

전 비상전원 적용을 위한 리튬계열 전지 용량 설계

박성윤¹, 김건우¹, 이평연¹, 김종훈[†], 박성백², 김영미²

Battery Sizing of Lithium-Based Battery for Emergency Power Supply in Nuclear Power Plants

Seongyun Park¹, Gunwoo Kim¹, Pyeongyeon Lee¹, Jonghoon Kim[†], Sungbeak Park², and Youngmi Kim²

Abstract

The emergency power supplies (EPSs) are required to increase battery sizing for protecting power source loss above designed criteria. This study proposes a sizing method for lithium-based batteries for EPSs in nuclear power plants on the basis of the calculation method for the required energy under variable conditions. The variable conditions are related with the characteristics of lithium-based batteries, such as the temperature of the location of EPS installation, aging, and design margin. The usage of lithium-based battery reduces the cost and installation space and enables the safe and long-term supply of power compared with the use of lead-acid battery.

Key words: Lithium-based battery, Battery sizing, Emergency power supply, Nuclear power plant

1. 서 론

2011년 후쿠시마 원전의 설계기준을 초과한 자연 재해에 의해 원전의 모든 비상전원의 사용이 불가능하게 되었고, 비상전원의 복구가 지연되면서 발생한 장기 교류 전원 상실사고 대응 전력 설비인 축전지의 관심이 더욱 증대되었다. 국내 원전 비상전원의 비상전원 설비의 용량은 책무주기(Duty Cycle)에 따라 약 2~8 시간으로 설계되어 있으나 후쿠시마 사고로 인하여 설계기준을 초과한 사고로 인하여 장시간 대응 가능한 비상전원 설비의 설치가 요구되고 있다. 기존의 원전의 비상전원 공급원으로는 디젤 발전기(Diesel Generator)와 납축전지(Lead-acid battery)가 사용되고 있으나, 디젤 발전기는 사고 발생 후에 기동하기 때문에 짧은 시간의 정전은 피할 수 없다. 이와 비교하여 납축전지는 즉각적으로 에너지를 공급할 수 있으며 디젤발전기와 비교하여

유지보수 및 운전제어가 용이하다^[1]. 하지만 납축전지를 이용한 에너지 저장장치는 메모리 효과와 더불어 높은 자가 방전 특성으로 인하여 납축전지의 노화가 가속되기 때문에 보수요원을 통해 정확한 납축전지의 유지 보수 및 관리가 필요하다. 더불어 납축전지의 황산 등 유해 가스 발생으로 인하여 환기설비, 방폭형 조명 설비 및 내산 페인트가 갖춰진 설치 장소가 필요하다. 기존 원전의 비상전원으로 사용되고 있는 납축전지로 비상전원을 증설할 경우 축전지실 부지의 추가 구비와 유해물질로 인한 안전한 설치환경 조성 등과 같은 환경적 요인과 납축전지의 특성으로 인하여 잦은 유지 보수가 필요하여 보수요원의 인적 고장 요인도 무시할 수 없을 것이다. 국내 발전소 A의 비상전원으로 설계된 납축전지는 직렬 조합으로 연결되어 비상전원 공급 중 셀의 고장이 발생할 경우 계통 요구 최소 전압에 미치지 못하게 되거나 전체 배터리 시스템 용량의 많은 부분을 운용하지 못하게 되어 전체 비상전원 시스템의 운용에 문제를 일으킬 수 있다. 또한 비상전원의 전력 공급 가능 시간의 증대가 요구되면서 비상전원의 증설이 불가피해졌으며, 납축전지를 사용하여 증설할 경우 추가적인 축전지실의 공간 확보와 주기적인 축전지의 관리가 요구된다. 이에 국내 발전소 A는 비상전원으로 사용된 납축전지를 리튬계열 전지(Lithium-based battery)로 변경하였다. 리튬계열 전지는 병렬 조합으로 구성되었으며, 납축전지 대비 무게는 82%, 설치면적은 49%, 용량은

Paper number: TKPE-2019-24-5-5

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: whdgns@cnu.ac.kr, Electrical Engineering, Chungnam Nat'l University

Tel: +82-42-821-5657 Fax: +82-42-821-7606

¹ Electrical Engineering, Chungnam Nat'l University

² Dept. of Nuclear Safety Research, Korea Institute of Nuclear Safety

Manuscript received Feb. 2, 2019; revised Mar. 4, 2019;

accepted May 1, 2019

— 본 논문은 2018년 추계학술대회 우수추천논문임

TABLE I
CHARACTERISTICS LEAD-ACID BATTERY AT 25°C

List	Lead-acid battery (PS-1400)
Nominal Voltage	2.0 V
Rated Capacity	1400 Ah (10Hr 1.8V/Cell)
Energy Density	44.7 Wh/L
Operating Temp.	0~30 °C
Harmful Substance	Pb, S
Monitoring	Manual

