

전력선 통신 시스템 설계를 위한 주택배선의 선로특성 분석

(Analysis of Characteristics of Residential Distribution Line for Design of Power Line Communication Systems)

홍덕표* · 최재호**

(Ducpyo Hong · Jaeho Choi)

요 약

본 논문에서는 주택에서 전력선을 이용한 전력선 통신(PLC)을 위해 기본적으로 선행되어야 하는 선로정수를 측정하고 분석하였다. 주택의 표준적인 선로정수 분석을 위해서 국내 주택의 보편적인 형태의 아파트를 모델로 하였으며 Agilent 4263B LCR Meter를 이용하여 구간별로 세부적인 측정을 하여 구체적인 결과를 표로 나타내고 평균을 취하여 분석하였다. 측정된 결과 일반적인 수식으로 계산한 값과는 선로배열, 기본적으로 무시된 전제조건과 복소 유전율 등으로 인한 차이가 있음을 확인하였다. 또한 국내 주택의 시공에서 주로 사용되는 전선의 종류와 배선 형태를 나타내었으며 선로 특성을 주파수영역에서 분석하여 전력선 통신 시스템의 설계 자료로 활용할 수 있도록 하였다.

Abstract

This paper describes the measurement and analysis of the basic line constants in PLC(Power Line Communication) in the residential building. An apartment is considered as one of the conventional residences to get the line constants in this paper, Agilent 4263B LCR Meter is used to measure the detailed values each area and the specific results and averaged analysis data are shown in the tables. The measured results are a little bit different from the calculated values using conventional formula due to the line arrangement, neglected factors, complex permittivity, and etc. This paper describes many kinds of lines and wiring figures of domestic construction. It can be utilized with the analyzed line characteristics in frequency domain as a planning reference of PLC.

Key Words : Power Line Communication(PLC), Indoor power line impedance

1. 서 론

* 주저자 : 충북대 전기공학과 박사과정
Tel : 043-223-6123, Fax : 043-255-6124
E-mail : iedison@hanmail.net
** 교신저자 : 충북대 전기전자컴퓨터공학부 교수
접수일자 : 2005년 3월 10일
1차심사 : 2005년 3월 11일
심사완료 : 2005년 3월 24일

전력선 통신(PLC : Power Line Communication)은 별도의 통신선로 없이 기존의 전력선을 이용하여 전원 콘센트에 직접 접속하여 인터넷 접속 등의 외부망이나 홈 네트워크에 이용할 수 있는 편리하면서 투

전력선 통신 시스템 설계를 위한 주택배선의 선로특성 분석

자비가 저렴한 장점을 바탕으로 전 세계적으로 급속하게 성장하는 산업분야가 되었다. 그러나 아직은 세계 표준화가 완성되지 않았으며 전력선 통신으로 인한 전자과장애에 대한 논의도 끝나지 않은 상태여서 많은 연구를 필요로 한다. 전력선 통신은 옥내배선을 이용하여 신호를 전송하므로 전력선 통신시스템 설계를 위해서 전송선의 특성분석에 대한 연구가 선행되어야 하는 상황이나 이에 대한 구체적인 측정과 분석에 대한 연구는 미비한 상태여서 전력선 통신의 연구에 많은 어려움이 뒤따르고 있다. 전력선 통신시스템을 설계할 때 마다 선로정수를 직접 측정하여 시스템을 설계하고 실험하는 것은 불가능하므로 선로정수를 일반화하고 표준화하는 연구는 매우 큰 의미를 지닌다. 그러나 지금까지의 연구들을 이러한 전송로의 선로정수에 대한 정확한 분석 없이 통신방법에 대한 연구가 주류를 이루고 있다[1].

본 논문에서는 주거형태의 대부분을 차지하는 아파트 중에서 32평의 일반적이고 실제적인 모델에서의 선로정수를 측정하여 그 실용성을 증대하였다. 선로정수 분석을 위해 주택 배선을 평행한 2선의 전송선로로 전제한 일반식으로 부터 선로정수를 계산하고 일반 주택을 모델로 선정하여 선로정수 측정을 통해 계산값과 비교하였으며 접속점과 배선의 구조에 따른 선로정수 변화 요인에 대한 분석을 하였다.

