

工學碩士 學位論文

태양광 기반의 해양시설물용
하이브리드 발전시스템에 관한 연구

A Study on the Photovoltaic-Based Hybrid
Power Generation System for a Light Buoy

指導教授 吳 珍 錫

2008年 2月

韓國海洋大學校 大學院

메카트로닉스공학과

李 綜 浩

<목 차>

List of Tables	II
List of Figures	II
Nomenclature	V
Abstract	IX
제 1 장 서론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적	3
제 2 장 등부표 전력시스템 발전환경 및 소모전력 특성	4
2.1 개요	4
2.2 등부표 시스템의 발전환경	5
2.3 등부표 시스템의 소모전력 특성	7
2.3.1 부하별 소모 전력량	7
2.3.2 지역별 등부표시스템의 발전 및 소모 전력량	10
제 3 장 등부표용 하이브리드 발전시스템	12
3.1 등부표용 하이브리드 발전 개요	12
3.2 태양광 발전	13
3.2.1 태양전지의 원리	13
3.2.2 태양전지의 특성	14
3.2.3 독립형 태양광 발전시스템	19
3.3 파력 발전	22
3.3.1 파력발전 개요	22
3.3.2 진동수주형 파력발전 원리	23

3.3.3 진동수주형 파력발전 장치의 운동 특성	24
제 4 장 하이브리드 발전시스템 구성	30
4.1 하이브리드 발전시스템의 구성	30
4.2 MPPT 제어기	32
4.2.1 태양전지판 특성	32
4.2.2 MPPT(Maximum Power Point Tracker)	33
4.2.3 MPPT 알고리즘	35
4.3 전원 및 부하 제어 시스템	37
제 5 장 실험 및 고찰	39
5.1 MPPT제어기	39
5.2 전력 및 부하 제어기	45
5.3 파력시뮬레이터	50
제 6 장 결 론	55
참 고 문 헌	56

<List of Tables>

Table 2.1 Power consumption & generation(Ulsan)	10
Table 2.2 Power consumption & generation(Incheon)	11
Table 5.1 Simulator properties	51

<List of Figures>

Fig. 2.1 Diagram of buoy power system	5
Fig. 2.2 Hourly average insolation in Seoul(2000)	6

Fig. 3.1	Generation principle diagram of photovoltaic cell	14
Fig. 3.2	The equivalent circuit of solar cell	15
Fig. 3.3	Short & open circuit of solar cell	15
Fig. 3.4	The voltage and current curve of solar cell	17
Fig. 3.5	V-I curve as function of temperature	18
Fig. 3.6	V-I curve as function of insolation	19
Fig. 3.7	The block diagram of stand-alone PV system for DC load	19
Fig. 3.8	The block diagram of stand-alone PV system for AC load	20
Fig. 3.9	Wave power generation with oscillating water column	23
Fig. 3.10	Design diagram of wave power generation system	24
Fig. 3.11	Added mass as a function of diameter	25
Fig. 3.12	Magnification factor as a function of frequency ratio	26
Fig. 3.13	Phase angle of equation(3.10) as a function of frequency ratio	27
Fig. 3.14	Phase angle of equation(3.14) as a function of frequency ratio	28
Fig. 4.1	Diagram of Hybrid power generation	30
Fig. 4.2	Characteristic of photovoltaic cell	32
Fig. 4.3	Block diagram of MPPT processing	33
Fig. 4.4	Basic diagram of buck converter	34
Fig. 4.5	Control algorithm for MPPT	35
Fig. 4.6	Block diagram of power and load controller	37
Fig. 4.7	Power & load controller algorithm	38
Fig. 5.1	Photograph of the MPPT controller	39
Fig. 5.2	Block diagram of MPPT experiment	40
Fig. 5.3	Waveforms of MPPT controller	42
Fig. 5.4	Block diagram of experiment system	43
Fig. 5.5	PV output(at 11a.m.)	44
Fig. 5.6	PV output(at 4p.m.)	44
Fig. 5.7	Photographs of the Power & load controller	46
Fig. 5.8	Waveforms of power connection	47
Fig. 5.9	Waveforms of main battery connection	48

Fig. 5.10 Waveforms of loads connection	49
Fig. 5.11 Block diagram of OWC simulator	50
Fig. 5.12 Photograph of OWC simulator	50
Fig. 5.13 Characteristics of generator output	53
Fig. 5.14 Characteristic of generator output as function of period and height ..	53

Nomenclature

A	:	다이오드 상수
A_1	:	챔버 단면적[m ²]
A_2	:	터빈출구 단면적[m ²]
A_{utp}	:	해수와 접하는 부이의 단면적 넓이[m ²]
b_0	:	챔버 선형감쇠계수[N-sec/m]
b_1	:	진동수주 선형감쇠계수[N-sec/m]
D	:	해수와 접하는 부이의 직경[m]
E_{CC}	:	충방전 조절기 부하량[Wh/day]
E_{DL}	:	필라멘트 전구 일일부하량[Wh/day]
E_{ef}	:	태양전지 시스템 효율
E_{LC}	:	섬광제어기 부하량[Wh/day]
E_{LL}	:	LED등명기 부하량[Wh/day]
E_{MO}	:	회전식 등명기 모터 회전부하[Wh/day]
E_{pv}	:	태양전지 용량[W]
E_{RC}	:	레이콘 부하량[Wh/day]
E_{sl}	:	경사면 일사량[Wh/m ²]
E_{solar}	:	태양전지 평균 발전용량[W]
E_{surge}	:	필라멘트 전구 요동전류[W/sec]
F_0	:	파력진폭[N]
f_c	:	진동수주 고유주파수[Hz]
f_z	:	챔버 상하진동 고유주파수[Hz]
g	:	중력가속도[m/sec ²]
H_d	:	야간 시간수[h/day]
H_{mo}	:	회전식 등명기 모터 일일 작동시간수[h/day]

H_{on}	: 일일중의 등화 작동 시수[h/day]
H_s	: 일일중의 일조 시간수[h/day]
I_d	: 암전류[A]
I_L	: 태양전지 출력전류[A]
I_l	: LED등명기 소모전류[A]
I_m	: 태양전지 최대출력 동작전류[V]
I_0	: 다이오드 포화전류[A]
I_{ph}	: 광전류[A]
I_s	: 램프 전류[A]
I_{sc}	: 태양전지 단락전류[A]
K	: 볼츠만 상수[1.38×10^{-23} J/K]
L_1	: 해수면에 잠긴 챔버길이[m]
m	: 챔버질량[kg]
m_w	: 챔버추가질량[kg]
N_{sc}	: 태양전지 매수
P_{ch}	: 충전방전 조절기 충전부하[W]
P_{no}	: 정지부하[W]
P_m	: 회전식 등명기 모터부하[W]
P_{off}	: 소등시 부하[W]
P_{on}	: 점등시 부하[W]
P_{roff}	: 레이콘 무활동부하[W]
P_{ron}	: 레이콘 작동부하[W]
P_{ss}	: 필라멘트 전구 점등상태의 전력수요[W]
P_0	: 챔버 유동압력[N/m ²]

q	: 전자의 전하량[$1.6 \times 10^{-19} \text{C}$]
R_0	: 부이 반지름[m]
R_1	: 챔버 반지름[m]
R_L	: 태양전지 부하저항[Ω]
R_s	: 태양전지 직렬저항[Ω]
R_{sh}	: 태양전지 병렬저항[Ω]
T	: 절대온도[K]
T_c	: 진동수주 진동주기[sec]
T_{flash}	: 등명기 섬광길이[sec]
T_{off}	: 대기시간[sec]
T_{on}	: 작동시간[h/day]
T_{period}	: 등화주기[sec]
T_z	: 챔버 상하진동 주기[sec]
V	: 태양전지 출력전압[V]
V_l	: LED등명기 소모전압[V]
V_d	: 다이오드 전압[V]
V_{oc}	: 태양전지 개방전압[V]
V_m	: 태양전지 최대출력 동작전압[V]
v_1	: 챔버내 공기속도[m/s]
v_z	: 챔버운동속도[m/sec]
z	: 기준해수면으로부터의 챔버 위치[m]
Δ_c	: 진동수주 감쇠비
Δ_z	: 챔버 감쇠비
η	: 기준해수면으로부터의 진동수주 위치[m]
λ	: 일사강도[W/m^2]

ρ_w	: 해수밀도[1,000kg/m ³]
σ_c	: 입사파와 진동수주간의 위상차[rad]
σ_z	: 입사파와 챔버간의 위상차[rad]
ω	: 각속도[rad/sec]
ω_z	: 챔버운동 각속도[rad/sec]
ω_c	: 진동수주 운동 각속도[rad/sec]
AIS	: Automatic Identification System(자동식별장치)
CDMA	: Code division multiple access(부호분할 다중접속)
GPS	: Global Positioning System(위성항법장치)
LED	: Light Emitting Diode(발광다이오드)
MOSFET	: Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (금속 산화막 반도체 전계 효과 트랜지스터)
MPPT	: Maximum power point tracker(최대전력추적기)
OWC	: Oscillating Water Column(진동수주, 振動水柱)
PWM	: Pulse Width Modulation(펄스 폭 변조)
VHF	: Very High Frequency(초단파)

A Study on the Photovoltaic-Based Hybrid Power Generation System for a Light Buoy

Jongho Lee

Abstract

A light buoy, located in a sea route where there is a lot of ocean traffic, is an essential facility for ship's safe navigation.

The power system for a light buoy used in Korea makes use of photovoltaic system. But, the power to be generated by the photovoltaic system is changed according to the amount of sunlight or weather conditions during winter season especially. And the power shortage of the light buoy system can occur due to the lack of solar energy.

Moreover, the power consumption of light buoy system is increasing gradually since the intensive control system for the remote monitoring of sea route has been recently adopted for the effective buoy management. And because of light buoy's structural characteristics, there is only limited capacity to use more solar cells to generate higher power output.

Therefore, it is not easy to supply the stable power to the light buoy system.

This paper aims to show how a hybrid power generation system can be designed with solar and wave energy that is suitable for a light buoy and be able to generate power for sufficient power

supplies.

Solar and wave energy complement each other. When solar power is not available in bad weather conditions, wave power can be used as a natural alternative. The hybrid power generation system can combine both energies and provide a consistent power supply.

This paper examines the basic principles of the photovoltaic cell and OWC-type wave energy device. And suggests how a solar / wave hybrid power generation system for a light buoy could be consisted.

Also, this paper describes a design of a MPPT controller to improve output of photovoltaic cell and describes a design of a power & load controller to control the hybrid power generation system.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

최근 들어 세계적으로 교역량이 급격히 증가하고 있으며, 이러한 물동량의 대부분은 선박에 의해 이송되고 있다. 해상에서 선박은 육상의 도로와 같은 항로를 통해 운항을 한다. 오늘날 전자기술의 급격한 발달로 GPS(Global Positioning System), 전자해도 등의 첨단 운항장비가 선박의 안전을 확보하기 위해 개발되어, 선박운항 측면의 안전은 과거에 비해 현저히 개선되었다. 그러나 해상 물동량의 증가는 운송 항로의 혼잡도를 크게 증가시켜 항해 안전성을 위협하게 되었다.

즉, 과거에는 항로의 중심을 따라서 항해를 하여도 서로 조우하는 선박이 그리 많지 않았기 때문에 항행의 안전이 위협을 받지 않았지만, 현재는 대형유조선, 천연가스 운반선, 컨테이너 운반선, 어선 등 수많은 선박이 원양구역 및 연안구역을 항해하고 있어 항해사고의 발생 가능성은 점차 높아지고 있다. 이러한 연안에서 좌초, 충돌 등의 해난사고가 발생하면 천문학적인 피해를 유발하게 되는데, 이러한 피해를 방지하기 위해서 항로를 정비하고 항로에 해상교통안전시설물을 설치·운영 하고 있다.

이러한 해상교통안전시설물의 대표적인 것이 등부표시스템으로, 최적의 선박운항 조건을 위해 정해진 규정에 따라 등부표를 설치하고, 등부표의 운용 및 관리를 지속적으로 수행하여 최적의 상태에서 동작 상태를 유지할 수 있도록 해야 한다.

등부표 시스템의 동작 상태를 최적화하기 위해서는 전력계통의 안정성 및 신뢰성을 확보하는 것이 필수적이다. 그러나 해상교통안전시설물에 사

용되는 전력체계는 다양한 환경(계절, 기상, 위도) 및 시스템적인 요인(태양전지판 용량, 연계시스템)에 따른 전력부족현상이 나타나고 있다. 최근의 해상교통안전시설물에 대한 전원공급시스템 실태조사 결과 63%가 축전지 수명개선이 시급하다고 답하였으며, 다음으로 충·방전 조절기에 대한 문제 개선이 31%의 답을 얻었다.

이와 더불어 현재 효율적인 항로표지의 관리를 위하여 24시간 항로표지 원격감시가 가능한 집약관리시스템이 도입되고 있으나 이에 따른 추가적인 전원공급의 문제, 축전지 및 기타 장치들의 설치의 문제 및 유지·보수의 문제 등이 크게 대두되고 있다.[1]

1.2 연구목적

효과적인 항로표지 관리를 위해 최근 도입되고 있는 집약관리시스템으로 인해 등부표에서 사용되는 전력량은 점차 증대되고 있으나, 등부표 특성상 설치상의 제약(공간적, 구조적)때문에 기존의 태양전지 용량증대로 인한 생산전력 향상은 한계를 가지고 있다. 이러한 문제점을 효과적으로 극복하기 위해서는 태양광 에너지와 함께 등부표 구조에 적합한 발전시스템을 이용한 복합발전 시스템이 구성되어야 한다.

따라서 본 논문은 선박안전운항에 필수적인 해상교통안전시설물에서 대두되고 있는 문제의 근본적인 원인에 대해서 능동적으로 대처하기 위해, 해양교통안전시설물에 적합한 복합전력시스템용 발전시스템을 개발하여 해상교통시설물의 안전을 도모하고, 관련 핵심기술을 확보하고자 한다.

현재 이용되고 있는 등부표 전력시스템의 발전환경 및 증대된 전력소모량을 분석하고 이를 바탕으로 하이브리드 발전시스템을 제안함으로써 전력부족현상을 해결하고자 한다. 하이브리드 발전에 이용되는 태양광발전의 기본원리와 기상에 따른 전력특성을 알아보고, 현재 일본에서 실용화되고 있는 OWC(Oscillating Water Column)형 파력발전의 특성을 분석, 등부표 적용 가능성에 대해 검토한다. 또한 기존 태양광 발전시스템의 성능 향상을 위해 항상 최대출력점을 유지할 수 있는 MPPT(Maximum Power Point Tracker) 제어기를 적용하고, 유지보수 및 신뢰성 측면에서 많은 문제점을 야기한 기존 아날로그 방식의 충·방전 조절기의 문제점을 극복하기 위해 태양광 기반의 하이브리드(태양광+ 파력) 전력공급시스템에 적합한 하이브리드 발전체계용 제어기를 개발하여 등부표 전력시스템의 안전성을 도모함으로써 궁극적으로 선박의 안전항해 여건을 개선하고자 한다.

제 2 장 등부표 전력시스템 발전환경 및 소모전력 특성

2.1 개 요

선박이 안전한 항해를 하기 위해서는 기회가 있을 때마다 항상 선위(船位)를 확인할 필요가 있다. 연안을 항해할 때나 출입할 때에는 육상의 뚜렷한 목표를 이용하지만, 뚜렷한 목표가 없는 곳이거나 야간에 항행할 때에는 이들만으로는 선위의 확인이 곤란하다. 그래서 선박의 교통량이 많은 항로·항구·만(灣)·해협, 그리고 암초(暗礁)가 많은 곳에서는 등광·형상·색채·음향·전파 등의 수단에 의하여 선박의 항행을 돕기 위한 인위적인 시설이 필요한데, 이것을 항로표지라 한다. 항로표지의 종류에는 야간표지(등대·등주·등부표)·주간표지(입표·부표)·음향표지(공중음 신호·다이아폰)·무선표지(레이더반사기·레이마크 비콘)등이 있다.

본 논문에서 언급되는 등부표는 빛을 이용한 야간표지의 한 종류로 야간표지의 기본요건은 아래와 같다.

