

전기철도의 전력선 통신망 설계에 관한 연구

김재문^{1*}, 김양수¹, 안승호², 이희준³, 이종구³
¹한국철도대학 철도차량전기과, ²한국철도대학 운전기전과, ³GS 솔루션

A Study on the Network Design of Electric Railway for Power Line Communication

Jae-Moon Kim^{1*}, Yang-Su Kim¹, Seung-Ho Ahn², Hui-Jun Lee³ and Jong-Gu Lee³

¹Dept. of rolling stock electrical engineering, KNRCU

²Dept. of railroad train operation and mechanical, KNRCU

³GS Solution

요약 본 논문은 조가선을 이용한 전기철도의 전력선 통신을 위한 네트워크 설계를 제안한다. 전기철도에서 필수적인 전차선 및 조가선을 이용하여 전력선 통신에 대한 타당성 검토를 선행연구로 수행하였다. 이를 위해 우선 무가압상태에서 조가선에 신호결합기를 취부하여 양방향 데이터 통신을 구현하였다. 데이터 전송속도가 양호하게 나타났으며 이를 토대로 전력선 통신을 위한 주요 구성품을 제시하고 네트워크 설계를 제안하였다. 향후 네트워크 설계에 대한 타당성을 확보하기 위해 지속적인 연구를 수행하고자 한다.

Abstract In this paper we propose network design for power line communication of electric railway using messenger wire. we carried out feasibility study on the power line communication(PLC) using Contact wire and messenger wire which are required at electric railway. First of all, full-duplex data communication was implemented using coupler which is suspended on messenger wire at non-voltage state. We verified data transfer rate was found to be good, and then proposed a design example of PLC network as the main components for PLC. we will study continuously make an effort to verify on the network design of PLC for further study.

Key Words : Messenger Wire, PLC(Power Line Communication), Electric Railway, Coupler, Contact Wire

1. 서론

국내 철도산업은 '04년 고속철도(KTX) 상용화를 계기로 전기철도 확충, 철도부품의 국산화와 지자체를 중심으로 경량전철 도입 등 활발한 연구개발이 이루어지고 있다. 특히 철도신호 및 통신분야인 경우 국내 IT기술이 발달됨에 따라 CBTC(Communication Base Train Control), 무선영상 전송 시스템 개발 등 이를 접목한 새로운 융복합 기술이 대두되고 있다.

한편 전력선 통신은 고속의 데이터 전송에 대한 수요를 충족할 수 있는 기술로 주로 전력회사의 미터 계측용이나 배전 자동화용으로 많이 연구되어 왔으며, 많은 제

한적인 이유 때문에 사용이 극히 일부분의 응용에 적용되어 왔다. 최근에는 전력선 통신 기술은 고속 데이터 통신을 위한 새로운 기술로 부각되고 있으며, 디지털 변조 기술의 발전에 따른 통신 속도 및 신뢰성의 향상, 인터넷의 급속한 발전으로 통신 매체로서 전력선이 각광을 받고 있다. 특히 기존의 전력 시설을 활용하기 때문에 비용이 적게 들고 별도의 설치가 없거나 기간이 매우 짧아 새로운 고속 접속망을 구축하는 것보다는 비용측면에서 효율적인 것으로 알려져 있다[1-3]. 그럼에도 불구하고 전기철도 산업분야에서 전력선 통신을 적용한 국내외 사례가 없는 실정이며, 철도차량 간 SNMP 기반 전력선 통신 [4] 등 연구가 이루어지고 있다.

본 논문은 한국건설기술평가원의 미래철도기술개발사업의 연구비지원에 의해 수행되었음.

