

Technical Review

리튬 전지의 안전한 항공 운송을 위한 개선 방향 고찰

조현명*

A Consideration on Improvement of Safe Lithium Battery Air Transportation

Hunmyung Joe*

ABSTRACT

As PED(Personal Electronic Device) market has been rapidly grown, the demand on Lithium battery, which is most commonly used power source of PED, also has been increased. Due to this trend, the amount of Lithium battery air transportation is also increasing. However, it should be treated very carefully because Lithium is one of very explosive metal. So ICAO, IATA and civil aviation agencies try to enhance the safety of Lithium battery air transportation by aircraft certification and operating regulations. To enhance in-flight safety, the aircraft for transporting Lithium battery should equip certified fire extinguishing system. But recent studies find that Halon, currently used extinguishing agent, is not effective on extinguishing Lithium battery fire. Besides, there is no certified Halon replacement for air use and no acceptable specific minimum performance standard(MPS) for Lithium battery fire. For this issue, a study on characteristics and establishing MPS of Lithium battery fire is needed for safe air transportation of Lithium battery.

Key Words : Lithium Battery(리튬 전지), Extinguishing Agent(소화제), Dangerous Goods (위험물), Halon Replacement(할론 대체제), Air Transportation(항공운송)

1. 서 론

최근 사물인터넷, 4차 산업혁명 등의 산업 발달 기조에 따라 휴대용 전자기기(PED; Personal Electronic Device)의 사용이 광범위하게 보편화

되고 있으며, 그러한 전자기기에 휴대성을 부여하는 이동식 전원으로 전지의 사용 또한 기하급수적으로 늘고 있다. 최근 사용되는 대부분의 휴대용 전자기기에는 전위차가 크고 중량 대비 에너지 밀도가 높아 경량화가 용이한 리튬(Li, Lithium)을 사용한 전지를 주로 사용하고 있다.

한편, 리튬의 화학적 특성으로 인해 환경에 따라 비교적 낮은 온도에서도 폭발 또는 변형의 가능성이 높아 취급에 주의가 필요하다. 2016년 하반기 전세계적인 판매 중단 및 리콜 사태를 가져

Received : 14. Jun. 2017. Revised : 10. Sep. 2017.

Accepted : 22. Sep. 2017

* 한국항공우주연구원 항공우주제품보증센터

연락처 E-mail : hmjoe@kari.re.kr

연락처 주소 : 대전광역시 유성구 과학로 169-84

온 삼성전자의 갤럭시 노트 7의 전지 폭발사건은 이러한 리튬 전지의 위험성을 극단적으로 보여주는 하나의 예가 될 것이다. 항공 분야에서는 리튬 전지가 명확하게 화재의 원인이라고 확정되지는 않았으나, 2006년 미국 필라델피아에서의 UPS 항공기 전소 사건, 2010년 UAE 두바이에서의 리튬 전지 적재 화물 항공기에 화재가 발생하여 추락하는 사건이 발생하는 등 1980년대 이후 리튬 전지가 사고의 주요 원인으로 강력하게 의심되는 항공기 화재 사고 및 준사고가 다수 발생하였다. 따라서 국제기구와 세계 각국에서는 항공기의 전원으로 리튬 전지 사용과 화물로서의 리튬 전지 운송에 대해 세부 안전 규정을 두어 최소한의 안전성을 담보하고자 노력하고 있다.

항공 안전 규정에서는 리튬 전지가 항공기 또는 장비품 등에 장착되어 전원으로 사용되는 경우와 사용되지 않는 포장 상태의 화물로서 리튬 전지를 운송하는 경우로 이원적인 체계를 갖추고 있다. 항공기 또는 장비품의 설계에 포함되어 전원공급장치로 사용되는 리튬 전지에 대해서는 기술표준품형식승인(TSOA) 또는 형식증명 또는 부가형식증명 등의 항공제품에 대한 인증 절차에서 항공기의 일부로서 설계승인을 통해 안전성을 검증받도록 하고 있다. 한편, 항공기를 통해 화물로 운송되는 리튬 전지에 대해서는 국제연합(UN), 국제민간항공기구(ICAO), 국제항공운송협회(IATA) 등의 국제기구와 각국의 운송 제한 규정 등으로 안전성을 담보하고 있다.

