

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.6.191>  
JIIBC 2019-6-27

## 비상발전용 UPS 기능을 갖춘 도시철도용 복합형 전력저장시스템 개발

### Development of Hybrid Power Storage System for Urban Railway with UPS Function for Emergency Power Generation

홍경진\*

Kyungjin Hong\*

**요약** 도시철도 시설물의 경우, 대중교통의 특성상 전력공급이 차단되면 혼란이 발생하므로 통신설비, 방재설비 및 승차장 안전문 등이 안전한 승객의 이동을 위해 전원공급이 유지되어야 한다. 또한, 도시철도 운행노선에는 다수의 전동차가 운행 중이므로 운행 간격과 시설복구 시간을 고려하면 승차장 안전문은 최소 30분 이상, 통신설비 및 방재설비는 1시간 이상의 설비가동이 요구된다. 따라서 도시철도 구간의 역사나 차량화재발생 시 화재로 인한 추가확산을 막기 위해 주요전력이 차단되므로 유도등 및 배연설비의 안정적 동작 유지를 위해 비상 전원공급이 필수적이다. 최근에는 비상시 정전을 방지하는 UPS (uninterruptible power supply, 무정전 전원공급장치) 기능과 가격이 저렴한 야간 시간대에 전기를 저장하였다가 주간 피크시간대에 사용할 수 있도록 하여 전기요금을 절감해주는 ESS 기능을 합친 비상발전용 UPS 기능을 갖춘 복합형 전력저장시스템을 개발하는 추세이다.

**Abstract** In the case of urban railway facilities, the power supply should be maintained for the safe movement of passengers in communication facilities, disaster prevention facilities and boarding area security because of the confusion when power supply is cut off due to the nature of public transportation. In addition, considering that the number of trains is running on the urban railway line, it is necessary to operate at least 30 minutes for the bus stop and at least 1 hour for the communication and disaster prevention facilities. Therefore, it is essential to supply emergency power source to maintain stable operation of induction lamp and smoke exhaust system because main power is cut off in order to prevent further spread due to fire in case of the history of urban railway section or vehicle fires. Recently, UPS(Uninterruptible Power Supply) function to prevent power outage in emergency, emergency power generation combined with ESS function which saves electricity at nighttime price time, A hybrid power storage system with a UPS function.

**Key Words** : Energy Storage System(ESS), UPS, Emergency Power Generation, Urban Railway

\*정회원, 광주대학교 전기전자공학부  
접수일자: 2019년 7월 27일, 수정완료: 2019년 11월 15일  
게재확정일자: 2019년 12월 6일

Received: 27 July, 2019 / Revised: 15 November, 2019 /  
Accepted: 6 December, 2019

\*Corresponding Author: tronichkj@gwangju.ac.kr  
School of Electrical and Electronic Engineering,  
Gwangju University, Gwangju, Korea

## I. 서 론

최근 에너지의 효율적인 활용을 위해 전력저장시스템(Energy Storage System, 이하 ESS)이 개발되어 사용되고 있으며, 이 시스템은 일정 수준의 전력량을 ESS의 배터리에 저장하고 계통에 공급하며, 기존 계통에서 충방전을 통한 부하 평준화 및 첨두부하 분산도 가능하여 전력 사용의 효율성을 극대화할 수 있다. 반면에 비상 전원 시스템이 설치되는 건물 및 공장 부하는 피크저감 등의 수요관리가 필요하며, 이러한 비상 전원 기능을 갖춘 전력저장시스템으로 비상발전 설비가 필요한 빌딩, 공장 건축 시에 투자비를 최소화하고, 상시 전력비를 절감함으로써 경제성을 확보할 수 있는 기술을 개발함으로써 새로운 비즈니스 모델 제시가 필요하다.

도시철도 시설물의 경우, 대중교통의 특성상 전력공급이 차단되면 혼란이 발생하므로 통신설비, 방재설비 및 승차장 안전문(Platform Screen Door, 이하 PSD) 등이 안전한 승객의 이동을 위해 전원공급이 유지되어야 한다. 또한, 도시철도 운행노선에는 다수의 전동차가 운행 중이므로 운행 간격과 시설복구 시간을 고려하면 승차장 안전문은 최소 30분 이상, 통신설비 및 방재설비는 1시간 이상의 설비가동이 요구된다. 따라서 도시철도 구간의 역사나 차량화재발생 시 화재로 인한 추가확산을 막기 위해 주요전력이 차단되므로 유도등 및 배연설비의 안정적 동작 유지를 위해 비상 전원공급이 필수적이다.

