

연계변압기의 외함접지를 고려한 Sharing ESS의 낙뢰성 CMV 특성에 관한 연구

조성덕^{***}, 곽충근^{*}, 최성문^{*}, 임민규^{****}, 노대석^{*}
^{*}한국기술교육대학교, ^{**}한국폴리텍대학교, ^{***}한국산업기술시험원
 e-mail:dlwkd@kopo.ac.kr

A Characteristics of CMV due to Lightning Considering Enclosure Grounding of Grid-connected Transformer in Sharing ESS

Sung-Duck Cho^{***}, Chung-Guen Kwak^{*}, Sung-Moon Choi^{*}, Min-Gyu Lim^{****} and Dae-Seok Rho^{*}
^{*}Dept. of Electrical, Electronic & Communication Engineering, Koreatech
^{**}Korea Polytechnics, ^{***}Korea Testing Laboratory

요약

최근, 전력사용량 요금 절감 및 전력계통의 수요 안정화용으로, 전기자동차의 폐배터리를 재활용한 Sharing용 ESS 서비스 실증사업이 활발히 진행되고 있다. 하지만, ESS의 화재사고가 빈번하게 발생됨에 따라, ESS사고조사 위원회에서는 ESS에 대한 전기적인 위해요인으로 CMV를 주요 원인 중 하나로 평가하고 있다. 특히, 전라북도, 전라남도 및 경상도와 같이 연평균 낙뢰 횟수가 비교적 많은 지역에 Sharing용 ESS를 연계하여 운영하는 경우, 낙뢰로 인한 CMV가 Sharing용 ESS의 배터리 측 절연성능에 심각한 악영향을 줄 가능성이 있다. 또한, ESS용 연계변압기의 외함이 접지되면, 변압기 권선과 외함사이의 기생커패시턴스에 의하여 낙뢰로 인한 CMV가 더 커질 수 있으므로, 이러한 현상에 대한 정확한 분석이 요구되고 있다. 따라서, 본 논문은 Sharing용 ESS의 낙뢰에 의한 CMV 발생 메커니즘을 제시하고, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 연계변압기의 외함접지를 고려하여 낙뢰에 의한 CMV 모델링을 수행한다. 또한, 이를 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 외함접지가 되어 있는 경우 낙뢰로 인한 CMV가 배터리측의 절연성능에 더 큰 악영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서론

최근, 전기자동차가 급속하게 보급되면서 용량이 초기 대비 70%이하로 감소한 배터리가 대량으로 폐기되는 문제가 발생되고 있다. 이러한 문제점에 대한 해결책의 하나로, 전기자동차의 폐배터리를 재활용하여 전력사용량 편차가 큰 중소건물(또는 사업장)들이 필요한 시기에 이동형 ESS의 충·방전 운전을 통해 전력사용량에 대한 요금을 절감하고, 전력계통 수요의 안정화에 기여할 목적으로 Sharing용 ESS의 실증사업이 진행되고 있다. 하지만, ESS에서 발생한 화재사고가 빈번하게 보고됨에 따라, 정부는 2차례의 사고조사를 통하여 ESS에 대한 전기적인 위해요인으로 CMV를 주요 원인 중 하나로 평가하고 있다[1]. 특히, 전라북도, 전라남도 및 경상도와 같이 연평균 낙뢰 횟수가 비교적 많은 지역에 Sharing용 ESS를 연계하여 운영하는 경우, 낙뢰로 인한 CMV가 Sharing용 ESS의 배터리 측 절연성능에 심각한 악영향을 줄 가능성이 있다. 또한, 연계변압기의 외함이 접지되어 있을 경우, 변압기 권선과 외함사이의 기생커패시턴스에 의하여 낙뢰로 인한 CMV가 더 커질 수

있으므로, 이러한 현상에 대한 정확한 분석이 요구되고 있다. 따라서, 본 논문은 Sharing용 ESS의 낙뢰에 의한 CMV 발생 메커니즘을 제시하고, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 수용가의 수·배전설비, Sharing용 ESS, PCS, 뇌서지 발생장치부 등으로 구성된 Sharing용 ESS의 모델링을 수행한다. 이를 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 50 [kV]의 뇌서지가 발생할 경우, 연계변압기의 외함접지를 고려하지 않으면 CMV가 6.5 [kV]까지 상승하지만, 연계변압기의 외함접지를 고려할 경우, CMV가 25.06[kV]까지 상승하여 배터리에 심각한 영향을 줄 수 있고, 화재의 직접적인 원인으로 작용할 수 있음을 확인하였다.

