

마이크로프로세서를 이용한 인터넷기반 전력관리시스템 개발에 관한 연구

천행춘†

(원고접수일 : 2004년 5월 12일, 심사완료일 : 2004년 6월 8일)

A Study on Development of Internet Based Power Management System Using a Microprocessor

Haeng-Choon Chun†

Abstract : In this paper, the Power Management System(PMS) which based on a decision making system according to power strategy is proposed and implemented. PMS is designed to have functions of power monitoring, controlling, synchronizing, load sharing and monitoring of driving engine, etc. PMS consists of the internet communication system(ICS), Remote Management System(RMS) and Sensor Driver System (SDS). ICS transmits the monitoring and supervisory data via Internet to Remote Management System(RMS) in real-time. SDS detects various power system data on local generator and utility via I/O interface system. I/O interface system receives various status data and outputs control signals. Implemented PMS is tested with dummy signal to verify proposed functions and shows good results. For future study implemented PMS will be tested under real load condition to merchandize.

Key words : Power Management System(전력관리 시스템), Remote Management System(원격감시 시스템), Sensor Driver System (센서 드라이버 시스템)

1. 서 론

최근 자동제어의 보편화와 1차 산업으로의 적용이 확대되어 감에 따라 안정된 전원의 중요성은 더욱 강조되고 있다. 특히 우리나라의 경우 여름철과 같은 전력 성수기에 전력사용이 계약량을 초과하면 높은 전력요금을 감당해야 한다. 그리고 전력예비율이 떨어져 국가 전력수급계획에 차질을

초래할 수도 있어 발전소 건립 계획을 수정하여야 하는 등 막대한 예산을 요구되는 경우도 발생하게 된다. 뿐만 아니라 여름철의 태풍, 해풍 등의 환경여건으로 인한 빈번한 정전사고는 어류 양식이나 비닐하우스 재배 등 고부가 가치 1차 산업과 제조업에 막대한 경제적 손실을 초래하고, 전력 사용 계약량을 초과하였을 때 발생하는 위약금 문제도 무시할 수 없다. 따라서 안정적이며 경제적인 전

† 책임저자(한국해양대학교 대학원 제어계측공학과), E-mail : chunhc@hhu.ac.kr, T : 016-562-5825

원 공급시스템의 대안으로 자가 발전 설비를 설치하는 경우가 증가하는 추세에 있다.

이러한 자가발전설비를 효율적이고 경제적으로 관리하기 위하여 전력 관리시스템의 필요성과 중요성이 강조되어 가고 있는 실정이다. 전력관리시스템은 전체적인 전력설비를 관리하기 위하여 디지털기술을 이용하여 중앙 집중적으로 관리하는 전력통합관리시스템으로서, 1990년 중반부터 선진국을 중심으로 마이크로프로세서와 컴퓨터 S/W를 이용한 감시제어기술과 통신 기술을 결합하여 원격지에서 전력설비를 상시감시하고 제어할 수 있도록 시스템을 개발함으로써, 전력설비의 안전관리에 획기적인 발전을 이루게 되었다^{[1],[2]}. 그러나 현재 우리나라에서 사용되는 전력관리시스템은 대부분 외국에서 수입을 해서 사용하고 있으며, 우리나라에서 개발하는 시스템의 경우에도 자가 발전 설비에 대해서는 제어감시를 행하지 않고 다만 전력설비의 각종 데이터만을 관리하는 시스템이 주종을 이루고 있다.

본 논문에서는 대부분의 상용(ordinary) 및 비상용(emergency) 자가발전기로 사용되는 디젤기관동 발전시스템을 대상으로 의사결정이 가능한 지능형 전력관리시스템을 구현하기 위하여 디젤기관제어시스템과 전력제어시스템을 설계하고 마이크로프로세서시스템을 이용하여 인터넷을 통하여 원격지에서도 제어감시 할 수 있는 시스템을 구현하고자 한다.

