

논문 2011-48TC-5-6

지중 전력선 통신채널의 특성 해석

(An Analysis of Characteristics of Underground Power line Communication Channel)

엄기환*, 신재호**, 이승준***

(Ki-Hwan Eom, Jai-Ho Shin, and Seung-Joon Lee)

요약

본 논문에서는 광대역 지중 전력선 통신 모델 및 네트워크 기술개발을 위하여 실제측정을 통해 지중 전력선 통신채널의 특성을 해석하였다. 지중 배전선로의 길이 및 구조물에 따른 지중 배전선로의 광대역 전력선 통신채널의 감쇠량을 측정하기 위해 신호발생기, 스펙트럼 분석기, 비접촉식 커플러 등을 이용하여 채널 측정 시스템을 구성하였다. 실증시험을 위해 시험선로 내 단일 선로로서 가장 긴 고압 선로 두 곳을 선택하고, 그 채널상의 노이즈 특성 및 신호감쇠 레벨을 측정하였다. 측정결과 통신성능을 매우 떨어뜨릴 수 있는 임펄스 노이즈가 존재하는 것을 확인하였으며, 장거리 선로의 경우 선로 길이에 의한 고주파 감쇠가 나타나는 것으로 확인하였다.

Abstract

In this paper, to develop a broadband power line communication modem and network technologies, we analysis the characteristics of underground power line communication channel through actual tests. To measure the amount of attenuation by length and structure of broadband power line communication channel, we configure a measurement system of the channel with signal generator, spectrum analyzer and non-contacted coupler. For actual tests, we choose two of the longest lines among medium-voltage lines as a single line in the test lines and measure the characteristics of noise and signal attenuation level of the channel. The experimental results show that the channel has a impulse noise which can remarkably reduce communication capability. In the case of long lines, high-frequency attenuation appeared by length of the lines.

Keywords : Underground Power Line Communication,, Communication Channel, Impulse Noise, High Frequency Attenuation, Non-contacted Coupler

I. 서론

전력선 통신(PLC)은 전력을 공급하기 위해 설치된 전선을 통신선으로 활용하는 것이다. 전력선 통신은 통신을 위한 전송매체에 대해 따로 투자를 하지 않아도 되므로 획기적인 것이라 볼 수 있다. 그러나 전력선은

고주파 전송 특성이 고려되지 않은 전송매체이다. 따라서 이러한 조건을 어떤 기술로 극복해 가느냐가 PLC 연구의 핵심이고, 어떤 구간에서 어떤 용도로 활용하느냐가 관건이라 할 수 있다^[1~2].

지금까지 전력선 통신에 관한 연구는 가공 전력선이나 구내전선을 전송매체로 활용하는 것을 전제로 해 온 것이다. 고압 전력선이든 저압 인입선이든 가공 전력선을 전제로 연구해 왔다고 해도 과언이 아닐 것이다^[3].

그러나 고주파 전송 특성 면에서는 옥외 노출된 가공 전력선을 이용할 때와 지중의 폐쇄된 공간에 밀집된 지중 전력선을 이용할 때는 전혀 다를 것이다. 또한 빌딩 내의 구내 전선망의 경우에도 전혀 다른 특성을 가지고

* 정회원-교신저자, ** 정회원, *** 학생회원, 동국대학교 전자전기공학부

(Dept. of Electronic and Electrical Eng. Dongguk University - Seoul)

※ 본 연구는 한국 전기연구원의 지원으로 수행되었음.
접수일자: 2010년2월1일, 수정완료일: 2011년5월17일

있는 것이다.