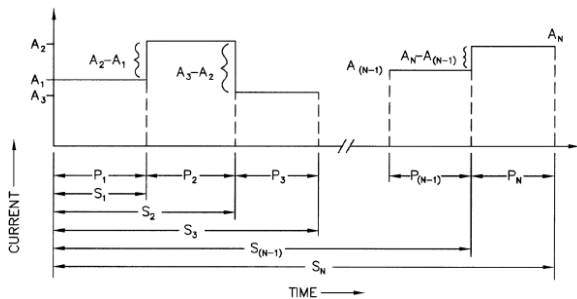


Fig. 1. Generalized duty cycle.

44% 감소하였다^[2]. 리튬계열 전지는 일반적으로 납축전지에 비해 높은 공칭 전압, 높은 에너지 밀도, 수명, 온도 동작 특성 등을 나타내며 납축전지와 달리 메모리 효과가 없으며 낮은 자가 방전 특성으로 납축전지보다 운용상의 안전성을 유지할 수 있는 장점이 있다. 이러한 납축전지의 운용상의 문제점과 리튬계열 전지의 우수성으로 인하여 국내 원전의 비상전원 공급원으로 납축전지를 대신하여 리튬계열 전지의 적용의 필요성이 고려되고 있다.

본 논문의 2장에서는 국내 발전소의 비상전원으로 사용되고 있는 납축전지의 용량 설계 특성 분석 및 설계 방법과 국내 가동원전 B의 책무주기를 분석 및 검토하였으며, 3장에서는 납축전지의 용량 설계를 바탕으로 리튬계열 전지의 전기적 특성 실험 및 분석을 하였다.

4장에서는 리튬계열 전지의 용량 설계 방법을 제시하였으며, 5장에서는 리튬계열 전지 용량 설계의 장점과 가동원전의 비상전원 적용을 위한 리튬계열 전지의 향후 과제에 대하여 제시하였다.

2. 납축전지 용량 설계 특성 분석 및 원전 비상전원 책무주기 분석

본 장에서는 국내 원전 비상전원에 적용 중인 납축전지 모델 PS-1400에 대하여 납축전지의 전기적 특성을 분석하고 원전 전원 상실 사고 시 비상전원이 수행해야 할 책무주기의 분석을 통해 기존 국내 가동 원전 A의 납축전지 용량 설계를 점검하였다. 표 1은 PS-1400 모델의 일반적인 특성을 나타낸다. 일반적인 납축전지와 동일하게 2.0 V의 공칭 전압을 나타내며, 작동 가능 온도

TABLE II^[3]
DISCHARGE CHARACTERISTIC FOR PS-1400
LEAD-ACID BATTERY AT 25°C

Nominal Capacity (Ah) at C ₁₀	Discharge Time[H]			
	1	3	5	10
1000	500	230	160	100
1200	600	276	192	120
1400	700	322	224	140
1600	800	368	256	160
1800	900	414	288	180

TABLE III^[3]
CAPACITY RATING FACTOR(Kt) AT 25°C

Discharge Time in Hours	Kt
1	2
3	4.35
5	6.25
10	10

범위는 0~30°C로 나타났다^[3]. 비상전원의 용량 설계를 위해서는 요구되는 부하의 용량을 계산하여야 한다. 이 요구되는 부하의 용량은 비 보정 용량으로 정의된다^[6]. 비 보정 용량을 계산하기 위해서는 납축전지의 용량보정계수에 대하여 계산이 되어야 하며 그림 1과 같이 방전 전류에 따라 구간을 정의하는 방법을 사용한다.

그림 1은 일반적인 책무주기를 벤다이어그램으로 도식화하여 비 보정 용량을 계산하는 방법을 나타낸다. 식 (1)에서 F 는 비 보정 용량, P 는 각 부하가 걸리는 기간, S 는 누적 부하 구간, N 은 책무주기 구간의 수, A_p 는 P 기간에 요구되는 전류, t 는 시간(분), K_t 는 납축전지의 방전 특성을 보정하기 위한 용량 보정 계수(Capacity Rating Factor)를 나타낸다^[6].

$$F = \max_{S=1}^N F_S = \max_{S=1}^N \sum_{P=1}^{P=S} [A_P - A_{(P-1)}] K_t \quad (1)$$

