

## 지능형 최대수요전력관리장치의 개발

(Development of Intelligent Demand Controller)

김병진\* · 정을기\*\* · 한운동\*\*\* · 전희종\*\*\*\*

(Beung-Jin Kim · Eull-Gi Jeong · Wun-Dong Han · Hee-Jong Jcon)

### 요 약

본 연구에서는 지능형 최대수요 전력관리 장치를 개발하였다. 전체 시스템은 지능형 최대수요전력관리장치와 원격에서 부하를 관리할 수 있는 단말처리장치 그리고 사용자의 편의와 원격관리를 위한 HMI 프로그램으로 구성되었다.

개발된 지능형 최대수요전력관리장치의 특징은 다음과 같다. 첫째, 전력회사(예: 한국전력) 거래용 전력량계의 수요시한 동기가 가능하여 정확한 전력관리가 가능하다. 두 번째로 정밀한 전력계측기능을 내장하여 시스템을 간략화 할 수 있다. 세 번째로 단말처리장치를 개발하여 통신을 이용한 원격부하 관리를 수행하므로 초기 설치비용을 저감시켰다. 마지막으로 웹(web)기반 관리시스템을 구축하여 분산된 지능형 최대수요전력관리장치의 관리를 용이하게 하였다. 여러 가지 실험을 통해서 개발된 시스템의 성능을 검증하였다.

### Abstract

In this paper, the intelligent demand control system was introduced. This system was composed of Intelligent demand controller, RTU(Remote Terminal Unit) and HMI(Human Machine Interface) program.

The main features of developed system were as follows. Firstly, the developed demand controller was capable of synchronizing with power meter recommended by KEPCO. Secondly, the developed demand controller had a measurement function, so system could be simplified. Thirdly, network function was implemented to control a distanced loads. With HMI program, the users who was not trained could operate system. Additionally, management based Web was considered to monitor and manage the system remotely. The system performance was proved in a several experiments.

### 1. 서 론

최근 경제성장과 함께 생활수준의 향상으로 인하여 에너지 수요는 매년 증가하고 있으며 전력수요 역시 급격히 늘어나고 있는 추세이다. 이와 더불어

투자자원 및 입지확보의 어려움, 환경제약의 문제로 전력 공급의 어려움은 날로 증가되고 있다. 이러한 전력공급의 문제를 전력 공급자 측면이 아닌 수요자 측면에서 관리할 필요성이 대두되고있다.

최대수요전력관리장치는 이러한 수요관리를 위한

\* 정희원 : 현대중공업 기전연구소 연구원  
\*\*정희원 : 숭실대학교 전산원 교수  
\*\*\*정희원 : 충주대학교 공과대학 전기공학과 교수

\*\*\*\*정희원 : 숭실대학교 공과대학 전기공학과 교수  
접수일자 : 2000년 7월 5일

장비로서 매 시간 변화하는 수용가의 소비전력을 감시 또는 예측한다. 만약 소비전력이 미리 설정된 최대수요전력을 초과할 우려가 있을 때에는 정보를 발생시킴과 동시에 단계적으로 부하를 차단하여 설정된 최대수요전력을 초과시키지 않음으로서 상시 소비전력이 최대수요전력 이하로 유지하도록 한다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서는 다음과 같은 기능을 갖는 최대수요전력관리장치를 개발하고자 한다. 먼저 개발하고자 하는 최대수요전력관리장치와 전력회사 거래용 전력량계의 전력량 계산 오차를 줄이기 위해서 수요시한(디멘드시한:End Of Interval) 동기가 가능하게 하였다. 또한 구형 전력량계와의 동기를 위해 리얼타임 클럭(realtime clock)도 구비하였다.

개발된 최대수요전력관리장치는 계측, 연산기능을 포함하고 있어 별도의 계측장치를 필요로 하지 않는다. 그러나 기존의 최대수요전력관리장치는 계측기능을 포함하고 있지 않아 전력을 계측하고 계산하는 별도의 장치를 필요로 하였다. 개발된 최대수요전력관리장치는 정확한 계측을 위해서 디지털 필터를 설계하여 입력 센서에서 얻어진 전압과 전류에 포함된 노이즈의 영향을 감소시킨다. 또한 디지털 신호처리를 기반으로 한 전력계산 알고리즘과 보상 알고리즘을 통해서 정확한 전력량 계측을 가능하게 하였다.

