

전기 철도의 전력선 통신을 위한 전차선과 조가선의 통신 특성 분석

(Analysis of Communication Characteristics on Contact wire and Messenger wire of Electric Railroad for Power Line Communication)

이희준* · 안승호 · 강승욱 · 이종구**

(Hui-Jun Lee · Seung-Ho Ahn · Seung-Wook Kang · Jong-Gu Lee)

Abstract

Power line communication, using 25[kV] high voltage of railway catenary, is to provide information which is real-time safety information for train operations and train workers in driving. Lots of noise were occupied in the contact wire by electrical and communication equipments. A signal attenuation was caused characteristics of the contact wire and messenger wire. For relaying communications to transmit information using the contact wire, catenary the noise and signal attenuation were investigated. And the final goal of the study was realized to transmit video information by power line communication on electric railway.

Key Words : Power Line Communication, Messenger Wire, Contact Wire, Channel Loss, Inductive Coupler

1. 서 론

철도 산업 전 분야에서 열차 안전 운행 목적을 확보하기 위해 다양한 정보 통신 시스템이 구비되어 있으나 이를 좀 더 보완하여 열차 안전 운행 정보를 공유할 수 있다면 안전사고를 예방하는데 더 큰 역할을 할 수 있다. 전력선 통신(power line communication)은 철도 전차선(contact wire)과 조가선(messenger wire)을 통신 매체로 이용하여 각종 열차 안전 운행 정보를 실시간으로 철도 안전 업무 종사자들(철도관제센터,

기관사, 승무원, 역무원 등)에게 제공함으로써 철도 운송의 안전성 확보를 높이기 위한 것이다[1-5]. 현재 일반적인 전력선 통신 응용 연구는 220[V] 저압선을 이용한 홈 네트워킹이나 제한된 지역내에서 구성하는 옥내 제어 분야에서 많은 발전을 이루어 왔다. 현재 국내·외에서의 전력선 통신을 이용한 옥외 산업분야에서는 주로 한전에서의 전력선 통신을 이용한 전력 소모량 등을 원격으로 검침하는 원격검침과 원격 SCADA(supervisory control and data acquisition)용으로 연구되고 있다. 그러나 22.9[kV] 고압 급전선을 이용한 전력선 망 구성 기술은 초보적인 단계에 있다. 특히 전기철도의 고압 급전선을 이용한 전력선 통신에 있어서 전송 특성이나 통신망 구성 장치에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

전기 철도의 전력선 통신은 전차선과 조가선을 이용

* 주저자 : GS 솔루션 선임 연구원
** 교신저자 : GS 솔루션 책임 연구원
Tel : 010-7290-3063, Fax : 02-6442-5387
E-mail : jong9lee@hanmail.net
접수일자 : 2010년 9월 9일
1차심사 : 2010년 9월 16일, 2차심사 : 2010년 10월 7일
심사완료 : 2010년 10월 12일

하여 열차 관제센터와 기관사 등이 전방 선로 상황에 대한 안전 정보와 선로 영상 정보등을 실시간으로 제공하여 열차 안전 운영을 향상 시킬 수 있고, 현재 철도 차량의 주요 통신 수단인 무선 통신을 보완하여 안전성 확보와 상호 보완 기능을 강화할 수 있다. 따라서 전기 철도 시설인 전차선과 조가선을 전력선 통신의 전송 매체로 활용할 수 있는지의 여부를 파악하고, 그 특성을 분석하는 연구가 필요하다.

본 연구는 22.9[kV] 철도 전차선과 조가선에서 발생하는 전력선 채널의 노이즈 특성과 감쇠 효과를 실험으로 측정하고 이를 분석하였다. 얻어진 결과는 열악한 통신 환경을 극복하고 전력선 통신의 성능을 극대화시킬 수 있는 전기 철도 전력선 통신 전용 모델 설계를 위한 설계 고려 요소로 활용하였다.

2. 전기철도 전력선통신

2.1 전기철도 전력선통신의 원리

전기 철도 전력선 통신은 조가선과 전차선을 통신 매체로 한 통신 수단이다. 전력선 통신 방법의 기본 원리는 매체에 흐르는 전류 파형에 미약한 고주파 변조 신호를 중첩시켜서 통신하는 방식으로 그림 1과 같다.

