

## 전기추진선박용 하이브리드 인버터 시스템의 제어 파워모듈

김민권<sup>1</sup> · 최정렬<sup>2</sup> · 송태현<sup>3</sup> · 김윤식<sup>4</sup> · 이성근<sup>†</sup>

(Received December 22, 2017 ; Revised January 16, 2018 ; Accepted January 26, 2018)

### A control power module for a hybrid inverter systems to drive electric propulsion ships

Min-Gwon Kim<sup>1</sup> · Jung-Leyl Choi<sup>2</sup> · Tae-Hyun Song<sup>3</sup> · Yoon-Sik Kim<sup>4</sup> · Sung-Geun Lee<sup>†</sup>

**요약:** 갈수록 심화되는 환경문제에 대한 대책 방안으로 대기 오염물질 배출 저감을 위한 전기추진 선박 기술의 발전이 대두되고 있으며, 이러한 기술을 활용한 선박으로는 하이브리드 전기추진선박(Hybrid electric propulsion ship)이 있다. 하이브리드 전기추진선박은 발전기를 이용하여 생산된 전력과 배터리에 저장된 전력을 병용하여 인버터에 공급하며, 인버터에서는 교류전압으로 변환되어 선박추진기를 구동하기 위한 교류전동기에 공급하게 된다. 이러한 하이브리드 전기추진 인버터시스템은 배터리, 인버터, 교류전동기가 인과적인 관계로 접속이 되어 있어 어느 하나의 시스템에 문제가 발생하면 전체 시스템의 운전이 불가능하게 된다. 따라서 이러한 하이브리드 전기추진시스템은 실시간으로 각 요소별 상태점검이 필요하며, 동시에 현장과 원거리에서 모니터링이 가능해야 한다. 배터리는 운전시간에 따라서 배터리 내부의 물리적 특성 변화에 따라 수명을 예측할 수 있는 내부저항이 변하므로 이 저항의 측정에 의해 사전에 배터리 교환 시기를 예측할 수가 있다. 또한 인버터는 직류를 교류로 변화시키기 위한 PWM 펄스의 듀티비에 의해 출력전압의 조정이 가능하며, 따라서 항시 요소시스템과 전체시스템의 관찰이 이루어져야 한다. 본 논문에서는 하이브리드 전기추진시스템의 상태(배터리 내부저항, 인버터 출력 전압, 전류 및 역률)를 점검하여 모니터링하고, 1개의 배터리가 고장 나 인버터에 낮은 전압이 공급될 경우에 인버터의 PWM 듀티비를 조정하여 출력전압을 일정하게 조절할 수 있는 파워모듈을 구현하고자 한다.

**주제어:** 하이브리드 전기추진선박, 인버터, 파워모듈, 배터리, 모니터링

**Abstract:** As a countermeasure to the increase in environmental problems, the development of electric propulsion ship (EPS) technology to reduce air pollutant emissions has been on the rise. These technologies are used by hybrid EPSs, which supply power to the inverter from both the generator and the battery in parallel. Power from both sources is then converted to AC power and supplied to the electric motor to drive the propeller. In a hybrid electric propulsion inverter system, the battery, inverter, and AC motor are linked in a causal chain. Therefore, if a problem occurs in any one of the sub-systems, the entire inverter system is inoperable. Thus, a hybrid electric propulsion system must verify the status of each sub-system in real time, and the system should allow monitoring both remotely and in the field. The internal resistance of the battery varies depending on its physical characteristics and the length of time it has been in use. Therefore, remaining battery life can be estimated in advance by measuring the internal resistance. In addition, the output voltage of the inverter can be adjusted by the duty ratio of pulse width modulation(PWM) to switch from DC to AC power. Therefore, both the inverter system and its sub-systems must be monitored at all times. In this study, we implement a power module that checks and monitors the state of the hybrid electric propulsion system through the internal resistance of the battery, the output voltage and current of the inverter, and the power factor. The power module also continually regulates the output voltage by adjusting the PWM duty ratio of the inverter when the voltage to the inverter is too low due to battery failure.

