



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](#) 

2011年 2月
工學碩士學位論文

2011年
2月
碩士學位論文

독립형 PV 시스템용 다중제어 DC-DC 컨버터

독립형 PV 시스템용
다중제어 DC-DC 컨버터

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

申承浩

申承浩

**독립형 PV 시스템용
다중제어 DC-DC 컨버터**

**Multiplex Control DC-DC Converter for
Stand-Alone PV System**

2011年 2月 日

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

申承浩

독립형 PV 시스템용 다중제어 DC-DC 컨버터

指導教授 曹錦培

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2010年 10月 日

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

申承浩

申承浩의 碩士學位 論文을 認准함.

委員長 朝鮮大學校 教授 백형래 印

委員 朝鮮大學校 教授 오금곤 印

委員 朝鮮大學校 教授 조금배 印

2010年 11月 日

朝鮮大學校 大學院

목 차

ABSTRACT

I. 서 론	1
II. 이론적 고찰	3
A. 태양전지	3
1. 태양전지의 원리	3
2. 태양전지의 전기적 특성	5
3. 태양전지의 동작 특성	11
4. 태양전지의 직-병렬연결	13
B. 다중제어 DC-DC 컨버터	14
1. 벡 컨버터 기본동작	14
2. 부스터 컨버터 기본동작	19
3. MPPT 제어	24
III. 시스템 구성 및 설계	28
A. 시스템 구성	28
B. 제어기 구성	29
C. 시스템 설계	35

III. 시뮬레이션	38
A. 태양전지	39
B. 다중제어 컨버터	42
1. MPPT 제어	42
2. DC-DC Buck 컨버터	44
3. DC-DC Boost 컨버터	46
V. 실험	48
A. 시스템구성	48
B. 다중제어 컨버터 출력특성	49
1. DC-DC Buck 컨버터 출력특성	49
2. DC-DC Boost 컨버터 출력특성	51
VI. 결 론	53

참고문헌

List of Tables

Table 4-1 Parameters of PV module	39
---	----

List of Figures

Fig. 2-1 A Schematic of a Simple Conventional Solar Cell	3
Fig. 2-2 The I-V Characteristics of a Solar Cell Compared to a Diode	4
Fig. 2-3 The Equivalent Circuit of Solar Cell	5
Fig. 2-4 The Voltage and Current Characteristics of Solar Cell ...	7
Fig. 2-5 Effect of Resistance in The I-V Characteristics	10
Fig. 2-6 Solar Cell Characteristics Curve according to Variation Irradiation	12
Fig. 2-7 Solar Cell Characteristics Curve according to Variation Temperature	12
Fig. 2-8 I-V Curves in Series & Parallel Connecting of Solar cell	13
Fig. 2-9 The Basic Circuit of Buck Converter	14
Fig. 2-10 The Equivalent Circuit of DC-DC Buck Converter	15
Fig. 2-11 Waveforms of DC-DC Buck Converter	16
Fig. 2-12 Waveforms of Inductor Voltage in a Buck Converter	17
Fig. 2-13 The Basic Circuit of DC-DC Boost Converter	19

Fig. 2-14 The Equivalent Circuit of DC-DC Boost Converter	20
Fig. 2-15 Waveforms Current and Voltage in a DC-DC Boost Converter	21
Fig. 2-16 Waveforms of Inductor Voltage in a Boost Converter	22
Fig. 2-17 Flow chart of P&O MPPT Algorithm	25
Fig. 2-18 Flow Chart of IncCond MPPT Algorithm	26
Fig. 3-1 Multiplex Control Converter Configuration for Stand-Alone PV System	28
Fig. 3-2 Internal Block Diagram of Microcontroller	30
Fig. 3-3 PinOut of ATmega128	30
Fig. 3-4 Block Diagram of ATmega128	31
Fig. 3-5 Block Diagram of the AVR Architecture	32
Fig. 3-6 Analog to Digital Converter Block Schematic	33
Fig. 3-7 16-bit Timer/Counter Block Diagram	34
Fig. 3-8 Controller Circuit using Microcontroller and Drive Circuit of Mosfet Gate	36
Fig. 3-9 Multiplex Control Circuit of DC-DC Converter	36
Fig. 3-10 Prototype Circuit of Control System & Mosfet Gate Drive	37

Fig. 3-11 Prototype Circuit of Multiplex DC-DC Converter	37
Fig. 4-1 Simulink Configuration of Multiplex Control PV System	38
Fig. 4-2 Solar Pro Simulation PV Module Characteristics	40
Fig. 4-3 Simulink Configuration of PV Module	41
Fig. 4-4 PV Module Characteristics Curve according to Variation Irradiation	41
Fig. 4-5 Simulink Configuration of MPPT Controller	42
Fig. 4-6 Output Characteristics using P&O MPPT Control Method	43
Fig. 4-7 Output Characteristics of Zoom in Part using P&O MPPT Control Method	43
Fig. 4-8 Simulink Configuration of Buck Converter	45
Fig. 4-9 Output Characteristics of DC-DC Buck Converter	45
Fig. 4-10 Simulink Configuration of Boost Converter	47
Fig. 4-11 Output Characteristics of DC-DC Boost Converter	47
Fig. 5-1 Configuration of Multiplex Stand-Alone PV System	48
Fig. 5-2 DC-DC Buck Converter Output and PWM Signal Waveforms	49

Fig. 5-3 DC-DC Buck Converter Input Voltage & Current	50
Fig. 5-4 DC-DC Buck Converter Output Voltage & Current	50
Fig. 5-5 DC-DC Boost Converter Output and PWM Signal Waveforms	51
Fig. 5-6 DC-DC Boost Converter Input Voltage & Current	52
Fig. 5-7 DC-DC Boost Converter Output Voltage & Current	52

ABSTRACT

Multiplex Control DC-DC Converter for Stand-Alone PV System

Seung-Ho Shin

Advisor : Prof. Geum-Bae Cho, Ph.D.

Department of Electrical Engineering,

Graduate School of Chosun University

Solar energy is a clean, a maintenance-free, and an abundant source of energy. The rapid trend of industrialization of nations and increased interest in environmental issues has recently to consideration of the use of renewable forms such as solar energy and wind energy.

Photovoltaic (PV) arrays produce electric power directly from sunlight. Photovoltaic (PV) generation is becoming increasingly important as a renewable source since it offers many advantages such as incurring no fuel costs, not being polluting, requiring little maintenance, and emitting no noise. Because of the nonlinear relationship between the current and the voltage of the

photovoltaic cell, it can be observed that there is a unique maximum power point (MPP) at a particular environment, and this peak power point keeps changing with solar illumination and ambient temperature.

In this paper, suggest Multiplex control converter for practicable MPPT control of environment changes. Output characteristic of PV module and system was simulated on Simulink and solar-Pro. It is decrease that weight converter by proposed multiplex converter.

I. 서 론

최근 화석연료 고갈과 지구환경오염 등 포괄적인 문제로 친환경 에너지, 신재생 에너지에 대한 관심이 집중되고 있다.

이러한 신재생 에너지 중 태양광발전은(Photovoltaics : PV) 반도체 소자인 태양전지의 광기전력효과(Photovoltaic effect)를 이용하여 빛에너지를 전기에너지로 변환함으로써 친환경적인 청정한 에너지원이며, 반도체 소자로서 수명이 길고 발전설비에 대한 유지관리가 거의 필요 없고 설치가 비교적 용이하다.

그러나 태양광 에너지는 에너지 밀도가 낮고 태양전지 변환효율 또한 낮기 때문에 대용량의 발전을 위해서는 상당히 넓은 면적이 필요하며 기상 및 온도 등의 환경 조건에 절대적인 영향을 받아 시스템 출력이 일정하게 유지될 수 없는 문제점을 갖고 있다.^[1,2]

태양전지의 광기전력에 의해 발전된 출력은 직류전원이므로 상용전력계통, 또는 직류부하에 맞게 출력을 얻기 위해서는 전력변환시스템이 필요로 하게 된다. 태양전지모듈이 일사량, 소자의 온도, 부하와 같은 외부환경 등에 따라 최대 발전 출력점이 변하는 특성을 가지고 있기 때문에 항상 최대출력점에서 동작하도록 제어해야 할 필요가 있다.^[3,4]

태양전지의 출력 효율을 높이기 위하여 일반적으로 태양전지의 셀 자체의 효율을 높이거나 태양광발전 제어용 전력변환시스템의 변환효율 및 태양전지가 최대전력으로 발전하도록 최대전력점 추적(Maximum Power Point Tracking : MPPT) 제어를 하게 된다.

최근 연구 개발이 활발히 이루어지고 있는 태양광 발전 시스템은 계통선과의 연결 유무에 따라 크게 계통연계형(Grid-Connected) 시스템과 단독으로 사용되는 독립형(Stand-Alone) 시스템으로 나눌 수 있다.

독립형 시스템은 전기공급이 원활치 못한 오지 주택이나 군사시설등 다양한 분야에서 증가하고 있으나 Battery 전압에 맞추어 부하를 사용하는 시스템이 대부분이다.

따라서 본 논문에서는 독립형 태양광발전시스템의 환경변화에 따른 최대전력점 추적을 통한 (MPPT) 배터리 충전부(Buck Converter)와 배터리 전압을 승압시켜 부하에 전력을 공급하는 방전부(Boost Converter)를 단일 MCU (Micro Controller Unit)을 이용하여 제어하는 다중제어 컨버터를 제안하며, 이를 Matlab Simulink을 이용하여 시뮬레이션 하였으며 실험을 통해 타당성을 입증하였다.

II. 이론적 고찰

A. 태양전지

1. 태양전지의 원리

태양전지는 광기전력 효과를 이용하여 빛 에너지를 직접 전기 에너지로 변환시키는 반도체 소자로써 태양전지 구조는 단결정 실리콘 태양전지의 경우 Si에 5 가 원소 (P, As, Sb) 등을 침투시켜 만든 N형 반도체와 3 가 원소(B, Ga)등을 침투시켜 만든 P형 반도체로 이루어진 P-N접합 구조로 되어 있다.

그림 2-1와 같이 P-N 접합 반도체에 태양광이 입사되면 가전자대의 전자는 빛 에너지를 흡수하여 전도대에 유기되어 자유전자로 되고 전자가 여기 된 후의 가전자대에는 정공이 생긴다. 자유전자는 N형 반도체로 정공은 P형 반도체로 이동하여 N층과 P층을 각각 음극과 양극으로 대전시켜 기전력을 발생한다.^[5,6]

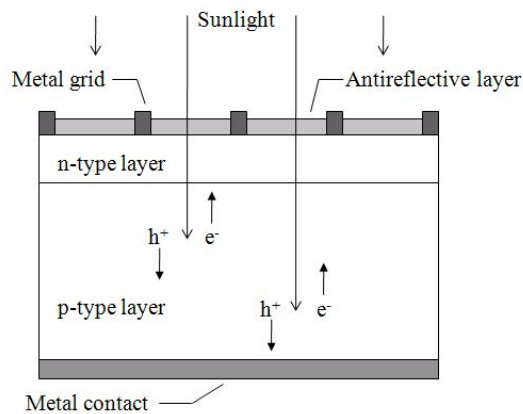


Fig. 2-1 A Schematic of a Simple Conventional Solar Cell

광기전력 효과란 금지대 영역이 E_g 인 P-N접합에 빛을 조사시킬 때 E_g 보다 큰 에너지를 가진 입사광자에 의해서 전자 정공쌍이 생성되어 접합 양단에 광기전력이 발생하는 현상이다.

태양전지는 넓은 면적의 다이오드로 볼 수 있으므로 전압-전류 특성은 암 상태에서의 다이오드 전압-전류 특성에 광전류를 중첩시키면 된다. 즉, 그림 2-2과 같이 암 상태에서의 다이오드 전압-전류 곡선을 아래쪽으로 광전류 I_{ph} 만큼 이동시키면 된다. 이때 다이오드에 인가되는 전류에 대한 해석은 식 (2-1)과 같다.

$$I = I_{ph} - I_d \quad (2-1)$$

여기서 I_{ph} 는 광전류이고, I_d 는 다이오드 전류이다.

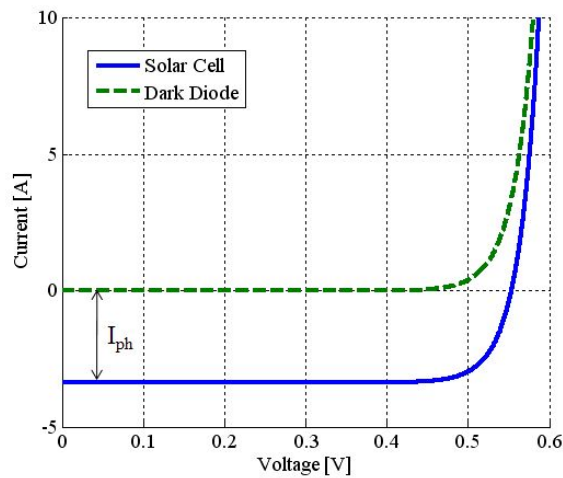


Fig. 2-2 The I-V Characteristics of a Solar Cell Compared to a Diode

2. 태양전지의 전기적 특성

태양전지는 한 개의 이상적인 다이오드와 I_{ph} 의 크기를 갖는 정전류원의 구성으로 모델링 할 수 있으나 이상적인 다이오드를 제작하는 것이 불가능하므로 태양전지의 접촉저항 및 표면층의 시트(Sheet) 저항을 고려해야 한다. 태양전지 표면에 입사되는 빛의 일부분은 표면에서 반사되며, 표면을 투과한 빛은 태양전지 내에서 흡수되며 광자의 수는 지수 함수적으로 감소한다.

그림 2-3은 빛이 조사될 때 광기전력효과에 의한 태양전지의 등가회로를 나타내고 있다. 여기서 I_{ph} 는 입사된 빛에 의해 생성된 캐리어(Carrier)가 외부로부터 방해를 받지 않을 때 폐회로를 통해 흐르는 광전류이고, I_d 는 암전류로서 I_{ph} 와는 반대 방향이다. 직렬저항 R_S 와 병렬저항 R_P 는 이상적인 다이오드 특성에서 벗어나 일정한 상수 저항으로 표시되는 접촉저항이나 누설저항을 나타내며 R_L 은 외부에 연결되는 부하저항을 나타낸다.^[7,8]

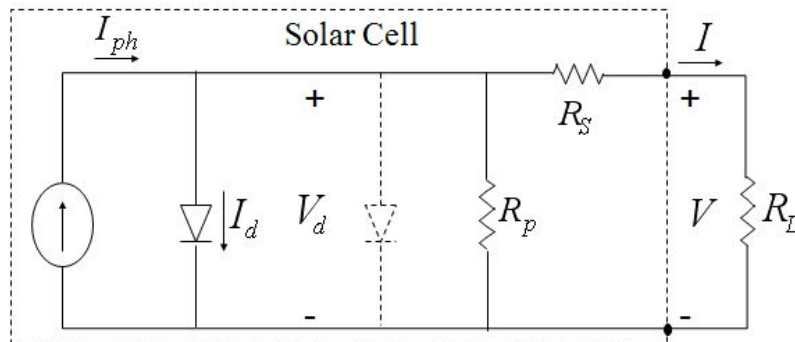


Fig. 2-3 The Equivalent Circuit of Solar Cell

그림 2-3과 같은 태양전지의 등가회로에서 태양전지의 출력전류 I 는 식 (2-2)와 같다.

$$I = I_{ph} - I_d - \frac{V_d}{R_p} = I_{ph} - I_0 \left(\exp \frac{qV_d}{nKT} - 1 \right) - \frac{V_d}{R_p} \quad (2-2)$$

여기서 I_0 는 다이오드 역 포화전류, n 은 다이오드 상수, K 는 볼츠만 상수이고 q 는 전자의 전하량이며 T 는 절대온도이다. 또한 다이오드 전압 V_d 는 식 (2-3)와 같다.

$$V_d = V + IR_s \quad (2-3)$$

따라서 태양전지의 전류 I 는 식 (2-2)로부터 식 (2-4)과 같이 된다.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \frac{q(V + IR_s)}{nKT} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2-4)$$

태양전지가 내부 직렬저항 $R_s = 0$, 병렬저항 $R_p = \infty$ 인 이상적인 pn 접합 다이오드라고 가정하면 태양전지의 출력전류는 식 (2-5)와 같다.