전력선 통신은 전력선을 매체로 이용하기 때문에 일반적인 통신 채널과는 달리 전력 노이즈가 발생되어 통신 환경이 열악하다. 이 같은 전송 매체의 특성을 고려하여 전차선의 조가선을 안정된 통신수단으로 활용하기 위해서는 기존 전력선 통신 방식을 응용한 전기철도 전력선통신을 위한 기술의 연구가 요구된다.

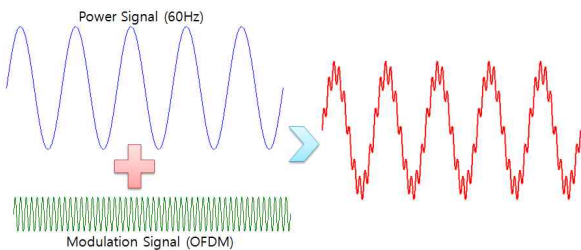


그림 1. 전력선 통신의 원리
Fig. 1. The theory of power line communication

안정적인 전력선 통신 시스템을 개발하기 위해서는 가장 근본이 되는 전력선 채널에 대한 매우 다양한 연구와 실험적인 고찰이 반드시 필요하다. 전력선을 이용한 통신은 통신 매체인 전원선의 임피던스, 신호의 감쇠, 잡음 발생 등에 의해 크게 영향을 받는다. 이런 제약들을 해결하는 방법으로 협대역 방식의 FSK (frequency shift keying), QPSK(quadrature phase shift keying) 등의 변조 방법과 광대역 주파수 확산 통신 방법을 많이 이용한다. 특히 광대역 확산 방식은 전력선 채널이 주파수 선택적인 페이딩(fading) 특성을 가진다. 이러한 광대역 확산 방법에는 주파수 호핑(frequency hopping)과 직접 확산(direct spread) 방법 등이 있다. 근래의 전력선 통신 추세는 고속 데이터 통신을 요구하기 때문에 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 방식을 전력선에 적용하고 있다[6-9].

2.2 전기철도 전력선통신망 개념 설계

현재 전기 철도 운행 체계에서의 철도 안전 운송을 위한 통신 시스템은 무선과 유선을 모두 사용하고 있지만 이동하는 차량에 안전 정보를 전송하는 방법은 무선을 기반으로 음성 데이터 전송이 주류를 이룬다. 따라서 이러한 통신 운용 시스템에 안전 정보 데이터를 추가 보완하면 훨씬 더 안전사고 예방을 높이는 데 중요한 기능을 수행할 수 있다. 따라서 전력선 통신을 전기철도에 적용하기 위해서 전체적인 통신 망의 설계는 아래 그림 2와 같이 구성하였다. 크게 변전소를

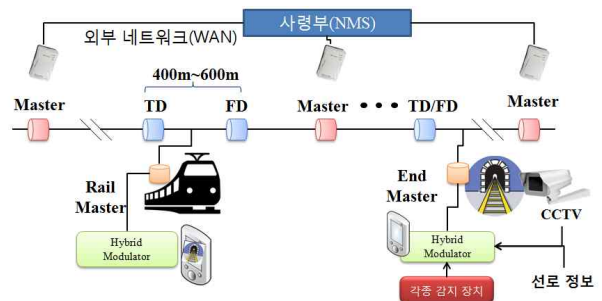


그림 2. 전기 철도의 전력선 통신 개념도
Fig. 2. The concept design of PLC network for electric railroad

기준으로 한 개의 변전소에 하나의 서브 망으로 전력선 통신망을 구성하고 거리가 멀리 떨어진 망은 외부 통신망으로 데이터를 전송하고 해당 구역내에서 해당 열차까지는 다시 전력선 통신을 하는 망을 구성하였다.

