

리튬이온커패시터를 활용한 비상유도등 예비전원장치의 동작 특성 및 점검방법 개선에 관한 연구

A Study on Improvement of Operation Characteristics and Inspection Method of Standby Power Supply such as Emergency Induction Light using Li-ion Capacitor

정준채*

Jun-Chea Jung*

Graduate student, Department of Construction Safety Engineering, Kyonggi University, Suwon, Republic of Korea

*Corresponding author: Jun-chea Jung, 7020jun@hanmail.net

ABSTRACT

Purpose: This study analyzes the operating characteristics of a lithium ion capacitor that can be used as a standby power supply in an emergency, and determines whether the standby power supply is abnormal even by measuring the voltage using a linear proportionality characteristic during charging and discharging. The aim is to provide an experimental basis that can be done. **Method:** As a method for this study, first, analyze the operation principle and characteristics of the existing backup power supply and lithium ion capacitor, and then measure the voltage of the lithium ion capacitor according to the configuration and system block diagram of the induction lamp used in the experiment. We proceed with the test of the measured value of discharge power for each voltage band to check the amount of power held by the battery and the operation test experiment using induction lamps. **Results:** Just by checking the charging voltage using the linear proportional characteristics of lithium ion capacitors, it provides a basis for accurately inferring the effective operating time of induction lamp lamps. **Conclusion:** In the event of a disaster, the lithium ion capacitor is used as a spare power supply for emergency induction lamps to prevent complete discharge of emergency induction lamps, to prevent the problem of performing normal operation of the standby power supply, and to use only a simple voltage measurement to reserve power. It was intended to suggest many uses for evacuation equipment application in the future by making it possible to check whether the device is abnormal.

Keywords: Lithium Ion Capacitor, Lithium Ion Battery, Supercapacitor, Spare Power Supply, Emergency Induction Light, Linear Proportionality Characteristic, Charge / Discharge Characteristic

Received | 5 March, 2020

Revised | 8 March, 2020

Accepted | 19 May, 2020

 OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

요약

연구목적: 본 연구는 비상시의 예비전원장치로 사용 가능한 리튬이온커패시터의 동작 특성을 분석하고, 충·방전시의 선형비례특성을 이용하여 전압을 측정하는 것으로도 예비전원장치의 동작 이상 유무를 판단 할 수 있는 실험근거의 제공을 목적으로 한다. **연구방법:** 본 연구를 위한 방법으로 먼저 기존 예비전원장치와 리튬이온커패시터에 대한 동작원리 및 특성을 분석하고, 다음으로 실험에 사용한 유도등의 구성도와 시스템 블록도에 따라 리튬이온커패시터의 전압 측정을 통해 배터리의 보유 전력량을 확인하는 전압대역별 방전전력량 측정 값 테스트와 유도등을 이용한 동작 테스트 실험으로 진행한다. **연구결과:** 리튬이온커패시터의 선형비례특성을 이용한 충전전압을 확인하는 것만으로도 정확하게 유

도등 램프의 유효동작 시간을 추론 할 수 있는 근거를 제시하고 있다. 결론: 재난 상황 시 리튬이온커패시터를 비상유도등의 예비전원장치로 사용함으로써 비상유도등의 완전 방전을 미연에 방지하고, 예비전원장치의 정상 작동 수행의 문제가 발생하지 않게 하며, 간단한 전압측정 만으로도 예비전원장치의 이상 유무를 확인 할 수 있게 하여 향후 피난설비 적용에 많은 활용도를 제시하고자 하였다.

핵심용어: 리튬이온커패시터, 리튬이온배터리, 슈퍼커패시터, 예비전원장치, 비상유도등, 선형비례특성, 충·방전특성

서론

연구배경 및 목적

연구배경

건축물이나 시설물에서 화재나 폭발 등에 의한 사고가 발생하면 피난유도체계의 안전시스템 부적합에 따른 인명대피가 가장 큰 문제점으로 제기되고 있다. 예를 들어, 지하철 화재 당시 승강장에서 비상출구로 대피하려던 승객들이 비상유도등이 제대로 작동되지 않거나 식별이 곤란해 대피에 어려움이 발생하여 많은 사상자가 발생하였다(Choi, 2007).

