

# 어뢰 추진전지 품질개선을 통한 저장안정성 향상에 관한 연구

장민기  
국방기술품질원

## A Study on Improvement of Storage Safety through Quality improvement of Torpedo Propulsion Battery

Min-Ki Jang  
Defense Agency for Technology and Quality, Korea

**요약** 논문에서는 국내에서 운용되는 수중유도무기(어뢰) 중 추진전지(리튬이차전지)의 전해질 누액에 의한 발연현상을 방지하기 위하여 추진전지의 절연블록 추가를 통한 절연성능 강화 및 단전지 전해액 누액 방지 개선방법에 관해 기술하였다. 국내에서 리튬이차전지를 주전원공급원(추진전지)으로 사용하고 있는 어뢰에 발열 및 발연 현상이 발생하여 해군의 장비 운용에 불편함이 초래되었다. 발연현상에 대한 유의 항목 확인 및 모사시험 결과 전지팩 단위에서 일부 전지셀의 전해질이 누액되어 고전압부분의 주전원 회로와 단자탭간에 단락현상이 발생하여 해당 현상이 발생하였다. 발열 및 발연현상 시 리튬이차전지 특성 및 메커니즘 분석을 통하여 원인분석을 진행하였다. 리튬 이차전지의 전해질 누액 방지를 위해 근본적 개선책(단자 탭 강화)과 보완책(절연블록 선정 및 설치) 등 설계 개선을 수행하였고, 개선 전·후의 성능시험 비교 결과 탭 단자의 인장강도가 약 2배 향상, 내압 특성 또한 향상되었으며, 절연성능 강화로 어뢰의 추진전지 품질을 대폭 개선하였다. 또한 품질개선 방안이 적용되어 3년 이상 야전 운용 결과 이상발연 현상은 발생하지 않았다. 이로써 어뢰 추진전지의 운용 및 저장 안정성 기대된다.

**Abstract** We describe the improvement of insulation performance and the prevention of electrolyte leakage in a single cell in order to prevent the fuming phenomenon caused by leakage of electrolyte in a lithium secondary battery in a submerged weapon (torpedo) operated in Korea. A torpedo using lithium secondary battery as a main power source (propulsion battery) can induce the heat and fuming phenomenon, which makes it inconvenient for naval equipment operation in Korea. In the simulation test, the electrolyte of some battery cells leaked in the battery pack unit, leading to a short circuit between the main power circuit and the terminal tab of the high voltage part. We analyzed the characteristics and mechanism of the lithium secondary battery during this heat generation and fuming phenomenon. In order to prevent leakage of the electrolyte in the lithium secondary battery, the design was improved via fundamental (terminal tap enhancement) and complementary (insulation block selection and installation) measures. Comparison of the performance test before and after the improvement showed that the tensile strength of the tap terminal was improved about 2 times and the withstand voltage characteristic was improved. The application of quality improvement measures resulted in no fuming even after more than 3 years of field operation. This result is expected to improve the operation and storage stability of the torpedo propulsion cell.

**Keywords** : Torpedo, Lithium Secondary Battery, Leakage, Stability, Insulation Circuit

---

\*Corresponding Author : Min-Ki Jang(Defense Agency for Technology and Quality, Korea)

email: okhab1231@dtqa.re.kr

Received April 17, 2019

Accepted July 5, 2019

Revised May 13, 2019

Published July 31, 2019

## 1. 서론

어뢰(Torpedo)는 수중유도무기를 대표하는 효과적이고 파괴력이 높은 공격용 무기이다. 함으로부터 어뢰가 발사된 후 어뢰가 적함의 위치로 이동하고 탐지하기 위해서는 어뢰의 음향센서 및 추진장치에 에너지가 공급되어야 하며, 이러한 에너지를 공급해주는 장치를 어뢰의 추진전지라 한다. 일반적인 어뢰의 구성은 Fig. 1과 같다. 추진전지의 위치는 설계에 따라 변경 될 수 있다.

최근 잠수함 및 수상함의 기술발전에 따른 어뢰의 고속화 및 항주거리 증대에 따라 고출력, 고에너지를 갖는 추진전지 요구사항이 제기되었고 이를 충족시키기 위해 국내에서는 어뢰의 추진전지로서 리튬 이차전지를 개발하였고, 양산되어 해군에서 운용 중이다.

