

표피효과를 고려한 중전압 전력선 채널특성 분석

김선효* · 이원태** · 이영철***

Analysis of Medium Voltage Power-Line Channel Characteristics Considering the Skin Effect

Seon-Hyo Kim* · Won-Tae Lee** · Young-Chul Rhee***

요 약

본 논문에서는 고속데이터 전송을 위한 중 전압 전력선로의 특성을 표피효과를 고려한 전송 파라미터로써 채널특성을 분석하였다. 중전압 통신 선로의 특성임피던스는 고주파 개념을 이용한 산란계수법으로 구하였으며 광대역 특성을 갖는 결합기를 이용하여 0~30MHz 주파수 대역에서 중전압 전력선의 채널특성을 측정하였다. 통신 선로의 표피효과를 고려하였을 경우 주파수에 대한 선로의 감쇠 특성은 선형적으로 감소하였으나 표피효과를 고려하지 않았을 경우에는 선로의 감쇠 특성은 급격히 감소함을 알 수가 있었다. 임피던스 특성은 주파수가 높을수록 임피던스 크기가 점점 낮아지며 변화량도 적어짐을 알 수가 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we analyzed a medium voltage power-line characteristics considering the skin effect for high speed data transmission. Medium power-line characteristics impedance was obtained by the S-parameter method which is used in high frequency band. Power line channel characteristics was measured using a designed coupler, it is a wide band coupler between medium power-line and measurement system. Attenuation characteristics along the frequency was decreased linearly when skin effect was considered but attenuation characteristics along the frequency was decreased rapidly when skin effect was not considered. Impedance was showed lower and lower in proportional to frequency, and variation was decreased in proportional to frequency.

키워드

WTW(Wire to Wire) 금속커플러, WTG(Wire to Ground) 대지커플러

1. 서 론

21세기의 정보화 사회에서는 다양한 형태의 정보 전송방식 기술이 발전되고 있으며 전송 속도향상에 중점을 두고 있다. 전력선을 이용한 데이터 전송기술도 현재 사용중인 전화선에서와 같은 기술로 연구가 되고 있으며 점점 고속데이터 전송으로 발전되어 가고있는 추세이다. 전력선 통신의 기술발전은 통신의 변조방식 발전과 더불어 진행되고 있다. 전통적인 단

일반송(Single carrier) 변조방식은 임펄스 잡음, 시 지연 등의 문제로 인하여 고속신호전송에 부적합하며 대역확산(DS, FH, Chirp)방식은 효율적인 대역폭 사용에 대한 어려움이 있다. 이들의 단점을 최소화 시켜주는 다중반송(Multi-carrier) 신호전송방식으로 많이 연구되고 있으며 특히 DMT, OFDM 방식으로 연구가 진행되고 있다^{[1][2]}. 전력선은 통신신호전송

*거창기능대학 전자과

***경남대학교 정보통신공학과

** KERI

접수일자 : 2002. 7. 25

의 목적으로 사용되는 선로가 아니기 때문에 선로의 잡음으로 인한 감쇠 및 특성 임피던스의 불안정으로 인한 채널특성이 좋지 않으므로 근거리 전송에 불과하다. 따라서 이를 고속 데이터전송을 위한 원거리 전송 시스템에 적용하기 위하여 선로의 채널특성 연구가 진행되고 있는 실정이다. 전력선 채널의 특성연구는 건물내부나 소형선박 또는 항공기 내에서와 같이 LAN 환경과 같이 저 전압에서 저속 데이터 전송을 중심으로 실용시험 등의 연구가 활발히 진행되고 있으나 원거리 통신용 전송시스템의 필요성에 따라 중 전압 전력선로의 채널특성 연구도 필요하게 되었다^[3]. 중 전압 전력선로에 고주파수의 통신신호가 전송시에는 통신신호가 선로의 표면을 통하여 전송되므로 일반적인 선로 해석과는 달리 표피효과를 고려한 고주파수의 개념을 적용하여야 한다. 고주파수의 특성은 표피효과, 주파수에 대한 전송특성, 감쇠특성 및 임피던스 정합의 문제를 고려하여야 하므로 본 연구에서는 중 전압 전력선에 고주파수의 개념을 적용한 채널특성을 제시하였으며 이들에 대한 측정은 선로의 분배망 방식인 급속귀로방식과 대지귀로방식에서 전력선 채널특성을 상호 비교하고자 한다.