용량보정계수는 납축전지의 방전 종지 전압 조건에서 시간에 대한 함수로 실험적으로 계수를 얻을 수 있다. 표 2는 세방전지의 PS Series 납축전지의 방전특성을 나타내며, 표 3은 표 2의 방전 특성으로 계산되는 용량보정 계수를 나타낸다. 표 2에서는 특정 방전 종지 전압에서 시간당 사용 가능한 용량에 대해 나타내고 있다. 보정 계수를 나타낸다. 표 2에서는 특정 방전 종지 전압에서 시간당 사용 가능한 용량에 대해 나타내고 있다. 즉, 1400 Ah의 납축전지를 3시간을 사용한다고 가정하면, 시간당 322 A를 방전할 수 있어 정격 용량의 70%인 966 Ah만 사용 가능하기에 용량 설계 시 이에

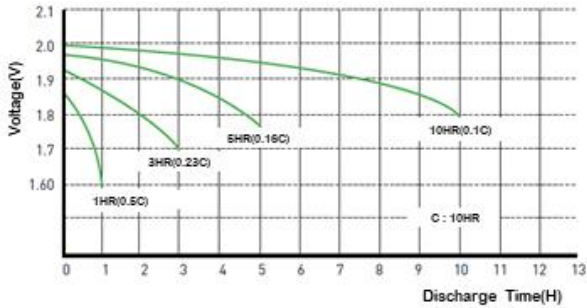


Fig. 2. Discharge characteristic curve (PS-1400)^[3].

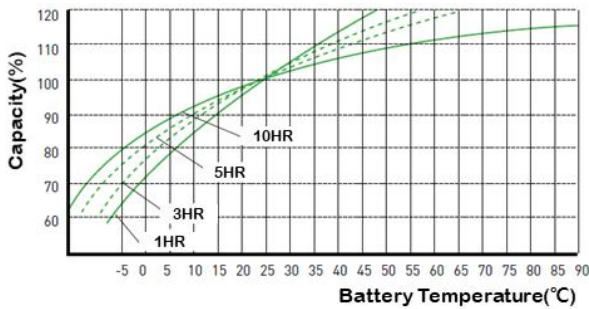


Fig. 3. Temperature-capacity curve (PS-1400)^[3].

대한 보정이 필요하다. 또한 납축전지의 정격 용량에 관계없이 같은 종류의 납축전지라면 동일한 용량보정계수를 사용할 수 있다. 축전지의 양극재와 음극재가 달라짐에 따라 축전지의 방전 특성이 달라지므로 용량보정계수는 납축전지의 방전 특성에 따라 달라져야한다. 납축전지는 방전 전류에 따라 사용 가능한 용량이 달라지기 때문에 이에 대한 고려로 용량 보정 계수를 고려한 비보정 용량 설계가 필요하다. 이 용량 보정 계수는 온도 조건 25℃, 주어진 방전 중지 전압에서 t 시간 동안 공급 가능한 용량과 정격 용량의 비율로 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다^[6].

$$K_t = \frac{Q_r}{Q_s} = \frac{1}{C_t} \quad (2)$$

여기서 Q_r 은 납축전지의 10시간을 용량, Q_s 는 25℃에서 주어진 방전 중지전압까지의 방전 시간당 방전 가능한 용량을 의미하며, C_t 는 K_t 의 역수로 용량 보정 시 구간에 흐르는 전류와의 K_t 와의 곱 또는 $1/C_t$ 와의 곱을 통해 나타낼 수 있다.

표 3에서와 같이 납축전지 제조사에서 제공되거나 실험을 통해 구해지는 용량 보정 계수를 이용하여 요구되는 부하에 따라 납축전지의 비 보정 용량을 설계해야한다^[3]. 비 보정 용량을 계산하기 위해서는 요구되는 부하가 계산되어야 한다.

요구되는 부하는 국내 가동원전 B의 비상전원 책무주기를 분석하여 그림 4와 같이 나타냈다. 비상전원의 책무주기 중 채널 A의 최대 부하는 1분 동안 인가되는

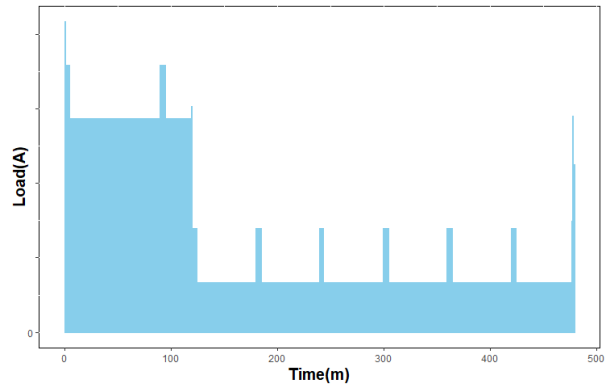


Fig. 4. Duty cycle of nuclear power plants.

