

이차전지의 상태 감시 및 수명 예측 알고리즘 개발

박재범¹, 김병기¹, 송석환¹, 노대석^{1*}
¹한국기술교육대 전기전자통신공학부

Development of State of Charge and Life Cycle Evaluation Algorithm for Secondary Battery

Jaebeom Park¹, Byeonggi Kim¹, Seokhwan Song¹ and Daeseok Rho^{1*}

¹Korea University of Technology and Education, Electrical Engineering

요 약 현재 전기자동차와 신재생에너지전원의 출력안정화에 필수적인 2차전지가 개발되고 있고, 2차전지의 효율적인 운용을 위하여 상태감시 기술과 수명예측 기술이 요구되고 있다. 기존의 2차전지 상태감시 방법으로는 전압과 비중에 의한 충전상태평가 방법 등이 있으나, 이 방법은 온도에 따라 변화되는 전압과 비중의 특성을 고려할 수 없는 한계점을 가지고 있다. 즉, 2차전지의 SOC를 평가하기 위해서는 전지 케이스 내부의 전해액 온도에 따라 달라지는 비중 값을 측정해야 하지만, 대부분의 2차전지는 밀폐형으로 보급되고 있어서 전해액의 상태를 파악하기 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 전지내부의 온도를 보정하는 열전달식을 유도함으로 정확한 SOC평가 알고리즘을 제시하였다. 또한 2차전지의 수명 예측 방법으로는 내부저항 측정 또는 잔존 용량 측정 등의 수명 예측 방법들이 있으나, 충·방전상태와 충전 후 방전시간, 사용 환경 등 여러 가지 요인에 의해 2차전지의 수명을 정확하게 판단하기 어렵다. 따라서 상기의 문제점을 해결하기 위해 20℃로 환산된 비중 값에 대하여 전지의 충·방전에 대한 비중누적 값을 계산함으로 충·방전 사이클을 판정하는 수명예측 알고리즘을 제시하였다. 상기에서 제시한 알고리즘을 바탕으로 시험 장치를 제작하여 다양한 시뮬레이션을 수행한 결과, 기존의 방법에 비하여 본 논문에서 제안한 알고리즘이 정확한 연축전지의 상태감시 및 수명예측에 대한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

Abstract This paper deals with the state of charge(SOC) and life cycle evaluation algorithm for lead-acid battery, which is essential factor of the electric vehicle(EV) and the stabilization of renewable energy in the smart grid. In order to perform the effective operation of the lead-acid battery, SOC and life cycle evaluation algorithm is required. Specific gravity with the change of electrolyte temperature inside battery case should be obtained to evaluate the SOC of lead-acid battery, however it is difficult to measure the electrolyte temperature of sealed type lead-acid battery. To overcome this problem, this paper proposes the equation of thermal transmission to compensate internal temperature of the lead-acid battery. Also, it is difficult to exactly evaluate the life cycle of battery, depending on the operation conditions of lead-acid battery such as charging and discharging state, self discharging rate and environmental issue. In order to solve the problem, this paper presents the concept for gravity accumulation of charge and discharge cycle, which is the value converted at 20°C. By using the proposed algorithm, this paper propose the test device based on the Labview software. The simulation results show that it is a practical tool for the maintenance of lead-acid battery in the field of industry.

Key Words : Secondary(lead-acid) Battery, State of charge, life cycle, Evaluation algorithm, LabVIEW S/W, Thermal transmission, Gravity accumulation

*Corresponding Author : Daeseok Rho (Korea University of Technology and Education)