본 논문에서는 리튬 전지의 운송 안전성과 관련하여 현행 리튬 전지 운송 규정 및 항공기 소화 계통의 리튬 전지 화재 진압 능력에 대해 평가하고, 전 세계적으로 진행 중인 할론 대체제 개발 현황 및 리튬 전지와 관련된 성능 평가에 대한 제언을 논의하도록 하겠다.

II. 본 론

1. 리튬 전지의 특징

1) 리튬 전지의 분류

리튬 전지는 리튬 금속 혹은 그 화합물을 전극으로 사용하는 셀 또는 전지를 통칭하는 표현

이다. 전극을 Li/SOCl₂ 혹은 Li/MnO₂으로 구성하고 전해질에 의해 전자 이동이 증대되는 방식을 사용한 전지인 리튬 배탈 전지는 비충전식의 1차 전지이다. 리튬 금속을 전극으로 직접적으로 사용하므로 폭발할 위험성이 상대적으로 높다고 평가된다.

한편, 양극(+극)으로 리튬코발트산화물, 스피넬, 인산철리튬 등을 사용하고 음극(-극)으로 탄소 사용 전지는 충전이 가능한 2차 전지이며 통상적으로 리튬 이온 전지라고 불린다. 리튬이온 상태(Li⁺)로 전해되어 있고 전해된 리튬이온을 수용할 수 있는 물질이 전극으로 사용되어 충/방전시 리튬 이온의 흐름이 가역적인 특징이 있다. 이 전지는 리튬이 금속이 아닌 상태로 존재하므로 폭발 위험성이 상대적으로 작은 것으로 평가된다. 한편, 리튬 이온을 액체가 아닌 폴리머(고분자)에 전해시킨 전지를 리튬 폴리머 전지라 부르며, 자유롭게 형태를 성형이 가능한 특징이 있어 휴대용 전자 기기의 전원으로 많이 사용된다.[1]

2) 리튬 전지의 장단점

리튬은 원자번호 3번으로 금속 중 가장 가벼워 예전부터 널리 사용되던 납산(Lead-Acid) 축전지나 니켈 기반(Nickel-Based) 전지에 비해 중량 대비 에너지 밀도를 크게 할 수 있다. 리튬 전지의 에너지 밀도는 니켈-카드뮴 전지의 2배, 납산 축전지의 5~6배 정도이며, 리튬 전지의 기전력은 3.0~3.6V로 니켈 기반 전지에 비해 요구되는 셀의 수가 1/3 가량으로 줄어든다. 또한, 리튬 전지는 니켈 기반 전지의 가장 큰 단점인 기억 효과(memory effect)가 없어 자유롭게 충/방전을 하여도 전지의 수명에 영향을 거의 미치지 않는다. 그리고 리튬 전지는 자가 방전율은 2~5%/월로 니켈 기반 전지의 1/4정도에 불과하여 실제 사용 가능한 전지의 용량이 더 크다.

한편 리튬 전지는 제조된 직후부터 열화가 시작되는데 사용 여부와 상관없이 열화가 진행되기 때문에 2~4년 후에는 더 이상 전지로 사용할 수 없게 된다. 그리고 고온(40℃ 이상)에서 사용될 경우 저온(0~10℃)에서 사용될 경우에 비해 수명이 1/3정도로 짧아지는 등 수명이 온도 의존적

이며, 고온 및 영하의 온도에서 성능 저하가 두드러지게 나타나게 되어 예상되는 사용 온도 조건에 따라 보호 설계가 추가되어야 할 수도 있다. 그리고 앞서 언급하였듯 리튬은 반응성이 좋은 알칼리 금속으로 취급 여부에 따라 폭발의 위험성이 있다.[1]

2. 리튬 전지 항공 운송 규정

1) 위험물 정의 및 규정체계

(1) 위험물의 정의

위험물(DG, Dangerous Goods)란 사전적 정의에 따르면 “사회생활을 영위하는데 있어 필요한 물질 중 취급을 잘못하면 화재, 폭발, 중독, 방사선 장애, 부식 등의 위험이 발생하여 인간 및 재산에 직접 악영향을 미치는 물질 및 그것을 포함하는 물품”을 의미한다.[2] 항공운송의 측면에서는 ICAO 기술지침(TI; Technical Instructions)의 위험물 목록에 수록되거나 분류기준에 포함되는 것으로 사람의 건강과 안전, 재산, 환경에 위해를 미칠 수 있는 물질이나 물품을 의미한다.[3]

