

PSCAD/EMTDC에 의한 30kW급 UPS의 개폐서지 및 뇌서지 모델링에 관한 연구

이강유*, 호삼 살라*, 최성문**, 김경화*, 노대석*
*한국기술교육대학교 전기공학과, **(재)녹색에너지연구원
e-mail:ilgu100@koreatech.ac.kr

A Study on the Modeling of Switching and Lightning Surge in 30kW UPS Using PSCAD/EMTDC

Gang-You Lee*, Hossam S. Mohamed*, Sung-Moon Choi**,
Kyung-Hwa Kim*, Dae-Seok Rho*

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

**Green Energy Institute

요 약

최근, 인공지능, 자율자동차 등의 상용화에 따라 대용량 데이터센터의 설치가 급격하게 증가하고 있는 실정이다. 이에 따라, 주파수 변동 및 전압 변동 등의 전력 품질 문제를 개선할 수 있는 UPS의 수요가 증가하고 있지만, UPS의 전기적 위해요인을 고려한 안전성 검증 및 운용 절차 등이 미흡하여, 이를 해결하기 위한 연구가 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 UPS의 전기적 위해요인으로 평가되고 있는 개폐서지와 뇌서지의 발생 메커니즘을 제시하고, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 AC 전원부, UPS부, 뇌격 발생장치부 등으로 구성된 30kW급 UPS의 서지 시험장치를 모델링한다. 이를 바탕으로 개폐서지와 뇌서지의 운용 특성을 평가한 결과, DC측 보호기기 동작에 의한 개폐서지가 AC측 보호기기의 개폐서지보다 비교적 크게 발생하고, 수용가 부하의 증가에 따라 개폐서지가 크게 나타남을 알 수 있다. 또한, 뇌서지는 절연내력의 수십 배를 초과하여, UPS의 설비에 심각한 악영향을 줄 수 있음을 알 수 있다.

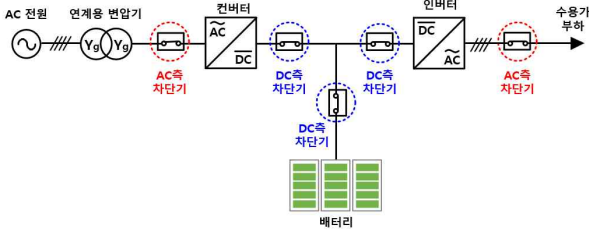
1. 서 론

최근, 빅데이터, 자율주행차, AI 등의 기술 발전으로 대용량 데이터센터의 설치가 급격하게 증가하고 있는 실정이다. 이에 따라 정전 시에도 일정 시간 동안 안정적으로 전력을 공급할 수 있는 UPS(uninterruptible power supply)의 수요가 증가하고 있는 실정이다. 여기서, UPS는 전력 공급이 중단되었을 때, 전력망이 복구될 때까지 일정 시간 동안 민감한 부하에 고품질의 전력을 안정적으로 공급하는 장치이다. 하지만, UPS의 전기적 위해요인을 고려한 안전성 검증 및 운용 절차 등이 미흡하여, 이를 해결하기 위한 연구가 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 UPS의 전기적 위해요인으로 평가되고 있는 개폐서지, 뇌서지의 발생 메커니즘을 제시하고, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 AC 전원부, UPS부, 뇌격 발생장치부 등으로 구성된 30kW급 UPS의 서지 시험장치를 모델링한다. 이를 바탕으로, 30kW급 UPS의 개폐서지 및 뇌서지의 운용 특성을 평가한 결과, AC측 보호기기 동작에 의한 개폐서지에 비해 DC측 보호기기 동작에 의한 개폐서지가 비교적 크게 발생하며, 부하용량이 증가함에 따라 상승함을 알 수 있다. 한편, UPS가 설

치된 배전계통에 뇌격이 발생하는 경우, 절연내력의 수 십배를 초과하는 뇌서지가 인가되어 UPS의 설비에 악영향을 줄 수 있음을 알 수 있다.

