

# 마이크로 프로세서를 이용한 축전지의 병렬운전 부하분담률 개선에 관한 연구

반한식, 이정민, 목형수, 최규하  
건국대학교 전기공학과

## A Study on the Improved Load Sharing Rate in Paralleled Operated Lead Acid Battery by Using Microprocessor

H.S. Ban, J.M. Lee, H.S. Mok, G.H. Choe  
Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University

### ABSTRACT

A battery is the device that transforms the chemical energy into the direct-current electrical energy without a mechanical process. Unit cells are connected in series to obtain the required voltage, while being connected in parallel to organize capacity for load current. Because the voltage drop down in one set of battery is faster than in two one, it may result in the low efficiency of power converter with the voltage drop and cause the system shutdown. However, when the system being driven in parallel, a circular-current can be generated. It is shown that, as a result the new batteries are heated by over-charge and over-discharge, and the over charge current increases rust of the positive grid and consequently shortens the lifetime of the new batteries. The difference between the new batteries and old ones is the amount of internal resistance. In this paper, we can detect the unbalance current using the microprocessor and achieve the balance current by adjusting resistance of each set. The internal resistance of each set becomes constant and the current of charge and discharge comes to be balanced by inserting the external resistance into the system and calculating the change of internal resistance.

### 1. 서론

축전지의 역할은 저장된 전력을 순간하지 않고 부하 설비에 공급하는 것이며, 비교적 전기용량이 큰 산업용 전지는 납 축전지, 니켈-카드뮴 축전지, 공기습전지 등으로 분류한다. 통신용전원으로 사용되고 있는 축전지는 대용량을 필요로 하는 관계로 납 축전지와 알칼리전지

를 많이 사용하고 있다. 통신용 직류전원으로 최대 직류 48[V] 4800[A] 단일 시스템을 구성하기 위해 국내생산최대용량 단위전지인 2[V] 4400[AH]의 전지를 사용하여 직렬연결로 적정전압 48[V]를 만들고, 보상시간을 3~12 시간 부하전류에 지속될 수 있는 용량을 구성하기 위해 병렬로 조합하여 사용하고 있다. 이때 초기 투자를 경감하기 위해 부하의 증가에 따라 정류기와 축전지를 병렬로 연결하여 전원 용량을 증가시키는 방법을 사용하는데 국내에서 최대로 연결하고 있는 병렬 조 수는 6조까지 운용하고 있다. 제작회사와 제작일자도 다르고, 용량이 서로 다른 축전지를 병렬로 운용하는 경우가 일반적이기 때문에 병렬 운용할 경우 신, 구축전지 사이에서 순환전류가 발생하고 자기방전이 일어나게 된다. 내부저항 증가로 충전전류가 조별로 다르게되고, 과대한 충전전류는 양극격자 또는 심금의 부식을 증가시키는 원인이 되며, 새로 설치한 축전지가 내부저항이 낮아 과방전이 되므로 방전심도가 크게되고, 수명을 단축시키게 된다. 본 논문은 납 축전지의 병렬운전의 필요성과 이에 따라 발생하는 불평형 전류를 감소시키기 위해 부하 분담률 개선 방식을 제안하였다. 또한 마이크로프로세서의 프로그래밍에 의한 실험을 통해서 이를 검증하였다.

### 2. 축전지의 특성

#### 2.1 축전지 동작원리

전지의 기전력  $E$ 는 전지를 통하여 흐르는 전류가 없을 때, 양극판 전위  $E_+$ 와 음극판 전위  $E_-$ 의 차에 있다.

$$E = E_+ - E_- \quad (1)$$

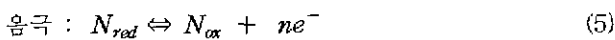
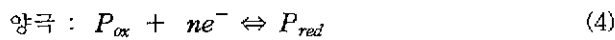
전지와 외부회로를 통한 전류가 있을 때, 그것의 내부저항에 의한 전위는 떨어지고, 외부회로에서의 전위는 개방된 양극사이의 전위차보다 적다. 외부회로의 저항  $R$ , 전지의 내부저항  $r$  및 기전력  $E$  일 때, 회로를 흐르는 전류  $I$ 는 식(2)와 같다.

$$I = \frac{E}{R+r} \quad (2)$$

전지의 기전력  $E$ 와 부하단자전압  $E'$ 의 비는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{E'}{E} = \frac{R}{R+r} \quad (3)$$

충전상태의 양극 및 음극의 활동물질을  $P_{ox}$  및  $N_{ox}$ 로 나타내고, 방전상태의 양극 및 음극활동물질을  $P_{red}$  및  $N_{red}$ 로 표시하면 양극은 방전 때에 전자  $e^-$ 을 취하여 환원되고, 음극은  $e^-$ 을 방출해서 산화된다.