2. 전력 관리 시스템의 개요

2.1 발전 시스템의 운전방법

발전시스템은 양질의 전기를 공급하기 위하여 무부하(no load) 또는 부하시에도 항상 일정한 주파수를 유지하기 위하여 기관의 회전속도를 일정하게 유지하여야 한다.^{[3]-[5]}

주파수는 조속기(governor)로 조정되고 있으며 조속기의 운전 방법은 크게 속도 변동율(speed regulation)을 이용한 드롭(drop) 운전법과 일정속도(isochronous) 운전법으로 나눌 수 있다^[6]. 드롭 운전법은 병렬 운전하고 있는 발전기의 속도를

제어함에 있어 부하가 증가하면 속도를 감소시키고 부하가 감소하면 회전수를 상승시켜 안전하게 병렬 운전이 가능하도록 한다. 식(1)은 퍼센트 드롭에 관한 식이다^[7].

$$Droop(\%) = \frac{No\ Load\ Speed - Full\ Load\ Rated\ Speed}{Full\ Load\ Rated\ Speed} \times 100 \quad (1)$$

일반적으로 사용되어지는 드롭은 3~5%이며, 속도 드롭 조속기(speed droop governor)에서 안정성을 유지하기 위해 요구되는 최소 드롭은 약 2.5% 이상이고, 속도 드롭량이 너무 적을 경우에는 부하분담이 어렵게 된다^[8].

일정속도 운전법은 부하에 상관없이 발전기의 속도를 항상 일정하게 정격 속도로 유지하도록 하는 제어 방식이다. 예를 들어 발전기 부하가 0~100%까지 변화더라도 발전기 속도는 항상 일정하게 유지되도록 제어되며, 이 정격 속도는 속도 설정을 조정하여 변경할 수 있다^[7].

2.2 부하분담(Load Sharing)

자가 발전기를 무한대 모선과 병렬로 운전하는 경우에 사용하는 부하 분담은 크게 기저부하분담(base loading)법과 피크셰이빙(peak shaving)법으로 나눌 수 있다. 첫 번째로 기저부하분담법은 자가 발전기는 일정하게 부하를 분담하고 나머지 부하와 변동부하는 모선이 분담하는 운전 방법이다. 이러한 방법은 발전기의 운전 효율을 최적화 할 수 있어 가장 경제성이 높은 운전 방식으로서 자가 발전기는 모선(utility)과 병렬 운전을 하면서 부하의 증가에 상관없이 설정 전력만큼만 부하를 분담하고 나머지 더 필요한 전력 수요량과 변동분은 모선이 분담하므로 자가발전기의 안정된 운전이 가능하다. 두 번째로 피크셰이빙법은 계약 전력 제한 선을 설정해놓고 계약 전력을 넘어서 사용하게 될 경우에는 초과 전력을 자가 발전기를 사용하여 공급하는 방법을 말한다^{[7],[8]}.

2.3 동기(Synchronization)와 병렬운전

발전기의 동기란 병렬운전을 하기위해서 교류 발전기의 전압 파형과 모선의 전압 파형을 일치시

켜서 ACB(Air Circuit Breaker)를 투입시키는 것을 말한다. 두 발전기 이상을 병렬운전하기 위해서는 다음과 같은 조건을 갖추어야 하며 이 중에서 병렬운전 하고자 하는 발전기의 전압을 모선과 같게 맞추고 주파수를 맞춘 후에 위상을 맞추면 동기가 된 상태이므로 ACB 투입이 가능하다^[7].

- ① 두 시스템의 전압의 크기가 같을 것.
- ② 두 시스템의 주파수가 같을 것.
- ③ 두 시스템의 전압의 위상이 같을 것.
- ④ 두 시스템의 전압의 파형이 같을 것.
- ⑤ 두 시스템의 전압의 상회전방향이 같을 것.

