

# 에너지 자립형 스마트 홈 시스템 개발

이상학\* 정회원

## Development of Self-Consumption Smart Home System

Sanghak Lee\* Regular Members

### 요 약

최근 태양광, 에너지 저장 시스템 등의 발전으로 인해 가정에서 에너지 관리 시스템을 구축하고 에너지 생산을 스스로 하고자 하는 에너지 자립형 스마트 홈 시스템에 대한 연구가 활발해 지고 있다. 특히, 일본의 경우 후쿠시마 원전 사태 이후 전력망의 불안정성으로 인해 태양광을 통해 발전하고 이를 전력 에너지 저장 시스템에 저장하고 사용하는 가정용 시스템이 상용화되었다. 북미나 유럽에서도 태양광과 에너지 저장 시스템을 결합하여 신재생에너지 보급사업을 통해 보조금을 지급하면서 설치 가정을 확대하고 있다. 본 논문에서는 댁내 홈 네트워크를 통해 태양광과 에너지 저장 시스템을 연결하고 실시간 요금제에 기반을 둔 에너지 자립형 스마트 홈 시스템 개발에 대해 기술한다. 사용자의 개입을 최소화하면서 자동화된 운전으로 전력망으로부터의 에너지 사용을 최적화하여 에너지 자립형 홈을 구현하였다.

**Key Words** : energy storage system; energy self-consumption; photovoltaic power generation, home network, smart energy profile

### ABSTRACT

Due to advances such as photovoltaic power generation and energy storage system, energy self-consumption smart home system in which energy management system is built and energy is generated in house has been actively researched. In particular, due to the instability of the grid after the Fukushima nuclear accident, home system in which generating electricity from photovoltaic, storing and using it in energy storage system was commercialized in Japan. While subsidizing renewable energy projects through a combination of solar and energy storage systems in North America and Europe has expanded home installation. In this paper, we describe development of self-consumption smart home system which is connecting photovoltaic system and energy storage system in home area network and operating it based on real-time price. We implemented automated self-consumption home in which optimizing the use of energy from the power grid with minimal user's intervention.

## I. 서 론

국내에서 발생한 2011년 9.15 대규모 정전 사태와 일본의 후쿠시마 원전사태 이후 제한 송전을 대비한 가정용 비상 전 원장치 및 전력 예비율 확보를 위한 침두부하 보상 시스템의 필요성이 제기되고 있으며, 이에 따라 에너지 저장 장치(ESS)와 융합된 신재생 에너지 발전시스템에 대한 시장의 요구와 수요가 증가되고 있다. 현재 세계적 에너지 정책의 중심은 기존 공급위주에서 수요관리 위주로 이동 중이고 신 재생에너지 사업 활성화 등으로 인해 에너지 저장 장치(Energy Storage System, ESS)에 대한 관심도 급부상하고

있지만 아직 시장형성이 안되어 있는 상태이다. 에너지 저장 장치란 전력 수요가 적을 때 전력을 저장해 두었다가 수요가 많을 때나 비상시 저장된 전력을 사용함으로써 에너지 효율 향상 및 전력 계통의 안정적 운영을 가능하게 하는 장치로서 최근 신재생에너지 보급 확대로 전력 공급·수요 조절 및 품질 향상에 용이한 에너지 저장 장치가 필수 장치로 떠오르고 있다[1].

하절기 및 동절기에 가정내 냉난방 전력소모가 증가되어 전력요금이 증가되고 있는 상황이다. 이러한 전력을 태양광 등 대체에너지를 이용하여 가정내 전력 보상해주는 스마트 그리드가 각광을 받고 있으며 또한 스마트 그리드와 연동하

\* 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20131020400900)

\* 전자부품연구원 에너지IT융합연구센터 (shlee@keti.re.kr)

접수일자 : 2016년 05월 03일, 최종게재확정일자 : 2016년 06월 21일

기 위한 에너지 서비스 인터페이스를 가정내 전력관리용 홈 네트워크와 결합하여 홈 에너지 관리 시스템(Home Energy Management System, HEMS)를 구성하고 실시간 전력요금 및 수요반응(Demand Response) 정보를 활용하여 에너지 저장 및 판매를 통해 전력계통 안정화 및 전력요금 절감을 극대화 할 수 있다[2][3].

