

# 30kW급 UPS의 사고특성 모델링에 관한 연구

최성문\*, 유현상\*, 노성은\*, 이중선\*, 김미영\*\*, 노대석\*

\*한국기술교육대학교, \*\*호원대학교

e-mail:moon9507@koreatech.ac.kr

## A Study on Fault Characteristics Modeling of 30kW UPS

Sung-Moon Choi\*, Hyun-Sang You\*, Seong-Eun Rho\*, Joong-Seon Lee\*, Dae-Seok Rho\*

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

\*\*Howon University

### 요약

무정전 전원 공급장치(uninterruptible power supply, UPS)는 사고나 장애에 의하여 상용 전력망에 정전이 발생하는 경우에도 부하에 안정적으로 전력을 공급하여 시스템의 안정성을 향상시킬 수 있어, 데이터 센터뿐만 아니라 금융, 의료, 제조와 같은 다양한 산업 분야에서 많이 사용되고 있다. 그러나, 2022년 9월에 발생한 카카오 데이터 센터 화재로 인하여, 전기적 위해요인에 의한 UPS의 안전성을 확보할 수 있는 연구가 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 다양한 전기적 위해요인 중에서 사고전류에 의한 UPS의 운용특성을 분석하기 위하여, 전력계통해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 AC 전원부, UPS부, 수용가 부하부로 구성된 30kW급 UPS 시험장치의 사고특성 모델링을 수행한다. 이를 바탕으로 UPS의 사고특성을 평가한 결과, 배터리랙 단락, AC/DC 컨버터의 DC 측 단락, AC 측 3상 단락, AC 측 1선 지락 가운데에서 배터리랙 단락의 사고전류가 가장 높게 평가되어, UPS의 안전성에 가장 큰 악영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

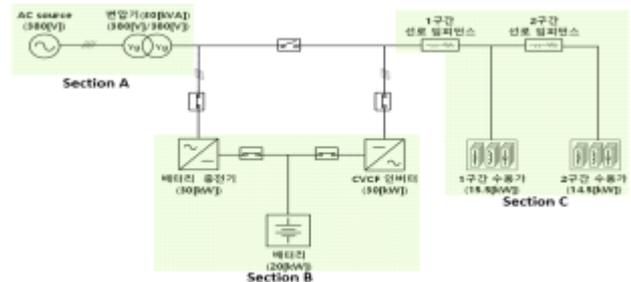
## 1. 서론

최근, 디지털 경제의 성장과 더불어 데이터 센터의 규모가 확장되면서, UPS의 도입이 급속도로 증가하고 있다. 여기서, UPS는 상용전원에 사고가 발생하여 전력을 공급하지 못하는 경우에도 부하의 연속적인 전력공급을 보장하여, 데이터 손실과 시스템의 안정성을 향상시키는 역할을 수행한다[1, 2]. 그러나, 2022년 9월에 발생한 카카오 데이터 센터 화재의 주요한 원인으로 UPS가 지목되어 전기적 위해요인으로부터 UPS의 안전성을 확보할 수 있는 연구에 필요성이 요구되고 있는 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 다양한 전기적 위해요인 가운데, 사고전류를 중점으로 분석하기 위하여, 30kW급 UPS 안전성 시험장치를 바탕으로, 전력계통해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 AC 전원부, UPS부, 수용가 부하부로 구성된 30kW급 UPS 시험장치의 모델링을 수행한다. 이를 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 배터리랙 단락, AC/DC 컨버터의 DC 측 단락과 AC 측 3상 단락, AC/DC 컨버터의 AC 측 1선 지락의 순서대로 사고전류가 높게 산정됨을 확인하여, 배터리랙 단락이 가장 UPS의 안전성에 가장 큰 악영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

