

고압 배전 지중선의 PLC 채널 특성

최인지, 최문석, 박병석, 현덕화
한전 전력연구원

PLC Channel Characteristics of High Voltage Underground Distribution Line

Inji Choi, Moonsuk Choi, Byung-seok Park, Duck-hwa Hyun
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 배전 계통을 대상으로 하는 통신 시스템에 전력통신(PLC : Power Line Communication) 기술을 적용하고자 할 때, 고압 배전선의 통신 채널로서의 특성 분석이 근간이 되어야 한다. 일반적으로 지하 공동구의 배전 지중 케이블에는 케이블-케이블 간의 전기적, 물리적 접촉점인 접속 개소가 일정한 간격으로 존재하게 된다. 그러므로 통신 신호의 매개체가 되는 전력 케이블의 채널 특성 분석에는 케이블 접속 개소의 영향도 고려 대상이 되어야 한다. 본 논문에서는 서울시 광진구 일부의 부하를 담당하고 있는 22.9 kV 고압 배전 지중 선로를 시험 선로로 비접촉식 커플러를 통해 통신 신호를 전송하여 삽입 손실 측정 결과를 보았고 케이블 접속 개소의 영향을 주파수 영역에서 채널 특성을 통해 분석 하였다. 시험 결과 케이블 접속 개소를 통과할 때 채널 특성은 십여 dB의 신호 감쇄를 보였다.

1. 서 론

현재 전력선통신 기술의 실용화에 가장 현실성 있는 적용 분야는 배전계통의 자동화용 통신시스템에 적용하는 것이다. 이를 통해 무정전, 고품질의 전력 공급과 다양한 배전계통의 자동화 시스템 구성이 가능해짐으로 배전계통에 전력선통신기술을 적용함에 있어 통신 신호의 매체가 되는 고압 배전선의 채널 특성 연구는 선행되어야 할 것이다.

전력선통신 기술은 전력선을 통신 매체로 이용하기 때문에 잡음(noise), 신호감쇄 및 신호 왜곡이 많은 단점을 가지고 있고, 전송로인 전력선의 노이즈원이 매우 다양하여 채널 모델링에도 여러 가지 변수가 존재한다. 따라서 전력선을 통신망으로 활용하기 위해서는 우선 신호 전송특성을 파악해야 하고, 또한 고압선에 통신신호를 주입하는 역할을 하는 커플러의 특성도 함께 고려해야 한다. 본 논문에서는 실 부하를 담당하고 있는 지하공동구(전력구)의 지중 배전선의 채널 특성을 주파수 영역에서 측정된 결과를 분석하였다.

2. 시험 내용

전력선통신은 전기신호에 고주파 통신신호를 결합하여 통신하는 방식으로, 통신신호를 전력선에 주입하기 위한 커플러의 역할이 중요하다. 커플러는 접촉식, 비접촉식으로 나눌 수 있는데, 배전 지중 케이블의 경우 22.9 kV의 고전압, 수백 A의 대전류가 흐르고 있으며 전기 충전부가 안전 이격거리 내에 들 수 없어 비접촉식 커플러를 사용하고 있다.

지중 케이블에는 케이블-케이블 간의 전기적, 물리적 접촉점인 접속 개소가 일정한 간격으로 존재하게 된다. 케이블접속은 절단된 2개의 케이블을 접속개를 통하여 도체-도체, 절연체-절연체, 반도체-반도체, 차폐-차폐, 방수층-방수층간을 전기적, 물리적으로 결합시켜주는 역할을 한다^[1]. 이러한 접속 개소는 접지에 연결되어 있어, 케이블 상의 불연속점이자 접지 접속점인 접속 개소가 통신 채널에 어떤 영향을 끼치는지에 주목할 필요성이 있다.

