

ESS용 SPD의 개폐서지 시험장치구현에 관한 연구

황승욱, 태동현, 김기영, 김순식, 노대석*

*한국기술교육대학교

e-mail: bread545@hanmail.net

A Study on implementation of test device for Switching Surge in Energy Storage System

Seung-Wook Hwang, Dong-Hyun Tae, Gi-Young Kim, Soon-Sik Kim, Dae-Seok Rho*

*Korea University of Technology and Education

요 약

최근, 신재생에너지원의 출력 안정화, 수요관리 및 주파수 조정 등 다양한 기능을 가지고 있는 전기저장장치(energy storage system, ESS)가 설치되어 운용되고 있다. 그러나, ESS의 화재사고가 지속적으로 발생함에 따라 정부에서는 민간합동의 사고조사위원회를 통하여 ESS 사고원인과 안전강화 대책방안을 제시하고 있으며, 이 방안의 하나로 ESS 설치현장에 SPD(surge protect device), IMD(insulation monitoring device)와 같은 전기적 이상 보호장치를 설치하도록 권고하고 있다. 하지만, ESS의 DC측에 적용되는 SPD의 경우, 용량 및 설치기준에 대한 명확한 규정이 없으므로, 서지 보호에 유효하지 않은 SPD가 설치되어 배터리에 대한 보호가 취약한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 개폐서지에 대한 특성과 SPD의 동작 메커니즘을 제시하고, 개폐서지 발생 시 SPD의 동작특성을 분석하기 위하여, 개폐서지 모의발생장치와 SPD, 모의부하, 등으로 구성된 개폐서지 시험장치를 구현한다. 제안한 시험장치를 바탕으로 개폐서지에 대한 SPD의 특성을 분석한 결과, DC측에 적정 용량의 SPD를 설치할 경우, 개폐서지로부터 배터리를 보호할 수 있음을 알 수 있었다.

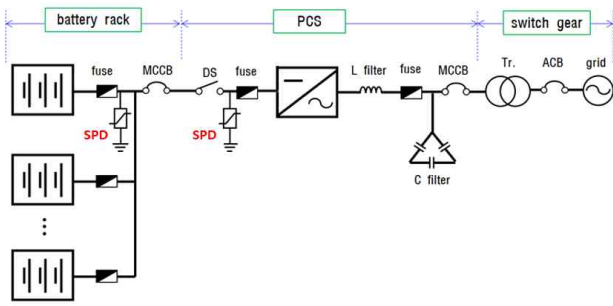
1. 서 론

최근, 신재생에너지원의 출력 안정화, 수요관리 및 주파수 조정 등 다양한 기능을 가지고 있는 전기저장장치(energy storage system, ESS)가 설치되어 운용되고 있다. 그러나, ESS의 화재사고가 지속적으로 발생함에 따라 정부에서는 민간합동의 사고조사위원회를 통하여 ESS 사고원인과 안전강화 대책방안을 제시하고 있으며, 이 방안의 하나로 ESS 설치현장에 SPD(surge protect device), IMD(insulation monitoring device)와 같은 전기적 이상 보호장치를 설치하도록 권고하고 있다[1,2]. 하지만, DC측에 적용되는 SPD의 경우, 설정치에 대한 명확한 기준이 없으며, 이로 인해 적절한 SPD를 선정하지 않고 사용함으로써, 개폐서지가 유입될 경우 ESS에 대한 보호가 취약한 실정이다[3,4]. 따라서, 본 논문에서는 개폐서지에 대한 특성과 SPD의 동작 메커니즘을 제시하고, 개폐서지 발생 시 SPD의 동작특성을 분석하기 위하여, 개폐서지 모의발생장치와 SPD, 모의부하, 등으로 구성된 개폐서지 시험장치를 구현한다. 제안한 시험장치를 바탕으로 개폐서지에 대한 SPD의 특성을 분석한 결과, DC측에 적정 용량의 SPD를 설치할 경우, 개폐서지로부터 배터리를 보호할 수 있음을 알 수 있었다.

