creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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]I804:24011-200000240300

2010年 8月 工學博士學位論文 태양광 가로등용 Ni-MH 전지의 충방전 제어기에 관한 연구 金賢喆

2010 年度 8月
工學博士學位論文

태양광 가로등용 Ni-MH 전지의 충방전 제어기에 관한 연구

A Study on the Charge and Discharge Controller of Ni-MH Battery for PV Street-Light System

朝鮮大學校 大學院

電 氣 工 學 科

金 賢 喆

태양광 가로등용 Ni-MH 전지의 충방전 제어기에 관한 연구

A Study on the Charge and Discharge Controller of Ni-MH Battery for PV Street-Light System

2010年　8月　日

朝鮮大學校 大學院

電 氣 工 學 科

金 賢 喆

태양광 가로등용 Ni-MH 전지의 충방전 제어기에 관한 연구

指導敎授　曺 錦 培

이 論文을 工學 博士學位 申請論文으로 提出함.

2010 年　4 月　日

朝鮮大學校 大學院

電 氣 工 學 科

金 賢 喆

金賢喆의 博士學位 論文을 認准함

委員長　朝鮮大學校 敎授 _____印

委　員　朝鮮大學校 敎授 _____印

委　員　朝鮮大學校 敎授 _____印

委　員　朝鮮大學校 敎授 _____印

委　員　朝鮮大學校 敎授 _____印

2010年　7月　　日

朝鮮大學校 大學院

목 차

ABSTRACT

제1장 서 론 1

제2장 이론적 배경 4

제1절 태양전지 4

1. 태양전지의 원리 4
2. 태양전지의 특성 7
3. 태양전지의 직-병렬연결 특성 13
4. 태양전지의 전기적 특성 17

제2절 태양광발전시스템의 분류 21

1. 독립형 태양광발전시스템 21
2. 계통연계형 태양광발전시스템 24

제3절 전력저장장치 26

1. 전력저장장치 분류 26
2. Ni-MH전지 원리 29
3. 축전지 용량 산정 33

제4절 충방전 제어기 34

1. DC-DC 벅 컨버터 34
2. MPPT 제어 42
3. 충방전 제어 알고리즘 47

제3장 시뮬레이션 50

제1절 태양전지 52

제2절 DC-DC 벅 컨버터 ····· 55
제3절 MPPT 제어 ····· 57
제4절 Ni-MH전지 ····· 61

제4장 독립형 태양광 가로등시스템 구성 ····· 68
제1절 시스템 구성 ····· 68
1. 태양전지 ····· 69
2. Ni-MH 전지 ····· 70
제2절 충방전 제어기 설계 ····· 72
1. 제어부 구성 ····· 72
2. DC-DC 벅 컨버터 설계 ····· 79
3. 온도보상 회로 ····· 81
4. 제어 알고리즘 ····· 82
제3절 모니터링 시스템 ····· 83

제5장 실 험 ····· 86
제1절 충방전제어 특성 ····· 86
제2절 시스템 출력 특성 ····· 88
1. 일일 운전특성 ····· 88
2. 축전지 운전 패턴분석 ····· 96
3. 실험 결과 고찰 ····· 99

제6장 결 론 ····· 101

참고문헌

List of Tables

Table 2-1 Compare Ni-MH, Lead-acid and Ni-Cd Battery 28

Table 3-1 Parameters of Stand-alone PV Street-light System ····· 51

Table 4-1 Parameters of PV Module ····· 70

Table 4-2 Parameters of Battery for Stand-alone PV Systems ····· 71

Table 4-3 Measuring Point of Data Acquisition ····· 84

Table 5-1 Load Patterns of Stand-alone PV Street-light Systems ····· 89

List of figures

Fig. 2-1 The Basic Principle of Photovoltaic ····· 5
Fig. 2-2 The Photovoltaic Effect in PN Junction ····· 6
Fig. 2-3 The I-V Characteristics of a Solar Cell Compared to a Diode ····· 6
Fig. 2-4 The Equivalent Circuit of Solar Cell ····· 7
Fig. 2-5 The Voltage and Current Characteristics of Solar Cell ··· 9
Fig. 2-6 Effect of Series Resistance in the I-V Characteristics · 12
Fig. 2-7 Effect of Shunt Resistance in the I-V Characteristics ·· 12
Fig. 2-8 I-V Characteristics for Two Cells in Parallel Connection ····· 13
Fig. 2-9 I-V Characteristics for Two Cells in Series Connection15
Fig. 2-10 Operating Characteristics of Two Cells in Series Connection ····· 16
Fig. 2-11 I-V Characteristics at Different Irradiation ····· 18
Fig. 2-12 I-V Characteristics at Different Temperature ····· 18
Fig. 2-13 Operating Characteristics at Different Resistance ····· 19
Fig. 2-14 Maximum Output Voltage and Maximum Power Point of Solar Cell ····· 20
Fig. 2-15 MPPT at Different Irradiance ····· 20
Fig. 2-16 Block Diagram of Stand-alone PV System ····· 21

Fig. 2-17 Block Diagram of Stand-alone PV System for AC Load ····· 23
Fig. 2-18 Block Diagram of Stand-alone PV System for DC Load ····· 23
Fig. 2-19 Block Diagram of Grid Connected PV System ····· 25
Fig. 2-20 Block Diagram of Unidirectional Utility Line Connection Type ····· 25
Fig. 2-21 Block Diagram of Bidirectional Utility Line Connection Type ····· 25
Fig. 2-22 Ni-MH Battery ····· 27
Fig. 2-23 Schematic of Charge-Discharge Reactions in Ni-MH Battery ····· 32
Fig. 2-24 The Equivalent Circuit of Buck Converter ····· 34
Fig. 2-25 A Basic Waveforms of Buck Converter ····· 35
Fig. 2-26 Flow Chart of P&O MPPT Algorithm ····· 44
Fig. 2-27 Flow Chart of IncCond MPPT Algorithm ····· 46
Fig. 2-28 4-step Patterns of the Battery Charger ····· 47
Fig. 2-29 The Conventional Two-phase Charging ····· 49
Fig. 2-30 The Proposed Pulse Charging Method ····· 49
Fig. 3-1 Simulink Configuration of Stand-alone PV Street-light System ····· 50
Fig. 3-2 Simulink Configuration of PV Module ····· 52

Fig. 3-3 PV Module Characteristics Curve according to Variation Temperature ····· 53
Fig. 3-4 PV Module Characteristics Curve according to Variation Irradiation ····· 54
Fig. 3-5 Simulink Configuration of Buck Converter ····· 56
Fig. 3-6 Output Characteristics of DC-DC Buck Converter ····· 56
Fig. 3-7 Simulink Configuration of MPPT Controller ····· 58
Fig. 3-8 Output Characteristics using P&O MPPT Control Method ····· 58
Fig. 3-9 Output Characteristics of Zoom in Part using P&O MPPT Control Method ····· 59
Fig. 3-10 Output Characteristics according to Rises Rapidly Insolation using P&O MPPT Control Method ····· 59
Fig. 3-11 Output Characteristics using Conventional IncCond MPPT Control Method ····· 60
Fig. 3-12 Output Characteristics according to Rises Rapidly Insolation using IncCond MPPT Control Method ····· 60
Fig. 3-13 State of Charge Model ····· 62
Fig. 3-14 Simulink Model of Charge Efficiency ····· 62
Fig. 3-15 Charge Efficiency ····· 63
Fig. 3-16 Battery Temperature Block ····· 64
Fig. 3-17 Temperature of Ni-MH Battery ····· 64
Fig. 3-18 Simulink Model of Depth of Discharge ····· 65

Fig. 3-19 Simulink Model of Discharge Voltage ····· 65
Fig. 3-20 Discharge Voltage of Ni-MH Battery ····· 65
Fig. 3-21 State of Charge during Charge and Discharge ····· 66
Fig. 3-22 Ni-MH Voltage Model during Charge & Discharge Voltage Block ····· 66
Fig. 3-23 Voltage of Ni-MH Battery ····· 67
Fig. 4-1 Stand-alone PV Street-light System ····· 68
Fig. 4-2 Battery Image Applying to Stand-alone PV Street-light Systems ····· 71
Fig. 4-3 Ni-MH Battery Charger Block Diagram ····· 73
Fig. 4-4 Internal Block Diagram of Microcontroller ····· 73
Fig. 4-5 PinOut of ATmega128 ····· 74
Fig. 4-6 PCB Board of ATmega128 ····· 74
Fig. 4-7 Block Diagram of ATmega128 ····· 75
Fig. 4-8 Block Diagram of the AVR Architecture ····· 76
Fig. 4-9 Analog to Digital Converter Block Schematic ····· 77
Fig. 4-10 16-bit Timer/Counter Block Diagram ····· 78
Fig. 4-11 Ni-MH Battery Charge Circuit ····· 79
Fig. 4-12 Controller Circuit using Microcontroller ····· 79
Fig. 4-13 MOSFET Gate Drive Circuit ····· 80
Fig. 4-14 Temperature Compensation Circuit ····· 81
Fig. 4-15 Flowchart of the Pulse Charging Method ····· 82
Fig. 4-16 Distribution Diagram of Monitoring System ····· 84

Fig. 4-17 Main Screen of PV Monitoring System ····· 85
Fig. 5-1 Charge Controller Characteristics for Ni-MH Battery ··· 87
Fig. 5-2 Daily Load Patterns of Stand-alone PV Street-light Systems ····· 89
Fig. 5-3 Daily PV Output Patterns of Lead-acid Battery System ····· 91
Fig. 5-4 Daily Charge Characteristics of Lead-acid Battery System ····· 92
Fig. 5-5 Daily PV Output Patterns of Ni-MH Battery System ··· 94
Fig. 5-6 Daily Charge Characteristics of Ni-MH Battery System ····· 95
Fig. 5-7 Driving Voltage Characteristics of Lead-acid Battery ·· 97
Fig. 5-8 Driving Voltage Characteristics of Ni-MH Battery ····· 97
Fig. 5-9 Temperature Characteristics of the Battery during Operation ····· 98
Fig. 5-10 Output Balance of Solar Power Generation ····· 100

Nomenclatures

I_{ph} : 광전류 [A]

I_d : 다이오드 전류 [A]

I_o : 다이오드 포화전류 [A]

h : 플랑크 상수 [J×s]

I_L : 부하전류 [A]

K : 볼쯔만 상수 [J/K]

T : 절대온도 [K]

q : 전자 한개의 전하량 [C]

R_s : 직렬 저항 [Ω]

R_{sh} : 병렬 저항 [Ω]

V_{oc} : 개방전압 [V]

I_{sc} : 단락전류 [A]

V_o : 출력전압 [V]

$P_{\max}$: 최대출력 [W]

η : 효율 [%]

V_m : 최대출력시 전압 [V]

I_m : 최대출력시 전류 [A]

P_{in} : 입사된 태양광에너지 [W]

G : 일사량 [kWh/m^2]

G_{eff} : 유효일사량 [kWh/m^2]

G^* : 표준조건(STC) 일사강도 1kW/m^2

N_p : 병렬연결 수

N_s : 직렬연결 수

I_c : 태양전지 1개당 출력전류

V_c : 태양전지 1개당 출력전압

I_a : 어레이 전류

V_a : 어레이 전압

F : Faraday 상수

B_W : 축전지 용량

N_d : 부 일조일

L_a : 일일 사용전력량

B_{DOD} : 배터리 방전심도

H_a : 사용시간

V_b : 배터리 전압

η_i : 시스템 효율

L_W : 부하량

i_L : 인덕터 전류

v_L : 인덕터 전압

D : 통류율

Abbreviation

PV : Photovoltaic

DC : Direct Current

AC : Alternating Current

AM : Air Mass

MPP : Maximum Power Point

MPPT : Maximum Power Point Tracking

FF : Fill Factor

PWM : Pulse Width Modulation

STC : Standard Test Conditions

P&O : Perturb & Observe

IncCond : Incremental Conductance

DB : Data Base

Ni-MH : Nickel-Metal Hybrid

KVL : Kirchhoff's Voltage Laws

RISC : Reduced Instruction Set Computer

CISC : Complex Instruction Set Computer

MCU : Micro Controller Unit

ALU : Arithmetic Logic Unit

UPS : Uninterruptible Power Supply

LED : Light Emitting Diode

PCB : Printed Circuit Board

ABSTRACT

A Study on the Charge and Discharge Controller of Ni-MH Battery for PV Street-Light System

Hyun-Chul Kim
Advisor : Prof. Geum-Bae Cho, Ph.D.
Department of Electrical Engineering,
Graduate School, Chosun University

Greater part of an electricity energy which the mankind is using currently most widely is getting through a fire power development or nuclear energy development.

But recently we are requiring the development of a new reclaiming energy because of drying up of continuous increase and fossil energy of the electricity need environment pollution problem because of the enhance of a development of rapid industry and life level.

Photovoltaics is clean energy which is unlimited energy, no air pollution, no noise, no vibration, unlike existing to use the fossil energy fire power development method.

Photovoltaics consists of grid-connected photovoltaic system and stand-alone PV system. The stand-alone PV system apply to the satellite and the palisade. But recently PV is adapted education, streetlight, pump and toy to educate. The stand-alone PV system

need energy store equipment like battery when PV is impossible development like night and raining day. The stand-alone PV system has been used to lead battery and Ni-Cd battery.

But a lead battery is heavy because of a low energy density and weak the durability at over charge/discharge of high current. And a using temperature band is 0~30℃ required comparison temperature unit facilities. A remains heavy metal's lead is a main bow material and continuous discharge of the sulfuration gas injurious with a power supply equipment corrosion of the circumstance at the human body activity and battery life is short.

A weak point of Ni-Cd battery is very expensive and becomes the problem to the environment due to use a cadmium to be a remains heavy metal a negative pole bow material. Ni-Cd need electrolyte supplement 2 time because of need 150% over charge for regularity voltage by regular charge.

Ni-MH battery didn't use harmful material and show 1.2V~1.3V discharge. So Ni-MH battery has have no memory effect, 1.5~2 times of the capacity compare with Ni-Cd and compatible with Ni-Cd battery.

This paper try to present safety and reliability of the stand-alone system adapted of Ni-MH battery. And then this paper study charge/discharge characteristic and make charge/discharge controller to have temperature compensation facility using by microprocessor.

So, this paper propose a tech to do upgrade system efficiency, safety and reliability of the stand-alone PV.

제1장 서 론

현재 사용하고 있는 전기 에너지의 대부분은 화력발전이나 원자력발전을 통해서 얻고 있다. 하지만 급속한 산업의 발달과 생활수준의 향상으로 전력 수요의 지속적인 증가에 반해 화석에너지의 고갈, 환경오염 문제 등으로 신재생에너지에 대한 관심이 고조되고 있다. 그 중에서도 무공해의 무한 에너지원인 태양의 빛에너지를 이용하는 태양광발전 (Photovoltaics : PV)에 대한 연구 개발이 국내외적으로 활발하게 진행되고 있으며 선진국에서는 연구 및 보급 사업을 정부 주도로 강력하게 추진 중이다. 에너지의 해외 의존도가 95% 이상인 우리나라에서도 태양광, 풍력, 연료전지를 3대 중점사업으로 신재생에너지의 개발 및 보급이 활발하게 진행되고 있다.[1,2]

태양광발전은 반도체 소자인 태양전지의 광전효과를 이용하여 태양의 빛에너지를 전기에너지로 변환하는 발전시스템으로 기존의 화석에너지를 사용한 화력발전시스템과는 달리 무한정한 태양의 빛에너지를 원천으로 함으로서 대기오염, 소음, 진동 등의 공해가 전혀 없는 깨끗한 에너지원이다. 또한 연료의 수송, 기계적 가동, 국부적 고온, 고압부가 없어 발전설비의 유지관리가 용이하고 수명이 길며 설비규모의 선택과 설치공사가 쉬운 장점을 가지고 있어 각광을 받고 있다. 최근 몇 년 사이에 태양광발전 산업분야의 규모는 태양전지의 저가화가 실현되면서 매년 30% 이상의 증가율을 보이고 있다. 그러나 기존 화력발전방식에 비하여 발전단가가 높고 태양에너지 밀도와 태양광발전시스템의 변환효율이 낮아 넓은 설치면적이 요구될 뿐 만 아니라 기상 등에 많은 영향을 받는 특성이 있다.[3,4]

태양광발전은 전원계통과 연계하여 사용되는 계통연계형과 전원계통이 없이 단독으로 사용되는 독립형으로 구분된다. 독립형 태양광발전시스템은 초창기에는 인공위성이나 군사용에 국한되어 주로 사용되었으나 최근에는 등대, 교육용 응용제품, 가로등, 펌프 및 학습용 완구 등 광범위한 분야에 응용

되어 활용되고 있다.

독립형의 경우 야간이나 우천 시와 같이 발전이 불가능한 시간에 정상적으로 전력을 공급하기 위해서는 전력저장장치가 필요하다. 독립형 태양광발전 시스템 구성에 있어 전력저장장치는 지금까지 납축전지, Ni-Cd전지 등이 사용되어 왔다. 하지만 납축전지의 경우 단위중량당 에너지 밀도가 낮아 축전지의 전체 무게가 무겁고, 산업용으로써 대전류의 과충방전에 내구성이 취약하다. 또한 사용온도 대역이 0~30℃로 온도대비 부대설비가 요구 되고 유해중금속인 납이 주요 활물질이며 축전지 사용 시 황화가스의 지속적인 배출로 주변의 전원장비 부식과 인체에 유해한 작용을 하고 수명이 짧다. 그리고 Ni-Cd전지는 가격이 비싸고 유해 중금속인 카드뮴(Cd)을 음극 활물질로 사용하므로 환경적으로 문제가 된다. 또한 방전 후 재충전시 반드시 균등 충전으로 정격 전압 대비 150%의 과충전이 필수이며 연간 2회의 전해액 보충이 필요하다.

따라서 미국, 일본을 중심으로 1980년대 중반부터 기존의 2차 전지를 대체할 차세대 2차 전지에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔으며, 그 중 대표적인 2차 전지가 Ni-MH 전지이다. Ni-MH 전지는 Ni-Cd 전지에서 유해 중금속인 Cd 전극을 수소저장합금(Metal Hydride)으로 대체한 전지이다. Ni-MH 전지는 유해 물질을 사용하지 않고 방전 전압이 1.2V~1.3V로 Ni-Cd 전지와 유사하여 호환이 가능하고 Ni-Cd 전지와 비교하여 용량은 1.5~2배에 이르며 기억효과(memory effect)가 거의 없는 장점을 가지고 있다.[5,6]

본 논문에서는 대기 오염 물질의 방출이 적고, 소음이 적은 환경 친화적이며 고용량, 장수명의 전력저장장치인 Ni-MH전지를 독립형 태양광 가로등시스템에 적용함으로서 시스템의 안정성 및 신뢰성을 향상하고자 한다.

납축전지 및 Ni-MH 전지를 적용한 2기의 독립형 태양광 가로등 시스템을 구현하고 모니터링시스템을 구축하여 DB를 통하여 출력특성을 비교분석함으로서 Ni-MH전지의 우수성을 입증하고자 한다. 또한 시뮬링크를 이용하여

Ni-MH전지의 충방전 제어기에 대한 출력특성을 시뮬레이션을 통하여 분석하고 마이크로프로세서를 이용하여 Ni-MH전지의 온도보상기능을 갖는 충방전 제어기를 설계 및 구현하고 충방전 특성을 검토하고 독립형 태양광 가로등시스템에 적용하여 장기간의 실증운전을 통한 출력특성을 분석하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다.

1장에서는 독립형 태양광발전시스템의 효율 개선에 관한 연구 배경과 필요성에 대해 기술하고, 2장에서는 태양전지 구조 및 특성, 태양광발전시스템의 효율 저하원인을 이론적으로 정립하였고, 3장에서는 이론을 바탕으로 태양전지 출력특성과 Ni-MH전지 특성, Ni-MH전지를 적용한 독립형 태양광 발전시스템의 출력특성 및 Ni-MH전지의 충방전 특성에 대하여 시뮬레이션을 수행하고 운전 특성을 비교 분석하였으며, 4장에서는 제안한 Ni-MH 전지와 납축전지를 이용하여 2기의 독립형 태양광 가로등 시스템을 구현하고 5장에서는 실험 및 실증운전을 통해 운전특성을 비교분석하였다. 마지막으로 6장에서는 결론과 향후 과제에 대해서 기술하였다.

제2장 이론적 배경

제1절 태양전지

1. 태양전지의 원리

태양전지는 광기전력 효과(Photovoltaic Effect)를 이용하여 빛 에너지를 직접 전기 에너지로 변환시키는 반도체 소자로써 단결정 실리콘 태양전지는 4가 실리콘에 5가 원소(P, As, Sb 등)를 도핑한 N형 반도체와 3가 원소(B, Ga 등)를 도핑한 P형 반도체로 이루어진 PN 접합 구조로 되어 있다.

P형 반도체와 N형 반도체가 하나의 단결정으로 접합되면 불순물의 농도차에 의해서 N형 반도체가 P형 반도체로 확산해 가고 정공은 P형에서 N형으로 확산됨에 따라 P형 반도체의 전도대 내부에 있는 전자에너지 레벨인 페르미준위는 N형 반도체보다 높아지고 N형 반도체의 가전자대 내부에 있는 정공이 갖는 에너지는 P형 반도체보다 높아지게 되어 내부에 전위차가 발생한다.[7,8]

그림 2-1과 같이 PN접합 반도체에 태양광이 입사되면 가전자대의 전자는 빛에너지를 흡수하여 전도대에 유기되어 자유전자로 되고 전자가 여기 된 후의 가전자대에는 정공이 생겨 전자는 N형 반도체에 정공은 P형 반도체로 이동하여 N층과 P층을 각각 음극과 양극으로 대전시키는 광기전력효과에 의해 기전력을 발생한다.

광기전력 효과란 금지 대영역이 E_g인 PN접합에 빛을 조사시킬 때 E_g보다 큰 에너지를 가진 입사광자에 의해서 전자 정공쌍이 생성되어 접합 양단에 광기전력이 발생하는 현상이다.

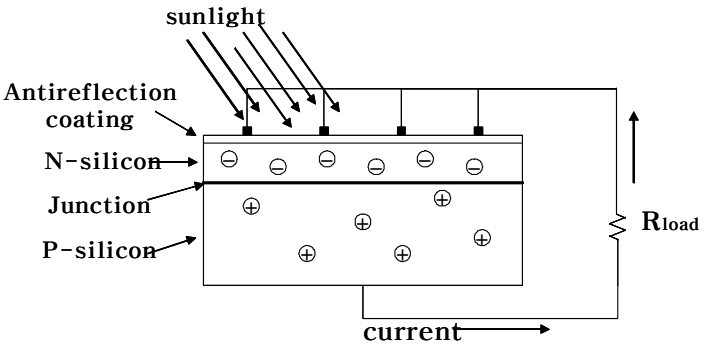


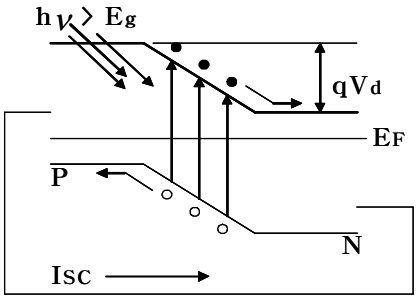
Fig. 2-1 The Basic Principle of Photovoltaic

그림 2-2 (a)에서 외부회로를 단락하면 입사광량에 비례한 광전류가 외부회로에 흐르게 되는데 이때 이 전류를 단락전류(Short-circuit Current, I_{sc})라 한다. 또한 그림 2-2 (b)에서와 같이 PN 접합의 양단을 개방하면 전자와 정공이 각각 N, P 층으로 유입됨으로서 N 층의 페르미 레벨이 P 층의 페르미 레벨에 비해 약간 올라가 양쪽의 페르미 준위에는 전압차가 생긴다. 이 값은 외부로부터 관측될 수 있으며 이를 개방전압(Open-circuit Voltage, V_{oc})이라 한다.[9]

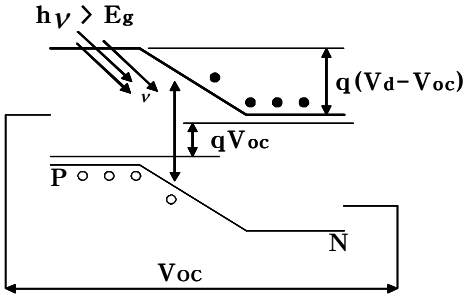
태양전지는 넓은 면적의 다이오드로 볼 수 있으므로 이것의 전압-전류 특성곡선은 암 상태에서의 다이오드 전류-전압 곡선에 광전류를 중첩시키면 된다. 즉, 암 상태에서의 다이오드 전압-전류 곡선을 아래쪽으로 광전류 I_{ph} 만큼 이동시키면 된다. 그림 2-3은 태양전지의 동작곡선을 나타낸다. 다이오드에 인가되는 전류에 대한 해석은 식 (2-1)과 같다.

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

여기서, I_{ph}는 광전류 이고, I_d는 다이오드 전류이다.



(a) Short Circuit



(b) Open Circuit

Fig. 2-2 The Photovoltaic Effect in PN Junction

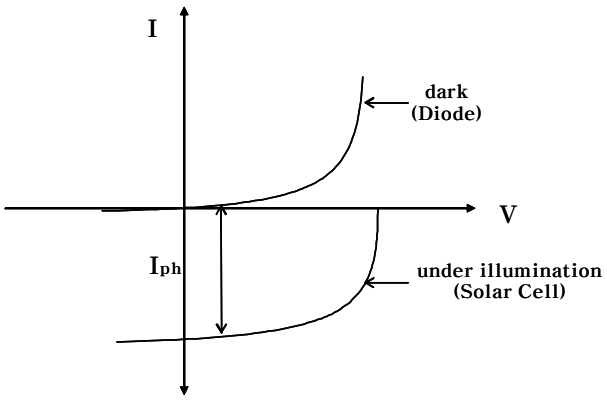


Fig. 2-3 The I-V Characteristics of a Solar Cell Compared to a Diode

2. 태양전지의 특성

태양전지의 모델링은 한 개의 이상적인 다이오드와 I_{ph}의 크기를 갖는 정전류원으로 구성되어 있지만 이상적인 다이오드를 제작하는 것이 불가능하므로 접촉저항 및 표면층의 면(Sheet) 저항 등을 표시하는 직렬저항 Rs와 병렬저항 R_{sh}를 고려한다. 태양전지 표면에 입사하는 빛의 일부는 표면에서 반사되며, 표면을 투과한 빛은 태양전지 내에서 흡수되어 광자수는 지수 함수적으로 감소한다.

그림 2-4는 빛이 조사될 때 광기전력효과를 이용한 태양전지의 등가회로를 보여주고 있다.[10,11,12] 여기서 I_{ph}는 입사된 빛에 의해 생성된 캐리어(Carrier)가 외부로부터 방해를 받지 않을 때 폐회로를 통해 흐르는 광전류이고, I_d는 암전류로서 I_{ph}와는 반대 방향이다. 병렬저항 R_{sh}는 이상적인 다이오드 특성에서 벗어나 일정한 상수 저항으로 표시되는 누설저항을 나타내며, R_s와 R_L은 각각 전지 내부에 존재하는 직렬저항과 외부에서 걸어주는 부하저항을 나타낸다.

