

## 전력선 통신을 이용한 디맨드 컨트롤러의 개발

김호 박해원 이정복 석원엽 전희중  
 송실대학교 전기공학과

### Development of Demand Controller Using Power Line communication

Ho Kim, Hae-Won Park, Jeong-Bok Lee, Hee-Jong Jeon  
 Dept. of Electrical Eng. Soong-Sil Univ

#### ABSTRACT

In this paper, an intelligent demand control system was introduced. This system is composed of demand controller, RTU, Power Line Modem and HMI program. The developed demand controller was capable of synchronizing with wathour meter recommended by KEPCO. To control distant loads, network function using powerline communication is implemented in RTU, with HMI program, the untrained users are able to operate system easily. Additionally using the Powerline, the cost and time of installation is saved. The system performance was proved in a several experiments.

#### 1. 서 론

최근 경제성장과 함께 생활수준의 향상으로 인하여 에너지 수요는 매년 증가하고 있으며 그 중에서 하나인 전력수요도 역시 급격히 늘어나고 있는 추세이다. 이와 더불어 투자자원 및 입지확보의 어려움, 환경제약의 문제로 전력 공급의 어려움은 날로 증가되고 있다. 따라서 수요증가를 전력공급 능력의 증진뿐만 아니라 수요관리 측면에서도 필요성이 대두되고 있다.

디맨드 컨트롤러(Demand Controller: 최대 수요전력 관리장치)는 이러한 수요관리를 위한 장비로서 매 시간 변화하는 수용가의 최대수요전력을 감시 또는 예측한다. 만약 목표전력을 초과할 우려가 있을 때에는 경보를 발생시킴과 동시에 단계적으로 부하를 차단하여 전력을 초과시키지 않음으로서 상시 소비전력이 최대수요전력 이하로 유지하도록 한다.<sup>[1]</sup> 과부하가 걸렸을 경우, MTU에서 RTU에 제어신호를 보내어 부하를 제어하게 된다. 이때 제어신호를

보내기 위해서 기존의 전용선(신호선)이 아닌 일정한 전력선을 이용한다. 전력선 통신을 함으로서 포설면에서 다른 방법에 비해 시간, 비용등 모든 면에서 우위를 점할 수 있다.

연재 전력선 통신에 대해서 많은 연구가 이루어지고 있지만 주상변압기 부분에서 신호전달이 용이하지 않는 단점이 있다.

본 논문에서는 변압기를 거치지 않는 수용가 측에서 전력선 모델을 이용하여 가정자동화, 계장 자동화, 공장 자동화, IBS 등에 도입이 가능하리라 생각한다. 그 일례로 디맨드 컨트롤러를 이용하여 부하를 제어하는 부분에 전력선 통신을 도입하여 연구를 실시하였다.<sup>[8]</sup>

#### 2. 본 론

##### 2.1 디맨드 컨트롤러

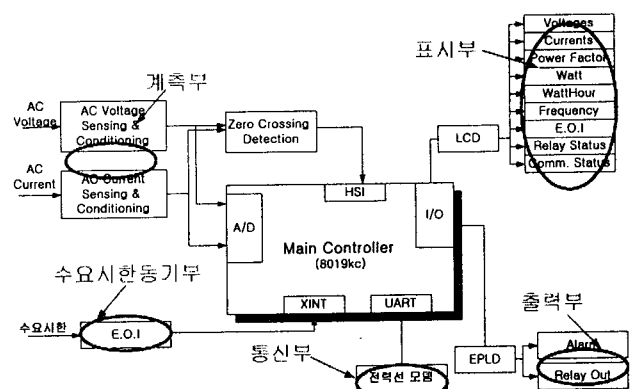


그림 1 디맨드 컨트롤러의 블록도  
 fig. 1 block diagram of demand controller

제작된 최대수요전력 관리장치는 16bit 마이크로 컨트롤러인 8019Kc를 사용하였다. 센서로부터 측정된 전압과 전류를 필터링을 거쳐서 마이크로 컨트롤러의 A/D 변환기에 입력된다. 측정된 값을 기준으로 전력과 전력

량 등을 계산한다. 수요자가 정한 수요관리 프로그램에 따라서 전력관리를 수행한다. 당시의 여러 측정값, 통신 상태, 부하 상태 등을 표시한다. 최대수요전력 관리장치의 블럭도를 그림 1에 나타내었다.

