creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리 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.

- 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

dCollection

[UCI]I804:24011-200000276402

2014년 8월

박사학위논문

플랜트 통신 시스템을 위한 필드버스 네트워킹 기반의 게이트웨이 설계 연구

A Study of Design of Gateway for Plant Network System Based on Field Bus Networking

조선대학교 대학원

정보통신공학과

한 경 헌

플랜트 통신 시스템을 위한 필드버스 네트워킹 기반의 게이트웨이 설계 연구

A Study of Design of Gateway for Plant Network System Based on Field Bus Networking

2014년 8월 25일

조선대학교 대학원

정보통신공학과

한 경 헌

Collection @ chosun

플랜트 통신 시스템을 위한 필드버스 네트워킹 기반의 게이트웨이 설계 연구

지도교수 한 승 조

이 논문을 공학박사학위신청 논문으로 제출함

2014년 4월

조선대학교 대학원

정보통신공학과

한 경 헌

dCollection @ chosun

한경헌의 박사학위논문을 인준함

위원장	조선대학교	교 수	변 재 영 印
위 원	순천대학교	교 수	김 응 곤 印
위 원	조선대학교	교 수	권 구 락 印
위 원	조선대학교	교 수	김 영 식 印
위 원	조선대학교	교 수	한 승 조 印

2014년 5월

조선대학교 대학원

Collection @ chosun

목 차

ABSTRACT ····· ix

제 1 장 서 론 ····· 1

제 2 장 필드 버스 ····· 3

제 1 절 필드 버스 ····· 3

1. 필드 버스 개요 ····· 3

2. 필드 버스 통신 유형 ····· 8

제 2 절 필드 버스 기반 플랜트 통신 시스템 ····· 16

1. 구성 요소 ····· 16

2. 요구 특징 ····· 17

제 3 장 필드 버스 기반 플랜트 통신 시스템 설계 · 19

제 1 절 플랜트 통신 프로토콜 설계 ····· 19

1. 통신 프로토콜 방식 선정 ····· 21

2. 통신 프로토콜 정의 ····· 23

제 2 절 플랜트용 게이트웨이 설계 ····· 26

1. CAN 게이트웨이 설계 ····· 27

2. 이기종 호환용 게이트웨이 설계 ····· 43

제 3 절 게이트웨이 정보 수집용 스위치 설계 ····· 66

dCollection @ chosun

제 4 장 결과 및 고찰 ····· 72
제 1 절 통신 성능 테스트 ····· 72
1. CAN 통신 성능 테스트 ····· 72
2. 이더넷 통신 성능 테스트 ····· 94
제 2 절 성능 결과 종합 비교 분석 ····· 101

제 5 장 결 론 ····· 104

참 고 문 헌 ····· 106

dCollection @ chosun

표 차 례

표 3.1 제안하는 통신 프로토콜 주요 기능 ····· 24
표 3.2 간이 테스트 베드 구성 요소 ····· 36
표 3.3 ARM STM32F107과 407의 비교 ····· 37
표 3.4 XBee Pro 모듈 스펙 ····· 44
표 3.5 WiFi 모듈의 주요 스펙 ····· 46
표 3.6 UART Signals ····· 48
표 3.7 Duty Cycle ····· 59
표 3.8 New Duty Cycle ····· 63
표 4.1 평가 결과 ····· 87
표 4.2 송신 메시지의 ID와 DLC ····· 89
표 4.3 최초 전송 시간 측정 결과 ····· 91
표 4.4 전송 주기 측정 결과 ····· 92
표 4.5 각 메시지에 대한 Data Byte의 Value 측정 결과 ····· 93
표 4.6 시험장비의 주요 스펙 ····· 95
표 4.7 LAN Throughput 시험 환경 ····· 96
표 4.8 LAN Throughput 시험 결과 ····· 97
표 4.9 Cut Throughput Latency 시험 환경 ····· 98
표 4.10 Cut Throughput Latency 시험 결과 ····· 98
표 4.11 Store and Forward Latency 시험 결과 ····· 100
표 4.12 CAN 게이트웨이 성능 시험 결과 ····· 101

Collection @ chosun

그 림 차 례

그림 2.1 필드버스 개요도 ····· 3
그림 2.2 OSI 모델과 필드버스 모델의 대응관계 ····· 5
그림 2.3 CAN 통신 개요도 ····· 12
그림 2.4 CAN 통신 호환성 ····· 13
그림 2.5 CAN 2.0A 데이터 통신 프레임 ····· 15
그림 2.6 CAN 2.0B 데이터 통신 프레임 ····· 15
그림 2.7 플랜트 탱크에 장착되는 센서 종류 ····· 16
그림 2.8 백본망 지원이 가능한 필드 버스 네트워크 ····· 17
그림 2.9 게이트웨이 요구 특징 ····· 18
그림 2.10 요구되는 이기종 인터페이스 종류 ····· 18
그림 3.1 제안하는 플랜트 통신 시스템 개요도 ····· 20
그림 3.2 통신 성능 비교 시뮬레이션 환경 ····· 21
그림 3.3 성능 비교 시험 결과 ····· 22
그림 3.4 제안하는 통신 프로토콜 개요도 ····· 23
그림 3.5 제안하는 통신 프로토콜 예시 ····· 25
그림 3.6 플랜트용 게이트웨이 종류 및 개요도 ····· 26
그림 3.7 ARM STM32F107 블록 다이어그램 ····· 27
그림 3.8 CAN 게이트웨이 MCU 부분 회로도 ····· 28
그림 3.9 CAN 통신 부분 회로도 ····· 29
그림 3.10 RS-232 통신 부분 회로도 ····· 30
그림 3.11 USB 통신 부분 ····· 30

dCollection @ chosun

그림 3.12 이더넷 통신 부분 ····· 31
그림 3.13 전원부 회로도 ····· 32
그림 3.14 디버깅 툴 연결부 ····· 32
그림 3.15 ARM STM32F107 기반 CAN 게이트웨이 회로도 ····· 33
그림 3.16 ARM STM32F107 기반 CAN 게이트웨이 PCB ····· 34
그림 3.17 ARM STM32F107 기반 CAN 게이트웨이 시제품 ····· 34
그림 3.18 테스트용 센서 CAN 통신 모듈 ····· 35
그림 3.19 ARM STM32F107기반 CAN 게이트웨이 간이 테스트 베드 35
그림 3.20 STM32F407과 STM32F107과의 차이점 ····· 37
그림 3.21 ARM STM32F407 게이트웨이 듀얼 MCU 부분 ····· 38
그림 3.22 듀얼 MCU 부분 블록도 ····· 39
그림 3.23 듀얼 MCU 부분 동작 흐름도 ····· 40
그림 3.24 ARM STM32F407 기반 게이트웨이 MCU 부분 ····· 41
그림 3.25 게이트웨이 통신 인터페이스 부분 ····· 42
그림 3.26 ARM STM32F407 CAN 게이트웨이 PCB ····· 42
그림 3.27 XBee Pro 사양도 ····· 43
그림 3.28 RN-171-XV 802.11b/g Wireless LAN Module ····· 45
그림 3.29 WiFi 모듈과 Zigbee 모듈 비교도 ····· 45
그림 3.30 WM-211 인터페이스 블록 다이어그램 ····· 47
그림 3.31 M2M사의 WM-211 ····· 47
그림 3.32 이기종 게이트웨이 회로도 ····· 49
그림 3.33 시간 동기화 부분 ····· 50
그림 3.34 Bluetooth 인터페이스 부분 ····· 50

dCollection @ chosun

그림 3.35 Zigbee 인터페이스 부분 ····· 51
그림 3.36 CDMA 인터페이스 부분 ····· 51
그림 3.37 이기종 게이트웨이 배치도 ····· 52
그림 3.38 이기종 게이트웨이 PCB ····· 53
그림 3.39 이기종 게이트웨이 시작품 ····· 53
그림 3.40 KSZ8893FQL Function Diagram ····· 54
그림 3.41 광통신을 위해 변경한 이더넷 인터페이스 부분 ····· 55
그림 3.42 광통신이 가능한 이기종 호환 게이트웨이 배치도 ····· 56
그림 3.43 광통신이 가능한 이기종 호환 게이트웨이 PCB ····· 56
그림 3.44 Beacon 프레임 ····· 58
그림 3.45 숨겨진 단말 문제 ····· 59
그림 3.46 전송 지연 문제 ····· 60
그림 3.47 제안하는 Beacon 프레임 ····· 61
그림 3.48 False Node Problem ····· 63
그림 3.49 24바이트 확장형 RTS ····· 64
그림 3.50 Comtec의 L2급 스위치 ····· 66
그림 3.51 KSZ8895FMQ Functional Diagram ····· 67
그림 3.52 L2급 스위치 블록도 ····· 68
그림 3.53 L2급 스위치 Switch IC 부분 회로도 ····· 69
그림 3.54 L2급 스위치 RJ-45 Interface 부분 회로도 ····· 70
그림 3.55 L2급 스위치 전원 부분 회로도 ····· 71
그림 3.56 L2급 스위치 PCB ····· 71
그림 4.1 시험 측정 환경 구성도 ····· 72

dCollection @ chosun

그림 4.2 시험 측정 환경 ····· 73
그림 4.3 CTE ····· 73
그림 4.4 Scopy ····· 74
그림 4.5 TTEthernet ····· 74
그림 4.6 CANoe ····· 75
그림 4.7 Wire Shark ····· 75
그림 4.8 메시지 수신 여부에 따른 ACK Bit 반전 여부 ····· 76
그림 4.9 CAN 프로토콜 데이터 프레임 ····· 76
그림 4.10 네트워크 정보 분실율 측정 결과 ····· 77
그림 4.11 CAN 메시지 전송 주기 ····· 78
그림 4.12 게이트웨이의 동일 ID에 대한 전송 주기 ····· 78
그림 4.13 게이트웨이 모든 메시지의 전송 주기 ····· 79
그림 4.14 센서의 전송 주기 ····· 79
그림 4.15 게이트웨이 모든 메시지의 전송 주기 ····· 80
그림 4.16 CAN to Ethernet Routing 결과 ····· 82
그림 4.17 접속 성공률 측정 수행 절차 ····· 81
그림 4.18 네트워크 통신방식 접속 성공률 측정 결과 ····· 81
그림 4.19 CAN Data Frame 과 High-Speed CAN 파형 ····· 82
그림 4.20 측정된 High-Speed 파형 ····· 82
그림 4.21 지연시간 측정 수행 절차 ····· 83
그림 4.22 게이트웨이 네트워크 접속 지연 시간 측정 결과 ····· 83
그림 4.23 전송속도 공식과 CAN 데이터 프레임 ····· 84
그림 4.24 게이트웨이 네트워크 전송 속도 측정 결과 ····· 85

dCollection @ chosun

그림 4.25 게이트웨이 수신측 물리 계층 특성 ····· 87
그림 4.26 게이트웨이 송신측 물리 계층 특성 ····· 86
그림 4.27 Bit Time 측정 결과 ····· 86
그림 4.28 통신선 에러 측정 결과 ····· 88
그림 4.29 송신 메시지 확인 방법 ····· 88
그림 4.30 송신 메시지 측정 결과 ····· 90
그림 4.31 메시지 주기 평가 방법 ····· 91
그림 4.32 데이터의 값이 '0'인 상태 ····· 93
그림 4.33 통신 성능 시험 환경 ····· 94
그림 4.34 LAN Throughput 시험 결과 ····· 97
그림 4.35 Cut Throughput Latency 측정 시험 결과 ····· 99
그림 4.36 Store and Forward Latency 측정 시험 결과 ····· 100
그림 5.1 응용 분야 ····· 104

dCollection @ chosun

ABSTRACT

A Study of Hetergenous Gateway based on Field Bus Network for Plant

Han, Kyoung Heon
Advisor : Prof. Han Seung-jo Ph.D
Department of Info. & Comm. Engineering,
Graduate School of Chosun University

Field bus network is used in poor industry conditions such as high temperature, noise, static electricity, heavy damage, etc. This industry poor condition is made high prosperity and high reliability communication of field bus network. Recently, many development examples is show control technology of sensor and control unit based on CAN Factory Automation and CAN Process Automation in field bus network. But many development results of control technology has some problems about extremely limited network function and end user access technology. This problems are expected professional education of network control course. Also many development results technology are not consider of stability and extendable in industry conditions. This problems has make anti user in plant and dockyard.

dCollection @ chosun

Our proposed hetergenous gateway help to solved problems based on field bus network for plant. This gateway have solution of many development technology's problems. Also this gateway is supported plant's water level, temperature, pressure data and valve information using field bus communication and wireless communication interface.

dCollection @ chosun

제 1 장 서 론

최근 정보통신기술의 급속한 기술혁신과 유 · 무선통신의 융 · 복합화, 방 · 통융합, 산업간 융합 등 IT기반 융합이라는 새로운 패러다임을 창출되고 있으며, 전세계적으로 정보통신 기술선진국들은 국제 표준 획득 전략을 통해 자국기술의 세계 시장 선점을 하고 있다. 특히 국가 기반 산업들은 편리성, 간편성, 고효율, 안정성, 친환경 등의 속성을 강화시키고 불안한 산업 경기 극복을 위해 기반 산업과 ICT (Information & Communication Technology) 산업의 융합을 빠르게 추진하고 있다. 특히 공정 제어 및 시설물 안전 관리를 요구하는 산업에서는 필드 버스 네트워크 기반으로 여러 통신 기술을 통해 공정 제어 기술들이 개발되고 있으나 아직 신뢰성 및 안정성을 확보하지 못하고 있어 이를 해결하기 위한 선행 연구가 필요한 실정이다[1].

필드 버스 네트워크(Field Bus Network)는 전기적 폭발 위험성, 진동과 고온에 의한 기기 파손, 전자파, 정전기 및 노이즈 환경 등의 열악한 환경을 갖는 산업 현장에서는 고안전성, 고신뢰성 기반 통신과 스마트한 플랜트용 수위, 온도, 압력, 유수 계측과 흐름 제어 계측 장치 자동화 솔루션을 요구하고 있으며 그 시장은 수십조 규모로 매우 크지만 안정성에 대한 의구심으로 인해 여러 통신 기술들이 개발로 끝나고 상용화에는 접근하지 못하고 있는 실정이다. 또한 현재 필드버스 네트워크에서 안정성이 확보된 CAN(Control Area Network) 기반으로 센서나 제어 장치를 공장 자동화와 처리 자동화를 중심으로 제어하는 기술이 개발되는 적용된 사례들이 많지만 기능이 극히 제한적이고 사용자 접근성에 대한 문제점이 있어 플랜트 및 선박에서는 많이 사용되고 있지 못하고 있는 실정이다. 또한 기존 플랜트 통신 시스템은 전체 네트워크의 안정성 및 확장성, 사용자의 접근 편의성을 고려하지 않은 상태로 산업 현장에 사용되고 있어 전문 교육을 이수한 인력만이 네트워크를 운영할 수 있다는 한계점을 지니고 있다[2].

본 논문에서는 기존 네트워크의 한계성을 극복할 수 있는 장점을 가진 게이트웨이를 제안한다. 제안하는 게이트웨이는 중앙 관제실 또는 현장 작업자 로컬, 원격 환경에서 플랜트의 수위, 온도, 압력 상태와 밸브 상태 정보를 제공하고 유무선 통

dCollection @ chosun

신을 통한 밸브 제어할 수 있는 환경을 제공할 수 있는 필드버스 네트워크 기반의 이기종 플랜트용 게이트웨이이다. 이러한 게이트웨이를 제안하기 위해서는 우선 필드 버스 네트워크 기반으로 플랜트 관리에 필요한 통신 환경 요소를 논의하고, 플랜트 통신 시스템의 제안하는 프로토콜과 석유 또는 화학 저장 시스템의 최적 상태 유지를 통한 원활한 동작과 능동적인 스마트 안전 환경 제공을 통해 산업 사고를 예방하기 위한 필드버스 네트워크 기반의 이기종 플랜트용 게이트웨이를 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 2장에서 필드버스 네트워크 개요에 대해 설명하고, 3장에서는 제안하는 필드 버스 네트워크 기반의 플랜트용 통신 시스템과 게이트웨이 대해 논하고, 4장에서는 제안하는 플랜트용 통신 시스템과 게이트웨이의 성능 평가를 분석한다. 그리고 5장에서는 결론과 향후 연구방향에 대해 설명한다.

dCollection @ chosun

제 2 장 필드 버스

제 1 절 필드 버스

‘필드’라는 말은 공정이나 제조지역, 트랜스미터와 센서, 엑츄에이터 등이 설치된 지역을 말하며, 필드 버스는 IEC(International Electro-technical Commission)와 필드버스협회에 따르면 ‘필드’지역의 통신을 전형적인 아날로그 전선 결선이나 신호방식을 완전히 디지털 통신 프로토콜로 대체하는 네트워크이다. 이러한 필드버스는 효율적이고 생산성이 높은 제어시스템을 구축하고자 하는 산업현장 사용자들의 요구사항에 의해 개발되어졌으며, 현재 많은 제어시스템에서 그 영역을 확대해 나가고 있다. 또한 필드 버스 네트워크는 산업의 고도화 및 자동화 시설의 고속 발전에 따라 지속적으로 발전하고 있으며 현재 사용중인 필드 버스 네트워크는 아날로그 통신, PLC(Power Line Communication), CAN 등 대부분 유선 네트워크를 사용하고 있다.

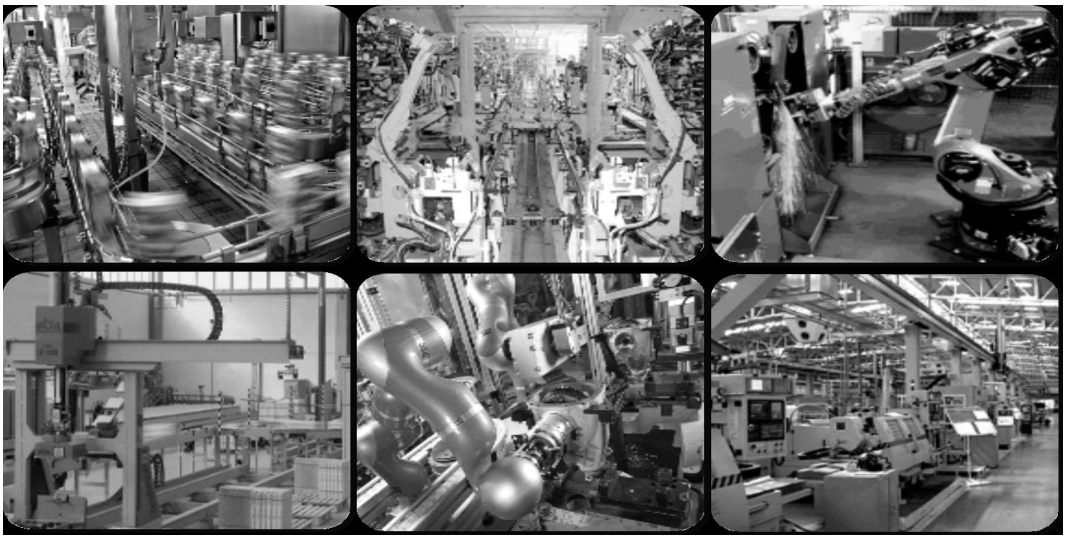


그림 2.1 필드버스 개요도[3]

dCollection @ chosun

1. 필드 버스 개요

1930년대에 4~20 mA의 전류에 의한 아날로그 기준으로 제어 및 계측분야에 사용되면서 처음으로 산업현장에서 네트워크라는 기술이 적용되었다. 4~20 mA 아날로그 신호는 일 대 일(Point to Point)방식으로 연결되었으며 단방향 전송만을 지원함으로써 많은 양의 케이블과 I/O모듈이 필요한 문제점과 노이즈에 의한 데이터 손실 문제점을 가지고 있다. 가장 많이 사용된 스타 토폴로지로 구성된 중앙 집중형 방식에서는 하나의 제어기에 수많은 계측기들이 연결되어 정보 처리가 이루어졌으며, 중앙 제어기의 부하 증가 및 고장으로 인해 전체 시스템이 마비되는 심각한 문제점과 시스템 업데이트과정에서 발생하는 중앙 제어기 동작 정지에 따른 비용 손실 등 유지 보수 측면에서도 많은 단점을 지니고 있다. 또한 단방향 아날로그 통신 방식을 사용하기 때문에, 계측기와 제어기사이의 연결을 위해서는 많은 케이블을 사용해야 하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점 해결을 위해 개발된 것이 각종 통신기기간의 직렬 공통 버스 통신 시스템인 필드 버스 통신이다[3].

필드 버스는 생산 현장을 의미하는 '필드'와 통신을 의미하는 '버스'의 합성어로, 기존 중앙 집중형 방식의 문제점을 보안하기 위해 등장하였다. 필드 버스는 스타 토폴로지로 연결되던 기존 방식 대신 버스형이나 트리형의 네트워크 토폴로지를 지원하고 있으며, 각 제어기와 계측기 사이에 양방향 디지털 통신을 지원한다. 단일 버스 네트워크에 각 계측기아 제어기들을 연결함으로써, 어떠한 제어기에서 문제가 발생하더라도 전체 시스템에 미치는 영향은 극소적으로 제한할 수 있으며, 뛰어난 유지보수 능력과 확장성을 지원한다. 또한 양방향 통신 능력은 계측기와 제어기간의 연결에 필요한 구축 비용을 획기적으로 감소시켰으며, 상대적으로 노이즈에 강한 디지털 통신 방식을 사용으로 네트워크의 신뢰성을 증가하게 되었다. 필드 버스는 모든 필드 장치에 대하여 단일 통신 인터페이스를 사용하도록 함으로써 시스템의 확장성을 높이고 변경을 용이하게 하는 장점을 가지고 있다. 현재 다양한 나라와 업체별로 표준이 개발되어 사용되고 있으며, 프랑스의 FIP(Factory Instrumentation Protocol)을 시작으로 Profibus, CAN, Interbus, Lonworks 등 최근까지 40여 종류의 필드 버스 통신 기술이 개발되어 널리 사용되고 있다.

dCollection @ chosun

가. 필드 버스의 구조

필드 버스에 접속되는 각종 제어 및 자동화 관련 통신기기들에서 생성되는 데이터들은 데이터의 중요도에 따라 크게 실시간 데이터와 비실시간 데이터로 나누어진다. 실시간 데이터들은 동기적 신호, 명목상과 현실적인 신호 이벤트 메시지 등은 일반적으로 데이터의 전송시간이 msec 단위 이내이며 매우 짧은 시간내에 데이터의 전송 및 처리가 완료되어야 한다. 그렇기 위해서는 네트워크에서 완전한 기능을 수행하도록 아래 그림과 같이 OSI (Open System Interconnection)의 7계층 구조를 모두 갖추어야 한다. 또한 필드 버스는 실시간 동작에 대한 요구사항을 만족시키기 위하여 물리 계층 (Physical Layer)와 데이터 링크 계층 (Data Link Layer), 응용 계층 (Application Layer), 사용자 계층 (User Layer)로 이루어진 4계층 구조를 가진다[4].

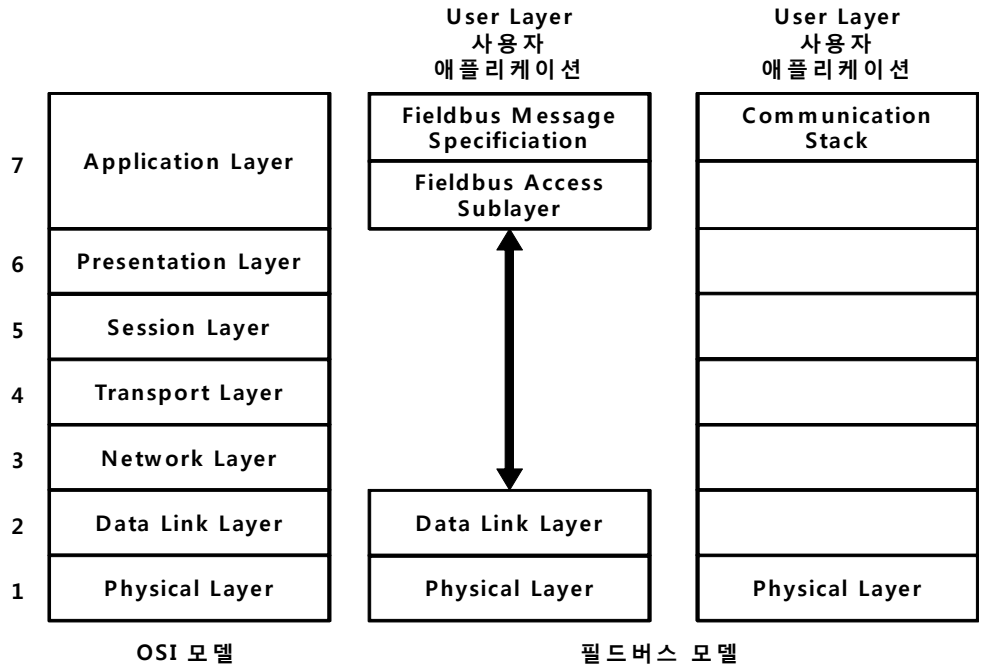


그림 2.2 OSI 모델과 필드버스 모델의 대응관계

dCollection @ chosun

물리 계층은 전선, 광섬유, 무선과 같은 미디어에 의해 전달될 데이터를 코딩하는 기능을 수행한다. 즉 데이터 링크 계층으로부터 전달된 데이터를 받아서 이를 전기 또는 광신호로 변환하여 버스를 통하여 전송한다. 또한 버스를 통하여 수신된 신호를 데이터로 변환하여 데이터 링크 계층으로 넘겨준다. 데이터 링크 계층에서는 매체 접속 제어 (Medium Access Control)기능과 논리 링크 제어 (Logical Link Control)기능을 제공한다. 매체 접속 제어 기능은 다수의 통신기기들이 하나의 네트워크 미디엄을 공유하는데 있어서 데이터간 충돌 방지 기능을 위해 통신기기별 전송 권한을 부여한다. 논리 링크 제어 기능은 통신을 원하는 통신기기간 논리적 링크 설정 및 해제 기능을 비롯하여 통신 과정에서 발생할 수 있는 각종 오류를 처리함으로써 통신기기간 신뢰된 데이터 전송을 지원한다. 응용 계층은 원격 변수 입출력, 프로그램 및 데이터 파일 전송, 프로그램 원격 관리 및 각종 이벤트 처리 등과 같이 공정 제어와 공장 자동화 환경에서 요구되는 각종 응용 서비스를 제공한다[5].

사용자 계층은 필드 버스가 단순 통신을 시스템 기능을 제공하도록 표준화하는 기능을 제공한다. 필드 버스의 사용자 계층에서 표준화 기능을 제공한다는 의미는 다른 의미로 필드 장비의 기능을 표준화를 의미한다. 즉 필드 버스의 표준화는 통신 규격에 대한 표준화가 아니라, 개방되고 직접화된 계측 및 제어 시스템으로서 공정 제어 및 자동화의 전 영역에 대한 표준화이다. 사용자 계층 표준안은 기능 블록의 알고리즘과 데이터 베이스들을 표준화함으로써 필드 장비 공급자는 미리 정해진 알고리즘에 따라 기능 블록을 구현하여 필드 장비를 생산한다. 그리고 사용자는 필드 장비 각각의 기능 블록에 대하여 표준화된 데이터 베이스만을 구축함으로써 기기들을 곧바로 구동할 수 있도록 한다. 이로써 필드 버스를 공장 자동화 및 공정 제어 시스템에 활용 폭을 증가할 수 있으며, 상호 접속성과 호환성을 보장 할 수 있다[4].

dCollection @ chosun

나. 필드 버스 장점

필드 버스는 기존 통신 방식인 아날로그 통신방식에 비해 3가지 장점을 보유하고 있다.

첫째로 제어 시스템의 설치비용을 절감할 수 있다. 필드 버스는 다수 기기를 하나의 전선 상에 연결할 수 있다. 이것은 적은 전선으로 적은 제어장치를 통해 다수의 기기를 동시에 제어할 수 있다. 따라서 제어 시스템의 설치비용을 대폭 절감할 수 있다[6].

둘째로 효과적인 운영 관리가 가능하다. 기록, 추이 분석, 프로세스 최적화, 그리고 보고소의 생성 등을 위해 프로세스 자동화 시스템에 각각의 기기로부터 여러 번수 값들을 전달하여 준다. 디지털 통신의 고 분해능과 왜곡현상이 없는 특성들은 제어 계통을 위해 데이터 신뢰성을 향상시킨다. 또한 다수의 기기에 제어 기능 부여가 가능하여 기존의 분산 제어 시스템보다 제어가 간편하며, 루프 기능, 데이터 소멸성, 그리고 대폭 향상된 제어를 가능하다. 그리고 산업 현장에서는 낮은 제어 비용으로 인해 추가하지 못했던 제어 루프기능을 추가비용 없이 지원이 가능하다. 즉 아날로그 통신이 지원하던 중요 포인트만의 제어가 아닌 전반적인 시스템 전체의 제어가 가능하다[7].

셋째로 공정의 유지 보수 업무에 크게 기여한다. 필드 버스 통신기기의 사용은 공정의 유지 보수 업무에 혁명을 가져와서 마이크로프로세서 기반의 필드 버스 통신 기기들의 자기 진단과 통신 능력은 공정의 부동 시간을 크게 줄이고 공정의 안정성을 대폭 향상시키는데 기여한다. 산업 현장에서 제어 기기들이 문제가 발생하더라도 자가 진단을 통해 오류 수정이 기기 자체적으로 가능하여 유지 보수에 많은 인력이 소요되지 않는다[8].

dCollection @ chosun

2. 필드 버스 통신 유형

가. Bitbus

Bitbus 방식은 최초의 산업용 통신시스템으로 개발된 필드 버스 방식이다. Bitbus는 개방형 통신 시스템으로서 80년대초 Intel 사에 의해 실현되었고, Bitbus의 설계명세서는 1983년에 출판되었다. Bitbus를 바탕으로 Intel은 모든 통신 기능을 합하는 칩을 개발하여 회로 개발자들이 이 기술에 쉽게 접근할 수 있도록 하였다. 이러한 이유 등으로 오늘날에도 여전히 산업용 시스템으로 인기를 누리고 있다. 1991년에 국제 위원회가 이 실제적 표준을 IEEE-1118로 규정하고 몇 가지 특성을 첨부했으며, 이러한 조치로 인하여 이미 시장에 나와 있는 장비들과의 호환성에 있어서 문제를 일으키지 않았다. 가장 오래된 기술임에도 불구하고 Bitbus는 현대적 표준에 따른 기술에 기반하고 있다. 오늘날 컴퓨터 네트워크 및 디지털 전화통신에서 사용되고 있는 SDLD 프로토콜이 바로 그것이다. Bitbus의 특징은 다음과 같다[9].

- 마스터/슬레이브 구조
- 248Byte까지의 메시지 전송
- 62.5kbps 및 375kbps 의 전송률
- 세그먼트당 62.5kbps 속도로 13.5km까지의 거리 또는 375kbps의 속도로 1200m 까지의 거리
- 물리적 매체 RS-485, 트위스트 페어, 실드 권장
- 애플리케이션 인터페이스 지정 가능
- 마스터로부터의 브로드캐스팅 및 멀티캐스팅 가능
- 단계적으로 2 개 또는 3 개의 리피터와 연결가능
- 전 세계적으로 사용됨

dCollection @ chosun

나. Interbus-S

Interbus-S는 플러그를 전문적으로 생산하는 독일 Phoenix사에 의해 구현된 기술이다. 플러그 분야에서의 경험으로 인해 이 회사는 연결부의 양을 줄이는 통신 시스템을 통해 전기기술자의 작업을 단순화시킬 계획을 세웠다. 플러그기술에서 출발한 이 시스템은 가장 낮은 수준의 센서 및 엑추에이터 시스템이 되었다.

Interbus-S은 기본적인 개념은 쉬프트 레지스터의 개념과 비슷하다. 사실 Interbus-S 는 하나의 큰 링과 같으며, 그 링 안에서 마스터는 순차적으로 모든 출력 상태를 변경하고 해당 노드로 가는 출력 상태를 입력 상태와 교체한다. 출력 상태는 네트워크의 크기를 갖고 있는 하나의 워드에서 나온다. 이것의 장점은 매 주기마다 처리되는 모든 입출력 및 한 주기에 소요되는 시간을 정확하게 계산할 수 있다는 것이다.

Intel의 경우에서처럼, Phoenix는 이 시스템을 성공적으로 보급시키기 위해서는 모든 버스의 기능을 포함하는 칩으로 개발자들을 지원해야 한다는 것을 깨닫게 되었다. 또한, 버스가 독점적이 되는 것을 피하기 위해 DIN-19258로 표준화하는 작업을 진행시켰다. 이 버스의 중요한 특징들을 간단하게 언급하면 다음과 같다[10].

- 마스터/슬레이브 구조
- 13km에 이르는 네트워크 범위, 이것은 각 노드의 신호를 복구 가능
- 400m에 이르는 노드간 거리
- 애플리케이션 인터페이스 지정 가능
- 물리적 매체 RS-486, 한 케이블에 링의 입출력을 동시에 갖춤
- 500kbps 의 전송률
- 링에 4,096개까지의 I/O 연결가능.
- 특히 유럽지역에서 사용됨

dCollection @ chosun

다. Sercos

Sercos는 특정 어플리케이션 전용 필드버스의 범주에 속한다. 이것은 기계장비에 있어서 모터의 배선연결을 줄이려는 의도로 독일기관에 의해 설계되었다. 이것은 가장 최근의 버스들중 하나이며 버스상에서 동기화시켜 8개까지의 축을 동시에 삽입할 수 있다. 많은 노드를 연결할 수 있으며 링형 구조를 가진 버스이다. 노드들간의 통신 속도가 빨라야 하기 때문에 노드들은 광섬유로 연결되어 있다. 일련의 통신 파라미터가 제공되기 때문에 이 버스는 반드시 단순하지는 않지만 계획된 작업을 하기에 가장 적합한 특성을 가지고 있다. 통신 칩 또한 이 버스를 위해 구현되었다. 주요 특징은 다음과 같다[11].

- 마스터/슬레이브 구조
- Ring Topology
- 물리적 매체로 광섬유 사용
- 254개까지 슬레이브 어드레싱가능
- 모조 섬유로는 60m, 유리 섬유로는 250m까지의 길이를 갖는 라인 세그먼트
- 2 ~ 4 Mbps 전송률
- 타임 윈도우로 버스 접근 가능
- 제한된 범위에서만 사용되고 있지만 그 적용범위를 넓혀가고 있음

dCollection @ chosun

라. CAN

CAN은 자동차의 배선연결을 줄이기 위해 1983~85년에 Bosch에 의해 설계되었다. 이 시스템의 기본적인개념은 상호간에 연결되어있던 요소들을 메시지를 전달하는 중앙 집중화된 컴퓨팅 장치로 교체하는 것이었다. 이렇게 하면 관련되지 않은 요소들은 이 메시지를 무시하거나 관심있는 메시지만을 선택할 수 있게 된다. 또한 이 메시지를 받는 요소들은 응답을 하지 않아도 되었다. 접근의 폭이 넓어져 꼭 필요한 메시지만을 통신할 수 있게 됨으로써 뛰어난 실행을 보장하고 있다. 그러나 이와 같이 여러 개의 마스터가 있는 유형은 두 개의 노드가 동시에 메시지를 전송할 경우 충돌을 일으킬 수 있다. Bosch는 이런 문제를 검토한 결과 훌륭한 솔루션을 찾게 되었다. 각 메시지에는 각 프레임이 시작할 때 보내지는 숫자가 지정되고, 낮은 숫자를 갖는 메시지가 우선순위를 갖게 하는 것이었다. 그리고 충돌이 발생한 경우에는 가장 낮은 우선순위를 갖는 노드부터 즉시 멈추게 하였다. 이렇게 해서 최우선순위를 갖는 노드는 아무런 방해를 받지 않고 메시지를 전달할 수 있도록 하였다. 근본인 자동차 분야에서의 제약 때문에 센서 및 엑추에이터 버스 수준으로 몰리게 되었고, 따라서 8 비트 이상의 메시지를 포함할 수가 없는 것이 단점이 되었다. Bosch는 이 버스를 실현하기 위해 Intel과 협상한 결과 모든 통신 형태에 통합되는 칩을 개발하였다. 그 이후로 많은 제조업자들은 라이센스하에 CAN인터페이스를 지원하는 칩을 생산하기 시작했다. 그러나 어플리케이션 인터페이스가 정해지지 않았기 때문에 CAN은 독자적 프로토콜과 함께 사용될 수 있었기에 다른 공급자 제품을 사용한 시스템을 실현하기 위한 상이한 표준 사양들이 존재하게 되었다. 주요한 특징은 다음과 같다[12].

- 다중 접근이 가능한 멀티-마스터 구조
- 20kbps 의 전송률
- 최대 1Mbps 까지 가능
- 리피터 삽입 곤란
- 제한된 네트워크 범위: 1Mbps로 40m, 50kbps로 1 km까지 확장 가능

dCollection @ chosun

- RS-485 와 유사한 물리적 매체, 트위스트 페어, 실드 권장
- 모든 메시지는 우선적 순서 부여 가능.
- 에러 처리는 전체적으로 칩에서 구현
- 어플리케이션 인터페이스 표준
- 전송은 높은 수준의 보안을 유지가능
- 전 세계적으로 사용됨

앞에서 설명한 것과 같이 CAN은 자동차 산업 분야에 적용하기 위해 고안된 시리얼 네트워크 통신방식이다. 최근에는 자동차 분야뿐만 아니라 전 산업 분야에 폭넓게 적용되고 있으며 기본적인 버스형 시스템 구성은 아래 그림과 같다.