2. 낙뢰에 의한 CMV 발생 메커니즘

2.1 낙뢰에 의한 CMV 발생 메커니즘

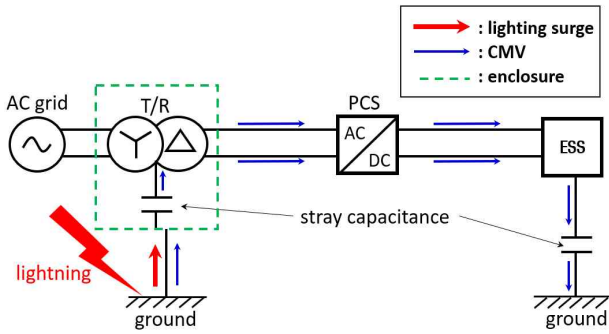
일반적으로, Sharing용 ESS를 설치한 배전계통에 낙뢰가 발생하면 큰 뇌격전류의 에너지 전체가 지상에 유입되면서, 국지적인 대지의 전위상승을 수반하여 수만볼트 전압의 서지가 접지를 따라 수용가에 유입될 수 있다. 이러한 뇌

서지는 연계변압기와 Sharing용 ESS의 기생커패시턴스 및 외함접지에 의하여 구성된 폐회로로 인하여 매우 높은 CMV를 발생시키고, Sharing용 ESS의 절연이 파괴될 가능성이 있다. 구체적으로, 그림 1과 같이 뇌서지로 인한 CMV가 연계변압기의 외함접지와 기생커패시터를 따라 PCS와 ESS로 흐르게 된다.

ESS의 CMV 모델링

3.1 수용가의 수·배전설비부

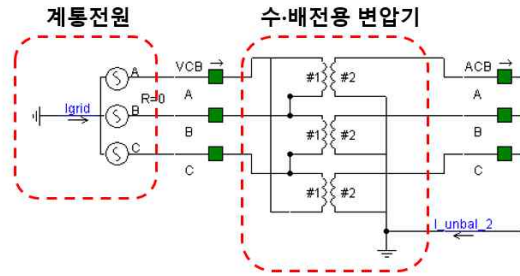
수용가의 계통전원, VCB 및 ACB, 수·배전용 변압기로 구성된 수·배전설비부를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링하면, 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 수·배전용 변압기는 Δ -Yg결선방식을 사용하며, 변압비는 22.9kV/380V이고, 2차측은 3상 4선식 저압 배전선로로 구성된다.



[그림 1] 낙뢰에 의한 CMV 발생 메커니즘

2.2 국내의 IKL 분석

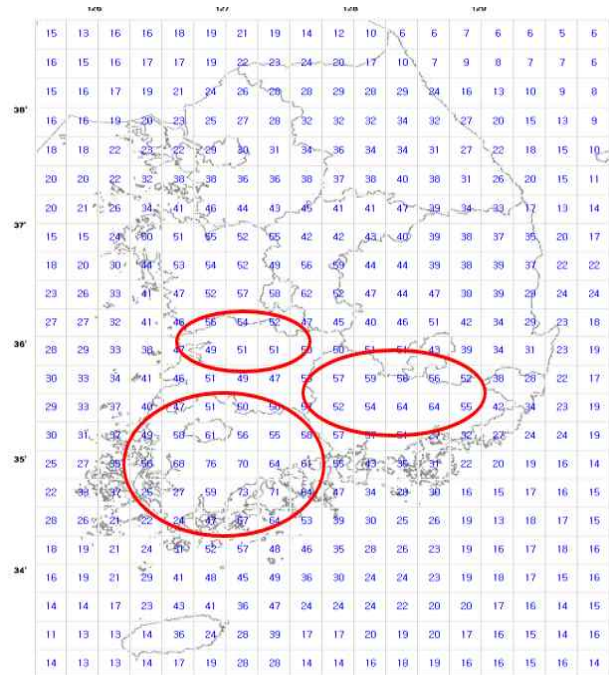
IKL (isokeraunic level) 지수는 그림 2와 같이 1년동안 단위 평방킬로미터의 면적에서 발생하는 낙뢰 횟수를 나타낸다. 이 그림에서와 같이, 전라북도, 전라남도 및 경상도는, 연 50회 이상 낙뢰가 가장 많이 발생하는 지역으로서, Sharing용 ESS가 낙뢰로 인한 CMV가 발생할 가능성이 비교적 크므로, 뇌서지에 대한 철저한 보호가 요구된다.



