

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol.18. No.1, 1998

신경 제어기에 의한 Photovoltaic System의 MPPT구현에 관한 연구

차 인 수 * 최 장 균 ** 유 권 종 ***

- * 동신대학교 전기전자공학과 교수
- ** 목포전문대 자동차학과 교수
- *** 한국에너지기술연구소 태양광 시스템실 선임연구원

A study on the MPPT(Maximum Power Point Tracking) for Photovoltaic System using Neural Controller

- * *Dept. of Electrical & Electronic Eng. Dongshin Univ*
- ** *Dept. of Automobile Eng. Mokpo Junior College*
- *** *Dept. of Photovoltaic System, Korea Institute of Energy Research*

요 약

태양광 발전 시스템의 운용에 있어서 부하의 변동, 일사량, 주변온도등에 의한 최대전력점의 추종은 매우 어려운 기술을 요구한다.

본 연구에서는 이러한 최대전력점의 추종에 있어 빠른 수렴 특성을 얻기 위한 알고리즘으로써 신경 제어기법을 이용하여서 기존의 제어 방식에 의한 동특성과 비교하여 적절한 제어기법 및 시스템동작의 우수한 특성을 얻게 되었다. 즉 최대전력점의 추종 및 안정한 전원의 공급을 갖게되었다.

Abstract

A maximum power point tracking (MPPT) converter, to enhance the converter efficiency is evaluated within the laboratory. The converter is controlled to track the maximum power point of the input photovoltaic(PV) source by varying the input and output parameter- conditions of irradiation, temperature, etc. The purpose of this paper is to develop a new maximum power point tracking(MPPT) using neural controller. Neural controller are applied to control of MPPT by boosting converter duty ratios compensation effect with 8 bit single chip 8051 microcontroller.

Nomenclature

- I_{ph} : 태양광 전류 [A]
- I_c : 다이오드 포화 전류 [A]
- n : 재료 계수
- k : 프랑크 상수 [1.38×10^{-23} J/K]
- T : 절대 온도 [K]
- q : 전자 한개의 전하 [1.6×10^{-23} C]
- R_s : 직렬저항 [Ω]
- R_{sh} : 분로 저항 [Ω]
- V_{oc} : 개방전압[V]
- I_{sc} : 단락전류[A]
- V_{op} : 최적 동작 전압[V]
- I_{op} : 최적 동작 전류[A]
- P_{max} : 최대 전력[W]

1. 서 론

태양광 발전은 미래에너지 중에서 가장 유망한 기술중 하나인데, 이것은 태양에너지가 무공해이고 무한정이며 폭넓게 이용할 수 있는 에너지원이기 때문이다. 이런 이유로 현재

많은 연구가 진행되고 있는 태양광 발전은 멀지 않은 장래에 상용발전에 응용될 수 있을 것이다. 태양광 어레이로부터 최대전력점을 얻는 태양광 발전 시스템은 일반적으로 최대 전력점 추종제어가 요구되어 진다. 태양전지의 출력특성은 부하와 태양의 일사량, 전지의 온도에 따라 비선형적이다. 때문에, 최대전력점 추종제어는 복잡한 문제를 가지고 있다. 1)~4)

태양광 발전 모듈에서의 최대전력은 일사량이나 태양전지의 온도와 같은 환경적 요소에 의존하고, 시스템으로부터 제공되는 최대 전력을 위한 최적 동작점과 동기된 정확한 온라인이 필요하는데 이러한 온라인을 원활하게 수행해 주는 중간역할을 해주는 것이 신경망 회로이다.

최근 신경제어기를 복합적이며 비선형 시스템에 적용함으로써 제어기로서의 우수한 특성을 보임으로써 많은 관심을 갖게되었다.^{5),6)}

본 논문에서는 신경 제어기를 이용하여 P_{MAX} 를 제어할 때 그 특성이 기존의 제어기에 대한 우수성을 조사하였고 최대전력점을 얻기 위해 Boost 컨버터를 통하여 안정된 전

압을 유지하면서 부하에서 요구하는 전력을 얻을 수 있도록 연구를 진행하였다.

2. 이론 분석

2.1 태양전지의 특성

그림 1는 태양전지의 등가회로를 보여주고 있으며 이로부터 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 I &= I_{ph} - I_0 \left[\exp \left[\frac{qV}{nkT} \right] - 1 \right] \\
 &= I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q}{nkT} (V + R_s I) - 1 \right) \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

