

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 18, No. 3, 1998

인버터형 에어컨 전원용 태양광시스템의 MPPT 동작 특성에 관한 연구

유권종*, 차인수**, 임중열**, 김동휘***

* 한국에너지기술연구소

** 동신대학교 전기전자공학과

*** 한영대학 전기과

The Study on the Operating Characteristic of MPPT for Photovoltaic System with Inverter Type Airconditioning System

G. J. Yu^{*}, I. S. Cha^{**}, J. Y. Lim^{**}, D. H. Kim^{***}

* *Korea Institute of Energy Research*

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

*** *Dept. of Electrical Eng. Hanyoung Technical College*

ABSTRACT

A photovoltaic system is an infinite and clean energy system. A photovoltaic system consists of a solar cell array, a converter, an inverter and a control unit.

It is necessary that the Maximum Power Point Tracker(MPPT) is applied to the photovoltaic system because the output power of solar cell array is varied with irradiation, temperature and external effects.

In this paper, the neural networks theory, one of the control methods, is applied to track the maximum power point of the photovoltaic system.

The MPPT using neural networks theory is proposed to improve existing energy converter efficiency. Also the theory is applied to operation of inverter type airconditioning system.

1. 서 론

태양광발전 시스템은 항상 최대전력점에서 동작되어야 하는데 이는 낮은 변환효율을 가지고 있는 태양전지로부터 충분한 에너지를 얻기 위해서 반드시 필요하다. 그러나 적절한 동작 점을 갖지 못하면 최대전력점을 얻을 수 없기 때문에 가능한 많은 에너지를 태양전지로부터 얻어내기 위해서는 일반적으로 최대전력점추종제어가 요구된다. 태양 전지에서 최대출력을 얻기 위해서는 태양전지의 동작점이 최대전력점에 위치하도록 제어해야 하는데 최대전력점은 일사량과 온도에 따라 변화하고 태양전지 제조업체마다 특성이 각각 다르므로 MPPT(Maximum Power Point Tracking)를 실행할 필요가 있다.^{[1]~[3]}

본 연구에서는 태양전지로부터 얻은 직류 전원이 일사량, 온도 등에 따라 전력변환 효율이 다르므로 승압형 DC-DC컨버터(Converter)에 학습기능을 가미해 외부환경이나 시스템자체에 관한 지식이 없어도 제어환경에 스스로 적응할 수 있는 신경망을 적용함으로써 태양전지에서 발생하는 전력이 일사량, 태양전지소자 온도 및 동작전압 등에 의존하는 것을 항상 최대전력점에서 동작되도록 제어하였다. 또한, 그 부하의 대상으로서는 여름철에 과부하 유발의 원인이 되는 에어컨을 선정하여 실제로 구동을 시켜보았다.

2. 태양전지의 특성

이상적으로 태양전지는 I_{ph} 의 크기를 갖는 정전류원과 다이오드로 구성되나 실제로는 직렬저항 및 병렬저항을 고려해야 한다. I_L 은 출력전류, I_{ph} 는 광전류, I_0 는 다이오드 역포화전류, n 은 다이오드 상수, K 는 볼츠만 상수이고 q 는 전

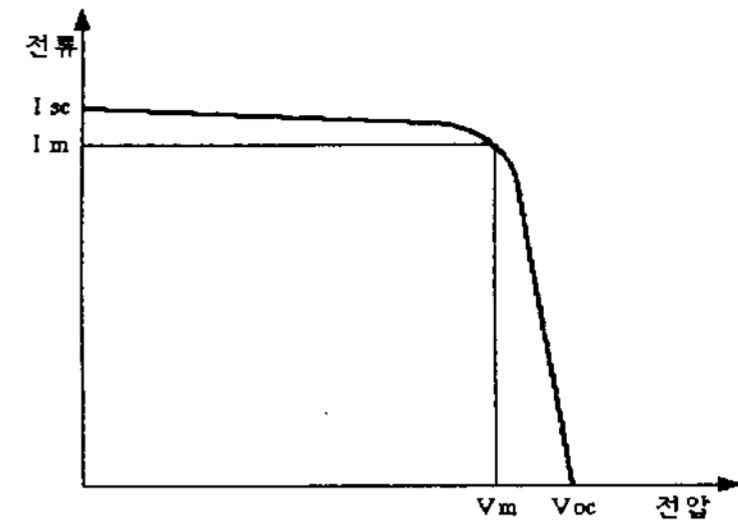


Fig. 1. The voltage and current curve of solar cell

자 1개의 전하이다. 이를 전압 전류 특성 곡선으로 나타내면 Fig. 1과 같이 된다.

Fig. 1에서 개방 전압 V_{oc} , 단락전류 I_{sc} , 곡선인자 FF(Fill Factor)등 3개의 변수는 에너지 변환효율과 관련되는 파라미터로서 조건에서 개방전압 V_{oc} 는

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \quad (1)$$

이 되고, 단락전류 I_{sc} 는 $V_L = 0$ 인 조건으로부터 $I_{sc} = I_{ph}$ 가 된다.

3. MPPT제어를 위한 신경망 제어 시스템

본 논문에서는 태양광발전 시스템의 MPPT제어를 위하여 순방향 3계층 구조의 신경망제어기를 사용함으로써 태양전지로부터 최대전력점을 추적하고 추론하였다. 태양전지로부터 실제적인 태양전지의 전압과 전류값은 80C196KC Micro-controller 의 A/D 컨버터에 계속해서 입력되고, 전력은 이 두 개의 값에 의해서 구해진다.

