

## 복합 통신망을 이용한 AMR 시스템 개발

김영현, 박병석, 임용훈, 현덕화  
한국 전력 전력연구원

### Development of AMR System using Hybrid Communication Network

Younghyun Kim, Byungseok Park, Yonghoon Lim, Duckhwa Hyun  
KEPRI(Korea Electric Power Research Institute)

#### ABSTRACT

본 논문에서는 전력선 통신 및 무선 통신망을 이용하여 전력 사용량을 자동적으로 검침 및 관리할 수 있는 시스템, AMR(Automated Metering Rating)을 개발한다. 본 시스템은 원격 검침 및 수요 관리, 전력정보 제공 등 지능형 부가 서비스를 지원할 수 있는 있도록 설계하고, 이렇게 설계된 시스템은 실제 환경에 설치하여 성능 시험을 수행한다.

#### 1. 서 론

최근, 산업의 발전 및 삶의 질 향상으로 전력 사용량은 해마다 증가하고 있다. 이로 인해 안정적인 전력 공급을 위한 계획 및 운영은 더욱 더 중요시 되고 있다. 그러나 기존 시스템은 전력 운영을 위한 정보 수집에 있어서 극히 제한적이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 전력사용량을 자동적으로 검침 및 관리할 수 있는 시스템, 즉 AMR(Automated Meter Rating) 시스템에 관하여 많은 연구가 진행 중이다. 이 시스템은 실시간으로 전력 사용량을 감시할 수 있을 뿐만 아니라, 실시간 요금제, 원격 검침, 수요 관리 및 전력정보 제공 등 다양한 전력부가 서비스를 수행할 수 있다. 더 나아가 전력 부가서비스 단말들의 감시 및 제어 기능을 수행할 수 있다.

본 논문에서는 복합 통신망을 이용하여 국내 실정에 맞는 AMR 시스템을 설계하고 개발하며 이에 따른 성능검증을 수행한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 AMR 시스템 및 각 기기의 구성 및 특징에 대하여 요약하고, 3장에서는 각 기기의 통신 방법에 관하여 설명한다. 4장에서는 개발된 시스템을 실제 환경에 적용하여 성능검증을 수행하며, 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

#### 2. AMR 시스템

본 장에서는 AMR 시스템의 전반적인 구성 및 각 기기의 특성에 관하여 설명한다. AMR 시스템은 서버, FEP(Front End Processor), CCPM(Concentrated Communication Processing Module), 전력선 통신 Gateway 내장형 전력량계 및 말단의 전력 단말로 구성된다. 그림 1은 시스템의 전체적인 구성도를 나타낸다.

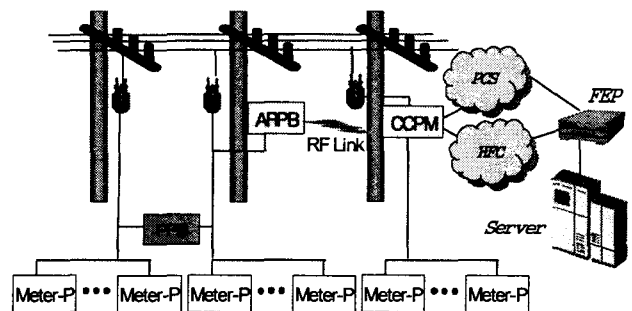


그림 1. AMR 시스템 구성도

#### 2.1 AMR 서버

AMR 서버는 수요관리(혹은 직접부하제어) 제어 서버와 수용가 고객에 대한 정보 단말 운용 서버로 구성된다. 수요관리 서버는 고객의 약정사항과 단말의 구동정보 등을 데이터베이스에 저장하고, 기기들의 이상 장애, 강제 On/Off 제어 등의 각종 이벤트 정보를 수집하고 저장하고 제어관리한다. 수용가 정보 단말 서버는 다양한 부가정보를 수용가 단말에 제공하기 위한 관련 정보를 저장하며, 수용가의 정보 요구에 응답하여 정보의 가공 및 전송을 담당한다.