2. 전기저장장치의 보호기기 특성분석

2.1 전기저장장치의 보호기기 특성

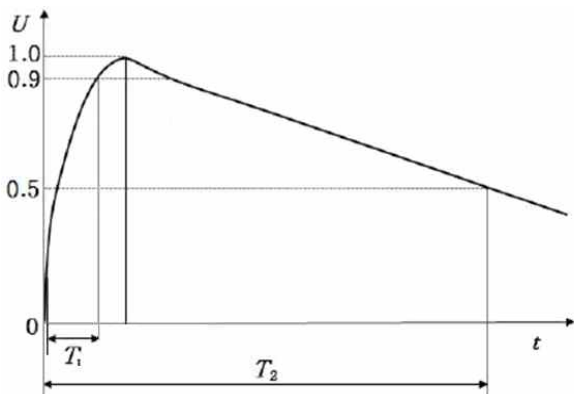
일반적으로, ESS는 병렬연결된 여러 대의 배터리 랙과 충·방전을 수행하는 PCS, 연계용변압기, 보호기기 등으로 구성되며, 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서와 같이, ESS의 보호기기들은 과전류나 서지의 유입 그리고 단·지락 사고 등에 대한 보호를 위하여, 각 장치들 사이의 전로에 설치되며, 주로 퓨즈와 차단기가 이용되고 있다. 그러나, 배터리 랙측 또는 PCS측에서 사고가 발생하는 경우, 퓨즈 또는 차단기가 동작하여, 순간적으로 매우 큰 개폐서지가 발생하고, 절연강도가 약한 부분에서 절연이 파괴되어, 2차 사고를 유발하여 ESS의 화재로 진행될 가능성이 있다. 따라서, ESS 설치현장에서는 배터리를 서지로부터 보호하기 위하여 서지 보호장치인 SPD를 이용하지만, 이에 대한 명확한 규정이 제시되지 않아, 현장마다 서로 다른 용량의 SPD가 설치되고 있는 실정이다.



[그림 1] ESS의 보호기기 구성

2.2 개폐서지의 특성

개폐서지는 차단기를 투입할 때 발생하는 투입서지(Closing surge)와 개방할 때 발생하는 차단서지(Clearing surge)로 분류된다. 또한, 일반적으로 개폐기 조작 시 발생하는 서지의 최대치는 약 1.3~1.4[pu]로 알려져 있지만[2], 계통구성에 따라 더 높은 크기의 서지가 측정되는 경우도 있다. 한편, IEC 60060-1에서는 그림 2와 같이, 개폐서지의 표준 형태를 파두 시간(T_1) 250[us], 파미시간(T_2) 2,500[us]의 전압 임펄스로 정의하고 있다[2]. 즉, 파두시간 시간 T_1 은 전압이 파고치의 10%에서 파고치의 90%까지 도달하는 시간 간격으로 250[us]이고, 파미시간 T_2 는 원점에서 전압이 파고값의 절반으로 되는 시간 간격으로 2500[us]이다.