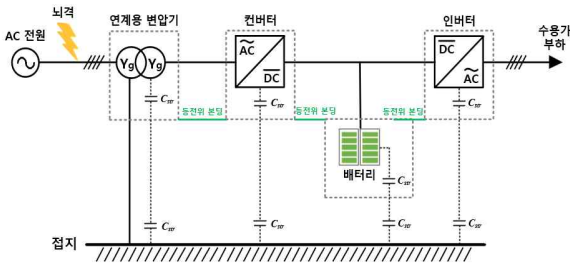
2. 서지 발생 메커니즘

일반적으로, UPS는 그림 1과 같이, 컨버터, 배터리, 인버터, AC측 및 DC측 보호기기 등으로 구성된다. 여기서, 사고 유형과 위치에 따라 AC 및 DC측 보호기기가 동작하면, 서로 다른 형태의 개폐서지가 발생하여 UPS 배터리에 악영향을 미칠 수 있다 [1]. 즉, 개폐서지는 DC 전로 및 전력변환장치의 인덕턴스와 시간에 따른 전류의 변화량($\frac{di}{dt}$)에 의해 발생할 수 있다.



[그림 1] 보호기기 동작에 의한 개폐서지 발생 메커니즘

한편, UPS는 그림 2과 같이 접지를 공통으로 사용하며, 안전을 위해 전기설비의 도전성 부분에 등전위 본당을 적용한다. 여기서, 뇌격이 발생하는 경우, 뇌격의 에너지는 피뢰기를 통해 접지로 방전되어, UPS의 전력변환장치와 배터리의 기생 커패시턴스와 결합되어, 큰 서지를 발생시킬 수 있다. 즉, 뇌격은 절연내력의 수십 배를 초과하는 서지를 발생시켜, UPS의 안전성에 악영향을 미칠 수 있다.

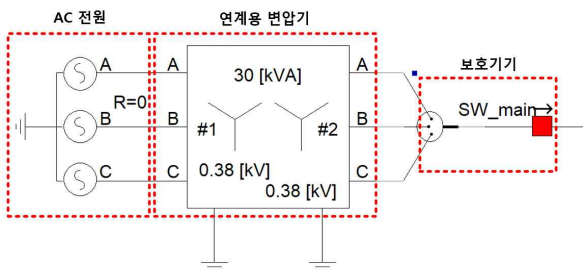


[그림 2] 뇌격에 의한 서지 발생 메커니즘

3. 30kW급 UPS 시험장치의 모델링

3.1 AC 전원부

AC 전원부는 그림 3과 같이, AC 전원, 연계용 변압기, 보호기기 등으로 구성된다. 여기서, AC 전원은 AC 380[V]의 3상 4선식으로 구성되며, 연계용 변압기는 30[kVA]의 정격용량과 Yg-Yg 결선방식으로 380[V]/380[V]의 변압비를 적용한다.