2.4 전력관리 시스템의 기능

전력관리시스템은 부하의 현황을 감시하고 분석하는 시스템과 부하감시분석결과에 따라 발전장치를 제어하는 시스템으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 부하의 감시분석과 발전장치의 제어를 동시에 행할 수 있는 시스템에 관한 연구를 목표로 하고 있으므로 본 논문이 목표로 하는 전력관리시스템은 발전기의 제어감시와 부하의 감시 분석 및 관리를 모두 하나의 시스템으로 할 수 있는 넓은 의미의 전력관리시스템으로 정의한다. 따라서 본 연구의 전력관리시스템은 발전기 기관을 제어 감시하는 발전기 기관제어감시부와 전력제어 감시부, 각종 시스템 파라미터를 설정할 수 있는 시스템설정부, 시스템의 각종 상태를 표시하는 표시부, 그리고 각종 데이터 입출력을 담당하는 센서 및 I/O 시스템으로 나눌 수 있다. Fig. 1은 이를 도시한 것이다.

전력을 관리하기 위하여 전력제어감시부는 설정된 부하분담법에 따라 실시간으로 전력을 감시하면서 자가발전기에 의해 전력을 공급 받아야 한다고 판단되면 발전기를 시동하여 모선과 동기 시킨다. 동기후 병렬운전 하기 위해서는 앞서 설명한 병렬운전조건을 충족시켜야 하므로 발전기 조속기에 제어신호를 보내어 주파수를 일치시키고 동시에 위상각을 일치시킨 후 ACB를 닫기 위한 제어신호를 보내어 동기투입을 행한다. 동기투입이 성공적으로 이루어지면 자가발전기의 조속기에 증가신호를 보내어 부하를 증가시켜 부하분담방법에 따

라 부하를 분담하게 한다.

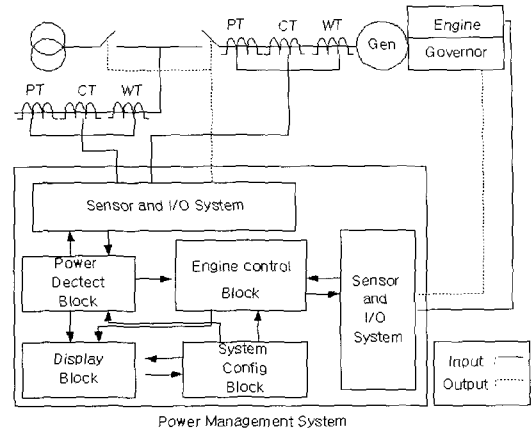


Fig. 1 Configuration of power management system

시스템 설정부는 키패드를 이용하여 시스템의 발전기 용량 및 특성과 부하분담방법에 따른 각종 제어 파라미터 등을 설정할 수 있도록 구성되어 있다. 시스템의 운전 중 모선과 발전기의 현재 kW용량과 각종 상태는 표시부를 통해서 확인할 수가 있도록 구성되어 있다. 센서 및 I/O 시스템에서는 각종 데이터의 신호변환 및 입출력을 관리하는 역할을 하며 구현된 시스템에서는 상용화된 WT(Watt Transducer), CT(Current Transformer), PT(Potential Transformer)를 통하여 모선과 자가발전기의 전력, 전류, 전압을 검출하여 이 신호를 시스템의 입력으로 사용하였다. Fig. 2는 본 연구에서 제안한 전력관리 시스템의 기능에 대해서 나타내었다.

3. H/W와 S/W 시스템의 설계 및 구성

3.1 H/W 시스템의 설계 및 구성

개발된 전력관리 시스템은 메인 보드와 I/O보드로 구성되어 있다. Fig. 3은 전력관리시스템의 H/W 구성도를 나타내었다. 메인 보드는 크게 메인모듈(main module)과 인터넷 통신 모듈(internet communication module)로 구성되어 있으며, I/O보드는 입출력 모듈(I/O module)로 구성되어 있다.