통신부로서 전력선 모뎀을 이용하여 기존의 전력선을 이용하여 RTU와의 통신을 수행한다. 또한 PC와의 통신은 RS-232C로서 구축하였다. 이외 릴레이를 이용 직접 접점제어 가능한 출력부를 갖는다.

### 2.1.1 기본 원리

최대전력 관리장치의 기본원리는 수요시한(디맨드 시한) 동안의 평균전력이 최대수요 전력(디맨드)이므로 부하가 순간적으로 많은 전력을 소비하여도 그 수요시한의 나머지 시간 동안에 미리 선정된 부하의 전력을 차단하게 되면 부하의 소비전력을 목표전력 값에 맞출 수가 있게 된다.

따라서 목표전력 값을 초과하지 않게 하기 위해서는 수요시한 동안에 부하전력이 목표전력보다 큰 부분과 낮은 부분이 같아지도록 부하전력을 가감하면 된다. 이와 같이 현시점 이후에 목표전력 내에서 사용할 수 있는 전력을 남은 전력이라 하며 또한 현시점의 부하전력과 남은 전력과의 차이를 조정전력이라고 한다.

최대수요전력 관리장치는 정확한 부하변동에 따른 소비전력의 변화 추이를 다음과 같은 방법으로 예측한다.

최대수요전력은 식 1과 같이 변환한다. 이 값은 최대수요전력 관리장치가 나타내는 값으로 해당 수요시한 내에서 지금까지 사용한 전력량을 수요시한으로 평균한 것이다.

$$P[kW] = \frac{\text{사용전력량}(kWh)}{\text{수요시한}} = \frac{Q}{T} \quad (1)$$

부하전력( $P_a$ )은 최대수요전력 관리장치가 전력을 적산하는 샘플링의 한 주기동안에 부하전력을 나타내며 CT 및 PT를 통해 검출하게 된다.

$$P_a[kW] = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (2)$$

예측 최대수요 전력( $P_u$ : 예측 디맨드)은 현재의 부하전력이 계속 유지될 경우에 현시점까지의 소비전력량과 앞으로 시한이 종료되기까지 소비할 전력량을 더한 것을 소비전력량의 예측값으로 정한 뒤 이것을 수요시한으로 평균하여 구해진다. 수요시한의 시작점에서 현재의 시간( $t$ ) 사이의 소비전력량을  $Q_t[kWh]$ 라고 하면 예측 최대수요 전력과 예측 소비전력량( $Q_u$ )은 식 3과 식 4에서 각각 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_u[kWh] &= Q_t + P_a(T-t) \\ &= Q_t + \frac{\Delta Q}{\Delta t}(T-t) \end{aligned} \quad (3)$$

$$P_u[kW] = \frac{Q_u}{T} \quad (4)$$

조정전력은 최대수요 전력을 목적값에 맞추기 위해 증

감할 필요가 있는 부하 조정량이며 식 5와 같이 예상소비전력량과 목표소비전력( $Q_s$ )과의 편차를 나머지 시간에 평균하여 나타낸다.

$$P_d[kW] = \frac{Q_u - Q_s}{(T-t)} \quad (5)$$

목표소비 전력량은 수요시한 동안에 소비할 수 있는 전력량이며 목표 디맨드  $P_s[kW] \times$  디맨드시한 $[T]$ 으로 구한다. 그림 1의 잔류전력량( $Q_r$ )은 목표전력량에서 이미 소비한 전력량( $Q_t$ )을 뺀 남은 전력량으로서 이것을 나머지 시간에 균일하게 소비된다고 할 경우에 남은 전력이다. 이를 식 6에 나타내었다.

$$P_d[kW] = \frac{Q_r}{(T-t)} = \frac{Q_s - Q_t}{(T-t)} \quad (6)$$

아래 그림에서는 위에서 언급한 최대수요 전력( $P$ )과 부하전력( $P_a$ ) 그리고 예측 최대수요 전력( $P_u$ ) 관계를 나타내고 있다.

