

# PLC(Power-Line Communication)를 위한 채널 잡음 특성 분석

김정훈\* · 김선효\*\* · 이영철\*

\*경남대학교 정보통신공학과

\*\*거창 기능대학 전자과

## The Analysis of Channel Noise Characteristics for Power-Line Communication

Jeong-Hun Kim\* · Seon-Hyo Kim\*\* · Young-Chul Rhee\*

\*Div. of Information & Comm. Eng., Kyungnam University

\*\*Div. of Electronic Engineering, Keochang Polytechnic college

E-mail : windy0407@hanmail.net , micropt@kyungnam.ac.kr

### 요 약

본 논문은 주파수 범위가 0~30MHz에서 전력선 통신 채널상에 나타나는 잡음에 대한 실험적인 특성 및 수치계산에 의한 이론적인 근거를 전력선 채널 파라미터의 스펙트럼상의 잡음밀도 측정으로부터 유도하였으며, 거리에 따른 채널 모의실험을 통해서 나타난 잡음 특성을 이론적인 정보 전달 범위에서 비교·분석하였다.

### I. 서 론

정보화의 급속한 발달과 인터넷의 보급과 더불어 대용량(High capacity) 및 고속(High speed)정보를 신속하게 전송하고자 하는 요구를 충족시키기 위하여, 가입자에 대한 전송속도와 품질 등, 전송선로에서의 고속 전송 기술이 새로운 과제로 등장하였고, 고속 전송 기술이 발전됨에 따라 전송 매체인 전송선로에서의 정확한 채널 분석이 요구된다[1][2]. 가정 자동화 및 사무 자동화의 발전에 따라 실내에서의 데이터 통신 사용이 급증함으로 선로의 설치가 필요 없는 전력선 통신이 요구되며 건물 내·외부에 설치된 무수한 콘센트를 통하여 쉽게 접근할 수 있기 때문에, 별도의 배선 공사를 하지 않아도 된다는 장점이 있다[3]. 전력선은 데이터 전송을 목적으로 만들어진 전송선로가 아니기 때문에 데이터 손실, 회선과의 간섭, 잡음, 부하저항, RFI(Radio Frequency Interference)등으로 인한 많은 변화가 생길 수도 있다[4]. 이 중에서 다양한 레벨을 가지며 전력선에 영향을 미치는 잡음은 전력선을 이용한 데이터 통신에서 발생하는 여러 특성에 대한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 주파수 범위가 0~30MHz에서 전력선 잡음 스펙트럼에 대한 실험과 분석을 하였다[5].

### II. 전송선로 및 전달 특성 파라미터 분석

적절한 통신 시스템의 연구와 전력선 통신 네트워크에서는 정해진 주파수 범위에서 전달 특성의 근본적인 해석이 필요하다. 전력선에서 복합적인 전달함수는 고려되어진 주파수 범위 내의 파라미터 모델에 의해 산란 파라미터(S-parameter) 매트릭스 또는 임피던스(Impeadance)와 어드미턴스(Admitance) 매트릭스를 사용한 요소들에 의해서 나타낸다[6].

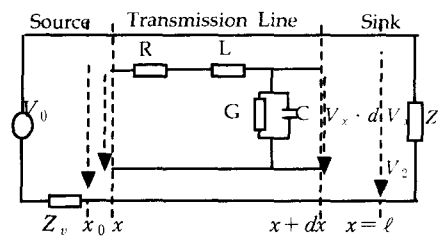


그림 1. 전송선로에서 신호 전달

그림 1은 전송선로를 등가회로로 분석했을 때의 신호전달을 보여주고 있다. 전송선로 이론에 따라 전압과 전류로 묘사하면 다음과 같다.

$$V(x) = V_2 \cosh(\gamma x) + I_2 Z_L \sinh(\gamma x) \quad (1)$$

$$I(x) = I_2 \cosh(\gamma x) + \frac{V_2}{Z_L} \sinh(\gamma x) \quad (2)$$

위에서 묘사한 파라미터들을 특성 임피던스  $Z_o$ 과 전파상수  $\gamma$ 로 다시 표현하면, 다음과 같다.

$$Z_o = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (3)$$

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (4)$$

정합된 전송선로를 고려하면, 길이가  $l$ 인 선로의 전달 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

그림 1.의 구성도를 일반적인 채널로 묘사하여 나타내면 그림 2.와 같다.

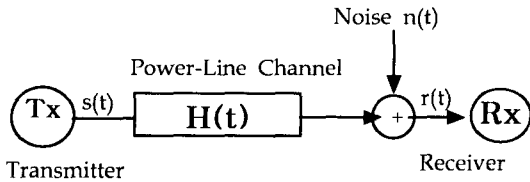


그림 2. 일반적인 채널 모델

전송선로에서 단위길이 당 인덕턴스와 커패시턴스는 다음과 같이 나타내며, 단위길이 당 레지스턴스는 표피효과에 의해 좌우되고, 단위길이당 콘덕턴스는 주로 유전체 물질의 분산계수에 의해 영향을 받는다[7].

