

# 리튬 커패시터기반의 실시간 충전상태 확인과 긴급복구 기능을 갖는 예비전원장치 개발 및 성능 평가

한대철, 정준화\*  
한국건설기술연구원 도로교통연구본부

## Development of Spare Power Supply with Real-Time Charge Status and Emergency Recovery using Lithium Capacitors and Performance Test

Dae-Cheol Han, Jun-Hwa Jeong\*  
Department of Highway and Transportation Research,  
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**요약** 본 연구는 재난안전 방재시설의 핵심인 예비전원장치에 대하여 커패시터 배터리를 기반으로 실시간 충전상태 확인이 가능한 예비전원 장치와 관제 시스템을 개발하고 그 성능을 평가하는 것이다. 개발 결과물의 성능 평가는 공인시험기관에 의해 노화에 의한 영향, 온도에 의한 영향, 배터리 정상 사용 가능 기한, 고속 충·방전 속도별 발열실험이, 현장 설치평가에 의해 개발 제품과 관제시스템의 운영 안정성이 각각 평가되었다. 성능 평가 결과 리튬이온 커패시터 배터리의 신뢰성 있는 보유 전력량을 확인이 가능하였고, 충·방전 가속 실험 결과 3,000cycle(약 10년 사용 환경 가정) 시 약 15% 성능 저하를 보였으며, 환경(온도) 변화에 따른 성능 시험의 경우 취약 환경인 저온에서도 비교적 안정적이었다. 정상 사용 가능한 한계 범위 확인 시험 결과 급속 충·방전 환경에서도 3,000cycle 후 약 85%의 성능을 유지하는 것을 확인하였으며, 안전성 실험 결과 급속 충·방전 과정 중 발열 온도 범위가 안정적이어서 일상적인 배터리 사용시 충분한 안정성이 확보되는 것을 확인하였다.

**Abstract** This study was to develop a spare power supply based on a lithium-ion capacitor battery and a control system capable of checking the state of charge of the battery in real-time, which is the core of a disaster prevention facility. The study was also conducted to evaluate the performance of the battery. In particular, the performance of the battery was evaluated by an authorized testing agency to study the aging, temperature, usable period, and high-speed charge and discharge produced heating of the battery. The performance evaluation showed that the battery could affect the amount of power retained by the battery. In addition, the charge and discharge acceleration test on the battery showed that the performance of the battery degraded by about 15% in 3,000 cycles (assuming these cycles were completed in 10 years). Further, the test to check the range of normal performance limits of the battery confirmed that the battery performance was at about 85% after 3,000 cycles, even under fast charging and discharging of the battery. Finally, the safety test on the battery confirmed that the temperature range of battery heating was stable, and the sufficiency of this stability was ensured for everyday battery use.

**Keywords** : Lithium-Ion Capacitor, Tunnel Disaster Prevention, Spare Power Supply, Control System, Capacitor

본 논문은 한국건설기술연구원 연구과제로 수행되었음(과제명 : 실시간 충전상태 확인이 가능한 예비전원장치와 관제시스템 개발 및 성능검증)  
\*Corresponding Author : Jun-Hwa Jeong(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: jhjeong@kict.re.kr

Received April 14, 2022

Accepted July 7, 2022

Revised May 12, 2022

Published July 31, 2022

## 1. 서론

SOC 및 도시, 건물·방재시설 등 안전환경 구축을 위해 공공 인프라에도 재난안전 설비의 설치가 지속적으로 강화되고 있으며, 대표적인 시설로는 도로터널과 다중복합시설이 있다.

재난안전 설비는 전원이 차단될 경우 예비전원(비상전원)의 정상 동작 상태 여부가 가장 중요한 기능이다. 재난 상황이나 정전으로 인해 상용전원 공급이 중단된 비상 상황에서 반드시 작동되어야 하는 재난안전 설비는 모두 비상전원으로 일정시간(45-60분)동안 구동되도록 되어 있다. 이들 비상전원은 일반적으로 비상발전기, UPS(또는 ESS), 비상전원설비(예비전원)로 구분되나, 이들 모두 2차 전지로 구성된 예비전원이 핵심이다.

특히 도로터널의 경우 재난상황 발생 시 회피가 어려운 공간 특성상 교통사고 대비 치사율이 전체 도로의 약 2배 이상 높은 대표적인 위험 시설(2015~2019년 평균 기준)로, 법적 기준을 통해 도로터널 재난설비의 확충이 지속적으로 추진되고 있다.