453.43 A이며, 405.43 A가 118분, 433.23 A가 1분 동안 인가되어 총 120분 공급 가능해야 한다. 책무주기를 통해 계산된 납축전지가 공급해야할 채널 A의 비 보정 용량은 1454.2 Ah으로 나타났다.

국내 가동원전 B의 비상전원 용량을 설계하기 위해서는 납축전지의 용량 보정 계수 외에도 방전, 온도, 노화 특성 등에 대하여 고려하여야 한다. 납축전지의 전기적 특성을 고려하여 식 (3)은 납축전지를 사용한 비상전원의 용량 설계식을 나타낸다. 식 (3)에서 CC 는 최종 산정 용량, UC 는 비 보정 용량, T_c 는 온도 보정 계수, A_c 는 노화 계수, D_c 은 설계 여유를 나타낸다^[6].

$$CC = UC \times T_c \times A_c \times D_c \quad (3)$$

그림 2는 PS-1400의 25℃의 실험온도에서 납축전지의 방전 특성 곡선을 나타낸다. 일반적으로 납축전지의 방전 중지 전압은 1.8V이지만, 각 시간율에 따라 사용 가능한 용량 까지 방전하여 나타났다. 납축전지의 용량은 10시간을 즉, 10시간동안 일정한 전류로 방전 시 사용 가능한 용량으로 정의된다. 하지만 방전 전류를 증가시킬 경우 1시간율에 나타난 것과 같이 방전 가능 시간이 기대하는 것보다 짧아진다. 결과적으로 납축전지를 사용하여 용량 설계 시 이러한 방전 특성을 고려하기 위하여 납축전지는 용량 계수를 고려한 용량 설계가 필요하다.

그림 3은 각 시간율의 방전 용량 대비 온도별 방전 가능 용량을 백분율로 나타내어 용량 변화를 그래프로 나타낸다^[3]. 납축전지는 온도가 증가할수록 사용 가능한 용량이 증가하며, 5℃이하로 내려갈 경우 사용 가능한 용량이 급격하게 감소함을 알 수 있다. 설치장소의 온도에 따라 납축전지의 방전 가능 용량이 달라지므로 용량 설계 시 이에 맞는 온도 보정 계수가 적용되어야 한다.

온도 보정 계수는 그림 3에서의 납축전지 제작사가 제공하는 데이터 시트 또는 실험을 통하여 온도에 따라 달라지는 용량을 보정하기 위한 계수이다. 예를 들어, 10시간을 방전 전류 조건과 18℃에서는 사용 가능한 용량이 92.5%이다. 이 때 줄어드는 용량을 보정하기 위해

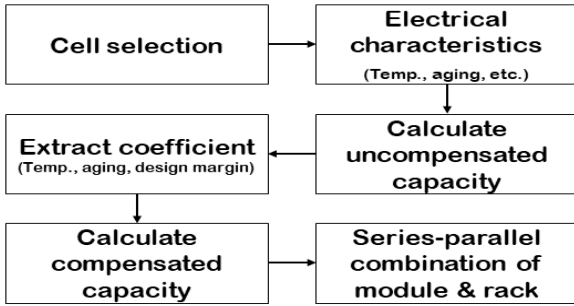


Fig. 5. Flow chart of designing EPS capacity.

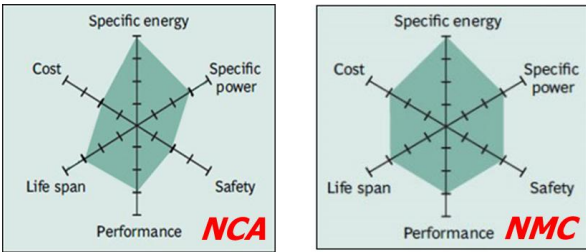


Fig. 6. Characteristics of NCA & NMC.

TABLE IV
ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF NCA AND NMC

Characteristic	NCA(25R)	NMC(29E)
Rated Cap.	2.5 Ah	2.85 Ah
Nominal V.	3.6 V	3.65 V
Cut-off V.	2.5 V	2.5 V
Max. Cont. I	20 A	2.75 A

서는 온도 보정계수는 0.925의 역수인 1.08을 적용한다. 국내 가동 원전 B의 축전지실의 온도는 $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 유지된다. 노화계수는 축전지 표준에 따라 사용 가능한 용량이 정격 용량의 80%가 됐을 때 노화됐다고 판단한다. 방전 용량 대비 구간까지 사용하기 위하여 노화계수 A_c 는 1.25로 설정하며, 설계 여유는 알 수 없는 부하의 영향 및 설계자가 인지하지 못한 환경의 영향 등을 고려하여 전체 용량의 10~15% 정도의 용량을 여유로 설계하여 D_c 는 1.10~1.15의 계수로 설정한다. 실제 국내 가동원전 B에 적용하기 위하여 식 (1)에 비 보정 용량과 각 계수들을 대입하여 2,159.5 Ah가 계산된다. PS - 1400 모델을 병렬로 연결하고, 계통의 요구 전압인 125V를 만족하기 위해 직렬 구성하여 국내 가동 원전 B의 책무 주기를 수행한다.

