ESS의 직류전로용 절연저항감시장치(IMD)의 운용특성에 관한 연구

김기영[*,**], 김지명[*], 박재범[**], 김미성[**], 노대석[**]
[*]한국화학융합시험연구원, [**]한국기술교육대학교
e-mail:g2rkgy@ktr.or.kr

A Study on Operation Characteristics of Insulation Monitoring Device in DC Circuit of ESS

Ki-Young Kim[*,**], Ji-Myung Kim[**], Jae-Bum Park[*], Mi-Sung Kim[*], Dae-Seok Rho[**]
[*]Dept. of Electric Engineering, Korea University of Technology and Education
[**]Korea Testing and Research Institute

요 약

최근, 신재생에너지 및 분산전원의 급속한 도입에 따라 대용량 ESS의 보급이 급속히 확산되고 있다. 그러나 국내 및 해외에서 운용중인 다수의 ESS에서 화재가 빈번히 발생하여, 이에 대한 대책으로 다양한 보호기기들이 ESS에 적용되고 있다. 특히, 절연저항감시장치(IMD : insulation monitoring device)는 비접지 직류계통으로 운용되고 있는 ESS의 특성에 적합하여, ESS의 절연저항을 실시간으로 감시하고, 지락과 같은 사고를 감지하기 위하여 필수적으로 설치되고 있다. 그러나 실 계통에서 운용중인 다수의 IMD는 기존의 보호기기와는 달리 명확한 정정기준이 없고, 절연저항의 값이 ESS운전상황에 따라 급격히 변동하는 현상으로 문제점이 발생하고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 ESS에 설치된 IMD를 안정적으로 운용하기 위하여, IMD의 사고검출원리 및 실 계통 적용사례를 제시한다. 또한, IMD의 실 계통 운용데이터를 분석하여, ESS의 운전조건에 따른 절연저항 변화특성 및 문제점을 제시한다. 이를 바탕으로, ESS용 IMD 특성시험장치를 구현하여, ESS의 충ㆍ방전 조건에서 IMD가 감지하는 절연저항특성을 분석하고, 향후, IMD의 운용기준을 마련한다.

1. 서 론

최근, 신재생에너지 및 분산전원의 급속한 도입에 따라 태양광 및 풍력 등의 변동성과 간헐성을 보완하기 위하여 대용량 ESS의 보급이 급속히 확산되고 있다. 그러나 국내 및 해외에서 운용중인 다수의 리튬이온 기반 ESS에서 화재가 빈번히 발생하여, 이에 대한 대책으로 다양한 보호기기들이 ESS에 적용되고 있다. 특히, 절연저항감시장치(IMD : insulation monitoring device)는 비접지 직류계통으로 운용되고 있는 ESS의 특성에 적합하여, ESS의 절연저항을 실시간으로 감시하고, 지락과 같은 사고를 감지하기 위하여 필수적으로 설치되고 있다. 그러나 실 계통에서 운용중인 다수의 IMD는 기존의 보호기기와는 달리 명확한 정정기준이 없고, 절연저항의 값이 ESS운전상황에 따라 급격히 변동하는 현상으로 문제점이 발생하고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 ESS 직류전로에 설치된 IMD를 안정적으로 운용하기 위하여, 펄스파형을 인가하여 전로의 절연저항을 측정하는 IMD의 사고검출원리를 분석하고, ESS가 연계된 직류전로에 설치된 IMD의 실 계통 적용사례를 제시한다. 또한, IMD의 실 계통 운용데이터를 분석하여, ESS의 운전조건에 따른 절연저항 변화특성 및 문제점을 분석하고, ESS의 운전 상태에 따라 특정한 조건에서는 절연저항이 전기설비규정이하로 떨어져 IMD가 오동작할 수 있는 가능성을 확인한다. 이를 바탕으로, ESS용 IMD 특성시험장치를 구현하여, ESS의 충ㆍ방전 조건에서 IMD가 감지하는 절연저항특성을 분석하고, 향후, IMD의 운용기준을 마련한다.

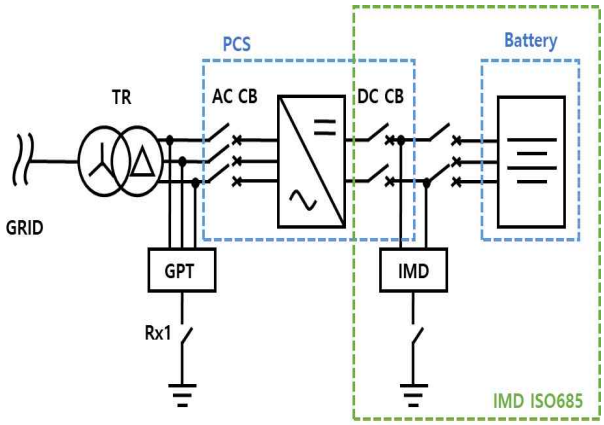
2. ESS용 IMD의 적용사례 분석

현재, IMD방식의 보호기기는 발전소 및 제철소의 주요 직류제어전원회로 및 저압직류배전계통 그리고 ESS 등에서 널리 적용되고 있으며, 보호방식은 전력선과 대지사이에 펄스전원(직류전압)을 인가하여, 절연저항을 감시하는 방식이다. 또한, 계통에 주입하는 펄스신호는 스위칭소자 혹은 신호발생기를 이용하여 직류전압을 인가하며, 각 스위칭모드에 따른 전류를 측정하여, 식 (1)과 같이 절연저항(R_f)을 계산할 수 있다.