## 2.2 FEP

AMR 시스템에서는 대규모의 저압 수용가를 수용하기 위하여 각각의 서비스에 해당하는 서버를 독립적으로 구축한다. FEP는 다수의 서버로부터 동시다발적으로 발생할 수 있는 통신 요구를 스케줄링하는 역할을 수행한다.

## 2.3 전력선 통신 Gateway 내장형 전력량계

옥내의 전력선 통신 Gateway내장형 전력량계는 전자식 전력량계와 Gateway 기능을 가진 전력선 통신 모뎀을 일체형으로 고안하였다. 주 기능으로는 원격 검침관련 전력선 트래픽 처리와 수요관리, 전력부가서비스 등을 위한 옥내 전력 단말용 트래픽의 중계, 옥외 전력선 통신의 중계로 3가지 기능을 가진다.

## 2.4 CCPM

CCPM은 일반 공중 통신망을 이용하여 서버로부터 전송되는 패킷을 저압 220V 전력선 통신망으로 전송하는 역할을 수행하며 동시에 각 수용가에 설치된 전력선 통신 Gateway의 감시 및 관리기능을 수행한다. 일반 공중 통신망으로는 이동통신의 무선 망과 케이블 TV 통신망을 이용하는 HFC 망으로 선택적으로 사용 가능하다. 내부 구성은 고주파 신호만을 전송하는 PPB(Passive PLC Bridge)와 무선모뎀 내장으로 무선신호를 수신하여 전력선 통신 모뎀으로 재전송하는 ARPB(Active RF PLC Bridge) 두 가지로 구성되어 있다.

## 2.5 ARPB와 PPB

고주파 신호만을 전송하는 PPB와 무선모뎀 내장으로 무선신호를 수신하여 전력선 통신 모뎀으로 재전송하는 ARPB, 두 기기의 목적은 통신 Bridge 기능이다. 두 저압 계통이 인접하였을 경우 PPB를 사용하여 저압 전력

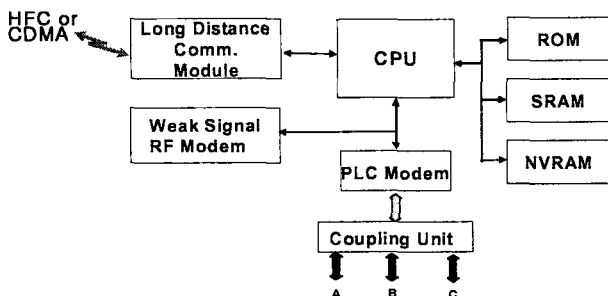


그림 2. CCPM 내부 구성도

선 수용가 확장을 가능하게 하고, 저압 계통이 인접하지 않았을 경우 무선을 이용한 ARPB 기기를 사용하게 된다. 단순히 CCPM과 ARPB간의 통신을 수행하는 것 이외에도 ARPB와 ARPB 기기 간 통신을 수행할 수 있게 함으로써 수용가 확장이 용이하게 하였다. 또한 두 기기는 동적으로 전력선 모뎀의 연결 상태 검사 기능도 수행한다.

## 2.6 전력 부가서비스 단말

전력 부가서비스 단말은 수요관리를 위한 전력선 통신 제어가 되는 냉방기기 및 심야 난방기기와 각종 전력이용 정보 및 부가서비스 등을 제공하기 위한 정보단말로 구성된다. 구체적으로 사용 전력량의 조회, 요금제도 변경, 각종 휴전 정보 및 전기이용 정보 표시 등과 같이 전력 이용에 관한 정보 뿐만 아니라 On/Off제어 기능, 시스템 상태 수집기능과 같은 전력 사용 기기의 감시 및 제어 기능을 가지고 있다.

