

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
 Journal of the Korean Solar Energy Society
 Vol. 22, No. 3, 2002

새로운 고효율 MPPT 제어 알고리즘 고찰

A Study of New Highly Efficient MPPT Control Algorithm

유권종*, 정영석*, 최주엽**

Gwon-Jong Yu*, Young-Seok Jung*, Ju-Yeop Choi**

Key words : 태양광발전(photovoltaic system), 최대전력추종(MPPT, inverter), 고주파링크(high frequency), 저일사량(low insolation)

Abstract

This paper proposed a MPPT(Maximum Power Point Tracking) control algorithm for PV (Photovoltaic) array based on a modified constant voltage control MPPT algorithm at low insolation. This method which combined a reference voltage control and a constant voltage control algorithm. In contrast to the typical conventional MPPT algorithm, the proposed method have been obtained high efficiency and good performance in all insolation intensity. The proposed algorithm is verified through simulation and experiment.

1. 서론

최근 화석에너지의 고갈에 따른 미래에너지의 대안으로서 태양광발전 및 풍력발전 등과 같은 대체에너지 연구개발이 미국, 유럽, 일본 등의 선진국을 중심으로 범 정부차원에서 이루어지고 있다. 특히 대체에너지기술 중에서도 무한정하며 또한 청정한 자연에너지원으로서 각광을 받고 있는 태양광발전은 에너지원의 다양화·분산

화가 추진되는 상황이다. 최근에는 지역에 따른 편중성이 없고 설치 규모의 선정에 자유로운 소규모 주택용 태양광발전시스템의 개발이 활발하게 추진되고 있다. 태양에너지는 에너지 밀도가 저밀도이며, 출력특성이 일사량, 온도 등의 자연 조건에 좌우되기 때문에 에너지 손실의 최소화와 태양전지 어레이로부터 최대 전력을 얻을 수 있는 최대출력제어에 관한 연구가 반드시 필요하며, 또한 많은 연구 사례가 보고되고 있다.

* 한국에너지기술연구원 태양광발전팀
 ** 광운대학교 전기공학과

* Photovoltaic Research Team, Korea Institute of Energy Research
 ** Electrical Engineering Dept. of Kwangwoon University

태양광발전시스템의 최대출력제어는 일반적으로 MPPT (Maximum Power Point Tracking)라고 하며, 그 제어 방법에 대해서는 다양한 방법의 연구결과가 보고되고 있으나, 그 효율성 및 효율 평가방법에 대한 연구는 보고되지 않고 있다.

본 논문에서는 일반적으로 사용되는 세가지의 MPPT 제어알고리즘에 대하여 서술하고, 그 효율성을 비교 분석하며, 기존의 제어방법을 개선한 Two-mode 제어법을 제안한다.

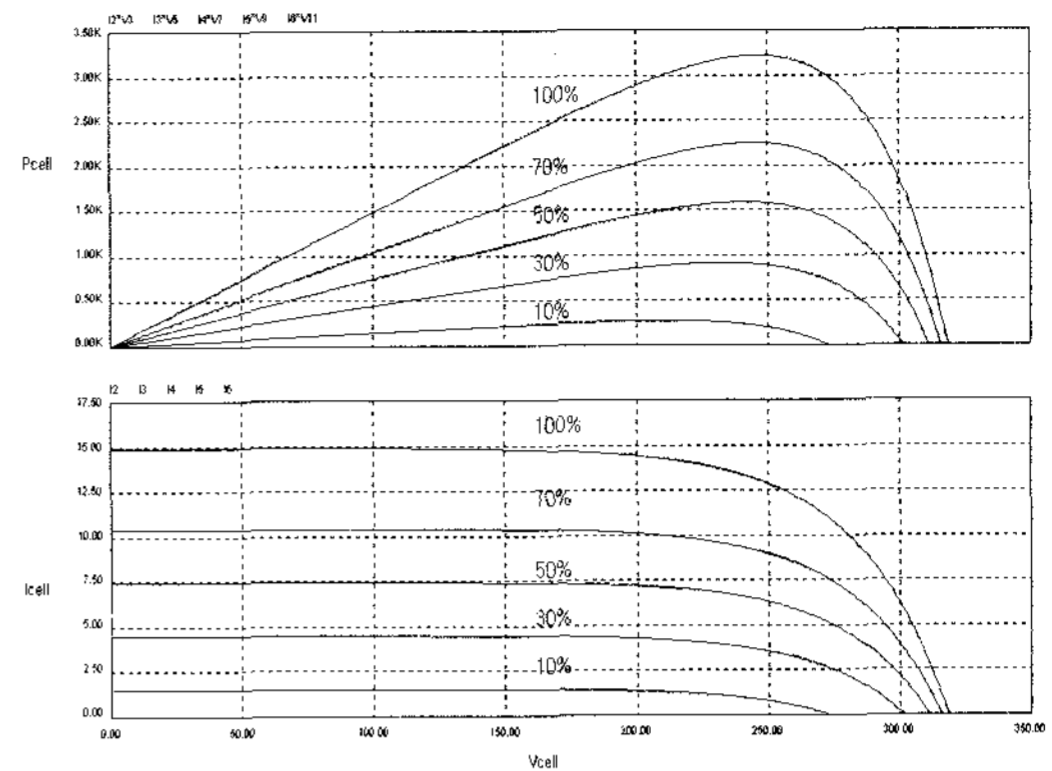
또한, MPPT의 효율을 평가하기 위한 효율측정방법을 제안하였으며, 상기에서 기술한 알고리즘 측면의 3가지 MPPT 제어방법에 적용하여 제안한 효율측정방법의 타당성을 입증하고자 한다.

2. 태양전지의 동작특성과 MPPT 제어

태양전지 어레이의 최대전압은 일사량과 온도에 의해서 시시각각으로 변한다. 또한 부하상태에 의해서도 변하기 때문에 태양전지 특성이 변화하지 않아도 동작점이 변하게 되어 최대출력을 얻을 수 없다. 따라서, 태양전지를 효율적으로 동작시키기 위해서는 태양전지 어레이의 출력을 항상 최대전력점에서 동작시키는 제어가 필요하다.

MPPT는 태양전지 어레이에 연결된 부하를 제어하여 임피던스 매칭을 최적화함으로써 최대출력점 동작이 가능하게 되며, 그 제어방법은 크게 하드웨어적인 분류방식으로 아날로그방식과 디지털방식으로 분류할 수 있으며, 알고리즘 측면에서는 일정전압제어알고리즘, P&O알고리즘, IncCond 알고리즘 등으로 분류할 수 있다. 구체적인 수행방법에 대하여는 현재까지 많은 연구성과가 보고되고 있다.^{[1][2][3][4][5]}

한편, MPPT제어는 아날로그회로와 센서를 이용하여 구현이 가능하지만 제어의 유연성과



1) Voltage-Power curve 2) Voltage-Current curve

그림 1. PV array characteristics curve with insolation

다른 종류의 태양전지 어레이의 적용을 쉽게 하기 위해 DSP나 마이크로컨트롤러를 사용하는 것이 유리하다. MPPT 기술의 핵심은 측정된 어레이 파라미터(I, V, P)를 이용하여 MPP를 추적하는 소프트웨어 알고리즘이며, 태양전지 어레이의 동작점 변화와 어레이 출력전력의 변화에 일치시키기 위하여 연속적으로 동작시킨다.

그림 1은 PSIM으로 구현한 태양전지 어레이의 시뮬레이션 결과 파형이다.^[7]

3. MPPT제어 알고리즘 고찰.

MPPT를 수행하는 각각의 알고리즘을 고찰하기 위해 사용한 PSIM 회로도들 그림 2에 나타내었다. 이 회로도에서는 기본적으로 태양전지 어레이에 평활용 커패시터와 부스트 컨버터, 부하로 구성하였으며 MPPT 알고리즘은 DLL (Dynamic Link Library)로 구성하여 수행되도록 하였다.

