

ESS의 전기적 위해요인 평가시험장치 구현에 관한 연구

유현상, 김지명, 최성문, 김윤호, 이진호, 노대석*
한국기술교육대학교

A Study on the Implementation of Evaluation Test Device for Electrical Hazards in ESS

Hyun-Sang You, Ji-Myung Kim, Sung-Moon Choi, Yun-Ho Kim,
Jin-ho Lee, Dae-Seok Rho*
Korea University of Technology and Education

요약 최근, 에너지저장장치(ESS)에서 화재사고가 빈번하게 발생하고 있어, 정부에서는 민관 합동 조사 위원회를 설치하여 ESS의 화재원인을 추정하여 다양한 대응방안을 제시하고 있는데, 이 가운데 전기적 위해요인에 대한 배터리 보호 시스템이 미흡한 것으로 평가되어 적절한 보호기들이 ESS에 적용되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 전기적 위해요인으로 부터 ESS를 보호하기 위한 지락검출장치(IMD), 서지보호장치(SPD), 순환전류 저감장치(NGR)의 동작 메커니즘을 제시하고, 각 보호기기의 유효성을 평가하기 위하여 지락검출 평가시험, 서지특성 평가시험, 순환전류저감 평가시험장치로 구성된 ESS의 전기적 위해요인 평가시험장치를 구현한다. 상기에서 제시한 메커니즘 및 시험장치를 바탕으로 각 전기적 위해요인별 평가시험장치의 운용특성을 분석한 결과, 지락사고 발생 시 IMD는 절연저항의 감소를 측정하여 단시간에 지락사고를 판단할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 적정용량의 SPD를 설치하는 경우 배터리로 유입되는 개폐서지를 저감시킬 수 있으며, NGR을 통해 ESS용 연계변압기의 접지 측으로 유입되는 순환전류도 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 전기적 위해요인에 대한 평가시험장치의 유효성을 검증할 수 있어, 본 논문의 유용성을 확인할 수 있다.

Abstract As fire accidents in ESS have been frequently occurred, Korea government has established private-public investigation committee to estimate the causes of the fire accidents and perform various countermeasures. Accordingly, the insufficient battery protection system has been evaluated as electrical hazards, and then appropriate protection devices have been adopted in ESS. Therefore, this paper presents the operation mechanisms of electrical protection devices such as IMD, SPD and NGR, and implements an evaluation test device for electrical hazards in ESS, which is composed of ground fault detection, surge reduction, unbalanced current reduction test device in order to assess the operation characteristics of the protection devices. From the test results based on the proposed operation mechanisms and test devices, it is confirmed that the IMD rapidly detects the ground fault by calculating the decrease of insulation resistance. And also, it is found that the SPD with proper capacity can reduce the switching surge at the side of battery, and NGR can decrease the unbalanced current flowing into grounding of grid-connected transformer in ESS. Therefore, it is clear that the proposed evaluation test device is useful tool to accurately assess the operation characteristics of the protection devices for electrical hazards in ESS.

Keywords : Evaluation Test Device, ESS, Insulation Monitoring Device, Surge Protection Device, Neutral Ground Resistor

본 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원(20213030160080, (에너지 소비대체율 50% 달성을 위한 신재생에너지기반 융복합형 마을단위 마이크로그리드 실증 기술개발과 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(20224000000160, DC 그리드 에너지 혁신연구센터).

*Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology and Education)
email: dsrho@koreatech.ac.kr

Received November 6, 2023

Revised December 19, 2023

Accepted January 5, 2024

Published January 31, 2024

1. 서론

최근, 신재생에너지의 출력 안정화, 수요자원 관리 및 주파수 조정 등 다양한 기능을 수행하기 위한 에너지저장장치(energy storage system, ESS)의 설치가 급격하게 증가하고 있지만, 리튬이온전지를 이용한 ESS의 화재 사고가 지속적으로 발생하여 국내 ESS 시장에 큰 타격을 주고 있는 실정이다[1,2]. 이에 따라, 정부에서는 민관합동 조사위원회를 설치하여 ESS의 화재원인을 추정하여 대응방안을 제시하고 있으며, 이 가운데 전기적 위험요인에 대한 배터리 보호시스템이 미흡한 것으로 평가되어, 다양한 보호기기가 ESS에 적용되고 있다[3]. 여기서, 비접지 직류계통의 지락사고를 감시하는 지락검출장치(Insulation Monitoring Device, IMD)와 CMV 및 개폐서지를 저감시키는 서지보호장치(surge protection device, SPD)가 ESS에 의무적으로 설치되어 운용되고 있고, 불평형 부하에 의한 순환전류가 ESS로 유입되는 것을 방지하기 위하여, ESS용 연계변압기 접지 측에 순환전류 저감장치(neutral grounding resistor, NGR)을 설치하여 운용하는 방안이 제시되고 있다.

