

PN 시퀀스 방식의 광대역 임펄스 응답 측정을 통한 고압 배전선로 채널 특성 연구

論 文

54D-1-8

A Study On The Characteristics Of The Medium Voltage Power Distribution Line Channel By Wideband Channel Impulse Response Measurement Using PN Sequence

吳輝明[†] · 崔聖守^{*} · 李在祚^{**} · 金觀鎬^{***} · 黃金燦[§]

(Hui-Myoung Oh · Sung-Soo Choi · Jae-Jo Lee · Kwan-Ho Kim · Keum-Chan Whang)

Abstract - In the power-line communication(PLC) systems, the power line is a wired medium. However, the power line channel has the multi-path fading characteristics like the wireless channel in the wireless communication systems because it has the signal reflection and divergence by the impedance mismatching between many branch lines and loads. So the analysis of the multi-path characteristics is very important, and it has been doing by the several measurement methods for the impulse response between the transmitter and the receiver. PN sequence method has originally been used as a wideband impulse response measurement method for wireless channel, but it is recently being applied to not only the wireless channel but also the wired channel like the power line channel. This method is more useful and effective for the long distance communication channel like the medium voltage power distribution line with the multi-paths[1]. In this thesis, we have measured impulse response for the medium voltage power distribution line channel by the wideband measurement method using PN sequence, analytically studied the measured data and presented the results.

Key Words : Power-Line Communications, Channel Impulse Response, Medium Voltage, PN Sequence

1. 서 론

전력선 통신 기술은 홈 네트워크용 옥내 유선 통신 기술로서 국내는 물론 국외에서도 시범 서비스가 시작되어 이미 실용화 단계에 있다. 칩셋과 모델에 대한 지속적인 고속화 개발 노력으로, 전력선 통신 기술은 홈 네트워크를 위한 핵심 기술로서는 물론, 액세스 망 구성 기술로서와 고속의 백본 솔루션으로서도 주목받고 있다.

현재 고속 광대역 전력선 통신 칩셋 및 모델 개발은 미국, 스페인, 그리고 한국이 주도적으로 진행하고 있으며 200 Mbps급의 초고속 솔루션이 2004년 말에 출시될 예정이다. 또한, 고속화 된 모델기술을 바탕으로 액세스 망 및 백본 개발 경쟁이 가속화 되고 있는 상황에서 경쟁적으로 상용화 서비스를 준비하고 있다.

전력선 통신을 이용한 액세스 망 및 백본은 신호 전송에 사용되는 채널이 기본적으로 고압 배전선로이다. 다른 전력선들과 마찬가지로 고압 배전선로 역시 전력전달을 위한 것이 통신 데이터 전송용이 아니므로, 통신신호에 대해서는 전송 신뢰성을 보장할 수 없다. 따라서 배전선의 물리적 구

조 및 각종 부하들에 따라 다양하게 변화하는 통신 신호의 다중경로 전달 특성, 즉 임펄스 응답 특성을 적절한 측정을 통해 효과적으로 분석하여 모델의 동작 범위 설정과 안정적인 운용을 보장하는 것이 중요하다.

이에 본 논문에서는, 2장에서 PN(Pseudo Noise) 시퀀스(sequence) 방식의 광대역 채널 임펄스(impulse) 응답 측정 방식을 소개하고, PN 시퀀스 방식의 실제 구현에 대한 실효성을 간단히 검증하였다. 3장에서는 임펄스 응답 측정에 적용된 실제 배전선로 환경을 소개하고, 각 측정 대상에 대한 측정 결과를 제시, 분석하였고, 4장에서 결론을 맺었다.

2. 전력선 채널 임펄스 응답 측정 방식

2.1 PN 시퀀스 방식

전력선 통신 채널의 임펄스 응답 측정 방식은 시간영역과 주파수 영역, 그리고 측정에 사용되는 신호 및 장비 특성에 따라 여러 가지 방식이 존재한다. 이러한 여러 측정 방식 중에서 PN 시퀀스를 이용하는 광대역 측정 방식은 다중경로 수신 신호의 크기와 위상을 동시에 측정할 수 있으며, 전력선 채널 특히 고압 배전선로와 같은 장거리 채널에 대해 그 적용이 용이하기 때문에 보다 효과적인 채널 측정 방안으로 사용되고 있다[1]. PN 시퀀스 방식은 PN 시퀀스의 자기 상관 특성이 근사적으로 임펄스 형태임을 이용하여 송신측에서 연속적으로 입력되는 PN 시퀀스에 대해 수신측에서 동일한 시퀀스에 대한 상관도를 측정함으로써 임펄스 응답을 얻는다[2,3].

