ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 66, No. 12, pp. 1740~1744, 2017
http://doi.org/10.5370/KIEE.2017.66.12.1740

태양광 시스템에 적용한 배터리 커패시터의 전기적 특성에 관한 연구

A Study on the Electrical Characteristics of Battery Capacitor Applied to Photovoltaic Power System

맹 주 철* · 윤 중 락†
(Ju-Cheul Mang, Jung-Rag Yoon)

Abstract - This paper describes the preparation and characteristics of a battery capacitor and module for solar power system. A cylindrical 30,000F battery capacitor (60 × 138 mm) was assembled by using the LTO($Li_4Ti_5O_{12}$) electrode as an anode and NMC($LiNiMnCoO_2$)-LCO($LiCoO_2$) as a cathode. The battery capacitor has reduced energy density and power density under high CC(constant current) and CP(constant power) conditions. Battery capacitor module (16V, 11Ah) was fabricated using an asymmetric hybrid capacitor with a capacitance of 30,000F. In order to determine the characteristics of the battery capacitor Module for solar power system, battery capacitor cells were connected in series with active balancing circuit. As a result of measuring the 100w LED lamp, it was discharged at the voltage of 15V～10V, and the compensation time at discharge was measured to be about 4979s. Experimental results show that it can be applied to applications related to solar power system by applying battery capacitor module.

Key Words : Super capacitor, Hybrid capacitor, Battery capacitor, Module, Solar power system

1. 서 론

전 세계적으로 고도의 산업 성장과 인구 증가에 따른 에너지의 소비가 급증하면서 배출되는 온실가스가 증가하고 있다. 이에 따라 기존에 사용하고 있는 화석에너지의 고갈 및 환경 문제를 해결하고자 정부에서는 대체 에너지에 대한 연구개발을 보급하고 있다.[1,2,3]

태양광 전원은 신재생 에너지중의 대표적인 에너지원으로써 사용시간 및 출력의 불규칙성이라는 제약 요소를 가지고 있지만, 친환경적이면서도 무한 에너지원이라는 특성과 태양 패널 기술의 발전으로 인한 효율 향상 및 에너지 저장장치를 활용으로 인한 출력의 불확실성을 감소시키면서 태양광 에너지의 활용도가 증가할 것으로 예상된다.[4]

태양광 전원의 경우 설치 장소 및 날씨 특성에 따라 크게 영향을 받지만 태양광 발전은 한번의 시스템 구축으로 15~20년간 에너지를 창출할 수 있는 공해가 없는 청정에너지원으로써 전력 규모를 자유롭게 설정할 수 있다. 또한 지붕이나 건물의 외벽과 같은 유휴 공간을 활용할 수 있는 장점이 있다. 기존 신재생 에너지 저장 장치로는 리튬전지, 나트륨 유황전지, 리독스 플로전지 및 슈퍼 커패시터 등이 주로 사용되고 있다. 슈퍼커패시터의 경우에는 친환경적이며 높은 사이클 특성을 가지지만 용량이 작은 단점이 있다. 슈퍼커패시터의 경우 대칭형과 비대칭형으로 구분되는데 대칭형 슈퍼커패시터(EDLC)의 경우 양극과 음극에 탄소 소재인 활성탄을 사용하여 전기이중층의 전하흡착 매커니즘에 의해 전기를 저장하여 출력 특성 및 충/방전 효율이 우수하다. 비대칭형 슈퍼커패시터인 하이브리드 슈퍼커패시터는 양극에 활성탄을 사용하고 음극에 리튬 티나늄계 금속 산화물(LTO, $Li_4Ti_5O_{12}$)을 적용한 비대칭형 구조로써 활성탄 전극에서의 이온의 물리적 흡·탈착 반응에 의한 전기 이중층 반에 의해 전하가 저장되며 상대 전극인 리튬계 전이금속 산화물에서는 리튬의 삽입 탈리 반응을 활용하여 기존의 대칭형 슈퍼커패시터(EDLC)보다 2.5배의 에너지 밀도를 높일 수 있다.[5,6]