따라서, 본 논문에서는 전기적 위험요인으로 부터 ESS를 보호하기 위한 IMD, SPD, NGR의 동작 메커니즘을 제시하고, 각 보호기기의 유효성을 평가하기 위하여 지락검출 특성평가, 서지저감 특성평가, 순환전류저감 특성평가용 시험장치로 구성된 ESS의 전기적 위험요인 평가시험장치를 구현한다. 상기에서 제시한 메커니즘 및 시험장치를 바탕으로 각 전기적 위험요인별 평가시험장치의 운용특성을 분석한 결과, 정상상태 시 IMD의 절연저항은 20[MΩ] 이상으로 측정되지만, 지락사고 발생 후 1.6초 뒤에 절연저항은 1.2[MΩ]으로 감소하고, 2.7초 후에는 285[kΩ], 3.8초 후에 167[kΩ]으로 감소되어, IMD가 기준치(1[MΩ], 전기설비기술기준 제52조 저압전로의 절연성능)를 벗어나면 단시간에 지락사고를 판단할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 적정용량의 SPD를 설치하는 경우 배터리로 유입되는 개폐서지를 기준치 이내(정격전압의 3배, 한국전기설비규정 132 전로의 절연저항 및 절연내력)인 최대 46.6[%] 정도 감소시킬 수 있으며, NGR을 통해 ESS용 연계변압기의 접지 측으로 유입되는 순환전류도 기준치(상전류의 20[%]) 이내인 최대 42.6[%] 정도 저감시킬 수 있어, 전기적 위험요인으로부터 배터리를 보호할 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 ESS의 전기적 위험요인 평가시험장치가 각 보호기기의 운용특성을 정확하게 평가하여, 본 논문

의 유효성을 확인할 수 있었다.

2. ESS의 전기적 위험요인별 보호장치의 동작 메커니즘

2.1 지락검출장치의 동작 메커니즘

지락사고에 대한 보호기기로 IMD 방식은 발전소 및 제철소의 주요 직류 제어전원 회로 및 저압직류 배전계통 등에 널리 적용되고 있다. 일반적으로 비접지 직류계통의 절연저항을 측정하여, 지락사고를 감시하는 IMD 방식의 보호기기는 Fig. 1과 같이 전력선과 대지 사이에 스위칭소자 혹은 신호발생기를 이용하여 펄스전압(V_{pul})을 인가하고, 측정되는 전압과 전류를 통해 절연저항을 감시하는 방식이다[4,5]. 구체적으로, IMD는 Eq. (1)과 같이, 측정지점의 전압(V_m)을 저항(R_m)으로 나누어 전류(I_m)를 산정하고, Eq. (2)와 같이 펄스전압이 전압분배 법칙에 따라 직렬로 연결된 측정부 저항, 커플링 저항(R_c), 계통의 절연저항(R_F)에 나누어 인가되는 것을 고려하여, Eq. (3)과 같이 계통의 절연저항을 산정한다.

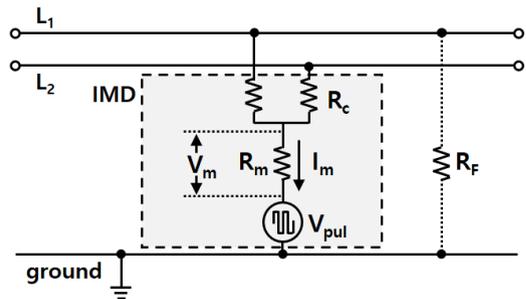


Fig. 1. Operation mechanism of IMD

$$I_m = \frac{V_m}{R_m} \quad (1)$$

$$V_{pul} = I_m \times (R_m + R_c + R_F) \quad (2)$$

$$R_F = \frac{V_{pul}}{I_m} - R_m - R_c \quad (3)$$

where, I_m : measured current, V_m : measured voltage, R_m : measured resistance, V_{pul} : pulse voltage, R_c : coupling resistance, R_F : insulation resistance of grid

