

## PSCAD/EMTDC를 이용한 ESS의 직류 측 단락사고해석 모델링

최성문\*, 신건\*, 정민철\*, 김승호\*\*, 김미영\*\*\*, 노대석\*

\*한국기술교육대학교, \*\*세방전기, \*\*\*호원대학교

e-mail:moon9507@koreatech.ac.kr

### Modeling of Short Circuit Fault Analysis in DC side of ESS using PSCAD/EMTDC

Sung-Moon Choi\*, Jian Shen\*, Min-Chul Jung\*, Seung-Ho Kim\*\*, Mi-Young Kim\*\*\*, and Dae-Sek Rho\*

\*Korean University of Technology and Education, \*\*Global Electricity Co. Ltd, \*\*\*Howon University

#### 요 약

최근, 환경오염 문제와 기후변화에 대응하기 위하여 재생에너지원의 출력 안정화, 수요관리 및 주파수 조정 등 다양한 기능을 가지고 있는 에너지저장장치(ESS: energy storage system)의 활발하게 설치되고 있다. 특히, 피크저감을 목적으로 ESS를 설치 및 운용하고 있는 특 고압 간이수전설비의 경우, 자동 고장 구분개폐기(ASS: auto section switch)가 수용가 수전 인입점에 의무적으로 설치되어 전력회사 측 리클로저와 보호협조를 통해 사고구간을 분리한다. 그러나 절연파괴 및 작업자의 설치부주의로 인해 ESS의 직류 측에서 단락사고가 발생하는 경우, 사고지점에 설치된 직류 측 보호기기가 우선적으로 동작해야 하지만, 수배전용 변압기 및 PCS의 리액터에 의한 사고전류의 감소로 인해, ASS가 먼저 동작하여 정전을 발생시킬 수 있다. 이러한 문제점을 검증하기 위하여, 본 논문에서는 배전계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 사용하여 수배전설비부, PCS부, 배터리부, 직류 전로 사고발생 장치부로 구성된 ESS의 직류 측 단락사고 해석 모델링을 제시한다. 이를 바탕으로 ASS 및 ESS의 직류 측 보호기기의 동작 특성을 해석한 결과, 직류 전로에 단락사고가 발생할 경우, 직류 측 보호기기 보다 ASS가 먼저 동작하여 정전을 발생시킬 가능성이 있음을 알 수 있었다.

### 1. 서 론

최근, 환경오염 문제와 기후변화에 대응하기 위하여 재생에너지원의 출력 안정화, 수요관리 및 주파수 조정 등 다양한 기능을 가지고 있는 에너지저장장치(ESS: energy storage system)의 활발하게 설치되고 있다. 특히, 피크저감을 목적으로 ESS를 설치 및 운용하고 있는 300 KVA 이상 1,000 KVA 이하 특 고압 간이수전설비는 의무적으로 수용가의 인입점에 자동 고장 구분개폐기(ASS: auto section switch)가 설치되어 있으며, ASS는 설정 값 미만의 고장전류는 자동으로 차단하는 역할을 수행하며, 설정 값 이상의 고장전류가 흐르는 경우, 전력회사측의 보호장치(recloser 혹은 변전소 CB)가 동작되어 무 전압 상태에서 차단기의 접점을 개방하여 고장구간을 분리한다. 그러나, ESS의 절연파괴 및 작업자의 설치부주의로 인해 ESS의 직류전로에서 단락사고가 발생하는 경우, 직류전로 측에서 발생한 사고전류가 수배전용 변압기 및 PCS의 리액터와 같은 설비들에 의해 감소되어, ESS의 직류전로 측 보호기기가 동작하지 못하고 ASS가 동작하여 해당 선로를 통해 수전 받는 수용가 전체에 정전이 발생한 사례가 보고되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 문제를 검증하

