

T-50 계열 항공기 배터리 시스템의 충전제어장치 알고리즘 개선에 관한 연구

김재정¹ · 이순영^{2,†}

¹한국항공우주산업

²경상국립대학교 전기공학과

A Study on the Development of Charging Algorithm for Battery Charger Control Unit of the T-50 Series Aircraft

Jaejeong Kim¹, Soonyoung Lee^{2,†}

¹Korea Aerospace Industries

²Dept. of Electrical Engineering, Gyeongsang National University

Abstract

Aircraft battery is the core equipment of an aircraft that supplies engine starting power and emergency power, and it must be charged to ensure sufficient capacity at all times and maintain high reliability to ensure stable power supply. The battery of the T-50 series aircraft is designed to enable the engine to start up to two times in temperatures as low as -18°C and above. However, intermittent failures in engine starting have been observed during winter. In this paper, we analyze the failure phenomena occurring during low-temperature charging of the battery and improve the charging algorithm based on the analysis and test. Additionally, the results of start simulation tests show that the battery charging defects at low temperatures are resolved, and an improvement in the charging performance is confirmed; thus, validating the effectiveness of the new algorithm.

초 록

항공기 배터리는 항공기의 엔진 시동 전원 및 비상 전원을 공급하는 역할을 하는 핵심 장비이다. 배터리는 안정적인 전원 공급을 위해 언제나 충분한 용량을 보장하도록 충전되어야 하며 높은 신뢰성을 유지해야 한다. T-50 계열 항공기 배터리는 -18°C 이상의 낮은 온도에서 엔진을 최대 2회 시동할 수 있도록 설계하였으나, 겨울철에 엔진 시동에 실패하는 현상이 간헐적으로 발생하였다. 이에 본 논문에서는 배터리의 저온 충전 시 발생하는 실패 현상에 대하여 분석 및 시험을 수행하고 이를 바탕으로 충전 알고리즘을 개선하였다. 또한 저온시동 모사시험을 수행한 결과 저온에서의 배터리 충전 결함이 해결되었으며 충전 성능 향상이 확인되어 새로운 알고리즘의 개선을 확인하였다.

Key Words : Ni-Cd Battery(니켈-카드뮴 배터리), Battery Charger Control Unit(배터리 충전제어장치), Charging Algorithm(충전알고리즘)

1. 서 론

항공기 배터리는 주 전원인 발전기가 작동하기 전에는 엔진 시동, 캐노피 작동 등에 필요한 전력을 공급하고, 주 전원 결함 조건에서는 비상착륙을 위한 비행

필수장비에 비상 전력을 공급하는 핵심 장비이다. 이러한 항공기 배터리는 겨울철 저온 운용, 엔진 시동 전류 공급을 위한 고율 방전, 비상 전력 공급을 위한 충전용량 유지 등 결함 발생률이 낮은 높은 운용 신뢰성이 요구되며 이러한 요구조건은 각종 규격서에 의하여 관리되고 있다[1-3].

T-50계열 항공기의 배터리 시스템은 배터리와 충전 제어장치(BCCU, Battery Charger Control Unit), 그리고 장착을 위한 트레이로 구성된다. 배터리는 정비

Received: Nov. 16, 2023 Revised: Nov. 27, 2023 Accepted: Nov. 29, 2023

† Corresponding Author

Tel: +82-55-772-1711, E-mail: leesy@gnu.ac.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

불필요형, Ni-Cd Type으로 용량은 23 AH 이다. 충전제어장치는 배터리 온도를 측정하여 온도에 맞는 충전전류를 정해서 정전류 방식으로 충전한다. 1차 충전(일반충전 모드) 시 정격용량에 맞는 23 A의 고전류로 충전하고, 배터리 전압이 일정 전압에 도달하면 2차 충전(과충전 모드)으로 넘어가는데, 2차 충전은 1차 충전에서 부족한 부분을 보충하는 개념으로 저전류(4.6 A)로 충전한다. 이런 방식을 통해 충전제어장치는 배터리의 과충전을 방지한다. 과충전 모드의 시간이 길어지면 전해액의 증발로 인하여 배터리 수명이 단축되는 현상이 발생할 수 있으므로 배터리 특성에 맞는 적절한 충전 알고리즘 개발이 중요하다.