2. 본 론

2.1 주택 배선의 이론적 특성

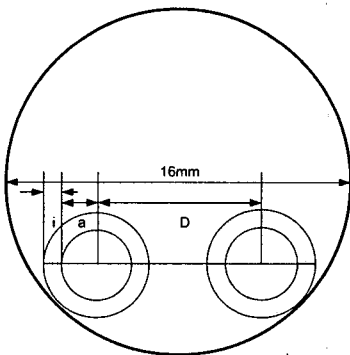


그림 1. 주택 배선의 배치 형태
Fig. 1. Power Line Arrangement in a Residence

국내 주택 배선의 일반적인 시설형태는 직경 16[mm]인 전선관 내부에 직경 2.0[mm]의 IV전선(600[V] 비닐절연전선)이 그림 1과 같이 배치되어 있다.

선로를 평행한 2선 전송선로로 가정하고 손실을 고려하지 않았을 때 선로정수(R, L, C)는 잘 알려진 식 (1), (2), (3)과 같이 나타낼 수 있다[2].

$$R = \frac{1}{\pi a} \sqrt{\frac{\pi f \mu}{\sigma}} [\Omega/m] \quad (1)$$

$$L = \frac{\mu}{\pi} \cosh^{-1}(D/2a) [H/m] \quad (2)$$

$$C = \frac{\pi \epsilon_r \epsilon_0}{\cosh^{-1}(D/2a)} [F/m] \quad (3)$$

위의 식에서 f 는 주파수, μ 는 투자율, σ 는 도전율, a 는 도체의 반지름, D 는 도체 중심축간 거리, ϵ_0 는 진공에서의 유전율, ϵ_r 는 유효 유전상수를 나타낸다. 저항은 주파수의 제곱근에 비례하지만 인덕턴스와 커패시턴스는 주파수와 관계없이 투자율과 유전율 및 도체 배열형태에 따라 다른 값을 갖는다.

표 1. IV 전선의 국내 규격
Table 1. Korea Standard of IV Wire

지름 ([mm])	두께 ([mm])	바깥지름 ([mm])	도체 저항 ([Ω /km])	
			연동	경동
0.8	0.8	2.4	35.7	37.2
1.0	0.8	2.6	22.8	23.8
1.2	0.8	2.8	15.8	16.5
1.6	0.8	3.2	8.92	9.29
2.0	0.8	3.6	5.65	5.83
2.6	1.0	4.6	3.35	3.45
3.2	1.2	5.6	2.21	2.28
4.0	1.4	6.8	1.41	1.46
5.0	1.6	8.2	0.904	0.932

국내 주택의 배선에서 사용되는 전선은 IV전선이 가장 많이 사용하고 있으며 지름, 두께, 바깥지름에 대해 각각 다른 저항값을 가지고 있다. 국내 규격은 표 1에서 보는 것과 같다[3]. 표 1의 저항값은 상용

주파수에서 적용되는 값이며 전력선 통신의 경우에서와 같이 고주파인 경우에는 표피효과와 근접효과의 영향을 받기 때문에 식 (1)로 계산해야 한다.

2.2 주택 배선의 선로정수 측정

선로정수를 측정하는 간단한 모델을 그림 2에서 보여주고 있다. 측정 대상인 DUT(Device Under Test)에 실험 신호인 Vs를 인가하여 내부 저항 Rs를 통과 한 후의 전압 V과 DUT에 흐르는 전류 I를 측정하여 임피던스를 계산한다.

Ls와 Cs는 테스트 주파수에 따라 값이 변한다. 그때의 위상과 크기는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며, 주파수에 영향을 받는 리액턴스는 식 (5)와 같다[4]. 그림 3은 각각 Ls와 Cs일 때의 임피던스 위상을 벡터도로 나타낸 것이다.

$$Z = R_s + jX = |Z| \angle \theta \tag{4}$$

$$X = \omega L_s \text{ or } -j \frac{1}{\omega C_s} \tag{5}$$

$$Z = R_s + j\omega L_s \text{ or } R_s - j \frac{1}{\omega C_s} \tag{6}$$

(단 $\omega = 2\pi f$, f : test frequency)

