

전기자동차용 납축전지의 시분할 균등충전기

(Time-sharing Charge System for Equalization of Lead-Acid Battery)

姜信永* · 金垸憲** · 任永徹***

(Sin-Young Kang · Kwang-Heon Kim · Young-Cheol Lim)

요 약

본 논문에서는 일정 주기마다 전지의 단자전압을 검출하여 단자전압에 따라 균등충전 시간을 시분할로 제어하여 전지간의 불균등을 해소시키는 균등 충전방식을 제안하였다. 기존의 균등 충전방식과 달리 구조가 간단하고 소형, 경량으로 전지자동차용 탑재형 균등 충전시스템으로 이용이 가능하다. 또한, 원 칩 마이크로프로세서를 이용하여 일정 주기마다 단자전압을 검출하여 제어하므로 전지의 과충전을 예방할 수 있고, 따라서 전지 수명 연장에도 효과적이라 할 수 있다.

Abstract

This paper proposes the equalizing charger of series connected batteries which are controlled by the time-sharing method. One-chip microprocessor detects the terminal voltage of each battery and then determines the charging time inversely proportional to the terminal voltage so that it decrease the unbalanced capacity. This system is compact and light, therefore it can be applied to portable equipment such as charger for electric vehicle. And it's so effective as to prevent from overcharging which causes their life to shorten.

1. 서 론

최근 환경문제의 대두와 함께 전기자동차용 전지의 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 각종 산업현장에서도 UPS 등 전지를 이용한 기기의 수요가 증가하고 있다. 대용량 시스템에 이용되는 대부분의 전지 전원은 대용량의 단일 모듈로 제

작하기 어렵기 때문에 소용량의 단일 모듈 전지를 직·병렬로 연결하여 대용량의 전원을 만들게 된다. 이러한 직·병렬 전지 전원이 충·방전을 반복하므로써 전지간에는 불균등이 발생한다. 전지간의 불균등은 전지의 수명을 단축시킬 수 있고 사용상의 안전에도 문제가 된다^{1),2)}. 따라서 전지의 수명 단축을 막고 안전성 향상을 위해 일

*正會員 : 전남대 대학원 전기공학과 박사과정

**正會員 : 전남대 전기공학과 조교수

***正會員 : 전남대 전기공학과 교수

接受日字 : 1997年 1月 23日

정 주기마다 전지간의 불균등을 해소할 수 있는 균등 충전을 실시하게 된다.

현재 사용되고 있는 균등 충전 방법중 1/16C 이하의 소전류로 48시간 이상 충전하는 방법은 균등충전 시간이 길고, 과충전되는 경향이 있어 충전 완료후 전해액의 감소를 확인하여 보충해 주어야 하는 단점이 있다. 개별충전기에 의한 균등충전 방법¹⁾은 각각의 전지에 독립적인 충전을 접속하여 균등화 시키는 방법으로, 회로가 복잡하고 제어가 어렵다는 단점이 있다. 그리고, 최근 제안되고 있는 다중권선 동축철심 변압기(Multi-winding coaxial transformer)를 이용한 균등충전 방법²⁾은 다중권선 동축철심 변압기의 제작이 어렵고, 충전초기에 일부전지에 과전류가 흐른다는 단점이 있다.

본 논문은 한개의 소전류 보조 충전시스템으로 각 전지의 잔존용량에 반비례하는 균등충전량을 시분할로 제어하는 방법을 제안한다. 한개의 충전시스템을 각각의 전지에 순차적으로 접속하기 위하여 시분할로 제어되는 스위치뱅크를 사용하므로써 회로가 간단하여 제어가 쉽고 부피와 무게가 감소하여 전기자동차용 탑재형 균등충전 시스템으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 전지의 전압, 전류 검출 및 균등충전제어를 위해 원 칩 마이크로프로세서 80196KC를 사용한다. 시뮬레이션에는 일반적으로 사용되는 수학적 근사 모델^{4),5)}과 전지 제조회사에서 제공하는 데이터와 충·방전 실험을 통해 얻은 파라미터 값을 이용하였으며, 실험을 통해 본 논문에서 제안하는 균등충전 방식의 타당성을 확인한다.

