

# 전철 피뢰기를 이용한 전력선 통신 데이터 전송 특성

논문

61-3-23

## The Characteristic of Data Transmission for Power Line Communication using an AC Arrester for Electric Railway

김재문<sup>†</sup> · 안승호<sup>\*</sup> · 김양수<sup>\*\*</sup> · 김철수<sup>\*\*\*</sup>

(Jae-Moon Kim · Seung-Ho Ahn · Yang-Su Kim · Chul-Su Kim)

**Abstract** - Power line communication(PLC) is a kind of communication technology, was made use of controlling a frequency narrow band, but as the PLC technology developing, in the near future get to the commercial step that is broadband PLC upto 30 Mhz. This paper deals with the PLC of electric railway using capacitive signal coupler. An AC arrester for catenary is used as a capacitive signal coupler, has the characteristic of capacitor. As a result of field test, a messenger wire used PLC contain much of conducted noise about overall frequency band and also signal attenuation rate increased with increasing frequency between two points. and the communication speed of PLC used messenger wire is 793kbps at a distance of 40m. Experimental results show the possibility of PLC using a messenger wire and an AC arrester for catenary at electric railway.

**Key Words** : Power line communication, Capacitive signal coupler, AC arrester, Attenuation, Messenger wire

### 1. 서 론

최근 통신시스템은 타 시스템과 결합된 융복합 기술의 형태로 발달하고 있으며, 특히 기존 상용 전원 라인을 활용할 수 있는 장점으로 인해 국내 한전을 중심으로 전력선 통신에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 전력선 통신은 저속뿐만 아니라 고속 데이터 전송에 대한 수요를 충족할 수 있는 기술로 주로 전력회사의 계측용이나 배전 자동화용으로 많이 연구되어 왔으며, 제한적인 이유로 사용이 극히 일부분의 응용에 적용되어 왔다[1]. 그러나 전력선 통신 기술은 디지털 변조 기술의 발전에 따른 통신 속도 및 신뢰성 향상, 인터넷의 급속한 발전으로 통신 매체로서 꾸준히 각광을 받고 있다. 특히 기존의 전력 시설을 활용하기 때문에 비용이 적게 들고 설치 기간이 매우 짧아 새롭게 고속 접속망을 구축하는 것보다는 비용측면에서 효율적인 것으로 알려져 있다. 따라서 고압 계통 전원라인을 이용한 전력선 통신망 기술이 국내 제주지역에서 장거리 고압 전력선 통신 실증 시험장을 구축하여 운영하는 등 활발하게 연구되고 있다. 한편 국내 철도분야는 고속철도(KTX-1) 운행을 계기로 디젤 차량에서 전기차량으로 개편이 이루어지면서 전기철도 노선 확충, 철도부품의 국산화, 지자체를 중심으로 경량전철

도입 등 활발한 연구개발이 이루어지고 있다. 특히 철도 신호 및 통신분야인 경우 국내 IT기술이 발달됨에 따라 CBTC (Communication Base Train Control), 무선영상 전송 시스템 개발 등 이를 접목한 새로운 융복합 기술이 대두되고 있다. 그럼에도 불구하고 전기철도분야에서 전력선 통신을 적용한 국내외 연구사례가 없는 실정이다[1-3].

본 논문에서는 전기차량 운전자가 운행 중 진행방향의 상황을 실시간으로 영상자료를 수신 받아 비상시 신속한 대처를 할 수 있도록 전차선로 상의 철도 설비인 조가선을 전력선 통신의 전송라인으로 적용할 수 있는지의 여부를 선행 연구하였다. 이를 위해 전차선 전원 25[kV]가 가압된 활선에서 접촉식 신호결합기로서 교류 전철용 피뢰기를 사용하여 전력선 통신에 따른 데이터 전송 특성을 연구하였다. 이를 토대로 향후 전기 철도분야에서 전력선 통신에 대한 활용도를 높여갈 것이다.

### 2. 전력선 통신을 위한 시스템 구성

#### 2.1 전력선 통신

전력선 통신은 별도의 전용통신 선로를 사용하지 않고 상용 교류전원을 공급하는 전력선 라인을 통해 수 MHz~수십 MHz의 고주파 통신 신호를 함께 보내면 수신측에서 전용 접속 장비로 고주파 신호만을 수신하여 통신하는 기술이다.

