

보호기기 동작에 의한 Sharing용 ESS의 CMV 특성에 관한 연구

조성덕***, 태동현*, 김지명*, 김성삼**, 노대석*

*한국기술교육대학교, **한국폴리텍대학교

e-mail:dlwkd@kopo.ac.kr

Characteristics of CMV in Sharing ESS Based on the Operation of Protection Devices

Sung-Duck Cho***, Dong-Hyun Tae*, Ji-Myung Kim*, Kim Sung-Sam** and Dae-Seok Rho*

*Dept. of Electrical, Electronic & Communication Engineering, Koreatech

**Korea Polytechnics

요약

최근, 전기자동차의 폐배터리를 사용하여 전력사용량 편차가 큰 중소건물(또는 사업장)들이 ESS를 공유하여, 필요한 시기에 ESS의 충·방전 운전을 통해 고객에게 전력사용량 요금 절감 효과를 제공하고, 전력계통 수요의 안정화에 기여할 목적으로 도입된 Sharing용 ESS 서비스의 실증사업이 진행되고 있다. 하지만, ESS에서 발생한 화재사고로 인하여, 이동하며 빈번하게 계통에 연계되는 Sharing용 ESS의 특성상 ESS설비와 작업자에 대한 안전성의 확보가 필수적으로 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 ESS의 CMV에 대한 안전성을 확보하기 위하여, 전력계통 상용해석 소프트웨어인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 수배전설비부, PCS부, 배터리부 및 CMV 발생장치부로 구성된 Sharing용 ESS에 대한 모델링을 제시한다. 이 모델링을 바탕으로, PCS와 배터리에서 내부단락이 발생하는 경우에 대하여 Sharing용 ESS의 단락사고 특성을 분석한 결과, 사고전류의 차단을 위하여 설치된 배터리측의 퓨즈가 동작하면, 매우 큰 CMV가 서지 형태로 발생하여 ESS 구성품의 절연내력을 파괴할 가능성이 있음을 알 수 있었다.

1. 서론

최근, 향후 다량의 폐배터리 처리 문제를 해결하기 위한 방안 중 하나로, 전기자동차의 폐배터리를 재활용한 이동형 Sharing용 ESS 서비스 실증사업이 진행되고 있다. 폐배터리를 이용한 Sharing용 ESS 서비스는 전력사용량 편차가 큰 중소건물(또는 사업장)들이 ESS를 공유하여, 필요한 시기에 ESS의 충·방전 운전을 통해 고객에게 전력사용량 요금 절감 효과를 제공하고, 전력계통 수요의 안정화에 기여할 목적으로 도입된 개념이다. 하지만, 2017년 8월에 발생한 고창 전력시험센터의 ESS 화재를 시작으로 경산 변전소의 F/R용 ESS, 군산 태양광발전연계용 ESS, 등 현재까지 발생한 36건의 화재사고로 인하여, Sharing용 ESS를 상용화하기 위해서는 이동하며 빈번하게 계통에 연계되는 특성상 ESS설비와 작업자에 대한 안전성의 확보가 필수적으로 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 ESS의 사고특성을 분석하고 안전성을 확보하기 위하여, 전력계통 상용해석 소프트웨어인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 수배전설비부, PCS부, 배터리부 및 CMV 발생장치부로 구성된 Sharing용

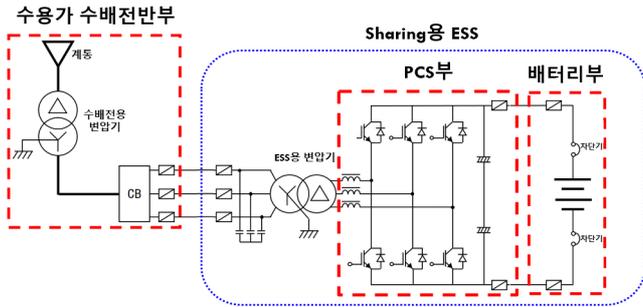
ESS에 대한 모델링을 수행한다. 또한, 제안한 모델링을 바탕으로 PCS와 배터리에서 내부단락이 발생하는 경우에 대하여 Sharing용 ESS의 단락사고특성을 분석한 결과, 사고전류의 차단을 위하여 설치된 배터리측의 퓨즈가 동작하면, 매우 큰 CMV가 서지 형태로 발생하여 ESS 구성품의 절연(보통 절연내력은 3[kV]임)을 파괴할 가능성이 있음을 알 수 있었고, PCS의 퓨즈가 사고전류에 의해 동작하면, DC전로 부분에서 CMV가 발생하지만, 이 값이 절연내력 이내로 유지되어 문제점이 발생하지 않음을 알 수 있었다.

