

에너지 저장장치(ESS)의 비상 유도등 동작을 적용한 순간전압강하 보상장치에 관한 연구

A Study on the Dynamic Voltage Restorer to Application Luminaire for Emergency Exit Sign Operation to the Energy Storage System

황 락 훈^{1*} · 나 승 권² · 김 진 선¹

¹세명대학교 전기공학과

²한국폴리텍대학 강릉캠퍼스 전자통신학과

Lark-Hoon Hwang¹ · Seung-kwon Na² · Jin Sun Kim¹

¹Department of Electrical Engineering, Semyung University, Chungcheongbuk-do 27136, Korea

²Department of Electronics and Communication, Korea Polytechnic College Gangneung Campus, Gangwon-do 25605, Korea

[요 약]

최근 컴퓨터, 전기, 전자, 통신, 반도체 장비 등의 전기적 외란에 민감한 부하 설비의 사용이 증가함에 따라 전력 품질에 대한 관심이 높아지고 있다. 더 나아가서는 정밀 부하 장비들에 가장 빈번하게 발생하는 순간 전압 강하는 전력 품질 향상을 위해 적절한 보상이 필요하게 된다. 이를 위해 전기 이중층 커패시터 (EDLC : electric double layer capacitor)를 사용한 순간전압강하 보상장치가 개발되어 적용되고 있다. 본 논문에서는 순간전압강하 보상장치 (DVR : dynamic voltage restorer)에 사용되는 전기 이중층 커패시터 (EDLC)에 비해 동일 사이즈 대비 에너지 밀도가 높은 하이브리드 커패시터 (hybrid capacitor)를 적용하는 연구를 하였고, 또한, 유도등의 비상 전원으로써 10년 이상의 수명을 보증할 수 있는 제품으로 하이브리드 커패시터 (hybrid capacitor)의 적용 가능성을 확인하였다.

[Abstract]

Recently, Interest in power the quality was increased because of increasing the use of sensitive load equipment into an electrical disturbance such as computer, Electricity, Electronics, Telecommunications and semiconductor device. In addition, To enhance power quality, the instantaneous voltage drop occurred in precision load equipment is a need for proper compensation. In order to solve the problem, The developed dynamic voltage restorer (DVR) using an electric double layer capacitor (EDLC) has been applied. In this paper, We will do study to apply hybrid capacitors that have high energy density to the same size compared to the EDLC to DVR. Also, As a emergency luminaires of emergency power supply that we can support more than 10 years of life was confirmed the applicability of hybrid capacitor.

Key words : Dynamic voltage restore, Electric double layer capacitor, Emergency luminaires of emergency, Hybrid super capacitor, Telecommunications.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.5.433>



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.

Received 3 September 2015; Revised 22 September 2015

Accepted (Publication) 14 October 2015 (30 October 2015)

*Corresponding Author; Lark-Hoon Hwang

Tel: +82-10-5487-5525

E-mail: lhhwang@semyung.ac.kr

1. 서론

정보통신기기와 각종 전자제품의 전기회로 기관에 장착되어 있는 커패시터(capacitor)는 전기를 축적했다가 필요 시 방전함으로써 전기 흐름을 안정화 하는 역할을 한다. 이러한 커패시터가 대용량화됨에 따라 기존의 리튬 2차 전지를 병용하거나 대체하여 사용할 수 있는 새로운 에너지원으로 부각되고 있다 [1].

최근 탄소 기반 슈퍼 커패시터는 일반 커패시터 보다 고 에너지 밀도를 제공하고 있다. 일반 커패시터 보다 전력 밀도가 약 20~200배가 되는 거대한 용량을 가진다[2]. 슈퍼 커패시터는 사용되는 전극 메커니즘에 따라 다음 3 가지 종류로 분류 된다. 첫째 활성탄소를 전극으로 사용하고 전기이중층의 전하흡착 메커니즘에 의한 전기 이중층 커패시터 (EDLC; electric double layer capacitor), 둘째 금속산화물과 전도성 고분자를 전극재료로 사용하는 의사 슈퍼 커패시터 (PSC; pseudo super capacitor), 셋째 EDLC와 배터리의 중간 특성을 갖는 하이브리드 커패시터 (HSC; hybrid super capacitor)이다[3]. 현재 상용화된 커패시터는 주로 EDLC이다. EDLC는 내부 저항이 작아 출력 특성이 좋으나 에너지밀도가 낮다는 단점이 있다. 이러한 점을 보완하고자 하는 대안으로 최근 하이브리드 커패시터의 연구 및 상용화를 위한 개발이 활발하게 진행되고 있다[4]. 또한, 유도등의 비상 전원으로써 10년 이상의 수명을 보증할 수 있는 제품으로 하이브리드 슈퍼커패시터의 적용 가능성을 확인하였다. 본 연구에서는 순간 전압강하 보상장치 (DVR; dynamic voltage restorer)의 에너지 저장장치를 기존전기 EDLC와 동일 체적 대비 에너지밀도가 높고 리튬 이차전지보다 출력 특성이 높은 하이브리드 커패시터를 적용하여 모듈 특성을 비교 하였다.

