

전력선 통신을 이용한 원격검침 시스템구축

박병석, 유인철, 현덕화, 이상영
전력연구원 전력계통연구실 정보통신그룹

Implementation of AMR system using PowerLine Communication

Byung S Park, In H Yu, Duk H Hyun, Sang Y Lee
Computer & Communication Group, Power System Lab, KEPRI

Abstract - 전력선 통신은 디지털 변복조 통신 기술의 발달에 힘입어 높은 신뢰성과 고속의 데이터 전송 속도를 제공하게 됨에 따라 차세대 통신 기술로 기대되고 있다. 아울러 배전 계통에서의 원격 검침은 단순히 검침 비용의 절감 차원이 아닌 수용가 정보 취득 및 수요관리 등의 기능을 함께 수용할 수 있어 보다 효율적인 에너지 사용관리 및 감시가 가능한 배전 계통 구축이 가능하다. 아울러 구성된 통신망을 이용하여 제공되는 다양한 부가 서비스를 통하여 CRM(Customer Relationship Management)의 차원을 한 단계 높일 수 있는 방안의 하나로 인식되어 선진국 전력회사들간에 지대한 관심의 대상이 되고 있다. 본 논문에서는 전력선 통신을 이용하여 저압 수용가의 원격 검침 시스템의 구축 방안을 소개하며, 시스템 구축 상에 관련된 기술적 사항과 효과적인 네트워크 구축을 위한 프로토콜 등을 다루었다.

1. 서 론

전력선은 본래 각종 기기들에 전력을 공급하기 위한 선로로서 낮은 임피던스를 가지며, 매우 불규칙한 선로 구성과 부하 특성에 따른 급격한 선로 특성 변화에 의하여 본래 용도이외에 통신 선로로서 이용하는 것은 상당히 곤란하다. 그러나 최근의 디지털 변복조 기술 및 디지털 신호 처리 기술의 눈부신 발전에 힘입어 전력선 통신을 이용하여 원격 검침 제어 네트워크나 홈 네트워크를 구축하기 위한 시도가 다양한 방법으로 진행되고 있다. 아울러 가전기기, 정보기기 및 각종 제어요소들이 저렴한 가격에 디지털화되어 가는 근래의 추세에서 신규의 선로 포설이 없이 기존의 장치들을 디지털화하고 네트워크로 구성할 수 있다는 장점은 전력선 통신 개발에 있어 가장 중요한 사항이라 하겠다.

아울러, 전기, 수도, 가스등의 Utility 사업자들에게 있어서 AMR은 단순히 검침 비용의 절감이 아닌 고도의 수요 관리, 에너지 관리 및 감시를 가능하게 하여 고객의 서비스 이용에서 발생하는 장애나 불만을 해소할 수 있을뿐만 아니라, 구성된 망을 통하여, 부가 서비스를 같이 제공하여 정제된 Utility 사업자들에게 새로운 사업 영역을 넓힐 수 있도록 한다. 특히 전력선 통신의 경우, Home Network의 구성이 용이하며, Utility 사업자의 검침 망과 연계할 경우, 옥외에서의 보일러, 에어컨 등의 원격 제어, 보안 서비스, 가전기기 유지보수 서비스 등 다양한 서비스를 제공할 수 있다[1]. 또한 원격 검침기능으로부터 기존의 단순한 요금 구조에서 고가의 취향에 따른 다양한 요금 제도의 도입이 가능하며, 전력요금의 온라인 결제 등 과금 문제도 손쉽게 해결할 수 있을 뿐만 아니라 단전 및 수전을 원격 제어로 수행하는 신속한 서비스를 통하여 고객의 만족도를 높일 수 있으며 유지비용이 절감된다.

본 논문에서는 전력선 통신을 이용한 원격검침 시스템의 구축에 있어서 고려되어야 할 사항들과 그 특성을 살펴본다.

2. 전력선 통신 개요 기술

전력선 통신이 사용된 역사는 오래되었지만, 극히 제한적인 산업 분야에 국한되어 왔다. 그러나 디지털 전송 기술의 발달과 함께 폭 넓은 활용이 가능한 새로운 통신 기술로 주목받고있는 반면, 해결되어야 할 문제점도 많이 간략하게 몇 가지를 살펴본다.

