

전지전력저장시스템의 배전시스템 연계시 고조파 분석

°김영성* 류영돈* 임성정* 김재철* 김응상** 고요***

* : 숭실대학교 전기공학과

** : 한국전기연구소

*** : 에너지자원 기술개발지원센터

Harmonic analysis of Battery Energy Storage System on distribution system

°Young-Sung Kim* , Young-Don Ryoo* , Seong-Jeong Rim* , Jae-Chul Kim* , Eung-Sang Kim** , Yo Ko***

* : Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University

** : Korea Electrotechnology Research Institute(KERI)

*** : R & D Management Center for Energy and Resources

Abstract

This paper describes a simulation model to analyze the interconnection operation of battery energy storage system(BESS) and utility system. The computer model used to these analysis composed by using PSCAD/EMTDC. The impacts experienced at load side are studied when occur faults in utility system, and also harmonics analysis are implemented. Results of these study are available to design the harmonic filter.

1. 서론

산업의 발달과 더불어 전력의 수요가 증대하고, 노동환경과 국민 생활의 향상은 전력수요의 변화를 가져왔다. 즉, 주중과 휴일간의 전력사용량의 격차가 커지고 주야간의 부하격차 또한 점차 증가하여 부하율의 하락이 날로 심화되어가고 있다. 이에 대한 대책으로서 침투부하의 삭감과 심야부하의 창출이 가능한 BESS(Battery Energy Storage System : 전지전력저장시스템)의 도입을 들 수 있다. BESS는 높은 에너지 밀도를 가지며, 기동정지 및 부하 추종 등의 운전특성이 우수하고, 입지제약의 조건이 비교적 적으며 분산배치가 가능하다는 등의 잇점이 있다[1-2]. 그러나 이러한 BESS를 배전시스템에 연계운전하기 위해서는 많은 기술적인 문제의 해결이 선행되어야 한다. 즉, BESS를 배전시스템에 연계운전하게 되면 종래와는 달리 부하지역에 전원이 존재하게 되어 보호문제 뿐만아니라 전압문제, 고조파문제 등이 해결해야할 문제로 대두된다. 특히 고조파 전류가 전력시스템에 유입하게 되면 전력시스템에 연계된 다른 기기에 직접적인 장애를 주게 되며, 전력의 질을 하락시키는 문제가 된다. 본 논문에서는 BESS를 배전계통에 연계시 발생하는 고조파를 분석하고, 또한 전력회사와 이웃하는 부하로 전파되는 고조파의 크기를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 시뮬레이션에 사용한 프로그램은 전자기 과도해석프로그램인 PSCAD/EMTDC이며, 시뮬레이션은 2차 전지를 충전하는 경우와 방전하는 경우로 분리하여 실시하였다. 고조파의 발생원으로부터 각 거리별 고조파의 크기를 분석하였다. 이 분석결과는 BESS를 실제 배전시스템에 연계운전방안의 기초자료로 활용가능할 것으로 생각된다.

2. 전지전력저장시스템 모델

2.1 전지전력저장시스템의 구성

BESS를 배전시스템에 연계하여 운전할 경우 BESS가 설치될 수 있는 위치는 주로 배전용변전소의 2차측 피더로 고려된다. 그림 1은 BESS를 배전시스템에 연계하는 기본적인 블록선도를 보여준다.

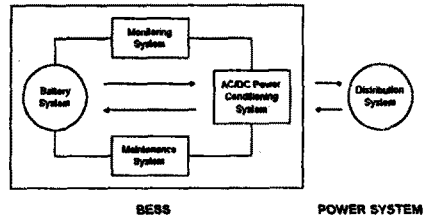


그림 1. BESS의 시스템연계 기본 블록선도

2.2 전지 모델

전력저장에 사용되는 2차전지는 계층구조의 단위셀로 구성되어 있다. 에너지의 출력변화에 대해서 전지의 에너지 주기가 다르므로 적은 전력으로 방전하게 되면 오랜시간을 사용할 수 있고 큰전력으로 방전하게 되면 짧은시간동안의 사용이 가능하다[2-3]. 전지의 충방전특성을 살펴본 결과 에너지 축적 소자인 콘덴서의 충방전특성을 이용하여 콘덴서와 내부저항으로 모델이 가능하였다. 그림 2에서 E_D 는 개방회로 전압을 나타내며 R_r , R_p , C_p 는 전자화학 현상을 고려한 전기적인 파라미터를 나타낸다. 또한 E_D 는 전지의 방전중지전압 또는 방전후 남은 전지 용량을 나타낸다.