II. 전기 이중층 커패시터(EDLC)와 하이브리드 커패시터

2-1 EDLC와 hybrid capacitor

그림 1은 EDLC와 하이브리드 커패시터의 구조를 나타낸 그림이다. EDLC는 양극과 음극에 각각 활성탄을 사용 하였다. 하이브리드 커패시터는 일반적으로 양극(cathode)은 활성탄을 사

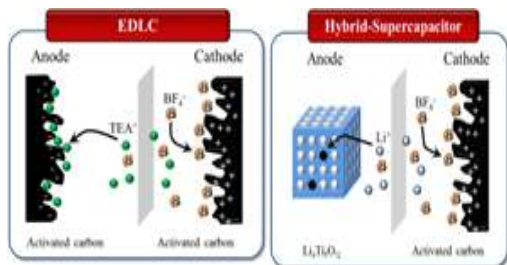


그림 1. EDLC와 hybrid 커패시터 구조
Fig. 1. The structure of EDLC and hybrid capacitor.

용하고 음극(anode)에 리튬 티타늄 계 금속 산화물 (Li₄Ti₅O₁₂:LTO)을 적용한 비대칭 구조이다. 활성탄 전극에는 이온의 물리적 흡·탈착 반응에 의한 전기 이중층 반응(물리 반응)에 의하여 전하를 저장하며, 반대 전극인 리튬계 전이금속 산화물에서는 리튬의 삽입·탈리 반응(화학 반응)에 의하여 전하를 저장한다. 그 결과 기존 EDLC보다 동일 체적 대비 에너지 밀도를 높일 수 있다[5].

2-2 슈퍼 커패시터

슈퍼 커패시터는 그림 2와 같이 전극 및 메커니즘에 따라 활성탄을 전극으로 사용하고 전기이중층전하흡착 메커니즘을 갖는 전기이중층 커패시터(EDLC), 금속산화물과 전도성 고분자를 전극재료로 사용하고 유사용량 메커니즘을 갖는 유사 커패시터(PSC)가 있다. 최근에는 배터리(리튬이온 이차전지)처럼 산화·환원 반응을 통해 에너지를 저장하는 음극물질과 전기이중층 커패시터와 같이 전기이중층에 전하를 모으는 양극물질을 사용한 하이브리드 커패시터가 있다. 현재 개발 사용되는 제품으로는 하이브리드 커패시터로는 LIC (lithium ion capacitor)와 그림 3과 같이 양극(cathode)은 활성탄을 사용하고 음극(anode)에 리튬티탄산화물 (Li₄Ti₅O₁₂)을 적용한 비대칭 전극 구조를 갖는 하이브리드 슈퍼커패시터가 있다.

본 논문에서는 그림 1에 오른쪽의 하이브리드 커패시터를 적용하였으며, 하이브리드 커패시터 양극으로 사용되는 활성탄 전극에는 이온의 물리적 흡·탈착 반응에 의한 전기 이중층 반응(물리 반응)에 의하여 전하를 저장하며, 반대 전극인 리튬계 전이금속 산화물에서는 리튬의 삽입·탈리 반응(화학반응)에 의하여 전하를 저장한다[6]-[8]. 리튬 티타늄계 금속 산화물 하이브리드 커패시터의 주요 특징으로는 전기이중층 커패시터에 비하여 체적당 용량이 2.5배로서 에너지 밀도가 높다는 장점과 이차전지에 비하여 출력 밀도, 충·방전 효율, 수명이 우수하다는 장점을 가지고 있다. 반면에 전기 이중층 커패시터에 비하여 출력밀도가 낮고 충·방전 횟수가 50,000회 로서 전기이중층 커패시터에 비하여 낮다는 단점을 가지고 있으며 이차전지에 비하여 에너지 밀도가 낮은 단점을 가지고 있다 [9]-[11].