2.1. 신뢰성있는 전력선 통신기술 확보

전력선은 다양한 종류의 잡음, 시변 주파수 선택적 페이딩 채널 특성, 제한된 주파수 대역폭 등을 가지고 있어 매우 열악한 채널 특성을 가지고 있으며, 특히 원격 검침을 구성하기 위한 전력선 통신은 Home Network의 특성이 아닌 중단 Access Network의 특징을 가지며, 옥외 저압 배전 선로를 이용해야 한다. 옥외 배전 선로는 다수의 가구들이 동일 주상 변압기 하단으로 공유 네트워크 형태로 구성을 가진다. 이는 통신 채널에 매우 낮은 임피던스 특성을 가지도록 하여, 신호의 왜곡과 감쇄가 민감할 뿐만 아니라, 일일중 시간대별 전력부하 사용에 따라 채널의 특성이 큰 폭으로 달라진다.

현재 전력선 통신관련 기술로는 각 제조사별로 DS-CDMA, OFDM, Chirp Spread Spectrum[2], PSK 등의 다양한 디지털 통신방식들을 적용하고 있으며, 전송속도도 수kbps에서부터 수Mbps까지 다양하다. 따라서 통신 신뢰도를 높이기 위해서는 옥외 배전 선로의 전송특성을 분석하여 옥외 배전 선로에 최적적인 변조 및 전송기술이 개발되어야 한다.

2.2. 표준화된 모델 규격 및 네트워크 프로토콜 개발

전력선 통신은 근래에 새로이 주목받기 시작한 기술로 현재 국제 표준이 없는 상태이며, 각 국에서 나름대로의 표준을 진행하고 있으며, 국지적 어플리케이션의 표준으로 설정되어 사용되고 있는 실정이다. 미국의 경우 CE-Bus, LonWorks, ANI가 EIA 표준으로 각각 채택되었으며 수십kbps 이하의 저속 표준이다. 수Mbps 급의 고속 전력선 모델 규격으로 미국에서는 HomePlug가 구성되어 유수의 IT업체들이 참여하여 활동중이며, 주요 PLC 업체로는 Intelon의 OFDM[3] 기술을 이용하여 4MHz ~ 20MHz 대역을 설정하고 있다. 유럽의 경우 PLCForum에서 고속 PLC 통신을 추진하고 있으며, FDM과 TDM을 채용하여 1.6MHz ~ 30MHz의 주파수 범위를 재 설정하였다. 고속 통신용 주파수는 현재 통신 법규에 위배되고있으며, 이를 위한 법제 완화도 함께 추진하고 있다. 이와 같이 전력선통신 시스템 개발을 활성화하고 보급하기 위해서는 유관 산업체 및 연구 기관들의 합의에 의하여 결정된 일관된 모델 규격 및 네트워크 프로토콜을 개발하여 전력선 통신시스

템의 활성화를 도모하여야 한다.

2.3 타 통신망과의 전력선 통신과의 유기적인 결합

현재 전력선 통신은 220V이하의 저압 선로를 대상으로 하는 방식이 주류를 이루고 있으며, 그나마 상용화되어 있는 고압용 전력선 통신 시스템은 속도가 수백bps정도로 매우 낮을 뿐만 아니라 망 구축 또한 어렵다. 따라서 전력선 통신을 이용한 저압 AMR 시스템은 주상변압기 이하의 220V 저압 선로는 전력선 통신으로, 주상변압기부터 전력사까지는 기존의 통신망을 이용하여야 한다. 두 가지 이종의 통신망으로 연결되는 전체 시스템은 설계의 복잡성과 함께 예상치 못했던 다수의 문제들을 운영시에 야기시킬 수 있으며, 결과적으로 시스템의 건전성과 효율성을 떨어뜨릴 수 있다. AMR 시스템의 근본 취지가 비용 절감임을 고려할 때, 고비용의 망을 사용하기 곤란하며, 시스템 설계시에 선택의 폭은 좁을 수밖에 없다. 전력선 통신망의 특성과 원격 검침 시스템의 서비스 특성을 잘 고려하여 적절한 망을 선택하고, 효율적인 성능을 발휘하도록 설계되어야 한다.