2. 시분할 균등충전 방식

2.1 납축전지의 모델 및 잔존용량

납축전지의 충전시 단자전압 V 는 회로 개로전압 E_0 보다 큰 값을 나타낸다⁶⁾. 이것은 내부 등가저항 R 이 전류 I 와 곱해져서 회로 개로전압에 더해지기 때문이다. 이것을 수식으로 나타내면 식(1)과 같다⁷⁾.

$$V = E_0 + I \times R \quad (1)$$

전지의 잔존용량(SOC : state of charge)은 충

전이 진행됨에 따라 증가하게 되는데, 그 값은 식(2)와 같이 전류에 대한 시간의 적분으로 나타낼 수 있다⁴⁾.

$$SOC = SOC_0 + \int_{t_0}^{t_f} I dt \quad (2)$$

여기서, SOC_0 : 충전이전의 초기 잔존용량,

I : 충전 전류, t_0 : 충전 시작 시간,

t_f : 충전 완료 시간.

전지의 단자전압과 내부저항을 잔존용량의 함수로 가정하면 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.⁵⁾

$$V_{op} = F(SOC) \\ R = r + G(SOC) \quad (3)$$

여기서, $F(SOC)$, $G(SOC)$: SOC의 함수,

V_{op} : 전지 개로전압, r : 전지 고유저항,

R : 전지의 내부 등가저항.

개로전압과 등가저항 성분은 잔존용량의 함수로 표현되므로 입력 전류를 I 라고할 때 단자전압은 식(3)으로부터 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_b = r \times I + U(SOC) \quad (4)$$

여기서, V_b : 전지의 단자전압,

$U(SOC)$: SOC의 함수.

식(4)로부터 전지의 수학적 근사모델은 그림 1과 같다. 그림 1에서 V_{op} 와 R 는 잔존용량의 함수로 충전이 진행되면서 가변되는 값이다. 그림 1의 모델에서는 온도에 따른 변화, 격년변화 및 충전초기의 과도상태 등에 대한 고려가 없기 때문에 충전초기의 급격한 변화나 온도에 따른 전압의 변동을 표현할 수 없다. 또한 정전류 충전에서 정전압 충전으로 바뀌는 부분에서도 단자전압을 정확하게 표현할 수 없는 단점이 있으나 정상상태에서 선형화된 간단한 모델로 사용할 수 있다. 잔존용량은 식(4)로부터 식(5)와 같이 정리할 수 있으므로 잔존용량은 전지의 단자전압과 내부 등가저항 및 충전전류로부터 구할 수 있다.

$$U(SOC) = V_b - r \times I \quad (5)$$

납축전지를 정전류-정전압 충전모드로 충전하는 동안의 단자전압의 변화는 그림 2와 같이 나타난다. 초기 정전류는 10[A]이며 전지의 만충전량의 80[%]가 되는 전지의 단자전압 15.7

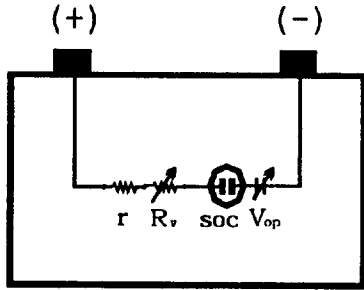


그림 1. 납축전지의 근사모델
Fig. 1. Aproximated model of Lead-Acid battery.

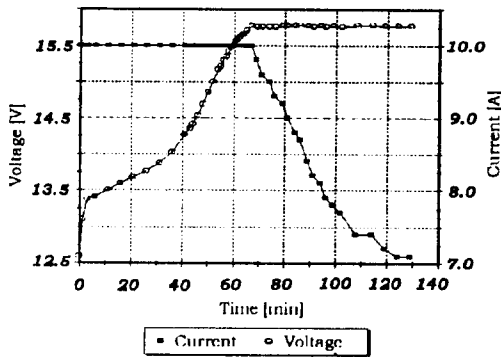


그림 2. 전지의 정전압-정전류 충전 특성.
Fig. 2. Characteristics of constant current-constant voltage charge mode.

[V]에서 정전류에서 정전압으로 전환하여 정전압 상태에서 만충전량의 100%가 되도록 충전하였다. 충전 초기에 단자전압은 급격하게 상승하고, 충전 중기에는 단자전압이 아주 서서히 증가한다. 충전 후기에 단자전압은 다시 급격하게 상승한다. 그림 2와 같은 충전 특성은 전지 제조회사에서 제시하는 특성과 거의 일치하였다. 식(3)으로부터 전지의 내부등가 저항값은 전압과 전류 및 잔존용량에서 구할 수 있으므로, 그림 2의 충전실험을 통해 전지의 내부저항 R과 고유저항 r을 구할 수 있다.

