

플라이휠을 이용한 부하에의 순시전압강하 보상 방안 연구

이한상*, 장길수*, 한상철**, 성태현**, 한영희**
*고려대학교, **한국전력공사 전력연구원

A Study of a Voltage Sag Compensation Scheme on Loads by Using Flywheel Energy Storage system

Hansang Lee*, Gilsoo Jang*, Sangchul Han**, Taehyun Sung**, Younghee Han**
*Korea university, **KEPRI

Abstract - Faults on power systems are inevitable phenomena. These faults can be classified by two categories, temporary and permanent faults. Without distinction of fault types, the faults would induce several changes on power system such as transmission line trip. Especially, the most common phenomena which loads experience by the power system fault is voltage sag. Voltage sags mean that the bus voltage maintains under 0.9 p.u. of rating for several cycles, and they give serious effects to operation of load devices. To ensure proper operation of the load, the flywheel systems, one of the energy storage system, are suggested in this paper. This paper demonstrates the efficiency of flywheel energy storage system against voltage sag by PSCAD/EMTDC simulation.

1. 서 론

플라이휠 에너지 저장장치(Flywheel Energy Storage System)는 전력 저장용 휠을 회전시켜 전기 에너지를 운동 에너지로 저장했다가 필요시 전력으로 변환하여 출력하는 장치이다. 본 연구의 대상이 되는 초전도 플라이휠 에너지 저장장치(SFES)는 이 휠에 설치되는 베어링을 초전도베어링을 사용하는 장치이다. 플라이휠 기술은 기존의 여러 에너지 저장기술에 비해 많은 장점을 가지고 있으며, 특히 초전도베어링을 이용한 기술은 시스템의 안정성과 효율에서 가장 이상적인 조합을 보여 전 세계적으로 경쟁적인 연구가 진행되고 있다. 이 플라이휠 장치는 크게 휠, 베어링시스템, 전동/발전기, 컨트롤러로 구성된다. 전 세계적으로 보면 플라이휠의 기술수준은 외국의 수준에 비해 전혀 뒤처지지 않는다.

초전도 플라이휠 에너지 저장장치는 현재 실용화를 위하여 대용량 개발에 중점을 두고 있다. 플라이휠은 UPS (소용량), 각종 공장, 빌딩 등의 비상전원 (중용량), 태양광, 풍력, 조력 등의 Renewable Energy 전력저장용 (중, 대용량), 분산 배치 전력저장플랜트 (대용량), 고전력 발생장치 등 기타 군수용, 연구용, 상용 특수 용도로 사용할 수 있을 것으로 기대를 모으고 있다.

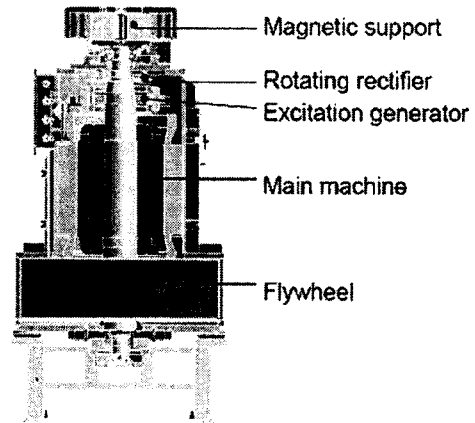
이러한 에너지 저장장치가 실용화 되어 설치되면 전력계통에 커다란 영향을 미친다. 소용량일 경우 계통에 큰 영향을 주지는 않지만 플라이휠은 순간전압강하(sag)의 발생을 저하시켜 전력품질의 개선을 가져올 수 있으며, 용량이 큰 저장장치의 경우 계통의 과도안정도를 개선할 수 있고, 분산전원과 연계하여 설치할 경우 계통의 효율을 극대화시킬 수 있다는 장점을 지니고 있다.

본 논문에서는 배전단에 설치된 플라이휠을 가정하고, 배전단에서의 사고와 송전단에서의 사고를 모의함으로써, 플라이휠 이하단에서의 전력공급이 순시전압강하의 발생없이 원활하게 이루어짐을 보임으로서 순시전압강하 보상에 대하여 플라이휠 에너지 저장장치가 우수함을 증명할 것이다.