2.2 서지보호장치의 동작 메커니즘

SPD는 서지로부터 각종 장비들을 보호하는 장치이며, 내부구조, 동작방식, 등급시험 등에 따라 분류될 수 있다. 즉, 어떠한 이유로 인해 계통에 서지가 들어올 때, Fig. 2와 같이 서지 전류가 부하를 통하지 않고 SPD를 통해 흐르도록 하여 부하를 보호하는 장치이다. SPD에 주로 사용되는 MOV는 정상상태에서 매우 큰 임피던스를 가지며, 여기에 전압 서지가 걸리면 MOV의 임피던스가 급격히 낮아지면서 서지를 부하가 아닌 다른 통로로 흘려보내는 저임피던스 통로가 되므로, SPD를 통해 전류를 방출하여 전압이 크게 상승하지 않는다[6,7].

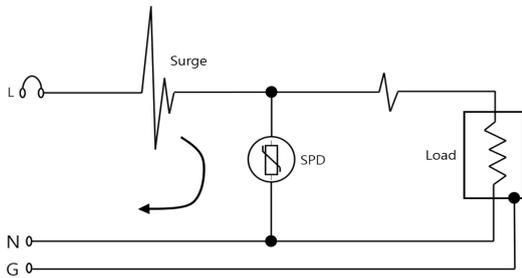


Fig. 2. Operation mechanism of SPD

한편, SPD를 동작 방식별로 나누면, Fig. 3과 같이, 전압 스위칭형, 전압 제한형, 복합형으로 구분되며, 먼저 전압 스위칭형의 경우 Fig. 3(a)와 같이 에어 갭을 이용하고, 스위치 동작 시에만 서지전압에 대해 급격하게 낮은 임피던스값으로 변화하는 특성을 가진다. 또한, 전압

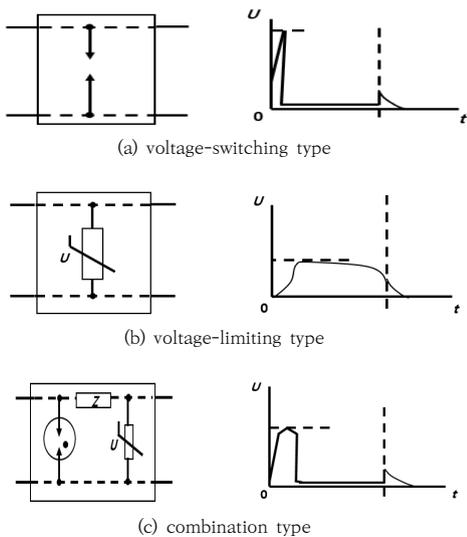


Fig. 3. Characteristics of SPD with operation types

제한형 SPD는 Fig. 3(b)와 같이 바리스타를 이용하며, 서지전압에 대해 연속적으로 낮은 임피던스값으로 변화하는 특성을 가지며, 복합형 SPD는 Fig. 3(c)와 같이 전압 스위칭형 및 제한형의 특성을 모두 가진다. 따라서, 본 논문에서는 ESS 설치 사이트에서 가장 많이 적용되고 있는 전압 제한형 SPD에 대하여, 용량(U_c/U_p)에 따른 개폐서지 저감 효과를 평가하고자 한다.

2.3 순환전류 저감장치의 동작 메커니즘

일반적으로 NGR은 Fig. 4의 section A와 같이 배전용 변전소의 주변압기 2차측 중성점과 접지 사이에 설치되며, 22.9[kV] 배전계통에서 1선 지락사고 시 지락전류 (I_g)를 제한하여 배전설비의 고장을 방지하는 목적으로 사용되고 있다. 또한, NGR은 Fig. 4의 section B와 같이 불평형 부하에 의한 순환전류(I_{unb})로부터 ESS를 보호하기 위하여, ESS용 연계변압기에 설치·운용할 수 있다. 여기서, 순환전류는 수용가 단상부하의 불평형에 의해서 발생할 수 있으며, 대부분의 전류는 배전용 변전소의 주변압기($I_{unb,1}$) 측으로 흘러가게 된다. 하지만, 분산전원 연계 기준에 따라 ESS용 연계변압기의 1차측이 Y_g 결선 방식을 사용하기 때문에, 일부 순환전류가 연계변압기($I_{unb,2}$)의 중성선을 통해 유입될 수 있다. 이 순환전류는 연계변압기의 철공진 현상을 발생시키거나 제어회로의 오동작을 유발시켜 ESS에 심각한 영향을 미칠 수 있다 [8,9]. 따라서, 본 논문에서는 NGR을 통해 연계변압기 측으로 유입되는 순환전류의 저감효과를 평가하고자 한다.

