韓國産業應用學會論文集, 제9권, 제1호, 79-86, 2006.02
J. Korean Society of Industrial Application, Vol.9, No.1, 79-86, Feb, 2006

지능형 전원설비의 원격관리제어기 개발에 관한 연구
A Study on Development of Remote Management Controller for Intelligent Power Equipment

임병국*
Byung-Kuk Lim*

<Abstract>
In this study, we research and develope Intelligent Remote management controller. According to the load condition, we will apply various control techniques and plan high efficient Demand control. After development, According to the Demand Control, An electricity enterprisers will expect enlargement of equipment coefficient, elevation of back up load factor and reduction effect of equipment investment. On Customer side, They will expect reduction of electric fee, saving energy and variety of service choice.

Key Words : Remote management, Controller, Demand controll, load factor

1. 서 론

최근 각종 산업의 발달로 인한 경제성장과 더불어 생활수준의 향상으로 에너지 수요는 매년 급격하게 증가하고 있으며 이와 더불어 전력수요 역시 급격히 늘어나고 있는 추세이다. 그러나 투자자원 및 입지확보의 어려움, 환경제약의 문제로 인한 전력 공급의 어려움은 날로 증가되고 있다.

이에 따라 수용가의 전력수요 및 부하의 규모와 형태를 변경시킴으로써 설비의 이용률을 제고하여 신규 발전설비량 절감을 도모하기 위하여 부하수요관리(DSM : Demand Side Management)가 절실히 요구되고 있다.

최대수요전력 관리장치(Demand Controller)는 이러한 수요관리를 위한 장비로서 매 시간 변화하는 수용가의 최대
수요전력을 감시 또는 예측한다. 만약 수요시한 내의 평균전력이 목표전력을 초과할 우려가 있을 때에는 경보를 발생시킴과 동시에 단계적으로 부하를 차단하여 최대수요 제한치를 초과시키지 않음으로서 상시 소비전력이 최대수요전력 이하로 유지되도록 한다.

따라서 본 연구에서는 다음과 같은 기능을 갖는 최대수요전력 관리 시스템을 구현하고자

* 정회원, 충주대학교 정보제어공학과 교수, 工博
※ 이 논문은 2005학년도 충주대학교의 학술연구조성비에 의하여 연구되었음
* Prof, Dept. of Information & Control Eng., Chungju National University
E-mail : bklim@chungju.ac.kr

한다. 먼저 마이크로콘트롤러를 이용한 최대수요전력 관리기를 구현한다. 최대수요전력 관리기는 전압 및 전류 센서로부터 입력된 신호를 이용하여 소비전력 및 전력량을 계산하고 예측제어 기법을 이용하여 소비전력 변화의 추이를 미리 예측하여 수요시한내의 전력량이 최대수요전력을 초과하지 않도록 부하를 제어한다.

최대수요전력 관리장치와 한국전력 거래용 전력량계의 전력량 계산 오차는 될 수 있는 한 작아야 하므로 저역 필터를 설치하여 입력 센서에서 얻어진 전압과 전류에 포함된 노이즈의 영향을 감소시킨다. 또한 한국전력 거래용 전력량계에서 발생되는 수요시간 동기신호를 이용함으로써 최대수요전력 관리장치를 한국전력 거래용 전력량계와 동기를 유지하여 정확한 수요관리를 도모하고자 한다.

따라서 본 논문에서는 차단대상부하의 효율적이고 탄력적인 제어를 위하여 분산형 단말장치인 DTU(Dispersion Terminal Unit)를 구현한다. DTU는 Pro Chip사의 PIC16XX를 사용하여 최대수요전력 관리기로부터 전송된 제어신호를 이용하여 직접 부하를 제어하고 제어결과 및 부하의 상태를 최대수요전력 관리기로 전송한다.

최대수요전력 관리기와 DTU와의 통신은 전력선모뎀을 이용하여 설치비 절감과 경비절감의 효과를 얻고자 한다.

2. 최대수요전력 관리시스템

2-1 전력수요관리의 개요

전력수요관리란 전기의 사용을 계측에 의해 관리하는 것으로 관리목적에 적합한 각종 계기를 적절히 설치하여 그 공정에 소요된 전력의 추이를 상세히 파악함으로서 향후 개선을 하기 위한 것이다. 따라서 전력관리의 목표는 전력량의 저감, 설비의 고 효율성, Peak전력의 억제, 부하의 평준화, 역률의 적정화 등을 도모하는 것으로 공장 및 사업장의 생산활동과 영업활동을 보다 효율적으로 운용하여 합리적이며 경제적으로 전력을 사용하는 것이다.

