

리튬이온전지를 이용한 전기저장장치의 용도별 현장평가 알고리즘에 관한 연구

박재범*, 노대석**

*한국화학융합시험연구원 전력에너지센터

**한국기술교육대학교 전기공학과

e-mail:pjbwwkd@ktr.or.kr

A Study on Algorithm of Site Acceptance Test for Li-ion Battery based ESS by the Purpose

Jea-Bum Park*, Dae-Seok Rho**

*Korea Testing & Research Institute

**Korea University of Technology and Education

요약

전기저장장치는 배터리, 전력변환장치, 에너지관리장치 등으로 구성되며, 현장에서 설치, 운용되는 경우, 전기저장장치에 대한 성능과 안전에 대한 현장평가가 필수적으로 요구되고 있다. 또한, 국제전기기술위원회(IEC TC120)에서는 기존의 FAT(Factory Acceptance Test)수준의 평가뿐만 아니라, 현장에서의 안전 및 성능평가에 대한 중요성을 인식하여, 필드단위에서의 시험평가기준에 대한 국제표준이 논의되고 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 용도로 운용중인 전기저장장치의 현장평가를 위하여, 주파수조정용, 신재생연계용, 수요관리용, 비상전원용으로 전기저장장치의 용도를 분류하고 각 용도에 적합한 시험항목을 적용하였다. 또한, 대표적인 시험인 용량 및 Round-Trip 효율, Duty Cycle 효율, LVRT(Low Voltage Ride Through), Anti-Islanding에 대한 현장평가 알고리즘을 제안한다.

1. 서 론

국제 에너지 기구IEA(International Energy Agency)는 신재생에너지원 보급 활성화를 위해 ESS(Energy Storage System) 및 관련 시스템에 주목하고 있으며 2050년까지 신재생에너지원 비중이 46% 까지 증가할 경우, 전력생산의 변동성이 커질 것으로 예상하고 있다. 이를 보완하기 위하여 다양한 용도의 ESS 기술들이 배전계통에 적용되고 있다. 우리나라는 ESS 관련 기술 경쟁력을 갖추기 위해 주파수조정용, 신재생연계용, 수요관리용, 비상전원용 등 다양한 ESS 관련기술을 배전계통에 접목시켜 운용하고 있다. 하지만, 2016년부터 2022년 까지 약 34건의 화재사고가 발생하고 막대한 재산피해가 발생하면서, 실제 운용중인 전기저장장치의 성능 및 안전에 대한 현장평가가 중요시 되고 있는 실정이다. [1-2].

따라서 본 논문에서는 현장에 설치되어 있는 전기저장장치의 성능 및 안전에 대한 SAT(Site Acceptance Test)시험을 다양하게 평가하기 위하여, 전기저장장치의 용도를 주파수조정용, 신재생연계용, 수요관리용, 비상전원용으로 분류하고 각 용도에 적합

한 시험항목을 적용한다. 또한, 대표적인 시험인 용량 및 Round-Trip 효율, Duty Cycle 효율, LVRT(Low Voltage Ride Through), Anti-Islanding에 대한 시험방법과 알고리즘을 제안한다.

2. 전기저장장치의 용도별 현장평가 시험항목

ESS는 대부분 현장에서 조립이 완성되는 현장설치 완성형 제품으로 각 제품의 품질 및 안전성이 보장되더라도 현장에서 조립하는 사람 혹은 환경에 따라 완성 품질이 달라지므로, 설치공정의 표준화 및 설치 전기저장장치에 대한 안전성 시험평가기술의 개발이 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 표 1과 같이 전기저장장치의 용도를 주파수조정용, 신재생연계용, 수요관리용, 비상전원용으로 분류하고, 전기저장장치의 용도와 구조를 고려하여 기본시험과 성능시험, 안전시험으로 시험항목을 적용하였다. 또한, 대표적인 시험인 용량 및 Round-Trip 효율시험, Duty Cycle 효율시험, LVRT시험, Anti-Islanding시험에 대한 시험방법과 알고리즘을 제안한다.

