

저압 전력선을 이용한 전력선 통신망의 네트워크 성능에 관한 연구

권순원*, 조성배, 오취명, 이재조, 김관호, 홍충선*
 경희대학교*, 한국전기연구원 전기정보망 연구그룹

A study for Network Performance of Power-Line Communication Using Low Voltage Power-Line

Soon-Won Kwon*, Sung-Bae Cho, Hui-Myoung Oh, Jae-Jo Lee, Kwan-Ho Kim, Choong-Seon Hong*
 Kyunghee Univ*, Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

Abstract - 전력선 통신 기술의 발달에 따라 다양한 전력선 통신 핵심 기술들이 적용된 모뎀이 개발되고 있는 시점에서, 상용화에 앞서 모뎀 성능에 대한 실제적인 측정과 검토가 요구된다. 본 논문에서는 저압 전력선(옥내) 통신 테스트 베드를 구성, 이를 통해 모뎀의 네트워크 성능 지표들에 대한 실제적인 측정을 수행하였다. 저압 전력선은 220V저압에 옥내 배전선 약 16m로 구성되었으며, 측정된 네트워크 성능 지표는 RFC2544, RFC2285에서 권고하는 네트워크 성능 지표들 중, 일대일 처리율, 일대다 처리율, 다대일 처리율, 일대일 지연시간, 일대일 프레임 손실이다. 측정에 사용된 전력선 모뎀의 성능과 지표들의 측정값을 통해 모뎀의 성능과 속도뿐만 아니라 전력선 통신 어플리케이션 적용 여부 등 전력선 통신 시스템 개발과 상용화에 실제적인 검토가 가능하다.

1. 서 론

전력선은 전력 에너지의 전송뿐만 아니라 정보를 전송하기 위한 전송매체로도 사용 가능하기 때문에 오래 전부터 신호 전송에 이용되어 왔다. 배전선을 비롯한 전력망의 구조는 그 특성상 이미 수용가까지 연결되어 있기 때문에 통신용으로 사용될 경우 가입자망 구성이 용이하고 비용 절감 효과가 있다는 큰 장점이 있다.

전력선 통신은 기존의 전력선을 통신 매체로 사용하여 데이터 통신을 수행하는 것으로서, 현재 450kHz 이하 대역을 사용하는 시스템에서 30MHz 이하 대역을 사용하는 시스템으로 확장되는 세계적인 추세에 따라 고속 전력선 통신 시스템 개발이 진행 되고 있다. 또한 1990년대 들어 디지털 정보 통신 기술의 급격한 발전과 함께 이러한 기술을 전력선 통신에 적용하기 위한 시도들이 있어 왔으면 현재 상용화를 앞두고 있다.[1]

전력선 모뎀의 상용화 전에 저압 전력선 통신 시험 시설을 통하여 전력선 모뎀의 성능을 측정하고 저압 전력선의 네트워크 성능과 구성 요소들의 성능을 테스트 하는 과정이 요구된다.

본 논문에서는 저압 전력선 통신 테스트 베드를 구성하여, 네트워크 성능지표인 일대일 처리율, 일대다 처리율, 다대일 처리율, 일대일 지연시간, 일대일 프레임 손실을 측정하였다. 이러한 측정으로 전력선 모뎀과 통신망 개발 과정에서 보다 실제적인 실험적 검토와 보완이 이루어 질 수 있다.

2. 본 론

2.1 전력선 통신망

전력선 통신망은 크게 고압배전선로에 구성된 고압망과 옥내의 저압전력선으로 구성된 저압망으로 구분된다. 고압망은 배전계통(4,000~22,900V)을 통해 수용가 지역까지 전력을 송전하는 고압배전선로를 통해 통신 신호가 전달 되도록 신호 커플링 장치들과 함께 구성되며, 저압망은 변압기를 통해 220V 또는 110V로 감압되어 일반 수용가로 전력을 공급하는 저전압 인입선망과 수용가

택내의 전원 콘센트까지를 포함한다.

