JDCS
디지털콘텐츠학회논문지
Journal of Digital Contents Society
Vol. 22, No. 7, pp. 1125-1133, Jul. 2021

드론의 동력인 리튬배터리 발화 시 화재 전파를 막을 수 있는 안전보관랙

조 미 연[1] · 주 종 우[2*]
[1]중앙대학교 뉴미디어아트 대학원 석사과정
[2*]중앙대학교 뉴미디어아트 대학원 교수

Safe storage rack to prevent fire propagation when lithium batteries, powered by drones, are fired

Mi-Yeon Cho[1] · Jong-Woo Joo[2*]

[1]Master's Course, Department of New Media Art, Chung-Ang University, Seoul, Korea
[2*]Professor, Department of New Media Art, Chung-Ang University, Seoul, Korea

[요 약]

드론의 동력으로 사용되는 리튬배터리의 단점인 비행시간 연장을 위하여 다양한 대체 동력이 등장하였으나, 민간영역에서는 운용의 안정성, 사용영역의 한계와 사고 시 리튬배터리보다 피해 규모가 커질 수 있는 한계가 있다. 리튬배터리는 드론의 동력으로 지속적으로 사용될 것으로 전망되지만, 발화 된 리튬배터리의 열폭주와 재발화에 대한 이해와 안전한 보관, 발화 시 피해 규모를 최소화할 수 있는 연구가 필요하다. 열폭주와 재발화는 냉각효과가 있는 물 속에 담궈야 열 전도와 화재 전파를 막을 수 있다. 평소에는 리튬배터리를 안전하게 보관하고 화재 발생 시에는 발화된 리튬배터리만 분리하여 냉각소화 효과가 있는 워터풀에 중력방식으로 낙하되되록 안전보관랙을 설계하고 실험하였다. 리튬배터리 안전보관랙은 다량의 배터리를 보관하는 민간 공공기관에서 화재의 전파를 막을 수 있고, 리튬배터리 드론의 안전한 운용과 건강한 관리에 도움이 될 것이다.

[Abstract]

Various alternative power sources have emerged to extend flight time, a disadvantage of lithium batteries used as the power source of drones, but in the private sector, there are limitations in operation stability, limitations in the area of use, and damage can be greater than lithium batteries in the accident. Lithium batteries are expected to continue to be used as power for drones, but understanding of thermal runaway and re-occurrence of fired lithium batteries, safe storage, and research are needed to minimize damage when ignited. Thermal runaway and re-ignition can prevent heat conduction and fire propagation only when immersed in water that has cooling effects. Normally, the safety storage rack was designed and tested to safely store lithium batteries and separate only fired lithium batteries in case of fire so that they fall into a water pool with cooling extinguishing effect in a gravity manner. The lithium battery safety storage rack can prevent the spread of fire in private public institutions that store large amounts of batteries, and will help ensure safe operation and healthy management of lithium battery drones.

색인어 : 드론, 리튬배터리, 리튬배터리 화재, 리튬배터리 소화, 리튬배터리 안전보관랙

Key word : Drone, Lithium battery, Lithium battery fire, Lithium battery fire extinguishing, Lithium battery safe rack

http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2021.22.7125

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(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 16 June 2021; **Revised** 20 July 2021
Accepted 20 July 2021

***Corresponding Author; Jong-Woo Ju**

Tel: ※ 개인정보 표시제한
E-mail: jw4150@gmail.com

Ⅰ. 서 론

무인항공기는 과거 군영역에서 정찰과 전쟁 무기로 활용되었으나 소형화와 경량화의 기술 개발로 소형 무인항공기인 드론이 등장하면서 촬영·예찰·탐사·측량·방제 등의 민간영역과 진화·구조·추적·감시 등의 공공영역으로 활용이 확대되었다.

현재 드론의 동력은 높은 방전율과 안전한 전해질로 구성된 리튬배터리(Lithium Battery)로 비행시간은 약 30분으로, 리튬배터리의 단점을 보완하기 위하여 수소전지연료, 화석연료, 태양광을 동력연구와 계류식으로 운용되는 드론을 개발하여 최대 12시간까지 비행시간이 연장되었다. 그러나 기체 운용의 불안정, 높은 가격, 운용반경의 한계, 그리고 리튬배터리 드론보다 위험하며 피해 규모가 크다는 단점이 있다. 이러한 단점은 민간공공영역에서 운용을 회피하는 이유이다. 리튬배터리는 발화 시 열폭주와 재발화로 진화가 어려운 특수성이 존재하지만, 안전과 안정성, 접근성, 가성비를 모두 충족하는 동력으로 운용되는 드론이 개발되기 전까지는 현재 사용하고 있는 리튬배터리는 드론의 동력으로 계속 사용될 것이다.

본 연구는 리튬배터리의 단점 중 안전성을 보완하기 위한 연구이며, 충격과 온도에 민감한 다량의 리튬배터리 드론을 운용하는 공공기관과 민간영역에서 발화 시 화재의 전파를 막고 피해를 최소화할 수 있는 리튬배터리의 안전한 보관에 대한 연구이다. 모바일, 전동킥보드, 전동스쿠터, 드론, 전기자동차, ESS (에너지저장장치. Energy Storage System) 등, 리튬배터리를 사용하는 제품과 분야가 다양해지고 있지만, 화재 발생 시 리튬배터리의 이해 부족으로 진화에 실패하여 2차 피해가 발생한다. 그러므로 리튬배터리의 정확한 이해가 필요하며 리튬배터리의 안전한 보관에 대한 연구는 반드시 필요하다.