현재 고압 장거리 전력선 통신망을 구성하는 전력선 통신 중계기는 시간을 분할하여 통신하는 시분할 방식(TD)과 주파수를 분할하여 통신하는 주파수 분할 방식(FD)으로 구성되어 있다. 시분할 방식은 신호를 자신에게 할당된 시간 동안만 통신을 하기 때문에 다른 중계기에서 발생시키는 신호와의 중첩을 피할 수 있지만 전송 속도가 절반으로 줄어드는 특성을 가지고 있다. 그리고 이와 다른 주파수 분할 방식은 주파수를 분할하여 자신에게 할당된 주파수 영역에서만 통신을 하는 방식으로 전력선 통신 중계기의 주파수를 3개의 영역(mode1 : 3~13[MHz], mode2 : 13.5~23.5[MHz], mode3 : 24~34[MHz])으로 나누어 사용한다. 주파수 분할 방식은 시분할 방식에 비해 전송 속도가 반으로 줄어드는 단점은 없지만 주파수를 분할하여 사용하기 때문에 할당된 주파수 영역의 상태가 좋지 않을 경우 전송 속도에 영향을 미친다. 따라서 주파수 분할 방식과 시분할 방식을 병렬로 구축함으로써 전송 속도가 줄어드는 것을 최소화할 수 있으며, 각 구간별 노이즈를 측정하여 각 구간의 최적의 주파수 영역을 판단하여 구성이 가능하다. 또한 구간별 거리에 의한 신호 감쇠와 고압 선로에 걸려있는 가공 브라켓이나 드로퍼에 의하여 임피던스 변화에 따른 신호 감쇠를 고려하여 전기 철도 PLC 통신망을 설계하여야 한다.

3. 실험내용

전기 철도에서 전력선 통신은 철도 구조물의 고주파의 전기적 특성을 알아야 한다. 아래의 그림 3은 커티너리 타입의 일반적인 전기 철도 구조이다. 전기 철도에서 커티너리(Catenary) 타입의 전차선로는 전차선과 조가선이 별도의 선로로 구성된다. 전차선은 차량의 집전장치(pantograph)에 직접 접촉되어 전기를 공급받는다. 조가선은 전기의 통로 역할을 한다. 드롭퍼(dropper)는 현수의 역할을 하는 조가선에 전차선을

잡아매서 전차선이 레일 상면에서부터 5.08[m] 높이로 일정하게 유지되도록 한다.

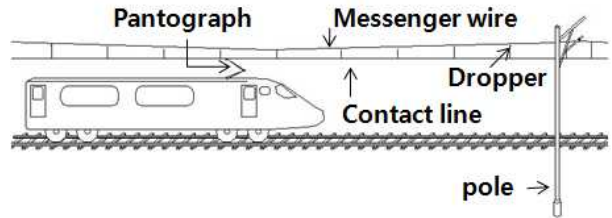


그림 3. 커티너리 타입의 전기 철도 구조
Fig. 3. Catenary type of electric railroad

본 실험에서는 전기 철도의 조가선과 전차선에 고속 비접촉식 커플러(Inductive coupler)를 연결하여 삽입 손실을 측정하였고, 케이블 거리와 전철주(pole) 사이의 신호 감쇠를 측정하였다. 측정 주파수 대역은 전력선 통신의 법적 허용 주파수대인 2~30[MHz]를 포함하는 1~50[MHz] 영역에서 전송 특성을 측정하였다.

3.1 실험 방법

실험은 현재 운영 중인 전기 철도 본선 구간에서 사용할 수 없기 때문에 코레일 인재 개발원의 시험 구간에서 실시하였다. 코레일 인재 개발원의 시험 구간은 전기 철도 상용구간과 동일하게 설치되어 있기 때문이다. 실험에 사용된 커플러의 기본 사양은 표 1과 같다.

표 1. 비 접촉식 커플러 제원
Table 1. Specification of inductive coupler

정격	전압 20[kV]~ / 전류 300[A]
통신 주파수	1~30[MHz]
삽입 손실	-4±2[dB]

신호발생기를 이용하여 1~50[MHz]대역의 사인파 신호를 +20[dBm] 세기, 20초 주기로 연속적으로 발생하였으며, 스펙트럼 분석기는 측정 범위를 1~50[MHz]로 설정하고 분해능 대역폭(resolution bandwidth)을 120[kHz]로 설정하여 신호 최대 세기를 기

록하였다. 아래의 그림 4는 코레일 인재 개발원의 시험 선로에 설치한 비접촉식 신호 결합기의 사진이다.