전지의 방전에 따른 활물질인 화학에너지( $-\Delta G$ ,  $G$ :자유에너지)의 감소는 외부회로에 유입되는 전기에너지와 같다. 그러므로 에너지의 형태는 변화하여도 양자는 동일한 것으로부터 전지의 기전력  $E$ 는 다음 식으로 표시되는데 단자전압과 거의 같은 값을 갖는다.

$$-\Delta G = nEF \quad (6)$$

$$(E = -\Delta G/nF)$$

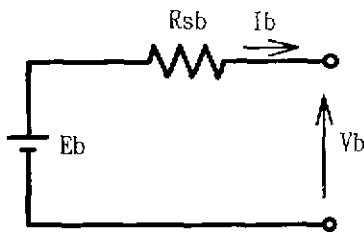


그림 1 납축전지 등가회로  
Fig. 1 Equivalent circuit of lead-acid battery.

여기서  $V_b$  : 납축전지 1셀의 단자전압

$E_b$  : 납축전지 1셀의 기전력

$I_b$  : 1 셀당의 충전전류

$R_{sb}$  : 납축전지 1셀의 내부저항

납축전지의 모델은, 기전력에 직렬저항이 삽입된 그림1로 표시된 등가회로와 같으며, 식(7)과 같이 표현된다.

$$V_b = E_b - I_b \times R_{sb} \quad (7)$$

### 2.2 축전지병렬운용

축전지의 방전 시에 초기전압은 빠르게 감소하다가 화학반응이 활성화되면 정상상태의 속도로 감소한다. 동일 용량의 축전지조에서 2조 병렬운전에 의한 방전시간이 1조에 의한 방전시간 보다 약 3배 더 지속됨을 그림2와 같이 측정을 통해서 알 수 있었다. 그림2는 같은 용량의 축전지를 병렬운전 유무에 따른 특성을 측정한 결과이다.

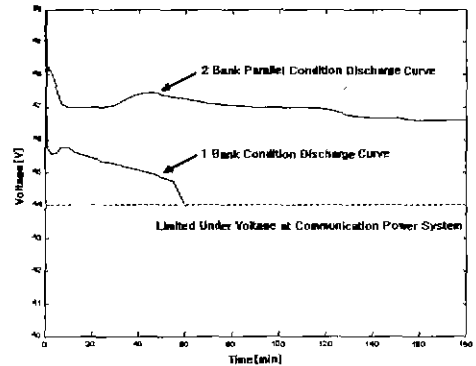
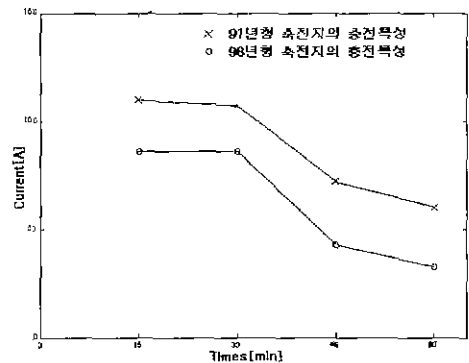
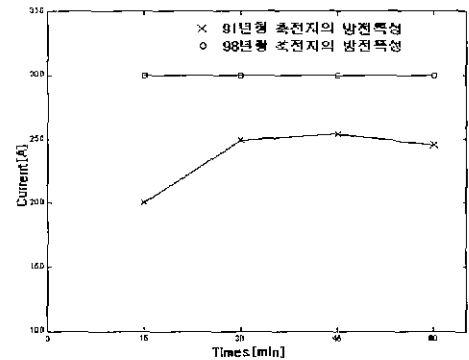


그림 2 축전지 방전특성 곡선  
Fig. 2 Battery Discharge Characteristic Curve

그러므로 전지를 병렬로 사용하면 일정시간에 대한 전압 강하를 지연시킬 수 있다. 그러나 전지의 경년변화에 따른 전지의 내부저항을 고려하지 않은 상태로 병렬운용하고 있으며, 그 결과 다음 그림3, 4와 같은 사례를 통하여 충방전시 전류의 불평형상태가 있음을 알 수 있었다. 신규 축전지가 병렬연결된 상태에서 방전시에는 내부저항이 낮은 새 축전지가 많은 전류부담을 갖게되고, 충전시에는 방전을 적게 하였으나 전위차 발생이 심한 오래된 축전지에 많은 충전전류가 흐르게되어 열화의 진행을 촉진하게 된다.