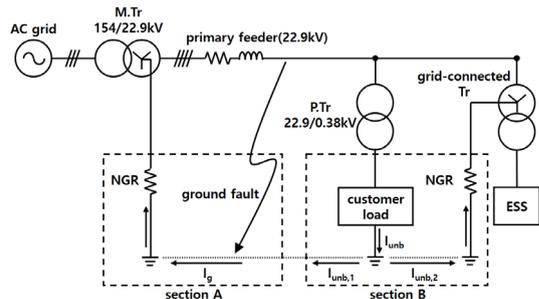


Fig. 4. Operation mechanism of NGR

3. ESS의 전기적 위해요인 평가시험장치 구현

3.1 지락검출 평가시험장치

비접지 DC 배전계통의 절연저항을 측정하는 IMD에 의한 ESS의 DC 전로의 지락사고 검출특성을 분석하기 위하여, Fig. 5와 같이 배전계통부, ESS부, 지락발생장치부, IMD로 구성된 지락검출 평가시험장치를 구현한다. 여기서, 배전계통부는 22.9[kV]의 배전선로를 lab-scale로 비례적으로 축소하여 380[V] AC 전원으로 저압선로로 구성하고, ESS부는 신재생에너지 연계용 ESS를 모의하는 10[kW]의 PCS와 60[kWh]의 배터리를 사용한다. 또한, 지락사고 발생장치부는 ESS의 DC 전로와 접지 사이에 일정한 지락저항과 MCCB를 연결하여 지락사고를 발생시키고, 여기에 IMD를 연결하여 지락사고 검출특성을 평가한다.

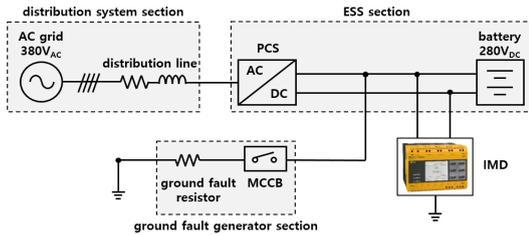


Fig. 5. Configuration of evaluation test device for ground fault detection

3.2 서지특성 평가시험장치

SPD에 의한 개폐서지의 저감특성을 분석하기 위하여, Fig. 6과 같이 서지발생장치부, 배터리부, SPD로 구성된 서지특성 평가시험장치를 구현한다. 여기서, 개폐서지 발생장치부는 정류기를 통해 AC 입력을 DC로 변환하여 커패시터에 저장하고, 전력용 반도체와 전력필터를 통해 IEC 60060-1에서 제시한 개폐서지 전압을 발생시킨다. 또한, 배터리부는 AC 380[V]와 효율적으로 전력변환을 시킬 수 있는 DC 280[V]의 리튬이온배터리로 구성하며, SPD는 개폐서지 발생장치부와 배터리부 사이의 DC 전로에 일정 길이(L)의 연결선을 사용하여 설치하고, Y결선 방식으로 접지에 연결한다.