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \frac{qV}{nKT} - 1 \right) \quad (2-5)$$

일정온도와 일정 일사조건에서 태양전지의 전압-전류 특성 곡선은 그림 2-4와 같다.

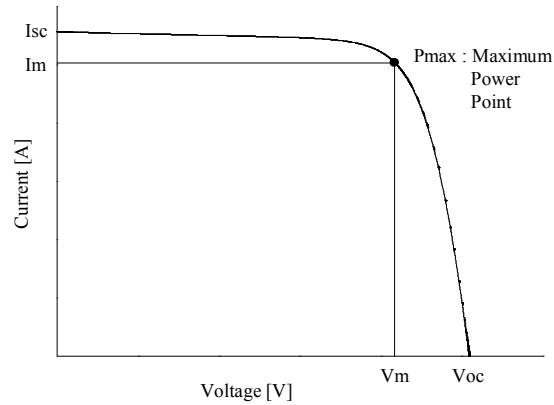


Fig. 2-4 The Voltage and Current Characteristics of Solar Cell

단락상태에서 태양전지 출력전압 $V=0$ 이 되며 단락전류 I_{sc} 는 식 (2-6)과 같이 되고 개방상태에서 태양전지 출력전류 $I=0$ 이 되며 개방전압 V_{oc} 는 식 (2-7)와 같이 된다.

$$I_{sc} = I_{ph} \quad (2-6)$$

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \quad (2-7)$$

부하 저항에서 소비되는 전력을 P_{out} 라 하면 식 (2-8)과 같다.

$$P_{out} = V \cdot I = V \cdot \left[I_{ph} - I_0 \left(\exp\frac{qV}{nKT} - 1 \right) \right] \quad (2-8)$$

태양전지에 연결된 부하저항의 크기를 조정함으로써 어떤 최적 동작점

에서 최대의 출력 P_{\max} 가 출력될 수 있다. 이 최적동작점을 최대전력점 (Maximum Power Point : MPP)라 하고 이때 출력전류를 최적동작전류 I_{mp} , 출력전압을 최적동작전압 V_{mp} 이라 하며 최대 출력 전력 P_{\max} 는 식 (2-9)과 같다.^[9~10]

$$P_{\max} = V_{mp} \cdot I_{mp} \quad (2-9)$$

최대전력점에서 태양전지의 최적동작전류 I_{mp} 는 최적동작전압 V_{mp} 시 출력전류로서 식 (2-5)로부터 식 (2-10)와 같이 되며, 단락전류에 관한 식 (2-6)에 의하여 식 (2-11)과 같이 된다.

$$I_{mp} = I_{ph} - I_0 \left(\exp \frac{qV_{mp}}{nKT} - 1 \right) \quad (2-10)$$

$$I_{mp} = I_{sc} - I_0 \left(\exp \frac{qV_{mp}}{nKT} - 1 \right) \quad (2-11)$$

최대전력점에서 $\frac{dP_{out}}{dV} = 0$ 이므로 식 (2-8)으로부터 최적동작전압 V_{mp} 은 식 (2-12)와 같이 되며 개방전압에 관한 식 (2-7)에 의하여 (2-13)와 같이 된다.

$$V_{mp} = \frac{nKT}{q} \left[\ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) - \ln \left(\frac{qV_{mp}}{nKT} + 1 \right) \right] \quad (2-12)$$

$$V_{mp} = V_{oc} - \frac{nKT}{q} \ln \left(\frac{qV_{mp}}{nKT} + 1 \right) \quad (2-13)$$

최대전력점에서 최적동작전류 I_{mp} 및 최적동작전압 V_{mp} 에 관한 식

(2-11)과 식 (2-13)에서 P_{\max} 이 커지기 위해서는 I_{mp} 과 V_{mp} 이 I_{sc} 와 V_{oc} 에 가까워야 함을 알 수 있다.

태양전지의 특성을 평가함에 있어서 단락전류, 개방전압과 더불어 가장 중요한 요소 중 하나는 충전율(Fill Factor : FF)이며 식 (2-14)과 같다.

$$FF = (V_{mp} \times I_{mp}) / (V_{oc} \times I_{sc}) \quad (2-14)$$

태양전지의 에너지 변환효율은 태양전지에서 얻을 수 있는 최대의 전기 에너지를 입사광에너지로 나눈 값으로 식 (2-15)과 같다.

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \times FF \quad (2-15)$$

여기서 P_{in} 은 입사된 빛 에너지이다. 따라서 태양전지의 효율을 높이기 위해서는 단락전류 I_{sc} , 개방전압 V_{oc} , 충전율 FF 를 높여야 한다.

태양전지의 특성을 고찰한 결과 태양전지의 전기적 특성을 결정하는 내부적인 요소를 보면 내부적인 변수로서 내부 직렬저항 R_S , 병렬저항 R_P 그리고 다이오드 역포화전류 I_0 등이 있다.^[9,10]

태양전지의 내부 직렬저항은 태양전지에 광전류가 흐를 때 전류의 흐름을 방해하는 저항값으로서 n층의 표면저항, p층의 기판저항, 전극 접촉 저항 및 전극자체의 고유저항 등이 포함된다. 병렬저항 즉 누설저항은 태양전지 내부의 누설에 의한 것으로, pn 접합면의 재결합전류, 태양전지의 가장자리에서 발생하는 표면 누설전류 등이 있을 수 있다.

태양전지의 내부 직렬저항 R_S 및 병렬저항 R_P 을 고려한 태양전지의 전류식 (2-4)에서 단락상태에서의 단락전류 I_{sc}' 는 식 (2-16)과 같고 개

방상태에서 $I=0$ 이므로 식 (2-17)와 같이 된다.

$$I_{sc}' = I_{sc} - I_0 \left(\exp \frac{qI_{sc}R_S}{nKT} - 1 \right) - \frac{I_{sc}R_S}{R_P} \quad (2-16)$$

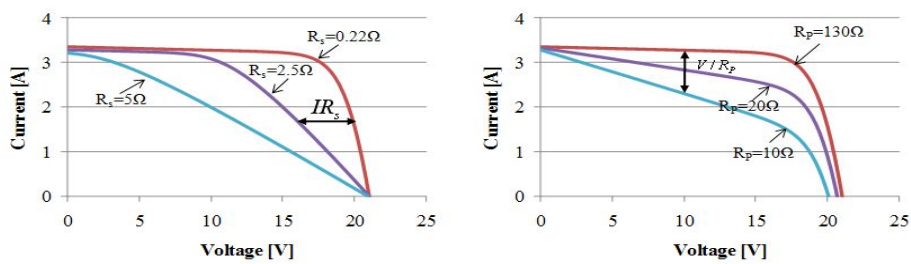
$$0 = I_{sc} - I_0 \left(\exp \frac{qV_{oc}}{nKT} - 1 \right) - \frac{V_{oc}}{R_P} \quad (2-17)$$

식 (2-16)과 (2-17)로부터 태양전지의 내부 직렬저항에 따른 전압강하와 병렬저항에 따른 전류손실은 식 (2-18) 및 식 (2-19)과 같이 된다.

$$I_{sc}'R_S = \frac{nKT}{q} \ln \left(\frac{I_0 \exp \frac{qV_{oc}}{nKT} - I_{sc}'}{I_0} \right) \quad (2-18)$$

$$\frac{V_{oc}}{R_P} = I_{sc}' - I_0 \exp \frac{qV_{oc}}{nKT} \quad (2-19)$$

그림 2-5는 태양전지의 내부 직렬저항과 병렬저항이 태양전지의 특성에 미치는 영향을 나타내고 있다.



(a) series resistance

(b) shunt resistance

Fig. 2-5 Effect of Resistance in The I-V Characteristics

3. 태양전지의 동작 특성

태양전지의 광전류 I_{ph} 는 일사강도에 따라 선형적으로 변화된다. 그런데 단락전류는 $I_{sc} = I_{ph}$ 이므로 식 (2-20)와 같이 된다.^[11~12]

$$I_{sc} = \frac{I_{sc}^*}{G^*} G_{eff} \quad (2-20)$$

여기서 G^* 는 표준 시험조건(Standard Test Conditions : STC)에서 일사강도이고 I_{sc}^* 는 STC 에서 태양전지 단락전류이며 G_{eff} 는 실제 조사되는 일사강도이다. STC 는 일사강도 1000 [W/m²], AM1.5, 태양전지 온도 25°C 인 표준상태이다.

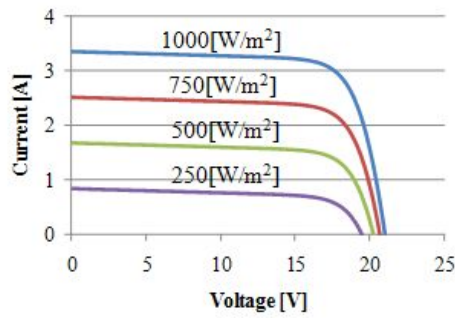
따라서 일사강도에 따른 태양전지의 출력특성은 그림 2-6과 같이 전압의 변화는 미소하지만 단락전류는 크게 변화된다.

태양전지의 개방전압 V_{oc} 는 태양전지의 온도 T 의 증가에 따라 선형적으로 감소하며 식 (2-21)과 같다.

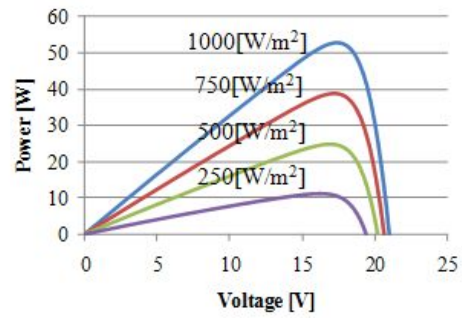
$$V_{oc}(T) = V_{oc}^* + (T - T^*) \frac{dV_{oc}}{dT} \quad (2-21)$$

여기서 V_{oc}^* , T^* 는 STC 에서의 태양전지 개방전압 및 온도이고 실리콘 태양전지에서 일반적으로 $\frac{dV_{oc}}{dT} = -2.3$ [mV/(°C·cell)] 이다.

따라서 태양전지 온도에 따른 태양전지의 출력특성은 그림 2-7과 같이 전류의 변화는 미소하지만 개방전압은 크게 변화된다.

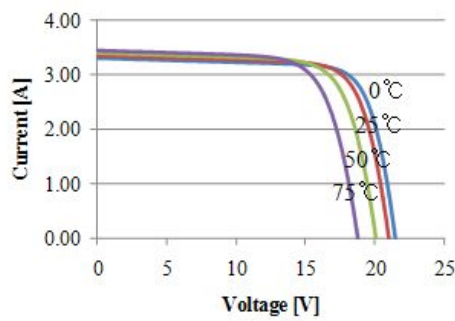


(a) I-V curves

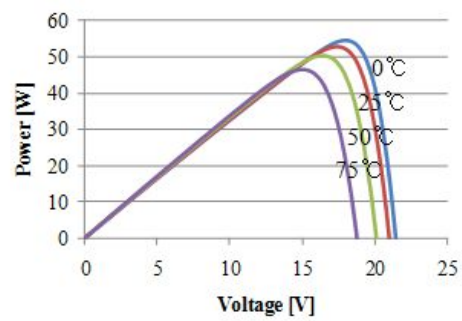


(b) Power curves

Fig. 2-6 Solar Cell Characteristics Curve According to Variation Irradiation



(a) I-V curves



(b) Power curves

Fig. 2-7 Solar Cell Characteristics Curve According to Variation Temperature

4. 태양전지의 직-병렬연결

동일한 전기적 특성을 갖는 두 태양전지에 조사되는 빛의 일사강도가 같으면 두 태양전지의 출력특성은 같게 된다. 이때 두 태양전지를 직렬연결하면 출력전압은 2배로 되고 출력전류는 하나의 태양전지 전류와 같으며 병렬연결하면 출력전압은 하나의 태양전지 전압과 같고 출력전류는 2배로 된다. 그림 2-8은 태양전지의 직-병렬연결 특성을 나타낸다.^[13]

그리고 여러개의 동일한 전기적 특성을 갖는 태양전지를 직-병렬연결하면 출력전류 I_a 및 전압 V_a 은 식 (2-22), (2-23)과 같이 된다.

$$I_a = N_P \cdot I_{\text{cell}} \quad (2-22)$$

$$V_a = N_S \cdot V_{\text{cell}} \quad (2-23)$$

여기서 N_P , N_S 는 병렬 및 직렬연결 된 태양전지 수를 나타내고 I_{cell} , V_{cell} 는 하나의 태양전지 출력전류 및 전압을 나타낸다.

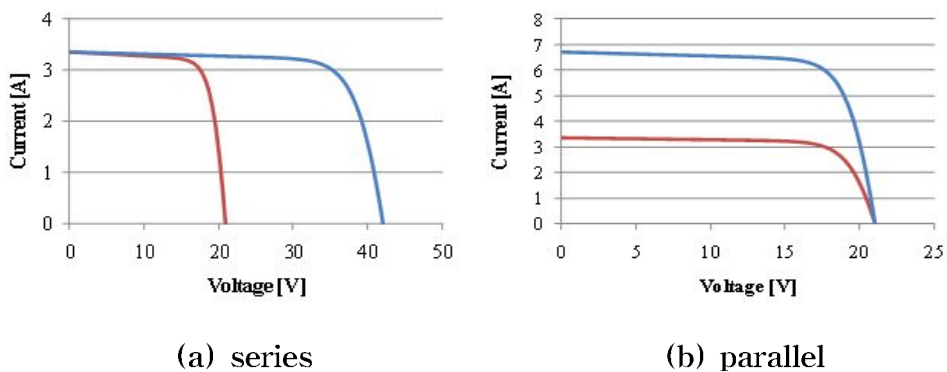


Fig. 2-8 I-V Curves in Series & Parallel Connection of Solar Cell

B. 다중제어 DC-DC 컨버터

1. 벅 컨버터 기본동작

벅 컨버터는 입력전압에 비하여 낮은 출력전압을 얻는 컨버터로서, 그림 2-9는 강압형 DC-DC Buck 컨버터의 회로도를 나타낸다.

