

연속전지의 충전 방법에 따른 수명 특성 연구

김조섭*, 홍도형**, 김재언***
충북대학교

Aging Characteristics Analysis of Lead-Acid Batteries According to Charging Method

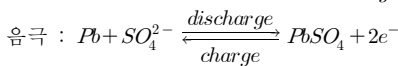
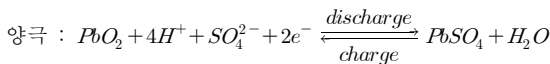
Joseob Kim*, Dohyoung Hong**, Jae-eon Kim***
Chungbuk National University

Abstract - 연속전지는 충전과 방전을 반복함에 따라 그 용량이 감소하는 특성을 보인다. 연속전지의 이러한 특성은 충전/방전 과정에서 전지의 극판에서 일어나는 화학반응 중 충전/방전에 관여하지 않는 비가역적인 반응이 발생하여 극판의 활물질의 감소를 가져오기 때문이다. 본 논문에서는 이러한 비가역적인 반응을 감소시키고 비가역 반응에 의해 생성된 화합물을 분해해 극판의 활물질로 되돌릴 수 있는 shark pulse 파형을 이용한 충전 방법을 제안한다. 제안된 충전방법으로 각기 열화정도가 다른 골프카트용 12V 연속전지를 대상으로 충전실험을 하였고, 방전실험을 통해 그 용량을 측정하였다. 그 결과 실험 대상 축전지는 SoH(State of Health)가 각각 7%와 27% 만큼 개선됨을 확인하였다.

1. 서 론

연속전지는 지게차나 골프 카트와 같은 전기 자동차 및 UPS 등의 전원으로 널리 이용되고 있다. 전기 자동차나 UPS에 있어서 안정된 전원 공급은 제품의 신뢰성에 중요한 영향을 미치므로, 전원으로 사용되는 연속전지의 수명특성의 파악은 아주 중요한 문제이다. [1]

연속전지는 다음과 같은 산화 환원 반응에 의해 전기에너지를 저장한다. [2]



위의 산화 환원 반응에서 볼 수 있듯이 방전 과정에서 황산납(PbSO₄)이 생성되는데, 이 황산납은 충전할 때 분해되는 가역적 황산납이다. 반면, 방전할 때 생성된 황산납 중 여러 가지 원인에 의하여 극판에 고착되어 충전 반응에서 분해되지 않는 비가역적 황산납이 발생하게 된다. 이러한 비가역적 황산납은 연속전지의 용량 감소를 발생시킨다. [2,5]

연속전지의 용량 감소를 극판 그리드의 부식, 활물질의 탈락, 전해질 용액의 물 손실, 활물질의 퇴화, 전해질의 증화, 비가역적 황산납의 형성 등의 요인이 있다. 그 중에서 비가역적 황산납의 형성이 가장 큰 열화요인으로 보고 있다. [3]

결국 연속전지의 수명을 연장시키기 위해서는 비가역적 황산납을 분해하여 충전/방전에 관여하는 납과 황산으로 되돌려야 한다. 이러한 비가역적 황산납을 제거하기 위한 방법으로 전지를 분해하여 물리적으로 극판에 달라붙은 비가역적 황산납을 제거하는 방법과 고주파 펄스 전원을 이용하여 충전하는 방법 등이 제안되어 왔다. [4-6]

기존에 제안된 펄스 충전 방법에서는 저전류와 고전류의 고주파 펄스를 이용하여 충전했을 때의 효과가 입증 되었다. [4-6]

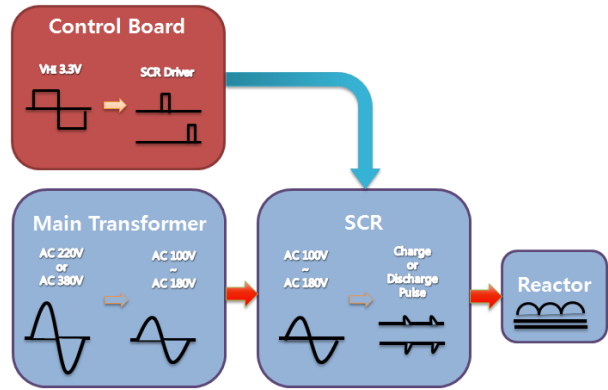
본 논문에서는 고주파의 펄스를 가하기 위해서는 고가의 장비가 필요하기 때문에 상용 AC전원의 60Hz 주파수를 이용하여 연속전지의 수명을 개선하는 방법을 제안한다.

