

Smart Power Management Using RTOS-based Uninterruptable Generator Supply

Chulju Lee*, Kyungtae Kang**, Dong Kun Noh***

Abstract

An uninterruptible power supply (UPS) allows small companies and domestic users to cope with power outages; but existing designs lack flexibility of control and require expensive battery maintenance, with a cost proportional to the outage compensation time. We combine a compact synchronous generator with a battery, with 10% of the capacity that would otherwise be required, to obtain a UPS with reduced maintenance costs for the same performance. Any UPS must respond immediately to a power loss, and our uninterruptible generator supply (UGS) is therefore built around real-time scheduling of its internal operations; this also makes it suitable for integration into the industrial gateway. The UGS is based on a real-time operating system, with an integrated wireless module providing connectivity to a web server, for monitoring and management, which can be performed remotely on a mobile device.

▶ Keyword : Uninterruptable generator supply, Real-time OS, Monitoring server, Mobile device

I. Introduction

기술의 발전으로 다양한 종류의 기기들이 현대 사회에 사용됨으로써, 인간의 삶이 매우 윤택해졌다. 이러한 대다수의 기기가 동작하기 위해서는 전기를 전원으로 사용하고 있지만 천재지변으로 인한 송전탑 파손, 전력 사용 급증으로 인한 전력 수급 이상, 인재로 인한 정전 사고 등 다양한 이유로 전원 공급이 중단되는 문제가 발생한다. 전원 공급이 중단 될 경우 작게는 개인의 생활이 불편해지며 크게는 소규모 사업장, 병원 등에서 재산 및 인명피해가 발생할 수 있다.

이러한 전원 공급이 중단 될 경우를 대비하여 임시적으로 전원을 투입하는 것이 무정전 공급장치 (UPS: Uninterruptible Power Supply)[1]이다. UPS 장치는 일차적으로 상용전원을 배터리에

저장하고 정전과 같은 상용전원에 문제가 발생 시, 배터리에 저장되어 있는 전원을 부하(Load)에 공급하는 장치이다.

기존의 UPS 장치는 정전보상 시간을 증가시키기 위해 배터리의 용량을 증가시켜야 했고, 이는 유지비용 증가와 저장 공간 확보라는 두 중요한 문제를 초래한다. 따라서 UPS 장치에 대형 동기 발전기[2]를 결합하여 정전보상 시간을 극대화한 UGS (Uninterruptible Generator Supply)[3]가 연구 되고 있다. 기존의 UGS 장치는 일반적으로 대규모의 사업장이나 빌딩에서 사용되기 때문에, 10MW 이상의 대용량을 사용한다. 따라서 높은 비용과 설치공간의 어려움 때문에, 소규모 사업장 및 가정에서는 사실상 사용하기 불가능하다. 또한 산업용 장치로써 제한된 지역에서 독립적, 수동적으로 동작하기 때문에 사용자들이 UGS 장치를 사용하고 관리 시, 편의성이 떨어지는 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 실시간 운영체제를 사용하는 무정전 발전

• First Author: Chulju Lee, Corresponding Author: Dong Kun Noh

*Chulju Lee(cjlee0709@hanyang.ac.kr), Dept. of Computer Science and Engineering, Hanyang University

**Kyungtae Kang(ktkang@hanyang.ac.kr), Dept. of Computer Science and Engineering, Hanyang University

***Dong Kun Noh(dnoh@ssu.ac.kr), School of Electronic Engineering, Soongsil University

• Received: 2016. 03. 04, Revised: 2016. 04. 18, Accepted: 2016. 05. 24.

• This work was supported in part by grant from the Institute for Information & Communications Technology Promotion (IITP), funded by the Korean Government (MSIP) (No. B0101-15-0557, Resilient Cyber-Physical Systems Research), and in part by grant from the IITP, funded by the Korean Government (MSIP) (No. B0717-16-0132, Making the Smart Wearable Devices Secure).

공급장치 시스템과 이와 연동되는 스마트 전력관리 방법을 제안한다. 제안한 방법은 소규모 사업장 및 가정에서 사용 가능하도록 10KW이하 UPS 장치와 소형 동기 발전기를 결합한다. 이러한 UGS 장치에 통신 디바이스를 장착하여 동기 발전기와 UPS 장치의 상태를 실시간으로 확인하며, 부하에 공급하는 전원을 센싱 및 Feedback으로 제어하도록 Real-Time Scheduling[4]을 설계하고 제어기에 포팅 한다. 또한 모니터링 서버를 구축하여 각각 독립된 장소에 설치되어있는 UGS 장치들을 중앙에서 관리 및 통제 가능하게 한다. 이러한 방법들은 화석연료를 사용하는 동기 발전기가 UPS 배터리에 지속적으로 전원을 공급하기 때문에, 기존 UPS 장치의 배터리 용량이 90% 이상 감소시켜 유지비용을 획기적으로 줄일 수 있다. UGS 장치를 소유한 사용자들은 스마트 폰과 같은 모바일 디바이스로 모니터링 서버에 접속하여 소유한 UGS 장치들을 직접 관리 및 통제가 가능해지므로 사용자 편의성이 크게 향상 된다.