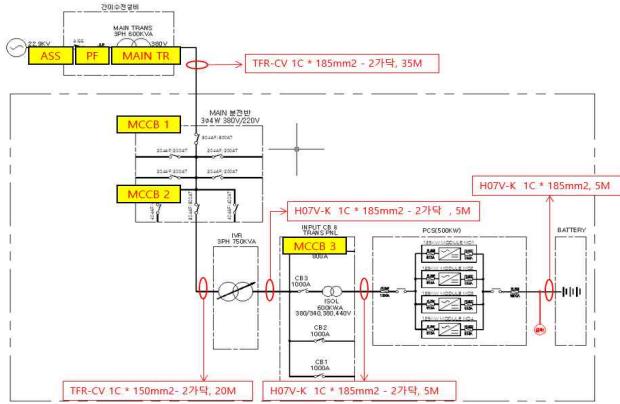
기 위하여 배전계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 사용하여 수배전설비부, PCS부, 배터리부, DC 전로 사고 발생 장치부로 구성된 ESS의 직류 측 단락 사고 해석 모델링을 제시한다. 이 모델링을 바탕으로, ASS 및 ESS의 직류 측 보호기기의 동작 특성을 해석한 결과 보호기기 T-C 동작 곡선 특성에 따라, 사고가 발생한 직류 측의 보호기기 보다 ASS가 먼저 동작되어 정전을 발생시킬 가능성이 있음을 알 수 있었다.

### 2. ESS의 직류전로 단락사고에 의한 정전사례 분석

#### 2.1 ESS가 설치된 사이트의 전체 구성

일반적으로 ESS가 설치된 사이트는 그림 1과 같이, 수배전설비부, 메인 분전함부, PCS부 및 병렬 연결된 여러 대의 배터리 랙으로 구성된다. 여기서, 수배전설비부는 ASS(자동고장 구분개폐기), 전력용 퓨즈, 메인 변압기로 구성되어 한전에서 공급 받은 고압전력을 저압전력으로 변압하는 역할을 수행한다. 또한, 메인 분전함부는 MCCB(molded case circuit

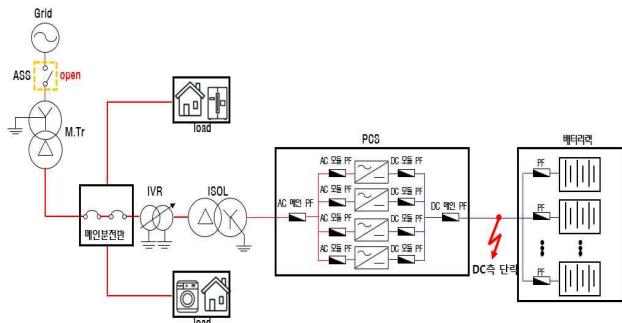
breaker)를 통해 전류의 이상을 감지하여 선로가 출열에 의해 손상되기 전 선로를 차단하는 역할을 수행한다. 한편, PCS부는 AC main 퓨즈, AC module 퓨즈 및 DC main 퓨즈, DC module 퓨즈와 IGBT 모듈로 구성되고 스위칭 통해 DC 전원을 120° 위상차를 갖는 3상 AC로 변환하며, 배터리 랙은 배터리와 퓨즈로 구성되고, DC 전로는 DC 퓨즈와 전로로 구성된다.



