

고속 전력선 통신을 위한 중전압 선로의 방사전자파 측정 및 분석

Emissive Electromagnetic Field Measurement and Analysis for High Speed PLC on Medium Voltage Power-Line Channel

김선효 · 김상태* · 이영철** · 신철재***

Seon-Hyo Kim · Sang-Tae Kim* · Young-Chul Rhee** · Chull-Chai Shin***

요 약

본 논문은 중 전압 전력선(22.9 kV)에서 방사되는 전자파 특성결과를 보여주고 있다. 측정은 주파수범위 9 kHz~30 MHz의 통신 신호를 중 전압 전력선로에 인가하였을 때 측정을 하였다. 측정결과 단일 반송신호보다 다중 반송신호에서 방사되는 전자파의 특성이 우수하며 다중반송신호의 세기가 20 dBm일 때 전력선 통신 신호는 1.8 km까지 전송 가능함을 알 수가 있었다. 전기장의 세기는 10 m 법으로 측정하였을 때 30 MHz에서 40 dBuV/m이하의 값을 볼 수가 있었다.

Abstract

This paper shows the results of emissive electromagnetic field characteristics on medium voltage power line(22.9 kV). The measurements were taken when communications signals were coupled into the 22.9 kV main wire of medium voltage power-line in a frequency range of 9 kHz to 30 MHz. The results of the measurement are as follows-emissive electromagnetic field characteristics from multi carrier signals were superior to a single carrier signal. And we confirmed the PLC transmission distance was 1.8 km when multi-carrier transmission power was 20 dBm. Electric field strength was under the 40 dBuV/m at 30 MHz when 10 m method was measured.

Key words : PLC(Power Line Communication)

I. 서 론

정보통신기술의 발전은 보다 높은 주파수를 이용하는 무선통신기술과 디지털 변조기법을 적용한 광대역 통신기술의 발전으로 한정된 대역에서 많은 채널을 수용할 수 있는 주파수 스펙트럼의 효율

(Spectrum efficiency)을 높이는 다중반송(Multicarrier) 전송에 대한 연구가 진행되고 있으며 이러한 기법은 수백 KHz에서 수십 MHz의 반송파를 사용하는 전력선 통신(PLC: Power Line Communication)에서 고속 전송할 수 있는 이점이 있다. 그러나 전력선은 주파수가 60 Hz인 전력의 공급을 목적으로 하

거창기능대학 전자과(Dept. of Electronic Engineering, Keochang Poly Tech. College)

*산업기술정책연구소(Korea Institute of Industrial Technology Evaluation & Planning)

**경남대학교 정보통신공학부(Dept. of Information & Communication Engineering, Kyungnam University)

***아주대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20031102-09S

· 수정완료일자 : 2002년 12월 9일

기 때문에 주파수가 낮아 선로의 특성 임피던스나 감쇠상수, 위상정수 등 선로의 전파상수와 같은 선로정수가 규정되어 있지 않으며 선로에서 전송상수가 불규칙적으로 변동하게 되어 주파수에 대한 선택적 페이딩(Selective fading)이 발생하게 된다. 그리고 각종 전기·전자기기로부터 발생하는 불필요한 전자파가 전력선에 유입되어 잡음 특성을 나타내므로 전력선을 이용한 통신에서는 이러한 장애를 극복할 수 있는 통신방식 기술이 요구되며 이에 대한 표준화의 연구가 진행되고 있다^[1]. 고속 전력선 통신방식은 전통적인 저속용 통신방식에서 사용되던 협대역 아날로그 방식에서 벗어나 광대역의 멀티채널 방식의 수 Mbps급의 고속방식으로 개발이 가능함에 따라 사용 주파수대도 전파관리법에서 규정한 450 KHz 이하 대에서 수십 MHz대의 단파대역으로 확장되고 있으며^[2] 이에 따라 이러한 전력선 통신기술이 기술적 안정화와 신뢰성을 가지기 위해서는 이미 규정되어 있는 사용주파수대에서의 타 전자파 이용설비와의 전자환경 문제들이 이론적 및 실험적으로 분석되어 전력선 통신 사용환경의 대안을 제시하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 전력선통신 표준화로 제시될 수 있는 전파환경 연구가 필요하게 됨에 따라 이를 위한 22.9 kV 삼상전력선을 통신채널로 적용하였을 때의 전력선 채널에서 표피효과를 고려한 주파수 특성과 잡음 및 임피던스관계를 분석하고자 하며 주파수 30 MHz 이하의 반송파 신호를 인가하였을 때 제시된 전자파 표준 측정법에 의해 방사되는 전기장을 측정하고 분석하고자 한다.

