

충·방전 전류해석을 통한 납축전지의 효율적인 관리시스템

박영산*, 황종구**

The Efficient Maintenance System of Lead-acid Battery Based on the Analysis of Charging/Discharging Current

Young-San Park*, Jong-Gu Hwang**

요 약

독립전원으로 널리 사용되고 있는 납 축전지는 도서산간 벽지나 태양광을 이용하는 가로등 시스템과 같이 관리자가 없는 곳에서는 과방전으로 납 축전지의 수명이 급격히 단축되어 고가의 시스템을 효율적으로 사용하지 못하는 사례가 많이 발생한다. 이렇게 관리가 잘 되지 않는 곳에 설치된 납 축전지의 문제점인 과방전을 방지하여 납 축전지의 수명단축을 예방하고자 마이크로프로세서를 사용한 효율적인 관리 시스템을 구축하였다. 제안된 관리시스템은 납 축전지의 충·방전시 전류의 특성을 제어에 이용하였으며, 시스템 작동 중에는 납축전지의 현재 잔량을 표시하여 관리자가 잔량을 표시할 수 있도록 하였다.

Abstract

The efficient maintenance system of lead-acid battery was built based on analysis of charging and discharging current. This system was designed for the purpose of protecting the overdischarge of battery. So, We could protect the shortening lifetime of battery. It is checked the charging and discharging current of battery to decide the cut-off point by μ -processor 80c196. Two current sensors were used to sense the current and the μ -processor calculated amount of charging and discharging current of battery. And then, display the state of charge.

1. 서 론

도서 및 산간 지방의 전력보급은 아직도 많이 부족한 실정이다. 따라서 이런 곳에 살고있는 주민들의 불편함은 일일이 언급하지 않아도 짐작할 수 있을 것이다. 이러한 곳에는 발전소의 전기를 공급하기가 사실상 어려운 일이다. 활용도에 비해 너무 많은 비용이 들기 때문이다. 이러한 곳에는 자가 발전시스템이 설치되어 운용하고 있지만 정부에서 일부 연료비를 지원해 주고 있음에도 불구하고 과중한 연료비 부담으로 충분한 발전을 할

수 없는 실정이다. 이런 이유로 연료비의 부담이 없는 청정에너지, 즉 태양광발전이나 풍력발전 시스템의 설치가 검토되어 일부지방에서 이미 시행되고 있다. 그러나 이 시스템에는 축전지와 인버터가 장착되어 있어 관리자의 관리가 요구되고 있지만, 대부분 관리자 없거나 관리미흡으로 장착된 축전지는 과방전되어 훼손된 상태로 방치되고 있으며 고가의 청정에너지 설비가 제 기능을 발휘하지 못하고 있는 실정이다. 또한, 태양광을 이용하는 독립전원의 가로등 시스템에서도 축전지가 사용되고 있지만, 이 시스템도 마찬가지로 과방전

* 목포해양대학교 기관시스템공학과 교수
접수일자 : 2003. 9. 5

** 목포해양대학교 기관시스템공학부 대학원

방지시스템이 없기 때문에 대부분의 축전지가 과방전으로 인해 훼손된 상태로 방치되고, 가로등은 제 기능을 하지 못하고 있다.

화석연료가 유한하고 전 세계적으로 환경의 중요성이 점점 강조되고 있기 때문에 청정에너지 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 그러한 의미에서 납 축전지 관리장치의 개발은 청정에너지 효율적인 운용을 위해 대단히 중요하다고 할 수 있다.

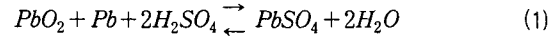
본 논문에서는 기존의 전압제어 방식과는 달리 마이크로컴퓨터를 이용해 충·방전 전류제어를 통한 효율적인 납 축전지 관리시스템을 구현하고자 하였다. 기존의 전압제어 방식은 축전지의 단자전압만을 이용하므로 축전지의 특성중의 하나인 가전압과 회복전압의 영향으로 축전지의 잔존용량을 정확하게 표시할 수 없고, 납 축전지의 주요 특성인 온도와 전류를 제어에 활용할 수 없으므로 예기치 못한 상황에서는 납 축전지가 수명단축 요인에 노출될 수밖에 없다. 따라서 본 논문에서는 마이크로컴퓨터를 이용하여 온도, 전압, 전류 등의 납 축전지의 주요특성을 디지털화하여 능동적으로 제어함으로써 지능적인 축전지 관리가 가능하게 하여 납 축전지가 최적의 상태를 유지할 수 있도록 하였다. 또한 충전시간을 설정할 수 있으며 충전상태를 판별하여 현재 잔량을 관리자가 확인할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 관리시스템은 납 축전지의 여러가지 성능특성(온도, 전압, 전류 등)중 특히 충·방전 전류를 분석하기 위해 실제로 축전지에 입·출력되는 전류량을 측정하여 전류의 변화를 관찰하였으며, 마이크로컴퓨터에 의해 수학적 처리과정을 프로그램으로 처리하여 온도 및 경년 변화의 영향이 최소화되도록 시스템을 구축하였다.

본 시스템에서는 반과정류 충전기를 사용하였으며, 마이크로컴퓨터와 전자접촉기(M.C)를 이용하여 충전 및 방전중지시점을 온/오프 제어되도록 하였다.

II. 납축전지의 모델링

납 축전지는 정극에 산화납, 부극에는 납을 사용하고 전해액으로 묽은 황산용액을 사용한다. 납 축전지의 화학반응은 식 (1)과 같다.