† 교신저자, 正會員 : 韓國電氣研究院 研究員/延世大學校 博士課程
E-mail : hmoh@keri.re.kr

* 正會員 : 韓國電氣研究院 前任研究員

** 正會員 : 韓國電氣研究院 前任研究員

*** 正會員 : 韓國電氣研究院 責任研究員

§ 正會員 : 延世大學校 正教授

接受日字 : 2004年 10月 4日

最終完了 : 2004年 12月 20日

PN 시퀀스를 이용한 광대역 측정 방식에서, PN 발생장치에서 발생한 시퀀스는 반송파에 의해 변조되고 전력증폭기를 거쳐 커플러를 통해 전력선에 입력된다. 전력선 채널을 통과한 신호는 다시 커플러를 통해 저잡음증폭기를 거쳐 저대역필터링 후 디지털오실로스코프로 수집되어 PC에 저장된다. PC에서는 수집된 신호 정보를 소프트웨어적 처리 과정을 통해 I(in-phase) 채널과 Q(quadrature-phase)채널로 구분하여 각각 필터링, 반송파 복조 및 PN 시퀀스 자기상관한다. 이로부터 채널 다중경로 신호의 크기 정보와 위상 정보를 얻게 된다.

2.2 PN 시퀀스 방식 검증 평가

그림 1은 제작된 PN 시퀀스 방식 임펄스 응답 측정 시스템에 대한 실효성 검증을 위해 구성한 테스트 채널이다. 테스트 채널은 1m 길이의 동축케이블 2개, 신호 커플러 2개, VCTFK(장원형 비닐 캡 타이어 코드), VCTF(원형 비닐 캡 타이어 코드) 전력선으로 구성된다. 동축케이블은 채널 임펄스 응답 측정 장비와 연결 되며, 신호 커플러는 신호선과 전력선 사이의 커플링에 이용되며, 각 전력선은 길이를 다르게 하여 분기와 개회로(open circuit)를 가지도록 구성한다.

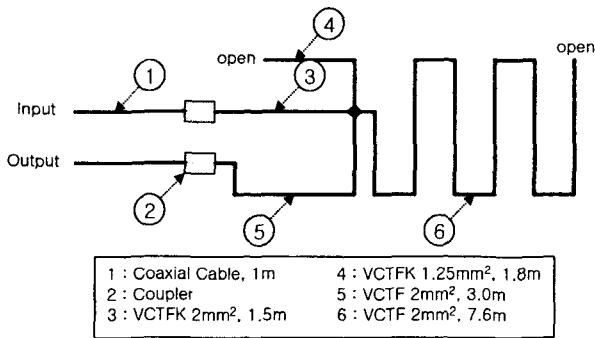
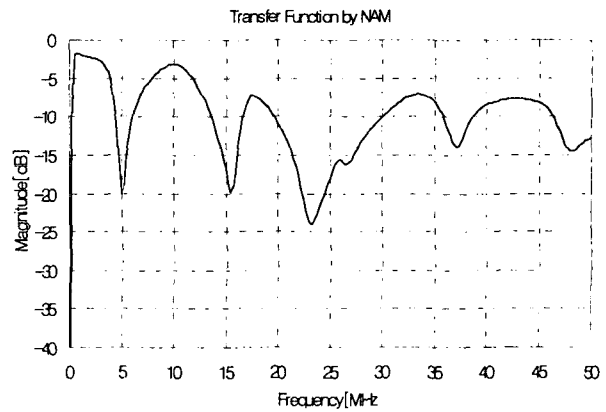


그림 1 실효성 검증을 위한 테스트 채널
Fig. 1 Test channel for verification of the effectiveness

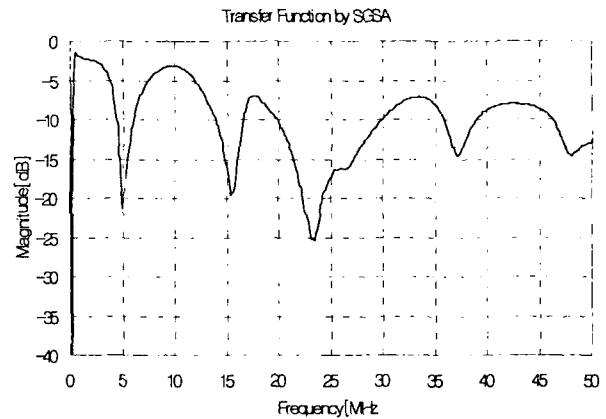
PN 시퀀스 방식의 임펄스 응답 측정의 실효성을 검증하기 위해, 그림 1의 테스트 채널에 대해, 네트워크 분석기(network analyzer)를 이용한 측정과 스펙트럼 분석기(spectrum analyzer)를 이용한 측정방식을 적용하여, 이들 결과를 주파수 영역에서 비교하였다.