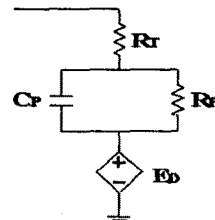


그림 2. 전지 모델

2.3 전력변환장치 모델

본 논문에서 모델로 사용한 전력변환장치는 Graetz 브리지로 잘 알려진 3상 전파 정류브리지이며 두 개의 컨버터 브리지를 직렬로 연결하여 12펄스 컨버터 모델을 구성하였다. 그림 3은 본 논문에서 사용한 12펄스 컨버터 모델을 나타낸다. 그리고 각 펄스는 R-C 스너버 회로를 가진 스위치로서 모델로 되어있다.

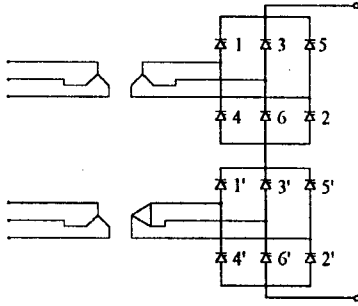


그림 3 12펄스 브리지

2.4 필터(Filter)구성

BESS의 충전시는 필터를 전지와 전력변환장치 사이에 설치하여 충전시 전압과형의 리플을 줄여주고, BESS에서 전력을 부하에 공급할 때는 필터를 전력변환장치의 출력단에 설치하여 저력변환장치에서 발생하는 고조파를 제거해준다. 여기서, 이미 12펄스 컨버터 모듈을 사용하고 있기 때문에 많은 저차 고조파들이 제거된다. 그러므로 단일동조필터를 사용하여 11고조파와 13고조파를 제거하고 직렬리액터는 출력측 캐패시터와 협조하여 low pass filter를 형성해서 나머지 고차 고조파를 제거시켜준다.

2.5 부하모델

전력시스템에는 특성이 다른 다양한 부하들이 연결되어 있어서 이 부하를 수식적으로 표현하기는 쉽지 않다. 본 논문에서는 일정임피던스를 갖는 부하 모델을 이용하여 R-L직렬부하를 구성하였으며 부하의 계산식은 다음과 같다.

부하의 복소전력은

$$S_L = P_L + jQ_L = VI^* = V^2 Y_p^* = \frac{V^2}{Z_s^*} \quad (1)$$

직렬모델의 경우 Z_s 는

$$Z_s = R_s + jX_s = \frac{V^2}{S_L} (\cos \theta + j \sin \theta) \quad (2)$$

$$\text{단, } \theta = \tan^{-1} \frac{X_s}{R_s}$$

3. 고조파 분석 및 대책

3.1 고조파 분석

본 논문에서는 전지전력저장시스템을 배전시스템에 연계시 발생하는 고조파를 분석하기 위하여 EMTDC를 이용하여 FFT를 실시하였다. 시스템에 영향을 미치는 복소수터파형의 중요한 고조파는 $Kn \pm 1$ 이며, 여기서 K는 스텝의 수이고, n=정수이다. 예를 들면 12스텝파의 중요한 고조파는 11과 13고조파이다.

3.2 고조파 억제대책

이런종류의 구성요소를 가진 BESS시스템을 배전계통에 연계할 때 많은 고조파가 발생한다 컨버터 변압기의 결선은 보통 Y-Y와 Y- Δ 결선을 사용한다. 한 개의 브리지는 6펄스 동작을 하지만 30°의 위상차가 있는 두 대의 변압기를 이용한 두 브리지의 직렬 연결은 12펄스 동작을 하게된다. HVDC나 대용량의 직류전송기 드라이브와 같은 대전력의 컨버터 응용에서는 펄스수를 증가시켜 동작하는 것이 매우 바람직하다[7].

