

논문 2017-54-4-16

# PLC 통신 선로 시험 시뮬레이터 개발

(Development of PLC Communication Line Test Simulator)

구 자 일\*

(Jayl ku<sup>©</sup>)

요 약

건설 중장비의 배선을 간소화하기 위하여 PLC(Power Line Communication)-CAN(Controller Area Network) 통신 모듈 연구가 활발히 진행되고 있다. PLC-CAN 통신 모듈이 개발되더라도 정상적인 동작여부를 판단할 수 있는 시뮬레이터가 필요하다. 본 논문에서는 PLC-CAN 통신 모듈의 상태를 측정할 수 있는 시뮬레이터를 설계 및 개발하였다. 시뮬레이터 개발을 위해 전력선로 특성 분석 및 중장비의 잡음을 측정하여 분석하였다. 전력선로 특성 분석을 통해 전력선 통신 주파수 대역에 대한 특성을 분석하였으며, 중장비 잡음 특성 파악을 위하여 일반 승용차와의 잡음 특성을 비교 분석하였다.

## Abstract

In order to simplify the wiring of construction heavy equipment, researches on PLC(Power Line Communication)-CAN(Controller Area Network) communication module are actively proceeding. Even if a PLC-CAN communication module is developed, a simulator capable of judging whether the PLC-CAN communication module is operating normally is needed. In this paper, we designed and developed a simulator that can measure the status of PLC-CAN communication module. We analyzed the characteristics of the power line communication frequency band by analyzing the characteristics of the power line and compared the noise characteristics with the passenger car in order to characterize the heavy equipment noise.

**Keywords :** PLC, CAN, construction equipment, communication module

## I. 서 론

대부분의 승용차 및 건설 중장비의 경우 지속적으로 디지털 전자 장비가 도입됨에 따라 전장 배선이 복잡해지고 있다. 이러한 배선을 단순화하기 위하여 국내의 자동차의 경우 승용차 내부 배선에 광통신을 적용한 차량이 출시되고 있다. 해외의 경우는 전력선 통신을 이용하여 배선을 단순화하기 위한 연구를 진행하고 있다. 이와 같이 장비 배선 간소화를 통해 생산성 향상, 효율적 A/S 및 차량 무게 절감을 통한 연비 개선을 기대할 수 있다.

\* 정회원, 인하공업전문대학 (Inha Technical College)

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

※ 이 논문은 인하공업전문대학의 지원에 의하여 연구되었음.

Received ; December 27, 2016 Revised ; January 5, 2017

Accepted ; January 25, 2017

차량간의 Ad-hoc 네트워크를 통해 차량 상호간의 돌발 상황, 정보 교환 및 가로등에 설치된 RSU(Road Side Unit)를 통해 교통정보 또는 멀티미디어 서비스를 지원하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다<sup>[1~2]</sup>.

PLC-CAN 통신 모듈은 기본적인 목적이 중장비 시스템에서 DC 전원선을 이용한 통신을 수행하게 함으로써 배선을 절감하는 것이다. 이때 중장비의 주 전원을 24V 전원을 사용하고 있으며, 각종 유압 기기, 전장 기기에 의한 잡음으로 인해 통신 환경 측면에서 매우 열악한 환경이다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 승용차 및 상용차의 PLC 모듈에 비해서 고 신뢰성을 갖는 건설 중장비용 PLC-CAN 통신 모듈 연구가 진행되고 있다<sup>[3~4]</sup>.