2. 플라이휠 에너지 저장장치

M-G set은 플라이휠에 저장된 에너지를 추출하여 공급하는 방식만을 취한다. 현재의 플라이휠 에너지 저장장치는 고속으로 회전하는 플라이휠과 전력전자소자를 이용하여 순시전압강하와 정전에 대한 내성을 10 초에서 2 분까지 확장하였다. 그림 1은 에너지 저장에 사용되는 플라이휠의 단면을 보여준다. 일반적인 전동기-발전기 셋은 열려있는 공간에서 공기역학상의 마찰에 의한 손실을 가지고 있는 반면, 이런 플라이휠은 진공 상태의 밀폐된 구조에서 동작하고 대기상태에서의 손실에 대한 근본적 감소를 위하여 자기 베어링을 사용한다. 혼합물로 구성된 회전자는 훨씬 빠른 속도로 회전할 수 있는 반면, 강철로만 구성된 회전자를 채용한 설계는 1 분에 약 10,000 회 회전한다. 저장되는 에너지는 회전수의 제곱에 비례하기 때문에, 작은 공간에 엄청난 양의 에너지 저장의 구현이 가능해진다.

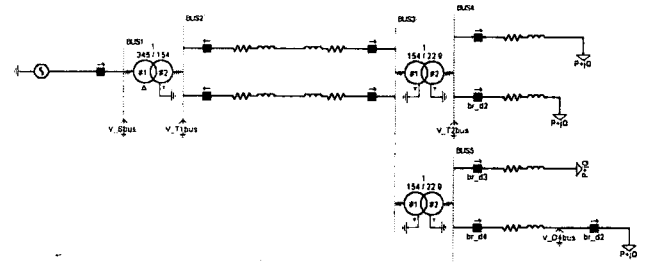
플라이휠의 회전자는 에너지 저장장치, 전동기, 발전기의 역할을 모두 수행한다. 에너지를 저장하기 위하여 회전자는 전동기처럼 회전된다. 외부로부터 에너지가 필요할 때, 그것은 발전기로 동작하도록 제어가 설계되어 있다. 저장된 에너지가 빠져나감에 따라 회전자의 회전속도가 낮아졌을 때, 플라이휠의 제어 시스템은 출력단의 전압 감소를 감지하여 자동적으로 계자전류를 증가시킨다. 이러한 동작특성을 가진 고속 플라이휠 에너지 저장장치는 이전부터 UPS가 설치되어 운전되고 있는 곳이나, 잦은 계통 사고로 인하여 순시전압강하가 발생하는 지점에 설치함으로써 순시전압강하의 영향을 줄일 수 있는 장치로 각광받고 있다.



〈그림 1〉 플라이휠 단면도

3. 모의 시험계통

플라이휠 에너지 저장장치에 대한 해석을 위하여 그림 2와 같이 시험 계통을 구성하였다. 시험 계통은 동기화된 전원(345[kV]) 하나로 시험 계통에 전력을 공급하고 있다. 전원에서 공급된 전력은 345/154 변압기를 거쳐 강압되고, 두 개의 154/22.9 변압기를 통하여 두 모선에 전력공급이 이루어진다.



〈그림 2〉 시험계통

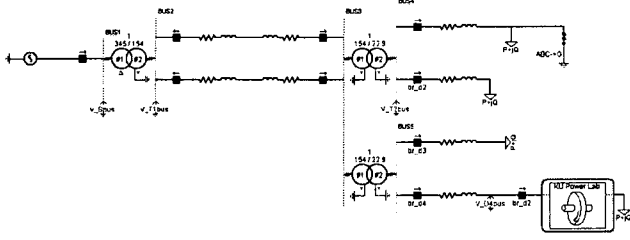
부하는 총 네 개이고 각 부하의 크기는 표 4.1에 정리하였다. 부하의 번호는 그림 2에 보이는 네 개 중, 상위의 부하에서부터 번호를 매긴 것이다. Load 4의 크기를 가장 크게 함으로서 본 시험 계통을 통한 순시전압강하 모의의 주 관심 대상으로 선정하였다.

〈표 1〉 부하 데이터

부 하	부 하 량 [kW, kVA]
Load 1	5.0 + j2.0
Load 2	6.0 + j1.0
Load 3	10.0 + j0.0
Load 4	70.0 + j30.0

4. 사례연구

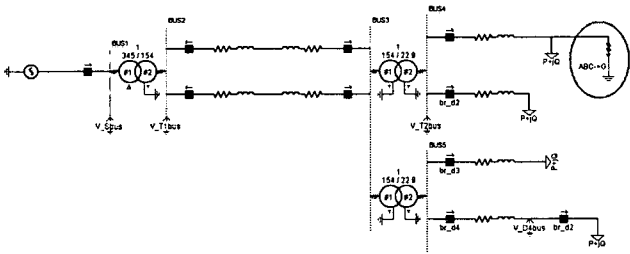
본 절에서는 그림 2의 시험계통에 'Load 1'의 위치에서의 지락사고와 154 [kV] 송전선에서의 지락사고를 상경함으로써 'Load 4'에 순시전압강하가 발생하도록 사고를 모의하였다. 이에 그림 3과 같이 'Load 4'에 플라이휠을 설치함으로써 순시전압강하의 보상이 가능함을 보였다.



