

논문 2014-51-10-30

건설 중장비용 고신뢰성 PLC-CAN 통신 모듈 개발

(Development of the High-Reliability PLC-CAN Communication Module for Construction Equipment)

구 자 일*, 장 세 봉**

(Ja_Yl Ku[Ⓢ] and Se_Bong Jang)

요 약

건설 중장비의 경우 유압기 및 전장 배선 등으로 인하여 내부의 배선이 매우 복잡한 구조를 가지고 있으며, 이러한 복잡한 배선으로 인하여 장비의 생산 및 유지 보수에 많은 시간이 소요되고 있어 원가 상승 요인으로 작용한다. 본 논문에서는 건설 중장비의 전장 배선을 간소화하기 위한 고신뢰성을 갖는 PLC(Power Line Communication)-CAN(Controller Area Network) 통신 모듈을 설계하고 구현한다.

Abstract

In the case of construction equipment, internal wiring has a very complicated structure such as an electrical wiring and hydraulic equipments. Because of these complex wiring, a lot of time is spent on maintenance and equipment manufacturing. In this paper, we design and implementation of the high-reliability PLC(Power Line Communication)-CAN(Controller Area Network) communication module to reduce electrical wiring of the construction equipment.

Keywords : PLC, CAN, construction equipment, communication module

I. 서 론

현재 대부분의 승용차 및 건설 중장비의 경우 전자 장비가 지속적으로 도입되면서 전장 배선이 복잡해지고 있으며, 이러한 배선을 간소화하기 위한 다양한 노력이 진행되고 있다. 국내외 자동차 업체 경우 고급 승용차의 내부 배선에 광통신을 적용한 차량이 출시되고 있

며, 해외 상용차 업체에서는 전력선 통신을 적용하여 배선을 단순화시킨 제품이 출시되고 있다.

이와 같이 장비의 배선을 간소화하기 위한 가장 기본적인 이유는 배선을 단순화시킴으로서 생산 효율을 증가시키고 A/S를 용이하게 하며, 차량 무게를 절감하여 연비 개선 효과를 기대할 수 있기 때문이다.

승용차용 전장 배선을 단순화하기 위한 방안으로는 광통신을 기반으로 하는 MOST(Media Oriented Systems Transport) 시스템 등이 개발되어 차량 내의 AV 등을 효율적으로 연결하는 연구가 진행되고 있으며, 이를 적용한 차량이 출시되고 있다. VANET (Vehicular Ad-hoc Networks)은 차량의 무선통신을 이용한 차량간(V2V : Vehicle to Vehicle)과 차량과 인프라

* 평생회원, 인하공업전문대학 디지털전자과
(Dept. of Digital Electronics, Inha Technical College)

** 정회원, (주)엔아이투스
(N-itus Inc.)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: drku@inhac.ac.kr)

접수일자: 2014년08월07일, 수정일자: 2014년08월27일
게재확정: 2014년09월30일

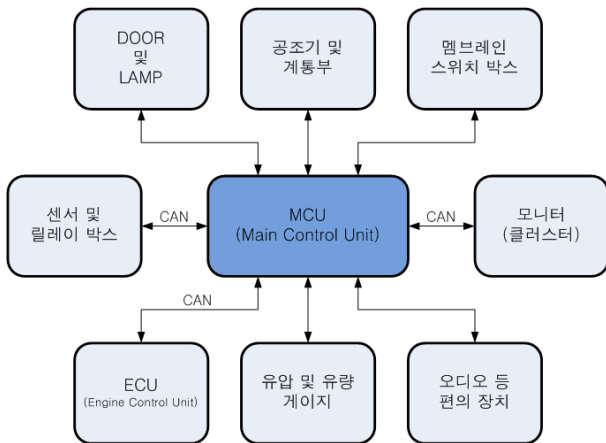


그림 1. 건설 중장비 전장 계통 구조
Fig. 1. Electrical wiring structure of construction equipment.

라간(V2I : Vehicle to Infra) 통신기술이다. 차량간의 Ad-hoc 네트워크를 통해 차량 상호간의 돌발 상황, 정보 교환, 가로등에 설치된 RSU(Road Side Unit)를 통해 교통정보나 방향 멀티미디어 서비스를 지원하려는 시도들이 계속 되고 있다^[1~2].