Fig. 2는 뉴런의 출력함수로 주로 사용되는 비선형 함수들을 나타냈다. 본 연구에서는 시그모이드(Sigmoid)를 뉴런의 출력함수로 적용하였고 신경망 모델의 활성화 함수로서 가장 널리 사용되고 있는 시그모이드 함수는 다음과 같은 방정

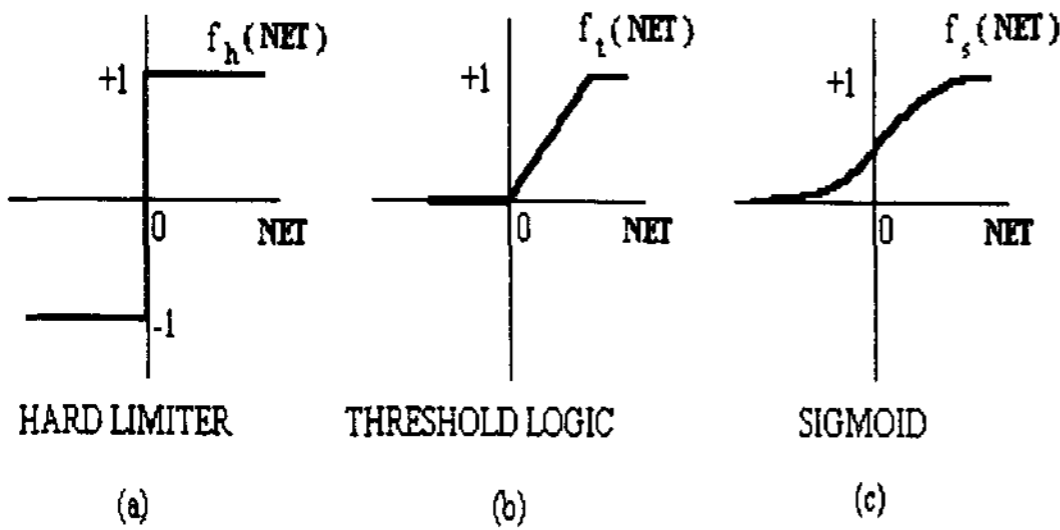


Fig. 2. Example of nonlinear functions

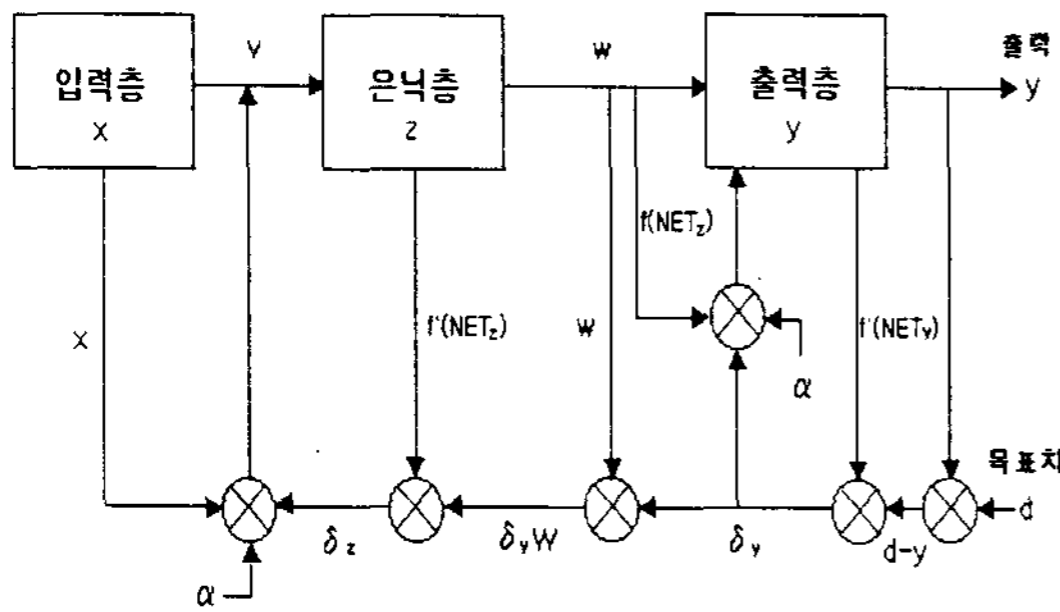


Fig. 3. Block diagram of back propagation algorithm

식을 가진다.

$$f(NE T) = \frac{1}{1 + \exp(-\lambda NE T)} \quad (2)$$

여기에서 λ 와 NET는 각각 경사도와 입력된 외부자극의 가중합을 의미한다.

학습후 신경망제어기의 출력으로 나타난 듀티비는 DC-DC컨버터의 스위칭회로를 구동시켜 최적의 전압을 구하고 이 최적전압과 편견을 입력으로 하는 신경망을 재구성한다. 신경망의 활성화에는 외부자극 뿐만 아니라 편견(Bias)도 작용하므로 이를 고려해야 한다. 신경망에서는 동일한 자극에 대해서도 편견 즉, 이미 형성되어 있는 연결강도에 따라 다른 결과를 초래할 수 있다.

재구성된 신경망은 최적의 전압과 에어컨이 필요한 기준전압 사이에서 계산된 듀티비를 목표

값으로 구성한 후 역전과 학습 알고리즘을 사용하여 신경망을 학습시킨 후 나타나는 출력 듀티비를 본 신경망제어기의 출력값으로 한다.

4.시뮬레이션

본 논문에서는 Mathematica, Design Center 8.0, Qnet 2.1 등을 사용하여 태양광 어레이의 시뮬레이션을 하였다. 다음은 태양광 모듈을 10S×2P로 연결하여 부하전압 171[V], 부하전류 7 [A], 최대전력 1200 [W]의 특성을 갖는 V-I 특성곡선 및 전력곡선을 DESIGN CENTER를 이용하여 시뮬레이션한 태양광 어레이의 배치도와 그 출력 파형을 나타내었다.