[그림 1] ESS가 설치된 사이트의 구성

## 2.2 ESS의 직류 전로 단락사고에 의한 정전사례

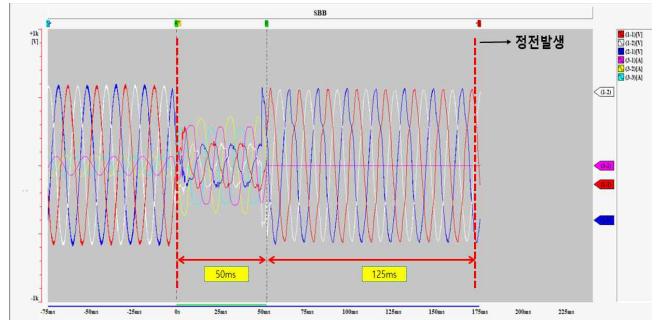
2.1절과 같은 구성을 가진 해당 사이트의 ESS는 수용가족에 설치되어 사용전력에 대한 피크저감을 주목적으로 사용된다. 하지만 그림 2와 같이 ESS에서 DC측 단락사고가 발생하는 경우, DC측은 수배전용변압기, PCS의 리액터로 인해 사고전류가 감소하여, 사고구간을 분리하지 못하고 ASS가 우선 동작하여, 메인 분전반과 연결된 ESS와, 다른 수용가 부하들이 전부 정전될 가능성이 있다.



[그림 2] ESS의 직류 측 단락사고 개념도

또한, 그림 3은 DC측 단락사고가 발생한 사이트의 AC측 전압을 측정한 것으로 이 그림에서와 같이 사고 발생 후 50ms 정도 전압파형이 흔들리다, 125ms 이후에는 전압파형이 측정되지 않음을 알 수 있어 완전한 정전이 발생됨을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 ESS의 직류전로에서 단락사고가 발생하는 경우, 단락사고특성을 검증하기 위하여 정전

이 발생된 사이트를 배전계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 사용하여 ESS의 직류 측 단락사고 해석 모델링을 수행한다.

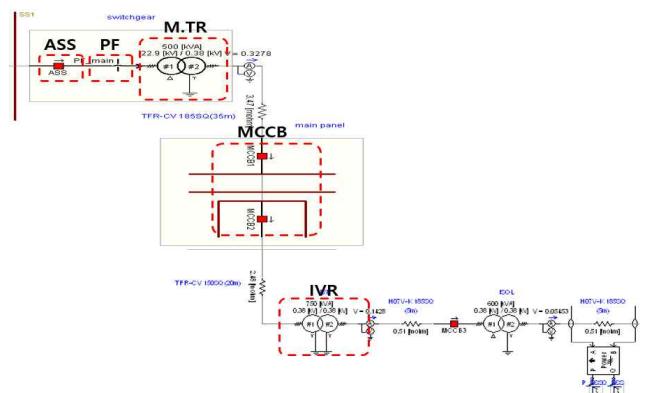


[그림 3] DC 단락사고로 인한 정전

## 3. PSCAD/EMTDC를 이용한 수요관리용 ESS의 사고해석 모델링

### 3.1 수배전설비부 모델링

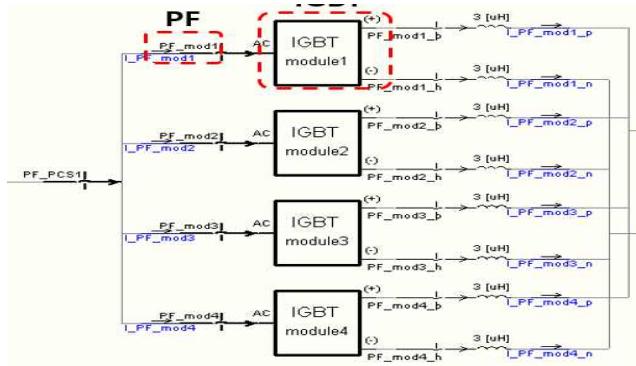
한전에서 공급 받은 전력을 각각의 수용가에서 필요로 하는 만큼 전력을 분배해주는 기능을 가진 수배전설비는 그림 4와 같이, ASS, 전력용 퓨즈, 메인 변압기, MCCB, IVR로 구성된다. 여기서, ASS는 설정 값 미만의 고장전류는 자동차단 해서 차단기의 역할을 수행하며, 설정 값 이상의 고장전류가 흐르는 경우, 전력회사측의 보호장치(recloser 혹은 변전소 CB)가 동작되어 무전압 상태에서 차단기의 접점을 개방하여 고장전류를 제거한다. 또한, 전력용 퓨즈는 사고전류가 발생한 경우 사고 구간을 신속하게 분리하는 역할을 하며, 메인 변압기는 특 고압 및 고압을 저압으로 변압하는 목적으로 사용된다. 한편, MCCB는 MCCB는 과부하 및 단락 등의 이상 발생 시 전류를 차단하는 역할을 수행하며, IVR은 상용전원으로부터 공급되는 전압변동을 자동적으로 조정하여, 부하에 일정한 전압을 공급한다.



