

원자력발전소 직류전원계통용 축전지 적용사례

김대식*, 차한주**

한국원자력안전기술원*, 충남대학교**

Application of Batteries for DC Power System in Korea Nuclear Power Plant

Daesik Kim*, Hanju Cha**

Korea Institute of Nuclear Safety*, Chungnam National University**

Abstract - 원자력발전소에 사용되는 직류전원계통은 발전소 운전제어에 필요한 전원을 공급한다. 축전지는 교류전원 상실시 전원이 회복될 때까지 발전소의 계통상태를 감시할 수 있는 계속제어설비의 전원공급과 발전소의 안전정지 등에 대비한 비상전원을 공급하는 설비이다. 발전소 직류전원계통용 축전지에 대한 설계 및 유지보수에 사용되는 국내·외 기술기준과 축전지 용량 및 동작책무 그리고 안전등급 축전지가 공급하는 부하, 축전지의 점검 및 성능시험에 대해서 살펴보았다. 현재 전기자동차에 사용될 축전지와 신재생에너지의 출력변동 보상용 축전지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 향후 축전지의 연구개발로 축전지 형식이 납축전지에서 기타 다른 우수한 방식의 축전지로 변경하기 위해서는 사용될 축전지의 특성, 배터리관리시스템, 축전지에 대한 원자력발전소용 기술기준의 개발에 관한 연구들이 진행되어야 할 것이다.

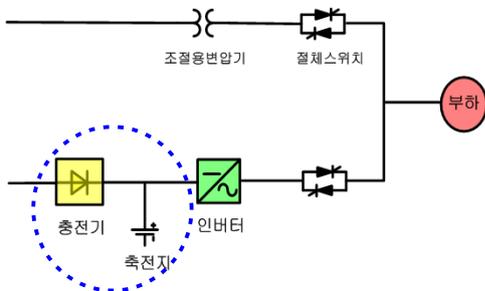
1. 서 론

축전지의 고유한 기능은 에너지를 저장하였다가 필요시 저장된 에너지를 부하에 공급하는 것이다. 그리고 태양광 및 풍력발전과 같이 출력변동이 심한 발전설비의 출력변동을 보상하기 위해 사용되고 있으며, 연료전지와 마이크로 터빈발전의 빠른 응답을 보장하기 위해서 축전지와 같은 에너지 저장장치가 사용되고 있다[1]. 또한 현재는 전기자동차에 사용될 축전지에 대해 활발한 연구가 진행 중에 있다. 원자력발전소에서는 안전등급설비(Class 1E)와 비안전등급설비(Non-Class 1E)로 구분되어 있고, 안전등급설비는 원자로 비상정지, 격납건물 격리, 노심냉각 및 격납건물과 원자로 열제거에 필수적인 전기기기 및 계통과 외부 환경으로의 방사성물질 대량방출을 방지하는데 필수적인 전기기기 및 계통으로 분류되어있다. 본 논문은 원자력발전소의 직류전력계통에 사용되고 있는 안전등급 축전지에 대한 설계와 유지보수에 사용되는 국내·외 기술기준과 축전지 용량 및 동작책무 그리고 안전등급 축전지가 공급하는 부하 축전지의 점검 및 성능시험에 대해 알아보고자 한다.

2. 원자력 발전소 직류전원계통용 축전지

2.1 원자력발전소 직류계통

원자력발전소 무정전전원공급계통은 Battery, Converter, Inverter, Static Switch, Maintenance Bypass Switch 등 5 가지 요소로 구성되어 있다. 그 구성도는 그림 1과 같다.