## 3. 프로토콜 및 변조

지금까지 AMR 시스템을 구축하기 위해 필요한 각 기기들의 구성 및 특징에 관하여 알아보았다. 본 장에서는 각 기기간의 안정적인 통신을 위해 필요한 프로토콜 및 변조방식에 관하여 설명하기로 한다. 더 나아가 본 논문에서 고려된 통신방식을 토대로 구성된 모뎀의 동작원리에 대해서 알아보기로 한다.

### 3.1 프로토콜

전력선 통신을 이용한 전력 부가 서비스 망은 다양한 종류의 단말들이 단일한 전력선 통신망으로 통합되어 운영되는 통신망으로, 각 서비스별로 요구되는 전송 속도, 통신 안정성, 프로토콜 특성들이 서로간에 충돌없이 효율적으로 동작하도록 하여야 한다. 이처럼 다양한 단말을 효과적으로 수용하기 위해서는 제어 노드기능을 수행하는 집중 모뎀의 기능 설계가 매우 중요하다. 또한 여러 가구에 설치된 다수의 부가서비스 단말들간의 제어 계위, 우선 순위, 스케줄링 알고리즘, 긴급 통신 해결방안(Urgent Message Processing)등을 고려한 효과적인 알고리즘이 필요하다. 제어 계위는 한 수용가내에 모든 단말을 제어하는 제어장치를 위치시키는 방법과 전신주상의 집중모뎀에 여러 가구의 다양한 단말을 통합 제어하는 기능을 내장시키는 두가지 방안을 고려할 수 있으며, 시스템의 복잡도, 응답 특성, 신뢰성들을 잘 고려하여 설계하여야 한다.

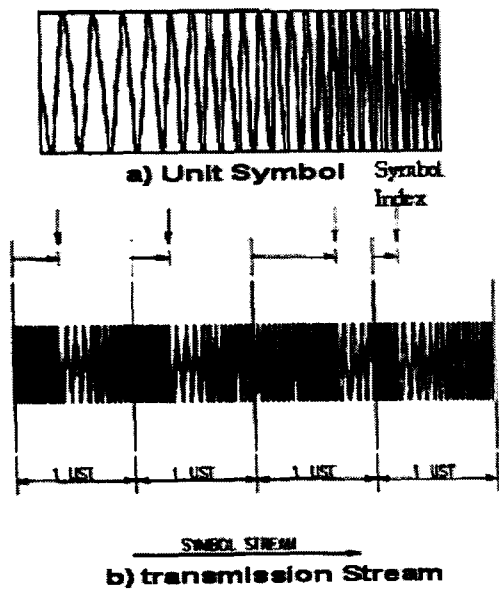


그림 3. 변조 신호

AMR 시스템에서는 전력선 통신 채널의 다중 접속을 위해서 기존의 무선 랜에서 이용하는 CSMA/CA기법을 사용하여 안정된 다중 접속을 제공하며, 다양한 통신요구에 적절하고도 신속한 통신채널을 보장한다<sup>[2]</sup>.

### 3.2 변조

AMR 시스템에서 사용된 변조방식은 DCSK (Differential Code Shift Keying) 기술이다<sup>[1]</sup>. DCSK는 일정한 길이의 신호 패턴을 표준이 되는 기본 전송 단위(이하 심벌)로 설정하고 전송되는 데이터의 bit 패턴에 따라서 심벌의 전송 시작점을 변화시키는 대역확산방식의 변복조 기법이다. 그림 3에 DCSK 변복조 기법을 나타내었다.

그림 3의 a)와 같이 주파수가 연속적으로 변화하는 고정 길이의 특정 패턴을 하나의 표준 심벌로 정의하고 일정 길이의 bit length를 할당한다. 본 연구에서 사용된 전송 칩의 경우, 100ms의 시간길이를 같은 표준 심벌에 5bit의 길이를 할당하였다. 따라서 표준 심벌은  $2^5$ 인 32개의 인덱스 지점을 가지고 송신부에 입력되는 bit 패턴에 따라 표준 심벌의 전송 시작 지점을 이동하여 전송한다. 연속되는 전송데이터의 흐름에 따른 실질적인 전송 신호는 그림 3의 b)와 같이 나타내어질 수 있다. 그림에서 보듯이 동일한 패턴의 표준심벌 시작위치를 달리하여 계속적으로 반복전송되는 구조이다.

