
원격 전력제어 및 대기전력 관리 기능을 갖는 새로운 스마트 스위치 설계

이용안* · 김강철** · 한석봉***

Design of New Smart Switch with Remote Power Control and Standby Power Management Function

Yong An Lee* · Kang Chul Kim** · Seok Bung Han***

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된
기초연구사업(No. 2009-0074012)이며, IDEC의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

요 약

본 논문에서는 내장형 웹서버를 구현하여 원격지에서 실시간으로 소비전력 및 대기전력을 감시하고 제어할 수 있는 새로운 스마트 스위치를 제안하였다. 제안한 스위치는 상용화된 스마트 미터 제품과 같이 전력을 측정하고, 유·무선 통신을 통하여 원격지에서 실시간으로 소비전력을 모니터링하고 각 스위치를 온/오프 할 수 있다. 또한, 기존의 절전형 콘덴서와 멀티 탭의 기능인 대기전력, 과전류 및 과부하에 대한 자동 차단 기능을 모두 갖는다. 본 논문에서 설계한 스마트 스위치는 원격 제어 및 모니터링을 위하여 PC를 이용하지 않고 전용의 내장형 웹서버를 구현함으로써 기존의 제품들보다 하드웨어 및 전력소비가 적으며 소형화된 단일제품으로 상용화가 가능하다

ABSTRACT

In this paper, new smart switch that can monitor and control the power consumption and standby power in real-time by implementing an embedded web-server is proposed. The proposed switch can perform the following functions: measuring the electric power like commercial smart meter product, monitoring the power consumption in real-time in distant places through wire and wireless devices, and finally controlling ON/OFF of each switch. In addition, it also contains auto power-shutoff functions for standby power, overvoltage and overcurrent just like existing power-saving outlet and mulitap. Finally, the proposed smart switch has lower hardware and power consumption than the existing products and can be commercialized as a small-sized product by using exclusive embedded web-server of its own, rather than using PC for monitoring and remote control.

키워드

스마트 스위치, 대기 전력, 임베디드 웹 서버, 스마트 미터, 절전형 멀티탭

Key word

Smart Switch, Standby Power, Embedded Web Server, Smart Meter, Power-strip

* 경상대학교 공과대학 전자공학과
** 전남대학교 공과대학 전기전자통신컴퓨터공학부
*** 경상대학교 공과대학 전자공학과, 공학연구원 연구원
(교신저자, hsb@gnu.ac.kr)

접수일자 : 2010. 05. 21
심사완료일자 : 2010. 07. 10

I. 서 론

첨단산업의 발전과 생활수준의 향상으로 에너지 수요가 매년 증가하고 있으며 이와 함께 전력 수요 역시 급격하게 늘어나고 있다. 그러나 한정된 자원, 입지 확보 및 환경 제약의 문제로 인하여 안정된 전력 공급이 점점 어려워지고 있다. 세계 각국은 이미 에너지 소비를 줄이는 동시에 대기전력 절감 등과 같은 기존 에너지 효율 개선에 많은 관심을 갖고 있으며, 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1-3]. 최근 홈 네트워크의 발전으로 전자제품의 대기전력에 의한 에너지 낭비가 매우 크게 증가될 것이 예상되므로 대기전력 감소가 에너지 절약의 중요한 현안으로 떠오르고 있다 [4]. 대기전력이란 전자제품이 외부전원에 연결된 상태에서 전자제품 고유의 주 기능을 수행하지 않거나 본래의 기능을 수행하도록 내부 혹은 외부의 명령을 기다리고 있는 상태에서 소모하는 전력을 의미한다 [5]. 대기전력을 절감하기 위한 가장 좋은 방법은 사용하지 않는 전자제품의 전원 플러그를 콘센트에서 분리하는 것이다. 그러나 대부분의 사용자가 콘센트를 분리하지 않기 때문에 전자제품 자체의 대기전력을 줄이기 위한 저전력 IC, 모뎀(MODEM), SMPS (Switched-Mode Power Supply) 등의 장비 개발과 홈 네트워크 환경에서 여러 가지 상황에 따른 대기전력 제어기술 개발이 필요하다.