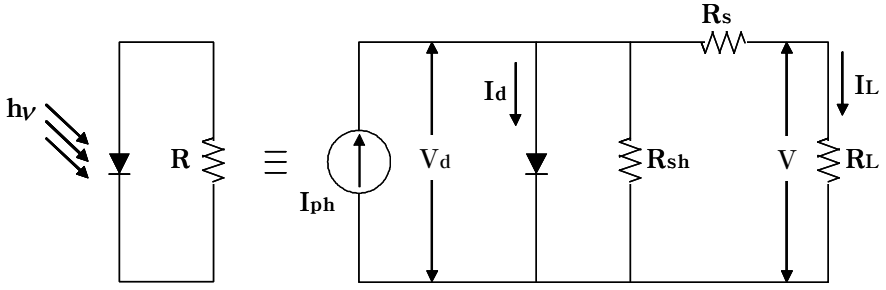


Fig. 2-4 The Equivalent Circuit of Solar Cell

등가회로에서 태양전지의 출력전류는 식 (2-2)와 같고 출력전압은 식 (2-3)과 같다.

$$I_L = I_{ph} - I_d - \frac{V_d}{R_{sh}} = I_{ph} - I_0[\exp(\frac{qV_d}{nKT}) - 1] - \frac{V_d}{R_{sh}} \quad (2\text{-}2)$$

$$V_d = V + I_L R_s = [\frac{nKT}{q} \ln(\frac{I_{ph} - I_L}{I_0}) + 1] + I_L R_s \quad (2\text{-}3)$$

여기서 I_0 는 다이오드 포화전류이다.

식 (2-2)로부터 태양전지의 출력전류를 구하면 식 (2-4)와 같다.

$$I_L = I_{ph} - I_0[\exp\left(\frac{q(V + I_L R_s)}{nKT}\right) - 1] - \frac{V + I_L R_s}{R_{sh}} \quad (2\text{-}4)$$

그림 2-4에서 광 투사시 $R_s = 0$, $R_{sh} = \infty$인 이상적인 PN접합 다이오드인 경우 부하에 흐르는 전류 I_L은 식 (2-5)와 같다.

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

여기서 I_L 은 출력전류, I_{ph} 는 광전류, I_0 는 다이오드 포화전류, n 은 다이오드 상수, K 는 볼쯔만 상수이고 q 는 전자의 전하량이며 T는 절대온도이다.

일정온도와 일정 일사조건에서 태양전지의 전압-전류 특성 곡선은 그림 2-5와 같다. 여기서 개방전압 V_{oc}, 단락전류 I_{sc}, 충진율 FF (Fill Factor) 등 3개의 변수는 에너지 변환효율과 관련되는 파라미터로서 식 (2-5)로부터

$I_L = 0$ 인 조건에서 개방전압 V_{oc} 는 식 (2-6)과 같다.

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \tag{2-6}$$

단락전류 I_{sc} 는 $V_L = 0$ 인 조건으로부터 $I_{sc} = I_{ph}$ 가 된다.

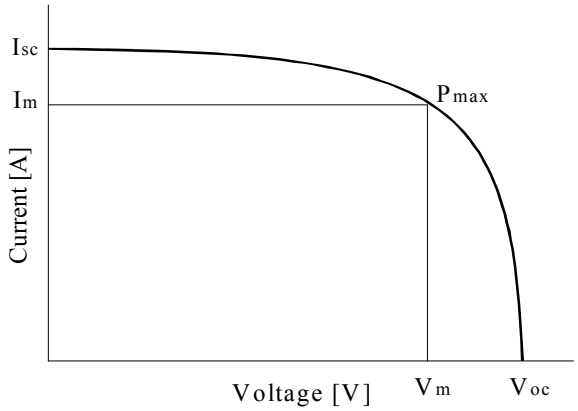


Fig. 2-5 The Voltage and Current Characteristics of Solar Cell

전지에 연결된 부하저항의 크기를 조정함으로서 어떤 최적 동작점에서 최대출력 Pmax 는 식 (2-7)과 같다.

$$P_{\max} = V_m \cdot I_m = FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc} \tag{2-7}$$

부하저항에서 소비되는 에너지를 Pout 라 하면 식 (2-8)과 같다.

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

최적부하조건에서 $\frac{dP_{out}}{dV}=0$ 이므로 최적동작전압 V_m은 식 (2-9)와 같다.

$$V_m = \exp(\frac{qV_m}{nKT})(1+\frac{qV_m}{nKT}) = (\frac{I_{ph}}{I_0})+1 \quad (2\text{-}9)$$

또한 이때의 최적동작전류 I_m은 식 (2-10)과 같다.

$$I_m = \frac{(I_{ph}+I_0)\cdot(qV_m/nKT)}{1+(qV_m/nKT)} \quad (2\text{-}10)$$

$P_{\max}$이 커지기 위해서는 특성곡선에서 I_m과 V_m이 I_{sc}와 V_{oc}에 가까워야 함을 알 수 있다.

태양전지의 특성을 평가하는데 있어서 단락전류, 개방전압과 더불어 가장 중요한 요소 중 하나는 충진율이며 식 (2-11)과 같다.

$$FF=(V_m \times I_m)/(V_{oc} \times I_{sc}) \quad (2\text{-}11)$$

태양전지의 에너지 변환효율은 태양전지에서 얻을 수 있는 최대의 전기 에너지를 입사광에너지로 나눈 값으로 식 (2-12)와 같다.

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} = \frac{V_m \times I_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \times FF \quad (2\text{-}12)$$

여기서 P_{in}은 입사된 태양광 에너지이다.

따라서 태양전지의 효율을 높이기 위해서는 단락전류 I_{sc}, 개방전압 V_{oc},

충진율 FF 를 높여야 한다.

지금까지 태양전지 특성을 고찰한 결과 태양전지의 전기적 특성을 결정하는 요소는 내부적인 변수로서 내부직렬저항 R_s, 내부병렬저항 R_{sh} 그리고 다이오드포화전류 I_o 이고, 외부적인 변수로서는 일사량과 온도의 변화 등이 있다. 여기서 내부 직렬저항은 태양전지에 광전류가 흐를 때 전류의 흐름을 방해하는 저항값으로서 N층의 표면저항, P층의 기판저항, 전극 접촉저항 및 전극자체의 고유저항 등이 포함되고 최대의 효율을 얻기 위해서는 직렬저항값이 최소로 되어야 한다.[13,14] 특히 집광형 태양전지에서와 같이 일사강도가 크고 고온인 경우 직렬저항의 영향은 매우 크다.

태양전지의 직렬저항값을 낮추기 위해 도핑 농도가 크고 접합깊이가 깊어야 하나, 이렇게 하면 전류가 작아지므로 이에 대한 최적화가 필요하며, 일반적인 태양전지의 경우에는 접합 깊이를 0.3~0.5[㎛], 표면저항은 50±10[Ω] 정도로 하고 있다. 그리고 태양전지의 전극면적을 5~10 %로 유지시키면서, Grid Finger 폭을 줄이고 Finger 사이의 거리를 좁혀 Finger의 수를 증가시키면 직렬저항을 줄일 수 있다. 일반적인 태양전지의 경우에는 1[cm^2] 면적당 1[Ω]이하의 직렬저항을 가지면 높은 충진율을 얻을 수 있다.

그림 2-6은 태양전지의 직렬저항이 태양전지의 특성에 미치는 영향을 나타내며 V_{oc}에는 거의 변화가 없으나 충진율이 급격히 감소하는 것을 알 수 있고 직렬저항에 의한 전압강하가 순방향 바이어스 상태로 되어 암전류를 증가시키므로 단락전류가 감소하는 것을 알 수 있다.

또한, 병렬저항 즉 누설저항은 태양전지 내부의 누설에 의한 것으로, P-N 접합면의 재결합전류, 태양전지의 가장자리에서 발생하는 표면 누설전류, 그리고 태양전지의 표면에 손상이 있어서 전극을 부착시킬 때 금속이 접합에 침투하여 접합을 Shunting 시키는 경우 등으로 나누어 생각할 수 있다. 효율이 높은 태양전지의 경우에는 누설저항이 크며, 보통 10^4[Ω] 이상이어야 하고, 누설저항을 크게 하기 위해서는 제조 공정 중 태양전지의 표면을 조심

스럽게 다루어 손상이 없도록 하여야 한다. 실제 사용되는 태양전지의 경우 누설저항은 매우 크며, 누설저항이 태양전지의 특성에 미치는 영향은 그림 2-7과 같다. 이 경우 태양전지의 단락전류는 변하지 않으나 누설저항이 감소함에 따라 충진율 및 개방전압이 감소함을 알 수 있다.

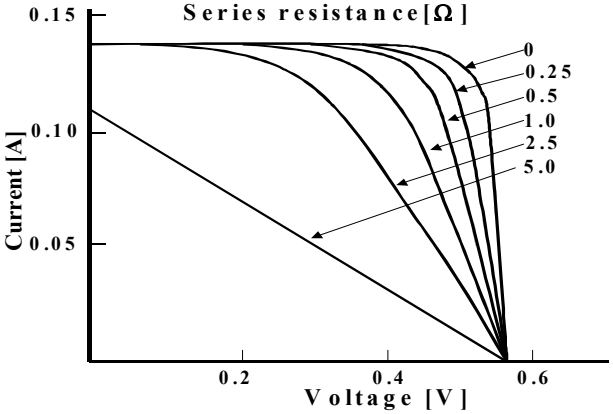


Fig. 2-6 Effect of Series Resistance in the I-V Characteristics

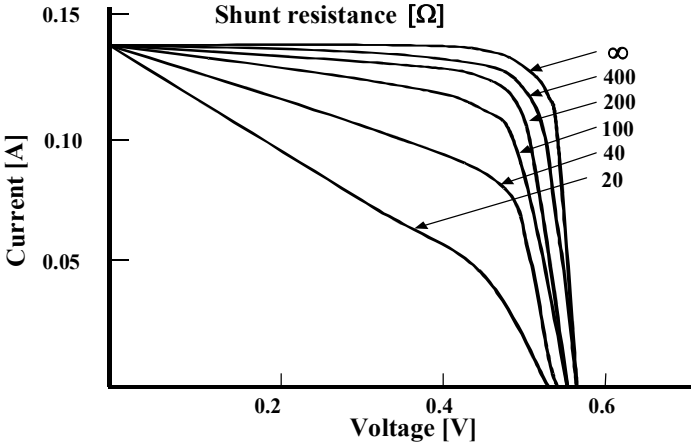


Fig. 2-7 Effect of Shunt Resistance in the I-V Characteristics

3. 태양전지의 직-병렬연결 특성

가. 병렬연결특성

두 개의 태양전지가 동일한 전기적 특성을 갖고 동일한 일사강도를 갖으며, 병렬로 연결될 때 태양전지의 출력특성은 그림 2-8과 같이 한 개의 태양전지와 동일한 출력 전압값을 갖는다.[15] 이때의 I-V특성곡선은 일정전압의 크기에 전류만 2배로 증가된 형태를 갖는다. 즉 개방전압은 변하지 않고 단락전류만 2배로 증가한다. 그리고 여러개의 태양전지가 병렬로 연결될 경우의 태양전지의 합성 출력전류는 식 (2-13)과 같이 된다.

$$I_a = N_p I_l \tag{2-13}$$

여기서 N_P는 병렬연결된 태양전지의 수, I_l는 태양전지 1개당 출력전류이다.

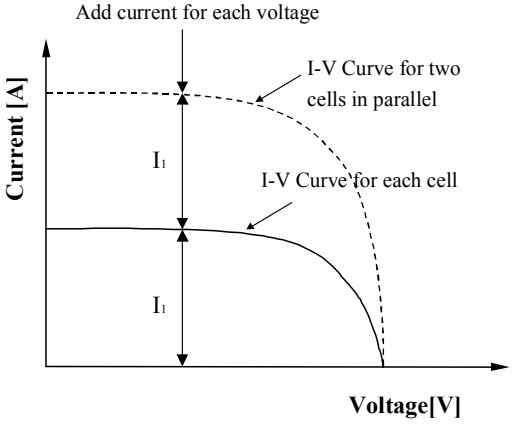


Fig. 2-8 I-V Characteristics for Two Cells in Parallel Connection

그러나 태양전지에 일사조건이 각각 차이가 있거나 혹은 태양전지에 파손이 생긴 경우에는 그 동작특성이 큰 차이가 난다. 식 (2-14)는 셀의 출력전류를 나타낸다.

$$I_l(V) = I_{ph} - I_o(V_o) \tag{2-14}$$

여기서 I_{ph}는 광전류, I_o은 다이오드 포화전류이다.

그리고 태양전지에 일사량 강도의 차이에 따라 태양전지에 미치는 출력전류의 변화는 식 (2-15)와 식 (2-16)과 같다.

$$I_l(V) = KI_{ph} - I_o(V_o - \Delta V) \tag{2-15}$$

$$\Delta V = (1-K)I_{ph}R_s \tag{2-16}$$

여기서 K는 일사상수 (음영정도에 따라 0<K<1의 범위), ΔV는 음영상태에 따른 직렬저항에 인가되는 전압 변화분이다.

나. 직렬연결특성

그림 2-9는 두 개의 태양전지가 동일한 전기적인 특성을 갖고, 동일한 일사강도를 갖으며 직렬로 연결될 때 태양전지의 출력특성을 나타내고 있다. 두 개의 태양전지 양단에는 하나의 태양전지에서 발생된 전류의 크기가 두 개의 태양전지 양단에 흐른다. 이때의 I-V특성곡선은 한 개의 태양전지에서 발생된 전류의 크기에 전압만 2배로 된 특성곡선을 갖는다. 즉 단락전류는 변하지 않고 개방전압만 2배로 증가된 특성을 갖는다.[16] 그리고 여러 개의 태양전지가 직렬로 연결될 경우의 태양전지의 합성 출력전압은 식 (2-17)과 같다.

$$V_a = N_s V_c \tag{2-17}$$

여기서 N_s : 직렬연결된 태양전지의 수, V_c : 태양전지 1개당 출력전압이다.

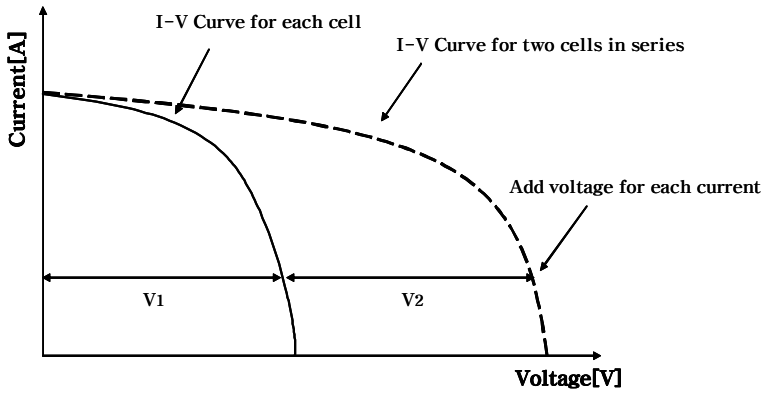
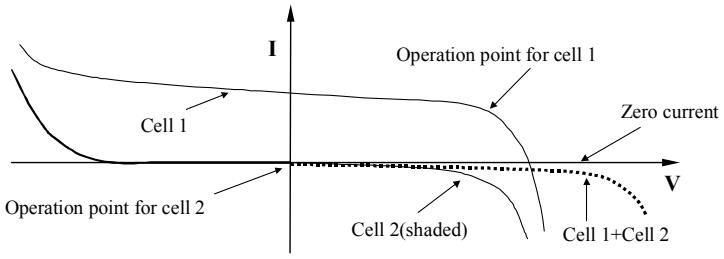


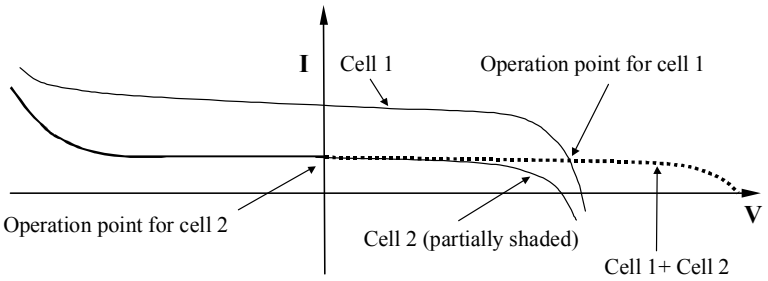
Fig. 2-9 I-V Characteristics for Two Cells in Series Connection

태양전지에 일사조건이 각각 차이가 난다든지 혹은 태양전지에 파손이 생긴 경우 동작특성은 그림 2-10과 같다.

그림 2-10(a)의 경우 태양전지의 전류는 0이 되어 전체출력은 0이 되고, 그림 2-10(b)의 경우에는 출력전류가 K=1/2일 때의 전류만 흐르고 출력전압은 두 개 전압의 합으로 나타나는 것을 알 수 있다. 이와 같이 합성 태양전지에 흐르는 출력전류는 빛이 조사되지 않거나 빛의 세기가 감소한 태양전지에 의해 제한된 출력특성을 갖는다.[17,18]



(a) K=1, K=0



(b) K=1, K=1/2

Fig. 2-10 Operating Characteristics of Two Cells in Series Connection

4. 태양전지의 전기적 특성

태양전지의 광전류 I_{ph}는 일사강도에 따라 선형적으로 변화된다. 그런데 단락전류는 $I_{sc}=I_{ph}$ 이므로 식 (2-18)과 같이 된다.[19~21]

$$I_{sc}=\frac{I_{sc}^{*}}{G^{*}}G_{eff} \tag{2-18}$$

여기서 G^{*}는 표준 시험조건(Standard Test Conditions : STC)에서 일사강도이고 I_{sc}^{*}는 STC에서 태양전지 단락전류이며 G_{eff}는 실제 조사되는 일사강도이다. STC는 일사강도 1000 [W/m^2], AM1.5, 태양전지 온도 25℃인 표준상태이다.

따라서 일사강도에 따른 태양전지의 출력특성은 그림 2-11과 같이 전압의 변화는 미소하지만 단락전류는 크게 변화된다.

태양전지의 개방전압 V_{oc}는 태양전지의 온도 T의 증가에 따라 선형적으로 감소하며 식 (2-19)와 같다.

$$V_{oc}(T)=V_{oc}^{*}+(T-T^{*})\frac{dV_{oc}}{dT} \tag{2-19}$$

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

따라서 태양전지 온도에 따른 태양전지의 출력특성은 그림 2-12와 같이 전류의 변화는 미소하지만 개방전압은 크게 변화된다.

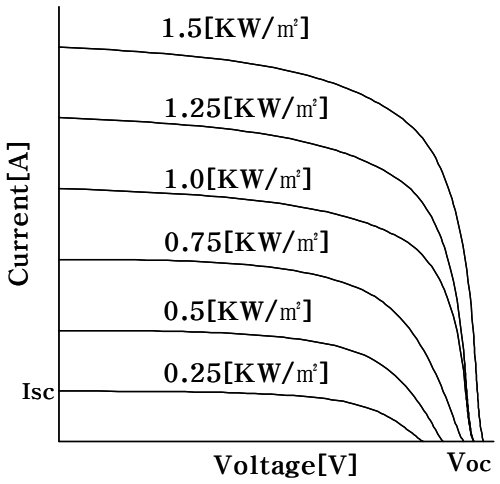


Fig. 2-11 I-V Characteristics at Different Irradiation

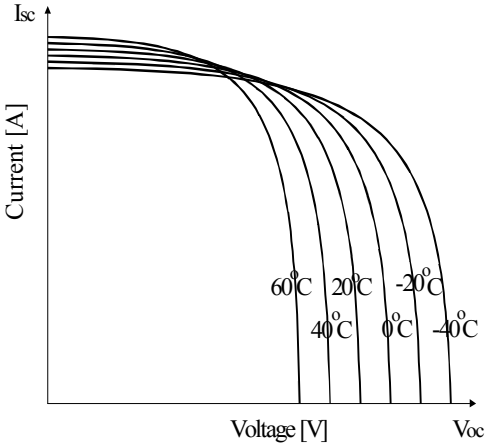


Fig. 2-12 I-V Characteristics at Different Temperature

이러한 태양전지에 저항부하를 연결하여 개방상태에서 단락상태로 서서히 저항을 가변 하면 그림 2-13과 같이 태양전지의 전압, 전류의 변화를 볼 수 있다. 즉, 개방상태에서는 전류가 0[A]이고, 이때의 전압값은 개방전압이 된다. 저항값을 감소시키면 전류는 증가하는 반면 전압은 감소하며 곡선부분에서는 전압의 감소가 적으며 일반적인 건전지의 정전압원 특성을 나타낸다. 저항값을 더욱 감소시켜 단락상태로 근접시키면 전류의 변화는 적어지며 정전류원 특성을 나타낸다. 저항을 0으로 하면 완전 단락상태로 전압은 0[V]이며 이때의 전류를 단락전류가 된다.

태양전지의 출력전력은 출력전압과 출력전류의 곱으로 계산되며 그림 2-14와 같이 포물선의 형태로 나타난다. 그림 2-15에서 나타낸 바와 같이 태양전지에는 출력전력이 최대가 되는 점이 존재하고 이 점을 최대전력점(Maximum power point, MPP)이라고 하며 전류-전압 특성곡선에서도 출력이 최대가 되는 동작점이 일사량 변화에 따라 그림 2-15와 같이 변화한다.[22,23]

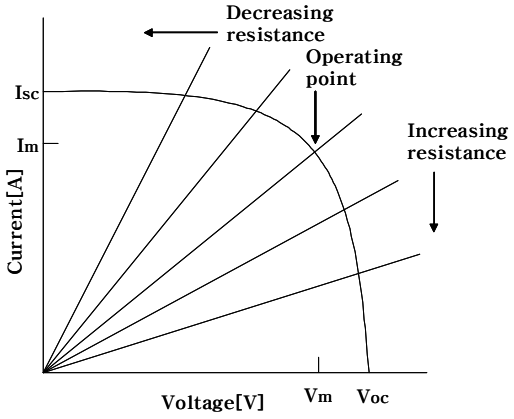


Fig. 2-13 Operating Characteristics at Different Resistance

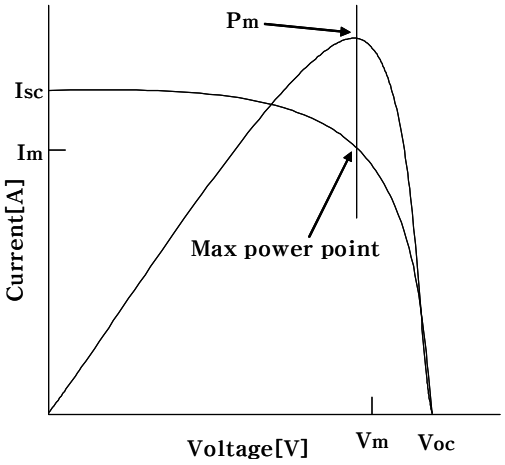


Fig. 2-14 Maximum Output Voltage and Maximum Power Point of Solar Cell

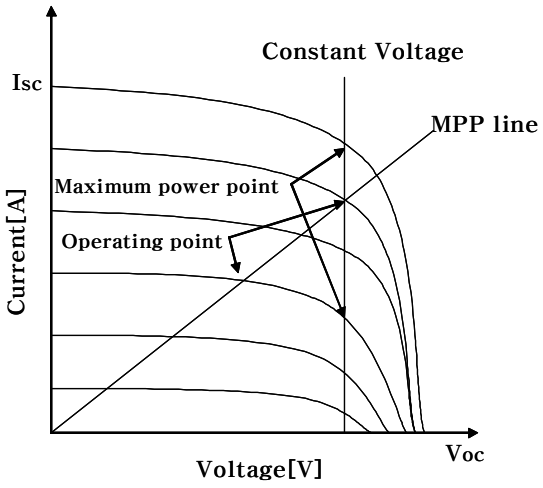


Fig. 2-15 MPPT at Different Irradiance

제2절 태양광발전시스템의 분류

1. 독립형 태양광발전시스템

독립형 태양광발전시스템은 전력계통으로부터 전력을 공급받지 못하는 낙도나 산간벽지, 무인등대, 무인중계소, 인공위성 등에 축전지나 인버터를 이용하여 DC부하 또는 AC부하에 전력을 공급하는 시스템이다.

직류부하용 시스템 구성방식은 부하가 직류전원을 요하는 경우이며 주로 소용량이고 계통선과 원거리에 떨어져 있을 경우에 이용되고 있으며 주로 무인등대, 시계탑, 통신장비용 전원 등에 이용된다.[24]

독립형 태양광발전시스템의 구성은 그림 2-16에서 보는 바와 같이 과전압 안정회로를 부착한 축전지 저장방식으로 Power Conditioner 내에 과전압 보호장치가 설치되어 있어 항상 일정 전원을 축전지에 공급하여 운전하는 가장 간단한 시스템이다.

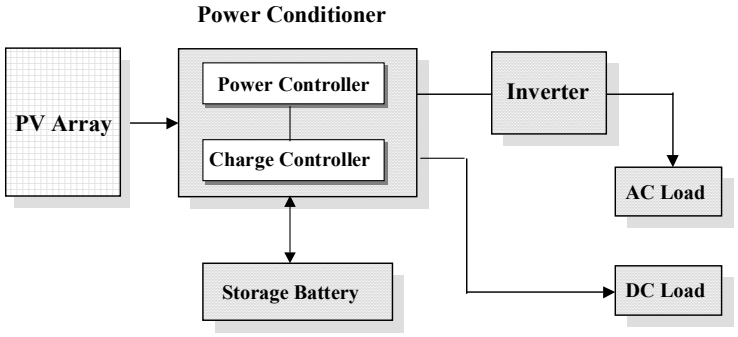


Fig. 2-16 Block Diagram of Stand-alone PV System

그리고 이러한 시스템에 Back-up System을 보완시킨 축전지 저장방식으로 축전지 전력이 떨어질 경우 Back-up System으로 축전지를 충전하여 운전하며, 이 시스템은 태양전지와 축전지를 최악조건에 맞추어 충분하게 설치하지 않아도 되며 직류부하용 시스템으로서는 가장 이상적이고 효율적인 시스템이다.[25]

독립형 태양광발전시스템은 축전설비를 가지고 있으며 계통선과 분리되어 있기 때문에 시스템에서 발생된 무효전력이나 유효전력 그리고 고조파는 전력계통선에 영향을 끼치지 않는다. 그러나 축전설비가 고가이고 넓은 설치공간을 필요로 하며 축전지의 액 보충, 유출, 폭발과 같은 문제점들이 나타난다.

또한 태양전지에 축전지를 직접 병렬로 연결하여 사용하는 경우 축적배터리의 전압동요가 태양전지의 동작점을 이동하게 하여 최대전력을 얻는 것이 불가능하며, 또한 축전지의 충방전 손실이 발생하게 되어 효율이 떨어진다는 단점을 가지고 있다.

그림 2-17은 독립형 AC 부하용 태양광발전시스템의 구성도를 나타내고 그림 2-18은 독립형 DC 부하용 태양광발전시스템의 구성도를 나타낸다. 그림 2-17에서와 같은 AC 부하용 태양광발전시스템은 그림 2-18에서와 같은 DC 부하용 시스템에 직·교류 변환장치를 구성하여 축전지에 저장한 전력을 교류로 변환시켜 직접 교류부하에 사용하는 시스템으로서 비교적 수용전력이 소규모인 곳에 사용된다.

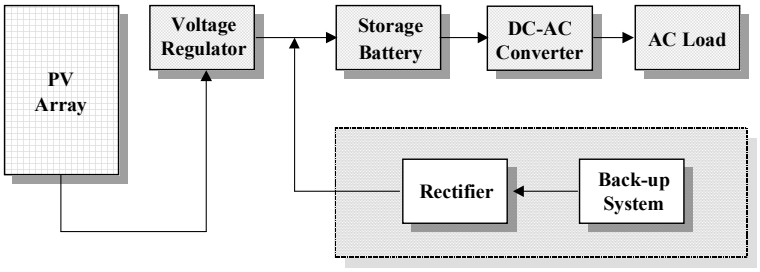


Fig. 2-17 Block Diagram of Stand-alone PV System for AC Load

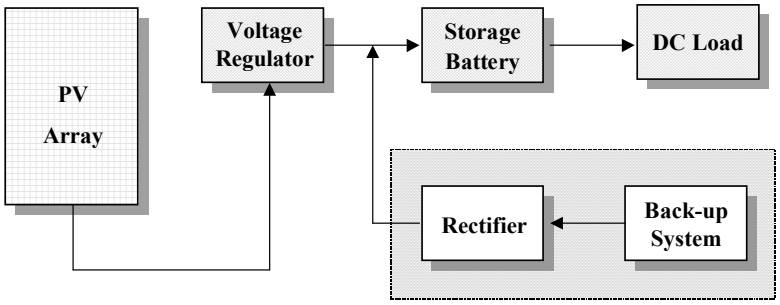


Fig. 2-18 Block Diagram of Stand-alone PV System for DC Load

2. 계통연계형 태양광발전시스템

계통연계형 시스템은 태양전지 모듈과 인버터를 직접 연결함으로서 태양전지 모듈로부터 발생되는 직류전원과 계통선의 교류전원을 균형 있게 유지하여 AC부하에 전력을 공급하는 시스템이다.[26~28] 그림 2-19는 계통연계형 태양광발전시스템의 구성도를 나타낸다.

