creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

박사학위논문

SEP 표준 기반의 확장된 스마트 플러그 시스템

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주대학교 대학원

컴퓨터공학과

이 성 준

2015년 2월

SEP 표준 기반의 확장된 스마트 플러그 시스템

지도교수 김 도 현

이 성 준

이 논문을 컴퓨터공학 박사학위 논문으로 제출함

2014년 12월

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

이성준의 컴퓨터공학 박사학위 논문을 인준함

심사위원장 곽 호 영

위 원 이 상 준

위 원 변 영 철

위 원 김 도 현

위 원 이 규 대

제주대학교 대학원

2014년 12월

목 차

국문 초록 ····· vii

영문 초록 ····· x

Ⅰ. 서론 ····· 1

1. 연구 배경 및 필요성 ····· 1

2. 연구 목표 및 범위 ····· 3

3. 논문의 구성 ····· 4

Ⅱ. 관련 연구 ····· 5

1. 스마트 플러그(Smart Plug) ····· 5

1) 스마트 플러그 표준화 동향 ····· 5

2) 스마트 플러그 연구 동향 ····· 7

2. SEP(Smart Energy Profile) ····· 11

1) SEP 구성 ····· 12

2) SEP 데이터 통신 ····· 13

Ⅲ. 확장된 스마트 플러그 시스템 설계 ····· 23

1. 스마트 플러그 시스템 구성 ····· 23

2. 스마트 플러그 설계 ····· 27

1) 스마트 플러그 하드웨어 ····· 27

2) 전력 측정부 ····· 30

3) SEP 기반 데이터 송수신부 ····· 31

4) 게이트웨이와 통신 장애 처리 ····· 32

3. 게이트웨이 설계 ····· 35

1) 게이트웨이 하드웨어 ····· 35

2) 데이터 송수신부 ····· 36

3) 미들웨어 설계 ····· 38

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4) 통신 장애 처리 알고리즘 ····· 39
5) 스마트 플러그 센서 고장 판단 알고리즘 ····· 41
6) 소비 전력 패턴 기반의 스마트 플러그 상황 분류 알고리즘 ····· 43
7) 웹 기반 모니터링 ····· 46

Ⅵ. 확장된 스마트 플러그 시스템 구현 ····· 48
1. 스마트 플러그 구현 ····· 48
1) 스마트 플러그 하드웨어 ····· 48
2) 소프트웨어 구현 환경 ····· 50
3) 전력 측정부 ····· 51
4) 데이터 송수신부 및 통신 장애 처리 ····· 53
2. 게이트웨이 구현 ····· 56
1) 게이트웨이 하드웨어 ····· 56
2) 소프트웨어 구현 환경 ····· 57
3) 데이터 송수신부 ····· 59
4) 통신 장애 처리 알고리즘 ····· 59
5) 스마트 플러그 센서 고장 판단 알고리즘 ····· 61
6) 소비 전력 패턴 기반의 스마트 플러그 상황 분류 알고리즘 ····· 63
7) 웹 기반 모니터링 ····· 65

Ⅴ. 연구 결과 및 성능평가 ····· 68
1. 실험 환경 ····· 68
2. 스마트 플러그 통신 장애 처리 성능 분석 ····· 70
3. 스마트 플러그 상황 분류 성능 분석 ····· 74
4. 스마트 플러그의 대기 전력 소비 성능 분석 ····· 77

Ⅵ. 결론 ····· 81
참고 문헌 ····· 83

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 목 차

[표 1] 전자제품별 평균 대기전력 ····· 1

[표 2] 대기전력 차단 콘센트 상용화 제품 비교 ····· 7

[표 3] 스마트 플러그 국내외 기술 동향 ····· 8

[표 4] Smart Energy Profile의 에너지 정의····· 12

[표 5] Smart Energy Profile을 위한 Zigbee Cluster ····· 13

[표 6] 읽기 정보 속성 집합 ····· 18

[표 7] Price Cluster 속성 구성 ····· 21

[표 8] Price Cluster 서버 속성 ····· 22

[표 9] Price Clusters가 수신한 명령 ID ····· 22

[표 10] STM32W108 사양 ····· 28

[표 11] Zigbee Metering Cluster ····· 31

[표 12] Zigbee Electrical Measurement Cluster ····· 31

[표 13] 게이트웨이에서 스마트 플러그로 전송되는 기본 패킷 정보 ····· 38

[표 14] Gateway 소프트웨어 구성 ····· 58

[표 15] 실험환경 구성 ····· 69

[표 16] 측정기를 이용한 기기별 소비전력 측정 결과 ····· 74

[표 17] 스마트 플러그를 통한 기기별 소비전력 측정 결과····· 74

[표 18] 알고리즘 적용 기준 값 설정 결과 비교표 ····· 76

[표 19] 기기별 대기전력 테스트 환경 ····· 77

[표 20] 기기별 대기전력 테스트 결과 ····· 79

[표 21] 에너지 절감 효과 분석 ····· 79

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그 림 목 차

[그림 1] EMS 서버가 없는 참조모델 구성 ····· 6
[그림 2] EMS 서버가 있는 참조모델 구성 ····· 6
[그림 3] Zigbee Smart Energy 구성 ····· 11
[그림 4] SEP1.x Stack ····· 14
[그림 5] 유틸리티용 사설 HAN ····· 14
[그림 6] 유틸리티용 사설 NAN ····· 15
[그림 7] 고객용 사설 HAN ····· 15
[그림 8] 전원이 연결된 계량 디바이스가 포함된 독립형 ESP 모델 ····· 16
[그림 9] 전기 동작식 계량 디바이스가 포함된 독립형 ESP 모델 ····· 17
[그림 10] 측정 디바이스가 내장된 ESP 모델 ····· 17
[그림 11] 서버와 클라이언트 간 수요반응/제어 클러스터 구성 ····· 19
[그림 12] 클라이언트 서버의 예 ····· 19
[그림 13] 클라이언트/서버 메시지 명령 교환 ····· 20
[그림 14] Inter-PAN의 일반적인 사용 ····· 21
[그림 15] 전체 시스템 Block Diagram ····· 24
[그림 16] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 메시지 순서도 ····· 26
[그림 17] 스마트 플러그 하드웨어 설계 ····· 27
[그림 18] 스마트 플러그 하드웨어 Block Diagram ····· 28
[그림 19] 무선 송신부 Block Diagram ····· 29
[그림 20] 센서 네트워크 구성도 ····· 29
[그림 21] 스마트 플러그 저 전력 설계 ····· 30
[그림 22] 통신 장애 처리 Flow Chart ····· 33
[그림 23] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 장애 처리 메시지 흐름도····· 34
[그림 24] 게이트웨이 하드웨어 Block Diagram····· 35
[그림 25] 게이트웨이 데이터 송수신부 구성 ····· 36

제주대학교 중앙도서관

[그림 26] 게이트웨이 데이터 흐름도····· 37
[그림 27] 스마트 플러그에서 전송된 정보에 대한 게이트웨이 메시지 처리 ··· 38
[그림 28] 게이트웨이 미들웨어 구조 ····· 39
[그림 29] 통신 장애 처리 Flow Chart ····· 40
[그림 30] 스마트 플러그 고장 유무 판단 Flow Chart ····· 41
[그림 31] 스마트 플러그 고장 유무 판단 메시지 흐름도····· 42
[그림 32] 가전기기 변경에 따른 대기전력 판단 기준 변경 예시····· 43
[그림 33] 상황분류 알고리즘 Flow Chart ····· 44
[그림 34] 웹 기반 모니터링 시스템 구조 ····· 46
[그림 35] 웹 기반 모니터링 기능 구성도 ····· 47
[그림 36] 스마트플러그 PCB 사진 ····· 48
[그림 37] 스마트플러그 시제품 ····· 49
[그림 38] 통신 모듈 시제품····· 49
[그림 39] 통신모듈과 USB Interface 모듈 ····· 50
[그림 40] 스마트 플러그 센서노드 프로그램 방법 ····· 50
[그림 41] ADE7753 측정 프로젝트 화면 ····· 51
[그림 42] ADE7753 측정 Header 파일 ····· 52
[그림 43] ADE7753 측정 Source 파일 ····· 52
[그림 44] 통신 장애 처리 기능 ····· 54
[그림 45] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 정상 통신 모니터링 ····· 55
[그림 46] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 미 연결 모니터링 ····· 55
[그림 47] 게이트웨이 하드웨어 시제품 ····· 56
[그림 48] 게이트웨이와 스마트 플러그 간 네트워크 구성을 위한 통신 모듈 적용 화면 ··· 57
[그림 49] 게이트웨이 개발 환경 구성····· 58
[그림 50] 게이트웨이 Reset 기능 ····· 60
[그림 51] 게이트웨이 Reset 사용자 알림 화면 ····· 60
[그림 52] 스마트 플러그 센서 고장 유무 판단 소스 ····· 61
[그림 53] 소비전력 정상 수신 모니터링 화면 ····· 62

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

[그림 54] 오류 데이터 수신 모니터링 화면 ····· 62
[그림 55] 센서 고장 알림 모니터링 ····· 63
[그림 56] 셋톱박스 소비전력 측정 ····· 64
[그림 57] 전기밥솥 소비전력 측정 ····· 64
[그림 58] 웹서버 데몬 ····· 65
[그림 59] Lighttpd 버전 확인 ····· 65
[그림 60] SQLite 버전 확인 ····· 65
[그림 61] 게이트웨이에 포팅 된 PHP 접속 정보 ····· 66
[그림 62] 웹 모니터링 메인 화면 ····· 66
[그림 63] 웹 모니터링 통계 화면 ····· 67
[그림 64] 웹 모니터링 스마트 플러그 제어 화면 ····· 67
[그림 65] 전력 소모 측정기기를 이용한 실험환경 ····· 69
[그림 66] 게이트웨이 통신모듈 탈부착 화면 ····· 71
[그림 67] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 정상 통신 상태일 경우 패킷 전송 ··· 71
[그림 68] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 불능 상태 ····· 72
[그림 69] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 재개 상태일 경우 저장된 정보 재전송 ··· 72
[그림 70] 통신 장애 처리 테스트 결과 ····· 73
[그림 71] 기기별 소비전력 군집화 그래프 ····· 75
[그림 72] 기기변경에 따른 스마트 플러그 소비전력 측정 정보 ····· 75
[그림 73] 셋톱박스와 에어컨 측정 결과 ····· 78
[그림 74] 유무선 공유기와 전기밥솥 측정 결과 ····· 78
[그림 75] TV와 컴퓨터 측정 결과 ····· 73

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

국문 초록

SEP 표준 기반의 확장된 스마트 플러그 시스템

제주대학교 대학원

컴퓨터공학과

이 성 준

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

세계적으로 에너지 절약을 위한 그린 IT에 대한 관심과 기대가 높아지면서 그에 따른 기술이나 서비스 플랫폼에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 국내의 경우 전체 에너지 사용 비중에서 약 40%의 에너지를 주거공간과 상업용, 공공건물에서 사용하고 있다. 그에 따른 에너지 절감이 절실한 실정으로 건물 에너지 효율화를 위해 IT와 융합한 기술 개발에 노력을 다하고 있다.

최근 가전제품의 에너지 소모를 최소화하기 위해 대기전력 제어 기술 연구가 진행되고 있다. 대기전력은 실제 가전기기의 사용 여부와 상관없이 전원 콘센트로 인해 소모되는 전기에너지로, 가구당 대기전력 소비는 연평균 209KWh로 나타나며, 연간 총 전력소비 3400KWh의 6.1%에 해당하는 대기전력을 소모하고 있다. 이 대기전력 소모를 줄이기 위해 국내외적으로 가전제품의 소비전력 정보를 이용하여 자동으로 전원을 차단해주는 스마트 플러그 기술을 연구하고 있다.

초기 스마트 플러그 기술은 IR 방식의 원격 제어를 활용하여 대기전력을 제어하였으며, 최근에는 무선 통신을 활용하여 지능적인 기능을 제공하는 스마트 플러그에 관심이 집중되고 있다. 그러나 기존 개발된 스마트 플러그는 IR 중심의 통신 방식과 1구로 인한 단순함과 3구로 복잡도 증가의 어려움과, 서로 다른 프로토콜 사용으로 상호 호환성의 문제와, 통신 장애 및 사용자의 요구를 지능적으로 처리하는 데 한계가 있다.

이에 본 논문에서는 가정 내 대기전력을 줄여 에너지를 절감하기 위해 국제 표준이 SEP(Smart Energy Profile) 기반의 스마트 플러그와 이를 제어하고 모니터링하는 게이트웨이 시스템에 대해 제안한다. 이를 위해 스마트 플러그 시스템에서 통신 및 시스템 장애 처리 및 지능적인 기능을 제시하고, 하드웨어 및 소프트웨어를 설계하고 구현하며, 주요 기능과 알고리즘에 대해 성능을 분석한다.

먼저 확장된 스마트 플러그는 대기전력 차단 관련 센서 노드 및 통신 노드의 오작동 및 고장을 해결하고, 냉장고와 같은 24시간 항시 전기를 사용하는 제품을 고려하여 2구 기반을 개발하고, 1구는 대기전력 차단용, 나머지 1구는 상시 전력용으로 사용하여 전기 사용 효율을 증대시킨다.

제주대학교 중앙도서관

그리고 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 장애가 발행할 경우 이를 해결하기 측정된 데이터 손실을 방지하기 위해 스마트 플러그 내 저장하고 통신 복구 시 재전송하는 알고리즘을 제안하고 성능을 평가한다.

다음으로 확장된 게이트웨이는 통신 장애 및 내부 시스템 오류로 인한 장애 발생 시 게이트웨이가 교착(Deadlock) 상태가 되는 것을 방지하기 위해 WatchDog Thread를 활용 장애 상황 발생 시 시스템을 리셋(Reset) 하는 방법을 제시한다. 또한 스마트 플러그에서 전송되는 측정값을 분석하여 센서 측정 범위를 벗어나거나 오류 값을 전송할 경우 해당 스마트 플러그 센서 고장 여부를 판단하는 알고리즘을 제안하고 성능을 평가한다.

그리고 스마트 플러그에 연결된 가전제품의 소비전력 패턴을 분석하여 현재 제품의 사용과 대기 여부를 판단하여 대기전력을 제어할 수 있는 제품 상황 분류 알고리즘을 제안하고 성능을 분석한다.

마지막으로 게이트웨이 내부에 데이터베이스와 웹 서버 환경을 구성하여 인터넷이 되는 지역이면 어디서나 게이트웨이에 접속하여 웹 기반 모니터링을 통해

전력 사용량 확인 및 각 스마트 플러그 제어할 수 있는 시스템을 설계하고 구현한다. 더불어 확장한 스마트 플러그의 대기전력 소비에 대해 성능을 분석한다. 본 연구를 통해 스마트 홈에서 가전제품의 대기전력을 감소시켜 에너지를 절감하는데 기여할 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

ABSTRACT

An Extended Smart Plug System Based on SEP Standard

JEJU NATIONAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL
DEPARTMENT OF COMPUTER ENGINEERING
LEE SEONG JUN

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

With increasing interest in and expectations for Green IT in saving energy around the world, a number of studies have been undertaken for developing technologies or services related to Green IT. For Korea, about 40% of total energy consumption comprises residential, commercial or public buildings. Accordingly, Korea has been devoted to developing the convergence technology with IT to efficiently use energies in buildings because of earnest needs to save energy.

In a number of studies, most research has been focusing on the technology to minimize standby power consumption caused when an electronic device is connected to a power outlet but not being used. Smart Plug Technology is one of the technologies to minimize standby power. Smart Plug Technology automatically cuts the power supply when an electronic appliance is not used at home with a communication function providing power consumption information of the electronic appliance for controlling standby power. With the development of Smart Plug Technology, many commercialized products have been launched into the market.

However, Smart Plug in both previous research and available on the market at

present have not been easy to use because of IR-based communication and single- and three-prong structure. Furthermore, it was difficult to expand the application of the product because of compatibility issues caused by different protocols.

Thus, this paper proposes a Smart Plug based on SEP (Smart Energy Profile), the international standard to save energy and minimize standby power consumption at home and the gateway system to control and monitor the Smart Plug.

In consideration of the inconvenient usage caused by errors or failures of sensor nodes and communication nodes related to standby power cutoff and electronic appliances that constantly consume power such as refrigerators, the Smart Plug in this paper was designed to have two prongs, one for cutting standby power and the other for continuing power consumption. The Smart Plug had an embedded data saving function to prevent measured data from being lost even in the case of a communication failure between the Smart Plug and gateway. The Smart Plug will retransfer data when communication is activated after a failure.

To prevent the deadlock of a gateway in the case of any errors caused by internal system failures or communication failures, the entire system is reset using a WatchDog Thread in the case of any errors. This study implemented an approach enabling the Smart Plug Sensor to identify whether it is an error or not by analyzing the measurement data transferred from the Smart Plug if the data exceed the measurement scope or a false value is transferred.

In addition, an event classification algorithm was also implemented to control the standby power by identifying whether a relevant product works or not by analyzing the power consumption pattern of electronic appliances connected to the Smart Plug. Finally, a database and web server environment were implemented inside the gateway to enable the check of power consumption and control of each Smart Plug by access to the gateway in any place where internet service is available and web-based monitoring.

In conclusion, this study will help to save energy by minimizing standby power in a Smart Home.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅰ. 서론

1. 연구 배경 및 필요성

국제적으로 그린 환경과 CO2 배출을 줄이기 위한 노력으로 전력 시스템과 ICT 기술을 융합하여 전력 공급자와 소비자 간에 양방향 실시간 정보를 교환함으로써 에너지 효율성을 제고시키기 위한 스마트 그리드가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 국내의 경우 전체 에너지 사용 비중에서 약 40%의 에너지를 주거공간과 상업용, 공공건물에서 사용하고 있으며 그에 따른 에너지 절감이 절실한 실정으로 건물 에너지 효율화는 전통적인 건설 산업에 IT 기술을 융합하여 노동집약적인 산업에서 기술 집약적인 고부가가치 산업화를 실현하는 기술이 필요하다[1][2]. 그중 실제 가전기기의 사용 여부와 상관없이 전원 콘센트만 꼽으면 소모되는 대기전력 소모를 최소화하기 위한 기술 연구가 많이 이루어지고 있다. 가구당 대기전력 소비는 연평균 209KWh로 나타나며 연간 총 전력소비 3400KWh의 6.1%에 해당하는 대기전력을 소모하는 것으로 나타났다. 이 수치는 일반 가정의 경우 보통 전체 전기 사용량의 6% 이상이 대기전력으로 버려지고 있으며 한해 약 4천2백억 원이 낭비되는 셈이다[3]. [표 1]은 전자제품별 평균 대기전력 수치를 보여주고 있다.

[Table 1] Average standby power electronics
[표 1] 전자제품별 평균 대기전력(한국전기연구원)[3]

Item	Standby Power(W)	Item	Standby Power(W)
Set-top Box	12.27	Electric cooker	3.47
Internet modem	5.95	Computer	2.62
Air conditioning	5.81	Microwave	2.19
Boiler	5.81	TV	1.27
Audio Speakers	5.6	Electric mat	0.59
Home Theater	5.1	Mobile Phone charger	0.26
Video	4.93	Electric fan	0.22
Audio (component)	4.42	Camera Charger	0.22
Router	4.03	Internet phones	0.21

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

이와 같은 이유로 국토 해양부는 2010년부터 ‘친환경 주택의 건설 기준 및 성능’에 대한 고시에서 ‘20세대 이상의 공동주택에 대해서는 거실, 침실, 주방에 대기전력 자동 차단 콘센트 또는 대기전력 차단 스위치를 1개 이상 설치해야 한다고 명시하였다. 그리고 개별 가구마다 대기전력을 차단할 수 있는 콘센트가 전체 콘센트의 30% 이상 되어야 한다고 의무사항을 조정하였다[4]. 대기전력 차단 콘센트는 댁내 또는 건물 내의 대기전력을 제어하기 위해 일반 콘센트가 아닌 별도의 전력 감지 및 제어 장치를 추가한 콘센트를 말한다. 이런 대기전력을 차단하기 위한 콘센트는 지난 5년간 많은 발전을 거듭해 왔다. 초기에는 IR 방식의 리모컨 컨트롤을 활용하여 대기전력을 제어하는 시스템이 주를 이루었다면 2, 3년 전부터는 좀 더 지능적이고 많은 기능을 처리하기 위한 무선 통신을 활용한 시스템 개발에 노력이 진행되고 있다.

이런 세계적인 추세에 발맞춰 정부는 ICT 기반 에너지 수요관리 新 시장 창출 방안으로 스마트 플러그에 대한 보급화를 추진 중이다. 스마트 플러그는 각 플러그에 연결된 전자기기의 전력 사용량을 수집하여 게이트웨이 또는 데이터베이스 서버로 실시간 전력 사용량을 전송하여 원격지에서 전력을 제어할 수 있는 시스템이다. 하지만 이런 스마트플러그의 전력소비 절감과 에너지 소비 형태의 변화에 큰 효과를 기댈 것으로 예상했으나 현재까지 ICT 시스템과의 상호 운영성과 호환성 부족으로 사업화 단계에는 이르지 못하는 실정이었다. 하지만 2013년 후반부터 스마트 플러그와 스마트폰 애플리케이션 간의 상호 운용성 검증 작업이 이루어지면서 2014년 7월 최종 스마트플러그에 대한 표준이 재정되었다. 이에 따라, 표준에서 명시된 SEP 표준에서 운용 가능한 스마트 플러그 시스템에 대한 연구가 필요하다.

또한, 이런 스마트 플러그 보급 활성화로 인해 향후 각 가정 또는 빌딩 내 스마트 플러그에서 수집되어 데이터베이스에 저장된 전력 사용량 데이터를 기반으로 세분화된 시간, 장소, 전자제품, 사용자 등을 접목하여 에너지 소비 예측 및 분석을 통해 건물 에너지 효율을 향상시키기 위한 기술이 요구되고 있다. 이런 전력 사용량 패턴 및 사용량 예측 분석을 통해 소비전력 분산 및 대기전력 제어에 좀 더 지능적으로 대체하여 건물 에너지 효율을 향상시키기 위한 기술이 요구되고 있다.

제주대학교 중앙도서관

2. 연구 목표 및 범위

본 논문의 목표는 국제 표준인 SEP와 국내 표준인 TTAK.K0-04.0184 스마트 플러그 시스템 표준을 기반으로 한 대기전력제어 및 전력 사용량 모니터링 기능을 갖는 스마트 플러그와 게이트웨이를 구현하는 것이다.

현재 스마트 플러그와 이를 수집하기 위한 장치에 대해서는 국내외 여러 대학 및 기업 연구소 등에서 활발히 연구되고 있으며 이미 제품으로도 많이 출시가 된 상태이다. 하지만 이들 대부분의 연구 및 제품들은 자체 프로토콜을 사용하여 통신을 하다 보니 타제품과의 상호 운용성에서 많은 문제점을 보이고 있다. 또한, 스마트 플러그 디바이스 관리에 대해서도 설정된 값에 의해서만 관리를 진행을 하여 스스로 주변 상황을 판단하여 지능적으로 대체하는 기술에 대한 연구 부분에서는 아직 부족한 실정이다. 이를 위해 스마트 플러그에서 전송되는 다양한 상황 정보에 대해 대처하여 대응할 수 있는 상황 인지 기술이 요구된다. 대표적인 예로 기계학습 알고리즘을 통해 스마트 플러그에서 전송된 전력 사용량 정보를 바탕으로 전력 수요 예측 기술들이 많이 연구되고 있다. 또한, 스마트 플러그에 연결된 전자제품의 실시간 전력 사용량을 분석하여 제품의 사용 여부를 판단하여 지능적으로 대기전력을 제어할 수 있는 방법에 대한 연구도 필요하다. 그리고 2014년 7월 대기전력 자동 차단 콘센트에 대한 대기전력 기준이 기존 1W 이하에서 0.5W 이하로 변경되면서 이에 상응하는 하드웨어 연구와 시중에 많이 판매되고 있는 1구 기반보다 상시 전력과 대기전력 모두 사용 가능한 2구 기반 하드웨어에 대한 연구도 필요하다.

제주대학교 중앙도서관

이와 같은 연구에 초점을 맞춰 본 논문에서는 SEP 표준 기반 스마트 플러그와 지능적인 상황인식 가능한 게이트웨이를 설계하고 구현한다.

이를 위하여 스마트 플러그는 냉장고와 같은 상시 전력이 필요한 가전기기와 대기전력 제어가 필요한 가전기기 모두 사용 가능하도록 2구 기반으로 구현한다. 스마트 플러그와 게이트웨이 간 정보 인터페이스는 SEP1.x에 기반 하여 구현하며 IEEE802.15.4 기반으로 통신 인터페이스를 구현한다. 또한, 각 스마트 플러그에서는 게이트웨이와 통신이 이루어지지 않을 경우에 대한 대처 방식과

게이트웨이에서 역시 각 디바이스와 통신이 이루어지지 않을 경우에 대한 대처할 수 있도록
구현한다. 그리고 스마트 플러그에서 전송되는 소비 전력 패턴을 분석하여 연결된 전자제품의 사용 여부를 판단하여 전력을 자동 제어할 수 있는 알고리즘을 구현한다. 마지막으로 게이트웨이 내부에 웹 서버 환경을 구성하여 별도의 서버 구성없이 원격지에서 게이트웨이에 접속하여 웹 기반 모니터링을 사용할 수 있도록 구현한다.

3. 논문의 구성

본 논문은 국내외 스마트 플러그 관련 표준인 SEP를 기반으로 스마트 플러그와 게이트웨이 간 정보 인터페이스를 구축하고 사용의 편리성을 위한 2구 기반의 스마트 플러그 구현과 통신 장애 처리, 센서 고장 판단, 소비전력 패턴을 분석한 상황 분류 알고리즘 구현에 초점을 두고 있다.

이를 위하여 2장에서는 본 논문의 내용과 관련된 연구로서 SEP 표준과 스마트 플러그 연구동향에 대해서 요약 설명한다.

3장에서는 본 논문에서 구현하고자 하는 스마트 플러그와 게이트웨이에 대해 전체적인 시스템 구성도와 설계에 대해 설명한다.

4장에서는 3장의 스마트 플러그와 게이트웨이 설계 내용을 기반으로 본 논문에서 제안한 시스템을 구현한다.

5장에서는 본 논문에서 구현된 스마트 플러그와 게이트웨이, 상황인식 미들웨어를 바탕으로 본 논문에서 제안하고자 하는 지능적인 대기전력 제어에 대해 테스트를 하고 성능을 평가하고 분석한다.

끝으로 6장에서 본 논문의 전반적인 요약과 함께 추후 연구 방향을 설명하여 결론을 맺는다.

제주대학교 중앙도서관

Ⅱ. 관련 연구

이 장에서는 본 논문에서 제한하는 시스템과 관련하여 스마트플러그, SEP에 대해 요약 설명하고 관련 연구 동향을 살펴본다.

1. 스마트 플러그(Smart Plug)

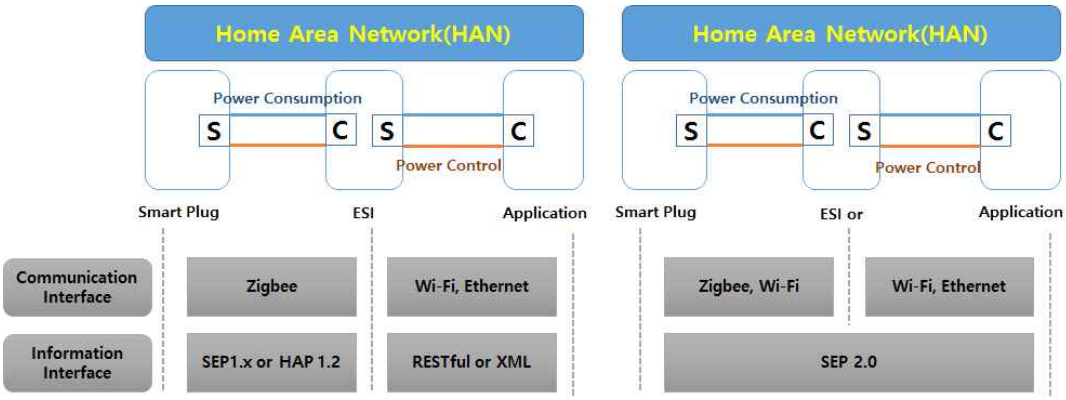
대기전력은 전자제품이 콘센트에 연결되어 있을 경우 전원이 꺼진 상태에서도 소모되는 전력을 말한다. 이런 대기전력을 제어하기 위해 개발된 스마트 플러그는 일반적인 플러그와 유사한 형태이며, 가전제품의 소비전력 정보를 제공하는 통신 기능을 갖고 있고 가전제품이 사용되지 않을 때 자동으로 전원을 차단하는 기능을 갖는 플러그이다. 또한 스마트 플러그는 인터넷이 되는 지역이면 세계 어디서나 전력 사용량 확인 및 원격지에서 제어 기능을 제공한다. 스마트플러그를 통해 제어된 전자제품을 사용하지 않을 경우 해당 전자제품이 소모되는 대기전력보다 적은 1W 이내의 전력 소모량을 소비한다. 이는 대기전력을 차단하기 위한 콘센트일지라도 전력 소모를 측정하기 위한 센서의 동작과 게이트웨이 또는 서버 시스템과 주기적인 통신을 위한 최소한의 소모전력이다. 이 대기전력 또한 2014년 4월부터 기존 1W 이내에서 0.5W 이내로 대기전력이 소모 되도록 규정이 변경되었다[5].

