

# 증분컨덕턴스 제어적용 태양광 인버터 실증시험에 관한 연구

論 文
56-7-6

## A Study on Real Test of an Incremental Conductance MPPT Control Based Photovoltaic Inverter

金應想<sup>†</sup> · 金슬기<sup>\*</sup> · 全鎮洪<sup>\*</sup> · 安鍾普<sup>\*\*</sup>  
(Eung-Sang Kim · Seul-Ki Kim · Jin-Hong Jeon · Jong-Bo Ahn)

**Abstract** - In this paper, a 10kVA PV inverter applying Incremental Conductance(IncCond) method for maximum power point tracking was developed and its performance tests were carried out. Modeling and simulation of PV array and system controller was performed using PSCAD/EMTDC, an electromagnetic transient analysis program. After comparison and analysis of Perturbation & Observation (P & O) and IncCond method, a PV inverter based on IncCond method was designed and manufactured. Grid interface transient characteristics including start-up, normal operation, and fault operation were tested, which verified the usefulness of the proposed system. In the near future, commercialization process will proceed through additional extensive tests of transients.

**Key Words** : PV Inverter, Real Test, Incremental Conductance

### 1. 서 론

국제적인 에너지·환경 문제를 해결하고자 일본, 미국 등의 선진국을 비롯하여 국내에서도 태양광발전시스템의 개발 및 적용이 활발히 진행되고 있다[1]. 이러한 태양광 발전시스템은 개발되어 중소용량으로 건물 및 일반 가정에 설치되어 배전선에 연계 운전되면 에너지·환경 문제에 크게 기여할 것으로 기대되나, 특성상 일사량의 변동에 따라서 출력이 심하게 변동하기 때문에 일사량의 변동에 따른 최대전력점 추종(Maximum Power Point Tracking : 이하 MPPT)제어 기술이 대단히 중요한 일부분을 차지하게 된다.[2]

본 논문에서는 Incremental Conductance 법(증분컨덕턴스 법) 제어 알고리즘을 적용한 최대출력 제어기법을 토대로 전자기 과도특성 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC 프로그램[3]을 활용하여 태양전지 어레이 및 제어기의 모델링 및 시뮬레이션을 수행하고[4,5], 태양광 인버터를 설계 및 제작하여, 기동특성, 정상특성 및 1선 지락고장을 포함한 과도특성 시험 등을 통해 모델링 및 시뮬레이션의 정확성을 입증하고자 한다.

### 2. 증분 컨덕턴스 제어이론

Incremental Conductance 법 (이하 IncCond 법)은 임피던스 비교법, 컨덕턴스 증가법으로 불린다.

$$\frac{dP_{sol}}{dV_{sol}} = \frac{d(V_{sol}I_{sol})}{dV_{sol}} = I_{sol} + V_{sol} \frac{dI_{sol}}{dV_{sol}} \quad (1)$$

위의 식 변환을 통하여  $dP_{sol}/dV_{sol}$ 의 부호를 판별하는 법이다. 고정폭 변동식에서는  $dP_{sol}/dV_{sol}$ 의 부호만이 중요하므로  $V_{sol}>0$ 이라는 가정 하에 식 (1)의 양변을 전압으로 나누어 식  $I_{sol}/V_{sol} + dI_{sol}/dV_{sol}$ 의 부호를 계산하여 전압의 상승 또는 하강을 결정한다. 또한 식 (1)의 양변을 전압으로 나누었으므로 측정된 전압의 변동폭이 0 일 경우의 흐름도가 추가된다. 이 경우 온도가 일정하고 일사량 증가 시, 전류는 증가하며 최대전력점 전압은 상승되는 태양전지 특성을 이용하여 전압의 변동폭이 0 일 경우 전류의 증가 시 전압 지령치를 올리고, 전류의 감소 시 전압 지령치를 내리는 제어 흐름

도이다. 양변을 전압으로 나누어  $\frac{I_{sol}}{V_{sol}} + \frac{dI_{sol}}{dV_{sol}}$ 의 부호로  $\frac{dP_{sol}}{dV_{sol}}$ 의 부호를 판단가능하다. 따라서 결과적으로 아래 식으로 부호를 판단한다.

$$\frac{I_{sol}(k)}{V_{sol}(k)} + \frac{I_{sol}(k) - I_{sol}(k-1)}{V_{sol}(k) - V_{sol}(k-1)} \quad (2)$$

지금까지 많은 논문을 통하여 IncCond 법이 다른 제어기법보다 향상된 알고리즘임을 실험으로 증명하고 있으며 특히 본 IncCond 법은 빠른 일사량 변동시에 유리한 알고리즘으로 알려져 있다. IncCond법은 전압변동폭이 0일 경우의 제어 알고리즘이 추가되어 있으므로 좀더 향상된 알고리즘이라고 할 수 있다. 그림 2는 IncCond 법의 제어 흐름도를 나타낸다.