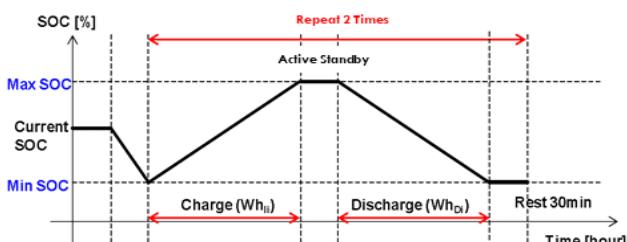
[표 1] 전기저장장치의 용도별 현장평가 시험항목

시험 분류	시험항목	용도		DR
		FR	신재생연계	
기본	구조 및 외관검사	0	0	0
	PMS 기능 확인시험	0	0	0
성능	Round-trip 효율 시험	0	0	0
	LVRT 시험	0	0	0
	Duty-cycle 효율 시험	0	0	0
	부하불평형시험	0	0	0
	Response 시험	0	0	0
안전	단독운전방지시험	0	0	0
	보호 회로시험	0	0	0
	용량측정시험	0	0	0
	열노화 시험	0	0	0
	자기방전 시험	0	0	0

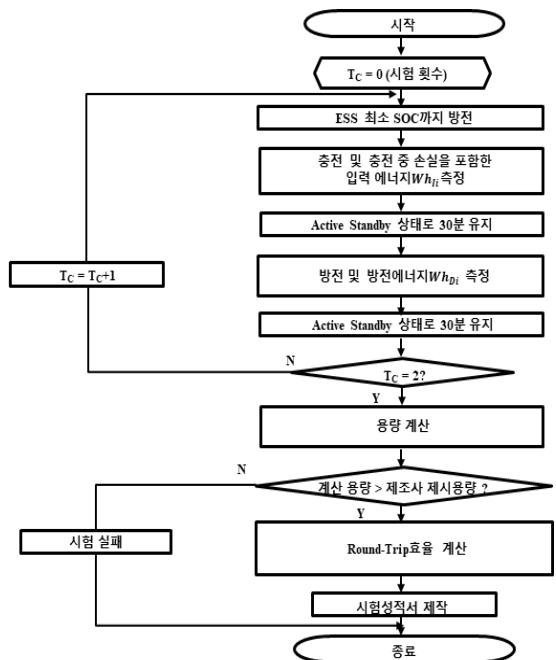
3. 전기저장장치의 용도별 현장평가 알고리즘

3.1 용량 및 Round-trip 효율시험

일반적으로 시험기관에 입고해서 실시되는 전기저장장치의 용량시험과 Round-trip 효율시험은 제조사에서 지정한 조건에 따라 5회의 충·방전 운전을 수행하고, 이때 연계점(POC: Point of connection)에서 충전되는 에너지와 방전되는 에너지의 양을 측정하는 방식으로 진행된다. 하지만 현장에서 5회에 걸쳐 용량 및 Round-trip 효율시험을 수행하는 경우, 전기저장장치를 정상적으로 가동하지 못하기 때문에, 운용 수익에 대한 손실이 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 현장에서의 시험시간을 최소화하기 위하여, 그림 1(a) 패턴과 같이 시험 횟수를 2회로 줄이고 용량 시험과 Round-trip 효율시험을 동시에 수행할 수 있는 SAT 용 용량 및 Round-trip 효율시험에 관한 평가 알고리즘을 제시한다. 구체적인 시험절차는 1(b)과 같다.



