

저압 배전선의 고조파 성분이 통신신호에 미치는 영향

이종주·이정훈·서종완·정호성·신명철·박철원  
 성균관대학교 \*원주대학

Effects of Power Line Carrier by Harmonics Source  
 in Low-Voltage Power Distribution Network

J. J. Lee, J. H. Lee, J. W. Seo, H. S. Jung, M. C. Shin, C. W. Park  
 SungKyunKwan University, \*Wonju National College

**Abstract** - 본 논문에서는 전력선을 통신 매체로 한 전력선 통신시 전력선상에 항시 존재하는 전원 주파수의 고조파와 부하로 인한 고조파, 부하 투입시 발생하는 임펄스형 잡음이 통신신호에 미치는 영향과 그 특징을 조사하였다.

통신 신호에 미치는 영향을 측정하기 위하여 모의 실험을 위한 별도의 전력선을 설치하였다. 또한 실제 전력선 통신을 재현하기 위하여 HTH사와 Intelogis사의 전력선 모뎀을 사용하였으며, 고조파 성분과 임펄스형 잡음의 실험을 위하여 인버터, 고조파 발생장치, 스위칭 부하를 설계하여 사용하였다.

1. 서론

최근 들어 저압 배전선을 통신매체로 이용함으로써 고속 전력선 통신과 전기 기기 제어의 통신선로로 활용하는 방안이 연구되고 있다. 전력선을 사용할 경우 별도의 통신선로 가설이 불필요하고, 전력선을 사용함으로써 전기 기기의 제어나 기기 간 통신이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 또한 전력 배전망을 활용함으로써 하나의 LAN, WAN과 같은 형식의 통신망으로 활용할 수 있다. 하지만 전력선은 전력의 공급을 목적으로 하는 선로이며, 전력선에 연계된 부하 변화가 시간에 따라 매우 심하므로 통신 매체로 활용하기 위해서는 선로의 임피던스, 잡음, 신호 감쇠, 왜곡과 같은 통신 채널 특성을 정확히 파악하는 것이 중요하다[1,2,3].

전력선 통신은 데이터 통신을 위한 고속과 제어를 위한 저속 통신으로 구분될 수 있다. 고속 데이터 통신을 하기 위해서 최근 CDMA(Code Division Multiple Access:코드 다중 분할 접속 방식), OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing:다중 반송파 방식) 등과 같은 최신 통신 방법들이 적용되고 있다[4,5,6]. 이러한 통신 방식 역시 전력선의 열악한 채널 특성에 기인한 적용 방법들이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 전력선에 항시 존재하는 고조파 성분과 부하의 투입 혹은 동작에 따른 스위칭 성분이 전력선 통신에 미치는 영향을 조사하였다. 특히 고조파 성분은 상용 주파수에서 기인하며, 정류소자의 스위칭을 이용하는 전자 제품이 증가함에 따라 고조파 성분이 통신에 미치는 영향과 그 특성을 분석하는 것이 필요하다.

통신 성능에 미치는 영향은 협대역의 주파수 대역(10 kHz-450kHz)을 사용하는 저속과 광대역의 주파수 대역(1 MHz-50MHz)을 사용하는 고속의 각기 다른 전력선 모뎀과 고속 데이터 통신을 하기 위한 광대역 주파수 신호를 외부 전력선의 영향을 최소화한 별도의 선로에서 일반부하, 고조파 부하를 연계하여 모의 실험 하였다. 실험을 통하여 고조파로 인한 통신의 장애요인을 분석하였다. 따라서 본 논문은 전력선 통신을 위한 채널 특성의 기초 자료를 제공하여 고속의 신뢰성 높은 데이터 통신 방법의 선정과 알고리즘 선정에 도움이 되는 실험적 자료를 제공하고자 한다.

2. 본론

2.1 전력선 모의 실험 구성

고조파 영향을 측정하기 위하여 독립적인 180m의 전력선 모의 실험 환경을 그림 1과 같이 구성하였다. 배전반에서 별도로 연계한 선로에 20KVA(220V)용량의 1:1 변압기를 사용하여 외부 선로의 영향을 최소로 하였고, 별도의 부하 패널을 제작하여 기본 부하(전등부하)와 고조파 발생부하(인버터, 정류 스위칭 부하), 스위칭 발생 부하를 연계 할 수 있도록 하였다.