II. 표피효과를 고려한 배전력선의 채널 모델링

전력선에 수십 Mbps의 고속 데이터를 전송시에는 신호가 선로의 표면을 통해서 전송되므로 표피효과(Skin effect)를 고려하여야 한다^[4]. 전력선에서 기본주파수(60 Hz)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 고려한 중 전압 전력선의 단위길이 당 저항(R), 콘덕턴스(G)는 식 (1), 식 (2)와 같으며 인덕턴스(L)와 커패시턴스(C)는 일반적으로 식 (3) 및 식 (4)와 같다.

$$R = \frac{\rho_1}{\pi d t_1} + \frac{\rho_2}{\pi D t_2} \quad (1)$$

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

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

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

여기서 D 는 단일코어 케이블의 외부도체 직경이고, d 는 내부도체의 직경이다. ρ_i 는 저항율이며 t_i 는 침투깊이로써 다음과 같다.

$$t_i = \sqrt{\frac{2 \rho_i}{\omega \mu_0}}$$

정합된 전송선로를 고려하여 전력원(송신부)에서부터 목적지(수신부)까지 전파 전달을 동등하게 간주하면, 길이가 l 인 선로의 채널모델은 그림 1과 같다.

그림 1에서와 같이 신호감쇠의 영향은 전력선 손실에 의해 발생하는 것으로써 주파수와 길이 및 다중경로 전파에 따라 달라지는 것으로 설명할 수 있다. 여기서 $in(f,t,l)$ 는 결합기 입력에 의한 감쇠, $line(f,t,l)$ 는 선로손실에 의한 감쇠, $load(f,t,l)$ 는 부하량의 변화에 의한 감쇠, $discont(f,t,l)$ 는 임피던스 불연속에 의한 감쇠, $branch(f,t,l)$ 는 플러그 수량 변화에 의한 감쇠이며 $out(f,t,l)$ 는 결합기의 출력에 의한 감쇠이다. 일반적인 대지귀로 방식에서 정합된 전송

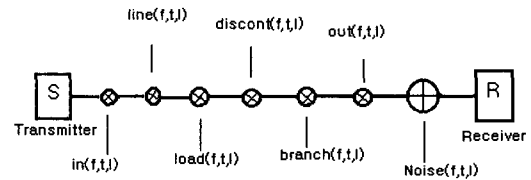


그림 1. 채널모델
Fig. 1. Channel model.

선로를 고려하여 전력원(송신부)에서부터 목적지(수신부) 까지 전파전달을 동등하게 간주하면 길이가 l 인 선로에서의 전달 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H(f) = \frac{V(x=l)}{V(x=0)} = e^{-\gamma \cdot l} = e^{-\alpha l} \cdot e^{-j\beta l} \quad (5)$$

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.

$$\alpha(f) = a_0 + a_1 \cdot f^k \quad (6)$$

여기서 a_0, a_1 는 감쇠 파라메타이고 k 는 감쇠상수으로써 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. 임펄스 잡음은 단일 전송신호인 임펄스 잡음과 다중 전송신호인 임펄스 잡음의 2종류로 분류할 수가 있다. 대지 귀로방식에서 단일 전송신호인 경우 임펄스 잡음을 시간영역에서 보면 다음과 같다.