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

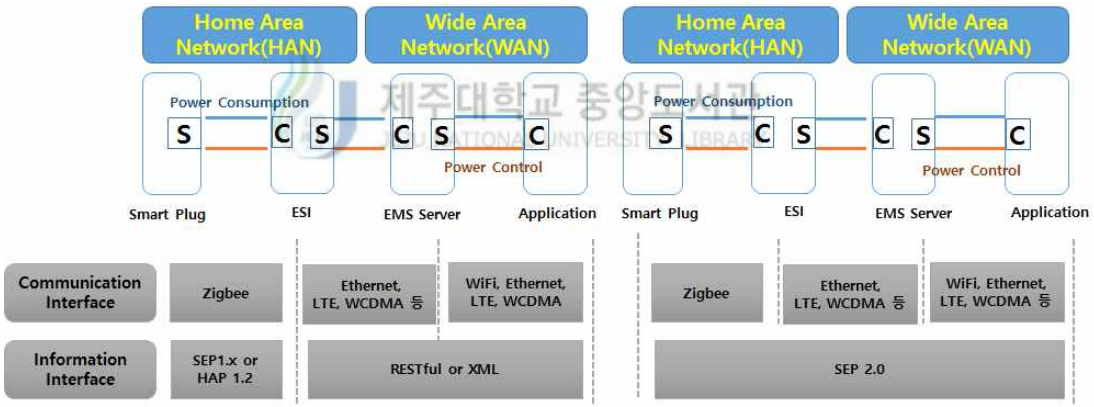
1) 스마트 플러그 표준화 동향

스마트 플러그 관련 국내 표준은 2014년 7월 한국정보통신기술협회를 통해 재정되었다. 이번 표준은 스마트 플러그를 이용하여 가전기기의 전력 사용량 모니터링 및 전원 제어 등의 에너지 서비스를 수행하기 위해 스마트 플러그,

에너지 서비스 인터페이스, EMS 서버, 스마트 플러그 애플리케이션으로 구성된 스마트 플러그 시스템에 대한 기능 요구 사항과 인터페이스 표준에 대해 정의되었다[6]. 표준에 대한 참조 모델은 가정 내 서비스로 EMS 서버가 없는 [그림 1] 모델과 클라우드 서비스 기반 모델로 정의되었다[그림 2][6].



[그림 1] EMS 서버가 없는 참조모델 구성[6]
[Figure 1] without EMS Server



[그림 2] EMS 서버가 있는 참조모델 구성[6]
[Figure 2] based EMS Serve

참조모델에 따라 스마트 플러그는 연결된 가전 기기의 순시 전력, 누적 전력량, 전압, 전류, 역률 정보를 전송해야 하며 애플리케이션에서 각 스마트 플러그에 대한 제어 명령을 전달할 경우에 대한 정보 인터페이스 규격과 통신 방식에 따른 표준을 정의하였다. [그림 1, 2] 에서와 같이 SEP 1.x 또는 HAP (Home Automation Profile) 1.2를 충족하는 스마트 플러그를 위하여 'ZigBee Smart Energy 1.1b Specification'과 'ZigBee Home Automation 1.2

Specification' 기반으로 정보 인터페이스를 정의하였으며, 이 표준에서 정의하지 않은 클러스터를 규정하기 위하여 'ZigBee Cluster Library Specification'를 참조하였다. 그리고 SEP 2.0을 충족하는 스마트 플러그를 위하여 ZigBee Smart Energy 2.0 Standard'에서 정의한 데이터 모델과 XML 포맷을 기반으로 정보 인터페이스를 정의하였다[6,7,8].

2) 스마트 플러그 연구 동향

에너지 절감 및 효율의 문제가 대두되면서 안정적인 에너지 공급 및 효율적인 사용을 위한 기술의 필요성으로 인해 지능형 전력망 기술의 필요성이 대두되고 있다.

이와 관련하여 대기전력에 대한 이슈가 증가하면서 이를 줄이기 위한 연구가 진행되는데 기본적인 대기전력제어 시스템의 구성은 n 개의 대기전력 자동 차단 콘센트와 IHD(In Home Display) 또는 게이트웨이가 유무선 네트워크를 통해 연동하여, 콘센트를 통해 측정된 각 전자 기기별 소비전력을 실시간으로 사용자에게 보여주며 각 콘센트의 전원을 원격지에서 사용자에 의해 전력을 On/Off 제어하거나 스스로 현재 사용량을 판단하여 자동 대기전력 차단할 수 있다.

[표 2]는 기존 국내에서 상용화되어 판대 되거나 신규 건물에 설치되고 있는 보급형 대기전력 차단 콘센트 제품들을 보여 주고 있다. 초기의 대기전력 차단 시스템은 IR 방식을 활용 리모컨을 통한 제어 방식이 주를 이루고 있다.

[Table 2]. Compare product commercialization stage standby power outlet
[표 2] 대기전력차단 콘센트 상용화 제품 비교

Item	JUNGWON POWERCONTROLS	EASYSAVER	PANASONIC ES
Communication method	IR	IR	IR
Control method	Switch, Timer	Switch, Time	Switch, Time
Terminal configuration	1, 3	1, 3	1, 3

이는 가구 등의 장애물에 의한 통신 한계와 사용상의 불편함, 내구성에 대한 실효성의 문제점을 보이고 있어 이를 해결하기 위해 통신 한계를 극복하고 저 전력의 시스템과 지능적인 기능을 수용하기 위해 MCU와 RF의 성능을 향상시켜 Zigbee, Bluetooth, Wi Fi 통신 방식을 이용한 연구가 많이 이루어지고 있다. [표 3]은 최근 스마트 플러그 관련 국내외의 기술 동향을 설명하고 있다.

[Table 3] Smart plug technology trends at home and abroad
[표 3] 스마트 플러그 국내외 기술 동향

Item	Technology Trends	
	Local	Foreign
Interoperable smart plugs Network Technology	IEEE 802.15.4 Bluetooth WiFi	IEEE 802.15.4 Bluetooth, WiFi
Protocol compatible devices	SEP 1.1 et al.	SEP 2.0 BLE, RPL et al.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

초기의 대기전력 차단을 위한 콘센트는 매립형이 아닌 멀티 콘센트 타입의 연구가 주를 이루었다. 멀티 콘센트 타입은 대기전력 차단 멀티 콘센트 내에 Ethernet 스위칭 허브를 내장시켜 통신 포트와 전원인 출구를 일대일로 결합시킨 시스템을 통해 PC와 같은 IP 기반 기기와의 매칭을 통해 특정 PC를 제어할 수 있도록 네트워크 기반의 스마트 플러그 시스템이 연구되었다[9].

또 다른 대기전력 차단 멀티 콘센트의 경우 RFID와 USN 통신을 결합하여 마스터 장치는 RFID 인터페이스 및 무선 통신 모듈을 내장하고, 마스터 장치 1개에 대해 n 개의 슬레이브 장치가 무선으로 연계되며 각각의 슬레이브 장치는 전력제어에 필요한 동작을 독립적으로 수행하는 멀티 콘센트가 연구되었는데 마스터 장치의 RFID 카드의 인증 여부에 따라 슬레이브 장치의 릴레이를 Zigbee 통신을 사용하여 제어한 후에 전원 공급을 차단함으로써 대기전력을 관리하는 시스템이다[10].

이와 같은 멀티 콘센트 형태의 시스템과는 별도로 신축 건물에 적용하기

위한 매립 형 콘센트에 대한 연구도 진행되었다. 매립형 콘센트는 내부에 Embedded 기반의 메인 보드와 마이크로프로세서, 전류 측정 센서가 탑재되어 전력을 측정하고 릴레이를 통해서 제어되고 통신 모듈을 통해서 서버 또는 게이트웨이와 통신을 하는 형태로 구성되어 있다.

초기의 IR 센서를 이용 리모컨을 통해 제어를 하는 방식에서 최근에는 스마트 플러그라는 명칭을 사용하면서 단순 전력 사용량에 대한 모니터링 외에 측정된 데이터를 기반으로 좀 더 능동적인 대처할 수 있도록 시스템을 연구하고 있다.

그러기 위해 콘센트 내부에 Embedded 기반 마이크로프로세서를 탑재하여 전력 측정 및 릴레이 제어를 담당하게 하고 외부에서 전송되는 정보에 대한 처리도 가능하도록 하고 있다. 외부 시스템과의 연계를 위해 IEEE802.15.4 기반 통신을 활용한 센서 네트워크를 구성하여 각 플러그에서 센서를 통해 전류량을 측정하여 홈 게이트웨이 또는 무선 액세스 포인트 장비로 측정 데이터를 전송하면 수집된 정보를 모니터링 할 수 있고 사용자는 원격지에서 각 스마트 플러그를 제어할 수 있는 시스템이 연구되고 있다[11]12].

제주대학교 중앙도서관

그 외에도 일반적으로 마스터 장치와 슬레이브 장치 또는 에이전트(Agent), 서버로 구성된 대기전력 시스템을 구현하여 슬레이브 장치의 릴레이 모듈 제어를 통해 전력 On/Off를 관리한다. 이때, 수동으로 슬레이브 장치의 스위치 조작을 통해 전력을 제어할 수도 있다. 기본적인 통신 방식은 무선 방식의 양방향 통신을 사용하며 TinyOS, NanoQPlus 등의 센서 네트워크 OS를 사용하고 있다.

무선을 통한 전력 사용량 정보를 실시간으로 수집하여 서버에 저장하며 로그 분석을 통해 시스템 관리자에게 정보를 제공하며 관리자가 부재중일 경우 기존 설정된 값을 갖고 대기전력을 제어한다 [13].

이와 같이 대기전력제어 시스템의 주요 기능인 대기전력을 제어하기 위한 방법으로는 관리자에 의한 원격지에서의 전력 On/Off 제어, 콘센트에 설치된 스위치 작동에 의한 전력 On/Off 제어, 설정된 임계치 값에 의한 제어, PIR 센서를 활용하여 사용자의 위치 파악을 통한 제어[14], 스마트폰의 블루투스 기능과 연동하여 사용자의 스마트폰을 이용하여 사용자 위치 판단을 하고,

사용자의 위치에 따라 능동적으로 제어 기술을 개발하고 있다[15].

마지막으로 측정된 전력 사용량 정보에 대해 게이트웨이 또는 IHD(In-Home Display)와의 통신을 통해 모니터링 방법으로는 Web 서비스를 통한 모니터링, 스마트폰을 이용한 모니터링 방법, IHD(In-Home Display)를 활용한 아파트 단지 내 전력 사용량 모니터링 및 제어를 하는 방법이 있다[16].

이처럼 USN 환경에서의 IEEE802.15.4 통신을 통한 전력 제어 시스템 개발이 활발해지면서 최근에는 사물인터넷 환경과 결합한 대기전력 절감 시스템 연구가 진행되고 있다. 이 외에도 단순 스마트 플러그 센싱 정보를 전송하여 제어하는 시스템에서 벗어나 센서 디바이스들의 자동 접속 관리 기술을 추가하여 능동적으로 관리하는 Gateway를 바탕으로 Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth 통신을 지원하여 사물인터넷 환경에 적용 가능하도록 하고 있다[17].

최근에는 이런 스마트 플러그 관련 기술이 발전하면서 단순 전원 제어를 넘어서 지능적인 서비스를 제공하기 위해 그동안 누적된 전력 사용량을 바탕으로 시간별 에너지 사용 패턴 분석을 통해 향후 사용량 분석 및 예측을 통해 사용자에게 전력 사용 분석 정보를 제공하여 효율적인 에너지 관리를 할 수 있도록 하고 있다. 사례를 보면, 전력 사용량이 많은 일주일 데이터를 바탕으로 일별 전력 사용 데이터의 군집 분석을 통해 k-means clustering 기법을 기반으로 월별 전력 사용 데이터의 군집분석을 통한 지능적 전력 사용 모니터링 웹 서비스를 제안하고 있다[18].

제주대학교 중앙도서관

2. SEP(Smart Energy Profile)

Zigbee alliance에서는 주거 및 빌딩 환경에서 에너지 관리를 위해 Zigbee SEP를 발표하였다. 최종 목적은 다양한 제조사에 의해 만들어진 Zigbee 기반 디바이스들의 상호 호환성을 보장하기 위한 표준 인터페이스와 디바이스를 정의하고 있다[19]. Zigbee 스마트 에너지 프로파일은 Zigbee 기반의 에너지 관리 표준이다. [그림 3]과 같이 HAN(Home Are Network) 상에서 에너지의 관리 및 수요반응을 위해 댁내 또는 건물 내 스마트 미터 디바이스 간 무선 통신을 제공하며, 각종 전자제품의 전력 사용량을 IHD(In Home Display)에 Zigbee 통신방식으로 전달하여 IHD 등을 포함하는 가정 기기에 대한 관리를 가능케 하는 규격이다[19]. SEP는 1.x 버전과 2.0 버전이 존재한다. 본 논문에서는 SEP1.x 버전에 기준하여 제안한 시스템에 대해 설명하였다.

[그림 3] Zigbee Smart Energy 구성
[Figure 3] Zigbee Smart Energy Profile

1) SEP 구성

[표 4]와 같이 SEP에서는 8개의 디바이스를 정의하고 있다. Device ID가 0x0500인 ESP는 에너지를 제공하는 업체의 네트워크와 홈 안의 Smart Energy Device와 연결한다. ID가 0x0501인 Metering Device는 Zigbee Device 안에 내장되어 전기, 가스, 수도, 난방 등을 계측하는 기기이다. ID가 0x0502는 IPD(In Premise Device)는 사용자에게 에너지가 소비된 양을 최종 소비자에게 그래픽이나 텍스트 형식으로 보여 주는 기기이다. ID가 0x0503인 PCT는 난방과 냉방 시스템을 제어하는 디바이스다, ID가 0x0504인 Load Control Device는 DR(Demand Response)와 LC(Load Control) 이벤트를 받을 수 있는 디바이스다. ID가 0x0008인 Rang Extender는 다른 Smrat Energy Device들의 라우터로 동작하는 기기이다. ID가 0x0505인 Smart Appliance는 에너지를 관리하는 시스템이다. ID가 0x0506인 Prepayment Terminal은 소비자가 사용한 만큼의 에너지에 대한 비용 결제를 위한 기기이다[19][20]. 스마트 플러그 환경에서는 표준에 따라 각 스마트 플러그 디바이스는 Metering Device로 0x0501 ID를 사용하고 스마트 플러그 데이터를 수집하기 위한 게이트웨이 또는 에너지 서비스 인터페이스 장비는 Energy Service Portal로 0x0500 ID를 사용한다.

[Table 4] Devices Specified in the Smart Energy Profile

[표 4] Smart Energy Profile의 에너지 정의[19]

	Device	Device ID
Generice	Range Extender	0x0008
Smart Energy	Energy Service Portal(ESP)	0x0500
	Metering Device	0x0501
	In Premise Display(IDP)	0x0502
	Programmable Communicating Thermostat(PCT)	0x0503
	Load Control Device	0x0504
	Smart Appliance	0x0505
	Prepayment Terminal	0x0506
	Reserved	0x0507~0x5FF

스마트 에너지 시스템의 구성은 크게 서버-클라이언트 모델로 구현된다. 스마트 플러그에서 사용되는 기본적인 클러스터를 제외한 SEP를 위한 클러스터는 [표 5]와 같이 구분된다.

[Table 5] Clusters Used in the Smart Energy Profile
[표 5] Smart Energy Profile을 위한 Zigbee Cluster[19]

	Cluster Name	Cluster ID
Smart Energy	Price	0x0700
	Demand Response and Load	0x0701
	Metering	0x0702
	Messaging	0x0703
	Smart Energy Tunneling	0x0704
	Prepayment	0x0705

Demand Response and Load Cluster는 부하제어를 위한 명령 이벤트와 속성을 가지고 있고 ESP와 LCD에 반드시 포함되는 Cluster이다. Metering Cluster의 경우는 소모되는 에너지를 측정한 데이터를 요청하고는 이벤트와 데이터 속성 테이블을 포함하고 있다. 그 외에 Price는 유틸리티 회사로부터 전달받은 다양한 에너지원의 가격을 송신과 수신하기 위한 명령 이벤트와 속성을 제공하고, Messaging Cluster는 Zigbee SEP Deivce끼리 텍스트 메시지를 교환하기 위해서 사용된다. 각 클러스터는 각자에 필요한 이벤트 명령 세트와 속성 세트를 포함하고 있고 모든 클러스터가 SEP 디바이스에 사용되는 것은 아니다. 예를 들어, Load Control Device는 Demand Response and Load Cluster를 가지고 있고, Metering Cluster를 가지고 있지 않다. 이는 Load Control Device에서 Metering Device가 수행할 수 있는 일을 할 수 없다는 뜻이며, 이는 각각의 디바이스가 만들어져야 함을 나타낸다[19][21].

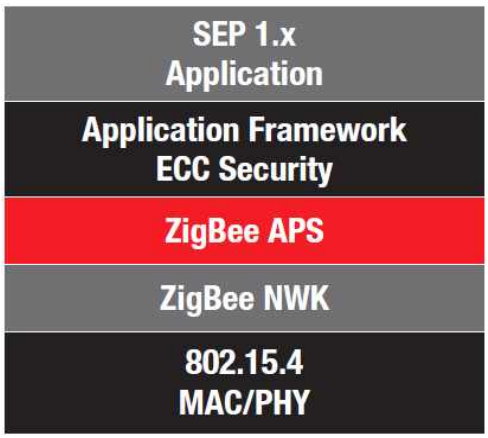
2) SEP 데이터 통신

(1) SEP 규격

SEP1.x 규격은 [그림 4]와 같이 IEEE 802.15.4 기반의 네트워킹을 위한

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

애플리케이션 프로토콜인 Zigbee PRo Stack에 기반하여 만들어졌다. 프로토콜 계층은 물리 계층과 MAC 계층의 IEEE802.15.4와 라우팅 프로토콜이 정의된 네트워크 계층, 네트워크 계층과 응용 계층의 연계를 위한 응용 지원 하부 계층으로 구성된다[19].

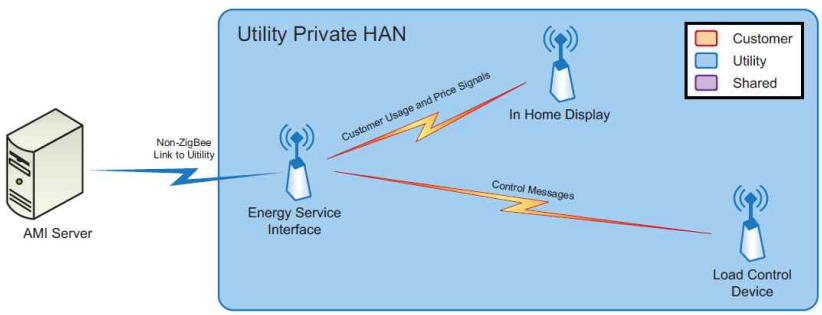


[그림 4] SEP1.x Stack
[Figue 4] Smart Energy Profile 1.x Stack

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

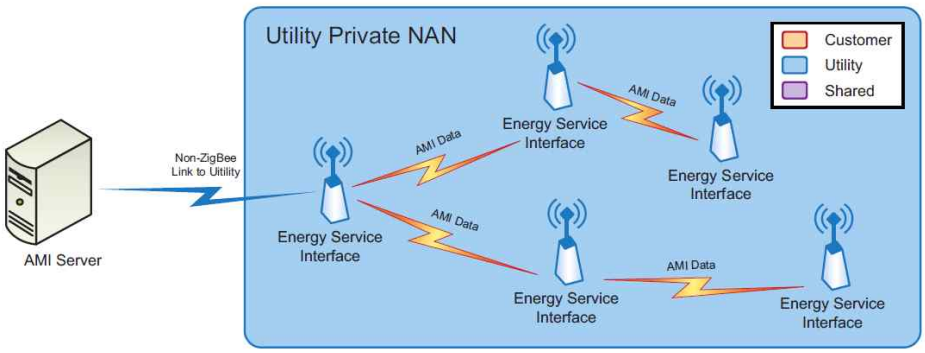
(2) SEP Network 구조

아래 [그림 5, 6, 7]은 각 HAN, NAN 통신망에서의 Zigbee Smart Network 구조를 보여주고 있다. [그림 5]와 같이 유틸리티용 사설 HAN은 IHD(In-Home Display)를 포함할 수 있으며, 에너지 서비스 포탈(ESP)과 연동하여 부하제어 장치들이 작동하지만, 임의의 고객용 제어 장치를 포함하지 않는다[19].



[그림 5] 유틸리티용 사설 HAN [19]
[Figure 5] Utility Private HAN

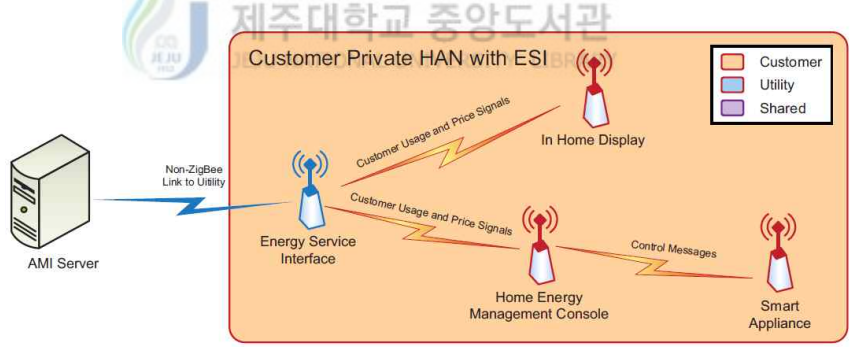
[그림 6]과 같이 유틸리티용 사설 Zigbee Network는 스마트 에너지 배치를 위한 최소의 통신을 제공하는 Zigbee NAN으로 이용할 수 있다[19].



[그림 6] 유틸리티용 사설 NAN [19]
[Figure 6] Utility Private NAN

[그림 7]과 같이 유틸리티에 의해 제공되는 ESP는 로컬 장치의 제어 및 운송을 위한 에너지 관리 콘솔로 활용되는 고객용 HAN 네트워크에서 정보 제공자로서의 제한적 역할을 수행한다[19].

제주대학교 중앙도서관

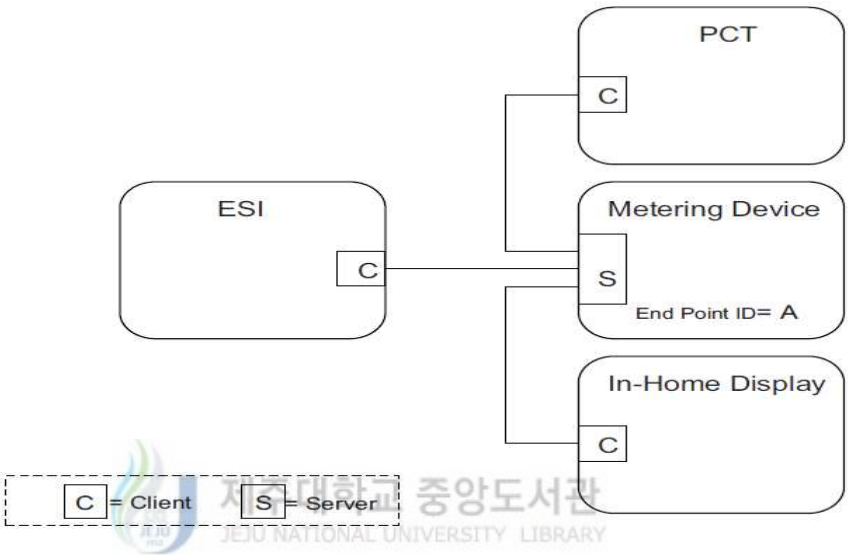


[그림 7] 고객용 사설 HAN[19]
[Figure 7] Customer Private HAN

(3) Zigbee Cluster Library

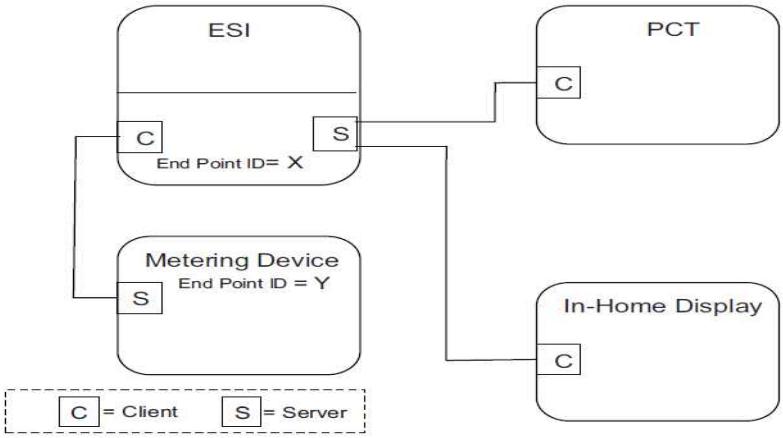
SEP는 앞서 확인한 [표 5]와 같이 ZCL(Zigbee Cluster Library)에 지정된 클러스터의 일부를 활용한다. SEP가 지원하는 클러스터 중 본 논문에서 제안하는 시스템과 가장 밀접한 관계가 있는 Metering Cluster와 Demand Response and Load Cluster, Messaging Cluster, Price Cluster

에 대해 살펴본다. Metering Cluster의 경우 전기, 가스, 물, 열 계량 디바이스의 사용정보를 검색하는 매커니즘을 제공한다. Metering Cluster는 일정한 수의 제한적인 계량 정보 유형만을 사용하면서도 유연성을 제공하도록 설계되었다[5]. 아래 [그림 8, 9, 10]은 Metering Cluster를 활용한 세 가지 형태의 예를 보여주고 있다. [그림 8]에서와 같이 계량 디바이스는 Metering Cluster 서버를 통해 제공된 정보의 송신지이다.[19]



[그림 8] 전원이 연결된 계량 디바이스가 포함된 독립형 ESP 모델[19]
[Figure 8] Standalone ESI Model with Mains Powered Metering Device

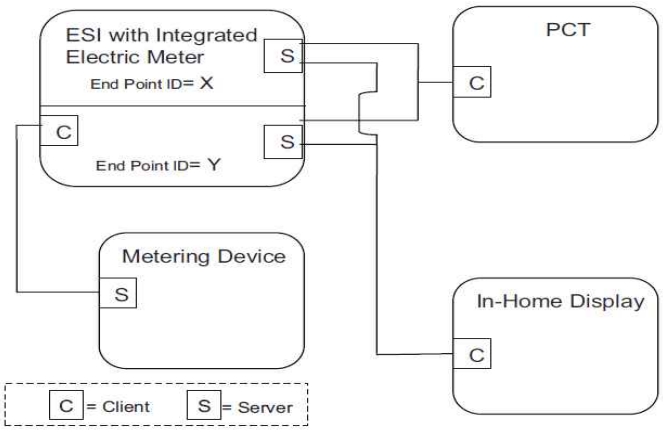
[그림 9]에서와 같이 계량 디바이스는 전지 전원으로 구동되며 정보를 제공하는 duty cycle은 알려져 있지 않다. ESP는 계량 디바이스 데이터에 대하여 mirrored image나 mailbox처럼 행동할 것으로 기대되므로 다른 스마트 에너지 디바이스는 계량 디바이스의 데이터에 접근할 수 있다[19].



