

# 다양한 C-rate기반 각형 셀의 전기적 특성분석 및 원전 비상전원 타당성 연구

김건우\*, 박성윤\*, 이평연\*, 김종훈\*, 박성백\*\*  
 충남대학교\*, 한국원자력안전기술원\*\*

## Study on the electrical characteristics of prismatic cell based on various C-rate and validity of nuclear power plant

Gunwoo Kim\*, Seongyun Park\*, Pyeongyeon Lee\*, Jonghoon Kim\*, Sungbaek Park\*\*  
 Department of Electrical Engineering, Chungnam National University\*  
 Korea Institute of Nuclear Safety\*\*

### ABSTRACT

원전 사고를 계기로 비상전원공급용 축전지의 중요성이 부각되고 있다. 본 논문에서는 비상전원공급용 축전지가 기존의 납축전지를 대신하여 리튬계열 축전지의 사용이 고려되는 상황에서 NMC( $LiNiMnCoO_2$ ) 고용량 94Ah 각형 셀의 적용성을 판단하기 위한 기초적인 전기적 특성실험을 진행했다. 원전 비상전원공급용 축전지가 리튬계열 축전지로 사용 될 때의 최적의 C-rate를 찾기 위해 전기적 실험을 통해 분석하였다.

### 1. 서론

최근 배터리는 다양한 어플리케이션에 적용되고 있으며 그에 따른 여러 가지 요구사항들이 많아지고 있다. 특히, 전력 구동용 어플리케이션으로써 고용량 및 고출력 배터리를 요구하고 있다.<sup>[1]</sup> 이러한 요구조건을 충족시키기 위해 여러 종류의 배터리 중 리튬계열 축전지가 많이 사용되고 있다.

후쿠시마 원전 사고를 계기로 원전 필수 제어전원의 안정성 확보와 용량 증대의 필요성이 부각되고 있다. 사고발생 시 비상전원의 복구가 지연되면서 사고 대응 전력설비인 비상전원공급용 축전지의 관심이 더욱 증대되었다. 비상전원 복구 지연 및 장기 교류전원 상실사고는 불가피하므로 이를 해결하기 위해 추가적인 비상전원 축전지가 요구되고 있다. 리튬계열 축전지는 납축전지보다 높은 공칭전압조건을 가진다. 리튬계열 축전지의 공칭전압은 일반적으로 3.7V지만 납축전지의 일반적인 공칭전압은 2V로 약 두 배 정도 리튬계열 축전지가 더 높다. 에너지 밀도는 납축전지 대비 리튬계열 축전지가 단위 무게당 약 세 배, 단위 부피당 약 여섯 배 정도 차이가 난다. 리튬계열 축전지가 더 가볍다는 점을 고려했을 때 저장 공간의 축소화 및 공간 활용적인 부분에서 큰 이점을 가진다. 리튬계열 축전지는 약 -20℃에서 60℃까지 사용할 수 있다. 저온에서는 배터리 내부적인 특성이 살짝 변하지만 고온에서는 25℃와 큰 차이가 나타나지 않는다. 납축전지의 가용 온도범위는 -15℃에서 45℃지만 사실상 25℃가 아니라면 납축전지의 Specification을 온전히 사용할 수 없다. 이러한 장점들을 바탕으로 기존에 사용되었던 납축전지보다 리튬계열 축전지의 사용이 고려되고 있다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서는 원전의 비상전원공급용 축전지의 적용성을 판단하기 위해 NMC( $LiNiMnCoO_2$ ) 고용량 94Ah 각형 셀의 전기화학적 특성 실험을 진행하였다. 원전에서는 현재 축전지의 Back-up time이 2시간, 4시간, 8시간, 등 다양하며 외부자원 없이 발전소 내에서 보수적으로 대처 가능한 최대 시간을 72시간으로 제한하고 있다. 따라서 각형 셀의 전기적 특성 실험을 통해 네 가지의 다양한 C-rate의 방전용량을 구하고 정격 충전을 통해 네 가지 C-rate(1/2C, 1/4C, 1/8C, 1/72C)의 충전용량을 추출한다. 1/72C를 제외한 나머지 C-rate 실험을 통해 추출된 방전용량과 충전용량을 이용하여 계산된 충전효율을 비교 및 분석하여 최적의 구동 C-rate를 제안한다. 1/72C의 데이터는 외부자원 없이 비상상황을 대처해야 할 상황에서 72시간 이상 전원공급이 원활하게 이루어 질 수 있는지를 확인 위해 사용된다. 결과적으로 추출된 모든 데이터들을 바탕으로 NMC( $LiNiMnCoO_2$ ) 고용량 94Ah 각형 셀의 원전 비상전원공급용 축전지로서의 적용성을 판단한다.