부하관리는 전력을 사용하는 기기의 조작이 목적이므로 그 대상을 수용가 기기로 하느냐 혹은 전력회사 기기로 하느냐에 따라서 다시 두 가지로 크게 나눌 수 있다. 전력 공급회사의 기기에 대한 조작은 비상시에 전력계통의 안정을 위하여 취하는 경우가 대부분이므로 진정한 의미에서 부하관리라 하기엔 다소 이견이 있을 수 있다. 수용가 기기로 하는 경우 그 대상은 주로 큰 규모의 상업용 및 산업용 건물이나 설비로 단위수용의 사용전력의 규모가 크므로 숫자적으로는 작아도 큰 효과를 거둘 수 있기 때문이다. 직접부하관리의 관리 대상이 되는 주요 수용가 기기로서는 에어컨, 온수기 혹은 온수보일러, 펌프, 난방기 등을 들 수 있으며 시간이동이 가능한 생산공정부하도 직접부하관리 대상이 된다.

현재로서 가장 많이 이용되는 기기로는 상업용과 가정용 에어컨을 들 수 있다. 직접부하관리를 위하여는 전력회사와 수용가 간의 계약조건을 정하는 제도적인 측면과 함께 계약조건 이행을 쌍방이 확인할 수 있는 계량장치 및 부하조절을 위한 통신기술 등의 기술 및 기기 측면이 고려되어야 한다. 따라서 부하관리 시스템을 구축하는데 필요한 기기 중에서 현재로서 적용 가능한 것이 디멘드 컨트롤러이다.

2.2 최대수요전력 관리시스템

그림 1는 최대수요전력 관리시스템의 전체 구성도이다.

최대수요전력 관리기는 주 전원계통의 전압, 전류신호를 입력받아 순시전력을 계산하고 한전 측 전력량계로부터 제공되는 동기신호를 출발 동기점으로 하여 전력량을 계산한다.
한편 계산된 전력량을 이용하여 평균전력과 수요시한내의 예측전력을 계산하여 최대수요전력과 비교 후 부하차단 여부를 판단하여 분산형 단말장치에 부하제어신호를 출력한다. 또한 매 시간마다의 부하의 상태와 전력 및 전력량 등의 정보를 모니터링 컴퓨터에 전송하게 된다.

분산형 단말장치는 최대수요전력 관리기로부터 전송된 부하제어신호를 이용하여 해당부하를 제어하고 제어 수행후의 부하상태 정보를 최대수요전력 관리기로 전송하게 된다. 부하의 정밀 제어를 위하여 DTU 1대는 16개 그룹으로 분할된 부하를 제어할 수 있으며 각

부하 군마다 우선 순위를 부여하여 효율적으로 부하제어가 가능하도록 하였다.

설비용량에 따라 부하를 16개 이상의 그룹으로 세분화 할 필요가 있을 경우에는 DTU를 2대 이상 병렬로 연결하고 각 DTU마다 고유번지를 할당함으로써 독립적인 제어가 가능하도록 하였다.

그러나 최대수요전력 관리기 1대로 2대 이상의 DTU를 독립적으로 제어하기 위하여는 멀티통신이 가능한 RS-485 혹은 모뎀을 이용하여야 하나 이들 통신방식은 통신 회선수가 증가하거나 별도의 전화회선이 필요하다는 등의 문제점을 갖고 있다.

따라서 본 논문에서는 별도의 통신선이 불필요한 전력선 모뎀을 이용함으로써 설치비 절감과 경비절감의 효과를 갖도록 하였다.