계통연계형 태양광발전시스템은 단방향 연결형과 양방향 연결형으로 구분할 수 있으며, 단방향 계통선 연결방식은 주택용, 공장용 전원 등으로 많이 이용되는 시스템으로서 단방향 계통선연계형인버터를 사용하여 부하측에 전력을 공급하며 축전지를 사용하지 않고 운전한다. 그림 2-20과 그림 2-21은 각각 단방향과 양방향 계통연계방식의 구성도를 나타내고 있다.

계통연계형 태양광발전시스템은 대용량발전소의 경우나 주택용 전원 등에 이용하는 시스템으로 계통선연계형 인버터를 직접 태양전지와 연결하여 PV 모듈로 부터 발생된 인버터출력이 부하가 필요로 하는 전력보다 클 경우 그 잉여전력은 계통선으로 공급되며, PV 모듈로 부터 발생된 인버터출력이 부하가 필요로 하는 전력보다 적을 경우 부족한 전력은 계통선에서 공급된다.

또한 독립형 시스템에서와 같이 고가의 축적설비가 필요 없기 때문에 축전지의 충방전 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 계통선에서의 문제들은 찾기가 매우 어렵다. 그러므로 안전성에 관련된 기술적인 문제들이 나타나게 되며, 이러한 기술적인 문제점 해결을 위해 태양전지와 계통선 사이에 전기적인 절연이 필요하며 시스템의 제어장치가 복잡해 진다.[29,30]

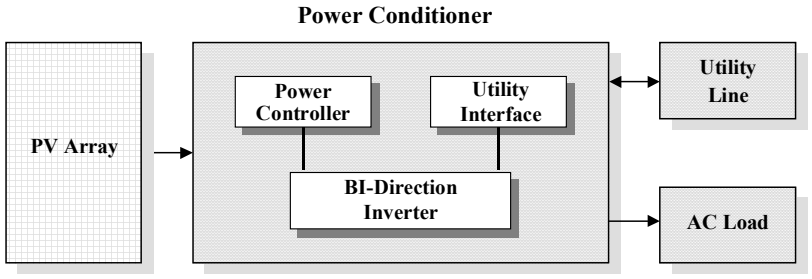


Fig. 2-19 Block Diagram of Grid Connected PV System

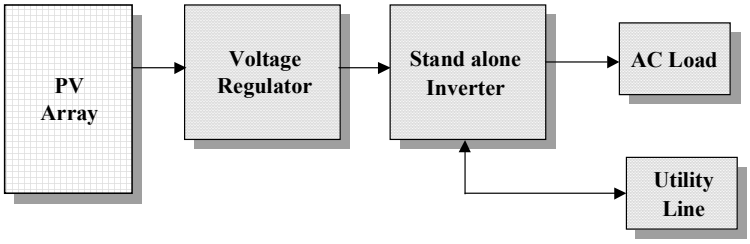


Fig. 2-20 Block Diagram of Unidirectional Utility Line Connection Type

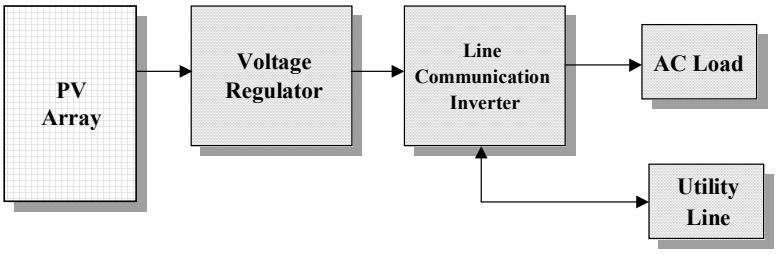


Fig. 2-21 Block Diagram of Bidirectional Utility Line Connection Type

제3절 전력저장장치

1. 전력저장장치 분류

가. 납축전지

납축전지는 19세기 중엽에 등장한 이후, 150년 이상의 역사를 가진 전지이다. 1950년대 흡수반응 사이클을 이용한 밀폐계의 전지가 발명되고, 1960년대에는 포터블기기에 적합한 보수를 필요로 하지 않는 전지도 개발되어 각종 백업 전원 및 포터블 TV 등에 사용되었다. 그 후, 무정정 전원장치(UPS), 비상 조명 등에 사용되어 왔으며 현재 자동차의 시동용 전원에 가장 많이 사용되고 있으며 산업용 분야와 군용으로도 많이 쓰이고 있다.

납축전지의 장점은 가격이 싸고 저 방전용으로 적합하며 오랜 기간 동안 사용되어 검증된 제품이다. 단점으로는 단위 중량당 에너지 밀도가 낮아 축전지의 전체 무게가 무겁고 대전류의 과 충방전의 내구성이 취약하다. 사용 온도 대역이 0~30℃로 온도대비 부대설비가 요구되며 수명이 짧아 충방전 사이클이 최대 500회 정도이다. 그리고 유해 중금속인 납이 주요 활물질이기 때문에 주변의 전원장비 부식과 인체에 유해한 작용을 한다.[31]

나. Ni-Cd 전지

1899년 융그나에 의해서 양극에 니켈, 음극에 카드뮴을 사용하는 전지로 발명되었으나 건전지나 납축전지에 비해 재료가 고가였기 때문에 실용화가 늦어졌다. 전지의 구조는 포켓 또는 튜브라고 불리우는 금속용기에 활물질을 충전한 구조였으며, 1928년에 독일의 아카만 등에 의하여 니켈분말을 소결하여 얻는 니켈 다공체 활물질을 충전하는 소결식 극판의 발명이 이루어져 급

속하게 발전하였다.

Ni-Cd전지는 기존의 전지에 비해 온도 특성이 뛰어나고, 장수명이며 우수한 출력특성을 갖는다. 따라서 납축전지를 대체하여 중, 대형의 전지로서 산업용, 군수용 시장에 진입하였다.

Ni-Cd 전지의 장점으로는 대전류의 과 충방전에 내구성이 강하고, 고 방전용에 적합하다. 사용온도 대역이 -25~55℃로 매우 넓고, 장 수명 전지이다. 단점으로는 가격이 비싸고 유해 중금속인 Cd을 음극 활물질로 사용하여 친환경적이지 못하고, 방전 후 재충전시 반드시 균등 충전으로 정격 전압대비 150% 과충전이 필수로 년 2회 전해액 보충이 필요하다.[32]

다. Ni-MH 전지

그림 2-22와 같은 Ni-MH전지는 양극에 니켈-카드뮴 이차전지와 같은 니켈 산화물을, 음극에 활물질인 수소를 전기화학적으로 흡장하고 방출할 수 있는 수소흡장 합금을, 전해액으로는 고농도의 수산화칼륨을 이용한 2차전지이다. 수소흡장합금은 열, 수소압력, 전위에 따라 수소를 흡장하고 방출할 수 있는 합금으로서 에너지의 저장과 수송 등 여러 가지 응용이 연구, 개발되어 왔다. Ni-MH전지는 합금의 전위를 변화시킴으로써 수소의 흡장과 방출이 가능한 기능을 이용한 것이다.

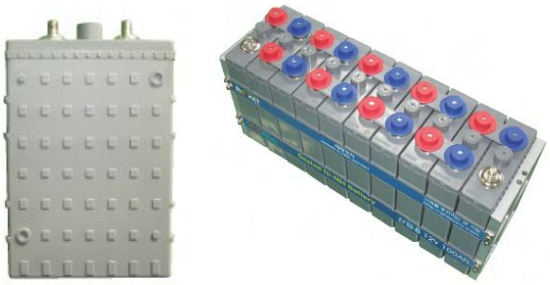


Fig. 2-22 Ni-MH Battery

밀폐형 Ni-MH전지의 장점으로는 전지 전압이 1.2V~1.3V로 Ni-Cd전지와 동일하여 호환이 가능하고 수지상 석출에 의한 달락이나 기억 효과가 거의 없다. 또 표 2-1에서 보는 바와 같이 단위 체적당 에너지가 우수하고, Ni-Cd 전지보다 1.5배 출력밀도가 우수하며 넓은 온도 범위(-40℃~55℃)에서의 사용이 가능하다. 또 회복 충전특성이 우수하며, 수명이 종료될 때까지 규정 용량이 유지되고 급속 충전 및 대전류 방전에 우수하다.

완전 밀폐형으로 수명 종료시까지 보액이 필요가 없고, 친환경적이고 과충전이나 충전 조작 잘못에 의한 가스 발생에도 안전밸브가 장착되어 있어 안정성에도 뛰어나다.[33]

Table 2-1 Compare Ni-MH, Lead-acid and Ni-Cd Battery

Specification		Ni-MH Battery		Duration of Charging Ni-Cd	Lead-acid battery
		Enclosed type Ni-MH	Duration of Charging Ni-MH		
Capacity(Ah)		100	100	100	100
Nominal Voltage(V)		12	12	12	12
Weight(kg)		18	115	110	40
Volume		7.7	75.5	75.5	24.9
Measure (mm)	length	116	171	170	443
	wide	36	120	120	237
	high	175	368	370	237
Energy density	Weight (Wh/kg)	66.7	10.4	10.9	30
	Volume (Wh/ℓ)	155.9	15.9	15.9	48.2

2. Ni-MH전지 원리

Ni-MH전지는 수산화니켈($Ni(OH)_2$)을 양극, 수소저장 합금을 음극, 알칼리 수용액인 KOH용액을 전해액으로 사용한다. 음극에서의 전극반응은 식 (2-20)과 같다.[35,36]

$$M/X + H_2O + e^- \underset{\text{discharge}}{\overset{\text{charge}}{\rightleftharpoons}} MH_X/X + OH^- \qquad (2\text{-}20)$$

평형상태에서의 Gibbs free energy 변화량 $\triangle G$은 식 (2-21)과 같다.

$$\triangle G = G_{MH_X}/X + G_{OH^-} - G_M/X - G_{H_2O} + F \cdot E = 0 \qquad (2\text{-}21)$$

여기서 F는 Faraday 상수이고 E는 음극의 전위이다.

또한, 수소저장합금의 수소화 반응식은 식 (2-22)와 같다.

$$1/X \cdot M + 1/2 \cdot H_2 = 1/X \cdot MH_X \qquad (2\text{-}22)$$

평형상태식은 식 (2-23)과 같다.

$$\begin{aligned} \triangle G &= 1/X \cdot G_{MHx} - 1/X \cdot G_M - 1/2 \cdot G_{H_2} \\ &= 1/X \cdot (G_{MHx} - G_M) - 1/2 \cdot G^0_{H_2} - RT/2 \cdot \ln P_{eq} = 0 \end{aligned} \qquad (2\text{-}23)$$

따라서 식 (2-23)으로부터 식 (2-24)를 얻을 수 있다.

$$1/X \cdot (G_{MHx} - G_M) = 1/2 \cdot G^0_{H_2} - RT/2 \cdot \ln P_{eq} \quad (2\text{-}24)$$

여기서 P_{eq}는 수소저항 합금의 수소화 반응에 따른 평탄압력이다.

전해질 내에서의 물의 해리 방정식은 식 (2-25)와 식 (2-26)과 같다.

$$H_2O = H^+ + OH^- \quad (2\text{-}25)$$

$$G_{H_2O} = G_{H^+} + G_{OH^-} \quad (2\text{-}26)$$

따라서 식 (2-27)을 얻을 수 있다.

$$G_{OH^-} - G_{H_2O} = -G_{H^+} = -(G^0_{H^+} + RT \cdot \ln[H^+]) \quad (2\text{-}27)$$

정의에 의하여 $G^0_{H_2} = 2G_{H^+}$이므로 식 (2-27)은 식 (2-28)과 같이 정리된다.

$$G_{OH^-} - G_{H_2O} = -\frac{1}{2} \cdot (G^0_{H^+} + RT \cdot \ln[H^+]) \quad (2\text{-}28)$$

식 (2-24)와 (2-28)를 식 (2-21)에 대입하여 정리하면 음극 전위 E는 식 (2-29)와 같이 된다.

$$E = RT/2F \cdot \ln([H^+]^2/P_{eq}) \quad (2\text{-}29)$$

즉, 음극의 전위는 전해질 온도, 수소이온 농도 및 수소저항 합금의 평탄압력

의 함수임을 알 수 있다. 식 (2-29)에 $T = 298^{\circ}K(25^{\circ}C)$, $[H^{+}] = 10^{-pH}$를 대입하여 정리하면 식 (2-30)을 얻을 수 있다.

$$E = -0.02956(2pH + \log P_{eq})[V] \quad (2\text{-}30)$$

또한, Ni-MH 전지의 전해질은 6M KOH알칼리 수용액으로서 pH값은 약 14이다. 따라서 음극전위는 식 (2-31)과 같이 나타낼 수 있다.[36]

$$E = -0.82768 - 0.02956 \cdot \log P_{eq}[V] \quad (2\text{-}31)$$

식 (2-29)에서 알 수 있듯이 평형 수소압이 높을수록 음극의 전위가 낮아지기 때문에 양극과 함께 전지를 구성할 경우 수소저장 합금의 평형 수소압이 높을수록 높은 기전력을 얻을 수 있다. 그러나 평형 수소압 증가에 따른 기전력의 증가는 매우 적으며, 오히려 전지의 통상 사용 온도인 상온(25℃)에서 평형 수소압이 1기압을 넘을 경우 수소 가스가 확산에 의해 외부로 방출되어 자기 방전율이 커지고 전지 내의 가스압력이 너무 높아질 우려가 있다. 따라서 대개 0.01~1기압의 평형 수소압을 갖는 수소저장 합금을 전극재료로 사용한다.[37]

또한 전지의 사용 온도 및 용도에 따라 음극합금의 수소평형압을 조정하여 합금을 개량하여 적용하고 있다. 양극의 전극 반응식은 식 (2-32)와 같이 주어진다.

$$Ni(OH)_2 + OH^- \underset{\text{discharge}}{\overset{\text{charge}}{\rightleftharpoons}} NiOOH + H_2O + e^- \quad (2\text{-}32)$$

식 (2-32)는 식 (2-33)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Ni(OH)_2 \underset{\text{discharge}}{\overset{\text{charge}}{\rightleftharpoons}} NiOOH + H^+ + e^- \qquad (2\text{-}33)$$

25℃에서 평행 전위 $E = 1.31782 - 0.05913pH[V]$이다. 따라서 양극 전위는 $pH = 14$에서 $E = 0.490[V]$의 값을 얻게 된다. 음·양극 반응을 합한 Ni-MH 전지의 전체 반응식은 식 (2-34)와 같다.

$$1/X \cdot M + Ni(OH)_2 \underset{\text{discharge}}{\overset{\text{charge}}{\rightleftharpoons}} 1/X \cdot MH_X + NiOOH \qquad (2\text{-}34)$$

이때의 전위차는 $E = 1.31782 + 0.02956 \log P_{H_2}^{eq}[V]$이다.

일반적으로 Ni-MH 전지에 사용되는 수소저장 합금의 수소화 반응에 대한 평탄 압력($P_{H_2}^{eq}$)은 상온에서 약 0.01~1기압이므로 Ni-MH전지의 평형전압은 상온에서 1.25~1.3V 정도이고 또한 이 값은 전해질의 pH와는 무관하다. 그림 2-23은 Ni-MH 전지의 전극반응을 나타내고 있다.

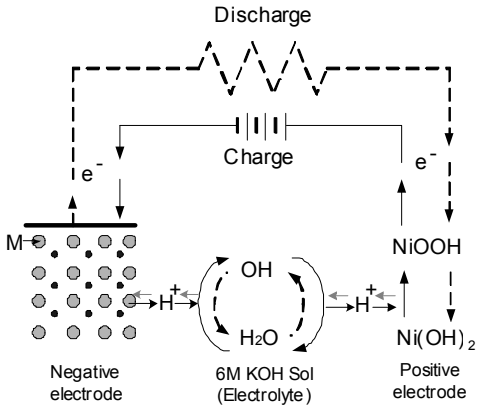


Fig. 2-23 Schematic of Charge-Discharge Reactions in Ni-MH Battery

3. 축전지 용량 산정

태양광발전시스템의 전력저장장치의 용량산정에서 가장 중요한 요소는 부하의 크기와 태양광발전이 없이 사용가능한 부일조일이다.[38]

독립형 태양광발전시스템은 기상조건이 악화되어 발전을 못하더라도 축전지로부터 정상적으로 전력을 공급해야 한다. 국내 기상조건에서는 장마철의 경우에나 태양광발전이 3-4일 이상 부일조일인 경우가 거의 없기 때문에 일반적으로 태양을 볼 수 없는 날(부 일조일)을 4일로 계산한다. 또한 축전지는 100% 방전할 경우 축전지에 손상이 발생하여 고장의 원인이 되므로 방전시에는 전체용량의 60-70% 정도 방전량을 갖도록 설계하여야 한다.

배터리 용량산정은 부 일조일과 배터리의 효율, 1일 소비전류량, 방전심도 및 배터리의 여유도의 곱으로 식 (2-35)와 같이 나타낼 수 있다.

$$B_W \times \eta_b \times B_{DOD} = N_d \times L_a \tag{2-35}$$

여기서 B_W 축전지 용량, N_d 부 일조일, η_b 배터리효율, L_a 일일 사용전력량, B_{DOD} 배터리방전심도 이다. 1일 사용 전류량은 식 (2-36)과 같이 계산한다.

$$L_a = \frac{L_W \times H_a}{V_b \times \eta_i} \tag{2-36}$$

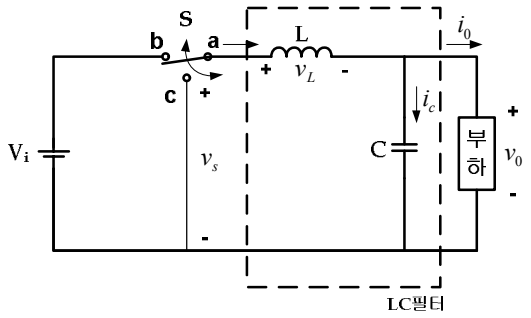
여기서 H_a 사용시간, V_b 배터리 전압, η_i 시스템효율, L_W 부하량 이다.
실제 배터리 용량 산출식은 식 (2-37)과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_W = \frac{N_d \times L_W \times H_a}{V_b \times \eta_i \times \eta_b \times B_{DOD}} \tag{2-37}$$

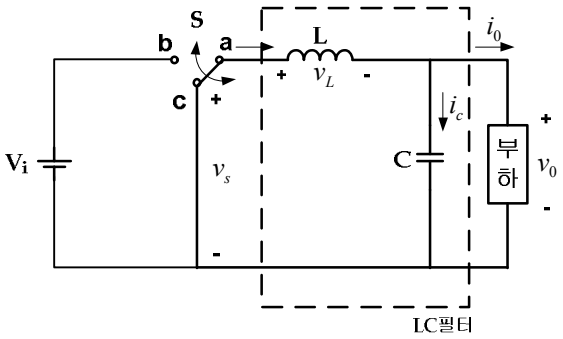
제4절 충방전 제어기

1. DC-DC 벅 컨버터

기본적인 DC-DC 컨버터에서 출력전압은 직류성분 외에 구형파의 교류성분이 포함되어 있으므로 불필요한 교류 성분을 제거하기 위하여 저역통과 필터를 추가하며 구성도는 그림 2-24와 같다.[39] 스위치가 스위칭 할 때 인덕터 전류와 인덕터 전압은 그림 2-25와 같다.

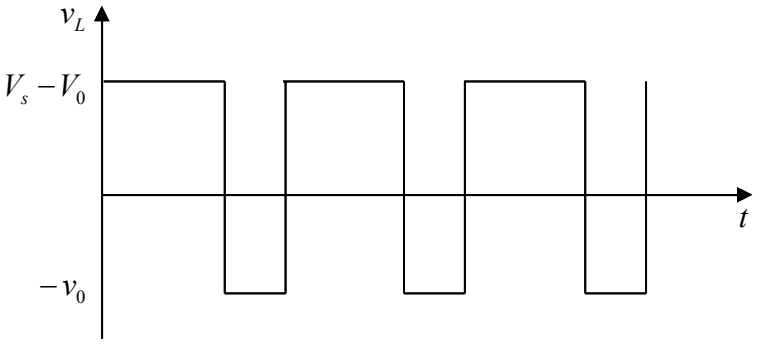


(a) 0≤t<DT

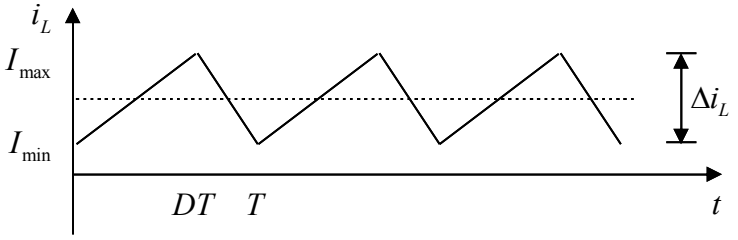


(b) DT≤t<T

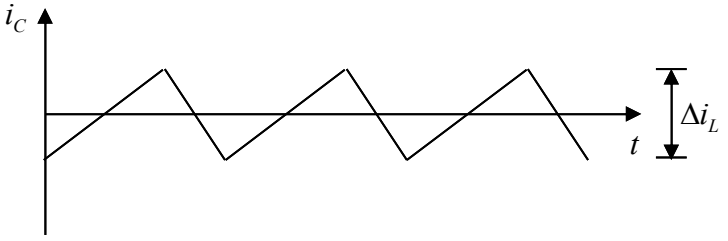
Fig. 2-24 The Equivalent Circuit of Buck Converter



(a) Inductor Voltage



(b) Inductor Current



(c) Capacitor Current

Fig. 2-25 A Basic Waveforms of Buck Converter

가. 인덕터 전류

(1) 전류 상승 구간 : 0≤t<DT

스위칭 주기에 대하여 스위치가 접점 b에 연결되는 구간 동안 컨버터의 등가회로는 그림 2-24 (a)와 같으므로 회로에 대하여 KVL을 적용시키면 인덕터 전압은 식 (2-38)과 같이 구할 수 있다.

$$v_L = V_i - v_o \tag{2-38}$$

또한, 인덕터 전류 i_L과 인덕터 전압 v_L 과의 관계는 식 (2-39)와 같다.

$$v_L = L\frac{di_L}{dt} \tag{2-39}$$

식 (2-38)과 (2-39)로부터 인덕터에 흐르는 전류의 기울기는 식 (2-40)과 같이 된다.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_i - v_o}{L} \tag{2-40}$$

그런데 정상상태에서 출력전압 v_o는 입력전압 보다 작으므로 스위치가 입력전원과 연결되는 DT 구간 동안 인덕터 전류는 식 (2-40)의 기울기로 증가한다. 따라서 그림 2-24 (a)와 같이 스위치가 접점 b에 연결되는 순간 (t=0) 인덕터 전류는 그림 2-25 (b)와 같이 최소인 $I_{\min}$ 이 되며, 스위치가 접점 b에 연결되고 DT 시간 후 (t=DT)에 최대인 $I_{\max}$로 증가한다. 따라서 식 (2-40)으로부터 식 (2-41)을 얻을 수 있다.

$$i_L(t) = \frac{1}{L}\int_0^t (V_i - v_o)dt + I_{\min} \quad (2\text{-}41)$$

식 (2-41)로부터 인덕터의 최대전류 $I_{\max}$ 는 식 (2-42)와 같이 된다.

$$i_L(DT) = I_{\max} = \frac{1}{L}\int_0^{DT} (V_i - v_o)dt + I_{\min} \quad (2\text{-}42)$$

여기서 출력전압의 리플성분이 필터회로에 의해서 대부분 제거되는 경우, 출력전압은 일정한 직류전압이 된다. 이 경우 식 (2-42)를 해석하면 DT 구간 동안 인덕터 전류는 식 (2-43)과 같이 상승한다.

$$I_{\max} - I_{\min} = \frac{V_i - V_o}{L} \cdot DT \quad (2\text{-}43)$$

(2) 전류 하강구간 : DT≤t<T

스위치가 접점 c에 연결되는 (1-D)T 구간동안 컨버터의 등가회로는 그림 2-24 (b)와 같으므로 회로에 대하여 KVL을 적용시키면 인덕터 전압은 식 (2-44)와 같다.

$$v_L = -v_o \quad (2\text{-}44)$$

인덕터 전류와 인덕터 전압과의 관계는 식 (2-39)과 동일하므로 식 (2-44)에서 인덕터 전류의 기울기는 식 (2-45)와 같이 구해진다.