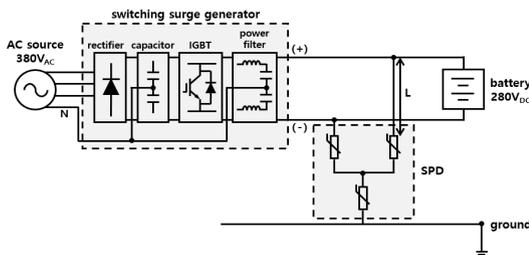


Fig. 6. Configuration of evaluation test device for surge reduction

3.3 순환전류저감 평가시험장치

NGR에 의한 순환전류의 저감특성을 분석하기 위하여, Fig. 7과 같이 배전계통부, 순환전류 발생장치부, NGR로 구성된 순환전류저감 평가시험장치를 구현한다. 여기서, 모의 배전계통부는 380[V], 3상 4선식 전원, Y-Y결선 방식의 절연변압기, 모의 저압선로로 구성하고, 순환전류 발생장치부는 수용가 부하를 상당 10[kW]의 lab-scale로 축소하여, 전자 접촉기(MC)를 통해 100[W] 단위로 부하를 가변시켜, 수용가의 부하 불평형에 의한 순환전류를 모의한다. 또한, NGR은 각각 2개의 1[Ω]과 3[Ω]의 저항을 직렬로 연결하여 최대 8[Ω]의 저항을 투입할 수 있도록 구성하고, MCCB를 통해 1[Ω] 단위로 저항을 조정하여 순환전류 저감특성을 평가한다.

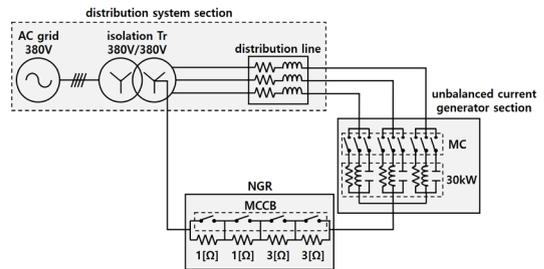


Fig. 7. Configuration of evaluation test device for unbalanced current reduction

3.4 전체 시험장치 구성

ESS의 전기적 위해요인 평가시험장치의 전체 구성은 Fig. 8과 같다. 여기서, section A는 배전계통부, section B는 ESS부, section C는 지락사고 발생장치부, section D는 개폐서지 발생장치부, section E는 순환전류 발생장치부를 나타낸다.

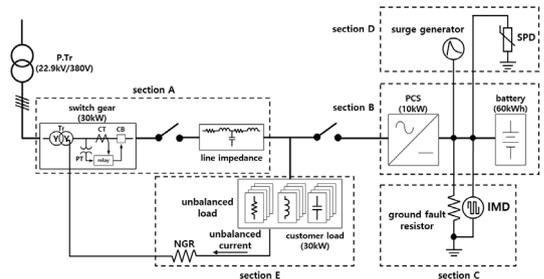


Fig. 8. Configuration of entire system

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시험 조건

상기에서 제시한 ESS의 전기적 위해요인에 대한 평가 시험장치의 동작 특성을 평가하기 위한 시험조건은 Table 1과 같이 상정한다. 여기서, 지락검출 평가시험은 280[V]의 ESS DC 전로에서 수행하고, 2[Ω]의 지락저항을 사용하여 지락사고를 모의한다. 또한, 서지저감 평가 시험은 SPD의 U_c/U_p 값이 각각 800/1,800, 1,000/1,800, 800/3,800, 1000/3,800[V]인 4가지 종류를 사용하고, IEC 60060-1의 시험방법에 따라 1.5[kV] (250/2,500[μs])의 개폐서지 파형을 SPD에 인가하여 수행한다[10]. 한편, 순환전류저감 평가시험에서 부하 불평형률은 87, 111[%]를 고려하고, NGR의 크기는 0, 2, 4, 6, 8[Ω]으로 변경하여 수행한다.

Table 1. Test conditions

test types	items	contents
ground fault detection	DC voltage [V]	280
	ground fault resistance [Ω]	2
switching surge reduction	capacity of SPD (U_c/U_p) [V]	800/1,800
		1,000/1,800
		800/3,800
		1,000/3,800
switching surge [kV]	1.5 (250/2,500[μs])	
unbalanced current reduction	unbalance load factor [%]	87
		111
	NGR [Ω]	0, 2, 4, 6, 8

4.2 지락검출장치의 운용특성

상기에서 제시한 Table 1의 시험조건에 따라 지락검출 특성을 나타내면 Fig. 9와 같다. 여기서, 정상상태 시 IMD의 절연저항은 20[MΩ] 이상으로 측정되어, DC 전로와 접지 사이에 충분한 절연이 확보됨을 알 수 있다. 또한, 지락사고 발생 후 1.6초 뒤에 절연저항은 1.2[MΩ]으로 감소하고, 2.7초 후에는 285[kΩ], 3.8초 후에 167[kΩ]으로 감소됨을 알 수 있다. 따라서, IMD의 절연저항의 정정치를 적정하게 선정하면, ESS의 DC측 지락사고를 단시간 내에 검출하여, 배터리를 보호할 수 있음을 알 수 있다.

