

## 단상계 침지냉각 기술이 적용된 Li-ion계 배터리 발열특성에 관한 연구

## A Study on Heating Characteristics of Li-ion Battery Applied Single-phase Immersion Cooling Technology

김운학<sup>1\*</sup> · 강석원<sup>2</sup> · 신기석<sup>3</sup>Woonhak Kim<sup>1\*</sup>, Seokwon Kang<sup>2</sup>, Giseok Shin<sup>3</sup><sup>1</sup>Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Hankyong National University, Anseong, Republic of Korea<sup>2</sup>Adjunct Instructor, School of Civil and Environmental Engineering, Hankyong National University, Anseong, Republic of Korea<sup>3</sup>Director, BOSUNG POWERTEC, Chungju, Republic of Korea

\*Corresponding author: Woonhak Kim, whkim@hknu.ac.kr

## ABSTRACT

**Purpose:** To secure efficient thermal management technology for Li-ion batteries, the applicability of the system applied with single-phase immersion technology was checked through an experiment. **Method:** Using JH3 pouch cells produced by LG-Chem, Korea, A 14S2P module was manufactured and immersed in a vegetable-based cooling fluid produced by Cargill, USA, and then charged and discharged at a rate of 0.3C to 1C to check the heat distribution. **Result:** It was possible to manage and there was no change in the molecular structure of the immersion solution. **Conclusion:** It was confirmed that the immersion cooling method can be applied to the thermal management of Li-ion batteries.

**Keywords:** Lithium-ion Battery, Immersion Cooling, Single-phase Immersion Liquid

## 요약

**연구목적:** Li-ion 배터리의 효율적인 열관리 기술을 확보하기 위하여 Single-phase 침지 냉각 기술을 적용한 시스템의 실험을 통하여 적용가능성을 확인하고자 하였다. **연구방법:** LG-Chem에서 생산된 JH3 파우치 셀을 사용하여 14S2P 모듈을 제조하여 미국 카길사에서 생산된 식물성계 냉각유체에 침지한 후 0.3C~1C 속도로 충방전을 시행하여 열분포를 확인하였다. **연구결과:** 침지냉각 기술로 배터리 모듈을 40°C 이하의 온도로 관리할 수 있으며, 침지액의 분자구조 변화가 없다는 결과를 도출하였다. **결론:** 침지냉각 방식이 Li-ion 배터리 열관리에 적용 가능함을 확인하였다.

**핵심용어:** 리튬이온배터리, 침지냉각, 단상계 침지액

Received | 28 January, 2022

Revised | 21 March, 2022

Accepted | 23 March, 2022

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 anymedium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

## 서론

에너지저장장치(ESS, Energy Storage System)는 생산된 전기를 저장장치에 저장했다가 전력이 필요할 때 공급하여 전력 사용효율 향상을 도모하는 기기로 전력저장장치(배터리, 압축공기 등), 전력변환장치, 전력관리시스템 (EMS, Energy Management System) 등 제반 운영시스템으로 운영되고 있다. ESS는 생산된 전력을 발전소, 변전소 및 송전선로 등

을 포함한 각각의 연계 시스템을 통해 저장 후, 전력이 필요한 시기에 선택적·효율적 사용을 목적으로 사용되고 있는 전력기기로서 최근 몇 년간 국내외 집중적으로 설치·운전 중이나, 최근 설치된 시스템 중에서 화재사고가 빈번히 발생되고 있어 그 안정적 운전방안에 관심이 크게 집중되고 있으며, 이를 해결하고자 다양한 시도가 시행되고 있는 실정이다(Liu et al., 2017; Park et al., 2013; Jung, 2020; Lee, 2020). 본 연구에서는 Li-ion 배터리에 사용되는 주요 재료들과 직접 접촉하여 상호간의 화학반응이 없는 냉각유체를 사용하여 Single-phase 침지냉각 기술을 통한 배터리 시스템 발열제어에 강제공냉방식과 비교하여 그 적용 가능성을 검토하였다. 장기간 Li-ion 배터리 시스템을 냉각유체에 직접 침지하여 운전하였을 때 냉각유체의 분자구조 변화를 조사하여 장기 지속 운전가능성을 확인하였으며, 기존의 강제공냉방식과 비교하여 배터리 모듈의 열분포와 온도상승 속도의 결과를 통한 본 시스템의 가능성과 향후 연구방향을 설정하였다.