- 가. 요구되는 범위 내에서 충분히 볼 수 있을 것.
- 나. 항해자가 다른 등화와 식별할 수 있도록 등광에 특징을 두어 관측자가 명확하게 구분할 수 있을 것.
- 다. 섬광의 점멸이 적당한 주기를 가져 항해자가 쉽게 식별할 수 있을 것.
- 라. 등명기, 광원 및 전원공급시스템은 효율이 높고 신뢰성이 있을 것.

이러한 기본요건을 이루기 위해서는 반드시 고려되어야 하는 것이 안정적이고, 신뢰성 있는 항로표지용 전원공급시스템 구축이다.

2.2 등부표 시스템의 발전환경

현재 등명기용 전원공급시스템은 태양전지판(56W급, 75W급, 80W급) 2매, 충·방전조절기(12V-5A, 12V-10A), 축전지(2V, 400AH ×6개)등으로 주로 구성되어 있다. 또한 현재 울산, 인천 등 지방해양수산청 관할 항로표지에 대하여 집약관리시스템을 구축 운영하고 있으며, 앞으로 전국 항로표지에도 집약관리시스템을 적용할 계획에 있다. 이렇게 항로표지의 현대화 계획이 진행됨에 따라 전력부족에 대한 문제점들이 점점 대두되고 있는 실정이며, 실제로 동절기 평균발전량 보다 장비의 전력소모량이 초과하여 잦은 소등복구 및 축전지 교체로 점검정비 업무가 증가하고 있다. 따라서 이러한 전력부족 현상을 해결하기 위해 등부표 시스템의 전력생산량을 향상 시킬 필요가 있는데, 태양전지 용량의 증대를 통한 전력생산량 향상은 등부표의 공간적 제약으로 인해 어려운 실정이다.

Fig. 2.1은 현재 이용되고 있는 등부표의 발전 시스템이다.

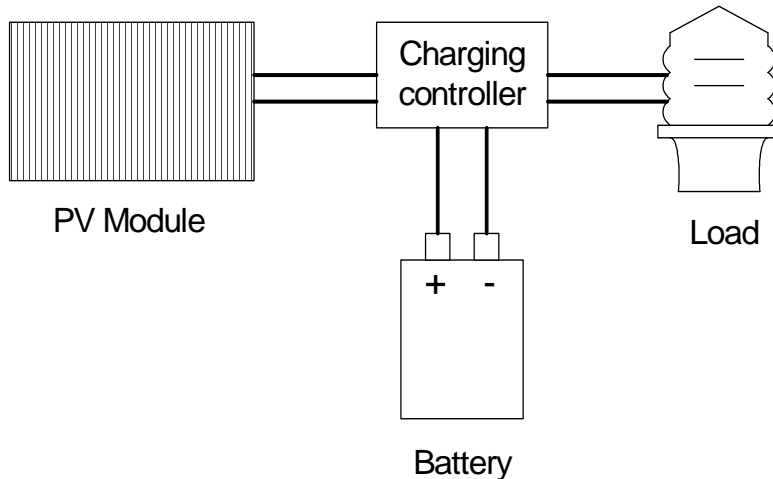


Fig. 2.1 Diagram of buoy power system

태양광 발전 시스템에서 일사량은 직접 이용되는 에너지원으로서 발전량에 절대적인 영향을 미친다. 이러한 일사량은 시간별, 일별, 월별 그리고 연도별로 나누어 분석할 수 있다. Fig. 2.2는 2000년도 서울지역 시간평균 일사량의 변화를 계절별로 보여주고 있다.[2]

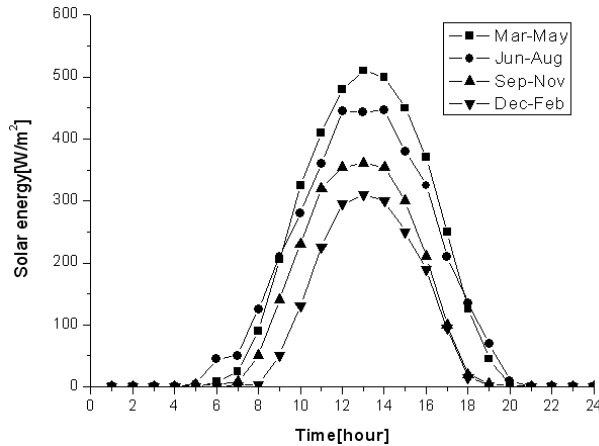


Fig. 2.2 Hourly average insolation in Seoul(2000)

계절적 특징을 살펴보면, 겨울과 가을에 비해 여름과 봄에 일사량이 상대적으로 높은 것을 알 수 있으며 시간적으로는 오후 1시경이 가장 높은 것을 알 수 있다. 이러한 시간별 일사량의 변화는 부하의 시간별 특성과 관련하여 태양전지 및 축전지의 크기를 결정하는 자료가 된다. 태양전지의 평균 발전용량은 다음 식 (2.1)을 통해 구할 수 있다.

$$E_{solar} = E_{pv} \times N_{sc} \times E_{sl} \times E_{ef} \quad (2.1)$$

여기서 E_{pv} [W]는 태양전지 용량, N_{sc} 는 태양전지 매수, E_{sl} [Wh/m²]은 경사면 일사량, E_{ef} 는 시스템 효율이다.

2.3 등부표 시스템의 소모전력 특성

2.3.1 부하별 소모 전력량

등부표 시스템에 사용되는 부하는 등명기(필라멘트 전구, LED 전구), 충방전 조절기, 레이콘, VHF무선방식의 집약관리시스템, AIS방식의 집약관리시스템 등이 있으며, 각각의 부하량 계산은 다음과 같다.[3]

가. 필라멘트 전구의 부하

필라멘트 전구는 일반적으로 필라멘트의 요동 전류(surge current) 때문에 LED형 전구 보다 더 많은 전류 소모하는데, 이를 토대로 일일 부하량을 살펴보면 다음 식과 같다.

$$E_{DL} = [(E_{surge} + (P_{ss} \times T_{flash})] \times \frac{H}{T_{period}} \quad (2.2)$$

여기서, E_{DL} [Wh/day]는 일일부하량으로 1섬광 동안의 총 소모에너지 x 하루동안의 총 섬광횟수로 구한다.

P_{ss} [W]는 램프 점등상태의 전력수요, T_{flash} [sec]는 섬광길이, T_{period} [sec]는 등화주기, H_{on} [h/day]은 일일중의 등화 작동 시수 이다.

또한 E_{surge} [W/sec]는 요동과 관계된 전력 소모분으로 통상의 항로표지 조명램프의 동요 계수를 고려한 식으로 다음 식과 같다.

$$E_{surge} = 0.1019I_s^2 + 1.24I_s - 0.3341 \quad (2.3)$$

여기서 I_s 는 램프의 전류(A) 이다.

나. 섬광제어기의 부하

섬광제어기의 부하량 E_{LC} [Wh/day]는 다음식과 같다.

$$E_{LC} = (P_{no} \times H_s) + \left[P_{off} \times (T_{period} - T_{flash}) \times \frac{H_{on}}{T_{period}} \right] + \left(P_{on} \times T_{flash} \times \frac{H_{on}}{T_{period}} \right) \quad (2.4)$$

여기서 P_{no} [W]는 정지부하로 장비의 일부가 무부하 작동중 또는 감시상태일 때의 부하, H_s [h/day]는 일일중의 일조 시간수, P_{off} [W]는 소등시 부하, P_{on} [W]은 점등시 부하 이다.

다. 모터 회전 부하(회전식 등명기 적용)

회전식 등명기에서 모터 회전부하 E_{MO} [Wh/day]는 다음식과 같다.

$$E_{MO} = P_m \times H_{mo} \quad (2.5)$$

여기서 P_m [W]은 모터부하, H_{mo} [h/day]는 일일 작동시간수 이다.

라. LED 등명기의 부하

LED 등명기의 경우 요동전류를 무시할 수 있으므로 부하 E_{LL} [Wh/day]는 다음 식과 같다.

$$E_{LL} = (V_l \times I_l) \times T_{flash} \times \frac{H_{on}}{T_{period}} \quad (2.6)$$

여기서 V_l [V]는 등명기 소모전압, I_l [A]은 등명기 소모전류이다.

마. 충전전 조절기 부하

충방전 조절기 부하량 E_{CC} [Wh/day]는 다음 식과 같다.

$$E_{CC} = (P_{ch} \times H_s) + (P_{no} \times H_d) \quad (2.7)$$

여기서, P_{ch} [W]는 충전부하, P_{no} [W]는 정지 부하, H_d [h/day]는 야간 시간수이다.

바. 집약관리시스템 부하

집약관리시스템 부하의 경우 통신방식, 통신회수, 설치장비에 따라 그 부하량이 달라진다.

- 범용 VHF 방식

VHF 무선장치 소모전류 : 작동시 1.5A, 대기시 0.1A

DATA 처리장치 소모전류 : 작동시 0.5A, 대기시 0.05A

GPS장치 소모전력 : 0.9W(24시간 작동)

통신시간 : 주간 60분당 1회, 야간 30분당 1회, 1회당 1분소요

- AIS 방식

기능감시 매 5분, 송신 매 10분일 때 소모전류 = 3.8Ah/day

기능감시 매 3분, 송신 매 3분일 때 소모전류 = 12.1Ah/day

- CDMA 방식

실시간 감시 및 송신 소모전류 = 7.2Ah/day

사. 레이콘 부하

레이콘은 선박에 탑재된 수신기로 레이더 신호를 발사하여 선박의 위치를 알게 해 주는 장치로, 레이콘 부하량 E_{RC} [Wh/day]는 다음 식을 통해

구할 수 있다.

$$E_{RC} = [(P_{ron} \times T_{on}) + (P_{roff} \times T_{off})] \quad (2.8)$$

여기서 P_{ron} [W]은 작동부하, P_{roff} [W]는 무활동 부하, T_{on} [h/day]은 작동시간, T_{off} [h/day]는 대기시간이다.

2.3.2 지역별 등부표시스템의 발전 및 소모 전력량

상기 부하식을 이용하여 등부표의 총 여유전력량을 계산하면 다음 표와 같다.[4]

Table 2.1 Power consumption & generation(Ulsan)

태양적위	-23.43도	위도 (동지기준)	35.5도
일조시간	9.76시간	야간시간	14.24시간
섬광주기	4초	섬광시간	1초
LED등명기 전압	12V	LED등명기 전류	2A
등명기 일일부하량	85.43Wh/day	충전부하	0.36W
무활동부하	0.36W	충방전조절기 부하	8.64W
집약관리시스템 부하(VHF)	78.12W	태양전지 용량	75W×2
경사면 일사량	1762KWh/m ² day	태양전지 발전용량	184.43Wh/day
일일전력 사용량	172.19Wh/day	현 시설 기준 여유전력량	12.24Wh/day

Table 2.2 Power consumption & generation(Incheon)

태양적위	-23.43도	위도 (동지기준)	37.5도
일조시간	9.58시간	야간시간	14.42시간
섬광주기	5초	섬광시간	1초
LED등명기 전압	12V	LED등명기 전류	2A
등명기 일일부하량	69.23Wh/day	충전부하	0.36W
무활동부하	0.36W	충방전조절기 부하	8.64W
집약관리시스템 부하(VHF)	73.68W	태양전지 용량	80W×2
경사면 일사량	1346KWh/m ² day	태양전지 발전용량	150.28Wh/day
일일전력 사용량	151.55Wh/day	현 시설 기준 여유전력량	-1.27Wh/day

북위 35.5도의 울산기준 75W급 태양전지 2매 설치 시 12.24Wh/day의 전력여유분이 발생하지만, 북위 37.5도의 인천기준 시 80W급 이상 태양 전지 2매 설치, 섬광주기 5초, 주야간 모두 60분에 1회씩만 통신할 경우에도 1.27Wh/day의 전력부족량이 발생한다.

제 3 장 등부표용 하이브리드 발전시스템

3.1 등부표용 하이브리드 발전 개요

태양광, 태양열, 풍력, 파력등과 같은 재생에너지는 그 특성상 기상에 따라 출력이 급변한다. 따라서 하나의 재생에너지만을 이용한 전력시스템의 구성은 필연적으로 발전전력의 불규칙성을 보이는데 이러한 단점을 보완하기 위해 여러 가지 재생에너지를 조합한 발전시스템이 하이브리드 발전 시스템이다. 현재 등부표의 전원시스템으로 이용되는 태양광발전 또한 재생에너지의 한 종류로 그 특성상 기상에 따라 출력이 급격하게 변한다. 태양에너지는 비·눈 또는 구름에 가려 햇빛이 비치지 않는 날이나 밤에는 전기를 발생하지 않고, 계절적으로도 겨울보다는 여름에 이용 가능한 에너지의 양이 많다고 할 수 있다. 또한 에너지 밀도가 낮은 단점이 있다. 따라서 태양광 에너지만을 이용하는 현재의 등부표 시스템은 전력생산에 불안정성 요소를 가지고 있다.

그러므로 본 논문에서는 이러한 문제점 해결을 위해 태양광에너지와 파력에너지를 이용한 하이브리드 발전시스템을 제안한다.

태양에너지와 파력에너지는 서로 상반된 기상에서 높은 효율을 보인다. 파력에너지는 대체로 밤에 강하고 계절적으로는 겨울에 강하다. 이러한 태양에너지와 파력에너지의 상호보완성을 이용하여 복합발전을 하게 된다면 단독운전시에 비해 보다 안정된 에너지를 확보하여 전체 시스템의 안정도를 높이고 축전지의 충전효율을 높여 수명을 연장하는 효과를 얻을 수 있다.[5]

3.2 태양광 발전

태양 전지는 광기전력효과(Photovoltaic effect)에 의해 태양광 조사에너지를 전기에너지로 직접 변환 할 수 있는 반도체 소자의 하나이다. 이것을 이용한 발전시스템은 다른 발전시스템과 비교하여 태양전지, 축전지, 전력변환장치 등으로 구성되는 단순한 시스템이며 기본적으로 가동부분이 없기 때문에 보수 점검이 매우 편리하고 무인자동화 운전이 가능하고 그 운용에 있어서 지구환경에 악영향을 주는 배출물이 없어 차세대 에너지원으로 각광받고 있으며 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다.

또한 수용지점에 근접하여 설치가 가능함으로 송전손실이 매우 적으며, 시스템의 효율은 기본적으로 규모에 의존하지 않기 때문에 소규모 발전에서도 충분한 성능을 발휘할 수 있어 상용전원의 접근이 어려운 등부표의 전원시스템으로 널리 이용되고 있다.

그러나 아직까지는 사용전원에 비하여 발전전력은 기상조건 등에 의해 크게 영향을 받는 등 불안전하며, 일사 에너지 밀도가 낮기 때문에 대규모 발전에는 광대한 면적을 필요로 하고 설비비가 높으며 한정된 일조시간 때문에 발전시간이 제한을 받는 등의 단점이 있다.

태양전지판의 출력특성은 일사량, 온도 등에 따라 변화하고 최대출력점은 시시각각 변하기 때문에 변환효율이 매우 낮은 태양전지에서 많은 전기에너지를 얻기 위해서는 태양전지의 동작점을 항상 최대 출력점에서 동작할 수 있도록 해야 한다.

3.2.1 태양전지의 원리

태양전지는 실리콘의 반도체 소자가 광 에너지를 받아서 전기에너지로

변환하는 특성인 광기전력 효과(Photovoltaic effect)와 광전류 효과(Photo-current effect)를 이용하는 다이오드접합(Diode junction) 구조를 갖는 반도체 소자이다. 아래 Fig. 3.1은 태양전지 발전원리도 이다.

