

# 지능형 선박의 효율적인 전력사용을 위한 전력 관리 시스템 개발

## Development of a Power Management System for Efficient Power usage of Intelligent Ship

박지상\*, 전민호\*, 이명의\*<sup>0</sup>

Ji-Sang Park\*, Min-ho Jeon\*, and Myung-Eui Lee\*<sup>0</sup>

### 요 약

어떤 선박에서도 마찬가지로 적정한 전력의 공급은 매우 중요하며, 육지와 거리가 먼 대양 운항 선박에서는 특히 더욱 중요하다. 이와 같이 운항 중인 선박의 전력 공급 시스템의 효율성과 경제성 측면의 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 선박에서의 전력공급을 지능적으로 제어하는 전력관리 시스템을 제안한다. 본 설계에서의 전력관리 시스템은 부하전력 감지 시스템, 발전기 제어 시스템, 그리고 전력 모니터링 시스템으로 각각 구성된다. 부하전력 감지 시스템에서는 CT 및 PT 센서를 이용하여 전류와 전력량을 측정하며, 그리고 발전기 제어 시스템에서는 여러 가지 다양한 센서로 부터의 취합정보를 이용하여 주/부 발전기를 On/Off 하게 된다. 마지막으로 모니터링 시스템은 부하 전력 감지 시스템과 발전기 관리 시스템에서 수집된 정보를 사용자가 한 눈에 알아볼 수 있게 상태 정보를 출력한다. 본 논문에서 구현된 전력관리 시스템은 실시간 실험을 통해서 설계된 바와 같이 잘 작동하는 것을 확인하였으며, 그리고 공인 인증기관으로부터 KSCIEC61892-1:2012 및 KSCIEC60950-1:2008 인증을 획득하였다.

### Abstract

As with any ships, adequate power provision is crucial, especially on the ocean navigating ships far from the land. In order to resolve the effective and economic power supply system of any ship in operation, in this paper, we propose a power management system that intelligently controls the power supply in ships. Power management systems in this design consist of a power load detection system, a generator configuration system, and a power monitoring system respectively. The CT / PT sensor is used to measure amount of current and power in the power detection system, and according to the collected information from various sensor, the generator configuration system will switch on and off the main / sub generator effectively. Finally, the power monitoring system will display all status information of this power management system at a glance for users. This power management systems implemented in this paper is evaluated via real-time experiments, which works well as designed, and certified by KSCIEC61892-1:2012 and KSCIEC60950-1:2008.

Key words : Engine control, Power control algorithm, Synchronization, Energy Saving, Monitoring

### I. 서 론

해양은 우리 인간의 삶에 매우 중요한 역할을 하

고 있다. 우리가 살고 있는 지구 표면의 약 70 %를 차지하고 있으며, 그 해양에는 수많은 생물들이 서식하고 있다. 해양을 이용한 산업 즉, 해양산업이란 해

\* 한국기술교육대학교 (Department of Information Technology Engineering, Korea University of Technology and Education)

· 제1저자 (First Author) : 박지상 (Ji-Sang Park)

0 교신저자 (Corresponding Author) : 이명의 (Myung-Eui Lee, tel : +82-41-560-7786, email : melee@koreatech.ac.kr)

· 접수일자 : 2013년 10월 13일 · 심사(수정)일자 : 2013년 10월 13일 (수정일자 : 2013년 12월 21일) · 게재일자 : 2013년 12월 30일

<http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2013.17.6.609>

양에서 자원을 얻거나 탐사활동, 공간이용, 보호활동 등을 통해 이익을 추구하는 모든 생산적 산업을 총칭한다. 특히 해양은 무한자원의 보고로서 자원의 보충 및 대체가 가능하고 이러한 이유로 경제성장·고용창출이 용이한 장점을 가지고 있다. 이러한 이유로 해양산업이 발전하고 있으며, 점점 근해 산업에서 원해 산업으로 변화하고 있는 추세이다.