Tel: +82-10-2306-2213 email: dsrho@kut.co.kr

Received October 8, 2012

Revised December 31, 2012

Accepted January 10, 2013

1. 서 론

최근 지구 규모적인 환경문제와 에너지자원의 효율적인 활용을 위하여 전 세계적으로 스마트그리드 사업이 활발히 추진되고 있다. 우리나라에서도 국가적인 차세대 성장 동력 산업의 하나로 전기자동차와 신재생에너지전원을 포함한 스마트그리드 보급 사업을 진행하고 있다. 이러한 배경 하에 전기자동차와 신재생에너지원(태양광, 풍력)의 출력안정화에 필수적인 2차전지가 개발되고 있고, 2차전지의 효율적인 운용을 위하여 상태감시 기술과 수명예측 기술이 요구되고 있다. 기존의 2차전지 상태감시 방법으로는 전압과 비중에 의한 충전상태(SOC: State of charge)평가 방법 등이 있으나, 이 방법은 온도에 따라 변화되는 전압과 비중의 특성을 고려할 수 없는 한계점을 가지고 있다. 즉, 2차전지의 SOC를 평가하기 위해서는 전지 케이스 내부의 전해액 온도에 따라 달라지는 비중 값을 측정해야 하지만, 대부분의 2차전지는 밀폐형으로 보급되고 있어서 전해액의 상태를 파악하기 어려운 실정이다. 또한 2차전지의 수명 예측 방법으로는 내부저항 측정 또는 잔존 용량 측정 등의 수명 예측 방법들이 있으나, 충·방전상태와 충전 후 방치시간, 사용 환경 등 여러 가지 요인에 의해 2차전지의 수명을 정확하게 판단하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하기 위하여, 2차전지중에 하나인 연축전지의 상태감시 및 수명예측에 대한 최적 알고리즘을 제시하고, 이를 바탕으로 시험 장치를 제작하여 연축전지의 운용특성을 해석하고자 한다. 즉, 기존에 사용하고 있는 전압에 의한 SOC평가 방법을 개선하여 전지내부의 온도를 보정하는 열전달식을 유도함으로 정확한 SOC평가 알고리즘을 제시하고, 20℃로 환산된 비중 값에 대하여 전지의 충·방전에 대한 비중누적 값(G_{Cref} , G_{Dref})을 계산함으로 충·방전 사이클을 판정하는 수명예측 알고리즘을 제시하였다. 상기에서 제시한 알고리즘을 바탕으로 시험 장치를 제작하여 다양한 시뮬레이션을 수행한 결과, 기존의 방법에 비하여 본 논문에서 제안한 알고리즘이 정확한 연축전지의 상태감시 및 수명예측에 대한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.[1-3]

2. 연축전지의 상태감시 알고리즘

본 논문에서는 연축전지 중 밀폐형 연축전지 사용 및 관리 시 발생하는 여러 문제점에 대한 효율적인 해결 방안을 제시하고자 연축전지 상태감시 알고리즘을 제시하

였다.

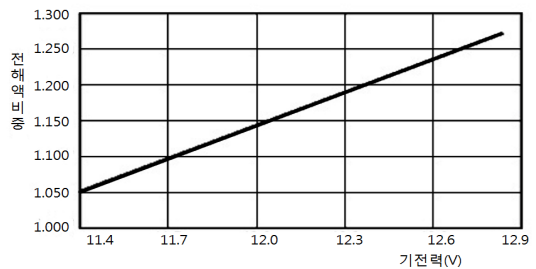
2.1 연축전지의 SOC평가 알고리즘 개발

최근 출시되는 연축전지는 밀폐형 축전지가 대부분이므로 전해액의 온도를 정확히 측정하는 것은 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 출력전압과 출력 전류 및 연축전지 케이스와 상온온도를 측정하여, 열전달식과 비중 식에 대입함으로써, 연축전지의 기전력과 비중, 비중과 SOC 사이의 상호 관계 및 전해액 온도에 따라 변하는 비중 값을 이용하여 연축전지의 SOC를 평가하는 방법을 제시하고자 한다.

(1) 기존의 비중 및 온도보정 관계식

SOC를 파악하기 위해 연축전지의 전해질 비중 값을 구하는 것이 가장 중요하다. 하지만 전해액은 특성상 온도가 상승하면 전해액이 팽창하여 체적이 커짐으로 같은 방전상태의 연축전지보다 비중은 낮아지고, 온도가 떨어지면 전해액의 체적이 작아져 비중이 커지는 성질이 있다. 그림 1과 같이, 기존에 사용되고 있는 비중에 관한 식(1)은 기전력(전압)에 따라 선형적으로 비중을 구할 수 있지만 전지내부의 온도 특성을 고려하지 않았기 때문에 실제 값에 비하여 오차가 발생할 수밖에 없다.

$$S(\text{전해액 비중}) = E(\text{기전력}) - 0.85 \quad (1)$$



[Fig. 1] Relationship between voltage and electrolyte gravity

한편, 연축전지가 다양한 온도조건하에서 작동되어야 하는 실정을 고려하여 오차를 보정한 전해액비중식은 식 (2)와 같이 전해액온도가 20℃의 비중으로 환산하여 계산된다.

