

논문 2004-41TC-8-12

# 고속 전력선 통신용 옥내 저전압 전력선 임피던스 측정 및 특성 연구

(Investigation and measurement of indoor low voltage powerline impedance for high data rate powerline communications (PLC))

박 영 진\*, 김 관 호\*

(Young-Jin Park and Kwan-Ho Kim)

## 요 약

전력선 통신의 매체인 전력선은 60Hz 전력 공급을 위해 설계되었기 때문에, 고속 전력선 통신을 위한 1MHz~30MHz 대역에서는 전력선은 전기적으로 많은 다른 특징을 갖는다. 따라서 고속 전력선 통신을 위해서는 전력선의 고주파 특성-감쇄, 지연, 임피던스-등이 자세하게 분석되고 연구되어야 한다. 본 논문에서는 고속 전력선 통신용 1MHz~30MHz 주파수 대역 옥내 저압 전력선 (220V) 임피던스를 측정하였다. 벡터 회로망 분석기와 저압 전력선 결합 장치(coupling unit)를 이용하여 임피던스를 측정하였다. 결합 장치를 T형 등가회로로 바꾸어, 전체 회로에서 얻은 산란계수를 이용하여 저압 전력선 임피던스를 구했다. 제안된 방법으로 표준 한국형 저층 연립 아파트에 대한 임피던스를 측정하고, 그 특성을 분석하였다. 또한 임피던스 정합을 위하여 평균 임피던스를 구하였고, 측정결과 평균 임피던스는 약 100Ω이었다.

## Abstract

Since powerline for powerline communications (PLC) is designed for supplying electric power using 60 Hz wave, they will have different electrical behaviors for high data rate PLC whose bandwidth is allocated between 1 MHz and 30 MHz. Thus, it is necessary to investigate the different properties in this frequency bandwidth for the high data rate PLC. In this paper, low voltage (220V) powerline impedance for indoor high data rate PLC in between 1 MHz and 30 MHz is measured. For measurement, a low voltage coupling unit is made and a vector network analyzer is used. A T-equivalent circuit of the low voltage coupling unit is obtained and then powerline impedance is derived by measuring the reflection coefficient of the total powerline network. With the method proposed, impedance is measured in case of a general korean apartment and its property is analyzed. Measurement shows that the average impedance is about 100 Ω.

**Keywords :** Powerline communications (PLC), indoor powerline impedance

## I. 서 론

전력선 통신(Powerline communications: PLC)은 이미 광범위하게 구축되어 있는 전력선들을 통신망으로 사용할 수 있고, 전력선이 연결된 어느 곳에서나 손쉽게 통신이 가능하므로 고속 홈 네트웍, 그리고 고속 인터넷 접속을 위한 최적의 방법으로 급부상하고 있다. 현재 고속 전력선 통신을 위해서 1MHz~30MHz 주파

수 대역을 사용한다.

전력선 통신의 가장 큰 어려움은 통신 매체인 전력선(powerline)이 원래 60Hz의 저주파 신호를 공급하기 위해 최적으로 설계되었기 때문에, 고속 전력선 통신을 위한 1MHz~30MHz까지의 주파수 대역에서는 전력선이 전기적으로 많은 다른 특징을 갖는다. 특히, 전력 전송을 위해 최적으로 설계된 선로는 고주파에서는 많은 선로 감쇄와 지연 현상 등에 의해 매우 열악한 통신 환경일 것으로 추정된다. 따라서 고속 전력선 통신을 위해서는 전력선의 고주파 특성-감쇄, 지연, 임피던스-등이 자세하게 분석되고 연구되어야 한다<sup>[1][2]</sup>.