[그림 9] 전기 동작식 계량 디바이스가 포함된 독립형 ESP 모델[19]
[Figure 9] Standalone ESI Model with Battery Powered Metering Device

[그림 10]은 [그림 9]의 예와 유사하게 외부 계량 기기가 전지에서 구동되며 정보를 제공하기 위한 duty cycle이 알려져 있지 않다. ESP는 외부 계량기기 데이터에 대하여 클라이언트 측 mailbox처럼 행동할 것으로 예상되며, 다른 스마트 에너지 디바이스들이 계량기의 데이터에 접근할 수 있을 것이다. ESP에는 Metering Cluster를 통해 정보를 전송하는 내장된 계량기가 포함될 수 있으므로 각 디바이스는 독립적인 EndPoint ID를 통해 이용할 수 있게 된다[19].

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



[그림 10] 측정 디바이스가 내장된 ESP 모델[19]
[Figure 10] ESI Model with Integrated Metering Device

위의 예([그림 9, 10])에서 ESP는 Attribute Reads를 실행하고 GetProfile 명령을 사용하여 계량기가 깨어날 때마다 최신 정보를 수신할 것이다. 정보가 수신되면 ESP는 mailbox([그림 9, 10]에서 EndPoint ID Y)를 업데이트하여 가용한 최신 데이터를 반영한다[19].

다음 [표 6]은 전기, 가스, 수도 계량 디바이스 정보 읽기에 대한 원격 접근을 제공한다. 정보 읽기는 전달된 양(kWh, m^3, ft^3, ccf, US gl)의 실제 총합이 되는 적어도 하나의 레지스터를 지원해야 한다[19].

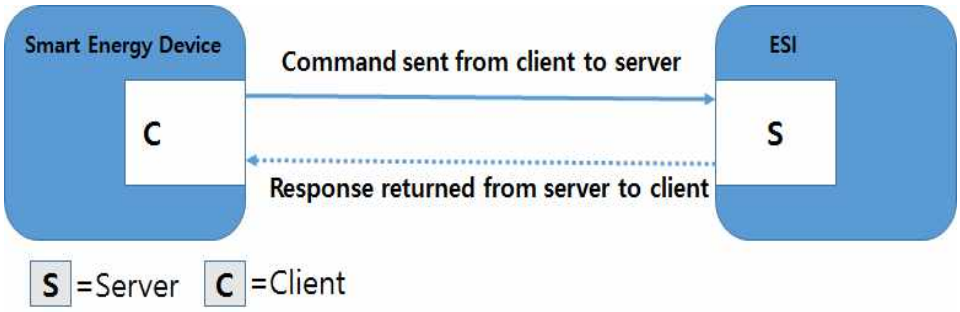
[Table 6] Reading Information Attribute Set

[표 6] 읽기 정보 속성 집합

Identifier	Name	Type	Default
0x00	CurrentSummationDelivered	unsigned 48-bit Integer	-
0x01	CurrentSummationReceived	unsigned 48-bit Integer	-
0x02	CurrentMaxDemandDelivered	unsigned 48-bit Integer	-
0x03	CurrentMaxDemandReceived	unsigned 48-bit Integer	-
0x04	DFTSummation	unsigned 48-bit Integer	-
0x05	Daily Freeze Time	unsigned 16-bit Integer	0x000
0x06	PowerFactor	Signed 8-bit Integer	0x00
0x07	ReadingSnapShotTime	UTCTime	-
0x08	CurrentMaxDemandDeliveredTime	UTCTime	-
0x09	CurrentMaxDemandReceivedTime	UTCTime	-
0x0A	DefaultUpdatePeriod	unsigned 8-bit Integer	0x1E
0x0B	FastPollUpdatePeriod	unsigned 8-bit Integer	0x05
0x0C	CurrentBlockPeriodConsumption Delivered	unsigned 48-bit Integer	-
0x0D	DailyConsumptionTarget	unsigned 24-bit Integer	-
0x0E	CurrentBlock	8-bit Enumeration	-
0x0F	ProfileIntervalPeriod	8-bit Enumeration	-
0x10	IntervalReadReportingPeriod	unsigned 16-bit Integer	0
0x11	PresetReading Time	unsigned 16-bit Integer	0x0000
0x12	VolumePerReport	unsigned 16-bit Integer	-
0x13	FlowRestriction	unsigned 8-bit Integer	-
0x14	Supply Status	8-bit BitMap	-
0x15	CurrentInletEnergyCarrierSummation	unsigned 48-bit Integer	-
0x16	CurrentOutletEnergyCarrierSummation	unsigned 48-bit Integer	-
0x17	InletTemperature	signed 16-bit Integer	-
0x18	OutletTemperature	signed 16-bit Integer	-
0x19	ControlTemperature	signed 16-bit Integer	-
0x1A	CurrentInletEnergyCarrierDemand	signed 24-bit Integer	-
0x1B	CurrentOutletEnergyCarrierDemand	signed 24-bit Integer	-
0x1C to 0xFF	Revered		-

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

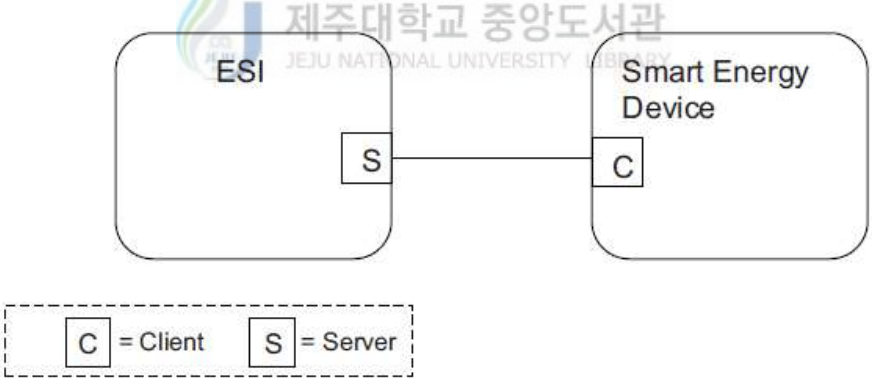
Demand Response and Load Control Cluster는 [그림11]과 같이 스마트 에너지 수요 반응과 부하 제어 기능에 대한 서버/클라이언트 인터페이스를 제공한다.



[그림 11] 서버와 클라이언트 간 수요반응/제어 클러스터 구성
[Figure 11] Demand Response/Load Control Cluster Client Server Example

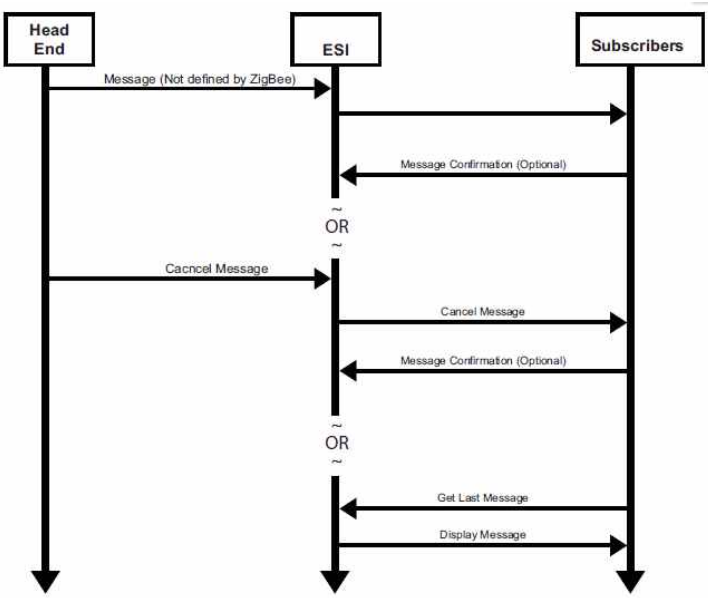
Messaging Cluster는 [그림 12]와 같이 Zigbee Devices 사이에 Text 메시지를 통과시키는 인터페이스를 제공한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



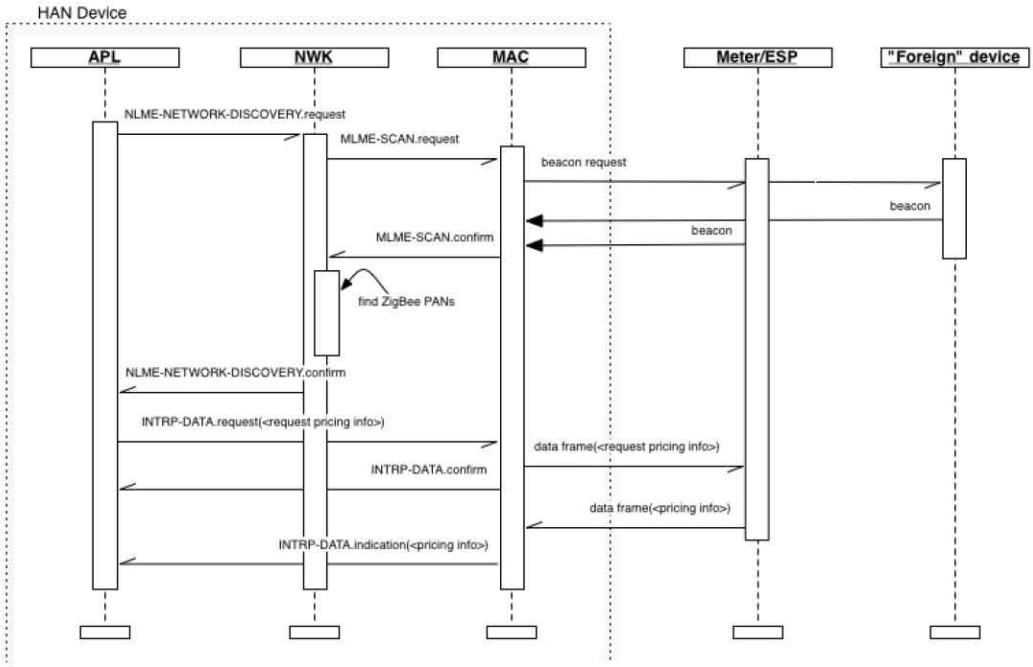
[그림 12] 클라이언트 서버의 예
[Figure 12] Messaging Cluster Clinet/Server Example

메시지는 ESP를 통해 전송되어 Zigbee Network에서 Messaging 클러스터를 실행한 모든 개별 등록된 Device에 유니 캐스트로 전송되거나, 추후 모든 디바이스가 픽업할 수 있도록 가용 상태로 만들 수 있도록 한다[19]. 클라이언트 서버 간 메시지 교환 방법은 [그림 13]과 같다.



[그림 13] 클라이언트/서버 메시지 명령 교환
[Figure 13] Client/Server Message Command Example

Price Cluster는 댁내의 가스,에너지, 물 요금 정보에 대한 통신 메커니즘을 제공한다. 이 요금 정보는 유틸리티로부터 혹은 지역 에너지 공급자로부터 ESP로 배포된다. ESP는 정보를 스마트 에너지 디바이스에 안전한 방법으로 전송하거나, 혹은 선택적으로 익명을 사용해서 스마트 에너지 네트워크에 포함되지 않은 매우 간단한 디바이스에게 보안되지 않은 방법으로 전송한다[19]. 익명의 정보를 전송하는 메커니즘은 [그림 14]와 같다.



[그림 14] Inter-PAN의 일반적인 사용

[Figure 14] Inter-PAN Typical Usage

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Price Cluster를 구성하는 속성은 [표 7]과 같다.

[Table 7] Price Cluster Attribute Sets

[표 7] Price Cluster 속성 구성

Identifier	Description
0x00	Tier Label
0x01	Block Threshold
0x02	Block Period
0x03	Commondity
0x04	Block Price Information
0x05 to 0xFF	Reserved

Price Cluster 속성을 기반으로 서버 Price Cluster 속성과 수신된 명령은 [표 8, 9]와 같다[19].

[Table 8] Price Cluster Server Attribute Sets

[표 8] Price Clusters 서버 속성

Identifier	Name	Type	Default
0x0000	Tier1PriceLabel	Octet String	“Tier 1”
0x0001	Tier2PriceLabel	Octet String	“Tier 2”
0x0002	Tier3PriceLabel	Octet String	“Tier 3”
0x0003	Tier4PriceLabel	Octet String	“Tier 4”
0x0004	Tier5PriceLabel	Octet String	“Tier 5”
0x0005	Tier6PriceLabel	Octet String	“Tier 6”
0x0006 ~ 0xFFFF	Reversed		

[Table 9] Received Command IDs for the Price Cluster

[표 9] Price Clusters 가 수신한 명령 ID

Identifier	Description
0x00	Get Current Price
0x01	Get Scheduled Prices
0x02 ~ 0xff	Reversed

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

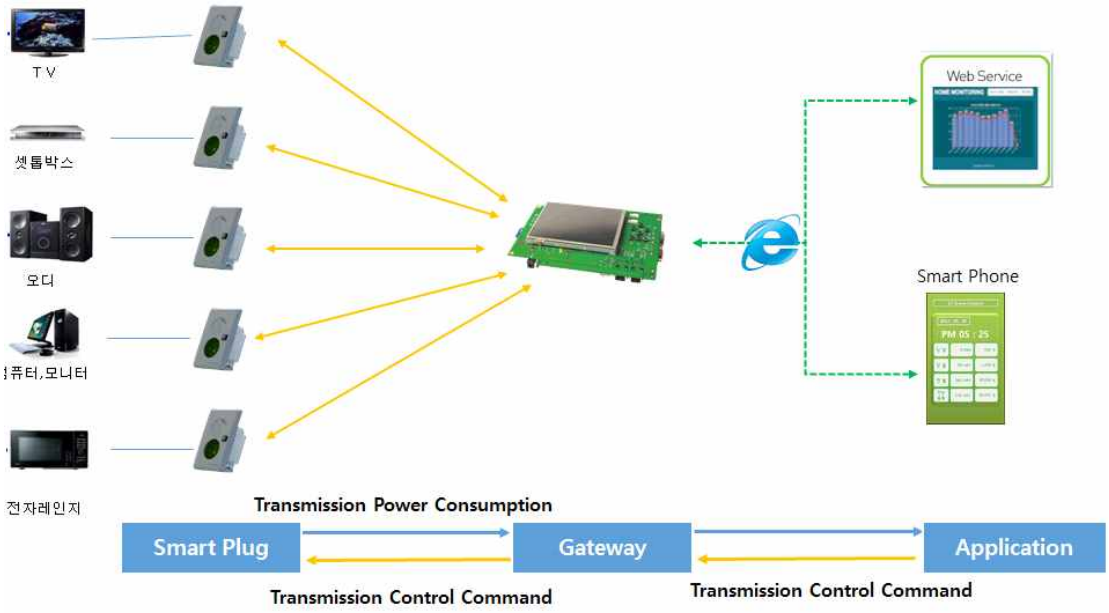
Ⅲ. 확장된 스마트 플러그 시스템 설계

1. 스마트 플러그 시스템 구성

본 논문에서 제안하고자 하는 시스템은 각 스마트 플러그에 연결된 전자제품의 순시 전력, 누적 전력량, 전압, 전류, 역률 정보를 2.4GHz 대역의 IEEE802.15.4 기반 통신으로 게이트웨이로 전송한다. 이때 전송되는 정보는 SEP 프로토콜에 맞게 패킷을 생성하여 게이트웨이로 전송한다. 게이트웨이는 수신된 패킷을 분석하고 자체 데이터베이스로 저장하며 내장된 웹서비스를 통해서 모니터링 정보를 제공하거나 외부 서버로 XML 서비스를 지원하여 원격지에서 전력 사용량 정보를 확인할 수 있도록 한다. 각 스마트 플러그의 제어는 네 가지 방법으로 가능하다. 첫째 스마트 플러그 전면의 버튼을 통해 전원 On/Off 제어가 가능하다. 둘째 미들웨어에 설정된 대기전력 기준 값을 이용하여 2분 30초간 기준 값 이하의 소비전력을 유지할 경우 전원을 차단하도록 명령을 보내 제어한다. 셋째 원격지에서 사용자의 액션에 의해 각 플러그의 전원 On/Off가 제어될 수 있도록 한다. 넷째 각 스마트 플러그에 연결된 전자제품의 소비전력 패턴을 분석 사용 여부를 판단하여 미들웨어에서 자동 제어 명령을 전송한다. 이외에도 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신이 이루어지지 않을 경우 스마트 플러그 내부 저장 공간에 측정된 값을 저장한 후 통신이 재개되면 일괄 전송하고 기존 저장된 값은 삭제 처리하도록 구성한다. 또한 미들웨어는 연결된 스마트 플러그에서 전송되는 정보를 기반으로 아날로그 센서가 측정 가능한 범위를 벗어나는 값이나 특정 값이 전송되면 재전송을 요청하여 이상 징후가 보이면 해당 스마트 플러그의 센서에 대해 고장 판단을 하도록 한다. 그리고 게이트웨이 내부 시스템을 감시하여 스마트 플러그와의 통신, 게이트웨이 통신 모듈과 시리얼 통신 장애 또는 내부 프로세스 오류로 인한 교착(Deadlock) 상태에 빠질 경우 전체 시스템을 Reset 하여 장애 상황에 대처하도록 구성하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

[그림 15]는 본 논문에서 제안하는 스마트 플러그 시스템 구성을 보여주고 있다.



[그림 15]전체 시스템 Block Diagram
[Figure 15] Block Diagram of Smart Plug System

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

스마트 플러그와 게이트웨이의 요구 기능은 다음과 같다.

① 스마트 플러그 기능

- 순시 전력, 누적 전력량, 전압, 전류, 역률 정보, 온도 정보 측정
- 1분 단위 측정 정보 게이트웨이로 전송
- 자체적으로 소비전력 정보를 확인하여 설정된 대기전력 기준 값과 비교하여 이하의 소비전력을 2분 30초간 유지할 경우 자동 전원 Off
- 게이트웨이와의 통신이 이루어지지 않을 경우 측정된 정보는 내부 저장 공간에 저장 후 통신 재개 후 일괄 재전송 후 저장 파일 삭제
- 외부 명령에 대한 실행

② 게이트웨이 기능

- 스마트 플러그에서 전송되는 측정 정보를 분석하여 Database 저장 및

외부 서버로 전송

- 전송된 정보를 분석 후 게이트웨이에 저장된 대기전력 기준 값과 비교하여 설정 값 이하의 소비전력을 2분 30초간 유지할 경우 해당 스마트 플러그에 전원 Off 명령 전송
- 각 스마트 플러그로 대기전력 모드, 대기전력 기준 값 정보 전송
- 각 스마트플러그에 해당하는 설정된 스케줄 정보에 따라 전원 On/Off 명령을 각 스마트 플러그로 전송
- 전송된 패킷 정보를 분석 후 전력 측정값에 0xffff 값을 유지할 경우 센서 고장 유무 판단하여 알람
- 게이트웨이에 부착된 통신 모듈과 시리얼 통신 불량이 5분간 지속될 경우 시스템 Reset 기능을 통해 재부팅 후 통신 초기화
- 전송된 패킷 정보를 분석하여 현재 각 스마트 플러그별 연결된 전자제품의 대기전력 값을 자동 감지하여 제품을 사용 중이지 않을 경우 자동 전원 Off 명령 전달

제주대학교 중앙도서관

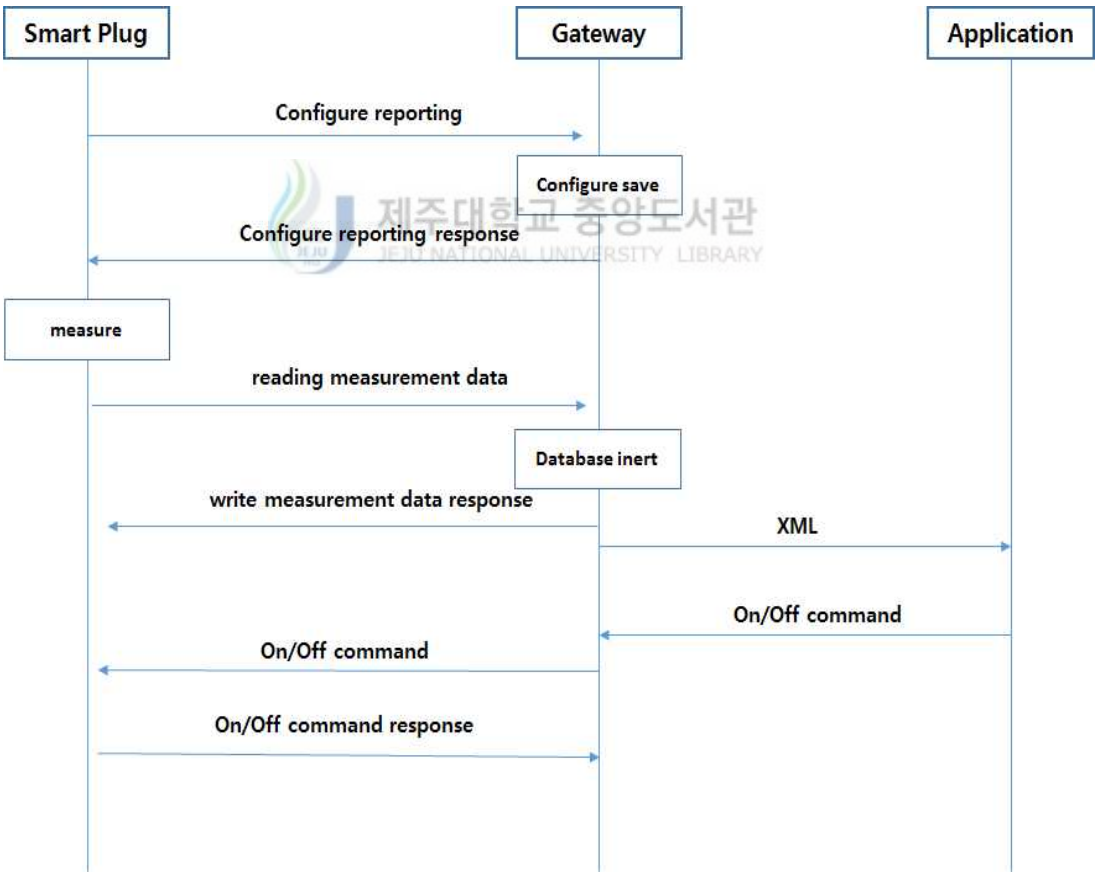
③ 스마트 플러그 On 상태일 경우 Off 시나리오

- 스마트 플러그 대기전력 모드가 Off 일 경우 상시 전원용으로 판단하여 전원 Off 불가능
- 스마트 플러그 대기전력 모드가 Off 일 경우 대기전력 모드 On 명령 전송
- 자체 소비전력을 감지하여 설정된 대기전력 기준 값과 비교하여 이하일 경우 2분 30초 후 Off
- 외부 명령에 의해 Off
- 스마트 플러그 외부 버튼을 통해 Off

④ 스마트 플러그 Off 상태일 경우 On 시나리오

- 외부 명령에 의해 On
- 스마트 플러그 외부 버튼을 통해 On

위에서 정의된 요구 사항과 같이 본 논문에서 제안하는 시스템은 [그림 16]의 메시지 구조와 같이 스마트 플러그에서의 동작과 게이트웨이에서의 동작으로 구분된다. 스마트 플러그에서는 최초로 게이트웨이와 통신을 하면서 자신의 정보를 보낸다. 게이트웨이는 수신된 스마트 플러그의 정보를 저장하여 디바이스 관리를 시작한다. 이후부터 스마트 플러그에서 전송되는 정보를 받으면 수신됐다는 메시지를 해당 스마트 플러그로 전송한 후 수신된 정보를 Database에 저장한다. 저장된 정보를 외부로 모니터링을 지원한다. 외부의 명령 또는 미들웨어 자체적으로 이벤트를 발생하여 각 스마트 플러그로 명령 정보를 전송한다. 스마트 플러그는 외부에서 수신된 이벤트 정보를 기반으로 해당 액션을 취한다.



[그림 16] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 메시지 순서도

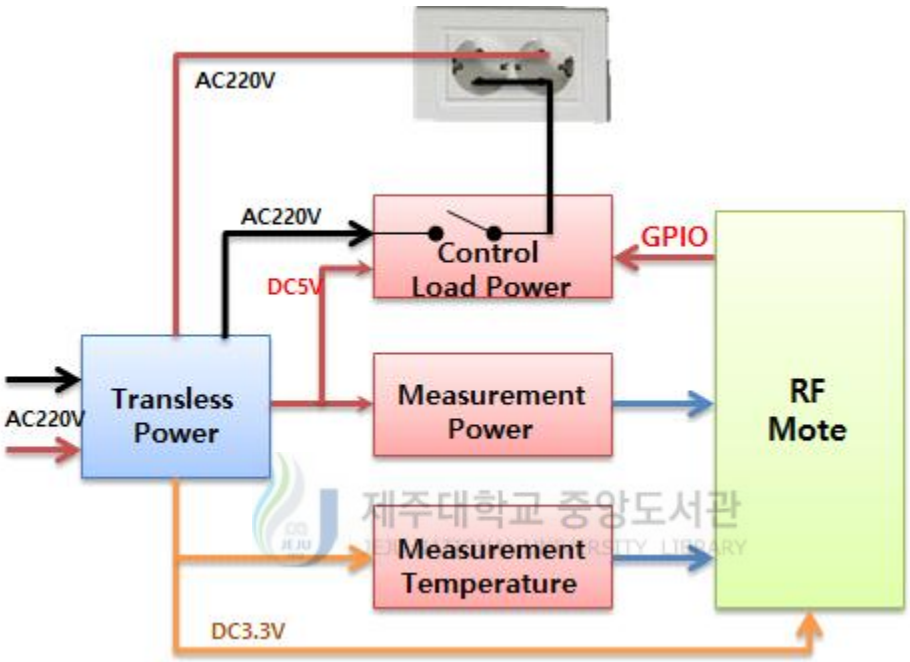
[Figure 16] Message flow diagram of between Smart Plug and Gateway

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 스마트 플러그 설계

1) 스마트 플러그 하드웨어

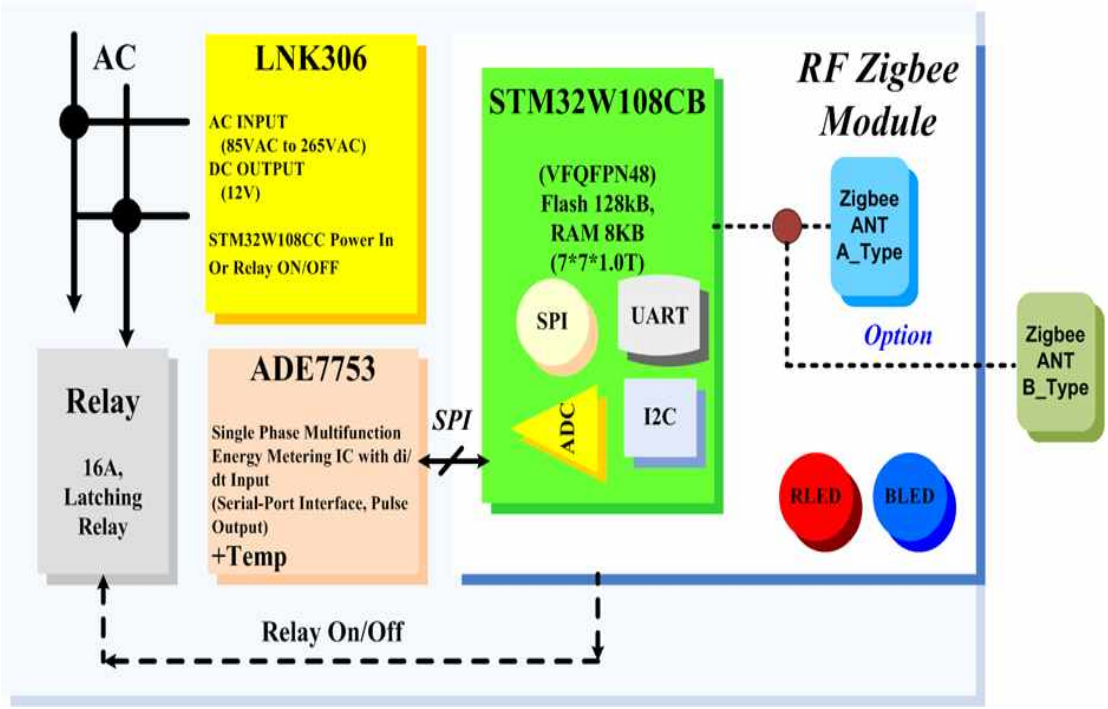
스마트 플러그의 하드웨어는 [그림 17]과 같이 크게 전력 측정 부, 부하 전원 제어 부, 무선 송수신부로 정의된다.