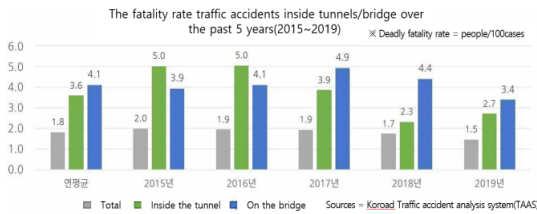


Fig. 1. Traffic Accident Fatality Rate by Risk in the Last 5 Years(2015-2019)[1]

공공인프라의 안전을 위해 설치되는 이러한 재난안전 설비는 모두 예비전원으로 작동되기 때문에 비상 상황 발생시 예비전원의 정상 동작 상태 여부가 재난안전 안전 시스템의 생명이다. 하지만, 화학전지로 구성된 현행 예비전원장치의 특성상 정확한 상태 확인이 실질적으로는 불가능하여 재난 사전대비 시스템에 심각한 허점이 생기게 된다.

본 연구에서는 충전상태를 실시간 파악할 수 있는 예비전원장치를 개발하고, 이를 IoT기술 기반으로 중앙 관제하는 시스템을 개발하였다. 이를 위해 리튬이온 커패시터 배터리(Lithium Ion Capacitor, 이하 LIC 또는 LIC 배터리)의 수명, 안전성, 외기온도 영향 긴급 복구 시간 등에 대한 특성을 분석하였다. 예비전원장치의 보유전력량과 전압의 관계가 일정하게 비례하는 LIC 배터

리의 특성을 활용하면 재난안전 설비의 각 예비전원이 보유하고 있는 전력량을 실시간 측정하여 관리할 수 있어, 재난상황에서 전체 재난안전설비가 100% 정상 동작할 수 있는 환경 구축이 가능할 것으로 판단된다.

또한, IoT 기반의 관제시스템으로 완벽한 재난 대비 관제시스템 구현이 가능하며, 공공인프라 외에 도시, 건물 등 안전·방재시설이 요구되는 부문으로 확대 적용할 수 있을 것으로 보인다.

## 2. 기존 연구 사례

리튬이온 전지는 재충전이 가능하고 휴대가 용이하며 출력이 높아 전기자동차, 휴대용 전자 기기, 초소형 기전 소자 등을 구동시키기 위한 고효율의 에너지 저장 및 공급 소자로 널리 쓰이고 있다[2].

최근 높은 에너지 밀도, 경량 및 저비용과 같은 상업적 요구를 만족하는 리튬이온 배터리 전극 소재 개발을 위해 상당한 노력이 진행되어 오고 있다[3].

배터리 기술 평가 결과[4]에 따르면 리튬이온은 향후 10년 동안 사용될 기술로 남아있을 것으로 예상된다. 차세대 리튬이온 배터리가 2025년경 대량 생산 시장에 진입하면 NMC811 양극, 낮은 코발트 함유량 및 높은 에너지 밀도를 가지고 있을 것으로 예상된다[4].

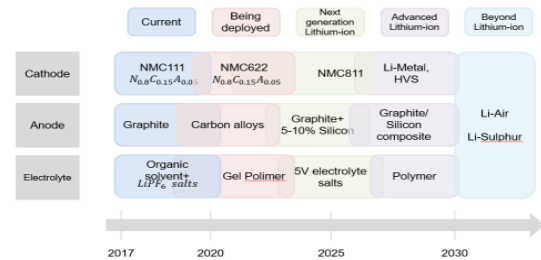


Fig. 2. Battery Technology Expected to be Commercialized (reproduced from[4])

또한, 리튬이온 배터리는 에너지 효율, 전력, 충·방전율, 비용, 사이클 수명, 안정성 특성으로 인해 다양한 응용 분야에 활용되고 있는데[5], 비디오 카메라, 컴퓨터, 휴대폰 그리고 이전에 사용할 수 없었던 다양한 전자제품들에도 활용되고 있다. 리튬이온 배터리는 저장 용량이 크고 사이클 내구성이 뛰어나 전기동력차에 점점 더 많이 사용되고 있어 친환경 교통수단 전환 시장으로 전망하고 있다[6].

Fig. 3은 원료에서 최종 응용에 이르기까지 리튬이온 배터리 산업의 생산 구조를 보여준다[7].

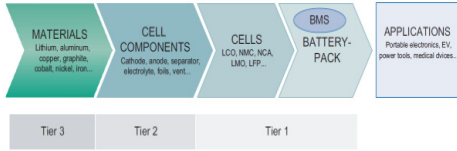


Fig. 3. Production Structure of the Li-ion Battery Industry (reproduced from[7])

최근 전자기기에서 충전 중 배터리 폭발이 빈번하게 발생하고 있어 이러한 원인 규명을 위한 실험결과 보호 회로가 없거나 불량인 리튬이온 및 리튬 폴리머 배터리를 사용하는 제품의 경우 폭발의 위험성이 있음이 증명되었다[8].