\* 정회원, 한국전기연구원  
(Korea Electrotechnology Research Institute(KERI))  
접수일자: 2004년6월21일, 수정완료일: 2004년7월10일

본 논문에서는 시간과 부하에 따라 변화되는 옥내 저압 전력선의 임피던스에 대한 연구가 이루어졌다. 현재까지 미국, 유럽에서의 옥내 저압 평균 임피던스는 측정되어 발표된 바가 있지만 아직 국내 경우에 대해서는 연구되어 발표되지 않았다<sup>[3]</sup>. 기존의 임피던스 측정 방식은 임피던스 분석기를 이용하거나, 회로망에서 ABCD 변수를 측정하여 임피던스를 얻었다<sup>[4][5]</sup>.

본 논문에서는 벡터 회로망 분석기를 이용하여 간단하게 옥내 저압 임피던스를 측정하는 방법을 제시하며, 제시된 방법을 통하여 표준 국내형 연립 주택에서의 평균 임피던스를 구하는 방법을 제시하고자 한다.

## II. 본 론

### 1. 이 론

#### 가. 옥내 저압 전력선망

그림 1은 옥내 저압 전력선의 간단한 배치도와 임피던스 측정 방법을 나타내고 있다. 주상 변압기를 거쳐 옥내로 인입된 전력선은 분전함의 차단기(Circuit break panel)를 통하여 옥내로 전원이 공급된다. 그림에서처럼 두 선으로 된 전력선의 경우 직접 계측장비를 사용하여 측정이 어려우므로 전력선에서 고주파 신호를 결합시키기 위한 결합 장치가 필요하다. 그림에서는 Outlet과 계측기 사이에 저압 전력선 결합기(Coupler)를 사용하였다.

그림 2는 그림 1의 저압 회로망을 모델링한 것이다. 전력선 임피던스는  $Z_{220V}$ 로 표시하였고, 전력선 결합기의 산란계수는 회로망 분석기를 사용하여 얻어진다. 여기서 결합기가 가역성 (즉,  $S_{12}=S_{21}$ )이라면, 결합기는 간

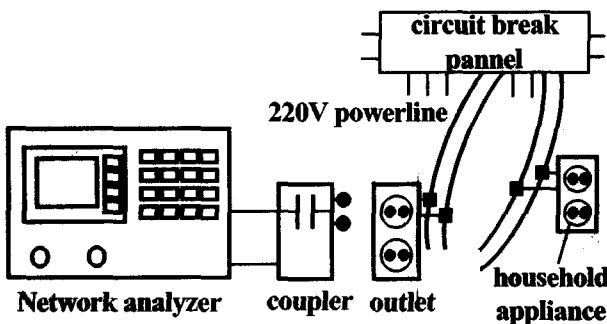


그림 1. 옥내 저압 전력선 배선망 및 임피던스 측정 구성.

Fig. 1. Indoor low voltage powerline distribution and impedance measurement setup.

단히 T형 등가회로로 표현이 가능하다. 등가회로의 임피던스  $Z_{11}, Z_{12}, Z_{21}$ , 그리고  $Z_{22}$ 는 회로망 분석기를 사용하여 구한 결합기의 산란계수로부터 구할 수 있다<sup>[6]</sup>. 그림 2(b)에 전체 저압 전력선 측정 시스템의 등가회로를 표시하였다.

회로이론으로부터 그림 2(b)에서 저압 전력선의 임피던스가 다음과 같이 얻어진다. 우선 회로망의 전체 임피던스  $Z_{total}$ 을 구하면,

$$Z_{total} = Z_0 \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} = Z_1 + Z_2 \parallel (Z_3 + Z_{220V}). \quad (1)$$

여기서,

$$Z_2 \parallel (Z_3 + Z_{220V}) = \frac{Z_2 \cdot (Z_3 + Z_{220V})}{Z_2 + Z_3 + Z_{220V}}, Z_0 = 50\Omega \quad (2)$$

을 말한다. 식 (1)로부터 저압 전력선의 임피던스는 다음과 같다.

$$Z_{220V} = \frac{Z_2 Z_3 (1 - S_{11}) + (Z_2 + Z_3)(Z_1 - Z_0 - S_{11}(Z_1 + Z_0))}{((Z_1 + Z_2)(S_{11} - 1) + Z_0(S_{11} + 1))}. \quad (3)$$

식 (3)으로부터 전력선의 임피던스는 결합기의 산란계수로부터 얻어지는  $Z_1, Z_2, Z_3$ 와 전체 회로의 반사계수  $S_{11}$ 에 의해서 결정됨을 알 수 있다.

