

납 축전지 병렬운전시 발생하는 전류 불평형 현상분석 및 대책

반 한식, 곽 철훈, 최 규하, 목 형수
전국대학교 전기공학과

Unbalance load current at Operating in Parallel of Lead acid batteries connection condition

Han-sik Ban, Cheol-hun Kwak, Gyu-ha Choe, Hyung-soo Mok
Dept. of Electrical Eng. Konkuk Univ.

Abstract

A battery is the device that transforms the chemical energy into the direct-current electrical energy directly without a mechanical process. Unit cells are connected in series to obtain the necessary voltage, while being connected in parallel to organize capacity for load current and to decrease the internal resistance for corresponding the sudden shift of the load current. The circular-current, however, could be occurred when the system is driven in parallel. As a result, the new batteries are heated by over-charge and discharge, and the over charge current makes to increase the rust of the positive grid and consequently the shortened life of the new batteries would be shown. In this paper, the internal resistance of each set will be constant and the current of charge and discharge will be balanced, through inserting the resistance into the system by way of calculation of the changed amount of internal resistance.

1. 서론

축전지는 저장된 전력을 순간하지 않고 부하설비에 공급하는 것이 그 역할이며, 비교적 전기용량이 큰 산업용전지는 납 축전지, 니켈·카드뮴 축전지, 공기 습전지 등으로 분류한다. 통신용전원으로 사용되고 있는 축전지는 대용량을 필요로 하는 관계로 주원료로 납과 황산을 사용하는 납 축전지와 알칼리전지를 많이 사용하고 있다. 통신용 직류전원으로 최대 직류 48[V] 4800[A] 단일 시스템을 구성하기 위해 단위전지용량 2[V] 4400[AH](국내생산최고용량)의 전지를

사용하여 직렬연결로 적정전압 48[V]를 만들고, 보상시간을 3~12시간 부하전류에 지속될 수 있는 용량을 구성하기 위해 병렬로 조합하여 사용하고 있다. 이때 초기 투자를 경감하기 위해 부하의 증가에 따라 정류기 유니트와 축전지를 병렬로 접속(증설)하여 전원 용량을 증가시키는 방법을 사용하는데 국내에서 최대로 연결하고 있는 병렬 조수는 6조까지 운용하고 있다. 제작회사와 제작일자가 다르고, 용량이 서로 다른 축전지를 병렬로 운용하는 경우가 일반적이기 때문에 병렬 운용할 경우 신, 구 축전지 사이에서 순환전류가 발생하고 자기방전이 일어나게 된다. 내부 저항 증가로 충전전류가 조별로 다르게 되고, 과대한 충전전류는 양극격자 또는 심금의 부식을 증가시키는 원인이 되며, 새로 설치한 축전지가 내부저항이 낮아 과방전이 되므로 방전심도가 크게 되고, 수명을 단축시키게 된다. 납 축전지는 수명말기에 내부저항의 증가를 가져오게 된다. 따라서 부하의 급격한 전류에 대응하기 위해 전지의 내부저항 저감을 위한 목적으로 병렬운전을 필요로 하게 된다.

2. 축전지 구성과 사용

2.1 축전지 원리

전지의 기전력(단차전압) 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 작다.

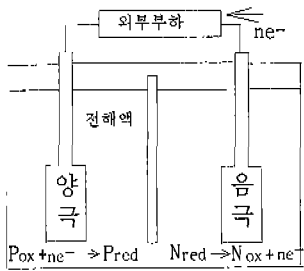


그림 1. 축전지 그림

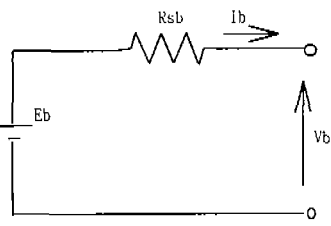


그림 2. 납축전지 등가회로

산업과 통신의 발달 및 고도화에 따라서 전력으로 동작되는 많은 종류의 기기가 보급되고 상용전원의 정전에도 부하에 전원공급이 되도록 하기 위해 축전지를 비상용전원으로 사용하고 있다.