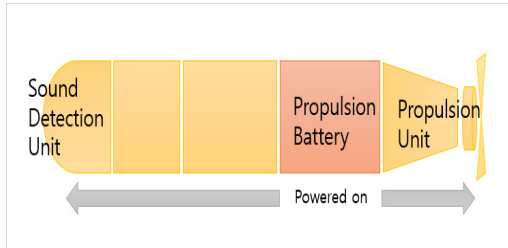


Fig. 1. Structure of typical Torpedo and Role of propulsion battery

어뢰의 특성상 저장 안정성은 매우 중요하며, 이차전지를 추진전지로 사용하고 있는 일부 어뢰에서 이상발연 현상이 발생하게 되었다. 어뢰의 운용을 불가하게 하는 이상발연 현상은 해군의 사기를 저하시키고 해전의 승패를 좌우하는 요소가 되기 때문에 어뢰 추진전지의 저장 및 운용 안정성 향상은 군 전력에 매우 중요한 요소이다. 탄의 안정성을 위해서라도 빠른 개선이 필요한 실정이다.

리튬 이차전지의 성능과 안정성은 제조 당시 품질수준에 의해서 확보되는 것이지만, 제조시 품질수준이 높게 형성된 경우라도 리튬폴리머 전지의 특성상 저장 및 운용 중 여러 가지 요인들에 의해 초기 품질수준이 동일하게 유지되기 어려울 수 있다. 어뢰의 특성상 장기저장 후 사용하는 품질특성을 가지고 있으므로 리튬 이차전지의 장기 저장 시에도 안전성 및 성능등의 확보가 필수적이다. 본 연구에서는 장기저장시 전지의 전해액 누액에 따른 단락 발생현상을 방지하기 위하여 전지의 탭 단자와 메인버스바 간의 절연성을 강화하는 절연블록 선정 및 설치, 단자 탭의 설계개선을 통한 리튬 이차전지 전해액

누액방지 방안을 통해 어뢰 추진전지의 저장 및 운용 안정성 강화를 확보 할 수 있도록 하였다.

## 2. 리튬 이차전지 이론

### 2.1 리튬 이차전지의 원리

전지가 이차전지로서의 기능을 수행하기 위해서는 양극과 음극이 충전(Charge)과 방전(Discharge)을 반복적으로 수행할 수 있는 구조를 가지고 있어야 한다. 이를 위해서는 전극 내에서의 이온의 삽입 및 탈 리가 용이하고 이들 과정이 진행되는 동안 전극의 구조가 안정하게 유지되어야 하며 전해질은 이온의 전달을 용이하게 하여야 한다. Fig. 2은 이러한 리튬 이차전지의 구성 및 작동 원리를 나타내는 개념도이다.

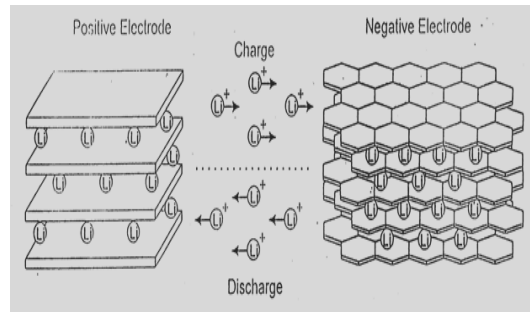


Fig. 2. Configuration and Operation Principle of lithium Secondary Battery

전지에서 전극 내로 삽입되는 이온은 전극으로 들어온 전자와 전하 중성을 이루어 전극 내에 전기에너지를 저장하는 매개체가 된다. 그러므로 전지에 저장할 수 있는 전기 에너지의 양을 결정 하는 것은 전하 중성을 이루기 위해 전극에 삽입된 이온의 양이 된다[1].