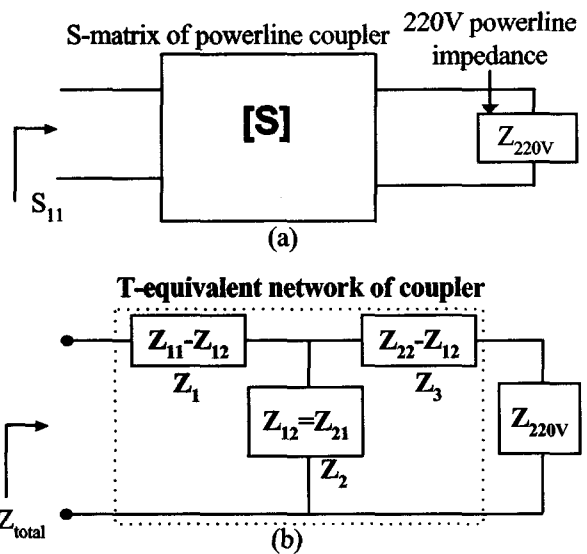


그림 2. 옥내 저압 회로망의 등가회로.

(a) 저압회로망, (b) 등가회로.

Fig. 2. Equivalent circuit of indoor powerline distribution network. (a) indoor powerline distribution network, (b) equivalent circuit.

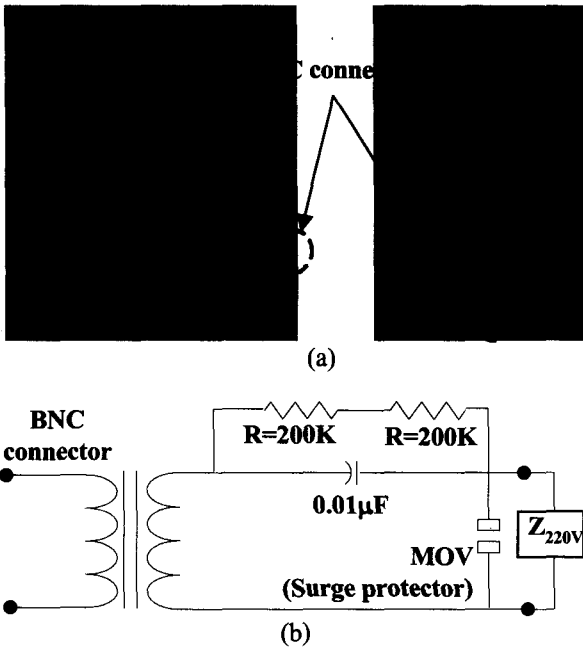


그림 3. 옥내 저압전력선 결합기. (a) 제작된 저압 전력선 결합기 사진. (b) 저압 전력선 결합기 내부 회로도.

Fig. 3. Coupling unit for indoor low voltage poweline. (a) Photograph of the coupling unit. (b) Circuit of the coupling unit.

나. 저압 전력선 결합기

(Low voltage powerline coupling unit)

그림 3에 옥내 저압 전력선 임피던스 측정을 위한 결합 장치를 보였다. 결합기는 고주파를 통과시키기 위한 커패시터 외에 트랜스포머 등으로 구성되었다. 트랜스포머는 계측기 (50Ω)와 아울렛 사이의 광대역 매칭 발룬 (Balun) 역할을 한다.

결합기는 그림에서 보이는 것과 같이 전력선에 쉽게 결합될 수 있도록 아울렛(outlet)에 연결되는 부분은 일반 전원선 플러그와 같은 모양으로 되어 있고, 다른 부분은 계측기와의 연결을 위하여 BNC 커넥터로 구성되었다.

