



### 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

NMEA 2000 기반 통합 네트워크 구현을 위한  
SoC 설계에 관한 연구

A Study on SoC Design for Implementation of  
NMEA 2000 based Integration Network



指導教授 劉永昊

2011年 2月

韓國海洋大學校 大學院

制御計測工學科

朴 東 鉉

本 論 文 을 朴 東 鉉 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

委 員 長 工 學 博 士 陳 康 奎



委 員 工 學 博 士 趙 爽 濟



委 員 工 學 博 士 劉 永 昊



2010 年 12 月 24 日

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

制 御 計 測 工 學 科 朴 東 鉉

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
1.1 연구 배경 .....	1
1.2 선행 연구 .....	4
1.3 연구 내용 .....	6
제 2 장 NMEA 2000 프로토콜 .....	8
2.1 NMEA 2000 프로토콜 개요 .....	8
2.2 NMEA 2000 프로토콜 구성 및 특징 .....	9
2.3 NMEA 2000 프로토콜 구조 .....	16
제 3 장 시스템 설계 및 구현 .....	19
3.1 개발 보드 설정 및 구성 .....	19
3.2 탱크와 엔진 PGN 설정 .....	25
3.3 NMEA 2000 데이터 변환 .....	26
3.4 NMEA 2000 모니터링 프로그램 설계 .....	29
제 4 장 실험 및 검증 .....	32
4.1 NMEA 2000 네트워크 구성 .....	32
4.2 통신연결 확인 .....	33
4.3 변환된 데이터 검증 .....	36
제 5장 결 론 .....	41
참고 문헌 .....	42

# A Study on SoC Design for Implementation of NMEA 2000 based Integration Network

*Dong-Hyun Park*

*Department of Control and Instrumentation  
Engineering Graduate School,  
Korea Maritime University*



## **Abstract**

NMEA 2000 protocol known as IEC 61162-3 of Multi-talker, Multi-listener and Plug and Play network communication has been adopted as standard network for SOLAS(Safety of Life at Sea) ship by IMO in 2008. Note that NMEA 2000 protocol was used as the ship standard network for real time instrument network, complex combined networks with various methods in the ship are able to be simply configured. This thesis focuses on the implementation of SoC using

FPGA for gateway, which is able to convert NMEA 2000 protocol into various types of network protocol such as Ethernet, UART and USB using Vertex4-based ML401 board. Each communication module and the stack of NMEA 2000 are mounted on FPGA by only software of MicroBlaze without using a VHDL code. For receiving NMEA 0183 protocol, UART is additionally configured on FPGA. NMEA 2000 monitoring program is developed to verify that data on different network are correctly converted each other in real time.



# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경

현재 선박에는 운항을 위해 다양한 항해통신 장비들이 탑재 되어 있으며, 이에 따른 많은 통신 프로토콜이 존재한다. 안전과 편리를 목적으로 증가된 항해통신 장비들은 오히려 복잡한 네트워크와 다양한 프로토콜 사용으로 기기간의 호환성을 저해하고 실시간 정보교환을 방해함으로 선박 운항의 위험 요소가 되고 있다. IMO(International Marine Organization)는 이러한 문제를 근본적으로 해결하고 선박의 안전운항과 육상에서 다양한 서비스를 실시간으로 선박에 제공하기 위하여 2005년 e-Navigation을 MSC(Maritime Safety Committee) 81차 회의에서 공동의제로 제안하고, NAV(Sub-Committee on Safety of Navigation)와 COMSAR(Sub-Committee on Radiocommunication and Search and Rescue)에 e-Navigation을 새로운 의제로 할당하여 2008년까지 검토할 것을 요구하였다. 그 결과 2008년 NAV 54차 회의에서 전략개발이 완료된 e-Navigation은 2010년에 그 구조가 확정되고, 2012년부터 실현 계획이 시작될 예정이다[1-3]. 2012년부터 e-Navigation이 시행되면 선박에서는 이 표준에 준한 장비를 장착하여야 한다. 따라서 국내에서도 e-Navigation이 시행되기 전에 표준에 대한 분석과 관련 기자재 개발 등의 적극적인 대응이 필요하다.

e-Navigation의 선박표준 네트워크는 그림 1.1 과같이 크게 3계층으로 분류된다. 3계층은 인스트루먼트 네트워크, 제어 네트워크, 관리 네트워크로 각 층에 따른 표준이 정의된다. 특히 IMO는 인스트루먼트 네트워크

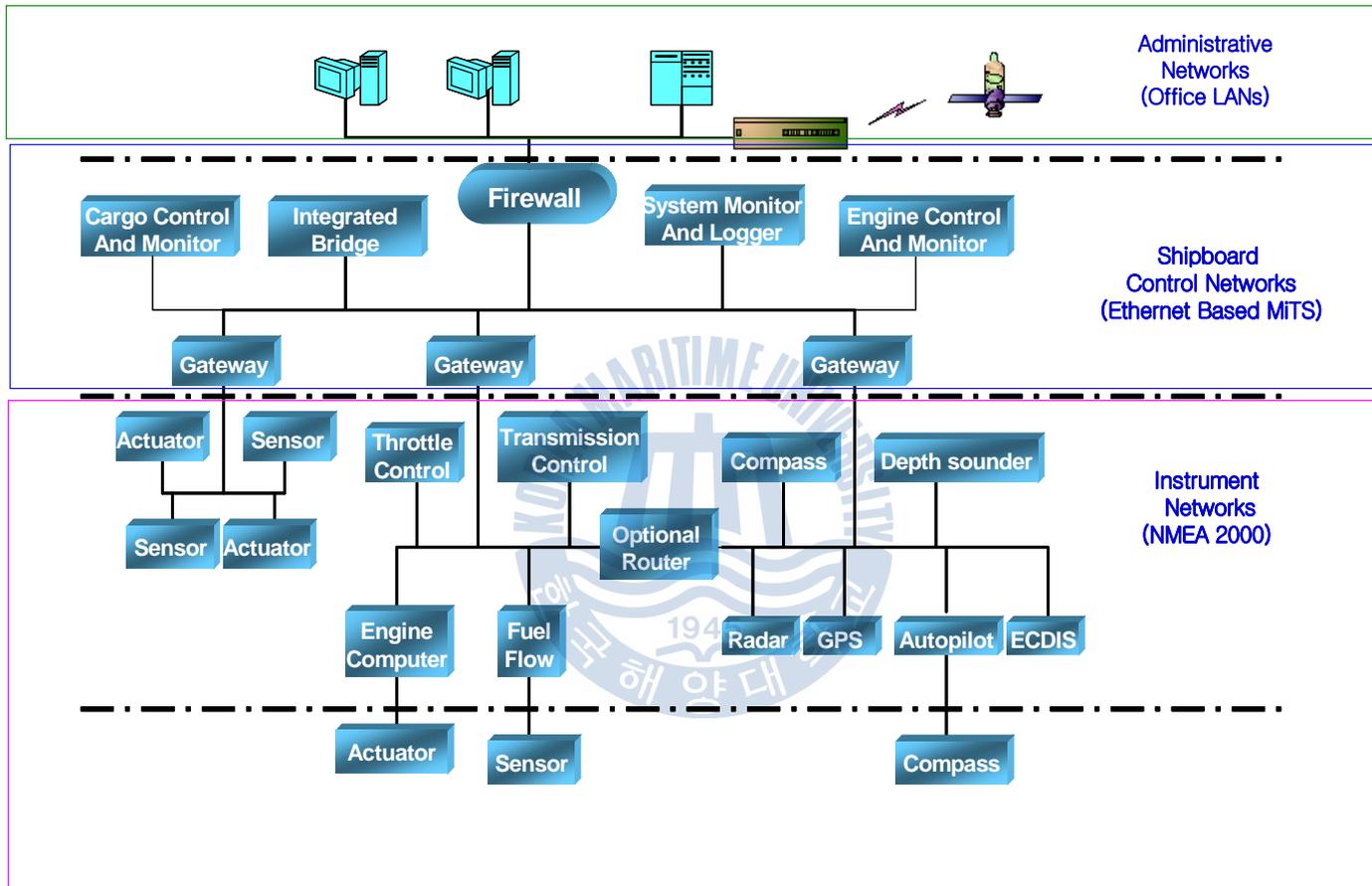


그림 1.1 e-Navigation의 선박표준 네트워크 개요도  
 Figure 1.1 The diagram of ship standard network in e-Navigation

의 표준으로 IEC(International Electro-technical Commission) 61162-3을 정의하였으며, IEC 61162-3은 CAN(Control Area Network)기반의 NMEA(National Marine Electronic Association) 2000을 채택하고, 제어 네트워크는 IEC61162-4로 정의된 Ethernet 기반의 MiTS(Maritime Information Technology Standard)를 채택하여 선박 내부를 관리하고 궁극적으로는 선박과 선박 및 선박과 육상간의 효율적인 정보교환을 이루고자 한다[2-6].

인스트루먼트 네트워크는 선박네트워크의 최하위 계층으로 실제 선박의 센서나 기기간의 물리적인 연결을 통해 통신이 이루어진다. 따라서 NMEA 0183기반의 DGPS, GYRO compass 등의 항해장비와 AIS와 같은 통신 장비, VDR과 같은 안전장비 뿐만 아니라 보일러, 유배출시스템, 주기관, 보조기관 등으로부터 기관실 장비의 중요한 정보 등을 실시간으로 송수신해야 한다. 표준에서 요구하는 성능을 만족하기 위하여 Arm계열이나 Cortex계열의 일반 MCU(Micro Controller Unit)를 사용해 단일 프로세서로 구현할 수도 있지만 표준에서 요구하는 모든 변환 과정을 동시에 처리하게 되면 여러 프로토콜에서 발생한 데이터로 인해 MCU에 부하가 발생하기 쉽고 데이터 충돌이나 손실이 일어날 수 있다. 또한 여러 프로토콜이 점유하고 있는 메모리를 중복 사용함에 따라 예기치 않은 오작동도 발생 할 수 있다. 여러 변환 작업을 여러 개의 프로세서로 구성해 프로토콜들을 각각 수용하여 처리하면 개별적인 데이터 수신 및 변환 작업의 효율은 증가하지만 각 프로세서간의 SPI통신에 제약이 있어 모든 데이터를 실시간으로 동기화하는데 한계가 있다[5].

따라서 본 논문에서는 NMEA 2000 기반의 통합 네트워크 구현을 위해 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 이용한 SoC(System on Chip)를

설계하여 단일 프로세서가 다중 프로세서의 역할을 할 수 있도록 하고자 한다. 본 연구 결과는 장차 e-Navigation을 대비하여 NMEA 2000 기반의 장비개발에 응용될 수 있으며 FPGA특성으로 인해 장비의 개발기간과 비용을 단축할 수 있다.

## 1.2 선행 연구

기기간의 실시간 정보교환을 보장하는 것은 인스트루먼트 네트워크를 구성함에 있어 중요한 요소 중 하나이다. 현재 선박에는 많은 장비들이 NMEA 0183을 따르고 있는데 IEC 61162-1로 채택된 NMEA 0183은 단일전송-다중수신 방식으로 4800bps의 시리얼 데이터를 제공하기 때문에 통신 속도와 쌍방향통신이 불가능한 문제점이 있다. 통신 속도를 보완하기 위하여 IEC 61162-2의 NMEA 0183 High-speed가 마련되었지만 NMEA 0183과 같은 단일전송-다중수신 방식이므로 쌍방향 통신이 불가능하다는 문제는 여전히 존재한다. 이러한 문제점의 해결을 위해 IEC 61162-3 표준안으로 SOLAS(Safety of Life at Sea) 선박에 필요한 탑재 장비들의 연결을 적정한 통신 속도로 구성이 가능한 CAN기반의 NMEA 2000이 제안된다. CAN은 고속의 통신 속도와 높은 신뢰성을 저비용으로 제공할 수 있기 때문에 이미 많은 산업분야에서 널리 사용되고 있다. 이러한 CAN은 쌍방향 다중 송수신이 가능하고 플러그앤플레이 기능을 지원하기 때문에 시스템간의 호환성이 뛰어나고 실시간 정보교환에 유리하다. 표 1.1에서 명시되어 있는 바와 같이 IEC 61162-4의 규격보단 CAN이 상대적으로 통신 속도가 느리지만 앞서 설명한 높은 인식율과 호환성으로 인해 실시간 선박통신으로 많이 활용되고 있다.

실제 CAN은 미국과 유럽 등지의 레저용 요트, 소형 선박에 널리 사용되고 있으며 국내에서도 그 관심이 급증하고 있다. 최근에는 NMEA 2000 프로토콜을 소형선박에서 대형선박으로 적용하기 위한 연구와 NMEA 2000 프로토콜을 다양한 프로토콜로 전환하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다[4,6].