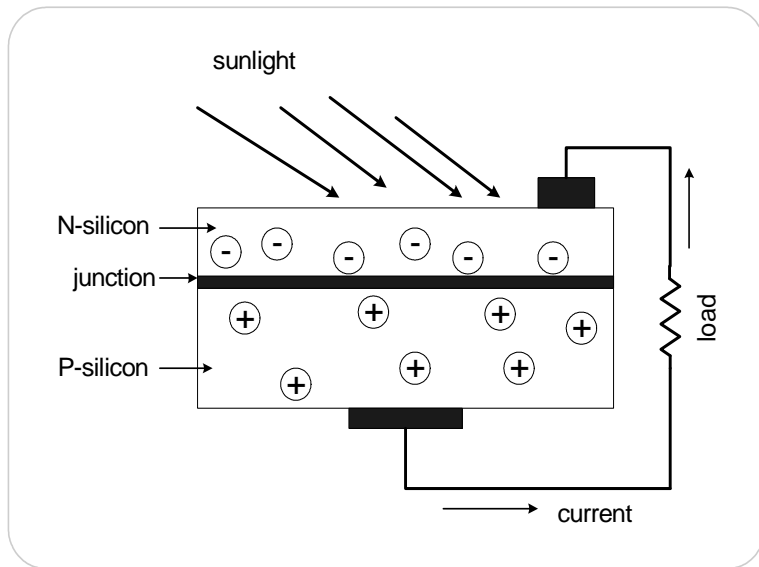


Fig. 3.1 Generation principle diagram of photovoltaic cell

태양전지가 빛을 받으면 광기전력 효과에 의하여 태양전지 내부에 침투한 광자(photon)는 반도체 내부에서 전자(electron)-정공(hole) 쌍을 발생시킨다. 그리고 전자는 (-) 전극으로, 정공은 (+) 전극으로 모이게 된다.

여기에 태양전지 양단 전극에 외부의 도선을 연결시키면 전류가 (+)극에서 (-)극으로 흐르게 된다.

3.2.2 태양전지의 특성

태양전지는 한 개의 이상적인 다이오드와 특정한 크기를 갖는 정전류원

으로 구성되어 있지만, 실제로 이상적인 다이오드를 제작하는 것이 불가능하므로 접촉저항 및 표면층의 시트(sheet)저항 등을 표시하는 직렬저항과 병렬저항을 고려해야 한다. 태양전지 표면에 입사하는 빛의 일부는 표면에서 반사되며, 표면을 투과한 빛은 태양전지 내에서 흡수되어 광자수는 지수 함수적으로 감소한다. [6]-[7]

Fig. 3.2는 빛이 조사될 때 광기전력 효과)를 이용한 태양전지의 등가회로를 보여주고 있다.

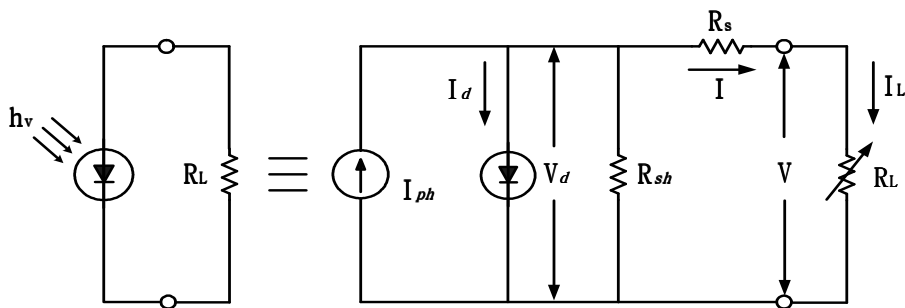


Fig. 3.2 The equivalent circuit of solar cell

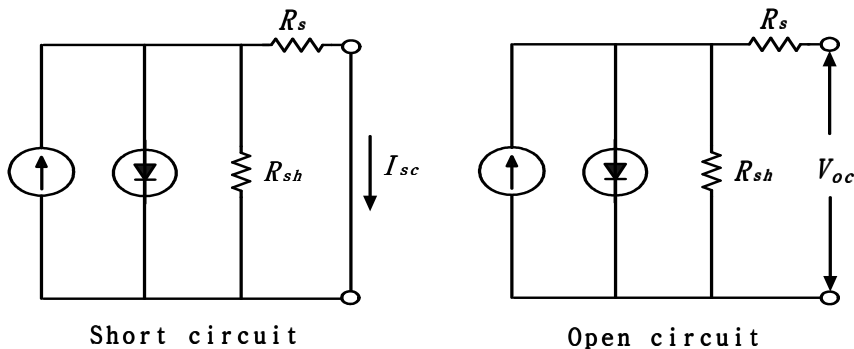


Fig. 3.3 Short & open circuit of solar cell

여기서 I_{ph} [A]는 입사된 빛에 의해 생성된 캐리어(Carrier)가 외부로부터 방해받지 않을 때 폐회로를 통해 흐르는 광전류이고, I_d [A]는 빛이

조사되지 않은 상태에서 태양전지에 흐르는 다이오드의 암전류이다. 병렬 저항 $R_{sh}[\Omega]$ 는 이상적인 다이오드 특성에서 벗어나 일정한 상수저항으로 표시되는 누설저항을 나타내며, $R_s[\Omega]$ 와 $R_L[\Omega]$ 은 각각 전지 내부에 존재하는 직렬저항과 외부에서 걸어주는 부하저항을 나타낸다. 등가회로에서 태양전지의 출력과 관계된 수식들은 다음과 같다.[8]-[10]

$$I_L = I_{ph} - I_d - \frac{V_d}{R_{sh}} = I_{ph} - I_0 \left(\exp \frac{qV_d}{AKT} - 1 \right) - \frac{V_d}{R_{sh}} \quad (3.1)$$

여기서, I_L 은 출력전류, $I_{ph}[\text{A}]$ 는 광전류, $I_0[\text{A}]$ 는 다이오드 포화전류, A 는 다이오드 상수, $T[\text{K}]$ 는 절대온도, K 는 볼츠만 상수, q 는 전자의 전하량이다. 또한, $V_d[\text{V}]$ 는 Fig. 3.2의 다이오드 양단에 걸리는 전압으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_d = V + IR_s \quad (3.2)$$

따라서 식 (3.1)의 태양전지 출력전류를 다시 구하면 식 (3.3)과 같다.

$$I_L = I_{ph} - I_0 \exp \left[\frac{q(V + IR_s)}{AKT} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (3.3)$$

이때, Fig. 3.2에서 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 에 의한 영향은 미세하므로 이를 무시하면 부하에 흐르는 전류 I_L 과 출력전압 V 는 식 (3.4)와 식 (3.5)로 나타낼 수 있다.

$$I_L = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{AKT} \right) - 1 \right] \quad (3.4)$$

$$V = \frac{AKT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph} - I_L}{I_0} + 1\right) \quad (3.5)$$

여기서, Fig. 3.3과 같이 태양전지 출력단을 단락시켰을 때 회로에 흐르는 전류를 I_{sc} 라고 하면, 식 (3.4)에서 $V=0$ 인 조건과 같으므로 $I_{sc} = I_{ph}$ 가 된다. 또한 태양전지를 개방시켰을 때 개방전압 V_{oc} 는 식 (3.5)에서 $I_L=0$ 인 조건과 같으므로 식 (3.6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{oc} = \frac{AKT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \quad (3.6)$$

따라서, 위에 나타난 식 (3.4)-식 (3.6)을 이용하여 그린 태양전지의 전압-전류 특성 곡선은 Fig. 3.4와 같이 된다.

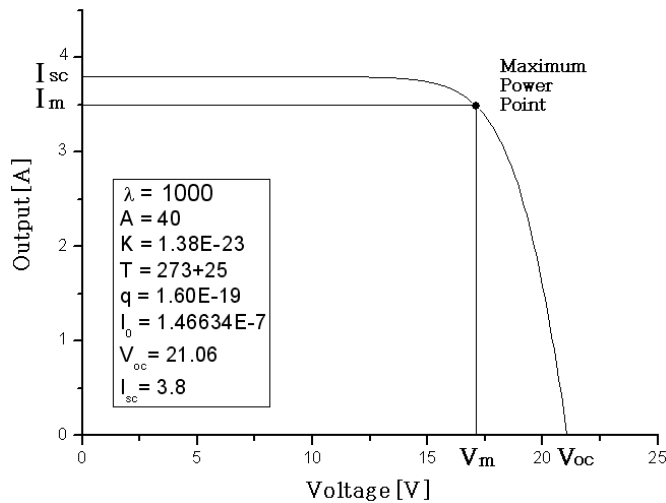


Fig. 3.4 The voltage and current curve of solar cell

Fig. 3.4에서와 같이 태양전지는 전류가 전압에 비례하지 않는 비선형 특성을 나타냄을 알 수 있다. 태양전지의 출력전력은 출력전압과 출력전류

의 곱으로 계산되며, 특정한 한 지점에서 출력전력이 최대가 되는데 이 지점을 최대전력지점이라고 한다. 또한 최대전력지점에서의 전압을 최대출력 동작전압(V_m), 전류를 최대출력 동작전류(I_m)라 한다.

태양전지의 출력특성은 식 (3.1)에서 알 수 있듯이 일사량을 비롯해 Cell의 표면온도에 따라서 출력특성이 달라지게 된다. Fig. 3.5는 온도변화에 따른 태양전지의 전압-전류 특성을 나타내고 있으며, 온도변화에 따라 전류는 미소하게 변하고 있지만 출력전압은 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

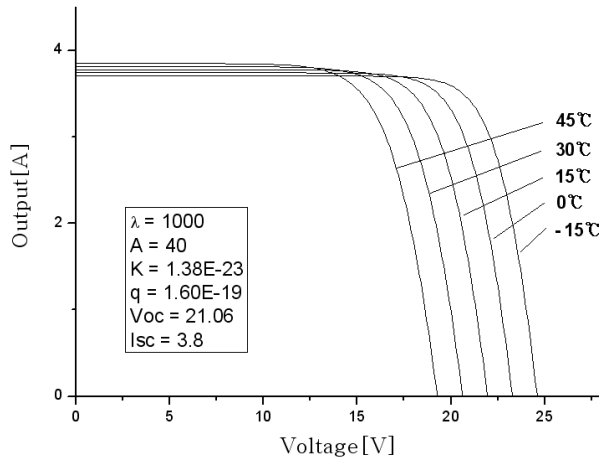


Fig. 3.5 V-I curve as function of temperature

Fig. 3.6은 일사량변화에 따른 태양전지의 전압-전류 특성을 나타내고 있다. 일사량의 변화에 따라 출력전압의 변화는 미소하지만 단락전류는 크게 변화하는 것을 알 수 있다.

따라서 태양전지의 전류는 거의 일사량에 비례하여 결정되고 온도변화에 대해서는 거의 영향을 받지 않으며, 태양전지의 전압은 일사량 변화에 거의 영향을 받지 않지만 온도변화에 대해서는 태양전지의 전압과 반비례하는 성질을 가지고 있음을 알 수 있다.

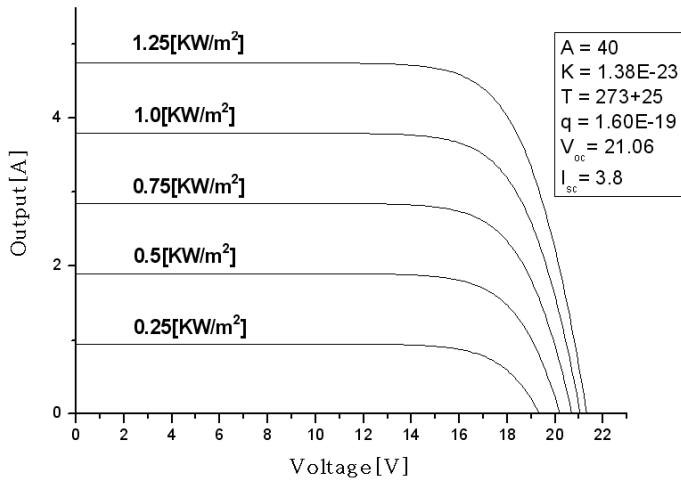


Fig. 3.6 V-I curve as function of insolation

3.2.3 독립형 태양광 발전시스템

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

대체로 소용량이고 상용전원과 원거리에 떨어져 있을 경우에 이용되고 있으며 무인등대, 시계탑, 통신장비용 전원 등에 이용된다. 해상교통안전 시설물용 전력시스템에 이용되는 태양광발전 시스템 또한 이 방식이다.

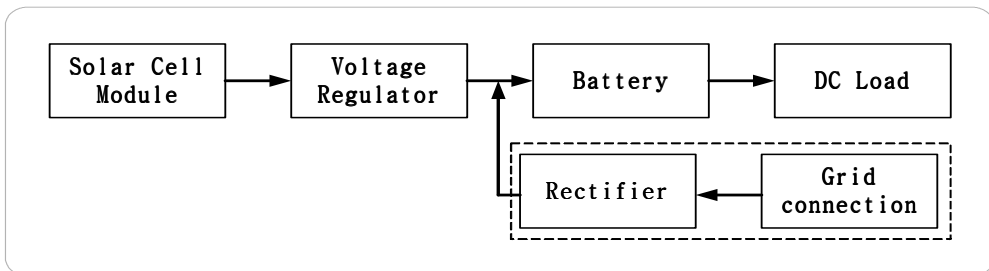


Fig. 3.7 The block diagram of stand-alone PV system for DC load

이 시스템의 구성은 Fig. 3.7과 같이 과전압 안정회로를 부착한 축전지 저장방식으로 Regulator내에 과전압 보호장치가 설치되어 있어 항상 일정 전원을 축전지에 공급하여 운전하는 가장 간단한 시스템이다.

AC부하용 태양광 발전시스템은 DC부하용 시스템에 직·교류 변환장치를 Fig. 3.8과 같이 구성하여 축전지에 저장한 전력을 교류로 변환시켜 직접 교류부하에 사용하는 시스템으로서 비교적 수용전력이 소규모인 곳에 사용된다.

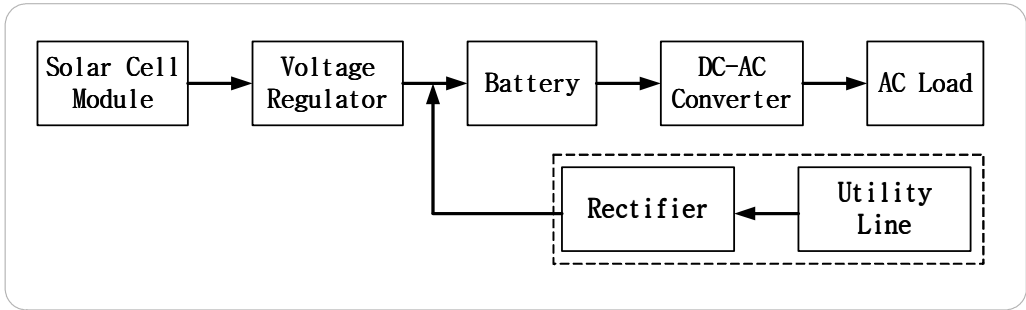


Fig. 3.8 The block diagram of stand-alone PV system for AC load

독립형 태양광 발전시스템은 상용전원과 분리되어 있기 때문에 시스템에서 발생된 무효전력이나 유효전력 그리고 고조파는 전력계통선에 영향을 끼치지 않는다. 그러나 설비가 고가이고 넓은 설치공간을 필요로 하며 축전지의 액 보충, 유출, 폭발과 같은 문제점들이 나타난다. 또한 축전지의 전압동요가 태양전지의 동작점을 이동하게 하여 최대전력을 얻는 것이 힘들며, 또한 축전지의 충방전 손실이 발생하게 되어 효율이 떨어진다는 단점을 가지고 있다.

따라서 해상교통안전시설물용 하이브리드 발전시스템에 적용될 태양광 발전 시스템을 안정적으로 운용하기 위해서는 과방전 방지시스템, 과충전

방지시스템, 역전류방지시스템 등의 안전시스템이 개발되어야 하며, 태양 전지와 축전지간의 충전효율을 극대화 하기위하여 MPPT 알고리즘이 포함 되어야 한다.

3.3 파력 발전

3.3.1 파력발전 개요

파랑의 운동 및 위치 에너지를 물체의 운동에너지로 변환하여 전기를 생산하는 파력발전은 파랑에너지를 활용하여 직접적으로 기계장치를 구동시키는 초창기의 가동물체형 파력발전 시스템 개발에서 시작되어 근래에는 파랑에너지를 유체의 운동에너지로 1차 변환하고, 이를 다시 기계장치의 운동에너지로 2차 변환하는 파력발전 방식에 대한 연구가 활발하다. 후자의 방식으로는 공기의 흐름을 이용하는 진동수주형 파력발전과 수류의 흐름을 이용하는 월파형 파력발전이 대표적이다.

파력발전의 경제성은 무엇보다도 해역의 파랑에너지 밀도 크기에 좌우된다. 그러므로 성공적인 파력발전 시설의 설계를 위해서는 고효율 에너지 변환장치의 개발과 함께 대상해역 파랑에너지의 시공간적 분포를 정확히 파악하여 최적의 입지를 선정하는 것이 중요하다.