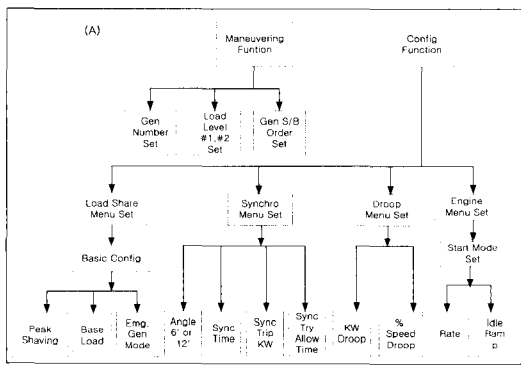
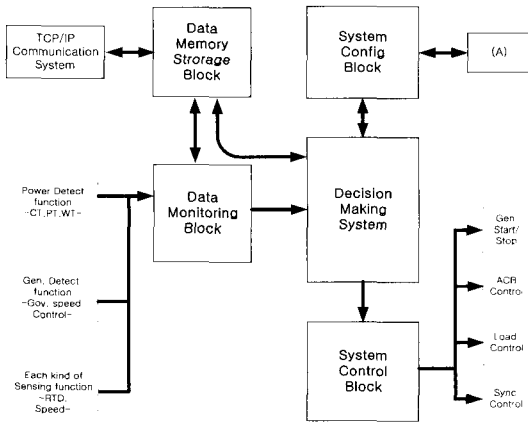


Fig. 2 Configuration flow chart of power management system

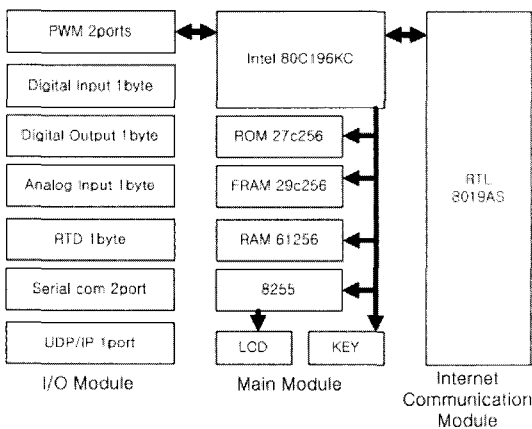


Fig. 3 Hardware configuration of power management system

가. 메인 모듈

메인 모듈에서는 전력 관리시스템의 제어를 담당

한다. 전력 관리 시스템의 메인 모듈은 주제어기 (main controller)로써 PWM을 발생할 수 있는 HSO(High Speed Output)기능과 발전기를 통해 입력된 펄스폭을 측정하는 HSI(High Speed Input)기능이 있는 INTEL사의 80C 196KC를 사용하여 구현하였다. 전력관리시스템의 각종 파라미터를 설정하면 이 설정된 값은 FRAM (Ferroelectric Random Access Memory) 에 저장되어 시스템정비 등으로 전원이 차단되어도 설정된 값을 계속해서 기억할 수 있도록 하였다. 운전 중의 각종 데이터는 RAM에 저장된다. 동기 조절을 위하여 모선과 발전기의 PT에서 각각 선간전압파형을 검출하고 구형파로 파형정형 한 후 HSI를 통해 동기 신호를 검출한다. HSI 인터럽트 서비스루틴에서는 모선전압과 발전기의 전압파형 시작시간과 파형 끝 시간으로부터 위상차를 계산하고 HSO 인터럽트 서비스루틴에 의해 발전기의 속도조정신호를 조속기시스템에 보내어 동기제어를 행한다. 그 외에 PT, CT, WT로부터 전압, 전류, 전력 데이터와 RTD (Resistance Temperature Detector)로부터 발전기 기관의 온도, 압력 등의 주요한 데이터가 A/D변환기를 통하여 입력된다. 발전기 ACB 개폐상태신호와 발전기 기관의 운전, 정지, 및 대기 등의 상태신호는 DI를 통하여 입력하고, ACB제어신호, 기관제어신호 등 각종 제어신호는 DO를 통하여 출력한다.