*교신저자 : 김재문(goldmoon@krc.ac.kr)

접수일 10년 09월 16일

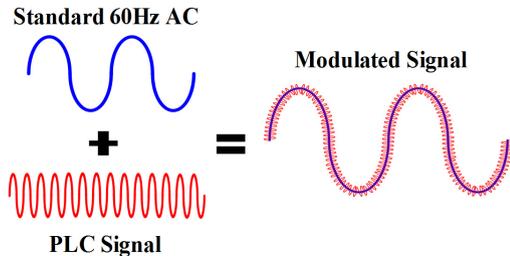
수정일 10년 10월 13일

게재확정일 10년 10월 15일

한편 국내 일부지역에서는 장거리 고압 전력선 통신 실증 시험장을 구축하여 운영하는 등 고압 계통 전원라인을 이용한 전력선 통신망 관련 기술이 활발하게 연구되고 있다. 본 논문에서는 철도 설비의 급전선을 전력선 통신의 전송라인으로 적용할 수 있는지의 여부를 분석하고 이와 더불어 전기철도에서 전력선 통신망 구축을 위한 설계안을 제안하였다. 향후 활선에서의 전력선 통신을 위해 전기철도분야의 특수성을 고려하여 전력선 통신 요소기술 개발을 지속적으로 수행할 것이다.

2. 전력선 통신 기술

전력선 통신은 별도의 통신 선로를 사용하지 않고 일반가정에 설치된 교류 전기를 공급하는 전력선을 통해 수십 MHz의 고주파 통신 신호를 함께 보내 전용 접속 장비로 고주파 신호만을 수신하여 통신하는 기술이다. 그림 1은 송신측에서 일반적인 교류 전기에 통신 신호를 인입하였을 때의 파형을 보여준다[3-7].



[그림 1] 전력선 통신의 원리

국내에서 연구되고 있는 일반적인 전력선 통신(PLC) 망 구성 개념도를 살펴보면 22.9kV 고압 급전선에 PLC 라우터 모듈(PLC Router Module)과 신호 결합 장치(Coupler)가 설치된다. PLC 라우터 모듈에서는 입력된 데이터가 아날로그 신호로 변환되어 신호 결합기로 전달된다. 신호 결합기는 고압 급전선에 신호를 인입하게 된다. 데이터 신호는 커플러(Coupler)와 PLC 모뎀 (PLC Modem)을 통하여 데이터와 전력을 분리하여 인출하게 된다. 전력선 채널의 데이터 전송 용량은 이론적으로 약 100 Mbps의 전송 용량을 확보할 수 있다. 최근 전파법에 따라 30 MHz 범위까지 주파수 대역 확장이 가능하고 DMT(Discrete Multi Tone), OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 등의 디지털 신호처리 기술을 이용하면, 200 Mbps급 이상의 초고속 PLC의 전송용량 확보가 가능하다[1].

PLC의 핵심기술에는 대역통과 필터링(Band Pass Filtering)과 임피던스 정합 등이 있는데, 노이즈(Noise)와 감쇠(Attenuation) 및 왜곡(Distortion) 문제를 해결하기 위한 것이다. 대역 통과 필터링 기술은 원하는 주파수대의 신호를 받아들이고 전력이나 각종 잡음 신호는 제거하는 것이다. 그리고 임피던스 정합 기술은 급전선로의 임피던스와 관련하여 최대의 신호 세기로 전달되도록 하는 것이다. 전기 철도의 PLC 망을 구성하기 위해서는 급전선로 상에서 발생하는 노이즈 주파수 대역을 측정하여 적절한 통신 주파수대를 선정하고, 신호 결합기는 급전선로에 신호를 인입할 때 손실이 적게 발생하도록 설계하는 것이 매우 중요하다.

3. 전력선 통신에 따른 데이터 전송시험

전차선을 통해 전기철도 역사 및 시설물에 대한 안전업무 종사자(관제사, 기관사, 신호원)간에 실시간으로 안전정보를 공유할 수 있는 전용통신시스템으로 구현하고자 하는 전력선 통신의 주요 기능은 표 1과 같다.