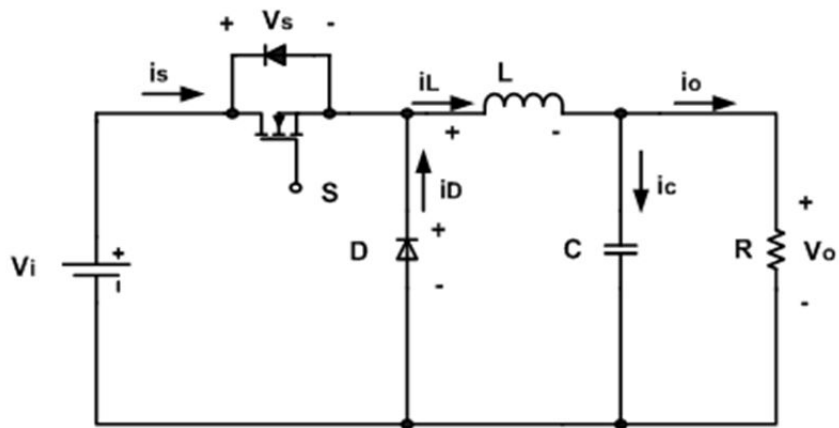
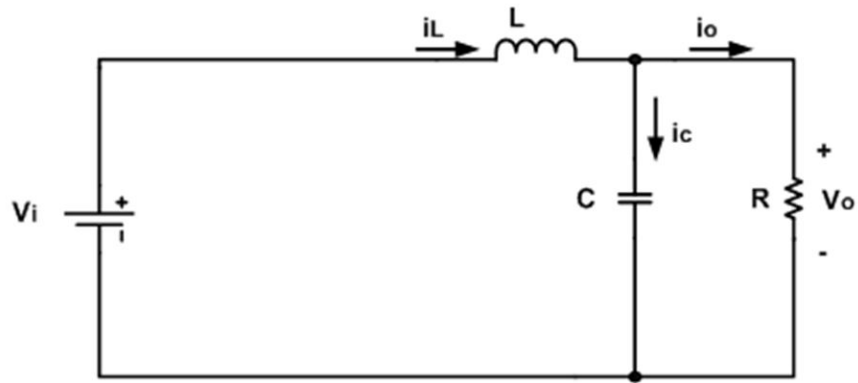
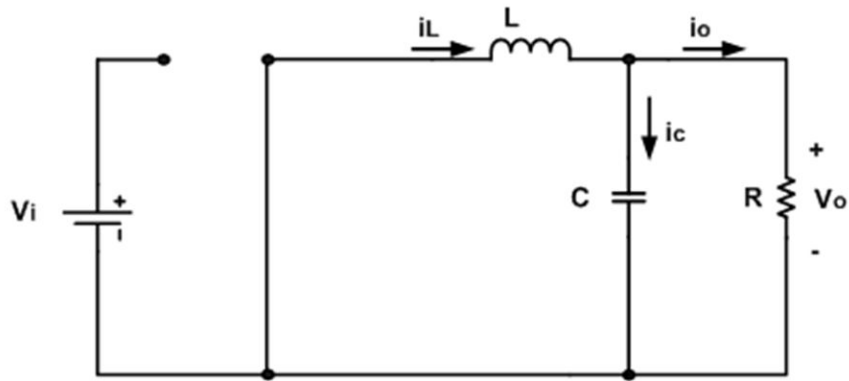


Fig. 2-9 The Basic Circuit of Buck Converter

벅 컨버터의 스위치부는 스위치 S 와 환류다이오드(freewheeling diode) D 로 이루어져 있으며, 인덕터 L 과 커패시터 C 로 이루어진 LC필터부로 구성된다. 스위치 S 가 한 주기내의 도통시간이 DT_s 이면서 스위칭 주기 T_s 로 ON/OFF를 반복한다고 했을때, 그림 2-10(a)는 스위치가 도통일 경우 이루어지는 등가회로를 나타내며 그림 2-10(b)는 스위치 차단시의 등가회로를 나타낸다.



(a) $S : \text{On}$



(b) $S : \text{Off}$

Fig. 2-10 The Equivalent Circuit of DC-DC Buck Converter

그림 2-10에서 알수 있듯이 스위치 S 가 도통되면 스위치 S 및 LC필터를 통하여 전류가 흘러 입력전압 V_i 가 출력단에 전달되며, 스위치 차단시에는 도통 시간동안 L 에 저장되어 있던 에너지가 환류 다이오드 D 를 통하여 방출되면서 전류가 발생하여 L 양단 간의 전압 v_L 이 출력단에 전달되어 그림 2-11의 v_o 와 같은 출력전압을 얻게 된다.

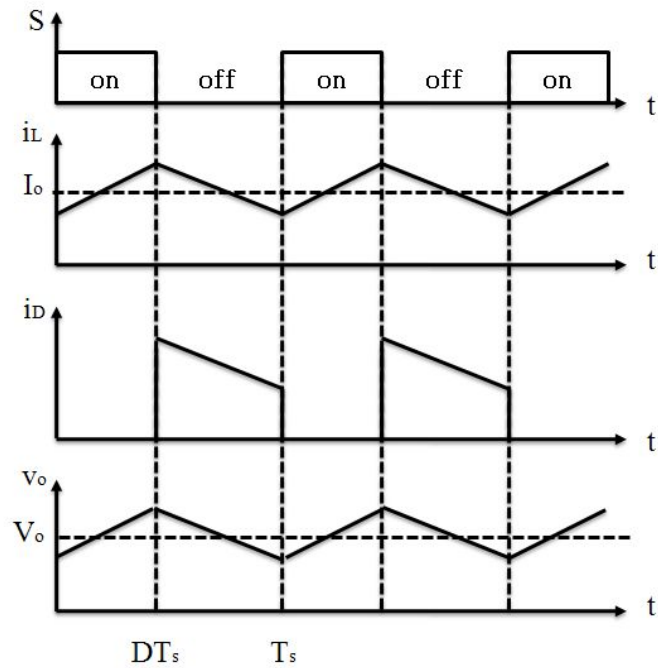


Fig. 2-11 Waveforms of DC-DC Buck Converter

벅 컨버터의 주요 부분의 파형은 그림 2-11과 같이 나타난다. 여기서 D 는 시비율을 의미하며 그 크기는 $0 \leq D \leq 1$ 범위에 속한다.

이와 같은 과정을 수식적으로 나타내기 위하여 정상상태에서 출력전압 v_o 의 리플성분을 고려하지 않고 직류성분만 생각하여 출력전압을 V_o 로 표시하고, 도통시간 동안의 L 양단 전압 v_L 을 표시하면 식 (2-24) 과 같이 된다.

$$v_L = V_i - V_o \quad (2-24)$$

차단시간동안의 L 양단의 전압 v_L 은 식(2-25) 과 같이 된다.

$$v_L = -V_o \quad (2-25)$$

여기서 스위치 도통시간 동안 인덕터에 저장되는 에너지와 차단시간 동안 방전되는 에너지의 양은 같게 된다는 인덕터 Volt-sec 평형조건을 식 (2-24)과 식 (2-25)에 적용하면 식 (2-26)과 같이 표현할 수 있고, 이를 그림으로 나타내면 그림 2-12와 같으며, 그림에서 두 부분의 면적은 서로 동일함을 나타낸다.

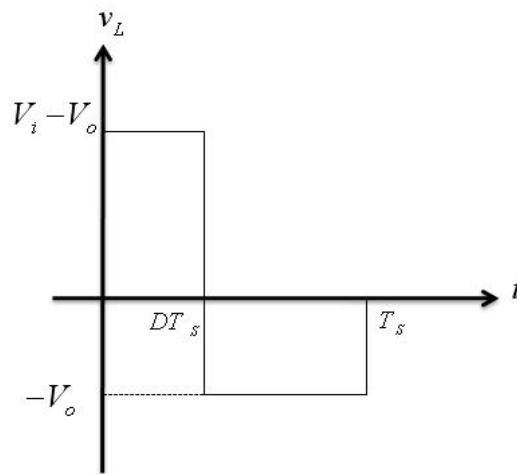


Fig. 2-12 Waveforms of Inductor Voltage in a Buck Converter

$$(V_i - V_o) \cdot DT_s = V_o(1 - D) \cdot T_s \quad (2-26)$$

또한 식 (2-26)으로부터 정상상태에서의 입출력 특성일 식 (2-27)와 같이 구할수 있다.

$$V_o = DV_i \quad (2-27)$$

식 (2-27)에서 알 수 있듯이 강압형 벽 컨버터의 직류 출력전압의 크기는 시비율 D 에 의하여 제어됨을 알 수 있다. 시비율을 감소시키면 출력전압도 감소하고, 시비율을 증가시키면 출력전압도 증가되며, D 의 크기가 1보다 작으므로 항상 $V_i \geq V_o$ 의 조건이 성립된다.

2. 부스트 컨버터 기본동작

Boost 컨버터는 입력전압보다 높은 출력전압을 얻을 수 있는 컨버터로서 그림 2-13은 승압형 DC-DC Boost 컨버터의 회로도를 나타낸다.

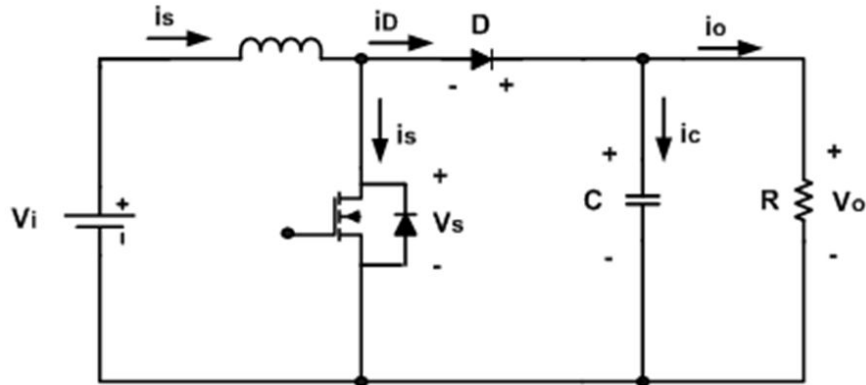


Fig. 2-13 The Basic Circuit of DC-DC Boost Converter

Boost 컨버터 역시 스위치 S 와 환류다이오드 D 로 스위치부가 구성되어 있으며, 인덕터 L 과 커패시터 C 로 이루어진 LC 필터부가 있다. 스위치 S 가 한 주기내의 도통시간이 DT_s 이면서 주기 T_s 로 ON/OFF를 반복한다고 했을때, 그림 2-14(a)는 스위치 도통시의 등가회로를, 그림 2-14(b)는 스위치 차단시의 등가회로를 각각 나타내며, 승압형 DC-DC 컨버터의 주요 부분 파형은 그림 2-15와 같이 나타난다.

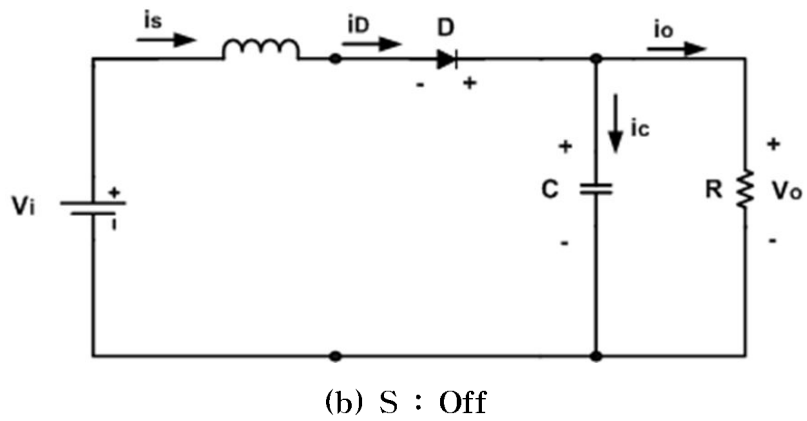
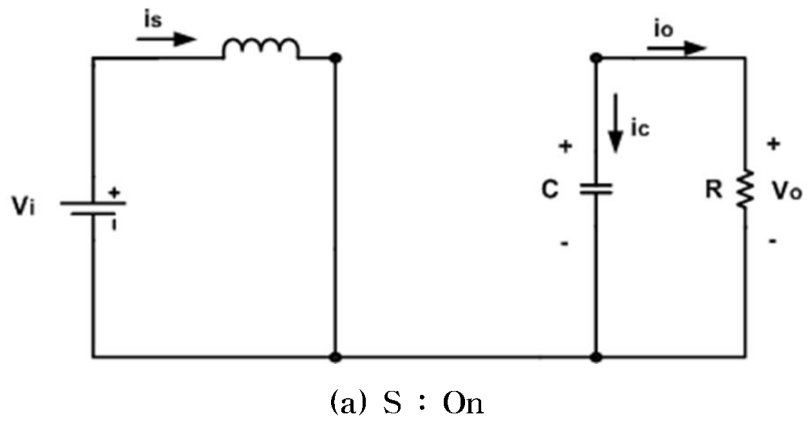


Fig. 2-14 The Equivalent Circuit of DC-DC Boost Converter

그림 2-14에서 알 수 있듯이 스위치 S 가 도통되면 다이오드 D 가 차단되면서 인덕터 L 에는 에너지가 저장되며, 출력 필터 C 에 저장되어 있던 전하가 방전하면서 출력단에 출력전압을 발생시킨다. 또한 스위치 차단 시에는 입력전압 V_i 와 스위치 도통시 L 에 저장되어 있던 에너지가 더해져서 출력단으로 전달된다.

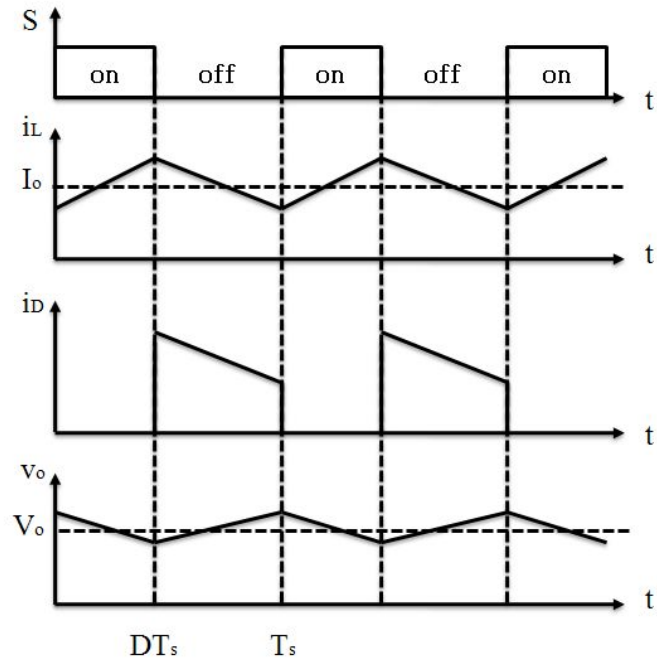


Fig. 2-15 Waveforms Current and Voltage in a DC-DC Boost Converter

이와 같은 과정을 수식적으로 나타내기 위하여 정상상태에서 출력전압 v_O 의 리플성분을 고려하지 않고 직류성분만을 생각하여 출력전압을 V_O 로 표시하고, 도통시간 동안의 L 양단 전압 V_L 을 표시하면

$$v_L = V_i \quad (2-28)$$

이 되고, 차단시간 동안의 L 양단 전압 v_L 은

$$v_L = -(V_O - V_i) \quad (2-29)$$

이 된다.

승압형 DC-DC Boost컨버터에 대해서도 강압형 DC-DC Buck컨버터
 에서와 같이 인덕터 Volt-sec 평형조건을 식 (2-27)과 식(2-29)에 적용
 하면 식 (2-30)과 같이 표현할 수 있고, 이를 그림으로 나타내면 그림
 2-16 과 같다.

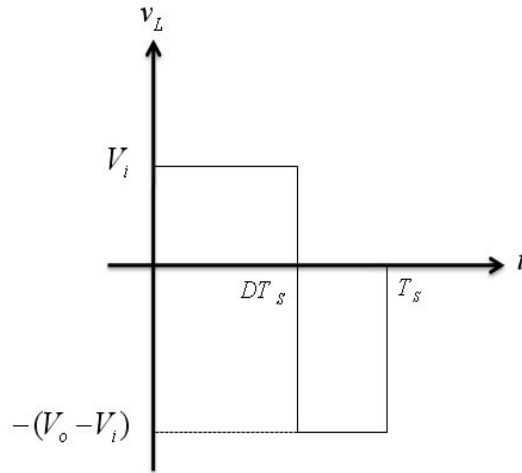


Fig. 2-16 Waveforms of Inductor
 Voltage in a Boost Converter

$$V_i \cdot DT_s = (V_o - V_i) \cdot (1-D)T_s \quad (2-30)$$

또한 식 (2-30)으로부터 정상상태에서의 입출력 특성을 식 (2-31)과
 같이 구할 수 있다.

$$V_o = \frac{1}{(1-D)} V_i \quad (2-31)$$

식 (2-31)에서 알 수 있듯이 승압형 PWM DC-DC 컨버터의 직류 출
 력전압의 크기는 $(1-D)$ 에 반비례함을 알 수 있다. 또한 강압형

DC-DC 컨버터와 마찬가지로 시비율을 증가시키면 출력전압도 증가하며, 시비율을 감소시키면 출력전압도 감소되며, $V_o \geq V_i$ 의 조건이 항상 성립함을 알 수 있다.

