

# PSCAD/EMTDC의 모델링에 따른 UPS의 운용 모드별 사고전류 특성에 관한 연구

이승호\*, 이강유\*, 이진호\*, 송두리\*, 노대석\*

\*한국기술교육대학교 전기공학과

e-mail: seung77ho45@koreatech.ac.kr

## Fault Current Characteristics for UPS Operating Mode Based on PSCAD/EMTDC Modeling

Seung-Ho Lee, Gang-You Lee, Jin-ho Lee, Doo-ri Song, Dae-Seok Rho\*

\*Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

### 요약

최근, 인공지능, 빅 데이터 기술의 상용화에 따라 데이터 센터의 수요가 급증하고 있으며, 이에 따라 전력품질 문제에 효과적으로 대응할 수 있는 리튬이온 배터리 기반 UPS의 도입이 증가하고 있다. 하지만, 2025년 9월에 발생한 국가정보 자원관리원 화재를 포함하여 국내의 UPS 화재가 지속적으로 발생하여, UPS의 사고전류를 포함한 전기적 위험요인에 대한 연구의 필요성이 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 UPS를 운용 모드에 따라 온라인 모드와 MG 모드로 구분하고, 사고유형을 AC/DC 컨버터의 LC 필터측 지락, IGBT의 암 단락, DC 전로 지락, 배터리 랙 및 모듈 단락으로 분류한다. 또한, 전력계통 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 UPS부, 사고 발생장치부, 수용가 부하부로 구성된 10kW급 UPS 시험장치의 모델링을 수행한다. 상기에서 제시한 모델링을 바탕으로 운용 모드에 따른 사고유형별 특성을 분석한 결과, 배터리 랙 단락사고 시에 가장 심각한 사고전류가 배터리로부터 발생함을 알 수 있다. 또한, MG 모드의 경우, 온라인 모드에 비해 단락 사고전류가 작고, 배터리로부터 발생하는 지락 사고전류가 크게 나타남을 알 수 있다.

## 1. 서 론

최근, 인공지능, 빅 데이터 기술의 상용화에 따른 대용량 데이터 센터의 수요가 급증하고 있으며, 이에 따라 전압 변동, 서지, 고조파 등의 전력품질 문제에 효과적으로 대응할 수 있는 리튬이온 배터리 기반 무정전 전원장치(uninterruptible power supply, UPS)의 도입이 증가하고 있다[1]. 하지만, 2025년 9월에 발생한 국가정보 자원관리원 화재를 포함하여, 국내의 UPS 화재가 지속적으로 발생하고 있어, UPS의 안전성을 확보하기 위하여, 사고전류를 포함한 전기적 위험요인에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

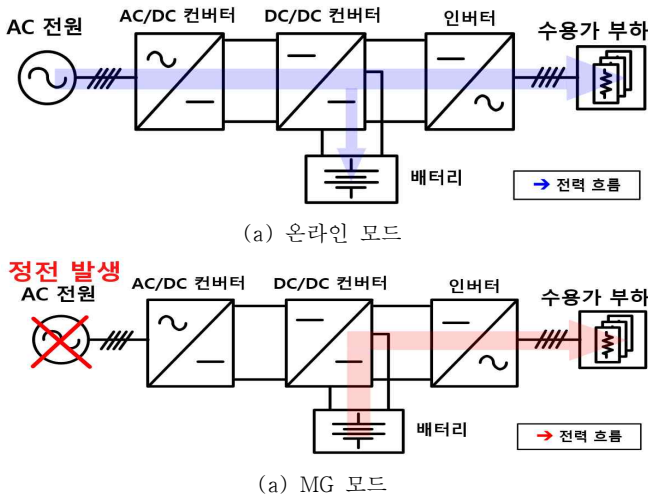
본 논문에서는 UPS를 운용 모드에 따라 온라인 모드와 MG(micro grid, 마이크로그리드)모드로 구분하고, 사고유형을 AC/DC 컨버터의 LC 필터측 지락, IGBT의 암 단락, DC 전로 지락, 배터리 랙 및 모듈 단락으로 분류한다. 또한, 전력계통 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 UPS부, 사고 발생장치부, 수용가 부하부로 구성된 10kW급 UPS 시험장치의 모델링을 수행한다. 상기에서 제시한 사고유형과 모델링을 바탕으로 운용 모드에 따른 UPS 시험장치의 사고유형별 사고전류 특성을 분석한

결과, 모든 사고유형 가운데 배터리 랙 단락사고의 경우 가장 심각한 사고전류가 배터리로부터 발생함을 알 수 있다. 또한, MG 모드의 경우 온라인 모드에 비해 단락 사고전류가 작게 나타나지만, 지락 사고전류는 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있다.

