

PLC 모뎀설계를 위한 옥내 배선 특성분석

홍덕표, 이진목, 최재호
충북대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부

Analysis of Characteristics of Residential Distribution Line for PLC Modem Design

Ducpyo Hong, Jinmok Lee, Jaeho Choi
School of Electrical and Computer Engineering, Chungbuk National University

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 and Agilent 4263B LCR Meter is used to measure the detailed values each area, and the specific results and the averaged analysis data are shown in the tables. The measured results are different from the calculated values with using conventional formula due to the line arrangement, neglected factors, complex permittivity, and etc. Also, this paper describes many kinds of lines and wiring figures of domestic construction. Finally, it is utilized with the analyzed line characteristics in frequency domain as a planning reference of PLC.

1. 서 론

별도의 통신선로 없이 기존의 전력선을 이용하여 전원 콘센트에 직접 접속하여 인터넷 접속 등의 외부 망이나 홈 네트워킹에 이용할 수 있는 편리하면서 투자비가 저렴한 장점이 있는 전력선 통신(PLC: Power Line Communication)은 전 세계적으로 급속하게 성장하는 산업분야가 되었다. 그러나 아직은 세계 표준화가 완성되지 않았으며 전력선 통신으로 인한 전자파장해에 대한 논의도 끝나지 않은 상태여서 많은 연구가 진행되고 있다. 전력선 통신은 옥내배선을 이용하여 신호를 전송하므로 전력선 통신시스템 설계를 위해서 전송선의 특성분석에 대한 연구가 선행되어야하는 상황이나 이에 대한 구체적인 측정과 분석에 대한 연구는 미비한 상태여서 전력선 통신의 연구에 큰 장애요인이 되고 있다. 전력선 통신시스템을 설계할 때마다 선로정수를 직접 측정하여 시스템을 설계하고 실험하는 것은 불가능하므로 선로정수 일반화하고 표준화하는 연구는 매우 큰 의미를 지닌다. 그러나 지금까지의 연구들을 이러한 전송로의 선로정수에 대한 정확한 분석 없이 통신방법에 대한 연구가 주류를 이루고 있는 실정이다 [1].

본 논문에서는 주거형태의 대부분을 차지하는 아파트 중에서 32평의 일반적이고 실제적인 모델에서의 선로정수를 측정하여 높은 신뢰성을 가지고도록 하였다. 선로정수 분석을 위해 주택 배선을 평행한 2선의 전송 선로로 전제한 일반식으로부터 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 옥내배선의 이론적 특성

국내 주택 배선의 일반적인 시설형태는 직경 16mm인 전선관 내부에 직경 2.0mm의 IV전선(600V 비닐절연전

선)이 그림 1과 같이 배치되어 있다.

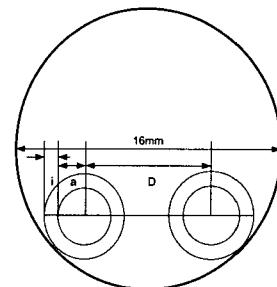


그림 1 주택 배선의 배치 형태

선로를 평행한 2선 전송 선로로 가정하고 손실을 고려하지 않았을 때 선로정수(R , L , C)는 일반적으로 적용해 오던 식 (1), (2), (3)과 같이 나타낼 수 있다 [2].

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

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

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

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, $\epsilon_{r,eff}$ 는 유효 유전상수를 나타낸다. 저항은 주파수의 제곱근에 비례하지만 인더턴스와 커파시턴스는 주파수와 관계없이 투자율과 유전율 및 도체 배열 형태에 따라 다른 값을 갖는다.

표 1. IV 전선의 국내 규격

지름 (mm)	두께 (mm)	바깥지름 (mm)	도체저항 (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 IV전선을 가

장 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 균접효과의 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 V_s 를 인가하여 내부 저항 R_s 를 통과 한 후의 전압 V 와 DUT에 흐르는 전류 I 를 측정하여 임피던스 Z 를 계산한다.