〈그림 3〉 플라이휠이 설치된 시험계통

4.1 배전단에서의 지락사고

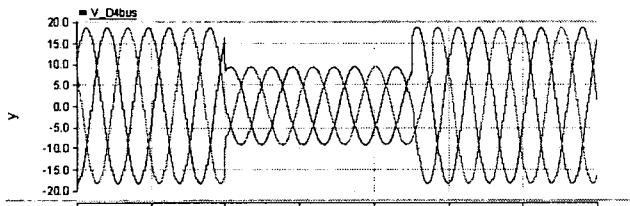
플라이휠 에너지 저장장치의 영향을 해석을 위하여 그림 4와 같이 사고를 상정하였다. 본 절의 모의는 배전단에 사고를 상정하고, 중요 부하(Load 4)에의 전압 변화를 모의하고, 이를 보상하기 위하여 플라이휠 에너지 저장장치를 설치하고 그에 따른 보상 효과를 해석하는 데에 목적을 둔다.



〈그림 4〉 배전단에서의 사고 상정

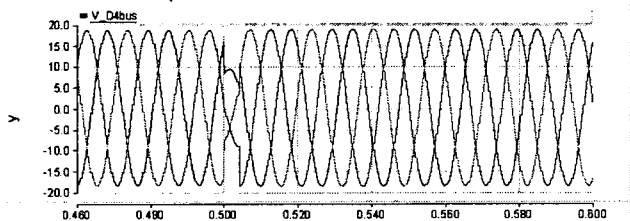
Load 1에 3상 지락사고를 상정함으로써, Load 4가 연결된 모선(Bus 5)에서의 순시전압강하 현상을 유발하였다. Bus 4에 상정한 3상 지락사고는 모의 시작으로부터 0.5[sec]에 발생하여 0.5[sec]동안 지속되는 사고이고, 이 사고를 제거하기 위하여 'Bus 4'와 'Load 1' 사이에 있는 차단기는 0.55[sec]에 사고를 제거하고, 사고가 제거 된 후 1.05[sec]초에 재폐로되는 보호 동작을 하도록 설정하였다.

그림 5는 3상 지락사고를 상정한 시험 계통에 대한 각 모선의 전압 파형을 나타낸 것이다. 본 모의에서 주 관심대상인 Bus 5의 모선 전압에는 약 50[%] 크기의 순시전압강하가 발생하였음을 볼 수 있다. 본 모의에서의 순시전압강하는 0.5[p.u]의 크기를 가지고, 0.5[sec]의 지속시간을 나타내는데 이것은 ITIC curve에 근거하여, 부하에 허용되지 못하는 크기의 순시전압강하가 발생하였음을 알 수 있다.



〈그림 5〉 배전단 사고에 의한 Load 4에서의 순시전압강하

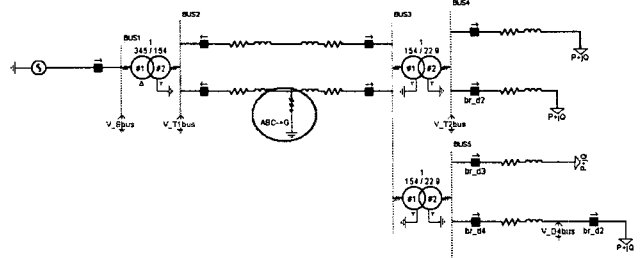
보호가 필요하다고 가정된 Load 4에 대하여, Load 4의 정상동작이 보장되지 못하는 순시전압강하가 발생하였으므로, 이에 대한 보상을 위하여 그림 3처럼 플라이휠 모델을 설치하였다. 그림 5와 비교하여 그림 6에 보이는 Load 4에서의 전압강하는 지속시간이 매우 짧음을 알 수 있고, ITIC curve에서 규정하는 안정한 동작 범위 내로 전압이 보상되었음을 알 수 있다.