$$H(t) = A_p \cdot \exp(-f_0 \cdot t/A) \cdot \sin(2\pi f_0 \cdot t) \cdot \text{rect}(t/T_p) \quad (7)$$

다중 전송신호인 경우 임펄스 잡음을 시간영역에서 보면 다음과 같다.

$$H(t) = A_p \cdot \sin(2\pi f_0 \cdot t) \cdot \text{rect}(t/T_p) \quad (8)$$

여기서

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

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

III. 전력선채널 복사 전자파 규정

전력선의 전자파특성은 장해전자파의 크기를 측정하여 장해 전자파의 특성을 파악하여야 한다. EMC의 기본적인 전자파장해경로의 분류에 따라 전력선통신을 위한 전자파 장해는 방사성 방출이 중요한 점이 된다. 방사성의 장해 전자파를 측정하기 위한 야외 시험장의 조건은 ANSI C 63.2와 CISPR 16을 기준이며 외부 전자파 잡음이 적고 주위에 전자파 반사물이 없는 아주 넓은 장소에서 이상적인 반 무한공간이 되도록 하여야 한다. FCC 규격에 규정된 야외시험장은 피측정기(EUT)와 수신안테나 사이의 거리는 3 m, 10 m, 30 m의 3 종류 규격이 있으며 주로 옥내에서는 3 m법이 사용되며 옥외에서는 10 m 법이 사용되고 전자파 잡음레벨이 큰 특수한 경우에만 30 m 법을 사용한다. 자기장의 세기 측정시 주파수 30 MHz 이하에서의 측정에서는 영점 조정된 루프 안테나는 측정물로 부터 규정된 거리에서 수직으로 위치해야 하며 회전시켜 최대 응답신호를 측정값으로 한다. 전력선 통신을 함에 있어 전송 신호가 기타 다른 전기, 전자기기에 미치는 영향을 고려하여 전송전력과 대역폭을 세계 각국에서 규제하고 있으며 미국의 경우 적용 규정안은 FCC part 15이고 현재 Home plug에서 진행중인 방사 제한 값은 그림 2와 같다. 독일의 경우, 30 MHz 이하의 대역폭 사용을 허락하는 대역폭 배분계획 시행령인 대역폭의 공동이용과 NB 30 시행령이 통과되었으며 전력선통신도 NB 30을 만족하면 상용화 할 수 있는 기준이 제시되었다. 영국에서는 무선통신위원회(RA)에서 MPT 1570이라는 방사 제한

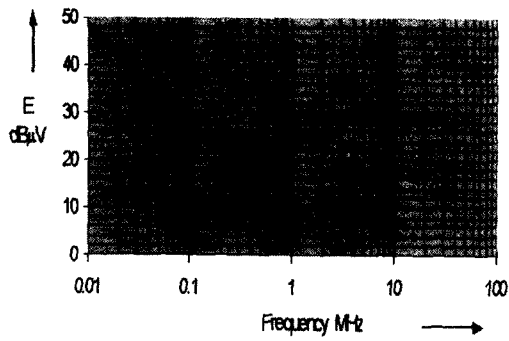


그림 2. 방사제한값(미국 FCC part15)
Fig. 2. Radiared Emission limit(USA FCC part 15).

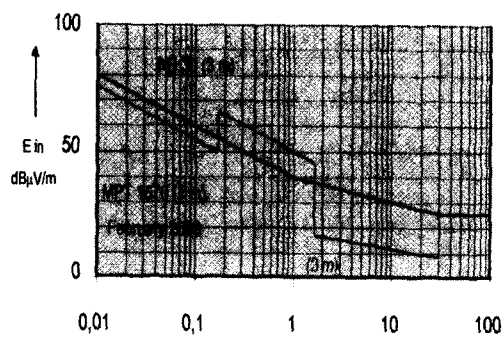


그림 3. NB30과 MPT1570의 방사 제한값 비교
Fig. 3. Comparison of NB30, MPT1570 radiated emission limit.

