

# 극저온에서의 효율적 항공시동용 BMS를 위한 사전 전기적 실험 분석

김건우\*, 김종훈\*, 김용재\*\*, 장두철\*\*  
 충남대학교 전기공학과\*, 이지파워\*\*

## Electrical Experimental Analysis for Efficient Aircraft Starting BMS at Extremely Low Temperature

K. W. Kim\*, J. H. Kim\*, Y. J. Kim\*\*, D. C. Jang\*\*

Department of Electrical Engineering, Chungnam National University\*, EGpower\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는, 극저온(32°C)에서 항공기의 초기 시동 및 이의 효율성을 높이기 위한 배터리관리시스템(BMS)의 사전 전기적 특성실험 및 이의 체계적 분석을 실시하였다. 항공기 초기 시동에 사용되는 리튬계열 배터리로서 원통형(cylindrical) 셀을 선택하되, 초기 시동을 위한 순간의 고출력이 가능한 6개의 셀을 수집하였다. 각 셀의 배터리팩(2S2P 및 4S4P) 형태로 구축하고 32°C에서의 저온 방전 실험을 통해 항공기의 초기 시동용 배터리팩에 사용되는 원통형 셀의 선택 및 이의 강인함을 확인할 수 있다. 추가적으로 배터리팩의 설계 및 이의 배터리관리시스템을 위한 초기 정보로서 중요하리라 판단된다.

본 논문에서는, 극저온(32°C)에서 항공기의 초기 시동이 가능한 배터리팩의 설계 및 이의 효율적 운용을 위한 배터리관리시스템(battery management system; BMS) 설계를 위한 원통형(cylindrical) 셀의 여러 전기적 특성실험 및 분석을 실시하였다. 초기 시동을 위해서는 순간의 고출력이 요구되므로, 고출력용(LiNiCoAlO<sub>2</sub>) 원통형 셀을 6종류(회사별 2종류) 선택하고 이를 2S2P 형태의 배터리팩을 구축하였다. 32°C에서의 저온 방전 실험을 실시하여, 이에 따른 각 원통형 셀의 전기적 특성 변화 추이를 확인하였다. 추가적으로, 선택된 셀을 이용하여 4S4P 배터리팩을 구축하고, 이의 저온 방전 실험 결과로부터, 향후 항공기에 적용될 배터리팩의 설계 타당성을 검토하였다.

### 1. 서 론

전 세계적으로 화석연료 사용에 의한 환경오염의 심각성이 날이 증가하고 있으며, 이를 해결하기 위한 신재생에너지원과 에너지저장장치(배터리)의 역할이 크게 대두되고 있다[1]. 기존 전기자동차, 에너지저장장치 등의 전력구동용 어플리케이션에 사용되는 배터리의 가용성은 국방(잠수함/탱크), 우주(발사체/인공위성) 및 항공(비행기/전투기)용으로 확대되고 있다. 특히, 항공용 배터리의 경우, 초기 시동을 위한 목적으로 기존의 니켈카드뮴(Ni Cd)에서 고출력/고용량이 가능한 리튬계열 배터리의 사용이 매우 활발하다(그림 1 참고). 이러한, 항공기의 초기 시동은 겨울철 저온에 따른 배터리의 전기화학적 특성의 상이함(방전용량 저하, 내부저항 증가 등)으로 시동 전력 공급에 어려움이 존재한다. 그러므로, 항공기의 초기 시동이 원활히 가능한 배터리의 선택이 반드시 필수적이며, 다양한 전기적 특성실험을 통해 이의 체계적 분석이 반드시 요구된다.