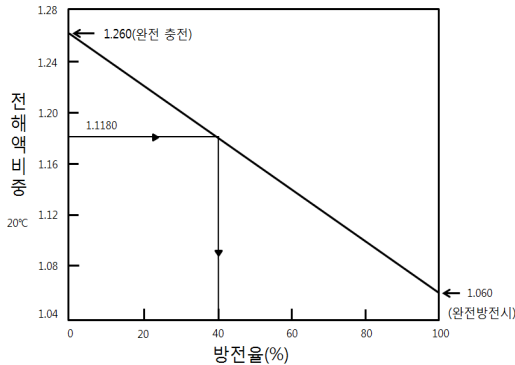
$$S_{20} = St + 0.0007(t - 20) \quad (2)$$

S_{20} : 20℃에서의 비중
 St : t℃에서의 비중
 t : 측정된 전해액 온도
 0.0007 : 1℃ 온도의 변화에 따른 온도계수

일반적으로 연축전지의 비중은 전해액의 온도가 20℃에서 표 1과 같이 변동된다. 따라서 완전충전 상태에서 100%방전의 상태까지는 비중이 0.2정도가 변동됨으로, 실제 비중량을 측정하여 연축전지가 몇 퍼센트까지 충·방전되었는지를 측정 할 수 있다. 여기서, 식 (3)은 측정된 비중을 이용한 SOC추정 계산식을 나타내며 이 관계는 그림 2와 같이 나타 낼 수 있다.[4-7]

[Table 1] Correlation between electrolyte gravity and charge state

전해질 비중	충전상태[%]
1.260	100
1.210	75
1.160	50
1.110	25
1.060	0



[Fig. 2] Relationship between Electrolyte and discharging rate

$$SOC(\text{잔존량}) = \frac{1.260(\text{완충시 전해액 비중}) - \text{측정된 비중}}{0.2(\text{완충시의 비중} - 100\% \text{ 방전비중})} \quad (3)$$

(2) 비중과 열전달식을 이용한 SOC평가 알고리즘

기존의 온도를 보정하기 위한 비중계산식인 식 (2)를 구하기 위해서는 전지내부의 전해액에 대한 온도 데이터가 필수적이다. 그러나 대부분 연축전지는 밀폐형 이므로 직접적인 측정이 거의 불가능 하다. 따라서 본 논문에서는 축전지 케이스온도(T_{case})와 외부온도(T_{∞})를 측정하여 축전지의 내부온도(T_{inside})를 파악하는 방안을 제시하고자 한다. 이를 위하여 식(4)과 같이 정상상태에서 대류열전달과 전도열전달이 평형을 이루는 열전달식을 도입하였다.

$$q = hA(T_{case} - T_{\infty}) = \frac{kA}{L}(T_{inside} - T_{case}) \quad (4)$$

q : 열전달량
 h : 대류열전달계수
 A : 접촉면면적
 T_{case} : 2차전지 케이스 온도
 T_{∞} : 공기 온도
 k : 열전도율
 L : 케이스 두께
 $T_{battery}$: 연축전지 내부 온도

기존의 식 (1)의 비중식과 식 (2)의 온도를 보정한 비중식 그리고 SOC추정식인 식 (3)을 이용하여, 본 논문에서 제시한식 (4)의 열전달식을 조합하면 식 (5)와 같이 유도할 수 있다. 이 식은 전지내부의 실제온도를 보정할 수 있으므로 정확한 비중을 계산하고 그에 따른 SOC를 평가할 수 있게 된다.

$$SOC = \frac{1.260 - (E - 0.85) + 0.0007 \left\{ \frac{Lh}{k} (T_{case} - T_{\infty}) + T_{case} \right\} - 20}{0.2} \quad (5)$$

SOC : 납축전지의 방전율
 E : 측정된 전압
 t : 측정된 전해액 온도

식 (5)의 대류열전달계수(h)는 물체의 모양과 크기에 따라 값이 달라지기 때문에 식 (6)과 같이 연축전지의 형태, 즉 가로, 세로, 높이를 대입하여 계산해야 한다.

$$h = N \frac{Nu \times k}{[(l \times m \times h)/3]} \quad (6)$$

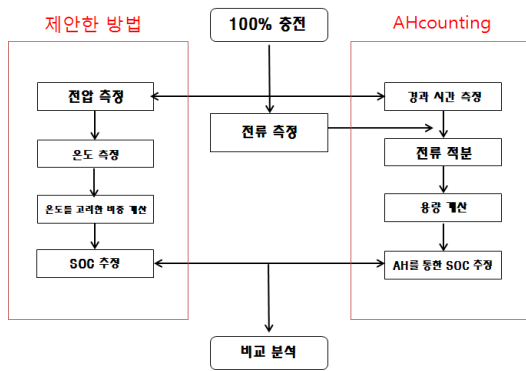
$$N = 0.52 \times (Gr \times Pr)^{0.25}$$

$$Gr \times Pr = \frac{9.8 \times [1 / (T_{case} - T_{\infty})] \times (l \times m \times h)}{v^2} \times 0.7$$