$$I_m(\text{측정전류}) = \frac{U_m}{R_i + R_m + R_F} \quad (1)$$

여기서, I_m: DC 측정전류, U_m: DC 측정전압, R_i: IMD 내부저항, R_m: IMD 측정저항, R_f: 계통의 총 절연저항

한편, 국내에서 운용중인 ESS는 그림 1과 같이 전력변환장치(PCS : Power Conditioning System) 측에 IMD를 설치하여, 계통의 절연저항과 사고유무를 실시간으로 감시하도록 의무화 하고 있으며, 한국전기안전공사의 사용 전 점검 시 IMD의 설치유무와 동작을 시험하고 있다.



[그림 1] ESS가 연계된 직류계통의 IMD 설치회로도

또한, 최근 개정된 한국전기설비규정(KEC: korea electro-technical code) 개정안('21.01)에 따르면 표 1과 같이 전로의 사용전압이 500[V]이하인 경우 절연저항이 1[MΩ]이 이상이 되도록 규정하고 있다.

[표 1] 한국전기설비규정 개정안

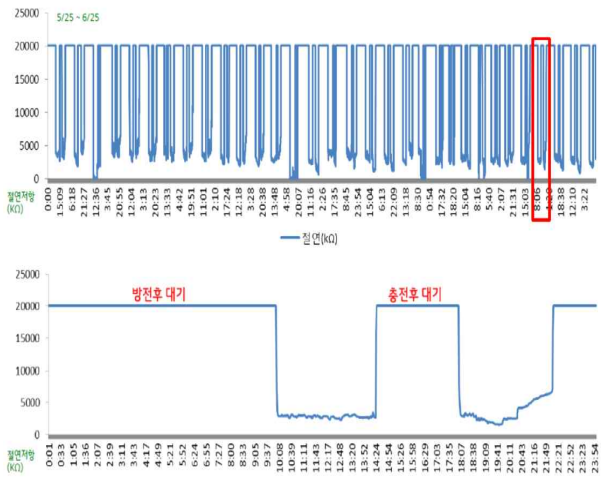
전로의 사용전압[V]	DC시험전압[V]	절연저항[MΩ]
SELV 및 PELV	250	0.5
FELV, 500V이하	500	1.0
500V 초과	1,000	1.0

[주] 특별저압(Extra Low Voltage : 2차 전압이 AC 50V, DC 120V 이하)으로 SELV(비접지 회로 구성) 및 PELV(접지회로구성)은 1차와 2차가 전기적으로 절연된 회로, FELV는 1차와 2차가 전기적으로 절연되지 않은 회로

해당규정의 '52조 저압전로의 절연성능'에서는 전로의 전선 상호 간 및 전로와 대지 사이의 절연저항은 개폐기 또는 과전류차단기로 구분할 수 있는 전로마다 상기 표 1에서 정한 값 이상이어야 함을 규정하고 있다. 또한, 절연저항 측정 시 영향을 주거나 손상을 받을 수 있는 서지보호장치(SPD: surge protective device) 또는 기타 기기 등은 측정 전에 분리시켜야 하고, 부득이하게 분리가 어려운 경우에는 시험전압을 250[VDC]로 낮추어 측정할 수 있지만 절연저항 값은 1[MΩ]이 이상이 되도록 규정하고 있다.

3. ESS용 IMD의 운영데이터 분석

앞에서 분석한 바와 같이, ESS가 연계된 직류 비접지계통에서 지락이 발생하면, 고장전류의 경로가 없고, 정상상태 전류에 비하여 큰 차이가 발생하지 않기 때문에 지락고장 검출이 어렵게 된다. 또한, ESS를 실계통에서 운영할 경우, 배터리의 절연저항이 저하되거나 단락 및 지락이 발생하여 배터리에 충격이 가해져, 화재가 발생할 수 있어 IMD 설치를 의무적하고 있는 실정이다. 한편, 그림 2는 ESS실증사이트에서 약 한 달 간 IMD를 이용하여 측정한 실시간 절연저항 값을 나타내고 있다.