해양산업이 근해에서 원해로 변화하면서 그에 맞는 선박이 개발되고 있다. 근해를 항행하는 선박은 인근에 육지가 존재하고 위급 상황이 발생했을 때 긴급구조가 가능하기 때문에 원활한 전력수급이 필요치 않으나, 원해를 항행하는 선박은 인근에 육지가 존재하지 않으며, 위급상황 시 장시간 생존해야하는 문제, 또한 획득한 어류 및 운반하는 물품들을 장시간 보관해야하기 때문에 전력수급에 대한 방안이 필요하다. 원해를 항행하는 선박의 전력수급을 위한 조치로 대부분의 선박은 매우 큰 주 동력원과 비상시를 위한 보조 동력원을 사용하고 있다. 또한 동력원에서 생성한 전력의 일부분을 저장하여 긴급 상황 발생 시 사용할 수 있게 하고 있다. 하지만 이는 긴급한 상황 및 장시간 항행을 위한 임시방편일 뿐 근본적인 해결책이 되지 못하며, 차후 해양산업의 발전으로 인해 원해를 항행하는 선박이 운송하는 인적·물적 물량이 높아지게 될 경우 선박의 대형화, 연료의 과소비 등의 문제가 발생할 수 있다[1]-[3].

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 같은 비중의 연료로 더 높은 효율을 낼 수 있는 전력 관리 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 부하 전력 감지 시스템과 발전기 관리 시스템, 모니터링 시스템을 이용하여 부하의 정보에 의해 필요 전력에 따라 발전기를 가동시켜 유희에너지를 연료상태로 보관하는 시스템이다.

본 논문의 구성으로 2장에서는 전력 관리 알고리즘과 이를 이용한 전력 관리 시스템을 구현하고 3장에서는 개발한 전력 관리 시스템을 다양한 방식으로 실험하여 평가한다. 그리고 마지막 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 지능형 선박의 효율적인 전력사용을 위한 전력 관리 시스템 개발

다수의 발전기를 사용할 때 전력을 최소화하기 위해서는 부하가 사용하는 전력 사용량에 따라 주 발전기와 보조 발전기를 작동시키거나 중지시켜야한다. 때문에 본 논문에서 제안하는 시스템은 부하가 사용하는 전력 사용량의 정보를 수집하는 부하 전력 감지 시스템과 수집된 정보를 활용하여 발전기를 제어하는 발전기 관리 시스템, 모든 정보를 사용자가 알아볼 수 있는 모니터링 시스템으로 구성된다.

### 2-1 부하 전력 감지 시스템

부하 전력 감지 시스템은 CT(current transformer) 센서부와 PT(potential transformer) 센서부 그리고 A/D 보드로 구성된다. CT 센서는 전력 라인에 흐르는 전류의 양을 측정하는 전류량 측정 센서를 뜻하며, 본 논문에서 개발된 보드에서 사용되는 CT 센서는 WCS1600를 사용했다.

그림 1에서 보는 바와 같이 전류가 흐르는 전선인 전류 센서의 홀 안을 통과하면 홀 안의 전선에서 생기는 자장이 코일에 전류를 흐르게 한다. 이 전류는 홀 센서(hall sensor)에 의하여 전압으로 바뀌며, 이 신호들은 전류가 흐르는 전선과는 완전히 절연이 되어 있어 시스템에 영향을 주지 않도록 설계된다. 홀 센서에서 발생하는 전류의 흐름에 대한 정보인 전압은 연산 증폭 회로(operational amplifier)를 거쳐 A/D 보드에서 디지털 데이터로 변환하기 쉬운 크기의 아날로그 신호 값으로 증폭된다[5].

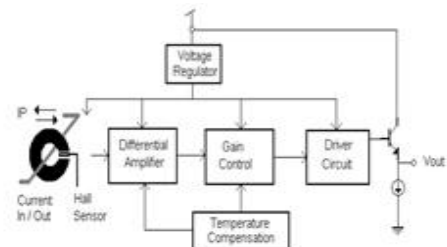


그림 1. CT 센서 보드 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of CT sensor board