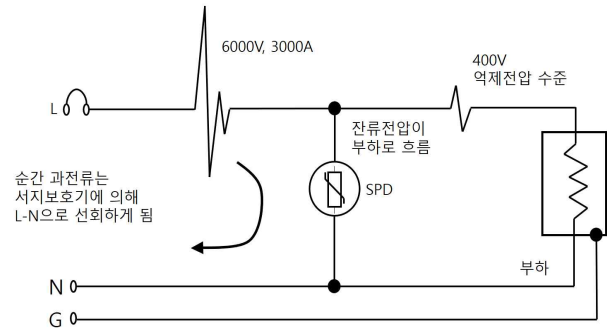


[그림 2] 개폐서지 파형

2.3 SPD의 동작 메커니즘

상기의 개폐서지에 대하여, 전기저장장치를 보호하기 위하여 일반적으로 현장에서는 AC 및 DC용 SPD를 설치하여 운용하고 있다. 여기서, SPD란, Surge로부터 각종 장비들을 보호하는 장치이며, 내부 구조, 동작기능, 등급시험에 따라 분류될 수 있다. 즉, 어떠한 이유로 인해 계통에 서지가 들어올 때, 그림 3과 같이 서지 전류가 부하를 통해 흐르지 않고 서지보호기를 통해 흐르도록 하여 부하를 보호할 수 있다. SPD에 주로 사용되는 MOV는 정상상태에서 매우 큰 임피던스를 가지며, 여기에 전압 서지가 걸리면 MOV의 임피던스가 급격히

낮아지면서 서지를 부하가 아닌 다른 경로로 흘려보내는 저임피던스 경로가 되므로, SPD에는 높은 전류가 흘러도 전압이 크게 상승하지 않는다.

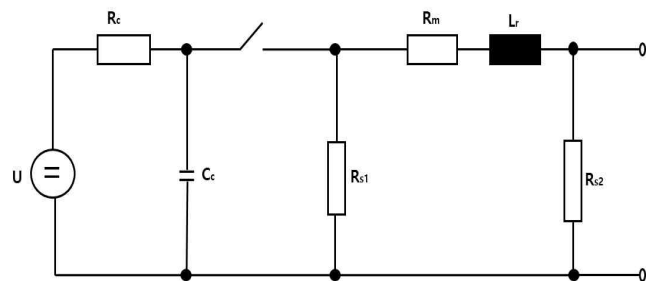


[그림 3] SPD의 보호 메커니즘

3. SPD의 개폐서지 시험장치 구현

3.1 개폐서지 모의장치부

개방상태에서 250/2500[us] 개폐서지를 발생시키기 위해, 그림 4의 과형발생기를 이용하여 개폐서지를 모의한다. 과형발생기의 사양은 표 1과 같이 출력전압 $V_{PP} = 908$ [V]이고, Sampling time은 약 0.5[us]이며, 개폐서지 파형에 대한 근사합수를 적용할 수 있다.



[그림 4] 개폐서지 모의장치 회로도

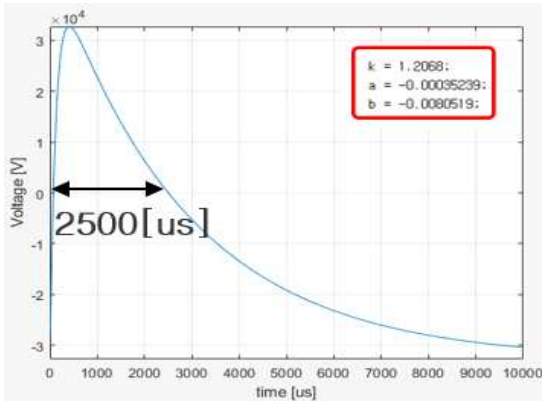
[표 1] 개폐서지 모의장치 사양

항목	사양
입력전압	380 [V _{ac}]
출력전압	-454 ~ 454 [V]
정격용량	1.5 [kVA]
출력 주파수	1 ~ 550 [Hz]
샘플링 속도	0.5 [us]

상기의 개폐서지 모의장치를 이용하여, 그림 5와 같이 250/2500[us] 전압 임펄스를 모의한다. 여기서, 개폐서지는 서지의 표준파형인 식 (1)에서 α , β , k 의 파라메타를 입력하여 발생시킨다.