Z_s 와 C_s 는 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 Z_s 와 C_s 일 때의 임피던스 위상을 벡터도로 나타낸 것이다.

$$Z = R_s + jX = |Z| \angle \theta \quad (4)$$

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

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

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

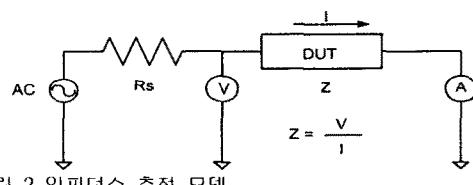


그림 2 임피던스 측정 모델

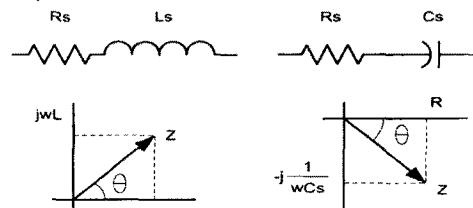


그림 3 측정 계수의 벡터도

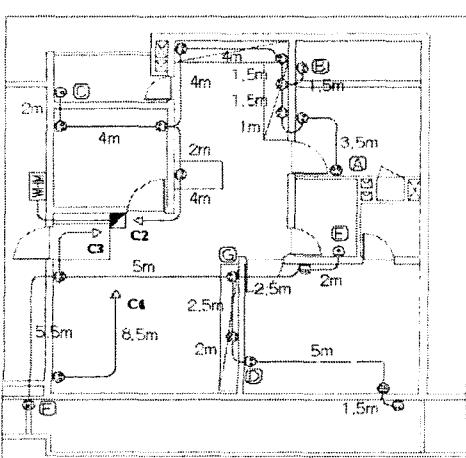


그림 4 주택 내부 배선도

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

2.3 계산 및 측정 결과

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

표 2. 일반식에 의한 계산값

주파수	선로정수		
	$R(\Omega/km)$	$L(mH/km)$	$C(\mu F/km)$
100kHz	15.57	0.527	21.123
20kHz	8.3	0.527	21.123
10kHz	2.626	0.527	21.123
1kHz	0.83	0.527	21.123

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 커페시턴스 값의 선로정수를 각각 측정하였다.

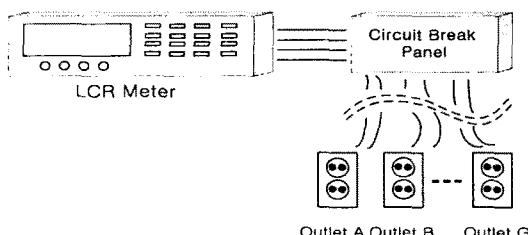


그림 5 주택배선의 선로정수 측정 구성

측정 결과 표 3과 표 5에서 보는 것과 같이 R 값은 주파수가 증가함수록 증가하였으나 L 과 C 의 값은 표 4, 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

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

표 4. 회로 C2의 L(μ H) 측정값

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

표 5. 회로 C3, C4의 R(m Ω) 측정값

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

표 6. 회로 C3, C4의 L(μ H) 측정값

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

표 7. 회로 C2, C3, C4의 C(pF) 측정값

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

표 8. 주택배선의 측정값 평균

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

3. 결 론

실험을 통하여 본 결과처럼 계산상의 값과 측정값은 차이를 보였다. 이 원인은 크게 세가지로 나타낼 수 있는데, 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 L 과 C 의 값이 변화하기 때문이다 [5]. 즉, 어떤 물체에 외부의 시변 전계가 가해질 때 구속 전하의 작은 변위가 발생하여 채적 편파밀도가 야기된다. 이 채적편파밀도는 가해진 전계와 같은 주파수로 변화한다. 채적편파밀도는 주파수가 증가

함에 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].

이러한 과정은 전력선 통신을 위한 시스템 모델링에서 선과 부하를 분리하지 않고 다른 기준의 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.

[참 고 문 헌]

- [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. 427-504, 1989.