그림 4. 조가선에 달린 비접촉식 신호 결합기
Fig. 4. ICU on messenger wire

아래의 그림 5는 스펙트럼 분석기의 설치 위치와 신호 발생기의 설치 위치를 보여주고 있다. 신호 발생기는 수신부로부터 각각 15[m], 30[m], 50[m] 떨어진 지점에서 신호를 발생시켜 측정하였다. 이 거리에서 30[m] 지점에 전철주가 있기 때문에 전철주의 전파 이후에서 따로 측정하였다.

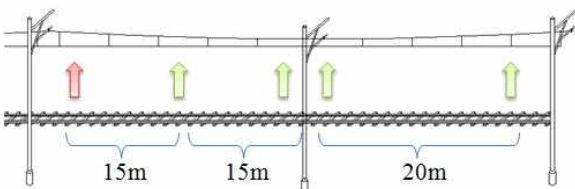


그림 5. 송신측과 수신측의 실험 위치
Fig. 5. The position of measurement

4. 실험결과

4.1 비접촉식 커플러의 삽입 손실

전철 구조물은 지상에서 높은 곳에 있기 때문에 커플러와 계측 장비까지의 케이블도 10[m] 정도 길이를 필요로 한다. 그러므로 신호 케이블의 감쇠가 발생한다. 커플러의 삽입 손실을 측정하기 위해서 약 2[m] 떨어진 곳에서 삽입 손실을 측정하였다. 이때 출력 신

호의 레벨은 0[dBm]으로 설정하였다. 아래의 그림 6은 커플러를 조가선에 연결할 때 발생하는 삽입 손실과 측정 케이블에 의한 손실을 측정하였다.

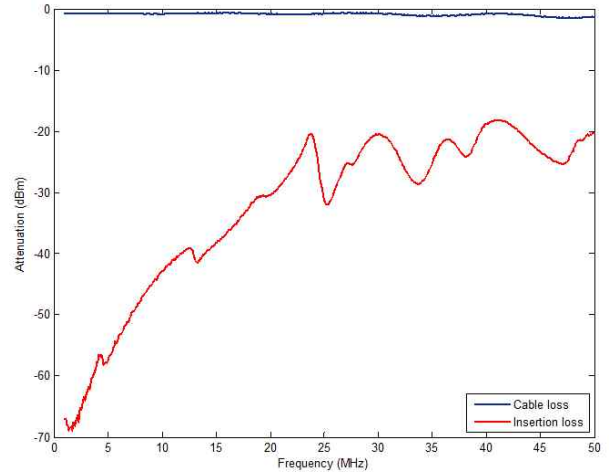


그림 6. 채널 특성
Fig. 6. Channel property

그림 6에서 측정 케이블에 의한 손실은 -4[dBm] 이하의 손실이 발생하였으며, 조가선의 삽입 손실은 15[MHz]이하에서 많은 손실이 발생하며, 그 이상의 주파수대에서는 약 -20~-30[dBm] 정도의 신호 감쇠가 발생하는 것을 보여 주었다.

4.2 조가선의 채널의 기본 노이즈

조가선과 전차선은 전류가 흐르는 선로이며, 통신의 측면에서는 신호가 전달되는 채널이다. 따라서 조가선에서 발생하는 기본 노이즈를 알아야 한다. 아래의 그림 7는 조가선에서 발생하는 기본 노이즈를 측정하는 것이다.

다른 전력선의 통신에 비해 전차선과 조가선에서는 많은 노이즈를 포함하고 있다. 이는 조가선과 전차선은 절연 피복체가 없어서 대기 중의 전파를 받아들여, 기본적인 노이즈 발생이 많은 것을 보여준다. 특히 5[MHz] 이하에서 가장 많은 큰 노이즈가 있으며, 발생 빈도도 많았다. 그러나 고주파대로 올라가면서 -30 [dBm] 이하의 노이즈가 발생하였으며, 그 발생 빈도

도 적어지는 것을 측정할 수가 있었다.