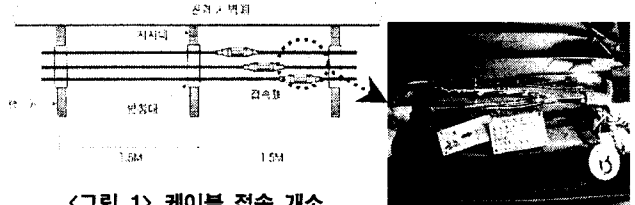
본 시험에서 실 계통의 배전 지중 케이블에 고속 비접촉식 커플러를 연결하여 삽입손실을 측정하였고, 케이블 거리와 접속 개소를 변수로 1~30MHz 주파수 영역에서 전송특성을 측정하였다.

2.1 시험환경

선정한 시험 구간은 서울 강동 변전소 광진 D/L C상(22.9KV-Y CNCV-W케이블 325mm²)이고, 시험용 통신 선로로 확보한 전력 케이블의 총 길이는 약 1,000 m이며, 약 250 m간격으로 접속 개소 <그림 1>가 존재했다. 시험에서 사용한 커플러의 기본사양은 다음과 같다.

표 1 비접촉식 커플러 사양

정격	전압 20kV- / 60Hz, 전류 200A
통신주파수	1 ~ 30 MHz
삽입손실	-4 ± 2 dB

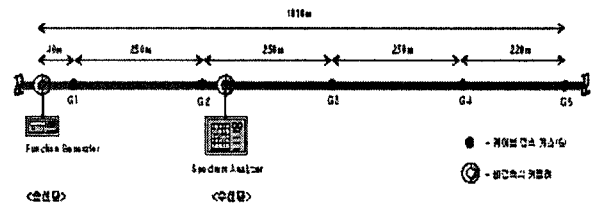


<그림 1> 케이블 접속 개소

2.2 시험 방법

전력케이블 접속 개소를 사이에 두고 양 단에 커플러를 연결 한 뒤 신호발생기와 스펙트럼 분석기 간 케이블의 채널 전송특성을 본다. <그림 2>에서 송신 단말측에는 신호발생기를, 수신 단말측에는 스펙트럼 분석기를 설치하였고, 송신 단말은 고정시키고 수신 단말을 이동하여 거리별 전송특성을 측정하였다.

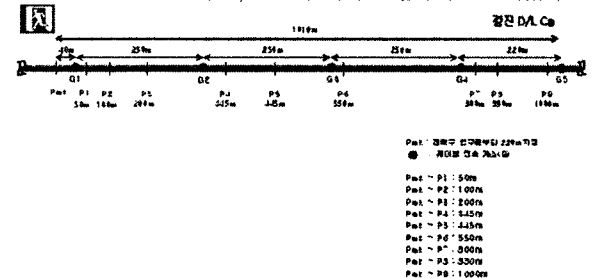
- ◎ 신호발생기를 이용하여 1 MHz~30 MHz 대역의 사인파 신호를 -15 dBm 세기, 1 ms주기로 연속적으로 발생.
- ◎ 스펙트럼 분석기의 측정 범위를 0.5 MHz~33 MHz로 설정하고 Resolution Bandwidth를 300 kHz로 설정하며 최대 피크 전력을 기록.



<그림 2> 전달특성 측정을 위한 실험구성도

2.3 시험 결과

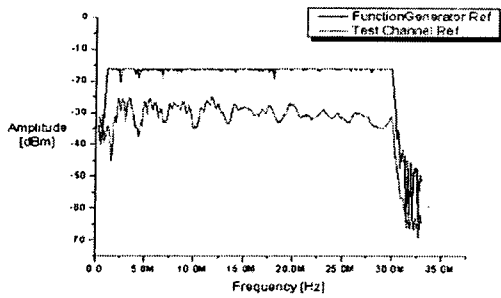
<그림 3>은 통신 특성을 측정하기 위해 수신 단말을 움직이며 커플러와 지중 케이블을 연결한 접속점(P1~P6)을 표시한 것이다. 송신 단말을 고정시킨 채, 지하 전력구의 총 1,000 m 구간을 움직이며 통신 채널을 확보하였고, 4 개의 케이블 접속개소를 지났다.