그러나 건설 중장비의 경우 그림 1과 같이 유압 배선 및 전장 배선이 복잡하게 얽혀 있는 구조이므로 더욱더 배선을 간소화하는 필요성이 높으나, 국내외에서는 아직까지 이에 대한 연구가 진행되고 있지 못한 실정이다. 이와 같이 연구가 부진한 이유는 대부분의 건설 중장비 업체가 IT를 도입할 기술적인 전문가 부족 및 인식이 부족하기 때문으로 판단된다. 또한, 건설 중장비는 일반 승용차 및 상용차 보다 차량 내부의 전원 노이즈 및 진동 등이 심각하여 고 신뢰성을 갖는 통신 부품이 필요한 상황인데 이에 대한 연구 및 제품화가 진행되고 있지 못한 실정이다.

본 논문에서는 승용차 및 상용차의 PLC 모듈에 비해서 1.5배 이상의 고 신뢰성을 갖는 건설 중장비용 PLC-CAN 통신 모듈을 설계한다. 그리고 이를 통하여 건설 중장비의 신뢰성 요구 조건을 통과할 수 있는 수준의 제품을 구현하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 기술 개발을 위한 기본 방법과 개발 내용에 관하여 설명하고, III장에서 개발 장치의 기능과 내용을 설명한다. 그리고 IV장에서 개발된 장치의 성능을 분석하고 V장에서 결론을 기술한다.

II. 본 론

2.1 기술 개요

일반적인 건설 중장비의 내부 배선은 그림 2와 같이 전원 케이블과 CAN 통신을 위한 별도의 배선(와이어링 하네스)이 동시에 공존하는 구조로 되어 있다. 이러한 와이어링 하네스는 건설 중장비와 같은 대형 차량의 경우 배선의 길이가 최장 30~40m 이상이 되는 경우도 있어 차량의 중량을 증가시키는 요인이 된다.

따라서 기존 방식을 그림 3과 같은 고 신뢰성 PLC-CAN 모듈을 적용하게 되면, 전원 선로를 통하여 통신이 이루어지므로 배선을 단순화하여 중량 감소 및 생산성 증가를 달성하는 것이 가능해진다.

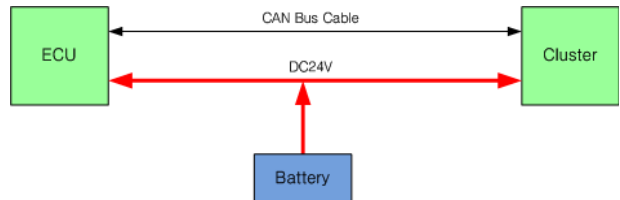


그림 2. 기존 와이어링 하네스 방식
Fig. 2. The existing wiring harness.

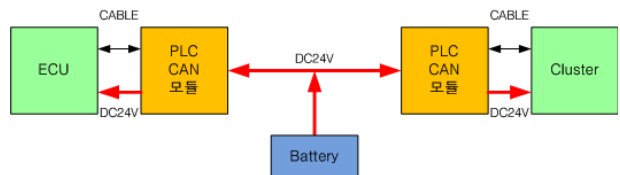


그림 3. PLC-CAN 모듈을 이용한 와이어링 하네스 방식
Fig. 3. A wiring harness by using the PLC-CAN module.

2.2 PLC-CAN 통신 적용을 위한 중장비 전장 구조

PLC-CAN 통신 모듈이 적용되는 전체적인 중장비 전장 계통도를 그림 4에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 중장비에도 승용차와 비슷하게 다양한 전장 계통 부품이 있으며, 이러한 전장 계통 부품은 CAN 또는 LIN(Local Interconnect Network)을 기반으로 통신이 이루어지고 있다^[3].