본 연구는 비상구를 안내하는 비상유도등에 사용되는 예비전원장치에 관한 것으로서, 리튬이온 이차전지와 같은 화학전지를 대신하여 급속충전이 가능하고 반영구적이며 배터리 보유전력량 확인이 가능한 리튬이온커패시터를 비상시의 예비전원장치로 사용하고, 리튬이온커패시터의 선형비례특성을 이용하여 전압을 측정 하는 것으로도 예비전원장치의 동작 이상 유무를 판단할 수 있는, 리튬이온커패시터를 활용한 비상유도등 예비전원장치의 동작 특성 및 점검방법 개선에 관한 연구이다.

종래의 비상유도등의 예비전원장치로는 알카리계, 리튬계 배터리가 사용 중인데 알카리계인 니켈카드뮴(Ni-Cd)배터리가 보편적으로 사용되고 있으며, 최근 리튬이온배터리 계열의 리튬인산철(LiFePO4)을 적용한 제품이 등장하는 등 리튬이온배터리의 적용 확대가 예상되고 있다(Electric Safety Test Institute, Korea Electric Safety Corporation, 1999). 그러나 리튬이온배터리와 같은 화학전지는 2~3년이라는 짧은 교체시기와 배터리의 충전 상태를 확인하기가 곤란하고, 배터리 폭발에 대한 우려 등 화학전지라는 태생적 제약에서 자유롭지 못하며, 최근에 부각되고 있는 슈퍼커패시터는 수명시간 측면에서는 장점을 가지고 있지만 에너지 밀도가 낮아 에너지 저장매체로서 큰 체적이 요구되고 가격이 높은 단점을 가지고 있다(Lee et al., 2017). 이러한 단점을 보완하기 위해 Table 1과 같이 슈퍼커패시터와 리튬이온 이차전지의 특성을 결합한 리튬이온커패시터를 비상유도등의 예비전원장치로 제시 하고자 하였다.

Table 1. Characteristics of Li-ion capacitor

구분	슈퍼커패시터 (Electric Double Layer Capacitor)		리튬이온커패시터 (Li-ion capacitor)		리튬이온배터리 (Li-ion Battery)
용량	5 ~ 7 Wh/kg	X 15배 ⇨	100 Wh/kg	⇨ -30%	150 Wh/kg
수명	> 100만회		5 ~ 10만회		< 5000회
C - Rate	ordinary		~ 5C		~ 1C
	peak		~ 20C		~ 2C
충전시간	수십 초	1/20 수준 ⇨	10~20분	⇨ 20배 이상	4~8시간
저온특성	> -40℃		> -20℃		> 0℃

전 세계적으로 예비전원장치로 사용되고 있는 리튬계 배터리, 알카리계 배터리, 납축전지는 모두 화학 전지로 보유 전력량을 정확하게 측정하는 기술이 없는 상태이다. 비상유도등에는 안전 규격에 따라 그 예비전원장치의 충전 상태를 점검하기 위한 점검 버튼을 노출하여 설치한다. 점검 버튼을 누르면, 상용 교류전원이 차단되면서 자동으로 예비전원장치가 동작하는지 여부를 점검하게 된다. 이러한 점검 방식은 점검 버튼을 누르고 있는 시간 동안 예비전원장치가 전기를 방전하는 지만을 확인할 수 있는 점검 방법이기 때문에 비록 점검 당시 정상적으로 동작한다고 판단되더라도 이 배터리가 기준 시간 동안 유도등의 점등을 유지할 전원을 가지고 있는 것인지, 아니면 곧 방전될 것인지 여부를 파악할 수 없다는 것이다.