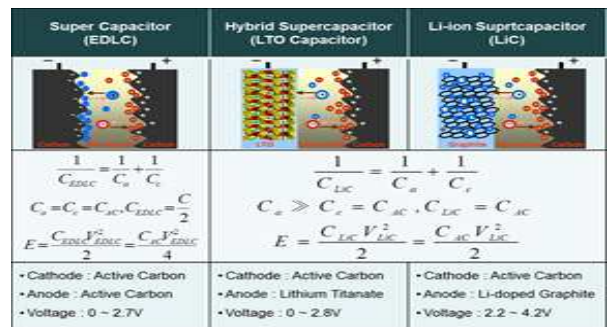


그림 2. 슈퍼 커패시터의 구조와 특성
Fig. 2. Structure and characteristics of super capacitor.

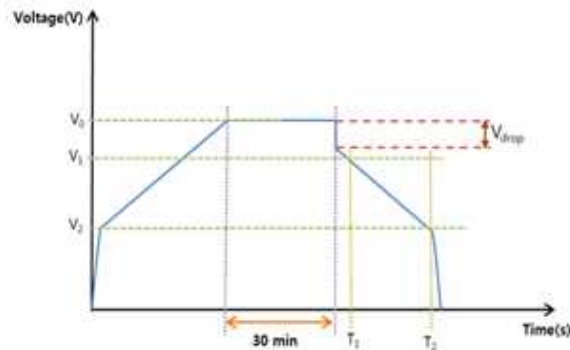


그림 3. 하이브리드 커패시터의 충전, 방전곡선
Fig. 3. Charge and discharge curve of hybrid capacitor.

표 1. 하이브리드 슈퍼 커패시터의 특성

Table 1. Properties of hybrid capacitor cell.

Availabe rated voltage	1.5~2.8 [V]	Capacitane	1,000[F]
DC ESR	7[mΩ]	AC ESR [1KHz]	4.5[mΩ]
Weight	0.067[Kg]	Dimension [mm]	3 5 (D , Φ)×60(H)

그림 3은 하이브리드 커패시터의 충·방전 곡선을 나타낸 것으로서 하이브리드 커패시터는 전기이중층 커패시터와 달리 이차전지와 같이 음극과 양극 전위차에 의해 동작 전압 영역이 1.5 ~ 2.8 V로 제한된다.

하이브리드 커패시터의 정전 용량 및 ESRDC는 식(1), (2)와 같다

$$C = \frac{I \times \Delta T}{\Delta v} \quad (1)$$

$$R_{esr} = \frac{U_{ser}}{I} \quad (2)$$

C: 정전 용량, I: 방전 전류, Resr: 등가 직렬저항,
User: 충전하고자 하는 전압, ΔT: 충전시간,
Δv: 충전전압

본 실험에서 2.8 V, 1000 F 하이브리드 커패시터 제작을 위하여 집전체로 20 μm 두께를 가지는 알루미늄박에 양극으로는 200 μm 활성탄 전극을 음극으로는 80 μm 리튬티탄산화물 전극을 사용하였다. 제조 공정으로 일반적인 커패시터 공정을 적용하였으며, 전해액으로는 1.5M LiBF4/ACN 사용하였다.

표 1에 실험을 통하여 제작된 하이브리드 커패시터 셀의 전기적 특성 및 크기를 나타내었으며 그림에 C-rate 따른 방전 특성 곡선을 나타내었다.

2-3 하이브리드 커패시터 모듈 설계 및 제작

예비 전원 사용 시에는 LED 광원에서 소모되는 전력을

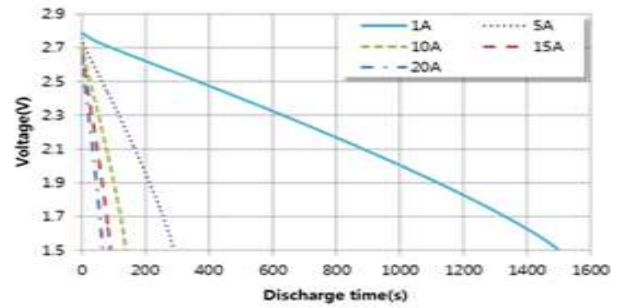


그림 4. 하이브리드 커패시터의 C비율에 대한 방전곡선
Fig. 4. Discharge curve according to c-rate of hybrid capacitor.