위 식 (1)의 화학반응은 가역반응으로 방전시에는 우측으로 반응이 진행되면서 외부로 전류를 방출하고, 충전시에는 외부전원으로부터 전류를 공급받아 좌측으로 반응이 진행된다.

충전시 전지의 단자전압 V 는 전지의 무 부하시의 기전력 E_0 보다 큰 값을 나타낸다. 이것은 내부 등가저항 R 이 전류 i 와 곱해져서 개로전압에 더해지기 때문이다. 이것을 수식으로 나타내면 식 (2)와 같다^{[1][2]}.

$$V = E_0 + i \cdot R \quad (2)$$

전지의 잔존용량(SOC : state of charge)은 충전이 진행됨에 따라 증가하게 되는데, 그 값은 식 (3)과 같이 전류의 시간에 대한 적분값으로 나타낼 수 있다^{[3][4]}.

$$SOC = SOC_t + \int_t^t i dt \quad (3)$$

$$R = (r + R_v) = r + G(SOC) \quad (4)$$

$G(SOC)$: SOC의 함수

SOC_t : SOC 초기 잔존용량(%)

r : 내부의 고유 저항성분,

R_v : 용량 변화에 따른 가변 저항성분

개로전압과 내부 저항성분은 잔존용량의 함수로 표현되고, 입력전류를 i 라고 할 때 단자전압을 식 (5)로부터 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다^{[3][4][5]}.

$$V_b = R \cdot i + V_{op} \quad (5)$$

$$V_b = r \cdot i + R_v \cdot i + F(SOC) \quad (6)$$

$$= r \cdot i + G(SOC) \cdot i + F(SOC)$$

$$= r \cdot i + U(SOC)$$

V_b : 전지의 단자전압

$F(SOC), U(SOC)$: SOC의 함수

V_{op} : 개로전압

R : 전지의 저항

위의 식 (6)으로부터 납 축전지를 개로전압, 내부저항, 가변저항 및 잔존용량 성분으로 나타낼 수 있다. 이러한 성분들을 이용하여 축전지를 모델링하면 그림 1과 같이 된다.^{[3][4][5][6]}

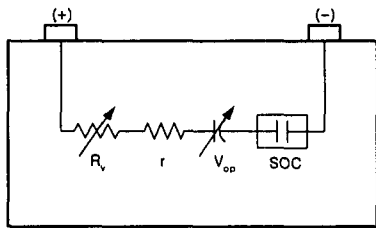


그림 1 납축전지의 모델링
Fig. 1 Model of Lead-Acid Battery

이중에서 V_{op} 와 R_v 는 잔존용량의 함수로 충전이 진행되면서 가변되는 값을 갖는다. 그림 1의 모델에서는 온도에 따른 변화와 전지의 경년 변화 및 충전초기의 과도상태 등에 대하여 고려되지 않았기 때문에 충전초기의 급격한 상태 변화나 온도에 따른 전압의 변동을 표현할 수 없으나 정상상태의 충전에서 근사적으로 선형화시킨 간략화된 모델로써 사용할 수 있다.

III. 납축전지의 효율적인 관리시스템 설계

1. 하드웨어 구성

본 논문에서 제안하는 관리시스템은 그림 2와 같이 제어부, 전류, 전압, 온도 측정부, 출력 차단부 그리고 디스플레이부로 구성하였으며, 제어부의 CPU는 80C196KC 마이크로프로세서를 사용하였다. 충전 및 방전 회로상에는 납 축전지에 충·방전되는 전류량을 전류센서를 통해 계속 검출하고, 센서를 통해 입력된 전압신호는 A/D 변환되

어 충·방전 용량산출에 이용되며 출력차단의 기준으로 사용된다.

납 축전지의 충·방전 사이클이 반복되는 동안, 연속하여 기억된 잔존용량 데이터를 사용하며, 충전종료 시점에 도달하거나 방전종료 시점에 도달하면 M.C가 작동하여 충전 및 방전을 중지시켜 납 축전지가 수명 단축요인에 노출되는 것을 방지한다.

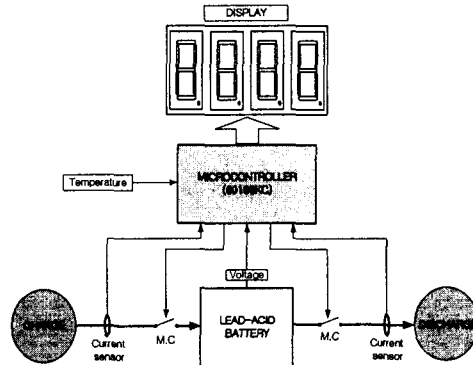


그림 2 납축전지 관리시스템 구성
Fig. 2 Maintenance System of Lead-Acid Battery

또한, 납 축전지의 단자전압 및 온도를 일정주기로 측정하여 설정치를 벗어날 경우에도 충·방전을 중지하여 예기치 못한 외부상황에도 납 축전지를 보호할 수 있도록 시스템제어에 사용하였다.