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{v_o}{L} \quad (2\text{-}45)$$

정상상태에서 출력전압은 식 (2-45)의 조건을 만족해야 하므로 항상 0보다 크다. 따라서, 인덕터 전류는 스위치가 접점 c와 연결되는 순간부터 (1-D)T 구간동안 그림 2-25 (b)와 같이 식 (2-45)의 기울기로 감소한다. 즉, 인덕터 전류는 스위치가 접점 c에 연결되는 순간 (t=DT) 최대인 I_{max} 가 되며, (1-D)T 시간 후 (t=T)에 최소인 I_{min}으로 감소한다. 식 (2-45)에서 인덕터 전류 i_L은 식 (2-46)을 얻을 수 있다.

$$i_L(t) = \frac{1}{L}\int_{DT}^{t}(-v_o)dt + I_{\max} \qquad (2\text{-}46)$$

인덕터 전류의 최소값 I_{min}은 식 (2-47)과 같이 구해진다.

$$i_L(t=T) = I_{\min} = \frac{1}{L}\int_{DT}^{T}(-v_o)dt + I_{\max} \qquad (2\text{-}47)$$

여기서, 출력전압은 전압 v_s의 교류성분이 필터회로에 의해서 대부분 제거되는 경우 일정한 직류전압이 된다. 이 경우 식 (2-47)의 적분식을 해석하면 (1-D)T 구간 동안 인덕터 전류 i_L의 변동은 식 (2-48)과 같다.

$$I_{\min} - I_{\max} = \frac{-V_o}{L}(1-D)T \qquad (2\text{-}48)$$

나. 출력전압 및 전류

그림 2-25 (b)에서 인덕터 전류는 DT구간 동안 상승하고, (1-D)T 구간 동안 하강한다. 정상상태에서 전류의 상승과 하강 폭은 동일하므로 식

(2-43)과 식 (2-48)로부터 식 (2-49)와 같이 출력전압의 평균값에 대한 관계식을 얻을 수 있다.

$$\frac{V_i - V_o}{L} \cdot DT - \frac{V_o}{L} \cdot (1-D)T = 0 \qquad (2\text{-}49)$$

식 (2-49)를 정리하면 출력전압 V_o는 식 (2-50)과 같다.

$$V_o = DV_i \qquad (2\text{-}50)$$

트랜지스터 스위치의 손실분을 무시하면 입력전력은 출력전력과 같으므로 식 (2-51)을 얻을 수 있다.

$$V_i I_i = V_o I_o \qquad (2\text{-}51)$$

식 (2-50)과 (2-51)에서 평균 입력전류는 식 (2-52)와 같다.

$$I_i = DI_o \qquad (2\text{-}52)$$

스위칭 주기 T는 $T = \frac{1}{f}$ 이므로 피크 대 피크 리플 전류 ΔI는 식 (2-53) 또는 식 (2-54)와 같이 된다.

$$\Delta I = \frac{V_o(V_i - V_o)}{fLV_i} \qquad (2\text{-}53)$$

$$\Delta I = \frac{V_i D(1-D)}{fL} \qquad (2\text{-}54)$$

KCL을 이용하면 인덕터 전류 i_L은 식 (2-55)와 같이 커패시터 전류 i_c와 출력전류 i_o의 합과 같다.

$$i_L = i_c + i_o \tag{2-55}$$

부하 리플 전류 ΔI_o가 아주 작아 무시할 수 있을 때 $\Delta I_L = \Delta I_c$가 되고 $T/2$ 동안 흐르는 평균 커패시터 전류 I_c는 식 (2-56)과 같이 된다.

$$I_c = \frac{\Delta I}{4} \tag{2-56}$$

캐패시터 전압은 식 (2-57)과 같다.

$$v_c = \frac{1}{C}\int i_c dt + v_c(t=0) \tag{2-57}$$

그러므로 커패시터의 피크 대 피크 리플 전압 ΔV_c는 식 (2-58)과 같다.

$$\Delta V_c = v_c - v_c(t=0) = \frac{1}{C}\int_0^{T/2} \frac{\Delta I}{4} dt = \frac{\Delta I}{8fC} \tag{2-58}$$

식 (2-53)과 (2-54)로 ΔI의 값을 식 (2-58)에 대입하면 리플 전압 ΔV_c는 식 (2-59)와 (2-60)과 같이 된다.

$$\Delta V_c = \frac{V_o(V_i - V_o)}{8LCf^2 V_i} \tag{2-59}$$

$$\Delta V_c = \frac{V_i D(1-D)}{8LCf^2} \tag{2-60}$$

다. 인덕터와 커패시터의 임계값

만일 I_L이 평균 인덕터 전류이면, 인덕터 리플전류는 $\Delta I = 2I_L$ 이다. 식 (2-50)과 식 (2-54)를 이용하여 식 (2-61)을 얻을 수 있다.[40]

$$\frac{V_i(1-D)D}{fL} = 2I_L = 2I_o = \frac{2DV_i}{R} \tag{2-61}$$

그러므로 인덕터의 임계값 L_c는 식 (2-62)와 같다.

$$L_c = L = \frac{(1-D)R}{2f} \tag{2-62}$$

만일 V_c가 평균 커패시터 전압이면 커패시터 리플 전압이 $\Delta V_c = 2V_o$가 된다. 식 (2-50)과 (2-60)을 이용하여 식 (2-63)을 얻을 수 있다.

$$\frac{V_i(1-D)D}{8LCf^2} = 2V_o = 2DV_i \tag{2-63}$$

그러므로 커패시터 임계값 C_c는 식 (2-64)와 같다.

$$C_c = C = \frac{1-D}{16Lf^2} \tag{2-64}$$

2. 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 최대전력점 추적 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.[41,42]

MPPT 제어 알고리즘은 일사량에 따라 가변하는 태양전지의 최대출력점을 추정하여 전압지령치로 출력하는 동작을 한다. MPPT는 태양전지 어레이에 연결된 부하를 제어하여 임피던스 매칭을 최적화함으로서 최대출력점 동작이 가능하게 되며, 그 제어방법은 크게 하드웨어적인 분류방식으로 아날로그방식과 디지털방식으로 분류할 수 있으며, 알고리즘 측면에서는 일정전압제어 알고리즘, P&O (Perturb & Observe) 알고리즘, IncCond(Incremental Conductance) 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 출력전력의 변화에 일치시키기 위하여 연속적으로 동작시킨다.

가. P&O 제어 알고리즘

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 2-26과 같은 제어 알고리즘에 의해 동작한다.[43]

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 교란부를 바이패스하기 위한 P&O 알고리즘의 개선에 의해 해결할 수 있다.

또한 전력손실을 줄이기 위한 다른 방법으로는 교란 변동폭(step)의 감소를 들 수가 있다. 그러나 이 방법은 일사량이 낮은 경우 제어특성이 나빠지고 환경조건이 급하게 변할 경우 최대전력점의 추적속도가 늦어지게 되므로 변동폭의 결정이 중요한 요소가 된다.

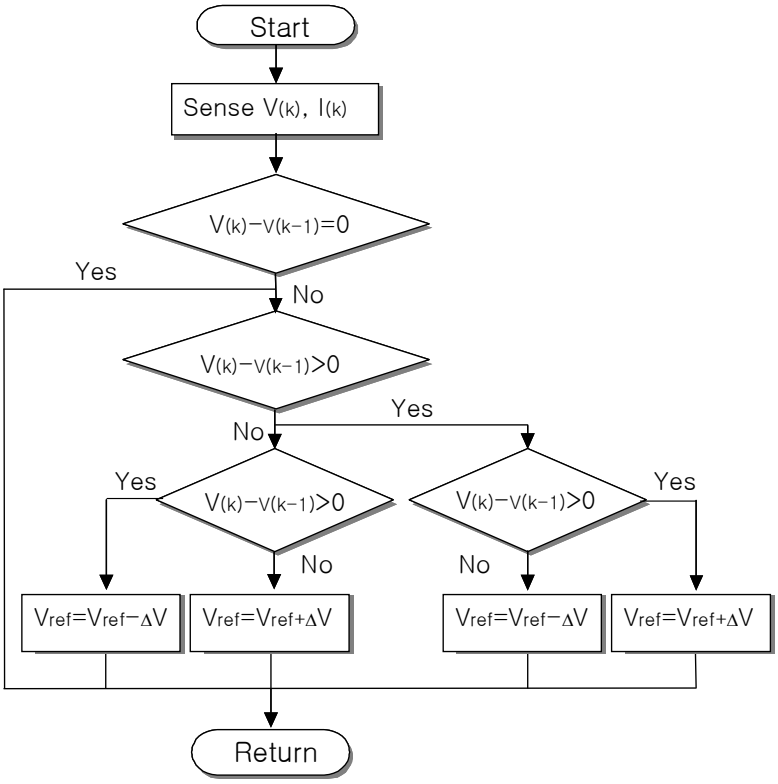


Fig. 2-26 Flow Chart of P&O MPPT Algorithm

나. IncCond 제어 알고리즘

IncCond 제어 알고리즘은 부하 임피던스와 태양전지 임피던스와의 비교에 의해서 태양전지 출력을 제어하는 방법으로, P&O 알고리즘의 결점인 최대전력점에서 자려진동, 일사량 변동에 따라 전압 변동폭이 따라 가지 못하는 단점을 보완 한 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 2-27과 같다.[44]

IncCond 제어 알고리즘에서 최대출력점은 $\frac{dP}{dV}=0$ 이 되는 경우이므로 식 (2-65)와 (2-66)과 같이 나타낼 수 있다.

$$IdV+VdI=0 \tag{2-65}$$

$$\frac{V}{I}=-\frac{dV}{dI} \tag{2-66}$$

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 수행된다.

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

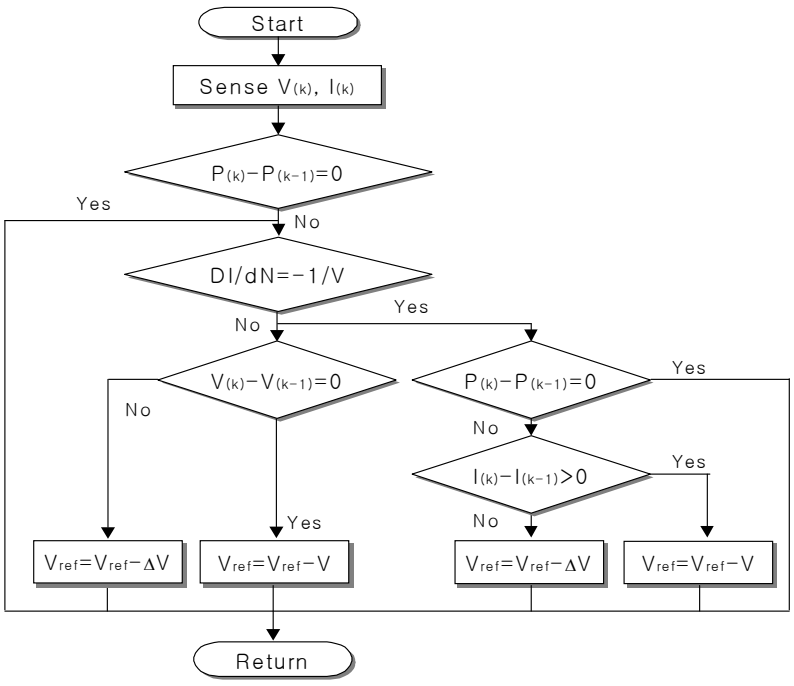


Fig. 2-27 Flow Chart of IncCond MPPT Algorithm

3. 충방전 제어 알고리즘

중대형 독립형 태양광발전시스템인 경우 별도의 축전지 실을 설치하여 유지 관리할 뿐만 아니라 사용 전지의 특성에 맞는 충전 알고리즘을 개발하여 적용 중에 있으나, 소형 독립형 태양광 가로등시스템인 경우는 전지의 종류를 고려하지 않고 상용화 중인 저가용 충전기를 이용하여 사용함으로써 여름철에 설정 전압이 높아서 과충전되는 현상과 겨울철에는 설정 전압이 낮아서 충전이 되지 못하는 현상이 발생하며 이는 축전지 수명을 단축시키는 직접적인 원인으로 작용한다.

태양광발전시스템용 충전기는 축전지의 과 충전을 방지하는 역할을 수행한다. 충전 방식은 일반적으로 PWM(Pulse Width Modulation) 방식을 사용하고 있으며 축전지의 수명을 연장하기 위하여 4 단계의 충전 패턴으로 운영되어 지며 단계별 충전 방식을 그림 2-28에 나타내었다.

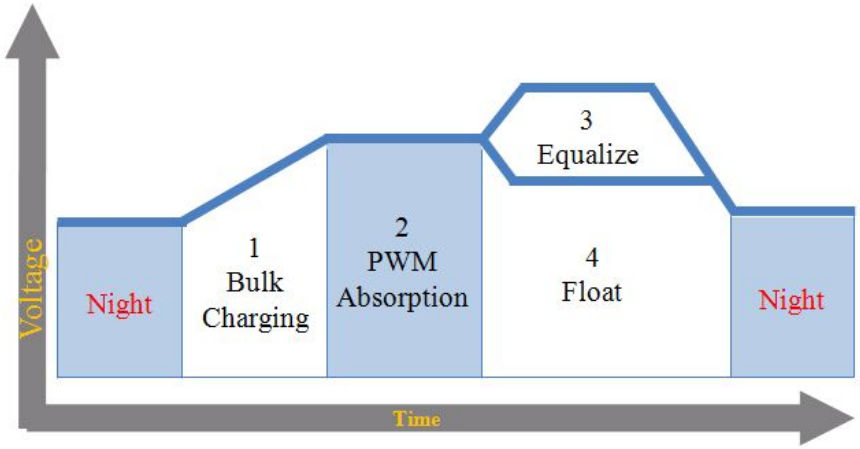


Fig. 2-28 4-step Patterns of the Battery Charger

1단계는 Bulk Charging 단계로서 태양전지에서 공급되는 전력을 축전지에 충전한다. 2단계는 PWM Absorption 단계로서 축전지가 충전 말기 전압에 도달하며 PWM 방식에 의하여 정전압 충전을 수행한다. 이것은 축전지의 과열 및 가스 발생을 억제한다. 3단계는 Equalization 단계로 직/병렬로 연결된 전지에 대하여 전압을 맞추어 준다. 4단계는 Float 단계로 축전지가 만충전 경우 축전지의 과열 및 가스 발생을 억제하기 위하여 충전 전압을 낮춘다. 충전 말기 전압은 밀폐형 연축전지인 경우 14.15 [V]로 설정되어 있다.

밀폐형 Ni-MH전지인 경우는 기존에 사용되는 연축전지에 비하여 충전 수입성이 우수할 뿐만 아니라 충전 분위기 온도 및 충전 전류에 대하여 전압 거동이 상이하기 때문에 전용 충전 시스템 개발이 필요하다.

이에 본 논문에서는 충전 제어에 필요한 정확한 디지털 측정값을 얻기 위하여 충전 온도, 전류 및 전압을 이용한 최적 충전 알고리즘을 시험을 통하여 도출하였으며, 그 결과를 이용하여 충전 알고리즘을 채택하였다.

그림 2-29은 기존 충전 방식의 축전지 충전 알고리즘을 나타내고 그림 2-30은 본 논문에서 제안한 개선된 펄스 충전 알고리즘을 나타내고 있다. 1단계 Bulk 충전 단계에서는 기존 충전 방식과 같이 일정 전류로 충전하므로 태양전지를 전원으로 하는 독립형 태양광발전시스템에서 MPPT 제어를 통한 전류제어가 가능하다. 그러나 2단계 PWM Absorption 단계에서는 기존 충전 방식의 경우 정전압 충전 방식을 적용하고 있으므로 축전지의 전압-전류 특성에 의하여 전류제어가 불가능하며 태양전지의 MPPT 제어가 불가능하게 된다. 따라서 본 논문에서는 일정전압 제어가 아닌 펄스 충전방식을 제안하여 전류제어를 가능하게 하였고 또한 1단계와 달리 펄스 충전 제어를 함으로서 축전지의 전압은 일정전압 충전방식과 비슷하게 상승하도록 제어한다.

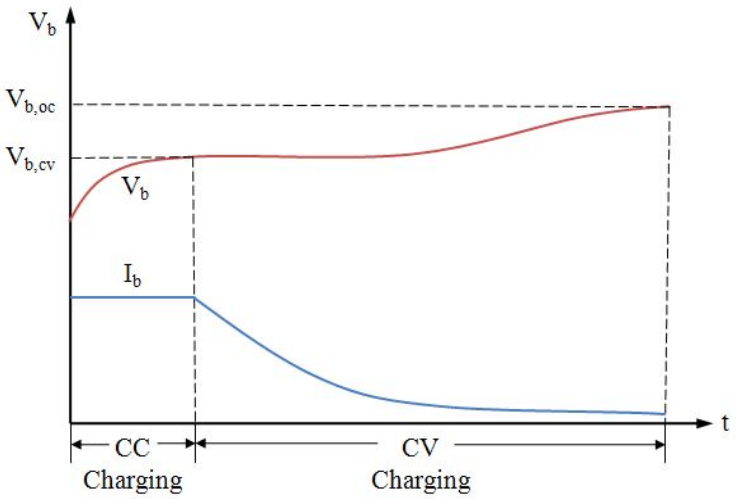


Fig. 2-29 The Conventional Two-phase Charging

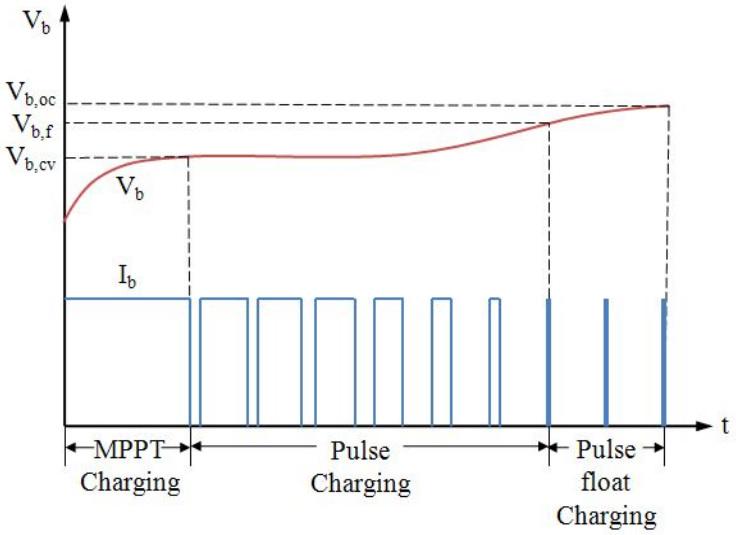


Fig. 2-30 The Proposed Pulse Charging Method

제3장 시뮬레이션

본 논문에서는 독립형 태양광발전시스템의 태양전지 모듈의 출력특성 및 MPPT 제어특성과 제안한 Ni-MH전지의 특성, 벅 컨버터를 이용한 충방전 특성을 분석하기 위하여 Simulink를 이용하여 시뮬레이션을 수행 하였다.

시뮬레이션에서는 SANYO 사의 정격용량이 170[W]인 HIP-170N 태양전지 모듈 1장과 12V 80Ah Ni-MH전지 2개를 이용하여 170[W] 독립형 태양광발전시스템을 구성하였다. 가로등 램프는 DC 24[V] 48[W]의 형광램프를 사용하였다. 그림 3-1은 독립형 태양광 가로등시스템의 시뮬링크 구성도를 나타내고 있고 표 3-1은 독립형 태양광 가로등의 각종 파라미터를 나타내고 있다.

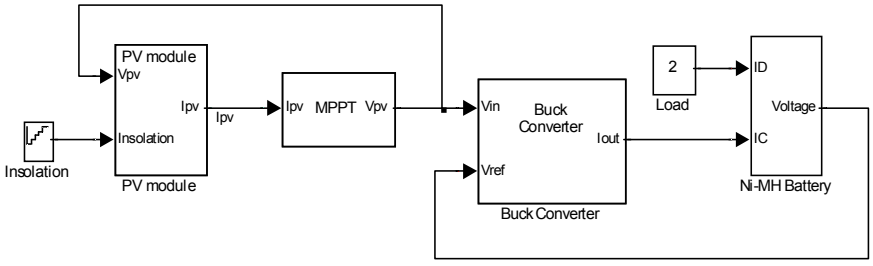


Fig. 3-1 Simulink Configuration of Stand-alone PV Street-light System

Table 3-1 Parameters of Stand-alone PV Street-light System

Parameter		Value
PV module	Maximum power (P_{max})	170 [W]
	Max. power voltage (V_{mp})	35.9 [V]
	Max. power current (I_{mp})	4.74 [A]
	Open circuit voltage (V_{OC})	45.2 [V]
	Short circuit current (I_{SC})	5.09 [A]
Ni-MH Battery	Nominal capacity (C_b)	80 [Ah]
	Nominal Voltage (V_b)	12 [V]
	Number (N_b)	2 [EA]
Load	Nominal Voltage (V_L)	24 [V]
	Nominal Current (I_L)	1.875 [A]
	Number (N_L)	1 [EA]
	Capacity (P_L)	45 [W]

제1절 태양전지

시뮬레이션을 통하여 태양전지 모듈의 출력특성을 고찰하였다. 그림 3-2는 태양전지 모듈 시뮬링크 구성도를 나타내고 있다. 일사강도를 입력으로 태양전지의 광전류 I_{ph}를 생성하고 내부 다이오드전류 및 병렬저항으로 흐르는 전류손실과 직렬저항에 걸리는 전압손실을 계산하여 출력전압을 생성하였다.

그림 3-3은 온도에 따른 PV 모듈의 출력특성을 나타내고 그림 3-4는 일사량에 따른 태양전지 모듈의 전압-전류 특성 및 전압-전력 특성을 나타내고 있다. 온도가 상승하면 태양전지 모듈의 개방전압이 낮아져 출력전력이 저하됨을 알 수 있고 일사량이 저하되면 출력전류가 현저히 저하되어 출력전력이 현저히 저하됨을 알 수 있다.

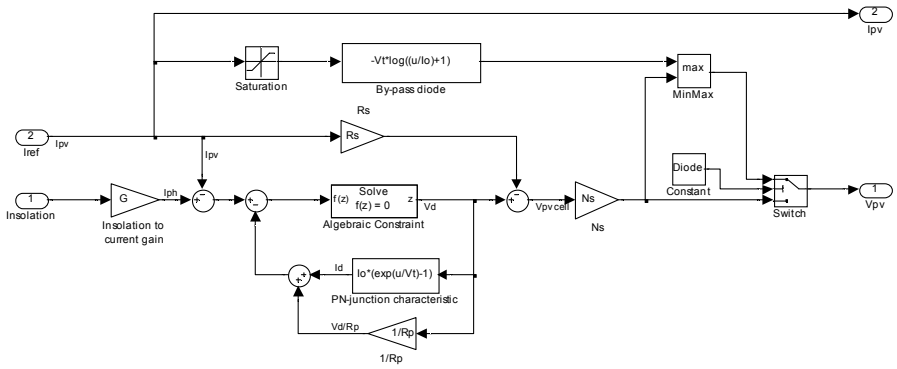


Fig. 3-2 Simulink Configuration of PV Module

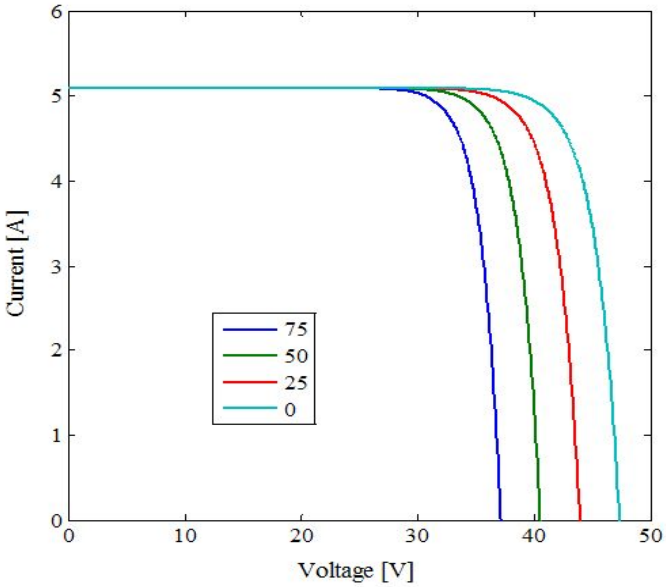
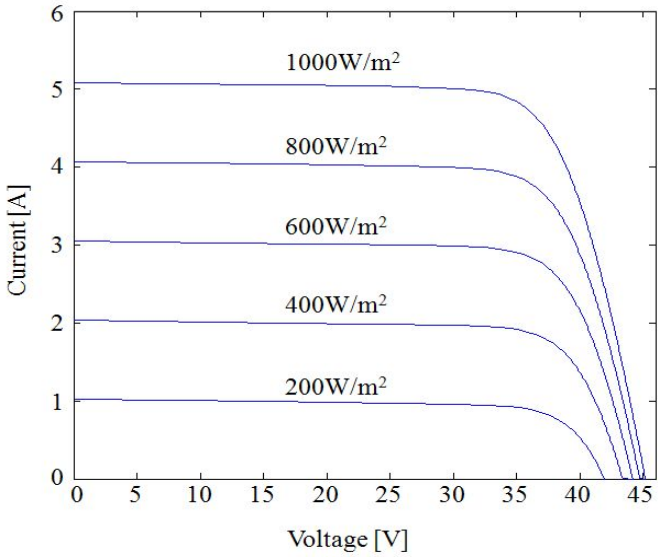
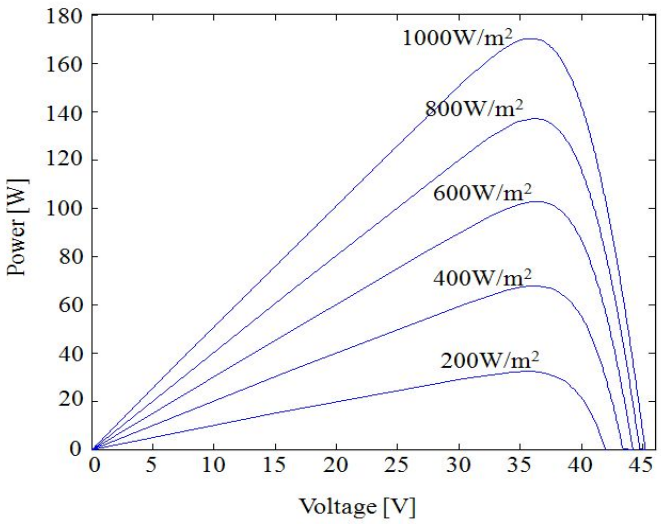


Fig. 3-3 PV Module Characteristics Curve according to Variation Temperature



(a) I-V Curves



(b) P-V Curves

Fig. 3-4 PV Module Characteristics Curve according to Variation Irradiation

제2절 DC-DC 벅 컨버터

Ni-MH 전지의 충전제어기는 DC-DC 벅 컨버터로 구성하였으며 그림 3-5는 시뮬링크 구성도를 나타내고 있고 그림 3-6은 충전제어기의 입출력 및 PWM 펄스 신호와 인덕터 전류 파형을 나타내고 있다.

그림 3-6에서 Ni-MH전지 충전제어기의 입력전원인 태양전지 모듈의 출력전압이 36[V] 이고 출력전류가 3.5[A]인 경우 컨버터의 출력전압, 전류 및 인덕턴스 전류, PWM 펄스 신호를 나타내고 있다. 시비율 0.67에서 출력전압은 25[V]로 강압 되고 출력전류는 6[A]로 Ni-MH전지로 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 Ni-MH전지로 충전하고 인덕터 전류는 하강함을 알 수 있다.

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

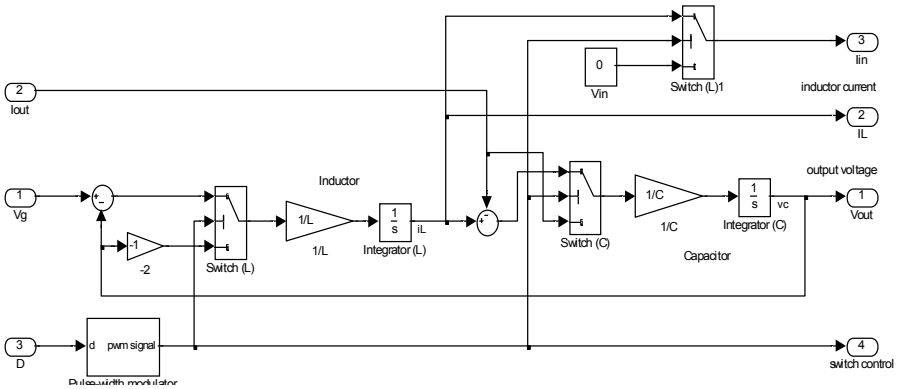


Fig. 3-5 Simulink Configuration of Buck Converter

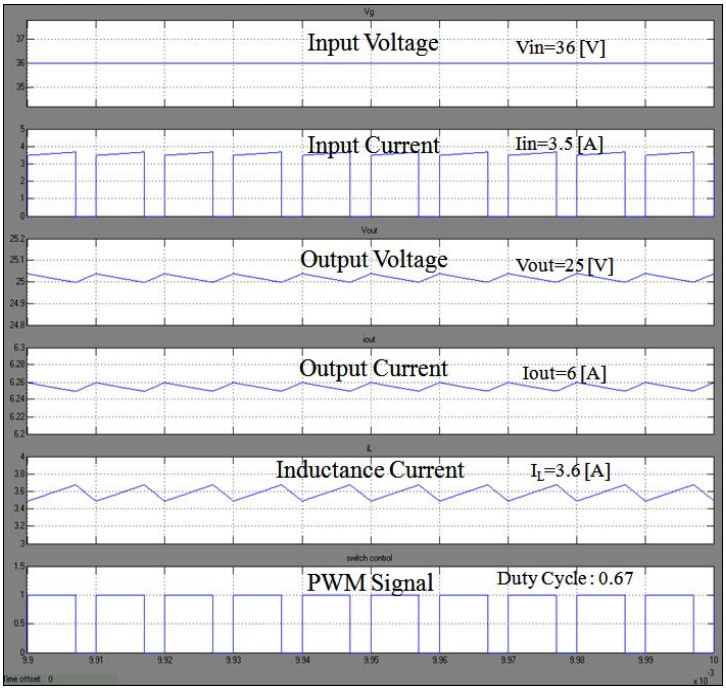


Fig. 3-6 Output Characteristics of DC-DC Buck Converter

제3절 MPPT 제어

그림 3-7은 태양전지 모듈의 MPPT 제어에 대한 시뮬링크 구성도를 나타내고 있다. MPPT 제어는 P&O 제어 알고리즘과 IncCond 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 알고리즘과 IncCond 제어 알고리즘에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 3-8는 일사강도 변화에 따른 P&O 제어에 의한 출력특성을 나타내고 그림 3-9는 그림 3-8의 확대부분을 나타내고 있다. 그림 3-8에서 알 수 있듯이 MPPT 제어는 원활히 진행되고 있으나 확대부분인 그림 3-9에서는 P&O 제어 알고리즘의 단점인 자려진동을 함을 확인 할 수 있다. 그림 3-10은 일사강도가 급변시 P&O 제어에 의한 출력특성을 나타내고 있다.