나. 인터넷 통신 모듈

인터넷 통신 모듈에서는 인터넷 통신을 위하여 REALTEK사의 RTL8019AS 인터넷 전용 컨트롤러를 사용하였다. 최종적으로 인터넷 통신 모듈로 데이터들이 전송되어서 원격지에서도 실시간으로 전력관리가 가능하도록 구성하였다.

다. I/O 모듈

입출력 모듈에서는 전력관리에 필요한 전력관련 데이터와 발전기 기관관련 데이터를 센서시스템으로부터 입력받아 메인컨트롤러에 맞도록 신호를 정형한다. 또한 입력된 신호를 근거로 의사결정시스템이 판단하여 출력하는 제어신호를 릴레이 구동에 적합하도록 구동신호로 변환한다. 또 메인보드를 보호하기 위하여 포토커플러(photocoupler) 등으

로 격리한 후 출력되도록 구성되어 있다. 센서시스템의 전류 변환기로부터 변환된 교류전압을 반파정류하고 평활하여 A/D변환기를 통하여 디지털데이터로 변환한다. Fig. 4는 구현된 전류입력 회로도이다. Fig. 5는 전압을 검출하기 위한 회로로 R1과 R2가 직렬로 연결된 저항을 3조로하여 Y결선하였다.

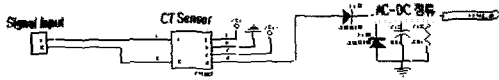


Fig. 4 Circuit for current signal input

모선과 자가 발전기의 3상(R,S,T) 선간전압을 각각 Y결선된 이 저항에 연결하고 R1에서 5~6V의 교류전압을 얻도록 하였다. 이 측정 전압은 식 (2)와 같이 나타내진다.

$$\text{측정전압}(V) = \frac{\text{Input Voltage}}{\sqrt{3}} \times \frac{R1}{R1 + R2} \quad (2)$$

본 연구에서는 입력 전압을 110V 또는 220V를 사용할 수 있도록 설계하였으며 정류회로와 필터 회로를 거쳐 직류 전압으로 변환하고 A/D변환기를 통하여 디지털데이터로 변환된다. 또한 PT를 통해 감지된 전압신호는 동기제어에 사용되어지며 위상차 검출을 위하여 반파정류하고 전압버퍼(voltage follower)를 거쳐 포토커플러로 격리한 후 HSI로 입력하였다. Fig. 5는 구현된 전압검출 및 위상검출회로도이다.

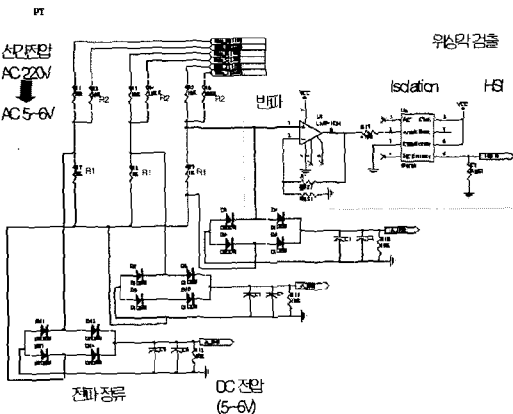


Fig. 5 Circuit of PT

위상검출 방법은 발전기와 모선의 3상 중에서 같은 1상을 각각 선정하여 주파수 차가 1~2Hz 이내일 때에 전압파형이 0V 이상 상승시기의 차가 3% 이내가 되도록 HSI를 이용하여 구현 하였다. 전압은 검출된 전압을 A/D 변환하여 양자화된 디지털 값이 입력된 전압으로 표시되도록 하였으며, 주파수는 3상 중에서 1상을 택하여 전압파형이 0V 이상 상승하는 주기를 측정하여 역수를 취하는 알고리즘으로 구현 하였다.