리튬이온 배터리의 상태를 감시하고 모니터링하는 기술도 중요하다. 배터리 내부의 온도 분포는 다소 복잡해 분리막뿐만 아니라 전해질, 전극 등의 값을 정밀하게 모니터링하는 방법이 필요하다. 또한, 리튬이온 배터리의 안전성 문제를 해결하기 위해서는 재료, 셀, 구성품 및 형식, 배터리 모듈과 팩이 중요하다고 강조하고 있다[9].

또한, 재난상황 시에도 급속충전이 가능하고 반영구적인 특성을 가진 LIC 배터리를 비상유도등의 예비 전원장치로 사용함으로써 예비전원의 정상 작동 수행 가능성을 입증한 연구결과도 있다[10].

### 3. 예비전원장치 및 관제시스템 개발

#### 3.1 LIC 배터리의 전압과 보유전력량의 선형 관계 규명

커패시터는 다공성 탄소(활성탄) 전극을 양측에 배치하고 분리막과 전해액을 그 사이에 위치시켜 전자가 탈착하는 방식으로 충방전하는 2차전지의 일종인데, 부피가 충전용량을 결정한다. 리튬이온 커패시터(LIC)는 커패시터의 양극재 또는 음극재를 리튬산화물을 적용하여 에너지 밀도를 강화하고 부피를 줄이고 경제성을 확보하여 적정 전력 용량에 맞춘 배터리이다. 그런 면에서 LIC 배터리는 기존 화학전지(납, 리튬, 니카드)와는 다음과 같은 차별성을 보인다.

- 충전상태는 종지전압에 도달해야 확인 가능(기존), 실시간 확인 가능(LIC)

- 충전속도 : 6~8시간 충전(기존), 15분 내 급속충전 가능(LIC)
- 배터리 수명 : 2년(기존), 10년(LIC)
- 외기온도 영향 : 0~45℃(영하 성능 한계, 기존), -20~60℃(80% 이상 성능 유지, LIC)

LIC 배터리는 보유전력량이 전압으로 즉각적으로 반영되기 때문에 전압과 보유전력량 간의 관계가 선형 관계로 나타나는 특성을 보인다고 알려져 있는데, 그 관계를 규명하기 위해서 충전전력량과 전압값의 비교실험으로 그 경향을 확인하였다(Fig. 4).

실험결과 LIC 배터리의 전압 변동을 실시간으로 감시할 수 있고 이를 통해서 예비전원 상태를 실시간으로 감시할 수 있다는 것이 확인되었다.

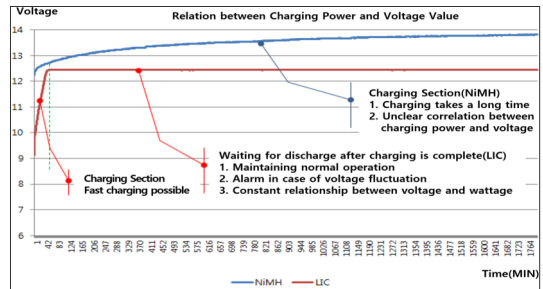


Fig. 4. Relation between Charging Power and Voltage Value

#### 3.2 실시간 충전상태 확인이 가능한 예비전원장치 개발

기존 장치의 전력공급시스템을 LIC 체계로 바꾸어 실시간 충전상태 확인이 가능한 예비전원장치를 개발하였는데, 니켈카드뮴, 니켈수소로 운영되고 있는 기존 예비전원장치와 LIC가 적용된 예비전원장치 상태를 비교 측정하였다.

개발한 LIC 배터리는 4S1P 배열을 기본 모듈로 구성하였고, LIC 전용 배터리 관리시스템과 컨트롤러 및 계측 상태를 확인하기 위한 무선통신장치를 구비하였다(Fig. 5).

LIC 모듈로 예비전원장치를 구현한 결과, 보유전력량의 실시간 확인이 가능하고, 10년 이상 배터리 사용이 가능하며, 동절기에도 정상 작동이 되는 등의 특성이 나타났으며 이를 적용한 시작품을 제작하여 성능을 평가하였다.