**Keywords:** Hybrid electric propulsion ship, Inverter, Power module, Battery, Monitoring

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2493-3916>): Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: [sglee48@kmou.ac.kr](mailto:sglee48@kmou.ac.kr), Tel: 051-410-4821

1 Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: [rlaakdrndl@hanmail.net](mailto:rlaakdrndl@hanmail.net), Tel: 051-410-4891

2 Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: [rsf302@naver.com](mailto:rsf302@naver.com), Tel: 051-410-4891

3 Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: [zealotak@naver.com](mailto:zealotak@naver.com), Tel: 051-410-4891

4 Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: [benkys@kmou.ac.kr](mailto:benkys@kmou.ac.kr), Tel: 051-410-4411

## 1. 서론

오늘날 환경에 대한 관심이 높아지면서 하이브리드 전기추진선박에 대한 관심이 높아지고 있다[1]. 하이브리드 전기추진 선박이란 발전기와 배터리에서 출력되는 전기 에너지를 병행 이용하여 전동기에 의해 구동되는 선박을 의미한다. 하이브리드 전기추진 선박에서는 운행 환경에 맞게 배터리의 전력과 발전기의 출력을 효율적으로 사용한다. 또한 일반 선박에 비하여 훨씬 친환경적이지만, 배터리의 사용으로 인하여 발생하는 문제도 존재한다.

전원장치로 사용되는 배터리의 안전성을 확보 하는 것은 매우 중요한 일이지만 배터리의 물리적 특성이 순간적으로 바뀌게 되면 폭발, 화재 및 단선 등의 사고가 발생할 수 있다. 배터리를 안전하게 사용하기 위한 연구가 지속되고 있으나 고온, 과 충전, 물리적 충격 등에 의해 최근에도 배터리 폭발사고는 여전히 일어나고 있으므로, 이에 대한 대비를 하는 것은 아주 중요한 일이라고 할 수 있다[2].

특히 배터리 셀의 고장으로 구동기에 입력되는 전압이 낮아지면 구동기가 낮은 전압에서 운전이 되어 전류가 불안정해질 수밖에 없다. 전원의 불안정은 시스템의 불안정으로 이어질 수가 있기 때문에 조작자가 조치를 할 때까지는 배터리의 고장이 발생하더라도 구동기의 전원공급을 일정하게 유지할 필요가 있다. 이러한 기능을 가지기 위해서는 상시 배터리 관리시스템이 정확하게 가동되어야 하며, 이상이 발생하더라도 대처할 수 있는 알고리즘이 구비되어 있어야 한다.

배터리의 상태관리에는 단선, 단락, 저전압의 측정뿐만 아니라 배터리의 건강상태를 분석할 있는 내부저항의 추정 이 필요하다[3].

본 논문에서는 배터리의 수명추정에 필요한 배터리 내부 저항을 측정하고, 배터리가 순간적으로 고장이 나서 전압이 출력되지 않을 경우에도 구동기의 출력전압이 일정하게 유지하도록 제어하며, 역률각의 측정을 통하여 전력, 역률 및 전원의 오걸선 체크가 가능한 제어용 파워모듈을 제작하고자 한다. 또한 위와 같은 다양한 기능을 화면을 통해 실시간으로 파악이 가능하도록 모니터링 시스템을 제작하였다.

## 2. 파워모듈 설계

### 2.1 구성

Figure 1은 하이브리드 전기추진선박 전력 시스템에 대한 전체 블록도이다. Generator(발전기)로부터 생산된 전력은 Rectifier(정류기)를 통해 직류로 바뀐다. 이 직류 전원은 Battery를 충전시키거나, Inverter를 통해 3상 교류 전원으로 바뀌어 추진 장치를 구동시키게 된다. 그림에서 Power Module은 직류에서 교류로 변환하는 인버터의 주파수를 제어하여 추진 장치의 속도를 제어한다. 또한 추진 장치에 인가되는 전압, 전류, 전력, 역률 등의 값을 측정 및 계산하여 모니터링하고, 전원라인의 오걸선 및 원격 제어실로 통신

하여 원격제어가 가능하도록 하며, 배터리의 전압, 전류, 배터리 충전상태 및 배터리 수명 등을 연산한다.

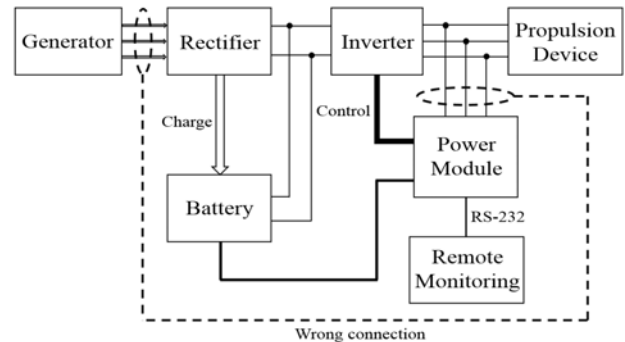


Figure 1: Total block-diagram for hybrid ship power system

### 2.2 배터리 내부 파라미터 분석

Figure 2의 점선 내부는 배터리의 Randles 1차 등가모델을 나타내고 있다. 이 등가모델에서  $R1$ 은 내부저항,  $R2$ 는 이온화 손실 저항,  $C$ 는 2중층의 커패시턴스를 의미한다.