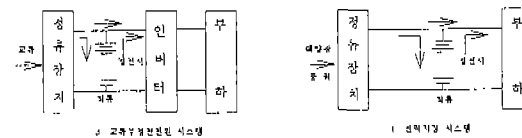
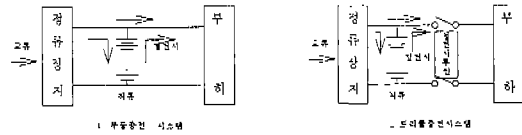


그림 2. 축전지 운용 시스템

외부회로의 저항 R , 전지의 내부저항 r 및 기전력 E 일 때 회로를 흐르는 전류 I 는 $I = E / (R + r)$ 양극사이의 전위차는 $E = IR$

$$E' / E = R / (R + r) \text{이다.}$$

충전상태의 양극 및 음극의 활동물질은 P_{ox} 및 N_{ox} 라하고, 방전상태의 양극 및 음극활동물질은 P_{red} 및 N_{red} 라고 표시하고 양극은 방전 때에는 전자 e^- 을 취하여 환원되고, 음극은 e^- 을 방출해서 산화된다.

$$\text{양극 : } P_{ox} + n e^- \rightleftharpoons P_{red}$$

$$\text{음극 : } N_{red} \rightleftharpoons N_{ox} + n e^-$$

2.2 단자전압

전지의 방전에 따른 활물질인 화학에너지의 감소($-\Delta G$, G : 자유에너지)는 외부회로에 유입되는 전기 에너지와 같다. 그러므로 에너지의 형태는 변화하여도 양자는 동일한 것으로부터 전지의 기전력 E (\approx 단자전압)은 다음 식으로 표시한다.

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

납축전지의 모델은, 기전력에 직렬저항이 삽입된 그림 (2)로 표시된 등가회로와 같으며, 식(3)과 같이 표현된다.

$$V_b = E_b - I_b \times R_{sb} \quad (3)$$

납축전지가 직렬로 N_{bs} 개, 병렬로 N_{bp} 로 접속된 납축전지 시스템이 구성되기 때문에 축전지 단자전압 V_B , 전류 I_B 는 식 (4)과 (5)와 같다.

$$V_B = V_b \cdot N_{bs} \quad (4)$$

$$I_B = I_b \cdot N_{bp} \quad (5)$$

이때 납축전지의 기전력과 내부저항은 충전상태에 따라 변화한다.

2.3 축전지 사용 시스템

2.4 병렬운전시 유의사항

경년변화에 따른 내부저항증가에 대한 대책이 필요하며 전지 내부저항을 고려하지 않은 상태로 설치 운용하였을 때, 다음 표1과 같이 총·방전시 전류의 불평형 상태가 있음을 알 수 있었다. 방전시 내부저항이 낮은 신설 축전지가 큰 전류부담을 갖게되고, 충전시에는 방전은 적게 하였으나 전위차 발생이 심한 오래된 축전지에 많은 충전전류가 흐르게되어 열화의 진행을 촉진하게 된다.

표 1. 전류불평형 현상

구 분	제작	1회	2회	3회	4회	저항 (mΩ)
SYS 1	91년	200	249	254	245	0.42
	방전(A) 98년	300	300	300	300	0.39
SYS 1	91년	110	107	72	60	
	충전(A) 98년	86	86	43	33	

구 분	제작	1회	2회	3회	4회	저항 (mΩ)
SYS 2	91년	170	180	190	200	0.42
	방전(A) 98년	220	216	210	200	0.39
SYS 2	91년	225	150	27	20	
	충전(A) 98년	130	100	22	15	

전지를 직렬과 병렬로 조전지를 구성하면, 전지특성에 따라 특성의 단전지에 전류가 집중되기도 하고, 과충전과 과방전이 일어나게 된다. 조전지를 구성하여 사용하기 위해서는 전지특성의 불균형이 적게되도록 단전지를 조합하고, 열의 방출을 고려하여 배열을 하여야 한다.

2.5 전지 수명

축전지의 수명은 여러 복합요소가 있지만, 용량감소 원인은 극판의 용량저하와 내부저항의 상승이 주

요원인이 된다. 전지의 수명은 일반적으로 초기용량의 60~80[%]에 도달하면 전지의 수명이 다한 것으로 본다. 또한 축전지의 가능한 총방전 사이클은 방전심도에 따라 다르게 나타난다.

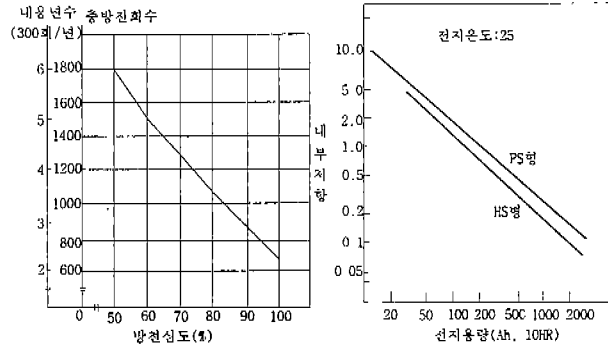


그림 3. 방전심도와 수명 그림 4. 납 축전지 내부저항

3. 전지 내부저항

3.1 내부저항

축전지를 건전지와 비교하였을 때, 충전을 할 수 있고, 낮은 내부저항으로 빠른 시간에 큰 전류를 내보낼 수 있다는 점이다. 전지내부저항은 전지의 극판 대향면적, 극판간 거리, 전해액의 성질, 온도 등에 따라서 달라진다.

