

원전 비상전원 설계를 위한 납축전지 및 리튬계열전지 전기적 특성 비교

박성운*, 김건우*, 김종훈*, 박성백*
 충남대학교 전기공학과, 한국원자력안전기술원

Comparison of electrical characteristic between Lead-Acid Battery and Lithium-based Battery for Designing in NPPs

Seongyun Park, Gunwoo Kim, Jonghoon Kim, Seongbeak Park
 Department of Electrical Engineering ChungNam National University,
 Korea Institute of Nuclear Safety

ABSTRACT

국내 원자력 발전소의 비상전원공급을 위하여 대체교류디젤 발전기와 납축전지를 사용하고 있다. 납축전지는 온도, 방전 전류, 수명 및 안정성 등에서 리튬계열전지와 비교되고 있으며, 전기적 특성이 우수하고 안정성이 높은 리튬계열전지의 사용이 고려되고 있다. 본 논문은 원전의 비상전원 설계를 위하여 납축전지와 리튬계열전지의 전기적 특성을 비교 분석하였다.

1. 서론

2011년 3월 후쿠시마 원전 사고로 설계기준을 초과한 자연 재해에 의해 후쿠시마 원전의 모든 비상전원의 이용이 불가능하게 되었고, 비상전원의 복구가 지연되면서 발생한 장기 교류전원 상실사고 대응 전력설비인 축전지의 관심이 더욱 증대되었다. 원전 필수 제어 전원의 안정적 확보와 용량 증대의 필요성이 부각되고 있다. 후쿠시마 원전 사고 이후 원자력안전기술원에서 국내 원전 비상전력원의 안전점검을 수행하였다.^[1] 리튬계열전지의 경우 양극 활물질, 제조사 및 형태에 따라 축전지의 전기적 특성들이 달라진다. 일반적으로 리튬계열전지는 3.7V, 납축전지는 2V로 약 2배 높은 공칭전압을 나타내고 있다. 에너지밀도의 경우 단위 무게당 3배, 단위 부피당 약 6배 정도 리튬계열 축전지가 높다. 동일한 용량을 선정할 경우 납축전지보다 리튬계열전지를 사용하는 것이 설치 공간 활용 및 운영비용을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 최근 납축전지에 비해 상대적으로 높은 에너지 밀도, 수명, 온도 동작 특성 등의 전기적 특성과 안정성이 우수한 리튬계열전지를 원전의 비상전원 공급원으로 사용하는 것이 고려된다. 본 논문에서는 납축전지와 리튬계열전지간의 전기적 특성 비교 분석을 통하여 원전 비상전원 설계 시 고려할 점들에 대해 확인하였다.

2. 본론

2.1 납축전지와 리튬계열 축전지 특성 비교

본 논문에서는 납축전지와 리튬계열전지를 비교하여 원전 비상전원 설계 시 고려되어야 할 차이점에 대해 기술하였다. 납축전지와 리튬계열전지의 적합한 용량 계산은 온도, 방전 전류, 노화 등에 따라 달라질 수 있으며, 한국수력원자력에서 제시한 EEG 1400 리튬이온전지의 용량계산 및 설치의 관점에서

납축전지와 리튬계열전지의 전기적 특성을 비교하여 용량계산 시 차이점을 비교하였다.

전지는 화학물질로 구성되어 있기 때문에 사용 온도에 따라 내부 화학물질의 운동성이 달라지므로 방전용량이 달라진다. 이러한 관점에서 그림 1은 납축전지의 온도 특성 그래프로 사용 가능 온도를 -15 ~ 45°C로 제시하고 있지만^[2], 납축전지의 온도 특성 데이터 시트를 바탕으로 권장 온도는 25°C에서 정격 용량을 사용할 수 있으며, 온도가 낮아짐에 따라 급격히 용량이 감소한다. 그림 2는 리튬계열 축전지의 온도 특성을 확인하기 위하여 실험한 데이터로 사용 가능 온도로 -20 ~ 60°C로 제시하며^[3], 온도 변화에 따라 방전 용량 차이가 적지만, 0°C 이하 구간에서는 사용 가능한 방전 용량이 90%이하로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 납축전지와 리튬계열전지의 용량 특성으로 인하여 용량 설계 시 온도보정계수에 대한 고려가 필요하다.