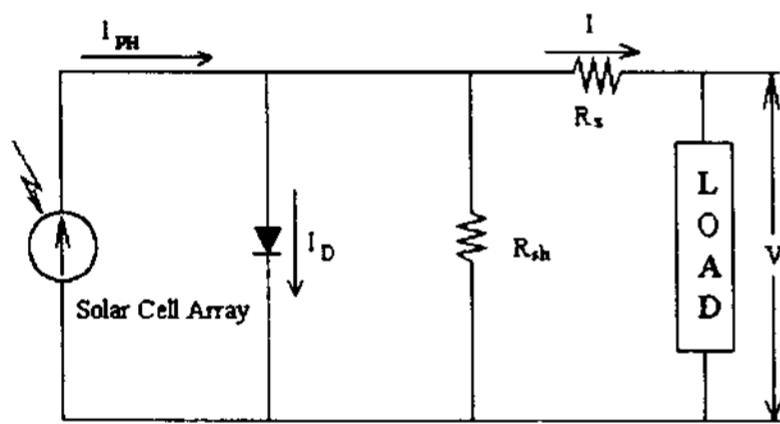


Fig.1 Equivalent circuit of solar cell

여기서 I 는 출력 전류, I_{ph} 는 광전류 이고 이를 전압 전류 특성곡선으로 나타내면 그림 2과 같이 된다.

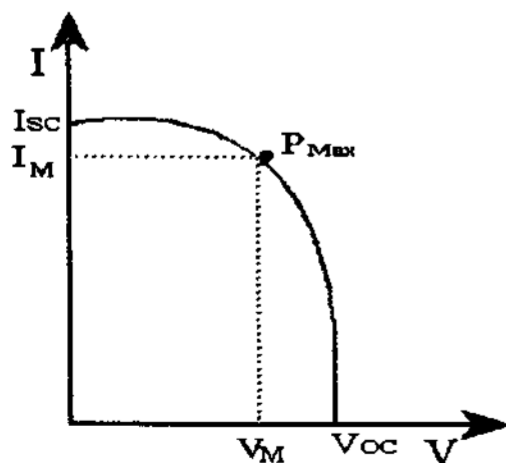


Fig. 2 The Characteristic curve of current and voltage with solar cell

2.2 MPPT 제어를 위한 컨버터 동작해석

DC-DC 컨버터를 직류부하의 구동을 위하여 태양광발전 시스템에 사용하였다.

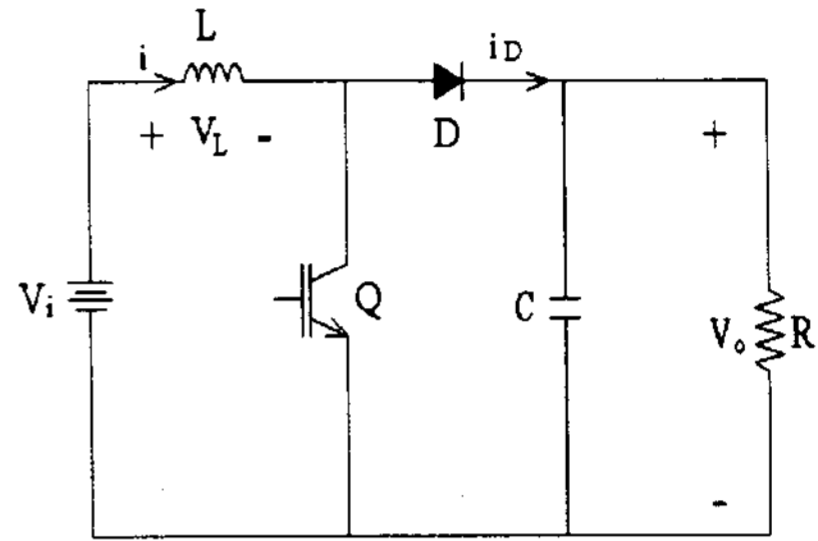
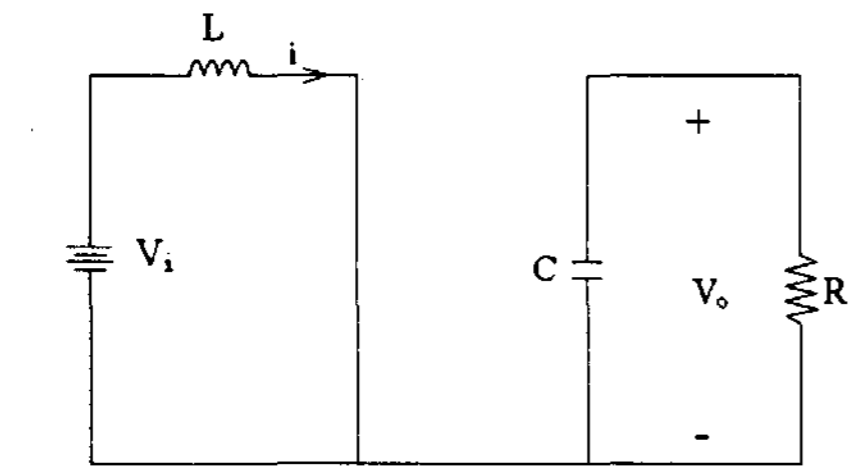