최근에는 비상시 정전을 방지하는 UPS (uninterruptible power supply, 무정전 전원공급장치) 기능과 가격이 저렴한 야간 시간대에 전기를 저장하였다가 주간 피크시간대에 사용할 수 있도록 하여 전기요금 절감해주는 ESS 기능을 합친 비상발전용 UPS 기능을 갖춘 복합형 전력저장시스템을 개발하는 추세이다<sup>[1]</sup>.

따라서 본 논문에서는 비상시 비상전력을 공급하는 비상 발전기 및 무정전전원장치(UPS)의 기능과 평상시 Peak Shift 기능을 가지며 전력을 공급하는 복합형 전력저장시스템을 연구하며 특히 도시철도 안전 관련 주요 시설인 PSD, 통신설비, 방재설비 등에 대해 비상상황에서도 안정적 동작 유지를 할 수 있는 전력공급장치 연구에 목적을 두었다.

## II. 비상발전기와 에너지저장시스템<sup>[2-3]</sup>

비상 발전기는 법적으로 디젤 발전기만 사용할 수 있

게 되어있지만, 2013년 11월 18일 개정된 '전기설비 기술기준' 개정 고시를 통해 이차전지 등을 이용한 전기저장장치도 추가되었다. 현재 비상 발전기가 필요한 장소는 은행, 사무실 빌딩, 백화점, 병원, 극장, 공장에 이르기까지 다양할 뿐만 아니라 부하 종류에 따라 법적 최저 동작 시간도 30분에서 3시간까지 다양하다. 또한, 비상 발전기의 용량은 전체 전력수요의 14~20%를 차지하는 것이 가장 많고, 상·하수도용 80%, 전화/체신업용 65%, 일반 빌딩 21%, 병원은 전체 전력수요의 30% 정도 용량을 비상 발전기로 설치되어 있다.

도시철도의 경우 안전 관련 주요 시설인 PSD, 통신설비, 방재설비 등에 대해 비상시에는 UPS를 통해 전력을 공급하고 있는 실정으로 법이 개정됨에 따라 앞으로 에너지저장장치(ESS)가 비상 발전기 및 UPS의 역할을 대체 가능할 수 있다. 뿐만 아니라 평상시에 ESS에 전력을 저장해 두었다가 블랙아웃이나 갑작스럽게 전력수요가 급증하는 경우가 발생하게 되면, 디젤 비상 발전기를 돌리는 대신에 ESS에 저장된 전기를 사용하는 것이 가능하게 되었다.

본 논문에서는 정전에 대한 비상 발전기용 전력저장시스템으로 비상발전설비가 필요한 빌딩 및 공장건축 시에 투자비를 최소화하고, 상시 전력비를 절감함으로써 경제성을 확보할 수 있는 기술을 개발함으로써 새로운 비즈니스 모델을 제시하고자 한다. ESS를 비상 발전기로 활용할 경우, 반응속도가 빠른 ESS인 경우 비상사태 시 즉각적으로 반응하여 UPS 기능을 신속히 수행할 수 있고 충방전이 가능하므로 UPS 및 비상 발전기 역할뿐만 아니라 전력 부하 이동 서비스같이 수익을 창출할 수 있는 추가적인 서비스가 가능한 장점이 있다.

## III. 비상 발전기로서 ESS 적용 시 기대효과

### 1. 원가절감

- 1) 기존 UPS 배터리를 리튬이온 배터리를 적용함으로써 설치 공간의 축소가 가능하며, 사용수명이 10년 이상 지속할 수 있다.
- 2) 또한, 부품 수를 획기적으로 줄여 같은 용량의 UPS와 ESS를 따로 설치할 때 보다 투자비를 최대 30%까지 절감할 수 있는 기대효과를 누릴 수 있다.