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 韓國電氣研究院 責任研究員  
E-mail : eskim@keri.re.kr

<sup>\*</sup> 正會員 : 韓國電氣研究院 先任研究員

<sup>\*\*</sup> 正會員 : 韓國電氣研究院 責任研究員

接受日字 : 2007年 3月 20日

最終完了 : 2007年 5月 16日

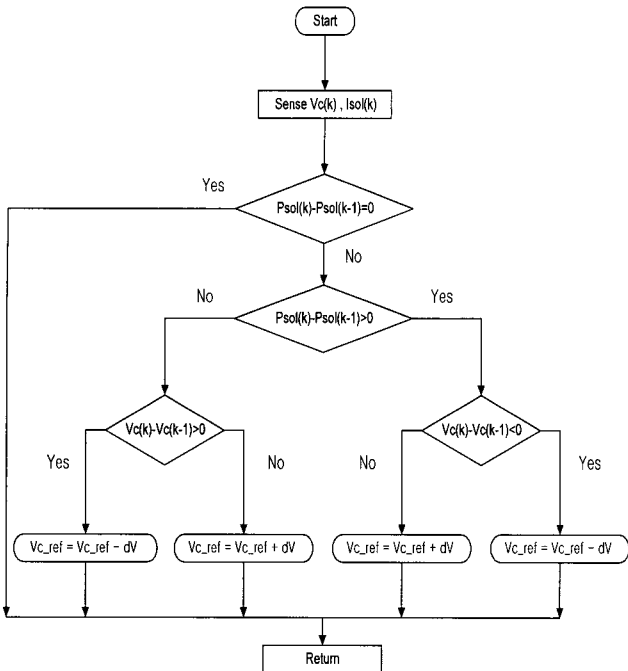


그림 1 IncCond 법 흐름도  
Fig. 1 Flow chart of IncCond method

### 3. 모델링 및 시뮬레이션

전자기 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC 를 바탕으로 태양전지 어레이의 특성, 태양광발전시스템의 전체 출력 성능 특성을 모의하고, 연계선로의 1선 지락 및 3상 단락고장 시의 시스템의 응답 특성을 모의하였다.

#### 3.1 어레이의 특성 모의

모의 대상 태양전지 모듈은 기 설치되어 있는 GMG 10530 모듈이며, 9kW의 태양전지 어레이는 총 180개의 모듈로 구성되었다. 태양전지 어레이 모델을 이용하여 다음의 일사량 및 온도 조건 하에서의 V-I 특성 및 V-P 특성을 모의하였다. 그림 2에는 모의에 사용된 태양전지 어레이의 PSCAD/EMTDC 모델을 제시하였다.

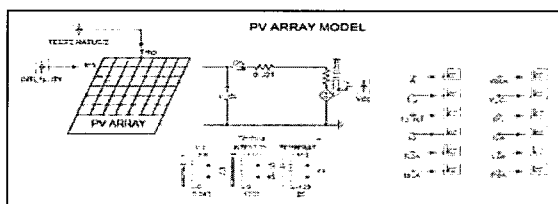


그림 2 태양전지 어레이 모델(PSCAD/EMTDC)  
Fig. 2 PSCAD/EMTDC model of a PV array

그림 3 및 그림 4는 온도 25°C에서 일사량 변화 (S = 400, 600, 800, 1000 [W/m<sup>2</sup>])에 대한 V-I 및 V-P 특성 곡선이다. 그림에서 일사량이 상승함에 따라 전체적으로 비슷한 전압-전류 곡선, 전압-출력 곡선의 유형을 유지하면서 전압 및 전류가 증가하게 되고 따라서 출력이 증가함을 알 수 있다.

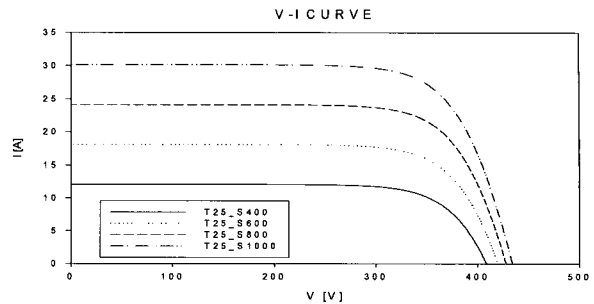


그림 3 일사량 변화에 대한 V-I 곡선  
Fig. 3 V-I curve for the irradiance variation

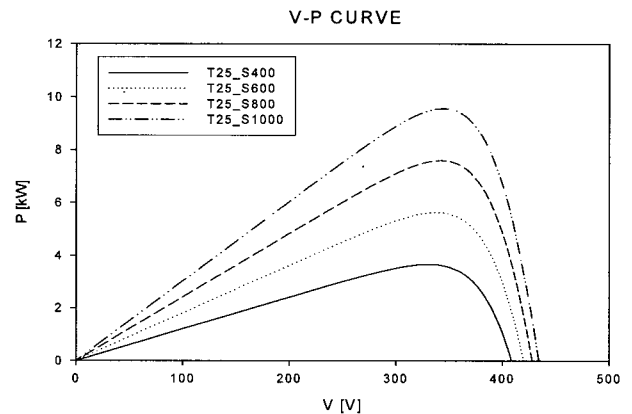


그림 4 일사량 변화에 대한 V-P 곡선  
Fig. 4 V-P curve for the irradiance variation

#### 3.2 기동특성 모의

태양광 인버터 기동특성 모의를 위하여 게이트 신호 활성화 후 1초간 영(0)전류 제어, 소프트 스타트 (200msec), 2초간 직류단 전압의 정전압 제어 및 최대출력제어(MPPT)를 수행하도록 설정하였다.