그리고 발전기의 온도를 감시 할 수 있도록 RTD 모듈을 Fig. 6과 같이 설계하였다. 측온저항체의 저항값 측정방법은 휘트스톤 브리지(wheatstone bridge)를 사용하였다. 측온저항체와 휘트스톤브리지가 떨어져 있으면 주위온도에 의한 측온저항체의 도선의 저항변화로 인하여 오차가 발생하므로, 이를 방지하고, 측정장소와 데이터 수집장소가 떨어져 긴 배선을 필요로 하는 경우를 위해서 3선식으로 측온저항체 회로를 설계하였다. 그 외 디지털 입출력 포트는 모두 포토커플러로 격리하여 시스템의 안정성을 제고하였다. 마지막으로 입·출력 모듈에서는 인터넷 접속과 전력관리시스템과의 통신을 위하여 RJ45컨넥터와 2개의 직렬포트를 설계하였다.

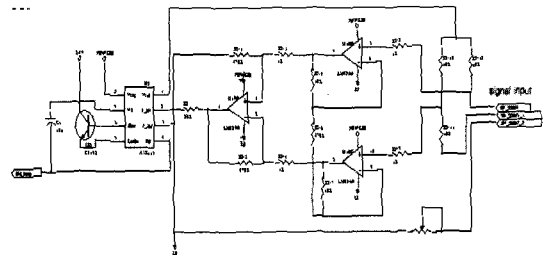


Fig. 6 Circuit for RTD signal input

3.2 SW 시스템의 설계 및 구성

주제어 루틴은 소프트웨어 타이머 인터럽트 서비스루틴에 의해 제어된다. 소프트웨어 타이머 인터럽트는 매 30ms마다 설정된 시간을 체크하고 RTL8019AS의 인터럽트상태에 따라 RTL8019AS 수신데이터를 읽어 들인다. 또한 I/O 보드로부터 수신된 아날로그 신호를 A/D 변환하고 외부

키패드로부터의 키 상태를 체크하며 설정된 시스템모드의 상태에 따라 피크셰이빙, 비상 발전기, 기저부하제어 등을 수행한다. 피크셰이빙과 기저부하 제어에서는 동기조건에 따라 동기제어를 수행한다. Fig. 7은 피크셰이빙방법으로 부하를 분담하는 경우에 관한 제어 흐름도이다.

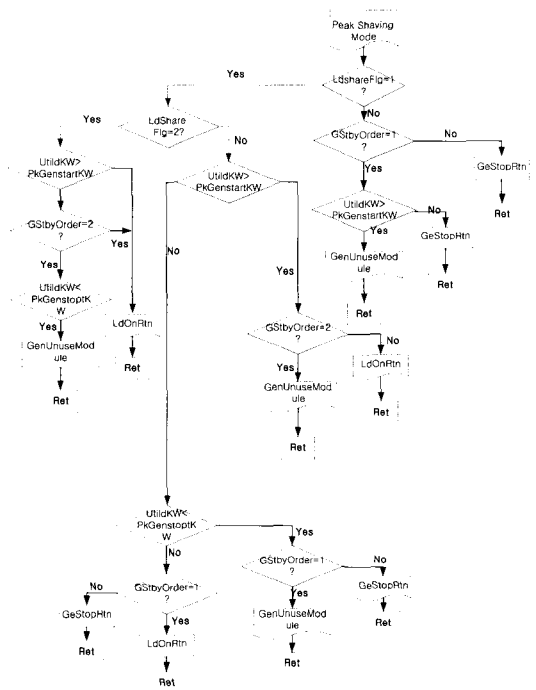


Fig. 7 Flow chart of peak shaving

4. 실험 및 고찰

Photo. 1~2는 개발된 전력관리 시스템의 메인 보드와 I/O 보드의 외형도이며 Fig. 8은 개발된 전

력관리시스템을 원격으로 감시하고 제어하기 위한 원격전력관리시스템(RMS, Remote Management System)으로 Visual C++ 6.0에서 개발되었으며 데이터 관리를 위하여 MS ACCESS 데이터베이스를 사용하였다.