<그림 3> 지중 케이블의 커플러 접속점 및 실험구간

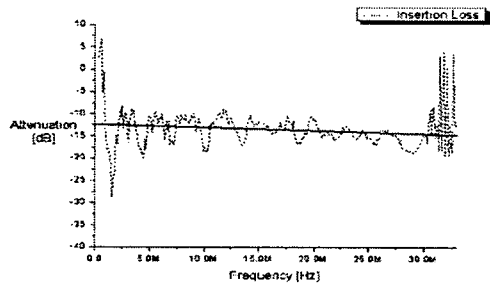
2.3.1 비접촉식 커플러의 삽입손실

지중 케이블의 채널 환경을 측정하기 위해 신호 발생기를 Pref 에 두고, 케이블 거리에 의한 감쇄 현상의 영향을 줄이기 위해 스펙트럼 분석기를 최소한의 거리, 1m 떨어진 곳에 위치하였다. 신호 발생기에서 출력한 신호 레벨은 -15 dBm이고, 커플러를 배전 지중 케이블에 연결할 때 발생하는 삽입 손실로 인한 채널의 기본 특성은 <그림 4>와 같다.



〈그림 4〉 채널 특성

위의 실험 측정 데이터를 기준으로 비접촉식 커플러와 실계통 배전 지중케이블의 접속 시 삽입손실은 -13 dB~-12 dB 정도 발생하였다. 이는 송, 수신단에 각각 연결된 커플러의 기본 사양(표1)에 의한 삽입손실 외에도 실 운영 케이블의 채널 상황이 반영된 결과이다.

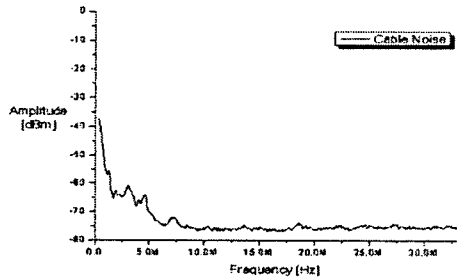


〈그림 5〉 비접촉식 커플러의 지중 케이블 삽입손실

2.3.2 케이블의 채널 전달 특성

◎ 케이블의 기본 노이즈

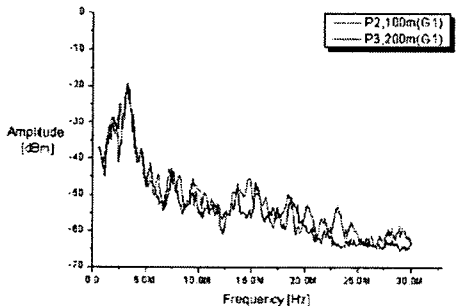
시험 대상으로 선택한 전력 케이블은 실 부하를 담당하는 선로이며 통신의 측면에서 볼 때, 신호가 전달되는 채널이다. 케이블 Pref. 지점에 스펙트럼 분석기를 커플러를 통해 연결하여 노이즈 기본레벨을 측정된 결과는 <그림 6>과 같다. 이는 커플러 사양에 의한 삽입손실이 반영된 결과이다.



〈그림 6〉 지중케이블의 기본 노이즈

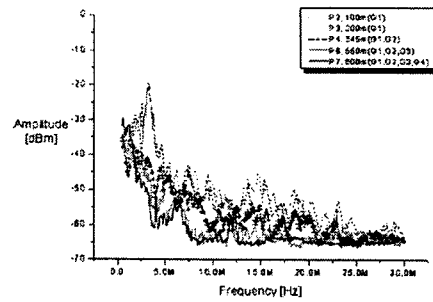
◎ 거리에 따른 채널 전달 특성

신호 발생기로부터 각각 100 m, 200 m 떨어진 지점 P₂, P₃의 주파수 스펙트럼 분석 결과는 <그림 7>과 같다. 신호발생기와 스펙트럼 분석기 간에는 지중 케이블 접속 개소(G1)가 한 군데 존재한다.