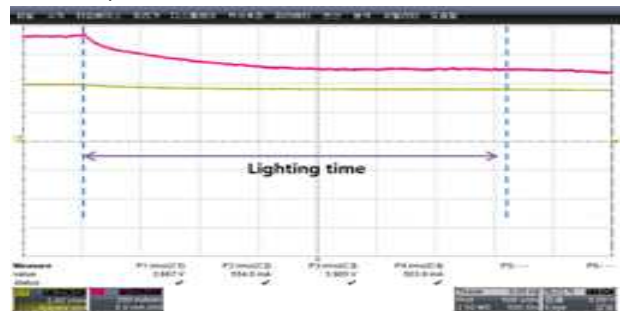


그림 5. Ni-Cd 하이브리드 커패시터의 C비율에 대한 방전곡선
Fig. 5. Experimental waveform curve of emergency condition using Ni-Cd battery.

그림 5와 같이 나타낸 파형을 분석해 보면 처음에는 약 2.9 W로 방전을 시작 되지만 소방법 기준의 유효 점등 시간인 60분 후에는 약 1.9 W의 전력을 LED 유도등에서 소모하는 것을 확인할 수 있다. A사 제품의 경우 이와 같은 결과를 바탕으로 비상시 LED 유도등에 약 1.9 W 이상의 전력이 공급 된다면 화재 시 유효 점등 시간 동안의 유도등의 밝기가 조명 기준에 적합하다는 것을 알 수 있다

비상 유도등 실험 결과를 바탕으로 비상시 정격전력을 2 W 로하고 기준에 발표된 자료를 근거로 하여 다음과 같이 계산하여 하이브리드 커패시터 모듈을 설계하였다[12]. LED 동작전압 및 하이브리드 커패시터의 셀 전압을 고려하여 2개의 셀을 직렬로 설계하였다.

모듈의 전압은 최대전압: $U_{max} = 5.6 V$

최소전압: $U_{min} = 3.3 V$

이때 하이브리드 커패시터 동작전압영역은 $\Delta U = U_{max} - U_{min} = 2.3 V$ 으로 하였다.

DC/DC 컨버터 효율 η 을 0.95로 하여 비상용 전원이 요구되는 평균 전류는 식 (3)과 같다.

$$I_{a-oo} = \frac{I_{max} + I_{min}}{2} = \frac{\frac{2}{3.3 \times 0.95} + \frac{2}{5.6 \times 0.95}}{2} = 0.507 A \quad (3)$$

하이브리드 커패시터의 내부저항에 따른 전압강하는 식(4)와 같다.

$$Usermax = Resr \times Imax = Resr \times \frac{P}{Umin \times \eta}$$

$$Usermax = 0.02 \times \frac{2}{3.3 \times 0.8} = 0.016 V \quad (4)$$

하이브리드 커패시터의 방전특성을 고려하면 실제 동작전압 영역은 식(5)와 같다.

$$\Delta U = i \times \frac{at}{C} + (Imax \times Resr) \quad (5)$$

식(5)를 이용하여 LED 비상등이 1시간 동작하는 데 필요한 정전용량 C는 식(6)과 같다.

$$C = \frac{Iaur \times t}{\Delta U - (Imax \times Resr)} = \frac{0.507 \times 3600}{2 - 0.015} = 798.7 F \quad (6)$$

비상용 전원을 수명을 10년으로 하고 하이브리드 커패시터의 10년 후 에이징 상수(k)을 0.8로 하여 최종 요구 정전용량을 998 F로 확정하였다. 설계 결과를 이용하여 2.8 V, 1,000 F 하이브리드 커패시터 셀 4개를 2직렬 2병렬로 설계, 제작할 수 있다. 그림 6에서와 같이 제작된 하이브리드 커패시터 모듈을 상온에서 방전전력 따른 방전시간을 측정한 결과로서 설계식과 유사한 결과를 보이고 있다. 실험결과 2 W로 방전 시 1시간 40분 동안 가능하며 설계에서 고려한 에이징 상수를 고려한 10년 후에도 1시간 10분 동안 출력이 가능함을 알 수 있다.

그림 7과 같이 제작된 모듈을 2 W로 방전 시 사용온도에 따른 방전특성 곡선으로 -25 °C, 55 °C에서도 설계 규격에 만족함을 볼 수 있으나 -25 °C에서는 방전시간이 줄어드는 것을 볼 수 있으며 설계 시 온도 환경 조건도 고려하여야 할 필요가 있음을 확인할 수 있었다.