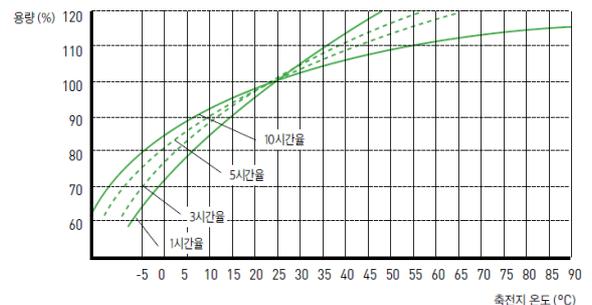


그림 1 납축전지(PS1400) 온도-용량 특성^[2]
 Figure 1 Temperature-Capacity Curve of Lead-Acid Battery

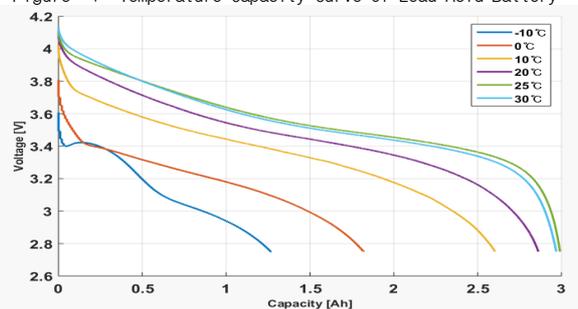


그림 2 리튬계열 축전지 온도-용량 특성
 Figure 2 Temperature-Capacity Curve of Lithium-based Battery

그림 3^[9]의 납축전지의 1C-Rate에서는 1시간동안 사용 가능해야 정상이나 그림 3에서 1C의 곡선을 살펴보면 35분까지만 사용 가능한 것을 볼 수 있다. 이에 따라 납축전지를 사용할 시에는 방전 전류 특성을 고려하여 용량 계수인 Capacity Rating Factor(C_r 또는 K_t)를 적용한 용량 설계가 필요하다. Capacity Rating Factor는 납축전지의 사용 가능한 용량, 방전 전류와 종지전압에 의해 결정된다. 식 (1)의 K_t 는 주어진 종지전압, 25°C에서 t 분 동안 공급 가능한 용량과 정격용량의 비율로 나타내어진다.^{[4],[10]}

$$K_t = \frac{Q_r}{Q_s} = \frac{1}{C_t} \quad (1)$$

Q_r = 정격 용량(Ah)

Q_s = 주어진 종지전압, 25°C에서 t 분 동안 공급 가능한 용량(Ah)

공급 가능한 용량은 납축전지의 특성에 따라 달라지므로 실험적인 데이터로 얻어질 수 있다. 납축전지는 방전 전류에 따라 사용 가능한 용량이 달라지기 때문에 용량을 계산하기 위해서는 이 계수에 대한 고려가 필수적이다.

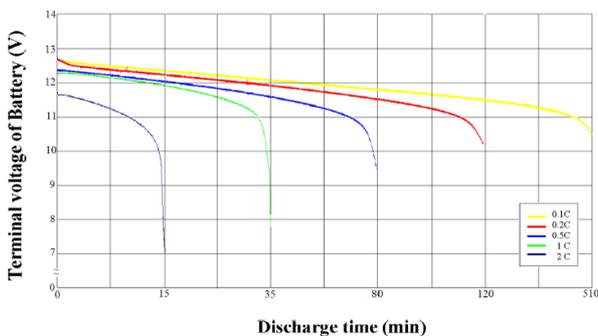


그림 3 납축전지 방전 전류-용량 특성^[9]
Figure 3 Discharge Current - Capacity Curve of Lead-Acid Battery

그림 4는 리튬계열 축전지를 방전 전류에 따른 방전 용량의 차이를 알아보기 위해 실험한 데이터이다. 리튬계열 축전지의 경우 방전 전류에 따라 용량 변화가 크게 나타나지 않으므로 용량계산 시에 무시할 수 있다. 이 계수에 대한 영향으로 원전 책무주기에 따른 축전지 용량 계산 방법에 큰 차이를 보이게 된다.