이를 위해 먼저 220V 60Hz의 AC전원을 이용한 충전기의 설계방법과 충전 방식들을 소개한다. 제안된 충전 방식들은 4가지로, 2개의 열화된 연속전지를 대상으로 적용 및 실험을 하고 그 결과를 고찰하기로 한다.

2. 본 론

2.1 충전기 설계

기존의 펄스 충전 방법에서는 1kHz에서 100kHz의 고주파를 이용하여 충전 한다. [6] 이러한 충전을 설계하기 위해서는 복잡한 컨버터와 인버터 그리고 그에 따른 제어기의 설계가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 설계가 간편하고 경제적인 방법으로 60Hz AC전원을 전파 정류한 파형을 저가이고 고용량에 유리한 SCR을 이용한 점호각 제어를 통해 충전하는 방법을 제안한다. <그림 1>은 제안된 충전기의 Block Diagram 이다.



<그림 1> 제안된 충전기 Block Diagram

2.2 충전 알고리즘

일반적으로 연속전지를 충전하는 방법으로 CCCV(Constant Current Constant Voltage)방법을 이용한다. 이 방법은 일정 전류로 축전지 전압이 일정 전압에 도달할 때까지 충전하고, 일정 전압에 도달하면 전류를 제어하여 축전지 전압이 일정 전압을 유지하도록 하여 충전하는 방법을 말한다. [7]

축전지의 용량을 측정할 때는 CCCV방법에 의한 충전을 통해 축전지 전압이 충전 중지전압에 도달하고, 충전 전류가 일정 전류(ex. 0.001C)에 도달 했을 때를 만 충전 상태로 보고 이 상태에서 방전을 실시하여 방전 중지전압에 도달할 때까지 전류를 적산한다. [8]

본 논문에서는 골프카트용 12V, 20시간 기준 용량 150Ah, 5시간 기준 용량 120Ah의 열화 축전지(Trojan T-1275)를 대상으로 <표 1>과 같은 용량을 개선시킬 수 있는 충전 방법을 제안한다. 축전지에 입력되는 전류는 SCR 점호각 제어에 의해 shark pulse 형태이고, 방전 과정에서도 전류는 펄스형태로 방전된다. 표에 기입된 전류 값은 평균값을 의미한다.

충전 모드 1은 충전 전류의 파형은 shark pulse 형태이나 그 평균값을 일정하게 일정 전압까지 충전하고, 평균 전류를 제어하여 일정 전압을 유지하면서 충전하는 방식이고, 충전 모드 2는 일정 평균전류로 일정 전압까지 충전하고 일정전압 도달시 방전/충전을 반복하는 방식이다. 충전 모드 2에서의 전압과 전류 그래프는 <그림 2>와 같다.

충전 모드 2에서처럼 충전과 방전을 반복하는 이유는 높은 SoC(State of Charge)에서 음극에 몰린 황산납을 충전과 방전을 반복함으로써 흔들어 제거하기 위함이다.