파력발전장치는 파도가 가지고 있는 운동에너지를 이용하는 방법에 따라 여러 가지로 분류할 수 있으나 설치위치에 따라서 해안형, 연안형 및 외해용으로 구분하며 에너지 흡수원리에 따라 진동수주형, 가동물체형, 파랑변형 이용형으로 나뉜다.

등부표 구조와 운용특성에 가장 부합되는 메커니즘을 가진 형태는 진동수주형 파력발전시스템으로 실제 등부표에 활용되는 대부분의 파력발전시스템이 진동수주형으로 설계되고 있으며, 본 논문 또한 진동수주형 파력발전 시스템을 이용하였다.

3.3.2 진동수주형 파력발전 원리

Fig. 3.9와 같이 파도에 의해 바다에 설치된 공기챔버내의 물이 상하로 진동함으로서 터빈이 설치되어있는 덕트 사이로 공기챔버내의 공기가 왕복운동을 하는 것을 이용하는 개념으로 파랑에너지를 공기의 유동에너지로 1차 변환하고 이를 다시 공기 터빈을 사용하여 기계적인 회전 에너지로 2차 변환하는 과정을 통해 전력을 생산한다.

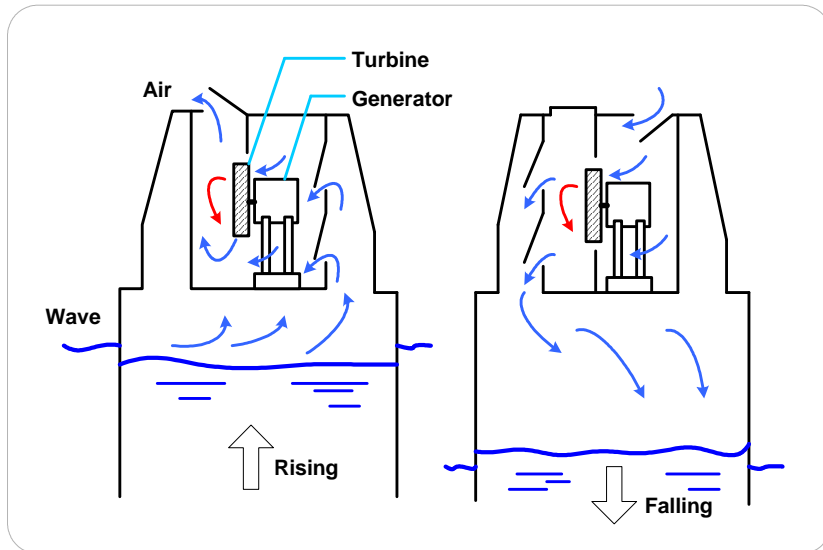


Fig. 3.9 Wave power generation with oscillating water column

이때 공기챔버는 해저면에 고정될 수도 있으며 또한 계류된 부유체 형태가 될수도 있다. 2차 변환장치로는 왕복흐름 중에서도 한 방향으로만 회전하는 Wells 터빈이나 Impulse 터빈이 사용된다. 진동수주형은 기계장치가 공기 중에서 작동하기 때문에 보수유지가 유리한 장점으로 현재까지 실용성을 고려하여 개발된 시제품은 대부분 이 개념을 채택하고 있다.

3.3.3 진동수주형 파력발전 장치의 운동 특성

고정식 OWC(Oscillating Water Column: 振動水柱) 파력장치는 외부 파도의 입력에 따라 챔버내부 수면에 진폭변화가 일어나고 이로 인한 압력 변화로 터빈을 구동하게 된다. 그러나 부유식 OWC는 외부파도의 입력에 따라 챔버내부 수면의 진폭이 발생하며, 챔버 또한 입사파에 의하여 상하로 움직이게 되는데, 챔버의 상하운동이 클 경우 내부수면의 상대적인 진폭도 크게 되어 더 큰 공기유량을 발생시키게 된다.

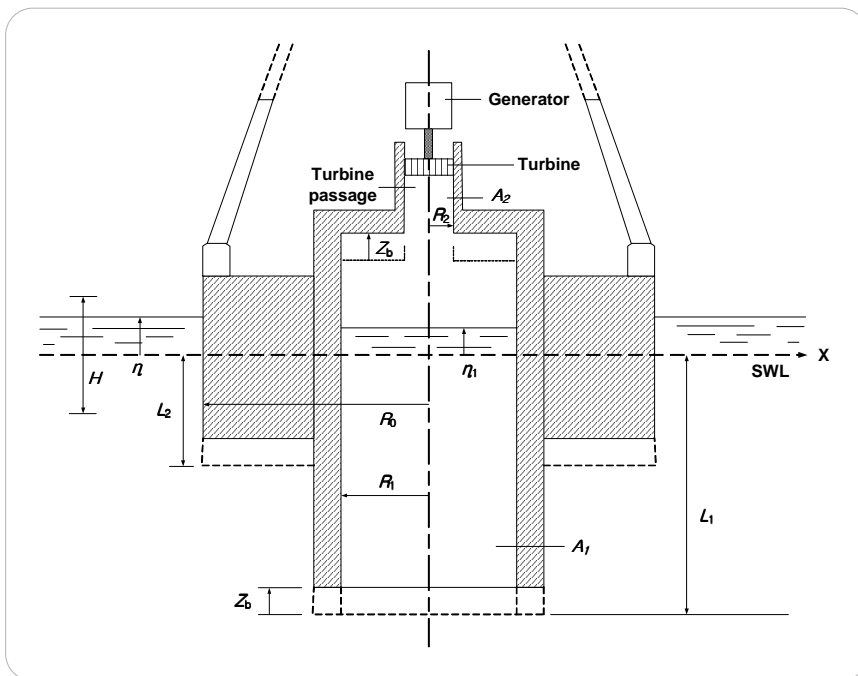


Fig. 3.10 Design diagram of wave power generation system

최대 공기유량이 발생하는 시점은 챔버내부 수면과 챔버의 고유진동수가 같아져서 공진이 일어나는 시점으로 챔버의 설계 파라미터 값에 따라 챔버내부 수면과 챔버의 주파수는 달라진다.[11]-[13]

OWC 챔버의 상하진동 고유주파수는 식 (3.7) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_z = \frac{1}{T_z} = \frac{\omega_z}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho_w g A_{utp}}{m + m_w}} \quad (3.7)$$

여기서 T_z [sec]는 상하진동 주기, ω_z [rad/sec]는 챔버운동 각속도, m [kg]은 챔버질량이다. ρ_w [kg/m³]는 해수밀도, g [m/sec²]는 중력가속도, A_{utp} [m²]는 해수면과 접촉하는 부이 단면적, m_w [kg]는 챔버운동에 따른 해수의 영향으로 발생하는 추가질량으로 다음 식과 같다.

$$m_w = \rho_w \frac{D^3}{6} = \frac{\rho_w \pi (R_0 - R_1)^3}{6} \quad (3.8)$$

여기서, D [m]는 해수와 접하는 부이면의 직경이다.

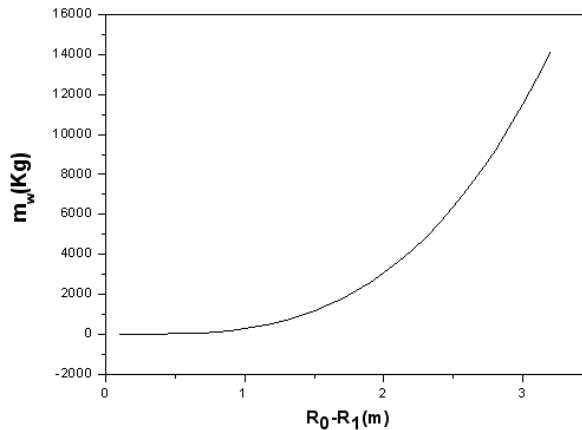


Fig. 3.11 Added mass as a function of diameter

또한 외부 과도입력에 따른 부이의 상하진동 위치는 다음 식(3.9)와 같다.

$$z = \frac{(F_0/\rho_w g A_{wtp}) \cos(\omega t - \sigma_z)}{\sqrt{(1 - \omega^2/\omega_z^2)^2 + (2\Delta_z \omega/\omega_z)^2}} \quad (3.9)$$

$$= Z_0 \cos(\omega t - \sigma_z)$$

여기서 ω [rad/sec]는 입력파의 각속도, F_0 [N]는 외부파력의 진폭, Z_0 [m]는 부이 운동진폭이다. 또한 σ_z [rad]는 챔버 운동과 외부파도입력간의 위상차로 다음식과 같다.

$$\sigma_z = \tan^{-1} \left[\frac{2\omega \Delta_z / \omega_z}{1 - \omega^2 / \omega_z^2} \right] \quad (3.10)$$

여기서 Δ_z 는 챔버의 감쇠비로 식 (3.11)와 같이 구한다.

$$\Delta_z = \frac{b_0}{2\sqrt{\rho_w g A_{wtp} (m + m_w)}} \quad (3.11)$$

여기서 b_0 [N-sce/m]는 감쇠계수 이다.

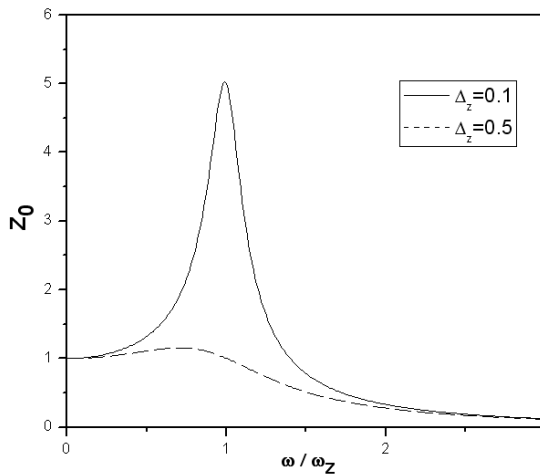


Fig. 3.12 Magnification factor as a function of frequency ratio

Fig. 3.12는 외부과도입력 각주파수(ω)와 챔버의 고유진동 각주파수(ω_z) 비에 따른 챔버운동의 진폭을 나타낸 것으로 두 각주파수가 같아질 때 챔버운동의 진폭이 급격히 커짐을 알 수 있다.

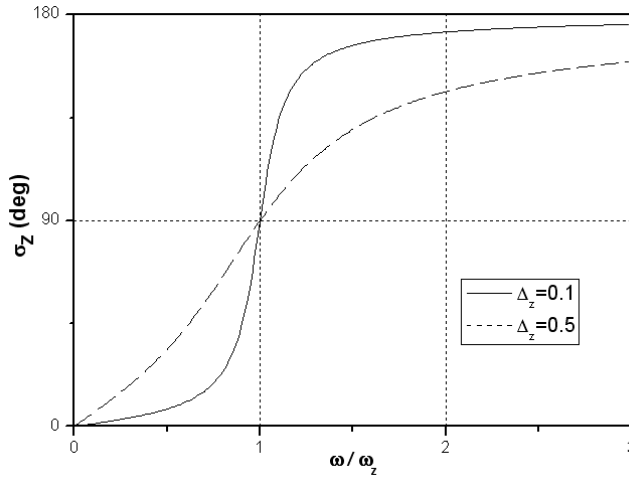


Fig. 3.13 Phase angle of equation(3.10) as a function of frequency ratio

부이 위치 수식 (3.9)를 미분하면 다음 식 (3.12)와 같이 상하진동속도를 구할 수 있다.

$$v_z = -\omega Z_0 \sin(\omega t - \sigma_z) \quad (3.12)$$

또한, 챔버 내부 진동수주의 고유주파수는 식 (3.13)과 같다.

$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\sqrt{(g/L_1)}}{2\pi} \quad (3.13)$$

여기서 T_c [sec]는 진동수주의 진동주기, L_1 [m]은 해수면에 잠긴 챔버의 길이이다.

그리고 진동수주의 위치는 다음 식 (3.14)로 구할 수 있다.

$$\eta = \frac{(P_0/\rho_w g)\cos(\omega t - \sigma_c)}{\sqrt{(1 - \omega^2/\omega_c^2)^2 + (2\Delta_c\omega/\omega_c)^2}} \quad (3.14)$$

$$= C_0\cos(\omega t - \sigma_c)$$

여기서 P_0 [N/m²]는 챔버 유동압력이다.

또한 σ_c 는 진동수주와 외부과도입력간의 위상차로 다음식과 같다.

$$\sigma_c = \tan^{-1}\left[\frac{2\omega\Delta_c/\omega_c}{1 - \omega^2/\omega_c^2}\right] \quad (3.15)$$

여기서 Δ_c 는 감쇠비로 다음 식 (3.16)을 이용해 구한다.

$$\Delta_c = \frac{b_1/2A_1}{\sqrt{(\rho_w^2 g L_1)}} \quad (3.16)$$

여기서 b_1 [N-sce/m]는 선형감쇠계수, A_1 [m²]는 챔버단면적이다.

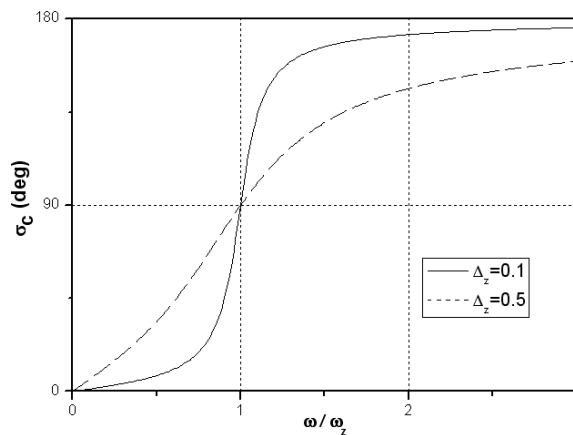


Fig. 3.14 Phase angle of equation(3.15) as a function of frequency ratio

진동수주 위치 수식 (3.14)를 미분하면 다음과 같은 진동수주의 운동속도를 구할 수 있다.

$$v_1 = -\omega C_o \sin(\omega t - \sigma_c) \quad (3.17)$$

또한 오리피스에서 공기의 속도는 면적에 비례하므로 다음과 같다.

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} \quad (3.18)$$

여기서 $A_2[\text{m}^2]$ 는 터빈출구 단면적이다. 과력발전장치에서 출력은 터빈을 구동하는 공기속도에 비례하므로 결국 출력은 터빈출구를 통과하는 공기속도에 의해 결정된다.

식(3.18)에 챔버의 상대운동을 고려한 터빈출구측의 공기 속도는 다음과 같다.

$$v_2 = \frac{(v_1 - v_z)A_1}{A_2} \quad (3.19)$$

따라서 위의 수식을 식 (3.12)와 식 (3.17)을 이용하여 다시 정리하면 식 (3.20)과 같이 표현할 수 있다.

$$v_2 = -\omega \frac{A_1}{A_2} [C_o \sin(\omega t - \sigma_c) - Z_o \sin(\omega t - \sigma_z)] \quad (3.20)$$

제 4 장 하이브리드 발전시스템 구성

4.1 하이브리드 발전시스템의 구성

하이브리드 발전시스템은 태양광 발전부, 파력발전부, MPPT 제어기, 전원 및 부하제어기, 축전지, 부하 등으로 구성되어 있다. Fig. 4.1은 하이브리드 발전시스템의 전체 구성을 보여주고 있다.

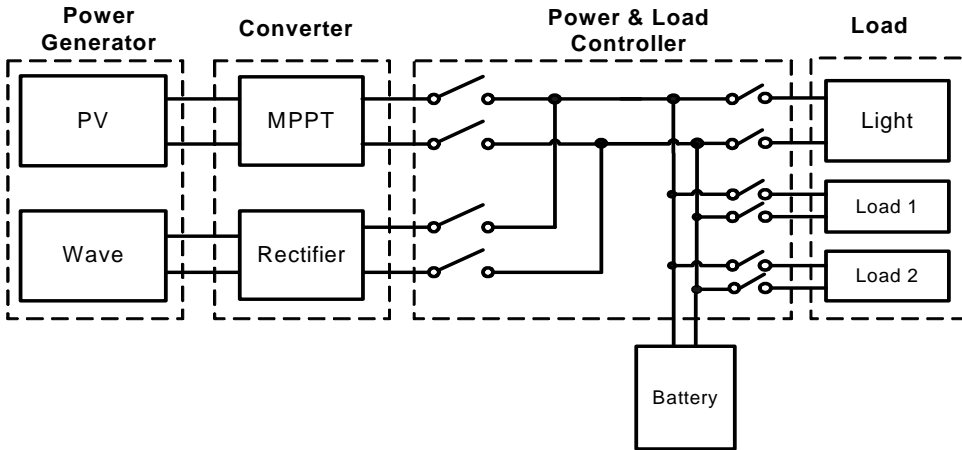


Fig. 4.1 Diagram of Hybrid power generation

각 발전시스템별 부하용량 및 각 발전시스템별 효율을 고려하여 용량을 선정할 수 있으며, 전력발생기는 전류의 역류를 방지하기 위하여 역전류방지 시스템이 구성되어 있다.