## 2. UPS의 운용 모드 및 사고유형

### 2.1 UPS의 운용 모드

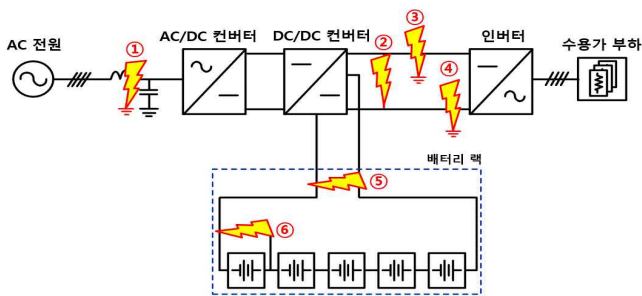
UPS는 데이터 센터, 금융 전산 시스템 등 높은 전원 공급 신뢰도를 요구하는 부하에 고품질의 전력을 지속적으로 공급하는 장치이며, 운용 모드에 따라 그림 1과 같이, 온라인 모드와 MG 모드로 분류할 수 있다. 여기서, 그림 1 (a)는 온라인 모드의 전력 흐름을 나타내는데, 계통의 교류 전력이 AC/DC 컨버터, 인버터를 통해 수용가 부하에 공급된다. 또한, 그림 1 (b)는 MG 모드의 전력 흐름을 나타내는데, 계통 정전 시, 배터리의 직류 전력이 인버터를 통해 수용가 부하에 전력을 공급된다. 즉, 인버터의 입력 DC 전압을 형성하는 전원이 온라인, MG 모드에서 각각 계통과 배터리이므로, UPS의 안정성을 확보하기 위하여, 운용 모드에 따른 사고전류 특성에 대한 분석이 요구된다.



[그림 1] 운용 모드에 따른 UPS의 전력흐름

## 2.2 운용 모드에 따른 UPS의 사고유형

온라인 모드에서의 사고유형은 그림 2와 같이, AC/DC 컨버터의 LC 필터측 지락, IGBT의 암 단락, DC 전로 지락, 배터리 랙 및 모듈 단락 사고로 분류할 수 있다. 여기서, Fig. 2의 ① 지점은 IGBT의 열화에 의하여 발생할 수 있는 AC/DC 컨버터의 LC 필터측 지락사고, ② 지점은 IGBT의 열화 또는 오동작에 의하여 발생할 수 있는 IGBT의 암 단락사고를 나타낸다. 또한, Fig. 2의 ③과 ④ 지점은 DC 전로의 양극 및 음극 측 지락사고를 나타내며, 절연열화, 사용자의 부주의 등에 의해 발생할 수 있다. 그리고, Fig. 2의 ⑤와 ⑥ 지점은 배터리의 랙 및 모듈 단락사고를 나타내는데, 사용자의 부주의 또는 절연열화에 의하여 발생할 수 있다. 한편, MG 모드의 경우, 정전으로 인하여 UPS가 계통으로부터 분리되므로, 온라인 모드의 6가지 사고유형 중, AC/DC 컨버터의 LC 필터측 지락을 제외한 IGBT의 암 단락, DC 전로 양극 및 음극 지락, 배터리 랙 및 모듈 단락의 총 5가지 사고유형을 상정한다.



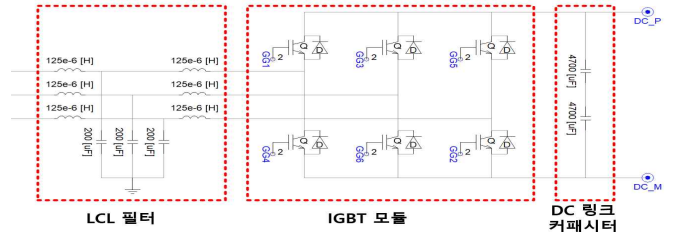
[그림 2] UPS의 사고유형

## 3. PSCAD/EMTDC를 이용한 10kW급 UPS 시험장치의 모델링

### 3.1 UPS부

#### 3.1.1 AC/DC 컨버터

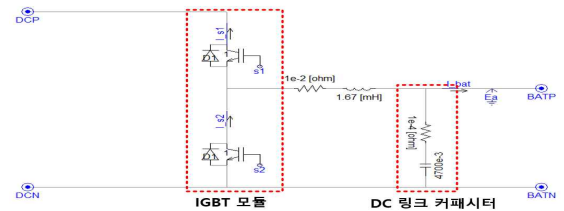
AC/DC 컨버터는 그림 3과 같이 LCL 필터, IGBT 모듈, DC 링크 커패시터로 구성된다. 여기서, LCL 필터는 전력변환 과정에서 발생하는 노이즈를 제거하고, IGBT 모듈은 AC 380[V]를 DC 800[V]로 변환하며, DC 링크 커패시터는 스위칭 동작에 의한 DC 출력 전압을 안정적으로 유지한다.



