

건전지의 성능평가 장치

A Performance Testing Device of Drycell

정 현*

(Heon Jeong¹)

¹Chodang University

Abstract: In this paper, I have developed a high-speed and high-resolution measuring device in order to check the performance of drycell. The system is developed for the drycell manufacturing plant. Measuring time is one of key factors to inference on the production speed. So the developed system is designed to generate the classified result up to 1200ea/min. In the other words, each product can be classified within 25ms. There have been many studies to estimate both state of charge as well as state of health, such as OCV (Open Circuit Voltage), SC (Short Circuit) and measuring impedance with frequency pulse. But those methods take a few second due to surface discharge. To overcome the phenomenon, I developed the method to engage the reverse current to two electrodes of battery. As a result, I could achieve to measure the indigenous capacity without the problem of surface discharge.

Keywords: drycell, performance test, measuring impedance, surface discharge

I. 서론

건전지는 휴대성의 장점으로 인하여 장난감, 휴대용 손전등을 비롯하여 다양한 부분에 많이 사용되고 있다. 이러한 건전지는 일회성으로 인해 보다 저렴하면서, 장시간 사용할 수 있는 편리함을 주고 있다[1]. 최근에는 망간-아연 건전지보다 알카라인 전지를 보다 선호하고 있다[2].

이런 일차전지를 생산하여 시중에 보급하기 전에 전지의 성능평가를 수행하여야 하는 것은 필수적이다. 일부의 건전지의 경우 얼마 사용하지 않았는데도 빨리 소모되어 버리는 경우가 있다[3]. 자연방전에 의한 소모도 있겠지만, 다른 요인으로서 건전지 내부 화학반응의 비활성화가 있다. 비활성화는 제조과정상 결함으로 건전지내부에서의 반응이 활발히 이루어지지 못하여 지속적으로 일정전류를 공급하지 못하는 경우를 의미한다. 이런 불량전지를 걸러내지 못하고 출하를 해서는 안 될 것이다.

따라서 건전지 생산라인의 마지막 공정으로 제품성능평가를 수행 과정이 있다. 분당 1000개의 생산과 같이 많은 건전지의 생산라인에서는 약 25ms 이내에 성능평가를 수행하여야 한다.

가장 간단한 건전지의 성능평가 방법으로는 개방전압 측정일 것이다. 하지만 개방전압의 경우 표면방전(surface discharge) 때문에 짧은 시간의 측정은 무의미할 것이다. 측정하고자 하는 건전지에 표준 저항을 가하여 건전지의 방전전압을 측정하는 방법인 CCV (Closed Circuit Voltage) 측정방법과 고주파를 인가하여 내부저항을 측정하는 방법이 있다[4]. 하지만 건전지의 용량에 따라 다르겠지만, 1초 이상의 오랜시간이 소요된다. 따라서 기존의 방법으로는

25ms 이내에 건전지의 성능평가를 수행하는데 적합하지 않다. 본 논문에서는 고속으로 생산되는 건전지의 실시간 성능평가 시험기를 설계하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 방전전압측정방법의 방전시간을 단축시키기 위해 부전압을 인가하여 방전시간을 단축하는 방법이다. 이러한 제안 방법은 표면방전을 마친 후 건전지의 내부 반응 특성을 측정할 수 있는 방법의 특징을 갖는다.

제안하는 시스템을 건전지 생산라인에 직접 설치하여 성능평가를 수행하였다. 수행결과 25ms 이내에 모든 양불 판별 기능을 수행하였음을 확인하였으며, 표면방전과 같은 일시적인 화학반응에 의해 판별오류가 발생되지 않음을 확인하였다.

II. 건전지

1. 건전지의 특징

일차전지는 부하를 인가하지 않았을 경우 약 1.55V에서 1.65V를 나타내며, 이런 전압은 부하 인가시에 강하게 된다. 전압강하의 경우 사용방법과 부하량에 따라 달라진다. 부하를 인가하지 않고 오랜기간 동안 일차전지를 방치한다면 자연 방전을 한다. 다 쓴 건전지의 경우도 순간적인 전압공급이 가능하며 이는 일시적인 전극의 표면화학작용에 의한 전류공급에 의한 것이다. 이런 표면방전특성으로 인해 다 사용한 건전지도 개방전압이 일정기간동안은 1.5V 이상의 전압을 나타낸다. 따라서 OCV (Open Circuit Voltage)만으로 건전지의 상태를 결정짓기는 어렵다.