이와 함께 개발된 최대수요전력관리장치를 비전문가라도 쉽게 동작시킬 수 있는 그래픽 인터페이스를 개발하여 여러 정보를 퍼스널 컴퓨터에 전송할 수 있도록 하고 이러한 데이터를 주별, 월별 그리고 년별로 통계 처리가 가능하도록 한다. 마지막으로 인터넷을 통한 원격감시를 위하여 웹서버를 구축하여 광역단위의 통합관리를 가능하게 하였다.

## 2. 본 문

최대전력 관리장치의 기본원리는 수요시한 동안의 평균전력이 최대수요전력(디멘드)이므로 부하가 순간적으로 많은 전력을 소비하여도 그 수요시한의 나머지 시간 동안에 미리 선정된 부하의 전력을 차단하게 되면 부하의 소비전력을 목표전력 값에 맞출 수가 있게된다. 따라서 목표전력 값을 초과하지 않게 하기 위해서는 수요시한 동안에 부하전력이 목표전력보다 큰 부분과 낮은 부분이 같아지도록 부하전력을 가감하면 된다. 이와 같이 현시점 이후에 목표전

력 내에서 사용할 수 있는 전력을 남은 전력이라 하며 또한 현시점의 부하전력과 남은 전력과의 차이를 조정전력이라고 한다.

### 2.1. 부하전력 예측 및 제어

최대수요전력관리장치는 정확한 부하변동에 따른 소비전력의 변화 추이를 다음과 같은 방법으로 예측한다. 최대수요전력은 식 (1)과 같이 변환한다 이 값은 최대수요전력관리장치가 나타내는 값으로 해당 수요시한 내에서 지금까지 사용한 전력량을 수요시한으로 평균한 것이다.

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

부하전력( $P_a$ )은 최대수요전력관리장치가 전력을 계산하는 샘플링의 한 주기동안에 부하전력을 나타내며 전류변성기 및 전압변성기를 통해 검출하게 된다.

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

예측 최대수요전력( $P_u$  · 예측 디멘드)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 최대수요전력과 예측 소비전력량( $Q_u$ )은 식 (3)과 식 (4)에서 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 최대수요전력을 목표 전력값에 맞추기 위해 증감할 필요가 있는 부하 조정량이며 식 (5)와 같이 예상소비전력량과 목표소비전력( $Q_s$ )과의 편차를 나머지 시간에 평균하여 나타낸다.

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

목표소비 전력량은 수요시한 동안에 소비할 수 있는 전력량이며 목표 디멘드  $P3[kW] \times$ 수요시한 $[T]$ 으로 구한다. 그림 1의 잔류전력량( $Q_r$ )은 목표전력량에

## 지능형 최대수요전력관리장치의 개발

서 이미 소비한 전력량( $Q_s$ )을 뺀 남은 전력량으로서 이것을 나머지 시간에 균일하게 소비된다고 할 경우에 남은 전력이다. 이를 식 (6)에 나타내었다.

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

아래 그림에서는 위에서 언급한 최대수요전력(P)와 부하전력( $P_a$ ) 그리고 예측 최대수요전력( $P_p$ ) 관계를 나타내고 있다<sup>[16]</sup>.

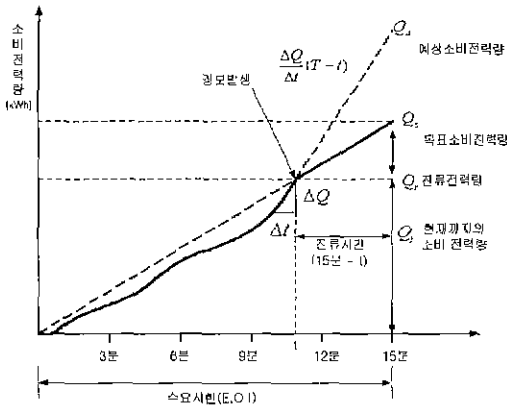


그림 1. 최대수요전력관리장치내의 전력관리  
Fig. 1. Demand management with demand controller

### 2.2. 부하제어관리 및 경보장치

부하를 관리하는 방식엔 크게 두 가지가 있는데 부하가 설정한 순서에 따라 수행되는 우선 순위방식과 우선도가 회전하는 사이클링 방식이다. 우선 순위방식은 부하의 중요도가 차이가 날 때 사용하는 방식이며 사이클링 방식은 부하의 중요도가 같은 여러 개의 부하가 있는 경우 각 부하가 동등하게 차단되도록 하는 방식이다. 본 연구에서는 우선 순위방식과 사이클링 방식을 혼용하여 사용하였다.

