creative commons

COMMONS DEED

저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000241865

2011년 8월
교육학석사(기술 · 가정교육)학위논문

Matlab-Simulink를 이용한 MPPT제어 특성과 여유계수에 관한 연구

조선대학교 교육대학원

기술 · 가정교육전공

김 혜 영

Matlab-Simulink를 이용한 MPPT제어 특성과 여유계수에 관한 연구

A Study on the MPPT Control Characteristic Analysis and Margin Factor using Matlab-Simulink

2011年 8月 日

조선대학교 교육대학원

기술 · 가정교육전공

김 혜 영

Matlab-Simulink를 이용한 MPPT제어 특성과 여유계수에 관한 연구

지도교수 조 금 배

이 논문을 교육학석사(기술 · 가정교육전공)학위
청구논문으로 제출함.

2011年 4月 日

조선대학교 교육대학원

기술 · 가정교육전공

김 혜 영

김혜영의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 조선대학교 교수 박 세 승 인

심사위원 조선대학교 교수 최 연 옥 인

심사위원 조선대학교 교수 조 금 배 인

2011年 6月 日

조선대학교 교육대학원

목 차

ABSTRACT

I. 서 론 ····· 1

II. 태양광발전 시스템 ····· 2
A. 태양전지 ····· 2
1. 태양전지의 동작특성 ····· 2
2. 태양전지의 전기적 특성 ····· 7
B. 태양광발전시스템 ····· 11
1. 태양광발전시스템의 구성 ····· 11
2. 독립형 태양광발전시스템 ····· 11
3. 계통연계형 태양광발전시스템 ····· 13
C. MPPT 제어 알고리즘 ····· 16
1. 일정 전압 제어 방식 ····· 17
2. P&O 제어 방식 ····· 17
3. IncCond 제어 방식 ····· 19
4. 여유계수를 고려한 IncCond 제어 방식 ····· 22

III. 시뮬레이션 및 고찰 ····· 23
A. 태양전지 출력 특성 ····· 23
B. MPPT 제어 특성 ····· 25

IV. 결 론 ····· 30

Figures

그림 2-1 태양전지의 등가회로 ····· 2

그림 2-2 태양전지의 전압-전류 특성곡선 ····· 4

그림 2-3 일사량의 변화에 따른 전류-전압(I-V) 특성곡선 ····· 7

그림 2-4 저항부하를 가변 할 경우 전류-전압(I-V) 특성곡선 ····· 8

그림 2-5 태양전지의 온도특성 곡선 ····· 9

그림 2-6 태양전지의 최대 출력 전력 곡선 ····· 10

그림 2-7 일사량의 변화에 따른 최대 출력 곡선 ····· 10

그림 2-8 독립형 태양광발전시스템 알고리즘 ····· 12

그림 2-9 계통연계형 태양광발전시스템 알고리즘 ····· 13

그림 2-10 단방향 계통연계형 태양광발전시스템 알고리즘 ····· 15

그림 2-11 양방향 계통연계형 태양광발전시스템 알고리즘 ····· 15

그림 2-12 P&O 제어 알고리즘 순서도 ····· 18

그림 2-13 IncCond 제어 방식 알고리즘 순서도 ····· 21

그림 2-10 여유계수를 고려한 IncCond 제어 알고리즘 순서도 ····· 22

그림 3-1 Matlab-Simulink를 이용한 PV module 내부 회로도 ····· 24

그림 3-2 태양전지 어레이의 전류-전압 특성곡선 ····· 24

그림 3-3 태양전지 어레이의 전력-전압 특성곡선 ····· 24

그림 3-4 일사량 변화에 따른 P&O 제어방식의

태양전지 출력 특성 ····· 27

그림 3-5 급변하는 일사량의 변화에 따른 P&O 제어방식의

태양전지 출력 특성 ····· 27

그림 3-6 여유계수가 없는 경우의 일사량 변화에 따른

IncCond 제어 방식의 태양전지 출력특성 ····· 28

그림 3-7 여유계수가 없는 경우의 급변하는 일사량의 변화에 따른

IncCond 제어방식의 태양전지 출력 특성 ····· 28

그림 3-8 여유계수를 고려하였을 경우 일사량 변화에 따른

IncCond 제어방식의 태양전지 출력 특성 ····· 29

그림 3-9 여유계수를 고려하였을 경우 급변하는 일사량의 변화에 따른

IncCond 제어방식의 태양전지 출력 특성 ····· 29

Table

표 1 태양전지 모듈 파라미터 값 ····· 20

ABSTRACT

A Study on the MPPT Control Characteristic Analysis and Margin Factor using Matlab-Simulink

By : Hye-Young Kim
Advisor : Prof. Geum-Bae Cho, Ph.D.
Major in Technology and Home-Economics Education,
Graduate School of Education, Chosun University

These days, exhaution of fossil fuels and a serious problem of environmental pollution are in serious problem. These terns of settlement is that a development of New & Renewable Energy is attaining actively their aim. The development of PV Generation that has an infinite source and is a Eco-freindly among New & Renewable Energy is in the limelight.

PV generation system is converting sunlight into electric using PV Arrays. The PV Arrays which is converting sunlight into electric are strongly influenced by amount of solar radiation, shadow and surrounding temperature. This amount of PV Arrays generation should go into operation at a point of maximum electric power because it is changed by them , and a method which is finding the point of maximum electric power of PV generation system is called MPPT(Maximum Power Point Tracking).

A digital control method of MPPT are fixed voltage control method, Incremental Conductance method, Perturbation & Observation(P&O) method and Fuzzy control method. Incremental Conductance method and Perturbation & Observation (P&O) method are in use extensively among those methods.

This thesis analysed and simulated taking use of Matlab-Simulink to check up the difference by comparing features when it changes the margin calculation in P&O, incremental Conductance and general Incremetal Conductance among the MPPT method. And it initialized the fixed value of Parameter for a comparative analysis these three methods. According such fixation, it makes a composition as follows. The first, it inquire the P-V characteristic curve of modeling of solar battery, the second, it recognize the features in case P&O control method which is digital control algorithm and IncCond control method and considering margin calculation of IncCond control method. And the third , it consider the feature of MPPT control method , comparative analysis the simulation's wavy which appear by Matlab-Simulink in three cases, the feature of P&O control method, IncCond control method and considering margin calculation of IncCond control method.

I. 서 론

최근 화석에너지의 고갈과 환경오염의 심각성이 문제되고 있다. 이러한 문제의 해결책으로 신재생에너지 개발이 활발히 이루어지고 있다. 신재생에너지 중 친환경적이며 무한한 자원을 가지고 있는 태양광발전의 개발이 각광받고 있다. [1]

태양광발전시스템은 어레이에 태양광을 받아 직접 전기에너지로 변환하는 발전시스템이다. 태양광을 전기에너지로 바꾸어 주는 어레이는 일사량, 그림자 그리고 주변온도 등의 주변 환경의 영향을 많이 받는다. 이러한 태양전지 어레이의 발전량은 일사량 및 온도의 영향에 따라 변화하기 때문에 최대 전력점에서 동작하여야 하며, 태양광발전시스템의 최대 전력 출력 동작점을 찾는 방식을 일반적으로 최대 전력출력 추종 제어 MPPT (Maximum Power Point Tracking)라고 한다.[2,3]

최대 전력 추종 제어(MPPT)은 일정전압 제어 방식, Incremental Conductance (IncCond) 방식, Perturbation & Observation (P&O) 방식 그리고 Fuzzy 제어 방식 등이 있다. 이 중에서 가장 일반적으로 널리 사용되고 있는 방식으로는 IncCond 방식과 P&O 방식이 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[4]

본 논문에서는 태양광 발전시스템에서 중요한 요소인 MPPT 기번의 문제점을 도출하고 제어 특성을 고찰하기 위하여 태양전지를 Matlab-Simulink를 이용하여 모델링 하고 시뮬레이션을 수행하였다.

MPPT의 제어 특성을 일사량 가변에 따른 추종 성능을 고찰하기 위해 P&O 방식, 여유계수를 고려하지 않은 IncCond 제어 방식과 여유계수를 고려한 IncCond 제어 방식에 대한 출력특성을 비교 분석하고자 한다. 특히 IncCond 제어 방식에서 여유계수가 출력 특성에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다.

II. 태양광발전 MPPT 제어

A. 태양전지의 특성

1. 태양전지의 동작특성

태양전지는 한 개의 이상적인 다이오드와 I_{ph} 의 크기를 갖는 정전류원으로 모델링 할 수 있다. 하지만 이상적인 다이오드를 제작하는 것이 불가능하기 때문에 접촉저항과 표면층의 시트저항(Sheet resistor) 등으로 표시하는 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 고려하여야 한다.[5,6]

태양전지 표면에 입사되는 빛 중 일부는 표면에서 반사되며, 나머지 표면을 투과한 빛은 태양전지 내에서 흡수되어 지수 함수적으로 광자의 수가 감소하게 된다.[7]

그림 2-1은 빛이 입사할 때 광기전력의 효과를 이용한 태양전지의 등가회로를 나타낸 그림이다.