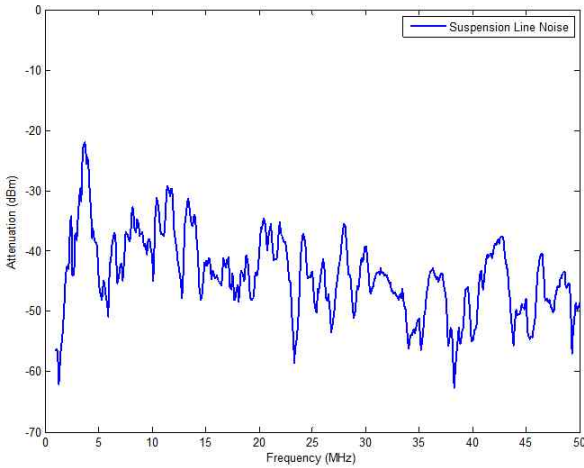


그림 7. 조가선의 노이즈
Fig. 7. Noise on messenger wire

4.3 조가선의 거리에 따른 채널 전달 특성

아래의 그림 8은 거리에 따른 채널 감쇠를 보여준다. 전철주와 드로퍼를 지나면서 신호의 감쇠를 보여주며, 장거리 통신은 15~20[MHz] 대역과 27~33[MHz] 대역에서 통신이 양호하게 전달되었다. 전기철도에서는 전철주가 일정한 간격으로 있기 때문에 전철주와 드로퍼에 의한 신호 감쇠를 감안을 해야 한다.

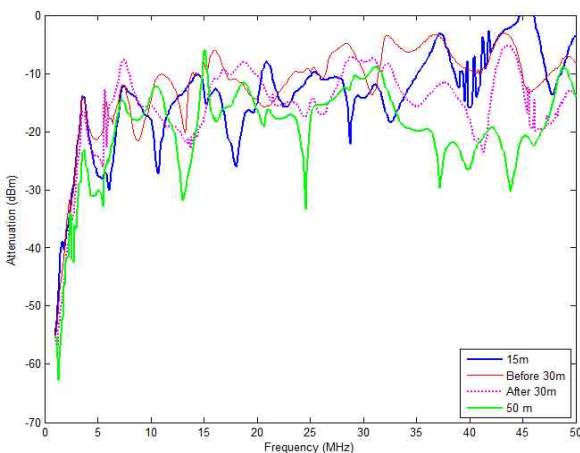


그림 8. 조가선과 거리에 대한 전달 감쇠 특성
Fig. 8. Channel loss per distance on messenger wire

4.4 전차선의 거리에 따른 채널 전달 특성

지상 통제소와 운행 중인 전기철도의 기관사와 전력선 통신을 하기 위해서 통신 신호는 조가선을 지나 전차선을 통해 열차로 전달된다. 그러므로 전차선에서의 채널 전달 특성에 대해서도 측정하였다. 아래의 그림 9는 전차선에서의 채널 전달 특성이다.

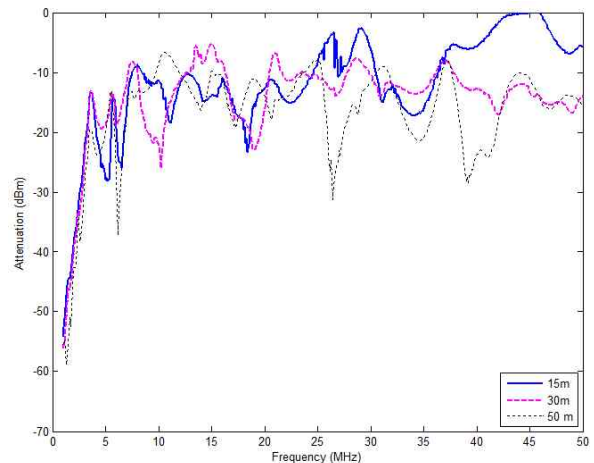


그림 9. 전차선에서 거리에 대한 전달 감쇠 특성
Fig. 9. Channel loss per distance on contact wire

전체적인 채널 특성은 조가선과 마찬가지로 12~16[MHz] 대역과 25~30[MHz] 대역의 주파수에서 가장 신호 전송이 양호한 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 전기철도의 전차선과 조가선의 채널 특성을 측정하였다. 전차선의 노이즈와 채널 특성을 분석한 결과 40~45[MHz] 대역에서 가장 좋은 채널 전송 속도를 가지고 있었으나, 이는 국내 전파법을 위반하는 범위이다. 그 다음으로 채널 전송도가 좋은 영역은 12~20[MHz]와 25~33[MHz] 대역에서 좋은 채널 전송 특성을 보여주었다. 위의 두 대역을 2개의 모드로 이용하여 전력선 통신 모델과 중계기에 설정하면 전기철도에서도 전력선 통신이 충분히 가능하다는 것을 입증하였다. 또한 전차선과 조가선에 의한 신호