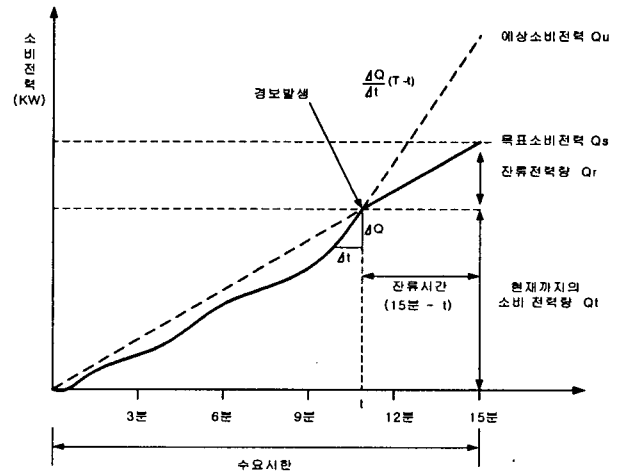


그림 2 디맨드 컨트롤러의 전력량 계산  
fig. 2 watthour calculation of demand controller

### 2.1.2 부하제어관리 및 경보장치

부하를 관리하는 방식으로 우선 순위방식을 채택하여 부하차단의 조건이 검출되면 조절용 부하를 차례로 차단하게 된다.

차단된 부하를 재투입 할 때에도 두 가지 방식이 있는데 본 논문에서는 시한종료 시 투입방식을 택하였다. 최대수요전력 관리장치는 부하가 목표값을 초과할 위험이 발생할 시 사용자에게 미리 경보를 알려주는 경보기능을 포함한다. 경보는 크게 두 가지로서 1단계 경보와 2단계 경보이다.

1단계 경보는 주의 경보로서 부하전력이 잔류전력보다 클 경우 발생한다. 단, 디맨드 시한 초기에는 부하변동의 영향을 받기 쉽기 때문에 적산시간을 길게 하던지 일정시간 경보가 울리지 않게 하는 방법으로 경보잠금시간을 준다.

2단계 경보는 부하제어 경보로서 저감할 필요가 있는

조정전력이 미리 설정된 차단전력의 크기를 초과하였을 경우에 경보가 발생한다.

### 2.1.3 시스템 구성

실제 적용되는 시스템의 모습을 그림 3에 나타내었다. 시스템의 구성은 사용자에게 친숙한 모니터링 화면을 공급하고 제어, 통계 출력 등의 기능을 제공하는 HMI 부분과 최대수요전력을 총괄 감시, 제어하는 디맨드 콘트롤러, 제어신호를 담당하는 전력선 모뎀, 그리고 관리장치의 명령에 따라 각 부하를 조정하는 RTU 부분으로 나누어 볼 수 있다.

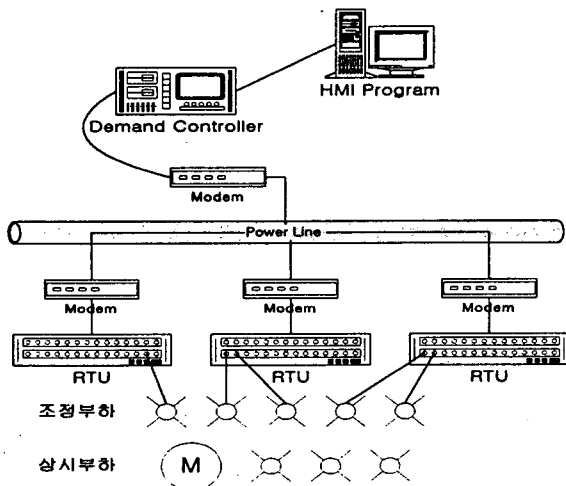


그림 3 전체 시스템 구성도  
fig. 3 full system architecture

### 2.2 RTU(Remote Terminal Unit)

종래엔 최대수요전력 관리장치로부터 제어부하가 멀리 떨어져 있는 경우 이를 제어하기 위해 관리장치로부터 부하까지 전력선을 설비해야만 했고, 이에 따라 설치비가 증가하는 단점이 있었다. 본 논문은 이러한 단점을 보완하기 위해 RTU를 개발하였다. RTU의 블록도를 그림 4에 나타내었다.