서비스 경쟁력이 기대되는 전력선 통신 홈 네트워크를 전제로 할 때는 구내 배전망을 전송로로 한 것도 있지만 구내망은 지중 전력망과는 그 차원이 다르다. 한편 구내망에 대한 전송특성 연구도 주위 환경 잡음과 영향에 대한 실험 시험을 주로 시행하여 왔다. 지중배전설비는 가공배전설비에 비하여 구축비용이 많이 소요되는데도 불구하고 공급 능력이 높고 친환경적이라 점점 더 확대 되어갈 전망이다. 서울은 이미 50%를 넘어섰고 대전은 45%에 육박하고 있는 것이다. 그리하여 지중 전력선이 확산될수록 지중 전력선의 통신 가치는 점점 더 향상될 것이라 본다. 비교적 가장 안정된 망이라는 지중선 전력선을 얼마만큼 통신 선로로 활용할 수 있느냐 하는 것은 녹색성장 정책이나 에너지 자원 활용 측면이나 통신투자비 절감차원에서 매우 중요한 것이다. 가공전력선이나 구내 배전망이 아닌 중성선이나 지중선을 전송매체로 사용하여 통신해 보려는 실험 및 연구는 거의 없었다^[5~8]. 지중 전력선을 전송매체로 유럽 및 일부지역에서 통신채널 특성을 연구한 사례가 있으나 지중 전력선의 구조가 우리나라와 다르기 때문에 국내 지중 전력선 통신 연구·개발에 참고하기가 어려운 실정이다. 또한, 가공 전력선과 구내 배전망을 이용한 전력선 통신 연구·개발 결과는 지중 전력선에 적용될 수 없다. 고주파 전송 특성 면에서 옥외 노출된 가공전력선, 빌딩내의 구내 전선망은 지중의 폐쇄된 공간에 밀집된 지중 전력선과 그 특성이 다르기 때문이다. 구내배전망은 워낙 단거리 구간이기 때문에 전송특성에 대한 연구보다도 주위 환경 및 잡음영향에 대한 실험 및 시험을 주로 시행해 왔다.

본 논문에서는 현재 우리나라에서 구축·운영중인 지중 전력선을 대상으로 전력선 통신 채널 특성을 조사하기 위해 지중 전력선 통신 채널 측정 및 분석을 한다. 실제 고압 지중 배전선로 전력선 통신 채널 측정은 경기도 안산시 초지동에 위치한 총 둘레 5.67km의 실증 시험선로에서 수행한다. 통신 채널 측정은 실증 시험선로 내에서 단일 선로로서 가장 긴 고압 선로 두 곳을 선택하여 채널 상의 노이즈 측정 및 신호 감쇠 레벨을 측정하여 분석한다.

II. 지중 전력선 통신 채널 측정 시스템 구축

1. 비접촉식 커플러

커플러는 용량성 결합을 이용한 접촉식과 유도성 결합을 이용한 비접촉식으로 분류할 수 있다. 접촉식은 캐패시터를 기본으로 하는 커플러로서 전력선에 직접 연결되어 우수한 신호전송 특성을 발휘하지만 전력선에 직접 부착해야하므로 작업의 어려움과 안정성이 떨어진다. 반면, 비접촉식은 전력선 외부에 클램핑(Clamping)되는 형태로써 페러데이 법칙과 렌츠의 법칙에 의한 전자기 유도원리를 기본으로 한 것으로, 우수한 신호전송 특성과 더불어 전력선 외부에 설치되므로 작업의 용이성 및 안정성을 확보할 수 있다. 현재 우리나라의 경우 선로의 전기적 절연을 확보하기 어려운 가공선로에는 주로 접촉식 커플러를 주로 이용하고 있으며, 케이블 내에 중성선을 포함하고 있어 선로의 전기적 절연을 확보하기 쉬운 지중선로에는 비접촉식 커플러를 주로 이용하고 있다^[4].

본 실험에서는 지중 고압 배전선로 채널 특성 측정을 위해 그림 1과 같은 매트론의 300A급 나노 크리스탈(Nanocrystalline) 비접촉식 커플러를 사용하였다.

비접촉식 커플러 선정 시 주요 고려사항으로는 크게



그림 1. 매트론 300A급 비접촉식 커플러
Fig. 1. A photograph of non-contacted coupler.