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\gamma}{a} \quad (6)$$

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{a}{r} \quad (7)$$

$$R = \sqrt{\frac{\pi \mu_0}{k r^2}} f \quad (8)$$

$$G = 2\pi f C \tan \delta \quad (9)$$

전력선 통신에 적용하기 위하여 MHz 범위에서의 감쇠정수들을 구하기 위한 전파상수, 케이블 손실들의 실수 부분은 다음과 같이 묘사될 수 있다.

$$\alpha(f) = a_0 + a_1 \cdot f^k \quad (10)$$

다중 경로 전파와 주파수와 길이에 의존하는 감쇠는 다음과 같이 표현할 수 있다[8].

$$H(f) = \sum_{i=1}^N (g_i(f))^{r_i(f)} \exp[-(a_0 + a_1 f^k) d_i] \exp[-j2\pi f \tau_i] \quad (11)$$

크기 계수  $g_i$ 는 반사와 전파 경로에 따른 전송 계수로 이루어지며 지연  $\tau_i$ , 경로의 길이  $d_i$ 와 위상 속도  $V_p$ 의 관계가 진공에서의 빛의 속도

$c_0$ 와 절연물질의 유전상수  $\epsilon_r$ 에 의해 다음과 같이 주어진다[9].

$$\tau_i = \frac{d_i \sqrt{\epsilon_r}}{c_0} = \frac{d_i}{v_p} \quad (12)$$

이것은 식 (15)에서 지연  $\tau_i$  대신으로 바꾸어서 최종적으로 다시 표현할 수 있다.

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i \exp[-(a_0 + a_1 f^k) d_i] \exp[-j2\pi f \frac{d_i}{v_p}] \quad (13)$$

### III. 전력선 통신에서의 잡음특성

전력선에는 많은 잡음과 간섭이 존재하며 선로가 완벽하게 구성되어 있지 않기 때문에 데이터 전송에 있어서 많은 영향을 미친다[10].

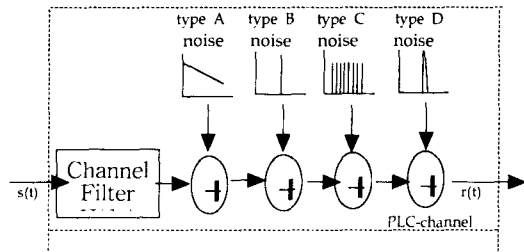


그림 3. 전력선 채널에서의 잡음 구성도

그림 3은 전력선 통신에서의 채널상의 잡음 구성도를 나타낸 것이다. type A noise는 배경잡음(background noise)이고, type B noise는 임펄스 잡음(impulse noise), type C noise는 60Hz 동기 잡음(synchronous noise), type D noise는 협대역 잡음(narrow-band noise)이다. 임펄스 잡음은 전력선의 모든 채널에서 나타나는데 이것은 모든 채널에서 이산 임펄스 응답으로 유도되어 질 수 있다. 전력선에서 전송된 신호는 수신기에 직접적인 경로뿐만 아니라 다양한 경로를 통해서 도달한다. 각 경로는 지연  $\tau$ , 크기  $|\rho|$ , 위상  $\varphi$ 로 묘사할 수 있다[11].

$$h(\tau) = \sum_{i=1}^N |\rho_i| \cdot \exp[j \cdot \varphi_i] \cdot \delta(\tau - \tau_i) \quad (14)$$

채널 특성에 있어서 97% 이상을 차지하고 있는 type A noise인 배경잡음은 주파수가 증가할수록 잡음의 레벨이 감소한다. 배경 잡음의 스펙트럼은 주파수에 함께 존재하고 이것은 단파 무선 대역으로 되거나 또는 협대역 간섭으로 나타난다. 배경잡음 (Background-noise)은 선로에서 항상 나타나고, 이것은 잡음 전력 스펙트럼 밀도(PSD)가 주파수에 의존하는 것으로 보인다. 아래 수식은 잡음의 전력 스펙트럼 밀도 함수를 나타낸 것이다 [12].

$$N(f) = 10^{(K - 3.95 \cdot 10^{-5} \cdot f)} \quad (15)$$

K는 평균적인 가우시안 랜덤변수이고, 아래 수식은 배경잡음의 조건에 있어서 가장 좋은 경우와 좋지 않은 경우의 레벨을 평균적인 값으로 나타낸 것이다[13].