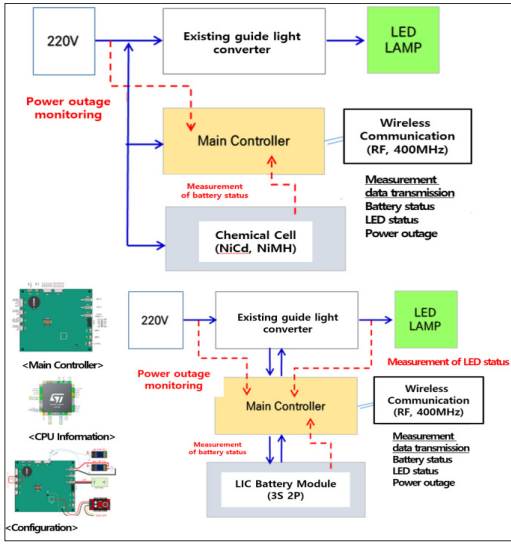


Fig. 5. Chemical Battery/Lithium Capacitor Applied Spare Power Supply

### 3.3 IoT 기반기술 예비전원 관제시스템 개발

실시간 충전상태 확인을 위해서 LIC 배터리와 기존 배터리로 구성된 도로터널 안전설비(3종, 9개)에 대해 예비전원 관제시스템을 개발, 구현하였다. 구현된 내용은 배터리 충전 상태(전압), LED 상태(LED 사용 전류량), 상용전원 상태(SMPS 전압)를 실시간으로 확인 가능한 것이며, 개별 설치 도로터널 안전설비별로 IoT 전용 RF 통신 모듈로 무선 통신이 가능하게 시스템을 구현하였다. Fig. 6은 설치된 안전설비에 대한 상태 표시 화면을 나타낸 것이다.

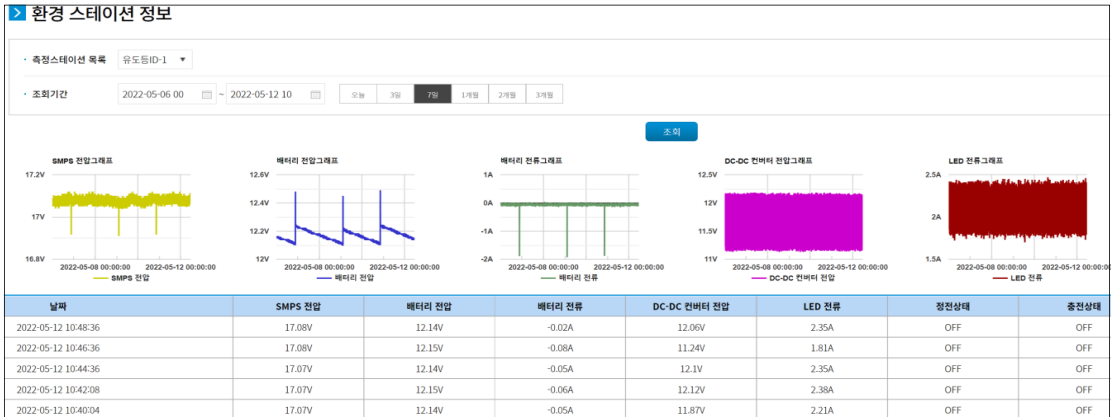


Fig. 6. Environmental Station Information such as Voltage/Current/Power Outage/Charge Status, etc.

## 4. 예비전원장치 성능 평가

### 4.1 수명 및 내구성 시험

LIC의 전압을 측정하고 전압별 보유전력량을 측정하는 실험을 통해 전압과 보유전력량 간의 상관관계를 확인하는 실험을 진행하였다. 배터리 노화에 따른 영향 검토를 위하여 3,000cycle 충전-방전 시까지 비교 실험과 온도에 의한 영향도 함께 시험하였다. 실험의 신뢰도 강화를 목적으로 Table 1과 같은 가속실험 환경에서 실험을 진행하였다.

실험결과 LIC의 전압과 보유전력량간에 일정한 상관관계가 안정적으로 유지됨을 확인하였다(Fig. 7). 단, 가속실험을 통해 배터리 노화 발생에 따른 성능 저하가 3,000cycle 시 기준의 약 10% 이내 용량 저하 범위내에서 발생하였는데(Table 2), 가속실험 환경을 고려할 때 약 10년 사용 기준 시 85% 수준의 성능을 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 이 결과로 보면 LIC 배터리의 경우 전압값을 배터리 보유전력량 확인 지표로 충분히 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

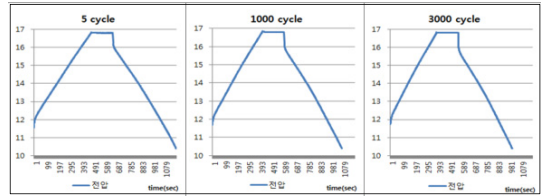


Fig. 7. Graph of Voltage Fluctuations by Charge/Discharge Cycle

Table 1. The Environment and Method of Conducting the Experiment

Category	Contents
Experimental cell	Lithium capacitor 3.6V 0.33Ah
Target battery	Experiment with 4 series 1 parallel (4S1P) module
Acceleration test	Continuous charging and discharging at 6-7 C-rate
Measurement of capacity by voltage	Check the change in capacity by charge/discharge cycle
Goal of test	Check the correlation between the voltage and the amount of power held
Category	notes
Experimental cell	-
Target battery	Experiment with modules to check the actual battery performance
Acceleration test	Secure data reliability through acceleration test
Measurement of capacity by voltage	Calculation and comparison of the total capacity and the capacity of each voltage (15v, 14v, 13v, 12v) based on the module Comparison of capacity changes until 3,000 cycles
Goal of test	Securing reliability of correlation between voltage and amount of power held Check the deviation range (aging, environment)