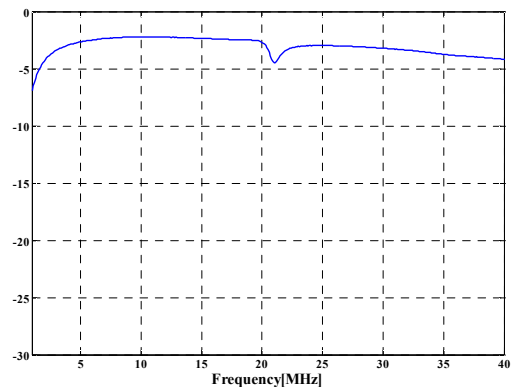


그림 2. 300A급 비접촉식 커플러 신호전달특성
Fig. 2. A characteristic of signal transmission for inductive coupler of 300A class.

대 전류에 대한 자기포화 특성과 광대역 전력선통신 대역에서의 신호전달특성 등이 있다. 상기 비접촉식 커플러는 나노 크리스탈 재료의 특성과 공극(Air Gap)을 이용하여 최대 300A까지 안정적인 신호전달특성을 유지할 수 있다^[3]. 또한, 상기 비접촉식 커플러에 대한 신호 전달 특성은 네트워크 애널리저(Agilent 4395A)를 이용하여 측정된 결과 그림 2와 같이 광대역 전력선 통신 주파수 대역(1.7MHz~30MHz)에서 -5dB 이상의 감쇠 특성을 나타내는 것을 확인하였다.

2. 지중 배전 계통 구조 분석

고압 지중배전계통은 미국방식의 배전계통을 활용하였으며 개방 환상방식과 다중연계방식을 기본 구성 원칙으로 하고 있다. 그림 3은 고압 지중 배전 계통 구성도이다.

그림 3에서 주 회선으로 부터 공급받는 1회선 개방루프(SW1~2~5~6~4, 상시 개방 점 SW#5)가 구성되며, 타 회선(D/L #2,3,4)과 연계되어 있다. 고장발생시 고장 구간을 분리한 후 연계개폐기의 단자를 조작하여 건전 구간을 역송·공급한다.

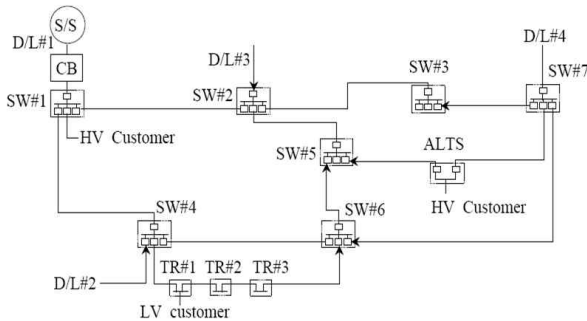


그림 3. 고압 지중 배전 계통 구성도
Fig. 3. Construction diagram of medium voltage underground distribution system.

3. 지중 전력선 통신 채널 측정 시스템

지중 배전선로의 길이 및 구조물에 따른 지중 배전선로 광대역 전력선통신 채널상의 감쇠량을 측정하기 위해 그림 4와 같이 신호 발생기, 스펙트럼 분석기, 비



그림 4. 지중 전력선통신 채널 측정 시스템 구성
Fig. 4. Block diagram of measurement system of underground power line communication channel.

접촉식 커플러 등을 이용하여 채널 측정 시스템 구성하였다.

III. 지중 전력선 통신 채널 측정 실험

1. 실험 환경

실제 고압 지중배전선로 전력선통신 채널 측정은 경기도 안산시 초지동에 위치한 총 둘레 5.67km의 실증 시험선로에서 수행하였다. 실증 시험선로 내 계통은 개폐기 106대, 변압기 111대로 구성되어 있으며, 수용가는 학교나 아파트 단지 등과 같은 고압 수용가, 전원주택이나 공원 등과 같은 저압 수용가, 고압과 저압을 혼용하여 사용하는 상업지구 등으로 구성되어 있다.