태양광 발전은 태양전지 모듈이 항상 최대출력을 가지는 최대 전력점에서 동작하도록 하는 MPPT 제어 알고리즘이 필요하며 PWM 스위칭을 통해 최대전력 상태를 연속적으로 추적할 수 있다. 전원 및 부하 제어기는 회로손실을 줄이기 위해 전력이 발생되지 않을 때 전력발생기를 차단하며

과충전과 과방전을 방지하기 위해 축전지 전압에 따라 전원과 부하간의 스위치를 열고 닫는다.

파력발전시스템은 등부표의 구조적 특성에 적합한 진동하는 진동수주형 파력장치로 고안되며, 파도의 진동에 따른 공기 챔버내 공기의 왕복운동에 따라 터빈이 구동함으로써 전력을 발생시키고 이를 정류기를 통해 DC로 변환하여 축전지를 충전한다.

4.2 MPPT 제어기

태양광 제어기는 태양 전지판에서 발생된 전기를 축전지로 충전시키기 위하여 사용되는 제어용 기기이다. 현재 항로 표지용 장비에 사용되는 태양 전지 모듈은 태양광 제어기가 탑재 되어 있지 않아, 사용하는데 있어 충전 효율이 극히 떨어진다. 이는 태양 전지 모듈에서 어떠한 제어도 이루어지지 않고 충전되는 상황이며이므로 매우 비효율적이라 할 수 있다. 따라서 태양광발전의 충전효율 향상을 위한 태양광 MPPT제어기는 매우 중요하다.

4.2.1 태양전지판 특성

Fig. 4.2의 태양 전지판 특성 곡선과 3장에서 살펴본 태양전지 출력특성을 살펴보면, 태양 전지 출력특성은 일사량(λ)과 온도에 의해서 수시로 변화하는 것을 알 수 있다.

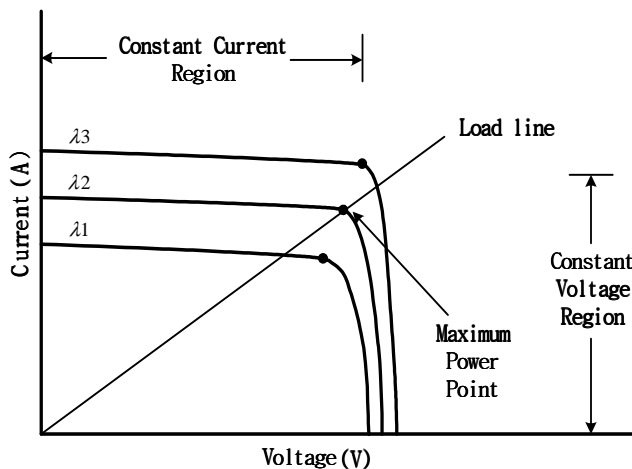


Fig. 4.2 Characteristic of photovoltaic cell

또한, 축전지의 충전상태에 따라서 태양전지에서의 동작선(Load line)이 변하게 된다. 따라서 태양전지의 최대전력점과 동작점은 수시로 변하게 된다. 그러므로 태양 전지를 효율적으로 사용하기 위해서는 태양 전지 모듈이 항상 최대 출력을 가지는 최대 전력에서 동작하도록 하는 제어가 필요하다.

4.2.2 MPPT(Maximum Power Point Tracker)

최대 전력을 추적하기 위해서 기본적으로 Fig. 4.3과 같은 과정이 필요하다. 태양 전지판의 전압과 전류를 계속적으로 측정한다. 측정된 전류와 전압을 통하여 전력을 계산하고, 이전에 계산되어진 전력과 비교하여 최대 전력인지 비교한다.

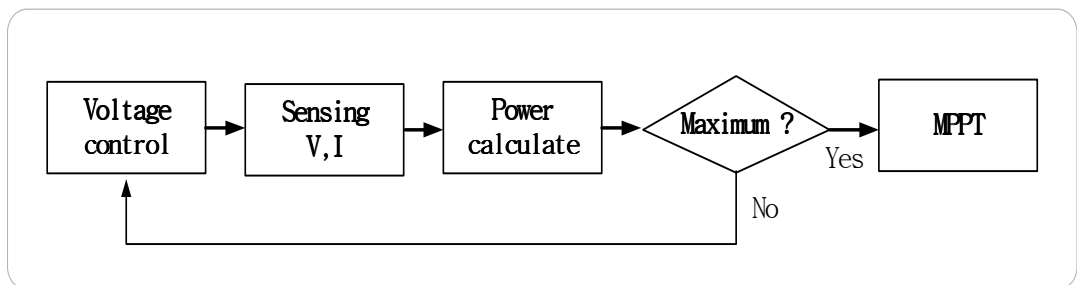


Fig. 4.3 Block diagram of MPPT processing

최대전력이 아니면 처음 과정으로 돌아가 전압을 변화시켜 전력이 최대가 되도록 한다. 전압을 변화시키는 하드웨어의 기본 구성은 Fig. 4.4와 같다.

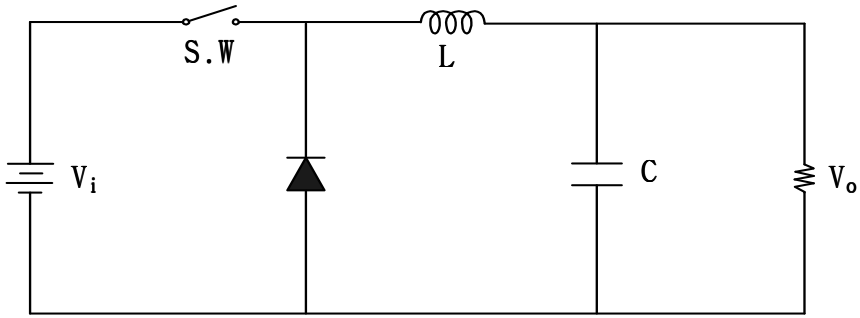


Fig. 4.4 Basic diagram of buck converter

Fig. 4.4는 벅 컨버터의 기본 회로이다. 스위치가 도통일 때 입력 전압에 의하여 인덕터에 에너지가 축적되면서 입력 측으로부터 에너지가 출력 측으로 전달되고 이 때 다이오드는 차단된다. 다음 순간에 스위치가 차단되면 도통과정에서 인덕터에 축적된 에너지가 다이오드를 통하여 출력 측으로 전달된다. 이와 같이 스위치 도통과 차단 시간비율을 조정하여 원하는 직류 출력전압을 얻을 수 있다.

$$P_i = V_i \times I_o(T_{on}/T_s)$$

$$P_o = V_o \times I_o$$

$$V_o = V_i(T_{on}/T_s)$$

여기서 P_i 는 입력에너지, P_o 는 출력에너지, V_i 는 입력전압, V_o 는 출력전압, I_o 는 출력전류, T_{on} 은 스위치가 ON되는 시간, T_s 는 스위칭 주기이다.

상기 수식을 참조하면 출력 전압은 입력 전압에서 T_{on}/T_s 을 곱한 값과 같다. T_{on}/T_s 는 시비율이라 하여 0~1사이의 값을 가진다.

실제 회로에서 스위칭 동작은, 스위치 소자로 MOSFET을 사용하여 PWM 방식으로 제어 하였다.

4.2.3 MPPT 알고리즘

일반적으로 MPPT 동작을 위해서 Perturb & Observe(P&O) 기법, Incremental Conductance(Inccond) 기법, 일정전압 제어기법 등이 이용된다. 본 논문에서는 소수의 파라미터만 측정하여 적용이 비교적 용이한 P&O 기법을 이용하였고, ANSI C언어를 기본으로 한 마이크로 프로세서 C 언어로 구현하였다. Fig. 4.5에 MPPT 알고리즘이 나타나 있다.

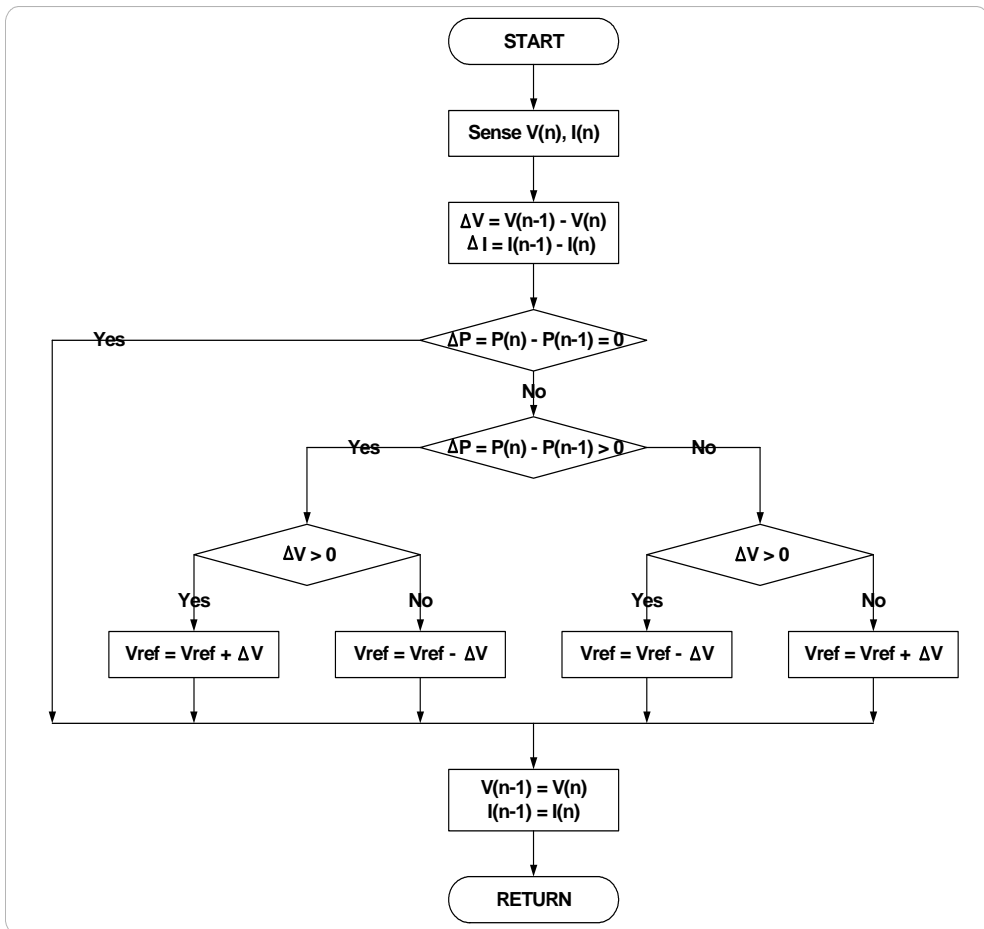


Fig. 4.5 Control algorithm for MPPT

일정주기마다 태양전지의 전압과 전류를 측정하여 전력값을 계산하고, 이때의 전력값을 이전값과 비교를 통해 기준전압을 설정하여 최대전력점을 추적한다.

새로 계산된 전력값이 이전 전력값 보다 증가했다면 다시 현재의 동작전압과 이전의 동작전압을 비교하고, 현재의 동작전압이 이전의 동작전압보다 높다면 기준전압을 증가시키고 낮다면 기준전압을 감소시킨다. 또한 새로 계산된 전력값이 이전 전력값보다 작아졌을 경우, 다시 현재의 동작전압이 이전 동작전압보다 큰지를 판단하고, 커졌다면 기준전압을 감소시키고, 작아졌다면 기준전압을 증가시킨다.

이렇게 기준전압이 정해지면 PWM동작의 시비율을 변화시켜 MOSFET의 GATE단을 스위칭하고 MOSFET의 스위칭동작은 태양 전지판의 출력전압을 변화시켜 동작전압을 기준전압에 맞추게 된다.

4.3 전원 및 부하 제어 시스템

전원 및 부하제어 시스템은 하이브리드 시스템의 전력생산부와 부하상황을 모니터링하여 각 장치를 연결하고 해제하여 계통내의 전력손실을 최소화 하고 축전지 전압을 체크하여 과충전과 과방전을 방지한다. 축전지는 주 축전지와 보조 축전지로 나누어지는데, 등부표의 가장 중요한 기능인 등명기의 점멸을 위해 주축전지를 이용하고 보조축전지보다 우선하여 충전한다. 그리고 집약관리시스템등 등명기에 비해 비교적 중요도가 덜한 부하용 전원을 위해 보조축전지를 이용하는데, 항상 주 축전지를 충전하고 남은 전력으로 보조축전지를 충전한다. 전원 및 부하제어기의 개념도는 아래 Fig. 4.6과 같다.

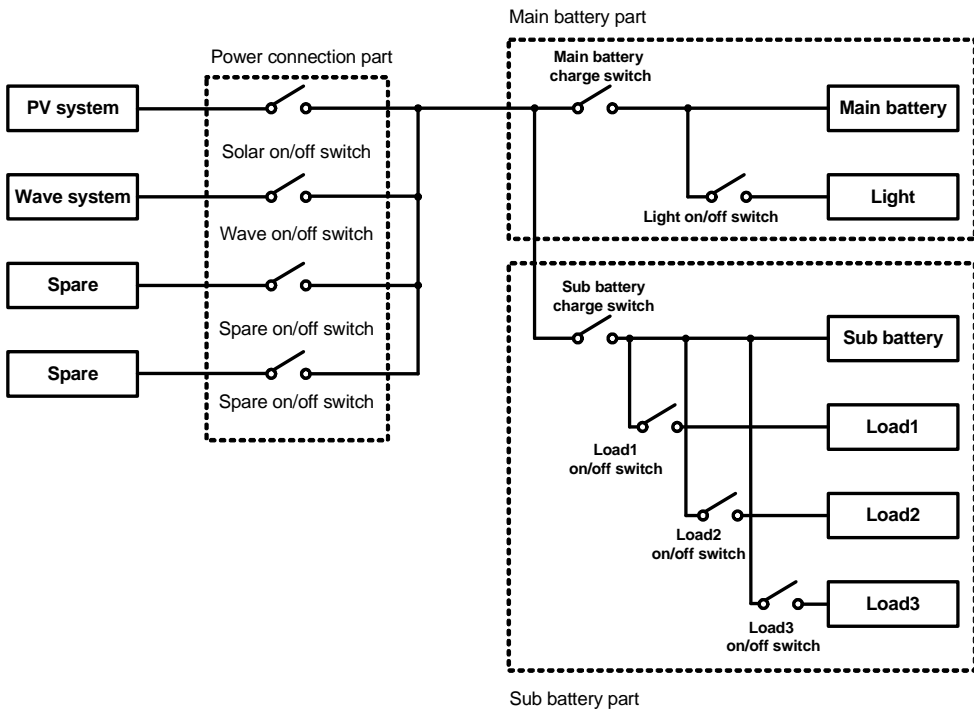


Fig. 4.6 Block diagram of power and load controller

Fig. 4.6에서와 같이 전원 및 부하 제어기는 전원연결부, 주축전지부, 보조축전지부로 크게 3부분으로 나누어져 있다.

전원연결부는 태양광에너지와 파력에너지가 연결된 부분으로서 연결된 전력발생기 각각의 전압을 체크하여 연결 여부를 판단한다.

주축전지부는 주축전지의 충전여부를 판단하며 동시에 등명기의 동작여부를 축전지의 전압에 따라 결정한다.

보조축전지부는 보조축전지의 충전여부를 판단하며 동시에 부하의 동작 여부를 결정한다. Fig. 4.7은 제어기 알고리즘이다.