[그림 3] AC/DC 컨버터의 모델링

#### 3.1.2 DC/DC 컨버터

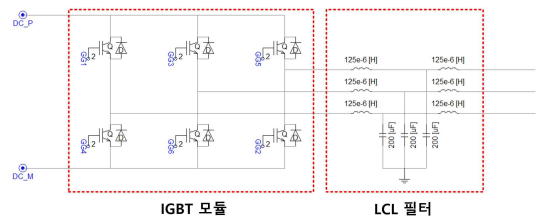
DC/DC 컨버터는 그림 4와 같이 IGBT 모듈, DC 링크 커패시터로 구성되고, 800[V]의 DC 전로 측 입력 전압과 260[V]의 배터리 측 출력 전압을 가진다. 여기서, DC/DC 컨버터는 충전 시에 벅 컨버터, 방전 시에 부스트 컨버터로 동작한다.



[그림 4] DC/DC 컨버터의 모델링

#### 3.1.3 인버터

UPS의 인버터는 IGBT 모듈, LCL 필터 등으로 구성되며 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, IGBT 모듈은 DC 800[V]를 AC 380[V]로 변환하고, LCL 필터는 노이즈를 저감하는 역할을 수행한다.

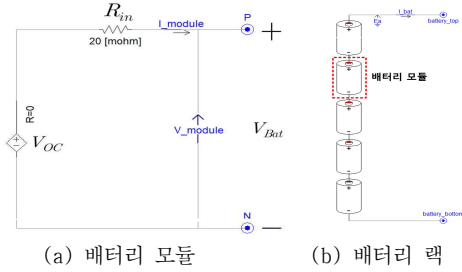


[그림 5] 인버터의 모델링

#### 3.1.4 배터리

UPS의 배터리는 그림 6과 같이, 배터리 모듈과 랙으로 나타낼 수 있다. 여기서, 배터리 모듈은 그림 6 (a)와 같이 개방 회로 전압

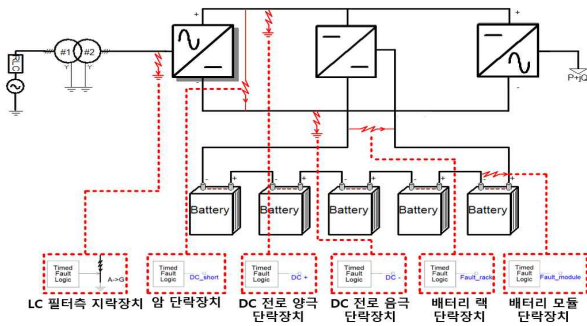
( $V_{OC}$ ), 내부저항( $R_{in}$ ) 등으로 등가화할 수 있고, 배터리 랙은 그림 6 (b)와 같이, 5S1P의 배터리 모듈로 구성되며, 260[V]의 정격 전압과 16.5[kWh]의 정격 용량을 가진다.



[그림 6] 배터리의 모델링

### 3.2 사고발생 장치부

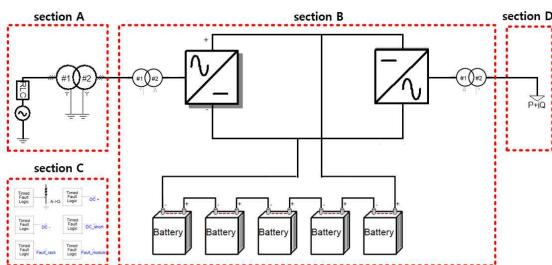
UPS의 사고 발생장치부는 그림 7과 같이, 2.2절에서 제시한 총 6가지의 사고유형을 모의할 수 있으며, 단락 저항은 제조사에 기준인 10[mΩ], 지락 저항은 KS C IEC 60364-4-41의 저압 일반설비 기술기준에 따라 10[Ω]으로 상정한다.



[그림 7] 사고발생 장치부의 모델링

### 3.3 전체 시스템

UPS 시험장치의 전체 시스템을 나타내면 Fig. 15와 같다. 여기서, Section A는 AC 380[V]의 AC 전원부, Section B는 UPS 부, Section C는 사고발생 장치부, Section D는 3상 10[kW]의 수용가 부하부를 나타낸다.