[그림 17] 스마트 플러그 하드웨어 설계

[Figure 17] Design of Smart Plug Hardware

전력 측정부와 부하 전원 제어 부는 ADE7753 센서를 통해 부하에서 소비되는 전력량을 측정하고 Relay를 사용하여 부하에 공급되는 전원을 제어하도록 하였다. [그림 18]]과 같이 AC-DC 레귤레이터 LNK306과 Current, Voltage, Energy Value, Temperature 측정을 위해 단상전력측정 칩인 ADE7753을 사용하였다.



[그림 18] 스마트 플러그 하드웨어 Block Diagram

[Figure 18] Block Diagram of Smart Plug Hardware

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

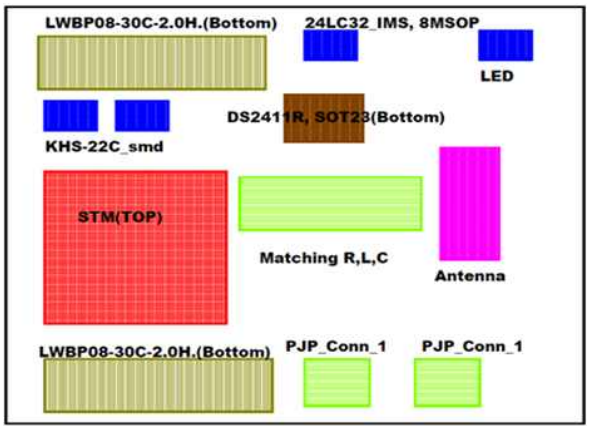
무선 송수신부는 STMicroelectronics社의 MCU와 RF 모듈이 통합된 One-chip 형태의 IEEE802.15.4 지원 가능한 32-bit ARM Cortex-M3 기반 STM32W108cb 칩으로 구성하였다. [표 10]는 본 논문에서 사용된 STM32W108 Chip에 대한 사양에 대한 설명이다.

[Table 10] STM32W108 Specificaton

[표 10] STM32W108 사양

구분	STM32W108CB
MCU	STM32W108CB 32bit Cortex M3
Memory	128kbyte Flash, 8Kbyte RAM
Frequency	6,12,24MHz
Interface	Flexible ADC, SPI/UART/I2C serial
Other Integrated Peripherais	32bit processing

[그림 19]은 무선 송수신부에 구성을 보여주고 있다. 무선 송수신부는 스마트 플러그나 게이트웨이에 포함된 형태가 아닌 LWBP08을 통해 통신 모듈에 대해 탈부착이 가능한 형태로 설계하였다. 스마트 플러그 또는 게이트웨이와 통신 모듈을 분리함으로써 프로그램 업데이트의 편의성과 확정성을 고려하였다.

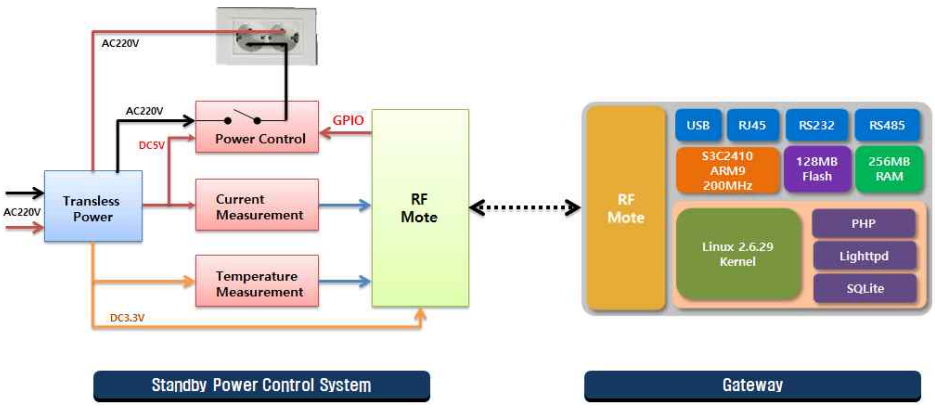


[그림 19] 무선 송신부 Block Diagram

[Figure 19] Block Diagram of RF Transceiver

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신을 지원하기 위해 [그림 20]과 같이 앞서 설계된 무선 송수신 모듈을 양쪽에 부착하여 통신이 이루어지도록 하였다.

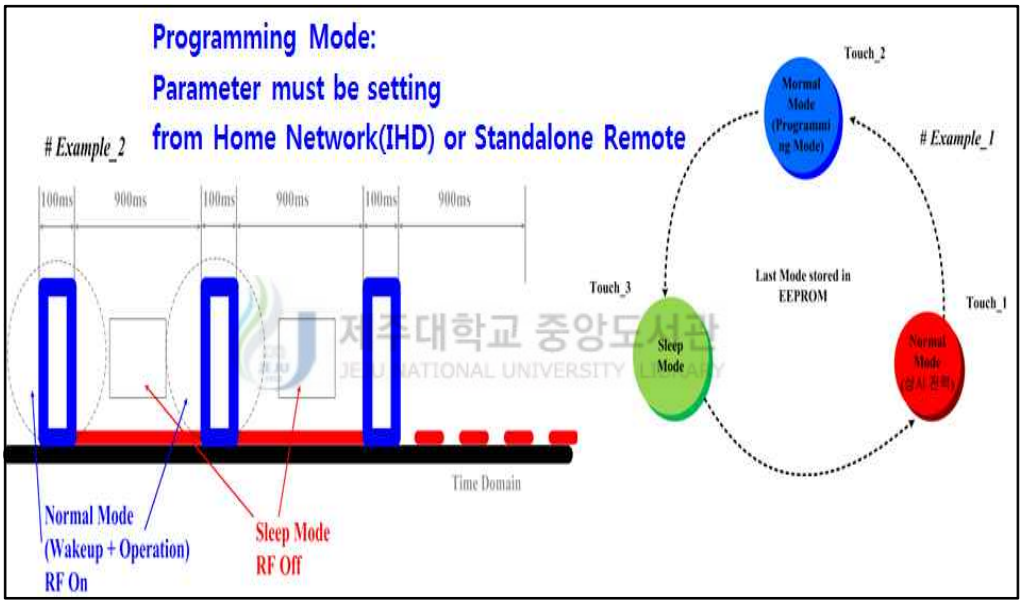


[그림 20] 센서 네트워크 구성도

[Figure 20] Diagram of Sensor Network

2) 전력 측정부

[그림 21]과 같이 무 부하 시 최소 전력을 소모하는 IC를 사용하여 무선 전송에 최소량의 전력 소모만을 사용하여 작동하도록 구성하며, 단상 전력 측정 칩인 ADE7753을 기반으로 클램프식의 전류 평형과 잔류자속밀도를 '0'이 되게 유지, 도선에 전류가 흘러 발생하는 자장을 검출하는 자기보상방식을 채택하여 교류 전류를 정확하게 측정할 수 있도록 하였으며, Setting 하는 전력량에 따라 기본 3W 이하로 2분 30초 또는 3분간 유지될 경우 자동 Relay 차단 가능하도록 절전 기능을 설정하였다.



[그림 21] 스마트 플러그 저전력 설계

[Figure 21] Design of Smart Plug Low Power

측정 방법은 다음과 같다.

- Voltage ADC Register 24bit Reading
- Current ADC Register 24bit Reading
- Energy Register 24bit Reading
- Offset Setting
- Reading Value +/- Offset Value
- Real Energy, Current, Voltage Measurement

3) SEP 기반 데이터 송수신부

본 논문에서는 스마트 플러그 표준 준수를 위해 표준에서 요구되는 부분을 적용하기 위해 설계하였다. 스마트 플러그는 ADE7753 센서에서 측정된 값을 SEP 표준에 준수하여 패킷을 생성하고 게이트웨이로 통신을 시도한다. 게이트웨이는 전송 받은 패킷을 분석 저장하고 스마트 플러그로 응답 메시지를 보낸다. 스마트 플러그는 게이트웨이로부터 응답 신호가 오면 패킷 전송이 성공한 것으로 판단한다.

스마트 플러그에서는 측정된 값을 [표 11, 12]와 같이 SEP1.x 표준의 Zigbee Metering Cluster와 Zigbee Electrical Measurement Cluster를 준수하여 패킷을 생성하고 전송한다. 게이트웨이로부터 전송되는 정보에 대해서도 패킷을 분석하여 전원 On, 전원 Off, 대기전력 모드 On, 대기전력 모드 Off, 대기전력 설정값 등에 대한 명령을 구분하여 적용한다. 스마트 플러그에서 게이트웨이로 전송하는 기본 정보는 스마트 플러그의 ID 정보, 순시 전력(W), 누적 전력량(Wh), 전압(Vrms), 전류(lrms), 역률(PF) 정보를 전송한다.

[표 11] Zigbee Metering Cluster

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Current Summation Delivered	Status	Unit of Measure	Multiplier	Divisor
48bit integer	8bit	8bit	24bit	24bit
Summation Formating	Metering Device Type			
8bit	8bit			

[표 12] Zigbee Electrical Measurement Cluster

Measurement Type	RMS Voltage	RMS Current	Active Power	Power Factor	AC Voltage Multiplier
32bit	16bit	16bit	16bit	8bit	16bit
AC Voltage Divisor	AC Current Multiplier	AC Current Divisor	AC Power Multiplier	AC Power Divisor	
16bit	16bit	16bit	16bit	16bit	

게이트웨이에서 전송되는 정보에 대해서 스마트 플러그에서도 패킷을 분석하여 해당 정보를 업데이트한다. 게이트웨이에서는 해당 스마트 플러그의

On/Off 제어 정보, 대기전력 설정 On/Off 정보, 대기전력 기준 값 정보를 보내게 되면 스마트 플러그는 해당 정보를 분석하여 각각의 값을 재설정 한다.

4) 게이트웨이와 통신 장애 처리

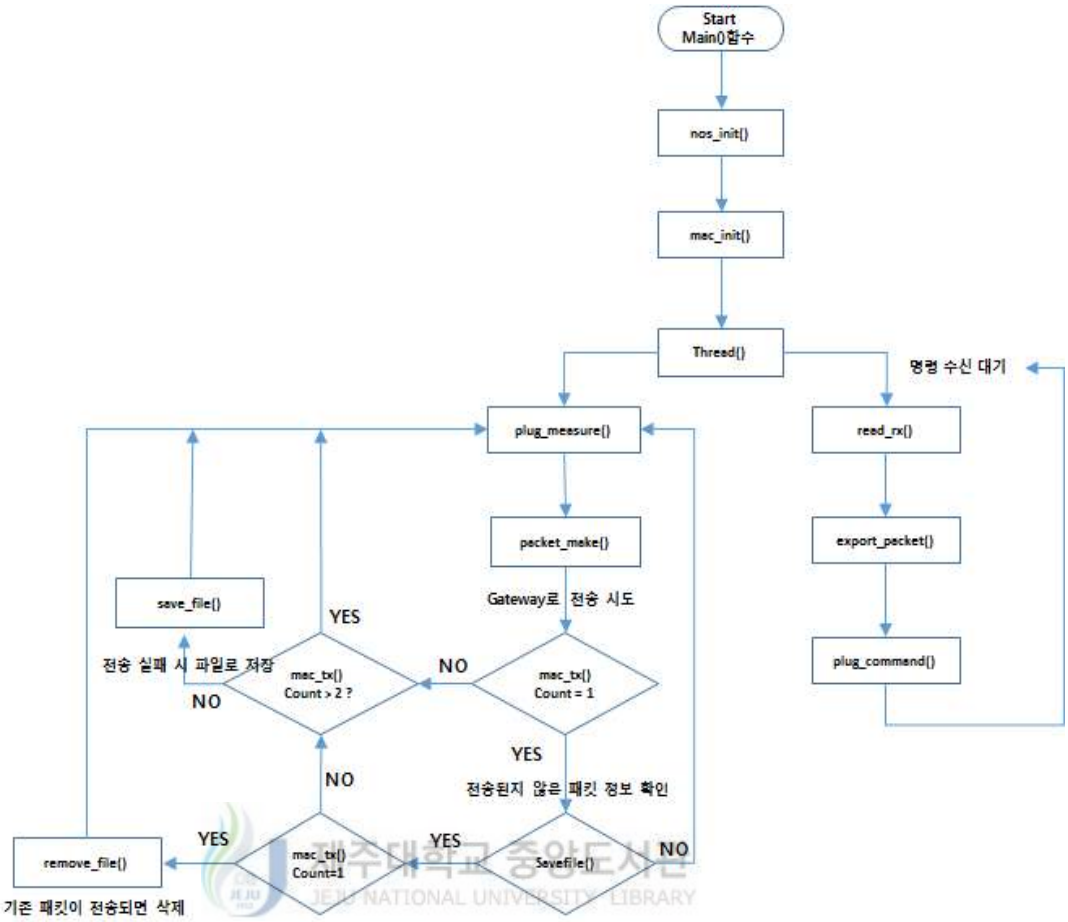
본 논문에서 제안하는 시스템은 스마트 플러그에서의 동작과 게이트웨이에서의 동작으로 구분된다. 스마트 플러그에서는 기본적으로 센서를 통해 전력 사용량을 측정하고 표준에 맞게 패킷을 생성하여 2.4GHz 대역의 IEEE802.15.4 기반 통신을 활용 게이트웨이로 데이터를 전송한다. 외부의 전력 On/Off 명령 외에 스마트 플러그 자체적으로 전력량을 감시하여 현재의 전력 소모량이 설정된 대기전력 기준 값 보다 이하인 경우가 2분가 지속될 경우 현재 연결된 전자제품이 사용 중이지 않은 것으로 판단하여 자동으로 전원을 차단한다.

이와 같이 스마트 플러그와 게이트웨이 간 IEEE802.15.4 기반 통신의 경우 ISM 대역(Industrial Scientific and Medical Band)을 사용하는 근거리 통신의 경우 무선 랜이나 Bluetooth 등의 다른 이종 시스템에 의한 간섭으로 통신 장애를 받을 수 있다. 또는 게이트웨이 내부 교착(Deadlock) 상태에 따라 통신이 이루어지지 않을 경우가 발생한다. 이런 통신 장애에 대처하기 위해 WiFi 트래픽의 간섭을 피해 새로운 채널을 탐색하여 통신 가능한 채널을 선택할 수 있도록 하여 통신 장애를 극복하는 방법도 연구 중이다.

본 논문에서는 통신 장애 발생 시 측정된 데이터가 유실되지 않도록 스마트 플러그 내부에 저장한 뒤 통신이 정상으로 될 때 일괄 재전송하는 방법을 제안하고자 한다.

스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신은 요청/응답 메시지 전송을 기본으로 한다. 스마트 플러그에서 측정 데이터를 게이트웨이로 송신 하면 게이트웨이는 수신된 정보를 저장하고 응답 메시지를 해당 스마트 플러그로 송신하여야 한다. 이때 발생하는 송수신 정보를 기반으로 통신 장애 상황을 판단하고 대처하도록 하는데 이에 따른 처리 절차는 [그림 22]와 같다.

제주대학교 중앙도서관



[그림 22] 통신 장애 처리 Flow Chart

[Figure 22] Flowchart of Communication failure

[그림 22]의 통신 장애 처리 과정은 다음과 같다.

① 스마트플러그는 센서를 통해 측정된 데이터를 기반으로 패킷을 생성한다.

② 패킷 생성 후 게이트웨이로 1차 전송을 시도한다.

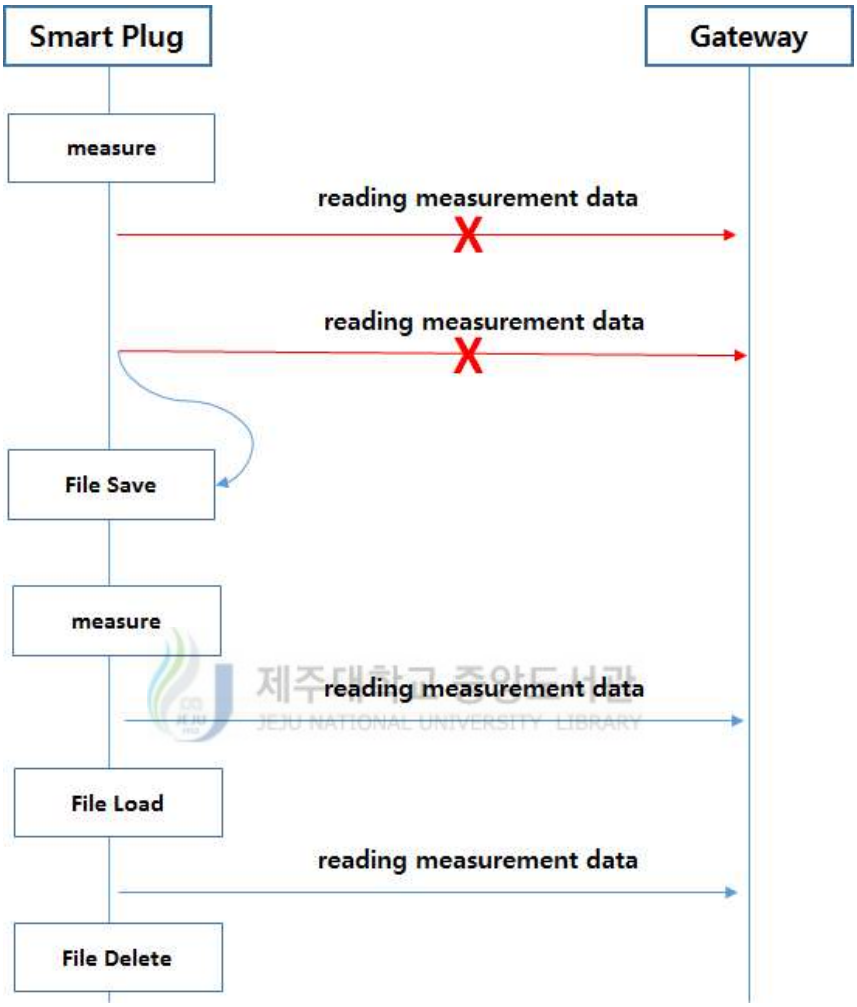
③ 게이트웨이와의 통신이 성공할 경우 저장된 파일이 있는지 확인 후 파일이 존재하면 파일 내의 누적 전력 정보를 전송한다.

④ 게이트웨이로 데이터 전송 후 응답 메시지가 없으면 재전송을 시도한다.

⑤ 게이트웨이로 재전송 시도 후에도 응답이 없을 경우 측정데이터를 저장한다.

⑥ 1분 후 다음 소비전력 측정 후 전송 때 게이트웨이로부터 응답 메시지가 있으면 현재 소비 전력을 전송 후 저장된 누적 전력량을 전송하고 파일은 삭제한다.

이와 같이 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 상태를 기반으로 장애 상황에 대한 처리 방안을 제시하였다. 이에 따른 스마트 플러그와 게이트웨이 간 메시지 흐름은 [그림 23]과 같다.



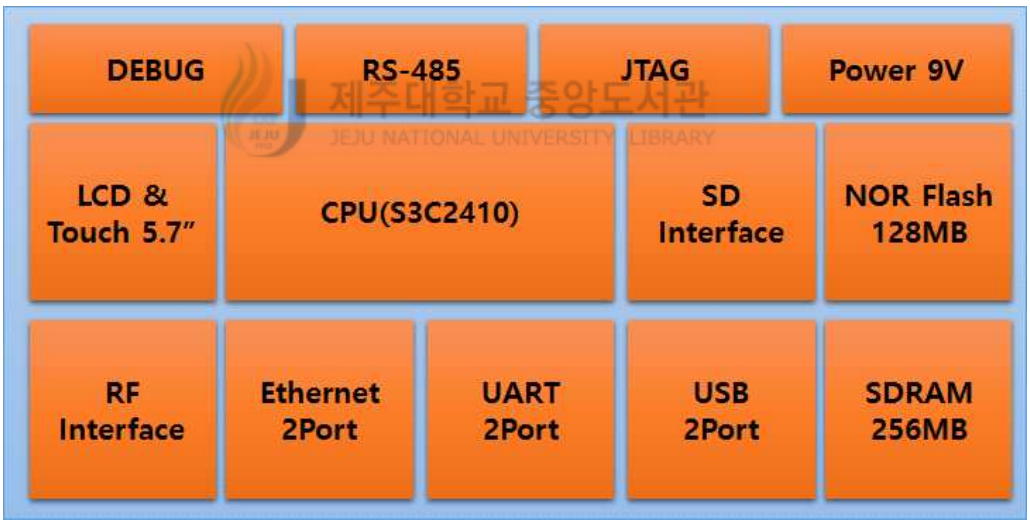
[그림 23] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 장애처리 메시지 흐름도

[Figure 23] Message Flow of Communication failure between smart plug and gateway

3. 게이트웨이 설계

1) 게이트웨이 하드웨어

스마트 플러그에서 전송되는 정보를 수집하기 위한 게이트웨이 하드웨어의 구성은 [그림 24]와 같다. Embedded Linux Board를 기반으로 설계하였으며 CPU는 ARM9 core, 200MHz S3C2410을 사용하였고, NOR 128MB Flash, 256MB SDRAM 메모리를 사용하여 응용프로그램 포팅 공간과 데이터 저장 공간을 확보하였다. Ethernet 2 port, UART 2 port, USB 2 port, Debug, JTAG를 지원하여 프로그램 업로드 및 활용 범위 확장을 고려하였다. 또한, 스마트 플러그와의 양방향 통신을 위해 IEEE802.154 2.4GHz 대역의 무선 통신도 지원하도록 구성하였으며 외부 서비스와의 연계를 위해 TCP/IP 통신이 지원되도록 설계하였다.

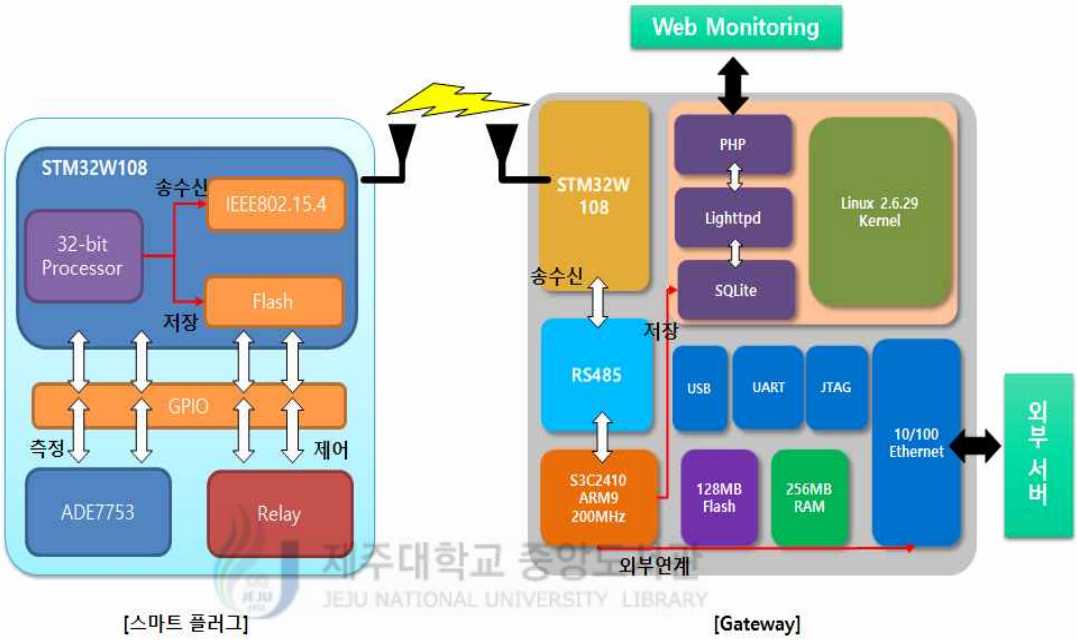


제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

[그림 24] 게이트웨이 하드웨어 Block Diagram
[Figure 24] Block Diagram of Gateway Hardware

2) 데이터 송수신 부

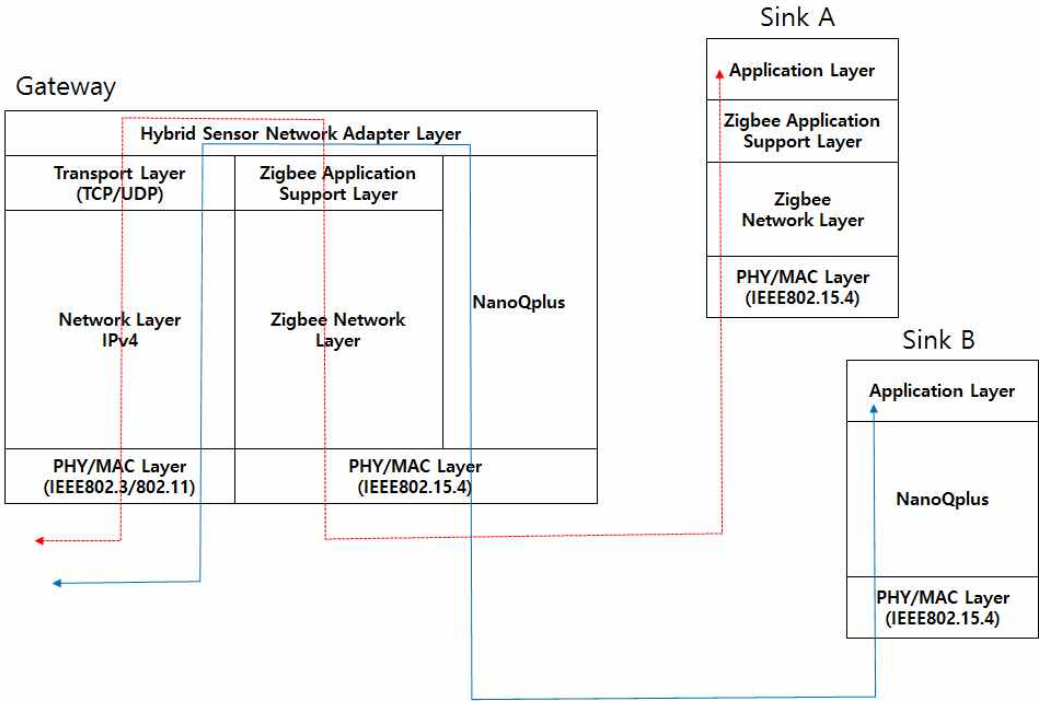
게이트웨이는 스마트 플러그 및 외부 서비스와 연계를 위한 구성은 [그림 25]와 같다. 게이트웨이는 STM32W108 통신 모듈을 통해 스마트 플러그에서 전송되는 정보를 수신하게 된다. 또한, 게이트웨이에서도 같은 방식으로 스마트 플러그로 송신을 하게 된다.



[그림 25] 게이트웨이 데이터 송수신부 구성

[Figure 25] Block diagram of Gateway RF Transceiver

[그림 26]은 게이트웨이의 송수신을 위한 두 종류의 통신 방식에 따른 데이터 흐름을 보여주고 있다. 스마트 플러그로부터 IEEE802.15.4 RF를 통해 수신된 데이터가 시리얼을 통해 게이트웨이로 전송을 하고, 전송된 데이터가 TCP/IP를 통해 서버로 전달된다. 반대로, 서버에서 스마트 플러그에 대한 전원 On/Off를 제어할 수 있는 양방향 통신을 지원한다. 게이트웨이는 스마트 플러그에서 수신된 값을 RF 모듈을 통해 시리얼로 받아서 서버에 TCP/IP로 전송하고, 자체 Database에 저장한다.



