

KTX Ni-Cd 배터리 재생기술에 관한 연구

A Study on the Regeneration Technology of KTX Ni-Cd Battery

홍영선*, 정휴재*, 박태용*†

Young-Seon Hong, Hyu-Jae Jeong, Tae-Yong Park

초 록 니켈-카드뮴(Ni-Cd) 배터리는 산업용으로 오랜 기간 활용되었으나, 충방전 주기에 따른 성능 저하와 메모리 효과로 인해 많은 양이 폐기되고 있다. 이는 환경적인 부담 뿐 아니라 자원 낭비의 문제를 야기한다. 본 논문은 KTX에 사용되고 있는 Ni-Cd 배터리의 주요 성능 저하 원인을 분석하고, 이를 극복하기 위한 재생 기술을 알아보고 적절한 재생기술을 적용하여 10년 주기로 교환되고 있는 KTX Ni-Cd 배터리를 재생하여 평가하였다. 또한 재생기술의 경제적 이점과 환경적 영향을 논의하며, 재생한 배터리의 재사용에 대한 의견을 제시하였다.

주요어 : 배터리 재생기술, Ni-Cd 배터리, KTX Ni-Cd 배터리

1. 서 론

KTX에 적용되고 있는 배터리는 동력차에는 54셀, 객차에는 56셀로 구성되어 있으며, 동력차는 금속 케이스를 적용하고, 객차에는 플라스틱 케이스를 사용한다. Ni-Cd 배터리는 장시간 사용시 Cd 극판의 경화와 탄산칼륨이 발생되어 성능이 저하되며, 방전종지 전압이 1.06[V] 이하가 되면 불용으로 처리한다. Ni-Cd 배터리의 셀당 전압은 1.2[V]이며, 배터리를 장시간 사용시 특정셀이 1.1[V]가 최대로 인식하여 전압을 1.1[V] 까지만 충전하는 현상이 발생할 수 있는데 이를 메모리 효과라 한다. 이러한 메모리 효과가 발생하면 배터리의 성능이 저하된다. 배터리 재생 작업은 Ni-Cd 배터리의 장기사용에 의해 나타나는 Cd 극판의 경화, 탄산칼륨 발생, 메모리 효과를 제거하여 성능을 회복하는 작업을 말한다. 본 연구에서는 KTX에 사용되고 있는 Ni-Cd 배터리를 재생작업을 통해 성능을 확인하여 재사용 가능여부를 확인하고자 한다.

2. 본 론

2.1 KTX Ni-Cd 배터리의 특징

KTX Ni-Cd 배터리는 동력차와 객차에 설치되어 있으며 동력차 배터리는 동력차와 동력 객차에 각 한 세트씩 총 6세트가 설치되어 있으며, 객차는 TR3호, TR9호, TR10호, TR16호에 각각 한 세트씩 총 4세트가 설치되어 있다. 셀당 전압은 1.2[V]로 동력차는 54셀로 64.8[V], 객차는 56셀로 67.2[V]이다. 배터리의 용도는 동력차의 경우 최초 기동시에 보조공기 압축기를 구동하여 팬터그래프 상승과 주회로차단기(MCB) 투입, 화재감지장치에 압축공기를 공급한다. 객차의 배터리는 비상전원과 절연구간 통과시 공조장치와 제어전원으로 사용된다. 객차배터리의 경우 TR3호와 TR9호, TR10호와 TR16호의 배터리가 상호 보완적이다.

2.2 Ni-Cd 배터리의 구조 및 작동 원리

Ni-Cd 배터리는 소결식 Ni(OH)_2 양극과 페이스트식 Cd 음극을 세퍼레이터로 격리하고 와인딩된 전극 구성품을 금속 용기에 관입하여 수산화 칼륨 수용액으로 된 전해액을 주입한 밀폐 구조로 되어 있다. Table 1은 Ni-Cd 배터리의 기전 반응을 보여주고 있다.