[그림 3] 수·배전설비부의 모델링

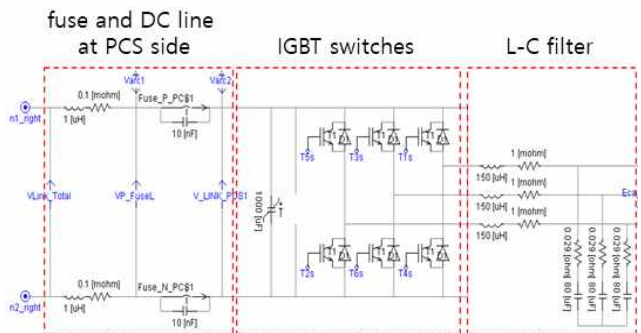
3.2 Sharing용 ESS의 PCS부

배터리의 충·방전 기능을 가진 PCS는 그림 4와 같이, DC 전로, 퓨즈, DC-Link 커패시터, IGBT, L-C 필터, 등으로 구성된다. 여기서, DC 전로는 배터리랙간의 전선과 배터리 제어장치(battery control panel)와 PCS간의 전선으로 구성되며, DC-Link 커패시터는 IGBT의 스위칭 동작에 의한 DC측의 전압을 안정시키는 역할을 수행한다. 또한, IGBT는 DC 전원을 120° 위상차를 갖는 3상 AC로 변환하며, L-C 필터는 변환된 AC 전원의 고조파 및 노이즈를 제거하는 역할을 수행한다.



[그림 2] 국내 IKL도

3. PSCAD/EMTDC에 의한 Sharing용

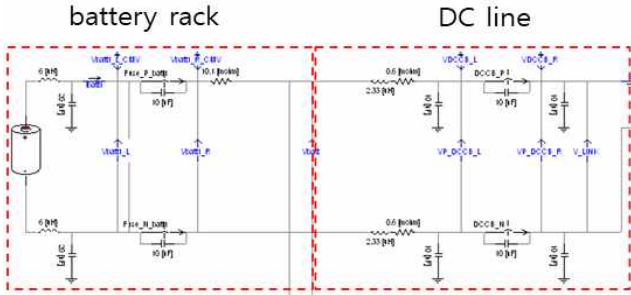


[그림 4] PCS부의 모델링

3.3 Sharing용 ESS의 배터리부

PSCAD/EMTDC를 이용하여 배터리랙 및 DC전로를 모델링하면, 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서와 같이, 배터리 랙은 배터리와 퓨즈로 구성되고, DC전로는 DC 차단기와 전로로 구성된다. 여기서, 배터리는 내부 임

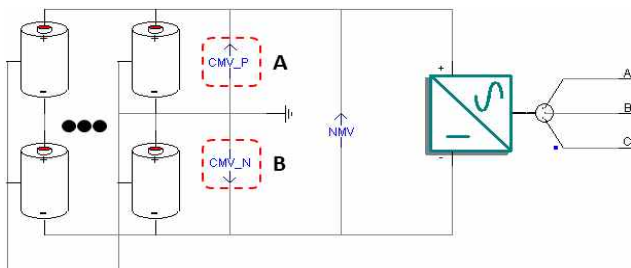
피더스와 기생 커패시턴스, 전압원으로 구성되며, 배터리의 내부 임피던스는 150[mΩ], 기생커패시턴스는 20[nF], 전체 배터리 부 용량은 2[MWh]로 상정한다. 또한, 배터리 부는 13개의 배터리 랙을 병렬로 구성하며, 1번 랙을 제외한 2~13번 랙은 하나의 랙으로 등가화 시킨다.



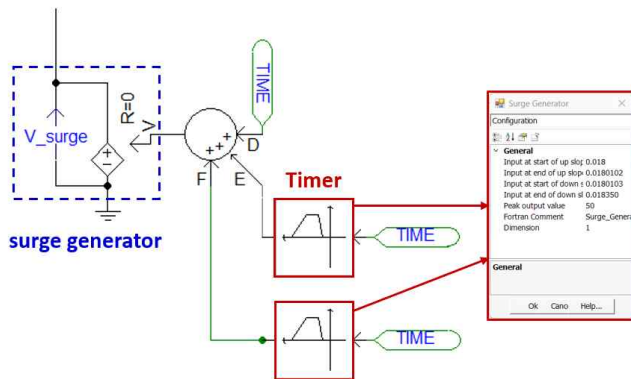
[그림 5] 배터리부의 모델링

3.4 서지발생장치부

PSCAD/EMTDC를 이용하여 서지발생 장치부를 모델링 하면 그림 6과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 6(a)는 배터리부의 CMV 측정장치를 나타내는데, (+)단자 CMV는 접지선과 배터리의 양극 사이의 전압으로, (-)단자는 접지선과 배터리의 음극 사이의 전압으로 모델링한다. 또한, 그림 6(b)는 서지발생장치를 나타내는데, PSCAD/EMTDC 라이브러리의 surge generator를 가변 전압원에 입력하여 뇌서지를 모델링한다.