그림 1은 송신측에서 상용 교류전원에 통신신호를 인입하였을 때의 파형을 보여준다. 일반적인 국내 전력선 통신(PLC)망 구성 개념도를 살펴보면 22.9[kV] 고압 급전선에 PLC 라우터 모듈(PLC Router Module)과 신호 결합 장치(Coupler)가 설치된다. PLC 라우터 모듈에서는 입력된 데이터를 아날로그 신호로 변환하여 신호 결합기로 전달되며, 신호 결합기는 고압 급전선에 신호를 인입하게 된다.

<sup>†</sup> 교신저자, 정회원 : 한국교통대 철도전기전자공학과  
부교수 · 공박

E-mail : goldmoon@krc.ac.kr

<sup>\*</sup> 정 회원 : 한국교통대 철도운전시스템공학과 교수 · 공박

<sup>\*\*</sup> 정 회원 : 한국교통대 철도전기전자공학과 교수 · 공박

<sup>\*\*\*</sup> 정 회원 : 한국교통대 철도차량시스템공학과 부교수 · 공박

접수일자 : 2011년 11월 25일

최종완료 : 2012년 1월 27일

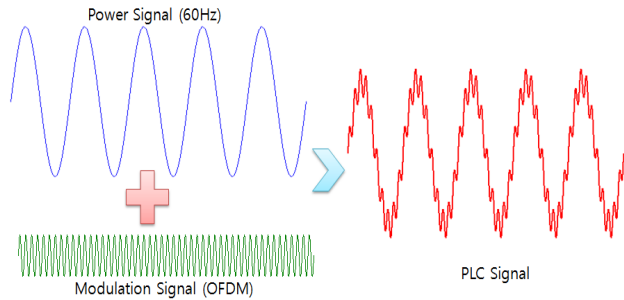


그림 1 전력선 통신 원리

Fig. 1 The principle of Power Line Communication

데이터 신호의 인출은 신호 결합기(Coupler)와 PLC 모뎀(PLC Modem)을 통하여 데이터와 전력을 분리하여 데이터를 인출하게 된다. 전력선 채널의 데이터 전송 용량은 이론적으로 약 100 Mbps의 전송 용량을 확보할 수 있는 것으로 알려져 있다. 최근 전파법에 따라 30 MHz 범위까지 주파수 대역을 확장이 가능하고 DMT (Discrete Multi Tone), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multi-plexing) 등의 디지털 신호처리 기술을 이용하면, 200 Mbps급 이상의 초고속 PLC의 전송용량을 확보가 가능하다[1-5].

PLC 핵심기술은 노이즈(Noise), 감쇄(Attenuation), 왜곡(Distortion) 극복에 있으며, 이를 해결하기 위한 대역통과 필터링과 임피던스 정합 등이 있다. 대역 통과 필터링(Band Pass Filtering, BPF)기술은 원하는 주파수대의 신호를 받아들이고 전력이나 각종 잡음 신호는 제거하는 것이고 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.

2.2 피뢰기 이용한 전기철도 전력선 통신 시스템

전기 철도에서 전력선 통신을 하기 위해서는 철도 구조물의 고주파에 대한 전기적 특성을 알아야 한다. 전기철도에서 커티너리(Catenary) 전차선로는 전차선과 조가선이 별도의 선로로 구성된다. 전철변전소로부터 25[kV] 전원을 공급받는 전차선은 전기를 에너지원으로 하는 철도차량 상부의 집전장치인 팬터그래프(Pantograph)와 접촉되어 전기를 공급한다.

전기차량은 주행 중에 구배 또는 사구간(Dead Section) 등에서 이선현상이 발생하기도 하지만 접촉부위를 통해 차량내부의 전장품으로 전기를 공급하며, 공급된 전류는 견인 전동기를 구동하여 차량을 역행(Powering)한다. 그리고 귀선로인 레일을 거쳐 전철변전소로 전류가 유입되는 폐회로 구조를 갖는다. 그림 2는 접촉식 신호결합기로 교류 전철용 피뢰기를 사용할 때 전기 철도에서의 전력선 통신 시스템 구조를 보여준다. 전기차량을 운행하는 기관사를 비롯하여 안전업무 종사자는 실시간으로 안전정보를 공유하기 위해서는 조가선을 통해 원활한 데이터 확보가 필수적이다.