3. 리튬계열 전지의 특성 실험 및 분석

본 장에서는 2장에서 제시된 비상전원으로 사용되고 있는 납축전지의 용량 설계 특성과 비교하여 리튬계열 전지의 용량 설계 시 필요한 리튬계열 전지의 전기적

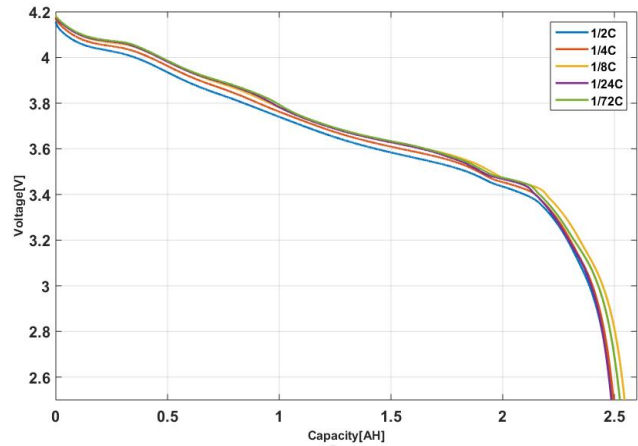


Fig. 7. NCA(25R) discharge characteristic curve.

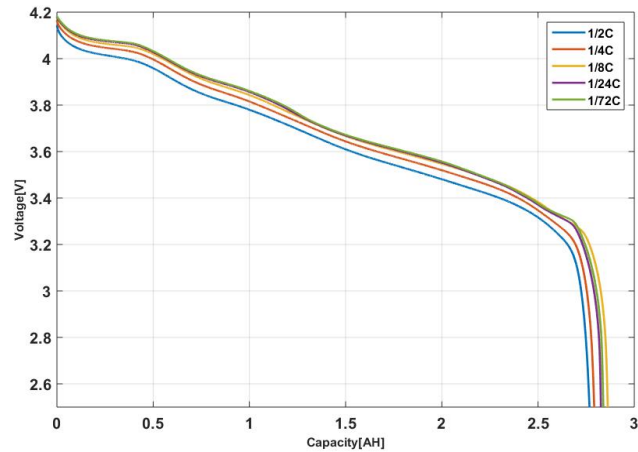


Fig. 8. NMC(29E) discharge characteristic curve.

특성을 실험하고 분석하였다. 그림 5는 국내 원전의 리튬계열 전지 적용을 위한 용량 설계 흐름도를 나타냈다.

리튬계열 전지의 적용을 위해 비상전원의 특성을 고려하여 적용될 리튬계열 전지의 선정이 필요하다. 비상전원의 특성으로 시스템의 안전성이 요구되고 있다. 각형이나 파우치 셀 보다 안전성과 수명 특성이 우수하며, 장시간 방전이 가능한 고용량 리튬계열 전지인 NCA(25R)와 NMC(29E)의 18650 원통형 셀을 선정하였다. 그림 6과 표 4에서 이의 전기적 특성을 나타냈다. 용량 설계를 위하여 이의 전기적 특성 실험을 진행 및 분석하였다.

그림 7과 8은 선정된 NCA와 NMC 리튬계열 전지의 방전 특성 곡선의 실험 결과를 나타냈다. 국내 가동 원전 B의 비상전원으로 역할을 수행하기 위한 특성 분석을 위해 1/2C부터 증설 목표인 72시간, 1/72C까지 5개의 방전 전류로 리튬계열 전지를 방전한 그래프이다. 선정된 NCA와 NMC 리튬계열 전지의 방전 특성 실험 결과는 표 5에서 나타난 것처럼 납축전지와는 다르게 0.5C 이하로 방전 전류가 낮아짐에 따라 사용 가능한 용량의 변화에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였다.