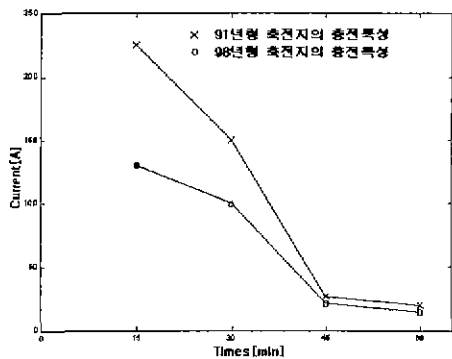


(a)

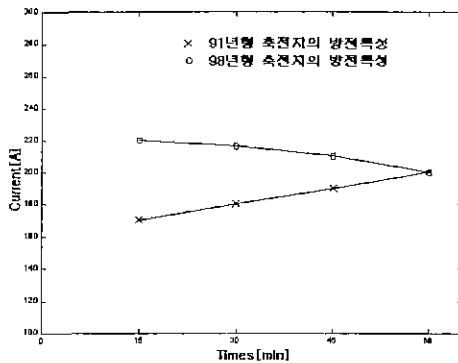


(b)

그림 3 시스템1의 충방전시 불평형 전류  
(a)충전시 불평형전류 (b)방전시 불평형전류  
Fig. 3 Unbalance current of system 1 at charge & discharge  
(a) Unbalance current at charge  
(b) Unbalance current at discharge



(a)



(b)

그림 4 시스템2의 충전전시, 불평형 전류  
(a) 충전시 불평형전류 (b) 방전시 불평형전류

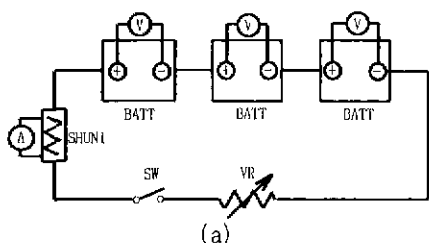
Fig. 4 Unbalance current of system 2 at charge & discharge  
(a) Unbalance current at charge  
(b) Unbalance current at discharge

### 2.3 내부저항 계산방법

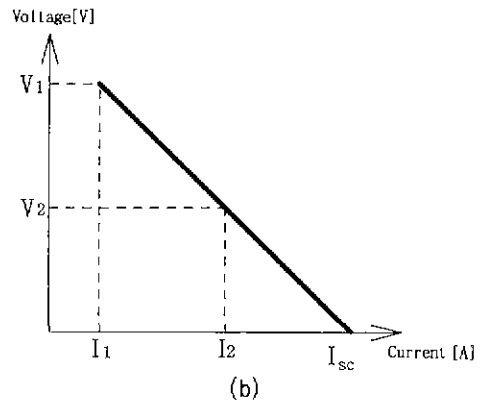
전지의 내부저항을 구하기 위해서  $V=f(I)$  관계를 다음과 같은 방법으로 결정한다. 충전된 전지 3개를  $25 \pm 2[^\circ\text{C}]$ 에서 두 점을 결정한다. 첫 번째 점은 전류  $I_1 = I_{10} \pm 10\%[A]$ 로 20초 방전 후 전압·전류를 측정한다. 재충전 없이 2~5분이 지난 후 두 번째 점을 결정한다. 두 번째 점은 전류  $I_2 = 3I_{10} \pm 10\%[A]$ 로 5초 방전 후 전압·전류를 측정한다. 다음 식(8)에 의해서 내부저항을 계산한다.

$$R_i = \frac{V_1 - V_2}{I_2 - I_1} \quad (8)$$

그림5는 내부저항 측정회로와 내부저항을 결정하는 그래프를 나타낸다.



(a)



(b)

그림 5 (a)내부저항 측정회로 (b)내부저항 결정  
Fig. 5 (a)Measuring circuit of internal resistance  
(b)Decision of internal resistance

내부저항  $r$ 은 경년 변화에 따라 증가하고, 사용 중에는 만충전 때에 가장 낮고, 방전상태가 되면 내부저항이 높아지게 된다.