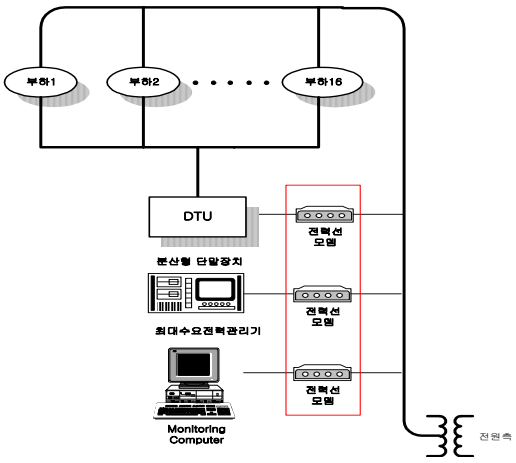

Fig. 1. Configuration of total system

3. 최대 수요전력 관리기의 설계

3.1 하드웨어 구성

최대수요전력 관리기는 기본적으로 전력량계로부터 제공되는 동기신호에 의해 수요시한 내의 평균전력 및 예측전력을 계산하여 최대수요전력과 비교 후 부하를 제어하는 제어기능과 부하의 상태 및 제어결과를 모니터링 컴퓨터에 전송하는 기능을 수행한다.

최대수요전력 관리기는 16bit 마이크로 컨트롤러인 80C196KC를 사용하여 구성하였다. 80C196KC는 A/D 변환기, 타이머, 고속 입·출력, 디지털 I/O 포트와 UART(Universal Synchronous/Asynchronous Receiver /Transmitter) 등을 내장하여 주변회로 구성이 간단하며 디지털 제어기로 많이 사용된다.

개발된 제어보드의 사양은 표 1과 같으며 그림 2는 최대수요전력 관리기의 전체 구성을 보여준다.

최대수요전력 관리기의 전압 검출부, 전류 검출부에서 검출된 전압, 전류 신호는 80C196KC 내부의 8개의 채널을 갖는 A/D 변환기에 입력되어 순차적으로 디지털 값으로 변환된다.

전압 및 전류 신호는 반주기 내에서 여러 번의 샘플링 데이터를 추출하여 A/D 변환을 거친 후 이들 데이터를 이용 각 실효값의 크기가 계산되어 진다. 또한 전압, 전류의 Zero-crossing 신호는 고속입력(HSI : High Speed Input)핀에 입력되어 타이머에 의해 전압, 전류의 위상차에 해당하는 시간차가 측정되고 이를 이용해서 구해진 역률과 전압, 전류의 실효값을 이용하여 전력을 계산한다.

Table 1. Specification of demand controller

Micro Controller	80C196KC
Operating Frequency	20MHz
EPROM	32kbytes
EEPROM	2kbytes
RAM	16kbytes
EPLD	EPM7128SLC84
Serial Communication	Max232

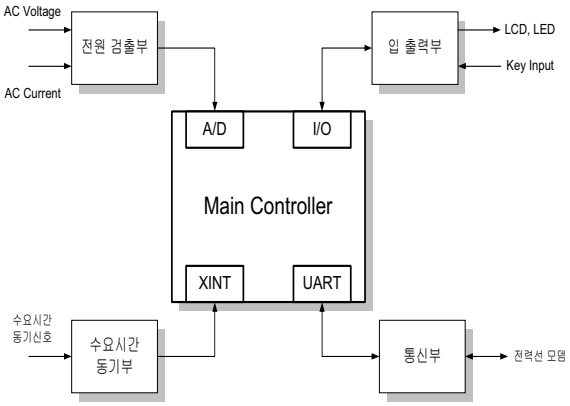

Fig. 2. Configuration of demand controller

3.2 소프트웨어 구성

최대수요전력 관리기의 제어 및 통신을 담

당하는 80C196KC의 프로그램은 C언어와 어셈블리 언어를 이용하여 작성하였다. 컴파일과 링크과정이 끝난 실행 파일은 인텔 핵사 형식으로 변환되어 EPROM 에 구워져서 제어보드 상에 실장 되거나 직렬포트를 통하여 보드 상에 있는 RAM으로 다운로딩 된 후에 실행된다.

소프트웨어는 크게 제어프로그램과 통신프로그램으로 구성되며 그림 3은 메인 프로그램의 구성 및 흐름 도이다.

초기화 부분은 초기변수를 지정하고 각종 로직을 초기화하며 최대수요전력 관리기의 초기 설정 값을 EEPROM으로부터 읽어들인 후 사용되는 인터럽트의 가능여부와 우선 순위를 설정한다.