대기전력을 차단하기 위한 기존의 제품으로는 절전형 콘센트 및 멀티탭과 스마트 미터 등[6,7]이 있다. 절전형 콘센트 및 멀티탭의 경우 개별 스위치 멀티탭, PC용 절전형 멀티탭, 타이머 및 리모컨 멀티탭 등이 있다. 개별 스위치 멀티탭은 사용자가 스위치를 수동으로 조작하여 전원을 차단하는 방식이고, PC용 절전형 멀티탭의 경우 부하의 전류를 측정하여 기준치 이하의 조건에서 전원을 자동으로 차단하는 방식이다.

이들 제품은 개별 장점을 가지고 있지만 특정 제품에만 적용이 가능하거나 사용자가 실내에서 수동 조작이 가능할 때에만 그 효용성이 있다는 제한점을 갖고 있다. 다음으로 스마트 미터는 소비자가 전력사용량을 확인하고 불필요한 전력을 차단할 수 있는 장점이 있지만 대부분 인터넷 등을 통한 원격제어 기능은 없으며, 대기전력을 자동으로 차단하거나 과전압·과전류를 방

지하는 기능도 없으므로 사용자가 대기전력을 차단하기 위한 보조기구로서의 기능만을 가지고 있다. 한편, 홈 네트워크 시스템을 이용한 기존의 대기전력 제어 시스템의 경우, 다양한 센서를 이용한 대기전력 시스템의 관리가 가능하지만, PC 등과 같은 별도의 관리 서버와 제어 단말기를 이용한 방식이기 때문에 시스템의 규모가 커지고 설치 시, 별도의 시공이 필요하다는 문제점을 갖고 있다.

본 논문에서는 기존의 절전형 멀티탭, 콘센트 및 스마트 미터 그리고 홈 서버 기능을 하나로 통합한 내장형 웹서버 기반의 스마트 스위치를 설계하고 구현하였다. 즉, 소형의 마이크로컨트롤러와 이더넷 칩을 이용하여 내장형 웹서버를 구축하고, 이를 이용하여 원격 실시간 소비전력 모니터링 및 제어 기능을 구현한다. 설계한 내장형 웹서버는 일정시간 동안 기준치 이하의 전류가 흐르면 이를 대기전력으로 판단하여 자동으로 차단하는 대기전력 차단 알고리즘과 과전압·과전류를 방지하는 기능들도 갖고 있다. 또한 소비전력은 CT(Current Transformer)센서와 전압(RMS to DC)변환기를 이용하여 전류와 전압을 측정하고 이를 계산하여 사용자에게 표시해 준다. 사용자는 유·무선 통신기기를 이용하여 원격지에서 실시간으로 소비전력을 모니터링하고 상황에 따라 전자제품의 전원을 ON/OFF 시킬 수 있다. 그리고 실내에서 사용할 경우, 리모컨을 이용해서 편리하게 제어 할 수 있도록 IR(Infrared Ray)센서를 추가하였다.

설계한 스마트 스위치는 절전형 멀티탭 타입의 단일 제품으로서 시리얼 포트와 이더넷 포트를 가지고 있기 때문에 다른 홈 네트워크 시스템 및 스마트 그리드 시스템과 연동이 가능하며, 멀티탭 형태의 제품이기 때문에 별도의 시스템 및 설치 공사 없이 콘센트에 바로 연결하여 사용할 수 있다는 장점을 갖는다. 본 논문에서 제안한 스마트 스위치의 동작 및 성능을 검증하기 위하여 테스트 보드를 설계하고 다양한 전자제품을 연결하여 소비전력 및 대기전력 등을 측정하고 자동 차단기능 등도 테스트한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 내장형 웹서버 기반의 스마트 스위치에 대한 전체 하드웨어 및 소프트웨어 구조를 설명한다. 다음으로 III장에서 스마트 스위치의 각 기능을 설계하고, IV장에서는 설계한 스마트 스위치

의 각 기능 및 성능을 검증한 후, V 장에서 결론을 맺는다.

