

전력선 채널 임펄스 응답 측정에서 PN 시퀀스를 이용한 광대역 방식 연구

오휘명, 최승지, 이재조, 이원태, 김관호
한국전기연구원 전기정보망기술연구그룹

A Study On Wideband Method Using PN Sequence
In Impulse Response Measurement Of Power-Line Channel

Hui-Myoung Oh, Seung-Ji Choi, Jae-Jo Lee, Won-Tae Lee, Kwan-Ho Kim
KERI(Korea Electrotechnology Research Institute)

Abstract - 전력선 통신(Power-Line Communication)에 있어서 채널의 임펄스 응답은 송수신 신호의 기본적인 전달 특성이라는 점에서 매우 중요한 채널 특성이며, 채널 구성 요소들의 물리적 구조 및 각종 부하 기기들에 따라 다양하게 변화하기 때문에, 적절한 측정과 분석 및 대응이 요구된다. 이에 본 논문에서는 채널 임펄스 응답 측정에 대한 광대역 측정 방식과 협대역 측정 방식을 검토하고, 각 방식을 테스트 베드 상에서 구현하여 임펄스 응답 측정 결과를 상호 비교하고, 그 신뢰성을 확인하였다. 또, 실제 전력선 채널 환경에서 PN 시퀀스를 이용한 광대역 측정 방식의 장점을 고려하여, 국내 일반적인 저층 아파트를 대상으로 임펄스 응답 측정을 수행하고 결과를 분석하였다.

1. 서 론

전력선 통신 기술은 실용화를 앞두고 됨에 따라 전력선 통신 시스템의 안정적 운용 관리를 위해, 보다 신뢰성 있는 전력선 채널 정보에 대한 수요가 늘어나고 있다. 실제로 전력선 채널의 임펄스 응답은 송수신 신호의 기본적인 전달 특성이라는 점에서 매우 중요한 채널 특성임에도 불구하고 전력선 채널의 물리적 구조 및 각종 부하 기기들에 따라 다양하게 변화하기 때문에, 적절한 측정과 분석 및 대응이 이루어지지 않을 경우 전력선 통신 모델의 동작 범위 설정과 안정적 실용화에 어려움을 야기한다. 따라서 체계적인 임펄스 응답 측정을 통해 다양한 채널 환경에 대한 표준 설정 및 채널 정보 제공되어야 한다. 이에 본 논문에서는 2장에서 채널 임펄스 응답 측정에 대한 광대역 측정 방식과 협대역 측정 방식을 검토하고, 실제 구현을 통해 임펄스 응답 측정 결과를 상호 비교하였다. 또한 3장에서 실제 전력선 채널 환경에서 PN 시퀀스를 이용한 광대역 측정 방식을 통한 임펄스 응답 측정을 수행하고 결과를 분석하여 그 실용성을 사고하였다.

2. 전력선 임펄스 응답 측정

2.1 임펄스 응답 측정 방식

통신 채널의 임펄스 응답 측정 방식은 크게 협대역 방식과 광대역 방식으로 나뉜다. 협대역 방식의 측정은 기본적으로 주파수 영역에서 다루며, 측정 주파수 대역 상에 sinc 형태의 송신신호를 연속적으로 sweep시키면서 수신된 신호 크기를 측정함으로써 이루어진다. 이에 반해, 광대역 방식의 측정은 시간 영역에서 임펄스 입력에 대한 출력을 다룬다. 각각의 측정 방식은 다음과 같으며 표 1에 각 방식의 장단점을 나타내었다[1].

(1) Network Analyzer 방식

Network Analyzer는 내부적으로 발생하는 신호에 의해 입력port와 출력port 사이의 S_{21} 파라미터를 측정함으로써 특정 주파수 대역에 대한 전달 함수를 얻는다.

(2) Signal Generator-Spectrum Analyzer 방식

Signal Generator로 테스트 신호를 발생, 송신측에

서 입력하고, 수신측에서 Spectrum Analyzer로 특정 주파수 대역에 대한 전달 함수를 측정한다.