본 논문에서는 전력선 통신망 중 수용가 택내의 배전반부터 전원 콘센트까지의 저압망을 테스트 한다. 저압 전력선 통신망의 구성요소로는 저압 전력선, 배전반 등이 있다.

2.1.1 저압 전력선 통신 테스트 베드 구성

저압 전력선 통신 테스트 베드의 구성과 배선은 그림 1, 2와 같다. 두개의 분전반은 창고와 현관앞에 설치되어 있으며 분전반의 차단기로부터 각 콘센트까지 약 20여m의 전선으로 연결되어 있다. 그림 2는 분전반에 8개의 차단기가 존재하고 차단기 L1에는 거실의 220V 콘센트 LR_1, LR_2 두개, 차단기 R2에는 주방의 220V 콘센트 K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, 6개, 차단기 R3에는 화장실의 220V 콘센트 RR_1 1개, Room1의 220V 콘센트 R1_1, R1_2 2개, 차단기 R4에는 주방의 220V 콘센트 K_1 1개, 차단기 R5에는 Room3의 220V 콘센트 R3_1, R3_2, 차단기 R6에는 거실의 220V 콘센트 LR_3, 차단기 R7에는 Room2의 220V 콘센트 R2_1, R2_2 2개가 연결된 것을 표시한다. 또한 각각의 차단기는 배전반에서 병렬로 연결되어 있다.

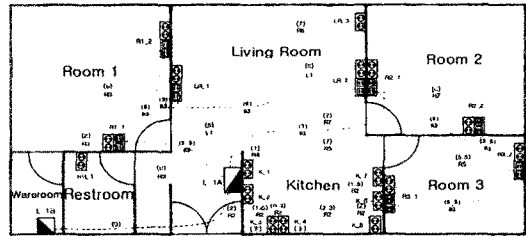


그림 1. 저압 전력선 통신 테스트 베드 구성도

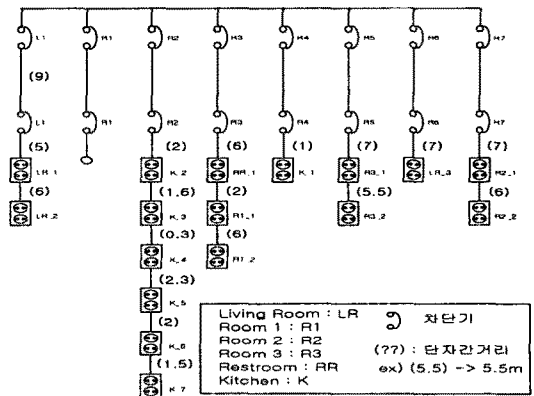


그림 2. 저압 전력선 통신 테스트 베드 배선도

2.2 저압 전력선 네트워크 성능 측정

네트워크 성능 측정 과정은 그림 4와 같이 Master 모뎀을 분전반 L-1B에 위치시키고 Slave 모뎀1을 Room1의 R1_1 220V 콘센트에, Slave 모뎀2를 Room2의 R2_1 220V 콘센트에, Slave 모뎀3을 Room 3의 R3_1 220V 콘센트에 설치하여 측정을 수행하였다. 각각의 저압전력선의 길이는 약 17m, 16m, 16m이다.

2.2.1 네트워크 성능 측정 지표

전력선 통신 성능 테스트는 RFC 2544, 2285에서 권고하는 처리율, 지연시간, 프레임 손실을 측정, 비교, 분석의 과정을 거친다. RFC 2544, 2285에 기초한 측정요소에 대한 요약은 다음과 같다.