측정 비교 주파수 대역은 광대역 전력선 통신에 사용되는 1~30MHz 대역이며, 그 외의 대역에 대한 측정은 고려하지 않는다.

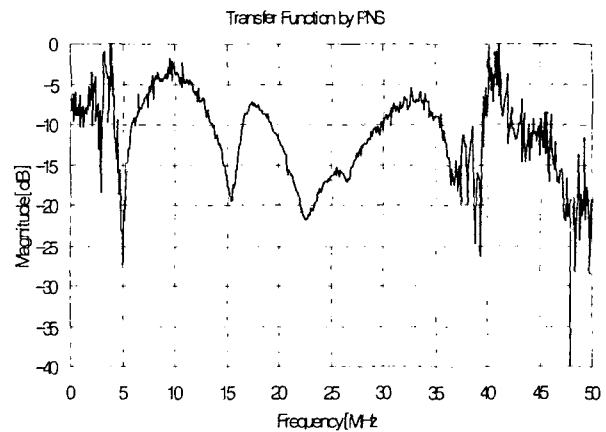
그림 2의 측정 결과로부터, 각 측정 방식은 기본원리상 모두 같은 결과를 보여주게 된다[4,5]. 따라서 임펄스 응답 측정 방식을 구현하여 실제 전력선 채널 측정에 적용 가능함을 알 수 있다. 단, PN 시퀀스 방식은 5MHz 이하의 대역과 35MHz 이상의 대역에서 다소 왜곡된 결과를 보이는데, 이것은 측정 시스템 구현상에서 사용한 PN 시퀀스의 기저대역 신호 대역폭이 자체적으로 왜곡되어 있기 때문이다. 이러한 현상을 해결하기 위해 보다 짧은 칩(chip : PN 시퀀스의 한 bit 시간)주기를 갖는 PN 시퀀스를 사용함으로써 해결할 수 있다.



(a) 네트워크 분석기 방식 측정 결과
(a) Measurement result using network analyzer method



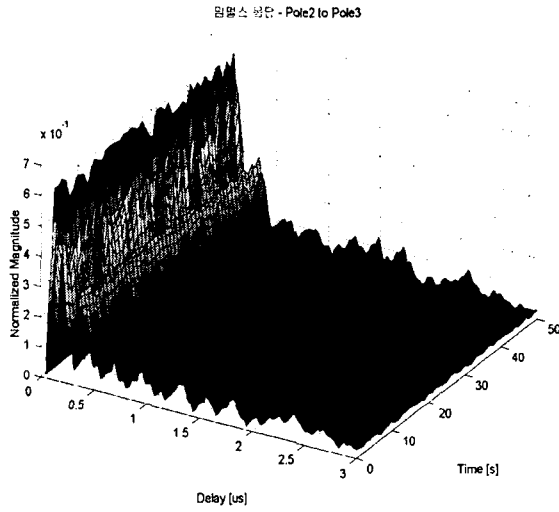
(b) 스펙트럼 분석기 방식 측정 결과
(b) Measurement result using spectrum analyzer method



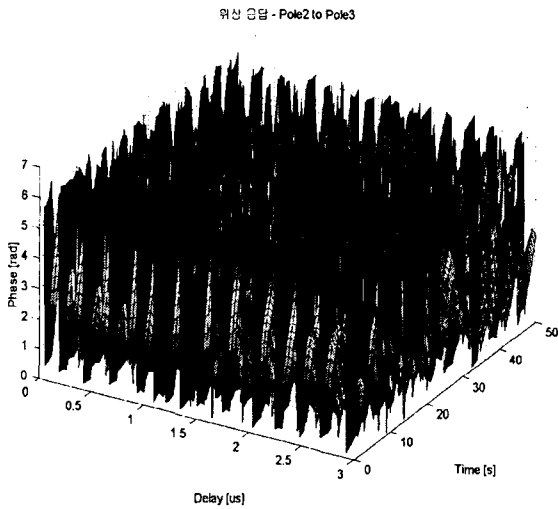
(c) PN 시퀀스 방식 측정 결과
(c) Measurement result using PN sequence method