2-4 순간전압강하 보상장치

실험에서 사용한 비상 유도등에 대한 구성 블록도를 그림 8에 나타내었다. 동작을 보면 정상상태에서는 상용 전원으로

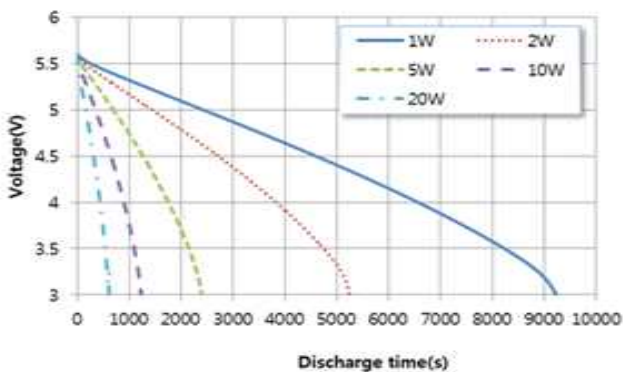


그림 6. 하이브리드 커패시터 모듈의 출력에 대한 방전 곡선
Fig. 6. Discharge curve according to out power of hybrid capacitor module.

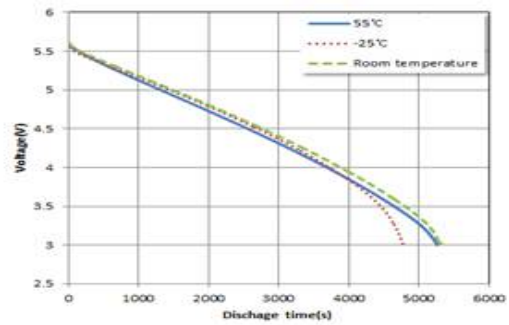


그림 7. 하이브리드 커패시터 모듈의 온도에 대한 방전 곡선
Fig. 7. Discharge curve according to temperature of hybrid capacitor module.

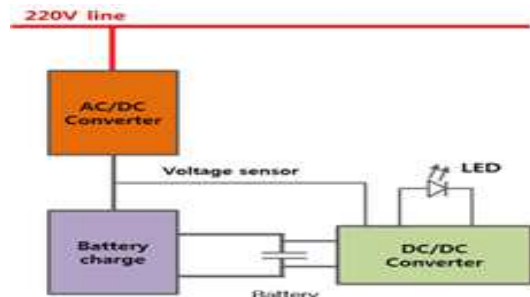


그림 8. LED 비상 유도등에 대한 시스템 블록도
Fig. 8. System block diagram for LED Luminaire for emergency exit sign.

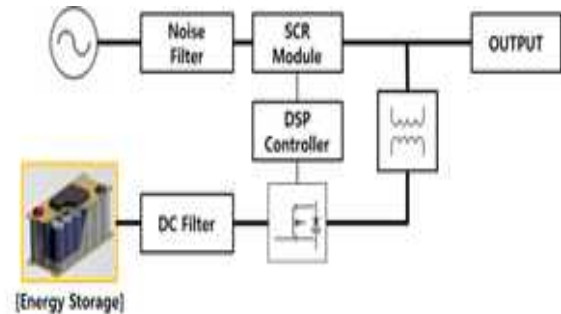


그림 9. 순간전압강하 보상장치 시스템 블록도
Fig. 9. DVR system block diagram.

DC-DC 컨버터를 이용하여 예비 전원을 충전하고 LED를 점등 되도록 설계 되어있으며 비상시에는 비상전원에 충전된 에너지를 사용하여 LED를 점등시키는 구조로 구성 되어 있다. 구성 으로서는 LED 부, 회로 부, 비상 전원 부 및 표시부로 구성되어 있으며 LED부의 경우 12개의 LED로 구성 되어 있으며 예비 전 원부의 경우 니켈 카드뮴 800 mAh 전지를 사용 하였다.