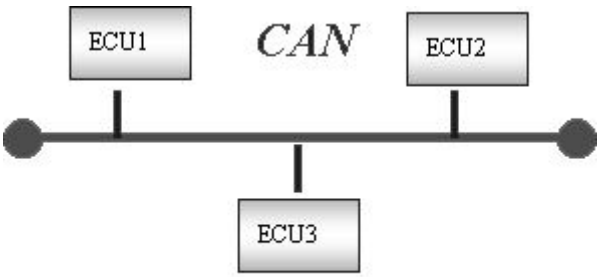


그림 2.3 CAN 통신 개요도

일반적으로 사용되는 CAN 버스형 구조는 통신 모듈 사이에서 통신망을 형성하며 2가닥의 꼬임선으로 연결되어 반이중 통신방식으로 짧은 메시지를 사용하는 고속 응용 시스템에 사용된다. 더불어 노이즈와 같은 외부의 요인에 강인한 특성을 가져 통신 에러율을 최소화가 가능하여 높은 신뢰성을 가지고 있다. 이론적으로는 2,032개의 서로 다른 통신 모듈을 하나의 네트워크에 연결하여 통신을 수행할 수 있으나 CAN 전송의 한계로 인하여 110개까지의 모듈을 연결하여 사용할 수 있다. 통신 속도는 실시간 제어가 가능한 1Mbps의 고속 통신을 제공하며 더불어 자동차 환경과 같은 심각한 노이즈 환경에 적합하도록 에러 검출 및 보정의 기능을 가지고 있다.

dCollection @ chosun

CAN 통신은 메시지의 식별자인 ID의 길이에 따라 두 종류로 구분이 되어진다. 표준형으로 CAN 2.0A는 11비트 식별자를 보유하고 있으며, 확장형인 CAN 2.0B는 29비트의 식별자를 보유하고 있다. 표준형인 CAN 2.0A는 오직 표준 CAN 포맷 방식의 데이터만 전송 및 수신이 가능하며 확장형 CAN 2.0B 데이터를 수신하더라도 그 데이터를 무시해 버린다. 즉, CAN 2.0A을 지원하는 통신 모듈은 CAN 2.0A형태의 데이터만을 수신할 수 있다. 그러나 CAN 2.0B는 CAN 2.0A형태의 데이터와 CAN 2.0B형태의 데이터 모두 수신이 가능하다[13].

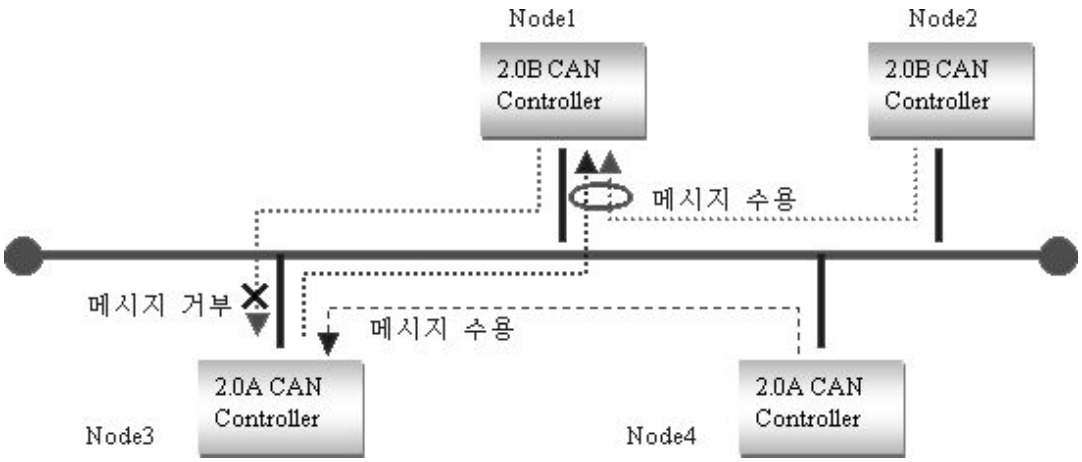


그림 2.4 CAN 통신 호환성

CAN 통신은 다중통신망 개념의 네트워크를 지원하며 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) 방식을 지원한다.

CAN 통신 모듈은 데이터를 전송하기 전에 CAN 버스 라인이 사용여부를 CSMA/CD 방식을 이용하여 데이터 충돌을 검출한다. 또한 데이터는 어떠한 노드로부터 보내어진 데이터 송신측이나 수신측의 주소를 포함하지 않는다. 대신에 각 모듈의 데이터 항목에 CAN 네트워크상에서 각각의 노드를 식별할 수 있도록 ID를 가지고 있다.

우선순위가 높은 데이터가 CAN 버스의 사용 권한을 보장 받으며 이때 낮은 순위의 데이터는 자동적으로 다음 버스 사이클에 재전송을 수행한다. 이때 까지도 높은 우선

dCollection @ chosun

순위를 가진 데이터가 완료되지 않은 상태이면 전송을 완료할 때까지 대기하고 있다. 각 CAN 데이터는 11 비트의 식별자 (CAN 2.0A), 또는 29 비트의 식별자 (CAN 2.0B)를 가지면 CAN 데이터의 맨 처음 시작부분에 위치한다. 더불어 식별자는 데이터의 형태를 식별시켜 주는 역할과 데이터의 우선 순위를 부여하는 역할을 한다.

CAN 통신에서 데이터는 데이터 프레임을 사용하여 송수신을 이루어진다. 데이터 프레임은 하나 또는 그 이상의 송신 모듈로부터 데이터를 수신 모듈로 운반한다. CAN 프로토콜은 표준형 CAN 2.0A와 확장형 CAN 2.0B를 지원한다.

CAN 2.0A의 데이터 구조는 아래 그림과 같이 7개의 서로 다른 필드로 구성된다. 프레임의 시작인 시작 프레임 필드는 데이터 프레임의 시작을 표시하며, 데이터 프레임의 최우선에 위치하며 디폴트 '0'값을 가진다. 중재 필드는 11 비트의 식별자와 원격 전송 요구 비트를 가지며 디폴트 "0"을 가지는 원격 전송 요구 비트 는 값이 "0"일 때 CAN 메시지가 데이터 프레임이라는 것을 가리킨다. 역으로 원격 전송 요구 비트 값이 "1"이면 CAN 메시지가 원격전송요청을 의미한다. 다시 말해 CAN 메시지가 데이터 프레임이 아닌 원격프레임 상태임을 나타낸다. 원격 프레임은 데이터버스상의 어떤 한 노드로부터 다른 노드로 데이터를 전송 요청할 때 사용된다. 데이터를 보내기 전에 사용되는 메시지 프레임이기에 데이터 필드를 포함하지 않는다. 제어 필드는 6 비트로 구성되며 향후에 사용되기 위해 예약된 두 개의 "0"의 값을 가지는 R0, R1 과 데이터 필드의 바이트 수를 가리키는 4 비트의 데이터 길이코드 로 구성된다. CRC(Cyclic Redundancy Check) 필드 는 7 비트의 주기적 중복확인 코드를 가지며 데이터필드의 끝을 알리는 "1"의 값을 가지는 비트가 전송된다. ACK (ACKnowledge)필드는 2 비트로 구성되며 첫 번째 비트는 "0" 값을 가지는 슬롯 비트이다. 그러나 메시지를 성공적으로 수신한 다른 노드로부터 전송된 "1"의 값으로 기록될 수 있다. 두 번째 비트는 "1"의 값을 가진다. 프레임 종료 필드는 7 비트로 구성되며 모두 "1"의 값을 가진다. 프레임 종료 필드를 뒤이어 모두 "1"의 값을 가진 3 비트의 프레임 중단 필드 가 이어진다. 3 비트의 INT 주기 이후에 CAN 버스라인은 자유상태로 인식된다. 이후 버스 Idle Time 은 "0"을 포함한 임의의 길이이다[14].

dCollection @ chosun

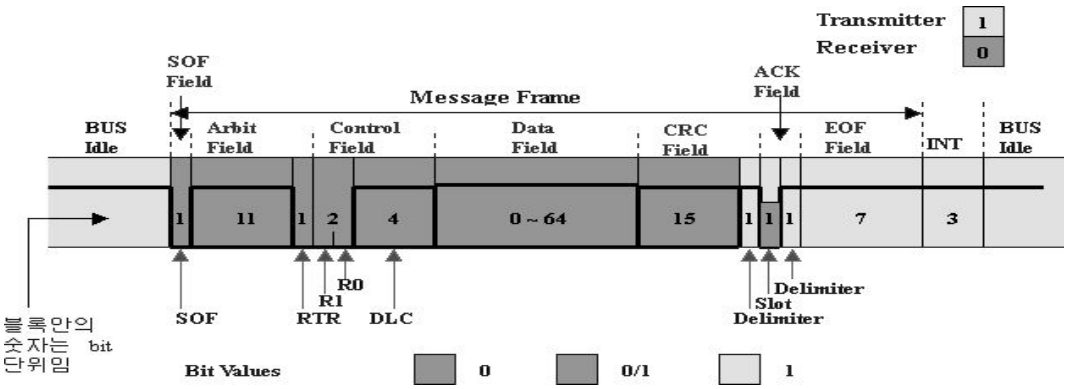


그림 2.5 CAN 2.0A 데이터 통신 프레임

확장형 CAN 2.0B 데이터 프레임은 CAN 2.0A 와 구분되기 위해 29 비트의 메시지 프레임 식별자를 가진다. CAN 2.0A 와 차이점은 중재 필드가 두 개의 CAN 메시지 식별자로 구분되어 포함되며 첫 번째 기본 ID는 11 비트 길이로 2.0A 와 호환되게 하며 두 번째 필드확장 ID는 18 비트 길이로 ID 는 총 29 비트로 구성된다. 두 개의 ID 필드 사이에 ID 확장자가 있어 두 개의 ID 필드를 구분한다. SRR (Substitute Remote Request) 비트는 중재 필드에 속해 있으며 표준 데이터 프레임과 확장 데이터 프레임을 중재해야 하는 경우에 대비하기 위해 항상 "1"의 값을 전송한다. 만약 표준 데이터 프레임과 확장 데이터 프레임이 같은 기본 ID를 가지고 있으면 표준 데이터 프레임이 우선 순위를 가진다[15].

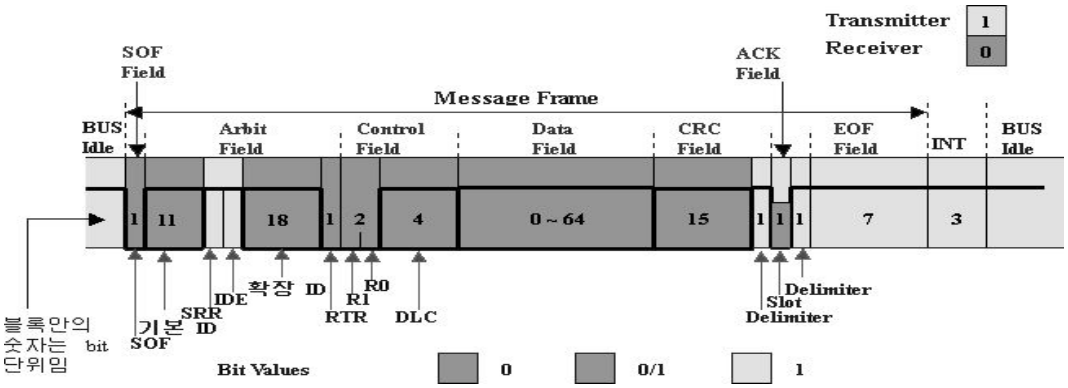


그림 2.6 CAN 2.0B 데이터 통신 프레임

dCollection @ chosun

제 3 절 필드 버스 필드 버스 기반 플랜트 통신 시스템

1. 구성요소

필드 버스 네트워크 기반의 플랜트 통신 시스템은 CAN 기반 필드 버스 네트워크 기반으로 구성되어 있으며, 플랜트 탱크에 부착되어 있는 센서 및 엑추에이터의 정보를 관리 및 제어하는 통신시스템이다. 일반적인 플랜트 통신 시스템의 구성요소를 살펴보면 정보를 생성하거나 제어를 위한 방폭형 계측 센서 및 밸브구동기, 여러 센서의 정보 통합 관리를 위한 게이트웨이, 네트워크에서 수집되는 제어 및 계측 정보를 관리자에 제공하는 모니터링 시스템으로 구성되어 있다. 플랜트의 저장 탱크에 부착되는 센서의 종류는 총 11종으로 주로 내·외부 환경 요인 측정을 위해 사용된다[16].

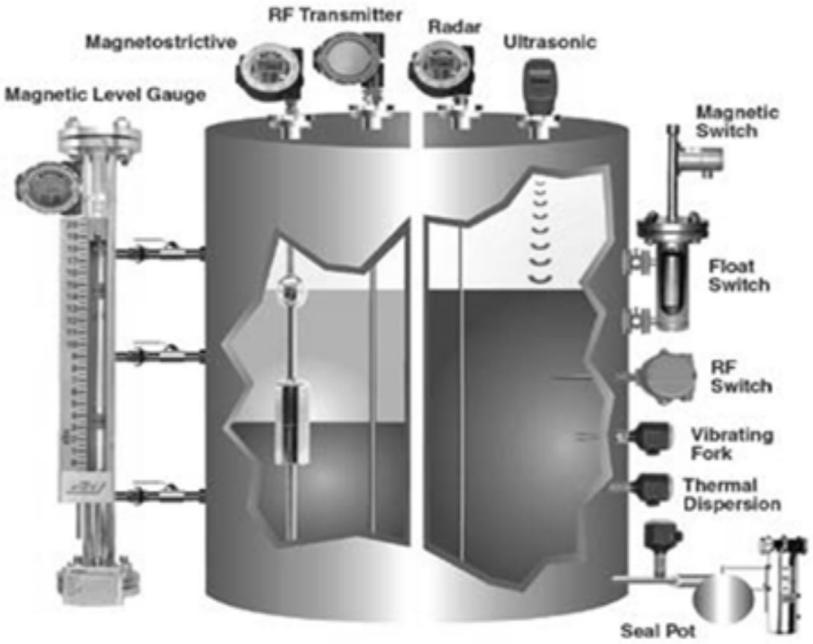


그림 2.7 플랜트 탱크에 장착되는 센서 종류[16]

dCollection @ chosun

2. 요구 특징

필드 버스 네트워크 기반 플랜트 통신 시스템은 일반적으로 플랜트내에 위치한 센서들의 관리 및 제어가 용이한 CAN 통신 기반 필드버스 네트워크로 구축되어 있다. 다수의 센서를 관리 및 제어하는 네트워크에 있어서 일대일 방식 적용시 구축비용, 구축시간, 신뢰성 등과 같은 문제점이 발생하므로 인해 신뢰성이 높고 네트워크 관리가 용이한 필드버스 네트워크 기반의 CAN 통신 방식을 사용하고 있으며, 필수적으로 안전한 네트워크 환경제공을 위해 백본망 지원해야 한다[17].

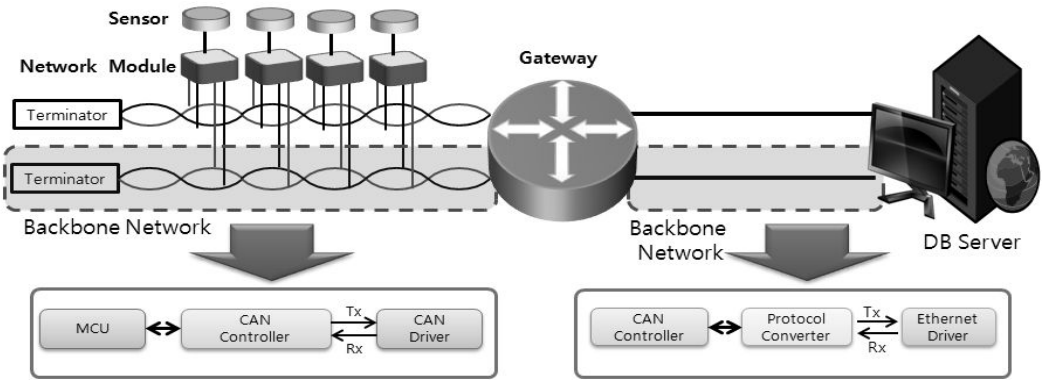


그림 2.8 백본망 지원이 가능한 필드 버스 네트워크

또한 플랜트의 저장탱크간의 거리가 수십미터에서 수백미터에 이르므로 저장탱크별 네트워크 관리 및 제어 기능을 가진 게이트웨이간 상호 고속 통신을 지원해야 한다. 가장 좋은 방법이 광통신을 통한 고속 장거리 전송방법이다. 광통신은 주변 환경의 전기적 잡음에 대한 영향을 받지 않아 이상적인 통신 방식이지만 초기 구축 비용이 많이 소요된다는 단점을 가지고 있다.

플랜트 저장탱크에 부착되는 게이트웨이는 네트워크의 관리 및 제어의 용이성을 높이기 위해 각 통신장치인 센서, 컨트롤러, 엑추에이터 마다 특정 고유주소 (ID)를 할당하여 관리가 가능한 구조로 되어있어야 한다.

dCollection @ chosun

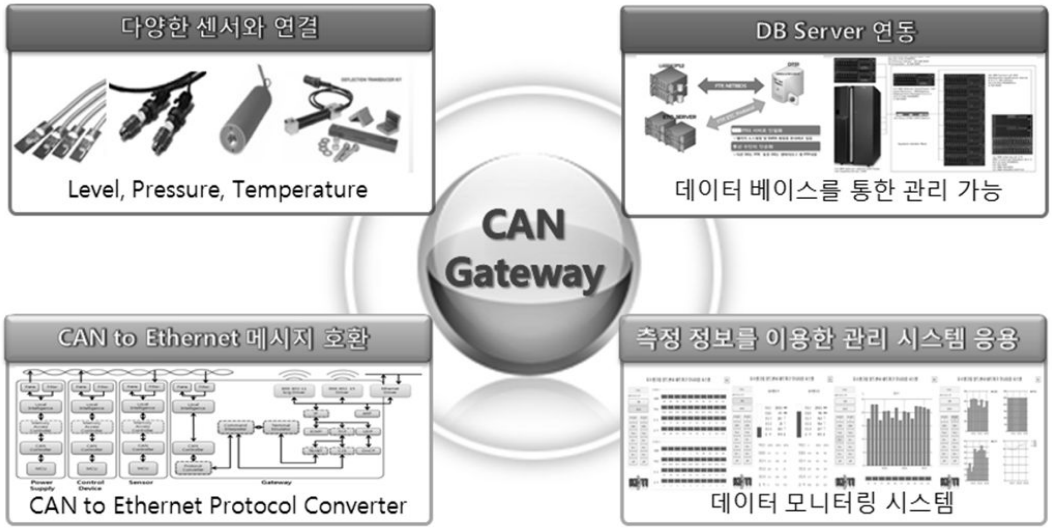


그림 2.9 게이트웨이 요구 특징

또한 사용자의 접근 편의성과 이기종 네트워크와의 호환성 향상을 위해 CAN, 이더넷, IEEE 802.11b/g, IEEE 802.15 등 다양한 이기종 인터페이스를 지원해야 한다[16].

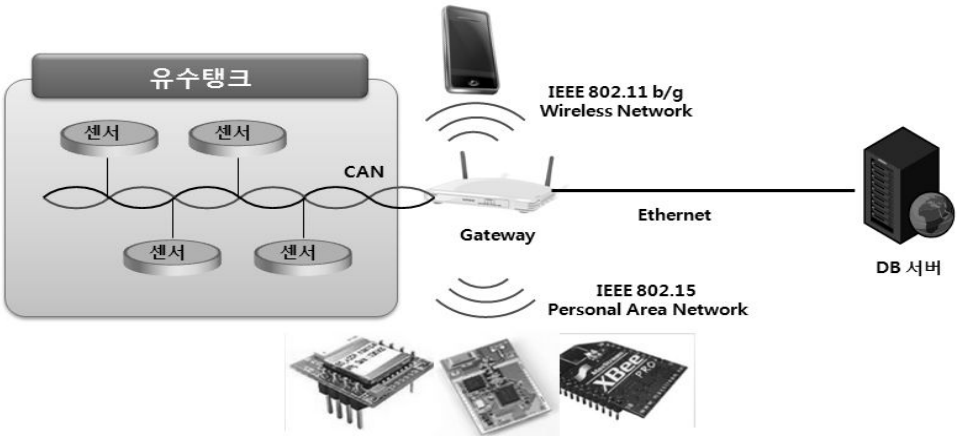


그림 2.10 요구되는 이기종 인터페이스 종류

dCollection @ chosun

제 3 장 필드 버스 기반 플랜트 통신 시스템 설계

제 1 절 플랜트 통신 시스템

필드 버스 네트워크 기반의 플랜트 통신 시스템은 CAN 기반 필드 버스 네트워크 기반으로 구성되어 있으며, 플랜트 탱크에 부착되어 있는 센서 및 엑추에이터의 정보를 관리 및 제어하는 통신시스템이다. 일반적인 플랜트 통신 시스템의 구성요소를 살펴보면 정보를 생성하거나 제어를 위한 방폭형 계측 센서 및 밸브구동기, 여러 센서의 정보 통합 관리를 위한 게이트웨이, 네트워크에서 수집되는 제어 및 계측 정보를 관리자에 제공하는 모니터링 시스템으로 구성되어 있다. 하지만 이러한 플랜트 통신 시스템은 전체 네트워크의 안정성 및 확장성, 사용자의 접근 편의성을 고려하지 않은 상태로 산업 현장에 사용되고 있어 전문 교육을 이수한 인력만이 네트워크를 운영할 수 있다는 한계점을 지니고 있다. 그러므로 본 논문에서는 기존 네트워크의 한계점을 극복할 수 있는 플랜트 통신 시스템과 통신 시스템에서 가장 중추적인 역할을 하는 게이트웨이를 제안하고자 한다.

dCollection @ chosun

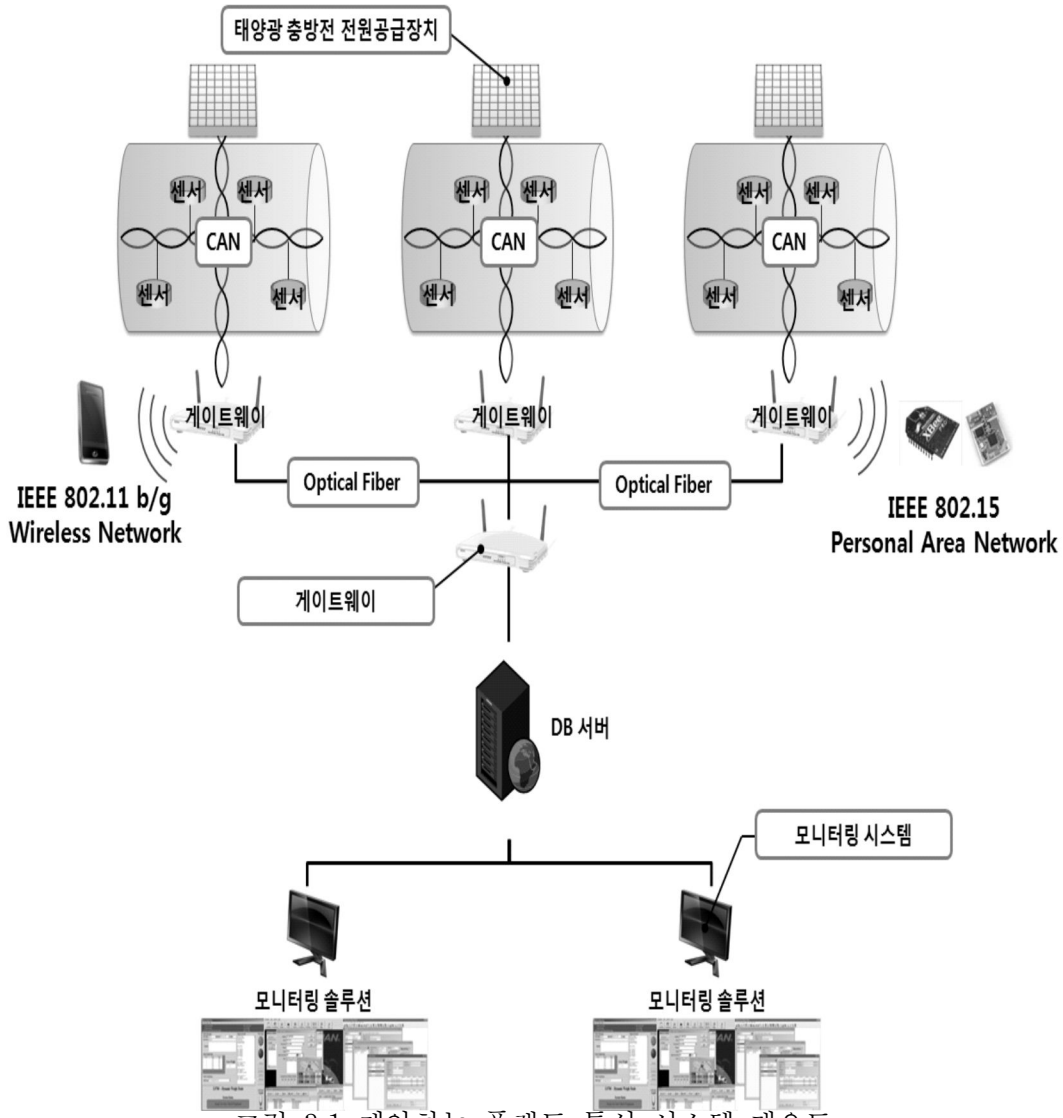
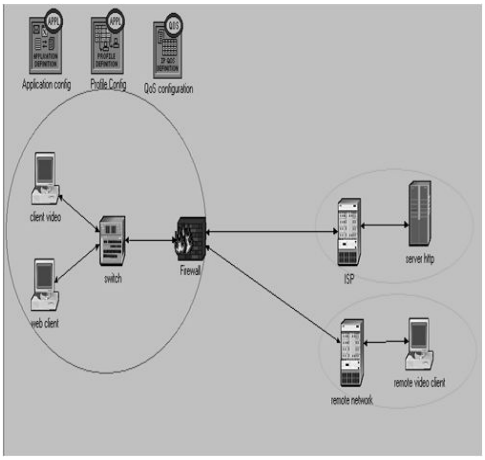


그림 3.1 제안하는 플랜트 통신 시스템 개요도

dCollection @ chosun

1. 통신 프로토콜 방식 선정

필드 버스 네트워크 기반 플랜트 통신 시스템의 운영 목적은 크게 센서 정보 획득과 엑추에이터 제어로 나누어진다. 이러한 통신 시스템의 적합한 통신 방식은 CAN 기반으로 네트워크를 구성하지만 네트워크 특성 및 운영 목적에 따라 통신 기능을 선정해야 한다. 만약 전체적인 네트워크 특성을 고려하지 않은 상태에서 통신 기능 선정이 이루어진다면, 향후 운영상에 문제점이 발생하여 네트워크 성능 저하 요인이 될 수 있다. 통신 기능 선정 기준은 데이터 정렬 및 패킷 오류 점검, 흐름 제어, 혼잡 제어 기능을 제공 여부로 구분 지었다. 이 기준은 가장 일반적으로 사용하고 있는 UDP(User Datagram Protocol)와 TCP(Transmission Control Protocol)에서 제공하는 기능을 기준으로 분류한 것이다. TCP와 유사하게 데이터 정렬 및 패킷 오류 점검, 흐름 제어, 혼잡 제어 기능을 제공할 경우 상위 프로토콜에서 데이터의 정렬이나 오류 복구에 신경 쓰지 않아도 되어 무리한 네트워크 잠식이 이루어지지 않을 것으로 예상되며, UDP와 유사하게 데이터 정렬 및 패킷 오류 점검, 흐름 제어, 혼잡 제어 기능을 제공하지 않을 경우 정확성보다는 전송속도에 이득을 보일 것으로 예상된다.



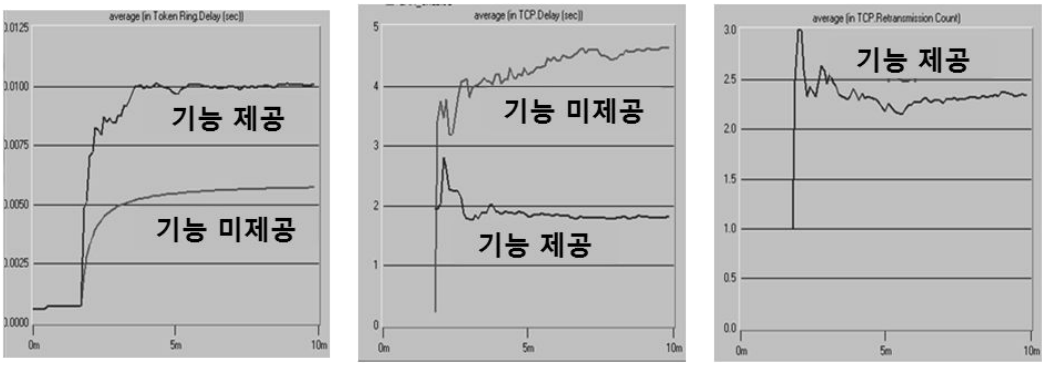
Statistics	Value
Scenario Size	100m × 100m
Event Time	100sec
QoS Profiles	Standard Schemes
Simulation Time	10 min

그림 3.2 통신 성능 비교 시뮬레이션 환경

dCollection @ chosun

이러한 통신 기능 제공 여부를 선택하기 위해 통신 시뮬레이션을 통해 성능 비교를 통해 결과 분석후 결정하였다. 통신 시뮬레이션은 OPNET을 통해 위 그림과 표와 같은 네트워크 환경을 구축하여 수행하였으며, 동일한 조건에서 통신 기능 제공 여부에 따라 전송률과 지연시간을 비교 분석하였다.

시뮬레이션 결과 지연시간 측면에서 데이터 정렬 및 패킷 오류 점검, 흐름 제어, 혼잡 제어 기능을 부여하지 않았을 경우에 좀 더 높은 성능을 보이는 것을 아래 그림과 같이 확인할 수 있었다. 하지만 데이터 오류 검출 및 재전송부분에서는 흐름 제어 및 혼잡 제어 기능으로 한정적인 네트워크 환경에서 높은 효율을 보임을 확인할 수 있었으며, 데이터 정렬 및 오류 복구 기능으로 인해 재전송률이 낮아지는 현상을 아래 그림과 같이 확인 할 수 있었다.



a. 센서에서의 지연시간 b. 지연시간 c. 재전송률

그림 3.3 성능 비교 시험 결과

데이터 정렬 및 패킷 오류 점검, 흐름 제어, 혼잡 제어 기능 제공 여부는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 다수의 센서와 제어장치로 구성이 된 필드 버스 네트워크 기반 플랜트 통신 시스템의 통신 기능은 데이터 정렬 및 패킷 오류 점검, 흐름 제어, 혼잡 제어 기능을 제공하는 것이 효율적이라는 결과를 얻을 수 있었다.

dCollection @ chosun

2. 통신 프로토콜 정의

통신 프로토콜은 센서에서 게이트웨이까지의 CAN 통신 기반의 프로토콜을 의미한다. CAN 통신은 2장에서 설명한 바와 같이 확장성의 차이로 인해 2.0A와 2.0B로 구분되어 지며, 본 통신 프로토콜은 다수의 센서와 엑추에이터에 ID를 부여해야하는 네트워크의 환경적 특성을 고려하여 2.0B로 설계하였다.

제안하는 통신 프로토콜은 현재 해양 플랜트의 CAN 통신 표준안으로 채택되어 사용하고 있는 J1939와 NMA2000의 통신 프로토콜기반으로 아래 그림과 같은 구조로 설계하였으며, 모든 데이터는 아스키 코드 형식으로 인식되도록 설계하였다.

Byte	0	1	2	3	4	5	6	7~22	23	24
Type	시작	Prio	Group	기능 코드		송신장치 ID		Data	CRC	

그림 3.4 제안하는 통신 프로토콜 개요도

개요도를 살펴보면 시작은 프레임의 시작을 의미하는 것으로 '$'로 표기하였으며, 통신 동기화를 위해 사용된다. 플랜트 통신 시스템은 비상상황과 같은 긴급을 요하는 데이터가 존재하므로 안정성 확보를 위해 우선적으로 처리되어야 하므로 긴급성 기능을 정의하기 위해 Prio는 데이터의 중요도를 의미하도록 하였으며 0에서 5까지 표현 숫자가 낮을수록 긴급 데이터로 인식하도록 설계하였다. 또한 많은 센서와 엑추에이터를 ID 배분을 하기 위해서는 ID 관리체계가 필요하다. 이러한 관리체계를 기능을 가진 부분으로 Group은 데이터를 송신하는 장치가 속하는 그룹을 나타내는 부분으로 0에서 15까지 표현하도록 하였다.

또한 플랜트 통신 시스템에 필요한 기능들을 아래 표와 같이 기능코드에를 정의하였다.

dCollection @ chosun

표 3.1 제안하는 통신 프로토콜 주요 기능

주요기능	세부기능	기능 코드	Prio	설명
긴급명령		00	0	긴급을 요하는 정보 및 명령
		01	0	
초기화	자동인식	08	3	네트워크에 장치 자동 인식/해제
	초기화	09	3	장치 인식에 따른 자동 장치 초기화
	주소설정	10	3	
	리스트	11	3	디바이스 리스트 테이블 초기화
Reporting	상태	16	4	장치 이력, 현 동작 상태, 동작 시간 등의 정보 제공
	측정값	17	4	현 장치 측정값 제공
	이벤트	18	0	각 장치별 이벤트 동작 정의 및 이벤트 정보 제공
Request	쓰기	24	2	각 장치에 대한 제어 동작 지시
	읽기	25	2	각 장치별 개별 그룹별 전체, 주기적, 비주기적 정보 및 제어 정의
부가기능	부가기능	32	5	원격 프로그램 업데이트
Admin	Admin	40	1	관리자 우선 정보요청 및 제어

위에 설명한 제안하는 프로토콜을 환경 계측 센서에서 들어오는 데이터에 대한 예시를 들어 다시 설명하면 아래 그림과 같다. 그림을 살펴보면 사용자에게 보여지거나, 입력하는 값은 ASCII 코드로 이루어지며, 통신 모듈에서 수행되는 신호처리

dCollection @ chosun

는 16진수로 이루어지며, 전송은 2진수로 예시와 같이 전송하게 된다.

Byte	Type	예시		
		ASCII	16진수	Bits
0	시작	$	0x21	0001 1110
1	Prio	4	0x34	0011 0100
2	Group	1	0x31	0011 0001
3	기능코드	1	0x31	0011 0001
4		7	0x37	0011 0111
5	송신 장치 ID	1	0x31	0011 0001
6		1	0x31	0011 0001
7	Data 7	0	0x30	0011 0000
8		0	0x30	0011 0000
9	Data 6	0	0x30	0011 0000
10		0	0x30	0011 0000
11	Data 5	0	0x30	0011 0000
12		0	0x30	0011 0000
13	Data 4	0	0x30	0011 0000
14		0	0x30	0011 0000
15	Data 3	0	0x30	0011 0000
16		0	0x30	0011 0000
17	Data 2	2	0x32	0011 0010
18		3	0x33	0011 0011
19	Data 1	0	0x30	0011 0000
20		6	0x36	0011 0110
21	Data 0	0	0x30	0011 0000
22		1	0x31	0011 0001
23	CRC	1	0x31	0011 0001
24		1	0x31	0011 0001

시작	Prio	Group	기능코드	송신장치ID	Data	CRC
0001 1110	0011 0100	0011 0001	0011 0001 0011 0111	0011 0001 0011 0001	0011 0000 0011 0000 ··· 0011 0000 0011 0110	0011 0001 0011 0111

그림 3.5 제안하는 통신 프로토콜 예시

dCollection @ chosun

제 2 절 플랜트용 게이트웨이 설계

플랜트용 게이트웨이는 총 3가지 종류로 센서에서 보내온 CAN 데이터를 이더넷으로 변환 기능을 가진 CAN 게이트웨이, IEEE 802.11 및 IEEE 802.15로 동시 변환이 가능한 이기종 호환용 게이트웨이, 그리고 게이트웨이에서 보내온 데이터를 데이터베이스 서버에 전송을 지원하는 게이트웨이 정보 수집용 스위치를 설계하였다.

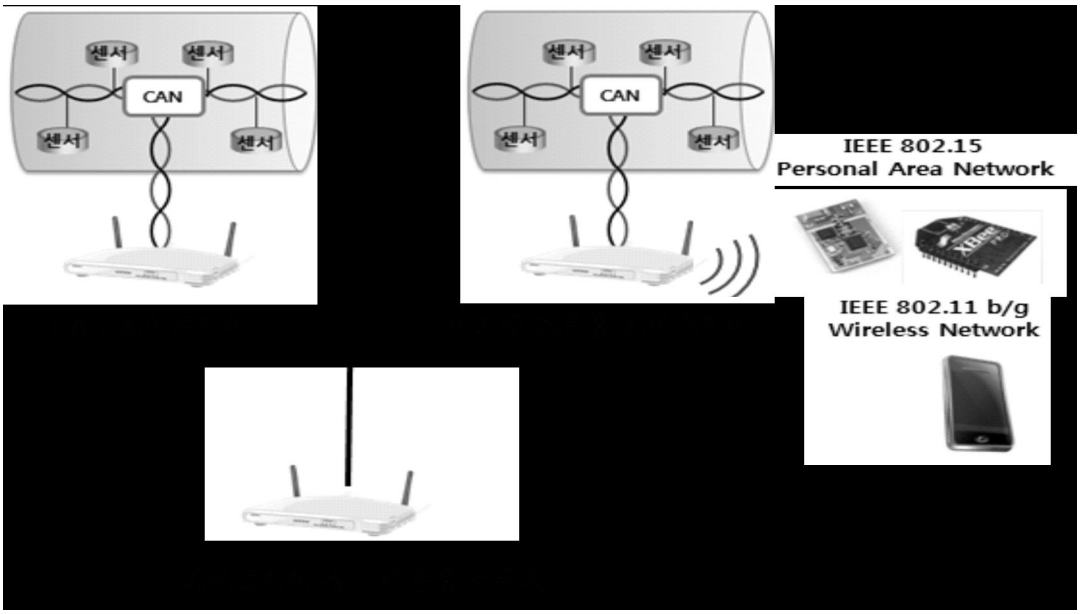


그림 3.6 플랜트용 게이트웨이 종류 및 개요도

dCollection @ chosun

1. CAN 게이트웨이 설계

CAN 게이트웨이는 센서로부터 CAN 통신 방식을 통해 획득한 정보를 처리하기 위해 ARM 기반의 MCU를 사용하였다. 첫 번째 설계한 CAN 게이트웨이는 향후 상용화 및 양산화를 고려하여 ARM STM32F107를 기반으로 설계하였다. ARM STM32F107은 ARM 32Bit Cortex M3 기반의 MCU(Micro Control Unit)로 최대 72MHz의 클럭을 제공하며 64~256Kbyte의 플래쉬 메모리와 64Kbyte의 SRAM을 제공한다. 또한 백본망 설계에 사용될 수 있는 CAN 인터페이스를 2개를 동시에 지원이 가능하다. 또한 여러 인터페이스와의 연동에 사용되는 UART를 총 5개를 지원하고 있다. 다음 그림은 ARM STM32F107의 블록 다이어그램이다[19].