2.4. EMC와 ESD

전력선을 통신 채널로 이용할 때 발생하는 강한 전력의 고주파 신호들은 EMI(Electromagnetic Interference)를 유발시킬 수 있기 때문에 타 통신 기기에 미치는 장애를 방지하기 위하여 EMC(ElectroMagnetic Compatibility) 규제가 필요하게 된다. 미국의 경우 FCC(Federal Communications Commission)에서 산업용 제품, 소비자 및 주택용 등에 대하여 규정을 준수하도록 요구하고 있고 대부분의 유럽 국가들은 CE NELEC의 규정 준수를 위하여 각국에서는 사용 주파수를 제한하고 있다. 한국이나 일본은 10 ~ 450kHz 대역을, 미국은 50 ~ 500kHz 대역을 지정하였으며 유럽의 경우는 3 kHz에서 최고 140.5kHz대역을 할당하고 있다.

국내의 전파법시행령의 고주파 이용설비 항목에서 전력선을 통해 10 ~ 450kHz대역에서의 고주파신호에 대하여 최대출력 10W의 법적 제한을 두고 있고 무선국 항목에서는 322MHz미만의 경우 3m법으로 500 μV/m 이하일 것이 규정되어 있다.

ESD(Electrostatic Discharge)는 전자시스템에서 자주 제기되는 문제로서 EC(European Community)에서는 EMI와 비슷하게 ESD도 규제를 하고 있어 신뢰도가 있는 제품을 개발하려면 ESD로부터 제품을 보호하기 위해 정전하가 민감한 부품에 도달하는 것을 방지하기 위하여 봉합(seal) 하거나 우회할 수 있도록 접지 회로를 구성하는 것 등을 고려하여야 한다. 즉, 전력선 통신을 위해서는 통신시스템 제작, 운영에 관련된 전자계, 정전계의 규제에 대한 대비를 고려하여야 한다.

3. 전력선 통신을 이용한 원격 검침 시스템

현재 개발되고 있는 전력선 모뎀은 아직 그 성능이 정확히 입증되지 않은 상태이며, 옥외 저압선로의 경우 그 시험정도가 더욱 빈약하기에 전력연구원에서 구축한 전력선을 이용한 원격검침 시스템은 다양한 종류의 PLC 모뎀을 시험하고 그 특성을 파악하는데 중점을 두어 설계되었으며 실증 시험을 위한 시범 시스템의 구성은 그림 1과 같다.

시스템을 보면 수용가 측에 있는 전자식 전력량계의 통신 포트를 전력선 모뎀과 연결하고 전력선 모뎀의 line coupler를 통하여 변조된 신호가 인입 전력선으로 투입된다. 그리고 주상변압기에 위치한 집중 모뎀은 수용가로부터 전송된 신호를 복조하여 디지털 데이터로 변환된 후 지역망 규모로 구성된 전송망을 통하여 전력사에서 운영하는 검침 서버에 전송한다. 시험 시스템은 전

력연구원 인근 주택가의 실 선로에 설치되었다.