연구목적

본 연구의 목적은, 리튬이온배터리와 같은 화학전지를 대신하여 비상유도등에 리튬이온커패시터를 비상시의 예비전원장치로 사용하여, 리튬이온커패시터의 동작 특성을 파악하고, 리튬이온커패시터의 전압과 충전 전력량과의 상관관계를 확인하여, 계산식에 의한 커패시터 전력량과 실제 전력량을 비교하며, 충·방전 특성을 이용한 전압을 측정하는 것으로도 비상유도등 예비전원장치의 동작 이상 유무를 판단 할 수 있는 실험 근거의 제공을 목적으로 한다.

연구방법

본 연구를 위한 방법으로 먼저 기존 예비전원장치와 리튬이온커패시터에 대한 동작원리 및 특성을 설명하고, 다음으로 실험에 사용한 유도등의 구성도와 시스템 블록도에 따라 리튬이온커패시터의 전압 측정을 통해 배터리의 보유 전력량을 확인하는 전압대역별 방전전력량 측정 값 테스트와 유도등을 이용한 동작 테스트 실험을 진행하였다.

본론

리튬이온커패시터(예비전원장치) 특성

예비전원장치는 화재, 재난, 정전 등으로 인해 주전원공급이 중단되었을 때, 소방 및 구난용 설비를 정상적으로 동작하기 위하여 설치되었으며, 생명과 직결된 장치로 법률로 정하여 운영된다. 비상유도등은 정상 모드에서는 상용 전원을 사용하게 되지만, 정전 시에는 내부의 예비전원장치를 사용하여 일정한 기준 시간(20분~60분) 이상 점등상태를 유지해야 한다(Lee et al., 2016).

Fig. 1은 전기2중층 커패시터라고 하는 축전부품과 리튬이온 2차전지를 조합한 하이브리드구조의 축전지이며, 전기2중층 커패시터의 양극(+)과 리튬이온 2차전지의 음극(-)을 연결한 리튬이온커패시터의 원리를 나타낸 것으로 2차전지의 화학 반응과 커패시터의 물리적 흡착력을 조합한 특성을 보인다. Fig. 2는 양극(+)과 음극에서 산화와 환원 반응에 의해서 전자가 이동하는 리튬이온배터리의 원리를 나타낸 것이다.

리튬이온커패시터의 특성으로는 첫째로 급속충전기능이 있다. Fig. 3과 Table 1를 보면 리튬이온배터리의 충전 경우는 1C¹⁾ 또는 2C 까지만 가능한데 비해 리튬이온커패시터는 20C로 10분대의 급속충전이 가능하고, C-rate가 증가 할수록 충전 시간이 감소 되는 것을 볼 수 있다.

1)전지의 용량을 1시간 동안 충·방전 시 하전 되는 전류량을 말한다.

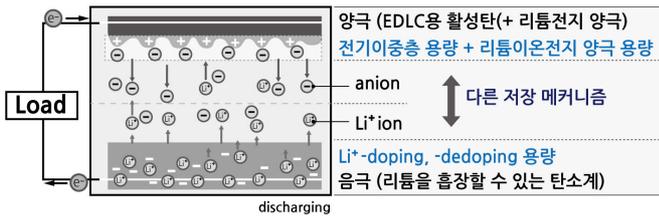


Fig. 1. Principle of Li-ion capacitor

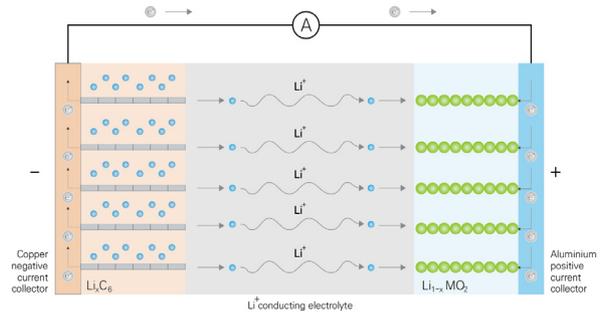


Fig. 2. Principle of Li-ion Battery



충전	CC(Min)	CV(Min)	CC+CV(Min)
1C	50.4	4.1	54.5
3C	16.7	5.4	22.0
5C	9.6	5.9	15.5
10C	4.3	8.4	12.7
15C	2.5	8.5	11.0
20C	1.6	8.9	10.5
25C	1.1	8.9	10.0
30C	0.7	8.8	9.5