PLC-CAN 통신 모듈이 개발되었더라도 통신 모듈의 정상적인 동작 여부를 판단하기 위한 시뮬레이터 개발이 필요하다. 전력선 통신의 성능 평가에서 중요한 부

분인 전력선로의 특성을 예측하는 것이다. 일반적인 통신 시스템의 성능을 평가하기 위해서는 선로 시뮬레이터가 필요하다. 무선 통신의 경우도 채널 시뮬레이터를 이용하여 무선 통신의 성능을 평가하고 있다. 그러나 전력선 통신의 경우는 현재 전력선로에 대한 시뮬레이터가 국내외적으로 전무한 실정이었다. 전력선로 시뮬레이터가 없었으므로 기존에는 전력선 통신의 성능을 평가하기 위해서 실제로 100m, 200m, 300m 길이의 전력선을 이용하여야만 하였다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 전력선로 시뮬레이터를 설계 및 개발하였다. 전력선로 시뮬레이터는 내부에 LISN(Line Impedance Stabilization Network)이라는 회로가 필수적이다. 이것은 전력선의 경우 유선이므로 통신 노드가 추가될 때마다 임피던스가 변화하기 때문이다. 이러한 임피던스의 변화를 최소화하면서 통신 성능을 측정하기 위한 수단으로 LISN이 사용된다. 본 논문에서는 LISN를 설계 및 개발하고, 이를 이용하여 전체적인 전력선로 시뮬레이터를 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 개발된 시뮬레이터에 대하여 설명하고, III장에서 시뮬레이터 개발을 위한 전력선로 특성 분석 및 중장비의 잡음 측정 및 분석하였다. 그리고 IV장에서 결론을 기술한다.

## II. 시뮬레이터 구현

통신 시스템 개발에 있어서 중요한 것은 통신 자체를 개발하는 것도 중요하지만, 이에 대한 성능을 객관적으로 입증할 수 있는 장비를 개발하는 것도 중요한 요소이다. 이동통신의 경우에는 무선 통신의 페이딩이나 노이즈와 같은 환경을 인위적으로 발생하여 무선 통신의 성능을 검증하는 통신 시뮬레이터가 제작되어 판매되고 있다. 그러나 전력선 통신의 경우는 미국의 Qualcomm사에서 제작하여 판매하고 있는 전력선로 시뮬레이터 PTS(Performance Test System)를 사용하고 있다.

PTS의 경우 대당 가격이 2천만 원에 달하고 있으며, 내부의 구성 블록에 대한 세부 사항을 공개하지 않아, 전력선 개발 업체들이 Qualcomm사의 PTS를 구입하여 사용하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 PLC 통신의 시험을 지원할 수 있는 PLC 통신 선로 시험 시뮬레이터를 1차, 2차로 나누어 제작 및 개발하였다.

그림 1은 최대 120dB의 전력선로 감쇄를 재현할 수 있도록 감쇄기가 내장되어 있으며, 디지털 제어 회로를 이용하여 감쇄량을 가변으로 조절 할 수 있다.



그림 1. 전력선 시뮬레이터  
Fig. 1. Powerline simulator.

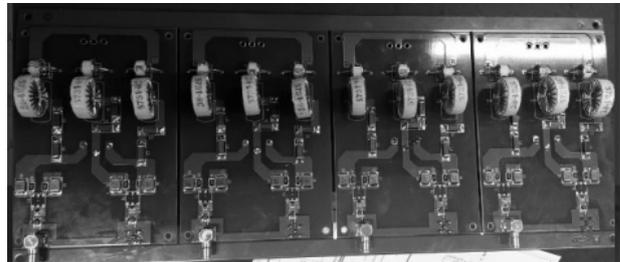


그림 2. LISN PCB  
Fig. 2. LISN PCB.

그림 2는 LISN의 회로도이다. 그림 1의 시뮬레이터 성능 향상 및 구조를 개선하기 위해 LISN 회로를 설계 및 개발하여 보완하였다. LISN은 전력선로의 임피던스를 안정화 시켜주는 회로이다. 전력선의 경우는 길이와 재질에 따라서 임피던스가 변화하게 된다. 이와 같이 가변적인 임피던스 환경에서 전력선 통신 모델이 연결된다면, 임피던스의 불일치로 인하여 전체적인 전력선 통신 성능이 급격하게 저하된다는 문제점이 발생된다. 이러한 임피던스 불일치를 해결하기 위한 방법으로 LISN 회로를 개발하였다. 즉, LISN은 Low-Pass Filter로서 AC 또는 DC 전원선과 전력선 통신 사이에 위치하여 상호 임피던스를 매칭시켜주는 기능을 수행하는 회로이다.