## Background

### 침지냉각

1887년 이전부터 전기시스템의 열관리를 위하여 유전체 유체에 전기시스템이나 전압변환장치들을 직접 침지하는 방법이 고안되어 왔으며, 특히 절연체로 오일을 명시한 특허는 1899년 미국의 매사추세스에서 Richard Fleming이 특허를 출원했을 정도로 기술적 검토와 적용에 있어 일반적이라 할 수 있는 분야이다. 침지냉각에 있어 사용되는 주요액체의 범주로는 탄화수소계, 합성 또는 바이오 오일계, 탄화 플루오르계를 들 수 있으며 그 적용에 있어서 물질의 상태가 Single-phase로 대류 또는 강제환류를 통하여 열을 배출시키는 방식과 잠열이 적용된 상변화를 동반하는 Two-phase로 증발과 응결공정이 동반하여 액체에서 가스로 물질의 부피변화를 동반하여 열을 순환시키는 공정이 있다. 작동온도는 침지된 장치가 안정적으로 작동할 수 있는 최고온도 하한치에 의해 침지냉각 시스템 설계를 통하여 최적화 시킬 수 있는데 Single-phase의 경우에는 전체 열용량 끓는점에 의해 효율성이 제한되지 않기 때문에 침지장치의 작동온도와 주위온도를 고려하여 침지유체의 양과 환류유속을 결정해야 하며, 적용사례는 Fig. 1, 2등이 있다.



Fig. 1. Single-phase, liquid immersion cooling



Fig. 2. Two-phase liquid immersion cooling

### Li-ion 배터리의 침지냉각 적용가능성

선형 적용되고 있는 데이터 센터 Server의 7대 구성요소는 메인보드, 프로세서, 메모리, 하드디스크, 네트워크 커넥션, 파워서플라이 및 케이블, 그래픽카드로 화학재료, 금속재료, 무기재료 등 다양한 소재가 복합적으로 적용되고 있다. 통상적으

로 전기분야에서 사용되고 있는 재료들은 IEC에서 대부분 그 사용 용도에 따른 안전성을 관리하는 표준규격들이 존재하고 있으며, 물성적인 측면에서 매우 안정적인 상태로 장기간 사용될 수 있는 수치를 그 기준으로 설정하고 있다. 한편 Li-ion 배터리의 구성물질을 살펴보면 셀단위에서 최외각 금속재료 또는 파우치 필름으로 내부 양·음극 활물질들이 보호되고 있으며, 안정적으로 사용하기 위한 BMS 보드와 전류의 이동을 위한 케이블 등이 사용되고 있다. 이는 기존의 침지냉각 기술이 적용되고 있는 분야와 비교하였을 때 유사 또는 동일한 재료로 구성된 Li-ion 배터리에 그 적용이 가능할 수 있음을 의미하는 것으로 ESS에 적용시에 배터리 직·병렬 조합에 따라 결정되는 전압에 대한 충분한 절연성능과 장기간 사용시 물성변화가 없는 내화학성 등을 고려하여 침지액을 선정한다면 현재 발생되고 있는 ESS 시스템의 안전한 운전에도 검토 대상이 될 수 있다.

### Single phase와 Two phase의 차이점

Single(단상) 및 Two(2상)이라는 용어는 침지액의 냉각거동 방식에 따라 구별되는 것으로 전체냉각과정에서 Single-phase는 액체상태를 유지하고 있는 반면 Two-phase는 상의 변화를 거쳐 기체로 변화하는 단계가 추가된 방식이다. 이러한 차이는 냉각시스템 설계, 작동 및 잠재적 위험관리 방식에 따라 선택되어지며 Two-phase 침지냉각 방식이 Single-phase 방식보다 더 복잡한 냉각 인프라가 필요하고 두 방식 모두 공통적으로 펌프, 배관 및 열교환기, 냉각탑, 건식 냉각기 등을 이용하여 개방형 또는 폐쇄형 시스템으로 사용되는 것이 일반적이다(Johnson et al., 2016). Single-phase 침지액은 증기압이 매우 낮아 운전 또는 보관 중 냄새가 나지 않으며 주변 공기나 환경이 침지액으로 인한 오염의 염려가 적어 인체 건강 및 안전 관점에서 비교적 취급이 용이하지만 냉각효율은 Two-phase에 비하여 떨어진다. 액체에서 기체로 전환하는 과정을 통해 열을 제거하는 Two-phase 침지냉각 방식의 경우에 열 전달을 효과적으로 작동시키기 위하여 냉각 중인 장치의 작동 온도보다 낮은 끓는점을 갖는 침지액을 사용하여야 하는데 가장 일반적으로 플로오르게 유체들이 적용되고 있으며 동일 목적을 갖는 재료들과 비교 시 낮은 밀도를 갖고 있어 기체로 전환된 다음 시스템에서 열을 제거하기 위해 재응축 될 때 침지된 시스템 또한 매우 높은 압력과 Boiling에 의한 물리적인 충격이 발생할 수 있어 트레이스와 커넥터가 파손되거나 침식되어 발생된 금속 입자가 축적되어 전원 공급 장치에 치명적인 고장을 일으켜 냉각수의 절연 강도를 파괴하고 시스템 간 단락을 유발시켜 장치가 오작동할 수 있기 때문에 이를 고려하여 설계되어야 한다는 단점을 지니고 있으나 효율적인 냉각방식으로 여전히 매력적인 기술분야이다. Table 1에 두 방식의 장단점을 비교하여 표시하였다(M&I Materials Limited., 2020).