- 일대일 처리율(one-to-one throughput)

처리율은 장치가 frame loss 없이 수신할 수 있는 프레임 전송 속도의 최대값을 나타내며 그의 측정은 10Mbps기준으로 binary search algorithm을 이용해서 frame loss없이 송수신되는 최대점을 찾는 과정으로 수행된다. 처리율 측정은 특정 두 지점간 일대일로 구성된다. 테스트의 결과는 각각의 프레임에 대해서 초당 프레임 처리율로 나타나며, 기준 속도의 분율을 통해 최대 송수신 속도를 알 수 있는 지표가 된다.[2]

- 일대다 처리율(one-to-many throughput)

일대다 처리율은 장치가 frame loss없이 한 인터페이스에서 여러 인터페이스로 전송 할 수 있는 최대값을 나타내며 그의 측정은 10Mbps기준으로 binary search algorithm을 이용해서 frame loss없이 송수신되는 최대값을 나타낸다.[3]

- 다대일 처리율(many-to-one throughput)

다대일 처리율은 장치가 frame loss없이 여러 인터페이스에서 한 인터페이스로 수신 할 수 있는 최대값을 나타내며 그의 측정은 10Mbps기준으로 binary search algorithm을 이용해서 frame loss없이 송수신되는 최대값을 나타낸다.[3]

- 일대일 지연시간(one-to-one latency)

지연시간은 통신 장비 간 송수신 과정에서 프레임들의 송수신 지연시간을 나타낸다. 프레임들은 특정 기간 동안 송신 측과 수신 측에 전송되며, 이 프레임들이 송신될 때 시간이 기록되고 그 프레임이 도착하면 도착시간이 기록되며, 이 송수신 시간 차이가 지연시간을 나타낸다. 지연시간의 측정은 특정 두지점간 일대일로 구성된다. 테스트의 결과는 각각의 프레임에 대한 모든 시도 회수의 전송지연 평균값을 보여 주면 실시간 서비스를 위한 성능 지표가 된다.[2]

- 일대일 프레임 손실(one-to-one frame loss)

프레임 손실은 통신 모뎀 장치에 대해 각각 다른 전송율에 따라 손실되는 프레임의 수를 나타낸다. 먼저 특정한 전송 프레임 개수를 정하고 프레임 전송율을 단계적으로 줄여 나가면서 전송된 모든 프레임을 수신할 때까지 반복적으로 측정한다. 프레임 손실 측정은 특정 두 지점간에 일대일로 구성된다. 테스트의 결과는 각각의 프레임 사이즈에 대해 퍼센트 단위로 측정된 손실율을 보여 주며 가입자망의 데이터 송수신 신뢰도의 지표가 된다.[2]

2.2.2 네트워크 성능 측정 장비

본 논문에서 네트워크 성능 측정을 위해 사용된 네트워크 성능 분석기와 전력선 통신 모뎀의 제원은 표1과 표2에 나타내었다.

표 1 네트워크 성능 분석기 제원

제원	내용
지원 계층	PHY - Application 계층
측정 데이터율	10M - 100M bps
Load module slots	4
I/O port	10/100 Mbps Ethernet port * 16
특징	Lan 10/100 NIC가 통합된 PC

표 2 전력선 통신 모뎀 제원

제원	내용
Total frequency bandwidth	D.C - 20MHz
Modulation	DMT(Discrete Multitone)
FFT size	512
Number of subcarrier	256
Subcarrier spacing	78.125kHz
Max. Number of subcarrier used	208(except HAM bands)
Symbol duration	15.6 μsec
Modulation of each subcarrier	D-BPSK, D-QPSK, D-8PSK

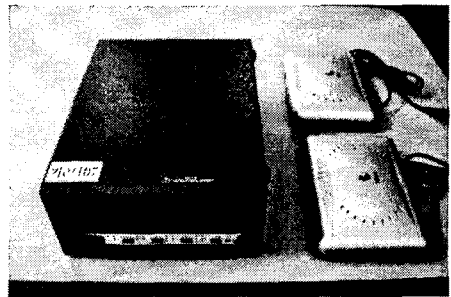


그림 3. 전력선 모뎀과 네트워크 성능 분석기

2.2.3 네트워크 성능 측정 방법

본 논문에서 실제 전력선 통신 모뎀의 네트워크 성능 측정은 그림 4의 Master 모뎀과 Slave1 모뎀사이의 약 17m, Master 모뎀과 Slave2 모뎀사이의 약16m, Master 모뎀과 Slave3 모뎀사이의 약16m 구간에서 수행 되었다.