차단된 부하를 재투입 할 때에도 두 가지 방식이 있는데 하나는 여유가 생기면 즉시 부하전원을 재투입하는 방식과 시한이 종료된 후에 투입하는 방식이다. 여유 시 투입방식은 다시 부하의 여유가 생길 때 투입되는 것이고, 시한종료 후에 투입하는 방식은 한번 차단된 부하는 수요시한이 종료된 후에 투입되는 방식이다. 본 논문에서는 후자의 경우를 택하였다.

최대수요전력관리장치는 부하가 목표값을 초과할 위험이 발생 할 시 사용자에게 미리 경보를 알려주는 경보기능을 포함한다. 경보는 크게 두 가지로서 1단계 경보와 2단계 경보이다. 1단계 경보는 주의 경보

로서 부하전력이 잔류전력보다 더 클 경우 발생한다. 단, 수요시한 초기에는 부하변동의 영향을 받기 쉽기 때문에 적산시간을 길게 하던지 일정시간 경보가 울리지 않게 하는 방법으로 경보 잠금시간을 준다. 본 논문에서는 일정시간 경보가 울리지 않도록 하였다. 2단계 경보는 부하제어 정보로서 저장할 필요가 있는 조정전력이 미리 설정된 차단전력의 크기를 초과하였을 경우에 경보가 발생한다.

## 3. 시스템 구성

실제 적용되는 시스템의 모습을 그림 2에 나타내었다. 시스템의 구성은 크게 3부분으로 나누어진다. 우선 최대수요전력을 총괄 감시, 제어하는 최대수요전력관리장치와, 관리장치의 명령에 따라 각 부하를 조정하는 단말처리장치 그리고 사용자에게 친숙한 모니터링 화면을 공급하고 제어, 통계 출력 등의 기능을 제공하는 HMI 부분이다.

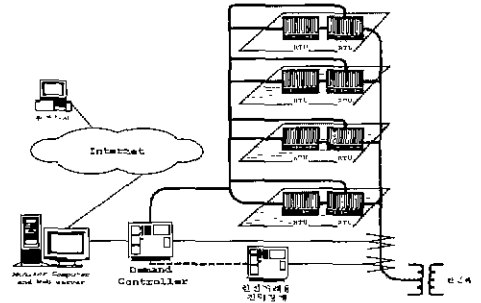


그림 2. 최대수요전력관리 시스템의 구성  
Fig. 2. Configuration of demand control system

### 3.1. 최대수요전력관리장치의 개발

제작된 최대수요전력관리장치는 16bit 마이크로 컨트롤러인 80196kc를 사용하였다. 센서로부터 측정된 전압과 전류를 필터링을 거쳐서 마이크로 컨트롤러의 A/D 변환기에 입력된다. 측정된 값을 기준으로 전력 과 전력량 등을 계산한다. 수요자가 정한 수요관리 프로그램에 따라서 전력관리를 수행한다. 당시의 여러 측정값, 통신상태, 부하 상태 등을 표시한다. 최대수요전력관리장치의 블록도를 그림 3에 나타내었다.

또한 전력회사 전력량계와의 동기를 맞추기 위한 외부 입력단을 갖는다. 종래에는 최대수요전력관리장치와 전력회사 전력량계와의 동기문제는 상당히 이

려운 문제였다. 그러나 전력회사에서 수요시한인 15분마다 펄스파를 출력하는 전력량계를 공급함에 따라, 이를 검출하여 동기를 맞추는 방식을 개발하였다. 통신부로서 RS-485 트랜시버를 장착 단말처리장치와의 통신을 수행한다. 또한 PC와의 통신은 RS-232C 로서 구축하였다. 이외 릴레이를 이용 직접 접점제이 가능한 출력부를 갖는다.

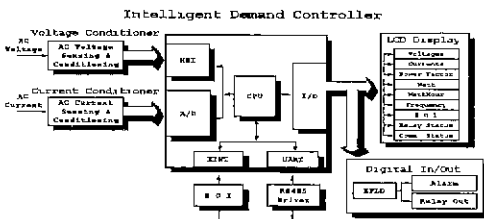


그림 3. 최대수요전력관리장치의 블록도  
Fig. 3. Block diagram of intelligent demand controller

### 3-2. 단말처리장치의 개발

종래의 최대수요전력관리장치로부터 제어부하가 멀리 떨어져 있는 경우 이를 제어하기 위해 관리장치로부터 부하까지 전력선을 설치해야만 했고, 이에 따라 설치비가 증가하는 단점이 있었다. 본 논문은 이러한 단점을 보완하기 위해 단말처리장치를 개발하였다. 단말처리장치의 블록도를 그림 4에 나타내었다.