2. 보호기기 동작에 의한 CMV 발생 메커니즘

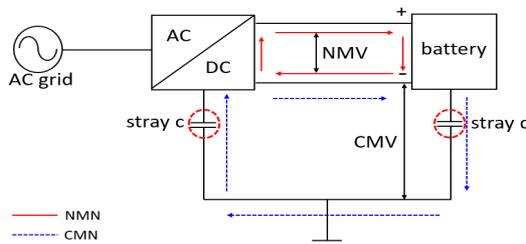
2.1 CMV의 특성

Sharing용 ESS는 그림 1과 같이 수용가의 수·배전반부, PCS부(필터, IGBT, DC 커패시터), 배터리 부(배터리, 보호장치)로 구성되어 있으며 배선용 차단기를 통하여 수용가에 연계 된다. 또한, PCS부의 IGBT는 전력변환을 목적으로 5~10[kHz]의 고주파수 스위칭 동작을 하며, CMN(common mode noise)과 NMN(normal mode noise)이라는 노이즈가 발생한다. CMN의 전압 형태인 CMV와 NMN의 전압 형태 NMV(normal mode voltage)

는 그림 2와 같이 나타난다. 여기서, NMN은 배터리 양극 사이의 전압이고, CMV는 배터리의 (+)극과 접지 사이 및 (-)극과 접지 사이에 발생하는 전압이다.

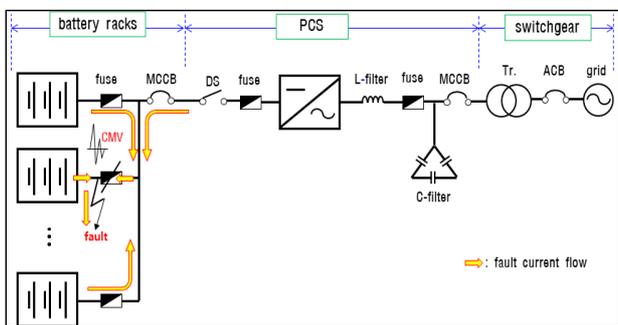


[그림 1] Sharing용 ESS의 구성도



[그림 2] 노이즈 발생 메커니즘의 개념도

2.2 보호기기 동작에 의한 CMV 발생 메커니즘
 일반적으로, ESS는 병렬 연결된 여러 대의 배터리 랙과 충·방전을 수행하는 PCS, 연계용변압기, 보호기기 등으로 구성되며, 그림 3과 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, 사고전류는 계통전원과 배터리에서 공급되며, 특히 DC 전로부분에서 사고가 발생하는 경우 매우 큰 사고전류가 발생할 수 있다. 이때, 사고전류의 차단을 위하여 설치된 퓨즈 또는 차단기가 동작하는 경우, 순간적으로 매우 큰 개폐서지에 의하여 CMV가 발생할 수 있고, 절연강도가 약한 부분에서 절연이 파괴되어, 2차 사고를 유발하여 ESS의 화재로 이어질 수 있다.

