

논문 2016-11-33

K10026 기반 스마트 플러그 시스템 개발 및 성능 분석

(Development and Performance Analysis of an Effective Smart Plug System based on K10026 Regulation)

정 한 수, 이 형 봉, 정 태 윤*

(Han-Su Chung, Hyung-Bong Lee, Tae-Yun Chung)

Abstract : This paper proposes an effective smart plug system capable of monitoring power, cutting off standby power and overload current. The key design concept is focused on measurement accuracy, self power consumption and controlling via smart phone application. The system is composed of several plugs and a hub, and adopts a star-topology-styled TDMA wireless protocol for communication between plug and hub. The test result shows that the implemented smart plug system meets K10026 regulation and is worth in electrical safety, energy saving, easy living.

Key words : Smart plug, Home automation, IMSN, IoT

I. 서 론

스마트 플러그는 가전제품이 사용되지 않을 때 자동으로 전원을 차단하고 또한 가전제품의 소비전력 정보, 사용자의 라이프 스타일에 맞추어 예약 설정을 제공하는 등의 무선통신 기능을 가진 플러그이다. 따라서 기존의 비절전 가전기에 대해 스마트 에너지 기능 확장을 제공하여 스마트폰과 연동된 에너지 모니터링 및 분석 기능, 원격 전원 관리 기능을 제공하는 제품이다.

스마트 플러그 보급 자체가 에너지 절감을 가져오는 것은 아니기 때문에 스마트 플러그와 연동되어 이용되는 가전제품의 사용행위 관점에서 에너지 절약 서비스 및 이에 기반한 사용자경험 (UX)이 필요하다 [1].

또한 스마트 플러그는 전기안전인증 등록이 필요한 제품으로서 정격전압이 50V 이상 250V 이하이고 정격전류가 16A 이하인 가정용 및 유사용도의 교류 전용 대기전력 자동 차단 콘센트에 대한 적용 기준인 K10026 규정을 따라야 한다.

표 1. 설계 고려 요건

Table 1. Design Factors

User Requirements	Design Factors
Checking and saving electrical energy consumption	Power measurement accuracy $\pm 3.0\%$ (KATS 2010-0003)
	Standby power auto blocked (K 10026)
	Power consumption less than 0.5W at standby (KATS 2014-36)
	Monitoring of power consumption
Safe use, such as a short circuit, overcurrent, electric shock	Electrical goods meet safety standards (K 10026)
	Dimensions subject to examination KS C 8305
	Overload cut off within 2 min 10A ~ 12A (K 10026)
Management according to various life style	Direct control within 1 sec
	Remote control within 5 sec
	Reservation for every 10 min
	Sleep for every 1 min (~180 min)
Want to use without having to learn	Can be installed within 2 min
	Alarm within 5 min at fault
Power usage information security	Authentication procedure of connection

*Corresponding Author (tychung@gwnu.ac.kr)

Received: 11 July 2016, Revised: 16 Aug. 2016,

Accepted: 5 Sep. 2016.

H.S. Chung, H.B. Lee, T.Y. Chung: Gangneung -Wonju National University

사용자 요구사항과 전기안전인증 규격에 따른 설계 고려 요건은 아래와 같이 정리할 수 있다.

본 논문에서는 표 1의 설계 요건을 중심으로 무선통신 및 세부 부품 선정, 그리고 사용자 요구사항에 따른 스마트 플러그의 설계 요건을 고찰하고 구현한다.

논문 구성은 다음과 같다. II 장에서 관련 연구를 살펴보고, III 장에서 스마트 플러그 시스템 설계 방법을 서술하고 IV 장과 V 장에서는 본 논문에서 제안하는 SMUP (SMart Useful Product) 플러그 시스템의 구현과 평가 결과를 소개하며, VI 장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 스마트 플러그 시스템

스마트 플러그 초기 모델인 [2]는 대기 전력 자동차단 및 누전전류 차단 기능을 갖는 지능형 멀티 콘센트를 개발하였으며, 자동 차단된 대기전력을 리모컨으로 전원공급이 재개될 수 있도록 하였다. 이 시스템에서는 RS-232 시리얼 통신을 통하여 PC에서 On/Off 제어나 실시간 모니터링이 가능하지만, 무선통신 기능이 없어 스마트폰이나 원격제어에 어려움이 있다.

그 이후 블루투스, 지그비, 와이파이 등 다양한 형태의 통신방식을 이용한 스마트 플러그 시스템이 등장한다. [3]은 와이파이 기능을 내장한 플러그와 전력 소비량을 모니터링하고 제어할 수 있는 웹서버로 구성되어 사용자가 쉽게 전력 소비 상태를 체크하고 콘센트의 전원 상태를 조작할 수 있는 스마트폰용 웹을 개발하였다. 와이파이와 LCD를 사용하여 대기상태에서 기준치인 0.5W보다 높은 1.18W를 소모하고 전력량 오차 기준인 3%보다 높은 최대 7.62%의 성능을 보였다.

[4]는 BLE (Bluetooth Low Energy)를 사용하여 가전 제어 및 전력 모니터링이 가능한 스마트 플러그 솔루션을 제공하였다. 다른 프로토콜과 달리 BLE는 스마트폰으로 다른 추가기기 없이 바로 스마트 플러그에 연결하여 사용할 수 있는 장점이 있지만, 외부에서 원격제어나 통신거리에 한계가 있어 사용상 제약이 따른다.

[5-8]은 지그비 통신을 이용한 소비전력 모니터링 및 대기전력을 차단하는 스마트 플러그를 구현하였는데, 부하가 대기 전력 상태일 때 자동차단 및 무선통신을 이용하여 외부에서 전원을 차단할 수 있도록 설계하였다. 지그비 통신을 이용하면 스마트

폰과 바로 통신할 수 없어 별도의 서버 시스템이나 게이트웨이가 필요하다.

[9-10]은 스마트플러그와 컨트롤 유닛 사이는 지그비 통신을, 컨트롤 유닛과 스마트폰 사이는 블루투스 통신을 하는 시스템을 구성하였다. 블루투스는 원격제어나 통신거리에 한계가 있고, 컨트롤 유닛으로 PC를 운영하면 전력소모나 비용 면에서 불리함이 있다.