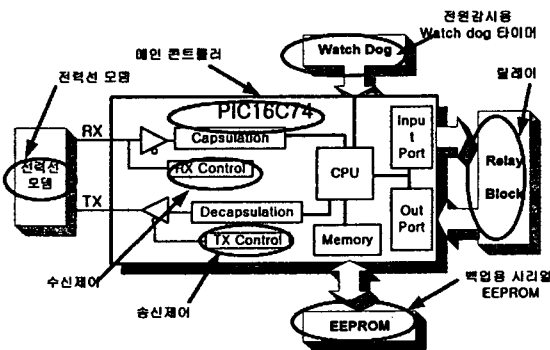


그림 4 디맨드 콘트롤러의 RTU 블록도  
fig. 4 RTU block diagram of demand controller

RTU는 최대수요전력 관리장치의 대리인(Agent)으로서 관리장치에서 원거리에 있는 부하들과 인접하여 설치되며 관리장치와는 전력선 모뎀을 통해 연결된다. 각 RTU들은 전력선을 사용하기 때문에 배선에 소요되는 비용의 절감을 꾀할 수 있다.

제작된 RTU는 저가형 8bit 마이크로 컨트롤러인 PIC16F874를 사용하였고, 정보저장을 위하여 EEPROM을 사용하였으며 컨트롤러의 안정된 동작을 위해 Watch dog 타이머를 설치하였다.

완성된 RTU는 현재 부하의 상태를 점검하여 전력선을 통해 주기적으로 관리장치에 상태를 전송하고 관리장치로부터 명령을 받아들여 부하를 처리하게 된다.

### 2.3 전력선 모뎀

#### 2.3.3 전력선 모뎀 구성도

본 연구에서 사용한 모뎀의 블록도는 그림 5과 같다.

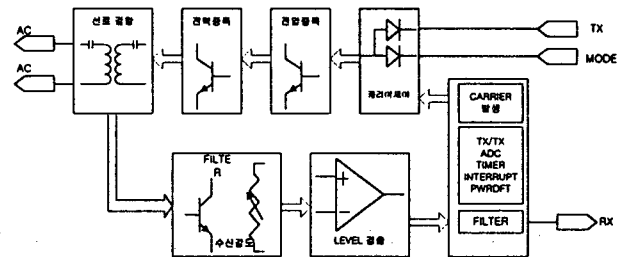


그림 5 전력선 모뎀 블록도  
fig. 5 block diagram of powerline modem

마이크로 컨트롤러에서 캐리어 주파수를 만들어 내고 송·수신 신호는 MODE 핀에서 제어를 한다. 신호를 좀더 멀리까지 전달할 수 있도록 신호레벨을 증폭시켜주는 증폭기 부분, 모뎀을 전력선에 결합시키기 위한 라인 커플러, 일정 대역신호를 필터링하기 위한 대역필터등으로 구성이 되어있다.

본 연구에서 사용한 캐리어 주파수는 350~450KHz를 사용하였고, 무변조 방식을 이용하여 신호를 전달하였다. 최대 통신 속도는 9600bps이고 통신선로는 AC 0~240V의 전력선을 사용하였다.

### 2.4 HMI 프로그램

최대수요전력 관리장치의 인터페이스엔 한계가 있기 때문에 관리장치의 각종 계측값을 모니터링하고 제어하며 데이터 베이스화 하는 프로그램을 개발하였다. GUI에 기반을 둔 HMI 프로그램은 인접한 PC와 최대수요전력 관리장치간을 RS-232로서 연결하였다.

HMI 프로그램은 비주얼 베이직과 컨트롤을 이용하였다. 리포트와 데이터 저장을 위하여 MS사의 SQL 서버를 이용하였다. 탭 메뉴를 이용하여 쉽게 원하는 정보를 볼 수 있게 하였으며 중요한 전력량과 트립 정보는 항상 볼 수 있게 하였다. 웹과 연동하여 구축된 데이터베이스

를 인터넷상에서 모니터링 할 수 있도록 하였다  
그림 6은 HMI 프로그램의 메인화면이다.