3. MPPT 제어

태양전지 출력은 일사량과 표면온도 변화에 따라 비선형적으로 변한다. 이러한 현상은 태양전지의 발전효율을 저하시키는 주요 요인이 되므로 기상변화에 따라 태양전지의 발전 효율을 증가시킬 필요가 있다. 따라서 발전효율을 높일 수 있는 근본적인 방법으로는 태양전지 자체의 변환효율을 높이는 방법과 태양전지의 동작점을 최대 전력점에서 동작하게 하는 최대 전력점 추적(Maximum power point tracking : MPPT) 기법이 사용되어 왔다.

태양전지는 일사량, 태양전지의 소자온도 및 동작온도 등에 의존하고, 에너지 변환효율은 12~13 [%] 정도로 매우 작은 편이다. 그러므로 시스템을 소형화하여 손실을 줄여야 하며, 가능한 한 태양전지로부터 많은 에너지를 끌어내어 효율을 증대시켜야 한다.

MPPT 제어 알고리즘은 일사량에 따라 가변하는 태양전지의 최대출력점을 추정하여 전압지령치로 출력하는 동작을 한다. MPPT는 태양전지 어레이에 연결된 부하를 제어하여 임피던스 매칭을 최적화함으로써 최대 출력점 동작이 가능하게 되며, 그 제어방법은 크게 하드웨어적인 분류방식으로 아날로그방식과 디지털방식으로 분류할 수 있으며, 알고리즘 측면에서는 일정전압제어 알고리즘, P&O 알고리즘, Inccond 알고리즘 등으로 분류할 수 있다.

한편, MPPT 제어는 아날로그회로와 센서를 이용하여 구현이 가능하지만 제어의 유연성과 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 출력

전력의 변화에 일치시키기 위하여 연속적으로 동작시킨다.

P&O 제어 알고리즘은 간단한 피드백 구조를 갖으며 소수의 측정 파라미터를 갖기 때문에 널리 사용된다. 이 제어방법은 태양전지전압을 주기적으로 증가 또는 감소시켜 동작 하며, 이전의 교란주기동안의 태양전지 어레이 출력전력과 함께 현재 어레이 출력전력 비교에 의해 최대전력의 상태를 연속적으로 추적하며 최대전력점을 찾는 방법이다. 이 방법은 그림 2-17과 같은 제어 알고리즘에 의해 동작한다.

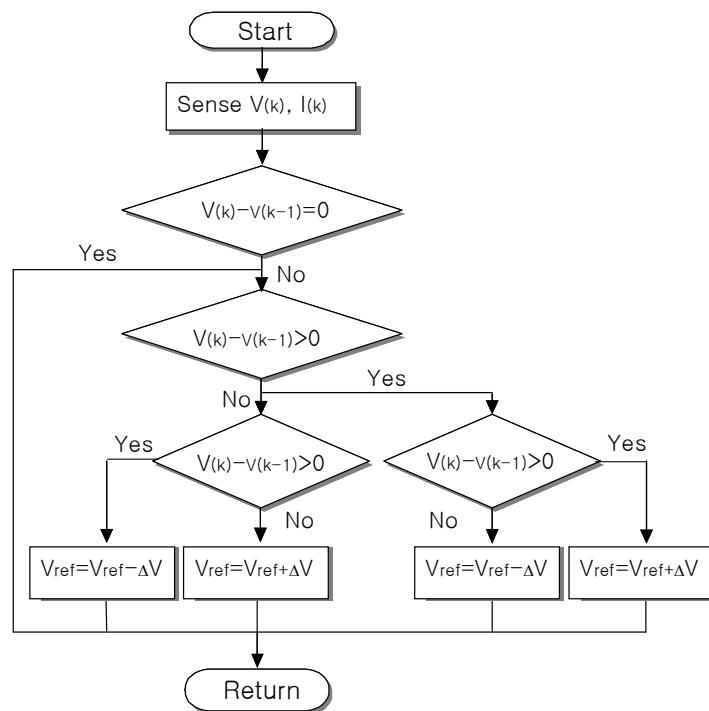


Fig. 2-17 Flowchart of P&O MPPT Algorithm

P&O 제어 알고리즘은 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 MPP에 이르렀을 때 P&O 알고리즘은 일정

혹은 천천히 변하는 환경조건에서 자려 진동할 것이며 그 결과 태양전지 어레이의 손실이 발생하게 된다. 이러한 문제는 최대전력점에 도달했을 때를 검출하기 위해 바로 앞의 주기동안의 두 개의 파라미터 비교와 교란 부를 바이패스하기 위한 P&O 알고리즘의 개선에 의해 해결할 수 있다.

IncCond (Incremental Conductance) 제어 알고리즘은 부하 임피던스와 태양전지 임피던스와의 비교에 의해서 태양전지 출력을 제어하는 방법으로, P&O 알고리즘의 결점인 최대전력점에서 자려진동이 일어나는 특징과 일사량 변동에 따라 전압 변동폭이 따라 가지 못하는 단점을 보완한 것으로 IncCond 알고리즘은 Hill-climb 방법에 따른 IncCond MPPT의 특성이며 과거의 값과 비교하여 MPPT를 수행한다. 즉 어레이 단자전압이 이 값의 상대적인 최대전력점 전압값에 따라 항상 조절되어지는 것으로 알고리즘은 그림 2-18과 같다.

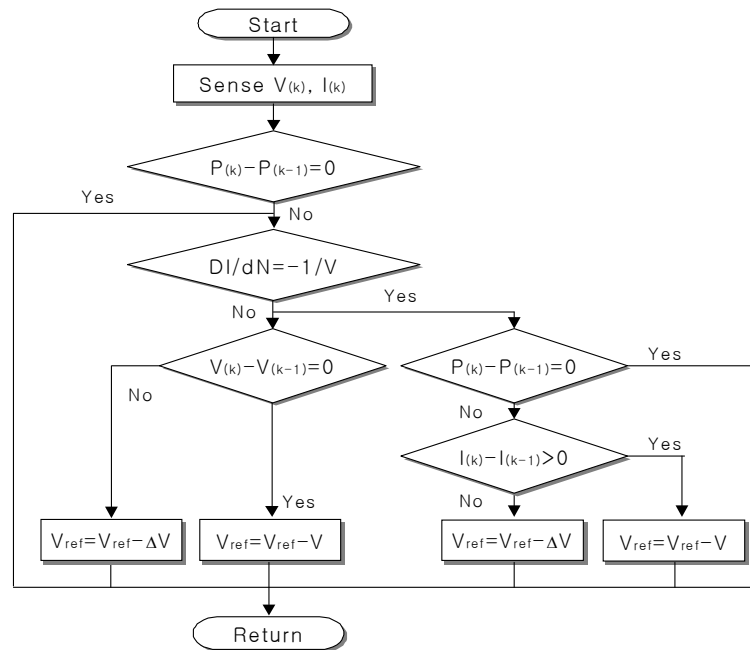


Fig. 2-18 Flowchart of IncCond MPPT Algorithm

IncCond 제어 알고리즘에서 최대출력점은 $\frac{dP}{dV}=0$ 이 되는 경우이므로 식 (2-32), (2-33)과 같이 나타낼 수 있다.

$$IdV + VdI = 0 \quad (2-32)$$

$$\frac{V}{I} = - \frac{dV}{dI} \quad (2-33)$$

위 식은 부하 임피던스가 최대동작점에 있어서 태양전지 어레이의 I-V 곡선의 기울기가 같다는 것을 나타내고 있다.

PWM 컨버터에 의하여 제어하는 경우 동작점을 중심으로 강제로 듀티 싸이클의 변동을 주어서 그 때의 $\frac{V}{I}$ 및 $\frac{\Delta V}{\Delta I}$ 를 계산하여 양자가 동일하게 되도록 동작점을 선택하면 최대전력점에 도달하게 된다.

IncCond 방법은 빠른 환경변화에 대한 MPPT 성능이 매우 좋은 장점이 있으나, 많은 계산량으로 인해 빠른 마이크로 프로세서가 필요하므로 결국 시스템 단가를 상승시키는 결과를 초래하는 단점이 있다. 즉 $\frac{dV}{dI}$ 를 계산하면 그 값이 아주 작으므로 이를 계산하려면 연산을 위한 DSP에게는 많은 부담이 가게 되며 따라서 어느 정도 근사한 값을 취하여 계산이 이루어지도록 하고 있다.

특히 $\frac{dP}{dV}=0$ (또는 $\frac{dI}{dV}=-\frac{I}{V}$) 인 조건은 계산에서 만들어지는 근사값들로 인해 좀처럼 발생치 않게 되므로 여기서는 여유계수 에러치(E)를 주는 것에 의해 검출하며, MPPT의 민감성은 이것에 의해 결정된다.

III. 시스템 구성 및 설계

A. 시스템 구성

그림 3-1은 본 논문에서 제안한 독립형 태양광 시스템의 다중출력 DC-DC 컨버터의 구성도를 나타내고 있다. 제안된 회로는 독립형 태양광 발전시스템용으로 사용하기 위해 태양전지를 입력으로 사용하며, 12V 납축전지를 사용한다. 태양전지의 출력 특성에 따라 컨버터의 입력이 변하기 때문에 일사량이나 온도 등의 변화에도 항상 최대전력점에서 동작하도록 하는 MPPT 제어가 필요하다. MPPT 제어는 AVR Atmega128을 사용하여 구현하였으며 MPPT 알고리즘으로는 간단한 피드백 구조를 갖으며 소수의 측정 파라미터를 갖는 P&O 알고리즘을 사용하였다.

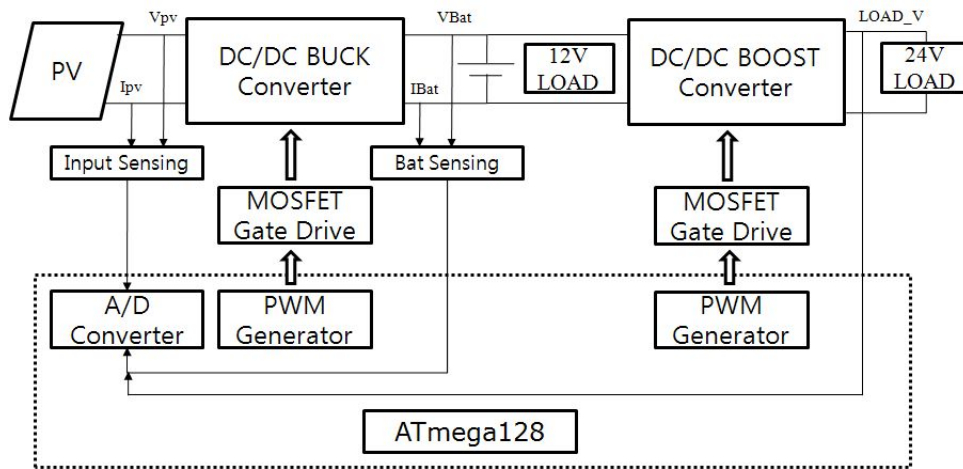


Fig. 3-1 Multiplex Control Converter Configuration for Stand-Alone PV System

B. 제어기 구성

본 논문에서는 AVR RISC 구조에 기초한 Atmel사의 마이크로프로세서인 ATmega128을 이용하여 내장된 10비트 AD변환기를 이용하여 태양전지의 입력전압 및 전류, 축전지의 충전전 전압 및 전류를 읽는다. P&O 태양전지 MPPT 제어 알고리즘과 축전지의 충전전 알고리즘을 수행하여 16비트 타이머카운터의 PWM 기능을 이용하여 PWM신호 2개를 발생하고 MOSFET 드라이브를 통하여 DC-DC 벡 컨버터 및 부스트 컨버터를 제어하게 된다. 그림 3-2는 마이크로프로세서 ATmega128을 이용한 제어 블록도를 나타내고 있다. 그림 3-3은 ATmega128의 핀 아웃을 나타낸다. 분기 명령 등을 제외한 대부분의 명령어는 한 클럭 사이클에 실행되며, 1MPS/MHz에 가까운 처리속도를 낼 수 있기 때문에 전력 소모를 최적화 할수 있다. 또한 ALU(Arithmetic Logic Unit)와 직접 연결되어 있으며, 한 클럭 사이클에 실행되는 구조는 일반적인 CISC 마이크로컨트롤러에 비해 10배 이상의 빠른 속도로 효과적인 코딩이 가능하다.

그림 3-4은 ATmega128의 내부 구조를 나타내고 있다. ATmega128은 Harvard Architecture로 설계되어 있기 때문에 내부 버스인 프로그램 버스와 데이터 버스 2가지로 분리되어 있다. 프로그램 메모리는 64K워드의 플래시 롬으로 이루어져 있으며 이를 위한 버스도 내부에만 존재하게 된다. 내부 SRAM과 EEPROM 메모는 4K바이트로 구성되어 있다.