Ⅱ. 리튬폴리머드론의 대체 동력 드론

드론의 동력으로 니켈기반의 배터리를 사용하였으나 현재는 무게 대비 에너지밀도가 높은 리튬배터리를 사용하여, 이륙중량도 늘고 다양한 산업현장에서도 활용도가 높아져 2차적인 결과물을 완성할 수 있게 되었다. 그러나 리튬배터리 드론은 약 25분 이상 비행하거나 전압이 셀당 3.0V 이하로 떨어지게 되면 배터리의 수명의 단축되어 사용연한이 줄기 때문에, 15~20분 비행하고 배터리를 교체해야한다. 배터리의 종류는 니켈기반 배터리, 리튬 철, 리튬 폴리머 등 다양하다. 과거에는 드론의 동력으로 니켈기반의 배터리를 사용하였으나 현재는 배터리 무게 대비 에너지저장밀도, 메모리 효과, 충방전 횟수, 방전율 등의 장점과 월등함으로 리튬배터리를 사용한다. 드론 운용 시, 리튬배터리 용량 16000mAh를 연결하면 약 20분 비행이 가능하고 배터리 용량을 늘려 22000mAh를 연결하면, 배터리 무게가 약 2.5kg으로 기체 중량이 약 0.5kg 증가하므로 비행시간은 크게 증가하지 않는다. 리튬배터리를 사용하는 드론은 탐색, 측량, 촬영, 방제, 조종교육 등의 임무를 수행하며 정보를 수집하고 활용하기에 비행시간이 다소 짧다.



그림 1. 하이브리드드론 KUS-HD
Fig. 1. Hybrid Drone KUS-HD

리튬배터리의 단점을 보완하기 위한 연구와 개발이 진행되면서 엔진과 리튬배터리를 함께 사용하는 하이브리드 드론, 수소를 연료로 사용하는 수소드론, 태양광 패널을 드론을 설치하여 태양광을 동력으로 사용하는 태양광드론, 전력케이블을 드론에 연결하여 전기로 비행하는 유선드론에 대한 연구가 활발하게 이루어져 개발되었고 비행시간 기네스기록을 갱신하기도 하였다.

2-1 하이브리드 드론

리튬배터리의 짧은 비행시간 연장과 이륙하중을 증가시키기 위하여 엔진, 발전기, 배터리, 제어기로 구성되어 있는 하이브리드 방식이 연구되었다. 배터리는 발전기의 동력을 보완하고 엔진 고장 등의 비상상황에서 드론을 안전하게 착륙시키는 보조적인 용도로 사용되며, 엔진과 발전기는 비행과 배터리를 충전하는 용도로 사용된다.

하이브리드 드론은 엔진과 모터로 구동되는 하이브리드자동차처럼 리튬배터리보다 약 100배가량 에너지밀도가 높은 휘발유나 가스를 동력으로 사용하며, 탑재 중량에 따라 2~4시간까지 비행이 가능하다. 하지만 비행 중 사고나 추락을 하는 경우, 화석연료인 휘발유나 가스로 인하여 폭발 등, 대형사고로 확산될 위험과 엔진 구동의 소음문제가 발생할 수 있다.

2-2 수소연료전지 드론

수소를 산소와 반응시키면 전기와 물을 얻을 수 있는 원리를 활용한 방식이 연료전지(Fure Cell)로, 발전기 같은 장치를 사용하지 않기 때문에 소음이 적고 친환경적이다.

연료전지의 에너지밀도는 리튬배터리의 4배 이상으로 수소드론은 약 2시간 비행이 가능하고 액화수소드론은 약 12시간 비행가능하다. 연료전지의 에너지밀도를 결정하는 중요한 인자는 연료전지의 연료인 수소의 저장밀도로 부피당 에너지 밀도가 낮고 부피가 크기 때문에 많이 저장하기 위해 압축하거나 기화, 액화시킨다.



그림 2. 두산모빌리티이노베이션 DS30
Fig. 2. Doosan Mobility Innovation DS30



그림 3. 한국항공우주연구원 EAV-3
Fig. 3. Korea Aerospace Research Institute EAV-3

수소 공급을 위하여 고압 용기를 드론에 장착할 때는 전문 자격증 소유자만 취급할 수 있고, 운용 시 문제가 발생한다면 리튬배터리 드론보다 더 큰 피해가 발생할 수 있기 때문에 탑재되는 압력용기 인증과 관련 법적인 검토 및 기술적 성숙도와 신뢰성 향상이 필요하다. 현재 수소연료전지드론의 가격은 약 6000만원으로 민간영역보다는 특수 목적인 국공영역의 기관에서 사용된다.