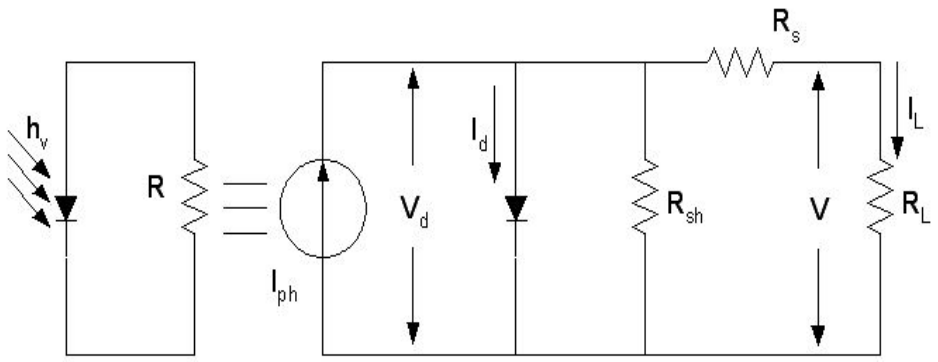

그림 2-1 태양전지의 등가회로

여기서, I_{ph} 는 입사된 빛에 의해 생성된 캐리어 (Carrier)가 외부로부터 방해받지 않을 경우 폐회로를 통하여 흐르는 광전류를 나타내며, I_d 는 암전류를 나타내며 이는 I_{ph} 와는 서로 반대방향이다. R_s 은 전지 내부에 존재하는 직렬저항을 나타내며, R_{sh} 는 이상적인 다이오드 특성에서 벗어나 일정한 상수 저항으로 표시되는 누설저항을 나타낸다. R_L 은 외부에서 걸어주는 부하저항을 나타낸다.

그림 2-1의 등가회로에서의 태양전지의 출력전류와 전압은 식 (1) 과 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_L = I_{ph} - I_d - \frac{V}{R_{sh}} = I_{ph} - I(\exp\frac{qV}{nKT} - 1) - \frac{V}{R_{sh}} \qquad (1)$$

$$V_d = V + IR_s = \frac{nKT}{q} ln\left[\frac{I}{I_o} + 1\right] \qquad (2)$$

여기서 I_o 는 다이오드 포화전류를 나타낸다.

식 (1)과 식 (2)로부터 직렬저항을 고려하여 태양전지의 출력전류를 구하면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_L = I_{ph} - I[\exp(\frac{q(V + IR_s)}{nKT}) - 1] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \qquad (3)$$

그림 2-1에서 빛을 투사할 경우 직렬저항 $R_s = 0$, 병렬저항 $I_{sh} = \infty$ 인 이상적인 pn접합 다이오드인 경우 부하에 흐르는 전류 I_L 은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_L = I_{ph} - I_o[\exp(\frac{qV}{nKT}) - 1] \quad (4)$$

여기서, I_L 은 출력전류, I_{ph} 는 광전류, I_o 는 다이오드 포화전류, n 은 다이오드 상수, K 는 볼쯔만 상수, q 는 전자의 전하량을 나타내고 있다.

일정한 온도와 일정한 일사강도에서 태양전지의 전압-전류(V-I) 특성 곡선은 그림 2-2와 같다.

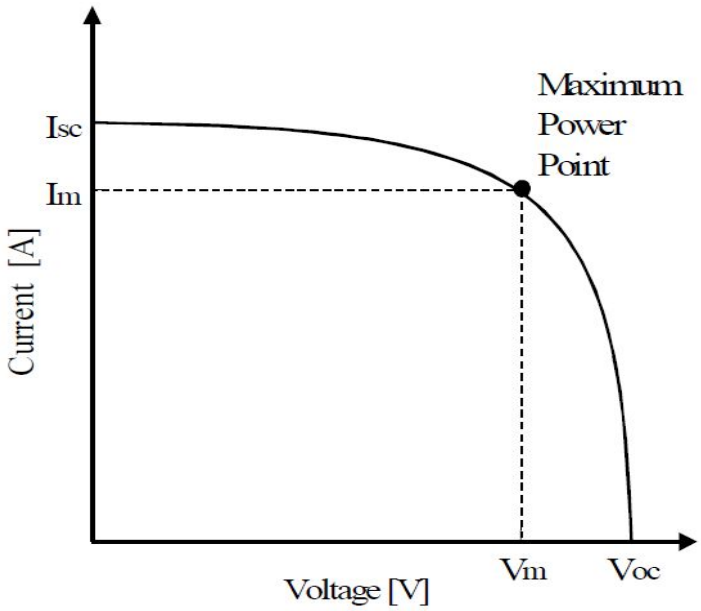

그림 2-2 태양전지의 전압-전류 특성곡선

식 (4)로 부터 $I_L = 0$ 인 조건에서 개방전압 V_{oc} 는 식 (5)와 같다.

$$V_{oc} = \frac{qKT}{q} ln(\frac{I_{ph}}{I_o} + 1) \quad (5)$$

단락전류 I_{sc}는 $V_L = 0$ 인 조건으로부터 $I_{sc} = I_{ph}$ 가 된다. 태양전지에 연결된 부하저항의 크기를 조정함으로서 어떤 최적 동작점에서 최대의 출력 $P_{\max}$를 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{\max} = V_m \bullet I_m \tag{6}$$

또한, 부하저항에서 소비되는 에너지 P_{out}은 식 (7)과 같다.

$$P_{out} = V \bullet I = V \bullet \left\{ I_{ph} - I_o [\exp(\frac{qV}{nkT}) - 1] \right\} \tag{7}$$

최적부하조건에서 $\frac{dP_{out}}{dV} = 0$이므로 최적동작전압 V_m은 식 (8)과 같다.

$$V_m = \exp(\frac{qV_m}{nkT})(1 + \frac{qVm}{nkT}) = (\frac{I_{ph}}{I_o}) + 1 \tag{8}$$

따라서 최적동작전류 I_m은 식 (9)와 같이 구할 수 있다.

$$I_m = \frac{(I_{ph} + I_o) \bullet (\frac{qV_m}{nkT})}{1 + (\frac{qV_m}{nkT})} \tag{9}$$

태양전지의 특성을 평가하는데 있어서 단락전류 I_{sc}, 개방전압 V_{oc} 와 더불어 가장 중요한 요소 중의 하나는 충진율(FF)이며 식 (10)과 같이

정의된다.

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \tag{10}$$

태양전지의 에너지 변환효율 η 는 태양전지에서 얻을 수 있는 최대의 전기 에너지를 입사광에너지로 나눈 값으로 정의하며 다음 식 (11)과 같다.

$$\eta = \frac{V_m \times I_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \times FF \tag{11}$$

여기서, P_{in} 은 입사된 태양광에너지이다.

따라서 태양전지의 효율을 높이기 위해서는 단락전류 I_{sc}, 개방전압 V_{oc}, 그리고 충진율 FF 를 높여야 한다.

2. 태양전지의 전기적 특성

일반적인 태양전지는 일사량의 변화에 대하여 그림 2-3과 같은 전류-전압(I-V) 특성을 갖는다. 일사량이 클수록 전압과 전류가 증가하게 되고 일사량의 변화에 따라 출력전압의 변화는 미소하게 나타나지만 전류의 변화는 크게 나타난다.[8]

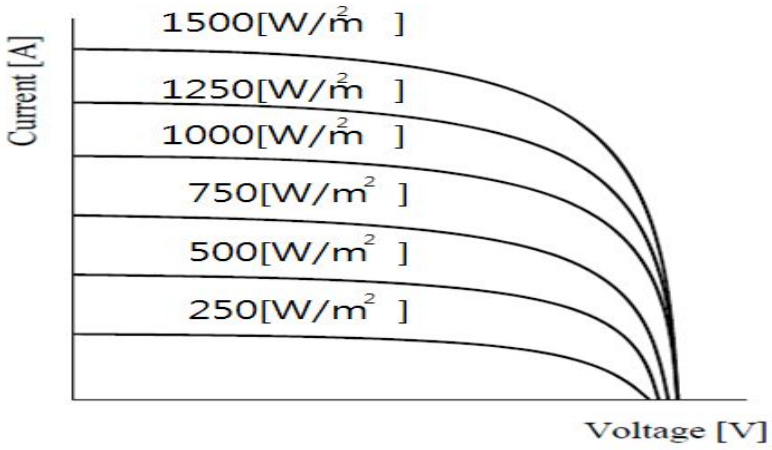

그림 2-3 일사량의 변화에 따른 전류-전압(I-V) 특성곡선

일사량의 변화에 따른 태양전지의 전기적 특성을 이해하기 위하여 태양전지에 저항부하를 연결하고 개방상태에서 단락상태로 서서히 저항을 가변하면 그림 2-4와 같이 태양전지의 전압, 전류의 변화를 볼 수 있다. 개방상태에서는 전류가 0[A]일 때 출력되는 전압 값이 개방전압 V_{oc} 이다.