4. 컴퓨터 시뮬레이션

시뮬레이션은 충방전시 모델로 되었으며 구성은 그림 1에서 보는 것과 같다. 본 논문에서는 고조파 발생원인 BESS를 배전시스템에 연계시 발생하는 고조파를 각 구간별로 분석하여 각 구간에 파급되는 영향을 분석하였다.

4.1 컴퓨터 시뮬레이션 환경설정

에너지 저장을 위한 새로운 기술로서의 BESS는 2차 전지, 감시 및 제어장치, 전력변환장치로 구성되었고, BESS를 배전시스템에 연계시킨 모델의 단선도를 그림 4에서 나타내고 있다.

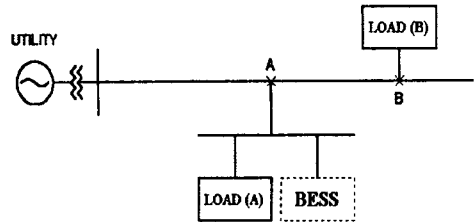


그림 4. 배전시스템과 전지전력저장시스템의 연계모델

4.2 제약조건

본 시뮬레이션을 하기위한 제약조건은 다음과 같다.

- ▶ 선로정수 (Z_L) = $0.022776 + j 0.22 [\Omega/km]$ 로 설정하고 선로의 정전용량(C)과 누설컨덕턴스(G)의 값은 무시한다.
- ▶ 전원측과 A지점의 거리는 3km이고 A와 B지점은 1km로 설정하였다.
- ▶ 전원측 용량은 10MVA이고 BESS의 용량은 1MVA로 설정하였고 부하는 R-L직렬로 구성하였다.

이와같은 가정을 기본으로 하여 본 시뮬레이션을 실시하였다.

4.3 고조파 분석

4.3.1 전력변환장치에서의 고조파 발생

그림 5는 BESS에서 부하에 전원을 공급할 때 전력변환장치에서 발생된 고조파를 분석한 것이다. 이 고조파의 영향으로 인해 각 지점에서 고조파의 영향을 받는다. 그림 5에서 보는 것처럼 12펄스 인버티어가 때문에 60Hz를 기준으로 11고조파인 660Hz와 13고조파인 780Hz의 성분이 크게 존재하는 것은 알 수 있다.

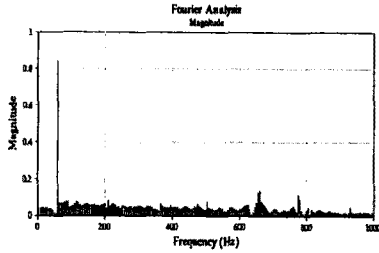


그림 5. 전력변환장치의 출력단의 고조파 분석

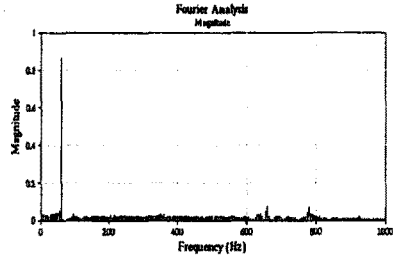


그림 8. B지점에서의 고조파 분석

4.3.2 진원측이 받는 고조파 영향분석

진원측에서 공급하는 전력은 고조파가 섞이지 않은 양질의 전력이다. 진원측과 BESS의 병렬운전 측, BESS의 전원공급시 고조파 공급원인 BESS는 고조파를 발생한다. 그러나 3km거리로 떨어져있는 진원측에 미치는 고조파의 영향은 진원측이 가지는 선로정수로 인해 필터링이 되어서 거의 고조파의 영향을 받지 않는다는 것을 그림 6에서 알 수 있다.