를 통해 네 가지의 다양한 C-rate의 방전용량을 구하고 정격 충전을 통해 네 가지 C-rate(1/2C, 1/4C, 1/8C, 1/72C)의 충전용량을 추출한다. 1/72C를 제외한 나머지 C-rate 실험을 통해 추출된 방전용량과 충전용량을 이용하여 계산된 충전효율을 비교 및 분석하여 최적의 구동 C-rate를 제안한다. 1/72C의 데이터는 외부자원 없이 비상상황을 대처해야 할 상황에서 72시간 이상 전원공급이 원활하게 이루어 질 수 있는지를 확인 위해 사용된다. 결과적으로 추출된 모든 데이터들을 바탕으로 NMC( $LiNiMnCoO_2$ ) 고용량 94Ah 각형 셀의 원전 비상전원공급용 축전지로서의 적용성을 판단한다.

### 2. 본론

#### 2.1 고용량 94Ah 각형 셀의 성능 시험

그림 1은 각형 셀의 용량실험 프로파일을 나타낸다. 온도조건은 항온-항습 챔버를 사용하여 외기온도를 상온(25℃)로 유지한 상태에서 실험을 진행했다. 그림1의 용량실험에 앞서 셀의 내부와 외부 온도를 안정시키기 위해 6시간동안 챔버에 각형 셀을 넣어 보관했다. 각형 셀의 용량실험은 다음과 같은 과정으로 진행하였다. 정격충전전류인 1/3C (31.33A)로 4.15V까지 정전압 - 정전류 조건(CC-CV, Constant Current - Current Voltage)으로 완전충전을 하고 한 시간의 휴지시간을 인가하여 배터리의 전압을 내부적으로 안정시킨다. 그 후에 각 C-rate별로 2.7V까지 CC조건으로 완전 방전시킴으로써 각형 셀의 방전용량과 방전시간을 추출한다. 방전이 끝나면 충전 후와 같은 시간의 휴지시간을 인가하여 배터리의 내부안정화를 이룬 뒤 다시 정격충전전류로 4.15V까지 CC-CV조건으로 완전충전을 하면서 충전용량 및 충전시간을 추출한다.

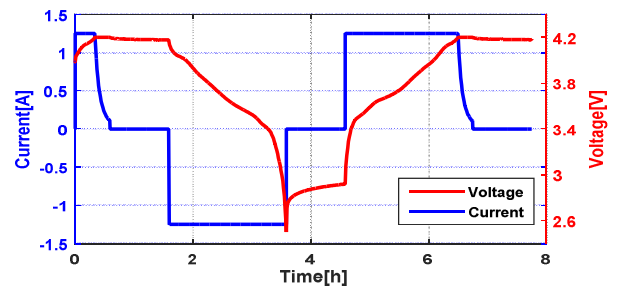


그림 1 용량실험 프로파일(1/2C)  
 Fig 1 Capacity experiment profile(1/2C)

## 2.2 각형 셀 내부 파라미터 비교·분석

네 가지의 C-rate별 용량 실험의 결과는 다음과 같다. 용량 실험 결과의 특성 분석에 필요한 충전용량과 방전용량 데이터를 추출하기 위해 그림2, 그림3과 같이 충전구간과 방전구간으로 나누어서 그래프를 나타냈다. 그림2와 표1을 통해 C-rate가 낮아질수록 방전용량과 방전시간의 변화량이 증가함을 확인할 수 있으며 그림3과 표2를 통해 C-rate가 낮아질수록 충전용량 및 충전시간의 변화량 또한 증가함을 알 수 있다. 현재 납축전지로 설계된 축전지의 충전효율은 축전지를 방전한 후 다시 충전하는 경우, 방전 전의 상태로 충전이 될 때까지의 충전량에 대한 방전량의 비로 나타낼 수 있다. 리튬계열 축전지의 충전효율 또한 납축전지와 같은 방법으로 계산했다. 추출된 충전용량과 방전용량으로 계산된 충전효율은 표3과 같이 나타난다. 1/4C에서 충전효율의 감소는 1/2C, 1/8C보다 충전용량의 증가량이 방전용량의 증가량보다 크게 나타나기 때문이다. 현재 원전에서 채택되고 있는 Back up time은 2시간, 4시간, 8시간, 등으로 다양하다. 1/2C, 1/4C, 1/8C의 충전효율을 비교했을 때 1/8C의 충전효율이 99.87%로 가장 높게 나타났으며, 이에 따라 고용량 94Ah 각형 셀로 비상전원공급용 축전지를 설계할 시 최적의 C-rate는 충전 효율이 가장 높은 1/8C로 제안할 수 있으며, 따라서 최적의 Back-up time은 8시간으로 고려할 수 있다. 외부자원 없이 발전소 내에서 비상상황 발생시 72시간 이상 전원을 공급해야하는 상황 또한 고려해야한다. 그림2의 1/72C 방전용량실험결과 용량은 기존의 94Ah보다 약 4.88Ah증가했고, 예상방전시간은 72시간 이었으나 3시간30분 이상 방전할 수 있다. 75시간 이상 축전기를 가동할 수 있다 스크리닝 과정을 통해 내부특성이 비슷한 각형 셀들로 적절한 직·병렬 조합으로 구성하여 축전지를 설계한다면 기존에 원전에서 사용되고 있는 납축전지를 대신하여 NMC( $LiNiMnCoO_2$ ) 고용량 94Ah 각형 셀로 원전 비상전원공급용 축전지를 설계하는 것은 적절하다고 판단할 수 있다.<sup>[3]</sup>