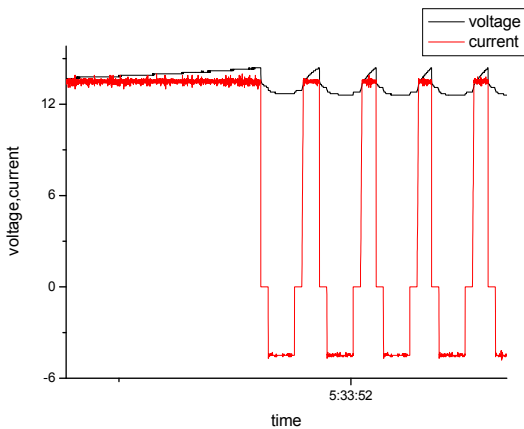
방법1과 방법2는 충전 전류에 따른 수명 개선 성능을 테스트하기 위해, 방법3은 SoC 50% 이상에서 충전/방전을 반복했을 때의 성능을 테스트하기 위한 방법이다. 방법4는 중지전압을 크게 하고 전류를 크게 하였을 때의 성능을 알아보기 위한 방법이다.

〈표 1〉 충전 방법

충전방법	충전 모드 1 ¹⁾		충전 모드 2 ²⁾		종지전압
	전류	시간	전류	시간	
방법1	-	-	13.5A	10h	14.4V
방법2	-	-	6.75A	20h	14.4V
방법3	6.75A	10h	13.5A	5h	14.4V
방법4	13.5A	5h	24A	2h30m	15.6V

주1) 평균 전류값으로 CCCV 모드, 파형은 shark pulse

주2) 종지 전압까지 일정 평균전류로 충전, 1분 대기(rest time), 설정 평균 전류의 1/3로 방전 5분, 1분 대기(rest time), 종지 전압까지 일정 평균 전류로 충전을 반복. 파형은 shark pulse



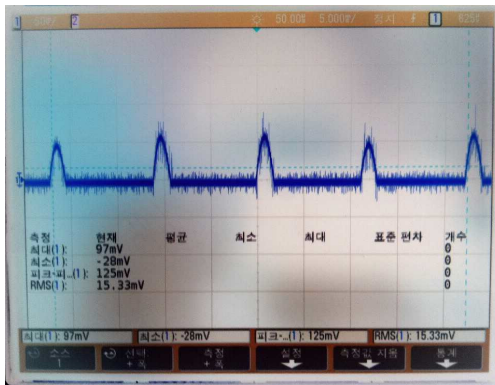
〈그림 2〉 충전모드 2의 전압, 전류 그래프

2.3 적용 및 실험

제안된 충전 방법을 평가하기 위해 열화된 골프카트용 12V 120Ah(5h 기준) 연축전지를 대상으로 충전/방전 실험을 수행 하였다. 대상 축전지의 측정 용량은 축전지1은 98Ah(5h기준), 축전지2는 68Ah(5h기준)이다.

용량 측정실험은 시중에 판매되는 충전기(SBK 30, 서광종합전기)를 이용하여 충전하고, 충방전기(maru-10-1, 마루MCS)를 이용하여 방전 하였다. 방전 전류는 5HR 기준 0.2C(24A)로 방전 하였고, 제작된 shark pulse를 이용하는 충전기를 통하여 제안된 방법1에서 방법4까지의 충전 실험을 순차적으로 진행 하였다.

제작된 충전기의 충전 전류 파형을 1mΩ shunt를 이용하여 측정할 결과 <그림 3>과 같이 측정되었다.



〈그림 3〉 제안된 충전기 전류 파형

마지막으로 제안된 방법을 통한 용량 개선이 일시적으로만 나타나는 것인지를 확인하기 위해 일반 충전기를 통하여 충전 후 다시 방전 실험을 수행하였다.

2.4 실험 결과 및 고찰

제안된 충전 방법에 의한 실험 결과는 <표 2>와 같이 측정되었다.

〈표 2〉 실험 결과

	축전지1	축전지2
표기용량(5HR)	120Ah	120Ah
실험 전 측정 용량	98Ah	68Ah
방법1	78Ah	84Ah
방법2	76.4Ah	93Ah
방법3	90.4Ah	105Ah
방법4	112Ah	108.6Ah
실험 후 측정 용량	105.6Ah	100Ah

실험 결과를 보면 방법4로 충전 하였을 시 연속전지의 수명특성이 가장 많이 개선됨을 알 수 있다. 방법1에서 방법4까지의 충전이 끝나고 측정된 용량이 실험 전 측정된 용량보다 작게 나온 경우는 황산납을 제거하기 위해 수행한 충전 방법에서 충전과 방전이 반복되는데, 축전지의 Charge acceptance가 고려되지 않고 설정한 시간동안 충전/방전을 반복하도록 되어 있기 때문에 완전히 충전 되지 않는 경우가 발생하였기 때문이다.