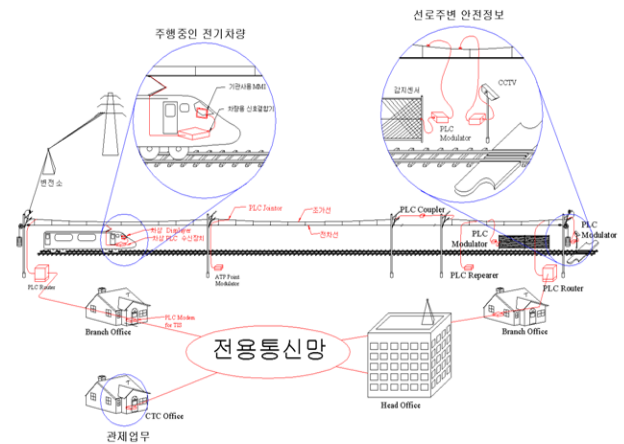


그림 2 전기철도에서의 전력선 통신 구성도

Fig. 2 The configuration diagram of PLC at electric railway

조가선을 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[2]. 전력선 통신을 위한 지상장치는 그림 3과 같이 용량성 접촉식 신호결합기용으로 변형 형태의 전차선로용 피뢰기, 조가선과 단로기(Fuse Disconnecting Switch, FDS)를 연결하는 클램핑, 일정 이상 전압 발생 등 사고가 발생했을 때 급전선과 차단하기 위한 FDS, 데이터 통신을 송수신하기 위한 모뎀, 데이터 송신용 CCTV 등이 있다.

표 1 전기철도 전력선 통신 주요기능

Table 1 The main function of PLC at electric railway

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

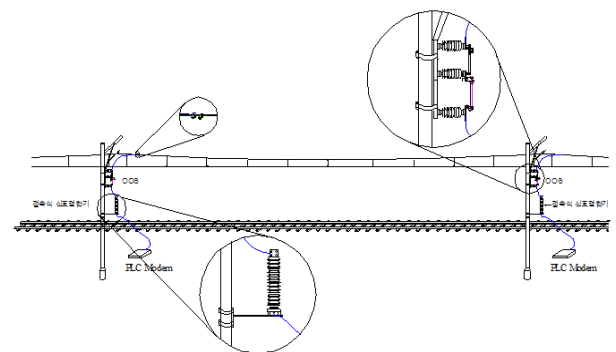


그림 3 전력선 통신을 위한 지상 장치

Fig. 3 Ground devices for power line communication

그림 4는 전기철도 전력선 통신을 하기 위한 차상장치로서 전기차량에 설치된 장치들을 보여준다. 전차선을 통해 차량내부로 전원을 공급하기 위한 집전장치인 팬더그래프, 전기기관차(Electro Locomotive, EL) 내부의 변압기 1차측에 설치된 유도성 비접촉식 신호결합기, 전력선 통신 데이터를 송수신하기 위한 모뎀(Modem), 신호를 수신하기 위한 MMI 모니터 등으로 구성된다. 지상에서 전력선 통신신호를 필터링하기 위한 신호결합기인 경우 유도성 비접촉식은 전차선이나 조가선 등 적절한 위치에 설치하기는 쉽고 물리적으로 절연되어 있어 장애에 대한 위험은 없으나 한전계통과는 달리 급전선이 나선이면서 고압이므로 절연체를 부가적으로 사용하지 않고 급전선에 취부하기에는 매우 어려운 단점이 있다. 따라서 일정 간격마다 설치되어 있는 철주에 접촉식 신호결합기를 취부함으로써 적용이 용이하고 전차선로용 피뢰기를 사용함으로써 이상전압 발생에 대한 위험부담을 줄일 수 있다.