본 논문에서는 리튬계 전이금속산화물(LTO, $Li_4Ti_5O_{12}$)을 기반으로 하는 하이브리드 슈퍼커패시터의 기술을 바탕으로 리튬 이차전지에서 사용되는 양극 활물질을 적용하여 기존의 하이브리드 슈퍼커패시터 대비 3배 이상의 에너지 밀도를 가지는 고용량 하이브리드 슈퍼커패시터(이하 battery capacitor)를 제조하였다. 제조된 battery capacitor 셀을 태양광 발전 시스템의 에너지 저장 장치로 가능성을 확인하기 위해서 에너지 저장 장치를 제작하였다. 태양광 시스템의 에너지 저장 장치의 경우 고 전압이 요구되므로 단위 셀을 직 병렬로 연결하여 사용한다. 이때 단위셀 간의 누설 전류 및 등가 직렬 저항 등의 편차 및 용량 감소율 등에 의한 셀간 전압 편차 문제를 해소하기 위해 밸런싱 회로를 적용하여 제작하였다.

† Corresponding Author : Samwha Capacitor Co. Ltd, Korea.
E-mail: yoonjungrag@yahoo.co.kr
* Samwha Capacitor Co. Ltd, Korea.
Received : August 5, 2017; Accepted : November 24, 2017

Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers
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.

2. 실험방법

2.1 Battery capacitor 제작

Battery capacitor의 양극은 NMC($LiNiMnCoO_2$) + LCO($LiCoO_2$), 도전제(Super-P) 및 바인더(PTFE)를 80:10:10(Vol%)의 비율로 NMP(n-methyl-2-pyrrolidone) 용매에서 슬러리 제조 후 Al에칭박에 코팅 후 프레싱하여 전극을 제조하였다. 음극의 경우에는 LTO, 도전제(Super-P) 및 바인더(PVDF)를 80:10:10(Vol%)의 비율로 NMP 용매에서 양극과 같은 방식으로 제조하였다.

그림 1은 battery capacitor의 구조이다. 제조된 양극, 음극 및 절연을 위한 분리 막을 사용하여 권취하여 젤리 롤을 제조하고 제조된 젤리롤 상부와 하부에 내부단자를 삽입하고 삽입된 내부단자 표면에 레이저 용접을 통하여 직접 접합시킨다. 그리고 내부단자가 접합된 젤리 롤을 전해액에 24시간 함침 공정을 진행 후 알루미늄 케이스에 삽입 후 외부단자를 강제끼움 방식을 통하여 고정시키고 커링 방식을 이용하여 밀봉하는 형태로 30,000F급 Battery capacitor를 제작하였다. 표 1은 제작된 battery capacitor 셀의 특성을 나타낸다. 제작된 셀을 충방전기를 이용하여 충방전 및 전기적 특성을 평가하였다.

2.2 Battery capacitor 모듈 제조

Battery capacitor 셀을 적용하여 태양광 시스템의 에너지 저장 장치에 사용하기 위해서 셀을 연결하여 모듈을 제작하였다.

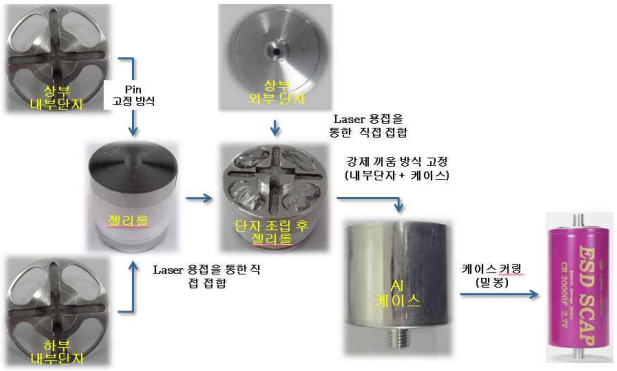


그림 1 Axial type 배터리 커패시터 구조
Fig. 1 The structure of battery capacitor with axial type

표 1 30,000F 배터리 커패시터 규격
Table 1 The specifications of battery capacitor with 30,000F

	사양
전압	2.7~1.6V
용량	30,000F
AC ESR	0.4mΩ
DC ESR	0.7mΩ
무게	0.69kg
사이즈	Φ60 x 138mm

표 2는 제작된 battery capacitor 모듈의 사양이다. 모듈의 구성은 2.7V 30,000F 단위 셀을 이용하여 태양광 시스템의 전압에 맞춰 6직렬로 연결하였다. 이때 모듈의 전압 사용 구간은 15~10V이다.

