

工學碩士 學位論文

하이브리드 발전을 위한
모니터링 시스템 설계에 관한 연구

The Design of the Monitoring System
for Hybrid Power Generation



指導教授 吳 珍 錫

2010年 2月

韓國海洋大學校 大學院

메카트로닉스공학과

裴 修 英

목 차

List of figures	iii
List of tables	vi
List of symbols	vii
List of abbreviations	ix
Abstract	xi
제 1 장 서론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 동향	4
1.3 연구 내용 및 구성	8
제 2 장 하이브리드 발전 시스템 특성	9
2.1 태양광 발전 시스템	9
2.1.1 태양전지 종류와 원리	9
2.1.2 태양전지의 특성	11
2.1.3 태양광 발전 시스템의 분류	14
2.2 파력 발전 시스템	16
2.2.1 파랑에너지의 원리와 종류	16
2.2.2 진동수주형 파력발전 장치	18
2.2.3 웰스터빈	20
2.3 해상용 하이브리드 발전 시스템	22
제 3 장 해상용 모니터링 시스템	25
3.1 모니터링 시스템 개요	25
3.2 모니터링 시스템 구성	28
3.2.1 전력 제어 시스템 개요	28
3.2.2 전력 측정부	32
3.2.3 전력 제어부	35
3.2.4 하이브리드 발전 주 제어부	36
3.2.5 통신 알고리즘	39

3.3	모니터링 프로그램	41
3.3.1	개요	41
3.3.2	화면 구성	42
3.3.3	통신 알고리즘	43
3.4	신호처리 구성	54
3.4.1	SPI 통신의 신호처리	54
3.4.2	CAN 통신의 신호처리	55
3.4.3	RS-232C 통신의 신호처리	56
3.5	프로토콜 구성	58
3.5.1	시스템 제어 프로토콜	58
3.5.2	모니터링 프로그램 프로토콜	60
3.5.3	데이터 저장	63
제 4 장	실험 및 고찰	64
4.1	실험 개요	64
4.2	실험 및 분석	67
4.2.1	전력 측정부	67
4.2.2	전력 제어부	70
4.2.3	하이브리드 발전 주 제어부	72
4.3	실험 결과 및 고찰	75
제 5 장	결론	78
참 고 문 헌	80

List of figures

Fig. 1.1 World marketed energy consumption, 1980-2030	1
Fig. 1.2 World marketed energy consumption, 2006-2030	2
Fig. 1.3 Average annual growth in energy-related carbon dioxide emissions in the OECD economies, 2006-2030	3
Fig. 1.4 The graph of annual investment for the ocean R&D	5
Fig. 1.5 The graph of build-up to long-term investment for ocean technology	5
Fig. 2.1 The photovoltaic effect in a solar cell	10
Fig. 2.2 The schematic of the configuration for the photovoltaic array	11
Fig. 2.3 The V-I curves showing maximum power and load line hyperbolas	12
Fig. 2.4 Grid type power generation system	14
Fig. 2.5 Off grid type power generation system	15
Fig. 2.6 Wave power generation with oscillating water column	18
Fig. 2.7 Diagram of wave power generation system	19
Fig. 2.8 Diagram of wells turbine	21
Fig. 2.9 Hybrid power generation systems	22
Fig. 2.10 Hybrid power generation systems for ocean facility	23
Fig. 3.1 Schematic of the outline for the monitoring system	25
Fig. 3.2 Schematic of the communication system inside a buoy	26
Fig. 3.3 Diagram of the hybrid power control system	28
Fig. 3.4 An arrangement plan of the upper part for the hybrid power control system	29
Fig. 3.5 Electric wiring diagram of hybrid power generation control system	30
Fig. 3.6 Schematic of the power switching part	31
Fig. 3.7 Schematic of the power device for installation	31
Fig. 3.8 Schematic for the measuring system	32
Fig. 3.9 A circuit diagram of measuring board	34
Fig. 3.10 Schematic of the circuit break system	35
Fig. 3.11 Schematic of the main control circuit and measuring board	36
Fig. 3.12 A circuit diagram of the main controller	38
Fig. 3.13 Flow chart of main controller communication algorithm	39
Fig. 3.14 Flow chart of main controller interrupt algorithm	40

Fig. 3.15 Structure of the monitoring program	41
Fig. 3.16 The screen of the monitoring system	42
Fig. 3.17 Transmission control protocol	43
Fig. 3.18 Flow chart of monitoring program algorithm	44
Fig. 3.19 Block diagram of hybrid monitoring system	45
Fig. 3.20 Block diagram of data TX	46
Fig. 3.21 Virtual instrument of data TX	47
Fig. 3.22 Block diagram of data TX VI	47
Fig. 3.23 Block diagram of data RX and save	48
Fig. 3.24 Virtual instrument of data RX	49
Fig. 3.25 Block diagram of data RX VI	50
Fig. 3.26 Virtual instrument of data save	51
Fig. 3.27 Block diagram of data save VI	53
Fig. 3.28 A/D converter typical operating circuit	54
Fig. 3.29 Serial interface timing	55
Fig. 3.30 Pin configuration and typical operating circuit	55
Fig. 3.31 Timing diagram for AC characteristics	56
Fig. 3.32 Pin configuration and typical operating circuit	57
Fig. 3.33 Receiver propagation-delay timing	57
Fig. 3.34 A system control frame	58
Fig. 4.1 Pictures of the hybrid power generation system installed on site	64
Fig. 4.2 PV array	65
Fig. 4.3 Wells turbine	65
Fig. 4.4 Hybrid power generation system module	65
Fig. 4.5 Configuration of hybrid power generation system module	66
Fig. 4.6 Measuring board	67
Fig. 4.7 Measuring board and terminal block	67
Fig. 4.8 SPI communication test pin	68
Fig. 4.9 Waveform of Searching A/D converters	69
Fig. 4.10 Waveform of SPI communication	69
Fig. 4.11 MPPT board	70
Fig. 4.12 Main board and MPPT board	70
Fig. 4.13 CAN communication test pin	71

Fig. 4.14 Waveform of CAN communication 72

Fig. 4.15 Main control board 72

Fig. 4.16 Waveform of RF communication 73

Fig. 4.17 Waveform of RF communication - RX 74

Fig. 4.18 Waveform of RF communication - TX 74

Fig. 4.19 Graph of the output power from the hybrid power system in sunny day 75

Fig. 4.20 Graph of the output power from hybrid power system in cloudy day 76

Fig. 4.21 Graph of the output power from the hybrid power system in rainy day 76

Fig. 4.22 Graph of the output power from the hybrid power system in sunny
and windy day 77



List of tables

Table. 1.1 Statistical data regarding national renewable energy systems	7
Table. 2.1 Classification of photovoltaic cells	9
Table. 2.2 Classification of the 1st conversion device on a wave generator ...	17
Table. 3.1 The protocol to control the monitoring system - Local control	59
Table. 3.2 The protocol to control the monitoring system - Monitoring control ..	59
Table. 3.3 The protocol to control the local system	60
Table. 3.4 The protocol for monitoring	61
Table. 3.5 Data construction - ① ~ ⑩	62
Table. 3.6 Data construction - ⑪	62
Table. 3.7 Data construction - ⑫	63
Table. 3.8 List of data received from the system	63



List of symbols

A	: 이상적 상태요소
A_{utp}	: 해수면과 접촉하는 등부표 단면적
B	: 이상적 상태요소
E_{ef}	: 시스템 효율
E_{g0}	: 실리콘 밴드 갭
E_{pv}	: 태양전지 용량
E_{sl}	: 경사면 일사량
g	: 중력가속도
H	: 유의파고
I	: 태양전지 셀의 출력 전류
I_a	: V-I 곡선에서의 전류
I_g	: 광 생성 전류
I_{sat}	: 태양전지 셀의 포화 전류
I_{sc}	: 태양전지 셀이 28°C , $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 일 때 셀의 단락회로 전류
I_t	: T_r 에서의 포화 전류
K_i	: I_{sc} 에서 단락 회로 전류 온도 계수
K	: 볼츠만상수
λ	: 태양전지 셀의 조도
m	: 등부표 챔버 질량
m_w	: 등부표 챔버 내 해수의 영향으로 발생하는 추가질량
N_{sc}	: 태양전지 매수
w	: 각속도

ω_z	: 등부표 챔버 운동 각속도
q	: 전하
Q_w	: 등부표 챔버 내 해수 출입량
Q_{wm}	: 등부표 챔버 내 최대 유입 해수량
Q_{wmL}	: 등부표 챔버 내 해양생물 부착 후 해수 유입량
ρ_w	: 해수밀도
R_s	: 직렬 저항
S	: 등부표 챔버 단면적
T	: 유의과랑주기
T_c	: 태양전지 셀의 섭씨 온도(°C)
T_k	: 태양전지 셀의 절대 온도(K)
T_r	: 기준 온도
V	: 태양전지 셀의 출력 전압
W	: 에너지량
Z_0	: 등부표 챔버 상하운동 변위 진폭



List of abbreviations

A/D	: Analog / Digital
AFS	: Anti-Fouling System
CS	: Chip Select
CAN	: Controller Area Network
CANH	: CAN High-Level Voltage I/O
CANL	: CAN Low-Level Voltage I/O
CLK	: Serial Clock
Din	: Serial Data In
Dout	: Serial Data Out
DB	: Data Base
EIA	: Energy Information Administration
KONESIS	: Korea New&renewable Energy Statistical Information System
MLTM	: Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs
MOSFET	: Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor
MPPT	: Maximum Power Point Tracker
OWC	: Oscillating Water Column
OECD	: Organization for Economic Cooperation and Development
PCB	: Printed Circuit Board
PV Cell	: Photovoltaic Cell
QBtu	: Quadrillion British thermal units
R&D	: Research and Development
RF	: Radio Frequency
RS-232C	: Recommended Standard-232C
RX	: Receiver

RXD : Receive Data Output
SCK : Serial Clock
SDI : Serial Data In
SDO : Serial Data Out
SHDN : Shutdown Input
SPI : Serial Peripheral Interface
SSR : Solid State Relay
TCP : Transmission Control Protocol
TX : Transmitter
TXD : Transmit Data Input
VI : Virtual Instruments



The Design of the Monitoring System for Hybrid Power Generation

Soo-young, Bae

*Department of Mechatronics Engineering
Graduate School of Korea Maritime University*

Abstract

Due to the serious concern regarding energy globally, the ocean, which obtains infinity clean energies, has been come into the spotlight and many researches converting these energies into the electricity have been being conducting around the world. The grid-off(stand-alone) system using the battery is particularly essential for ocean facilities, such as lighthouses, buoys, etc. However, it is difficult to operate it compared to do it on land because of many constrains such as long distances, severe weather conditions, etc. As a result, the self-charging/discharging battery system using a PV generator has recently been studied, particularly to apply it to the marine signal light on a buoy. However, according to characteristics of the PV generator, the generated electric power is not steady, for example it usually over-generates the electricity in the sunny day but it hardly generates the electricity in a rainy and heavy cloudy day. Therefore using the PV alone is difficult to supply the steady electric power to a buoy, as a result, it cannot guaranty of the safety for a ship's voyage. In order to overcome this main drawback of the PV system, researchers have recently been studied to

hybrid between the PV generator and the wind generator or the PV generator and the wave power generator. Although the wind power generator and the wave power generator intermittently generate the electric power, they are able to generate at night. As a result, they can compensate the main drawback of the PV system.

The aim of this study is to supply the steady power to ocean traffic facilities using the hybrid system and in order to achieve this aim, the hybrid system consisted of the PV generator and the wave power generator is proposed in this work. However, each system interferes each other in the hybrid system and the high frequency of charging/discharging makes the battery's lifetime shorter. Therefore in order to improve the efficiency of the system and also increase the lifetime of the battery, the battery must be charged/discharged by the controller which is able to maximize the efficiency of the system respectively. Addition to this, it needs to monitor the condition of the system in real time. Therefore the systematic monitoring system in this study is consisted to optimally operate the system to supply the steady power to the marine signal light on the buoy, and addition to this the wireless communication system is constructed to monitor the system in real time.

Furthermore it is tested on the sea and data from the PV system and the wave power generator is collected to analyze its output characteristics. In addition to this, data regarding load conditions is also collected and analyzed. Through the analyzed results, it proves it's feasibility of the proposed hybrid power generation system and the proposed monitoring system which is increased the efficiency of the system. Therefore, not only the proposed system in this work

improves the efficiency, but also it brings the system's reliability and safety due to being controlled by generation characteristics and monitored the battery's condition.

As a result, it will take a big role to prevent marine accident on the sea. Furthermore it can reduce the frequency of visit on site because the steady power is supplied by the stand-alone power system and using clean energies will achieve great financial savings and also reduce the emission of greenhouse gases into the atmosphere. For future works, it requires to study more about control techniques of various power generation systems using renewable energies and their monitoring systems fitted with ocean facilities as well.



제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

‘세계는 지금 에너지 전쟁 중’ 이라고 표현할 만큼 2009년 현재, 전 세계가 에너지에 주목하고 있다. 화석연료를 중심으로 살아가는 현대인들에게 화석연료의 고갈은 큰 문제가 아닐 수 없다. 화석연료의 고갈은 일시적으로 유가 상승을 야기하고, 유가 상승이 장기적으로 이어지면 경제적 문제도 심화될 것으로 예상된다. 또한 과도한 화석연료의 사용으로 인해 파괴되는 환경을 보호하기 위한 국제 협약인 도쿄의정서에 의해 이산화탄소 배출권 등의 다양한 관점에서 에너지의 중요성이 대두되고 있다.



Fig. 1.1 World marketed energy consumption, 1980-2030

미국 에너지 정보국(EIA, energy information administration)이 발간한 ‘세계 에너지 전망 2009(international energy outlook 2009)’ 에 의하면,

전 세계 에너지 소비량은 과거부터 현재까지 Fig. 1.1 과 같은 상승세를 보일 것으로 예상된다. 향후 2010년부터 2030년까지 전 세계 에너지 소비량이 지속적으로 증가가 예상되는 것은 개발도상국의 경제성장이 원인이 될 것으로 보인다. Fig. 1.2는 비OECD 국가의 경제성장으로 에너지 소비가 2006년 472QBtu(quadrillion british thermal units : QBtu)에서 2030년 678QBtu로 총 44% 증가할 것으로 예측하고 있다[1].

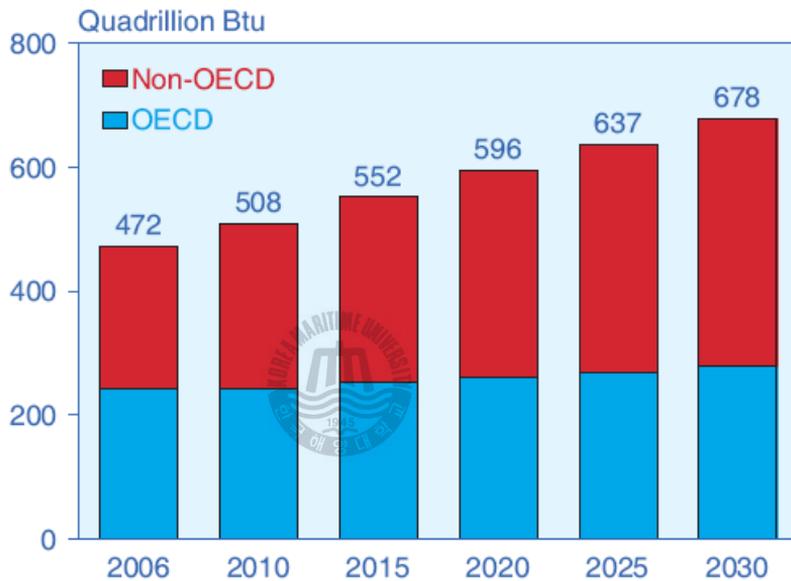


Fig. 1.2 World marketed energy consumption, 2006-2030

세계 에너지 전망 2009에서는 에너지에 관련된 다양한 분석을 하고 있는데, 여기서 주목해야할 점은 대한민국이 OECD 국가 중 매년 이산화탄소 배출량이 Fig. 1.3과 같이 제일 높을 것으로 보고된다는 것이다. 이는 매년 증가율이 0.1인 유럽에 비해 10배 이상의 수치다. 이처럼 대한민국이 이산화탄소 배출량이 높을 것으로 각종 보고서에서 보고되고 있는 이유는, 소득 수준에 비해서 에너지 소모가 크기 때문이다.

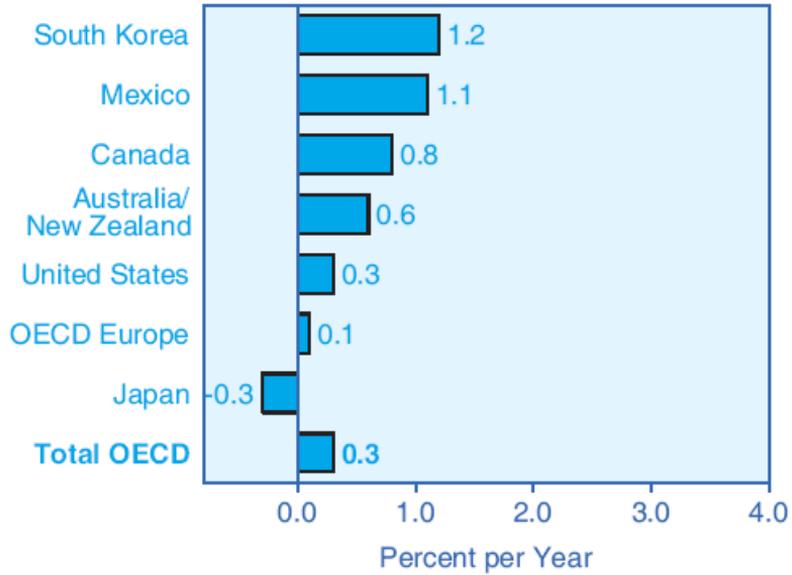


Fig. 1.3 Average annual growth in energy-related carbon dioxide emissions in the OECD economies, 2006-2030

향후 25년간(2002~2030) 전 세계 에너지 소비량이 증가하는 동안에도 화석연료의 비중이 여전히 높을 것으로 전망됨에 따라, 화석연료 사용에 따른 이산화탄소 배출량도 함께 증가할 것이다. 따라서 이를 감소시키기 위한 체계적인 방안과 노력이 필요하다. 최근 이산화탄소 문제가 제기되면서, 이산화탄소 배출량을 줄이기 위한 각종 제도를 국가별로 도입하고 있다. 그 중 기존의 이산화탄소를 배출하는 에너지를 대체할 수 있는 신재생에너지를 사용하는 것이 대안이 될 수 있을 것이다. 본 논문에서는 이러한 시대적 상황을 고려하여, 신재생에너지 분야 중 잠재성이 높은 해양에너지를 대상으로 연구를 진행하였다.

1.2 연구 동향

전 세계 전기 생산에 가장 빠른 성장을 보이는 분야가 「신재생에너지」다. 신재생에너지의 종류에는 태양열, 태양광발전, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물에너지 등이 있다. 이들은 환경친화성과 공급안정성은 확보하였으나, 높은 초기 투자비용 등 경제적인 부분 때문에 발전이 부진했었다. 하지만 최근 정부의 지원에 힘입어 다양한 사업이 이루어지면서 신재생에너지가 새롭게 떠오르고 있다. 에너지에 대한 관심이 높아지면서, 대중매체에서도 에너지에 관한 다큐멘터리를 제작·방영하고, 신재생에너지 기술 개발 동향에 관한 연구 자료들이 보고되고 있으며, 관련 서적들도 베스트셀러 반열에 오르고 있다. 아직은 에너지 선진국들에 비하면 미흡한 부분이 많지만, 앞으로 국내에도 신재생에너지 분야가 발전할 것으로 예상된다[2].

다양한 신재생에너지 분야 중 서서히 잠재력을 인정받고 있는 에너지 분야가 바로, 지구 겉넓이의 71%를 차지하는 ‘바다’이다. 대한민국의 육지면적은 9만9천 km^2 인데 비해, 관할하는 바다는 44만7천 km^2 로 육지의 4.5배의 면적을 가진다. 바다에는 태양으로부터 받은 열에너지, 파도, 조류, 해류로부터 나오는 운동에너지 등 육상에서 사용하는 에너지까지 포함하는 무한한 에너지를 가지고 있다[3-4].

순수 자연에너지인 해양에너지는 그 우수한 잠재력에도 불구하고, 그동안 육지 중심의 에너지 기술 개발이 신재생에너지 분야의 중심을 이루었다. 이는 해양 특성상 에너지를 취득할 수 있는 장소와 소비 장소의 거리차이, 에너지 출현의 변동성 등의 문제 때문이다. 하지만, 이를 극복할 수 있는 기술이 점차 진보되면서 해양에너지 전문가들이 해양에너지의 다양한 분야에서 활동하게 되었고, Fig. 1.4와 같이 국가에서도 해양 R&D 투자를 연평균 16.6% 가량 증가시키며 지원하고 있다. 또한 해양과학기술의 기초를 확실히 다지고, 해양강국으로 도약하고자 앞으로도 해양과학기술을 위해 중장기 투자를 강화한다는 방침을 Fig. 1.5와 같이 내세우고 있다.

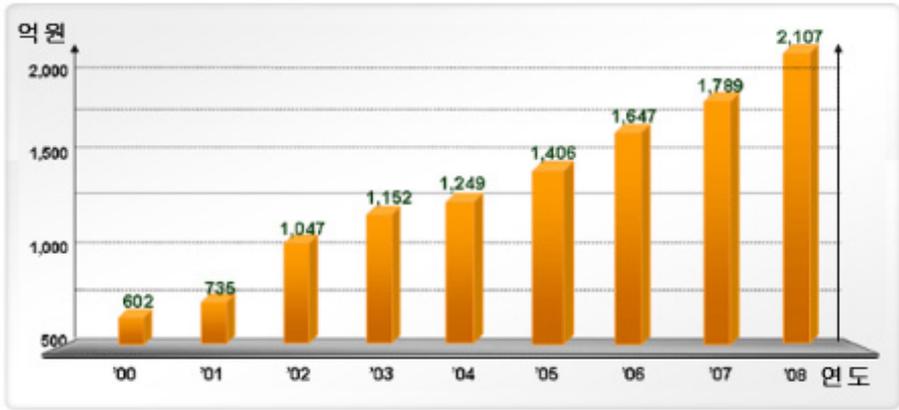


Fig. 1.4 The graph of annual investment for the ocean R&D
(Source : MLTM)

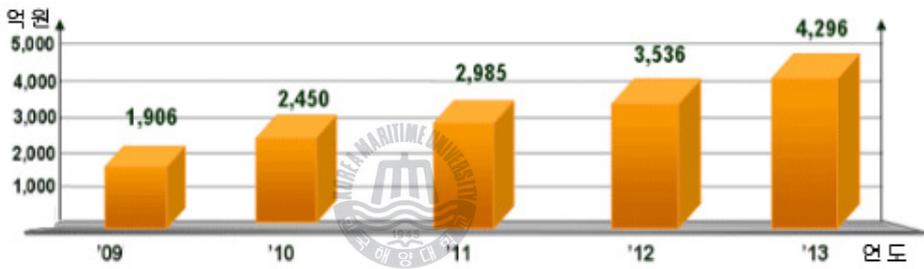


Fig. 1.5 The graph of build-up to long-term investment
for ocean technology (Source : MLTM)

해양에너지의 많은 에너지원 중에서 가장 현실적으로 적용 가능한 청정 에너지원은 다음과 같이 분류되고 있다. 유속이 빠른 곳에 터빈을 설치하여 발전하는 조류발전, 밀물과 썰물의 해수면 높이의 차를 이용한 조력발전, 파도(파랑에너지)의 상하 운동을 이용한 파력발전, 해수의 온도차를 이용한 온도차 발전 등이 있다. 이외에도, 기존의 육상에서 사용되는 신재생에너지 분야인 태양광과 풍력 발전 시스템을 해상에 도입하기도 한다. 이렇게 해양 에너지는 청정하고 상업성이 크기 때문에, 국내 대기업들도 해양에너지 사업에 많은 관심을 가지고 지원하고 있는 실정이다.

해양에너지의 에너지원 종류는 다양하지만, 일정하지 않은 기상변화에 따라 불균일한 에너지 형태로 획득된다는 공통된 문제점을 가진다. 이러한 에너지 출현의 변동성을 해결하기 위해, 에너지 각각의 특성을 고려한 전력변환 기술로 「하이브리드 발전 시스템(hybrid power generation system)」이 제안되었다. 이는 해양구조물이 설치될 위치에서 취득 및 이용 가능한 여러 가지 에너지 자원을 흡수할 수 있도록 조합하는 것이다. 따라서 둘 이상의 에너지원을 가진 발전시스템을 갖추게 된다. 하이브리드 발전은 단순히 해양에너지를 취득하는 것이 목표가 아니라, 에너지 흡수 및 저장 기능을 포함한다. 또한 하이브리드 발전은 다양한 형태의 에너지원들을 결합하여 발전하는 형태이므로, 생산-교육-관광 등을 위한 기반시설로 활용할 수 있는 가능성을 지닌다.