[그림 4] 수배전설비부 모델링

### 3.2 PCS부 모델링

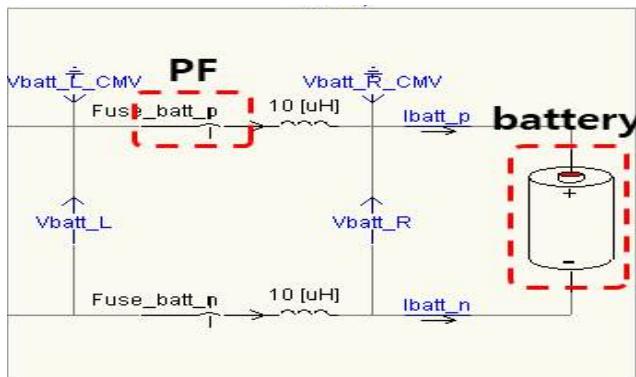
배터리의 충·방전 기능을 가진 PCS는 그림 5와 같이 4개의 IGBT 모듈, 전력용 퓨즈, 등으로 구성된다. 여기서, IGBT 모듈은 DC 전원을 120° 위상차를 갖는 3상 AC로 변환하고, 전력용 퓨즈는 각 모듈마다 설치되며, 고장구간을 신속하게 분리한다.



[그림 5] PCS부 모델링

### 3.3 배터리부 모델링

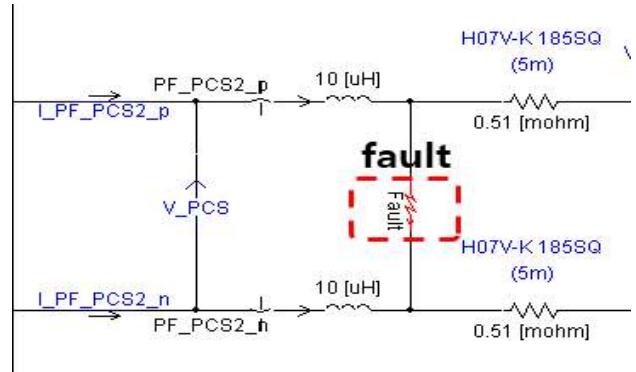
PSCAD/EMTDC를 이용하여 배터리부를 모델링하면 그림 6과 같다. 배터리부는 배터리 및 전력용 퓨즈로 구성되고, 배터리는 내부 임피던스와 기생 커패시턴스, 전압원으로 구성되며, 배터리의 내부 임피던스는 2.9[mΩ], 전체 배터리 부용량은 250[Ah]로 상정한다.



[그림 6] 배터리부 모델링

### 3.4 직류 전로 사고발생 장치부 모델링

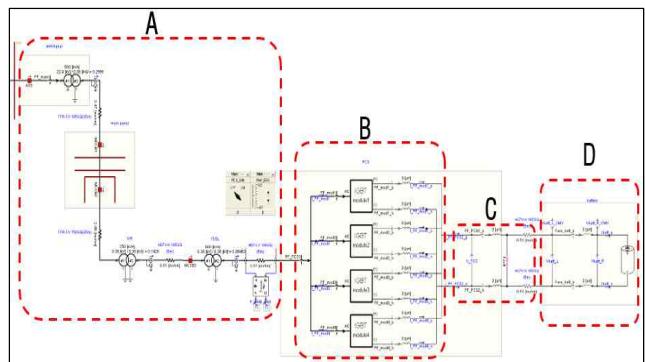
수요관리용 ESS의 사고해석 모델링을 PSCAD/EMTDC를 사용하여 직류 전로에서 단락사고가 발생한 상황을 모의하면 그림 7과 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서와 같이 수용 관리용 ESS의 직류 전로 (+)와 (-)를 단락하여 직류전로 사고해석을 수행한다.