이러한 변복조 기법은 표준 심벌 신호를 디지털화 하여 롬에 저장하고 입력데이터 패턴에 따라 간

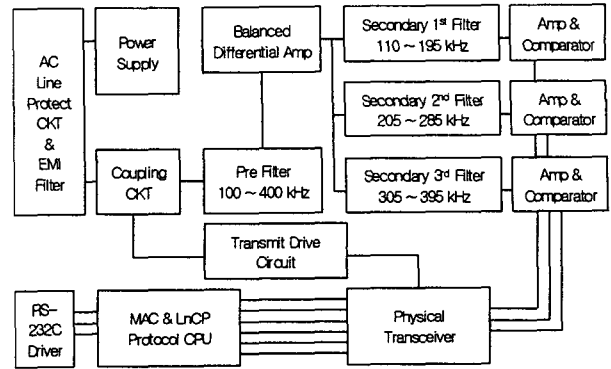


그림 4. 모뎀 구성도

단한 산술 연산으로 표준 심벌의 전송 시작지점을 인덱스화하여 전송할 수 있어, 매우 간단한 구조로 구현될 수 있다. 또한 연속적으로 변화하는 주파수의 시작지점을 인지하여 데이터를 수신하게 되므로, 기존의 DS(Direct Sequence) 방식의 단점으로 지적되어 온 동기검출 문제를 해결할 수 있으며, 복잡도를 낮출 수 있다.

### 3.3 모뎀의 구성

실질적인 모뎀의 구성도는 그림 4와 같다. 시스템의 전송 성능향상을 위하여 기존의 저속 전력선 통신 전송 대역폭을 3개의 구역으로 나누어 각각의 대역에 대한 인덱스 값을 구하여 상관 관계를 산출하여 데이터 전송 신호를 결정하는 구조를 택하였다. 이러한 다중 병렬 송수신구조는 전력선 통신채널에서 발생하는 시간변화 주파수 선택성 페이딩 (time-varying frequency selective fading)과 Colored Noise등에 대한 시스템의 면역성을 월등히 향상시킨다.

송신부 모뎀의 동작과정은 다음과 같다. 단말기 기로부터 입력된 신호는 Symbol Index계산 회로를 거쳐 표준 심벌의 롬상에서의 시작 주소를 산출하며, 롬에 저장된 심벌신호의 디지털 패턴을 계산된 심벌 인덱스에 따라 순차적으로 읽어 D/A 변환기에 전송한다. D/A 변환기에서 아날로그 신호로 출력된 전송 신호는 BandPass 필터와 증폭부를 거쳐 성형되고 마지막으로 커플링 회로를 거침으로서 전력선에 전송된다.

전력선상의 통신 신호는 커플링 회로를 통하여 모뎀의 수신회로에 도달한다. 우선 광역 특성을 가지는 1차 필터를 통하여 신호 대역만 잘라내고, 이를 수신 증폭부에 거쳐 신호를 정형화한다. 각각의 세부 주파수 대역폭에 대한 심벌 인덱스를 구하기 위하여 해당 주파수 별로의 2차 협대역 밴드 패스 필터를 통과한 뒤 A/D 변환기를 거쳐 디지털 신호

항목	설명
Code Modulation	DCSK modulation
Physical Modulation	Spread Spectrum
Carrier Frequency	100kHz ~ 400kHz
Media Access Control	CSMA/CA
Error Correction	16Bit CRC, 8Bit CRC
Interface	RS-232
Baud Rate	4800bps ~ 19200bps
TRX Speed SM	Standard Mode 7.5Kbps
TRX Speed RM	Robost Mode 5Kbps
TRX Speed ERM	Extremely Robost Mode 1.25Kbps
Compliance	FCC Part15, CENELEC Band A/B