## 2. 설치면적 최소화

- 1) 비상 발전기는 방화 구역 전용실이나 분리건물에 설치하고, 소음제어장치, 미끄럼방지장치, 진동방지장치, 배기설비 및 환기장치 등을 설치하여야 하므로 제한적인 위치에만 설치할 수 있다.
- 2) 비상 발전기로서 ESS를 적용하면 소음제어장치, 미끄럼방지장치, 진동방지장치 및 배기설비 등의 설치가 필요치 않아 설치면적을 최소화할 수 있다.
- 3) 리튬이온 배터리(LIB)를 에너지 저장매체로 활용한 ESS는 납축전지보다 에너지저장밀도와 무게 측면에서 유리하여 설치에 필요한 공간과 설비투자비가 대폭 감소한다. (그림 1)
- 4) 비상 발전기 설치면적(D사, 250kW급 디젤 비상 발전기)은 약 54m<sup>2</sup>가 필요하며, ESS의 설치면적(A 대학교병원, 250kW급 ESS)은 36.45[m<sup>2</sup>]로서 비상발전기대비 67%로 설치 공간을 최소화할 수 있다.

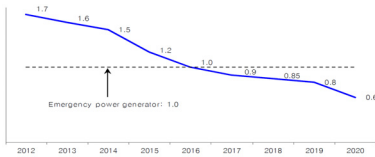


그림 1. 비상발전기대비 LIB ESS의 경제성 비교  
 Fig. 1. Comparison of economic efficiency of LIB ESS to emergency generator

## 3. 고품질의 전력과 안정적인 전력공급

- 1) 도시철도 안전 관련 PSD, 통신 및 신호체계에 고품질의 전력을 안정적으로 공급 가능함으로써 정전 시 즉각적인 전원을 공급할 수 있는 ESS를 설치하게 되면, 정전으로 인한 큰 사고를 사전에 방지할 수 있다.
- 2) 비상발전 시스템의 경우 UPS 또는 디젤 발전기를 이용하고 있는 경우가 많으나, 특히 디젤 발전기의 경우 전력이 공급되는 과정에서 지진이 발생할 수 있어 비상상황에 신속하게 대처하기 어려움이 있다. 따라서 ESS의 충전/방전 기능을 통하여 급격한 출력 변동을 완충시킬 수 있다. (그림 2, 3)

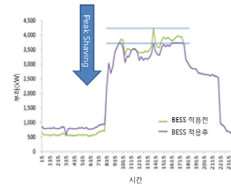


그림 2. Peak Shaving 운전  
 Fig. 2. Peak shaving driving

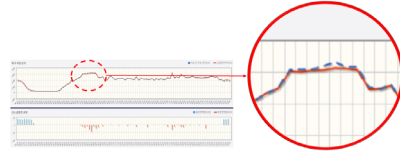


그림 3. Peak-Cut Mode 일별 데이터 분석(예)  
 Fig. 3. Peak-Cut mode daily data analysis (example)

### ■ 운용비용의 최소화

- 1) 비상 발전기는 근본적으로 디젤 또는 가솔린기관 등 내연기관을 동력원으로 사용하므로 시동용 배터리, 엔진오일, 부동액 및 각종 필터류를 주기적인 교체가 필요하지만, ESS는 기계적인 연소 메커니즘과 회전 구동 부분이 없어 소모품 교체가 필요 없다.
- 2) ESS는 가격이 저렴한 야간 시간에 전기를 저장하였다가 피크시간에 사용할 수 있도록 하여 전기요금을 절감 가능하여 설비 도입비용을 상쇄시킬 수 있다.

## 4. 차별성

- 1) UPS 및 비상 발전기로서의 ESS 적용
  - 비상시 설비의 갑작스러운 정지로 인해 재해가 발생할 우려가 있는 설비에 비상전력 공급 가능
- 2) ESS로 대체 시 UPS 기능의 효과
  - UPS는 납축전지를 활용하고 있고, ESS는 리튬이온 배터리를 주로 사용하므로 무게 및 부피 면에서 약 50% 이상의 감소 및 수명은 1.5~2배의 증가를 예상할 수 있다.
- 3) ESS를 비상 발전기로 대체 시 효과
  - 유지관리가 쉬우며, 공간 제약이 적고, 즉각적인 전력 투입이 가능하다.
  - 일반적인 비상 발전기의 경우, 정전 시 전력 생산을 위해 일정 시간 소요(UPS와의 연동 필수)됨으로 순간적인 정전 시 큰 사고로 이어질 수 있는 곳에서 효과적일 것으로 예상된다.

## IV. 비즈니스 모델(BM)

### 1. 비즈니스 모델(BM) 제언배경 및 중요성

도시철도 이용객의 편의성 및 안전성에 가장 큰 영향을 미치는 것은 역사 내의 전기설비이며, 역사 전기설비는 PSD, E/V, E/S 등의 편의시설, 통신, 신호, 역무 자동화 설비, 조명설비(비상등), 환기, 각종 펌프, 방재설비 등으로 구성되어 있다. 이러한 도시철도 전기설비에는 별도의 디젤 비상 발전기가 없고 정전 등의 비상시에도 전원이 공급될 수 있도록 각각의 전기설비별로 UPS가 설치되어 있으나 비상시 전력공급시간이 제한적이다.