DLL은 모두 3부분으로 이루어져있는데 ms_user0(DLL)은 태양전지 어레이 부분이며 각종 파라미터를 바로 입력할 수 있도록 하였다. ms_user4(DLL)에서는 일사량을 변동시키기 위해 사용된다. ms_user9(DLL)는 MPPT를 수행하

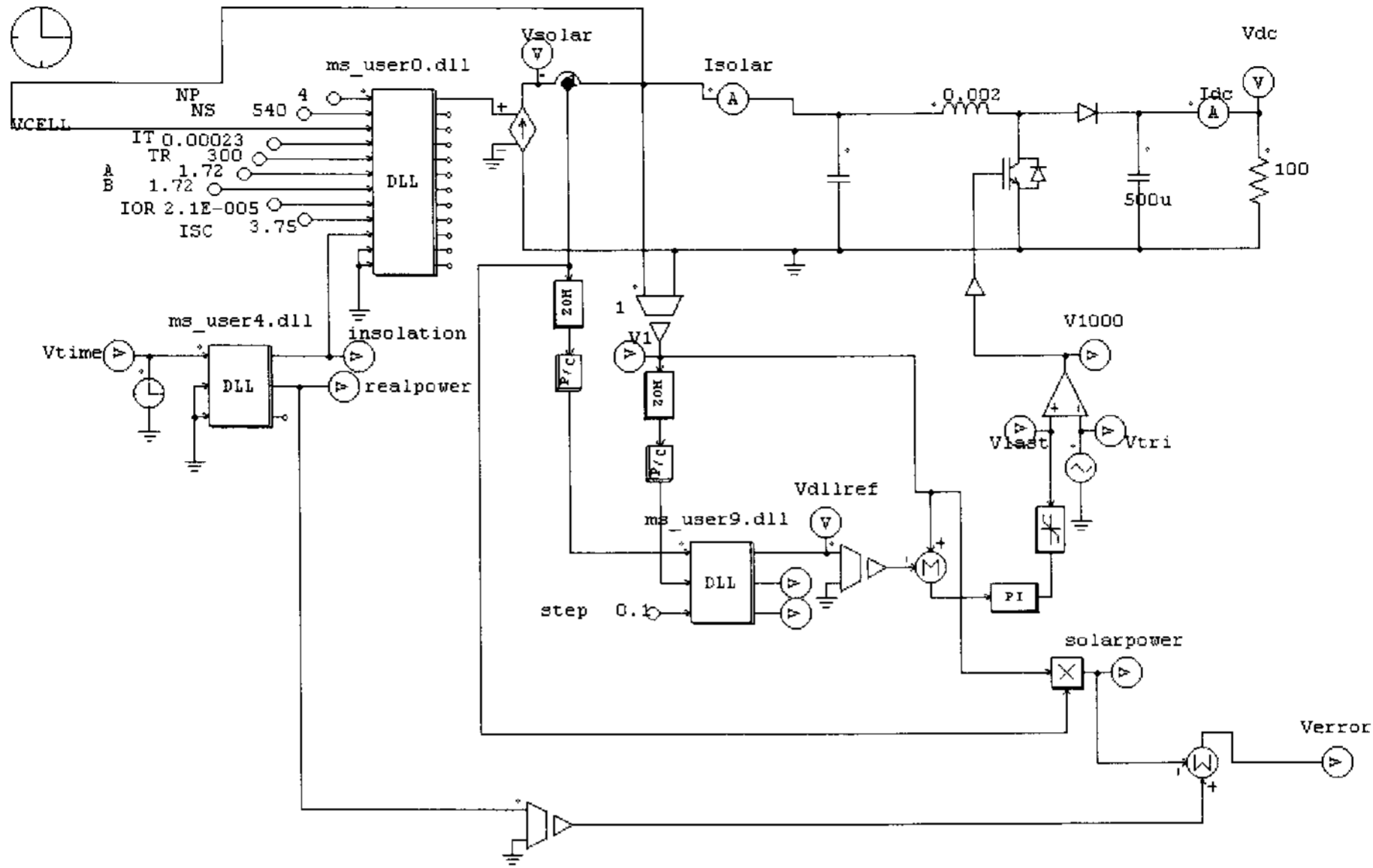


그림 2. Simulation circuit for MPPT performance

는 부분으로서 일정전압제어, P&O, IncCond, Two-mode 제어방법 등의 알고리즘이 들어간다.

$$D = 1 - \frac{V_{cell}}{V_{link}}$$

에 의해 조절되어진다.

3:1 일정전압 제어방식 MPPT 제어 알고리즘

태양전지 어레이의 출력전압은 일사량의 변화에 대해서 약간의 변동폭을 가지는 정전압 특성을 나타내고 있으므로, 어떤 일정한 전압을 설정하여 정전압으로 제어하는 방법을 일정전압제어방법이라고 하며, 따라서 이 기법은 출력에 대해 전력량이 필요하지 않다. 부스트 컨버터의 듀티는 제어 회로에 의해 결정되며 이것의 출력측 dc 전압은 정상상태 조건의 Vref값에 의해 일정하게 유지된다. 이 정전압제어법은 전류센서를 줄일 수 있으며 일사량 급변시 정확한 MPP점을 찾아 동작하지 못해 출력효율이 감소하는 단점이 있다.

일정전압의 다른 방법으로 어레이측 센서를 줄이기 위해서는 다음과 같은 방법이 적용되기도 한다. 그림 3와 같은 회로도들을 적용시키면 어레이 및 DC측의 센서를 줄일 수 있으며 듀티비는

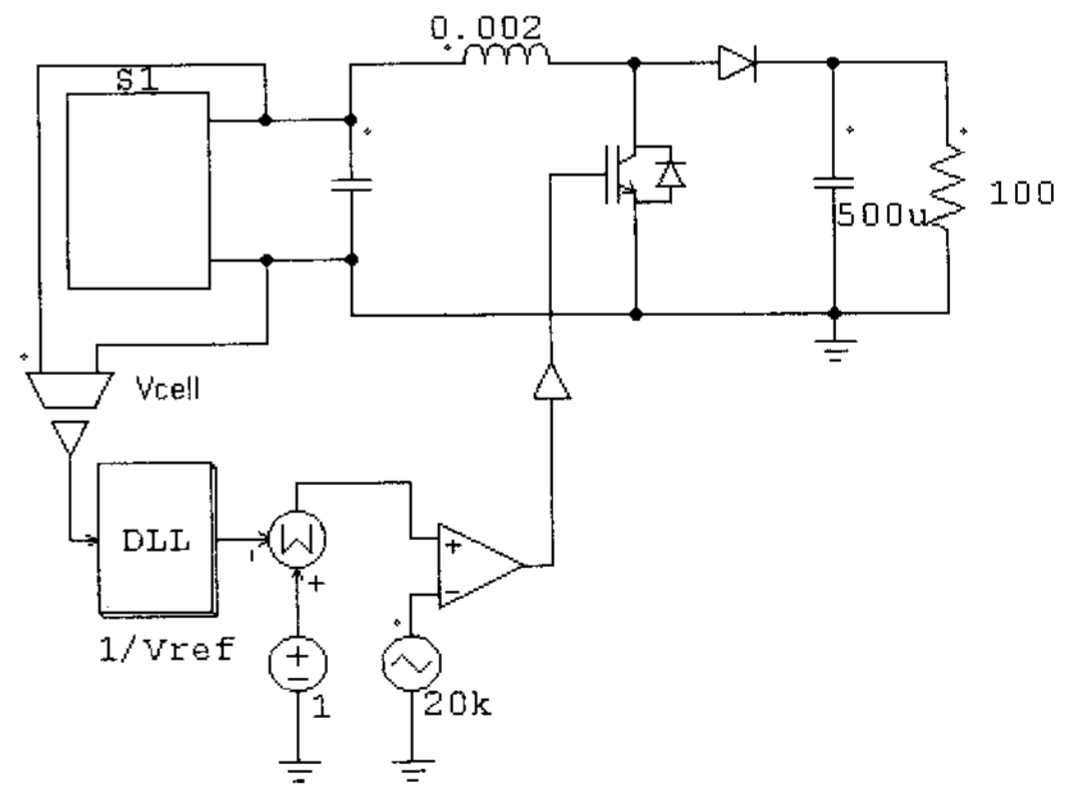


그림 3. Simulation of constant voltage control MPPT

3.2 P&O MPPT 알고리즘

P&O MPPT 제어방법은 간단한 피드백 구조를 갖으며 소수의 측정 파라미터를 갖기 때문에 널리 사용된다. 이는 태양전지전압을 주기적

으로 증가, 감소시킴으로써 동작하며, 이전의 교란주기동안의 태양전지 어레이 출력전력과 함께 현재 어레이 출력전력 비교에 의해 최대전력의 상태를 연속적으로 추적하며 찾는다. 이 방법은 그림 4와 같은 순서도에 의해 동작한다.