[6]에서는 사람의 움직임을 감지하는 PIR 센서를 장착한 무선 센싱 노드를 추가하여 거주자의 재실 유무를 확인한 후 불필요한 전기 에너지를 차단하는 시스템을 선보였으며, [7]에서는 BLE 비콘으로 사람의 재실을 감지하여 사무실에서 많은 전력소모를 하는 PC, 모니터, 진동 등을 제어하였고, [10]에서 사용자 스마트폰의 블루투스 기능과 연동하여 사용자에게 대한 위치판단을 하고 능동적으로 스마트 플러그에서 각 전자기기의 대기전력을 차단함으로써 가전기기들의 대기전력을 차단하고자 하였다. 이러한 시스템들은 재실 감지 센서 자체가 오동작함으로써 미세한 움직임을 감지하지 못하여 사람이 있음에도 불구하고 전력을 차단하는 경우가 발생할 수 있고, 현대인의 다양한 생활 패턴을 인식하는데 부족할 수 있어, 밥술이나 공유기 같은 일부 가전제품이 다른 방에 있을 때도 전력을 차단하는 문제가 발생할 수 있다.

[11]은 일반 사무실 및 홈 네트워크의 PC를 포함한 다양한 주변 기기들의 대기전력을 포함한 전력소모를 관리하기 위한 이더넷 기반의 스마트 플러그 시스템을 개발하였고, 스마트 플러그, 서버, PC제어를 위한 에이전트, 스마트폰 앱으로 구성하였다. 게이트웨이, 플러그 모두 이더넷 연결에 리눅스를 이식하여 다른 시스템에 비해 상대적으로 시스템이 무거워지는 단점이 있다.

위와 같이 통신 방식이나 에너지 절약에 대한 연구는 다양한 방향으로 진행되어 왔으나, 전력량 측정의 정확도, 자체 소비전력 및 다양한 라이프 스타일에 맞춘 예약 시스템 같은 부분에서는 연구개발이 미미하였다. 따라서 통신 방식 뿐 아니라 다양한 관점에서 스마트 플러그 시스템에 대한 최적화 방향 설정이 필요하다.

III. 스마트 플러그 (SMUP) 시스템 설계

1. 시스템 구성

스마트 플러그 시스템은 스마트폰과 바로 연결되는 단일형과 허브 (게이트웨이)를 이용한 독립형이

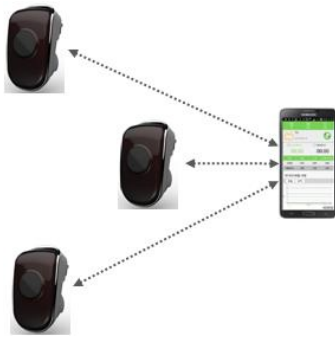


그림 1. 단일형 SMUP 플러그
Fig. 1 Single Type SMUP Plug

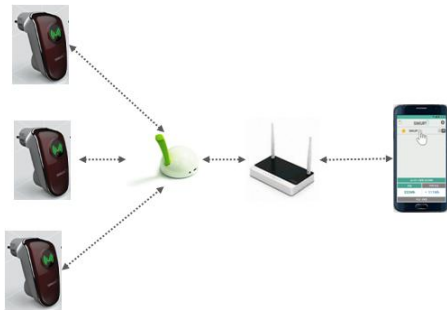


그림 2. 독립형 SMUP 플러그
Fig. 2 Stand-Alone SMUP Plug

있다. 사용자 편의성을 위해 스마트폰 앱을 이용하는 것은 스마트 플러그 시스템에서 기본 기능이 되었는데, 그림 1과 같은 단일형은 스마트폰과 바로 통신하여 허브 등 기타 장비가 필요하지 않은 장점이 있고 통신 방식으로 블루투스, 와이파이를 사용할 수 있다. 블루투스는 가격, 전력소비 면에서 장점이 있지만, 통신거리가 짧고 원격 제어가 안 된다는 한계가 있다. 와이파이는 원격 제어는 가능하지만, 자체 전력소모가 많고 가격이 높다는 단점이 있다.

그림 2와 같은 독립형은 스마트폰과 통신하기 위한 별도의 허브가 필요한 구성 방식으로서 허브 구매에 추가 비용이 발생하지만, 플러그 통신 방식에 제약을 받지 않고 또한 다수의 플러그 관리에 장점이 있다. 플러그와 허브 간의 통신은 RF (Radio Frequency), 블루투스 등이 있는데 벽과 다양한 가구가 있는 가정환경에는 900MHz 대의 주파수를 사용하는 RF가 효율적이다. 허브와 스마트폰 간의 통신은 블루투스, 와이파이 등이 있는데, 블루투스는 외부에서 제어할 수 없다는 제약이 있어 와이파이

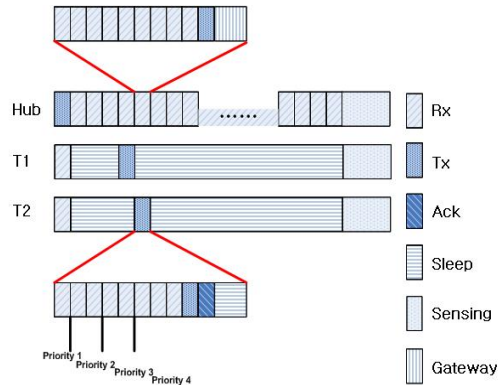


그림 3. IMSN 구성도
Fig. 3 IMSN Architecture

를 사용하는 것이 사용자 요구사항을 충족할 수 있다. 이 외에 로컬에 허브 대신 PC를 사용하거나 외부에 서버를 운영하는 방식이 가능하나 전력소모, 보안 관리 및 비용 등에 단점이 있어 효율적이지 못하여, 이 연구에서는 단일형과 독립형을 채택하였다.