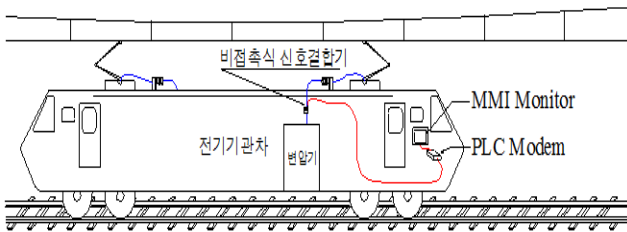


그림 4 전력선 통신을 위한 신호결합용 차상장치  
Fig. 4 The signal coupler on vehicle for PLC

### 3. 실험 결과

전차선로용 피뢰기는 과전압이 인가되는 경우 방전하여 접지로 과전류를 흘려 보내게 되는데, 피뢰기의 특성상 커패시터 성분을 갖는다. 용량성 신호결합기로 사용하기 위해 전기철도에 사용되고 있는 피뢰기의 정전용량을 측정 한 결과, 그림 5와 같이 1kHz~5kHz 이내에서는 8.6nF에서 1.7nF까지 급격한 변화를 보였다. 이후 40kHz까지는 0.2nF이며 90kHz까지는 0.1nF으로 큰 차이를 보이지 않았다.

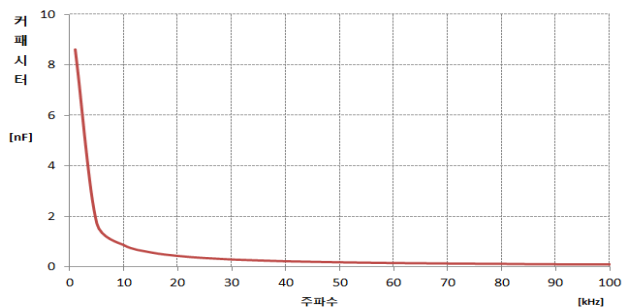


그림 5 주파수에 따른 피뢰기의 정전용량 변화  
Fig. 5 The capacitive variation of AC arrester with frequency

표 2는 용량성 신호결합기로 사용된 피뢰기의 주요 특성이고, 그림 6은 전력선 통신을 하기 위해 25kV 교류전원이

투입된 전차선로상의 철주에 설치되어 있는 지상 장치의 사진을 보여준다. 그림 7은 조가선상의 노이즈 성분으로 전 영역에 걸쳐 존재하고 있음을 알 수 있고, 측정기간 동안 전동차, KTX, 전기 기관차 등 다양한 차량이 운행 중에 노이즈 성분이 그림 7과 유사하였다.

표 2 전차선로용 피뢰기의 주요 파라미터  
Table 2 AC arrester parameter for catenary

항목	특성
정격전압	42kV
정격 주파수	60Hz
공칭 전압	25kV
공칭 방전전류	10kA
동작 개시 전압	53.4kV 이상



그림 6 실험용 지상 장치 사진  
Fig. 6 Ground devices photo for field test

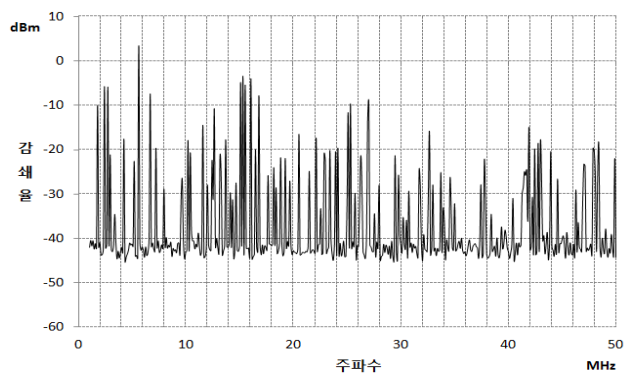


그림 7 시험선의 조가선 노이즈  
Fig. 7 Noise of messenger wire at field test

그림 8~그림 10은 철주와 철주가 40m인 경간구간에서 함수 발생기로 20dBm의 신호로 1~50MHz까지 주파수를 변화시키면서 전송시켰을 때 측정 한 결과를 보여준다. 그림 8은 주파수 4MHz에서 0dBm으로 -20dBm의 신호 감쇄가 일어나고 있으며, 그림 9는 주파수 26MHz에서 -15dBm으로 -35dBm 신호 감쇄율을 보인다. 그림 10은 30초간 신호 수신 했을 경우 주파수에 따른 최대값 추이로 주파수가 높

아질수록 신호 감쇄율은 최소 -15dBm에서 최대 -50dBm을 보였다.