TABLE V
CAPACITY OF VARIOUS DISCHARGE CURRENTS

Discharge Current	NCA Capacity[Ah]	NMC Capacity[Ah]
1/2C	2.49	2.77
1/4C	2.50	2.79
1/8C	2.54	2.86
1/24C	2.49	2.82
1/72C	2.52	2.84

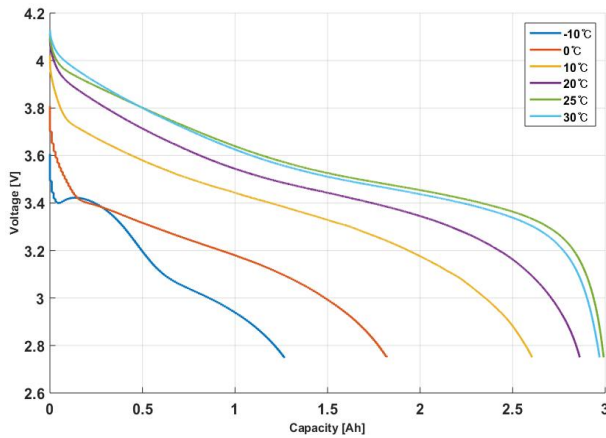


Fig. 9. NMC(29E) Temperature - Capacity curve.

TABLE VI
NMC(29E) CAPACITY OF VARIOUS TEMPERATURE

Temp.(°C)	Capacity[Ah]	Tc
-10	1.27	2.24
0	1.82	1.57
10	2.61	1.09
20	2.86	0.997
25	2.99	0.953
30	2.97	0.96

실험의 결과로 리튬계열 전지는 납축전지와 달리 장시간동안 낮은 부하를 요구하는 비상전원의 비 보정 용량 설계 시 전류의 크기에 관계없이 요구되는 부하의 크기와 시간의 곱으로 나타낼 수 있다.

그림 9는 리튬계열 전지인 NMC(29E)의 온도에 따른 방전 특성을 알아보기 위하여 1/2C의 방전 전류로 실험을 진행하였으며 표 6은 실험의 결과로 나타난 다양한 온도 조건에 따른 리튬계열 전지의 용량과 온도 보정 계수를 나타낸다. NMC 리튬 전지는 납축전지와 같이 온도가 낮아짐에 따라 방전 가능 용량이 줄어드는 것으로 나타났다. 리튬계열 전지는 정격 용량과 가장 유사한 20°C를 기준으로 온도가 증가할수록 방전 가능 용량이 증가하였으며, 0°C이하로 감소할 경우 방전 가능 용량이

TABLE VII^[7]
EXAMPLE : THE AH CALCULATE METHOD BY REQUIRED LOAD

Period	Required Load(a)	Time(b)	Capacity (a)×(b)/60
1	200 A	1 min.	3.33
2	100 A	9 min.	15
3	100 A	120 min.	200
4	200 A	1 min.	3.33
Total	-	-	221.66

TABLE VIII
THE RESULT OF BATTERY SIZING

	Lead-Acid Battery	Lithium-based Battery
Ch. A	2160 Ah	1153 Ah

급격히 감소하여 정격 용량의 50%이하까지도 감소됨을 확인할 수 있다.

이러한 온도 특성으로 인하여 납축전지와 같이 리튬계열 전지 설치 장소의 온도에 따른 용량 보정이 필요하며 설치 장소의 적정한 온도조건과 시간당 온도변화율을 유지시켜 비상전원 시스템의 안전성을 일정하게 유지될 수 있도록 해야한다. 서론에서 언급한 것과 같이 납축전지는 높은 자가 방전과 메모리 효과로 인하여 리튬계열 전지에 비해 노화 속도가 빨라 노화 기준에 빠르게 도달하게 되어 사용 기한을 단축시킨다. 축전지의 노화계수는 축전지의 종류와 관계없이 용량의 관점에서만 고려하므로 리튬계열 전지의 노화 판단 기준은 납축전지의 기준과 마찬가지로 사용 가능한 방전 용량이 정격 용량에 80% 이하가 될 때 방전 용량이 급격히 감소하므로 전지가 노화됐다고 판단한다. 리튬계열 전지의 노화 계수와 설계 여유는 1.25와 1.10으로 적용하여 계산한다^[8].

4. 리튬계열 전지의 용량 설계

본 장에서는 3장에서 분석한 리튬계열 전지의 전기적 특성과 국내 가동원전 B의 핵무주기를 바탕으로 리튬계열 전지의 비상전원 용량 설계 방법과 직병렬 조합을 통해 설계된 최적 용량을 제시한다.