## 2. 30kW급 UPS 시험장치의 구성

30kW급 UPS 시험장치는 그림 1과 같이 AC 전원부, UPS

부, 수용가 부하부 등으로 구성된다. 먼저, AC 전원부는 그림 1의 Section A와 같이, AC 380[V]의 수전반, 배전용 변압기 (380[V]/380[V])로 구성된다. 또한, UPS부는 그림 1의 Section B와 같이, AC/DC 컨버터, CVCF 인버터, 배터리로 구성되는데, AC/DC 컨버터는 AC를 DC로 변환하여 UPS용 배터리의 충전을 수행하고, CVCF 인버터는 배터리의 DC 전력을 AC로 변환하여 수용가에 공급하고, 배터리는 비상상황 발생이 방전하여 수용가에게 안정적으로 전력을 공급한다. 한편, 그림 1의 Section C는 저압 배전선로와 부하를 나타낸다.



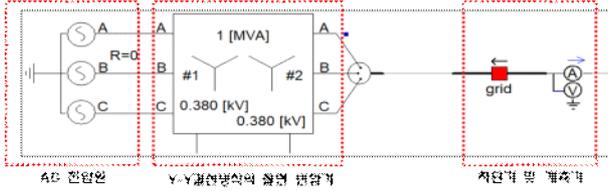
[그림 1] 30kW급 UPS 시험장치의 구성

## 3. PSCAD/EMTDC를 이용한 30kW급 UPS의 사고특성 모델링

### 3.1 AC 전원부

AC 전원부는 그림 2와 같이 AC 전원, 연계용 변압기, 차단

기, 등으로 구성된다. 여기서, AC 전원은 AC 380[V]의 3상 4선식이고, 연계용 변압기는 30[kVA]의 정격용량을 가지며, Y-Yg 결선방식으로 380[V]/380[V]의 변압비를 적용한다. 또한, 차단기는 단락 및 지락이 발생할 경우, 사고지점으로부터 계통을 분리시키는 역할을 수행한다.

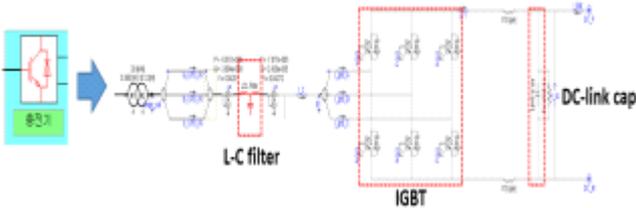


[그림 2] AC 전원부 모델링

3.2 UPS부

3.2.1 AC/DC 컨버터

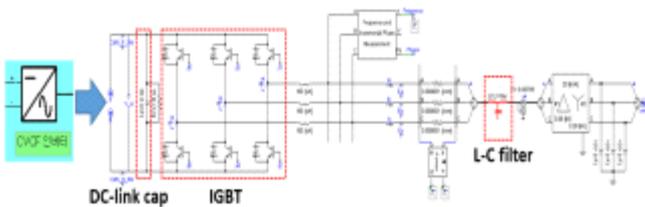
UPS부의 AC/DC 컨버터는 그림 3과 같이 L-C 필터, IGBT 모듈, DC-Link 커패시터, 등으로 구성된다. 여기서, L-C 필터는 전력변환 과정에서 발생하는 고주파 및 노이즈를 저감시키기 위해 사용되고, IGBT 모듈은 3상 AC 380[V]의 전압을 DC 125[V]의 전압으로 변환하며, DC-Link 커패시터는 출력단의 직류 전압을 안정적으로 유지하는 역할을 수행한다.



