

전압리플 평균화를 이용한 새로운 MPPT기법에 관한 연구

최해룡*, 고재석, 최규하, 김흥근**, 신우석***
 *건국대학교 **경북대학교 ***두원공과대학

A Study On Novel MPPT Method Using Averaging of Voltage Ripple

Hae-Ryong Choi Jae-Seok Gho Gyu-Ha Choe Heung-Geun Kim Woo-Seok Shin
 Dept. of Elec. Eng. Konkuk Univ., Dept. of Elec. Eng. Kyungpook Univ.
 Dept. of Elec. Eng. DooWon Tech. college

ABSTRACT

Of two photovoltaic systems such as stand-alone type and utility interactive one, the utility interactive systems are so valuable for power peak-cut particularly in summer season. For the maximum power point tracking(MPPT) by which the generated energy can be maximized, many control methods have been reported up to now. To overcome the disadvantages of the conventional ones, a new MPPT algorithm is proposed which can improve both tracking ability and generating efficiency of photovoltaic system without chopper.

1. 서 론

태양광 발전시스템은 계통과 연계 유무에 따라 계통연계형과 독립형으로 크게 분리가 되고 계통연계형은 잉여전력을 전원계통으로 반환할 수 있으므로 배터리가 불필요하여 구조가 간단한 장점을 가지며 또한 계절별 전력수요의 변동이 많은 경우에 첨두전력 삭감방안의 하나가 된다[1]. 지금까지, 최대의 출력을 얻기위해 태양전지 표면온도 및 일사량에 따라 시시각각 변하는 태양전지의 최대출력점에 시스템의 동작점을 추종하게 하는 최대전력점 추적 (MPPT : Maximum Power Point Track) 기법이 사용되어 왔다. 이러한 기법은 주로 MPPT 알고리즘을 구현하기 위한 각종 직류초퍼의 구성 및 제어기법을 중점으로 연구되어 왔으며 최근 개발된 직류초퍼를 사용하지 않고 MPPT 기능을 구현하는 태양광 발전시스템의 경우에도 별도의 기법이 개발되지 않고 기존 제어알고리즘을 사용해 왔다.[3][4][5][6].

이로 인해 회로 토폴로지와 제어기법의 불완전한

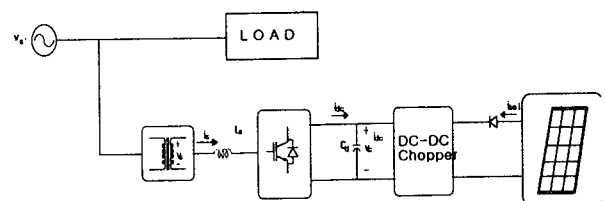
조합으로 초퍼없는 태양광발전시스템에 가장 적합한 MPPT 알고리즘을 위해 본 연구에서는 기존 MPPT 알고리즘의 문제점을 우선 분석하고 이를 해결할 수 있는 새로운 MPPT 알고리즘을 제안하고 이의 해석 및 분석을 수행하였다.[1]

2. 계통연계형 태양광 발전시스템

2.1 PV 시스템 구성^[2]

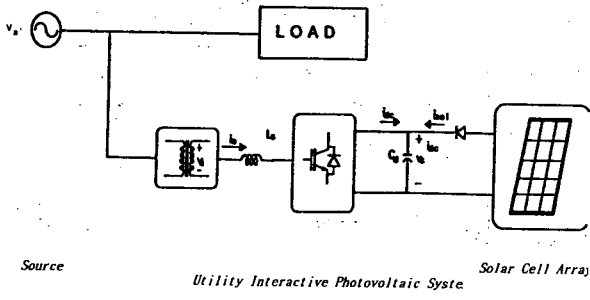
그림 1과 같이 계통연계형 태양광 발전시스템은 직류초퍼를 사용하는 방식과 사용하지 않는 방식으로 나뉜다. 여기서 직류커패시터는 태양전지의 동작점 규정을 위한 전압원 역할을 하면서 동시에 AC/DC 컨버터의 일부분이 되어 필터의 기능을 수행한다. 그리고 AC/DC 컨버터는 전원측의 역률제어와 함께 MPPT 동작을 위해 전압 지령치를 가변시키는 가변 전압제어를 하여야 한다.