따라서 이러한 UGS 장치는 UPS 대비 낮은 유지비용 과 높은 정전보상 시간을 사용자에게 제공하여 정전 시 인명 및 재산 피해를 방지하고, 기존 UGS에서 부족했던 기기 관리의 어려움을 개선하여 사용자 편의성을 향상 시켰다.

그리고 향후 산업체에서 이기종 네트워크가 장착된 기기들을 사용 시, 본 논문에서 제안한 실시간 운영체제기반의 제어가 산업 스마트 게이트웨이 역할을 할 수 있는 가능성을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안한 UGS 장치 시스템과 유사한 다양한 연구에 대해 살펴보고, 3장에서는 구현한 UGS 장치 시스템 구조와 기능에 대해서 상세하게 설명을 하고, 4장에서는 실제 구현한 UGS 장치 시스템의 결과를 보이고, 5장에서는 성능평가를 한다. 마지막 6장에서는 결론을 맺는다.

II. Related work

그림 1은 소형 동기 발전기의 기본 동작원리를 나타낸다. 엔진의 회전으로 회전축에 연결된 Rotor가 함께 회전할 때 Rotor 내부의 영구자석의 회전으로 인한 전자기 유도 현상에 따라 EC 코일에는 교류 전류가 생성된다. 이때 생성된 교류 전류는 AVR (Auto-Voltage Regulator) 내부의 정류기를 통해 AC에서 DC로 바뀐 다음 브러시와 슬립링을 통해 Rotor 내부의 Field 코일로 다시 전달된다. Field 코일에 흐르는 전류는 Rotor에 전기장을 형성하고, Rotor의 전자기 유도현상에 의해 EC코일에는 교류전류가 발생하게 된다. EC 코일에서 발생한 전류는 AVR을 통해 다시 Field 코일로 흐르게 된다. 따라서 Rotor는 더 강한 자계를 형성하게 되고, Rotor의 회전으로 인한 자계 생성에 따른 전자기 유도 현상에 의해 생성된 Main 코일에서의 출력 전압이 생성 된다. 이러한 소형 동기 발전기는 구조가 간단하며 내구성이 좋고, 가격이 저렴하기 때문에 산업 현장에서 많이 사용된다. 하지만 전원 품질이 나쁘기 때문에 전자제품이나 정밀 기기에 사용할 경우 기기가 손상되거나 파손될 수 있으며, 무정전 전원공급에 대한 고려가 없다는 한계가 있다.