따라서, 정전, 화재 등의 비상상황 시에 PSD, 통신, 신호, 비상조명 등 안전 관련 중요 전기설비에 안정적인 전력공급을 위해 UPS 기능을 갖춘 전력저장시스템이 필요하다.

이러한 요구사항에 따라 평상시에는 전기요금이 저렴한 야간 시간대에 충전하여 주간 피크시간대에 저장된

에너지를 활용(방전)함으로써 전기요금을 절감해주는 ESS 기능을 활용함으로 비상발전용 UPS 기능을 갖춘 복합형 전력저장시스템을 도시철도에 적용할 수 있다.

### 2) 비즈니스 모델(BM) 창의성·타당성

ESS 시장은 주파수 조정 예비력 시장을 필두로 하여 태양광, 풍력 등의 신재생에너지 시장으로 성장하고 있으며, 이러한 ESS 시장의 성장은 리튬이온 배터리의 가격 인하, 슬립화, 경량화 등을 통해 공간 활용도를 극대화하여 제한적인 설치장소의 극복과 BMS 개발을 통해 배터리의 효율을 높이고, 사용수명을 연장하는 것이 핵심연구로 대두되고 있다.

표 1에서 보듯이 도시철도 역사 내에 비상시 비상 발전기 대신 UPS를 사용하고 있으며, 본 연구를 통해 활용률이 높은 UPS 기능을 갖춘 전력저장시스템의 활용이 필요함이 대두되고 있다. 도시철도 역사는 대략 774개로서 역사 전기설비 등에 UPS 기능을 갖는 복합형 전력저

표 1. 국내 도시철도 운영 현황

Table 1. Domestic urban railway operation status

구분	한국철도공사										서울메트로				
	경부선(장항선)	경인선	경원선	중앙선	안산	과천선	분당선	일산선	경의선	경춘선	공항공철도	1호선	2호선	3호선	4호선
영업연장(km)	122.9(19.4)	27.0	42.9	71.2	40.4		32.8	19.2	46.3	81.3	58	7.8	60.2	38.2	31.7
역수(개)	45(6)	20	24	24	21		23	10	18	18	10	10	50	34	26
보유차량수(량)	550	480	200	150	300		198	160	112	120	156	160	834	490	470

구분	서울도시철도공사		서울		인천		신분당선		부산				부산김해		대구		광주		대전	
	5호선	6호선	7호선	8호선	9호선	1호선	신분당선	1호선	2호선	3호선	4호선	부산김해	1호선	2호선	1호선	1호선				
영업연장 (km)	52.3	35.1	46.9	17.7	27.0	29.4	17.3	32.5	45.2	18.1	12	22.3	25.9	28.0	20.5	20.5				
역수(개)	51	38	42	17	25	29	6	34	43	17	14	21	30	26	20	22				
보유차량수(량)	608	328	505	120	144	272	72	360	336	80	102	50	204	180	92	84				

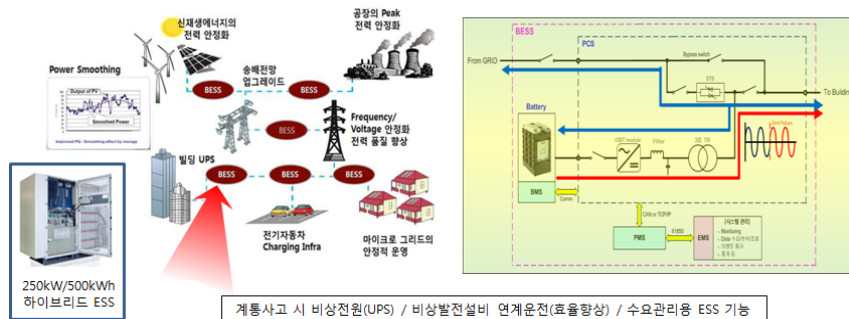


그림 4. 개발대상 연구 개요도  
Fig. 4. Outline of the study

장공급장치가 적용 가능하며, 또한 활용 분야의 확대를 통해 도시철도 차량기지 등의 시설에도 적용이 가능할 것으로 판단되며, 일반철도 및 고속철도의 시설에도 활용이 가능할 것으로 예상된다.