Gr : Grashof수
 Pr : Prandtl수 (0.7)
 v : 동점성계수
 h : 평균 열전달 계수
 N : 자연대류열전달 계수
 k_{air} : 공기 열전도계수
 l, m, h : 길이, 너비, 높이

(3) AH counting법을 이용한 SOC 비교평가 알고리즘

연축전지의 SOC평가 방법에는 여러 가지가 있다. 그 중 Ah Counting법은 충·방전 시에 실시간으로 충·방전 전류를 측정하여 이를 적분하는 방식으로 측정이 쉽고 결과 값의 신뢰도가 높은 방식이다. 다만 초기치 설정에 대한 정확도 문제로 인하여 오차가 누적되는 단점이 있다. 따라서 초기치를 100%충전 상태로 설정하면 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 상기의 AH counting법과 본 논문에서 제안한 SOC평가 방법을 비교 평가하기 위하여 그림 3과 같은 SOC 비교평가알고리즘을 제안하였다. 그림 3의 좌측부분은 제안방법이고 우측부분은 AH counting법의 알고리즘을 나타낸 것이다.



[Fig. 3] Evaluation algorithm of SOC

AH counting법을 계산식으로 나타내면 식 (7), (8)과 같다. 여기서, 식 (7)은 시간에 따른 전류를 적분한 값으로 충·방전된 용량을 구하는 식을 나타내고 식 (8)은 충·방전된 용량과 정격용량의 비를 이용하여 연축전지의 SOC를 평가하는 식을 나타낸다.

$$Ah_t = \int_t^{t_0} I dt \quad (7)$$

$$SOC = 1 - \frac{Ah_t}{Ah_{rating}} \quad (8)$$

Ah_t : t 시간에 측정된 용량
 Ah_{rating} : 납축전지의 정격용량
 t : 측정 종료 시간
 t_0 : 측정 시작 시간

2.2 상태감시 장치의 하드웨어 및 소프트웨어 제작

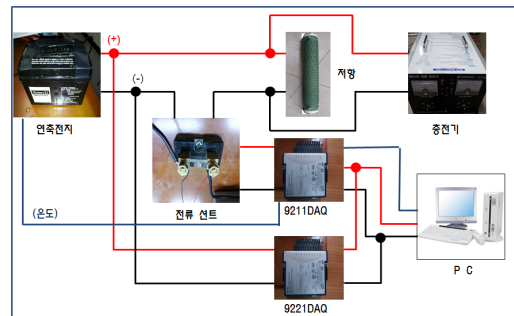
본 논문에서는 앞에서 제시한 SOC평가 알고리즘을 이용하여 정확한 연축전지의 상태감시 장치를 제작하였다. 연축전지와 저항, DAQ, 전류센트를 이용하여 연축전지의 전압 및 전류 케이스온도와 상온온도를 측정하는 하드웨어장치를 제작하였으며, 앞에서 제시한 SOC평가 알고리즘을 이용하여 LAbview 소프트웨어를 제작하였다. 즉, 그림 4와 같이 연축전지에서 발생하는 전압, 전류, 케이스외부 온도를 측정하여 실시간 SOC 및 충·방전 예상시간을 파악하기 위한 연축전지 상태감시 장치를 제작하였다.



[Fig. 4] Concept of SOC test device of lead-acid battery

(1) 연축전지 상태감시 장치의 하드웨어구성

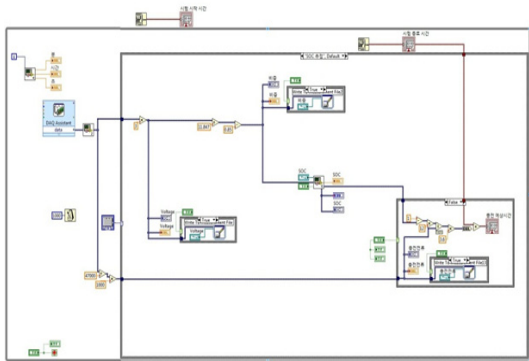
하드웨어 장치는 그림 5와 같이 연축전지와 저항(2Ω), 충전기, 전류센트, DAQ 9211, DAQ 9221로 구성하였으며, 이를 이용하여 연축전지의 충·방전 시 전압과 전류, 케이스 온도, 상온 온도와 같은 데이터를 HMI프로그램이 내장되어있는 PC로 전송하도록 제작하였다.



