum power tracking control," IEEE Trans, on Energy Conversion 10(2), 360-367, 1995.

◇ 저자소개 ◇

고재섭 (高在涉)

2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업 2007년 2월 순천대학교 대학원 전기공학과 석사과정 졸업. 2007년 3월~동 대학원 전기공학과 박사과정.
Tel : (061)750-3540
Fax : (061)752-1103
E-mail : kojs2501@gmail.com

최정식 (崔正植)

2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업 2007년 2월 순천대학교 대학원 전기공학과 석사과정 졸업. 2007년 3월~ 동 대학원 전기공학과 박사과정.
Tel : (061)750-3540
Fax : (061)752-1103
E-mail : cjs1108@sccnu.ac.kr

정동화 (鄭東和)

1979년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 현대중전기(주) 기술연구소 책임연구원. 1989년~현재 순천대학교 정보통신공학부 교수.
Tel : (061)750-3543
Fax : (061)752-9841
E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr
WebPage: <http://pelab.sunchon.ac.kr/~hwa777>