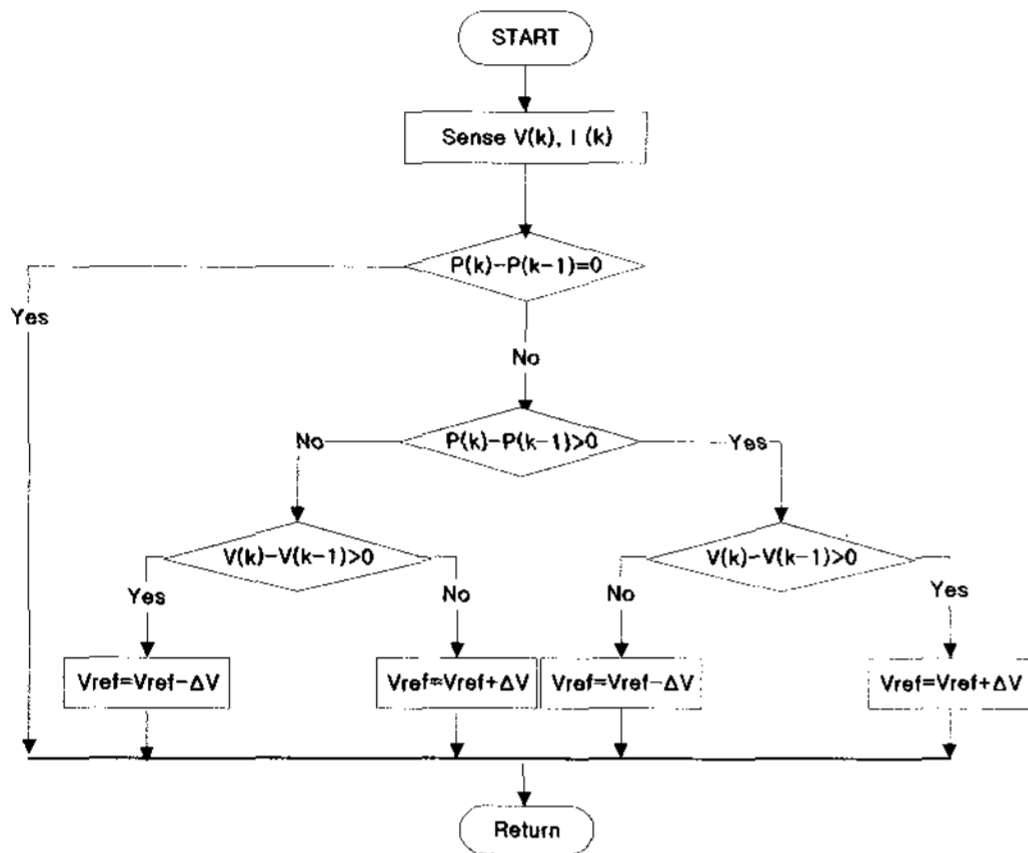


그림 4. P&O MPPT algorithm flowchart

즉 그림 4의 알고리즘은 다음과 같이 설명할 수 있다. 만약 전력이 증가하면 교란은 다음 주기동안 계속해서 같은 방향으로 증가할 것이며 그렇지 않으면 교란의 방향은 반대가 될 것이다. 이것은 어레이 단자전압이 모든 MPPT 주기동안 교란된다는 것을 의미한다. 그러므로 MPP (Maximum Power Point)에 이르렀을 때 P&O 알고리즘은 일정 혹은 천천히 변하는 환경조건에서 자려진동할 것이며 그 결과 태양전지 어레이의 손실이 발생하게 된다. 이 문제는 MPP에 도달했을 때를 검출하기 위해 바로 앞의 주기동안의 두 개의 파라미터 비교와 교란부를 바이패스하기 위한 P&O알고리즘의 개선에 의해 해결할 수 있다. 전력손실을 줄이기 위한 다른 방법으로는 교란 step의 감소가 있다. 그러나 이 방법은 환경조건이 급하게 변할 경우 MPP 추적속도가 늦어지게 되므로 step의 결정이 중요하게 된다.^[3] 여기서 저자는 step값을 0.1(V)로

설정하여 각각의 MPPT 알고리즘을 시뮬레이션 하였다.

3.3 IncCond MPPT 알고리즘

IncCond (Incremental Conductance)방법은 부하 임피던스와 태양전지 임피던스와의 비교에 의해서 태양전지 출력을 제어하는 방법이며, P&O알고리즘의 결점을 피하기 위한 IncCond 알고리즘은 어레이 단자전압이 이 값의 상대적인 MPP 전압에 따라 항상 조절되어진다. 이 방법은 그림 5과 같은 순서도에 의해 동작한다.

그림 5에서 최대출력점은 $\frac{dP}{dV} = 0$ 이 되는 경우이므로 다음과 같이 전개할 수 있다.

$$IdV + VdI = 0 \tag{1}$$

$$\frac{V}{I} = - \frac{dV}{dI} \tag{2}$$

위 식은 부하 임피던스가 최대동작점에 있어서 태양전지 어레이의 V-I곡선의 기울기에 동등하다는 것을 나타내고 있다. PWM 초퍼에 의하여 제어하는 경우 동작점을 중심으로 강제로 듀티 싸이클의 변동을 주어서 그 때의 $\frac{V}{I}$ 및

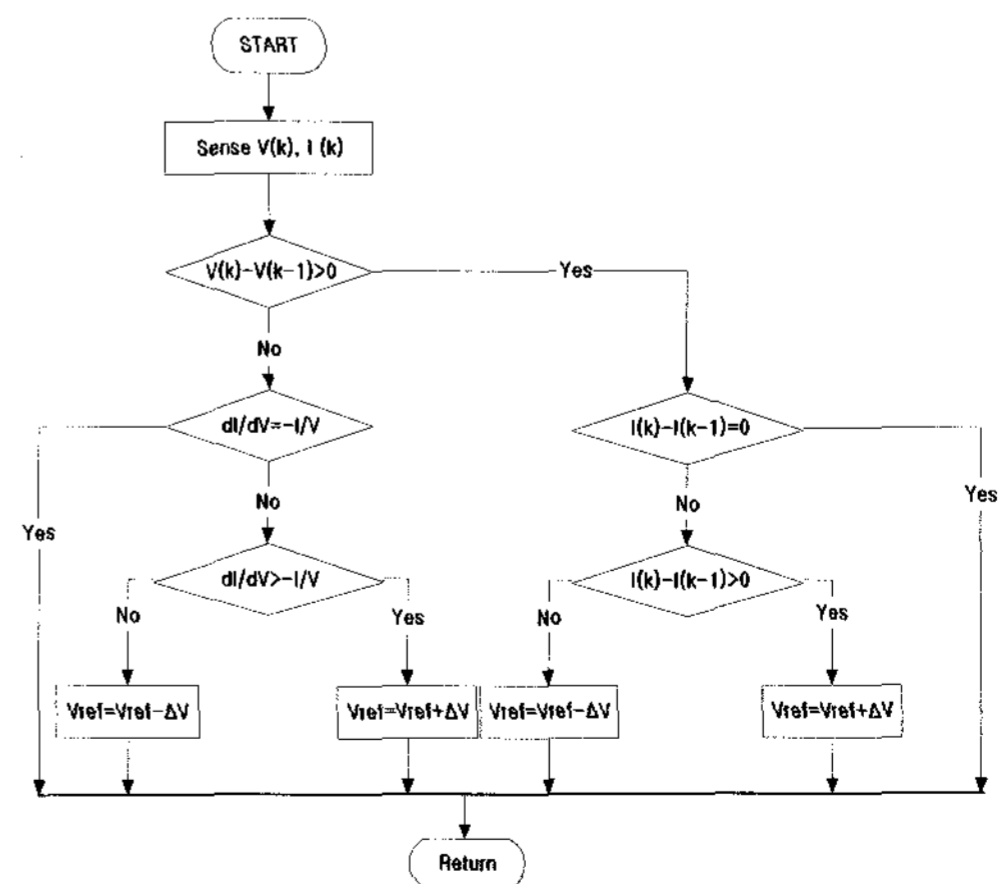


그림 5. IncCond MPPT algorithm flowchart

$\frac{\Delta V}{\Delta I}$ 를 계산하여 양자가 동일하게 되도록 동작점을 선택하면 MPP에 도달하게 된다. IncCond 방법은 빠른 환경변화에 대한 MPPT 성능이 매우 좋은 장점이 있으나, 많은 계산량으로 인해 빠른 CPU가 필요하므로 결국 시스템 단가를 상승시키는 결과를 초래하는 단점이 있다.^[3]

3.4 Two-mode MPPT 알고리즘

Two-mode 제어 방법은 태양전지 어레이의 출력전력의 효율을 극대화하기 위하여 제안한 방법이다. 실험상에서 P&O나 IncCond방법이 낮은 일사량에서 일정전압제어보다 효율이 높지 않으므로, 특정의 낮은 일사량에서 일정전압제어 방법으로 제어 루틴을 변경하는 방법이다. 이 방법에 대한 순서도는 그림 6과 같다. 이 알고리즘은 일사량센서를 이용하거나 전력량을 가지고 일사량 값으로 바꾸어 프로그램 상에서 제어 루틴을 변경할 수도 있으며, 실제 시스템의 실험 결과는 5장에서 논의하기로 한다.

