

1MW급 ESS용 이동형 성능평가 시험장치의 모델링 및 구현

최익준*, 최형석*, 황승욱*, 한병길*, 노대석*

*한국기술교육대학교

e-mail:2031061002@koreatec.ac.kr

Implementation and Modeling of Movable Performance Evaluation Test Device for 1MW Scale ESS

Ik-Joon Choi*, Hyoung-Seok Choi*, Seung-Wook Hwang*, Byeong-Gill Han*, Dae-Seok Rho*

*Korean University of Technology and Education

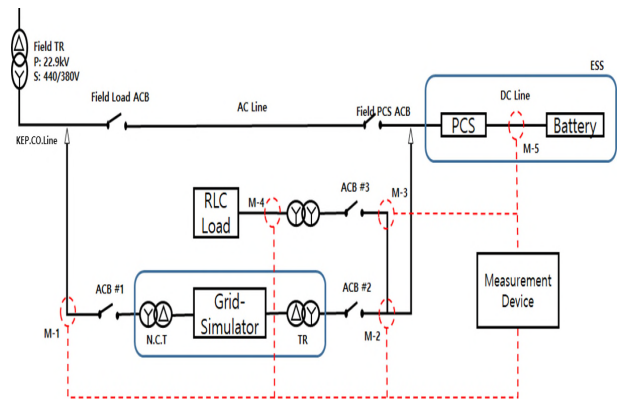
요약

ESS는 각 제품의 품질 및 안전성이 보장되더라도 현장에서 조립하는 사람 혹은 환경에 따라 완성 품질이 달라지므로, 현장에 설치된 ESS에 대한 안전성 시험평가기술의 개발이 요구되고 있다. 또한, 선진국에서는 ESS의 성능을 보다 정확하고 신뢰성 있게 검증하기 위하여, H/W에 의한 성능 시험뿐만 아니라 S/W에 의한 성능검증도 요구하고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 현장에 설치되어 있는 ESS의 성능을 평가하기 위하여, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 ESS의 SAT용 시험장치를 모델링하고, 이를 바탕으로 1[MW]급 시험장치를 구현한다. 상기의 계통모의장치의 모델링과 구현한 시험장치를 바탕으로, LVRT 특성시험을 비교한 결과, 모델링에 의한 특성과 시험장치에 의한 특성이 거의 동일하게 나타나, 본 논문에서 구현한 모델링 및 시험장치의 유효성을 확인하였다.

1. 서론

최근, 전 세계적으로 기후변화에 대응하기 위하여, 에너지 효율 향상 및 신재생에너지전원과 전기저장장치(Energy Storage System, ESS)의 보급이 활발하게 진행되고 있다. 특히, 우리나라는 정부 주도하에 중대형 ESS 기술개발 및 산업화 정책을 추진하고 있으며(K-ESS 2020), 2020년까지 6.4조 원 규모의 기술개발과 설비투자 및 ESS 설치의화 방안을 검토하고 있다. 이러한 ESS는 배터리, 전력변환장치, 에너지관리장치 등으로 구성되며, 현장에서 설치, 운용되는 경우, ESS에 대한 성능과 안전에 대한 현장평가가 필수적으로 요구되고 있다[1]. 또한, 국제전기기술위원회(IEC TC120)에서는 기존의 FAT(Factory Acceptance Test)수준의 평가뿐만 아니라, 현장에서의 안전 및 성능평가에 대한 중요성을 인식하여, 펄드단위에서의 시험평가기준에 대한 국제표준이 논의되고 있으며, ESS의 성능을 보다 정확하고 신뢰성 있게 검증하기 위하여, H/W에 의한 성능 시험뿐만 아니라 S/W에 의한 성능검증도 요구하고 있는 실정이다[2-4].