실제 채널측정은 실증 시험선로 내에서 단일 선로로서 가장 긴 고압 선로 두 곳을 선택하여 채널상의 노이즈 측정 및 신호감쇠 레벨을 측정하였다. 그림 5와 6은 채널측정을 수행한 고압 지중배전선로의 계통 및 설비 위치를 나타낸다. 첫 번째 시험선로는 325mm² CNCV 케이블을 사용하는 품림 67 SW(개폐기)와 품림 70 SW사이로 길이는 약 804m이며 선로 중간에 5개의 맨홀이 존재한다. 두 번째 시험선로는 60mm² CNCV 케이블을 사용하는 품림 18 SW와 품림 19 SW사이로 길이는 약 618m이며 첫 번째 선로와 마찬가지로 선로 중간에 5개의 맨홀이 존재한다.

고압 지중 배전 선로 전력선 통신 채널 노이즈 및 신호 감쇠량 측정을 위해 300A 급 비접촉식 커플러를 설치하며, 이때 신호 레벨이 플로팅 되는것을 막기위해 커플러에 접지를 수행하였다. 그림 7은 고압 지중 배전선로 전력선 통신 채널 측정시스템 구성도이다. 그림 3

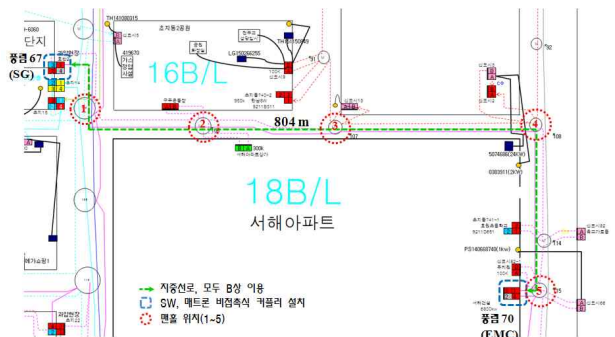


그림 5. 채널 측정용 첫 번째 고압 장거리 지중 배전선로 계통 및 설비 위치(총804m)
Fig. 5. Location of high-voltage underground power distribution line (804m) and the equipments for measuring the channel.

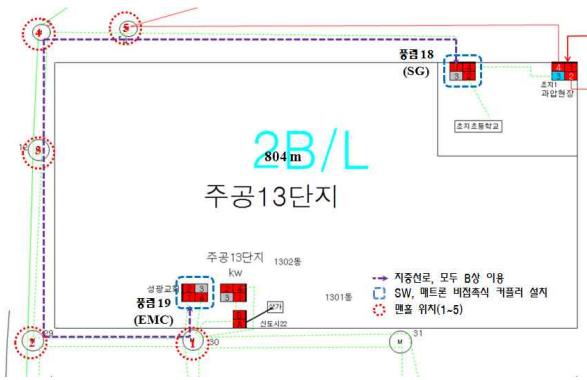


그림 6. 채널 측정용 두 번째 고압 장거리 지중 배전선로 계통 및 설비 위치(총618m)

Fig. 6. Location of high-voltage underground power distribution line (618m) and the equipments for measuring the channel.

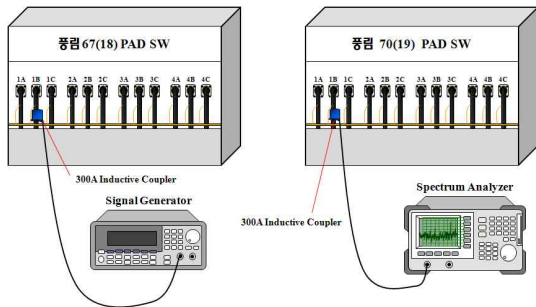


그림 7. 실제 시험 선로 상의 고압 지중 배전선로 채널 측정 시스템 구성도

Fig. 7. Composition of the channel measurement systems on the test lines.

표 1. 신호 발생기 및 스펙트럼 분석기 설정 값
Table 1. Setting values of signal generator and spectrum analyzer.