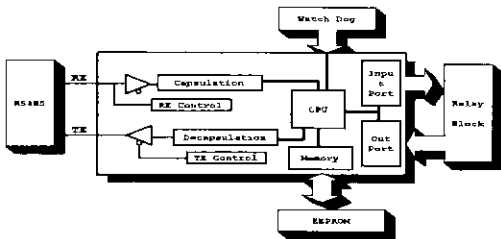


그림 4. 단말처리장치의 블록도  
Fig. 4. Block diagram of RTU

단말처리장치는 최대수요전력관리장치의 대리인 (Agent)으로서 관리장치에서 원거리에 있는 부하들과 인접하여 설치되며 관리장치와는 RS-485 트랜시버를 통해 연결된다. 각 단말처리장치들은 버스형태로 연결되어 공통된 케이블을 사용하기 때문에 배선에 소요되는 비용의 절감을 꾀할 수 있다<sup>[2][3][4]</sup>.

그러나 단말처리장치 제작비용이 배선의 비용보다 더 낮아야 하기 때문에 제작된 단말처리장치는 저가

형 8bit 마이크로 컨트롤러인 PIC16F874를 사용하였다. 따라서 마이크로 콘트롤러에 내장된 시리얼 포트와 I/O포트를 이용하여 콘트롤러 주변회로를 간략화하였다. 정보저장을 위하여 EEPROM을 사용하였으며 콘트롤러의 안정된 동작을 위해 Watch dog 타이머를 설치하였다. 완성된 단말처리장치는 현재 부하의 상태를 점검하여 통신매선을 통해 주기적으로 관리장치에 상태를 전송하고 관리장치로부터 명령을 받아들이며 부하를 처리하게 된다

### 3.3. HMI 프로그램의 개발

최대수요전력관리장치의 인터페이스엔 한계가 있기 때문에 관리장치의 각종 계측값을 모니터하고 제어하며 데이터 베이스화하는 프로그램을 개발하였다. GUI(Graphic User Interface)를 기반으로 한 HMI 프로그램은 인접한 모니터링 컴퓨터와 최대수요전력관리장치간을 RS-232로서 연결하였고, 또한 RF 모듈을 이용하여 유선이 단절될 경우라도 통신이 가능하도록 하였다. 그림 5는 HMI 프로그램의 메인 화면이다.

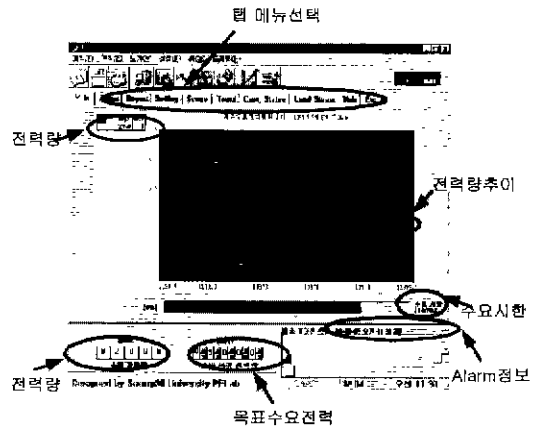


그림 5. HMI 프로그램의 구성  
Fig. 5. Configuration of HMI program

HMI 프로그램은 비주얼 베이직과 컨트롤을 이용하여 제작하였다. 리포트와 데이터 저장을 위하여 MS사의 SQL 서버를 이용하였다. 웹 메뉴를 이용하여 쉽게 원하는 정보를 볼 수 있게 하였으며 중요한 전력량과 트립 정보는 항상 볼 수 있게 하였다. 웹과 연동하여 구축된 데이터베이스를 인터넷상에서 모니터링 할 수 있도록 하였다.