### 2.4 불평형전류감소 알고리즘

충전지의 병렬운전 시에 불평형 전류의 원인이 되는 내부저항 차를 감소시키기 위해서 그림6과 같은 방식을 제안하였다. 신·구축전지의 내부저항 차에 의해서 충전과 방전 시에 발생하는 불평형 전류를 검출하고 불평형률이 기준치 이상이 되면 외부에서 저항을 첨가시켜서 내부저항 차를 줄이게 된다. 이때 외부 저항 값은 수십[mΩ]으로 손실의 영향이 적다.

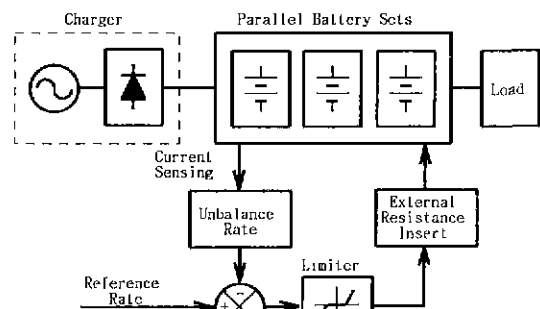


그림 6 제안된 불평형 전류 제어  
Fig. 6 Proposed unbalance current control

그림7은 3조의 병렬연결 시에 적용되는 제어알고리즘을 나타낸다. 우선 단자전압을 측정하여 일점값 이하 일 경우에는 제어알고리즘을 차단하는 무한루프를 실행시킨다. 그렇지 않을 경우 각 조의 전류를 측정하고, 평균값과 최대전류와 최소전류를 구하여 불평형률을 계산한다. 불평형률을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\text{Unbalance Rate} = \frac{(I_{\max} - I_{\min})}{I_{\text{avg}}} \times 100 \quad (9)$$

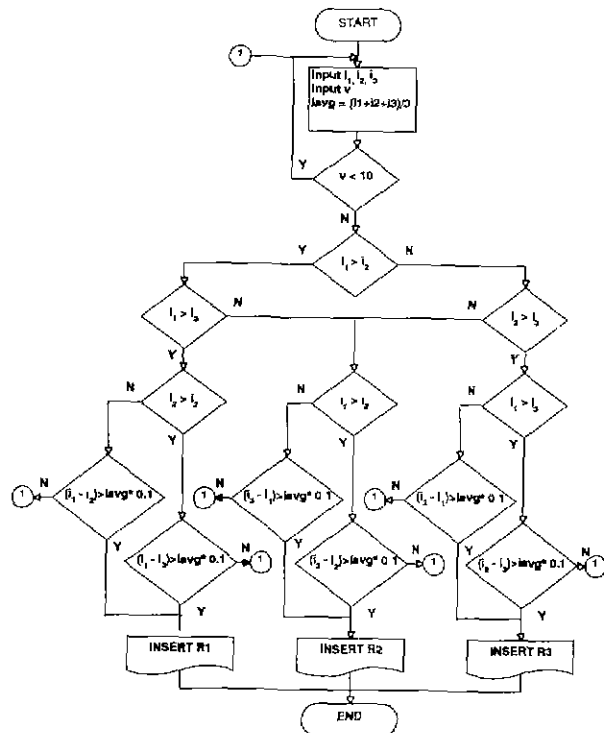


그림 7 제어 알고리즘  
Fig. 7 Control algorithm

불평형률이 10[%]이상이 되면 축전지의 내부저항이 작은 쪽에 외부저항을 첨가시켜 불평형률을 감소하도록 프로그래밍하였다.

### 3. 실험 및 고찰

#### 3.1 실험장치

사용기간이 다른 축전지(12[V] 64[AH]) 3조를 각각 병렬 연결하여 구성하였다. 1조는 새로운 축전지로 구성하고 나머지 2개 조는 사용기간이 오래된 축전지를 사용하였다. 전체회로는 그림8과 같이 축전지조, 충전부, 전류·전압 센싱부, 마이크로프로세서 제어부, 스위치 및 저항블럭, 가변부하장치로 구성되어 있다.