T-50 계열 항공기는 초기 해외업체의 배터리 시스템을 적용하다가, 2013년 이후 FA-50 경공격기부터 국내기술 확보 및 원가절감을 위하여 국산 배터리 시스템을 신규 개발하여 적용하였다. 국산 배터리는 기존 해외제품을 대체할 수 있도록 동일한 23 AH 용량의 Ni-Cd Type의 배터리를 적용하였다. T-50 계열 항공기의 배터리는 공군의 요구도에 따라 외기온도 -18°C 이상의 낮은 기온에서 엔진을 최대 2회 시동할 수 있도록 설계하였으나, 국산 배터리 시스템을 사용한 이후 겨울철에 간헐적으로 배터리 충전 용량 부족으로 인한 엔진 시동 실패 현상이 발생하였다. 이에 본 논문에서는 배터리의 저온 충전 시 발생하는 실패 현상을 분석하고 이를 바탕으로 새로운 충전 알고리즘을 개발하였다. 또한 개선된 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 저온시동 모사시험을 수행한 결과 충전 성능이 향상되어 저온 충전 결함 문제가 해결되었음을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 기존 충전 알고리즘 분석

T-50 계열에 사용하는 국산 배터리도 해외제품과 마찬가지로 -18°C 이상에서 엔진 시동이 2회 가능하도록 개발하였으나, 겨울철에 엔진 시동에 실패하는 현상이 간헐적으로 발생하였다. T-50계열 항공기의 엔진 시동을 제어하는 ECU(Electrical Control Unit, 전자 제어장치)는 시동 모터의 입력전압이 9.8 V 이하로 떨어지면 엔진 시동을 자동으로 중지하도록 설계되

어 있다. -18°C 이하의 저온에서는 배터리 성능저하로 인하여 ECU 입력전압이 9.8 V 이하로 강하될 수 있고, -18°C 이상의 온도에서도 배터리 충전상태에 따라 9.8 V 이하로 전압이 떨어질 수 있는데, 이때 엔진 시동에 실패하게 된다. 엔진 시동 결함이 발생한 배터리를 확인한 결과, 결함이 발생하기 전 충분한 충전 시간이 있었음에도 방전 시험 결과 충전용량이 매우 낮아, 23 AH 정격용량을 만족하지 못했다. 이는 저온에서는 배터리 충전에 문제가 발생하는 것으로 생각되었다.

국산 BCCU의 배터리 충전 알고리즘은 Table 1과 같다. 배터리는 일반충전 모드(1차 충전)로 충전이 시작되고, 전압이 최대 충전전압에 도달하면 과충전 모드(2차 충전)로 변경된다. 과충전 모드는 배터리 충전 최대전압을 넘지 않는 범위 내에서 4.6 A 정전류로 배터리를 충전한다. 배터리 전압이 최대 충전전압에 도달했다는 것은 배터리 셀이 최대로 충전되었음을 의미하므로 충전이 종료된다. 일반충전 모드에서 충전 초기 5분을 제외하고 배터리 온도 상승률이 $0.6^{\circ}\text{C}/2$ 분 이상이 되면 최대 충전전압에 도달하지 못했거나 최대 충전 시간에 도달하지 못했더라도 과충전 모드로 충전모드를 변경한다.

Table 1 Charging Algorithm for the BCCU

Charge Mode	Battery Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Max. Charge Current (A)	Max. Charge Voltage (V)	Max. Charge Time (Minute)
Normal Charge Mode	$-40 \leq T < -20$	4.6	32.6	400
	$-20 \leq T < 10$	23		90
	$10 \leq T < 20$		31.6	
	$20 \leq T < 30$		30.6	
	$30 \leq T < 40$		29.6	
	$40 \leq T < 50$		28.6	
	$50 \leq T < 60$		28.0	
Over-Charge Mode	$-40 \leq T < -20$	4.6	32.6	60
	$-20 \leq T < 60$			5

저온 조건에서 배터리의 정상 충전 여부를 확인하기 위하여 온도별 충전시험을 수행하였다. 먼저 배터리 시동 최저 온도인 -18°C 에서 실험을 수행하였다. 충전 알고리즘에 따라 일반충전 모드 23 A의 전류로 충전 실험한 결과, Fig. 1과 같이 전압이 급상승하면서

최대 충전전압 32.6 V에 도달한 후, 과충전 모드로 조기 변경되었다. 과충전 모드에서는 일반충전 모드 시간 + 5분만 충전하므로 충전이 약 6분 만에 종료되었으며, 이 결과로 충전이 제대로 되지 않는 현상이 확인되었다. 3번의 시험에서 모두 같은 결과를 보였다.