2-3 태양광 드론

태양광 드론은 기체에 태양광 패널(Solar Panel)을 장착하고 태양광을 충전하여 비행 동력으로 사용하는 방식이다.리튬배터리 드론의 배터리 교체를 위하여 임무를 중단하는 단점을 해소할 수 있지만, 태양광 패널과 기동에 필요한 부품 등으로 증가한 하중만큼 배터리 소모율이 높고, 야간이나 구름이 많은 날에는 태양광 에너지의 안정적인 충전이 제한된다.

태양광 드론은 대기권 중 고도 10~50km인 성층권에서 비행하며 드론의 비행 고도는 18km 이상이다. 성층권 상부의 공기 밀도는 공기 밀도가 지상의 1천분의 1에 불과하여 적은 에너지로 오랫동안 한곳에 머물 수도 있고, 구름이 없어 많은 양의 태양광을 동력으로 사용할 수 있다. 태양광을 전기에너지로 변환시켜주는 태양광 패널을 많이 설치할 수 있고 기체면적이 유동적인 고정익에 적합하며, 성층권이상의 고도에서 제한된 임무만을 수행할 수 있다.

2-4 유선 드론(Tethered Drone)



그림 4. 엘리스트에어 오리온2
Fig. 4. ELISTAIR ORION2

유선드론(Tethered Drone)은 드론의 비행시간 연장을 위하여 동력을 계속 공급받는 지상의 전원공급장치와 드론을 전기케이블로 연결한 드론이다. 케이블로 연결되어 있어서 반경이 넓은 임무보다 제자리 비행이나 반경이 좁은 임무, 정찰이나 감시, 촬영에 적합하다. 이론상, 전력만 계속 공급되고 케이블이 절단되거나 기체 결함, 악천후가 아니라면 드론의 모터 내구가 한계에 달할 때까지 계속 비행이 가능하다. 동력을 전달하는 케이블 외에 영상이나 필요한 데이터를 송수신할 수 있는 케이블, 조명도 연결할 수 있다.

Ⅲ. 리튬배터리(Lithium Battery) 안정성 확보

리튬배터리드론의 임무 수행으로 수집한 데이터 활용과 응용분야가 다양하고 범위가 넓어짐에 따라 장시간 비행은 요구되지만, 현재 비행시간은 20~30분이다. 리튬배터리가 아닌 다른 동력으로 운용되는 하이브리드드론, 수소연료전지드론, 태양광드론, 유선드론은 약 2시간 이상 비행이 가능하다. 그러나 운용의 안정성, 접근성, 편리성, 이동성의 한계와 활용범위의 제한, 낮은 가성비, 사고 시 리튬배터리보다 더 위험하고 큰 피해를 가져올 수 있는 점은, 민간공공영역에서 운용에 대한 부담으로 작용한다.

에너지밀도가 높은 휘발유나 가스를 동력으로 사용하는 하이브리드드론은 대형사고의 위험과 엔진의 소음문제가 발생할 수 있고, 수소연료전지드론은 높은 가격과 고압용기의 취급이 위험으로 민간영역에서는 사용하기 어렵다. 태양광드론은 회전익기보다는 태양광 패널(Solar Panel)을 많이 설치할 수 있는 면적이 넓은 고정익기에 적합하고, 유선충전드론(Tethered drone)은 지상의 전원장치와 케이블로 연결하여 장시간 밤낮으로 임무를 수행할 수 있지만 국한된 임무 수행만 가능하다.

다양한 산업현장에서 드론을 활용하고 임무를 수행하기 위한 리튬배터리의 대체 동력에도 불구하고 지속적으로 드론의 동력으로 사용될 것이다. 또한 리튬배터리를 안전하게 사용하기 위하여 리튬배터리의 발화 특수성에 대한 정확한 이해와 발화 시 화재 전파를 막을 수 있는 방법과 및 효과적인 소화재 등, 리튬배터리의 안정성 확보를 위한 연구는 필요하다.

3-1 리튬배터리(Lithium Battery)

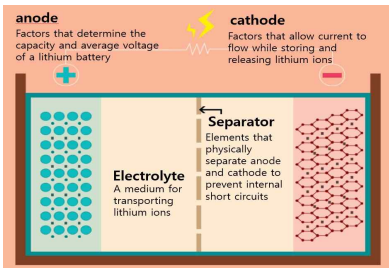


그림 5. 리튬배터리의 4대 요소
Fig. 5. Four Elements of Lithium Battery

스마트폰, 테블릿, 전기자동차, 전기자전거, 전동기기, 에너지 저장장치(ESS) 등에서 충전하는 2차전지는 납축전지, 니켈-카드뮴전지, 니켈-금속수소전지, 리튬이차전지 등이 있는데, 안정적인 전원을 위한 신뢰성 확보와 소형화, 경량화, 고에너지 밀도를 위한 리튬 계열 배터리의 공급이 증가하고 있고[2] 현재 드론의 동력원도 리튬배터리(Lithium Battery)이다.

리튬배터리의 사용이 증가하는 이유는. 과거 사용되던 납산(Lead-Acid) 축전지나 니켈 기반(Nickel-Based) 배터리에 비해 가벼운 경량으로 단위 무게당 에너지 밀도가 매우 높고, 전압은 니켈 기반(Nickel-Based) 배터리의 1.2V보다 3배인 3.7V로 배터리 셀을 줄일 수 있다. 또한 니켈 기반배터리는 완전히 방전하지 않은 채 70%만 사용하고 충전하면 70%를 충전 용량으로 기억하는 기억 효과(memory effect)가 없어 수명에 영향을 주지 않으며 리튬배터리의 자가 방전율은 5%/월로 니켈기반의 전지의 1/4 정도에 불과[3]하여 자기방전의 손실이 적기 때문이다.