그림 4는 결합기의 투과특성을 보이고 있다. 투과 특성을 측정하기 위해 벡터 회로망 분석기 HP 8753D를 사용하였다. 그림에서 보는 것과 같이  $S_{12}=S_{21}$ 이므로 결합기는 가역성임을 알 수 있다. 따라서 이 결합기는 T형 등가회로로 바꿀 수가 있으며, 또한 앞 절에서 유도된 식 (3)을 이용하여 저압 전력선 임피던스를 얻을 수 있다. 그림으로부터 결합기에서 약 1~2 dB 정도의 감쇄가 생기는데 이는 결합기 자체가 가지고 있는 저항 성분 때문이라 생각된다.

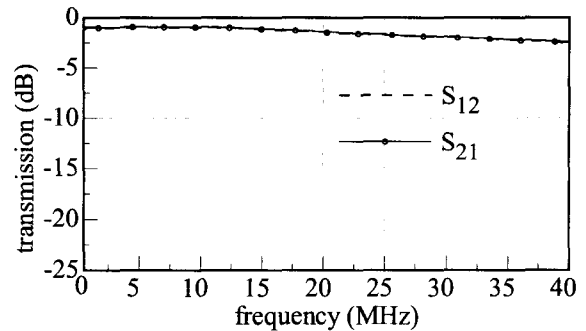


그림 4. 저압 전력선 결합기의 투과 특성.  
Fig. 4. Transmission coefficient of the coupling unit.

2. 임피던스 측정

저압 전력선의 임피던스는 장소와 시간, 계절에 따라 변화될 것이다. 즉 단독 주택, 아파트, 사무실 등 장소가 바뀔에 따라 다른 전기기기를 사용하고 있고, 분전반의 형태가 달라 평균 임피던스는 약간의 차이를 보일 것이다. 또한 전기기기의 소비가 많은 저녁 무렵의 임피던스와 한가한 오후 시간대의 임피던스가 달라질 것이다. 그러나 본 논문은 저압 전력선의 임피던스 측정 방법과 그 특성에 대한 연구를 목표로 하므로, 위에서 언급된 다양한 경우에 대한 조사는 본 연구에서는 다루지 않는다.

가. 측정방법의 검증

우선 앞 절에서 제안된 방법의 검증을 위해서 다음의 두 가지 방법을 실시해 보았다. 첫 번째는 가변 저항을 본 논문에서 제시한 방법을 사용하여 측정해 보았다. 그림 5에는 가변 저항을 102Ω (멀티 미터로 측정된 저항값)으로 놓고 측정한 값이다. 20MHz 이하 대역에서는 거의 일치하지만, 주파수가 높아질수록 약간의 차이가 있음을 알 수 있으나 거의 일치함을 보여준다.

두 번째는 참고문헌 [7]의 식 (1)-(3)에서 제시한 방법으로 구한 값과 비교하였다. 그림 6은 언급한 두 결과를 비교한 것이다. 두 결과는 동일하게 일치함을 알 수가 있다. 이 그림에서의 파선은 그림 2(a)에 나와 있는 전체 회로망의 반사계수를 가리킨다.

따라서 위의 두 결과로부터 본 논문에서 제시된 방법이 옳음을 확인할 수 있다.

나. 평균 임피던스

본 연구에서는 한국전기연구원 직원 아파트를 대상으로 저압 전력선의 임피던스를 측정하였다. 연구원 아

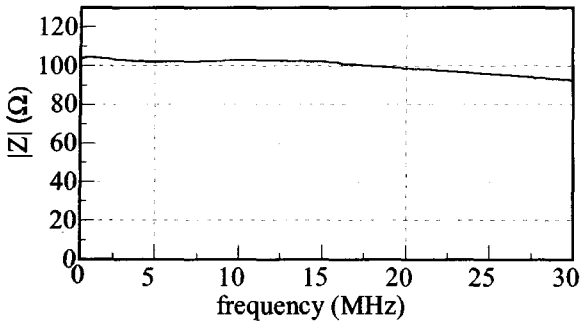


그림 5. 저압 전력선 결합기를 사용하여 가변저항 102Ω 측정결과.  
Fig. 5. Measurement of 102 Ω variable resistor using the coupling unit.