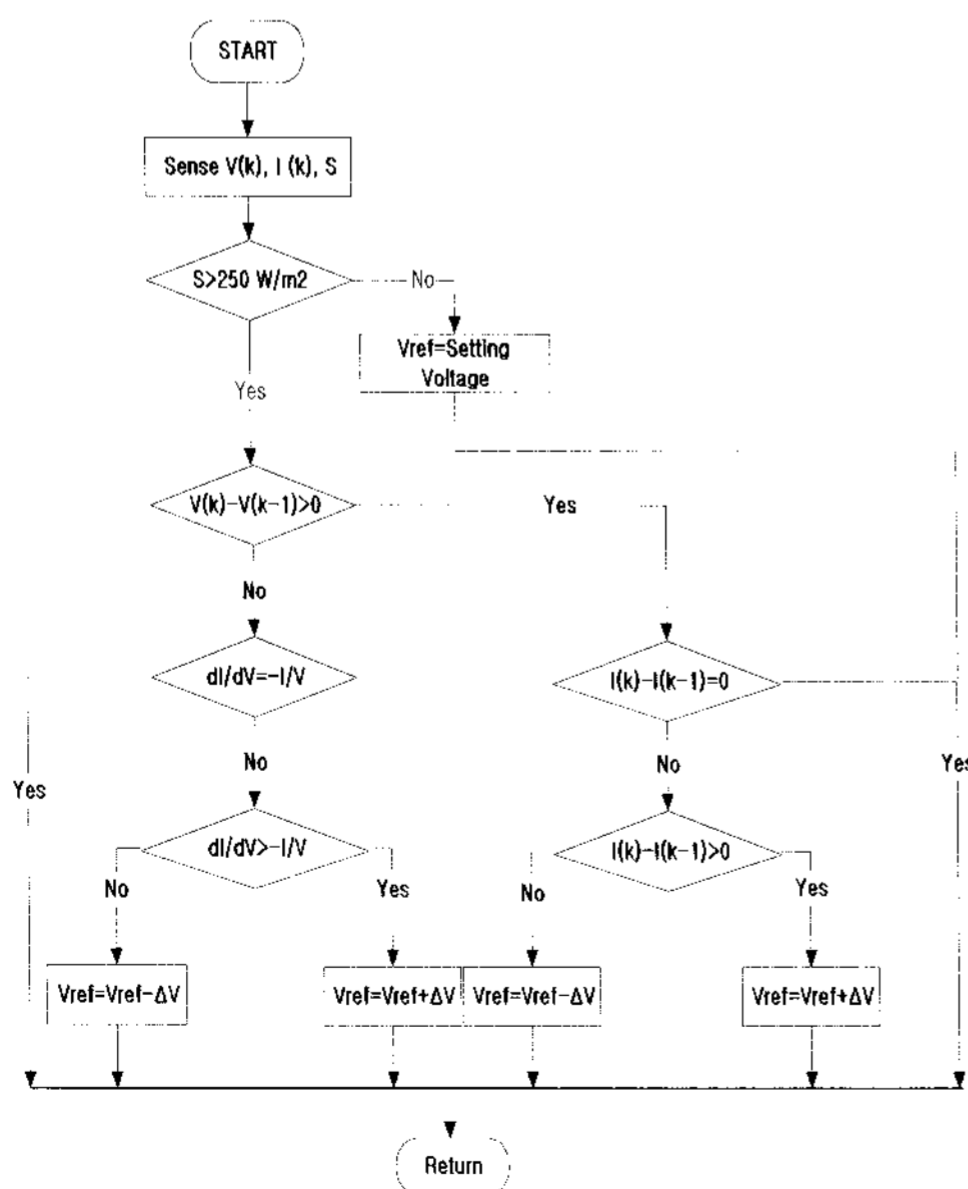


그림 6. Two-mode MPPT algorithm flowchart

4. MPPT 효율시험 평가법

지금까지 많은 MPPT 제어기법에 대하여 연구 결과가 보고되고 있지만, 과연 제안하고 있는 제어 알고리즘들이 실제로 의도하는 바와 같이 운전되고 있으며, 그 효율성을 입증할 만한 자료를 제시하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 절에서는 MPPT 운전 효율 시험평가법에 대해서 소개한다

4.1 MPPT 효율

MPPT효율은 태양전지 어레이의 I-V특성으로 결정되는 최대출력에 대하여 실제로 전력변환장치에 MPPT제어기능을 적용하였을 때의 받아들인 전력의 비율을 말하며, 다음의 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$\eta_{MPT} = \frac{P_{INV}}{P_{MAX}} \quad (3)$$

η_{MPT} : MPPT효율

P_{MAX} : 태양전지 I-V특성으로 결정되는 최대 전력

P_{INV} : 인버터가 실제로 받아들인 전력

η_{MPT} 는 일반적으로 0.90~0.99정도의 범위를 만족하여야 MPPT 제어기능의 성능이 양호하게 동작되고 있다고 판단할 수 있다.

4.2 시험방법

MPPT의 효율측정을 위한 시험시스템회로 구성을 그림 7에 나타내었다. 그림 7로부터 SW_{LO} 는 시험 중에는 OFF로 하고 SW_{CB} 와 SW_{LN} 은 ON으로 놓고 측정한다. 즉, 부하와 선로 인피던스는 사용하지 않고 측정한다

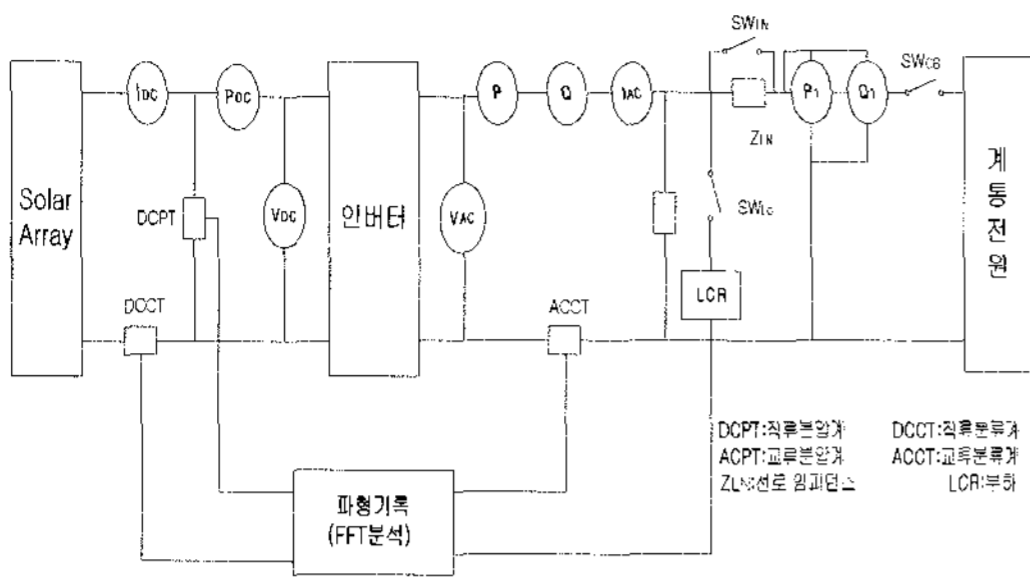


그림 7. Topology of MPPT efficiency measuring system

시험조건으로서 1) 교류전원의 전압 및 주파수는 정격으로 설정하며, 2) 직류전원은 배전선과 연계운전한 상태에서 인버터 출력전력(유효전력)이 정격출력으로 되도록 직류전원을 설정한다. 즉, 직류전원을 등가 일사강도 100%의 상태로 초기 설정한 후에 일사강도 75%, 50%, 25%, 12.5, 5% 및 0%로 설정치를 바꾸어 측정할 수 있도록 직류전원을 설정한다.

시험방법은 1) 인버터를 정격출력으로 운전하며, 2) 등가일사강도를 100%, 75%, 50%, 25%, 12.5%, 5% 및 0%로 설정한 상태에서 a) 인버터의 직류입력전력 P_{DC} 를 1분 이상의 시간평균전력을 측정하여, b) 식 (3)에 의하여 MPPT 효율을 계산한다. 또한, P_{MAX} 는 사용하고자 하는 태양전지의 I-V특성으로부터 산출하여 직류전원에 설정한다.

평가를 위한 주요측정 및 기록항목은 1) 인버터의 직류입력전력을 측정하고 2) 인버터의 직류입력전압, 직류입력전류를 기록하여 평가기준에 적용하며, 평가기준은 0.95~0.99정도를 만족하여야 한다.

이 때 주의할 점은 계측기로 실효치를 계측할 때 직류리플전류의 영향 및 P_{MAX} 점 탐색 동작의 영향, 등가일사강도 변화의 시간폭 등에 의하여 MPPT 효율측정치에 오차요인으로 작용하기 때문에 충분한 주의가 필요하며 계측기의 정

확도는 최소한 0.5% 정도의 계측정도의 계측기를 사용하여야 한다.

5. 결과 고찰

5.1 MPPT를 적용한 계통연계형 인버터.

MPPT의 효율 시험평가를 위해서는 인버터를 연결한 상태에서 측정 및 평가가 이루어져야 하므로 계통연계형 인버터에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.^[6] 개략적인 시스템도는 그림 8과 같으며, 태양전지 어레이, 단상 풀브리지 고주파 인버터, 고주파 변압기, 단상 풀브리지 다이오드 정류기, DC리액터, 단상 풀브리지 저주파 인버터, 교류 LC필터, 제어회로 등으로 구성된다. 본 논문에서는 ACSL을 이용하여 앞에서 제시했던 MPPT 알고리즘을 가지고 시뮬레이션하여 각각의 효율성을 검증해 보았다.