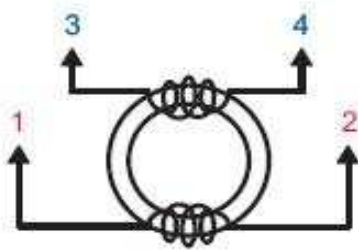


그림 2. PT 센서 내부 구조  
Fig. 2. Sensor board PT sensor inside

PT 센서는 코일에 전기가 흐르는 라인을 통과시켜 발생하는 자장을 이용하여 전기를 발생시켜 계측용 전압을 생성시켜, 흐르는 전기의 전압을 측정하는 역할을 한다. PT 센서부의 주가 되는 PT 센서는 그림 2의 1과 2번에서 고전압의 전류가 흐르는 AC라인에 전압이 흐르면 자장이 발생하고, 발생한 자장이 3번과 4번 코일에 영향을 주면서 권선비에 비례하는 전류가 흐르게 된다. 이 특징을 이용하여 3번과 4번에 흐르는 전류 및 전압을 이용하여 1번과 2번에 흐르는 전류의 전압을 측정할 수 있다.

그림 3은 CT 센서부와 PT 센서부를 통합하여 완성한 부하 전력 감지 시스템을 담당하는 보드이다.

위에서 설명한 것처럼 CT와 PT 센서부에서 측정된 데이터는 아날로그 신호로 수집되기 때문에 컴퓨터와 같이 디지털 신호를 사용하는 기기에서는 처리할 수 없다. 따라서 아날로그 신호 데이터를 디지털 신호 데이터로 변환시켜주는 A/D 보드가 필요하다.

본 논문에서 개발한 A/D 보드는 AD7891로 625 kSPS의 고속 A/D 변환이 가능한 칩을 사용하였다. 보드의 처리속도는 76.9 kSPS로 초당 76.9 kbit의 데이터를 생성하며, 10 bit의 분해능을 가지고 있어 220 V의 전압이 들어오면 0.2 V까지의 세밀한 측정이 가능하며 그림 4는 개발된 A/D 측정 보드이다.

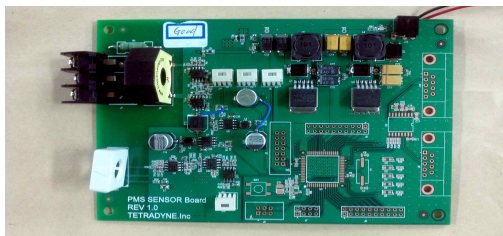


그림 3. 부하 전력 감지 보드  
Fig. 3. Sensor board of power load

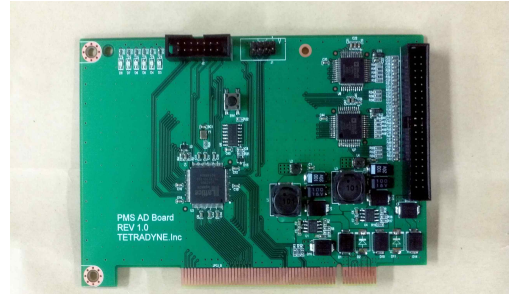


그림 4. A/D 측정 보드  
Fig. 4. A/D measurement board

## 2-2 발전기 관리 시스템

발전기 관리 시스템은 본 논문에서 제안하는 전력 관리 시스템의 핵심적인 요소로 부하 감지 시스템으로부터 수집된 데이터를 이용하여 연결된 발전기를 필요 전력 예측 알고리즘을 통하여 제어하게 된다. 또한 통신 보드를 통해 제어되는 발전기 및 부하들의 상태를 서비스하기 위해 모니터링 시스템으로 데이터를 제공하게 된다.

전압 제어 포인트가 많은 선박에 정확한 전력을 공급하기 위해 고속의 디지털 데이터 시그널 프로세서인 TI사의 TMS320C6713을 사용하여 DSP 보드를 개발하였다. 특히 TI 사의 TMS320C6713은 1.3 Gbyte의 플로팅 연산이 가능하기 때문에 정밀한 전류나 전압을 고속으로 측정해서 고속의 동기화과정을 수행할 수 있다. 그림 5는 본 논문에서 개발한 발전기 관리 시스템의 메인인 DSP 보드의 블록다이어그램이다. 설계된 memory map을 기반으로 하여 program memory와 system memory를 제어하고 전력 관리 시스템에 최적화된 system bus를 제어한다. memory map은 CPLD(complex programmable logic device) 회로로 처리하며 전력 관리 시스템의 보드들을 제어할 수 있도록 하였다. 특히 발전기 관리 시스템의 메인인 DSP 보드는 digital data-input board 그리고 digital data-output board와 밀접한 관계를 가지며 발전기를 제어하게 된다[6].