#### 4. 실험 및 고찰

개발된 시스템의 성능을 확인하기 위해서 그림 6 과 같이 실험장치를 구성하였다. 먼저 전동부하와 전 동기 부하를 항상 전력을 소비하는 상시부하로 사용 하였다. 전동부하 5개를 조정부하로 사용하여 단말처 리장치에 나누어 결선하였다. 최대수요전력관리장치는 통신을 통해서 단말장치에 연결된 부하의 제어를 수행하며 수행결과를 모니터링 컴퓨터에서 확인할 수 있게 하였다. 정밀급 디지털 계측기를 최대수요전 력관리장치와 병렬로 설치하여 계측의 정확성을 확 인하였다. 또한 전력회사 거래용 전력량계내의 동기 신호 발생부와 같은 기능을 하는 동기신호발생기를 제작하여 5분, 10분, 15분 그리고 30분마다 수요시한 동기를 수행하여 실험의 편의를 도모하였다.

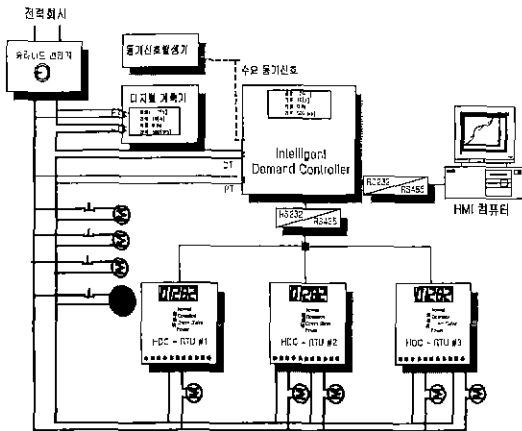


그림 6. 전체 실험장치의 구성  
Fig. 6. Configuration of overall experiment

실험에 사용한 부하는 중요한 부하로서 제어를 하 지 않는 상시부하와 전력수요의 상태에 따라 제어를 할 수 있는 조정부하로 나눌 수 있다. 상시부하로서 는 전동기(정격출력 746[W]) 1대와 전동(60[W]) 3개 를 두었고, 조정부하는 전동(60[W]) 5개를 두었다. 조정부하는 각 단말처리장치에 연결되어 최대수요전 력관리장치의 지령에 따라서 전원을 투입, 제거한다. 설정된 최대수요전력량은 900[Wh]로 설정하였고 상 시부하를 변동시키면서 다음과 같이 실험하였다.

그림 7은 상시부하로 전동기만을 사용한 경우의 전력량의 추이를 나타낸다. 수요동기시한은 15분으로 설정하였기 때문에 그래프의 상승은 15분을 주기로

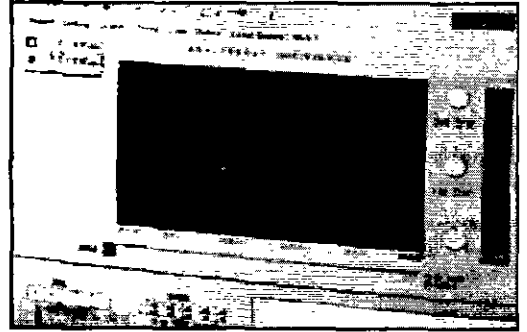


그림 7. 작은 상시부하에서의 전력량 추이  
Fig. 7. Watt-hour Trend with small load

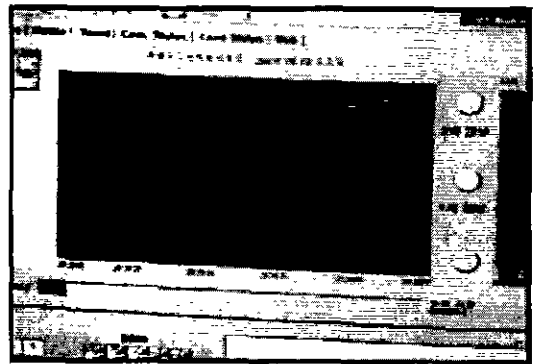


그림 8. 큰 상시부하에서의 전력량 추이  
Fig. 8. Watt-hour Trend with heavy load

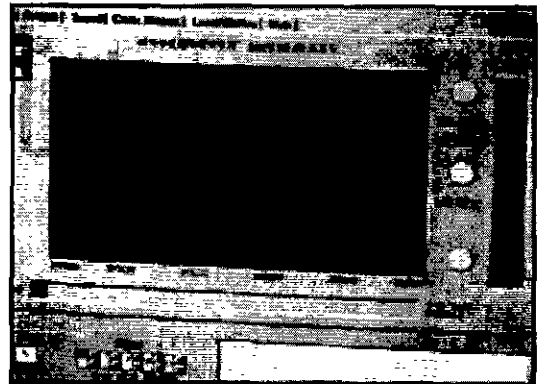


그림 9. 급격히 변하는 상시부하에서의 전력량 추이  
Fig. 9. Watt-hour Trend with Dynamically varied load

나타나게 된다. 전력량의 추이는 소비되는 전력량에 비례하여 소비전력이 작은 경우에는 기울기가 완만 하고 소비가 큰 경우에는 기울기가 가파르게 된다.