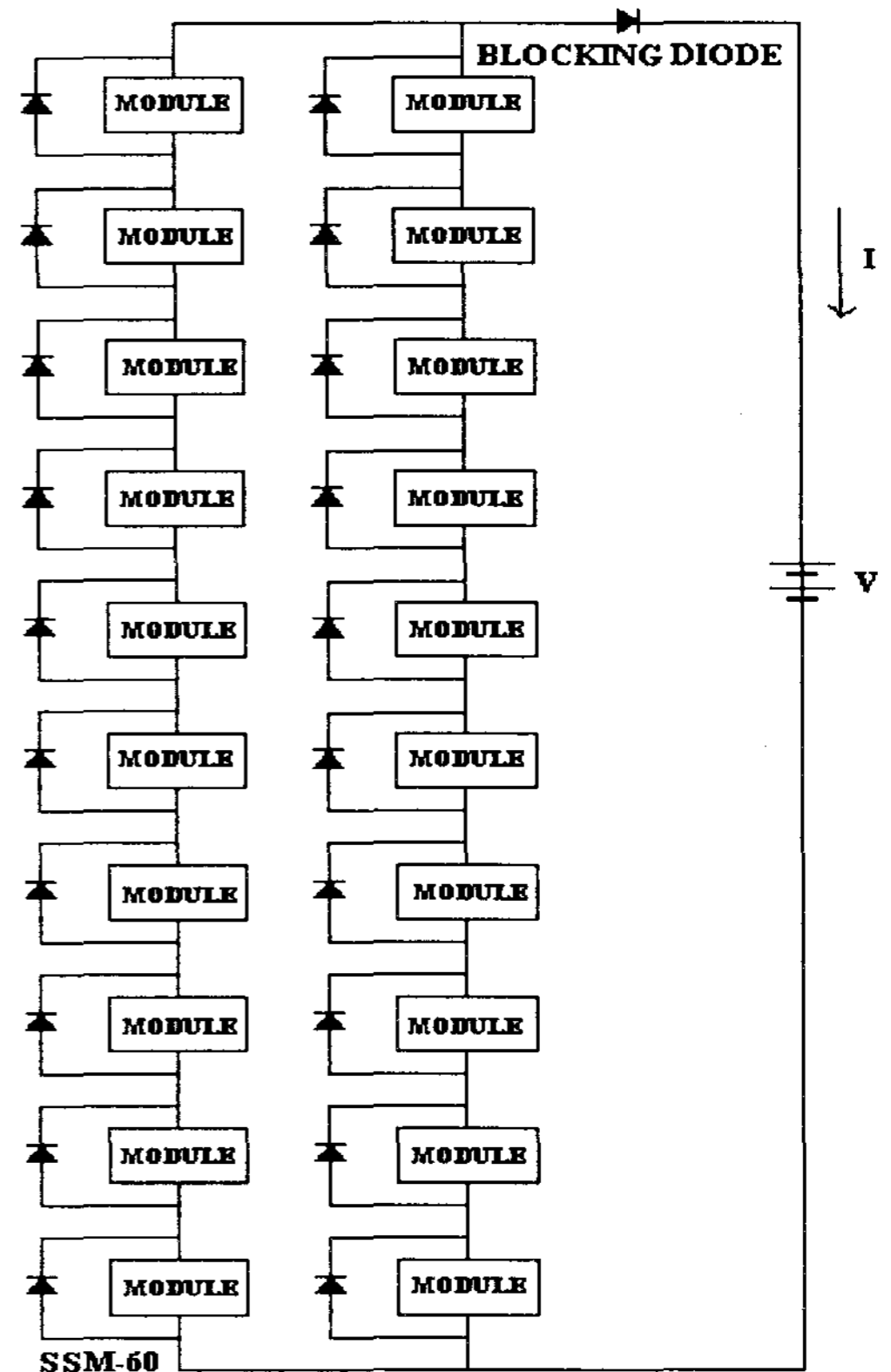


Fig. 4. The diagram of PV array

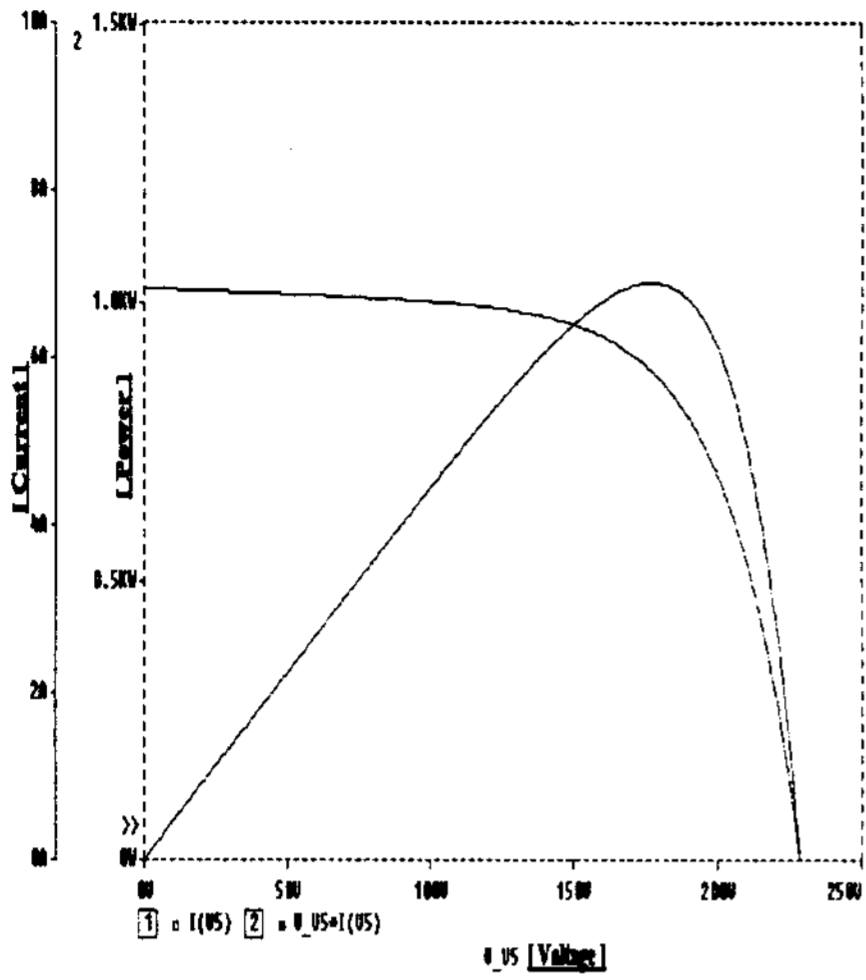
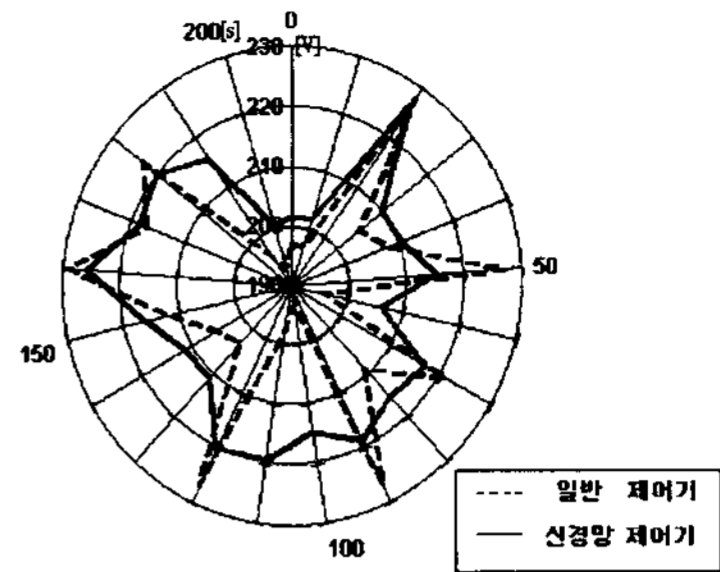