(2) 위험물 규정 체계

위험물 운송 관련 최상위 규정은 국제연합 경제사회이사회의 “위험물 운송에 관한 모범 규정(Recommendations on the Transport Dangerous Goods - Model Regulation, 이하 모범 규정)”으로 위험물 취급의 기초 원칙을 제시하고 있다.[4] 국제연합(UN)의 모범 규정은 비록 권고사항이나 국제운송을 위한 규정으로 바로 사용할 수 있는 구조를 취하고 있다. 항공 분야에서는 국제민간항공기구(ICAO)에서는 국제 연합의 모범 규정(MR)을 반영하여 시카고 조약 부속서 18(Chicago Convention, Annex 18, 이하 Annex 18)을 제정하였고, 이를 이행하기 위해 “위험물 항공운송기술지침”(TI, Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air)을 제정하여 회원국에게 이행 의무를 부과하고 있다. 한편, 국제항공운송협회(IATA)에서 “제한품목규정”(IATA Restricted Articles Regulations)를 제정하여 실무상의 참고문서로 사용하였으나, 국제민간항공기구(ICAO)의 위험물

항공운송기술지침이 1983년부터 발효됨에 따라 제한품목규정을 “위험물규정(DGR, Dangerous Goods Regulations)”으로 개정하여 각 회원사에 준수 의무를 부과하고 있다.[5]

우리나라에서는 국제연합(UN)과 국제민간항공기구(ICAO)에서 정한 기준을 반영하여 국토교통부에서 제정한 항공위험물운송기준을 규제의 근간으로 하고 있으며, 화물을 운송하는 개별 항공사는 위험물 운송에 대한 법적 규제와 개별 항공사의 현실적인 요소를 고려하여 위험물 취급에 대한 안전 규정을 제정하여 운영하고 있다.[6]

2) 리튬 전지 운송 규정

위험물의 항공 운송에 대해서는 비록 국제기구, 국가, 항공사 협회, 운송사 등이 단계적으로 세부 규정을 개별적으로 두고 있으나, 각 국의 규정 및 개별 운송사의 운송 규정의 근간을 이루는 것은 국제민간항공기구(ICAO)의 부속서 18(Annex 18)이며 이 부속서 18(Annex 18)에서는 리튬 전지 종류와 운송 방식에 따라 아래의 Table 1.와 같이 4종류의 위험물 코드를 부여하고 있다.

Table 1. Lithium Battery DG code

| | 단독 포장 | 장비와 함께 운송 |
|----------|--------|-----------|
| 리튬 이온 전지 | UN3480 | UN3481 |
| 리튬 메탈 전지 | UN3090 | UN3091 |

위험물 코드에 따라 세부적인 포장 지침(Packing Instruction)이 제시되고 있으며 제시된 방법에 따라 포장할 경우 리튬 이온 전지는 여객기의 화물실에는 최대 5kg, 화물기의 화물실에는 35kg 까지 단일 포장으로 탑재할 수 있고, 리튬 메탈 전지는 여객기의 화물실에는 최대 2.5kg, 화물기의 화물실에는 최대 35kg까지 단일 포장으로 탑재할 수 있다. 다만, 개별 전지의 리튬 함량이 2g이하일 경우 위험물이 아닌 것으로 본다는 예외규정이 있다. 한편, 한 대의 항공기에 탑재 가능한 리튬 전지의 총량은 별도의 규정하고 있지 않고 있다.[1,3] 이 때 포장 용기에는 리튬 전지가 탑재되어 있음을 알리는 Fig. 1과 같은

위험물 표식(placard)이 부착되어야 한다.



Fig. 2 Lithium Battery Placard

3) 화물실별 소화 설비

리튬 전지에 포함된 리튬은 물과 접촉하면 격렬하게 반응하는 특성을 가진데다가, 무게 또는 부피 대비 단가가 높은 품목이어서 국가 간 운송을 할 때에는 해상 운송보다는 항공 운송을 하는 경우가 일반적이다. 앞에서 살펴본 리튬 전지의 항공업계 운송 규정에 따르면 리튬 전지는 화물실에만 탑재가 가능하므로, 이 절에서는 항공 규정상 화물실 분류와 화물실별로 구비되는 소화설비에 대해서 확인하도록 하겠다.