본 연구의 대상인 DC-DC컨버터가 없는 태양광발전시스템은 상대적으로 초퍼 및 관련 제어부가 없어서 가격이며 소형, 저 중량이고 직류초퍼를 제어하지 않으므로 단일 제어루프를 가지고 초퍼 스위칭 손실이 낮아지는 특징을 갖는다[2]. 또한 단점으로는 필연적으로 직류단에 리플이 발생하므로 리플에 비례한 태양전지 출력의 감소가 예상된다.



Source Utility Interactive Photovoltaic Sys Solar Cell Array

(a) DC-DC 컨버터가 있는 경우

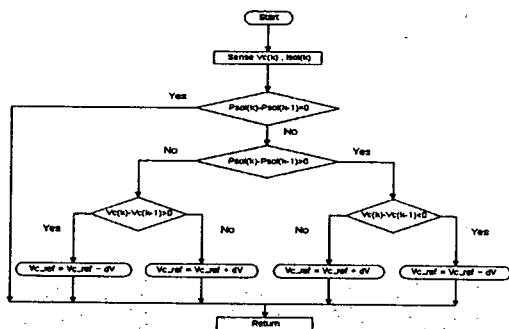


(b) DC-DC 컨버터가 없는 경우
그림 1 계통 연계형 태양광 발전시스템

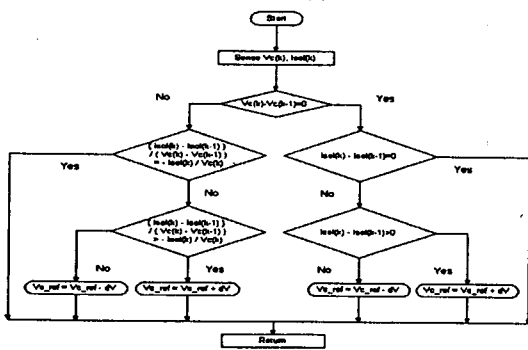
3. MPPT 알고리즘

3.1 기존의 MPPT 알고리즘

MPPT 알고리즘은 일사량과 표면온도의 변화에 따라 가변하는 태양전지의 최대출력점을 추정하여 전압지령치로 출력하는 동작을 한다. 대표적인 MPPT 방식으로는 정전압제어법, 비선형 함수 계산법, Perturbation & Observation 법(이하 P&O 법), Incremental Conductance 법(이하 IncCond 법)등을 들 수 있는데 P&O법과 IncCond법이 가장 많이 쓰이는 방법이며 P-V의 기울기에 의해 제어하는 방법이다. 실제 많은 연구에서 IncCond 법이 P&O 법보다 향상된 알고리즘임을 실험으로 입증하고 있으며 특히 빠른 일사량의 변동이 빠른 경우에 유리한 알고리즘으로 알려져 있다.



(a) P&O법



(a) IncCond법

그림 2 P&O법과 IncCond법

3.2 기존 MPPT 알고리즘의 문제점 1

기존의 MPPT 알고리즘 중 본 연구의 비교 대상으로 삼고 있는 P&O 법과 IncCond 법의 가장 큰 문제점은 일사량이 일정하다는 가정에서 만들어진 알고리즘이라는 것이다. 실제 일사량은 매순간에 가변하고 있으며 이것은 기존 MPPT 알고리즘에서 추종 실패를 가져오는 원인이 된다. 만약 일사량 변화에 비해 긴 MPPT 주기, 또는 작은 지령치 전압 변동폭을 가진다면 MPPT 주기 또는 지령치 전압 변동폭 ΔV 와 일사량 변동폭의 관계에 따라 추종 가능성 여부가 정해지며 다음과 같이 설명할 수 있다[7].

그림 3의 곡선 S1에서 동작점 A는 MPPT제어가 정상적인 경우 Pmax1을 향해 이동되어야 한다. 그러나 일사량이 변하여 S1--S2--S3로 그 특성이 달라지고 있다고 할 때 동작점A가 점B --점C로 이동됨에 따라 전압의 감소와 함께 출력이 증대되어 마치 곡선 S1의 오른쪽 부분에서 Pmax점으로 이동되는 것으로 제어알고리즘 상에서 잘못 인식될 수 있다. 이를 최대 전력점을 기준으로 좌측면과 우측면으로 나누어 설명한다면 다음과 같다.