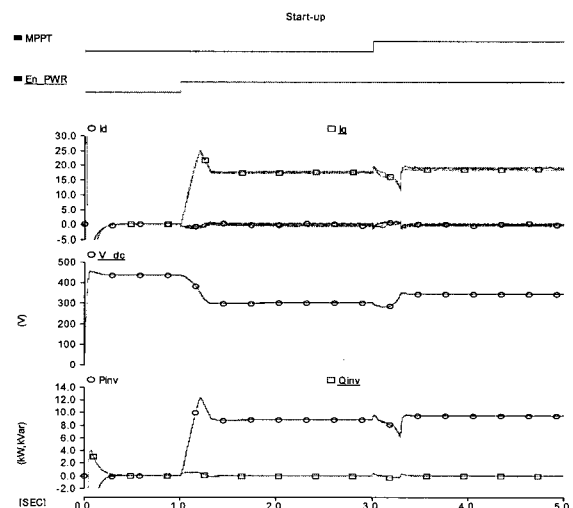


그림 5 태양광 시스템의 기동특성  
Fig. 5 Start-up characteristics of PV system

기동절차에 따라 태양광 인버터의 기동성능을 모의한 결과 그림 5에서와 같이 En\_PWR는 영 전류제어가 성공적으로 수행되면 출력제어에 들어가게 하는 입력신호이고, MPPT는 최대출력제어를 시작하라는 신호이다. 영 전류제어가 성공적으로 수행되어 En\_PWR 신호가 0에서 1로 전환되면서 소프트 스타트 기동을 한다. 소프트 스타트에 의하여 출력 전류가 완만하게 상승하여 직류단 전압이 정전압으로 제어되고 2초 후에 MPPT 신호가 0에서 1로 전환되면서 직류단 전압은 최대출력제어에 적합한 전압으로 제어되고 있음을 볼 수 있다.

### 3.3 과도특성 모의

일반적인 전력계통의 고장 중 가장 주를 이루는 1선 지락고장과 고장전류가 가장 큰 3상 단락고장 각각에 대한 태양광 시스템의 과도특성을 모의하였다. 그림 6은 연계선로에 1선 지락고장시 인버터의 a, b, c 상 전압 및 전류와 d, q 축 전류를 나타낸다. 그림 7은 3상 단락고장시의 인버터의 a, b, c 상 전압 및 전류와 d, q 축 전류의 변동특성이다.

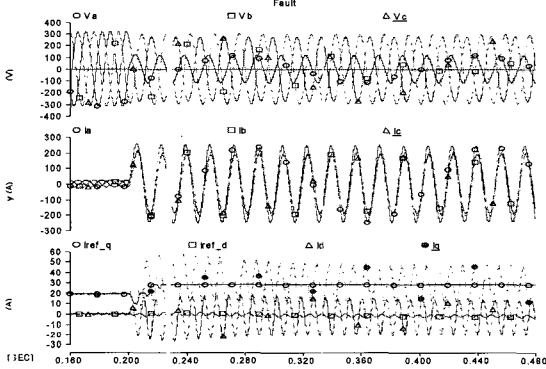


그림 6 1선 지락 고장 시험  
Fig. 6 1 phase ground test

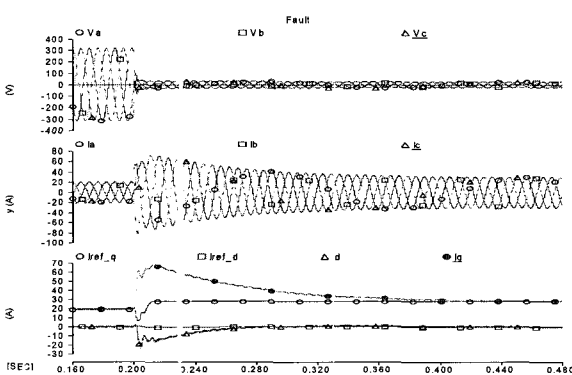


그림 7 3상 단락고장 시험  
Fig. 7 Three phase short test

일반적인 동기기 및 유도기는 3상 단락시 고장전류가 훨씬 크지만 태양광 인버터에서는 dq0 좌표계에서 0축의 전류는 3상 평형조건에서 0이므로 d축 및 q축 전류에 대해서만 제어를 수행하여 3상평형 전류가 출력되게 한다. 따라서 3상 평형조건에서의 전류는 정상적인 제어가 가능하나 불평형

조건에서는 정상적인 전류제어가 이루어질 수 없다. 이를 고장전류에 맞추어 해석하면, 3상 단락고장과 같은 평형 고장에서는 계통으로 유입되는 고장전류가 인버터의 전류제어 제한치로 제한되지만, 1선 지락고장과 같은 불평형 고장시에는 정상적인 전류제어가 이루어지지 않아 고장전류가 제한치로 제한될 수 없다. 이로 인해 1선 지락고장시와 3선 단락고장시의 큰 고장전류가 차이가 생기는 것으로 볼 수 있다. 그림에서 d축 및 q축 전류 그래프에서 1선 지락시는 전류제어가 전혀 되지 않으나 3상 단락시에는 d-q 전류제어가 원활하게 수행되고 있음을 확인할 수 있다.