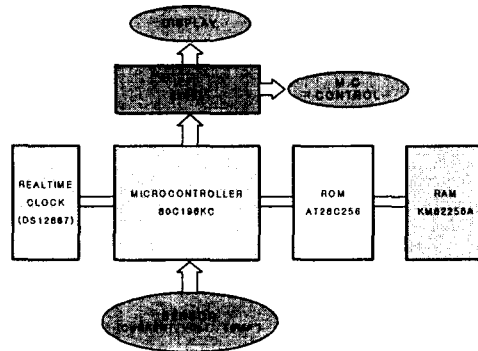


그림 3 마이크로컴퓨터의 구성
Fig. 3 Diagram of Microcomputer

(1) 제어부

납 축전지의 전압, 전류, 온도의 아날로그 값을

디지털신호로 변환하여 시스템을 제어하기 위해서 마이크로프로세서를 사용하여 제어부를 구성하였다. 마이크로프로세서는 주변소자로 그림 3과 같이 82C55, RAM, ROM, RTC등이 사용되었으며 전류센서, 분압회로, 온도센서에서 측정된 아날로그 값을 8채널의 A/D변환 포트에 입력받아 A/D 변환을 수행한다. A/D변환 결과데이터는 ROM에 저장되어 있는 프로그램에 의해 계산된 후 그 값을 제어에 이용한다.

(2) 전류 측정부

납 축전지의 충전 및 방전시 전류량을 홀센서를 통하여 측정하고 그 값으로 납 축전지의 용량을 계산하기 위한 전류 측정부를 구성하였다. 시스템에는 50A정격의 전류센서 두개를 이용하여 각각 충전, 방전시 한 개씩 분담하여 전류량을 측정하도록 구성하였으며, 각각의 센서에서 출력되는 전압신호를 A/D 변환하여 충·방전되는 전류량을 계산한다. 센서에서 출력되는 전압신호는 DC 0~4V로서 마이크로프로세서가 인터페이스 없이 즉시 입력받아 A/D 변환할 수 있다. 마이크로프로세서에서 분해능을 10비트 모드로 사용하였으며 총 8채널의 A/D채널 중 2개의 채널을 충전 및 방전 한 채널씩 사용했다. 계산식은 식 (9)와 같다.

마이크로프로세서의 기준전압은 5V이므로 전압이 상이하여 식 (8)와 같이 입력전압을 5V를 기준으로 했을 때의 값으로 환산하여, 식 (9)와 같은 계산식을 도출하였다.

$$A/D RESULT = 1023 \times \frac{V_{i_n}}{V_{REF}} \tag{7}$$

$$V_{i_n} = \frac{5}{4} V \tag{8}$$

$$\begin{aligned} A/D RESULT &= 1023 \times \frac{\frac{5}{4} V}{V_{REF}} \\ &= 1023 \times \frac{5V}{4V_{REF}} \\ &= 1023 \times \frac{V}{4} \end{aligned} \tag{9}$$

V_{i_n} : 입력전압을 기준전압으로 환산한 전압

V : 입력전압(아날로그 신호:0~4V)

V_{REF} : 기준전압(5V)

(3) 전압 측정부

납 축전지에서 방전종지전압 이하의 과방전을 방지하고 충전 및 방전이 진행되어 감에 따라 단자전압의 변화추이를 감시하기 위해 단자전압 측정부를 구성하였다. 납 축전지는 충전 중 최고 16V이상까지 단자전압이 상승할 수 있으므로 0~20V 범위까지 측정 가능하도록 분압회로를 구성하였다. 분압회로는 저항을 이용하였으며 전압범위를 0~5V로 마이크로프로세서에서 입력 가능한 전압범위로 낮추어 A/D 변환하도록 하였다.

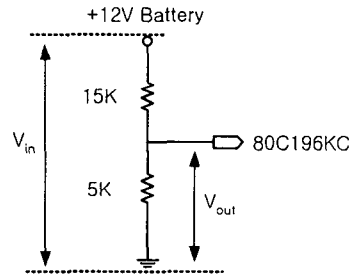


그림 4 전압 측정회로
Fig. 4 Circuit of Voltage Measurement

(4) 온도 측정부

납 축전지에서 충전 및 방전이 진행됨에 따른 내부 온도변화를 측정하여 충전상태를 판단하기 위해 온도 측정부를 구성하였다. 온도측정은 LM35DZ 온도센서를 사용하였으며, LM35DZ는 (-)55℃~150℃의 측정 가능한 온도센서이다. LM35DZ는 1℃마다 10mV를 출력하는 특성을 가지고 있으며 영하에서는 (-)전압을 출력하며, 영상에서는 (+)전압을 출력한다.

주위의 온도가 영하일 경우 CPU가 (-)Vin의 전압신호를 A/D 변환 가능토록 그림 5과 같이 (-)Vin ~ (+)Vin의 입력신호에 직류옴셋 전압을 더하여 0 ~ (+)2Vin의 범위의 전압으로 만들어 A/D 변환을 수행하게 하였다. 마이크로프로세서의 분해능을 향상시키기 위해 4배로 증폭시켜

마이크로프로세서에서 입력반도록 회로를 구성하였다.

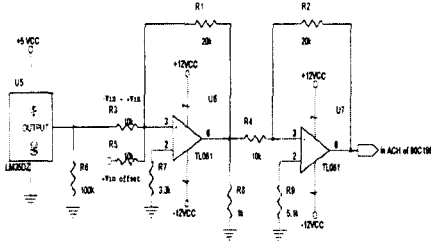


그림 5 온도측정 회로

Fig. 5 Circuit of Temperature Measurement

2. 소프트웨어 구성

프로그램은 C언어로 작성하였으며, 시스템을 초기화한 후 먼저 초기 충전을 실시한다. 초기충전이 완료되면 전체용량에 대해 온도보정을 한 후, 이후부터 방전, 충전 사이클을 반복적으로 수행하게 하였다. 초기충전은 납 축전지의 현재 잔량을 알 수 없으므로 시스템 시작시 초기에 충전하여 만 충전된 상태에서 방전 전류량과 충전 전류량을 계산하여 지속적으로 잔량을 나타내고 과방전과 과충전을 제어하기 위함이다.