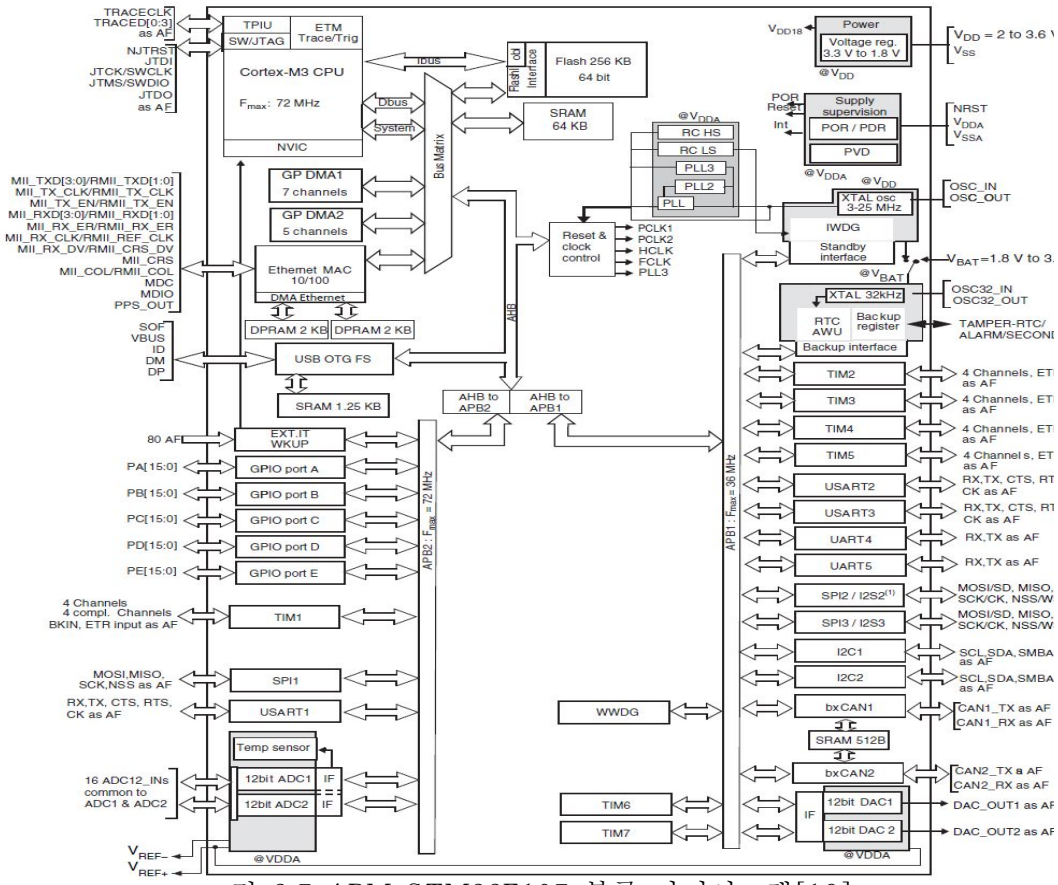


그림 3.7 ARM STM32F107 블록 다이어그램[19]

dCollection @ chosun

ARM STM32F107은 최대한의 UART 인 4터페이스를 중복없이 설계해야 하므로 다음 그림과 같은 100핀이 지원되는 LQFP100 타입으로 ARM STM32F107VCT6T 기반으로 설계하였다.

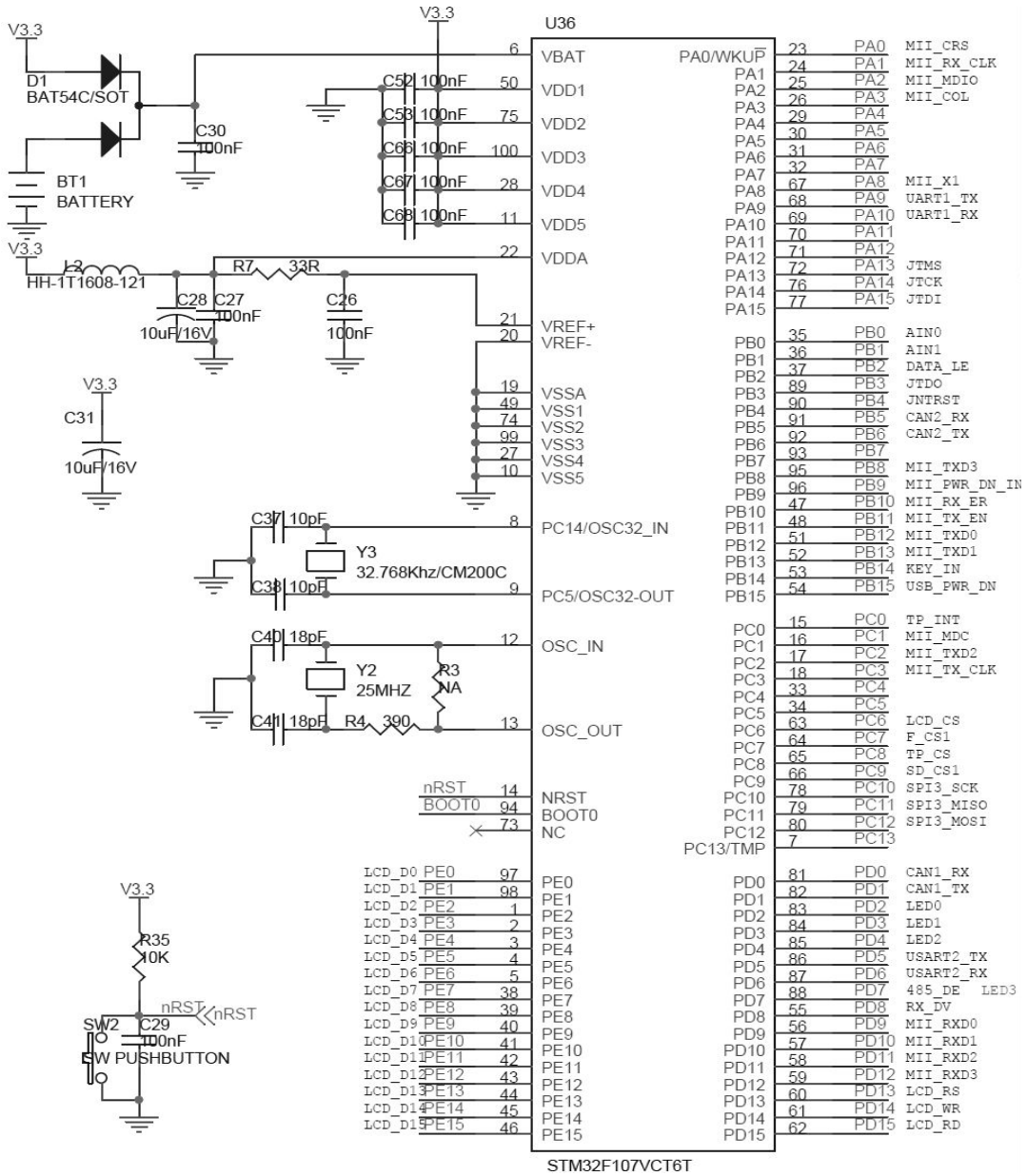


그림 3.8 CAN 게이트웨이 MCU 부분 회로도

dCollection @ chosun

전원은 DC 3.3V를 VBAT, VDD, VREF에 공급하였으며, 크리스탈 25Mhz와 32.768Khz를 OSC 부분에 연결하여 동작이 가능하도록 하였다. CAN 통신은 인터페이스에서 CAN H를 제공하는 PD1과 PB6, 그리고 CAN L를 제공하는 PD1과 PB5를 CAN 트랜시버인 SN65HVD230 소자에 각각 연결하여 2개의 CAN 통신을 동시에 지원하도록 아래 그림과 같이 설계하였다.

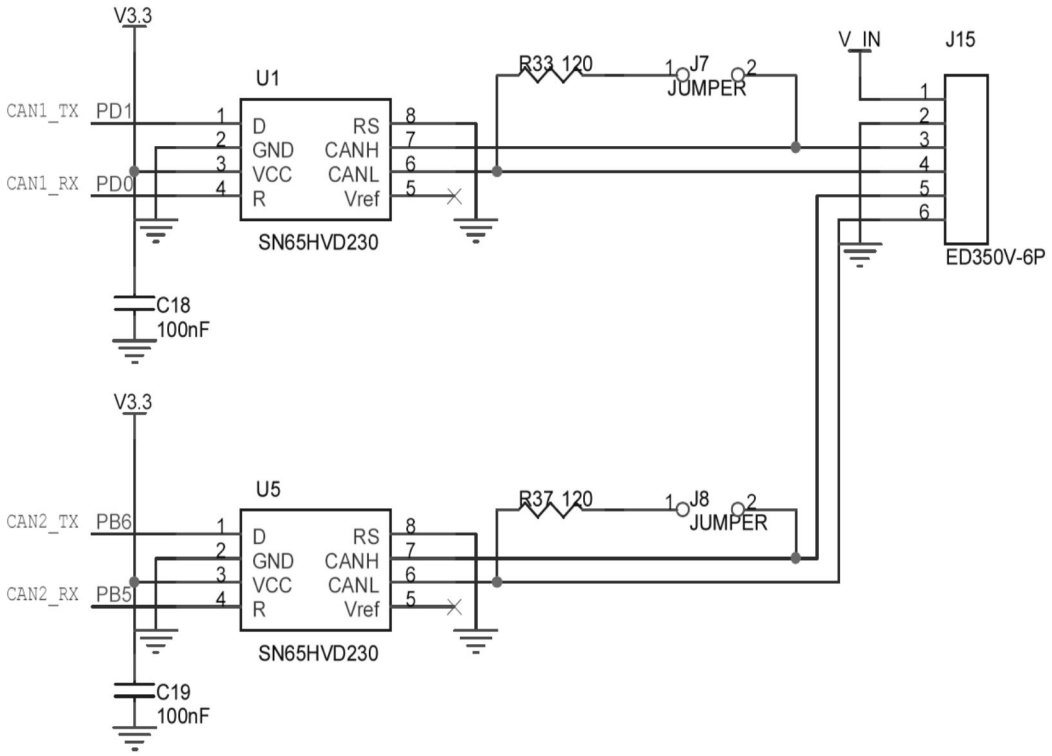


그림 3.9 CAN 통신 부분 회로도

RS-232 인터페이스는 MAX3232 기반으로 아래의 그림과 같이 설계하였으며, RS-232 수신부는 ARM STM32F107에서 UART2_RX인 PD6에 연결하였다.

dCollection @ chosun

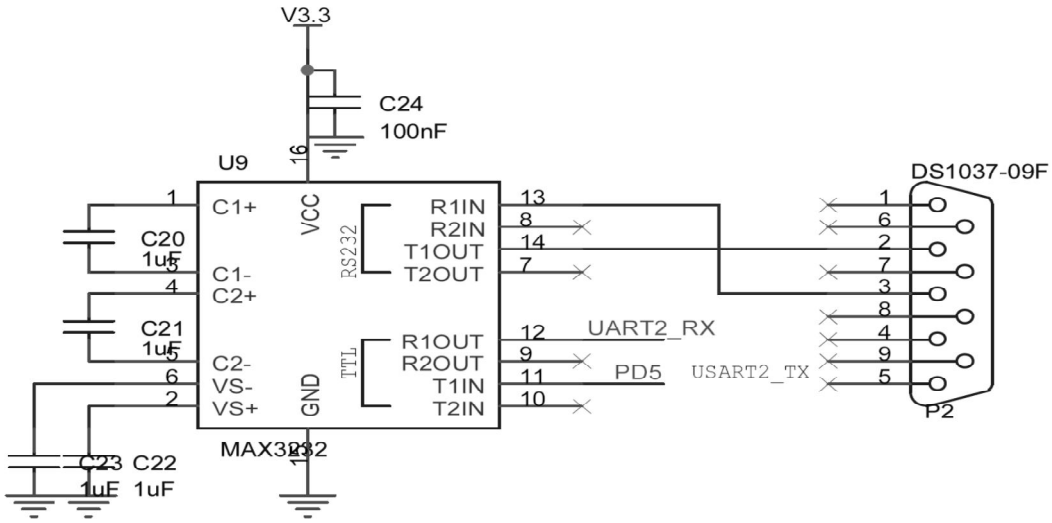


그림 3.10 RS-232 통신 부분 회로도

USB 인터페이스는 USB 2.0과 Mini USB를 동시에 지원이 가능하도록 아래 그림과 같이 설계하였다.

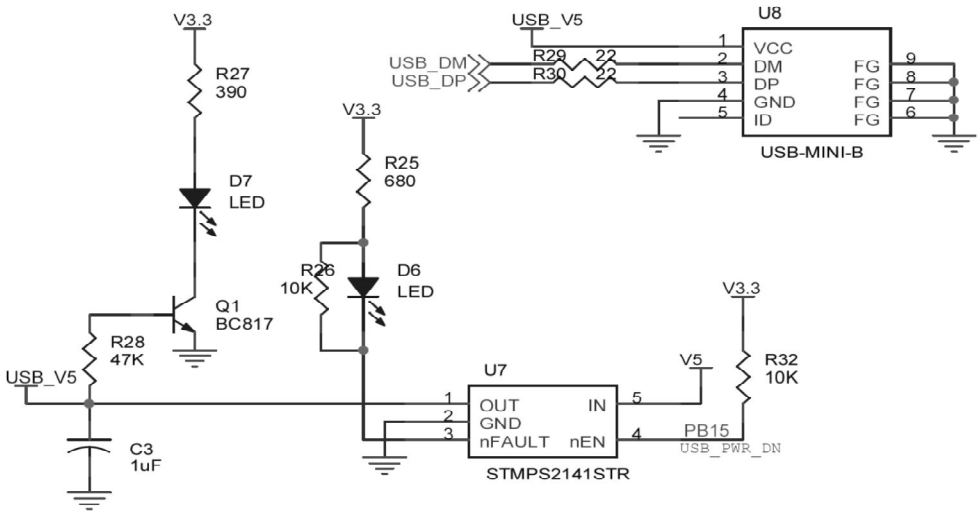


그림 3.11 USB 통신 부분

dCollection @ chosun

이더넷 통신부분은 트랜시버인 DP83848VCC 소자와 ARM STM32F107과 UART 2개를 연결하여 통신이 가능하도록 설계하였으며, 인터페이스 부분은 HR911105A 소자를 이용하여 아래 그림과 같이 설계하였다.

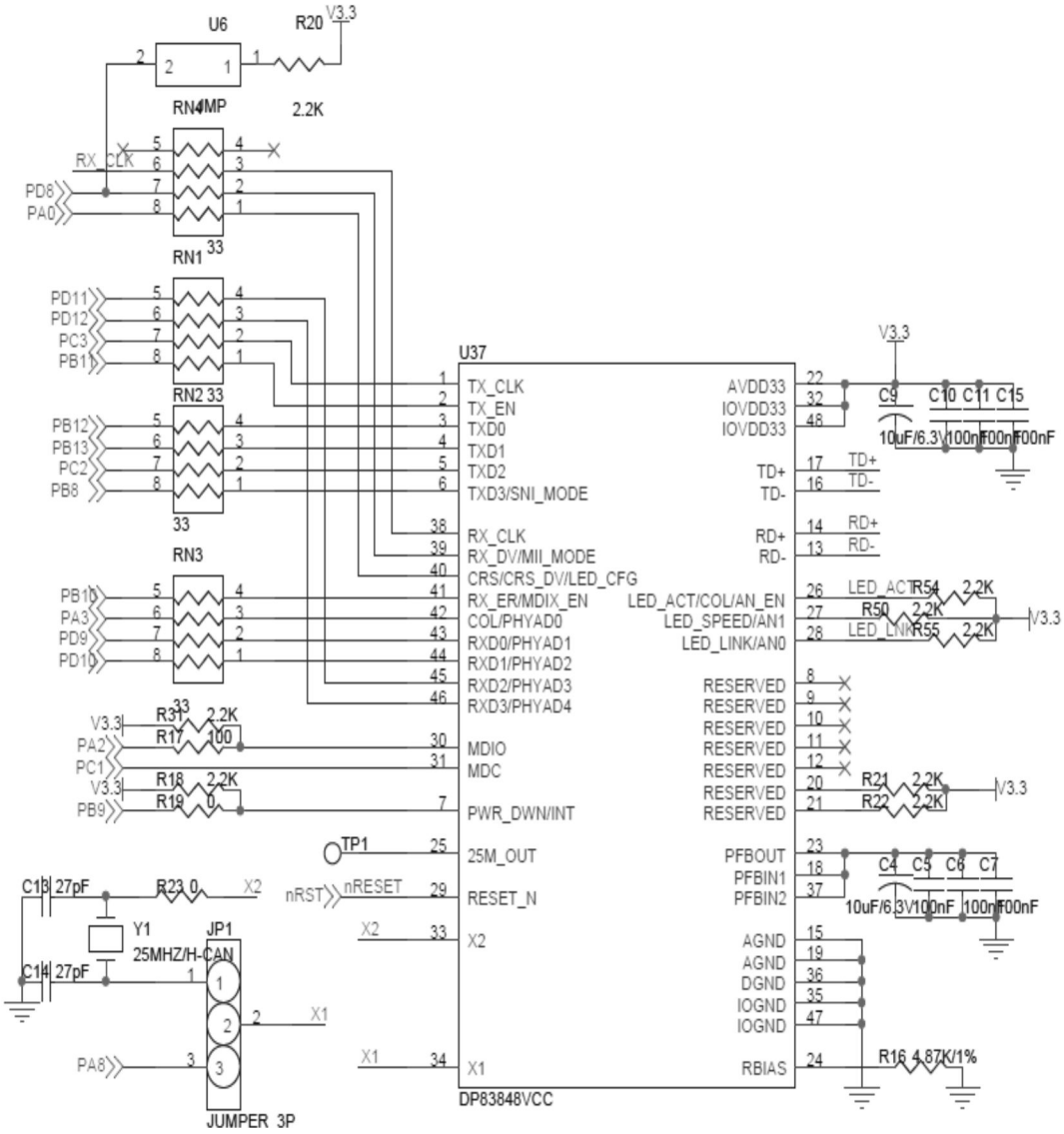


그림 3.12 이더넷 통신 부분

dCollection @ chosun

전원부는 소자별 전원을 공급할 수 있는 3.3V와 USB 전원을 공급할 수 있는 5V를 지원이 가능한 LM2576 소자와 LM1117MPX 소자를 이용하여 아래 그림과 같이 설계하였다.

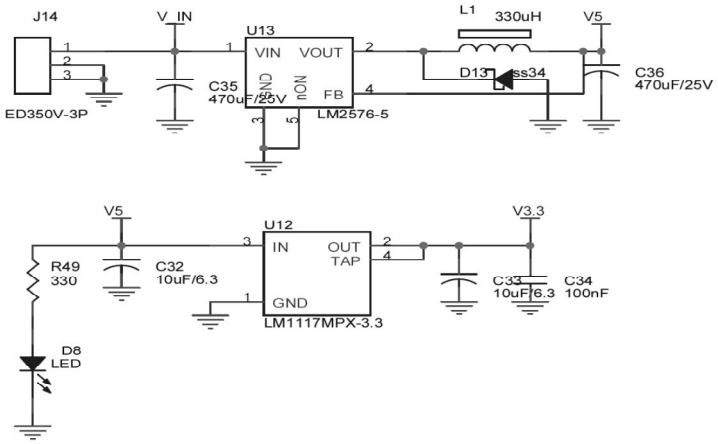


그림 3.13 전원부 회로도

마지막으로 모듈 제어 프로그램의 디버깅 툴 연결부는 20Pin Header를 이용하여 ARM STM32F107과 연결하도록 설계하였다. 제어 프로그램은 C언어 기반으로 설계하였으며, 디버깅 툴은 Keil과 JTAG를 사용하였다.

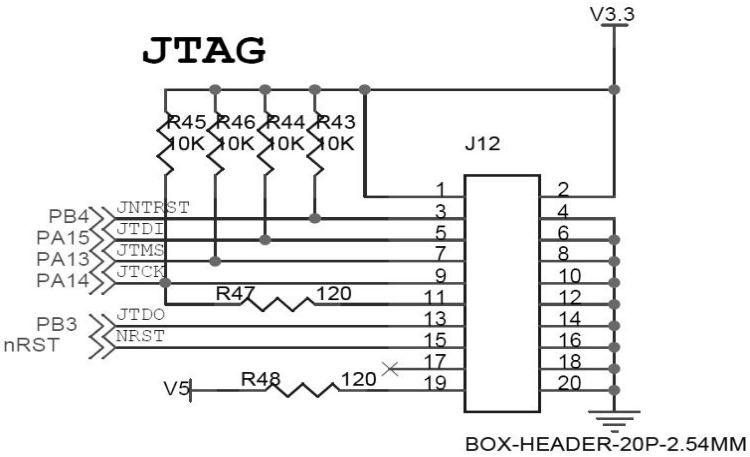


그림 3.14 디버깅 툴 연결부

dCollection @ chosun

다시 정리하여 보면 사용자의 접근성과 확장성을 극대화하기 위해 CAN 포트 2개, 이더넷 포트 1개, USB 포트 2개, RS-232 포트 2개를 지원하도록 설계하였다, 모든 인터페이스는 UART 방식으로 MCU인 ARM STM32F107과 통신을 할 수 있도록 설계하였으며, 설계한 회로도는 아래 그림과 같다.

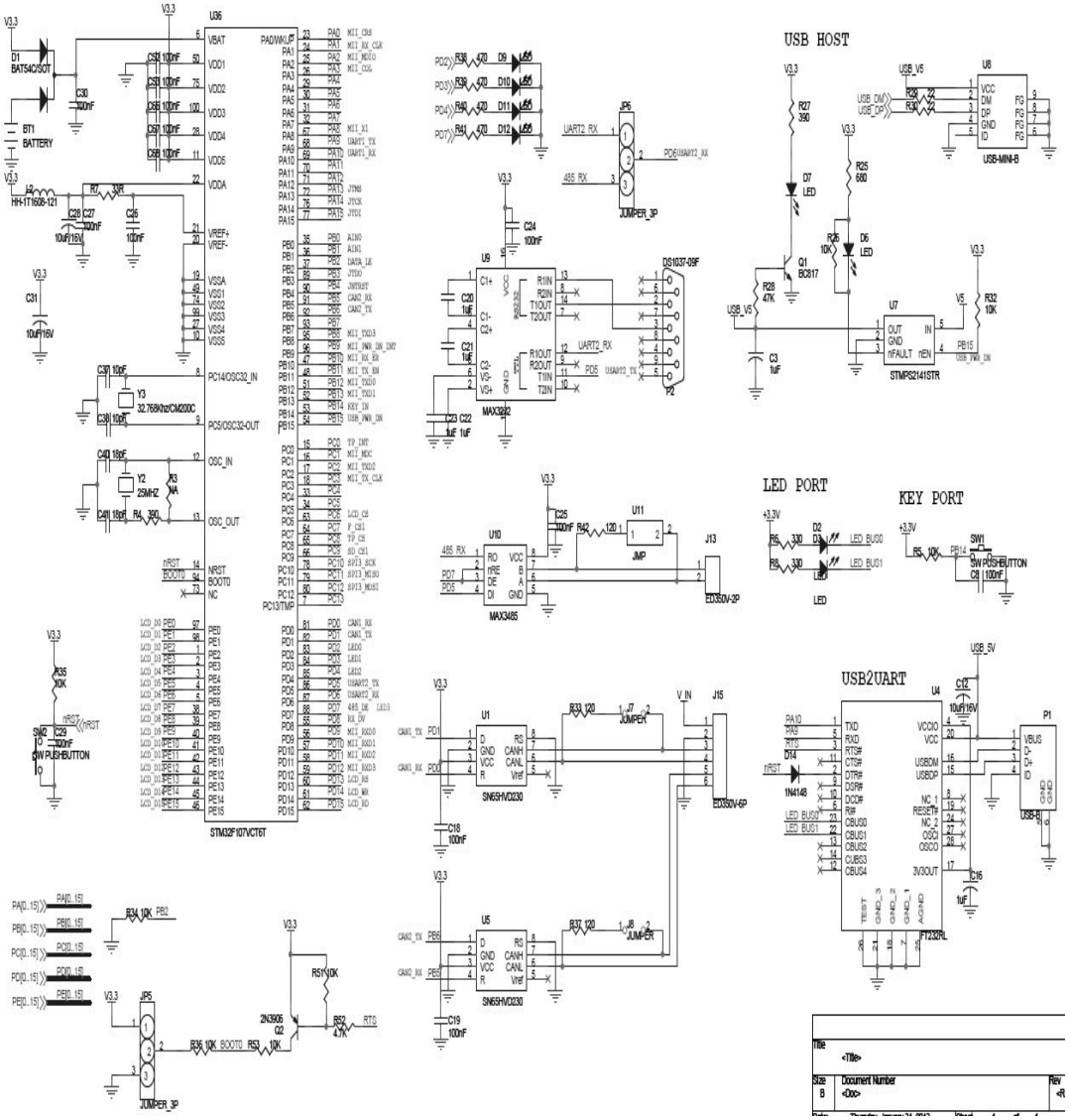


그림 3.15 ARM STM32F107 기반 CAN 게이트웨이 회로도

dCollection @ chosun

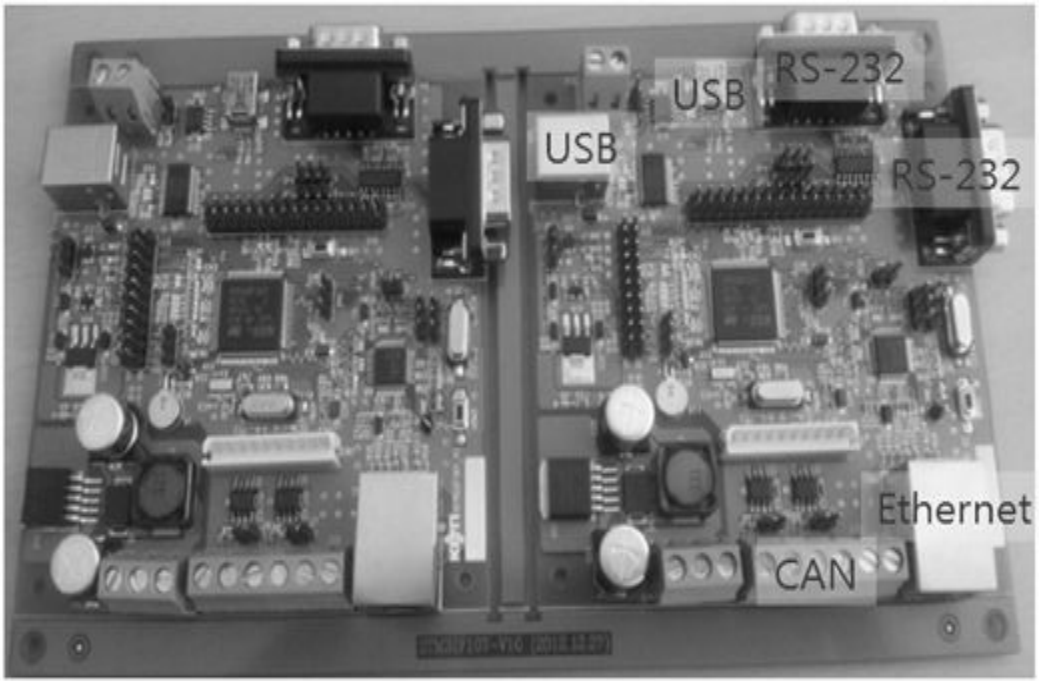


그림 3.16 ARM STM32F107 기반 CAN 게이트웨이 PCB

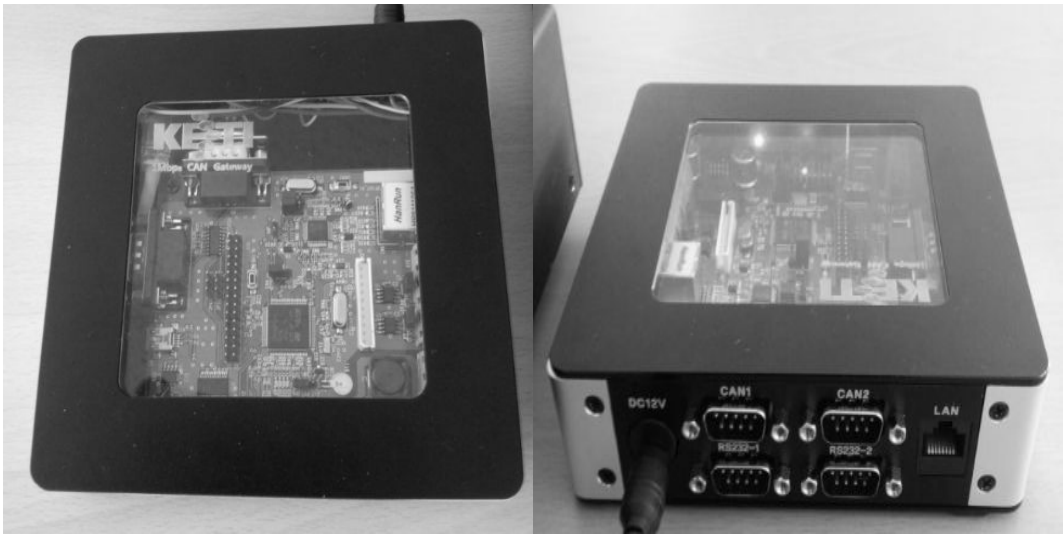


그림 3.17 ARM STM32F107 기반 CAN 게이트웨이 시제품

dCollection @ chosun

설계한 CAN 게이트웨이가 제대로 동작하는지 여부를 확인하기 위해 Atmal_16_m1을 이용하여 온도, 압력, 초음파, 적외선 센서의 데이터를 CAN 통신으로 게이트웨이 전송할 수 있는 테스트용 CAN 센서 통신 모듈을 16개 제작하여 간이 통신 시험을 수행하였다.

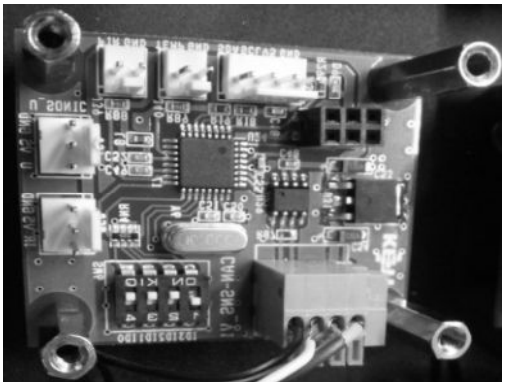


그림 3.18 테스트용 센서 CAN 통신 모듈

그림 3.19 ARM STM32F107 기반 CAN 게이트웨이 간이 테스트 베드

dCollection @ chosun

표 3.2 간이 테스트 베드 구성 요소

구성 요소	수 량
게이트웨이	1 개
적외선 센서	2 개
온도 센서	6 개
압력 센서	2 개
초음파 센서	2 개
CAN 통신 모듈	12 개
모니터링 시스템	1 개

간이 통신 테스트 결과 설계한 ARM STM32F107기반 CAN 게이트웨이는 통신 클럭이 낮은 관계로 여러 개의 센서들과의 통신이 불가능하다는 것을 간이 실험을 통해 확인할 수 있었다. 또한 ARM STM32F107은 1초당 전송 및 데이터 처리할 수 있는 클럭은 최대 72MHz로서 데이터 전송을 위한 변복조 및 데이터 라우팅 처리, CAN 통신 메시지 처리 등에 클럭을 소모하면 이더넷 전송에 소요되는 클럭은 약 20MHz이며 이는 이더넷 최대 속도가 20Mbps 지원이 가능하다는 것을 의미하며, CAN 통신의 1Mbps는 지원을 하지만 이더넷 통신의 100Mbps는 지원이 불가능한 구조라는 것을 알 수 있다.

이러한 문제점 해결을 위해 ARM STM32F107인 M3시리즈 보다 한단계 위인 M4 시리즈 중 ARM STM32F407로 재설계를 하였다. ARM STM32F407은 Cortex-M4 코어를 적용하였으며 처리속도는 166Mhz에 210DMIPS로서 STM32F107의 72Mhz의 61DMIPS에 비해 1.5배 높은 처리속도를 지원한다. 또한 ARM STM32F407는 1초당 전송 및 데이터를 처리할 수 있는 클럭은 168Mhz으로 변복조 및 데이터 라우팅 처리, CAN 통신 메시지 처리 등에 클럭을 소모하면 이더넷 전송에 소요되는 클럭은 약 110MHz이며 이는 최대 속도가 100Mbps 지원이 가능하다는 것을 알 수 있다. 그

dCollection @ chosun

리고 ARM STM32F407은 DSP 내장되어 있어 CAN 데이터를 이더넷 데이터로 전환하는 지연시간을 감소시킬 수 있는 특징을 가지고 있다[20].

표 3.3 ARM STM32F107과 407의 비교

구분	STM32F107	STM32F407
CPU코어	Cortex-M3	Cortex-M4
클럭 속도	72MHz	168MHz
DSP	없음	내장
내부 RAM	64Kbps	192Kbps
내부 ROM	256Kbyte	1Mbyte
CAN	2Port	2Port
Ethernet	10/100 IEEE 1588	10/100 IEEE 1588 V2

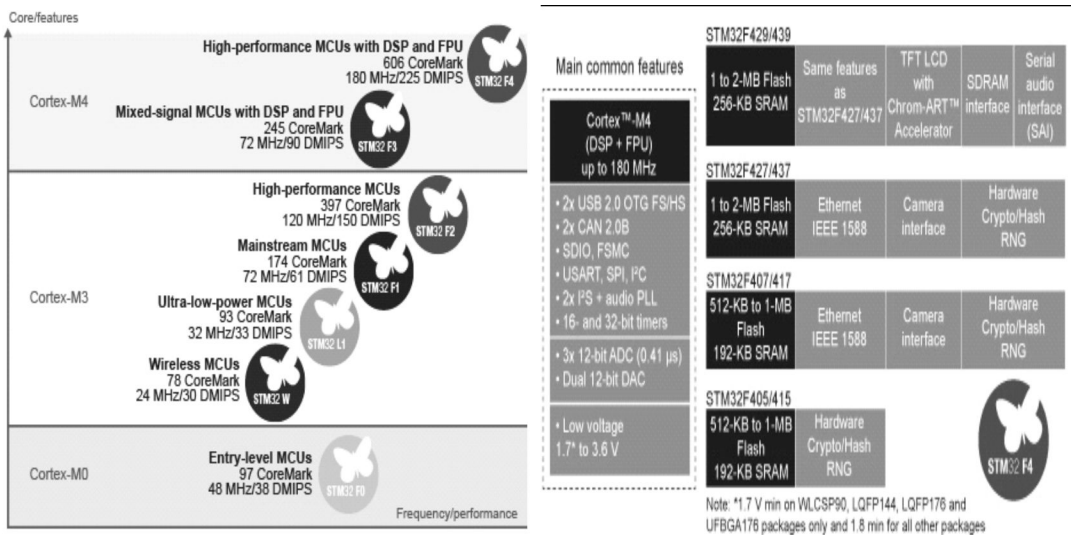


그림 3.20 ARM STM32F407과 ARM STM32F107과의 차이점

dCollection @ chosun

STM32F107 기반 게이트웨이 간이 통신 테스트 결과 발생한 통신동기화 문제 및 지연시간 증가 문제를 해결을 위해 처리속도가 높은 STM32F407로 게이트웨이 재설계하였다. 설계시 안전한 백본망 제공 및 부하로 인한 멈춤 현상 방지를 위해 MCU를 듀얼 개념으로 아래 그림과 같이 설계를 하였다.

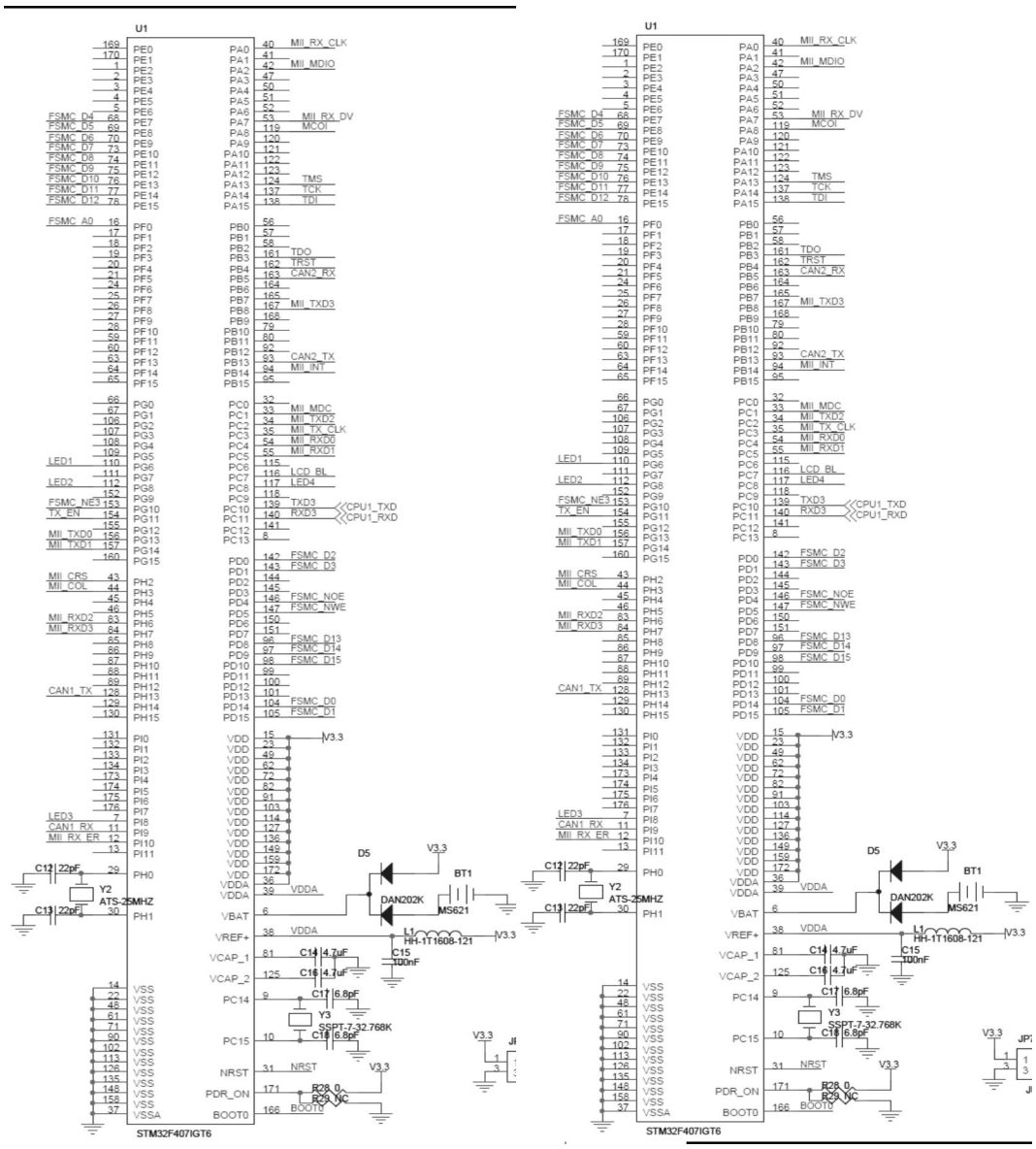


그림 3.21 ARM STM32F407 게이트웨이 듀얼 MCU 부분

dCollection @ chosun

ARM STM32F407 기반 듀얼 MCU를 지원하는 CAN 게이트웨이에서 지원하는 안전한 백본망 제공과 부하에 따른 멈춤 현상 방지 기능은 아래 블록도와 흐름도와 같이 동작을 한다.