**Table 1.** Comparison according to the method

Classification	Strength & Weakness			
	Production Price	Necessary equipment	Human Toxicity	Operation & Maintenance
Single-Phase	Rather high	Simple	none toxicity	Rather easy
Two-Phase	Highest	Complex	Harmful	Complex

다양한 재료를 활용하여 침지냉각 방식에 대해 고려중이긴 하나 사용온도, 증기압, 열안정성, 부식안정성, 경제성 등을 고려하여 향후 적용가능성이 있는 재료들을 Table 2에 나타내었다. 가장 중요한 인자는 침지되는 장치와 침지액 간에 물리적, 화학적 내부반응이 최소인 재료인지를 확인해야 한다(Kwag, 2011).

**Table 2.** Potential candidate of immersion coolant

	후보물질군	원재료	화학반응성	적용 분야	비고
Single Phase	광유계	Crud Oil	낮음	고압 AC 기기	환경 친화형
	식물성계	Bio	매우 낮음	고압 AC/DC 기기	
	합성에스테스계	바이오·석유	매우 낮음		
Two Phase	플루오르계		매우 낮음	Data Center	축열분야
	PCM계	유기혼합물	높음		

## Methodology

### 시험장치 준비

실험에 사용된 전지는 LG화학 JH3 셀을 사용하였으며 JH3에 대한 정확한 사양은 Table 3에 나타내었다. 실험체는 JH3 셀의 14S로 조합하여 Sub-모듈을 제작하였으며 모듈의 형태는 Fig. 3에 보인바와 같이 셀단위의 가이드 트레이를 제작하여 적층하는 형태로 제작하였다. 두 개의 Sub-모듈을 직렬연결 하여 전압범위 42~58.8V, 공칭용량 126Ah로 모듈을 제작하였으며 침지냉각 용액에 채워 모듈 상단부에는 알루미늄 소재의 방열판을 취부하였다. Fig. 4, 5에 상세한 시험체의 모양을 나타냈었다(Park et al., 2013).



**Fig. 3.** Sub-module shape



**Fig. 4.** Immersion cooling test specimen

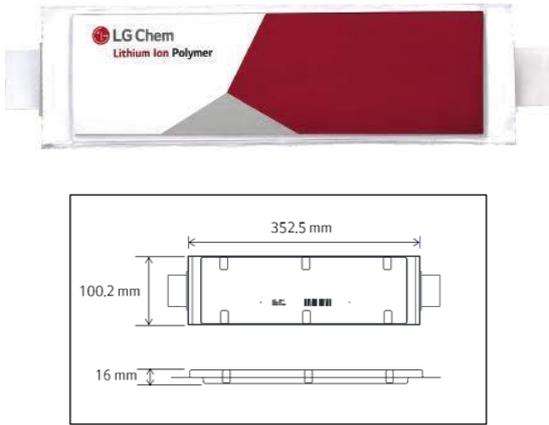


**Fig. 5.** Top view of heat dissipation heatsink

침지냉각제는 미국 카길사에서 제조한 식물성유를 사용하였다. 1990년대 중반에 미국을 중심으로 개발된 식물성 절연유는 식물유지를 원료로 저분자알코올과 촉매를 이용한 에스테르화 반응을 통해 생산되어지고 있다. 기존 냉각유체 대비 동등하거나 그 이상의 절연내력과 인화점을 가지고 있으며 외부 유출시 30일내에 90%이상의 생분해성을 가지고 있다는 점과 관련규격 IEC 62770으로 제정되어 있어 전력기기인 ESS 시스템에 직접침지 방식을 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 식물성 침지냉각액의 자세한 물성은 Table 4에 나타내었다. 침지액의 용량은 전체모듈의 7%의 공간을 제외하고 최대 투입이 가능하도록 계산하여 모듈당 12.5L를 계량하여 투입하였다.