## 4. 태양광 인버터 실증 시험

### 4.1 태양전지 어레이 규격

본 논문에서 사용된 태양전지 어레이는 임의로 결선이 가능한 3개의 독립적인 어레이로 구성되어 있으며 각각의 어레이는 60개의 모듈로 구성하였다. 각 어레이는 10개의 모듈이 직렬로 연결되어 있는 6개의 하부 어레이(sub-array)로 구성하였다. 따라서 각 하부 어레이를 적절한 출력 전압이 발생될 수 있도록 직렬로 구성하여 시스템을 구성하였다. 인버터의 DC 입력 전압을 300V~400V로 설계하였으므로 하부 어레이 2개를 직렬로 연결하고 이렇게 직렬 연결된 하부 어레이 3개를 병렬로 연결하여 태양전지 어레이를 구성하였다. 모두 3개의 독립적인 어레이가 있으므로 총 180개의 모듈이 20개의 직렬연결과 직렬연결된 하부 어레이 9개가 병렬로 연결되어 있다.

실험 기상 조건(400 W/m<sup>2</sup>, 25°C)에서 태양 전지 10개의 직렬 모듈에서 발생되는 전압은 190Vdc로 확인되었으며 각 어레이로부터 380Vdc, 3kW 시스템을 구성할 수 있으며 3개의 어레이를 병렬로 연결하여 태양 전지 어레이를 구성할 수 있도록 하였다. 태양전지 모듈 데이터를 바탕으로 한 태양전지 어레이의 기본 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 태양전지 어레이의 규격  
Table 1 The specification of a PV array

항목	규격
최대 출력 전압	17.4Vdc × 20 = 348Vdc
최대 출력 전류	3.05Adc × 3 = 9.15Adc
최대 출력 전력	348Vdc × 9.15Adc = 3184.2W
최대 개방 전압	21.7Vdc × 20 = 434Vdc
단락 전류	3.35Adc × 3 = 10.05Adc

### 4.2 인버터 규격

인버터는 3[kW]급 태양전지 모듈 3개를 직렬 연결하여 이를 입력으로 하는 계통연계형 태양광 발전시스템으로서 3상 380[V] 교류계통에 접속되도록 설계, 제작되었다. IGBT를 채용한 전압형 인버터 구조를 가지며 출력단은 L-C형의 필터와 변압기 및 차단기가 설치되어 있다. 입력측에는 차단기, 역류방지용 다이오드, Surge 흡수기가 설치되어 태양전지 모듈 및 인버터를 보호할 수 있도록 되어있다. 표 2는 태양광 인버터의 규격을 나타낸다.

표 2 인버터 규격

Table 2 The specification of a inverter

항 목	사 양
인버터 형식	PWM Inverter (IGBT)
정격 출력 용량	10kVA
정격 출력 전압	계통전압 380V(3상3선)
정격 출력 주파수	계통주파수 60Hz
출력단 전류 THD	5% 이내(정격 부하시)
정전시 인버터 정지	600ms이내
계통전압 전압 변동율	10% 이내
효율	90% 이상(100% 부하시)
과부하 능력	150% 1분

4.3 인버터 제작

그림 8 및 그림 9는 본 논문에서 제작된 10kW 태양광 인버터 외함과 내부를 각각 보여준다.