배터리의 수명은 SOH(State of Health)로 표현할 수 있는데, 수명이 다 되어 사용할 수 없는 배터리는 SOH 0%이고, 한 번도 사용하지 않은 수명이 가장 긴 배터리의 상태를 SOH 100%라고 한다. 이 때 내부저항  $R1$ 은 SOH 100%일 때 보다 SOH 0%일 때 더 높아진다. 즉, 배터리 사용을 반복하여 수명이 줄어들수록  $R1$ 값이 증가한다. 이 내부저항의 크기는 리튬이온 배터리의 경우 리튬이온의 이동속도 및 양에 따라 변하게 된다. 우선, 리튬이온 배터리의 충전시  $Li^+H^+$  교환의 결과로 산소층에 전단현상이 발생한다. 그리고 충전-방전을 반복하게 되면 이 전단이 누적되어 배터리 내 원소의 배열이 붕괴된다. 이러한 결과에 의해 리튬이온 배터리의 충전-방전이 반복될수록 배터리의 내부저항이 증가하게 된다[4]. 그 외의 이유로는 리튬이온 배터리 단자의 소재가 배터리를 사용할수록 열화 되어 내부 저항이 증가하는 원인이 될 수 있으며, 충전-방전에 의해 움직이고 있는 리튬이온들 외에 사용되고 있지 않는 리튬이온들이 화학반응을 일으켜 내부저항으로 작용하는 요소가 되기도 한다.

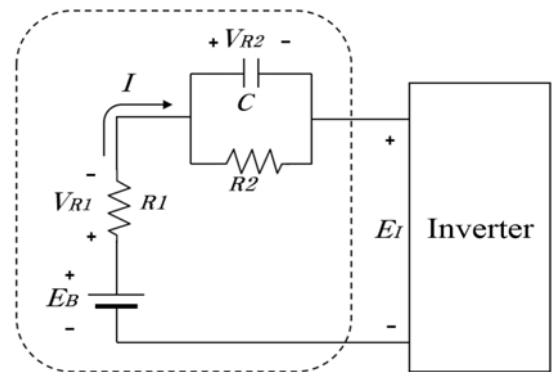


Figure 2: Randles model of battery (dot line)

본 논문에서는 그 중 배터리 내부 저항  $R_1$  값의 변화를 이용하여 배터리의 SOH를 추정하였다.

$$E_I = E_B - (V_{R1} + V_{R2}) \quad (1)$$

식 (1)은 Figure 2에서의 배터리 단자 전압(인버터에 인가되는 전압)을 나타내는 식이다. 여기서 배터리가 인버터에 접속되는 순간에는 커패시턴스  $C$ 로 충전이 되어있지 않으므로  $V_{R2}$  값은 0이 된다. 이때의 단자 전압  $E_I$ 는 식  $E_I = E_B - V_{R1}$  처럼 나타낼 수 있다. 이 식을  $V_{R1}$ 에 대한 식으로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$V_{R1} = E_B - E_I \quad (2)$$

이를 이용하여  $R_1$  값을 구하는 식

$$R_1 = V_{R1} / I \quad (3)$$

을 도출할 수 있다.[5][6]

### 2.3 배터리 고장 시 인버터 일정전압 제어

전기추진선박 인버터 시스템의 파워모듈은 운전 중에 항상 배터리 상태와 인버터 전압레벨을 점검하여 모듈 화면에 표시해 준다. 배터리는 2.1절에서 분석한대로 오랜 시간 동안 운전하거나, 갑작스런 배터리 내부의 물리적 특성 변화에 의해 내부 저항이 변화하거나 폭발할 경우가 있다. 대부분의 경우는 폭발이 되기 전에 내부조직의 물리적 변화가 먼저 생기게 되므로 파워모듈은 항상 배터리 내부 저항을 감시해야 한다. Figure 3는 배터리가 갑자기 고장이 나서 제대로 된 전압이 나오지 않을 경우에 배터리 출력이 단락되지 않도록 스위칭 제어를 통하여 이상이 생긴 배터리 셀만 제외시켜 나머지 배터리 셀들로 동작하도록 하는 기능 및 인버터의 출력전압을 일정히 유지하여 갑작스럽게 부하 장치에 충격을 주지 않도록 제어하는 기능을 가진 인버터 시스템 제어 파워모듈의 블록도이다.