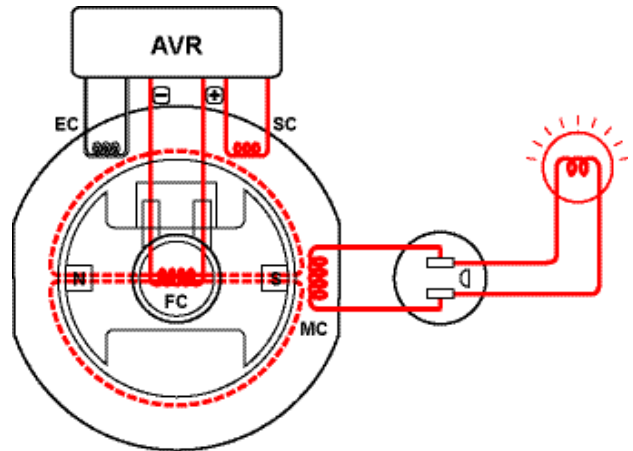


Figure 1. Operation principle of the synchronous generator

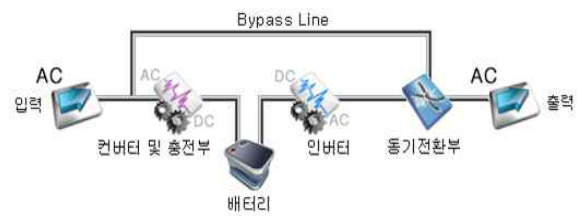


Figure 2. Structure of the ON-LINE UPS

이에 따라, 최근 UPS 장치와 동기 발전기를 결합하고자 하는 시도가 모색되었다. 이를테면, 발전기 이외에 보조 전원 수단으로 태양광 및 풍력 발전을 추가로 결합하여, 에너지 효율을 극대화한 형태가 대표적이다[5]. 이러한 방식은 유한한 화석연료뿐만 아니라 지속 가능한 에너지원을 활용한다는 장점이 있다. 특히, 시간에 따라 전기요금이 변하는 전력피크 요금제가 시행되는 지역에서는 전력 가격이 저렴할 때 UPS 장치 배터리에 전원을 충전하고, 전력 가격이 비쌀 때 UPS 장치 배터리를 부하에 공급함으로써 에너지 자원을 보다 효율적으로 활용할 수 있다[6]. 또한 상용전원을 부하에 공급하다가 전원의 품질이 좋지 않을 경우 부하에 공급하는 전원을 차단하고 UPS 장치를 통해서 전원을 공급하는 연구도 진행되고 있다[7].

이러한 연구들에서 사용한 UPS 장치는 크게 ON-LINE, OFF-LINE, LINE-Interactive 방식으로 동작하는데, 그림 2는 그 중 특히 ON-LINE 방식에 대해서 도식화 하고 있다. 그림을 보면 상용전원 AC입력 부는 컨버터 및 충전부에 의해 직류전원으로 변환하고, 변환된 직류전원은 배터리를 충전한다. 그리고 인버터 부를 통해 다시 교류전원으로 변환하여 AC출력부로 보내는 방식이다. 이러한 ON-LINE 방식은 항상 인버터 부를 경유해서 전원을 보내기 때문에 단순한 구조를 가지지만 출력 전원이 안정되며 높은 품질을 가지는 장점이 있다.

그러나 기존 UPS와 소형 동기발전기를 보조전원으로 사용한 연구들은 정전 시 UPS 장치가 부하기에 전원을 안정적으로 공급하거나, 부하에 공급하는 전원의 품질을 향상시키는데 관심이 집중되어 있다는데 한계가 있다[8, 9]. 이러한 연구들은 전원 공급의 효율성과 신뢰성에 초점이 맞추어져 있기 때문

에, 사용자 편의성이나 이기종간 네트워크 디바이스가 접근하기 어려운 문제점이 있다.

III. The proposed UGS system

본 논문에서는 UPS 장치 외에 보조 전원으로 소형 동기 발전기를 혼용한 방식을 채택하였으며, 그림 3은 제안하는 UGS 장치 시스템의 블록 다이어그램을 도식화 한다. 평상 시 분전반에서 상용전원이 UPS 장치로 상시 공급되고, 이는 다시 부하에 공급된다. 실시간 운영체제 기반의 제어기는 분전반의 상용전원과 UPS 장치의 상태를 실시간으로 센싱하고, 정전 시 1차적으로 UPS 장치의 배터리가 부하에 전원을 공급하고, 2차적으로 제어기가 발전기를 동작시켜 UPS 장치에 전원을 공급하여 결과적으로 부하에 전원을 공급한다. 전원 상황에 따른 정보를 무선 통신 디바이스를 통하여 모니터링 서버에 전송하게 되며, 모니터링 서버는 UGS 장치의 상태 및 각종 정보들을 저장한다. 사용자는 모바일 디바이스를 사용하여 모니터링 서버에 접속하고 본인이 소유한 UGS 장치를 관리 및 통제한다.

이에 본 논문에서는 소형 동기 발전기의 낮은 전원 품질은 앞서 언급한 ON-LINE 방식의 UPS 장치를 결합하여 해결하고, 실시간 운영체제를 포팅한 제어기를 사용하여 UGS 장치가 안정적으로 실시간 동작하게 만들었다. 추가로 UGS 장치에 무선 통신 기능을 지원하는 디바이스를 장착하여 외부에 구축된 모니터링 서버와 통신 가능하게 하였다. 모니터링 서버는 UGS 장치들을 관리하여 사용자에게 다양한 정보와 서비스를 제공함으로써, 사용자 편의성이나 이기종간 네트워크 디바이스가 접근하기 어려운 기존 연구의 문제점을 해결하고 향후 산업용 스마트 게이트웨이로 확장 가능한 전략을 제안한다.

1. 실시간 운영체제 기반 제어기

제어기의 MCU (Micro Controller Unit)은 CortexM4를 사용하여 구현하였으며, 32비트 CPU와 1 Mbyte의 플래시 메모리, 그리고 196Kbyte의 메인 메모리로 구성된다. 이러한 MCU는 자원의 제약으로 운영체제의 크기는 작아질 수밖에 없지만, 정확한 기기 제어 및 다양한 사용자의 요구조건은 만족해야 하기 때문에 실시간 운영체제가 필수적이다.