CCV (Closed Circuit Voltage) 방법은 건전지에 폐회로를 일시적으로 형성시켜 몇 초 동안에 부하를 흐르는 전류를 측정하는 방법으로 본질적인 건전지 성능을 검사하는 개선된 방법이다.

2. 건전지의 모델링

건전지의 전류, 방전시간, 건전지의 용량간의 관계를 식

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 10. 26., 수정: 2010. 12. 3., 채택확정: 2011. 1. 13.

정현: 초당대학교 소방행정학과(hjeong@cdu.ac.kr)

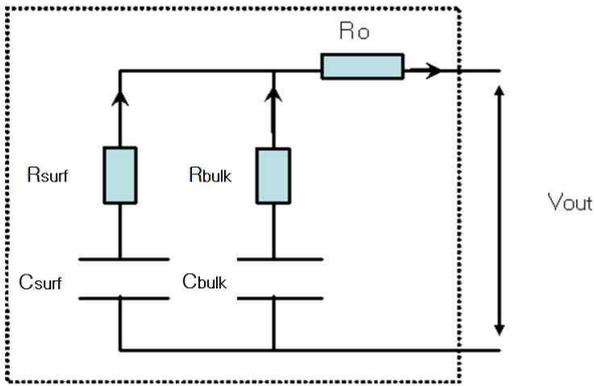


그림 1. 건전지 모델링.
Fig. 1. Drycell modelling.

1과 같이 Peukert의 법칙에 의해 나타내진다[5]. 건전지의 효율은 건전지 용량에 따른 방전 비율로서 얻어진다. 완전한 방전 비율 곡선은 급격한 방전 비율곡선 보다 효율적인 방전작용이 발생함을 나타낸다. 건전지 제조사는 각각의 제품에 대한 표준 방전 비율을 설정하고 있으며, 이를 통해 품질 평가를 수행한다[6].

$$C_p = I^k t \tag{1}$$

C_p : 건전지의 방전용량[Ah], I : 방전 전류[A]
 k : Peukert 상수, t : 방전 시간[sec]

그림 1에서 볼 수 있는 것과 같이 전지의 용량은 크게 표면용량(C_{surf})와 용적용량(C_{bulk})의 두가지로 나뉜다. 표면용량은 국소적인 표면작용에 의해 일시적으로 나타나는 방전특성이며, C_{bulk} 는 활성화 상태에서의 지속적인 화학반응에 의해 공급 용량을 의미한다. 따라서 전지의 품질과 관련된 용량의 측정은 C_{bulk} 를 측정하는 것과 같으며, C_{surf} 는 전지의 품질과 관련된 용량을 예측하는데 장애요인으로 작용하고 있다.

$$C_p = C_{surf} + C_{bulk} \tag{2}$$

C_{surf} : 표면용량, C_{bulk} : 용적용량

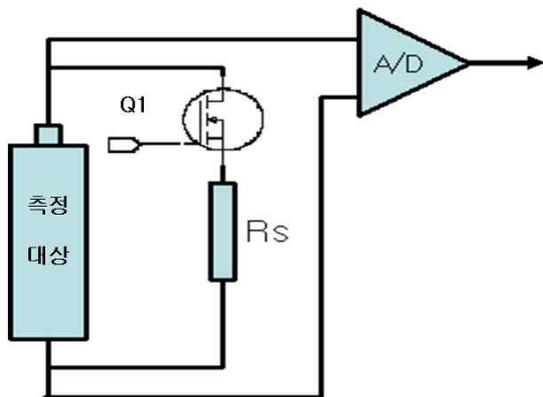


그림 2. CCV (Closed Circuit Test) 원리.
Fig. 2. The principle of CCV.