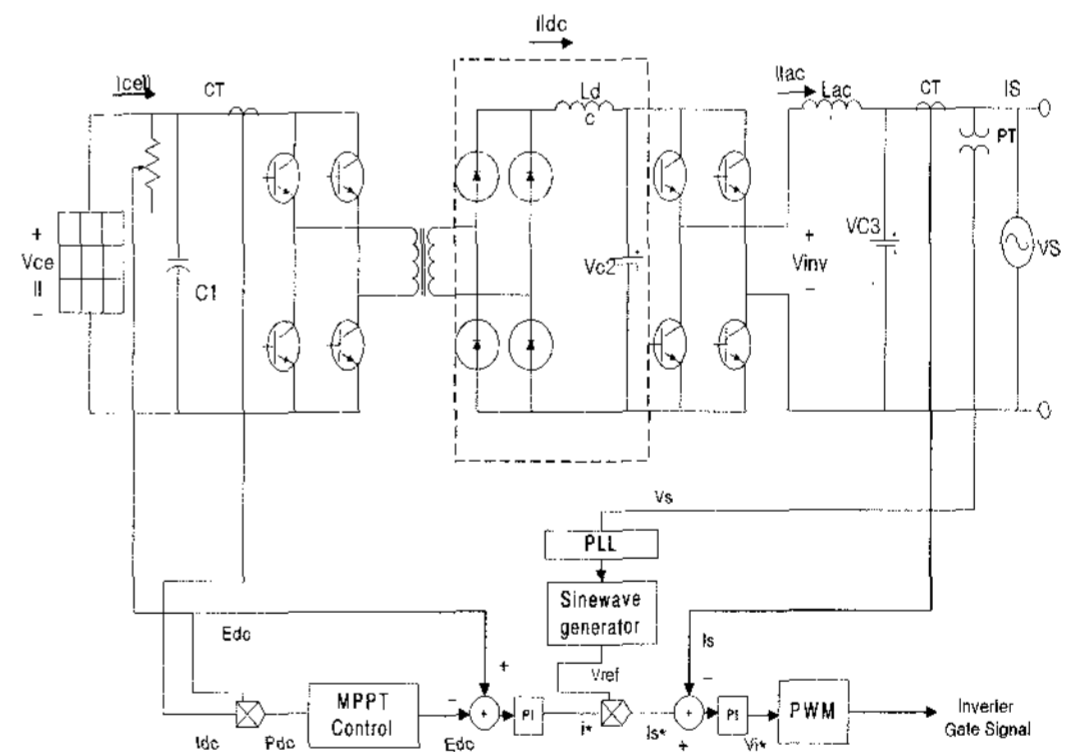


그림 8. Utility interactive inverter with high-frequency link

5.2 시뮬레이션 결과

본 절에서는 3장에서 언급한 MPPT 제어기법을 고주파링크 계통연계형 인버터에 적용하여 4장에서 제안한 MPPT 효율측정 시험평가기법으로 각각의 MPPT 제어 알고리즘의 효율특성에 대하여 시뮬레이션을 통하여 비교 분석하였

다. 앞에서의 각 알고리즘에 근거하여 구현한 결과파형을 아래에 나타내었으며 어레이의 온도는 일정하다고 보고 일사량과 부하를 가변 시켰을 경우를 나타내었다.

그림 9, 10, 11은 그림 3의 회로도를 구현한 결과이며 실제 일사량과 부하에 따라 어레이 (3.2kW)에서 나올 수 있는 최대 전력과 MPPT를 수행한 후 나온 전력을 비교하여 그 차와 일사량 변동폭을 각각 나타낸다. 그림 10, 11에서 일사량 변동은 그림 9와 같으므로 생략하였다. 시뮬레이션 결과 파형들을 살펴보면 정전압제어시 0~30W, P&O MPPT시 0~2W, IncCond MPPT시 0~1.5W 이내의 실제 전력과 추종오차가 있는 것을 알 수 있으며 0.3초와 0.4초에서 일사량 급변시 IncCond방법이 다른 방법에 비해 MPP를 더 잘 추종하고 있으며 어레이 단자측 전압, 전류의 안정도가 더 높음을 알 수 있다. 그림 12~15는 고주파링크 계통연계형 인버터를 시뮬레이션한 결과를 나타낸 것이다. 좀더 정확한 결과를 얻기 위하여 ACSL을 사용하였으며, 그림 8의 토폴로지를 시뮬레이션한 결과이다.