기존의 납축전지는 계산양식에 의한 계산법으로 용량 설계 되었으나 이는 납축전지의 특성을 고려하여 방전 종지 전압을 설정하고 부하 크기와 시간이 지남에 따라 용량 보정 계수를 적용하여 계산되는 특징이 있다. 누적 부하 구간 중 최대 방전 전류가 인가되는 구간을 선택하여 비 보정 용량으로 선정한다^[5]. 비 보정 용량 설계 후에는 식 (3)과 같이 납축전지 설치 환경의 온도, 노화,

TABLE IX
UNIT MODULE & RACK DESIGN

Module (Ah)	Rack (Ah)	Power (kW)	Total Cell	System (Ah)
50	200	25.9	20160	1200
55	165	21.4	16632	1155
	220	28.5	19008	1320
60	180	23.3	18144	1260
65	195	25.2	16848	1170
70	210	27.2	18144	1260

설계 여유 등을 고려하여 납축전지의 최종 용량을 설계한다. 국내 가동원전 B의 채널 A에 설계된 납축전지의 최종 용량은 2,160 Ah이며 PS - 1400 모델을 사용하여 계통에 설치되는 비상전원의 용량은 2,800Ah가 된다.

리튬계열 전지의 용량 설계에는 3장에서 실험 결과와 비상전원의 특성으로 확인한 것과 같이 방전 전류에 따른 용량 변화가 없다고 볼 수 있기 때문에 용량 보정 계수에 대한 고려는 필요하지 않다. 따라서 용량 보정 계수가 적용되지 않아 시간에 대한 고려가 제외된 계산양식에 의한 계산법에 의한 용량 설계 방법은 리튬계열 전지의 비 보정 용량 설계에 적합하지 않다.

계산양식에 의한 계산법의 적합하지 않음을 해결하기 위하여 부하 요구량에 의한 Ah 계산법이 사용된다. 표 7는 일반적인 부하 요구량에 의한 Ah 계산법을 나타냈다^[7]. 표 7의 부하 요구량에 의한 Ah 계산법을 통해 설계된 국내 가동원전 B의 채널 A 비 보정 용량은 839.06 Ah로 계산됐으며, 선정된 리튬계열 전지의 전기적 특성을 고려하여 온도 보정 계수, 노화 계수 와 설계 여유를 곱하여 최종 산정 용량이 설계된다. 표 8에서는 계산양식에 의한 계산법을 이용한 납축전지 용량 설계와 부하 요구량에 의한 Ah 계산법을 이용한 리튬계열 전지 용량 설계 결과를 바탕으로 식 (3)에 의해 계산된 최종 산정 용량을 비교하였다. 비상전원 설치 장소의 온도는 20℃, 설계 여유는 10%를 설정하여 리튬계열 전지 최종 산정 용량은 1153 Ah로 설계됐으며, 납축전지 대비 약 47% 용량의 감소를 나타냈다.

이를 바탕으로 비상전원 시스템을 설계하기 위하여 EEG 1300의 모듈 및 랙의 표준 단위 정의를 이용하여 배터리 시스템의 직병렬 조합을 식 (4)와 같이 설계할 수 있다^[10].

$$\frac{Module\ V}{Cell\ Nominal\ V} \times \frac{Module\ Ah}{Cell\ Nominal\ Ah} = 'A'S \times 'B'P \quad (4)$$

표 9는 EEG 1300 표준 단위 정의에 의해 설계 될 수 있는 모듈 및 랙을 나타냈다. 이 중 과도 설계를 피하기 위해 최소 셀 개수 조건은 단위 모듈 55 Ah, 단위 랙

165 Ah인 것으로 나타났다. 이를 직병렬 조합으로 나타내면 셀을 12S 22P로 조합하여 단위 모듈을 제작하고, 단위 모듈을 3S 3P로 조합하여 단위 랙, 단위 랙을 1S 7P로 설계할 경우 가동 원전 B 채널 A의 최소 용량 설계 조건임을 알 수 있다. 이를 최종 납축전지와 비교하면 시스템 용량의 약 59%를 감소시킬 수 있으며, 설치 공간 및 유지보수 관점에서도 우수한 특성을 나타낸다.

5. 결 론

본 논문에서는 리튬계열 전지를 원전의 비상전원 적용을 위한 용량 설계 기법을 납축전지와 비교하여 분석하였다. 비상전원의 용량 설계는 축전지의 방전 특성에 따라 비 보정 용량 설계와 축전지의 전기적 특성으로 인하여 온도, 노화 등에 의한 계수를 고려하여 최종 산정 용량을 설계해야한다. 이 중 납축전지와 리튬계열 전지간의 가장 큰 차이는 비 보정 용량 설계의 용량 보정 계수의 적용을 통한 축전지의 용량 변화에 있는 것으로 나타났다. 리튬계열 전지의 비 보정 용량 설계를 통해 최종 산정 용량은 기존 납축전지 대비 47% 감소하는 것으로 나타났으며, 이를 실제 시스템 적용을 위해 이의 직병렬 조합 구조를 통한 용량 설계 시 납축전지 대비 약 59%의 용량 감소를 나타냈다. 이 결과로 국내 가동 원전 및 신규 원전의 사용자에게 비상 전원 설계 시 최적 용량 설계 방법 및 고정형 어플리케이션의 용량 설계 시 전지의 특성을 고려한 최적의 용량 설계를 제시할 수 있다.