[표 1] 전기철도 PLC 주요기능

기능	적용대상	
주변시설 정보수집 및 실시간 공유	CCTV 영상	<ul style="list-style-type: none"> • 철도선로 불량시계 CCTV • 공사구간 이동형 카메라 • 역사 플랫폼 CCTV • 관제사/기관사간 동영상
	안전 시설	<ul style="list-style-type: none"> • 낙석 감지장치 • 교량 상태감지 장치 • 터널 상태 감지장치 • 건널목 상태감지 장치 등

전기차량을 운행하는 기관사를 비롯하여 안전업무 종사자간 실시간으로 안전정보를 공유하기 위해서는 전차선을 통해 원활한 데이터 확보가 필수적이다. 따라서 주행 중인 전기차량내로 데이터를 송수신하기 위해 전차선(조가선)에 대한 다양한 시험을 수행하여 타당성을 확보해야 한다. 시험은 무가압 상태의 전차선(조가선)에 대한 데이터 전송시험과 전파특성 시험, 교류전압 25[kV]가 가압된 활선상태의 전차선(조가선) 데이터 전송 및 전파특성 시험, 그리고 노이즈 시험 등으로 구분하였다.

전차선에 교류 25[kV]가 인가되지 않은 무가압상태의 전차선(조가선)에 대한 데이터 전송시험을 수행하였다. 시험은 대기온도 32°C, 날씨가 양호한 상태에서 전차선

이 500m 설치된 시험장소에 표 2의 주요 구성품을 조가선에 취부하였다. 전력선 통신을 위해 신호결합기, modulator, 노트북 2대를 양단에 설치하였고 장치에 전원을 공급하기 위한 배터리, 인버터를 연결하고 교류전원을 생성하여 주요 구성품에 공급하였다.

[표 2] 데이터 전송시험에 따른 주요 구성품

구성품	사양	규격
신호 결합기	비접촉식 커플러 방식 (Inductive Coupler)	<ul style="list-style-type: none"> 출력단자 : BNC 고정방식 : 클램핑 적용온도 : -40~80℃ 주파수 대역 : 1.7~30 MHz 삽입손실 : 50dB이내 절연내력 : 37,500V
Modulator	고속용 전력선 모델	<ul style="list-style-type: none"> 주파수 대역 : 1.7~30 MHz 인터페이스 : TCP/IP, BNC
절연체	Epoxy Glass Tube	<ul style="list-style-type: none"> 절연저항 : 5×10^4 MΩ이상 충격강도 : 28Kg/cm 항복전압 : 15kV/mm
전원장치	인버터	• 220V/60Hz



(a) 조가선에 취부된 신호결합기



(b) 전력선 모델과 통신 송수신 표시장치

[그림 2] 전력선 통신을 위한 주요구성품

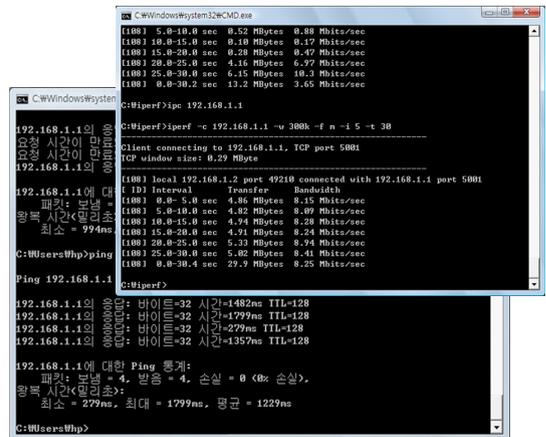
[표 3] 전차선과 조가선의 규격

선종	규격 [mm ²]	직경 [mm]	무게 [kg/m]	장력 [kgf]	저항 [Ω/km]
전차선	Cu 110	12.34	0.9877	1000	0.1592
조가선	CdCu 70	10.5	0.5974	1000	0.3315