Fig. 3 Basic circuit of DC-DC converter

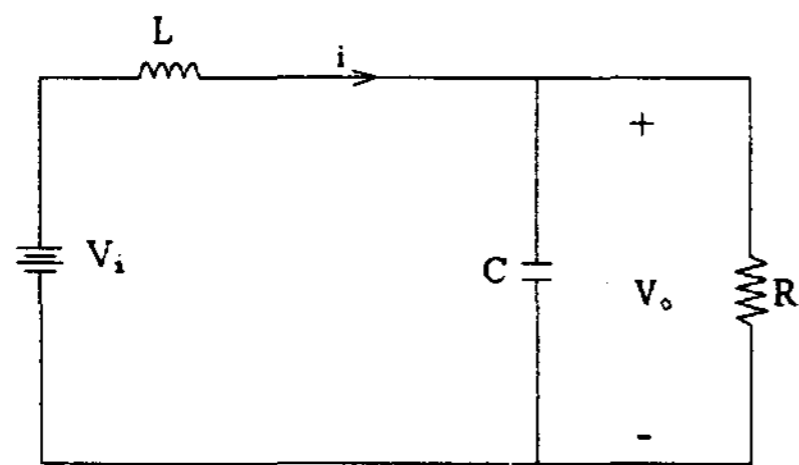
그림 3,4는 승압 컨버터의 기본적인 회로와 스위칭소자(IGBT)의 온·오프에 따른 등가회로를 보여주고 있다. 승압 컨버터는 일반적으로 배터리의 충전을 위하여 요구되어지는데, 스위치 디바이스 IGBT에 인가되는 스위칭 신호 K 가 ON일때, 입력값은 인덕턴스에 충전된다.

$$V_i = L \cdot \frac{di_L}{dt}
 \tag{2}$$

T_{ON} 동안 V_i 가 상수로 남아 있다고 가정하면 전류의 변화는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.



(a) When Q is on



(b) When Q is off

Fig 4. Equivalent circuit with switching device operating.

$$i_L(T_{ON}) - i_L(0) = \frac{V_i}{L} \cdot T_{ON} \quad (3)$$

T_{ON} 시간 동안 인덕턴스에는 에너지 $\frac{1}{2} \cdot L \cdot i_L^2(T_{ON})$ 가 저장된다. Q가 OFF일때, 인덕턴스는 다이오드를 통하여 부하에 그 에너지를 방전한다.

$$V_i - V_o = L \cdot \frac{di_L}{dt} \quad (4)$$

다시, T_{OFF} 동안 충분히 단락되면 V_i 와 V_o 는 일정하게 유지된다.

$$\frac{V_i}{L} \cdot T_{ON} = \frac{V_i - V_o}{L} \cdot T_{OFF} \quad (5)$$

$$V_o = \frac{T_{ON} + T_{OFF}}{T_{OFF}} \cdot V_i > V_i$$

그러면, 주어진 주파수

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{(T_{ON} + T_{OFF})}$$

에서 T_{ON} 은 부하 전압 V_o 에 의한 최대전력점전압 V_m 에서 V_i 를 적용한다.

2.3 MPPT 제어를 위한 신경 제어기

본 논문에서 신경제어기는 태양광발전 시스템의 MPPT제어부에 위치하는데 제어 대상은 태양전지 어레이로부터 산출되고 태양광의 일사량, 온도 등의 환경적인 요소에 따라 가변하는 최대전력점을 추종하는 것이다. 일반적으로 DC-DC컨버터는 MPPT에 의한 부하의 전압과 입력전압 사이에서 운전된다.

PV어레이로부터의 전압과 전류는 8051 micro controller의 A/D 컨버터에 의해 측정되고 이로부터 전력을 계산한다.

그림 5는 신경망회로의 학습 블록다이어그램이다. 각 학습 단계 K에서 예측 오차벡터

$E(k) = y(k) - y_{est}(k)$ 를 계산하게된다. 학습 알고리즘은 2차 오차 $Q(k) = 1/2 E^T(k)E(k)$ 를 최소화하기 위한 $E(k)$ 의 역전파를 통한 신경망회로의 가중치를 조정한다. 즉, 신경망회로의 가중치의 조정의 역전파 알고리즘은 출력 2차 오차를 최소화함을 의미한다.