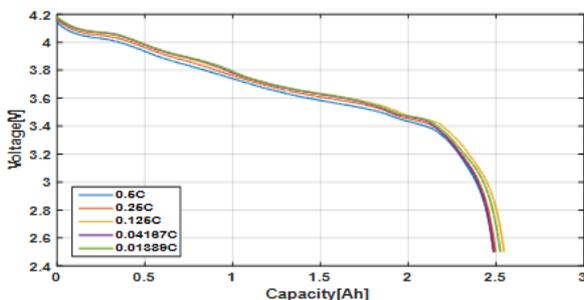


그림 4 리튬계열 축전지 방전 전류-용량 특성
Figure 4 Discharge Current - Capacity Curve of Lithium-based Battery

축전지는 실제 용량이 80%이하로 내려갈 경우 노화가 가속화되고 축전지의 특성을 예측하기 어려워지므로, 실제 용량이 정격용량의 80% 이하로 떨어지는 축전지는 교체할 것을 권장한다.^{[5],[6]} 또한, 축전지의 초기용량은 제조사에서 제시하는 정격용량과 정확히 같지 않으며^[4], 납축전지의 경우 메모리 효과로 인하여 방전용량에 따라 수명이 달라지지만, 리튬계열 축전지는 메모리 효과가 없어 방전용량에 상관없이 일정한 용량을 사용할 수 있다는 장점이 있다.

3. 결론

본 논문은 원전 비상전원 설계를 위한 리튬계열전지와 납축전지의 전기적 특성을 비교 분석하였다. 리튬계열전지와 납축전지는 온도, 방전 전류 등에서 차이를 나타내며, 리튬계열전지는 납축전지가 가지고 있는 메모리효과가 없어 긴 수명 특성을 가지고 있다. 원전 비상전원 설계를 위하여 납축전지와 리튬계열전지의 특성을 비교 분석하였으며, 가장 큰 차이점으로는 용량계수의 적용으로 나타났다. 이를 바탕으로 리튬계열전지를 이용하여 더 적합한 원전 비상전원 설계를 할 수 있다. 향후 리튬계열전지의 비상전원 적용을 위하여 안정성에 대하여 실험되어야 하며 과충·방전을 막을 수 있는 제어기와 고장진단 방법에 대하여 더욱 연구가 요구된다.

이 논문은 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전연구사업의 연구결과입니다. (No. 1805006)

참고 문헌

- [1] “후쿠시마 원전사고 이후의 국내 원전 전력설비 신뢰도 확보 방안”, 김복렬, 임장현, 전기의 세계60, 32-39 page, 2010. Oct.
- [2] “산업용 납축전지 데이터 시트”, 세방전지.
- [3] “리튬이온 배터리의 충·방전 온도에 따른 배터리 수명 분석”, 엄태호, 2016. 05.
- [4] IEEE Std 485™-2010, “Recommended Practice for Sizing Lead-Acid batteries for Stationary Applications.”
- [5] IEEE Std 450™-2002, “Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead-Acid batteries for Stationary Application.”
- [6] IEEE Std 1188™-2005, “Recommended Practice for Maintenance, Testing and Replacement of Valve-Regulated Lead-Acid batteries for Stationary Applications”
- [7] “EEG 1300 리튬 이온전지와 주변기기의 성능 및 안전성 기준”, 한국수력원자력
- [8] “EEG 1400 리튬이온전지의 용량계산 및 설치”, 한국수력원자력
- [9] “Charge and Discharge Characteristics of Lead-Acid Battery and LiFePO4 Battery”, Chih-Ching Hua, 2010, IPEC
- [10] “Tubular Gel Technical Manual”, HBL.