그림 2 테스트 채널에 대한 각 방식에 따른 주파수 응답 측정 결과

Fig. 2 Measurement results using the several method for the test channel



(a) 크기
(a) Magnitude



(b) 위상
(b) Phase

그림 6 임펄스 응답 결과 예(2번-3번 지점 사이)

Fig. 6 Example of the channel impulse response measurement result(section 2→3)

표 1은 측정 결과로부터 얻은 파라미터 값이다. \bar{N} 은 최초 수신 신호 대비 -20dB까지의 모든 경로 수의 평균이며, $\bar{\tau}$ 는 최초 신호 도착 시점을 0으로 했을 때의 초과 지연 시간의 평균이고, $\bar{\sigma}$ 는 초과 지연 시간의 표준편차이다. 또, $\bar{\alpha}_i$ 는 i 번째 수신 신호의 수신 레벨로서, 기준측정을 통해 보정된 상대적 신호 감쇄량이며, $\bar{\tau}_i$ 는 i 번째 수신 신호의 초과 지연 시간이다.

측정된 결과 파라미터 값은 선로의 길이 증가에 비례하여 증가하는 경향을 보인다. 이것은 선로 길이가 증가함에 따라 자체의 신호 감쇄가 증가하고, 보다 많은 분기 및 부하를

표 1 고압 배전선로 채널 임펄스 응답 특성 파라미터

Table 1 Impulse response parameters of the medium voltage power distribution line channel

구간	\bar{N} [개]	$\bar{\tau}$ [μ s]	$\bar{\sigma}$ [μ s]	$\bar{\alpha}_1$ [dB]	$\bar{\tau}_1$ [μ s]	$\bar{\alpha}_2$ [dB]	$\bar{\tau}_2$ [μ s]	$\bar{\alpha}_3$ [dB]	$\bar{\tau}_3$ [μ s]
2-3지점간 337m, 162m 지중선로 포함									
2지점→3지점	2.90	0.147	0.098	-43.35	0.0	-48.40	0.179	-54.79	0.254
3지점→2지점	3.16	0.156	0.098	-46.37	0.0	-49.81	0.129	-54.82	0.231
3-4지점간 718m, 3상-단상 변환 구간									
3지점→4지점	5.36	0.303	0.358	-50.33	0.0	-58.95	0.099	-57.97	0.173
4지점→3지점	4.18	0.285	0.272	-50.16	0.0	-56.32	0.164	-56.51	0.264
4-5지점간 984m, 순수 단상 구간									
4지점→5지점	6.14	0.305	0.255	-58.84	0.0	-63.70	0.172	-63.24	0.273
5지점→4지점	6.50	0.313	0.251	-59.10	0.0	-64.32	0.150	-62.88	0.260

포함하게 됨에 의한 다중경로 수가 증가하며, 경로의 증가에 의한 신호 전달 지연이 증가하기 때문이다. 전체적으로, 최초 수신 경로 신호의 크기가 두 번째 수신 경로 신호에 비해 약 5dB 정도 크며, 이것은 최초 도달한 직접경로(direct path)와 달리 간접경로(indirect path)를 거친 신호가 더 많은 감쇄요인과 더 많은 시간 지연 갖게 된다는 사실과 합치된다. 종합적으로 고압배전선로 채널은 최대 수신 경로에 대해 1km당 약 60dB 신호 감쇄가 있음을 확인하였다. 몇 가지 주목할 만한 사항으로, 지중선로의 영향은 짧은 선로길이임에도 신호 감쇄와 경로 지연이 크게 나타났고, 3상-단상 변환 구간에서는 순방향과 역방향 간의 신호 전달 특성 차이가 크게 나타났다. 3상에서 단상으로 변화하는 경우는 그 역의 경우에 비해 다중 경로 수도 증가하고 전체 시간 지연도 크게 나타났지만, 최초 3개 경로에 대해 수신 시간 지연이 작게 나타났다.