II. 표피효과를 고려한 중 전압 전송 채널 특성분석

전력선에 수십 Mbps의 고속 데이터를 전송시에는 신호가 선로의 표면을 통해서 전송되므로 표피효과(Skin effect)를 고려하여야 한다^[6]. 전력선에서 기본 주파수(60Hz)에 대한 필요한 특성은 용이하게 표현할 수 있으나 비교적 높은 주파수 대역에서는 인덕턴스와 캐패시턴스의 변화는 주파수와 무관하지만 콘덕턴스나 저항은 길이와 주파수에 의존적인 함수이므로 콘덕턴스의 경우 주파수에 대한 유전체 손실분을 고려하여야 하며 저항의 경우 표피효과와 주파수의 관계를 고려하여야 한다. 표피효과를 고려하지 않은 일반적인 중 전압 전력선의 등가모델은 π 형태로 그림 1(a)와 같이 나타낼 수 있으며 단위 길이당 저항(R), 콘덕턴스(G), 인덕턴스(L) 그리고 캐패시턴스(C)는 각각 다음과 같다.

$$R = \frac{R_s}{2\pi} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \quad (1)$$

$$G = 2\pi \frac{\omega \epsilon_0 \epsilon_r}{\ln \frac{D}{d}} \quad (2)$$

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D}{d} \quad (3)$$

$$C = \frac{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r}{\ln \frac{D}{d}} \quad (4)$$

여기서 $R_s = (\pi f \mu / \sigma)^{(1/2)}$ 이다.

기본 π -등가회로의 경우 중 전압 전력선의 표피효과를 고려한 등가회로는 그림 1(b)와 같다.

표피효과를 고려한 중 전압 전력선의 단위길이당 저항(R), 콘덕턴스(G)는 식(5), 식(6)과 같으며 인덕턴스(L) 그리고 캐패시턴스(C)는 식(3) 식(4)와 동일하다^[6].

$$R = \frac{\rho_1}{\pi d t_1} + \frac{\rho_2}{\pi D t_2} \quad (5)$$

$$G = 2\pi \frac{\omega \epsilon_0 \epsilon_r}{\ln \frac{D}{d}} \tan \delta \quad (6)$$

여기서 D는 단일코어 케이블의 외부도체 직경이고 d는 내부도체의 직경이다. ρ_i 는 저항율이며 t_i 는 침투깊이로써 다음과 같다.

$$t_i = \sqrt{\frac{2 \rho_i}{\omega \mu_0}} \quad (7)$$

일반적인 전송선로를 등가회로로 분석했을 때의 특성 임피던스 Z_0 는 다음과 같다.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (8)$$

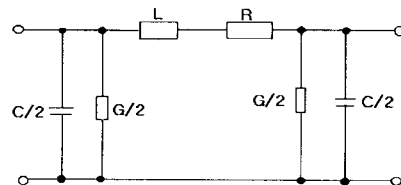


그림 1. (a) 중 전압 전력선망의 등가회로
Fig1. (a) Equivalent circuit of medium voltage power line

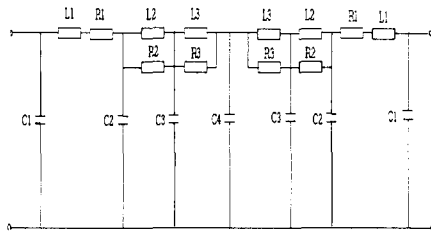


그림 1. (b) 표피효과를 고려한 중 전압 전력선망의 등가회로
Fig 1. (b) Equivalent circuit of medium voltage power line with skin effect

정합된 전송선로를 고려하여 전력원(송신부)에서부터 목적지(수신부)까지 전파 전달을 동등하게 간주하면, 길이가 l 인 선로의 채널모델은 그림 2와 같다 [7].

