

배전시스템에 연계된 다기능 전지전력저장시스템의 사고에 관한 연구

*김재철, **문선호, *김인택, **김응상, ***추동욱
* : 송실대학교 전기공학과, ** : 전기 연구소, *** : 팽택전문대학

A Study on Fault of Multifunctional Battery Storage System interconnected with Distribution System

*Jae-Chul Kim, *Sun-Ho Moon, *In-Taek Kim, **Eung-Sang Kim, ***Dong-Wook Chu
* : Soongsil University, ** : KERI, *** : Pyoungtak college

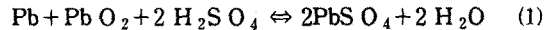
Abstract - This paper present a variety fault problem brought out with the multifunctional Battery Energy Storage System [MBESS] expected to be practical in the short future interconnected to power distribution system. Multifunctional BESS model and interconnection model to power system is simply configured, the problems of protection coordination and operation is studied. A line fault in the power distribution system are discussed such as line to ground and three phase fault in order to show the impact on power utilities, demand-side and BESS-side. In order to simulate a variable transient phenomenon due to the BESS interconnection operation to power distribution system, in this paper, PSCAD/EMTDC simulation tools is used

장시스템(Battery Energy Storage System : BESS)의 운전 대책을 제시하기 위하여 전자기 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 사용하여 1[MVA]급 BESS와 배전시스템의 연계모델을 구성하였다. 또한 배전시스템에 연계된 BESS가 충·방전 운전하는 경우를 나누어서 1선 지락, 선간 단락 및 3상 단락사고에 대하여 시뮬레이션을 하여 사고 전류 및 사고 전압을 분석하였다.

2. 1(MVA)급 전지전력저장시스템의 모델

2.1 전지부의 모델

전기적인 에너지가 화학적인 에너지로 변환되는 연속전지의 충방전 반응식은 다음과 같이 식 (1) 표현된다.



1. 서론

현대 산업의 발전과 생활수준의 향상으로 전력의 수요가 점차적으로 증대되고 있으며, 이렇게 급증하는 전력 수요에 대처할 발전설비의 확대계획에 막대한 소요자금이 투입될 뿐만 아니라 발전소 부지의 확보, 발전에 따르는 환경오염 및 환경단체들의 반대로 인하여 발전소 건설이 점차적으로 어려워지고 있다. 이러한 여러 가지 문제점들을 해결하기 위하여 1,2차 석유파동 직후에 에너지 절약 및 대체 에너지 개발등 신기술 개발에 총력을 기울여 전 세계적으로 상당한 발전을 가져왔다. 이 중에서 2차 전지를 이용한 전력저장시스템은 높은 에너지 밀도를 가지고 있으며, 기동 정지 및 부하추종 등의 운전특성이 우수하며 모듈구조로 분산 배치가 가능하며, 저장효율이 우수하며, 환경에 끼치는 영향이 거의 없으며, 입지 제약이 거의 없어 수요지 근방에 설치할 수 있으며, 공급이 무난하며, 적용범위가 광범위하다는 장점이 있어서 가장 가까운 시기에 실용화가 가능한 저장기술로서 평가되고 있다.[1,4] 그러나 전력저장시스템을 전력시스템에 연계하여 전력회사의 발전원으로 운전하기 위해서는 연계운전시 일어날 수 있는 많은 문제점들을 사전에 검토하고 분석하여 기술적인 해결방안이 선행되어야 한다. 즉, 전지저장전력시스템을 배전시스템에 연계 운전하게 되면 종래와는 달리 부하지역에 전원이 존재하게 되므로 시스템보호문제 뿐만 아니라 적정 설치장소, 전력 사고 문제, 전압조절문제, 고조파문제 및 각종 과도현상에 대한 대책 등이 해결되어야만 한다.

본 논문에서는 다기능 전지전력저장시스템(multifunctional Battery Energy Storage system : MBESS)을 배전시스템에 연계 운전할 때 발생하는 여러 가지 종류의 사고 및 문제점들을 분석하고 이에 따른 배전시스템과 전지전력저장

전지부로 사용된 연속전지는 충전과 방전시 전기적 특성이 변하기 때문에 계통에 연계하여 시뮬레이션 하는 경우, 모델링 해석이 매우 중요한 영향을 미치게 된다. 따라서 시뮬레이션을 수행하기 위해서 연속전지의 충전과 방전상태, 전지저장능력, 충방전 비율, 주위환경의 온도, 전지수명 등과 같은 2차 전지의 특성을 고려하여 그림 1과 같이 테브난(Thevenin)의 등가회로로 모델링하였다. 이것을 바탕으로 전지의 용량을 결정할 수 있다[2].