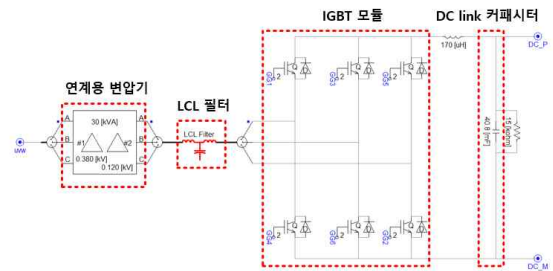


[그림 3] AC 전원부 모델링

3.2 UPS부

3.2.1 컨버터

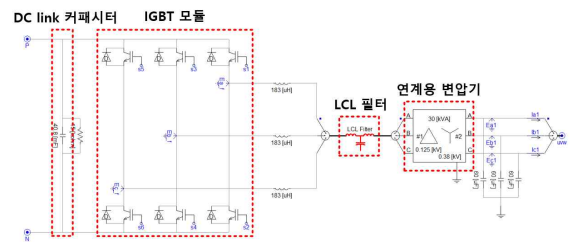
컨버터는 그림 4와 같이, 연계용 변압기, LCL 필터, IGBT 모듈, DC link 커패시터 등으로 구성된다. 여기서, 연계용 변압기는 30[kVA]의 정격용량과 Δ-Δ 결선방식으로 380[V]/120[V]의 변압비를 적용하고, LCL 필터는 전력변환 과정에서 발생하는 고주파 및 노이즈를 저감시키기 위해 사용된다. 또한, IGBT 모듈은 AC 120[V]을 DC 125[V]로 변환하며, DC link 커패시터는 출력단의 DC 전압을 안정적으로 유지한다.



[그림 4] 컨버터 모델링

3.2.2 인버터

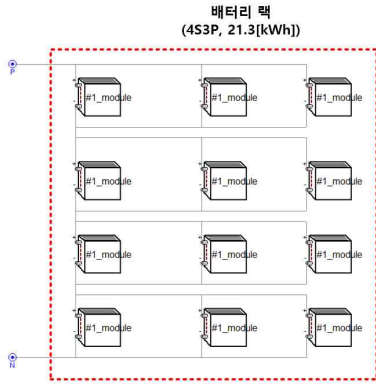
인버터는 그림 5와 같이 DC link 커패시터, IGBT 모듈, LCL 필터, 연계용 변압기 등으로 구성된다. 여기서, DC link 커패시터는 입력단의 직류 전압을 안정적으로 유지하고, IGBT 모듈은 DC 125[V]의 전압을 AC 120[V]의 전압으로 변환한다. 또한, LCL 필터는 전력변환 과정에서 발생하는 고주파 및 노이즈를 저감하기 위해 사용된다. 한편, 연계용 변압기는 30[kVA]의 정격용량과 Δ-Yg 결선방식으로 120[V]/380[V]의 변압비를 적용한다.



[그림 5] 인버터 모델링

3.2.3 배터리 랙

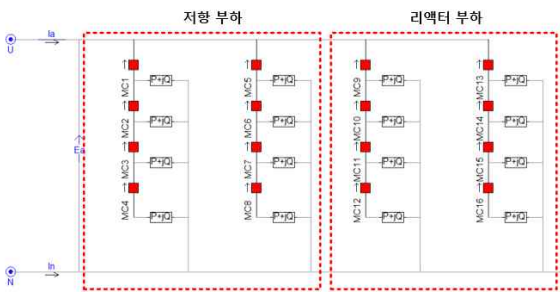
PSCAD/EMTDC에서 제공하는 배터리 라이브러리를 바탕으로 배터리 랙의 모델링을 수행하면 그림 6과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 배터리 랙은 28.8[V]의 배터리 모듈을 4S3P로 연결하여, 115.2[V]의 정격전압과 21.3[kWh]의 정격용량으로 구성한다.



[그림 6] 배터리 랙 모델링

3.3 모의 수용가부

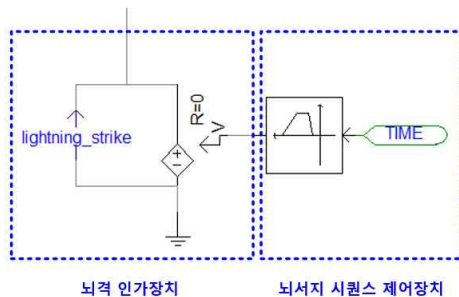
모의 수용가부는 그림 7과 같이, 저항 부하, 리액터 부하 등으로 구성된다. 여기서, 저항 부하는 상당 100[W] ~ 11,000[W], 리액터 부하는 상당 100[Var] ~ 11,000[Var]로 가변할 수 있도록 구성한다.