II. 내장형 웹서버 기반의 스마트 스위치 구조

그림 1은 본 논문에서 제안한 내장형 웹서버를 사용한 스마트 스위치의 구성도이다. 그림에서 보는 바와 같이 마이크로컨트롤러와 이더넷 칩을 이용하여 웹서버를 구성한다. 그리고 전압측정 블록 및 전류측정 블록을 이용하여 전력을 측정하고, 마이크로컨트롤러에서 측정된 신호를 대기전력 차단 알고리즘에 적용하여 S.S.R.(Solid State Relay)을 제어하여 각 콘센트(스위치)의 전원을 공급하거나 차단한다. 또한 이더넷 및 시리얼 통신부에서는 측정된 전압·전류·전력 데이터를 송신하고 제어명령을 수신하며, IR 센서부에서는 리모컨 신호를 수신하여 실내에서 각 콘센트에 연결된 가전기기의 전원공급을 제어함으로써 대기 전력을 절감하는 독립적인 시스템으로 구성되어 있다.

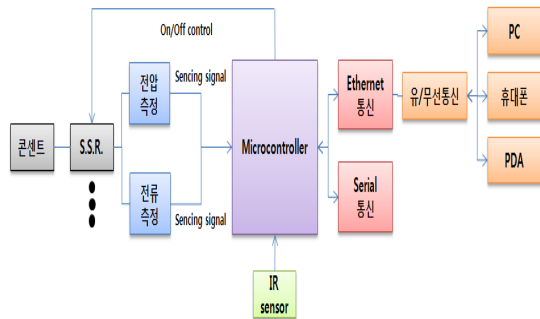


그림 1. 내장형 웹서버 기반의 스마트 스위치 구성도
Fig. 1 Configuration of embedded web server-based smart switch

1. 내장형 웹서버 구조

내장형 웹서버 구조는 그림 2와 같이 사용자가 원격지에서 서버에 접속하면 웹서버는 MCU에 측정된 전력 데이터를 사용자에게 전송한다. 그리고 사용자는 웹 브라우저를 이용하여 이를 모니터링하고 원격제어 명령을 선택해 부하 기기의 전원을 공급하거나 차단

한다.

2. 대기전력 제어 구조

대기전력을 절감하기 위한 동작 알고리즘은 그림 3에 나타난 제어 순서도와 같다. 기기의 전류와 전압을 각각 측정하여 과전압·과전류 시 기기의 전원 공급을 차단한다. 또한 기기의 측정 전류가 설정된 기준치 이하의 전류 값일 때, 대기전력으로 판단해 전원을 자동으로 차단한다. 이 때, 측정된 데이터는 이더넷 포트와 시리얼 포트를 통하여 전송된다.

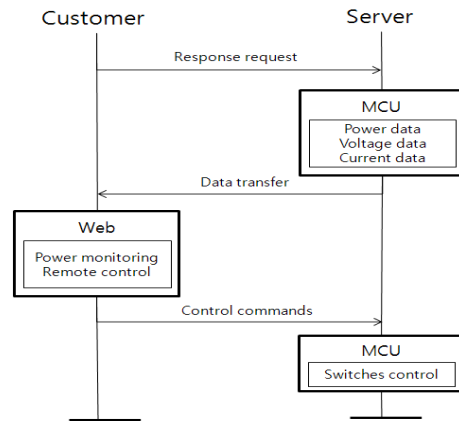


그림 2. 내장형 웹서버 구조
Fig. 2 Construction of embedded web server

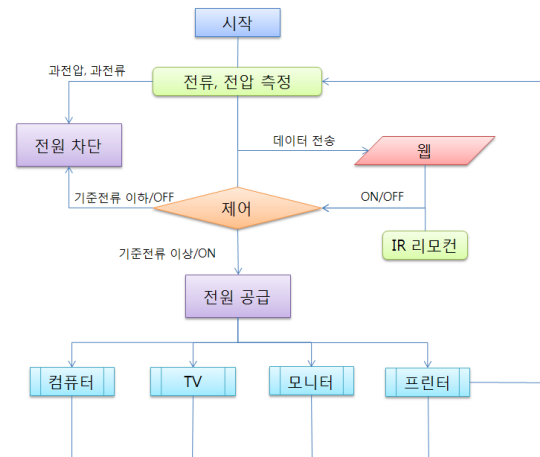


그림 3. 대기전력 제어 순서도
Fig. 3 Flow chart of standby power control

이 외에도 실내/실외 모드와 Sleep Mode에 대한 알고리즘과 전력측정 모드 선택에 대한 알고리즘 등을 추가적으로 적용하였다.