〈그림 1〉 발전소 무정전전원계통 구성도

그림 1의 파란색 점선의 원은 직류전원계통을 표시한 것이고, 구성요소 중 Battery와 Converter 그리고 직류 제어반을 합쳐 직류전원계통이라 한다. 무정전전원설비의 각 구성요소 설명은 표 1과 같다. 원자력발전소에 사용되는 직류전원계통은 발전소 운전제어에 필요한 제어전원을 공급하고, 교류전원 상실시 축전지는 교류전원이

회복될 때까지 발전소의 계통상태를 감시할 수 있는 계속제어설비의 전원공급 또는 발전소의 안전정지 등에 대비한 비상전원을 공급하는 설비이다. 원자력발전소는 1E급 직류전력계통과 비1E급 직류전력계통으로 구분되고, 1E급 직류전력계통은 4개의 채널로 구분되어 있으며, 1E급 직류전력계통은 125V 축전지, 충전기, 직류제어반을 하나의 계통으로 구성되어 있다. 비1E급 직류전력계통은 각 호기당 2개의 250V 직류전력계통, 2개의 125V 직류전력계통 및 타호기와 공용으로 사용되는 3개의 125V 직류전력계통으로 구성되어 있다. 3개의 공용 직류계통은 복합건물, 스위치야드 제어건물 및 대체교류디젤발전기건물에 사용된다. 각 호기당 설치되어 있는 125V 직류계통 축전지의 용량은 2,800AH이며, 복합건물에 설치되는 양 호기 공용 125V 직류계통 축전지의 용량은 500AH이다. 또한, 스위치야드 제어건물에 설치되는 125V 축전지의 용량은 1,200AH이며, 대체교류디젤발전기건물에 설치되는 125V 축전지의 용량은 500AH 이다. 250V 직류계통의 경우는 컴퓨터 계통용 250V 축전지가 1,200AH 이며, 터빈건물용 축전지가 1,800AH의 용량이 설치되어 있다[2].

〈표 1〉 무정전전원설비 구성요소[3]

구성요소	개요
Battery	AC 입력전원 정전시 Inverter 에 DC 전원을 공급해 주는 역할을 한다.
Converter	AC 입력전원을 DC 로 변환하여, Battery 또는 Inverter 에 DC 전원을 공급해 주는 역할을 하며, Rectifier / Charger 라고 부르기도 한다.
Inverter	Converter 또는 Battery 로부터 DC 전원을 공급받아 정전압, 정주파수의 AC 전원으로 변환 부하에 공급해 주는 역할을 하며, 일반적으로 출력단에 변압기 및 Filter 와 조합하여 사용된다.
Static Switch	Inverter Trouble 시, 부하의 오작동 및 가동 정지를 막기 위해 대체전원으로 부하를 절제해 주는 역할을 한다.
Maintenance Bypass Switch	무정전전원설비 장애로 인한 수리작업시 또는 점검작업시, 부하에 전원을 공급하기 위한 것이다.

2.2 축전지 설계와 유지보수에 사용되는 표준

원자력발전소의 축전지는 일반설계기준(General Design Criteria)과 규제지침(Regulatory Guide), 전력산업기술기준(KEPIC)과 IEEE 기준들이 적용되고 있다.

2.2.1 일반설계기준 17

원자력발전소의 소내·외 전력계통은 안전성에 중요한 구조물, 계통, 기기들이 고유의 안전기능을 수행할 수 있는 충분한 용량과 능력을 갖도록 설계하고, 독립성, 다중성, 시험성을 갖도록 설계하여야 한다. 또한 동시 고장가능성을 최소화하도록 설계하고 물리적으로 독립된 두 개의 회로가 구성되도록 설계하고, 소내전력 공급원으로 들어오는 전력의 상실시에도 나머지 전력원의 상실 가능성을 최소화하도록 설계하여야 한다.

2.2.2 일반설계기준 18

연속성과 기기들의 상태를 확인하기 위해 주기적인 검사와 시험이 가능토록 설계하여야 하고, 전력계통기기들의 운전가능성과 기능수행성이 확인되도록 설계되어야 한다.

2.2.3 원자력발전소 축전지에 사용되는 국내·외 기술기준

EEG 1000 IEEEE450,535 KSC 8505 납축전지
 EEG 1100 IEEEE484,485 납축전지 용량계산 및 설치
 ENB 6230 IEEEE484,485 직류보조전력계통 설계
 END 3500 IEEEE535 전기 1급 납축전지 검증
 ENF 3400 IEEEE450 개방형 납축전지 보수, 시험 및 교체

2.3 축전지 특성 및 duty cycle

축전지의 용량이 정격용량의 80%까지 저하되면 새로운 축전지로 교체해야 하므로 축전지의 정격용량 선정은 축전지 수명중단에서 예상되는 부하의 125%가 되도록 설계한다.