〈그림 6〉 플라이휠에 의해 보상된 부하전압(배전단 사고)

4.2 송전단에서의 지락사고

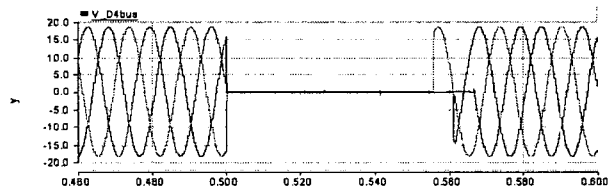
플라이휠 에너지 저장장치의 영향을 해석을 위하여 그림 7과 같이 지락사고를 상정하였다. 본 절의 모의는 송전단 지락사고를 상정하고, 중요 부하에의 전압 변화를 모의함으로써, 이를 보상하기 위하여 플라이휠 에너지 저장장치의 설치에 따른 보상 효과를 해석하는 데에 목적을 둔다.



〈그림 7〉 송전단에서의 사고 상정

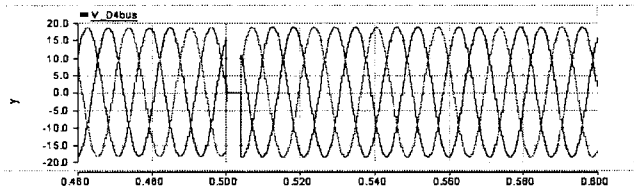
2회선의 송전선 중 하나의 회선에 3상 지락사고를 상정함으로써, Load 4가 연결된 모선(Bus 5)에서의 순간정전 현상이 유발되었다. Bus 4에 상정한 3상 지락사고는 모의 시작으로부터 0.5[sec]에 발생하여 0.5[sec]동안 지속되는 사고이고, 이 사고를 제거하기 위하여 사고 선로 양단의 차단기는 0.55[sec]에 사고를 제거하고, 사고가 제거 된 후 1.05[sec]초에 폐로되는 보호 동작을 하도록 설정하였다.

그림 8은 송전단에 3상 지락사고를 상정한 시험 계통에 대한 Load 4가 연결된 모선의 전압 파형을 나타낸 것이다. 송전단 모선의 전압(1번째 그래프)은 사고가 제거되기까지 전압이 0으로 나타난다. 본 모의에서 주 관심대상인 Bus 5의 모선 전압에는 세 상 모두 0으로 나타나는 순간 정전의 파형을 나타낼 수 있다.



〈그림 8〉 송전단 사고에 의한 Load 4에서의 순시전압강하

그림 9는 플라이휠의 설치에 따른 Load 4에 대한 전압 보상 결과를 보여 준다. 실제 0.5[sec]동안 지속되는 순간정전에 대하여, 플라이휠을 설치함으로써 0.004[sec]동안의 순간정전만을 경험하게 된다. ITIC curve에 의거하여, 0[p.u]의 전압이 0.004[sec]의 시간동안 지속되는 경우는 부하에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.



〈그림 9〉 플라이휠에 의해 보상된 부하전압(송전단 사고)

5. 결 론

플라이휠 에너지 저장장치는 회전체의 관성을 이용하여 전기에너지를 기계·역학적 회전에너지로 저장하였다가 필요 시 전기에너지로 변환하여 공급하도록 설계된 에너지 저장시스템이다. 전기에너지의 특성 중, 대용량의 저장에 어렵다는 단점을 극복하기 위한 방으로서 여러 분야에 활용이 가능한 기술이다.

본 논문에서는 시험 계통을 구성하여, 보호가 필요한 중요부하에 순시전압강하를 발생하게 하는 사고를 상정하여 모의하였다. 배전단에서의 사고와 송전단에서의 사고를 모의함으로써 중요부하보호의 필요성을 증명하였고, 이에 플라이휠을 이용하여 순시전압강하를 보상함으로써 규정 이내로 전압을 유지할 수 있음을 보였다. 사고에 따른 중요부하에의 전압 변동과 플라이휠에 의해 보상된 부하전압을 평가하는 기준으로서 IEEE 규정에서 사용하고 있는 ITIC curve를 사용하였다.

플라이휠 에너지 저장장치는 순시전압강하 보상 뿐 만 아니라, 도시철도 시스템에서의 회생전력의 저장 또는 출력이 불규칙적인 분산전원과 연결함으로써 계통의 효율과 안정성을 극대화할 수 있는 장치로서, 앞으로 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 생각한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전기연구원, "순저 보상을 플라이휠 시스템의 개발"
- [2] Math H. J. Bollen, "Understanding Power Quality Problems - Voltage sags and interruptions," pp. 389-452
- [3] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty, "Electrical Power Systems Quality," 2nd Edition, pp. 66-72