III. 제안한 스마트 스위치의 각 기능 설계

1. 전력 측정 회로 설계

그림 4는 교류전압을 측정하기 위한 회로이며, ADC채널의 보호와 정밀도를 높이기 위해서 AC Voltage RMS-to DC converter와 저항으로 구성하였다. 실효전압(V_{RMS})은 식 (1)을 이용하여 구한다. 식 (1)에서 V_m은 전압의 최대값이고, V_{ADC}는 ADC채널에서 측정된 값, V_{REF}는 5V 기준전압, R₁~R₅는 저항을 나타낸다.

$$V_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2}} V_m = \frac{V_{ADC}}{1024} \times V_{REF} \times \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5}{R_5} \quad (1)$$

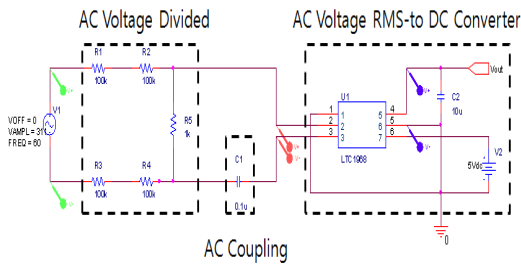


그림 4. 교류 전압 측정 회로
Fig. 4 AC voltage measurement circuit

그림 5는 전류를 측정하기 위한 회로이다. CT와 저항 그리고 AC Voltage RMS-to DC Converter를 이용하여 ADC에 측정된 전류를 식 (2)와 (3)에 적용하여 선형부하일 때와 비선형부하의 실효전류 값을 계산한다.

$$I_{RMS} = \frac{I_{Peak}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

$$I_{RMS} = I_{Peak} \sqrt{\frac{D_1 + D_2}{3}} \quad (3)$$

소비전력은 앞서 측정 및 계산된 VRMS와 IRMS값을 식 (4)에 적용하여 구한다.

$$W = V_{RMS} \times I_{RMS} \quad (4)$$

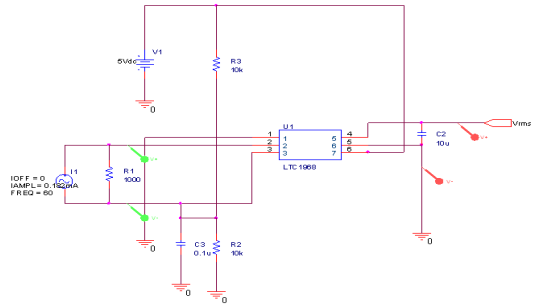


그림 5. 전류 측정 회로
Fig. 5 Current measurement circuit

2. 전력 차단 회로 설계

대기전력과 과전압 및 과전류를 차단하기 위한 회로는 그림 6과 같다. 콘센트를 스위칭하기 위해서 SSR을 사용하였다. SSR은 입력단에 마이크로컨트롤러의 출력 포트 전압이 DC 3.3V일 때 교류 전원이 공급되고, 0V이면 전원을 차단하는 방식이다.

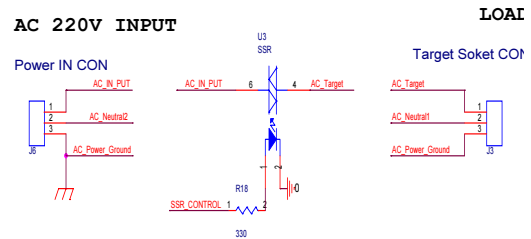


그림 6. 전력 차단 회로
Fig. 6 Power blocking circuit

IV. 스마트 스위치 구현 및 검증

제안한 내장형 웹서버 기반의 스마트 스위치의 기능과 대기전력 절감 효과를 검증하기 위해서 그림 7과 같이 테스트 보드를 구현하였다.

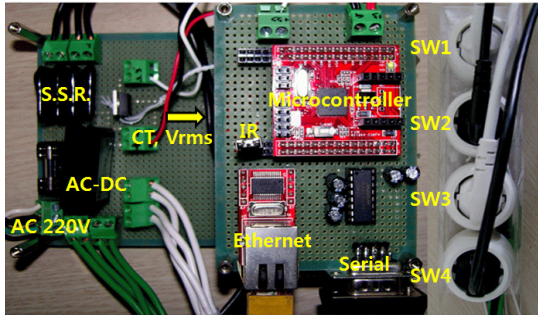


그림 7. 스마트 스위치의 테스트 보드
Fig. 7 Test board of a smart switch

램프의 전원이 켜지는 것을 확인할 수 있었고 원격 제어 기능이 정상동작하는 것을 검증하였다.