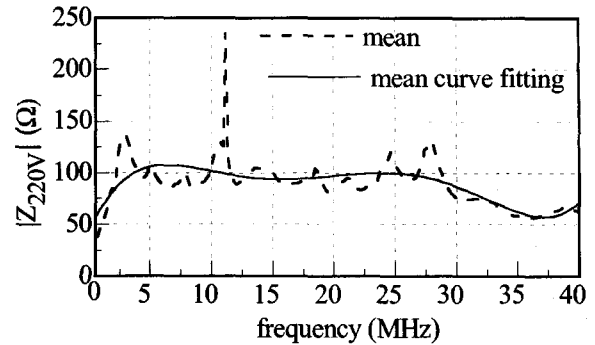


그림 7. 전체 아파트의 임피던스 산술 평균값과 산술 평균값의 다항식 curve fitting 결과.  
Fig. 7. Average impedance and its polynomial curve fitting.

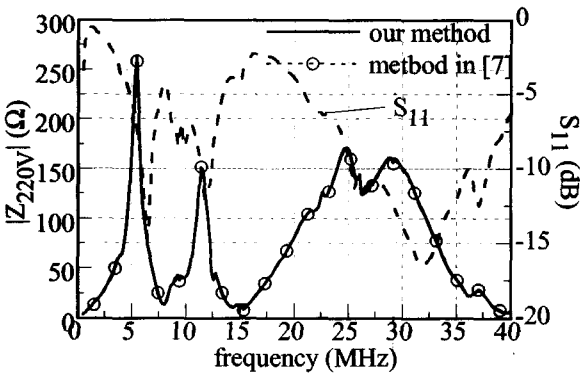


그림 6. 본 논문에서 제시한 방법과 [7]의 임피던스 측정 방법을 비교한 결과. S<sub>11</sub>은 그림 2(a)의 회로망 전체 반사계수.  
Fig. 6. Comparison between the measurement method proposed and that in [7]. The reflection coefficient, S<sub>11</sub> is that of the total network in Fig. 2(a).

파트는 5층으로 되어 있고 30평형, 24평형, 17평형이 있다. 임피던스 측정을 위해서 벡터 회로망 분석기 HP 8753D 와 그림 3의 저압 전력선 결합기가 사용되었다. 다양한 특성을 얻기 위해 여러 시나리오를 가정하여 측정하였다. 특히 가정에서 사용되는 다수의 가전기기를 연결하여 측정하였다.

시간에 따라 사용하는 가전기가 달라 부하의 임피던스가 변화하므로, 측정은 오전, 오후, 저녁 시간으로 나누어 이루어졌다. 또한 부하(가전기기)를 임의적으로 첨부시켜 가면서 측정하였다. 30평형, 24평형, 17평형 각각의 경우에 대해 측정된 임피던스를 이용하여 전체 임피던스의 산술적인 평균을 얻었다. 측정은 사흘동안 주기적으로 이루어졌다. 시간이나 계절상의 측정 오차가 있을 수 있으나, 전체 임피던스의 특성에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 가정한다.

그림 6은 여러 측정 결과 중의 하나이다. 그림에는 저압 전력선 임피던스와 전체 저압 전력선 회로망의 반사계수를 나타내었다. 두 결과로부터 0.5MHz~30MHz 범위 내에서는 세 곳에서 공진이 일어남을 알 수 있다. 이러한 공진은 저압 전력선의 길이, 사용 전자 기기에 따라 얻어지는 용량성 부하의 크기가 달라지기 때문에, 각 평수의 방마다 각각 다른 주파수에서 생긴다. 이러한 현상에 대한 모델링은 참고문헌 [7]을 참고할 수 있을 것이다.