표 3은 전력선 통신을 위한 전차선과 조가선 규격을 보여준다. 그림 2는 전력선 통신을 위한 주요 구성품을 나타낸다. 그림 2(a)는 전차선인 경우 철도차량과 직접적인 접촉으로 인해 신호결합기를 연결할 수 없어 전차선 상단의 조가선에 절연체인 에폭시 글라스 튜브(Epoxy Glass Tube)를 감싼 후 신호결합기를 취부한 상태를 보여준다. 그림 2(b)는 신호결합기를 거쳐 모델(Modulator)과 송수신용 표시장치를 나타낸다. 표 4는 30초간 데이터 전송 후 결과이며 그림 3은 반대편 데이터 표시장치를 통해 전송된 데이터 전송속도를 보여준다. 5초단위로 송수신되는 데이터 전송속도는 8.09Mbps~8.94Mbps이었으며, 평균데이터 전송속도는 8.25Mbps임을 확인하였다.

[표 4] 데이터전송 후 결과데이터

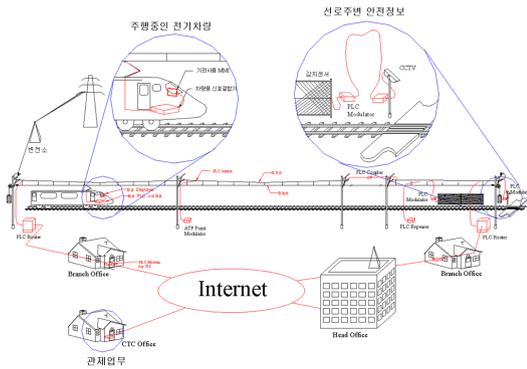
Interval [Sec]	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
Transfer [MB]	4.86	4.82	4.94	4.91	5.33	5.02
Bandwidth [Mbps]	8.15	8.09	8.28	8.24	8.94	8.41



[그림 3] PLC 데이터 송수신 화면

4. 전기철도의 전력선 통신 설계안

무가압 상태에서 전차선과 병렬회로를 구성하고 있는 조가선에 신호결합기를 취부하여 전력선 통신에 따른 데이터를 송수신하였다. 이를 토대로 설계된 전기철도에서의 전력선 통신망을 그림 4에서 보여준다.



[그림 4] 전기철도의 전력선 통신망 설계안

[표 5] PLC 시스템의 주요 구성품

구성품	주요 기능
Router	고전압 전차선용 Data 송수신 장치
Repeater	전차선 PLC 정보 원거리 중계(보상) 장치
Coupler	절연구간의 Data 연결장치
Modulator	전차선 주변정보를 PLC로 전송하는 장치
Modem	육내 전기시설을 이용한 PC Data 송수신 장치
Point Modulator	ATP 지상발리스의 역할을 하는 PLC의 위치 기준을 전송하는 장치
Jointer	PLC 시스템을 전차선에 물리적으로 연결하는 장치
PLC 차상 및 표시장치	판토타그래프를 이용하여 Data를 송수신하는 차상장치/표시장치

표 5는 전력선 통신망 설계에 따른 주요 구성품 및 주요기능을 보여준다. 감시용 CCTV 또는 감지센서를 통해 수신된 정보는 모듈레이터(Modulator)를 이용하여 조가선에 송신한다. 송신된 정보는 커플러(Coupler)와 PLC Jointer 등을 이용하여 차상의 집전장치와 차상용 신호결합기로 전달된다. 기관사는 모니터링 할 수 있도록 구현된 MMI 표시장치로부터 주요 정보를 공급받는다. 또한

이러한 정보는 관제업무를 담당하는 관제사와 정보가 공유된다.

전력계통을 이용한 전력선 통신인 경우와 주요 구성품을 비교하면 전기철도에서 PLC 시스템을 전차선에 물리적으로 연결하는 장치인 조인터(Jointer)와 ATP 지상발리스의 역할을 하는 PLC의 위치 기준을 전송하는 장치인 Point Modulator가 차별된다. 특히 신호결합기는 응용분야마다 특성을 고려하여 설계가 이루어져야 한다. 본 논문에서는 전차선에 흐르는 포화전류 600A를 기준으로 전차선 및 조가선의 자기 임피던스, 전차선과 조가선 사이 상호 임피던스를 계산한 결과를 토대로 신호 결합기의 임피던스는 50Ω에 맞춰 제작하였다.