고 신뢰성 PLC-CAN 통신 모듈을 구현하기 위해서는 안정성과 신뢰성이 높은 PLC 칩을 사용해야 하는데, 본 연구에서는 전기자동차와 다양한 전장 통신에 응용할 수 있도록 개발된 Qualcomm사의 QCA7000 PLC 칩을 사용하여 구현하였다. QCA7000을 이용하는

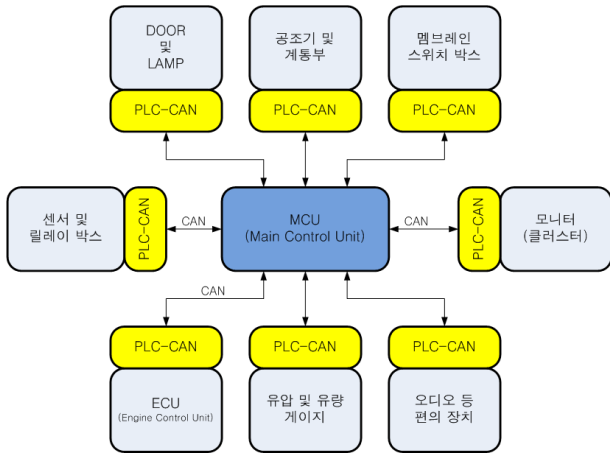


그림 4. PLC-CAN 통신 모듈을 적용한 중장비 전장 구조

Fig. 4. Electrical wiring structure of construction equipment applying the PLC-CAN communication module.

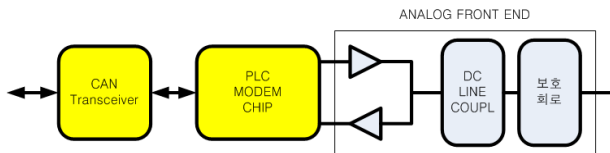


그림 5. PLC-CAN 통신 모듈 구성도
Fig. 5. Block diagram of PLC-CAN communication module.

경우, 아날로그 필터와 Line Driver에 관련한 Analog Front End 회로 일부분을 강화시키는 설계가 필요하다. 그림 5는 QCA7000을 이용할 경우의 PLC-CAN 모듈의 전체적인 구성도를 나타낸다.

III. PLC-CAN 모듈 상세 설계

3.1 PLC-CAN 전력선 통신 모듈

QCA7000은 HPGP(Home Plug Green PHY) 표준을 만족하는 Qualcomm사의 대표적인 전력선 통신 칩이다. HPGH 표준은 스마트 그리드 및 전기차의 요구를 만족하기 위하여 개발된 표준이며 최근 HPGP Ver 1.1이 공시되었다. QCA7000은 robust OFDM 변조 방식을 이용하고 있으며, 이를 통하여 안정적인 통신을 보장할 수 있는 구조를 가지도록 설계되어 있다. QCA7000은 HPGP 표준을 만족하고 있지만 Home plug AV 표준 (오디오와 비디오를 전송하기 위한 전력선 통신 표준) 과 호환성을 유지하도록 설계하였다^[4].

QCA7000은 최대 10Mbps를 지원하지만 전력선 통신

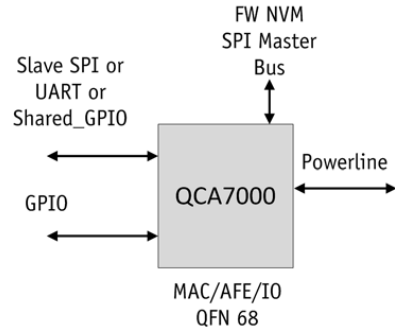


그림 6. QCA7000 블록도 및 I/O
Fig. 6. QCA7000 block diagram and I/O.

은 TDD(Time Division Duplex) 기반이기 때문에 단방향 기준으로 5Mbps를 지원한다. 또한 저전력 소모 및 주변의 회로를 최소화하여 원가를 최대한 낮출 수 있도록 설계하였다.

QCA7000 전력선 모듈의 특징의 하나는 Home Plug AV와 IEEE 1901 표준을 만족하는 전력선 모듈과 완전한 호환성을 갖는다. QCA7000에서 제공하는 Home Plug Green PHY Distributed Bandwidth Control은 HPAV와 공존을 지원하기 위한 기능이다. 저전력 기능은 HPGP Power Save mode를 통하여 지원이 가능하며 저전력을 실현하기 위하여 네트워크 동기를 유지하기 위한 최소한의 scheduled basis에 기반하여 저전력 상태를 유지한다. QCA7000의 블록도 및 입출력 구성도는 그림 6과 같다.

그림 7의 내부 구성도에서 AFE(Analog Front End)는 A/D 변환기 및 D/A 변환기를 내장하고 있으며, 장거리 전송을 위한 수신 증폭기, 송신 증폭기, line driver 등이 내장되어 있다. 수신에 있어서 적절한 수신 레벨을 결정하기 위한 zero crossing detector 역시 아날로그 형태로 내장되어 있다.