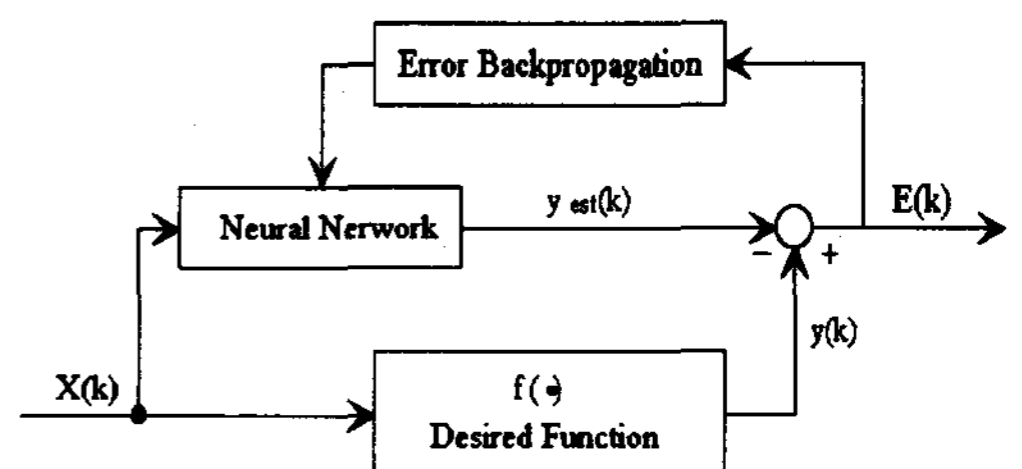


Fig. 5 Backpropagation method

그림 6는 신경망회로의 구성을 표시하며 제어기는 3개의 입력층으로써 개방회로 전압, 단락전류, 출력전력이며 4개의 히든층과 1개의 출력층으로써 듀티비값에 의해 결정되는 출력 전압으로써 나타낸다.

입력의 변수들은 최대전력점의 추종에 있어서 중요한 변수로써 듀티값에 의해서 최종적인 최대전력점의 제어가 이뤄지게 된다.

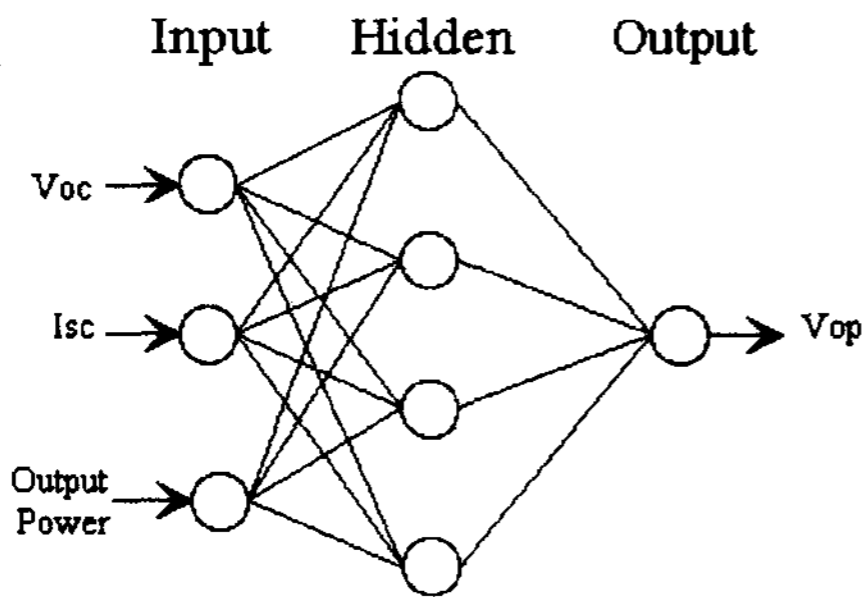


Fig. 6 Configuration of neural network

태양광 시스템에 있어 신경제어기 적용은 반복학습 알고리즘이며, 역전파 알고리즘을 사용하였다.

3. 시뮬레이션 및 고찰

본 논문에서 사용한 태양전지 모듈(삼성전 자 : SSM-60)의 전기적 특성은 다음과 같다.

모 델 명	SSM-60	
최 대 전 력	60.0	[W]
개 방 전 압	21.1	[V]
단 락 전 류	3.8	[A]
부 하 전 압	17.1	[V]
부 하 전 류	3.5	[A]

상기 조건으로 본 논문에서는 사용한 태양 광 어레이는 태양광 모듈을 12S×2P로 연결 하였으며 설계된 태양광 시스템에서 Photovoltaic의 전류 전압, 전력 곡선의 특성을 PSPICE로써 시뮬레이션하면 그림 7과 같이 나타난다

이때 전력곡선은 동작전압 175.2 [volt]에서 최대 출력특성을 보여주고 있다.