다음으로 부하의 상태 및 전력에 관한 정보를 일정시간 간격으로 모니터링 컴퓨터로 전송하기 위하여 소프트웨어 타이머를 1초에 맞추어 소프트웨어 타이머 인터럽트를 인에 이블 시킨 후 부하의 상태를 확인하기 위하여 각 분산형 단말장치(DTU)에 상태정보 전송을 차례로 요구하여 전송된 상태정보를 저장한다.

상태정보를 저장 후 Key service routine을 호출하여 설정값 변경 및 LCD 표시화면 변경에 관한 키 입력 상태를 확인 한 후 LCD 및 LED로 상태정보를 출력한다.

제어루틴에서는 전압 및 전류 신호를 차례로 A/D 변환기로 입력받아 디지털 값으로 변환하고 측정된 전압, 전류 및 위상 값을 이용하여 평균전력 및 전력량을 계산하고 수요시한의 남은 시간을 이용하여 예측전력을 계산한다.

이 때 외부 인터럽트가 발생하여 수요시한 동기신호가 입력되면 수요시한 타이머 값과 현재의 전력 및 전력량 값을 초기화하여 새로운 평균전력 및 예측전력을 계산한다.

예측전력 계산이 완료된 후 최대수요전력이 설정값 보다 초과되어 부하 차단이 필요 할 경우 초과 정도에 따라 차단해야 할 부하를 선택하여 통신루틴을 호출하여 해당되는 분산형 단말장치(DTU)에 제어정보를 전송하여 제어를 수행한다. 그리고 DTU로부터 제어 결과에 대한 상태신호를 전송 받아 제어 수행 여부를 확인한다.

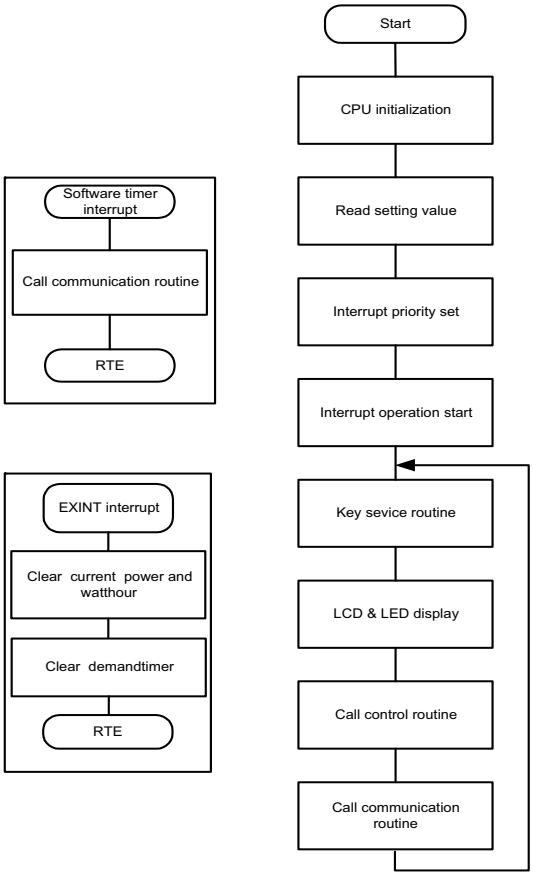

Fig. 3. Flow chart of main program

한편 일정시간 간격으로 소프트웨어 인터럽트가 발생하면 통신루틴을 호출하여 부하의 상태 , 전압, 전류 및 전력 등에 관한 모니터링 정보를 모니터링 컴퓨터에 전송하게 된다. 그림 4는 제어루틴의 구성 및 흐름도이다.

전원 측의 각 상의 전압 및 전류 신호는 고속입력(HSI)을 통해 입력된 R상의 입력 전압 Zero-crossing 신호의 상승 구간을 시점으로 차례로 A/D 컨버터에 입력되어 반주기동안 약 20번의 샘플링 과정을 통해 매번 A/D 변환한 값을 메모리에 저장한 다음 계산과정을 거쳐 각 상의 전압 및 전류의 실효값을 계산한다. 실효값 계산을 위해 필요한 각 상의 위상은 동일상의 전압 및 전류의 Zero-crossing 신호를 차례로 EX-OR 회로에 인가하여 출력에서 얻어지는 각 상의 위상 각에 상응하는 펄스 신호를 이용하여 계산되어진다. 1초에 한번씩 위의 과정을 반복 수행하여 3상의 순시전력을 구한 후 수요시한 시작점부터 계속 누산하여 현재까지의 소비전력량을 구한다.