## III. 실험

### 3.1 전력선로에 대한 특성 분석

전력 선로 특성 분석은 전력선 모델이 차량에 장착된 전자 장비에 장애를 주지 않도록 모델링을 통해 특성을 분석하였다. 전력선로는 일반적인 무선 통신과 달리, 주파수 대역별 잡음, 연결되는 통신 노드 수 및 연결 상태에 따라 임피던스의 특성을 고려하였다. 연결 상태는 직렬연결, 병렬연결 및 직렬-병렬로 분류하여 임피던스

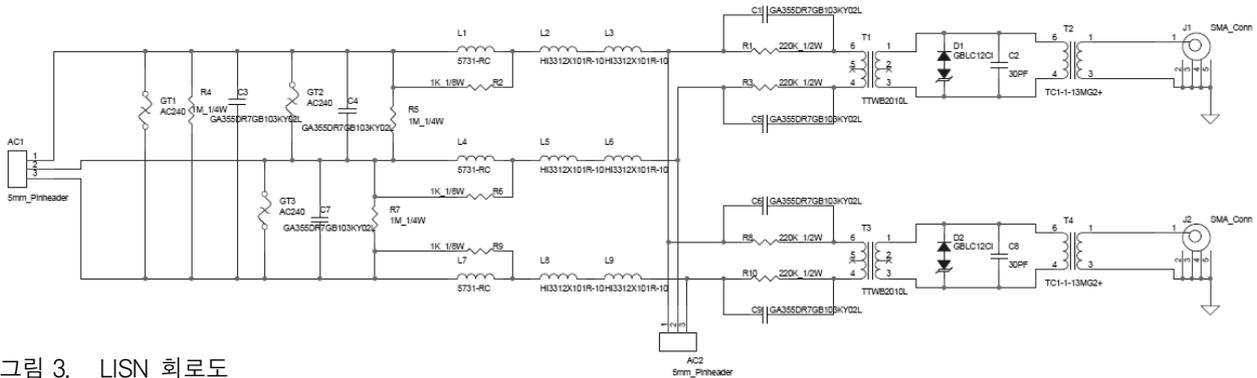


그림 3. LISN 회로도  
Fig. 3. LISN Schematic.

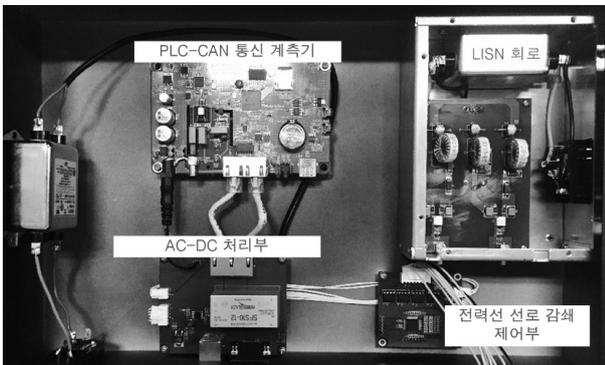


그림 4. 개선된 PLC 통신 선로 시험 시뮬레이터  
Fig. 4. Improved PLC communication line test simulator.

특성을 측정하였다.

전력 선로 분석은 전력선 통신의 주파수 영역 0~30MHz 주파수 대역에 대하여 특성을 분석하였다. 우선 0~30MHz 주파수 대역에서 기본적인 선로 손실이 어느 정도 발생하는지를 파악하였다. 선로 손실은 0~30MHz 신호가 전력 선로의 길이에 따라서 감쇄되는 정도를 나타내는 지표라고 할 수 있으며, 이에 대한 측정 은 실제의 전력 선로에 대해서 측정하였다. 실제 10m 길이의 전력 선로에 0~30MHz 주파수 대역의 single tone을 인가하여 손실을 측정하였다.