2. 무선 통신 프로토콜

플러그와 허브 간의 RF 통신을 위한 무선 센서 네트워크 프로토콜은 크게 경쟁기반의 CSMA와 비경쟁기반의 TDMA로 나눌 수 있다. CSMA는 CCA (Clear Channel Assessment)를 체크하고 백오프 (backoff)하기 위해 전력낭비가 큰 단점이 있고, TDMA는 자신만의 고유한 채널을 확보할 수 있어 저전력이지만 엄격한 시간동기화 유지와 노드 수의 유연성에 한계가 있다 [12]. 이러한 문제점을 극복하기 위해 분산된 TDMA 방식을 갖는 BiWSLP (Bidirectional Wireless Sensor Line Protocol)가 개발되었다 [13].

멀티홉이 필요한 야외환경에서 다양한 처리를 할 수 있는 BiWSLP가, 소규모 가정 내에처럼 유연하게 노드 추가와 제거가 요구되는 환경에서 오버헤드가 될 수 있는 여지가 있다. 따라서 [14]는 소규모 가정 내에 저전력 및 확장성이 요구되는 스마트 아웃렛을 위해 IMSN (Intelligent Mobile Sensor Network)을 제안했다. IMSN은 경쟁기반과 비경쟁기반을 혼합하여 저전력, 확장성을 확보하였고, 메시지 유형 (긴급, 일반)과 노드 주소 (ID)에 따라 우선순위를 부여하여 QoS를 이루며 싱크 노드는 수신 즉시 Ack 신호를 보내 신뢰성을 높이는 방식이다. 그림 3은 허브와 스마트플러그 노드 그룹 (T1, T2) 간의 송수신을 위한 시간 슬롯을 나타낸다.

IMSN은 허브와 일반 노드가 원홉 (one-hop) 스타 토폴로지로 망을 구성하는 TDMA 방식으로 저전력, 충돌 제어가 가능하다. 허브는 주기적으로 비컨 메시지를 송신하고 나머지 타임 슬롯은 수신 구간으로 할당하며 메시지를 수신 받으면 즉시 Ack 처리 후, 와이파이 모듈에 전달하고 받을 명령이 있는지 확인한다. 일반 노드들은 비컨 구간, 송신 구간, 센싱 구간을 제외하고 슬립 (sleep)함으로써 저전력을 실현한다. 본 연구의 SMUP에 대한 무선 통신 프로토콜로서 IMSN을 적용하였다.

3. 전력 측정 고려사항

전력측정은 아래와 같은 식 (1)로 계산된다.

$$P(\text{전력}) = V(\text{전압}) * I(\text{전류}) * PF(\text{역률}) \quad (1)$$

전류만 측정하는 방식은 역률을 알 수 없어 정확도가 떨어지기 때문에 계측 정확도 ±3.0%를 만족하기 어렵다. 아래 표 2처럼 가전제품마다 역률은 다양하여 Active Power, RMS Voltage, RMS Current, Power Factor가 모두 측정 가능한 전력 측정 칩이 필요하다.

전류 측정 센서로는 션트 (Shunt Resistors)와 CT (Current Transformers) 방식이 있는데, 션트 방식은 가격이 저렴하지만 허용 전류량이 높지 않고, CT 방식은 수십 A 이상의 측정이 가능하지만 단가가 비싼 단점이 있다. 가정용으로는 션트 방식이 효율적이다. 또한 대기전력 자동차단을 위한 학습기능을 위하여 낮은 전력소모에서도 정확한 전력량 측정이 가능하여야 한다.

표 2. 가전제품 전력량

Table 2. Power Consumption of Appliance

parameter Appliances	State of Standby		State of Operation	
	P.F.	Power (W)	P.F.	Power (W)
Computer	0.22	3.45	0.92	115
Monitor	0.11	0.5	0.56	36.5
Bluray	0.71	1.23	0.77	30
Set top box	0.47	7.5	0.48	9.7
TV	0.04	0.8	0.98	317
Oven	0.07	1.25	0.99	2300
Rice cooker	0.88	5.2	0.99	1033
Dishwasher	0.04	0.4	0.58	11.6
Dryer	0	0.06	0.99	1267

표 3. 통신모듈 전류 소모

Table 3. Current Consumption of Communication Module

Item	Idle	Rx	Tx
WiFi (Wifi250)	32mA	150mA	290mA
BLE (CSR1010)	1mA	16mA	16mA
RF (CC1120)	1.3mA	22mA	32mA

4. 자체 전력소모 최소화

스마트 플러그가 실제로 사용되지 않는 대기 상태 (standby)에서 소비전력이 ‘산업통상자원부 고시 대기전력저감 프로그램 운용규정’에 따라 0.5W 이내이어야 한다. 따라서 통신모듈, 릴레이, SMPS 등의 주요부품의 전력소모를 고려하여 스마트 플러그를 구성하여야 한다.

전원 On/Off 제어 및 대기전력 차단 시의 경우, MCU가 제어신호를 릴레이로 보내어 스마트 플러그에 연결된 가전제품의 전원을 제어하게 된다. 릴레이 방식에는 NO (Normal Open), NC (Normal Close) 및 래칭 릴레이 (Latching Relay) 방식 등이 있는데, NO, NC는 동작시킬 때 항상 전력을 소모하는 방식으로 비효율적이다. 반면 래칭 릴레이는 전원 On/Off 동작 시에만 약 50ms 내외로 전력을 소모하여 저전력 구현에 장점이 있다.

SMPS는 220V AC전원을 5V DC로 변환하며 자체 전력소모가 약 0.2W 이상으로 전력소모의 비중이 높은 부품이나 KC인증을 받은 것을 사용해야 하기 때문에 선택의 폭이 넓지는 않다.

통신모듈 중에 표 3과 같이 와이파이는 BLE, RF 모듈에 비하여 전력소비가 월등히 높아 산업통상자원부 고시를 맞추기 어렵다. BLE, RF 같은 경우도 프로토콜에 따라 최소한 기간 동안만 Rx, Tx 할 수 있도록 최적화를 해서 대부분 기간은 sleep, idle 상태를 유지 할 수 있도록 해야 한다.

5. 다양한 가전제어

사용자는 다양한 가전제품을 자신의 라이프 스타일에 맞추어 제어하기를 원한다. 이러한 요구를 만족시키기 위하여 원격 제어 뿐만 아니라 사용자의 스케줄에 따른 On/Off 제어 기능을 제공할 필요가 있다.