그림 2에서와 같이 신호감쇠의 영향은 전력선 손실에 의해 발생하는 것으로써 주파수와 길이 및 다중경로 전파에 따라 달라지는 것으로 설명할 수 있다.

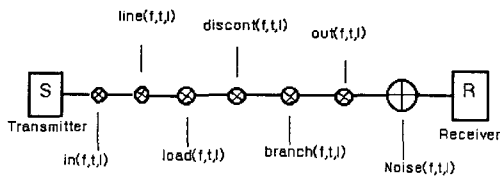


그림 2. 채널모델
Fig 2. Channel model

여기서 $in(f,t)$ 는 결합기 입력에 의한 감쇠, $line(f,t)$ 는 선로손실에 의한 감쇠, $load(f,t)$ 는 부하량의 변화에 의한 감쇠, $discont(f,t)$ 는 임피던스 불연속에 의한 감쇠, $branch(f,t)$ 는 플러그 수량 변화에 의한 감쇠이며 $out(f,t)$ 는 결합기의 출력에 의한 감쇠이다. 일반적인 대지귀로 방식에서 정합된 전송선로를 고려하여 전력원(송신부)에서부터 목적지(수신부)까지 전파전달을 동등하게 간주하면 길이가 l 인 선로에서의 전달 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H(f) = \frac{V(x=l)}{V(x=0)} = e^{-\gamma \cdot l} = e^{-\alpha l} \cdot e^{-j\beta l} \quad (9)$$

전력선 손실에 의해 발생하는 감쇠는 주파수와 길이 및 다중경로 전파에 따라 달라지는 것으로써 설명할 수 있다. 전파상수 $\gamma = \alpha + j\beta$ 에서 전력선의 감쇠 α 는 다음과 같이 표현할 수 있다[6].

$$\alpha(f) = a_0 + a_1 \cdot f^k \quad (10)$$

여기서 a_0, a_1 는 감쇠 파라메타이고 k 는 감쇠상수로써 0.2~1 사이의 값이다. 전력선에 다중경로 신호가 전송되는 경우에는 신호가 지연되고 또한 감쇠가 발생하기도 하며 심할 경우에는 에코현상까지 발생하게 된다. 따라서 크기, 위상 그리고 지연을 고려한 경로의 3가지 파라미터로 설정되어지기 때문에 N 경로를 가지는 전력선의 채널은 $3 \times N$ 개의 파라미터로 정의될 수가 있으며 크기, 지연, 위상을 갖는 이산 임펄스 응답으로 나타내어진다. 전력선 통신에서 전력선로의 잡음은 배경잡음이 97% 이상을 차지하며 이것은 선로에서 항상 나타나는 것으로써 주파수가 증가할수록 잡음레벨이 감소하는 특성을 나타내며 잡음전력 스펙트럼 밀도(PSD)가 주파수에 의존하는 것으로 보인다[8][9]. 임펄스 잡음은 단일 전송신호인 임펄스 잡음과 다중 전송신호인 임펄스 잡음의 2종류로 분류할 수가 있다. 대지귀로방식에서 단일 전송신호인 경우 임펄스 잡음을 시간영역에서 보면 다음과 같다[8].

$$H(t) = A_p \cdot \exp(-f_0 \cdot t/4) \cdot \sin(2\pi f_0 \cdot t) \cdot \text{rect}(t/Tp) \quad (11)$$

다중 전송신호인 경우 임펄스 잡음을 시간영역에서 보면 다음과 같다[8].

$$H(t) = A_p \cdot \sin(2\pi f_0 \cdot t) \cdot \text{rect}(t/Tp) \quad (12)$$

여기서

$$\begin{aligned} \text{rect}(t/Tp) &= 1 & (0 \leq t \leq Tp) \\ \text{rect}(t/Tp) &= 0 & (\text{위의 조건이 아닐 경우}) \end{aligned}$$