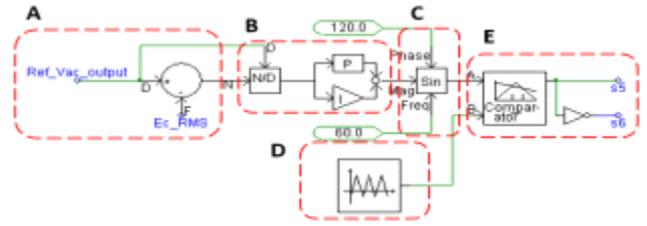
[그림 3] AC/DC 컨버터의 모델링

3.2.2 CVCF 인버터

UPS의 CVCF 인버터는 그림 4와 같이 DC-Link 커패시터, IGBT 모듈, L-C 필터, 등으로 구성된다. 또한, CVCF 인버터의 현상에 대한 제어회로는 그림 5와 같이 나타낼 수 있는데, A 부분은 목표전압과 현재 출력전압을 비교하여 오차 값을 산정하는 것이고, B 부분은 오차 값에 대하여 각각 PI 제어를 수행하는 것이며, C 부분은 목표로 하는 전압의 파형, 주파수 및 위상을 결정하는 역할을 수행하는 것을 나타낸다. 또한, D 부분은 삼각파의 반송파를 출력하는 것을 나타내고, E 부분은 기준파와 반송파를 비교하여 PWM 신호로 변환한다.



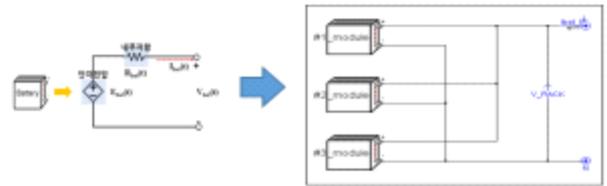
[그림 4] CVCF 인버터 모델링



[그림 5] CVCF 인버터 제어회로 모델링

3.2.3 배터리

배터리는 그림 6과 같이 단자전압, 내부저항 등으로 이루어 지는데, 다수의 배터리 모듈을 직병렬로 조합하여 배터리팩의 모델링을 수행한다. 구체적으로, 배터리의 기전력은 SOC의 역함수와 지수함수의 조합으로 나타내며, SOC는 배터리 전체 용량에서 누적된 전류의 비로 충전상태를 의미한다. 또한, 배터리 단자전압은 기전력에서 내부저항에 의한 전압강하를 뺀 값이며, 이를 수식으로 나타내면 식 (1)~식 (3)과 같다.



[그림 6] 배터리 모델링

$$E_{bat}(t) = E_0 - K \frac{1}{SOC} + A \exp(-BQ(1 - SOC)) \quad (1)$$

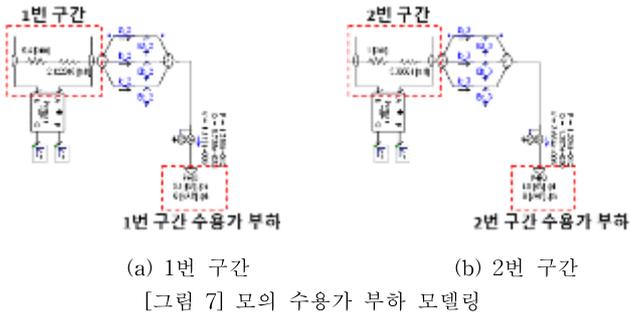
$$SOC = \frac{Q - \int_{t_0}^{t_1} I_{bat}(t) dt}{Q} \times 100 \quad (2)$$

$$V_{bat}(t) = E_{bat}(t) - I_{bat}(t) \cdot R_{bat} \quad (3)$$

여기서,  $E_{bat}(t)$ : 배터리 기전력[V],  $E_0$ : 배터리 전압상수,  $K$ : 양극화 상수,  $Q$ : 배터리 용량[Ah],  $A$ : 지수함수 크기 상수,  $B$ : 반전지수함수 시간 상수,  $SOC$ : 충전상태[%],  $V_{bat}(t)$ : 배터리 전압[V],  $R_{bat}$ : 배터리 내부저항[Ω],  $I_{bat}(t)$ : 배터리 전류[A]