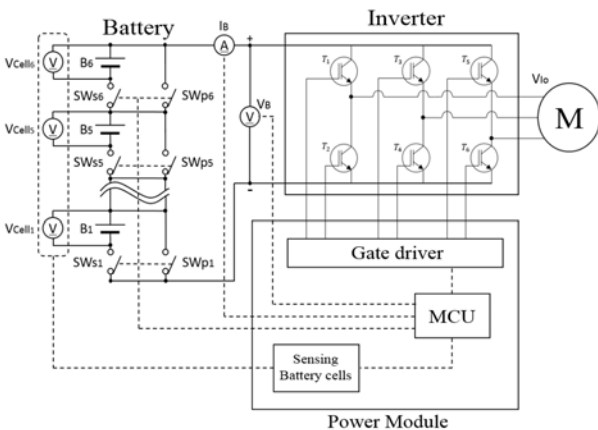


Figure 3: Block-diagram of inverter constant voltage control

인버터는 배터리에 접속된 직류 전압을 파워모듈의 스위칭을 통해서 교류 전력으로 변환하는 역할을 한다. 이 때 입력되는 배터리의 직류전압이나 스위칭 듀티비에 따라 인버터에서 출력되는 교류 전력의 크기가 변하게 된다[7].

선박에서 사용되는 배터리의 셀 중에 일부가 이상이 생기면[2][8] 배터리마다 연결되어 있는 스위치  $SWs_1 \sim SWs_6$  과  $SWp_1 \sim SWp_6$ 이 그에 맞춰 스위칭 되면서 배터리의 전압이 단절되지 않도록 한다. 예를 들어 배터리 셀  $B_1 \sim B_6$ 이 모두 정상일 때에는  $SWs_1 \sim SWs_6$ 이 모두 닫혀있는 상태로 있다가, 배터리  $B_5$ 가 이상이 생겨 전압을 정상적으로 출력할 수 없는 경우  $SWs_5$ 가 열리고  $SWp_5$ 가 닫혀 배터리  $B_5$ 를 제외한 채 전압을 계속 출력할 수 있도록 한다. 이 때 배터리 셀이 하나 줄어든 만큼 순간적으로 배터리의 전압이 변하게 되는데, 이로 인하여 인버터에서 출력되는 전력에도 급격한 변화가 발생하여 해당 교류 전력을 사용하는 장비에 문제가 발생할 가능성이 있다[5]. 이러한 문제를 예방하기 위해 해당 시스템에서는 배터리의 전압이 변경되더라도 인버터의 출력이 일정하게 유지되도록 알고리즘을 구성하였다.

먼저, 파워모듈에 있는 MCU에서 A/D컨버터를 이용하여 지속적으로 배터리의 전압  $V_B$ 를 측정한다. 그러던 중 배터리의 일부 셀에 이상이 생겨  $V_B$ 가 낮아지게 되면 이를 감지한 MCU에서 인버터의 스위칭 듀티비의 변환 폭을 증가시키도록 Gate driver를 제어한다.

인버터의 스위칭은 PWM 전압으로 이루어지는데, 이 PWM 전압의 듀티비가 높을수록 흐르는 전류가 높고, 듀티비가 낮아질수록 흐르는 전류가 작아진다. 이 듀티비의 크기를 위상에 맞게 조절하여 교류파형의 출력전류를 만들어 내는 것이다. 그리고 이 듀티비의 변환 폭에 따라 출력전류의 진폭이 달라진다.

이를 이용하여 배터리의 전압 변화에 따라 듀티비의 변환 폭을 바꿔줌으로써 인버터의 출력을 일정하게 유지시킬 수 있다.

Figure 4는 2 레벨 인버터의 스위칭을 위한 PWM 패턴과 스위칭 작용 후의 출력 선간전압 파형을 보여주고 있다.

220V, 60Hz의 정현파 교류전압을 생성하기 위해 삼각함수 중 sin 함수를 이용하여 비교레지스터 값을 계산하였다. 이때 sin 함수의 분해능은 360으로 1°마다 그에 해당하는 듀티비(Duty ratio)를 가진 PWM 파형을 출력하도록 하였으며, 스위칭 주파수( $f_{sw}$ )는 60Hz의 360배인 21.6kHz가 된다.

타이머가 시작되면 타이머 클럭에 의해 0부터 T1PR과 같을 때까지 카운트를 한 후 다시 역으로 0까지 감소하는 카운트를 하므로 실질적인 주기는  $2 \times (T1PR)$ 이 되고, 이 주기가 스위칭 주파수의 주기와 같아야 한다. 여기서  $D_0$ 는 PWM1과 PWM2 사이의 데드타임이며,  $D_0$ 를 제어함으로써 인버터 출력 전압을 조정할 수 있다.