Best case;

$$V_n = 0.0011 \cdot f^2 - 0.2837 \cdot f - 51.122 \text{ (dBv)} \quad (16)$$

Worst case;

$$V_n = 0.0022 \cdot f^2 - 0.4520 \cdot f - 35.9363 \text{ (dBv)} \quad (17)$$

배경잡음은 주파수가 증가할수록 감소한다. 배경잡음의 평균값뿐만 아니라 최소와 최대 배경잡음의 곡선은 주파수가 증가할수록 감소하는 크기를 가지고 또한 지수 함수에 의해 묘사된다.

#### IV. 모의실험 및 실험분석

본 논문에서는 주파수 변화에 대한 채널상의 잡음 레벨의 특성을 모의실험과 실제 측정을 통해서 살펴보았다. 모의실험에서는 전력선 파라미터를 고려하였으며 채널상의 거리와 주파수에 대한 잡음레벨의 변화를 살펴보았다. 주파수 범위는 0~30MHz로 하고, 채널의 길이는 10m~30m의 변화에서 모의실험과 실제 측정을 비교 분석했다. 그림 4는 본 논문의 전력선 채널 특성 실험을 하기 위한 실험 구성도를 나타낸 것이다.

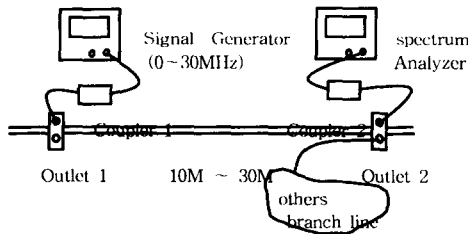


그림 4 전력선 채널 특성 실험 구성도

그림 5은 전력선 통신에서 경로가 4인 경우의 감쇠 특성 파라미터(H(f))를 모의실험을 이용하여 나타낸 결과이다. 그림 6은 전력선에서의 잡음 특성 파라미터(n(f))를 모의실험을 이용하여 나타낸 특성이다. 그림 7은 위 그림에서의 특성, H(f)와 N(f)를 전송선로에 함께 존재한다고 가정했을 경우 모의실험을 이용하여 나타낸 특성이다. 그림 8은 30m범위의 거리에서 실제 측정한 채널의 잡음 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림 9는 배경잡음의 평균적인 스펙트럼 밀도 함수에서 잡음의 레벨이 가장 좋은 경우와 가장 좋지 않은 경우를 비교하여 나타낸 그림이다. 그림은 잡음의 레벨 결과를 동시에 비교하여 나타낸 것인데 두 레벨이 평균적으로 20dB의 차이가 있음을 알 수 있다.

표 2 모의실험 파라미터

Path No.	1	2	3	4
지연(μs)	1.0	1.25	1.76	2.64
채널길이(m)	10	15	20	30
크기계수(g)	0.4	-0.4	-0.8	-1.5
k=0.5(0.2<k<1)	a <sub>0</sub> =0		a <sub>1</sub> =8×10°	

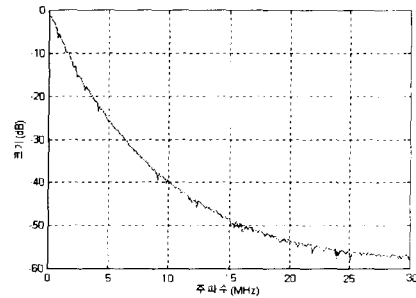


그림 5. 감쇠 특성 파라미터를 이용한 모의실험[path-4, H(f)]

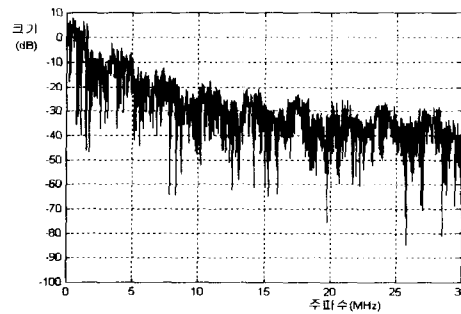


그림 6. 모의실험을 통한 잡음 스펙트럼[N(f)]

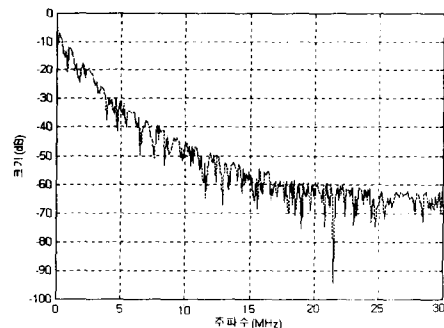


그림7. 모의 실험을 이용한 감쇠특성과 잡음의 상관관계 스펙트럼[H(f) + N(f)]