3.3 수용가 부하부

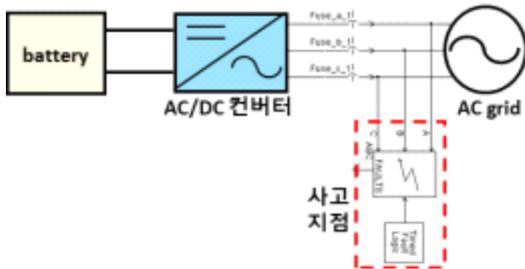
저압 배전선로에 연계된 수용가 부하의 모델링을 수행하면 그림 7과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 저압 배전선로는 2개의 구간으로 나타낼 수 있는데, 그림 7의 (a)와 같이 1번 구간의 선로 임피던스와 부하용량은 각각  $0.4+j0.8[\Omega]$ ,  $15.5[\text{kW}]$ 이다. 또한, 그림 7의 (b)와 같이 2번 구간의 선로 임피던스와 부하용량은 각각  $1+j2[\Omega]$ ,  $14.5[\text{kW}]$ 이다.



(a) 1번 구간 (b) 2번 구간  
[그림 7] 모의 수용가 부하 모델링

### 3.4 사고발생장치부

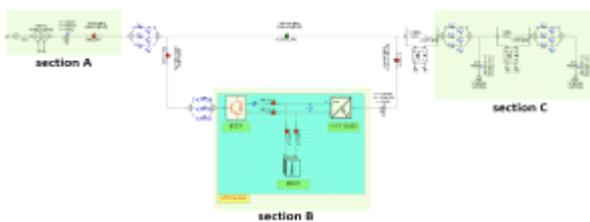
3상 단락 및 단상 지락사고를 발생시키는 사고 발생 장치부를 모델링하면 그림 8과 같다. 여기서, 단락 및 지락 저항은 10[mΩ]으로 상정하여, 사고전류에 의한 UPS의 사고특성을 모의한다.



[그림 8] 사고발생장치부 모델링

### 3.5 전체 시스템

상기의 내용을 바탕으로, 30kW급 UPS의 사고특성 시험장치의 전체 시스템을 나타내면 그림 9와 같다. 여기서, section A는 AC 전원부, section B는 UPS부, section C는 수용가 부하부를 나타낸다.



[그림 9] 전체 시스템 모델링

## 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

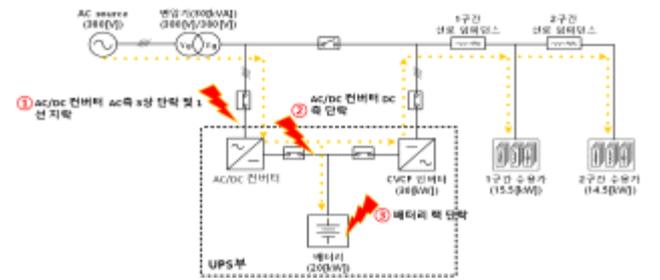
### 4.1 시뮬레이션 조건

사고전류에 의한 30kW급 UPS의 운용특성을 분석하기 위한 시뮬레이션 조건은 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, AC 전원은 AC 380[V]의 3상 4선식이며, 모의 저압선로는 2개의 구간으로 구성한다. 즉, 1번 구간(공정)은 선로 중간지점을 모의하기 위하여 0.4+j0.8[Ω]으로 설정하고, 2번 구간(공정)은 선로 말단지점을 모의하기 위하여 1+j2[Ω]로 상정한다. 또한, 1번과 2번 구간 부하의 용량은 각각 15.5[kW], 14.5[kW]로 설정하며,

단락저항은 10[mΩ]으로 상정한다. 한편, 30kW급 UPS의 상정 사고 시나리오를 나타내면 그림 10과 같다. 여기서, 사고 시나리오는 AC/DC 컨버터의 AC측 3상 단락과 1선지락, AC/DC 컨버터의 DC 측 단락, 배터리의 랙 단락으로 상정한다.