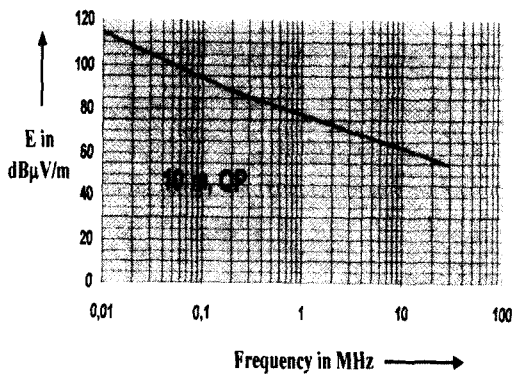


그림 4. 일본의 방사제한값
Fig. 4. Radiated emission limit(Japan).

값과 측정규정안을 제안하였다. 그림 3은 NB 30의 경우 3 m 거리에서 피크 검파기를 이용하여 측정된

값을 보여주고 있으며 MPT 1570의 경우 1 m거리에서 피크 검파기로 측정한 값이다. 일본의 경우 Echonet 이라는 단체에서 전력선 통신의 규정을 다루고 있으며 방사 제한값은 그림 4와 같다. 국내인 경우 전력선통신에 대해서는 전파법 시행령 제 46 조 2항의 주파수대역 9 kHz~450 kHz에서 송신출력 10 W 이하를 규정하고 있는 실정이다.

IV. 전력선 채널특성 및 방사전자파 실험 및 고찰

4-1 전력선 통신채널 특성 실험

22.9 kV의 배전선을 전력선 통신의 채널로서 이용하기 위하여 디지털 정보전송시스템은 신호전송부(SD)와 신호수신부(RD)에 광대역 특성을 나타내는 결합장치(CD)로서 구성하였다. 대지귀로(WTG: Wire-to-Ground)채널과 금속귀로(WTW:Wire-to-Wire)채널을 형성한 다음 각각에 대하여 주파수에 대한 임피던스와 신호감쇠 특성을 측정된 결과 그림 5, 그림 6과 같으며 임피던스 크기인 경우 13 MHz 이상에서는 임피던스 크기가 점점 작아지는 것을 알 수가 있으며 신호감쇠 크기인 경우 귀로 방식에 따라 20 MHz 이하에서는 15 dB의 차이를 보이고 있다. 국내인 경우 대부분 대지귀로 방식을 이용하고 있으므로 방사 전자파를 측정하기 위하여 대지귀로 채널을 그림 7과 같이 중앙선로에 SD와 RD 및 CD

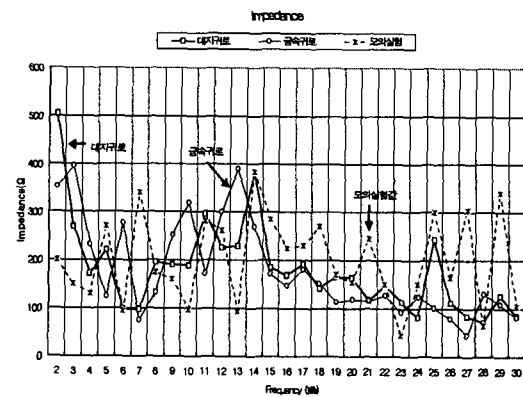


그림 5. 중 전압 전력선의 임피던스 크기
Fig. 5. Impedance magnitude of medium voltage power-line.

