

## NMEA 2000 프로토콜을 적용한 선박 전력 컨버터 모니터링 시스템에 관한 연구

홍지태<sup>1</sup> · 박동현<sup>2</sup> · 유영호<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2011년 1월 28일, 원고수정일 : 2011년 2월 21일, 심사완료일 : 2011년 2월 21일)

### A Study of NMEA 2000 Protocol Application for Ship Electrical Power Converter Monitoring System

Ji-Tae Hong<sup>1</sup> · Dong-Hyun Park<sup>2</sup> · Yung-Ho Yu<sup>†</sup>

**요 약 :** 본 논문에서는 FPGA기반의 SoC보드(Xilinx Virtex-4 ML401 EVM)를 이용한 전력인버터 제어시스템을 설계하였다. 선박에 전력시스템을 적용하기 위해서 선박의 최신 통신 프로토콜인 NMEA 2000 표준 프로토콜을 적용하였으며 전력 시스템의 성능을 평가하기 위한 PC기반의 모니터링 프로그램을 제작하였다. 전력 제어시스템은 FPGA기반의 임베디드 SoC보드상에서 이중프로세서(Dual processor)형태로 설계하였으며 이중프로세서를 적용함으로써 실시간 제어 감시가 가능하다. 이중프로세서 중 하나는 전력 제어를 위한 PWM신호생성 및 전력 회로내의 주요 전력 파라미터를 센싱 하는 제어용 프로세서로 동작하며(Control processor) 다른 프로세서는 제어프로세서의 각종 전력 센서 파라미터와 제어 파라미터들을 이중포트 램(Dual Port RAM)을 이용하여 정보를 공유하고 외부 NMEA 2000프로토콜 기반의 모니터링 장치와 네트워크 기반의 통신을 수행하는 통신용 프로세서(Communication processor)로 구성된다. 본 논문에서 제작한 전력 제어시스템은 선박내의 분산발전, 송배전 및 전압 레귤레이션 시스템에 적용 될 수 있다.

**주제어 :** NMEA 2000, 전력 컨버터 모니터링, CAN 통신, SoC, FPGA

**Abstract:** In this paper, the FPGA-based SoC board (Xilinx Virtex-4 ML401 EVM) is adopted to control electrical power inverter system. For marine application, its performance is shown on PC-based system for monitoring electrical characteristics of a power inverter using by the NMEA 2000 protocol. This power inverter system is achieved in Real-Time monitoring and control by dual micro-processor operation on embedded FPGA-based SoC board. One micro processor is for control (Control processor) electrical power inverter using by PWM signal. And the other micro-processor (Communication processor) is for communication with PC-based monitoring system. The two-processor is communicating each other using by dual-port ram (DPRAM). PC-based system user can control and monitor information of the electrical power inverter via NMEA 2000 based communication processor. Control and monitoring information includes the inverter status and configuration. SoC board converts this information to Parameter Group Numbers (PGNs) in the NMEA 2000 protocol. This system can be applied to marine power electronics for distributed power generation, transmission or regulation systems on the ship.

**Key words:** NMEA 2000, Electrical power converter monitoring, CAN, SoC, FPGA

<sup>†</sup> 교신저자(한국해양대학교 IT공학부, E-mail:yungyu@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4345)

1 부산대학교 전기공학과

2 한국해양대학교 제어계측공학과

### 1. 서 론

현재의 선박 분야에서는 선박내의 전자장비의 비중이 크게 증가하였으며, 이러한 선박 전자장비들의 인터페이스의 증가로 종래의 선박분야에서 센서 네트워크 역할을 해온 UART(Universal asynchronous receiver transmitter)기반의 NMEA 0183프로토콜로는 데이터양이나 케이블 결선의 복잡성 문제 등에 의해 새로운 프로토콜의 필요성이 대두 되었다[1]. 이를 해결하기 위하여 버스방식, 실시간 데이터 전송과 커넥터/케이블 등의 규격을 정의하는 CAN통신 기반의 NMEA 2000 프로토콜이 2001년 10월 미국의 NMEA주도로 공식 발표되었으며, 최근 선박 통합 감시 모니터링솔루션인 e-Navigation의 센서네트워크 표준으로 채택 되었다[1]. 최근 선박에서 사용되는 모든 센서 장비들은 NMEA 2000 통신 프로토콜을 사용하여 장비들의통합 운영 및 자동화를 위한 P2P방식의 네트워크로 구성 된다[2-3].