C rate 충·방전 : 1C 를 기준으로 비율별 충전방전 특성을 측정하는 실험. / CC:정전류, CV;정전압

Fig. 3. Quick charge test results of Li-ion capacitor

둘째는 수명에 따른 용량 유지율인데, Fig. 4를 보면 배터리의 수명을 나타내는 충전방전 횟수에서 리튬이온커패시터가 리튬이온배터리에 비해 10배 이상 횟수가 많아 유지관리측면에서 더 유리하다고 볼 수 있다. 셋째 우수한 온도 특성을 가지고 있는데, Fig. 5와 Table 1을 보면 리튬이온배터리의 경우는 용량유지율 때문에 0°C이상에서만 효율성이 유지되는 것에 비하여 리튬이온 커패시터는 -20°C에서도 76%의 용량유지율을 보이므로 저온에서의 활용도도 높다고 보여 진다.

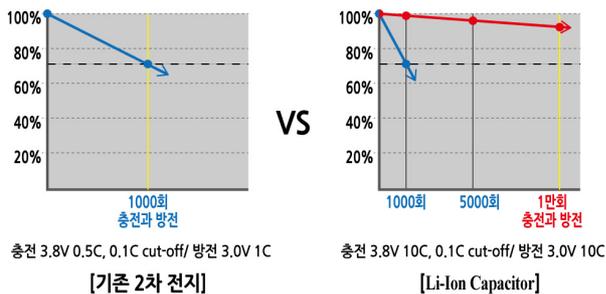


Fig. 4. Capacity retention rate for lifetime of Li-ion capacitor

온도	방전용량(mAh)	용량유지율(%)
25°C	155mA	100%
0°C	145mA	94%
-10°C	134mA	86%
-20°C	118mA	76%

Fig. 5. Capacity retention rate of Li-ion capacitor by temperature

넷째는 충전상태 확인 가능성인데, Fig. 6을 보면 리튬이온커패시터와 리튬이온배터리의 충전 및 방전 시 전압 변화에 관한 특성을 비교한 것이다. CC (Constant Current) 모드로 배터리의 충전과 방전을 진행할 경우, 시간 경과에 따라 각 배터리는 충전 상태(보유 전력량)의 변화가 발생하게 되는데, 각 배터리의 충전 상태(보유 전력량)의 변화와 전압과의 관계를 비교한 그래프이다. 리튬이온배터리와 같은 화학전지의 경우는 배터리가 실질적으로 보유하고 있는 전력량이 초기에는 일정한 관계를 나타내지만, 70% 이상 충전된 이후부터는 충전 전력량의 차이를 전압의 변화로 확인하는 것이 실질적으로 불가능한 경향을 보이지만, 반면 리튬이온커패시터는 충전과 방전을 통해 실질적으로 보유하고 있는 배터리의 전력량이 일정하게 나타나는 선형비례 특성을 가지고 있다(Maeng et al., 2015). 이는 특히, 방전과정에서 더욱 중요하게 되는데, 즉, 리튬이온배터리의 경우는 충전이 완료된 이후(IR-Drop 발생 이후, peak point 이후 급격하게 전압이 떨어지고 난 이후)부터 방전이 종료되는 시점까지의 구간에서 지속적으로 방전(전류의 사용)이 진행되고 있는 상황에서도 전압의 변화가 이를 전혀 반영하지 못하는 양상을 확인할 수 있다. 이는 실제 현장에서 배터리의 전력 보유량이 감소하더라도 전압의 변화가 나타나지 않아서 이를 사전에 확인하는 것이 곤란하며, 결국 배터리가 사용이 불가해지는 중지전압에 도달해서야 배터리 이상을 확인하게 되어, 항시 위험에 노출되어 있는 상황일 수 있다는 것이다. 반면, 리튬이온커패시터는 충전과 방전 과정에서 발생하는 배터리 보유 전력량의 변화가 전압의 변동으로 바로 반영(linear)되기 때문에 실시간 배터리 전압 측정을 통해 배터리의 관리가 완벽하게 이루어질 수 있다. 이러한 전압 변화 특성은 리튬이온커패시터가 장기간 사용에도 선형비례 특성의 변화가 발생하지 않는 장수명 예비전원장치이기 때문에 더욱 유효하다.