표 1.1: IEC 표준에 따른 통신 비교  
 Table 1.1: Comparison of communication by IEC standard

구분	프로토콜	통신속도
IEC61162-1	NMEA 0183 Low Speed	4800bps
IEC61162-2	NMEA 0183 High Speed	38400bps
IEC61162-3	NMEA 2000	250kbps
IEC61162-4	MiTS	100Mbps

이미 L사, M사와 같은 유명 선박 기자재 회사들은 NMEA 2000 기반의 제품들을 출시하고 있다[7,8]. 그러나 이들 대부분의 제품에서도 단일 칩을 사용해 NMEA 2000 네트워크를 구성하고 있다. 만약 이들 제품이 요트가 아닌 대형 선박과 같은 규모가 큰 네트워크에 적용되거나 다른 프로토콜로의 실시간 변환이 빈번히 요구되어지는 경우에 사용된다면 앞에서 언급한 문제들이 발생 될 수 있다. 따라서 실시간 동시 변환과 네트워크 기기간의 호환성이 뛰어난 SoC형태의 단일 칩 구성에 대한 연구가 필요하다[5].

### 1.3 연구 내용

본 논문에서는 FPGA를 이용해 SoC형태의 단일칩으로 NMEA 2000 기반의 통합 네트워크를 구축하고자 한다. 이를 위해 Xilinx사의 vertex4를 탑재한 ML401보드를 사용하였다. 다른 네트워크와의 통신을 위해 UART, USB, CAN, Ethernet IP(Intellectual Property)를 FPGA에 탑재하고 표준에서 요구되는 통신 속도로 설정하였다. 기본적으로 ML401보드가 NMEA 2000 네트워크와 연결되어 작동되기 위해서는 하나의 네트워크 장비로써 NMEA 2000 네트워크에 인식되어야 한다. 이를 위해 ML401보드에 CAN IP와 NMEA 2000 스택을 탑재하고 탱크와 엔진의 더미 데이터를 발생하도록 설정하여 NMEA 2000 네트워크에서 탱크와 엔진처럼 인식되도록 구성하였다. 다른 장비와의 호환성 점검 및 데이터 송수신 시험을 위해 이미 상용화된 NMEA 2000 장비들을 연결해 NMEA 2000 네트워크를 구성하고 ML401보드의 동작을 확인한다. NMEA 0183 네트워크와의 접속을 위해 별도의 UART 포트를 추가로 구성하고 NMEA 0183 데이터를 수신할 수 있도록 설정하고 수신한 데이터를 NMEA 2000 데이터 형태로 변환하도록 설정하였다. NMEA 2000 네트워크에서 수신되거나 NMEA 0183에서 변환된 NMEA 2000 데이터를 FPGA 내에서 USB, Ethernet, RS232의 형태로 다시 변환한 뒤 PC로 전송하도록 설정하고 PC에서 수신하여 확인하였다. PC에서는 개발보드의 USB, Ethernet, RS232 접속 여부를 확인하고 수신된 데이터를 분석하여 GUI(Graphic User Interface)형태로 나타내었다.

본 논문은 총 5장으로 구성되며 내용은 다음과 같다. 1장은 연구의 배경 및 연구 내용을 개략적으로 설명하고, 2장에서는 NMEA 2000 프로토콜에 대해 설명한다. 3장에서는 전체 시스템을 구성하기 위해 FPGA의 설계

와 구현 방법에 대해 설명하고 4장에서는 상용화된 NMEA 2000 장비, NMEA 0183 장비를 이용해 네트워크 구성하고 이 네트워크에 FPGA를 연결하여 통신을 시험하고 변환된 데이터를 PC 모니터링 프로그램을 통해 확인하고 검증한다. 5장에서는 앞서 시험에서 얻은 결과를 바탕으로 결론을 내린다.



## 제 2 장 NMEA 2000 프로토콜

### 2.1 NMEA 2000 프로토콜 개요

NMEA 2000 프로토콜은 1994년부터 미국의 NMEA의 주도로 미국의 해양 경찰청(Coast Guard) 및 대학, 전 세계 유명 항해 통신 장비 업체, CAN 솔루션 업체들이 공동으로 개발하기 시작하였다. 2001년 9월에 최초로 그 규격이 완성된 NMEA 2000 프로토콜은 선박용 전자 장치들의 상호 연결할 수 있는 저가격, 양방향 다중 송수신이 가능한 실시간 통신 네트워크이다.

IMO에서 NMEA 2000 프로토콜을 인스트루먼트 네트워크의 표준으로 정의하고 있고 IEC에서는 61162-3으로써 NMEA 2000 프로토콜을 국제 표준화하였다[6]. ISO(International Organization for Standardization)에서는 SOLAS 선박의 표준네트워크로 NMEA 2000 프로토콜을 정의하고 있다. 전송속도가 4,800bps나 38,400bps인 기존의 NMEA 0183 프로토콜에 비해 NMEA 2000 프로토콜은 250kbps를 유지하기 때문에 높은 전송속도를 보장하며 양방향 다중 송수신이 가능하고 네트워크 관리를 위하여 서버가 별도로 필요하지 않은 등 많은 이점이 있다. 또한 정상적으로 작동하는 네트워크에 연결되어 있다면 일부 장비가 고장이 나도 전체 네트워크에 영향을 주지 않는다. 이런 특징 때문에 많은 선박 기자재 분야에서 NMEA 2000 프로토콜을 채택하고 이를 이용한 제품이 상용화 되고 있다. 본 장에서는 선박 통합네트워크 시스템에 적용할 NMEA 2000 프로토콜에 대해 설명한다.

## 2.2 NMEA 2000 프로토콜 구성 및 특징

NMEA 2000 프로토콜은 ISO의 OSI(Open System Interconnection) 7계층 구조 중 물리층, 데이터링크층, 네트워크층, 어플리케이션층의 4계층을 따른다. 물리층과 데이터링크 하위 부분인 MAC(Media Access Control)은 ISO 11898로 정의되는 CAN 네트워크를 기반으로 하고 데이터링크의 상위 부분인 LLC(Logical Link Control)는 ISO 11783-3으로 정의되는 시리얼 제어 및 통신 데이터 네트워크의 데이터 링크 층에 따른다. 네트워크층은 ISO 11783-5에서 정의되는 네트워크 관리를 따른다. 마지막으로 어플리케이션층은 NMEA 2000프로토콜의 데이터베이스로 정의된다[9]. 그림 2.1은 NMEA 2000 프로토콜의 구성에 관하여 도시한 것으로 ISO에서 정의한 표준과의 연관성을 나타낸다.

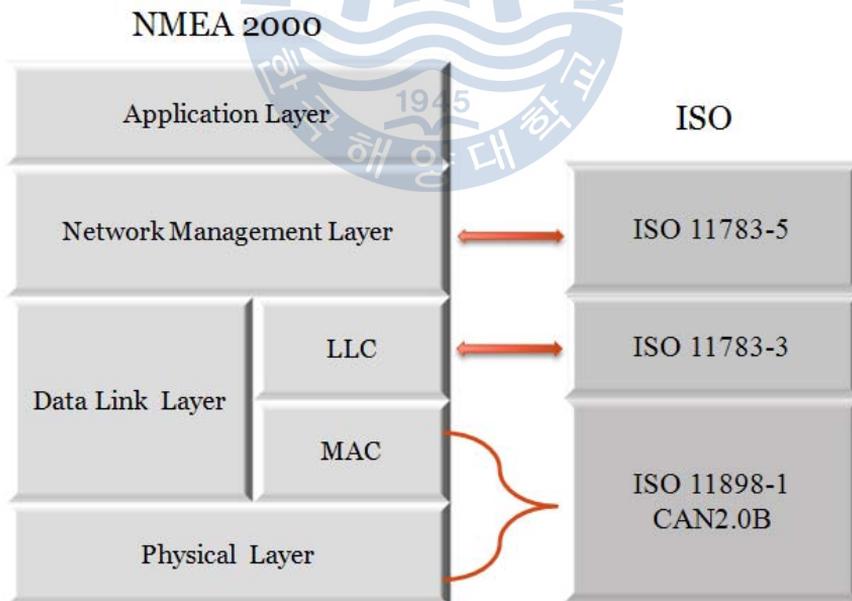


그림 2.1 NMEA 2000과 ISO 표준과의 비교

Figure 2.1 Comparison of NMEA 2000 with ISO standard

### 2.2.1 물리계층

NMEA 2000 프로토콜은 CAN을 기반으로 하기 때문에 CAN의 전기적 특성을 따른다. 기본적으로 NMEA 2000 케이블은 NET-S와 NET-C의 전원 두선, NET-H(CAN high)와 NET-L(CAN low)의 신호 두선, 쉴드(Shield) 1선 등 두 쌍의 꼬인 선(Twisted-pair wires)으로 이루어져 있다. 네트워크의 동작 전원은 DC 9에서 16 볼트이며, 네트워크에 접속하는 전자회로들은 네트워크 신호 레벨과 CAN 컨트롤러 레벨 간의 변환을 위해 차동 신호 송신 회로를 이용한다. 이 회로를 통해 신호를 주고받으며 네트워크상에 존재하는 신호들을 우성 상태(Dominant state)와 열성 상태(Recessive state)로 나눠 판별하게 된다. 그림 2.2에서는 이러한 CAN 통신 비트의 전기적인 특징을 나타내고 있다[9,10]. 우성상태일 때 CAN high 신호는 3.5 볼트이고 CAN low의 신호는 1.5 볼트로 2볼트의 차이가 발생한다. 열성상태일 때는 CAN high와 CAN low가 2.5볼트로 그 차이가 발생하지 않는다.

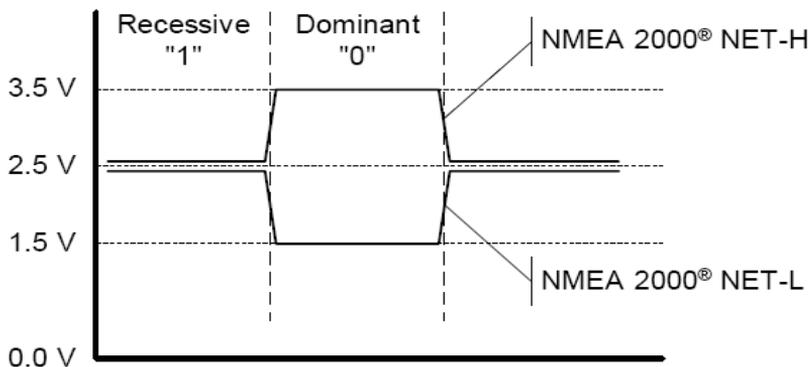


그림 2.2 CAN 통신 비트의 전기적인 특성

Figure 2.2 Electronic characteristic of CAN communication bit

그림 2.3은 실제 CAN 신호를 프로토콜 분석기를 통해 나타낸 것으로 SOF 후 ID를 포함하는 중재필드, 데이터 필드, CRC 필드가 수신되는 모습을 나타내고 있다. ID값은 0x18aabb03을 나타내고 있으며 메시지 프레임의 데이터 길이를 나타내는 제어필드(Control field)의 값은 0x4로 데이터 필드가 8바이트임을 나타낸다. 실제 데이터 필드는 0x00, 0x55, 0xaa, 0xff로 8바이트로 구성됨을 확인할 수 있다.

NMEA 2000의 커넥터는 그림 2.4와 같이 산업용 버스 시스템과 호환되는 5핀인 Mini-C 타입이나 Micro-C 타입을 사용하며 해양과 같은 특수 환경에 노출된 상황에서 내구성과 저항성을 만족해야 한다. 본 논문에서는 Micro-C 타입을 이용해 NMEA 2000 네트워크를 구성하도록 한다.

### 2.2.2 데이터 링크층

NMEA 2000 프로토콜의 데이터 링크층은 ISO 11783-3에서 기술하는 부가적인 규정과 요건으로 이루어진다. 표 2.1과 같이 NMEA 2000에서 제공하는 데이터의 전송 방식은 싱글 프레임 메시지, 멀티패킷 메시지, 패스트패킷 메시지의 세 가지 방식을 지원하며, 기존의 ISO 11783-3은 싱글 프레임 메시지와 멀티패킷 메시지의 두 가지 방식만 지원한다. NMEA 2000은 NMEA 2000이 지원하는 모든 파라미터 그룹의 데이터 전송 방식을 정의하고 있다. 대부분의 데이터 전송방식들은 그 데이터의 크기 때문에 패스트패킷을 사용한다. CAN의 한 프레임은 8바이트 이므로 9바이트 미만의 데이터를 포함하는 메시지들은 싱글 프레임 전송 방식을 사용한다. 패스트 패킷은 8바이트를 초과하는 데이터를 전송할 때 핸드셰이크 를 사용하지 않고 전송하는 방식으로 232 바이트까지 데이터를 전송할 때