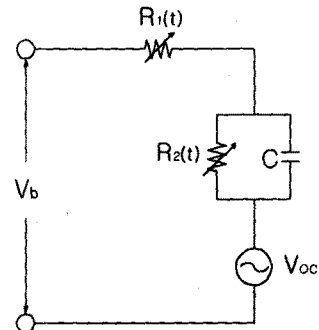


그림 1. 테브난의 전지등가모델

여기서, V_b : 전지전압
 V_{oc} : 방전전지전압
 $R_1(t)$: 전지내부저항
 $R_2(t)$: 전지의 자기방전저항.

2.2 전력 변환부의 모델

전력변환장치는 컨버터와 입·출력 겸용 변압기부로 구성하였다. 컨버터는 전압형 단상 전파 브리지 스택(stack) 6개를 사용하여 12펄스가 발생하도록 하였으며 충전시에는 정류기로 방전시에는 인버터로 동작되도록 구성하였다. 전력용 스위칭 소자로는 IGBT를 사용하였고 각 단상 스택은 변압기의 결선에 따라 120°의 위상차를 주어 스위칭 되도록 하였다.[4]

입·출력 겸용 변압기는 T1과 T2의 변압기 2대를 사용하였으며 1차측은 OPEN-Delta 방식으로 결선하고, 2차측은 특수한 Zig-Zag 결선을 하여 그림 2와 같이 교류전압의 출력파형이 정현파에 가까운 계단파 전압으로 합성하도록 구성하였다.

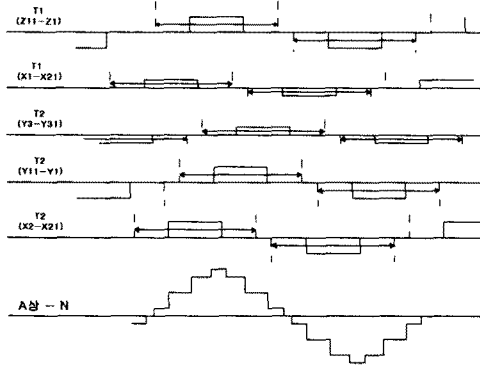


그림 2. A상의 교류전압 출력파형

2.3 필터 및 연계 리액터

고조파를 제거하기 위하여 충전시에는 직류필터를 2차전지와 전력변환장치 사이에 수동필터를 설치하여 출력 전압과 전류파형의 리플을 줄여주고 교류필터는 방전시 전력변환장치의 출력단에 설치하여 11,13고조파를 제거하였다. 연계 리액터는 계통전원과 연계할 경우 다기능 BESS와 계통사이에 설치하여 전압의 크기 및 위상을 제어함으로써 유효전력과 무효전력을 조절할 수 있도록 설치하였다.

3. 배전시스템의 모델

배전시스템에서의 모델은 변전소, 가공선로, 변압기, 차단기, 부하, 캐패시터 뱅크, 피뢰기로 구성되어 있으며 이들 모델의 파라미터는 전형적인 22.9[kV] 배전시스템의 데이터를 이용하였다. 변전소의 전형적인 모델을 표현하기 위하여 국내 배전시스템 변전소의 3상 4선식 22.9[kV]선로, 45/60[MVA]×1Bank, 154/22.9[kV], Ground-Wye의 3상 변압기를 모델로 구성하였다.

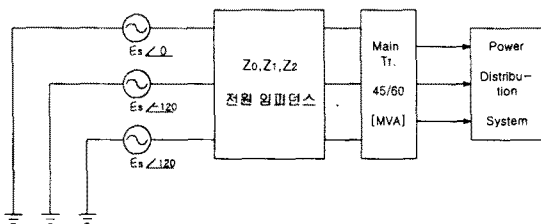


그림 3. 변전소 모델

모델링한 변전소 모델은 그림 3과 같이 나타내었으며, 여

기서 E_s 는 등가 전원이고 Z_0, Z_1, Z_2 는 각각 영상분, 정상분, 역상분 임피던스로서 무한모선의 내부 임피던스를 나타내며 일반적으로 전원측 임피던스로 처리한다. 가공선로의 모델은 구간이 짧고 비연가된 선로이므로 상호결합된 R-L 집중선로 나타내었으며 100[MVA]을 기준으로 임피던스는 $Z_0: 11.99+j29.26, Z_1, Z_2: 3.47+j7.46$ 값을 사용하였다. 배전선로의 변압기 모델은 22.9[kV]/380-220[V], 75[kVA]인 3상 주상 변압기로 모델링 하였고 부하 모델은 R-L 직렬 부하로 모델링하였다.