3. 건전지의 용량 측정

건전지의 내부 상태를 가장 쉽게 평가하는 방법은 무부하 OCV 방법이다. 하지만 OCV 값이 양품의 전지나 불량품의 전지 모두 일시적으로 정상전압수치를 나타낼 수 있으므로 정확한 건전지 성능을 평가할 수 있는 방법은 아니다.

다음으로 간단한 방법은 건전지에 부하를 연결하여 CCV (Closed Circuit Voltage)를 측정하는 것이다. 그림 2와 같은 회로를 구성하고 스위칭 소자 Q1을 on시키면 폐회로가 형성된다. 이 때 건전지 전극 양단에 발생하는 전압의 변화를 측정하여 내부 상태를 파악한다. 그림 2에서 R_s 의 값에 따라 방전 시간이 달라질 것이다. 만약 R_s 값이 비교적 큰 값이었다면 오랜시간이 걸리며, 적은 값일수록 짧은 측정시간이 소요된다.

그림 3은 제조사에서 측정한 LR20(IEC규격) 제품의 CCV 방전 특성 그래프를 나타낸 것이다[7]. 그림 3에서 볼 수 있는 것과 같이 1.5Ω 부하조건인 방전 측정 시 약 10시간 정도 지난 뒤에야 건전지의 양품과 불량품이 구분됨을 확인하였다. 하지만 다소 긴 측정시간이 요구된다.

그림 4와 같이 측정시간을 단축시키고 C_{surf} 의 영향을 줄이기 위해 역전압(E_r)을 인가하였다. 그림 5는 역전압 인가 폐회로의 시간에 따른 전압 곡선을 나타낸 것이다. 스위칭 소자(Q2)를 on 시켜 폐회로를 형성한다(t_0). 폐회로를 통해 건전지에 역전압이 공급된다. 공급된 역전압에 의해 건

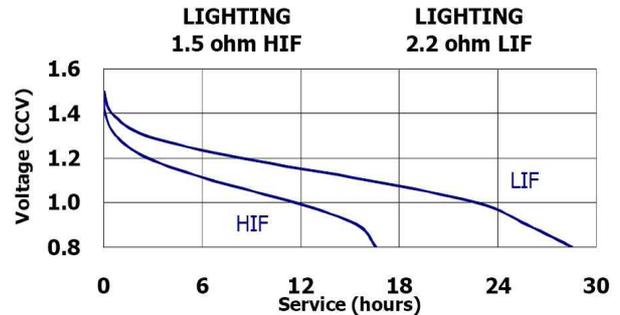


그림 3. 시간에 따른 CCV 값 변화곡선.
Fig. 3. CCV trend with respect to time.

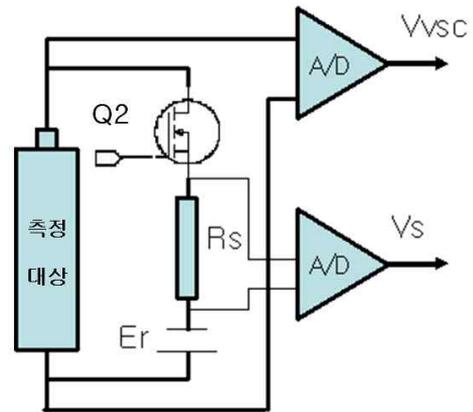


그림 4. 선트저항을 가진 역전압 인가 폐회로.
Fig. 4. Reverse voltage supply closed circuit with shunt resistor.

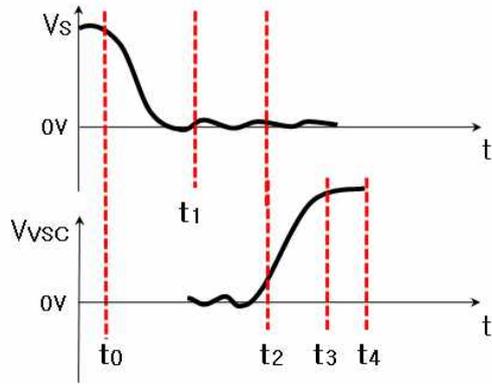


그림 5. 역전압 인가 폐회로의 시간에 따른 전압 곡선.
Fig. 5. Voltage curve with respect to time at Reverse voltage supply closed circuit.