기상, 출근, 퇴근, 취침 등 개인 라이프 스타일에 맞추어 각자가 원하는 시간에 개별 가전제품을 제어하기 위해서는 스마트 플러그에 RTC (Real

Time Clock) 등의 시간획득 모듈이 필요하고 시간을 동기화 하거나 초기화 할 수 있는 방법이 필요하다. 저전력과 소형화를 추구하는 스마트 플러그 트렌드에 맞추어 각 플러그마다 RTC를 장착하는 방식보다 기준이 되는 허브에만 기능을 넣고 스마트 플러그는 허브로부터 시간정보를 수신하여 시간에 맞는 On/Off 제어하는 방식이 보다 효율적이다.

스케줄에 따른 예약 정보를 스마트폰 앱, 허브, 스마트 플러그에 저장할 수 있는데, 앱에 저장할 경우 스마트폰과의 통신이 안 되거나 앱이 실행되지 않는 경우 예약된 정보가 수행하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 또한 허브에 저장하는 경우에도 여러 플러그에 대한 예약 정보를 관리하고 무선 통신하는 도중에 지연이 발생하여 정확한 수행을 보장하기 힘들 수 있다. 따라서 각 플러그에 예약 정보를 저장할 경우, 메모리 제약으로 많은 정보를 저장하기 힘들지만 관리 측면에서 편리한 장점이 있다.

IV. SMUP 플러그 시스템 구현

1. 전체 시스템 구성

제안하는 스마트 플러그는 SMUP 플러그로 명명하고 전체 시스템은 그림 4에서 보는 바와 같이 전력량 측정, 대기전력 자동차단 등을 갖춘 SMUP 플러그, 무선 센서네트워크와 인터넷망 사이에서 센싱 데이터와 명령어 전달 역할을 하는 허브, 모니터링 및 제어 명령어를 보낼 수 있는 스마트폰 앱으로 구성된다.

SMUP 플러그와 허브는 IMSN 프로토콜을 적용하여 900MHz RF 무선통신을 통해 저전력과 복잡한 가정환경에서의 통신 효율성을 높였고, 스마트폰

과 공유기를 통한 TCP/IP 소켓 통신으로 범용성을 확보하였다. 또한, 향후 IMSN 프로토콜을 만족하는 센서 디바이스나 기타 장치들을 하나의 네트워크로 구성하여 SMUP 플러그와 연동할 수 있게 하였다.

2. SMUP 플러그

SMUP 플러그는 250V, 10A 성능을 갖고 있으며, 대기전력 학습 및 자동차단, 과전류 자동 차단, 터치 등을 통한 가전제품의 수동 제어, 그리고 앱을 이용한 원격 제어, 취침 예약, 스케줄 예약, 고장진단 등의 기능을 내장하였다.

통신모듈은 일반적으로 플러그가 무선 장애물이 많은 바닥 구석에 위치할 것을 가정하고 2.4GHz 무선인터넷과의 혼잡 위험을 고려하여 917MHz 대역의 CC1120을 선택하였다. 447MHz 대역도 가능하지만 국내전파법상 447.8625MHz ~ 447.9875MHz에서 총 11개의 채널이 약 1.2Kbps 속도로 사용이 가능하기 때문에 송신 속도에 제약을 받을 수 있다. 반면 917MHz 대역은 50kbps까지의 송신 속도가 가능하여 IMSN 프로토콜을 적용하면 1초에 약 25개의 타임 슬롯을 할당할 수 있으며 싱크노드 역할을 하는 허브를 제외하고 24개의 SMUP 플러그가 충돌 없이 사용 가능하고 그 이상의 플러그도 그룹별 경쟁 방식으로 활용이 가능한 장점이 있다.

전력측정 센서는 선형 에러율이 $\pm 0.1\%$ 이하로 전압, 전류, 유효전력 및 무효전력까지 측정할 수 있어 규정을 만족시킬 수 있는 CS5480으로 선정하였으며 이를 통해 각 측정치를 4000번 샘플링하여 RMS 값으로 나타내어 정확도를 높이고 효율적으로 운영할 수 있다. 전류센서는 가정용에 적합한 셉트 방식으로 했다.

릴레이는 K10026 규정을 맞추기 위해 On/Off 동작 시에만 순간적으로 전력을 소비하는 양극차단 래칭 릴레이를 사용하였다. 동작시 200mA 이상이 소모되지만 동작시간이 50ms 내외로 짧아 전력 소모에 거의 영향이 없으며 수명은 약 4만회로 매일 10번 이상 동작하여도 10년 이상 사용가능하다.

SMPS는 원활한 인증을 위해 KC 인증을 받은 부품을 사용하였고, 래칭 릴레이가 순간적으로 높은 전류를 소모할 가능성에 대비하여 700mA 급으로 선정하였다. 또한 MCU는 메모리 (프로그램 32KB, 데이터 2KB)와 저전력 (Active: 5.2mA, Idle: 1.2 mA), 가격 등을 고려하여 최소 스펙으로 Atmega 328로 선정하였다.

구현된 SMUP 플러그 모습을 그림 5에 보였고, 그 주요 사양을 표 4에 요약하였다.

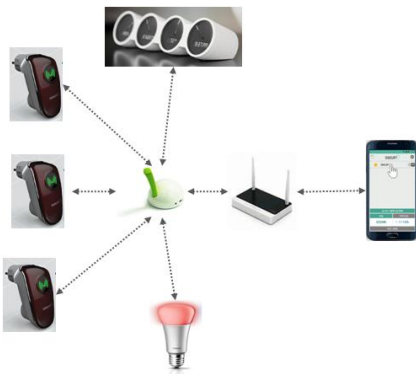


그림 4. SMUP 플러그 시스템 구성도
Fig. 4 SMUP Plug System Architecture



그림 5. SMUP 플러그 모습
Fig. 5 Photo of SMUP Plug

표 4. SMUP 플러그 사양
Table 4. Spec. of SMUP Plug

Index	Spec. (Model)
MCU	Atmega328 (8bit, 7.3728MHz)
RF	CC1120 (917MHz)
Power Sensor	CS5480 (0.1% error)
Relay	HFE39-5-2HT-2L
SMPS	PA0405S (700mA)

그림 6은 SMUP 플러그 구조를 나타낸 것으로 무선통신과 관련된 기능으로 프로토콜, 명령어, 이벤트 제어로 구성된 RF Control과 플러그 제어와 관련된 기능으로 릴레이, 전력측정 센서, 고장진단, 부저 제어로 구성된 Plug Control로 구성하였다. 이중 RF Control은 Protocol Control, Command Control, Event Control 기능을 포함하고 있으며, 또한 Plug Control은 Relay Control, Power Sensor Control, Fault Control, Buzzer Control 기능으로 구성하였다.