Fig. 5. The voltage-current characteristic curve and power curve of Photovoltaic array

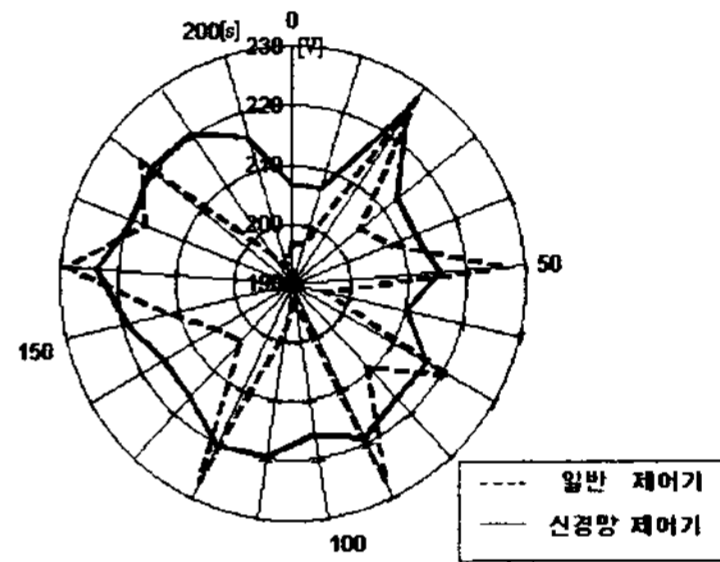
Fig. 6은 제어기의 학습과정을 보여주고 있다. (a), (b), (c)는 각각 30회, 50회, 100회 학습했을 경우의 출력전압을 보여주고 있다. 30회 학습시에는 제어기가 기준전압을 잘 추종하지 못하지만 50회, 100회로 학습을 거듭할수록 기준전압에 잘 추종함을 알 수 있다.

시뮬레이션을 통하여 태양광 어레이를 구성하고 출력 전압, 전류, 전력을 구하여 보았으며, 또한 어레이를 통하여 산출되는 출력전압, 전류, 전력이 일정하지 않고 온도와 일사량에 따라 변함을 알 수 있었고, 이를 통하여 MPPT제어의 필요성을 알 수 있었다. 즉, 정확한 MPPT제어는 온도보상을 고려해야 한다는 것을 알 수 있었다. 신경망제어기의 학습하는 횟수를 거듭할수록 기준값에 잘 추종한다는 것도 알 수 있다. 다만 시뮬레이션에 이용한 프로그램이 평가버전이어서 약간의 제약이 있었다.

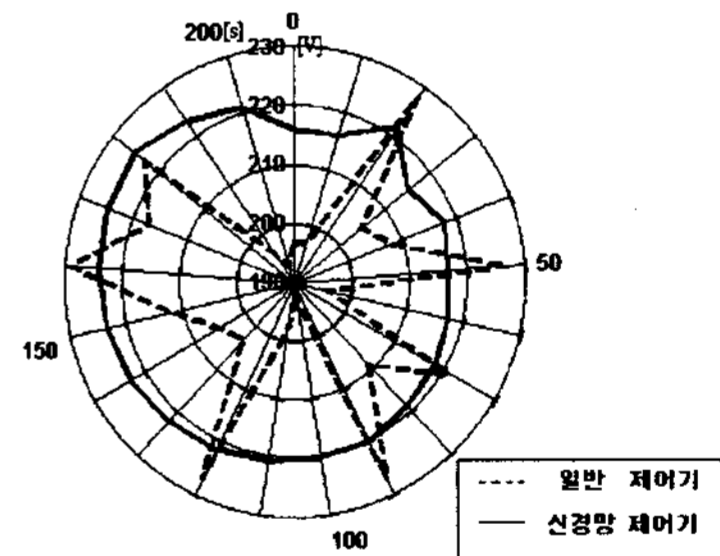
컨버터제어부에 실제로 신경망제어기를 이용함으로써 외부환경에 의해 변화하는 전압, 전류 그리고 전력값을 항상 일정한 최대 값을 갖도록 했다.