결과적으로 Table 1와 같이 리튬이온커패시터는 리튬이온배터리와 같은 화학전지들의 장점을 살리고 단점을 보완한 특성을 보이고 있어 재난 및 안전시설에 적용되는 예비전원장치에 적합한 것으로 보인다.

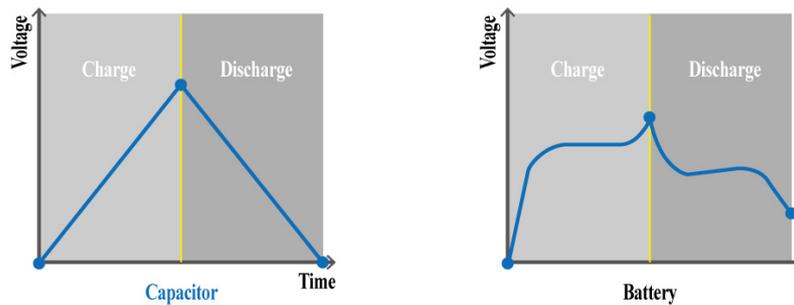


Fig. 6. Relationships between voltage and power of Li-ion capacitor (Linear)

리튬이온 커패시터 충·방전 특성 실험

전압대역별 방전전력량 실험

Fig. 7은 실험에 사용한 유도등의 구성도와 시스템 블록도를 나타내었다. 동작을 보면 상용전원으로 DC-DC 컨버터를 이용하여 예비전원을 충전하고 LED를 점등되도록 설계 되었고 비상시에는 예비전원장치를 이용하여 LED를 점등 시키는 구조로 되어 있다(Maeng et al., 2015).

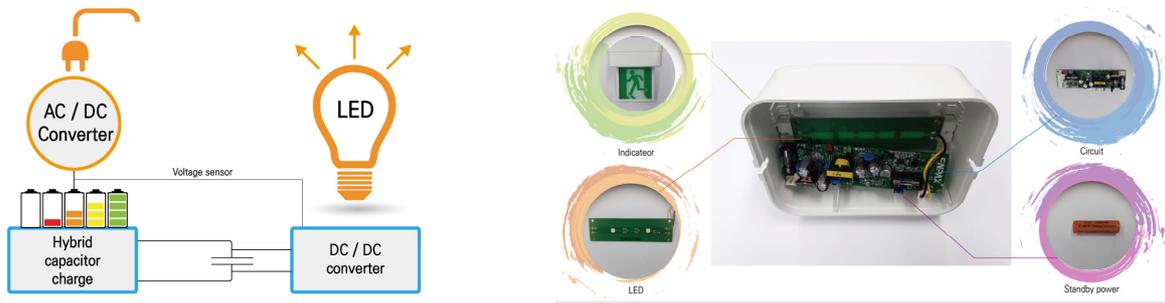


Fig. 7. System block diagram and configuration of emergency luminaires

리튬이온 커패시터의 경우 충·방전 시 보유전력량과 전압의 관계가 Fig. 6처럼 매우 일정한 선형비례 특성을 가지고 있어, 이 특성을 이용할 경우 리튬이온커패시터가 보유하고 있는 전력량을 전압의 간단한 측정만으로도 확인할 수 있는 이점이 있다. 선형비례 특성을 기반으로 Table 3처럼 리튬이온커패시터의 전압대역별 방전전력량을 계산하여, 이를 실제 측정된 전력량과 비교 검증 작업을 병행하고, 비상 유도등 예비전원장치의 점등 기준을 종지전압²⁾ 대신에 법정시간 동안 점등하는데 필요한 전력량을 보유하는 전압으로 실험하였다. Table 2의 실험적용조건을 적용한 전압대역별 방전전력량은 식 (1), (2)를 통하여 구할 수 있다.