이러한 차세대 선박 센서 네트워크 표준으로 채택 된 NMEA 2000에서는 선박내의 전력시스템의 유지 보수 및 감시를 위한 데이터 표준 프레임을 제시하고 있다[4-5]. 전력용 컨버터는 전력 변환을 위한 PWM 신호 생성, DC-Link제어, 발전기의 MPPT알고리즘, 분산전원 병렬운전 알고리즘 등 다양한 제어 알고리즘을 수행하는 동시에 선박내의 전력 공급 및 에너지 저장장치 혹은 발전 전원의

발전 정보 등 다양한 센서 데이터들을 포함하여야 한다. 또한 전력컨버터 운용 시 발생 될 수 있는 모든 상황에 대한 알람 정보 및 긴급신호 정보 등에 대한 대책도 마련되어야 한다.

본 논문에서는 차세대 선박 센서네트워크 표준 통신 규격인 NMEA 2000 네트워크의 특징 및 구성에 대해 연구하였으며 전력 변환에 필요한 전력 센싱 관련 프로토콜 규격을 분석하였다. 또한 차세대 그린-스마트 선박에 적용 가능한 인버터 통신 시스템에 NMEA 2000 프로토콜의 알고리즘을 적용하였다. 다양한 전력변환 시스템에 적용 가능하고 유연성을 가지기 위하여 전력 제어시스템은 상용 FPGA기반의 SoC시스템으로 구현하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 전력 컨버터 제어 시스템의 구조

Figure 1은 전체 전력 컨버터 제어시스템의 구조를 나타내고 있다. 본 논문에서 구현한 전력 제어 시스템은 전력변환 회로인 인버터와 인버터를 제어하기 위한 제어 프로세서, 외부의 전자장비들과 인터페이스를 위한 통신 프로세서로 구성된다. 제어용 프로세서와 통신용 프로세서는 FPGA 기반의 SoC칩 내부에 위치하며 FPGA 제조업체에서 제공하는 소프트웨어를 이용하여 다양한 형태의 프로세서 제작 및 외부 IC소자들과의 인터페이스를 위한 드라이버 제작이 가능하다. 본 논문에서는

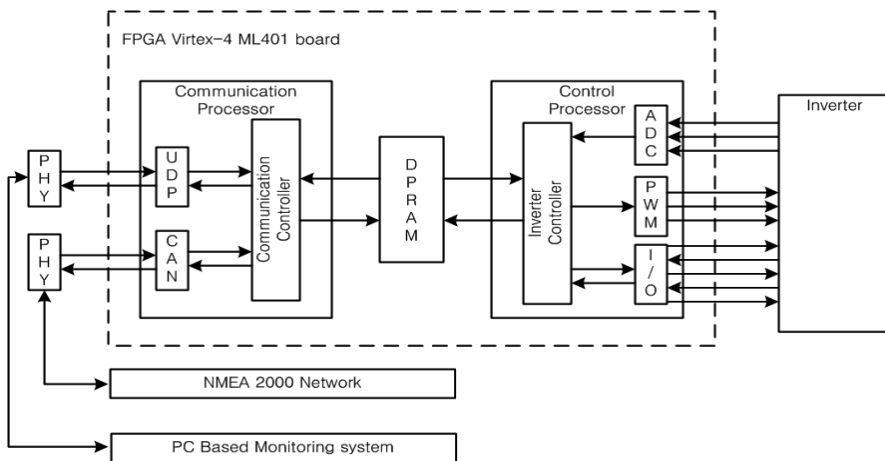


Figure 1: The schematic diagram of the whole converter and the monitoring system.