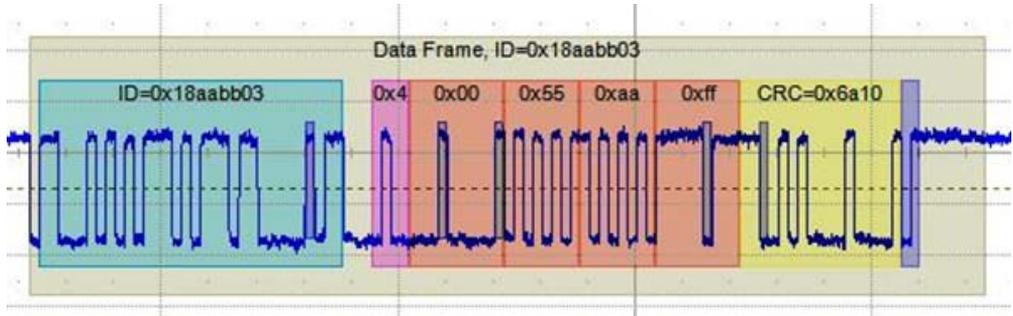


그림 2.3 프로토콜 분석기를 사용해 보여진 CAN 신호  
 Figure 2.3 CAN signal using protocol analyzer

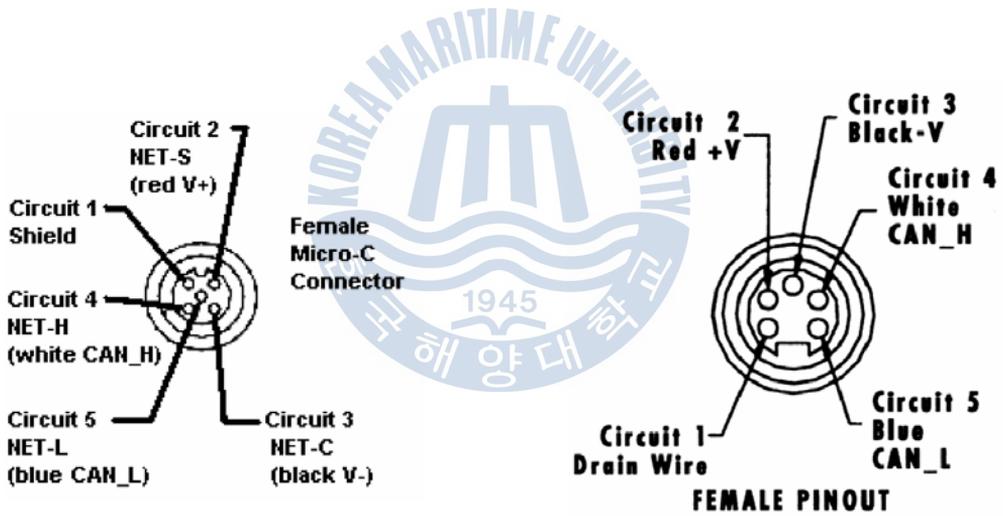


그림 2.4 Micro-C(좌)와 Mini-C(우) 커넥터  
 Figure 2.4 Micro-C(light) Mini-C(right) connector

사용한다. 멀티패킷은 소프트웨어적으로 RTS/CTS의 핸드셰이킹을 하면서 1752 바이트까지 데이터를 전송할 때 사용하는 방식이다[9].

표 2.1 NMEA 2000의 전송 방법 비교

Table 2.1 Comparison of NMEA 2000 transport method

싱글 프레임	ISO 11783 멀티패킷	NMEA 2000 패스트패킷
8바이트 데이터	1785바이트까지 데이터 전송가능	223바이트까지 데이터로 제한
PGN에 의해 정의된 목적지	특정 장비에 임의의 (8 바이트 보다 큰) PGN 방송을 송신하기 위해 사용	PGN에 의해 정의된 목적지
핸드셰이킹 없음	핸드셰이킹 포함 (스마트 전송방식)	핸드셰이킹 없음
전송 프로토콜 딜레이가 없음	같은 양의 데이터를 전송할 때, 패스트패킷보다 더 오래 걸림	223바이트까지 보내는 데에 시간이 덜 걸림. 전송 프로토콜 지연이 없음
모든 산업에서 사용	모든 산업에서 사용	새로운 프로토콜

### 2.2.3 네트워크층

네트워크 층은 네트워크의 관리를 위한 계층으로서 NMEA 2000 프로토콜의 가장 두드러진 특징이라고 할 수 있는 네트워크 플러그애플레이를 위한 주소 설정 즉 주소요청(Address Claim)에 관하여 정의하고 있다. NMEA 2000 장치들은 네트워크 접속 시 서로의 우선순위에 따라 0부터 251사이의 주소 공간을 요청하고 변경이 가능해야한다. 우선순위의 판별

은 CAN 메시지 프레임 데이터 필드의 NAME 필드 값에 의해 결정되며 필드 값이 작을수록 우선순위가 낮으므로 변경 요청이 올 경우 자신의 주소를 변경하여야한다. 이러한 작업은 PGN(Parameter Group Number) 60928에 의해 수행되며 NAME에는 산업 그룹, 장치 구분 인스턴스, 장치 구분, 평선, 평선 인스턴스, 장치 인스턴스, 제조자 코드, 유일한 ID 번호가 포함되어 네트워크 장치가 서로의 식별을 위해서도 쓰이게 된다. 표 2.2는 장치의 구분 및 분류를 위해 NMAE 2000에서 정의한 NAME 필드의 장치 구분과 평선 코드의 값을 보여 준다[9]. 본 논문에서는 엔진과 탱크의 더미 데이터값이 발생하도록 설정하므로 분류 코드는 50으로 설정하고 평선 코드는 130으로 설정한다.



표 2.2 장치 분류와 평선 코드 할당표

Table 2.2 Device class and function code assignment

NMEA 2000 장비 클래스		NMEA 2000 평선	
분류코드	분류 명	평선코드	평선명
00	2000사용을 위해 예약됨		
10	시스템 톨	TBD	TBD(To be determined)
20	안전 시스템	TBD	TBD
25	인터넷 작업 장치	130	게이트웨이
		140	라우터
		150	브릿지
		160	중계기
30	전원 관리와 조명 시스템	130	스위치
		140	부하
40	조타 시스템	130	추종 제어기
		140	모드 제어기
		150	자동 조타제어기
		160	선수방향 센서들
50	추진 시스템	130	엔진 모니터링
		140	엔진 인터페이스
		150	엔진 컨트롤러
		160	엔진 게이트웨이
		170	컨트롤 전면부
		180	엑츄에이터
		190	계기 인터페이스
		200	대형 계기
		210	소형 계기
60	내비게이션 시스템	130	음향 측심 장비
		140	
		145	Global Navigation Satellite System(GNSS)
		150	로란 C
		155	속도 센서
		160	회두율 표시기
		170	통합 내비게이션
		200	레이더 와/또는 레이더 프로터
		205	전자해도시스템(ECDIS)
		210	전자 차트 시스템 (ECS)
		220	방향 탐지기
70	커뮤니케이션 시스템	130	Emergency Position Indication Beacon (EPIRB)
		140	자동인식시스템(AIS)
		150	Digital Selective Calling(DSC)
		160	데이터 수신기
		170	위성
		180	라디오-전화기(MF/HF)
		190	라디오-전화기(VHF)
80	계장/일반 시스템	130	시간/날짜 시스템
		140	항해 데이터 기록기(VDR)
		150	통합 계장
		160	일반 디스플레이
		170	일반 센서 박스
		180	기상 계기
		190	변환기/일반
90	환경 친화적(HVAC) 시스템	TBD	TBD
100	갑판, 화물, 그리고 어획 장비 시스템	TBD	TBD

## 2.2.4 어플리케이션층

어플리케이션층은 NMEA 2000 프로토콜 송수신의 핵심이 되는 PGN에 관한 데이터베이스를 말한다. 파라미터 그룹은 네트워크로 전송되어지기 위해 연관되는 변수, 명령, 상태, 또는 다른 정보의 집합을 말하며 그림 2.5 는 어플리케이션층에서 정의되는 데이터의 구조를 보여준다[9].

## 2.3 NMEA 2000 프로토콜 구조

CAN은 크게 기본 ID 포맷과 확장 ID포맷으로 나뉜다. CAN 1.0A, 2.0A 는 기본 ID 포맷이고 CAN 2.0B는 확장 ID포맷이다. NMEA 2000은 CAN 2.0B를 기반으로 하므로 확장 ID포맷을 사용한다. 두 형식의 가장 큰 차이점은 중재필드(Arbitration field) 크기의 차이로 확장 포맷이 32비트

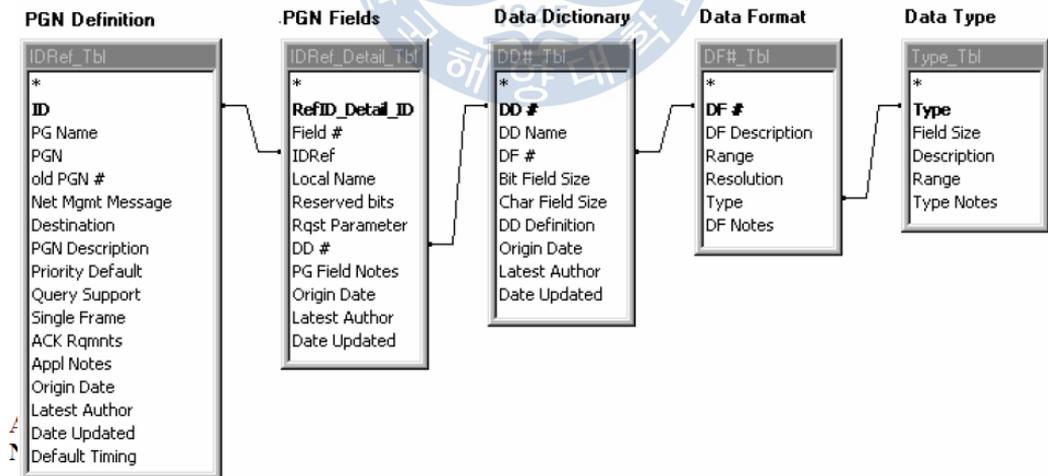


그림 2.5 데이터 정의 구조

Figure 2.5 Data definition structure

로 기본 포맷보다 18비트가 더 크다. 그림 2.6은 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 PGN으로 사용한다[10].

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

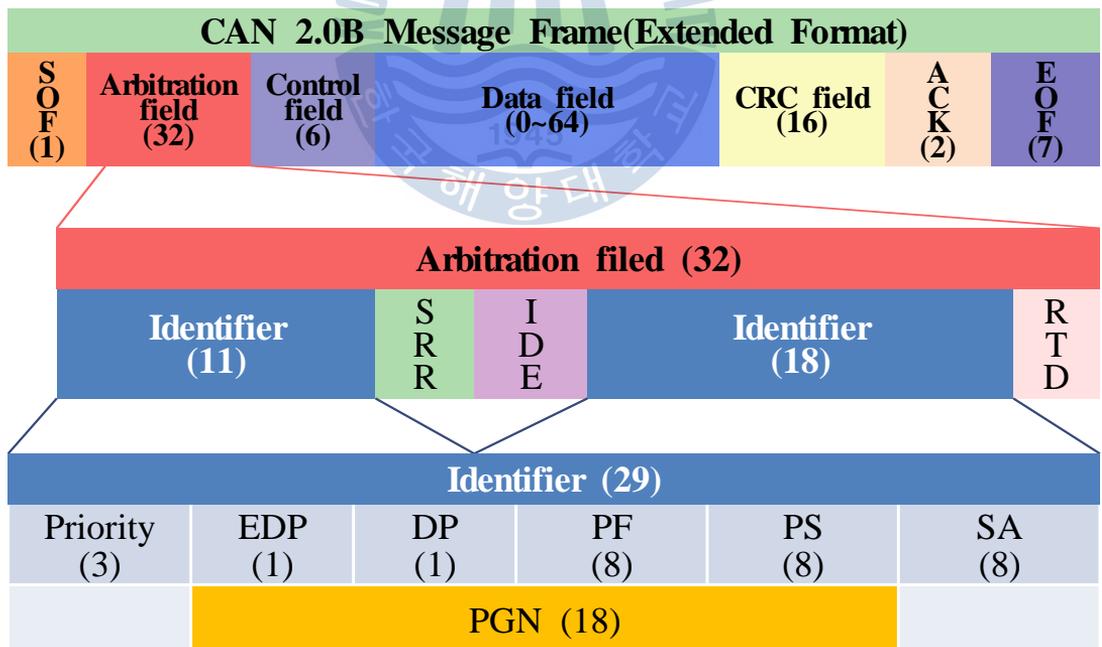


그림 2.6 CAN 메시지 프레임과 NMEA 2000 identifier의 구성도  
Figure 2.6 The diagram of CAN message frame and NMEA 2000 identifier

특정 주소로 직접 데이터를 사용하기 위해 사용할 수 있다. 이를 통해 네트워크에서 발생하는 여러 정보들을 교환하고 장비간의 요구, 요청 및 응답 등에 사용된다[11].

PGN은 PS의 값에 따라 PDU1과 PDU2의 포맷으로 나뉘는데 PS가 특정 목적지 주소(Destination Address)가 있다면 PDU1로 정의되고 PS가 특정 목적지 주소가 없다면 PDU2로 정의된다. 이 PDU2는 확장 그룹(Group Extension)으로 사용자가 PGN을 정의해 사용할 수 있다. 목적지 주소가 정의된 PDU1은 0부터 239까지 240개를 쓸 수 있고 NMEA 2000에서는 EDP는 0을, DP는 0과 1을 사용할 수 있으므로 총 480개를 사용할 수 있다. 반대로 PDU는 240에서 255까지 16개에 대해 0부터 255까지의 256개 값을 설정할 수 있으므로 4,096개를 사용할 수 있으며 두 가지 페이지 값을 설정할 수 있으므로 총 8,192개의 값을 설정할 수 있다. 따라서 두 경우를 합친 8,672개의 값으로 PGN이 정의할 수 있다. 표 2.3은 사용 가능한 PGN의 수를 표로 나타낸 것이다.