표 1에서 보는 바와 같이 일반적인 전력 선로 10m에 대해서 30MHz 주파수 대역에서는 약 2.41 dB의 손실이 발생한다는 것을 측정 결과로 얻을 수 있었다. 따라서 약 100m 정도의 전력선로에서는 24.1dB의 손실이 비례적으로 발생하게 된다.

통신 매체가 전력선인 경우에는 임피던스가 다르므로 이에 대한 특성 분석을 별도로 진행하였다. 전화선로와 달리 인터폰 선로는 Straight line이므로 twisted pair와 비교하여 전송 성능이 열화 될 수 있기 때문이다. 이와 같은 전송 선로의 특성으로 인한 열화는 킴컴에서 제공하는 그림 5와 같이 속도 저하를 나타낸다.

표 1. 주파수 대역별 선로 손실 측정  
Table1. Line loss measurement by frequency band.

Freq.(MHz)	Loss (dB@10m)	Freq.(MHz)	Loss (dB@10m)
0.20	-0.64	18.27	-0.77
1.20	-0.41	19.27	-0.85
2.21	-0.41	20.28	-0.94
3.21	-0.41	21.28	-1.05
4.22	-0.42	22.28	-1.16
5.22	-0.42	23.29	-1.3
6.22	-0.43	24.29	-1.44
7.23	-0.44	25.29	-1.59
8.23	-0.45	26.30	-1.75
9.23	-0.45	27.30	-1.95
10.24	-0.47	28.31	-2.08
11.24	-0.49	29.31	-2.25
12.25	-0.5	30.31	-2.41
13.25	-0.53	31.32	-2.57
14.25	-0.56	32.32	-2.72
15.26	-0.6	33.32	-2.86
16.26	-0.65	34.33	-2.99
17.26	-0.7	35.33	-3.1

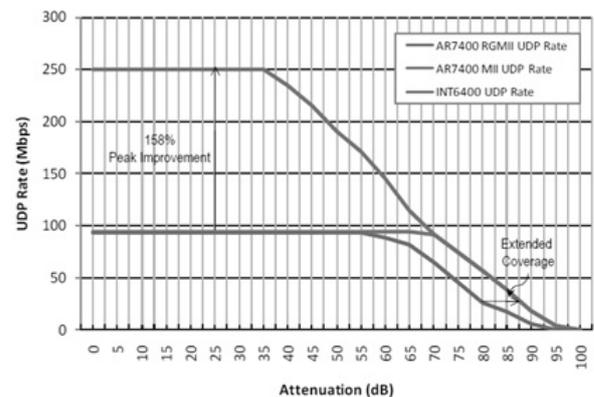


그림 5. 선로 감쇄에 따른 속도 열화  
Fig. 5. Speed degradation due to line attenuation.

### 3.2 중장비 유사 환경 잡음 측정 및 분석

전체적인 중장비 잡음 환경 분석에 대해서는 볼보 굴삭기에 대한 잡음을 측정하여 분석하였다. 먼저 중장비 시동 전·후에 대한 PSD(Power Spectral Density) 값을 측정하였다.

그림 6은 중장비의 시동을 걸기 전이며, 그림 7은 중장비의 시동이 걸린 후의 PSD 값을 나타낸다. 중장비가 시동을 걸기 전에는 PLC-CAN 통신 모듈은 대기 상태이므로, 안정적인 PSD가 나타나는 것을 볼 수 있다. 중장비가 시동을 걸게 되면 PLC-CAN 통신 모듈이 통신을 시작하고 차량의 잡음이 올라오는 것을 확인하였다. 또한 중장비에서 발생하는 잡음을 측정하여 분석하기 위하여 일반 승용차에서 측정한 값과 비교 분석하였다. 그림 8은 일반 승용차에서 측정한 잡음을 스펙트럼 분석기에서 capture한 이후에 이를 다시 matlab으로 분석한 결과이다. Noise 성분을 capture하고 이에 대한