## V. 기술개발 내용

그림 4는 본 논문에서 비상발전용 UPS 기능을 갖춘 도시철도용 복합형 전력저장시스템 개발과 관련된 연구 개요도로 비상 사고 시 비상 전원 및 효율 향상을 위한 비상발전설비 연계운전을 위한 수요관리용 ESS 기능을 보여주고 있다. 이러한 비상발전용 UPS 기능을 갖춘 도시철도용 복합형 전력저장시스템 개발과 관련한 기능을 보여주고 있다. 이러한 비상발전용 UPS 기능을 갖춘 도시철도용 복합형 전력저장시스템 개발과 관련하여 기술개발 내용은 다음과 같다<sup>[4-6]</sup>.

- 1) 계통제어알고리즘 및 ESS용 PCS 제어알고리즘의 PSILS (Power Simulator In the Loop Simulation)을 통한 검증 (그림 5)

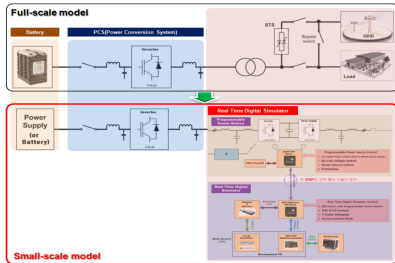


그림 5. PSILS(Power Simulator-in-the Loop Simulation) 개념도  
 Fig. 5. PSILS conceptual diagram

- 2) RTDS(Real Time Digital Simulator)용 제어기 개발 전력시스템을 실시간 모의를 위한 고속 연산용 제어기 개발 (그림 6)

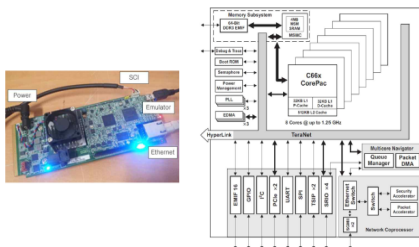


그림 6. RTDS용 고속 제어기 설계  
 Fig. 6. High speed cController design for RTDS

- 3) 3-level PCS JIG 제작 및 알고리즘 개발 듀얼기능(계통연계 및 독립운전)에 대한 PCS 동작 및 제어 알고리즘 검증을 위한 PCS JIG 개발과 부하에 따른 결과 파형을 그림 7에서 보여주고 있다.

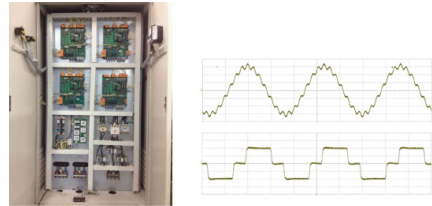


그림 7. PCS JIG(左) 및 부하에 따른 결과 파형(右)  
 Fig. 7. PCS JIG and result waveform by load

- 4) 최적의 Harmonic filter 부 설계 계통 측 출력 THD 저감을 위한 filter 부로 PCS 시스템 모델링을 통한 전기적인 시뮬레이션 분석과 filter 부의 핵심 요소인 리액터에 대한 전자장 및 열 해석 분석의 결과를 그림 8에서 보여주고 있다.

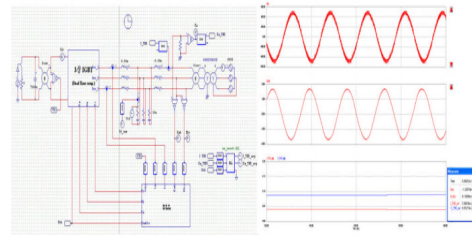


그림 8. 계통측 Harmonic filter 설계를 위한 시뮬레이션 분석  
 Fig. 8. Simulation analysis for system-side harmonic filter design

- 5) 고효율 3-level Power stack 부 설계

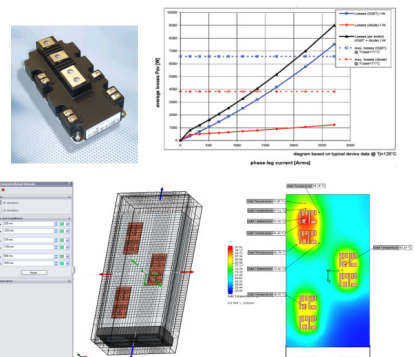


그림 9. Power stack 부 모델링 및 열 해석 분석  
 Fig. 9. Power stack modeling and thermal analysis

PCS의 효율은 대부분 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) module로 구성된 power stack 부의 영향이 크다. 따라서 고효율 power stack 부를 위한 3-level topology 분석과 그에 따른 최적의 스위칭소자 선정, loss 분석 및 stack 열 해석을 통한 Power stack 부 설계결과를 그림 9에서 나타내고 있다.