이며 Tp 는 전송신호의 주기로써 $Tp = 4/f_0$ 이며 A_p 는 진폭의 크기이다. 60Hz 동기잡음은 시간영

역에서 잡음 임펄스 형태로 나타나며 매초 도착되는 시간은 $\frac{1}{(K \cdot f_{net})}$ 로 나타나며 여기서 $K=1$ 또는 $K=2$ 이다. 임펄스잡음과 같이 큰 잡음은 아니며 단지 배경잡음 크기가 적을 때 나타난다. 협대역 잡음은 주어진 주파수 대역에서 좁은부분의 주파수 범위를 갖는 것으로써 협대역 잡음도 배경잡음 크기가 적을 때 나타난다. 선로길이 l 를 갖는 선로의 전력선 임피던스 Z 은 다음과 같다[5].

$$Z = \frac{(K_{R1} Z_{T2}) \left(\frac{V_{P1}}{V_{P2}} \right) \cos(\beta l) - Z_{in}}{1 - j(K_{R1} Z_{T2}) \left(\frac{V_{P1}}{V_{P2}} \right) \frac{\sin(\beta l)}{Z_0}} \quad (13)$$

여기서 V_{P1} 은 벡터 회로망 분석기(Vector Network Analyzer) 단자 1에서 발생하는 입력신호의 크기이며 V_{P2} 는 단자 2에 수신되는 신호의 크기이고 β 는 위상상수이다. 그리고 $K_{R1} Z_{T2}$ 은 출력 파라메타로써

$$(K_{R1} Z_{T2}) = \frac{Z_{in} + Z_{std}}{\left(\frac{V_{P1}}{V_{P2}} \right) |_{Z=Z_{std}}}$$

이며 Z_{in} 은 입력 임피던스이다.

벡터 회로망분석기의 단자1 (VP_1)과 단자2 (VP_2) 각각의 전압비율은 다음과 같다.

$$\frac{V_{P1}}{V_{P2}} = \frac{1 + S_{11}}{S_{21}} \quad (14)$$

본 논문에서는 22.9kV 중 전압용 전력선의 채널특성을 주파수 범위 0~30MHz에서 측정, 분석하고자 하며 선로에 높은 주파수의 통신신호가 전송됨으로 표피효과까지를 고려하여야 한다. 따라서 인덕턴스(L)와 커패시턴스(C)는 표피효과와 관계가 없지만 콘덕턴스(G)와 저항(R)는 주파수에 의존함수이므로 표피효과를 고려하여야 한다. 본 연구에서 사용한 중 전압용 선로는 ABBNA2XS(FL)으로 단심코어케이블 형태로 내경 $12mm^2$ 의 단면적인 알루미늄이며 폴리티렌으로 절연되어 있으며 외부 차폐동판은 $16mm^2$

이다. 따라서 이 선로를 0~30MHz 범위의 측정에서 표피효과를 고려한 콘덕턴스(G)와 저항(R)의 특성 그래프는 식(1)(2)와 (5)(6)에서 모의실험한 결과 그림 3(a), 그림 3(b)와 같은 값을 보여주고 있으며 전력선의 전달함수 그래프는 식(9)에 의해 그림 3(c)와 같은 결과를 얻었다. 그림에서 표피효과에 의하여 주파수가 증가함에 따라 전달함수의 감쇠가 거의 선형적으로 커짐을 알 수가 있다.