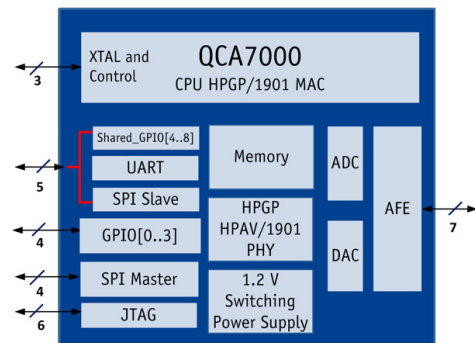


그림 7. QCA7000 내부 구성도와 I/O
Fig. 7. QCA7000 internal block diagram and I/O.

외부 전력선 커플러는 Home Plug Green PHY OFDM 신호가 전력 선로를 통하여 송신 및 수신될 수 있도록 하는 기능을 지원함과 동시에 위험한 전력선 전압이 유입되는 것을 막아주는 기능도 지원한다. QCA7000의 물리계층 PHY는 IEEE1901 draft 표준과 완전히 호환되도록 설계가 되어 있다.

3.2 중장비용 고 신뢰성 PLC 통신 회로 설계

고 신뢰성 PLC-CAN 통신 모듈을 구현하기 위하여 QCA7000 전력선 모뎀 칩은 industrial type을 이용하였으며, AFE 부분에 대해서는 그림 8과 같이 별도의 내구성 강화 설계를 수행하였다.

전력선 통신 회로는 크게 CPU, PLC MAC/PHY/AFE(analog front end), 커플링 회로, 전원부로 구성된다.

CPU와 PLC용 QCA7000은 SPI 인터페이스를 통해 연결되어 전력선 통신 패킷은 송수신한다. QCA7000 칩은 AFE를 포함하여 아날로그 통신 신호를 송수신하고, 다음에 위치한 커플링 회로를 통하여 전력선에 전달한다. 내구성 강화를 위한 커플링 회로는 수신할 때는 대역통과 필터를 사용하고, 송신할 때는 surge protection을 사용하며, 아날로그 송수신 신호는 트랜스포머를 통하여 전력선에 연결된다.

전력선 통신은 QCA7000 칩을 중심으로 동작하며, 송신 신호를 보내는 전송부와 신호를 수신하는 대역 필터부를 포함하는 수신부 커플링 회로로 구성된다. 직접 전력선에 연결되는 부분은 트랜스포머(transformer)를 통하여 AC 성분을 커플링하여 통신 신호를 송수신하게 된다. 여기서 하나의 전력선 쌍으로부터 송신 신호와

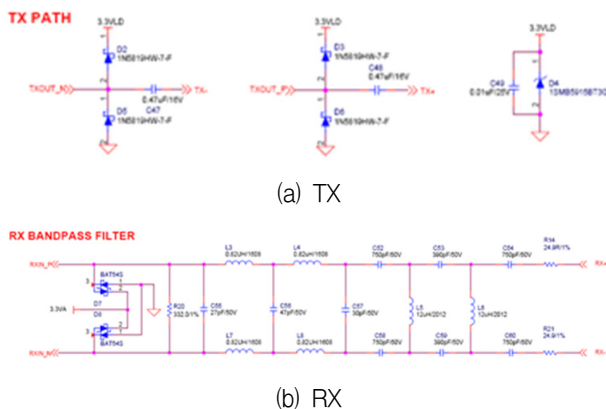


그림 8. 전력선 송수신 장치의 AFE
Fig. 8. AFE of power-line transceiver.

수신 신호를 중첩하고 분리하기 위하여 4 wire와 2 wire로 구성된 트랜스포머를 사용하였다. 수신부는 트랜스포머를 통과하여 전달된 신호를 대역 통과 필터(2~28MHz)를 구성하여 대역 이외의 신호는 억제함으로써 잡음에 강하도록 설계하였으며, 송신부와 수신부는 과입력과 과출력을 막기 위하여 surge protection을 적용하였다. 여기서 내구성 강화 설계를 위해 기존 승용차 규격 대비하여 강화된 기준을 적용한 surge 회로를 설계하고 제작하였다. 송신부와 수신부는 DC 성분의 제거하고 통신 신호에 해당하는 AC 신호만을 송수신하기 위하여 커패시터를 사용한다.