V1 : 방전 개시 전압, V2 : 방전 종료 전압

$$((V1^2 - V2^2) * 350F) / (2 * 3,600) = 0.297 \text{ Wh} \tag{1}$$

$$V2 = 1.0V \text{ 일 때, } V1 = ((0.297 * (2 * 3,600) / 350F) + 1)^{1/2} = 2.6664 \text{ V} \tag{2}$$

식 (1)은 비상유도등을 1시간 동작 시키는 데 필요한 충전전력량이 0.297 Wh라고 할 때 식 (2)는 그에 따른 방전종료전압이 1.0 V가 되기 위한 방전개시전압을 나타내는 식이다. 식 (1)과 (2)을 이용하여 각 전압대역별 방전전력량을 계산하고, Table 3에서는 전압대역별로 실제 측정된 방전전력량과 식 (1)의 계산에 의한 출력 값과의 관계를 검증하는 실험을 진행하였다.

Table 2. Experimental terms

유도등 소비전력	동작기준시간	필요전력	예비(MARGIN)	필요 충전전력
0.27 W	60분	0.27 Wh	10%	0.297 Wh

2) 전류를 더 이상 방전 하지 못하는 상태

Table 3. Test value of value power behavior by voltage broadband

구분	전압대역별					
	2.77 V	2.65 V	2.5 V	2.0 V	1.5 V	
평균(A)	0.3246	0.2987	0.2631	0.1492	0.0630	
방전전력량 (Wh)	1차	0.3215	0.2967	0.2623	0.1490	0.0650
	2차	0.3242	0.2988	0.2627	0.1494	0.0610
	3차	0.3283	0.3012	0.2639	0.1505	0.0610
	4차	0.3276	0.3007	0.2639	0.1494	0.0610
식 (1)에 의한 계산 값(B)	0.3244	0.2928	0.2552	0.1458	0.0608	
차이	0.0002	0.0059	0.0079	0.0034	0.0022	
% (B/A)	99.95%	98.01%	97.00%	97.74%	96.50%	

Fig. 8의 그래프를 보면 전압대역별 식 (1)에 의한 방전전력량 계산 값과 실제 측정에 의한 방전전력량의 평균값과 유사한 기울기를 보이고, 2.65 V 이상에서는 98.01%의 객관성을 확보 하고 있다.

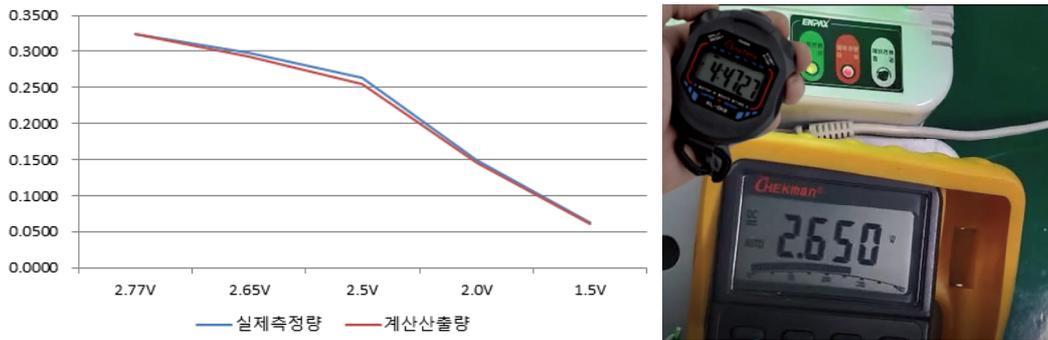


Fig. 8. Relationship graph and test photos with Li-ion capacitor voltage and power