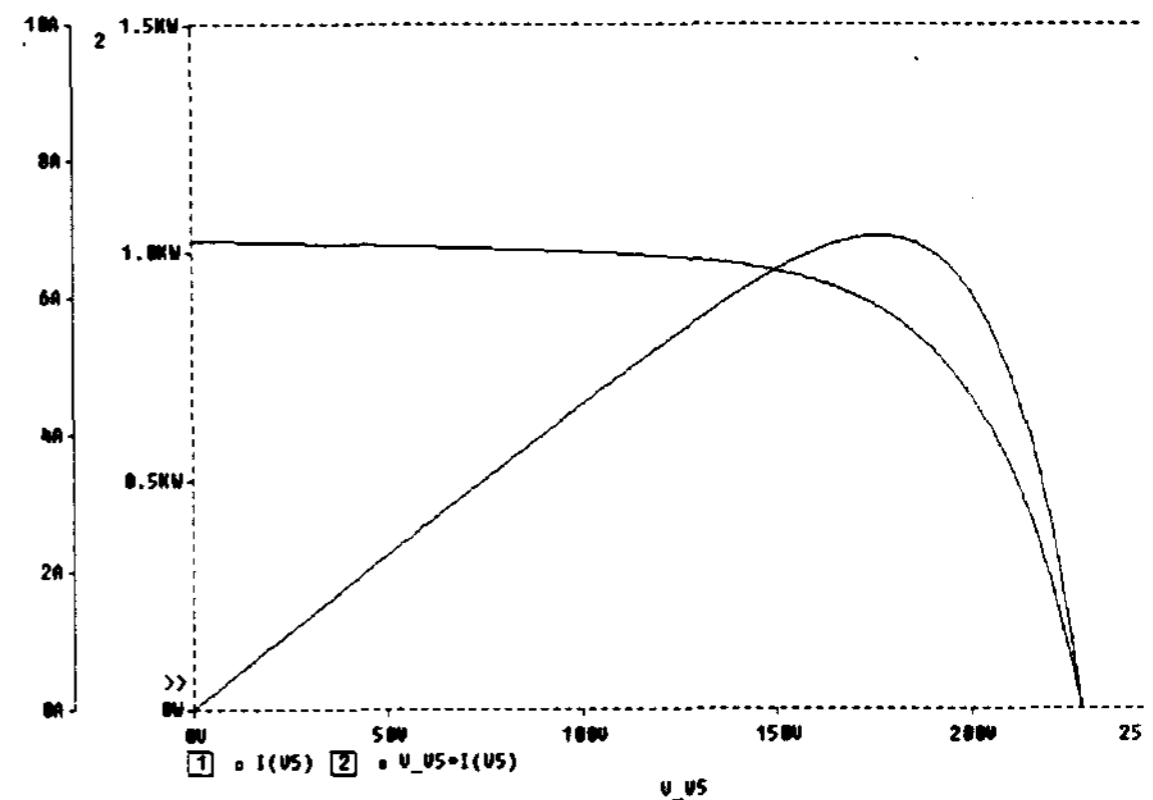


Fig.7 The characteristic of PV module current, voltage, power

4. 실험결과 및 고찰

그림 8은 본 연구에서 구성한 태양광 시스템 설계에 대한 블럭다이어그램을 나타내고 있다.

태양광 발전 어레이 동작전압을 A/D 컨버터를 통하여 8051 마이크로 콘트롤러에 전달하면 온도, 일사량 등의 변수에 따른 최적전력점을 찾고, 그 변환된 값을 보상하기 위해 드라이브 회로를 통해 IGBT에 스위칭신호를 가하였다. 또한, 일정한 출력전압을 얻기 위해 마이크로 콘트롤러에서 출력전압을 읽어들이고 비교하여 시비율을 조절함으로써 일정전압을 유지하도록 하였다.

본 논문에서는 사용한 태양광 어레이는 태양광 모듈을 12S×2P로 연결하였으며 설계된 태양광 시스템에서는 부하전압 175.2[V], 부하전류 5.9 [A], 최대전력 1032 [W]의 특성을 얻을 수 있었다.