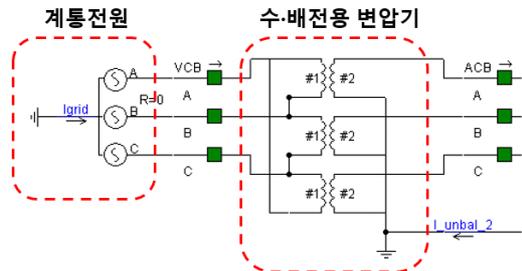


[그림 3] Sharing용 ESS에서의 CMV 측정위치

3. PSCAD/EMTDC에 의한 Sharing용 ESS의 CMV 모델링

3.1 수용가의 수·배전설비부 모델링

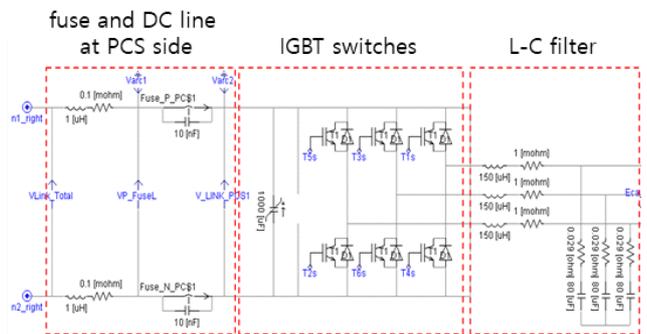
수용가의 계통전원, VCB 및 ACB, 수·배전용 변압기로 구성된 수·배전설비부를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링하면, 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 수·배전용 변압기는 Δ -Yg결선방식을 사용하며, 변압비는 22.9kV/380V이고, 2차측은 3상 4선식 저압 배전선로로 구성된다.



[그림 4] 수·배전설비부의 모델링

3.2 Sharing용 ESS의 PCS부 모델링

배터리의 충·방전 기능을 가진 PCS는 그림 5와 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.

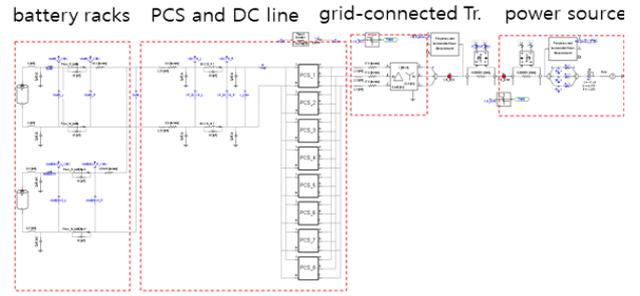


[그림 5] PCS부의 모델링

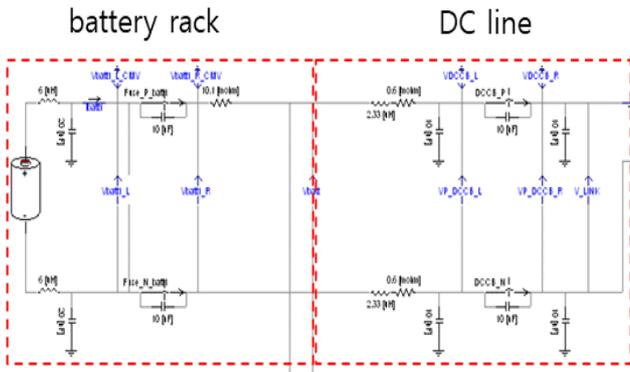
3.3 Sharing용 ESS의 배터리부 모델링

PSCAD/EMTDC를 이용하여 배터리 랙 및 DC전로를 모델링하면, 그림 6과 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서와 같이, 배터리 랙은 배터리와 퓨즈로 구성되고, DC전로

는 DC 차단기와 전로로 구성된다. 여기서, 배터리는 내부 임피던스와 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.



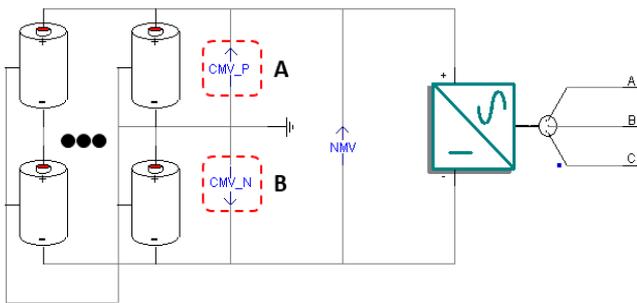
[그림 8] 전체 시스템 모델링



[그림 6] 배터리부의 모델링

3.4 CMV 발생장치부 모델링

배터리 부의 CMV 모델링은 PSCAD/EMTDC를 사용하여 그림 7과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, PCS는 실 계통 사이트와 동일하게 수용가 연계용 변압기의 Y결선을 접지하며, (+)단자 CMV의 모델링은 그림 7의 A와 같이 접지선과 배터리의 양극 사이의 전압으로 나타내고, (-)단자 CMV 모델링은 그림 7의 B와 같이 접지선과 배터리의 음극 사이의 전압으로 나타낸다.