4. 시뮬레이션

4.1 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 환경

사고를 분석하기 위하여 그림 4와 같이 배전시스템과 연계한 모델로 다기능 BESS를 피더의 말단에 수용가와 병렬로 연결하였다. 각 피더의 길이는 5km로 상정하였으며 각 피더에 대한 부하의 합은 10[MVA]로 상정하였다.

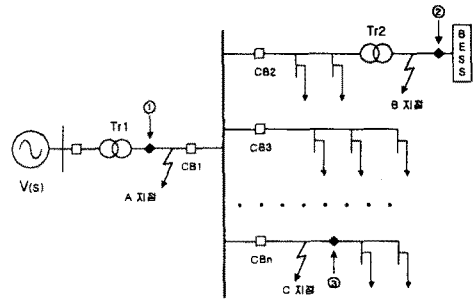
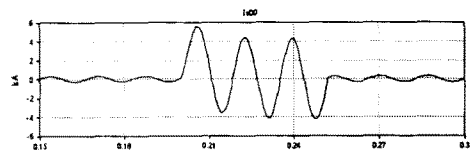


그림 4. 다기능 BESS와 배전시스템의 연계 모델

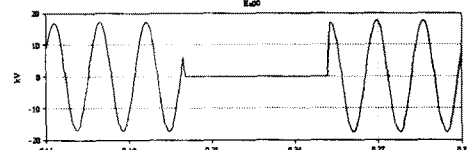
만약 차단기가 동작을 하게되면 다기능 BESS는 UPS로 동작을 하기 때문에 사고 분석을 위하여 차단기(CB1, CB2, CB3, CB4, CBn)가 동작하지 않는 것으로 가정하였다. 시뮬레이션은 BESS측, 전력회사측, 수용가측에서 1선 지락 및 3상 단락사고를 임의로 발생시켜 각각에 미치는 사고 영향을 측정하였다.

4.2 A지점 사고

그림 5와 6은 BESS가 충전을 하는 경우 ①에서 측정된 전류와 전압 파형이다. 정상상태에서 0.2[sec]에 사고를 발생하여 0.1[sec]간 사고가 지속되도록 시뮬레이션 하였다.

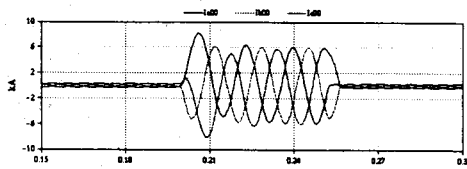


(a) 사고 전류 파형

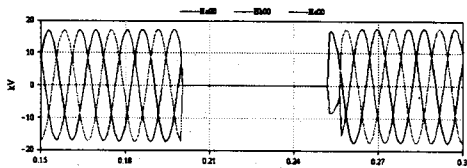


(b) 사고 전압 파형

그림 5. 1선 지락 파형



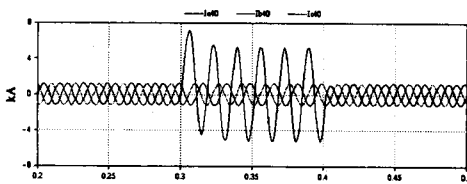
(a) 전류 파형



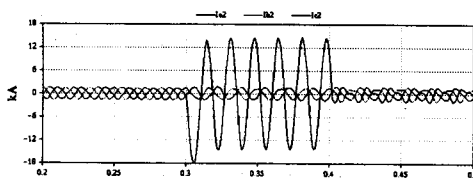
(B) 전압 파형
그림 6. 3상 단락 파형

4.2 B지점 사고

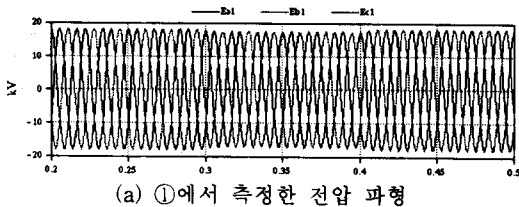
그림 7은 BESS가 충전과 방전시 B지점에서 사고가 발생하였을 경우에 ②에서 측정한 전류 파형이다. 사고시간은 0.3[sec]에 사고를 발생하여 0.1[sec]간 사고가 지속되도록 시뮬레이션 하였다.[5]