그림 3-11은 일사강도 변환에 따른 IncCond 제어에 의한 출력특성을 나타내고 있고 그림 3-12는 일사강도가 급변시 출력특성을 나타내고 있다. IncCond 제어 알고리즘에 의한 MPPT 제어특성은 자려진동이 없으며 추적속도도 빠르다는 것을 알 수 있다.

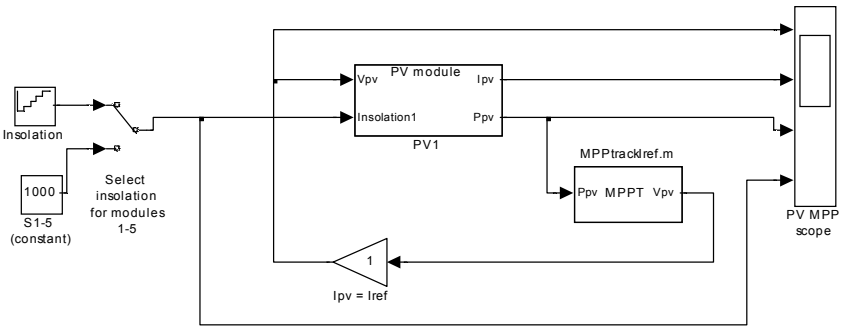


Fig. 3-7 Simulink Configuration of MPPT Controller

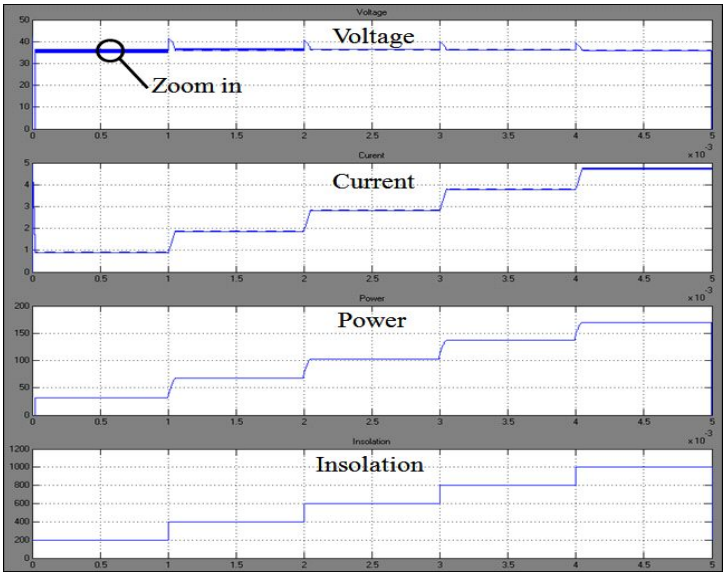


Fig. 3-8 Output Characteristics using P&O MPPT Control Method

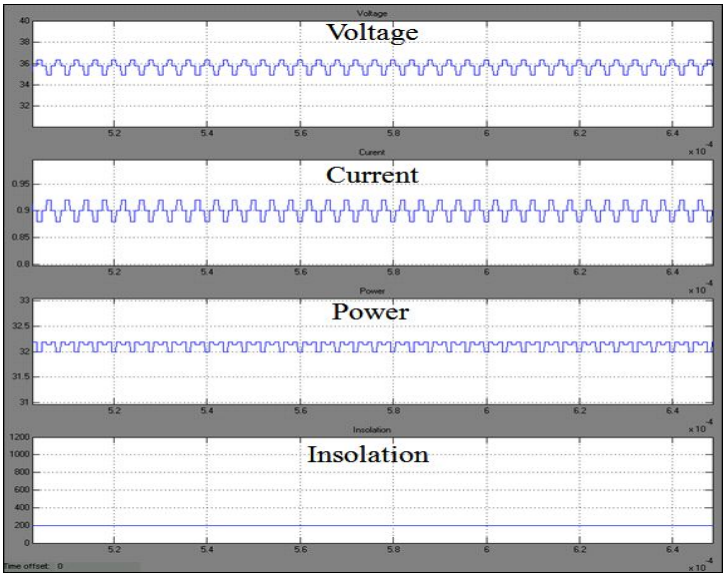


Fig. 3-9 Output Characteristics of Zoom in Part using P&O MPPT Control Method

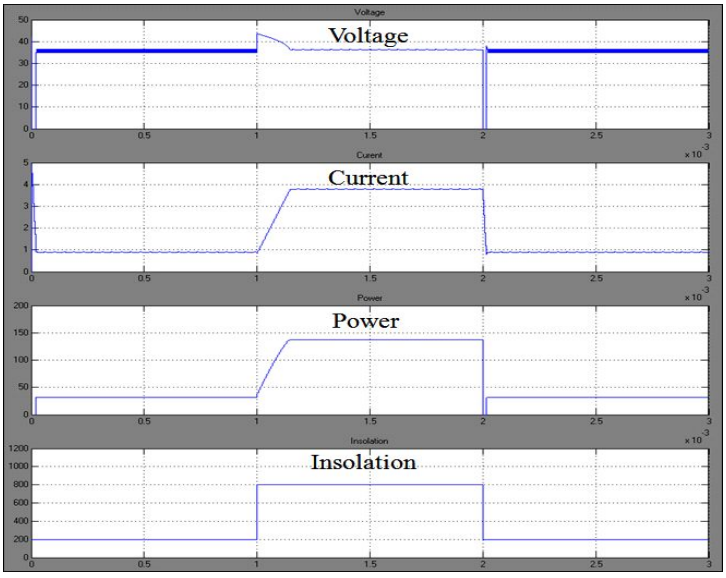


Fig. 3-10 Output Characteristics according to Rises Rapidly Insolation using P&O MPPT Control Method

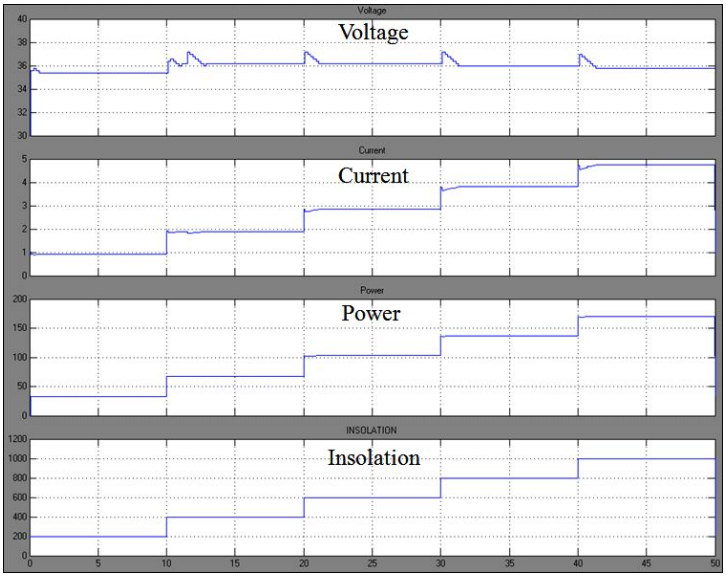


Fig. 3-11 Output Characteristics using Conventional IncCond MPPT Control Method

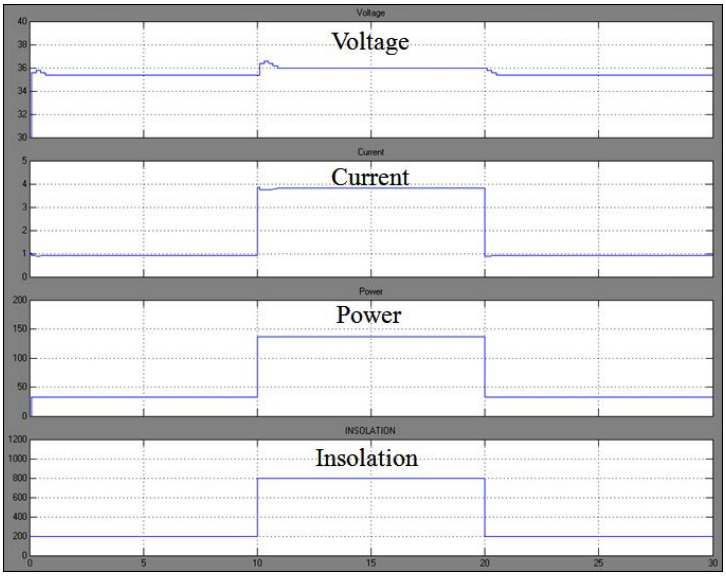


Fig. 3-12 Output Characteristics according to Rises Rapidly Insolation using IncCond MPPT Control Method

제4절 Ni-MH전지

Ni-MH전지의 충방전특성을 고찰하기위하여 시뮬링크를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 3-13은 충전율 모델을 나타내고 그림 3-14는 충전효율 구성도를 나타내고 있으며 그림 3-15는 충전비율이 2C, 1C, 0.33C 일때 충전효율 특성을 나타내고 있다. 충전전류가 큰, 즉 충전비율이 큰 2C에서 효율이 충전전류가 적은 충전비율이 0.33C보다 낮음을 알 수 있다.

그림 3-16은 Ni-MH전지의 온도특성 모델을 나타내고 그림 3-17은 Ni-MH전지의 충전량에 따른 온도특성을 나타내고 있다. 충전전류가 크면 충전율이 높아짐에 따라 효율이 저하되며 온도가 상승됨을 알 수 있다.

그림 3-18은 Ni-MH전지의 방전율 구성도를 나타내고 그림 3-19는 방전전압 시뮬링크 모델을 나타내고 있으며 그림 3-20은 방전전압특성을 나타내고 있다. 그림 3-21은 충방전시 Ni-MH전지의 잔존율 모델을 나타내고 있으며 그림 3-22는 충방전시 Ni-MH전지의 전압 모델을 나타내고 있다. 그림 3-23은 90% 잔존율을 시작으로 2[A] 단위로 8시간 방전하고 방전이 끝난 후 1시간부터 4[A] 단위로 충전할 때 Ni-MH전지의 전압 및 충전율을 나타내고 있다. 이것은 표 3-1의 부하용량에 따른 전류 1.875[A] 보다 높게 하였고 충전전류는 태양전지의 정격용량보다는 적게 설정하였다.

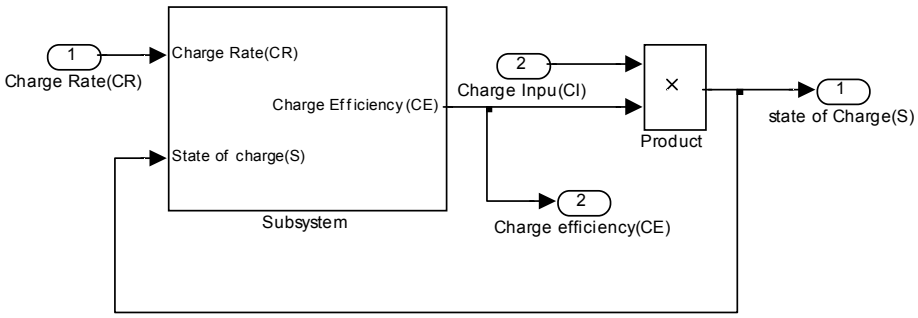


Fig. 3-13 State of Charge Model

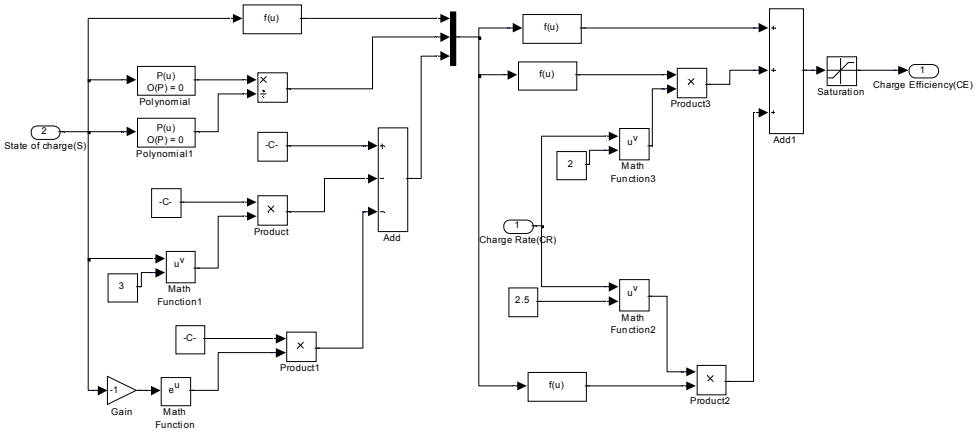


Fig. 3-14 Simulink Model of Charge Efficiency

(a) 2C

(b) 1C

(c) 0.33C

Fig. 3-15 Charge Efficiency

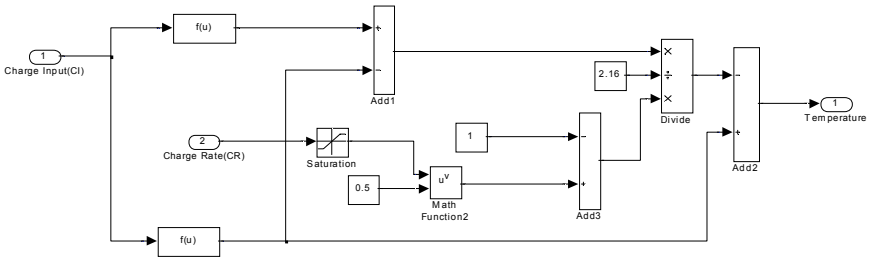
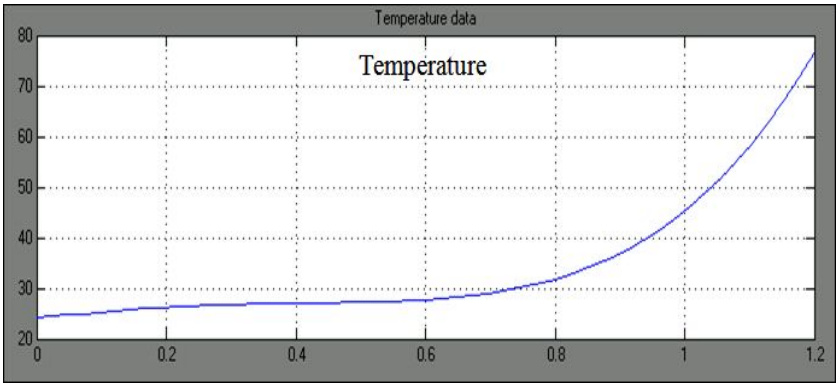
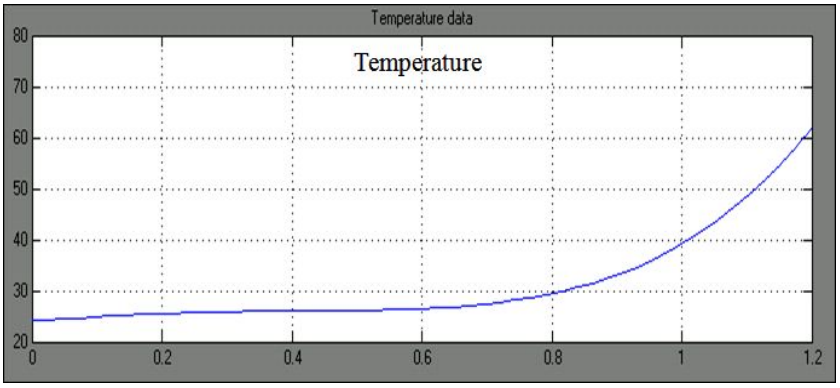


Fig. 3-16 Battery Temperature Block



(a) 1C



(a) 0.1C

Fig. 3-17 Temperature of Ni-MH Battery

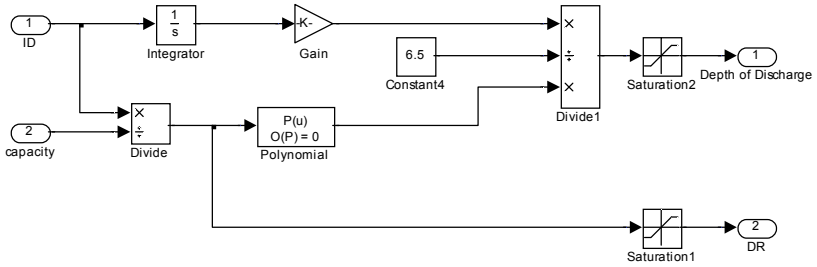


Fig. 3-18 Simulink Model of Depth of Discharge

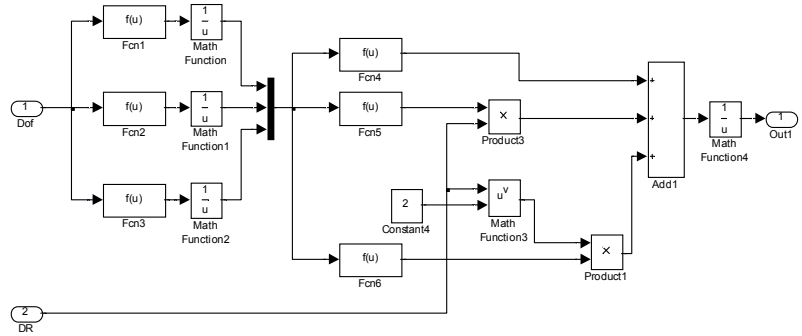


Fig. 3-19 Simulink Model of Discharge Voltage

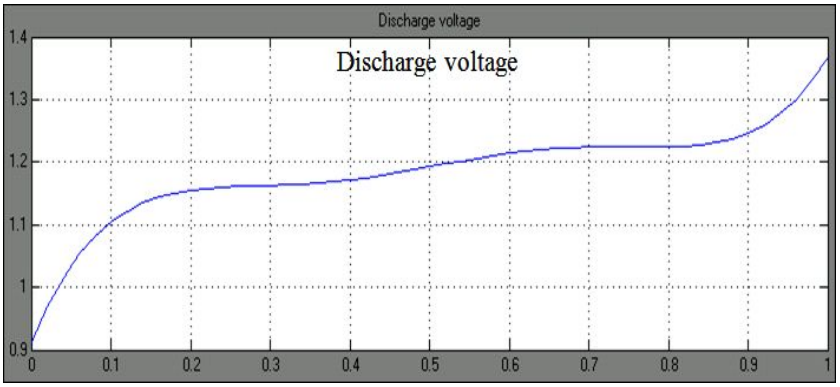


Fig. 3-20 Discharge Voltage of Ni-MH Battery

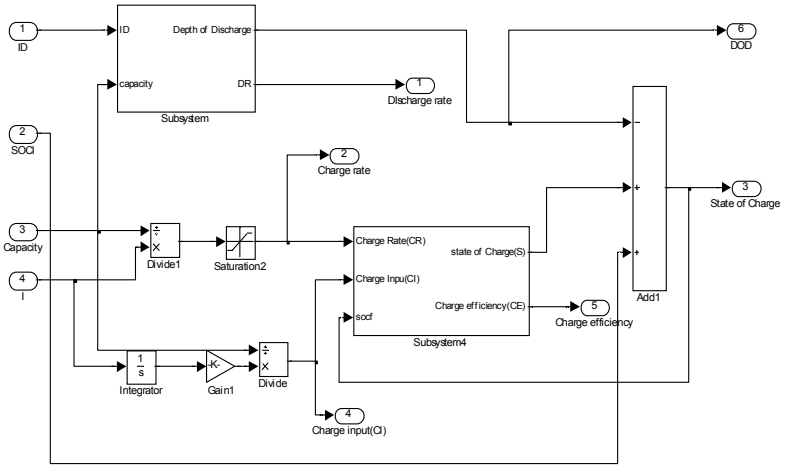


Fig. 3-21 State of Charge during Charge and Discharge

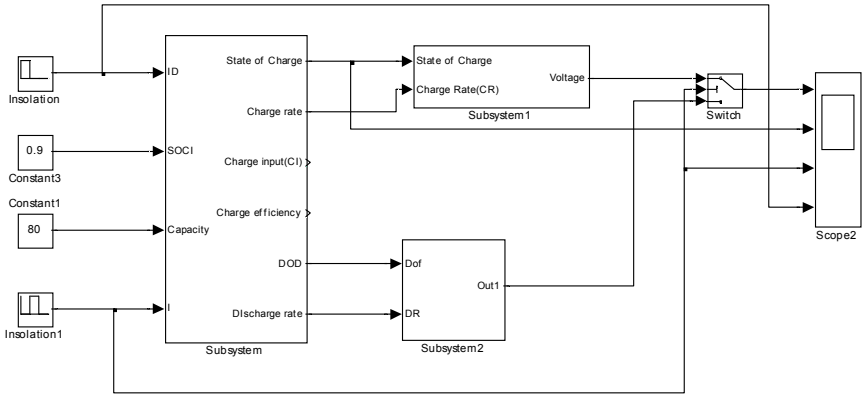


Fig. 3-22 Ni-MH Voltage Model during Charge & Discharge

Voltage Block

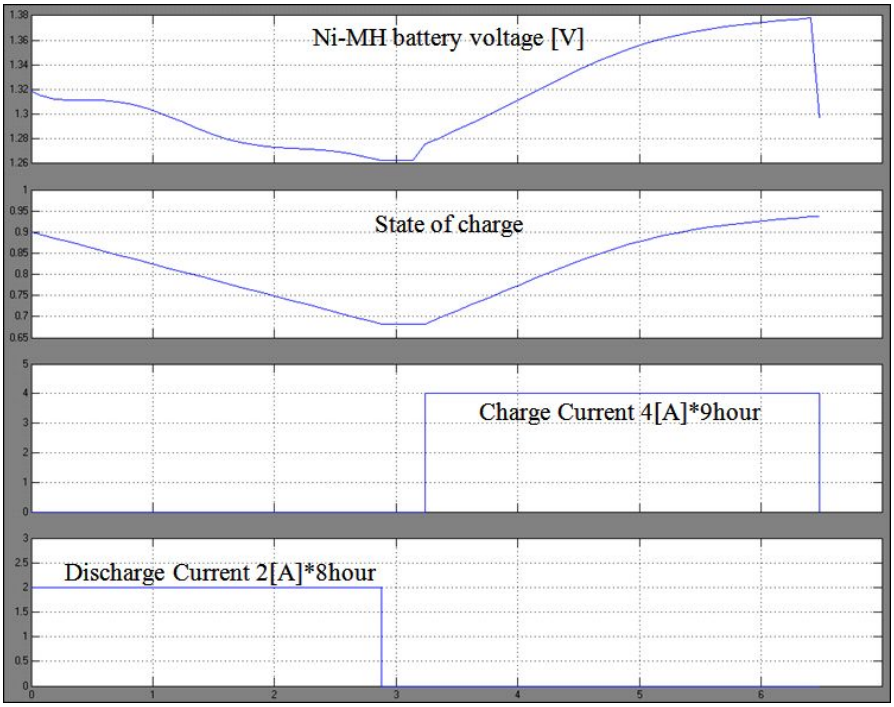


Fig. 3-23 Voltage of Ni-MH Battery

제4장 독립형 태양광 가로등시스템 구성

제1절 시스템 구성

본 논문에서는 Ni-MH전지를 적용한 독립형 태양광 가로등시스템의 출력 특성을 분석하기 위하여 기존 연축전지와 Ni-MH전지를 동일 용량으로 2기의 독립형 태양광 가로등시스템을 구성하였다. 그림 4-1은 독립형 태양광 가로등시스템의 구성도를 나타내고 있다.

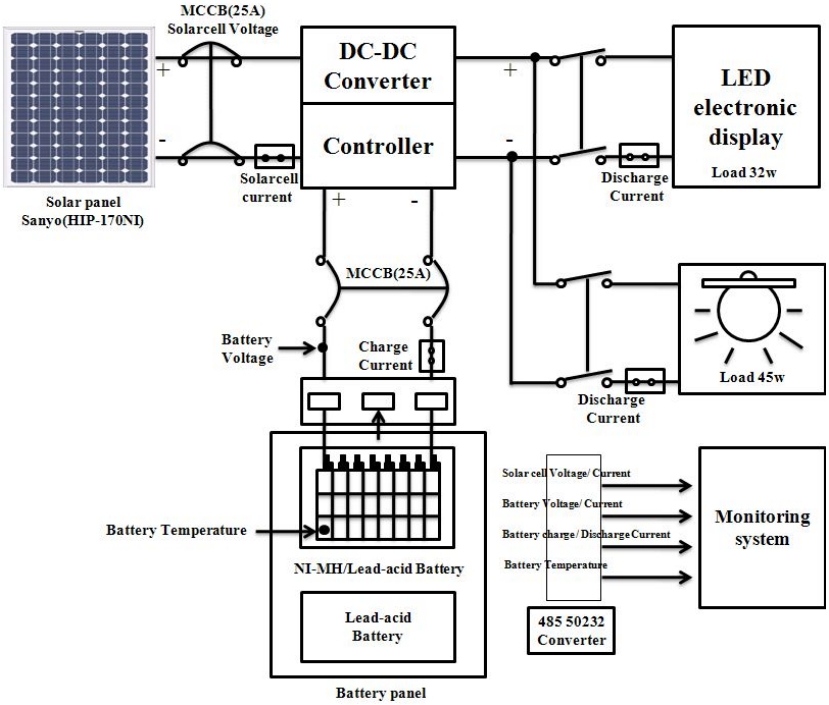


Fig. 4-1 Stand-alone PV Street-light System

태양광 가로등 시스템의 실증운전 및 시험을 위해서 경도 126.92°, 위도 35.1°에 실증시험용 2기의 독립형 태양광 가로등시스템을 설계 설치하여 장시간의 실증운전을 통해 환경조건 변화에 따른 태양전지의 발전성능, Ni-MH전지의 신뢰성, 가로등시스템의 안정성 등의 운전특성을 비교 분석하였다.

본 논문에 구성된 소형 독립형 태양광 가로등시스템의 발전용량은 기존에 상용화되어 있는 가로등 시스템을 고려하여 설계된 것으로 부하는 공원, 하천 등의 전원 시설이 없는 곳에 자연 색상 광도의 부하를 적용하였다. 또한 축전지의 70%의 방전 심도를 기준으로 45W 램프를 하루에 8시간씩 3일간 공급할 수 있는 용량이며, 태양전지의 용량은 하루에 소비되는 전력 대비 약 150%의 전력을 생산할 수 있도록 설계되었다.

1. 태양전지

Ni-MH전지 및 연축전지의 출력특성을 비교분석하기 위하여 2기의 독립형 태양광 가로등시스템에 같은 회사의 같은 모델의 태양전지를 적용하였고 부하용량 및 축전지의 용량에 따라 태양전지의 정격용량은 170W로 하여 2기의 독립형 가로등시스템에 모두 Sanyo사의 HIP-170N 모델을 적용하였다. 표 4-1은 태양전지모듈의 규격을 나타내고 있다. 단락전류는 5.09[A]이고 개방전압은 45.2[V]이며, 최대 출력전류는 4.74[A]이고 최대 출력전압은 35.9[V] 이다.