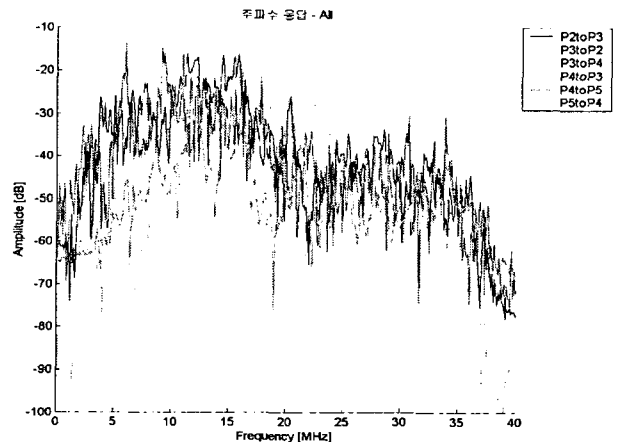


그림 7 측정된 임펄스 응답의 주파수 응답 변환 결과

Fig. 7 Frequency domain results from the measured impulse response results

그림 7은 각 측정 대상 구간별 임펄스 응답에 대한 주파수 영역 응답, 즉 전달 함수 특성이다. 2장에서 언급한 바와 같이 5MHz 이하 35MHz 이상의 대역에서 다소 오차가 존재하지만, 전체적으로 20MHz 이상의 대역에서 보다 큰 신호 감쇄가 발생함을 알 수 있고, 이러한 사실은 도체인 유선 전력선 채널이 고주파 신호일수록 잘 전달하지 못하는 사실과 일치한다.

4. 결 론

본 논문의 2장에서는, 전력선 통신 채널의 임펄스 응답 측정 방식에 있어서 PN 시퀀스 방식을 소개하고 실제 구현에 의한 실험성 검토를 수행하였다. 3장에서는, 고압 배전선로를 이용한 액세스망이나 백본망 구성을 고려한 실제 고압 배전선로 테스트 필드를 소개하고, 테스트 필드 상의 채널 임펄스 응답 측정 결과를 제시, 분석하였다. 측정 결과로부터 다양한 파라미터를 얻었으며, 이 결과는 전력선 통신망을 구성하는 전력선 통신용 모델, 리피터, 라우터, 전력증폭기 등의 개발에 있어서 각종 시뮬레이션 및 에뮬레이션, 그리고 테스트 필드 상의 실증 시험의 기초 자료가 될 것이다.

향후에는 국내의 다양한 고압 배전선로 채널 환경에 대해 임펄스 응답 측정으로부터 체계적 채널 정보 수집과 분석이 이루어져야 할 것이며, 측정결과로부터 전력선 통신의 장애 요인을 분석하고 이를 극복하는 적극적인 연구 개발이 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 오휘명 외, "전력선 채널 임펄스 응답 측정에서 PN 시퀀스를 이용한 광대역 방식 연구", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집 D권, 2003.
- [2] Kaveh Pahlavan and Allen H. Levesque, "Wireless Information Networks", John Wiley & Sons, 1995.
- [3] Yong-Hwa Kim et al., "Wideband Channel Measurements and Modeling for In-House Power Line Communication", ISPLC2002, March, 2002.
- [4] Hui-Myoung Oh et. al., "Wideband Channel Impulse Response Measurement Method Using PN Sequences For The Medium Voltage Power Distribution Line Channel", ISPLC2004, April, 2004.
- [5] 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.

저 자 소 개



오 휘 명 (吳 輝 明)

1976년 1월 6일생. 1998년 연세대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사). 2000년~현재 동 대학원 전기전자공학과 박사과정. 2001년~현재 한국전기연구원 연구원.
Tel : 031-420-6178, Fax : 031-420-6199
E-mail : hmoh@keri.re.kr



최 성 수 (崔 聖 守)

1973년 3월 30일생. 1996년 경원대학교 전자공학과 졸업. 1998년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(공학석사). 2003년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(공학박사). 2003년~현재 한국전기연구원 선임연구원.
Tel : 031-420-6182, Fax : 031-420-6199
E-mail : sschoi@keri.re.kr



이 재 조 (李 在 祚)

1968년 8월 12일생. 1990년 경희대학교 문리과대학 물리학과 졸업. 1992년 경희대학교 일반대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1992년~현재 한국전기연구원 선임연구원. 2000년~현재 경희대학교 전자공학과 박사과정.
Tel : 031-420-6177, Fax : 031-420-6199
E-mail : jjlee@keri.re.kr



김 관 호 (金 觀 鎬)

1954년 6월 16일생. 1978년 숭실대학교 전자공학과 졸업. 1980년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1983년~현재 한국전기연구원 책임연구원.
Tel : 031-420-6171, Fax : 031-420-6199
E-mail : khkim@keri.re.kr



황 금 찬 (黃 金 燦)

1944년 7월 18일생. 1967년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1975년 Polytechnic Institute of New York, USA(M.S.) 1979년 Polytechnic Institute of New York, USA(Ph. D.) 1980~현재 연세대학교 전기전자공학과 정교수.
Tel : 02-2123-2769, Fax : 021-363-8389
E-mail : kcwhang@yonsei.ac.kr