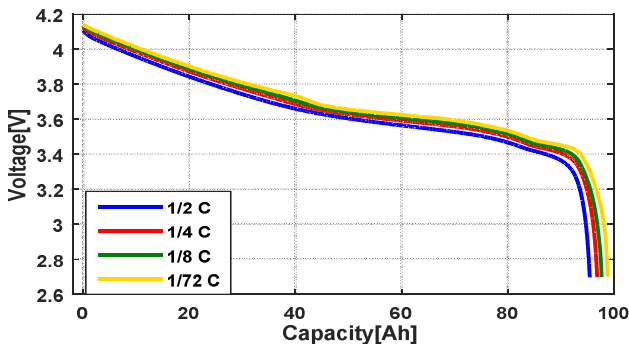


그림 2 네 가지 C-rate의 방전 용량 비교  
Fig 2 Comparison discharged capacities in four cases

표 1 방전용량 및 방전시간의 증가량  
Table 1 Discharge capacity and increment of time

| C-rate     | $\frac{1}{2} C$ | $\frac{1}{4} C$ | $\frac{1}{8} C$ | $\frac{1}{72} C$ |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 방전용량[Ah]   | 95.46           | 96.85           | 97.69           | 98.88            |
| 시간의 증가량[h] | 0.03            | 0.12            | 0.31            | 3.78             |

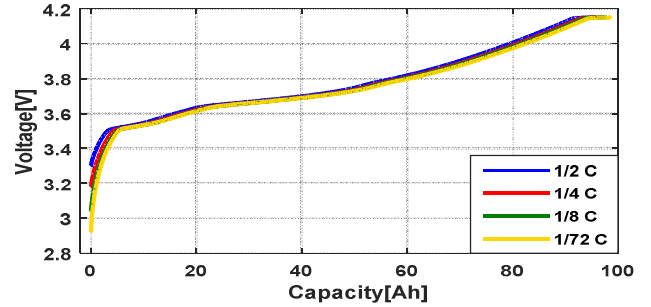


그림 3 네 가지 C-rate의 충전시간 비교  
Fig 3 Comparison of charge time in four cases

표 2 충전 용량 및 충전 시간의 증가량  
Table 2 Charge capacity and increment of time

| C-rate     | $\frac{1}{2} C$ | $\frac{1}{4} C$ | $\frac{1}{8} C$ | $\frac{1}{72} C$ |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 충전용량[Ah]   | 95.61           | 97.04           | 97.82           | 98.49            |
| 시간의 증가량[h] | 0.39            | 0.44            | 0.46            | 0.48             |

표 3 충전 효율  
Table 3 Charging efficiency

| C-rate  | $\frac{1}{2} C$ | $\frac{1}{4} C$ | $\frac{1}{8} C$ | $\frac{1}{72} C$ |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 충전효율[%] | 99.84           | 99.80           | 99.87           | 100.39           |

## 3. 결론

본 논문에서는 현재 원전의 비상전원공급용 축전지가 기존의 납축전지를 대신하여 리튬계열 축전지로의 대체가 고려되고 있는 상황에서 리튬계열 축전지의 적용성을 판단하기 위한 전기적 특성실험 및 분석을 실시하였다. 실험 결과를 바탕으로 NMC( $LiNiMnCoO_2$ ) 고용량 94Ah 각형 셀을 이용하여 비상전원공급용 축전지를 설계의 적용성을 판단하며 최적의 축전지 구동 C-rate를 제안한다.

본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전연구사업의 연구결과입니다. (No. 1805006)

## 참고 문헌

- [1] M. Coleman, C. H. Lee, C. Zhu, and W. G. Hurley, "State-of-Charge Determination From Voltage Estimation: Using Impedance, Terminal Voltage and Current for Lead-Acid and Lithium-ion Batteries,"
- [2] 후쿠시마 원전사고 이후의 국내 원전 전력설비 신뢰도 확보방안, 2011, 김복렬
- [3] L. Zhou, Y. Zheng, M. Ouyang, L. Lu, "A study on parameter variation effects on battery packs for electric vehicles."