

옥내 전력선망 분석을 위한 전력선 모델링과 사례 연구

김원호, 황보훈, 나완수, 박일한, 김병성, 김창섭\*  
 성균관대학교 전자전기공학과, 한국산업기술대학교 에너지대학원

Power Line Modelling and Case Study for Indoor Power Line Network Analysis

Wonho Kim, Hoon Hwangbo, Wansoo Nah, Il-han Park, Byung-Sung Kim, Chang-Seob Kim\*

Department of Electronic and Electrical Engineering, Sungkyunkwan University

\*Graduate School of Knowledge-Based Technology and Energy, Korea Polytechnic University

**Abstract** - For the analysis of domestic indoor power line network, we defined parameters of transmission line and simulated it. We conducted the case study which shows the general characteristics of KSC3302 power line. We will develop software for indoor power line network analysis.

같다.[3]

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (1)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (2)$$

1. 서 론

전력선 통신(PLC, Power Line Communication)은 전력선을 통신채널로 사용하는 통신시스템으로써 별도의 추가비용 없이 통신망의 구성이 가능하고 전력선이 연결된 곳이라면 어디서든 통신이 가능하다는 점에서 이상적인 통신시스템이라 할 수 있다. 따라서 이러한 장점들 때문에 전력선 통신에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 상태이다.

여기서  $\omega$ 는 각주파수이다. 전달상수의 실수부  $\alpha$ 와 허수부  $\beta$ 는 각각 감쇄상수[Np/m]와 위상상수[rad/m]이다.

전송선로로서 모델링된 전력선의  $\gamma$ 와  $Z_0$ 는 다음 절에서 옥내전력선에 대해서 유도된다.

2.1.2 전송선로 파라미터 정의

가. 저항

교류전류가 흐르는 도선의 skin effect는 도선의 저항 증가를 야기하고 주파수가 올라갈수록 악영향을 미친다. 이때의 skin depth ( $\delta$ )는 주파수의 함수이고 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_c \sigma_c}} \quad (3)$$

여기서  $\sigma_c$ 와  $\mu_c$ 는 각각 도체의 conductivity와 permeability이다. 본 논문에서 적용한 전력선은 단심(solid core) 도체이므로 연선(stranded) 도체의 경우는 다루지 않는다. two-wire 전송선로에 대해서 단위길이당 저항은 다음과 같이 얻어진다.[3]

2. 본 론

2.1 옥내 전력선망의 특성

옥내 전력선망의 분석을 위해서는 우선 전송선로의 특성이 먼저 정의 되어야하며 망의 종단부에 연결된 다양한 부하 변동 특성에 대한 이해가 필요하다.

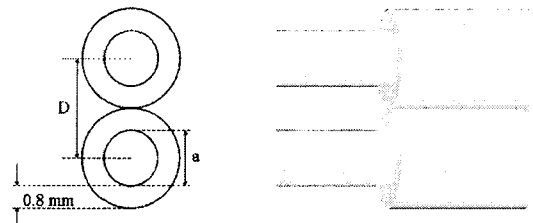
2.1.1 전력선의 전송선로의 특성

전력선을 이용해 신호를 전송하는 방법으로는 전력선 하나를 신호 선으로 중성선을 접지로 이용하는 대지귀로 방식과 전력선 두 개를 신호 및 접지로 이용하는 금속귀로 방식이 있으며 본 논문에서는 후자의 경우를 이용하였다. 이 경우 하나의 전력선은 신호 선으로 쓰이고 다른 하나는 접지선로 사용되기 때문에 통신에 사용되는 전력선을 two wire 전송선로로서 가정할 수 있다.[4]

$$R = \frac{1}{\pi a} \sqrt{\frac{\pi f \mu_c}{\sigma_c}} \quad \text{Ohm/m} \quad (4)$$

여기서  $a$ 는 도체의 직경이다.

Two wire 전송선로에서 R, L, G, C에 대한 정의는 다음과 같다.



- R : 단위길이당 저항 [Ω/m]
- L : 단위길이당 인덕턴스 [H/m]
- G : 단위길이당 컨덕턴스 [S/m]
- C : 단위길이당 캐패시턴스 [F/m]

집중소자 회로의 전송선로에 대한 두 가지 고유 선로 파라미터 즉 전달 상수  $\gamma$ 와 특성 임피던스  $Z_0$ 는 다음과

그림 1. 옥내전력선으로 쓰이는 단선(KSC3302) 두 가닥의 단면(a=1.6, D=3.2; a=2.0, D=3.6 단위:mm)

**나. 인덕턴스**

Two-wire 전송선로의 단위길이 당 인덕턴스는 각 도체가 자기 인덕턴스를, 각 도체 사이에 상호 인덕턴스를 가지고 있다. [3]으로부터 한 도선에 대한 자기 인덕턴스는 다음과 같다.

$$L_s = \frac{\mu_c}{8\pi} \quad \text{H/m} \quad (5)$$

또한 평행한 도선 쌍에 대한 상호 인덕턴스는 다음과 같다.

$$L_m = \frac{\mu_c}{\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{D}{a}\right) \quad \text{H/m} \quad (6)$$

여기서  $D$ 는 도선간의 거리이다. 도선의 전체 인덕턴스는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L = 2L_s + L_m \quad \text{H/m} \quad (7)$$

**다. 커패시턴스**

Two-wire가 같은 도선 직경일 때 단위길이 당 커패시턴스는 다음과 같이 나타낼 수 있다. [2]

$$C \cong \frac{\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{D}{a}\right)} \quad \text{F/m} \quad (8)$$

여기서  $\epsilon$ 은 도선 사이의 유전체와 공기의 등가유전율이다.