이러한 FPGA기반의 SoC를 이용하여 이중 프로세서 방식의 전력 제어 시스템을 설계하였으며 PWM 및 각종 센서신호를 수집 및 제어하기 위한 AD/DA컨버터 및 이를 제어하는 제어용 프로세서를 설계하였다. 통신프로세서는 NMEA 2000 네트워크와 연결하기 위하여 NMEA 2000의 물리적 규격인 CAN (Control network) PHY를 사용하였으며, PC에서 인버터의 상태를 모니터링 하기 위한 Ethernet PHY를 이용하여 PC상에서 UDP응용 프로그램과 연결 된다. 제어프로세서와 통신용 프로세서 사이에는 DPRAM을 이용하여 제어프로세서의 제어 파라미터 및 전력 센싱 데이터를 공유하며 PC 모니터링 시스템으로부터 오는 제어데이터를 통신용 프로세서를 통하여 제어용 프로세서로 전달 가능하다.

다. ML401보드는 JTAG를 이용하여 Xilinx Platform Studio 11.4로 FPGA 내부 칩 설계

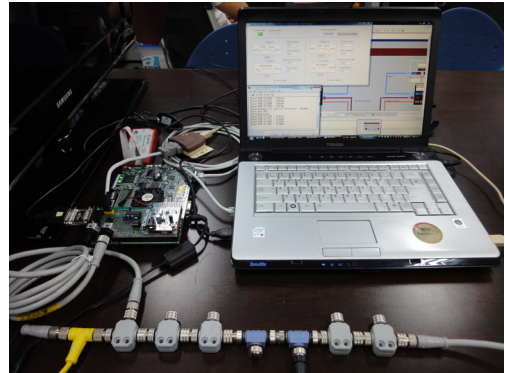


Figure 2: NMEA 2000기반 전력 제어시스템 설계 및 테스트 환경

2.2 전체 시스템 구성

Figure 2는 실제 구현한 전력 제어 시스템을 나타낸다. 다양한 인버터 시스템에 적용 가능하도록 FPGA기반의 SoC로 구현하였다. 구현된 FPGA는 Xilinx사의 Virtex ML401보드를 이용하였으며 FPGA 내부에 Figure 1과 같이 듀얼프로세서의 기능과 인버터 제어에 필요한 PWM, ADC (Analog/digital converter), DIO (Digital input/ output) 그리고 통신프로세서의 통신 PHY와 인터페이스를 위한 회로를 VHDL코드로 구현되어 하나의 FPGA에 구현되어져 있다. 필요에 따라 다른 여러 기능의 추가 및 수정이 가능하다

ISO/OSI Reference Model

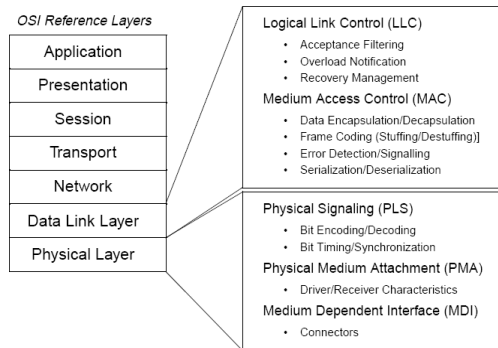


Figure 3: ISO 표준 모델과 CAN 2.0 네트워크의 특징

Table 1: NMEA 2000 프로토콜 네트워크의 기본적인 특징

Network Characteristics	
Network architecture	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bus (parallel) wiring configuration using 4-conductor twisted-pair wire to carry power to operate the interface and data signals.</li> <li>• Linear network with end terminations and multiple short-length drop cables connecting the backbone cable to individual nodes</li> </ul>
Network operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Network access: Carrier Sense/Multiple Access/Collision Arbitration using CAN (Controller Area Network)</li> <li>• Multi-master network operation (no central control node)</li> <li>• Self-configuring</li> <li>• Special network tools, desirable for diagnostic purposes, are not necessary for operation</li> </ul>
Network size	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Physical nodes: Up to 50 connections</li> <li>• Functional nodes: Up to 252 network addresses</li> <li>• Length: Up to 200 meters (at 250kbits/second bit rate)</li> </ul>

및 프로세서의 프로그래밍을 하였다. PC에서 FPGA SoC설계 검증을 위하여 ML401보드와 UART형식으로 PC상의 하이퍼터미널에서 FPGA 보드의 동작 상태를 표시하였으며 NMEA 2000 기반 네트워크상의 데이터 송수신을 확인하기 위하여 Ethernet/UDP 기반의 모니터링 프로그램을 제작 하였다.