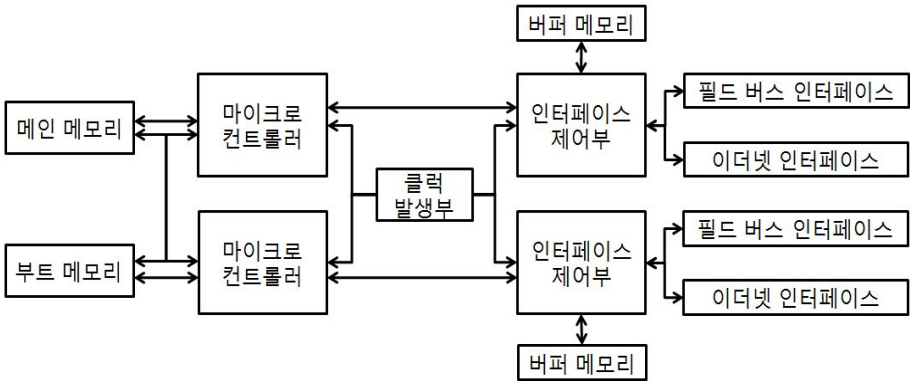


그림 3.22 듀얼 MCU 부분 블록도

블록도를 살펴보면, 시스템상의 오류 및 통신 오차 없이 동작하기 위해 2개의 마이크로 컨트롤러가 시스템 관련 메인 메모리와 부트 메모리를 서로 동일하게 공유할 수 있는 구조로 되어 있다. 또한 인터페이스 및 마이크로 컨트롤러 변환할 경우에도 통신 동기화를 유지하기 위해 클럭 발생부를 마이크로 컨트롤러와 인터페이스 제어부가 공유할 수 있는 구조로 되어 있다. 그리고 통신 도중 마이크로 컨트롤러가 변환되더라도 데이터를 지속적으로 처리할 수 있도록 메인 버퍼메모리를 공유하도록 하였으며, 백본망 형석을 위해 인터페이스 제어부에 별도의 버퍼메모리가 있는 구조로 되어 있다.

이러한 구조는 한 개의 마이크로 컨트롤러는 평상시 트래픽 폭주가 발생하지 않을 경우 사용되며, 트래픽 폭주로 인한 접속 장애가 발생할 경우 서브 마이크로 컨트롤러가 통신 데이터 처리를 병행처리가 가능하다는 특징을 가지고 있다. 또한 별도의 버퍼를 통해 인터페이스 전환 및 변환이 가능하며 백본망 형성이 가능한 구조를 가지고 있다.

dCollection @ chosun

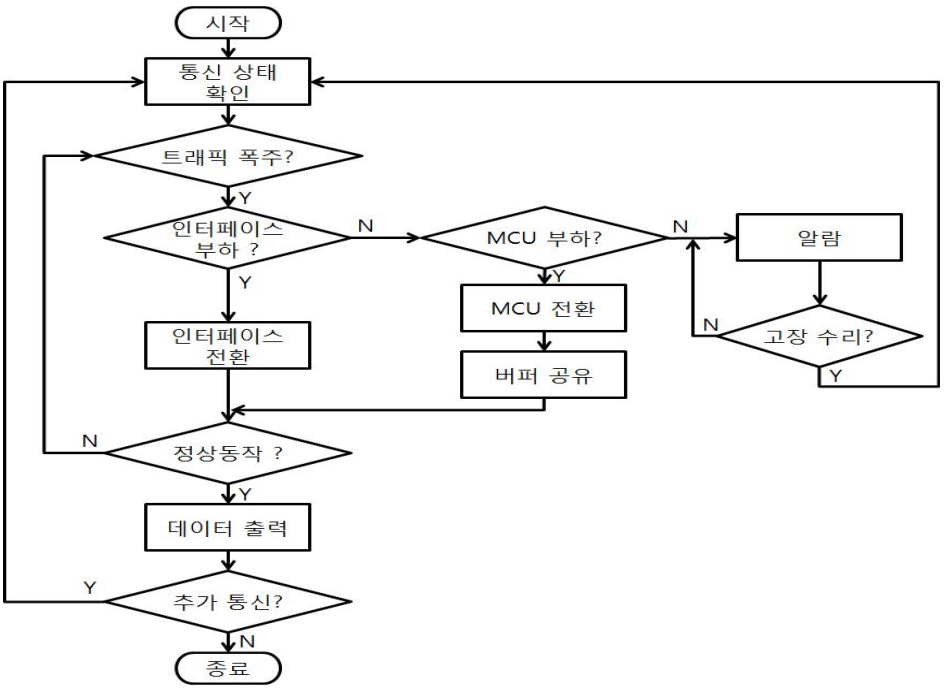


그림 3.23 듀얼 MCU 부분 동작 흐름도

흐름도를 살펴보면, 통신이 시작하였을 경우 트래픽 폭주에 의한 통신 상태를 확인한다. 트래픽 폭주가 발생하였을 경우 인터페이스부터 고장이 발생되었는지 판단하여 인터페이스를 전환하며, 인터페이스 제어부 고장이 아니라고 판단할 경우 마이크로컨트롤러 고장 유무를 확인하여 마이크로 컨트롤러 전환 및 버퍼 메모리 공유를 수행한다. 이때 인터페이스 제어부 및 마이크로 컨트롤러 모두 고장이 아니라고 판단될 경우 알람을 발생하며 고장 수리가 이루어 질때까지 동작을 멈춘다. 고장 수리가 다 이루어지면, 다시 통신 상태를 확인하는 단계로 돌아가 통신 상태를 확인한다.

인터페이스 및 마이크로 컨트롤러를 전환할 경우 전환된 부분이 정상적으로 동작 여부를 확인하여 최종적으로 데이터를 출력한다. 추가적인 통신이 있을 경우 처음부터 다시 시작하게 되며, 그렇지 않을 경우 통신을 종료하게 된다.

ARM STM32F407 기반의 듀얼 MCU를 지원하는 CAN 게이트웨이의 인터페이스 부분은 듀얼 MCU로 인해 이더넷 인터페이스가 2개, CAN 인터페이스가 4개로 늘어난 부분을 제외하고는 ARM STM32F107과 똑같이 아래 그림과 같이 설계하였다.

dCollection @ chosun

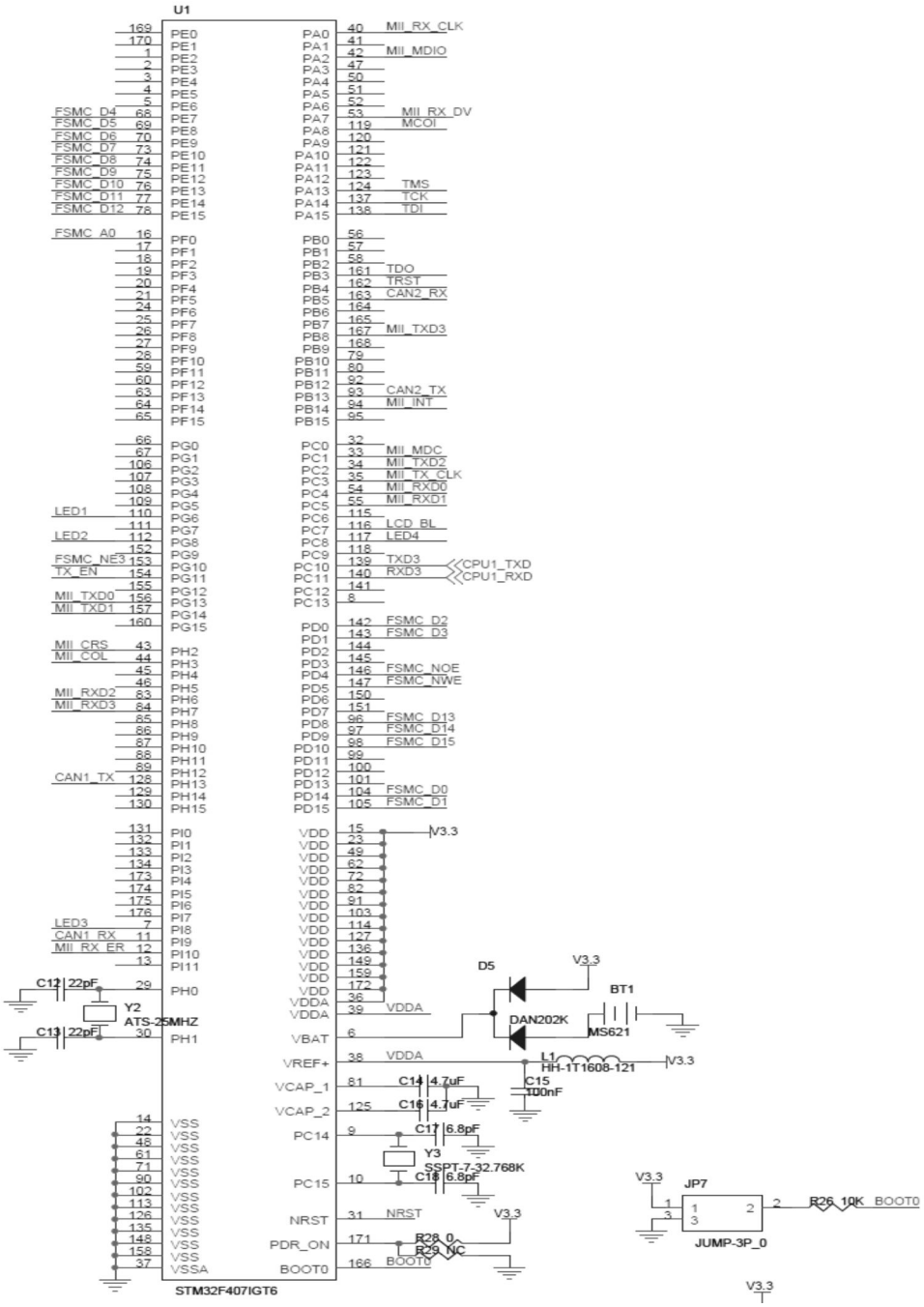


그림 3.24 ARM STM32F407 기반 게이트웨이 MCU 부분

Collection @ chosun

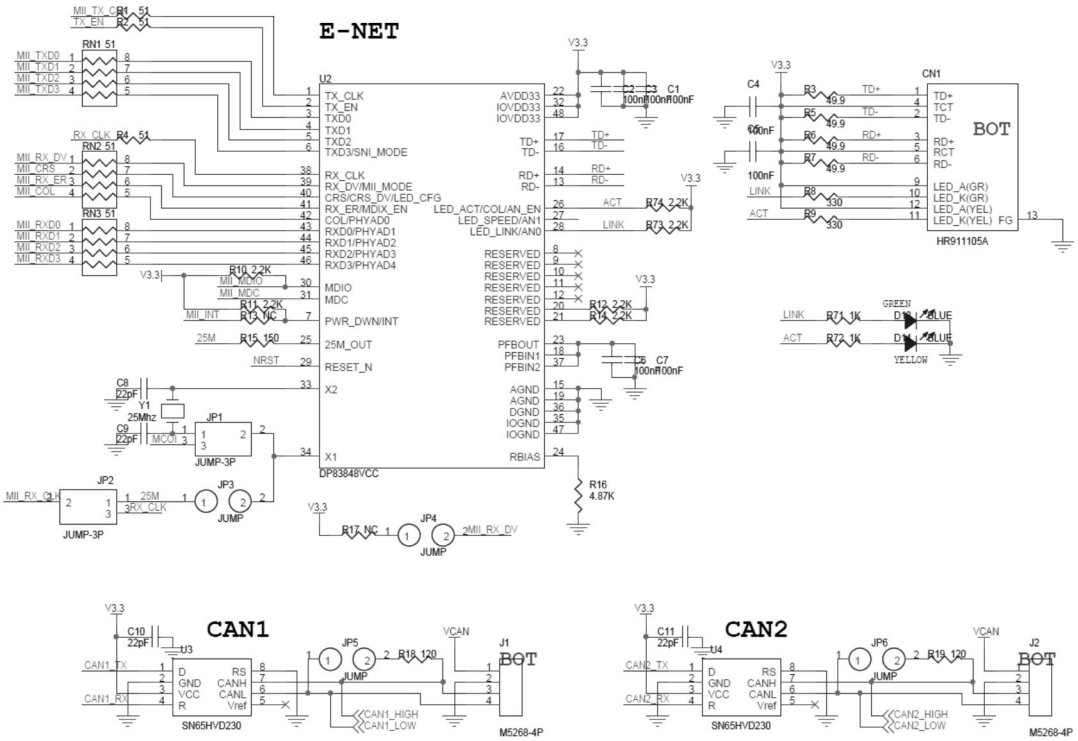


그림 3.25 게이트웨이 통신 인터페이스 부분

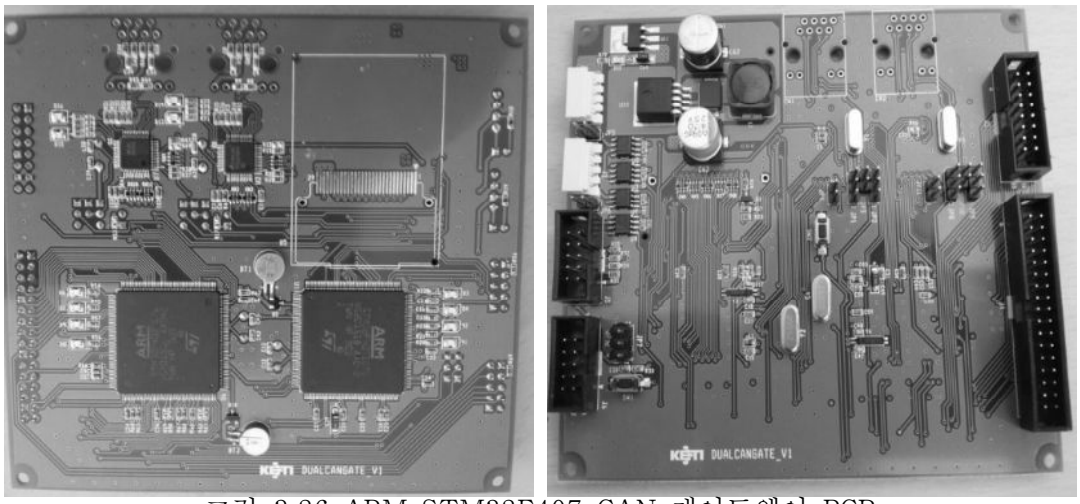


그림 3.26 ARM STM32F407 CAN 게이트웨이 PCB

dCollection @ chosun

2. 이기종 호환용 게이트웨이 설계

앞에서 설계한 CAN 게이트웨이는 센서에서 수신한 CAN 메시지를 이더넷, RS-232, USB 형식으로 변환시켜주는 기본적인 기능을 제공하고 있다. 다시 말해 CAN 게이트웨이는 유선만을 지원하는 게이트웨이로서 플랜트에서 무선기반으로 접근성을 높일수 있는 기능을 지원이 가능한 무선 인터페이스를 제공하지 않는다. 그러므로 본 단락에서는 무선 원격 기능 지원을 위한 다종의 무선 인터페이스를 지원할 수 있는 이기종 호환용 게이트웨이를 제안 및 설계한다. 이기종 호환용 게이트웨이는 기본적으로 CAN 게이트웨이가 지원하는 유선 인터페이스 이외에 Zigbee, Bluetooth, WiFi, 3G(CDMA)를 지원이 가능하도록 설계하였다.

가. Zigbee 인터페이스 선정

Zibgee 인터페이스는 상용제품인 XBee Pro RF 모듈을 이용하여 설계하였다. Digi International에서 판매하고 있는 XBee Pro는 현재 안테나 내장형과 외장형 두가지 종류의 모듈이 존재하고 있으며, 전송 거리 및 주파수 채널 환경을 고려하여 외장형 안테나 타입으로 Zigbee 인터페이스를 설계하였다. 또한 Zigbee 인터페이스와 게이트웨이의 MCU간에는 CMOS Logic 인터페이스를 통해 통신을 하도록 설계하였다[21].

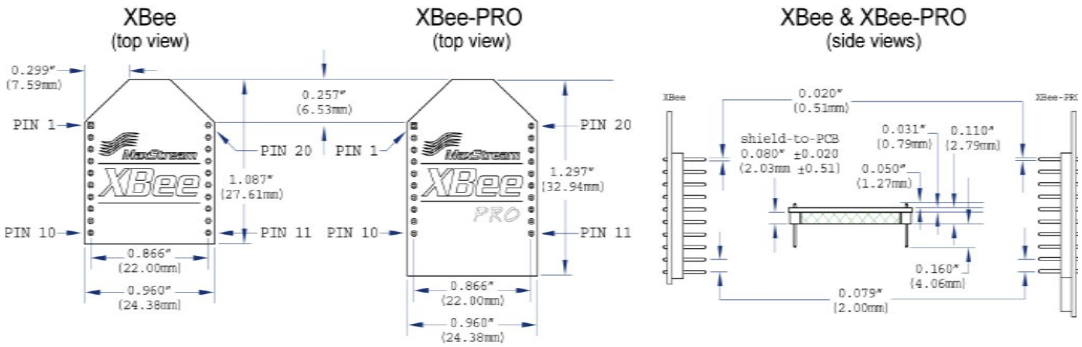


그림 3.27 XBee Pro 사양도[21]

dCollection @ chosun

표 3.4 XBee Pro 모듈 스펙[21]

구분	주요 성능
Range	• Outdoor Line of Sight : up to 1600m, 750m for International variant
Transmit Power	• 63mW(18dBm), 10mW(10dBm) for International varinat
Receiver Sensitivity	• −100 dBm
RF Data Rate	• 250,000 bps
Tx Peak Current	• 340mA(180mA for Internation varinat)
Rx Current	• 55mA(@3.3V)
Power−down Current	• < 10μA
Operating Frequency	• ISM 2.4GHz
Antenna Options	• Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector
Number of Channel	• 12 Direct Sequence Channels

dCollection @ chosun

나. WiFi 인터페이스 선정

WiFi 인터페이스는 플랜트 통신 시스템의 특성상 안전상의 문제로 인해 WiFi 인터페이스는 거의 사용하지 사용자의 사용하지 않지만, 재생 에너지 발전소와 같은 특정한 네트워크 환경에서는 Zigbee 보다는 WiFi를 사용하는 경우도 있다. 이러한 두가지 조건을 만족하기 위해 본 논문에서는 Zigbee 인터페이스와 WiFi 인터페이스를 선택적으로 사용할 수 있는 구조로 설계하였다. 선택적으로 사용할 수 있는 구조로 설계하기 위해 Zigbee 인터페이스와 동일한 구조를 가진 RN-171-XV 802.11b/g Wireless LAN Module을 기반으로 설계하였다[22].

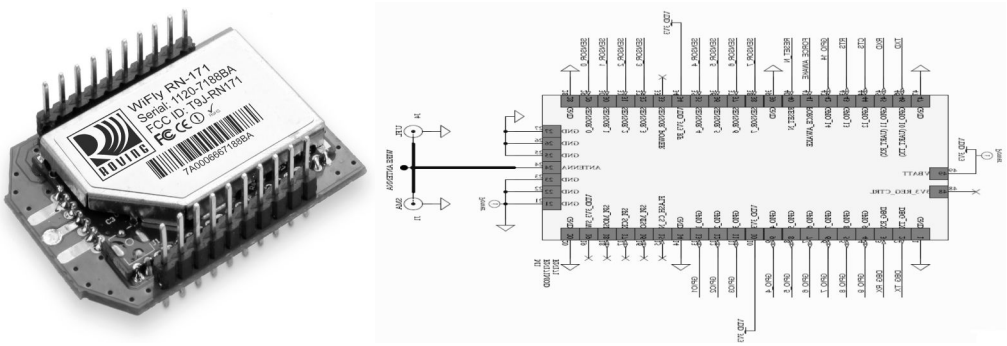


그림 3.28 RN-171-XV 802.11b/g Wireless LAN Module[22]

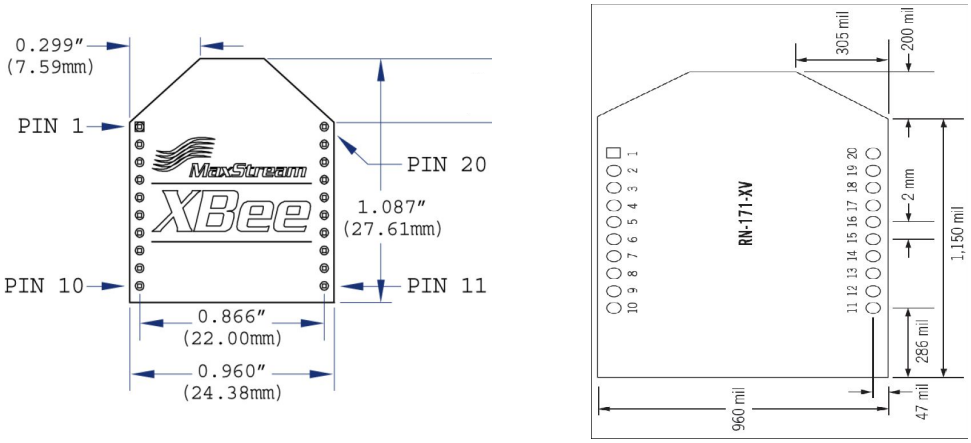


그림 3.29 WiFi 모듈과 Zigbee 모듈 비교도[22]

dCollection @ chosun

RN-171-XV 802.11b/g Wireless LAN Module에서 지원하는 소켓은 Zigbee Pro와 동일하게 지원하여 별도의 추가 회로 설계 없이 동일한 인터페이스 추가로 Wifi 인터페이스 지원이 가능하며 주요 스펙은 다음 표와 같다

표 3.5 WiFi 모듈의 주요 스펙[22]

구분	주요 성능
Operating Frequency	• ISM 2.4GHz (2,402 ~ 2,480MHz)
Channel Intervals	• 5MHz
Transmission Rate (Over the Air)	• 1 ~ 11Mbps for 802.11b • 6 ~ 54Mbps for 802.11g
Receive Sensitivity	• -83dBm Typical
Minimum Conversion Time	• 35μsec (5kHz over Wi-Fi)

다. CDMA 인터페이스 선정

CDMA 통신은 기존 무선 통신망을 이용해야하는 특징을 가지고 있다. 우선 CDMA 통신을 위해서는 통신 3사에서 제공하는 기존 망을 통해 통신이 이루어져하므로 통신 3사에서 인증을 받은 통신 모듈 기반으로 인터페이스를 설계하였다. 현재 국내에서는 CDMA와 3G 통신을 동시에 지원하며, 원 데이터 요금이 가장 저렴한 모듈은 M2M사에 제공하는 WM-211로 이 모듈을 기반으로 CDMA 인터페이스를 설계하였다. WM-211은 아래 그림과 같이 ZTE사의 ZM5202 모뎀을 내장하고 있어 TCP/IP, UDP, SMS 및 음성 기능을 제공한다[23].

dCollection @ chosun

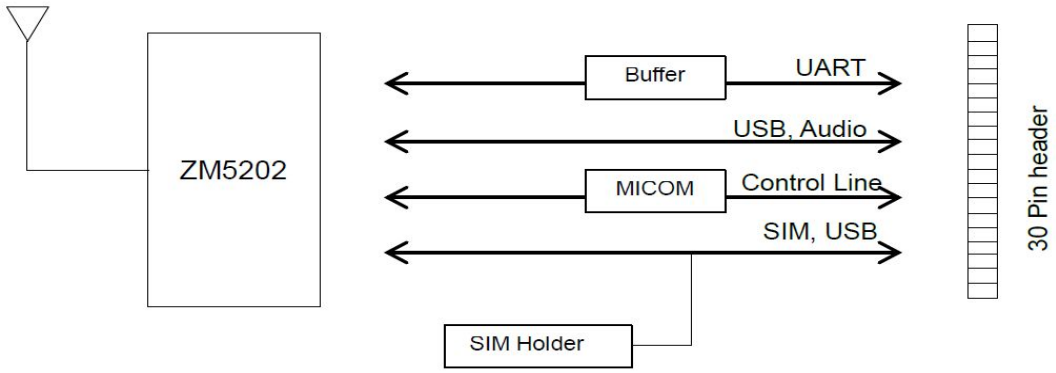


그림 3.30 WM-211 인터페이스 블록 다이어그램[23]

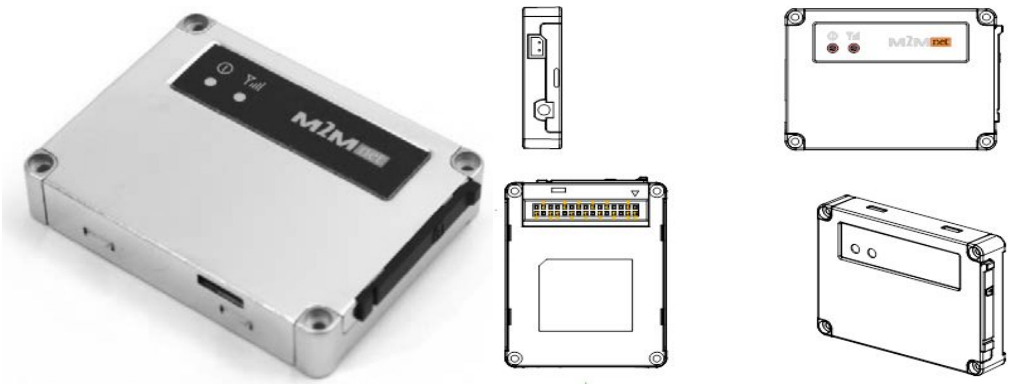


그림 3.31 M2M사의 WM-211[23]

WM-211은 안테나, 전원, 커넥터(30Pin)을 갖추고 있다. WM-211와 CAN 게이트웨이와의 연결을 위해 30Pin 커넥터를 UART 기반으로 ARM STM32F407에 연결하여 통신이 가능하도록 설계하였다. UART Signal들은 모뎀의 UART와 인터페이스 하기 위한 신호들로 모뎀 호스트는 이 신호라인을 AT 커맨드 등의 데이터를 주고 받는다. 또한 모뎀 내부에 USIM Soket이 내장되어 있어 필요에 따라 외부에 별도의 USIM 카드 소켓을 장착하여 설계가 가능하지만 본 논문에서 설계한 CAN 게이트웨이는 이러한 부분을 반영하지 않았다.

dCollection @ chosun

표 3.6 UART Signals[23]

Pin No.	Signal Name	Signal Decription	Direction
7	UART_RXD	Receive Data	HOST ← MODEM
8	UART_TXD	Transmit Data	HOST → MODEM
12	UART_RTS	Request to Send	HOST → MODEM
11	UART_CTS	Clear to Send	HOST ← MODEM
10	UART_DTR	Data Terminal Ready	HOST → MODEM
9	UART_DSR	Data Set Ready	HOST ← MODEM
6	UART_DCD	Data Carrier Detect	HOST ← MODEM
13	UART_RI	Ring Indicator	HOST ← MODEM

dCollection @ chosun

라. 이기종 호환 게이트웨이 설계

위에서 선정한 이기종 네트워크인 Zigbee, WiFi, CDMA와 CAN 게이트웨이 인터페이스인 CAN, 이더넷, RS-232와의 호환 기능을 가진 게이트웨이를 향후 상용화를 고려하여 수급이 편하고 가격이 ARM STM32F407보다 저렴한 ARM STM32F207 기반으로 아래 그림과 같이 설계하였다.

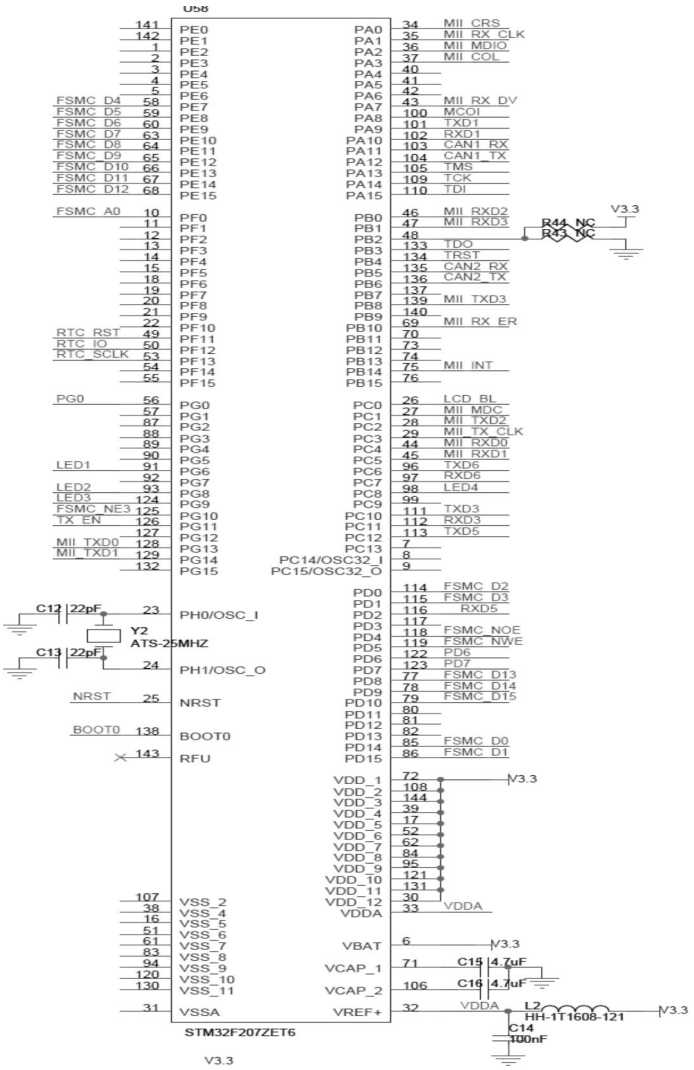


그림 3.32 이기종 게이트웨이 MCU 부분

dCollection @ chosun

MCU 부분인 ARM STM32F207은 ARM STM32F407 기반듀얼 MCU를 지원하는 CAN 게이트웨이와 동일하게 설계를 하였으며, 단지 무선 인터페이스 연동을 위해 USB부분을 제거하고 Zigbee, Bluetooth, CDMA를 UART 부분에 연결을 시켰다. 먼저 시간 동기화를 위한 동기화 부분은 DS1302 소자를 통해 시간 회로를 구현하였다. 여기서 생성되는 시간 데이터는 ARM STM32F207의 통신 제어부분인 RTC에 연동되어 모든 인터페이스의 시간 동기화를 위해 사용된다.

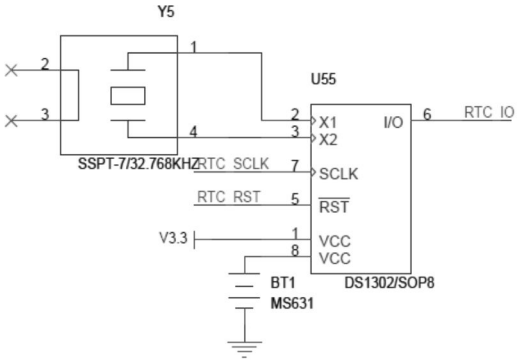


그림 3.33 시간 동기화 부분

무선 인터페이스에서 Bluetooth는 BCD210 모듈을 사용하여 구현하였다. BCD210 모듈은 근처의 4개 Bluetooth 모듈과 자동으로 인식하여 통신이 가능한 모듈로서 향후 플랫폼에서 엔지니어의 스마트폰이나 무선 단말기와의 통신을 위해 사용되는 인터페이스이다.

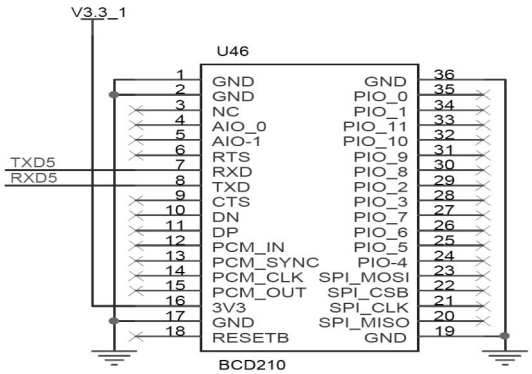


그림 3.34 Bluetooth 인터페이스 부분

dCollection @ chosun

Zigbee 인터페이스 부분은 XBee Pro 모듈을 Dip타입으로 장착을 할 수 있는 20Pin Header로 구성하였다. XBee Pro 모듈에서 오직 데이터 통신만 사용할 예정이므로 XBEE 모듈의 2, 3번 핀인 DOUT과 DIN/nCONFIG부분만을 ARM STM32F207의 UART 3과 연동이 가능하도록 설계하였다.

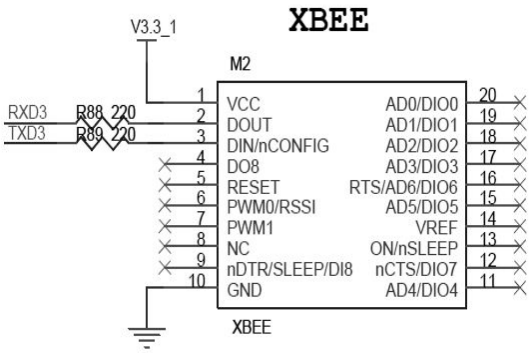


그림 3.35 Zigbee 인터페이스 부분

CDMA 인터페이스 부분은 WM211 모듈의 30Pin 중에서 통신에 필요한 부분만을 선정하여 ARM STM32F207과의 연결을 하였다. 필요한 부분은 CDMA/CA 방식 지원을 위한 RTS 및 CTS 그리고 데이터 통신을 위한 DSR 및 DTR을 연결하였으며, 구동전원은 5V로 기존 USB에 연결했던 전원을 CDMA 모듈에 연결하여 설계하였다.

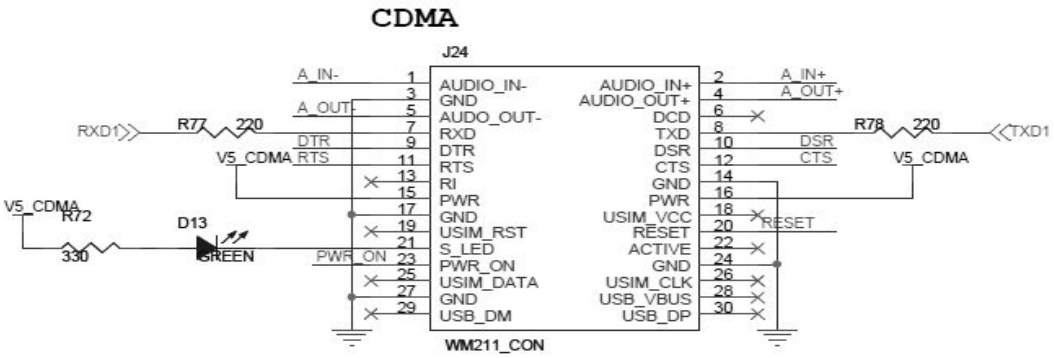


그림 3.36 CDMA 인터페이스 부분

dCollection @ chosun

이기종 호환용 게이트웨이의 CAN, 이더넷, 전원부, LCD 부분은 기존의 CAN 게이트웨이와 동일하게 설계하였다. 이기종 호환용 게이트웨이는 필드 버스 네트워크 기반 플랜트 통신 시스템의 운영 환경을 고려하여 비가 내리는 환경에서 게이트웨이가 침수되는 현상을 방지하기 위해 IPx6 등급에 적합한 방수케이스를 설계 제작하여, 그에 적합하도록 PCB를 제작하였다. 아래 그림과 같이 PCB와 방수 커넥터 부분은 공란으로 두어 무선 인터페이스의 노이즈를 최소화 하도록 설계하였다.

또한 기본적인 통신 인터페이스는 CAN 포트 2개, 이더넷 포트 1개, Bluetooth 포트 1개, Zigbee 포트 1개, CDMA 포트 1개로 구성되어 있다.