**라. 컨덕턴스**

매질이 균등질(homogeneous)이라고 가정하면 [3]으로부터 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\frac{C}{G} = \frac{\epsilon}{\sigma} \Rightarrow G = \frac{\sigma\epsilon}{C} \quad (9)$$

여기서  $G$ 는 도선 사이 유전체의 컨덕턴스이다. 이상에서 구한  $R, L, G, C$  값을 모의실험에 적용하였다.

**2.1.3 전송선로 종단부의 특성**

옥내 전력선의 특성은 자체의 특성 임피던스가 아니라 전력선에 연결되어 있는 전기기기에 의해 결정되기 때문에 전력선망의 종단부의 부하에 따라 망 전체의 특성 임피던스는 가변적으로 나타난다. 옥내 전력선 망에서 전송선로의 종단부 부하의 가변성은 해석을 어렵게 하는 주요인이다.

**2.2 옥내 전력선망에 대한 사례 연구**

그림 3에서 보이는 배선도를 보면 조명을 위한 전력선과 가전기기를 위한 전력선에 서로 다른 종류의 전력선-직경이 1.6이라 표시된 조명기기 배선과 2.0이라 표시된 가전기기용-으로 구분되어 배선되어 있음을 알 수 있다.

현실적으로 종단부에 어떤 부하도 없거나 전부 있는 경우는 드물지만 비교를 위해서 제시하였다. 이 값을 토대로 그림2에서 제시한 옥내배선도에 대해서 전등의 스위치와 콘센트의 위치에 포트를 설정하고 모의실험 하였다. 스위치나 콘센트의 open-stub 효과는 무시하였다.

본 논문에서 적용한 전력선은 옥내배선에 사용되는 KSC3302 규격의 염화비닐절연전선으로 단선의 직경은 1.6mm, 2.0mm, 유전체의 두께는 0.8mm, 유전상수는 3.5

이다. 주파수 범위 1~30MHz에서 중심주파수 15MHz로 모의실험 하였다.

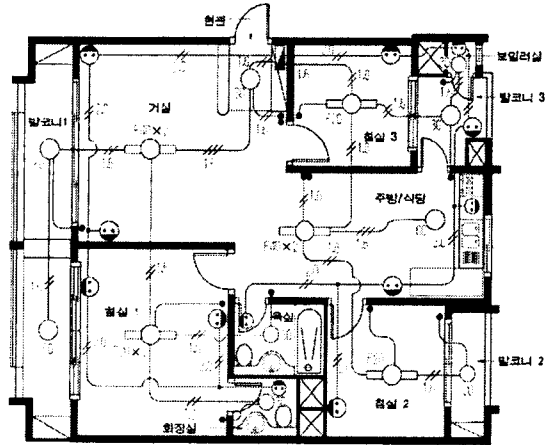


그림 2. 실제 옥내 전력선망

본 논문에서는 중심주파수에서 계산된 전력선의 특성 임피던스는 각각 93.5Ω, 85.4Ω이고 전력선의 임피던스에 대한 선행 논문[4]에 의하면 표준 한국형 저층 연립아파트의 옥내배선에 대한 평균 임피던스는 약 100Ω이다. [4]

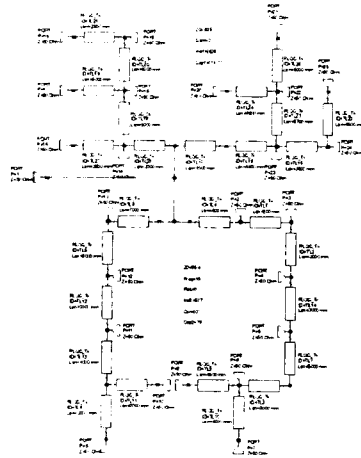


그림 3 무부하시 전체 옥내 배선망에 대한 회로도

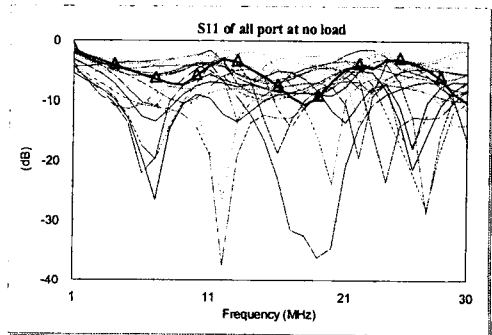


그림 4 전체 옥내 배선도의 모든 포트에서 바라본 반사계수(-은 배전반에서의 반사계수)

1MHz 미만의 협대역과는 달리 1~30MHz의 광대역 채널에서는 상대적으로 잡음은 적으나 표면효과에 의한 주파수 감쇄가 크고 선택적인 주파수 왜곡 현상을 보인다.