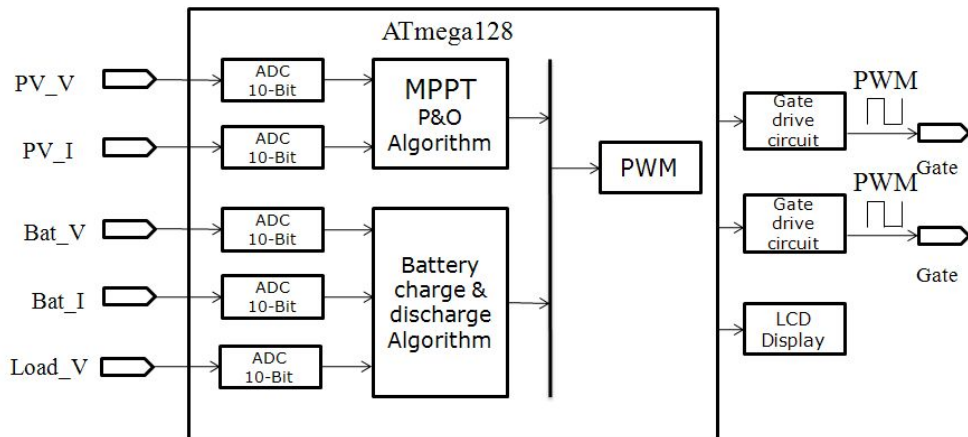


Fig. 3-2 Internal Block Diagram of Microcontroller

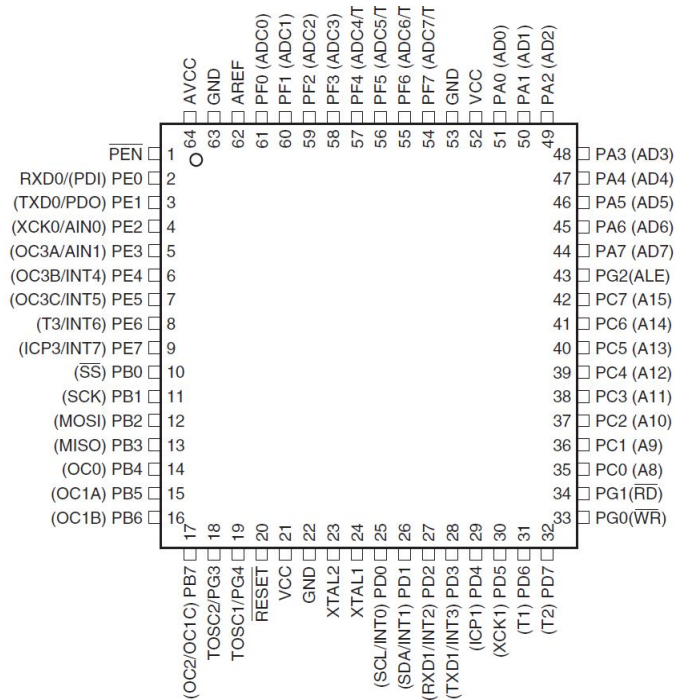


Fig. 3-3 PinOut of ATmega128

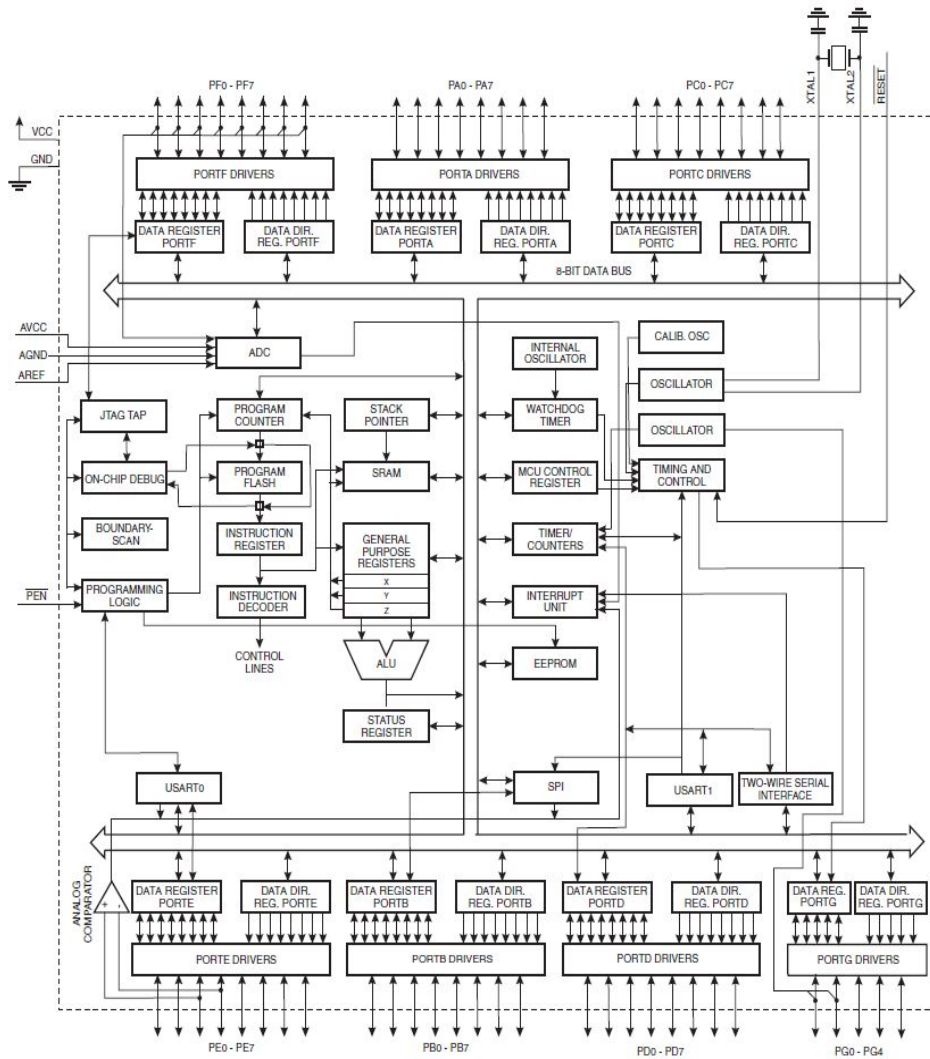


Fig. 3-4 Block Diagram of ATmega128

그림 3-5은 AVR RISC의 내부구조를 보여준다. 고속 액세스가 가능한 32개의 8비트 범용 레지스터는 단일 클럭 사이클의 액세스 시간을 갖는다. 즉, 한 개의 클럭 사이클 동안 1개의 ALU 동작이 가능하다는 것을 의미한다. 한 클럭 사이클 동안 레지스터 파일에서 2개의 오퍼랜드가 출력되는 동시에 오퍼랜드는 실행되고 결과는 다시 레지스터 파일에 저장된다.

32개의 레지스터 중 6개의 레지스터는 데이터 영역 주소를 지정하기 위해 16비트 간접 주소 포인터 레지스터로 사용할 수 있으며, 이러한 기능을 갖는 레지스터는 16비트 X, Y, Z 레지스터 이다.

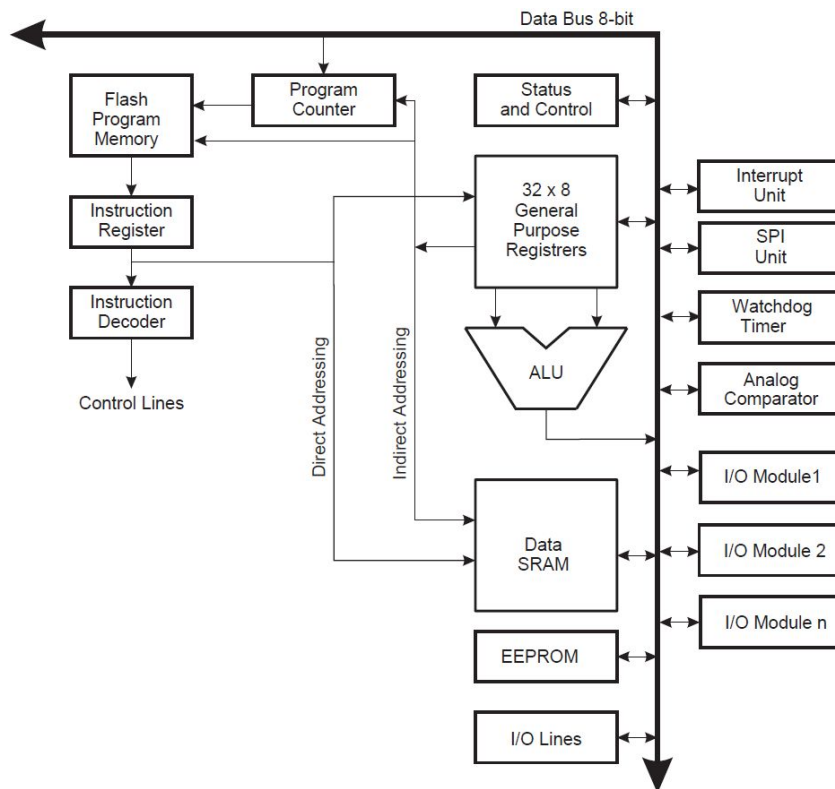


Fig. 3-5 Block Diagram of the AVR Architecture

그림 3-6은 ATmega128의 AD변환기의 블록도를 보여준다. ATmega128은 10비트 분해능의 AD 변환기를 8채널 가지고 있으며, 멀티플렉서에 의해 AD 변환기에 연결된다. MCU는 16가지 다른 전압입력 조합을 가지며, 2개의 차동 입력 전압이 AD 변환되기 전에 10배 또는 200배로 증폭되어질 수 있다. 7개의 아날로그 입력 채널이 공통 음극성 채널 ADC1을 공유하며, 나머지 입력 채널은 양극성 입력단자로 사용되어진다.

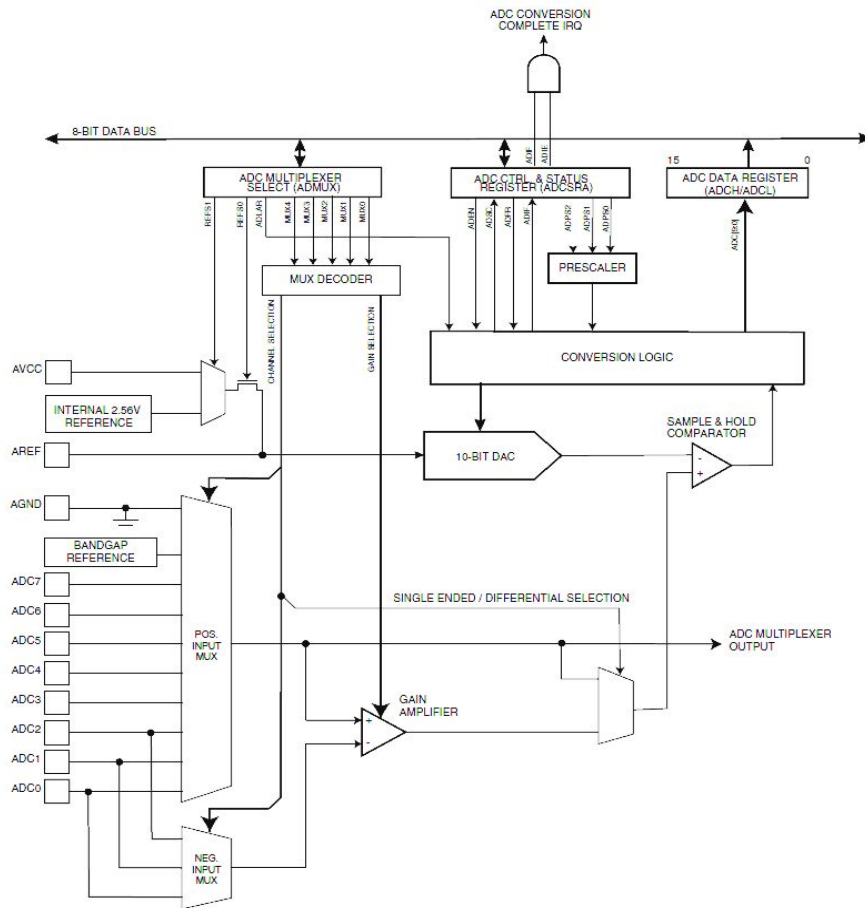


Fig. 3-6 Analog to Digital Converter Block Schematic

ATmega128은 2개의 8비트 타이머/카운터 0과 2를 가지며, 2개의 16비트 타이머/카운터 1과 3을 가지고 있다. 이들 타이머/카운터는 내부 클럭 ClkI/O(=clkCPU)를 카운트하는 타이머 또는 외부 클럭을 카운트하는 카운터로 동작한다. 본 연구에서는 16비트 타이머 카운터 1을 사용하였고 그림 3-7은 16비트 타이머/카운터의 블록도를 나타낸다.

본 논문에서는 PWM파형을 발생시키기 위해 16비트 타이머/카운터 1을 사용하였고 이는 16가지 동작모드를 가진다. 이중 Phase Correct PWM기능을 사용하였고 이 모드는 높은 분해능의 PWM 파형을 발생하는데 유용하다.

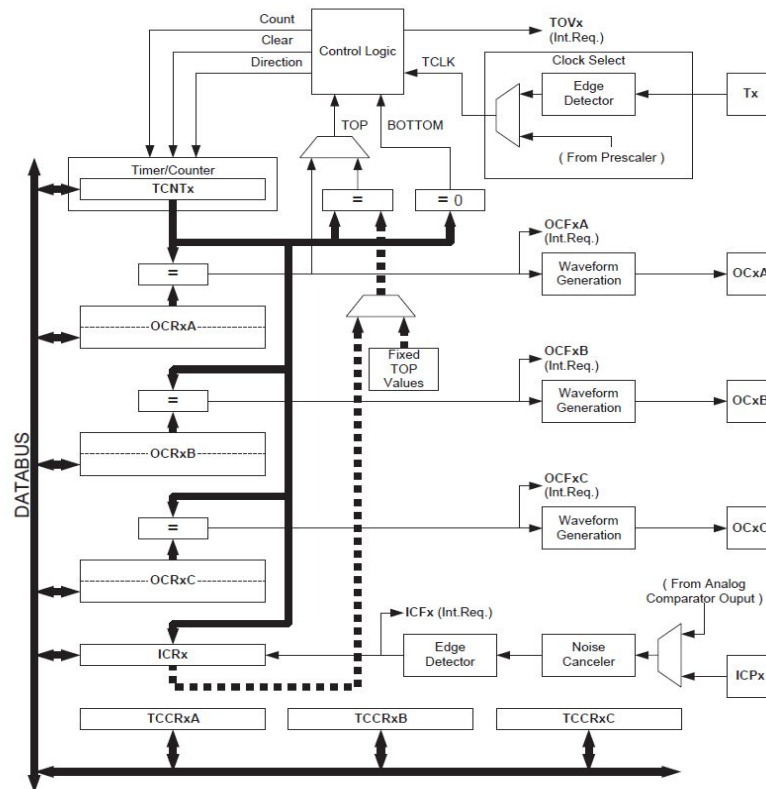


Fig. 3-7 16-bit Timer/Counter Block Diagram

C. 시스템 설계

그림 3-8은 다중제어 컨버터의 ATmega128을 이용한 제어부 회로도를 나타내고 있으며, 2개의 MOSFET 게이트 드라이브 회로도를 나타내고 있다. 게이트 드라이브는 포토커플러 TLP250을 이용하였다. 그림 3-9는 본 논문에서 설계한 다중제어 컨버터의 충방전 제어 회로도를 나타내며 스위칭 레귤레이터용 코일은 아몰피스의 코어재료를 사용한 갭이 없는 트로이달 코어형을 사용한다.

스위칭 주기 T 가 크면 인덕터 L 값도 커지므로 주파수를 높여 주기를 작게 하여야 한다. 그러나 컨버터에서 주파수가 너무 높으면 스위칭에서의 에너지소모가 높아지므로 PWM 주파수는 20kHz에서 50kHz로 설정하는 것이 일반적이며 본 논문에서는 20kHz로 한다.

커패시터 C 를 크게 하여 리플전압 Δv_o 을 작게 하여야 한다. 또한 평활용 콘덴서는 콘덴서의 등가직렬저항 ESR의 영향으로 리플 전압이 나타나기 때문에 임피던스 값이 낮은 고주파 정류용을 사용하는 것이 좋다.

스위치의 선정에는 스위치가 OFF 상태일 때 양단에 걸리는 최대전압 V_{DSmax} 와 ON 상태일 때 흐르는 최대전류 I_{Dmax} , 그리고 전도손실을 최소로 하기 위한 $R_{DS(ON)}$ 등이 고려되어야 한다. 그러나 실제 선정에 있어서는 서지전압 및 전류를 고려하여 IRF640을 사용하였다.

환류다이오드 역시 최대 정격전압과 전류가 고려되어야 하는데 이와 더불어 순방향 전도손실의 최소화, 우수한 역 회복 특성을 만족하는 FE6D를 사용하였다.