태양전지의 저항 값을 감소시키면 전류는 증가하는 반면 전압은 감소하며 곡선부분에서는 전압의 감소폭이 적으며 보통 전지의 정전압원 특성을 나타낸다. 저항을 0[Ω]으로 하게 되면 완전 단락상태가 되며 전압은 0[V]로 출력된다. 이 때의 전류가 단락전류 I_{sc} 이다.[9]

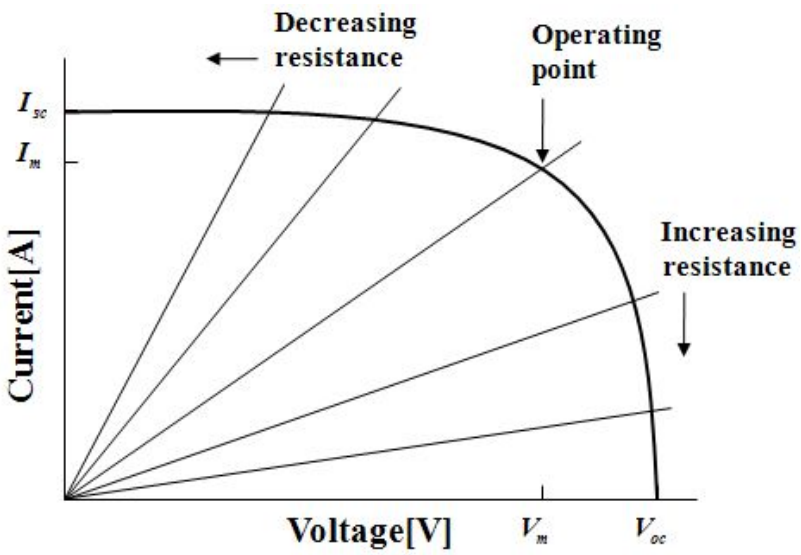

그림 2-4 저항부하를 가변 할 경우 전류-전압(I-V) 특성곡선

또한 태양전지는 온도에 의존하는 특성을 가지고 있다. 그림 2-5는 온도변화에 따른 태양전지의 전압-전류(V-I) 특성을 나타내고 있으며, 접합부 온도의 선형적인 증가로 전압은 감소한다.

이와 같이 온도에 따라 전압이 변동하는 이유는 온도증가로 다이오드 포화전류(I_0)가 지수적으로 증가하기 때문이다. 그러기 때문에 포화전류는 pn접합의 생성영역 안에서 가속화되어 열여자(Thermal excitation)에 의하여 생성된 소수 캐리어의 전류이다.

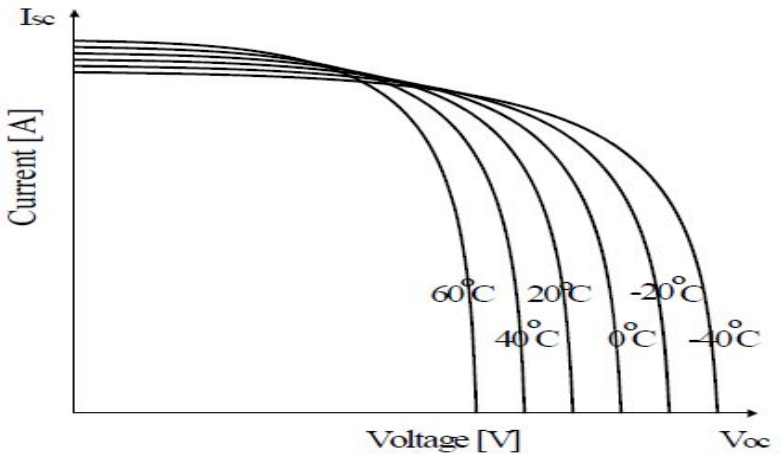

그림 2-5 태양전지의 온도특성 곡선

태양전지의 출력전력은 출력전압과 출력전류의 곱으로 계산되며 그림 2-6과 같이 나타낼 수 있다. 그림 2-6 으로부터 태양전지에는 출력전력이 최대가 되는 점이 존재하며 전압-전류(V-I) 특성곡선에서도 출력이 최대가 되는 동작점이 일사량 변화에 따라 그림 2-7과 같이 존재한다. 출력전력이 최대가 될 때의 전압을 최대출력 동작전압 V_m 이라고 하며, 그때의 전류를 최대출력 동작전류 I_m 이라 한다.[10]

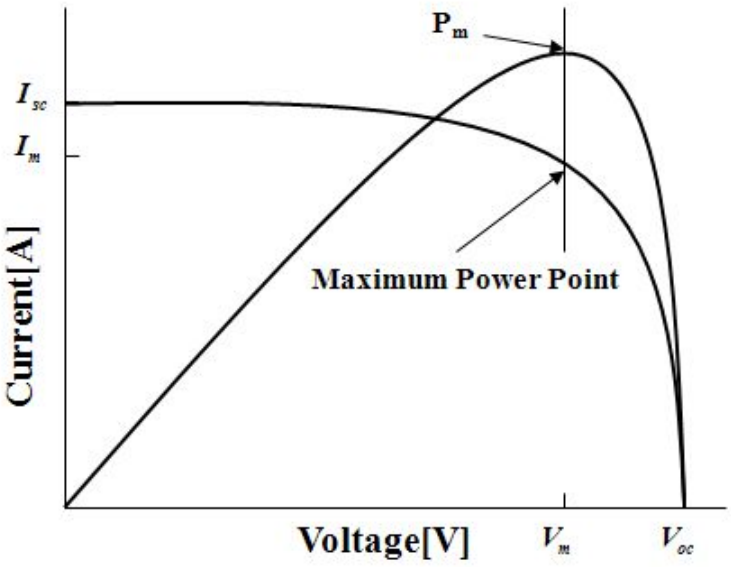

그림 2-6 태양전지의 최대 출력 전력 곡선

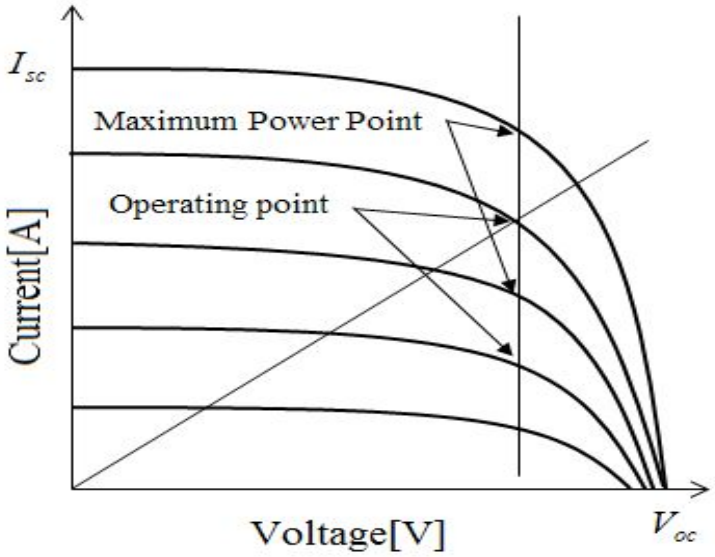

그림 2-7 일사량의 변화에 따른 최대 출력 곡선

B. 태양광발전시스템

1. 태양광발전시스템의 구성

태양광발전시스템은 일사량에 의존하여 직류전력을 발전하는 태양전지와 발전된 전력을 부하에 공급하기 위한 부하 매칭의 기본 기능을 필요로 한다. 태양광발전시스템의 기본 기능으로는 일사량에 의존하여 직류전력을 발전하는 태양전지 어레이, 발전한 전기를 저장하는 전력저장 축전기능, 발전한 직류를 교류로 변환하는 인버팅 기능과 전력품질 및 보호기능을 갖는 PCS(Power Conditioning System)기능, 전력계통이나 다른 전원에 의한 Back-up 기능 그리고 발전된 전력을 공급하기 위한 대상 부하의 기능이다.

태양광발전시스템은 일사량 태양 빛을 직접 전기에너지로 변환하는 부분은 태양전지나 배선, 지지 구조물을 총칭하여 태양전지 어레이라고 한다. 태양전지 어레이 구조물과 구성 기기는 일반적으로 주변장치(Balance of System)라고 한다. 태양전지 어레이와 축전지를 제외한 인버터 등의 전기적인 전력변환 기기류와 제어·보호장치를 일체구조의 유니트로서 공급하는 경우에는 PCS라고 한다.

2. 독립형 태양광발전시스템

독립형 태양광발전시스템은 전력계통으로부터 전력을 공급 받지 못하는 낙도나 산간벽지, 무인등대, 무인 중계 소등에 축전지나 인버터를 이용하여 DC 부하 또는 AC 부하에 전력을 공급하는 시스템이다.

독립형 태양광발전시스템의 구성은 그림 2-8에서와 같이 과전압 안정회로를 부착한 축전지 저장방식으로 인버터 내에 과전압 보호장치가 설치

되어 있어 항상 일정전원을 축전지에 공급하여 운전하는 시스템이다.

독립형 태양광발전시스템에는 Back-up System을 보완시킨 축전지 저장 장식을 사용하며 축전지 전력이 떨어질 경우 Back-up System으로 축전지를 충전하여 운전하므로 태양전지와 축전지를 최악조건에 맞추어 충분하게 설치하지 않아도 되며 직류 부하용 시스템으로서는 가장 이상적이고 효율적인 시스템이다. 독립형 태양광발전시스템은 축적 설비를 가지고 있으며 계통선과 분리되어 있기 때문에 시스템에서 발생된 무효전력이나 유효전력 그리고 고조파는 전력계통선에 영향을 끼치지 않는다. 그러나 축적설비가 고가이고 넓은 설치공간이 필요로 하며 축전지의 액 보충, 유출, 폭발과 같은 문제점이 있다. 또한 태양전지에 축전지를 직접 병렬로 연결하여 사용하는 경우 축전지의 전압동요가 태양전지의 동작점을 이동하게 하여 최대전력을 얻는 것이 불가능하며, 축전지의 충·방전 손실이 발생하게 되어 효율이 떨어진다는 단점을 가지고 있다.