(a) 용량 및 Round-trip 효율시험 패턴

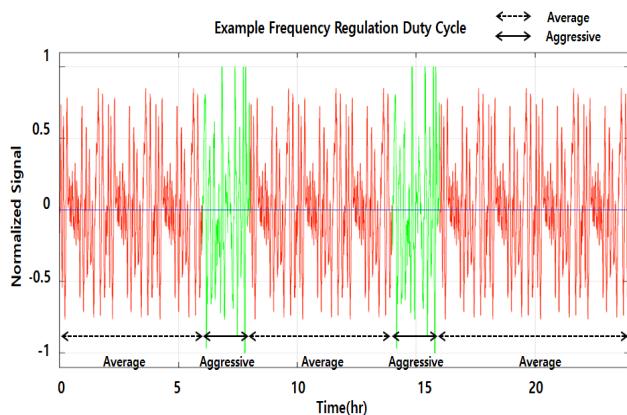


(b) 용량 및 Round-trip 효율시험 알고리즘

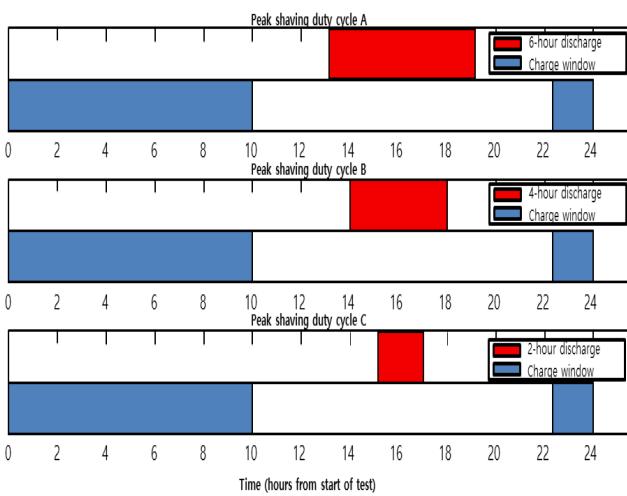
[그림 1] 용량 및 Round-trip 효율시험 방법

3.2 Duty-Cycle 효율시험

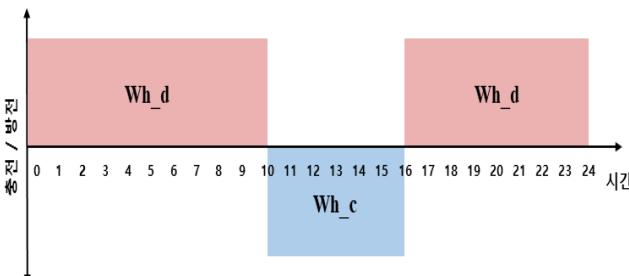
미국의 전력회사와 우리나라의 전력회사에서 수행되는 주파수조정용 전기저장장치의 Duty-cycle 효율시험은 그림 2(a)와 같이 PNNL-22010의 주파수 패턴을 이용하여 진행된다. 이 시험은 주파수조정용 전기저장장치에 대하여 주파수 변동량이 적은 Average 패턴(3회)과 변동량이 심한 Aggressive 패턴(2회)으로 구성되며 24시간동안 진행된다. 또한, 수요관리용 전기저장장치의 Duty-cycle 효율시험은 그림 2(b)와 같이 PNNL-22010의 최대부하 패턴을 이용하여 진행된다. 이 시험은 수요관리용 전기저장장치의 방전시간을 6시간용, 4시간용, 2시간용으로 분류하여 24시간 동안 진행된다. 한편, 정부에서는 전기저장장치 보급 활성화 정책에 일환으로 태양광발전 연계용 전기저장장치에 한해 10시부터 충전을 시작하고 16시가 지난 후에 방전하는 조건으로 REC를 부여하였고, 이에 대한 Duty-cycle 패턴은 그림 2(c)와 같다. 이 시험은 태양광 발전용량 및 전기저장장치의 용량에 따라 충·방전 시간이 달라지므로 정형화된 패턴으로 시험을 할 수 없으며, 사용자와의 합의하에 Duty-cycle 패턴을 선정하여 24시간 동안 진행된다. 따라서 용도별 전기저장장치의 SAT용 Duty-cycle 효율시험의 구체적인 평가알고리즘은 그림 2(d)와 같다.