[그림 7] 직류 전로 사고발생 장치부 모델링

### 3.5 전체 시스템 모델링

상기의 내용을 종합하여, 전체 시스템을 모델링하면 그림 8과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 8의 A부분은 ASS, PF, 메인 변압기, IVR로 구성된 수배전설비부를 나타내고, B부분은 IGBT, 전력용 퓨즈 등으로 구성된 PCS부, C부분은 배터리 랙과 DC전로로 구성된 배터리 부를 나타낸다. 또한 D부분은 수요관리용 ESS의 직류 전로 (+)와 (-)단락시켜 사고해석을 수행한다.



[그림 8] 전체 시스템 모델링

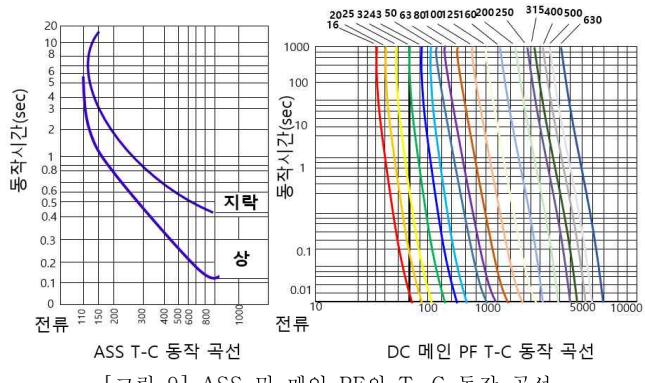
### 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

#### 4.1 시뮬레이션 조건

ESS의 직류전로 단락사고 특성을 검증하기 위하여, 수배전설비부, PCS부, 배터리부 등의 시뮬레이션 조건을 상정하면 표 1과 같다. 여기서, 수배전설비부의 메인 변압기의 용량은 500 [KVA]이며, 이에 따라 부하 전류는 12 [A]로 상정한다. 또한, ASS의 최소 동작전류는 부하 전류의 3배이므로 30 [A]로 상정한다. 한편, 배터리부의 전압은 720[V], 용량은 180[kWh], 총 내부저항은 174[mΩ]이며, PCS의 스위칭 주파수는 4[kHz]를 상정한다. 또한, 그림 9는 보호기기의 T-C 동작 곡선을 나타낸 것으로 이 그림에서와 같이 각 보호기기마다 사고전류의 크기에 따른 동작 특성을 가지고 있다.

[표 1] 시뮬레이션 및 시험조건

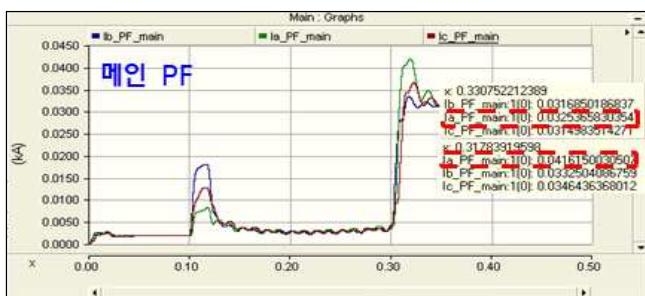
items	component	contents
power distribution facility section	ASS	25.8kV, 30A/15kA
	PF	25.8kV, 25A/125A
	M.TR( $\Delta$ -Y)	500kVA, 22.9/0.38kV %Z: 5.43% $\Omega$
	MCCB	6.2kA/42kA (40ms)
PCS section	AC main fuse	630A/100kA
	AC module fuse	315A/100kA
	IGBT	switching frequency : 4kHz L-C filter: 40uH/300uF
	DC main fuse	500A/100kA
	DC module fuse	315A/100kA
battery section	battery	60s 1p 720V, 180kWh 174m $\Omega$