전지에 내재되어 있던 전하들이 급속히 방전되면서 전지와 역전압원 양단의 전류흐름이 정지되는, 즉 선트저항(R_s) 양단의 전압 값(V_s)이 0이 되는 상태까지 도달한다(t_1). 이때 Q2를 off 시켜 폐회로를 차단한다(t_2). 건전지 내부의 순수한 화학반응에 의해 회복되는 전압(V_{vsc})을 측정한다($t_3 \sim t_4$). 이는 전지의 화학반응 속도와 밀접한 관련이 있으며, C_{bulk} 에 의한 전기량을 의미한다. 또한 측정 필요 시간적인 면에서 분석하였을 때, t_0 에서 t_1 까지 약 5ms 정도가 소요되며, t_1 에서 t_4 까지는 건전지의 용량에 따라 다르겠지만 LR20기준으로 약 10ms 정도가 소요된다. 따라서 전체 SC 과정에 필요한 시간으로 15ms 정도가 되며 제한한 방법에 의하여 건전지의 고속 성능평가가 가능하게 되었다.

이때 사용하는 R_s 의 경우 0.1 Ω 정도의 정밀 선트 저항을 사용한다.

그림 4와 같이 선트저항을 사용한 회로 구성의 경우 간혹 배선 저항, 외부 노이즈, R_s 값의 변한 정밀계측이 이루어지지 않는 경우가 발생한다. 따라서 그림 6과 같이 보다 정밀계측을 위해 홀전류센서(CT)를 사용하였다. 홀전류센서의 사용으로 R_s 에 의한 전압강하 영향을 줄일 수 있을 것이다.

III. 건전지 성능 측정 시스템

본 논문에서는 건전지의 고속측정을 수행하는 기기를 설계하였다. 측정기기는 앞에서 거론한 바와 같이 그림 6의 건전지에 역전압을 인가하여 측정시간을 단축시키는 방법을 사용하였으며, 전류측정을 위해 홀전류센서를 사용하였다.

측정 순서는 그림 7과 같은 순서로 동작한다. 1개의 건전지를 측정하는데 측정시작신호가 입력되면 OCV 값을 측정한다. 다음에 폐회로를 구성한 후 역 전압을 가하여 건전지의 방전요소의 소모를 유도한다. 만약 건전지와 E_r 과의 전압이 평행상태(0V)일 때 OCV를 측정한다. 이런 측정과정은 25ms 이내에 이루어지며, 측정대상 건전지의 이송시간까지 포함하면 50ms 이내에 1개의 건전지 성능평가를 수행한다.

개발한 측정기의 시스템 블록도와 사진을 그림 8과 9에 나타내었다. 개발제품은 메인 제어부, FET 드라이브부, AD

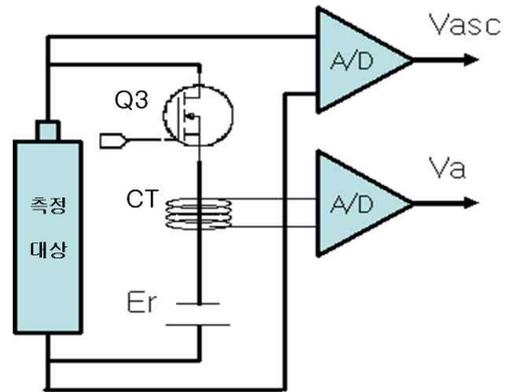


그림 6. 홀전류센서를 가진 역전압 인가 폐회로.
Fig. 6. Reverse voltage supply closed circuit with hall current sensor.

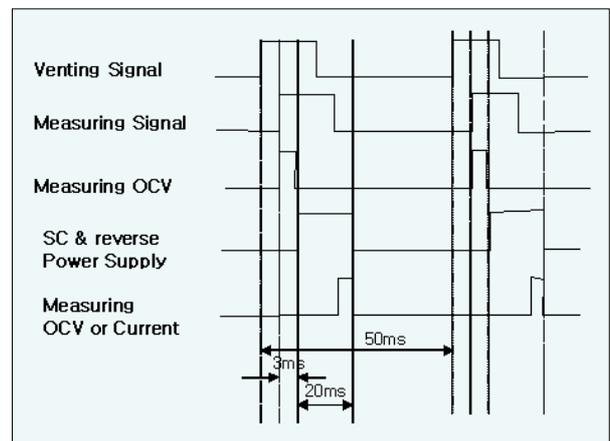


그림 7. 측정 시간 흐름도.
Fig. 7. Measuring time chart.