유도등을 이용한 동작 실험

비상유도등 예비전원장치 점검버튼을 통해 보완적으로 배터리의 점검이 가능하지만, 이 경우에도 법정시간 동안 점검버튼을 눌러서 확인하는 방법이 아니고서는 실질적으로 유도등에 내장된 배터리가 법정시간 동안 정상 동작할 수 있는 지를 확인 할 수 있는 방법이 없는 상황이다. Table 5은 유도등을 이용한 동작 실험으로 Table 4의 적용 조건으로 비상유도등의 예비 전원장치인 리튬이온캐패시터가 용량 350 F를 가지고 유도등 동작 조건인 0.27 Wh로 방전하여 2.65 V부터 1.0 V까지의 방전시간을 측정하여 실제 법정시간인 60분을 만족하는지 실험 하여, Table 3의 전압을 측정하는 것 만 으로서 비상유도등에 내장된 배터리가 법정시간 동안 정상 동작할 수 있는 지를 확인하기 위한 실험이다.

Table 4. Applying motion test using induction

배터리	커패시터 350 F (167 mA)
충전 조건	2A CC Mode 충전(12 C 충전)
방전 조건	유도등 동작 조건으로 방전(0.27 W 방전, 0.85 C 방전)
충·방전 전압	충전 중지 전압 2.8 V, 방전 중지 전압 1.0 V
방전 시간 측정	2.65 V부터 방전 시간(유도등 동작 시간)

Table 5. Activity tests using induction

구분	1차		2차		3차		4차		종합
	내용	비고	내용	비고	내용	비고	내용	비고	
충전 대기	전압	2.38	1.0→1.06		1.0→1.06		1.0→1.05		
	소요 시간	0:00:00	1분	1:14:55	1분	2:34:25	1분	3:54:47	
충전	전압	2.38→2.8	1.06→2.8		1.06→2.8		1.05→2.8		1.06→2.8
	소요 시간	1분24초	0:01:24	5분23초	1:20:18	5분20초	2:39:46	5분20초	4:00:09
방전 대기	전압	2.8→2.76	2.8→2.77		2.8→2.77		2.8→2.77		
	소요 시간	1분	0:02:25	1분	1:21:18	1분	2:40:46	1분	4:01:09
방전	전압	2.76→2.65	2.77→2.65		2.77→2.65		2.77→2.65		2.77→2.65
	소요 시간	5분30초	0:07:55	6분7초	1:27:25	6분28초	2:47:15	6분16초	4:07:25
알람 발생 방전 종료	전압	2.65→1.0	2.65→1.0		2.65→1.0		2.65→1.0		2.65→1.0
	소요 시간	66분	1:13:55	66분	2:33:26	66분32초	3:53:47	66분35초	5:14:01
총 방전 시간	전압	2.76→1.0	2.77→1.0		2.77→1.0		2.77→1.0		2.77→1.0
	소요 시간	71분	1:13:55	72분8초	2:33:26	73분	3:53:47	72분52초	5:14:01

유도등을 이용한 동작 테스트 결과물인 Fig. 9는 리튬이온커패시터를 예비전원장치로 사용하여 리튬이온커패시터의 충·방전 시간을 확인한 그래프로 예비전원장치 알람 발생시점인 2.65 V의 충전전압에서 1.0 V 정지전압까지 방전시간이 66분 대로 일정함을 확인 할 수 있었고, 반복된 충·방전 실험에서도 같은 패턴이 반복되고 있음을 보여 주고 있다. Fig. 8의 그래프 를 보면 리튬이온커패시터를 2.8 V까지 충전하고, 2.65 V부터 방전을 시작하여 1.0 V까지 방전되는 시간을 측정하는 실험 을 통해, 리튬이온커패시터는 전압을 확인하는 것만으로도 유도등 램프의 점등을 유지할 수 있는 시간(유효 동작시간)을 추 론 할 수 있었다.