[그림 7] 모의 수용가부 모델링

3.4 뇌격 발생장치부

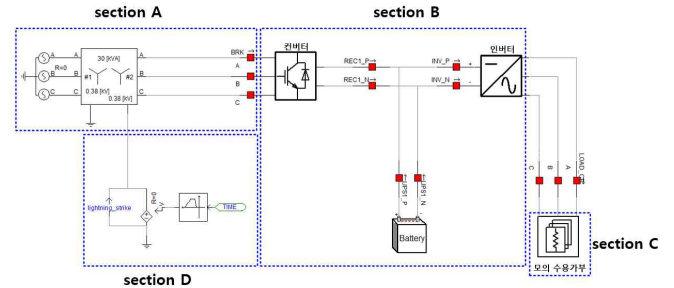
PSCAD/EMTDC에서 제공하는 라이브러리를 이용하여, 뇌서지 발생장치와 뇌서지 시퀀스 제어장치로 구성된 뇌격 발생장치부는 그림 8과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 뇌격은 KS C IEC 62305에서 제시한 표준파형과 크기를 바탕으로, 최대 50[kV]로 상정하며, 지정된 시간동안 UPS가 설치된 배전계통에 인가한다.



[그림 8] 뇌격 발생장치부 모델링

3.5 전체 시스템

상기의 내용을 바탕으로, 30kW급 UPS 시험장치의 서지의 운용 특성을 평가하기 위한 전체 시스템의 모델링을 나타내면 그림 9과 같다. 여기서, section A는 AC 전원부, section B는 컨버터, 인버터, 배터리로 구성된 UPS부, section C는 모의 수용가부, section D는 뇌격 발생장치부를 나타낸다.



[그림 9] 전체 시스템 모델링

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 조건

30kW급 UPS 시험장치의 서지의 운용 특성을 평가하기 위한 시뮬레이션 및 시험 조건을 나타내면 표 1과 같다. 여기서, 컨버터와 인버터의 정격용량은 30[kW]이고, AC측과 DC측의 전압은 각각 380[V], 125[V]이며, 배터리 랙은 115.2[V]의 정격전압과 21.3[kWh]의 정격용량으로 상정한다. 또한, 30kW급 UPS 시험장치의 서지 운용 특성을 평가하기 위한 상정 시나리오는 표 2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, Case I와 Case II는 AC측 보호기기 동작에 의한 개폐서지 시나리오를 나타내는데, 각각 1kW, 30kW의 부하용량으로 상정한다. 한편, Case III와 Case IV는 DC측 보호기기 동작에 의한 개폐서지 시나리오를 나타내는데, 각각 1kW, 30kW의 부하용량으로 상정한다. 또한, Case V는 50[kV]의 뇌격에 의한 서지 시나리오를 나타낸다.

[표 1] 시뮬레이션 조건

구분	내역	
컨버터	정격용량[kW]	30
	입력전압[V_{AC}]	380
	출력전압[V_{DC}]	125
인버터	정격용량[kW]	30
	입력전압[V_{DC}]	125
	출력전압[V_{AC}]	380
배터리 랙	정격용량[kWh]	21.3
	운용 전압 범위[V]	96~128
	정격전압[V]	115.2

[표 2] 서지 상정 시나리오

시나리오	발생 메커니즘	부하용량 [kW]
Case I	AC측 보호기기 동작	1
Case II		30
Case III	DC측 보호기기 동작	1
Case IV		30
Case V	뇌격	1