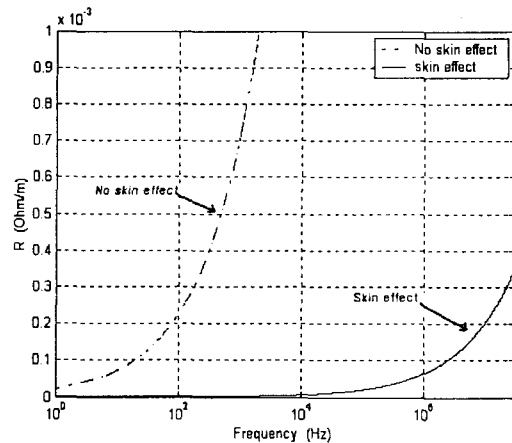


그림 3.(a) 표피효과를 고려한 전력선의 저항
Fig 3.(a) Resistance of powerline with skin effect

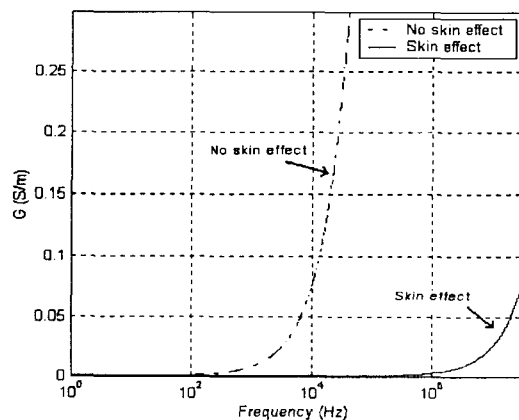


그림 3.(b) 표피효과를 고려한 전력선의콘덕턴스
Fig 3.(b) Conductance of power-line with skin effect

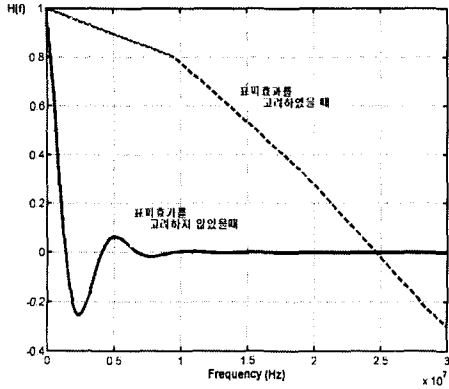


그림 3.(c) 표피효과를 고려한 전력선의 전달함수 그래프
 Fig 3.(c) Transfer function graph of power-line with skin effect

III. 실험 및 고찰

측정은 무부하의 상태에서 측정함으로써 정확한 값을 얻을 수 있으므로 별도의 옥외시험장을 구성하여 완전 무부하의 조건으로 측정을 하였다. 시험장의 전송선로 길이는 180m이며 전주는 그림 4에서와 같이 9개로 구성되어 있으며 1번 전주와 9번 전주에서 결합기를 연결하여 신호를 입력하며 측정을 하였다. 측정에 사용한 주파수 범위는 0-30MHz로 하였으며 측정에 사용된 계측기는 HP사의 3577A 벡터 회로망 분석기와 E4404B 스펙트럼 분석기를 사용하였다.

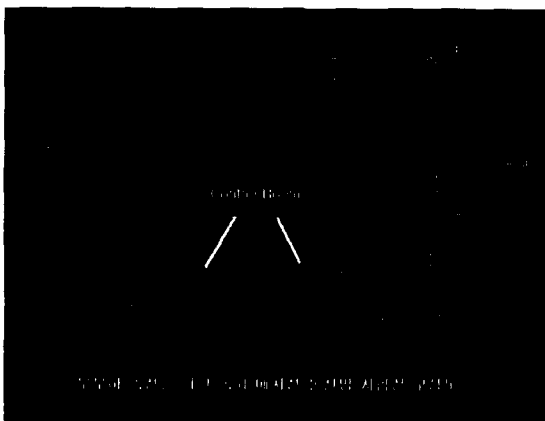


그림 4. 전력선 시험장 구성도
 Fig 4. Diagram of power-line test field

22.9kV 중 전압 전력선로에 전송되는 0-30MHz의 통신신호를 측정하기 위하여 선로와 계측기 사이에 결합기를 부착하여 측정을 하여야한다. 결합기는 특수용 세라믹 콘덴서와 광대역용 트랜스를 이용하여 설계, 제작한 것으로써 그림5와 같으며 전기적 특성은 표1과 같다.