전원부의 DC/DC 변환부는 별도로 제작되는 DC/DC 변환보드에서 고압의 DC 전원을 CPU와 QCA7000이 사용할 수 있는 전원으로 변환하도록 설계하였다.

40V 이상의 DC 전압을 입력 받아서 스위칭 레귤레이터를 통하여 TTL 수준의 5.0V 전압으로 생성할 수 있으며, 차량 전원 불안정성에 대비하여 최종 위치에 그림 9와 같이 순간 전압 억제 소자(transient voltage suppression array)를 사용하여 설계하였다.

전력선 통신을 위해 통신 보드에서 전력선에 연결하는 신호선에는 그림 10과 같이 DC 커플링 커패시터를

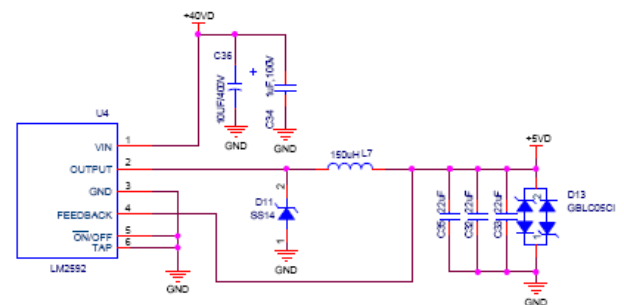


그림 9. 스위칭 레귤레이터 회로도
Fig. 9. Switching regulator circuit.

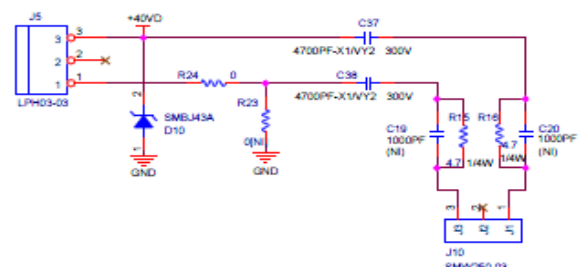


그림 10. 통신 모듈과 연결되는 DC 전력선 회로도
Fig. 10. DC Power-line circuit connected with communication module.

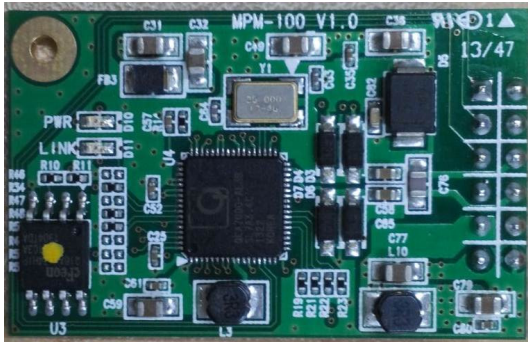


그림 11. 구현된 PLC 통신 모듈
 Fig. 11. The implemented PLC communication module.

사용하여 DC 전원과 신호를 분리한다.

지금까지 설명한 내용을 바탕으로 제작된 PLC-CAN 통신 모듈을 그림 11에 나타내었다.

3.3 인터페이스 접속 시험용 지그 제작

구현된 고 신뢰성 PLC-CAN 통신 모듈을 시험하기 위하여 별도의 인터페이스 지그를 제작할 필요가 있다. 이를 위해 그림 12와 같은 인터페이스 접속 시험용 지그를 제작하였다. 본 연구에서 인터페이스 지그는 2가지 버전으로 제작하였으며, 첫 번째 타입은 1포트 PLC-CAN 통신 모듈을 시험하기 위한 형태이고, 두 번째 타입은 한번에 3개의 PLC-CAN 통신 모듈을 동시에 시험할 수 있는 형태로 제작하였다.

1포트 인터페이스 지그는 CAN 인터페이스를 접속할 수 있는 9-pin D-SUB 커넥터를 내장하고 있으며, 시험을 다양하게 할 수 있도록 DC 전원과 AC 전원을 모두 받을 수 있는 형태로 설계 및 제작하였다. 1포트 인터페이스 지그는 고 신뢰성 PLC 전력선 통신용 AFE 회로가 적용되었다.