#### 4.2 환경(온도) 변화에 따른 성능 시험

사용 온도 환경에 따른 편차를 확인하는 실험에서도 안정적인 수치를 보이거나, 리튬을 양극재로 사용하는 특성으로 -10℃에서는 81.4% 수준, -20℃에서는 64.0% 수준으로 저온 조건에서는 일부 성능 저하가 발생하는 것을 확인하였다(Table 3).

Table 3. The Result of Comparing the Amount of Power Held by each Usage Temperature (unit cell experiment)

Temperature Condition(℃)	60	40	25	10	-10	-20
Capacity(Ah)	2.062	2.028	1.992	1.919	1.622	1.319
Comparison(%)	103.5	101.8	100.0	96.3	81.4	64.0

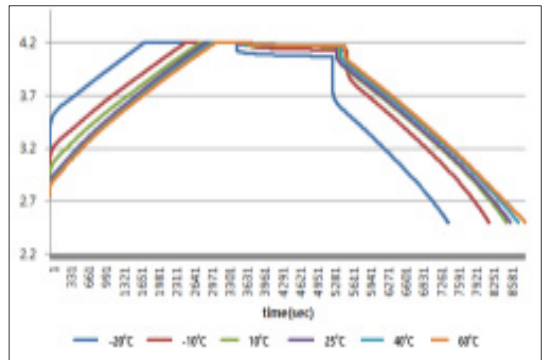


Fig. 8. Comparison of Charge/Discharge Performance by Temperature

보다 현실적인 실험을 위하여 저온(-20℃)과 고온(50℃) 상황에서 120시간, 240시간 경과 후 용량 변화 실험을 추가 진행하였다. -20℃의 저온 환경에서는 70% 수준의 용량 저하가 있는 것으로 나타났으며, 50℃의 고온 환경에서도 장시간 노출시 성능 저하가 74~85% 정도 발생하는 것으로 나타나 상용화시 이에 대한 고려가 필요해 보인다(Table 4).

Table 2. Comparison of the Voltage Value by Number of Times of Charging and Discharging and the Amount of Power Held

Number of times charge and discharge	Rechargeable	Amount of power held by voltage (based on discharge)									
		16V		15V		14V		13V		12V	
5	4.9	4.4	1.00	3.4	1.00	2.4	1.00	1.6	1.00	0.9	1.00
10	4.9	4.4	1.00	3.4	1.00	2.4	1.00	1.6	1.00	0.9	1.00
50	4.8	4.3	0.98	3.3	0.97	2.4	1.00	1.6	1.00	0.9	1.00
100	4.8	4.3	0.98	3.3	0.97	2.4	1.00	1.6	1.00	0.9	1.00
500	4.6	4.1	0.93	3.2	0.94	2.3	0.96	1.6	1.00	0.9	1.00
1000	4.5	4.0	0.91	3.2	0.94	2.3	0.96	1.5	0.94	0.9	1.00
2000	4.3	3.9	0.89	3.1	0.91	2.2	0.92	1.5	0.94	0.9	1.00
3000	4.2	3.8	0.86	3.0	0.88	2.2	0.92	1.4	0.88	0.8	0.89

Table 4. Comparison Result of Performance Change during Long-Term Operation of Low Temperature(-20°C) and High Temperature(50°C) (4S1P Experiment)

Temperature Condition(°C)	Initial		120hrs later		240hrs later	
	Cap(Ah)	%	Cap(Ah)	%	Cap(Ah)	%
50°C	0.364	100.0	0.31	85.2	0.27	74.2
-20°C	0.365	100.0	0.256	70.1	0.256	70.1

### 4.3 정상 사용 가능한 한계 범위 확인 실험

배터리의 수명 측정을 위하여 충·방전에 따른 성능 저하 실험을 진행하였으며, 최초 성능 대비(충·방전 용량으로 표시) 80% 미만 시점을 사용 종료 기한으로 판단하였다. 최대 3,000cycle 충·방전 실험을 목표로 진행하였으며 직렬 배터리 모듈 단위(4S1P), 고속 충·방전으로 연속 진행(6~7 C-rate로 충·방전)으로 가속실험 환경에서 진행하였다.

실험결과 고속 충·방전 환경에서도 3,000cycle 후 85% 수준의 성능을 유지함이 확인되어 충분히 10년 이상 성능 유지가 가능할 것으로 판단된다.