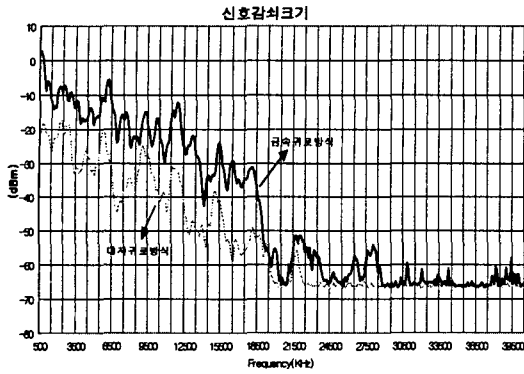


그림 6. 금속귀로방식과 대지귀로 방식의 신호감쇠 크기

Fig. 6. Attenuation of WTW and WTG.

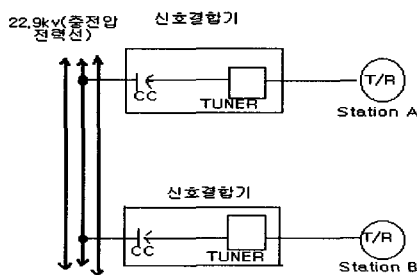


그림 7. 22.9 kV 전력선망의 구성도

Fig. 7. Block diagram of 22.9 kV Power line network.

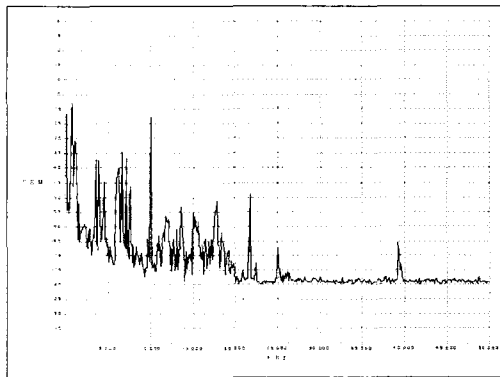


그림 8. (a) 10 MHz 신호입력시 출력 스펙트럼

Fig. 8. (a) Output spectrum with 10 MHz input signal.

를 연결하였다.

그림 8. (a)는 전력선에 10 MHz의 단일 반송파

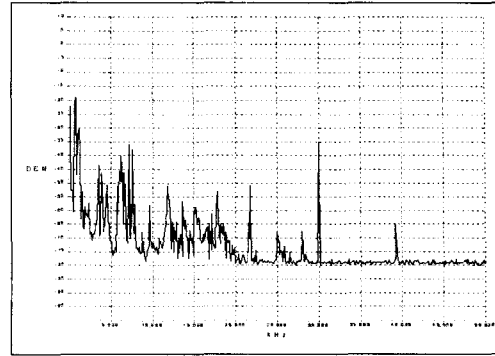


그림 8. (b) 30 MHz 신호입력시 출력 스펙트럼

Fig. 8. (b) Output spectrum with 30 MHz input signal.

신호 (0 dBm)를 입력하였을 때 신호 전송부로부터 180 m 떨어진 지점에서 측정된 출력 파형으로써 반송파는 10 MHz에서 -25 dBm의 크기를 볼 수가 있다. 잡음특성은 22 MHz 이하에서 잡음이 심하지만 주파수가 증가할수록 잡음은 줄어드는 것을 볼 수가 있다. 또한 500 kHz~1 MHz와 3~7 MHz에서 협대역 간섭잡음이 심하게 발생함을 볼 수가 있다. 그림 8(b)는 전력선에 30 MHz의 단일 반송파 신호 (0 dBm)를 입력했을 때 나타나는 출력 파형으로써 30 MHz에서 -35 dBm의 크기로 잡음과는 약 40 dB의 차이를 볼 수가 있다.