본 논문에서는 에너지 자립을 목표로 태양광과 에너지 저장장치를 가정에 도입하고 이를 활용하여 전력 사용을 최적 운용하여 에너지 사용 비용을 줄이기 위한 스마트 홈 시스템 개발에 대해 기술한다. 2장은 관련 연구 동향, 3장은 개발 내용, 4장은 시스템 운용 알고리즘, 5장을 결론 및 향후 연구방향에 대해 기술한다.

## II. 연구 동향

에너지 자립형 스마트 홈 시스템 연구와 상용화에 가장 활발한 국가는 일본이다. 일본은 단독주택 형태의 주거가 많아 정부에서 보조금을 지급하면서 태양광 도입을 독려하고 있다. 대표적인 기업으로 파나소닉이 시장 점유율이 높은 시스템을 생산하고 있다. 태양광/ESS 및 홈 에너지 관리 시스템으로 자사 가전제품을 무선 네트워크로 연동하여 개별부하 모니터링 및 제어를 통해 에너지 절감이 가능하다.

도시바 역시 태양광과 연계한 에너지저장장치를 패키지화하여 홈 에너지관리 시스템을 제품화하였다. 전지 용량 6.6kWh, 인버터 용량 3kVA로 전용 모니터링 및 제어 컨트롤러를 통한 손쉬운 조작 및 접근이 장점이다.

일본의 국가 전략은 경제산업성에서 Cool Earth 정책을 수립하고 에너지 혁신 기술 개발 중이다. 맥내 가전을 통합하는 네트워크 Echonet을 표준화하여 가전업체들이 활용하고 있다. 기기간 지능형 정보 교환을 통한 에너지, 보안, 자동화, 의료정보화를 목적으로 가정 내 통신 표준 프로토콜을 제정했다.

미국은 스마트그리드 연구 동향은 EPRI(Electric Power Research Institute), LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory), UC Berkeley, Google 등에서 홈, 빌딩 에너지 관리 기술 기반의 수용가 에너지 절감에 대한 연구를 진행중이고, PG&E (Pacific Gas and Electric Company) 에서 실시간 수요 반응(Demand Response) 기술 개발 및 사이트 적용을 하고 있다[4].

AT&T는 텍사스 전력회사와 스마트 미터를 공동개발하고 휴대폰을 이용한 전력량계 조절 서비스 제공 중이며, Smart Synch와 1만 가구의 양방향 통신 계량기 설치 프로젝트 추진 중이다.

미국 에너지부는 'Grid2030 보고서'를 근간으로 미국 전력회사는 전력사용에 따른 전력정보(요금, 사용량 등)에 대한 정보를 제공해야 하며, 향후 시간차등 요금제 등의 고객서비

스를 제공해야 한다는 국가에너지법 공공시설규제정책조례(Public Utility Regulatory Policy Act, PURPA)를 제정하였다[5].

국내에서는 한국정보통신기술협회에서 디지털홈 프로젝트 그룹인 PG214 내에 스마트그리드 실무반을 구성하여 운영 중이다. 여기서 '스마트그리드 가정용 에너지 관리시스템 참조 모델'과 '이기종 BAS/BEMS 정합 참조 모델' 표준화를 통해 가정용 에너지관리시스템과 빌딩에너지관리시스템에서의 기기와 인터페이스 및 통신 요구사항을 정의하고 있다.

현재 전력 소비절감에 대한 내용은 수요반응, 실시간 요금제, 직접 부하 제어 등의 다양한 방법을 적용하기 위하여 연구되고 있으며 특히 Advanced Metering Infrastructure(AMI)를 활용한 HAN(Home Area Network) 과의 연계 시스템을 통한 에너지 절감 기술이 부각되고 있다.