표 2.3 사용 가능한 PGN의 수  
Table 2.3 The number of available PGN

PDU Format	29bits Identifier						PGN Available Number
	Priority 3bits	EDP 1bit	DP 1bit	PF 8bits	PS 8bits	SA 8bits	
PDU1	0-7	0	0	0-239	DA 0-255	SA 0-255	240
			1	0-239	DA 0-255	SA 0-255	240
PDU2	0-7	0	0	240-255	GE 0-255	SA 0-255	16x256 =4096
			1	240-255	GE 0-255	SA 0-255	16x256 =4096

## 제 3 장 시스템 설계 및 구현

### 3.1 개발 보드 설정 및 구성

Xilinx사의 Vertex4LX25기반의 ML401 개발보드를 통해 전체 시스템을 구성하였다. 별도의 VHDL 코드 조작 없이도 하드웨어의 논리 구성 및 물리 구성이 가능한 XPS(Xilinx Platform Studio)를 이용해 주요 하드웨어 부를 구성하였다. 메모리와 논리요소를 컨트롤하는 소프트웨어 코어인 MicroBlaze를 중심으로 통신 IP(Intellectual Property)들을 개발보드에 탑재하고 데이터 송수신 및 처리를 위해 각 통신 IP와 MicroBlaze를 PLB(Processor Local Bus)로 연결하였다[12-14]. 표 3.1은 ML401 개발보드의 사양을 나타낸다.

표 3.1 ML401 개발보드 사양

Table 3.1 Specification of ML401 evaluation board

<b>Main chip</b>	XC4VLX25-FF668-10C
<b>System clock</b>	100MHz (2 Clock Sockets)
<b>Memory</b>	64 MB DDR SDRAM, 8Mb ZBT SRAM, 64 Mb Flash, 4 Kb IIC EEPROM
<b>Display</b>	16 x2 Character LCD
<b>Interfaces</b>	4 SMA Connectors (Differential Clocks), 2 PS/2 Connectors (Keyboard/Mouse), 4 Audio Jacks (Line In/Out), Microphone, Head Phone), RS-232 Serial Port, 3 USB Ports (2 Peripheral/1 Host), PC4 JTAG, DB 15 VGA

NMEA 2000 프로토콜은 CAN 통신을 사용하므로 CAN IP와 연결하고 NMEA 0183 프로토콜은 RS232 통신 기반이므로 UART IP와 연결하였다. NMEA 0183 네트워크와 NMEA 2000 네트워크로부터 수신된 데이터는 FPGA 내에서 UART, USB, Ethernet 형태로 변환되고 변환된 데이터의 확인을 PC로 내보내져야 한다. 따라서 PC와 연결될 UART, USB, Ethernet IP를 배치 FPGA 내에 배치하였다[14]. 그림 3.1은 FPGA 내에 구성된 MicroBlaze와 통신 IP들의 개략적인 연결 모습을 나타낸 것이다.

개발보드와 각 네트워크의 연결을 위해 통신 속도 설정이 필요하다. NMEA 2000 네트워크에 연결되는 CAN IP의 통신 속도는 250 Kbps로 NMEA 0183 네트워크에 연결되는 UART IP의 통신 속도를 4800 bps로 설정하였다. 개발보드와 PC의 Ethernet, UART, USB 포트로 연결한 통신 속도는 각각 100Mbps, 115,200bps, 480 Mbps(High-speed)로 설정하였다. 그림 3.2는 XPS를 이용해 통신 포트와 통신 속도를 설정한 모습이다.

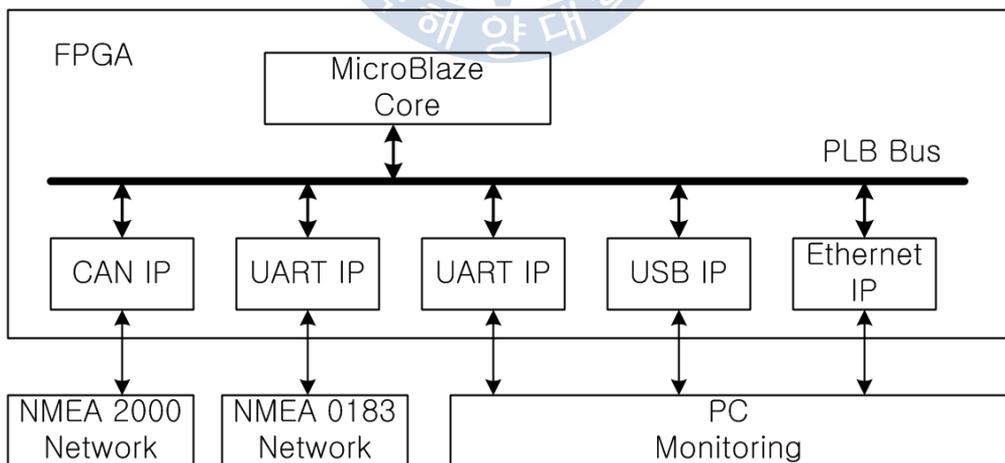


그림 3.1 구성된 FPGA와 네트워크의 개략도

Figure 3.1 The diagram of composed FPGA and network



NMEA 2000 네트워크는 CAN 통신을 기반으로 하므로 개발보드에 CAN IP와 CAN 드라이버 탑재가 필요하다. ML401 개발보드에는 별도의 CAN 드라이버가 제공되지 않으므로 CAN 드라이버인 MCP2551을 이용해 그림 3.3과 같이 NMEA 2000 네트워크에 연결할 CAN 포트를 구성하였다. CAN 드라이버 단에 종단저항으로 100Ω을 부착하였으나 실제 NMEA 2000 네트워크와 연결하여 시험할 때는 NMEA 2000 네트워크의 백본의 종단저항과 중복되므로 이를 제거하고 시험하였다.

ML401 개발보드에는 기본적으로 1개의 UART 포트가 제공되므로 이를 PC와 연결을 위해 사용하였다. NMEA 0183 네트워크와의 연결을 위해 UART 포트의 추가 구성이 필요하므로 MAX232를 장착하여 수신회로를 구성하고 DGPS의 NMEA 0183 프로토콜 데이터를 수신하도록 설정하였다.

USB의 경우 개발보드에서 제공되는 것 외에 SMSC사의 EVB-USB3300-XLX USB 도터보드(Daughter board)를 추가로 탑재하여 사용하였다. SMSC사의 도터보드는 개발보드에서 제공하지 않는 USB 직렬 통신을 위한 ULPI(UTMI Low Pin Interface)를 지원하고 있다. ULPI는 ASIC(Application Specific Integrated Circuit), SoC 구현에 있어 기성품인 고속 USB 송수신장치와 접속하기 위해 표준 인터페이스를 통합할 수 있도록 제공되는 인터페이스이다. USB 직렬 통신을 위한 표준 인터페이스가 제공되기 때문에 ULPI는 설계 개발 시간을 단축시키고 검증과 생산 시험을 단순화하며 내장형 USB 코어 로직과 고속 USB 송수신장치 사이의 상호 운용성을 보장하는 데 도움을 준다. 또한 Xilinx의 FPGA와의 호환이 가능하여 USB통신 기반의 임베디드 시스템, SoC 개발에 적합하다. 그림 3.4는 앞서 언급한 도터보드와 칩을 추가적으로 부착한 ML401 개발보드의 전체 모습을 나타낸다.

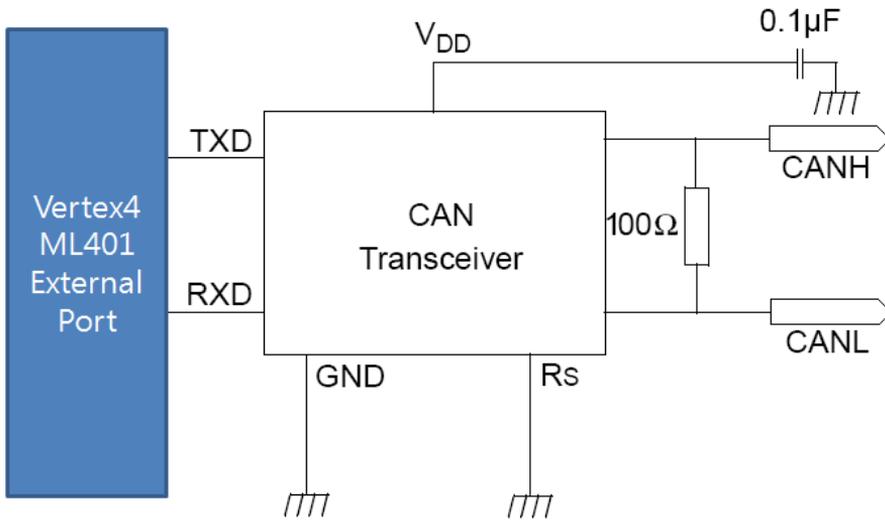


그림 3.3 ML401 개발보드에 연결된 CAN 트랜시버 회로도  
 Figure 3.3 Schematic of CAN transceiver with ML401

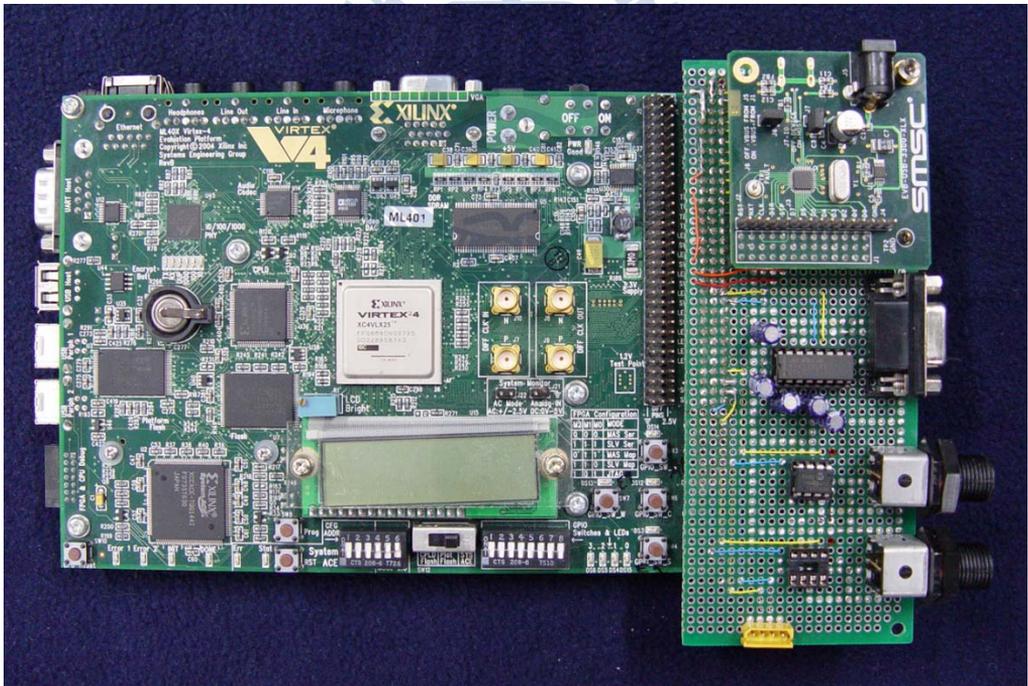


그림 3.4 추가 통신 포트가 부착된 ML401 개발보드  
 Figure 3.4 ML401 evaluation board with extra ports

표 3.1은 구성된 IP에 맞게 FPGA에서 설정한 통신 연결 핀을 나타낸다. 이 핀들을 통해 실제 통신들의 PHY와 연결되고 데이터 통신이 이루어진다.