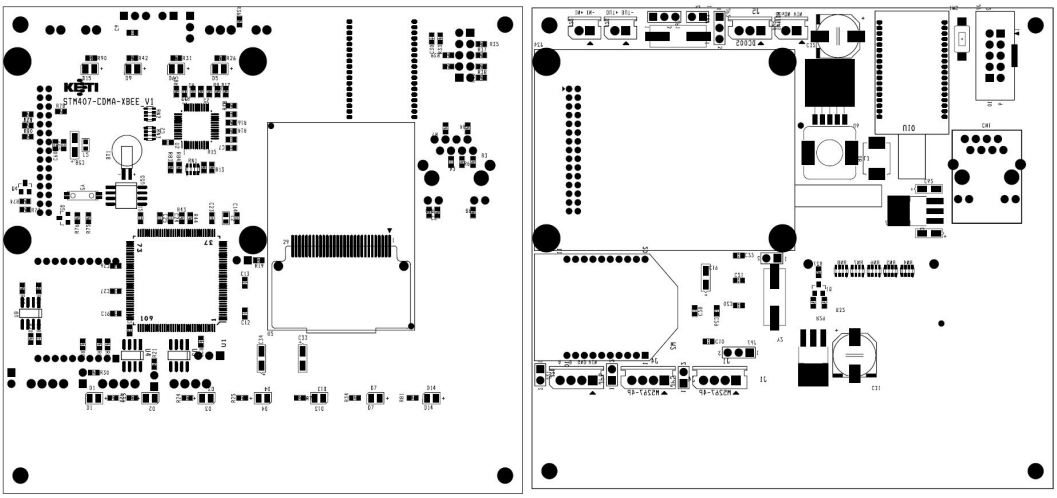


그림 3.37 이기종 게이트웨이 배치도

dCollection @ chosun

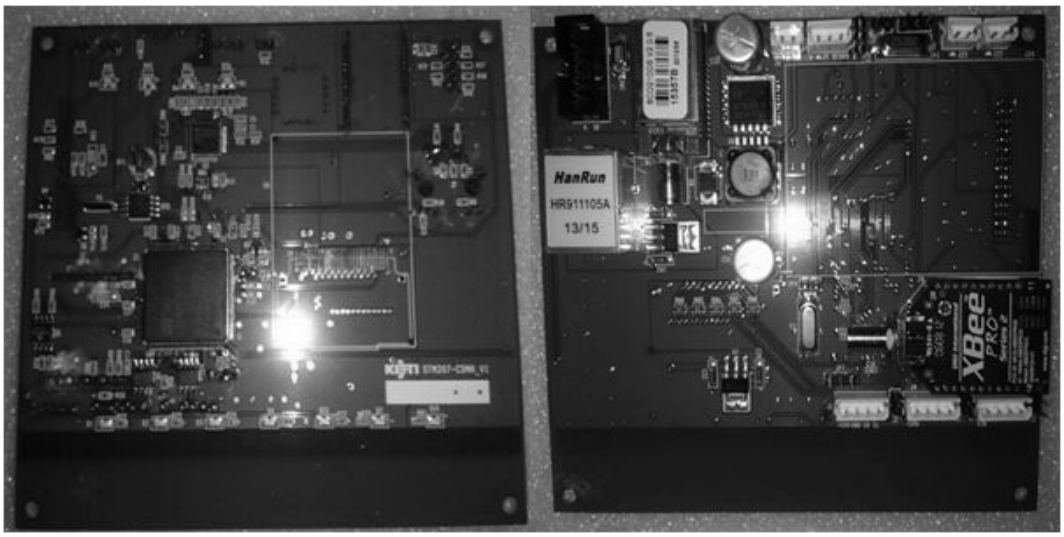


그림 3.38 이기종 게이트웨이 PCB

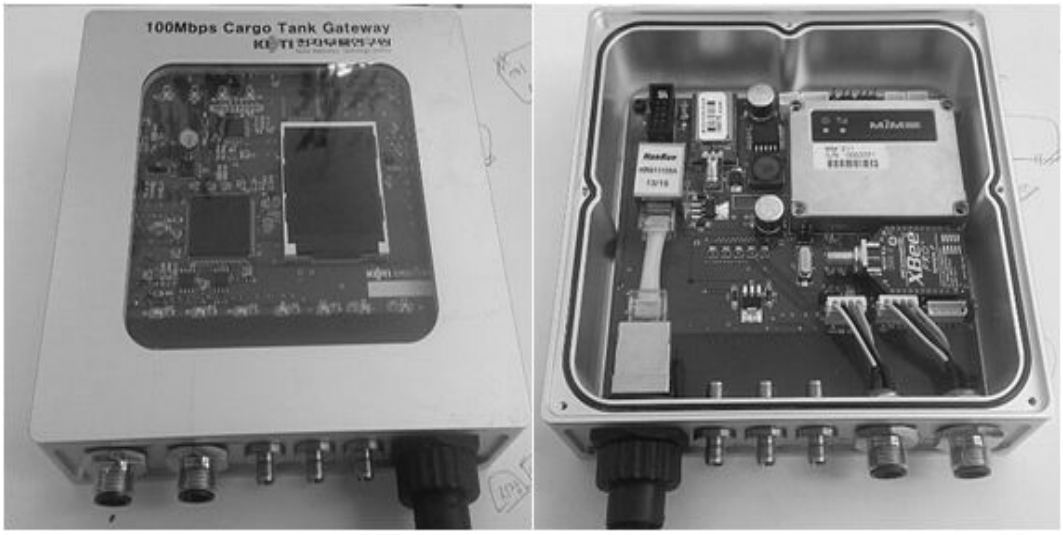


그림 3.39 이기종 게이트웨이 시작품

Collection @ chosun

마. 광 인터페이스 지원이 가능한 이기종 호환 게이트웨이 설계

필드 버스 네트워크 기반 플랜트 통신 시스템에서 플랜트 저장탱크에 부착된 게이트웨이간의 초고속 장거리 통신을 지원하기 광통신 인터페이스가 지원되는 게이트웨이를 별도로 설계하였다. 광통신 인터페이스 지원이 가능한 이기종 호환 게이트웨이는 앞에서 설계한 이기종 게이트웨이와 동일한 구조를 가지고 있지만 이더넷 트랜시버 부분을 광 인터페이스가 지원이 가능한 Switch IC로 변환하여 설계하였다. 설계에 반영된 Switch IC는 향후 상용화를 고려하여 가격이 다른 IC에 비해 낮으며 수급이 편리한 MICREL의 KSZ8893FQL 제품으로 선정하여 설계하였다. 또한 ARM STM32F407에서 Ethernet Controller로 사용하는 MII Interface 지원이 가능한 제품으로 선정하였다[24].

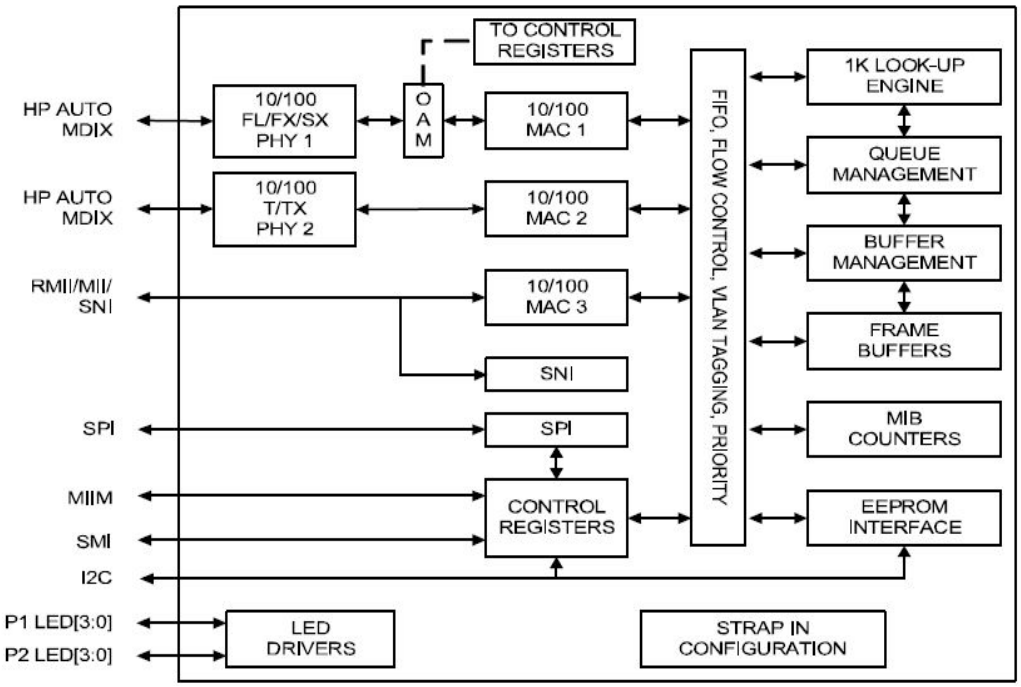


그림 3.40 KSZ8893FQL Function Diagram[24]

dCollection @ chosun

기존 이기종 통합 인터페이스형 게이트웨이에서 사용하는 이더넷 트랜시버는 단일 100BaseT 인터페이스만을 지원하므로 100Base-FX와 100Base-T 인터페이스를 AND 타입으로 동시에 지원이 가능한 KSZ8893FQL으로 교체하여 설계하였다. KSZ8893FQL 구동을 위해 1.2V와 3.3V를 연결해야 하므로 기존 전원 부분을 대폭 수정하였다. PCB의 크기 및 메인 MCU의 사양을 고려하여 기존 이기종 통합 인터페이스형 게이트웨이에서 지원하는 CDMA 인터페이스 부분을 제거하여 설계하였다.

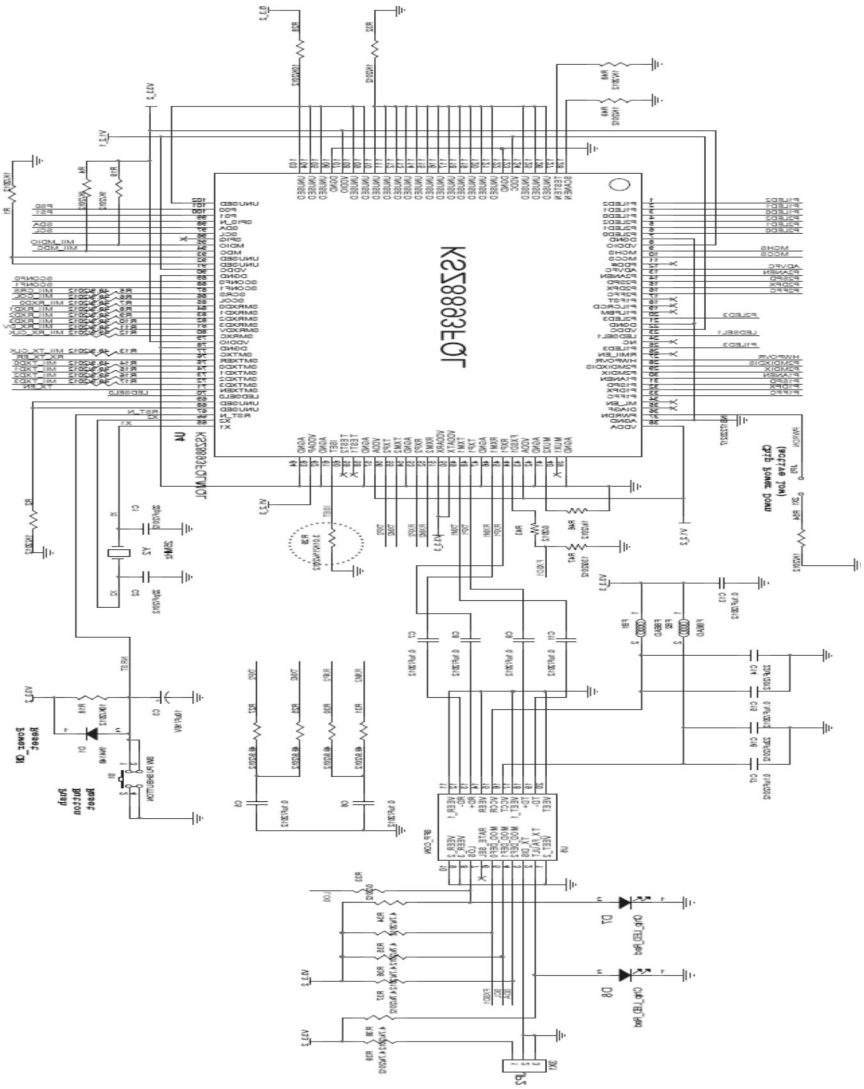


그림 3.42 광통신을 위해 변경한 이더넷 인터페이스 부분

dCollection @ chosun

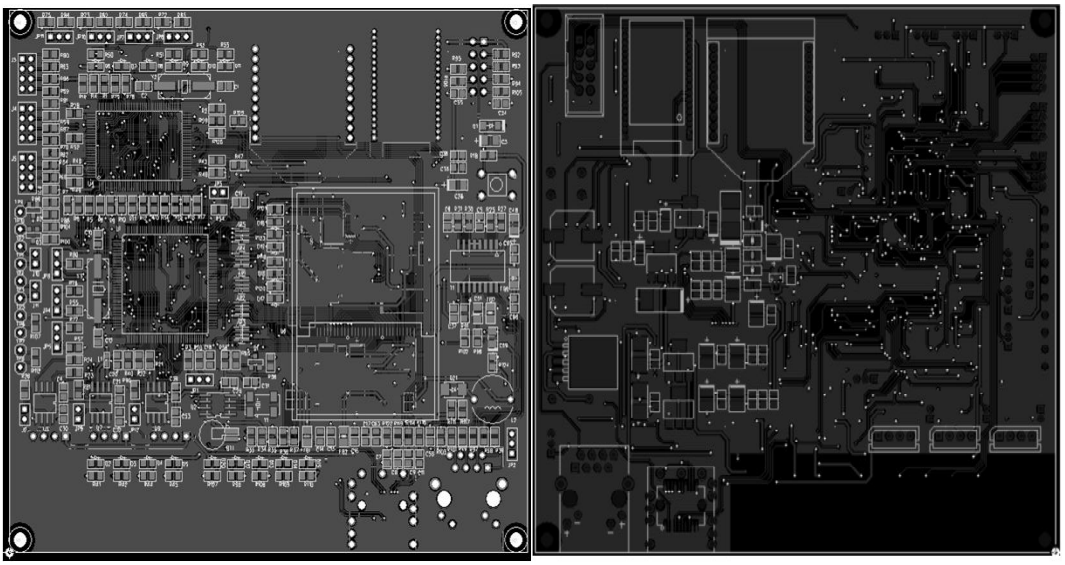


그림 3.42 광통신이 가능한 이기종 호환 게이트웨이 배치도

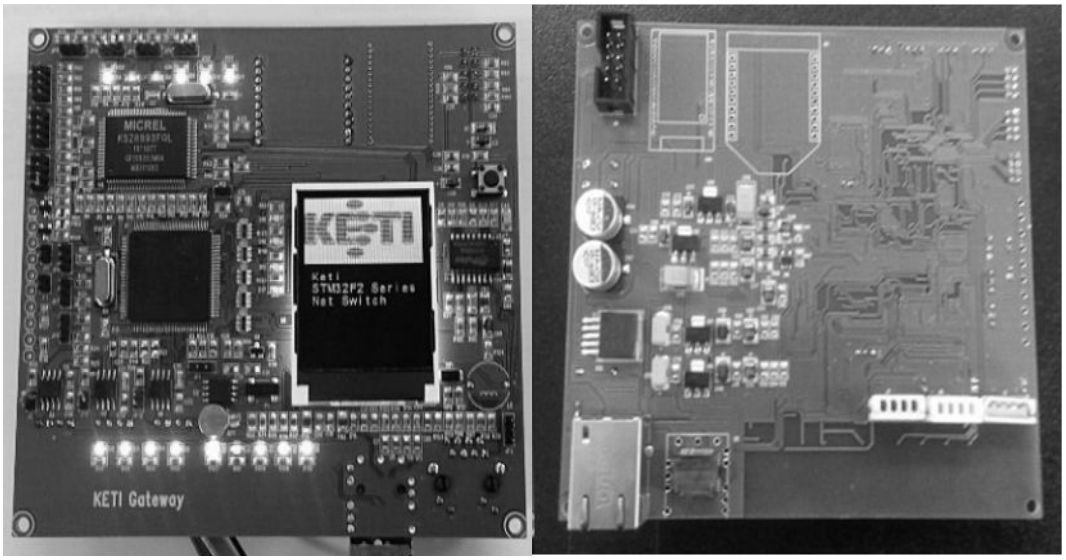


그림 3.43 광통신이 가능한 이기종 호환 게이트웨이 PCB

dCollection @ chosun

바. Zibgee Beacon 프레임 설계

앞에서 설계한 필드 버스 네트워크 기반의 플랜트용 게이트웨이는 여러 종류의 이기종 인터페이스를 지원이 가능하다. 대부분의 인터페이스는 다른 통신기기와의 호환성 유지를 위해 그대로 사용하지만 Zigbee의 경우 플랜트 통신 네트워크 환경에서 전송 지연 문제와 숨겨진 단말 문제로 인해 Beacon 프레임을 재설계하여 적용하였다.

(1) Zigbee 채널 접근 방법

Zigbee는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)방식을 지원하고 있으며, 회선 경합 및 비경합 채널 엑세스 방법을 모두 지원한다. Zigbee의 채널 접근 방법은 Beacon 프레임의 사용 여부에 따라 두가지 방법으로 구분된다[25].

첫 번째 방법은 Beacon 프레임을 사용하지 않은 통신에서는 Unslotted CSMA/CA 방식이다. Unslotted CSMA/CA은 Back-off Slot을 가장자리에 정렬하고 임의의 Back-off Slot만큼 기다린 후, 충돌 여부를 확인하기 위해 전력 임계레벨이 -82dBm 이상 감지되면 현재 채널이 사용중으로 인식하는 방식인 CCA(Clear Channel Assessment)방식을 실행한다. CCA가 실패하게 되면, 데이터 프레임 뒤에 전송이 되는 ACK 프레임의 방해를 받지 않기 위해 Back-time을 2배로 늘리고 다시 CCA를 실행하게 된다. 이러한 방식을 5번까지 지속하여 계속 실패가 발생하면 다른 단말이 채널을 점유하고 있다고 인식하고 데이터를 전송하지 않는다. 이 방식은 센서 네트워크 구축시 많이 사용되는 방식이다.

두 번째 방법은 Beacon 프레임을 사용하는 통신에서는 Slotted CSMA/CA 방식이다. Slotted CSMA/CA 방식은 Beacon을 통해 동기화를 진행하므로 Unslotted CSMA/CA 방식과는 달리 한번의 CCA 수행으로 충돌여부에 대해 판단이 가능하므로 단 한번의 CCA만 수행을 하고 실패할 경우 데이터를 전송하지 않는다. 이 방식은 주로 홈네트워크와 대규모 센서 네트워크에서 사용되는 방식이다.

필드 버스 네트워크 기반의 플랜트 통신 시스템에서는 Slotted CSMA/CA에 사용되

dCollection @ chosun

는 Beacon 프레임의 기능은 슈퍼 프레임을 정의하고 네트워크를 동기화시키며, GTS(Guaranteed Time Slot)를 할당하고, 데이터 펜딩 정보를 지원한다. 이러한 기능을 가지고 있는 Beacon 프레임은 아래 그림과 같은 구조를 가지고 있다[26].

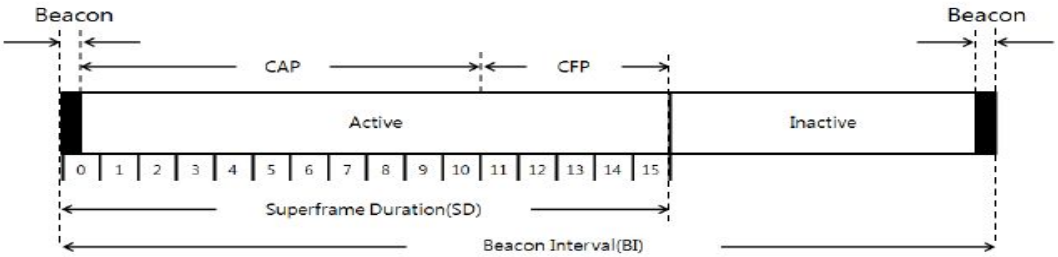


그림 3.44 Beacon 프레임[26]

Beacon 프레임 구조를 보면 동기화에 사용되는 Beacon과 채널 경쟁 구간인 Super Frame Duration과 비경쟁구간으로 이루어 있다. 이 가운데 채널 경쟁 구간인 Super Frame Duration은 하위 계층의 단말이 Beacon을 수신하게 되면 타이머를 리셋 시키고 CAP(Contention Access Period) 구간으로 들어가 채널 경쟁을 하는 기능을 제공한다. 위 그림에서 볼 수 있듯이 Super Frame Duration(SD)와 Beacon Interval(BI)는 서로 영향을 미치는 구조로 이루어져 있으며 채널 경쟁 구간과 비경쟁 구간을 합친 부분이 Beacon Interval이며, 다른 의미로 정의하면 Beacon과 Beacon 사이의 간격을 나타낸다. 이 구조를 계산하는 식은 다음과 같다[26].

$$\begin{aligned} SD &= \text{sBase Super Frame Duration} \times 2^{SO} \\ &= \text{aNum Super Frame Duration} \times 2^{SO} \\ &= 16 \times 60 \times 2^{so} \text{ Symbol} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} BI &= \text{sBase Super Frame Duration} \times 2^{BO} \\ &= \text{aNum Super Frame Slot} \times \text{aBase Slot} \times \text{aBase Slot Duration} \times 2^{BO} \\ &= 16 \times 60 \times 2^{BO} \text{ Symbol} \end{aligned} \quad (2)$$

dCollection @ chosun

위 식(1)과 식(2)에서 SO(Super Frame Order)와 BO(Beacon Order)는 Super Frame Duration의 길이와 같은 0에서 15까지 값을 가지며 SO는 BO보다 항상 작거나 같다. BO와 SO값의 차이에 따라 하나의 Super 프레임 내에서의 실제로 데이터 전송이 발생하는 Active 구간의 비율을 구할 수 있는 이것을 Duty Cycle라고 한다.

표 3.7 Duty Cycle[26]

BO와 SO 차이	Duty Cycle(%)	BO와 SO의 차이	Duty Cycle(%)
0	100	6	1.56
1	50	7	0.78
2	25	8	0.39
3	12.5	9	0.195
4	6.25	≥10	<0.1
5	3.13		

(2) Zigbee 통신 문제점

숨겨진 단말 문제는 Zigbee 단말이 충돌여부를 확인하기 위해 CCA를 수행하지만 여러 장애요소로 인해 CCA가 역할을 제대로 하지 못했을 경우 발생하게 된다.

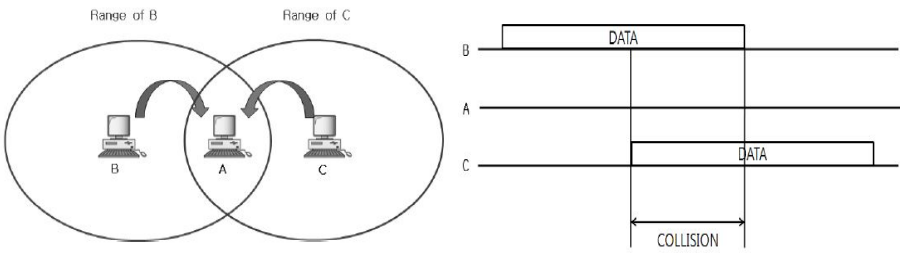


그림 3.45 숨겨진 단말 문제

dCollection @ chosun

위 그림은 B가 A에게 데이터를 전송하고 있는 도중에 C가 A에게 데이터를 전송을 하므로 두 개의 데이터 프레임이 충돌하는 숨겨진 단말 문제의 예를 보여주고 있다.

B가 A에게 데이터를 전송하고 있지만 C의 감지 영역 범위 밖에 B가 위치하고 있는 상태이므로 C가 A에게 데이터를 전송하기 위해 CCA를 실행하지만 B를 반영하지 못하여 CCA가 성공했다고 감지하고 데이터를 A에게 전송을 하기 시작한다. 이로 인해 B와 C가 A에게 전송되는 두 데이터 프레임은 서로 충돌이 발생하게 되지만 C는 B와 충돌이 발생되었다는 것을 인식하지 못하고 계속 데이터 프레임을 전송하게 되는 현상인 은닉 노드 문제가 발생하게 된다. 충돌을 감지 못한 B는 A가 ACK 프레임을 보내주지 않으면 전송 도중 오류가 발생하여 A가 데이터를 수신을 못했다고 인식을 하고 다시 일정시간 뒤에 데이터를 다시 보내게 된다. 이러한 현상이 반복되어 계속 충돌이 발생하게 되며 C도 같은 이유로 A에게 반복적으로 데이터를 전송하게 된다. CCA 실패하였다면 데이터 전송을 포기를 하지만 ACK 프레임 전송을 받지 못하여 재전송을 하는 경우에는 횟수에 상관없이 지속적으로 재전송을 하는 Zigbee의 특성상 이 현상은 멈추지 않는다. 이로 인해 배터리 소모가 많이 발생하게 되며 네트워크의 전체적인 기능도 저하하게 된다[27,28].

또다른 문제점은 전송 지연 문제로서 상위 계층과 하위 계층간의 Beacon Interval 차이로 인해 하위 계층으로 데이터 전송할 경우 발생하는 문제이다[29,30].

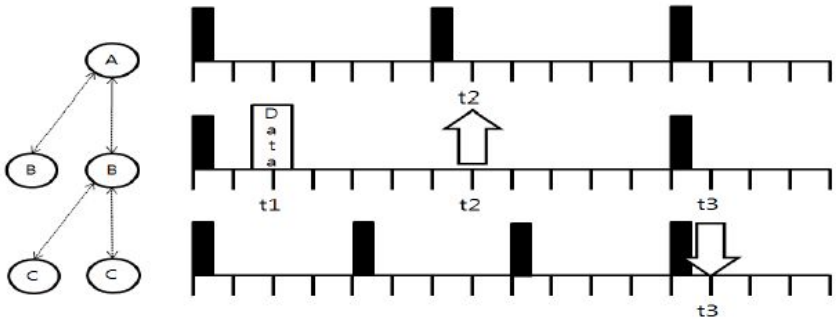


그림 3.46 전송 지연 문제

dCollection @ chosun

위 그림은 B가 상위 계층인 A와 하위 계층인 C에게 데이터를 전송하는 경우 상위 계층의 두 번째 Beacon의 위치에 따라 발생되는 전송 지연문제 예를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 첫 번째 동기화가 맞추어진 이후 B가 수집한 데이터를 A와 B에게 전송하려 한다. 상위 계층의 A는 두 번째 Beacon을 전송하는 시점인 t2에 B가 A에게 데이터를 전송할 수 있다. 하지만 하위 계층에 위치한 C에게 데이터를 전송하는 경우에는 C의 두 번째 Beacon을 전송하는 시점이 아닌 B의 두 번째 Beacon을 전송하는 시점인 t3에 데이터를 전송할 수 있게 된다. 그 이유는 하위 계층에 위치하고 있는 단말은 상위 계층의 Beacon Interval을 알고 있지만 상위 계층의 단말은 하위 계층의 Beacon Interval을 알지 못하므로 발생되는 전송지연 문지이다. 따라서 상위 계층으로 데이터가 모이는 대부분의 네트워크 구조에서 계층간의 데이터 전송이 발생되는 지연시간은 상위 계층에 위치한 단말의 Beacon Interval만큼 발생하게 되며, 상위 계층의 Beacon Interval이 크고, 하위 계층과 동기화 시점이 늦어지면 지연시간은 많이 발생하게 된다[31].

(3) 제안하는 Beacon 프레임

숨겨진 단말 문제는 송수신 단말의 상태 정보 교환이 이루어지지 않아 발생하는 문제이며, 전송 지연 문제는 하위 계층이 상위 계층의 Beacon Interval에 맞추어 통신을 하는 환경에서 발생하는 문제이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 아래 그림과 같은 Beacon 프레임을 설계하였다.

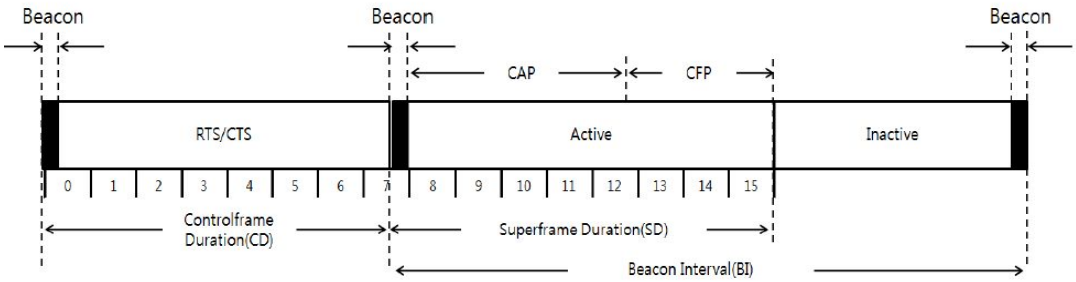


그림 3.47 제안하는 Beacon 프레임

dCollection @ chosun

제안하는 프레임의 가장 첫 부분에서는 Control Frame Duration 구간을 가지고 있으며, 이 구간에서는 CSMA/CA 방식중에서 송수신 단말간의 RTS/CTS(Request To Send/Clear To Send) 교환을 지원한다. RTS/CTS 교환을 할 수 있는 Control Frame Duration 구간으로 인해 감지 범위 밖에서 통신을 하는 숨겨진 단말 문제를 해결할 수 있으며, 또한 채널 경쟁을 선행적으로 반송파 감지법을 통해 실행하여 채널 부하를 줄이는 역할을 지원한다.

두 번째 부분인 Control Frame Duration 구간과 Super Frame Duration 구간사이에는 Beacon이 존재한다. 이 Beacon은 단말의 Beacon Interval을 감소시키는 역할을 지원한다. 상위 계층의 Beacon Interval이 감소하여 하위 계층에서 발생하는 전송 지연 시간을 줄일 수 있다.

세 번째 부분은 기존의 프레임과 같이 Super Frame Duration 구간이 존재하지만, 기존의 프레임에 비해 Control 프레임에서 채널 경쟁을 반송파 감지법을 통해 하였으므로, 부하는 기존 프레임보다 비슷하다고 할 수 있다. 그리고 나머지 다른 부분은 기존의 프레임과 같은 구조로 같은 크기와 같은 역할을 수행한다.

제안하는 프레임에서 Control Frame Duration과 Beacon을 추가하여 달라지는 Control Frame Duration(CD)과 Super Frame Duration(SD) 그리고 Beacon Interval(BI)간의 관계를 계산하는 식은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} CD &= 0.5 \times sBase\ Super\ Frame\ Duration \times 2^{SO} \\ &= 0.5 \times aNum\ Super\ Frame\ Duration \times 2^{SO} \\ &= 8 \times 60 \times 2^{so}\ Symbol \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} SD &= 0.5 \times sBase\ Super\ Frame\ Duration \times 2^{SO} \\ &= 0.5 \times aNum\ Super\ Frame\ Duration \times 2^{SO} \\ &= 8 \times 60 \times 2^{so}\ Symbol \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} BI &= 0.75 \times sBase\ Super\ Frame\ Duration \times 2^{BO} \\ &= 0.75 \times aNum\ Super\ Frame\ Slot \times aBase\ Slot \times aBase\ Slot\ Duration \times 2^{BO} \\ &= 12 \times 60 \times 2^{BO}\ Symbol \end{aligned} \tag{5}$$

dCollection @ chosun

기존의 관계식과 같은 조건을 가지고 있으나 Super Frame Duration이 절반으로 줄어들고 그 구간을 Control Frame Duration이 채워지는 관계를 가지고 있다. 또한 Super Frame Duration과 Control Frame Duration 사이에 Beacon이 존재하므로 Beacon Interval이 75%로 줄어들게 된다. 또한 Active 구간의 비율인 Duty Cycle도 달라지며, 그 수치는 다음 표와 같다.

표 3.8 New Duty Cycle

BO와 SO 차이	Duty Cycle(%)	BO와 SO의 차이	Duty Cycle(%)
0	12.5	4	0.78
1	6.25	5	0.39
2	3.13	6	0.195
3	1.56	≥7	<0.1

제안하는 프레임은 Control Frame Duration 구간에서 송수신 단말들이 RTS/CTS를 교환을 지원하므로 숨겨진 단말 문제를 해결하였을 것이라고 예상하지만 IEEE 802.11환경과 같은 RTS/CTS 교환 특성으로 부가적으로 다른 문제인 False Node Problem이 발생하게 된다[33,34].

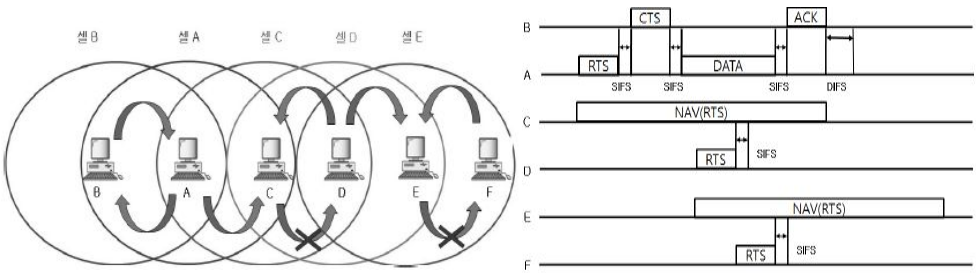


그림 3.48 False Node Problem

dCollection @ chosun

위 그림과 같이 각 단말마다 전송 범위가 겹치는 부분이 적은 경우에 False Node Problem이 발생하게 된다. 그림과 같이 A와 B는 서로 정상적인 통신을 할 수 있게 된다. 하지만 C는 A가 전송한 RTS로 인해 대기 상태에 들어가는 동안 다른 단말인 D가 C와 통신이 불가능한다. C는 대기 상태에 있기 때문에 D의 요청에 응답을 할 수 없으므로, 응답을 받지 못한 D는 결국 C와 통신을 할 수 없게 된다. 이 문제는 프레임간의 충돌을 막기 위해 사용되는 제어 프레임이 전송범위에 위치한 송수신 단말에게도 영향을 미쳐 전송효율을 떨어지게 하는 문제가 False Node Problem이다. 이를 해결하기 위해서는 저자는 2008년도부터 “전송 효율 증대를 위한 제어프레임 디자인”등 여러 논문에서 제안했던 24바이트 확장형 RTS를 본 논문에서도 똑같은 방법으로 사용한다. 24바이트 확장형 RTS는 False Node Problem을 방지하는 효과적인 방법이라고 여러 논문을 통해 입증한 내용과 같이 False Node Problem이 발생하지 않는 환경에서는 기존의 RTS를 사용하는 것과 비교하여도 지연시간, 전송률과 부하율의 수치가 변하지 않으므로 False Node Problem을 방지하기 위한 목적으로 24바이트 확장형 RTS를 사용하였다. 24바이트 확장형 RTS는 다음 그림과 같은 구조를 지닌다[34].

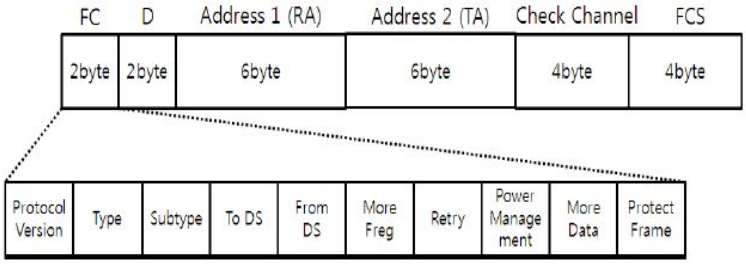


그림 3.49 24바이트 확장형 RTS

24바이트 확장형 RTS의 구성을 살펴보면 Frame Control(2Byte), Duration(2Byte), Receiver Address(6Byte), Transmitter Address(6Byte), Check Channel(4Byte), FCS(4Byte)로 구성되어 있다. Frame Control은 프레임의 타입과 MAC 주소 해석등이 명시되어 있으며, Duration은 단말이 채널 점유하는 시간의 주기와 자원을 사용하는 정도에 대한 정보를 명시하고 있다. Receiver Address와 Transmitter Address는 송수신 단말의 주소를 나타낸 것이며, FCS는 프레임의 중복여부를 체크하는데 사용되며 여기까

dCollection @ chosun

지가 기존의 RTS와 같은 구조로 이루어진 부분이다. 24바이트 확장형 RTS가 가지고 있는 새로운 구조는 채널 유휴상태를 점검하는 구조로서 일정한 시간에 입력되는 데이터가 없거나 계속 0으로 지속될 경우 수신단말은 Back-off 상태에서 벗어나는 기능을 제공한다. 채널 유휴상태 점검에서 정의된 일정시간은 Duration에서 정의된 시간과 CTS 전송시간, SIFS와 DIFS를 합한 시간이다. 단말이 채널을 점유하는 시간, CTS 전송시간, SIFS, DIFS 모두 고정된 값을 가지고 있으므로 채널 유휴상태 점검이 수행되는 시간도 일정하게 고정된 시간이며, 이로 인한 오류 및 지연시간, 전송률, 데이터 처리율과 같은 수치 변화는 없다고 볼 수 있다.

dCollection @ chosun

제 3 절 게이트웨이 정보 수집용 스위치 설계

필드 버스 네트워크 기반 플랜트 통신 시스템에서 플랜트 저장탱크에 부착된 게이트웨이에서 이더넷 기반으로 출력되는 센서 데이터를 통합적으로 수집하는 게이트웨이 정보 수집용 L2급 스위치를 설계하였다.

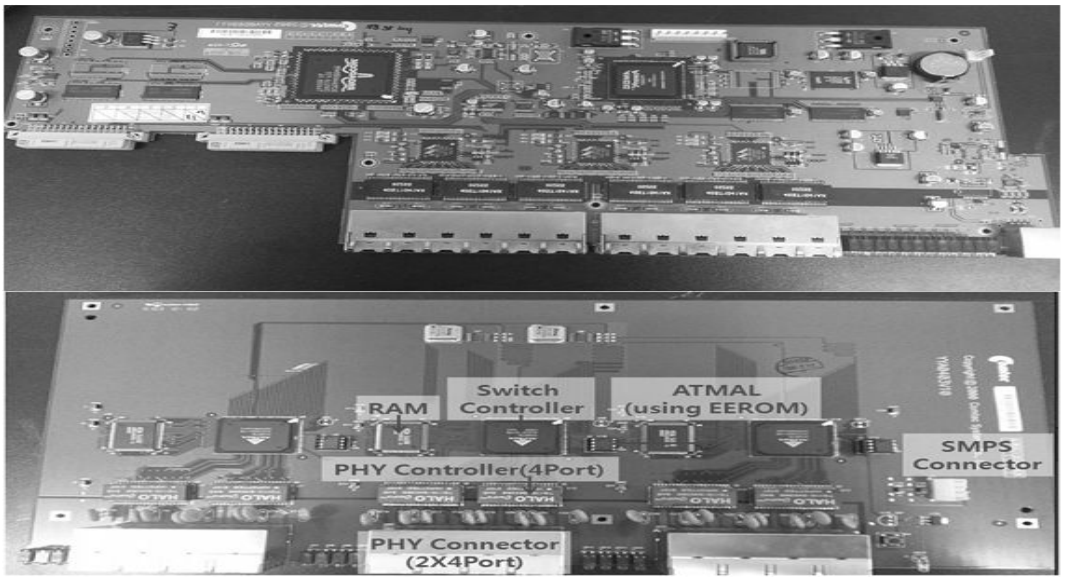


그림 3.50 Comtec의 L2급 스위치

우선 설계에 앞서 L2급 스위치의 특성 및 구조 파악을 위해 기존 상용품의 특성을 분석하였다. 분석 제품은 Comtect에서 출시한 L2급 이더넷 스위치인 I-Rex 와 LM2424를 분석하였다. 분석 결과 상용제품은 EEPROM, Switch Controller, PHY Controller, PHY Connector, RAM으로 구성되어 있다는 정보와 기본적으로 Switch Controller의 스펙에 따라 PHY Controller, EEPROM, RAM의 구성요소가 변동이 가능하는 정보를 수집하였다.