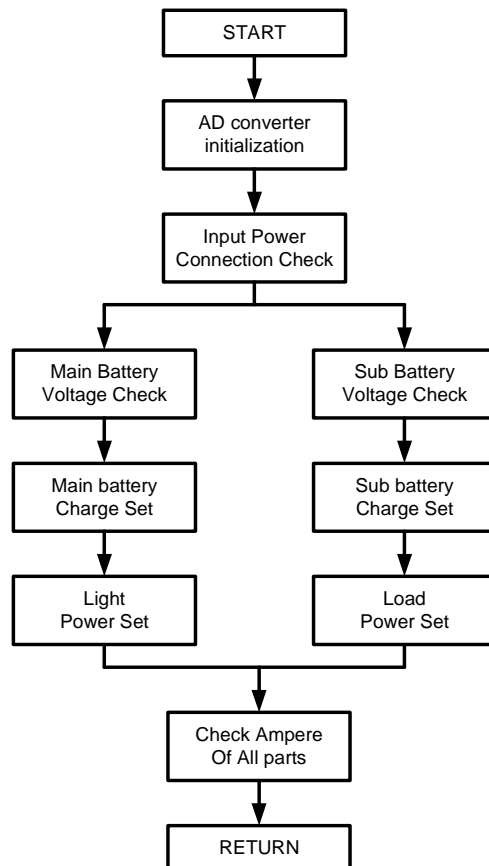


Fig. 4.7 Power & load controller algorithm

제 5 장 실험 및 고찰

5.1 MPPT제어기

MPPT 제어기의 성능평가를 위해 60W급 태양전지를 직렬로 연결하고 변화하는 일사량에 따라서 제안한 MPPT 제어기가 얼마나 빠르게 최대 전력점을 추종하는지 실험하였으며 MPPT 알고리즘이 수행하고 난 결과 인 벡 컨버터의 스위칭 시비율의 변화를 오실로스코프를 통하여 살펴보았다. Fig. 5.1은 MPPT 제어기 사진으로 A는 벡컨버터부, B는 제어부, C는 스위칭부 이다.

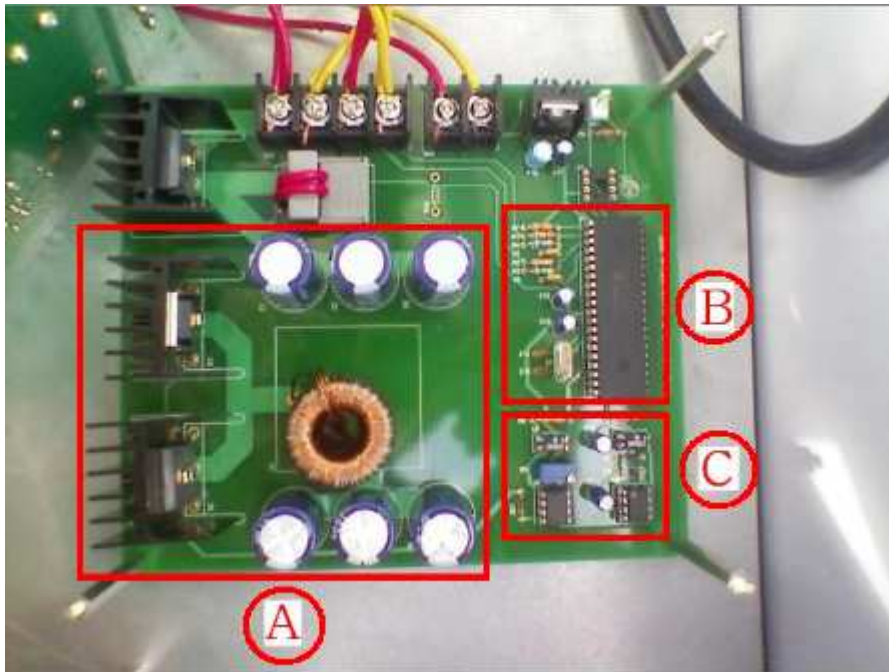


Fig. 5.1 Photograph of the MPPT controller

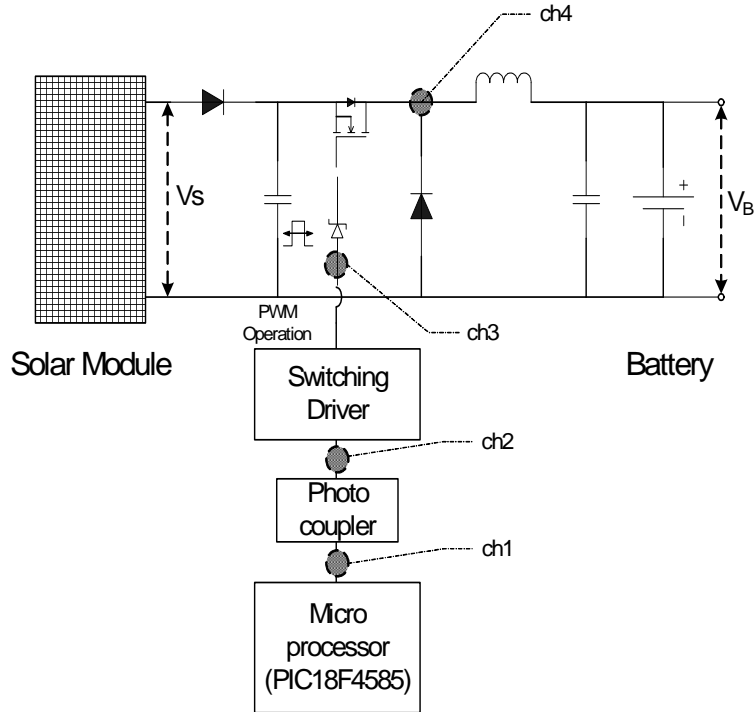
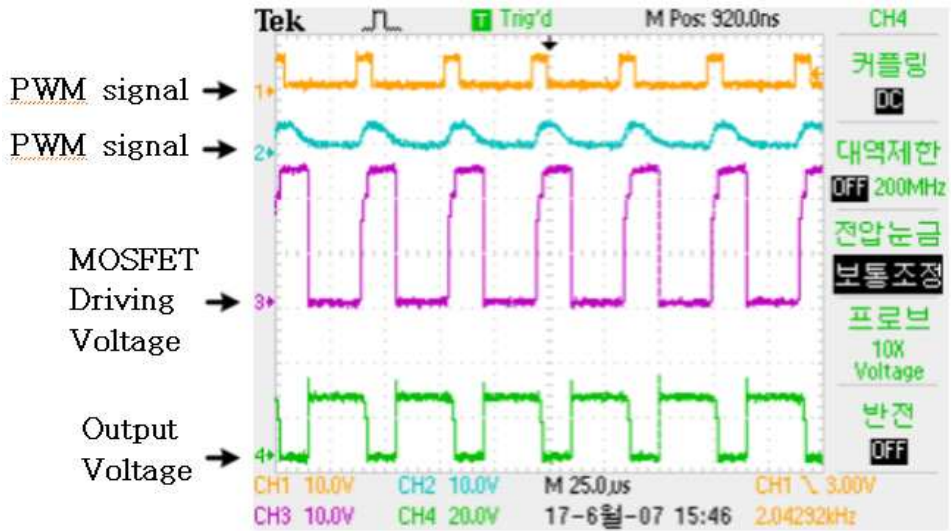


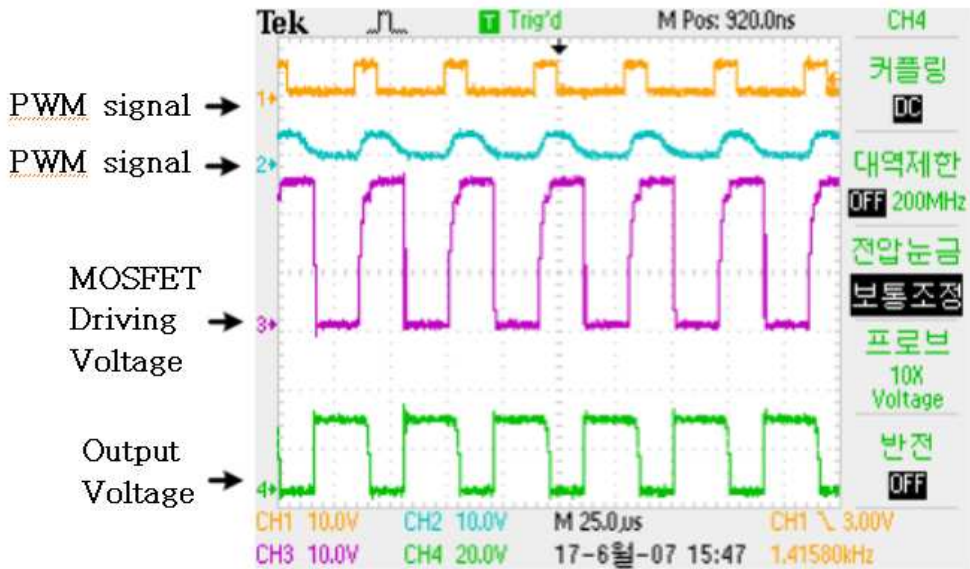
Fig. 5.2 Block diagram of MPPT experiment

Fig. 5.2는 실험시 오실로스코프를 통한 전압측정 지점을 나타낸다. Ch 1과 Ch 2는 PWM 스위칭 신호를 나타내며 Ch 3은 스위칭 드라이버를 통과한 MOSFET gate 단자의 구동신호, Ch 4는 코일앞단의 출력전압을 나타낸다. 실험은 인공 태양 조명 장치를 이용하여 일사량을 변화시켰을 때 제어기가 최대전력점을 추종하여 가는지를 알아 보았다.

Fig. 5.3은 시비율에 따른 출력과형을 나타낸다. 일사량의 증대에 따라 태양전지 출력전압이 높아지고 이에 따라 마이크로 프로세서에서 점점 높은 duty ratio로 PWM 스위칭 신호를 출력한다. Photo coupler를 통해 스위칭 드라이버인 MOSFET에 전달된 PWM신호에 따라 스위칭 됨을 알 수 있다.

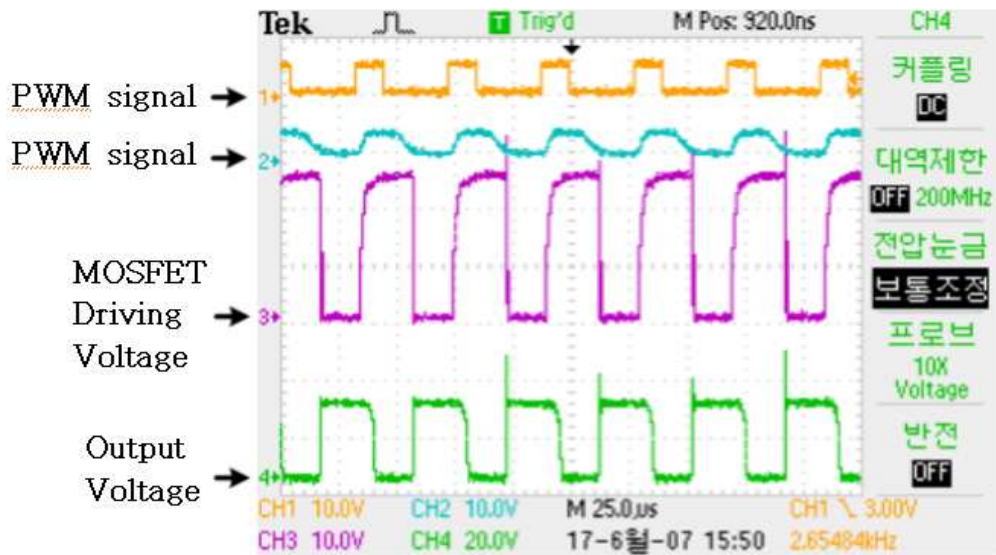


(a) 22V 0.71A 15.6W

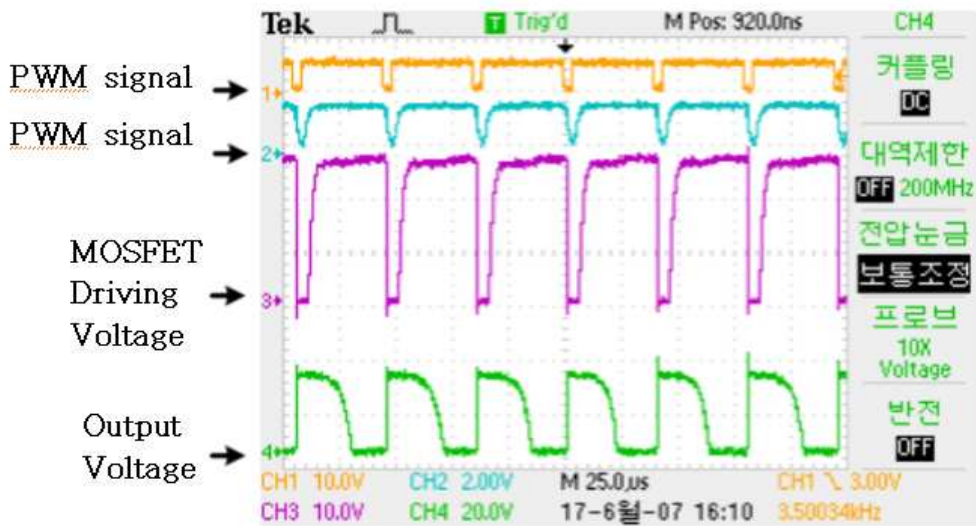


(b) 25V 0.68A 17W

Fig. 5.3 Waveforms of MPPT controller(Continued)



(c) 26V 0.7A 18.2W



(d) 28V 0.73A 20.44W

Fig. 5.3 Waveforms of MPPT controller

또한 MPPT제어기의 효율성을 확인하기 위해 일반 태양 충전제어기와 비교 실험을 실시하였다. 태양전지판을 2개를 직결로 연결하여 MPPT제어기와 일반제어기를 서로 연결하여 태양광에서의 출력 특성을 확인하였다. 실험장치의 구성은 Fig. 5.4에 나타나 있다.

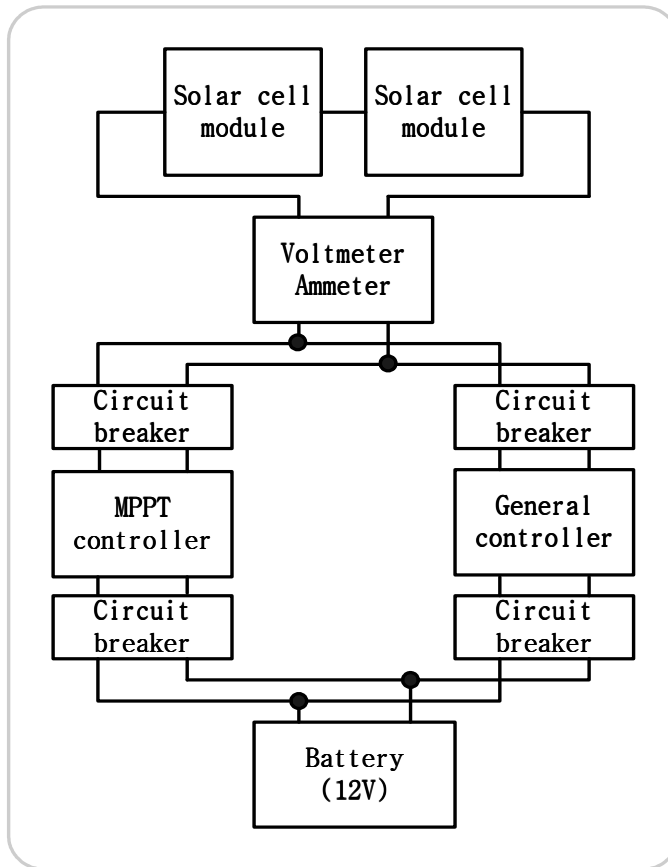


Fig. 5.4 Block diagram of experiment system

차단기로 제어기를 변경하면서 태양전지판에서 축전지에 충전되는 전압 전류를 측정하여 그 효율을 측정하였다. 실험은 광량이 큰 오전 11시와 광량이 작은 오후 4시에 각각 측정 하였으며, 그 결과는 Fig. 5.6과 같다.