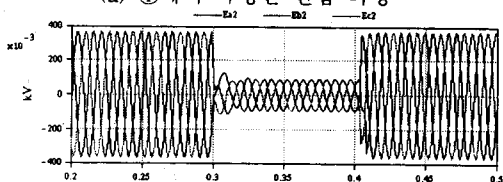
(a)충전시 사고 전류 파형



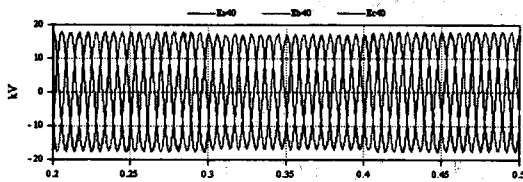
(b) 방전시 사고 전류 파형
그림 7. 충·방전시의 사고 전류 파형



(a) ①에서 측정한 전압 파형



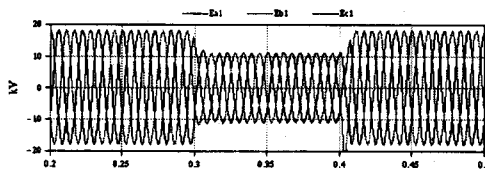
(b) ②에서 측정한 전압 파형



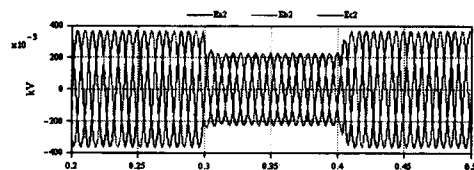
(c) ③에서 측정한 전압 파형
그림 8. 사고저항이 있는 경우의 전압 파형

그림 8은 3선 단락 사고가 발생한 경우 임의로 사고 저항을 0.01[Ω]으로 준 경우의 전압 파형이다. 그림 8(a)에서 사고 발생시 약간의 전압 강하가 발생하는 것을 볼 수가 있다. 또한 그림 8(b)에서는 전압이 약 100[V]가 흐르는 것을 볼 수가 있다.

4.2 C지점 사고



(a) ①에서 측정한 전압 파형



(a) ②에서 측정한 전압 파형
그림 9. ①과 ②에서 측정한 전압

5. 결론

본 논문에서는 배전 계통에 전지전력저장시스템을 연계하였을 경우에 발생할 수 있는 제반 문제점을 사전에 검토 분석하기 위하여 PSCAD/EMTDC를 이용하여 BESS의 연계모델을 구성하였고 여러 가지 사고 사례를 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 사고가 발생할 경우 BESS가 받는 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 또한 BESS가 침투부하 삭감을 위하여 방전시 사고가 발생한 경우 배전시스템의 사고 전류가 더욱 커짐을 알 수 있다. 그러므로 배전시스템과 BESS 연계시 적절한 차단 대책이 필요하다. 본 논문에서 수행한 분석 결과는 BESS를 실제의 배전시스템에 연계하여 병렬 운전시 검토자료로 사용될 수 있으리라 생각된다.

[참고문헌]

- [1] S.J.Chang, et. al, "Multi-Module Parallel Small Battery Energy Storage System", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.11, No.1, March 1996.
- [2] Ziyad M. Salameh, Margaret A. Casacca, William A. Lynch, "A Mathematical Model for Lead-Acid Batteries", IEEE Transactions on Energy Conversion. Vol. 7, No.1, pp. 93-98, March 1992.
- [3] "대체 에너지 전원(연료전지)의 계통 연계 운전 실용화 기술개발", 한국전력공사 기술연구원, 1994. 5.
- [4] 김재철, et. al. "전지전력저장시스템의 배전계통 적용에 관한 연구", 숭실대학교 생산기술연구소. 1997.3
- [5] PSCAD/EMTDC Power System Simulation Software, Manitoba HVDC Research Centre, 1994.