5. 결론

본 논문은 전기 철도에서 조가선을 이용한 전력선 통신망을 제안하였으며, 이를 위해 무가압 상태에서 조가선에 신호결합기 및 모뎀 등을 취부하여 전력선 통신 송수신을 수행하였다. 5초단위로 30초간 송수신되는 데이터 전송속도는 8.09Mbps~8.94Mbps이고 평균데이터 전송속도는 8.25Mbps으로 양호한 특성을 보였다. 향후 활성 상태에서의 차량운행에 따른 데이터 전송관련 연구를 지속적으로 수행할 것이다.

참고문헌

- [1] 김관호, 전력선통신, TTA 저널, 제 95호, pp 105-114, 2004. 10.
- [2] 이재조, 박영진 외 3인, “고압 배전선로 전력선 통신 신호결합장치 개발”, 대한전기학회 논문지 Vol.54D, No. 6, pp. 409~416, 2005.
- [3] 오취명, 김관호 외 2인, “전력선 통신 채널 Data Base 구축을 위한 기본 연구, 대한전기학회 논문지, Vol52D, No. 2, pp. 107~111, 2003.
- [4] 안진웅, 이재호 외 2인, "철도차량간 통신에 적용 가능한 SNMP 전력선 통신 시스템의 운영 정보 베이스 설계", 한국철도학회 논문집, Vol.11, No.6, pp.69-74, 2009.
- [5] M. Gotz, M. Rapp and K. Dostert, “Powerline channel characteristics and their affection communication system design”, IEEE Communication Magazine, Vol. 42, No. 4, pp. 78-86, Apr. 2004.
- [6] 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.

- [7] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," IEEE Commun. Mag., Vol. 33, pp. 100-109, Feb. 1995.

김 재 문(Jae-Moon Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 성균관대 일반대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
- 2000년 3월 ~ 2004년 2월 현대모비스(주) 기술연구소 선임연구원
- 2005년 ~ 현재 : 국토해양부 철도기술 전문위원
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국철도대학 철도차량전기과 부교수

<관심분야>

전기철도, 전력변환 및 원격 제어

김 양 수(Yang-Su Kim)

[정회원]



- 2004년 2월 : 고려대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
- 1971년 1월 ~ 2002년 3월 : 철도청 근무
- 2008년 1월 ~ 현재 : 항공철도 사고조사위 철도분야 자문위원
- 2002년 3월 ~ 현재 : 한국철도대학 철도차량전기과 부교수

<관심분야>

전기철도, 전력선 통신

안 승 호(Seung-Ho Ahn)

[정회원]



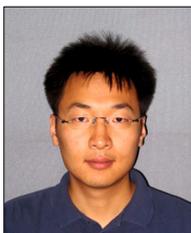
- 2000년 2월 : 한양대학교 기계공학(석사)
- 2004년 2월 : 한양대학교 기계공학(공학박사)
- 1981년 ~ 1996년 : 철도청 근무
- 1996년 3월 ~ 현재 : 한국철도대학정교수

<관심분야>

철도 안전, 용접제어

이 희 준(Hui-Jun Lee)

[정회원]



- 2002년 8월 : 한양대학교 기계공학과 (석사)
- 2010년 2월 : 한양대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2010년 1월 ~ 현재 : GS 솔루션 선임 연구원

<관심분야>

전력선 통신, 임베디드 시스템, 영상처리, 용접제어

이 종 구(Jong-Gu Lee)

[정회원]



- 1997년 8월 : 한양대학교 기계공학과 (석사)
- 2008년 2월 : 한양대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2010년 1월 ~ 현재 : GS 솔루션 책임 연구원

<관심분야>

전력선 통신, 임베디드 시스템, 영상처리, 용접제어