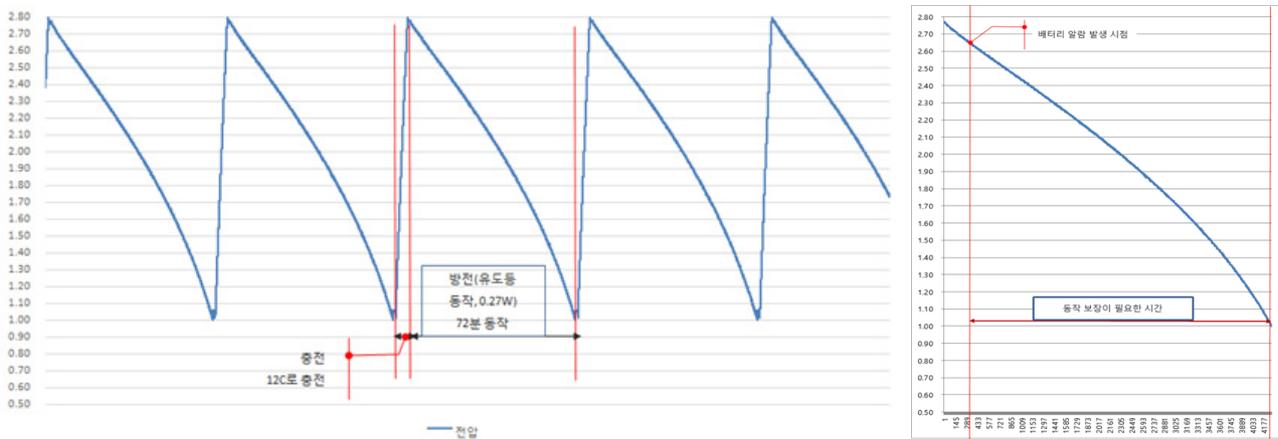


Fig. 9. Lithium ion capacitor discharge graph

결론 및 고찰

본 연구는 비상유도등의 예비전원장치인 리튬이온커패시터의 동작 특성을 검토하고, 리튬이온커패시터의 유효 동작시간 체크를 위하여 상용 교류전원을 차단하지 않은 상태에서 리튬이온 커패시터의 충전전압을 2~3초 정도의 매우 짧은 시간의 전압 검사만으로도 예비전원장치의 이상 유무와 유효 동작시간을 판단할 수 있었다. 리튬이온커패시터의 이상 발생 시점을 인지하는 전압대역을 2.65 V로 설정하면 예비전원 상태 점검을 위해 비상유도등의 예비전원이 완전히 방전되는 일이 발생하지 않으며, 예비전원 상태 점검 중이나 직후에 정전이 발생하더라도 비상유도등을 유효시간 이상 점등시킬 수 있었다.

재난 상황 시에도 급속충전이 가능하고 반영구적인 특성을 가진 리튬이온커패시터를 비상유도등의 예비전원장치로 사용함으로써 비상유도등의 완전 방전을 미연에 방지하여 예비전원의 정상 작동 수행의 문제가 발생하지 않게 하고, 다른 피난시설에도 사용 가능한 리튬이온커패시터의 특성과 점검근거를 제시하여 향후 많은 활용도를 제시하고자 하였다.

Acknowledgement

이 연구를 마무리 하는데 도와주신 여러 지인 분들과 직원 여러분께 감사드립니다.

References

- [1] Choi, S.-G. (2007). A Study on the Change of Urban Railroad Safety Management Policy. Master of Engineering, Seoul National University.
- [2] Electric Safety Test Institute, Korea Electric Safety Corporation (1999). Electrical Safety Guidelines (ESG -6001) (ESG -6001), which is used for emergency contingency facilities, is an Electrical Safety. Korean Electric Safety Test Scientist, Gyeonggi Province.
- [3] Lee, B.-J., Choi, J.-H., Lee, S.-H. (2017). "Study on the explosion and fire of radium ion and radium polymer batteries." The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 42, No. 4, pp. 855-863.
- [4] Lee, H.-S., Kim, S.-G. (2016). "Experimental study on the explosion and humidity of the phone battery." Fire Science

and Engineering, Vol. 30, No. 4, pp. 111-120.

- [5] Maeng, J.-C., Yoon, J.-R. (2015). "Behavior characteristics of a hybrid supercapacitor module above LED emergency induction." *Journal of the Korean institute of electronic material engineers*, Vol. 28, No. 7, pp. 473-479.