### 2.2 리튬 이차전지의 구조

리튬은 분자 구조상 가장 가벼운 금속으로 전극 소재 적용시에 중량 및 체적당 높은 에너지 밀도를 얻을 수 있다. 표준환원 전위가 가장 낮은 물질로 상용화되어 3V 이상의 높은 기전력을 얻을 수 있으며, 리튬 전지는 작동 전압이 물 분해 전압보다 높기 때문에 유기용매 전해질을 사용하여야 한다. 리튬 이차전지는 전이 금속 산화물을 양극 소재로 탄소를 음극 소재로 사용하며, 전해질을 액체 전해질을 사용하면 리튬 이온전지, 고분자 전해질을

사용하면 리튬 폴리머 전지라고 한다[2].

아래 Fig. 3와 같이 리튬 이차 전지의 구조를 살펴보면, 양극(Cathode)은 외부 도선으로부터 전자를 받아 양극 활물질이 환원되는 전극이며, 음극(Anode)은 음극 활물질이 산화되면서 도선으로 전자를 방출하는 전극이다. 전해질(Electrolyte)은 양/음극의 산화 환원 반응이 화학적으로 조화를 이루도록 물질의 이동이 일어나는 매개체 역할을 한다.

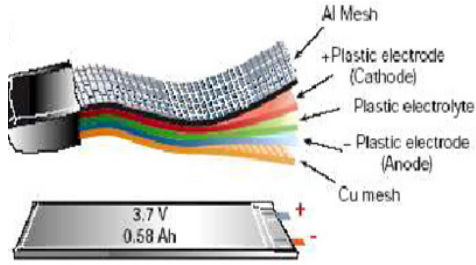


Fig. 3. Structure of Lithium Secondary battery

### 3. 원인 분석

#### 3.1 추진전지 발열 현상 원인분석

##### 3.1.1 어뢰 추진전지(리튬 이차전지)의 구성

추진전지 발열 현상의 원인분석을 하기 위해서 Fig. 4.과 같이 추진전지의 구성에 대해 분석하고, 발열을 유발 할 수 있는 인자들을 식별/ 검증 및 소거하면서 발열 원인에 대해 분석하였다.

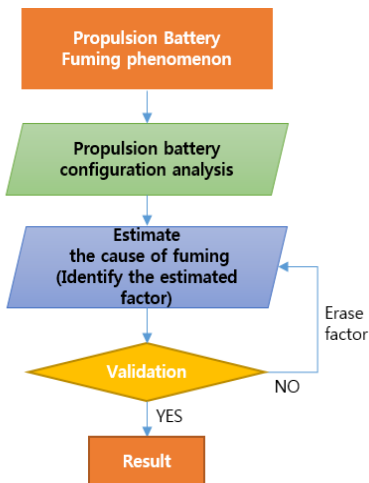


Fig. 4. Flow chart for cause analysis

어뢰의 추진전지는 전지를 제어할수 있는 전원제어장치와 전압을 형성해주는 주전지팩으로 구성된다. 금번 현상의 원인이 되는 것은 주전지팩의 단락현상에 의한 발연으로, 주전지팩에 집중하여 원인분석을 실시한다.

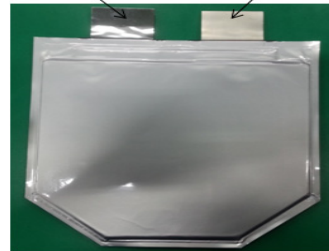


Fig. 5. Type of Lithium battery cell

어뢰의 추진전지로 적용되는 리튬 이차전지의 주전지팩은 Fig. 5의 전지셀 여러개가 연결된 것이다.

Fig. 6는 전지셀의 체결 모식도이며 1번과 2번의 양극과 음극탭을 교차하여 회로를 형성하고 8번 메인 버스바를 통하여 최종 출력단자에 전압을 형성시켜주는 구조이다.