[그림 26] 게이트웨이 데이터 흐름도

[Figure 26] Data flow of Gateway

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

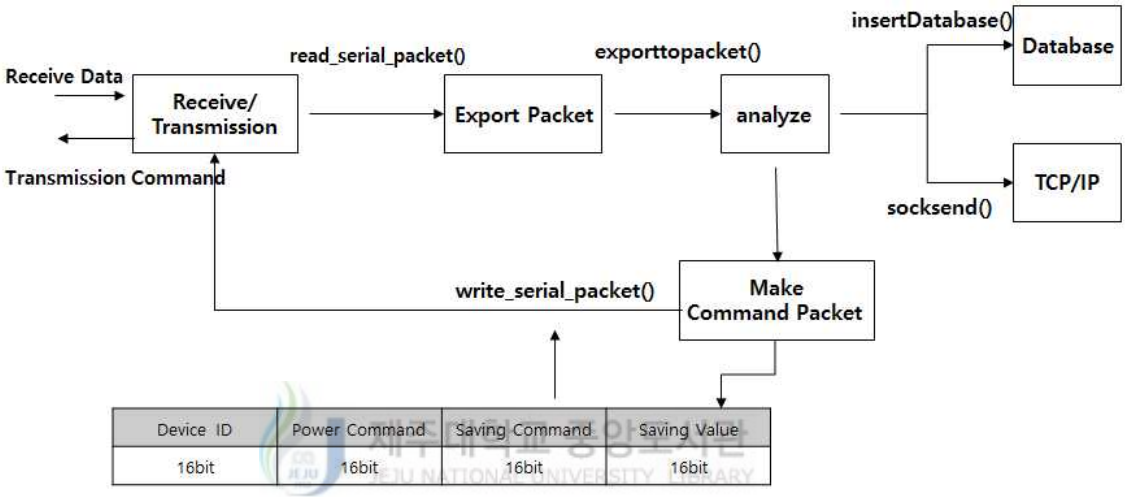
게이트웨이에서는 각 스마트 플러그를 제어하기 위해 메시지를 전송한다. 전송되는 정보는 해당 스마트 플러그의 전원 On/Off 명령, 대기전력 모드 On/Off 명령, 대기전력 기준 설정값 정보이다. 전원 On/Off 명령은 외부에서 스마트 플러그에 대한 전원 제어 명령이고, 대기전력 모드 On/Off는 스마트 플러그 자체적으로 연결된 전자기기의 현재 전력 사용량을 확인하여 설정된 대기전력 설정값과 비교하여 설정값 이하일 경우 2분 이내에 전원을 Off 할 수 있는 기능이다. 연결된 전자제품 마다 대기 전력 값이 상이하므로 외부에서 각 스마트 플러그 별로 대기전력 기준 값을 설정할 수 있도록 게이트웨이에서 각 플러그로 대기전력 설정 기준 값을 변경할 수 있도록 하였다.

[표 13]은 게이트웨이에서 스마트 플러그로 전송되는 기본 패킷 정보이다.

[Table 13] Default packet information sent from the gateway to the smart plug
[표 13] 게이트웨이에서 스마트 플러그로 전송되는 기본 패킷 정보

Device ID	Power Command	Saving Command	Saving Value
16bit	16bit	16bit	16bit

[그림 27]은 이와 같은 스마트 플러그에서 수신된 정보를 기반으로 게이트웨이에서 처리되는 과정을 보여주고 있다.



[그림 27] 스마트 플러그에서 전송된 정보에 대한 게이트웨이 메시지 처리
[Figure 27] Flowchart of between the smart plug and the gateway

3) 미들웨어 설계

게이트웨이에서 미들웨어가 하는 역할은 스마트 플러그에서 전송되는 전력 사용량 정보를 분석 및 설정된 임계값과 비교하여 스마트 플러그로의 명령 전달, Database 저장, 외부 서버로의 데이터 전송 및 외부에서 들어오는 명령 처리, 게이트웨이의 이상 유무 판단, 각 스마트 플러그의 고장 유무 판단 기능이다. [그림 28]은 미들웨어에 대한 구조를 설명하고 있다.

[그림 28] 게이트웨이 미들웨어 구조

[Figure 28] Structure of Gateway middleware

미들웨어는 크게 인터페이스 부, 데이터 연계 컴포넌트 부, 외부 연계 컴포넌트 부, 공통컴포넌트 부로 구분된다.

인터페이스 부는 스마트 플러그에서 전송되는 정보의 수신과 전체 단위별 쓰레드를 관리하는 기능을 한다. 스마트 플러그와의 Socket 연결 관리, 게이트웨이 통신 모듈과의 Serial 통신 관리, 단위별 쓰레드 관리를 담당한다.

데이터 연계 컴포넌트 부는 스마트 플러그로부터 수시된 패킷 정보를 분석하고 데이터베이스를 관리 하는 역할을 담당한다.

외부 연계 컴포넌트는 외부 서비스와의 연계를 담당하는데, 외부 응용 프로그램으로 데이터를 전송하기 위한 패킷 변환과 XML 변환을 기능을 담당한다.

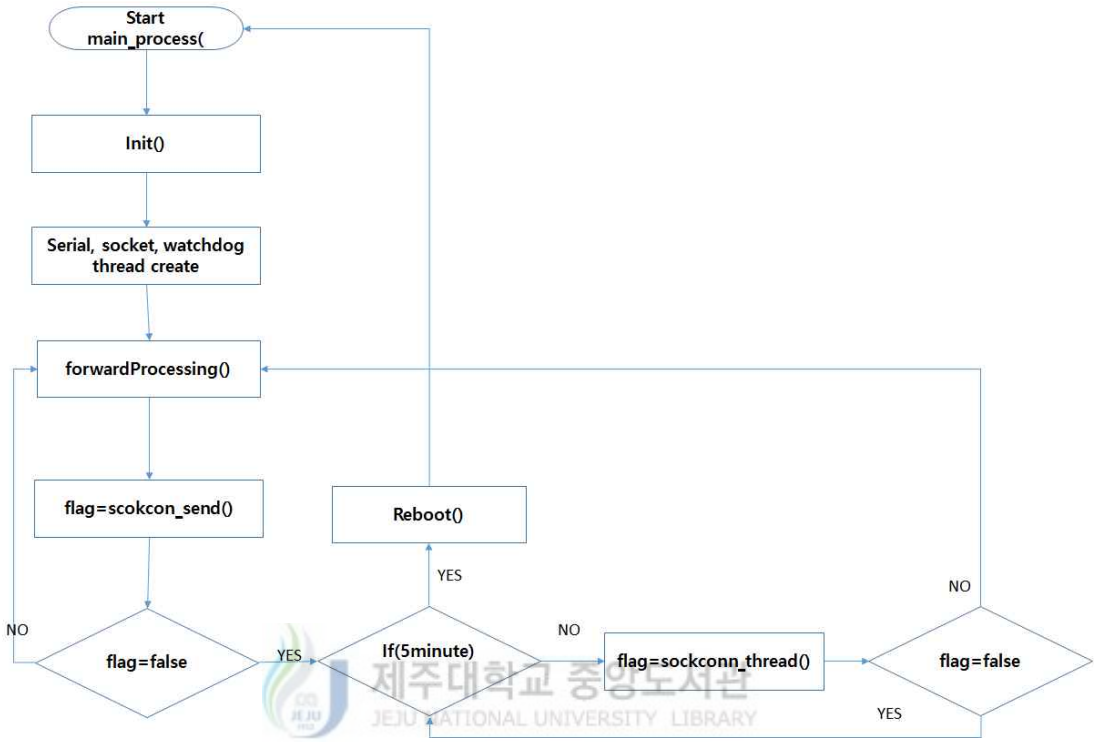
공통 컴포넌트는 게이트웨이의 통신 장애 및 디바이스 관리를 위한 스마트 플러그의 고장 유무를 판단하는 기능을 갖는다.

4) 통신 장애 처리 알고리즘

임베디드 기반 하드웨어의 특성상 최소한의 성능과 메모리를 사용하여 미들웨어를 실행하고 스마트 플러그와의 통신, 외부 시스템과의 통신 등 많은 연산을 처리하게 되면 Deadlock 상태에 빠질 수 있어 시스템 운영에 있어서 큰 문제를 야기할 수 있다. 이를 예방하기 위해 WatchDog 프로세스를 이용하여 스마트 플러그와의 시리얼 통신 장애 및 클라이언트와의 접

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

속 장애 발생 시 재 접속을 유도, 5분간 접속 실패 시 게이트웨이 전체 시스템을 Reset 하도록 설계하였다. [그림 29]는 게이트웨이 통신 장애 처리에 대한 구성을 보여주고 있다.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

[그림 29] 통신 장애 처리 Flow Chart
[Figure 29] Flowchart of Communication failure

[그림 29]와 같이 게이트웨이에서의 통신 장애 처리 과정은 다음과 같다.

① 미들웨어가 데몬을 통해 실행되면 시리얼 통신 관리, 소켓 통신 관리, WatchDog 관리 쓰레드가 실행된다.

② 스마트 플러그와 통신을 담당하는 시리얼 통신 쓰레드 관리자는 항시 통신이 성공하는지 실패하는지 감시하여 실패 시 관련 변수에다 False 정보를 저장한다.

③ 외부 시스템과의 연계를 담당하는 소켓 쓰레드 관리자는 항시 통신이 성공하는지 실패하는지 감시하여 실패 시 관련 변수에다 False 정보를 저장한다.

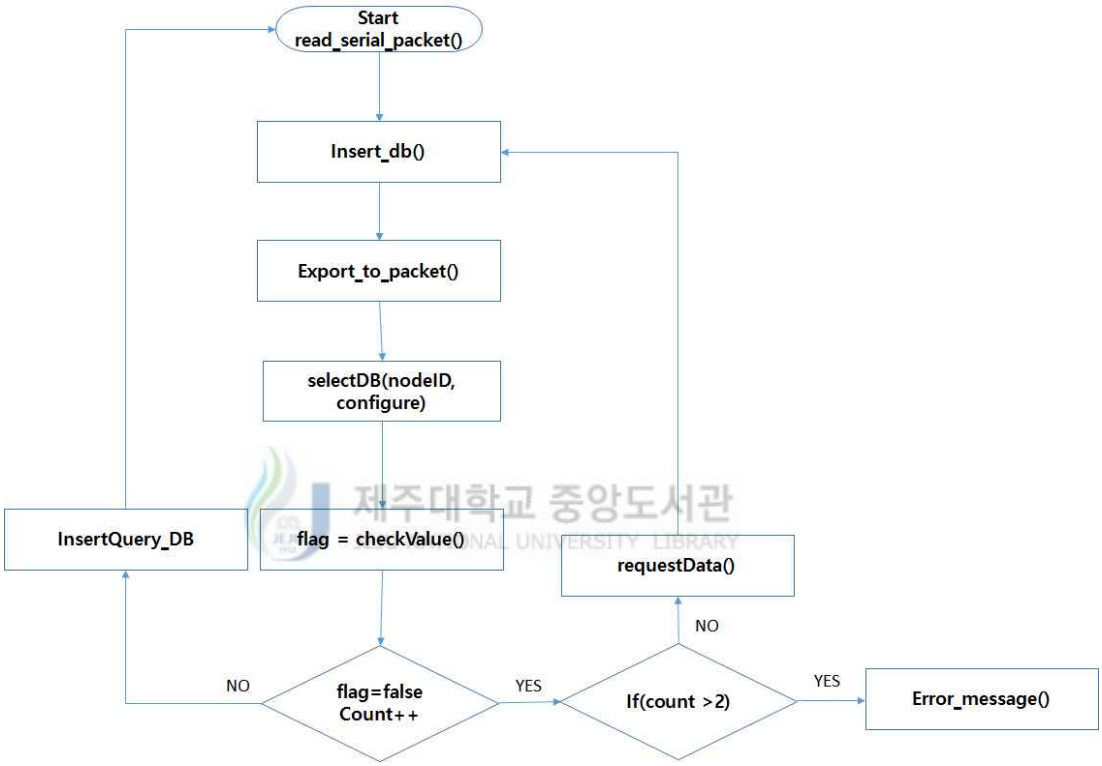
④ WatchDog 쓰레드 관리자는 관련 변수의 정보를 항시 감시하여 False 정보가 들어올 경우 해당 통신을 재시도한다.

⑤ WatchDog 쓰레드는 통신 실패가 5분가 지속될 경우 전체 시스템을 Reset 하도록 한다.

5) 스마트 플러그 센서 고장 판단 알고리즘

게이트웨이는 스마트 플러그에서 전소오디는 소비 전력 값을 분석하여 ADE7753 아날로그 센서가 측정할 수 있는 범위를 벗어나거나 오류 값을 전송할 경우 해당 스마트 플러그의 센서가 고장인 것으로 판단할 수 있도록 제안한다.

[그림 30]은 스마트 플러그 센서 고장 판단을 위한 순서도를 보여주고 있다.



[그림 30] 스마트 플러그 고장 유무 판단 Flow Chart

[Figure 30] Flowchart of determining whether of not a smart plug.

[그림 30]과 같이 스마트 플러그의 센서 고장 유무를 판단하기 위한 처리 과정은 다음과 같다.

① 게이트웨이는 스마트 플러그로부터 패킷을 수신하여 데이터베이스에 저장하기 전 패킷을 분석하여 정보별로 분리한다.

② 패킷으로부터 분리된 정보는 데이터베이스로 Insert 전에 측정된 소비전력 값을 Check 하도록 한다.

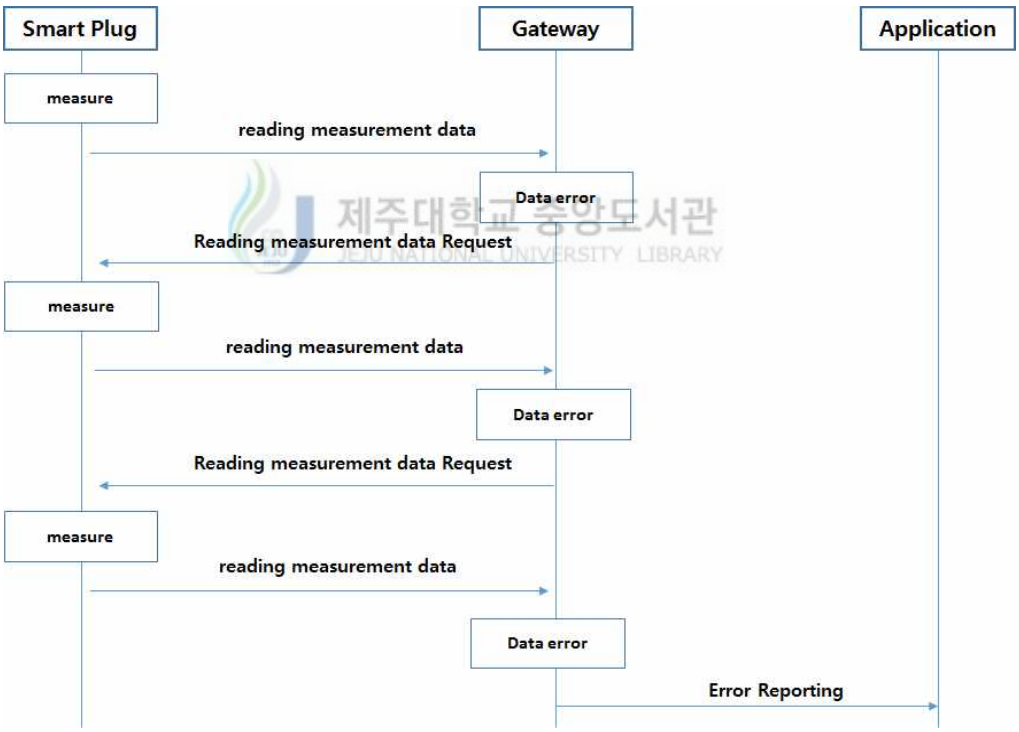
③ 측정된 값의 Check 결과 이상이 없으면 데이터베이스로 저장되어 다음 패킷 수신을 대기하도록 한다.

④ 측정된 값의 Check 결과 이상 발생 시 해당 스마트 플러그로 재전송 요청을 보낸다.

⑤ 재전송 요청 후 ①과 ②의 과정을 반복하여 이상이 없으면 데이터베이스로 저장을 한다.

⑥ 재전송 후에도 측정 데이터에 오류가 발생할 경우 센서가 고장인 것으로 분류하여 웹 모니터링을 통해 사용자에게 이상 유무를 알린다.

[그림 31]은 이런 스마트 플러그 센서 고장 유무를 파단하기 위한 스마트 플러그와 게이트웨이 그리고 모니터링 프로그램 간의 메시지 흐름도를 보여주고 있다.



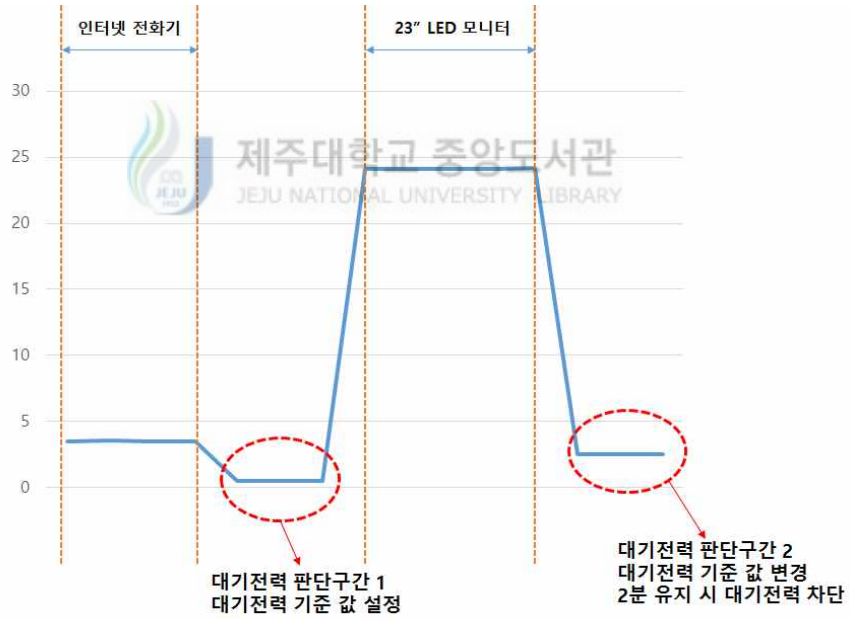
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

[그림 31] 스마트 플러그 고장 유무 판단 메시지 흐름도

[Figure 31] Message flow of determining whether of not a smart plug

6) 소비 전력 패턴 기반의 스마트 플러그 상황 분류 알고리즘

스마트 플러그에 연결된 가전기기의 대기전력을 사용자의 액션이 없이 스마트 플러그에서 전송되는 전력 사용량 정보를 기반으로 현재의 소비전력 패턴을 분석하여 현재 연결된 가전기기의 사용 여부를 판단하여 대기전력 기준 값을 설정하여 미들웨어에서 자동 제어할 수 있도록 하고자 한다. [그림 32]에서와 같이 각 스마트 플러그에 대한 대기전력 차단 기준 값을 설정하더라도 해당 스마트 플러그에 연결된 가전기기를 변경할 경우 대기전력 값이 변하게 되어 설정된 대기전력 기준 값으로는 적절한 대응이 어렵다. 이에 기존 대기전력 기준 값이 설정되어 있더라도 연결된 가전기기가 변경되면서 전송된 전력 사용량 패턴을 분석하여 해당 스마트 플러그에 대한 대기전력 기준 값을 변경하여 가전 기기의 사용 여부를 판단하여 대기전력을 차단하도록 하고자 한다.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

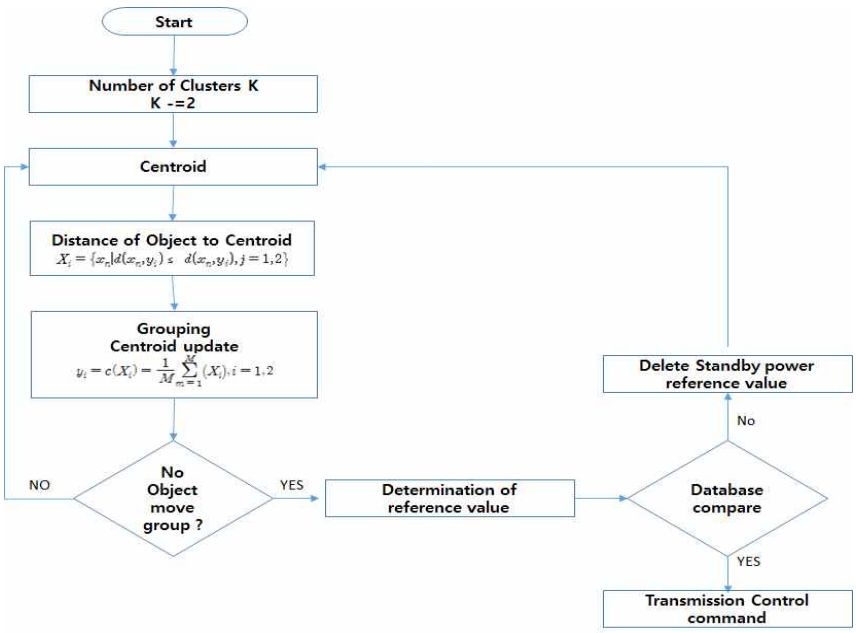
[그림 32] 가전기기 변경에 따른 대기전력 판단 기준 변경 예시
[Figure 32] Standby power criteria change example

이런 대기전력 기준 값을 지능적으로 결정하기 위해 현재 스마트 플러그에서 전송되는 정보를 분석하여 현재 스마트 플러그의 상태를 알 수 있어야 한다. 이를 위해서 k-means 군집화 알고리즘을 사용한다. k-means 군집화 알

고리즘은 일반화되어 널리 사용되고 있는 알고리즘으로 분류되지 않은 데이터 집합을 기반으로 오차 범위를 최소화하여 규칙을 만들고 데이터를 분류하도록 도와준다. k-means 군집화 알고리즘을 통해 2개의 군집의 대표 값을 구하게 된다.

하나는 대기 상태일 경우의 대표 값, 나머지 하나는 활성화 상태의 대표 값이다. 이렇게 계산된 대표 값을 기반으로 데이터베이스에 저장된 가전기기별 소비전력 정보와 대기전력 정보를 비교한다. 활성화 상태의 대표 값에 대한 수치가 가전기기별 소비전력 정보와 오차 범위 내 존재하는 가전제품이 있을 경우 해당 가전제품의 대기전력 수치가 대기전력 대표 값과 오차 범위 내에 위치하는지 확인한다. 두 가지 경우를 모두 만족할 때 대기전력 대표 값이 2분 30초가 유지될 경우 해당 스마트 플러그에 연결된 전자제품이 사용 중이지 않은 것으로 판단하여 제어 명령을 보낸다. 만약 두 대표 값과 일치하는 정보가 없을 경우 해당 스마트 플러그에 연결된 전자 제품이 변경된 상태로 계속 상용 중인 것으로 판단하여 두 대표 값 중 대기전력 대표 값을 버리고 다시 계산을 시작한다. [그림 33]은 상황분류 알고리즘에 대한 순서도를 보여주고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



[그림 33] 상황분류 알고리즘 Flow Chart
[Figure 33] Flowchart of status classification algorithm

[그림 33]과 같이 스마트 플러그의 소비 전력 패턴을 분석하여 상황을 분류하기 위한 처리 방법은 아래와 같다.

① 스마트 플러그의 활성화 상태, 대기 상태 2개의 군집수를 구할 것이므로 수신되는 소비전력 값 {x1, x2, ···, xn}을 각 군집에 초기치 중심 집합 {y1, y2}를 만든다.

② 만약 수신된 소비전력 데이터 xn에 대해 2개의 군집 위치까지 거리를 구하고 가장 가까운 군집 Xi에 소속 시킨다. 이럴 경우 수신된 소비 전력 데이터는 {X1, X2}로 나누어진다.

$$X_i = \{x_n | d(x_n, y_i) \le d(x_n, y_j), j = 1,2\} \quad \text{(i)}$$

③ ②단계에서 나눠진 데이터를 기준으로 각각의 중심을 갱신한다.

$$y_i = c(X_i) = \frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M}(X_i), i = 1,2 \quad \text{(ii)}$$

④ 왜곡 검증을 위해 데이터와 가장 가까운 클러스터 중심들과 거리의 합으로 총 왜곡을 구한다.

$$D = \sum_{n=1}^{N} d(x_n, y_{i(n)}) \ \ where\ i(n) = k, \text{if } x_n \in X_k \quad \text{(iii)}$$

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

⑤ 두 개의 중심 값을 구하게 되면 최대값과 최소값으로 분리한다.

⑥ Database의 가전기기별 소비전력 값과 최대값을 비교한다.

⑦ ⑥의 결과가 True 이면 최소값을 해당 가전기기의 대기전력 값과 비교한다.

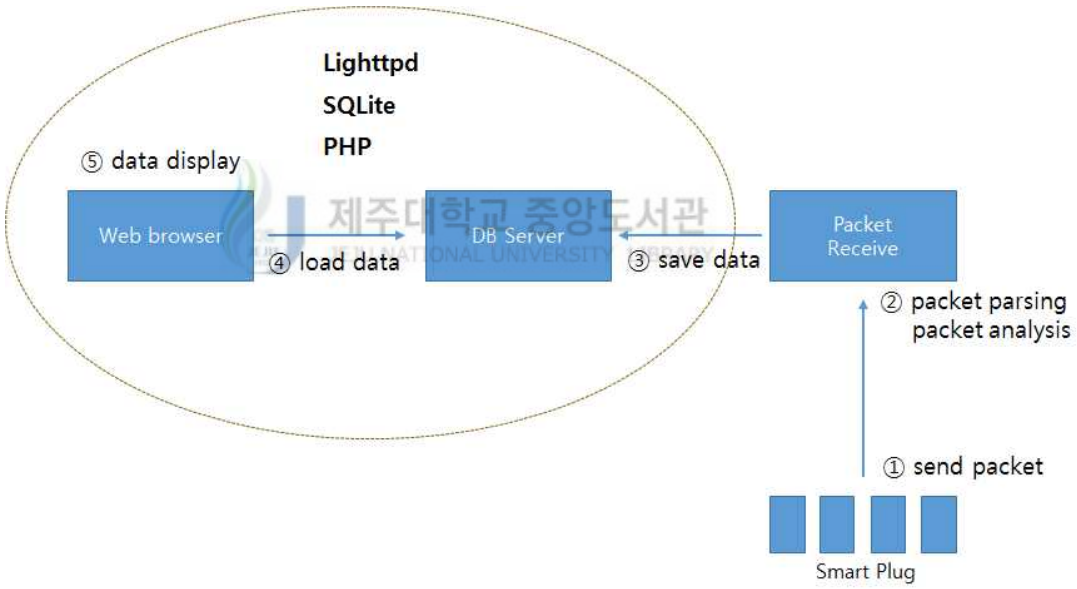
⑧ ⑥의 결과가 True 이면 최소값을 대기전력 기준으로 설정하여 2분 30초간 유지될 경우 해당 스마트 플러그에 대해 Off 명령을 전송한다.

⑨ 만약 ⑥의 결과가 False 이면 해당 스마트 플러그에 연결된 가전기기가 변경된 걸로 판단하여 최소값을 버리고 ② ~ ⑦의 과정을 반복한다.

이와 같이 스마트 플러그에서 전송되는 소비전력 패턴을 분석하여 사용 중일 때의 기준 값과 대기 중일 때의 기준 값을 찾아내어 저장된 가전기기별 소비전력과 대기전력을 비교하여 현재 스마트 플러그에 연결된 가전기기의 사용여부를 판단하도록 하여 그에 맞는 제어 명령을 전송할 수 있도록 한다.

7) 웹 기반 모니터링

스마트 플러그를 통해 게이트웨이로 수집된 전력 사용량 정보 서비스 제공을 위해 웹 기반 모니터링을 구성한다. 웹 모니터링을 제공하기 위한 데이터베이스 및 웹 서버 환경은 별도의 서버를 두어 제공하는 것이 아니라 게이트웨이 내부에 웹 서버(Lighttpd) 및 데이터베이스(SQLite) 등 웹 환경을 구성하여 인터넷이 되는 지역이면 어디서나 외부에서 모니터링 및 스마트 플러그 제어를 할 수 있도록 하였다. 별도의 모니터링을 위한 외부 서버 환경이 없어도 되므로 외부 서버 장애 대비와 서버 설치에 따른 비용 문제를 해결할 수 있다. [그림 34]의 웹 기반 모니터링 시스템 구조와 같이 스마트 플러그에서 전송되는 정보를 게이트웨이 내부 서버에 저장 후 웹서버를 통해 외부로 모니터링 기능 제공할 수 있도록 설계하였다.