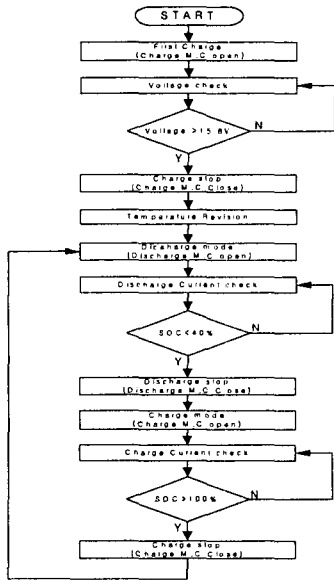


그림 6 시스템 순서도

Fig. 6 Flow-chart of Designed system

초기 충전시 단자전압을 이용하여 충전 완료시점을 제어하며, 그때의 전압을 15.8V로 설정하였다. 15.8V는 실험결과에 따른 데이터이다.

초기충전 완료 후 시스템은 온도에 따른 전체 용량을 보정한다. 납 축전지는 온도에 따라서 용량이 변하므로 식 (10)에 의해 용량 보정을 하여 시스템에 적용하였다. 방전초기에 납 축전지 온도 T 를 측정하여 25[°C]에서의 잔존용량 정수 C_{25} 를 온도 보상값 C_T 로 조정하여 계산함으로써 온도에 따른 잔존용량의 오차를 줄이도록 하였다.

$$C_T = \frac{C_{25}}{1 + 0.005(25 - T)} \tag{10}$$

방전시 방전 종지시점을 SOC의 40%로 설정하였으며, 충전시 충전완료시점을 SOC가 100%가 되는 시점으로 설정하였다. 그림 6은 전체 프로그램의 흐름도를 나타낸 것이다.

IV. 실험 및 결과의 고찰

1. 충·방전 전류 측정 실험

제안한 시스템으로 전기량 적산의 방법을 이용하여 납 축전지에 입·출력되는 전류량을 측정하여 전류 변화 상태, 방전용량과 충전용량의 관계, 그리고 그에 따른 전압과 온도의 변화를 실험하였다. 실험에 사용된 납 축전지는 24AH (24-19AH)의 축전지를 사용하였으며, 충전기는 상용되는 반 파 정류방식의 충전기를 사용하였다. 충전 및 방전시 충전전류 및 방전용을 다르게 하여 일정부하의 연속 충·방전 실험을 하였다.

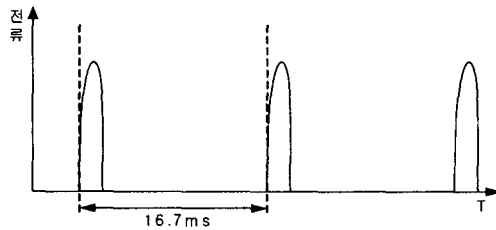
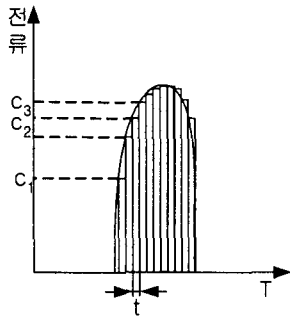


그림 7 충전 전류 파형

Fig. 7 Current Wave of Charge

전류측정은 전하량 적산방식을 사용하였으며 그림 7과 같은 충전파형을 마이크로프로세서를 이용하여 연속적으로 A/D변환하였으며, 그림 8과 같이 A/D 변환된 값을 시간으로 곱하고 그 값을 모두 더하여 계산하였다. 충전파형은 60Hz 반파로서 1초에 60개의 파형이 발생하며, 그림 9는 실제로 충전파형을 A/D변환하여 그래프로 도시한 결과이다. 그림 9에서 A/D변환은 1주기에 약 50회 정도 수행하였다.



$$\begin{aligned} \text{Current} &= C_1t + C_2t + C_3t + \dots \\ &= (C_1 + C_2 + C_3 + \dots)t \end{aligned}$$

그림 8 충전전류 측정
Fig. 8 Measurement of Charge Current

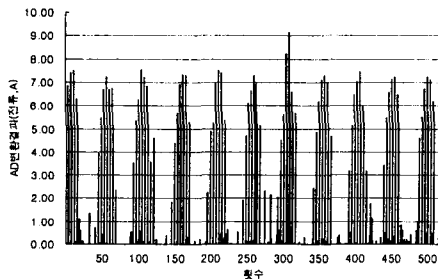


그림 9 A/D 변환 결과
Fig. 9 The Result of A/D Conversion

2. 결과의 고찰

12V 24AH의 납 축전지를 이용하여 제안된 시스템을 구성하고 실험을 행하였다. 방전시 방전 전류량을 변화시켜 그에 따른 용량의 변화 및 전류량 변화, 그리고 전압과 온도변화를 실험하였다. 방전실험은 납 축전지의 규정용량이 완전 충

전된 상태에서부터 방전 중지전압(10.5V)까지의 용량을 나타내므로 충전지가 완전 충전된 상태에서 방전 중지전압(10.5V)까지 방전시켜, 그때까지의 용량 및 전류의 변화를 측정하였다. 방전시 방전율을 0.1C, 0.15C, 0.3C, 0.5C로 다르게 하여 실험하였다.