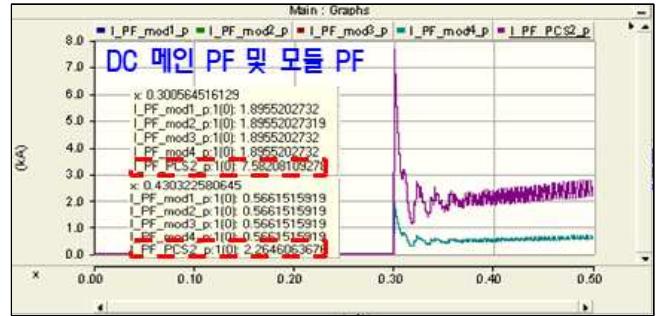
[그림 9] ASS 및 메인 PF의 T-C 동작 곡선

#### 4.2 ESS의 직류전로 단락 시 사고특성

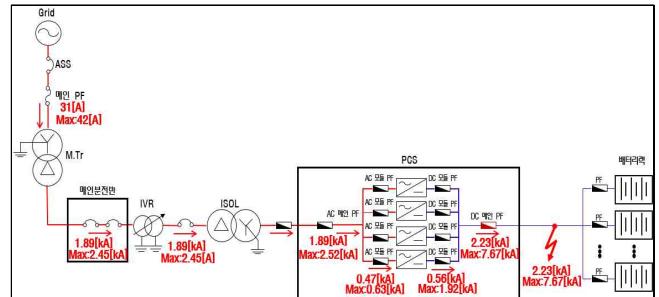
4.1절의 시뮬레이션 조건을 바탕으로 ESS의 직류전로 단락사고 AC측 특성을 구하면 그림 10과 같다. 여기서, 메인 PF에 흐르는 전류는 최소 31 [A]에서 최대 42 [A]가 산정되어 T-C 동작 곡선에 의해 83ms에 동작된다. 또한, 그림 11은 직류전로 단락사고 시 직류 측 특성을 나타내며, DC 메인 PF는 최소 2.23에서 최대 7.67 [kA]가 산정되어 T-C 동작 곡선에 의해 최소 700[ms]에서 최대 10[ms]에 이내에 동작하는 것을 알 수 있다. 따라서, ASS가 T-C 동작 곡선에 의해 직류 측 보호기기가 보다 우선 동작할 가능성이 있다. 한편, 그림 12는 PSCAD/EMTDC 결과에 따른 사고전류 흐름을 나타낸다.



[그림 9] ESS의 직류전로 단락사고 AC측 특성



[그림 10] ESS의 직류전로 단락사고 DC측 특성



[그림 11] ESS의 직류전로 단락사고 전류 흐름

#### 5. 결 론

본 논문에서는 수용가용 ESS의 직류전로에 단락사고가 발생하는 경우, 직류 측에서 발생한 사고전류가 수배전용 변압기 및 PCS의 리액터와 같은 기기들로 인해 감소하여, 보호기기의 T-C 동작 특성에 의해 직류 사고구간을 분리하지 못하고 AC측 보호기기가 우선 동작하여 정전이 발생될 가능성 있음을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.20182410105070)로서, 관계부처에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] S. H. Jeon, Y. K Kim, J. S. Jung, S.D Kim, "Feasibility Analysis of Tariff System for the Promotion of Energy Storage Systems", New & Renewable Energy 2019. 9 Vol. 15, No. 3