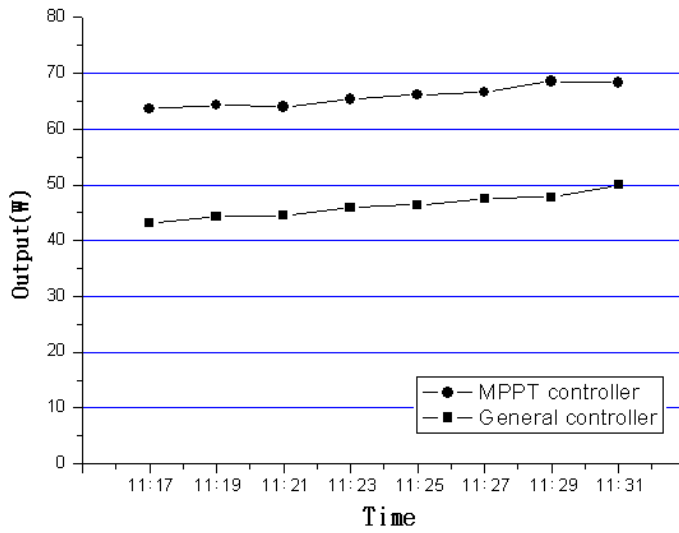


Fig. 5.5 PV output(at 11a.m.)

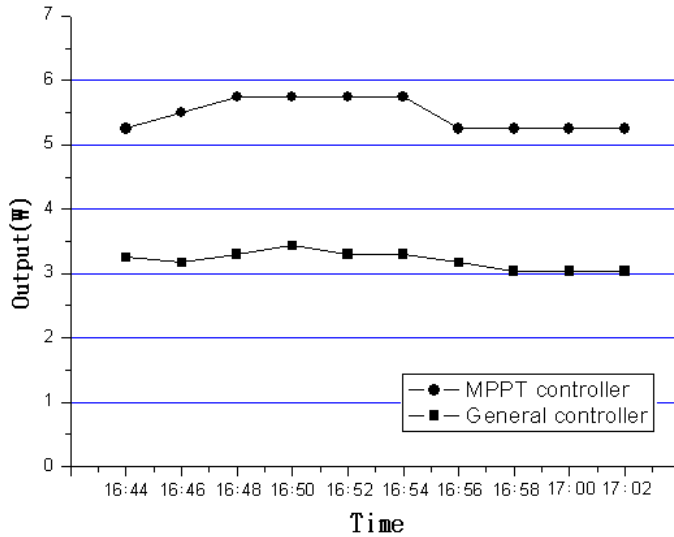
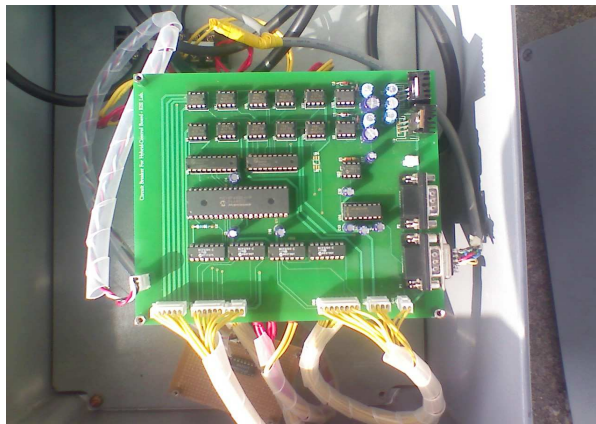


Fig. 5.6 PV output(at 4p.m.)

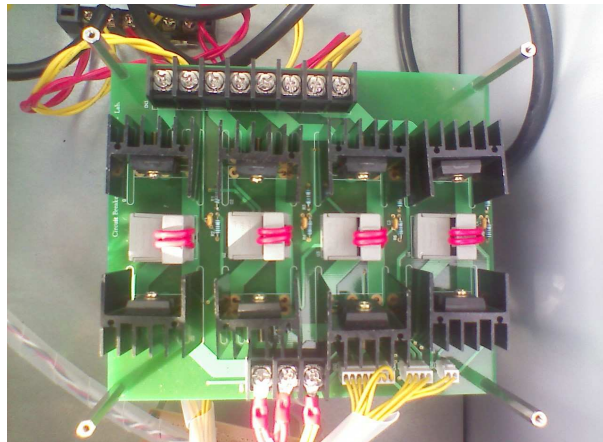
실험결과 최대 광량에서 41% 최소 광량에서 60%이상 일반제어기에 비하여 벽 컨버터를 이용한 태양 전지판의 출력 특성이 높은 것을 알 수 있다.

5.2 전력 및 부하 제어기

하이브리드 시스템에서 전력발생부, 부하, 축전지를 감시하여 스위치를 개폐하고 축전지의 과충전과 과방전을 방지하는 것이 전력 및 부하 제어기이다. Fig. 5.7은 실제 제어기 모습이다. 제어기는 기능별로 전원연결부, 주축전지부, 보조축전지부 3부분으로 나누어지며 각 기능에 따른 제어기 동작을 실험하였다.

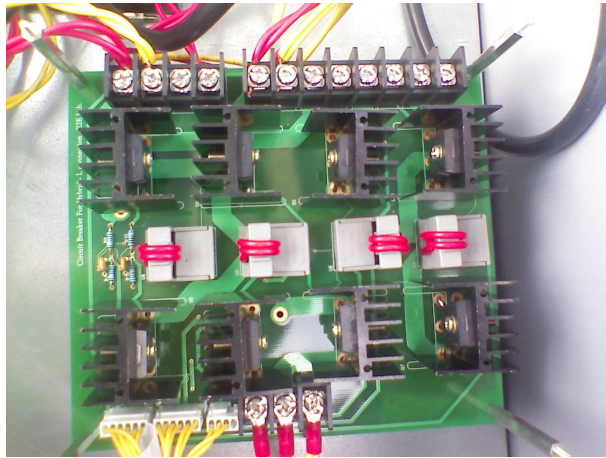


(a) MOSFET driver

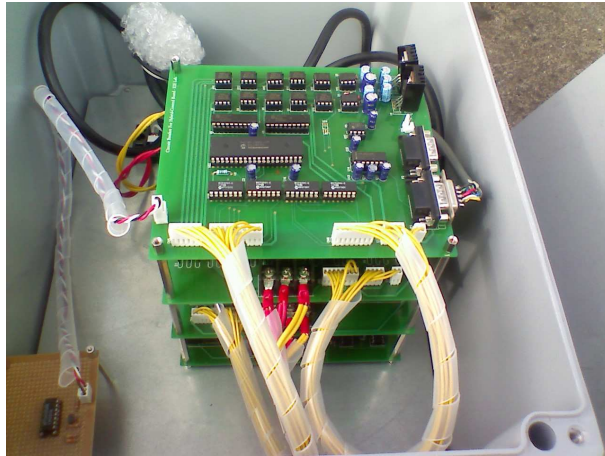


(b) Power connection part

Fig. 5.7 Photographs of the Power & load controller(continued)



(c) Main&sub battery connection part

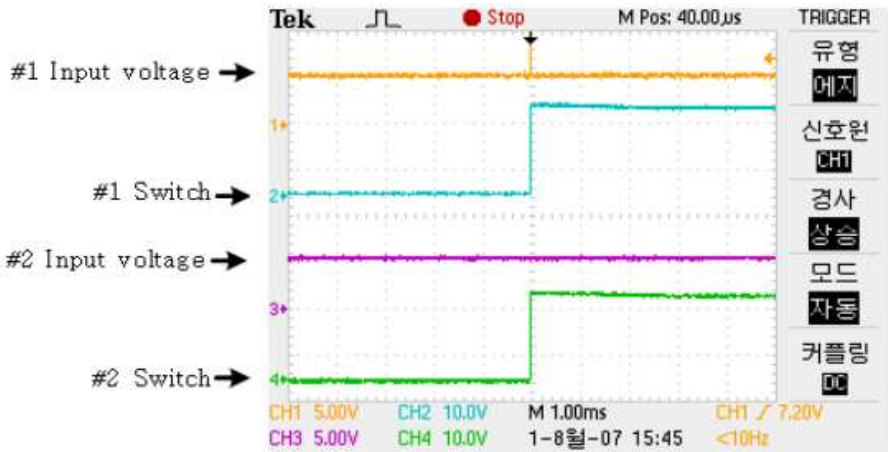


(d) Total system

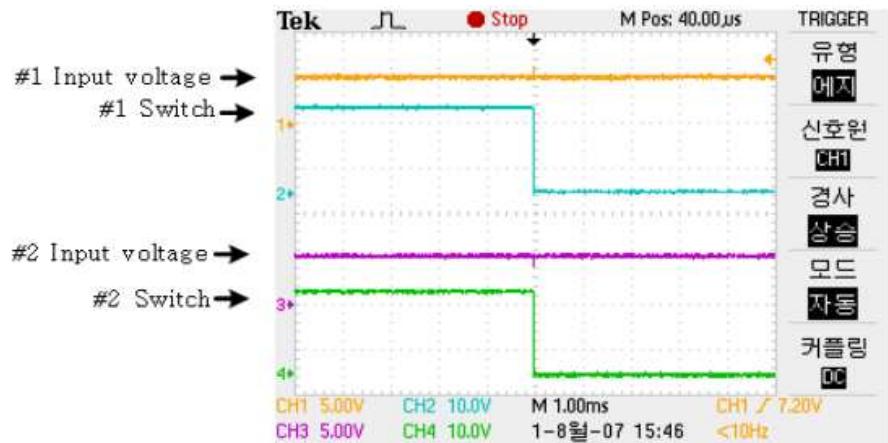
Fig. 5.7 Photographs of the Power & load controller

가. 전원연결부

태양광과 파력발전부에서 나오는 각각의 전압을 체크하여 일정전압 이상이 되면 스위치를 연결한다. Fig. 5.8에서 1번 입력전압은 태양광발전부, 2번 입력은 파력발전부로 각 입력전압이 5V이상일 때 스위치가 연결되고 5V이하일 때 스위치가 해제됨을 알 수 있다.



(a) over 5V

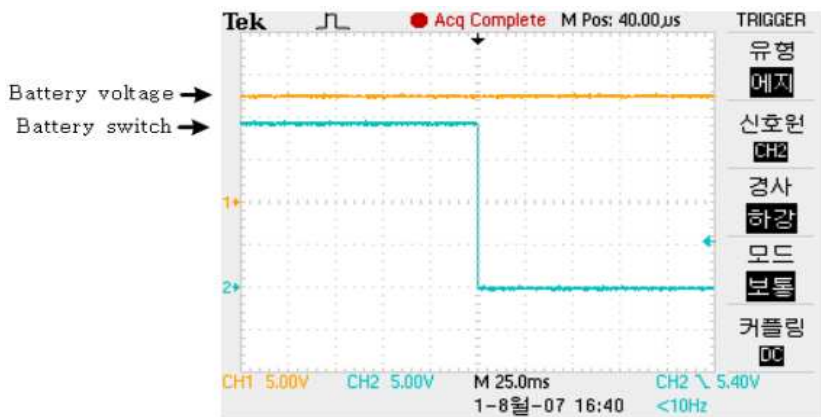


(b) below 5V

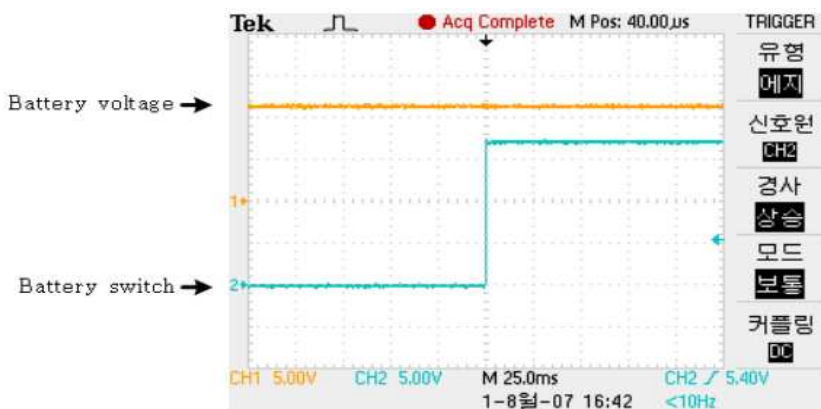
Fig. 5.8 Waveforms of power connection

나. 주 축전지부

주 축전지의 과충전과 과방전을 방지하기 위해서 주 주축전지가 일정전압 이상이 되면 주축전지와 전원생산부의 연결을 해제하고, 일정전압 이하가 되면 다시 충전을 시작한다. 또한 축전지가 방전종지전압 근처가 되면 주축전지와 연결된 등명기를 강제로 해제한다. 아래 Fig. 5.9에서 주 축전지 전압이 13V 이상이면 충전을 중지하고 10.5V 이하이면 다시 충전을 시작함을 알 수 있다.



(a) over 12.5V

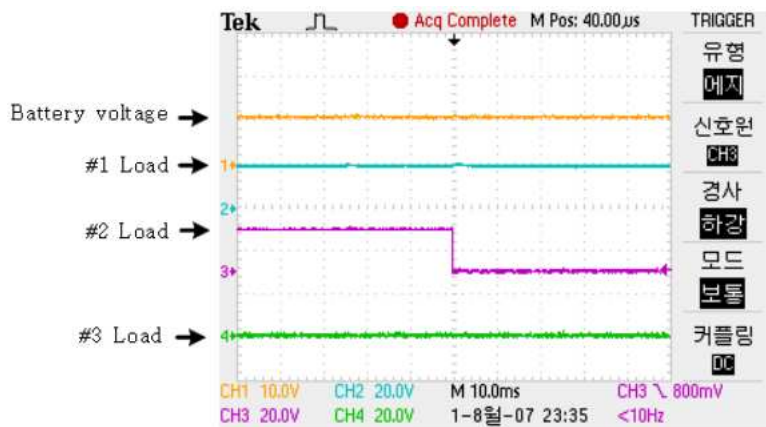


(b) below 10.5V

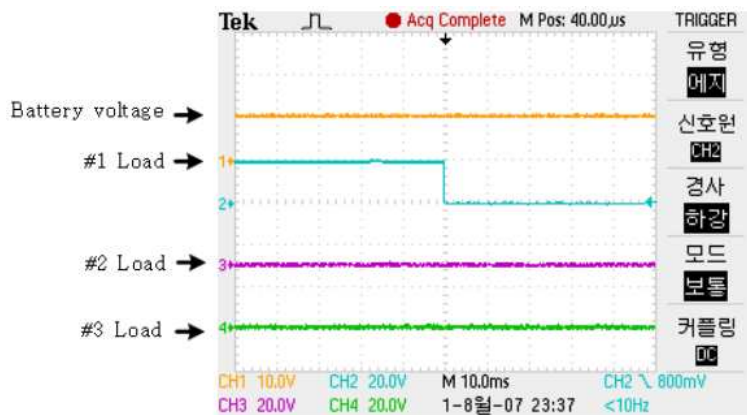
Fig. 5.9 Waveforms of main battery connection

다. 보조축전지부

보조축전지의 전압을 체크하여 일정전압 이상이면 축전지의 과충전을 위해 충전하지 않고 일정전압 이하가 되면 다시 충전을 하게 된다. 또한 과방전을 위해 일정전압 이하가 되면 중요도가 낮은 부하부터 연결을 해제하고 축전지의 방전중지전압 근처에서는 모든 부하를 해제한다. Fig. 5.10에서 보이는 것처럼 보조축전지 전압이 10.5V 이하이면 2번부하와 3번부하를 해제하고 10V이하가 되면 모든 부하를 해제한다.



(a) below 10.5V



(b) below 10V

Fig. 5.10 Waveforms of loads connection

5.3 파력시뮬레이터

주기 및 파고에 따른 특성을 파악하기 위하여 Fig. 5.10과 같은 파력발전 시뮬레이터를 구성하고 출력특성을 파악하였다. 모터의 분당회전수를 통해 파도의 주기를 조절하며 연결봉의 길이를 변경하여 파고를 조절한다. 파고는 20cm에서 80cm까지 조절가능하며 발전기의 최대출력은 100W 이다. 아래 Table 5.1에 실험장치의 세부 구성사항을 표시하였다.