(1) 0.1C 방전

0.1C 즉, 약 2.8A로 방전후 충전실험을 하였다. 그림 10은 방전후 충전시 납 축전지의 용량변화를 나타낸 그래프이다. 총 방전시간은 약 7시간 40분 정도 소요되었으며 방전 중지전압까지 방전하여 전체용량의 92.4%까지 방전할 수 있었다. 방전시에는 일정부하를 사용하여 시간에 비례하여 감소하였으며, 충전시에는 그림 11의 그래프에서 나타내듯이 초기에 방전된 상태의 축전지 내부의 전해액의 비중이 저하되고, 그로 인해 내부저항이 증가하여 많은 양의 전류가 유입됨을 나타낸다. 충전이 진행됨에 따라 전해액의 비중은 증가하고 내부저항은 감소하므로 유입되는 전류량은 감소하고, 완전충전이 가까워지면서 전류의 유입량의 변화가 적어지고 있다. 그에 따라 용량의 곡선 그림 10은 충전 말기에 원만하게 나타나고 있다.

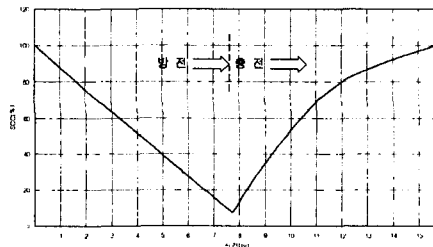


그림 10 0.1C의 방전과 충전시 SOC곡선
Fig. 10 SOC of Discharge(0.1C) and Charge

그림 11의 충전말기 전류변화량이 적은 부분에서 충전은 완료되고 그 시점에서 SOC곡선은 100%를 나타내고 있다. 즉 방전된 용량과 충전된 용량이 거의 일치되고 있음을 나타내고 있다

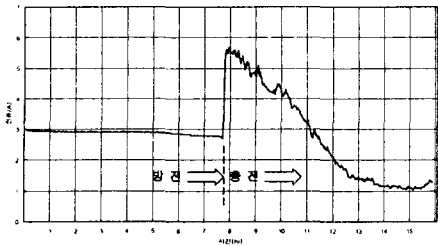


그림 11 0.1C의 방전과 충전시 전류곡선
Fig. 11 Current of Discharge(0.1C) and Charge

그림 12는 방전·충전시 단자전압의 변화를 나타내고 있다. 방전 초기시 13.2V를 나타내고 있으며 방전이 진행됨에 따라 서서히 단자전압이 감소하고 있음을 나타내고 있다.

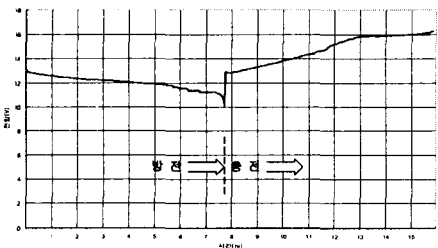


그림 12 0.1C의 방전과 충전시 단자전압 곡선
Fig. 12 Terminal Voltage of Discharge(0.1C) and Charge

방전말기 11V에서는 급격한 전압변화를 나타내며 방전 중지전압에 수분 이내에 도달함을 볼 수 있다. 충전이 진행됨에 따라 단자전압은 서서히 증가하고 충전 말기시 단자전압의 변화가 적음을 알 수 있다. 완전 충전시 단자전압은 약 16V정도를 나타내고 있다.

(2) 0.15C 방전

그림 13은 0.15C, 즉 3.8A 방 전후 충전하여 용량변화를 그래프로 나타낸 그래프이다. 방전시간은 5시간 30정도 소요되었으며, 방전종지전압까지 방전하여 전체 용량의 85%까지 방전할 수 있었다. 0.1C 방전시와 동일하게 방전시에는 시간에 비례하여 용량이 감소함을 보이고 있으며, 충전시에는 그림 14의 그래프에서 나타내듯이 충전초기

에 많은 양의 전류가 유입되다가 충전이 진행됨에 따라 서서히 감소함을 알 수 있다.

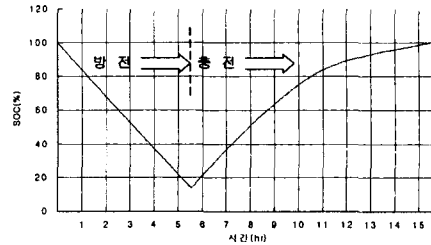


그림 13 0.15C의 방전과 충전시 SOC곡선
Fig. 13 SOC of Discharge(0.15C) and Charge

또한 충전말기에 유입되는 전류의 변화가 적은 부분에서 충전이 완료됨을 나타내며 그 시점에서 그림 14의 그래프는 용량이 100%를 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 0.15C 방전시에도 0.1C의 경우와 마찬가지로 방전 전류량과 충전 전류량이 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

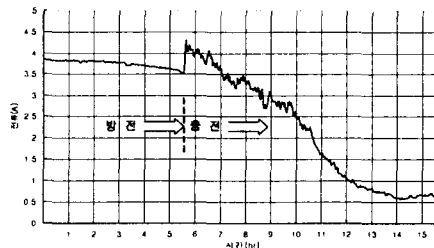


그림 14 0.15C의 방전과 충전시 전류곡선
Fig. 14 Current of Discharge(0.15C) and Charge

그림 15의 그래프는 방전 충전시 단자전압의 변화를 나타낸 그래프이다. 단자전압은 방전이 진행됨에 따라 서서히 감소하다 11V에서 급격히 하락하여 수분 이내에 방전 중지전압에 도달함을 알 수 있다. 충전말기 단자전압의 변화는 거의 없으며 충전완료시 단자전압은 약 15.8V를 나타내고 있다.