[Fig. 5] Diagram of SOC test device of lead-acid battery

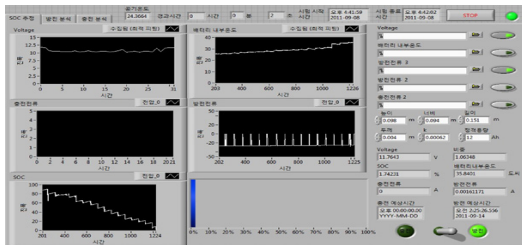
(2) 연축전지 상태 감시 장치의 소프트웨어구성

그림 6은 LabVIEW 소프트웨어를 이용하여 제작한 연축전지 상태 감시 장치의 Block Diagram을 나타낸 것이다. 여기에서는 상기의 하드웨어장치를 통해 입력받은 연축전지의 전압으로 비중을 도출하고, 이 비중은 다시 온도보정 식을 통해 20℃의 전해액 온도를 기준으로 환산하여 계산하도록 제작하였다. 또한, 상온온도와 연축전지의 케이스온도의 데이터는 대류열전달식과 전도열전달식을 이용하여 연축전지의 내부온도를 파악하도록 제작하였다.



[Fig. 6] Block diagram of SOC test device of lead-acid battery

그림 7은 LabVIEW를 이용하여 제작한 연축전지 상태 감시 장치의 Front Panel을 나타낸 것이다. 여기에서는 연축전지의 충·방전시의 전압과 전류, SOC, 추정된 내부온도, 충·방전 예상시간, 시험 경과시간을 육안으로 쉽게 확인할 수 있도록 그래프 및 숫자형식으로 제작하였다.



[Fig. 7] Front panel of SOC test device of lead-acid battery

3. 연축전지의 수명예측 알고리즘 개발

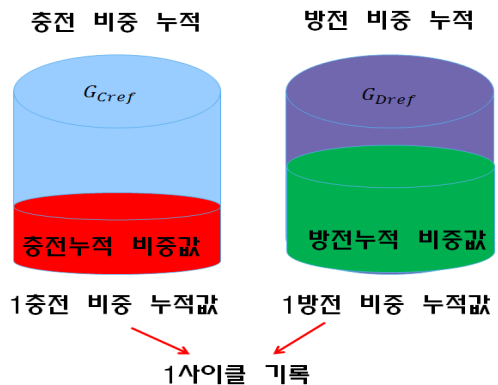
연축전지의 기대수명은 종류별로 차이가 있고, 동일 제품이라도 사용여건에 따라 수명이 달라짐으로 연축전지의 신뢰성을 높이고 정확한 교체시기를 확인하기 위해 수명예측알고리즘이 요구된다. 보수형 연축전지는 방전심도(DOD: Depth of discharge)에 따라 1,000~1,500 사이클을 기준으로 교체를 하고 있지만, 이 사이클을 정확하게 측정하는 방법이 아직 제시되고 있지 않아, 실 계통에서 많은 문제점을 발생하고 있다. 따라서 본 논문에서는 20°C로 환산된 누적 비중 값을 고려한 충·방전 사이클 알고리즘을 제시하여 연축전지의 정확한 수명예측을 하고자 한다.

3.1 기존의 사이클 예측 방법

연축전지의 기존 사이클 예측 방법으로는 내부저항 측정 과 잔존 용량 측정 등의 사이클 예측 방법이 있으나, 내부저항 측정법은 충·방전상태와 충전 후 방치시간 등 여러 가지 요인에 의해 오차가 발생하고, 잔존용량측정법은 주위온도에 의해 문제점이 발생할 수 있으므로 연축전지의 사이클을 정확하게 판단하기 어렵다.[8-10]

3.2 20°C로 환산된 비중 누적치 식 알고리즘

연축전지는 일반적으로 DOD 설계기준에 따라 1사이클이 정해진다. 예를 들어 DOD가 45%를 기준으로 전지가 제작되었다면, 이 전지의 1사이클은 55%지점까지 완전히 방전되고, 다시 100%지점까지 완전히 충전되는 것으로 정의 된다. 그러나 연축전지는 사용 환경이 다양하여 그 목적에 따라 충·방전 빈도와 충·방전양이 달라짐으로 정확한 1사이클을 정의하기가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 완전 충전된 100%지점의 비중 값과 전지설계기준의 DOD지점까지 방전된 비중의 차(G_{ref})를 구하여 그 값을 1사이클의 기준으로 정의하였고, 전지 사용시 한번에 DOD지점까지 사용하거나 100% 충전 하지 않는 점을 고려하여 여러 번의 충·방전에 의한 충전누적비중 값 (G_{Cref})과 방전누적비중 값 (G_{Dref})으로 나누어 이 값들이 각각 G_{ref} 와 일치할 때를 충·방전 1사이클로 판단한다. 그림 8은 20°C로 환산된 비중의 값을 누적하여 총 비중의 값이 G_{Cref} 나 G_{Dref} 가 될 때 1사이클로 판단하는 개념도를 나타낸 것이다.