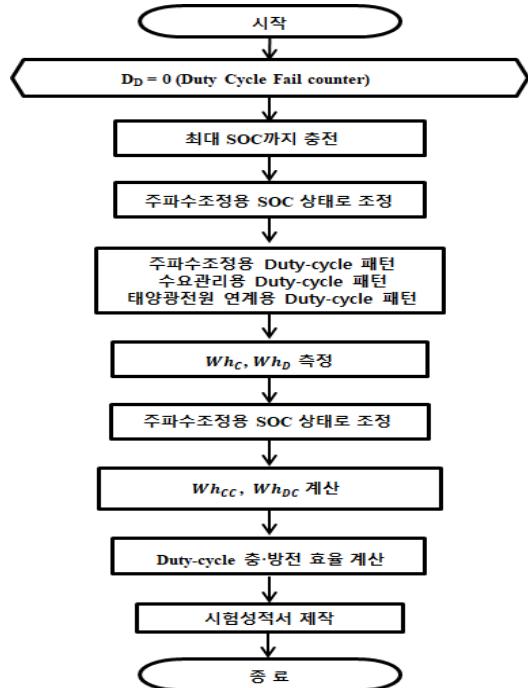
(a) 주파수조정용 Duty-cycle 패턴



(b) 수요관리용 Duty-cycle 패턴



(c) 태양광전원 연계용 Duty-cycle 패턴



(d) Duty-Cycle 효율시험 알고리즘

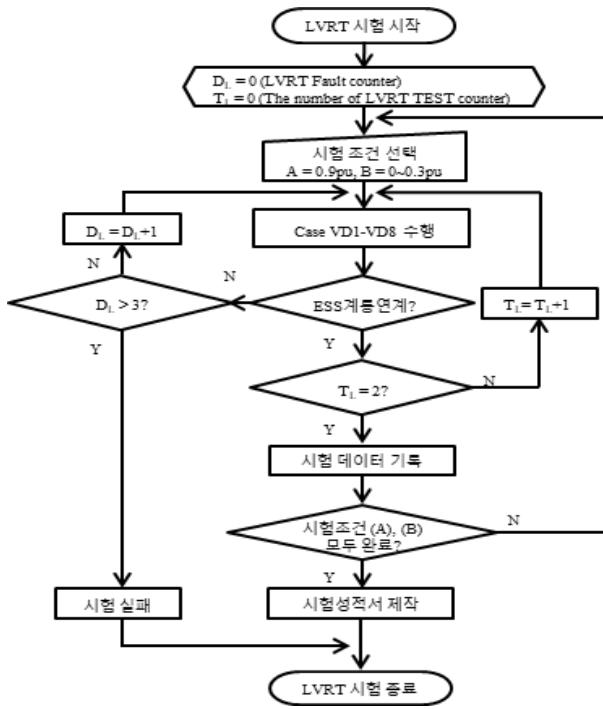
[그림 2] Duty-Cycle 효율시험 방법

3.3 LVRT 특성시험

LVRT 특성시험은 전기저장장치가 연계된 배전계 통의 순시 전압변동에 대한 전기저장장치의 응답특성을 검증하기 위한 것으로 최근 국외에서는 분산전원의 도입용량이 증가하면서 LVRT에 대한 규제를 강화하고 있다. 하지만 국내에서는 전기저장장치용 LVRT에 대한 명확한 기술기준이 제시되어 있지 않아, IEC 61400-21의 풍력 LVRT 표준을 참조하여 SAT용 LVRT 시험평가 알고리즘을 제시한다. 즉, 전기저장장치의 출력이 $0.1 \sim 0.3[\text{p.u.}]$ 과 $0.9[\text{p.u.}]$ 이상인 경우에 대하여, 표 2와 같이 순시 전압강하 조건을 인가하여 전기저장장치의 응답특성을 분석한다. 여기서, VD1부터 VD8까지의 시험을 2회 연속 수행하며, 구체적인 시험절차는 그림 3과 같다.

[표 2] LVRT 전압강하 및 지속시간 조건

Case	상간전압 크기	지속시간 (초)
VD1	0.00 ± 0.05	0.15 ± 0.02
VD2	0.55 ± 0.05	0.2 ± 0.02
VD3	0.6 ± 0.05	0.25 ± 0.02
VD4	0.65 ± 0.05	0.3 ± 0.02
VD5	0.7 ± 0.05	0.35 ± 0.02
VD6	0.75 ± 0.05	0.4 ± 0.02
VD7	0.8 ± 0.05	1 ± 0.05
VD8	0.90 ± 0.05	5 ± 0.25