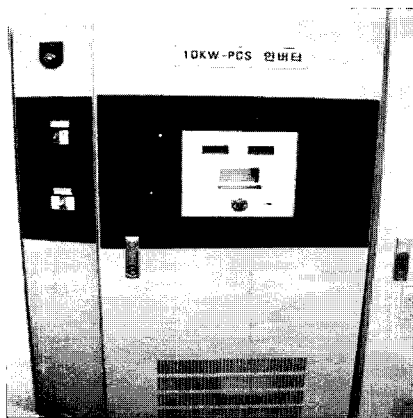


그림 8 인버터 외부  
Fig. 8 Outside of inverter

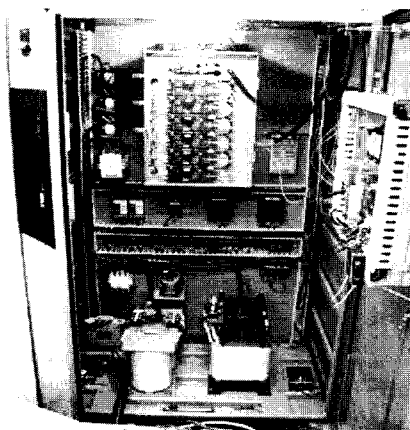


그림 9 인버터 내부  
Fig. 9 Inside of inverter

4.4 인버터 출력전압 및 출력전류 시험

본 논문에서의 태양광 인버터의 출력전압 및 전류 파형과 기본 운전 출력 성능을 제시하였다. 그림 10은 인버터의 출

력파형을 오실로스코프에서 모니터한 그래프이다. 그림 10에서 위의 그래프는 인버터의 출력전압과 출력전류를 나타낸 것이며, 아래 그래프는 전류제어기의  $V_{de}$  및  $V_{qe}$  출력을 나타낸 것이다.  $V_{de}$  및  $V_{qe}$ 는 동기회로 회전하는 dq 좌표계에서의 전압 값으로 일정한 값을 가진다. 태양광 인버터 출력은 연계 변압기를 통해 계통에 연계된다. 변압기 1차 측에서는 380V에 9.5A의 출력(6.2kVA)이 발생되고 있음을 확인하였다. 그림 11은 이러한 출력을 오실로스코프로 확인한 결과이다. 그림 11에서 상단부는 인버터 측(변압기 2차측) 출력 전압 및 전류, 하단부는 계통 측(변압기 1차측) 출력 전압 및 전류를 나타낸 것이다.

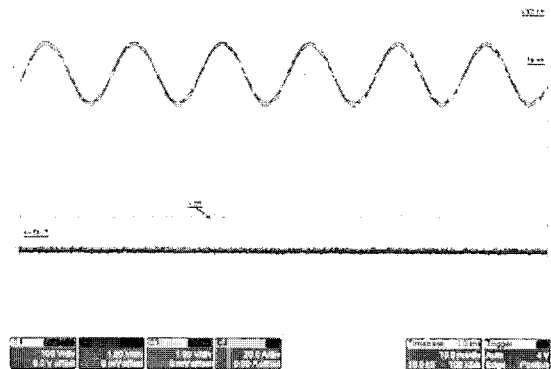


그림 10 인버터 출력 전압 및 전류 파형  
Fig. 10 Inverter output curve

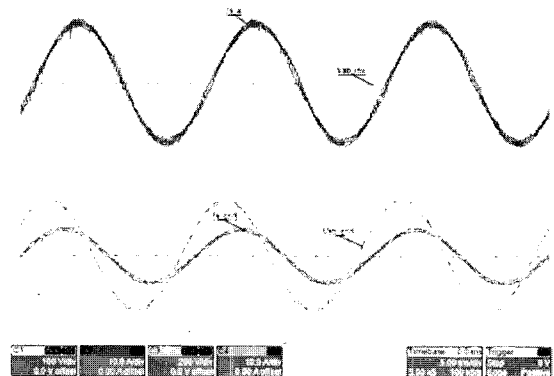


그림 11 변압기 1, 2차 전압, 전류 파형  
Fig. 11 Output Voltage and current curve

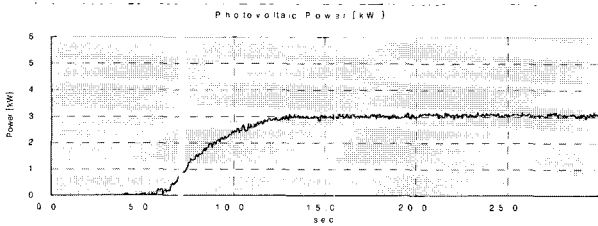
4.5 최대출력점 추종(MPPT) 제어 특성 시험

본 논문에서는 태양광 발전 시스템의 MPPT 제어운전을 위하여 P&O 법과 IncCond 법을 구현하여 각각 기동특성과 정상특성의 운전 결과를 비교하였다. 이때 태양전지 어레이의 운전 조건은 일사량 220 W/m<sup>2</sup> 외부온도 8.0 °C 하루 중 오후 3시 기준 및 기상상태는 높고 열린 구름이 균일하게 분포된 것으로 가정하였다.

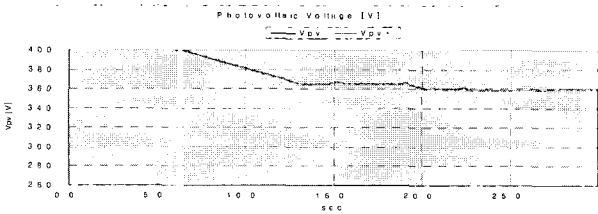
두 가지의 MPPT 제어 방법의 결과를 비교하여 보면 제어가 시작되어 최대 출력점을 찾아가는 시간과 출력점의 결과는 두 가지 방법 모두 큰 차이가 없었다. 그러나 출력 전압의 제적은 Incremental Conductance 방법이 과도특성이 좋음을 알 수 있다. MPPT 알고리즘은 MPPT 운전을 위한

설정 값에 운전 특성이 많이 좌우됨을 실험을 통해 알 수 있었다.