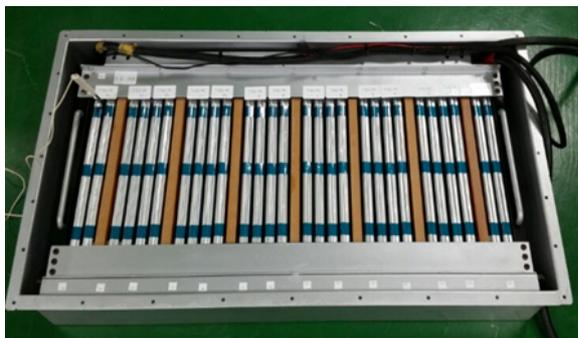
강제공랭 방식과 비교를 위해 제작된 비교 실험체는 동일 크기 및 용량을 갖는 배터리 모듈을 제작하여 상부에 공기흐름이 최대 82CFM 용량을 갖는 배출 팬을 모듈 상부에 10개를 취부하여 제작하였다. 비교시험을 위하여 충방전 시 발생하는 열량을 즉각적으로 배출될 수 있도록 제작하여 강제공랭방식의 최대 값에서 침지냉각 방식의 데이터가 비교될 수 있도록 하였다. Fig. 6에서 비교시험체의 전체적인 모양을 나타내었다. Fig. 7에는 열화상 카메라를 사용한 온도측정 장치를 나타내었다.

**Table 3.** Specification of LG chem Li-ion battery JH3 cell

Classification	Unit	Value	Remark
Nominal Capacity	Ah	63	
Nominal Energy	Wh	233	
Nominal Voltage	V	3.7	
Energy Density	Wh/L	412	
Specific Energy	Wh/kg	198	
Voltage Range	V	3.0 ~ 4.2	
Storage Temperature	°C	-30 ~ 60	
Weight	g	1,175	
Volume	mL	565	
Dimension (W / L / T)	mm	100.2 / 352,5 / 16.0	
Chemistry	+	NMC	
	-	Graphite	

**Table 4.** Properties of coolant specification

Immersion Coolant Specification	Value
molecular weight	337
specific gravity	(15/4°C)kg/m3
kinematic of viscosity	(40°C)mm2/s
boiling point	°C
pour point.	°C
flash Point	°C
corrosiveness	Cu, 140°C, 19H
specific heat	Kj(kg·K)
thermal conductivity	W/(m·K)
permittivity	(80°C)
volume resistivity	(80°C) Ω-cm
dielectric Breakdown	(2.5mm)kV
water contents	ppm



**Fig. 6.** Forced air cooling test specimen



**Fig. 7.** Temperature measurement method

### 시험조건 및 방법

동일한 조건을 부여하기 위하여 모든 실험체는 일정하게 온도가 유지되는 챔버에 안정화를 시행한후에 온도의 변화가 포화된 상태임을 확인하고 시험을 실시하였다. 시험시 충방전은 PNE사의 배터리 모듈 사이클러를 사용하였으며 FLIR 열화상 카메라와 6채널 온도변화 인테그레이터로 방전율에 따른 시간과 온도를 동일하게 기록하여 비교하였다. 침지냉각 모듈의 전체적인 온도분포와 수직열분포의 경향조사에서는 모듈의 열체증이 가장 집중되는 중앙 JH3 셀의 상, 중, 하, 절연유 상층과 모듈 커버 외부 중앙의 온도변화를 측정하였다. 침지냉각 모듈의 충방전 속도에 따른 온도 변화를 확인하기 위해서는 C-rate 를 1, 0.5, 0.3으로 변화를 주어 확인하였다.