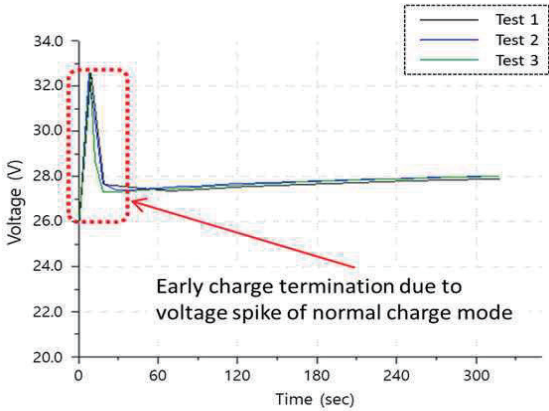


Fig. 1 Voltage Surge in Low Temperature Charging

2.2 개선된 충전 알고리즘 시험 결과

저온 조건에서 전압 급상승하는 현상이 발생하지 않는 온도별 최적의 배터리 충전전류를 확인하기 위하여 일반충전 모드 전류시험을 수행하였다.

-20 °C 미만에서는 일반충전 모드 4.6 A로 충전 시 Fig. 2와 같이 전압 급상승 현상이 발생하지 않고 정상적으로 충전됨을 확인하였다.

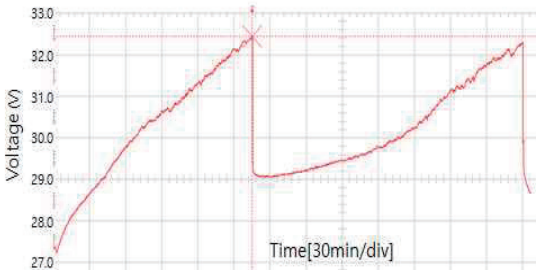


Fig. 2 Charging Test Result(-30 °C, 4.6 A)

-20 °C 에서 일반충전 모드 6.9 A로 충전 시 Fig. 3과 같이 전압 급상승 현상이 발생하지 않고 정상적으로 충전됨이 확인되었다.

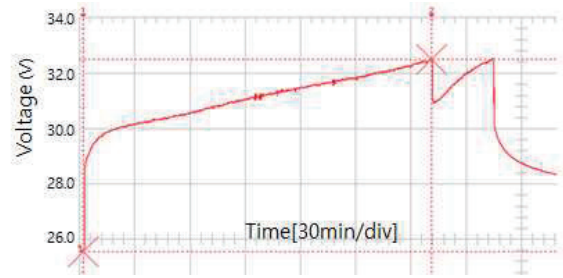


Fig. 3 Charging Test Result(-20 °C, 6.9 A)

-10 °C에서 일반충전 모드 11.5 A로 충전 시 Fig. 4와 같이 전압 급상승 현상이 발생하지 않고 정상 충전됨이 확인되었다.

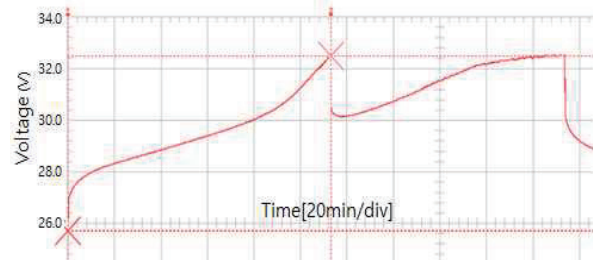


Fig. 4 Charging Test Result(-10 °C, 11.5 A)

-5 °C에서는 기존 충전 알고리즘의 일반충전 모드 23 A로 충전하여도 Fig. 5와 같이 전압 급상승 현상이 발생하지 않고 정상 충전됨이 확인되었다.