P&O 방법을 적용한 태양광발전시스템의 기동과 정상 상태의 MPPT 운전 결과는 각각 그림 12 및 그림 14와 같다. 그림 12 (a)의 출력 곡선과 (b)의 전압 곡선에 나타나는 바와 같이 태양광발전시스템은 기동 후 약 6초 정도에 MPPT 제어기가 시작이 되어 출력 전압을 그림 (b)와 같이 변경해 가며 최대 출력인 약 3.0kW의 출력을 발생시키고 있음을 알 수 있다. 이렇게 기동된 후 일사량 등과 같은 외부 환경의 변화가 매우 작을 때의 정상 상태 출력 결과는 그림 14와 같다. 기동 후 30초 동안의 정상 상태 시스템 운전 결과로 30초 동안의 평균 출력은 3.015 kW이며 이때의 평균 운전 전압 359.7 V이다. 정상 상태의 출력은 각각 그림 14의 (a)에 나타내었으며 운전 전압은 각각 그림 14의 (b)에 나타내었다.

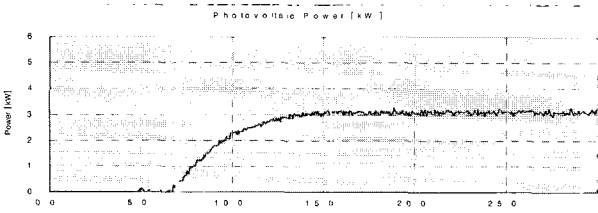


(a) 출력 전력(Ppv)

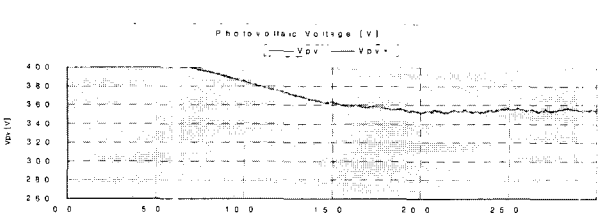


(b) 태양 전지 어레이 전압(Vpv)

그림 12 P&O 방법에 의한 기동 특성  
Fig. 12 Start-up characteristics by the P&O method



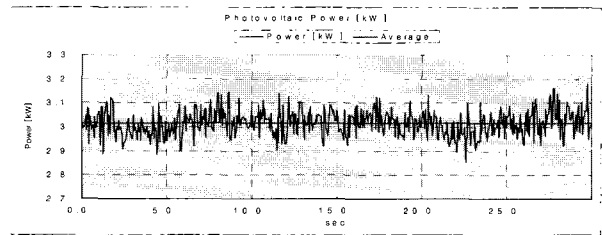
(a) 출력 전력(Ppv)



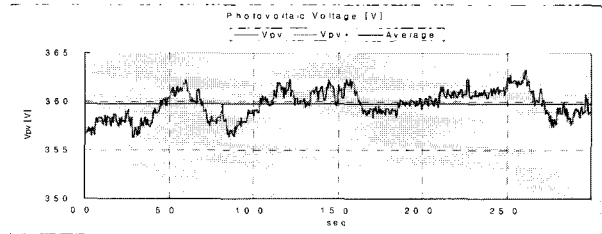
(b) 태양 전지 어레이 전압(Vpv)

그림 13 IncCond 법에 의한 기동 특성  
Fig. 13 Start-up characteristics by the incCond method

IncCond 방법을 적용한 태양광발전시스템의 기동과 정상 상태의 MPPT 운전 결과는 각각 그림 13 및 그림 15와 같다. 그림 13의 (a)의 출력 곡선과 (b)의 전압 곡선에 나타나는 바와 같이 태양광발전시스템은 기동 후 약 6초 정도에 MPPT 제어가 시작이 되어 출력 전압을 그림 (b)와 같이 변경해 가며 최대 출력인 약 3.0kW의 출력을 발생시키고 있음을 알 수 있다. 이렇게 기동된 후 일사량 등과 같은 외부 환경의 변화가 매우 작을 때의 정상 상태 출력 결과는 그림 15와 같다. 기동 후 30초 동안의 정상 상태 시스템 운전 결과로 30초 동안의 평균 출력은 2.997 kW이며 이때의 평균 운전 전압 353.4 V이다. 정상 상태의 출력 및 태양전지 운전전압은 각각 그림 15의 (a)와 (b)에 나타내었다.

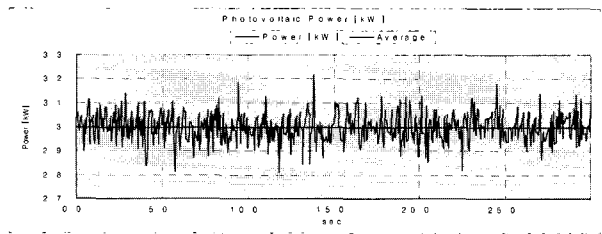


(a) 출력 전력(Ppv)

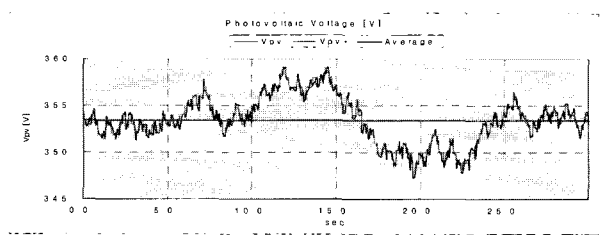


(b) 태양 전지 어레이 전압(Vpv)