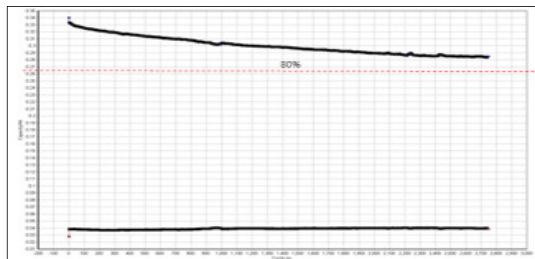


Fig. 9. 3,000Cycle Discharge Capacity Graph

Table 5. The Results of the High-Speed Charging and Discharging Experiment

Temperature condition (°C)	Pre-processing	2	1,000	2,000	3,000	Check after it's over
Experimental conditions (Ah)	Standard current	0.33				
	Test current	1.5	2.3	2.3	2.3	2.3
Capacity(Ah)	0.339	0.332	0.304	0.29	0.282	0.29
Comparison(%)	100.0	100.0	91.4	87.2	85.0	85.4

### 4.4 배터리 안전성 실험

배터리의 폭발, 화재 발생 등으로부터 안전한지 여부

를 확인하기 위하여 충·방전 실험(고속 충·방전 3,000 cycle 가속실험으로 일반 사용상의 안전 실험), 저온, 고온 장시간 실험(전원인가 상황에서 120, 240 시간 유지 시 안전 실험)을 진행하였다. 배터리의 사용 과정에서 위험 상황 발생은 배터리 자체의 발열에서 발생하는바, 상용화를 위한 신뢰도 강화를 목적으로 배터리 사용 과정에서 배터리 cell 발열을 확인하기 위하여 충·방전 속도에 따른 발열을 확인하는 실험을 진행하였다. 고속 충·방전 과정에서도 발열 수준은 미미하게 나타나고 있어 일상적인 배터리 사용(충전·방전) 과정에서도 충분히 안전한 사용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 6. The Results of the Heating Test by Charging and Discharging Speed

C-rate	0.5C	1C	2C	4C	5C
Charging temperature(°C)	25.7	26.1	27.1	28.3	28.7
Discharge temperature(°C)	26.6	27.7	30.0	35.3	37.3

## 5. 예비전원장치 테스트베드 구축 및 평가

### 5.1 현장적용 테스트베드 구축

리튬커패시터를 실제 제품에 적용한 제품과 화학전지를 적용한 제품과의 비교를 위한 현장 실증실험으로 연천SOC실증센터에 테스트베드를 구축하였다. 실험 대상은 거리표시 유도등(4개), 소화전 표시등(4개), 긴급전화 표시등(1개)로 거리표시 유도등과 소화전 표시등은 비교를 위해 리튬커패시터와 화학전지로 예비전원장치를 구성하였다.

실험은 정상동작 비교실험(정전 모사 단락시험, 외기 온도에 따른 영향 실험), IoT기반 모니터링 실험(배터리 및 기기 이상 여부 감지, 원격 확인)을 진행하였다.

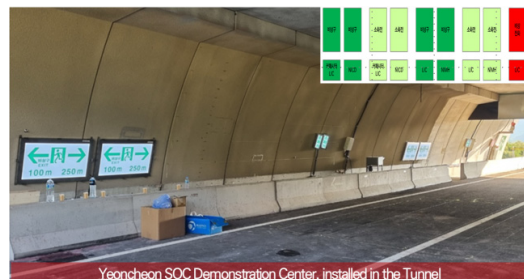


Fig. 10. Current Status of Spare Power Supply Testbeds in Yeoncheon SOC Demonstration Center Tunnel



Fig. 11. Short Circuit Test for Spare Power Supply

### 5.2 실증실험 결과

실증실험 기간 동안 3차례의 모의 상황 실험을 통해 성능실험(정전 발생에 따른 예비전원장치 가동 상태 실험)을 진행하였다. 총 9기 중 8기가 정상적으로 동작하는 것을 확인하였고, 배터리별로는 실증실험 대상인 리튬커

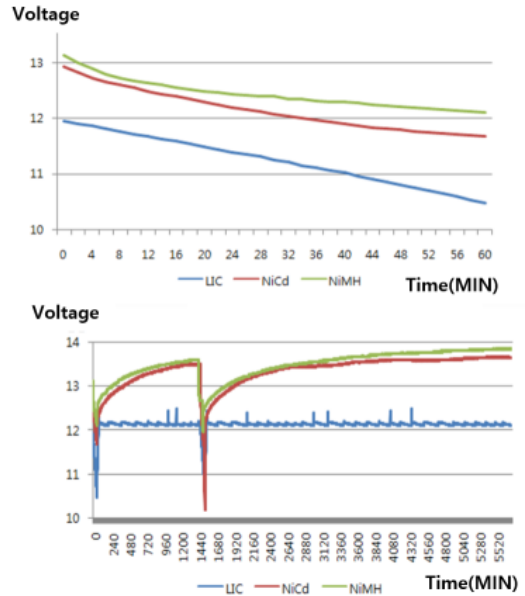


Fig. 12. Variations in Voltage and Amount of Power Held by Battery

패시터 적용 제품이 가장 안정적으로 동작하였고, 다음으로 니켈카드뮴에 비해 니켈수소 적용 제품의 동작이 안정적인 편이었다.