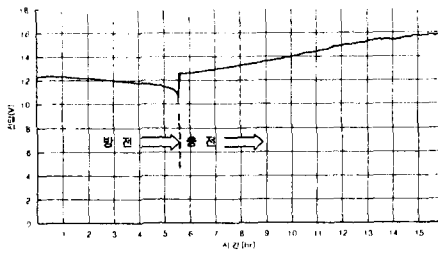


그림 15 0.15C의 방전과 충전시 단자전압 곡선
Fig. 15 Terminal Voltage of Discharge(0.15C) and Charge

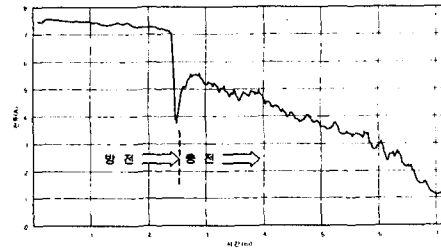


그림 17 0.3C의 방전과 충전시 전류곡선
Fig. 17 Current of Discharge(0.3C) and Charge

(3) 0.3C 방전

그림 16은 0.3C 즉, 7.5A 방전 후 충전하여 납축전지의 용량변화를 나타낸 그래프이다. 총 방전 시간은 2시간 30분 정도 소요되었으며, 방전종지 전압까지 방전하여 전체용량의 73%까지 방전할 수 있었다. 앞의 실험과 마찬가지로 방전시 시간에 비례하여 용량이 감소함을 나타내고 있으며, 충전시에는 그림 17의 그래프에 나타내듯이 충전 초기에는 많은 양의 전류가 유입되며 충전이 진행됨에 따라 서서히 전류가 감소하여 충전말기에 전류의 변화량이 적은 부분에서 충전이 완료됨을 알 수 있다.

충전이 완료된 시점에서 그림 16의 그래프에서는 용량이 100%에 가깝게 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 이 또한 앞의 실험과 마찬가지로 방전 용량과 충전용량이 거의 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

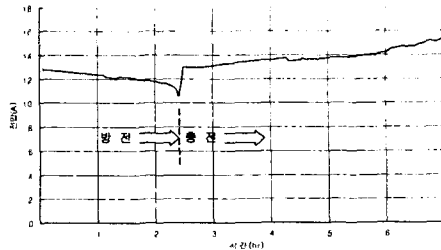


그림 18 0.3C의 방전과 충전시 단자전압 곡선
Fig. 18 Terminal Voltage of Discharge(0.3C) and Charge

그림 18의 그래프는 방전 충전시 단자전압의 변화를 나타낸 그래프이다. 단자전압을 방전이 진행됨에 따라 서서히 감소하다 11V에서 급격히 하강하여 수분 이내에 방전 종지전압에 도달함을 알 수 있다. 충전말기 단자전압의 변화는 거의 없으며 충전 완료시 단자전압은 약 15.7V를 나타내고 있다.

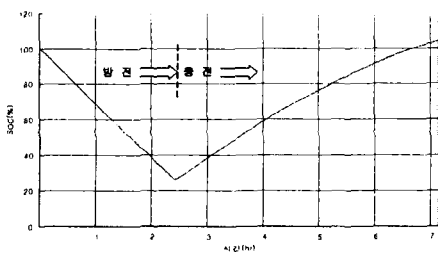


그림 16 0.3C의 방전과 충전시 SOC곡선
Fig. 16 SOC of Discharge(0.3C) and Charge

(4) 0.5C 방전

그림 19의 그래프는 0.5C 즉, 약 12A로 방전 후 충전하여 납축전지의 용량변화를 나타낸 그래프이다. 총 방전시간은 약 1시간 30분 정도 소요되었으며, 방전 종지전압까지 방전시 전체용량의 68%까지 방전할 수 있었다. 그림 20의 그래프는 방전, 충전시 순간 전류량을 측정하여 그래프로 나타낸 것이다.

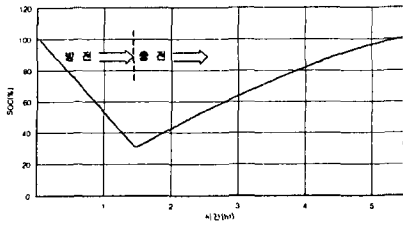


그림 19 0.5C의 방전과 충전시 SOC곡선
Fig. 19 SOC of Discharge(0.5C) and Charge

충전시 초기에 많은 양의 전류가 유입되며 충전이 진행됨에 따라 서서히 감소하다가 충전말기에 전류변화량이 적은 부분에서 충전이 완료됨을 확인할 수 있으며 그 시점에서 그림 19의 그래프는 용량 100%를 나타내고 있음을 알 수 있다. 0.5C의 경우도 마찬가지로 방전 전류량과 충전 전류량이 거의 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

그림 21의 그래프는 방전 충전시 단자전압의 변화를 나타낸 그래프이다. 단자전압은 방전이 진행됨에 따라 서서히 감소하다 11V에서 급격히 하강하여 수분 이내에 방전 중지전압에 도달함을 알 수 있다. 충전말기 단자전압의 변화는 거의 없으며 충전 완료시 단자전압은 약 16V를 나타내고 있다.