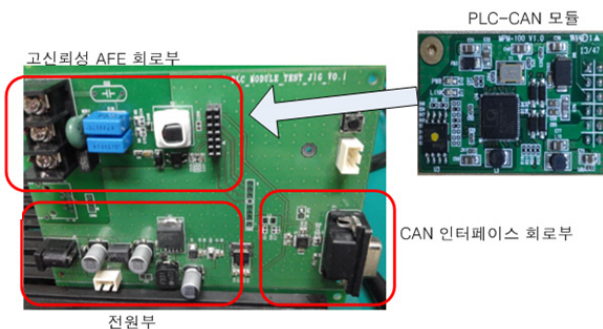


그림 12. 1포트 PLC-CAN 통신 모듈 시험용 지그
 Fig. 12. 1 port PLC-CAN communication test jig.

IV. 실험

4.1 PLC-CAN 통신 모듈간 통신 실험

본 연구에서 개발한 고 신뢰성 통신 모듈의 정상적인 통신을 확인하기 위해 그림 13과 같이 3개의 시험용 PLC-CAN 통신 모듈을 DC 파워 서플라이에 연결하여 각 보드 간 통신 상태를 실험하였다. 그림에서와 같이 파워 서플라이를 DC/DC 변환기의 전원 포트에 연결하고, 각 PLC-CAN 통신 모듈은 이더넷 통신 포트를 통하여 데이터 송수신을 검증하였다.

그리고 중장비 내부와 유사한 전원 환경을 구축한 상태에서 주파수 감쇠를 측정하고, 이와 관련한 통신 특성을 분석하기 위해 그림 14와 같은 시험 환경을 구축하고 실험을 실시하였다. 실험에서 함수 발생기를 통하여 주파수별 사인과 생성하였으며, 500m 전력선을 시험선로로 사용하여 오실로스코프로 전력선 입력과 출력을 모니터링하였다.

그림 14의 전력선 주파수 감쇠 특성 측정에서

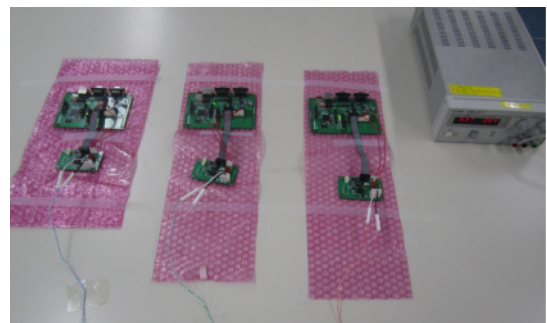


그림 13. PLC-CAN 통신 모듈 시험
 Fig. 13. PLC-CAN communication module test.

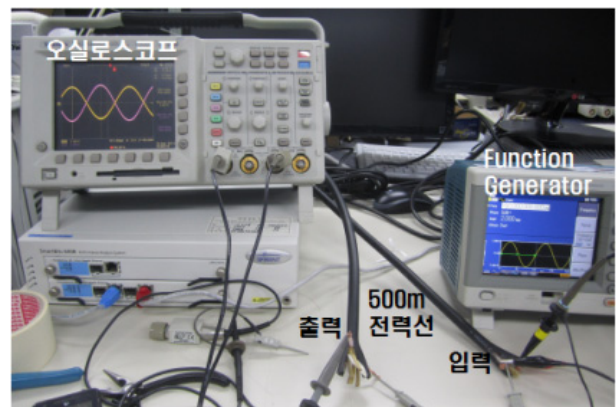


그림 14. 중장비 전원선의 감쇠 측정 실험
 Fig. 14. Attenuation test of construction equipment.

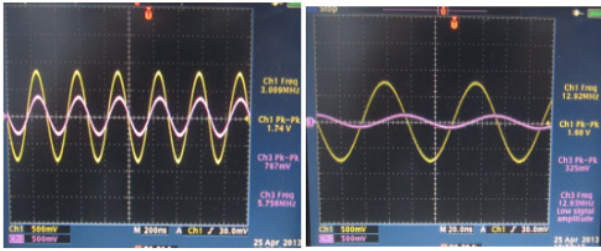


그림 15. 전원 선로의 감쇠 측정 결과
Fig. 15. Attenuation test result of power line.