리튬배터리는 크게 양극, 음극, 전해액, 분리막(세퍼레이터) 네 가지로 구성되어 있다. 리튬이온이 이동할 수 있도록 매개체 역할을 하는 전해액으로 액체 전해질을 사용하면 리튬이온배터리, 고체나 젤형태 전해질을 사용하면 리튬폴리머배터리이다.

3-2 리튬배터리 사고

리튬계열의 배터리는 액체 전해질을 사용하는 리튬이온배터리와 겔 형태의 고체전해질을 사용하는 리튬폴리머배터리가 있다. 리튬이온배터리의 액체전해질은 누액으로 인한 폭발의 위험도가 높아 고체전해질을 사용하는 리튬폴리머배터리를 많이 사용하며 드론도 리튬폴리머배터리를 사용한다. 그러나 리튬폴리머배터리도 강한 충격, 고열 노출, 천공, 과충전과 과방전, 과전류 등의 이유로 화재의 위험성은 항상 존재한다.

배터리에 PCM(보호회로. Protection Circuit Module)을 적용하여 과충전, 과방전, 단락(short)을 막고 과전류를 차단하는 기능으로 배터리를 보호한다. 배터리가 3셀 이상인 경우 PCM 기능과 셀 밸런싱, 온도감지 센서 등의 기능을 포함한 BMS(Battery Management System)을 적용하여 배터리 화재나 폭발의 위험성을 낮출 수 있다. 그러나 PCM이나 BMS 기능이 적용된 배터리도 배터리의 양극과 음극의 분리판이 절연되는 물리적인 내외적 손상, 충방전 반복이나, 배터리 제조과정에서 불순물이 내부에 섞일 수도 있는 등, 배터리가 파괴되어 내외부가 단락되는 쇼트로 자연발화(self-ignition)하는 명확한 원인을 규명할 수 없는 화재가 발생한다.

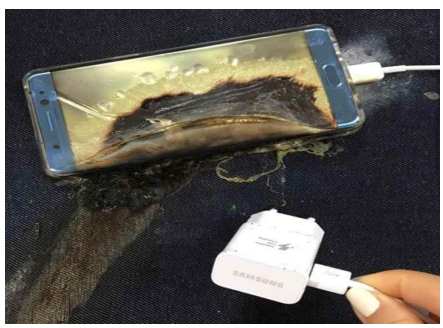


그림 6. 폭발한 갤럭시노트7
Fig. 6. Exploded Galaxy Note 7



그림 7. 골프장 5곳서 전동카트 충전 중 화재
Fig. 7. Electric cart charging medium fire in 5 golf courses



그림 8. 폭발한 테슬라 모텔-S 90D
Fig. 8. Tesla Motel Exploded-S90D



그림 9. 전북 부안 드론용 배터리 충전 중 화재
Fig. 9. Battery charging fire for drones in Buan, Jeollabuk-do

3-3 리튬배터리 화재 실험 연구

리튬배터리의 측면, 상부면, 정중앙을 송곳으로 관통하여 리튬배터리 화재의 원인을 연구하기 위한 최원갑(2018)실험[4]에서 측면보다 상부면과 정중앙을 관통하였을 때 흰색 연기가 분출되면서 불꽃이 발생하였고 분출되는 수소가스와 산소가 접촉하는 동시에 화염이 발생하였다. 관통 실험처럼 외부의 강한 충격이나 천공으로 압력이 가해지면 외부 폴리머 팩 및 셀에 흠집이 발생하거나 분리막의 절연성 저하로, 고열에 장시간 노출되는 것처럼 전지 내부의 온도와 압력이 급속하게 올라가게 되고 내부의 리튬 성분이 공기와 만나면서 스파크 및 발열이 발생하여 발화되고 화재로 이어질 수 있다고 한다.

항온기에 리튬이온배터리와 리튬폴리머배터리를 넣고 고온으로 가열하여 폭발위험성을 연구한 심상보(2016)실험[5]에서 리튬폴리머배터리는 약 130℃에서 배부름(Swelling) 현상이 나타났고 약 170℃에 이르자 접합강도가 가장 취약한 부위에서 전해액의 방출되면서 발화하였다. 리튬이온배터리는 단단한 캔 타입 구조로 배부름(Swelling) 현상은 나타나지 않았으나, 약 187℃에 이르자 전해질의 급격한 기화로 인한 배터리의 내부압력증가로 접합강도가 가장 취약한 양(+)극 부분에서 전해액의 급격한 방출과 동시에 발화가 발생하고 불꽃 방출이 일어났으며 내부폭발압력으로 설치지점을 강하게 이탈하였다고 한다.