(a) 30회 학습후



(b) 50회 학습후



(c) 100회 학습후

Fig 6. The output voltage of neural controller

5. 실험 및 측정

5.1. 시스템 구성 요소

본 논문에서 사용된 태양광 어레이는 태양광 모듈을 10S×2P로 연결하였으며 온도센서는

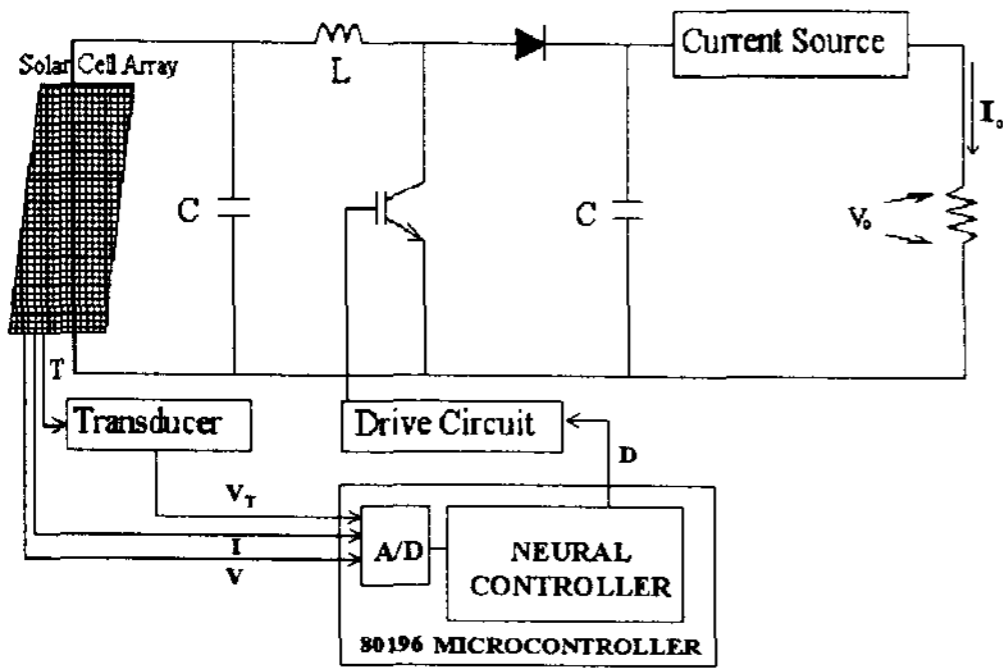


Fig. 7. The block diagram of photovoltaic system

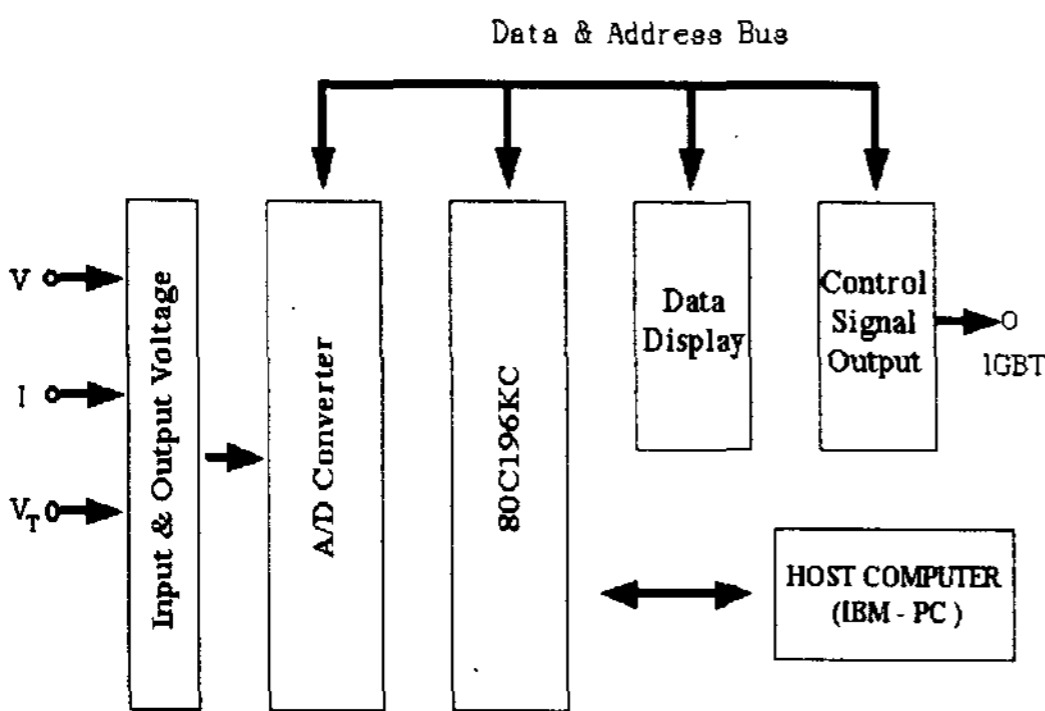


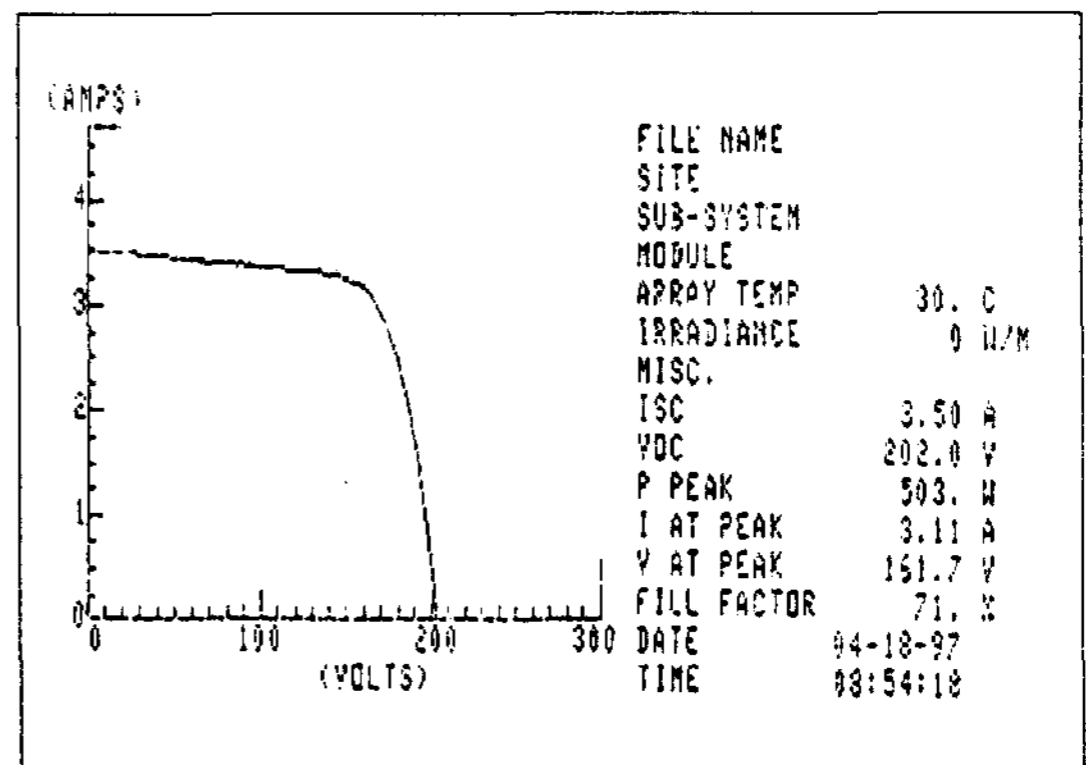
Fig. 8. Basic configuration of control unit