본 논문에서는 다양한 실시간 운영체제 중에 8bit ~ 32bit MCU를 대상으로 크기가 5Kbyte ~ 12Kbyte, 메모리가 256Byte 이하의 초소형 운영체제에 적용 가능한 FreeRTOS[10]를 UGS 장치에 적용하였다.

FreeRTOS의 태스크 생성은 xTaskCreate()함수를 통하여 생성되며 태스크 진입함수에 대한 포인터, Task name, Stack size, 생성된 태스크의 매개변수 포인터, 우선순위, 태스크 참조를 위한 Handle값을 매개변수로 받아 생성한다. 이러한 태스크들은 우선순위를 가지게 되며 선점형 방식의 스케줄링에서 우선순위에 따라 Processing Time을 선점하여 실행된다. 같은 우선순위의 태스크들의 경우 RR (Round Robin)방식을 통해

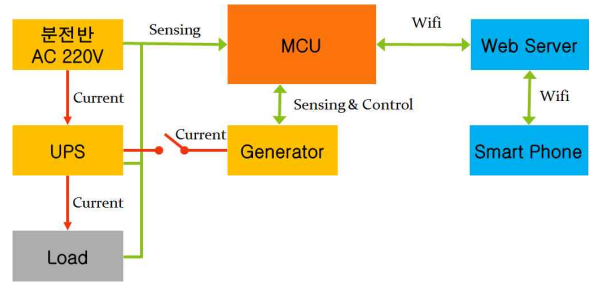


Figure 3. Block diagram of the proposed UGS system

Table 1. Task and function of the UGS system

번호	태스크	기능
1	Generator	온도, 오일, RPM 센싱
2	UPS	전압, 전류, 주파수 센싱
3	Information	시스템 정보
4	Self-Diagnosis	자가 엔진 시운전
5	Communication	모니터링서버, UPS통신
6	Power Source	전원 품질 점검
7	MS Switching	전원 교차
8	Emergency	시스템 실패, 고장

Processing Time을 나누게 된다. 제어기 태스크 기능들을 표 1에 나타내었다. 태스크 1번은 발전기 전체를 담당하는 기능을 한다. 상황에 따라 엔진을 시동, 정지, 고장을 알리며, Alternator의 출력전원 제어를 한다. 태스크 2번은 UPS 장치의 각종 정보를 담당하는 기능을 하며, 상황에 따라 UPS 장치를 제어 가능하다. 태스크 3번은 UGS 장치의 정보와 데이터를 모니터링 서버에 전송하거나, 필요 시 모니터링 서버로부터 명령을 받아 UGS 장치를 동작 시키는 기능을 한다. 태스크 4번은 가솔린 엔진의 특성상 장시간 미사용 시 연료가 고착되는 문제가 있기 때문에, 주기적으로 엔진을 자가 동작시키는 기능이다. 태스크 5번은 모니터링 서버 및 UPS 장치와 통신하는 기능을 담당한다. 태스크 6번은 전원의 품질을 실시간으로 점검하는 기능이며, 태스크 7번은 상용전원과 발전기의 출력전원을 상황에 따라 부하에 교차 공급하는 기능을 한다. 태스크 8번은 UGS 장치가 손상되거나 불능 상태일 때 시스템을 안전한 상태로 정지시키고, 모니터링 서버 및 사용자에게 경고하는 기능이다.

그림 4는 UGS 장치의 메인 프로그램의 순서 흐름도이다. 제어기가 부팅될 때 기본적으로 제어기에 연결된 주변 IO를 초기화하며, 이때 발전기 전원을 공급하는 마그네틱 스위치는 OFF, 상용전원을 공급하는 마그네틱 스위치는 ON 한다. 그리고 상황에 따라서 프로그램은 3가지 Case로 나누어지는데, Case1은 상용전원이 정상적으로 공급되는 상황이다. Case2는 정전이 발생하여 상용전원 공급이 중단되는 상황, Case3은 Self-diagnosis 중에 예기치 않게 정전이 발생하는 상황을 나타낸다. Case1루틴으로