2.2 시분할 균등충전 방식

충전에 의한 전지의 잔존용량 변화를 나타내는 식(2)를 이산형으로 나타내면 식(6)과 같다.

$$SOC = SOC_i + \sum (i_m \times T + i_c \times \Delta T) \quad (6)$$

여기서, SOC_i : 전지초기 상태 용량,

i_m : 주충전 전류, i_c : 균등충전 전류,

T : 주충전시간, ΔT : 균등충전 시간.

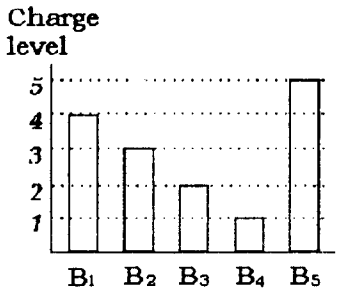
전지의 용량 변화는 식(6)에서 주충전량 $i_m \times T$ 와 균등충전량 $i_c \times \Delta T$ 에 비례하는 관계를 갖는다. 전지의 불균등분을 해소하기 위한 균등충전량은 식(7)과 같이 나타낼 수 있다. 식(7)로부터 균등충전 전류 i_c 가 일정하다고 할때 균등충전 시간의 합 $\sum \Delta T$ 의 값을 각 전지의 잔존용량에 따라 달리하여 전지의 불균등분에 대한 충전량을 제어하므로써 전지간의 불균등을 해소시킬 수 있다.

$$SOC_{di} = \sum i_c \times \Delta T \quad (7)$$

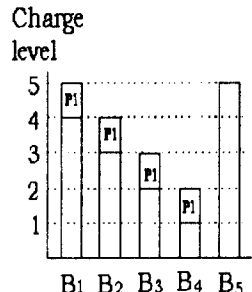
여기서, SOC_{di} : 전지간 불균등용량.

그림 3은 시분할 균등충전을 위한 하나의 충전패턴 예이다. 그림 3(a)는 직렬 연결된 전지가 5개인 경우 초기 잔존용량의 예를 나타낸 것이며, 그림 3(b)는 제안된 시분할 균등충전 방식의 시간에 따른 충전패턴을 나타내고 있다. 일정한 크기의 균등충전 전류 i_c 에 의한 ΔT 동안의 용량 증가는 1레벨 이라고 가정한다. 그림 3(a)에서 최상위 용량의 전지 B₅보다 4레벨 용량이 적은 전지인 B₁는 그림 3(b)의 각 충전구간마다 1회씩 4번의 충전시간을 갖는다. 반면에 두번째 상위 전지인 B₄는 첫번째 구간에서만 1회의 충전시간을 갖게된다. 그림 3(b)의 첫번째 구간 충전 후 각 전지의 용량 변화는 그림 4(b)와 같으며, 최종적으로 그림 3(b)의 네번째 구간 충전후의 상태는 그림 4(e)와 같이 되어 모든 전지가 균등화 되었다고 할 수 있다.

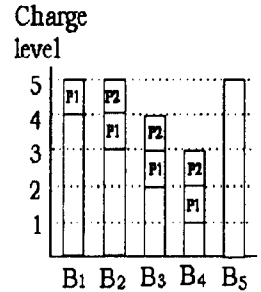
그림 3(b)와 같은 시분할 균등충전 패턴을 형성하기 위하여 균등충전 주기마다 단자전압을 검출하여 식(5)로부터 잔존용량을 예측하고, 이것으로부터 최상위 용량의 전지와 불균등이 있는 각 전지를 순차적으로 ΔT 시간동안 균등충전 전류 i_c 로 충전한다. 그리고, 다음 균등충전 주기에 단자전압을 검출하여 앞서 설명한 시분할 균등충전 과정을 반복한다. 한 전지에 불균등 용량에 비례하는 $\sum \Delta T$ 동안 균등충전하여 균등화 시킨 후 또 다른 전지를 균등화하는 시키는 방식보다,