하지만 Comtect에서 출시한 제품은 Switch IC를 Marvell 제품을 사용하고 있어 데이터 시트를 얻거나 기술자문을 얻는 것을 NDA 계약이 없이는 불가능하여 NDA 계약 채

dCollection @ chosun

결없이 100Mbps Switch IC 데이터시트 획득이 가능한 MICREL의 Switch IC 선정하여 설계하였다. MICREL의 Swich IC 중에서 100Base-T와 100Base-FX을 동시에 지원이 가능하고 유용 포트가 많은 KSZ8895FMQ을 Switch IC로 선정하여 설계하였다[35].

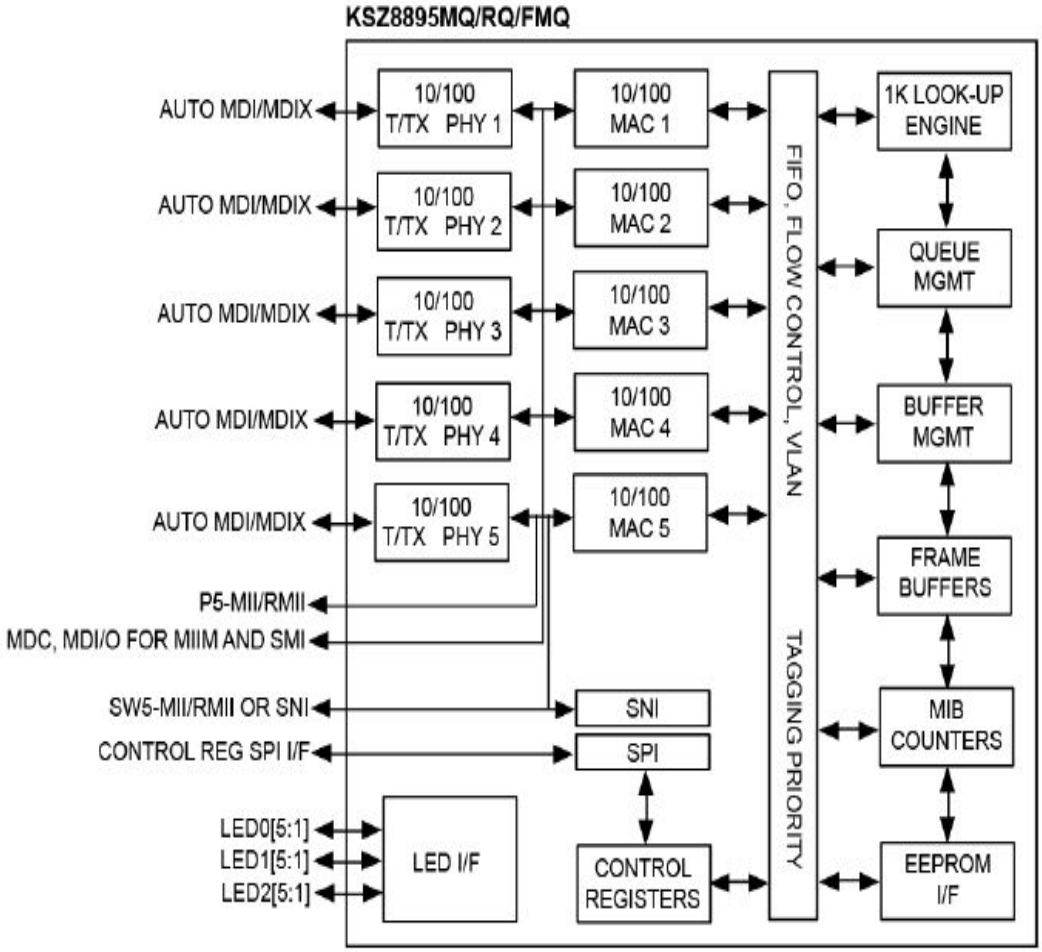


그림 3.51 KSZ8895FMQ Functional Diagram[35]

dCollection @ chosun

KSZ8895FMQ 기반 스위치에서 1Port, 2Port, 5Port는 100 Base-T 지원이 가능한 RJ45 인터페이스로 구성하도록 설계하였으며, 3Port, 4Port는 100 Base-FX 지원이 가능한 SMT형 광통신 인터페이스로 구성하도록 설계하였다. 또한 인터페이스 동작 및 연결 상태 확인은 LED 점등을 통해 확인 가능하도록 설계하였다.

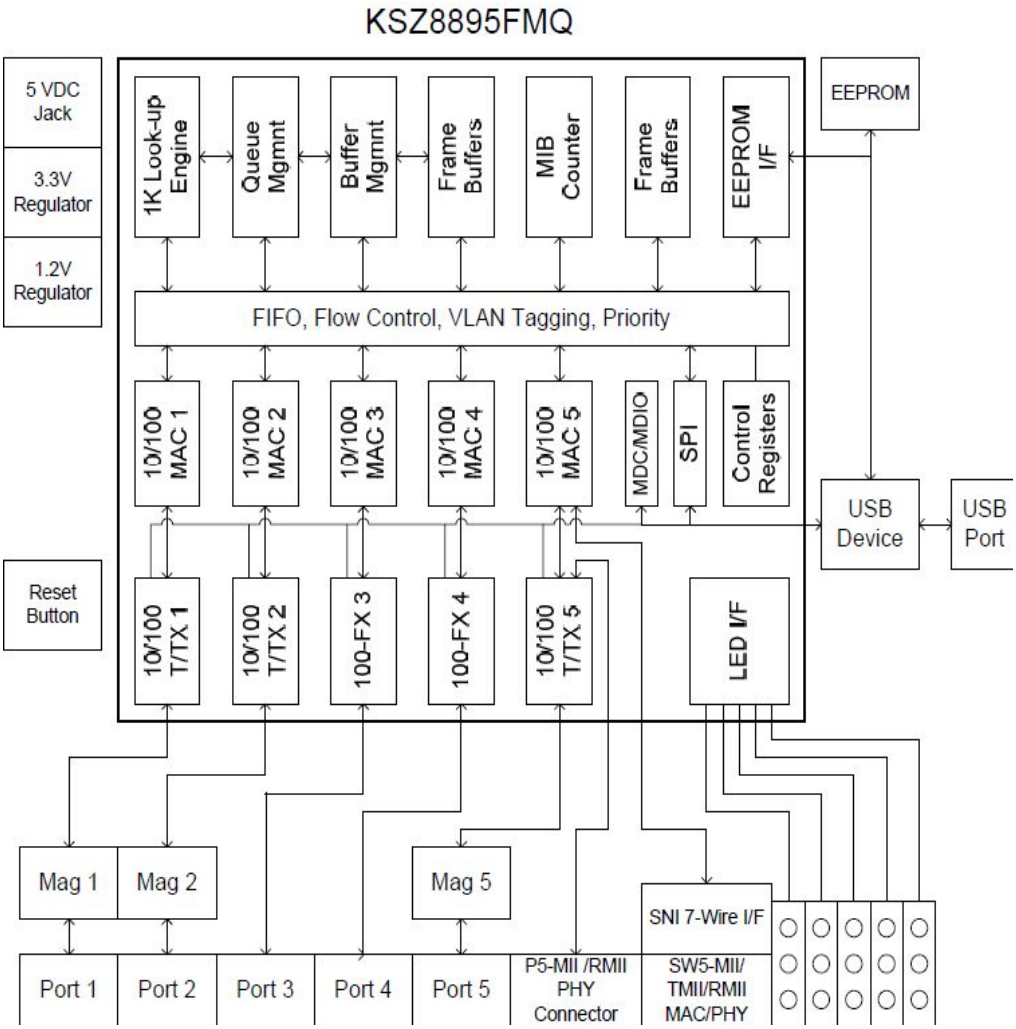


그림 3.52 L2급 스위치 블록도[35]

dCollection @ chosun

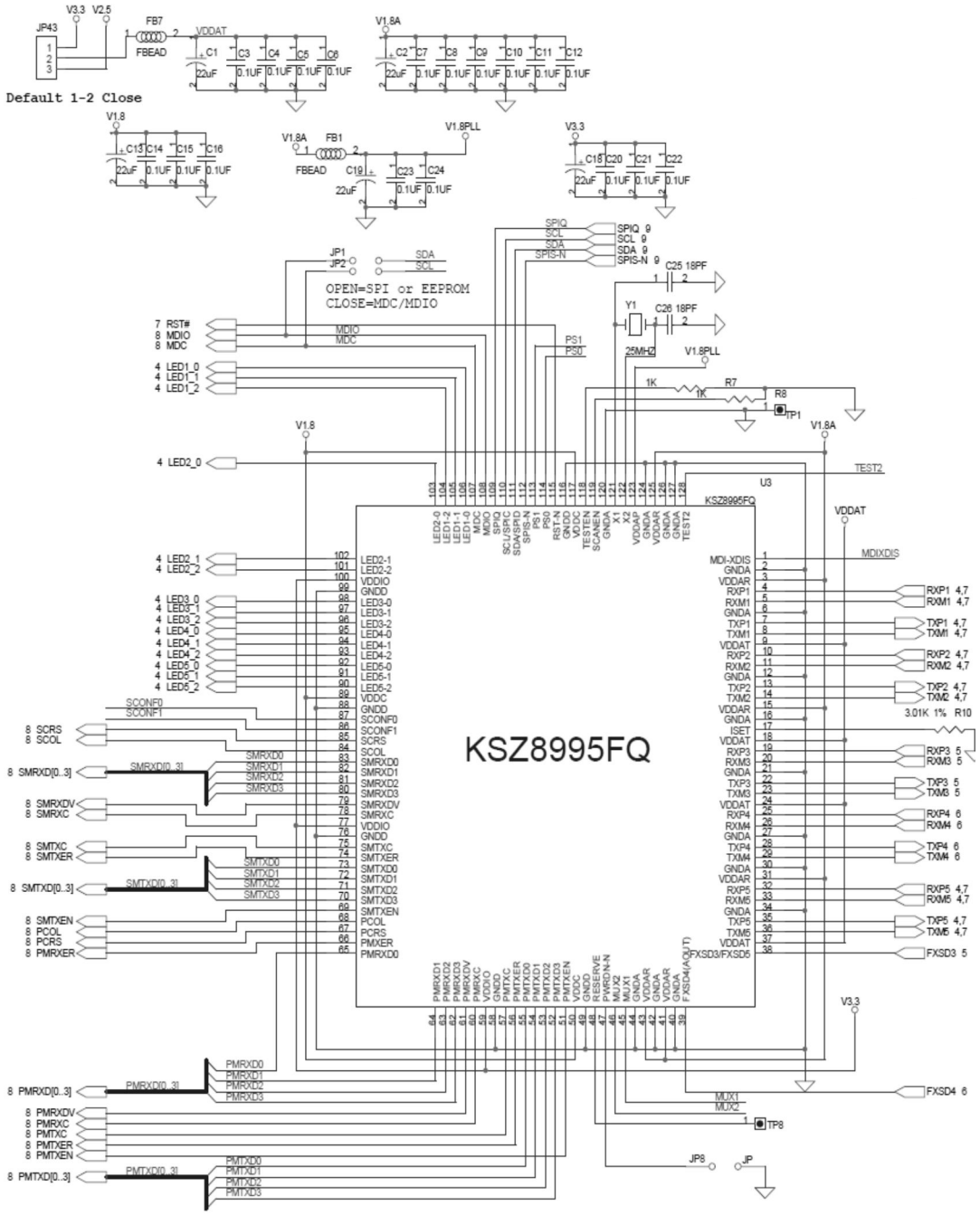


그림 3.53 L2급 스위치 Switch IC 부분 회로도

dCollection @ chosun

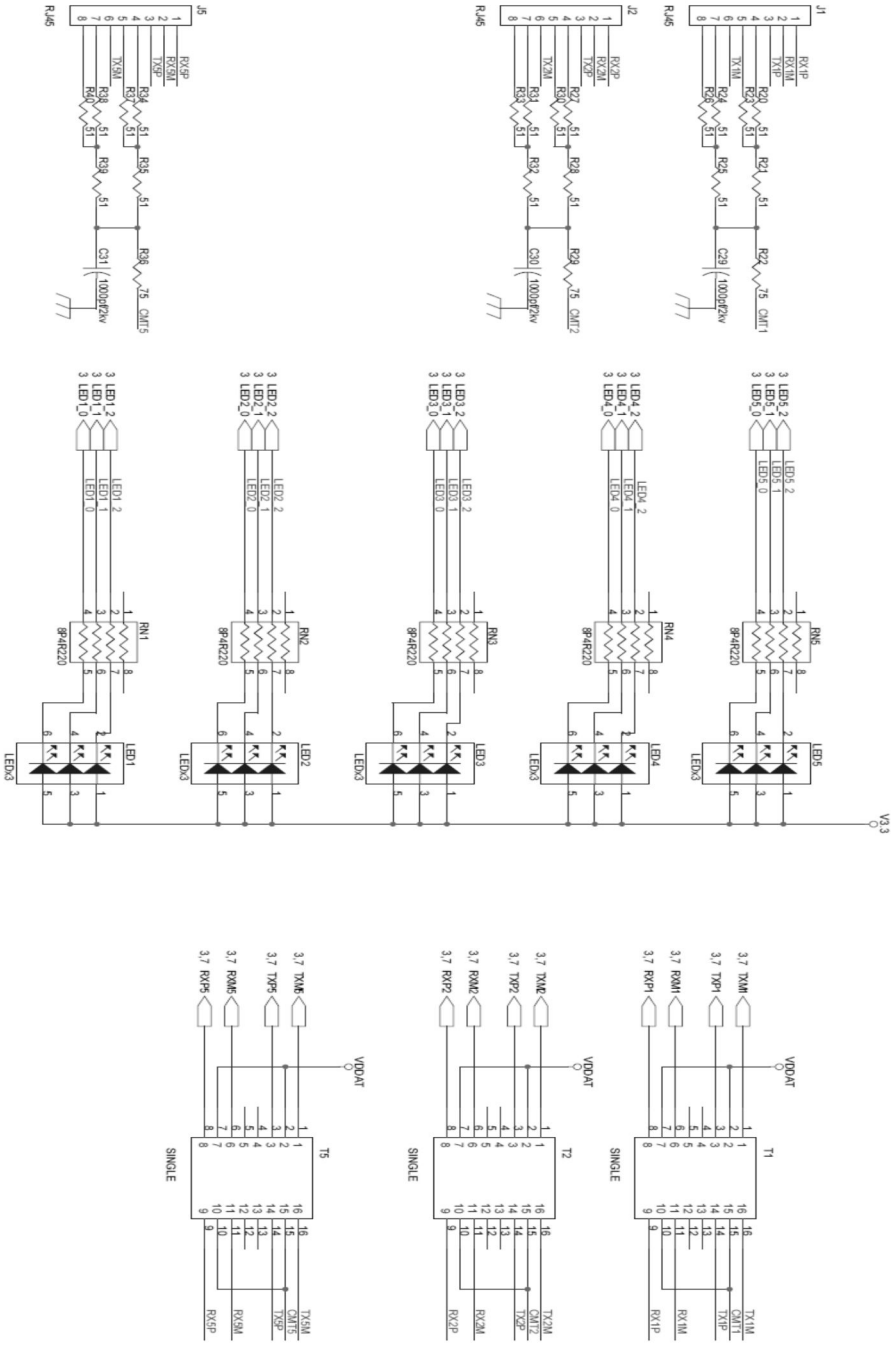


그림 3.54 L2급 스위치 RJ-45 Interface 부분 회로도

dCollection @ chosun

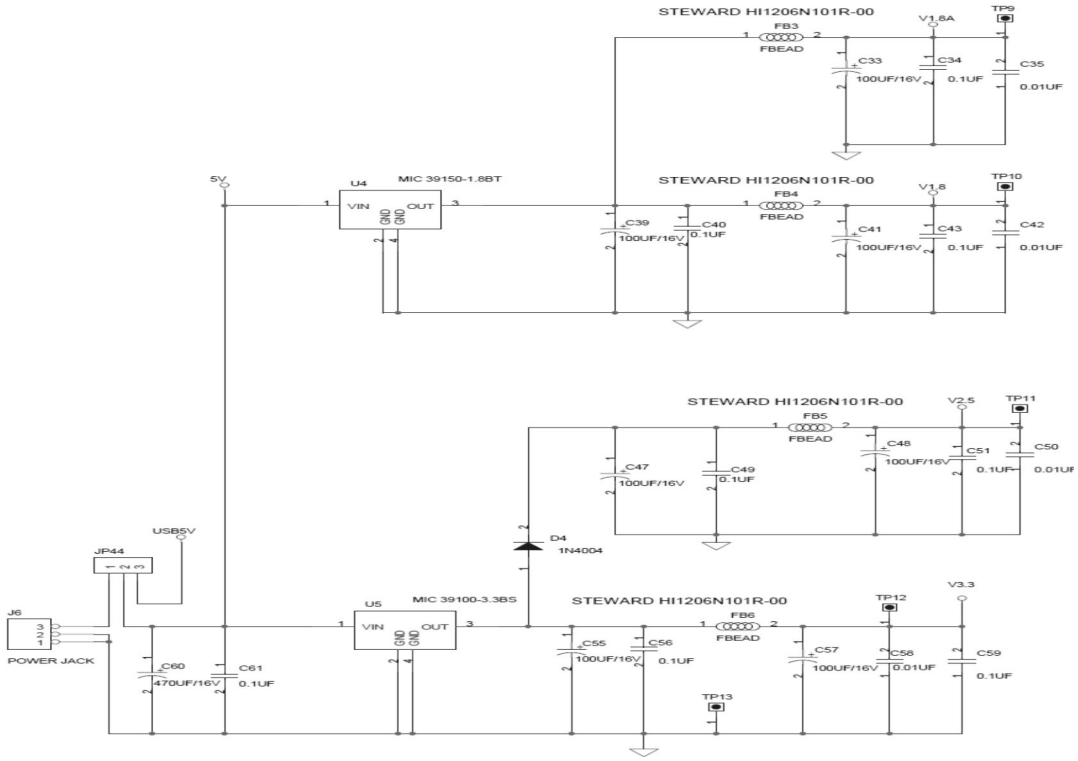


그림 3.55 L2급 스위치 전원 부분 회로도

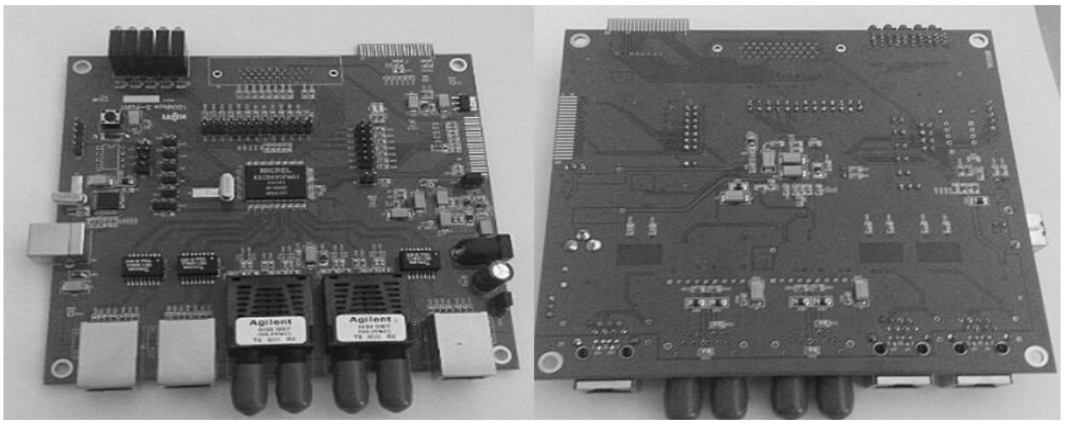


그림 3.56 L2급 스위치 PCB

dCollection @ chosun

제 4 장 결과 및 고찰

제 1 절 통신 성능 테스트

1. CAN 통신 성능 테스트

본 논문에서 제안하는 통신 시스템과 게이트웨이의 공정한 성능 확인을 위해 국내 자동차의 CAN 통신 측정을 대행하고 있는 한일 프로텍에 시험을 의뢰하여 성능을 확인 받았다.

가. 시험 환경 및 사용 장비

게이트웨이에 성능 테스트를 위해 제작된 테스트 베드를 이용하여 측정 장비 및 컴퓨터를 연결하여 CAN 통신 성능을 아래 그림과 같은 환경으로 측정하였다.

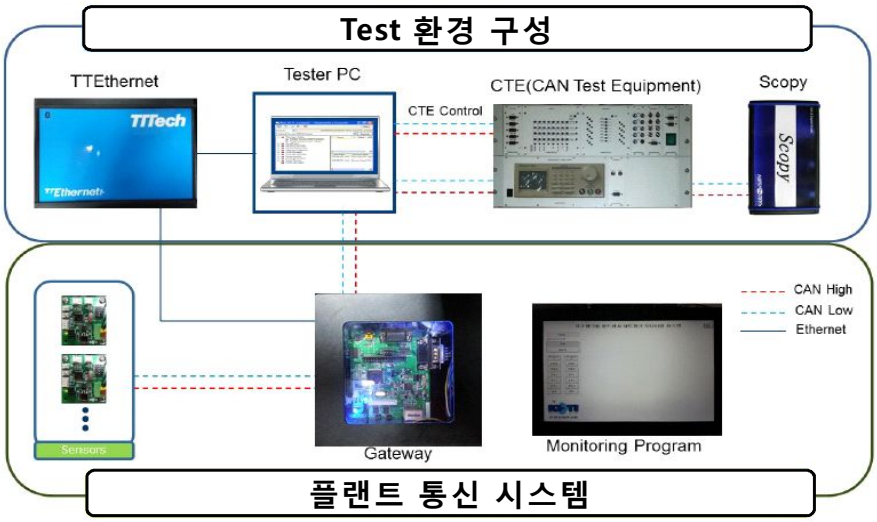


그림 4.1 시험 측정 환경 구성도

dCollection @ chosun

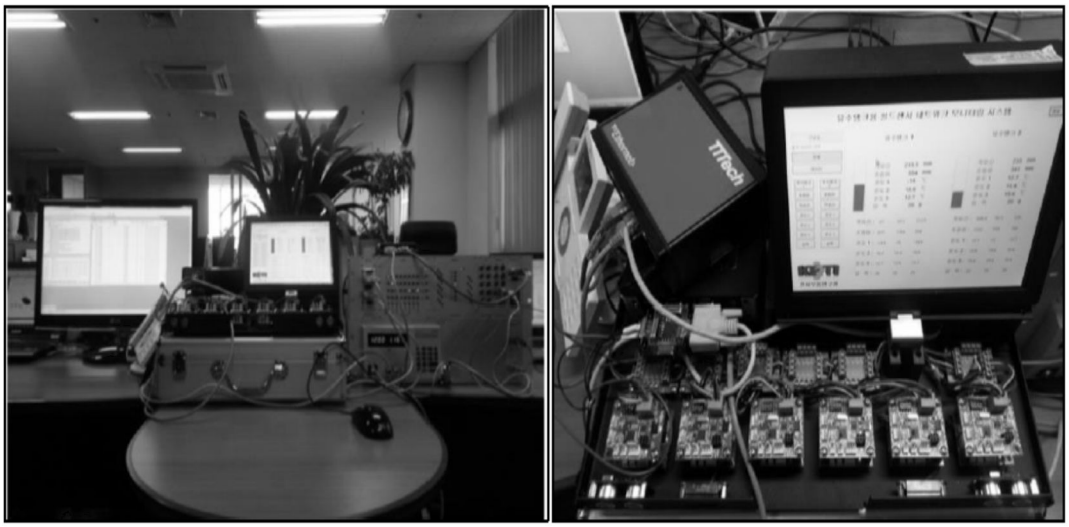


그림 4.2 시험 측정 환경

측정은 총 5종류의 장비인 CTE(CAN Test Equipment), Scopy, TTEthernet, CANoe(CAN Open Enironment), WireShark를 사용하여 측정하였다. CTE는 모듈 검증을 간편하게 수행하기 위한 모듈화된 검증 장비로서 다양한 조건의 테스트 환경 설정이 가능하다. 장비 구성은 PPS(Programmable Power Supply), Analog Disturbance, DAO (Digital /Analog Output) Control, ECU Power Supply 로 이루어져 있다.

그림 4.3 CTE

dCollection @ chosun

Scopy는 CAN Bus의 Physical Level(CAN_High, CAN_Low, Difference, Stuff Bit)을 측정 및 분석하는 장비로서 아래와 같이 측정이 가능하다.

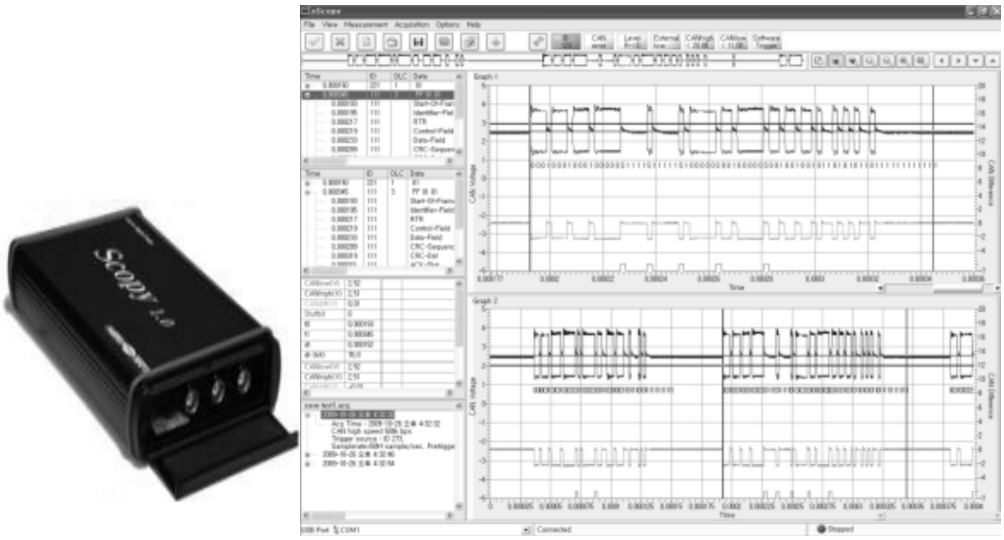


그림 4.4 Scopy

TTEthernet는 개발용 이더넷 Switch Tool로서 실시간으로 측정이 가능하며, IEEE 1588의 Clock 동기 프로토콜을 지원하며 물리적으로 최대 8포트까지 지원이 가능한 장비이다.

그림 4.5 TTEthernet

dCollection @ chosun

CANoe는 CAN Bus System을 분석하고 테스트하기 위한 통합 개발 환경으로 개발 시스템의 통신 특성을 확인할 수 있는 장비로서 단일 ECU 및 전체 시스템을 시뮬레이션 할 수 있는 장비이다.

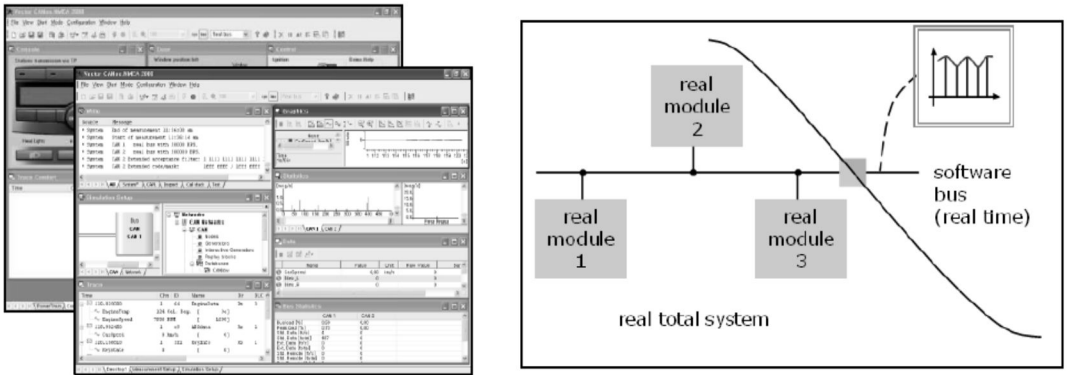


그림 4.6 CANoe

WireShark는 이더넷 패킷 분석 프로그램으로 Real-Time Packet Capture 기능을 지원이 가능한 장비로 각 패킷에 대한 세부 분석이 가능하며 필터 기능으로 원하는 신호 추출이 가능한 장비이다.

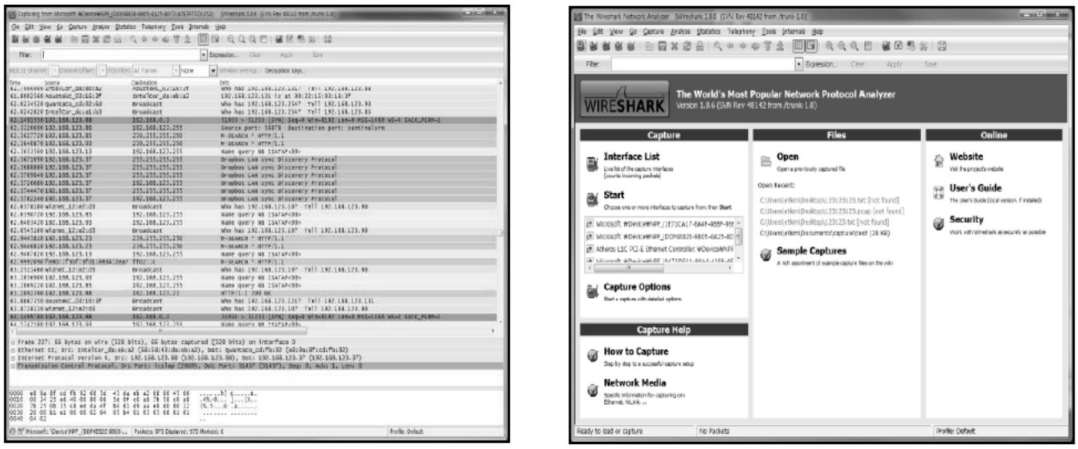


그림 4.7 Wire Shark

dCollection @ chosun

나. 시험 및 측정

첫 번째로 시행한 시험은 네트워크 정보 분실율 측정 시험으로 통신 유지시 에러프레임(ACK Error)가 발생되는지 확인하는 것으로 데이터 프레임 중 ACK Field의 ACK Slot으로 센서의 메시지 수신 여부를 판단하는 시험이다. 만약 게이트웨이가 메시지를 정상적으로 수신하였을 경우 ACK slot을 Dominant로 반전시키게 되고 수신하지 못할 경우 반전 시키지 않는 특성을 이용하여 839.39514sec 동안 측정하였다.

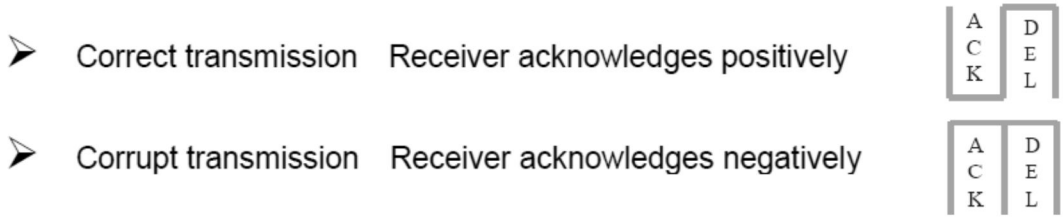


그림 4.8 메시지 수신 여부에 따른 ACK Bit 반전 여부

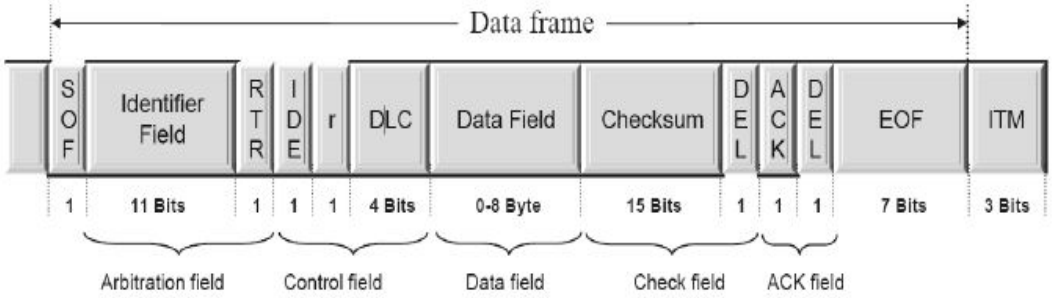


그림 4.9 CAN 프로토콜 데이터 프레임

dCollection @ chosun

시험 결과 시험 시간내에 ACK 에러 프레임 없이 모든 CAN Message 정상 출력되었음을 아래 그림과 같이 확인하였다.

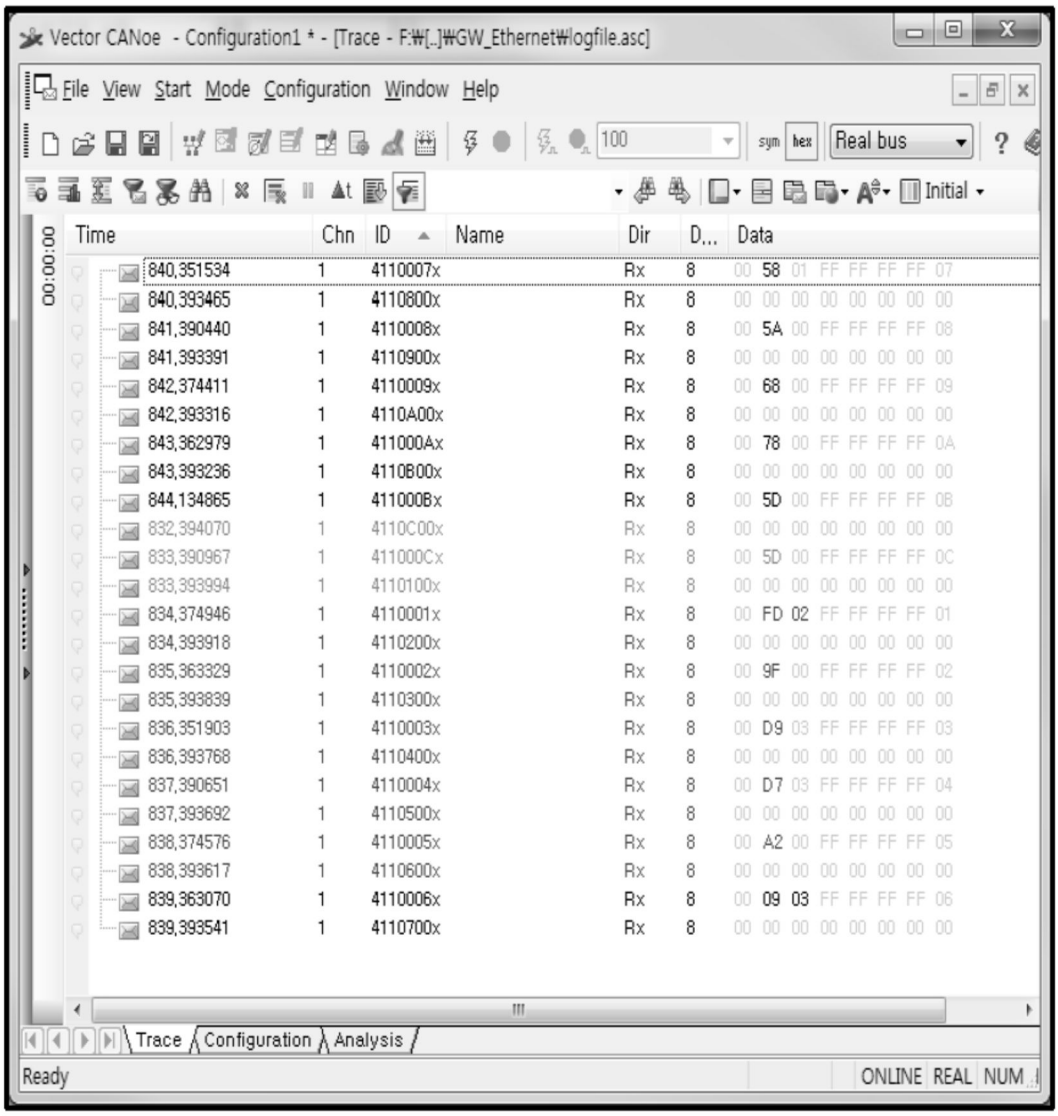


그림 4.10 네트워크 정보 분실율 측정 결과

dCollection @ chosun

두 번째 시험은 정보 생성 주기 측정 시험으로 게이트웨이와 센서의 송신 메시지에 대한 주기 시간 측정하였다. 다시 말해 게이트웨이와 센서에서 출력되는 모든 메시지를 관찰하여 반복되는 시간을 측정하였다.