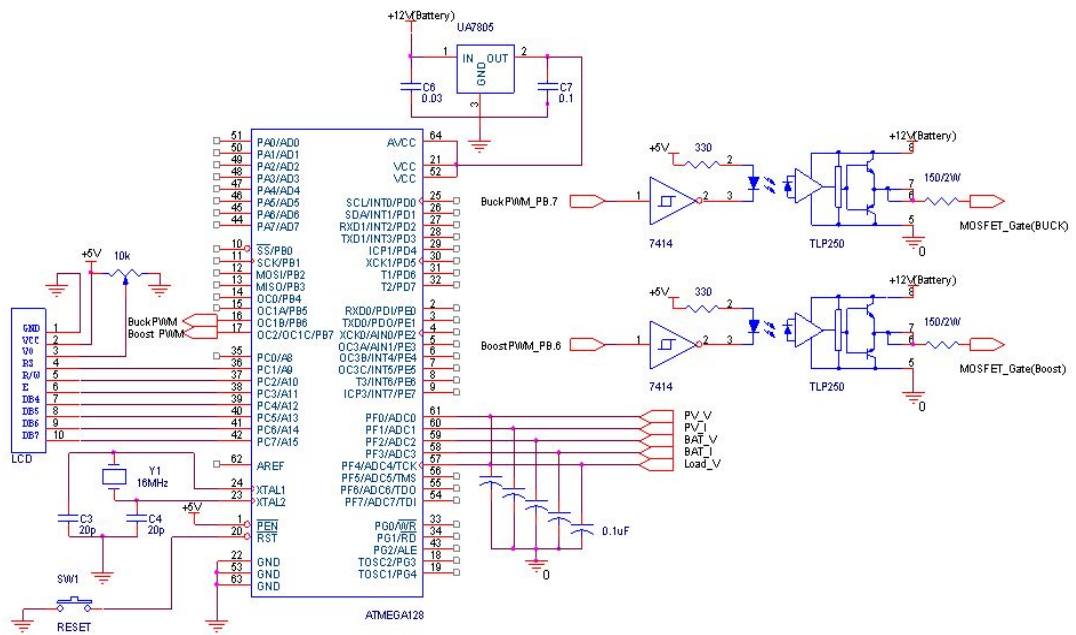


Fig. 3-8 Controller Circuit using Microcontroller and Drive Circuit of Mosfet Gate

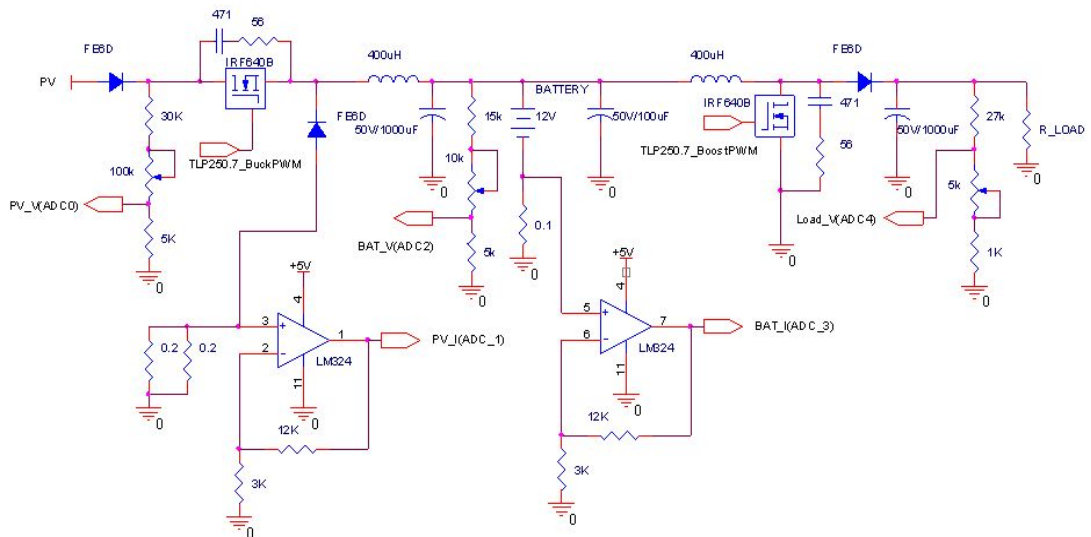


Fig. 3-9 Multiplex Control Circuit of DC-DC Converter

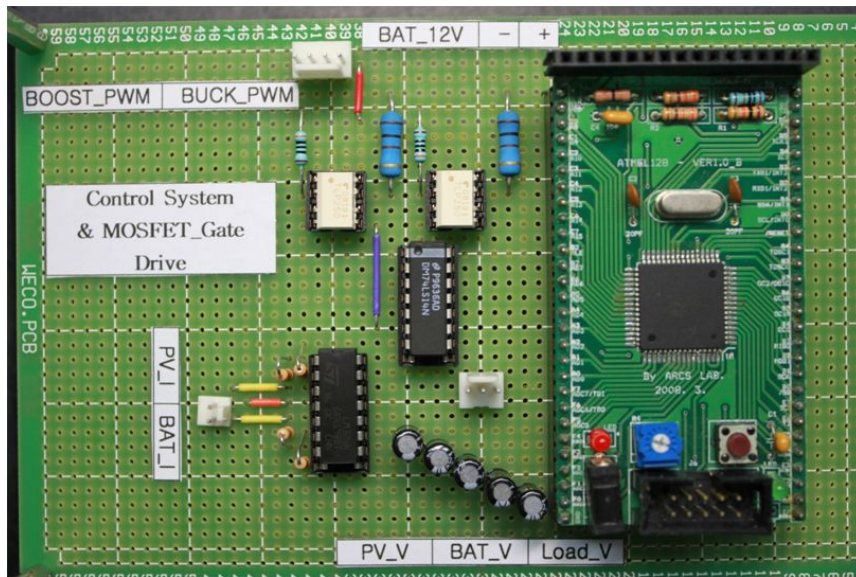


Fig. 3-10 Prototype Circuit of Control System & Mosfet Gate Drive

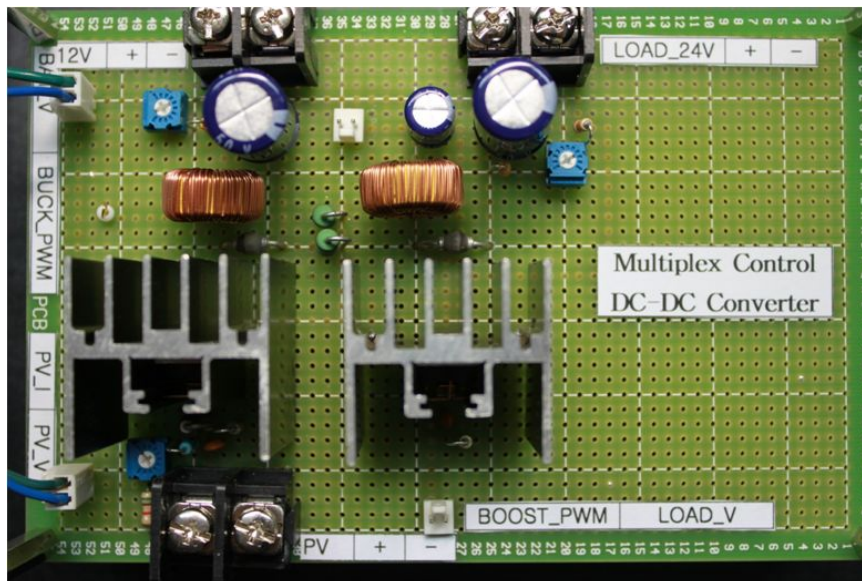


Fig. 3-11 Prototype Circuit of Multiplex DC-DC Converter

IV. 시뮬레이션

본 논문에서는 독립형 태양광발전시스템의 태양전지 모듈의 출력특성 및 MPPT 제어특성과 제안한 다중제어 컨버터의 특성, 벡 컨버터를 이용한 충방전 특성 및 부스트 컨버터의 출력특성을 분석하기 위하여 Solar Pro, Simulink를 이용하여 시뮬레이션을 수행 하였다.

그림 4-1은 심포니에너지의 정격용량이 86 [W]인 SE-S86 태양전지 모듈 1장과 12V 80Ah 연축전지1개를 이용하여 86 [W] 독립형 태양광발전시스템을 구성한 독립형 PV시스템용 다중제어 DC-DC컨버터 시스템의 시뮬레이션 구성도를 나타내고 있다.

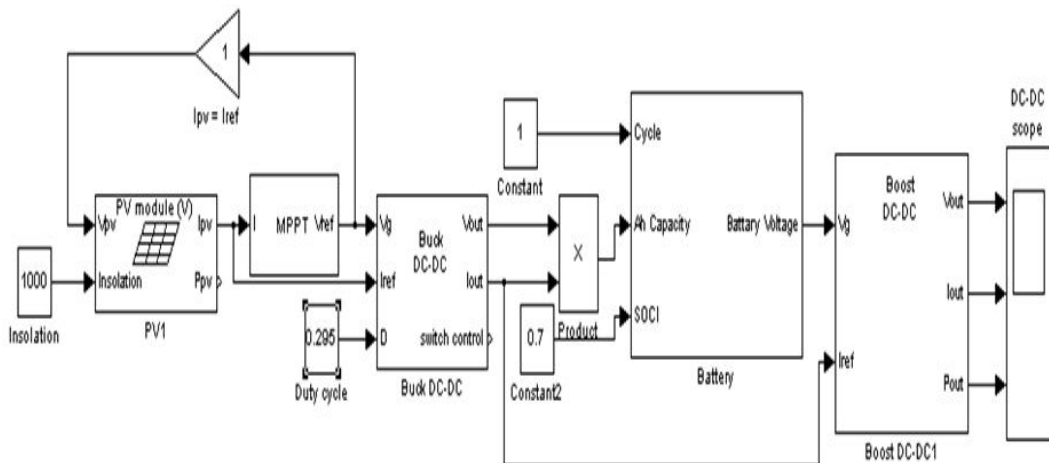


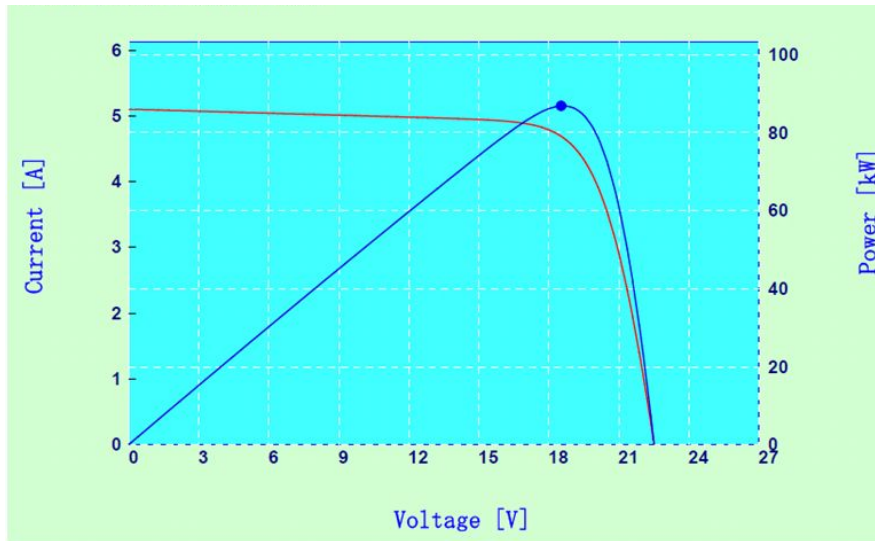
Fig. 4-1 Simulink Configuration of Multiplex Control PV System

A. 태양전지

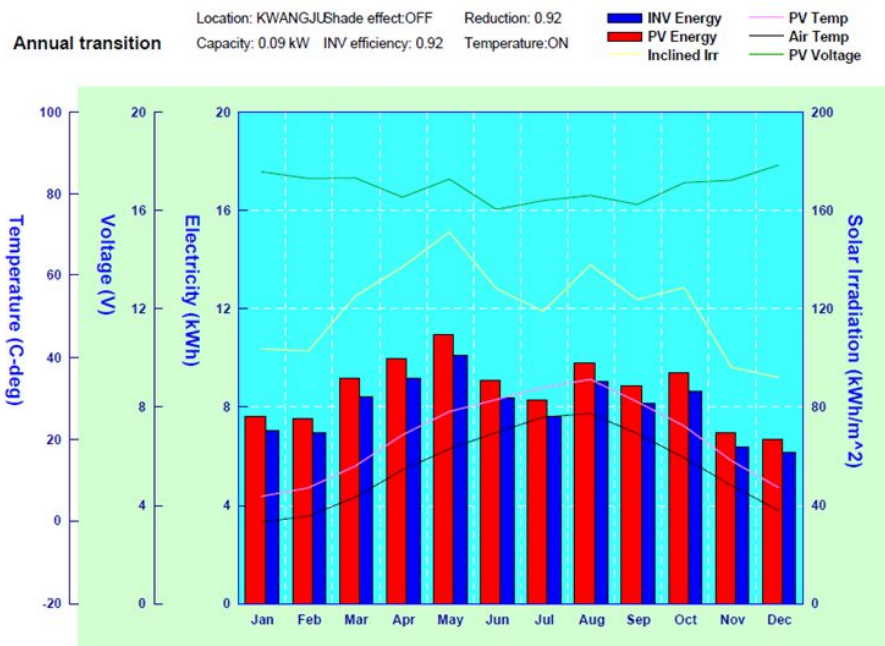
시뮬레이션을 통하여 태양전지 모듈의 출력특성을 고찰하였다. 표 4-1은 태양전지 모듈의 파라미터를 나타내고 있다. 그림 4-2(a)은 Solar Pro Simulation PV 모듈의 출력특성을 나타내고, 그림 4-2(b)는 연간출력량을 나타낸다. 그림 4-2은 시뮬링크 모델링으로 일사강도를 입력으로 태양전지의 광전류 I_{ph} 를 생성하고 내부 다이오드전류 및 병렬저항으로 흐르는 전류손실과 직렬저항에 걸리는 전압손실을 계산하여 출력전압을 생성하였다. 그림 4-4는 시뮬링크 모델링으로 일사량에 따른 태양전지 모듈의 전압-전류 특성 및 전압-전력 특성을 나타내고 있다. 일사량이 저하되면 출력전류가 현저히 저하되어 출력전력이 현저히 저하됨을 알 수 있다.

Table 4-1 Parameters of PV module

Specification		Details
Model		SE-S86
Manufacturer		Symphony(Korea)
Electrical Characteristics	Maximum power(Pmax)	86 [W]
	Max. power voltage(Vmp)	18.6 [V]
	Max. power current(Imp)	4.67 [A]
	Open circuit voltage(VOC)	22.5 [V]
	Short circuit current(ISC)	5.10 [A]
Physical Specifications	Measure	1850 × 410 × 35 mm
	Weight (kg)	14 kg



(a) PV Module I-V Characteristics Curve



(b) Annual transition graph

Fig. 4-2 Solar Pro Simulation PV Module Characteristics

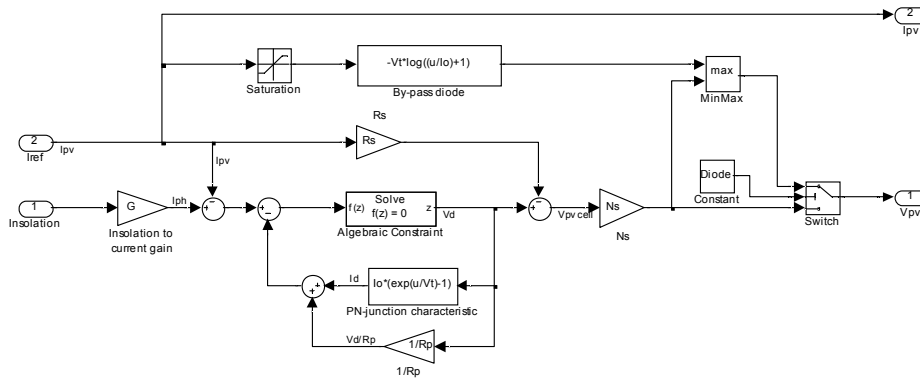
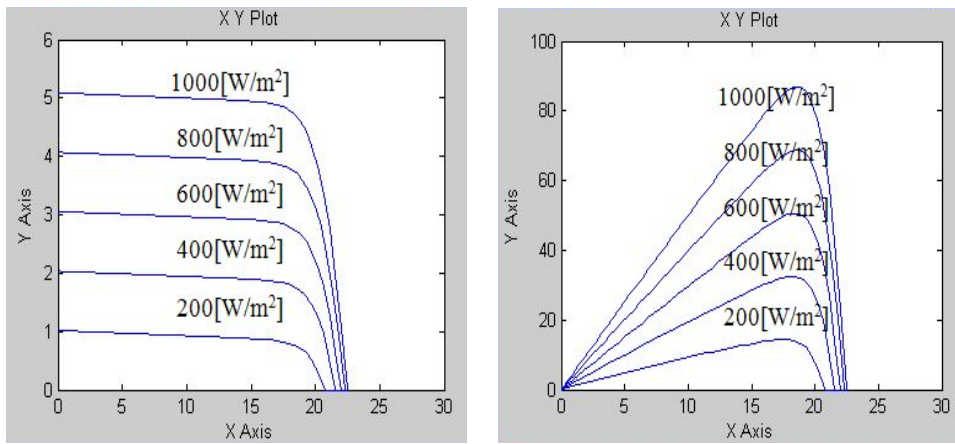


Fig. 4-3 Simulink Configuration of PV Module



(a) I-V Curves

(b) P-V Curves

Fig. 4-4 PV Module Characteristics Curve according to Variation Irradiation

B. 다중제어 컨버터

1. MPPT 제어

그림 4-5는 태양전지 모듈의 MPPT 제어에 대한 시뮬링크 구성도를 나타내고 있다. MPPT 제어는 P&O 제어 알고리즘을 적용하여 MPPT 제어특성을 고찰하였다.