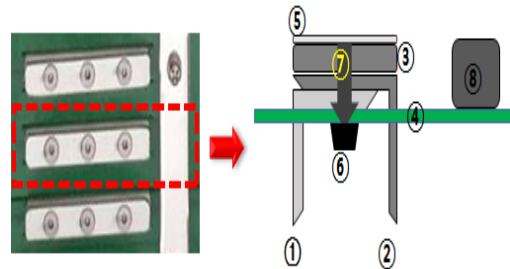


Fig. 6. Pattern diagram of Battery cell

##### 3.1.2 추진전지 발열 원인 추정

리튬이차전지의 이상발열 현상을 추정하기 전에 문제가 발생되었던 어뢰(추진전지)의 운용 및 저장상태를 분석해보면, 해당 전지는 독립된 계를 형성하고 있었다. 이것은 어뢰가 외부 시뮬과 단절된 상태라는 의미이며, 별도 어뢰의 전지를 활성화 할 전기적 신호가 없었다는 것을 의미한다.

전기적 신호없이 어뢰의 추진전지에 발열이 일어나기 위한 요인으로는 추진전지 내부 혹은 외부 단락의 현상을 추정할 수 있다. Table 1은 내부 단락 및 외부 단락의 추정원인 및 발생가능성에 대해 정리한 표이다. 지금부터는 표에 대해서 아래에 상세히 설명하도록 하겠다.

Table 1. Estimation cause factor classification

Item	Probable cause		Possibility
Internal Short Circuit	Battery cell(Sigle cell)	Short circuit due to over-discharge and side-reaction growth	Battery not used
	Seperation membrane damage	Short circuit due to foreign matter	
External Short Circuit	Shorting between terminal tabs and main busbar		Battery cell electrolyte leakage

첫째, 전지셀(단전지)의 내부 단락에 의한 발열 현상 발생 가능성이이다.

전지셀 내부에 단락이 발생하기 위해서는 분리막 손상이 되어야 하고, 이는 과방전 및 부 반응물 성장에 의한 단락과 공정 중 이물질 유입에 의해 분리막이 손상되어 발생할 수 있는 단락현상이 있다. 금번 문제가 발생한 전지의 경우 전지 사용 이력이 없으므로 과방전 및 부 반응물 성장에 의한 단락의 영향성은 낮은 것으로 판단되었다.

이물질 유입에 의한 분리막 손상 영향성을 확인하기 위하여 강제로 이물질을 넣어 시험을 수행하였다[3]. 시험결과 중요 특이점은 Fig. 7와 같이 단락이 형성되어 발열된 전지셀은 발열에 의한 흔적이 발생하였고, 이 흔적은 단락이 형성된 지점을 시작으로 방사형으로 만들어진다. 이 현상을 통하여 발열의 시작점을 추정 할 수 있다



Fig. 7. Battery cell foreign matter Short Circuit test

이상발열이 문제가 발생한 전지를 분해하여 전지셀을 확인하였고, Fig. 8은 해당 전지셀의 상태를 보여준다.

열의 흔적이 전지셀의 단전지탭에서부터 시작되는 것을 통하여, 발열이 단전지탭에서부터 발생했다는 것을 알 수 있다. 여러개의 전지셀을 확인하였으며, 모두 같은 현상임을 확인하였다. 이 결과를 통하여 금번 이상발열현상은 단전지셀 단위의 단락에 의한 현상 가능성은 낮은 것으로 판단되었다.

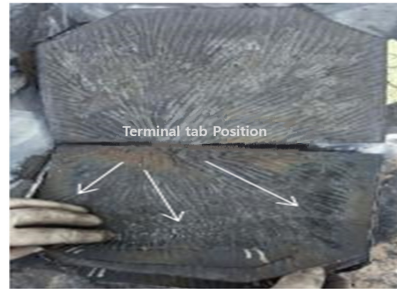


Fig. 8. Battery cell heat result

둘째, 외부단락 현상에 의한 발열현상 가능성 확인이다.

어뢰의 추진장치를 구동하기 위해서는 고전압이 필요하고, 고전압을 형성하기 위하여 어뢰 추진전지의 주전지팩은 다수의 전지셀이 연결되어 전압회로를 형성하고 있다. 고전압을 형성하는 회로가 외부에서 단락이 형성된다면 발열이 발생가능하며, 금번 이상발열 문제의 추정원인으로 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

### 3.1.3 외부 단락 발생 요인 분석

전지팩에 외부 단락이 형성되기 위한 인자로서 전도성 이물질에 의한 단락과 전지셀의 전해질 누액에 의한 단락현상으로 좁힐 수 있다. 전해질은 전하를 가진 물질로서, 회로상에 누액되었을 경우 단락현상이 발생할 가능성이 있다[4]

볼트 또는 금속 등 전도성 이물질에 의한 단락현상시 스파크 및 단락이 형성된 단자가 용융이 되는 현상이 발생하여야 하며 금번의 경우 동일 현상이 발생하지 않아 제외하며, 이로써 외부단락의 유일한 원인은 전해질 누액에 의한 구조물간의 상호작용에 의한 단락현상으로 좁힐 수 있다.