[그림 7] 배터리부 CMV 모델링

3.5 전체 시스템 모델링

상기에서 제시한 모델링을 바탕으로, ESS의 전체 시스템을 나타내면 그림 8과 같다. 이 그림에서와 같이, 전체시스템은 배터리랙, PCS, 보호기기(SPD), 등으로 구성된다. 여기서, 1MWh급 배터리는 13개의 배터리랙을 병렬로 구성하며, 1번 랙을 제외한 2~13번 랙은 하나의 랙으로 등가화 시킨다. 또한, 1MW급 PCS는 125kW급 unit 8개 병렬로 연결하여 구성한다.

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 조건

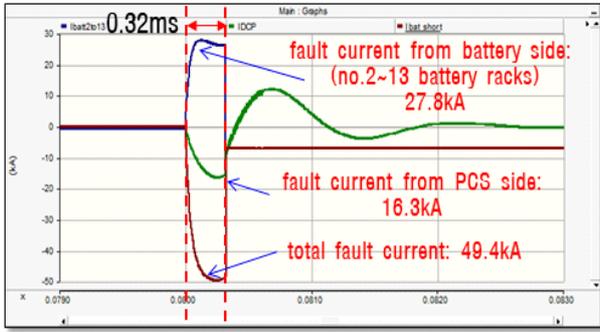
본 논문에서 제시한 모델링을 바탕으로, ESS의 사고특성을 분석하기 위하여, 표 1과 같이 시뮬레이션 조건을 상정한다. 여기서, Case I은 1번 배터리랙에서 단락이 발생한 경우이며, 사고전류에 의하여 0.32[ms] 이후에 퓨즈가 동작하는 것으로 상정하고, 단락저항은 0.1[mΩ]이다. 또한, Case II는 8번 PCS의 DC측에서 Arm 단락이 발생한 경우이며, 사고전류에 의하여 0.18[ms] 이후에 퓨즈가 동작하는 것으로 상정하고, 단락저항은 Case I과 동일하다.

[표 1] 시뮬레이션 조건

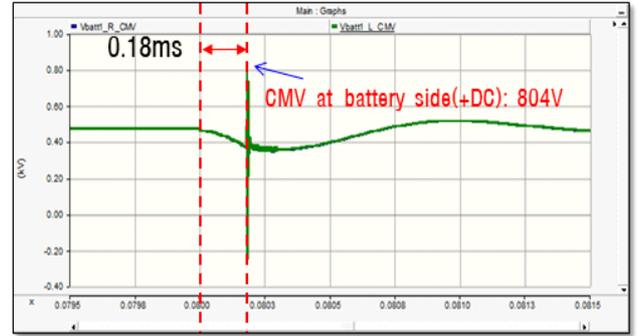
cases	fault locations	fuse operating time	short-circuit resistance
case I	short-circuit fault at battery rack(no.1)	0.32[ms]	0.1[mΩ]
case II	short-circuit fault at PCS arm(no. 8)	0.18[ms]	

4.2 배터리랙 내부 단락사고 특성(Case I)

시뮬레이션 조건을 바탕으로 배터리측에서 단락사고가 발생한 경우의 사고특성을 나타내면 그림 9와 같다. 여기서, 그림 9(a)는 DC 전로에 흐르는 사고전류 특성을 나타낸 것으로, 사고발생 이후 배터리측 퓨즈가 동작하는 시점인 0.32[ms] 동안, 사고지점으로 49.4[kA]의 단락전류가 흐르며, 이 중에서 PSC측(계통)으로부터 16.3[kA]의 사고전류가 공급되고, 2번~13번 배터리랙에서는 총 27.8[kA]의 사고전류가 공급됨을 알 수 있다. 또한, 그림 9(b)는 단락사고시의 DC 전로의 서지전압 특성을 나타낸 것으로, 퓨즈 동작시점인 0.32[ms] 이후, DC측 전로의 CMV 전압은 최대 8.82[kV]까지 상승함을 알 수 있다. 즉, 사고전류의 차단을 위하여 설치된 배터리측의 퓨즈가 동작하면, 매우 큰 CMV가 서지 형태로 발생하므로, ESS 구성품의 절연(보통 절연내력은 3[kV]임)을 파괴할 가능성을 알 수 있다.