## III. 개발 내용

에너지 자립형 스마트 홈 시스템을 구현하기 위해서는 태양광 발전 시스템, 태양광에서 발전한 전력을 저장해 두었다 필요 시 사용할 수 있는 에너지저장시스템, 그리고 개별 가전 및 전등의 전력 사용량을 계량하고 제어할 수 있는 스마트플러그 등을 필요로 한다.

아래 그림은 전체 시스템의 구성도를 나타낸다. 에너지 자립형 스마트 홈 시스템은 단순 태양광 발전을 통해 생산된 전력을 저장해 두었다 쓰는데 그치지 않고 가격 변동에 따라 유연하게 활용될 수 있도록 하며 개별 기기의 제어를 통해 피크 전력 감축과 전체 사용량에 대한 효율 개선을 이룬다.

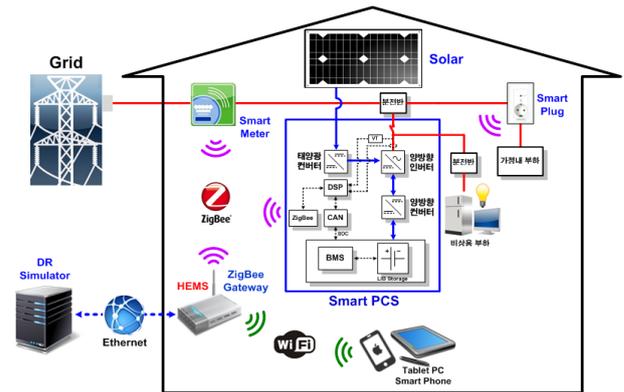


그림 1. 에너지 자립형 스마트 홈 시스템 구성도

세부 개발 내용을 분류하면 개별 기기들을 표준 기반 네트워크를 통해 연결하는 통신 프로토콜, 수요반응 서비스를 위한 서버/클라이언트, 그리고 홈 에너지 관리를 수행하는 애플리케이션이다. 이 장에서는 각 개발 세부 내용에 대해 기술한다. 개발된 세부 기기들이 연동하는 전체 네트워크 구성을 다음 그림과 같다.

### 1. 스마트그리드 연동 프로토콜 및 시스템

홈에서의 전력 에너지 생산 및 소비와 관련된 기기들을 전력망과 연결하기 위해서는 표준 통신 프로토콜을 필요로 하며 이를 위해 만들어진 것이 SEP(Smart Energy Profile)이다. SEP 2.0은 네트워크의 애플리케이션 계층으로 애플리케이션간 스마트 에너지 관련 데이터 및 기기 (ESS, EV, Sensor 등) 제어, 모니터링 정보를 연동하기 위한 웹 기반의 REST(Representational State Transfer), XML(Extensible Markup Language) 인터페이스를 정의한 표준이다.