그림 9. 원격 제어 기능
Fig. 9 Remote control function

1. 내장형 웹서버 기능의 검증

내장형 웹서버는 인터넷 공유기나 PLC 모뎀에 연결하여 유·무선통신을 이용한 원격 접속을 가능하게 한다. PC, Mobile Phone, PDA 등의 기기를 이용하여 스위치의 전력량을 실시간으로 모니터링하고 스위치의 ON/OFF를 실시간으로 제어할 수 있다.

가. 실시간 모니터링

그림 8은 웹서버에 접속한 화면이다. 좌측화면은 PC에서 익스플로러로 접속한 것이고 우측화면은 Mobile Phone으로 접속한 화면이다. 화면상단에 콘센트(SW1~4)에서 소비하는 전력을 표시하고, 각 스위치의 ON/OFF 버튼과 상태 표시 버튼을 제공한다.

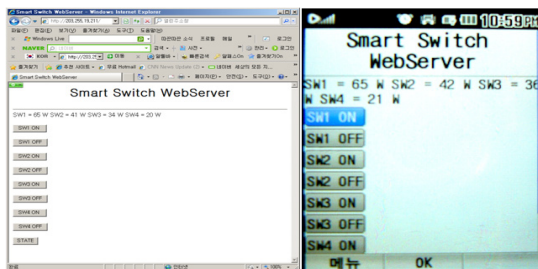


그림 8. 실시간 모니터링 기능
Fig. 8 Real time monitoring function

나. 원격 제어

그림 9와 같이 원격 제어 기능을 테스트하기 위해 각 스위치에 램프를 부하로 연결한 후 Mobile Phone으로 웹서버에 접속하여 SW1 ON 버튼을 선택하였다. 그 결과

2. 대기전력 자동 차단 기능의 검증

대기전력 자동 차단 기능을 테스트하기 위해 대기전력 차단 기준을 소비전력이 9W 이하일 경우의 상태가 3분이상이 경과되면 자동으로 전원을 차단하도록 설정하였다. 그림 10과 같이 콘센트에 60W, 40W, 25W, 9W 램프를 연결하고 대기 전력 자동 차단 기능을 검증하였다. 전체 스위치를 ON 시킨 후 3분이 경과하였을 때 9W 램프가 OFF 되는 것을 확인하여 대기전력 자동 차단 기능이 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다.

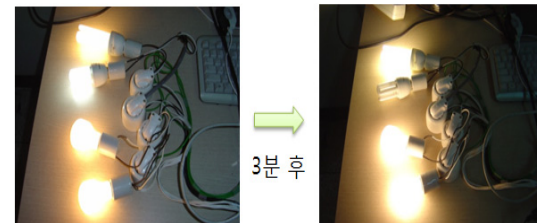


그림 10. 대기전력 자동 차단 기능
Fig. 10 Standby power auto cut-off function

3. 과전류 및 과전압 차단 기능의 검증

과전압 및 과전류 차단 기능을 테스트하기 위해 교류전압이 250V 이상이거나 전류가 3A 이상일 때를 조건으로 설정하였다. 교류전압 입력을 250V 이상 인가하거나 3A 이상의 전류를 인가하였을 때 그림 11과 같이 과전압·과전류 메시지가 출력되고 전원이 차단되는 것을 확인하였다.



그림 11. 과전압 · 과전류 자동 차단 메시지
Fig. 11 Overcurrent and voltage auto cut-off message

4. IR 리모컨 기능의 검증

실내에서 IR 리모컨을 이용하여 각 스위치의 ON/OFF를 제어하고, 원격제어 모드/실내 사용 모드 설정, 소비 전력 측정 모드 설정 등의 기능을 설정할 수 있다. 그림 12에서와 같이 리모컨을 이용하여 각 스위치를 ON/OFF할 수 있다.