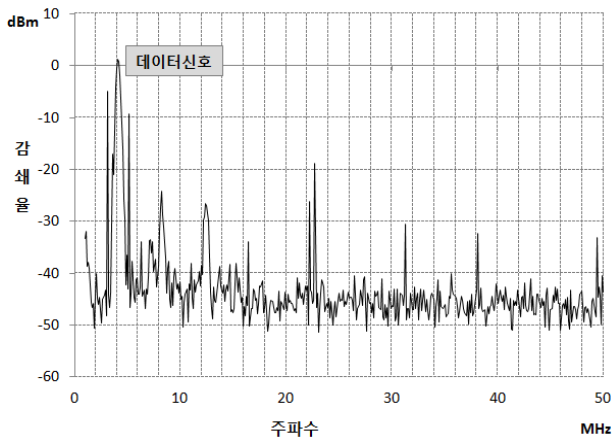


그림 8 4MHz 주파수에서의 데이터 감쇄 특성  
Fig. 8 The characteristic of data attenuation at 4MHz

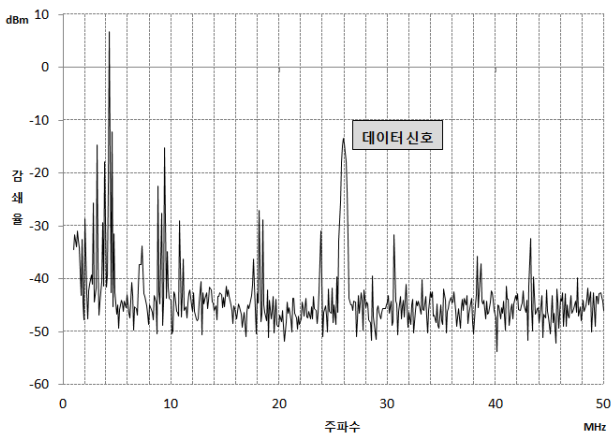


그림 9 26MHz 주파수에서의 데이터 감쇄 특성  
Fig. 9 The characteristic of data attenuation at 26MHz

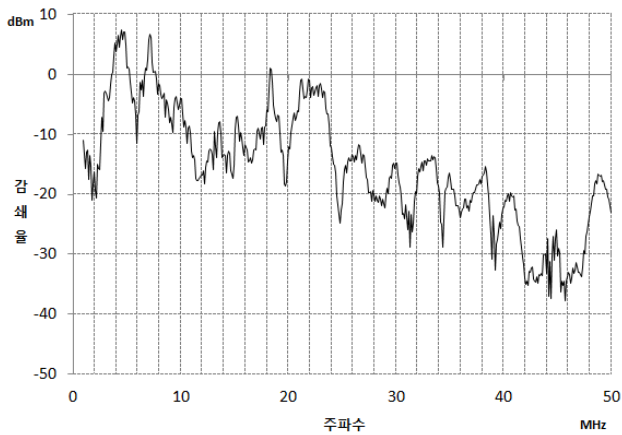


그림 10 전주파수 대역(1~50MHz)에서의 데이터 감쇄 특성  
Fig. 10 The characteristic of data attenuation at 1~50MHz

그림 11은 지상 장치와 운행 중인 차상 장치간 데이터 전송특성을 분석하기 위해 사용된 신형 전기기관차와 기관차 내부에 취부된 유도성 비접촉식 신호결합기를 통해 데이터를 측정하는 사진을 보여준다. 그림 12는 75m 전기기관차를 75m 거리를 이동하여 정지한 후 주파수에 따른 최대값 추이로 2MHz에서 최대 0dBm이고 28MHz에서 50MHz까지 -30dBm에서 -40dBm이다. 이는 20dBm을 기준으로 입력신호를 전송하였으므로 최소 -20dBm에서 최대 -60dBm까지 신호감쇄율을 보이고 있음을 의미한다. 그림 13은 전기기관차가 역행 운전 중일 때 8MHz에서의 데이터 신호 전송 특성으로 -10dBm을 보이고 있어 신호 감쇄율은 -30dBm이다.