표 3.1 통신 핀 설명

Table 3.1 Communication pin description

No.	구분	Pin 신호명	Pin 설명	비고
W2	Input	RS232_Uart_RX	RS232 RX	3.3V
W1	Output	RS232_Uart_TX	RS232 TX	3.3V
C15	Input	Ethernet_MAC_PHY_tx_clk	Ethernet tx clk	
B15	Input	Ethernet_MAC_PHY_rx_clk	Ethernet rx clk	
D5	Input	Ethernet_MAC_PHY_crs	Ethernet crs	
A9	Input	Ethernet_MAC_PHY_dv	Ethernet dv	
F1	Input	Ethernet_MAC_PHY_rx_data1	Ethernet rx data1	
E1	Input	Ethernet_MAC_PHY_rx_data2	Ethernet rx data2	
D4	Input	Ethernet_MAC_PHY_rx_data3	Ethernet rx data3	
C4	Input	Ethernet_MAC_PHY_rx_data4	Ethernet rx data4	
E3	Input	Ethernet_MAC_PHY_col	Ethernet col	
B9	Input	Ethernet_MAC_PHY_rx_er	Ethernet rx er	
D10	Output	Ethernet_MAC_PHY_rst_n	Ethernet rst n	
F4	Output	Ethernet_MAC_PHY_tx_en	Ethernet tx en	
G1	Output	Ethernet_MAC_PHY_tx_data1	Ethernet tx data1	
H3	Output	Ethernet_MAC_PHY_tx_data2	Ethernet tx data2	
H2	Output	Ethernet_MAC_PHY_tx_data3	Ethernet tx data3	
H1	Output	Ethernet_MAC_PHY_tx_data4	Ethernet tx data4	
D1	Output	Ethernet_MAC_PHY_MDC	Ethernet MDC	
G4	Input/ Output	Ethernet_MAC_PHY_MDIO	Ethernet MDIO	
H4	Input	Ethernet_MAC_PHY_INTR	Ethernet INTR	2.5V
AE14	Input	clk_1_sys_clk	sys clk(100MHz)	3.3V
D6	Input	rst_1_sys_rst	sys rst	
AA24	Input	usb2_device_0_ULPI_Reset	usb2 device Reset	3.3V
W25	Input	usb2_device_0_ULPI_Stop	usb2 device Stop	3.3V
V20	Input	usb2_device_0_ULPI_Next	usb2 device Next	3.3V
AC24	Input	usb2_device_0_ULPI_Dir	usb2 device Dir	3.3V
AC25	Input	usb2_device_0_ULPI_Clock	usb2 device Clock	3.3V
AB24	OUTPUT	usb2_device_0_ULPI_Data1	usb2 device Data1	3.3V
Y24	OUTPUT	usb2_device_0_ULPI_Data2	usb2 device Data2	3.3V
AB23	OUTPUT	usb2_device_0_ULPI_Data3	usb2 device Data3	3.3V
W26	OUTPUT	usb2_device_0_ULPI_Data4	usb2 device Data4	3.3V
Y26	OUTPUT	usb2_device_0_ULPI_Data5	usb2 device Data5	3.3V
Y25	OUTPUT	usb2_device_0_ULPI_Data6	usb2 device Data6	3.3V
AA26	OUTPUT	usb2_device_0_ULPI_Data7	usb2 device Data7	3.3V
AA23	OUTPUT	usb2_device_0_ULPI_Data8	usb2 device Data8	3.3V
AC22	Input	uartlite_0_RX	uartlite RX	3.3V
AD26	Output	uartlite_0_TX	uartlite TX	3.3V
AC23	Input	can_0_CAN_PHY_RX	CAN1 RX	3.3V
AC26	Output	can_0_CAN_PHY_TX	CAN1 TX	3.3V
V21	Input	can_1_CAN_PHY_RX	CAN2 RX	3.3V
AB22	Output	can_1_CAN_PHY_TX	CAN2 TX	3.3V

### 3.2 탱크와 엔진 PGN 설정

PGN을 통해 장비의 고유 파라미터 값을 나타낼 수 있다. 표3.2와 같이 탱크와 엔진의 상태를 나타내는 PGN 값들이 FPGA에서 발생하도록 설정하여 NMEA 2000 네트워크에서 FPGA가 하나의 장비로 인식되도록 하였다. NMEA 2000 표준에서는 각각의 장비의 특성에 맞게 일정시간에 따라 데이터가 발생되도록 규정하고 있는데 탱크는 2.5초마다, 엔진은 0.1초마다 발생하도록 정의되고 있다[11]. 본 논문에서는 개발보드에 실제 탱크와 엔진의 센서를 연결하여 데이터를 발생 하는 것이 아니므로 FPGA내에서 더미 데이터가 발생되도록 설정하였다.

표 3.2 탱크와 엔진의 PGN 정보

Table 3.2 PGN information of tank and engine

PGN No. (Information)	Update time	Parameters
127505 Fluid Level (Tank)	2.5 sec	fluid instance, fluid type(fuel, fresh water, waste water, live well, oil, black water), tank capacity
127488 Engine Parameters, Rapid Update (Engine)	0.1 sec	engine instance, engine speed, engine boost pressure, engine tilt/trim

### 3.3 NMEA 2000 데이터 변환

기본적으로 CAN, Ethernet, UART, USB IP를 FPGA에 탑재하고 각 통신에 대한 초기설정을 마쳤다. NMEA 2000 프로토콜과 다른 프로토콜과의 변환을 위해 위 통신들에 대한 각각의 작업을 스레드로 정의한 뒤 NMEA 2000 프로토콜 스택을 정의하였다. NMEA 2000 네트워크로의 접속 및 다른 장비와의 통신을 위한 SA를 확정하기 위해 NMEA 2000 네트워크 상에서 개발보드의 SA를 설정한 다음 다른 프로토콜의 수신 인터럽트가 발생할 때까지 IDLE 상태로 대기하도록 설정하였다. 이때 각 통신의 PHY에 데이터가 수신되어 인터럽트가 발생하게 되면 각 통신 프로토콜에 맞는 변환이 진행되도록 설정하였다.

NMEA 2000 데이터는 크게 선박 운항 및 항해에 관련된 값과 장비간의 요청 및 응답 등의 값으로 나눌 수 있는데 FPGA에서 두 분류의 처리과정을 틀리게 설정하였다. 선박 운항 및 항해 데이터의 경우 FPGA내에서 다른 프로토콜로 변환하여 다른 네트워크로 전송하면 되지만 요구 및 응답 데이터의 경우는 FPGA를 탱크와 엔진 정보를 발생하는 장치로 설정하였기 때문에 변환 과정 외 추가적으로 NMEA 2000 네트워크의 요청에 반응하여 응답해야 한다. 이 과정을 위해 NMEA 2000 데이터를 분석하는 함수를 FPGA 내에 두고 CAN PHY를 통해 수신된 NMEA 2000 데이터를 두 분류로 구분하여 처리하도록 하였다. 이 작업을 통해 분석이 끝난 NMEA 2000 데이터는 발생된 시간의 구분을 위해 그 데이터 패킷에 타임스탬프가 추가되도록 설정하였다. USB와 Ethernet 프로토콜로 변환하기 위해 각 통신의 헤더와 체크섬(Check sum)을 붙이고 각 통신의 PHY를 통해 PC로 전송하도록 하였다. NMEA 0183 프로토콜은 그 특성상 네트워크의 요청에

응답할 필요가 없으므로 수신만 하도록 설정하였고, FPGA의 UART PHY를 통해 수신한 데이터를 NMEA 2000 프로토콜로 변환한 후 데이터의 분석 과정과 변환 과정을 수행하여 처리되도록 하였다. 그림 3.5는 NMEA 2000 데이터가 변환되는 과정을 나타낸 것으로 각 통신의 PHY와 통신 변환과정에서 추가되는 정보를 나타낸 것이다. 그림 3.6은 FPGA 내 주요 수행문에 대해 나타낸 것으로 FPGA와 부착된 디바이스들의 초기화 후 각 작업의 스레드를 생성하고 수행한 것을 나타낸 것이다.

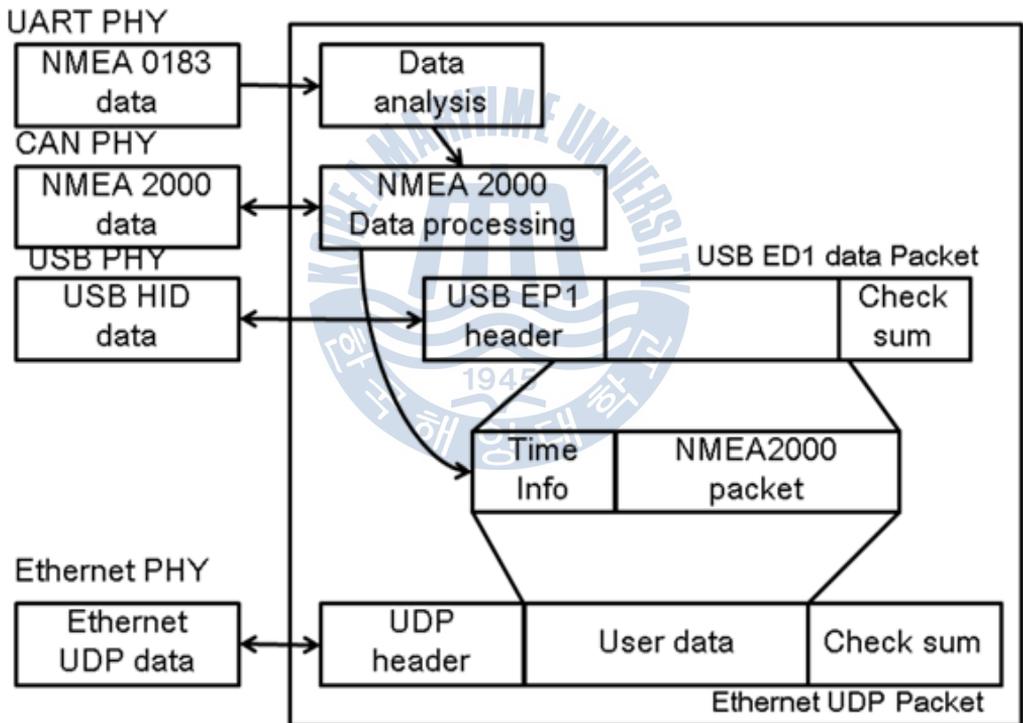


그림 3.4 수신된 메시지의 변환 과정

Figure 3.4 Converting process of received message

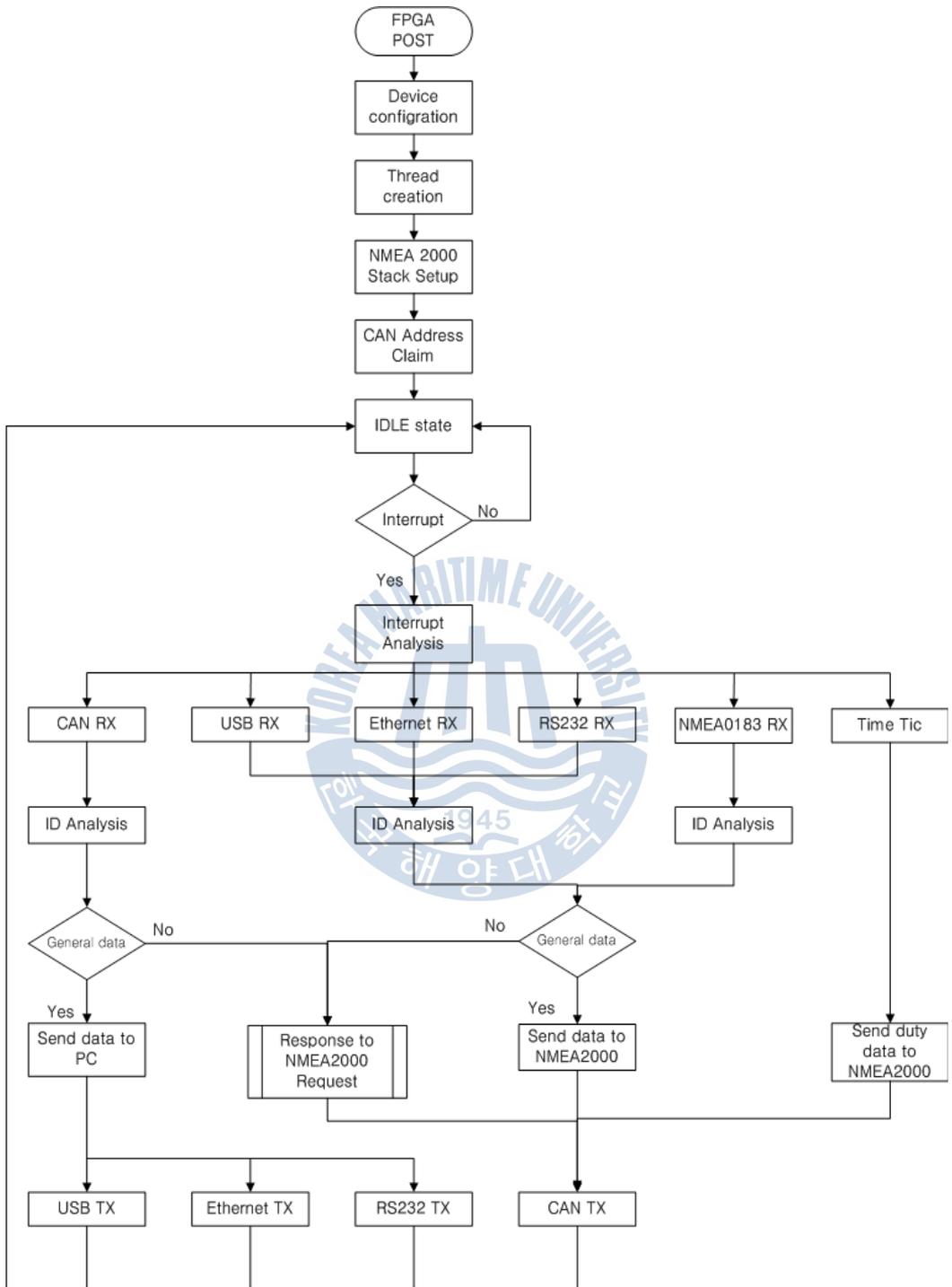


그림 3.5 시스템의 메인 알고리즘  
 Figure 3.5 Main algorithm on system

### 3.4 NMEA 2000 모니터링 프로그램 설계

변환된 NMEA 2000 데이터의 검증을 위하여 C++ 기반의 모니터링 프로그램을 개발하였다. NMEA 2000 모니터링 프로그램은 PC에 수신된 USB, Ethernet, RS232 데이터의 패킷을 분석하고 패킷 내 NMEA 2000 데이터를 추출하여 그래픽 형태로 나타낸다. 사용자가 PC에 접속되는 연결 인터페이스를 선택할 수 있도록 탭별로 다른 접속 창을 구성하고 PC에서 FPGA로 명령어를 전송할 수 있도록 각 창마다 전송 버튼을 추가 구성하였다 [15-17].