해양에너지의 발전으로 선진국의 관심사였던 해양 친수 공간 구성과 해양 에너지공원 개발이 국내에서도 이루어지고 있다. 다양한 신재생에너지 발전 시스템들이 개발 및 상용화되고 있고, 국가에서도 일부 조건에 한하여 발전 설비를 모니터링하고 있다. 하지만 모니터링 대상은 산업자원부고시 제 2008-3호에 의거하여, 10kW이상의 태양열(200m²이상)과 지열(10kW이상) 발전 설비에 한정되어 있고, 정부지원 사업에 한해 이루어지고 있다.

신재생에너지 기술개발 및 보급 확대를 위한 정책 수립·시행을 위해 1988년부터 매년 신재생에너지 통계조사 및 자료집을 신재생에너지 센터에서 제공하고 있다. 2007년 8월부터 KONESIS(신재생에너지 통계 정보시스템)에서 보급 및 설비 가동·생산 현황을 수집·정리한 데이터를 제공하고 있으나, Table. 1.1의 전국 생산량 통계를 보면 해양에너지에 관한 자료 제공이 미흡하다는 것을 알 수 있다.

Table. 1.1 Statistical data regarding national renewable energy systems
 ('09.10.21, Source: KONESIS)

구분	설비수	설치용량	단위	생산량	단위	TOE
태양열	59	23,674.16	m ²	33.15	Gcal	3.32
태양광	1,113	263.73	MW	2,489.39	MWh	535.22
풍력	5	108	MW	523.97	MWh	112.65
수력	7	10.61	MW	24.7	MWh	5.31
지열	57	28.6	MW	321.74	Gcal	32.17
IGCC	0	0	MW	0	MWh	0
해양	0	0	MW	0	MWh	0
바이오-전력	2	2.79	-	38	MWh	8.17
바이오-열	0	0	-	0	Gcal	0
연료전지-전력	7	12.6	MW	57.46	MWh	12.35
연료전지-열	0	0	MW	0	Gcal	0
폐기물-전력	0	0	-	0	MWh	0
폐기물-열	0	0	-	0	Gcal	0
기타	1	1.07	-	21.92	MWh	4.71

*TOE(Tonnage of Oil Equivalent)

정부의 지원을 받을 만큼의 대규모 발전설비가 아닌 경우, 지속적인 관리가 이루어지지 않아 낙후되거나 파손되는 경우도 발생하고 있다. 이러한 문제점은 발전량과 시설물의 상태를 모니터링할 수 있는 체계를 갖추어 해결할 수 있다. 이는 데이터를 수집·분석하여 발전 시스템의 오작동을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 이러한 안정적인 시스템을 갖출 수 있는 기반을 마련해야 더욱 체계적인 신재생에너지 발전 시스템이 갖추어질 것이다[5-6].

1.3 연구 내용 및 구성

본 연구에서는 해양에너지의 발전에 따라 증가하고 있는 다양한 해양 시설물들의 안전을 위해 설치되는, 해양 교통 안전시설물인 등부표의 안정적인 독립형 전원 공급 시스템에 목적을 둔다. 이를 위해 2가지 이상의 에너지원을 이용하는 하이브리드 발전 시스템을 설계하고, 이를 제어 및 관리하기 위한 해상용 모니터링 시스템 구축 방법을 제시한다.

이와 같은 내용으로 본 논문은 총 5장으로 구성되어 있으며, 각 장의 내용은 다음과 같다.

제 1 장에서는 세계 에너지 시장의 현황을 통하여 해양에너지의 가능성을 제시하며, 하이브리드 발전에서 모니터링 시스템의 중요성에 관하여 알아본다.

제 2 장에서는 하이브리드 발전 시스템에 사용된 2가지 발전 시스템인 태양광 발전과 파력 발전 시스템의 원리와 종류를 알아본다.

제 3 장은 본 논문에서 제안하는 해상용 모니터링 시스템의 구조와 신호 처리 구조 등을 살펴본다.

제 4 장에서는 실제 해상에 구축된 독립형 전원 시스템을 제어·감시하기 위한 시스템을 통해 수집된 자료들을 분석하여 하이브리드 전력시스템의 전력 생산 특성을 분석하였다.

제 5 장은 마지막 장으로 본 논문에서 제안하고 실험한 내용을 토대로, 향후 하이브리드 발전 시스템을 위한 모니터링 시스템의 활용 방안과 발전 가능성에 관하여 서술하였다.

제 2 장 하이브리드 발전 시스템 특성

2.1 태양광 발전 시스템

2.1.1 태양전지 종류와 원리

태양광 산업의 성장에 따라 핵심기술인 태양전지(太陽電池, photovoltaic cell) 산업도 크게 성장하여 2000년대 이후 연평균 40% 이상의 높은 성장세를 지속하고 있다.

태양광 발전의 기초는 반도체의 광전효과(photovoltaic effect)를 이용하여 전기를 발생시키는 태양전지를 통해 이루어진다. 태양전지는 결정계의 실리콘이 대부분이지만, 비용 절감이나 변환 효율의 향상을 위하여 비결정계 실리콘이나 갈륨, 인듐 등의 화합물의 개발도 추진되고 있다. 태양전지의 종류는 Table. 2.1과 같다.

Table. 2.1 Classification of photovoltaic cells

분류			
실리콘 태양전지	결정계	벌크	단결정
			다결정
		박막	단결정
			다결정
		미결정	
	비결정계		
화합물 태양전지	II-VI족(CuInSe, CdTe) 다결정		
	III-V족(GaAs, InP) 단결정		
	3접합 집합형(InGaP/InGaAs/Ge)		
	2접합 집합형(GaInP/GaInAs)		
	색소증감형(TiO ₂)		

실리콘 반도체에는 전기적 성질이 다른 n형 반도체(+)와 p형 반도체(-)가 있으며, 이 둘을 연결한 pn접합체가 태양전지의 기본구조를 이룬다. Fig. 2.1은 pn접합 사이에서 발생하는 태양광 발전 메커니즘을 보여준다.

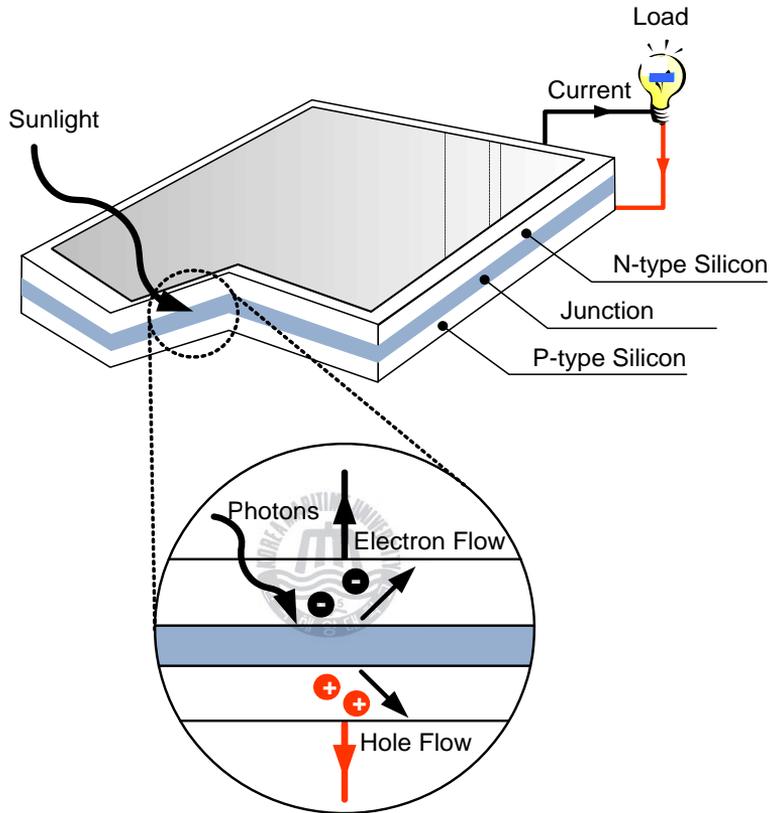


Fig. 2.1 The photovoltaic effect in a solar cell

실리콘 반도체에 빛이 닿으면 전기가 발생하는 현상인 반도체의 광전효과를 이용해서 태양광 에너지를 직접 전기에너지로 변환한다. 태양광이 반도체의 표면에 닿으면 n형 반도체에는 (-)의 전자, p형 반도체에는 (+)의 정공(正孔, 전자가 빠진 구멍)이 발생하며, pn접합부(junction)에서 나누어져 (-)의 전자가 음극에 (+)정공이 양극에 모인다. 이 때 양 전극을 도선으로 접속하면 불안정한 상태가 된 n형 반도체의 (-)전자가 도선을 통하여 p형 반도체의 (+)정공을 향해서 이동하므로 전류가 흐르게 된다.

셀(cell)은 태양전지의 가장 기본이 되는 소자로, 여러 개의 셀을 직렬 또는 병렬로 연결시켜 1개의 패키지로 만든 것이 모듈(module)이고, 여러 개의 모듈을 연결하여 용도에 맞게 구성한 발전장치가 실제로 설치되는 어레이(array)다. Fig.2.2는 태양전지의 구성을 나타낸다.

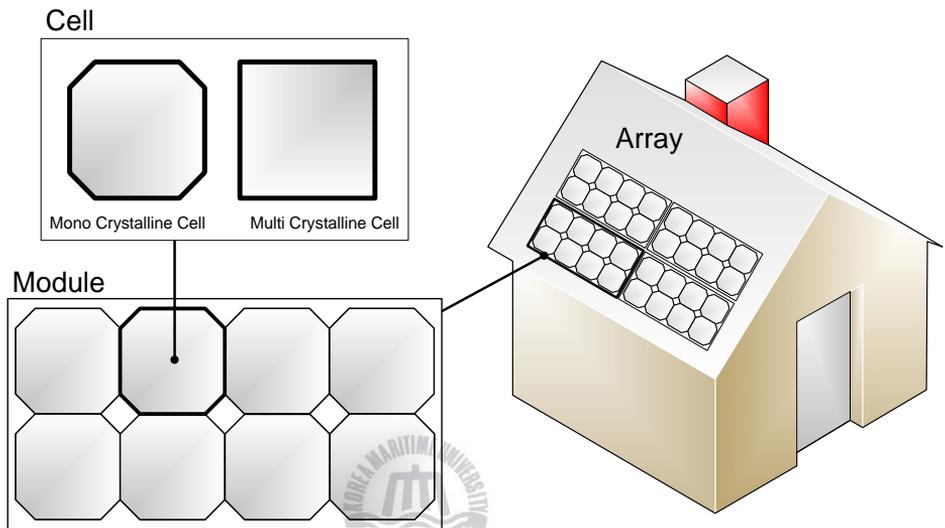


Fig. 2.2 The schematic of the configuration for the photovoltaic array

2.1.2 태양전지의 특성

태양전지 모듈의 최대 생산 전력은 일사량과 온도에 의해서 시시각각으로 변화하는 특성을 가지며, 부하에 따라서도 변하는 비선형 전원이다. 그러므로 광량에 따라 변화하는 출력 특성을 고려한 제어가 필요하다. 따라서 태양전지 모듈의 효율을 높이기 위해 항상 최대 전력점에서 동작하도록 하는 MPPT(maximum power point tracker) 알고리즘이 적용된 전력 제어가 사용된다.

태양전지의 평균 발전용량은 다음 식 (2.1)을 통해 구할 수 있다.

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

E_{pv} : 태양전지 용량 [W]

N_{sc} : 태양전지 매수 [장]

E_{sl} : 경사면 일사량 [Wh/m^2]

E_{ef} : 시스템 효율

Fig. 2.3은 태양전지의 표면 온도가 일정할 때의 빛의 세기 λ 가 서로 다를 때의 전형적인 태양전지의 전압-전류(V-I)곡선을 나타낸다. 컨덕턴스 경사도 G 가 0부터 증가하면서, 출력 전력은 최댓값에 도달할 때까지 증가한 후 감소한다. 따라서 G 값의 조절하면 최대 출력을 얻을 수 있다[8-9].

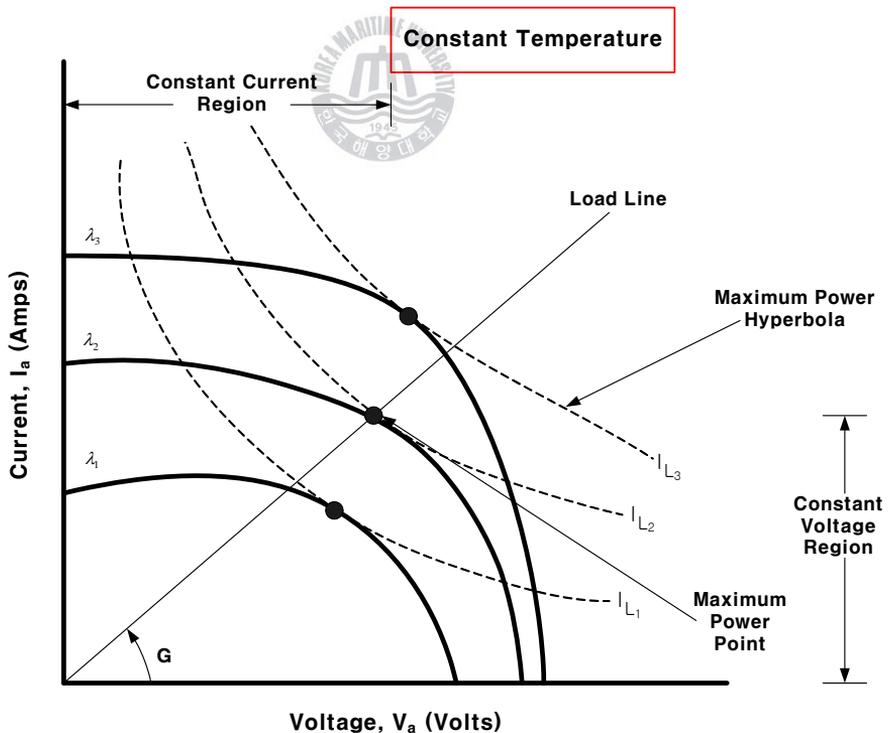


Fig. 2.3 The volt-ampere curves showing maximum power and load line hyperbolas

일반적으로 빛의 세기와 온도에 따른 태양전지의 정적인 특성은 다음의 식들로 나타낼 수 있다. 식 (2.2)는 태양전지 셀의 출력 전류를 나타낸다 [8-12].

$$I = I_g - I_{sat} \left\{ \exp \left[\frac{q}{AKT_k} (V + I_a R_s) \right] - 1 \right\} \quad (2.2)$$

- I : 태양전지 셀의 출력 전류
- I_g : 광 생성 전류
- I_{sat} : 태양전지 셀의 포화 전류
- A : 이상적 상태요소
- K : 볼츠만상수
- T_k : 태양전지 셀의 절대 온도(K)
- q : 전하
- V : 태양전지 셀의 출력 전압
- I_a : V-I 곡선에서의 전류
- R_s : 직렬 저항

여기서 태양전지 셀의 포화 전류 I_{sat} 는 식 (2.3)과 같다.

$$I_{sat} = I_t \left[\frac{T_k}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{qE_{g0}}{BK} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_k} \right) \right] \quad (2.3)$$

- I_t : T_r 에서의 포화 전류
- T_r : 기준 온도
- E_{g0} : 실리콘 밴드 갭
- B : 이상적 상태요소

광 생성 전류 I_g 는 식 (2.4)와 같다.

$$I_g = [I_{sc} + K_i(T_c - 28)] \frac{\lambda}{100} \quad (2.4)$$

I_{sc} : 태양전지 셀이 28℃, 100mW/cm²일 때 셀의 단락회로 전류

K_i : I_{sc} 에서 단락 회로 전류 온도 계수

T_c : 태양전지 셀의 섭씨 온도(℃)

λ : 태양전지 셀의 조도 [mW/cm²]

2.1.3 태양광 발전 시스템의 분류

태양광 발전의 주간 발전량은 사용량보다 많고, 야간은 발전량이 없어서 사용량이 부족하게 된다. 따라서 부족한 부분을 전력회사와의 관계 여부, 축전지의 사용 여부로 나누어 태양광 발전 시스템을 분류한다.

신재생에너지의 발전 시스템은 보통 계통연계형(grid) 발전 시스템과 독립형(off grid 또는 stand-alone)으로 나눈다. Fig. 2.4는 태양광을 이용한 계통연계형 발전 시스템이다.

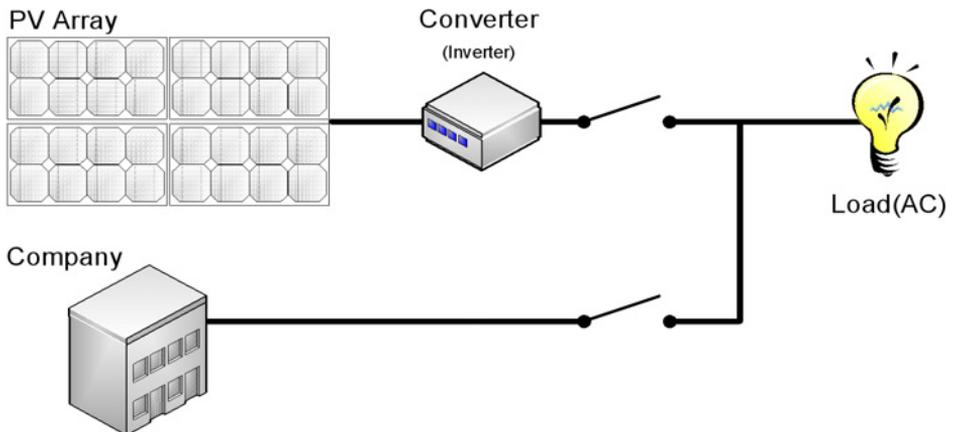


Fig. 2.4 Grid type power generation system

계통연계형 태양광 발전 시스템은 생산 전력이 부족한 야간에는 전기회사에서 전력을 공급받아 부하에 공급하고, 주간에는 태양광 발전을 이용하는 형태로 축전지를 사용하지 않는다.

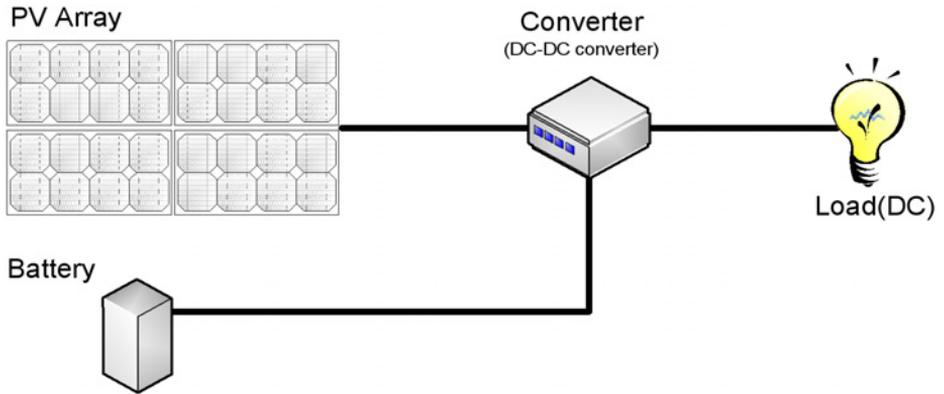


Fig. 2.5 Off grid type power generation system

Fig. 2.5의 독립형은 전력회사의 계통과 연계하지 않고, 태양광 발전 시스템으로 발전한 전력만을 부하에 공급한다. 안정적인 공급을 위해서 축전지와 조합하여 구성되며, 잉여전력을 축전지에 모아둔 후 필요에 따라서 그 전력을 공급하는 시스템이다. 따라서 산간오지나 해상과 같은 육상전원 사용이 힘든 곳에 독립형 전력 시스템이 사용된다. 본 논문에서는 해상에 축전지 기반의 독립형 전원 시스템을 구축하고 이를 모니터링 하였다[13-14].

2.2 파력 발전 시스템

2.2.1 파랑에너지의 원리와 종류

파랑의 이용이란 파가 가진 에너지를 변환하여 유용하게 이용하는 것을 의미한다. 파랑에너지는 해양에너지 이용 분야 중 연구가 활발하며, 파도의 에너지를 공기의 움직임으로 변환한 후, 기계적 수단을 이용하여 전기를 일으키는 방식이 주를 이룬다. 파도의 종류는 쓰임에 따라 다음과 같이 분류되어 있다. 파도의 형상으로 규칙파(정현파, 正弦波), 불규칙파로 나누어지고, 또 그 주기에 따라서 표면파, 중력파, 조석파 등으로 분류된다. 이 중 에너지원으로 이용되는 것은 중력파(바람에 의한 파)이다. 파랑에너지의 계산방법은 식 (2.5)와 같다.



$$W = 0.98H^2 \cdot T \quad (2.5)$$

W : 에너지량 [kW/m]
 H : 유의파고 [m]
 T : 유의파랑주기 [sec]

대표적인 파의 형태는 해안에서 2시간마다 20분간 파도의 높이와 주기를 측정하여 수집된 파들로부터 최대파, 1/10 최대파, 1/3 최대파, 평균파로 구분된다. 유의파고(significant wave height) H 는 파군 중에서 파고가 큰 쪽에서 세어 1/3의 수의 파에 대하여 파고를 평균한 것이다. 식 (2.5)로부터 구해진 수치가 해안 1m당 파랑에너지(kW)의 이론치를 나타내지만, 실제로 이용 가능한 파랑에너지의 정확한 수치를 찾기는 어렵다. 실제로는 발전 과정에서 파도의 상하 유동 에너지 변환의 손실이 발생하기 때문이다. 따라서 파랑에너지의 손실을 최소화하여 변환하는 방법을 고안하는 연구가 활발히 이루어지고 있다[14].

파력발전은 다음과 같은 순서에 의해 파랑에너지를 전기에너지로 변환한다.

파랑에너지 → 1차 변환 → 2차 변환 → 발전 → 송전 → 이용
 (공기 또는 유체) (운동에너지) (전기에너지)

파랑에너지를 1차 변환하는 장치는 파랑에너지를 흡수하는 방법과 파랑의 변형을 이용하는 방법으로 크게 나눈다. 1차 변환장치의 종류는 Table. 2.2와 같다.

Table. 2.2 Classification of the 1st conversion device on a wave generator

1차 변환 장치	파랑에 의한 장치의 운동	가동물체형	상하운동
			회전운동
			수평운동
			연성운동
			연결부체운동
	파랑의 변형	진동수주형	공기류
			수류
		수압변형	
	파랑의 변형	월파형	수류
저류			
셋업형		수류	

해양교통시설물인 등부표에 적용된 방식은 파랑이 진동수주(振動水柱, OWC, oscillating water column)에 직접 작용하게 하고, 2차 변환 장치인 공기터빈(air turbine)을 부착하여 에너지를 변환하는 진동수주형이다. 진동수주형은 해양교통시설물인 등부표의 구조와 운용특성에 가장 부합되는 메커니즘을 가진 형태로 알려져 있다. 이는 실제 등부표에 활동되는 대부분의 파력발전시스템에 채택되어 있다[15-17].

2.2.2 진동수주형 파력발전 장치

진동수주형 파력발전은 해수면의 상하 운동으로 일어나는 공기의 흐름을 이용하여 터빈을 회전시켜 발전하는 방식으로 Fig. 2.6과 같이 이루어져 있으며, 현재 가장 효율이 좋은 파력발전 형식으로 알려져 있다. 아래가 열린 챔버를 해상에 고정하게 되면, 파도의 움직임에 따라 해수면이 상하로 움직이면서 챔버 상부에 존재하는 공기가 함께 상하운동을 하게 된다. 이는 챔버 상부의 좁은 통로로 이동하게 되면서 고속 공기류를 형성한다. 이 부분에 공기터빈을 설치하면 공기가 블레이드를 회전시키고, 터빈에 연결된 발전기를 통해 전기에너지로 변환된다.