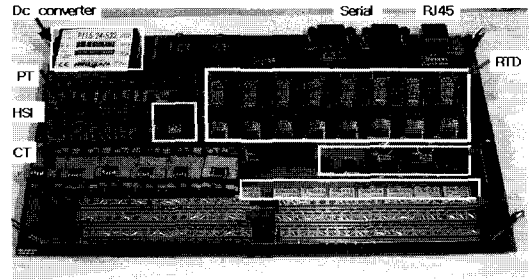


Photo. 2 I/O board

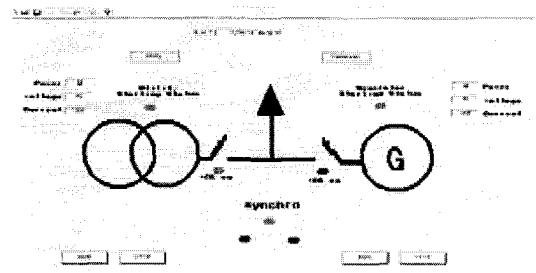


Fig. 8 Main window of the developed monitoring system

4.1 전력 관리 시스템의 성능 실험

개발된 전력관리시스템의 성능을 확인하기 위해서 Photo. 3과 같은 시뮬레이션 장치를 구성하였다. 본 논문에서는 동기실험을 위해 모선과 자가발전기로부터 계측되는 주파수 대신 함수 발생기

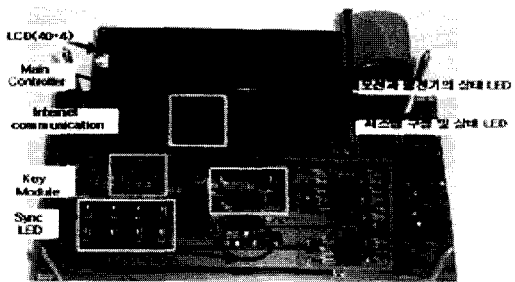


Photo. 1 Main board

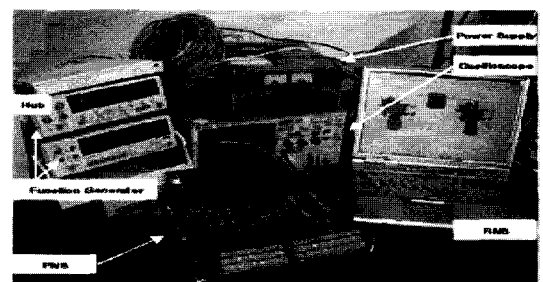


Photo. 3 Test equipments

를 통해 모선과 자가 발전기에 해당하는 주파수를 변경하여 실제 발전기의 주파수를 모의하여 사용하였다.

Fig. 9와 Photo. 4 ~ Photo. 5는 모선과 자가 발전기가 동기 되기까지 모선과 자가 발전기의 상태에 대한 LED와 동기 상태를 나타내는 LED의 점등을 나타내었다.