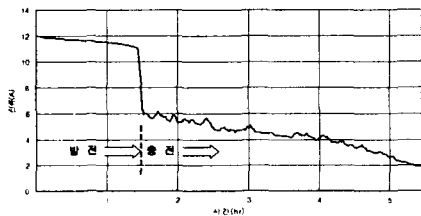


그림 20 0.5C의 방전과 충전시 전류곡선
Fig. 20 Current of Discharge(0.5C) and Charge

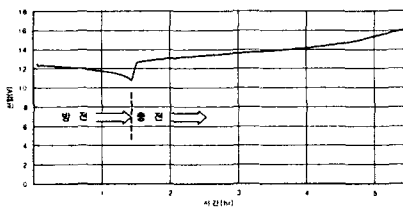


그림 21 0.5C의 방전과 충전시 단자전압 곡선
Fig. 21 Terminal Voltage of Discharge(0.5C) and Charge

위의 실험결과를 종합하여 분석한 결과 표 1의 결과를 얻었다.

표 1 실험결과
Table 1 The Result of Experiment

방전율 (C)	방전전류 (A)	방전시간 (min)	방전가능용량 (%)
0.1	2.8	460	92.4
0.15	3.8	330	85
0.3	7.5	150	73
0.5	12	90	68

그림 22, 23은 표 1을 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 나타내듯이 방전율과 방전시간 및 축전지 용량은 거의 선형성을 보여주고 있다. 그림 22에서 방전율이 증가할수록 납 축전지에서 방전할 수 있는 시간이 감소하고 있으며, 그에 따라 그림 23에서 나타내 듯이 방전 가능한 납 축전지의 전체용량은 감소함을 보여주고 있다.

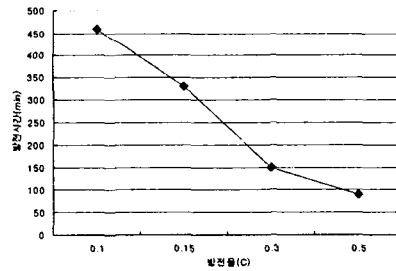


그림 22 방전율과 방전시간과의 관계
Fig. 22 Relation Between Discharge Rate and Time

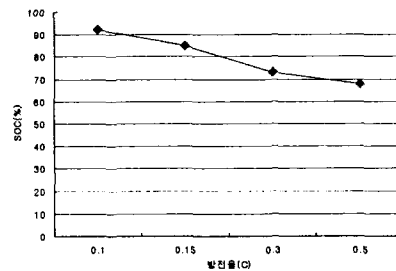


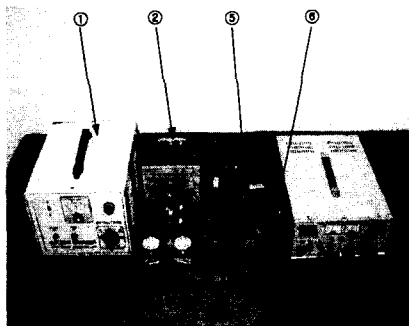
그림 23 방전율과 SOC와의 관계
Fig. 23 Relation Between Discharge Rate and SOC

3. 시스템 적용

그림 1의 축전지 모델을 근거로 제안한 납 축전지 관리시스템에 적용하였다. 전지는 12V 24AH 용량의 납 축전지를 사용하였으며 충전기는 반파정류방식의 충전기를 이용하였다. 방전은 방전을 0.15C로 약 4A의 저항부하를 사용하였다. 그림 24는 제안된 시스템의 사진이다.

충전중에 CPU는 지속적으로 충전되는 전류량을 체크하여 현재 잔량에 적산하여 충전상태를 나타내고, SOC가 100% 도달하면 충전이 완료된 것으로 인식하여 마이크로프로세서에서는 입력을 차단하기 위한 신호를 출력하였다.

방전중에는 납 축전지의 전체용량을 기준으로 방전 전류량을 감산하여 연속적으로 축전지 잔량을 나타내었으며, 납축전지 총 용량의 60% 방전시 축전지 출력을 M.C로 차단하여 방전이 중지되도록 하였다. 방전 중지시점을 SOC가 60%가 되는 시점으로 설정한 것은 본 시스템에 적용된 납 축전지는 0.5C이하의 낮은 방전율에 적합하도록 설계된 축전지이며, 실험결과에 의한 0.5C에서 방전용량 한계점 68%에서 자기방전량(약 1% / 일) 고려하여 60%로 설정하였다. 방전 중지시점은 적용되는 납 축전지의 용도의 따라 소프트웨어로 변경 적용할 수 있다.



- ① Charger
- ② Lead-Acid Battery
- ③ Microcomputer
- ④ M.C S/W
- ⑤ Display
- ⑥ Circuit of Sensor
- ⑦ Power Supply

그림 24 제안된 시스템
Fig. 24 Proposed System

또한 CPU에서 지속적으로 측정하고 있는 단자 전압이 11V에 도달하면 방전이 중지되었고, 납축전지 온도가 45°C이상 일 때에는 충·방전이 모두 중지되어 납 축전지가 보호되었다.

그림 25는 시스템 적용결과를 그래프로 도시한 것이다. 방전, 충전 세 번의 사이클을 연속적으로 실험한 결과이다. 그림 25에서 나타내듯이 SOC가 40% 남아 있을 경우 방전이 중지되고 충전으로 전환되었으며, SOC가 100%에 도달하면 충전이 중단되고 방전으로 전환되었다.

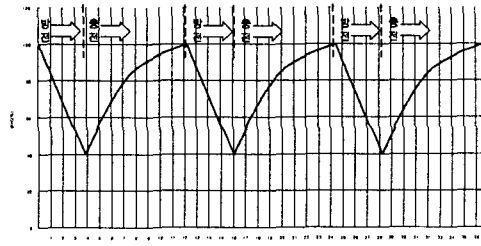


그림 25 CYCLE중 SOC 곡선
Fig. 25 SOC Curve on CYCLE

그림 26은 사이클 실험시의 전류의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 사이클동안 충전초기에는 전해액의 비중이 작아 내부저항이 크며, 그로 인해 많은 양의 전류가 유입되는 것을 알 수 있으며 충전이 진행되면서 내부저항은 서서히 감소하여 충전말기에는 유입되는 전류량의 변화가 적어짐을 알 수 있다.