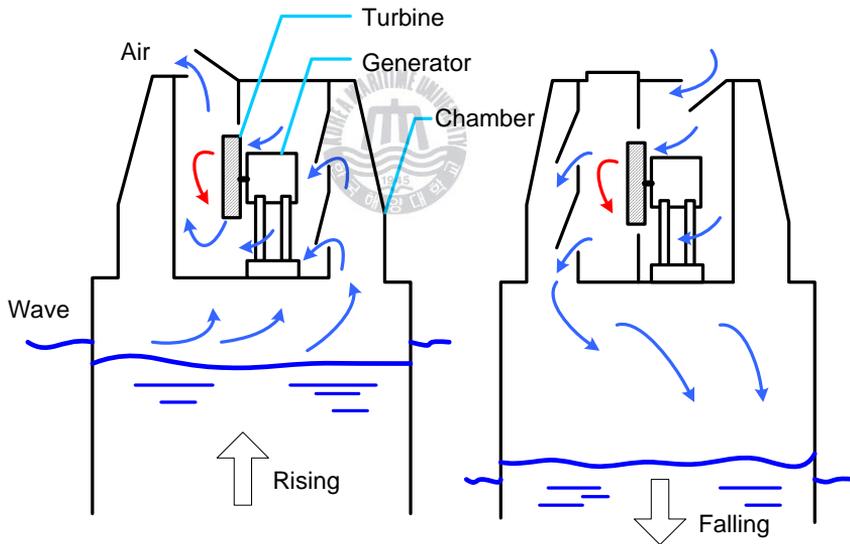


Fig. 2.6 Wave power generation with oscillating water column

진동수주형 파력 발전을 이용한 등부표는 해수 출입량과 고유주파수 등의 지표를 가지고 설계된다. 챔버 내의 해수 출입량 Q_w 는 식 (2.6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_w = S \cdot Z_0 \cdot w \cos wt \quad (2.6)$$

S : 등부표 챔버 단면적 $[m^2]$

Z_0 : 등부표 챔버 상하운동 변위 진폭 $[m]$

w : 각속도 $[rad/s]$

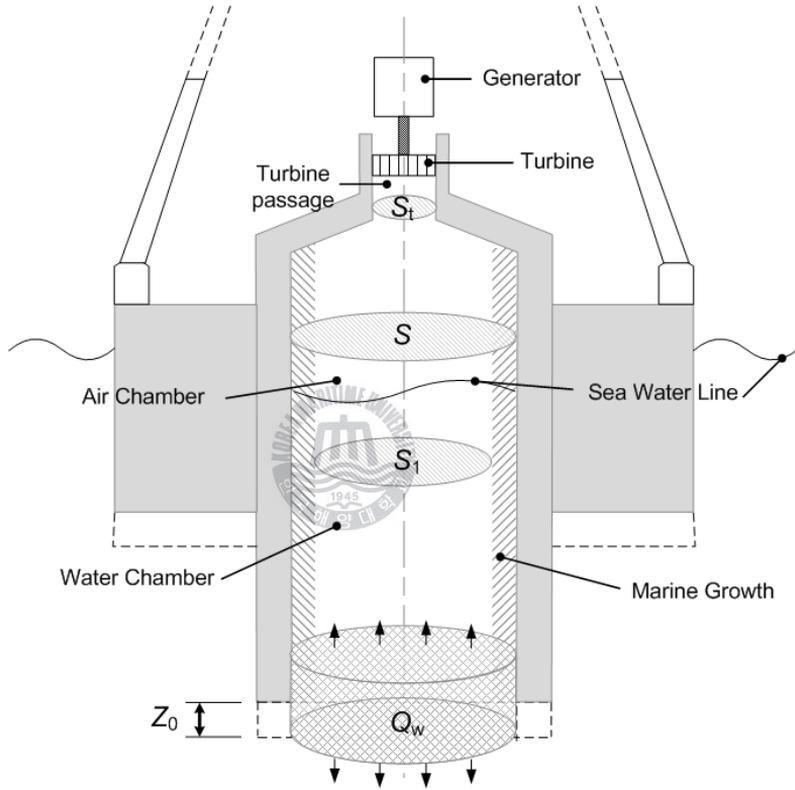


Fig. 2.7 Diagram of wave power generation system

Fig. 2.7은 파력 발전 시스템의 구성을 보여준다. 여기서 유입되는 최대 해수량을 Q_{wm} 이라고 하면 식 (2.7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{wm} = S \cdot Z_0 \cdot w \quad (2.7)$$

진동수주형 파력발전은 등부표 챔버의 형상과 파도의 주기에 따라 효율이 좌우된다. 챔버의 상하진동 주파수와 챔버가 설치된 해역의 파도 주파수가 공진할 때 가장 높은 효율을 갖는다. 상하진동 고유주파수 f_z 는 식 (2.8)과 같이 나타낼 수 있다[17-18].

$$f_z = \frac{1}{T_z} = \frac{\omega_z}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho_w g A_{utp}}{m + m_w}} \quad (2.8)$$

T_z	: 상하진동 주기	[sec]
ω_z	: 등부표 챔버 운동 각속도	[rad/s]
m	: 등부표 챔버 질량	[kg]
ρ_w	: 해수밀도	[kg/m ³]
g	: 중력가속도	[m/sec ²]
A_{utp}	: 해수면과 접촉하는 등부표 단면적	[m ²]
m_w	: 등부표 챔버 내 해수의 영향으로 발생 하는 추가질량	[kg]

2.2.3 웰스터빈

파력발전용 터빈으로는 공기의 왕복흐름에서도 한쪽 방향으로만 회전하는 장점을 가진 웰스터빈(wells turbine)이 사용된다. 웰스터빈은 정류와 원동기 기능을 동시에 수행하는 특성을 가지고 있기 때문에, 전체 시스템을 간소화하기 위한 발전 시스템에 널리 이용되고 있다. 특히 OWC(oscillation water column)의 원리를 이용하는 파력변환장치 중 가장 널리 이용되고 있는 공기터빈이다. Fig. 2.8은 웰스터빈의 형상을 보여준다[17-19].

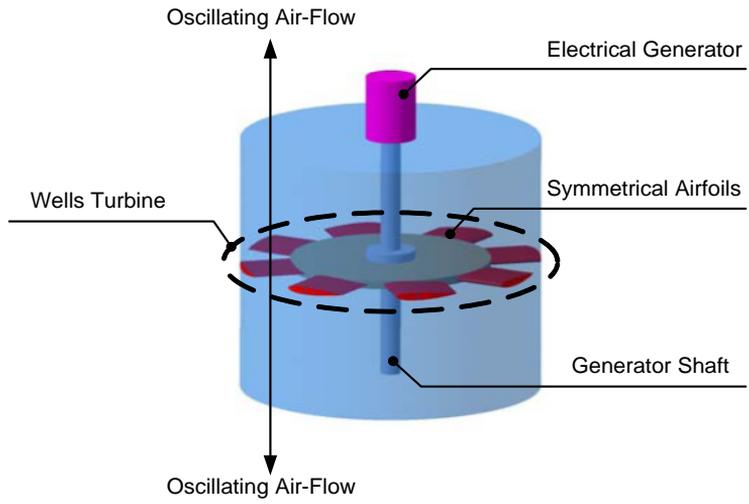


Fig. 2.8 Diagram of wells turbine



2.3 해상용 하이브리드 발전 시스템

하이브리드 발전 시스템은 여러 가지 에너지원을 복합하는 전력 기술이 핵심이다. Fig. 2.9는 태양광 발전, 파력 발전 그리고 발전기를 사용하여 생산된 전력을 축전지에 저장하여 부하에 공급하는 하이브리드 발전 시스템을 나타낸다.

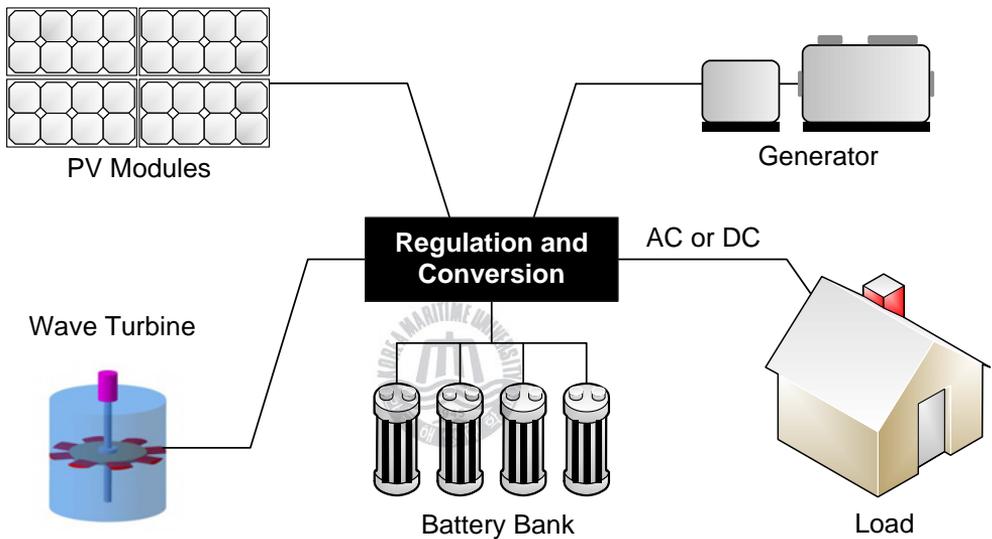


Fig. 2.9 Hybrid power generation systems

육상에 설치되는 하이브리드 발전은 대부분 계통연계형으로 비상시 육상 전원을 사용한다. 하지만 해상에 설치되는 해양 시설물은 근해에 설치되는 경우를 제외하고, 육상전력을 사용하기가 힘들다. 따라서 본 논문에서는 해상에서 독립 전원시스템이 가능하도록, 축전지를 통하여 하이브리드 발전을 이용하는 방식을 채택하였다. Fig. 2.10은 해양 시설물용 하이브리드 발전 시스템을 나타낸다.

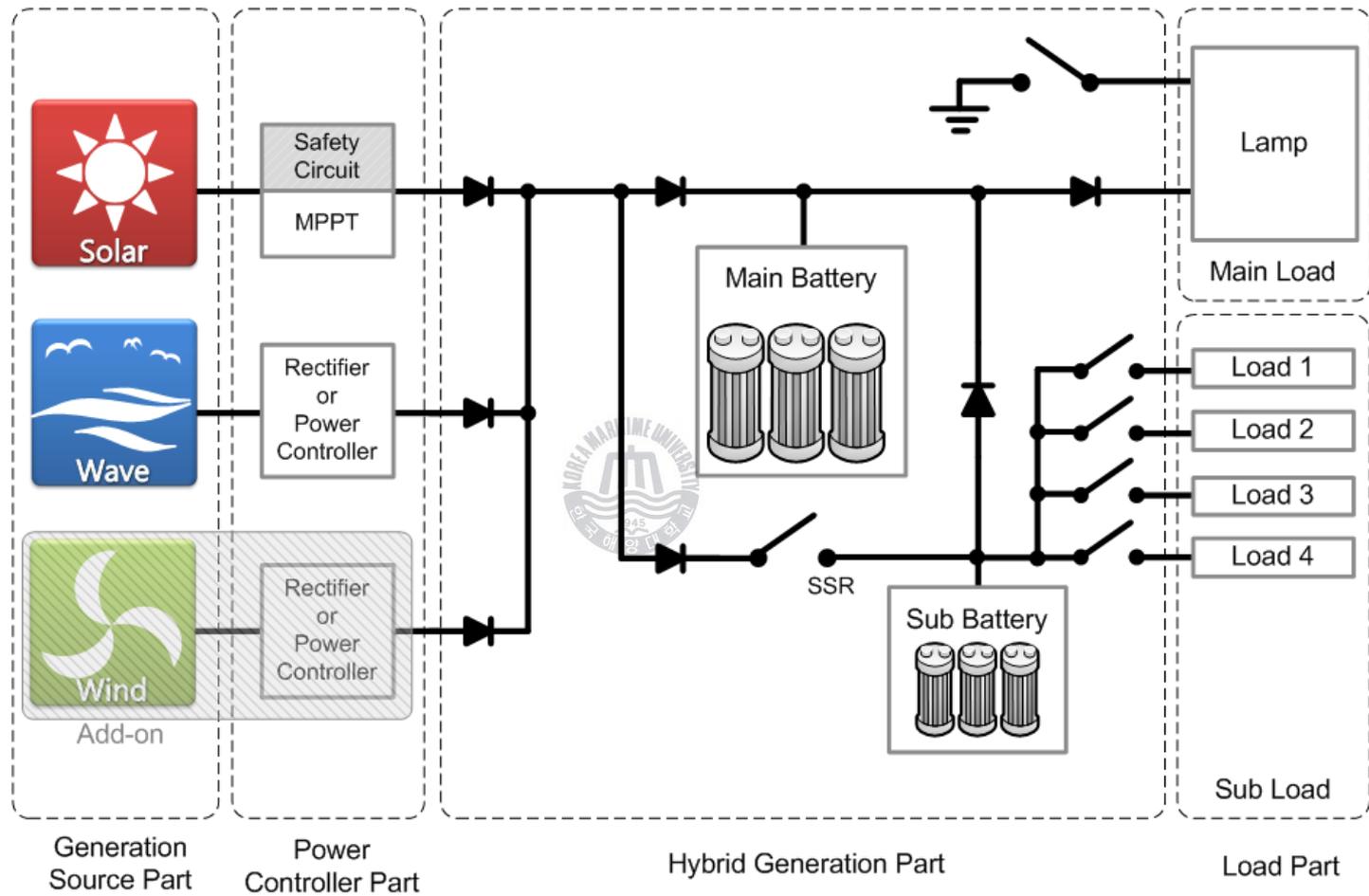


Fig. 2.10 Hybrid power generation systems for ocean facility

본 논문에서 구성한 해양 시설물용 하이브리드 발전 시스템의 에너지원은 앞서 알아본 태양광과 파력 발전 시스템 두 가지로 구성하였다. 이외에도 풍력 발전 등의 시스템을 추가로 구성할 수 있다. 하이브리드 발전 시스템은 각 에너지원의 출력 특성이 다르므로, 각 에너지원에 적합한 전력 제어가 필요하다. 본 논문에서는 태양전지 모듈에 최대 전력점을 추종하는 시스템(MPPT)을 적용한 제어기, 파력발전에 정류제어기를 각각 연결하여 에너지를 저장한다.

하이브리드 발전이 적용된 등부표는 등명기(marine signal light)를 안정적으로 동작시킬 수 있는 전력 시스템을 갖추어야한다. 때문에 축전지와 전력원의 발전 상태를 항상 확인할 수 있어야 신뢰성 있는 동작이 가능하다. 기존의 시스템은 축전지의 전압 및 태양광 발전의 발전 상태를 파악하기 위하여 일정 기간을 두고, 검사원이 직접 해상에 나가서 관측하였다. 이러한 방법은 지속적인 모니터링이 어렵고, 축전지의 충·방전 상황을 파악하기가 어려워 축전지의 수명을 예측할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 하이브리드 발전 전력 시스템의 전력 구성을 실시간으로 감시할 수 있는 모니터링 시스템을 구축하였다[20-22].

제 3 장 해상용 모니터링 시스템

3.1 모니터링 시스템 개요

신재생에너지의 하나인 해양에너지는 그 활용 가능성이 광대하여 현재 많은 연구가 진행되고 있으나, 대부분 단일 전력생산에 집중되어 있다. 단일 전력체계에서 하이브리드 전력체계로 변화하는 과정에서, 하이브리드 전력체계가 도입된 연구들이 진행되고 있으나, 관리가 미약한 실정이다. 따라서 성장이 가속화되는 만큼, 보다 안정적인 전원공급을 위해 이를 관리할 수 있는 모니터링 체계가 필요하다.

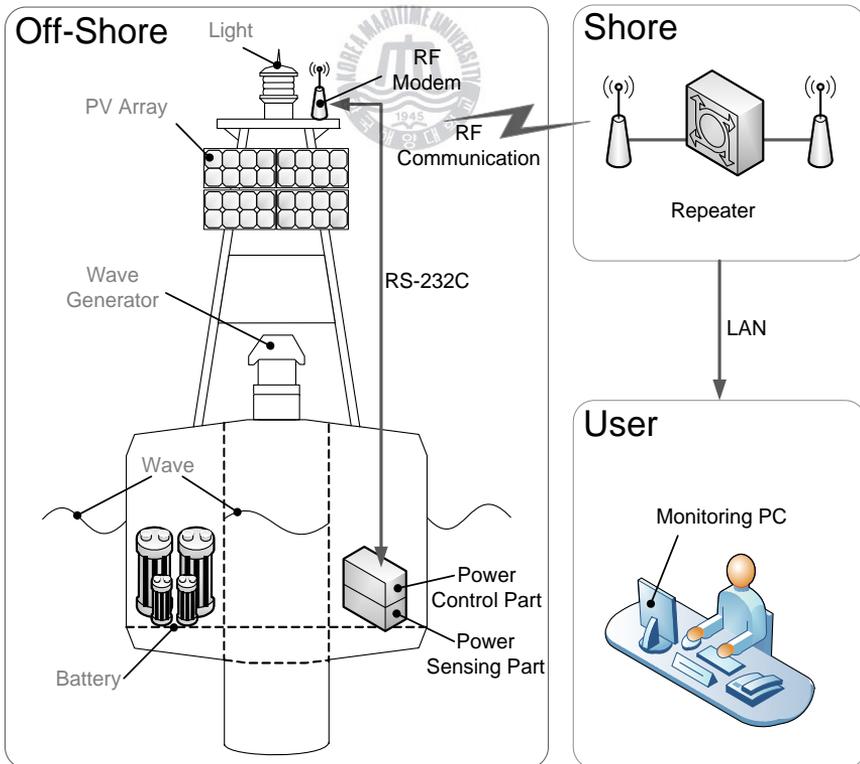


Fig. 3.1 Schematic of the outline for the monitoring system

Fig. 3.1은 본 논문에서 구성한 하이브리드 발전을 위한 모니터링 시스템 개요를 보여준다. 해상에 설치된 해양시설구조물인 등부표와 육상의 관리소까지 중계기를 통해 RF(radio frequency) 무선 통신으로 연결하였다. 중계기에 도착한 신호는 육상의 모니터링 PC까지 LAN을 통한 유선 통신으로 전송되어 DB(data base)를 구축하도록 구성되어있다.

외부의 통신은 무선으로 이루어지지만, 하이브리드 발전 시스템용 등부표 내부의 통신 체계는 유선 통신들로 Fig. 3.2와 같이 구성되어있다.

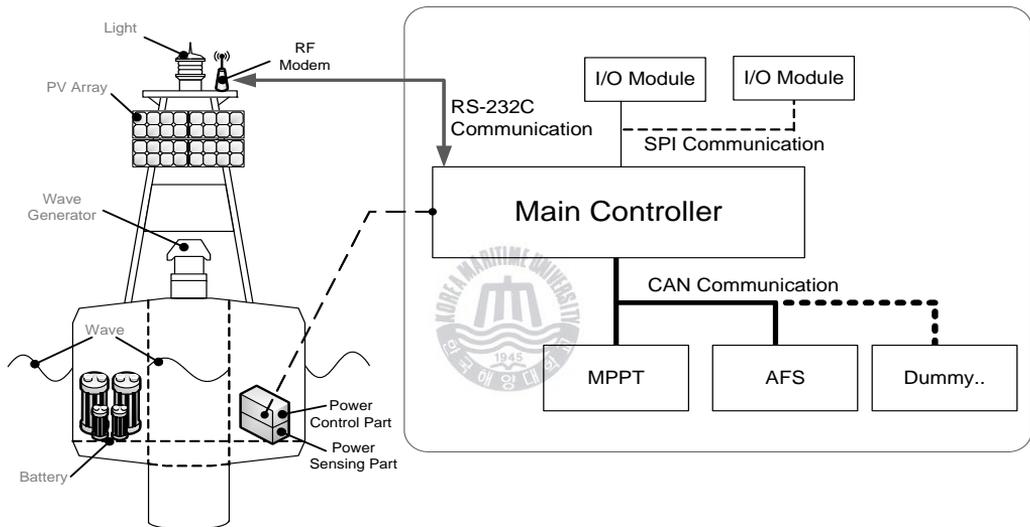


Fig. 3.2 Schematic of the communication system inside a buoy

주제어기를 중심으로 전압과 전류를 측정할 수 있는 I/O 모듈은 SPI (serial peripheral interface) 통신을 채택하였고, MPPT 제어기와 공기챔버 내의 해양생물 부착방지를 목적으로 설치된 AFS(anti-fouling system) 등의 추가 제어 부분은 CAN(controller area network)통신을 채택하였다. 주 제어기는 관리자가 데이터를 호출하거나 일정 시간을 간격으로 데이터를 수집할 때마다, 요청받은 데이터들을 수집하여 RF 모뎀(modem)까지 RS-232C 통신을 이용하여 송수신 한다.

본 논문에서 다루고자 하는 모니터링 시스템은 단순히 상태를 관찰하는 것이 아니라, 하이브리드 발전 시스템의 효율을 최대화하기 위한 제어 개념을 포함한 것이다. 주 제어기는 하이브리드 발전 시스템을 통해 수집한 전력을 효율적으로 축전지에 충전하고, 과충전을 방지할 수 있는 일련의 알고리즘이 입력되어있다. 주 제어기와 MPPT 제어보드는 CAN 통신으로 데이터를 수집하며, 주 제어기와 측정 보드는 SPI 통신으로 데이터를 교환한다.



3.2 모니터링 시스템 구성

3.2.1 전력 제어 시스템 개요

하이브리드 발전 시스템은 하이브리드 발전 회로 절환 시스템과 연동 모듈의 보조 전력 제어 시스템으로 구성된다. 이러한 하이브리드 발전 시스템을 해상 실험이 가능하도록, 각 시스템의 발열 특성, 연결성 및 특성 등을 고려하여 상자의 배치를 설계하였다. Fig. 3.3은 하이브리드 전력 제어 시스템의 구성을 나타낸다. 크게 세 부분으로 나누면, 제어 부분, 측정 및 단자대 부분, 전력 시스템 부분으로 나타낼 수 있다.

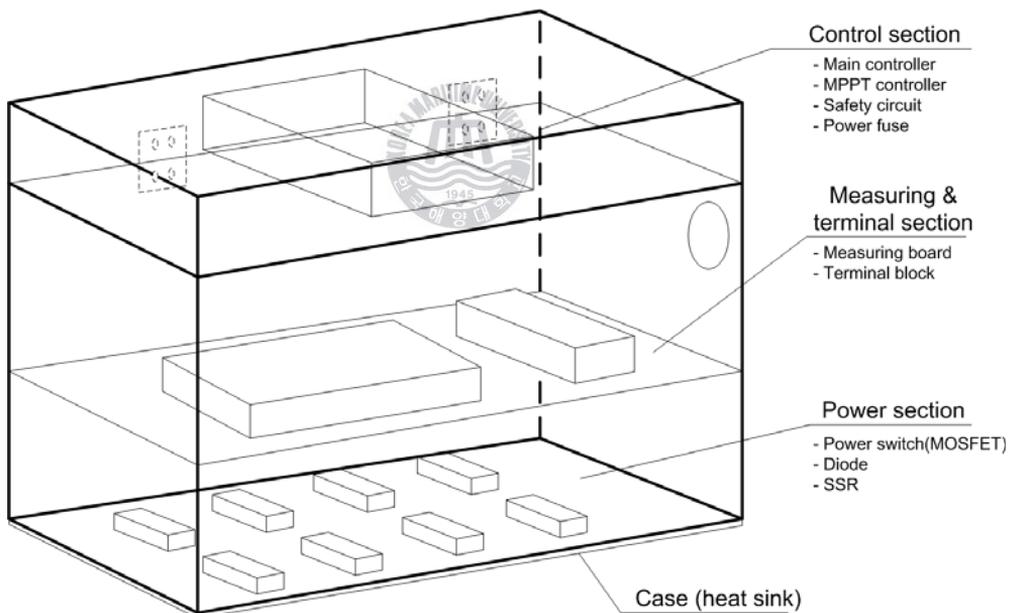


Fig. 3.3 Diagram of the hybrid power control system

Fig. 3.4는 제어부의 배치도를 나타낸 것이다. 제어부는 주 제어 보드, 태양광 MPPT 보드, 퓨즈(fuse) 연결 단자로 구성된다. 퓨즈 연결 단자는 외부에서 들어오는 전력선들이 내부로 연결되는 과정에서 스위치 역할을 수행

하면서, 과전류가 흐를 경우 전류를 차단하여 시스템을 보호하는 역할을 수행한다. 제어부는 MPPT 보드 부분을 제외하고는 스위칭 등의 동작을 수행하지 않기 때문에 열이 발생하지 않는다. 주로 통신선 및 제어선 등으로 구성되어 있어, 통신 불량의 원인인 노이즈에 대한 영향이 적도록 구성 하였다.