3. SMUP 허브

SMUP 허브는 일정기간 동안 플러그에서 올려 받은 데이터를 저장하였다가 스마트폰의 앱으로 접속되면 데이터를 한꺼번에 전송하는 기능을 포함하여 명령어와 데이터를 관리하는 역할을 담당한다. 또한 SMUP 플러그와 IMSN 프로토콜로 통신할 때 싱크노드 역할을 담당함으로써 동일 MCU와 RF를 활용하여 하나의 프로그램 공간에서 수행 할 수 있도록 하였다.

와이파이 모듈은 저전력으로 동작하고 제어가 가능한 TI사 CC3200 와이파이 SoC 칩을 사용하였다. Rx 59mA, Tx 229mA로 Wizfi250에 비하여 소모 전력이 낮고, UART 통신이 아니라 모듈이 내장된 SoC 칩이라 송수신 속도를 충분히 활용할 수 있으며, 국내무선인증을 쉽게 받을 수 있도록 전용 툴을 제공하여 구현하는데 편리함이 있다.

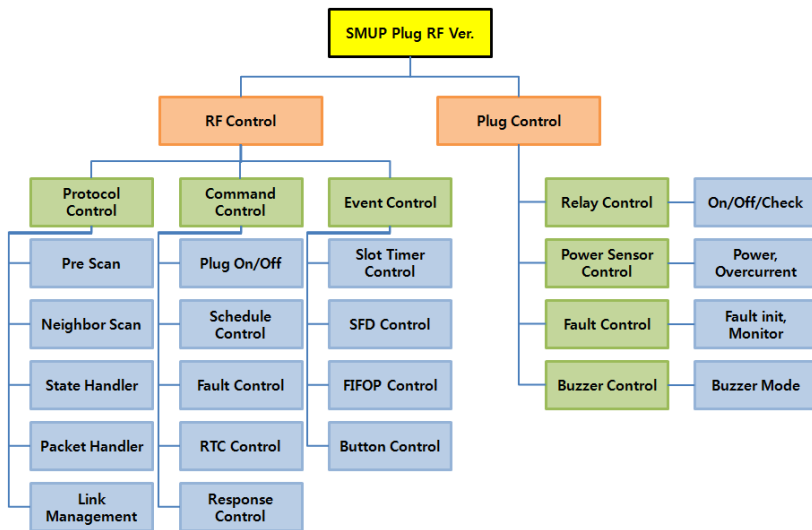


그림 6. SMUP 플러그 구조
Fig. 6 Architecture of SMUP Plug

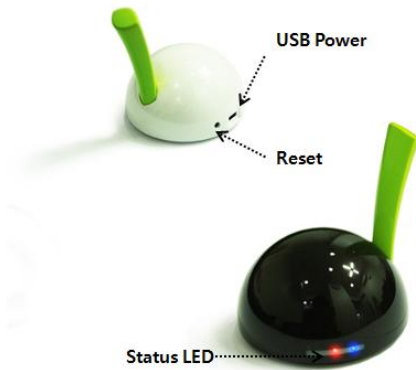


그림 7. SMUP 허브 모습
Fig. 7 Photo of SMUP Hub

표 5. SMUP 허브 사양

Table 5. Spec. of SMUP Hub

Index	Spec. (Model)
MCU	Atmega328 (8bit, 7.3728MHz)
RF	CC1120 (917MHz)
WiFi	CC3200 (802.11 b/g/n)

각 허브는 고유 ID를 설정할 수 있고, 스마트폰으로 접속할 경우 인증 수단으로 활용이 가능하다.

그림 7은 구현된 SMUP 허브의 모습이고, 표 5에서는 SMUP 허브의 주요 사양을 요약하였다.

4. SMUP 플러그 앱

사용자는 스마트폰 앱을 이용하여 SMUP 플러그 리스트 관리, On/Off 제어, 취침 예약, 스케줄 예약, 실시간 전력량, 누적 전력량 모니터 등의 기능을 수행할 수 있다. 또한 허브, 각 플러그 설정 및 누진세 선택 등을 할 수 있다. 공유기 DDNS (Dynamic Domain Name System)를 활용하면 외부에서 접속 가능하다.

취침 예약은 최대 3시간까지 1분 단위로 설정할 수 있고 예상 절약 전력량과 요금을 표시해준다. 스케줄 예약은 매일, 주말, 주중, 월수금 등 다양하게 선택 가능하고, On/Off 시간은 10분 단위로 설정이 가능하고 한번 설정했던 스케줄은 활성화, 비활성화를 선택하여 설정 변경이 편리하도록 하였다.

그림 8에 캡처한 SMUP 플러그 앱의 일부 화면을 보였다.