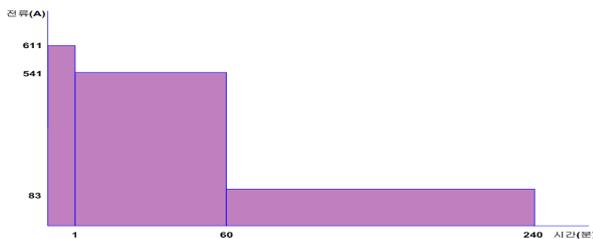
아래 식(1-1), (1-2)는 발전소에서 사용될 축전지의 셀 수를 계산할 때 사용되는 식이고, 식(1-3)은 식(1-2)를 이용하여 발전소의 셀수를 계산한 결과이다.

$$\begin{aligned} \text{셀의 개수} &= \text{최대허용축전지전압} \div \text{충전에 필요한 셀전압 (1-1)} \\ &= \text{최소허용축전지전압} \div \text{셀의 최소 운전전압 (1-2)} \\ \text{셀의 개수} &= 105\text{V} \div 1.81\text{V} = 58.01 \approx 58\text{셀} \quad (1-3) \end{aligned}$$

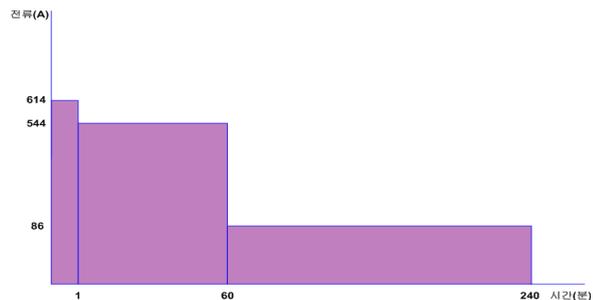
<표 2> 축전지 특성

	C 1E 125 V 4개	N-C 1E 250V 2개		N-C 1E 125V 2개	N-C 1E 양호기 공용 125V 4개	
		컴퓨터 계통	터빈 건물		복합 건물/ 대체교류디 젤발전기	스위치 야드 2개
용량 (AH)	2800	1200	1800	2800	500	1200
셀수	58셀 (채널 A,B) 116셀 (58셀 ×2조 병렬, 채널 C,D)	116셀		58셀	58셀	
최소 운전 전압	1.81V/셀	1.81V/셀		1.81V/셀	1.81V/셀	
운전 전압 범위	105~140V	210~280V		105~140V	105~140V	
부동 충전 전압	2.15 V/셀 (최소) 2.17 V/셀 (최대)	2.15 V/셀 (최소) 2.17 V/셀 (최대)		2.15 V/셀 (최소) 2.17 V/셀 (최대)	2.15 V/셀 (최소) 2.17 V/셀 (최대)	
	2.25 V/셀 (최소) 2.40 V/셀 (최대)	2.25 V/셀 (최소) 2.40 V/셀 (최대)		2.25 V/셀 (최소) 2.40 V/셀 (최대)	2.25 V/셀 (최소) 2.40 V/셀 (최대)	

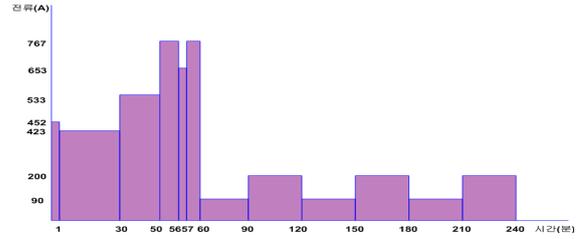
※ 용량은 10시간 방전율



<그림 2> 채널A 배터리 동작책무



<그림 3> 채널B 배터리 동작책무



<그림 4> 채널C,D 배터리 동작책무

2.4 안전등급(C 1E) 축전지가 공급하는 부하

안전등급 축전지는 A, B, C, D 4개의 채널로 구성되어 있고, 각 채널의 축전지 부하는 아래와 같다.