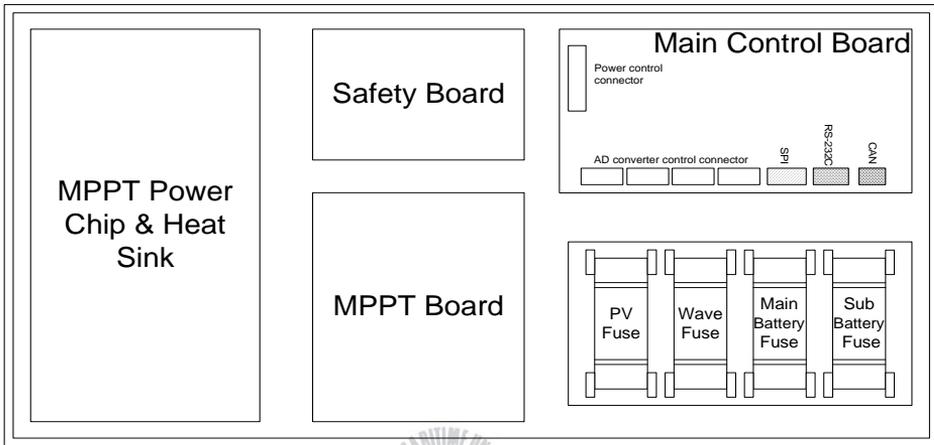


Fig. 3.4 An arrangement plan of the upper part for the hybrid power control system

Fig. 3.5는 전체 시스템 전력 결선도를 나타낸다. 이는 하이브리드 발전용 연동 모듈의 구조와 보조전력 제어관리 시스템의 전력 제어를 포함한 구조이다. 각 전류 센서는 중판에 연결되고, MOSFET과 다이오드는 모두 하이브리드 발전용 연동 모듈의 전력 부분인 상자 하부에 설치된다. 전체 시스템의 전력 결선도에서 각 선은 단자대를 통하여 결선이 이루어진다. 충전 전류 및 방전 전류는 PCB 위를 흐르지 않기 때문에 PCB의 소손이 발생하지 않는다. 측정 및 단자대는 상자의 중앙에 고정되므로 제어부와는 바로 연결할 수 있지만 하부 전력부와 연결하기 위한 공간이 필요하다. 측정 및 단자대는 배치도의 하부 연결 통로를 통하여 연결되며, 제어부도 이 통로를 통하여 하부와 연결되도록 구성하였다.

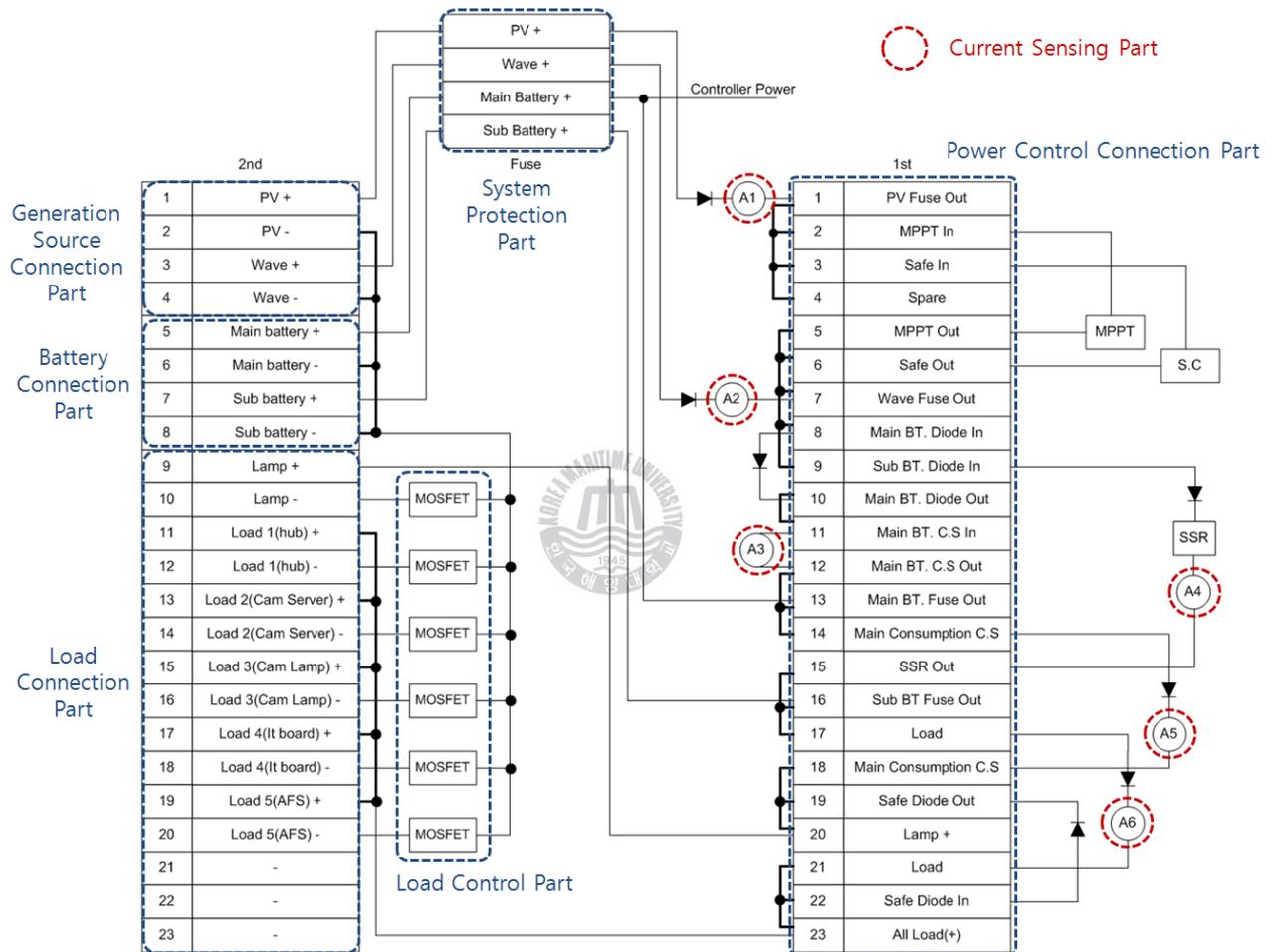


Fig. 3.5 Electric wiring diagram of hybrid power generation control system

Fig. 3.6은 전력부의 전력 소자들의 배치도를 나타낸 것이다. 전력부는 다이오드 부분과 MOSFET 부분으로 나누어서 배치하고 단자대로 연결된다.

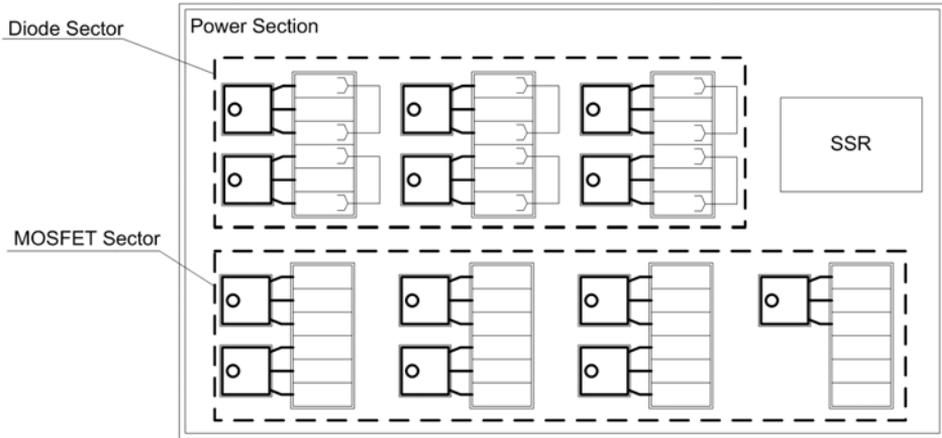


Fig. 3.6 Schematic of the power switching part

각 소자들은 상자의 바닥을 방열판으로 사용하도록 구성된다. 바닥면과 소자의 방열 핀이 완벽하게 밀착하기 위하여 볼트로 체결하며, 중간에 고무 재질의 방열 소재(heat pad)를 넣어 열이 바닥면으로 쉽게 퍼지도록 하였다. Fig. 3.7은 전력 소자의 결선도를 나타낸 것이다. 화살표는 열의 이동을 나타낸 것이다.

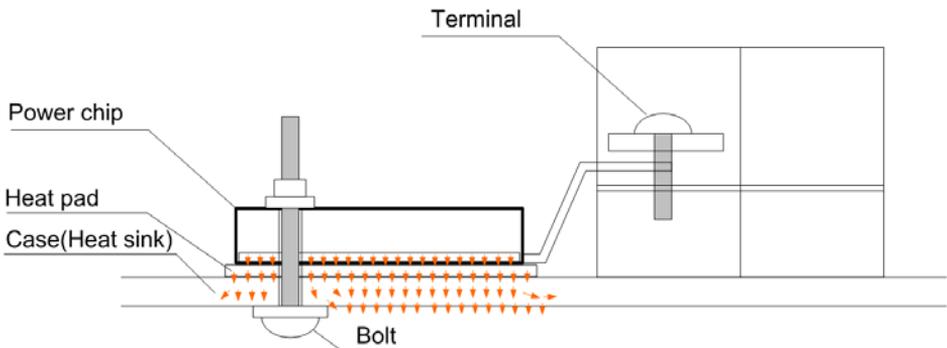


Fig. 3.7 Schematic of the power device for installation

3.2.2 전력 측정부

전력 측정부는 복합 발전 시스템에서 전력의 움직임을 측정하기 위하여 전압 및 전류 등을 측정한다. 측정 보드를 따로 분리하고 SPI 통신 형태로 연결하여, 복합 발전 시스템에서 구조를 다양하게 변화할 수 있도록 구성하였다. Fig. 3.8은 계측 시스템의 구성을 보여준다. 측정 보드는 주 제어기와 SPI 통신으로 연결되며, A/D 컨버터 제어를 통하여 측정 보드의 A/D 컨버터를 선택(chip selecting)하여, 각각의 전압과 전류를 측정한다.

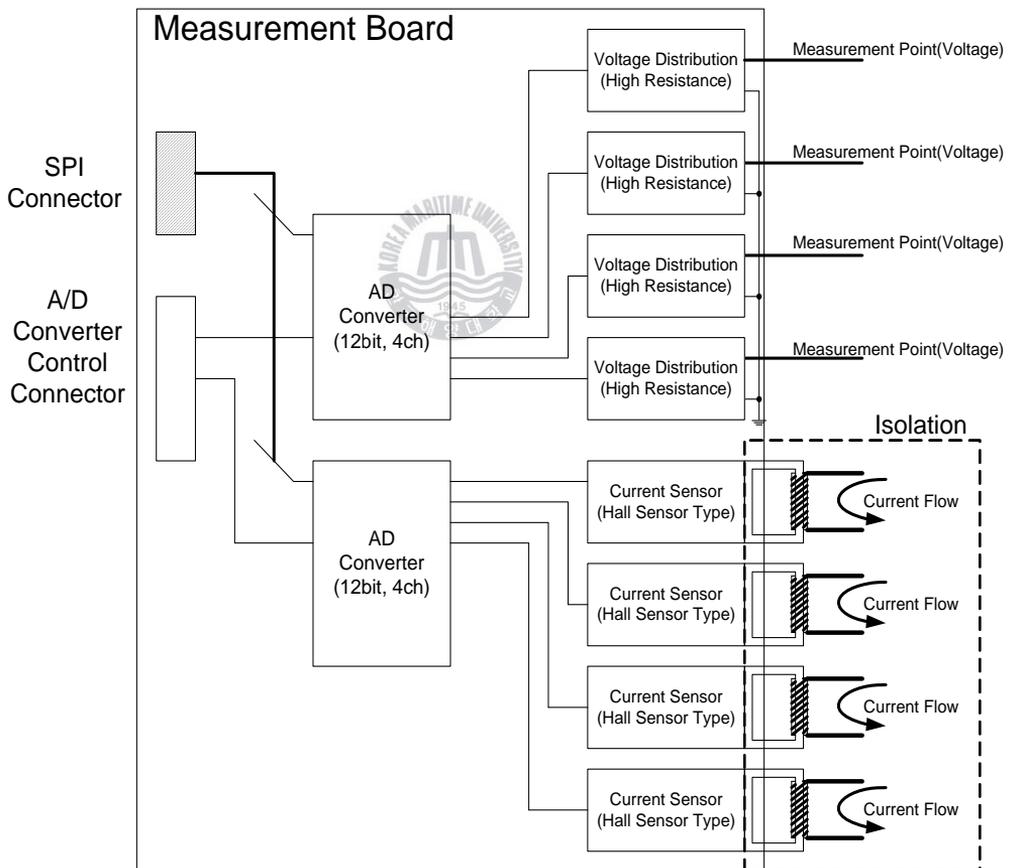


Fig. 3.8 Schematic for the measuring system

발전원의 수가 가변적인 하이브리드 발전의 확장성과 가변성을 고려하여 주 제어기에서 측정부분을 분리하여 모듈화 하였다. 측정 보드는 전압 4개소와 전류 4개소를 측정 할 수 있다. 전류의 측정 범위는 0~20A, 전압의 측정 범위는 0~30V 또는 0~50V까지 이다. 축전지 기반의 12V 범위를 갖기 때문에 전압 범위는 0~30V이지만, 태양전지 모듈의 경우 40V 이상의 전압을 발생할 수 있으므로, 0~50V의 범위를 갖도록 설계하였다.

전류의 측정 방법은 여러 가지 방법이 있으나, 본 논문에서는 홀센서를 이용하여 출력을 측정하는 방법을 채택하였다. 저항을 이용한 전류 측정 방법을 사용할 경우에는 측정 시에 손실이 발생하며, 측정 보드에 과전류가 흐르게 되면 열에 의하여 보드가 소손되거나 파손될 우려가 있다. 또한 부하 전력 등으로 사용되면서 스위칭에 의한 피크(peak) 형태의 전압이 발생할 경우 회로 파손의 우려가 있어 전기적으로 분리되는 홀센서를 이용한 전류 측정 방법을 사용하였다.

SPI 통신은 I2C 통신과 동일하게 보드 내에 있는 여러 디바이스간의 데이터 교환을 위해 사용한다. 3개의 전선으로 이루어진 시리얼 통신규격으로 데이터 입력(SDI, Serial Data In), 데이터 출력(SDO, serial data out), 클럭(SCK, serial clock)으로 이루어진다. 8비트 데이터가 동시에 송·수신이 가능하기 때문에, 데이터를 보내는 동시에 데이터를 받을 수 있어 유용하게 쓰이는 통신 방식이다. Fig. 3.9는 측정 보드의 회로도이다.

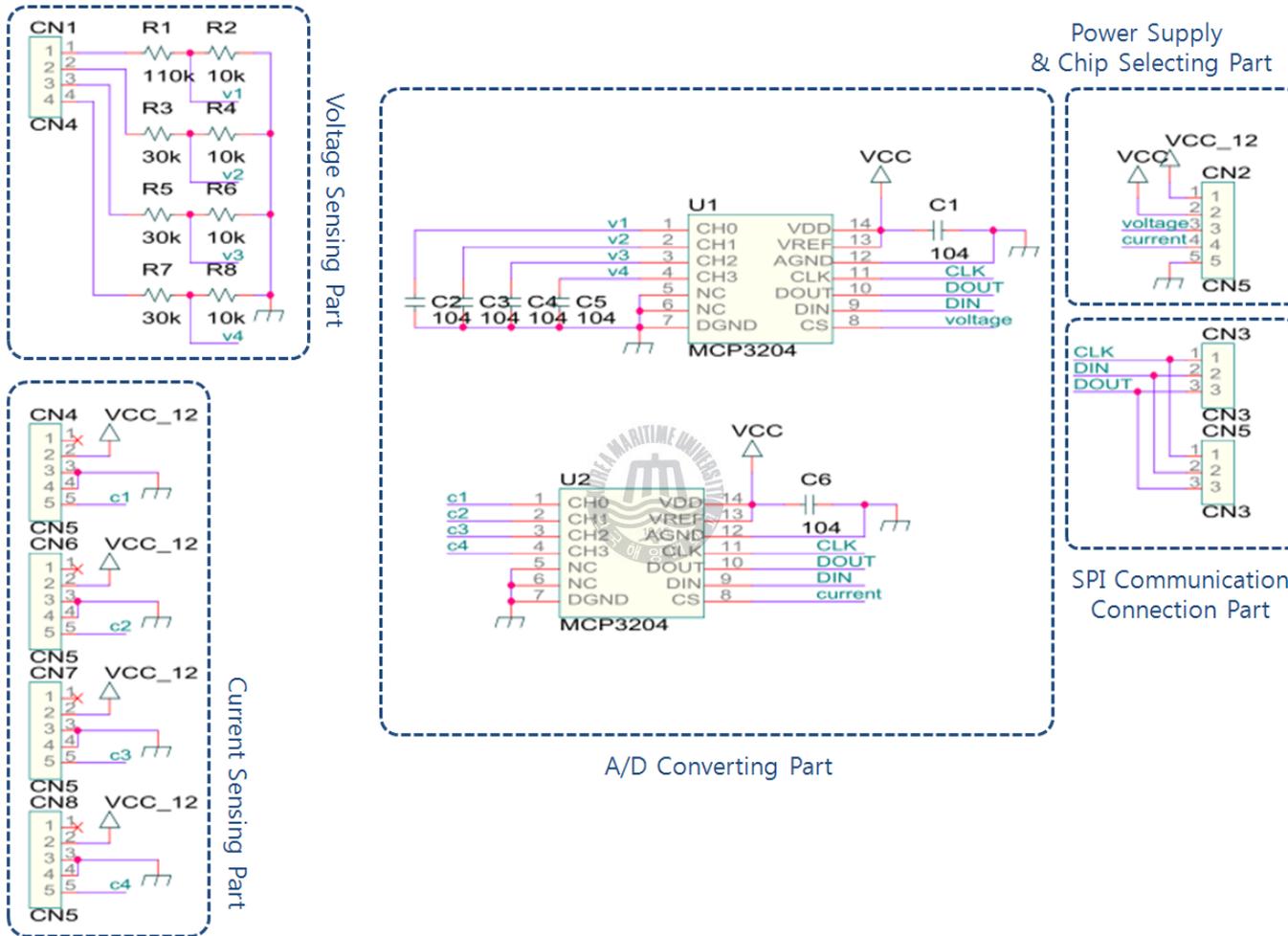


Fig. 3.9 A circuit diagram of measuring board

3.2.3 전력 제어부

태양광과 파력 발전 시스템은 각각의 제어 시스템을 갖는다. 하이브리드 발전 시스템은 생산부터 저장까지의 전체 전력 움직임을 앞서 알아본 측정 보드를 통하여 감시하며, 각각의 전력 제어기를 통해 축전지를 충전한다. 전력 차단은 각 발전원의 전력 생산량이 낮을 경우 주 제어기에서 CAN 통신을 통하여 각각의 전력 제어기를 제어하여 전력을 차단하는 동작을 수행하도록 구성하였다. Fig. 3.10은 CAN 통신에 의한 회로 절환 시스템을 나타낸다.

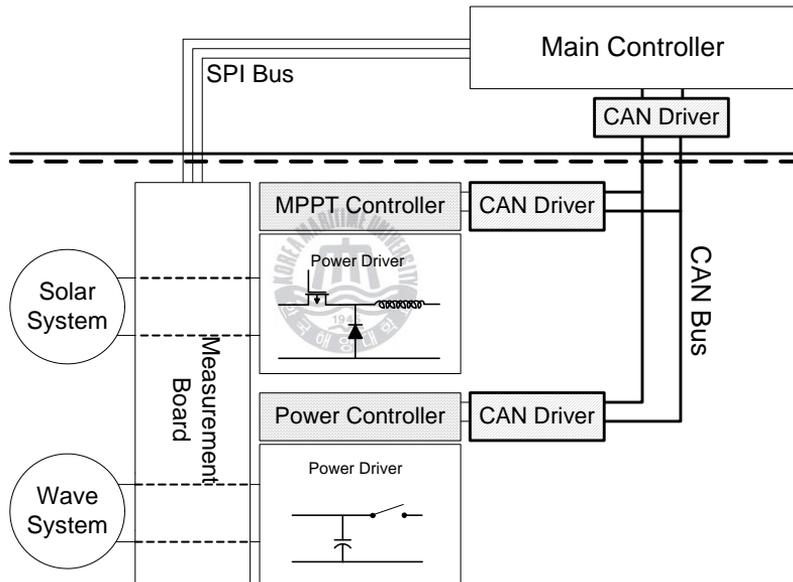


Fig. 3.10 Schematic of the circuit break system

CAN 통신은 노이즈에 강한 통신 방법으로, 1Mbps의 속도로 통신이 가능하며, 현재 자동차 산업 및 선박 분야에서 널리 이용되고 있는 다중 통신 방법이다. 위와 같은 제어를 통하여 각 회로들의 불필요한 제어 동작을 방지하고, 전력 제어 시스템의 효율성을 높이고자 하였다. CAN 통신은 다대다 통신으로 시스템의 결합성이 뛰어나기 때문에, 시스템이 추가 되더라도 자동적으로 추가할 수 있는 장점이 있다.

3.2.4 하이브리드 발전 주 제어부

하이브리드 발전용 연동 모듈은 전체 전력 시스템을 제어하기 위한 주 제어기와 부하 및 축전지의 충·방전을 결정하는 시스템이다. 이는 크게 주 제어기부와 전력 스위칭부로 나눌 수 있다. 주 제어기 부분은 하이브리드 발전 시스템을 전체적으로 제어하는 부분이다. 하이브리드 발전용 회로전환 시스템은 발전 전력량과 전력 소모량을 관리하는 부하제어 스위치를 제어하여 전력량을 조절하는 시스템이다. 전력 스위칭 부분은 부하와 축전지 충전 등을 제어하기 위한 회로로 MOSFET 기반의 전력 제어 회로이다. Fig. 3.11은 주 제어 회로의 시스템 구성 다이어그램을 나타낸다.

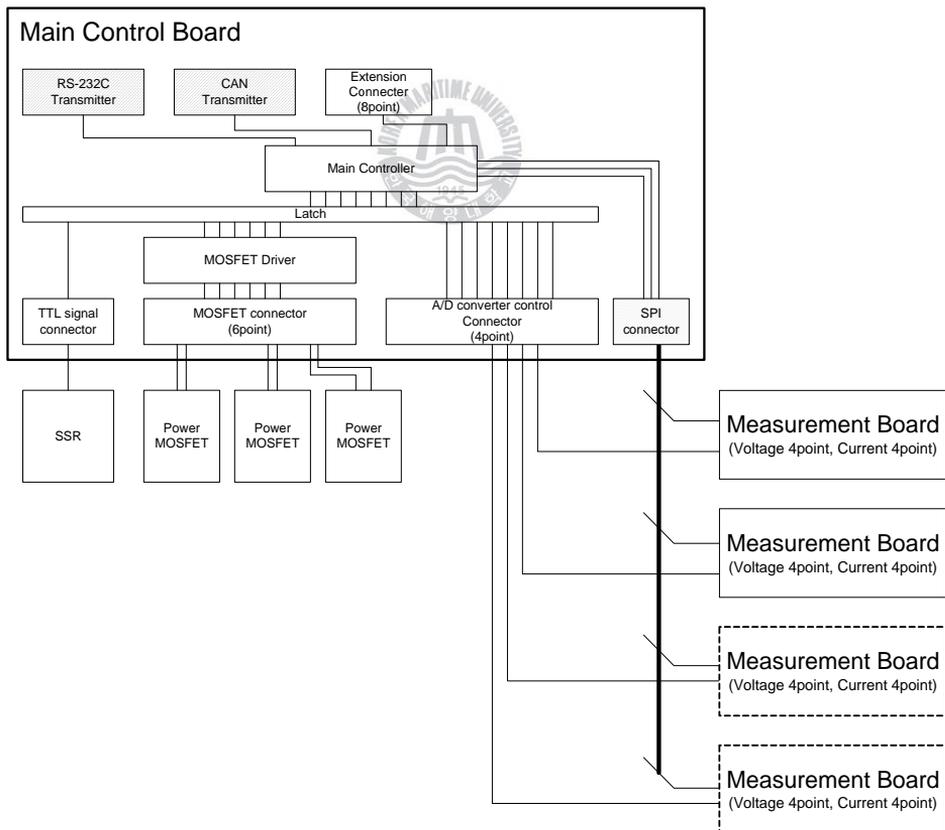


Fig. 3.11 Schematic of the main control circuit and measuring board

주 제어 회로는 측정 보드와 SPI 통신 형태로 연결된다. 이를 통하여 측정 보드 수를 늘리거나 줄일 수 있다. 제어보드의 제어 핀이 부족하면 연장 핀을 통하여 추가적인 제어 보드를 연결하여 제어 대상을 확장할 수 있다.