(3) Impulse 방식

송신측에서 테스트 신호로서 근사적 Impulse를 사용하며, 수신측에서 고속 sampling을 통해 수신된 신호는 그 자체로써 채널의 임펄스 응답이 된다.

(4) PN Sequence 방식

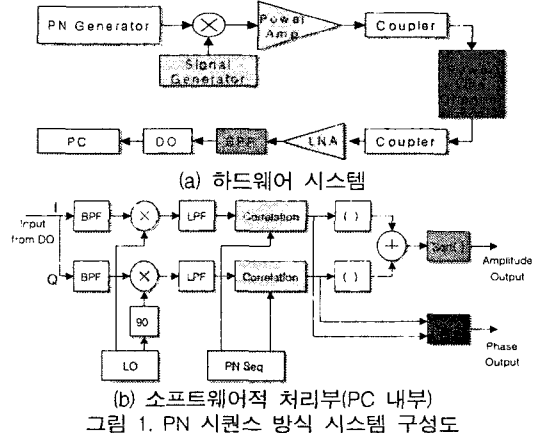
PN 시퀀스의 자기 상관(Auto Correlation) 특성이 근사적으로 Impulse 형태임을 이용하여 송신측에서 연속적으로 입력되는 PN 시퀀스에 대해 수신측에서 상관도를 측정함으로써 임펄스 응답을 얻는다[1,2].

표 1. 임펄스 응답 측정 방식에 따른 장단점

장점	단점
(1) Network Analyzer 방식	
- 크기, 위상 동시 측정 가능 - Fourier 변환기능으로 임펄스 응답 변환 가능	- 원거리 측정 불가능 - 상대적으로 긴 측정 시간 - 채널변화 빠른 경우 오차반생
(2) Signal Generator - Spectrum Analyzer 방식	
- 원거리 측정 가능	- 위상 측정 불가능 - 임펄스 응답 변환 불가능 - 상대적으로 긴 측정 시간 - 채널변화 빠른 경우 오차반생
(3) Impulse 방식	
- 크기, 위상 동시 측정 가능 - 원거리 측정 가능 - 최소 측정 시간	- 임펄스 발생 어려움 - 고속 Sampling 요구 - 동기화 필요
(4) PN Sequence 방식	
- 크기, 위상 동시 측정 가능 - 원거리 측정 가능 - S/W적 처리로 Fourier 변환 용이	- 상대적으로 긴 측정 시간 - 채널변화 빠른 경우 오차반생

2.2 PN 시퀀스를 이용한 광대역 방식

PN 시퀀스를 이용한 광대역 측정 방식은 그림 1과 같이 구성된다. PN Generator에서 발생된 시퀀스는 반송파에 의해 변조되고 전력증폭기(Power Amp.)를 거쳐 커플러를 통해 전력선에 입력된다.



전력선 채널을 통과한 신호는 다시 커플러를 통해 저잡음증폭기(LNA)를 거쳐 저대역필터링(LPF) 후 디지털오실로스코프(DO)로 수집되어 PC에 저장된다. 소프트웨어 처리부에서는 수신된 신호를 I채널과 Q채널로 구분하여 각각 필터링, 반송파 복조 및 PN 시퀀스 자기상관하여 얻어진 결과를 통해 크기 정보와 위상 정보를 출력한다.

2.2 측정 및 결과

제작된 측정 시스템에서 적용된 파라미터들은 표 2에 정리하였다. 테스트 베드 상에서 실제 구현을 통해 얻어진 측정 결과는 그림 2에 나타내었으며, 기본적으로 각 방식이 전달함수 특성(임펄스 응답과 Fourier 변환 관계) 상에서 동일한 결과를 나타낸다는 사실을 보여준다[3]. 그러나 측정 방식에 따라 저주파대역과 고주파 대역에서 다소 차이가 존재한다.