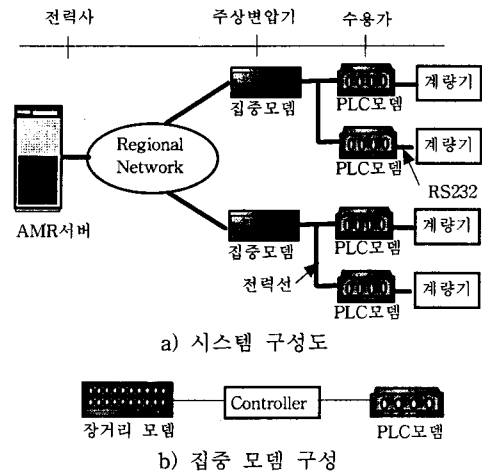


그림 1. 전력선 통신 이용한 원격 검침 시스템 구성도

집중모뎀에서 전력연구원에 설치된 AMR 서버로의 전송망은 다양한 종류의 망이 정합될 수 있으나, 주상변압기측에 설치된 매우 많은 수의 집중 모뎀을 수용할 수 있으며, 저가에 구축될 수 있는 망으로는 PCS와 같은 무선망과 CATV 모뎀 등이 효과적인 것으로 분석하였으며, 안정성과 신뢰성 측면이 강한 광 통신망도 고려하여 3가지 망을 모두 수용하여 시험할 수 있도록 시스템을 구축하였다. 케이블 모뎀을 이용하는 방식은 저가에 고속의 대규모 원격 검침망을 구축할 수 있다는 장점이 있으나, 전국적인 서비스가 제공되지 않는 단점을 가지고 있으며, 무선 통신의 경우, 저속이면서 다중경로, 음영 지역 등으로 신뢰성이 유선에 떨어질 수 있다. 따라서 대도시 지역등 수용가 밀집 지역의 경우, 케이블 모뎀 망으로 구축하고 인구 밀집도가 낮고 넓게 분산된 농어촌지역에서는 무선 망으로 절충하여 시스템을 구축할 경우, 효과적으로 전체 시스템을 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

집중 모뎀은 서버로 연결되는 전송망과 종단의 전력선 통신망을 연결하는 브릿지 형태를 가지도록 설계되었으며, 망의 건전성과 성능에 결정적인 역할을 수행한다. 구성된 시스템은 다양한 종류의 전력선 모뎀과 전송망을 시험할 수 있도록 프로토콜 설계하여 집중모뎀과 AMR 서버에 각각 구현하여, 전송망의 미디어나 전력선 통신 모뎀의 사양에 구애받지 않고 유연한 구조로 동작하도록 설계하였다.

3.2 프로토콜 특성

전체 통신망은 2단계의 중첩된 Multi-Drop 형태를 가지고 구성되며, Polling 방식을 기본 프로토콜로 채용하여, 모든 트래픽은 AMR 서버의 제어에 의하여 전송된다. 이후 AMR 서버와 집중모뎀 사이를 1구간, 계량기에 부착된 전력선 모뎀을 2구간이라 지칭한다. 표.1은 1구간에서 사용되는 프로토콜을 나타내었다. 집중모뎀과 Slave 모뎀간의 전력선 프로토콜은 각 제조사의 규격에 따라 자체적으로 수행하도록 하였다. 전체 네트워크가 Polling방식이기 때문에 서버에서 마스터 모뎀쪽으로 보내는 하향 포맷이나 마스터 모뎀쪽에서 서버로 보내는 포맷은 동일하다. 즉 MMD나 SMD는 PLC 모뎀 주소이기 때문에 상향이나 하향 모두에서 동일하게 적용되도록 하였다.

2구간의 Slave 모뎀은 전력선에서 수신된 프레임의 Data만을 RS-232포트로 전송한다. 2구간 RS-232(계량기)로부터 데이터 수신시 시작되면 버퍼에 저장하기

시작하여 5msec동안 추가적인 문자 수신이 없으면 전력선으로 전송한다. 아울러 100byte정도 버퍼 내에 쌓이면 즉시 전송하도록 설계되었다.

1 ~ 2구간의 모든 통신 Frame은 기본적으로 ACK 없이 Timeout만을 기본으로 운용된다. 전송도중 프레임의 훼손에 대비하여 프레임 수신 중에 Timer를 돌려 최장 프레임 수신시간보다 오랫동안 프레임이 종료되지 않으면 자동 프레임 수신 취소 후 대기상태로 복귀된다. 그림 2 ~ 3에 각 구간에서의 프로토콜 운용을 간략히 도식화하였다.

이상의 설계된 프로토콜은 하부 계량기의 통신 규격에 의존하지 않아 기존에 설치된 다양한 제조업체의 계량기 규격을 그대로 수용하여 설치, 운영될 수 있어 유연성이 높으며, 향후 계량기내의 firmware나 프로토콜 수정에도 쉽게 적용될 수 있다.

아울러, 일관된 통신 규격을 이용하여 다양한 전력선 모델을 동일한 전송망에 같이 연결하여 동시 운용이 가능하며, 기본적인 NMS기능을 제공하도록 고안되어 망의 장애시에도 신속하게 장애 요인을 발견하여 조치할 수 있도록 하였다.