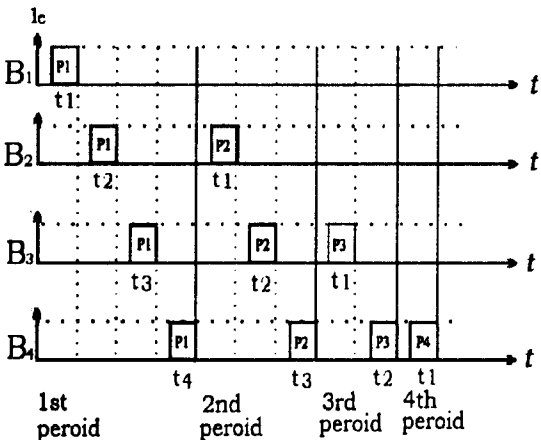
(a) 전지의 초기 상태



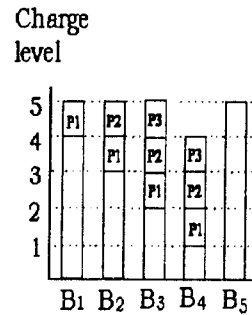
(a) 1주기후



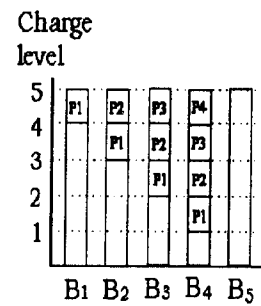
(b) 2주기후



(b) 충전 패턴



(c) 3주기후



(d) 4주기후

그림 3. 시분할 균등충전에 의한 충전 패턴에.
Fig. 3. Charging pattern by time-sharing equalization charge.

본 논문에서 제시하는 방법과 같이 ΔT 동안만 충전하고 다른 전지를 균등충전하는 주기를 반복하는 방식은 충전을 하지 않는 휴지 기간이 있어 전지의 화학적 특성을 안정화 시킬 수 있으며, 균등충전 주기마다 각 전지의 전압을 검출하여 불균등 용량을 계산하므로써 정확한 균등화를 이룰 수 있다는 장점이 있다.

3. 시뮬레이션 검토

식(4)와 그림 1의 전지 모델로부터 납축전지의 시분할 균등충전 시뮬레이션을 수행하였다. 전지는 12[V], 45[AH] 용량의 납축전지 5개를 직렬로 연결한 60[V], 45[AH]의 전지 그룹으로 고려하였고, 주충전 전류와 균등충전 전류는

그림 4. 시분할 균등충전에 의한 SOC의 변화
Fig. 4. SOC by time-sharing equalization charge

각각 10[A], 2[A]로 하였다. 그림 5의 흐름도와 같이 주충전은 최상위 전지의 용량이 만충전의 80[%]가 되는 단자전압 12.8[V]까지는 정전류로 충전하였고, 12.8[V]이상에서는 직렬 연결된 5개의 전지를 64[V]로 만충전이 될때까지 정전압으로 충전하였다. 전지간에 불균등이 있는 경우 주충전 기간중에 전지간에 단자전압을 검출하여 전지를 균등충전 할 수 있도록 구성하였다. 전지의 초기 잔존용량을 B₁은 44[%], B₂는 46[%], B₃는 48[%], B₄는 50[%], B₅는 52[%]로 하여 잔존용량과 단자전압에 대하여 시뮬레이션한 결과는 그림 6, 7과 같다. 그림 6(a)는 균등충전을 하지 않은 경우의 잔존용량 변화를 나타낸 것으로, 충전 초기의 용량 차이가 충전 종료 후에도 해소되지 않고 있다. 전지 B₁, B₂에서는 100[%]이상 충전되고 있는 것으로 시뮬레이션 되고 있으나, 전지는 실제 100[%]이상 충전될 수 없으므로 과충전되고 있음을 의미한다.

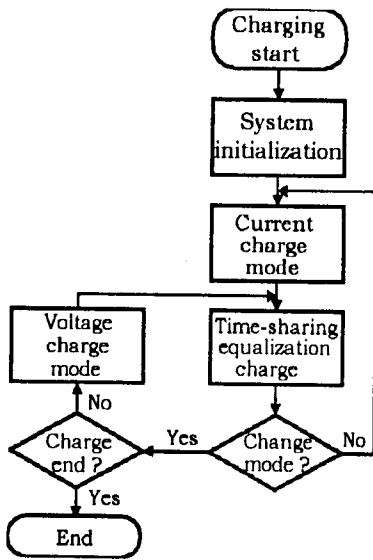


그림 5. 충전제어 흐름도.
Fig. 5. Flow chart for charging control.