Table 4-1 Parameters of PV Module

Specification		Details
Model		HIP-170N1
Manufacturer		Sanyo (Japan)
Electrical Characteristics	Maximum power (P_{max})	170 [W]
	Max. power voltage (V_{mp})	35.9 [V]
	Max. power current (I_{mp})	4.74 [A]
	Open circuit voltage (V_{OC})	45.2 [V]
	Short circuit current (I_{SC})	5.09 [A]
Physical Specifications	Measure	1443 × 812 × 35 mm
	Weight(kg)	14 kg

2. Ni-MH 전지

본 논문에 적용한 밀폐형 Ni-MH전지 및 기존 연축지의 제품 제원에 대해서는 표 4-2에 나타내었다. Ni-MH전지는 밀폐식으로 용량은 12V, 80Ah로 2개를 직렬 연결하여 24V, 80Ah로 구성하였다. 체적은 8.56ℓ이며 중량은 16.2kg이고 용량 보존율이 우수하여 장기 방치시에도 성능이 100% 회복된다. 그리고 완전 밀폐형으로 수명 종료시까지 보액이 필요가 없고, 친환경적이고 과충전이나 충전 조작 잘못에 의한 가스 발생에도 안전밸브가 장착되어 있어 안정성에도 뛰어나다. 그림 4-15에서는 시험에 사용된 밀폐형 Ni-MH 전지 및 연축전지의 외형을 보여주고 있다.

Table 4-2 Parameters of Battery for Stand-alone PV systems

Division		Enclosed type Ni-MH battery	Lead-acid battery
Battery Type		Enclosed type	Enclosed type
Capacity		12V, 80Ah	12V, 80Ah
Measure	length	390	332
	wide	124	174
	high	177	240
Volume		8.56 ℓ	13.87 ℓ
Weight(kg)		16.2 kg	29 kg

(a) Ni-MH battery (b) Lead-acid battery

Fig. 4-2 Battery Image Applying to Stand-alone PV Street-light Systems

제2절 충방전 제어기 설계

1. 제어부 구성

본 논문에서 제안한 Ni-MH전지의 충방전 제어기의 구성도는 그림 4-3과 같다. 본 논문에서는 AVR RISC 구조에 기초한 Atmel사의 마이크로프로세서인 ATmega128을 이용하여 내장된 10비트 AD변환기를 이용하여 태양전지의 출력전압 및 전류, Ni-MH전지의 충방전 전압 및 전류를 읽는다. IncCond 태양전지의 MPPT 제어 알고리즘과 Ni-MH전지의 충방전 알고리즘을 수행하여 16비트 타이머카운터의 PWM 기능을 이용하여 PWM신호를 발생하고 MOSFET 드라이브를 통하여 DC-DC 벅 컨버터를 제어하게 된다. 그림 4-3은 마이크로프로세서 ATmega128을 이용한 제어 블럭도를 나타내고 있다.

ATmega128은 CMOS형의 8비트 마이크로 컨트롤러로서 64핀의 TQFP형과 MLF형 핀 구조는 그림 4-4와 같고 그림 4-5는 ATmega128의 핀 아웃을 나타내며 그림 4-6은 ATmega128의 구성도를 사진으로 나타내고 있다. 분기 명령 등을 제외한 대부분의 명령어는 한 클럭 사이클에 실행되며, 1MPS/MHz에 가까운 처리속도를 낼 수 있기 때문에 전력 소모를 최적화 할 수 있다. 또한 ALU(Arthmetic Logic Unit)와 직접 연결되어 있으며, 한 클럭 사이클에 실행되는 구조는 일반적인 CISC 마이크로컨트롤러에 비해 10배 이상의 빠른 속도로 효과적인 코딩이 가능하다.

그림 4-7은 ATmega128의 내부 구조를 나타내고 있다. ATmega128은 Havard Architecture로 설계되어 있기 때문에 내부 버스인 프로그램 버스와 데이터 버스 2가지로 분리되어 있다. 프로그램 메모리는 64K워드의 플래시 룸으로 이루어져 있으며 이를 위한 버스도 내부에만 존재하게 된다. 내부 SRAM과 EEPROM 메모는 4K바이트로 구성되어 있다.

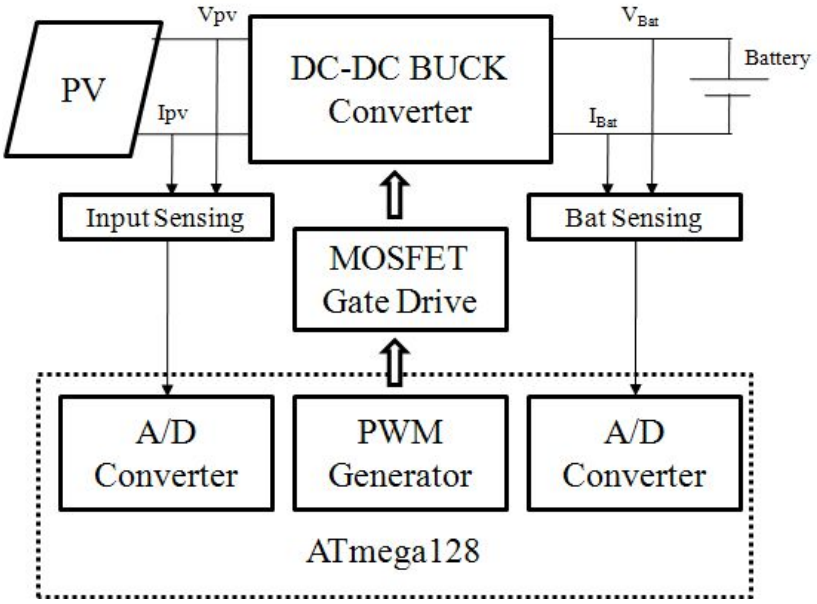


Fig. 4-3 Ni-MH Battery Charger Block Diagram

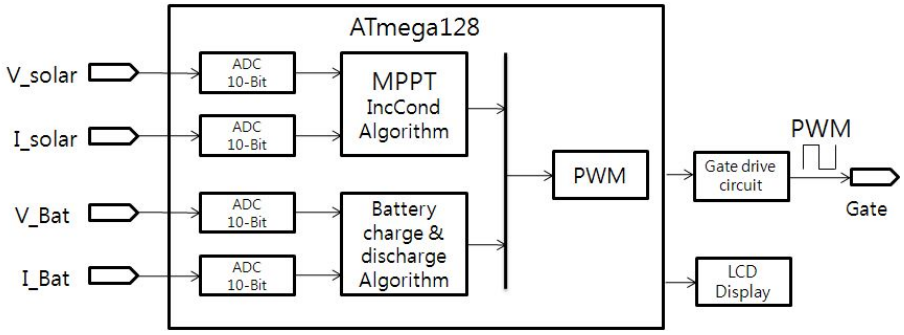


Fig. 4-4 Internal Block Diagram of Microcontroller

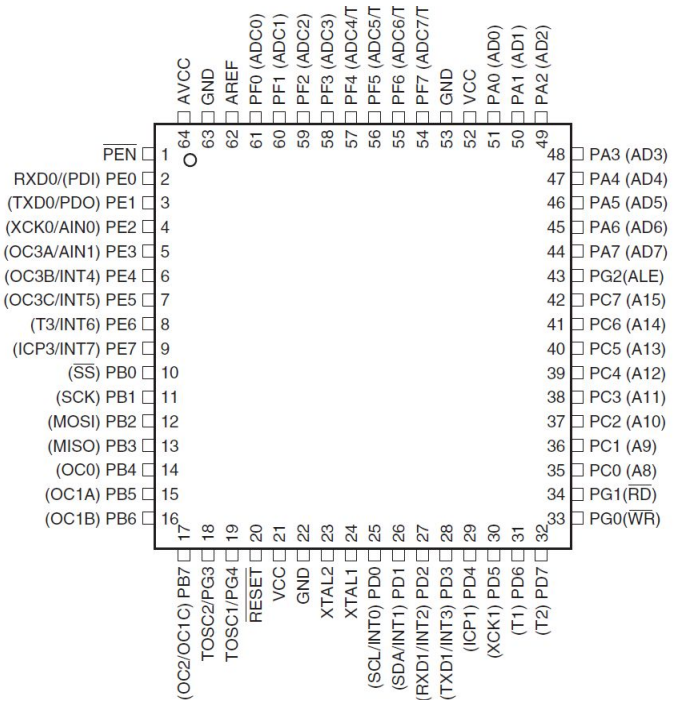


Fig. 4-5 PinOut of ATmega128

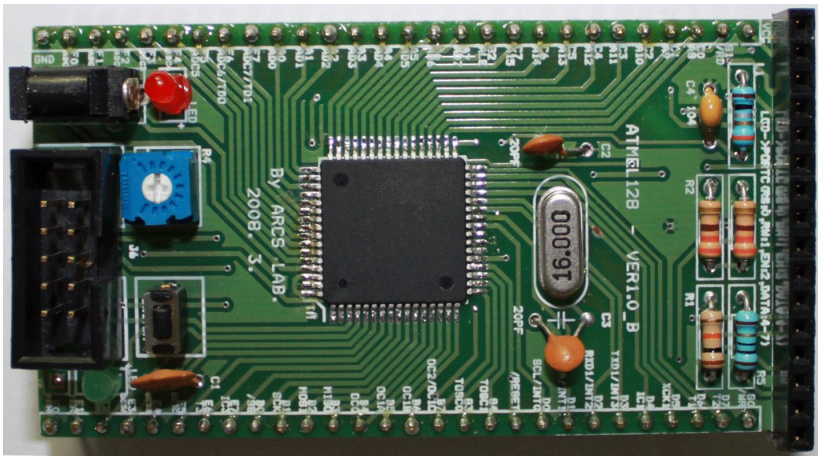


Fig. 4-6 PCB Board of ATmega128

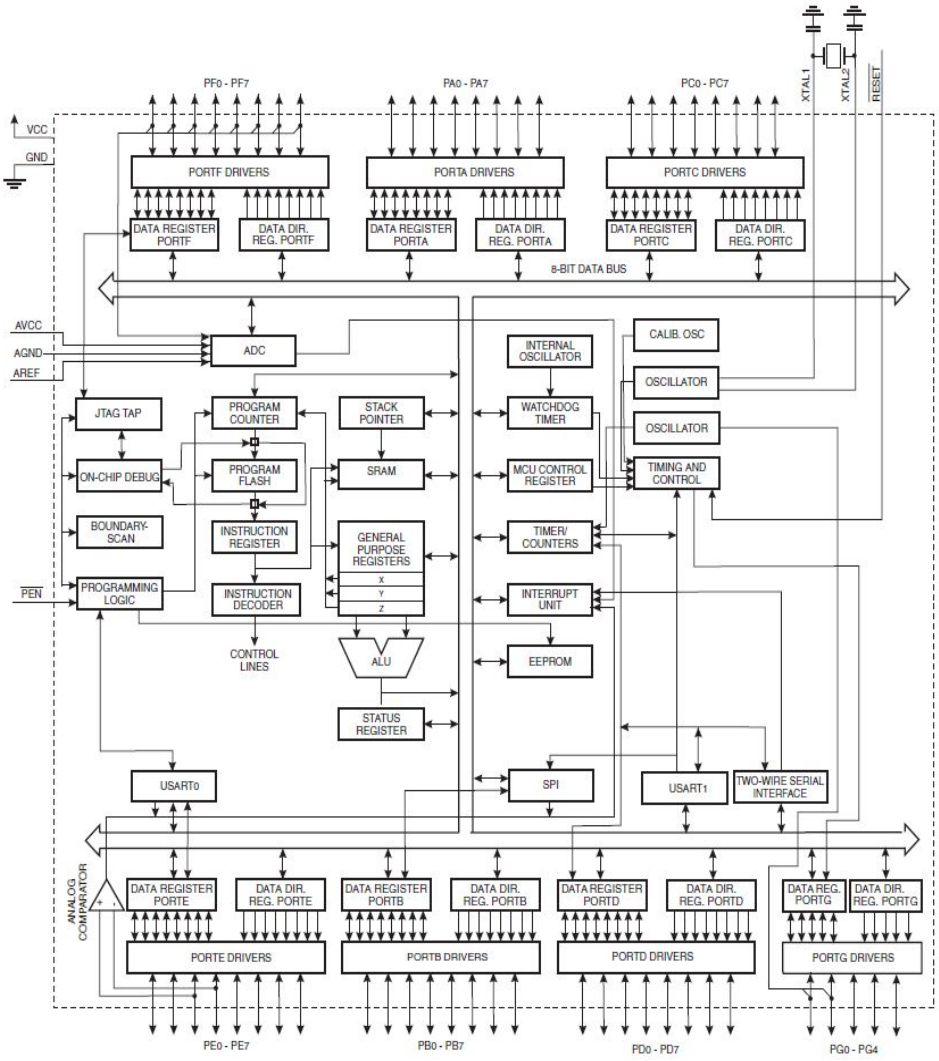


Fig. 4-7 Block Diagram of ATmega128

그림 4-8은 AVR RISC의 내부구조를 보여준다. 고속 엑세스가 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 래지스터 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.

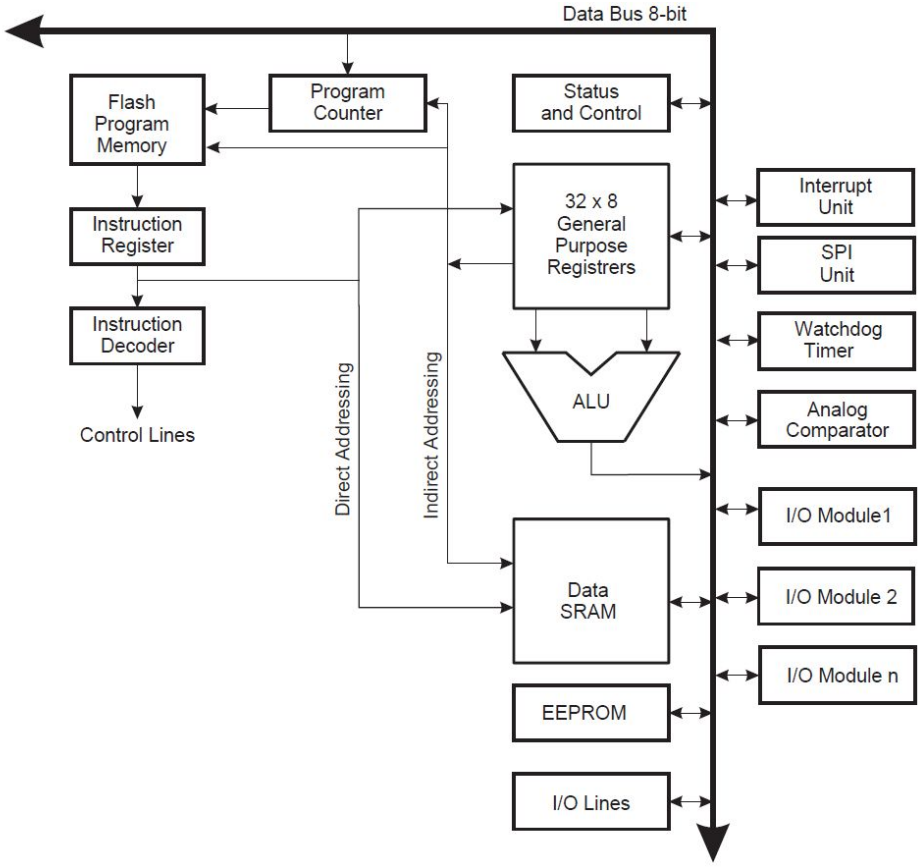


Fig. 4-8 Block Diagram of the AVR Architecture

그림 4-9는 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 사용되어 진다.

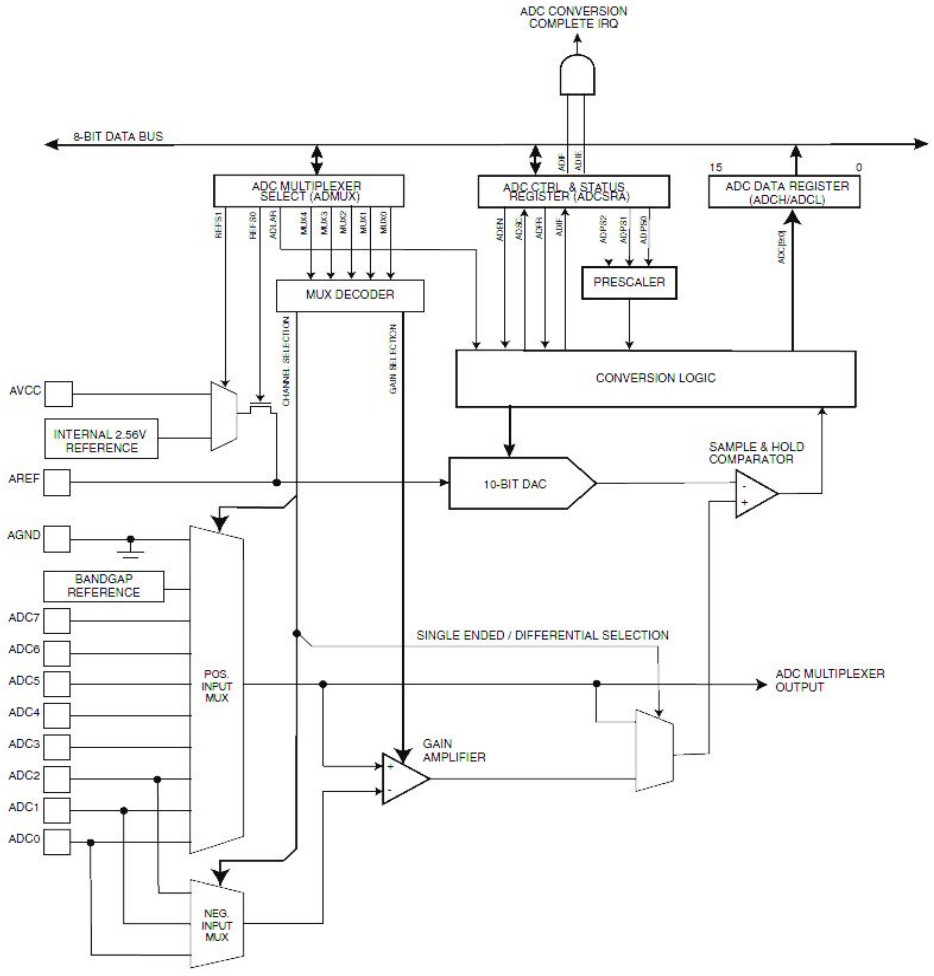


Fig. 4-9 Analog to Digital Converter Block Schematic

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 4-10은 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.

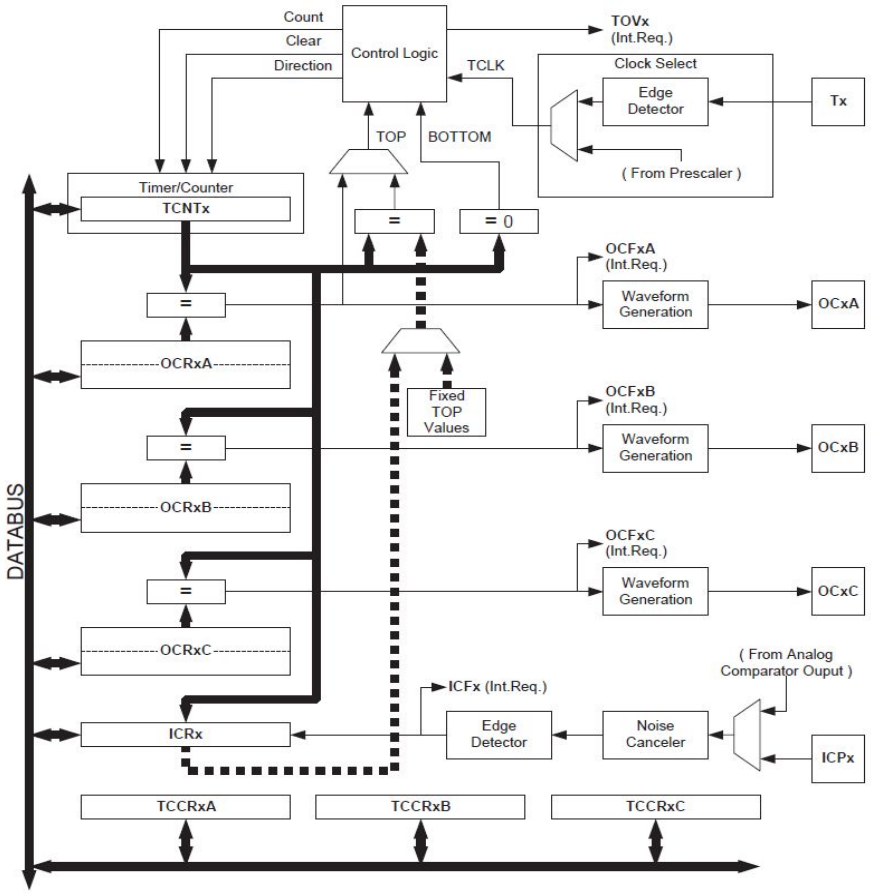


Fig. 4-10 16-bit Timer/Counter Block Diagram

2. DC-DC 벅 컨버터 설계

그림 4-11은 본 논문에서 설계한 Buck 컨버터 방식의 충방전 제어 회로도를 나타내고 있고 그림 4-12는 ATmega128을 이용한 제어부 회로도를 나타내고 있으며 그림 4-13은 MOSFET 게이트 드라이브 회로도를 나타내고 있다.

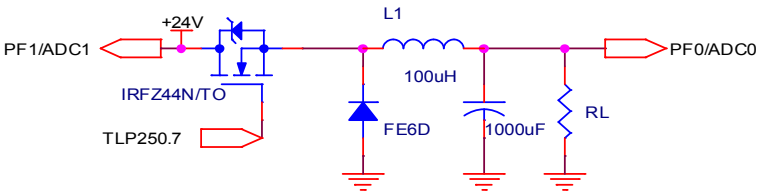


Fig. 4-11 Ni-MH Battery Charge Circuit

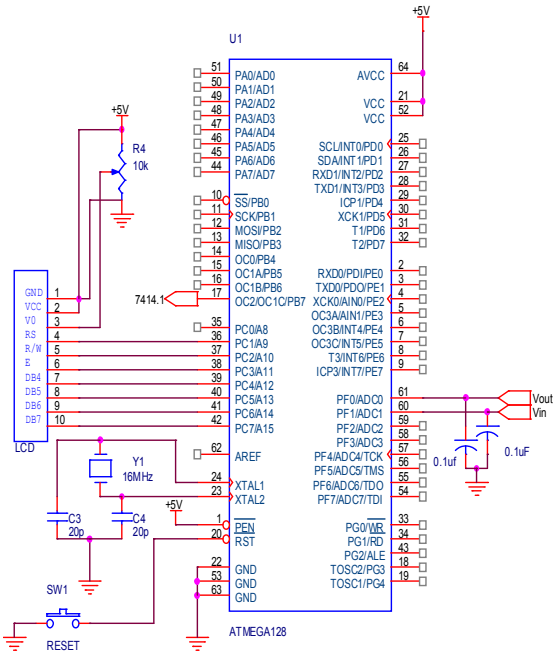


Fig. 4-12 Controller Circuit using Microcontroller

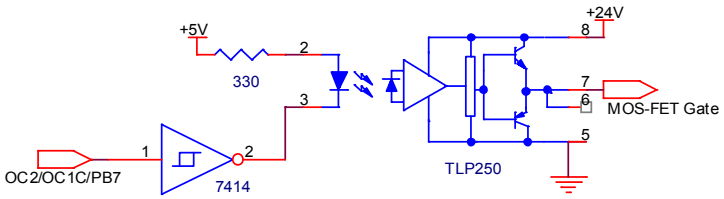


Fig. 4-13 MOSFET Gate Drive Circuit

스위칭 레귤레이터용 코일은 아몰퍼스의 코어재료를 사용한 갭이 없는 트로이덜 코어형을 사용한다. 게이트 드라이브는 포토커플러 TLP250을 이용하였다. 리플전류는 ΔI_o로 표시하며 일반적으로 출력 전류 I_o의 $\pm 15\%$ 정도로 한다.

스위칭 주기 T 가 크면 인덕터 L 값도 커지므로 주파수를 높여 주기를 작게 하여야 한다. 그러나 Buck 컨버터에서 주파수가 너무 높으면 스위칭에서의 에너지소모가 높아지므로 PWM 주파수는 20kHz에서 50kHz로 설정하는 것이 일반적이며 본 논문에서는 40kHz로 한다.

커패시터 C 를 크게 하여 리플전압 Δv_o을 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 하기위한 $R_{DS(ON)}$ 등이 고려되어야 한다. 그러나 실제 선정에 있어서는 서지전압 및 전류를 고려하여 IRFZ44N을 사용하였다.

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

3. 온도보상 회로

Ni-MH 전지의 충방전시 온도변화에 따른 효율 극대화를 위해 온도 변화에 따른 전압 보정이 필요하며 식 (4-1)과 같이 보정하였다.

$$V = V_0 + \beta(T - 20℃) \qquad (4-1)$$

여기서 V : 실제 충전전압, V_0 : 20℃시 충전전압,

β : 온도 보상계수, T : 배터리 온도

그림 4-14는 온도보상회로를 나타낸 것으로 온도측정센서 LM350을 이용하여 온도를 측정하고 OPamp LM324를 통하여 증폭하여 검출한다.

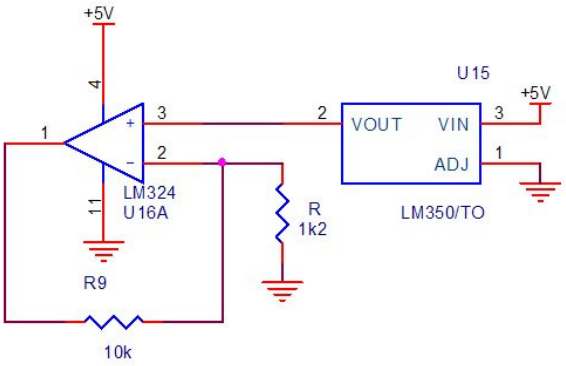


Fig. 4-14 Temperature Compensation Circuit

4. 제어 알고리즘

본 논문에서는 Ni-MH전지에 대하여 펄스 충전방식을 제안하였으며 그림 4-15는 펄스 충전방식에 의한 제어 알고리즘을 나타내고 있다.

태양전지의 전압 및 전류 센싱을 통하여 IncCond 방식으로 MPPT 제어를 하고 축전지의 충전전압 및 온도를 센싱하여 본 논문에서 제안한 펄스 충전을 한다. 충전전압이 일정전압보다 낮을 때는 1단계 Bulk 충전 단계로 MPPT 제어를 통하여 DC-DC 벅 컨버터에서 출력되는 전류로 충전을 하고 충전전압이 일정전압보다 높아지면 2단계 펄스 충전 단계이며 MPPT 제어를 통하여 출력되는 전류로 충전을 하되 펄스 형태로 on, off 스위칭을 해줌으로서 충전전압을 제어한다.