### 2.3 NMEA 2000 프로토콜

NMEA 2000 프로토콜은 기본적으로 CAN 2.0 네트워크를 기반으로 한다. ISO 11898에서 정의된 CAN 2.0 프로토콜은 OSI 7 Layer에서 물리층과 데이터링크층을 표준화 하였으며 실시간 센서 데이터 수집 및 제어에 최적화된 표준 규격을 제공한다[6-7].

표 1은 기본적인 NMEA 2000 규격의 특징을 나타내고 있다. NMEA 2000에서는 최대 50개의 장치가 하나의 NMEA 2000 네트워크에 연결 될 수 있으며 네트워크에 연결된 센서들의 주소는 한 네트워크에 최대 252개의 네트워크 주소를 할당 받을 수 있다. 또한 하나의 네트워크 백본은 최대 200m까지 가능 하며 이러한 네트워크 상태에서 데이터 송수신의 안정성을 확보하기 위해 통신 속도는 250Kbit/sec로 되어있다.

### 2.4 NMEA 2000 프로토콜

CAN은 크게 기본 ID 포맷과 확장 ID포맷으로 나뉘며 CAN 1.0A, 2.0A는 기본 ID 포맷이고 CAN 2.0B는 확장 ID포맷이다. NMEA 2000은 CAN 2.0B를 기반으로 확장 ID포맷을 사용한다. 두 형식의 가장 큰 차이점은 중재필드(Arbitration field) 크기의 차이로 확장 포맷이 32비트로 기본 포맷보다 18비트가 더 크다. Figure 4는 CAN 확장 ID포맷의 메시지 프레임과 NMEA 2000의 ID의 구조를 나타낸 것으로 괄호안의 숫자는 각 해당 부분의 비트 사이즈를 나타낸다. CAN 메시지 프레임의 중재 필드 32비트 중의 29비트를 NMEA 식별자(Identifier)로 사용하며 이중 18비트를 PGN(Parameter Group Number)으로 사용한다[10].

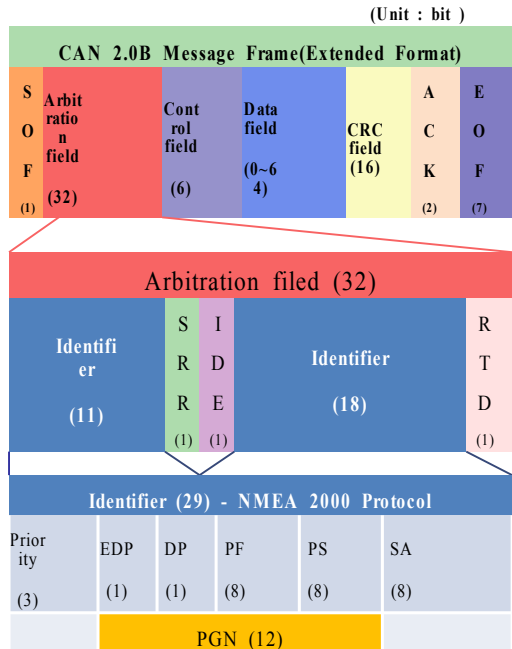


Figure 4: CAN 메시지 프레임과 NMEA 2000 Identifier의 구성도

NMEA 2000 프로토콜은 총 29비트인 식별자로 Priority, EDP(Extended Data Page), DP (Data Page), PF(PGN Format), PS(PGN Specific), SA(Source Address)로 각각 구분하여 사용하고 이 중 EDP, DP, PF, PS를 활용하여 PGN을 구성한다. PGN은 각 파라미터 그룹을 식별하는 8비트나 16비트의 숫자로 NMEA 0183 프로토콜에서 3개 문자로 이루어진 문장 식별자와 유사한 형태이다. NMEA 2000 프로토콜 정의에 따라 PGN에 의해 식별된 파라미터 그룹(PG)은 네트워크의 모든 주소로 방송되기도 하고 특정 주소로 직접 데이터를 사용하기 위해 사용할 수 있다. 이를 통해 네트워크에서 발생하는 여러 정보들을 교환하고 장비간의 요구, 요청 및 응답 등에 사용 된다[11].