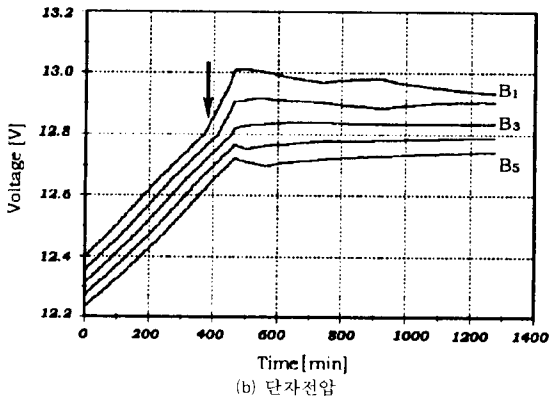
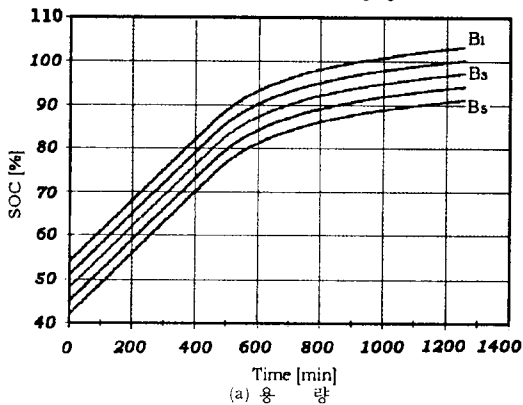


그림 6. 비균등충전 특성
Fig. 6. Characteristics in case of charge without equalization.

그림 6(b)는 균등충전을 하지 않은 경우의 충전시간에 따른 단자전압의 변화를 나타낸 것으로, 초기의 전압 차이가 극복되지 못하고 전지간의 단자전압에 일정한 차이가 계속되고 있음을 나타내고 있다. 그림 6(b)에서 '↓'로 표시된 변곡점은 정전류 충전모드에서 정전압 충전모드로 변환되는 시점으로, 단자전압의 상승율이 변화되고 전지에 따라 단자전압이 약간씩 변동되고 있다. 전압이 변동되는 이유는 식(4)와 그림 1의 전지모델에서 고려하지 못한 전지의 과도상태 때문에 발생한 오류로 생각된다.

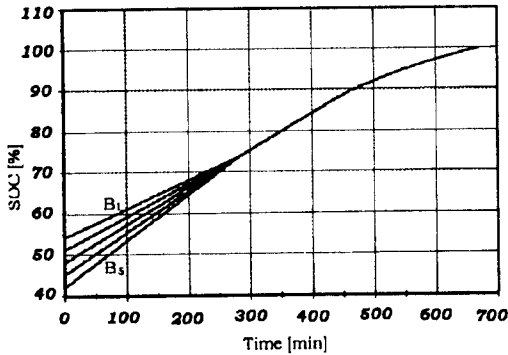
그림 7은 시분할 균등충전을 하는 경우의 잔존용량과 단자전압에 대한 시뮬레이션 결과로 충전 초기조건은 균등충전이 없는 경우와 동일하다. 균등충전이 있는 경우는 모든 전지의 충전이 완료되는 시간이 균등충전이 없는 경우에비하여 짧게 나타나고 있는데, 이는 균등충전의 효과 때문이다. 그림 7(a)에서 250~300분 사이에서 전지들이 균등화되었고, 균등화된 이후에는 동일한 용량상승 특성을 보여주고 있다. 그리고 그림 6의 균등충전을 하지 않은 경우에 나타난 일부 전지의 과충전 현상도 나타나지 않고 있다. 그림 7(b)의 단자전압 특성곡선에서도 약 250~300분 사이에 전지의 전압들이 균등화됨을 나타내고 있다. 또한 '↓' 시점에서 정전압 충전모드에서 정전류 충전모드로 변환됨으로서 단자전압의 상승곡선에 변곡점이 발생하지만, 전지의 단자전압이 균등화되었기 때문에 그림 6(b)와 달리 전압의 변동이 거의 없고 안정화됨을 알 수 있다.

이상의 그림 6, 7의 결과로 보아 시분할 균등충전이 납축전지의 균등화에 효과가 있는 것으로 판단되며, 전지의 과충전을 예방할 수 있을 것으로 예상된다.