[그림 8] 전체 시스템

## 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

### 4.1 시뮬레이션 조건

UPS의 운용 모드에 따른 사고전류 특성을 평가하기 위한 시뮬레이션 조건은 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, AC/DC 컨버터와 인버터의 정격 용량은 10[kW], DC측 전압은 260[VDC]를 적용하며, 배터리의 정격 전압은 260[V], 정격 방전전류는 64[A]를 상정한다. 또한, AC 전원부는 3상 380[V], 수용가 부하부의 용량은 3상 10[kW]를 적용한다. 한편, UPS의 상정 사고 시나리오는 2.2절에서 제시한 사고유형을 고려하여 Table 2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, Case I ~ Case VI는 각각 AC/DC 컨버터의 LC 필터측 지락, IGBT의 암 단락, DC 전로 양극 및 음극 지락, 배터리 랙 및 모듈 단락에 대한 상정 사고 시나리오를 나타낸다.

[표 1] 시뮬레이션 조건

항목	내역		
AC 전원부	정격 전압[V]	3Φ 380	
UPS부	AC/DC 컨버터	정격 용량[kW]	10
		출력 전압[V <sub>DC</sub> ]	800
	DC/DC 컨버터	입력 전압[V <sub>DC</sub> ]	800
		출력 전압[V <sub>DC</sub> ]	260
	인버터	정격 용량[kW]	10
		입력 전압[V <sub>DC</sub> ]	800
배터리	정격 전압[V <sub>DC</sub> ]	260	
	정격 방전 전류[A]	64 (1C-rate)	
수용가 부하부	3상 정격 용량[kW]	10	

[표 2] 상정 사고 시나리오

Case	사고 유형	단락 저항 [mΩ]	지락 저항 [Ω]
Case I	AC/DC 컨버터의 LC 필터측 지락	-	10
Case II	IGBT의 암 단락	10	-
Case III	DC 전로 양극 지락	-	10
Case IV	DC 전로 음극 지락	-	10
Case V	배터리 랙 단락	10	-
Case VI	배터리 모듈 단락	10	-

### 4.2 운용 모드에 따른 UPS의 사고전류 특성

10kW급 UPS의 운용 모드에 따른 사고유형별 사고전류 특성을 나타내면 표 3과 같다. 여기서, 온라인 모드의 경우, Case II의 IGBT의 암 단락 시 5.04[kA]의 사고전류가 발생하여, 모든 사고 유형중 가장 크게 나타남을 알 수 있다. 또한, Case V의 배터리 랙 단락 시, 모든 사고유형 중 배터리로부터 가장 큰 사고전류가 발생하고, 그 크기는 2.63[kA]임을 알 수 있다. 한편, MG 모드의 경우, Case V의 배터리 랙 단락 시, 모든 사고유형 중 배터리로부터 가장 큰 사고전류가 발생하고, 그 크기는 2.70[kA]임을 알 수 있다.

한편, MG 모드의 경우, UPS가 AC 전원으로부터 분리되어 있으므로, 온라인 모드에 비해 단락사고 전류가 작게 나타나지만,

Case III, Case IV의 DC 전로 양극 및 음극 지락 시, 사고 발생으로 인한 DC 전로의 전압 변동이 온라인 모드에 비해 심각하게 발생하여, 배터리로부터 발생하는 지락 사고전류가 더 크게 나타남을 알 수 있다.

[표 3] 운용 모드에 따른 UPS의 사고유형별 사고전류 특성

항목	사고전류[kA]						
	온라인 모드				MG 모드		
	AC 전원	링크 커패시터	배터리	전체	링크 커패시터	배터리	전체
Case I	0.08	0.01	0.06	0.02	-	-	-
Case II	4.11	0.25	1.89	5.04	0.26	1.99	2.00
Case III	0.76	0.01	0.06	0.82	0.03	0.11	0.14
Case IV	0.76	0.01	0.06	0.82	0.03	0.11	0.14
Case V	2.69	0.19	2.63	4.95	0.82	2.70	3.52
Case VI	2.00	0.18	1.73	3.21	0.34	2.02	2.15

한편, 온라인 모드에서 배터리로부터 가장 큰 사고전류가 발생하는 Case V의 운용 특성은 그림 9와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 9의 (a)는 사고전류의 흐름도를 나타내고, 그림 9의 (b)는 사고전류 특성을 나타낸다. 즉, AC 전원, 링크 커패시터, 배터리로부터 각각 2.69[kA], 0.19[kA], 2.63[kA]의 사고전류가 발생하여, 사고지점에 총 4.95[kA]의 사고전류가 흐르는 것을 알 수 있다.