그림 14 P&O 방법에 의한 정상 특성  
Fig. 14 Steady state characteristics by the P&O method



(a) 출력 전력(Ppv)



(b) 태양 전지 어레이 전압(Vpv)

그림 15 IncCond 법에 의한 정상 특성  
Fig. 15 Steady state characteristics by the incCond method

#### 4.6 과도 특성 시험

본 논문에서 제안된 제어기의 성능 시험을 위해서 계통정전에 따른 태양광 인버터의 차단능력과 계통 복전 후 자동 재투입시의 특성 시험을 수행하였다. 본 논문에서 적용한 알고리즘을 기반으로 하여 계통고장시 태양광 인버터의 차단 및 고장복구 후 자동 재접속 절차는 ① 고장 발생 (연계선로 고장) ② 고장 감지 (과전압/저전압, 과전류 기능) ③ 인버터 스위치 게이트 블록 ④ 인버터 연계 MC 스위치 차단 ⑤ 고장 복구 감지 ⑥ 고장 복구 ⑦ 인버터 연계 MC 스위치 재접속 ⑧ 인버터 스위치 게이트 블록 ⑨ 영전류 제어 기동 ⑩ 직류단 정전압 제어 기동 ⑪ MPPT 출력제어로의 전환 순서이다.

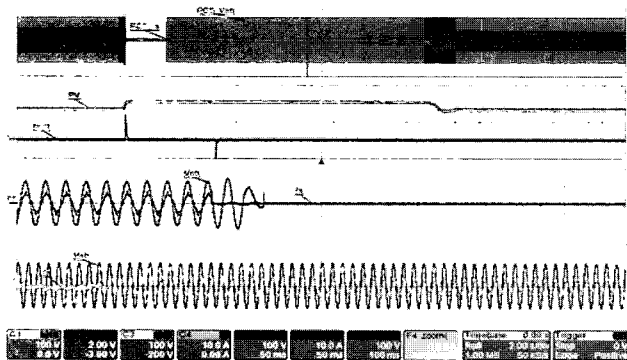


그림 16 계통 전원 차단 및 재투입 시험  
Fig. 16 Interruption and reconnection test

태양광 발전 시스템이 운전 중일 때 외부 계통 사고에 의해서 입력 전원이 차단되거나 이상 전압이 인가되면 시스템은 보호를 위해서 시스템의 운전을 정지하여야 한다. 또한 외부 계통 사고가 제거되어 계통이 정상 운전되어 정상 전압이 인가되면 시스템의 운전을 다시 시작해야 한다. 이를 위해서 계통 전원이 차단되었을 때 시스템의 운전 정지와 계통 전원이 복구 되었을 때 재투입되는 기능을 시험하였다. 계통의 사고와 복구는 임의로 모션 전압을 제거하였다가 투입하여 구현하였다. 그림 16은 계통의 사고와 복구시의 태양광 발전 시스템의 운전 결과이다. 그림 16에서 그래프 1은 계통 전압과 PCS 출력 전류의 순시 파형을 나타낸 것이다. 그래프 1에서 반전으로 표시되어 있는 부분이 각각 계통의 사고 시 PCS의 운전 정지와 계통 복전 시 PCS의 계통 연계 운전 복구 부분을 나타낸 것이며 각 부분의 상세한 순시 파형은 각각 그래프 3과 그래프 4에 확대하여 표시하였다. 그래프 2는 태양 전지 출력 전압과 제어기 사고판단 상태를 나타낸 것이다. 그래프 2에서 태양광 발전 시스템의 운전 시에는 출력 전압이 340V로 운전되고 있으며 태양광 발전 시스템의 운전이 정지되어 있을 때에는 주어진 일사량과 태양 전지 표면온도 조건에서의 개방전압(이 경우, 400V 정도)으로 유지되고 있음을 확인할 수 있다. 그래프 1에서 계통고장에 의하여 인버터가 차단되고 계통 복전 후 인버터가 일정 시간 대기하였다가 재접속하는 순간에 아주 짧은 spike가 발생함을 알 수 있다. 이 순간 spike에 의해 고장이 아님에도 불구하고 인버터가 고장으로 인식하여 오동작을 수행하지 않도록 적절한 고장 제거시간을 적용하는 것이 중요하다.

인버터는 영전류 제어를 수행하고 영전류 제어가 원활하게 수행되면 MPPT 제어를 시작하면서 정상적인 출력제어가 수행되고 있다. 그림 17 및 그림 18은 인버터에서 계통에 유입되는 전류가 각각 5A와 20A 일 때의 계통고장 시 인버터의 보호동작 특성을 오실로스코프에서 발췌한 그림이다. 동일한 시퀀스에 의해 정상적인 보호동작 및 계통 재접속 동작이 수행되고 있음을 확인할 수 있다.