충전중에 정전 등으로 충전전류가 차단되면, 전압이 높은 쪽의 전지는 낮은 쪽 전지의 충전전원으로 변환하게 된다. 내부저항 값의 범위가 큰 것은 방전초기와 방전말기의 전압차이 때문이다. 전지의 내부저항은 일반적으로 전지용량에 반비례한다. 단전지 직렬수량, 즉 전압에 비례하면서 큰 전류가 흐르는 경우의 전압강하를 비교하여, $[\Omega \cdot Ah/V]$ 가 적은만큼 좋은 것이다. 내부저항, 방전전류와 전압의 관계, 온도 특성을 고려한 기기의 방전종지전압과 사용시간과의 관계가 전지선택의 판단자료가 된다.

3.2 전지내부저항에 대한 기준

IEC(International Engineering commission)의 고정 납 축전지에 대한 내부저항에 대해 측정방법을 권고하고 있다. 그림 4에 축전지 내부저항 표를 나타내고 있다.

3.3 내부저항 계산방법

전지 3대를 사용하여, 충전된 전지를 $25 \pm 2[^\circ C]$ 에서의 $V=f(I)$ 는 다음과 같은 방법으로 두 개의 점을 만들어 결정한다.

첫 번째 점은 전류 $I_1 = I_{10} \pm 10\%[A]$ 로 20초 방전 후 전압 전류를 측정한다.

두 번째 점은 재충전 없이 2~5분이 지난 후 전류 $I_2 = 3 I_{10} \pm 10\%[A]$ 로 5초 방전 후 전압전류를 측정한다. 다음 식(6)으로 부터 내부저항을 구하게 된다

$$R_i = \frac{V_1 - V_2}{I_2 - I_1} [\Omega] \quad (6)$$

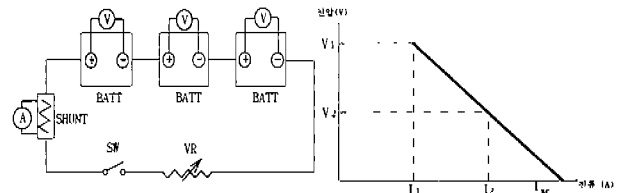


그림 5. 내부저항 측정회로 및 내부저항 결정

3.4 전지의 내부저항과 전류의 관계

내부저항 r 은 경년 변화에 따라 증가하고, 사용중에는 만충전 때에 가장 낮고, 방전상태가 되면 내부저항이 높아지게 된다. 직렬연결에서 전류는 다음 식 (7)과 같다.

$$I = \frac{nE}{nr + R} [A] \quad (7)$$

병렬로 연결하면 식 (8)과 같다.

$$I_p = \frac{E}{\frac{r}{n} + R} [A] \quad (8)$$

여러 개의 전지를 직렬로 연결하였을 때, 축전지의 저항은 모든 전지를 합한 저항이다. 전지 여러 개를 병렬 연결하면 전지 수에 의해 나누는 만큼 저항은 감소한다.

$$I_{sp} = \frac{nE}{(nr/p) + R} [A] \quad (9)$$

4. 실험 및 고찰

4.1 실험 및 저항제작

1. 시험용 전지로 2[V] 50[AH] 직렬로 3개씩 연결하고 2조를 편성하였다. 3개는 전지를 새로 제작하였다. 전지 내부저항은 다음 표 2와 같다.

표 2. 시험전지 내부저항 측정

구분	측정[mΩ]				IEC방법 계산
	1	2	3	평균	
1 조	2.40	2.46	2.6	2.48	3.43
	1.87	1.75	1.95	1.85	2.47
2 조	2.09	2.06	2.01	2.05	3.03
	1.47	1.48	1.37	1.44	2.53

2. 48[V] 4000[AH] 2조 시스템의 축전지를 부하전류 1400[A]에서 시험부하 700[A]에서 실험하였다.

구분	내부저항[mΩ]	조저항[mΩ]
92년제작	0.31	7.44
98년제작	0.26	6.24

3. 저저항(1[mΩ]) 대전류(10[kW])용 저항 3개를 제작하였다.

4.2 시뮬레이션 비교

측정한 내부저항을 사용하여 시뮬레이션하였을 때의 전류불평형상태와 실험한 결과는 다음과 같다.