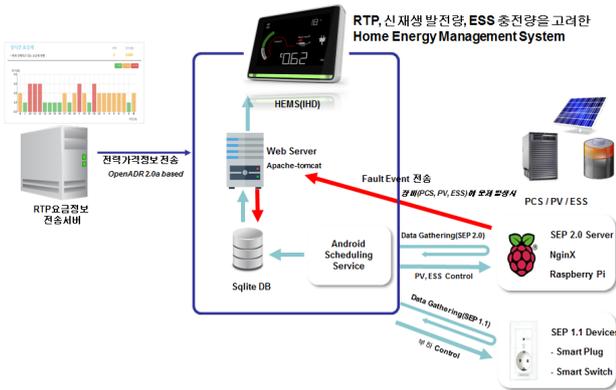


그림 2. 에너지 자립형 스마트 홈 시스템 구성도

SEP 2.0에서 정의한 기능은 함수 셋으로 제공되며 크게 3가지의 자원으로 구별되며, 각 셋은 REST 기반의 XML 인터페이스가 가능하도록 고유한 URI(Unique Resource Identifier)를 가지고 사용가능한 세부 항목은 Attribute로 표현된다. 양방향 발전시스템과의 연동을 위한 SEP 2.0항목은 Metering Function Set의 Usage Point Resource, Reading Set Resource, Meter Reading Resource를 매핑하여 개발하였으며, Response Function Set은 PV(Photovoltaic) / ESS(Energy Storage System) / PCS(Power Conditioning System)에서 발생하는 예외 이벤트를 SEP2 서버에서 IHD(In Home Display)의 Apache-Tomcat 웹 서버로 수신하기 위해 구현하였다[6].

SEP2.0 서버는 예외 이벤트를 Apache-Tomcat 서버의 /IhdProject/user/add URI에 HTTP POST Method로 XML 형식의 예외 이벤트 관련 정보를 전송한다. 양방향 발전시스템으로부터의 발전량, 충전량 등의 모니터링은 HTTP GET 명령을 이용하여 5분단위로 수신하며, 수신정보는 SEP 2.0에 정의된 XML데이터 포맷을 따르도록 개발하였으며, 각 항목별 정의 및 URI 매핑은 다음과 같다.

IHD는 각 항목별 정의된 URI를 REST 기반 인터페이스를 통해 데이터를 XML로 수집, 파싱하여 데이터베이스에 저장하며, 저장한 데이터는 IHD를 통해 현재 상태를 사용자에게 제공하고, ESS/PCS/PV 제어를 위한 알고리즘의 파라미터로 사용된다.

표 1. 데이터 항목별 정의된 URI

| 항목명       | 단위/구분                         | URI           |
|-----------|-------------------------------|---------------|
| PCS 발전전력  | W                             | /upt/0/mr/0/r |
| 일일 누적 발전량 | Wh                            | /upt/0/mr/1/r |
| 일일 누적 충전량 | Wh                            | /upt/0/mr/2/r |
| PCS 동작 모드 | 0:Ready, 1:stop, 2:run        | /upt/0/mr/3/r |
| 배터리 동작모드  | 1:Hold, 2:Charge, 3:Discharge | /upt/1/mr/0/r |
| 배터리 전력    | W                             | /upt/1/mr/1/r |
| SoC       | %                             | /upt/1/mr/2/r |
| 일일 누적 충전량 | Wh                            | /upt/1/mr/3/r |
| 일일 누적 방전량 | Wh                            | /upt/1/mr/4/r |
| 발전전력      | W                             | /upt/2/mr/0/r |
| 일일 누적 발전량 | Wh                            | /upt/2/mr/1/r |
| 동작모드      | 0:Ready, 1:Generation         | /upt/2/mr/2/r |

### 2. OpenADR 2.0 기반 요금정보 서버

국내에서 일반가정의 저압 수용가를 대상으로 변동요금제를 시행하고 있지 않지만 효과적인 수요관리를 이루기 위해서는 반드시 필요로 한다. 본 연구에서는 이를 시험하기 위해 OpenADR(Automated Demand Response) 2.0에 기반을 둔 요금정보 전송서버를 개발하였다. OpenADR은 미국의 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)에서 자동화된 수요관리 시스템 구축을 위해 개발된 표준 프로토콜이다.

변동요금 가격정보기준은 한전의 수요관리형 선택요금 II(고압B-선택1)을 기준으로 경부하/중간부하/최대부하 3단계별 전력요금을 적용하였고, 또한 계절별·시간대별 경·중간·최대부하가 시간 또한 한전기준을 준용하였다. 다음 표는 본 연구에서 활용한 요금제의 계절별, 시간대별 요금표이다.