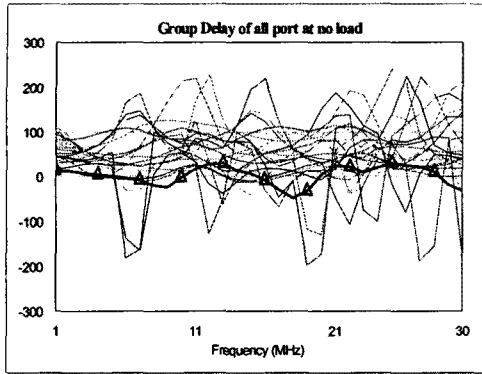


그림 5 군지연(Group delay)의 통계적 특성  
(△은 배전반에서의 본 군지연)

군지연이 크면 통과되는 주파수대역의 주파수마다 위상 관계가 조금씩 더 틀어진다는 것이며, 결국 이것은 신호의 왜곡으로 나타나게 된다. 배전반에서의 군지연은 전반적으로 일정한 범위내의 군지연 특성을 보이나 일부 포트에서 심한 왜곡이 일어남을 알 수 있다.

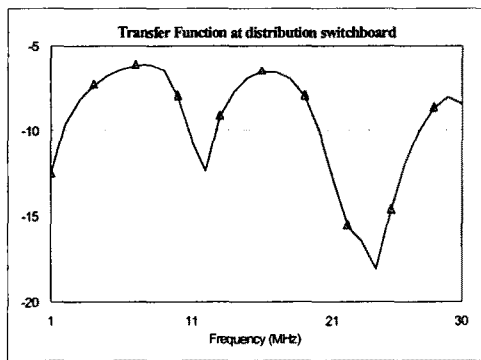


그림 6 옥내 전력선망에 대한 전달함수의 크기

그림 6에 전체 옥내 전력선망에 대한 전달함수의 크기를 보였다. 24MHz에서 낮은 전달 특성을 보인다.

### 2.3 다중 분지 선로의 전송 특성 해석

옥내 전력선은 전원 주파수대역에서는 거의 단락회로로 동작하나, 통신용 주파수에서는 파장이 짧아져 입사와 반사가 발생하는 전송선으로 모델링된다. 전송선에서는 부하단 임피던스와 전송선의 특성 임피던스의 차이가 클 경우 반사파가 크게 발생하고, 현실적으로 그림 2와 같이 다중 분지되어 있는 경우에는 다중 경로 효과가 나타나 그림 4와 같이 심각한 페이딩 현상이 나타난다.

전력선 통신선로의 수신전력 약화에는 여러 가지 요인이 있는 것으로 알려져 있다. 그 중에서도 가장 큰 원인은 사용하지 않는 포트에서 반사된 신호에 의한 다중 경로 페이딩 현상과 송수신단 임피던스 부정합에 의한 실효 구동 전력의 저하를 들 수 있다. 실제 현장에서 관찰

되는 이러한 현상을 예측하고 대책을 마련하기 위해서는 다양한 분지선로에 대해 정확한 채널특성 해석을 할 수 있는 시뮬레이션 도구가 필수적이다.

## 3. 결 론

우리나라 가정에서 쓰이는 전력선의 전송선로 파라미터를 정의하고 사례연구를 통해 모의실험을 함으로 전력선망의 특성을 분석하였다.

전력선망은 통신전용 선로와 달리 각 노드의 부하임피던스가 가변적이므로, 단일 임피던스 부하에 대한 전송 특성 예측만으로는 부족하다. 향후 일반 가정용 부하 임피던스의 통계적 모델을 수립하고 이를 이용하여 전송 특성을 통계적으로 처리하여 최악의 전송특성 및 통신 장애 노드를 예측할 수 있도록 한다.

## 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 성장 동력 기술개발사업인 B PL 채널 기술개발사업을 통해 이루어졌으며 이에 감사사를 드립니다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Hrasnica, *Broadband Powerline Communications: Network Design*, John Wiley & Sons, Inc., 2004
- [2] C. R. Paul, *Analysis of multiconductor transmission lines*, John Wiley & Sons, Inc., 1994
- [3] D. K. Cheng, *Fundamental of Engineering Electromagnetics*, Addison-Wesley, 1993
- [4] 천동완·이진택·박영진·김관호·신철재, "전력선 통신 시스템의 입력 임피던스 계산", 한국통신학회논문지, 29권9A호, 983-990, 2004.9
- [4] 박영진, 김관호, "고속 전력선 통신용 옥내 저전압 전력선 임피던스 측정 및 특성 연구", 전자공학회는문지, 제42권8호, 93-97, 2004.8
- [5] J. Dickinson, P. J. Nicholson, "Calculating the high frequency transmission line parameters of power cables", 1st Int. Symp. Power-Line Communications and its Applications (ISPLC 97), Apr. 1997, pp.127-133
- [6] Masaoki Tanaka, "High frequency noise power spectrum, impedance and transmission loss of power line in Japan on intrabuilding power line communications", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.34, No.2, MAY 1988