그림 12는 앞에서 설명한대로 어레이의 DC 전압을 단상 정현파로 만든 다음 단상 정현반파

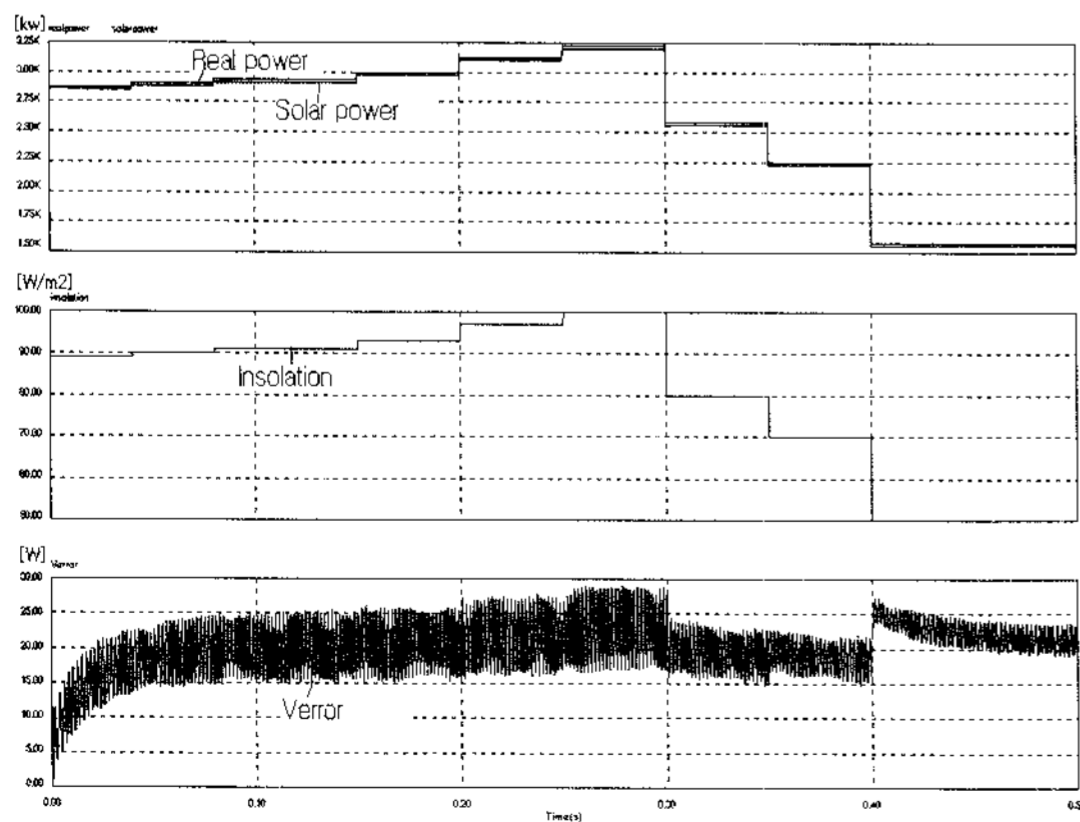


그림 9. Simulation results of constant voltage control MPPT

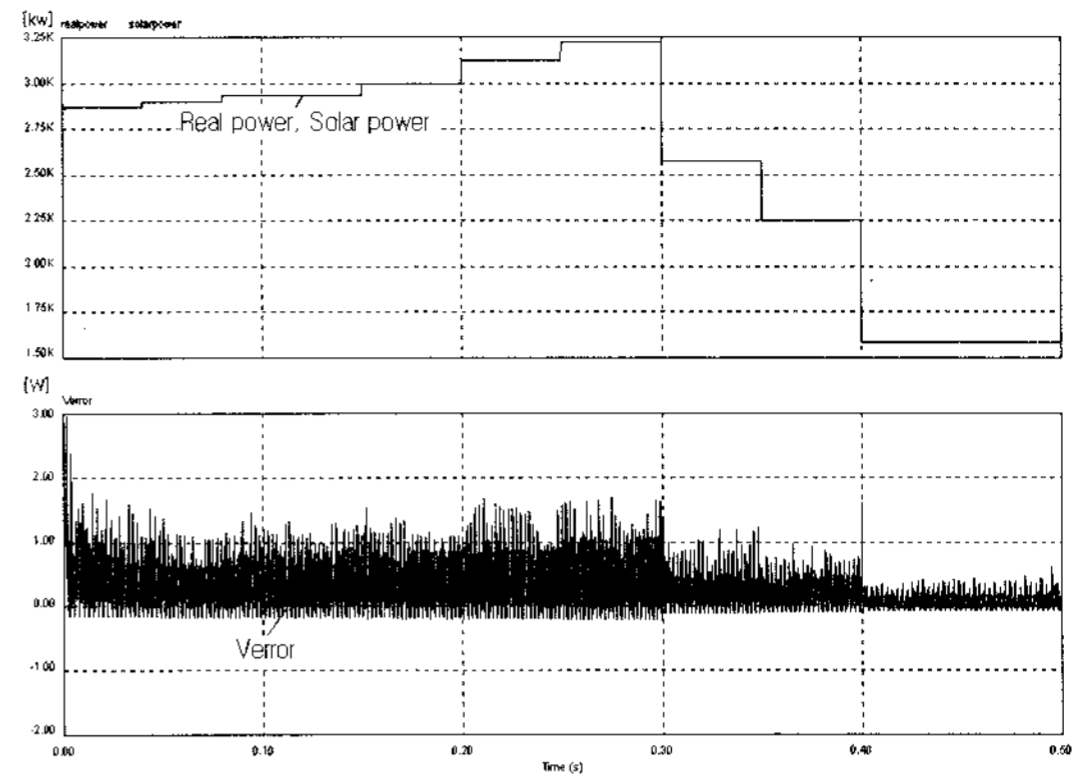


그림 10. Simulation results of P&O MPPT

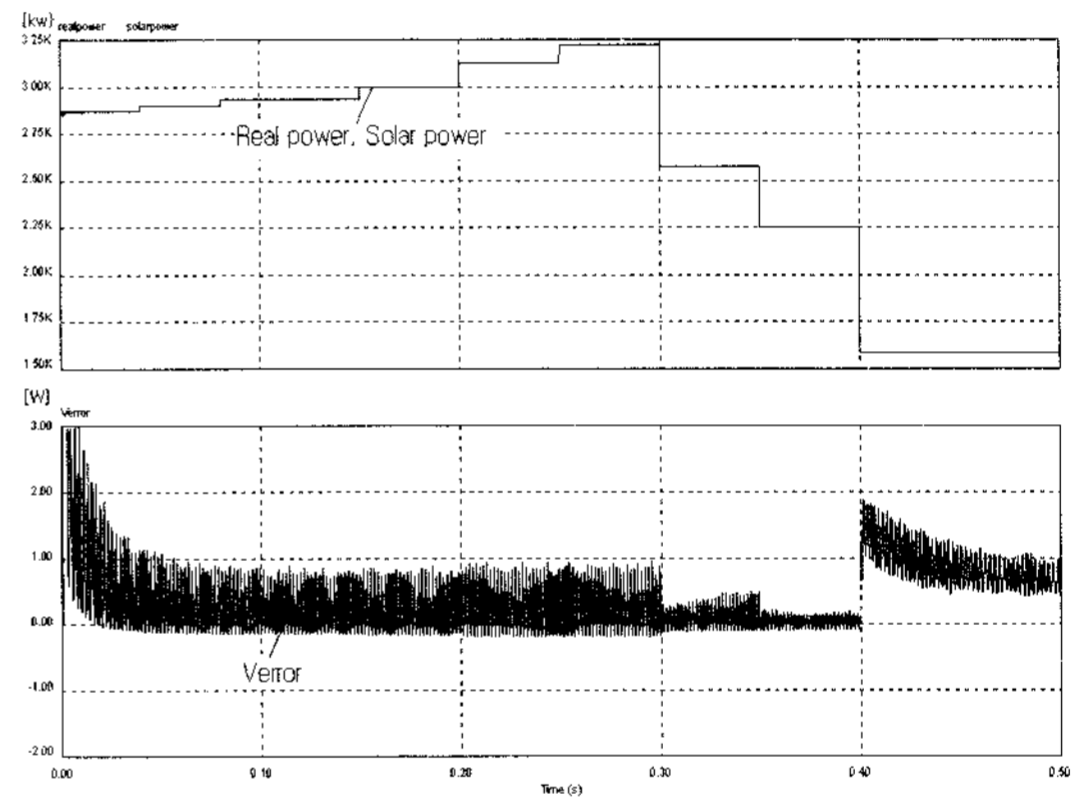


그림 11. Simulation results of IncCond MPPT

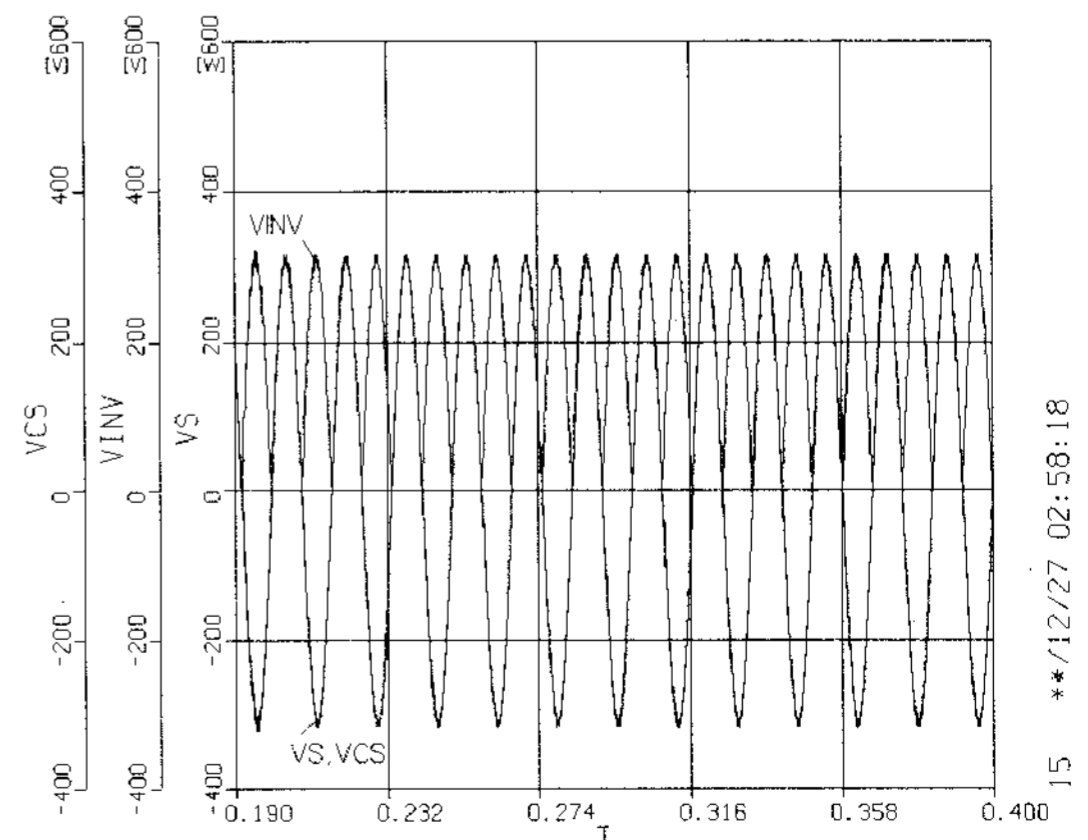


그림 12. Simulation results of utility interactive inverter

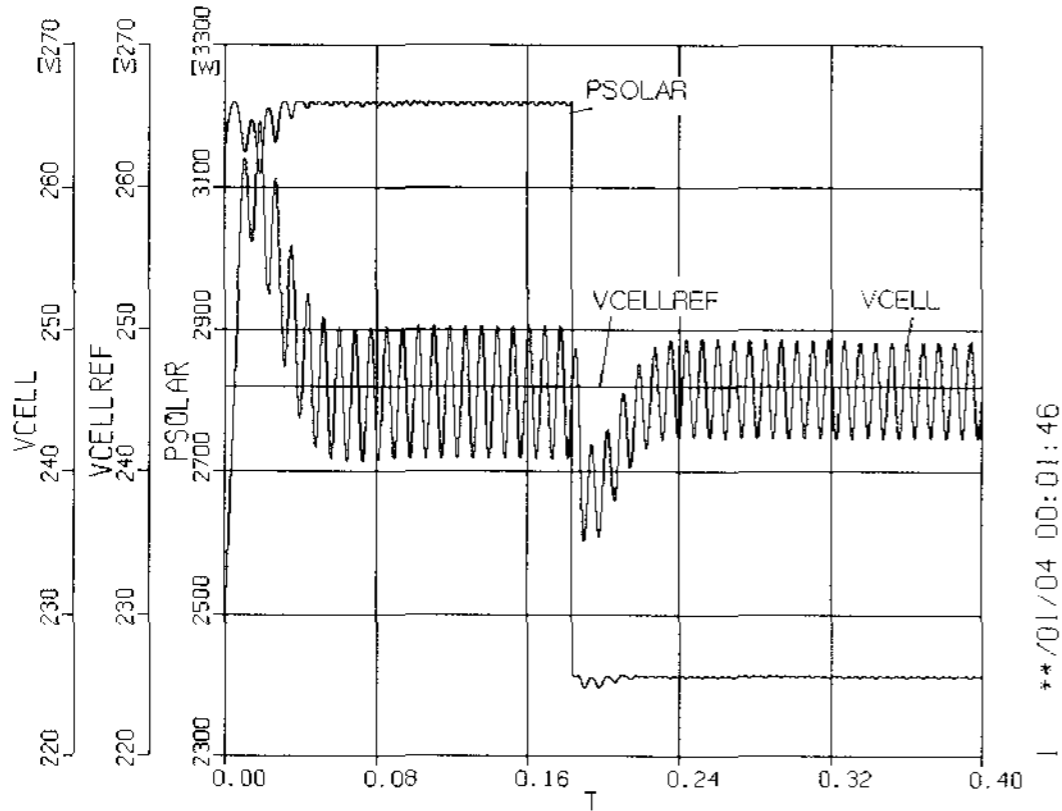


그림 13. Simulation results of constant voltage MPPT control in the utility interactive inverter.