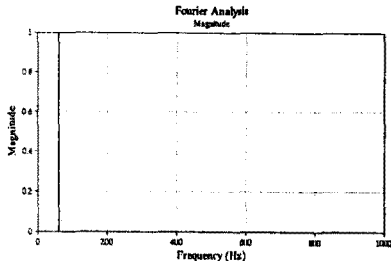


그림 6. 진원측에서의 고조파 분석

4.3.3 A부하가 받는 고조파 영향분석

그림 7은 BESS와 매우 가까이 위치한 부하가 받는 영향을 분석한 것을 나타내고 있다. BESS가 발생시키는 11고조파와 13고조파의 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있다.

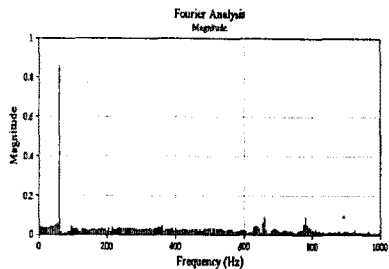


그림 7. A지점에서의 고조파 분석

4.3.4 B부하가 받는 고조파 영향분석

그림 8은 BESS와 1[km] 떨어져 선로정수를 가지고 있는 부하 지점으로 파급되는 고조파를 분석한 것이다. 그림 8에서 나타난 것처럼 선로 정수를 가진 A부하 보다 더 적은 고조파가 섞여 있는 것을 알 수 있다. 이것도 진원측과 마찬가지로 선로정수 자체가 가지는 리액턴스 성분이 인입되는 고조파를 필터링하고 있는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 배전시스템에 BESS가 연계될 때 나타나는 고조파의 영향을 분석하기 위해 BESS의 연계모델을 구성하였다. 전지의 특성을 고려하여 콘덴서를 이용한 전기적인 모델을 사용하였으며, 전력변환장치는 3상 전파정류기 2대를 직렬로 접속하여 12펄스 컨버터를 구성하였다. 컨버터 인입기는 Y-Y와 Y- Δ 결선을 이용하여 고조파를 줄이고자 했다. BESS를 배전시스템에 연계하여 병행운전시 BESS에서 발생하는 고조파가 배전시스템 및 부하에 파급되는 고조파의 영향을 분석하였다. 그리고 본 시뮬레이션을 통해서 선로정수에 따라서 고조파의 영향이 다르게 나타남을 보였다. 그리고 시뮬레이션결과 전력변환장치인 고조파원에서 발생한 고조파가 이웃하는 부하에 전파되어 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 따라서 BESS를 배전시스템에 연계하여 운전할 때 이러한 점을 고려하여 운전해야만 양질의 전력을 수용기에 공급할 수 있을 것이라고 생각되어진다. 본 논문에서 분석한 시뮬레이션용 기초로 하여 BESS를 실제 연계운전하는 경우에 고조파대책 및 필터설계 와 보호협조 방안에 도움을 주고자 했다.

참 고 문 헌

- [1] G. Carpinelli, et. al, "Steady-state mathematical models of battery storage plants with line-commutated converters," *IEEE Trans. on PWRD*, Vol. 8, No. 2, pp.494-503, April 1993.
- [2] 김효용 외, 1MW급 전력 저장 전지 시스템 기술개발에 관한 중간보고서, 통상산업부, 1996. 3.
- [3] Timothy Yau, et. al, "Effects of Battery Storage Device on Power System Dispatch," *IEEE Trans. on PWRD*, Vol. PAS-100, No. 1, pp.375-383, January 1981.
- [4] Greg J. Ball, "Summary of Static Power Converters of 500kW or Loss Serving as The Relay Interface Package for Non-conventional Generators", *IEEE Trans. on PWRD*, Vol. 9, No. 3, pp.1325-1331, July 1994.
- [5] G. M. COOK, et. al, "Overview of Battery Power Regulation and Storage", *IEEE Trans. on EC*, Vol. 6, No. 1, pp.204-211, October 1991.
- [6] 김윤호, 송치영, AC/DC GTO컨버터의 제어방식 및 고조파 분석에 관한연구, 대한전기학회논문지, 제43권 7호 pp.1093-1102, 1994년 7월.
- [7] S. M. Williams, et. al, "Harmonic Propagation on an Electric Distribution System: Field Measurements Compared with Computer Simulation", *IEEE Trans. on PWRD*, Vol. 8, No. 2, pp.547-552, April 1993.