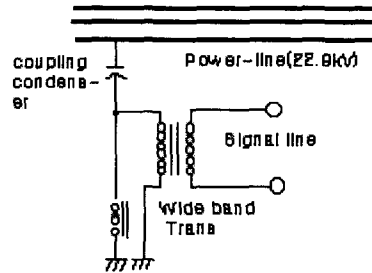


그림 5. 결합기 구성도
 Fig 5. Coupler diagram

표 1. 결합기의 전기적 특성

Table 1. Electrical parameter of coupler

정격전압	40000VDC
정격용량	2.5 nF(at 1KHz 20°C) 감쇠율=-3dB(1~30MHz)
유전손실	0.2~0.4%
인덕턴스	1.13 mH (10MHz)

그림 6. (a)은 전력선에 10MHz의 단일 반송파 신호 (0dBm)를 1번 전주에 입력을 하였을 때 9번 전주에서 나타나는 출력 파형으로써 반송파는 10MHz에서 -25dBm의 크기로 잡음파는 40dB의 차이를 볼 수가 있다. 잡음특성은 22MHz 이하에서 잡음이 심하지만 주파수가 증가할수록 잡음은 줄어드는 것을 볼 수가 있다. 또한 500KHz-1MHz와 3~7MHz에서 협대역 간섭잡음이 심하게 발생함을 볼 수가 있다. 그림 6.(b)는 전력선에 30MHz의 단일 반송파 신호 (0dBm)를 입력했을 때 나타나는 출력 파형을 보이고 있으며 그림 6.(a) 에서와 같이 30MHz에서 -35dBm의 크기로 잡음파는 40dB의 차이를 볼 수가 있다.

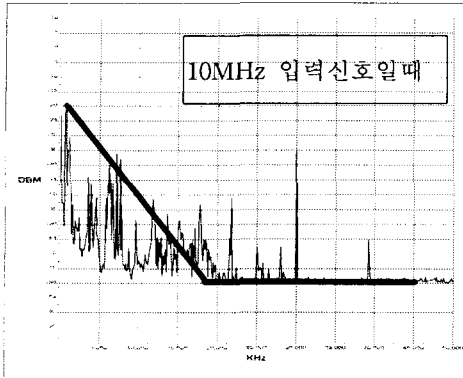


그림 6.(a) 10MHz 신호입력시 출력 스펙트럼
Fig 6.(a) Output spectrum with 10 MHz input signal

송전방식에서 직류송전방식의 특징은 교류송전방식이 갖고있는 무효전력이라든지 표피효과 때문에 송전손실이 크지만 직류송전방식에서는 이러한 것이 없으며 케이블 송전일 경우에는 유전체 손실이 없으며 또 역율이 항상 100%에 해당되기 때문에 송전효율이 우수하며 교류송전방

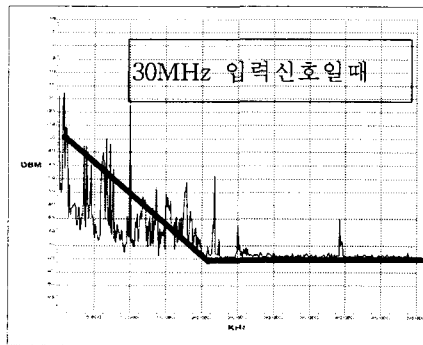


그림 6.(b) 30MHz 신호입력시 출력 스펙트럼
Fig 6.(b) Output spectrum with 30 MHz input signal

식에서는 송전전압과 계통리액턴스 및 송,수전단 전압 사이의 위상각에 의하여 송전전력이 제한되나 직류송전 방식에서는 계통리액턴스라든지 위상각에 대해서 고려할 필요가 없기 때문에 안정도가 좋다. 송전방식에서 직류송전방식은 중성점 접지 2도체 방식을 사용하므로 금속귀로방식과 대지귀로 방식의 채널특성을 각각 확인하여야 한다. 직류송전계통에는

대지를 이용하여 송전할 수 있는 대지귀로 방식의 장점이 있으며 중성점 접지 2도체 방식의 특징은 2도체 송전의 경우에는 1도체 고장시에도 대지를 일시적으로 이용하여 송전전력의 1/2을 보낼 수 있다^[15]. 따라서 22.9kV의 중 전압 전력선로의 특성을 대지귀로 방식과 금속귀로 방식에서 각각 확인하여야 하며 이들 신호전송 연결도는 그림 7과 같다.