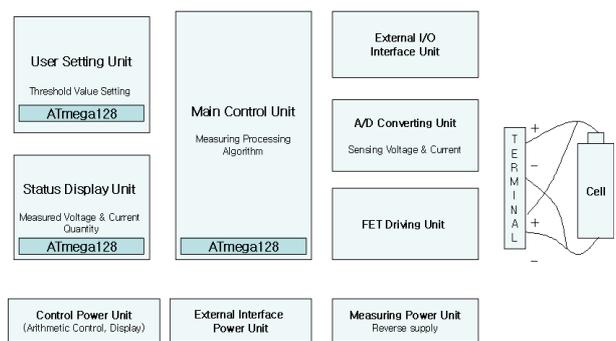


그림 8. 측정시스템의 블록도.
Fig. 8. Measuring system block diagram.

변환부, 외부 입출력부로 이루어져 있다. 메인제어부와 입출력부에는 각각 ATmega128의 마이컴이 사용되어 있으며, 이들 간에는 통신에 의한 정보교환이 이루어지도록 하였다. 홀전류센서로서는 PPIA05를 사용하였으며, OCV 값 또는 CT의 값을 처리하는 소자는 16bit AD 변환기를 사용하였다. FET 스위칭 신호는 설정기준전압과 피드백 전압과의 차이에 의한 PWM 제어가 되도록 설계하였다.



그림 9. 개발 제품 사진.

Fig. 9. Picture of the developed system.

IV. Experiment

개발제품의 성능평가를 수행하였으며, 그 방법은 400개 건전지를 대상으로 그림 10에 나타난 고속 평가설비에 개발기기를 장착하여 실시하였다. 측정과정은 고속평가 설비의 자동 공급 기구에 의해 연속적으로 측정대상 건전지가 공급되면 그림 7과 같은 일련의 측정순서에 따라 OCV와 SC를 AD 변환기를 통해 검출하고, 설정된 양불의 기준치와 비교 판단하여 분류하는 과정으로 수행하였다.

먼저 개발한 기기를 사용한 양품과 불량품을 판별하고, 수작업으로 400개의 건전지 전부를 방전 시험하여 개발기기의 오차발생 여부를 확인하는 것으로 하였다. 양품과 불량품을 선별하는 기준 전압인 활성화 전압을 0.86V로 설정하였다. 성능평가 결과는 표 1과 같이 380개의 양품과 20개의 불량품을 선별하였으며, 수작업결과 오차율은 0%로 나타났다. 그림 11에는 실험을 통해 얻어진 불량과 양품의 회복전압 곡형을 나타내었다. 양품의 경우 회복전압의 측정값이 약 1.02V를 보이며, 불량품의 경우 약 0.42V를 보였다. 또한 회복 전압발생 및 측정값 도출 시간이 10ms 정도 소요됨을 확인하였다. 따라서 성능평가 결과 모든 시료 건전지에 대하여 정확히 분류함을 확인하였으며, 25ms 이내에 건전지의 이송 및 평가과정이 수행될 수 있음을 확인 하였다.

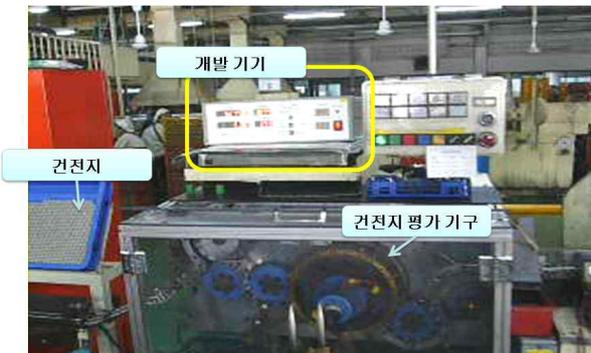


그림 10. 성능 평가에 사용된 설비.