그림 3의 좌측면의 경우에 최초 전압을 하강시켜 점 A에서 점 B로 이동시 전압감소를 출력의 증가로 판단하므로, 기존의 MPPT 알고리즘은 최대전력점 반대 방향으로 전압 지령치를 변동시키게 되며 이 순간 추종 실패라고 할 수 있다. 그림 3의 우측면은 일사량 증가시의 또 다른 예로서 최초전압 변동이 최대전력점을 향하고 있을 경우이다. 우측면의 경우 최대전력점까지 추종동작을 하게되나 최대전력점 도달이후에는 그림 3의 좌측면과 같은 추종실패를 보이게 된다. 이때 추종과 추종실패의 경계가 되는 전압변동폭 dV 가 존재하고 전압변동폭 dV 는 일사량의 변화폭의 함수여서 특정 수치로 규정 지을 수 없다. 일사량 감소시의 경우도 마찬가지이며 이러한 추종실패의 문제를 방지하는 방안으로 고정폭 P&O 법을 주 알고리즘으로 하고 현재 출력과 전압, 전류에 각각 약 0.8 정도의 여유를 두어 그 범위 안에서만 변동이 가능하도록 범위를 한정하여 연속적인 실패를 막는 연구가 있었으나 근본적인 해결방안이 될 수 없다.

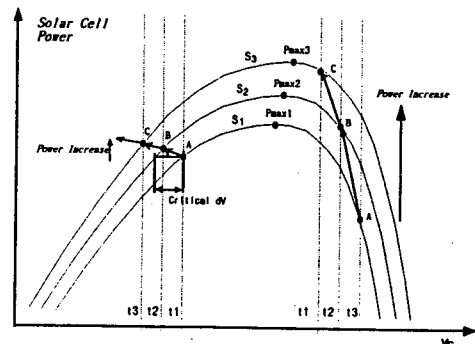


그림 3 일사량 상승시 기존의 MPPT 알고리즘 동작

3.3 기존 MPPT 알고리즘의 문제점 II

그림 4는 DC-DC컨버터가 없는 경우에 컨버터의 직류단리플에 의한 태양전지의 출력의 변화이다. 이러한 경우도 앞의 경우와 마찬가지로 자연스러운 맥동의 변화가 MPPT 제어상에서 오류를 발생시키게 되며 결국 추적실패(tracking failure)를 일으키게 된다.

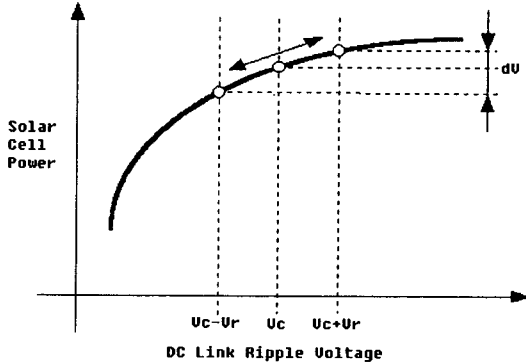


그림 4 DC-DC컨버터가 없는 경우의 태양전지출력

4. 제안 MPPT 알고리즘

제안된 MPPT 알고리즘은 초퍼 미사용 방식의 단점인 직류단 전압 리플을 평균화된 값으로 계산하여 향상된 MPPT 동작을 수행토록 한다. 매 제어 주기에서 계산된 P-V의 기울기를 일정 MPPT 주기동안 평균값으로 구하고 이 값의 부호를 확인하면 실제 태양전지 출력특성 곡선의 증감방향을 추종실패 없이 계산할 수 있다. 먼저 MPPT 제어 한 주기 동안 일사량 증감 방향은 일정하며 태양전지 표면온도의 변동은 없고 전압 리플은 유사 정현파이며 전압리플 범위에서 P-V 곡선은 동일 기울기를 가진다는 가정이 필요하다. 이러한 가정에서 한 주기 동안의 전압 리플 구간을 그림5와 같이 $V_c + V_r$ 부터 $V_c - V_r$ 라 하고 전압 리플 범위에서 P-V 곡선을 일차 함수($P = aV + b$)로 근사화한다.