Digital data-input board는 외부의 low/high 진행 상황을 DSP 내부에서 인식하게 하는 보드 digital data-input board 내부에 CPLD회로를 이용하여 32 bit의 low 또는 high 상황을 인식할 수 있도록 회로가 구현되어 있으며, 외부의 각종 시스템의 동작 전위 레

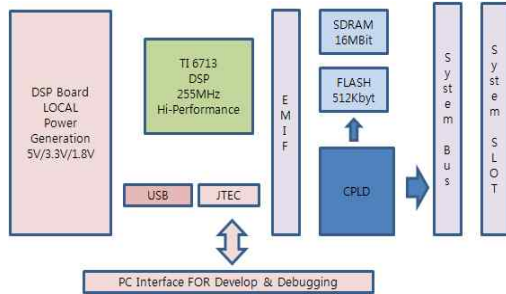


그림 5. 메인 DSP 보드의 블록다이어그램  
Fig. 5. Block diagram of main DSP board

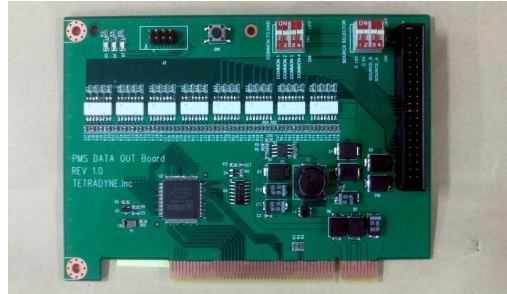


그림 7. 디지털 출력 보드  
Fig. 7. Digital data-output board

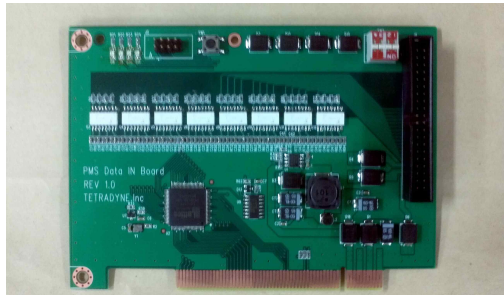


그림 6. 디지털 입력 보드  
Fig. 6. Digital data-input board

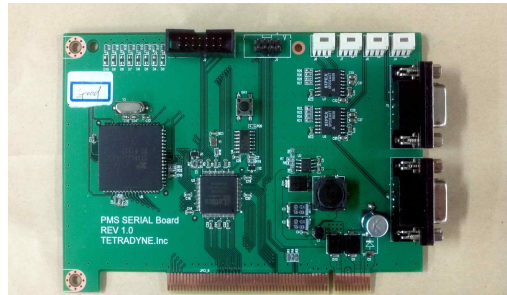


그림 8. 통신 보드  
Fig. 8. Communication board

벨에 대응할 수 있도록 photo TR과 P/C manage 회로로 구성되어 있다.

Digital data-out put board는 외부의 2진 제어(low/high의 점점제어)를 위해 사용한다. CPLD를 이용하여 32 bit의 low 또는 high를 제어할 수 있도록 회로가 구현되어 있으며, 외부의 각 시스템들의 동작 전위 레벨에 대응할 수 있도록 digital data-input board와 마찬가지로 photo TR과 P/C manage 회로로 구성되어 있다.

DSP 보드에서 수집한 데이터를 모니터링 시스템이 존재하는 PC 및 타 기기로 보내기 위해 통신 보드가 필요하다. 통신보드는 RS232와 CAN network 그리고 ethernet network를 제공한다. 그림 8은 통신보드의 사진이다. ST16C554D를 제어하여 4 채널의 시리얼 통신이 가능하도록 구현하였으며, 다양한 모니터링 시스템의 기기들 및 DSP 보드에 연결된 모든 보드들과 통신이 가능하도록 설계 되었다.

그림 9는 본 논문을 통해 메인 DSP 보드에서 발전기의 동작을 부하의 전력 사용량을 이용하여 제어하기 위한 주 발전기 및 보조 발전기의 제어 알고리즘이다.