T-type의 Becom Transducer를 사용하였고, 설계된 태양광발전 시스템에서는 부하전압 171[V], 부하전류 7[A], 최대전력 1200[W]의 특성을 얻을 수 있었다. 스위칭소자는 BJT에 비해서 우수한 스위칭 특성을 갖고 높은 주파수에서 운전이 가능한 IGBT를 사용하였다. 스위칭회로는 태양광발전 시스템이 항상 최대전력점에서 동작하도록 신경망 알고리즘을 사용하여 컨트롤러의 PWM 제어 레지스터 값을 조절해 PWM 신호로 스위칭하도록 설계하였다. 또한, 부하로서는 삼성전자의 인버터 에어컨(AS-567)을 사용하였다. 본 논문에서 사용한 태양광모듈은 SSM-60이다.

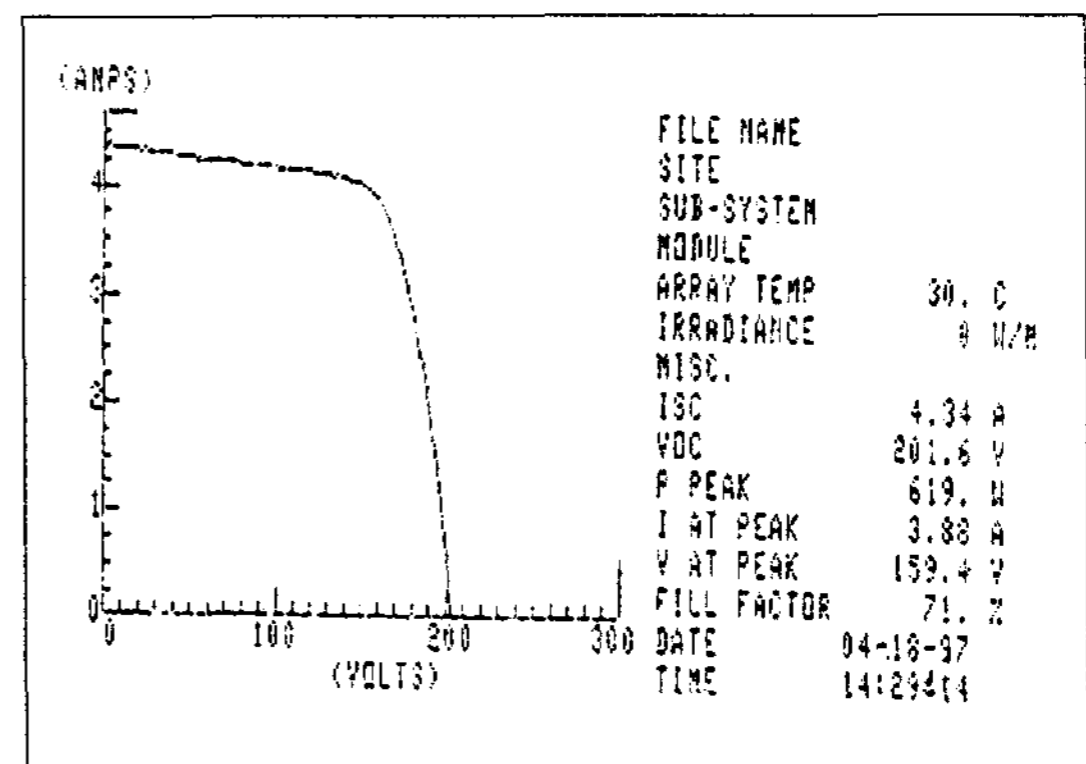
Fig. 8은 제어부의 기본적인 구성도를 보여주고 있는데 중앙처리장치는 80C196KC를 이용하

였으며 표시장치는 Seven Segment LED를 이용하여 구성하였다.

태양광발전어레이 표면의 온도를 온도보상기에 의해서 감지하고 그 Data와 동작전압을A/D 컨버터를 통하여 80196 마이크로 컨트롤러에 전달하면 온도, 일사량등의 변수에 따른 최적 전력점을 찾고, 그 변환된 값을 보상하기 위해 드라이브회로를통해 IGBT에스위칭신호를 가하였다. 또한, 일정한 출력전압을 얻기 위해 마이크로 컨트롤러에서 출력된 듀티비를 가지고 일정전압을 유지하도록 하였다.



(a) 일사량이 작을 경우 (오전)



(b) 일사량이 큰 경우 (오후)

Fig. 9. The current-voltage characteristic of PV array using SPI-ARRAY TESTER TM 750

5.2. 실험 파형

Fig. 9의 (a)와 (b)는 SPI-ARRAY TESTER TM 750을 사용하여 측정한 태양광모듈의 I-V특성을 보여주고 있는데 오전 9시와 오후 2시의 일사량의 관계를 나타내며 이의 결과로부터 오후에는 오전에 비해 큰 전류가 시스템에 운반됨을 볼 수 있다.