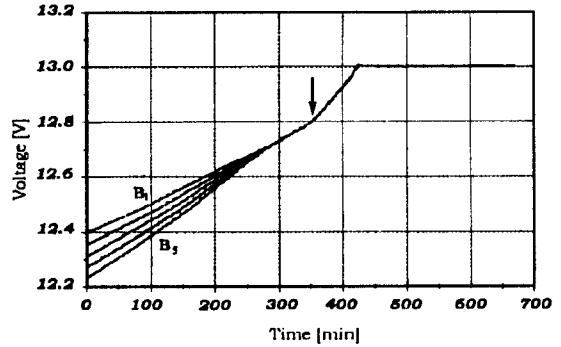
4. 시분할 균등충전 시스템의 구성 및 실험

4.1 충전시스템

시분할 균등충전 시스템의 블록도는 그림 8과 같다. 스위칭소자로는 IGBT를 사용하였고 전지의 충전전류와 전압을 검출하기 위해 홀소자 전



(a) 용량



(b) 단자전압

그림 7. 균등충전 특성
Fig. 7. Characteristics in case of charge with equalization

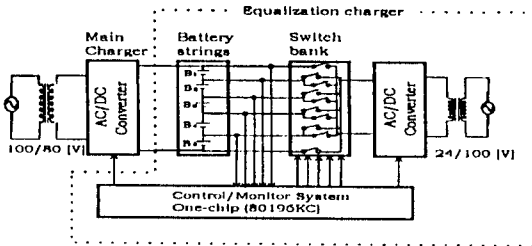


그림 8. 충전 시스템 블럭도.
Fig. 8. Block diagram of charge system.

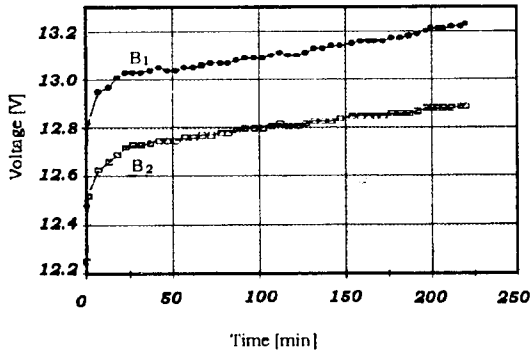
류센서(LA-55P)와 전압센서(LV-25P)를 사용하였다. 충전시스템의 제어를 위하여 원칩 마이크로프로세서 80196KC를 사용하였다. 스위칭 주파수는 16[kHz]이며, 원칩 마이크로프로세서의 PWM핀에서 출력되도록 하였다. 그리고 원칩 마이크로프로세서는 시분할 균등충전을 위해 일정 주기마다 전지의 단자전압을 검출하여 각 전지의 충전 순서를 결정한다. 각전지의 충전 순서 및 시간은 그림 3과 같은 방법으로 마이크로프로세서에서 결정된다. 각 전지의 충전 순서에 따라 하나의 균등충전 시스템을 각 전지와 순차적으로 접속하여 주는 기능은 그림 8의 스위치뱅크에서 수행하게 된다.

균등충전 실험은 12[V], 45[AH]의 납축전지(PT40-25F) 2개를 직렬 연결하여, 균등충전이 없는 경우와 시분할 균등충전의 경우에 대해 각각 실험한 결과를 비교하였다.

4.2 비균등충전 실험

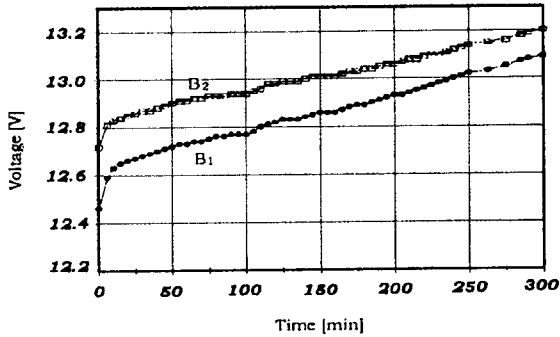
직렬 연결된 전지의 초기상태는 전지 B₁는 12.82[V], 전지 B₂는 12.52[V]이다. 충전전류를 10A로 220분까지 실시하는 동안의 전지간 전압 변화는 그림 9와 같다. 그림 9에서 알 수 있듯이 단자전압의 차가 해소되지 않고 있음을 알 수 있다. 전지 B₁의 전압 상승율이 전지 B₂보다 커서 오히려 전압차가 약간 증가하고 있는 것은 직렬 연결된 두 전지의 내부 특성이 서로 다르기 때문인 것으로 판단된다.