최초 각 부하들의 필요전력에 따라 전력을 공급하는 주 전력 이외에 특정상황에 대비하기 위해 전력 관리 시스템에 연결된 모든 발전기의 출력 정보를 수집하게 된다. 수집된 데이터는 주 메모리에 할당하여 전력 관리 시스템이 동작하는 동안 지속적으로 보관하게 되며, 필요에 따라 불러오게 된다.

발전기 가동을 최소화하기 위해 주발전기를 포함하여 모든 발전기의 가동은 정지 상태로 시작하며, 대기모드로 돌입하게 된다. 부하가 가동되어 필요 전력을 요청하게 되면, 주 발전기가 가동되게 되며, 이때 초기 저장된 주 발전기의 전력 공급량을 이용하여 다수의 부하에 전력이 공급되도록 2차 대기모드로 돌입하게 된다. 주 발전기에서 제공되는 전력이 부족할 때까지 주 발전기만 가동이 되며, 주 발전기에서 제공되는 전력이 부하의 필요 전력을 감당하기 어려운 경우 보조 발전기에 가동명령을 내리며, 이때 주 발전기와 보조 발전기에 안정적인 전력을 공급하기 위해 각 발전기에서 생성되는 전압, 위상, 주파수를 동기화하기 위한 동기화 과정을 거치게 된 후 부하로 전력을 공급하게 되며, 주 발전기를 제외한 보조 발전기의 전력공급량이 부족하기 전까지 전력량을 확인하여 보조 발전기를 on/off 하게 된다.



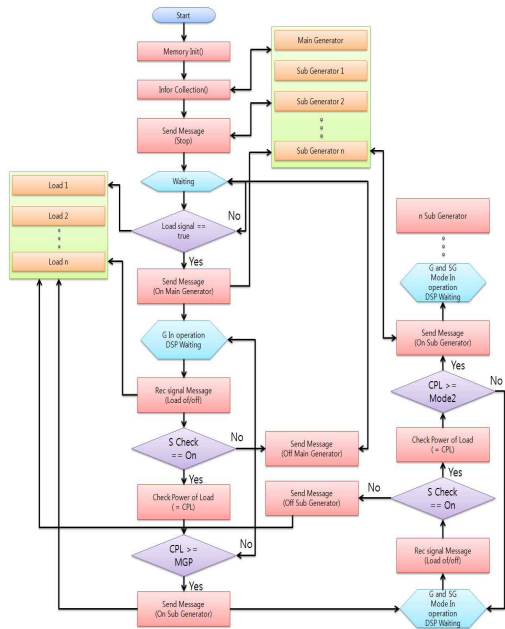


그림 9. 부하의 전력 사용량을 이용한 주 발전기 및 보조 발전기 제어 알고리즘

Fig. 9. Algorithm of main and generator control using the power usage of load

부하가 off되어 전력의 소모 전력이 0이 될 경우 역시 메인 DSP로 신호를 보내게 되고 메인 DSP 보드는 부하에서 보내진 신호를 이용하여 사용전력량을 계산, 보조 발전기들을 순차적으로 off 시키게 된다 [3].

### 2-3 모니터링 시스템

그림 10과 11은 주 발전기 1개와 보조 발전기 1개를 이용한 전력 관리 시스템의 PC용 모니터링 시스템과 임베디드 보드용 모니터링 시스템을 나타낸 그림이다.

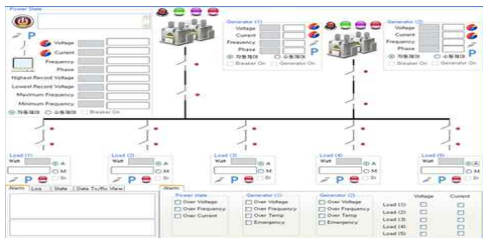


그림 10. 전력 관리 시스템의 PC용 모니터링 시스템  
Fig. 10. Power monitoring system for PC management system