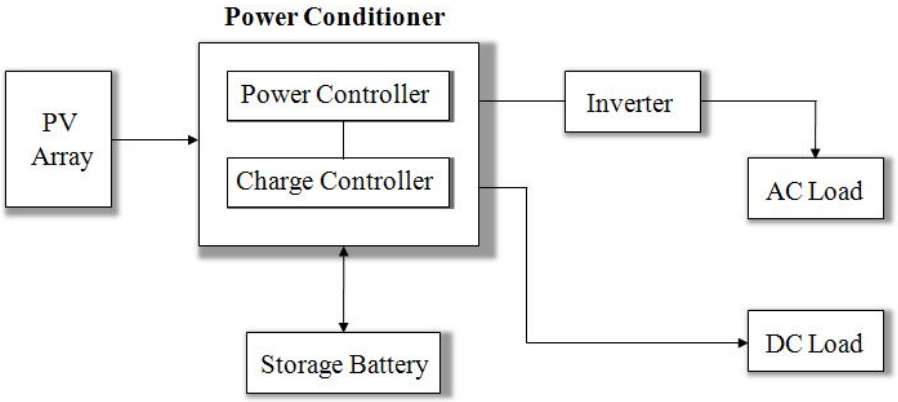

그림 2-8 독립형 태양광발전시스템 알고리즘

3. 계통연계형 태양광발전시스템

계통연계형 태양광발전시스템은 PV 모듈과 인버터를 직접 연결함으로서 PV 모듈로부터 발생되는 직류전원과 계통선의 교류전원을 균형있게 유지하여 AC 부하에 전력을 공급하는 시스템이다.

계통연계형 태양광발전시스템은 단방향 연결형과 양방향 연결형으로 구분할 수 있으며, 단방향 계통선 연결방식은 주택용, 공장용 전원 등으로 많이 이용되는 시스템으로서 단방향 계통선 연계형 인버터를 사용하여 부하측에 전력을 공급하며 축전지를 사용하지 않고 운전한다. 그리고 계통선에서는 태양전지에서 공급되는 전력의 부족분만을 부하측으로 공급하는 시스템으로서 그림 2-9에 구성도를 나타내고 있다.[11]

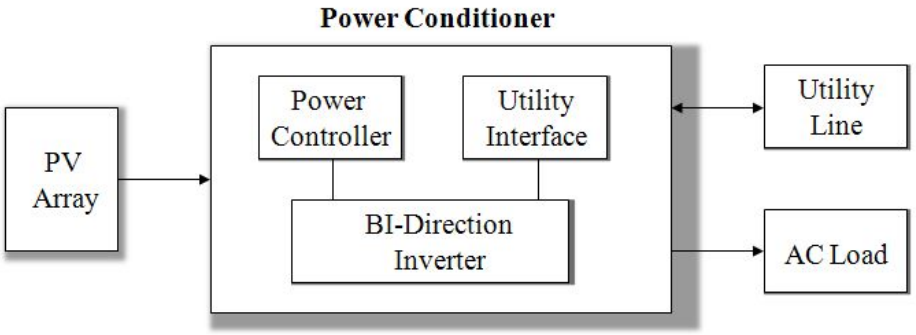

그림 2-9 계통연계형 태양광발전시스템 알고리즘

그림 2-10은 단방향 계통연계방식을 나타내며, 그림 2-11은 양방향 계통연계방식의 알고리즘을 나타낸다.

계통연계형 태양광발전시스템은 대용량 발전소의 경우나 주택용 전원 등에 이용하는 시스템으로 계통선 연계형 인버터를 직접 태양전지와 연결하여 PV 모듈로부터 발생된 인버터 출력이 부하가 필요로 하는 전력보다 클 경우 그 잉여전력은 계통선으로 공급되며, PV 모듈로부터 발생된 인

버터 출력이 부하가 필요로 하는 전력보다 적을 경우 부족한 전력은 계통선에서 공급된다. 또한 독립형 시스템에서와 같이 고가의 축적설비가 필요 없기 때문에 축전지의 충·방전 손실이 없고 효율이 개선되는 장점을 가지고 있다. 그러나 계통연계형 시스템에서 PV 모듈의 발생전력은 인버터를 통해 계통선과 직접 연결되어 있기 때문에 인버터에 발생되는 고조파에 의한 유효전력과 무효전력의 동요는 직접 전력계통선에 영향을 미치게 된다.

계통선에는 많은 시스템들이 연결되어 있고 시스템의 발생전력과 수요전력이 균등상태에 있다면 계통선에서 문제들은 찾기가 매우 어렵다. 그러므로 안전성에 관련된 기술적인 문제들이 나타나게 되며, 이러한 기술적인 문제점 해결을 위해 태양전지와 계통선 사이에 전지적인 절연이 필요하며, 이로 인해 시스템의 제어장치가 복잡해진다.

계통연계형 태양광발전시스템은 보수가 없고 고가의 축적설비가 필요 없으며 시스템효율이 높기 때문에 주택용 PV 시스템으로 사용하기 위한 가장 이상적인 시스템 형태라 할 수 있다.

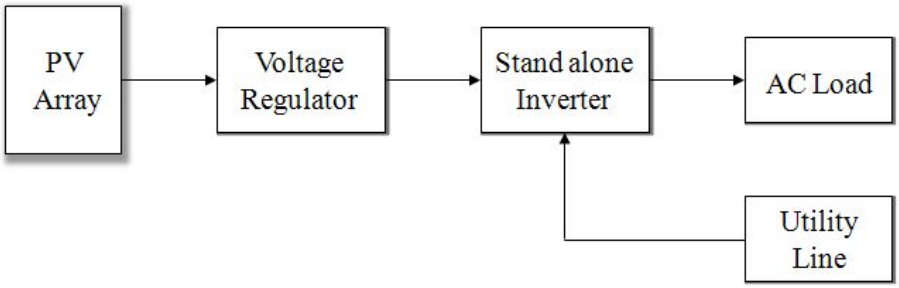

그림 2-10 단방향 계통연계형 태양광발전시스템 알고리즘

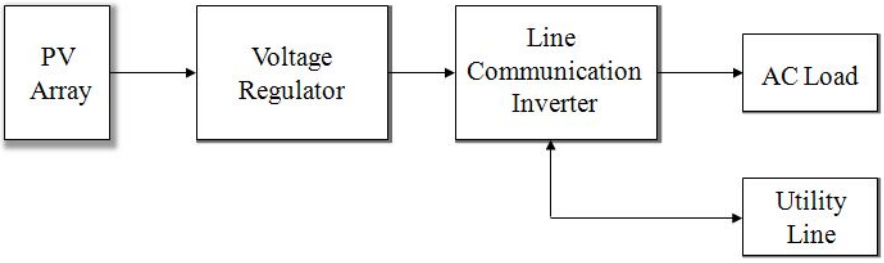

그림 2-11 양방향 계통연계형 태양광발전시스템 알고리즘

C. MPPT 제어 알고리즘

태양광발전시스템은 어레이에 태양광을 받아 직접 전기에너지로 변화하는 발전시스템이다. 이러한 어레이는 일사량, 그림자, 주변온도 등 주변환경의 영향을 많이 받으며 어레이에서 출력되는 최대전압은 일사량과 온도에 의해서 순시적으로 변화하게 되기 때문에 태양전지의 특성이 변하지 않으면 동작점이 변하게 되어 최대출력을 얻을 수 없다. 따라서 태양전지를 효율적으로 동작시키기 위해서는 태양전지 어레이 출력을 항상 최대전력점에서 동작하도록 하는 제어가 필요하다. 이러한 태양전지 어레이의 최대전력점을 찾아 제어하는 방식을 최대 전력출력 추종 제어 MPPT라고 한다. MPPT제어기법은 태양전지 어레이에 연결된 부하를 제어하여 임피던스 매칭을 최적화함으로써 최대출력점 동작이 가능하게 되며, 제어방법은 크게 아날로그 방식과 디지털 방식으로 분류된다. 알고리즘 측면에서는 일정 전압제어 알고리즘, P&O 알고리즘, IncCond 알고리즘, Fuzzy 알고리즘 방식 등으로 분류 할 수 있다.

아날로그 제어방식의 경우 제어회로와 센서를 이용하여 구현이 가능하지만, 제어의 유연성과 다른 종류의 태양전지 어레이에 적용을 쉽게 하기 위하여 DSP 또는 마이크로 컨트롤러를 이용하는 것이 유용하다. MPPT 기술의 핵심은 측정된 어레이 파라미터(I,V,P)를 이용하여 최대전력점을 추적하는 알고리즘이며, 태양전지 어레이의 동작점 변화와 어레이 출력전력의 변화에 일치시키기 위하여 연속적으로 동작시키는 것이다.[12]

MPPT 추종 알고리즘은 태양전지의 특성에 종속적이지 않고 자유로워야하며, 실제적인 최대전력점 추종이 가능하여야 한다. 또한, 주기적인 튜닝이 필요치 않아야 하며 추종 속도가 빨라야 한다. 이 방법들은 전력-전압의 기울기에 의하여 제어하는 방식으로 여러 실험을 통하여 P&O 방식보다 IncCond 방식이 더 향상된 알고리즘 방식임이 증명되었으며 빠른 일사량 변동 시에 유리한 알고리즘으로 알려져 있다.[13]

1. 일정 전압 제어 방식

태양전지 어레이 출력전압은 일사량의 변화에 대해서 약간의 변동폭을 가지는 정전압 특성을 나타내고 있으므로, 어떤 일정한 전압을 설정하여 정전압으로 제어하는 방법을 일정전압 제어방법이라 한다. 이 기법은 출력에 대해 전력량이 필요하지 않으며, 부스트 컨버터의 Duty는 제어 회로에 의해 결정되며 이것의 출력측 DC전압은 정상상태 조건의 V_{ref}값에 의해 일정하게 유지된다. 이 일정전압 제어방법은 전류센서를 줄일 수 있으나 일사량이 급변하는 경우 정확한 최대 전력점을 찾아 동작하지 못해 출력효율이 감소하는 단점이 있다.[14]

2. P&O 제어 방식

P&O 제어방법은 간단한 피드백 구조를 갖으며 소수의 측정 파라미터를 갖기 때문에 널리 사용된다. 이는 태양전지의 전압을 주기적으로 증가 또는 감소시킴으로써 동작하며, 이전의 교란주기 동안의 태양전지 어레이 출력 전력과 함께 현재 어레이 출력 전력 비교에 의해 최대전력의 상태를 연속적으로 추적하며 찾는 방법이다.