하이브리드 발전용 회로는 전력 스위치로 MOSFET과 SSR을 사용한다. 주 제어 회로에서는 이를 위하여 MOSFET 제어 단자 6개와 SSR 제어 단자 2개를 제공한다. 또한 시스템의 가변성을 위하여 측정 보드를 최대 4개 까지 연결할 수 있는 연결단자를 제공한다. 만일 시스템의 크기가 증가하게 되면 연장 핀을 통하여 메인 제어 보드를 하나 더 연결하여 시스템을 2배로 확장하거나, 혹은 MOSFET 드라이버 보드를 추가하여 전력 스위치의 수를 증가할 수 있다.

주 제어 회로는 RS-232C 통신과 현재 해상 통신 및 산업분야에서 각광을 받고 있는 CAN 통신, 시리얼 방식의 주변 장치 인터페이스로 사용되는 SPI 통신을 지원한다. 현재 시스템에서는 RS-232C 통신을 통하여 무선 통신 시스템인 RF모뎀과 연결되어 있고, CAN 통신을 통하여 AFS 또는 MPPT제어기의 동작 상태를 체크 한다. SPI 통신은 전압과 전류를 측정하기 위해 사용되었다. Fig. 3.12는 주 제어기의 회로도를 나타낸 것이다.

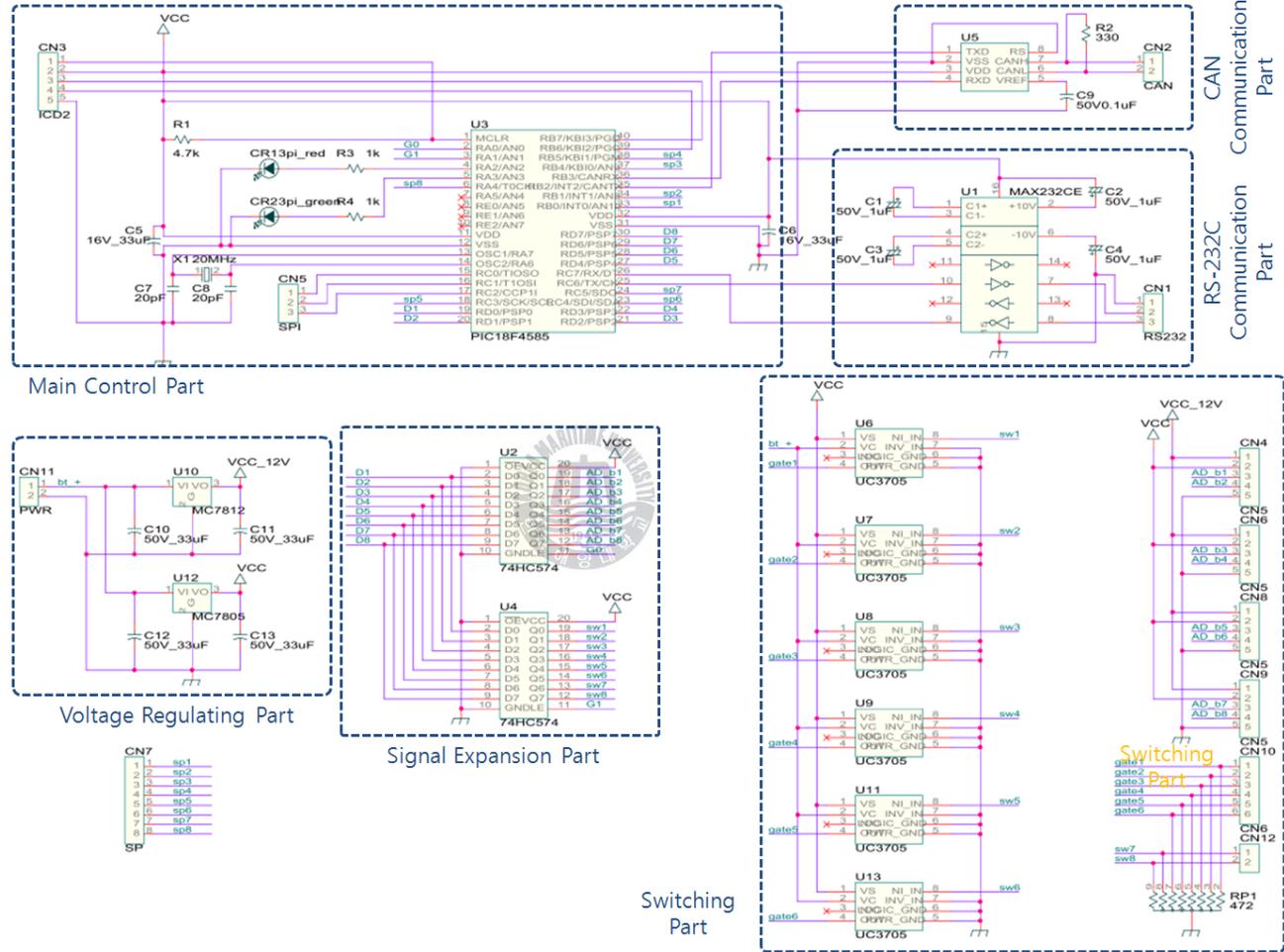


Fig. 3.12 A circuit diagram of the main controller

3.2.5 통신 알고리즘

해상에 설치된 하이브리드 발전 시스템의 주 제어기는 Fig. 3.13과 같은 폴링(polling) 기법을 적용한 알고리즘으로 통신을 수행한다. 주 제어기에 전원이 인가되면, 초기화 동작을 수행한다. 이후 측정보드의 A/D 컨버터에서 데이터를 측정하고, 각종 연결 장치의 데이터를 CAN 통신을 이용해 수집하는 동작을 반복한다.

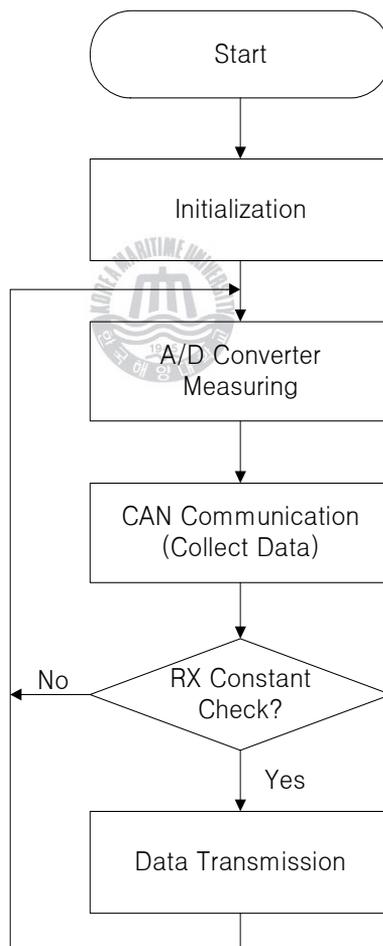


Fig. 3.13 Flow chart of main controller communication algorithm

해상에서는 위와 같은 동작을 반복하면서 등부표 내부의 통신이 이루어진다. 이때, 육상에서 해상 등부표에 데이터를 요청하면, 수집한 데이터를 육상으로 송신한다. 데이터 요청이 없을 때는 데이터 측정 및 수집 동작을 반복한다.

Fig. 3.14는 주 제어기에서 통신 알고리즘과 별도로 동작하는 인터럽트 알고리즘을 보여준다. 각각의 알고리즘은 개별적으로 동작하면서 데이터 수신을 준비한다.

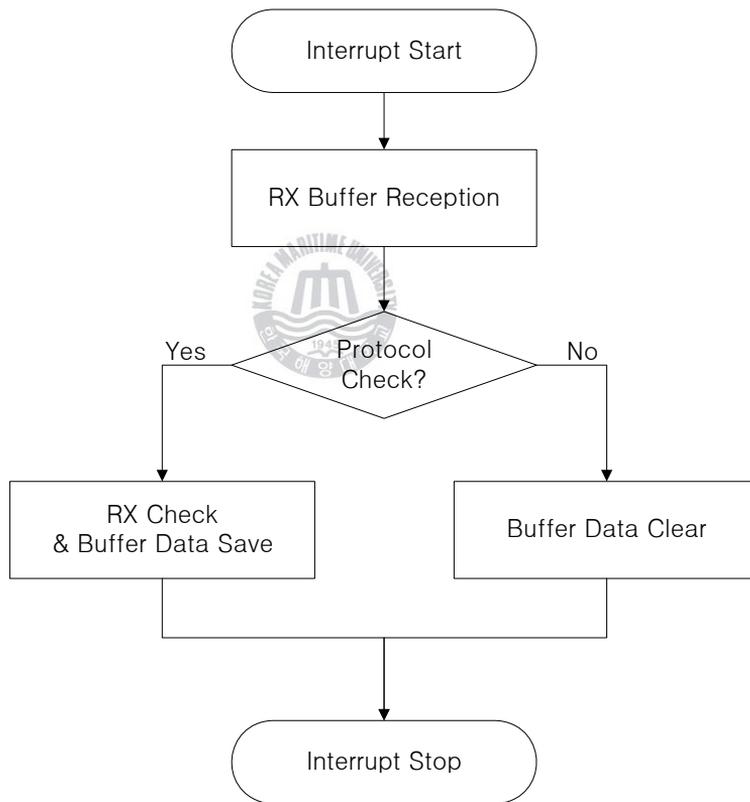


Fig. 3.14 Flow chart of main controller interrupt algorithm

3.3 모니터링 프로그램

3.3.1 개요

하이브리드 발전용 모니터링 시스템의 프로그래밍 언어는 National Instrument社의 「LabVIEW」를 사용하였다. LabVIEW는 컴퓨터를 이용한 제어와 계측에 최적화되어 있고, 개발자와 사용자가 접하기 쉬운 그래픽 개발환경을 이용하고 있다. 또한 C언어처럼 안정적이고 일반적이면서, 배우기 쉽고 개발 시간을 단축할 수 있다는 점에서 주목받고 있다. LabVIEW 프로그램은 VI(virtual instruments)로 불리기도 하는데, 이는 오실로스코프 및 멀티미터와 같은 물리적 도구의 외형과 기능을 프로그램 내에서 구현할 수 있기 때문이다.

본 논문에서 구성한 모니터링 프로그램 구조는 Fig. 3.15와 같다. 이는 기능상 데이터 송신(TX sub program)/수신(RX sub program)/저장(save program)의 3부분으로 나누어지며, 이들을 포함하는 주 프로그램(main program)으로 구성된다.

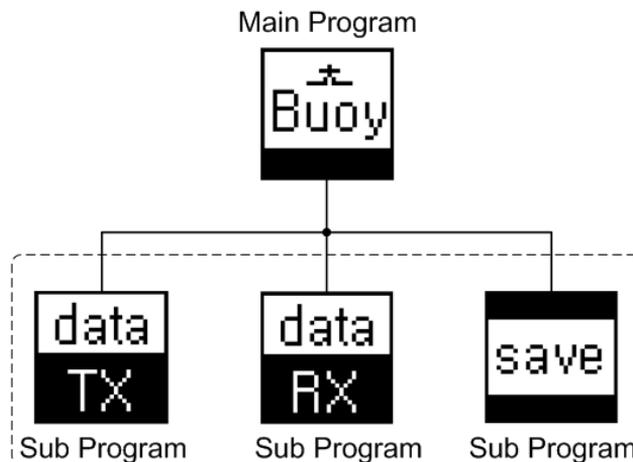


Fig. 3.15 Structure of the monitoring program

3.3.2 화면 구성

안정적인 독립 전력 시스템을 갖추기 위해서는 하이브리드 발전에 사용된 태양광과 파력발전의 발전량과 축전지의 전압·전류량을 실시간으로 모니터링할 수 있어야 한다. 그리고 축전지의 과방전과 과충전을 방지하기 위해 사용자가 부하들을 On/Off 할 수 있도록 구성되어야 한다. Fig. 3.16은 위의 조건을 만족하는 모니터링 화면을 나타낸다.

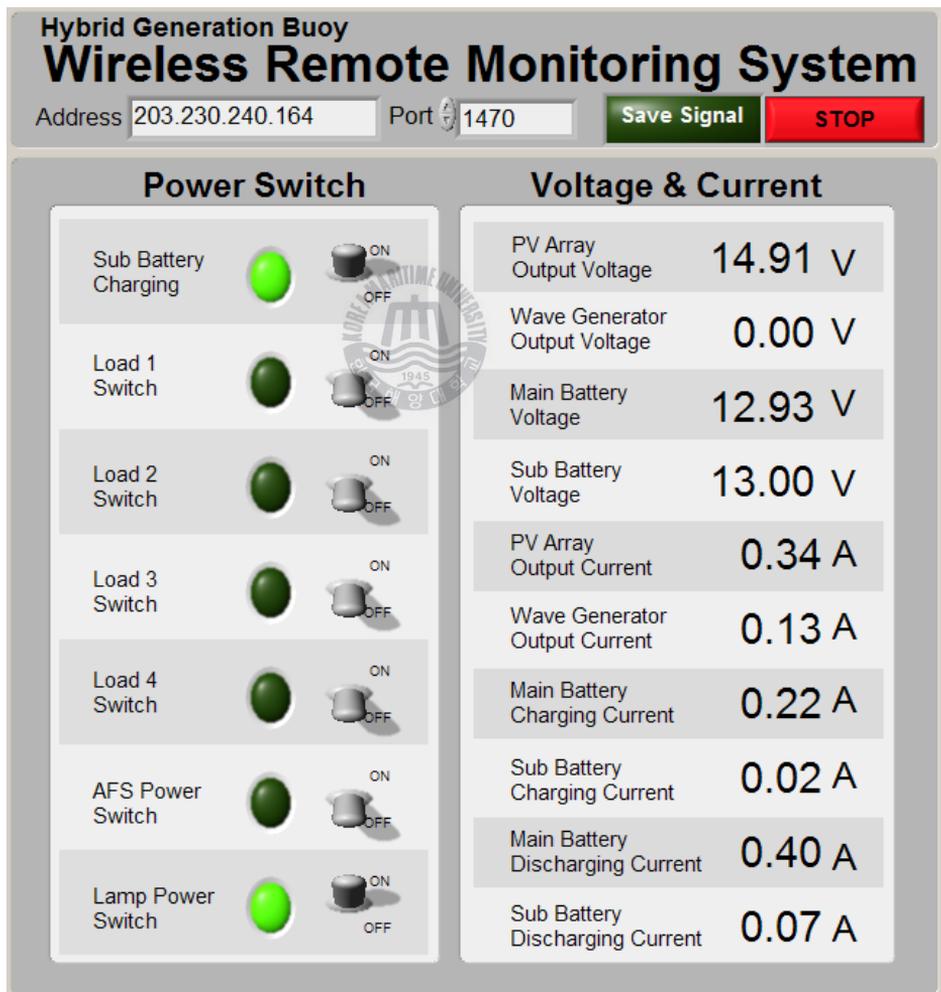


Fig. 3.16 The screen of the monitoring system

화면은 상단의 통신 설정부와 좌측의 전력 스위치 제어부, 우측의 전압·전류 디스플레이부로 나뉜다. 전력 스위치를 On/Off 하여 원격으로 등부표의 부하를 제어할 수 있으며, 전압과 전류의 상태를 알 수 있도록 모니터링한다.

3.3.3 통신 알고리즘

TCP(transmission control protocol)는 네트워크의 정보 전달을 통제하는 프로토콜이다. 이는 데이터의 전송을 보증하고 순서대로 동작하게 하며, 프로그램에서는 Fig. 3.17과 같이 동작한다.

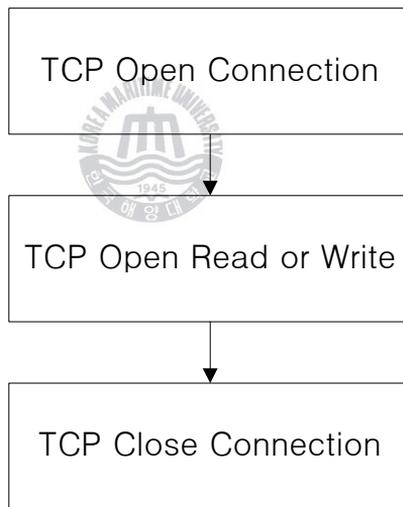


Fig. 3.17 Transmission control protocol

LabVIEW로 구성된 프로그램은 Fig. 3.18과 같은 알고리즘을 가진다. 크게 송신부와 수신 및 저장부로 나누어지며, 각각의 While Loop로 동작한다.

송신부는 등부표의 부하 동작 및 충·방전 제어 명령을 위한 데이터를 송신한다. 이는 일정한 시간지연을 가지며, 시간지연을 만족할 때 스위치 상태를 통신 프로토콜에 맞도록 변환하여 송신한다.

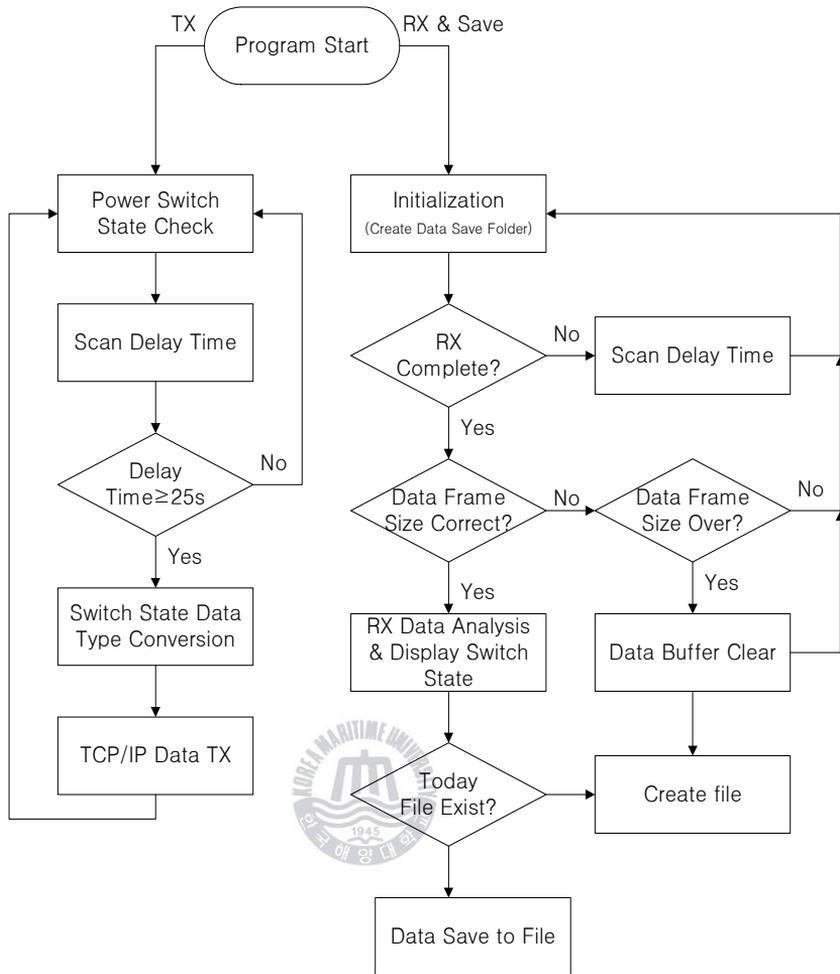


Fig. 3.18 Flow chart of monitoring program algorithm

수신 및 저장부는 등부표의 각종 상태 데이터를 수신하고, 이를 분석이 용이한 데이터 형식으로 저장한다. 초기화와 동시에 데이터를 저장할 수 있는 폴더를 생성하고, 수신이 완료되면 데이터가 전송되면서 손실이나 오류가 발생했는지 검사한다. 올바른 데이터가 수신되면, 데이터를 분석하고 수신된 날짜의 파일에 저장한다. Fig. 3.19는 모니터링 프로그램의 전체 구성을 보여준다. Fig. 3.20은 전체 구성에서 데이터를 송신하는 프로그램 부분을 나타낸다.

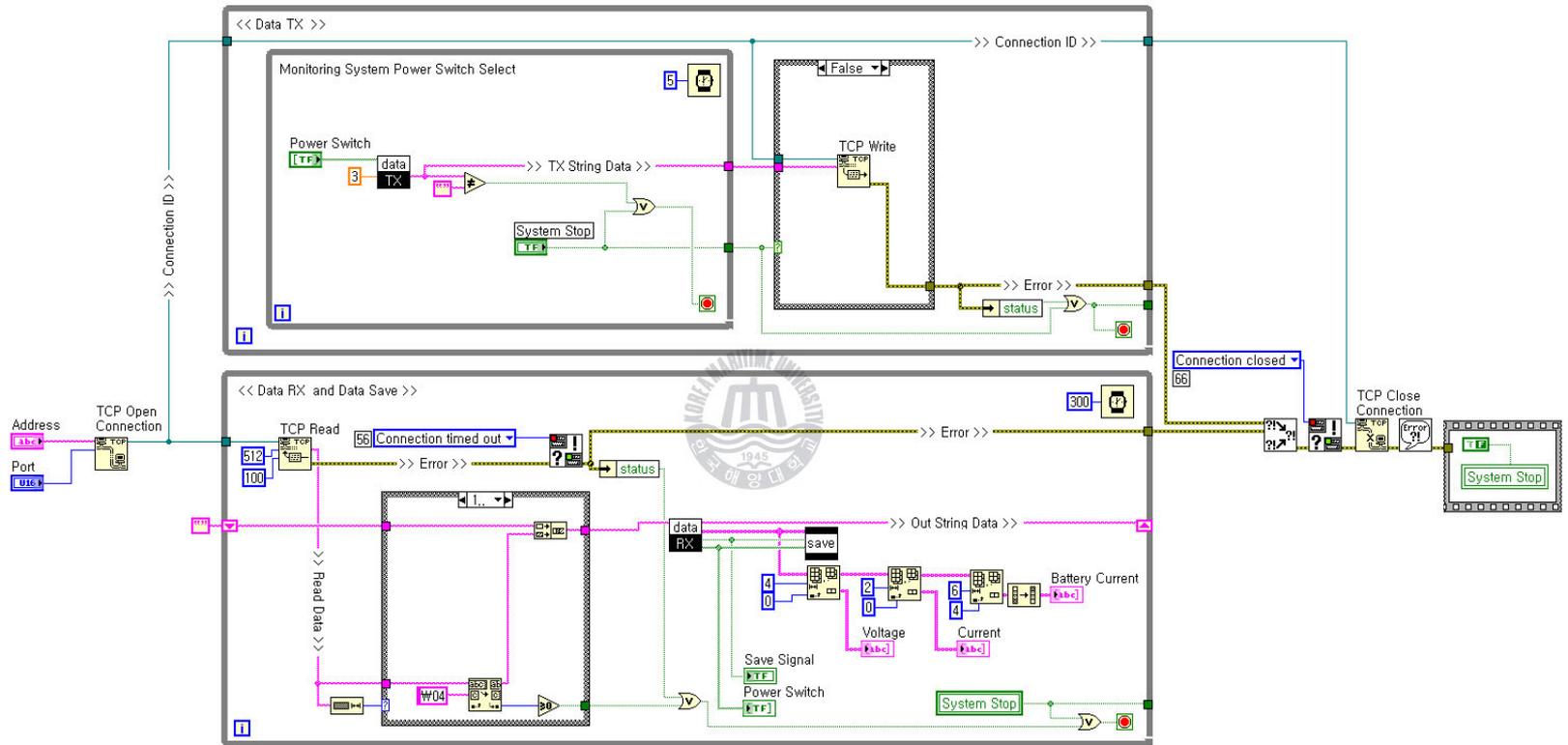


Fig. 3.19 Block diagram of hybrid monitoring system

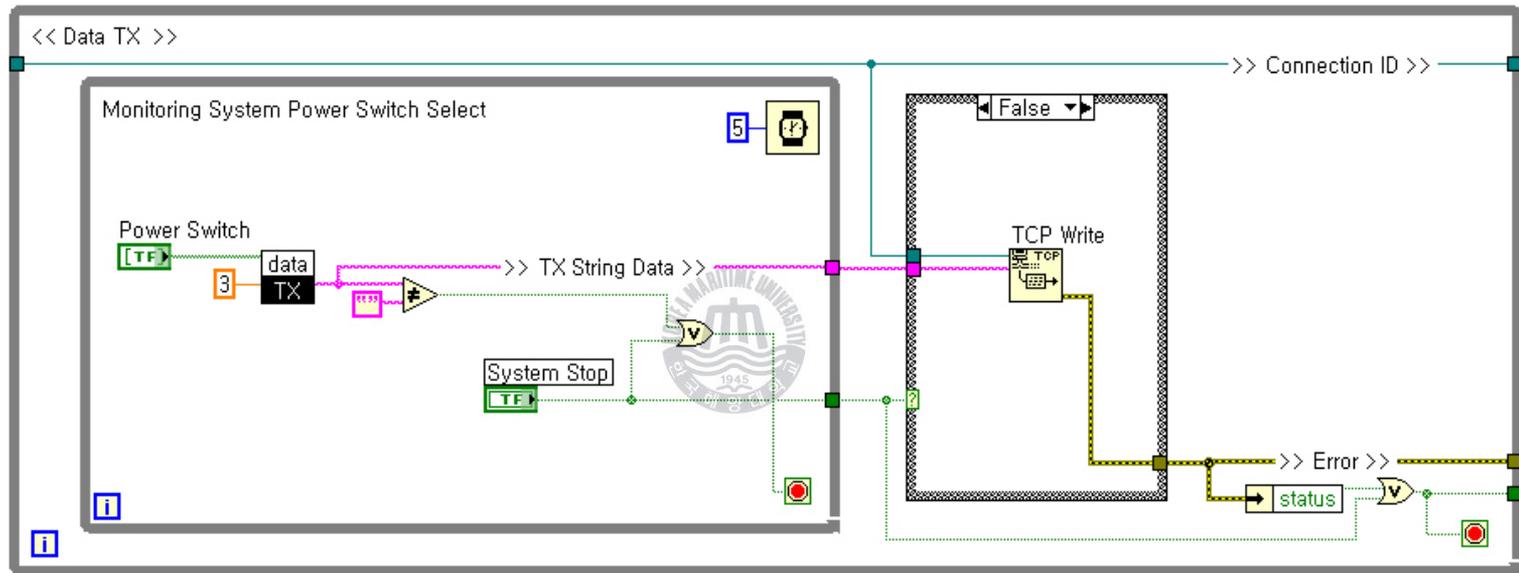


Fig. 3.20 Block diagram of data TX

데이터 송신부(TX)는 등부표의 부하를 제어하는 명령을 전송하도록 구성하였다. 이는 모니터링 화면 좌측에 배열된 전력 스위치의 조작 상태를 이진수 0또는 1로 전송하고, 일련의 문자열로 재구성한 데이터 프레임을 내보내는 방식이다. Fig. 3.21과 22는 데이터 송신 VI구성을 보여준다. TX VI는 원활한 통신을 위하여 일정 시간 간격을 가지고 데이터를 송신할 수 있도록 구성하였다.