[Fig. 8] Concept of gravity accumulation

또한, G_{Cref} 와 G_{Dref} 에 도달하기 위한 누적 비중치 식은 식 (9)와 식 (10)과 같이 정식화 된다.

$$G1 = \frac{\int_t^{t_0} (S_0 - St) dt}{G_{ref}} \quad (9)$$

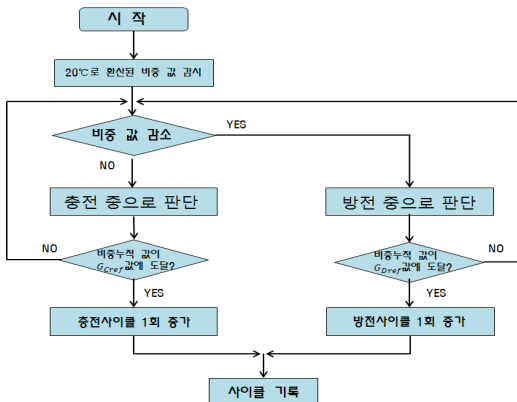
C1: 방전시의 누적 비중치
 S_0 : 100%완전충전시 비중
 St : 20도 환산 비중

$$G2 = \frac{\int_t^{t_0} (St - S_m) dt}{G_{ref}} \quad (10)$$

C2: 충전시의 누적 비중치
 S_0 : 100%완전충전시 비중
 St : 20도 환산 비중

3.3 비중 값을 이용한 수명예측 알고리즘

20℃로 환산된 비중의 누적 값을 이용한 수명 예측 장치의 알고리즘은 그림 9와 같이 플로어차트로 나타내었다. 먼저 충·방전 운용 상태에 대하여 20℃로 환산된 비중 값을 감시하여 비중 값이 증가하는지 감소하는지 판단하고, 그림 9의 좌측과 같이 비중 값이 증가하면 충전 상태로 판단하고, 감소하게 되면 방전상태로 판단한다. 다음에는 비중누적 값이 G_{Cref} 에 도달하면 충전 1사이클로 정의하고, 비중누적 값이 G_{Dref} 에 도달하면 방전 1사이클로 정의한다. 마지막으로 G_{Cref} 값과 G_{Dref} 값 모두 기준 값에 도달하면 충·방전 사이클 회수를 각각 1회 증가시킨다.



[Fig. 9] Life cycle evaluation algorithm with gravity accumulation

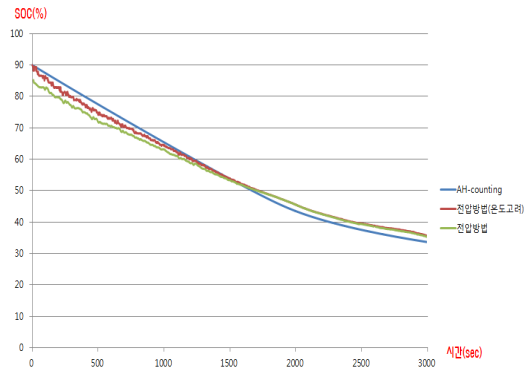
3.4 비중 누적 값을 이용한 수명예측 장치 제작

본 연구에서는 상기의 그림 9의 알고리즘을 이용하여 충·방전 사이클 예측장치를 제작하였다. 이장치는 그림 7의 연속전지 상태감시 장치를 기준으로 식 (9)와 식(10)의 기능을 추가하여 제작하였다.

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

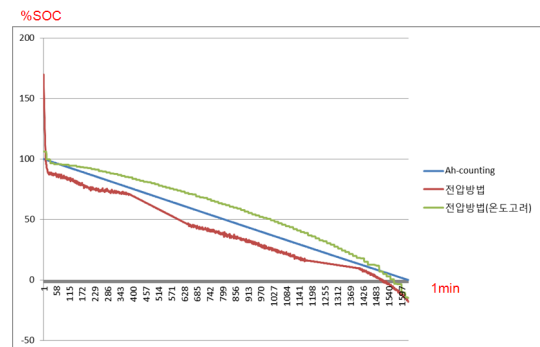
4.1 상태 감시 장치의 분석

현재 가장 정확한 SOC평가 방법은 AH-count ing법으로 알려져 있다. 따라서 AH-counting법으로 도출한 SOC 값을 기준으로 본 논문에서 제시한 SOC평가 알고리즘을 비교 분석하였다. 그림 10은 200W의 부하를 사용하여 방전시킨 경우의 SOC특성을 나타낸 것이다. AH-counting법을 기준으로 기존의 전압에 의한 SOC추정 방법(오차율 25%)과 본 논문에서 제시한 방법(오차율11%)에 대하여 오차율을 비교한 결과 기존 방법보다 약 14%정도 개선되었음을 확인 할 수 있었다.