또한 예측소비전력량 계산에 필요한 부하전력은 부하전력 계산주기동안의 순시전력을 계속 더한 후 이를 평균하여 구할 수 있다. 현재의 부하상태가 수요시한의 잔여 시간동안 지속된다는 가정 하에 현재의 부하전력에 수요시한의 남은 시간을 곱하여 구한 전력량을 현재까지의 소비전력량에 더하면 예측전력량이 구해진다.

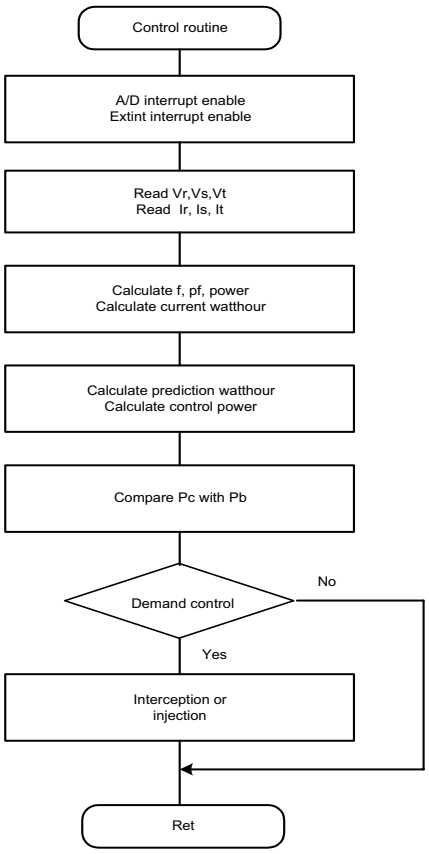

Fig. 4. Flow chart of control routine

예측전력량에서 목표소비전력량을 빼면 조정전력량이 구해진다. 조정전력량을 잔여시간으로 나누면 조정전력이 구해지고 조정전력의 값에 따라 차단조건 및 투입조건을 결정한 후 차단부하 용량과 비교하여 부하의 제어를 수행하게 된다.

4. DTU모듈의 설계

DTU 모듈은 최대수요전력 관리기에서 보내온 데이터의 내용에 따라 16개의 릴레이를 제어함으로서 직접적인 부하제어를 수행하는 장치이다. 또한 DTU는 부하의 제어상태, 그리고 통신상태 등을 최대수요전력 관리기에 전송하고, 최대수요전력 관리기는 이러한 데이터를 모니터링 컴퓨터에 전송하여 모니터링 할 수 있게 된다.

원거리부하를 제어하기 위해 제작된 DTU 모듈이 고가가 되면은 경제성이 떨어져 효율성이 저하되게 된다. 따라서 본 논문에서는 저가형 8bit 마이크로 컨트롤러인 PIC16C74를 사용하였다

최대수요전력 관리기에 서 수신된 데이터의 내용에 따라서 각각의 부하를 제어하게 되는데, 데이터 전송 시 패킷의 충돌을 막기 위하여 수신 측을 먼저 확인하고 자신의 주소로 전송되어온 데이터만을 수신하게 된다. 송신된 데이터의 충돌여부는 LOOP-BACK된 데이터를 이용하여 알 수 있다. 패킷의 내용에 따른 부하의 제어는 수동/자동 모드로 운전된다. 40개의 I/O 포트를 이용하여 16개 릴레이를 구동하게 되는데, 그 중에서 8핀의 출력으로 74LS573이라는 8비트 래치 IC를 이용하여 16개의 부하를 제어하게 된다. 표 2.에 DTU 모듈의 사양과 그림 5에 DTU 모듈의 구성도를 나타내었다.