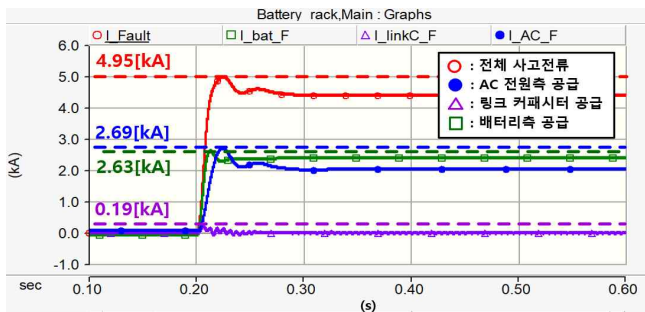
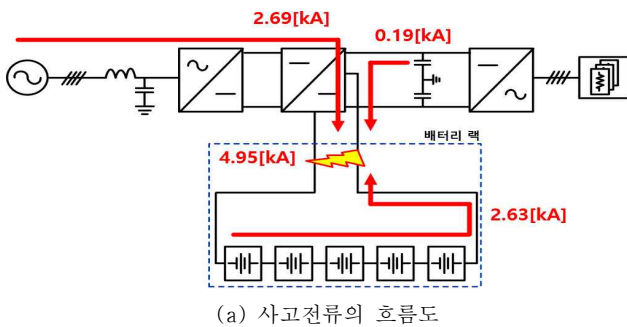


그림 9. 온라인 모드의 사고전류 특성

또한, MG 모드에서 배터리로부터 가장 큰 사고전류가 발생하는 Case V의 운용 특성은 그림 10과 같이 나타낼 수 있다. 즉,

배터리 랙 단락이 발생하는 경우, 링크 커패시터, 배터리로부터 각각 0.82[kA], 2.70[kA]의 사고전류가 발생하여, 사고지점에 총 3.52[kA]의 사고전류가 흐르는 것을 알 수 있다.

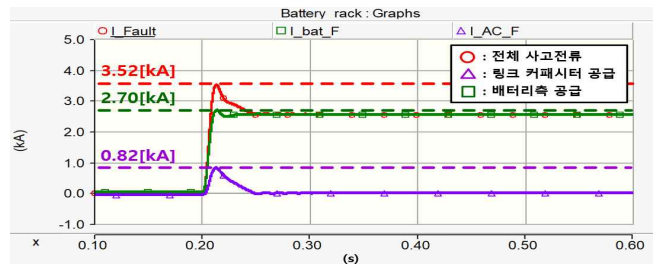
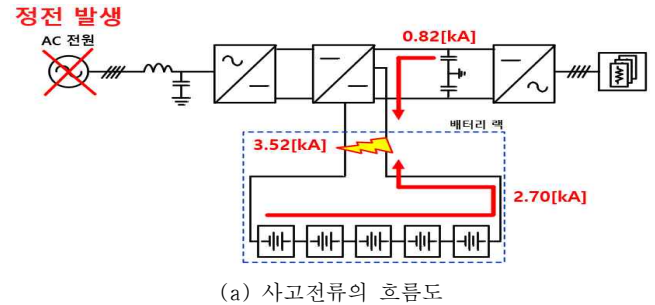


그림 10. MG 모드의 사고전류 특성

**감사의 글**  
 이 논문은 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원(No. RS-2024-00421994)과 2026년도 정부(산업통상부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2024-00409639, 2026년 산업혁신인재성장지원사업)

## 5. 결 론

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여, AC 전원부, UPS 부, 사고 발생장치부, 수용가 부하부로 구성된 10[kW]급 UPS의 모델링을 수행한다. 상기의 모델링을 바탕으로 UPS의 운용 모드에 따른 사고전류 특성을 분석한 결과, 모든 사고유형 가운데 배터리 랙 단락사고의 경우 가장 심각한 사고전류가 배터리로부터 발생함을 알 수 있다. 또한, MG 모드의 경우 온라인 모드에 비해 단락 사고전류가 작게 나타나지만, 배터리로부터 발생하는 지락 사고전류는 크게 나타남을 알 수 있다.

### 참고문헌

- [1] 김윤호 외 4인, "ESS의 사고유형별 안전성 평가에 관한 연구", 2023년도 전기학회논문지, 제 72권 8호, pp.887-896, 8월, 2023년