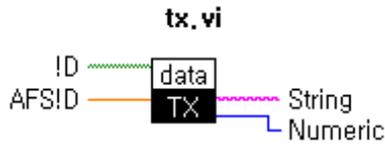


Fig. 3.21 Virtual instrument of data TX

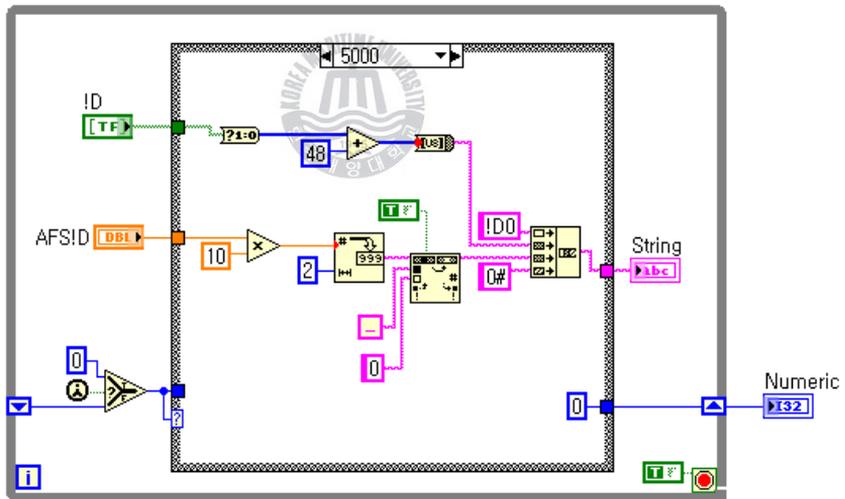


Fig. 3.22 Block diagram of data TX VI

Fig.3.23은 해상에 설치된 하이브리드 발전 등부표의 상태 데이터를 읽어와 저장하는 수신 및 저장부분의 프로그램을 보여준다. 데이터를 읽어오면 Data RX VI에서 저장할 수 있는 포맷으로 데이터를 재구성하여, Data Save VI로 전달하도록 구성하였다.

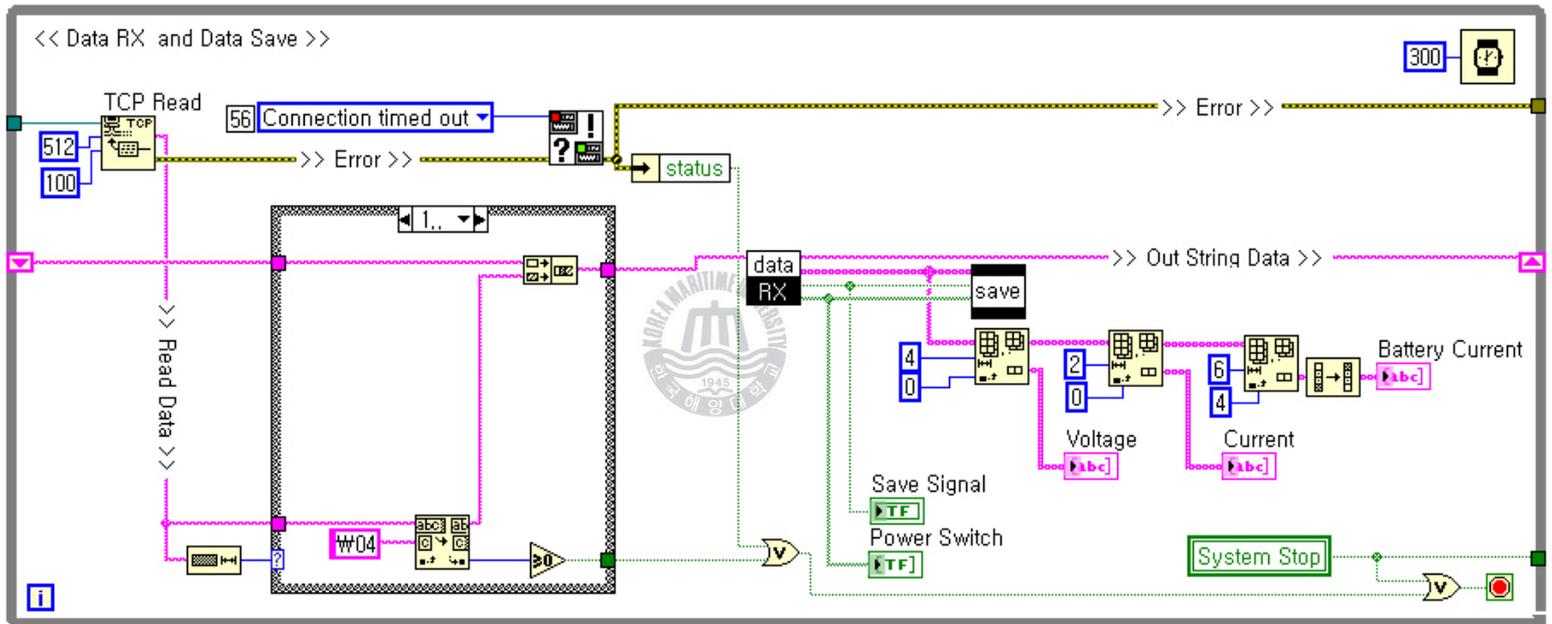


Fig. 3.23 Block diagram of data RX and save

수신된 데이터는 무선 통신으로 수집되므로 외부 간섭에 의해 데이터 손실이 발생하는 경우가 있다. 따라서 데이터 수신 후 올바른 데이터를 찾기 위한 검증과정이 필요하다. Fig. 3.24는 해상에서 불러들인 데이터의 검증을 위해 구성한 VI를 보여준다.

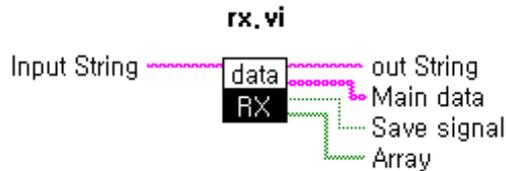


Fig. 3.24 Virtual instrument of data RX

Fig. 3.25는 RX VI의 내부 블록 다이어그램을 보여준다. 수신된 데이터는 RX VI에서 분석되어지고, 데이터 저장을 위해 재가공 된다. 수신된 데이터의 프로토콜에서 시작문자와 종료문자를 제거한 후, 순수 데이터의 수를 검증한다. 올바른 데이터는 등부표의 전압 및 전류, 그리고 부하의 동작 상태 값을 가진다. RX VI는 분석한 데이터와 모니터링 중인 스위치들의 On/Off 상태, 그리고 저장 신호를 SAVE VI로 전달한다.

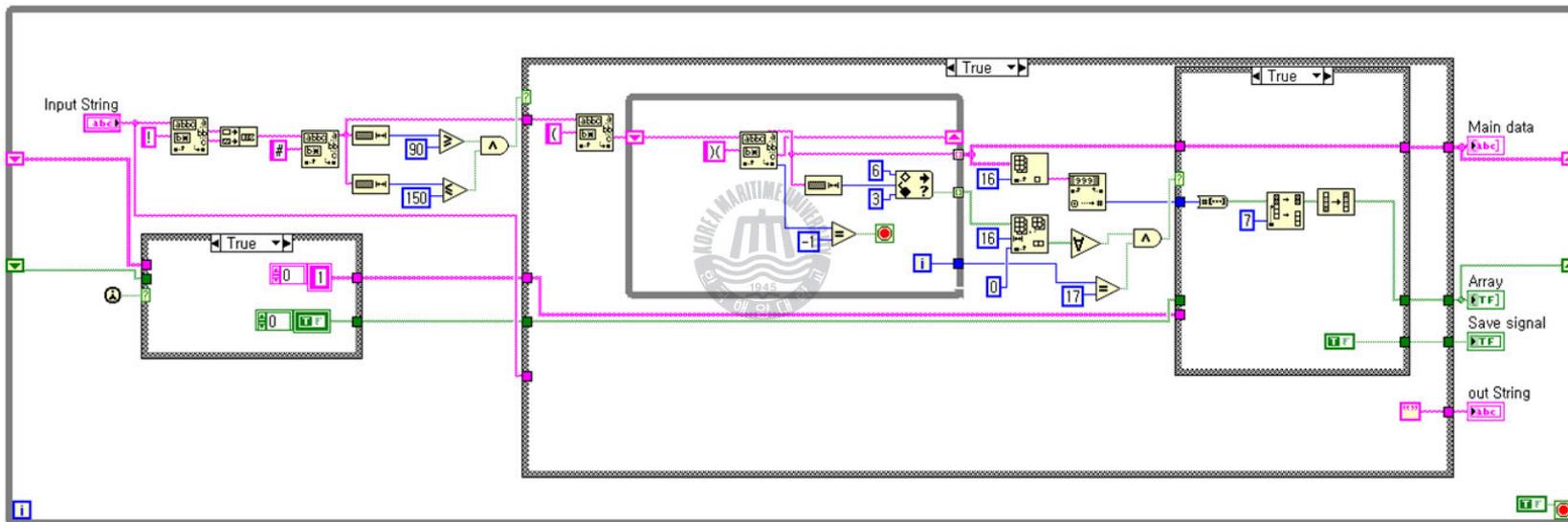


Fig. 3.25 Block diagram of data RX VI

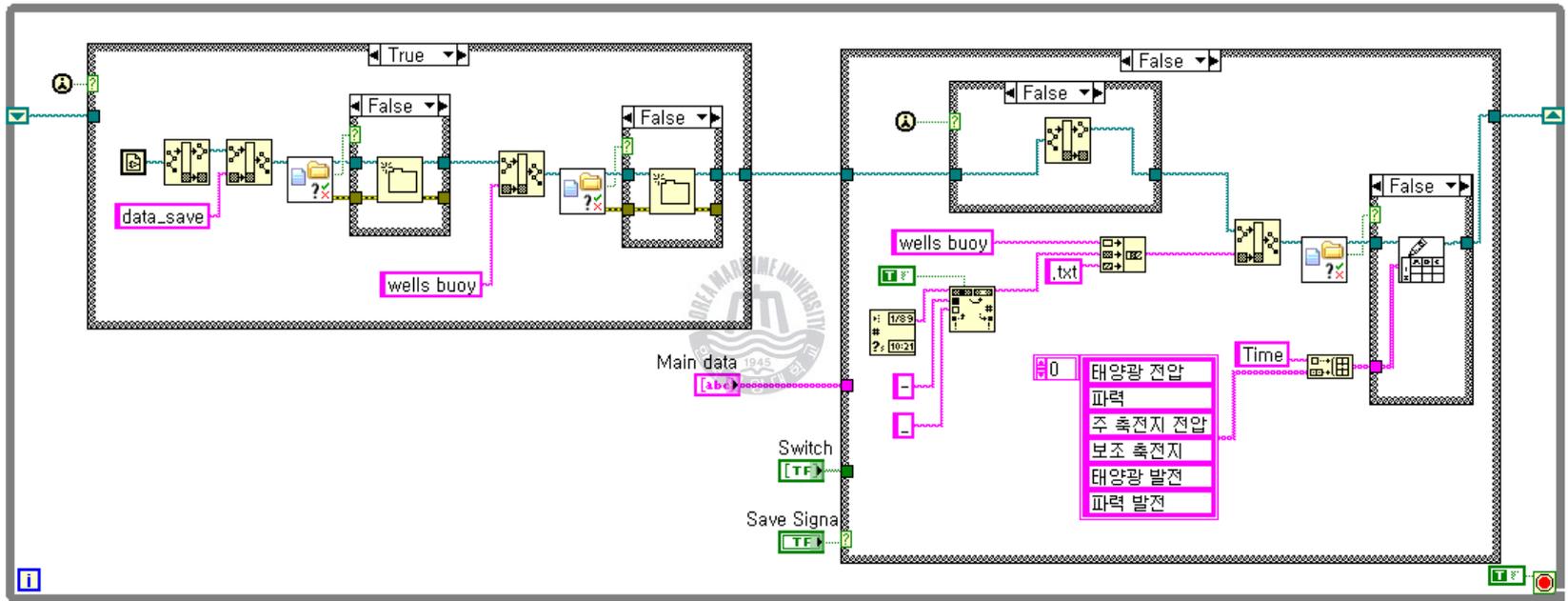
RX VI에서 처리된 데이터와 저장 신호는 Fig. 3.26의 SAVE VI로 전달된다. 전달된 파일은 스프레드시트 파일 형식으로 저장하도록 구성하였다.



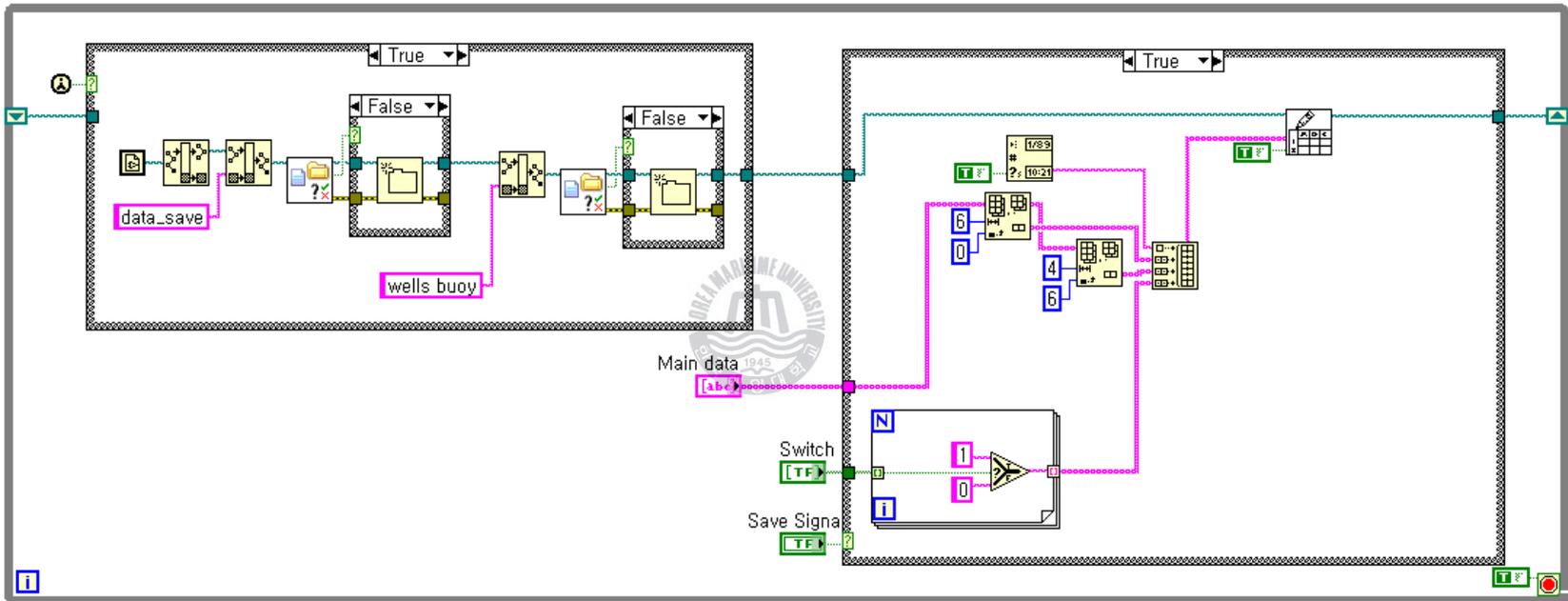
Fig. 3.26 Virtual instrument of data save

Fig. 3.27은 데이터를 저장하는 부분의 블록 다이어그램을 보여준다. 폴더와 파일을 생성하고 날짜별 파일에 데이터를 기록하도록 한다.

SAVE VI는 저장을 위해 초기에 모니터링 프로그램이 존재하는 경로에서 data_save라는 폴더를 생성한다. 이후 data_save 폴더 내에 wells buoy라는 하위 폴더가 생성되고, 'wells buoy날짜.txt' 와 같은 형식으로 파일이 생성된다. 이렇게 만들어진 파일에 데이터를 연속적으로 저장한다. Fig. 3.27의 (a)는 처음 파일이 생성될 때를 보여준다. 저장되는 파일의 첫 번째 행에는 저장되는 시간과 모니터링하고 있는 각 항목들이 입력되고, 두 번째 행부터 데이터가 시간과 함께 입력된다. Fig. 3.27의 (b)는 이미 생성되어 있는 파일에 데이터를 기록하는 방법을 보여준다[23-25].



(a) Check if file or folder exists



(b) Write to spreadsheet file
 Fig. 3.27 Block diagram of data save VI

3.4 신호처리 구성

모니터링을 위한 하이브리드 발전 등부표의 신호처리 구성은 크게 3가지 통신 방식으로 나누어진다.

3.4.1 SPI 통신의 신호처리

하이브리드 발전 등부표의 전압과 전류를 측정하기 위해서 SPI 통신이 가능한 A/D 컨버터를 채택하였다. 4-Channel, 12-Bit의 사양을 가지고 있으며, 측정 보드에 2개씩 사용하였으므로 총 8개의 값(전압 4개, 전류 4개)을 측정할 수 있다. Fig. 3.28은 A/D 컨버터의 구성을 보여준다. SPI 통신을 위하여 사용하는 4개의 핀은 다음과 같다.

- ① Din : Serial Data In
- ② Dout : Serial Data Out
- ③ CLK : Serial Clock
- ④ CS / SHDN : Chip Select / Shutdown Input

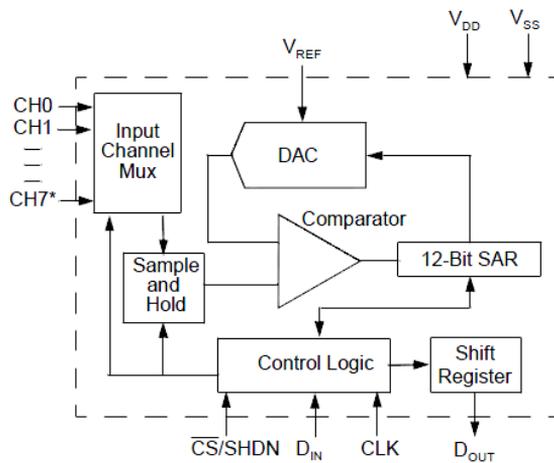


Fig. 3.28 A/D converter typical operating circuit

Fig. 3.29는 시리얼 인터페이스의 시간에 따른 동작 구성을 보여준다. 전압과 전류를 측정하기 위해 측정보드의 2개의 칩(chip) 중 하나를 선택하게 된다. 이는 CS단자가 High에서 Low로 변하면 칩이 선택된 것으로 받아들이고, 클럭에 따라 데이터를 주고받는 동작을 수행한다.

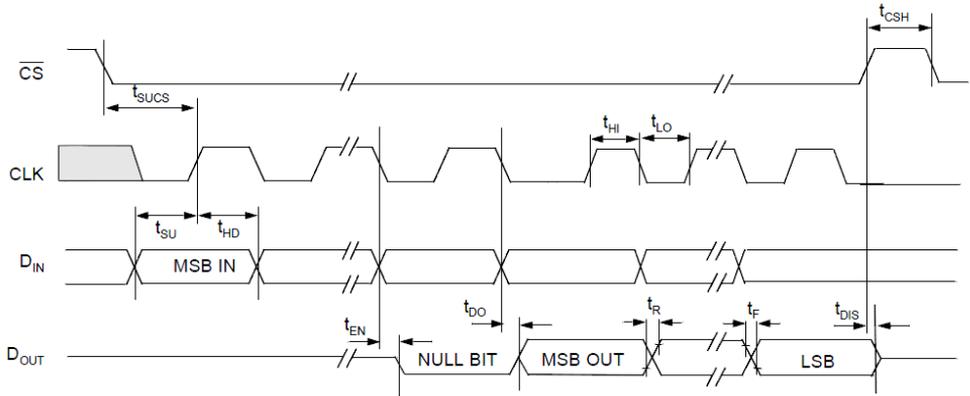


Fig. 3.29 Serial interface timing

3.4.2 CAN 통신의 신호처리



CAN 통신은 하이브리드 발전 등부표의 부하 제어 보드의 확장성을 위해 사용하였다. Fig. 3.30은 CAN 통신에 사용된 통신 소자의 구성을 보여준다.

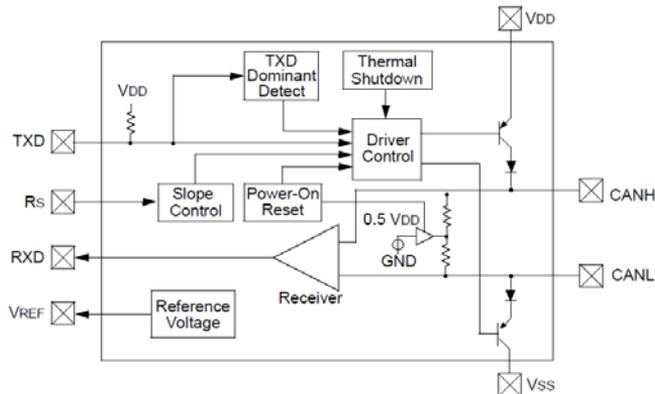


Fig. 3.30 Pin configuration and typical operating circuit

CAN 통신에 사용된 칩은 고속 CAN 트랜시버(transceiver)로 2개의 전선으로 통신이 가능하다. CANH와 CANL는 하이임피던스 상태를 유지하고 있다가, TXD가 Low로 떨어진 순간에만 동작한다. CAN은 4개의 핀을 통신에 사용한다.

- ① CANL : CAN Low-Level Voltage I/O
- ② CANH : CAN High-Level Voltage I/O
- ③ TXD : Transmit Data Input
- ④ RXD : Receive Data Output

Fig. 3.31은 CAN 통신의 동작 상태를 보여준다.