4-2 전자파 복사특성 측정

그림 7과 같이 송수신부를 구성한 다음 전자파 특성 측정은 부하를 최소화 할 수 있는 옥외 시험장에서 실시를 하였으며 옥외 측정은 CISPR 16규격에서 3 m 법과 10 m 법을 기준으로 측정을 하였다. 측정에 필요한 주요 계측기는 EMC 분석기 (E7402A : 9 kHz~3.0 GHz:HP 社), 신호발생기 (33250A : Agilent 社) 및 Active loop 안테나(6502 : 10 kHz~30 MHz D=60 Cm : EMCO 社) 등이며 측정에 사용된 중 전압용 선로는 ABBNA2XS(FL)으로 단심코어케이블 형태인 알루미늄이며 폴리티렌으로 절연되어 있고 외부는 차폐동판으로 구성되어 있다. 측정시에는 EMC 분석기의 정확한 측정을 위하여 별도의 차량 충전용 배터리 전원을 사용하였다. 측정은 준첨두치 값으로 측정을 하였으며 주파수 범위는 30

MHz 이하로 하였다. 그림 9는 측정에 사용된 루프 안테나의 사용각도에 따른 방사량의 크기를 측정함으로써 0°와 180°에서는 방사량이 크며 90°와 270°에서는 현저히 적어짐을 볼 수가 있다. 특히 통신신호가 전송되지 않을 때보다 0~30 MHz의 CW 신호가 전송될 경우에 큰 값을 볼 수가 있다. 그리고 7.5~22.5 MHz 사이의 16채널을 이용한 다중송신신호(Multi-tone)를 전송하는 경우에는 10 MHz

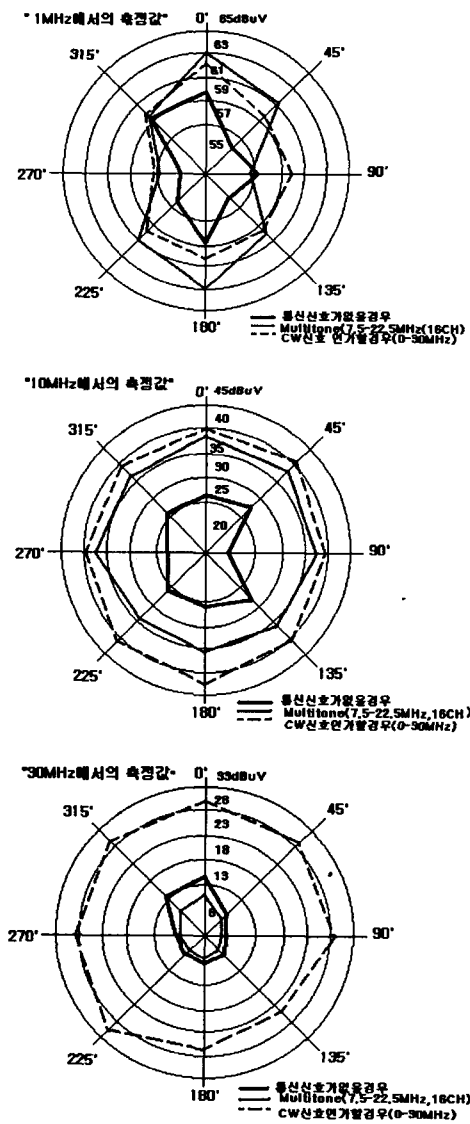
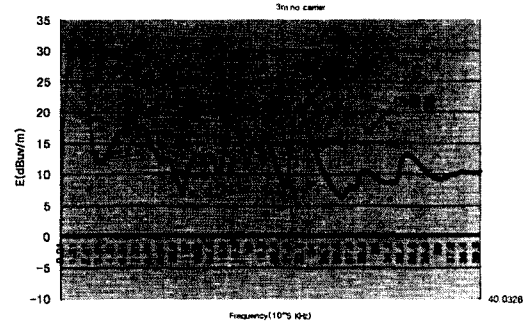


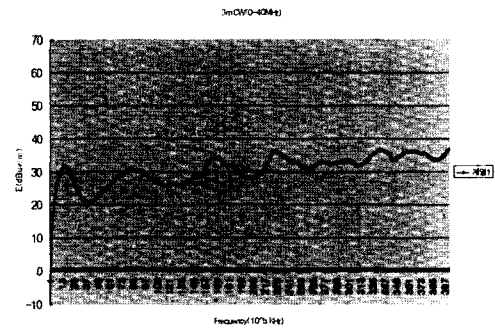
그림 9. 안테나 각도에 따라 측정된 방사패턴
Fig. 9. Measured emission pattern with antenna angle.