그림 8. SMUP 플러그 앱 캡처 화면
Fig. 8 Screen Shot of SMUP Plug Application

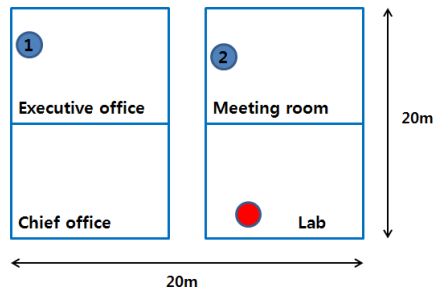


그림 9. 1·2 차 RF 테스트
Fig. 9 1st and 2nd RF Test

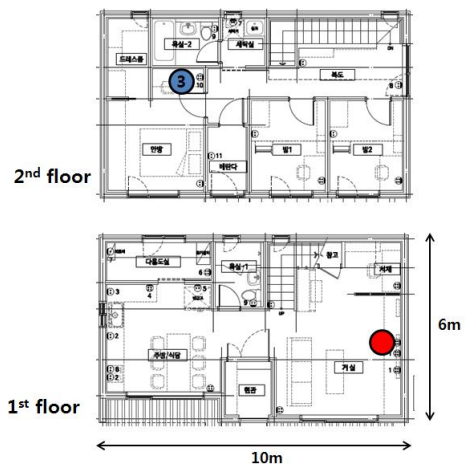


그림 10. 3차 RF 테스트
Fig. 10 3rd RF Test

표 6. 무선 통신 테스트 결과

Table 6. Result of Wireless Communication Test

#	Case	Pass	Fail	Rx rate
1	19,774	18,691	1,083	94.5%
2	53,507	53,498	9	99.9%
3	37,000	37,000	0	100%

V. SMUP 플러그 실험 및 평가

1. 무선 통신 성능 테스트

SMUP 플러그는 허브와 무선 통신을 하는데, 송수신 성공률이 높아야 안정적인 동작을 보장할 수 있다. 플러그에 총 횟수, 수신 횟수 구분하여 링크 정보를 포함한 패킷을 송신하고 패킷 스니퍼를 통해 확인하는 방식으로 테스트 하였다.

1차 테스트는 콘크리트 벽식구조, 철제 방화문으로 되어있는 건물에서 연구실 <-> 행정실에서 진행되었고, 2차 테스트는 연구실 <-> 회의실에서 진행되었으며, 3차는 테스트는 경량목구조, 목재 문으로 되어있는 단독주택 1층 거실 <-> 2층 안방에서 진행되었다.

건물 1개층 사이, 콘크리트 벽체 정도는 안정적으로 통신을 보장할 수 있으나, 파티션, 벽, 바닥 등 장애물에 바로 붙어 있으면 송수신율이 떨어지는 현상이 있었다. 설치 시 장애물로부터 최소 5cm 이상 떨어트려 놓는 것이 바람직하다.

그림 9와 10은 RF 테스트 환경의 구성도를 나타낸 것이고, 표 6에서는 무선 통신 테스트 결과를 요약하였다.

2. 전력측정 오차율 테스트

전력측정 기기인 WT210과 SMUP 플러그를 사용하여 10W, 100W, 1000W에서 오차율이 얼마인지 테스트하여 ±3% 오차율 규정에 만족하는지 고찰하였다.

WT210은 Digital Power Meter로 ±0.1% 오차율의 정확도를 갖는 측정 장비이다. WT210에 SMUP 플러그를 연결하여 부하가 없을 때 소모전력을 구한 후, SMUP 플러그에 실제 가전제품을 연결해서 나온 측정치에 SMUP 플러그 자체 소모전력을 제외하여 비교하였다. 그림 11은 전력측정 오차율 테스트 구성도이다.

부하로 사용한 가전제품은 가능한 일정한 수치가 나오는 저항성 부하를 사용하는 것으로 전력량에

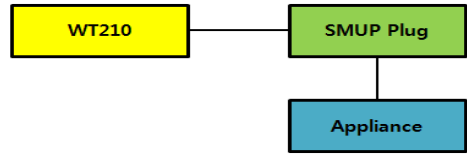


그림 11. 전력측정 구성도

Fig. 11 Architecture of Measurement

표 7. 전력측정 오차율

Table 7. Error Rate of Measurement

Load	WT210	SMUP	Error rate
USB Fan	2.26W	2.2W	2.65%
Fan	37.17W	37.1W	0.19%
Dust collector	97.77W	97.5W	0.28%
Heater	877.07W	875.4W	0.19%

따라 4가지 제품을 선정하였다. 표 7은 전력측정 오차율을 정리한 것으로, 전력량이 상대적으로 낮은 USB선풍기를 제외하고 0.3% 미만의 오차를 보였다.

3. 자체 소모 전력 테스트

전력측정 기기인 W210을 이용하여 대기전력 차단상태일 때 SMUP 플러그 자체 소모 전력이 기준치인 0.5W 이내를 만족하는지 테스트 하였다.

테스트 방식은 전력측정 오차율 테스트와 동일한 방식을 사용하였고, 초당 1회씩 샘플링하여 약 50초 동안 진행하였다. 그림 12를 보면, 측정 약 5초 후 대기전력이 차단되면서 0.5W 이하로 떨어지는 것을 알 수 있다.

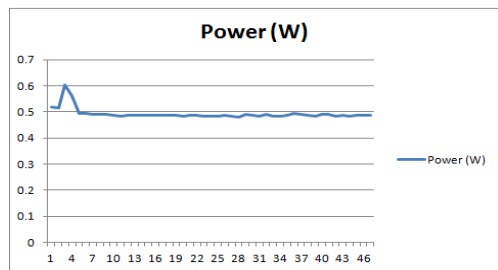


그림 12. 자체 소모전력 측정

Fig. 12 Measurement of SMUP Plug Power Consumption

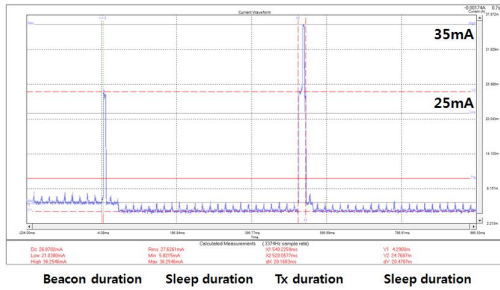


그림 13. IMSN전력 소모량 측정
Fig. 13 Measurement of IMSN Power Consumption

또한 MCU, RF 모듈만 있는 Top보드는 소프트웨어적으로 최적화 시켜서 전력소모를 최소화 할 수 있다. 특히 상대적으로 전력소모가 더 많은 RF 모듈을 최소의 전력소모로 동작시킬 수 있도록 프로토콜을 최적화시키면 효율적인 동작이 가능하다. IMSN은 비컨 구간, 송신 구간을 제외하고 나머지 구간을 슬립함으로써 에너지 효율성을 증가시켰으며, 또한 송신, 수신 완료 직후 RF 모듈을 Off 함으로써 저전력 실현이 가능하도록 하였다. 전류측정 기기인 Agilent 66312를 이용하여 한 주기 동안 전류소모가 어떻게 변하는지, IMSN 프로토콜에 따라 잘 적용되어 있는지 확인하였다.