$$V(t) = k(e^{\alpha t} - e^{\beta t}) \quad (1)$$

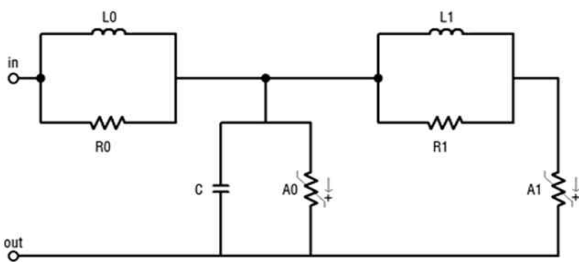
여기서, V : 출력 전압, α , β , k : 상수, t : 시간



[그림 5] 개폐서지 모의 파형

3.2 SPD 모의 장치부

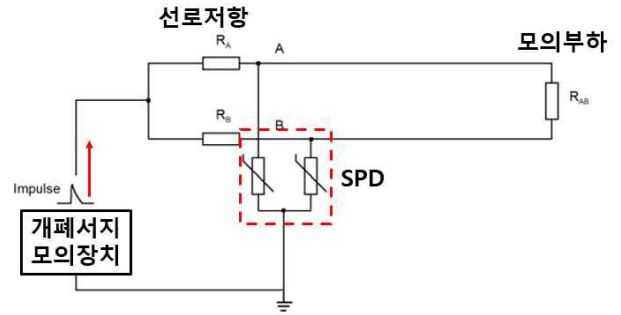
SPD는 그림 6과 같이 비선형 저항과 L-C로 등가화되며, 과도 서지전압으로부터 ESS를 보호한다. 즉, SPD는 정상적인 동작전압 범위에서 높은 임피던스를 가지므로 정상상태에서는 시스템에 영향을 미치지 않는다. 하지만, 개폐서지 전압이 발생하는 경우, SPD의 임피던스는 감소하여 서지 전류를 접지를 통해 방류함으로써, 개폐서지의 크기를 제한할 수 있다. 한편, 개폐서지 전압이 제거되면 SPD는 높은 임피던스 상태로 복귀하게 된다.



[그림 6] SPD의 등가회로

3.3 전체 시험장치부

상기에서 제시한 시험장치를 바탕으로, 개폐서지 모의장치부와 SPD 모의장치부, 모의부하로 구성된 전체 시험장치를 나타내면 그림 7과 같다. 여기서, 선로 길이를 조정하여 저항을 조정할 수 있으며, IEC 60060-1에 따른 개폐서지를 모의한다.



[그림 7] 전체 시험장치부

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시험 조건

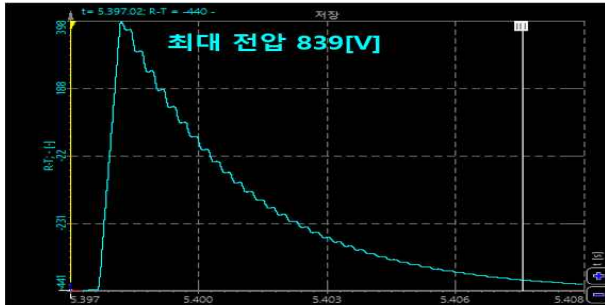
상기에서 구현한 시험장치를 바탕으로, 개폐서지에 따른 SPD의 특성을 분석하기 위하여, 표 2과 같이 시험 조건을 상정한다. 단, 실험실 환경에서 개폐서지 모의장치의 출력 제한으로 인하여, 모의하고자 하는 1[kV]의 DC 전압에 대해 약 1/3 수준으로 축소하여 시험을 수행한다. 여기서, SPD에 대한 개폐서지 특성시험은 IEC 60060-1 시험에 부합하도록, 250/2500[us] 임펄스 전압서지를 모의한다. 또한, SPD의 전압 보호수준(U_p)는 L사 및 P사의 제품 정격인 1[kVdc]와 1.5[kVac]로 상정하고, HFIX 전선 2.5SQ를 이용하여 10cm, 30cm, 50cm로 나누어 시험한다.