(1) 화물실 분류

우리나라의 항공기기술기준 25.857항은 승무원의 접근성, 화재탐지 가능성, 소화 조작의 용이성 등에 따라 크게 4가지로 항공기 화물실을 나누고 있다.[7]

A급 화물실이란 화재가 발생시 승무원이 좌석에 앉은 채 화재를 용이하게 발견할 수 있고, 비행 중 화물실의 모든 장소에 쉽게 도달할 수 있을 것을 요건으로 하는 화물실을 지칭한다. 주로 Part 23급 / 27급 / 29급 항공기의 화물실에 해당된다.

B급 화물실은 비행 중 승무원이 휴대용 소화기로 화물실의 모든 장소에서 소화 작업을 할 수 있고, 소화 중 위험한 양의 연기, 화재, 소화제가 승무원 또는 승객이 사용공간에 침입하지 않으며, 두 개 이상의 승인된 연기 또는 화재탐지 계통이 장착되어 경고를 제공할 수 있는 화물실을 말한다.

C급 화물실이란 A급 또는 B급 화물실이 아니

며 복수의 승인된 연기 또는 화재탐지 계통이 장착되어, 조종실에 장착된 고정 소화 장치 또는 화재진압계통으로 화재를 진압할 수 있으며, 위험한 양의 연기, 화재, 소화제가 탑승 구역에 침입하지 않으며, 소화제가 화물실에서 발생하는 모든 화재를 진압하도록 환기 및 통풍시설비의 조작 가능한 화물실을 의미한다. Part 25급의 여객용 수송기의 화물실이 해당된다. 의무적으로 화재 감지 및 소화 장치를 갖추어야 하며, 일반적으로 화재 감지장치로는 열 또는 연기 감지장치가 사용되고, 소화 장치로는 소화제가 충전된 분사식 소화 설비가 사용된다.

E급 화물실이란 화물의 운반에만 사용되는 비행기의 화물실을 의미하며 C급 화물실의 요건에 부가하여 어떠한 화물적재조건 하에서도 승무원이 비상탈출구들은 접근할 수 있어야 한다. 수송급 항공기 중 화물운송 전용항공기의 화물실로, 주 화물실과 부 화물실로 구성되는데, 이 중 부 화물실(Lower Deck Cargo Compartment)은 C급 화물실과 동일한 요건을 적용하며, 주 화물실(Main Deck Cargo Compartment)은 C급 화물실의 요건에 부가하여 밸브 개방에 의한 감압과 외기에 의한 냉각에 의한 방법을 부가한다.

(2) 화물실 소화 설비

항공법규에서는 항공기에 화재가 발생할 수 있는 부분에 대해 이를 탐지하고 진압할 수 있는 수단을 갖추 것을 요구하고 있다.[7] 또한, 항공기에 사용되는 소화제(Extinguisher Agent)가 충족해야 할 요구조건에 대해서는 별도의 최소성능 표준을 규정하여 인증을 거친 소화제만을 항공기에 적용할 것을 요구하고 있다. 그에 따라 항공기 제작사는 항공기 설계 시 엔진 및 보조동력장치, 화물 구역(Cargo Compartment), 승무원 및 승객 탑승구역, 화장실(Lavatory), 착륙장치 인입 공간 등 화재가 발생할 수 있는 공간에 인증받은 소화제를 사용한 화재탐지 및 소화설비를 갖추고 있다. 일반적으로 엔진 및 보조동력장치, 화장실, 화물 구역에는 할론 1301이, 탑승구역에 비치되는 휴대용 소화기에는 할론 1211이 주로 사용되고 있다.

그 중 화물실에 대해서는 일반적으로 탱크에

소화제를 충전하여 항공기를 운행하다가 화재가 감지되면 탱크에 장착된 뇌관(squib)를 터트려 소화제를 화물실에 분출, 일정 시간동안 일정농도 이상의 소화제가 분출되도록 하여 소화제에 의한 화학적 소화와 함께 질식소화의 효과를 동시에 얻을 수 있도록 시스템을 구성한다. 이에 더하여 화물실 문 또는 동체에 장착된 배출 밸브 혹은 양압/부압 밸브 등을 사용하여 화물실 내 감압 및 냉각이 가능하도록 하여 소화를 돕도록 하는 시스템이 추가되기도 한다. 아래의 Fig. 2는 Boeing사의 B-737 기종 항공기에 적용된 C급 화물실에 대한 소화 설비의 예이다.