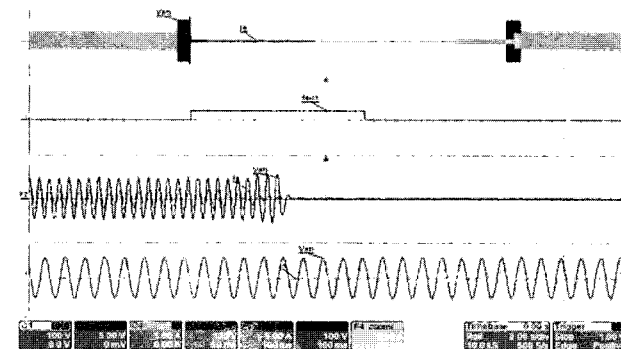


그림 17 시스템 전류 5A 시 보호동작 시험  
Fig. 17 Protection test ( 5A )

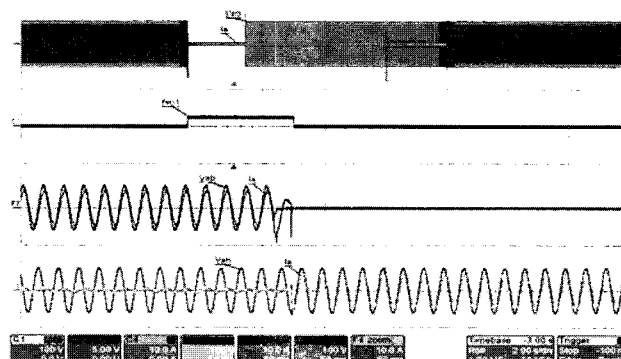


그림 18 시스템 전류 20A 시 보호동작 시험  
Fig. 18 Protection test ( 20A )

#### 5. 결론

신재생에너지전원 중에서도 가장 쉽게 에너지를 구할 수 있고 적용이 편리한 태양광발전시스템의 개발 및 보급이 대단히 활성화 되어 있는 상태이나 태양광발전시스템의 특성상 일사량에 의존해야 하므로 본 논문에서는 일사량의 변화에 잘 적응력이 강한 증분 컨덕턴스(Incremental Conductance) 제어이론을 적용한 최대전력점 추종(MPPT) 제어 기법을 활용한 태양광 인버터(10kVA)의 개발 및 특성 시험을 수행하였다. 전자기 과도특성 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC 프로그램을 활용하여 태양전지 어레이 및 제어기의 모델링 및 시뮬레이션을 수행하였으며, Perturbation & Observation법(P&O법) 과 Incremental Conductance법(증분컨덕턴스 기법) 대한 장단점을 비교 분석 후 증분컨덕턴스 제어이론을 적용한 태양광 인버터를 설계 및 제작하여 인버터의 계통연계 운전을 토대로 실제계에 연계하여 기동특성, 정상특성 및 고장을 포함한 과도특성 시험을 통해 모델링 및 시뮬레이션의 정확성을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] Mohammad A. S. Masoum, Hooman Dehbonei, and Ewald F. Fuchs, "Theoretical and Explanation Analysis of Photovoltaic Systems With Voltage- and Current-Based Maximum Power-Point Tracking", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 17, No. 4, December 2002, pp. 514-522.
- [2] L. Zhang, A. Al-Amoudi, Yunfei Bai, "Real-time Maximum Power Point Tracking for Grid-Connected Photovoltaic Systems", Power Electronics and Variable Speed Drives, 18-19 September 2000, Conference Publication No. 475.
- [3] Manitoba HVDC Research Center, PSCAD/EMTDC Power System Simulation Software User's Manual, 1998.
- [4] Minwon Park and In-Keun Yu, "A Novel Real-Time Simulation Technique of Photovoltaic Generation Systems Using RTDS", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 19, No. 1, March 2004.
- [5] S.K.Kim, E.S.Kim, "PSCAD/EMTDC를 이용한 계통연계형 태양광발전시스템의 모델링 및 모의해석", 대한전기학회 논문지 54A권 3호, 2005년 3월, pp. 107-116.

저 자 소 개



김응상 (金應相)

1962년 6월 21일 생. 1988년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1991년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재, 한국전기연구원 신재생에너지 연구그룹 책임연구원  
 Tel : 055-280-1330,  
 E-mail : eskim@keri.re.kr



김슬기 (金슬기)

1972년 5월 7일생. 1998년 고려대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 한국전기연구원 신재생에너지 연구그룹 선임연구원.  
 Tel : 055-280-1332,  
 E-mail : blksheep@keri.re.kr



전진홍 (全鎭洪)

1972년 12월 16일생. 1995년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년~현재 한국전기연구원 신재생에너지 연구그룹 선임연구원.  
 Tel : 055-280-1355,  
 E-mail : jhjeon@keri.re.kr



안종보 (安鍾普)

1961년 8월 16일생. 1986년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1995년 한국과학기술원 제어 및 자동화 설계공학과 졸업(석사). 2004년 부산대학교 전기공학과 졸업(박사). 1996년~현재 한국전기연구원 신재생에너지 연구그룹 그룹장.  
 Tel : 055-280-1306  
 E-mail : jbahn@keri.re.kr