국립소방연구원(2020년 12월 28일)[6]의 리튬배터리 화재 진화 실험에 의하면, 리튬배터리 6개를 가열한 후, A,B,C급 일반 분말 소화기와 물로 진압을 시도하였다. 일반 분말 소화기로 3차에 걸쳐 진화를 시도하였으나 재발화하였고 물이 비교적 효과가 있었다. 이유는 처음 불이 난 배터리의 온도를 낮춰 다음 배터리로 화재가 전파하는 것을 막는 냉각소화효과 때문이라고 한다.



그림 10. 리튬배터리 정중앙관통실험
Fig. 10. Lithium Battery Perforation Test

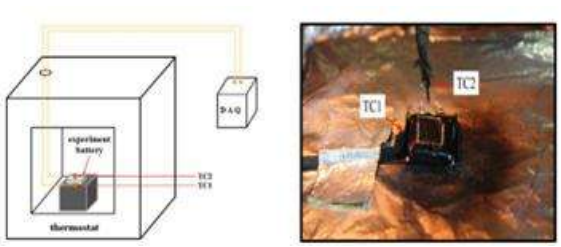


그림 11. 항온기 안에서 고온으로 가열 중인 리튬배터리
Fig. 11. Lithium battery being heated to high temperatures in a thermometer



그림 12. 국립소방연구원 2020년 12월 28일 실험
Fig. 12. National Institute of Fire and Marine Engineering, 28 December 2020



그림 13. 국립소방연구원 2021년 5월 4일 실험
Fig. 13. National Fire Research Institute experiment on May 4, 2021

전기자동차도 리튬배터리를 충전하여 운행된다. 국립소방연구원(2021년 5월 4일)[7]의 전기자동차 화재 시 질식소화포로 산소를 차단시켜 진화하는 실험에 의하면, 공기와의 접촉을 막고 10분이 지나자, 자동차 엔진부 쪽의 온도가 670℃까지 상승하였고, 진화 예상시간 20분이 지나도 진화의 가능성은 보이지 않았다고 한다.

리튬배터리에 과충전, 과방전, 과전류, 단락을 막고 PCM과 BMS 기능이 적용하여 배터리 화재나 폭발의 위험성을 낮출 수 있다. 그러나 리튬배터리에 강한 충격으로 천공이 생기거나 고열에 장시간 노출되면, 양극과 음극의 분리막이 손상되고 리튬이 공기와 접촉하는 순간 가스가 방출되어 발화가 시작되며 내부압력이 높아지고 열이 발생하면서 접합강도가 약한 부분에서 전해질이 방출되어 발화가 시작된다.

한국소방산업기술원 홍승태 책임연구원과 국립소방연구원 나용운 연구사는, 리튬배터리의 화재는 화재라기보다는 열폭주인 일종의 발열반응으로, 연이어 붙어 있는 리튬배터리의 처음 화재를 진화한다고 해도, 불이 난 배터리에서 그 다음 배터리로 급격한 열전달과 열상승이 발생하므로, 일반 분말소화기나 질식 소화포로는 진화하기 힘들고 냉각소화효과가 있는 물이 가장 효과적이라고 한다.

리튬, 칼슘, 마그네슘 등 금속화재인 D급 화재의 소화약제는 리튬배터리의 팩이 철재로 덮여 있어 소화약제가 제대로 침투하지 않아 리튬배터리 화재 진화에 물보다 효과가 떨어진다. 발화가 시작된 리튬배터리는 열폭주와 재발화의 특성으로 일반 소화기, 금속화재 D급 소화기, 흙, 질식소화포, 밀폐로 산소를 차단하여도 진화되지 않고 냉각소화효과가 있는 물 속에 담궈 열의 전도를 차단하여야 진화된다.

3-4 리튬배터리 안전한 보관

드론을 운용하는 개인이나 교육원, 학교, 산업체, 공공기관 등에서는 다량의 리튬배터리를 사용한다. 리튬배터리의 과충전과 과방전, 천공, 강한 충격, 고열 노출 등에 의한 화재의 위험성은 드론 조종교육이나 인터넷, 관련 서적 등에서 언급하고 있지만, 리튬배터리를 안전하게 보관할 수 있는 보관제품이나 안전장비, 안전시설에 대한 개발과 시장은 미비한 실정이다.



그림 14. 창원 H항공교육원 리튬배터리 보관장소
Fig. 14. Changwon H Aviation Education Center Lithium Battery Storage Location



그림 15. 안성 A드론교육원 리튬배터리보관실
Fig. 15. Anseong A-Drone Education Center Lithium Battery Storage Room



그림 16. 휴대용 내화 비닐 케이스
Fig. 16. portable fire resistance plastic case



그림 17. 휴대용 스틸 케이스
Fig. 17. portable steel case

드론 교육원에서는 연속적인 배터리 사용과 충전, 보관의 동선단축을 위하여 다량의 리튬배터리와 충전기를 한 장소에 보관한다. 만약 리튬배터리 화재가 발생한다면 배터리뿐만 아니라 2차 화재로 전파되어 재산 및 인명 피해가 발생할 수 있다.

시중에서 판매 중인 휴대용 내화 비닐 케이스는 리튬배터리의 단시간 보관의 편리함과 휴대성이 강조되지만, 발화 시 가스 누출과 화염, 열폭주로부터 안전하지 않으며, 휴대용 스틸 케이스는 화재 시 압력이 증가하여 폭발로 인한 2차 사고가 발생할 수 있다.