그림 13은 송신할 데이터가 있을 경우에 대한 전력 소모량을 측정한 그래프이다. 전체 주기가 시작하면 비컨 구간에서 비컨 메시지 수신을 위해 Rx를 유지하면서 전력소모가 약 25mA까지 올라갔으며 수신 즉시 RF Off 하여 RF 동작기간을 10ms 이내로 하였다. 그 후 제 1 슬립 구간에서 슬립을 유지하다가, 송신구간에서 우선순위를 획득하고 센싱 데이터를 송신하여 최대 35mA로 올라갔으며 Ack 수신 후 RF Off 한 것을 알 수 있다. 제 2 슬립 구간을 거치고 다시 비컨 구간이 시작하여 반복된다.

4. 대기전력 및 과전류 자동차단

대기전력 학습 및 자동차단 실험을 반복 테스트하여 동작 상태를 확인하였다. SMUP 플러그 터치버튼을 3초 이상 길게 누르면 대기전력 학습 및 설정을 할 수 있고, 부저로 설정 완료를 알려준다. 설정이 완료된 상태에서 설정된 전력량 이하로 일정 시간 지속되면 릴레이를 Off하여 대기전력을 차단한다. 대기전력 설정 값은 전압에 따라 전력량이

표 8. 대기전력 차단 테스트 결과

Table 8. Result of Power Off Stand-by Test

Case	Cutoff	Release	Success
200	200	200	100%

표 9. 과전류 차단 테스트 결과

Table 9. Result of Power Off Overload Current Test

Case	Cutoff	Release	Success
700	700	700	100%

약간씩 다르거나 또는 연결된 가전제품에 따라 변할 수 있어, 측정된 값을 보정하여 사용해야 하므로 식 (2)를 적용하였다.

$$\text{설정전력} = P * 1.1 + \text{Offset} \quad (2)$$

여기서 P는 연결된 가전제품의 측정된 대기전력 량이고, 가정에 따라 전압이 약 210V ~ 230V로 변할 수 있어 10%를 추가 하였으며, 측정 오차나 가전제품에 따라 변화폭이 발생할 수 있기 때문에 Offset을 더해주는데 실험에서는 0.3W를 사용하였다.

테스트 결과 표 8에서 보는 바와 같이 200번 수행하여 차단, 해제 모두 완료하여 100% 안정적으로 동작하는 것을 확인하였다.

SMUP 플러그는 정격 220V, 최대 10A 성능으로 10A 이상에서 2분 이내 과전류를 차단하여야 한다. 이 테스트에서는 편의상 4A로 설정하고 4A 이상인 전기히터를 연결하여 자동으로 과전류 차단하고 터치버튼을 짧게 눌러 차단 해제하여 정상 동작하는지 확인하는 방식으로 진행하였다.

표 9와 같이, 테스트 결과 700번 수행하여 차단, 해제 모두 완료하여 100% 안정적으로 동작하는 것을 확인하였다.

5. 고장 진단 대응

제한된 전력에너지를 효율적으로 사용하기 위해 가전제품의 신뢰성과 성능 향상을 위한 연구가 진행되고 있으며, 특히 최근 센서와 마이크로 프로세스 기술의 발전에 따라 가전제품의 부분고장을 실시간으로 검출하고 진단할 수 있는 고장 검출 및 진단 (FDD: Fault Detection and Diagnosis System) 시스템 개발에 관한 관심이 고조되고 있다.

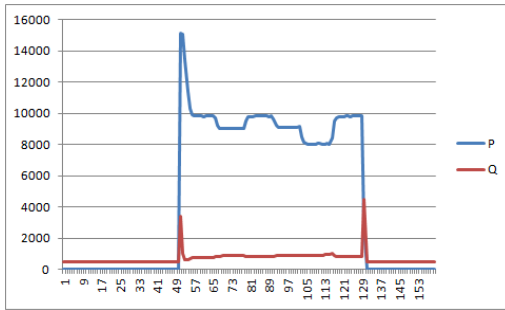


그림 14. 고장일 경우 P/Q 변화

Fig. 14 Variation of P/Q at Fault State

따라서 SMUP 플러그의 전력센서를 이용하여 유효전력 (P), 무효전력 (Q)을 상시 모니터링하여 고장이 나거나 비정상 동작 (선풍기나 에어컨 실외기에 오염물질로 인한 과부하)에 대한 P, Q 변화를 감지하고 이에 대한 알람 기능을 수행하여 제품의 경쟁력을 높일 수 있다.

그림 14는 산업용 집진기를 대상으로 하여 흡입기를 막았을 경우의 P, Q 변화량을 측정한 결과이다. 초기 On 할 경우 약 6초간 급상승 후 안정화되었을 때 약 100W 유지하고 흡입기 1개를 막았을 경우 약 8W (8%), 2개를 막았을 경우 약 18W (18%) 하락 되었으나, Q 값은 On/Off를 제외하고 변화량이 거의 없었다.

SMUP 플러그에 산업용 집진기를 연결하고 정상동작일 때를 기본 값으로 설정 한 후, 집진기 흡입기가 막혀서 이상동작을 할 경우를 감지하여 알람 발생 및 그 오차에 대한 전력량을 송신하여 사용자가 알 수 있도록 하였다.

VI. 결론

이 논문은 가정용으로 적합한 K10026 규정 기반의 스마트 플러그 시스템 개발 및 성능분석에 관한 것으로 제안된 시스템이 규정과 사용자의 요구 사항에 맞는지 테스트하였으며 테스트 결과 모든 조건을 만족하는 결과를 보였다.

개정된 규정 이전의 상용 제품의 경우, 단극차단 릴레이를 사용하는 등 현 개정 규정을 만족시키지 못하며 또한 대기전력이 1W 내외인 경우가 많아 대기전력 차단효과가 효율적이지 못하다.

이 밖에도 스마트 플러그 시스템의 상용화를 위해서는 개정 규정을 만족시키는 성능에 기반을 둔 물론이고 감전 등 안전사양과 효율적인 이득을

위해 자체 소모전력, 대기전력 자동 차단 등 기능과 조화를 이룬 개발 방향이 중요하다.