그림 9와 같은 비균등충전 실험(1)에서 두 전지의 내부특성에 차이가 있는 것으로 판단되어 전지의 초기전위 레벨을 달리하여 그림 10과 같은 비균등충전 실험(2)을 실시하였다. 즉 전지 B₁의 초기 전압은 12.72[V], B₂는 12.46[V]일 때 300분까지 충전실험을 한 결과는 그림 10과 같다. 그림 10에서 알 수 있듯이 일정시간이 지난 후의 전지간의 전압차는 비균등충전 실험(1)과 달리 두 전지의 전위차가 약간 감소되는 경향을 나타내고 있다. 이것은 비균등충전 실험(1)에서 나타난 바와 같이 전지 B₁의 전압 상승이 전지 B₂에 비하여 상대적으로 빠르기 때문이다. 이상의 비균등충전 실험 결과로 동일 조건에서 충전할 경우 전지 B₁은 전지 B₂보다 전압 상승이 빠르다는 것을 알 수 있다. 이것은 전지 B₂가 B₁에 비하여 충·방전 특성이 더 우수하여 충·방



초기상태 B_1 : 12.82[V], B_2 : 12.52[V].

그림 9. 비균등충전 실험(1)의 단자전압 변화.
Fig. 9. Variation of terminal voltages in case of charge without equalization(1).



초기상태 B_1 : 12.72[V], B_2 : 12.46[V].

그림 10. 비균등충전 실험(2)의 단자전압 변화.
Fig. 10. Variation terminal voltages in case of charge without equalization(2).

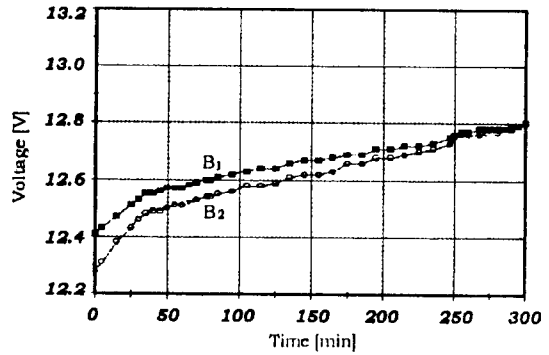
전지에 전압의 변동이 적기 때문이다. 또한, 그림 6의 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 비균등충전 실험(1), (2)에서 전지간의 불균등이 해소되지 않고 있음을 알 수 있다.

4.3 균등충전 실험

시분할 균등충전 실험의 경우, 비균등충전 실험에 사용한 것과 동일하며 충전시간은 두 전지가 균등화되는 시점까지 전압차의 변화를 관찰하였다. 그림 11은 전지 B_1 , B_2 의 초기값은 각각 12.41[V], 12.28[V]일 때 균등충전을 실시한 결과이다. 실험 결과 210분 이후에는 두 전지의 전압이 거의 일치하였으며, 약 280분이 경과한 후

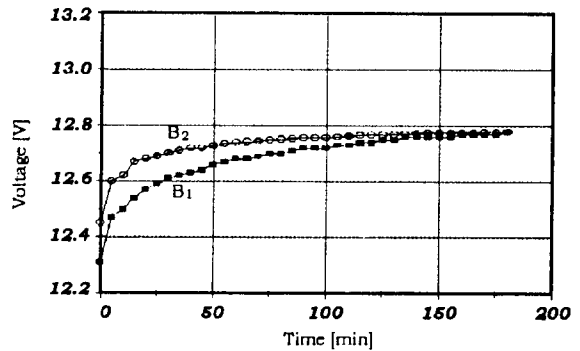
에는 두 전지의 전압이 균등화된 것으로 판단되었다. 이는 시분할 균등충전 방식으로 전지 B_1 보다 전위가 낮은 전지 B_2 에 균등충전이 더 많이 실시되었기 때문이다. 비균등충전 실험에서 전지 B_1 의 전압 상승율이 전지 B_2 보다 높았음을 관찰할 수 있었다. 그럼에도 불구하고 두 전지의 용량이 균등화된 280분 이후에는 두 전지의 전압 상승이 동일하게 됨을 알 수 있다. 이것은, 균등화된 후 주충전만 있게 되면 전지 B_1 의 높은 전압 상승을 때문에 다시 전지 B_2 와의 전압차이가 발생하게 되지만, 비균등충전과 달리 전지 B_2 에 균등충전이 실시되므로 거의 동일한 전압 상승율로 증가하게 됨을 알 수 있다.