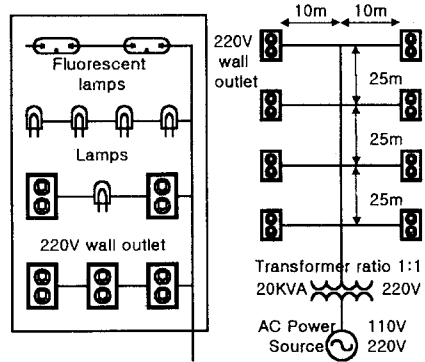


그림 1. 모의 실험 구성 및 부하보드

실험 방법은 고조파 발생을 위하여 SMPS(Switching Mode Power Supply)와 인버터(Inverter)제품을 회로와 연계하였으며, 스위칭 부하는 일반부하에 스위치를 연계하여 발생하도록 하였다.

2.2 전력선 통신 커플러

전력선 통신신호와 채널 특성을 분석하기 위하여 별도의 전력선 커플러(Coupler)를 그림 2와 같이 제작하였다.

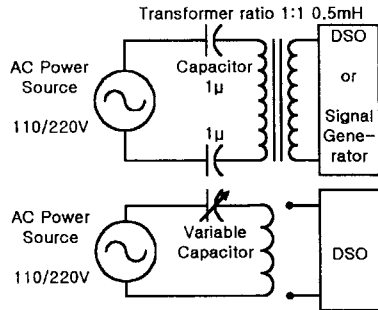


그림 2. 전력선 통신 커플러

제작한 전력선 커플러는 2종류로 제작하였다. Isolation Transformer(0.5mH)와 콘덴서(Capacitor:1 $\mu$ F)의 조합으로 통신 신호에 영향을 주지 않는 용량으로 선정하여 광대역 HPF(High Pass Filter)를 구성하였다.

또한 60Hz의 상용 주파수를 차단하는 HPF(High Pass Filter, Cut Off 1kHz이상)를 가변 콘덴서로 설계함으로써 고조파의 관측에 이용하였다. 각 커플러는 DSO(Digital Storage Oscilloscope), Signal Generator를 연결하여 통신 신호를 전송하거나, 수집, 관측하였다.

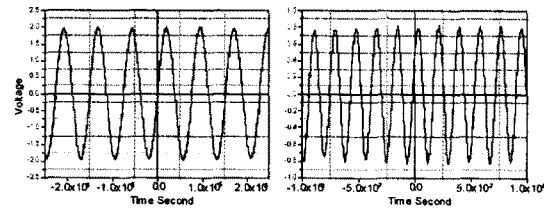
### 2.3 전력선 모델

실험에서 사용한 전력선 모델은 HTH사와 Intelogis사의 모델칩으로 제작하여 사용하였다. 실험에 사용한 전력선 모델의 사양은 표 1과 같다.

표 1. 전력선 모델 사양

Manufacture	HTH	Intelogis
Modem Chip	PLM-24	I2112L
Modulation	FSK	FSK
Data Rate	2.4kbps	350kbps
Freq Band	133.3kHz	5.435MHz
Period	7.5 $\mu$ s	184.0ns
V <sub>DD</sub>	3.969V	1.656V
V <sub>rms</sub>	1.386V	533.4V
비고	저속-제어	고속-데이터 통신

표 1에 나타난 값은 실제로 실험을 통하여 측정된 값의 평균값이다. 실제 통신 주파수 대역의 신호는 그림 3과 같다.



(a) 저속 모델 (b) 고속 모델

그림 3. 전력선 모델 통신 신호

### 2.4 고조파

고조파는 상용 주파수의 기본파 교류전압에 대하여 정수 배인 주파수의 정현파이다. 일반적으로 제 50차까지의 주파수를 고조파라 한다. 그 발생량은 부하전류에 비례한다. 고조파는 통신장애 뿐만 아니라 기기의 고장이나 열화에 요인이 된다[7,8,9,10].

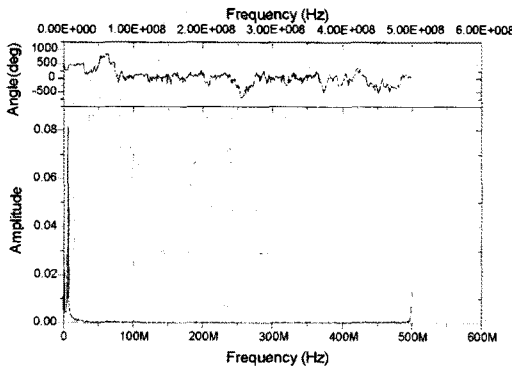


그림 4. 전력선 상의 고조파 잡음

따라서 전력선을 이용한 통신을 위해 그 특성이나 발생 부하에 대한 조사가 필요하다. 그림 4는 전력선 상에서 부하에 의하여 발생하는 고조파이다.