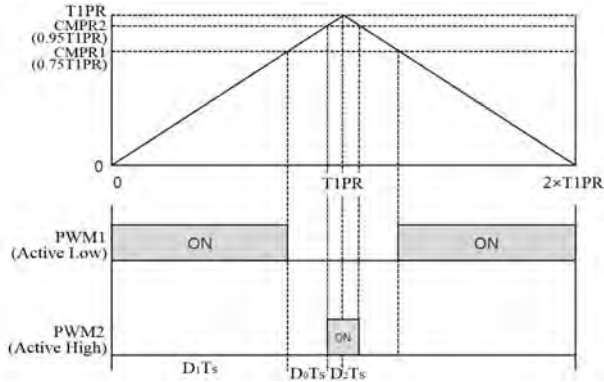


Figure 4: Switching PWM pattern of inverter

2.4 전력관리 및 오결선 체크

파워모듈은 추진 장치의 전압, 전류 및 역률을 검출하는 역할을 한다. 그리고 추진 장치뿐만 아니라 인버터 입력 전압도 측정하여 다양한 문제의 발생 여부를 감시할 수 있도록 설계하였다.

역률을 계산하기 위해 측정하는 전압과 전류는 같은 구간에서 측정을 해야 한다. 서로 다른 구간에서 이를 측정하게 되면 역률 계산 값이 실제 역률 값과 다르게 나오게 된다. 그러나, 선내의 복잡한 환경에서 파워모듈에 전원라인을 부하측에서 접속하지 않고, 입력라인에서 결선할 경우가 있는 데, 이런 경우에는 파워모듈에 입력되는 전압과 전류의 위상차가 -부터 +까지 계속 바뀌게 되므로 정확한 모니터링이 될 수가 없다.

상용 파워모듈들의 대다수가 이런 오결선 체크 기능이 없다. 이러한 오결선 체크 기능은 운전 전과 운전 중에 측정이 될 수가 있다. 운전 전의 오결선 체크는 Figure 1에서 보면 Generator의 출력부분과 Propulsion Device(추진 장치) 입력 부분이 있는데, 만약 파워모듈의 전압 측정 부분은 Generator의 출력에 결선하고 전류 측정 부분은 Propulsion Device 입력부분에 결선했다면, 선박이 정박 중일 경우 Generator는 계속 구동중이어서 전압파형이 뜰 것이지만, Propulsion Device 부분은 정지 중이므로 전류파형은 계속되지 않는다. 이러한 이유로, 선박이 운전 전일 때 Propulsion Device 부분을 계측하기 위해 결선하였음에도 전압 혹은 전류가 계측이 된다면 이는 파워모듈이 오결선되어 있음을 의미하는 것이다.

운전 중의 오결선 체크는 역률 값을 측정하기 위하여 입력받은 전압전류의 위상각  $\theta$ 의 범위가  $0 \leq \theta \leq 90$ 를 만족하지 않으면 결선이 잘못된 것으로 판정한다.

Figure 5는 배터리 상태 점검, 전원선 오결선, 배터리 고장 시 인버터에 입력되는 전압레벨이 변하더라도 출력을 일정하게 하는 기능, 이와 같은 상태를 통신선을 통해 현장 또는 원거리로 모니터링해 주는 파워모듈의 소프트웨어 순서도를 나타내고 있다.

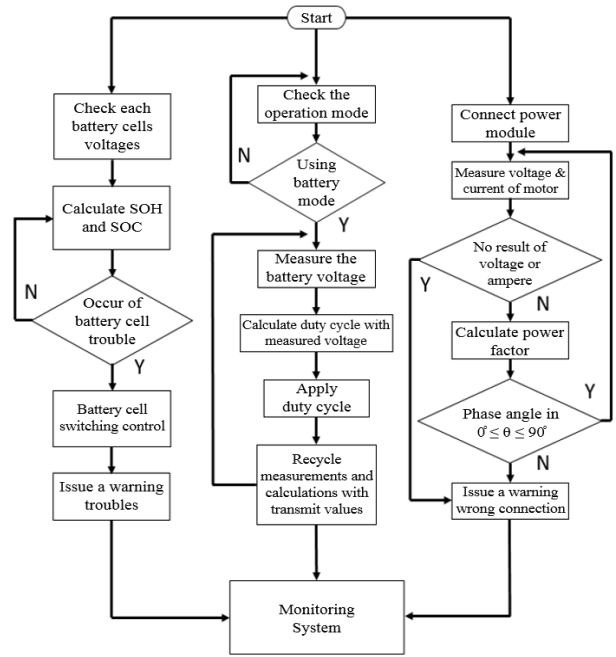


Figure 5: Flowcharts of control power module with hybrid inverter system

3. 실험 및 고찰

3.1 배터리 수명측정용 등가저항 측정

본 논문에서는 인버터를 통해 배터리의 충·방전을 반복하는 실험을 실시하여 배터리의 열화에 따른 배터리의 내부 저항 값을 측정하였으며, 그 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1: Change of internal resistance after battery charge & discharge