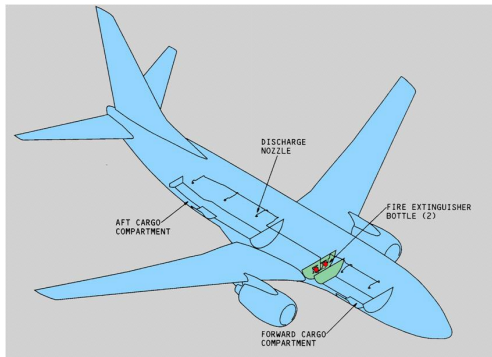


Fig. 2 Cargo Compartment Fire Extinguishing System of B-737 Aircraft

3. 리튬 전지 화재 소화능력 평가

1) 리튬 메탈 전지

리튬은 녹는점이 180.54°C 로 녹는점이 매우 낮은 금속에 속하기 때문에, 화물실에서 발생한 화재가 소화제인 할론 1301로 진화된 후에도 주위의 잔열에 의해 전지 내부의 리튬이 용융될 수 있고, 용융 상태가 되면 전지 내부의 압력이 증가하여 가열된 전해질이 전지 밖으로 분출될 수 있다. 한편, 리튬은 매우 강한 인화성을 지닌 물질이기 때문에 내분 온도가 230°C 이상이 될 경우 열 폭주 상태, 즉 자연 발화를 할 수 있다. 한편, 미연방항공청(FAA)에서 수행한 한 연구에 따르면 리튬 메탈 전지의 화재에 대해 할론 1301은 소화 효과가 거의 없어 전지 자체의 화재를 진압할 수 없고, 전지 내부의 온도가 리튬의 녹는점 이상이 될 경우 용융된 리튬이 분출될 수

있는데, 이 액상의 리튬은 항공기의 내장재를 손상시킬 수 있으며, 더 나아가 항공기 기체에도 손상을 입힐 수 있다.[9] 따라서 리튬 메탈 전지의 경우 A급 및 B급 화물실 탑재는 일반적으로 금지되고, C급 화물실에서는 제한적으로 허용되며 주로 E급 화물실을 통해 운송하고 있다.

2) 리튬 이온/폴리머 전지

리튬 이온 전지는 물리적인 손상, 내부적인 쇼트, 외부에서의 열 또는 기타 원인으로 인해 발화할 수 있다. 따라서 항공기 또는 장비품의 전원으로 설계에 포함되는 리튬 전지는 일정한 환경 조건 하에서 변형과 단락에 대한 시험을 통과해야 한다.[10] 하지만 화물로서 적재되는 리튬 전지에는 이러한 기준을 적용하지 않기 때문에 상대적으로 큰 위험에 노출되어 있다고 평가할 수 있다.

리튬 이온 전지가 갖는 큰 문제는 자연 발화가 발생할 경우 하나의 전지에서 나오는 열이 인접한 전지까지 발화하도록 할 수 있으며 그에 따라 화재가 화물 전체에 퍼질 수 있는 위험이 있다. 현재 항공기에서 소화제로 사용되는 할론 1301은 리튬 이온 전지로 인해 발생한 화재의 나화(open flames) 및 화재의 전파를 막는 데는 어느 정도 유효하나, 소화 기체에서 냉각효과가 높지 않아 전지 내부에서 진행되는 자연 발화에는 큰 효과가 없다고 평가된다.[9]

한편, 리튬 폴리머 전지는 리튬 이온 전지와 유사한 특성을 보이나 전해질 대신 고형의 폴리머를 사용하기 때문에 전해질이 분출되는 형태가 아닌 폴리머가 열팽창하는 형태로 열을 흡수하다가 폭발하는 형태로 발화한다.