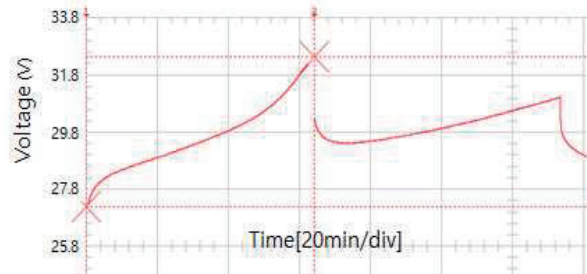


Fig. 5 Charging Test Result(-5 °C, 23 A)

-20 °C ~ -40 °C 구간의 과충전 모드 충전전류는 일반충전과 같은 4.6 A이므로 과충전 모드가 무의미하다. 따라서 일반 충전이 충분히 이루어지지 않는 경우를 고려해 충전전류를 2.3 A로 적용하면 충전 성능이 확보 가능하다고 생각하였으며, Fig. 6과 같이 시험을 통하여 검증하였다.

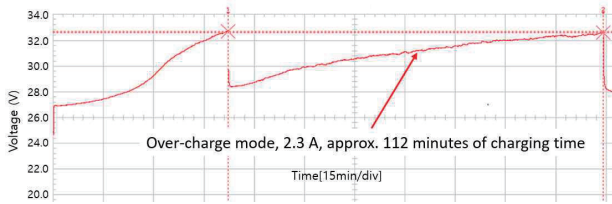


Fig. 6 Charging Test Result(-30 °C, 2.3 A)

기존 충전 알고리즘에서는 충전 시작 시 온도에 따라 충전전류가 결정된 후 충전이 끝날 때까지 전류값이 유지되었다. 충전 중 배터리 온도가 상승하면 충전전류를 변경하여 충전량을 증가시킬 수 있을 것으로 생각되어, 매 1분 마다 온도를 측정하여 전류값을 결정하도록 알고리즘을 개선하였다. 충전 알고리즘을 변경하여 Fig. 7과 같이 -12 °C에서 +3 °C까지 온도를 변화시키며 시험한 결과 충전 중 온도 구간 변경 시 충전전류가 변경되어 충전량이 증가함을 확인하였다.

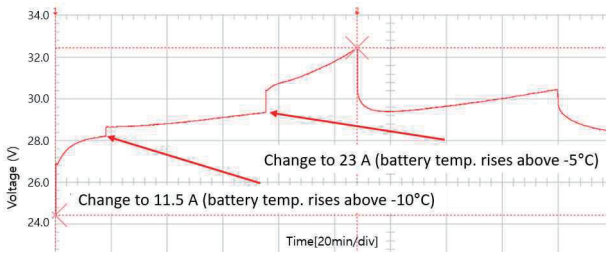


Fig. 7 Charging Test Result(-12 °C → +3 °C)

2.3 알고리즘 개선 및 결과

기존 충전 알고리즘에서는 저온 조건에서 높은 전류로 충전할 경우 전압 급상승으로 인하여 충전이 조기 종료되는 현상이 발생하였다. 이를 해결하기 위해 온도별 저온 충전 시험을 통하여 최적의 저온 충전 전류값을 도출하였다. 이에 따라 저온 충전 알고리즘을 온도 범위에 따라 충전전류를 일반충전 모드는 기존 2단계에서 4단계로, 과충전 모드는 기존 1단계에서 2단계로 변경하였다. 또한 충전 중 1분 마다 온도를 측정하여 배터리 온도가 상승하면 충전전류를 증가시키도록 충전 알고리즘을 변경하였다. 개선된 충전 알고리즘을 Table 2에 보였다.

개선된 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 온도챔버를 사용하여 저온시동 모사시험을 수행하였다. -18

°C 조건에서 3종류의 충전상태(100%, 80%, 60%)로 엔진 시동 시험을 수행하였으며 결과를 Fig. 8 ~ Fig. 10에 보였다. 그림에서 보듯이 일반충전 모드에서 전압 급상승 현상이 발생하지 않았고 엔진 시동에 모두 성공하였음을 알 수 있다. 또한 시동 시의 전압강하도 MIL-STD-704F에서 허용하고 있는 12 V 이상이고 [4], MIL-HDBK-704의 시험조건인 30초 이내로서 규격을 만족하고 있다[5].