표 2. 수요관리형 선택요금 II

| 기본요금 (원/kW) | 전력량요금(원/kWh) |            |                  |             |
|-------------|--------------|------------|------------------|-------------|
|             | 시간대          | 여름철 (6~8월) | 봄가을철 (3~5,9~10월) | 겨울철 (11~2월) |
| 6,630       | 경부하          | 60.00      | 60.00            | 67.00       |
|             | 중간부하         | 112.30     | 82.30            | 112.30      |
|             | 최대부하         | 299.70     | 174.40           | 168.50      |

서버는 오늘의 시간별 가격레벨과 레벨별 전력단가를 그래프와 테이블로 표현하고 별도의 다이얼로그 창에서 내일의 레벨과 가격을 지정할 수 있도록 개발하였다. 요금전송 서버는 매일 4시 익일의 요금정보를 OpenADR 2.0 XML 형식에 맞춘 데이터로 전송하며, IHD는 가격정보를 데이터베이스에 저장하여 복합에너지 운용 알고리즘 연동시 변수로 활용한다.

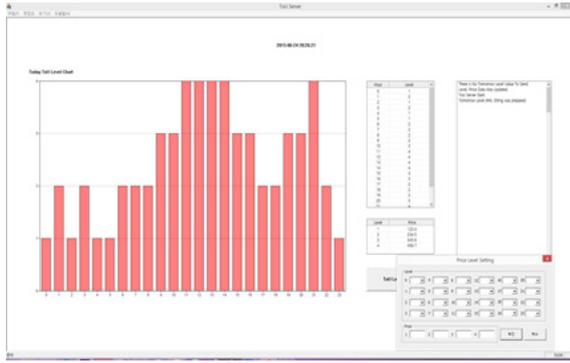


그림 3. 실시간 요금정보 서버 화면

### 3. 홈 전력 관리 응용 소프트웨어

스마트 디바이스 및 WEB 환경에서 자유롭게 사용이 가능한 웹 기반의 홈 전력 관리 응용 소프트웨어를 개발하였으며, 이를 통해 가정의 실시간 태양광(PV) 전력사용량 및 태양광 발전량, 전기요금, PV/PCS/ESS 충·방전 상태 등에 대한 정보모니터링이 가능하도록 시스템을 구성하였다.

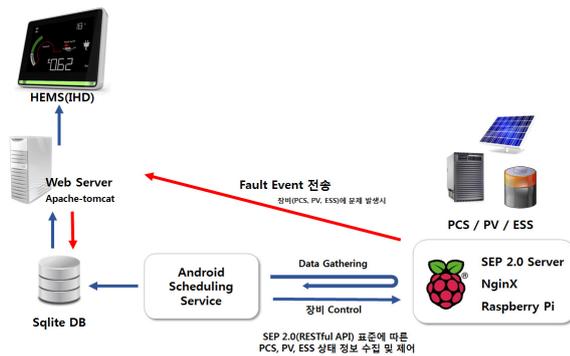


그림 4. 홈 전력 관리 응용 소프트웨어 구조

IHD에서 개발된 내용은 주로 사용자에게 개별 기기의 상태 정보를 제공하고 전력 사용과 관련된 현황을 통해 전력 사용 절감을 유도한다.

첫 번째 상태 정보는 에너지 사용량과 전원공급 상태이다.



그림 5. 전력 사용량과 기기 상태 정보 화면

배터리(ESS) 충·방전 상태 및 충전 전력 정보, 금일 가전별 사용 현황(사용량 및 사용비율 정보), 태양광(PV), 배터리(ESS), 계통 등의 가정의 전원공급 방식, 배터리(ESS) 충전 상태 및 충전 전력원 정보를 제공한다.

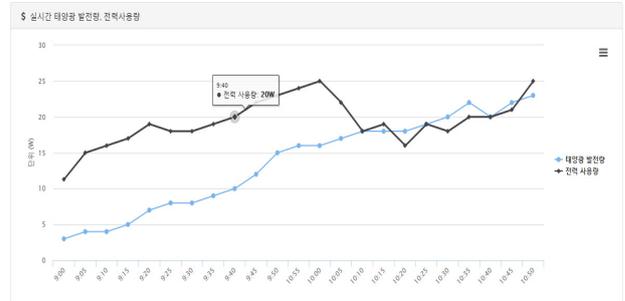


그림 6. 실시간 태양광 발전량, 전력사용량 화면

태양광 발전과 관련 5분단위의 2시간 동안의 실시간 태양광 발전량, 5분단위의 2시간 동안의 실시간 전력 사용량 데이터를 그림 6.의 형태로 보여준다.

그리고, 이달의 시간대별 전력현황 모니터링 정보를 통해 시간별 평균 전력단가 정보 (단위: 원), 시간별 평균 ESS 사용량 정보 (단위: Wh), 시간별 평균 태양광 발전량 정보 (단위: Wh), 시간별 평균 전력사용량 정보(단위: Wh)를 다음과 같이 보여준다. 이를 통해 사용자는 직관적으로 전력 에너지 사용 현황을 파악할 수 있으며 스스로 운용을 결정할 수 있다.

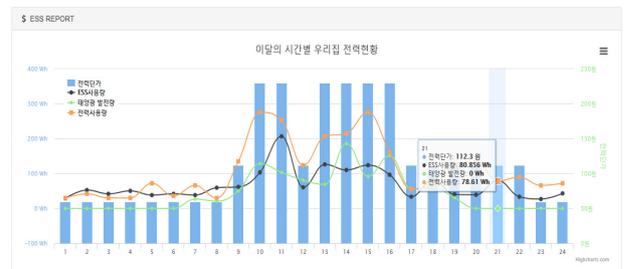


그림 7. 시간별 전력현황 화면

실시간 요금제에 맞춰 태양광 발전과 전력망의 사용을 효과적으로 조절하기 위한 댁내 시스템 개발에 대해 기술하였다. 다음 장에서는 실제 운용과 관련된 최적 에너지 관리 알고리즘에 대해 기술한다.

## IV. 최적 에너지 관리 알고리즘

PV 발전량을 예상하기 위해서는 내일의 운량, 일사량, 일조시간을 예측하고 이를 기반으로 추정하는 것이 일반적인 발전량 예측방법론이다. 그러나 현재 기상청에서는 오후7시에 3파라미터(운량, 일사량, 일조시간)에 대한 측정 실측치만

을 통보하며, 예보는 제공하지 않고 있다. 본 연구에서는 3가지 파라미터에 간접적인 영향을 받는 예보 가능한 정보(기상 상태, 기온, 과거 발전데이터)로 대체하여 과거 발전량 실측 데이터를 이용, PV 발전량을 예측한다. 과거 PV발전량 실측 데이터와 실측 지역의 기온 및 기상상태를 분석한 결과, 외부 기상요인이 비슷하다면, 발전량 역시 근사하게 측정된 것을 확인하였다.

표 3. 스케줄 알고리즘 입력 변수

| 항목            | 정의/목적                            | Gathering Time      |
|---------------|----------------------------------|---------------------|
| 날씨            | PV발전량 예측치를 제공 하기위한 날씨정보          | 1일 1회<br>(AM 03:00) |
| 과거 PV발전량      | PV발전량 예측치를 계산하기위한 통계 값           |                     |
| 가격정보          | 수신한 가격정보로 ESS충/방전 정책을 결정         | 1일 1회<br>(PM 04:00) |
| PV/PCS/ESS 상태 | 현재 적용 정책과 각 장치의 상태를 통해 다음 정책을 결정 | 5분                  |
| 스마트플러그 사용량    | 가정 내에 사용 전력량으로 ESS정책 결정에 사용.     |                     |

본 연구에서 PV/ESS/PCS의 제어 및 충·방전 제어를 위해 스케줄링 알고리즘을 개발하였다. 주목적은 입력 변수를 바탕으로 효율적으로 신재생에너지를 사용하도록 하는 것으로 주사용 입력 변수는 스마트 플러그의 현재 전력사용량이며 제어의 우선순위가 가장 높은 것은 ESS의 정책이다. 제어 정책에 필요한 입력 변수들은 각각 개별 기기를 통해 수집되며 제어 정책 결정에 활용하기 위해 하나의 데이터베이스에 저장된다[7].

제어 정책은 수집한 입력 변수를 종합적으로 판단해 1시간에 한번 정책을 결정, 개별 기기에 제어 명령을 내린다. ESS의 제어 정책은 주간/야간 정책으로 구분하여 개발되었다.

표 4. 스케줄 알고리즘 제어 변수

| 항목  | 설명  |
|-----|---|
| PV  | PV는 항상 Run 상태로 동작하며 특별한 정책 없이 발전을 지속                |
| PCS | PV와 ESS사이에서 전력의 흐름을 제어하며 ESS 사용을 위해 Run 상태를 유지      |
| ESS | 제어에서 가장 중요한 항목으로 충전량과 전력사용량을 종합적으로 판단해 방전 량 수준까지 제어 |

야간 정책의 가장 큰 고려사항은 계통전력으로 ESS의 충전 여부를 결정하는 것으로, 이때 필요한 입력변수는 발전량 예측 값과 전력사용기록으로 가격이 가장 높은 시점의 부하를 ESS충전 전력으로 대체 할 수 있도록 설정한다. 예측된 PV발전량으로 과거 전력사용정보를 기준으로 산정한 예상

전력사용량을 충분히 대체하지 못할 경우 새벽시간에 저렴한 계통전력으로 ESS를 충전하며, PV 발전량으로 충분히 대체 가능한 경우 일정 Margin을 적용하여 ESS에 충전량을 제어한다.

주간 ESS정책은 현재 사용전력의 전력원을 PV/ESS로 대체하는 것을 목표로 한다. 정책 결정 입력 변수는 현재 PV 발전량과 전력사용량, ESS 충전상태이며 ESS는 PV 발전량과 전력사용량의 조건에 따라 제어 정책을 결정한다. 현재의 PV 발전량과 전력사용량의 차이를 계산하여 PV발전량이 클 경우 부하를 대체하고 남은 전력을 ESS에 충전하도록 하였으며, 전력사용량이 클 경우 ESS에서 부족한 전력을 보충한다. 스케줄 알고리즘은 PV의 발전량과 내부 기준에 따라 충·방전량을 조절하며 ESS의 SoC가 10% 미만이 될 경우 방전을 중단하도록 설정한다.

개발된 시스템을 실증하기 위해 일반 건물 내 가정과 같이 가전 및 조명을 설치하여 에너지 자립형 스마트 홈 시스템을 설치하였다. 신재생 발전과 관련하여서 날씨 기반의 발전 프로파일을 활용하였다. 전기 부하는 조명, 냉장고, 정수기, PC 등 실사용 부하를 생성하였다. 다음 그림은 하루 동안의 소비전력, 태양광발전량, ESS 충전량을 나타내는 그래프이다. 일반적으로 소비전력은 낮 시간에 일정한 사용량을 보이다 밤 시간에 낮아지는 것을 알 수 있다. 또한 태양광은 낮 시간에 발전량이 최고에 이르며 일몰 이후 발전이 없음을 나타낸다. 낮시간에 발전된 전력은 부하에서 사용하고 남은 전력을 ESS에 충전한다.

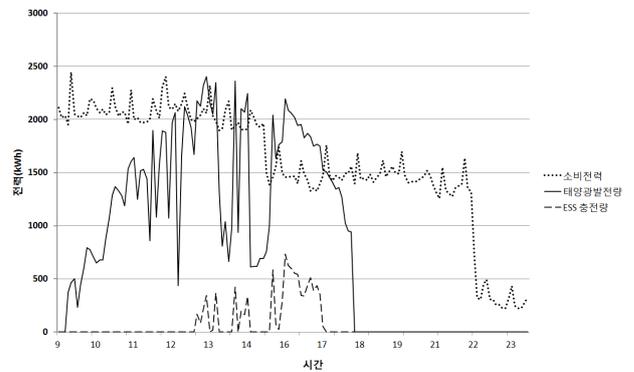


그림 8. 테스트베드의 소비전력, 태양광 발전, ESS충전 그래프

본 연구에서 개발된 결과물을 통합하여 실환경 테스트베드에서 동작 시험하여 가정에 적용될 수 있는 에너지 자립형 스마트 홈 시스템에 대한 안정적 운용이 이루어짐을 확인하였다.