장비	구분	내용
EMC Analyzer (Agilent E7402A)	Frequency Range	1MHz ~ 50MHz
	Y Axis Unit	dBm
	Atten.	10dBm
	RAW	120kHz
	VBW	300kHz
Function Generator (Agilent 33250A)	No. of Points	491
	Frequency Range	1MHz ~ 50MHz
	Waveform	Sine
	Amplitude	0dBm, 20dBm
	Sweep Time	30sec

에서 신호 발생기(Agilent 33250A) 및 스펙트럼 분석기 (Agilent E7402A)를 각각 시작점(종점 #18 및 #67)과 종점(종점 #19 및 #70)에 설치하였으며 모두 B상을 사용하였다. 또한 노이즈 측정에는 스펙트럼 분석기만을 사용하였다. 신호 발생기 및 스펙트럼 분석기의 설정

값은 표 1과 같다.

2. 실험 결과

그림 8은 SW #67과 #70 사이 804m에서 나타나는 채널특성을 보여준다. 검은 선은 SW #70 B상에서의 노이즈 레벨, 붉은 선은 SW #67 B상의 신호 발생기에서 0dBm 신호를 송신하였을 때 SW #70 B상에서 신호 레벨, 파란 선은 SW #67 B상의 신호 발생기에서 20dBm 신호를 송신하였을 때 SW #70 B상에서 신호 레벨을 각각 나타냈으며, 모두 Max Hold값이다. SW #70에서 노이즈 레벨이 매우 크게 나타났으며 임펄스 노이즈임을 확인하였다. 커플러 감쇠를 포함해 SW #67과 #70 사이에서 최소 35dB 이상의 감쇠가 타나는 것을 확인되었으며, 20dBm 신호를 송신하였을 때 스펙트럼 분석기를 이용하여 확인결과 약 20MHz까지 수신신호를 확인할 수 있었다. 이는 선로 길이가 길어지며 나타난

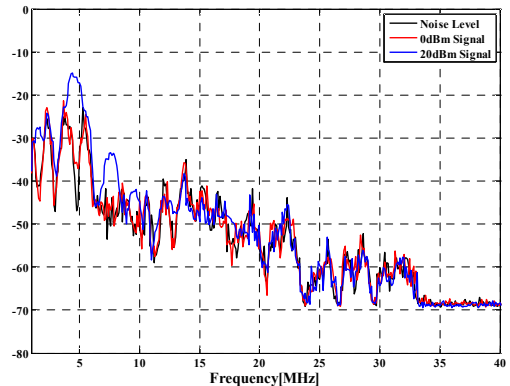


그림 8. SW #70에서 노이즈 및 신호감쇠 측정 결과
Fig. 8. Measurement results of noise and signal attenuation from SW #70.

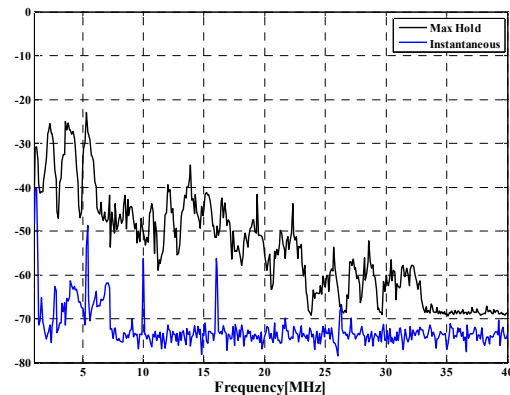


그림 9. SW #70에서 Max Hold 및 순시 값 노이즈 측정 데이터
Fig. 9. Measurement data of max hold and instantaneous from SW #70.