$$V(t) = -V_r \cos t + V_c \quad (1)$$

$$P(V, t) = aV(t) + bt \quad (2)$$

따라서 그림 5와 같은 직류단 전압리플 1주기에 대하여 식 (1)과 (2)로 표현 가능하다. 이때 각 미분값을 식 (3), (4)와 같이 쓸 수 있고

$$\frac{dP(V, t)}{dt} = a \frac{dV(t)}{dt} + b \quad (3)$$

$$\frac{dV(t)}{dt} = V_r \sin t \quad (4)$$

$$\therefore \frac{dP(t)}{dt} = aV_r \sin t + b \quad (5)$$

결국 P-V 곡선의 기울기는 식(6)과 같이 표현가능하며 이 식에서 우변의 우항은 그림 6과 같은 1주기 대칭 파형이므로 결국 P-V 기울기의 리플 한주기 동안의 평균은 a가 된다.

$$\therefore \frac{dP(t)}{dV(t)} = a + \frac{b}{V_r \sin t} \quad (6)$$

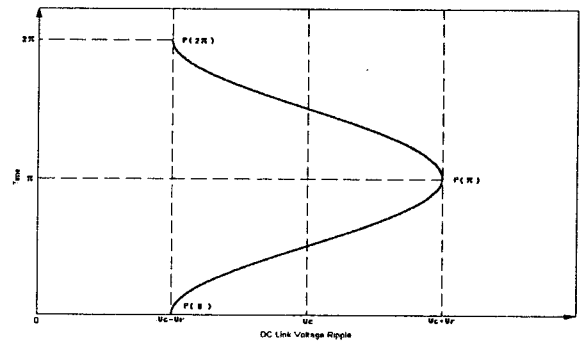


그림 5 전압리플 평균화

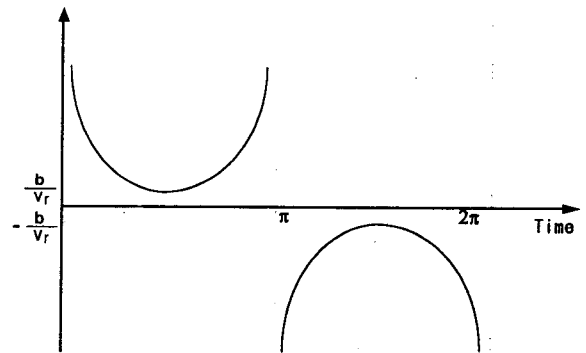


그림 6 $\frac{b}{V_r \sin t}$ 의 그래프

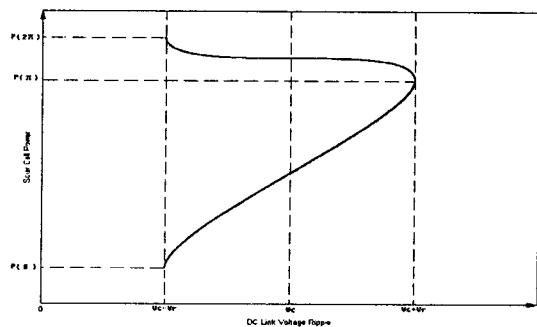


그림 7 일사량을 고려한 전압리플의 P-V그래프

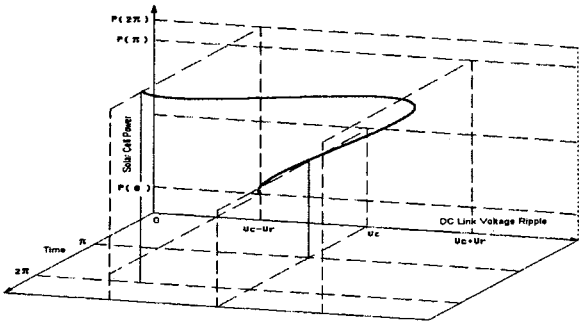


그림 8 일사량과 시간의 함수인 전압리플

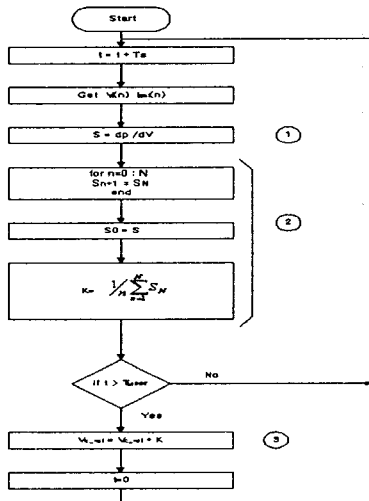


그림 9 제한된 MPPT 알고리즘의 흐름도

시간의 함수인 V_r 의 일사량변화에 대한 움직임이 그림 7,8에 나타나며 오차의 영향을 줄이기 위해 일정주기동안 여러 기울기 값을 평균내어 사용하는 것이 합당하다. 새로운 MPPT 알고리즘은 그림9와 같이 매 제어주기마다 $P-V$ 의 기울기를 계산하여 MPPT 제어 한 주기 내에서 평균내는 방법이며 본 논문에서는 0.033[sec]의 MPPT 주기로 설정하였다.