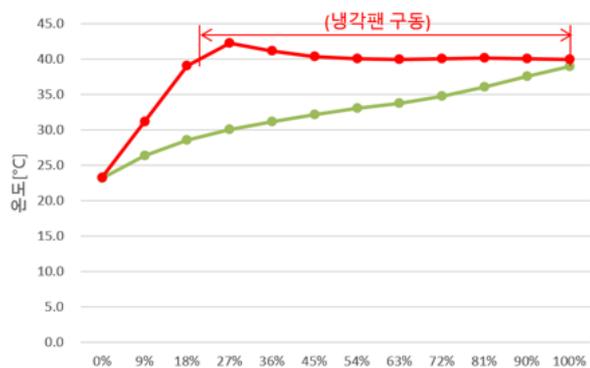
## Result & Discussion

### 침지냉각 방식과 강제공냉 방식의 발열 패턴 분석

각기 다른 냉각방식의 비교를 통한 침지냉각방식의 ESS용 배터리분야 적용가능성의 확인시험 결과를 Table 5에 나타내었다. 초기온도는 항온기를 통해 23°C부터 시작하였다. 강제공냉 방식의 경우 초기 방전율 27%까지 급격한 온도상승이 발생하였고 그 이후 방전율 100%까지 하향 포화되어 40°C부근에서 정체되는 경향을 뚜렷하게 보였으며, 침지액을 적용시킨 냉각방식에서는 방전율이 100%에 이를 때 까지 점증적인 상승을 보였다. 강제공냉 방식에서 충분한 냉각팬을 가동시켜 급격한 발열 이후 신속한 발열을 충분한 공기순환을 통해 지속적으로 제거하였음에도 40°C 이하로 떨어지지 않아 발열속도와 공기역학적인 설계에 기존의 HVAC 시스템의 보조 냉각설비가 필요할 것으로 판단되었다. JH3 셀의 저항에 의하여 발생된 총 발열량이 동일하다는 가정하에서는 급작스런 발열은 양극제와 음극제 및 분리막으로 구성된 Li-ion 셀 구조상 덴트라이트 생성에 더 큰 영향을 주게 될 확률이 높아진다고 예상할 수 있다. 침지냉각액이 충분할 경우 온도상승의 속도를 늦추고 그만큼 Li-ion 셀의 안정성을 더 확보할 수 있겠으나 본 시험에서 방전률 100%에서도 상승된 온도의 포화가 되지 않음에 따라 본 시험에서 투입된 12.5L도 적정할 수 있음을 확인하였으며, Fig. 8에 방전율에 대한 두 방식별 온도분포 열화상도를 나타내었다.

**Table 5.** Immersion cooling vs forced air cooling

방전율(%)	침지냉각 (°C)	강제공냉(°C)
0	23.2	23.3
9	26.4	32.2
18	28.6	39.1
27	30.1	42.3
36	31.2	41.2
45	32.2	40.4
54	33.1	40.1
63	33.8	40.0
72	34.8	40.1
81	36.1	40.2
90	37.6	40.1
100	39.0	40.0



**Fig. 8.** Comparison temperature curve

### 방전 C-rate에 따른 침지냉각 방식의 온도상승 변화율

1C-rate 보다 낮은 방전속도에서의 발열경향을 확인하기 위하여 0.3C와 0.5C의 방전시에 침지냉각방식의 Li-ion 모듈의 발열경향을 확인하였다. C-rate가 낮을수록 발열속도가 낮아지는 경향을 보였으며 0.3C에서 최고온도는 방전을 54%에서 26.4°C였으며, 아래 Fig. 9, 10에 결과를 나타내었다.