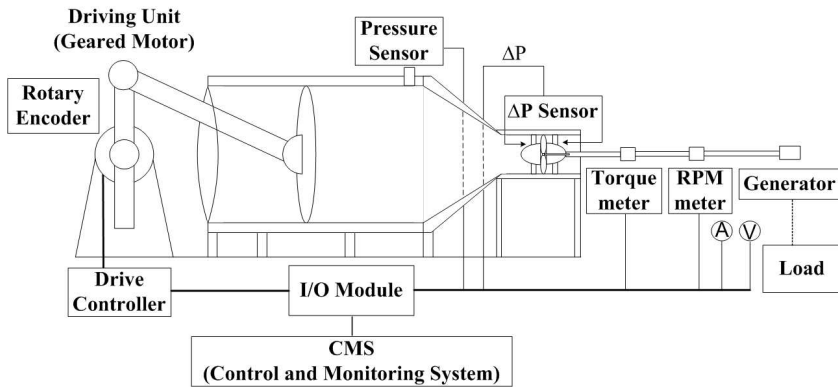


Fig. 5.11 Block diagram of OWC simulator

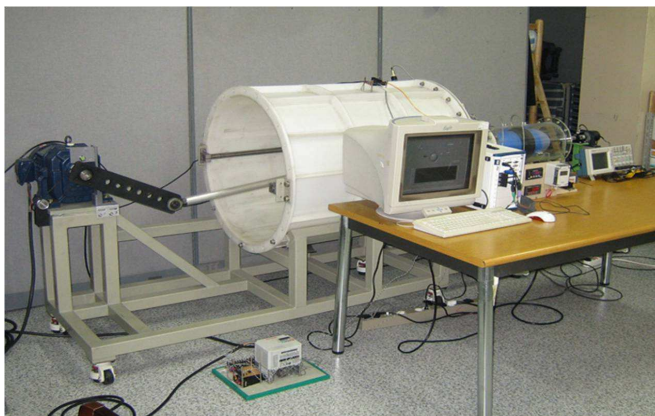
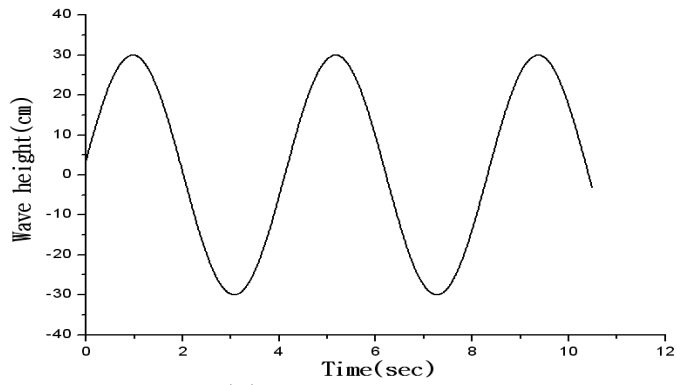


Fig. 5.12 Photograph of OWC simulator

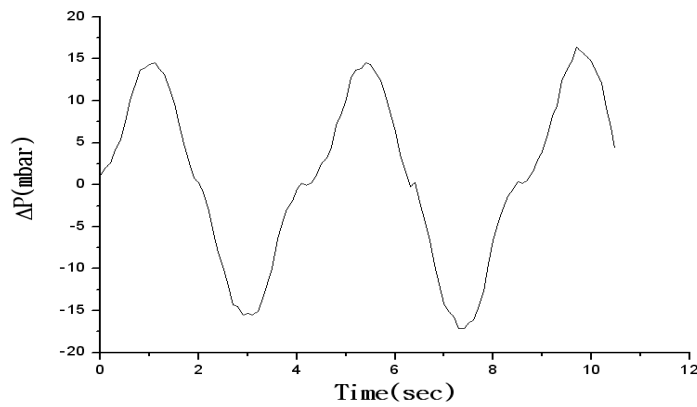
Table 5.1 Simulator properties

ITEMS	SPECIFICATIONS
Main base	L3,345 x B800 x H1,050mm / SS square bar
Air duct	ID754 x L1000mm / PP plate
Air corn	ID754 x ID230 x L408mm / PP plate
Air piston	OD752mm / PP plate with cranck mechanism
Control system	Period control : 0~110RPM Wave height control : 200~800mm Driving unit : geared motor
Turbine duct	ID230 x L600 x 10T / transparency acryl
Air turbine	Type : Wells turbine Blade section : NACA 0020 / 6-blades Material : AL & ABS RESIN
Generator	12VDC, 100W, BLDC motor(HMEB-074)
Rpm meter	MAX. 20,000RPM
Load	12V 25W Light bulb

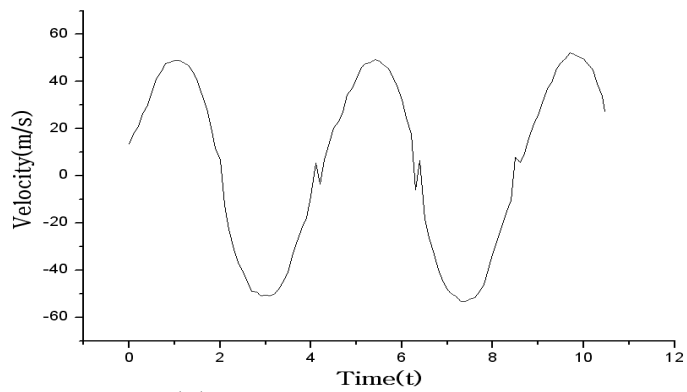
파도의 입력에 따른 출력특성은 Fig. 5.13과 같다. Fig. 5.13(a)와 같은 정현파 파도입력에 대하여 터빈양단에서 공기차압(ΔP)은 Fig. 5.13(b)와 같이 입력파와 유사한 정현파 곡선을 나타내며, 이 압력변화에 따라 터빈 출구속도는 Fig. 5.13(c)와 같은 형태를 나타낸다. 터빈의 출구속도 또한 파도입력 정현파와 유사하지만 공기의 흐름방향이 바뀔 때 급속하게 변함을 알 수 있다. 또한 이때의 출력은 Fig. 5.13(d)와 같은 특성을 나타낸다.



(a) Wave input

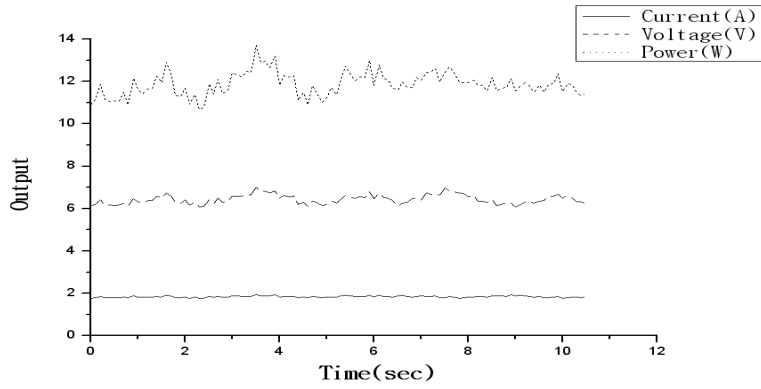


(b) Pressure difference of turbine



(c) Velocity of turbine

Fig. 5.13 Characteristics of generator output(continued)
(height=70cm, period=4.2sec)



(d) Output

Fig. 5.13 Characteristics of generator output (height=70cm, period=4.2sec)

Fig. 5.14는 주기 및 파고에 따른 발전기의 출력특성을 나타낸다.

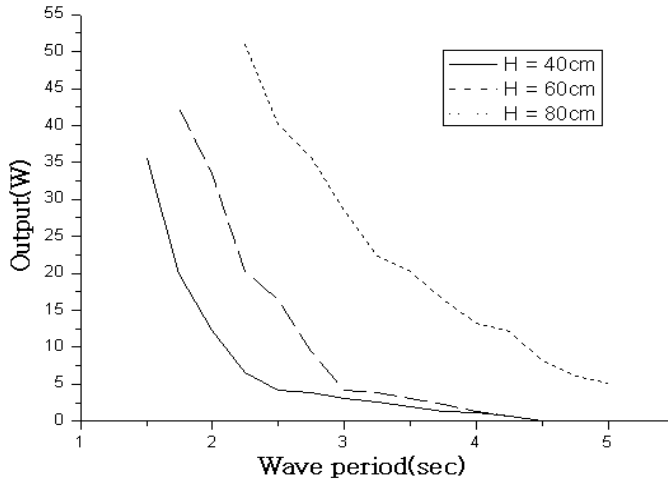


Fig. 5.14 Characteristic of generator output as function of period and height

Fig. 5.14에서 출력은 파고가 높을수록, 주기가 짧을수록 터빈을 통과하는 공기의 유량이 증가하여 출력이 증대 됨을 확인하였다. OWC의 이론적

해석에 따르면 가장 효과적인 출력은 챔버와 진동수주간의 공진시에 발생하며, 파력장치에서 무게, 단면적, 챔버길이 등의 파라미터값 조절을 통해 공진주파수를 조절할 수 있다. 본 실험은 이러한 공진조건을 배제하고 파도의 주기 및 파고에 따른 출력을 실험하여 다소 낮은 출력특성을 보였으나 공진조건을 고려하여 실제 해양에서 파력발전장치가 이용된다면 실제 출력은 현재의 실험치 보다 높게 나타날 것으로 기대한다.

제 6 장 결 론

항내에서의 안전을 확보하기 위해 필수적인 등부표는 일사량에 절대적으로 의존하는 태양광발전을 통해 전력을 생산하여 기상에 따른 안정성문제와 축전지 수명에 문제점을 안고 있다. 더욱이 효율적인 관리를 위해 최근 집약관리시스템이 등부표에 도입되고 있어 이에 따른 추가적인 전원공급문제가 크게 대두되고 있다.

본 논문은 이러한 등부표 전원시스템의 전력부족 문제를 해결하기 위해, 태양광발전의 최대전력지점을 추적하여, 보다 효율적인 충전이 가능한 MPPT제어기를 설계하여 적용하였다. 또한 태양광발전과 기상조건이 반대되는 파력발전시스템의 등부표 적용을 위해 진동수주형 파력발전장치의 이론적인 분석과 시뮬레이터를 제작하여 파고와 주기에 따른 출력특성을 분석하고, 태양광과 파력발전을 이용한 등부표용 하이브리드 시스템이 효과적으로 수행하도록 전원 및 부하제어기를 설계하고 실험 하였다.

실험결과 MPPT제어기와 전원 및 부하제어기는 설계요구에 맞게 적절히 동작하였으나 파력발전 시스템은 3초 주기의 40cm 파고에 대해 약 5W 정도의 다소낮은 출력특성을 보였다. 이는 부유식 OWC의 최대장점인 진동수주와 챔버의 공진을 이용하지 못하는 육상 시뮬레이터의 제약으로 인한 것으로, 공진조건을 고려한 해상실험이 추가적으로 실행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 정재훈, 김종국, 김종욱, 이희준, 김훈, “향로표지용 전원공급시스템 실태조사”, 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회 논문집, 2005.
- [2] 권병국, “태양광-풍력 복합발전 시스템의 구성에 관한 기초연구”, 중앙대학교 대학원 석사학위 논문, 2002.
- [3] 해양수산부, “향로표지 업무편람”, 1999.
- [4] 해양수산부, “집약관리시스템 전원확보 방안 연구”
- [5] 해양수산부, “해상교통안전시설물용 Hybrid 전력시스템에 관한 기획연구”, 2007.
- [6] 兵川圭弘, “太陽光發展入門”, オ - ム 社, 1981.
- [7] Dr. f. lasnier, Tony Gan Ang, "Solar Photovoltaic Handbook", Energy Technology Division Asian Institute of Technology, 1988.
- [8] 박세준, “태양광/풍력 복합발전시스템의 독립운전방식에 관한 연구”, 동신대학교 대학원, 2004.
- [9] 김선자, “개선된 태양전지 모델을 적용한 태양전지 출력 특성 해석”, 건국대학교 대학원, 2005.
- [10] J. A. Gow, C. D. Manning, "Development of a photovoltaic array model for use in power electronics simulation studies", IEE Proceedings on Electric Power Applications, Vol. 32, No. 2, pp193-200, 1999.
- [11] Michael E. McCormick, David L. Bowler, "Ocean Wave energy Conversion", A Wiley-interscience Publication,

1981.

- [12] D. V. Evans, R. Porter, "Hydrodynamic characteristics of an oscillating water column device", Applied Ocean Research, 제 17권, 1995.
- [13] 홍도천, “부유식 OWC 챔버의 파중 운동해석”, 한국해양공학회지 제16권, 제 3호, 2002.
- [14] 이승철, 문운철, 권병국, 김종환, “태양광-풍력 복합발전시스템의 경제적 운용을 위한 최적 용량 산정에 관한 연구”, 조명·전기설비 학회논문지, 제18권, 제 3호, 2004.
- [15] C.Josset, A.H. Clement, "A time-domain numerical simulator for oscillating water column wave power plants", Renewable energy, 제 32권, 2007.
- [16] A. Babarit, H.Ben Ahmed, A.H.Clement, V. Debusschere, G. Duclos, B. Multon, G. Robin, "Simulation of electricity supply of an Atlantic island by offshore wind turbines and wave energy converters associated with a medium scale local energy storage", Renewable Energy, 제 31권, 2006.
- [17] M.W. Park, I.K. Yu, " A Study on the Optimal Voltage for MPPT Obtained by only Surface's Temperature of Solar Cell", Transactions Korean Institute of Electrical Engineers, Vol 53, No 2, 2004.
- [18] 오진석, 곽준호, “독립형 태양광 발전 시스템 충전제어기 개발에 관한 연구”, 한국박용기관학회지, 제 28권, 제 6호, 2004.
- [19] 곽준호, “원격 다중 제어가 가능한 독립형 태양광 발전 시스템 제어기 개발에 관한 연구”, 한국해양대학교 대학원 공학석사 학위논문, 2005.

- [20] C. Hua, J. Lin, "An on-line MPPT algorithm for rapidly changing illuminations of solar arrays", Renewable energy, Vol 28, No 7, 2003.
- [21] G.J. Yu, Y.S. Jung, K.H. Kim, J.Y. Choi, "A Study of MPPT Algorithm for Low Insolation", Transactions Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.51, No.3, 2002.
- [22] 한국전력공사 기술연구원, 해양에너지 이용 파력발전(60kw) 장치 개발, 한국전력공사, 1994.
- [23] 김병우, "혼용 Buck/Boost 컨버터를 이용한 최적의 태양에너지 변환기", 전남대학교 대학원 공학석사 학위논문, 2006.

감사의 글

학부를 졸업하고 2년 동안의 군 복무 후 다시 이곳 조도에 돌아온 지 어느덧 2년여의 시간이 지나 이제 석사과정의 마지막에 다다랐습니다. 많은 꿈과 호기심을 앓고 이곳에 다시 발을 내딛었지만 뜻하지 못한 일들로 처음 마음과 다르게 최선을 다 하지 못하여 많은 아쉬움을 남기고 떠납니다.

비록 이제는 함께 할 수 없지만, 하늘에서 편히 쉬고 있을 훈석이형에게 누구보다 먼저 진심으로 진심으로 감사드립니다. 지난 2년 동안 많은 관심과 도움으로 무사히 학위를 받을 수 있도록 도와주신 오진석 지도교수님께도 진심으로 감사드립니다.

제가 살아오며 있어 항상 누구보다도 큰 울타리가 되고 정신적인 버팀목이 되어주신 어머니, 아버지, 누나, 매형, 조카 예찬에게 감사드립니다. 힘든 상황 속에서 오히려 저를 보듬어 주시고 이제는 또 다른 가족이 된 훈석형 어머니, 삼촌께도 진심으로 감사드립니다.

힘든 일로 절망에 빠져 있을 때 진심으로 걱정하고 고민해주신 환기형, 현욱이형, 일권이형 그리고 도움주신 수많은 선후배님께도 감사의 말을 전하고 싶습니다.

지난 2년 동안 옆에서 활역소가 되어준 종명에게도 무지 고맙고, 함께 피씨름 조교로 고생하며 철없는 후배 챙겨주느라 고생하신 정현이형도 고맙습니다. 그리고 함께 연구실에서 동고동락했던 동지들, 준호형, 연형형, 관준이 수영이, 성영이, 상기, 경욱이, 헤미, 상화, 철원, 유미 모두 다 고맙습니다.

마지막으로 부족한 논문 보완을 위해서 정성스레 검토하고 지적해주신 유희한 교수님, 이홍찬 교수님을 비롯해 지난 2년간 배움의 길에서 많은 도움주신 정병건 교수님, 김성환 교수님, 김유택 교수님께 감사드리며, 그 외에도 일일이 거명하지 못한 많은 분들께 깊이 감사의 마음을 전합니다.