3) 현재의 소화능력 평가

이상의 논의를 종합하면, 리튬 전지는 일단 발화하면 진압하기가 매우 어렵고 주변의 온도에 따라 상대적으로 낮은 온도에서도 내부의 폭발이 진행될 가능성이 높은 것으로 평가된다. 한편, 분야는 다르나 유사한 사안이 금속 분말을 사용한 적층가공에서도 안전상의 문제로 떠오르고 있는데, 현재 D등급의 소화기로 제압하도록 권고하고 있으나 실질적인 소화 효과를 기대하기는

어렵고 화재가 발생한 분말의 격리 차원에서 사용을 하고 있다.[11] 즉, 금속에 기인한 화재의 경우 현행의 소화 방식 또는 소화제가 효과적인 제압 능력을 보이지 못하는 것으로 판단된다. 그에 따라 현재 논의되고 있는 소화 방식은 리튬 전지 자체의 소화보다는 주변부의 온도를 가능한 빨리 발화점 이하로 낮추어 리튬 전지의 열폭주를 막는 방향에 초점을 맞추고 있다. 한편 리튬 전지 자체 발화에 대해서는 리튬 전지 생산 공정의 규격화, 개별 포장 또는 화재 발생 시 액침이 가능한 컨테이너의 사용 등이 제안되고 있으나 아직 구체화되는 단계에는 이르지 못한 것으로 보인다.[12]

4. 할론 대체물질 개발 현황

1) 할론 대체 정책의 적용

소화제로서의 할론은 무척이나 유용하였으나, 1980년대 할론이 분해되며 발생하는 할로젠 이온이 성층권의 오존과 반응을 하여 오존층을 파괴한다는 연구결과가 지속적으로 발표됨에 따라 국제적으로 오존층을 보호하기 위한 노력이 시작되었다. 1989년 1월에 발표된 몬트리올 의정서, 1997년 12월에 결의된 교토의정서 등을 통해 할론은 오존층 파괴 물질로 지정이 되어 2040년까지 단계적으로 모든 할론의 생산과 사용이 금지되게 되었다. 그에 따라 할론을 대체할 신물질의 개발이 법적으로 요구되게 되었다.

한편, 항공업계 또한 이러한 환경 규제에 대응하기 위해 국제민간항공기구(ICAO) 차원에 할론 사용 금지 및 대체 물질 적용에 대한 로드맵을 제시하였다. 항공용 소화물질의 사용 제한 시기에 대해 국제민간항공기구(ICAO)와 유럽항공안전국(EASA)은 아래의 Table 2.과 같은 시한을 제시하였다. 현재 신규 형식증명이 신청된 항공기에 적용되는 화장실과 휴대용 소화기, 엔진 및 APU에 적용되는 소화 물질은 할론이 아닌 대체물질로 설계되고 있으며, 제시된 일정에 따라 기존 생산된 항공기에 적용된 소화물질 또한 순차적으로 대체물질로 변경될 것으로 예상된다.[13]

Table 2. Time limit for use of fire extinguishing materials

| | Agent | 화장실 | 휴대용 | 엔진 /APU | 화물실 |
|--------|-------|------|------|---------|------|
| 신규 설계 | ICAO | 2014 | N/A | 2014 | N/A |
| | EASA | 2011 | 2014 | 2014 | 2018 |
| 기존 생산품 | ICAO | 2011 | 2016 | N/A | N/A |
| | EASA | 2020 | 2025 | 2040 | 2040 |

2) 적용 대상별 할론 대체물질 개발 및 인증 현황

(1) 엔진 및 보조동력장치(APU)

엔진 및 보조동력장치는 연소에 의해 항공기 동력을 얻는 부분이기 때문에 화재 발생의 가능성이 가장 높다. 현재까지 HFC-125, Novec 1230(FK-5-1-12), FIC-1311 (CF3I), Powdered Aerosol F 등의 물질이 대체 물질로 제안되었으며, 대부분이 최소성능표준을 만족하는 것으로 평가되고 있다. 다만, 현재 군용으로 사용되는 HFC-125의 경우 할론에 비해 중량이 상당히 증가하는 문제가 있고, 다른 물질의 경우 아직 항공공용의 승인을 받지 못하거나 독성에 대한 우려가 아직 해소되지 않은 상태이다.[14]

(2) 화물구역

화물구역에 적재되는 물품이 다종다양함에 따라 화재 및 소화 특성이 다양하기 때문에 개발과 시험에 보다 많은 노력이 필요하기 때문으로 판단된다. 현재까지 CO₂/N₂, Water mist, Water mist/N₂ gas hybrid 등이 제안되었으나 현재까지 Water mist/N₂ gas hybrid만이 최소성능표준을 만족하고 있으나, 아직 미국이나 유럽에서 신규 소화제로 인정받지 못한 상태이다. 한편, 물을 사용한 소화 시스템을 항공기에 적용하기 위해서는 항공기 시스템에 중대한 변경(Significant Change)을 가해야 할 뿐더러, 화재 진화를 위해 물 분사가 가져올 항공기 구조 및 장비에 대한 영향성 평가 또한 이루어져야 해서 실제 적용에 이르기 위

해서는 추가적인 시험 평가가 필요하다.