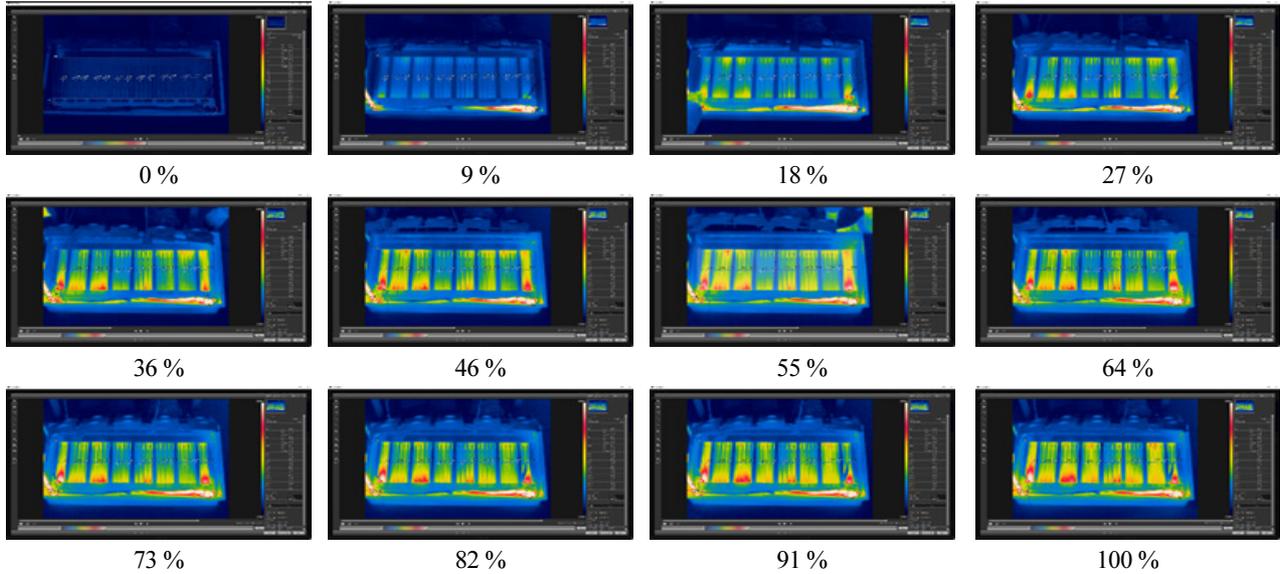


Fig. 9. Heat distribution according to discharge rate of immersion cooling

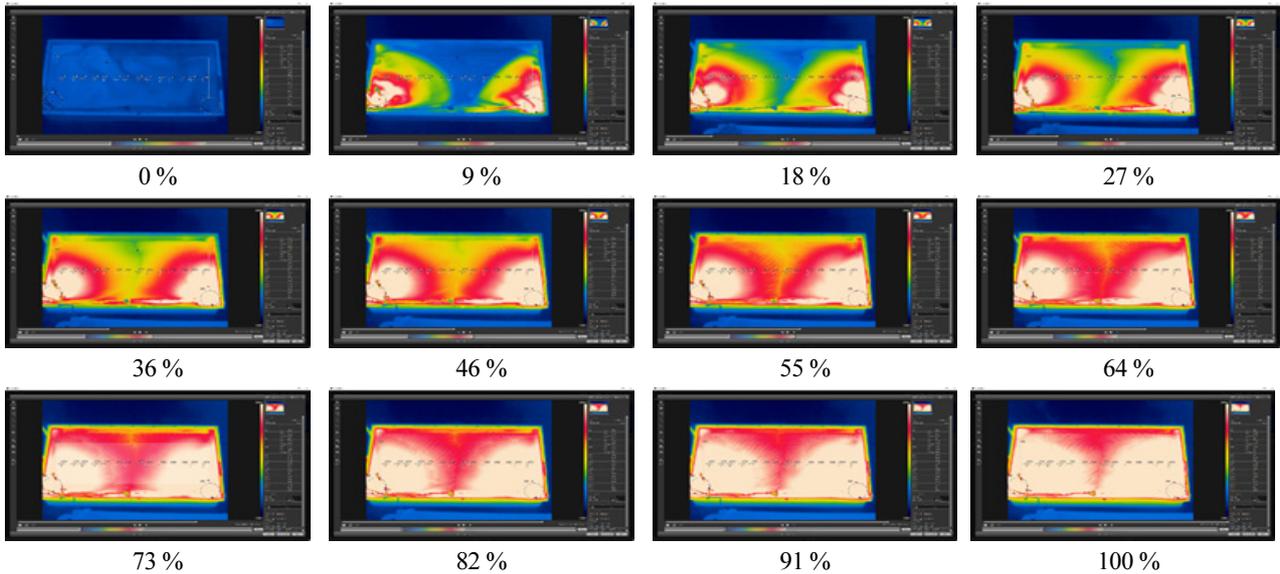


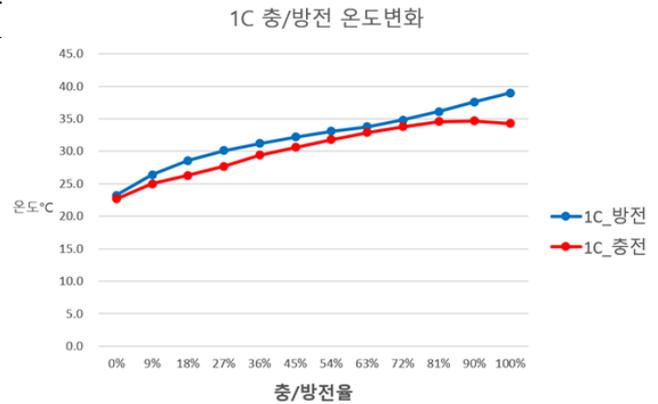
Fig. 10. Heat distribution according to discharge rate of forced air cooling

### 침지냉각 모듈의 1C-rate 충·방전의 발열경향 비교

1C 방전과 충전의 온도변화를 확인하여 침지냉각 방식일 경우의 히스테리시스의 경향을 확인하였다. 방전시의 온도가 충전시보다 다소 높은 경향을 충방전율 0~100% 전반에 걸쳐 뚜렷하게 나타났으며 온도의 차이는 최소 0°C에서 4.7°C도 까지였다. 두 경우 온도가 포화가 되지 않았다는 점에서 볼 때 방전 시의 발열량이 높아지는 점을 확인하였다. Table 6과 Fig. 11에 그 결과를 나타내었다.