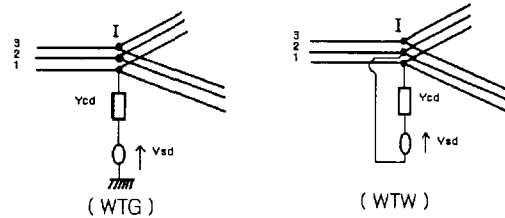


그림 7. 대지귀로(WTG)와 금속귀로(WTW)의 신호전송 연결도
Fig 7. Signal transmission arrangements of WTG&WTW

그림 8은 대지귀로 방식과 금속귀로 방식에서 각각 측정한 임피던스의 크기를 나타내는 그래프로써 모의 실험값은 식(13)에 의한 값이다. 전력선의 임피던스는 벡터회로망 분석기에 의한 산란계수법(S-파라메타)으로 측정하여 계산되어지며 측정결과 주파수가 증가할수록 임피던스 크기도 점점 낮은값을 가지며 임피던스 변화량도 점점 적어지는 것을 볼 수가 있다.

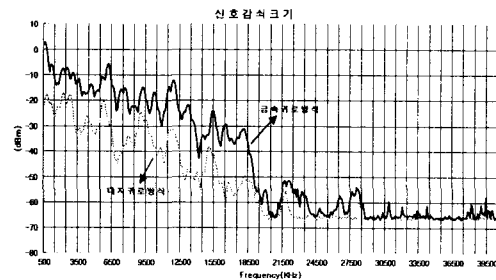


그림 8. 중 전압 전력선의 임피던스 크기
Fig 8. Impedance magnitude of medium voltage power-line

그림 9는 신호감쇠 크기를 금속귀로 방식과 대지귀로 방식에서 각각 측정된 것으로써 20MHz 이하에

서는 변화량이 심하게 나타나지만 20MHz 이상에서는 변화량이 없음을 볼 수가 있다. 또한 감쇠의 크기가 금속귀로 방식보다 대지귀로 방식이 심하며 15dB 크기의 차이를 볼 수가 있다.

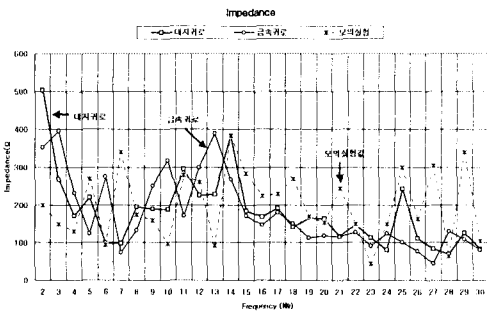


그림 9. 금속귀로방식과 대지귀로 방식의 신호감쇠 크기
Fig 9. Attenuation of WTW and WTG

IV. 결 론

본 연구에서는 주파수 0~30 MHz까지의 범위에서 고속데이터 전송에 필요한 22.9kV 중 전압용 전력선의 채널 특성을 확인하였다. 광대역 전력선통신을 위한 중 전압 전력선의 채널특성에서는 고속 전송신호가 선로의 표면을 통해서 전송되므로 표피효과를 고려하였으며 산란계수법에 의한 광대역 임피던스를 측정하였다. 선로의 표피효과를 고려하여 모의실험할 경우 감쇠특성이 선형적으로 감소되지만 표피효과를 고려하지 않았을 경우에는 감쇠특성이 급격하게 감소됨을 알 수가 있었다. 22.9kV 중 전압 전력선의 채널특성을 측정하기 위하여 주파수 범위 0~30MHz에서 설계, 제작한 결합기를 이용하였으며 이를 금속귀로 채널과 대지귀로 채널에 적용하여 측정하였다. 측정결과 임피던스의 크기는 0~15MHz까지는 대체로 높은 값을 나타내며 15MHz 이상의 주파수에서는 크기가 대체로 낮은 값을 나타내었으며 주파수가 높을수록 임피던스의 크기가 점점 낮은 값을 나타냄을 알 수가 있었다. 신호감쇠의 크기는 20MHz 이하에서는 금속귀로 채널이 대지귀로 채널보다 15dB 우수하고 20MHz 이상에서는 동일하게 나타남을 알 수가 있었다. 전력선통신에서 본 연구에서는 단일 반송파