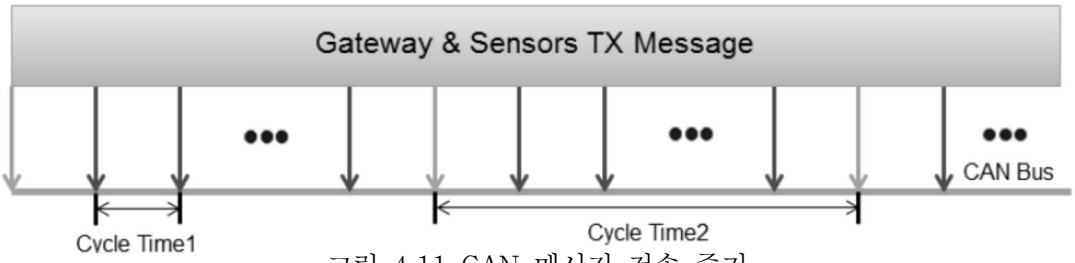
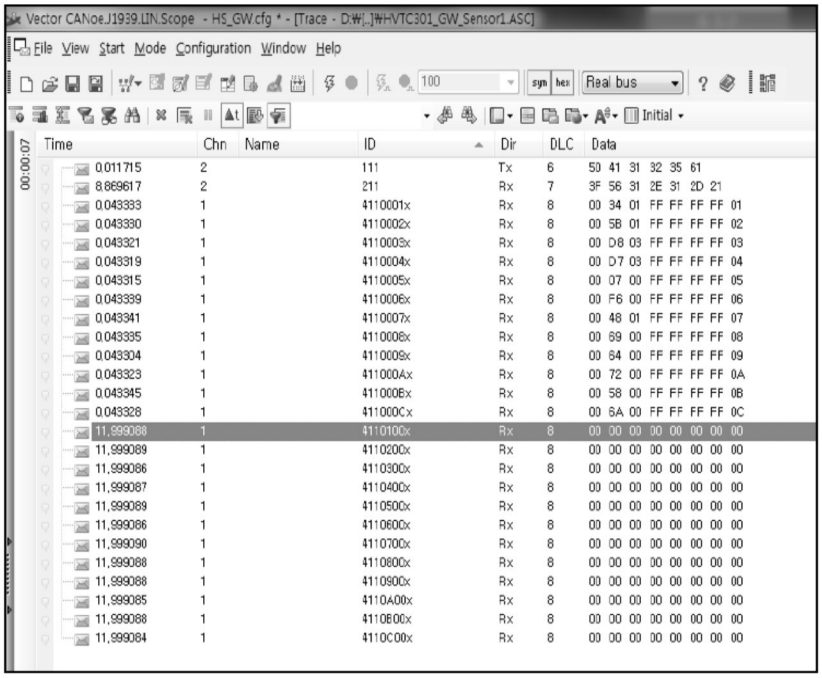


그림 4.11 CAN 메시지 전송 주기

측정결과 게이트웨이에서 동일 ID에 대한 전송 주기는 평균적으로 11.999087sec로 측정되었다.

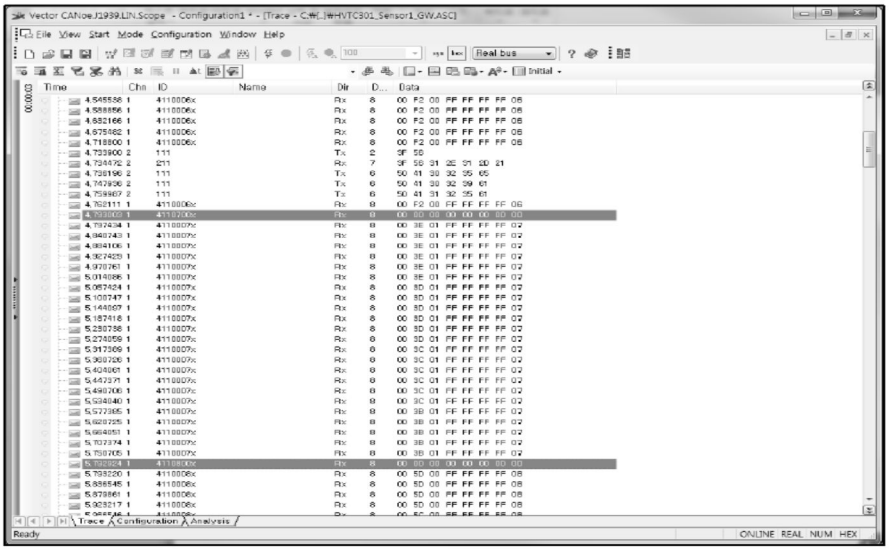


GW_ID	Cyclic time(s)
4110100	11.999088
4110200	11.999089
4110300	11.999086
4110400	11.999087
4110500	11.999089
4110600	11.999086
4110700	11.999090
4110800	11.999088
4110900	11.999088
4110A00	11.999085
4110B00	11.999088
4110C00	11.999084

그림 4.12 게이트웨이의 동일 ID에 대한 전송 주기

dCollection @ chosun

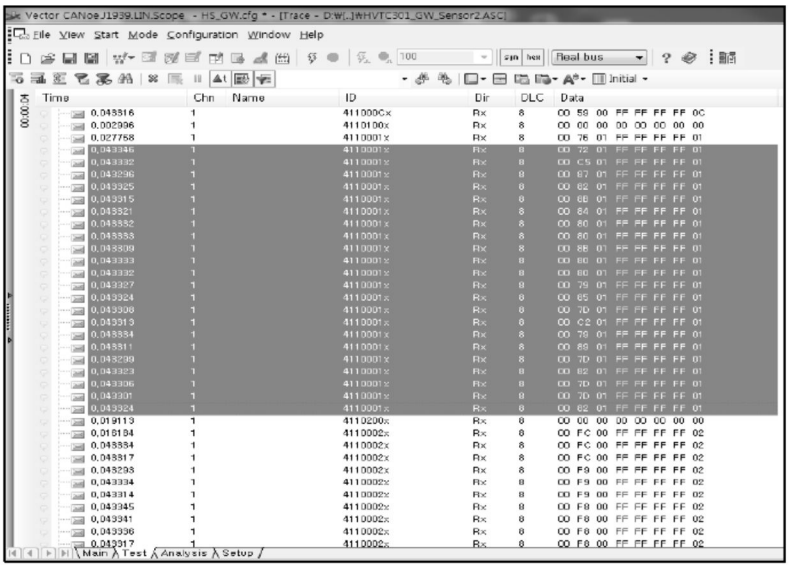
또한 게이트웨이의 모든 메시지 전송 주기 이 평균 0.999924sec로 측정되었다.



Cycle Time(s)
0.999926
0.999922
0.999925
0.999923
0.999922
0.999924
0.999927
0.999922
0.999925
0.999923
0.999923
0.999924

그림 4.13 게이트웨이 모든 메시지의 전송 주기

센서의 전송 주기는 평균 43msec로 측정되었다.



Sensor_ID	Δt(ms)
4110001	43
4110002	43
4110003	43
4110004	43
4110005	43
4110006	43
4110007	43
4110008	43
4110009	43
411000A	43
411000B	43
411000C	43

그림 4.14 센서의 전송 주기

dCollection @ chosun

세 번째 시험은 정보 처리율 측정 시험으로 CAN 네트워크에서 전송된 메시지가 이더넷으로 전송되는지 유무를 확인하여 동 시간대에 CAN과 이더넷 통신을 활성화 시키고 CAN에서 보낸 메시지가 정상적으로 이더넷으로 전송이 되었는지 WireShark 장비를 통해 확인하는 시험이다.

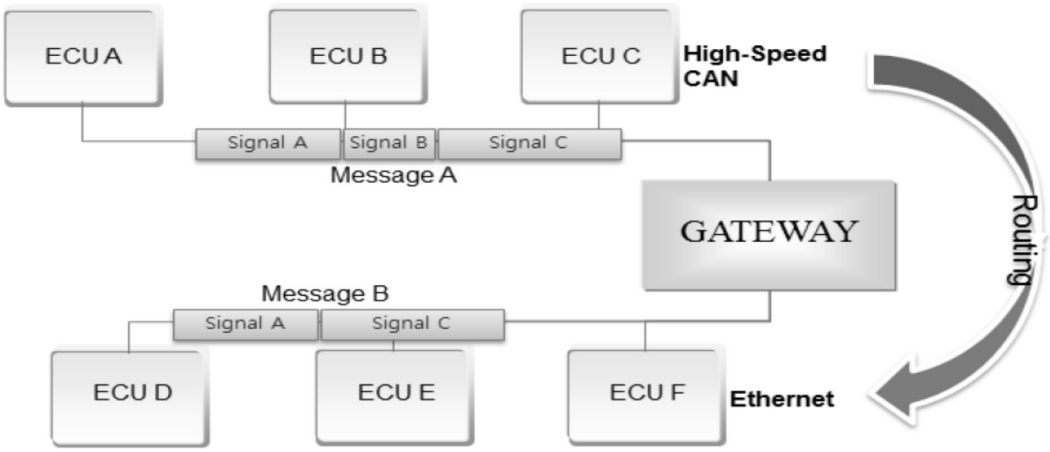


그림 4.15 게이트웨이 모든 메시지의 전송 주기

시험 결과 CAN에서 이더넷으로 보낸 메시지가 100% 전송되었음을 확인할 수 있었다.

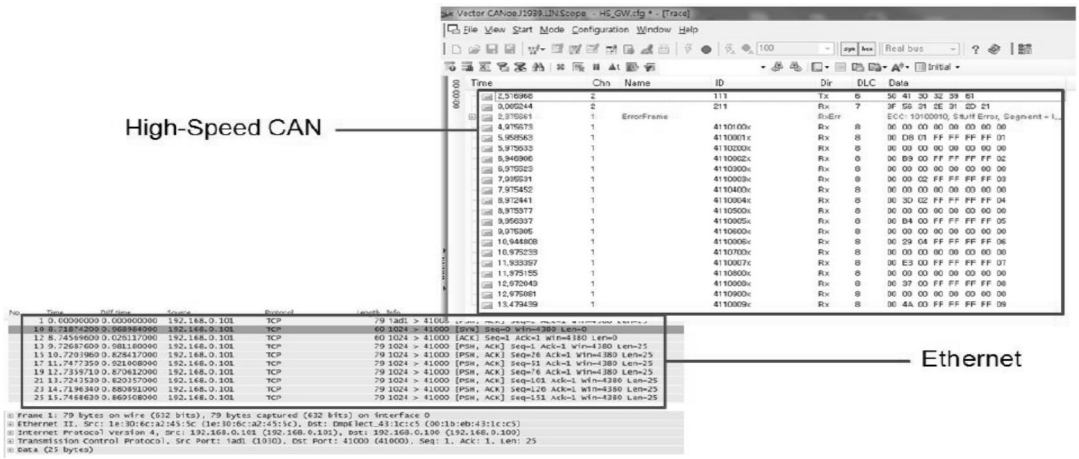


그림 4.16 CAN to Ethernet Routing 결과

dCollection @ chosun

네 번째 시험은 네트워크 접속 성공률 측정 시험으로 전원 차단과 전원 인가를 5회 반복하여 메시지가 출력되는지 여부를 확인하며 전원 차단시 에러 프레임이 출력 여부와 전원 인가시 메시지 전송여부를 확인하는 시험이다.

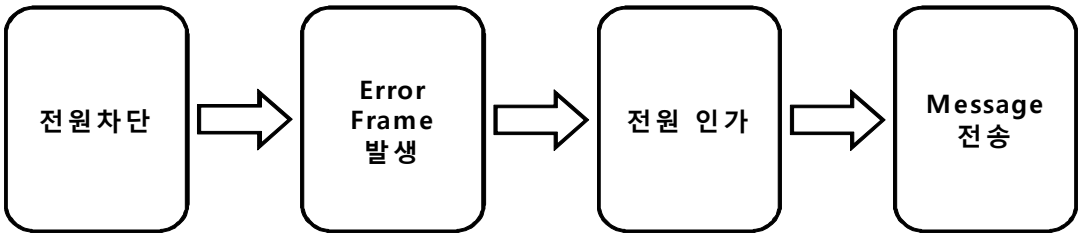


그림 4.17 접속 성공률 측정 수행 절차

시험 결과 전원 차단후 재 인가시 메시지가 정상적으로 전송되는 것을 아래 그림과 같이 확인이 되었다.

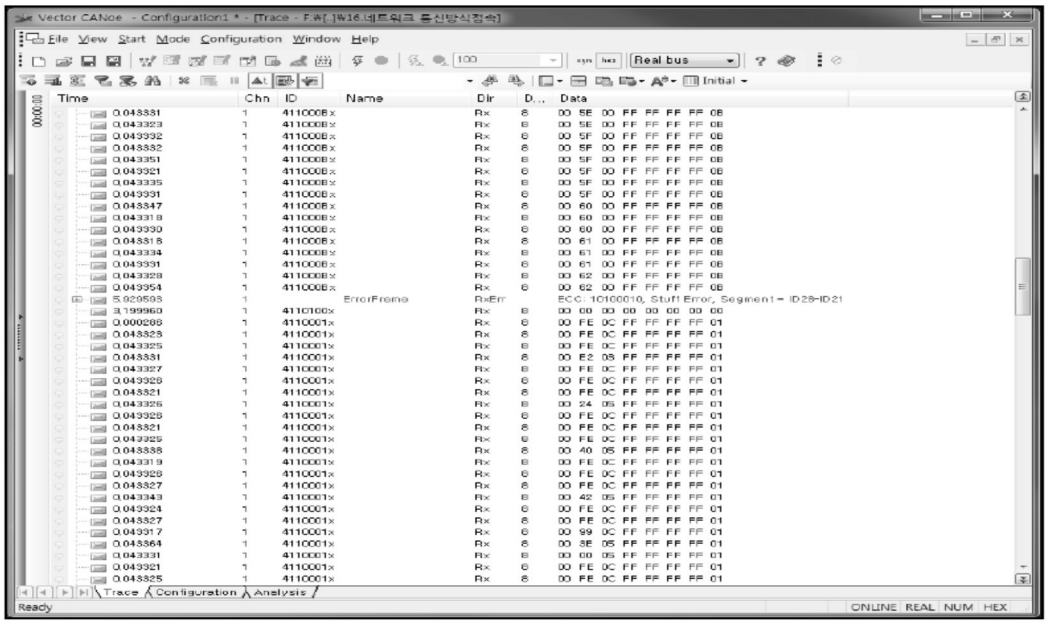


그림 4.18 네트워크 통신방식 접속 성공률 측정 결과

dCollection @ chosun

다섯 번째 시험은 네트워크 통신 방식 시험으로 테스트베드에 존재하는 게이트웨이와 센서의 통신 프레임을 측정하여 통신 프레임이 CAN 프로토콜의 형식을 지니고 High-Speeed 파형을 보이는지 측정하는 시험이다.

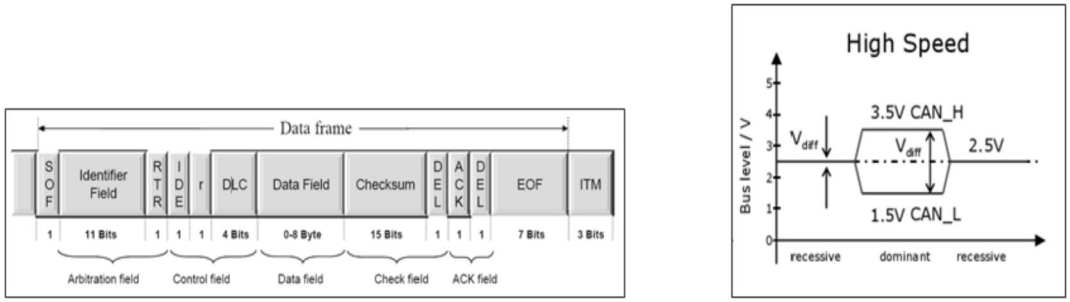


그림 4.19 CAN 데이터 프레임 과 High-Speed CAN 파형

측정 결과 CAN 프로토콜 형태의 High-Speed 파형이 측정되었다.

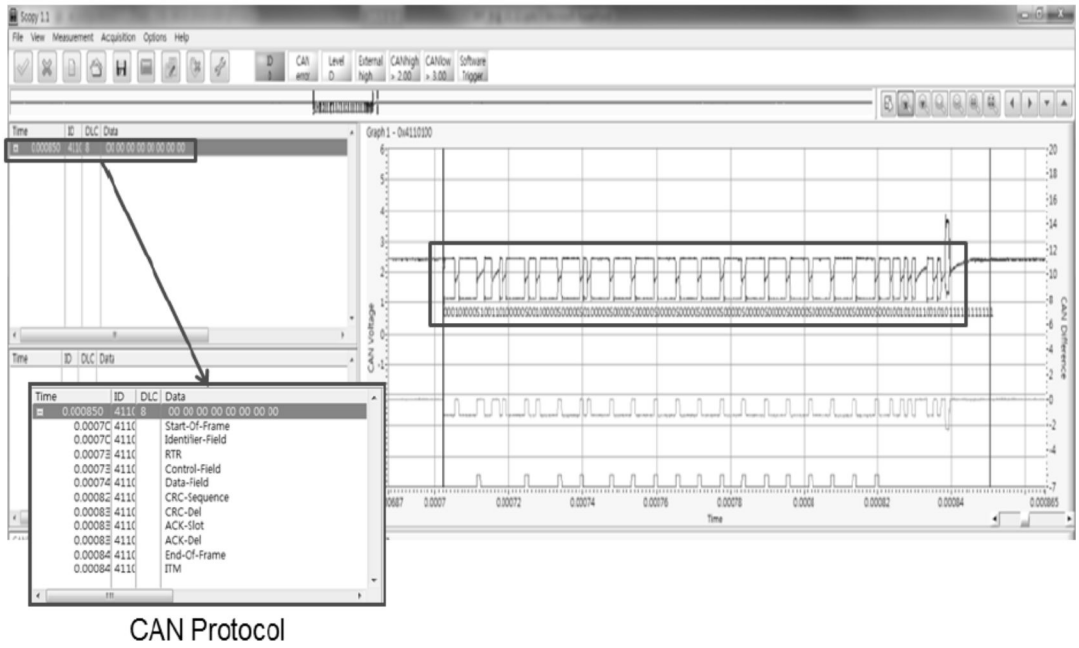


그림 4.20 측정된 High-Speed 파형

dCollection @ chosun

여섯 번째 시험은 게이트웨이 네트워크 접속 지연 시간 측정으로 게이트웨이가 활성화 된 후 네트워크 접속되는 시간을 측정하여 게이트웨이에 전원을 인가 후 첫 번째 메시지를 발송하는데 걸리는 시간을 측정하는 시험이다.

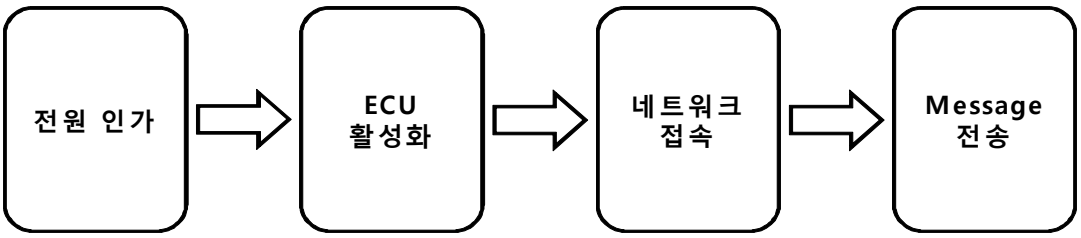


그림 4.21 지연시간 측정 수행 절차

시험 결과 전원 인가 후 2.99sec에 첫 번째 메시지 전송되는 것을 아래 그림과 같이 측정되었다.

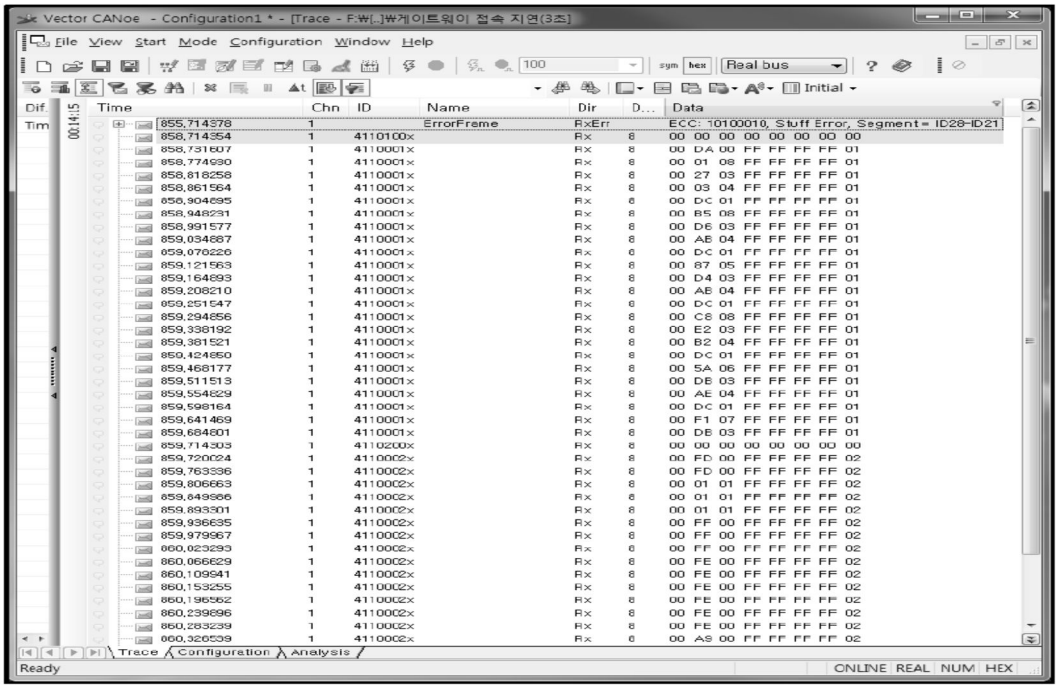


그림 4.22 게이트웨이 네트워크 접속 지연 시간 측정 결과

dCollection @ chosun

일곱 번째 시험은 게이트웨이 네트워크 전송 속도 측정시험으로 게이트웨이 파형 중 1개의 비트에 대한 비트 전송 시간을 측정하여 전송 속도를 측정하는 시험이다.

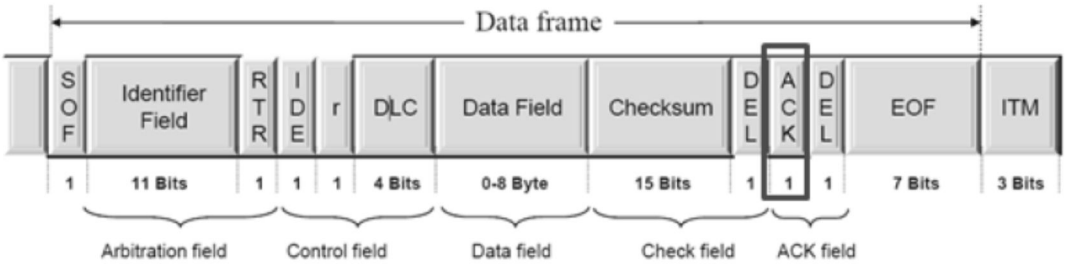


그림 4.23 전송속도 공식과 CAN 데이터 프레임

측정 결과 비트 전송 시간은 약 1μsec로 전송속도는 1Mbps로 아래 그림과 같이 측정되었다.

$$\text{전송속도} = \frac{1}{Bit\ Time} = \frac{1}{1\mu s} = 1Mbps$$

그림 4.24 게이트웨이 네트워크 전송 속도 측정 결과

dCollection @ chosun

여덟 번째 시험은 게이트웨이 물리 계층 특성 측정 시험으로 Scopy를 이용하여 게이트웨이의 송수신 물리 계층 특성 측정하였다. 측정 결과 CAN Low Voltage Level in Recessive State는 1.83V로 측정되었으며, CAN High Voltage Level in Recessive State는 1.81V로 측정되었으며, 두 전압 차이는 20mV 측정되었다.

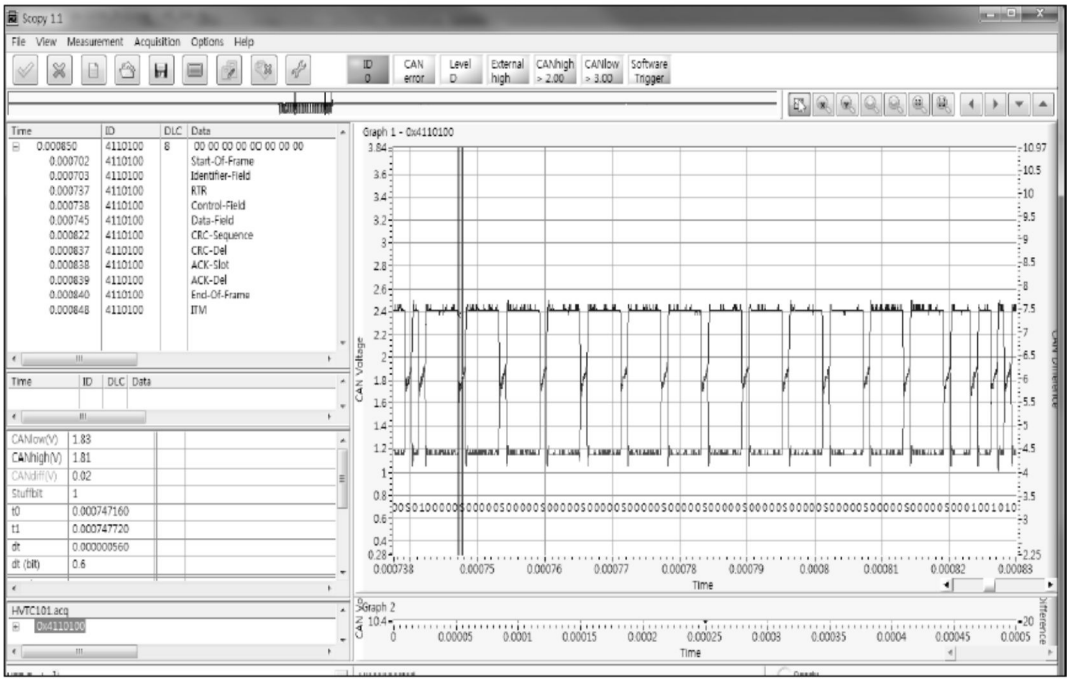


그림 4.25 게이트웨이 수신측 물리 계층 특성

또한 CAN Low Voltage Level in Dominant State는 2.41V로 측정되었으며, CAN High Voltage Level in Dominant State는 1.19V로 측정되었으며, 두 전압의 차이는 1.22V로 측정되었다.

dCollection @ chosun

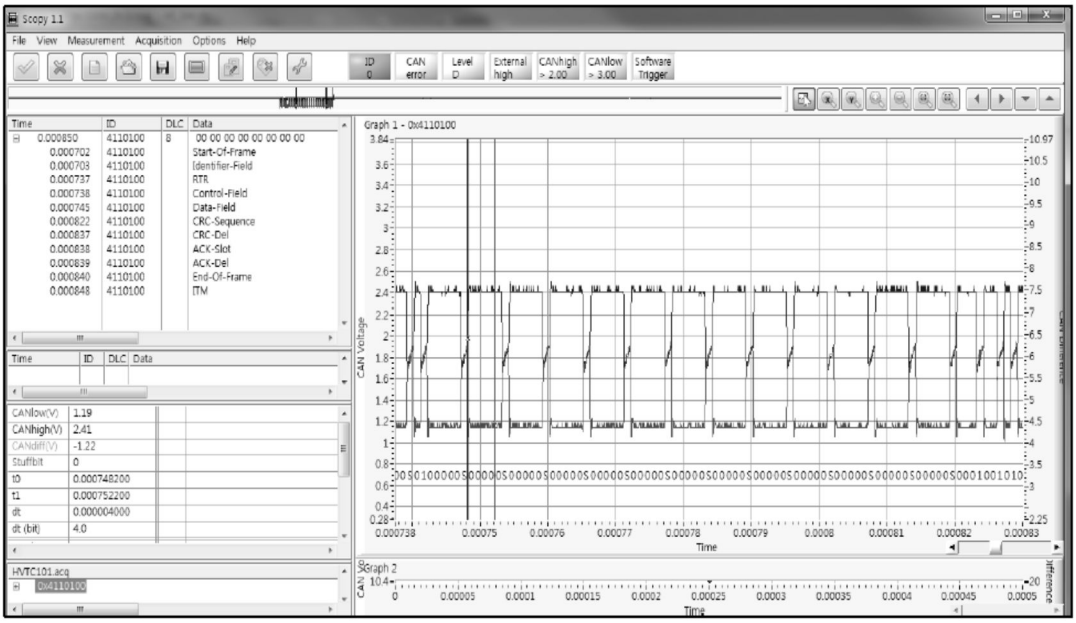


그림 4.26 게이트웨이 송신측 물리 계층 특성

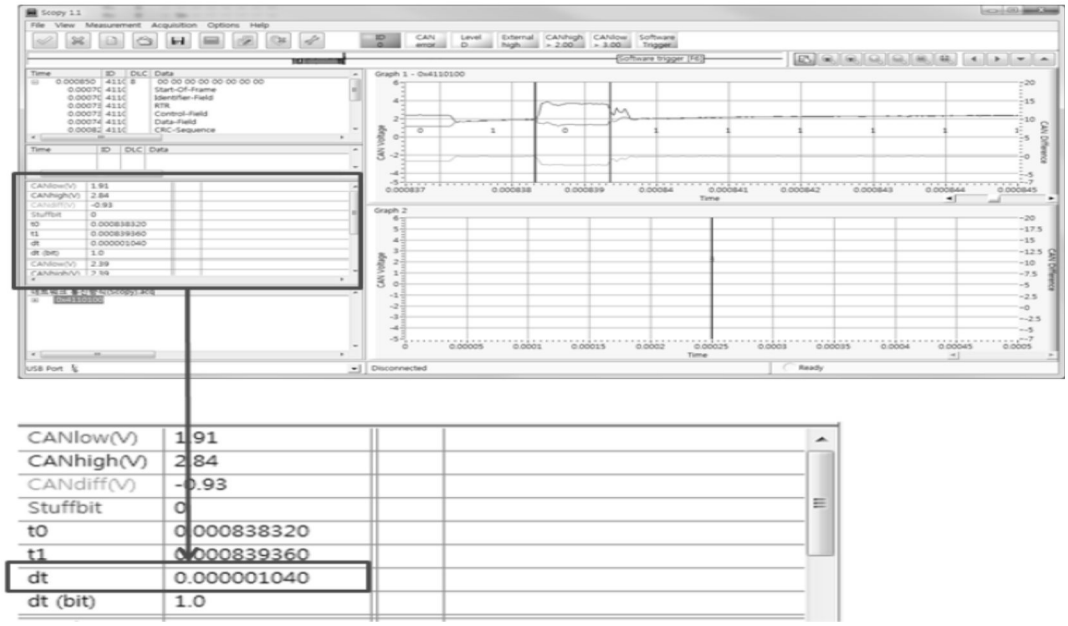


그림 4.27 Bit Time 측정 결과

dCollection @ chosun

아홉 번째 시험은 통신선 에러에 대한 측정으로 통신선 에러에 의한 Bus-Off 여부를 CAN High, CAN Low를 B+, GND에 각각 접지한 후 통신 상태를 확인하였다.

표 4.1 평가 결과

Message	GW_ID	B+		GND		정상 복귀시 통신상태
		CAN High 접지시	CAN Low 접지시	CAN High 접지시	CAN Low 접지시	
Tx_GW_Sensor1	0x4110100	통신 중단	일시정지	일시정지	통신유지	정상통신
Tx_GW_Sensor2	0x4110200	통신 중단	일시정지	일시정지	통신유지	정상통신
Tx_GW_Sensor3	0x4110300	통신 중단	일시정지	일시정지	통신유지	정상통신
Tx_GW_Sensor4	0x4110400	통신 중단	일시정지	일시정지	통신유지	정상통신
Tx_GW_Sensor5	0x4110500	통신 중단	일시정지	일시정지	통신유지	정상통신
Tx_GW_Sensor6	0x4110600	통신 중단	일시정지	일시정지	통신유지	정상통신
Tx_GW_Sensor7	0x4110700	통신 중단	일시정지	일시정지	통신유지	정상통신
Tx_GW_Sensor8	0x4110800	통신 중단	일시정지	일시정지	통신유지	정상통신
Tx_GW_Sensor9	0x4110900	통신 중단	일시정지	일시정지	통신유지	정상통신
Tx_GW_Sensor10	0x4110A00	통신 중단	일시정지	일시정지	통신유지	정상통신
Tx_GW_Sensor11	0x4110B00	통신 중단	일시정지	일시정지	통신유지	정상통신
Tx_GW_Sensor12	0x4110C00	통신 중단	일시정지	일시정지	통신유지	정상통신

dCollection @ chosun

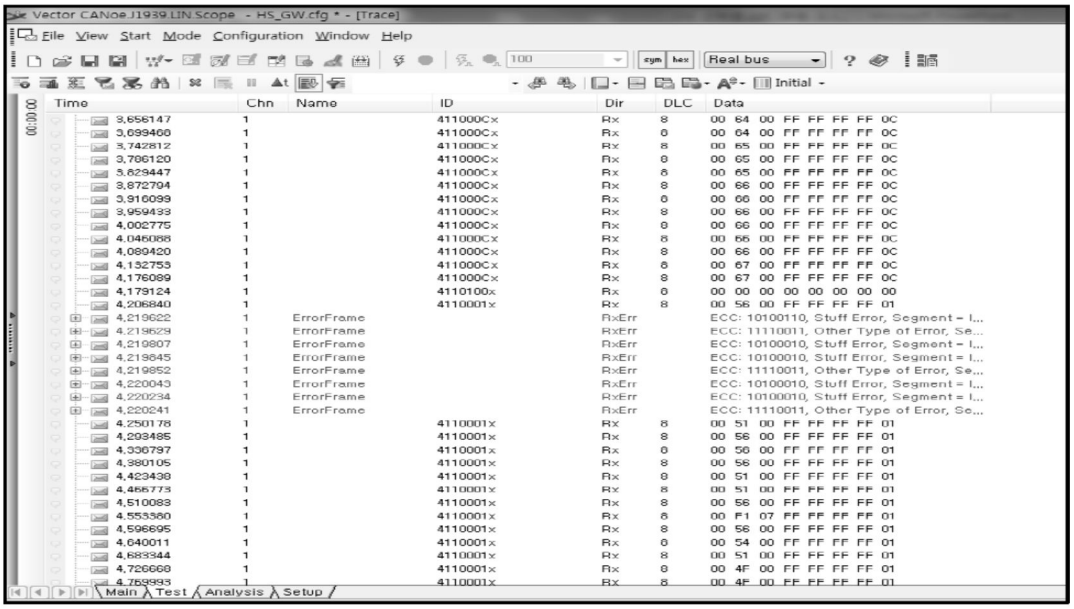


그림 4.28 통신선 에러 측정 결과

열 번째 시험은 송신 메시지에 대한 측정 시험으로 게이트웨이 및 센서가 보내는 송신 메시지를 확인하는 시험으로 CAN 버스를 모니터링하여 송신하는 메시지의 ID와 DLC를 확인하는 시험이다.

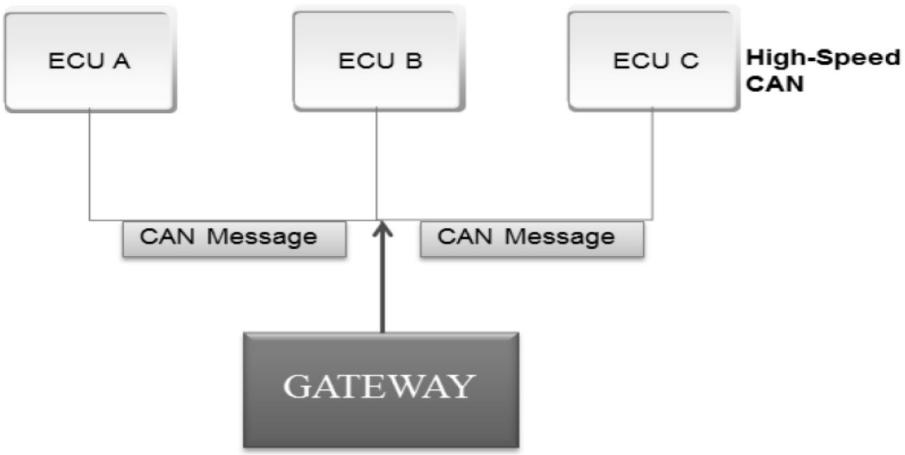


그림 4.29 송신 메시지 확인 방법

dCollection @ chosun

표 4.2 송신 메시지의 ID와 DLC

송신 메시지	항목	측정
Tx_GW_Sensor 1	ID	0x4110100
	DLC	8
Tx_GW_Sensor 2	ID	0x4110200
	DLC	8
Tx_GW_Sensor 3	ID	0x4110300
	DLC	8
Tx_GW_Sensor 4	ID	0x4110400
	DLC	8
Tx_GW_Sensor 5	ID	0x4110500
	DLC	8
Tx_GW_Sensor 6	ID	0x4110600
	DLC	8
Tx_GW_Sensor 7	ID	0x4110700
	DLC	8
Tx_GW_Sensor 8	ID	0x4110800
	DLC	8
Tx_GW_Sensor 9	ID	0x4110900
	DLC	8
Tx_GW_Sensor 10	ID	0x4110A00
	DLC	8
Tx_GW_Sensor 11	ID	0x4110B00
	DLC	8
Tx_GW_Sensor 12	ID	0x4110C00
	DLC	8

dCollection @ chosun

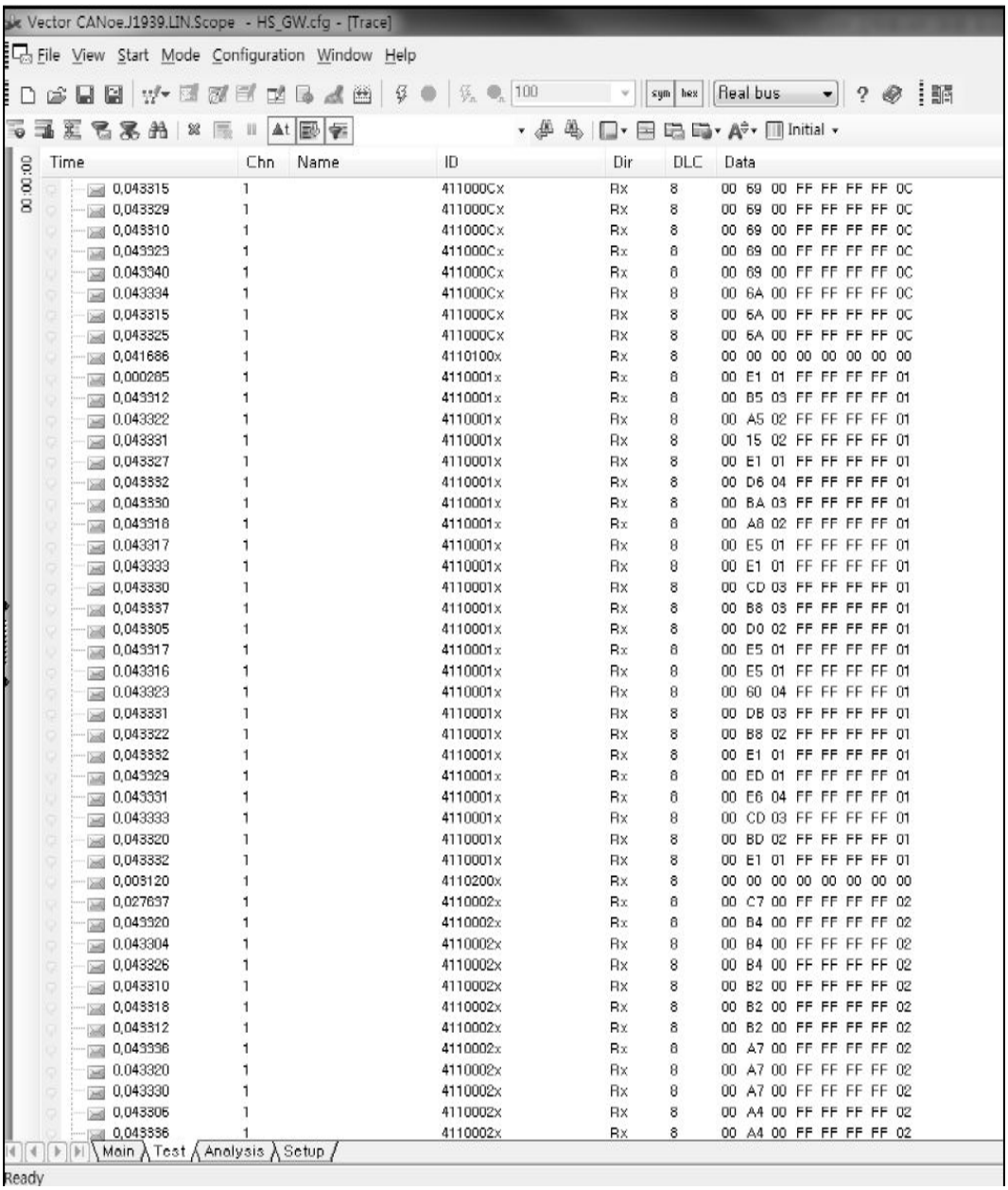


그림 4.30 송신 메시지 측정 결과

dCollection @ chosun

열한 번째 시험은 메시지 주기 확인 시험으로 전원 인가 후 메시지의 최초 전송 시간을 측정하는 시험으로서 메시지의 Initialization Time과 메시지의 반복 전송 여부 측정하였다.