표 1. 프레임 구성

Byte	3	4	4	1	1	1	≤250
Field	Header	MMID	SMID	Length	CMD	Option	DATA

- Header : Frame의 시작을 알려준다.
(2FH, 02H, CCH)
- MMID : 송신 모델의 주소(Master Modem ID)
- SMID : 수신 모델의 주소(Slave Modem ID)
- Length : CMD + Option + Data 영역을 합한 길이. 2 - 252사이의 값을 갖는다.
- CMD : Frame의 Command 종류를 명시.
가. 10H : Data 전송
나. 20H : Master MoDem Check. 응답시 Option Field Diagnostic Value (00H : 정상, 01H : 장애상태)
다. 21H : Slave MoDem Check. 응답시 Option Field Diagnostic Value
라. 30H : Natural Modem Frame. 즉 모델 제조사 고유 프레임전송시 사용.
마. F0H : Program Update
- Option : 해당 Command의 부가 설정 명시
- DATA : 전송될 데이터, 0 - 250Byte 이내 경우에 따라 없을 수도 있음.

표 2. Option Field의 기능

CMD	기능	Option	Frame 방향 (S→M: S←M)
10	Data 전송	SEQ Number	공통
20	Modem Check	00H : MMD	S→M
		01H : SMD	S←M
		00H : 정상 01H : 장애	
30	Natural Modem Frame	00H : MMD	
		01H : SMD	
F0	Program Update	00H : MMD	
		01H : SMD	

4. 결 론

본 논문에서는 전력선 통신을 이용한 원격검침 시스템의 효과적인 구축과 관련된 기술적인 사항을 점검하고, 시스템의 구성과 다기종의 전력선 모델을 수용할 수 있도록 설계된 집중모뎀과 프로토콜 설계에 대하여 알아보았다. 전력선은 새로이 통신 선로의 신규 포설이 필요 없다는 우수한 장점에 힘입어 적극적인 활용이 기대되고

있지만 아직은 기술의 성숙도가 미약하여, 전력선을 통신 채널로 이용시, 모델 표준의 부재, 주파수 이용의 법적 규제 등 많은 문제점이 해결되어야 할 것이다. 구축된 시스템은 장시간에 걸쳐 다양한 성능 측정을 목적으로 하였으며, 이기종의 망과 이기종의 통신 모델을 효과적으로 통합하도록 설계되어 실증 시험 중에 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] D Radford, "New Spread Spectrum Technologies enable Low cost Control Applications for residential and Commercial Use", Intellon, 1997
- [2] D Radford, "Spread Spectrum Data Leap through AC Power Wiring", *IEEE Spectrum*, pp 48-53, Nov. 1996
- [3] R. W. Chang, "Orthogonal Frequency Division Multiplexing", US Patent 3,488,445, Jan 6, 1970

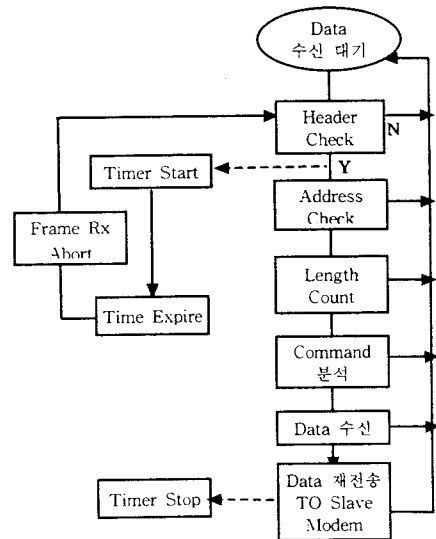


그림 2. 집중 모뎀에서의 프레임 처리

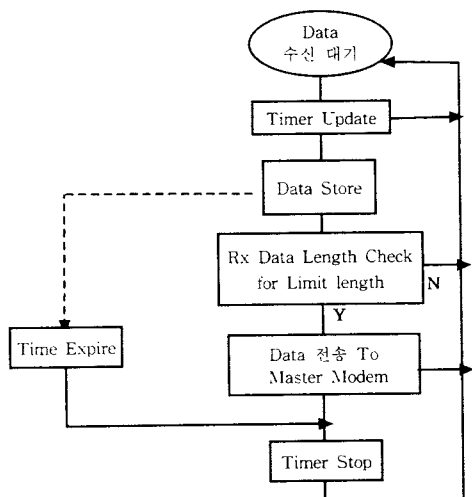


그림 3. Slave 모뎀에서의 데이터 전송