표 1. 모델 규격

로 변환된다. 본 연구에서 채용된 전송 칩의 경우, 110kHz ~ 195kHz, 205kHz ~ 285kHz, 305kHz ~ 395kHz의 3개 대역으로 분리하도록 설계하였다. 디지털화된 수신 신호는 Shift 레지스터를 거쳐 표준 심볼의 비트 패턴을 이용하는 상관 연산기(Correlator)를 거치는 동안 표준심볼의 인덱스 값을 산출하고 이로부터 전송된 데이터의 비트 패턴을 복원한다.

표 1에 전력선 통신 모듈의 규격을 명시하였다. 단말 쪽의 인터페이스는 RS232로 4.8kbps ~ 19.2kbps로 동작설정가능하며, 실 모델의 전송 특성은 전송 채널 특성에 따라 7.5kbps, 5kbps, 1.25kbps의 3단계로 동작한다.

#### 4. 실증 시험

본 장에서는 지금까지 알아본 AMR 시스템을 실제 환경에 구축하여 통신안정성을 확인하기 위한 성능 시험을 실시한다. 또한 분석한 결과를 소개하고자 한다.

AMR 시스템의 구성을 위해 전력연구원 인근 전민동에 시범지구를 구축하였다. 또한 각 전력부가 서비스의 단말 설치를 위해 일반 수용가를 임의로 선발하여 설치하였다. 구체적으로 3개의 ARPB, 1개 CCPM, 8개의 개량기가 설치되었다. 그림 5는 시범지구의 전체적인 계약도이며, 사진 1은 시범

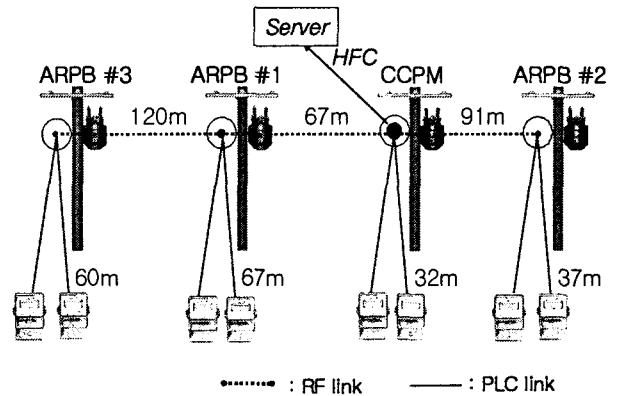


그림 5. 실증 시험 구성도



사진 1. 실증 시험장 전경

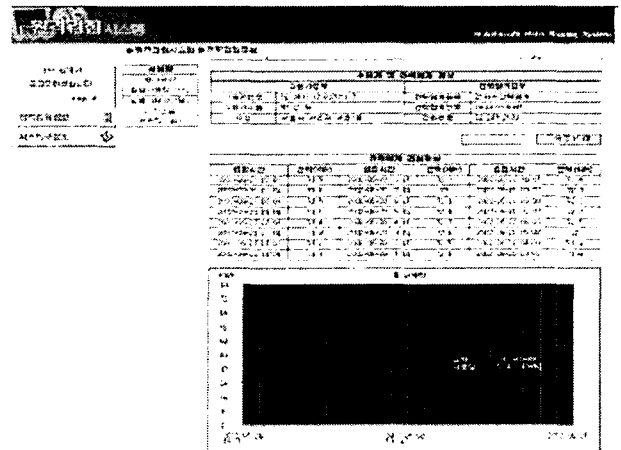


그림 6. 원격검침 서버 화면

지구의 전경이다.