방법4에서 종지 전압을 15.4V로 설정한 이유는 열화 정도가 심한 축전지의 경우 내부저항이 무시할 수 없을 만큼 커져서 충전할 때의 축전지 내부 기전력 (EMF:Electro motive force)가 완전히 충전되지 않는 경우가 발생하기 때문이다. 축전지의 내부 기전력은 내부저항이나 캐패시턴스(capacitance)성분에 의해 발생하는 과전압(overpotential)을 제외한 전압으로 충전이나 방전 후에 개방회로 상태로 충분한 대기시간(rest time)을 주어 배터리 전압이 평형상태(Equilibrium state)에 도달 했을 때의 전압을 의미한다. 열화 정도가 심한 배터리를 완전히 충전 시키기 위해서는 배터리 내부저항을 고려하여 충전 종지전압을 높여 주어야 하기 때문에 15.6V로 설정 하였다.

실험 결과 축전지1은 98Ah에서 105.6Ah로 7.6Ah 만큼 용량이 증가하였고 축전지2는 68Ah에서 100Ah로 32Ah만큼 증가하였다. 비교적 열화 정도가 양호한 축전지에서는 극판에 고착된 황산납의 양이 상대적으로 작기 때문에 용량의 개선 효과가 크게 나타나지 않은 것으로 보인다. 반면 열화정도가 심했던 축전지2의 경우에는 표기용량의 83%까지 용량을 회복한 것을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 연축전지의 수명 특성을 개선하기 위하여 60Hz AC 전원을 shark pulse 형태의 충전 방법을 제안하였다. 제안된 충전방법은 열화된 12V 골프카트용 연축전지를 대상으로 실험하였고, 81%에서 88%와 56%에서 83%로 각각 7%, 27%의 용량이 개선되었음을 확인하였다. 아직 시료의 부족과 실험 데이터의 부족으로 열화 정도별 최적의 펄스 충전 방식을 찾아내지는 못하였다. 하지만 제안된 충전 방식이 연축전지의 수명 개선에 기여한다는 점은 분명하기 때문에 향후 계속된 시료 수집과 실험을 통해 수명연장을 위한 최적의 펄스를 찾아내도록 하겠다.

[참 고 문 헌]

- [1] Yu-Hua Sun et al., "Intelligent Aging Estimation Method for Lead-Acid Battery", Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, 251-256, 2008
- [2] Akiya Kozwa et. al., "Basic Understanding of the Low Current Charge and High Current Charge for Lead-acid Batteries", Journal of Asian Electric Vehicles, Volume2, Number 1, 577-578, 2004
- [3] 김형순 외, "차량용 12V 납축전지의 용량감소 모델링", 아주대학교 석사학위논문, 16-19, 2010
- [4] Hajimu Ikeda et. al., "Nobel High Current Pulse Charging Method for Prolongation of Lead-acid Batteries", Journal of Asian Electric Vehicles, Volume3, Number 1, 681-687, 2005
- [5] Scott Schilling et. al., "Ensuring Lead-Acid Battery Performance With Pulse Technology", IEEE, 247-252, 1999
- [6] L.T. Lam et. al., "Pulsed-current charging of lead/acid batteries - a possible means for overcoming premature capacity loss?", Journal of Power Sources, 53, 215-228, 2005
- [7] J.J. Chen et. al., "A high efficiency multi mode Li-Ion battery charger with variable current source and controlling previous-stage supply voltage", IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 56, No. 7. 2469-2478, 2009
- [8] J.H. Aylor et. al., "A Battery State of Charge Indicator for Electric Wheelchairs", IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 39, 398-409, 1992