그림 9는 DVR의 시스템 블록도 이다. 평상시 계통 전압을 입력 받아 출력을 내보냄과 동시에 변압기를 거쳐 인버터를 통 해서 에너지 저장장치에 에너지를 저장한다. 계통에 사고 또는

표 2. EDLC 와 하이브리드 커패시터 모듈 사양
Table 2. EDLC and hybrid capacitor of the module specification.

	hybrid-capacitor	super capacitor
Module photo		
Cell	250 F/2.8 [V]	10 F/2.7 [V]
Module	2.5F 280 [V] (SERIES100[EA])	1F 270 [V] (series100[EA])
	45 [mm]/ 22 ∅	
Cell size	130*300*125[mm] (W.D.H)	
Module weight	2600 [g]	2362 [g]
Storage energy	2687 [J]	10750 [J]
Used range	190~240 [Vdc]	
Balancing resistor	1 [kΩ] ± (Paral of each cell)	

큰 부하 기동에 의한 전압강하현상이 발생하면 SCR(silicon controlled rectifier) 동작을 통해 계통 전원을 차단한 후 인버터를 통하여 출력 측에 일정 시간 동안 전압을 보상해 주는 장치이다.

2-5 에너지 저장장치

표 2는 실험에 사용한 에너지 저장장치 모듈이다. 저장된 에너지의 양은 식(7)과 같다.

$$E = \frac{1}{2} C_{sc} (V^2_{max} - V^2_{min}) = P_{sc} \times T_{sc} \quad (7)$$

E: 에너지 양, C_{sc}: 정전용량, P_{sc}: 충전전력, T_{sc}: 충전시간

에너지 저장장치의 보상 시간은 용량에 의하여 결정되며, 에너지 저장장치의 사용 전압 범위는 190~240 V이다.

III. 전체 시스템의 실험 결과 및 고찰

하이브리드 커패시터 모듈을 정 전류로 5.6 V까지 충전 한 후 방전 실험을 진행하였으며 전압 구간은 3.3~5.6 V로 하였다. 그림 10은 실험 파형으로 2 W 정 출력 방전 시 유효 점등

시간인 60분 이상 동작함을 확인하였다. 실험결과 상온에서는 77.5분, 고온조건 (55±2 ℃)에서도 이와 비슷한 78분 동작하였으며 저온조건(-25 ± 3 ℃)에서는 73분 동안 작동하여 기존에 적용된 니켈 카드뮴전지와 유사한 동작 특성을 보이고 있다. 저온 및 고온에서 용량 감소는 비상등용 슈퍼 커패시터 규정에서 제시된 ±30% 이내이고 비상시 필요한 유효 점등 시간인 60분 이상의 시간 동안 사용이 가능하다는 것을 확인하였다. 이와 같은 결과는 하이브리드 커패시터 모듈을 적용하여서 LED 비상등 전원 사용 가능함을 확인하였다.

EDLC와 하이브리드 커패시터의 에너지 밀도 차이에 의한 보상 시간을 비교하기 위한 방법으로 그림 11과 같이 순간전압강하 보상장치에 에너지 저장장치 모듈을 적용하여 실험 하였다. 실험에 사용한 부하는 220 V 500 W 저항 부하이다.

에너지 저장장치가 완전히 충전 된 상태에서 전압 강하 상태를 모사하면 전압 강하 보상 상태로 들어가게 된다. 이때에 에너지 저장장치의 전압, 전류의 변화를 오실로스코프로 측정하고, 측정된 파형을 분석하여 보상시간을 계산한다.

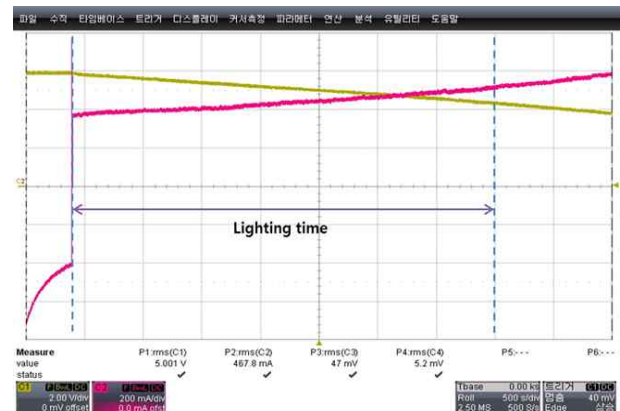


그림 10. 하이브리드 커패시터를 사용한 비상 유도 조건에 대한 실험파형 곡선
Fig. 10. Experimental waveform curve of emergency condition using hybrid capacitor.