리튬커패시터는 급속 충전이 가능해 방전 후 빠른 시간 내(30~96분)에 충전이 완료되어 안전 환경 구축을 위

Table 7. Contents of the Field Demonstration Experiment

Category	Contents	
Test environment	In Yeoncheon SOC Demonstration Research Center	
Test period	2021. 9.5. ~ 2021. 12.31.	
Subject of test	Distance indicator guidance lamp(4)	Lithium capacitor(2), Nickel cadmium(1), Nickel hydrogen(1)
	Fire hydrant indicator(4)	
	Emergency phone indicator(1)	Lithium capacitor(1)
Test contents	Normal operation comparison experiment: performance experiment, influence experiment according to ambient temperature IoT-based monitoring experiment: Detecting and remote checking of battery and device abnormalities	

Table 8. The Results of the On-Site Demonstration Test

Category	Distance indicator guidance lights			Fire hydrant indicator		
	LIC	NiCd	NiMH	LIC	NiCd	NiMH
Battery standard	10.8V 2.2Ah	12V 2Ah	12V 2Ah	10.8V 1.2Ah	12V 1Ah	12V 1Ah
First Test(9/7)	60min.	46min.	60min.	60min.	60min.	60min.
Second Test(10/27)	60min.	47min.	60min.	60min.	60min.	60min.
Third Test(10/28)	60min.	28min.	38min.	60min.	60min.	60min.
Recharge time after the 3rd round	96min.	2,319min.	2,115min.	32min.	2,115min.	1,838min.

한 예비전원의 임무 수행에 더욱 적합한 특성을 보유한 것으로 판단된다. 실제 2차 실험 후 만 24시간 만에 실시한 3차 실험에서 화학전지(NiCd, NiMH)가 장착된 거리표시 유도등은 정상적으로 동작하지 못하는 현상을 보였다.

배터리 충전과 방전 과정에서의 전압 값 변화를 측정 한 결과, 리튬커패시터는 배터리 보유전력의 변화에 따라 전압값이 거의 직선에 가까운(linear) 그래프로 나타나고 있어 전압값으로 배터리 보유전력량 예측이 충분히 가능할 것으로 판단된다.

## 6. 결론

본 연구는 재난안전설비의 핵심인 예비전원장치에 대한 것으로, 그 목표는 실시간 충전상태 확인이 가능한 커패시터 기반의 예비전원장치와 관제시스템을 개발하고 그 성능을 검증하는 것이다. 기존의 시스템은 화학전지로 된 예비전원장치로 그 충전 상태를 확인할 수 없으며, 정전이나 사고 시 예비전원이 작동(최소 1시간) 할 수 있을지 알 수 없는 실정이다.

본 연구의 핵심은 기존 예비전원장치의 문제점을 극복하기 위해 그 충전상태를 실시간으로 확인할 수 있고 복구 성능도 뛰어난 예비전원장치를 커패시터 기반으로 개발하고 그 성능을 평가, 검증하는 것이다.

이를 위해 리튬이온 커패시터 기술을 근간으로 개발한 예비전원장치에 대해 전문시험기관에 그 성능을 평가한 결과, 충·방전 가속 실험 3,000cycle(약 10년 사용 환경 가정) 시 약 15% 성능 저하를 보였으며, 환경(온도) 변화에 따른 성능 시험의 경우 취약 환경인 저온에서도 비교적 안정적이었다. 정상 사용 가능한 한계 범위를 시험한 결과 급속 충·방전 환경에서도 3,000cycle 후 약 85%의 성능을 유지하는 것을 확인하였으며, 안전성 실험 결과 급속 충·방전 과정 중 발열 온도 범위가 안정적으로 일상적인 배터리 사용 과정에서도 충분한 안정성이 확보되는 것을 확인하였다.