리튬배터리는 열폭주(thermal runaway) 현상과 재발화(reignition)하는 특수한 성질을 가지고 있다. 분리막이 손상되어 양극과 음극의 접촉과 동시에 내부 가스가 급격하게 발생하고 팽창되어 압력과 온도가 급상승하며 발화하게 되는데, 이렇게 자기발열에 의하여 온도가 급상승되는 것이 '열폭주'이다. 열폭주로 인하여 초기 발화된 배터리에서 다른 배터리로 열이 복사되고 전도되므로, 발화된 배터리를 진압한 후에도 일정 시간이 지나 다시 발화하는 것을 '재발화'라고 한다.

리튬배터리의 안전한 보관을 위해서 발화 시 열폭주와 재발화로 화재가 전파되지 않도록 발화된 배터리만 물 속에 낙하시킬 수 있는 안전보관랙이 필요하다.

Ⅳ. 리튬배터리 안전보관랙(Safe Rack)

리튬배터리의 과충전과 과방전, 외부의 강한 충격과 천공에 의한 분리막 손상, 생산 초기 제품 결함, 고온에 장시간 노출 등으로, 화재 시 가장 위험한 것은 초기에 진화하거나 119에 신고할 사람이 없는 상황이다. 리튬배터리의 특수성 때문에 초기 진화로 할 수 있는 것은, 발화된 배터리와 주변의 가연 물질을 분리하여 화재 전파를 막는 방법과 리튬배터리의 열폭주와 재발화가 끝날 때까지 기다리는 것이 가장 안전한 진화방법이다. 발화를 발견한 사람이 있어도 발화된 리튬배터리에 의한 화재 전파와 2차 피해를 막을 수 방법과 공석인 상황에서 발화된 리튬배터리를 진화할 수 있는 방법에 대한 연구를 시작하여, 안전보관랙(SAFE RACK)을 설계하였다.

4-1 리튬배터리 안전보관랙(Safe Rack) 설계

리튬배터리 발화 시 열폭주와 재발화를 차단시키고 화재 전파를 막기 위해서는 발화된 배터리를 다른 배터리나 가연물질과 분리하여 착화하지 못하게 하는 것이다. 평소에는 충전한 배터리를 보관하고 발화 시엔 발화된 배터리만 분리하여 리튬배터리 소화에 가장 효과가 좋은 물 속에 낙하시키는 방법으로 안전보관랙을 설계하였다.

안전보관랙은 리튬배터리를 플레이트 위에 보관하며 수납이 가능하도록 전면부분은 개방하고 후면부분은 커버로 닫혀있다. 72°C에 도달하면 서멀센서와 커버, 플레이트를 연결한 선이 단선되면서 후면의 커버가 열리고, 단선으로 생긴 플레이트의 단차로 플레이트 위에 놓인 배터리는 롤러에 의해 밀려 워터풀에 낙하되는 중력방식이다.

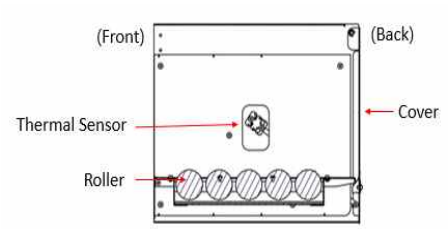


그림 18. 안전보관랙 2D도면
Fig. 18. Safe Rack 2D Drawing

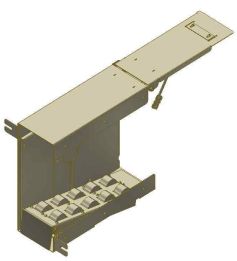


그림 19. 안전보관랙 3D도면
Fig. 19. Safe Rack 3D Drawing

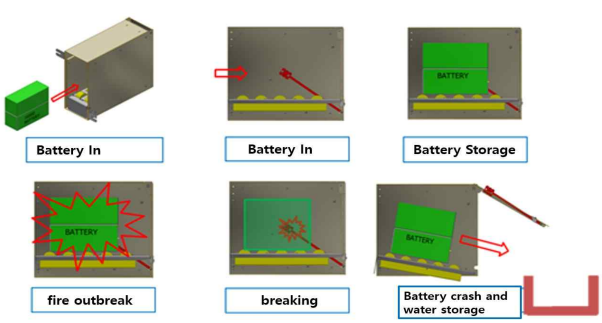


그림 20. 리튬배터리 발화 시 작동 시뮬
Fig. 20. Simulate operation when lithium battery fires

4-2 안전보관랙(Safe Rack) MODULE 실험

안전보관랙 안에 있는 발화된 리튬배터리가 서머센서의 단선 온도까지 상승되면 서머센서와 커버, 플레이트의 연결 선이 단선됨과 동시에 커버가 개방되어 배터리 플레이트에 설치한 롤러에 의하여 리튬배터리가 워터풀로 낙하되어 화재를 막는 것이 실험의 목적이다. 또한 가장 우려하는 사람이 공석이 상황에서 화재의 전파를 막을 수 있는지에 초점을 맞추어 실험하였다.