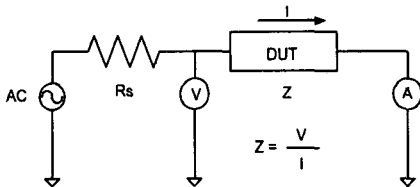


그림 2. 임피던스 측정 모델
Fig. 2. Simplified model of Impedance Measurement

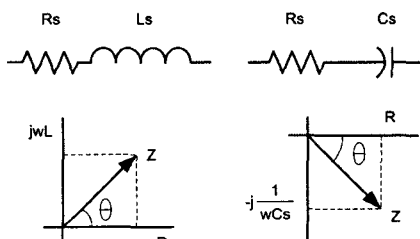


그림 3. 측정 계수의 벡터도
Fig. 3. Vector Representation of Impedance

측정에 사용된 모델은 국내 주택의 보편적인 형태의 아파트이며, 내부 배선 도면은 그림 4와 같다. 분전반에서 C2, C3, C4의 세 회로로 분기되며, C2에서는 총 29[m]의 길이에 11개의 콘센트가 병렬로 연결되어 있고, C3에서는 총 30.5[m]에 9개의 콘센트가 병렬로 연결되어 있으며, C4에는 8.5[m]의 길이에 1개의 콘센트가 전용으로 연결되어 있는 구조이다. 회로의 총 길이는 68[m]이며 46개의 접속점이 있다.

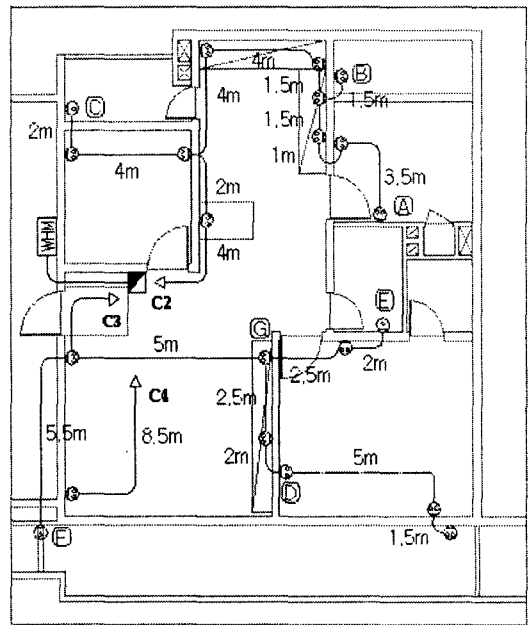


그림 4. 주택 내부 배선도
Fig. 4. Electrical Wiring of Residence

2.3 계산 및 측정 결과

2.3.1 일반식에 의한 계산값

표 2에서 IV전선을 길이와 주파수에 따라 식 (1), (2), (3)에서의 같은 방법으로 계산하여 얻었다. 이때 선로 사이의 거리(D)를 도체 반지름(a)의 4배로 하여 계산하여 얻은 값이다. IV전선의 선로정수 계산 값은 평행한 2선 전송선로로 가정하고 손실을 고려하지 않았을 때 위의 식에서 보여주는 것과 같이 R 값은 주파수가 클수록 표피효과와 근접효과 등으로 커지는 반면 L과 C값은 주파수에 관계없이 일정한 값으로 나타낼 수 있다.

표 2. 일반식에 의한 계산값
Table 2. Results by Public Formulas

주파수	선로정수		
	R(Ω /km)	L(mH/km)	C(μ F/km)
100[kHz]	15.57	0.527	21.123
20[kHz]	8.3	0.527	21.123
10[kHz]	2.626	0.527	21.123
1[kHz]	0.83	0.527	21.123

2.3.2 실제 주택의 측정값

주택배선의 선로정수 측정은 그림 5와 같은 방법으로 그림 4의 분전반의 분기 차단기를 기준으로 모든 부하를 분리한 후 A, B, C, D, E, F, G의 지점에서 단락시킨 뒤 저항 값과 인덕턴스 값을 측정하였으며 개방상태에서 커패시턴스 값의 선로정수를 각각 측정하였다.

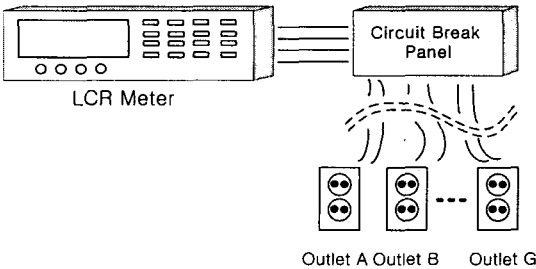


그림 5. 주택배선의 선로정수 측정 구성
Fig. 5. Line Constant Measurement Setup

측정 결과 표 3에서 보는 것과 같이 R값은 주파수가 증가할수록 증가하였으나 L과 C의 값은 표 4, 5, 6, 7에서 보는 바와 같이 주파수가 증가함에 따라 감소하였다. 주택배선의 단위 길이당 선로정수 평균값을 표 8에 나타내었다.