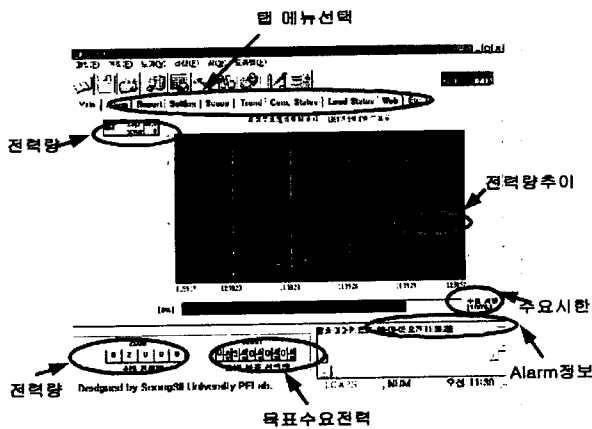


그림 6 디멘드 컨트롤러의 모니터링 프로그램  
fig. 6 monitoring program of demand controller

### 3. 실험 결과

완성된 장치를 다음과 같이 구성하여 실험하였다. 3개의 RTU를 사용하여 최대수요전력 관리장치와 연결하였고, 인접한 PC와 관리장치를 연결하여 HMI 프로그램을 실행하였다.

부하는 중요한 부하로서 제어를 하지 않는 상시부하와 전력수요의 상태에 따라 제어를 할 수 있는 조정부하로 나눌 수 있다. 조정부하는 전동부하 5개를 두고 조정부하는 각 RTU에 연결하였다.

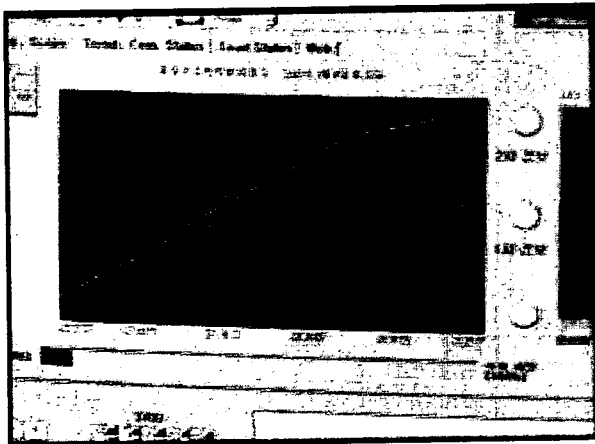


그림 7 부하전력 그래프  
fig. 7 graph of load watt-hour

그림 7에서 부하가 최대 수요전력을 초과할 경우 그래프에서처럼 부하가 제어된 것을 볼 수 있다.

### 4. 결 론

본 논문에서는 최대수요 전력관리장치와 그를 위한 분산형 단말장치인 RTU의 개발, HMI를 적용한 모니터링 프로그램의 구현에 관하여 연구를 하였다.

우선 한전 전력량계에서 제공하는 수요동기신호를 검출하여 한전 전력량계와의 동기를 유지하여 정확한 전력계산을 가능하게 하였고, 수요시한에 맞추어 부하들의 전력량을 적산하고 그 예상추이를 예측하여 적절한 부하관리를 실행하는 최대수요 전력관리장치를 개발하였다. 또한 분산형 단말장치인 RTU를 개발, 배선비용의 절감을 꾀할 수 있었고, 분산형 시스템의 적용으로 향후 새로운 장비의 추가나 제거, 고장 시 복구의 용이를 꾀할 수 있었다. 또한 기기의 설치를 용이하게 하고, 비용을 절감하기 위해서 전력선 모뎀을 개발, 통신에 적용하였다. 그리고 사용자에게 편리한 제어방식과 정보를 제공하기 위해 HMI 모니터링 프로그램을 구현하였고, 각종 자료를 데이터 베이스화 하여 효율적인 처리를 가능케 하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] A.J. Hoffman, "Peak Demand Control in Commercial buildings with target peak adjustment based on load forecasting," IEEE ICCA Conf., pp. 1292~1297, 1998.
- [2] Andres Fortino, "Networking Technologies" McGraw-Hill, pp. 267~299, 1996.
- [3] Fred Halsall, "Data Communications, Computer Networks and Open System," Addison Wesley, pp. 62~70, 1995.
- [4] J. R. Jordan, "Serial Networked Field Instrumentation," John Wiley & Sons, 1995.
- [5] Andres Fortino, Arnold Villeneuve, "Networking Technologies", McGraw-Hill, 1996.
- [6] Fred Harsell, "Data Communications, Computer Networks and Open Systems", pp. 769.
- [7] 한국전력연구원, "정전 및 전압변동을 분석장치개발", 전력연구원, 1996
- [8] T.Esmailian, P.G. Gulak, and F.R. Kschischcang, "A discrete multitone power line communications system" IEEE pp. 2953~2956, 2000. 8.