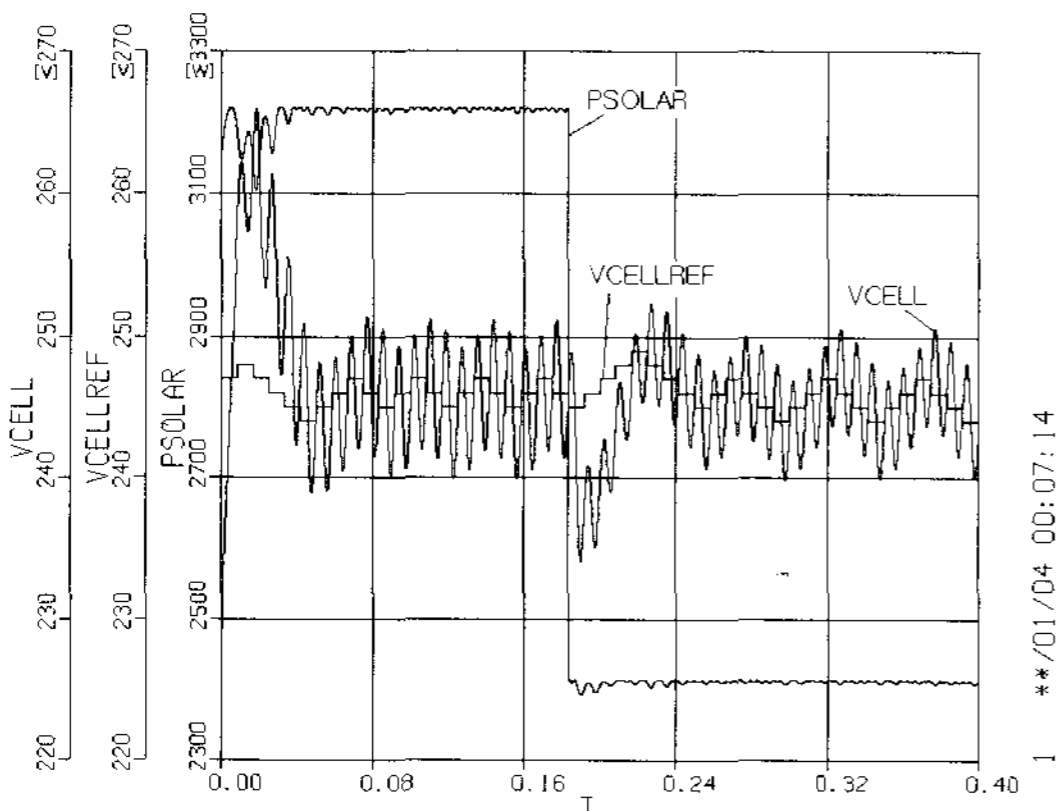


그림 14. Simulation results of P&O MPPT control in the utility interactive inverter

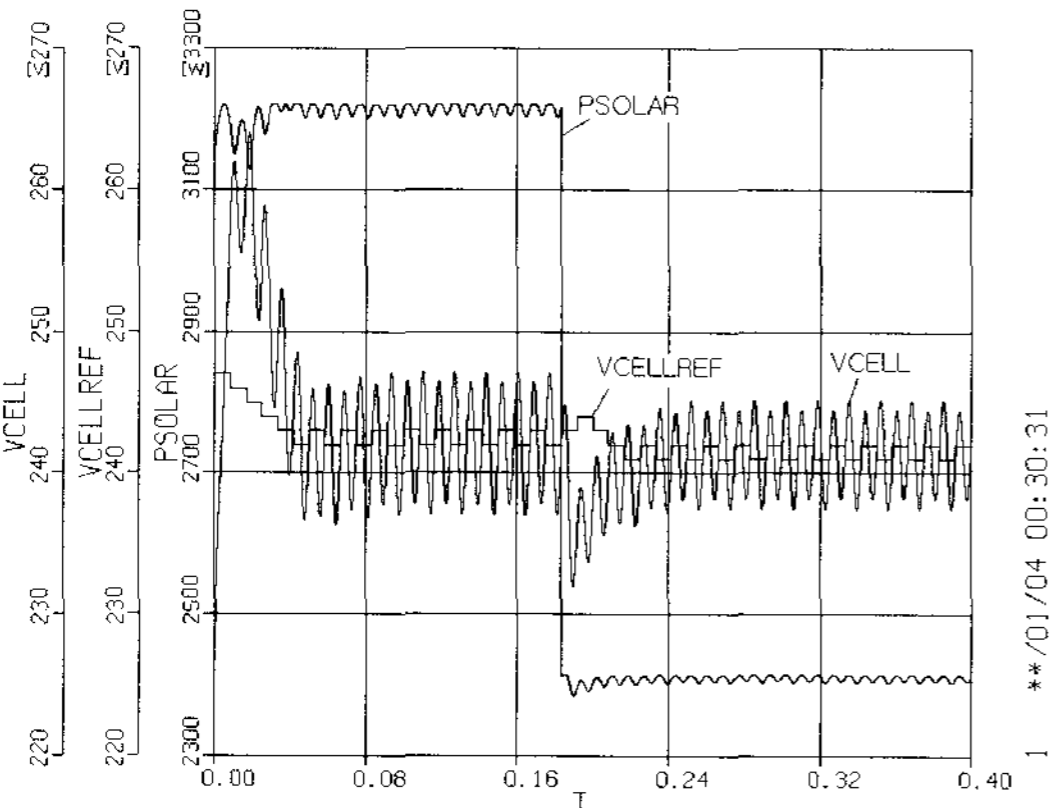


그림 15. Simulation results of IncCond MPPT control in the utility interactive inverter

로 만든 후 뒤집기 제어를 통해 다시 정현전파로 만드는 과정을 나타낸 것이다. 여기서, VCS는 변압기 1차측 전압, VINV는 단상 풀브리지 다이오드 정류기를 거친 전압, VS는 계통전압을 각각 나타내고 있다. 모든 파형은 계통전압과 동상이므로 파형이 겹쳐져 있다. 그림 13~15는 0.18초에서 일사량을 $100 \rightarrow 75 W/m^2$ 으로 감소시켰을 때의 파형이며 정전압제어 MPPT시 전압 안정도가 높은 반면 P&O MPPT나 IncCond MPPT에 비해 최대전력이 약 4~10W정도 적게 나옴을 알 수 있으며 IncCond MPPT 알고리즘이 가장 많은 전력을 공급함과 동시에 일사량 변동시 가장 빨리 MPP점을 찾아 동작함을 알 수 있다. 따라서, 위의 그림 9~15를 통해 효율을 검증해 본 결과 MPPT 제어를 하지 않을 시 인버터 전체효율이 45%정도 밖에 나오지 않는 반면 정전압 제어시 87%, P&O시 91%, IncCond시 93%로 나오는 것을 알 수 있으며 정전압제어 방법보다는 P&O나 IncCond 방법이 환경변화시 더 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

5.3 실제 시스템 구성의 실험결과

위의 내용을 토대로 한 시뮬레이션 및 실험에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었으며 표 1에 나타내었다. 표 1에서는 각 알고리즘별로 일사량을 변동시켜서 얻은 시뮬레이션 데이터와 실제 실험 결과를 MPPT 효율[%]로 나타냈다. 실험을 통해 얻은 결과를 분석한 결과 일사량이 30% 이상에서는 IncCond 방법이 다른 제어법에 비해 효율이 좋게 나타나고 리플성분도 적지만 30% 이하에서는 일정전압으로 제어하는 것이 더 나은 효율을 낼 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 시뮬레이션에서 일사강도가 10%이하일 경우 출력전력의 변동분이 매우 작아, MPPT 추종에 실패하여 효율이 약 79%정도 밖에 나오지 않는다.