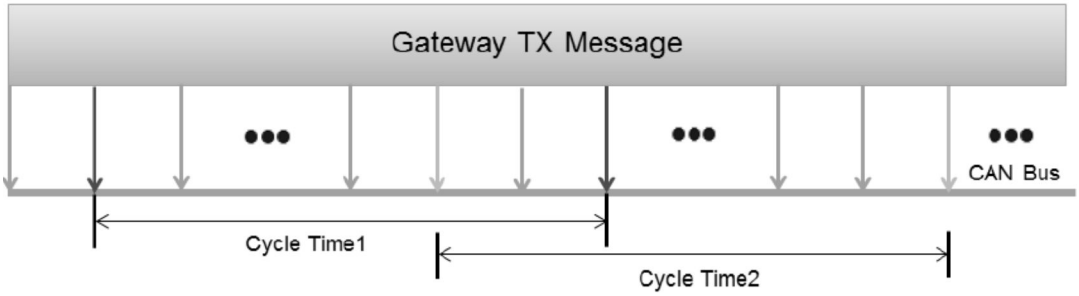


그림 4.31 메시지 주기 평가 방법

표 4.3 최초 전송 시간 측정 결과

측정 항목	메시지	측정 결과
B+ Attach 후 최초 전송 시간 (Initialization Time)	0x4110100	2.600sec
	0x4110200	3.599sec
	0x4110300	4.599sec
	0x4110400	5.599sec
	0x4110500	6.599sec
	0x4110600	7.599sec
	0x4110700	8.599sec
	0x4110800	9.599sec
	0x4110900	10.599sec
	0x4110A00	11.599sec
	0x4110B00	12.599sec
	0x4110C00	13.599sec

dCollection @ chosun

표 4.4 전송 주기 측정 결과

측정 항목	메시지	측정 결과
전송 주기	0x4110100	11.999088sec
	0x4110200	11.999089sec
	0x4110300	11.999086sec
	0x4110400	11.999087sec
	0x4110500	11.999089sec
	0x4110600	11.999086sec
	0x4110700	11.999090Sec
	0x4110800	11.999088sec
	0x4110900	11.999088sec
	0x4110A00	11.999085Sec
	0x4110B00	11.999088sec
	0x4110C00	11.999084sec

dCollection @ chosun

열두 번째 시험은 신호 정합성 측정 시험으로 전원 인가 후 전송되는 메시지의 Initial Value을 확인하여 각 메시지의 데이터 값을 '0'으로 채워져 있는지 확인하는 시험이다.

ID	DLC	Data byte(0)	Data byte(1)	Data byte(2)	Data byte(3)	Data byte(4)	Data byte(5)	Data byte(6)	Data byte(7)
...	...	00	00	00	00	00	00	00	00

그림 4.32 데이터의 값이 '0'인 상태

표 4.5 각 메시지에 대한 Data Byte의 Value 측정 결과

측정 항목	메시지	측정 결과
B+ Attach 후 최초로 전송되는 메시지의 DATA (Initial Value)	0x4110100	00,00,00,00,00,00,00,00
	0x4110200	00,00,00,00,00,00,00,00
	0x4110300	00,00,00,00,00,00,00,00
	0x4110400	00,00,00,00,00,00,00,00
	0x4110500	00,00,00,00,00,00,00,00
	0x4110600	00,00,00,00,00,00,00,00
	0x4110700	00,00,00,00,00,00,00,00
	0x4110800	00,00,00,00,00,00,00,00
	0x4110900	00,00,00,00,00,00,00,00
	0x4110A00	00,00,00,00,00,00,00,00
	0x4110B00	00,00,00,00,00,00,00,00
	0x4110C00	00,00,00,00,00,00,00,00

dCollection @ chosun

2. 이더넷 통신 성능 테스트

앞에서 CAN 통신 테스트는 CAN 게이트웨이와 이기종 호환용 게이트웨이에 관한 내용으로 게이트웨이 정보수집용 스위치에 대한 통신 테스트는 포함되어 있지 않아 별도로 한국정보통신기술협회(TTA)를 통해 게이트웨이 정보수집용 스위치에 대한 이더넷 통신 성능 측정을 수행하였다.

가. 시험 환경 및 사용 장비

게이트웨이 정보수집용 스위치의 통신 성능 테스트를 위해 측정 장비인 Smartbits 6000과 컴퓨터를 연결하여 이더넷 통신 성능을 아래 그림과 같은 환경으로 측정하였다.

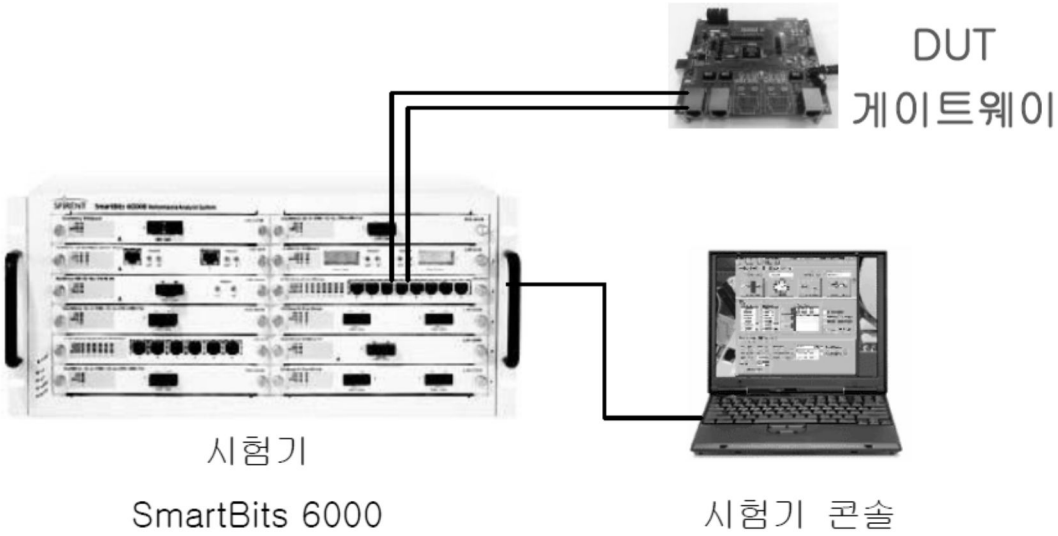


그림 4.33 통신 성능 시험 환경

dCollection @ chosun

시험장비의 주요 스펙은 다음과 같다

표 4.6 시험장비의 주요 스펙

구분	주요 정보
Manufacturer	Spirent Communication
Product Name	Smartbits6000B
H/W Version	Chassis : 2.80.003.00 LAN-3101A : 2.80.006
S/W Version	Smartflow Version : 5.50.042.1
Serial No.	1518

dCollection @ chosun

나. 시험 및 측정

첫 번째로 통신 속도 측정인 LAN Throughput를 2개의 LAN 포트를 Port-Pair로 연결했을 때 전송되는 트래픽에 대한 측정을 하였다. 이때 시험 장비인 Smartbit는 다음과 같은 값으로 설정하여 측정 하였으며, 각각의 LAN 포트를 통해 100%의 부하를 60sec 동안 가하고 수신되는 트래픽을 3회 반복하여 평균값을 측정하였다.

표 4.7 LAN Throughput 시험 환경

구분	주요 정보
Test Duration	60sec (3 Times)
Port Speed	line Speed
Port Pairs Active	Port-Pair
Duplex Mode	Full Duplex
Auto Negotiation	Enable
Flow Control	Disable
Test Traffic Orientation Mode	Bidirectional
Frame Type	Layer 2
Frame Sizes	64, 1024, and 1518Byte

시험결과 통신 속도인 LAN Throughput은 다음 표와 같이 측정되었으며, 3회 측정한 결과 모든 경우에 프레임 손실이 발생하지 않았고 100%의 안정된 통신을 보여주었다.

dCollection @ chosun

표 4.8 LAN Throughput 시험 결과

구분	64Byte	1024Byte	1518Byte
1차	100Mbps	100Mbps	100Mbps
2차	100Mbps	100Mbps	100Mbps
3차	100Mbps	100Mbps	100Mbps
평균	100Mbps	100Mbps	100Mbps

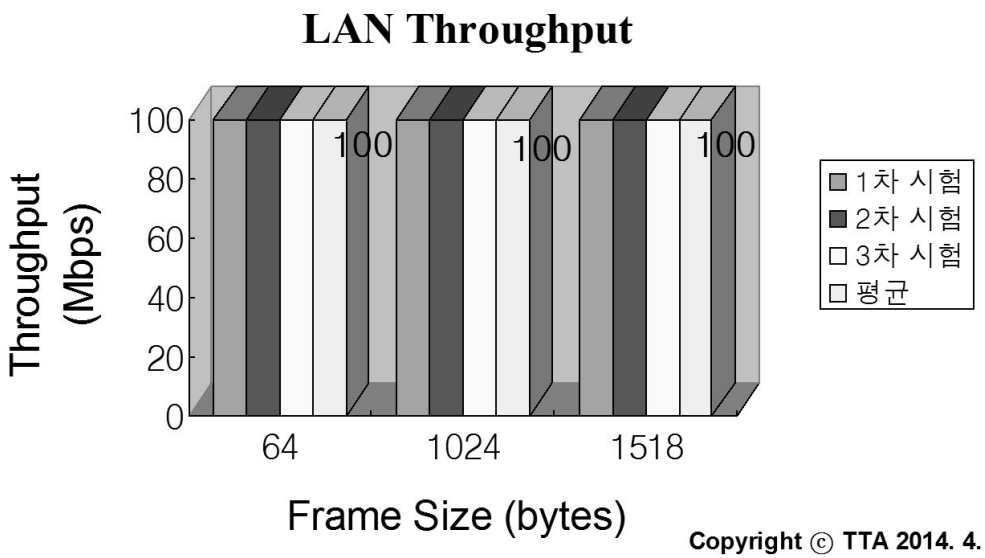


그림 4.34 LAN Throughput 시험 결과

지연시간 측정은 두가지 방법을 이용하여 측정하였다. 첫 번째 방법은 Cut Throughput Latency 측정 방법으로 중계 시간 지연의 최소화가 목적으로써 수신된 패킷을 끝까지 기다리지 않고 먼저 도착한 앞부분에서 목적지 주소만 확인되면 곧 목적지 포트로 패킷을 전송하므로 오류 제거 기능 등은 고려하지 않고 측정하는 방식이다.

dCollection @ chosun

Cut Throughput Latency 측정은 LAN Throughtput 측정 환경과 동일한 장비를 통해 측정하였으며 측정 환경은 다음과 같이 설정하였다. 또한 부하(Load)를 10%부터 10%씩 증가시켜가면서 Cut Throughput Latency 측정을 측정하였다.

표 4.9 Cut Throughput Latency 시험 환경

구분	주요 정보
Test Duration	10sec
Port Speed	10, 20, 30, …, 100Mbps
Port Pairs Active	Port-Pair
Duplex Mode	Full Duplex
Auto Negotiation	Enable
Flow Control	Disable
Test Traffic Orientation Mode	Unidirectional
Frame Type	Layer 2
Frame Sizes	64, 128, 256, 512, 1024, 1280 and 1518Byte

시험 결과는 아래 표와 같이 측정되었으며 최대 지연속도는 124.1usec로 부하에 따른 지연시간은 거의 발생하지 않는 것으로 측정되었다.

표 4.10 Cut Throughput Latency 시험 결과

구분	64Byte	128Byte	256Byte	512Byte	1024Byte	1280Byte	1518Byte
Cut Throughput (usec)	7.7	12.8	23.1	43.5	84.5	105	124.1

dCollection @ chosun

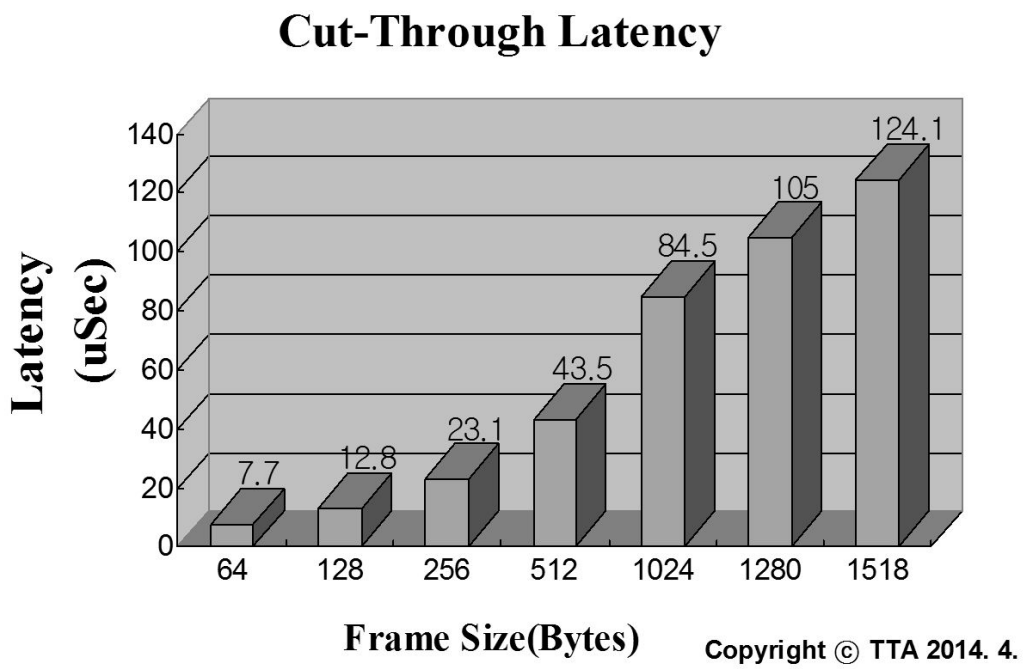


그림 4.35 Cut Throughput Latency 측정 시험 결과

두 번째 지연시간 측정은 Store and Forward Latency를 측정하였다. Store and Forward Latency 측정은 패킷이나 프레임, 메시지를 일시적으로 통신망상의 중계 노드 등에 저장하였다가 최종 행선지로 전달하는 기법으로 최종 행선지로 곧바로 전송하는 거보다 전달 시간이 길어지는 경우도 있다.

Store and Forward Latency 측정은 LAN Throughtput 측정 환경과 동일한 장비를 통해 측정하였으며 측정 환경은 Cut Throughput Latency와 동일하게 설정하였다. 이 측정 역시 Cut Throughput Latency 측정과 동일하게 부하(Load)를 10%부터 10%씩 증가시켜가면서 Store and Forward Latency 측정을 측정하였다

시험 결과는 아래 표와 같이 측정되었으며 최대 지연속도는 2.66usec로 Store and Forward Latency도 부하에 따른 지연시간은 거의 발생하지 않는 것으로 측정되었다.

dCollection @ chosun

표 4.11 Store and Forward Latency 시험 결과

구분	64Byte	128Byte	256Byte	512Byte	1024Byte	1280Byte	1518Byte
Store and Forward (usec)	2.58	2.56	2.62	2.54	2.58	2.6	2.66

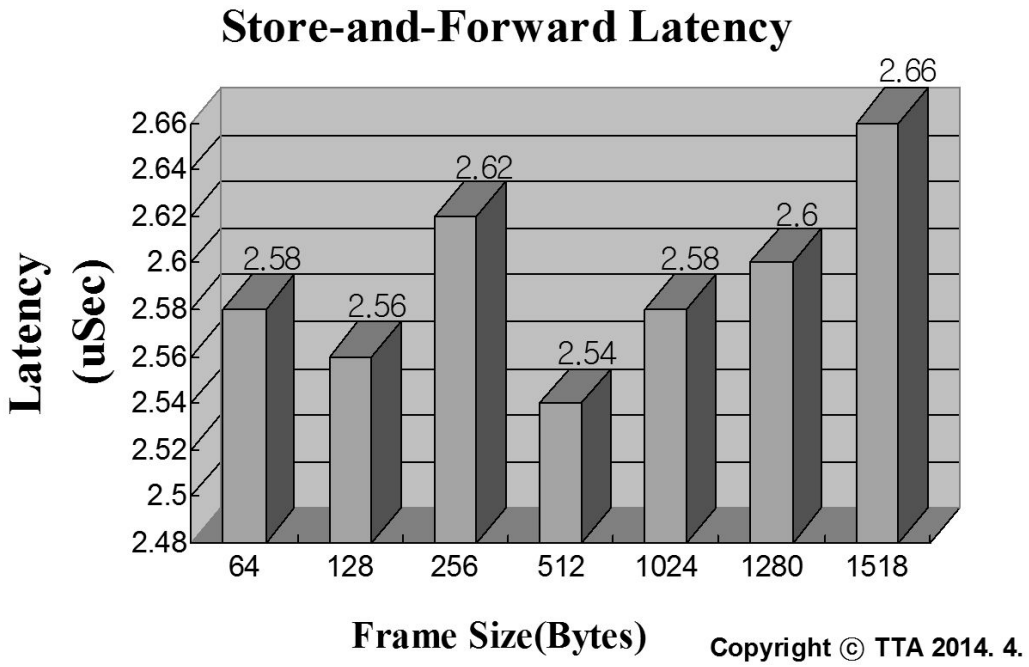


그림 4.36 Store and Forward Latency 측정 시험 결과

dCollection @ chosun

제 2 절 시험 결과 종합 비교 분석

총 12가지의 시험을 시행하였으며 그 수치는 다음 표와 같이 측정되었다. 12가지 시험 모두 게이트웨이로서의 안정성 및 높은 신뢰성 그리고 높은 성능을 지니고 있음을 확인할 수 있었다.

표 4.12 CAN 게이트웨이 성능 시험 결과

시험 항목	시험 내용	시험 결과
기본 항목	네트워크 정보분실율	0 %
	센서 모듈 정보생성주기	999msec
	정보 처리율	100 %
	네트워크 통신방식 접속 성공률	100 %
	네트워크 통신방식	H_CAN
	게이트웨이 네트워크 접속 지연	2999msec
	게이트웨이 네트워크 전송 속도	1 Mbps

dCollection @ chosun

시험 항목	시험 내용	시험 결과
Physical Layer	CAN Low Voltage Level in Recessive State	1.83 V
	CAN High Voltage Level in Recessive State	1.81 V
	CAN Low Voltage Level in Dominant State	1.19 V
	CAN High Voltage Level in Dominant State	2.41 V
통신선 Error에 대한 확인	CAN High Line 과 B+ Short 시	통신 중단
	CAN Low Line 과 B+ Short 시	일시 정지
	CAN High Line 과 GND Short 시	일시 정지
	CAN Low Line 과 GND Short 시	통신 유지
	정상 복귀시	정상 통신
송신 메시지 확인	ID 0X4110100 ~ 0x4110C00	정상
메시지 Timing 확인	메시지 Initialization Time	2.6sec
	메시지의 Cycle 전송 여부	12sec
신호 적합성 확인	메시지의 Initial Value	이상 없음

dCollection @ chosun

또한 게이트웨이 정보수집용 스위치의 통신 성능은 100Mbps와 실시간 통신을 지원한다는 것을 확인 할 수 있었다.

표 4.13 게이트웨이 정보수집용 스위치 성능 시험 결과

시험 항목	시험 내용	프레임 크기(Byte)	시험 결과
LAN Throughput	2개의 LAN 포트를 Port-Pair로 연결하고 Full Duplex 성능 측정	64	100Mbps
		1024	100Mbps
		1518	100Mbps
Latency (Cut Through)	LAN Port를 Port-Pair로 연결하고 부하를 10%부터 10%씩 증가시켜가면서 Cut Through Latency 측정	64	7.7usec
		128	12.8usec
		256	23.1usec
		512	43.5usec
		1024	84.5usec
		1280	105usec
		1518	124.1usec
Latency (Cut Through)	LAN Port를 Port-Pair로 연결하고 부하를 10%부터 10%씩 증가시켜가면서 Store and Forward Latency 측정	64	2.58usec
		128	2.56usec
		256	2.62usec
		512	2.54usec
		1024	2.58usec
		1280	2.6usec
		1518	2.66usec

dCollection @ chosun

제 5 장 결 론

본 논문에서 제안하는 필드 버스 네트워크 기반의 플랜트 통신 시스템과 게이트웨이는 산업현장에서 사용하고 있는 아날로그 통신 기반 센서 네트워크에 비해 더 안정적이고, 호환성이 높고, 비상상활에서도 신뢰할 수 있고, 더 경제적인, 그리고 수요자의 요구에 부흥하는 기술로서 다양한 응용 산업 창출 및 산업용 네트워크 구축 사업 고부가가치화가 가능한 기술이다.

또한 CAN과 광을 이용한 센서 네트워크 산업은 지속적인 성장이 예상되는 고부가가치 산업으로써 새로운 네트워크 산업의 수요 증대, 코스트 절감, 전체 측정 및 운영 비용 감소 기대를 한다. 기술에 대한 수요 및 활용측면을 고려한 핵심 기술로 수익성 및 지적재산권 확보 기대되는 기술이다. 그리고 게이트웨이는 CAN 통신을 사용하는 다양한 산업 분야에 응용 가능한 기술이다.

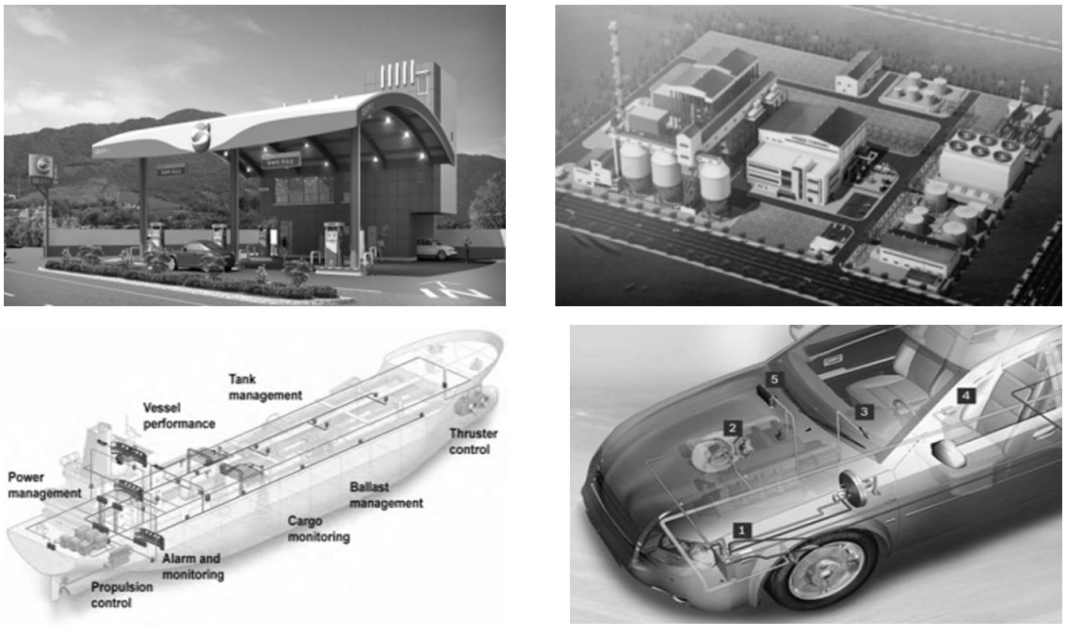


그림 5.1 응용 분야

dCollection @ chosun

본 논문에서 제안하는 필드 버스 네트워크 기반의 플랜트 통신 시스템과 게이트웨이를 통해 다음과 같은 장점을 확인할 수 있었다.

1. 높은 안정성 지원

제안하는 CAN 게이트웨이는 듀얼 MCU 기반으로 부하로 인한 멈춤 현상 방지 및 백본망을 지원하는 모듈이다. 이러한 기능으로 인해 높은 통신 안정성을 얻을 수 있었으며, CAN 통신 성능 시험을 통해서도 단락 및 합성 그리고 부하에 따른 통신 손실 현상이 발생하지 않았다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 외부영향을 받지 않는 광 인터페이스 지원으로 인해 기존 전기식 통신방법보다 높은 안정성을 확보할 수 있다.

2. 넓은 확장성 지원

제안하는 CAN 게이트웨이와 게이트웨이 정보수집용 스위치를 통해 다수의 센서 네트워크를 손쉽게 구축할 수 있으며, 동시에 실시간 관리 및 제어가 가능하다. 이로 인해 네트워크 확장시 장치 추가만으로도 보다 쉽게 확장을 할 수 있으며, CAN 통신 기반 센서뿐만 아니라 유무선기반 이기종 통신 방식을 지원하는 센서까지 접목이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

3. 용이한 사용자의 접근성

제안하는 이기종 호환용 게이트웨이는 사용자의 접근 편의성을 높이기 위해 다수의 유무선 인터페이스를 제공하는 모듈이다. 플랜트에서 실질적 업무를 담당하는 엔지니어의 스마트 폰이나 무선 단말기와의 통신이 가능하여 언제 어디서나 엔지니어가 플랜트 상태를 확인 할 수 있어 보다 편한 작업 환경을 제공할 수 있다.

본 논문을 통해 제안하는 시스템 및 게이트웨이는 기존 아날로그 통신 방식에 비해 크게 세 가지 장점을 가지고 있다. 하지만 본 논문에서 제안하는 필드 버스 네트워크 기반의 플랜트 통신 시스템과 게이트웨이는 사용자의 특수한 목적에 맞추어 설계된 부분이 있어 범용으로 사용하는데는 무선 네트워크의 안정성 문제 광 네트워크 구축비용 등의 많은 제약이 있어 이를 해결하기 위한 연구 노력이 진행되어야 할 것으로 보인다.

dCollection @ chosun

참 고 문 헌

[1] 김영효, “필드버스를 이용한 공정제어”, 숭실대학교 대학원 석사 학위 논문, 2003.

[2] 서충희, “효율적인 필드버스 활용을 위한 인터페이스 컨버터 설계 및 구현”, 순천대학교 정보과학대학원, 석사 학위 논문, 2005.

[3] Fieldbus Foundation, “Your Global Source for FOUNDATION Technolgy News”, Fieldbus Report, Spring 2012.

[4] Behrouz A. Forouzan, Data Communication and Networking, Mc Graw Hill, 2001.

[5] Weigmann, Josef and Gerhard kilian, Decentralsation with PROFIB US-DP, 2001.

[6] Park, Jaehyun and Youngchan Yoon, “A Study on the Extend TCP/IP Protocol for Real-time Communication.”, Journal of IEEE Korea Council Vol. 2, No. 1, 1998.

[7] Byres Eric, “Ethernet to Link Automation Hierarchy”, InTech, June 1999.

[8] Braden, R, “Extending TCP for Transactions Concepts”, RFC 1397, 1992.

[9] Kaplan, Gadi, “Ethernet's Winning Ways”, IEEE Spectrum, January 2001.

[10] 신용철, “Bitbus 이용한 Data Communication에 관한 연구”, 한국원자력연구소 기술동향보고서, 2008.

dCollection @ chosun

[11] 권영민, “Interbus-S(Fieldbus) 시스템의 수 처리분야 적용”, 자동제어계측사 기술동향 보고서, 2002.
[12] 최형윤, “SERCOS 네트워크 기반 휴머노이드 모듈로봇 팔 설계”, 순천대학교 박사 학위 논문, 2007.
[13] 이승민, “CAN 통신 활용을 통한 차량 배선 절감에 관한 연구”, 단국대학교 석사 학위 논문, 2013.
[14] 한경헌, “이기종 필드 센서 네트워크의 효율적인 통신 환경을 위한 거리벡터 라우팅 프로토콜 기반 CAN 라우팅 프로토콜에 관한 연구”, 한국정보통신학회, Vol. 17, No.8 Augest, 2013.
[15] Vector Company website, “http://www.j1939-solutions.com”
[16] Wikipedia website, “http://www.j1939-solutions.com”
[17] 최우진, “유수탱크 센서 기술 동향”, 한라IMS 기술 동향 보고서, 2013.
[18] K.H.Han, “A Study of Best Routing Protocol Using Distance Vetor Routing Protocol”, The 23rd JCCI, May. 2013.
[19] Agustin Zaballos, Alex Vallejo, Guiomar orral, Jaume Abella. Ad-Hoc routing performance study using OPNET Modeler University Ramon Llull(URL-La Salle Engineering) Barcelona Spain, 2006.
[20] ST Company, “ARM STM32F107 Datasheet”, 2007.
[21] ST Company, “ARM STM32F407 Datasheet”, 2007.
[22] Digi International, “XBee-PRO Datasheet”, 2008.
[23] Microchip Company, “RN-171-XV Datasheet”, 2012.
[24] M2Mnet Company, “WM-211 Integration Guide”, 2009.
[25] MICREL Company, “KSZ8893FQL Datasheet”, 2009.

dCollection @ chosun

[26] Diba Mirza, Maryam Owrang and Curt Schurgers, “Energy-efficient Wakeup Scheduling for Maximizing Lifetime of IEEE 802.15.4 Network”, International Conference on Wireless Communication, Networking and Mobile Computing(WICOM 2005), pp.130~137, 2005

[27] 임정섭, “LR-WPAN에서 충돌회피를 위한 동적 채널할당 알고리즘에 대한 연구”, 인하대학교 전자공학과 석사 학위 논문, 2004.

[28] Sofie Pollin, Mustafa Ergen, Sinem Coleri Ergen, Bruno Bougard, Lisebet Van Der Perre, Francky Catthoor, Ingrid Moerman, Ahmad Bahai and Pravin Varaiya, “Performance Analysis of slotted Carrier Sense IEEE 802.15.4 Medium Access Layer”, IEEE Transactions on Wireless Communication, Vol.7, Issue.9, pp.3359~3371, 2008.

[29] 김영배, “타원곡선 암호 알고리즘을 적용한 U-SIM 기반 홈 네트워크 Zigbee 통신에 관한 연구”, 조선대학교 정보통신공학과 박사 학위 논문, pp.11~16, 2014.

[30] 유도경, “CSMA/CA환경에서 응답시간 단축을 위한 제어프레임 디자인 설계”, 조선대학교 산업대학원 석사 학위 논문, pp.17~18, 2010.

[31] 윤풍식, 한경헌, 한승조, “전송 효율 증대를 위한 제어프레임 디자인”, 2009 한국통신학회 추계학술대회, pp.201~205, 2009.

[32] 강재은, 박학래, “클러스터-트리 기반 LR-WPAN에서 End-to-End 지연시간을 줄이기 위한 적응적 Beacon 스케줄링 알고리즘”, 한국통신학회 논문지, Vol.34-03, pp.225~263, 2009.

[33] 윤풍식, “무선 애드혹망에서 전송효율증대를 위한 제어프레임 설계”, 조선대학교 정보통신공학과 석사 학위 논문, pp.18~19, 2010.

dCollection @ chosun

[34] 한경헌, 이상덕, 최동유, 한승조, “기존의 RTS/CTS와 개선된 RTS/CTS의 데이터 전송효율성 비교”, 한국통신학회 추계종합학술발표대회 논문집, pp181~185, 2008.

[35] 한경헌 이상덕, 김철원, 한승조, “Delay 감소를 위한 제어프레임 디자인”, 한국정보처리학회 추계학술발표대회 논문집, 제16권 2호, pp.120~121, 2009.

[36] MICREL Company, “KSZ8895MQ Datasheet”, 2009.

[37] C. Bormann, A.P. Castellani, and Z.Shelby, “An Application Protocol for Billions of Tiny Internet Nodes” Internet Computing IEEE, Vol.16, Issue 2, pp.62~67, Mar. 2012.

[38] Z. Shelby, S. Chakrabarti, E. Nordmark, and C. Bormann, “Neighbor Discovery Optimization for IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks” RFC6775, Nov. 2012.

[39] P. Thubert, A. Brandt, J. Hui, R. Kelsey, P. Levis, K. Pister, R. Struilk, JP. Vasseur, and R. Alexander, “RPL: IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks” RFC6550, Mar. 2012.

[40] Ngoc-Thanh Dinh, “RESTful Architecture of Wireless Sensor Network for Building Management System” Special issue in M2M Communication KSII Trans., Vol.6, Issue 1, pp.46~63, Jan. 2012.

[41] 선박전자장치간 직렬데이터 네트워킹 규격, (NMEA2000) 기술보고서, TTA 단체표준작성, TTAR-11.0012, 2009.

[42] M. W. Kim, D. G. Yun, J. M. Lee, Y. J. Shim, and S. G. Choi, "Network traffic mitigation method using TCP signaling delay algorithm," ICACT, pp.730-733, 2012.

dCollection @ chosun

[43] H. Yang, M. J. Yu, D. G. Yun, and S. G. Choi, "Energy Saving Mechanism using Sleep Mode of Processor in Home Gateway," ICCE, pp.704-705, 2012.

[44] M. H. Sunwoo, "FlexRay Network Parameter Optimization Method for Automotive Applications," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.58, No.4, pp.1449-1459, 2011.

[45] W. Qin, K. Feng and F. Xiuwei, "Research of Automotive Network FlexRay/CAN Gateway based on DSP," International Conference on Future Computer and Communication, pp.V2-837-V2-840, 2010.

[46] R. P. Pantoni and D. Brandão, "A gradient based routing scheme for street lighting wireless sensor networks," J. Network Comput. Applicat., vol. 36, no. 1, pp. 77-90, Jan. 2013.

[47] K. Y. Liana, S. J. Hsiaoa, and W. T. Sung, "Intelligent multi-sensor control system based on innovative technology integration via Zigbee and Wi-Fi networks," J. Network Comput. Applicat., vol. 36, no. 2, pp. 756-767, Mar. 2013.

[48] A. Agarwal, M. Agarwal, M. Vyas, and R. Sharma, "A study of Zigbee technology," Int. J. Recent Innovation Trends Comput. Commun., vol. 1, no. 4, pp. 287-292, Apr. 2013.

[49] F. Leccese, "Remote-control system of high efficiency and intelligent street lighting using a Zigbee network of devices and sensors," IEEE Trans. Power Del., vol. 29, no. 1, pp. 21-28, Jan. 2013.

[50] R. Beaubrun, J. Llano-Ruiz, B. Poirier, and A. Quintero, "A middleware architecture for disseminating delay-constrained

dCollection @ chosun

information in wireless sensor networks," J. Network Comput. Applicat., vol. 35, no. 1, pp. 403-411, Jan. 2012.

[51] D. Yu, "Remote monitoring and controlling system based on Zigbee networks," Int. J. Software Eng. Its Applicat., vol. 6, no. 3, pp. 35-42, Jul. 2012.

[52] E. Peres, M. A. Fernandes, R. Morais, C. R. Cunha, J. A. López, S. R. Matos, P. J. S. G. Ferreira, and M. J. C. S. Reis, "An autonomous intelligent gateway infrastructure for in-field processing in precision viticulture," Comput. Electron. Agriculture, vol. 78, no. 2, pp. 176-187, Sep. 2011.

[52] J. T. Hong, "NMEA 2000 a study of NMEA 2000 protocol application for ship electrical power converter monitoring system," J. KSME, vol. 35, no. 2, pp. 288-294, Mar. 2011.

[53] D. H. Park, "A study on implementation of NMEA 2000 based integrated gateway using FPGA," J. KSME, vol. 35, no. 2, pp. 274-287, Mar. 2011.

[54] Dr. Stefan Ihmor, "Monitoring and remote control for MTU ship propulsion systems" Blue Vision New Generation, MTU.

[55] H. S. Seo, B. C. Kim, P. S. Park, C. D. Lee, and S. S. Lee, "Design and implementation of a UPn-CAN gateway for automotive environments," Int. J. Automotive Technology(IJAT), vol. 14, no. 1, pp. 91-100, Feb. 2013.

dCollection @ chosun

저작물 이용 허락서

학 과	정보통신공학과	학 번	20107537	과정	박사
성 명	한글 한 경 헌 한문 韓 炅 憲 영문 Han Kyoung Heon				
주 소	광주광역시 광산구 신가동 호반리젠시빌 104동 403호				
연락처	E-mail : gkyhan@naver.com				
논문 제목	한글 : 플랜트 통신 시스템을 위한 필드버스 네트워킹 기반의 게이트웨이 설계 연구				
	영문 : A Study of Design of Gateway for Plant Network System Based on Field Bus Networking				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 반대( )

2014년 8월 25일

저작자 : 한 경 헌 (인)

조선대학교 총장 귀하

dCollection @ chosun