이동형 성능평가 시험장치는 그림 1과 같이 계통모의장치, 수배전반, 계측장비 및 컨테이너반으로 구성된다. 여기서 계통모의장치는 계통에서 발생하는 각종 외란을 모의할 수 있는 장치로서, 현장에서 사용되고 있는 사용전압(380[V], 440[V])에 유연하게 대응할 수 있도록, 입력과 출력 측에 각각 노이즈컷 변압기와 가변형 변압기로 구성한다. 한편, 계측장비는 그림 1의 점선과 같이, 계통모의장치 1차측과 2차측 그리고 ESS DC측에 설치되며, 시험에 필요한 전압, 전류 등과 같은 데이터를 수집하는 역할을 수행한다.[5]



[그림 1] ESS용 이동형 시험장치의 구성

2. ESS용 이동형 시험장치의 구성

현장에 설치되어 있는 ESS의 성능평가를 수행하기 위한

3. PSCAD/EMTDC를 이용한 ESS용 성능평가 시험장치 모델링

3.1 ESS의 모델링

목표로 하는 ESS의 유효전력과 무효전력을 구하기 위하여, ESS의 출력을 결정하는 d-q축의 기준전류(I_{ref-d} , I_{ref-q})를 먼저 산정하여야 한다. 즉, ESS의 기준 DC 링크 전압과 목표전력에 의한 DC 링크전압을 비교하여 전압차를 구한 후, 이 전압차를 비례적분(PI: proportional integral)하면 목표로 하는 d-q축의 기준전류를 구할 수 있다. 여기서, 기준전류를 산정하는 식을 나타내면 식 (1), 식 (2)와 같다[6].

$$I'_d = (K_p + \frac{K_i}{s})(V_{DC-d}^* + V_{DC-d}) \quad (1)$$

$$I'_q = (K_p + \frac{K_i}{s})(V_{DC-q}^* + V_{DC-q}) \quad (2)$$

여기서, I'_d : d축 전류, I'_q : q축 전류, V_{DC-dq}^* : 기준 DC 링크전압, V_{DC-dq} : 목표 DC 링크전압

또한, 기준전류가 음의 값을 가질 때 ESS를 충전시키고, 양의 값을 가질 때 ESS를 방전시키기 위하여, 기본 전류제어 알고리즘에 적용하면 식 (3), 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 전류제어알고리즘은 디커플링 회로이기 때문에 유효전력과 무효전력을 서로 독립적으로 제어할 수 있다.

$$V_d = (I_{ref-d} - I_d)(K_p + \frac{K_i}{s}) - I_q \times \omega L + V_{sq} \quad (3)$$

$$V_q = (I_{ref-q} - I_q)(K_p + \frac{K_i}{s}) - I_d \times \omega L \quad (4)$$

여기서, I_{ref-q} : 인버터 출력의 기준전류, I_q : 계통의 전류

3.2 계통모의장치의 모델링

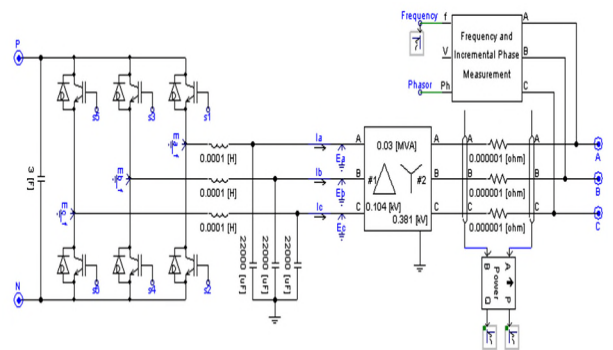
실 계통과 동일한 외란을 발생시킬 수 있는 계통모의장치는 그림 2와 같이 제어부와 인버터부로 구성된다. 구체적으로 제어부에서는 목표로 하는 전압의 오차를 줄이고 응답특성도 빠르게 하기 위하여, 식 (5)와 같이 PI제어 알고리즘을 이용한다. 여기서, 식 (5)의 첫 번째 항은 목표전압(V_{ac-ref})과 현재 출력전압($V(t)$)의 차를 고려하여 비례제어신호를 산정하고, 두 번째 항은 오차를 누적하여 적분제어신호를 구한다. 세 번째 항은 목표로 하는 전압의 파형, 주파수 및 위상을 결정하는 제어신호를 나타낸다. 한편, 식 (6)은 삼각파의 반송파를 출력하는 제어신호를 나타내며, 식 (5)에서 생성된 기준파와 비교하여 PWM(Pulse Width Modulation) 신호로 변환된다.