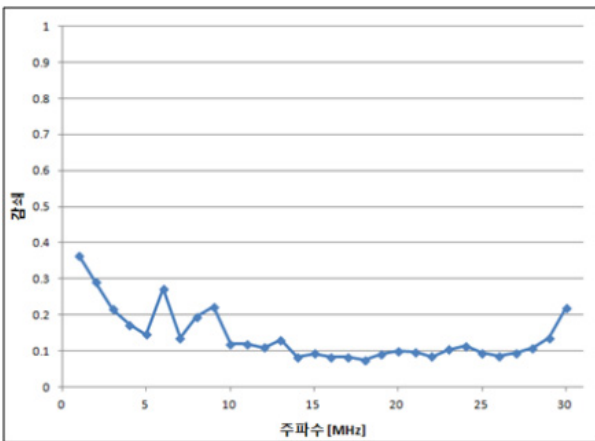


그림 16. 중장비 전원선의 주파수 대역별 감쇠 특성
Fig. 16. Frequency band attenuation characteristics of construction equipemtn.

PLC-CAN 통신에서 사용하는 주파수 대역은 약 2~30MHz에 해당하므로 함수 발생기를 통하여 2 MHz 부터 1 MHz 단위로 조정하며 입력과 출력의 진폭을 비교하였다. 그리고 오실로스코프를 통하여 입력과 출력 사인파의 진폭과 위상차를 관찰하였으며, 주파수에 따라 위상의 변화도 발생하지만 여기서는 진폭 변화만 측정 기술하였다. 그림 15는 전원선로의 감쇠 측정 결과를 나타낸다.

전력선 입력 V_{p-p} 와 출력 V_{p-p} 를 통하여 감쇠 계산한 결과 그림 16과 같이 고주파로 갈수록 감쇠가 심해지는 것을 알 수 있으며, 특정 주파수에서는 감쇠가 덜 발생하는 것을 알 수 있다. 고주파에서 신호의 감쇠가 크다는 것은 당연한 결과이지만, 특정 주파수 대역에서 감쇠가 덜 발생한다는 것은 예상과 다른 결과를 보여준다. 이것은 전원선을 통한 전력선 통신에 있어서 최적의 주파수 대역은 10~25MHz 대역이라는 것을 알 수 있다.

4.2 PLC-CAN 통신 모듈 연동 실험

지금까지의 PLC-CAN 통신 모듈간 통신 실험 및 특성을 바탕으로 그림 17과 같이 3포트 PLC-CAN 통

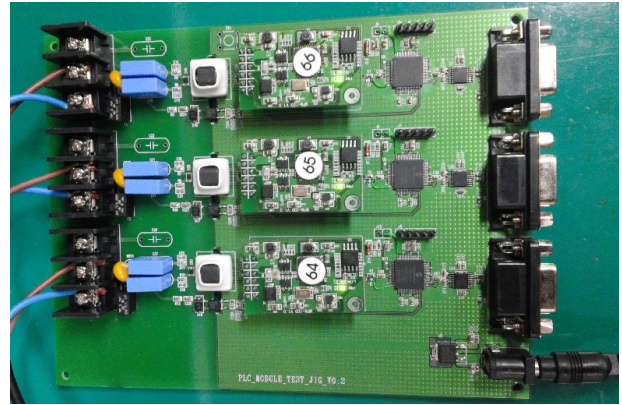


그림 17. 3 포트 PLC-CAN 통신 실험 지그
Fig. 17. 3 port PLC-CAN communication test jig.

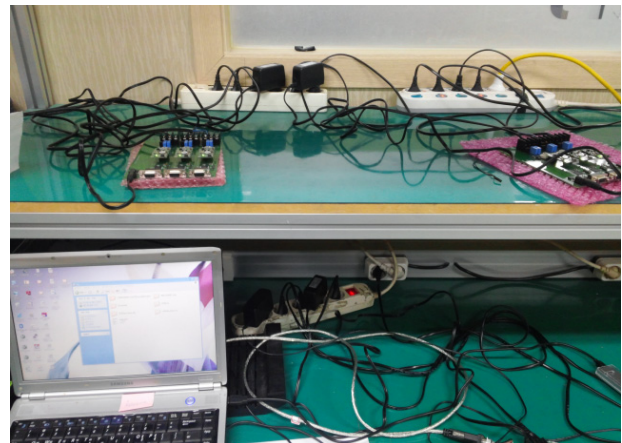


그림 18. PLC-CAN 통신 모듈 실험
Fig. 18. PLC-CAN communication module test.