표 1. MPPT efficiency characteristics with insolation intensity

일사 강도 (%)	시뮬레이션 데이터 (%)			실험 데이터 (%)	
	일정전압 제어	P&O 제어	IncCond 제어	IncCond 제어	Two-mode 제어
100	99.28	99.97	99.98	97.4	97.4
90	99.31	99.96	99.99	97.3	97.3
80	99.28	99.98	99.99	97.2	97.2
70	99.19	99.98	99.98	97.6	97.6
60	99.01	99.98	99.98	97.5	97.5
50	97.39	99.98	99.98	97.4	97.4
40	97.96	99.73	99.98	97.6	97.6
30	96.49	99.98	99.99	82.1	96.5
20	97.79	99.98	99.98	-	96.4
10	79.57	79.53	79.53	-	38.9
0	0	0	0	0	0

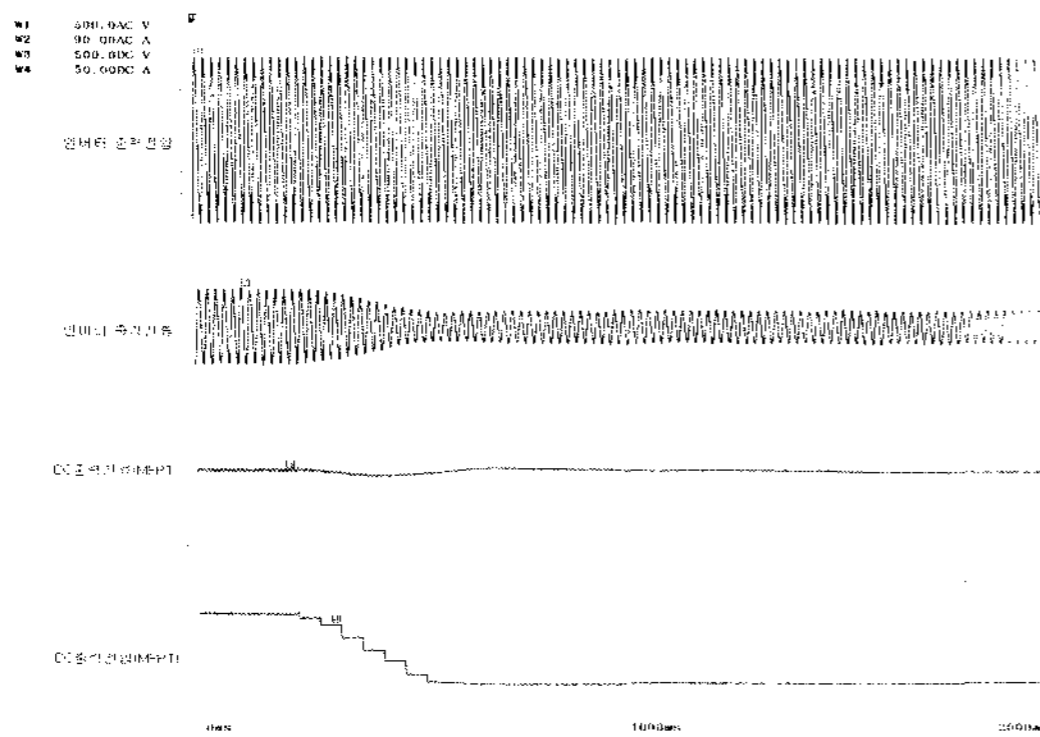


그림 16. Inverter output waveforms (Insolation with 50-25%)

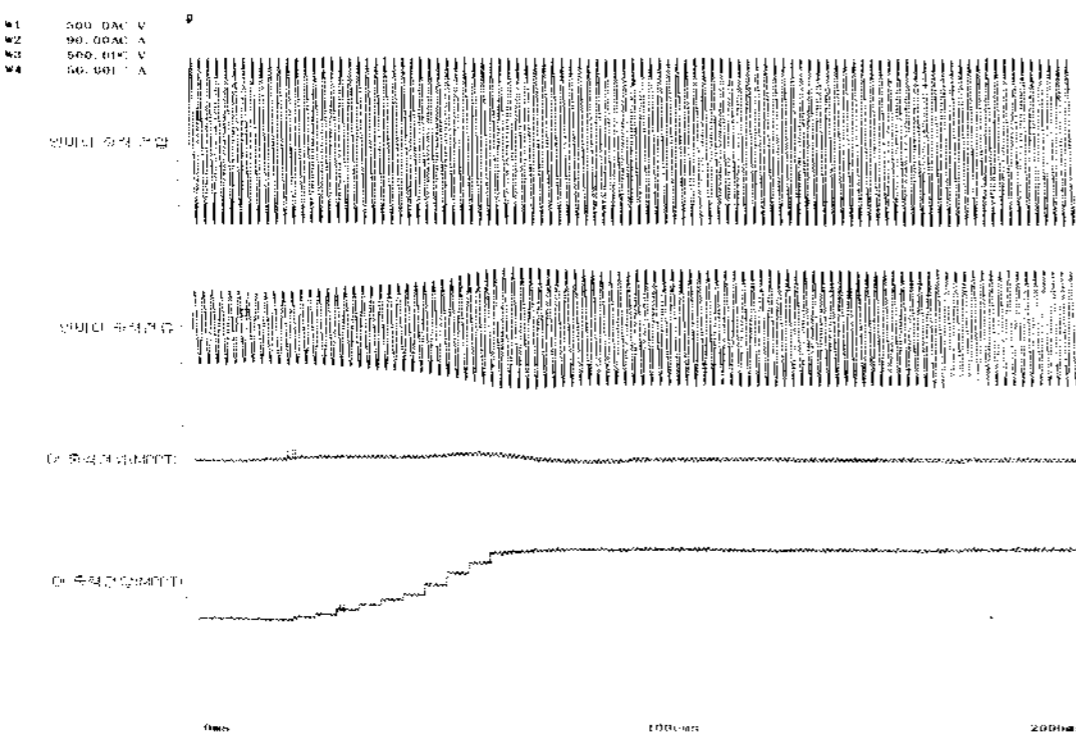


그림 17. Inverter output waveforms (Insolation with 50-75%)

일사강도가 20% 이하로 떨어진 경우 실제 실험에서 P&O MPPT 제어법이나 IncCond MPPT 제어법은 효율이 35% 이하로 나올 뿐만 아니라 측정시마다 효율이 틀려지는 관계로 정확한 데이터를 측정할 수 없었다. 따라서, 본 저자는 인버터에서 최대 전력을 발생시키기 위하여 Two-mode 제어법으로 실험을 하였다. 이 방법을 사용한 결과 더 좋은 특성을 얻을 수 있으며 그림 9의 토폴로지를 이용한 인버터 실험에서 결과파형을 그림 16, 17에 나타내었다. 실험에서는 일사량을 50%→25%로 감소시킨 경우와 50%→75%로 증가시켰을 때를 나타내었으며 30% 이하의 일사량에서의 Two-mode 제어에서도 MPPT가 잘 추종되어졌다. 그리고 일사량 변동시 약 460ms 안에 MPP에 도달하였다.

6. 결론

본 논문에서는 일사량, 온도, 부하상태 등의 환경조건 변화에 따른 태양전지 어레이의 동작 특성을 극대화시킴으로서 최대전력을 얻어내는 MPPT 제어 알고리즘의 추종 및 효율특성에 대하여 고찰하였다. 또한 MPPT의 각 알고리즘들은 시뮬레이션 툴을 이용하여 실제로 나올 수 있는 전력과 MPPT를 수행한 후 인버터에서 나온 전력을 서로 비교하여 성능을 분석함으로써 알고리즘을 검증하여 보았다. 또한, 현재까지 많은 MPPT 제어기법이 나와 있지만 실제 그 알고리즘들이 의도하는 바와 같이 운전되는가를 확인하기 위하여 MPPT 추종 시험평가법을 제안하였다. 이 방법으로 실험을 하여 각 알고리즘별로 효율을 측정해 본 결과 앞서 기술한 일정전압 제어나 P&O MPPT 제어 알고리즘보다 IncCond MPPT 알고리즘이 효율특성이 양호함을 알 수 있었으나 실제 주택용 3kW 인버터의 적용실험에서는 일사량이 30% 이하의 저일사 강도에서 전압, 전류의 급변 등으로 인하여

MPPT 추종에 실패하였다. 그러나 일정전압 제어 알고리즘의 경우 고일사강도에서 P&O MPPT 제어나 IncCond MPPT 제어법에 비해 낮은 효율특성을 나타냈지만 일사강도 30% 이하에서는 비교적 좋은 효율 특성을 나타냈다. 따라서, 본 논문에서는 상기의 IncCond MPPT 제어법과 일정전압 제어법을 조합한 Two-mode 방식을 제안하였으며 태양광 발전용 3kW급 인버터에 이 방식을 적용하여 저일사강도로부터 고일사강도까지 MPPT 추종 및 효율특성이 양호함을 입증하였다.

차후 연구로서는 급변하는 환경에 적용할 수 있는 새로운 MPPT 알고리즘 제시와 함께 세부적인 실험을 통한 검증을 계속할 것이다.

참고문헌

- 1) Charles. R.Sullivan, Matthew J.Powers, "A high-efficiency Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Array in a Solar-Powered Race Vehicle," Proceedings of the IEEE, 1993, pp. 574-580.
- 2) Hussein. K.H., Muta. I, "Modified Algorithms for Photovoltaic Maximum Power Tracking", Record of 1992 Joint Conference of Electrical and Electronics Engineers in Kyushu, Japan, pp.301, 1992, October
- 3) K.H. Hussion, "Photovoltaic Power Tracking: An Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions", Proceedings of the IEE, Vol. 142, No. 1, pp. 59-64, 1995.
- 4) C. Hua and C. Shen, "Study of Maximum Power Tracking Techniques and control of DC/DC Converter for Photovoltaic Power System", IEEE, 1998.
- 5) C. Pan, J. Chen, C. Chu, Y. Huang "A Fast Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Power Systems", Proceedings of the IEEE, 1999.
- 6) 유권종 외 2인, "고주파링크 방식을 이용한 계통연계형 태양광발전시스템", 전기학회 하계 학술대회 논문집, pp. 1050-1052, 2000.
- 7) 정영석 외 2인, "절연변압기를 생략한 새로운 계통연계형 햇빛발전시스템 고찰", 전력 전자하계학술대회 논문집, pp. 670-673, 2000