(3) 휴대용 소화기

휴대용 소화기의 대체물질로는 Halotron 1(HCFC Blend B), HFC-236fa, HFC-227ea, 2-BTP 등이 최소성능표준을 충족한 한편, 유럽 및 미국의 인증을 획득하였다. 제안된 모든 물질이 UL이 정한 최소 성능을 상회하는 소화 성능을 보유하고는 있으나, 일부 물질의 경우 환경 및 인체에의 유해성이 완벽해 해소되지 않은 상태이며, 일부 물질의 경우 제조상의 문제로 아직 공급이 원활하지 않는 등 물질별로 해소되지 않은 단점이 있어 기존 항공기를 운용하는 운항사들이 도입을 꺼려하고 있다.

(4) 화장실

화장실에 사용되는 할론 대체물질은 가장 먼저 대체가 되어야 했기 때문에 대체물질이 가장 빨리 개발되었다. Boeing, Bombardier, Embraer 등은 HFC-227ea를, Airbus는 HFC-236fa를 채택하여 자사의 항공기에 적용하였고, 기존에 제작되어 운항 중인 항공기에 대해서는 정비 주기 도래 및 각국의 법적 요건에 따라 순차적으로 대체 작업을 진행 중이다.[15]

5. 논의

이상의 논의를 종합하면 현재의 항공기 설계에 적용되어 있는 화물실의 소화시스템은 할론을 소화제로 한 소화 설비를 기본으로 감압 및 질식소화를 부가한 소화 개념을 적용하고 있다고 평가된다.

하지만 연구 결과를 통해 현재 적용된 소화시스템은 리튬 전지로 인한 화재를 진압하는데 부분적으로만 효과가 있을뿐더러, 화재 진압 후 화물에 남아있는 열에 의한 후속 자연발화에 대해서는 크게 효과를 발휘하지 못하는 것이 확인되었다. ICAO의 위험물패널 회의에서 또한 이 주제가 주요 의제로 다루어지고 있으며 현재의 포장 및 항공기 설계와 관련된 규정이 리튬 전지의 운송 안전성에 크게 기여하고 있지 못하여 리튬 전지 생산 및 유통 전반에 걸친 새로운 규정의 제정이 필요함에 합의하고 있다.[12]

한편, 국제 협정에 의해 할론의 생산이 금지되

었고 사용 또한 점진적으로 제한되고 있어 대체물질의 개발이 진행되고 있다. 이를 감안하여 미국의 경우 현재 리튬 전지로 인한 화재에 대해 완벽한 대응방법이 없음을 인정하고 새로운 대응방법이 나올 때까지 현재 적용되는 운송규격(포장 단위, 컨테이너, 위험성 평가, 포장 규격 등)을 준수하고, 유관 인력에 대해 보다 교육을 강화할 것을 권고하고 있다.[16]

리튬 전지는 자체적인 유통 구조가 복잡할 뿐만 아니라, 생산된 전지를 사용하여 상위 제품을 만들어 유통되는 경우도 많아 모든 포장 및 제작 규격을 일률적으로 규제하는 것은 현실적으로 매우 어렵다.[12] 따라서 보다 본질적인 해결을 위해서는 포장 및 운송량과 관련된 규정 및 절차 수립과 더불어 리튬 전지로 인한 화재에 대한 새로운 소화방법을 개발 혹은 할론의 대체물질에 리튬 전지로 인한 화재를 진압할 수 있도록 요구 조건을 부여하는 것이 필요하다. 현재 미국과 유럽의 감항당국에서는 할론 대체제의 인증을 위해 현재 사용되고 있는 할론에 대한 기준을 적용하여 평가를 하고 있다. 해당 기준에는 평가 항목으로 소화제 자체가 아니라 소화제가 포함된 시스템이 화물실의 화재를 얼마나 잘 진압하느냐와 화재 발생시 항공기가 안전하게 착륙할 수 있는가에 초점을 맞추어 소화제 분출 및 확산 속도, 화물실 내 소화제 최소 밀도 유지 시간, 소화제 분출 시간 등을 규정하고 있다.[17] 이는 이미 알려진 할론의 소화 특성을 기반으로 하여 소화설비가 설계되었음을 가정한 상태에서는 의미있는 접근 방법이나 신규 물질의 소화특성이 아직 완벽하게 확인되지 않은 상태이며 또한 할론의 적용 이후 사용하기 시작한 수많은 위험물의 화재에 대해서 충분한 소화능력이 있음을 입증하는 방법이라고 보긴 어렵다. 따라서 각종 위험물의 화재 특성과 소화 특성을 연구하고 그에 따라 소화제의 최소성능표준을 수립한 후 그에 따라 소화제를 인정하는 방법으로 제도를 개선할 필요가 있는 것으로 판단된다.