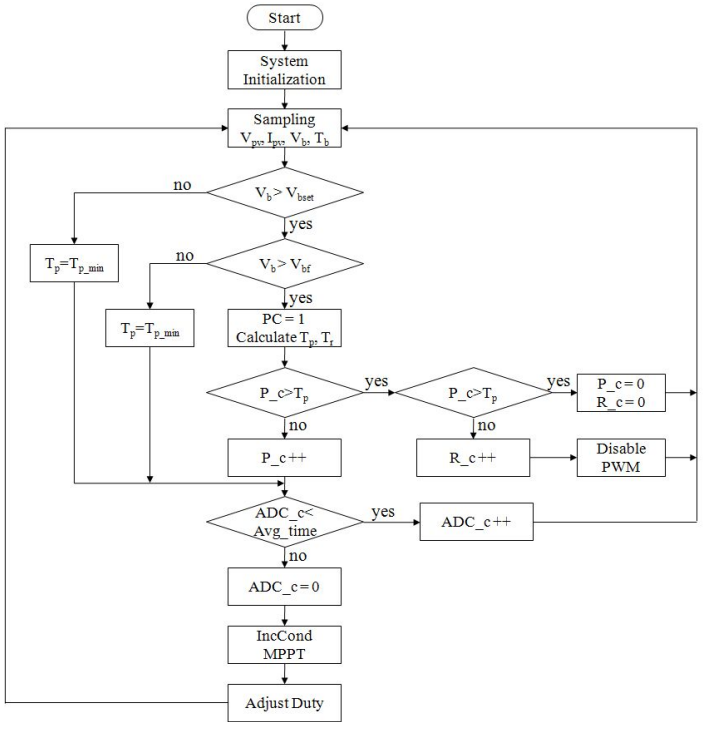


Fig. 4-15 Flowchart of the Pulse Charging Method

제3절 모니터링 시스템

태양광발전 모니터링 시스템은 일사량, 부하, 계통, 인버터, 태양전지 어레이별로 전압, 전류, 전력량 등의 전기적 성능 및 기상조건에 대한 각종 정보들을 원격으로 감시 계측하여 시스템의 운전상태를 실시간으로 점검하고 시스템에 이상현상이 발생할 경우 이를 감지하여 경보를 발생시킬 수 있는 시스템이다.

본 논문에서 독립형 가로등시스템의 모니터링은 태양전지 전압, 전류, 전력변환기의 충/방전 전류, 전압 및 축전지 함에 설치되어 있는 축전지의 전압, 전류, 전지 표면 온도, 축전지함 실내 온도를 측정하여 독립형 태양광 가로등의 각 구성 기기별 효율 및 운영 상태를 파악하기 위하여 구축하였다. 시스템 내의 data acquisition과 모니터링 컴퓨터는 광 cable을 통하여 연결 가능하며 컴퓨터에서 시스템의 운영 상태가 모니터링 가능하다.

축전지함에 설치되어 있는 모니터링 시스템에 대한 data 수집 및 원격 감시하기 위하여 시스템 구성기기별로 전압 센서, 직류 전류를 측정하기 위한 정밀 션트 및 온도 센서를 적용하였다. 측정값 범위, 측정 주기 및 데이터 저장 주기를 설정하여 태양광 시스템의 상태를 감시한다.

모니터링 컴퓨터에서는 실시간으로 측정한 디지털 값과 그래프를 나타내고 측정된 것을 저장한다. 그림 4-16은 data 수집장치 결선도이며, 표 4-3은 data 계측 지점을 나타내고 있다.

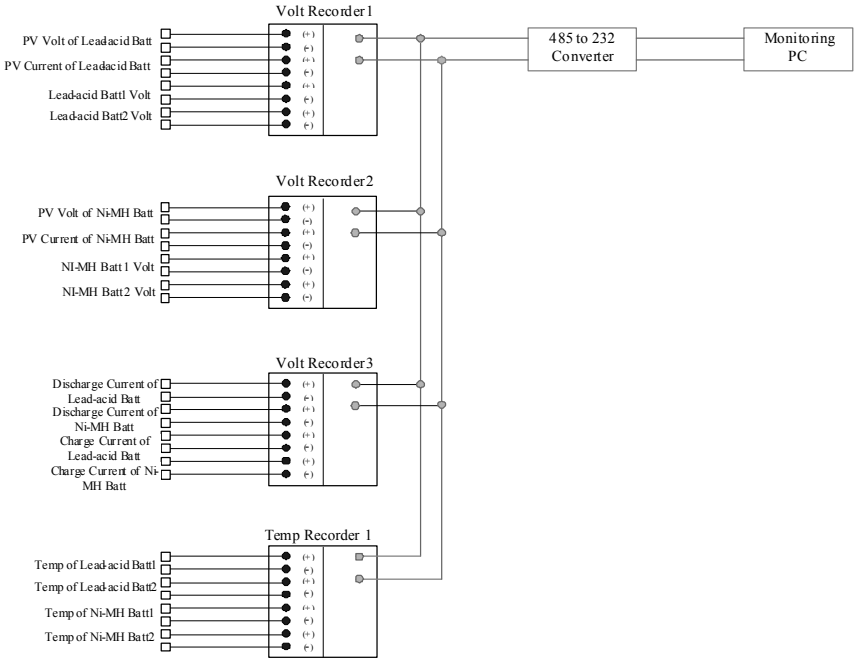


Fig. 4-16 Distribution Diagram of Monitoring System

Table 4-3 Measuring Point of Data Acquisition

Parameters	Survey points
Battery Voltage	1 Point / each battery
PV Voltage	1 Point / each system
PV Current	1 Point / each system
Charge Current	1 Point / each system
Discharge Current	1 Point / each system
Battery Temperature	1 Point / each battery
Total	16 point

태양광 시스템의 구성 기기별 운영 상태를 쉽게 볼 수 있도록 PC상에 나타내는 모니터링 프로그램을 개발하였으며 그 화면을 그림 4-17에 나타내었다. 시스템에서 운영 상태에 따른 각 구성 기기의 데이터를 사용자가 원하는 간격으로 모든 데이터를 저장하고 관리할 수 있다. 저장된 모든 데이터는 엑셀 파일로 생성하여 주고 분석 그래프를 만들어 주며 바이너리 파일로도 데이터를 저장하여 현재의 자료를 볼 수 있다.

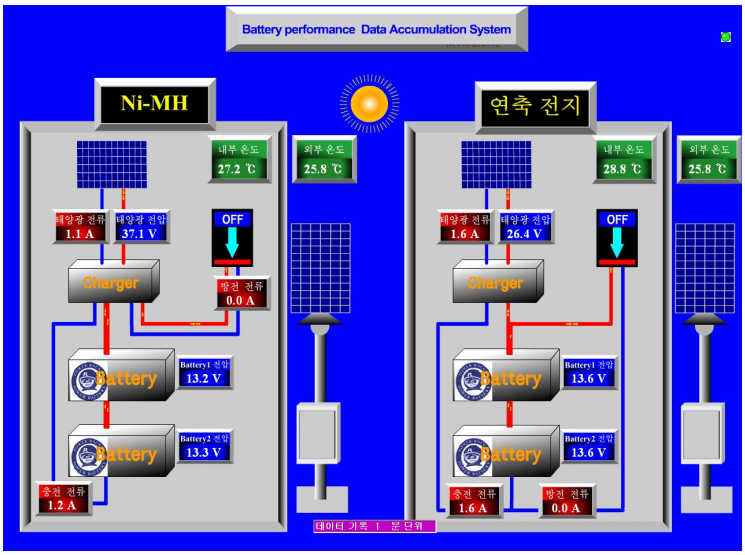


Fig. 4-17 Main Screen of PV Monitoring System

제5장 실 험

제1절 충방전제어 특성

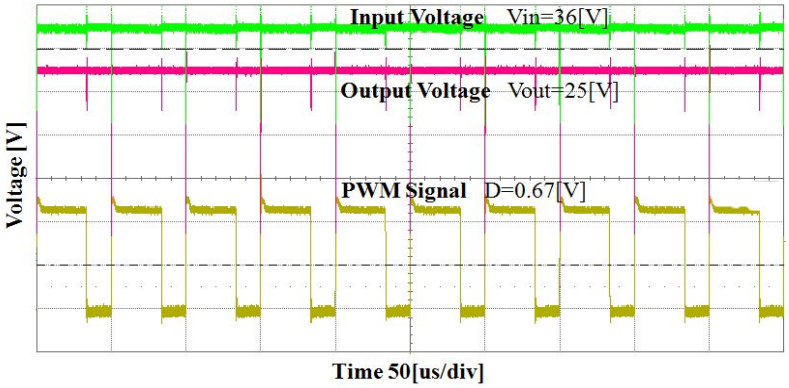
Ni-MH전지의 충전제어기는 제 3장 제 2절의 시뮬링크를 이용한 DC-DC 벅 컨버에 대한 시뮬레이션을 바탕으로 설계 구성하였다. 그림 5-1은 Ni-MH전지의 충전제어기의 각부 파형을 나타내고 있다.

그림 5-1 (a)는 Ni-MH전지의 충전제어기의 입력전원인 태양전지 출력 전압이 36[V]시 벅 컨버터를 통하여 25[V]로 강압되어 Ni-MH전지로 충전되며 이때 시비율은 0.67 임을 나타내고 있다.

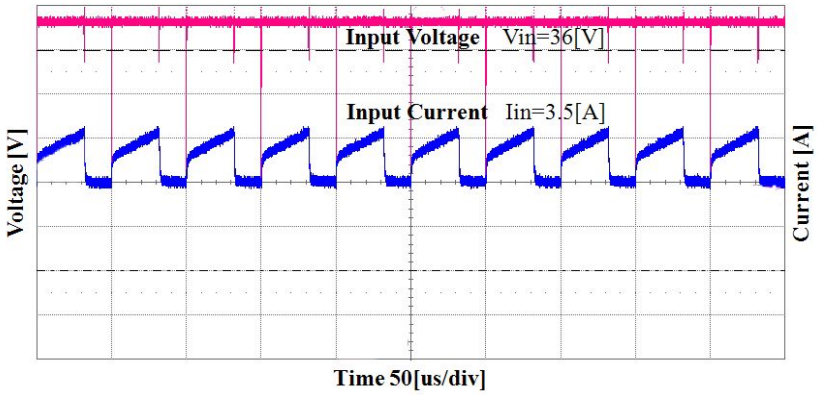
그림 5-1 (b)는 태양전지 전압은 36[V]이고 전류는 3.5[A]이고 스위치고 on 되면 도통되어 전류가 상승하고 스위치가 off 되면 차단되어 전류가 흐르지 않음을 알 수 있다.

그림 5-1 (c)는 충전제어기의 출력 즉 Ni-MH전지의 충전전압 및 전류를 나타내고 있다. Ni-MH전지는 태양전지의 높은 전압을 벅 컨버터를 통하여 25[V], 6[A]로 제어되어 충전됨을 알 수 있다.

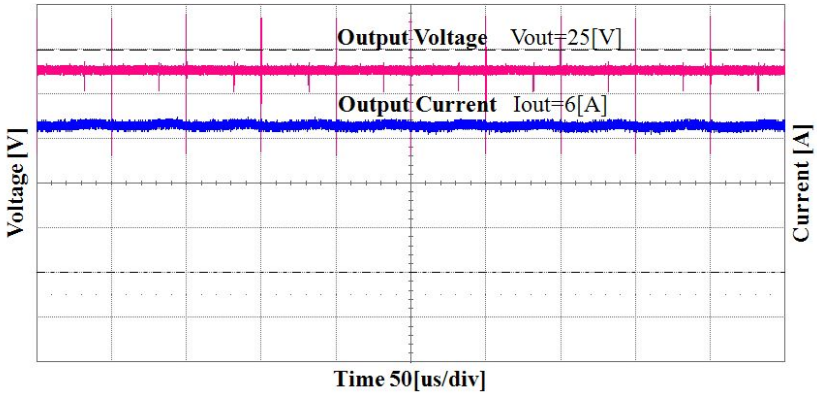
이는 시뮬링크를 이용한 DC-DC 벅 컨버터에 대한 시뮬레이션 결과와 일치하게 나옴을 알 수 있다.



(a) Input & Output Voltage



(b) Input Voltage & Current



(c) Output Voltage & Current

Fig. 5-1 Charge Controller Characteristics for Ni-MH Battery

제2절 시스템 출력 특성

1. 일일 운전특성

본 논문에서는 독립형 태양광 가로등시스템에 원격 데이터 취득 시스템을 구축함으로서 시스템의 운영 상태에 대한 여러 가지 정보를 수집하며, 이를 이용하여 축전지 및 시스템의 효율 및 운영 방법에 대한 문제점을 파악하고자 한다. 이에 대한 실험을 위하여 데이터 취득 시스템에 의하여 저장된 데이터를 분석하였다.

일일 독립형 태양광 가로등시스템의 부하 공급 패턴을 표 5-1에 나타내었고 그림 5-2는 부하 공급 패턴을 도식화 한 것이다. LED 전광판은 10시부터 12시까지, 15시부터 17시까지, 19시 30분부터 21시까지 전력을 공급하고 있으며, 19시 30분부터 익일 오전 6시까지 삼파장 램프에 전력을 공급하여 가로등을 가동하는데 밤 23시부터 24시까지는 행인이 적은 시간대로 가로등이 off 되도록 하였다. 이는 방전 제어 프로그램에서 심야에 전력 공급이 필요 없는 경우 휴지 시간을 삽입하여 축전지의 설계 용량을 감소하기 위한 운영 알고리즘이다.

LED의 경우 홍보하는 내용에 따라서 출력값이 심하게 변화되어지나 삼파장 램프의 경우는 일정한 출력 값으로 방전됨을 확인할 수 있다. 또한 LED 및 삼파장 램프가 동시에 켜지는 구간에서는 60W 이상의 방전 전력이 소비됨을 확인할 수 있다. 이와 같이 소형 독립형 태양광발전시스템의 충전이 완료된 후 버려지는 에너지를 LED 홍보 판넬을 이용하여 합리화할 수 있었다.

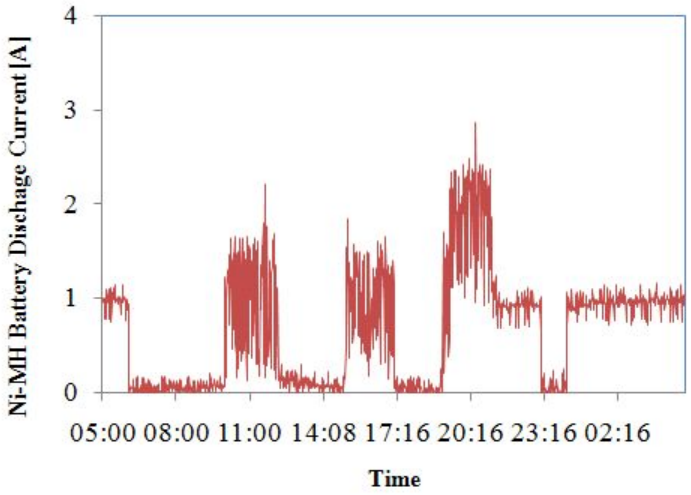


Fig. 5-2 Daily Load Patterns of Stand-alone PV Street-light Systems

Table 5-1 Load Patterns of Stand-alone PV Street-light Systems

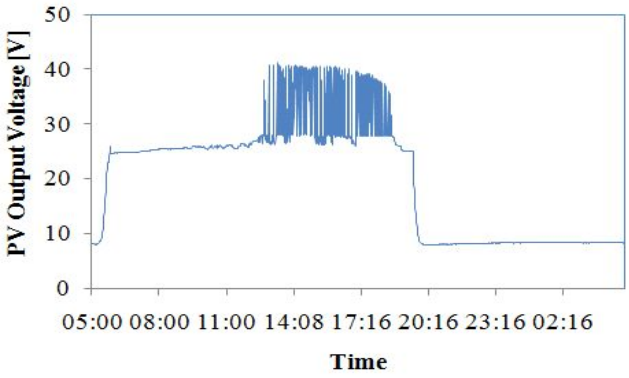
Time	Load			
	Lamp		LED	
	ON/OFF	On hours	ON/OFF	On hours
00:00~06:00	ON	6	OFF	-
06:00~10:00	OFF	-	OFF	-
10:00~12:00	OFF	-	ON	2
12:00~15:00	OFF	-	OFF	-
15:00~17:00	OFF	-	ON	2
17:00~19:30	OFF	-	OFF	-
19:30~21:00	ON	3.5	ON	1.5
21:00~23:00	ON		OFF	-
23:00~24:00	OFF	-	OFF	-

그림 5-3과 그림 5-4는 연축전지 시스템에 대하여 1일간 측정한 결과로서 그림 5-3은 일간 태양전지의 출력 전압, 전류 및 전력을 보여주고 있으며, 그림 5-4는 연축전지가 하루동안 충전 및 방전되는 전류, 전압 및 축전지 온도를 나타내고 있다. 그림에서 보여주는 바와 같이 태양전지 발생 출력은 축전지의 충전패턴과 동일한 패턴을 보여주면서 주간인 12시까지는 태양전지 발전이 증가에 따라서 증가하다가 축전지가 만 충전되는 시점 이후에는 태양전지 출력 발생이 제한되어지므로, 전류 및 전압 패턴이 증감 폭이 크게 나타난다.

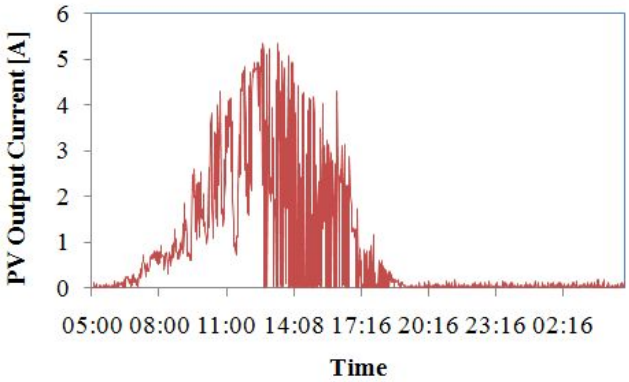
그림 5-4의 일일 연축전지의 운전 패턴을 보면 충전 전압은 28.8V정도에서 정전압 충전 방식이 채택됨을 알 수 있으며, 충전 중 축전지 온도는 약 35℃까지 상승하였다. 상기의 운영 패턴을 보면 여름철이 온도 상승에 따라서 충전 전압이 25℃기준이 28.8V까지 정전압 충전이 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다.

모든 2차전지의 수명은 충전 방식에 큰 영향을 받는데, 일반적으로 제조업체들은 사용용도 및 전지에 따라서 충전 방식을 별도로 제시하고 있는 실정이다. 그러나 소형 독립형 태양광 발전 시스템인 경우는 지금까지 충전 방식에 대한 연구 없이 설정 전압의 조절에 의하여 작동되어지는 정전압 충전 방식을 채택하고 있다. 이와 같은 정전압 충전 방식은 온도 보상 기능이 없이 일정한 전압에서만 제어함으로써 여름철인 경우 주위 온도가 고온에 따른 과충전 현상이 발생하고, 겨울철인 경우는 낮은 주위 온도하에서 충전 부족 현상이 발생할 수 있다.

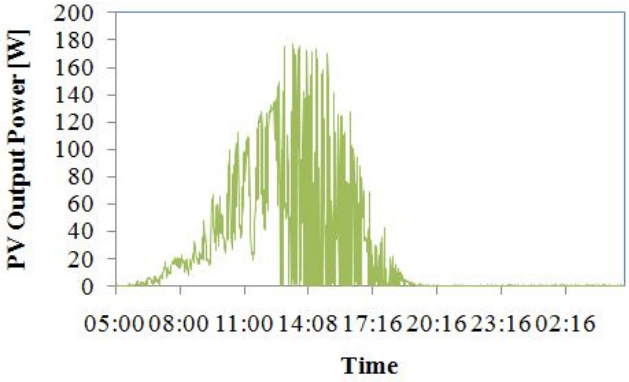
축전지 온도가 35℃상승하여도 축전지 충전 제어 전압이 28.8V로 유지되어지고 있다. 이는 일반적으로 제조업체들이 권장하는 온도에 따른 정전압 충전말기 전압(27V) 대비 1.8V이상 높은 값이다. 이와 같은 고온하에서 높은 충전 전압 제어는 축전지의 과충전 현상을 초래하여 과다한 가스 발생 및 전해액 감소를 유발하여 조기 용량 감소의 주요인으로 작용한다.



(a) Voltage

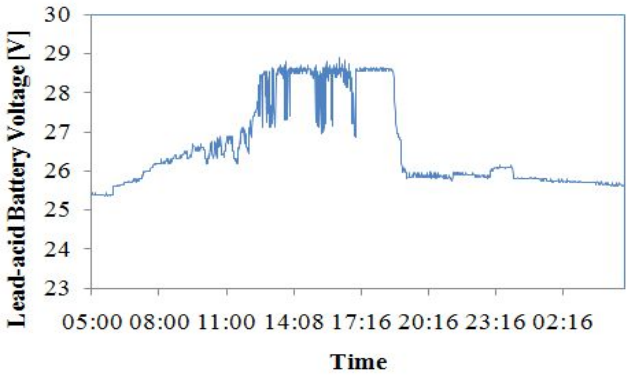


(b) Current

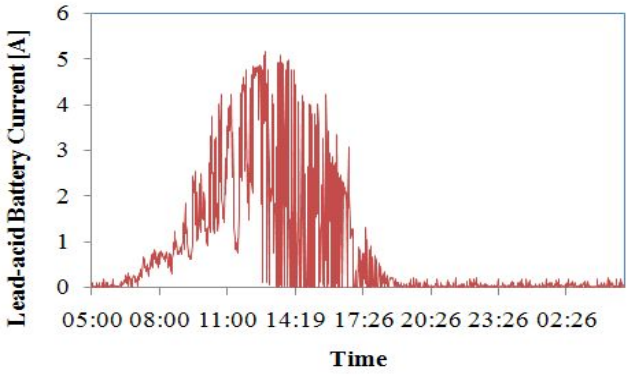


(c) Output Power

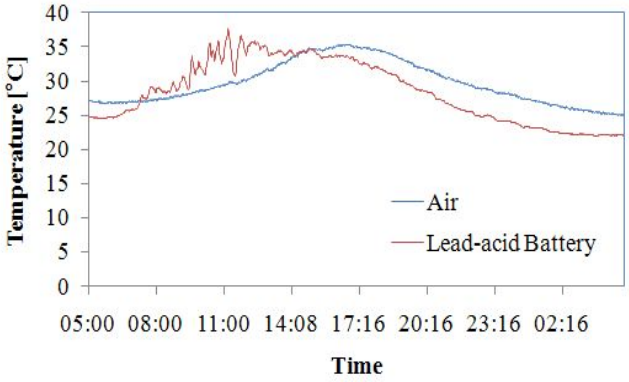
Fig. 5-3 Daily PV Output Patterns of Lead-acid Battery System



(a) Voltage



(b) Current



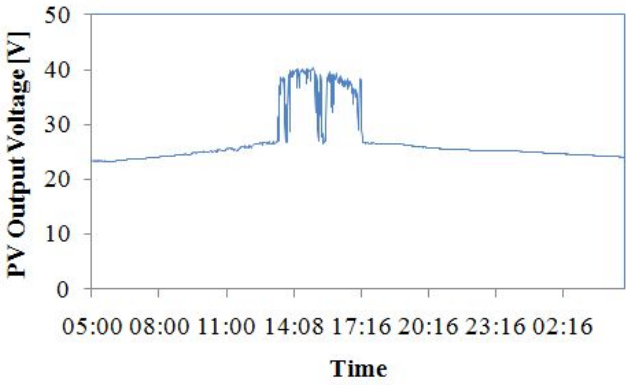
(c) Temperature

Fig. 5-4 Daily Charge Characteristics of Lead-acid Battery System

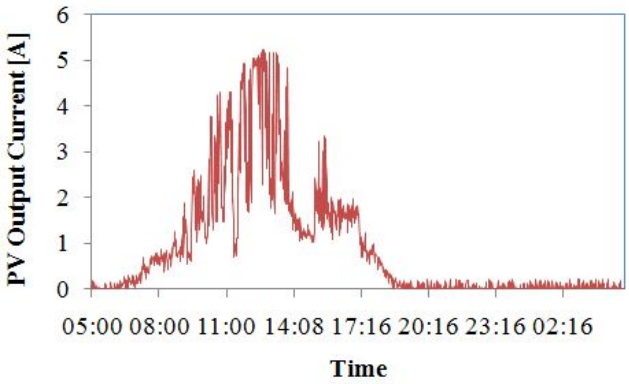
그림 5-5와 그림 5-6은 밀폐형 Ni-MH전지 시스템에 대한 1일간 측정 결과로서 그림 5-5는 밀폐형 Ni-MH전지의 일간 태양전지의 출력 전압, 전류 및 전력을 보여주고 있으며, 그림 5-6은 밀폐형 Ni-MH전지가 하루동안 충전 및 방전되는 전류, 전압 및 축전지 온도를 나타내고 있다.

밀폐형 Ni-MH전지 시스템인 경우도 연축전지 시스템과 동일한 결과를 얻을 수 있었으나, 그림 5-6의 밀폐형 Ni-MH전지의 충전 패턴을 보면 약 27.2V부근에서 정전압 충전 방식을 확인할 수 있었으며 축전지의 온도 상승도 35℃가 오후 15시 이후에 나타남이 연축전지와 차이이다. 이는 밀폐형 Ni-MH전지에 적용한 충전 시스템이 온도에 의하여 충전 말기 전압을 제어하기 때문으로써 축전지의 과충전 현상을 방지하여 축전지의 수명을 증가할 수 있을 것으로 판단되어 진다.

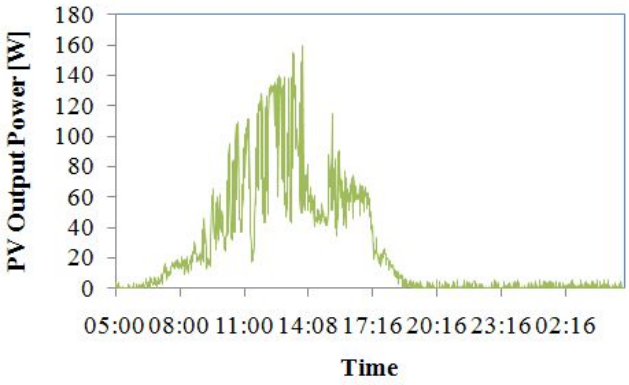
Ni-MH전지의 온도가 30℃상승됨에 따라서 축전지의 충전 말기 전압을 27.2V로 제어하며 이에 정전압 제어 패턴으로 충전되어진다. 축전지의 최대 온도는 35℃까지 상승되어지며 이는 연축전지가 38℃까지 상승하는 것에 비하여 양호한 결과이다. 이와 같은 충전 방식은 전압 상승으로 인한 과다한 가스 발생을 억제할 수 있다. 따라서 온도 보상에 따른 밀폐형 Ni-MH전지의 충전 방식을 개발은 태양광발전시스템의 유지 관리 측면에서 축전지의 장수명화를 실현하여 조기에 용량 감소로 인한 축전지 교체의 과다한 비용을 절감하는 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단되어 진다.



(a) Voltage

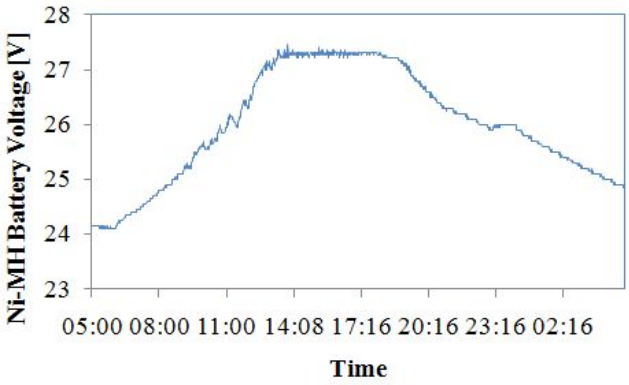


(b) Current

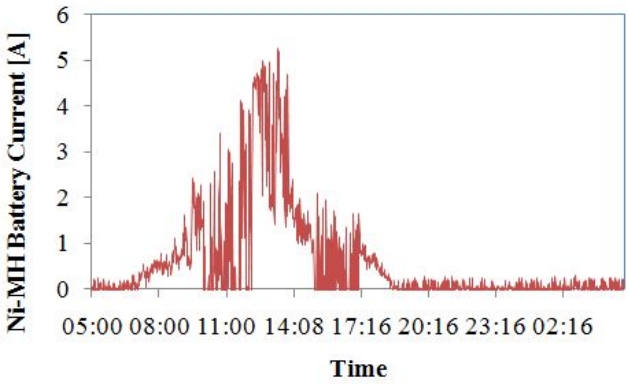


(c) Output Power

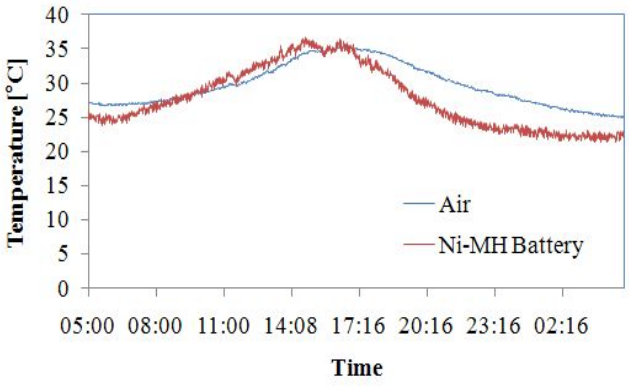
Fig. 5-5 Daily PV Output Patterns of Ni-MH Battery System



(a) Voltage



(b) Current



(c) Temperature

Fig. 5-6 Daily Charge Characteristics of Ni-MH Battery System

2. 축전지 운전 패턴분석

그림 5-7과 그림 5-8은 운전기간에 따른 축전지의 충전 말기 전압인 최대 전압과 방전 말기 전압인 최소 전압을 실증시험 일별로 나타낸 것이다. 더불어 기상청 자료에 나와 있는 광주 지역의 일조량도 같이 표시하였다.