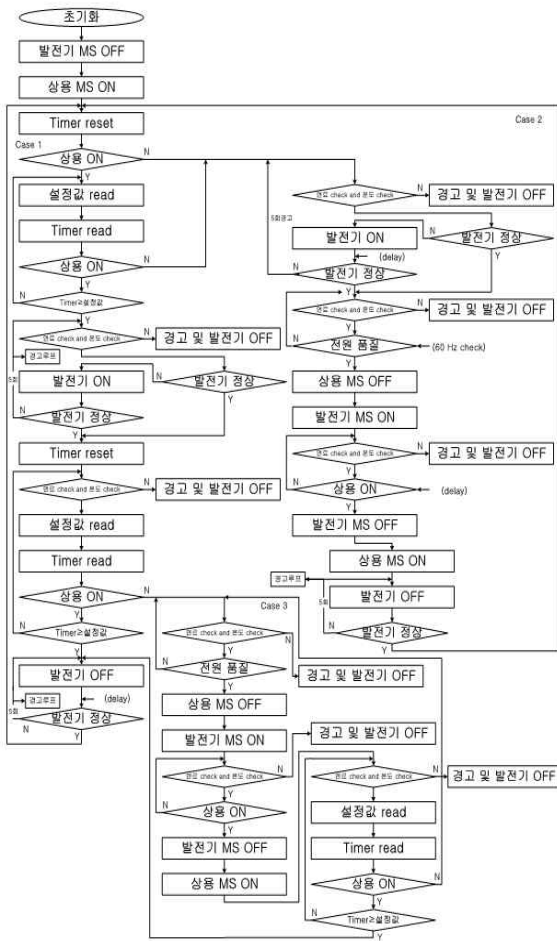


Figure 4. Flow chart of the main program

실행되면 발전기 가동 주기 시간을 초기화 한다. 그리고 상용전원이 공급되는 상태이기 때문에, 사용자에게 의해 설정된 발전기 동작 시간, 마그네틱 스위치 교차 시간을 읽어온다. 계속해서 상용전원이 공급되는 상태이면 설정된 발전기 가동 주기 시간이 도래할 때까지 발전기의 상태를 체크하며 대기하게 된다. 이 때 설정된 발전기 가동 주기 시간이 도래하면 발전기를 동작시키게 되고 발전기가 고장일 경우 경고를 알리고 발전기를 OFF 시킨다. 발전기가 정상적으로 동작할 경우 설정된 시간만큼 발전기가 ON되고 그 이후 OFF 된 후 처음의 루틴으로 돌아가게 된다.

Case2 루틴은 발전기 가동 주기 시간을 초기화 한 후 정전이 발생 할 경우 루틴이다. 상용전원이 중단되는 정전이 발생 하였을 때 발전기를 ON 시킨다. 이때 발전기가 실패하거나 고장일 경우 경고를 알리고 발전기를 OFF시킨다. 발전기가 정상 동작하면 상용전원의 마그네틱 스위치를 OFF 시키고 발전기전원의 마그네틱 스위치를 ON 시켜 전원을 부하에 공급하게 된다. 그리고 상용 전원이 정상적으로 공급 될 때까지 대기하게 된다. 상용 전원이 정상적으로 공급되게 되면 발전기를 OFF 시키고 처음의 루틴으로 돌아가게 된다.

Case3 루틴은 발전기 가동 주기 시간이 되어 발전기가 동작할 때 예기치 못하게 정전이 되었을 때 루틴이다. 이때는 발전기가

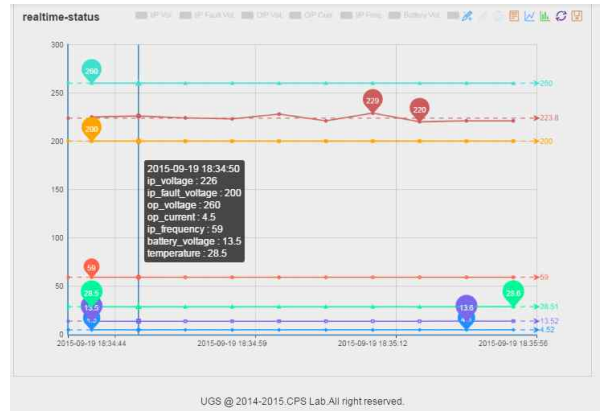


Figure 5. Dynamic figure chart

Table 2. Dynamic figure data

구분	색상	기능
I/P Vol.(V)	Orange	입력 전압
O/P Fault Vol.(V)	Sky Blue	출력 실패 전압
O/P Vol.(V)	Purple	출력 전압
O/P Curr.(A)	Green	출력 전류
I/P Freq.(Hz)	Blue	입력 주파수
Battery Vol.(V)	Plum Purple	배터리 전압
Temperature	Modena	온도

Table 3. Database table list

이름	기능
Device	장치에 정보
Device Status	장치의 상태 정보
User	장치 소유자 정보
Role	Role 권한 설정
Permission	사용자 권한 설정

ON 되어 있는 상태이기 때문에 추가로 상용 전원의 마그네틱 스위치를 OFF 시키고 발전 전원의 마그네틱 스위치를 ON 시킨다. 정전 상태이기 때문에 발전기 가동 주기 시간이 끝나도 발전기를 OFF 시키지 않고 상용 전원이 공급될 때까지 ON 시킨다. 정전 상태이기 때문에 발전기 가동 주기 시간이 끝나도 발전기를 OFF 시키지 않고 상용 전원이 공급될 때까지 대기하게 된다.