만약 전력이 증가하게 되면 교란은 다음 주기 동안 계속해서 같은 방향으로 증가할 것이다. 하지만 그렇지 않으면 교란의 방향은 반대가 될 것이다. 이것은 어레이 단자전압이 모든 MPPT 주기 동안 교란된다는 것을 나타낸다. 그러므로 출력전력이 최대 전력점에 이르렀을 때 P&O 알고리즘은 일정하거나 또는 천천히 변하는 환경조건 하에서 자려진동 (Self Oscillation)을 한다. 그 결과 태양전지 어레이에 손실이 발생하게 된다. 이 문제는 최대 전력점에 도달했을 때를 검출하기 위해 바로 앞의 주기 동안의 두 개의 파라미터 비교와 교란부를 바이패스하기 위한 P&O 알고리즘의 개선에 의해 해결할 수 있다. 전력손실을 줄이기 위한 다른 방법

으로는 교란 step(△V)의 감소가 있는데 이 방법은 일사량이 낮은 경우 제어특성이 나빠지고, 환경조건이 급하게 변할 경우 최대 전력점 추적속도가 늦어지게 되므로 step의 결정이 중요하게 된다.[15]

P&O 제어 방법은 그림 2-12과 같은 순서도에 의해 동작한다.

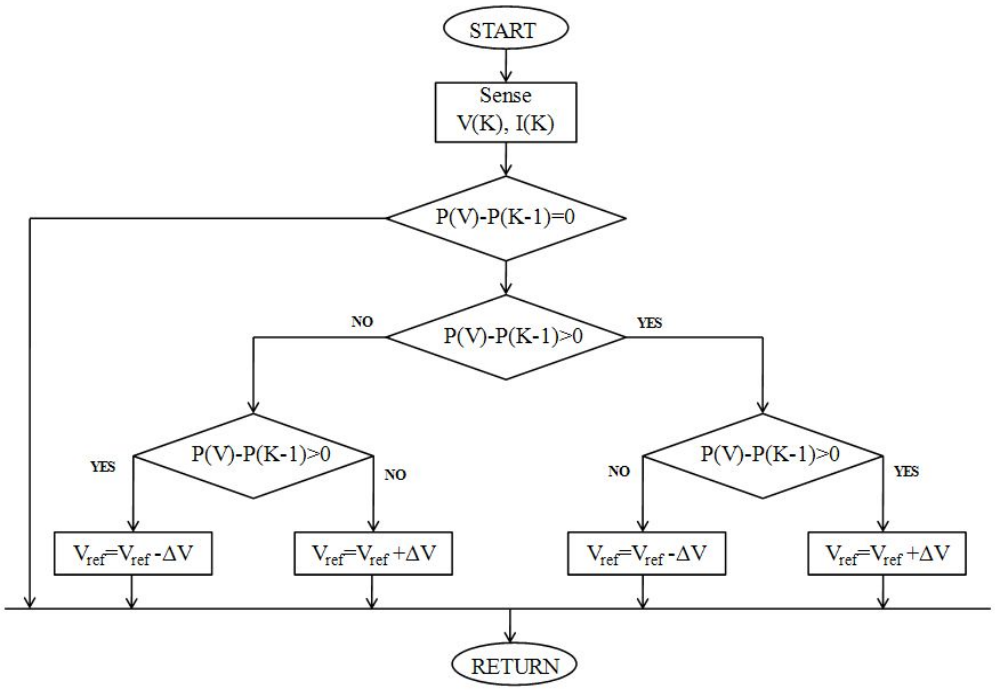

그림 2-12 P&O 제어 알고리즘 순서도

3. IncCond 제어 방식

IncCond 알고리즘은 P&O 알고리즘의 단점을 피하기 위한 방법으로 제안된 알고리즘이다. 태양전지 전압 V 에 대한 출력전력 P 의 미분이 최대 전력점에서 '0' 이 된다는 이론을 기초로 한 제어방법이다. 태양전지의 P-V 특성을 보면 최대전력점을 기준으로 왼쪽의 미분값은 '0' 보다 크고, 오른쪽은 '0' 보다 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 다음과 같은 식을 이끌어 낼 수 있다.[16]

$$V = V_{mp} \qquad \frac{dP}{dV} = 0 \tag{12}$$

$$V < V_{mp} \qquad \frac{dP}{dV} > 0 \tag{13}$$

$$V > V_{mp} \qquad \frac{dP}{dV} < 0 \tag{14}$$

식 (12)로부터 $P = VI$ 와의 관계를 이용하여 식 (15)를 구한다.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VI)}{dV} = I\frac{dI}{dV} + V\frac{dI}{dV} = I + V\frac{dI}{dV} \tag{15}$$

식 (12)와 식 (15)를 조합하여 MPP 조건 $V = V_{mp}$ 을 만족하는 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \tag{16}$$

이 알고리즘은 DC-DC 컨버터의 입력이나 P&O 알고리즘의 기준 전압 V_{ref} 를 조정함으로써 이행된다.

필요 증분 dV 와 dI 의 변화는 이전 주기에 측정된 V 와 I 의 값에 대하여 가장 최근 값을 비교함으로써 접근시킨다.

$$dV(k) \approx V(k) - V(k-1) \tag{17}$$

$$dI(k) \approx I(k) - I(k-1) \tag{18}$$

MPPT 를 찾기 위한 중심함수는 다음과 같은 조건을 적용한다.

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \tag{19}$$

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \tag{20}$$

만약 식 (19)의 조건과 일치한다면 시스템은 MPP에서 동작하게 되므로 동작전압을 바꿔줄 필요가 없다. 하지만 만약 식 (19)에서 동작을 하지 않을 경우 식 (13) 과 식 (14) 에 대한 식 (20) 을 전압이 V_{mp} 보다 크거나 작을 때 동작하는 시스템 조건을 결정하기 위해 사용한다. 이 때 항상 MPP 동작전압이 조정되어 최대전력을 얻을 수 있게 된다.[17,18]

그림 2-13 은 IncCond 제어 알고리즘의 순서도를 나타내고 있다.

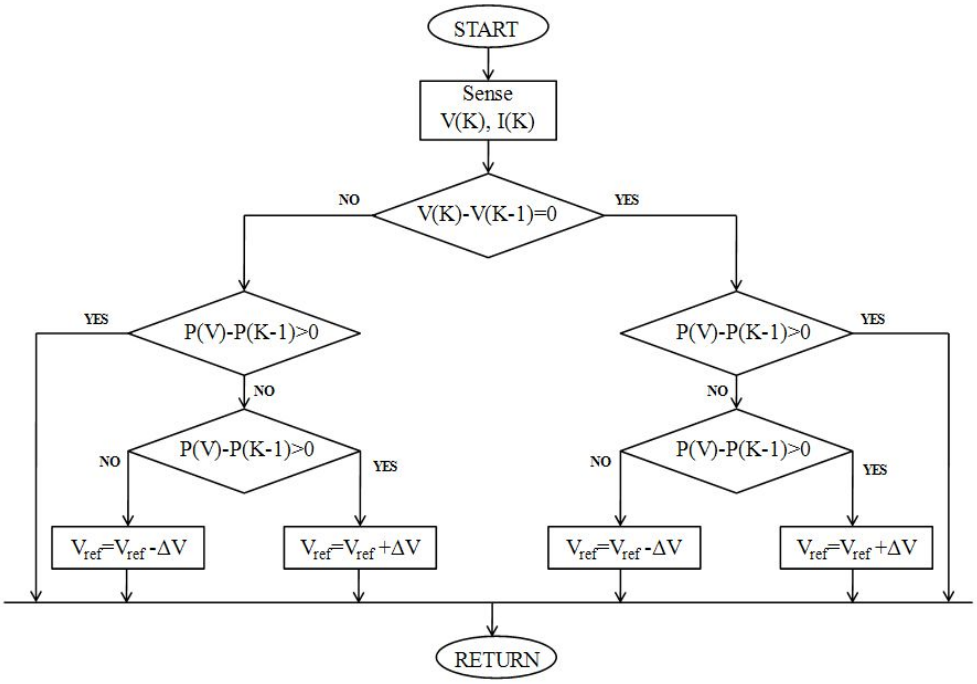

그림 2-13 IncCond 제어 방식 알고리즘 순서도

4. 여유계수를 고려한 IncCond 제어 방식

기존의 IncCond 제어 알고리즘 방식은 태양전지의 임피던스와 부하의 임피던스를 서로 비교한 값으로 태양전지의 출력을 제어하는 방식으로 전류를 받아 전압을 피드백하여 기울기 값을 비교 분석하여 최대 출력점을 추적하는 방식이다.