개발된 예비전원장치와 이들 장치들로 구성된 시스템을 실제 현장 검증을 위해 연천SOC실증센터의 터널에 테스트베드를 구현, 방전 후 충전 성능에 대해 기존 제품과 비교평가한 결과, 기존 화학전지(NiCd, NiMH)가 장착된 거리표시 유도등은 정상적으로 동작하지 못하는 결과를 보였고, 개발 예비전원장치는 안정적으로 동작하는 것을 확인하였다. 충전시간의 경우 기존 제품은 상당히 긴 시간(1,838분~2,319분)이 소요된 반면, 개발된 예비

전원장치는 32분~96분에 충전이 되는 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서 개발된 예비전원장치는 그 충전 상태를 실시간 확인할 수 있고 유고시 급속충전이 되어 대응력이 뛰어나 재난안전설비의 기본 요건인 사전 확인과 사후 대응력이 모두 뛰어난 기술로 평가할 수 있다. 본 기술의 현장 적용을 위해서는 위에서 검증된 성능 특성 외에 배터리 모듈 구성 조건별 최적의 BMS, 배터리 수명과 교체 비용 등을 종합적으로 비교 검증하여 중소형 예비전원장치에 맞는 배터리 체계를 만들어나갈 필요가 있다. 현재 리튬 계열의 배터리가 주력인 것은 분명하지만, 중소형 안전설비의 예비전원장치와 규모의 배터리에는 기본 리튬 배터리보다 본 연구에서 개발, 평가된 LIC 배터리가 충분히 비용효과적인 대안이 될 수 있기 때문이다.

그런 면에서 본 개발 기술은 도로터널 방재안전시설 등 공공인프라 분야에 우선 적용을 추진하되, 스마트시티 관련 보안·방재설비 부문, 건물·시설 방재설비 부문 등 법적 안전 요건을 갖추어야 하는 시설 대상으로 확대 적용할 수 있을 것으로 보인다. 향후 공공인프라, 스마트시티, 건물 방재설비 외에 비대면 시대와 탈탄소 추세에 부응하여 배달 라이더(전기 오토바이) 등 모빌리티, 소형 전동차 등에도 확대 적용할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

## References

- [1] The fatality rate of tunnel and bridge traffic accidents is twice as high as the average of all accidents(internet), [cited by 2021, January 27], Available From: <https://khan.co.kr/national/incident/article/202101270900001>
- [2] D. H. Kim, B. J. Choi, "Recent Progress on the Application of Atomic Layer Deposition for Lithium Ion Batteries", *J. Korean Powder Metall. Inst.*, Vol.23, No.2, p.170, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4150/kpmi.2016.23.2.170>
- [3] V. H. Nguyen, Y. H. Kim, "Recent Advances in Cathode and Anode Materials for Lithium Ion Batteries", *Appl. Chem. Eng.*, Vol.29, No.6, p.635, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14478/ace.2018.1092>
- [4] Y. H. Kim, J. W. Lim, G. Y. Park, O. T. Lim, "Electric Vehicle Market and Battery Related Technology Research Trends", *Trans. of Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol.30, No.4, pp.366~367, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2019.30.4.362>
- [5] A. Manthiram, "An Outlook on Lithium Ion Battery Technology", *ACS Central Science*, p.1063, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1021/acscentsci.7b00288>



- [6] A. Yoshino, "The Birth of the Lithium-Ion Battery", *Angew. Chem. Int. Ed.*, p.5800, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.201105006>
- [7] G. Zubi, R. D. Lopez, M. Carvalho, G. Pasaoglu, "The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 89, pp.295~296, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.rser.2018.03.002>
- [8] B. J. Lee, G. J. Choi, S. H. Lee, Y. M. Jeong, Y. Park, D. U. Cho, "A Study on Explosion and Fire Risk of Lithium-Ion and Lithium-Polymer Battery", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.42, No.04, pp.855~862, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.7840/kics.2017.42.4.855>
- [9] K. Liu, Y. Liu, D. Lin, A. Pei, Y. Cui, "Materials for lithium-ion battery safety", *SCIENCE ADVANCES*, Vol.4, Issue6, p.9, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aas9820>
- [10] J. C. Jung, "A Study on Improvement of Operation Characteristics and Inspection Method of Standby Power Supply such as Emergency Induction Light using Li-ion Capacitor", *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol.16, No.2, pp.393~400, 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.15683/kosdi.2020.06.30.392>

정 준 화(Jun-Hwa Jeong)

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 한국대학원 도시공학전공 (공학석사)
- 2002년 8월 : 서울대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2016년 4월 ~ 2019년 3월 : 한국건설기술연구원 연구부원장
- 1990년 10월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 선임연구위원

<관심분야>

스마트도로, 교통안전시스템, 자율주행인프라, 2차전지

한 대 철(Dae-Cheol Han)

[정회원]



- 2002년 2월 : 한양대학교 교통학과 (교통학석사)
- 2021년 2월 : 아주대학교 교통공학과 (박사수료)
- 1996년 6월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

교통공학, 교통관리, 자율주행, ITS, 2차전지