결과에서 보여주는 바와 같이 연축전지의 전압 거동은 충전 말기 전압이 계절에 관계없이 28.8V의 부근까지 상승되어지나, 밀폐형 Ni-MH전지인 경우는 5월까지는 28V 부근까지 상승하나 그 이후에는 27V 부근에서 충전 말기 전압이 제어되어지며 10월 이후에는 다시 전압이 점차 상승되어짐을 확인할 수 있었다.

이와 같은 전압 제어는 그림 5-9에 나타난 운전 기간 중 축전지의 온도 변화로 설명할 수 있는데 5월말까지는 축전지의 온도가 30℃부근까지 상승하였다가 6월부터는 최대 온도가 40℃까지 상승되어지는데, 연축전지를 적용한 시스템인 경우 기존 상용화된 충전기를 사용함으로써 온도에 따른 제어 없이 최대 28.8V의 충전 말기 전압까지 정전압 충전이 진행되어지나, 밀폐형 Ni-MH전지인 경우는 온도 및 충전 전류에 따른 제어를 통하여 온도가 상승할 경우 충전 말기 전압을 낮추도록 설계되었기 때문이다.

독립형 태양광 가로등시스템과 같이 외부에 설치되는 축전지는 주변 온도의 영향(연 평균 기온 변화)을 크게 받고 있으며, 이와 같은 외부 영향에 대하여 시스템 설계시 고려하지 않을 경우 축전지의 수명을 급격하게 떨어뜨리는 문제가 야기될 수 있다.

축전지의 방전 전압은 연축전지 및 밀폐형 Ni-MH전지 모두 24~26V 사이의 방전 전압을 보여주고 있다. 이는 방전 제어 전압인 23V 이하로 떨어지지 않음으로써 부하에 지속적으로 전력이 공급됨을 확인할 수 있었다.

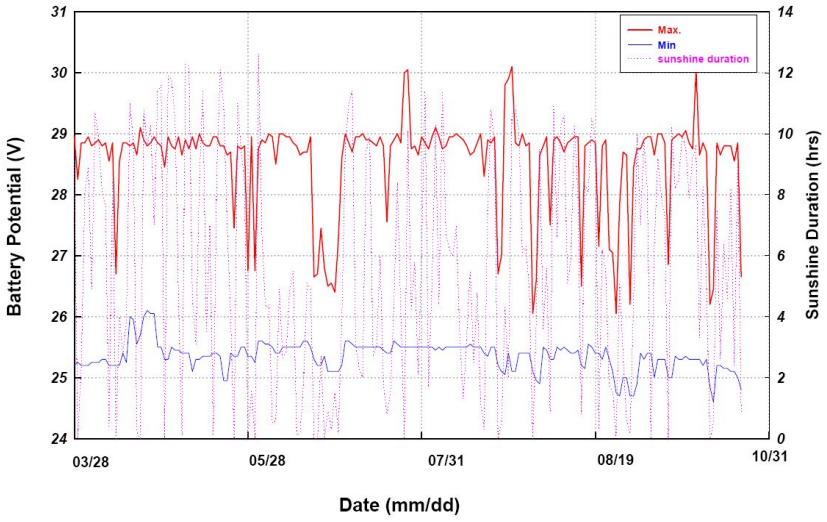


Fig. 5-7 Driving Voltage Characteristics of Lead-acid Battery

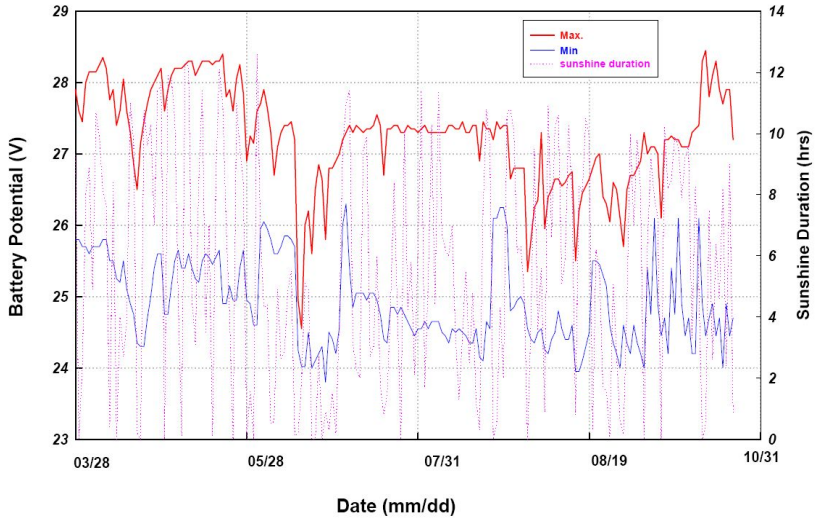


Fig. 5-8 Driving Voltage Characteristics of Ni-MH Battery

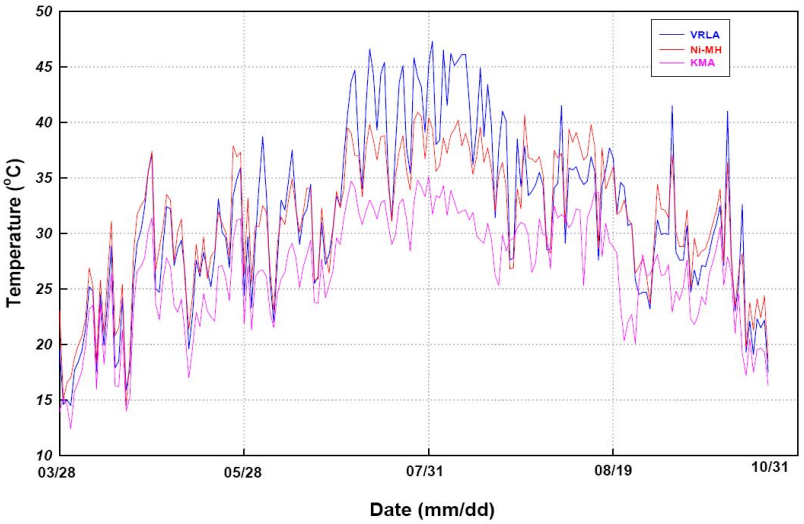


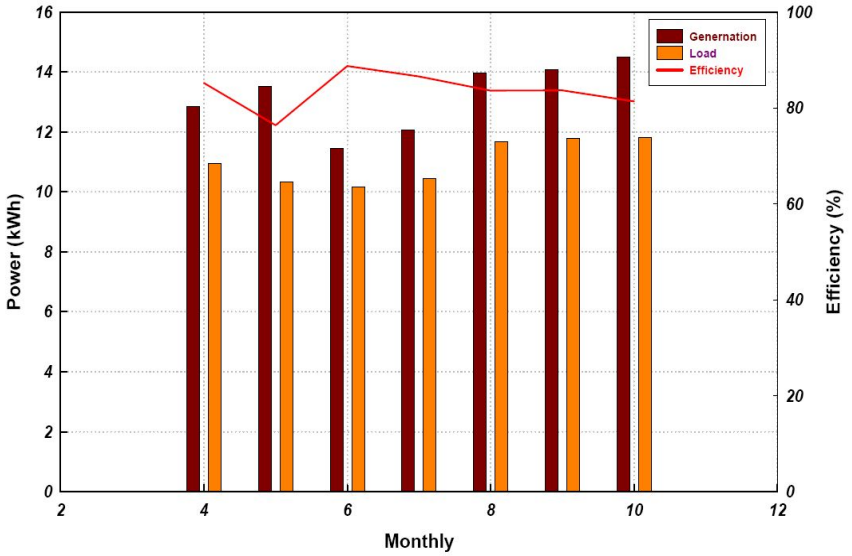
Fig. 5-9 Temperature Characteristics of the Battery during Operation

3. 실험 결과 고찰

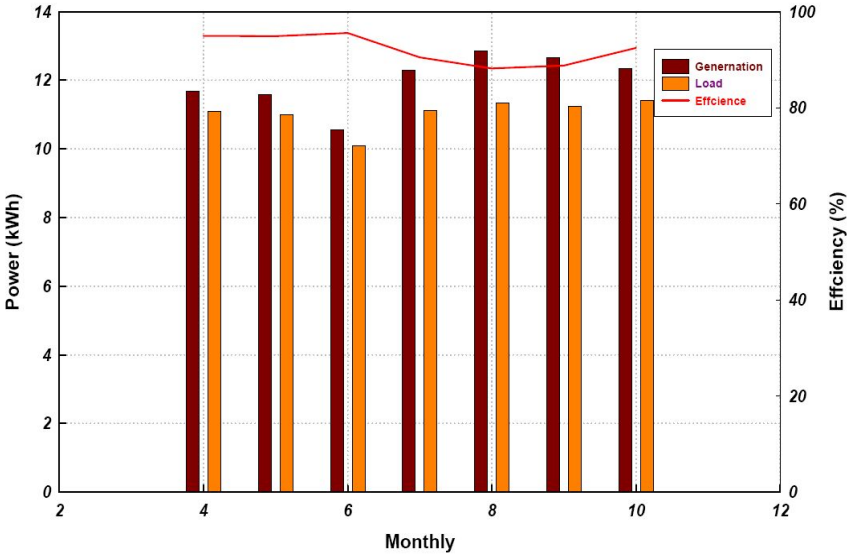
소형 독립형 태양광 발전 시스템 실증 실험에 따른 시스템의 월별 출력을 그림 5-13에 나타내었다. 그림 5-13 (a)는 연축전지 시스템에 대한 월별 발생 출력 결과이며, (b)는 밀폐형 Ni-MH전지 시스템에 대한 월별 발생 출력 결과이다.

결과에서 보여주는 바와 같이 연축전지와 밀폐형 Ni-MH전지 시스템이 부하에 공급되는 출력량은 동일한 값을 가지고 있으나 태양전지의 출력은 연축전지 시스템이 다소 높은 값을 보여주고 있다. 이는 소형 독립형 태양광 발전시스템의 출력은 축전지의 충전 상태에 따라서 좌우되는데 축전지가 만 충전이 일찍 완료된 경우 더 이상 태양전지는 발전을 수행하지 않는데, 이는 독립형 발전시스템의 단점으로 지적되어 진다.

따라서 밀폐형 Ni-MH전지의 경우의 충/방전 효율이 우수할 뿐만 아니라 온도에 따른 충전 말기 전압제어에 따른 과 충전으로 인한 에너지 손실을 최소화하기 때문에 밀폐형 Ni-MH전지의 발전량이 연축전지에 비하여 낮은 값을 나타내지만 동일한 부하 공급을 수행할 수 있는 것이다. 태양전지의 출력 이용률을 보면 연축전지인 경우가 평균 약 83.8%의 이용률을 보여주는 반면 밀폐형 Ni-MH전지인 경우는 92.2%의 높은 이용률을 가짐을 확인할 수 있었다.



(a) Lead-acid Battery



(b) Ni-MH battery

Fig. 5-10 Output Balance of Solar Power Generation

제6장 결 론

기후변화에 따라 발전 전력량이 일정하지 않는 독립형 태양광발전은 부하 전력조절을 통한 전력 평준화, MPPT를 통한 전력 안정화 등의 고 품질 전력 생산을 위해 전력저장장치가 필수적이며, 이를 위한 다양한 2차전지가 개발되었다. 지금까지 독립형 태양광발전시스템에 사용된 2차 전지는 납축전지나 Ni-Cd 전지인데 경제적, 환경적, 전지의 짧은 수명에서 많은 문제점들을 보여 왔다.

따라서 본 논문에서는 대기 오염 물질의 방출이 적고, 소음이 적은 환경친화적이며 고용량, 장수명의 전력저장장치인 Ni-MH전지를 독립형 태양광 가로등시스템에 적용하여 시스템의 안정성 및 신뢰성을 비교분석하였다.

Simulink를 이용하여 독립형 태양광발전시스템의 태양전지 모듈의 출력특성 및 MPPT 제어특성과 제안한 Ni-MH전지의 특성, 벅 컨버터를 이용한 충방전 제어특성에 관한 시뮬레이션을 수행하여 출력특성을 분석하였다.

또한 시뮬레이션을 바탕으로 마이크로프로세서를 이용하여 Ni-MH전지의 온도보상기능을 갖는 충방전 제어기를 설계 및 구현하고 충방전 특성을 고찰하였고 독립형 태양광 가로등 시스템에 적용하였으며 납축전지 및 Ni-MH 전지를 적용한 2기의 독립형 태양광 가로등 시스템을 구현하고 모니터링시스템을 구축하여 DB를 통하여 출력특성을 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 시뮬링크를 이용하여 Ni-MH 전지의 충전제어기에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며, Ni-MH전지 충전제어기의 입력전원인 태양전지 모듈의 출력전압이 36[V] 이고 출력전류가 3.5[A]인 경우 시비율 0.67에서 출력전압은 25[V]로 강압 되고 출력전류는 6[A]로 충전됨을 알 수 있었다.

2) 시뮬링크를 이용하여 태양전지 MPPT 제어 특성에 관한 시뮬레이션을 수행하였으며, P&O 제어 알고리즘은 자려진동을 함을 확인 할 수 있었고 IncCond 제어 알고리즘에 의한 MPPT 제어특성은 자려진동이 없으며 추적 속도도 빠르게 나타남을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

3) 시뮬레이션을 바탕으로 Ni-MH전지의 충전제어기를 설계 구성하였으며 입력전원인 태양전지 출력이 36[V], 3.5[A] 시 충전제어기인 벅 컨버터의 시비율은 0.67이고 Ni-MH전지는 25[V], 6[A]로 제어되어 충전됨을 알 수 있었으며 이는 시뮬링크를 이용한 DC-DC 벅 컨버터에 대한 시뮬레이션 결과와 일치함을 확인 하였다.

4) 연축전지의 충전 말기 전압이 계절에 관계없이 28.8V까지 상승하며 연축전지 온도는 45℃이상까지 상승하지만 온도 보상회로 추가한 밀폐형 Ni-MH전지인 경우는 봄, 가을, 겨울 기온이 낮을 때에는 28V까지 상승하나 기온이 높은 여름철에는 27V에서 충전 말기 전압이 제어됨으로서 전지의 최고 온도는 40℃로 낮아짐을 확인함으로써 온도 보상회로의 타당성을 입증하였다.

5) 태양전지의 출력 이용률은 연축전지 경우 평균 약 83.8%의 이용률을 보여주는 반면 밀폐형 Ni-MH 전지 경우는 92.2%의 높은 이용률을 나타냄으로서 같은 조건에서 Ni-MH전지의 이용율이 높게 됨을 확인하였다.

6) 실증운전기간동안 축전지의 잔존 용량 변화는 납축전지의 경우 잔존용량이 정격 용량 대비 64.6%로 감소되었으나 밀폐형 Ni-MH전지는 잔존 용량이 94%내외로 납축전지의 수명 종료 모드와 같이 과충전이 일어나는 여름철이 경과한 후에서 용량 변화가 나타나지 않음으로써 장수명의 가능성을 나타내고 있다.

향후 본 연구를 통해 독립형 태양광발전시스템의 원활한 보급과 최적 성능을 발휘할 수 있도록 시스템을 설계하기 위한 기초 자료로 활용하는데 기여할 것으로 사료된다.

참고문헌

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

[2] Kazuyoshi Tsukamoto, "Photovoltaic Power System Inter connected with Utility", Proceedings of the American Power Conference, Vol. 1 (1990), pp.276-281.

[3] Mohan Undeland Robbins, "*Power Electronics*", Wiley, Second Edition, 1995.

[4] M. Mirkaemi-Moud, B. W. Williams, "A Single Chip Pulse-Width Modulator Based on a Compressed Look-up Table", IEEE IECON, Vol. 1 (1992), pp. 246-251.

[5] H. J. Noh, D. Y. Lee, D. S. Hyun, "An improved MPPT converter with current compensation method for small scaled PV-applications", IEEE IES, Vol. 2 (2002), pp. 1113-1118.

[6] R. Andoubi, A. Mami, G. Dauphin, M. Annabi, "Bond graph modelling and dynamic study of a photovoltaic system using MPPT buck-boost converter", IEEE ICS, Vol. 3 (2002), pp. 200-205.

[7] Kitano, T., Matsui, M., De-hong Xu, "Power sensor-less MPPT control scheme utilizing power balance at DC link system design to ensure stability and response", IEEE IES, Vol. 2 (2002), pp. 1309-1314.

[8] Ruther R., Silva A., Montenegro A., Salamon I., Araujo R., "The petrobras 45.5 kwp, grid-connected PV system : a comparative study of six thin-film module types operating in brazil", Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Vol. 1 (2002), pp. 1440-1443.

[9] A. L. Fahrenbruch, R. H. Bube, "*Fundamental of Solar Cells*", Academic Press, New York, 1993.

[10] J. H. R. Ensil, "Maximum Point Tracking : A Cost Saving Necessity in Solar Energy Systems", IEEE PESC '90, Vol. 1 (1990), pp. 1073-1077.

[11] Victorio Arcidiacono, Sando Corsi, Luciano Lambri, "Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Power Plants", IEEE. Vol. 1 (1992), pp. 507-512.

[12] Wilamowski B. M., Xiangli Li, "Fuzzy system based maximum power point tracking for pv system", Proceedings of the 2002 28th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Vol. 4 (2002), pp. 3280-3284.

[13] Azedding Draou, "A New state Feedback Based Transient Control of PWM AC to DC Voltage Type Converters", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 10 (1995). pp 716-724.

[14] Hau-Chuen, K. T. Chau, "A Neural Network Controller for Switching Power Converter", IEEE PESC'93, Vol. 1 (1993), pp. 887-892.

[15] W. A. Lynch, M. Salameh, "Simple electro-optically controlled dual axis sun tracker", Solar Energy, Vol. 45 (1990), pp. 65-69.

[16] E. A. barber, H. A. Ingley, C. A. Morrison, "A solar powered tracking device for driving concentrating collectors", Alternative Energy Source, Vol. 1 (1977), pp. 527-539.

[17] B. P. Edwards, "Computer based sun following system", Solar Energy, Vol. 21 (1998), pp. 491-496.

[18] P. L. Swart, J. D. Van Wyk, "Source tracking and power flow control of terrestrial photovoltaic panels for concentrated sunlight", 12th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Vol. 1 (1998), pp. 700-705.

[19] P. O. Carden, "Steering A Field of Mirrors Using a shared Computer-based Controller", Solar Energy, Vol. 20 (1998), pp. 351-356.

[20] R. Zogbi, 0. Laplaze, "Design and construction of a sun tracker", Solar Energy, Vol. 33 (1984), pp. 369-372.

[21] P. Baltas, M. Tortoreli, P. E. Russell, "Evaluation of power output for the fixed and step tracking photovoltaic arrays", Solar Energy, Vol. 37 (1986), pp. 147-163.

[22] D. M. Nosher, R. E. Boese, R. J. Soukupt, "The advantage of sun tracking for planar silicon solar cells", Solar Energy, Vol. 19 (1977), pp. 91-97.

[23] B. Koyuncu, K. Balasubramanian, "Microprocessor control automatic sun tracker", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 37 (1991), pp. 913-917.

[24] Sode Shinni, Nmada Rumala, "A shadow method for automatic tracking", Solar Energy, Vol. 37, (1990), pp. 245-247.

[25] T. F. Elshatter, "Fuzzy Modeling of Photovolatic Panel Equivalent Circuit", Proceedings of the 28th Photovoltaic Specialists Conference, Vol. 1 (2000), pp. 1656-1659.

[26] Nagayoshi 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.

[27] Kotsopoulos A., Duarte J. L., Hendrix M. A. M., Heskes P. J. M., "Islanding behaviour of grid-connected PV inverters operating under different control schemes" Proceedings of the 2002 IEEE 33rd Annual IEEE Poser electronics Specialists Conference, Vol. 3 (2002), pp. 1506-1511.

[28] Noguchi Toshihiko, "Short-Current Pulse Based Adaptive Maximum-Power-Point Tracking for Photovoltaic Power Generation System", Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol. 1 (2000), pp. 157-162.

[29] Z. Salamed, D. Taylor, "Step-up Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays", Solar energy, Vol. 44 (1990), pp. 57-61.

[30] J. Y. Lim, I. S. Cha, "MPPT for Temperature Compensation of Photovoltaic System with Neural Networks", ISES'97, Vol. 1 (1997), pp. 275-277.

[31] Paul Batcheller, Ziyad Salam, "Microprocessor controlled maximum power point tracker for photovoltaic systems", The 1993 American Solar Energy Society Annual Conference, Vol. 1 (1993), pp. 101-104.

[32] K. Heumann, W. Wienhofer, “Optimization of Photovoltaic Solar Systems by Controlled DC-DC Converter under Consideration of Power-Output-Statistics”, IPEC-Tokyo '83, Vol. 1 (1984), pp. 1049-1060.

[33] Hideki Jonokuchi, Kazuo Nagatake, “A Carrier Frequence Modulation Method for Sinusoidal PWM Inverter”, IEEE IECON 88, Vol. 1 (1988), pp. 678-683.

[34] Bimal, K. Bose, “An Adaptive Hysteresis-Band Current Control Technique of a Voltage-Fed PWM Inverter for Machine Drive System”, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 37 (1990), pp. 684-689.

[35] “연료전지 기술/시장편람” 2004.

[36] T. W. Lee, S. J. Jang, H. K. Jang and C. Y. Won, "A Fuel Cell Generation System with a Fuel Cell Simulator", Journal of Power Electronics, KIPE, Vol. 5, No 1, pp. 1598-2092, 2005.

[37] Dr.F.Lasnier, Tony Gan Ang, "Solar Photovoltaic Handbook", Energy Technology Division Asian Institute of Technology, 1988.

[38] Qunying yao, D. G. Holmes, “A simple Novel Method for Variable-Hysteresis-Band Current Control of a Three Phase

Inverter with Constant Switching Frequency", IEEE IAS, Vol. 1 (1993), pp. 1122-1129.

[39] S. Y. R. Hui, I. Oppermann, F. Pasalic, "Microprocessor Based Random PWM Schemes for DC-DC Power Conversion", IEEE PECS, Vol. 1 (1995), pp. 307-312.

[40] Masato Hoshino, Gunji Kimula, Mitsuo Shioya, "DC-DC Converter and Inverter for Photovoltaic Modules", IECON. Vol. 1 (1998), pp. 569-574.

[41] G. J. Yu, J. S. Song, "Development of Power Converter for Photovoltaic System", Japan-Korea Joint Seminar on Technical digest photovoltaics, Vol. 1 (1995), pp. 247~254.

[42] G. J. Yu, "Application of Instantaneous Sinusoidal Current Tracking Control Inverter to Photovoltaic System", Int. PVSEC-5, Vol. 8-Ⅲ-3 (1990), pp. 661-668.

[43] G. L. Campen, "An Analysis of the Harmonics and Power Factor Effects at a Utility Intertied Photovoltaic System", IEEE Trans. Vol. PA101 (1982), pp. 4632-4639.

[44] P. J. Cession, W. J. Bonwick, "Experience with a sun tracker system", Solar Energy, Vol. 32 (1990). No. 1, 1984, pp. 3-11.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 부족한 저에게 세심한 지도와 배려를 아끼지 않으신 조금배 지도교수님께 진심으로 깊은 감사를 드립니다. 바쁘신 중에도 본 논문의 부족한 점을 지적해 주시고, 훌륭한 조언과 평소 많은 가르침을 주신 백형래 교수님, 이우선 교수님, 오금곤 교수님, 최연욱 교수님, 최효상 교수님, 김용재 교수님께 감사드립니다.

이 논문 완성에 많은 배려와 격려를 해 주신 학교법인 한국폴리텍 허병기 이사장님, 권일현 기획국장님, 정인학 학사팀장님께 깊은 감사드립니다.

아울러 김정구 운영국장님, 민병철 기획팀장님, 도재윤 연구팀장님, 송홍권 전산팀장님, 강희상 홍보팀장님, 김상일 예산팀장님, 장수룡 인사팀장님, 나문수 총무팀장님, 배규환 평가팀장님, 이연보 팀장님, 김문곤 팀장님, 손태일, 강갑술, 강구홍 교수님을 비롯한 학사팀 및 모든 법인 교직원께 감사의 마음을 표합니다.

또한 지난 박사과정 이수에 아낌없는 지원과 용기를 주신 한국폴리텍Ⅴ대학 정진서 학장님, 한국폴리텍Ⅴ대학 익산캠퍼스 김정기 학장님, 한국폴리텍Ⅱ대학 남인천캠퍼스 김창규 학장님, 권대주 처장님, 정종욱 단장님, 강신조 처장님, 박종필, 양정래 교수님을 비롯한 전기과 교수님과 박경수, 김영백, 김의곤, 최순호 교수님을 비롯한 모든 한국폴리텍Ⅴ대학 전 교직원님께 감사의 마음을 표합니다.

바쁜 일정에도 불구하고 학문적으로 많은 도움을 준 최문한, 박정극 박사님과 전력전자연구실의 학형들 및 동료 대학원생에게도 고마움을 표합니다.

그리고 평소에 많은 도움을 주신 한국산업인력공단 이융세 팀장님, 강석주 부장님, 이기만, 김운식, 권동호 선생님, 제주캠퍼스 이성탁 행정팀장님과 박석인을 비롯한 친구들에게도 고마움을 표합니다.

무엇보다도 괴롭거나 힘들 때 항상 뒤에서 사랑으로 보살펴 주신 어머님께 진심으로 감사드립니다. 또한 지금 건강상태가 좋지 않으신 외할머니와 작은 외삼촌, 외숙모, 이모, 이모부, 동생 범준에게도 이 기쁨을 전합니다. 저에게 항상 큰 힘이 되어 주신 큰아버지와 큰어머니, 미국에 계신 작은 아버지, 성수형, 상수형, 진수형, 관수, 누님들, 형수님에게도 함께 이 기쁨을 전합니다.

끝으로 어려운 여건 속에서 인내와 사랑으로 내조해 준 아내 조령이와 사랑스럽게 잘 자라준 큰딸 혜원이, 귀염둥이 아들 주영이와 이 기쁨을 함께 하고자 합니다.

2010년 7월 일

金 賢 喆

저작물 이용 허락서

학 과	전기공학과	학 번	20077388	과 정	박사
성 명	한글 : 김현철 한문 :金賢喆 영문 : Hyun-Chul Kim				
주 소	광주광역시 광산구 수완동 우미린아파트 105동 204호				
연락처	E-MAIL : khc1212@hanmail.net				
논문 제목	한글 :태양광 가로등용 Ni-MH 전지의 충방전 제어기에 관한 연구 영어 :A Study on the Charge and Discharge Controller of Ni-MH Battery for PV Street-Light 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(○) 반대( )

2010 년 7 월 일

저작자: 김 현 철 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하