**Table 6.** Comparison of heating trends for charging and discharging

충·방전율(%)	1C 방전(°C)	1C 충전(°C)
0	23.2	22.7
9	26.4	25.0
18	28.6	26.3
27	30.1	27.7
36	31.2	29.4
45	32.2	30.6
54	33.1	31.8
63	33.8	32.9
72	34.8	33.8
81	36.1	34.6
90	37.6	34.7
100	39.0	34.3



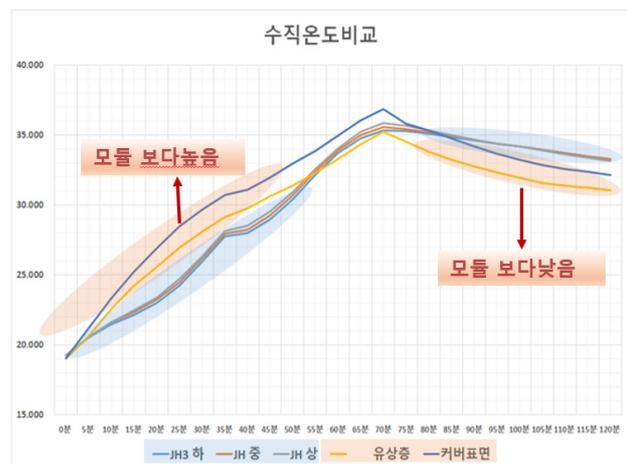
**Fig. 11.** Comparison Temperature Curve.

### Li-ion 배터리모듈 수직열분포 확인

침지 냉각기술이 적용된 Li-ion 모듈은 수평으로 적층되어 용량과 전압을 맞추어 적용됨에 따라 모듈 내부의 수직열분포에 대한 분석을 시행하였다. 방전 중에는 대류에 의한 열전달에 따라 상부의 온도는 지속적으로 상승하였으며 방전 종료 이

**Table 7.** Vertical heat distribution inside the module

시간(분)	Cell 평균	액 상부	모듈 상부
0	19.3	19.0	19.0
10	21.6	22.6	23.3
20	23.2	25.6	26.9
30	26.2	28.1	29.7
40	28.3	29.8	31.1
50	30.7	31.4	33.0
60	33.9	33.3	35.0
70	35.6	35.2	36.9
80	35.2	33.8	35.3
90	34.7	32.8	34.2
100	34.2	32.0	33.3
110	33.7	31.4	32.6
120	33.3	31.1	32.1



**Fig. 12.** Temperature Curve Inside Module.

후엔 침지액 하부의 온도는 더 빠르게 낮아지고 모듈상부 외부의 온도가 가장 늦게 온도가 낮아지면서 그 속도 역시 늦어지는 것을 확인하여 침지액 내부의 잠열이 존재하고 있음을 확인하였다. Fig. 8에 보인 강제공냉 방식과 비교할 때 열발산에 시간이 더 소요되고 이에 대한 보완이 필요함을 확인하였다. Table 7와 Fig. 12에 그 결과를 나타내었다.

### 침지냉각에 따른 침지액의 분자구조 변화 확인

침지액의 냉각효율이 매우 우수하더라도 Li-ion 셀 및 모듈을 제조한 재료들에 의한 물리화학적 반응에 따라 절연력과 분자구조의 변화가 동반된다면 그 사용에 있어 매우 제약을 받게 된다. 별도의 시험체에서 2.4kWh급 ESS 기기를 장기적으로 침지시켜 운전한 침지액에 대하여 FT-IR 분석을 시행하였다. 연간 54회 충방전을 시행하여 일년에 한번씩 샘플을 채취하여 분석한 결과에서 스펙트럼 전범위에서 동일한 피크를 보여 분자의 3년간의 분석에서 침지액의 화학적 구조변화의 차이가 없음을 확인하였다(Fig. 13). 이는 Li-ion 모듈에 사용되는 재료들과 침지액 상호간에 영향을 주고받지 않고 안정적으로 사용이 가능한 것을 의미하는 것으로 재료와 상호 반응에 대하여 사용재료에 따라 추가연구가 필요하다.