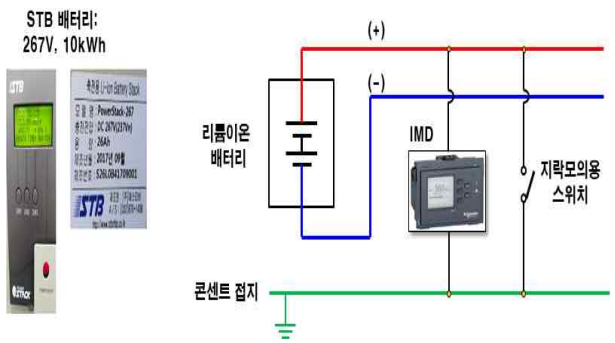


[그림 2] ESS가 연계된 직류계통의 IMD 실시간 절연저항 측정값

상기 그림과 같이 약 30일 동안 ESS가 연계된 직류계통의 실시간 절연저항 값을 분석하면 일정한 주기로 절연저항 값이 변동하는 특성을 확인할 수 있다. 이 데이터를 좀 더 확대하여 분석하면 ESS가 연계된 직류계통의 절연저항 값이 배터리 방전 후 대기 혹은 충전 후 대기 중에는 20[[MΩ]을 꾸준히 유지하고 있음을 알 수 있다. 그러나 배터리가 충전 혹은 방전을 개시할 경우 충전 및 방전이 끝날 때까지 ESS가 연계된 직류계통의 절연저항이 5[kΩ]까지 지속적으로 떨어지는 현상을 확인할 수 있다. 이를 통해, 배터리 충 · 방전 시에는 ESS가 연계된 직류계통의 절연저항 값이, 앞서 분석한 한국전기설비규정에서 정하고 있는 저압전로의 절연성능 규정 값(1[[MΩ] 이상]을 만족하지 못하게 됨을 확인할 수 있다. 실제로 다수의 ESS의 실증사이트에서는 ESS의 시운전 단계에서부터 이러한 현상이 발생하여, IMD 정정 값을 낮게 조정하여 운용하는 사례도 있는 것으로 확인된다.

4. H/W 시험장치를 이용한 절연저항 특성분석

ESS가 연계된 직류 비접지계통에서 배터리를 충전 혹은 방전할 경우 절연저항 값이 저하되는 현상을 모의하기 위하여, 그림 3과 같이 H/W시험장치를 구성하여, 배터리 운전조건에 따른 절연저항의 특성을 분석하였다. H/W시험 장치의 구성은 먼저, ESS가 연계된 저압전로의 배터리의 충·방전 조건을 모의하기 위하여, 267[V] 정격의 10[kWh]용량 배터리를 상기 그림과 같이 구성하였다. 또한, 실 계통에서 이용하고 있는 S사의 디지털 절연저항측정기를 설치하여, 실시간으로 절연저항 값을 측정하도록 하였다. 한편, 그림 4는 상기 H/W시험장치를 이용하여, ESS가 연계된 직류저압전로에서 배터리를 충전할 경우 절연저항 값의 변화를 나타내고 있다.



[그림 3] H/W시험장치 구성도

[그림 4] ESS연계된 직류계통의 배터리 충전 시 절연저항

상기의 시험 값을 분석하면, ESS가 연계된 직류저압전로의 절연저항 값이 시험 전에는 10[MΩ]을 유지함을 확인할 수 있다. 그러나 배터리 충전 시에 절연저항 값의 변화를 모의하기 위하여, 전력변환장치(PCS)에 전원을 인가한 후 약 10초 후에 절연저항 값이 2.9[MΩ]으로 감소하고, 약 1[kW]를 충전하기 시작하자 절연저항 값이 55[Ω]까지 감소하여 사실상 배터리 충전을 개시한 후부터는 IMD의 동작기능이 작동함을 알 수 있다. 이를 통해, 실 계통의 운영데이터와 본 논문에서 제안한 H/W시험장치의 차이를 감안하더라도, ESS가 연계된 직류저압전로의 절연저항 값이 배터리 충·방전 시에 규정 값 이하로 저하됨을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 ESS가 연계된 직류계통에서 IMD를 안정적으로 운용하기 위하여, IMD의 사고검출원리 및 실계통 적용사례를 분석하였다. 또한, IMD의 실 계통 운영데이터를 분석을 통하여, ESS의 운전조건에 따른 절연저항 변화특성 및 문제점을 분석하였다. 이를 바탕으로, H/W시험장치구현을 통하여, ESS의 충·방전 및 지락사고 조건에서 IMD가 감지하는 절연저항 값을 분석한 결과, 실계통에서 발생하는 현상과 동일한 특성을 확인하였다. 또한, 충·방전시의 절연저하 값이 한국전기설비규정에서 정한 값보다 낮아지는 현상이 발생하여, 향후 IMD가 해당 조건에서 오동작하지 않도록 적정한 운용기준을 마련해야 함을 확인하였다.

감사의 글

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

참고문헌

[1] J. R. Kim, “TA Study on Power Flow Analysis of DC Traction Power Supply System with PWM Rectifier”, The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 65 No. 11, pp. 1919-1924, 2016.

[2] S. M. Lee, J. W. Kim, “The Application Method of DC Distribution in Microgrid”, Journal of Energy Engineering, Vol. 25 No. 1, pp. 92-99, May, 2016.

[3] J. T. Jo., “DC Distribution Development Trend and Development of KEPCO”, The Korean Institute of Electrical Engineers Conference, pp. 31~48, April, 2018.