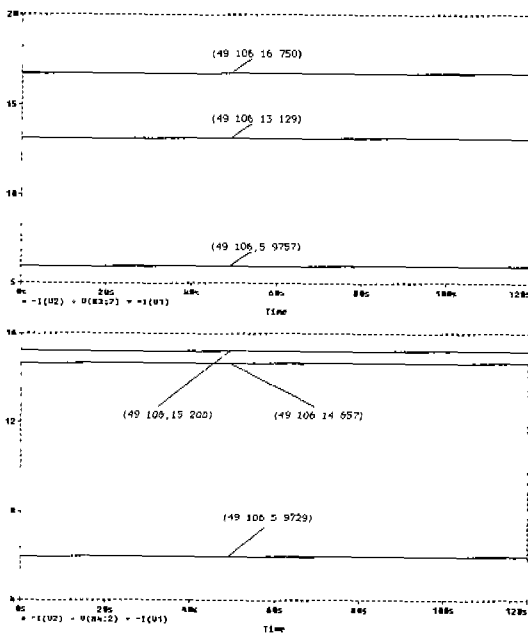


그림6. 30[A] 부하에서 전류불평형 현상 및 개선

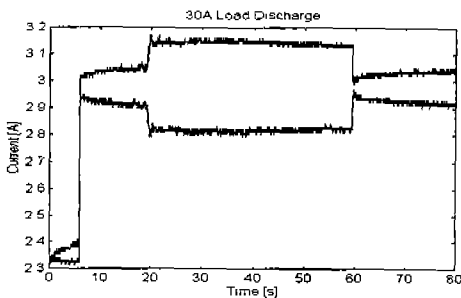


그림7. 30[A] 부하에서의 실험

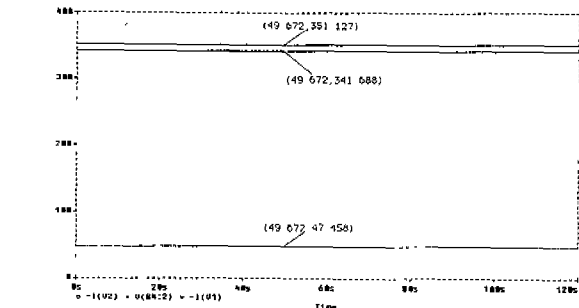
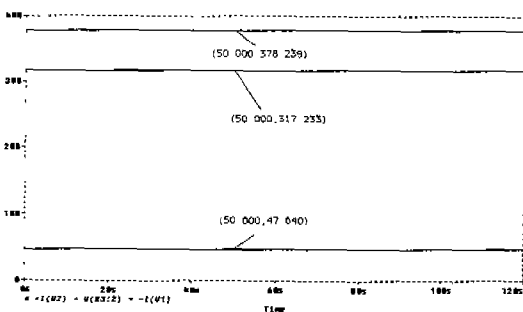


그림8. 700[A] 부하에서 전류불평형 현상 및 개선

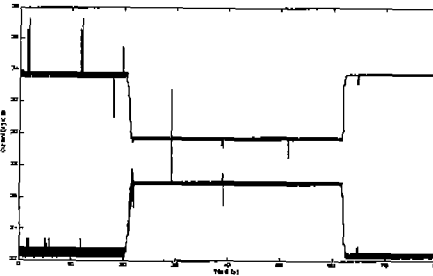


그림 9. 700[A] 부하에서의 실험

5. 결론

제작한 저항을 새전지조에 직렬로 삽입하여 시험한 결과, 방전시에 전지 조별간의 전류 불평형 현상은, 표 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 3. 실험결과

실험용 축 전지 2[V]	실험결과			
	시뮬레이션		부하실험	
	개선 전	개선 후	개선 전	개선 후
50[AH]	12.1[%]	1.84[%]	4.24[%]	1.68[%]
4000[AH]	8.77[%]	1.36[%]	19[%]	4.7[%]

이결과는 과도한 부하전류에 따른 수명단축을 해소할 수있음을 확인할 수 있었다. 향후 과제로 불평형을 개선하기 위한 대전류용 저저항[mΩ]에 대한 연구가 필요하며, 수명이 연장되는 결과를 계속 연구하고자 한다.

참고 문헌

- [1] George Wood Vinal, Sc. D. "Storage Batteries" John Willey & Sons. pp319-337. April 1954.
- [2] T R Crompton MSc, BSc "Battery Reference Book" Society of Automotive Engineers, Inc. pp 3/3 -3/5. 50/3-50/34 1997.
- [3] 西村昭義, "電池의 本" CQ出版社. pp 102 -104. 1996년 7월.
- [4] 日本電池株式會社, "實用二次電池" 日刊工業新聞社, pp 41-155, 1998년 4월.
- [5] IEC 896, "Stationary lead-acid batteries" 1995년