Test items	Values
Voltages of charge/discharge (V)	3.0/3.7
Average internal resistance before experiment( $\Omega$ )	0.4716
Average internal resistance after 500 turns discharge of battery( $\Omega$ )	0.5897
Increase rate of internal resistance( $\Omega$ /%)	0.1181/25

※ Battery specification - 3.7V / 500mAh / 1.85Wh

위는 인버터를 통해 배터리를 방전시켰을 때의 내부저항 R1 값의 변화를 비교한 표이다. 인버터에는 영구자석형 동기전동기(TS4632N 2050E510)를 부하로 연결하였다. 실험은 Figure 6에서와 같이 배터리 6개를 한 묶음으로 사용하여 6셀의 배터리를 동시에 충·방전하였다. 그래프에 나타난 내부저항 값은 이 6개의 배터리 셀의 측정된 각 내부저항의 평균값이다.

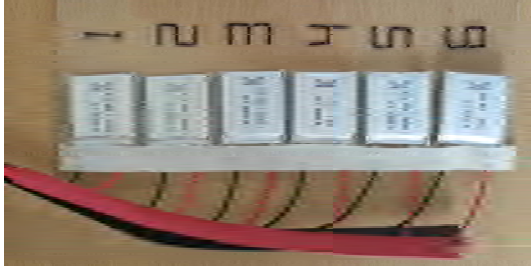


Figure 6: The pack of lithium-ion battery cells

### 3.2 전원 오결선 점검 및 인버터 일정 전압제어

Figure 7은 인버터 시스템 실험 장치 사진이다. Micro processor는 TI사의 TMS320F28335 칩을 사용하였고, 모듈은 SyncWorks사의 JTAG로 프로그램을 입력하여 동작시켰다. 스위칭 전압을 출력하기 위해 제작한 Flyback converter에 DRP-9303TP 전원공급기로 전압을 인가하여 Switching module을 동작시켰다. Switching module에 충분한 전압을 공급한 후 Microprocessor에서 만들어진 PWM 신호에 맞게 스위칭 전압을 Inverter로 출력하였다. 인버터에 접속된 전동기는 TAMAGAWA사의 TS4632N 2050E510이고, 인버터에 인가하는 전원장치는 GP-1305DU를 사용하였다.

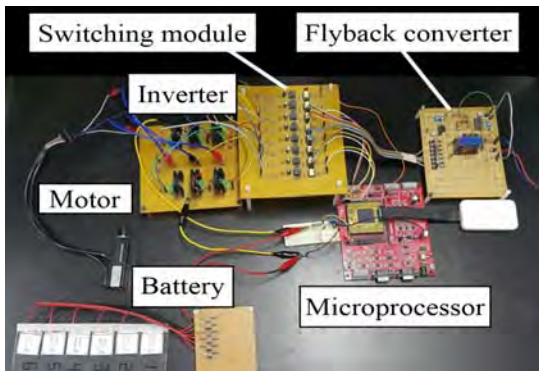


Figure 7: Experimental device

배터리를 사용하는 전기추진시스템에서는 전력, 효율 및 역률 등을 정확히 측정하여 이를 제어하는 것이 중요하다. 역률을 제어하기 위해서는 역률각의 측정이 필요하다. 산업체에서 시스템을 분야별로 조립할 경우에 있어 각 분야의 시스템에 대한 전문적 지식이 부족하여 파워 모듈의 오결선이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 파워 모듈을 부하선과 모선에 각각 접속하여 그 결과를 정리하여 실제 산업현장에 적용하였다. Figure 8은 시스템이 동작하고 있는 중에 부하전압과 전류의 위상각을 측정하는 것이다. 좌측 그림은 역률각이 41°로 전압 측정부분과 전

류 측정부분이 둘 다 부하선에 접속된 경우이고, 우측 그림은 -83°로서 전류 측정부분은 부하선에 접속하고 전압 측정부분은 모선에 접속되어 있는 경우(오결선 상태)의 어느 순간을 측정하는 것이다. 파워모듈이 부하선에 정확히 접속되어 있을 때에는 각도가  $0 \leq \theta \leq 90$  범위에 있으며, 오결선 되어 있을 때에는 -에서 +까지 반복해서 출력된다. 따라서 제어용 파워모듈은 운전 전이나 운전 중에도 역률각을 측정하여 전원선이 제대로 접속되어 있는지를 점검할 필요가 있다.