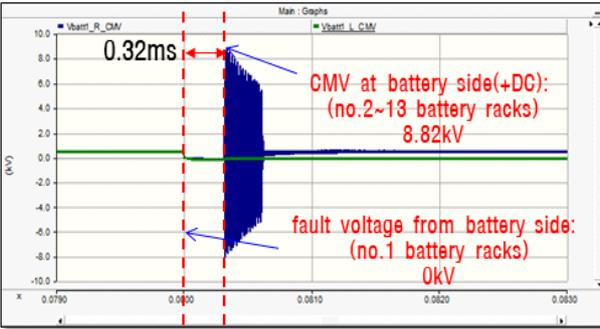


(a) DC측 사고전류 특성



(b) DC측 CMV 특성

[그림 10] PCS 내부 단락시 사고전류 및 CMV 특성



(b) DC측 CMV 특성

[그림 9] 배터리랙 내부 단락시 사고전류 및 CMV 특성

4.3 PCS 내부 단락사고 특성(Case II)

제시한 시뮬레이션 조건에 따라, PCS 8번 unit의 Arm에서 단락이 발생한 경우의 사고특성을 나타내면 그림 10과 같다. 여기서, 그림 10(a)는 단락사고 시 DC 전로의 사고전류 특성을 나타낸 것으로서, 사고발생 이후 PCS측 퓨즈가 동작하는 시점인 0.18[ms] 동안 사고지점으로 49.3[kA]의 전류가 흐르며, 1번~7번 PCS unit에서는 총 5.8[kA]의 사고전류가 공급됨을 알 수 있다. 또한, 그림 10(b)는 단락사고 시의 DC 전로의 서지전압 특성을 나타낸 것으로, 퓨즈 동작시점인 0.18[ms] 이후, DC측 전로의 CMV 전압은 최대 0.8[kV]까지 상승함을 알 수 있다. 즉, PCS의 퓨즈가 사고전류에 의해 동작하면, DC전로 부분에서 CMV가 발생하지만, 이 값이 절연내력 이내로 유지되어 문제점이 발생하지 않음을 알 수 있었다.

5. 결론

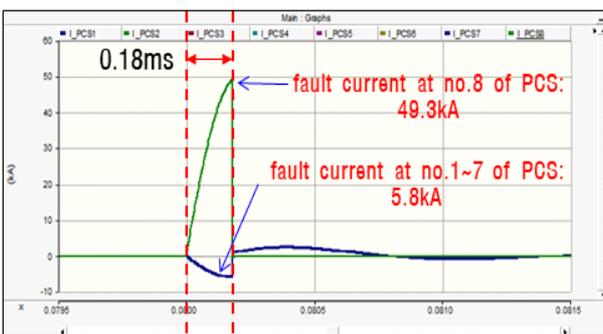
본 논문에서는 Sharing용 ESS의 배터리랙 또는 PCS 내부에서 단락사고가 발생할 경우, 보호기기의 동작에 따른 서지형 CMV 발생메커니즘을 제시하고, 이를 바탕으로 모델링을 수행하여 사고전류 및 CMV 특성을 분석한 결과, 배터리측에서 단락사고가 발생한 경우 높은 사고전류로 인하여 보호기기인 퓨즈가 동작하여 사고전류를 차단하지만, 매우 큰 CMV 전압이 발생하여 ESS의 절연이 파괴될 가능성이 있음을 확인할 수 있었다. 한편, PCS의 퓨즈가 사고전류에 의해 동작하면, DC전로 부분에서 CMV가 발생하지만, 이 값이 절연내력 이내로 유지되어 문제점이 발생하지 않음을 알 수 있었다.

감사의 글

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



(a) DC측 사고전류 특성