2.4.1 A,B 채널

40KVA 인버터, 디젤발전기 제어반, 4.16kV 고압폐쇄분전반 표시등, 480V 저압배전반 표시등, 원자로 정지용 배전반, 발전소 제어계통 솔레노이드밸브, 보조급수용 현장제어반

2.4.2 C,D 채널

40KVA 인버터, 보조급수차단밸브, 정지냉각차단밸브, 안전주입밸브, 안전감압밸브, 원자로정지용 배전반, 안전주입인버터의 무부하전류, 발전소제어계통 솔레노이드밸브

2.5 안전등급(C 1E) 축전지의 점검 및 성능시험

2.5.1 축전지 점검

축전지는 주간단위(7일)로 전해액 수위, 비중, 온도, 축전지 단자전압, 육안점검(셀의 균열, 전해액 누수, 단자와 접속부 부식, 청결, 환기상태)을 실시하고, 분기단위(92일)로 과방전 및 과충전 상태, 균등충전(36시간 이상 수행), 18개월 주기로 접속저항 측정, 설계용량시험을 실시하여 동작책무주기에 따라 충분히 공급하고 운전가능상태로 유지되는지를 확인한다.

2.5.2 성능시험

60개월에 한번씩 방전시험을 실시하여 예상수명의 85%에 도달했을 때에는 18개월 마다 방전시험을 수행하고, 축전지용량이 제작사 정격용량의 80%이하일 경우에는 축전지를 교체한다.

방전시험 수행 시 용량 계산방법

$$25^{\circ}\text{C에서 축전지용량} = \frac{T_a}{T_s} \times 100 \quad (2-1)$$

T_a : 규정된 단자전압을 만족한 상태에서 실제 시험시간
 T_s : 규정된 단자전압을 만족한 상태에서 규정된 시험시간

$$T_s = \frac{\text{축전지용량}}{\text{정격방전전류}} = 10H \quad (2-2)$$

3. 결 론

원자력발전소에 사용되고 있는 납축전지의 설계 및 유지보수에 사용되는 국내의 기술기준과 축전지 용량 및 동작책무, 안전등급 축전지의 부하, 축전지 점검 및 성능시험에 대해서 살펴보았다. 현재 사용되는 축전지 중에서 납축전지는 다른 방식의 축전지에 비해 저렴한 가격과 신뢰성 측면에서 우수하여 원자력발전소의 직류전원계통에 사용되고 있다. 하지만 납축전지는 중금속인 납을 사용함으로써 환경오염문제, 짧은 수명, 높은 유지보수비 등의 단점이 있다. 축전지는 현재 연구가 활발히 진행되고 있으며, 향후 기술의 발달로 유지보수가 용이하고, 신뢰성과 안전성이 우수한 방식의 축전지로 대체 될 여지가 많다. 다른 방식의 축전지를 원자력발전소에 적용하기 위해서는 먼저 사용될 축전지의 특성들에 대한 연구가 진행되어야 하고, 사용될 축전지를 효율적으로 이용하기 위해서는 배터리관리시스템에 대한 연구도 진행되어야 할 것이다. 더불어 다른 방식의 축전지를 원자력발전소에 적용하기 위해서는 원자력발전소 기술기준의 개발도 진행되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김성원, 이계병, 홍준희, 손광명, “간략화된 배터리 모델이 적용된 IUIa 충전방식의 에너지 저장장치의 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 모델에 관한 연구”, 조명·전기설비학회논문지, 제24권 제12호, pp.84~90, 2010년 12월
- [2] 한국수력원자력 신월성전설사업소, “최종안전성분석보고서 제8.3.2 직류전력계통”, 2010년
- [3] 김대식, “PSCAD/EMTDC를 이용한 원전안전등급 인버터 하이브리드 절체스위치 순환전류 분석”, 충남대학교, pp.3~5, 2011년 02월