따라서 상시부하인 전등을 사용하지 않았기 때문에 전력량은 서서히 증가된다. 그러나 전동기와 조정부하의 소비전력량은 최대수요전력량을 초과하므로 수요시한 종료 3분전에 부하제어가 이루어짐을 확인할 수 있다. 이때 최대수요전력관리장치는 전력량의 추이를 통해서 부하제어의 시점과 제어량을 계산하여 제어지령을 각 단말장치에 통신을 통하여 전송한다. 제어지령에 따라서 단말장치는 부하를 제어하여 사용자가 설정한 최대수요전력량 이하로 전력량을 제어한다.

그림 8에서는 상시부하로 전동기와 전등이 같이 사용된 상황이다. 소비전력량이 증가됨에 따라서 소비전력량 그래프는 그림 7의 경우에 비해서 가파르게 상승한다. 이때 최대수요전력관리장치는 소비전력량의 기울기가 가파르게 상승하는 것을 통해서 부하 제어 시점을 그림 7의 경우에 비해 일찍 수행한다. 수요시한 종료 약 6분전에 부하제어가 일어났고 전력량은 최대수요전력량 이하로 제어됨을 확인할 수 있다.

그림 9에서 부하 변동이 심하게 이루어지는 경우의 소비전력량의 추이를 나타낸다. 초기에 전등부하만을 사용되다가 7분 경에 전동기 부하를 투입하여 소비전력량이 적기 때문에 그림 7의 소비전력량에 비해서 늦은 시간에 부하제어가 이루어졌고 역시 최대수요전력량 이하로 제어됨을 확인할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 최대수요전력관리장치와 분산형 단말처리장치의 개발, HMI를 적용한 모니터링 프로그램의 구현에 관하여 연구를 하였다. 우선 전력회사 전력량계에서 제공하는 수요동기신호를 검출하여 전력회사 전력량계와의 동기가 가능하며 계측기능을 내장하여 정확한 전력계산을 가능하게 하였다. 그리고 수요시한에 맞추어 부하들의 전력을 적산하고 그에상추이를 예측하여 적절한 부하관리를 실행하는 최대수요전력관리장치를 개발하였다. 또한 분산형 단말처리장치를 개발, 배선비용의 절감을 꾀할 수 있었고 분산형 시스템의 적용으로 향후 새로운 장비의 추가나 제거, 고장 시 복구의 용이하게 하였다. 또한 사용자에게 편리한 제어방식과 정보를 제공하기 위

해 HMI 모니터링 프로그램을 구현하였고 각종 자료를 데이터 베이스화 하여 효율적인 처리를 가능하게 하였다.

마지막으로 개발된 최대수요전력관리장치의 성능을 검증하기 위해서 실험장치를 구성하였다. 다양한 조건에서의 실험을 통하여 개발된 최대수요전력관리장치의 우수성을 확인하였다.

## 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) 김준환, 분산 제어 환경과 시스템 모니터링을 위한 실시간 네트워킹에 관한 연구, 석사학위 논문, 숭실대학교, 1998
- (5) 한국전력연구원, "정전 및 전압변동을 분석장치개발", 전력연구원, 1996

## ◇ 저자소개 ◇

### 김 병 진 (金炳鎭)

1970년 6월 26일생 1994년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사) 2000년 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정 수료 현재 현대중공업 기전연구소 연구원.

### 정 을 기 (鄭乙基)

1958년 5월 19일생. 1988년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1992년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사) 1995년 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 현재 숭실대학교 전산원 교수

### 한 운 동 (韓運東)

1951년 1월 16일생 1978년 숭실대학교 전기공학과 졸업 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정 수료 1980년 ~ 현재 충주대학교 전기공학과 교수.

### 진 희 종 (田喜鐘)

1953년 1월 6일생. 1975년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1977년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1977년~1981.8. 공군사관학교 전자공학과 교수부. 1987년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사) 1995년~1996년 Univ of Victoria, CA. 객원교수. 1981년~현재 숭실대학교 공과대학 전기공학과 교수.