일사강도가 $200 [W/m^2]$ 부터 $200 [W/m^2]$ 단위로 $1000 [W/m^2]$ 까지 상승할 때 및 일사강도가 $200 [W/m^2]$ 부터 $800 [W/m^2]$ 로 급상승 시와 다시 $200 [W/m^2]$ 로 급하강 시 P&O 제어 알고리즘에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 4-6은 일사강도 변화에 따른 P&O 제어에 의한 출력특성을 나타내고 그림 4-7은 그림 4-6의 확대부분을 나타내고 있다. 그림 4-7에서 알 수 있듯이 MPPT 제어는 원활히 진행되고 있으나 확대부분인 그림 4-9에서는 P&O 제어 알고리즘의 단점인 자려진동을 함을 확인 할 수 있다.

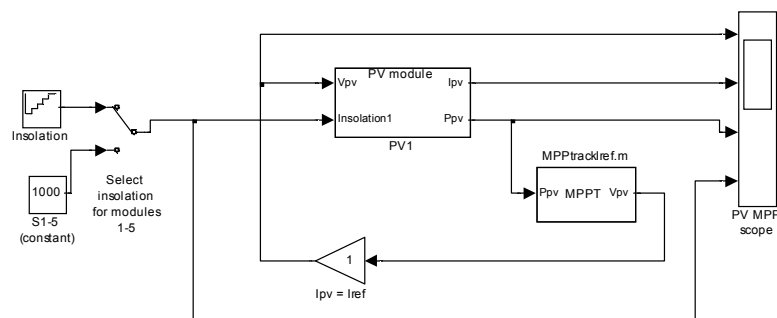


Fig. 4-5 Simulink Configuration of MPPT Controller

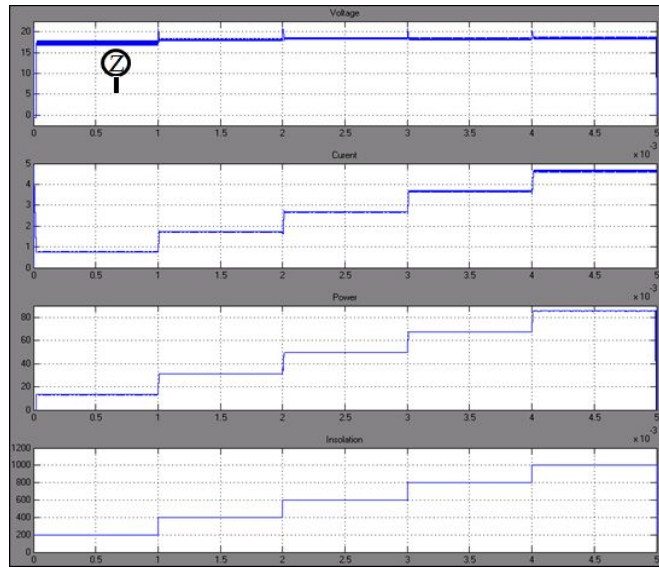


Fig. 4-6 Output Characteristics using P&O MPPT Control Method

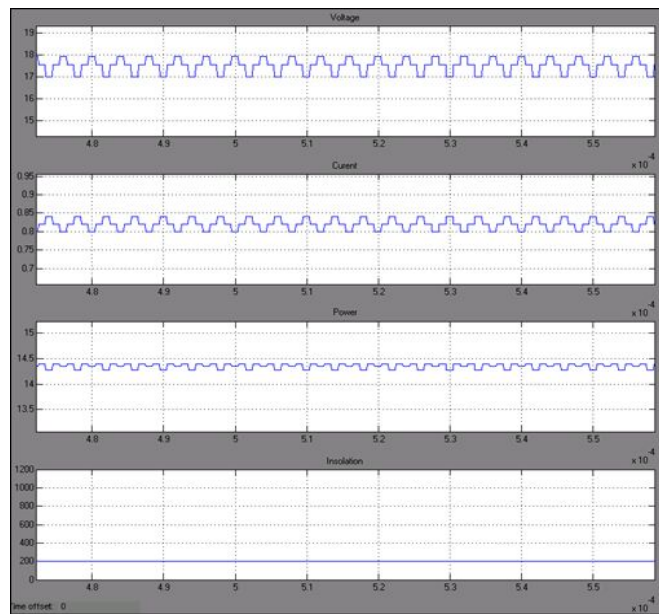


Fig. 4-7 Output Characteristics of Zoom in Part using P&O MPPT Control Method

2. DC-DC Buck 컨버터

독립형 PV시스템용 다중제어 컨버터의 배터리 충전제어기는 DC-DC 벅 컨버터로 구성하였으며 그림 4-8은 시뮬링크 구성도를 나타내고 있고 그림 4-9는 충전제어기의 입출력 및 PWM 펄스 신호와 인덕터 전류 파형을 나타내고 있다.

그림 4-9에서 축전지 충전제어기의 입력전원인 태양전지 모듈의 출력전압이 18.6 [V] 이고 출력전류가 4.6 [A]인 경우 컨버터의 출력전압, 전류, PWM 펄스 신호를 나타내고 있다. 시비율 0.7에서 출력전압은 13.5 [V]로 강압 되고 출력전류는 6.2 [A]로 축전지로 충전됨을 알 수 있다.

스위치가 on 되면 입력전원이 도통되고 환류다이오드는 off 되어 입력전류는 상승하여 인덕터 전류도 상승하고 에너지를 축적한다. 스위치가 off 되면 전원인 태양전지로부터 차단되므로 입력전류는 0으로 되고 환류다이오드는 on 되어 폐회로를 구성하고 인덕터는 축적된 에너지를 방전하여 부하인 축전지를 충전하고 인덕터 전류는 하강함을 알 수 있다.

DC-DC 벅 컨버터의 출력전압은 시비율 D 와 정비례하므로 시비율 D 를 제어함으로써 충전전압 및 전류를 제어할 수 있고 태양전지의 MPPT 제어가 가능해 진다.

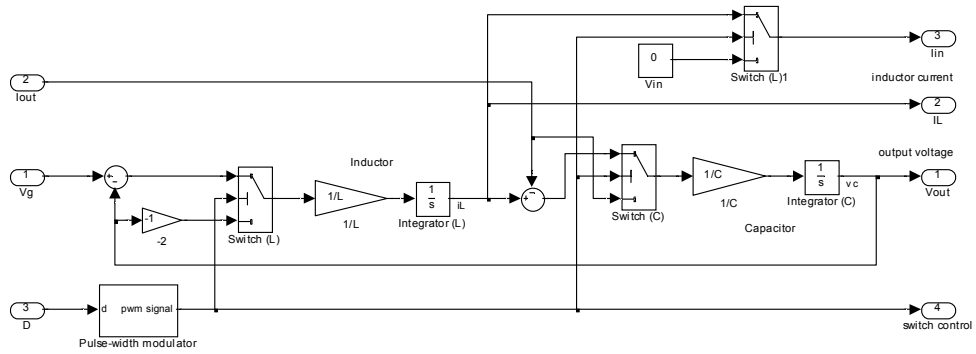


Fig. 4-8 Simulink Configuration of Buck Converter

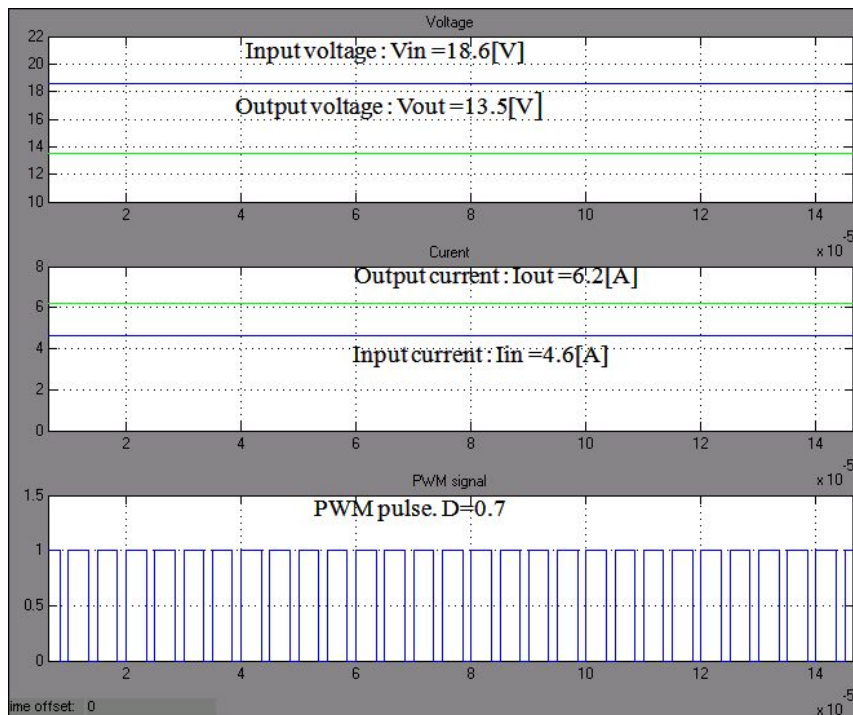


Fig. 4-9 Output Characteristics of DC-DC Buck Converter

3. DC-DC Boost 컨버터

독립형 PV시스템용 다중제어 컨버터의 승압형 방전부는 DC-DC 부스트 컨버터로 구성하였으며 그림 4-10은 시플링크 구성도를 나타내고 있고 그림 4-11은 제어기의 입출력 및 PWM 펄스 신호와 인덕터 전류 파형을 나타내고 있다.

그림 4-11은 배터리의 입력전압이 12[V] 이고 출력전류가 1.7[A]인 경우 컨버터의 출력전압, 전류 및 인덕턴스 전류, PWM 펄스 신호를 나타내고 있다. 출력전압이 24[V]로 부스트 되어 출력됨을 확인 할 수 있었으며, 스위치가 on 일 때 환류다이오드는 off 되어 입력전류는 상승하여 인덕터 전류도 상승하고 에너지를 축적하며, 출력 필터 C 에 저장되어 있던 전하가 방전하면서 출력단에 출력전압을 발생시킨다. 스위치가 off 되면 입력측 배터리 전압과 L 에 저장되어 있던 에너지가 더하여져서 출력단으로 전달된다.

DC-DC 부스트 컨버터의 출력전압의 크기는 시비율 $(1-D)$ 와 반비례하므로 강압형 DC-DC 컨버터와 마찬가지로 시비율 $(1-D)$ 를 제어함으로써 출력전압 및 전류를 제어할 수 있다.

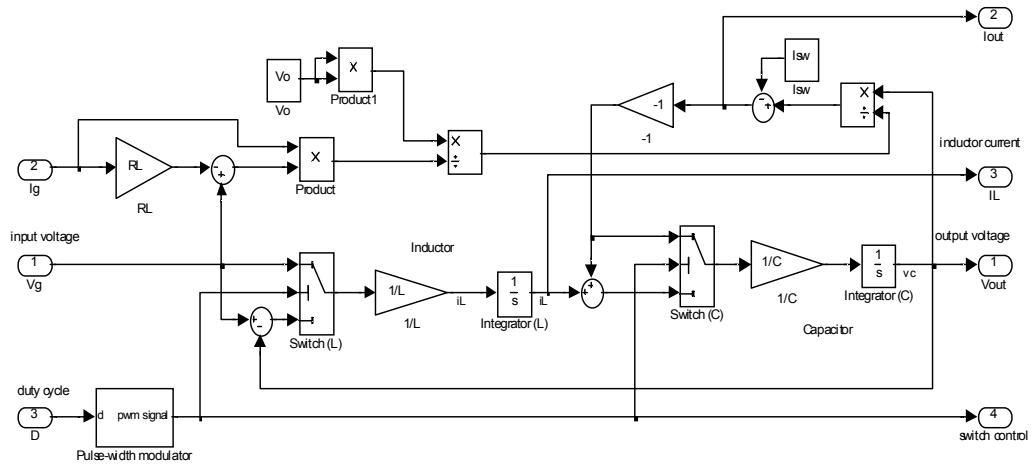


Fig. 4-10 Simulink Configuration of Boost Converter

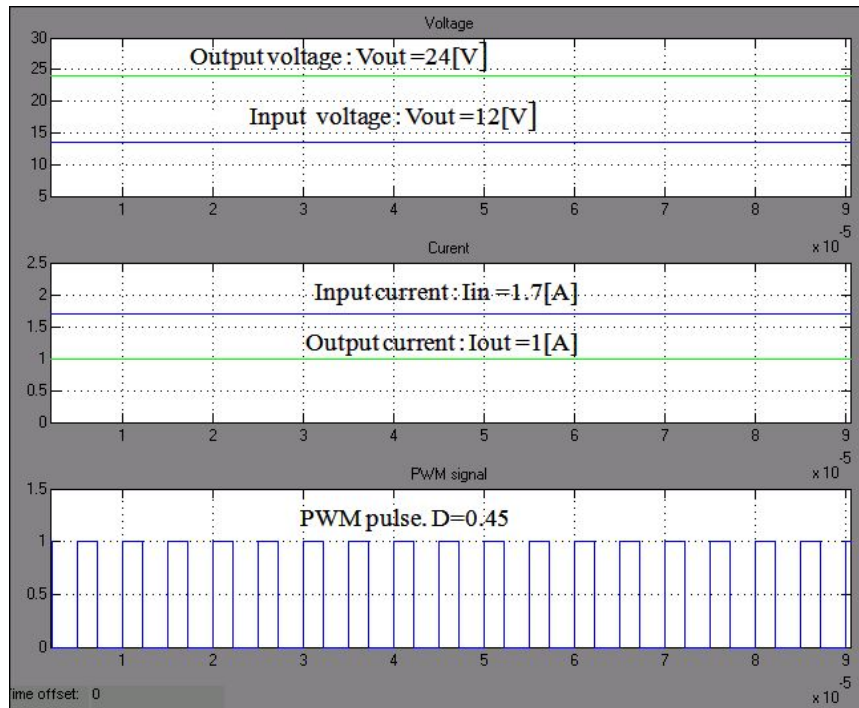


Fig. 4-11 Output Characteristics of DC-DC Boost Converter

V. 실험

A. 시스템구성

본 논문에서는 제안한 다중제어방식 컨버터를 적용하여 독립형 PV 시스템을 구성하였다. 그림 5-1은 독립형 PV 시스템의 전체 구성도를 나타내고 있다. PV 시스템은 86[W] PV 모듈, 다중제어방식 컨버터 및 제어부와 부하로 구성된다. 제어부에는 LCD모듈을 통한 입출력의 실시간 확인이 가능하도록 하였다.