참 고 문 헌

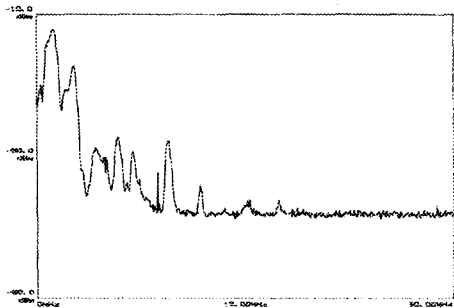


그림 8. 실제 측정된 채널 잡음 스펙트럼

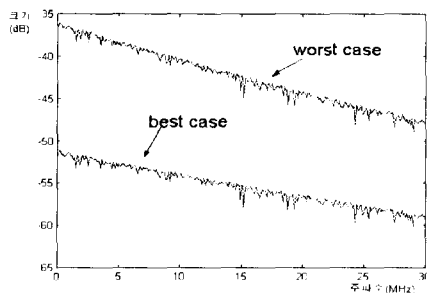


그림 9. 모의실험을 이용한 배경잡음 레벨의 비교

V. 결 론

본 논문은 주파수 범위가 0~30MHz에서 전력선 채널에서의 잡음모델의 연구를 주파수의 변화에 대한 채널 파라미터별로 잡음 스펙트럼 레벨을 통계적인 결과값으로 모의실험과 실험측정을 통해서 나타냈다. 연구한 모델은 두 가지 부분으로 이루어지는데 감쇠 특성과 잡음특성이다. 잡음의 성분들(단파 무선 신호들, 임펄스 잡음, 배경잡음)은 잡음 스펙트럼에서 포함되어 발견될 수 있다. 모의실험을 통해서 나온 결과와 실제 측정된 결과값을 비교하면 어느 정도의 유사함을 알 수 있다. 그렇지만, 실제 전력선은 주파수에 대한 선택적 페이딩이 발생하며, 각종 기기로부터의 고주파가 상당히 포함하게 된다. 이러한 이유로 인하여 모의 실험을 통해서 나온 채널특성의 결과와 실제 측정된 채널 특성을 비교해보면 차이가 남을 알 수 있다. 차후 연구로 이러한 차이의 채널 특성을 좀 더 정확하게 모델링 할 수 있도록 해야 하며, 부하들과 잡음 원천들의 연결 및 연결되지 않았을 때 차이가 나는 원인, 그리고 OFDM이나 CDMA와 같은 변조된 신호를 전력선에 실었을 경우에 따른 데이터의 비트 에러율을 비교, 분석함으로써 전력선에 적용할 수 있는 전송기법의 적용에 대한 연구가 계속 되어져야 할 것이다.

[1] J. W. Lechleider, "Line analysis for digital subscriber lines" IEEE Commun., May, pp.25-32, Sept. 1989.  
 [2]. 박승철, "ADSL과 인터넷 통신," 대한전자공학회 멀티미디어 연구회 멀티미디어 통신기술 워크샵(xDSL 중심), pp, 343-358, 1999.  
 [3] Philipps, H., "Performance measurements of powerline channels at high frequencies", Proceedings of the 1998 International Symposium on Power-Line Communication and its Applications(ISPLCA '98), Tokyo, Japan, p.229-237 March, 1998  
 [4] Manfred Zimmermann, Klaus Dostert, "AMulti-Path Signal Propagation Model for the Power Line Channel in the High Frequency Range"(ISPLCA '2000)  
 [5] Holger Philipps, "Development of a statistical Model for Power-line Communication Channels",  
 [6] H.Y. Kwon, J.C. Park, and G.I. Shin, "Analysis on Data Transmission Rate of Very High Speed Digital Subscriber Loops," Proc. 1998 Int. Wireless and Telecomm Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 11-25 May, 1998  
 [7] Stein buch K., Rupprecht W, Nachricht-enttechnik. Springer-Verlag, 3. Auflage, Berlin 1982  
 [8] E.Yavuz, F.Kural, N.Coban, B.Ercan and M. Safak, "Modelling of Power-lines for Digital Communication", Proceedings of the 200International Symposium on Power-Line Communication and its Applications (ISPLCA '2000)  
 [9] Olaf G. Hooijen and A.J. Han vinck, "On the Channel Capacity of European style Residential Power Circuit" Proceedings of the 1998, International-Symposium on Power-Line Communication and its Applications (ISPLCA '98)  
 [10] O.G.Hooijen, "A Channel Model for the Low Voltage Power-Line Channel; Measurement and Simulation Results," ISPLCA '97, Essen, Germany, April 1997, pp 51-56  
 [11] Olaf G. hooijen and A.J. Han Vinck, "On the Channel Capacity of a European-style Residential Power Circuit" ISPLCA '98,  
 [12] R.M.Vines et al., "Noise on residential Power distribution circuits," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatability, vol.26, no.4, pp. 161-168, Noveember 1984  
 [13] R.C Gallager, Information Theory and Reliable communication. Wiley and Sons, NY, 1968.