(a) 배터리부 CMV 측정장치

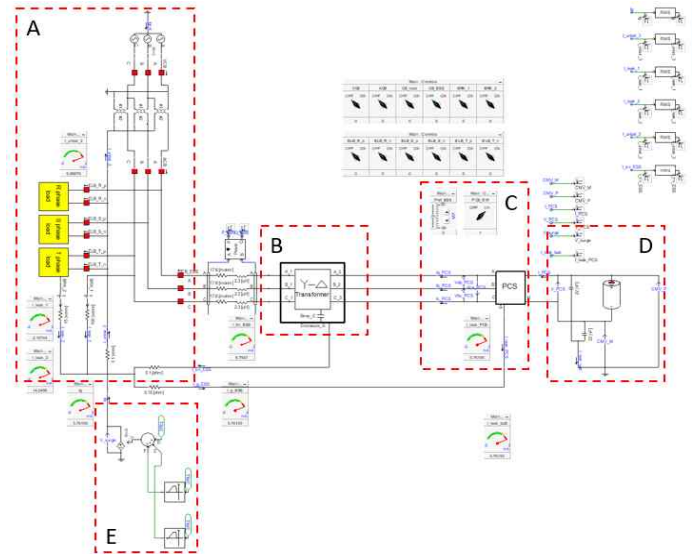


(b) 서지 발생장치

[그림 6] CMV 측정장치 및 서지발생장치 모델링

3.5 전체 시스템

상기의 내용을 종합하여, 전체 시스템을 모델링하면 그림 7과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 7의 A부분은 수용가의 수·배전용 변압기부를 나타내고, B부분은 외함접지에 의한 기생커패시턴스를 고려한 연계용 변압기부, C부분은 IGBT 등으로 구성된 PCS부, D부분은 배터리 랙과 DC전로로 구성된 배터리 부, E부분은 뇌서지발생 장치부를 나타낸다.



[그림 7] 전체 시스템 모델링

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 조건

상기의 모델링을 바탕으로 Sharing용 ESS의 낙뢰에 의한 CMV 특성을 확인하기 위하여, 배터리와 변압기의 기생 커패시턴스, 배터리의 전압, 연계변압기, PCS 스위칭 주파수 등 시뮬레이션 조건을 상정하면 표 1과 같다.

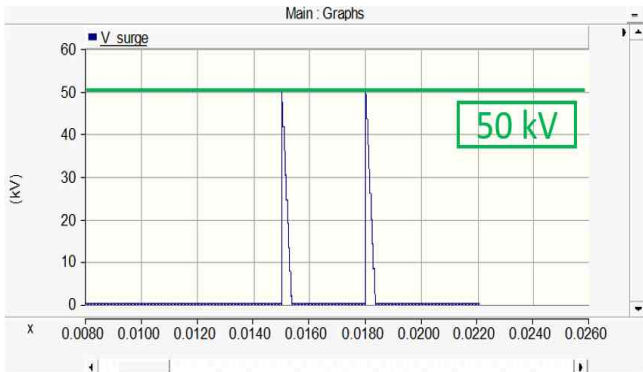
[표 1] 시뮬레이션 조건

| 항 목 | 내 역 |
|---------------------|----------|
| 배터리부의 기생 커패시턴스 | 20nF |
| 연계용 변압기부의 기생커패시턴스 | 10nF |
| Sharing용 ESS의 연계변압기 | 380/380V |
| 배터리 정격전압 | 700V DC |
| PCS의 스위칭 주파수 | 10kHz |