### 3.2 전해질 누액에 의한 단락 매커니즘

Fig. 9은 전해질 누액의 매커니즘에 대한 설명 그림이다. 전지셀에서 전해질 누액이 발생하게 되면 확산 현상에 의해 PCB 틈으로 전해질이 확산 및 이동이 되고, 메인 버스바와 단자 탭 사이에 형성된 고전위차에 의해 전해질이 분해되면서 스파크가 발생하게 되고, PCB가 탄화되어 절연이 파괴된다. 발생된 스파크에 의해 전지셀의 분리막이 손상되어 전지셀의 탭단자부터 발열이 발생하며, 연쇄반응을 일으킨다[5]-[7].

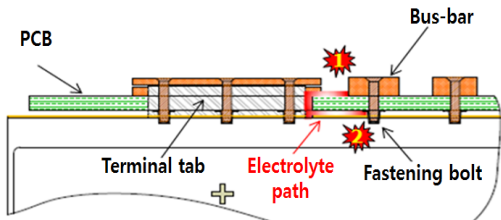


Fig. 9. Pattern diagram of Battery cell Short circuit test

### 3.3 검증시험

#### 3.3.1 전해질 누액 발생 가능성 확인

Fig. 10과 같이 탭 단자부분은 탭필름(Resin)과 금속간 접착되는 구조로 전지셀에 임의의 내압이 발생할 경우 경우 개봉이 될 수 있는 취약한 부분이며, 접착력이 약할 경우 전해질 누액 발생 가능성이 있다.[8]-[9]

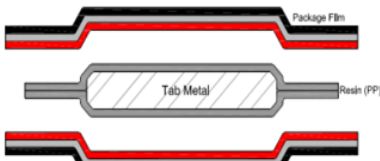


Fig. 10. Structure of Lithium battery

단자 탭 부분의 접착력이 약할 경우 누액이 될 가능성이 있는지에 대해 실험적으로 확인하기 위하여 단자 탭의 국부를 손상 시킨 후 감압시험을 수행하였다. 그결과 Table 2과 같다.

Table 2. Comparison for test result

pressure	Original product	Some damaged product
200torr	no venting	no venting
100torr	no venting	no venting
<10torr	no venting	Venting→ Leakage

단자 탭의 국부손상 시킨 전지셀은 임의의 감압조건에서 Venting후 전해액 누액(Leakage)현상이 발견이 되었다. 탭 단자의 Seal 강도가 약한 경우 단자 탭의 접착력이 약해 질 수 있으며, 시험과 비슷한 조건이 될 수 있다. 이 실험을 바탕으로 전지셀의 탭 단자 접착 열화 제품이 사용된 전지의 경우, 장기간 팽창 및 수축 반복에 의한 누액 발생 가능성이 있음이 확인되었다.

#### 3.3.2 단락 경로 확인 및 고전압 영향성

전지셀에서 전해질이 누액되는 경우, 전해액은 Fig. 11과 같이 PCB틈 사이로 확산, 이동되어 전해질 띠(경로)가 형성되는 것이 확인이 되었다.

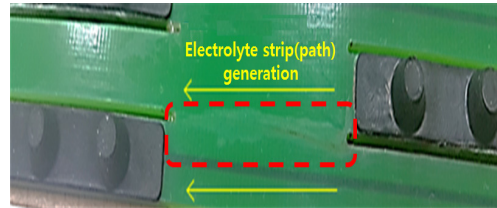


Fig. 11. Structure of Lithium battery

주전지팩의 메인 버스바와 전지셀이 고전위차를 형성할 때, 전해질 띠가 형성된 PCB의 절연성능을 확인하기 위하여 Fig. 12과 같이 시험을 수행하였다.