10 MHz 에서의 측정값에서는 안테나 각도가 0도인 경우 10 dBuV 이상의 차이가 발생함을 볼 수가 있다.

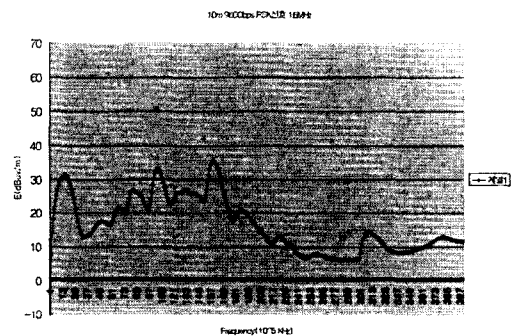
그림 10(a)와 그림 10(b)는 22.9 kV 중 전압전력선에 통신신호를 송신하지 않을 때와 9 kHz~40



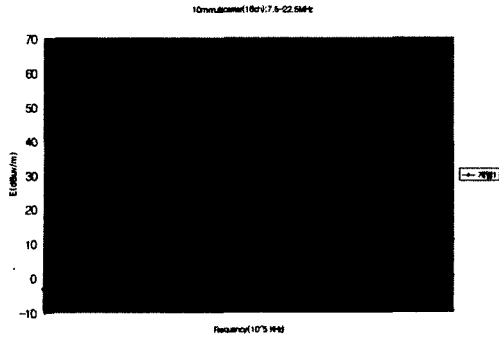
(a) 옥외용 전력선의 전계강도 (3 m법, 통신신호가 없을 때)
(a) Radiated emission electric-field of outdoor power line(3 m method, no communication signal).



(b) CW(9 kHz~40 MHz) 신호에서의 전계강도(3 m법)
(b) Radiated emission electric-field of CW(9 kHz~40 MHz) signal(3 m method).



(c) PSK(9600 bps)단일 신호에서의 전계강도(10 m법)
(c) Radiated emission electric-field of PSK(9600 bps) single carrier(10 m method).



(d) Multicarrier(16 ch)에서의 전계강도(10 m 법)
 (d) Radiated emission electric-field of multicarrier(16 ch)(10 m method).

그림 10. 방사 전자파 특성곡선
 Fig. 10. Characteristic curve of radiated emission electromagnetic field.

MHz의 CW 신호를 20 dBm의 크기로 송신했을 때의 전자파 특성을 3 m법에서 측정함으로써 약 20 dBuV/m의 전기장크기의 차이가 발생함을 볼 수가 있다. 그림 10(c)와 10(d)는 PSK 변조방식을 사용한 단일 송신신호(16 MHz)를 20 dBm의 크기로 인가했을 때 전자파 특성과 다중송신신호(16채널 7.5~22.5 MHz)를 20 dBm의 크기로 인가했을 때의 전자파 특성을 10 m 법으로 측정함으로써 다중 송신신호일 경우에 방사되는 전자파 특성이 우수함을 알 수가 있다. 거리별 측정에서는 10 m 측정법으로 할 경우 송신점에서 240 m 떨어진 곳에서는 전기장 크기의 차이가 5 dBuV/m가 발생함을 볼 수가 있었으며 송신점에서의 신호크기가 0 dBm일 때와 20 dBm의 경우에는 3 m 측정법으로 할 경우 10 dBuV/m의 차이가 발생하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 중 전압 전력선을 고속 데이터 전송채널로 이용하기 위하여 고주파에 따른 전송선로에서의 표피효과를 고려한 전송선로의 임피던스 및 신호감쇠관계를 측정하였다. 측정은 신호입력방식에 따라 대지귀로와 금속귀로를 형성하였으며 대지귀로 방식이 금속귀로방식보다 우수함을 보였다. 대지귀로방식을 적용하여 통신채널을 형성시킨 후 전