$$Wave_{ref} = \left[K_p \left(1 - \frac{V(t)}{V_{ac-ref}} \right) + K_i \int_0^t \left(1 - \frac{V(\tau)}{V_{ac-ref}} \right) d\tau \right] \cdot \sin(2\pi f(t)t + \phi(t)) \quad (5)$$

$$Wave_{carrier} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(2n-1)\omega t}{(2n-1)^2} \quad (6)$$

여기서, $Wave_{ref}$: 기준 파형, K_p : 비례 계수, K_i : 적분 계수, $V(t)$: 현재 전압, V_{ac-ref} : 목표전압, $f(t)$: 목표 주파수, $\phi(t)$: 목표 위상

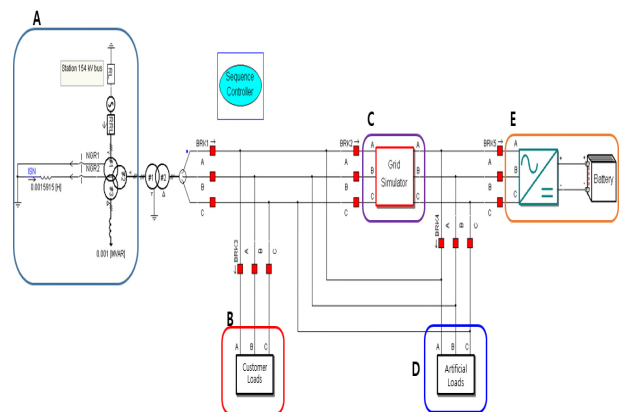
상기의 관계식을 바탕으로, PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링하면 계통모의장치 인버터를 모델링하면 그림 5와 같고, PWM으로부터 나온 6개의 스위칭 신호에 의하여 구동되는 IGBT는 계통모의장치 제어부에서 생성된 DC 출력을 120°의 위상차를 갖는 3상의 AC출력으로 변환시킨다.



[그림 2] 그리드시뮬레이터 인버터의 모델링

3.3 전체 ESS용 이동형 시험장치 모델링

상기의 내용을 바탕으로 PSCAD/EMTDC를 이용하여, ESS, 계통모의장치 등으로 구성된 이동형 성능평가 시험장치를 모델링하면 그림 3과 같다. 여기서 A 부분은 한전 22.9kV 계통, B는 수용가 부하, C는 계통모의장치, D는 ESS를 나타낸 것이다.