리튬계열 전지의 원전 비상전원 적용을 위해서는 과충전 및 과방전으로부터 리튬계열 전지를 보호하며, 물리적 및 전기적, 열적 요인으로 인하여 발생하는 열 폭주 현상에 대한 고장 진단 및 영향 분석할 수 있는 배터리 관리 시스템(Battery Management System; BMS)의 적용이 필요하다.

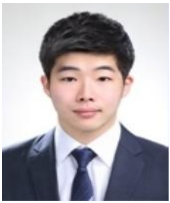
본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전연구사업의 연구결과입니다. (No. 1805006)

References

- [1] W. R. Lee and C. K. Chang, "The utilization of energy storage system (ESS) as emergency power source for nuclear power plant," in *KIEE Summer Conference*, pp. 641-642, Jul. 2015.
- [2] D. S. No, "Lithium-ion battery Industrial technical regulation development", NCIS, 2015, retrieved from <http://www.kins.re.kr/nsic/presentation.do?mt=nsic&year=2015>.
- [3] Sebang industrial batteries, PS-Series, Technical manual.

retrieved from <http://www.gbattery.com/information/battery>.

- [4] D. S. Kim and H. J. Cha, "Analysis on duty cycle and capacity design of lead-acid battery bank for the class 1E DC power system of nuclear power plant," in *ICAPP 2013, Je-ju Island, Korea*, Apr. 2013.
- [5] D. S. Kim and H. J. Cha, "Comparison of capacity design of lead-acid battery bank and hybrid energy storage bank for nuclear power plant," in *IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT)*, 2013.
- [6] IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stationary Applications, ANSI/IEEE Standard 485-2010, Aug. 2010.
- [7] HBL, Tubular Gel Technical manual, Nov. 2009. retrieved from <http://www.solar-academy.com/menus/Tubular-Gel-VRLA-valve-regulated-lead-acid-batteries025842.pdf>.
- [8] KEPIC-EEG 1400, *Lithium-ion battery Sizing and installation*, E-106, 2017.
- [9] KEPIC-ENF3410, The Recommendation of Replace, Experiment and Maintenance for Lithium-ion Battery and Auxiliary equipments, 2017. retrieved from <https://www.standard.go.kr/>.
- [10] KEPIC-EEG 1300, The Standard Performance and Safety of Lithium-ion battery and Auxiliary equipments, E-106, 2017.



박성윤(朴星潤)

1991년 7월 10일생. 2016년 한국기술교육대 메카트로닉스공학부 생산시스템전공 졸업. 2018년~현재 충남대 전기공학과 석사과정.



김건우(金建右)

1994년 4월 12일생. 2019년 충남대 전기공학과 졸업. 2019년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.



이평연(李平淵)

1992년 5월 31일생. 2017년 조선대 전기공학과 졸업. 2019년 충남대 전기공학과 졸업(석사). 2019년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



김중훈(金鍾勳)

1979년 4월 22일생. 2005년 충남대 정보통신공학부 전기전자전파전공 졸업. 2012년 서울대 전기컴퓨터공학부 졸업(공학;석박통합과정). 2012년~2013년 삼성SDI ES사업부 책임연구원. 2013년~2016년 조선대 전기공학과 조교수. 2016년~현재 충남대 전기공학과 조교수. 2018년~현재 한국과학기술원 친환경센서스마트자동차연구센터 겸직교수. 2015년~현재 JPE Associate Editor. 2016년~현재 당 학회 편집위원. 2017년 당 학회 학술위원. 2019년~현재 IEEE Senior Member.



박성백(朴成栢)

1982년 5월 12일생. 2007년 고려대 전기공학과 졸업. 2008년~2011년 STX 중공업 연구원. 2011년~2013년 대림 책임연구원. 2017년~2019년 충남대 전기공학과 졸업(석사). 2013년~현재 한국원자력안전기술원 원자력안전연구실 연구원.



김영미(金映美)

1971년 10월 4일생. 1994년 한국과학기술원 컴퓨터공학과 졸업(학사) 1996년 포항공과대 컴퓨터공학과 졸업(석사). 1996년~2000년 한국무역정보통신 전자무역 소프트웨어 개발 연구원. 2000년~2002년 이네트 전자상거래 소프트웨어 개발연구원. 2012년 충남대 컴퓨터공학과 졸업(박사). 2002년~현재 한국원자력안전기술원 원자력안전연구실 연구원.