[표 1]시뮬레이션 조건

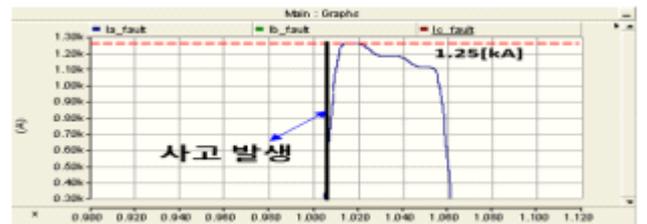
구분	내역		
AC 전원[V]			380
UPS	AC/DC 컨버터	입력전압[V]	380
		출력전압[V]	125
	CVCF 인버터	입력전압[V]	125
		출력전압[V]	380
배터리[V]		115	
단락저항[Ω]			10m



[그림 10] UPS의 상정사고 시나리오

### 4.2 30kW급 UPS의 사고특성

상기의 4.1절에서 제시한 시뮬레이션 조건과 상정 시나리오를 바탕으로, 30kW급 UPS의 AC/DC 컨버터측 사고특성을 나타내면 그림 11과 같다. 여기서, 그림 11의 (a)는 AC/DC 컨버터 AC측 3상 단락이 발생한 경우의 사고전류이며, 최대 1.25[kA]로 산정됨을 알 수 있다. 또한, 그림 11의 (b)는 사고전류의 흐름도를 나타내는데, 사고전류가 AC 계통에서만 유입됨을 알 수 있다.



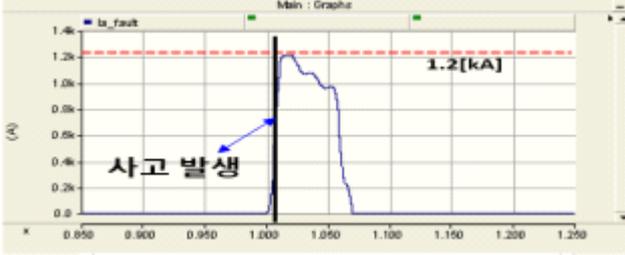
(a) AC/DC 컨버터 AC측 3상 단락시 사고전류



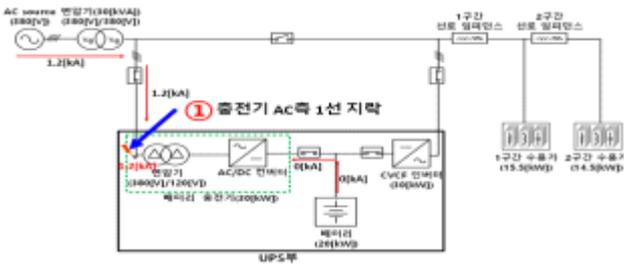
(b) AC/DC 컨버터 AC측 3상 단락시 사고전류 흐름도  
[그림 11] AC/DC 컨버터 AC측 3상 단락시 사고특성

한편, AC/DC 컨버터의 AC측 1선 지락 사고특성을 나타내

면 그림 12와 같다. 여기서, 그림 12의 (a)와 같이 AC/DC 컨버터 AC 측에서 1선 지락이 발생하면 사고전류는 최대 1.2[kA]로 산정됨을 알 수 있다. 또한, 그림 12의 (b)는 사고전류의 흐름도를 나타내는데, 사고전류가 AC 계통에서만 유입됨을 알 수 있다.