[그림 34] 웹 기반 모니터링 시스템 구조

[Figure 34] Web-based monitoring system structure

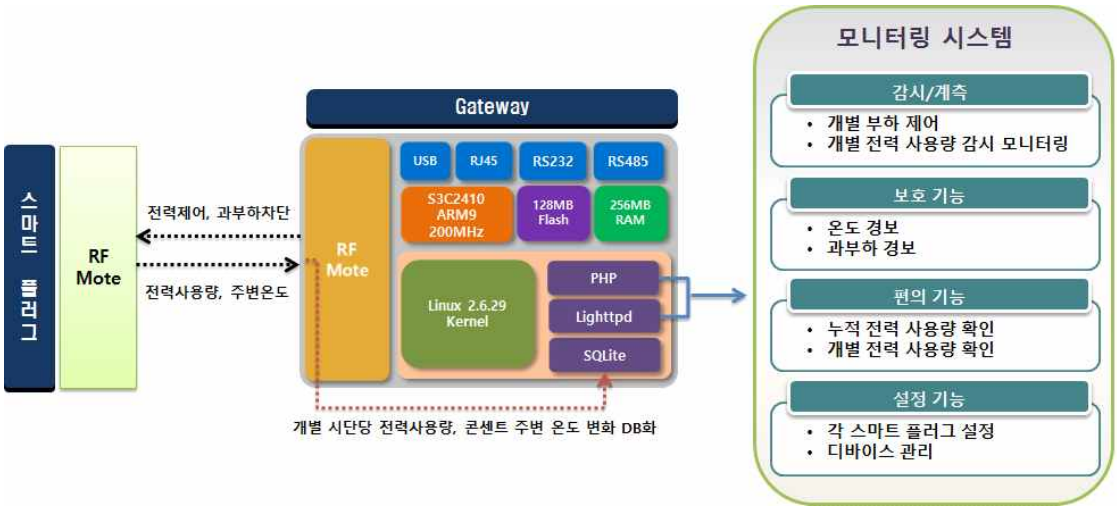
[그림 35]와 같이 모니터링 서비스에서 지원하는 기능은 다음과 같다.

① 금일, 당월, 전월, 전년 동월 누적 전력 사용량 정보 및 전력 사용량에 따른 요금 정보 제공

② 각 스마트 플러그에 대한 개별 전력 사용량 정보 및 온도 정보 제공

③ 월별 전력 사용량 정보에 대해 그래프 제공

④ 각 스마트 플러그에 대한 전원 On/Off 제어 기능 제공



[그림 35] 웹 기반 모니터링 기능 구성도

[Figure 35] Configuration of Web-based monitoring

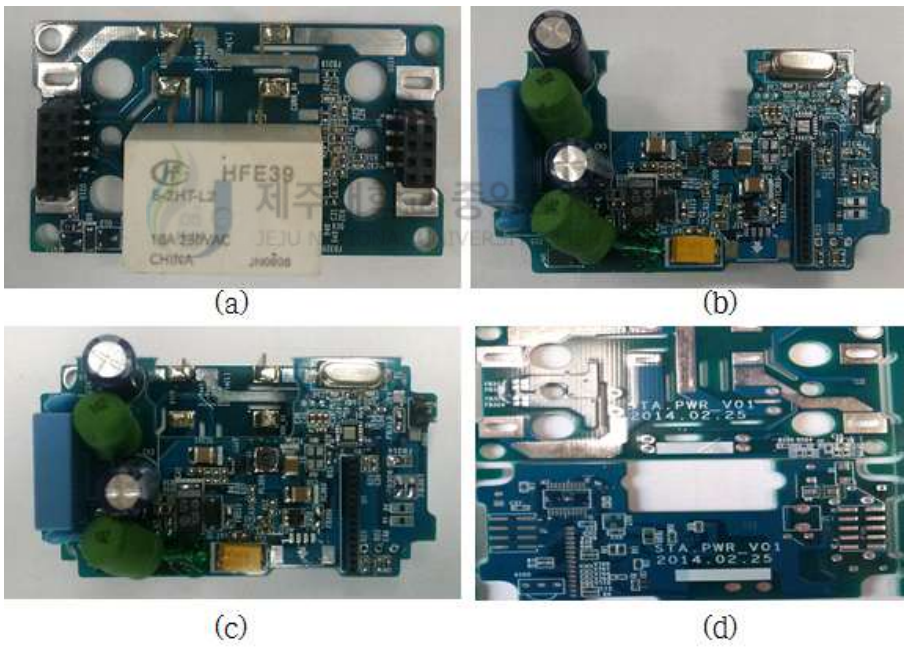
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅳ. 확장된 스마트 플러그 시스템 구현

1. 스마트 플러그 구현

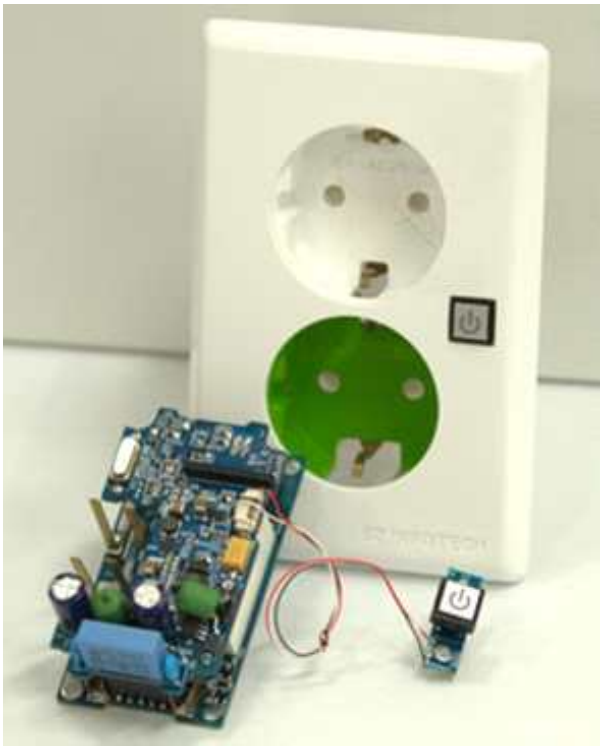
1) 스마트 플러그 하드웨어

[그림 36]은 본 논문에서 제안한 전력 측정 및 데이터 수집을 위한 스마트 플러그 PCB 사진이다. [그림 37]은 스마트 플러그 시제품 사진이다. 2구 기반의 매립형으로 1구는 상시 전력, 나머지 1구는 대기전력 차단용으로 구성되었다.



[그림 36] 스마트플러그 PCB 사진 (a)플러그 PCB AC Block, (b) 플러그 PCB DC Block, (c)플러그 PCB AC+DC Block, (d)플러그 PCB AC Line

[Figure 36]PCB of Smart Plug (a)PCB AC Block, (b)PCB DC Block, (c)PCB AC+DC Block, (d)PCB AC Line

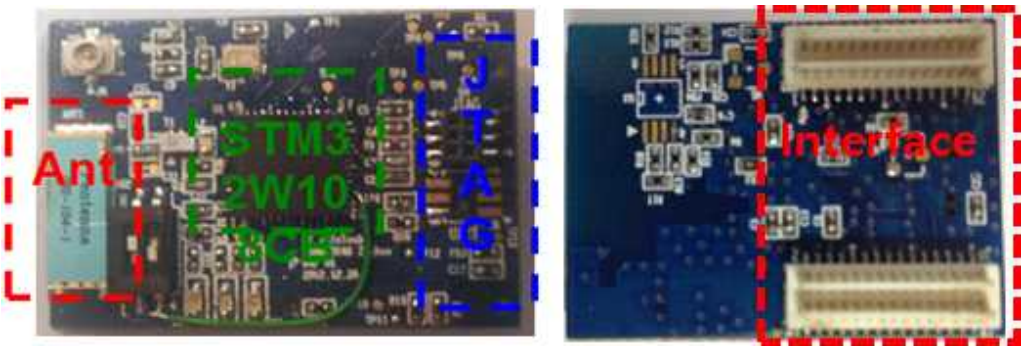


[그림 37] 스마트플러그 시제품

[Figure 37] The prototype of Smart plug

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

[그림 38]은 스마트 플러그와 게이트웨이에 연결되어 통신을 담당할 모듈의 시제품 사진이다. Interface 부분을 통해 각 스마트 플러그 또는 게이트웨이와 정보를 교환한다.



(a) (b)

[그림 38] 통신 모듈 시제품 (a) 통신모듈 전면 (b) 통신모듈 후면

[Figure 38] The prototype of RF Module (a) Front of RF Module (b) Back of RF Module

2) 소프트웨어 구현 환경

스마트 플러그의 구동을 위해 센서 네트워크 운영체제는 ETRI의 NanoQplus 2.5 버전을 사용하였다. NanoQplus 개발 환경은 윈도우 PC 기반에서 Cygwin을 활용하여 구성하였다.

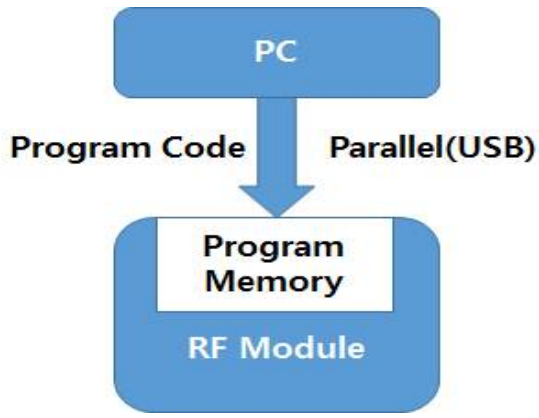
센서 네트워크 OS 및 프로그램은 [그림 39, 40]과 같이 USB Interface 모듈과 통신 모듈을 결합하여 PC와 시리얼 통신을 통해 OS 및 제작된 프로그램을 업로드 가능하게 구성하였다.

(a) (b)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

[그림 39] 통신모듈과 USB Interface 모듈 (a) 통신 모듈 구성 (b) USB 시리얼을 통한 프로그램 포팅

[Figure 39] RF Module and USB Interface Module (a)Component RF Module (b) USB Serial port based program porting

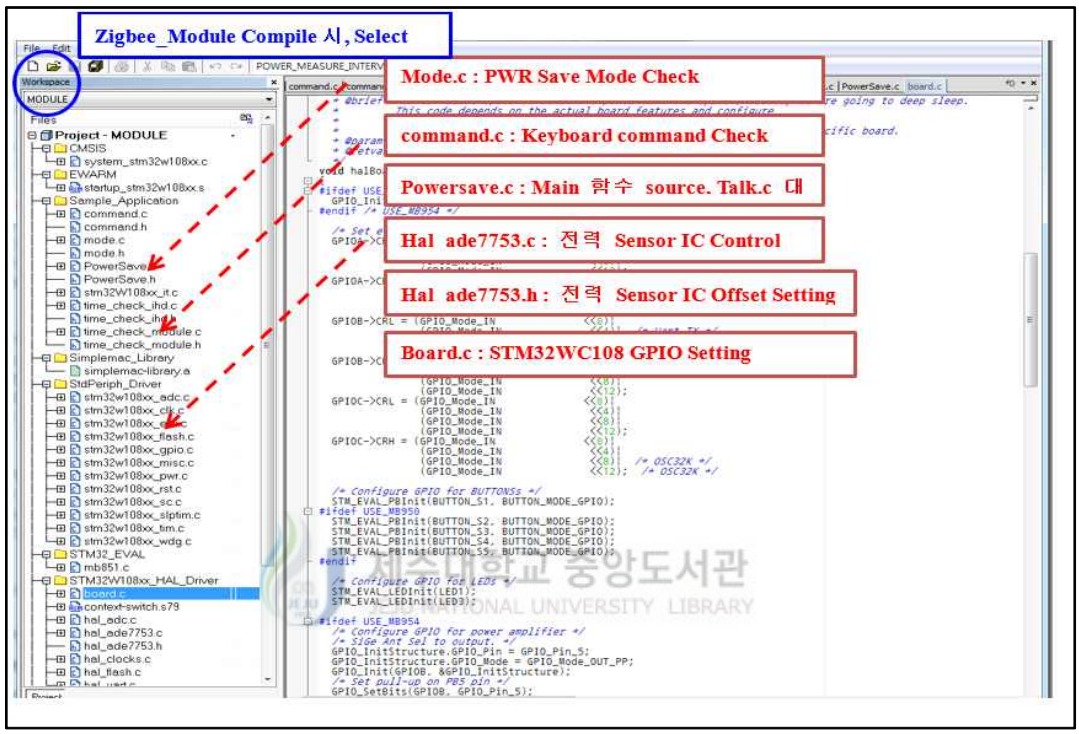


[그림 40] 스마트 플러그 센서노드 프로그램 방법

[Figure 40] Method of Smart plug sensor node program

3) 전력 측정부

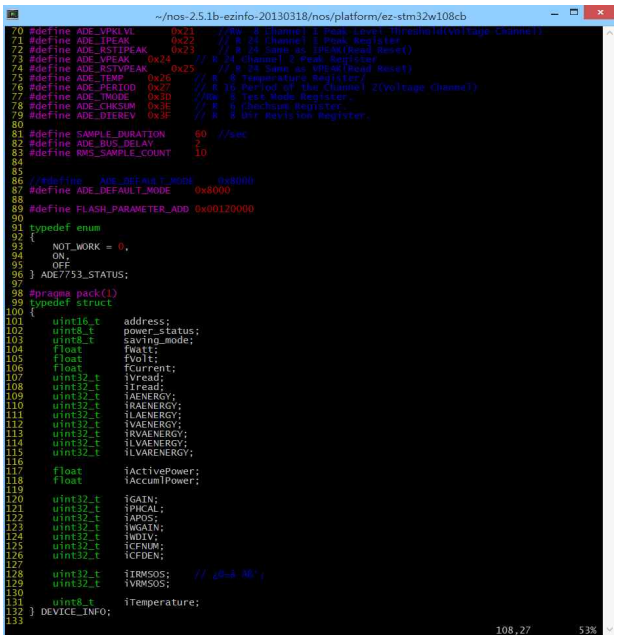
STM32W108 MCU 개발 툴은 IAR Embedded Workbench for ARM 개발 툴을 사용하였다. 해당 개발 툴은 IAR 홈페이지에서 30일 사용 버전을 다운로드 하여 사용할 수 있다. [그림 41]은 통신 모듈에서 운용되는 ADE7753 측정 프로그램 프로젝트를 보여주고 있다.



[그림 41] ADE7753 측정 프로젝트 화면

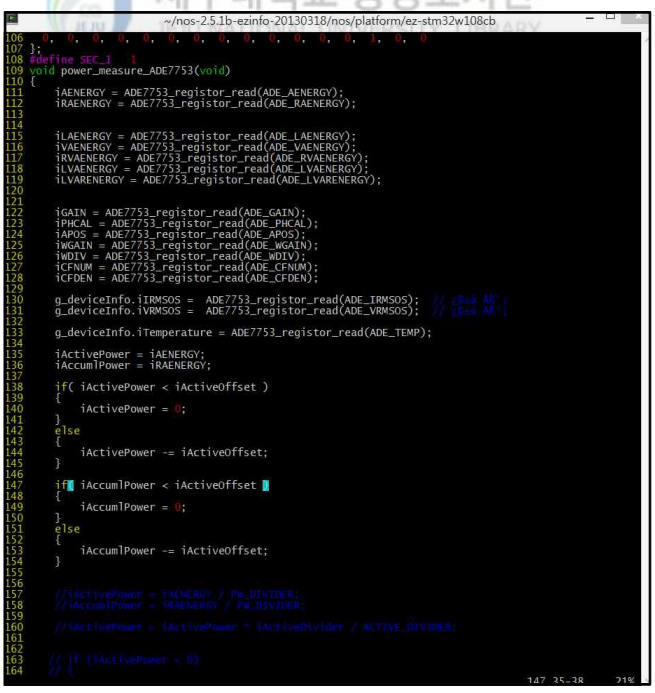
[Figure 41] Project of ADE7753 measurement

[그림 42, 43]은 ADE7753 측정 소스에 대한 헤더파일과 소스 파일을 보여주고 있다.



[그림 42] ADE7753 측정 Header 파일

[Figure 42] Header file of ADE7753 easurement



[그림 43] ADE7753 측정 Source 파일

[Figure 43] Source File of ADE7753 measurement

제주대학교 중앙도서관

ADE7753 측정(power_measure_ADE7753())이 실행되면 SPI(Serial Peripheral Interface) Register 설정을 통해 측정(ADE7753_registor_read())된 Voltage ADC Register, Current ADC Register, Energy Register 값을 읽고 Offset 값을 설정하여 측정된 값과 Offset값을 연산하여 Energy, Current, Voltage 값을 연산하였다.

4) 데이터 송수신부 및 통신 장애 처리부

스마트 플러그 통신 모듈에서는 ADE7753 센서에서 측정된 값을 읽어 패킷을 생성하고 게이트웨이로 전송한다. 또한 게이트웨이에서 전송되는 명령 정보를 수신하여 명령을 수행하도록 구현하였다. 1분 단위로 소비전력을 측정하여 게이트웨이로 전달하며 게이트웨이에서 메시지를 받았다는 수신 메시지가 도착하면 다음 수행으로 넘어가도록 구현하였다. 또한 게이트웨이에서 전송되는 On/Off 제어 명령과 대기전력 모드에 대한 On/Off 명령에 대해서 수신이 되면 패킷 정보를 분석하여 해당 이벤트를 수행하도록 한다.

이처럼 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신이 이루어지는 과정에서 어느 한쪽에서 송신이 이루어지게 되면 그에 대한 응답 메시지가 도착하여야 한다. 만약 스마트 플러그에서 측정 데이터를 게이트웨이로 송신 후 게이트웨이에서 응답 메시지가 없게 되면 통신이 이루어지지 않은 상황이 발생하게 되는 것이다. 이럴 경우 측정된 정보가 유실되는 경우가 발생하게 된다. 앞서 살펴보았듯이 IEEE802.15.4 통신의 특성상 다른 무선 통신과의 채널 간섭 등의 이유로 통신 장애가 발생하는 경우가 있다. 이때 측정된 데이터가 유실되는 것을 방지하기 위해 통신 장애 발생 시 측정된 데이터를 스마트 플러그 메모리에 저장 후 다시 통신 재개 시 재 전송할 수 있도록 구현하였다.

스마트 플러그는 1분 단위로 측정된 정보를 게이트웨이로 전송하는데 이때, 게이트웨이에서 응답이 없을 경우 2회 재 전송하도록 하였다. 2번의 재전송 후에도 게이트웨이로부터 응답이 없다면 현재 측정된 정보를 저장하고 다음 과정으로 넘어 간다. 1분 뒤 다음 측정 데이터를 게이트웨이로 전송할 경우 통신이 성공하면 현재 측정 데이터를 전송 후 저장된 파일이 있는지 검사한다. 이때 파일이 있을 경우 저장된 정보를 재전송하고 파일은 삭제하도록 구현하였

제주대학교 중앙도서관

다. [그림 44]는 이를 구현한 결과를 보여주고 있다.

```
void tx(void *args)
{
    nos_led_toggle(1);
    if (mac_tx(&tx_info))
    {
        if(save_flag)
        {
            if(save_data_tx())
                save_flag = false;
        }
        printf("TX (success): %u (Tx count: %u)\n\r", tx_info.payload[0], tx_info.tx_count);
    }
    else
    {
        tx_count++;
        if(tx_count <3){
            re_tx();
        }else{
            save_flag = true;
            save_data();
        }

    }
} ? end tx ?
```

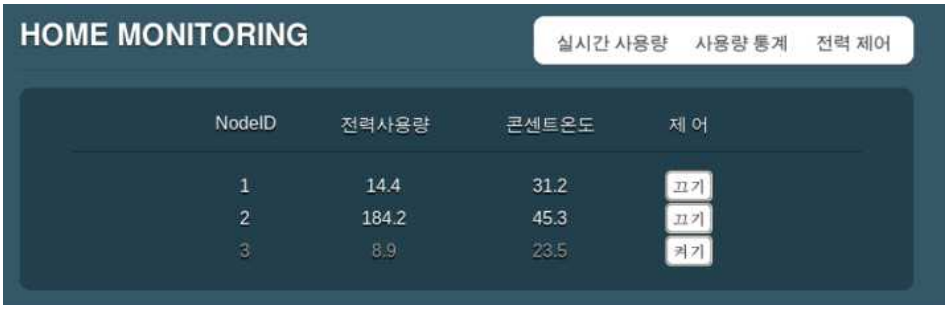
[그림 44] 통신 장애 처리 기능
[Figure 44] Function of Data transmission failure

nos_init(), mac_init()을 통해 통신에 필요한 설정을 하고, 센서 값을 측정(nos_plug_measure()), 패킷을 생성 후(nos_packet_make()) Gateway로 데이터를 전송한다(mac_tx(&tx_info)). 이때 전송이 실패하면 재전송을 시도한다. 2번의 전송 시도(re_tx()) 후 최종 전송이 실패할 경우, 현재 패킷 정보를 내부 저장 공간에 바이너리 파일로 저장한다(save_data()). 다음 전력 측정 후 데이터 전송 시 Gateway와의 통신이 성공할 경우 이전 패킷 정보에 대한 저장 파일이 있는지 확인 후 파일이 존재할 경우 해당 패킷 정보도 재전송(save_data_tx()) 한다. 전송이 성공하면 저장 파일은 삭제하도록 구현하였다.

이와 같이 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 연결 상태를 통해 통신 장애에 대한 대처가 가능한데 각각의 스마트 플러그와의 통신 상태는 모니터링 화면을 통해서 확인이 가능하도록 제작하였다.

[그림 45]와 같이 스마트 플러그와 게이트웨이 간 정상 통신 시 모니터링을 통해 각 스마트 플러그별 전력 사용량과 온도 정보를 확인 및 전원 On/Off 제어가 가능하다.

제주대학교 중앙도서관



[그림 45] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 정상 통신 모니터링
[Figure 45] Normal communication monitoring between the Smart Plug and Gateway

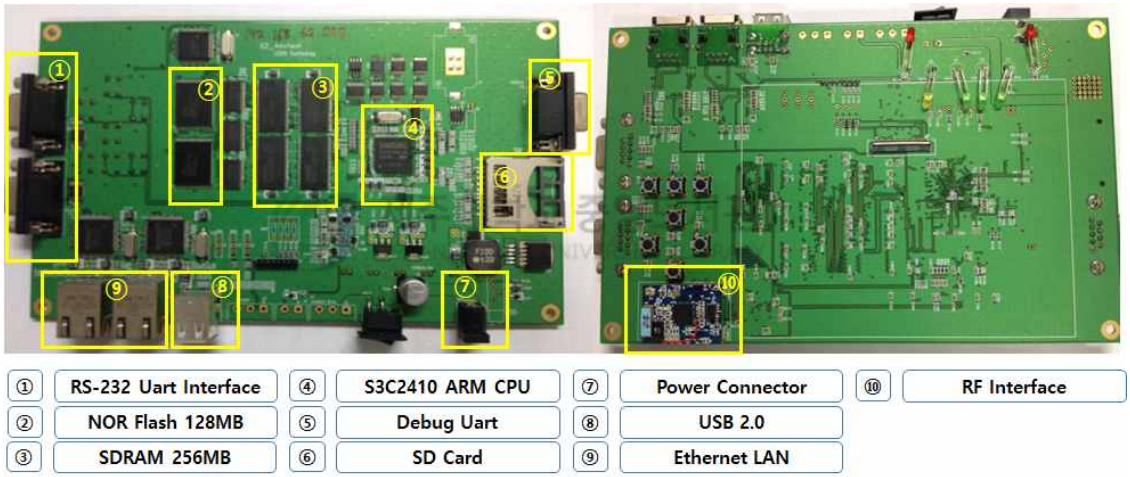
그리고 [그림 46]과 같이 통신 장애 발생 시 해당 스마트 플러그에 대해 통신 미 연결 상태를 사용자에게 제공하며 통신 재개 후 앞의 [그림 45]와 같이 정상 모니터링이 이루어진다.

[그림 46] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 미 연결 모니터링
[Figure 46] Non-communication monitoring between the Smart Plug and Gateway

2. 게이트웨이 구현

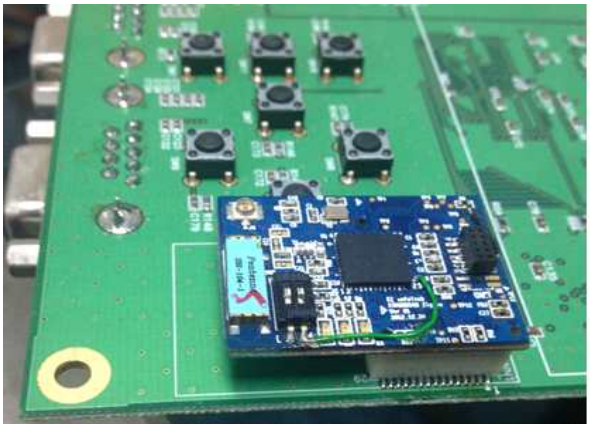
1) 게이트웨이 하드웨어

구현된 게이트웨이는 [그림 47]와 같다. 소형 사이즈이면서 저 전력 고성능의 마이크로 컨트롤러인 SC32410 ARM CPU, SD 인터페이스, 시스템 운영을 위한 Main Memory인 SDRAM 256MB, Boot code, System OS, File System등 시스템 운영에 필요한 모든 Code, Data를 저장하기 위한 NOR Flash 128MB, 스마트 플러그와 통신 지원을 위한 RF Interface, 외부 시스템 서비스 지원을 위한 Ethernet Port, UART Port, DEBUT, JTAG으로 구성되었다.



[그림 47] 게이트웨이 하드웨어 시제품
[Figure 47] The prototype of gateway

스마트 플러그와 게이트웨이의 무선 통신을 지원하기 위해 [그림 48]과 같이 통신 모듈을 부착하여 서로 통신이 가능하도록 구현하였다.



(a)

(b)

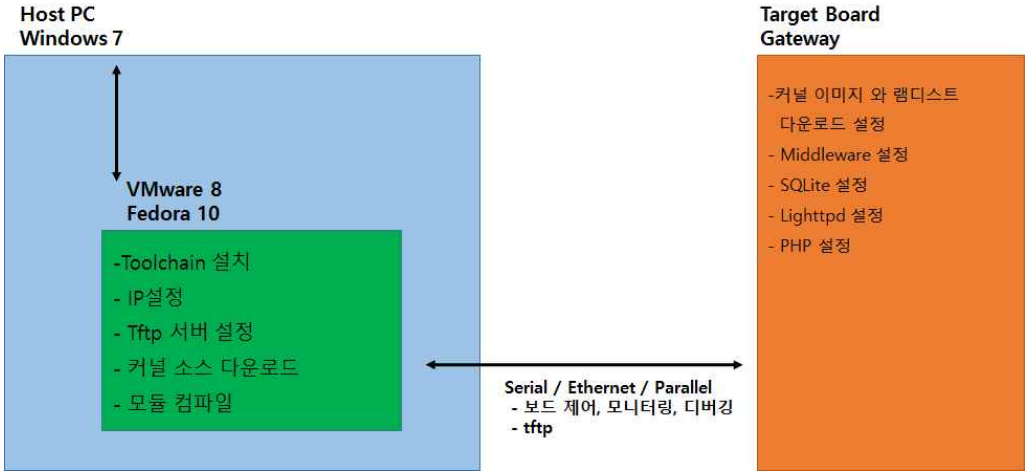
[그림 48] 게이트웨이와 스마트 플러그 간 네트워크 구성을 위한 통신 모듈 적용 화면 (a) 게이트웨이 통신 모듈 (b) 스마트 플러그 통신 모듈

[Figure 48] RF Module of Gateway and Smart plug (a) RF Module of Gateway (b) RF Module of Smart Plug.

2) 소프트웨어 구현 환경

Gateway 소프트웨어 개발 환경은 [그림 49]와 같이 VMware 상에서 Fedora 10 설치 후 Linux(linux 2.6.30) 환경에서 크로스 컴파일러 (arm-linux-gcc 3.4.1, glibc-2.3.3)를 이용해서 소스 컴파일 하였다. arm 컴파일된 파일은 tftp를 이용해서 타켓보드(Gateway)에 전송을 하며, minicom을 이용해서 타켓보드에 접속을 해서 실행 파일을 실행하였다. Kernel은 Linux Kernel 2.6.29 기반으로 포팅 하였다.

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



[그림 49] 게이트웨이 개발 환경 구성

[Figure 49] Development environment of gateway

[표 14]는 Gateway 소프트웨어 구성을 보여주고 있다.