표 3. 회로 C2의 R($m\Omega$) 측정값
Table 3. Resistance Values of Circuit C2

주파수	측정위치		
	C2-A	C2-B	C2-C
100[kHz]	650	700	230
20[kHz]	393	419	125
10[kHz]	313	371	102
1[kHz]	312	340	89

표 4. 회로 C2의 L(μ H) 측정값
Table 4. Inductance Values of Circuit C2

주파수	측정위치		
	C2-A	C2-B	C2-C
100[kHz]	10.8	10.6	5.2
20[kHz]	11.2	11	5.4
10[kHz]	11.5	11.3	5.5
1[kHz]	11.8	11.5	5.6

표 5. 회로 C3, C4의 R($m\Omega$) 측정값
Table 5. Resistance Values of Circuit C3 and C4

주파수	측정위치			
	C3-D	C3-E	C3-F	C4
100[kHz]	460	480	260	240
20[kHz]	265	280	160	160
10[kHz]	213	227	125	135
1[kHz]	185	200	107	122

표 6. 회로 C3, C4의 L(μ H) 측정값
Table 6. Inductance Values of Circuit C3 and C4

주파수	측정위치			
	C3-D	C3-E	C3-F	C4
100[kHz]	10.8	11.2	6.77	5.1
20[kHz]	11.2	11.5	7.2	5.5
10[kHz]	11.5	11.8	7.7	5.67
1[kHz]	11.7	12.1	47.9	5.8

표 7. 회로 C2, C3, C4의 C(μ F) 측정값
Table 7. Capacitance Values of Circuit C2, C3 and C4

주파수	측정위치		
	C2	C3	C4
100[kHz]	5.5	2.5	120
20[kHz]	8	1.5	165
10[kHz]	13.5	1.63	170
1[kHz]	63	2	190

2.3.3 계산값과 측정값의 비교

세 가지 방법으로 얻은 선로정수를 비교하기 쉽도록 저항, 인덕턴스, 커패시턴스를 그림 6, 그림 7, 그림 8에 나타내었다. 식 (1), (2), (3)으로 계산한 값과 실제 측정값의 차이는 다음과 같이 세 가지로 설명

할 수 있다.

표 8. 주파수별 선로의 측정값 평균
Table 8. Average Value of R, L and C

주파수	선로정수		
	R((Ω /km))	L((mH/km))	C((μ F/km))
100[kHz]	15.57	0.31	1.88
20[kHz]	9.34	0.32	3.74
10[kHz]	7.66	0.33	2.72
1[kHz]	6.98	0.548	3.75

첫 번째 원인은 선로 배치의 구조적 차이 때문에 발생한다. 일반식에서는 두 가닥의 전선이 일정한 간격을 유지하는 평행한 전선으로 가정 하였으나 실제의 배선은 간격이 일정하지 않으며 콘센트의 접속을 위한 다수의 접속점에 영향으로 인한 차이가 발생한다.

두 번째 원인은 일반식에서 전제한 기본 조건으로 인해 발생하는 차이로 일반식에서는 직렬저항의 영향은 무시하고 선로상의 파는 근사적으로 횡전자파(TEM파)로 가정하나 실제의 전송 선로는 손실이 존재하며 엄격히 횡전자파(TEM파)는 아니다[5].

세 번째 원인은 손실 매질의 복소 유전율(complex permittivity)이 주파수가 증가함에 따라 L과 C의 값이 변화하기 때문이다[5].

즉 어떤 물체에 외부의 시변 전계가 가해질 때 구속 전하의 작은 변화가 발생하여 체적편파밀도가 야기된다. 이 체적편파밀도는 가해진 전계와 같은 주파수로 변화한다. 체적편파밀도는 주파수가 증가함에 따라, 대전된 입자의 관성력으로 인해 입자의 변위는 전계의 변화와 같은 위상이 될 수 없게 되어 마찰력과 같은 감쇄구조가 야기 되는데, 감쇄력을 극복하기 위해서는 전력 손실이 발생하게 되어 차이를 일으킨다[5].

2.3.4 선로특성 분석의 활용

전력선통신시스템에서 전력선은 신호를 전달하는 매체이며 전력선의 선로특성에 따라 신호의 감쇄정도가 결정된다. 본 연구에서의 선로특성 분석은 주파수를 대상으로 하는 PLC 시스템의 구동회로(Drive

Circuit) 설계시 유용하게 적용될 것으로 기대된다.