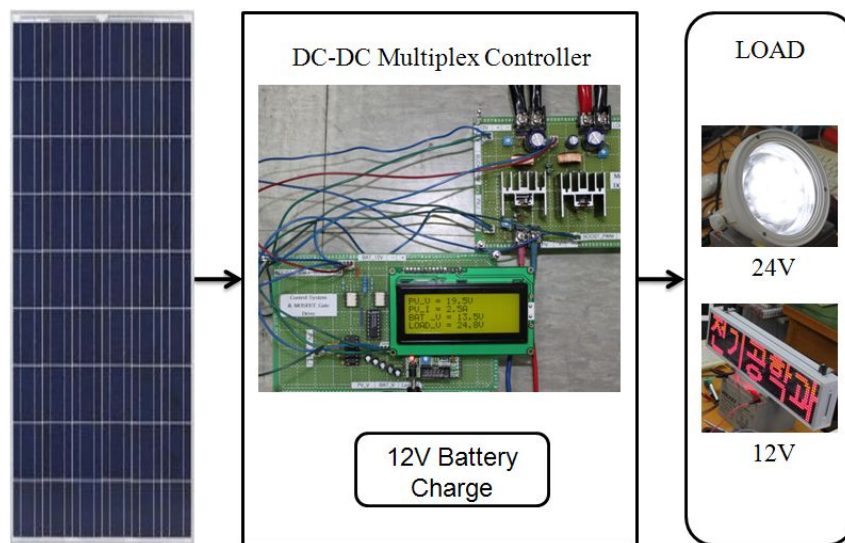


Fig. 5-1 Configuration of Multiplex Stand-Alone PV system

B. 다중제어방식 컨버터 출력특성

1. DC-DC 벅 컨버터 출력특성

독립형 PV시스템의 다중제어 컨버터의 충전제어기 강압형 Buck 컨버터는 시뮬링크를 이용한 DC-DC 벅 컨버에 대한 시뮬레이션을 바탕으로 설계 구성하였다. 그림 5-2는 벅 컨버터의 각부 파형을 나타내고 있다.

그림 5-2는 벅 컨버터의 입력전원인 태양전지 출력 전압이 19[V]시 벅 컨버터를 통하여 13.5[V]로 강압되어 축전지로 충전되며 이때 시비율은 0.73 임을 나타내고 있다.

그림 5-3과 그림 5-4는 PV 입력 전압, 전류 충전전압 및 전류를 나타내고 있다. 축전지는 태양전지의 높은 전압을 벅 컨버터를 통하여 13.5[V], 5.3[A]로 제어되어 충전됨을 알 수 있다.

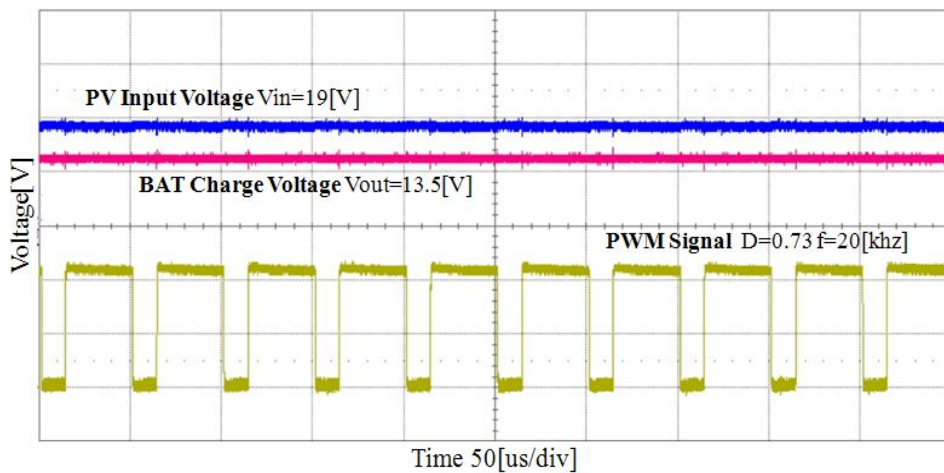


Fig. 5-2 DC-DC Buck Converter Output and PWM Signal Waveforms

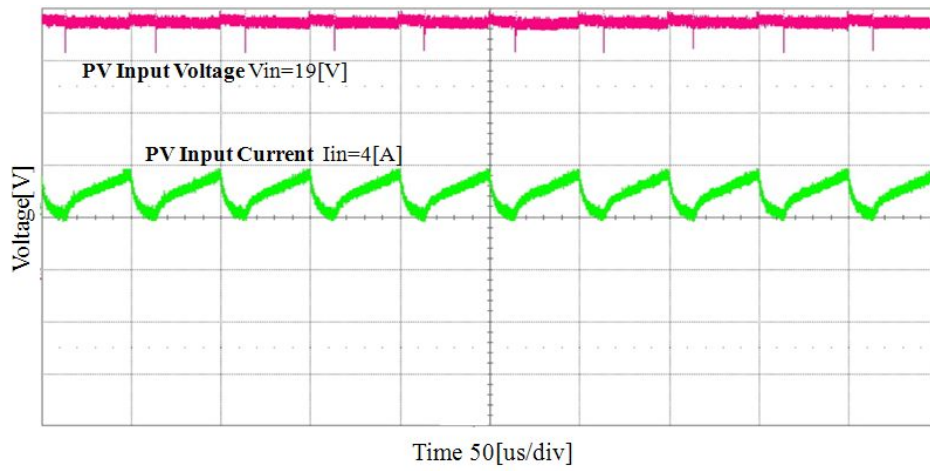


Fig. 5-3 DC-DC Buck Converter Input Voltage & Current

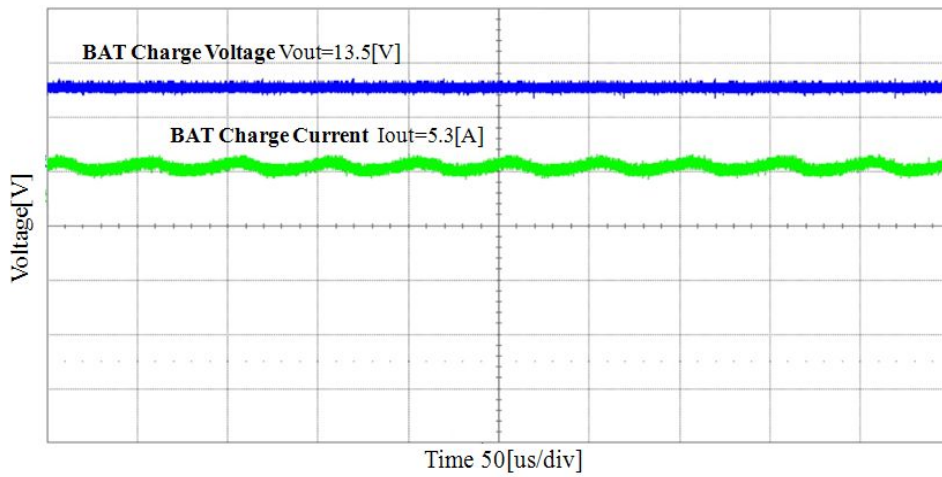


Fig. 5-4 DC-DC Buck Converter Output Voltage & Current

2. DC-DC 부스트 컨버터 출력특성

DC-DC 부스트 컨버터 출력특성을 고찰하기 위하여 DC 전압 및 전류를 측정하였다. 그림 5-5, 5-6, 5-7은 백컨버터로 충전된 배터리 전압이 13.5 [V] 일때 출력특성으로 이때 시비율 D 는 0.48로 PWM 스위칭을 통하여 24 [V] 로 부스트 되어 출력되며 입력전류는 1.7 [A] 이고 출력전류는 1 [A]이다.

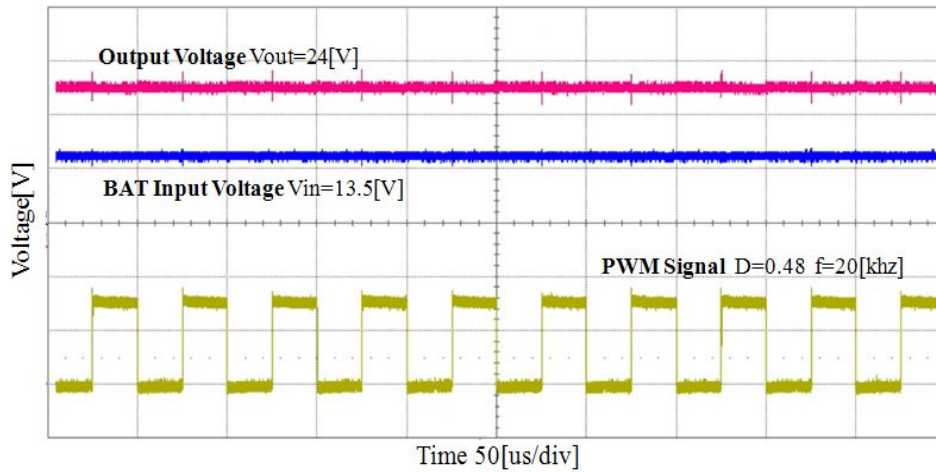


Fig. 5-5 DC-DC Boost Converter Output and PWM Signal Waveforms

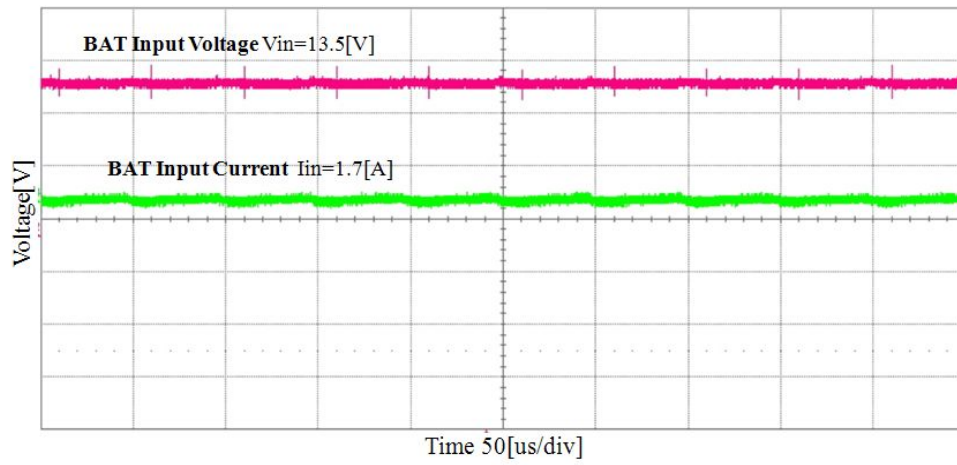


Fig. 5-6 DC-DC Boost Converter Input Voltage & Current

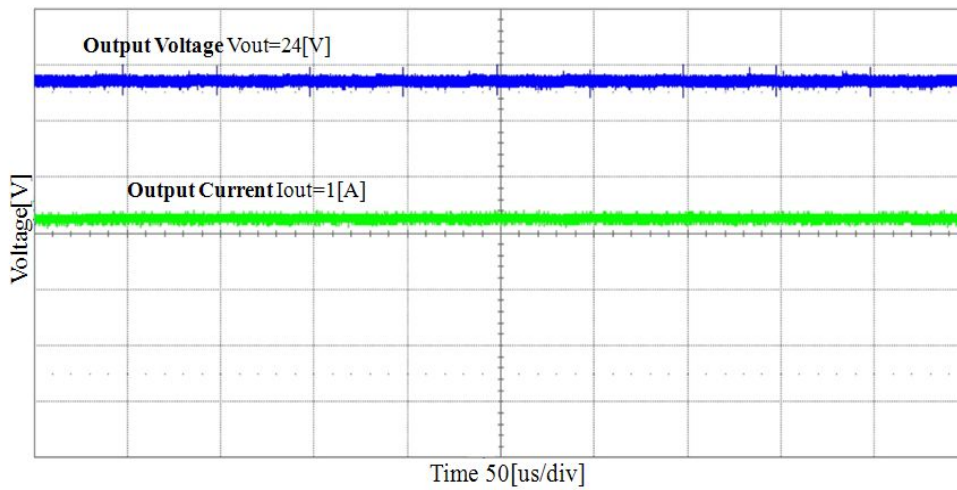


Fig. 5-7 DC-DC Boost Converter Output Voltage & Current

VI. 결 론

본 논문에서는 독립형 태양광발전 시스템의 컨버터를 통합하여 다양한 부하를 고려한 다중제어 컨버터를 제안하며 Simulink와 Solar-Pro를 이용하여 독립형태양광발전 시스템의 태양전지 모듈의 출력특성 및 MPPT 제어 특성과 제안된 다중제어 컨버터를 이용한 충방전 제어 특성에 관한 시뮬레이션을 수행하여 출력특성을 고찰하며 실험을 통해 타당성을 입증하였다.

PV 모듈이 배터리 충전 전압 보다 높기에 PV 입력전압을 12[V]배터리로 충전시키기 위한 MPPT제어가 가능한 강압형 Buck 컨버터와 배터리에 충전된 전력을 24[V]로 승압시키기 위한 Boost 컨버터를 제어하는 시스템으로 구성 하였으며 시뮬레이션과 실험을 통해 안정적으로 동작함을 확인할수 있었다.

제안된 다중제어 컨버터는 단일 8-Bit 단일 디지털 제어를 이용하여 MPPT제어변수와 Out Put출력 변수를 쉽게 변환할 수 있으며 전제 시스템의 출력특성을 쉽게 제어할 수 있다. 또한 최대 전력점 제어부 및 Buck 컨버터와 Boost 컨버터를 단일시스템으로 제어하여 소형 경량화를 이룰수 있다.

본 연구를 통하여 얻은 기술로서 태양광 가로등 시스템 및 DC-DC컨버터를 필요로 하는 응용시스템에 사용이 가능할 것으로 보이며 향후 제안된 다중제어 DC-DC 컨버터의 스위칭 손실분석을 통한 최적효율 개선에 관한 연구와 최적의 MPPT 시스템 모델링 및 모니터링 시스템 및 장기간 운전에 따른 특성분석에 관한 연구가 필요하다 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Goetzberger, A. and V. U. Hoffmann (2005). Photovoltaic Solar Energy Generation. New York, Springer.

- [2] Patel, M. R. (1999). Wind and Solar Power Systems. Boca Raton, CRC Press.

- [3] Jaeger Waldau, A. "PV status: Research, Solar cell Production and Market Implementation of Photovoltaics." Refocus 6(3): 20-23.

- [4] Cheng, C. L., C. Y. Chan, et al. (2005). "Empirical approach to BIPV evaluation of solar irradiation for building applications." Renewable Energy 30(7): 1055-1074.

- [5] Keoleian, G. A. and G. M. Lewis (2003). "Modeling the life cycle energy and environmental performance of amorphous silicon BIPV roofing in the US." Renewable Energy 28(2): 271-293.

- [6] Yano, A., K. Tsuchiya, et al. (2007). "Development of a Greenhouse Side-ventilation Controller driven by Photovoltaic Energy." Biosystems Engineering 96(4): 633-641.

- [7] Rohouma, W. M., I. M. Molokhia, et al. (2007). "Comparative study of different PV modules configuration reliability." *Desalination* 209(1-3): 122-128.
- [8] SMA "PV-System Technology", 2005.
- [9] Yano, A., A. Furue, et al. (2009). "Electrical energy generated by photovoltaic modules mounted inside the roof of a north-south oriented greenhouse." *Biosystems Engineering* 103(2): 228-238.
- [10] Chang, T. P. (2009). "Output energy of a photovoltaic module mounted on a single-axis tracking system." *Applied Energy* 86(10): 2071-2078.
- [11] Eicker, U. (2003). *Solar Technologies for Buildings*. Chichester, John Wiley & Sons Ltd.
- [12] De Soto, W., S. A. Klein, et al. (2006). "Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance." *Solar Energy* 80(1): 78-88.
- [13] Luque, A. and S. Hegedus (2002). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Chichester, John Wiley & Sons Ltd.

저작물 이용 허락서

학 과	전기공학과	학 번	20094064	과 정	석사
성 명	한글 : 신승호 한문 : 申承浩 영문 : Seung-Ho Shin				
주 소	광주광역시 광산구 월곡2동 일신아파트 101동 1009호				
연락처	E-MAIL : cupel@hanmail.net				
논문 제목	한글 : 독립형 PV 시스템용 다중제어 DC-DC 컨버터에 관한 연구 영어 : A Study on the Multiplex Control DC-DC Converter for Stand-Alone PV System				

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 의사 표시가 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(O) 반대()

2010 년 12 월 10 일

저작자: 신 승 호 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하