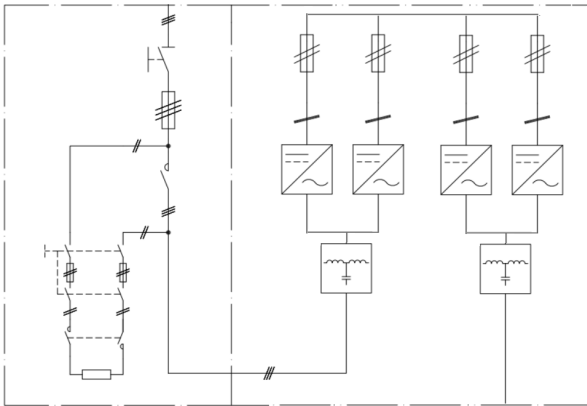


[그림 3] 전체 ESS용 이동형 시험장치 모델링

4. 1MW급 ESS용 이동형 성능평가 시험장치 구현

4.1 계통모의장치 입력부

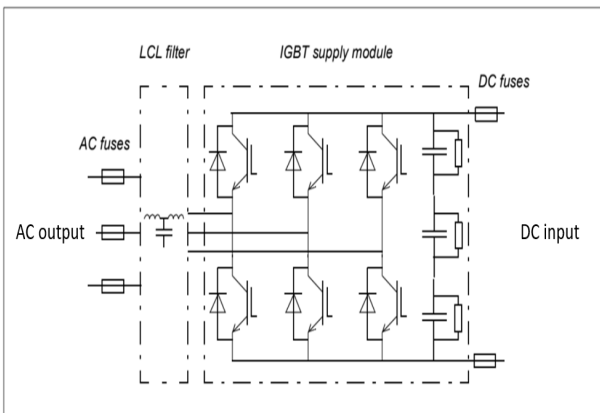
배전계통의 순시전압강하, 순시전압상승, 고조파, 주파수변동 및 LVRT와 같은 각종 계통외란을 발생시키는 계통모의장치는 a사 모듈을 이용하여 구성한다. 이 장치의 입력부는 그림 4과 같이 저역통과 필터, 정류기 등으로 구성된다. 즉, 정류기를 통하여 AC전력을 DC로 변환하고, 방전모드 시 전력을 계통으로 회생시키는 역할을 수행한다.



[그림 4] 계통모의장치의 입력부 구성도

4.2 계통모의장치 출력부

계통모의장치의 출력부는 그림 5과 같이, 인버터와 싸인필터 등으로 구성되며, 정류기를 통과한 DC 전력을 다시 AC로 변환하면서 목표로 하는 전압, 주파수 및 위상을 출력하며, 각각의 필터를 통해 전력변환 시 발생하는 고조파를 저감시킨다. 주요 기능으로는 주파수 불변상태에서 전압급변이 가능하며, 전압설정범위는 0~500[V]까지 0.2[%] 단위로 전압변동이 가능하다. 또한, 정격 주파수는 60±5[Hz]로 0.01[Hz]단위로 가변 가능하며, 고조파는 최대 10[%]까지 함유할 수 있다.



[그림 5] 계통모의장치의 출력부 구성도

5. 시뮬레이션 및 시험결과 분석

5.1 시뮬레이션 조건

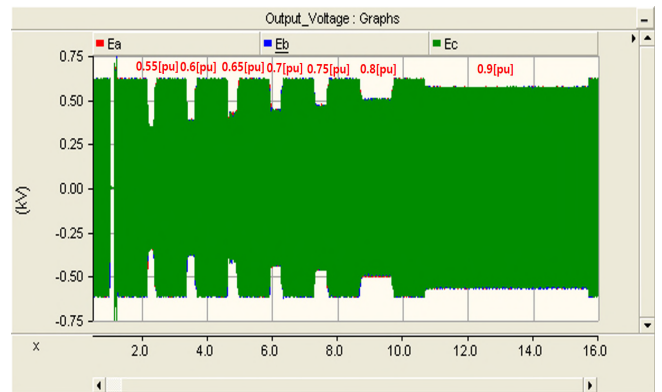
본 논문에서 제안한 ESS용 성능평가 시험장치의 모델링과 1[MW]급 시험장치의 성능을 확인하기 위하여, 계통모의장치의 LVRT 특성을 분석한다. 표 1은 계통모의장치의 LVRT 시험조건으로 전압의 크기와 지속시간을 일정한 단위로 변동시킨다. 여기서, LVRT시험은 0.9[pu], 0.8[pu], 0.75[pu], 0.7[pu], 0.65[pu], 0.6[pu], 0.55[pu], 0[pu]의 전압 값이 5초, 1초, 0.4초, 0.35초, 0.25초, 0.15초 동안 각각 지속되도록 설정한다.

[표 1] 시뮬레이션 조건

LVRT	시험 정격전압[V]	440
	전압강하크기[pu]	0.9, 0.8, 0.75, 0.7, 0.65, 0.6, 0.55, 0
	지속 시간[s]	5, 1, 0.4, 0.35, 0.3, 0.25, 0.2, 0.15

5.2 PSCAD/EMTDC에 의한 특성분석

상기의 시뮬레이션 조건에 의하여 LVRT의 출력특성을 분석하면 그림 6과 같다. 여기서, 첫 번째 구간에서 0.15초 동안 0[pu]의 전압으로 저하되고, 두 번째 구간에서는 0.2초 동안 0.55[pu]의 전압이 지속됨을 알 수 있었다. 또한 세 번째 구간 이후는 0.25초 ~ 0.5초까지 0.6[pu] ~ 0.9[pu]로 증가시켰을 때, 목표로 하는 LVRT의 출력특성이 구현되고 있음을 알 수 있었다.