2. 모니터링 서버

모니터링 서버는 IBM 호환 PC노트북을 사용하였으며, Python과 PostgreSQL로 프로그래밍 하였다. UGS 장치에서 생성된 데이터는 소켓 통신을 이용하여 모니터링에 데이터베이스에 저장된다. 데이터베이스 모델은 ORM (Object Relational Mapping)을 이용하여 설계하였다. ORM은 데이터베이스와 객체 지향 프로그래밍 언어 간의 호환되지 않는 데이터를 변환하는 기법으로, 본 논문에는 ORM을 이용하여 Python으로 데이



제어기



UGS 장치



모니터링 서버

Figure 6. UGS System for evaluation



Figure 7. Smart power management on a nobile device

데이터베이스 테이블을 생성하였다.

데이터베이스에 저장된 데이터는 사용자들이 엑셀파일로 쉽게 확인할 수 있고, 웹 페이지 상에서도 직접 확인이 가능하다. 또한 Dynamic Figure를 이용하여 장치의 상태 그림을 실시간으로 제공한다. 그림 5는 Dynamic Figure를 이용하여 데이터베이스에 저장된 데이터를 모니터링 서버에서 나타낸 그림이고, 표 2는 그림 5의 내용을 표로 나타낸 것이다. UGS 장치의 입력력 전압, 출력실제 전압, 전류, 주파수, 배터리 전압, 온도가 색상 별로 표시되어 있다. 표 3는 모니터링 서버에 구현된 데이터베이스 테이블을 나타낸다. Device 테이블은 장치의 이름, 제품번호 등 장치에 관한 정보가 저장 되고, Device Status 테이블은 전압, 전류, 온도 등 장치의 상태 정보를 저장하고 관리한다. User 테이블은 사용자 이름, 연락처 등 사용자 정보를 저장한다. User 테이블은 Role 테이블과 연결되어 유저의 Role에 따른 권한이 주어진다. 사용자의 Role은 Anonymous, Super user, Trusted 3가지로 구분 되고 Role에 따라 서로 다른 권한을 갖고, Role에 따른 권한은 Super user만이 설정 가능하다. Socket 서버는 UGS 장치와 서버가 항상 통신을 해야 하는 점을 고려하여 Long Polling Communication 방법을 채택한 Tornado를 사용하였다. Uliweb은 Python 기반의 풀스택 웹 프레임워크로 오픈 소스로 제공되는 Uliweb과 Plugs 플러그인을 이용하여 HTTP 서버를 구현하였다. 소켓 서버에서 데이터를 받아 데이터베이스에 저장한 후, HTTP 서버에서는 데이터베이스에 저장된 데이터를 HTML을 이용하여 사용자에게 정보를 제공한다[12].

3. 사용자 단말기

사용자는 스마트폰과 같은 모바일 디바이스로 본인의 UGS 장치를 모니터링 및 통제가 가능하다. 외부에서 모바일 단말기의 웹 브라우저를 이용해 모니터링 서버에 로그인 후 서비스를 제공 받으면 된다. 그림 7은 실제 스마트폰으로 모니터링 서버에 접속한 그림이다.

IV. Experiment

UGS 장치 시스템은 실제로 제작하여 실험을 진행 하였다. 그림6의 제어기는 12V 입력 전원을 가지며, ADC를 통하여 상용 입력전원, 발전기의 출력전원을 센싱한다. 또한 2개의 USART 통신 채널은 가지고 UPS 장치와는 유선으로 통신하며, 모니터링 서버와 통신하기 위해 Serial to Wifi 디바이스를 사용하는데 RS-232 프로토콜과 TCP/IP 프로토콜을 IEEE802.11 b/g 무선랜 프로토콜로 변환시키는 장치이다 [11]. UGS 장치의 동작 상태를 현장 사용자에게 알리기 GLCD 모듈과 LED가 존재하며, 비상시 경보음을 울리기 위한 스피커 사용이 가능하다. 그리고 제어기 기능을 설정 가능하도록 각종 버튼과 점퍼가 있다. 그림 6의 제어기 케이스는 상용전원으로부터 전원을 입력 받는다. 입력 받은 전원은 5KVA급 UPS 장치를 거쳐서 부하에 공급하게 된다. 실험에 사용된 6.5KVA급 발전기의 크기와 연료 탱크 용량은 690x545x535mm, 25ℓ이며 8시간 연속운전시간을 가진다. 발전기의 출력부는 제어기 케이스로 입력되고, 정전 상황에 따라 상용전원 혹은 발전기 전원이 교차하여 UPS 장치에 전원을 공급하게 된다. 본 논문에서는 상용전원을 ON, OFF 시켜 가상의 정전상황을 만들어 실험하였다. 그림 6의 모니터링 서버는 노트북-PC에 설치 및 실험한 것을 나타낸다.