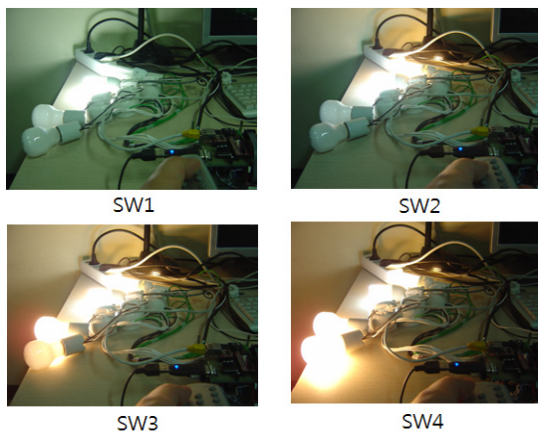


그림 12. IR 리모컨 기능
Fig.1 2 IR remote control function

5. 측정 데이터 전송 결과

그림 13은 시리얼 포트를 통해서 전력 측정 데이터가 컴퓨터로 수신되는 화면이다. 스마트 그리드 및 홈 네트워크 시스템 확장성을 고려하여 이더넷 통신과 시리얼 통신을 이용하여 데이터를 전송할 수 있도록 설계하였다.

6. 전력 측정 결과 비교

그림 14는 20W 인버터 스탠드를 1시간 동안 1분 간격으로 상용계측 장비와 테스트 보드로부터 각각 측정된

데이터를 그래프로 나타낸 것이다. 데이터를 분석한 결과 상용계측 장비를 기준으로 전압은 $\pm 1.11\%$, 전류는 $\pm 1.37\%$, 전력은 $\pm 2.38\%$ 의 오차율을 가졌다. 결과적으로 본 논문에서 제안한 전력측정 결과가 상용화된 제품들의 측정 결과와 거의 일치하였다.

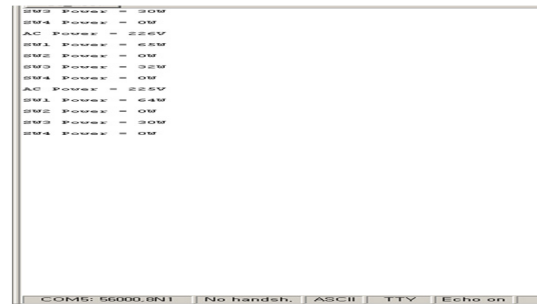


그림 13. 전력 측정 데이터
Fig.13 Power measurement data

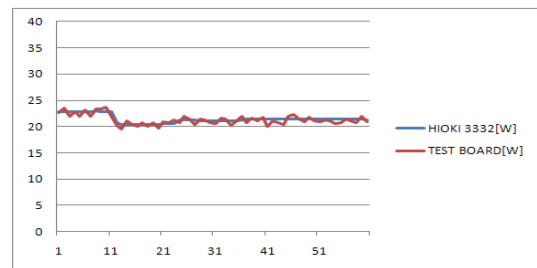


그림 14. 20W 인버터 스탠드 전력 측정 데이터 비교
Fig.14 Comparison of 20W Inverter Stand Power Measurement Data

표 1은 가전기기의 대기전력을 측정하고 테스트 보드에 적용하였을 나타난 대기전력 차단 결과이다.

표 1에서 나타난 결과와 같이 테스트 보드를 적용하여 대기전력을 완전히 차단하는 것을 확인하였다. 그러나 표 1의 능동 대기 상태의 프린터의 경우 소비전력이 20W이기 때문에 자동으로 대기 전력을 차단하기에는 어려운 문제점이 있었다. 일반적인 가전기기의 동작 소비전력이 20W이하인 제품들이 있기 때문에 대기 전력 차단 기준을 높여 해결할 수 없다. 물론, 단일 PC에 사용하는 경우에는 PC 전원을 체크하여 차단하는 것이 가능하지만 공용 네트워크 프린터의 경우 적용하기 힘들다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 웹서버

에서 제공하는 원격제어 기능을 적용하여 사용여부에 따라 대기전력을 차단하여 대기전력을 절감하는 효과를 얻었다. 그리고 데이터 처리나 중요한 동작을 수행하지 않는 단순 기기의 경우 외출 시 Mobile Phone이나 인터넷 접속기기를 이용하여 웹 서버에 접속해 전원을 차단할 수 있었다.