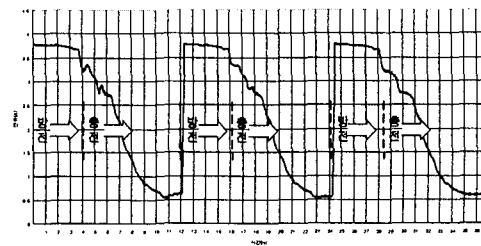


그림 26 CYCLE상 전류곡선
Fig. 26 Current Curve on CYCLE

그림 27은 사이클동안 전압의 변화를 나타낸 그래프이다. SOC가 40%가 되는 시점에서 단자전

압은 약 11.5V이며, 충전이 진행되면서 전압은 서서히 상승하다가 SOC가 100%되는 시점에서 단자전압은 약 15.8V임을 나타내고 있다.

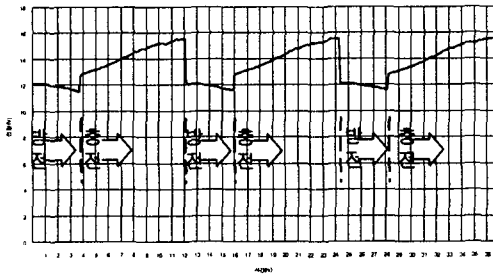


그림 27 CYCLE상 단자전압 곡선
Fig. 27 Terminal Voltage Curve on CYCLE

V. 결론

본 연구에서는 납 축전지 충·방전시 전류, 전압, 온도 등의 특성을 해석하고 그 결과를 마이크로프로세서를 사용하여 과방전과 과충전으로 인하여 납 축전지의 수명이 단축되는 것을 방지하기 위한 시스템을 구축하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 충·방전시 납 축전지로 입·출력되는 전류량과 단자전압 및 온도를 마이크로프로세서를 이용하여 측정하고 그 데이터를 이용하여 충·방전 전류를 제어함으로써 납 축전지의 수명단축 원인이 되는 과충전과 과방전을 방지할 수 있었다.
2. 방전을 및 방전심도 따라 방전종지 시점을 자유로이 조절함으로써 도서 산간지방과 같이 관리자가 일일이 관리하기 어려운 곳의 무인 관리시스템에 적합하도록 시스템을 설계 제작하였다.
3. 마이크로프로세서를 이용한 디지털 납 축전지 관리시스템을 통하여 PC와 연계하여 축전지 충·방전시의 전류, 전압, 온도 특성 등의 자료를 축적함으로써 납 축전지의 효율적

인 관리와 연구가 가능하게 되었다.

본 논문에서 제안하는 효율적 납 축전지 관리 시스템은 자가발전이나 소형 풍력발전, 태양광 발전을 이용하는 도서 산간지방의 중·소형 전력 관리 시스템과 소형 풍력, 태양광 발전을 이용하는 가로등 시스템 등 사람의 관리가 필요하나 제대로 관리가 이루어지지 못하는 곳에서 무인시스템으로 사용하면 사회적, 경제적으로 많은 이득을 기대할 수 있을 것으로 생각되며 축전지의 충전방식과 관련된 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] Wei Tang, Fred C. Lee, and Isaac Cohen, "Charge control : Modeling, Analysis, and Design" Transaction on Power Electronics of IEEE, vol. 8, no. 4, pp 396-403, October 1993.
- [2] M.A. Casacca, Z.M. Salameh, "Determination of Lead-acid battery capacity via mathematical modeling Techniques," Transaction. Energy conversion of IEEE, vol. 7, no. 3, pp. 442-446. september 1992.
- [3] R. B. Ridley, "A new, continuous-time model for current-mode control," Transaction on Power Electronics of IEEE, vol. 6, no. 4, pp. 271-280, October 1991.
- [4] William Lynch, Margaret Casacca and Ziyad Salameh, "Liner current mode controller for battery test applications," Transactions on Industrial Electronics of IEEE, vol. 8, no. 1, pp 20-24, March 1993.
- [5] A. Capel, "Charge controlled conversion principle in dc/dc regulators combines dynamic performance an high output power," Proceeding of Power Electronic. Specialists Conference of IEEE, pp. 264-276, 1976.
- [6] K. W. Klontz, A. Esser, R. R. Bacon, D. M. divan, D. W. Novotny and R. D. Lorenz, "An electric vehicle charging system with universal inductive Interface," Proceedings of International Power Electronics Conference - Yokohama, pp. 227-232, 1993.

저자 소개



박영산(Young-San Park)

1991. 2 한국해양대학교 기관공학과 졸업(공학사)

1997. 2 한국해양대학교 기관공학과 석사과정 졸업(공학석사)

2000. 2 한국해양대학교 기관공학과 박사과정 졸업(공학박사)

2000. 3 ~ 현재 목포해양대학교 기관시스템공학부 조교수

※ 관심분야 : 반도체전력변화, DSP



황종구(Jong-Gu Hwang)

1998. 2 한국해양대학교 기관공학과 졸업(공학사)

2003. 8 목포해양대학교 기관시스템공학부 석사과정 졸업(공학석사)

※ 관심분야 : 반도체전력변화, DSP