셀을 직렬로 구성해서 충방전시 셀간 전압 불균형이 발생하는데 그 이유는 배터리 커패시터 내부의 ESR(Equivalent Series Resistance) 성분과 자가 방전저항(Self Discharge Resistance) 때문이다. ESR은 커패시터에 포함되는 직렬저항 성분이며 자가 방전저항은 에너지 공급을 받지 않는 상태에서 충전된 커패시터가 스스로 발전할 때, 시정수를 이용하여 계산된 저항 값이다 [7,8].

battery capacitor의 제조 공정에서 모든 셀의 용량이 동일하게 제작할 수 없으므로 셀 간의 용량 오차로 인하여 전압 불균형이 발생할 수 있으며 이는 셀의 수명을 감소시키고 과전압의 우려가 있다. 이러한 셀간 전압 불균형을 해소하기 위해서 active 밸런싱 회로를 적용하였다. active 밸런싱 방식은 커패시터의 전압을 센싱하여 에너지의 흐름을 제어하여 기준전압보다 높은 전압이 인가되었을 때 연결된 저항을 통하여 에너지를 소비함으로써 전압 불균형을 해소한다.

표 2 30,000F 배터리 커패시터 모듈 규격
Table 2 The specifications of battery capacitor module with 30,000F

	사양
개별 셀 사양	2.7V / 30000F
개별 셀 사이즈	Φ60 x 138mm
모듈 사양	16V / 11Ah (series 6EA)
모듈 사용 전압 구간	15~10Vdc
밸런싱 방식	Active 밸런싱

2.3 Battery capacitor 적용 태양광 발전 시스템

태양광 발전 시스템은 상용 전력 계통과의 연계 유무에 따라서 계통 연계 형과 독립형 태양광 발전 시스템으로 구분된다. 그림 2는 battery capacitor 모듈을 적용한 독립형 태양광 발전 시스템의 블록도이다. 독립형 태양광 시스템의 경우에는 계통으로 전력이 공급되지 않는 지역에서 주간에 태양전지를 이용한 전력을 에너지 저장 장치에 저장하고 야간에 전기를 사용하여 부하를 발전시키는 용도로 사용되는 시스템이다.

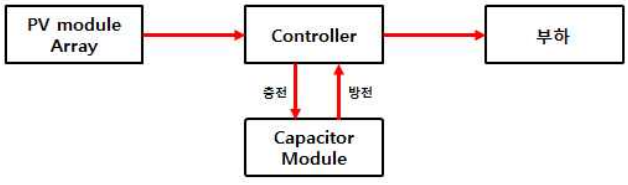


그림 2 독립형 태양광 발전 시스템 블록도
Fig. 2 The stand alone solar power system block diagram

3. 결과 및 고찰

Battery capacitor 셀을 충방전기를 이용하여 1.6~2.7V 구간에서 충/방전을 진행하였다. battery capacitor에서 음극 전극에 사용되는 활물질인 스피넬(spinel) 구조를 갖는 LTO($Li_4Ti_5O_{12}$)의 경우 리튬삽입 전위가 약 1.5V에서 작동 전압을 나타나므로 하한 cut-off 전압을 1.6V 설정하였다[9]. 그림 3은 10A의 전류밀도로 1.6~2.7V까지 충 방전을 진행한 결과이다. 진행 결과 방전 용량은 약 11.8Ah이며 DC-ESR은 0.75mΩ이 측정되었다.

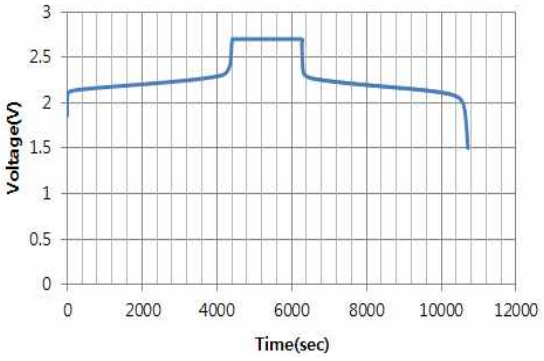


그림 3 10A, 1.6V~2.8V에서 측정된 배터리 커패시터 충방전 곡선
Fig. 3 The charge and discharge curve of battery capacitor at 10A, 1.6V~2.8V