III. 결 론

현재 우리나라는 리튬 전지의 개발과 생산에

있어 세계적으로 비중이 매우 높은 국가이다. 또한 리튬 전지를 사용한 각종 휴대 전자 기기의 개발과 생산 및 수출 또한 무척이나 활발하다. 그에 따라 우리나라의 리튬 배터리 항공 운송량 또한 상승하고 있는 추세이며 향후 더 급격히 상승할 것으로 예측된다. 따라서 위험물로 분류되는 리튬 전지의 안전한 항공 운송 방법 및 화재 발생 시 적절한 소화 방안을 강구하는 것이 필요하다.

이미 형식증명이 되어 운용 중인 항공기의 소화 계통에 적용된 할론은 리튬 전지의 소화에 부분적으로만 기여할 수 있음이 확인되었다. 한편, 현재 진행 중인 환경 보호 협약에 따라 할론을 대체하기 위한 항공용 소화 물질의 개발 및 인증이 진행 중이나 아직 화물실에 대한 완벽한 대체 물질은 개발되지 못한 상태이다. 대체물질의 인증에는 현재 사용되는 최소성능표준을 적용하기 때문에 화재 가능성이 높은 리튬 전지의 소화특성을 반영한 최소성능표준은 적용되고 있지 못한 실정이다. 따라서 보다 안전한 리튬전지 항공 운송을 위해서는 리튬 전지의 소화 특성에 대한 연구가 더 수행되어 관련 요구조건이 최소성능표준에 포함될 필요가 있다.

Reference

- [1] Hyunmyung Joe, "A Study on Air Transportation of Lithium Batteries", Aviation Development Vol.60 pp.127-143, 2012.
- [2] Chemical Terms Dictionary Editing Committee, "Chemical Terms Dictionary", Il-jinsa, p.524, 2003.
- [3] ICAO, "Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air", www.icao.int, 2011
- [4] UN, "UN Recommendations on the Transport Dangerous Goods - Model Regulation", www.unece.org, 2015
- [5] IATA, "Dangerous Goods Regulations", www.iata.org, 2017
- [6] MOLIT, Order 2015-1086 "Korean Dangerous Goods Air Transportation Standards", www.molit.go.kr, 2015
- [7] MOLIT, Order 2016-1004 "Korean Airworthiness Standards", www.molit.go.kr, 2016
- [8] FAA, 14 CFR Part 25 §25.857, www.faa.gov, 2016
- [9] FAA, DOT/FAA/AR-10/31 "Fire Protection for the Shipment of Lithium Batteries in Aircraft Cargo Compartments", www.faa.gov, 2010
- [10] MOLIT, Order 2015-609, "Standards for Aircraft Technical Standard Order Authorization", www.molit.go.kr, 2016
- [11] NFPA, NFPA-484 "Standard for Combustible Metal", www.nepa.gov, 2015
- [12] Gang-jun Lee, "A Study on How to harmonize Amended ICAO Annex 18 (Dangerous Goods Air Transportation) to Korean Regulation", www.prism.go.kr, 2015
- [13] FAA, "FAA Halon ARC Final Report", 2014
- [14] ICAO, "Update on the Development of Halon Alternatives for Fire Suppression System", 2016
- [15] Boeing, "Replacing Halon in Fire Protection Systems: a Progress report", 2011
- [16] FAA, SAFO 16001 "Risks of Fire or Explosion when Transporting Lithium Ion or Lithium Metal Batteries as Cargo on Passenger and Cargo Aircraft", www.faa.gov, 2016
- [17] FAA, AC 25.851-1 "Built-in Fire Extinguishing /Suppression Systems in Class C and Class F Cargo Compartments", www.faa.gov, 2016