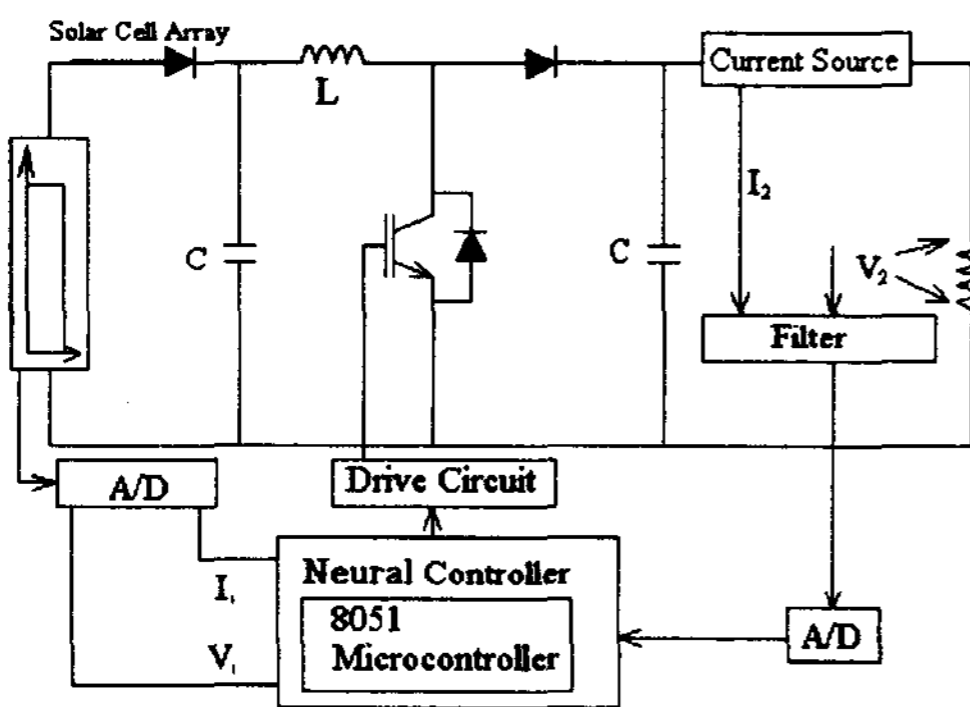


Fig. 8 Block diagram of PV generation system

그림 9는 SPI-ARRAY TESTER TM 750을 사용하여 측정한 태양전지모듈의 I-V특성을 보여주고 있다. Spice에 의한 시뮬레이션에 의한 결과와 비교하여 볼 때 본 연구에서

얻고자하는 제반 특성 파라미터등을 얻을 수 있었다.

그림10은 태양광 시스템의 입력전압, 전류, 전력을 보여주고 있다. 시간이 경과함에 따라 전압의 변동이 심함을 알 수 있었다.

그림 11은 일반제어기와 신경제어기를 태양광 시스템에 적용하였을 때의 출력 전압, 전류, 전력을 보여주고 있다.

시간이 지남에 따라 신경 제어기에 의한 방법이 일반제어기법에 비해서 시스템의 수렴 특성즉, 안정적인 전압, 전류 및 최대전력점의 빠른 추종을 보여주고 있어 이 제어기법의 타당성을 입증하게 되었다.

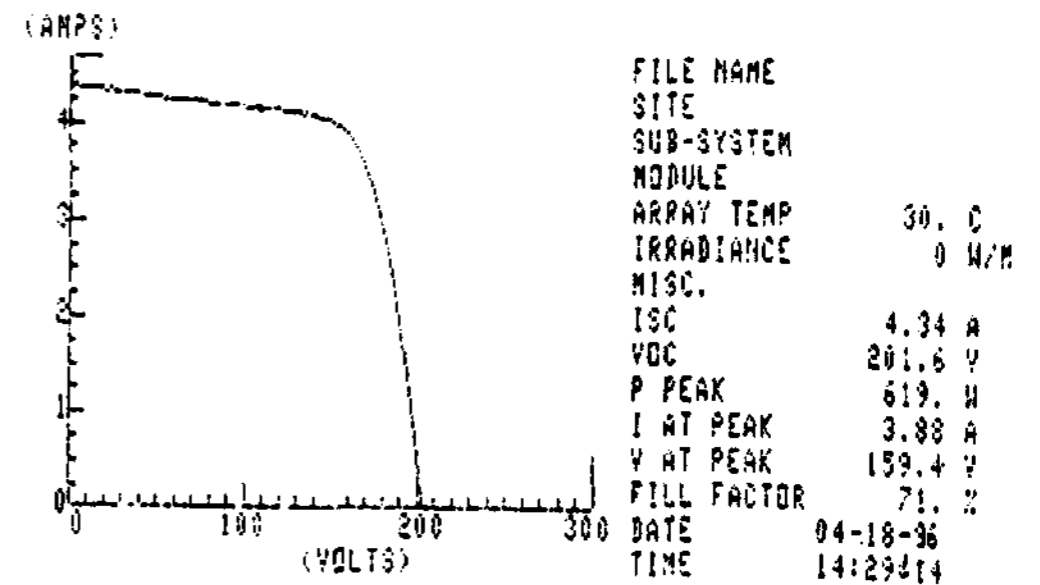


Fig. 9 The characteristic of PV array I-V with SPI-array tester TM 750.