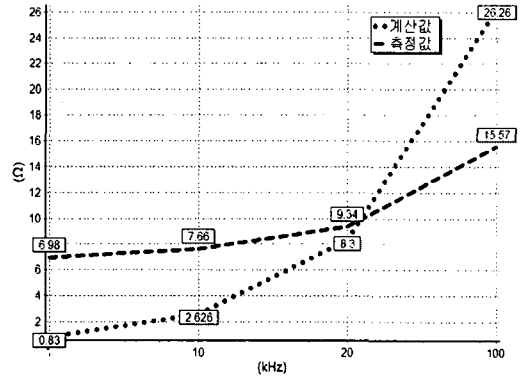


그림 6. 단위 저항값 비교
Fig. 6. Resistance Values per Unit

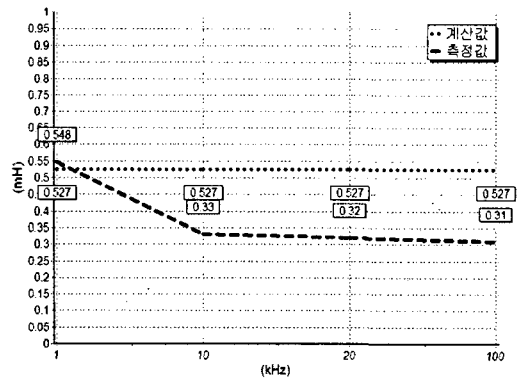


그림 7. 단위 인덕턴스 비교
Fig. 7. Inductance Values per Unit

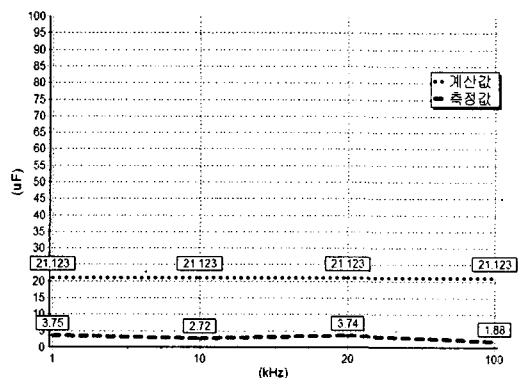


그림 8. 단위 커패시턴스 비교
Fig. 8. Capacitance Values per Unit

3. 결 론

본 논문에서는 전력선 통신 시스템의 설계에서 필요한 선로특성에 대해 연구하였다. 이를 위해서 전력선 통신이 가장 유용하게 적용 가능한 주택에서의 전송선로 특성을 측정하고 2선 전송 선로를 분석하는데 사용하는 일반식에 의한 계산값과의 차이를 비교하고 분석하였다. 분석 결과 일반식으로는 실제의 주택 배선에 적용 할 수 없으며 R뿐만 아니라 L과 C값들도 주파수에 따라 변화함을 확인하였다.

이러한 과정은 전력선 통신을 위한 시스템 모델링에서 선로와 부하를 분리하지 않고 다루던 기존의 방법과 달리 실제 주택에서의 선로정수를 측정하고 분석함으로써 전력선 통신 시스템 설계에 필요한 구체적인 자료를 제시하였다. 앞으로 다양한 형태나 종류의 전송선로에 대한 측정과 분석을 통하여 더욱 실질적이고 체계적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

- [1] G. Marubayashi, and S. Tachikawa, "Spread Spectrum Transmission on Residential Power Line," In Conf. Rec. IEEE MILCOM'96, Vol. 3, pp. 1082-1086, 1996.
- [2] G. T. Andreou, D. P. Labridis, and G. K. Papagiannis, "Modeling of Low Voltage Distribution Cables for Powerline Communications," In Conf. Rec. IEEE Power Tech'2003, vol. 2, 2003.
- [3] 대한전기협회, 내선규정, pp. 682, 2004.
- [4] Agilent 4263b LCR Meter Operation Manual, Agilent, 2000.
- [5] D K. Cheng, Field and Wave Electromagnetics, Addison Wesley. pp. 427~594, 1989.

◇ 저자소개 ◇

홍덕표 (洪德杓)

1967년 4월 20일생. 1989년 충주대 전기공학과 졸업. 1997년 충북대 대학원 전기전산공학과 졸업(석사). 2002년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 전기기술사.

최재호 (崔載昊)

1955년 9월 27일생. 1979년 서울대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 졸업(석사). 1989년 동 대학원 졸업(박사). 1981~1983년 중경공업전문대학 전자과 전임강사. 1983년~현재 충북대 전기전자컴퓨터공학부 교수. Tel : 043-261-2425, Fax : 043-276-7217 E-mail : choi@chungbuk.ac.kr