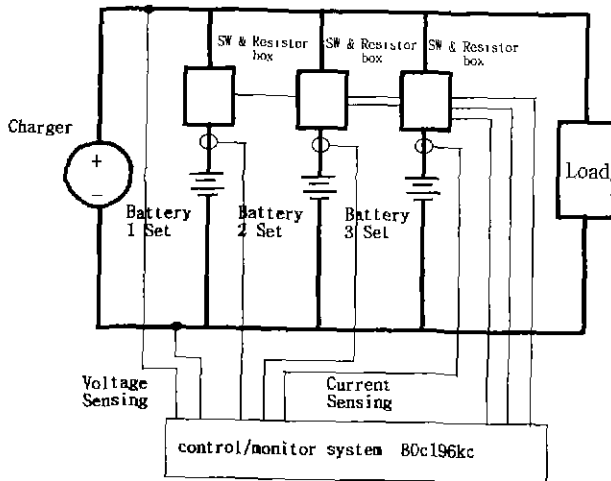


그림 8 시스템 구성  
Fig. 8 System arrangement.

그림8에서 스위치 및 저항블럭은 그림9에 나타난 것과 같이 저항(0.05[Ω] 150[W]) 3개와 스위치 2개로 구성되어 있다. 저항값을 선정하기 위해서 축전지 내부저항을 서술한 방법으로 측정하고 보상 가능한 값을 선정하였다. 초기상태에서 모든 스위치는 닫힌 상태로 되어 있고 3개의 저항이 병렬 연결되어 전체 저항값은 가장 작은 값을 나타낸다. 불평형률을 감소시키기 위해서 외부저항을 첨가 할 때는 스위치를 오픈시켜 전체 저항값을 증가시킨다. 그림 10은 실제 실험장치를 나타낸다.

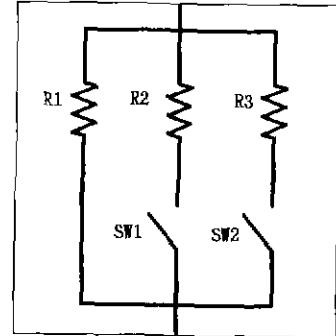


그림 9 스위치 및 저항블럭  
Fig. 9 Switch & Resistance Block

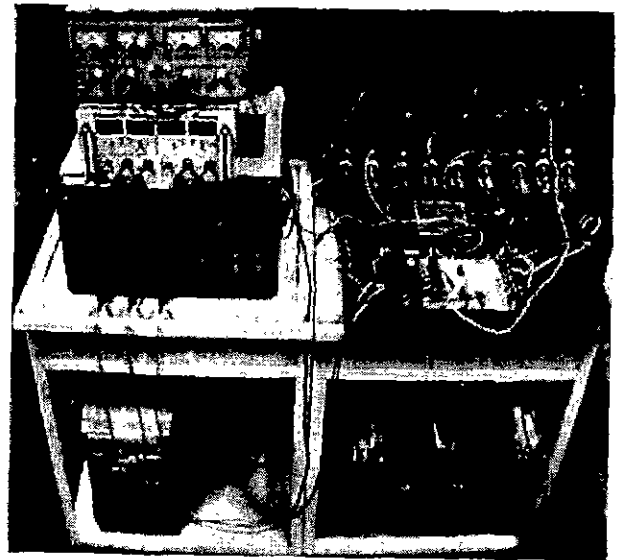


그림 10 실험장치 사진  
Fig. 10 Experiment equipment picture

#### 3.2 실험결과 및 고찰

가변부하장치를 사용하여 부하는 10, 20, 30[A]에서 실험되었다. 방전 시에 신축전지에서 많은 전류가 흐르므로 불평형 현상이 보상전에 발생함을 알 수 있다. 불평형률은 보상전에 20~60[%]였지만 외부저항을 첨가시켜 보상후에는 5~30[%]로 감소함을 알 수 있다. 그림11~13은 보상전, 후의 전류파형을 나타내며 부하가 증가할수록 불평형률이 증가함을 알 수 있다.

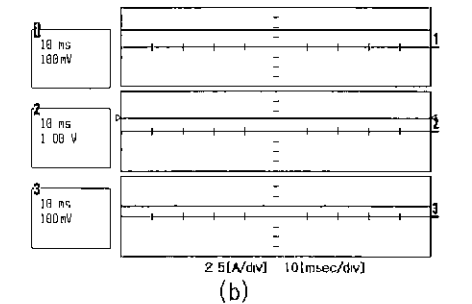
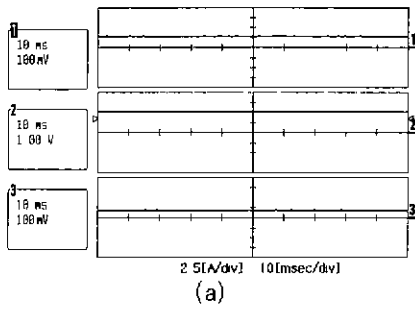