표 2. PN 시퀀스 방식 측정 시스템 파라미터

PN Sequence Generation	PN Seq. Period	4095 [chip]
	PN Seq. Chip Duration	50 [ns]
	Internal Clock	20 [MHz]
Modulation	Carrier Frequency	21 [MHz]
Data Reception	Sampling Rate	100 [Mpt./s]
	Gathered Time	500 [us]
Filtering	Band Pass Filter	1 to 41 [MHz]
	Low Pass Filter	0 to 20 [MHz]
Correlation	Shift Interval	10 [ns]
	Correlation Duration	4059 [chip]

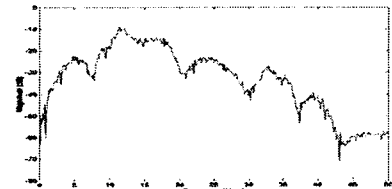
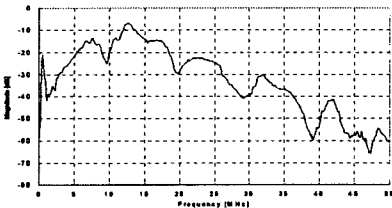
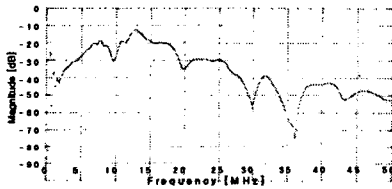


그림 2. 각 방식에 따른 전달 특성 측정 결과

3. 실제 전력선 채널 임펄스 응답

본 장에서는 광대역 측정 방식 중에서 PN 시퀀스 방식의 편리성과 장점을 고려하여, 실제 전력선 채널 환경으로 경남 창원 지역의 한국전기연구원 사원 아파트를 선정하여 임펄스 응답에 대한 광대역 방식 측정을 수행하였다. 아파트 분전반을 송신측으로, 세대 내의 Outlet을 수신

측으로 구성된 본 측정의 결과는, 일반적인 국내 저층 아파트의 전력선 채널 임펄스 응답 특성을 고찰과 더불어 전력선 모델이 역세스 망으로 사용될 수 있는 가능성을 확인하는데 사용된다.

3.1 측정 구성

광대역 측정 방식이 적용된 측정 구성은 그림 3과 같다. 송신측은 자체 제작된 PN 시퀀스 발생기로부터 측정 신호를 커플러를 통해 전력선에 입력하도록 구성되며, 수신측은 전력선으로부터 커플러를 거쳐 디지털 오실로스코프를 통해 측정 신호를 PC로 전달하도록 구성된다.

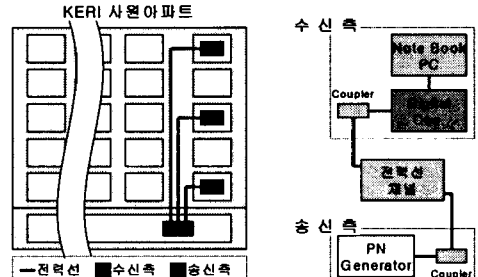


그림 3. 사원아파트 임펄스 응답 측정 송수신단 구성

측정 대상으로 선택된 세대는 송신측과 수신측 사이의 거리를 고려하여 근거리, 중거리, 원거리 각 한 세대로 총 3세대이며, 한 세대 내에서 측정된 Outlet은 거실과 방으로 구분하여 총 5개를 선택하였고, 이것은 그림 4에 나타내었다.