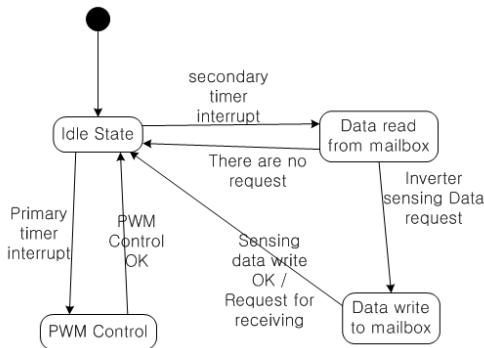
NMEA 2000네트워크는 여러 형태의 센서가 부착되며, 센서에서 발생하는 데이터를 식별하기 위해 PGN를 데이터프레임에 포함시킨다. 실험에 쓰인 인버터 데이터 송수신을 위한 NMEA2000프로토콜의 PGN은 표 2와 같다.

**Table 2:** 전력 컨버터 관련 PGN과 PGN파라미터 정보

PGNs	Information	Parameters
127509	Inverter Status	Inverter Operating state, Inverter Enable/Disable
127511	Inverter Configuration Status	Inverter Enable/Disable, Inverter mode, Load sense Enable/Disable, Load Sense Power Threshold, Load Sense Interval
127503	AC Input Status	AC Acceptability, AC RMS voltage, Current, Frequency, Breaker size, Real power, Reactive Power, Power Factor
127504	AC Output Status	Waveform, AC RMS Voltage, Current, Frequency, Breaker Size, Real Power, Reactive Power, Power Factor

2.6.1 제어용 프로세서 동작 상태도

Figure 6은 전력 제어 시스템 FPGA기반 SoC의 제어 프로세서의 동작 상태도를 나타낸다. 전력 컨버터를 제어하기 위하여 1ms의 타이머 인터럽트 주기로 PWM제어를 수행하며 DPRAM에 시간 정보를 기록한다. 또한 5ms주기로 DPRAM의 통신용 프로세서로부터 업데이트된 데이터 내용을 확인한다. 제어용 프로세서는 통신용 프로세서가 동작에 따라 전력 제어를 수행한다.

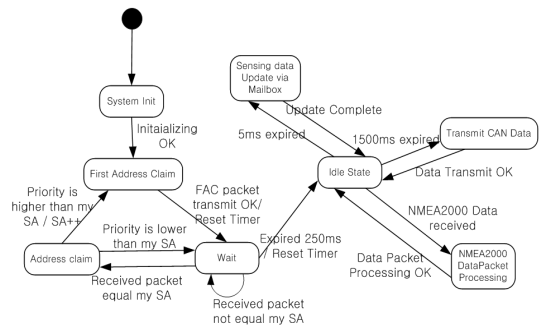


**Figure 6:** 제어용 프로세서의 동작 상태도

2.6.2 통신용 프로세서 동작 상태도

Figure 7은 통신용 프로세서의 동작 상태도를 나타낸다. 통신용 프로세서는 NMEA 2000네트워크에 연결되기 위한 주소할당 (address claim)을

수행하며 주소할당 완료 후 실제 제어용 프로세서로부터 오는 전력 센싱 신호를 각 PGN의 파라미터에 맞게 데이터를 가공하는 역할을 한다. 또한 상위 제어시스템으로부터 오는 제어신호를 받아 DPRAM을 이용하여 제어용프로세서로 데이터를 전송 한다. 통신용 프로세서는 NMEA 2000프로토콜 외에 현장에서 전력 시스템의 유지 보수 및 감시를 위한 모니터링 시스템과 연결될 수 있는 Ethernet/UDP프로토콜을 지원하며 일반적인 PC장치와 연결될 수 있다. 그리고 FPGA의 각 프로세서의 동작을 확인하기 위한 UART통신포트를 지원하여 실제 통신용프로세서와 제어용프로세서 동작을 실시간으로 확인 가능하다.