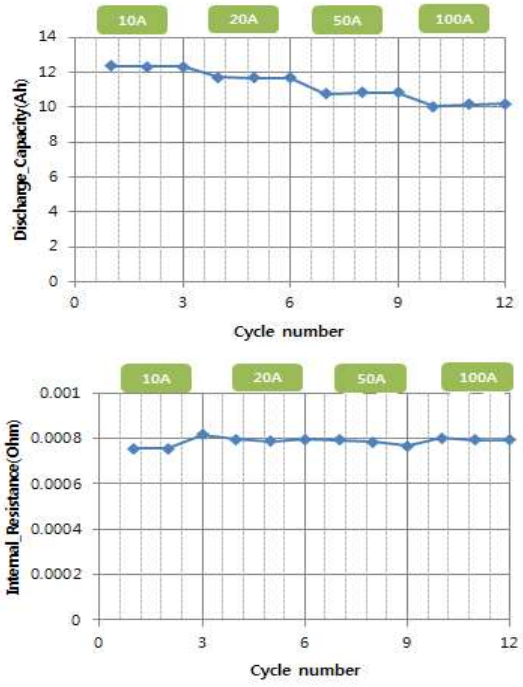


그림 4 1.6V~2.8V에서 측정된 배터리 커패시터의 정전류 방전 특성
Fig. 4 The constant current discharge characteristics of Battery capacitor at 1.6V~2.8V

그림 4는 battery capacitor 셀을 10, 20, 50, 100A의 전류 조건에서의 속도율(C-rate) 특성 평가 결과이다. 각 전류별로 3 cycle 씩 충방전을 진행하였다. 실험 결과 전류 밀도가 증가함에 따라 방전 용량이 감소하는 경향을 보였으며 10A 대비 100A 일 때 초기대비 대략 82%의 용량 유지율을 보인다. 저항 값의 경우에는 초기 대비 5% 내외로 증가하였다.

그림 5는 battery capacitor 셀의 정 출력 특성을 평가하기 위해서 10, 20, 50, 100W의 정 출력 조건으로 각각 3 cycle씩 충방전을 실시하였다. 이 결과 방전 출력이 증가할수록 용량이 감소하였으나 10W 대비 100W 일때 84%의 용량을 유지하였다.

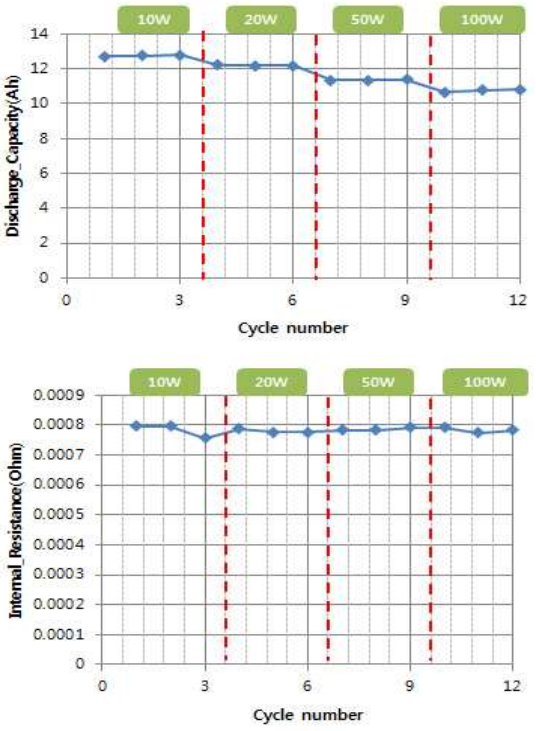


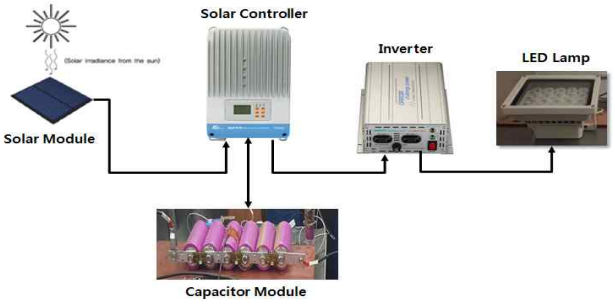
그림 5 1.6V~2.8V에서 측정된 배터리 커패시터 정 출력 방전 특성
Fig. 5 The constant power discharge characteristics of Battery capacitor at 1.6V~2.8V