그림 3.6 USB와 Ethernet 데이터를 사용자가 설정하여 분석할 수 있는 모습이다. USB나 Ethernet을 선택할 수 있는 버튼을 구성하였고 디바이스 체크(Device Check)를 통해 접속된 장비의 정보를 나타내도록 하였고 프로그램 창 하단의 텍스트 박스를 통해 수신된 데이터가 나타내지도록 하였다. 디바이스 체크에는 Xilinx EVB로 개발보드의 정보가 표시되고 있으며 하단의 텍스트 박스에는 타임스탬프를 포함한 정보가 NMEA 2000 데이터가 표시되고 있다.

그림 3.7은 RS232 통신 속도를 설정하여 NMEA 2000 수신할 수 있도록 구성한 모습이다. 표준에 따라 CAN을 250 kbps, Extended ID Mode로 설정하도록 하였고 시리얼 포트는 115,200bps로 COM1 포트를 사용하도록 하였다.

그림 3.8은 그림 3.6이나 그림 3.7의 설정을 통해 연결된 NMEA 2000 네트워크로부터 수신되는 데이터를 나타낸 모습이다. 수신된 데이터로부터 값을 분석해 타임스탬프, ID, PGN의 정보 등을 나타낼 수 있도록 표시 하였다.

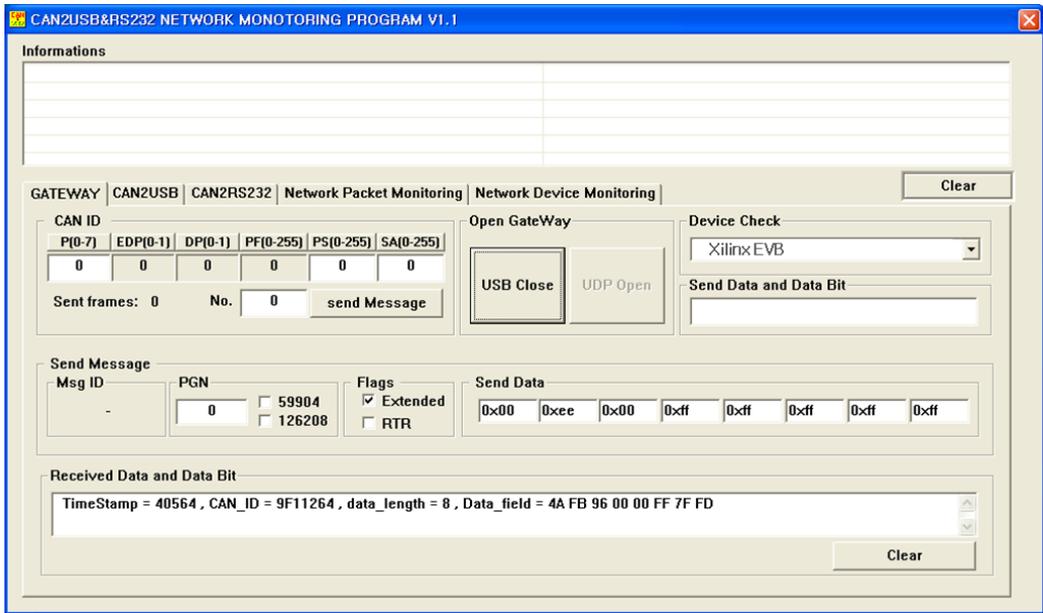


그림 3.6 USB, Ethernet 기반 NMEA 2000 모니터링 프로그램 설정 화면  
 Figure 3.6 USB, Ethernet based NMEA 2000 monitoring program setup tab

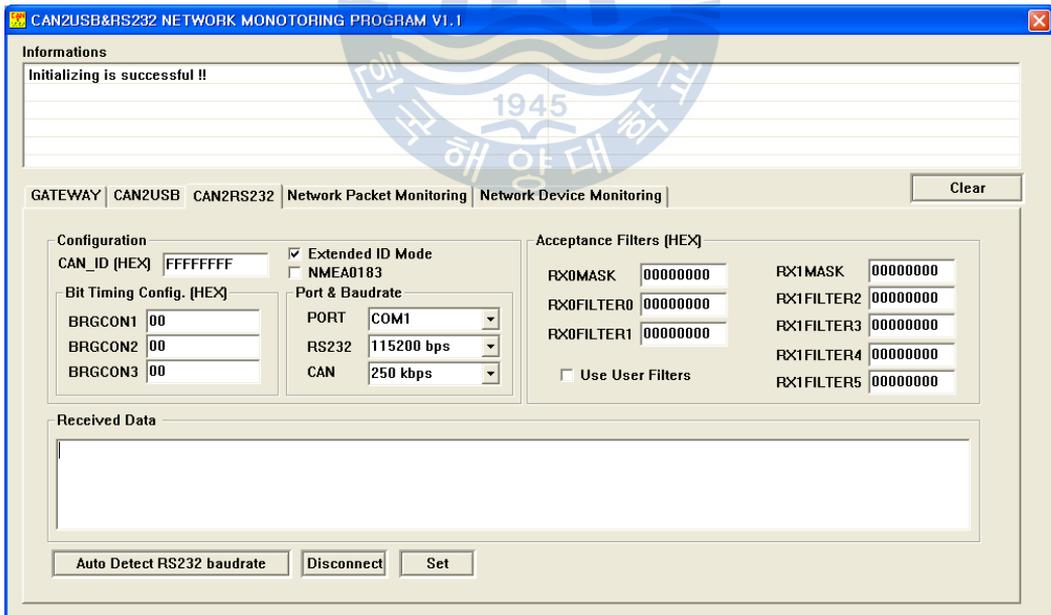


그림 3.7 RS232기반 NMEA 2000 모니터링 프로그램 설정 화면  
 Figure 3.7 RS232 based NMEA 2000 monitoring program setup tab

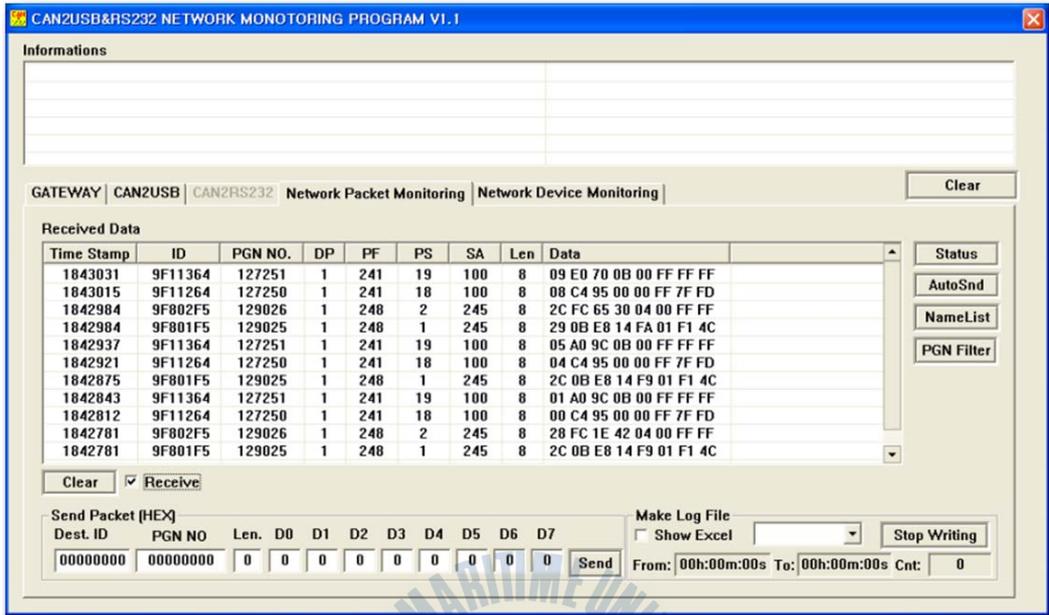
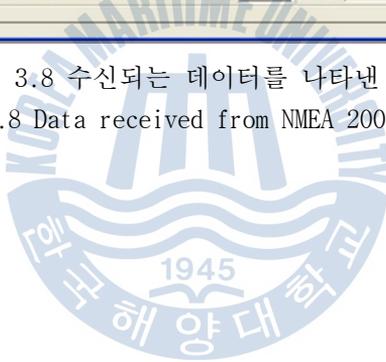


그림 3.8 수신되는 데이터를 나타낸 모습  
 Figure 3.8 Data received from NMEA 2000 network



## 제 4 장 실험 및 검증

### 4.1 NMEA 2000 네트워크 구성

FPGA에서 변환된 데이터와 생성된 데이터의 검증을 위해 그림4.1과 같이 NMEA 2000 네트워크를 구성하였다. NMEA 2000 네트워크 백본에 이미 상용화 제품인 GPS, 수심/수온/속도 측정기, 풍향풍속계 장착하였다. FPGA의 CAN 포트를 통해 NMEA 2000에 연결하고 UART 포트를 통해 NMEA 0183에 연결한다. 그 외 별도로 추가시켰던 USB, Ethernet, UART 포트를 통해 PC에 연결하고 PC의 모니터링 프로그램을 통해 네트워크의 연결 여부 및 데이터 수신 상태를 점검하였다.

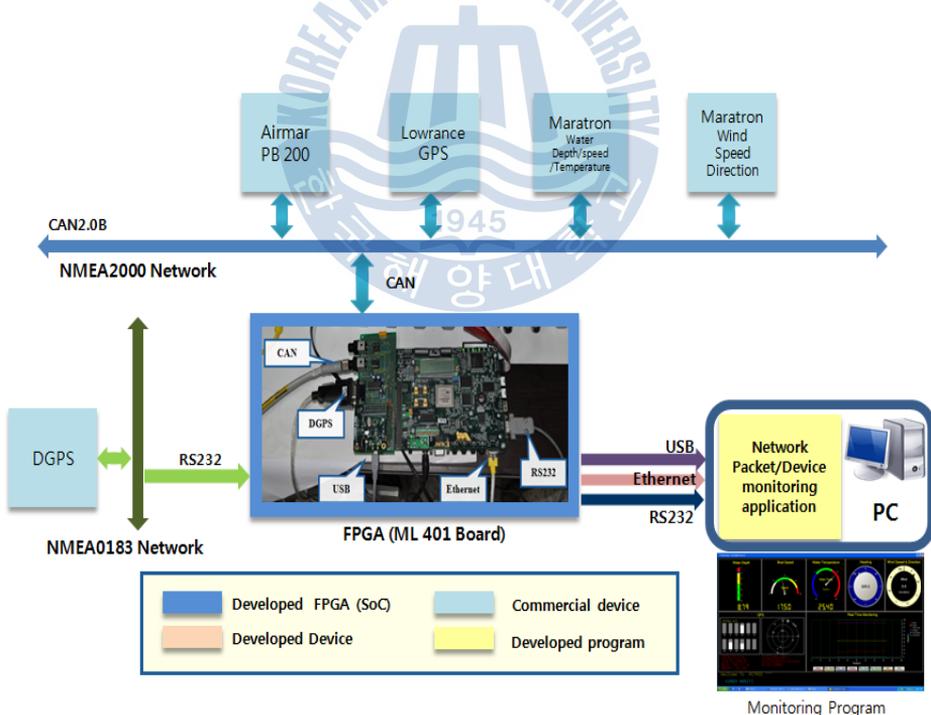


그림 4.1 검증을 위해 구성된 네트워크 개념도

Figure 4.1 Network diagram for verification

## 4.2 통신연결 확인

개발보드에서 PC로 연결된 USB, Ethernet, UART 포트와의 연결을 확인하기 위해 USB와 Ethernet의 경우 USB trace, Ethernet trace 프로그램을 사용하여 확인하고 UART의 경우 하이퍼 터미널을 사용하여 확인하였다. 그림 4.2는 개발보드와 PC의 USB 연결 후 USB trace에 USB 데이터들이 수신되는 모습과 PC 장치관리자를 나타낸 것이다. Trace 프로그램에서 개발보드가 PC와의 통신 후 HID(Human Interface Device) 값으로 5를 보낸 것을 확인함으로써 USB 접속 여부를 확인하였다. 프로그램 창의 오른쪽 하단에 실제 NMEA 2000 데이터가 수신되고 있음을 나타내고 있다. 그림 4.2의 왼쪽 하단에는 장치관리자의 정보를 나타낸 것으로 개발보드가 USB 휴먼 인터페이스 장치로 등록되어 FPGA2라는 개발보드의 위치 정보가 PC에서 인지되고 있음을 나타낸다.

그림 4.3은 개발보드가 PC의 LAN 포트에 연결되어 송수신되는 Ethernet 데이터를 trace 프로그램을 통해 나타내고 있는 모습과 개발보드와의 PC의 핑(Ping) 테스트 화면이다. PC는 10.10.70.100 설정하였고 개발보드는 10.10.70.101로 설정하였다. 송수신을 위해 1001 포트를 사용하는 것으로 설정하고 핑 테스트를 통해 기본적인 Ethernet 접속을 확인하였다. Trace 프로그램을 통해 보드에서 PC로 전송되어 오고 있는 데이터의 정보를 확인해 보았다.