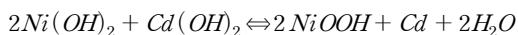
*교신저자 : 한국철도공사

(inopark@naver.com)

Table 1. Ni-Cd 배터리의 기전 반응

작용물질	충전상태	방전상태
양극	NiOOH	Ni(OH) ₂
음극	Cd	Cd(OH) ₂
전해액	KOH	

충전상태에서는 양극 활물질을 O₂O₂ 수산화니켈, 음극 활물질은 금속 카드뮴인데, 방전하면 양극 활물질은 환원되어서 수산화니켈로 음극 활물질은 수산화카드뮴으로 된다. 이 반응은 일반적으로 다음과 같은 식으로 나타낸다.



전지의 기전 반응에서 전해액인 수산화칼륨(KOH)은 직접 기전 반응에 관여하지 않고, 1 Farady 당 1 몰 (H₂O)이 충전 시에 생성되고, 방전시에 소멸된다. 그러나 이 물의 태동은 반응식에 표시한 것과 같이 간단한 것은 아니지만, 전해액 비중(농도)의 변화는 사실상 무시할 수 있다.

2.3 성능 저하 매커니즘

부분적인 충방전을 반복하면 실제 용량보다 적은 에너지만 사용할 수 있게 되는 메모리 효과와 카드뮴 결정의 성장이 내부 저항을 증가시키는 전극의 비활성화, 충방전 과정에서 발생하는 기체 방출로 전해질 농도가 감소되는 전해질 손실, 반복적인 전기화학 반응으로 양극 및 음극 소재가 화학적으로 변형되는 전극 소재의 열화 등이 있다.

2.4 Ni-Cd 배터리 재생 기술

초음파 진동을 적용하여 전극 표면의 이물질 및 카드뮴 결정을 제거하여 전극 활성도를 회복하고 전해질을 보충하여 전해질이 순실된 배터리에 새로운 KOH 용액을 추가하여 이온 전도도를 회복한다. 전해질 보충 후 깊은 충방전 사이클을 적용하여 배터리를 초기화한다.

펄스 충전법(Pulse Charging)은 고주파 펄

스를 이용하여 전극 표면의 황산화물과 카드뮴 결정을 제거하여 성능을 회복하는 방법으로 메모리 효과를 줄이고 초기 용량을 회복시키는 방법이며, 깊은 방전(Deep Discharge)은 배터리를 완전히 방전시킨 후 일정 전압 까지 충전하는 방법으로 주기적 반복을 통해 메모리 효과를 제거하는 방법이다.

2.5 KTX Ni-Cd 배터리 재생 시험

KTX에 사용되어 수명을 다 한 객차용 Ni-Cd 배터리를 대상으로 2개의 모듈로 분리하여 재생 기술을 적용하여 시험한 결과 모듈 1은 5시간 방전율로 방전 시 회복률이 99[%]를 보였으며, 모듈 2는 5시간 방전율로 방전 시 회복률이 101[%]를 보였다. 본 시험 결과에 따라 KTX Ni-Cd 배터리 재생 시 충분한 성능이 확보되는 것을 확인하였다.

3. 결 론

본 연구를 통해 재생된 배터리는 시험을 통해 초기 성능을 유지할 수 있음이 확인되었다. 따라서 10년마다 교환하고 있는 KTX Ni-Cd 배터리를 재생하여 적용한다면 배터리 교체 비용을 획기적으로 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 Ni-Cd 배터리의 폐기는 카드뮴 누출로 인해 토양과 수질 오염을 유발하나, 재생 기술을 적용하면 배터리의 폐기량 감소와 함께 유해 물질 누출을 방지할 수 있다.

참고문헌

- [1] 김재영(2023), “전기철도차량 부하특성을 고려한 리튬배터리 SoH 추정 연구”, 박사학위 논문, 한국교통대학교 교통대학원.
- [2] 김대원 등 7인(2018). “이온치환 반응을 이용한 니켈-카드뮴 폐이차전지에서 카드뮴의 분리에 대한 연구”, 자원리싸이클링 제 27권 제 4호.
- [3] 장웅성(2004), “폐지로직을 이용한 니켈-카드뮴 축전지의 잔존용량 산출 알고리즘”, 석사학위 논문, 동양대학교 대학원.