[Table 14] Software configuration of Gateway

[표 14] 게이트웨이 소프트웨어 구성

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Item	Setting
Kernel	Linux 2.6.29 Kernel(Android adapted)
ToolChain	EZ arm-1.1
Bootloader	EZ u-boot 2010.6
busybox	1.17.1(stable)
php	5.2.14
Apache	lighttpd 1.4.28
SQL	SQLite 3.6.23
Server	DNS Server, SSH Server TELNET Server, SAMBA Server HTTP Server, SQLite Server
OS	Linux OS, Android-2.1(eclare)

3) 데이터 송수신부

게이트웨이는 스마트 플러그에서 전송되는 정보를 받기 위해 통신 포트를 Open(open_serial_source()) 하고, 소켓 연결을 위한 주소와 포트 값을 세팅(sockconn)을 한다. 그 후, 쓰레드를 선언, 생성, 분리, 종료를 수행한다. Gateway 데이터 송수신부는 크게 세 가지 기능으로 나뉜다. 첫째, 무한 루프를 돌면서 시리얼 소스를 읽고(read_serial_packet()) 소켓이 연결되었다면 읽은 패킷 값을 byte로 변환해서(convert()) 결과 값을 데이터베이스에 저장하는 insert_Db()로 보내는 기능과 둘째 분석된 결과를 소켓으로 보내는(socksend()) 기능과 셋째 수신된 스마트 플러그로 응답 메시지를 보내거나 전송된 패킷 정보를 분석하여 이벤트 발생 시 시리얼로 명령을 보내는 write_serial_packet() 기능으로 나뉜다. insert_Db()를 통해 byte로 변환된 패킷 정보는 exporttopacket()을 통해 각 정보가 분리되고 processPacket()를 통해 데이터가 정상적으로 수신되었는지, 설정된 값과 비교하여 처리할 명령이 있는지 비교하여 이벤트가 있을 경우 시리얼로 명령을 보낸다(write_serial_packet()). 패킷에 대한 분석이 끝나면 insert_Query()를 통해 데이터베이스에 저장이 되고 sock_send()를 통해 외부로 전송되도록 구현하였다.

제주대학교 중앙도서관

4) 통신 장애 처리 알고리즘

스마트 플러그로부터 전송되는 패킷이 일정 시간 없을 경우 해당 스마트 플러그로 정보 전송 요청을 보낸다. 요청 후에도 스마트 플러그로부터 전송되는 정보가 없거나, 게이트웨이에 부착된 통신 모듈과 시리얼 통신 장애가 발생할 경우 재접속 유도를 위해 [그림 50]과 같이 5분간 아무런 접속이 없거나 실패 시 WatchDog Thread를 통해 게이트웨이 전체 시스템을 RESET 하여 교착(Deadlock) 상태로 빠지는 것을 방지하도록 구현하였다.

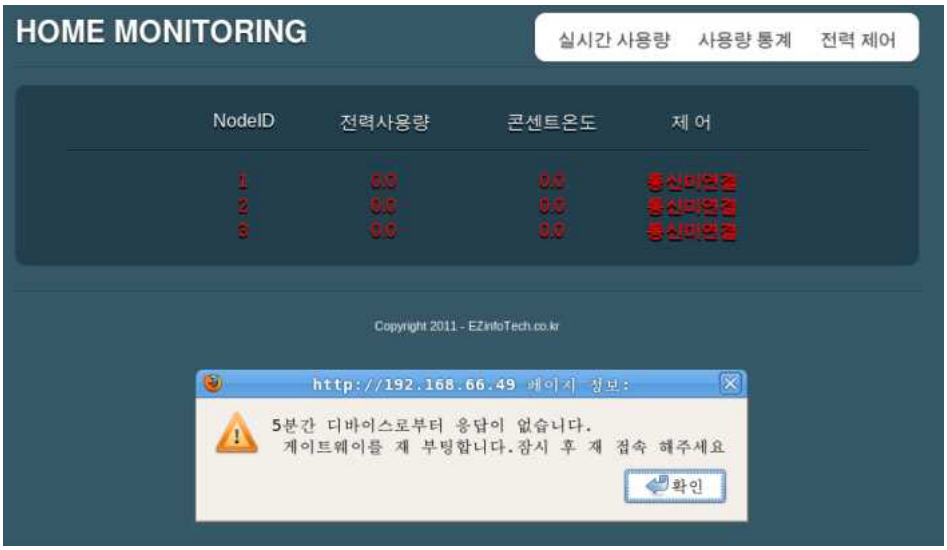
```
#ifdef DEBUG
#define KILLTIME 5
#else
#define KILLTIME 5
#endif

void *writechkProcess(void *arg)
{
    //time_t st;
    log_write("writechk thread start\n");
    while(semcount<KILLTIME*60)
    {
        if(flag!=1)
            if(flag=sockconn_thread() == 1) log_write("Socket connected\n");
        //st=time(NULL);
        //while(st+60>time(NULL));

        sleep(1);

        ++semcount;
    }

    log_write("write function is dead, Program terminated\n");
#ifdef DEBUG
    exit(0);
#else
    system("reboot");
#endif

} ? end writechkProcess ?
```

[그림 50] 게이트웨이 Reset 기능

[Figure 50] Function of Gateway reset

이와 같이 게이트웨이는 스마트 플러그와 5분간 통신이 미 연결 상태를 유지하거나 내부 시리얼 통신이 연결되지 않을 경우 Reset 기능을 통해 전체 시스템을 재부팅한다. 미들웨어는 [그림 51]과 같이 웹 기반 모니터링을 통해 사용자에게 재부팅 통보를 하고 시스템을 Reset 하도록 구현하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



[그림 51] 게이트웨이 Reset 사용자 알림 화면

[Figure 51] User notification of reset in the Gateway

5) 스마트 플러그 센서 고장 판단 알고리즘

[그림 52]와 같이 read_serial_packet()을 통해 수신된 패킷 정보는 exporttopacket()을 통해 분석되어 전력량 정보와 해당 스마트 플러그에 대한 ID 정보를 processPacket()으로 전송한다. processPacket()에서는 전송 받은 스마트 플러그 ID를 기준으로 데이터베이스에서 해당 스마트 플러그의 설정값을 불러온다(select_query()). 데이터베이스를 통해 불러온 스마트플러그의 센서 측정 가능 범위 최대, 최소값과 설정된 대기전력 기준값을 전송된 전력사용량 정보와 비교한다. 각각의 값과 비교하면서 이상 발생 시 commandPacketMake()를 통해 해당 스마트 플러그로 전송할 명령 이벤트를 만들고 write_serial_packet()을 통해 명령을 전달한다. 스마트 플러그의 센서 고장 유무 판단은 ADE7753의 측정 가능 범위를 비교하거나 전송된 값이 0xffff인지를 비교하여 이상 발생 시 해당 스마트 플러그로 재전송 명령을 전달한다. 재전송된 정보에 대해서도 이상 값이 발생 시 해당 스마트 플러그의 센서에 문제가 있는 것으로 판단하도록 구현하였다.

```
void processAct(int current, char group,int nodeid)
{
    select_query("select * from configure_table;", nodeid);

    //static char packet[4]={0,0,0,0};
    static char packet2[255];
    static int node[4]={0,0,0,0};
#ifdef DEBUG1
    printf("DB data : %d %d %d %d %d %d %d %d\n",db_current_max,db_current_min,db_saving_value);
    printf("Read Data : current = %d \n",current);
#endif
    if(current > db_current_max && (node[0]==nodeid || node[0]==0)) {
        packet[0] = 0;
        node[0] = 0;
    }
    if(current < db_current_min )
    {
        packet[1] = 1;
        node[0] = nodeid;
    }
    if(current < db_saving_value)
    {
        packet[2] = 1;
        node[1] = nodeid;
    }

    commandPacketMake(packet,packet2, 12);
    write_serial_packet(src, packet2, 12);
} ? end processAct ?
```

[그림 52] 스마트 플러그 센서 고장 유무 판단 소스

[Figure 52] Function of determining whether or not failure in Smart Plug Sensor

이와 같이 스마트 플러그에서 수신된 패킷 정보를 바탕으로 측정된 소비전

력의 수치를 분석하여 해당 스마트 플러그의 센서 고장 유무를 판단하게 된다.

[그림 53]은 모든 스마트 플러그에 대해 정상 수신이 이루어지고 패킷 분석 결과 이상이 없을 경우에 대한 모니터링 화면 결과를 보여주고 있다.

[그림 53] 소비전력 정상 수신 모니터링 화면

[Figure 53] An normality received monitoring of measuring power consumption

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

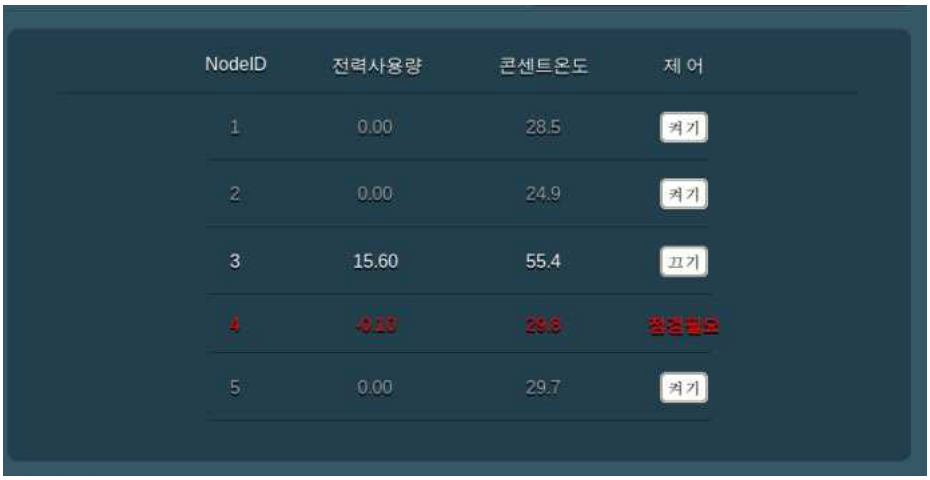
만약 수신된 패킷 정보에 오류 데이터가 발견될 경우 [그림 54]와 같이 해당 스마트 플러그에 대한 오류 정보 제공과 재전송 요청이 가능하도록 한다.

[그림 54] 오류 데이터 수신 모니터링 화면

[Figure 54] An monitoring of error data receiving

[그림 54]의 재전송 이벤트를 통해 재 수신된 패킷 정보에서도 오류 데이

터가 발견될 경우 [그림 55]와 같이 해당 스마트 플러그에 대해 고장 판단을 하여 사용자에게 알려주도록 구현하였다.



[그림 55] 센서 고장 알림 모니터링

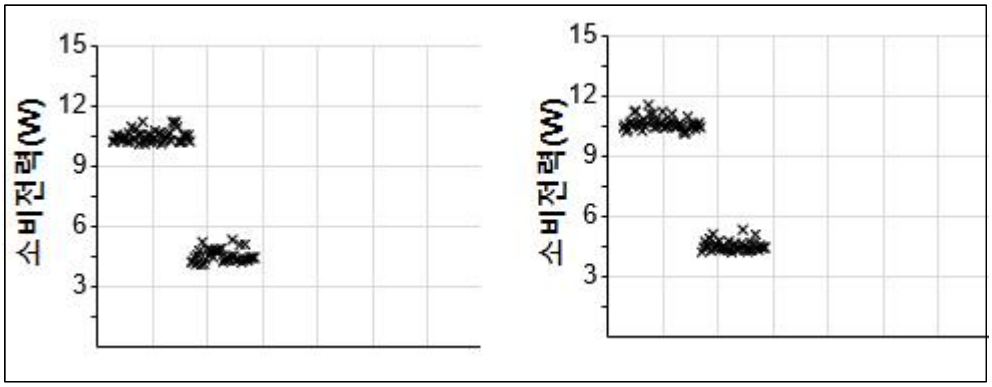
[Figure 55] An Monitoring of Sensor failure notification

6) 소비 전력 패턴 기반의 스마트 플러그 상황 분류 알고리즘

스마트 플러그에 연결된 가전기기의 대기전력 기준 값을 알지 못하는 경우 미들웨어에서 지능적으로 현재 소비 전력 패턴을 분석하여 스마트 플러그의 현재 상태가 활성화 상태인지 대기전력 상태인지 판단하여 자동 대기전력을 제어할 수 있는 기능을 구현하기 위해 스마트 플러그에서 수신되는 소비 전력을 기반으로 퍼지 군집화 알고리즘을 이용하여 현재 스마트 플러그가 활성화 상태인지 대기전력 상태인지 두 개의 군집으로 분류하도록 구현하였다.

스마트 플러그에 연결된 가전기기의 소비전력을 수집하여 2개의 군집을 구성한다(void get_cluster_member_count(int n, int k, int *cluster_index, int *cluster_member_count)). 수집되는 소비전력을 각 군집과의 거리를 계산하여(double calc_distance(int dim, double *x1, double *x2)) 군집의 중심을 재구성(void calc_cluster_center(int dim, int n, int k, double *X, int *cluster_index, double *new_cluster_center)) 한 후, 두 개의 최종 군집 대표값을 찾은 후 설정된 각 가전기기의 대기전력과 소비전력 기준 값을 비교하여 현재 연결된 가전기기의 대기전력 기준 값을 검출하도록 구현하였다.

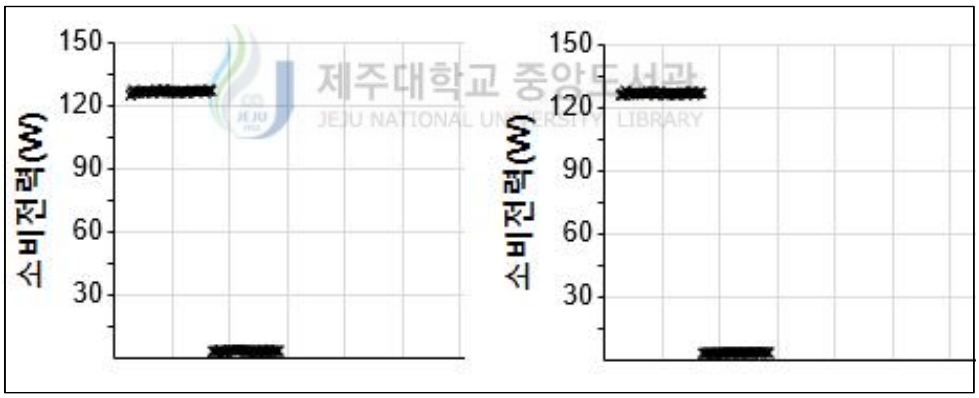
알고리즘 구현을 통해 셋톱박스와 전기밥솥 두 가전 기기에 대해 소비전력을 측정해보면 [그림 56, 57]과 같이 사용 중일 때와 대기 중일 때의 소비전력이 두 개의 군집을 이루어 측정되는 것을 알 수 있다.



(a) (b)

[그림 56] 셋톱박스 소비전력 측정 (a) 측정기 (b) 스마트 플러그

[Figure 56] Measuring power consumption of Set-top box
(a) Measuring instrument (b) Smart Plug



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

(a) (b)

[그림 57] 전기밥솥 소비전력 측정 (a) 측정기 (b) 스마트 플러그

[Figure 57] Measuring power consumption of Electric cooker
(a) Measuring instrument (b) Smart Plug

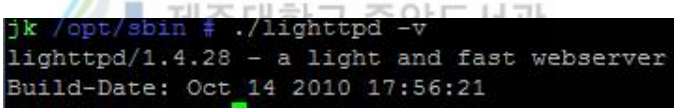
각 가전기기별로 측정된 소비전력 패턴을 기준으로 두 개의 군집 및 대표값이 설정되면 기존 설정된 가전기기별 대기전력 기준 값과 비교하여 1W 이내의 오차 범위를 만족하는 값이 존재하면 현재 연결된 가전제품이 대기 중인 것으로 판단하여 전원을 Off 하도록 구현하였다.

7) 웹 기반 모니터링

Gateway의 특성상 Embedded Board 환경에서 동작 가능한 웹서버 어플리케이션과 Database를 구현하기 위해 경량의 Lighttpd 웹 서버 어플리케이션과 SQLite Database를 활용하여 웹 서버 환경을 구현하였으며 웹 개발 언어는 PHP를 사용하였다. DB 서버와 Web 서버를 내장하기 위해 php 5.2.14, sqlite 3.6.23.1, lighttpd 1.4.28을 컴파일 하여 포팅 하였다. [그림 58]은 Gateway에 웹서버를 실행시킨 화면이다. [그림 59, 60, 61]은 각 Gateway에 포팅 된 Lighttpd, SQLite, PHP의 버전 정보를 확인한 화면이다.

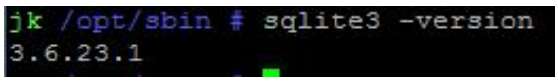
[그림 58] 웹서버 데몬

[Figure 58] Daemon of web server



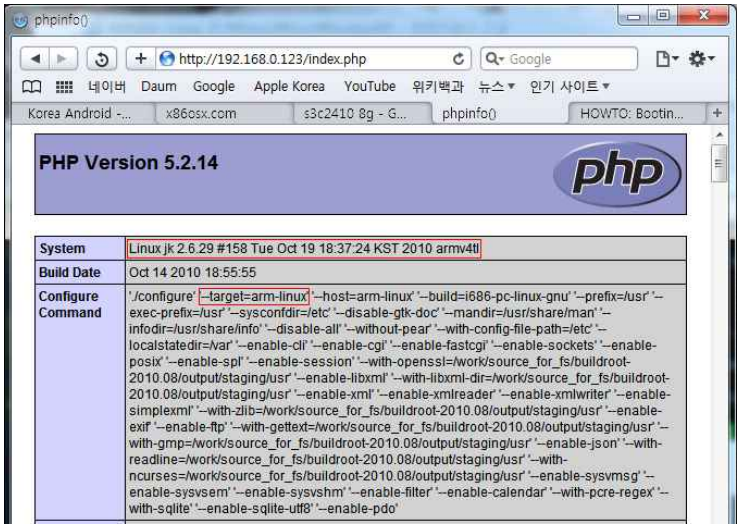
[그림 59] Lighttpd 버전 확인

[Figure 59] Lighttpd version



[그림 60] SQLite 버전 확인

[Figure 60] SQLite version



[그림 61] 게이트웨이에 포팅된 PHP 접속 정보

[Figure 61] Connection information of PHP

모니터링 페이지 접속 시 [그림 62]와 같이 Database에 누적된 데이터를 기반으로 현재 전력 사용량, 금일 누적 사용량, 당월 누적, 전월 누적, 전년 동월 누적 전력 사용량에 대한 값을 표시하였다. 해당 값에 대한 전기 요금을 계산하기 위해 한국전력 사이버지점의 전기 요금 계산기를 활용하여 주택용(저압)을 기준으로 계산하여 전기 요금을 같이 표시하도록 하였다.

[그림 62] 웹 모니터링 메인 화면

[Figure 62] Main page of web monitoring

[그림 63]과 같이 금일을 기준으로 12개월 전부터 월별 누적 전력량에 대한 그래프를 제공하였다.

[그림 63] 웹 모니터링 통계 화면
[Figure 63] Statistics page of web monitoring

[그림 64]와 같이 Gateway와 연결된 각 스마트 플러그의 현재 전력 사용량 및 누적 사용량, 온도 정보를 확인할 수 있도록 하였고 현재 On/Off 상태 정보도 같이 표시하도록 하였다. 상태 정보에 따라 각 플러그에 대한 On/Off 제어 명령어 전송이 가능하도록 하였다. 웹 페이지에서 각 스마트 플러그에 대한 제어 명령 전송 시 PHP와 미들웨어 간의 Socket 통신을 통해 해당 스마트 플러그로 명령이 전송되도록 하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

[그림 64] 웹 모니터링 스마트 플러그 제어 화면
[Figure 64] Power control page of web monitoring

V. 연구 결과 및 성능 분석

1. 실험 환경

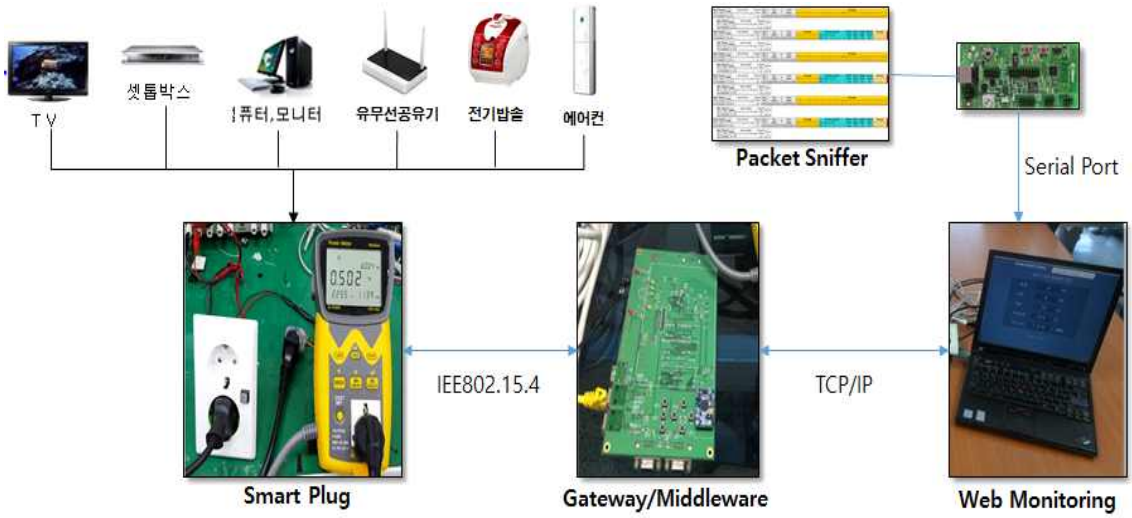
본 논문을 통해 구현된 스마트 플러그와 게이트웨이에 대한 성능 평가를 위해 실험 환경을 다음과 같이 구축하였다.

실험 환경 구성은 [그림 65], [표 15]와 같이 게이트웨이와 스마트 플러그와의 통신을 통해 스마트 플러그에 연결된 전자기기의 현재 소비전력을 측정하여 모니터링하였다. 스마트 플러그를 통해 측정되는 소비 전력의 신뢰성을 평가하기 위해 전력 측정기인 Wattman을 사용하여 측정값과 비교 분석하였다.

측정 방법은 첫째, 스마트 플러그에 전자제품을 연결하여 1분 단위로 측정되는 값을 게이트웨이로 전송하고 전송된 정보를 웹 기반 모니터링 프로그램을 통하여 확인하였다. 이때 측정된 값의 신뢰성 비교를 위하여 동일한 전자제품을 Wattman 측정기에 연결하여 값을 비교하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

둘째, 스마트 플러그를 Wattman 측정과 연결하여 연결된 전자 제품의 소비 전력을 스마트 플러그를 통해 전송되는 정보와 Wattman 측정기에 표시되는 소비 전력을 비교하였다. 또한, 전송되는 패킷 정보를 분석의 방법으로는 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 상태를 확인하기 위해 TI 社의 CC2430DB Zigbee/IEEE802.15.4 개발 툴과 SmartRF Protocol Packet Sniffer를 활용하여 전송되는 패킷 정보의 상태를 확인하였다.



[그림 65] 전력 소모 측정기기를 이용한 실험환경

[Figure 65] Configuration of test environment

[Table 15] Configuration of test environment

[표 15] 실험환경 구성

	Smart Plug	Gateway/ Middleware / Web Monitoring
Operating System	NanoQplug	Linux Kernel 2.6.29
Development Tool	cygwin, IAR Embedded Workbench for ARM Vim	Vim
Programming Language	NanoQplus, C	C, PHP
DBMS		SQLite
Web Server		Lighttpd
Hardware	MCU: STM32W108 32bit Cortex M3 Memory : 128kbyte Flash, 8Kbyte RAM	CPU : SC32410 ARM Memory : 256MB SDRAM, 128MB Nor Flash

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 스마트 플러그 통신 장애 처리 성능 분석

본 절에서는 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 장애 처리 알고리즘에 대해 평가하였다. 실험은 통신 장애 상황을 재현하기 위해 게이트웨이의 통신 모듈을 제거하여 게이트웨이의 통신이 불가능 상태로 만들었다. 이때, 스마트 플러그가 게이트웨이로 데이터를 전송하고 응답이 없을 경우에 측정 데이터를 저장하는지와 게이트웨이 통신 모듈을 다시 부착하여 통신을 재개할 경우 저장된 데이터를 전송하는지 측정하였다. 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 상황을 평가하기 위해 Packet Sniffer를 통해 패킷 전송 여부를 판단하였다. 그 결과 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 장애 상황에서 측정 데이터를 저장하고 다음 전송 시 통신이 재개 되면 저장된 정보를 재전송하는 것을 확인하였다.

이와 같이 통신 장애 상황을 평가하기 위해 한국통신기술협회 스마트 플러그 시험 표준 TTAK.KO-04.0185에서 제시하는 스마트 플러그 통신 장애 처리 방법 테스트 환경을 참고하여 실험하였다. 통신 장애 상황 평가 절차는 아래와 같다.

① 스마트 플러그 전원을 켜고 통신 상태를 유지한다.

② 스마트 플러그에 23“ 모니터를 연결하고 전력을 사용한다.

③ 스마트 플러그에서 소비전력을 측정하고 게이트웨이로 전송한다.

④ 게이트웨이는 스마트 플러그로부터 데이터가 수신되면 ACK 메시지를 스마트 플러그로 송신한다.

⑤ ③, ④의 과정이 정상 이루어지는지 Packet Sniffer를 통해 확인한다.

⑥ 정상 통신이 이루어질 경우 게이트웨이의 통신 모듈을 제거하여 2분간 통신이 연결되지 못하도록 한다.

⑦ ⑥의 과정 후 Packet Sniffer를 통해 게이트웨이에서 스마트 플러그로 Ack 메시지를 보내는지 확인한다.

⑧ 게이트웨이가 Ack 메시지를 보내지 않을 경우 스마트 플러그가 10초 간격으로 2회 재 전송을 하는지 Packet Sniffer를 통해 확인한다.

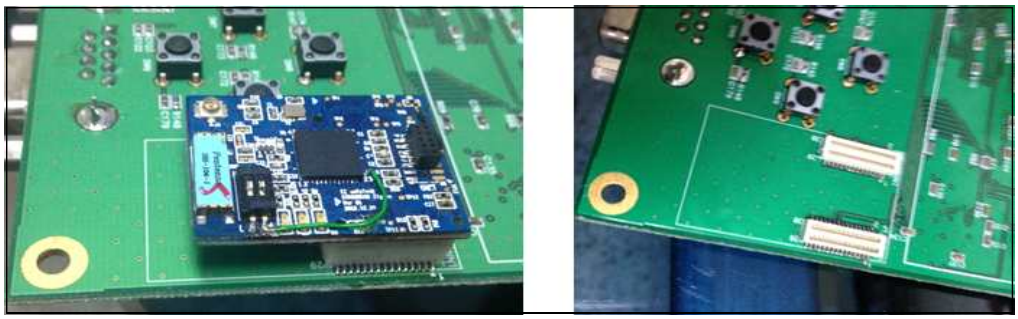
⑨ 2분 후 게이트웨이 통신 모듈을 재 부착한다.

⑩ 통신이 복구된 후 스마트 플러그에서 현재 측정값을 전송 후 게이트웨이에

서 Ack 메시지를 스마트 플러그로 전송하는지 확인한다.

⑪ 스마트 플러그와 게이트웨이 통신이 정상 확인 후 스마트 플러그에서 이전 저장된 정보를 전송하는지 Packet Sniffer를 통해서 확인한다.

[그림 66]은 게이트웨이와 통신 모듈을 탈부착 한 사진을 보여주고 있다.



(a) (b)

[그림 66] 게이트웨이 통신모듈 탈부착 화면 , (a) 통신 가능 상태, (b) 통신 불능 상태

[Figure 66] Environment of communication failure test (a) Communication connection (b) Communication disconnection

[그림 67, 68, 69]는 스마트 플러그와 게이트웨이 간 패킷 전송을 확인하기 위해 SmartRF Protocol Packet Sniffer를 통해 통신 상태를 확인한 화면이다.

[그림 67]에서와 같이 스마트 플러그와 게이트웨이 간 정상 통신 상태 일 경우 스마트 플러그에서 게이트웨이로 데이터를 전송하면(①) 게이트웨이는 스마트 플러그로 응답 메시지 전송(②) 한다.

[그림 67] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 정상 통신 상태일 경우 패킷 전송

[Figure 67] Packet transmission in the communication connection between the smart plug and gateway

[그림 68]에서와 같이 스마트 플러그에서 데이터를 전송할 경우 게이트웨이에서 응답이 없으면 2회 더 전송을 시도한 후에도 응답이 없으면 통신 불능 상태로 판단하여 내부에 저장한다(③).