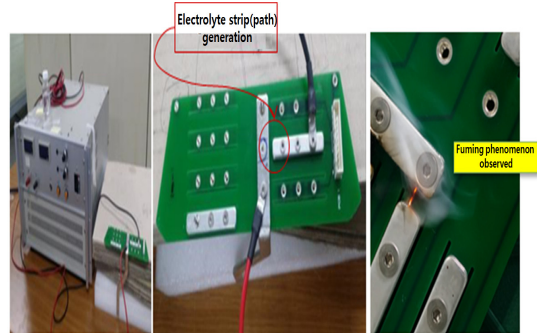


Fig. 12. Structure of Lithium battery

고전압을 형성하기 위하여 전원공급기를 사용하였다. 고전압 인가시 전해질 띠가 형성된 곳에 발연 및 발연 현상이 관찰되었으며, 연결 단자간 PCB에 탄화 자국이 생성되며 절연이 파괴되었다. 절연 저항값은 Table 3와 같다.

Table 3. Comparison for test result

Test	Insulation Resistance	Remarks
Before High voltage application	0.021MΩ	-
With high voltage	0.002MΩ	PCB Carbonization Creation

이 실험을 통하여, 전지셀에서 전해액이 누액되어 단자간 전해질 띠를 형성이 된 뒤, 고전압이 형성되면 메인

버스바와 단자탭간 절연성능이 파괴된다는 것을 확인 할 수 있다.

### 3.4 시험결과

어뢰의 추진전지는 여러개의 전지셀이 연결되어 있는 구조이며, 전지셀에서 전해액이 누액되어 되면 확산현상에 의해 전해액이 이동하는 것이 확인되었다. 이 현상으로 인해 메인 버스 바와 단자 탭간 단락 경로가 형성된다. 메인 버스바에는 고전압이 형성되어있으며, 메인 버스바와 전지셀의 큰 전위차에 의해 절연이 파괴(0.021MΩ → 0.002MΩ)되며 전지에 발연 및 발열 현상이 발생하게 된다.

전원공급기를 통한 임의의 고전압이 아닌, 모사시험을 위해 동일한 주전지팩에 전해질 누액을 모사하여 시험을 수행하였으며, 해당 문제와 동일 현상 및 결과가 도출됨이 확인 되었다.

## 4. 품질 개선

전해질 누액에 의한 리튬 이차전지의 단락현상을 방지하기 위한 개선책으로 근본적으로 전해질 누액을 방지하는 방안과 간접적으로 전해질이 누액되더라도 회로의 절연성능이 파괴되지 않도록 강화하는 방안이 있다.

첫째, 단전지의 전해액 누액 방지 방안이다.

단전지에서 전해질 누액은 탭 단자의 접착력이 약할 경우 임의의 내압에 의해 전해질 누액이 발생할 수 있으며, 이를 위해서 탭 단자의 접착력을 강화를 해야한다.

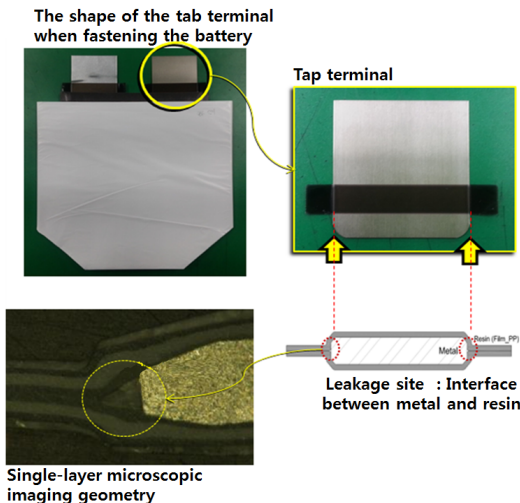


Fig. 13. Structure of Lithium battery

탭 단자의 접착력을 강화하기 위해서는 금속(Metal)과 탭 필름(Resin)을 접착할 때의 경계면(Edge)에서 발생하는 공백부분을 최소화 해야 한다. 이것은 금속(Metal)의 끝단 처리방식 설계 변경을 통해서 향상 가능하며, 면취날 두께 변경을 통하여 Fig. 13에서 확인 할 수 있는 공백부분이 최소화되어 필름의 접착강도가 향상 될 수 있다. 개선 내용은 Table 4과 같다.