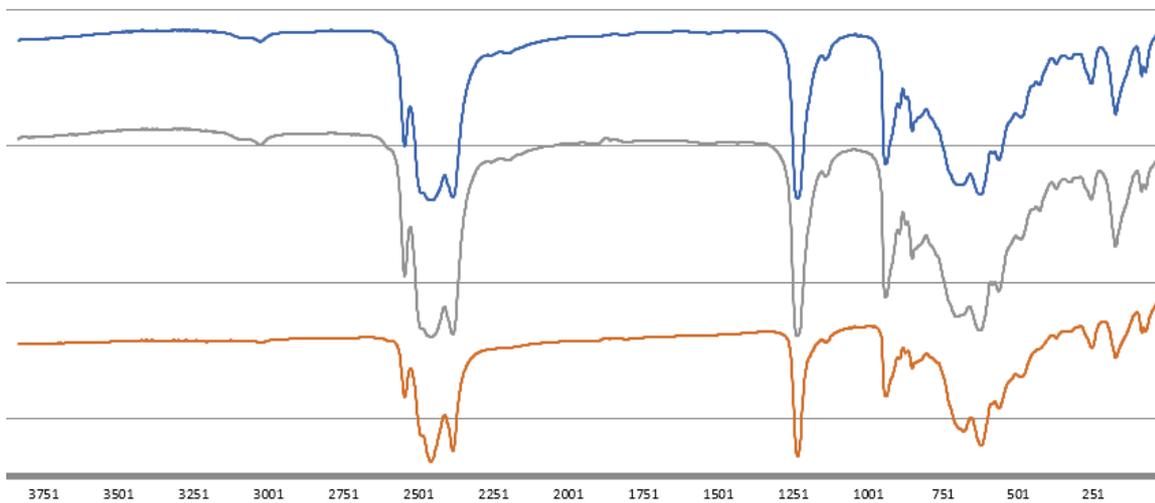


Fig. 13. Changes in molecular structure according to immersion time

## Conclusion

Li-ion 배터리에 사용되는 주요 재료들과 직접 접촉하여 상호 간의 화학반응이 없는 냉각유체를 사용하여 Single-phase 침지냉각 기술을 통한 배터리 시스템 발열제어에 관한 실험을 시행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Li-ion 배터리의 온도관리에 Single-phase 침지냉각 기술의 적용이 가능하며 설계된 모듈에 약 12.5L 정도로 적용 시에는 C-rate 1에서 최고 40°C 정도로 관리 될 수 있음을 확인하였다.
- (2) C-rate를 1보다 낮은 속도로 침지 냉각기술을 적용 할 경우에는 Li-ion 배터리의 열관리가 가능하며 충·방전 속도가 낮을수록 보다 안전한 운전이 가능함을 확인하였다.

- (3) 적용된 식물성 유전유체인 침지액은 강제공냉 방식보다는 열적발산 속도가 낮음이 확인되어 적용시에 보다 효율적인 열발산에 대한 설계 보완이 필요함을 확인하였다.
- (4) 침지냉각이 적용된 Li-ion ESS 시스템의 침지액 분자구조의 변화를 확인한 결과 침지액과의 상호 반응성은 거의 없으며 분자구조 변화나 물성의 변화가 없어 장기간 안정적으로 사용이 가능함을 확인하였다.

## Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 1415176377).

## References

- [1] Johnson, N., PE, W.M., PE, P.R. (2016). "Application of fluid protection for increased safety and efficiency of Lithium-ion battery and electronic devices." Proceeding SUPDET 2016 Presentations.
- [2] Jung, J.-C. (2020). "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 Korean Society of Disaster Information, Vol. 16, No. 2, pp. 392-401.
- [3] Kwag, D.S. (2011). "Breakdown properties for insulation design of the environment-friendly pole transformer using the vegetable insulating oil." Journal of the KOSOS, Vol. 26, No. 6, pp. 7-12.
- [4] Lee, J.-I. (2020). "A Study on the identification technique and prevention of combustion diffusion through ESS (Energy Storage System) battery fire case." Journal of The Korean Society of Disaster Information, Vol. 16, No. 2, pp. 383-391.
- [5] Liu, H., Wei, Z., He, W., Zhao, J. (2017). "Thermal issues about Li-ion batteries and recent progress in battery thermal management systems: A review." Energy Convers Manage, Vol. 150, pp. 304-330.
- [6] M&I Materials Limited. (2020). MIVOLT LIQUID IMMERSION COOLING, Dielectric Fluids For Safer, Cooler, Greener High Performance EV Batteries.
- [7] Park, S., Jung, D. (2013). "Battery cell arrangement and heat transfer fluid effects on the parasitic power consumption and the cell temperature distribution in a hybrid electric vehicle." Journal of Power Sources, Vol. 227, pp. 191-198.
- [8] Qin, P., Liao, M., Zhang, D., Liu, Y., Sun, J., Wang, Q. (2019). "Experimental and numerical study on a novel hybrid battery thermal management system integrated forced-air convection and phase change material." Energy Convers Manage, Vol. 195, pp. 1371-1381.