5. 시뮬레이션

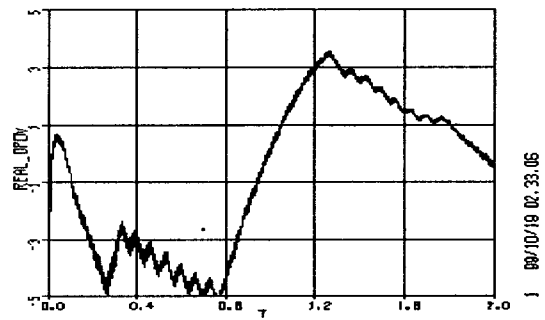
시뮬레이션 프로그램은 ACSL을 사용하였으며 제어기는 디지털로 시뮬레이션 되었고 제어주기는 10kHz로 하였다. 시뮬레이션의 비교 대상은 고정폭 P&O 법과 가변폭 P&O 법 그리고 고정폭 IncCond 법이다. 최대 출력점에 도달하면 실제 $P-V$ 곡선의 기울기 값은 영이 되며 최적의 추종 동작을 하고 있을 때 동작점은 항상 최대전력점에 위치할 것이므로 시뮬레이션

결과의 정량적인 판단기준은 $P-V$ 곡선 기울기의 영점을 기준으로 한 분산을 구하여 판단한다. 또한 태양 전지 표면온도는 변동량이 미소하다고 가정하고 298 °K (25 °C)로 하였으며 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다.

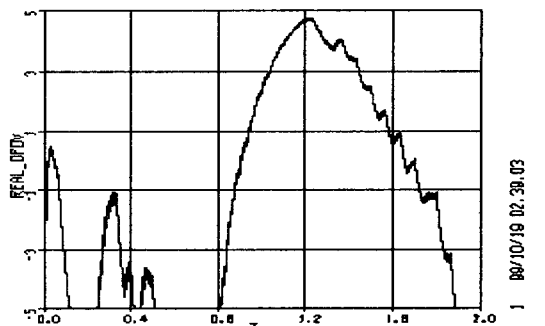
그림 10은 시뮬레이션에 의해 실제 $P-V$ 곡선에서의 기울기를 구한 것이다. 정현파 형태로 일사량을 변동시키며 주기와 변동폭의 관계에 따라 추종과 추종실패가 반복되는 출력특성을 알 수 있으며 본 논문에서 제안한 MPPT 알고리즘은 가장 작은 분산치를 보였고 작은 분산치를 가지는 시스템은 동일 일사량에서 좀더 큰 출력을 낼 것으로 예상된다.

표 1 시뮬레이션 조건

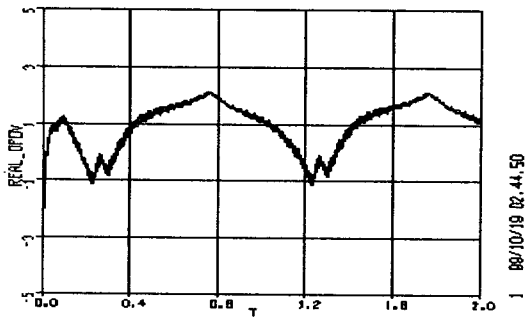
전원전압 (1차측)	220 [V]
전원전압 (2차측)	140 [V]
직류단 커패시터	7050 [μ F]
입력단 인덕터	2 [mH]
입력단 등가 저항	0.6 [Ω]
전압제어기 P Gain	1
전압제어기 I Gain	20
고정폭 전압 변동시 전압 변동폭	3 [V]