Table 4. Improvement of the product design

Item	Before Improvement	After Improvement
Tab terminal		
Section shot result		

탭 개선에 따른 효과는 탭 단자의 인장강도와 내압특성 결과를 통해 확인 가능하며, Fig. 14, 15은 효과성에 대해 확인한 결과이다.

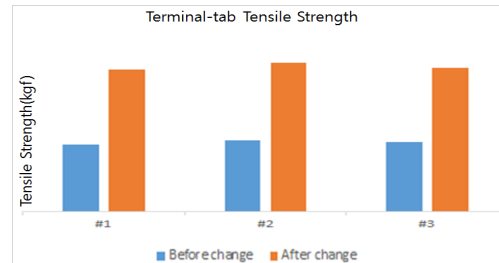


Fig. 14 Structure of Lithium battery

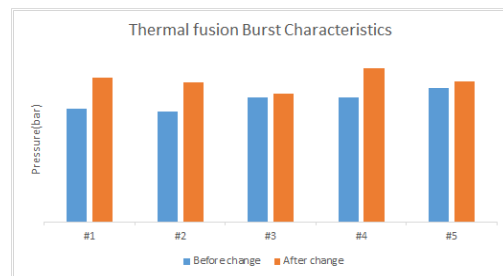


Fig. 15 Structure of Lithium battery

인장강도의 경우 약 2배정도 향상되었으며, 열 용착 내압 특성도 향상되었음이 확인 가능하다.

둘째, 전해액이 누액되더라도 절연파괴를 방지하여 단락회로 방지방안이다.

전해액 누액에 의해 메인 버스바와 단자탭 단락 path 가 형성되어 절연파괴가 되는 것을 확인하였고, 이를 방지하기 위하여 절연블록을 메인버스바에 설치하여 전해질이 누액되더라도 확산을 방지하고, 절연성능이 강화되도록 해야한다. Fig. 16는 절연블록이 설치된 전지팩의 모사도이다.

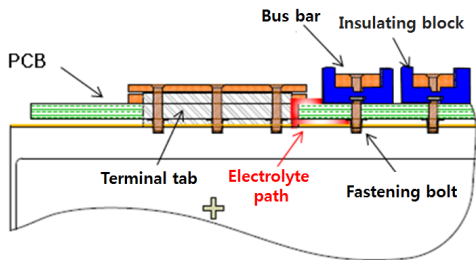


Fig. 16. Pattern diagram of Improvement battery pack

절연블록 선정 기준은 고전압에 의한 높은 절연파괴강도, 전기 부하에 의한 발열에 의한 높은 내열 특성, 전해질 용액(산성)에 견딜 수 있는 높은 내화학성(내약산성/내강산성), 전해액 누액이 흡수 하지 않고 확산을 방지를 위해 낮은 흡수율을 만족하는 Engineering Plastic 계열 중 적합한 재질을 선정하여 절연블록을 구현하였다. 시간별 절연블록의 절연성능 확인 결과 Table 5와 같다.

Table 5. Comparison for test result

Item	Insulation Resistance			Remarks
	1day	15day	30day	
Original product	0.2MΩ	Insulation Breakdown	-	-
materialA	105MΩ	78MΩ	11MΩ	Electrolytic mixture appears over time
materialB	OL	OL	13MΩ	Improvement

기준품의 경우 절연저항값이 0.2MΩ 이었으며, 15일 경 절연파괴 되어 단락되었으나, 절연블록을 적용한 전지의 경우 30일까지 높은 절연 저항값을 유지하고 있으며, 절연저항 성능은 비슷하나 재질A는 시간이 경과함에 따

라 절연블록이 전해질을 흡수하면서 절해질이 절연블록 벽면을 타고올라가는 현상이 관찰되었다.