모의 실험에서는 SMPS와 인버터제품을 모의 실험 전력선에 고조파 부하군으로 연결하여 고조파 성분을 발생시켰다. 스위칭 성분은 전등부하와 전원공급장치를 전력선에 연계하여 부하의 투입과 차단을 반복적으로 수행하여 모의 테스트하였다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 전력선 통신 특성 실험

전력선 모델과 부하에 따른 통신특성을 모의 실험으로 조사하였다.

#### CASE 1. 저속 통신 특성

PLM-24 저속 전력선 모델칩을 사용할 경우 전력선은 그림 5와 같은 주파수 특성을 나타낸다. 전체 주파수 대역 중 통신 주파수 대역인 133.3kHz 대역의 주파수가 가장 크게 나타난다. 다음으로는 상용 주파수 대역의 고조파 성분이 나타난다.

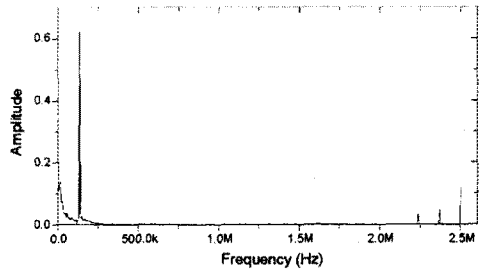


그림 5. 저속 통신 주파수 특성

저속 통신시 전력선내 고조파 발생 부하가 연계되어 있을 경우 그림 6과 같은 특성을 나타낸다.

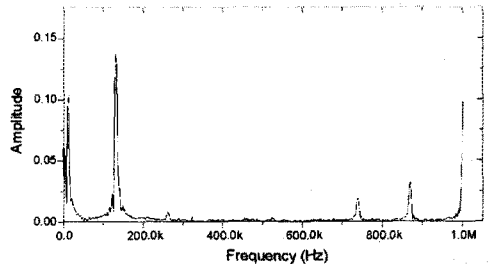


그림 6. 저속 통신 장애 주파수 특성

고조파 발생으로 인하여 특히 상용 주파수 대의 고조파와 260kHz, 740kHz, 870kHz, 1MHz 대역의 주파수가 크게 발생하며, 전 대역의 주파수 성분이 상대적으로 커진다. 실험을 통하여 고조파 부하의 연계시 통신 에러 분포율은 평균 5-10.5%의 통신 에러율을 나타낸다.

#### CASE 2. 고속 통신 특성

I2112L 고속 전력선 모델칩을 사용한 경우 전력선에 고조파 부하가 연계된 경우 그림 7과 같은 채널 특성을 보인다.

통신 주파수는 5.435MHz대역이다. 그림 7에서 보는 바와 같이 고조파 부하 연계시 상용주파수에 의한 고조파 대역이 크게 나타난다. 또한 11MHz, 13MHz, 14MHz, 19MHz 대역의 성분이 상대적으로 고조파 발생으로 인하여 커진다.

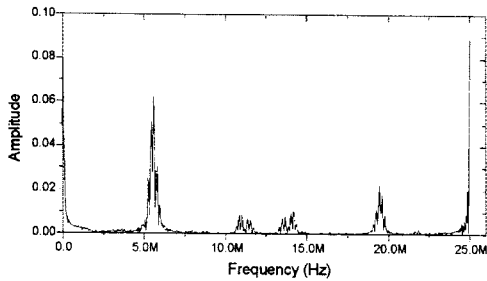


그림 7. 고속 전력선 통신 장애 시

실험을 통하여 고조파 부하의 연계시 통신 에러율은 평균 3.5-11.9%의 통신 에러 분포율을 나타낸다.

전력선을 이용한 고속 통신의 경우 광대역 주파수의 사용이 필요하다. 모의 실험에서는 광대역 주파수를 통신 신호로 하는 전력선 통신과 고조파가 신호에 미치는 영향을 실험적으로 조사하였다. 광대역 주파수의 전력선 특성은 일반 부하 연계시 1MHz, 5MHz 대역의 신호가 부하의 영향을 전력선 상에서 가장 작은 영향을 받았다. 또한 10MHz, 15MHz 대역은 전체적으로 부하에 다른 일정한 신호 특성을 나타내었다.