송신호에 대한 방사 전자파 특성을 측정된 결과 다중 송신신호로써 20 dBm의 신호크기로 전송할 경우 송신거리는 약 1.8 km 거리까지 송신이 가능함을 알 수 있었으며 방사전자파는 30 MHz에서 40 dBuV/m 이하의 전기장의 세기를 보였다. 단일 송신신호와 다중 송신신호를 동일크기로 전송할 경우에 방사되는 전기장은 다중 송신신호일 경우에 방사되는 전자파 특성이 우수하므로 데이터 전송에는 다중 신호 방식을 이용하는 것이 고려되며 현재 성공적으로 개발되고 있는 전력선 통신기술을 육성하기 위해 주파수 및 출력 제한 (EMI/EMC) 등의 법적 규정을 빠른 시일 내에 개정하고, 앞에서 살펴 본 유럽, 미국 그리고 일본에서 마련된 전력선 통신의 표준을 면밀히 검토하고 시험하여 우리 나라 여건에 맞게 표준을 만들어야 할 필요성이 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Manfred Zimmermann, Klaus Dostert, "A Multipath Signal Propagation Model for the power line Channel in the High Frequency Range", (ISPLC 2000).
- [2] Holger philipps. "Performance Measurements of Power line channels at high frequencies", (PLC '98), pp. 229-237.
- [3] D. Chaffanjon, G. Duval, M. Meunier and A. Pacaud, "Differential and Common Mode Propagation in PLC Low Voltage Networks", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 14, no. 2, pp. 327-334, April 1999.
- [4] Christian Hensen, Dr. Wolfgang Schulz and Sascha Schwarze, "Characterisation, Measurement and Modeling of Medium Voltage Power-line cables for High Data Rate Communication", (ISPLC '1998), pp. 123-132.
- [5] S. Cristina, M. D'Amore, "Electromagnetic Interference from Digital Signal Transmission on Power line Carrier Channels", *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 4. no. 2, pp. 898-905, April 1989.

[6] M. Botha, A. Burger, "Measurement of EMI in PLC Circuits", (ISPLC 1999), pp. 323-326.

[7] E. Yavuz, F. Kural, N. Coban, B. Ercan and M. Safak, "Modeling of Power lines for Digital Communications", (ISPLC2000), pp. 161-168.

[8] R. M. Vines et al., "Noise on residential power distribution circuits", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 26, no. 4, pp. 161-168, Nov. 1984.

[9] 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, pp. 972-978, line Com Oct. 1998.

[10] Dirk Galda, Hermann Rohling, "Narrowband Interference Reuction in OFDM-based Power line Communication Systems", (ISPLC 2001), pp. 345-351.

김 선 호



1985년: 경남대학교 전자공학과 (공학사)
 1987년: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
 1999년: 아주대학교 전자공학과 (공학박사 수료)
 1988년~1992년: 삼성전자(주)

1993년~1995년: 부일이동통신(주)
 1995년~현재: 거창기능대학 부교수

이 영 철



1988~1990년 2월: 멜본대학교 객원 연구원
 1983년~현재: 경남대학교 정보통신공학부 교수

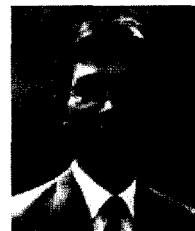
김 상 태



1985년 2월: 아주대학교 전자공학과(공학사)
 1984년 12월~1985년 8월: 대우중공업(주) 연구소
 1987년 8월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
 2001년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학박사)

1991년 3월~현재: 한국 생산 기술연구원 산업기술정책연구소 선임연구원

신 철 재



1964년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1968년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1983년 3월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1977년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수