그림 4의 네트워크 성능 분석기에서 송신된 패킷은 Master 모뎀을 지나서 약 17m의 저압전력선을 통하여 Slave 모뎀 1에 전달되고 다시 네트워크 성능 분석기로 수신된다. 이때 네트워크 성능 분석기는 내부적으로 정의된 함수로 성능을 측정, 분석한 후에 디스플레이 된다. 이와 같은 방법으로 다른 지표의 테스트도 진행되며, RFC 2544, 2285에 의거 네트워크 성능 지표들의 파라미터들은 표3과 같다.

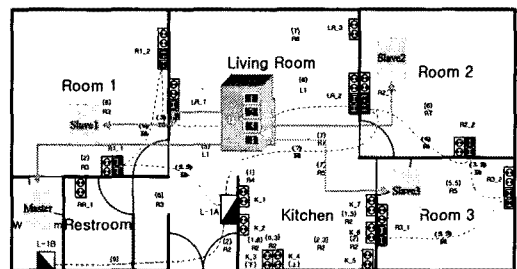


그림 4. 저압 전력선 통신 테스트 베드

표 3 네트워크 성능 지표 파라미터

일대일, 일대다, 다대일 처리율	
Duration	60sec
Frame Size	64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1518bytes
일대일 지연시간	
Duration	120sec
Frame Size	64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1518bytes
No. of Trials	20
일대일 프레임 손실	
No of frames	100000
Frame Size	64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1518bytes

네트워크 성능 테스트의 설정 파라미터는 표 4와 같다.

표 4 네트워크 성능 테스트의 설정 파라미터

이름	내용
Test Type	RFC 2544, 2285
Protocol	MAC
Speed	10Mbps
Duplex	HALF

RFC 2544, 2285에서 정의하는 10Mbps에서 이론상의 Maximum Frame Rates는 표 5와 같다.

표 5 10Mbps에 대한 Maximum Frame Rates

FrameSize (byte)	64	128	256	512	1024	1280	1518
Number(t/s)	14881	8446	4529	2350	1198	962	813

2.3 네트워크 성능 측정 결과

(1) 일대일, 일대다, 다대일 처리율

표 6은 일대일 처리율의 결과이다. 프레임 크기 64인 경우 444kbps의 속도를 나타내며, 프레임 크기 1518인 경우는 6605kbps의 속도를 나타낸다. 프레임 크기가 커짐에 따라 평균 처리율이 대체적으로 증가함을 알 수 있다. 이러한 처리율 측정 방식은 프레임 크기의 변화에 따른 모델의 속도 측정에 사용된다.

표 7은 일대다 처리율의 결과이다. 프레임 크기 64인 경우 389kbps를 나타내며, 프레임 크기 1518인 경우 4994kbps의 속도를 나타낸다. 표 8은 다대일 처리율의 결과이다. 프레임 크기 64인 경우 117kbps를 나타내며, 프레임 크기 1518인 경우 1882kbps의 속도를 나타낸다. 이러한 처리율 측정은 과도한 트래픽을 발생, 해당 장비의 최대 처리율을 알아보는 것으로 프레임 크기가 커짐에 따라 평균 처리율이 대체로 증가함을 알 수 있다.

표 6 일대일 처리율

Frame Size	64	128	256	512	1024	1280	1518
Master->Slave1	661	661	656	293	538	480	537
%Throughput	4.44	7.83	14.48	12.47	44.95	49.90	66.05
Avg. kbps	444	783	1448	1247	4495	4990	6605

표 7 일대다 처리율

Frame Size	64	128	256	512	1024	1280	1518
Maseter->Slave1,2,3	579	645	608	537	447	435	406
%TxTput	3.89	7.64	13.42	22.85	37.34	45.22	49.94
Avg. kbps	389	764	1342	2285	3734	4522	4994

표 8 다대일 처리율

Frame Size	64	128	256	512	1024	1280	1518
Slave1,2,3->Master	174	198	213	219	225	180	537
%RxTput	1.17	2.34	4.70	9.32	18.80	18.71	18.82
Avg. kbps	117	234	470	932	1880	1871	1882