[Fig. 10] SOC characteristic of 200W load

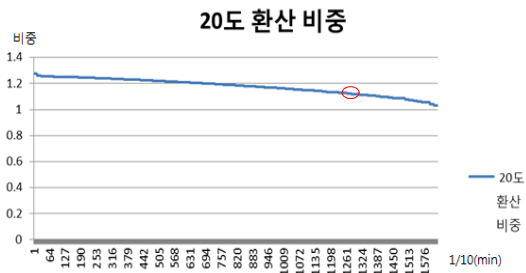
그림 11은 180W의 부하를 사용하여 방전시킨 경우의 SOC특성을 나타낸 것이다. AH-counting법을 기준으로 기존의 전압에 의한 SOC추정 방법(오차율 30%)과 본 논문에서 제시한 방법(오차율 13%)에 대하여 오차율을 비교한 결과 기존 방법보다 약 17%정도 개선됨을 확인할 수 있었다.



[Fig. 11] SOC characteristic of 180W load

4.2 연속전지의 수명예측을 위한 비중 누적치 (G_{ref}) 분석

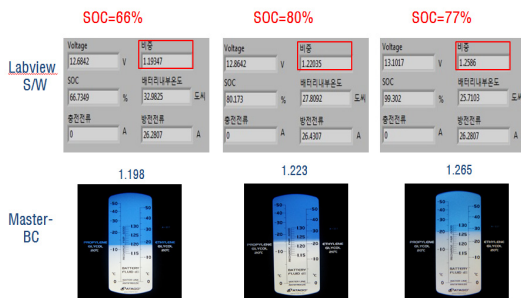
여기에서는 DOD 45%로 제작된 55AH급 연속전지를 대상으로 G_{ref} 를 구하기 위한 시물레이션을 수행하였다. 그림 12와 같이, 55AH급 연속전지의 완충 시 비중 값은 1.247이고, 완전 방전된 DOD55%지점 (30.25AH)의 비중 값은 1.127로 측정되어, 두 비중 차이 값인 G_{ref} 는 0.146임을 확인할 수 있었다.



[Fig. 12] 20°C gravity of 55AH lead-acid battery

4.3 시험장치의 신뢰성 평가

그림 13은 12AH급 개방형 연속전지의 비중 비교시험을 수행한 결과이다. 연속전지 방전 시험 중 각각의 SOC(80%, 77%, 66%) 상태에서 비중측정기로 측정된 비중 값과 본 연구에서 제시된 시험장치의 비중 값을 비교한 결과, 비중 측정기의 비중 값과 시험장치의 비중 값의 차이가 미세함으로 본 논문에서 제시한 시험장치의 비중 값이 신뢰성이 있다는 것을 확인 하였다.

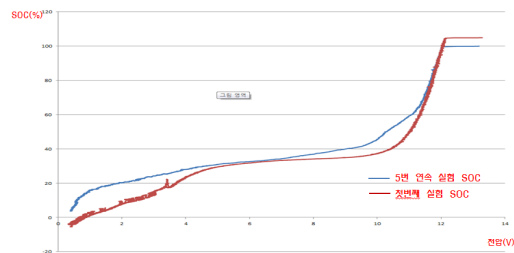


[Fig. 13] Gravity of measurement device and proposed algorithm

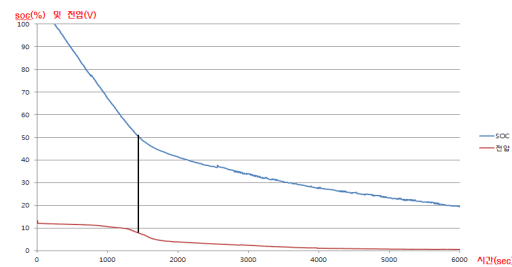
4.4 연속전지 특성시험 및 분석

그림 14는 온도에 따른 전압과 SOC의 관계를 나타낸 것이다. 처음 방전한 경우(전해액의 온도가 낮음)의 SOC의 값이 다섯 번 연속하여 방전한 경우(전해액의 온도가

상대적으로 높음)의 SOC값의 평균치 보다 전반적으로 낮게 분포함을 알 수 있었다. 따라서 온도가 낮을수록 전해액에서의 황산의 이동 또는 확산이 어렵게 되어 극판에서의 화학반응이 일어나기 어렵고, 전해액의 전기저항이 증가하여 SOC의 용량이 감소함을 알 수 있었다. 또한, 그림 15는 본 연구에서 제작한 시험 장치를 이용하여 측정한 전압과 SOC의 평균값(10회 방전시험결과)을 나타낸 것이다. SOC값은 선형을 유지하며 감소하다가 방전종지전압 근처에서는 반비례적으로 천천히 감소함을 알 수 있었다. 시험에 사용된 12AH급 연속전지의 방전종지전압은 약 10.5V이고, 이때의 SOC는 약 50%임을 확인하였다.