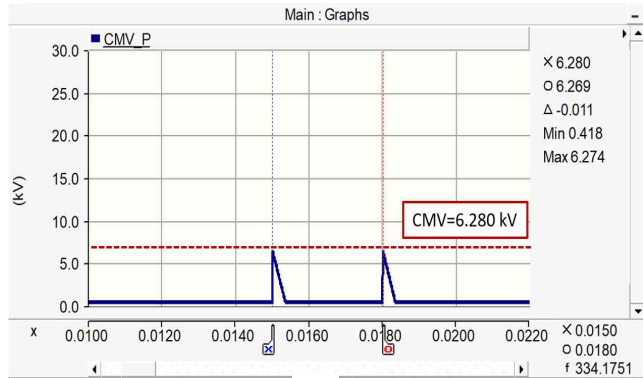
4.2 연계변압기의 외함접지를 고려하지 않은 경우의 CMV 특성

상기의 시뮬레이션 조건을 바탕으로, ESS용 연계변압기

의 외함접지를 고려하지 않은 경우, 낙뢰에 의한 CMV의 특성은 그림 8과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 8(a)는 Sharing용 ESS를 설치한 수용가의 대지전위를 나타내는데, 대지전위는 초기에 0 [V]를 유지하지만, 두 번의 낙뢰가 발생할 때마다 50 [kV]까지 상승하고 0.002 [s] 내로 다시 0 [V]로 돌아가는 것을 알 수 있다. 이때, Sharing용 ESS의 CMV는 그림 8의 (b)와 같이 나타낼 수 있는데, 유입된 뇌서지가 수용가의 임피던스로 인하여 CMV 6.28 [kV]까지 상승하는 것을 확인할 수 있다. 여기서, 이 값을 NMV로 환산하면 13 [kV]로 계산되므로, 이러한 뇌서지에 장기간 노출될 경우, 배터리측의 절연성능에 악영향을 줄 가능성이 있다.



(a) 대지전위



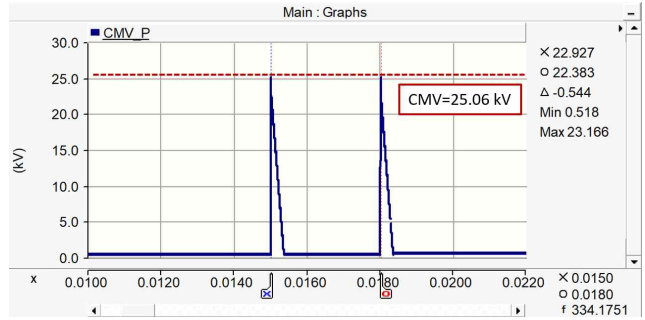
(b) DC측 CMV 특성

[그림 8] 연계변압기의 외함접지를 고려하지 않은 경우의 낙뢰성 CMV 특성

4.3 연계변압기의 외함접지를 고려한 경우의 CMV 특성

ESS용 연계변압기의 외함접지를 고려한 경우, 낙뢰에 의한 CMV의 특성은 그림 9와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 연계변압기의 각 상의 권선과 외함 사이의 커패시턴스는 10 [uF]로 상정한다. 이때, 50 [kV]의 뇌서지가 수용가로 유입될 경우, 25.06 [kV]의 CMV가 ESS에서 발생하는데, 이 값을 NMV로 환산하면 51.2 [kV]로 산정되므로, 몇 번의 뇌서지가 발생하여도 ESS에 심각한 영향을 미칠 수 있고,

Sharing용 ESS에서 화재가 발생하는 직접적인 위협으로 작용할 수 있다.



[그림 9] 연계변압기의 외함접지가 고려된 낙뢰성 CMV 특성

5. 결론

본 논문은 연계변압기의 변압기 권선과 외함사이의 기생 커패시턴스에 의한 낙뢰성 CMV를 분석하기 위하여, Sharing용 ESS의 낙뢰에 의한 CMV 발생 메커니즘을 제시하고, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 수용가의 수·배전설비, Sharing용 ESS, PCS, 뇌서지 발생장치부 등으로 구성된 Sharing용 ESS의 모델링을 수행한다. 이를 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 50 [kV]의 뇌서지가 발생할 경우, 연계용변압기의 외함접지를 고려하지 않으면 CMV가 6.5 [kV]까지 상승하지만, 연계변압기의 외함접지를 고려할 경우, CMV가 25.06 [kV]까지 상승하여 배터리에 심각한 영향을 줄 수 있고, 화재의 직접적인 원인으로 작용할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.20206910100090, No.20214910100010)로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Woo-Hyun Hwang, "Policies and Grid Reorganization Direction to Expand the Supply of Electric Vehicles in Fourth Industrial Revolution," the world of electricity in The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 68, no. 1, pp. 8-16, 2019.