### 3.2 실험 결과 및 고찰

모의 실험을 통하여 전력선 통신 모델과 광대역 통신 신호의 전력선 통신 특성과 고조파가 통신에 미치는 영향을 실험하였다. 또한 전력선 통신시 광대역 (10MHz, 15MHz)의 주파수가 전력선 상에서 일정한 신호 특성을 가지는 것을 조사하였다.

일반 부하의 경우 통신 신호에 미치는 영향은 신호의 감쇠와 지연현상을 나타낸다. 고조파나 스위칭으로 인한 현상이 전력선 통신 신호의 왜곡에 원인이 된다. 실험에서 적용한 전력선 모델의 통신 방법인 FSK의 경우 약 10%의 통신 에러율을 가진다. 따라서 전력선 상에서 발생하는 다양한 통신 장애 요인을 특히 고조파, 임펄스형 노이즈, 임피던스 변화에 따른 장애 요인을 극복하는 통신방법이 연구되어야 한다.

## 4. 결 론

저압 배전선을 통신매체로 이용함으로써 고속 전력선 통신과 전기 기기 제어의 통신선로로 활용하는 방안이 연구되고 있다. 하지만 전력선은 연계된 부하에 따른 선로의 채널 특성 변화가 매우 심하다. 따라서 통신 매체로 활용하기 위해서는 선로의 임피던스, 잡음, 신호 감쇠, 왜곡과 같은 통신 채널 특성을 분석하여 신뢰성 높은 통신 신호와 변·복조 방법에 대한 연구가 필요하다. 전력선을 이용한 신뢰성 높은 고속 데이터 통신을 하기 위해서 잡음과 외부 장애요인에 강한 CDMA, OFDM, FSHC(Frequency Selective Harmonics Coding)등과 같은 통신 기법들이 적용되어야 한다.

본 논문에서는 전력선의 다양한 장애 요인중 하나인 고조파와 부하투입에 따른 스위칭 노이즈가 통신 신호에 미치는 영향을 실험적으로 측정하였으며 광대역 통신 신호의 전력선 특성을 실험하였다. 실험을 통하여 고조파 발생부하가 전력선 통신 신호에 미치는 영향을 분석하였으며 광대역 신호 중 10MHz, 15MHz 대역의 신호가 광대역 전력선 통신에 적용 가능성을 보았다.

### [참 고 문 헌]

[1] D. Liu, E. Fiint, B. Gaucher, and Y. Kwark, "Wide Band AC Power Line Characterization", Consumer Electronics, IEEE Transactions on, Volume 45, pp 1087-1097, Nov. 1999

[2] Nguimbis, J., Xia Jiang, Shiji Cheng, "Noise Characteristics Investigation and Utilization in Low Voltage Powerline Communication", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol3, pp 2035-2040, 2000

[3] 이정훈, 서종완, 이종주, 신명철, 성낙환, "전력선 통신을 위한 채널 특성 분석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A 권, pp 558-560, 2000

[4] Okazaki, H., Kawashima, M., "A transmitting and receiving method for CDMA communications over indoor electrical power lines", Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on, Vol 6, pp 522-528, 1998

[5] Cardoso, F.A., Ferreira, J.P., Silva, L.S., Gerald, J.B., "Frequency hopping spread spectrum communication system over the power lines", Information, Communications and Signal Processing, Proceedings of 1997 International Conference on, Vol 1, pp 94-98, 1997

[6] Hensen, C., "Data transmission applications via low voltage power lines using OFDM technique", Spread Spectrum Techniques and Applications, 1998 IEEE 5th International Symposium on, Vol 1, pp 210-214, 1998

[7] J. S. Subjak, Jr, J. S. McQuilkin, "Harmonics - Cause, Measurements and Analysis - update", Cement Industry Technical Conference, XXXI, Record of Conference Papers, pp 37-51, May, 1989

[8] Wallace, R.S., "The harmonic impact of variable speed air conditioners on residential power distribution", Applied Power Electronics Conference and Exposition, pp 293-298, 1992

[9] Nguyen, T.M., Hen-Geul Yeh, "Effects of the interfering harmonics caused by imperfect data streams on BPSK and QPSK receivers", IEEE Singapore ICCS '94, Conference Proceedings, Vol 2, pp 625-629, 1994

[10] Sharma, V., Thomson, A.C., "Power system harmonic guidelines and how to evaluate the impact of customer generated harmonics", IEEE 'Communications, Computers and Power in the Modern Environment,' Conference Proceedings, pp 256-262, 1993