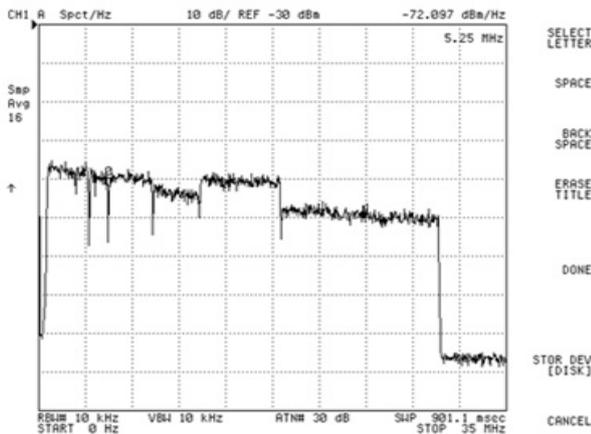


그림 6. 중장비 시동 전  
Fig. 6. Before starting heavy equipment.

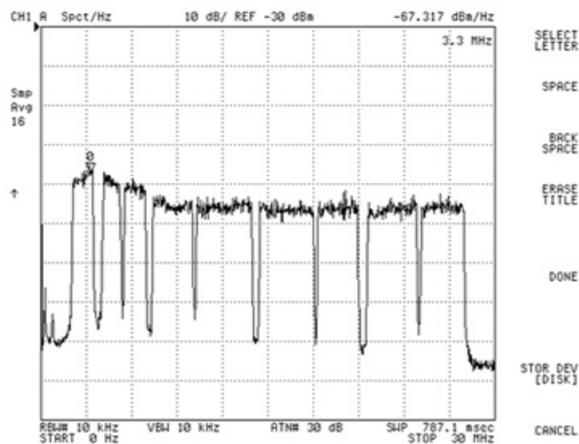


그림 7. 중장비 시동 후  
Fig. 7. After heavy equipment start.

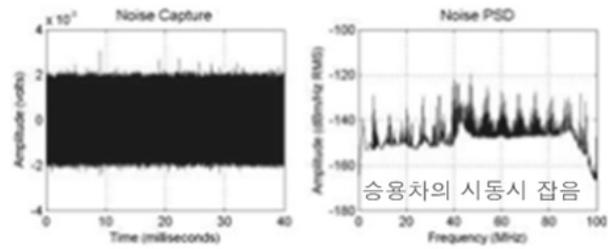


그림 8. 승용차 시동 시 잡음  
Fig. 8. Noise at start of car.

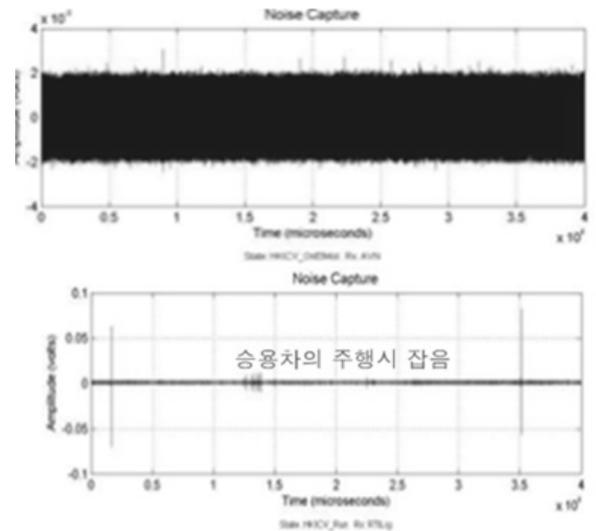


그림 9. 승용차 주행 중 잡음  
Fig. 9. Noise during passenger car driving.

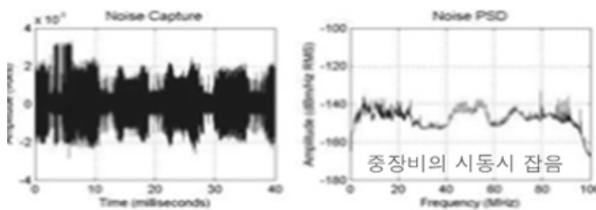


그림 10. 중장비 시동 시 잡음  
Fig. 10. Noise at start of heavy equipment.