충격에 강하고 열처리에 강화되지 않으며 내식성이 뛰어난 SUS(Still Use Stainless) 재질로 Stainless 전문제작업체에 의뢰하여 완성한 안전보관랙과 폐리튬배터리 22000mAh 1개, 안전보관랙을 올려 놓을 수 있고 발화된 폐리튬배터리의 낙하에 필요한 최소 높이로 화재의 위험이 덜한 높이 70cm 철탄통, 발화된 배터리가 안전보관랙에서 떨어질 워터풀 역할을 할 80*20(지름*높이)cm 원형플라스틱수조, 리튬배터리에 충격을 가하여 천공을 만들 철핀건(gun)과 안전 장구들을 준비하여 실험하였다.



① 0:00:18 - Induce perforation with iron pin gun



② 0:00:22 - gassing-out



③ 0:00:55 - Cover open



④ 0:00:57 - Falling to Waterpool



⑤0:01:30 - gassing-out and air bubbles



⑥ 0:03:37 - Continuous bubble generation

그림 21. 안전보관랙 실험
Fig. 21. Safe Rack 3D Experiment

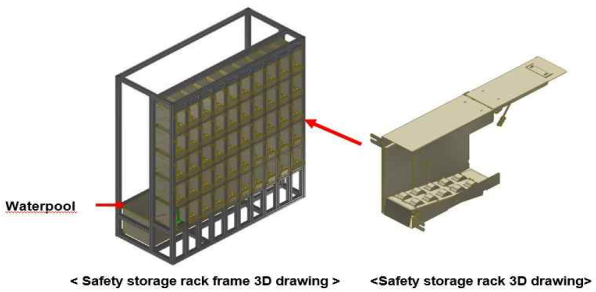


그림 22. 안전보관랙과 프레임 3D도면
Fig. 22. Safety storage rack and frame 3D drawing

4-3 안전보관랙(Safe Rack) MODULE 실험결과

실험결과, 발화된 리튬배터리의 온도가 서멀센서 단선온도인 72.5 ℃에 도달하자 서멀센서와 커버, 플레이트의 연결이 단선되어 커버가 개방되었고(③0:00:55), 2초 후 단선으로 생긴 플레이트 단차와 롤러에 의해 배터리는 워터풀로 낙하하였다. 워터풀에 낙하한 리튬배터리는 많은 양의 가스와 기포를 발생하였으며 약 2분30초 동안 계속된 후 기포가 사라졌다.

설계한 안전보관랙에서 발화된 리튬배터리만 분리되어 워터풀로 낙하되어 진화되었다는 것은, 리튬배터리의 진화에는 물이 가장 효과적인 소화재라는 것과 안전보관랙은 리튬배터리를 화재로부터 안전하게 보관할 수 있는 성공적인 설계로, 공석인 상황에서도 화재의 전파를 막을 수 있는 것이 확인되었다. 실험 이후 워터풀의 용량을 늘리고 100개의 리튬배터리를 안전하게 보관할 수 있는 프레임을 설계하였다.

드론을 운용하는 곳은 배터리를 대량으로 보관하고 있다. 배터리 화재는 발화된 배터리 한 개의 셀로 열이 전도되고 이후 급격한 화재의 전파로 인한 재산피해와 인명까지 위협할 수 있기 때문에, 발생 빈도의 불감증보다 2차 피해 파급력과 위험을 간과해서는 안된다. 안전보관랙은 기계적인 작동방식이 아닌 서멀센서와 커버, 플레이트를 선으로 연결하여 중력방식인 자연낙하방식으로, 발화된 배터리만 분리하여 진화시킴으로써 배터리 열 전도와 화재 전파를 막도록 설계하여, 기계적 작동방식의 오류로 발생할 수 있는 한계점까지 극복하였다.

Ⅴ. 결 론

드론의 동력인 리튬배터리는 약 30여 분의 비행시간으로, 현장에서 배터리의 교체와 충전을 반복하는 번거로움과 리튬배터리의 특수성인 열폭주와 재발화의 위험이 존재한다.

리튬배터리 대체 동력으로 화석연료, 수소, 태양광, 유선으로 사용하는 드론은 비행시간의 연장으로 많은 임무를 수행할 수 있는 것은 희망적이지만, 임무 수행과 비행 가능 영역, 가성비와 저변확대, 편리함과 안정성, 안전성 측면에서, 민간영역에서는 사용의 제약이 많아 접근성과 사용 가능성이 희박하고 공적이나 특수한 임무를 위한 군·공공기관에서 제한적으로 사용될 뿐이다.

본 연구는 리튬배터리는 지속적으로 드론의 동력원으로 사용될 것으로, 리튬배터리의 위험에서 안전하게 사용할 수 있는 리튬배터리의 안전한 보관과 공석인 상황에서 발화 시 진화 가능한 소화재와 진화방법을 연구하였다.

리튬배터리의 특수성인 열폭주와 재발화는 배터리에 충격, 고열, 자체 결함, 과충방전, 과전류, 노화 등의 원인으로 발생하는데, 한번 발화된 배터리의 셀은 열폭주로 600℃ 이상 상승하고 내부압력이 높아지며 가스와 화염이 강하게 분출되므로, 산소를 차단하는 질식소화포나 모래, D급 소화재, 뿌려지는 물로는 진화할 수 없다.