앞으로 계속될 연구에서는 본 논문에서 제안된 SMUP 플러그를 활용하여 NILM (Non-Intrusive Load Monitoring)을 적용함으로써 사용자가 개별 가전제품을 등록하지 않아도 자동으로 전력소모량을 분석하여 기기의 사용 내역을 인지할 수 있도록 하는, SMUP 플러그의 활용성을 높이는 연구 [15]를 진행할 예정이다.

References

- [1] Y.S. Kim, "The Research of UX(user experience) Development for Spreading of Smart Plug/Appliance," 2014 (in Korean).
- [2] S.J. Yun, J.I. Jeong, J.W. Choi, B.W. Jang, Y.O. Han, "The Development of Smart Concent," Conference of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 5, No. 2, pp.198-203, 2011 (in Korean).
- [3] H.S. Kim, J.H. Na, S.H. Park, S.Y. Kwak, "A Wifi Smart Power Outlet for Remote Monitoring and Control of Power Consumption," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 17, No.2, pp.160-169, 2014 (in Korean).
- [4] I. Horvat, N. Lukac, R. Pavlovic, D. Starcevic, "Smart Plug solution based on Bluetooth Low Energy," Proceedings of IEEE 5th International Conference on Consumer Electronics, pp. 435-437, 2015.
- [5] J.S. Moon, H.S. Kim, H.S. Chang, Y.S. Sun, "Implementation of a Smart Plug for Monitoring Wide Power Consumption Range and Saving Standby Power for using zigbee," Information and Control Symposium of The Korean Institute of Electrical Engineers, pp.134-135, 2015 (in Korean).
- [6] K.K. Jung, C.W. Seo, "Energy Saving System using Occupancy Sensors and Smart Plugs," Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 52, No. 10, pp.161-167, 2015 (in Korean).
- [7] M. Choi, W.K. Park, I. Lee, "Smart Office Energy-saving Service Using Bluetooth Low

- Energy Beacon and Smart Plugs,” Proceedings of IEEE International Conference on Data Science and Data Intensive Systems, pp. 247-251, 2015.
- [8] M.S. Ahmed, A. Mohamed, R.Z. Homod, H. Shareef, A.H. Sabry, K.B. khalid, “Smart Plug Prototype for Monitoring Electrical Appliances in Home Energy Management System,” Proceedings of IEEE Student Conference on Research and Development, pp. 32-36, 2015.
- [9] G.H. Park, Y.J. Kang, J.H. Youn, J.J. Kim, B.I. Moon, J.Y. Yun, “Zigbee Smartplug System for Standby Power Cutoff,” Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences, pp.392-393, 2015 (in Korean).
- [10] J.S. Oh, H.S. Lee, “A Study of Recognition-Based user Multi-Smart Plug System,” Journal of the Korean Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 17, No. 12, pp.2976-2983, 2013 (in Korean).
- [11] D.H. Ryu, “Networked Smart Plug System for Power Management of PC & Peripherals,” Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 16, No. 10, pp.2171-2176, 2012 (in Korean).
- [12] T.Y. Chung, H.S. Chung, H.B. Lee, L.J. Park, J.H. Moon, “Implementation of a Remote Fire Monitoring System Based on Bidirectional USN,” Journal of IEMEK, Vol. 2, No. 2, pp.107-115, 2007 (in Korean).
- [13] H.B. Lee, L.J. Park, J.H. Moon, T.Y. Chung, “Design and Implementation of a TDMA-based Bidirectional Linear Wireless Sensor Network,” Journal of KIISE : Computing Practices and Letters, Vol. 14, No. 4, pp.341-351, 2008 (in Korean).
- [14] H.S. Chung, J.H. Moon, S.W. Park, H.B. Lee, L.J. Park, T.Y. Chung, “Design and Implementation of a Wireless Sensor Network Protocol for a Smart Power Outlet System,” Journal of IEMEK, Vol. 7, No. 6, pp.291-300, 2012 (in Korean).
- [15] S. Barker, M. Musthag, D. Irwin, P. Shenoy, “Non-Intrusive Load Identification for Smart Outlets,” Proceedings of IEEE International Conference on Smart Grid Communications, pp. 548-553. 2014.

Han-Su Chung (정 한 수)



He received the B.S. and M.S. degrees in Computer Engineering from Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Korea, in 2000 and 2013 respectively. Since 2004, he has been with GEMS-CRC (Gangwon Embedded Software Cooperative Research Center, Gangneung, Korea) as Team leader. His major fields are WSN (Wireless Sensor Network), IoT (Internet of Things), and big data.

Email: chans2@gwnu.ac.kr

Hyung-Bong Lee (이형봉)

He received the B.S. and M.S. degrees in Computer Science from Seoul National University, Seoul, Korea, in 1984 and 1986 respectively. He received his Ph.D. degree in Computer Science from Kangwon National University, Chuncheon, Korea, in 2002. From 1986 to 1994, he was a senior engineer in Computer R&D Division of LG Electronics. From 1995 to 1998, he was with DEC (Digital Equipment Corporation) as a UNIX consultant. From 1999 to 2003, he was an Associate Professor at Honam University, Gwangju, Korea. Since 2004, he has been a Professor in the Department of Computer Science & Engineering at Gangneung-Wonju National University, Wonju, Korea. His current research interests include embedded systems, wireless sensor networks, and data mining algorithms.

Email: hblee@gwnu.ac.kr

Tae-Yun Chung (정태윤)

He received the B.S., M.S., and Ph.D. degrees in the School of Electrical & Computer Engineering at Yonsei University, Seoul, Korea in 1987, 1989, and 2000 respectively. From 1989 to 1996, he was a Research Engineer of Samsung Advanced Institute of Technology. From 1996 to 2001, he was with Samsung Electronics as a Senior Research Engineer. From 2000 to 2001, he was a vice chair of International DVD-Forum. Since 2001, he has been with the Department of Electronics Engineering at Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Korea, and is currently a Professor. Since 2004, he has been with GEMS-CRC (Gangwon Embedded Software Cooperative Research Center, Gangneung, Korea) as the Chef. His major fields are image signal processing, digital video encoding, multimedia, copy protection, and his current research interests are embedded system, sensor network, video encoding.

Email: tychung@gwnu.ac.kr