그림 11 부하전류 10[A] (a)보상전 (b)보상후  
Fig. 11 Load current 10[A]  
(a)Before compensation (b)After compensation

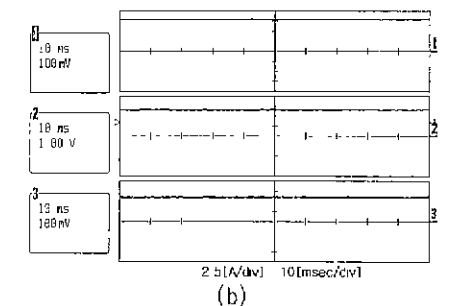
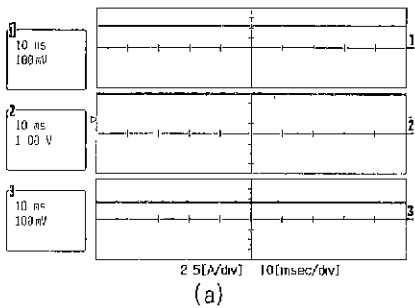


그림 12 부하전류 20[A] (a)보상전 (b)보상후  
Fig. 12 Load current 20[A]  
(a)Before compensation (b)After compensation

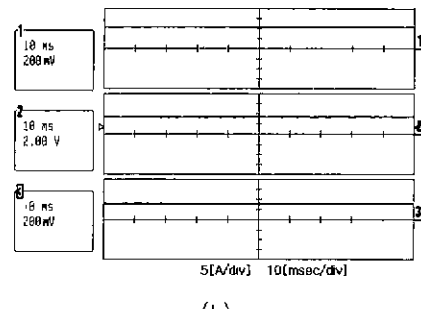
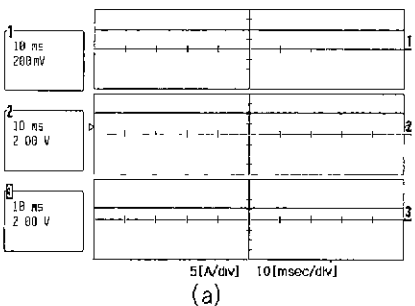


그림 13 부하전류 30[A] (a)보상전 (b)보상후  
Fig. 13 Load current 30[A]  
(a)Before compensation (b)After compensation

#### 4. 결론

본 논문에서는 축전지의 특성에 관하여 서술하였고, 기본 원리와 전기적인 등가회로를 통하여 축전지의 운용시에 병렬운전의 필요성을 부각시켰다. 이때 발생하는 신·구축전지사이의 불평형 전류는 축전지의 수명과 열화에 큰 영향을 주게된다. 불평형 전류의 원인은 신·구축전지 내부저항이 서로 다르기 때문에 발생하며 저항차를 줄이는 방법으로 외부에서 보상저항을 첨가시키는 방식을 제안하였다. 마이크로프로세서에 의해 각 조의 전류를 측정하고 불평형률을 계산하여 일정값 이상이 되면 저항을 증가시키는 알고리즘을 프로그래밍 하였고 실험을 통하여 구현하였다. 실험결과 부하에 따라 보상전의 불평형률이 20~60[%]였으며, 이를 보상 후에는 5~50[%]로 감소함을 알 수 있었다.

본 연구를 통하여 축전지의 병렬운전 시에도 수명을 연장시키는 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 향후에는 용량에 따른 보상저항의 체계적인 계산과 실제 시스템에 적용할 필요가 있다.

#### 참고 문헌

- [1] K. H. Kim and S. Y. Kang, "Time-Sharing Charge Equalization for Series Connected Battery strings", *Proceedings ICPE'95*, pp.331-336, 1995.
- [2] H. S. Ban, C. H. Kwak, H. S. Mok and G. H. Choe, "Unbalance Load Current at Operating in Parallel of Lead Acid Batteries Connection Condition", *KIPE Power Electronics Annual Conference*, pp.210-213, July, 1999.
- [3] G. W. Vinal, *Storage Batteries*. New York: John Wiley & Sons, April, 1954.
- [4] T. R. Crompton, *Battery Reference Book*. Society of Automotive Engineers Inc., pp.3/3-3/5. 50/3-50/34 1997.
- [5] N. Akiyosi, *The Basic of Battery*. CQ pub., July, 1996.
- [6] Nippon Battery Co. Ltd, *Practical Secondary Battery*. *Daily of Science Magazine*, April, 1998.
- [7] IEC 896, *Stationary lead-acid batteries*. 1995.