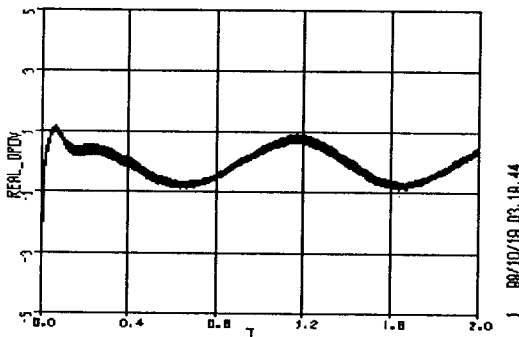
(a) 고정폭 P&O 법



(b) 가변폭 P&O 법

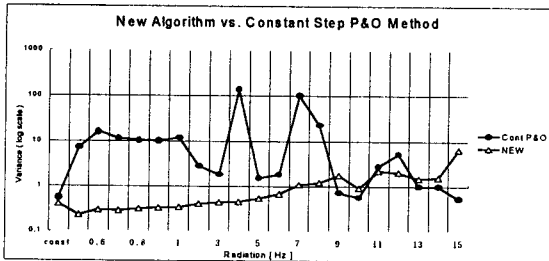


(c) 고정폭 IncCond 법

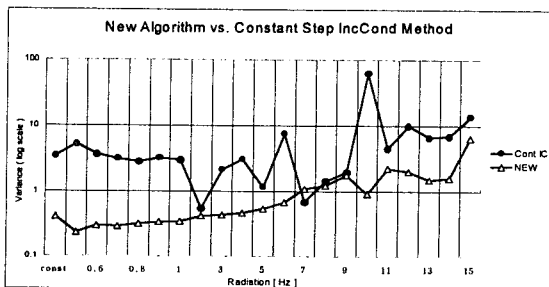


(d) 제안한 MPPT 알고리즘

그림 10 크기 10%, 주기 1 Sec 의 정현파로 변화시킬 때 (일사량 50%를 기준)



(a) P&O법과의 비교



(b) IncCond법과의 비교

그림 11 알고리즘별 MPPT 정확성 비교(일사량변동시)

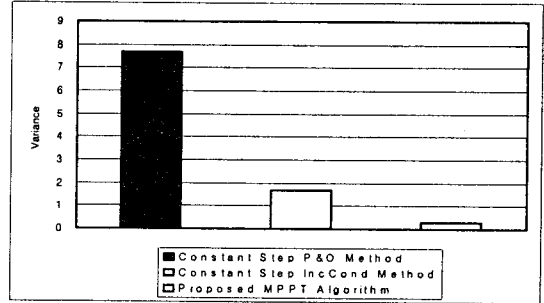


그림 12 알고리즘별 MPPT 정확성 비교

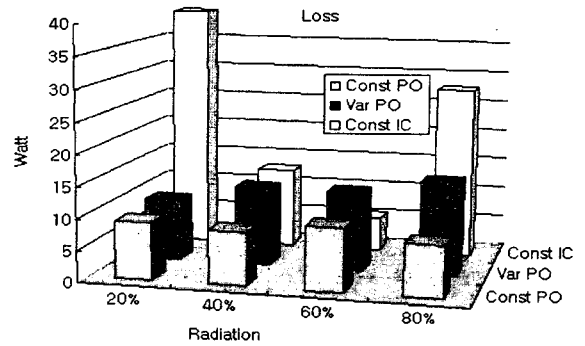
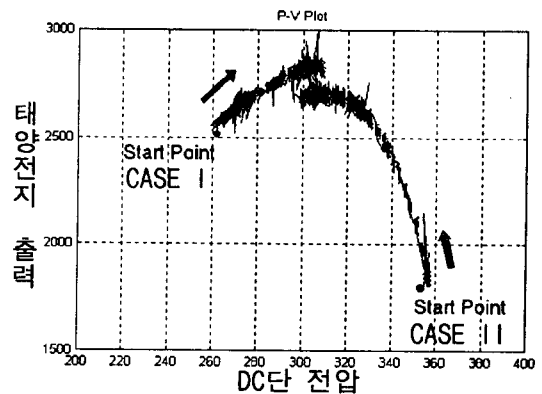