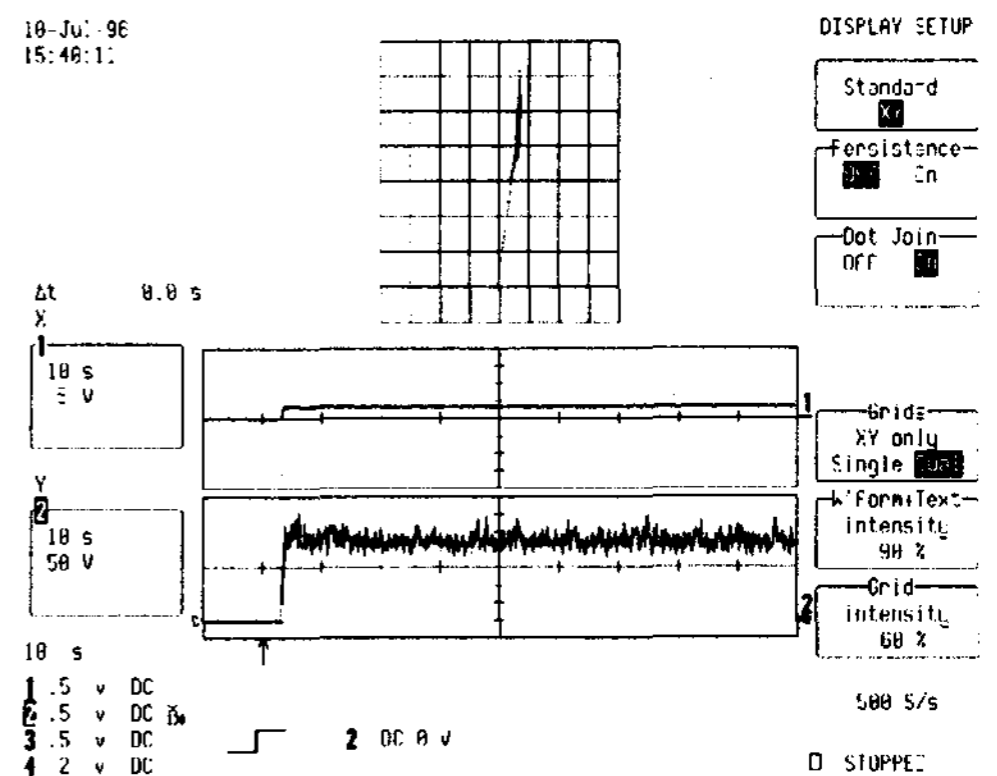
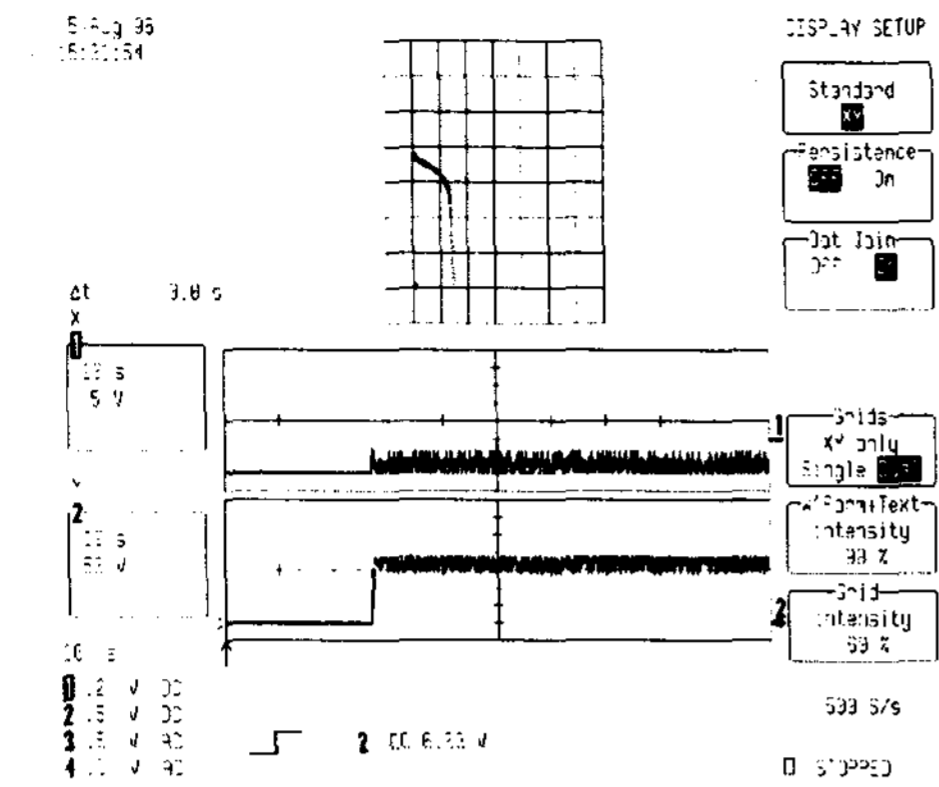
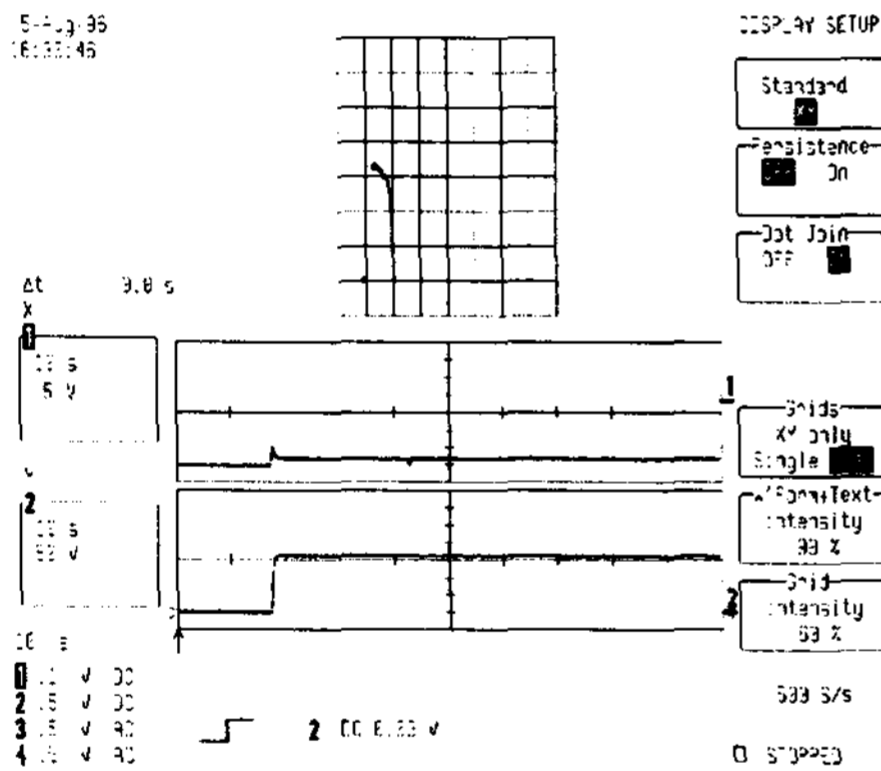