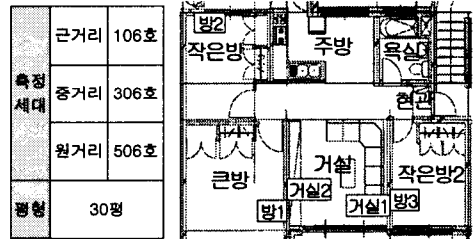


그림 4. 측정 세대 선정 및 Outlet 위치

3.2 측정 결과

임펄스 응답 측정 결과는 앞에서 언급한 측정 대상 세대의 Outlet 위치에 따라 분류하였으며, 결과상의 측정치는 전력선 채널을 거치지 않고 측정된 임펄스 응답을 표준으로 하여 정상화하였다. 각 Outlet에 대해 1초 간격으로 측정된 50회의 결과(그림 5)로부터, 임펄스 응답을 결정하는 지표로서, 다중경로 개수 N , 평균 최대 초과 지연(average maximum excess delay) τ_{max} , 평균 감쇠(average attenuation) α 를 구했다. 그림 6에서, N 과 τ_{max} 는 임펄스 응답의 지역 최대치(local peak)를 찾아, 이들 중 최대치 경로(maximum level path)에 비해 10dB 낮은 값을 임계치(threshold)로 정하여 그 이상의 값을 갖는 지역 최대치들을 각각 하나의 경로로 보고 이를 바탕으로 계산된다. α 는 최대치 경로의 감쇠정도를 dB 단위로 얻어낸다. 이와 같은 방법으로 측정 대상 3세대에 대한 임펄스 응답 특성 측정 결과를 지수들로서 표 3에 나타내었다. 전체적 경향으로 볼 때, 다중 경로수와 평균 감쇠 및 평균 최대 초과 지연 시간 사이에 상관관계가 존재하며, 경로수가 적을수록 평균 신호 감쇠도 적으며, 초과 지연 시간도 작게 나타난다. 이것은 임펄스 응답의 기본적 개념 및 특성에 기초하여 고려할 때, 상당히 타당한 결과이다.

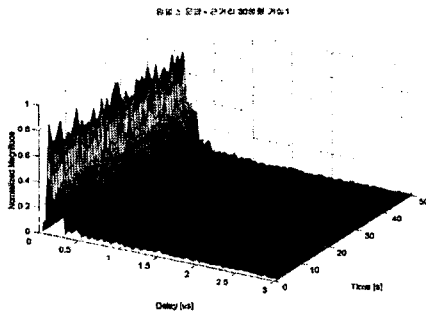


그림 5. 임펄스 응답 결과(근거리 거실1)

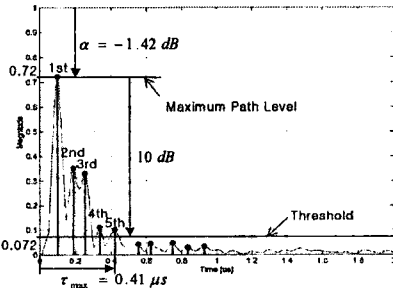


그림 6. 임펄스 응답 특성 지수 계산(근거리 거실1)

그러나 측정 결과로부터, 한 세대 내에서 여러 개의 Outlet에 대해 수신 신호 크기 면에서 10dB 이상의 차이를 가지는데 반해, 송신측에서 떨어진 물리적 거리는 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 특이할만한 결과로서, '거실1' Outlet의 경우는 에어컨용으로서, 분전반에서부터 직접 분리시킨 것이므로 상당히 전달 특성이 좋은 것으로 나타났다.

표 3. 임펄스 응답 특성 지수

구분	Outlet	Avg. T_{max} [us]	Avg. α [dB]	다중경로수
근거리	거실1	0.41	-1.42	5
	거실2	1.05	-11.99	12
	방1	0.95	-13.30	10
	방2	0.71	-5.87	8
	방3	1.22	-15.26	11
중거리	거실1	0.42	-1.73	5
	거실2	1.10	-11.63	11
	방1	1.22	-12.32	15
	방2	0.65	-7.73	5
	방3	0.69	-10.91	6
원거리	거실1	0.52	-1.51	5
	거실2	0.69	-8.53	10
	방1	0.74	-7.49	10
	방2	0.92	-7.01	11
	방3	1.00	-8.98	16

전체적인 결과 분석과정의 결론은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 채널 임펄스 응답의 중요 지표로서 다중경로 수, 평균 신호 감쇠, 평균 최대 초과 지연은 상호 연관된 특성을 보인다.
 - 다중 경로의 수가 많으면 그만큼 각 경로 수신 신호의 크기가 작아지며, 또한 각 경로 도달 시간도 증가하여 초과 지연 시간이 증가하게 된다.
- (2) 신호 송신측(분전반)에서 수신측(세대 내)까지의 물리적 거리의 영향은 작다.
 - 근거리, 중거리, 원거리 세대 별로 각 지표들의

변화 정도는 크지 않으며 그 연관성도 비교적 작게 나타났다.