로 실험하였으므로 신호감쇠가 많음을 알 수가 있었으며 다중 반송파가 전송될 경우에는 실제로 주파수에 대한 선택적 페이딩의 발생으로 많은 신호의 특성변화가 발생하게 된다. 또한 각종 기기의 접속에 따른 부하량의 변화에 따른 잡음특성 및 임피던스의 변화량까지도 고려하여 적용하여야 하기 때문에 적응적 임피던스 어댑터가 필요 할뿐만 아니라 본 연구에서 감쇠특성의 그래프에서 금속귀로 채널이 대지귀로 채널보다 우수하므로 장거리통신에 유효할 것으로 사료됨을 알 수가 있었다. 그리고 중 전압 전력선의 채널특성을 정확하게 이해하여 통신응용 분야에 적용함으로써 대형선박 등의 시설에 통신신호로써 사용 가능함을 제시할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Christian Hensen, "Data Transmission Application via Low Voltage Power lines OFDM Tecnnique," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.9,no.2, April 1998. pp210-214
- [2] Dirk Galda and Hermann Rohling," Narrowband Interference Reuction in OFDM-based Power line Communication Systems," (ISPLC2001) pp345-351
- [3] E. Yavuz, F. Kural, N. Coban, B. Ercan and M. Safak, "Modeling of Power lines for digital Communications,"(ISPLC2000) pp161-168
- [4] J. R. Nicholson and J. A. Malack, "RF impedance of power-lines and line impedance stabilization networks in conducted interference measurements,"IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol.1 EMC-15, no.2, pp. 84-86,May 1973.
- [5] P. J. Kwasniok, M.D. Bui, Kozlowski, and S. S. Stuchly, "Technique for measurement of power line impedances in the frequency range from 500Khz to 500Mhz", IEEE Transactions one lectromagnetic compatibility, vol. 35, No.1, Feb 1993.
- [6] Christian Hensen, Dr. Wolfgang Schulz,

- Sascha Schwarze, "Characterisation, Measurement and Modeling of Medium Voltage Power-line cables for High Data Rate Communication," (ISPLC '1998)
- [7] Holger philipps."Performance Measurements of Power line channels at high frequencies," (PLC'98), March,1998, pp 229-237
- [8] Manfred Zimmermann, Klaus Dostert, "A Multipath Signal Propagation Model for the power line Channel in the High Frequency Range ," (ISPLC '2000)
- [9] R. M. Vines et al., "Noise on residential power distribution circuits," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol.26, No.4, pp. 161-168, November 1984.
- [10] Daniel W. DurbakOlaf, James R. Stewart, 'PLC Signal Attenuation in Branched Networks," IEEE Transactions on Power delivery, Vol.5, No.2, April 1990 pp878~882.
- [11] M.S.Sarto,"Time-Domain Analysis of Electromagnetic Interference from Broband digital signal transmission on Finite-length Power Networks," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.13,No.4 October 1998. pp972-978
- [12] H.Y.Kwon, J.C.Park,and G.I.Shin, "Analysis on Data Transmission Rate of very high speed Digital Subscriber Loops," proc.1998 Int.wireless and Telecomm Symposium, KualaLumper, Malaysia,11-25 May,1998
- [13] O.G.Houijen, "A Channel Model for the Low Voltage Power-Line Channel Measurement and Simulation Results," ISPLC '97, Essen, Germany, April 1997, pp51-56
- [14] J.W.Lechleider, "Line analysis for digital subscriber Lines" IEEE Common., May, pp25-32, Sept1989
- [15] 박규홍, "전력전송공학" 통일출판사 pp.12-16, 2000.1월

저자소개

김선효(Seon-Hyo Kim)

1985년 경남대학교 전자공학과(공학사)
1987년 아주대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1999년 아주대학교 대학원 전자공학과(박사과정수료)
1988-1992년 삼성전자(주)
1993-1995년 부일이동통신(주)
1995년-현재 거창기능대학 부교수

이원태(Won-Tae Lee)

현재 한국전기연구원 전략기술 연구단 정보·광응용 연구그룹 책임연구원

이영철(Young-Chul Rhee)

1983년~현재 경남대학교 정보통신공학부 교수