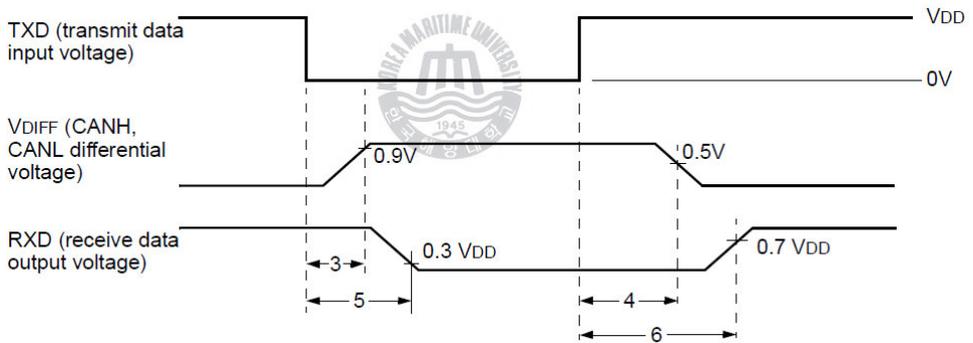


Fig. 3.31 Timing diagram for AC characteristics

3.4.3 RS-232C 통신의 신호처리

RS-232C(recommended standard 232 revision C) 통신은 Recommended standard system for serial communications의 한 부분으로, 1969년 미국 전자공학협회에서 제정한 통신 인터페이스 규약의 하나이다. 일반적으로 프린터, 모뎀 등 각종 주변장치를 연결하는데 주로 사용된다. 본 논문의 시스템에서는 등

부표 상부의 RF 모듈과 통신하기 위하여 5V를 인가하여 12V의 출력을 얻는 RS232C 칩을 사용하였다. 통신에 사용되는 핀은 T_{OUT}, R_{IN} 이다. Fig. 3.32와 Fig. 3.33은 RS-232C 통신 칩의 구성과 동작특성을 보여준다.

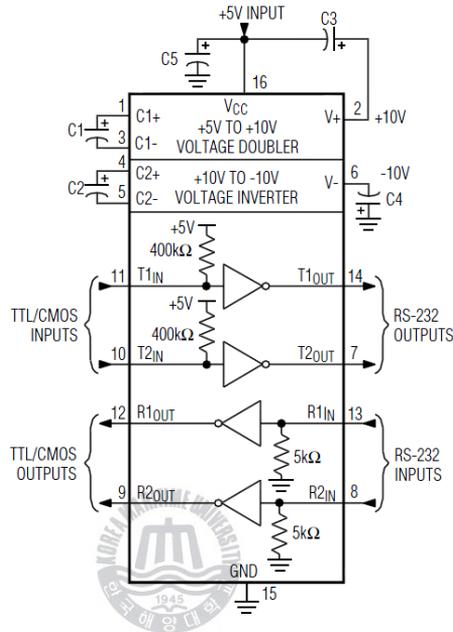


Fig. 3.32 Pin configuration and typical operating circuit

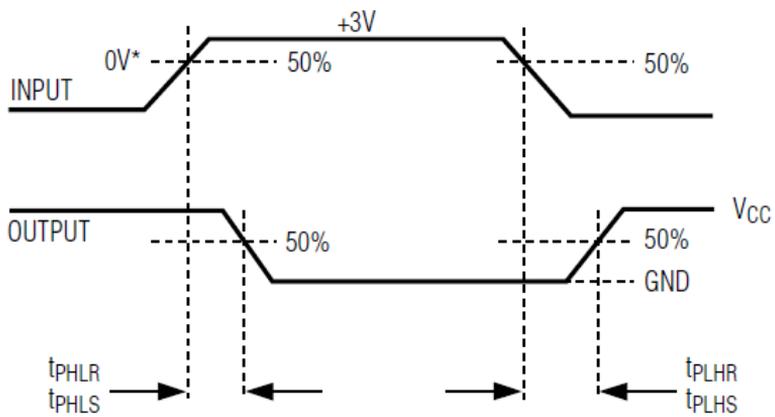


Fig. 3.33 Receiver propagation-delay timing

3.5 프로토콜 구성

3.5.1 시스템 제어 프로토콜

해상에 설치되어있는 등부표를 제어 및 감시하기 위해서 RF 무선 통신이 사용된다. 시스템 제어 프로토콜은 육상에서 해상의 등부표에 동작 상태를 제어하기 위한 명령을 전송한다. Fig. 3.34는 시스템 제어를 위한 데이터 프레임을 보여준다.

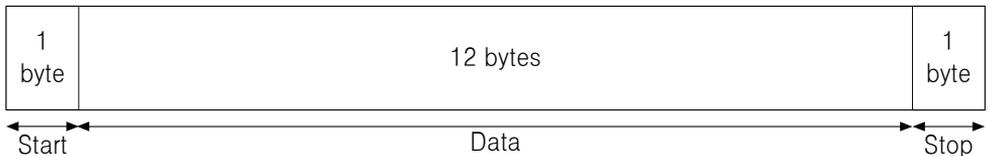


Fig. 3.34 A system control frame

‘모니터링 시스템의 제어권을 가진다’는 것은 등부표 내의 시스템 제어가 가능하다는 것을 의미한다. 「!D0000000000#」이라는 명령을 보내면, 시작문자 「!」와 종료문자 「#」를 인식하고, 나머지 데이터를 분석한다. 시작문자 다음의 「D」는 등부표의 고유번호(ID)를 가리키며, 이후 ①부터 ⑪까지는 Table. 3.1과 같은 의미를 지닌다. 따라서 Table. 3.2에서 보여주는 명령 「!D0111111111#」은 보조 축전지를 연결하고, 보조부하 1번부터 5번까지를 모두 동작시키며, 등명기를 점등하고, 해양생물방지장치를 1.1A로 운영한다는 의미를 가진다. Table. 3.1과 Table. 3.2는 모니터링 시스템 제어권을 가지는 프로토콜을 보여준다.

Table. 3.1 The protocol to control the monitoring system - Local control

구분	ASCII	16진수	의미
Start	<i>!</i>	0x21	시작문자
ID	<i>D</i>	0x44	인식문자
①	<i>0</i>	0x30	의미 없음
②	<i>0</i>	0x30	보조 축전지 충전 하지 않음
③	<i>0</i>	0x30	보조 부하5번 연결하지 않음
④	<i>0</i>	0x30	보조 부하4번 연결하지 않음
⑤	<i>0</i>	0x30	보조 부하3번 연결하지 않음
⑥	<i>0</i>	0x30	보조 부하2번 연결하지 않음
⑦	<i>0</i>	0x30	보조 부하1번 연결하지 않음
⑧	<i>0</i>	0x30	등명기 연결하지 않음
⑨	<i>0</i>	0x30	AFS 0.0A로 세팅
⑩	<i>0</i>	0x30	
⑪	<i>0</i>	0x30	로컬 시스템 제어권 부여
End	<i>#</i>	0x23	종료문자

Table. 3.2 The protocol to control the monitoring system - Monitoring control

구분	ASCII	16진수	의미
Start	<i>!</i>	0x21	시작문자
ID	<i>D</i>	0x44	인식문자
①	<i>0</i>	0x30	의미 없음
②	<i>1</i>	0x31	보조 축전지 충전
③	<i>1</i>	0x31	보조 부하5번 연결
④	<i>1</i>	0x31	보조 부하4번 연결
⑤	<i>1</i>	0x31	보조 부하3번 연결
⑥	<i>1</i>	0x31	보조 부하2번 연결
⑦	<i>1</i>	0x31	보조 부하1번 연결
⑧	<i>1</i>	0x31	등명기 연결
⑨	<i>1</i>	0x31	AFS 1.1A로 세팅
⑩	<i>1</i>	0x31	
⑪	<i>1</i>	0x31	모니터링 시스템 제어권 부여
End	<i>#</i>	0x23	종료문자

모니터링 시스템 제어권을 가질 경우 보조 부하 및 등명기, AFS 전류를 설정 할 수 있으나, 제어를 하지 않고 단순히 모니터링 시스템만을 사용할 때는 Table. 3.3과 같은 명령으로 로컬 시스템 제어권을 가질 수 있다. 이는 단순히 모니터링만 가능한 명령이다.

Table. 3.3 The protocol to control the local system

구분	ASCII	16진수	의미
Start	<i>!</i>	0x21	시작문자
ID	<i>D</i>	0x44	인식문자
①	<i>0</i>	0x30	의미 없음
②	<i>0</i>	0x30	의미 없음
③	<i>0</i>	0x30	의미 없음
④	<i>0</i>	0x30	의미 없음
⑤	<i>0</i>	0x30	의미 없음
⑥	<i>0</i>	0x30	의미 없음
⑦	<i>0</i>	0x30	의미 없음
⑧	<i>0</i>	0x30	의미 없음
⑨	<i>0</i>	0x30	의미 없음
⑩	<i>0</i>	0x30	의미 없음
⑪	<i>0</i>	0x30	로컬 시스템 제어권 부여
End	<i>#</i>	0x23	종료문자

3.5.2 모니터링 프로그램 프로토콜

모니터링 프로그램 프로토콜은 해상에서 육상으로 시스템 상태를 전송하는 규약이며, 프로토콜은 Table. 3.4와 같이 구성된다.

Table. 3.4 The protocol for monitoring

구분	ASCII	의미
Start	<i>!</i>	시작문자
ID	<i>D</i>	인식문자
①	<i>(15.88)</i>	태양전지판 전압
②	<i>(0.00)</i>	과력발전 전압
③	<i>(13.30)</i>	주 축전지 전압
④	<i>(13.29)</i>	보조 축전지 전압
⑤	<i>(1.75)</i>	태양광 발전 전류
⑥	<i>(0.13)</i>	과력 발전 전류
⑦	<i>(0.02)</i>	의미 없음
⑧	<i>(0.00)</i>	의미 없음
⑨	<i>(0.00)</i>	의미 없음
⑩	<i>(0.00)</i>	의미 없음
⑪	<i>(0.00)</i>	의미 없음
⑫	<i>(0.00)</i>	의미 없음
⑬	<i>(0.07)</i>	보조 축전지 방전 전류
⑭	<i>(0.42)</i>	보조 축전지 충전 전류
⑮	<i>(0.92)</i>	주 축전지 방전 전류
⑯	<i>(0.67)</i>	주 축전지 충전 전류
⑰	<i>(64)</i>	스위치 동작 상태
⑱	<i>(1)</i>	시스템 정상 동작 유무
End	<i>#</i>	종료문자

① ~ ⑯의 데이터는 Table. 3.5와 같이 데이터의 시작문자와 종료문자를 제외한 전압 및 전류 값을 갖는다. ⑦ ~ ⑫는 추가 모니터링을 위한 여유 공간이므로 현재는 데이터 길이가 고정되어 있다.

Table. 3.5 Data construction - ① ~ ⑩

(1	5	.	8	8)
0x28	0x31	0x35	0x2E	0x38	0x38	0x29
데이터 시작문자	15.88V					데이터 종료문자

(1	.	8	8)	데이터 길이 변환
0x28	0x31	0x2E	0x38	0x38	0x29	
데이터 시작문자	1.88V				데이터 종료문자	

Table. 3.6 Data construction - ⑰

스위치 동작 상태	보조 축진지 충전	보조 부하 5	보조 부하 4	보조 부하 3	보조 부하 2	보조 부하 1	등명기
0	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
1	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On
3	Off	Off	Off	Off	Off	On	On
7	Off	Off	Off	Off	On	On	On
15	Off	Off	Off	On	On	On	On
31	Off	Off	On	On	On	On	On
63	Off	On	On	On	On	On	On
127	On	On	On	On	On	On	On
65	On	Off	Off	Off	Off	Off	On

모니터링 프로그램의 프로토콜 중 ⑰ 스위치 동작 상태의 숫자는 Table. 3.6과 같이 분석할 수 있다. ⑱ 시스템 정상 동작 유무는 Table. 3.7과 같이 '1' 은 정상 상태, '2' 는 비정상 상태를 나타낸다.

Table. 3.7 Data construction - ⑧

(1)
0x28	0x31	0x29
데이터시작문자	정상	데이터종료문자
(2)
0x28	0x32	0x29
데이터시작문자	비정상	데이터종료문자

3.5.3 데이터 저장

하이브리드 발전용 등부표의 모니터링 프로그램은 프로토콜을 통하여 송·수신되며, 가공된 데이터는 Table. 3.8의 항목으로 분류되어 저장된다.

Table. 3.8 List of data received from the system

x축	통신 체크 시간
y축 데이터 처리 항목	태양전지판 전압
	주축전지 전압
	보조 축전지 전압
	태양광 발전 전류
	파력 발전 전류
	보조 축전지 방전 전류
	보조 축전지 충전 전류
	주 축전지 방전 전류
	주 축전지 충전 전류
	스위칭 상태(On/Off)
	데이터 처리 항목
	태양광 발전전력
	파력 발전 전력
	주 축전지 충전 전력
	보조 축전지 충전 전력
주축전지 방전 전력	
보조 축전지 방전 전력	

제 4 장 실험 및 고찰

4.1 실험 개요

본 논문에서 제안하는 하이브리드 발전 시스템을 적용한 등부표의 모니터링 시스템 구성을 확인하기 위해서 Fig. 4.1과 같은 형식으로 해상 실험을 실행하였다.



Fig. 4.1 Pictures of the hybrid power generation system installed on site

안정적인 동작 검증을 위해 실제 해상에 설치된 하이브리드 등부표, 중계기 그리고 관리자가 상태를 모니터링할 수 있는 PC로 실험 시스템을 구성하였다. Fig. 4.2와 Fig. 4.3은 실제 실험용 등부표에 설치된 태양전지모듈과 파워발전기의 모습을 보여준다.



Fig. 4.2 PV array

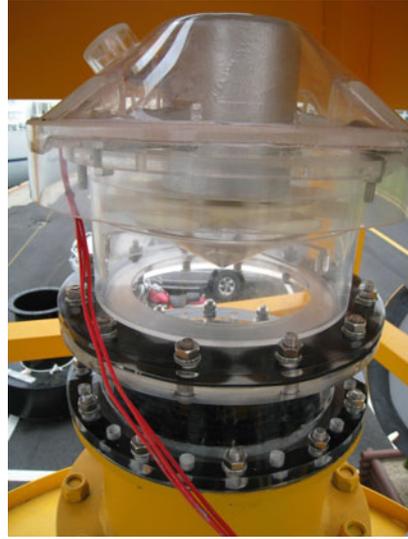


Fig. 4.3 Wells turbine

하이브리드 발전 등부표는 한국해양대학교 근해에 설치되었으며, 내부에는 Fig. 4.4와 같은 하이브리드 발전 연동 모듈이 탑재되어있다.



Fig. 4.4 Hybrid power generation system module

Fig. 4.5는 모듈 내 주 제어 보드, MPPT 보드, 측정 보드의 위치를 보여 준다.

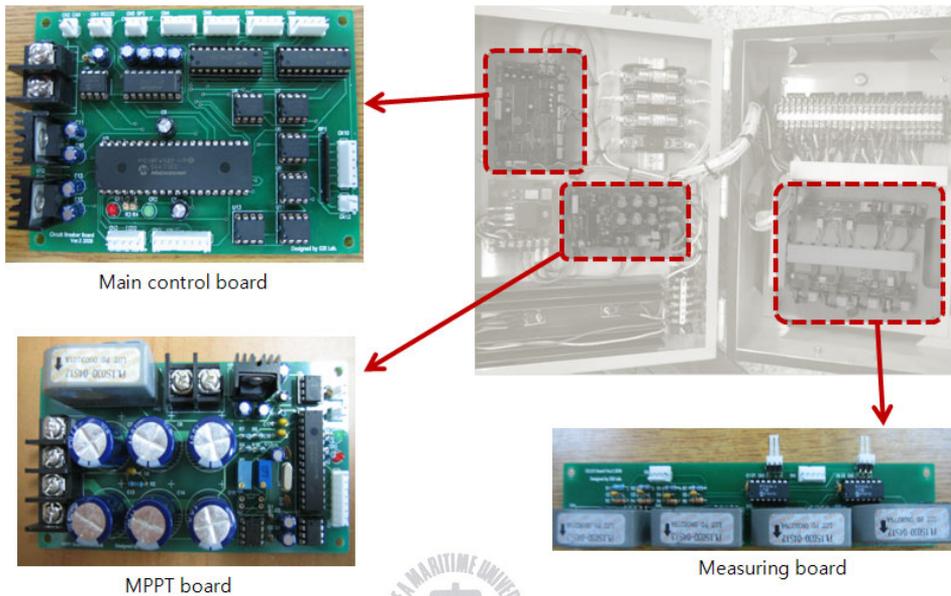


Fig. 4.5 Configuration of hybrid power generation system module



4.2 실험 및 분석

4.2.1 전력 측정부

Fig. 4.6은 전력 측정을 위해 제작된 측정보드(measuring board)를 보여준다. 측정보드에는 전선에 흐르는 전류를 측정할 수 있는 홀센서 4개가 장착되어있고, 전압을 측정하기 위한 전압분배회로가 구성되어있다. 또한 SPI 통신 단자대와 측정보드의 A/D 컨버터를 선택하기 위한 Chip Select 단자대로 이루어진다. Fig. 4.7은 실제 사용된 측정 제어 보드를 보여준다.



Fig. 4.6 Measuring board

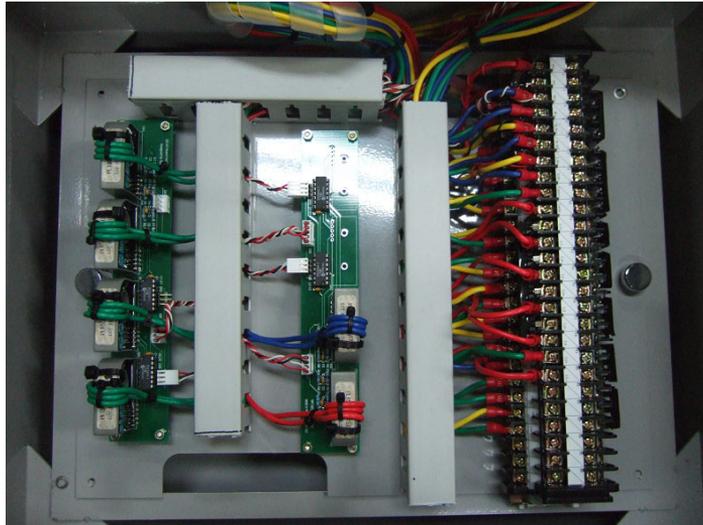
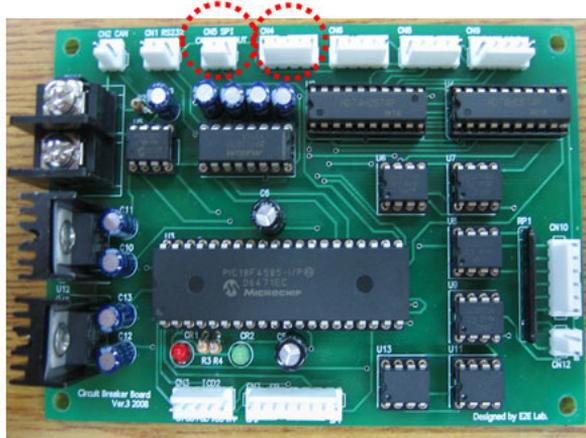


Fig. 4.7 Measuring board and terminal block

Fig. 4.8은 SPI 통신을 확인하기 위해 주 제어 보드와 측정 보드 사이의 파형을 측정한 단자를 나타낸다.



Main control board



Measuring board

Fig. 4.8 SPI communication test pin

Fig. 4.9는 Fig. 4.10과 같이 측정 보드가 2개 장착된 하이브리드 발전 등부표용 제어기에서 4개의 A/D 컨버터를 검색하는 파형이다. CH1부터 CH4는 주 제어기에서 SPI 통신으로 연결된 측정보드의 A/D 컨버터를 시간차를 두고 검색하고 있다. 각 채널당 High-Low가 4번 반복되는 현상은 A/D 컨버터 당 포트가 4개이기 때문이다.

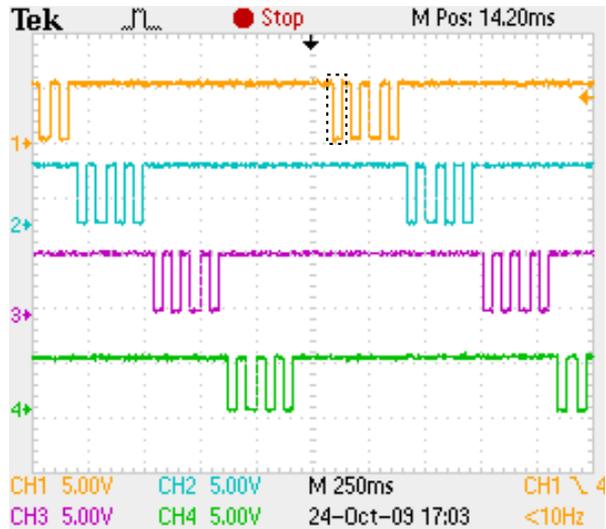


Fig. 4.9 Waveform of Searching A/D converters

Fig. 4.10은 Fig. 4.9의 SPI 통신의 측정 파형 중 점선 부분을 확대한 파형을 나타낸다. CH1은 전압이 High에서 Low로 떨어지며 Enable 신호를 보낸다. 이것은 측정보드의 A/D 컨버터를 선택하는 신호(CH1:enable)이며, 이후 클럭 신호(CH4:clock)에 따라 데이터(CH2:data out, CH3:data in)를 주고받는다.

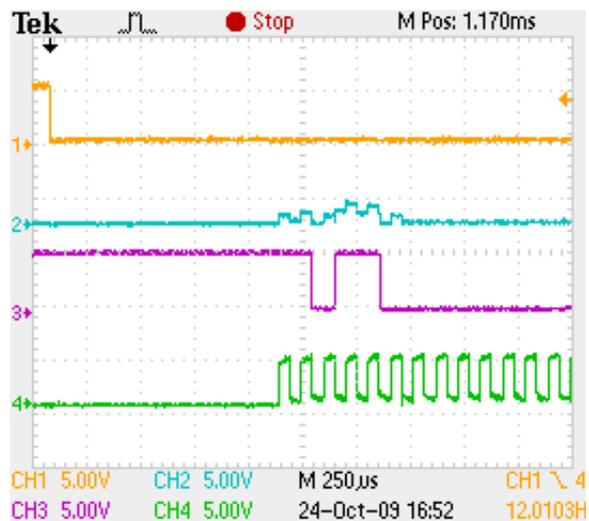


Fig. 4.10 Waveform of SPI communication

4.2.2 전력 제어부

Fig. 4.11은 MPPT 보드를 보여준다. 출력이 불균일한 태양광 발전의 최대 전력점을 추종하여 축전지에 충전하는 역할을 한다.



Fig. 4.11 MPPT board

Fig. 4.12는 하이브리드 연동 모듈의 상부에 실제 장착된 MPPT 보드와 주 제어기, 안전회로 등을 보여준다. MPPT 보드는 주 제어기와 CAN 통신으로 연결되어 동작한다. AFS 및 기타 추가 시스템도 CAN 통신이 가능하다.

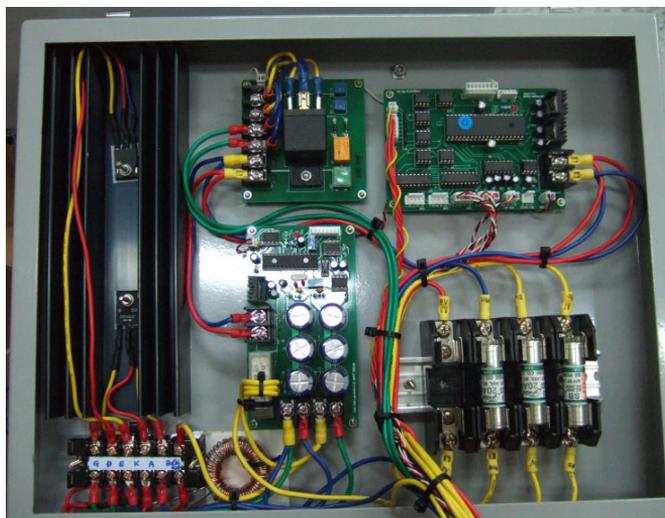
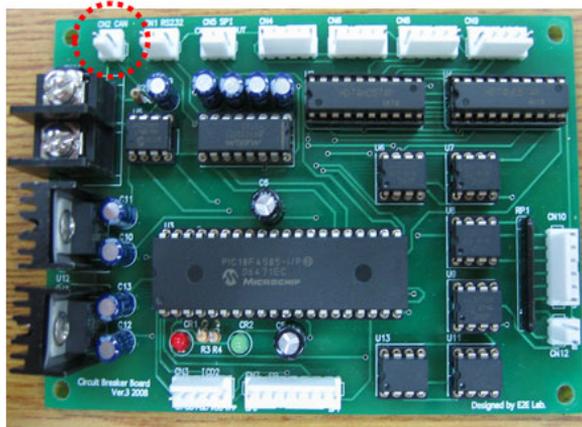


Fig. 4.12 Main board and MPPT board

Fig. 4.13은 CAN 통신을 확인하기 위해 주 제어 보드와 MPPT 보드 사이의 파형을 측정할 단자를 나타낸다.