[그림 68] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 불능 상태
[Figure 68] Packet transmission in the communication disconnection between the smart plug and gateway

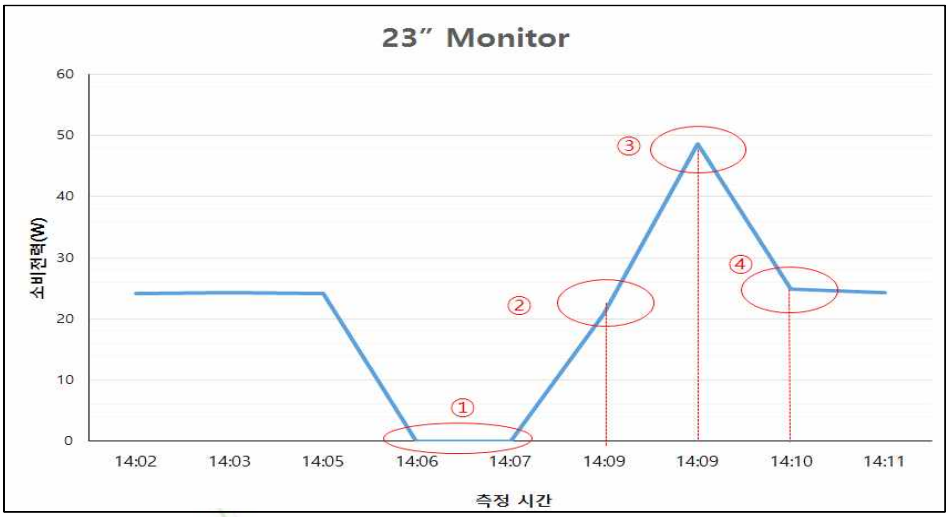
[그림 69]에서와 같이 스마트 플러그에서 다음 측정 후 게이트웨이로 데이터를 전송한다(④). 게이트웨이에서 응답 메시지가 오면(⑤) 이전 저장된 누적 값을 재전송한다(⑥).

제주대학교 중앙도서관

[그림 69] 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 재개 상태일 경우 저장된 정보 재전송
[Figure 69] Packet re-transmission according to communication resume

위와 같이 Packet Sniffer를 통해 스마트 플러그와 게이트웨이 간 전송되는 패킷을 통하여 통신 장애 발생 시 통신 상황을 테스트를 진행하였다. 23“ 모니터를 대상으로 하여 스마트 플러그에 연결 정상 동작을 시킨 후 게이트웨이와 통신이

이루어지도록 하여 소비전력을 측정하였고, 게이트웨이의 통신 모듈을 탈착하여 통신이 이루어지지 않도록 하였다. 이때 통신이 이루어지지 않은 시간 동안 스마트 플러그는 소비전력을 저장하는지와 통신 재개 후 저장된 누적 소비 전력을 전송하는지 테스트 하였다. [그림 70]은 모니터의 소비전력을 측정한 결과를 그래프로 나타내고 있다.



[그림 70] 통신 장애 처리 테스트 결과

[Figure 70] Test results of communication failure handling

[그림 70]의 그래프에서 알 수 있듯이 그래프 상의 ①번 구간은 통신이 이루어지지 않은 구간을 나타내고 있다. 이때가 게이트웨이의 통신 모듈을 탈착한 상태가 된다. 이후 게이트웨이의 통신 모듈을 부착하고 통신이 재개되면 ②번 구간과 같이 소비전력이 측정되고 바로 이어서 ③번 구간과 같이 저장된 누적 소비전력이 전송된다. 그 후 ④번 구간과 같이 정상 동작하는 것을 테스트를 통해 확인 할 수 있었다.

3. 스마트 플러그 상황 분류 성능 분석

본 절에서는 스마트 플러그의 소비전력 패턴을 분석하여 현재 스마트 플러그의 상황을 분류할 수 있는 알고리즘 성능을 평가하였다.

성능 평가를 위한 테스트 환경은 셋톱박스와 전기밥솥 두 가전제품을 기본으로 하여 스마트 플러그에 연결 후 1초단위로 측정하도록 하였다. 먼저 측정기를 통하여 각각의 가전기기에 대해 소비전력과 대기전력을 측정하여 평균값을 구하여 데이터베이스에 저장하였다. 측정된 평균값은 [표 16]과 같다.

[Table 16] Device-specific power consumption measurements using a measuring instrument

[표 16] 측정기를 이용한 기기별 소비전력 측정 결과

가전기기	셋톱박스		가전기기	전기밥솥	
상태	on	off	상태	on	off
평균값	10.42 W	4.42 W	평균값	126.92 W	3.52 W
표준편차	0,71 W	0.23 W	표준편차	1.79 W	0.14 W

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그리고 스마트 플러그를 통하여 두 가전기기에 대해 1초 단위 측정을 통해 소비 전력과 대기전력을 측정하여 측정기의 결과와 비교 하여 오차가 없는지를 판단하였다. 스마트 플러그를 통해 측정된 결과는 [표 17]과 같다.

[Table 17] Device-specific power consumption measurement using the Smart plug

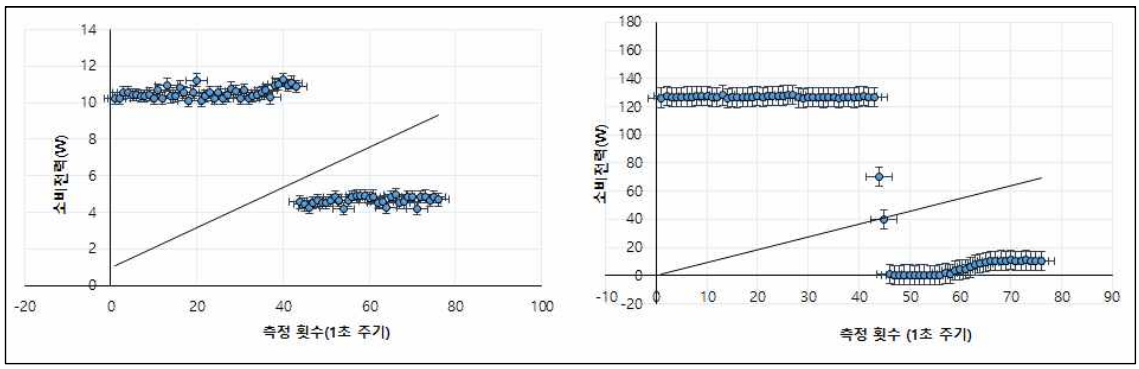
[표 17] 스마트 플러그를 통한 기기별 소비전력 측정 결과

가전기기	셋톱박스		가전기기	전기밥솥	
상태	on	off	상태	on	off
평균값	10.54 W	4.48 W	평균값	126.77 W	3.53 W
표준편차	0.58 W	0.24 W	표준편차	1.79 W	0.13 W

이처럼 측정기과 스마트 플러그를 통해 두 가전기기에 대한 소비전력과 대기전력 측정 수치에 대한 신뢰성을 판단하여 테스트를 진행하였다.

스마트 플러그를 통해 두 가전기기에 대해 사용 중일 때와 대기 중일 때 측정된 소비전력을 변화 상태는 [그림 71]과 같이 소비전력 분포가 두 가지 유형으로

군집화를 이루는 것을 알 수 있다.

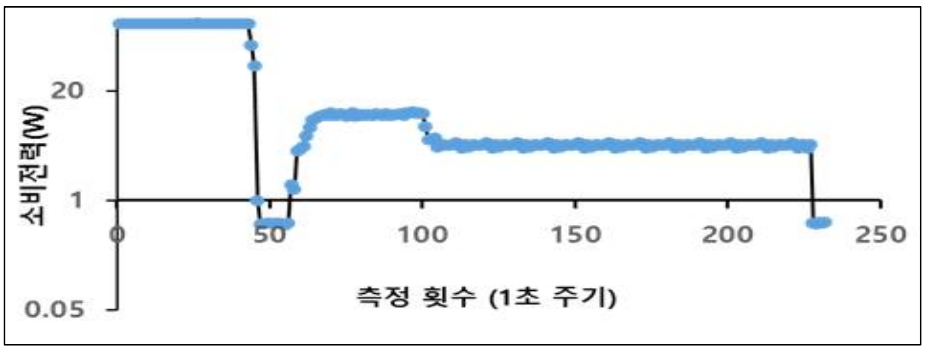


(a) (b)

[그림 71] 기기별 소비전력 군집화 그래프 (a) 셋톱박스 (b) 전기밥솥

[Figure 71] Clustering graph of device-specific power consumption (a) set-top box (b) Electric cooker

이를 바탕으로 스마트 플러그에서 측정되는 소비전력 패턴을 분석하여 연결된 가전기기가 변경되어도 현재 스마트 플러그에 연결된 가전기기가 사용 중인지 대기 중인지 판단하는 기능에 대한 성능을 평가 하였다. 먼저, 스마트 플러그에 전기밥솥을 연결하여 사용 중일 경우에 대한 소비 전력을 1초 단위로 전송하도록 하였다. 1분 후에 전기밥솥을 제거하고 셋톱박스를 연결하여 가전기기를 변경하였다. 셋톱박스를 1분간 정상 동작 시킨 후 전원을 끄고 대기 중으로 변경하여 2분간 유지 하도록 하였다. 2분 후 셋톱박스가 연결된 스마트 플러그의 전원이 Off 되는지 확인하였다. 이때 테스트가 진행된 5분간 데이터베이스에 저장된 소비전력 측정정보를 그래프로 표현하면 [그림 72]와 같다.



[그림 72] 기기변경에 따른 스마트 플러그 소비전력 측정 정보

[Figure 72] Smart plug power measurement information in accordance with the equipment changes

[그림 72]에서 나타난 결과와 같이 처음 1분간 전기밥솥이 사용 중일 때의 소비전력을 측정한 후 전기밥솥을 제거하여 셋톱박스로 변경한 후 소비전력을 측정한 후 다시 1분 뒤 셋톱박스의 전원을 Off 하여 2분간 소비전력을 측정하였다. 셋톱박스의 전원을 Off 한 상태로 2분이 지난 후 스마트 플러그의 전원이 Off 된 것을 확인할 수 있다.

이와 같이 측정기를 통해 먼저 가전제품의 소비전력과 대기전력 기준 값을 결정하여 데이터베이스화 하고 스마트 플러그에서 측정되는 소비전력 패턴을 분석하여 사용 중일 때와 대기 중일 때의 기준 값을 결정하기 위해 군집화 알고리즘을 바탕으로 두 개의 군집을 정하고 기준 값을 설정하도록 하였다. 두 개의 기준 값을 결정하면 데이터베이스의 가전기기별 소비전력과 대기전력 기준 값과 비교하여 현재 스마트 플러그에 연결된 가전제품의 사용 여부를 판단할 수 있도록 구현한 결과를 확인할 수 있었다.

성능 평가를 통해 측정기를 통해 측정된 가전 기기별 사용 중일 때와 대기 중일 때에 대한 평균값과 스마트 플러그를 통해 알고리즘을 적용한 기준 값 비교 결과는 [표 18]과 같다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

[Table 18] Result comparison of reference value a apply algorithm

[표 18] 알고리즘 적용 기준 값 설정 결과 비교표

가전 기기	측정기		스마트 플러그	
상태	On	Off	On	Off
셋톱박스	10.42 W	4.42 W	11.01 W	4.59 W
전기밥솥	126.92 W	3.52 W	127.28 W	3.88 W

이처럼 측정기를 통해 구한 가전기기별 소비전려고가 대기전력 기준 값과 알고리즘을 통해 측정된 가전기기별 소비전력과 대기전력의 오차는 0.7W 이내인 것을 확인할 수 있다.

테스트 결과 전기밥솥에서 셋톱박스로 가전제품을 변경할 경우 측정되는 소비전력을 분석하여 셋톱박스가 대기 중일 때 정상 제어 명령을 전송한 결과를 확인할 수 있었다. 다만, 이번 테스트는 소비전력과 대기전력의 차가 확실하고 소비전력 수치의 변화가 일정한 제품을 중심으로 테스트를 진행하였지만 유무선 공유기 또는 IPTV와 같이 인터넷 사용량이 많은 제품의 경우 설정된 기준 값을

초과하는 소비전력 값이 측정된다. 대기 중일 때 역시 인터넷 사용량에 따른 소비전력 수치의 고저가 심하게 나타나게 되는데 이 경우에 대한 보완점이 필요하다.

4. 스마트 플러그의 대기 전력 소비 성능 분석

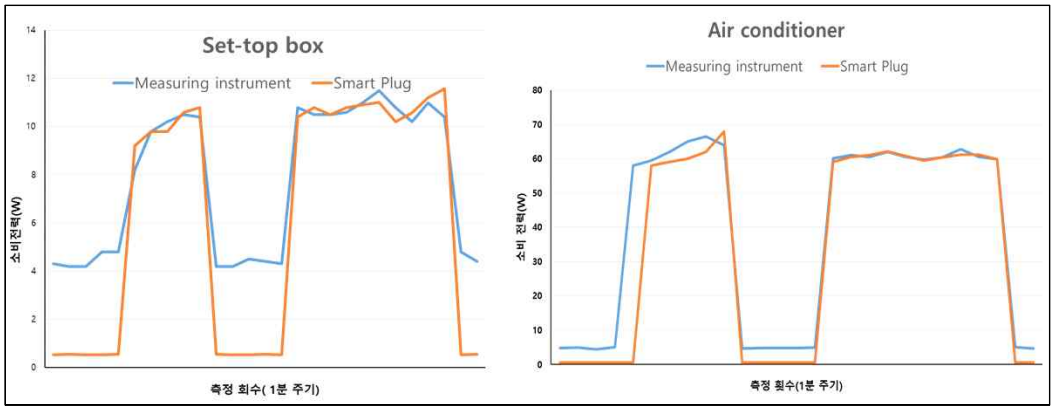
이번 절에서는 앞서 설정된 실험 환경을 통해 본 논문에서 구현한 스마트 플러그 시스템에 대한 에너지 효율성 평가를 위해 Wattman 전력 측정기를 이용 수행 결과를 분석한다. 이를 위해 일반 가정에서 보편적으로 사용하는 가전제품 7가지를 선택하여 스마트 플러그에서 전송되는 대기전력 수치와 측정기를 통해서 측정된 대기전력 수치를 함께 비교한다.

평가를 위해 선택된 가전제품은 셋톱박스, 에어컨, 유무선 공유기, 전기밥솥, 컴퓨터, TV, 모니터를 선택하여 테스트를 진행하였다. [표 19]와 같이 각 기기별로 1분 단위 측정 정보를 전송하도록 하였다. 그리고 5분 간격으로 스마트 플러그 On/Off 제어 명령을 보내 1시간 동안의 대기전력 상태와 활성 상태에 대한 소비전력을 수집하였다.

[Table 19] Test environment of standby power
[표 19] 기기별 대기전력 테스트 환경

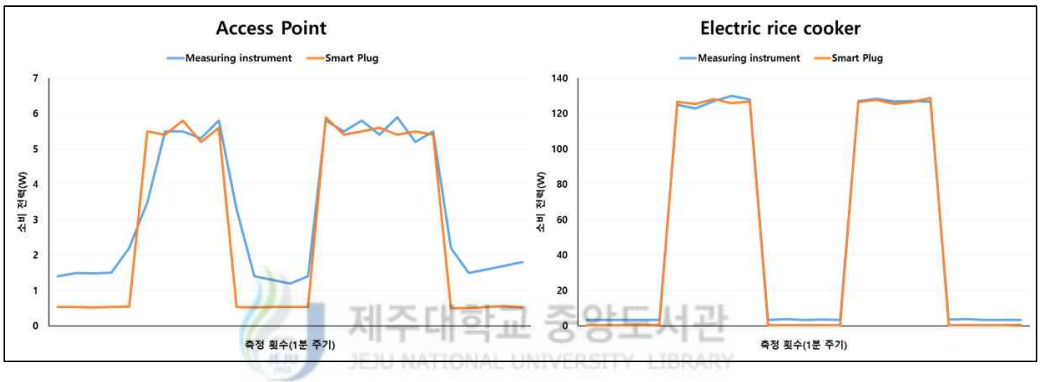
구 분	측정기	스마트 플러그
측정 주기	1분	1분
측정 시간	1시간	1시간
전원 On/Off 주기	5분	5분

[그림 73, 74, 75]는 각 기기별 측정기와 스마트 플러그에서 측정된 소비전력과 대기전력 결과를 그래프로 표현한 것이다.



[그림 73] 셋톱박스와 에어컨 측정 결과

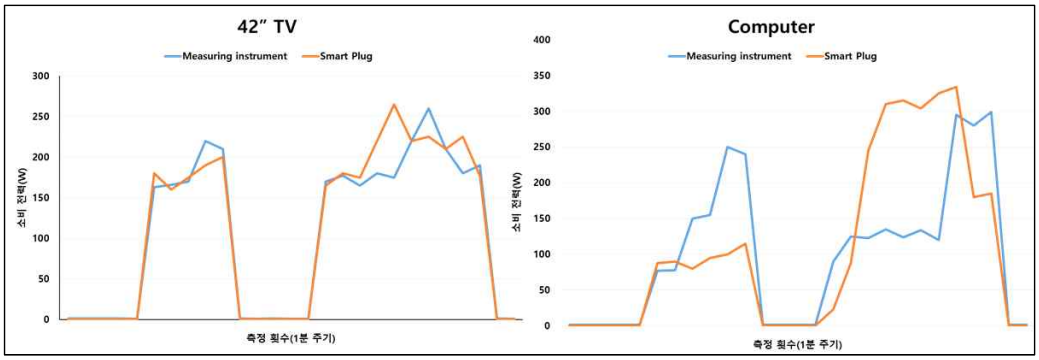
[Figure 73] Test result of set-top box and air conditioner measurement



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

[그림 74] 유무선 공유기와 전기밥솥 측정 결과

[Figure 74] Test result of access point and electric rice cooker measurement



[그림 75] TV와 컴퓨터 측정 결과

[Figure 75] Test result of TV and computer measurement

다음 [표 20]은 측정기로 측정된 기기별 대기전력과 스마트 플러그로 측정된 대기전력 결과를 나타낸 것이다.

[Table 20] Test result of standby power measurement
[표 20] 기기별 대기전력 테스트 결과

대상 제품	대기 전력(W)	
	측정기	스마트 플러그
셋톱박스	4.4 W	0.543 W
에어컨(스탠드)	4.8 W	
유무선 공유기	1.02 W	
전기밥솥(보온)	3.4 W	
컴퓨터(본체)	1.74 W	
42“ TV	1.2 W	
23“ 모니터	1.12 W	

측정 결과 본 논문에서 사용된 스마트 플러그의 경우 대기전력은 평균 0.543가 측정되어 스마트 플러그를 사용하지 않을 경우 보다 에너지 절감 효과를 나타내는 것을 확인하였다. 이를 바탕으로 가정 내 스마트 플러그 사용으로 인한 대기전력 절감 효과를 계산해보면 [표 21]과 같다.

[Table 21] Energy savings analysis
[표 21] 에너지 절감 효과 분석

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

구분	스마트 플러그 미사용 시						스마트 플러그 사용 시					
	셋톱박스	유무선공유기	전기밥솥	컴퓨터	모니터	TV	셋톱박스	유무선공유기	전기밥솥	컴퓨터	모니터	TV
시 간	24	24	24	5	5	7	24	24	24	5	5	7
년간일수	365						365					
시간당 대기전력 (w)	4.4	1.02	3.4	1.74	1.2	1.12	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
연간 대기전력량 (kwh)	38.5	8.9	29.7	3.1	2.2	2.8	4.3	4.3	4.3	0.9	0.9	1.2
kwh 전기요금단가(원)	63.83											
연간 대기전력 요금	2,460	570	1,901	203	140	183	280	280	280	58	58	82
합 계	5,457						1,037					

[표 21]에서 나타난 결과와 같이 특정 계절만 사용하는 에어컨을 뺀 본 논문에서 테스트를 진행한 가전제품을 기준으로 1년간 평균 가정 내 사용 시간을 고려

하여 계산한 결과 스마트 플러그 없이 사용될 경우 대기전력으로 년 간 소비되는 전력 요금은 5,457원으로 계산된다. 하지만 스마트 플러그를 사용하여 대기전력을 절감할 경우 그렇지 않은 경우 보다 절약된 1,037원의 년 간 전력 요금이 발생하게 되는 것으로 나타난다.

만약 가정 내 모든 전자제품에 대해 스마트 플러그를 사용할 경우 이보다 더 많은 에너지 절감 효과를 보일 것으로 본다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅵ. 결론

스마트 플러그는 기존의 가전제품 플러그에 통신 모듈과 전력 제어 장치를 추가하여 대기전력 차단과 실시간 전력 사용량 모니터링 및 원격 전원 제어 기능을 제공하는 제품으로 사용자에게 플러그에 연결된 전자 제품의 사용량을 알려줘 사용자가 절전 등의 사용습관을 개선할 수 있도록 돕는 장치이다. 그동안 스마트 플러그에 대한 표준이 없어 타사 제품과의 상호 호환성이 이루어지지 않아 초기 보급과 확산이 어려운 실정이었다. 그에 따라 타제품과의 상호 운용성을 위한 표준화에 대한 연구가 이루어지고 관련 서비스를 통합하기 위한 노력이 이어지고 있다. 국내에서도 스마트 플러그 활성화를 위해 2014년 7월 표준이 재정되면서 관련 산업의 육성을 위해 다 기종 기기에 대한 통합을 시도하고 있다. 본 논문에서는 SEP표준 기술을 기반으로 한 스마트 플러그와 이를 제어하고 모니터링하기 위한 게이트웨이에 대해 설계하고 구현 실험하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

스마트 플러그에서는 측정된 순시 전력, 누적 전력량, 전압, 전류, 역률 정보를 SEP 프로토콜에 맞게 패킷을 생성하여 게이트웨이로 전송하면 게이트웨이 내 미들웨어는 패킷을 분석하고 자체 Database로 저장하며 내장된 웹서비스를 통해서 모니터링 정보 원격지에서 전력사용량 정보를 확인할 수 있도록 하였다. 이와 같이 스마트 플러그와 게이트웨이 간 SEP 지원을 위한 메시지 처리, 스마트 플러그와 게이트웨이간의 양방향 통신 체계, 게이트웨이와 외부 애플리케이션과의 연계 등 스마트 플러그 통합 서비스 플랫폼에 필요한 서비스 제공 및 접근을 위한 인터페이스, 통신방식, 응용 방법에 대해 구현하였다.

또한, 스마트 플러그와 게이트웨이 간 통신 장애가 발생할 경우 다시 통신이 재개될 때까지 측정된 정보가 유실되지 않도록 스마트 플러그 자체적으로 측정된 정보를 저장한 후 다음 통신 재개 시 일괄 전송하도록 구현하였다. 게이트웨이에서도 스마트 플러그와 통신 장애가 발생하거나 게이트웨이 통신 모듈과의 연결이 끊어질 경우 또는 내부 시스템 오류로 인해 장애가 발생할 경우 자체적으로 시스템을 리부팅 시켜 게이트웨이 시스템이 Deadlock 상태에 빠지는 것을

방지하였다. 그리고 스마트 플러그에 연결된 가전제품이 변경될 경우에 대해 소비전력 패턴을 군집화하여 자동 대기전력 기준값을 설정할 수 있도록 하였다.

이와 같이 구현된 결과에 대한 성능 평가 테스트를 통해 전력을 사용하지 않는 전자제품에 대해서는 스마트 플러그가 대기 상태일 경우 0.3W, 무선 통신 상태일 경우 평균 0.543W가 측정되어 대기전력 절감 효과를 증명하였다. 스마트 플러그가 대기 상태일 경우 외부 통신을 대기하기 위해 Deep Sleep 상태가 아닌 Light Sleep 상태로 대기 중이어서 일정 부분의 소모 전력이 발생하는데 이 부분 역시 더 낮은 소모 전력을 사용하도록 추가 연구가 필요하다.

본 논문에서 제안된 스마트 플러그와 게이트웨이는 SEP1.x 표준에 기반을 두고 연구되면서 그에 맞는 메시지 처리, 통신 인터페이스 모델을 연구하였으며 향후, SEP2.0 지원과 IoT, WoT 등 다양한 환경에서 응용을 위해 IPv6 기반 통신 체계에 대해서도 연구가 병행되어야 한다. IP 체계로 통신 방식이 넘어가면서 각 디바이스들에 대한 관리와 등록, 보안을 위해 더 많은 부분이 연구되어야 한다. 그리고 대기전력을 제어하기 위해 스마트 플러그에서 전송된 소비전력 패턴을 학습하여 좀 더 지능적으로 대기전력 기준 값을 검출할 수 있도록 하여 스마트 플러그에 연결된 가전기기의 사용 여부를 판단하여 스스로 제어할 수 있는 부분에 대한 후속 연구가 요구된다.

제주대학교 중앙도서관

참고문헌

[1] 고동수, “녹색성장 구현을 위한 지능형 전력망(SmartGrid) 도입,” 산업연구원, Issue Paper 2009-244, 2009. 6.

[2] 도윤미 외, “스마트 그리드 기술동향: 전력망과 정보통신의 융합기술,” 전자통신동향분석, 제24권 제5호, 2009. 10.

[3] 한국전기연구원, “2011년 대한민국 대기전력 실측조사”, 2012년 6월, www.keri.re.kr

[4] 국토해양부, “건축물의 에너지절약 설계 기준 개정”, 2013년 3월, www.mltm.go.kr

[5] 산업통상자원부, “대기전력저감프로그램운용규정”, 2014년 3월, www.mke.go.kr.

[6] 한국정보통신기술협회, “스마트플러그 시스템 표준”, TTAK.KO-04.0184, 2014년 7월

[7] 한국정보통신기술협회, “스마트플러그 시험 표준”, TTAK.KO-04.0185, 2014년 7월

[8] 한국정보통신기술협회, “스마트플러그를 위한 에너지 서비스 인터페이스 시험”, TTAK.KO-04.0186, 2014년 7월

[9] 류대현, “PC와 주변기기의 전력 관리를 위한 네트워크 기반의 스마트 플러그 시스템”, 한국정보통신학회, Vol. 16 No.10, pp. 2171-2176, 2012년

[10] 심갑식, 장재혁, “에너지 절감을 위한 무선 대기전력 제어 시스템 설계 및 구현”, 한국콘텐츠학회, Vol. 13, No. 5, pp. 19-27, 2013년

[11] 김원호, “에너지 센서 네트워크를 위한 무선 스마트 플러그 설계”, 통신위성우주산업연구회논문지, Vol.6 No. 2, pp. 131-135, 2011년

[12] 이민구, 박용국, 정경권, 유준재, 성하경, “센서 네트워크를 이용한 첨단주택의 스마트 플러그 설계 및 구현”, 한국정보과학회, Vol. 37, No. 1D, pp. 412-415, 2010년

[13] 심갑식, 장재혁 “에너지 절감을 위한 무선 대기전력 제어 시스템 설계 및 구현”, 한국콘텐츠학회, Vol. 13, No. 5, pp. 19-27, 2013년

[14] 김윤주, 임경미, 임재현 “전력 에너지 절감을 위한 사용자 위치 기반 대기전력 제어 시스템의 설계 및 구현”, 한국정보과학회, Vol. 39, No. 1D, pp. 378-380, 2012년

[15] 오진석, 이헌석, “사용자 인식 기반 멀티-스마트 플러그에 관한 연구” 한국정보통신학회 Vol. 17, No.12, pp. 2976-2983, 2013년

[16] 송석진, 김용우, 정재우 “대기전력 차단장치와 IHD 스위치를 활용한 세대 전기 모니터링 방법”, 한국정보통신설비학회 Vol.2013 No.1, pp. 296-299, 2013년
[17] 노순영, “무선센서네트워크 상의 Smart Plug and Play 시스템 설계”, 대구대학교, 2014년
[18] 고태훈, 강석호, 조성준, “데이터마이닝 기법을 활용한 전력 사용관리 서비스 개발”, 대한산업공학회, pp. 393-420, 2011년
[19] Zigbee Specification, “Zigbee Smart Energy Profile Specification”, Revision 16, Zigbee Document 075356r16ZB, March 2011.
[20] 최우수, “Zigbee Pro 센서 네트워크를 이용한 스마트 미터링 알고리즘 구현”, 전남대학교, 2012년
[21] 김형래, “빌딩 스마트 그리드를 위한 BACnet-Zigbee 기반의 스마트 미터 설계 및 구현”, 한양대학교 2012년

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY