

가정용 태양광/ESS 통합 스마트 PCS 개발

이상학

전자부품연구원 에너지IT융합연구센터

Development of Smart PCS(Power Conditioning System) Integrating PV/ESS for Home

Sang-Hak Lee

Energy IT Convergence Research Center, Korea Electronics Technology Institute

요 약 최근 들어 가정 내 태양광과 에너지저장시스템을 도입하여 에너지 자립도를 높이고자 하는 기술 개발이 활발히 이루어지고 있다. 낮에 생산된 전기를 에너지 저장 시스템에 충전해 두고 전기요금이 높을 때 사용함으로써 효율적인 에너지 관리를 수행할 수 있다. 국내에서는 아직까지 가정용 실시간 요금제가 이루어지고 있지 않지만 누진제 상의 일정 목표까지 전기 사용량을 낮출 수 있다. 가정 내 태양광을 도입하기 위해서는 전력 변환장치인 PCS를 필요로 한다. PCS는 직류로 생산된 전력을 교류로 변환하여 사용하고 에너지 저장 시스템의 충방전을 수행하도록 한다. 에너지 자립형 스마트 홈 시스템은 태양광, 에너지저장시스템에 대한 일반인들의 관심이 높아지면서 해외를 중심으로 시장이 형성되는 단계이다. 본 논문의 결과물은 실환경에 설치되어 검증을 수행하였으며 실시간 요금제를 가정하여 에너지 절감 효과를 분석하였다.

주제어 : 인버터, 컨버터, 태양광, 에너지저장시스템, 에너지 자립홈

Abstract Research and development of energy self-consumption introducing photovoltaic and energy storage system at home is very active. This system can manage the home energy in which it charges the electricity generated during the day and uses it during high electricity bills. However, it not yet made up the residential real-time pricing in Korea but it can reduce electricity usage to a certain target on the progressive. In order to introduce the home photovoltaic, it requires PCS(Power Conditioning System). This converts the direct current into alternating current by the electricity generated and used to perform charging and discharging of the energy storage system. The market for self-consumption smart home system is currently increasing because the interests of the general public about solar power, energy storage systems increased. The result of this study is installed on the room environment and the effect was analyzed on the assumption of real-time pricing.

Key Words : inverter, converter, photovoltaic, energy storage system, self-consumption home

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

Received 2 June 2016, Revised 1 July 2016

Accepted 20 July 2016, Published 28 July 2016

Corresponding Author: Sang-Hak Lee
(Korea Electronics Technology Institute)

Email: shlee@keti.re.kr

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

국내에서 발생한 2011년 9.15 대규모 정전 사태와 일본의 후쿠시마 원전사태 이후 제한 송전을 대비한 가정용 비상 전원장치 및 전력 예비율 확보를 위한 침두부하 보상 시스템의 필요성이 제기되고 있으며, 이에 따라 에너지 저장 장치(Energy Storage System, ESS)와 융합된 신재생 에너지 발전시스템에 대한 시장의 수요가 증가되고 있다. 현재 세계적 에너지 정책의 중심은 기존 공급위주에서 수요관리 위주로 이동 중이고 신재생에너지 사업 활성화 등으로 인해 에너지 저장 장치에 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 보상을 해주는 스마트 그리드가 각광을 받고 있으며 에너지 저장 장치를 활용한 유연한 관리를 수행할 수 있다[2][3]. 이를 위해 본 논문에서는 태양광발전을 통해 생산된 전력을 에너지저장장치 및 계통에서 활용할 수 있도록 하는 인버터(Power Conditioning System, PCS)를 개발하였다. 개발된 PCS의 특징은 태양광 발전을 통해 생산된 전기를 배터리에 저장하거나 상용 계통에 연결하여 사용할 수 있도록 기능을 갖추고 있다. 태양광 발전용 단방향 컨버터와 상용계통에 연계하기 위한 양방향 인버터, 그리고 배터리를 관리하기 위한 시스템으로 구성된다.

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

2. 연구동향

에너지 자립형 스마트 홈 시스템 연구와 상용화에 가

장 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[4, 5].

도시바 역시 태양광과 연계한 에너지저장장치를 패키지로 하여 홈 에너지관리 시스템을 제품화하였다. 전지 용량 6.6kWh, 인버터 용량 3kVA로 전용 모니터링 및 제어 컨트롤러를 통한 손쉬운 조작 및 접근이 장점이다[6].

일본의 국가 전략은 경제산업성에서 Cool Earth 정책을 수립하고 에너지 혁신 기술 개발 중이다. 맥내 가전을 통합하는 네트워크로 Echonet을 표준화하여 가전업체들이 활용하고 있다. 기기간 지능형 정보 교환을 통한 에너지, 보안, 자동화, 의료정보화를 목적으로 가정 내 통신 표준 프로토콜을 제정했다[7].

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 진행 중이고, PG&E (Pacific Gas and Electric Company)에서 실시간 수요 반응(Demand Response) 기술 개발 및 사이트 적용을 하고 있다[8].

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 고객서비스를 제공해야 한다는 국가에너지법 공공시설규제정책조례(Public Utility Regulatory Policy Act, PURPA)를 제정하였다[9].

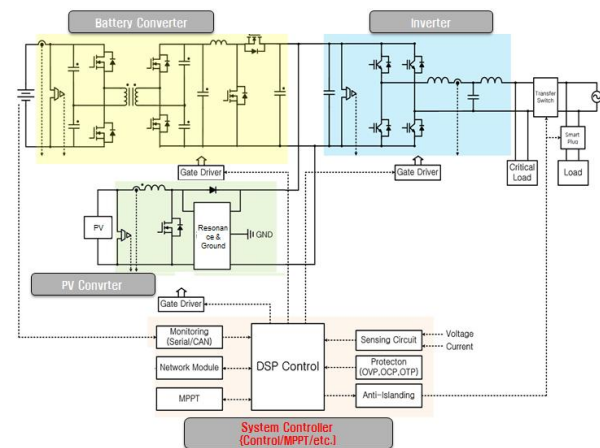
국내에서는 한국정보통신기술협회에서 디지털홈 프로젝트 그룹인 PG214 내에 스마트그리드 실무반을 구성하여 운영 중이다. 여기서 '스마트그리드 가정용 에너지 관리시스템 참조 모델'과 '이기종 BAS/BEMS 정합 참조 모델' 표준화를 통해 가정용 에너지관리시스템과 빌딩에너지관리시스템에서의 기기와 인터페이스 및 통신 요구

사항을 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.

3. 스마트 PCS 개발내용

태양전지 어레이에서 발전된 전력은 직류이기 때문에 전기 부하기에 필요한 전력을 공급하거나 계통과 연계 시키기 위해서는 계통과 동기운전을 하면서 고조파가 적은 양질의 교류전력으로 변환하여야 한다. 이러한 역할을 하는 PCS는 태양전지 어레이의 출력이 항상 최대전력점에서 발전할 수 있도록 최대전력점추종(MPPT : Maximum Power Point Tracking)제어 기능을 가지고 있어야 하며, 계통과 연계되어 운전되기 때문에 계통 사고로부터 PCS를 보호하고 태양광발전 시스템 고장으로부터 계통을 보호하는 여러 가지 보호기능을 보유하고 있어야 한다. 이 때문에 범용 인버터와 구분하여 Power Conditioner 또는 Power Conditioning System(PCS)이라고 부른다.



[Fig. 1] Smart PCS Diagram

범용 인버터와 태양광 인버터(PCS)의 차이점을 살펴 보면, PCS의 경우

① 일사량, 태양전지 어레이의 표면 온도, 장애물 또는 구름에 의한 그림자 발생 등의 영향으로 시시각각으로 변화하는 환경조건 하에서 태양전지 어레이의 최적 동작점을 항상 추적하여 최대발전량을 얻을 수 있도록 운전하여야 하기 때문에 최대 전력점 추종제어 기능이 내장되어 있어야 하고,

② 계통전압과 항상 동기운전이 필요하기 때문에 제어용 기준 신호는 계통에서 받아 계통전압을 추종하여 계통전압과 동기화가 되어야 하며,

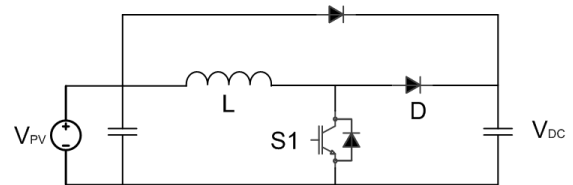
③ 계통 사고로부터 PCS를 보호하고, 태양광발전시스템 고장으로부터 계통을 보호하여야 하기 때문에 각종 보호기능을 내장하여야 하는 등의 차점이 있다.

개발된 스마트 PCS는 태양광 발전용 단방향 컨버터, 배터리 충방전을 위한 양방향 컨버터, 계통 연계를 위한 양방향 단산 인버터로 구성된다. [Fig. 1]은 시스템 구성도를 나타낸다.

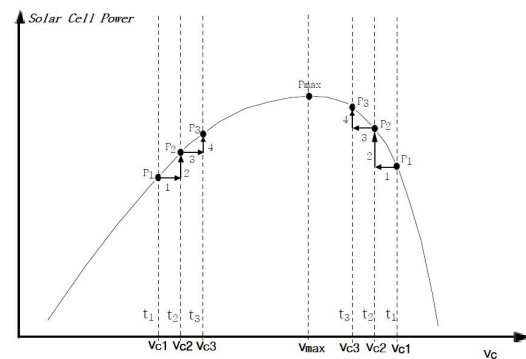
다음은 각 세부 개발 내용에 대해 기술한다.

3.1 태양광 발전용 단방향 컨버터

태양광 발전용 컨버터의 과도 신뢰성 및 효율 향상을 위해 아래 그림과 같이 비절연 방식의 부스트(Boost) 컨버터를 선정하여 최적화 진행하였다.



[Fig. 2] Converter Topology

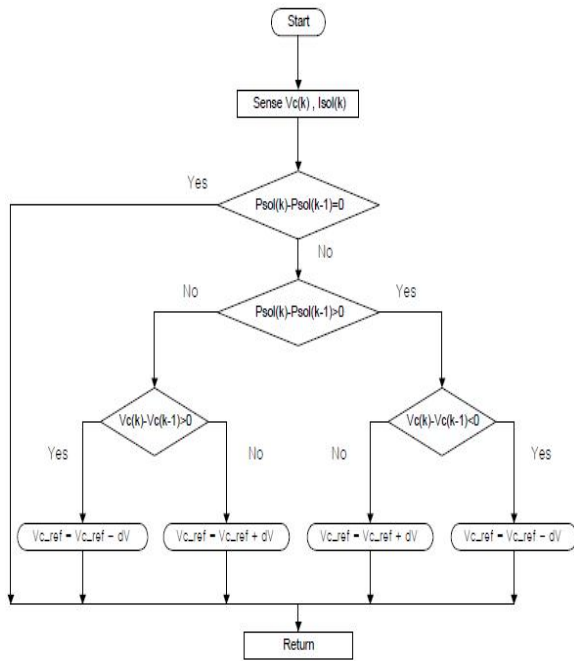


[Fig. 3] P&O MPPT(Maximum Power Point Tracking) Graph

태양광 최대 전력점 추종 제어 알고리즘은 일사량과 표면온도의 변화에 따라 가변하는 태양전지의 최대출력 점을 추정하여 전압 지령치로 출력하는 동작을 수행한다.

본 연구에서는 Perturbation & Observation(이하 P&O) 법을 사용하였고 태양전지 어레이 출력을 관측, 이전 출력과 비교하여 출력이 증가하는 방향으로 부스트 컨버터의 입력 전압/전류를 상승 또는 하강 시키는 방법을 적용하였다[10].

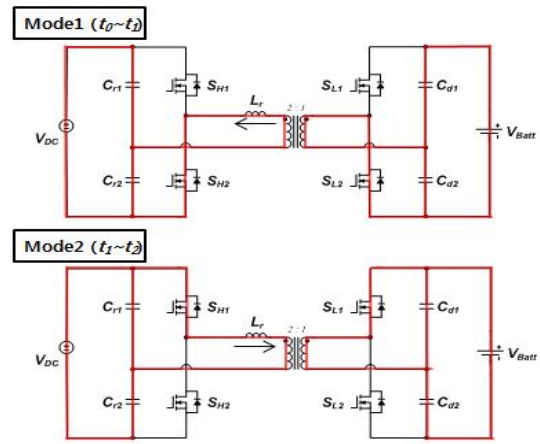
가로축은 태양전지 단자전압이고 세로축은 출력전력이며 MPPT 알고리즘은 $\frac{dP_{sol}}{dV_{sol}}$ 를 계산하여 그 값이 0 이 되는 최적동작점 전압을 찾아가는 것을 목표로 한다.



[Fig. 4] MPPT Algorithm Flowchart

3.2 배터리 충방전용 양방향 컨버터

배터리 충방전을 위한 컨버터는 비절연 Buck-Boost 컨버터와 절연형 공진형 2단 회로 토폴로지로 구성되며, 아래 그림과 같이 주파수 제어 없이 절연부 컨버터의 듀티(D=0.5)와 스위칭 주파수를 고정하여 변압기 및 스위치 등 절연부를 최적화하였다.



[Fig. 5] Insulated bi-directional Converter Topology

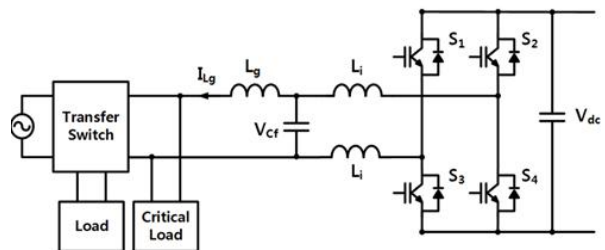
개발된 컨버터의 사양은 다음 표와 같다.

<Table 1> Converter Specification

Classification	Specification
Output Capacity	3W
Output Voltage	380 V
Input Voltage(ESS)	200V(nom)
Insulated Switching Frequency	57kHz
Uninsulated Switching Frequency	20kHz
Buck-Boost Core	CH6100125*2
Buck-Boost Inductance	3mH
Buck-Boost MOSFET	IXFN110N60P3
SRC HV MOSFET	
SRC LV MOSFET	IXFN210N30P3

3.3 계통 연계형 양방향 단상 인버터

아래 그림은 단상 DC/AC 인버터의 구성도 및 제어 블록도이며 계통 전압은 Vg, 필터 캐패시터 전압 Cf, 직류 측 캐패시터 전압은 Vdc이며, 스위칭 노이즈를 저감을 위한 저역필터용 인덕터를 인버터의 각 Leg에 분산하여 배치하였다.



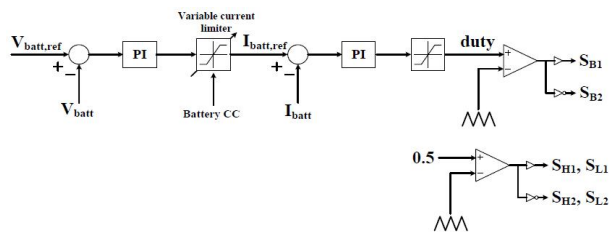
[Fig. 6] bi-directional Inverter Diagram

단상 DC/AC 인버터는 양방향 동작이 가능한 풀-브릿지 구조의 단상 인버터로 수동소자의 부피저감을 위하여 LC 필터를 사용하고 양방향 동작이 가능하다. 계통연계 모드에서는 외부의 직류측 전압 제어와 내부의 계통측 전류제어로 구성되어 있으며, 독립운전모드에서는 LC필터 커패시터의 전압제어만 수행한다. 인버터 교류제어기는 PI 제어기를 적용한 전류제어기를 적용하였다[11,12].

계통연계형 PCS 시스템에서 정전시 PCS의 운전을 멈추는 단독운전 검출 기능은 계통과의 보호 협조면에서 매우 중요한 기능이며, 본 연구에서는 능동적인 방식 중 무효전력 변동방식(Reactive Power Variation Method : 이하 RPV)를 적용한 단독운전 검출기법을 적용하였다. 단독운전시 $\sin(\theta^*(t) - \theta(t))$ 는 계통전압과 부하전류 ($i_L = -i_{con}$)의 위상차와 관련된 성분으로 나는데 이는 식(12)와 같이 정의할 수 있고 RPV 방식 적용시 계통의 주파수 변동특성을 규명할 수 있는 식(13)과 같은 1계 미방으로 유도되므로, 무효전력 주입계수 k 에 따라 정전시 검출되는 주파수 변동값($\Delta\omega_{maxq}$)이 증가되므로 정전판독의 기준값으로 사용된다.

3.4 배터리 관리 시스템

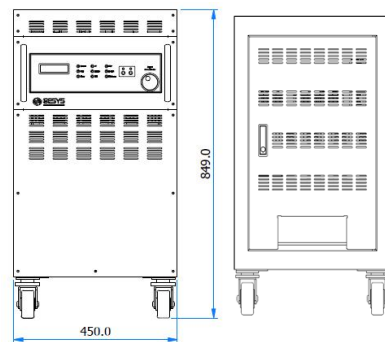
배터리 충방전을 위해 정전류/정전압 제어기술을 개발하였다. 리튬전지의 기본적인 충전 개념은 리튬전지의 초기 충전 시 일정크기의 정전류(CC : Constant Current)로 충전을 수행함. 정전류(CC) 모드로 충전시 리튬이온전지의 최대 충전전압은 약 +4.2V이고 리튬 인산철염 전지의 경우 3.55V이다. 정전류 최대값까지 충전전압이 증가하면 이후 리튬이온 전지의 과충전을 방지하기 위하여 정전압(CV: Constant Voltage) 모드로 충전을 수행한다. 이때 리튬 전지는 거의 충전이 된 상태이므로 미세전류로 충전을 하여 리튬이온 전지의 과충전을 보호한다.



[Fig. 7] CC-CV Control Algorithm

[Fig. 7]과 같이 양방향 컨버터 제어기는 정전류 정전압 제어를 위해 이중 루프 구조를 가지며 배터리 전류의 충방전 제어를 위한 전류제어기, 배터리 전압을 제한하기 위한 리미터, 배터리 전압을 제어하기 위한 전압제어기로 구성된다. 배터리 전압제어기의 출력 값으로 비절연부 컨버터의 듀티를 제어하며 절연부 컨버터의 듀티 및 스위칭 주파수는 일정하다. 배터리 전압제어기의 출력이 배터리 전류제어기 기준 값이므로 CV모드 동작이전에 전류제어기 기준값 조정을 위한 리미터의 값을 변경하면 원하는 CC전류제어의 수행이 가능하다[13,14,15].

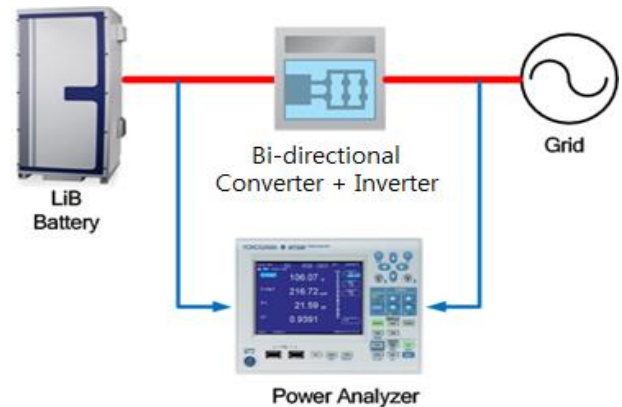
실제 제작된 결과물은 다음 그림과 같다. 배터리와 PCS가 일체형으로 통합된 형상을 지닌다.



[Fig. 8] Smart PCS including ESS

4. 성능 시험

스마트 PCS의 성능 측정을 위해 배터리 충방전 컨버터와 태양광 인버터에 대해 효율을 측정하였다. 시험 환경은 아래 그림과 같다.



[Fig. 9] Battery Converter Efficiency Test

측정 조건은 다음과 같다.

- ESS 배터리 입력 : 정격 3[kW] 기준 배터리 적용 (190V/16A)
- 태양광 입력 : 정격 3[kW] 기준 태양광 시뮬레이터 적용 (1000V/10A급)
- 인버터 출력 : 계통 220V 기준 교류전원
- 효율측정 방법 : Power Analyzer 2CH 컨버터 입력-계통출력 연결
- 효율측정 조건 : 정격용량 기준 방전모드

양방향 PCS의 효율 측정 결과는 아래 그림과 같다.



[Fig. 10] Test Result

태양광 PCS의 효율 측정은 배터리를 PV 시뮬레이터로 교체하여 실험하였으며 다음과 같은 결과를 확인하였다.



[Fig. 11] Test Result

따라서 개발된 스마트 PCS는 상용 수준의 높은 효율을 보이는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문은 일반 가정에 적용될 수 있는 에너지 자립형 스마트 홈 구현을 목표로 스마트 PCS 개발에 대해 기술하였다. 최근 신기후체제 출범으로 온실가스 감축에 대한 요구는 더욱 커지고 정부의 에너지신산업 정책에 따라 새로운 가치창출을 할 수 있는 제품과 서비스에 대한 개발이 활발하다[16,17,18].

본 논문의 주요 성과는 태양광 발전과 에너지저장시스템을 가정에 도입할 수 있도록 태양광용 PCS, 에너지저장시스템용 PCS, 계통 연계용 인버터 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[19,20].

이제는 주택이 단순히 에너지 소비 주체가 아니라 생산을 통해 남은 전력을 판매할 수 있는 프로슈머로 발전해 나가고 있다[21,22]. 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[23,24].

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20131020400900).

REFERENCES

- [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] D. Han, J. Zhang, Y. Zhang, Wanyi Gu, "Convergence of sensor networks/internet of things and Power Grid Information Network at aggregation layer", 2010 International Conference on Power System Technology (POWERCON), pp. 1-6, 2010.
- [4] S. Varadan, "Today's workforce in tomorrow's smart grid: Bridging the growing gaps", 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp. 1-1, 2012.
- [5] C. S. Choi, J. I. Lee, and I. W. Lee, "Complex home energy management system architecture and implementation for green home with Built-in Photovoltaic and motorized blinders", 2012 International Conference on ICT Convergence (ICTC), pp.295 - 296, 2012.
- [6] P. R. Kim, "A study on the characteristics of ICT-based converging technologies", 2011 Proceedings of PICMET '11: Technology Management in the Energy Smart World (PICMET), pp. 1-6, 2011.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] M. Tamaki, K. Takagi, K. Shimada, N. Kawakami, and Y. Iijima, "Development of PCS for battery system installed in megawatt photovoltaic system", 2012 15th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC), pp. LS1a-2.1-1-LS1a-2.1-4, 2012.
- [13] Y. Guo, "A novel modulation/RF architecture for long battery life-time PCS mobile units", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 43, no. 3, pp. 795-800, 1997.
- [14] H. Li, Y. Iijima, and N. Kawakami, "Development of power conditioning system (PCS) for battery energy storage systems", 2013 IEEE ECCE Asia Downunder (ECCE Asia), pp. 1295-1299, 2013.
- [15] X. Long, R. Liao, and J. Zhou, "Low-cost charge collector of photovoltaic power conditioning system based dynamic DC/DC topology", IET Renewable Power Generation, Vol. 5, no. 2, pp. 167 - 174, 2011.
- [16] Y. K. Lee and K. H. Youn, "Searching Role of Government for Promoting IoT Industry", Journal of Digital Convergence, Vol. 14, no.5, pp. 47-55, 2016.
- [17] M. S. Park and H. S. Yang, "Improvements for Ordering and Bidding of VE in Convergence Era", Journal of Digital Convergence, Vol.14, no.3, pp. 25-33, 2016.
- [18] B. S. Shim and D. H. Yoo, "Trends and Activation Plans for Next-generation Wireless Broadband Industry", Journal of Digital Convergence, Vol.13, no.12, pp. 13-21, 2015.

- [19] Y. S. Hau, "IT SMEs' Product Planning Capability and Manufacturing Capability in the Context of Digital Convergence: The Mediating Impacts of the Product Exterior and Interior Design Capabilities", *Journal of Digital Convergence*, Vol.13, no.12, pp. 55-62, 2015.
- [20] H. S. Byeon and M. R. Kang, "The Study of Factors on Information System Success through Web Assimilation", *Journal of Digital Convergence*, Vol.13, no.11, pp. 85-97, 2015.
- [21] Y. W. Seo and Seong Wook Chae, "A study of appropriateness evaluation method for quality activity management of Software R&D Project", *Journal of Digital Convergence*, Vol.13, no.8, pp. 91-99, 2015.
- [22] M. W. Lee and S. C. Kim, "Effects of Smart-Work IT-Resources on the Work Efficiency and Corporate Performance in Service Industry", *Journal of Digital Convergence*, Vol.13, no.7, pp. 89-97, 2015.
- [23] B. S. Kang and K. H. Lee, "A Scheme on Energy Efficiency Through the Convergence of Micro-grid and Small Hydro Energy", *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol. 6, No. 1, pp. 29-34, 2015.
- [24] B. M. Kim, B. K. Kim, J. B. Park, and D. S. Rho, "Analysis of Customer Power Quality Characteristics Using PV Test Devices", *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol. 2, No. 4, pp. 21-27, 2011.

이 상 학(Lee, Sang Hak)



- 1997년 8월 : 경희대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2005년 2월 : 경희대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
- 2000년 1월 ~ 현재 : 전자부품연구원 수석연구원
- 관심분야 : 스마트그리드, 에너지 효율향상

· E-Mail : shlee@keti.re.kr