이 같이 절연블록 선정 기준 및 시험결과 요구성능에 만족하며, 절연블록의 최종 성능을 확인하기 위하여 절연블록을 설치 전/후 주전지팩에 전해액을 다량으로 투하하였고, 기준품은 발연 및 발열 현상 발생하였으나 절연블록이 설치된것에는 재현현상이 발생되지 않았다.

## 5. 결론

본 논문에서는 어뢰에 사용되고 있는 리튬 이차전지 추진전지의 저장 및 운용 안정성 향상을 위해 다음과 같은 연구 결과를 제시한다.

첫째, 리튬 이차전지를 추진전지로 사용하고 있는 어뢰 이상 발연 및 발열 현상의 원인분석 접근 방향에 대해 고안하였고, 발열 및 발연 현상 시 발생하는 리튬 이차전지의 특성 및 메커니즘 분석을 바탕으로 해당 원인은 전지셀의 전해질 누액에 의한 단락현상으로 판단되었다.

둘째, 리튬 이차전지의 전해질 누액 방지를 위해 근본적 개선책(단자 탭 강화)과 보완책(절연블록 선정 및 설치) 등 설계 개선을 수행하였고, 개선 전·후의 성능시험 비교 결과 탭 단자의 인장강도가 약 2배 향상, 내압 특성 또한 향상되었으며, 절연성능 강화로 어뢰의 추진전지 품질을 대폭 개선하였다. 또한 품질개선 방안이 적용되어 3년 이상 야전 운용 결과 이상발연 현상은 발생하지 않았다. 이로써 어뢰의 운용 및 저장 안정성 기대된다.

본 논문을 통해 어뢰용 리튬이차전지 설계시 사전 문제점을 식별하고 대처를 하는데 도움을 줄 것으로 기대된다.

## References

- [1] H. R. Choi, B. H. Kang, H. S. Mok, G. H. Choe, W. S. Shin, Charge/Discharge Characteristics Analysis of Li-polymer battery, The Korean Institute of power Electronics, pp.222-224, July. 1999.
- [2] Y. J. Yang, S. Y. Jung, D. y. Seo, " A study on the safety of Lithium polymer battery for rolling stock", Journal of Korean Society for Urban Railway Vol. 2, No. 2, pp.185-190, June, 2014.
- [3] W. Cai, H. Wang, H. Maleki, J. Howard, E. Iara-Cruzio, "Experimental Simulation of internal short circuit in Li-ion and Li-ion-polymer cells", Journal of power

Sources, Vol.196, pp7779-7783, Sep. 2011.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowersour.2011.04.024>

- [4] 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 LithiumOPolymer Battery", The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, '17-04 Vol.42, No. 04, March. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.7840/kics.2017.42.4.855>
- [5] N. S. Choi, D. W. Kim, Ionic Liquid as Lithium secondary battery Electrolyte, Korean Journal of chemical engineering. 2010.
- [6] S. .B. Sim, C. h. Lee, S. K. kim, "Study on the Explosion and Fire Risks of Lithium Battery Due to High Temperature and Short Circuit Current", Fire Sci. Eng., Vol. 30, No. 2, pp. 114-122. 2016.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2016.20.2.114>
- [7] J. H. Nam, Effect of Protection Circuit Module for Li-Secondary Battery on Electrolyte Leakage, The Korean Institute of power Electronics, pp.413-414, July. 2016.
- [8] J. M. Cho, D. H. Kim, M. S. Yoo, S. Bea, D. S. Kim, "Evaluation of the Properties between Aluminum Layer and Sealant Layer according to the Lamination Conditions of Pouch film for Secondary battery, J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 34, No. 5, pp. 337-341, May 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.7736/KSPE.2017.34.5.337>
- [9] D. H. Kim, S. W. Bae, J. M. Cho, M. S. Yoo, D. S. kim, "Study of Adhesion according to Various Surface Treatments for Lithium Ion Secondary Battery Pouch Film", J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 33, No. 3, pp 231-234. March 2016.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.7736/KSPE.2016.33.3.231>

---

장 민 기(Min-Ki Jang)

[정회원]



- 2014년 9월 : 영남대학교 전자공학(전자공학학사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

정보통신, 수증감시센서, 이차전지