Fig. 10은 신경망제어기와 일반제어기 그리고 신경망과 온도보상을 병용한 제어기를 태양광발전 시스템에 적용하였을 때의 출력 전력, 전압, 전류를 보여주고 있는데 제어기에 신경망과 온도보상을 병용했을 때 변동이 심하지 않는 안정적인 궤적이 나타남을 알 수 있다.

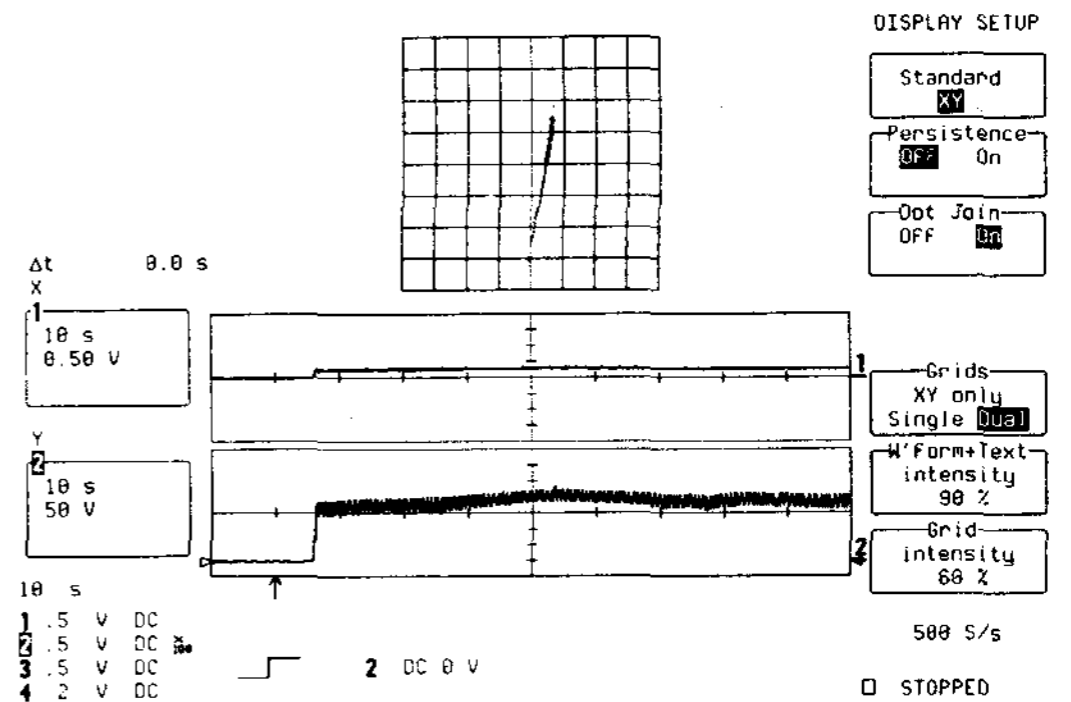
6. 결 론

시뮬레이션에서는 일사량이나 온도에 의해 태양광 어레이가 얼마만큼의 영향을 받는지 알아보았는데 실제의 실험에서도 영향을 받음을 알 수 있었고 특히 일사량이 변하였을 때 전압보다는 전류에 영향을 받고 태양전지 표면 온도에 대해서는 전류보다는 태양전지 전압에 민감하게 의존함을 알 수 있었다.

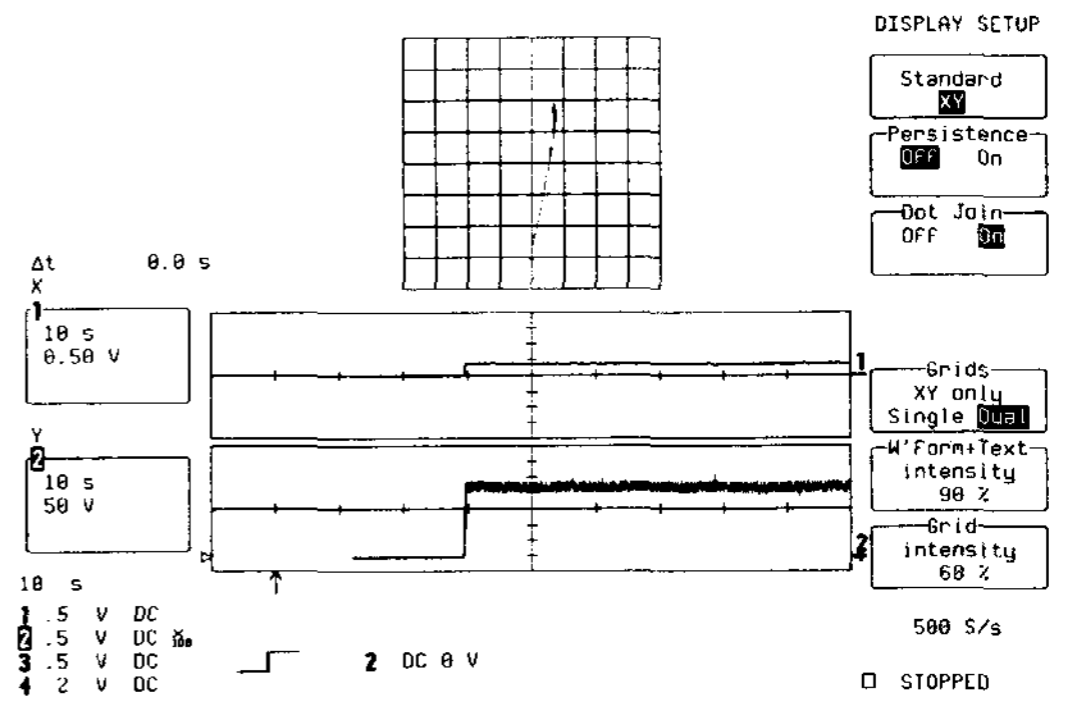
또한, 이들 값을 이용해 전력 궤적을 산출해 냈는데 일단, 역전과 학습 알고리즘을 적용해 학습을 끝낸 신경망과 트랜스듀서를 병용한 방법이 신경망만 적용한 제어기나 기존의 일반 제어기보다 좋은 특성을 나타냄을 알 수 있었고 실제로 에어컨에 접속하여 구동하였을 때 제대로 구동함을 알 수 있었다.