**Figure 7:** 통신용프로세서의 동작 상태도

3. 실험 결과

3.1 NMEA 2000 데이터 송수신 실험

Figure 8은 Inverter monitoring system의 DPRAM의 동작을 확인한 결과이다. 결과에서 알 수 있듯이 DPRAM을 통하여 제어용프로세서와 통신용 프로세서 사이에 데이터 송수신이 원활이 수행되고 있음을 알 수 있다. 통신용 프로세서는 NMEA2000 네트워크에 연결이 되어 다른 장치가 데이터를 수신할 때까지 주소요청(First address claim)데이터를 전송하며 다른 장치와 자신이 가진 같은 주소에 대한 응답이 250ms 이내로 없을 경우 장치에 주소 요청 시 사용한 주소로 자신의 장치를 할당한다. 할당 후 아무런 이상이 없을 경우 제어프로세서로 준비상태를 알리고 PGN에 맞는 데이터를 송신한다.

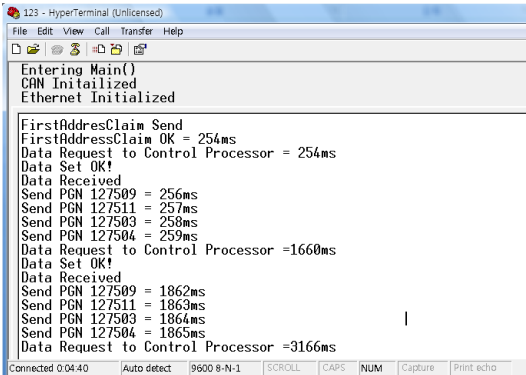


Figure 8: 통신용 프로세서의 동작 상태

### 3.2 PC모니터링 실험

NMEA 2000에서 전력 센싱 데이터는 1.5초 간격의 샘플링 주파수내에 1개의 데이터 전송이 완료 되어야 한다고 언급되어있다. Figure 9는 Ethernet/UDP를 통하여 inverter에서 발생되는 데이터를 UDP 응용프로그램으로 시현한 것이다. 인버터에서 발생되는 데이터가 1.5초 간격으로 표현되고 있다.

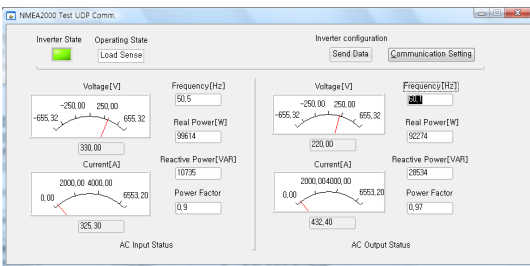


Figure 9: Ethernet/UDP 네트워크를 이용한 PC기반 전력 시스템 모니터링 프로그램

## 4. 결 론

차세대 선박의 인버터 시스템에 적용하기 위한 선박 네트워크 표준인 NMEA 2000프로토콜 기반의 인버터 통신시스템을 구현하였다. 다양한 인버터 시스템에 적용하기 위하여 유연성이 높은 FPGA기반의 SoC로 구현하였으며 인버터의 제어 알고리즘과 통신알고리즘을 FPGA내부에서 이중 프로세서로 구현하였다. 이러한 이중 프로세서의 구현은 인버터의 제어알고리즘과 NMEA 2000통

신 프로토콜 알고리즘 간의 부담을 줄일 수 있다.

구현된 기능을 검증하기 위하여 UART로 통신 프로세서의 DPRAM 동작상태를 나타내었으며, 표 1의 PGN이 가지는 데이터 프레임의 파라미터 값을 Ethernet/UDP기반의 PC모니터링 프로그램을 이용하여 동작을 확인 하였다.