Table 2. Specification of DTU module

항 목	분 류	세 부 사 항	비 고
메타 보드	프로세서	PIC16C74(20MHz)	-Internal EPROM 4K -FLASH ROM -10BIT A/D (8CH) -TIMER 3ea. -Serial Port -General I/O Port
	EEPROM	XL93C46	
	I/O확장 및 보드간략화	EPLD	EPM7064S
	릴레이		16개 접점
	통신	모니터링 컴퓨터와의 통신	전력선 통신
	동작검사	Watchdog Timer	DS1232
	초기설정	보드 ID	딥 스위치(5 ×1개)

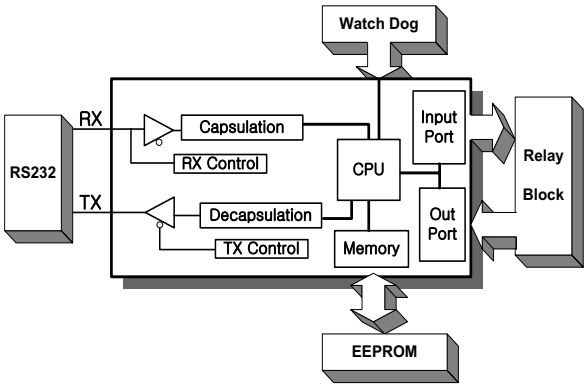

Fig. 5. Configuration of DTU module

5. 실험 및 결과

본 논문에서는 최대수요전력 관리장치와 분산형 단말장치 및 모니터링 프로그램을 직접 제작하여 시스템을 구성한 후 실험을 통하여 부하전력과 소비전력량 및 예측소비전력량을 계산하여 분산형 단말장치를 통하여 부하를 제어하고 모니터링 컴퓨터에 상태정보를 전송하여 모니터링 하여 봄으로써 최대수요전력 관리시스템의 구현을 입증하였다.

그림 6은 전체시스템의 구성도이다.

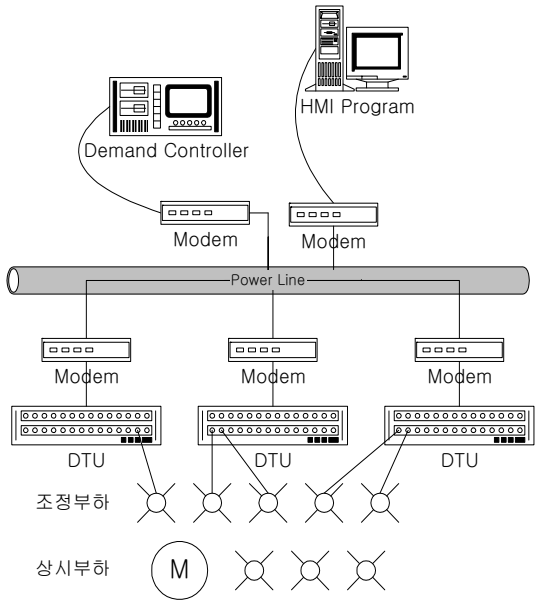

Fig. 6. Configuration of total management system

시스템의 구성은 사용자에게 친숙한 모니터링 화면을 공급하고 제어 및 통계 출력 등의 기능을 제공하는 HMI 부분과 최대수요전력을 총괄 감시, 제어하는 디멘드 콘트롤러, 제어신호의 송·수신을 담당하는 전력선 모뎀 그리고 관리장치의 명령에 따라 각 부하를 조정하는 DTU 부분으로 나누어 볼 수 있다.

그림 7은 본 연구에서 제안한 최대수요전력 관리시스템의 실험을 위한 실험장치의 실제 사진이다.

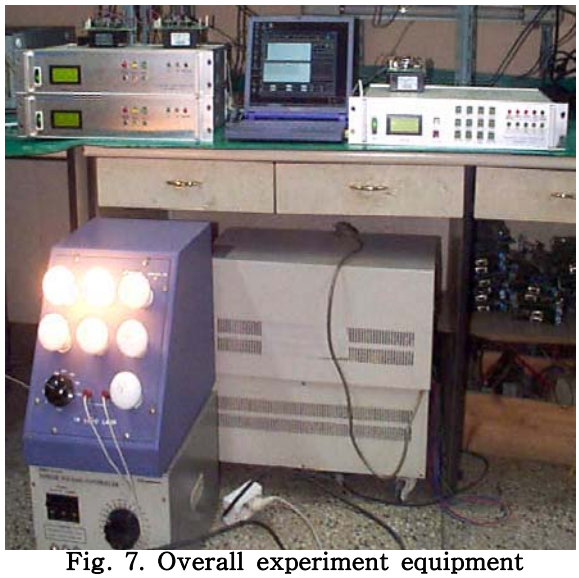

Fig. 7. Overall experiment equipment

그림 8은 부하상태를 검출하여 부하전력, 소비전력량 및 예측전력량을 계산한 후 부하를 제어하고 모니터링 정보를 전송하는 최대수요전력 관리기의 실제 사진이다.