(2) 일대일 지연시간

표 9는 지연시간 측정 결과이다. 결과로부터 프레임 크기가 커질수록 지연시간이 대체로 증가한다는 사실을 알 수 있다. 측정된 지연 시간 범위는, 프레임 크기 64에서 12ms, 프레임 크기 1518에서 58ms 범위에 걸쳐 나타난다. 이러한 지연시간 측정은 전력선 모뎀에 대해 어플리케이션에 따라 요구되는 지연시간 조건을 만족하는지 판정하는 지표가 된다.

표 9 일대일 지연시간

Frame Size	64	128	256
M->S1	12278280	20235248	35910760
	512	1024	1280
	45197360	53729680	59909400
			58466560

(3) 일대일 프레임 손실

표 10은 프레임 손실 측정 결과이다. 프레임의 크기가 커질수록 프레임 손실이 감소한다는 사실을 보여준다. 프레임 사이즈 64인 경우 약 90.53%에서 1518에서 약 8.37%의 프레임 손실율을 보여준다. 이는 프레임 사이즈 64인 경우 프레임 손실 없이 1Mbps의 속도를 보장할 수 없고, 프레임 사이즈 1518인 경우 프레임 손실 없이 최대 6Mbps의 속도를 보장할 수 있음을 나타낸다. 이러한 프레임 손실 측정 결과는 모뎀의 데이터 송수신의 안정성과 효율성에 대한 지표가 되며, 모뎀뿐만 아니라 전력선 채널의 특성에 따른 전력선 통신 서비스 QoS 결정의 지표가 된다.

표 10 일대일 프레임 손실

Frame Size 전송 Rate	64	128	256	512	1024	1280	1518
Rate 100%	95.50	92.14	85.56	72.21	55.14	44.17	33.95
Rate 90%	94.94	91.34	84.03	69.15	50.24	37.97	26.64
Rate 80%	94.35	90.26	81.95	65.24	43.93	30.21	17.45
Rate 70%	93.61	88.81	79.35	60.28	35.98	20.25	5.64
Rate 60%	92.58	86.95	75.92	53.69	25.27	7.04	0.00
Rate 50%	91.06	84.43	71.13	44.44	10.37	0.00	0.00
Rate 40%	91.06	80.62	63.90	30.61	0.02	0.00	0.00
Rate 30%	88.95	74.14	51.92	7.45	0.00	0.00	0.00
Rate 20%	85.23	61.23	27.96	0.00	0.00	0.00	0.00
Rate 10%	77.97	22.66	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Average	90.53	77.26	62.17	40.31	22.09	13.96	8.37

3. 결 론

본 논문에서, 전력선 통신의 상용화에 앞서 개발된 모뎀에 대해 저압 전력선 테스트 베드를 구축하여 저압 전력선 네트워크 성능을 측정하고 검토하는 방법에 대해 기술 했다.

통제된 환경에서의 측정을 위해 각종 부하, 노이즈를 제거하여 테스트하였다. 또한 RFC 2544, 2285에 의거한 네트워크 성능 지표들, 즉 일대일, 다대일, 일대다 처리율, 일대일 지연시간, 일대일 프레임 손실 등을 측정하였다. 측정 결과를 바탕으로 모뎀 성능뿐만 아니라 실제 통신 채널의 성능도 검토하였다.

향후 완전한 전력선 통신망 성능시험을 위해 고압 (22.9kV) 배전선로를 이용한 가입자망을 구성, 보다 확장된 실증 시험이 이루어져야 한다. 또한 전력선 통신 시스템에 대한 공인 시험 체계가 정립되어야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Jae-Jo Lee, "Development of PLC subscriber networks on the Medium Voltage Power Grid", International Conference on Electrical Engineering, pp.1935-19, 2002
- [2] RFC 2544, "http://www.ietf.org/rfc/rfc2544.txt"
- [3] RFC 2285, "http://www.ietf.org/rfc/rfc2285.txt"