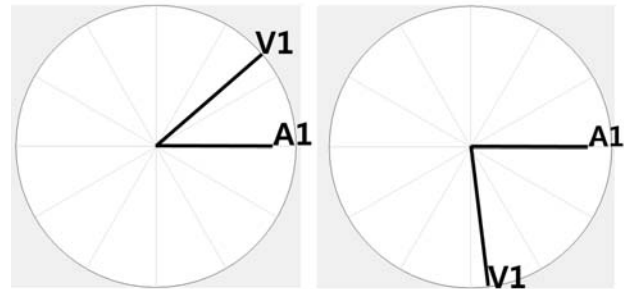
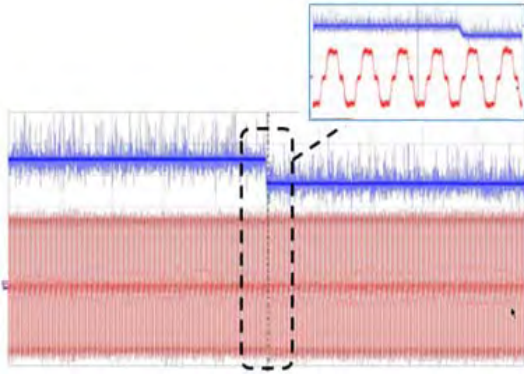
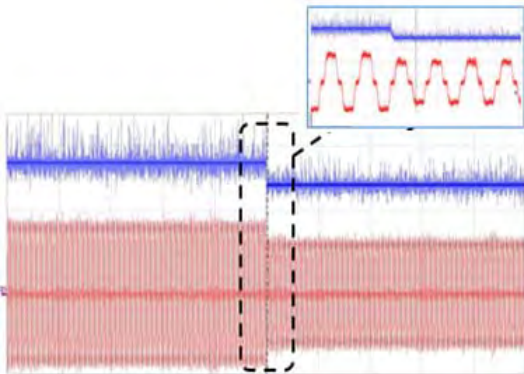


Figure 8: Phase angles of voltage and current

Figure 9는 1개의 배터리가 고장이 났을 때, 배터리 관리 프로그램을 적용하였을 경우(Figure 9 (a))와 적용하지 않았을 경우(Figure 9 (b)) 인버터 입력전압 및 출력전류 파형을 나타낸 것이다. 여기서 인버터 입력전압은 배터리의 출력 전압을 사용한다. 오실로스코프는 Teledyne LeCroy사의 WaveSurfer 3054를 이용하였고 출력전류 파형 측정에는 Tektronix사의 A622 전류 프로브를 사용하였으며 출력되는 3상 파형 중 한 상의 전류만을 측정하였다. 배터리가 고장이 나서 전압이 급격하게 줄어드는 상황을 재현하기 위해 실험에서는 직렬연결된 6개의 배터리 셀에서 스위칭을 통해 하나의 배터리를 제외시키는 방법을 사용하였다. 각 그림에서 위에 있는 파형이 인버터 입력 전압 파형이고 아래에 있는 파형이 인버터 출력 교류전류 파형이다. Figure 9 (a)에서 배터리 출력전압(인버터 입력전압)  $v_B$ 가 감소하는 순간에 인버터 출력 교류전류  $I_o$ 가 안정적이다. 이는 배터리 출력전압의 변화를 감지하여 인버터 PWM의 듀티비를 변화시킴에 따라 전류 도통 시간을 증가시켰기 때문이다. Figure 9 (b)는 이러한 시스템이 적용되지 않은 상황의 파형이다. 배터리의 출력 전압이 감소하면 인버터의 출력 교류전류  $I_o$ 도 감소되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 실험 결과는 본 시스템을 사용하면 배터리 고장으로 인한 입력 전압 급감에도 인버터 출력 전류를 안정적으로 유지할 수 있다는 것을 확인시켜준다.



(a) Waveform with the management system



(b) Waveform without the management system

Figure 9: Inverter input and output voltage when a battery fails

### 3.3 파워모듈 모니터링 프로그램

Figure 10은 파워모듈 모니터링 프로그램이다. LabVIEW 프로그램을 이용하여 제작하였으며, RS-232 통신으로 데이터를 수신하였다. 배터리 각 셀 마다 전압 및 내부저항 값을 나타내도록 하여 셀 별로 문제가 발생할 배터리를 미리 감지할 수 있도록 하였고, 배터리에 문제가 발생하였을 경우에 몇 번 셀의 배터리를 교체해야 하는지 쉽게 파악할 수 있도록 하였으며, 배터리 전체의 전압과 전류를 측정하여 배터리의 상태 점검 및 전류 값을 이용한 배터리의 수명을 예측하였다. 그리고 Upset condition에 문제가 발생하면 불이 들어오도록 하여 파워모듈이 오결선 된 상태이거나 배터리에 문제가 발생하였을 경우에 사용자가 쉽게 알아볼 수 있도록 프로그램을 구현하였다. 또한 파워모듈에서 기본적으로 파악할 수 있는 전압 및 전류 파형 또한 볼 수 있게 하여 다양한 기능을 한 화면으로 확인할 수 있도록 구성하였다.