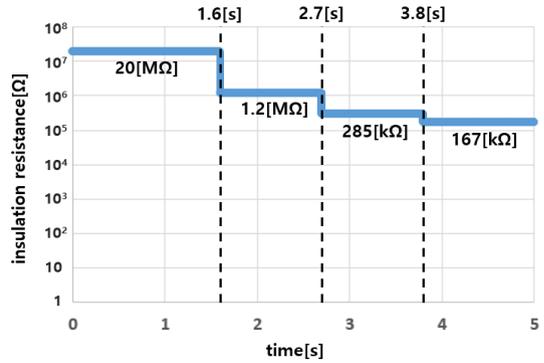


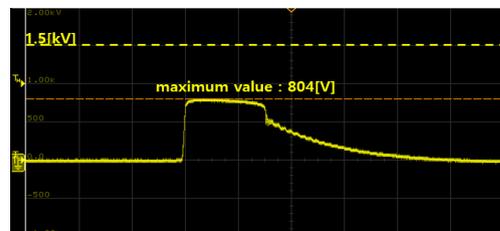
Fig. 9. Operation characteristics of IMD

4.3 서지보호장치의 운용특성

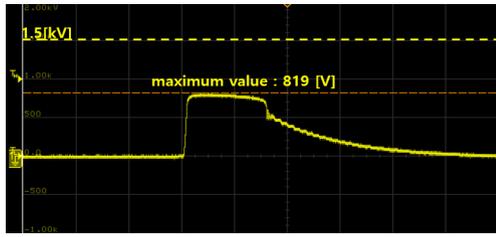
상기에서 제시한 Table 1의 시험조건에 따라 서지저감 특성을 나타내면 Fig. 10과 같다. 여기서, Fig. 10(a)는 SPD를 설치하지 않은 경우의 개폐서지 파형을 나타내는데, 개폐서지의 최대값이 1,507[V]로 측정되어 개폐서지가 정상적으로 인가됨을 알 수 있다. 또한, Fig. 10(b), (c), (d), (e)는 SPD의 U_c/U_p 용량이 각각 800/1,800, 1,000/1,800, 800/3,800, 1000/3,800[V]인 SPD를 설치한 경우의 서지파형을 나타내는데, 개폐서지의 최대값은 각각 804, 819, 1,346, 1,497[V]로 측정되고, SPD에 의한 서지저감 효과는 각각 46.6, 45.0, 10.7, 0.7[%]로 산정된다. 상기의 시험결과를 종합하여 SPD의 U_c/U_p 용량에 따른 운용특성을 나타내면 Table 2와 같다. 즉, SPD의 용량에 따라 개폐서지가 최대 46.6[%] 정도 저감되어, 적정용량의 SPD를 ESS에 설치하면 개폐서지로부터 배터리를 보호할 수 있음을 알 수 있다.



(a) without SPD



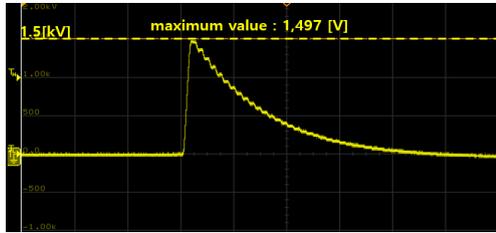
(b) with SPD of 800/1,800(U_c/U_p)[V]



(c) with SPD of 1,000/1,800(U_c/U_p)[V]



(d) with SPD of 800/3,800(U_c/U_p)[V]



(e) with SPD of 1,000/3,800(U_c/U_p)[V]

Fig. 10. Waveform of switching surge with SPD capacity

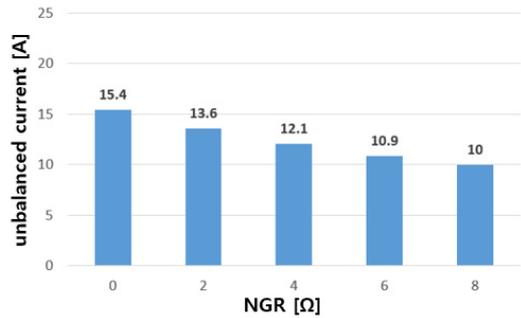
Table 2. Operation characteristics of SPD with U_c/U_p capacity

setting value of U_c/U_p [V]	maximum value of switching surge [V]	reduction of switching surge [V]
800/1,800	804	703(46.6%)
1,000/1,800	819	678(45.0%)
800/3,800	1,346	161(10.7%)
1,000/3,800	1,497	10(0.7%)