[Fig. 14] Voltage and SOC characteristic with temperature



[Fig. 15] Relationship between terminal voltage and SOC

5. 결론

본 논문에서는 비중 및 열전달식을 이용한 SOC평가 알고리즘과 20°C로 환산된 비중 누적 식을 이용한 수명 평가 알고리즘을 제시하였다. 다양한 시물레이션을 수행한 결과 본 연구에서 제시한 알고리즘이 향후 여러 분야의 산업현장에 사용하고 있는 연속전지의 보수 및 유지 분야에 활용할 수 있음을 확인하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 최근 출시되는 연속전지는 밀폐형 축전지가 대부분이므로 전해액의 온도를 정확히 측정하는 것은

어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 출력전압과 출력 전류 및 연속전지 케이스와 상온온도를 측정하여, 열전달식과 비중에 대입함으로써, 연속전지의 기전력과 비중, 비중과 SOC 사이의 상호 관계 및 전해액 온도에 따라 변하는 비중 값을 이용하여 연속전지의 SOC를 평가하는 방법을 제시하였다.

- (2) 연속전지의 기대수명은 종류별로 차이가 있고, 동일 제품이라도 사용여건에 따라 수명이 달라진다. 일반적으로 보수형 연속전지는 DOD에 따라 1,000~1,500 사이클을 기준으로 교체를 하고 있지만, 이 사이클을 정확하게 측정하는 방법이 아직 제시되고 있지 않은 실정이다. 따라서 본 논문에서는 정확한 수명예측을 위하여 20℃로 환산된 누적 비중 값을 고려한 수명예측 알고리즘을 제시하였다.
- (3) 현재 가장 정확한 SOC평가 방법은 AH-counting법으로 알려져 있다. 따라서 AH-counting법으로 도출한 SOC값을 기준으로 본 논문에서 제시한 SOC평가 알고리즘을 비교 분석하였다. AH-counting법을 기준으로 기존의 전압에 의한 SOC추정 방법(오차율 25%)과 본 논문에서 제시한 방법(오차율 11%)에 대하여 오차율을 비교한 결과, 기존 방법보다 약 14%정도 개선되었음을 확인 할 수 있었다.

References

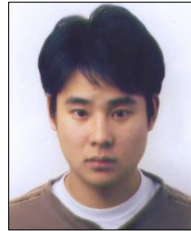
- [1] IEEE 484-2002TM, IEEE Recommended Practice for Installation Design and Installation of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications
- [2] IEEE 450 2002TM, IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications
- [3] IEEE 100TM, The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms Seventh Edition
- [4] IEEE 308TM-1991, IEEE Standard Criteria for Class 1E Power Systems for Nuclear Power Generating Stations
- [5] IEEE 323TM-1983, IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations
- [6] IEEE 494TM-1974, IEEE Standard Method for Identification of Documents Related to Class 1E Equipment and Systems for Nuclear Power Generating Stations
- [7] IEEE 535TM-1986, IEEE Standard for Qualification of Class 1E Lead Storage Batteries for Nuclear Power

Generating Stations

- [8] IEEE 946TM-1992, IEEE Recommended Practice for the Design of DC Auxiliary Power Systems for Generating Stations
- [9] IEEE 1375TM-1998, IEEE Guide for the Protection of Stationary Battery Systems
- [10] Cheol-sik Seo, "The Battery Management System for UPS Lead-Acid Battery", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 22, No.6, pp. 127~133, 2008. 6, DOI: <http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2008.22.6.127>

박재범(Jea-Bum Park)

[준회원]



- 2011년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 석사과정 재학중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 2차 전지

김병기(Byeon-Ggi Kim)

[준회원]



- 2008년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2002년 2월 : 동대학원 전기공학과(공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 박사과정 재학중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질 해석

송 석 환(Seok-Hwan Song)

[정회원]



- 2000년 2월 : 청주대학교 전자공학과 (공학사)
- 2012년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과(공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 박사과정재학중

<관심분야>

배전계통 운용, 분산전원, 스마트그리드

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석