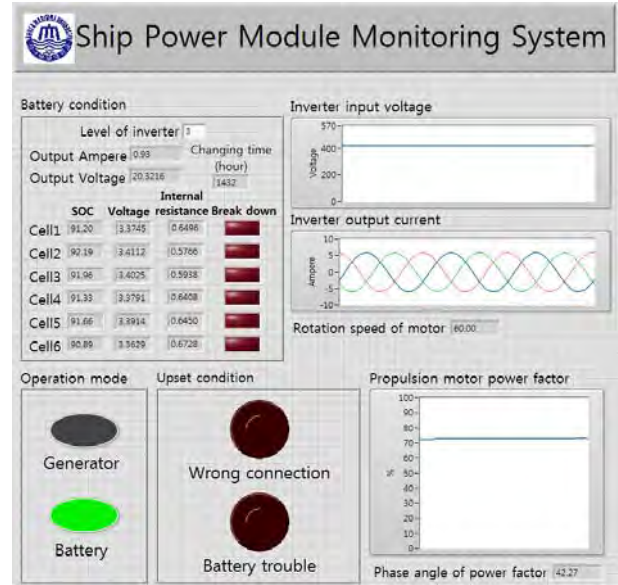


Figure 10: Monitoring screen

## 4. 결 론

이 논문은 하이브리드 전기추진 선박에서 사용되는 발전기와 배터리의 병행 운전 중 발생할 수 있는 고장이나 결선 오류 등을 모니터링 시스템을 통해 확인하고, 항해 중에 배터리에 문제가 발생하더라도 인버터를 제어하여 안정적인 전류를 출력하도록 하여 추진장치의 구동에 문제가 없는 제어용 파워모듈을 구현하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 제작된 제어용 파워모듈을 이용하여 배터리 수명을 예측할 수 있는 내부저항  $R1$ 을 검출하여 건강상태인 SOH, SOC를 추정하였고, 이를 모니터링하여 배터리 교체시기를 사전에 감지하여 시스템의 비상운전에 대비할 수 있었다.
- 2) 예측하지 못한 갑작스런 배터리의 고장이 발생하여 인버터에 입력되는 전압이 낮아질 경우라도 인버터 출력 전압에 영향을 주지 않도록 제어용 파워모듈에서 발생하는 PWM 스위칭시간을 제어하였다. 실험 결과 2ms 이내의 순간적인 배터리 전압변화에도 출력 교류전류는 한 주기 내에서 회복되는 것을 확인 할 수 있었다.
- 3) 파워모듈에서 소프트웨어적으로 역률각의 점검을 통하여 운전 전은 물론 운전 중에도 전원의 오결선 상태를 항상 점검할 수 있어 위상, 역률, 전력 등의 측정값에 대한 신뢰감을 줄 수 있었다.

## 후 기

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 연구결과입니다.

## References

- [1] M. J. Kim and G. H. Chea, "Study on small boat driven by photo-voltaic energy," Proceedings of the KOSME Spring Conference, pp. 249-250, 2010 (in Korean).
- [2] <http://gspress.cauon.net/news/article-view.html?idxno=20914>, Accessed September 17, 2017.
- [3] Go Directly to the Battery, Hybrid Ship, <http://news.joins.com/article/18148927>, Accessed December 6, 2015 (in Korean).
- [4] J. Rana, M. Stan, R. Kloepsch, J. Li, G. Schumacher, E. Welter, I. Zizak, J. Banhart, and M. Winter, "Structural changes in  $\text{Li}_2\text{MnO}_3$  cathode material for Li-Ion batteries," Advanced Energy Materials, Vol. 4, no. 5, 2014.
- [5] J. H. Han, J. H. Song, and K. H. Choi, "Diagnosis of induction motor faults using inverter input current analysis," Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 17, no. 7, pp. 492-498, 2016.
- [6] W. Y. Chae, K. J. Lee, D. S. Shin, H. J. Kim, "A study on the hybrid photovoltaic power system for ship," Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers, p. 131, 2010 (in Korean).
- [7] S. P. Hong, Y. G. Jung, and Y. C. Lim, "A study on the output voltage and efficiency of the single-phase Z-source inverters according to duty ratio," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 25, no. 8, pp. 8-19, 2011 (in Korean).
- [8] S. B. Sim, C. H. Lee, and S. K. Kim, "Study on the explosion and fire risks of lithium batteries due to high temperature and short circuit current," FIRE SCIENCE AND ENGINEERING, vol. 30, no. 2, pp. 114-122, 2016 (in Korean).