Fig. 10. The curves of current, voltage, power with PV system



(a) PI controller



(b) neural controller

Fig. 11 The characteristic current, voltage, power of PV system

2가지의 경우를 비교해 보면 PI제어기는 전압에 대한 전력의 궤적이 크게 나타났고, 신경 제어기 방법이 PI제어기에비해서 더 안정한 전력의 궤적이 나타났음을 알 수 있다. 이는 태양광 발전시스템이 일사량, 주변온도, 부하변동에도 빠른 수렴특성을 가져 안정한 전원의 공급 및 최대전력점의 추종이 이뤄짐을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 태양광시스템의 최대전력점 추종 및 안정한 전원공급을 위한 시스템의 시뮬레이션 및 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실제의 실험에서도 신경제어기에 의한 기법이 전압의 변동율이 낮아 최대전력점 추종에 대한 빠른 수렴 특성을 얻었다.
- (2) 신경 제어기에 있어 제어출력변수인 듀티비의 산정은 급격한 기상조건을 제외하고 0.2~0.35범위에서의 학습결과 및 실험치를 얻었고 이때가 빠른 최대전력점의 추종을 이룰 수가 있었다.
- (3) 부하를 저항단으로써만 운전이 이뤄졌지만 차후의 연구에서는 저항과 코일로된 부하로써 운전특성을 얻고자 한다.

참고 문헌

- [1] T. Ohnishi and H. Okitsu, "Maximum power control of the solar cell by chopper control", Japan Society for Power Electronics, No.44, pp. 39~46, 1981.
- [2] K. Heuman and W. Wienhofer, "Optimization of Photovoltaic Solar System by Controlled DC-DC Converter", Proc. of IPEC Tokyo, pp. 1049~1059, 1983.
- [3] Z. Salameh and D. Taylor, "Step-up Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays Solar Energy", Vol

- 44, No 1, pp. 57~61, 1990.
- [4] P.D, Van den Heever, S, Oberholzer, "High Efficiency Solar Panel/Wind Turbine Converter with Maximum Power Control", EPE'89, pp. 663~668, 1989.
- [5] S.Osowski, "Neural networks for estimation of harmonic components in a power system", IEE Proc, Pt C, Vol 139, No 2, March 1992, pp129-135
- [6] Hau-Chue Chan, K.T.Chau and C.C.Chan, "A neural Network Controller for Switching Power Converter", IEEE PESC'93, pp887-892, 1993,
- [7] L.L. Lai, F.Ndeh-Che, H.Barun, R. Hui and A.B. Serrano, "Application of neural networks to predicting harmonics"; Proceedings of the 6th EPE, Sept 1995, pp533-538

이 논문은 1996년도 동신대학교
학술연구비에 의하여 연구되었음.

A study on the MPPT(Maximum Power Point Tracking) for Photovoltaic System using Neural Controller

* *Dept. of Electrical & Electronic Eng. Dongshin Univ*

** *Dept. of Automobile Eng. Mokpo Junior College*

*** *Dept. of Photovoltaic System, Korea Institute of Energy Research*

Abstract

A maximum power point tracking (MPPT) converter, to enhance the converter efficiency is evaluated within the laboratory. The converter is controlled to track the maximum power point of the input photovoltaic(PV) source by varying the input and output parameter- conditions of irradiation, temperature, etc. The purpose of this paper is to develop a new maximum power point tracking(MPPT) using neural controller. Neural controller are applied to control of MPPT by boosting converter duty ratios compensation effect with 8 bit single chip 8051 microcontroller.