[그림 3] LVRT 특성시험 알고리즘

3.4 단독운전방지 시험

일반적으로 시험기관에서 수행되는 단독운전방지 시험은 단체표준 KS C IEC 62116에 따라 입·출력 조건을 3가지로 분류하고, 정임피던스 부하의 유·무효전력비에 따라 총 47개의 단독운전방지 조건을 모의하여 진행된다. 하지만, 전기저장장치가 연계된 실 계통의 수용가는 여러 종류의 부하가 혼재함으로, 수용가 부하를 이용하여 단독운전방지 조건을 실 계통 운용조건에 근접하도록 단독운전방지 현장평가 알고리즘을 제안한다. 여기서, 표 3은 전기저장장치의 출력용량 조건을 나타낸 것이고, 표 4는 표 3의 조건 A에서 RLC 부하의 유효전력과 무효전력의 비를 나타내고, 표 5는 조건 B와 C에 대하여 RLC 부하의 유효전력과 무효전력의 비를 나타내며, 이에 따른 상세 시험절차는 그림 4와 같다.

[표 3] 전기저장장치의 입출력 조건

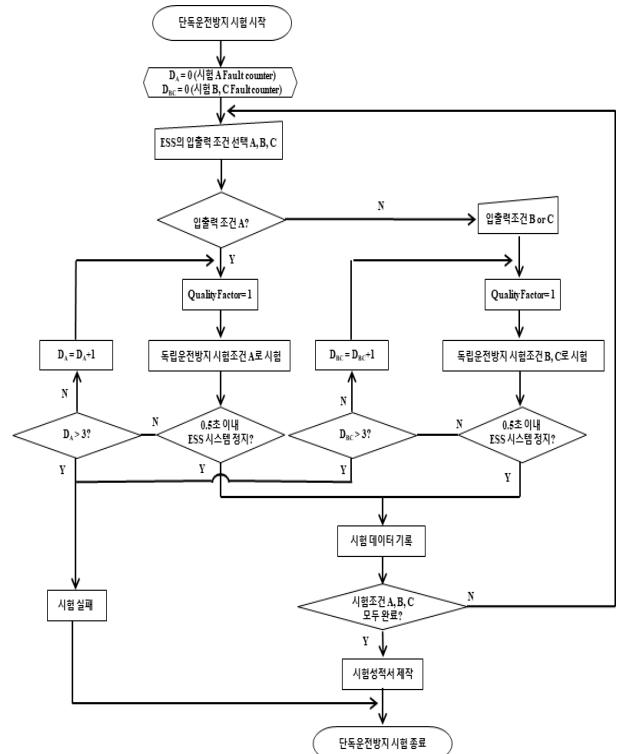
조건	출력	입력 전압(DC)
A	정격	
B	정격의 50~60%	배터리정격전압
C	정격의 25~33%	

[표 4] 독립운전방지 시험 조건 A

전기저장장치 정격 출력 전력에 대한 유효전력(ΔP)과 무효전력(ΔQ)의 비(%)		
0~-5	0, 0	0.~5

[표 5] 독립운전방지 시험 조건 B&C

전기저장장치 정격 출력 전력에 대한 유효전력(ΔP)과 무효전력(ΔQ)의 비(%)		
-10~10	0, 0	+10~10
-10~-10		+10~-10



[그림 4] 단독운전방지 시험

4. 결 론

본 논문에서는 ESS의 용도를 주파수조정용, 신재생 연계용, 수요관리용, 비상전원용으로 분류하고, ESS의 용도와 구조를 고려하여 기본시험과 성능시험, 안전시험으로 시험항목을 적용하였다. 또한, 대표적인 시험인 용량 및 Round-Trip 효율시험, Duty Cycle 효율시험, LVRT시험, Anti-Islanding 시험에 대한 시험방법과 알고리즘을 제안하였다.

참고문헌

- [1] 노대석외 2인, “30kW급 ESS용 이동형 성능평가 시험장치의 구현 및 특성분석”, 전기학회논문지, 제 67권, 6호, pp. 715~723, 2018.
- [2] 노대석외 4인, “30kW급 ESS용 이동형 성능평가 시험장치의 특성 분석”, 산학기술학회 춘계학술대회 논문집, 제 19권, 1호, pp. 226~229, 2018.