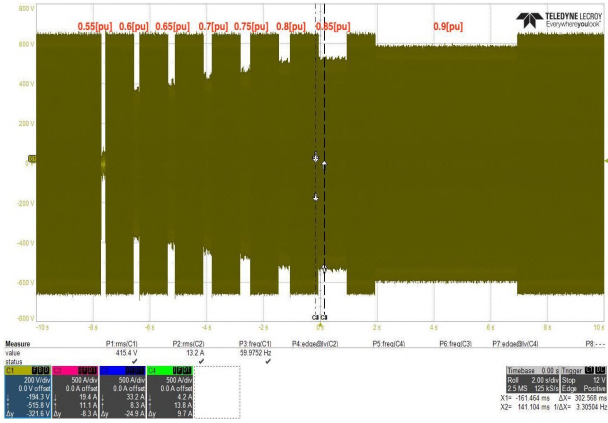


[그림 6] 모델링에 의한 LVRT 특성

5.3 1MW급 이동형 성능평가 시험장치에 의한 특성분석

시뮬레이션과 동일한 시험조건에 따라, 실제 계통모의장치의 LVRT의 출력특성을 분석하면 그림 7과 같다. 즉, 첫 번째 구간에서 0.15초 동안 0[pu]의 전압으로 저하되고, 두 번째 구간에서는 0.2초 동안 0.55[pu]의 전압이 지속됨을 알 수 있었다. 또한 세 번째 구간 이후는 0.25초 ~ 0.5초까지 0.6[pu] ~ 0.9[pu]로 증가시켰을 때, 목표로 하는 LVRT의 출력특성이 구현되고 있음을 알 수 있었다. 따라서 PSCAD/EMTDC에 의한 시뮬레이션 값과 계통모의장치의 출력 값이 일치하여, 시험장치의 유효성을 확인하였다.

Inverters for Stand-Alone WIND Power Generation”,
The Korean Institute of Power Electronics, Vol.12,
No. 2, pp. 131-138, April, 2007.



[그림 7] 계통모의장치의 LVRT 특성

6. 결 론

본 논문에서는 현장에 설치되어 있는 ESS의 성능을 평가하고 신뢰성을 검증하기 위하여, PSCAD/EMTDC를 이용하여 ESS용 성능평가 시험장치를 모델링하였고, 이를 바탕으로 1[MW]급 이동형 성능평가 시험장치의 프로토타입을 구현하여, 각각의 출력특성을 분석하였다. PSCAD/EMTDC에 의하여 모델링을 수행한 계통모의장치를 이용하여, LVRT에 대한 제어특성을 분석한 결과, 목표로 하는 전압강하의 크기와 지속시간을 구현할 수 있음을 확인하였다. 또한, 1[MW]급 계통모의장치를 이용하여, 동일한 조건에서 시험을 수행한 결과, PSCAD/EMTDC에 의한 시뮬레이션 결과와 동일한 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Eungsang Kim, "Standardization and technical standards for new renewable energy and ESS power converters", Fall Conference for Society A of KIEE(Korean Institute of Electrical Engineers), Journal of Power Electronics, pp. 31-35, April, 201
- [2] IEEE 1547.1, "IEEE Standard conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System", June, 2005
- [3] IEEE 1547. 6, "IEEE Standard conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System", June, 2009
- [4] IEC 61000-4-11, "Voltage dips, short interruptions and voltage variation immunity test", 2014
- [5] Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), 2013, "Construction of Test Facilities for MW Class Energy Storage system and Power Converter".
- [6] Jeong-Ik Jang, Dong-Choon Lee, Seoung-Young Koo "Nonlinear Control of Output Voltage of PWM