그림 4, 5의 정 전류 및 정 출력의 특성 결과로 부터 태양광 시스템의 에너지 저장 장치로 battery capacitor 셀을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

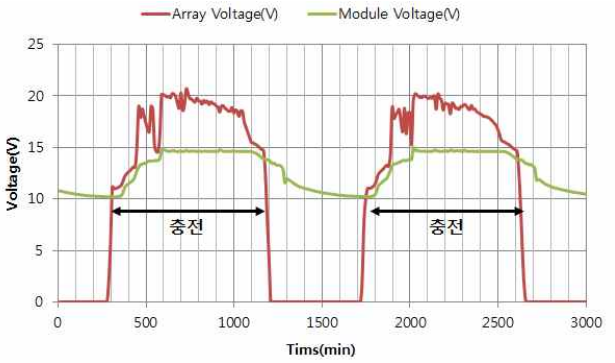
Battery capacitor 셀을 적용하여 표 2의 사양을 가지는 16V 급 battery capacitor 모듈을 제작하였다. 모듈의 경우 태양광 시스템의 에너지 저장 장치로 사용하기 위해서 6개의 셀을 직렬로 연결하였으며 개별 셀간의 전압 불균형을 해소하기 위해서 active 밸런싱 회로를 적용하였다.

그림 6은 battery capacitor 모듈을 태양광 시스템의 에너지 저장 장치로써의 가능성을 확인하기 위해서 독립형 태양광 시스템을 구성하였다. 태양광 시스템은 태양전지, 솔라 컨트롤러, 인버터, 커패시터 모듈 및 20W LED 램프로 구성하였다. 구성된 시

스템을 살펴보면 태양 전지에서 에너지가 발생된 전력으로 battery capacitor 모듈에 에너지를 공급하여 커패시터 모듈의 전압이 15V까지 충전되고 태양 전지에서 전력이 발생하지 않는 구간에서는 충전된 battery capacitor 모듈의 에너지를 부하 측에 공급되면서 커패시터 모듈의 전압이 10V까지 방전 되는 것을 나타낸다.



(a)



(b)

그림 6 태양광 시스템을 적용한 배터리 커패시터 모듈 측정 (a) 태양광 측정 시스템 (b) 모듈 측정 결과

Fig. 6 The measurement results of battery capacitor module using solar system (a) Measurement system of solar system (b) Result of measurement for ESS module

그림 7은 battery capacitor 모듈의 태양광 시스템의 에너지 저장 장치 방전 특성을 확인하기 위해서 방전 실험을 진행한 결과이다. 다만, 방전 과정의 데이터가 많아지면 보기 불가능하므로 방전 실험에는 100W LED 부하를 사용하였다. 충전기를 이용하여 battery capacitor 모듈을 15V까지 충전한 후 100W LED 부하를 이용하여 15V~10V까지 배터리 커패시터 모듈의 에너지를 방전시켰다. 이때 battery capacitor 모듈의 전압 및 전류의 변화는 오실로스코프를 통하여 측정하였다. 측정한 파형을 분석하여 보상 시간을 계산한 결과 4979초였다. 이는 태양광 시스템의 에너지 저장 장치로 적용이 가능함을 보여주는 결과이다. 방전 시간의 경우 이론적으로 5184초였으나 4979초로 부족한 원인은 battery capacitor 모듈의 방전시 전압 강하, 방전 효율, 단자간의 접촉 저항 및 부하 측에 사용되는 인버터의 전력 변환 효율 등의 영향으로 판단된다.[10-13]