본 논문에서 제안한 여유계수를 고려한 IncCond 방식은 기존의 IncCond 방식과 제어 방식은 같지만 IncCond 제어 방식의 여유계수의 값을 $0.45 < dI/dV = -I/V < 1.01$ 변화시킨 방식으로 기존의 IncCond 제어 방식과 비교하여 자려진동의 특성을 고찰하고자 하였다.

그림 2-14은 여유계수를 고려한 IncCond 제어 알고리즘 순서도를 나타낸 것이다.

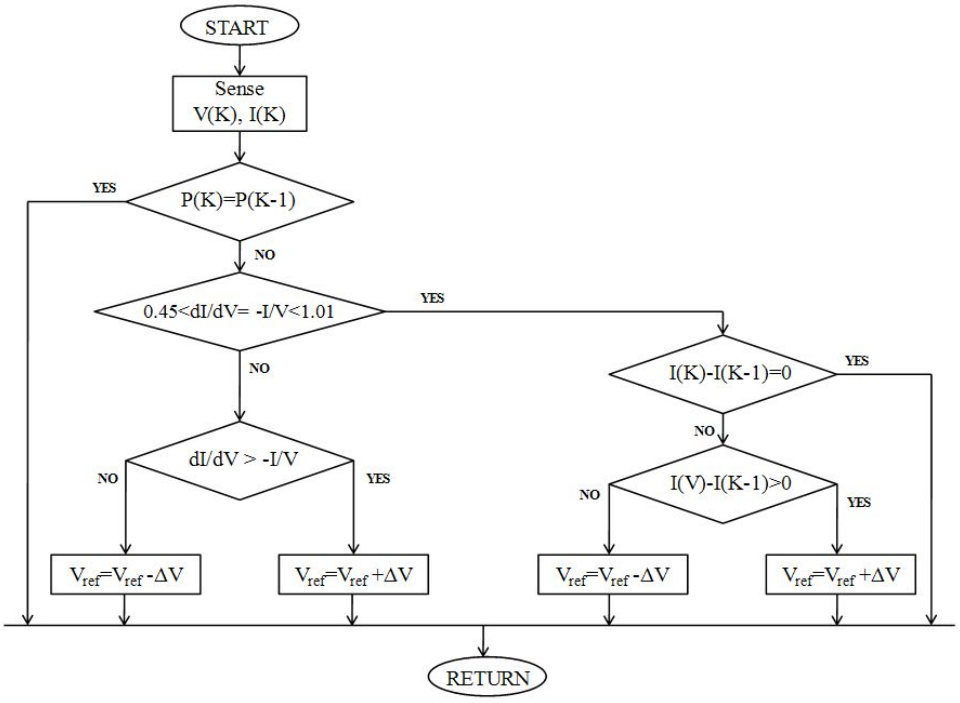

그림 2-10 여유계수를 고려한 IncCond 제어 알고리즘 순서도

III. 시뮬레이션 및 고찰

A. 태양전지 출력 특성

본 논문에서는 태양전지의 출력 특성 및 P&O 제어 알고리즘과 IncCond 제어 알고리즘과 기존의 IncCond 제어에서 여유계수를 설정해 주었을 경우 출력 특성을 Matlab-Simulink 시뮬레이션 툴을 이용하였다. 이 때 사용한 태양전지 모듈의 파라미터 값은 표 1과 같다.

표 1 태양전지 모듈 파라미터 값

Parameter	Value
Peak Power [wp] ± 5%	215
Peak Power Voltage [Vmpp]	42.0
Peak Power Current [Impp]	5.13
Open Circuit Voltage [Voc]	51.6
Short Circuit Current [Isc]	5.61

그림 3-1은 MATLAB Simulink를 이용하여 태양전지 모듈의 내부 Block-Diagram을 나타내고 있다. 그림 3-2와 그림 3-3은 표 1의 태양전지 모듈의 전압-전류, 전력-전압 특성곡선을 일사량의 변화에 따라 시뮬레이션을 한 파형이다. 입사되는 일사량을 200, 400, 600, 800, 1000[W/m^2] 으로 200[W/m^2]씩 증가하여 변화하였을 경우 시뮬레이션을 수행한 결과를 보여주고 있다. 그림 3-1과 그림 3-2를 보면 일사량이 증가함에 따라 전류 값이 높아지며, 최대 전력값 또한 증가함을 확인 할 수 있었다. 최대 전력점에서 전압은 42.0[V], 전류는 5.13[A], 전력은 약 215[W]로 나타났다.

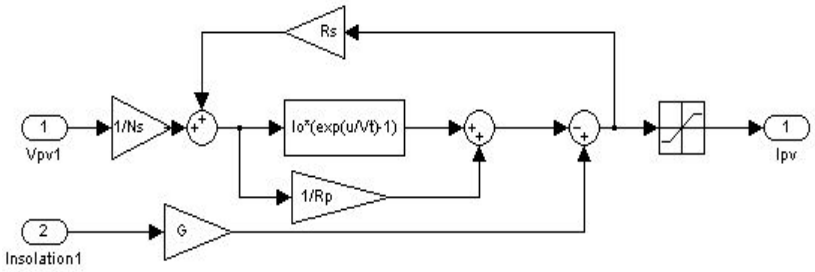

그림 3-1 Matlab-Simulink를 이용한 PV module 내부 회로도

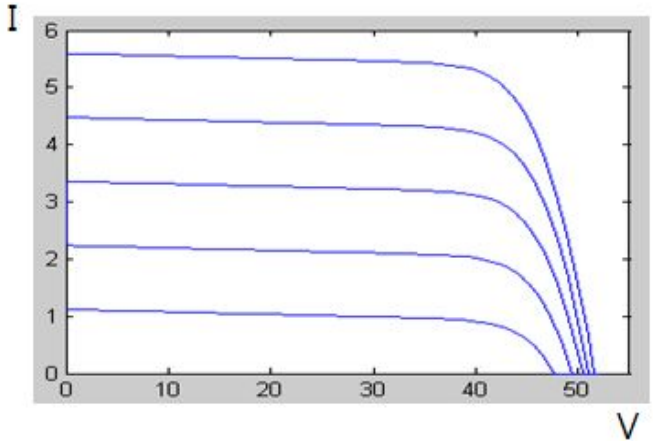

그림 3-2 태양전지 어레이의 전류-전압 특성곡선

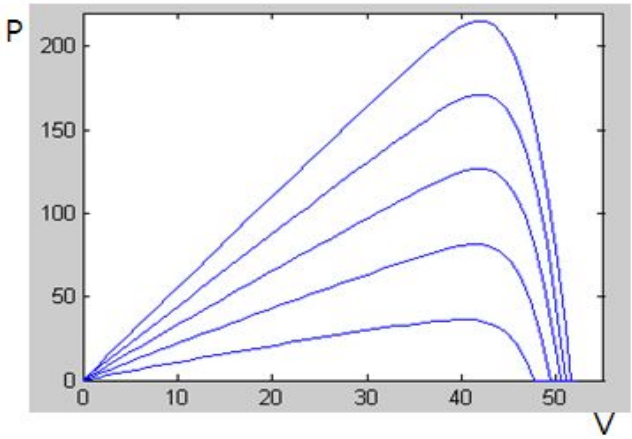

그림 3-3 태양전지 어레이의 전력-전압 특성곡선

B. MPPT 제어 특성

최대 출력점을 추적하기 위하여 많은 시뮬레이션 툴이 이용되고 있으나 본 논문에서는 Matlab-Simulink를 이용하여 태양전지 어레이의 MPPT 제어 특성에 대하여 알아보기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. IncCond 방식은 전류를 받아 전압을 피드백하여 기울기 값을 비교 분석하여 최대 출력점을 추적하는 방식이다. P&O 방식은 Matlab-Simulink에서의 구성은 IncCond 제어 방식과 같지만 MPPT가 전력값을 받아 태양전지 전압을 주기적으로 증가 또는 감소시켜 동작하는 방법을 이용한 방식이다. 이전의 교란 주기 동안의 태양전지어레이 출력 전력과 현재 어레이 출력전력 비교에 의해 최대 전력의 상태를 연속적으로 추적하여 최대 전력점을 찾는다.

본 논문에서는 일사량이 일정한 간격으로 변화하는 경우 P&O 제어 방식과 여유계수를 고려하지 않은 IncCond 제어 방식의 출력 특성곡선을 시뮬레이션을 통해 알아보고 여유계수를 고려하지 않은 IncCond 제어방식에서 나타난 자려진동을 보안하고자 IncCond 제어 방식에서 여유계수를 $0.45 < dI/dV = -I/V < 1.01$ 정도 값을 설정해 주었을 때의 시뮬레이션을 수행하여 비교하여 보았다.

그림 3-4는 일사량을 200, 400, 600, 800, 1000 [W/m^2]으로 일정 변화에 따른 P&O 제어 방식에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 3-5는 P&O 제어 방식에서 일사량의 값을 800[W/m^2]에서 200[W/m^2]으로 급변하였을 경우의 시뮬레이션을 보여주고 있다. 그림 3-4와 그림 3-5를 보면 P&O 제어에서 일사량을 일정하게 서서히 변화하여 주었을 경우와 급변하여 주었을 경우 모두 최대 출력점을 찾는 MPPT 제어를 한다는 것을 알 수 있다. 하지만 출력전압에 자려진동이 나타나는 것을 알 수 있다.