그림 11 사용된 전기기관차와 차량내부 사진  
Fig. 11 The used electric locomotive(EL) and photo in EL

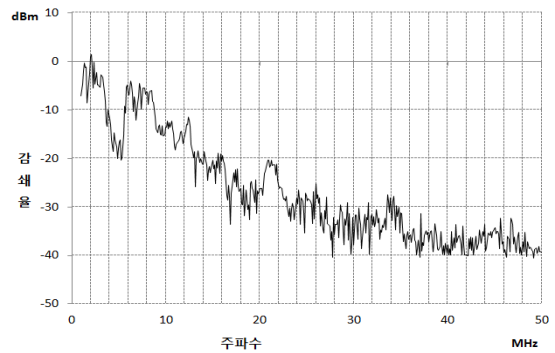


그림 12 지상장치와 차량간 75m사이의 신호 감쇄 특성  
Fig. 12 The characteristic of data attenuation at 75m between ground device and EL

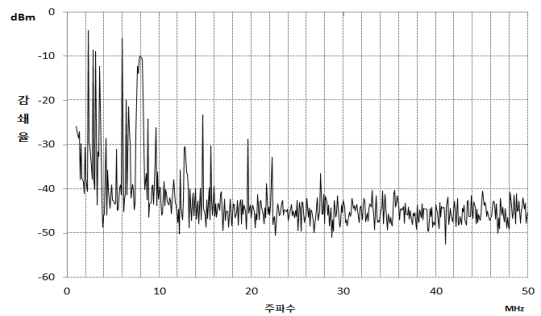
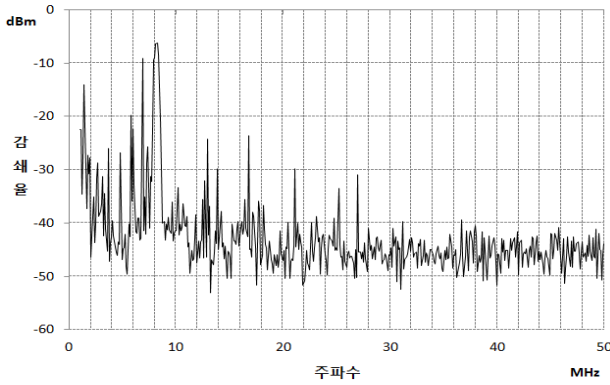


그림 13 역행시의 데이터 전송특성  
Fig. 13 The characteristic of data attenuation during powering mode

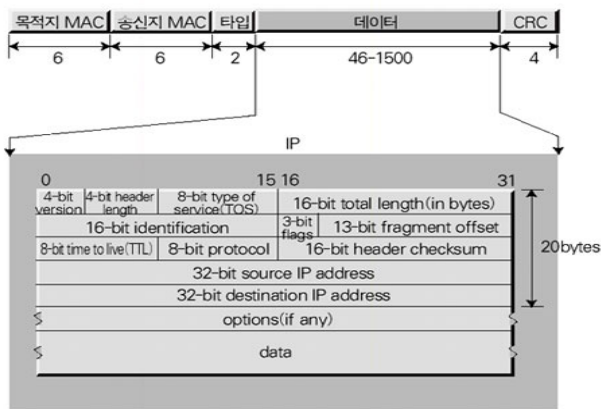


**그림 14** 타행시의 데이터 전송특성  
**Fig. 14** The characteristic of data attenuation during coasting mode

그림 14는 전기기관차가 동력없이 타행 운전 중일 때 8MHz에서의 데이터 신호 전송 특성으로 -7dBm을 보이고 있어 신호 감쇄율은 -27dBm이다. 그림 13과 비교하였을 때 신호감쇄율이 -3dBm 정도 적게 나타나고 있어 전류가 유입되지 않을 때 신호 전송율이 양호하게 됨을 의미한다.

한편 전기철도 급전선에 AC 25kV가 인가된 활선상태에서 주행선로에 실제로 전동차, 전기동차, 디젤기관차 등이 주행 중에 통신속도를 측정하였다. 전동차 등이 주행할 때 통신 속도에 영향을 주는지를 비교하였으나 전동차 등의 주행과는 관계없이 불규칙하게 통신 속도의 변화를 보였다.

응답시간을 이용하여 통신 속도를 계산하기 위하여 식 (1)을 사용하였다. 일반적으로 1000 byte의 데이터를 그림 15와 같은 ICMP 프로토콜(Protocol)에 실을 경우 네트워크에 실리는 Packet의 크기는 다음과 같이 계산된다.