PSD를 분석해 보았다. Noise PSD를 보면 전체적으로 승용차가 시동을 걸게 되면 노이즈 레벨이 상승하는 것을 확인할 수 있다.

주행 중 승용차의 잡음은 시동 시에 비해서 감소하며, 초기 시동 시에 모든 전자 기기에서 발생하는 EMI/EMC, Surge 전압, Rush Current 등에 의해서 잡음이 높게 발생하는 것으로 분석되었다. 그러나 시동이 안정화 된 이후에는 전체적인 잡음 레벨은 내려가는 것으로 측정되었다.

그림 10은 중장비가 주행 중에 발생 할 수 있는 잡음을 측정하기 위하여 중장비에서 측정한 잡음 스펙트럼

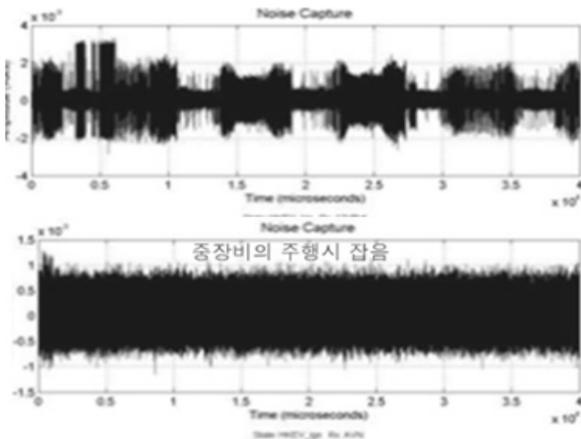


그림 11. 중장비 주행 중 잡음  
Fig. 11. Heavy machinery noise during operation.

분석기에서 capture한 이후에 이를 다시 matlab으로 분석하였다. Noise 성분을 capture하고 이에 대한 PSD를 분석하였다. Noise PSD를 보면 전체적으로 중장비가 시동을 걸게 되면 Noise 레벨이 상승하는 것을 확인할 수 있다.

일반 승용차와 비교하여 볼 때 중장비의 잡음이 높게 측정되었으며, 그림의 우측 하단의 noise capture를 비교하여 볼 때 승용차의 경우는 시동 이후에 주행 중에는 잡음 레벨이 내려가지만, 중장비에서는 잡음 레벨이 일정하게 유지되는 것으로 측정되었다. 이는 중장비가 기동하는 동안 지속적으로 DC 모터 등이 움직이고 있어 이로 인한 잡음이 지속적으로 발생하는 것으로 파악되었다. 마찬가지로 일반 승용차의 경우는 SNR이 안정적인 반면에 중장비의 경우는 SNR이 불안정하게 변화되는 것이 측정되었다.

중장비의 경우는 일반 승용차에 비해서 잡음 레벨이 높으며, 일반 승용차의 경우는 시동 이후에 잡음 레벨이 낮아지지만 중장비의 경우는 잡음 레벨이 일정하게 유지되는 것을 확인하였다.

### 3.3 전력선로 모델링과 오울 분석

유선 및 무선 전송을 위한 변조 방식에는 QAM 방식이 널리 이용되었으나, DMT 기술과 OFDM 기술이 발전하면서 급속하게 대체가 이루어졌다. 대부분의 유선 전송은 변조 기법은 OFDM과 DMT 기술을 적용하고 있다. 전력선 통신 방식은 84~1055개의 OFDM sub-carrier를 전송하는 방식이며, QAM 방식에 비해서 DMT와 OFDM 기술은 잡음에 대한 강한 내성과 간섭에 대한 영향을 적게 받는 장점이 있다.