V. Performance Evaluation

그림 8 출력 전압 파형은 UGS 장치에 장착된 발전기의 출력 전압을 오실로스코프 계측기로 측정한 것이다. 수평축 감도는 1ms/Div이며, 수직축 감도는 50V/Div, 프루브 배율은 10X이다. 측정 파형을 보면 출력 전압의 파형이 심하게 일그러진

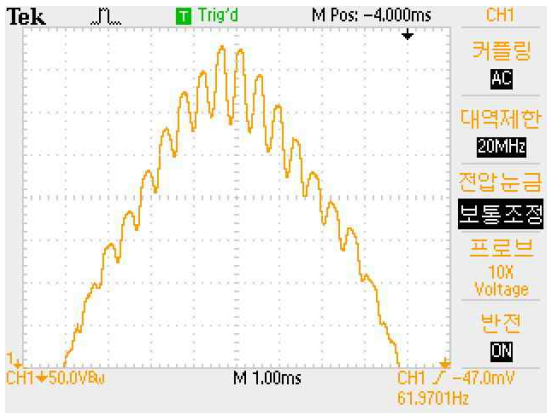


Figure 8. Output waveform (generator)



Figure 9. Output waveform (UPS)

Table 4. Test report of the UGS

구분	내용	값
출력전원	정격 전압	220 VAC
	전압 안정도	± 1% 이내
	정격 주파수	60Hz ± 0.2% 이내
	주파수 동기 범위	± 1Hz
	과도 전압 변동	± 5% 이내
	과도 응답 속도	50ms 이내
	출력 전압 조정	± 5%
	과부하 내량	120% 10분간
동기절체	역률	0.8 이상
	동기 절체 시간	4ms 이내

모양을 확인 할 수 있다. 그림 9의 출력 전압 파형은 UGS 장치의 출력 전압을 오실로스코프 계측기로 측정된 것이다. 그림 8과 동일하게 수평축 감도는 1ms/Div이며, 수직축 감도는 50V/Div, 프루브 배율은 10X 이다. 측정 파형을 보면 출력 전압이 완벽한 곡선으로 이루어진 것을 확인 할 수 있다. 전자기 유도현상을 이용하여 전원을 출력하는 발전기와 인버터부를 통하여 출력되는 UGS 장치의 전원을 비교 했을 시 UGS 장치의 전원 품질이 좋은 것을 알 수 있다. 표 4는 UGS 장치의 출력 시험 성적서이다. UGS 장치의 정격 전압 220V(± 2.2V), 정격

주파수와 60Hz(± 0.12Hz)는 일반적인 소형 동기 발전기의 정격 전압 230V(± 13V), 정격 주파수와 63Hz(± 2Hz)비교하여 높은 전원 품질을 보여줄 뿐 아니라 한국전력공사 기준의 정격 전압 220V(± 13V) 정격 주파수와 60Hz(± 0.2Hz) 비교하여도 전원의 품질이 우수한 것을 알 수 있다[13].

VI. Conclusions

기존의 UPS 장치는 정전보상 시간에 비례하여 높은 비용이 요구되며, 사용자의 편의성이 부족한 문제점이 있었다. 이에 본 논문에서는 UPS 장치에 소형 동기 발전기를 결합하고, 실시간 운영체제 기반의 제어기를 탑재하여 주변 IoT디바이스들과 통신하는 방법을 제시했다. 또한 모니터링 서버를 구축하여 각각의 UGS 장치들을 중앙에서 관리 및 통제가 가능하게 된다. 사용자는 모바일 디바이스를 사용하여 모니터링 서버에 접속하고, 실시간 모니터링, 원격제어, 푸시 알림 등 다양한 서비스를 제공 받을 수 있다. 제시한 UGS 시스템은 실제로 구현하고 실험 및 성능을 평가하였다. 실험결과 기존의 UPS보다 대용량 배터리가 제거되어 최대 90% 이상 용량이 감소하였고, 상용전원 수준의 정현파를 갖춘 높은 품질의 원을 부하에 상시 공급 가능해졌다. 또한 실시간 운영체제 기반의 제어기를 통하여 UGS 장치 제어 및 모니터링 서버와 통신을 확인하였다. 이를 통해 최소한의 비용으로 정전보상시간을 극대화하고, 전원의 안전성을 보장하며, 사용자에게 향상된 전력관리 서비스를 제공 할 수 있다.