Fig. 10. Equipment used for performance evaluation.

표 1. 성능결과 표.

Table 1. Performance results table.

	개발기기이용	전수검사	오차율
양품	380개	380개	0%
불량품	20개	20개	0%

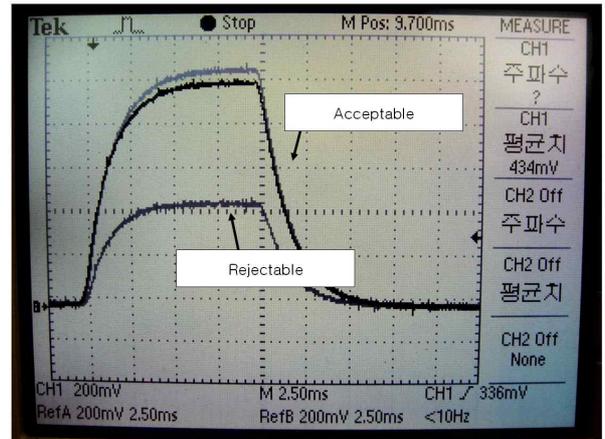


그림 11. 양품과 불량품의 전압특성 곡선.

Fig. 11. Voltage curves of qualified product and disqualified product.

V. 결론

본 논문에서는 고속이며, 고 분해능의 건전지 성능평가 장치의 동작 원리 및 시스템 구성에 대하여 기술하였다. 먼저 건전지의 모델링을 하였으며, 고속으로 건전지를 성능평가하기 위해서는 표면용량의 장애요인을 극복하여야 함을 기술하였다. 건전지의 표면용량으로 인한 검사오류를 줄이며, 건전지의 용적용량을 고속으로 계측하기 위한 방법으로 역전압을 가하는 방법을 사용하였다.

이러한 건전지의 측정 방법이 적용된 마이컴 기반의 성능평가 기기를 개발하였다. 개발된 기기는 약 400개의 건전지의 양품과 불량품을 선별하는 실험을 하였다. 수작업에 의한 정밀 분류 때와 기기를 통한 분류의 경우가 모두 일치함을 확인하였다. 또한 다양한 크기 및 용량의 건전지에 적용하였을 때도 100%의 성능평가가 이루어졌음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] "New Technology Batteries Guide," Office of Science and Technology American National Institute of Justice, March 1997.
- [2] T. F. Fuller, M. Doyle, and J. Newman, "Simulation and optimization of the dual lithium ion insertion cell," *Journal of Electrochem. Soc.*, vol. 141, no. 4, pp. 1-10, Apr. 1994.
- [3] D. Panigrahi, C. F. Chiasserini, S. Dey, R. R. Rao, A. Raghunathan, and K. Lahiri, "Battery life estimation for mobile embedded systems," *Proc. Int. Conf. VLSI Design*, pp. 55-63, Jan. 2001.

[4] F. Simjee and P. H. Chou, "Accurate battery lifetime estimation using high-frequency power profile emulation," in *Proc. of International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED)*, San Diego, CA, pp. 307-310, Aug. 2005.

[5] A. Fasih, "Modeling and fault diagnosis of automotive lead-acid batteries," Undergraduate Honors Thesis. The Ohio State University. 2006.

[6] "Energizer Cylindrical Alkaline Application Manual," Eveready Battery Co. Inc., 2001.

[7] "Product Datasheet ENERGIZER E95," Energizer Holdings, Inc.

[8] P. H. Chou, C. S. Park, J. Park, K. Pham, and J. Liu,

"A battery emulator and power profiling instrument," *Proceedings of the 2003 international symposium on Low power electronics and design*, Seoul, Korea, Aug. 2003.



정 현

1992년 조선대학교 제어계측공학과 졸업. 1996년 동 대학원 석사 1999년 동 대학원 박사. 1999년~현재 초당대학교 소방행정학과 부교수. 관심분야는 소방시설, 지능제어, 비전시스템, 로봇제어, 가상현실.