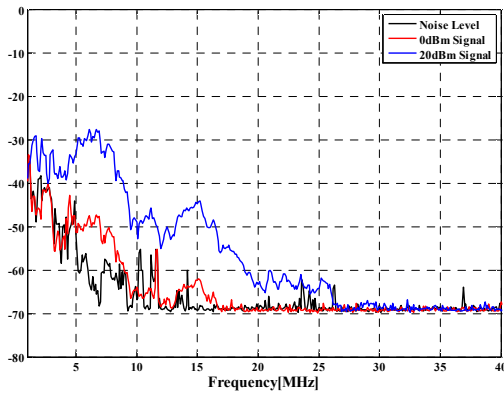


그림 10. SW #19에서 노이즈 및 신호감쇠 측정 결과
Fig. 10. Measurement results of noise and signal attenuation from SW #19.

고주파 감쇠로 인해 나타나는 현상으로 볼 수 있다.

순시 값으로 측정하였을 때의 노이즈 레벨은 그림 9의 파란선과 같은 형태로 나타나며, 임펄스 노이즈가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 임펄스 노이즈의 신호 크기가 크게 매우 빠른 주기로 나타날 경우 모뎀의 통신성을 매우 떨어뜨릴 수 있다.

그림 10은 SW #18과 #19 사이 618m에서 나타나는 채널특성을 보여준다. 검은 선은 SW #19 B상에서의 노이즈 레벨, 붉은 선은 SW #18 B상의 신호 발생기에서 0dBm 신호를 송신하였을 때 SW #19 B상에서 신호 레벨, 파란 선은 SW #18 B상의 신호 발생기에서 20dBm 신호를 송신하였을 때 SW #19 B상에서 신호 레벨을 각각 나타냈으며, 모두 Max Hold값이다. SW #19에서 나타난 노이즈는 고압 전력선통신 채널에서 일반적으로 나타나는 노이즈 레벨로, SW #70번에서 측정한 노이즈 레벨에 비해 매우 작게 나타났으며 임펄스 노이즈가 없음을 확인하였다. 커플링 감쇠를 포함해 SW #18과 #19 사이에서 최소 47dB 이상의 감쇠가 나타나는 것을 확인하였으며, 20dBm 신호를 송신하였을 때 스펙트럼 분석기를 이용하여 확인 결과 약 27MHz까지 수신신호를 확인할 수 있었다. 이는 앞선 경우와 마찬가지로 선로 길이가 길어지며 나타난 고주파 감쇠로 인해 나타나는 현상으로 볼 수 있다. SW #18과 #19 사이의 채널에서는 임펄스 노이즈가 나타나지 않아 순시 값으로 측정하였을 때의 노이즈 레벨은 나타나지 않았다.

두 고압 선로에서의 측정 결과 선로의 길이가 길어지면 길어질수록 고주파 감쇠가 커지는 것을 알 수 있다. 전력선통신 채널 상에서 나타나는 신호감쇠 요인으로 앞서 말한 선로길이의 증가에 따른 신호감쇠와 더불어

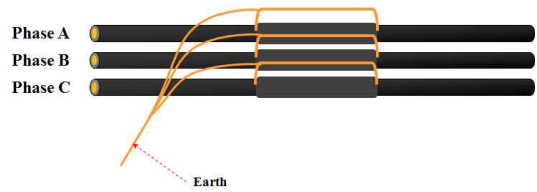


그림 11. 케이블 직선접속 형태
Fig. 11. Form of straight connection of the cable.

지중 배전설비 및 구조물에 의한 신호감쇠 또한 있을 수 있다. 특히 SW#67과 #70사이나 SW#18과 #19 사이에는 맨홀이 존재하는데 이 맨홀에서는 케이블의 직선 접속이 이루어진다. 이러한 케이블 직선접속은 그림 11과 같이 3상(Phase)을 직선접속 후 중성 선을 함께 모아 접지를 수행하는 형태로 이루어진다. 비접촉식 커플러를 이용하여 케이블 외피에 커플링을 할 경우 전력선 통신 신호는 케이블 내의 상(Phase)선과 중성선에 실리게 되는데 직선접속이 이루어지는 지점에서 중성 선에 실리는 신호가 접지 혹은 다른 상의 중성선과 같은 분기로 빠져나갈 수가 있다^[5].