**그림 15** ICMP Protocol 구조  
**Fig. 15** The structure of ICMP Protocol

$$\text{데이터 크기} = \text{Ethernet헤더 크기}(14 \text{ Bytes}) + \text{IP헤더크기}(20\text{Bytes}) + \text{데이터크기}(1000\text{Bytes}) + \text{CRC크기}(4\text{Bytes}) \quad (1)$$

따라서 식 (1)에 의해 데이터 크기는 1038 byte로 계산되어진 전송데이터를 이용하여 통신 속도(Bit rate)를 계산하기 위하여 식 (2)을 사용한다.

$$\text{Bitrate}[\text{Kbps}] = \frac{\text{packetLength} \times 8(\text{bit/byte}) \times 2}{\text{Response Time}} \quad (2)$$

여기서, 상수 8은 Bytes를 Bit로 변환하기 위한 정수, 상수 2는 실험에서 측정된 값이 되돌아온 시간을 의미하므로 단일 방향으로의 통신 속도를 계산하기 위해 사용

약 1시간에 걸쳐 실험한 응답속도에 대한 평균값을 계산하면 약 20.94msec가 나오며, 이를 이용하여 식 (2)에 대입하여 평균 통신 속도를 계산하면 식 (3)과 같이 793.12 kbps의 통신 속도가 나옴을 확인할 수 있다.

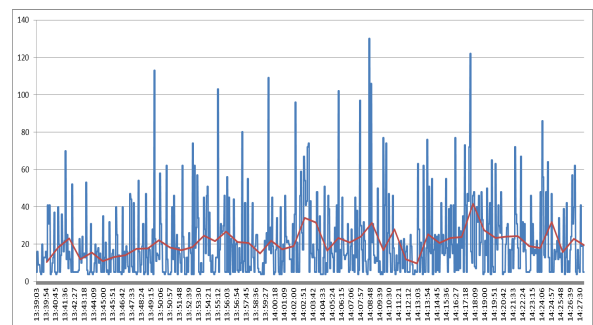
$$\text{Bitrate}[\text{Kbps}] = \frac{1038 \times 8 \times 2}{20.94} = 793.12 \text{Kbps} \quad (3)$$

활선시험에서 측정된 데이터를 분석해보면 표 3과 같이 응답속도의 경우 최소 4[msec], 최대 130[msec]이며 평균 20.94[msec]이다. 또한 1분 단위별로 평균 응답 속도는 최소 9.8[msec], 최대 41.52[msec]로 1분 단위로 구해진 평균값에 대한 평균 응답속도는 20.93[msec]이다. 응답속도를 이용하여 통신 속도를 구하면 최소 128 [kbps]에서 최대 4,152 [kbps]이고 이것에 대한 평균 통신속도는 1,735[kbps]가 되었다. 매 1분 동안의 평균 통신 속도의 경우 최소 400 [kbps], 최대 1,695 [kbps]이며 이것들에 대한 평균속도는 872kbps가 됨을 알 수 있었다.

**표 3** 데이터 통신 속도  
**Table 3** Data communication speed

구분	응답속도	응답 속도 (1분 평균)	통신 속도	통신 속도 (1분 평균)
평균	20.94msec	20.93msec	1,735kbps	872kbps
최대	130msec	41.52msec	4,152kbps	1,695kbps
최소	4msec	9.8msec	128kbps	400kbps

평균 통신 속도 793.12 Kbps는 일반적으로 지상파 DMB 수신시 요구되는 밴드 폭(Bandwidth)인 1.5Mbps보다는 느리지만 프레임율(Frame rate)를 저하시키는 수준에서는 수신 가능한 통신 속도라고 할 수 있다.



**그림 16** 두 지점간 데이터 응답속도  
**Fig. 16** The response speed between two points(40m)



그림 16은 지상장치 사이의 데이터 응답속도로 1초 간격으로 데이터를 측정하였는데 응답속도가 매우 불규칙적인 것을 볼 수 있으며, 1분 평균 데이터를 실선 그래프로 나타내었다. 그림 17은 그림 16을 통해 구해진 통신 속도를 나타낸 그래프로 표 3에서 보듯이 최대 약 4,152kbps에서 최소 400kbps로 불규칙적이며 실선으로 1분 단위별 통신 속도의 추이를 나타내었다.