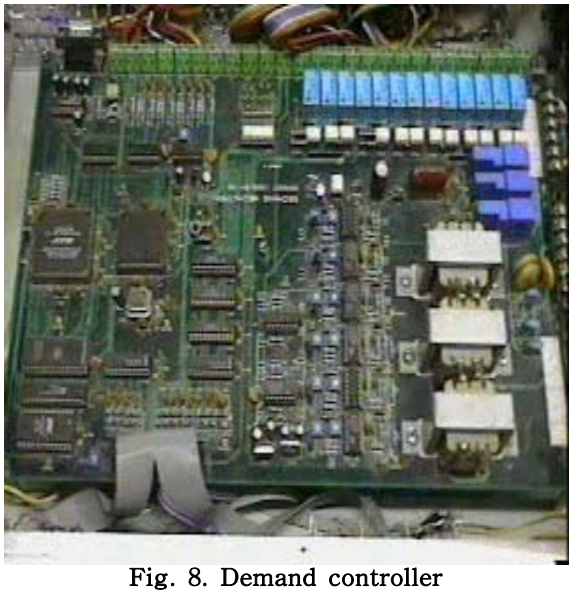

Fig. 8. Demand controller

그림 9는 모니터링 정보 중 한 개의 패킷에 대한 RS-232C 신호와 전력선 모뎀의 출력단에서의 변조된 신호를 오실로스코프를 이용하여 측정한 파형이다.

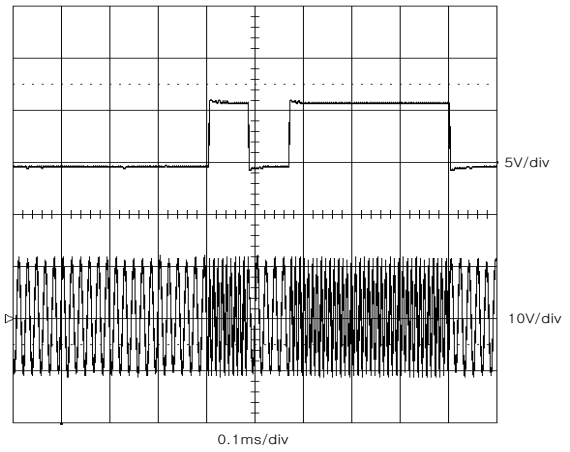

Fig. 9. Serial transfer and power line waveform of monitoring packet

그림 10는 상시부하 운전 중 전체의 조정부하 투입 후 최대수요전력 관리기에 의해 조정부하를 차단하여 목표전력량에 도달하는 과정을 확인하기 위하여 부하전류를 오실로스코프로 측정한 파형이다.

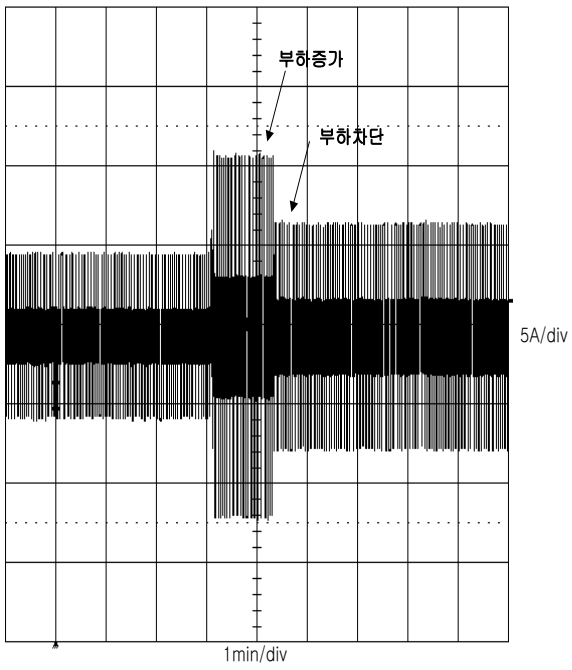

Fig. 10. Load current waveform for load control

6. 결 론

최근 각종 산업의 발달과 함께 생활수준의 향상으로 에너지 수요는 매년 급격하게 증가하고 있으나 투자자원 및 입지확보의 어려움, 환경제약의 문제로 인한 전력 공급의 어려움은 날로 증가되고 있다.