#### 6) PCS 핵심단위 부품 제작 및 시험

- Power stack 부 제작 및 시험  
제작시험으로 무부하 운전에서 IGBT VCE (Collector-Emitter Voltage)의 spike 전압, 정격전류 운전에서 stack 각부의 온도 및 방열 특성 등을 그림 10과 같이 제작시험을 통해 확인하였다.
- Harmonic filter 리액터 부 제작 및 시험  
정격전류 시험조건에서 리액터 각부의 온도 특성 등을 확인

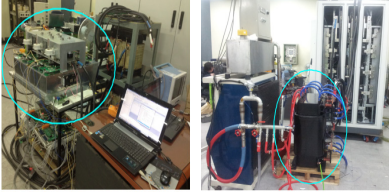


그림 10. Power stack부(左) 및 Filter 리액터부 제작 시험(右)  
Fig. 10. Manufacturing test of power stack part and filter reactor part

## VI. 결 론

본 논문에서는 ESS를 활용함으로써 전압을 일정하게 유지하여 전력품질 향상과 부하변동 및 사고에 의한 전압/부하 탈락 시, 유효전력의 불평형을 전지 충전과 방전에 의해 보정함과 동시에 UPS 기능 및 ESS 기능을 갖는 복합형 전력저장시스템 적용을 제안하였다. 이러한 제안을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 경제-산업적 측면
  - 기존의 UPS 배터리를 리튬이온 배터리를 적용함으로써 설치 공간의 축소 및 사용수명이 증가함
  - 복합형 전력저장시스템을 개발함으로써 시스템 설치 비용을 절감할 수 있음
  - 수요에 따른 전력 공급량의 조절이 가능하므로 발전에 필요한 예비 전력량 감소
- 2) 사회적 측면

※ 이 연구는 2019년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.

- IPS 기반 전원공급을 구현하여 정전에 따른 시스템 피해를 최소화할 수 있음
- 대용량의 전원공급이 필요한 건물이나 시스템에서도 저렴하게 적용할 수 있음
- 불필요한 발전기 구동을 수행하지 않아 발전기 수명을 개선하고 환경오염을 최소화할 수 있음

## References

- [1] H. J. Jo, Y.K. Yoon, and J. G. Hwang, "Analysis of the Formal Specification Application for Train Control Systems," Journal of Electrical Engineering and Technology, vol. 4, No.1, pp. 87-92, 2009.
- [2] S. B. Lim, S. C. Hong, "Hybrid UPS with Energy Storage System Function," Trans. KIEE. Vol. 19, No. 13, pp. 1682~1688, 2017.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.6113/TKPE.2014.19.3.266>
- [3] M. Koot, J.T.B.A. Kessels, D. de Jager, W.P.M.H. Heemels, P.P.J. van den Bosch, and M. Steinbuch, "Energy management strategies for vehicular electric power systems," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 54, Issue 3, pp. 771~782, 2005.  
DOI: <https://10.1109/TVT.2005.84721105>
- [4] S. H. Ko, S. H. Lim, S. W. Lee, S. R. Lee, "Grid-interactive Current Controlled Voltage Source Inverter System with UPS," Trans. KIPE. Vol. 56, No. 6, pp. 266~275, 2014.
- [5] S. H. Cha, G. H. Kim, J. C. Lee, H. T. Lee, "Development of Installation Regulations of Bifunctional UPS/ESS for Demand Response Application," Conf. KIEE, pp. 1683, 2017.
- [6] J. K. Park, Y.S. Baek, K. S. Jeong, J. H. Park, "Optimal Capacity Determination of BESS for Customer using Investment Cost and Electric Cost," Trans. KIEE. Vol. 64, No. 2, pp. 208~213, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2015.64.2.208>

## 저 자 소 개

### 홍 경 진(정회원)



- 전남대학교 전기공학과(공학박사)
- 일본 국립과학기술청 물질연구소 외래연구원
- 현재 : 광주대학교 전기전자공학부 교수
- 주관심분야 : 신재생에너지, 전기재료