그림 3-6은 일사량을 200, 400, 600, 800, 1000 [W/m^2]으로 서서히 단계별로 변화하여 주었을 경우의 IncCond 제어 방식의 태양전지 출력 특성을 시뮬레이션 한 결과이다. 그림 3-7은 IncCond 제어 방식에서 일사량의 값을 800[W/m^2]에서 200[W/m^2]으로 급변하였을 경우의 태양전지 출력특성을 시뮬레이션 한 결과이다. 여기서 그림 3-6과 그림 3-7은 IncCond 제어 방식에서 여유계수를 고려하지 않았을 경우의 시뮬레이션 결과이다. 그림 3-6과 그림 3-7을 보면 IncCond 제어 방식 역시 P&O 제어 방식과 같이 일사량이 일정하게 증가하는 경우와 급변하는 경우 모두 최대 출력점을 찾아가는 MPPT 제어를 한다는 것을 알 수 있다. 하지만 여유계수를 고려하지 않았기 때문에 IncCond 제어 역시 자려진동이 생기는 것을 알 수 있다.

그림 3-8은 IncCond 제어 방식에서 여유계수를 고려하여 주었을 때 일사량의 값을 200, 400, 600, 800, 1000 [W/m^2]으로 일정하게 변화하였을 경우의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 그림 3-9는 IncCond 제어 방식에서 여유계수를 $0.45 < dI/dV = -I/V < 1.01$ 로 고려하여 주었을 때 일사량의 값을 800[W/m^2]에서 200[W/m^2]으로 급변하였을 때의 시뮬레이션 결과이다. 그림 3-8을 보면 여유계수를 고려하여 주었을 때 여유계수를 고려하지 않은 그림 3-6과 비교하였을 때 자려진동이 나타나지 않음을 알 수 있다. 하지만 여유계수를 고려하여 준 경우 출력 전력의 값이 여유계수를 고려하지 않은 경우보다 더 낮게 출력되는 것을 알 수 있다. 그림 3-7과 그림 3-9를 비교하여 보면 일사량이 일정하였을 경우와 마찬가지로 일사량이 급변하는 경우에도 여유계수를 고려하여 준 경우 자려진동이 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다. 하지만 여유계수를 고려하지 않은 경우 출력되는 전력 값이 더 낮게 출력되는 것을 알 수 있다.

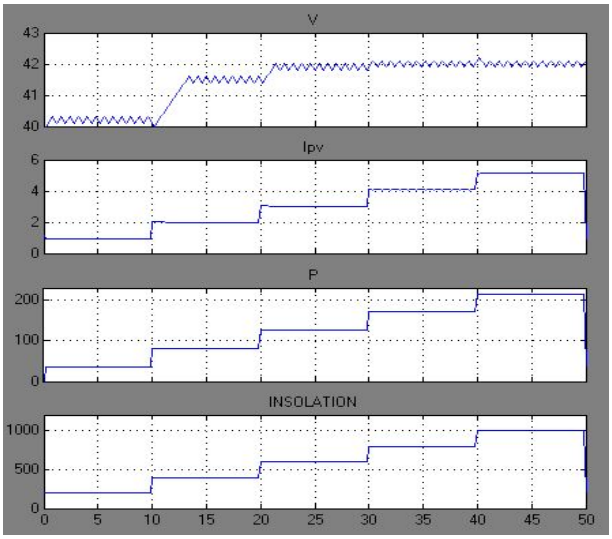

그림 3-4 일사량 변화에 따른 P&O
제어방식의 태양전지 출력 특성

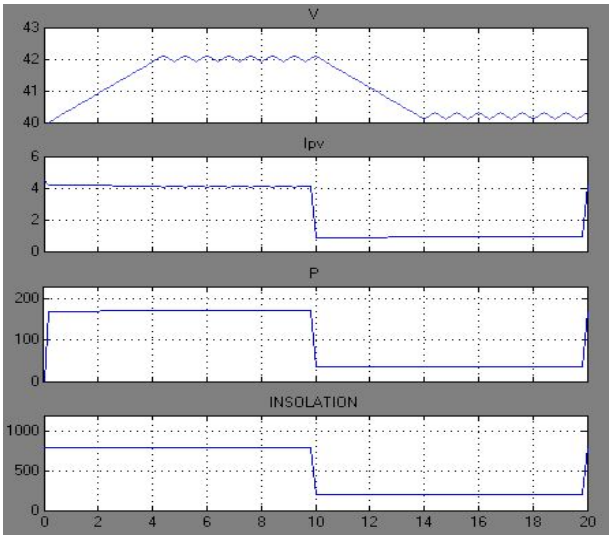

그림 3-5 급변하는 일사량의 변화에 따른
P&O 제어방식의 태양전지 출력 특성

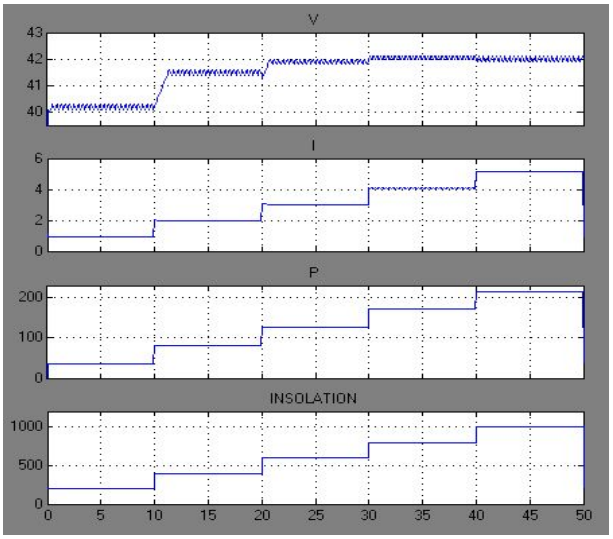

그림 3-6 여유계수가 없는 경우의 일사량 변화에 따른 IncCond 제어 방식의 태양전지 출력특성

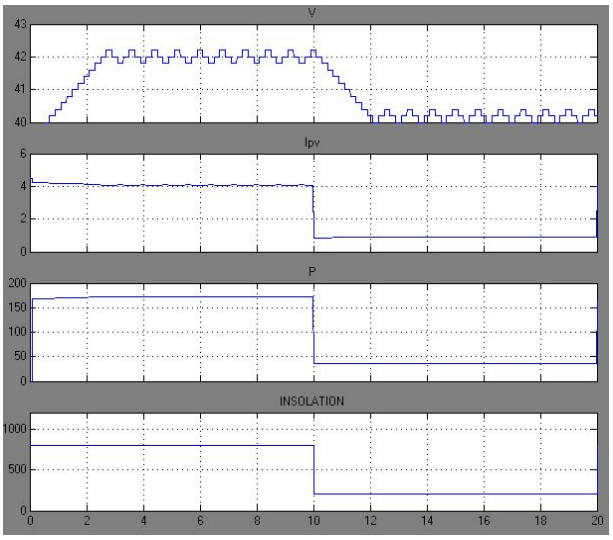

그림 3-7 여유계수가 없는 경우의 급변하는 일사량의 변화에 따른 IncCond 제어방식의 태양전지 출력 특성

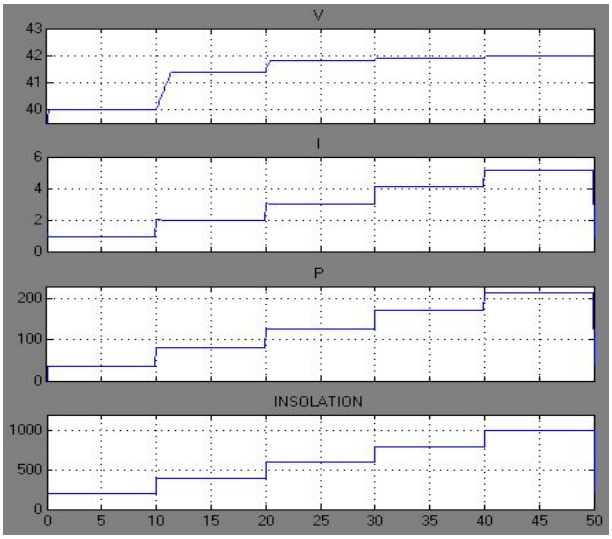

그림 3-8 여유계수를 고려하였을 경우
일사량 변화에 따른 IncCond 제어방식의
태양전지 출력 특성

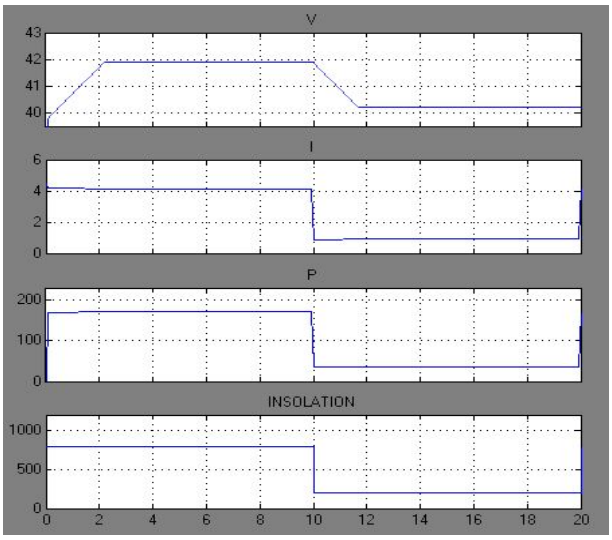

그림 3-9 여유계수를 고려하였을 경우
급변하는 일사량의 변화에 따른 IncCond
제어방식의 태양전지 출력 특성

IV. 결 론

본 논문에서는 일반적으로 사용하는 P&O 제어 알고리즘 방식과 여유계수를 고려하지 않은 IncCond 제어 알고리즘 그리고 여유계수를 고려하였을 경우의 IncCond 제어 알고리즘 대하여 설명하고 Matlab-Simulink를 이용하여 일사량이 일정하게 변화하였을 경우와 일사량이 급변하는 경우의 조건에 따른 3가지의 MPPT 제어 방식에 대한 시뮬레이션 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. P&O 제어 방식의 경우 입사하는 일사량의 값을 200, 400, 600, 800, 1000[W/m^2]로 일정하게 변화하여 주었을 경우와 800[W/m^2]에서 200[W/m^2]로 급변 하였을 경우 모두 최대 전력점을 추종하지만 자려진동이 발생하는 것을 알 수 있다.