향후 과제로는 UGS 장치 시스템이 이기종 네트워크를 가진 다른 산업 기기들을 결합시켜, 산업용 스마트 게이트웨이로 확장하는 것에 대해 연구할 것이다.

REFERENCES

- [1] Xiyu Liu, "Grounding System of an Uninterruptible Power System", IEEE International on Telecommunications Energy Conference, pp. 1-7, Sep. 2008.
- [2] J. G. W. West, "High Efficiency Alternators" Int.Automotive Technology Congress on Alternator Technology, UK, October 1985.
- [3] C. V. Nayar, M. Ashari, and W. W. L. Keerthipala, "A single phase uninterruptible power supply system using a bi-directional sinusoidal PWM inverter," in Power Electronics Drives and Energy Systems for Industrial Growth (PEDES'98) Proceedings, vol. 2, Dec, pp. 671-676, 1998
- [4] Jean J. Labrosse, "MicroC/OS-II : The Real-Time Kernel," Real-Time Systems Concepts, pp.37-74, 1999.
- [5] Chemmangot V. Nayar, Mochamad Ashari, and W. W. L. Keerthipala, "A Grid-Interactive Photovoltaic

- Uninterruptible Power Supply System Using Battery Storage and a Back Up Diesel Generator”, IEEE Transactions on Energy Conversion, VOL. 15, NO. 3, pp. 348-353, Sep, 2000.
- [6] Amit K Gupta, Saurabh Chanana, Ashwani Kumar, “A Smart Uninterruptible Power Supply based on Frequency Linked Pricing Mechanism”, IEEE International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), pp. 1-6, Aug, 2012.
- [7] Athanasios G. Malamos, Kostas Kalaitzakis and Nicholas C. Voulgark, “A microcontroller-based system for monitoring and controlling the operation of an uninterruptible power supply”, Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, VOL. 2, pp. 610-615, Jul. 1995.
- [8] H. Jouybari-Moghaddam, S. H. Hosseinian, B. Vahidi, M. Ghiasi Rad, “Smart control mode selection for proper operation of synchronous distributed generators,” IEEE-ICSG 2nd Iranian Conference on Smart Grids, pp. 1-4, May. 2012.
- [9] B. Zhao, Q. Song, W. Liu, Y. Xiao, “Next-Generation Multi-Functional Modular Intelligent UPS System for Smart Grid,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, pp. 3602-3618, Sept. 2013.
- [10] FreeRTOS introduction. [Online]. Available: <http://www.freertos.org/RTOS.html>
- [11] Jeong-Hyun. Baek, "The Design and Implementation of Intelligent Internet Outlet for Real-Time Scheduling Control," Journal of The Korea Society of Computer and Information", Vol. 15, No. 10, pp. 191-200, October 2010.
- [12] Jeong-Hong Kim, Jae-Soo Kim, "A Design and Implementation for a Realtime Monitoring and Controlling System in the Stockyard," Journal of The Korea Society of Computer and Information", Vol. 14, No. 10, pp. 167-174, October 2009.
- [13] M.Subbiah and M.R.Krishnamurthy, “Single-winding single-phase inductor alternator,” IEEE Trans. on Aerospace and Electronics Systems, vol.AES-12, No.6, pp.689-697, November 1976.

Authors



Chulju Lee received the B.S. degrees in Electronic Engineering from Sunchon University, Korea, in 2007. he currently joined the Department of Computer Science and Engineering, Hanyang University, Korea.

His research interests include embedded system and IoT.



Kyungtae Kang received the B.S. degree in computer science and engineering and the M.S. and Ph.D. degrees in electrical engineering and computer science from Seoul National University, Seoul, Korea, in 1999, 2001, and 2007, respectively.

From 2008 to 2010, he was a Postdoctoral Research Associate with the University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL, USA. In 2011, he joined the Department of Computer Science and Engineering, Hanyang University, Korea, where he is currently an Associate Professor. His research interests are primarily in systems, such as operating systems, wireless systems, distributed systems, real-time embedded systems, and the interdisciplinary area of cyber-physical systems.



Dong Kun Noh received BS, MS, and PhD degrees in EECS from Seoul National University in 2000, 2002, and 2007, respectively. He has been in University of Illinois at Urbana-Champaign as a postdoctoral from 2007 to 2010.

He is currently an assistant professor in the school of electronic engineering at the Soongsil University in Korea. His research interests include cyber-physical system and mobile communication.