기계적인 작동방식의 오류도 고려한 중력방식으로 설계한 안전보관랙(SAFE RACK)은 리튬배터리 발화 시 발화된 배터리만 워터풀로 낙하하도록 설계하여, 진화할 수 있는 사람이 화재현장에 있거나, 진화할 수 없는 공석인 상황에서도 화재 전파를 막을 수 있다는 것을 실험을 통하여 확인하였다.

과충전을 막기 위한 PCM이 배터리에 장착되어 판매되지만 아직도 충전 중 원인불명의 리튬배터리 화재는 발생하기에, 배터리를 충전기에 연결한 채 자리를 비우는 것은 위험하다. 충전 중 화재의 발생 확률이 적지 않은 것에 염두를 두어, 리튬배터리 발화 시 공석인 상황에서도 발화된 배터리에 의한 화재 전파를 막는 것에 초점을 맞추어 안전한 보관을 연구하였다. 향후 리튬배터리와 충전기를 연결하여 충전 중에 과충전을 완벽하게 차단할 수 있는 안전장치가 보완된다면 보관과 충전이 가능한 안전보관랙 다음 버전에 대한 연구를 이어갈 것이다.

리튬배터리의 안전한 관리는 드론의 비행시간과 배터리 충방전 회전율, 재구매 비용 그리고 화재로 인한 2차 사고 예방과도 직결되며, 특히 드론을 운용하는 대학교, 민간국공기관에서는 대용량의 리튬배터리를 대량 보유하고 있으므로 대형 화재로 확산을 막기 위해서는 반드시 실천되어야 한다. 드론이 국공민간기관의 모든 영역에서 안전하게 사용하기 위해서는, 현재 드론의 당면과제인 리튬배터리의 가용시간에 대한 지속적인 연구와 리튬배터리의 안전한 사용방법 홍보, 발화로부터 안전한 보관을 위한 리튬배터리 안전보관랙(SAFE RACK)으로 리튬배터리 드론의 건강한 운용문화가 정착 될 것이다. 또한 전기에너지를 리튬에 보관하는 ESS(에너지저장장치. Energy Storage System)도 원인을 명확하게 규명하기 어려운 리튬배터리 화재가 끊임없이 발생하여 막대한 재산피해를 가져오므로, 안전보관랙 시스템을 적용하여 안전한 관리에 도움이 되길 바란다.

참고문헌

[1] K. Y. Lee and others, “Study on the Analysis Technique of Accident Cause for Li-Polymer Battery”, *The 46th Summer Conference of the Korean Society of Electrical Sciences,* pp 1541-1542, July 2015.

[2] H. M. Joe, “A Study on the Air Transportation of Lithium Batteries”, *Aviation Promotion,* No. 60, pp. 127-143, 2013.

[3] W. G. Choi and others, “A Study on the Risk of Fire and Fire Pattern in Secondary cell battery(Li-ion Battery)”, *Journal of Fire Investigation Society of Korea,* Vol. 9, No. 3, pp. 49-67, August 2018
[4] S. B. Sim and others, “Study on the Explosion and Fire Risks of Lithium Batteries Due to High Temperature and Short Circuit Current”, FIRE SCIENCE AND ENGINEERING, Vol. 30. No. 2, pp114-122, April 2016.
[5] B. J. Jeong and others, “A Study on the Hazard Categorization and Loss Prevention Standards of Lithium-ion Battery Manufacturing Occupancies”, *J. Korean Soc. Hazard Mitig,* Vol. 19. No. 1, pp.249~256, Feb 2019.
[6] Y. d. Kim, “I tested the electric car battery fire...Fire extinguisher, fire”, December 28, 2020 [Internet]. Available: https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=5081930
[7] P. J. Kim, “Electric car fire '1000 degrees thermal runawa'… "It's hard to evolve in the traditional way”, May 4, 2021 [Internet]. Available: https://mnews.jtbc.joins.com/News/Article.aspx?news_id=NB12003004



조미연(Mi-Yeon Cho)

1993년 : 혜전대학 도자기공예학과 (전문학사)
2005년 : 한국방송통신대학교 미디어영상학과 (문학사)
2015년 : 한국방송통신대학교 유아교육학과 (교육학사)

2018년～현 재: ㈜에어퓨처 교육팀장
2020년～현 재: ㈜에어퓨처부설항공교육원 원장
2019년～현 재: 중앙대학교 뉴미디어아트학과 재학
※관심분야 : 드론 (Drone), 디지털 이미지 (Digital Image) 등



주종우(Jong-Woo Joo)

2001년 : 중앙대학교 (B.A)
2004년 : Brooks Institute of Photography (M.S)
2008년 : 중앙대학교 (M.A)
2014년 : 중앙대학교 (ph.D)

2013년～현 재: 국가기술표준원 사진분과 전문위원
2014년～현 재: 기술표준원 문화예술서비스 심의의원
2015년～현 재: 사진진흥법 재정위원회 부위원장
2015년～현 재: 현대사진영상학회 편집위원
2017년～현 재: 중앙대학교 공연영상창작학부 조교수, 뉴미디어아트대학원 학과장
※관심분야 : 디지털 이미지 (Digital Image), 가상현실 (Virtual Reality Technology), 드론 (Drone)