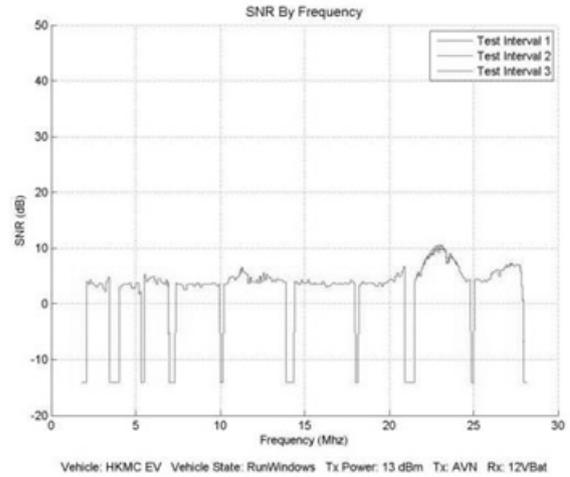


그림 12. 승용차 신호 대 잡음 비  
Fig. 12. Passenger car signal-to-noise ratio.

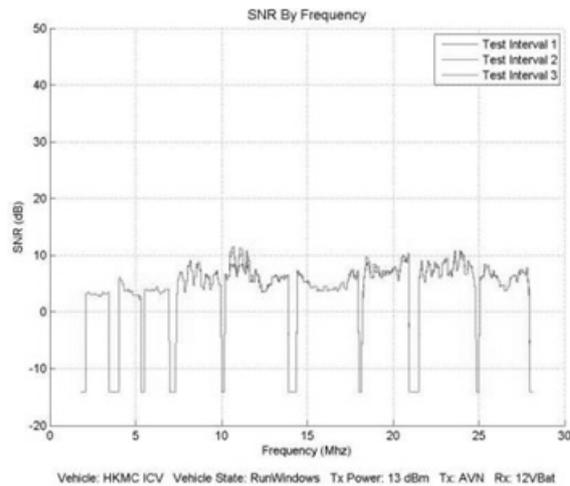


그림 13. 중장비 신호대 잡음비  
Fig. 13. Heavy equipment signal-to-noise ratio.

선로 모델링에 있어 가장 중요한 요소는 NEXT(Near End Cross Talk) Problem, FEXT(Far End Cross Talk) Problem에 대해서 정확한 정의가 필요하며, 정확한 수치를 위해서는 수학적 모델링과 시험적인 결과를 종합적으로 분석하여야 하는 과정이 필요하다.

전원 선로의 주파수 대역별 특성 분석을 통해 채널에 데이터를 전송할 경우 전원 선로 기반의 네트워크 구축 환경에서 수신 신호대 잡음 전력비 성분과 채널 대역폭에 따른 채널 용량을 구하기 위한 식은 식 1과 같다.

$$C_{TLC} = B \cdot \log_2(1 + P_{tx} - L_{ch} - N_{floor}) \quad (1)$$

위 식 (1)에서  $P_{tx}$ 는 송신 전력,  $L_{ch}$ 는 채널손실,  $N_{floor}$ 는 잡음 손실을 나타낸다.

## V. 결 론

본 논문에서는 PLC-CAN 통신의 사용되고 있는 전력선로 특성을 측정하기 위해서는 선로 시뮬레이터가 필요하다. 무선 통신의 경우는 채널 시뮬레이터가 있지만 전력 선로에 대한 시뮬레이터는 전무한 실정이다. 이에 본 논문에서는 전력 선로 시뮬레이터를 개발하였다. 또한 시뮬레이터의 임피던스를 안정화시키기 위해 LISN을 개발하여 시뮬레이터에 적용하였다.

LISN은 전력선의 경우 유선 통신을 통해 노드가 추가될 때마다 임피던스가 변화하기 때문에 이러한 임피던스 변화를 최소화하면서 통신 성능을 측정하기 위해 꼭 필요한 요소이다.

시뮬레이터 개발을 위해 첫째 주파수 대역별 잡음에 의한 영향과 연결되는 통신 노드 수에 따른 임피던스의 변화를 모두 고려하기 위하여 전력선로에 대한 기본 특성 분석하였으며, 둘째 중장비의 잡음 특성을 파악하기 위하여 중장비와 유사한 환경 조건에서의 잡음 측정 및 분석하였다. 마지막으로 위와 같은 결과를 바탕으로 수학적 모델링을 통해 채널 용량을 분석하였다.