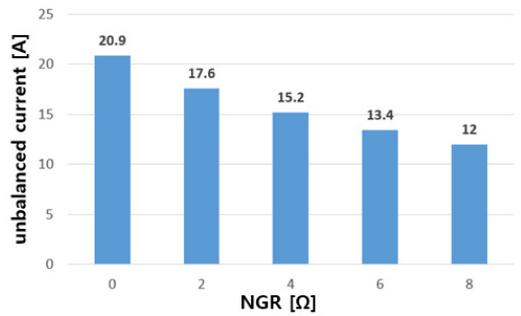
4.4 순환전류 저감장치의 운용특성

상기에서 제시한 Table 1의 시험조건에 따라 순환전류저감 특성을 나타내면 Fig. 11과 같다. 여기서, Fig. 11(a)는 부하 불평형률이 87%인 경우의 순환전류의 크기를 나타내는데, NGR을 투입하지 않은 경우에는 15.4[A]이지만, NGR의 용량을 2, 4, 6, 8[Ω]으로 투입시키면 각각 11.7, 21.4, 29.2, 35.1[%] 정도 저감됨을 알 수 있다. 또한, Fig. 11(b)는 부하 불평형률이 111%인 경우의 순환전류의 크기를 나타내는데, NGR을 투입

하지 않은 경우에는 20.9[A]이지만, NGR의 용량을 2, 4, 6, 8[Ω]으로 투입시키면 각각 15.8, 27.3, 35.9, 42.6[%] 정도 감소함을 알 수 있다. 상기의 시험결과를 종합하여, 부하 불평형률에 대한 NGR의 용량에 따른 순환전류 저감장치의 운용특성은 Table 3과 같이 나타낼 수 있다. 즉, 적정용량의 NGR을 설치하면 부하 불평형으로 발생한 순환전류를 효과적으로 저감시킬 수 있음을 알 수 있다.



(a) 87[%] of load unbalance factor



(b) 111[%] of load unbalance factor

Fig. 11. Characteristics of unbalanced current with load unbalance factor based on NGR capacity

Table 3. Operation characteristics of NGR with unbalance load factor

unbalance load factor [%]	NGR [Ω]	unbalanced current [A]	reduction of unbalanced current [A]
87	0	15.4	-
	2	13.6	1.8(11.7%)
	4	12.1	3.3(21.4%)
	6	10.9	4.5(29.2%)
	8	10	5.4(35.1%)
111	0	20.9	-
	2	17.6	3.3(15.8%)
	4	15.2	5.7(27.3%)
	6	13.4	7.5(35.9%)
	8	12	8.9(42.6%)

5. 결론

본 논문에서는 전기적 위해요인으로 부터 ESS를 보호하기 위한 IMD, SPD, NGR의 동작 메커니즘을 제시하고, 각 보호기기의 유효성을 평가하기 위하여 지락검출 평가시험, 서지저감 평가시험, 순환전류저감 평가시험장치로 구성된 ESS의 전기적 위해요인 평가시험장치를 제시한다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 지락검출 평가시험장치를 바탕으로 IMD의 지락 검출 특성을 평가한 결과, 절연저항은 정상상태 시 20[MΩ]이고, 지락사고가 발생한 후 1.6초 이후에 1.2[MΩ]으로 감소하고, 2.7초 후에는 285[kΩ], 3.8초 후 167[kΩ]으로 측정된다. 따라서, 절연저항의 크기에 따라 동작하는 IMD의 정정치를 적절하게 설정하면, IMD가 기준치(1[MΩ], 전기설비기술기준 제52조 저압전로의 절연성능)를 벗어남 단시간에 지락사고를 판단하여, 배터리를 효과적으로 보호할 수 있음을 알 수 있다.
- (2) 서지저감 평가시험장치를 바탕으로 SPD의 U_c/U_p 용량에 따른 개폐서지 저감특성을 평가한 결과, 적정용량의 SPD를 설치하는 경우 배터리로 유입되는 개폐서지를 기준치 이내(정격전압의 3배, 한국전기설비규정 132 전로의 절연저항 및 절연내력)인 최대 46.6[%] 정도 감소시킬 수 있어, 개폐서지로부터 배터리를 보호할 수 있음을 알 수 있다.
- (3) 순환전류저감 평가시험장치를 바탕으로 부하 불평형률에 대한 NGR의 순환전류 저감특성을 평가한 결과, NGR을 통해 ESS용 연계변압기의 접지 측으로 유입되는 순환전류를 기준치(상전류의 20[%]) 이내인 최대 42.6[%] 정도 저감시킬 수 있어, 전기적 위해요인으로부터 배터리를 보호할 수 있음을 알 수 있다.