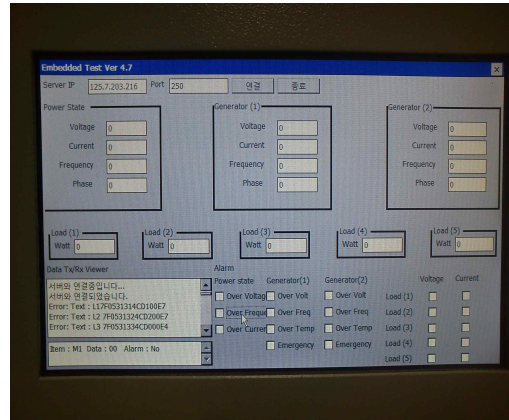


그림 11 전력 관리 시스템의 임베디드 보드용 모니터링 시스템

Fig. 11 Monitoring system for embedded board of Power management system

C#을 이용하여 프로그램을 개발하였으며, 표 1의 통신 인터페이스를 함수로 정의하여 확장이 용이하게 하였다. D는 DSP 보드의 약어이며, M은 모니터링 시스템의 약어이다[4].

### III. 실험 및 평가

논문에서는 실제 선박에 사용되기 위한 전력 관리 시스템을 개발하였기 때문에 공인 인증기관을 통하여 개발된 장비에 대하여 표 2의 실험을 하였다. 전체 고조파 왜곡 테스트에서는 국제표준 5 %이하인 2.053 %의 결과를 보였으며, 하나의 고조파 왜곡 테스트에서는 국제표준 3 %이하인 0.016 %로 실제 산업용 장비에 적합한 판정을 받았다. 본 논문의 핵심 중 하나인 동기화 테스트에서는 주 발전기가 가동되고 있는 상태에서 보조 발전기가 동기화 되어 가동되기까지의 시간을 측정하였으며, 실험 결과 5초 이내에 동기화되어 가동됨을 인정받았다.

고전압테스트는 1분 동안 표 3과 같은 실험조건에서 이루어졌으며, 테스트동안 장비의 오작동과 같은 오류가 없음을 확인하였다. 특히 본 논문에서 제시한 효율적인 전력관리를 위한 주 발전기 및 보조 발전기 전력제어 알고리즘이 사용된 S/W 부분의 테스트에서는 그림 12와 같이 실제 사용할 수 있는 장비를 사용하여 실험을 하였다.

표 1. 통신 인터페이스의 구성

Table 1. Composition of communication interface

항목	Function code	방향	내용
전력	0x31	D → M	Data for Display Display 명령
	0x32	D ← M	High Value of Limit High Limit 명령
	0x33	D ← M	Low Value of Limit Low Limit 명령
전류	0x41	D → M	Data for Display Display 명령
	0x42	D ← M	High Value of Limit High Limit 명령
	0x43	D ← M	Low Value of Limit Low Limit 명령
주파수	0x51	D → M	Data for Display Display 명령
	0x52	D ← M	High Value of Limit High Limit 명령
	0x53	D ← M	Low Value of Limit Low Limit 명령
위상	0x61	D → M	Data for Display Display 명령
	0x62	D ← M	High Value of Limit High Limit 명령
	0x63	D ← M	Low Value of Limit Low Limit 명령
알람	0x71	D → M	Data for Display Display 명령
	0x72	D ← M	Control Data Control 명령
	0x73	D → M	Log Data for Display Log Display 명령
파라미터 설정	0x81	D ← M	Set Data Set Control 명령
	0x82	D → M	Set data for Display Set Display 명령
	0x83	D → M	data demand Data 요구 명령
메뉴 제어	0x91	D ← M	Control Data Control 명령
	0x92	D → M	Control Data for Display Control Display 명령

그림 12에 나타난 장비 오른쪽에 부하의 버튼을 임의적으로 클릭하여 임의적으로 할당된 부하의 필요전력이 DSP 보드에 입력되면 왼쪽에 있는 발전기의 전원이 On/Off 되는 사항과 모니터링 시스템의 발전기 및 부하가 On/Off되는 사항을 테스트 하였다.