## 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, 2011.11
- [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. Ku and S. B. Jang, "Development of the High-Reliability PLC-CAN Communication Module for Construction Equipment", Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 51, No. 10, pp.228-234, 2014.10
- [4] 2013 SME Technology Innovation Development Business Innovation Enterprise Technology Development Business, "Development of High-Reliability PLC-CAN Communication Module and Instrument for the Simplification of Construction Heavy Equipment Wiring.", 2015.8

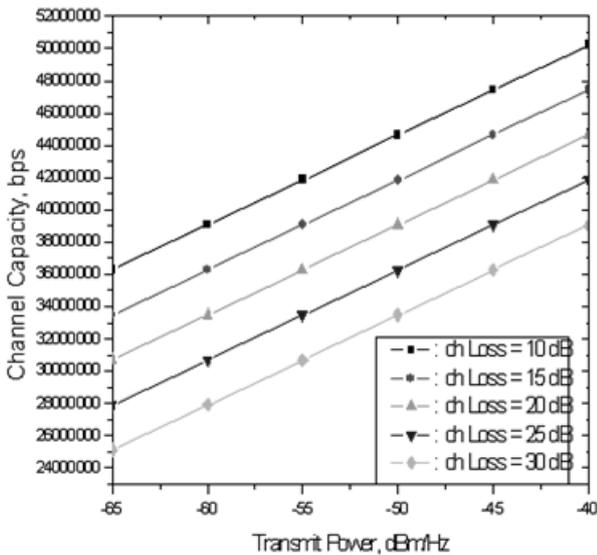


그림 14. 채널수에 따른 채널용량  
Fig. 14. Channel capacity according to the number of Channels.

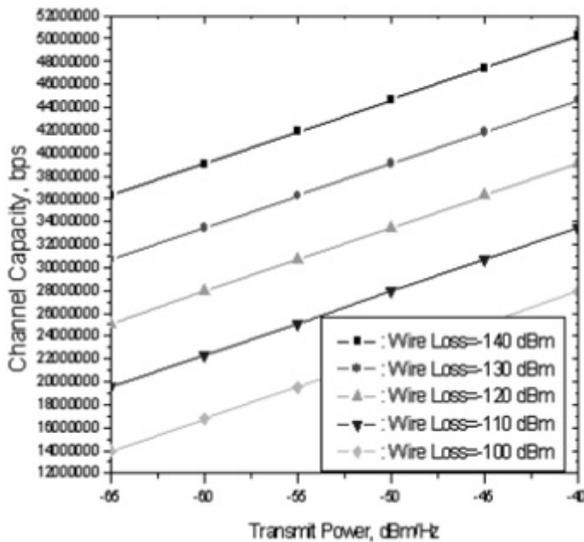


그림 15. 잡음손실에 따른 채널용량  
Fig. 15. Channel capacity due to noise loss.

그림 14는 채널 손실=10dBm/Hz, 유선환경 잡음손실=-140 dBm/Hz인 환경에서 OFDM 채널수에 따른 전력선 통신 시스템의 채널용량을 나타낸다. 송신전력이 -65 dBm/Hz에서 -40 dBm/Hz로 증가함에 따라 전력선 통신 시스템의 채널용량은 증가하며 OFDM 채널수가 증가할 수록 채널용량 또한 증가함을 알 수 있다. 예를 들어, 전력선 시스템의 OFDM 채널수가 25개인 경우에는 송신전력에 따라서 115 Mbps에서 155 Mbps까지 채널용량을 얻을 수 있다.

---

— 저 자 소 개 —

---



구 자 일(평생회원)

1991년 인하대학교 전자공학과(학사)

1993년 인하대학교 전자공학과(석사)

1999년 인하대학교 전자공학과(박사)

2006년~현재 인하공업전문대학 디지털 전자과 교수

<주관심분야: USN, 화상신호처리, 네트워크>