2. 여유계수를 고려하지 않은 IncCond 제어 방식 역시 입사하는 일사량을 200, 400, 600, 800, 1000[W/m^2] 으로 일정하게 변화시켜 주었을 경우와 일사량을 800[W/m^2]에서 200[W/m^2]로 급변하는 경우 모두 최대 전력점을 추종 해 가는 것을 알 수 있었다. 하지만 여유계수를 고려하지 않은 IncCond 제어 방식에서는 자려진동이 심하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이러한 자려진동을 개선하고자 IncCond 제어 방식에 여유계수를 $0.45 < dI/dV = -I/V < 1.01$로 설정해 주게 되면 자려진동이 생기지 않는 것을 알 수 있었다.

3. P&O 제어 방식과 IncCond 제어 방식을 비교하여 보면 P&O 제어 방식은 환경조건이 급변하는 경우 추적속도가 늦어지고 자려 진동하는 단점을 가지고 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 IncCond 제어 방식은 미분하는 값으로 제어속도가 변화한다는 점과 에러치 조종을 확실하게 해야 한다는 점을 알 수 있었다. 또한 IncCond 제어 방식의 경우 여유 계수를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우를 비교하여 보면 여유 계수가 없는 경

우 자려진동이 심하게 나타는 대신 출력 전력이 더 높게 출력되며, 여유 계수를 $0.45 < dI/dV = -I/V < 1.01$로 주었을 경우에는 자려진동이 생기지 않는 대신 출력되는 전력의 값이 더 낮게 출력되는 것을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] Dr. F. Lasnier, Tony Gan Ang, "Solar Photovoltaic Handbook", Energy Technology Division Asian Institute of Technology, Vol. 1 (1998), pp.10-50

[2] Fumio Harashima and seiji Kondo, "Optimal Power Flow Control of Photovoltaic Solar Energy System", Institude of Industrial Science, University of Tokyo, 7-22-1, Roppong, Minato-ku, Tokyo 406, JAPAN.

[3] Jorge Perez, Victor Cardenas, Homero Miranda, "Using a Single-Phase AC-AC Converter Controlled by a Passivity-based Law to Voltage Sags and Swells Compensation", International Power Electronics Congress, 10th IEEE, 2006, pp. 1-6.

[4] 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.

[5] 태양기술개발실, "태양기술개발특집", NEDO NEWS, 1988.

[6] Nagatoshi H., Orio S., Kono Y., Nakajima H., "Novel PV array/module I-V curve simulator circuit" IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Vol. 1 (2002), pp. 1535-1538.

[7] Minambres V, Milanes M.I, Vinagre B, Romero E, "Comparison of controllers for a three-phase Phase Locked

Loop system under distorted conditions", Compatibility and Power Electronics, 2009. CPE '09., 2009, pp. 79~85

[8] A. L. Fahrenbruch and R. H. Bube, "Fundamental of Solar Cells", Academic Press, New York, 1983.

[9] Muhammad H. Rashid, "Power Electronics THIRD EDITON", 2010, PEARSON Prentice Hall ,pp. 592~595

[10] T. Esram and P. L. Chapman, "Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 22, no. 2, pp 439-449, 2007.

[11] Srinivasan S, Venkataramanan G, "Design of a versatile three-phase AC line conditioner", Industry Applications Conference, 1995. Thirtieth IAS Annual Meeting, IAS '95., Conference Record of the 1995 IEEE, 1995, pp. 2492~2499 vol.3

[12] Kazuyoshi Tsukamoto, "Photovoltaic Power System Interconnected" with Utility", Proceedings of the American Power Conference, pp. 276-281.

[13] Martin J-P, Pierfederici S, Meibody-Tabar F, Davat B, "New fixed frequency AC current controller for a single phase voltage source inverter", Power Electronics Specialists Conference, 2002. pesc 02. 2002 IEEE 33rd Annual, 2002, pp. 909~914 vol.2

[14] Kazem Alwaeli H.A, Kadhim K.N, Abuazom M.A, "Analysis

of a three-phase delta connected inductive load controlled by an ac voltage controllers", Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. IPEMC 2004. The 4th International, 2004, 420~424

[15] Ruther, R., de Silva, A.J.G., Montenegro, A.A., Salamon, I.T., Araujo, R.G., "The Petrobras 45.5kwp, grid-connected PV System: a Comparative Study of Six Thin-film Module Types Operating in Brazil ", Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference 2002 , PP. 1440-1443 , 2002.

[16] Kotsopoulis, A., Duarte, J.L., Hendrix, M.A.M., Heskesm P.J.M., "Islanding Behaviour of Grid-connected PV Ubverters Operating under Different Control Schemes", Proceedings of the 2002 IEEE 33rd Annual IEEE power Electronics Specialists Conference - Volume 3, pp. 1506-1511, 2002.

[17] K.H.Hussein, I.Muta, T.Hoshino and M.Osakada., "Maximum Photovoltaic power tracking : an algorithm for rapidly" changing aymopheric conditions", IEEE - Proceeding. Generation, Transmission and Distribution., Vol. 142, pp. 59-64, Jan. 1995.

[18] Fang, L., X. Pengwei, et al. (2007). A Variable Step Maximum Power Point Tracking Method Using Differential Equation Solution. Industrial Electronics and Applications, 2007. ICIEA 2007. 2nd IEEE Conference on.

감사의 글

먼저, 부족한 저를 이끄시고 모든 걸 허락하신 하나님 아버지께 감사와 영광을 돌립니다.

지난 2년여 동안 많은 지도와 배려로 살펴 주시고 이 논문이 완성되기까지 학문적 기틀을 잡아주셨던 조금배 교수님 진심으로 감사드립니다. 교수님과 함께 했던 시간은 학문적 배움과 함께 인화적인 교수님의 지도 방법을 배울 수 있었던 감사의 시간이었습니다. 바쁘신 가운데에도 좋은 논문이 될 수 있도록 격려해 주시고 세심히 심사해 주신 박세승 교수님, 최연옥 교수님께도 감사드립니다.

그리고 논문이 완성되기까지 많은 도움을 주신 조선대학교 전기공학과 전력전자연구실에 백승학님, 장인혁님, 임지혜님에게 감사의 말씀을 드립니다.

학업에 충실할 수 있도록 도움 주시고 배려해 주신 알로이시오 중학교 김두임 교장선생님, 홍병기 교감선생님과 부장선생님들께 감사드립니다. 또한 저와 같은 곳을 바라보며 아이들의 미래를 위해 열심히 헌신하시는 모든 선생님들께 고마운 마음을 전합니다.

대학원 생활을 하면서 힘들고 어려웠던 시간을 같이 인내하며 함께 미래를 꿈꿨던 이창화 선생님, 김기열 선생님, 이세연 선생님, 김형진 선생님 감사합니다.

항상 기도로 힘주시고 위로가 되어준 영진침례교회 조범준 목사님과 성도님들께 감사드립니다.

언제나 말없이 응원해 주시고 믿어주신 사랑하는 부모님과 남동생에게 감사의 마음을 전하며 이 논문을 드립니다.

길의 끝은 언제나 또 다른 길의 시작을 의미합니다. 대학원이라는 길이 끝나고 새로운 길에 들어섰지만 힘주시고 함께 해주시는 분들이 계시기에 용기를 가지고 한발 내딛고자 합니다. 대학원에서 보고, 듣고, 배우고, 느낀 많은 것들을 디딤돌 삼아 좋은 교사, 좋은 인간이 되도록 노력하겠습니다. 감사합니다.

2011년 6월

김 혜 영 드림

저작물 이용 허락서

학 과	기술가정교육	학 번	20088213	과 정	석사
성 명	한글: 김혜영 한문 : 金惠英 영문 :Kim Hye Young				
주 소	부산광역시 영도구 동삼1동 363-40 삼창파크맨션 2-503				
연락처	E-MAIL : kdnfem@hanmail.net				
논문제목	한글 : Matlab - Simulink를 이용한 MPPT 제어 특성과 여유계수에 관한 연구 영문 : A Study on the MPPT Control Characteristic Analysis and Margin Factor using Matlab-Simulink				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 조건부 동의( ) 반대( )

2011년 8 월 일

저작자: 김 혜 영 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하