## V. 결론 및 향후 연구방향

본 논문은 일반 가정에 적용될 수 있는 에너지 자립형 스마트 홈 시스템 개발에 대해 기술하였다. 최근 신기후체제

출범으로 온실가스 감축에 대한 요구는 더욱 커지고 정부의 에너지산업 정책에 따라 새로운 가치창출을 할 수 있는 제품과 서비스에 대한 개발이 활발하다.

본 연구의 주요 성과는 태양광 발전과 에너지저장시스템을 가정에 도입할 수 있도록 통신 프로토콜 개발과 실시간 요금제에 기반을 둔 수요관리 사업자와 연동할 수 있는 시스템을 개발하였다. 특히, 전력사용량, 발전량, 요금 등의 변수를 토대로 최적 운용 알고리즘을 개발해 전력 사용 요금을 최소화할 수 있도록 하였다. 해외에서는 이미 이와 같은 시스템이 상용화 수준에 이르고 있으며 국내에서는 한전에서 실증 사업을 준비 중이다.

이제는 주택이 단순히 에너지 소비 주체가 아니라 생산을 통해 남은 전력을 판매할 수 있는 프로슈머로 발전해 나가고 있다. 아직까지 이러한 새로운 기기들이 가정에 도입될 때 인터페이스 등의 표준이 완료되지 않아 호환성 확보에 어려움이 있다. 따라서 국내에서도 신재생발전시스템, 에너지저장장치, 전기차 등이 가정에 유입될 때 손쉽게 연결하고 비용을 줄일 수 있도록 표준이 시급히 마련되어야 할 것이다. 또한 대규모 실증을 통해 경제성을 확보하고 부가서비스 창출을 통해 투자 대비 회수기간을 최소화하도록 노력해야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Stanton T. Cady, Daniel Mestas, and Chris Cirone, "Engineering systems in the Re\_home: A net-zero, solar-powered house for the U.S. Department of Energy's 2011 Solar Decathlon", 2012 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI), pp. 1-5, 2012.
- [2] M. Longo, M C. Roscia, and D. Zaninelli, "Net zero energy of smart house design", 015 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), pp. 548-554, 2015
- [3] Branislav Todorovic, "Towards zero energy buildings: New and retrofitted existing buildings", 2011 IEEE 3rd International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources (EXPRES), pp. 7-14, 2011.
- [4] A. Azmi, M. L. Kohle, and A. G. Imenes, "On-grid residential development with photovoltaic systems in Southern Norway", 2013 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT), pp. 93-97, 2013.
- [5] J. A. Candanedo and A. K. Athienitis, "A systematic approach for energy design of advanced solar houses", 2009 IEEE Electrical Power & Energy Conference (EPEC), pp. 1-6, 2009.
- [6] B. R. Singh and O. Singh, "21st Century challenges of clean energy and global warming-can energy storage systems meet these issues?", 2010 3rd International Conference on Thermal Issues in Emerging Technologies Theory and Applications (ThETA), pp. 323-329, 2010.
- [7] L. Bartram, J. Rodgers, and K. Muise, "Chasing the Negawatt:

Visualization for Sustainable Living", IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 20, no. 3, pp. 8-14, 2010.

## 저자

### 이 상 학(Sanghak Lee)



<관심분야> : 스마트그리드, 효율향상

### 정회원

- 1993년 2월 : 전주대학교 수학과 학사 졸업
- 1997년 8월 : 경희대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업
- 2005년 3월 : 경희대학교 컴퓨터공학과 박사 졸업