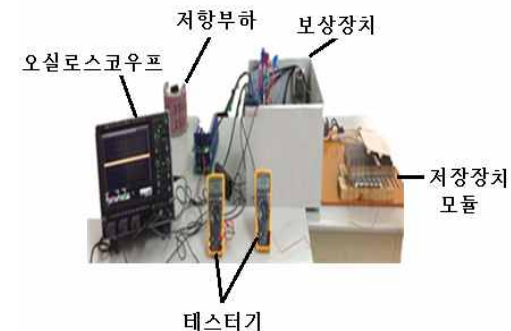


그림 11. 순간전압강하 보상장치
Fig. 11. Dynamic voltage restorer.

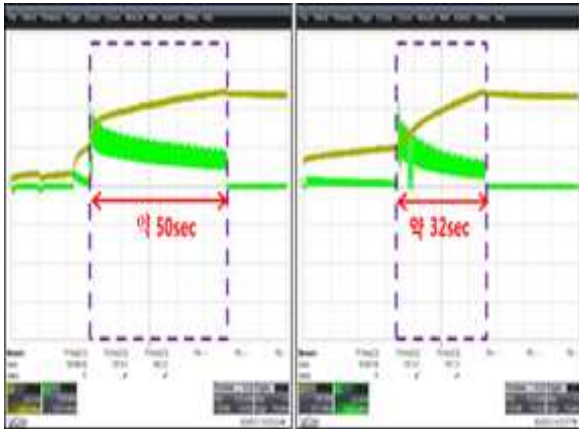


그림 12. 에너지 저장장치 충전시간
 Fig. 12. Energy storage charging time.

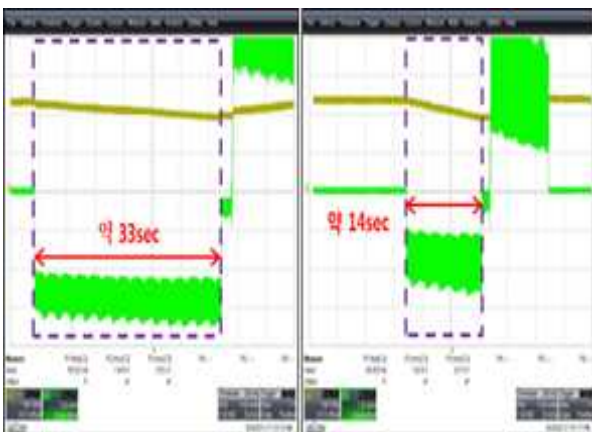


그림 13. 에너지 저장장치 보상시간
 Fig. 13. Energy storage discharge time.

그림 12는 에너지 저장장치의 충전 시간을 나타낸 것이다. 에너지 밀도 차이에 의해 충전 시간이 EDLC 보다 하이브리드 커패시터가 더 길다는 것을 알 수 있다.

그림 13은 인버터 보상 동작을 통해 에너지 저장장치의 전압이 240 V에서 190 V로 떨어지는 시간을 측정하는 것이다. 측정 결과 EDLC 보다 하이브리드 커패시터가 약 2.3배 정도 보상 시간이 더 길다는 것을 실험을 통하여 알 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 EDLC와 하이브리드 커패시터를 DVR의 에너지 저장장치로 적용하여 실험 하였다. 동일 한 크기의 EDLC 보다 하이브리드 커패시터가 축적 에너지가 2배 이상 높아 보상 시간이 2.3배 정도 더 길다는 것을 알 수 있다. 이를 통해 순간 전압 보상 장치 제품의 EDLC 보다 하이브리드 커패시터가

소형, 경량화에 적용 될 수 있을 것으로 기대한다.