IV. 결 론

본 논문에서는 광대역 전력선 통신 모델 및 네트워크 기술개발을 위하여 측정을 통하여 지중 전력선의 통신 채널 특성 해석을 하였다. 지중 전력선 통신 채널 측정 시스템은 신호발생기, 스펙트럼 분석기, 비접촉식 커플러로 구성하였다. 실제 고전압 지중 배전선로 전력선 통신 채널 측정은 경기도 안산시 초지동에 위치한 총 둘레 5.67Km의 실증 시험 선로에서 수행하였다. 채널 측정은 실증 시험 선로 내에서 단일 선로로서 가장 긴 고압 선로 두 곳을 선택하여 채널상의 신호감쇠 레벨과 채널상의 노이즈를 측정하였다. 측정결과 통신성을 매우 떨어뜨릴 수 있는 임펄스 노이즈가 존재하는 것을 확인하였으며, 장거리 선로의 경우 선로 길이에 의한 고주파 감쇠가 나타났으며, 또한 선로중간에 있는 분기점에 의한 감쇠도 나타나는 것으로 확인하였다.

향후, 안정적이고 최적화된 전력선통신 성능을 얻기 위해서는 블로킹 필터 설치 등을 통한 분기에 의한 신호감쇠 방지와 임펄스 노이즈 원 검출기술 개발 등을 통한 임펄스 노이즈에 대한 영향을 최소화 할 수 있는 방법이 필요할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] Kang J.M, Park C.K and Hyun D.W., "Design and Implementation of Network Management System for Power Line Communication Network," *IEEE Int. Sympo. on Power Line Commun. and its Application*, pp. 23-28, Mar. 2007.
- [2] Xavier Carcelle, "Power Line Communications in Practice," Artech house, pp. 10,15-27, 2006.
- [3] 박병석, 최영림, 유동희, 현덕화 "저압인입선에서의 고속 전력선 통신 특성 분석," *전력전자학회 논문지*, 제10권, 제3호, pp. 264-273, 6. 2005.
- [4] 김종령, 김현식, 허정섭, 이해연, 이준희, 오영우, 변우봉, "나노 결정립 재료를 이용한 비 접촉식 커패시터의 설계 및 특성", *한국자기학회지*, 제16권, 제 6호, pp. 300-304, 12. 2006.
- [5] Xingyuan Fang, Cheng Tao, "Design and Implementation of Broadband PLC Modem", *8th Int. Conf. of Signal Processing*, Vol. 4, pp. 16-20, Nov. 2006.
- [6] H. Meng, Y.L. Guan, S. Chen, "Modeling and Analysis of Noise Effect on Broadband Power-Line Communications," *IEEE journal on selected areas in communications*, Vol. 24, No. 7, Jul. 2006.
- [7] Anindya Majurnder and James Caffery, Jr., "Power Line Communication," *IEEE Potentials*, Vol. 23, issue 4, pp. 4-8, Oct/Nov. 2004.
- [8] Manfred Zimmermann and Klaus Dostert, "A Multipath Model for the Power Line Channel," *IEEE Trans. on communications*, Vol. 5, No. 4, pp. 553-559, April. 2002.

저 자 소 개



엄 기 환(정회원)-교신저자
 1972년 동국대학교 전자공학과
 공학사
 1986년 동국대학교 전자공학과
 공학박사
 1989년~1990년 Toho Univ. Post
 Doc.

2000년~2001년 Univ. of Canterbury Visiting
 Professor

1994년~현재 동국대학교 전자전기공학부 교수
 <주관심분야 : 통신전자제어, 인공지능시스템응
 용, USN/RFID>

신 재 호(정회원)
 대한전자공학회 논문지
 제44권 SP편 제2호 참조



이 승 준(학생회원)
 2010년 동국대학교 전자공학과
 공학사

2010년~현재 동국대학교
 전자전기공학부 석사과정
 <주관심분야 : 임베디드시스템, 전
 력선 통신, 인공지능>