손실은 50[m] 거리당 약 -10[dBm] 정도 발생하며, 전력선 통신 모델은 최소 -70[dBm]의 신호를 인식할 수 있기 때문에 중계기간의 거리는 최소 350[m]~최대 550[m] 내에 설치를 해야 할 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 한국 건설 교통 기술 평가원의 미래 철도기술 개발사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

- [1] 조현정, 황종규, 김용규, “철도시스템 통신 안전성 확보를 위한 방법 제시 및 도구 구현”, 대한전기학회, vol.59, no.1, pp.10-17, 2010.
- [2] 황종규, 조현정, 윤용기, 신승권, “선로변 유지보수 작업자 사상사고 예방을 위한 무선을 이용한 안전설비의 개발”, 대한전기학회, 대한전기학회 춘계학술대회, pp.204-206, 2009.
- [3] 김성운, 서상보, 송승미, 조천효, 황종규, 조현정, “열차제어시스템 통신 안정성 및 평가 도구 연구”, 한국철도학회, vol.11, no.4, pp.349-356, 2008.
- [4] 김백현, 김종기, 이영훈, 신덕호, 백종현, “열차제어를 위한 무선통신 시스템의 생존성 검토”, 한국철도학회, 2003년도 추계학술대회논문집, pp.230-235, 2003.
- [5] M. Gotz, M. Rapp and K. Dostert, “Powerline channel characteristics and their effect on communication system design”, IEEE Communication Magazine, vol. 42, no. 4, pp. 78-86, Apr. 2004.
- [6] 조용수, 무선 멀티미디어 통신을 위한 OFDM 기초, 대영사, 2001.
- [7] 김재석, 조용수, 조중휘, 이동통신용 모뎀의 VLSI설계 - CDMA, OFDM, MC-CDMA, 대영사, 2000.
- [8] J. A. C. Bingham, “Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come,” IEEE Commun. Mag., vol. 28, pp. 17-25, Mar. 1990.
- [9] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, “Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting,” IEEE Commun. Mag., vol. 33, pp. 100-109, Feb. 1995.

◇ 저자소개 ◇



이희준(李熙浚)

1977년 8월 8일생. 2000년 한양대학교 기계공학과 졸업. 2002년 한양대학교 기계공학과 졸업(석사). 2010년 한양대학교 기계공학과 졸업(박사). 2010년~현재 GS 솔루션 선임연구원



안승호(洪吉東)

1957년 6월 1일생. 1980년 한양대학교 기계공학과 졸업. 2000년 한양대학교 기계공학과 졸업(석사). 2004년 한양대학교 기계공학과 졸업(박사). 1981~1996년 철도청 서기관. 1996년~현재 한국철도대학 정교수.



강승욱(姜承旭)

1958년 4월 13일생. 1982년 명지대학교 공대 전기공학과 졸업. 1984년 명지대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 명지대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1985~1992년 현대중공업(주) 마부리 기술연구소 대리. 2006~2009년 교통안전공단

철도종합안전심의위원(전철전력분야). 2009년~현재 대한전기학회 시니어회원, 산업전기위원회 감사. 2008년~현재 한국전기공사협회 기술위원회 전기철도분과 실무위원, 한국철도학회 대구경북지부장, 편집위원. 1993년~현재 가톨릭상지대학 철도전기과 교수.



이중구(李鍾九)

1962년 12월 11일생. 1987년 조선대학교 기계공학과 졸업. 1997년 한양대학교 기계공학과 졸업(석사). 2008년 한양대학교 기계공학과 졸업(박사). 2010년~현재 GS 솔루션 책임연구원.