향후에는 납축전지 및 리튬 이온 배터리를 에너지 저장장치 (ESS :energy storage system)로 사용하는 시스템 응용에 하이브리드 커패시터 적용에 관한 연구를 진행 할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2014년 9월부터 2015년 8월까지 연구년 기간에 의하여 이루어진 것으로 학교 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] P. Rodatz, L. Guzzella, and L. Pellizzari, "System design and supervisory controller development for a fuel-cell vehicle," in *1st International Federation of Automatic Control-Conference on Mechatronic Systems*, Darmstadt; Germany, pp. 18-20, Sept. 2000.
- [2] A. Schnewly, and R. Gallay, "Properties and applications of super capacitors from the state of the art to future trends," *Proceeding of Polymer and Composite International Materials*, pp.1~10, 2000.
- [3] P. Barrade, S. Pittet, and A. Ruffer, "Series connection of supercapacitors, with an active device for equalizing the voltages," *Polymer and Composite International Materials 2000: International Conference on Power Conversion and Intelligent Motion*, Nürnberg, Germany, pp. 6-8, June, 2000.
- [4] J. H. Yoon, H. J. Bang, J. Prakash, and Y. K. Sun, "Comparative study of Li[Ni1/3Co1/3Mn1/3]O2 cathode material synthesized via different synthetic routes for asymmetric electrochemical capacitor applications," *Matter Chemistry Physics*, Vol. 110, pp.222-227, 2008.
- [5] Y. G. Wang, and Y. Y. Xia, "A New concept hybrid electrochemical super capacitor carbon /LiMn2O4 aqueous system," *Electrochemistry Communication*, Vol. 7, pp.1138-1142, 2005.
- [6] B. G. Lee, and J. R Yoon, "Preparation and characteristics of Li4Ti5O12 anode material for hybrid supercapacitor," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, Vol. 7, No. 2, pp 12-17, 2012.
- [7] B. G Lee and J. R Yoon, "Synthesis of high-performance Li4Ti5O12 and its application to the asymmetric hybrid capacitor," *Material of Electrochemistry*, Vol. 9, No. 6, pp.112-116, 2013.
- [8] P. Dietrich, F. N. Büchi, M. Ruge, A. Tsukada, G. G. Scherer, R. Kötz, S. Müller, "Fuel cells for transportation – a pilot fuel cell," in *Proceedings of 8th European*

Automotive Congress, Conference A, Power train Efficiency and Environmental Harmony, Bratislava; Slovakia pp. 308-399, 18-20, June, 2001.

[9] H. W. Chun and I. K. You, "Marker and technology trend in super capacitor," *Electronics and Telecommunications Trend*, Vol. 126, No. 5, pp. 122-131, 2014.

[10] J. K. Lee, and J. R. Yoon, "Effects of $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ anode electrode thickness on the cell balancing of hybrid super capacitor," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 15, No. 3, pp. 132-141, 2015.

[11] D. Cericola, and R. Kötz, "Hybridization of rechargeable batteries and electrochemical capacitors," *Principles and*

Limits. Electrochimica Acta 72, pp.1-17, 2012.

[12] N. Narendran, N. Maliyagoda, L. Deng, and R. Pysar "Characterizing LEDs for general illumination applications: mixed-color and phosphor-based white source," *Society of Photographic Instrumentation Engineers Proceedings*, Vol. 4445, pp. 312-317, 2001.

[13] R. Kötz, S. Müller, M. Bäertschi, B. Schnyder, P. Dietrich, F. N. Büchi, A. Tsukada, G. G. Scherer, P. Rodatzl, O. Garcia, P. Barrade, V. Hermann, and R. Gallay, "Supercapacitor for peak-power demand in fuel-cell-driven car," *Electrochemical Society Proceedings*, Zürich; Switzerland, Vol. 21, pp. 564-575, 2001.



황 락 훈 (Lark Hoon Hwang)

1981년 2월 : 명지대학교 전기공 학과 (공학사)
 1983년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
 1989년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
 1988년 3월 ~ 1991년 2월 충남전문대학 전기과 (현, 대덕대학 전기과) 조교수
 1991년 3월 ~ 현재 세명대학교 전기공학과 교수
 ※ 관심분야 : 전동기 제어, 대체 에너지 분야, 에너지 변환, 반도체 시뮬레이션, 전력전자 응용분야



나 승 권 (Seung-Kwon Na)

1999년 2월 : 세명대학교 전기공학과 (공학사),
 2008년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학박사)
 1988년 5월 ~1994년 8월 : 한국수자원공사,
 2014년 8월 ~현재 : 한국폴리텍대학 강릉캠퍼스 전자통신학과 교수
 ※ 관심분야 : 의용공학 및 대체에너지분야, 에너지변환, 전력전자응용분야

2001년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
 1981년 7월 ~1988년 4월 : 삼육부산(한방)병원
 1994년 9월 ~2014년 7월 : 한국폴리텍대학 원주캠퍼스 의용공학과 교수



김 진 선 (Jun Seon Kim)

2009년 2월 : 세명대학교 전기공학과(공학사)
 2013년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과(공학석사)
 2013년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과(박사과정)
 1995년 7월 ~ 현재 : ㈜청파이엠티 대표이사
 ※ 관심분야 : 전력전자 응용분야 및 대체 에너지 분야, 전기기기