〈그림 7〉 짧은 구간 내의 채널 비교

위의 그래프에서 100 m, 200 m 정도의 거리 차이로는 통신 채널로서 큰 차이가 없음을 알 수 있으며, <그림 8>과 같이 거리 차이를 조금씩 높였을 때, 통신 채널의 감쇄 현상을 파악할 수 있었다.

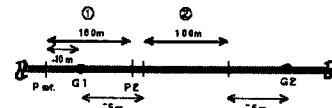


〈그림 8〉 거리에 따른 채널 감쇄

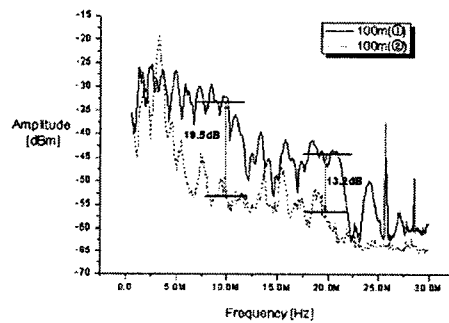
<그림 8>에서 크게 네 그룹으로 나뉘지는데, 이는 케이블 접속점의 개수와도 관련이 있다. P₂-P₃은 100 m 차이가 나는데, 케이블 접속점 수가 한 개로 동일하다. 그 결과는 채널특성이 거의 변함 없음을 확인했다. 반면, P₄ 위치에서 측정된 P₃ 위치에서 측정된 그래프에 비해 확실히 감쇄현상이 두드러짐을 확인할 수 있다. P₃-P₄는 P₂-P₃와는 거리상으론 비슷한 차이를 보이지만 접속점의 개수가 2개라는 사실에 주목할 필요가 있다. 또한 P₆, P₇ 지점으로 갈수록 거리도 증가하고, 접속점 개수도 증가함에 따른 감쇄현상을 관찰할 수 있다.

◎ 접속점에 따른 채널 전달 특성

지중 배전선로의 접속점에 따른 채널 전송특성을 좀더 알아보기 위해 같은 거리를 두고 접속개소의 유무에 따른 전달 특성을 알아 보았다. 비교 지점은 <그림 9>와 같이 접속개소 존재 구간인 Pref.~P₂ 구간 100 m와 접지점 G1과 G2사이의 100 m이다. 그 결과는 <그림 10>과 같다.



〈그림 9〉 케이블 접속개소 영향 시험구간



〈그림 10〉 케이블 접속점에 따른 채널 스펙트럼 비교

위의 데이터를 통해 거리가 같을 때 접속점이 없는 구간에 비해 접속점이 있는 구간에서 채널 감쇄현상이 심하다는 것을 관찰했다. <그림 10>을 보면, 케이블 접속개소의 유무에 따른 신호 감도 차이가 10 MHz 근처에는 약 19.5 dB 정도이고, 20 MHz 근처에는 약 13.2 dB 정도의 차이를 보인다. 이로서 지중 배전 선로의 채널 특성에는 케이블의 거리에도 영향을 받지만, 케이블 불연속점인 접속개소에 더 큰 영향을 받음을 확인할 수 있다.

3. 결 론

비접촉식 커플러를 이용하여 실 계통 배전 지중 케이블에 통신 신호를 주입하여, 주파수 영역에서 그 삽입 손실을 측정하고, 거리에 따른 채널 감쇄 현상을 관찰하였다. 그 결과 지중 케이블의 통신 채널의 또 다른 변수 요인으로 케이블 접속 개소가 존재함을 알 수 있었다. 본 논문에서 보인 데이터는 향후 전력선 통신기술을 배전 자동화 시스템 등 전력 산업에 적용할 때, 통신 채널로 활용될 배전 지중 케이블의 채널 특성 연구에 중요한 기초 데이터가 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한전, "배전지중시공실무", 제4장
- [2] H. Philipps, "Modelling of Powerline Communication Channels", Proceedings of ISPLC 1999, pp. 14-21, 1999, March.