본 논문에서는 전력 컨버터의 고장 시 알람 정보 및 긴급신호전송에 대한 언급을 하지 않았다. 차 후 전력 컨버터 고장 및 알람정보에 관련 된 NMEA 2000데이터의 송수신에 대한 보완이 필요하다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음 [2008-F- 046-01, E-Navigation 대응 IT-선박 융합 핵심기술 개발].

## 참고문헌

- [1] IMO Maritime Safety committee 78th, 2004
- [2] <http://www.lowrance.com/Products/Marine/LowranceNET-Marine-Networking-System>, 2010.
- [3] <http://www.maretron.com/products.php>, 2010.
- [4] 선박전자장치간 직렬데이터 네트워킹 규격 (NMEA2000) 기술보고서, TTA 단체표준작성, TTAR-11.0012, 2009.
- [5] MEA2000, Standard for Serial-Data Networking of Marine Electronic Device, ver 1.20, 2004.
- [6] ISO11898-1, Controller Area Network, 2006.
- [7] ISO11898-1, Controller Area Network (CAN) - Data link layer and physical signaling, 2006.
- [8] F. Cassidy, "NMEA 2000 Explained-The latest word", Marine Electronics, 1999.

- [9] 김경엽, 박동현, 심진보, 유영호, "2010 A study of marine network NMEA2000 for e-Navigation", 한국마린엔지니어링학회지, vol. 34, no. 1, pp. 133-140, 2010.
- [10] NMEA와 NMEA 2000통신프로토콜 표준화 동향, TTA Journal, 기술해설, no. 126, pp52-57, 2009.
- [11] NMEA, Appendix B.1-PGN Table, ver1.210, 2006.
- [12] 박동현, 허진영, 김종현, 유영호, 심진보, 신옥근, "FPGA를 이용한 NMEA2000 선박표준네트워크 프로토콜의 구현", 한국마린엔지니어링학회 공동학술대회논문집, pp. 205-206, 2009.
- [13] 박동현, 김종현, 김경엽, 홍지태, 유영호, "Development of SoC for NMEA2000 ship standard network protocol using FPGA", International Symposium on Marine Engineering (ISME), 2009.
- [14] 박동현, 홍지태, 김경엽, 유영호, "Marine implementation of SoC for NMEA2000 ship standard network protocol using FPGA", 한국마린엔지니어링학회지, vol. 34, no. 1, pp. 125-132, 2010.
- [15] 김경엽, 김종현, 박동현, 홍지태, 유영호, "A Study of on marine network NMEA 2000 for e-Navigation", International Symposium on Marine Engineering (ISME), 2009.
- [16] <http://www.nmea.org/Assets/20100813%20nmea%202000%20registration%20numbers.pdf>, 2010.



### 박동현(朴東鉉)

2009년 한국해양대학교 IT공학부 (공학사), 2011년 한국해양대학교 제어계측공학과 (공학석사), 관심분야: NMEA 2000 네트워크, FPGA, SoC, 임베디드시스템, e- Navigation



### 유영호(劉永昊)

1974년 한국해양대학교 기관공학과 (공학사), 1986년 한국해양대학교대학원 제어공학전공(공학석사), 1990년 한국해양대학교대학원 제어공학전공(공학박사), 1974년 - 1978년 승선근무 (기관장), 1978년 - 1980년 한국선급협회 (기관검사원), 1991년 - 현재 한국해양대학교 IT공학부 (교수), 관심분야 : 선박표준네트워크, e-navigation 시스템, 조선기자재 임베디드시스템화

## 저 자 소 개



### 홍지태(洪知兌)

2004년 한국해양대학교 제어컴퓨터정보공학과 (공학사), 2007년 부산대학교 메카트로닉스협동과정(공학석사), 2005년 - 2007년 한국전기연구원 (연구원), 2007년 - 현재 부산대학교 전기전자공학과 (박사과정), 2009년 - 현재 한국전기연구원 (연구원), 관심분야: 풍력발전, 발전제어, 임베디드시스템, 신호처리, 통신