그림 6은 제작된 원격 검침 서버에서의 수용가 전력 사용량 조회화면이다. 기본적으로 MS Windows Server환경에서 동작하도록 하였으며,

Web 환경에서 모든 조작이 가능하도록 하였다. 대표적인 기능으로는 전력량계의 기본 정보 조회/설정 및 검침량의 자료 처리와 통계관리를 수행하도록 하였다. 아울러 수용가의 전력사용량을 그래프를 통하여 직관적인 파악이 가능하도록 제작하였다.

성능 시험은 시간별로 전송되는 서버와 단말기간의 송수신 데이터를 한달 간 수집하여, 통계치로 활용하였다. 무선 채널과 전력선 통신을 이용한 두 가지 통신 방식에 대하여 성능 측정을 수행하였으며 결과는 다음과 같다.

표 2는 AMR 시스템에서의 무선 링크의 통신 성공률이다. ARPB 1에서는 95%이상의 통신성공률을 기록한 반면, ARPB 2에서는 30%이상의 데이터 손실이 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 ARPB 3은 서버와의 거리가 ARPB 2에 비해 멀지만 80% 이상의 통신 성공률을 보이는 것은 무선 채널상 거리보다는 주위 채널 환경에 의해 시스템 성능이 결정된다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 전력선 통신을 이용한 시스템에서의 통신 성공률이다. 각 가입자당 98%이상의 통신 성공률을 보이는 것을 확인 할 수 있으며, 무선 통신을 이용한 시스템에 비해 보다 안정적인 통신이 가능한 것을 확인 할 수 있다. 더 나아가 좀 더 나은 시스템의 성능 안정성을 확보하기 위해 다중 심볼 검출, 코딩과 같은 추가적인 기술이 요구된다.

## 5. 결 론

최근 안정적인 전력공급을 위해 수요 관리에 관한 필요성이 점차 증가하고 있다. 본 논문에서는 전력 사용량을 자동적으로 검침 및 관리할 수 있는 시스템, AMR(Automated Metering Rating), 을 소개하며, 이 시스템은 지능형 부가 서비스를 지원할 수 있게끔 설계하였다. 전력선 및 무선통신을 선택적으로 사용할 수 있으며, 기본적으로 전력 사용량을 실시간으로 관리할 수 있으며, 전력 사용량에 따른 차등 서비스를 지원할 수 있다. 또한 양방향 통신으로 과거 수동적인 시스템에 비해 시스템의 상태정보 수집이 용이하게 되어 있다. 이렇게 구축된 시스템은 실제 환경에 설치하여 성능 시험을 실시한 결과, 전력선 통신을 이용한 시스템에서는 약 95%이상의 통신 성공률을 기록한 반면, 무선통신을 이용한 시스템에서는 주위 환경에 따라 최고 40%까지의 데이터 손실이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

통계치	ARPB No.		
	1	2	3
평균	96.93	65.75	82.93
표준 편차	3.43	0.52	0.79

표 2. 무선 통신 성공률

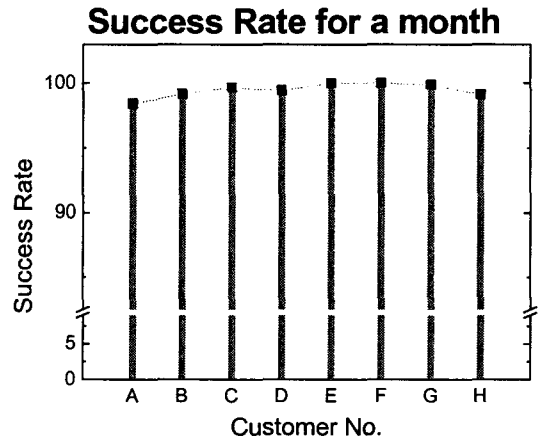


그림 7. 각 가입자의 통신 성공률

## 참 고 문 헌

- [1] J.G. Proakis, *Digital Communication, Third Edition, McGraw-Hill, Inc., 1988.*
- [2] Behrouz A. Forouzan, *Data Communications and Networking, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., 2000.*