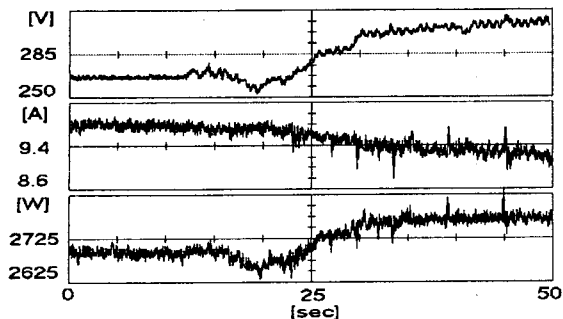
그림 13 시뮬레이션을 통한 발전손실 비교

6. 실험 및 고찰

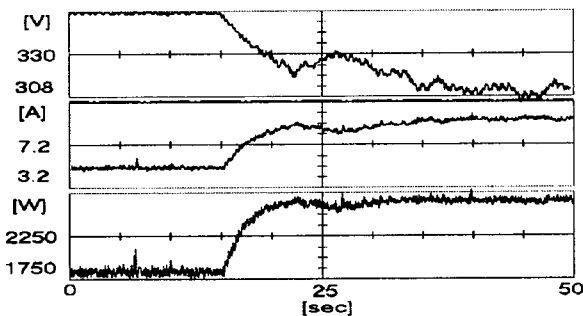
그림 14는 MPPT 동작을 살펴 본 결과이다. 그림 14(a)는 최대전력점 전압보다 높은 전압일 때와 낮은 전압일 때에 최대전력점을 찾아가는 동작을 P-V축 상에 도시한 것으로 정상적인 추종동작을 확인할 수 있다. 최대출력점이 추종방향에 따라 서로 일치하지 않음을 볼 수 있는데 이는 추종기간동안의 일사량변동을 의미한다. 그림15는 제안된 시스템이 계통연계 태양광발전을 수행하고 있음을 보이고 있다.



(a)MPPT 동작



(b) Case I



(c) Case II

그림 14 최대전력점 추종동작

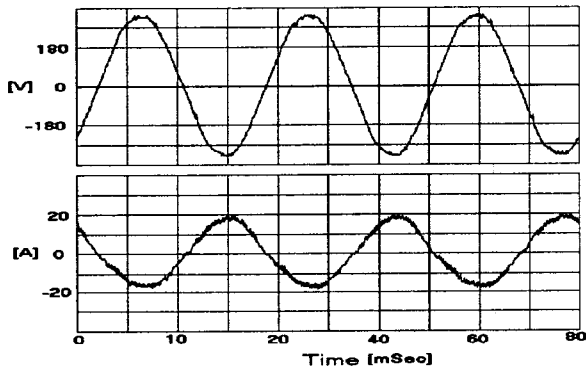


그림 15 계통연계 태양광발전

7. 결 론

본 연구에서는 계통연계형 태양광 발전시스템에 있어서 기존 MPPT 알고리즘의 일사량 변화시 최대전력점 추종실패 문제를 해결할 수 있도록 직류초퍼가 없는 계통연계형 태양광 시스템의 단점중 하나인 직류단 커패시터 전압리플을 역이용하여 새로운 MPPT 알고리즘을 제안하였다.

실험을 위하여 단상 계통연계형 태양광 발전시스템을 제작하고 DSP로 제어하였으며 실험결과 정상적인 MPPT 동작을 수행함을 확인하였다. 즉 새로운 MPPT 알고리즘은 직류초퍼를 사용하지 않은 토폴로지에서 기존의 알고리즘보다 우수한 최대전력점 추종성능을 보였으며 이에 동일 기상 조건에서 태양전지의 출력이 상승하였다. 향후 동급시스템의 병렬운전에 의한 실증 비교

가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 김홍성 "3상 계통연계 태양광 발전 시스템의 제어기 설계", 건국대학교 대학원 박사학위 청구논문, 1998.
- [2] H. Dong, H. Sugimoto, "A New Utility Interactive Photovoltaic Power Conditioning System And Its Maximum Power Tracking Control", IPEDMC97, pp. 238~243, 1997.
- [3] C. Hua, C. Shen, "Control of DC Converter for Solar Energy System with Maximum Power Tracking", Proceedings of the 23rd International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation Vol 2, 1997.
- [4] C. Hua, C. Shen, J. Lin, "Implementation of a DSP-Controlled Photovoltaic System with Peak Power Tracking", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol 45, No 1, pp. 99~107, 1998.
- [5] K.H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, M. Osakada, "Maximum Photovoltaic Power Tracking : An Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions", IEE Proceedings Generation Transmission & Distribution, Vol 142, No 1, 1995.
- [6] U. Herrmann, H. G. Langer, "Low Cost DC to AC Converter for Photovoltaic Power Conversion in Residential Applications", PESC 93, pp. 588~594, 1993.