그림 4.4는 개발보드와 PC의 시리얼포트에 연결되어 송수신되는 RS232 데이터를 보여주는 하이퍼 터미널 화면이다. 개발보드에서 변환된 데이터를 PC로 보내주고 PC에서 이를 분석해 송수신되는 NMEA 2000 프로토콜을 나타내었다.

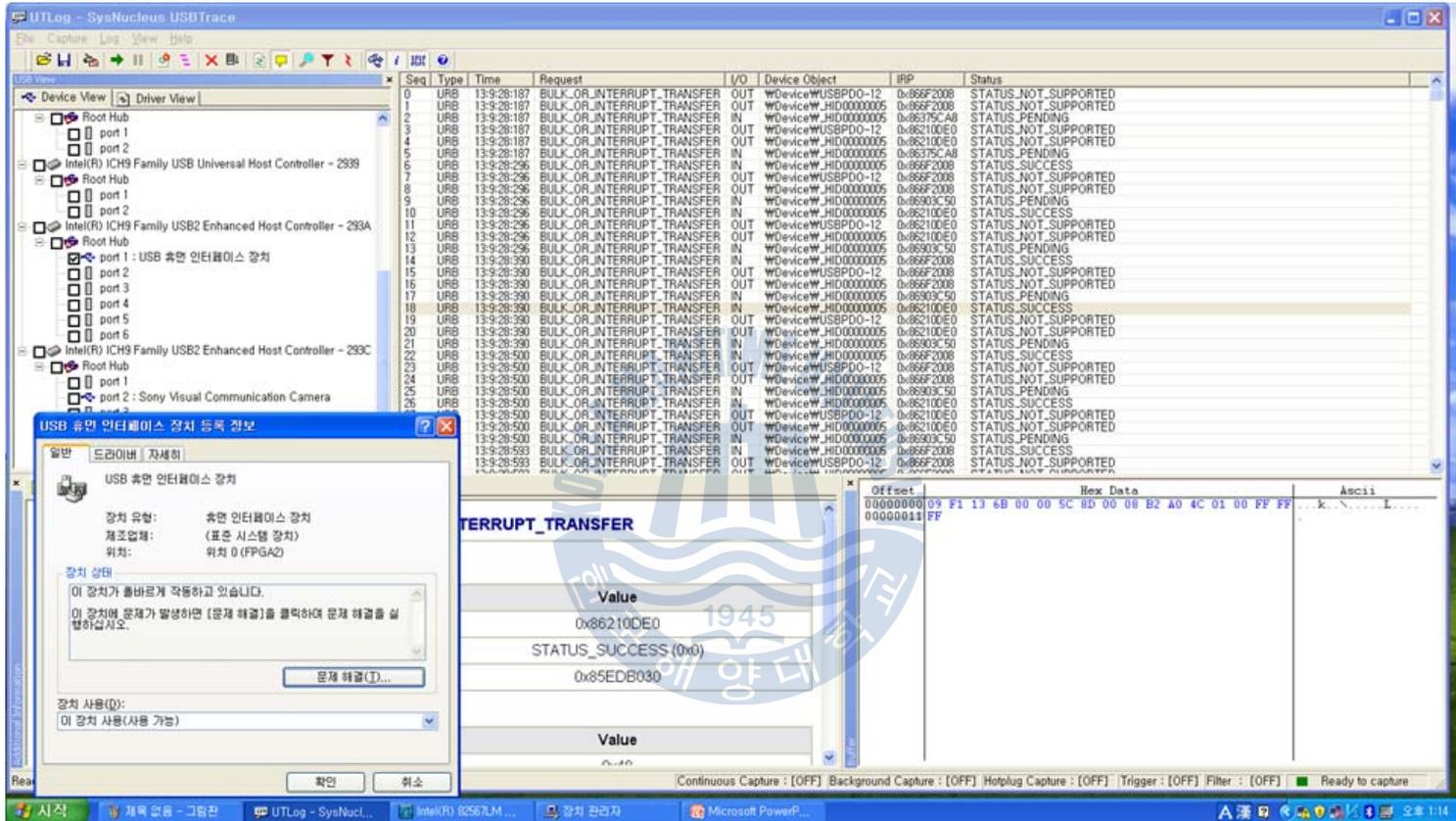


그림 4.2 USB로 연결한 모습  
 Figure 4.2 USB connection on PC

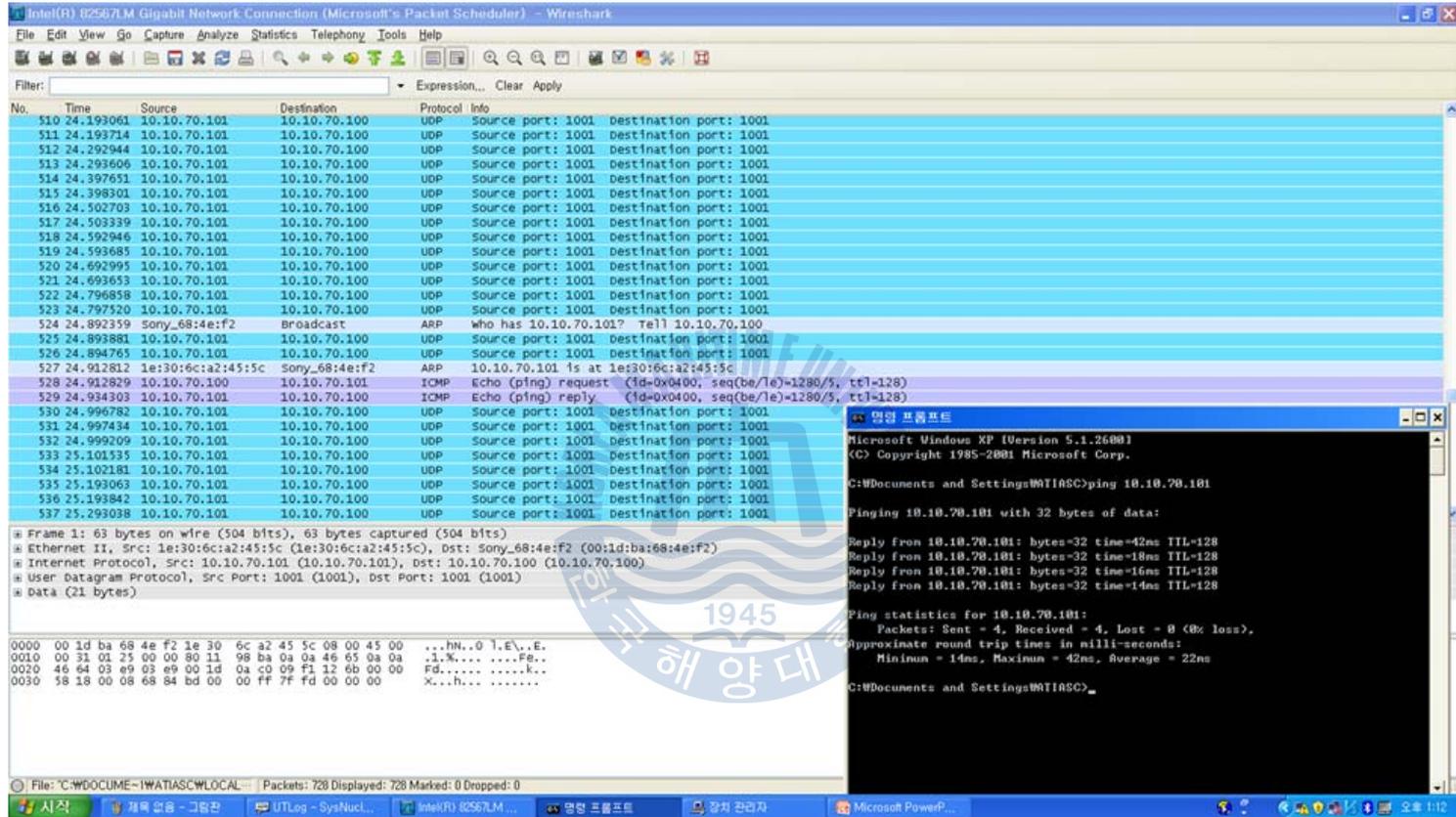


그림 4.3 Ethernet으로 연결한 모습  
 Figure 4.3 Ethernet connection on PC

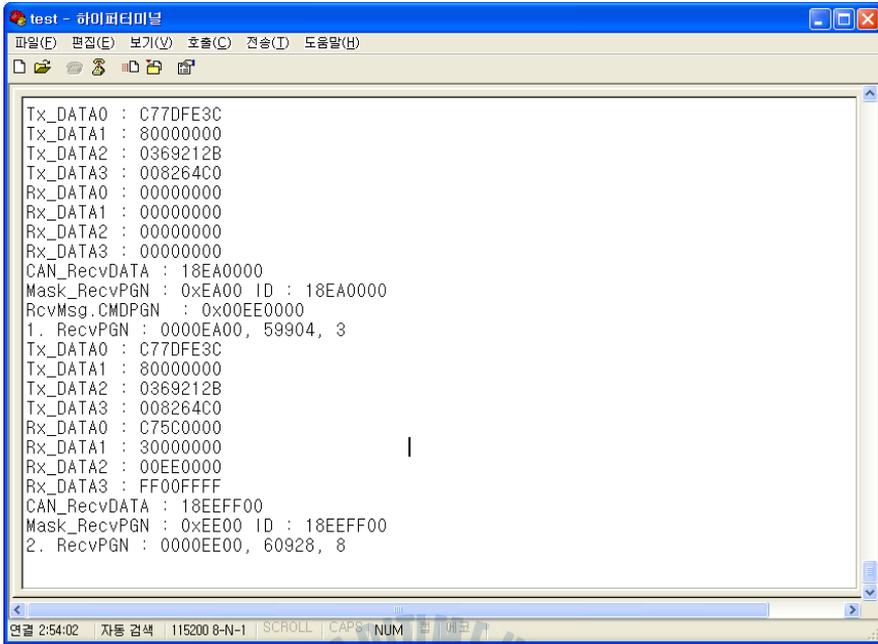


그림 4.4 시리얼로 연결한 모습  
 Figure 4.4 Serial connection on PC

### 4.3 변환된 데이터의 검증

그림 4.5는 모니터링 프로그램으로 네트워크에 연결된 장비들에서 발생하는 NMEA 2000 프로토콜 데이터를 그래픽 형태로 나타낸 것이다. 이 프로그램을 통해 FPGA에서 발생한 탱크 데이터와 엔진 데이터뿐만 아니라 NMEA 2000 네트워크에 연결된 장치들의 정보를 그래픽 형태로 확인할 수 있다. 그림 4.5의 상단 창은 FPGA에서 발생한 탱크와 엔진 터미 데이터가 변환 과정 후 자신의 고유 값을 나타내고 있으며, 하단 창에는 FPGA에서 발생한 정보 외 NMEA 2000 네트워크에 물려 있는 GPS와 풍향풍속계 등의 장비들의 데이터 값이 나타내지고 있다. 하단분의 팝업창은 NMEA 0183 기반의 DGPS 값이 변환되어 PC의 모니터링 프로그램을 통해 그 값을 확인할 수 있도록 나타낸 것이다.

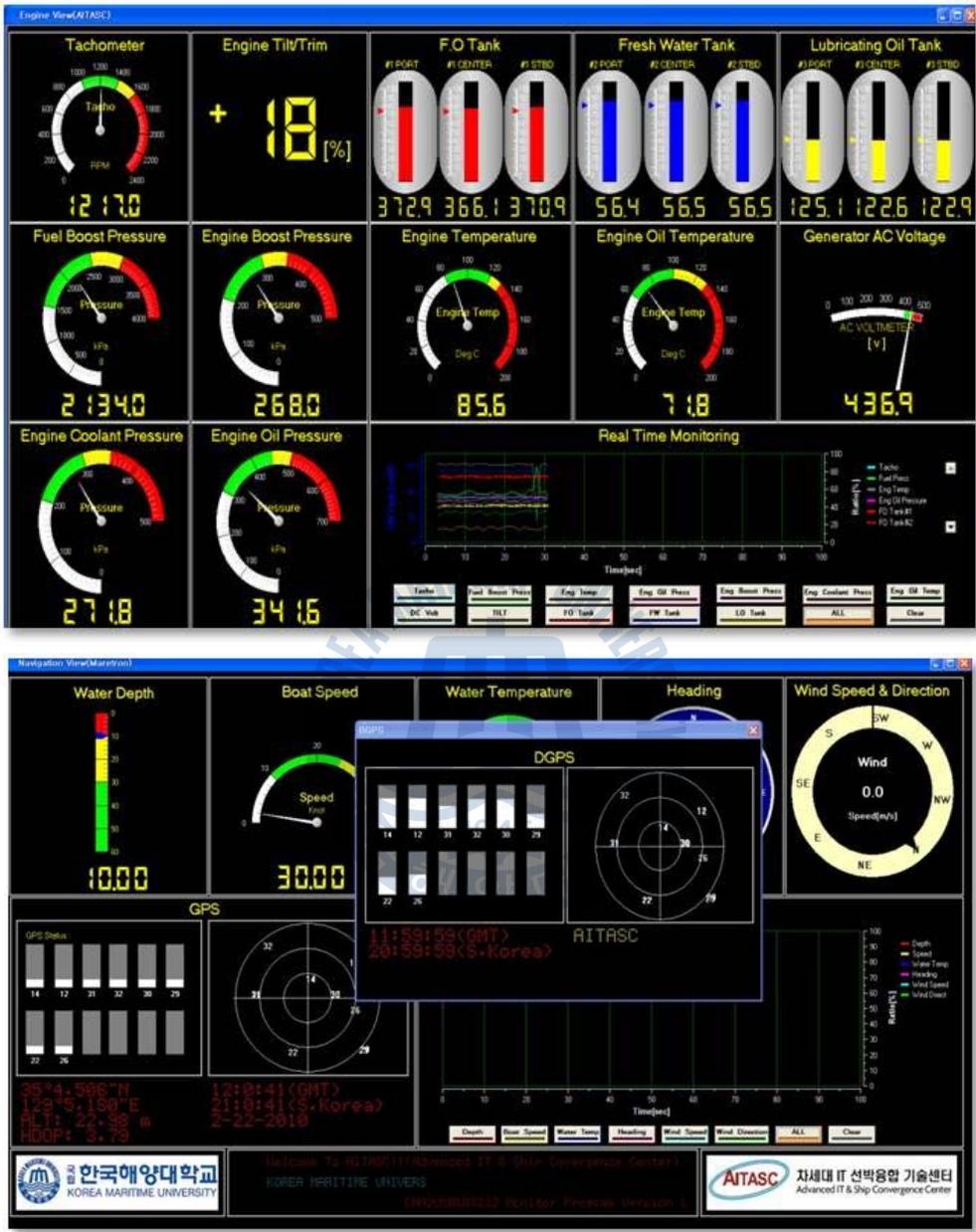


그림 4.5 데이터의 값을 나타내는 NMEA 2000 모니터링 프로그램 모습  
 Figure 4.5 Network data display through NMEA 2000 monitoring program