References

- [1] 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.
DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2018.32.6.091>
- [2] 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.
DOI: <http://doi.org/10.34139/JSCS.2019.9.3.25>
- [3] Korea Commit of investigation for ESS fire accidents, "A result of investigation for ESS fire accidents" Ministry of Trade, Industry and Energy, 2019.06
- [4] K. Y. Kim, H. D. Lee, D. H. Tae, D. S. Rho, "Algorithm of Detecting Ground Fault by Using Insulation Monitoring Device(IMD) in Ungrounded DC System", Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol. 21, No. 9, pp. 528-535, 2020.9.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.9.528>
- [5] K. Y. Kim, B. G. Han, J. M. Kim, S. Y. Lee, D. S. Rho, "A Study on Mechanisms and Modeling of Insulation Resistance Variation According to Battery Stray Capacitance and SOC in Large Scale ESS", The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 72, No. 2, pp. 304-314, 2023.2.
DOI: <http://doi.org/10.5370/KIEE.2023.72.2.304>
- [6] S. Y. Hwang, H. D. Lee, D. H. Tae, D. S. Rho, "A Study on Protection Method of Energy Storage System for Lithium-ion Battery Using Surge Protection Device(SPD)", Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol. 21, No. 4, pp. 568-574, 2020.4.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.4.568>
- [7] S. Y. Hwang, J. M. Kim, B. G. Han, S. M. Choi, D. S. Rho, "A Study on the Evaluation Algorithm for Optimal Operation of Surge Protection Device in ESS", The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 71, No. 6, pp. 884-855, 2022.5.
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2022.71.6.844>
- [8] J. M. Kim, S. M. Choi, K. H. Kim, N. K. Lee, D. S. Rho, "A Study on the Safety Evaluation Method According to Leakage and Unbalanced Current in ESS". Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol. 24, No. 9, pp. 40-51, 2023.9.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.9.40>
- [9] D. H. Tae, H. D. Lee, B. G. Han, D. S. Rho, "A Study on Modeling of Ferro-resonance Characteristics with Saturation of Grid-connected Transformer in Energy Storage System", The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 70, No. 1, pp. 051-060, 2021.1.
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2021.70.1.051>
- [10] IEC 60060-1, "High-voltage test techniques - Part 1: General definitions and test requirements", 2010

유 현 상(Hyun-Sang You)

[준회원]



- 2019년 8월 : 충남대학교 전기공학과 (공학사)
- 2020년 7월 ~ 2022년 7월 : 한국산업기술시험원 연구원
- 2022년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 석사과정 재학 중

<관심분야>

전기저장장치, 신재생에너지, 보호협조

김 윤 호(Yun-Ho Kim)

[준회원]



- 2022년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2022년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 석사과정 재학 중

<관심분야>

DC 배전계통 운용, 보호협조, 신재생에너지, ESS

김 지 명(Ji-Myung Kim)

[정회원]



- 2020년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2022년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2022년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

전력 및 배전계통, 신재생에너지, 전기저장장치

이 진 호(Jin-Ho Lee)

[정회원]



- 2001년 2월 : 한남대학교 전자공학과 (공학사)
- 2021년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 석사과정 재학 중

<관심분야>

수력 및 양수발전, 신재생에너지, 발전설비 정비

최 성 문(Sung-Moon Choi)

[정회원]



- 2020년 2월 : 호원대학교 전기공학과 (공학사)
- 2022년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2022년 2월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, ESS, 마이크로그리드, 신재생에너지

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[중신회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전계통, 분산전원연계, 전력품질해석