- (3) 한 세대 내에서 Outlet 별로 지표의 변화폭이 크다.
 - 30평형 세대 내에서 각 Outlet에 대한 신호 감쇠는 10dB 이상 편차를 갖는다.
- (4) 전력선 모델이 저층 아파트에서 액세스 망으로 사용될 수 있다.
 - 분전반에서 세대 내 Outlet까지의 전력선 채널에 대한 신호 감쇠가 15dB 이하이다.

4. 결 론

본 논문의 2장에서는, 채널 임펄스 응답 측정 방식에 있어서 일반적으로 제시되는 현대역 방식과 광대역 방식에 대해, 각각의 대표적인 두 가지 방식을 살펴보고, 그의 장단점을 검토하였다. PN 시퀀스 방식은 원거리 측정이 가능하며 임펄스 응답의 크기 정보와 위상 정보를 동시에 얻을 수 있으며, PN 시퀀스 발생기의 설계와 디지털오실로스코프의 샘플링 주기에 따라 resolution을 충분히 증가시킬 수 있으므로 전력선 채널에 적용될 경우 보다 충실한 채널 정보를 확보할 수 있다. 또한 수신 신호에 대한 소프트웨어적 처리하기 용이하므로 시간영역과 주파수 영역에서 다양하게 활용될 수 있다.

본 논문의 3장에서는, PN 시퀀스 방식이 실제 전력선 채널 환경에서 그 활용도가 높다는 점을 고려해, 실제 모델이 설치 운용될 수 있는 국내 일반적인 저층 아파트의 전력선 채널 임펄스 응답을 측정하였으며, 측정 결과로부터 임펄스 응답의 다중경로 특성, 신호 감쇠 특성, 최대 시간 지연 특성을 얻었고, 이 지표들을 통해 채널의 특성을 검토, 분석하였다.

본 논문을 통해 자체 기술로 제작된 전력선 채널 임펄스 응답 측정용 PN 시퀀스 발생 장치를 이용하여 PN 시퀀스 방식의 광대역 임펄스 측정 방식의 실용성을 확인 하였으며, 임펄스 응답의 핵심 요소 지표들에 대한 분석 기술도 확보하였다. 또한 실제 우리나라의 일반적인 저층 아파트에 대한 전력선 채널 임펄스 응답을 측정 검토할 수 있었다는 것은 전력선 통신 모델 개발 기술과 앞으로의 시범 사업 지원을 위한 토대가 마련되었다는 점에서 그 의미가 크다.

향후에는 국내의 다양한 전력선 채널 환경에 대해 임펄스 응답 측정을 통한 체계적 채널 정보 수집과 분석이 이루어져야 할 것이다. 이와 관련해 임펄스 응답 측정의 범위를 저압 전력선 채널에서 고압 전력선 채널로 넓혀, 고압 환경에서 실측과정을 통해 나타나는 문제점에 대해 그 해결과 보완이 이루어질 수 있도록 계속적인 연구, 개발이 이루어져야 할 것이다. 이것은 전력선 채널 모델링 기법 정립과 채널의 체계적인 분류에도 이바지 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Kaveh Pahlavan and Allen H. Levesque, "Wireless Information Networks", John Wiley & Sons, 1995
- [2] Yong-Hwa Kim et al., "Wideband Channel Measurements and Modeling for In-House Power Line Communication", ISPLC2002, March, 2002
- [3] D. Tholl, et al., "A Comparison of Two Radio Propagation Channel Impulse Response Determination Techniques", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 41, No. 4, April. 1993