표 1. 가전기기 대기 전력 측정 결과
Table 1. Result of standby power measurement of household appliances

	적용 전	적용 후	비고
컴퓨터	3.2W	0W	3분후
모니터	2.3W	0W	3분후
프린터	3.0W	0W	3분후
	20W	20W	능동 대기
TV	4.3W	0W	3분후

V. 결 론

본 논문에서는 소비전력 및 대기전력 관리 기능을 갖는 내장형 웹서버 기반의 새로운 스마트 스위치를 설계하였다. 이 스위치는 실시간 소비전력 모니터링 및 원격 제어 기능을 갖는 동시에 대기전력 자동 차단기능과 과전압·과전류 차단 기능을 갖도록 구현되었다. 구현된 스마트 스위치는 웹서버 기능을 내장하고 있어 별도의 PC 서버를 구축할 필요가 없으며 유·무선 통신기기를 이용하여 웹 브라우저에 접속해 실시간 소비전력을 모니터링 할 수 있으며 원격 제어가 가능하다. 기존 스마트 미터 제품이 가지고 있는 전압, 전류, 전력 측정 기능을 가지고 있으며, 실제 측정된 데이터를 분석한 결과 전압은 $\pm 1.11\%$, 전류는 $\pm 1.37\%$, 전력은 $\pm 2.38\%$ 의 오차율을 가졌다. 그리고 대기전력 차단 기능과 과전압·과전류 차단 기능을 테스트를 통해서 검증하였고 설계한 테스트 보드를 실제 전자제품에 적용하여 대기전력 절감효과를 입증하였다. 설계한 내장형 웹서버 기반의 스마트 스위치는 절전형 멀티 탭으로 상용화 하였을 경우 단일 제품으로 제작할 수 있으며 기존의 대기전력 절감 제품의 기능을 통합하였기 때문에 시스템의 간소화 및 설치 이용에 있어서 우수한 장점을 가지고 있다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2009-0074012)이며, IDEC의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

- [1] 에너지관리공단, “수용가 부하 곡선을 이용한 전력 사용 형태 분석”, 에너지관리공단, 2007
- [2] 문화체육관광부, “녹색성장, 대한민국의 그린오션 전략”, 문화체육관광부, pp9-20, 2008
- [3] 지식경제부, “홈기반 대기전력 절감 기술 개발 ZigBee 구조를 갖는 대기전력 제어 기술 개발”, 지식경제부, 2008
- [4] 허준, 홍충선, 강석봉, 전상수, “대기전력 절감을 위한 홈 네트워크 제어구조”, 한국통신학회지, KNOM 2007, pp. 190-197, 2007
- [5] 에너지관리공단, “Standby Korea 2010 - 대기전력 1W 달성을 위한 로드맵”, 에너지관리공단, 통권 제 349호, pp. 66-75, 2005
- [6] 시험검사국, “PC 시스템 사용실태 및 절전형 멀티 탭 품질시험 결과”, 한국소비자원, pp. 5-8, 2008
- [7] KOTRA, “초고유가 시대 : 해외 주요국의 에너지 절약상품 동향”, KOTRA, pp. 2-15, 2008

저자소개



이용안(Yong-An Lee)

2008년 경상대학교 전자공학과
학사
2010년 경상대학교 대학원
전자공학과 석사

※관심분야 : 임베디드 시스템 설계, SoC 설계, FPGA 설계



김강철(Kang-Chul Kim)

1981년 서강대학교 전자공학과
학사

1983년 서강대학교 전자공학과
석사

1996년 경상대학교 전자공학과 박사

1983년~1989년 한국전자통신연구원, 연구원

1989년~1990년 삼성종합기술원, 연구원

1997년~현재 전남대학교 전기전자통신컴퓨터

공학부, 부교수

※ 관심분야 : VLSI 및 임베디드시스템 설계



한석봉(Seok-Bung Han)

1982년 한양대학교 전자공학과
학사

1984년 한양대학교 전자공학과
석사

1988년 한양대학교 전자공학과 박사

1992년~1993년 Stanford University, 연구교수

2002년~2003년 Cornell University, 연구교수

1988년~현재 경상대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : Power IC Design & Testing, SoC Design
& Testing