NMEA 2000 네트워크에 연결된 장비들의 정보를 확인하기 위해 요청 PGN인 PGN 59904를 활용하여 실험하였다. PGN 59904는 NAME 필드에 PGN 60928, PGN 126464, PGN 12996, PGN 126998을 포함할 수 있으며 PGN 59904를 수신한 장비는 NAME 필드에 포함된 PGN으로써 응답하여야 한다. 그림 4.6은 PGN 59904를 NMEA 2000 네트워크로 전송하는 모습으로 PGN 59904의 NAME 필드에 PGN 60928가 포함되어 있기 때문에 수신한 네트워크 장비는 제품정보가 포함되어 있는 PGN 60928로써 NMEA 2000 네트워크에 응답하여야 한다. 그림 4.7은 수신한 PGN 60928을 분석하여 NAME 필드내의 산업 그룹, 장치 구분 인스턴스, 장치 구분, 평선, 평선 인스턴스, 장치 인스턴스, 제조자 코드, 유일한 ID 번호를 나타낸 것으로써 현재 NMEA 2000 네트워크에 연결되어 있는 장비들의 정보를 확인할 수 있도록 하였다. 그림 4.7에 별도로 표시된 박스는 탱크와 엔진 더미 데이터를 발생하도록 설정하였던 FPGA를 표시한 것으로써 FPGA가 NMEA 2000 네트워크에서 생산자 코드가 345, 분류코드가 50, 평선 코드가 130으로 인식되고 있음을 나타내고 있다.

표 4.1은 NMEA 협회에 등록된 제조자 코드를 나타내며 한국해양대학교의 고유 번호가 345임을 확인 할 수 있다. 이를 토대로 NMEA 2000 모니터링 프로그램을 통해 FPGA가 NMEA 2000 네트워크에서 생산자 코드 345로 생산자코드가 제대로 인식되고 있음을 확인하였다. 분류 코드는 50으로 앞서 2장에서 설명한바와 같이 FPGA가 추진 시스템임을 확인 할 수 있다[10,18]. FPGA의 평선 코드는 130으로써 엔진 모니터링 기반의 장비임을 보여주고 있다. PC모니터링 프로그램을 통해 NMEA 2000 네트워크에 접속되어 엔진과 탱크의 데이터를 정기적으로 발생하는 장비로써 인식되고 있음을 확인하였고 NMEA 2000 데이터가 USB, UART, Ethernet의 다른 데이터로 변환이 되고 있음을 확인하였다.

표 4.1 NMEA에 등록된 회사 코드 번호

Table 4.1 Company registration number on NMEA

Company	Registration No.	Company	Registration No.
AB Volvo/Volvo Penta	174	Lowrance Electronics	140
Actia Corporation	199	Maretron	137
Actisense	273	Mas Technologies	-
Aetna Engineering/Fireboy-Xintex	215	Mastervolt	355
Aimar	135	Mercury Marine	144
B&G	381	MMP	1860
Beede Electrical	185	Moritz Aerospace	176
BEP	295	Mystic Valley Communications	198
Blue Water Data	148	Nautibus electronic GmbH	147
Bombardier	163	Navico	275
C*Pac System AB	165	Navionics	1852
Ceolmo SRL Italy	286	Nobeltec	193
Dief	329	Northem Lights	374
Disenos Y Tecnologia	201	Northstar Technologies	1854
DNA Group, Inc.	211	Novatel	-
Electronic Design	373	Offshore Systems UK	161
EMMI Network	224	Qwerty	328
eRide	243	Raymarine, Inc.	1851
Evinrude/BRP	163	Rolls Royce Marine	370
Faria Instruments	1863	Sea Recovery	285
Floscan Instrument Co., Inc.	192	SailorMade Marin Telemetry/ Tetra Technology Ltd.	235
Fruno USA	1855	Sanshin Industries/ Yamaha Marine	1862
FW Murphy	78	Simrad	1857
Gamin	229	Sleipner Motor AS	306
Groco	272	Teleflex	1850
Hamilton Jet	283	Thrane and Thrane	351
Hemisphere GPS/ Santloc Precision	88	Trimble	1856
Honda Motor	257	Vector Cantech	1861
ICOM	315	Victron	358
Japan Radio Co	1853	Westerbeke Corp.	154
Kvasar AB	1859	Xantrex Technology	168
Kohler Power Systems	85	Yacht Monitoring Solutions	233
Korea Maritime University	345	Yanmar/Yanmar Diesel	172
LITTON	1858	ZF Marine Electronics	228

GATEWAY | CAN2USB | CAN2RS232 | Network Packet Monitoring

CAN ID

P(0-7)	EDP(0-1)	DP(0-1)	PF(0-255)	PS(0-255)	SA(0-255)
6	0	0	234	255	0

Sent frames: 0      No. 1     

---

Send Message

Msg ID: 0xEA0000

PGN:      59904     126208

Flags:  Extended     RTR

그림 4.6 PGN 59904를 전송하는 모습  
 Figure 4.6 PGN 59904 transmission

CAN2USB&RS232 NETWORK MONITORING PROGRAM V1.1

Informations

GATEWAY | CAN2USB | CAN2RS232 | Network Packet Monitoring | Network Device Monitoring

Manufacturer	Code	Device Class	Code	Function	Code	SA	Ident	Time	ON_OFF
Maretron	137	Instrumentation...	80	Weather Instru...	180	131	1201021	2009/10/18/21/12/53	ON
Lowrance Electr...	140	Navigation sys...	60	Electronic Cha...	205	3	1355049	2009/10/18/21/12/53	OFF
Lowrance Electr...	140	Instrumentation...	80	General Senso...	170	48	1446532	2009/10/18/21/12/53	ON
Lowrance Electr...	140	Navigation sys...	60	Speed Sensora...	155	1	1130253	2009/10/18/21/12/53	ON
AITASC	345	Propulsion sys...	50	Engine room m...	130	30	92419	2009/10/18/21/12/53	ON
Lowrance Electr...	140	Instrumentation...	80	General Senso...	170	0	1143073	2009/10/18/21/12/53	ON

Check2     DUPLICATED ALLOW   

그림 4.7 장치 인식에 성공한 FPGA 모습  
 Figure 4.7 FPGA recognition on network

## 제 5 장 결 론

본 논문에서는 MicroBlaze를 중심으로 다양한 통신 IP를 XPS를 이용해 FPGA 보드 상에 탑재하였고 PC와의 연결을 위해 추가적인 장치들을 구성하였다. NMEA 2000 표준을 준수하기 위해 NMEA 2000 스택을 FPGA에 탑재하였고 NMEA 2000 프로토콜을 USB, RS232, Ethernet로 변환하기 위한 알고리즘을 SoC 형태로 구현 하였다. NMEA 2000 장비로서의 호환성과 성능 검증을 위하여 상용 제품을 이용해 NMEA 2000 네트워크를 구축하였고 발생한 데이터와 변환된 데이터들을 확인하기 위해 PC 기반의 모니터링 프로그램을 제작하였다. PC와 개발보드의 연결 여부를 trace 프로그램과 하이퍼터미널을 통해 확인하였고 제작한 PC 기반의 모니터링 프로그램을 통해 FPGA가 NMEA 2000 네트워크에서 하나의 NMEA 2000 장비로써 인식되고 있음을 확인하였다. FPGA에서 발생한 데이터, NMEA 2000 네트워크에서 변환된 데이터를 GUI 형태로 모니터링 프로그램에 나타내고 송수신 상태를 확인하였다.

향후 본 논문에서 구현한 FPGA를 이용해 자이로 컴퍼스, 온도, 습도, GPS 등의 센서를 추가로 탑재하여 여러 환경변수를 측정할 수 있으며 다양한 프로토콜로 적용하여 변환할 수 있는 NMEA 2000 기반의 통합 센서 개발하고 이러한 기능을 수행 할 수 있는 SoC를 설계할 예정이다. 또한 소형선박에만 적용중인 NMEA 2000을 대형선박에 적용하기 위해 실제 선박과 같은 환경에서 본 시스템을 실험하고 보완점을 찾아나가야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] IMO, Maritime Safety committee 78th, Bride design, *equipment and arrangement submitted by the international association of classification societies (IACS)*, 2004.
- [2] 유영호, “차세대IT선박 기술분석과 전망” , 전자공학회지, vol. 35, no. 2, pp. 19-29, 2008.
- [3] NAV 54차 회의에 따른 새로운 IT조선기자재 동향 및 IT Find 주간기술동향, 정보통신연구진흥원, Vol. 1368, pp. 29-38, 2008.
- [4] 선박전자장치간 직렬데이터 네트워킹 규격(NMEA2000) 기술보고서, TTA 단체표준작성, TTAR-11.0012, 2009.
- [5] 유영호, “해양환경변화와 시스템 반도체 활용전망” , IT SoC Magazine, vol. 27, pp. 32-39, 2008.
- [6] NMEA와 NMEA 2000통신프로토콜 표준화 동향, TTA Journal, 기술해설, no. 126, pp52-57, 2009.
- [7] [http://www.lowrance.com/Products/Marine/LowranceNET-Marine-Net working-System](http://www.lowrance.com/Products/Marine/LowranceNET-Marine-Net-working-System), 2010.
- [8] <http://www.maretron.com/products.php>, 2010.
- [9] NMEA, Standard for Serial-Data Net-working of Marine Electronic Device, ver1.20, 2004.
- [10] ISO11898-1, Controller Area Network (CAN) - Data link layer and physical signaling, 2006.
- [11] NMEA, Appendix B.1-PGN Table, ver1.210, 2006.
- [12] 박동현, 허진영, 김종현, 유영호, 심진보, 신옥근, “FPGA를 이용

- 한 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 NMEA2000 for e-navigation” , *International Symposium on Marine Engineering (ISME)*, 2009.
- [16] 이창의, 김달용, 유영호, 신옥근, “NMEA2000을 이용한 임베디드 선박 모니터링 시스템의 개발” , 한국마린엔지니어링학회지, vol. 33, no. 5, pp. 746-755, 2009.
- [17] 김경엽, 박동현, 심진보, 유영호, “2010 A Study of Marine Network NMEA2000 for e-Navigation” , 한국마린엔지니어링학회지, vol. 34, no. 1, pp. 133-140, 2010.
- [18] <http://www.nmea.org/Assets/20100813%20nmea%202000%20registration%20numbers.pdf>, 2010.

## 감사의 글

본 논문이 완성되기까지 부족한 제자를 헌신적인 지도와 사랑으로 이끌어 주신 유영호 지도 교수님께 진심으로 감사드립니다. 바쁘신 와중에도 자상한 관심과 열의로 세밀한 검토를 해주신 진강규 교수님과 조석제 교수님께 감사드립니다. 항상 관심 있게 지켜봐 주신 김종화 교수님, 하운수 교수님, 황승욱 교수님 학부의 모든 교수님께 감사드립니다.

제어시스템 연구실에 소속되어 함께 동고동락하며 많은 도움을 주신 김종현 사장님, 김경엽 선배님, 후배 김경빈, 김한나, 강현석에게 감사의 마음을 전합니다. 저의 논문을 도와준 홍석근 선배님과 각 연구실의 선후배 그리고 제어계측공학과 강근호 선배님, 김경언 선배님께 감사의 마음을 전합니다.

옆에서 물심양면으로 도와주고 격려와 사랑을 아끼지 않은 친동생 윤미와 동료 홍지태에게 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 오늘의 제가 있기까지 항상 저를 믿어주시고 사랑해주셨던 아버님, 어머님께 이 논문을 바칩니다.