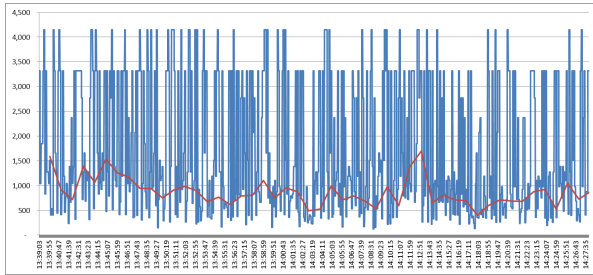


그림 17 두 지점간 데이터 통신속도  
Fig. 17 The data communication speed between two points(40m)

#### 4. 결 론

본 논문은 국내외 최초로 전기철도 전력선 통신을 위해 교류 전철용 피뢰기의 커패시터 특성을 이용하여 용량성 집축식 신호결합기로 사용하였다. 용량성 집축식 신호결합기는 지상장치로 일정 간격마다 설치되어 있는 전철주에 취부하였으며, 차상장치에는 유도성 비접촉식 신호결합기를 사용하여 데이터 전송 특성을 분석하였다. 교류 25kV가 인가된 활선에서 지상장치 간 데이터 송수신을 확인한 결과 고주파 대역으로 갈수록 신호 감쇄율이 높은 것으로 나타나 저 대역에서 전력선 통신을 해야 할 것으로 판단되었다. 통신 속도에서 최대 4,152kbps에서 최소 128kbps임을 확인하였으며, 평균 통신 속도는 약 793kbps로 나타났다. 일반적으로 지상과 DMB수신시 요구되는 밴드 폭(Bandwidth)인 1.5Mbps보다는 느리지만 프레임 률(Frame rate)를 저하시키는 수준에서는 수신 가능한 통신 속도라고 할 수 있다. 따라서 전기철도에서 필요로 하는 CCTV 안전정보를 취득하는 데 전기철도 전력선 통신을 통하여 얻을 수 있다고 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2010년도 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원의 지원에 의하여 이루어진 미래철도기술개발사업의 연구과제로서, 관계부처에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

[1] 이재조, 박영진 외 3인, “고압 배전선로 전력선 통신 신호결합장치 개발”, 대한전기학회 논문지 Vol.54D, No. 6, pp. 409~416, 2005.  
[2] 김재문, 김양수 외 2인, “전기철도의 전력선 통신을 위

한 데이터 전송 특성 연구”, 2010년도 대한전기학회 전 기설비부문회 추계학술대회 논문집, pp. 447~449, 2010.  
[3] 이희준, 안승호 외 2인, “전기 철도의 전력선 통신을 위 한 전차선과 조가선의 통신 특성 분석”, 한국조명전기 설비학회 논문지, vol.24, no.10, pp. 157~162, 2010.  
[4] J. A. C. Bingham, “Multi carrier modulation for data transmission: an idea whose time has come,” IEEE Communication. Mag., vol. 28, pp. 17-25, Mar. 1990.  
[5] M. Gotz, M. Rapp and K. Dostert, “Power line channel characteristics and their effect on communication system design”, IEEE Communication Magazine, vol. 42, no. 4, pp. 78-86, Apr. 2004.

### 저 자 소 개



#### 김재문 (金才文)

2000년 2월 성균관대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 2000년~2004년 현대모비스(주) 기술연구소 근무. 2004년 3월~2012년 2월 한국철도대학 철도차량전기과 부교수. 2012년 현재 한국교통대학교 철도 전기전자공학과 부교수  
Tel : 070-8855-1664  
E-mail : goldmoon@krc.ac.kr



#### 안승호 (安勝虎)

2004년 2월 한양대 대학원 기계공학과 졸업(공학). 1981년~1996년 철도청 근무. 1996년~2012년 2월 한국철도대학 철도 운전기전과 교수. 2012년 현재 한국교통대학교 철도운전시스템공학과 교수  
Tel : 070-8855-1644  
E-mail : tigershahn@yahoo.co.kr



#### 김양수 (金陽洙)

2004년 고려대 대학원(공학). 1971년 1월~2002년 3월 철도청 근무, 2002년 3월~2012년 2월 한국철도대학 철도차량 전기과 교수. 2012년 현재 한국교통대학교 철도전기전자공학과 교수  
Tel : 070-8855-1665  
E-mail : kysrail@dreamwiz.com



#### 김철수 (金哲秀)

2002년 8월 한양대 대학원 기계설계학과 졸업(공학). 2003년 3월~2012년 2월 한국철도대학 철도차량기계과 부교수. 2012년 현재 한국교통대학교 철도차량시스템 공학과 부교수  
Tel : 070-8855-1649  
E-mail : chalskim@paran.com