[표 2] 시험 조건

구분	조건			
standard code	IEC 60060-1			
개폐서지 모의장치	입력전압 V_{pp} (250/2500[μ s])	440 [V]		
		880 [V]		
SPD	정격전압 Un	설	110Vdc	220Vac
	최대연속동작전압 Uc	치	220Vdc	320Vac
	전압보호수준 Up	전	1kVdc	1.5kVac
선로	HFIX 전선 2.5SQ	10cm		
		30cm		
		50cm		
모의부하	480[Ω]			

4.2 개폐서지에 의한 SPD 특성분석

먼저, 표 2의 시험조건에 따라 SPD가 설치되지 않은 경우, 선로거리 10cm에서 880[V]의 개폐서지가 발생 될 경우, 부하측 전압을 측정하면 그림 8과 같다. 즉, 845[V]의 개폐서지가 부하측에 인가되어, 전기적인 위해요인이 될 수 있음을 알 수 있다.



[그림 7] SPD 설치 전 개폐서지에 따른 부하측 전압 특성

5. 결 론

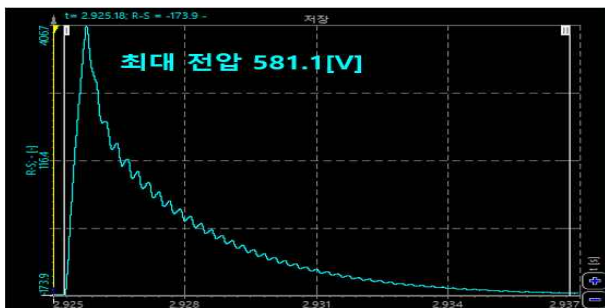
본 논문에서는 ESS 운용 시 DC측에 적용되는 SPD의 용량에 대한 명확한 규정이 없으므로, 이에 대해 안정적인 운용방안을 제시하기 위하여 개폐서지 모의발생장치와 SPD, 모의 부하, 등으로 구성된 개폐서지 시험장치를 구현한다. 또한, 구현한 시험장치를 바탕으로 특성을 분석한 결과, DC측에 적정 용량의 SPD를 설치할 경우, 개폐서지로부터 배터리를 보호할 수 있음을 알 수 있어, 본 논문의 유용성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.20206910100090)로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] IEC 62933-2-1, "Electrical energy storage (EES) systems - Part 2-1: Unit parameters and testing methods - General specification", 2017
- [2] IEC 61643-12 ; Low-voltage surge protective devices - Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Selection and application principles
- [3] K. M. Park, J. H. Kim, J. Y. Park, S. B. Bang, "A Study on the Fire Risk of ESS through Fire Status and Field Investigation", FIRE SCIENCE AND ENGINEERING, vol. 32, no. 6, pp.91-99, 2018.12.
- [4] H. J. Jang, T. S. Song, J. Y. Kim, S. J. Kim, T. H. Jang "Study on Analysis of Fire Factor and Development Direction of Standard/safety Requirement to Keep Safety for Energy Storage System (ESS)", Journal of Standards, Certification and Safety, vol. 3, no. 9, pp.25-49, 2019.9.



[그림 7] SPD 설치 후 개폐서지에 따른 부하측 전압 특성[Up = 1kV]

상기의 시험방식과 같이, 표 2의 시뮬레이션 조건에 따라 시험한 내용을 정리하면 표 3과 같다. 여기서, 개폐서지에 대하여 모두 SPD 용량이 낮을수록, 그리고 연결선의 길이가 짧아질수록 부하측으로 전달되는 전압이 낮아지고, 모든 경우에서 Up값 이하로 저감됨을 알 수 있다. 하지만, 너무 낮은 용량의 SPD를 선정하면 잦은 동작으로 인해 수명이 저하될 수 있으며, 적정 용량의 SPD를 선정하는 것이 매우 중요함을 확인하였다.

[표 3] 시뮬레이션 결과

SPD 용량 [Up]	인가 전압[kV]	연결선 길이 [cm]		
		10	30	50
설치 전	440	440	440	440
	880	845	845	845
1[kVdc]	440	334.4	336.1	336.8
	880	581.1	587.4	591.3
1.5[kVac]	440	335.2	338.0	339.6
	880	584.3	588.0	592.6