Table 2 Improved Charging Algorithm

Charge Mode	Battery Temp. (°C)	Max. Charge Current (A)	Max. Charge Voltage (V)	Max. Charge Time (Minute)		
Normal Charge Mode	-40 ≤ T < -20	4.6	32.6	400		
	-20 ≤ T < -10	6.9		90		
	-10 ≤ T < -5	11.5		90		
		-5 ≤ T < 10	23.0	32.6	90	
		10 ≤ T < 20				31.6
		20 ≤ T < 30				30.6
		30 ≤ T < 40				29.6
40 ≤ T < 50		28.6				
50 ≤ T < 60	28.0					
Over-Charge Mode	-40 ≤ T < -20	2.3	32.6	60		
	-20 ≤ T < 60	4.6		5		

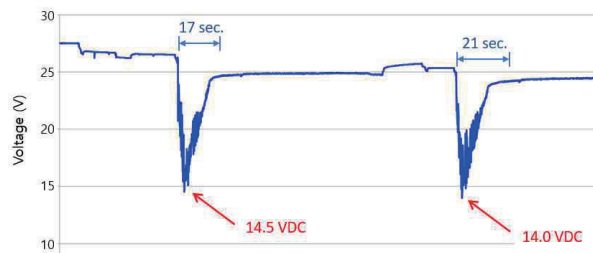


Fig. 8 Aircraft Engine Starting Test at 100% Charge Level

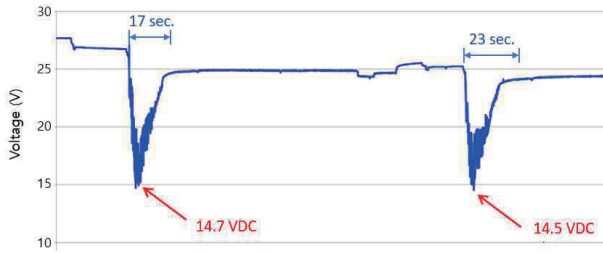


Fig. 9 Aircraft Engine Starting Test at 80% Charge Level

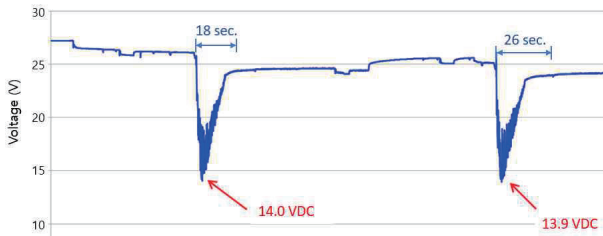


Fig. 10 Aircraft Engine Starting Test at 60% Charge Level

3. 결 론

항공기 배터리는 엔진 시동, 캐노피 작동 등에 필요한 전력을 공급하고, 주 전원이 고장 날 경우 비상착륙을 위한 비행 필수장비에 비상 전력을 공급하는 핵심 장비이다.

T-50 계열 항공기 배터리 시스템은 운용 중 다양한 문제가 발생하였으며 특히 -18°C 이상의 낮은 기온에서 엔진을 최대 2회 시동할 수 있도록 설계하였으나, 겨울철에 간헐적으로 엔진 시동에 실패하는 현상이 발생하였다. 이에 본 논문에서는 배터리의 저온 충전 시 발생하는 실패 현상을 분석하고 이를 바탕으로 충전 알고리즘을 개선하였다. 온도 범위에 따라 충전 전류를 일반충전 모드는 기존 2단계에서 4단계로, 과충전 모드는 기존 1단계에서 2단계로 변경하여 저온 충전 시 발생하는 전압 급상승 문제를 해결하였다.

또한 충전 중 배터리 온도가 상승하면 매 1분마다 배터리 온도를 측정하여 배터리 온도가 상승하면 충전 전류를 증가시키도록 충전 알고리즘을 개선하였고, 충전량을 증가시킬 수 있었다.

저온시동 모사시험을 수행한 결과 저온에서의 배터리 충전 결함이 해결되었으며 충전 성능 향상이 확인되어 새로운 알고리즘의 성능을 확인할 수 있었다.

References

- [1] Department of Defense Handbook, MIL-HDBK-516C, December, 2014.
- [2] Department of Defense Military Specification, MIL-E-7016F, July, 1976.
- [3] Department of Defense Joint Services Specification Guide, JSSG-2009, October, 1998.
- [4] Department of Defense Interface Standard, MIL-STD-704F w/Change 1, December, 2016.
- [5] Department of Defense Handbook, MIL-HDBK-704, April, 2004.