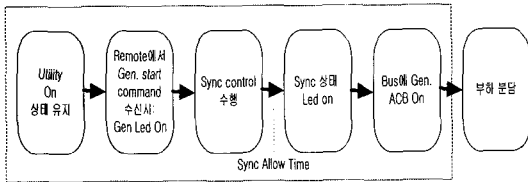


Fig. 9 Blockdiagram of LED on

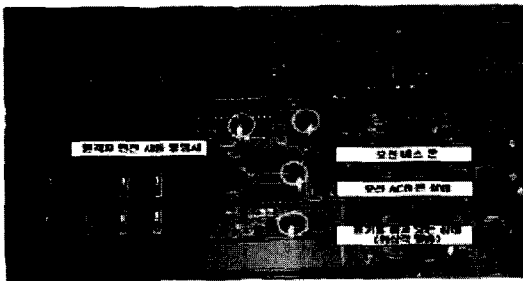


Photo. 4 Test of synchronization

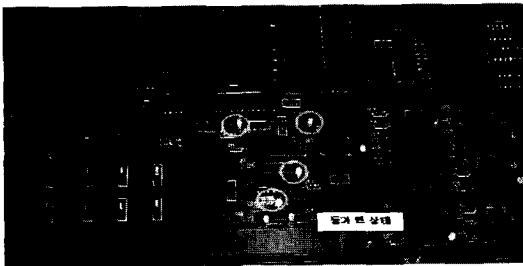


Photo. 5 Test of synchronization

5. 결론

본 논문에서는 마이크로프로세서를 이용한 인터넷 기반 전력 관리시스템을 개발하였다. 전체시스템은 구동 발전기관의 제어 및 감시 시스템, ACB 및 동기제어, 부하분담 등 전력감시제어시스템, 이들 데이터를 원격으로 감시제어 할 수 있는 인

터넷기반 원격 전력관리시스템의 하드웨어와 소프트웨어를 개발하였다. 특히 발전기와 모선의 전력, 전류, 전압 변동을 감시하고 제어하기 위하여 각종 센서신호에 대한 입력회로를 개발하였다. 원격 전력관리시스템 소프트웨어는 PC상에서 윈도우즈 운영체제로 동작하는 응용 프로그램으로 제작하였다. 또한 전력관리시스템에서 설정한 부하분담전략에 따라 부하분배가 이루어지도록 제어신호가 출력되며, 병렬운전을 위하여 발전기 동기제어신호가 출력되도록 하였다. 구성된 시스템은 상용화를 목표로 하여 기존 시스템이 전력관리만 하거나 구동기관 관리만 하는 것보다 한 단계 나아간 양쪽을 모두 통합 관리하도록 하였으며 인터넷을 통한 원격지 운전이 가능하도록 개발 하였다. 또 개발된 시스템은 기능은 많으면서 운전은 간단하도록 하였으며 기관 구동 및 정지 신호와 기타 기관 제어는 가바나로 보낼 수 있도록 구현 되었다. 개발된 시스템의 모의 실험결과는 양호 하였으나 실제 발전기의 부하상태에서 부하분담 및 동기가 원활하게 이루어지는지를 확인 하고 몇 가지 규정을 만족하며 신뢰성이 사용화에 적합 하는지 등의 실험절차가 향후 연구과제로 남아 있다.

참고문헌

- [1] 김재환, "비상발전기 통합제어 및 감시 시스템 개발에 관한 연구", 한국해양대학교 석사학위논문, 2001.
- [2] 한동영, "인터넷 기반 아웃사이드 설비 전원 시설 감시 기법에 관한 연구", 연세대학교 석사학위 논문, 2003
- [3] P. M. Anderson and A. A. Fouad, Power System Control and Stability, IOWA State University Press, 1977.
- [4] 권세혁, 송길영, "발전기-무한 모선 계통의 동태 안정도 해석시 A 행렬의 구조", 대한 전기학회 논문지 제 39권 1호, pp. 1-9, 1990.
- [5] 권세혁, "발전기-무한모선 계통의 계통행렬 구조에 관한 연구", 고려대학교 공과대학 공학논집(28집), pp. 63-70, 1987.

- [6] N. S. Dhaliwal and H. E. Wichert, "Analysis of PID. Governors in Multimachine System", IEEE Transactions on power Apparatus and systems, vol. PAS-97, no.2, Mar./Apr. 1978.
- [7] W. J. O'Halloran and K. W. Ramsay, Power Management, Woodward Governor Company, 1992.
- [8] Speed Droop and Power Generation, Application note 01302, Woodward Governor Company, 1991.

저 자 소 개



천형춘(千幸春)

1958년 12월생, 1980년 한국 해양대학교 기관학과 졸업. 1997년 한국해양대학교(원) 제어계측공학과(석사). 2003년 한국해양대학교(원) 제어계측공학과(박사).