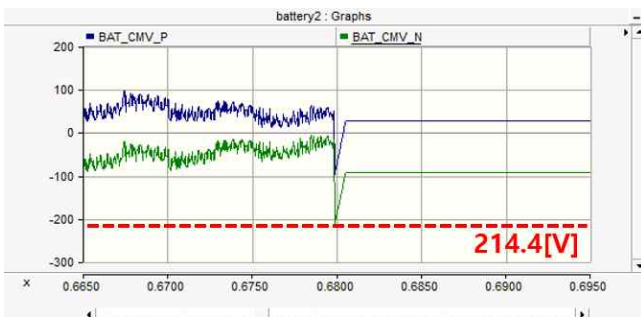
4.2 30kW급 UPS의 서지 운용 특성

상기에서 제시한 서지 상정 시나리오를 바탕으로, PSCAD/EMTDC 모델링에 의한 30kW급 UPS의 서지 운용 특성을 나타내면 표 3과 같다. 여기서, 부하용량이 각각 1[kW], 30[kW]인 Case I와 Case II의 개폐서지 특성을 비교하면, 개폐서지는 87.1[V], 156.3[V]로 1.8배 정도 크게 발생함을 알 수 있다. 또한, AC측 및 DC측 보호기기 동작에 의한 Case II와 Case IV의 개폐서지의 운용 특성을 비교하면, 각각 156.3[V], 214.4[V]로 1.4배 정도 크게 발생함을 알 수 있다. 따라서, 보호기기의 동작 위치와 부하용량에 따라, 개폐서지의 크기가 증가하여, UPS의 설비에 악영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

[표 3] 모델링에 의한 서지 운용 특성

시나리오	서지 [V]
Case I	87.1
Case II	156.3
Case III	115.6
Case IV	214.4
Case V	1,110

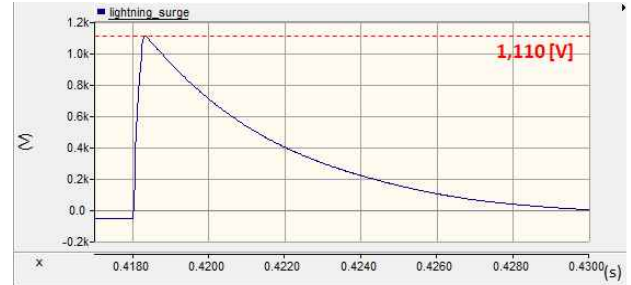
한편, 가장 심각한 시나리오인 Case IV의 개폐서지 운용 특성을 나타내면 그림 10과 같다. 여기서, (-) 단자 측의 개폐서지가 -214.4[V]로 발생하여, 정격전압의 335[%]로 산정된다. 따라서, DC측 보호기기 동작에 의한 개폐서지는 UPS 배터리의 절연내력(정격전압의 3배 이하)을 초과하여, UPS 설비에 심각한 악영향을 줄 수 있음을 알 수 있다.



[그림 10] Case IV의 서지 운용 특성

또한, 상기에서 제시한 서지 상정 시나리오를 바탕으로, 뇌격에 의한 서지 특성을 나타내면 그림 11과 같다. 여기서, 주변압기

2차측에 50[kV]의 뇌격을 인가한 경우, 배터리의 (+) 단자와 접지 사이의 전압은 최대 1,100[V] 정도까지 상승함을 알 수 있다. 따라서, 뇌서지는 UPS 절연내력의 수십 배를 초과하여, UPS 설비에 심각한 악영향을 끼칠 수 있음을 알 수 있다.



[그림 11] Case V의 뇌서지 운용 특성

5. 결론

본 논문에서는 UPS의 전기적 위해요인으로 평가되고 있는 개폐서지, 뇌서지의 발생 메커니즘을 제시하고, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 30kW급 UPS의 서지 시험장치를 모델링한다. 상기에서 제시한 모델링을 바탕으로 서지의 운용 특성을 평가한 결과, AC측 보호기기동작에 의한 개폐서지에 비해 DC측 보호기기 동작에 의한 개폐서지가 비교적 크게 발생함을 알 수 있다. 또한, UPS가 설치된 배전계통에 뇌격이 발생하는 경우, 절연내력에 수십 배를 초과하는 뇌서지가 인가되어 UPS의 설비에 심각한 악영향을 줄 수 있음을 알 수 있다.

감사의 글

이 연구는 2026년도 정부(산업통상부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원 (RS-2024-00409639, 2026년 산업혁신인재성장지원사업)과 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-2024-00421994)

참고문헌

- [1] 이민행, 김경화, 김운호, 김지명, 노대석, “400V급 LVDC 배전계통에 있어서 서지 평가 모델링에 관한 연구”, 한국산학기술학회논문지, vol. 25, No. 9, pp. 491-503, 2024