### 2. 연구결과 및 분석

구분	INR 18650-20R (SAMSUNG)	INR 18650-25R (SAMSUNG)	18650HE2 (LG)	구분	18650HE4 (LG)	NCR18650PF (Panasonic)	NCR18650B (Panasonic)
Nominal discharge capacity	2000mAh	2500mAh	2500mAh	Nominal discharge capacity	2300mAh	2300mAh	2200mAh
Nominal voltage	3.6V	3.6V	3.6V	Nominal voltage	3.6V	3.6V	3.6V
Standard charge	CCCV 1A, 4.20±0.05V	CCCV 1A, 4.20±0.05V	CCCV 1.25A, 4.20±0.05V	Standard charge	CCCV 1.25A, 4.20±0.05V	CCCV 1.5A, 4.20±0.05V	CCCV 1.63A, 4.20±0.05V
Rapid charge	CCCV 0.4, 4.20±0.05V	CCCV 0.4, 4.20±0.05V	CCCV 0.4, 4.20±0.05V	Rapid charge	CCCV 0.4, 4.20±0.05V	CCCV 0.4, 4.20±0.05V	CCCV 0.4, 4.20±0.05V
Charging time	Standard charge: 200min / 200mA Rapid charge: 100min / 1000mA	Standard charge: 200min / 200mA Rapid charge: 100min / 1000mA	Standard charge: 200min / 200mA Rapid charge: 100min / 1000mA	Charging time	Standard charge: 200min / 200mA Rapid charge: 100min / 1000mA	Standard charge: 200min / 200mA Rapid charge: 100min / 1000mA	Standard charge: 200min / 200mA Rapid charge: 100min / 1000mA
Max. Continuous discharge (Continuous)	20A	20A	20A	Max. Continuous discharge (Continuous)	20A	10A	10A
Discharge cut-off voltage (End of discharge)	2.5V	2.5V	2.5V	Discharge cut-off voltage (End of discharge)	2.5V	2.5V	2.5V
Cell weight	45g	45g	48g	Cell weight	47g	46.5g	46.5g

그림 2 6종류 고출력 원통형 셀(LiNiCoAlO<sub>2</sub>; NCA)



그림 1 항공기용 배터리 기술 발전 추세



그림 3 배터리팩의 저온 방전 실험(-32°C)세트

그림 2는 해당 연구에 적용된 6종류의 고출력 원통형 셀을 나타낸다. 초기 시동에 사용되는 원통형 셀 선택의 다양성을 위해 총 6종류(배터리 회사별 2개 씩; 삼성SDI 20R/25R, LG화학 HE2/HE4, 파나소닉 PF/B)를 선택하였다. 항공기의 초기 시동에 적용되는 배터리팩이 원통형 셀의 직병렬조합인 만큼, 기본 저온 방전 실험을 위해 2S2P 형태의 간단한 배터리팩을 구

축하였다. 32°C에서 배터리팩을 24시간 보관한 후, 각 셀의 specification 조건을 통해 선택된 전류인 50A의 부하를 3초간 적용하여 저온 방전 실험을 실시하였다. 동일 온도 및 전류 조건에서 전압변화(내부저항)의 상이함이 관찰되었고, 이 중 20R 원통형 셀 기반의 배터리팩 전압 변화가 가장 작게 측정되었다. 이를 통해, 32°C에서 항공기 초기 시동을 위한 배터리팩 설계를 위한 원통형 셀의 선택을 20R로 확정하였다.

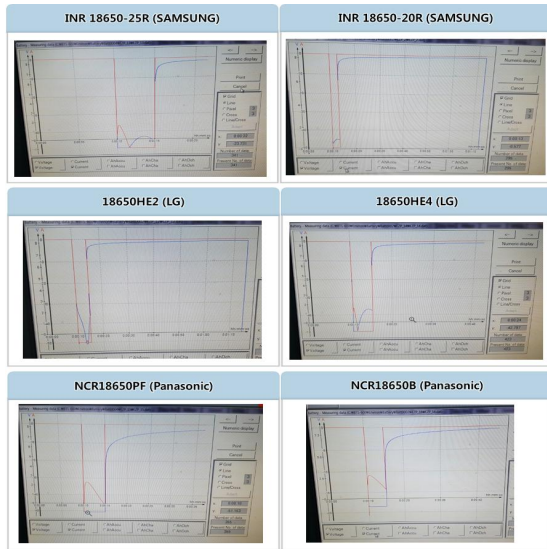


그림 4 배터리팩(2S2P)의 저온 방전 실험(-32°C) 결과

선택된 20R셀을 이용하여 배터리팩 설계 시, 저온 32°C에서 증가된 방전 전류를 적용 시 배터리팩의 전기적 특성실험을 추가로 실시하였다. 증가된 방전 전류의 유입이 가능하기 위해서는 배터리팩의 확장이 불가피하므로, 앞의 실험에서의 2S2P 보다는 확장된 형태인 4S4P를 설계하였다. 32°C에서 24시간 배터리팩을 보관하는 조건은 동일하나 4S4P의 방전 시험을 위해 100A의 부하를 3초간 걸어주었고, 이에 따른 전압변화를 관찰하였다. 그림 5는 20R셀 16개의 직병렬조합을 통해 구축된 4S4P 배터리팩을 나타낸다. 실험 결과, 초기 전압(OCV) 16.7V에서 7.5V로의 전압변화가 관찰되었으며, 이는 상온에서의 전압변화보다 현저히 큼을 알 수 있다(그림 6).