이러한 시뮬레이션 및 실험을 통하여 태양광발전 시스템을 실제로 실용화하는데에는 날씨에 민감하게 반응하기 때문에 상용전원과의 병합이 필수적이라고 생각된다.

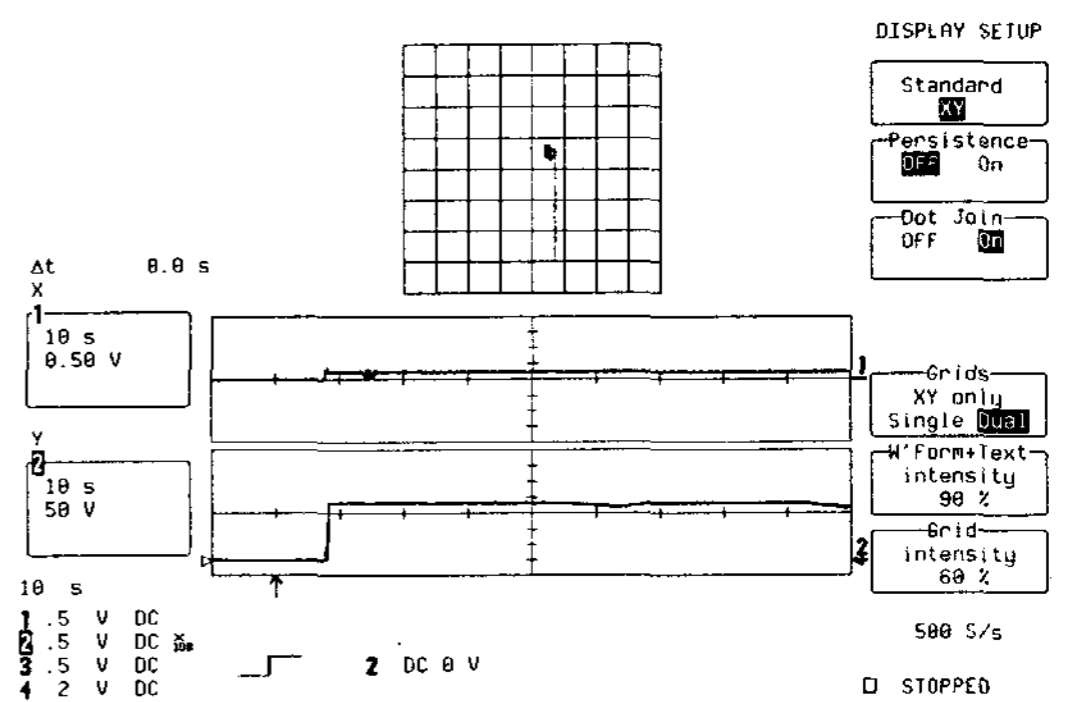
이러한 단점에도 불구하고 현재 태양광발전 시스템에 관한 연구는 세계 각 국에서 활발하게 연



(a) 일반제어기



(b) 신경망 제어기



(c) 신경망제어기+Transducer

Fig. 10. The output power, voltage and current trajectory for general controller, neural controller, neural controller with temperature compensation

구가 진행되고 있으며 또한 조만간 태양전지 모듈의 변환 효율이 조금 더 향상된다면 완벽한 실용화를 앞당길 수 있을 것이라고 사료된다.

참 고 문 헌

1. Paul Batcheller, Ziyad Salameh, "Microprocessor controlled maximum power point tracker for photovoltaic systems", The 1993 American Solar Energy Society Annual Conference, pp. 101~104, 1993.
2. 김동휘, "태양광發電 시스템의 效率改善에 관한 研究", 조선대학교 석사학위 논문, 1991.
3. Chung-Yuen Won, Duk-Heon Kim, Sei-Chan Kim, Won-Sam Kim, "A New Maximum Power Point Tracker of Photovoltaic Arrays Using Fuzzy Controller", IEEE PESC'94, Vol. I, pp396~403, 1994.
4. Hartmut Hinz, "Maximum Power Point Tracking of a Single Phase Three Level Voltage Source Inverter for Grid Connected Photovoltaic Systems", Darmstadt University of Technology Workshop, 1997. 10. 30.
5. M. Meinhardt, P.Mutschler, "Inverters without Transformer in Grid Connected Photovoltaic Applications", EPE 95, pp. 3.086~3.091.
6. T Sakurai and I. Takahashi, "Experiments of a photovoltaic power regeneration to the power source line using a solar cell simulator", IEEJ JIASC Conf. Record in Japanese, vol. I, pp.41~44, 1995.

The Study on the Operating Characteristic of MPPT for Photovoltaic System with Inverter Type Airconditioning System

G. J. Yu^{*}, I. S. Cha^{**}, J. Y. Lim^{**}, D. H. Kim^{***}

** Korea Institute of Energy Research*

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

**** Dept. of Electrical Eng. Hanyoung Technical College*

ABSTRACT

A photovoltaic system is an infinite and clean energy system. A photovoltaic system consists of a solar cell array, a converter, a inverter and a control unit.

It is necessary that the Maximum Power Point Tracker(MPPT) is applied to the photovoltaic system because the output power of solar cell array is varied with irradiation, temperature and external effects.

In this paper, the neural networks theory, one of the control methods, is applied to track the maximum power point of the photovoltaic system.

The MPPT using neural networks theory is proposed to improve existing energy converter efficiency. Also the theory is applied to operation of inverter type airconditioning system.