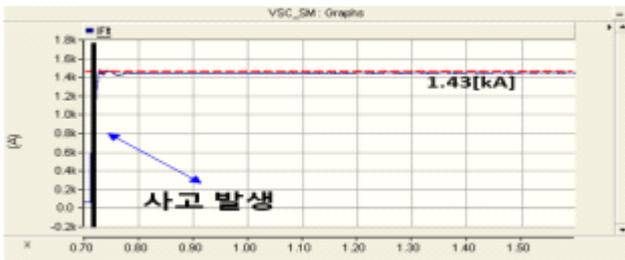


(a) AC/DC 컨버터 AC측 3상 단락시 사고전류

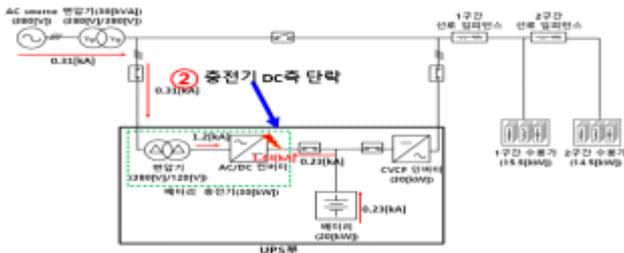


(b) AC/DC 컨버터 AC측 1선 지락시 사고전류 흐름도  
[그림 12] AC/DC 컨버터 AC측 1선 지락시 사고특성

또한, AC/DC 컨버터의 DC측 단락 사고특성을 나타내면 그림 13과 같다. 여기서, 그림 13의 (a)와 같이 AC/DC 컨버터 DC 측에서 단락이 발생하면 사고전류는 최대 1.43[kA]로 산정됨을 알 수 있다. 한편, 그림 13의 (b)는 사고전류의 흐름도를 나타내는데, 대부분의 사고전류는 AC 계통에서 유입됨을 알 수 있다.

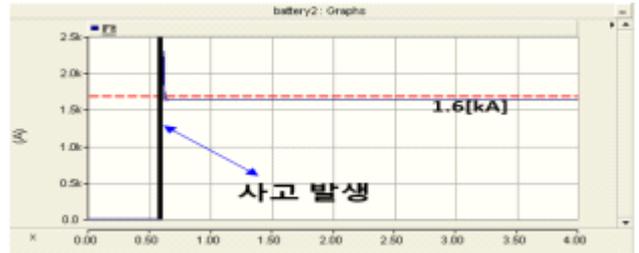


(a) AC/DC 컨버터 DC측 단락시 사고전류

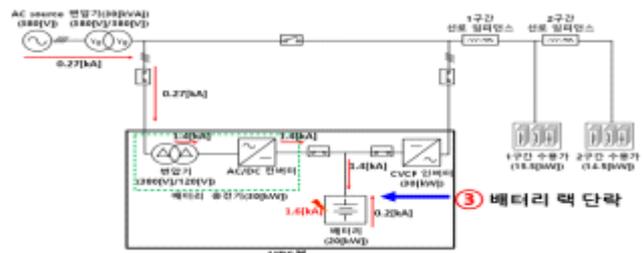


(b) AC/DC 컨버터 DC측 단락시 사고전류 흐름도  
[그림 13] AC/DC 컨버터 DC측 단락시 사고특성

또한, UPS의 배터리랙 단락시 사고특성을 나타내면 그림 14와 같다. 여기서, 그림 14의 (a)와 같이 배터리 랙에서 단락이 발생하면 사고전류는 최대 1.6[kA]로 산정됨을 알 수 있다. 한편, 그림 14의 (b)는 사고전류의 흐름도를 나타내는데, AC 측에서 1.4[kA], 배터리 측에서 0.2[kA]의 사고전류가 공급됨을 알 수 있다.



(a) 배터리랙 단락시 사고전류



(b) 배터리랙 단락시 사고전류 흐름도  
[그림 14] 배터리랙 단락시 사고특성

## 5. 결 론

본 논문에서는 다양한 전기적 위해요인 가운데, 사고전류에 의한 UPS의 안전성을 평가하기 위하여, 30kW급 UPS 안전성 시험장치를 바탕으로 전력계통해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 AC 전원부, UPS부, 수용가 부하부로 구성된 30kW급 UPS 시험장치의 모델링을 수행한다. 이를 바탕으로 사고전류에 의한 UPS의 사고특성을 평가한 결과, 배터리랙 단락, AC/DC 컨버터의 DC 측 단락, AC 측 3상 단락 및 AC 측 1선 지락의 순서대로 사고전류가 높게 산정되어, 배터리랙 단락이 UPS의 안전성에 가장 큰 악영향을 미칠수 있음을 알 수 있다.

### 참고문헌

- [1] Energy Storage System Industry Development Strategy, Ministry of Trade, Industry and Energy, pp. 6, 2023.
- [2] 명호산, 김세호 “재생에너지 출력제한에 따른 출력량 배분 방안 연구”, 전기전자학회논문지, 제 23권 1호, pp. 173-180, 3월, 2019년