위의 실험 결과는 항공기의 초기 시동을 위한 배터리팩 설계의 중요 가이드라인을 제공한다. 예를 들어, 임의의 배터리팩에서 요구되는 전류, 방전 하한 전압 및 이에 따른 방전용량을 얻기 위한 배터리팩의 직렬 및 병렬조합을 위한 최적 구성이 필수적이다. 직렬조합 및 병렬조합 구성의 증가에 따라 각각 배터리팩의 출력전압 및 방전용량이 증가하게 되는데, 이러한 경향성이 상온 기준이므로, 극저온에서는 직렬 혹은 병렬조합 구성의 수정이 불가피하다. 극저온에서는, 배터리의 내부 전기화학적 특성이 위축되고, 이에 따른 충방전 효율 저하 및 방전 용량 감소가 일어나므로, 상온에서의 배터리팩의 출력 조건이 반드시 동일하게 일어나지 않는다. 즉, 상온에서의 요구되는 전류 C rate보다 더 높은 C rate가 가능하도록 배터리팩의 병렬조합 구성의 증가가 요구된다. 하지만, 이러한 증가는 배터리팩의 한정된 공간으로 인해 더 이상 불가하다. 또한, 극저온일 시 전압변화가 증가하고 이에 따라 방전 하한 전압에 도달될 우려에 따라 직렬조합 구성을 증가하여 전체적인 출력 전압을 높이는 것도, 위의 병렬조합 구성 증가에 따른 단점과 유사하다.



그림 5 20R셀 16개의 직병렬조합 기반 배터리팩(4S4P)

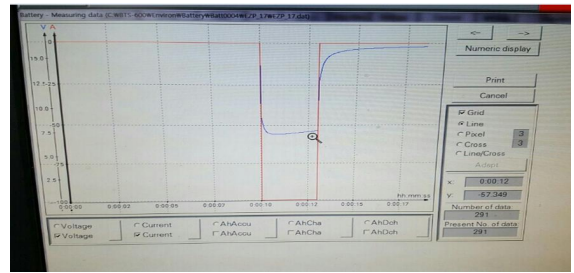


그림 6 배터리팩(4S4P)의 저온 방전 실험(-32°C) 결과

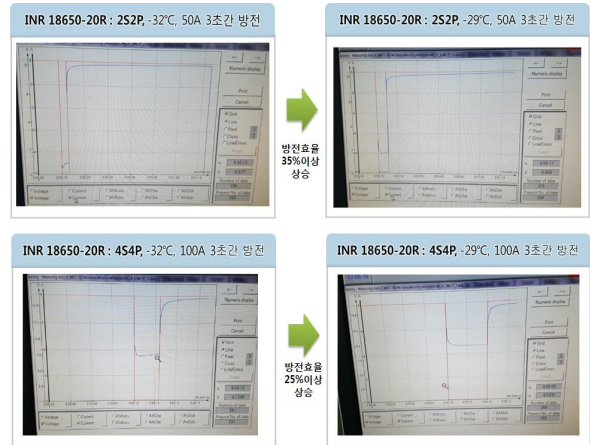


그림 7 배터리팩(4S4P)의 저온 방전 실험 시 온도 개선 결과

배터리팩의 직렬 및 병렬조합 구성의 증가 없이 설계된 배터리팩 내부의 온도 상승 조치를 통해 배터리팩의 충전 및 방전효율을 높일 수 있다. 그림 7은 극저온 실험조건을 32°C에서 29°C로 변경하였을 때, 방전효율과 충전효율이 각각 35%와 25% 상승되었음을 보여주는 결과이다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는, 극저온(32°C)에서 항공기의 초기 시동 및 이의 효율성을 높이기 위한 배터리관리시스템(BMS)의 사전 전기적 특성실험 및 이의 체계적 분석을 실시하였다.

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 연구결과입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] M. Coleman, C. H. Lee, C. Zhu, and W. G. Hurley, "State-of-Charge Determination From Voltage Estimation: Using Impedance, Terminal Voltage and Current for Lead-Acid and Lithium-ion Batteries,"