Main control board



MPPT board

Fig. 4.13 CAN communication test pin

Fig. 4.14는 주 제어기가 MPPT 보드와 CAN 통신을 하는 순간의 CANH (CH1), CANL(CH2), Data(CH3) 파형을 보여준다.

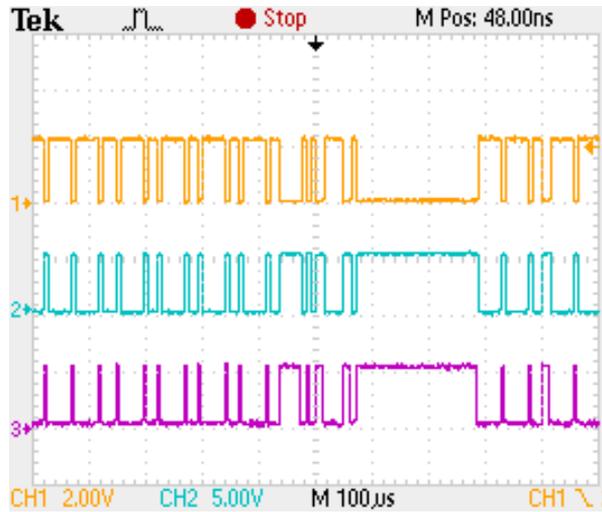


Fig. 4.14 Waveform of CAN communication

4.2.3 하이브리드 발전 주 제어부

Fig. 4.15는 하이브리드 발전 모듈에서 전체 시스템을 총괄하는 주 제어 보드(main control board)를 보여준다.

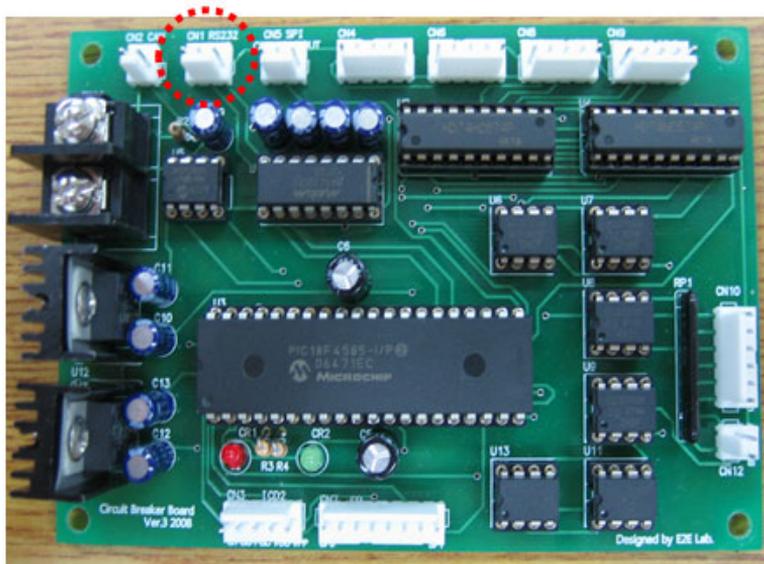


Fig. 4.15 Main control board

주 제어 보드는 MPPT 제어 보드, 전력 측정 보드 등과 각각에 최적화된 통신을 통하여 데이터를 송·수신하면서 전체 시스템을 관리한다. Fig. 4.15의 점선은 RS-232C 통신을 확인하기 위해 과형을 측정한 단자를 나타낸다.

Fig. 4.16은 RS232C 통신을 진행하는 순간의 과형을 나타낸다. 데이터를 요청하면(CH1:RX), 응답하는 방식(CH2:TX)으로 통신이 이루어진다. 주 제어기는 연결된 다른 보드들의 데이터를 수집하여 전송하도록 짜인 알고리즘 때문에 CH1과 CH2 사이의 응답이 지연되는 것을 알 수 있다.

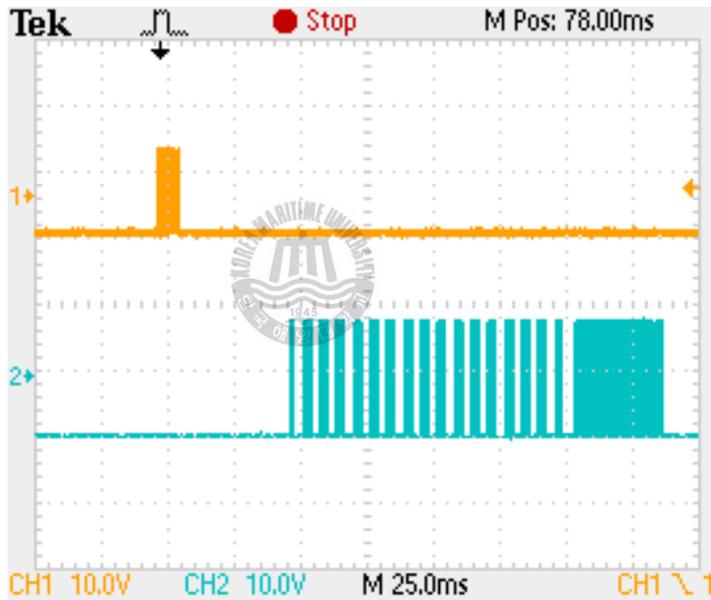


Fig. 4.16 Waveform of RF communication

Fig. 4.17은 RS232C 통신을 진행하는 순간의 RX 과형을 확대한 것이고, Fig. 4.18은 TX 순간을 확대한 과형이다.



Fig. 4.17 Waveform of RF communication - RX

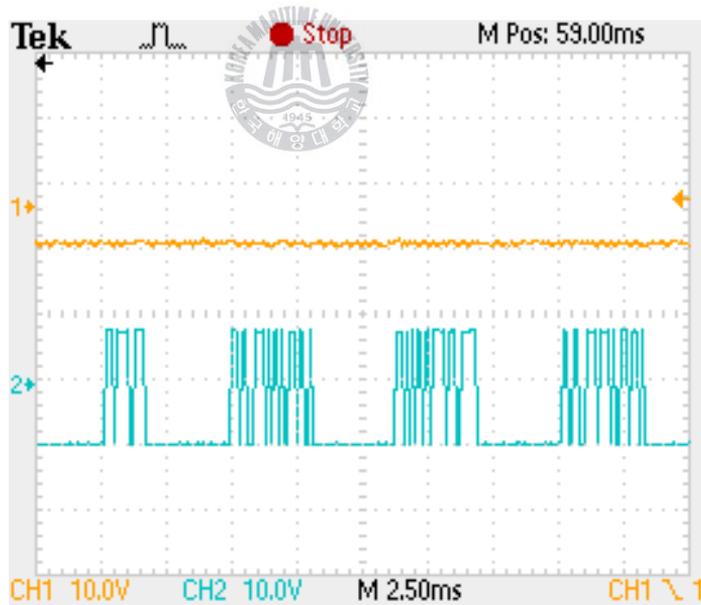


Fig. 4.18 Waveform of RF communication - TX

4.3 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 태양광 발전과 파력 발전을 함께 사용하는 하이브리드 발전을 채택하여 보다 출력 효율을 높이고자 하였다. 태양광 발전은 주간에 발전량이 뛰어나지만, 야간에는 발전이 어렵다. 이러한 태양광 발전의 단점을 보완하기 위해서 결합한 파력 발전은 야간에도 발전이 가능하나 출력 변동률이 크다는 단점이 있다.

Fig. 4.19부터 Fig. 4.22는 모니터링 시스템으로 수집한 태양광과 파력 발전 자료 중 기상상태가 서로 다른 날들을 분석한 그래프를 나타낸다.

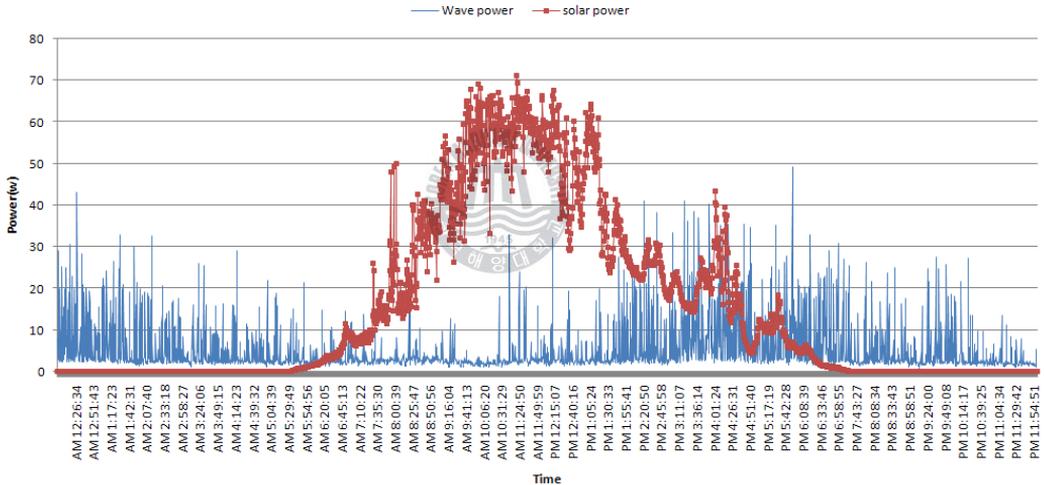


Fig. 4.19 Graph of the output power from the hybrid power system in sunny day

Fig. 4.19는 맑은 날의 발전 상태를 보여준다. 맑은 날은 태양광 발전량이 파력 발전량에 비해 월등하게 높다는 것을 알 수 있다. 태양광 발전은 해가 떠있는 주간에 최대 70W까지 발전되지만, 해가 없는 야간에는 생산전력이 0W로 발전이 불가능하다. 반면 파력 발전은 불규칙하지만 전일 발전량을 나타내며 야간에도 발전할 수 있는 장점을 가진다.

Fig. 4.20은 흐리고 구름이 많은 날, Fig. 4.21은 비가 오는 날의 발전 상태를 보여준다. 파력 발전은 태양광 발전이 힘든 기상상태에서 상대적으로 발전이 가능하다.

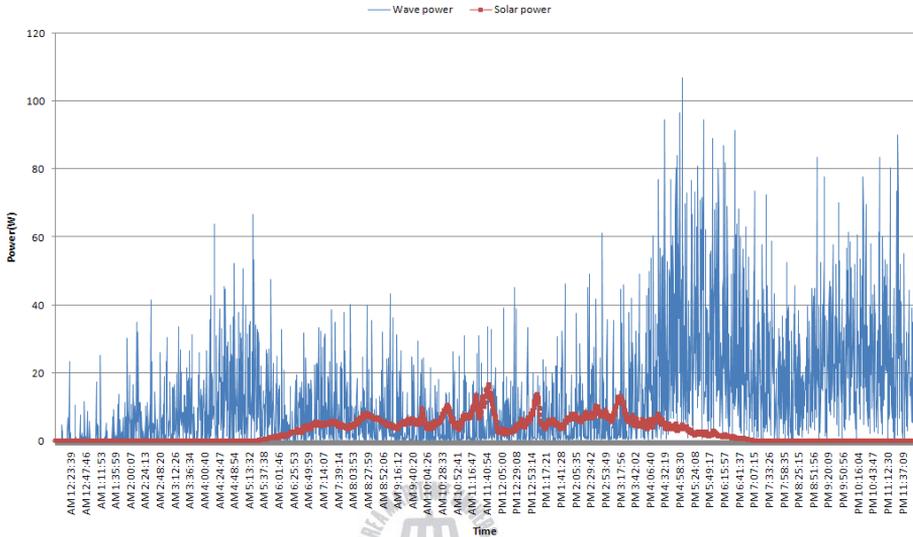


Fig. 4.20 Graph of the output power from hybrid power system in cloudy day

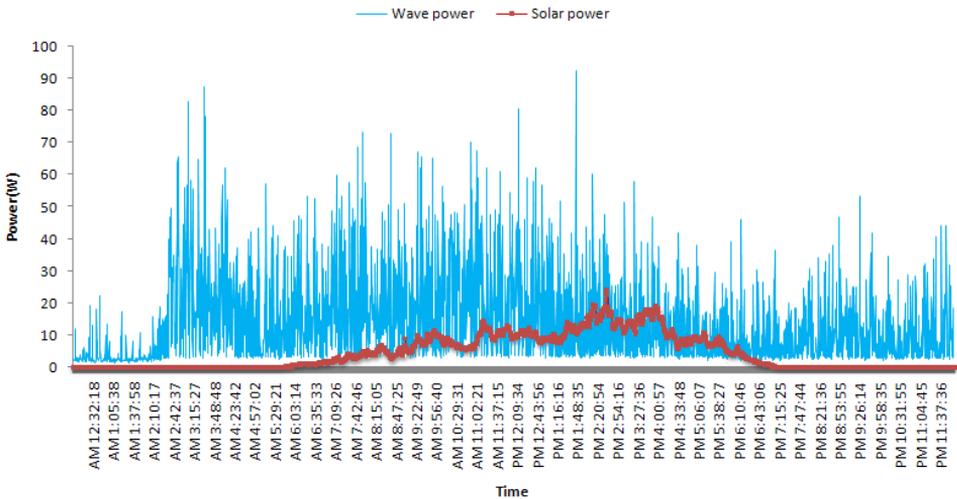


Fig. 4.21 Graph of the output power from the hybrid power system in rainy day

Fig. 4.19부터 Fig. 4.21까지의 그래프를 통해 태양광 발전과 파력 발전은 상반되는 기상환경에서 상호 보완적인 발전이 가능함을 확인할 수 있었다. Fig. 4.22는 맑으며 바람이 많은 날 태양광과 파력 발전이 동시에 활발히 이루어지는 것을 보여준다.

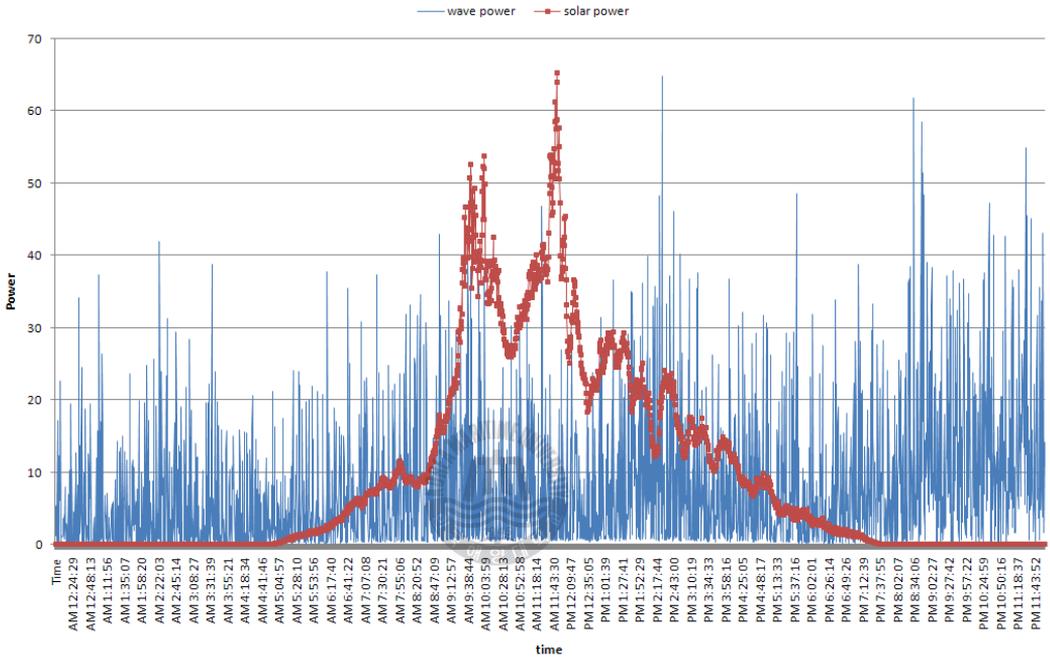


Fig. 4.22 Graph of the output power from the hybrid power system in sunny and windy day

그래프들의 출력 특성 분포를 살펴보면 두 발전 체계가 상호 보완적인 출력 특성을 보이고 있다는 것을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라, 태양광 발전과 파력 발전 시스템이 동시에 발전이 가능한 기상환경에서는 더욱 큰 출력 특성을 나타낼 수 있다는 것을 Fig. 4.22를 통하여 확인하였다.

하이브리드 발전을 위한 모니터링 시스템으로 수집한 데이터를 통하여, 태양광 발전만 사용하던 기존의 전원에 비해 하이브리드 전원체계가 보다 안정적인 전원 시스템을 실험을 통하여 검증할 수 있었다.

제 5 장 결 론

해상에는 다양한 해양 시설물들이 선박의 안전 항해 및 해양 개발 등을 목적으로 존재한다. 해양 시설물들은 육상과 달리 자체적으로 독립된 전력 체계를 구성하여 운영된다. 독립형 전력체계는 부하를 안정적으로 운영할 수 있을 만큼의 충분한 발전량이 보장되지 않기 때문에, 해결방안으로 하이브리드 전력체계를 제안하고 있다. 이러한 하이브리드 발전체계의 안정적인 운영을 위해 하이브리드 발전용 모니터링 시스템은 필수불가결한 요소이다.

본 논문에서는 해양 시설물인 등부표의 안정적인 전원 공급을 위해 전원 시스템이 최적의 상태로 운영될 수 있도록 체계적인 감시 시스템을 구성하였다. 해양 시설물의 안정적인 전원체계를 위해서는 탑재된 발전 시스템의 발전량과 축전지의 충·방전 상황을 감시하여 오작동을 방지할 수 있어야 한다. 따라서 본 논문에서 설계한 모니터링 시스템에서는 하이브리드 발전의 전압과 전류, 축전지의 전압 및 부하의 전력 소비를 감시할 수 있도록 구성하였다. 하이브리드 발전용 모니터링 시스템은 각종 상태량을 감시할 뿐만 아니라, 전용 프로토콜을 사용하여 원격으로 해양 시설물의 부하를 제어할 수 있도록 구성하였다.

하이브리드 발전을 위해 설계된 모니터링 시스템의 검증을 위하여 한국해양대학교 근해에서 해상 실험을 수행하였다. 태양광 발전과 파력 발전을 함께 사용하는 하이브리드형 등부표의 출력 특성 및 각종 부하 상태에 관한 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터를 분석한 결과 축전지의 전압을 안정적인 상태로 유지하는 것을 확인하였으며, 이는 축전지의 과방전 및 과충전을 방지할 수 있는 효율적인 방안임을 확인하였다. 따라서 하이브리드 발전용 모니터링 시스템은 해양 시설물의 수명연장과 유지보수 측면에 장점을 가질 것이다.

해상 실험을 통하여 하이브리드 발전 시스템은 기상환경에 따라 발전량의 변동이 심하다는 것을 확인하였으나, 이러한 문제점은 전력제어기술 연구와 더불어 해양 시설물에 적합한 모니터링 시스템의 연구를 통해 극복할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 기존의 발전 시스템에 비해 하이브리드 발전 시스템이 보다 안정적인 전력체계가 될 것으로 예상된다.

본 논문에서 연구한 모니터링 시스템은 기존 시스템에 추가되는 하이브리드 발전 에너지원의 다양한 모니터링이 가능하며, 기존 시스템에 비해 안정적인 전력체계를 위한 기반기술로 활용이 가능하다. 앞으로 하이브리드형 시스템의 다양한 데이터를 처리할 수 있는 지능적 알고리즘의 지속적인 연구를 통해 보다 높은 신뢰도를 가진 모니터링 시스템을 구성할 수 있을 것이다. 하이브리드 전력 체계 모니터링 시스템은 다음과 같은 특징을 가진다.

- 각종 부하 제어 및 시스템 상황 확인 가능
- 해양 시설물의 축전지 수명 연장
- 해양 시설물의 유지보수 측면에 유리
- 하이브리드 발전용 에너지원의 적합성 판단 도구

본 논문에서 제시된 모니터링 시스템은 해상에서 사용되는 독립형 전력 시스템의 효율 증대뿐만 아니라, 축전지의 상태와 각종 발전 특성까지 제어 감시하므로 시스템의 안전성을 가져올 수 있다. 따라서 해양 시설물의 안정적인 전원 체계는 해양 시설물의 신뢰도를 향상시키며, 해양 사고방지에도 큰 역할을 할 수 있을 것이라 기대한다. 또한 앞으로 각종 해양 시설물에 적합한 모니터링 시스템의 연구를 통해 해양 시설물로의 불필요한 접근 횟수를 줄일 수 있고, 청정에너지원의 사용으로 경제적인 이득뿐만 아니라 환경적으로도 공해를 줄일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Energy Information Administration, <<International Energy Outlook 2009>>, This publication is on the WEB at : www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html, Office of Integrated Analysis and Forecasting U.S. Department of Energy Washington, DC 20585(2009)
2. 한국해양연구원, 선박해양공학분소, <<복합 해양에너지 활용시스템 기술개발 기획연구>>, 과학기술부(2001)
3. <http://blog.daum.net/landpolicy/689>
4. <http://oceanlife.or.kr>
5. 박정우, 「해양에너지 기술동향과 전력변환 기술」, 전력전자학회지, 제 8권, 제 6호, 전력전자학회(2003)
6. <http://konesis.kemco.or.kr/>
7. <http://www.solarcenter.co.kr>
8. Tomas Markvart, 《Solar Electricity》, JOHN WILEY & SONS(1997)
9. R J Van Overstraeten And R P Mertens, <<Physics, Technology and use of photovoltaics>>, Adam Hilger LTD(1986)
10. Bimal K. Bose, Paul M. Szczesny and Robert L. Steigerwald, 「Microcomputer Control of a Residential Photovoltaic Power Conditioning System」, IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. IA-21, No. 5, IEEE(1985)
11. T. J. Liang, Y. C. Kuo and J. F. Chen, 「Single-stage photovoltaic energy conversion system」, IEE proc-electr.power appl., Vol. 148, No. 4(2001)

12. K. H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino and M. Osakada, 「Maximum photovoltaic power tracking : an algorithm for rapidly changing atmospheric condiotions」, IEEE proc.-gener. transm. distrib., Vol. 142, No. 1(1995)
13. 곽준호, 「원격 다중 제어가 가능한 독립형 태양광 발전 시스템 제어기 개발에 관한 연구」, 한국해양대학교 대학원(2005)
14. (社)日本化學工學會 SCE.Net 편, 장태익·정영관 역, <<신·재생에너지공학>>, 도서출판 북스힐(2008)
15. 이재영·천원기·김종보, 「해양 파력 에너지의 Availability에 관한 연구」, 한국태양에너지학회 96 춘계태양에너지 학술발표회 논문집, 한국태양에너지학회(1996)
16. 김정환·김유택·이영호, 「해양에너지를 이용한 파력발전시스템」, 유체기계저널 제10권 제1호, 유체기계공업학회(2007)
17. 이종호, 「태양광 기반의 해양시설물용 하이브리드 발전시스템에 관한 연구」, 한국해양대학교 대학원(2008)
18. Jong-Ho Lee, Jun-Ho Kwak, Kwan-Jun Jo, Yun-Hyung Kim, Ji-Young Lee and Jin-Seok Oh, 「Study on the Wave Energy Converter for vessel Traffic Safety Units」, 한국마린엔지니어링학회 2007년도 전기학술대회논문집, 한국마린엔지니어링학회(2007)
19. 김정환·이현식·김정렬·김진구, 「파력발전용 웰스터빈에 있어서 솔리디티 영향 연구」, 한국마린엔지니어링학회 2006년도 후기학술대회논문집, 한국마린엔지니어링학회(2006)
20. Jin-Seok Oh, 「Research and Analysis of Wave Energy Characteristic for Wave Generation System」, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol.30, No.4, The Korean Society of Marine Engineering(2006)

21. Jong-Ho Lee, Jun-Ho Kwak, Yun-Hyung Kim, Kwan-Jun Jo, Ji-Young Lee and Jin-Seok Oh 「OWC형 파력발전시스템 출력특성 분석」, 2007년도 한국마린엔지니어링학회 후기학술대회 논문집, 한국마린엔지니어링학회(2007)
22. Jin-Seok Oh, Jong-Do Kim, Jong-Ho Lee, Han-Il Park and Toshimitsu Komatsu, 「Design and analysis of wave energy converter for a buoy」, Journal of Mechanical Science and Technology 21 (2007)
23. 곽두영, 《컴퓨터 기반의 제어와 계측 LabVIEW™(한글판)》, Ohm사 (2007)
24. 박홍복, 《LabVIEW 8 그래픽컬 프로그래밍》, 정익사(2006)
25. NI, 《LabVIEW™ Basics I Introduction》, National Instruments Corporation(2003)