그림 12는 전지간의 내부 특성 차이에 의한 시



초기상태 B_1 : 12.41[V], B_2 : 12.28[V]

그림 11. 균등충전 실험(1)의 단자전압 변화.
Fig. 11. Variation of terminal voltages in case of charge with equalization experiment(1).



초기상태 B_1 : 12.31[V], B_2 : 12.45[V]

그림 12. 균등충전 실험(2)의 단자전압 변화.
Fig. 12. Variation of terminal voltages in case of charge with equalization experiment(2).

분할 균등충전의 특성을 검토하기 위하여 균등충전 실험(1)과 달리 초기의 단차전압을 전지 B₁은 12.31[V], 전지 B₂는 12.45[V]로하여 실험하였다. 충전이 90분 경과한 후에는 전지 B₁은 12.72[V], B₂는 12.75[V]가 되었고, 180분 정도에는 두 전지는 균등화 되었다.

균등충전 실험(2)가 실험(1)에 비하여 균등화 시간이 약 100분 정도 단축된 것은 비균등충전 실험의 결과에서 설명한바와 같이 충·방전 특성이 양호한 것으로 판단되는 전지 B₁의 전압 상승률이 B₂보다 더 크기 때문이다. 이상의 충전 실험 결과 시분할 균등충전으로 직렬 연결된 전지의 내부 특성에 관계없이 전지를 균등화 시킬 수 있음을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 시분할 균등충전 방식을 제안하고 시뮬레이션과 실험을 통해 전지의 균등화 효과를 확인하였다. 또한 시분할 균등충전 시스템은 하나의 소용량 균등충전기를 시분할로 각 전지를 연결하여 균등화시킴으로서, 여러개의 변압기를 필요로하는 기존의 균등충전 시스템보다 소형 저중량이며 고효율이라 할 수 있으며, 따라서 전기자동차용 탑재형 충전시스템으로 활용이 기대된다.

이 논문은 전남대학교 1995년도 자동차공학 학술 연구비에 의하여 연구 되었습니다.

참 고 문 헌

- 1) Robert D. Soileau, "A diagnostic testing program for large lead acid storage battery banks," Transaction on Industry Applactions of IEEE, Vol. 30, No. 1, pp. 193-200, January 1994
- 2) Nasser H. Kutkut, Deepak M. Divan, and Donald W. Novotny, "Charge equalization for series connected battery strings," Transactions on Industry Applications of IEEE, Vol. 31, No. 3, pp. 562-568, May 1995.
- 3) Guan-Chyun Hsieh, Jung-Chien Li and Jiachwen Hwang, "Design and implementation of novel Ni-Cd battery charger," Transactions on Industrial Electronics of IEEE, Vol. 7, No. 3, 1992.

- 4) 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
- 5) M.A. Casacca, Z.M. Salameh, "Determination of Lead-acid battery capacity via mathematical modeling Techiques," Transaction, Enery Conversion of IEEE, Vol. 7, No. 3, pp. 442-446, September 1992.
- 6) Stephen T. Hung, Douglas C. Hokins, and Charles R. Mosling, "Extension of battery life via charge equalization control," Transactions on Industries Electronics of IEEE, Vol. 4, No. 1, pp. 96-104, February, 1993.

◇ 著 者 紹 介 ◇



강 신 영(姜信永)

1967년 2월 13일생. '93년 전남대 전기공학과 졸. '96년 전남대 대학원 전기공학과 졸(석사). 현재 전남대 대학원 전기공학과 박사과정.



김 광 헌(金岬憲)

1960년 12월 27일생. '83년 전남대 계측제어공학과 졸. '86년 서울대 대학원 전기공학과 졸(석사). '92년 서울대 대학원 전기공학과 졸(박사). 현재 전남대 전기공학과 조교수.



임 영 철(任永徹)

1953년 4월 23일생. '75년 전남대 전기공학과 졸. '77년 고려대 대학원 전기공학과 졸(석사). '90년 고려대 대학원 전기공학과 졸(박사). 현재 전남대 전기공학과 교수.