그러나 측정 아울렛(Outlet)에 연결되는 부하들, 특히 전력선 통신에 치명적인 영향을 주는 용량성 부하가 큰 부하 (예를 들면 헤어 드라이어) 들이 동일 전력선에 있지 않다면 이러한 부하들의 영향이 임피던스에는 직접적으로 전달되지 않음을 관찰했다. 또한 그림은 측정된 아울렛에서의 반사 특성을 보이고 있는데, 측정 주파수 대역 내에서 많은 기복이 있음을 보이고 있다. 즉, 고속 전력선 통신 주파수 대역인 1MHz~30MHz대역에서의 임피던스 정합 방법에 있어서 어려움을 짐작할 수가 있을 것이다.

그림 7은 연구원 아파트에서 측정된 전체 임피던스의 산술 평균값을 구한 값을 나타내었다. 또한 [3]에서 처럼 산술 평균값을 다항식 Curve fitting하여 얻은 그래프를 보인다. 산술 평균값은 측정량이 작아 날카로운 부분이 남아 있음을 확인할 수 있다. 그러나 평균값을 다항식 Curve fitting하므로 1MHz~30MHz 대역에서의 평균 임피던스는 약 100Ω정도임을 알 수 있다. 이 값은 유럽과 미국의 임피던스 80Ω에서 90Ω 사이보다는 조금 높다. 그러나 측정 결과에 있어서는 유럽과 미국에서 측정된 임피던스 값들과 비슷한 경향을 나타낸다. 즉, 주파수가 높아질수록 임피던스는 증가하다 감소하는 특

성을 갖는다. 특히 25MHz 이상이 되면 임피던스가 참고 문헌 [3]처럼 떨어지는 현상을 보이고 있다.

### III. 결 론

저압 전력선의 임피던스의 측정방법을 제시하였고, 한국형 연립 주택의 평균 임피던스는 약 100Ω임을 얻었다. 이 결과는 저압 전력선의 임피던스 정합에 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 전력선의 잡음, 감쇄 특성을 분석하기 위한 중요한 자료로 사용될 수 있다. 향후 계획으로 시간에 대한 임피던스의 변동, 장소에 따른 임피던스의 변동 사항들이 지속적으로 연구되어야 한다.

### 참 고 문 헌

[1] K. Dostert, Powerline Communications, Prentice-Hall:USA, 2001.

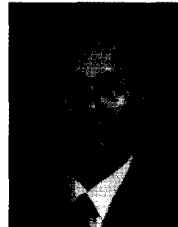
[2] R. M. Vines, et al., "Impedance of the residential power-distribution circuit", IEEE Trans. Electro-magn. Compat., vol. EMC-27, No. 1, pp. 6-12, 1985.  
 [3] J. A. Malack and J. R. Engstrom, "RF impedance of united states and European powerlines", IEEE Trans. Electromagn. Compat., pp. 36-38, 1976.  
 [4] 박지훈, 고속 데이터 통신을 위한 전력선 통신에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교, 2002.  
 [5] J. P. L. N. Neto, S. Tsuzuki, Y. Kawakami, Y. Yamada, "In-door power-line impedance measurement up to high frequency (10 kHz-70MHz)", 7th International Symp. Powerline communications (ISPLC03), pp. 243-247, Kyoto, Japan, 2003.  
 [6] D. M. Pozar, Microwave Engineering, Addison Wesley, Ch. 5, 1998.  
 [7] H. Philipps, "Performance measurement of power-line channels at high frequencies", International Symp. Powerline communications (ISPLC98), pp. 229-237, 1998.

### 저 자 소 개



**박 영 진**(정회원)  
 2002년 11월~현재 한국전기연구원 전기정보망 기술연구 그룹 근무.

<주관심분야: Impulse radio propagation, UWB Image radar, Digital Beam Forming, Powerline communications(PLC)>



**김 관 호**(정회원)  
 1978년 숭전대학교 전자공학과 (공학사).  
 1980년 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사).  
 1980년~1983년 한국전력공사.  
 1983년~현재 한국전기연구원 전기정보망 기술연구그룹장.

<주관심분야: 전파통신, 전력선통신시스템, 무선 에너지전송, UWB레이더 및 센서>