그림 7 배터리 커패시터 모듈 방전 측정 결과

Fig. 7 The measurement results of battery capacitor module

4. 결 론

본 논문에서는 슈퍼커패시터(EDLC)와 대비하여 단위 체적당 고용량 특성을 구현할 수 있는 LTO-NMC+LCO 조성을 통하여 제작된 battery capacitor 셀을 제작하여 전기적 특성을 확인하였다. 제조된 axial type의 배터리 커패시터 셀의 전류 밀도별로 충방전 특성을 실험한 결과 10A 대비 100A일때 약 82%의 용량 유지율을 특성을 나타내었으며 정 출력 특성 결과는 10W 대비 100W에서 84%의 용량 유지율을 나타냈다. 태양광 시스템의 에너지 저장장치로써의 가능성을 확인하기 위해서 30,000F의 용량을 가지는 Battery capacitor 셀 6개를 직렬연결하고 Active 밸런싱 회로를 적용하여 16V battery capacitor 모듈을 제작하여 100W 부하를 이용하여 측정한 결과 10~15V 전압구간에서 방전 시 방전 시간은 4979초로 측정되었다. 비록 납축전지 및 이차 전지 대비 부피 및 에너지 밀도 대비 가격이 높다는 단점이 있지만 battery capacitor의 출력 특성 및 방전 효율 등을 개선해 나간다면 태양광 시스템뿐만 아니라 다양한 분야의 에너지 저장 장치로 활용될 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 2017년도 산업기술평가관리원에서 지원하는 산업핵심기술개발사업(과제번호:10052745)으로 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다. (과제명 : 고전압 의사커패시터용 100nm급 망간계 세라믹 나노소재 개발)

References

[1] Pearce, JM., 2009, "Expanding photovoltaic penetration with residential distributed generation from hybrid solar photovoltaic and combined heat and power

systems," Energy, Vol. 34, No. 11, pp. 1947, (2009)
[2] Tomas Markvart, "Solar Electricity",John Wiley & Son's, pp. 37, (2002)
[3] R. Chenni, M. Makhlouf, T. Kerbache and A. Bouzidura, "A detailed modeling method of phtovolatic cells, energy, Vol. 32, pp. 1724-1730, (2007)
[4] Ali Keyhani, "Smart power grid renewable energy systems", Wiley, (2010)
[5] Min Geun Choi, Soo Bin Kang, Jung Rag Yoon, Byung Gwan Lee and Dae Yong Jeong," The Surface Modification of Electrode with Solid Electrolyte Interphase for Hybrid Supercapacitor" J. Electr. Eng. Technol., 10(3), 1102, (2015)
[6] Lee, Jong-Kyu, Yoon, Jung-Rag, "Effects of $Li_4Ti_5O_{12}$ Anode Electrode Thickness on the Cell Balancing of Hybrid Super Capacitor" Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Volume 15, Number 3, 2586, (2015)
[7] Dirk Linzen, "Analysis and Evaluation of Charge-Balancing Circuits on Performance, Reliavility, and Lifetime of Supercapacitor Systems", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 41, No. 5, p. 1135, (2005)
[8] Min-Geun Choi,Soo-Bin Kang, Jung Rag Yoon, Byung-Gwan Lee and Dae-Yong Jeong, J. Electr. Eng. Technol., 10(3), 1102 (2015).
[9] D. Peramunage, K.M. Abraham, "Electrochemistry in Polyacrylonitrile Electrolyte - Based Lithium Cells" J. Electrochem. Soc. 145, 2609, (1998)
[10] Jin-Geun Shon, Hee-Jong Jeon, "Series Voltage Compensation Systems for Voltage Sag by Using an Environmentally Friendly Ultra-capacitor", Trans. KIEE, Vol. 58, No. 4, pp. 763-769, APR. (2009)
[11] Wujong Lee, Hanju Cha,"A Supercapacitor Remaining Energy Control Method for Smoothing a Fluctuating Renewable Energy Power" J. Electr. Eng. Technol., 10(1), (2015)
[12] Lee, Byung-Gwan; Maeng, Ju-Cheul; Lee, Joung-Kyu; Yoon, Jung-Rag;, "The Characteristics of Asymmetric Hybrid Supercapacitor Cells and Modules for Power Quality Stabilization" Trans. KIEE, vol. 65, pp. 617-621, (2016)
[13] J. H. Lee, H. K. Kim, E. Baek, M. Pecht, S. H. Lee, and Y. H. Lee, Improved performance of cylindrical hybrid supercapacitor using activated carbon/niobium doped hydrogen titanate, J. Power Sources, 301 pp. 348-54, (2016)

저 자 소 개

맹 주 철 (Ju-Cheul Maeng)

2009년 성균관대학교 대학원 전기전자컴퓨터공학부 공학석사. 2013년 현재 삼화콘덴서공업(주) 연구소 선임연구원

윤 중 락 (Jung-Rag Yoon)

1993년 명지대학교 대학원 전기공학과 공학석사. 1999년 명지대학교 대학원 전기공학과 공학박사. 1994년~1996년 한국쌍신전기(주) 선임연구원. 1996년~현재 삼화콘덴서공업(주) 연구소 연구소장