표 1. PLC-CAN 통신 모듈 실험 결과
Table 1. PLC-CAN communication module test result.

검사 시료	상향 속도	하향 속도
시료 1	4.2 Mbps	4.0 Mbps
시료 2	4.1 Mbps	4.2 Mbps
시료 3	4.2 Mbps	4.3 Mbps
시료 4	3.9 Mbps	4.2 Mbps
시료 5	4.2 Mbps	4.1 Mbps
시료 6	4.2 Mbps	4.4 Mbps
시료 7	4.1 Mbps	4.2 Mbps
시료 8	4.0 Mbps	4.2 Mbps
시료 9	3.9 Mbps	4.1 Mbps
시료 10	3.8 Mbps	4.1 Mbps

신 실험 지그를 이용하여 그림 18과 같이 PLC-CAN 통신 모듈에 대한 종합적인 연동 시험을 진행하였다.

PLC-CAN 통신 모듈 실험에 사용된 총 시험 시료 수는 200개이며, 시험 항목은 상향 및 하향의 전송 속도를 측정하였다. 표 1. 에 나타난 결과와 같이, 총 200개의 시료를 검사한 결과, 대부분의 모듈이 3Mbps 이상의 우수한 전송 속도를 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 건설 중장비의 복잡한 전장 배선을 간소화하기 위한 고 신뢰성 PLC-CAN 통신 모듈을 개발하고 장비에 배선되어 있는 전원선로를 통한 통신 실험을 실시하였다.

고 신뢰성 PLC-CAN 통신 모듈을 개발하기 위해 QCA7000 퀵컴 전력선 통신 칩을 이용하여 설계 및 제작 하였으며, 총 3회에 걸쳐 400개의 모듈을 제작하여 실험을 실시하였다. 또한 PLC-CAN 통신 모듈을 실험하기 위한 1포트 지그 및 3 포트 지그를 제작하였으며, 고 신뢰성을 갖는 Analog Front End를 설계 및 제작하여 적용하였다. 실험 결과 특정 주파수 대역(10~25MHz)에서는 오히려 감쇠가 적음을 확인할 수 있었으며, 실험을 위해 제작된 시료 모두 3Mbps이상의 안정적인 속도로 통신함을 확인하였다.

앞으로의 연구 과제로는 휴대용 PLC-CAN 모듈 통신 계측기를 설계 하고 구현해야 하며, 휴대용 통신 계측기의 데이터를 저장 분석할 수 있는 PC 소프트웨어 설계하여 실제 중장비 적용할 수 있는 시스템을 설계하고자 한다.

REFERENCES

[1] S. S. Ahn and W. H. Kim, "Development of Automotive Gateway System Using Pseudo MOST Network as Backbone", Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol.48, No.6, pp.24-33, 2011.
 [2] S. H. Cha, M. W. Ryu and K. H. Cho, "A Delay Tolerant Vehicular Routing Protocol for Low Vehicle Densities in VANETs", Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol.49, No.4, pp.82-88, 2012.7
 [3] J. Y. Hyun, K. T. Jang and C. K. Jung, "A

study on vehicle sensor network with CAN-LIN integrated network protocol", Proceedings of the IEEK Conference, pp.419-420, 2006.6

[4] <http://www.qca.qualcomm.com/wp-content/uploads/2013/11/QCA7000.pdf>

저 자 소 개



구 자 일(평생회원)
 1991년 인하대학교 전자공학과 (학사)
 1993년 인하대학교 전자공학과 (석사)
 1999년 인하대학교 전자공학과 (박사)

2006년~현재 인하공업전문대학 디지털전자과 교수

<주관심 분야 : USN, 화상신호처리, 네트워크>



장 세 봉(정회원)
 1993년 경남대학교 전자공학과 (학사)
 1998년 경남대학교 전자공학과 (석사)
 2000년 4월~2002년 4월 농심데이터 시스템

2002년 5월~2007년 8월 우전시스템

2007년 9월~현재 엔아이투스 대표이사

<주관심분야 : 통신, 컴퓨터, 신호처리, 반도체>