표 2. 실험 항목 및 결과

Table 2. Test items and results

STANDARDS		RESULTS
KSCIEC61892-1: 2012	Total Harmonic Distortion Test	PASS
	Sigle Harmonic Content Test	PASS
	Syschonization Test	PASS
KSCIEC60950-1: 2008	High Voltage Test	PASS
Test specification supplied by the manufacturer	Software Test	PASS

표 3. 고전압 실험의 실험 방법

Table 3. Test method of high voltage test

Test items	Rated voltage [V a.c.]	Duration [min]	Cutoff Current [mA]	Test Voltage [V a.c.]
Primary-earth	220	1	10	1,000



그림 12 지능형 선박의 전력 관리시스템

Fig. 12 Power management system of Intelligent Ship

다수의 실험결과 정상적인 동작을 확인하였으며, 본 논문의 결과를 도출하기 위해 연구실에서 1000 번을 기준으로 실험한 결과 1000 번 모두 정상적인 동작을 하는 것을 확인하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 최근 해양산업의 발달로 인하여 요구되는 대형선박에서 효율적으로 전력을 사용하기 위한 전력 제어 시스템을 개발하였다. 효율적인 전력을 사용하기 위해 주 발전기를 중심으로 주 발전기의 전력 공급이 부족한 시점에 보조발전기가 가동되게 하는 알고리즘을 통하여 발전기를 주와 보조로 나누어 설계할 수 있는 방안을 제시하였으며, 현재 개발되어 사용되고 있는 선박의 발전기에 본 논문에서 제안한 시스템을 적용할 경우 추가적인 전력공급이 필요할 때 기존의 발전기를 더 큰 발전용량의 발전기로 교체할 필요 없이 보조 발전기를 설치함으로써 발전기의 효율을 더 높일 수 있게 하였다. 본 논문에서 개발한 전력 관리 시스템의 우수한 성능을 평가하기 위해 공인 시험 연구소에 의뢰하여 시스템의 성능을 평가하였으며, 기기의 H/W적 요소 및 S/W적 요소에 아무런 이상이 없음을 확인하였다.

#### Reference

- [1] Nak-Hwan Seong , "RPS renewable energy companies affected and the corresponding," *LG Business Insight*, pp.36-42, 2008. 10.
- [2] Ministry of Commerce, Industry and Energy, "Electricity Supply Plan 2020", *Trend data*, 2006.
- [3] Ji-Sang Park, Min-ho Jeon, Myung-Eui Lee, "The frequency of small AC generator design and implementation of a monitoring system," *Korea Information and Communications Society*, Vol.16, no.12, pp.2601-2606. 2012. 12.
- [4] Min-ho Jeon, Chang-Hyun Oh, "Development of Power Management System for Efficient Energy Usage of Small Generator," *Korea Information and Communications Society*, Vol.16, no.12, pp.2601-2606. 2012. 12.
- [5] Chang-Jin Boo, Suk-Wan Tang, Bong-Woon Ko, "Design of Power Management System Using Load Information," *Korea Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Conference 2011*, pp200-201. 2011. 5

- [6] Masih-Tehrani Masoud, Ha'iri-Yazdi Mohammad-Reza, Esfahanian Vahid, Sagha Hossein, "Development of a hybrid energy storage sizing algorithm associated with the evaluation of powermanagement in different driving cycles," *Journal of Mechanical Science and Technology* Vol.26, no.12, pp.4149-4159. 2012. 12.

#### 박 지 상 (Ji-Sang Park)



2011년 2월: 극동대학교 게임디지털 콘텐츠학과 (공학사)  
2012년 2월 ~ 현재: 한국기술교육대학교 전기전자공학과 (공학석사)  
관심분야 : 상황인지, 사물지능통신, 차량상황제어

#### 전 민 호 (Min-ho Jeon)



2009년 2월 : 극동대학교 게임디지털 콘텐츠학과 (공학사)  
2011년 8월 : 한국기술교육대학교 전기전자공학과 (공학석사)  
2013년 8월 : 한국기술교육대학교 전기전자공학과 (박사수료)  
관심분야 : 무선통신, 상황인지, 위치 기반 시스템, 사물지능통신

#### 이 명 의 (Myung-Eui Lee)



1985년 2월 : 인하대학교 전기공학 (공학사)  
1987년 2월 : 인하대학원 기기 및 제어 (공학석사)  
1991년 8월 : 인하대학원 기기 및 제어 (공학박사)  
1995년 8월 : 현대전자 선임연구원  
2004년 1월 ~ 2005년 1월 : U.C.Berkeley 객원교수  
1995년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 교수  
관심분야 : 제어계측 시스템, 시스템 소프트웨어, 위성 통신시스템