이에 따라 수용가의 전력수요 및 부하의 규모와 형태를 변경시킴으로써 설비의 이용률을 제고하여 신규발전설비의 필요량 절감을 도모하기 위하여 수요관리가 절실히 요구되고 있으며 다양한 최대수요전력 관리장치가 개발되어 사용되고 있다.

기존의 최대수요 전력관리장치는 부하제어 접속 수에 제한이 있어 부하제어의 유연성이 결여될 뿐 아니라 조정 부하가 최대수요 전력관리장치 가까이에 위치하고 있지 않는 경우가 대부분이므로 차단 대상 부하까지 별도의 부하 제어선을 포설하여야 하는 작업에 따른 공사비의 부담이 단점으로 지적되었다.

따라서 본 논문에서는 기존의 최대수요전력 관리장치의 문제점을 보완하여 효율적인 전력관리가 이루어질 수 있도록 최대수요전력 관리기, 분산형 단말장치, 전력선 모뎀을 적용한 전력선 통신회선 및 모니터링 프로그램을 적재한 모니터링 컴퓨터로 구성된 최대수요전력 관리시스템을 직접 구현하여 실험을 통하여 이를 입증하였다.

본 연구에서 구현한 최대수요전력 관리시스템은 변압기를 거치지 않는 동일 수용가 내에서 최대수요전력 관리기와 DTU 사이에 전력선 통신기법을 도입하여 부하를 제어함으로써 기존의 전력선으로 전용 신호선을 대치할 수 있음을 실험을 통하여 규명하고 입증하였으며 신규 또는 기존의 리모델링의 플랜트에서 본 연구에서 제시한 기법의 현실 적용성이 높을 것으로 사료된다.

참고문헌

1) Zeng Zongfu "A new method of frequency planning and management on power line carrier communication network" *APSCOM -91., 1991 International Conference on Advances in Power System Control,*

Operation and Management, vol.1, pp. 265 -268, 1991.

2) Y. Iwakuma,; Toguchi, K. "Domestic load management system using power line carrier" *IEEE International Conference on Consumer Electronics*, pp. 146 -147, 1991.

3) K. Matsuzawa, M. Suzuki, Y. Okuhara, Y. Kishida, Y. Kudo, and Y T. amashita, "New energy management system for central dispatching center of Tokyo Electric Power Co, Inc" *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol 5 Issue: 4, pp. 1112 -1117, Nov. 1990.

4) H. Yousef, "Power management and distribution for future spacecraft" *IECEC -89, Energy Conversion Engineering Conference, Proceedings of the 24th Intersociety*, pp. 567 -570, 1989.

5) D.L. Schroeder, "Power demand and energy management systems" *Industry Applications Society Annual Meeting, 1988., Conference Record of the 1988 IEEE*, vol.2, pp. 1168 -1180, 1988.

6) J. R. McDonald, S.D.J. McArthur, and G.M. Burt, "Intelligent system applications for power system control and management" *Computing & Control Engineering Journal*, Vol 12 Issue: 2, pp. 85 - 91, April, 2001.

7) R.H. Simpson, "Power system data base management" *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol 37 Issue: 1, pp. 153 -157 Jan.-Feb. 2001.

8) Chr. Meisenbach, Hable, M. Winkler, and G. Meier, P. "Intelligent energy management of electrical power systems with distributed feeding on the basis of forecasts of demand and generation" *Contributions. CIRED. 16th International Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ No. 482) Electricity Distribution*, Vol 1, Summaries, pp. 283 -284, 2001.

9) M. Paparo, "Power management systems on silicon for portable equipment" *The 8th IEEE International Conference on, Electronics, Circuits and Systems, ICECS 2001*. Vol 1, pp. 13 -18, 2001.

10) V. Swaminathan, K. Chakrabarty, and S.S. Iyengar, "Dynamic I/O power management for hard real-time systems" *Proceedings of the Ninth International Symposium on Hardware/Software Codesign,. CODES 2001*. pp. 237 -242, 2001.

(2005년 10월 20일 접수, 2006년 2월 10일 채택)