

**내부고장을 고려한 AF-SMES 시스템의 시뮬레이션 해석 및 제작에 관한 연구**

김아롱\* , 김재호\* , 김해종\*\*, 김석호\*\*, 성기철\*\*, 박민원\* , 유인근\*  
 국립창원대학교\* , 한국전기연구원\*\*

**A Study on the Fabrication and Simulation Analysis of AF-SMES System considering Internal Fault Condition**

A-Rong Kim\*, Jae-Ho Kim\*, Hae-Jong Kim\*\*, Seok-Ho Kim\*\*, Ki-Chul Seong\*\*, Minwon Park\*, In-Keun Yu\*  
 Changwon National University\*, KERI\*\*

**Abstract** - Recently, utility network is getting more and more complicated and huge. In addition to, demands of power conversion devices which have non-linear switching devices are getting more and more increased. Consequently, according to the non-linear power semiconductor devices, current harmonics are unavoidable. Those current harmonics flow back to utility network and become one of the reasons which make the voltage distortion. On the other hands, voltage sag from sudden increasing loads is also one of the terrible problems inside of utility network. In order to compensate the current harmonics and voltage sag problem, AF(Active Filter) systems could be a good solution method and SMES(Superconducting Magnetic Energy Storage) system is a very good promising source due to the high response time of charge and discharge. Therefore, the combined system of AF and SMES is a wonderful device to compensate both harmonics current and voltage sag. However, unfortunately SMES needs a superconducting magnetic coil. Because of the introduction of superconducting magnetic coil, quench problem caused by unexpected reasons is always existed. In case of discharge operation, quench is a significantly harmful factor according as it decreases the energy capacity of SMES.

Therefore, this paper presents a decision method of the specification of the AF-SMES system considering internal fault condition. Especially, authors analyzed the change of the original energy capacity of SMES regarding to the size of resistance caused by quench of superconducting magnetic coil. Finally, based on this simulation, authors manufactured actual Active Filter System using DSP.

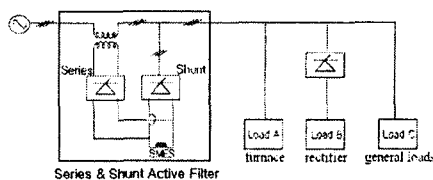
**1. 서 론**

전력소비자의 전력변환장치에서 발생하는 고조파 전류성분은 계통의 전압을 왜곡시켜 결과적으로 계통의 전력품질을 저하시킨다. 또한 부하의 갑작스러운 증가로 인해 생기는 순간전압 강하는 산업 전반적인 시스템에 나쁜 영향을 미치고 있다. 각종 전력품질 장애요인으로부터 중요설비를 보호하기 위한 시스템 개발이 요구되는 요즘 Active Filter 시스템이 각광받고 있다[1-3]. 그 중 전력원으로 충·방전 속도가 빠른 SMES가 있으며 이 시스템은 초전도 마그네트에 에너지를 저장하여 효율이 높고 에너지의 저장 및 방출이 매우 빠른 장점을 가지고 있다[4].

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC 프로그램을 사용하여 고조파 전류와 순간적으로 증가하는 부하로 인해 발생하는 Voltage sag의 보상을 위한 AF-SMES 시스템의 계통연계시 발생하는 문제점을 연구하고, 시뮬레이션을 바탕으로 DSP를 이용한 실제 시스템 제작결과에 대해 언급한다.

**2. AF-SMES 시스템 전체 개념도**

전체적인 시스템의 상세 내용은 그림 1과 같다. AF-SMES 시스템은 고조파 전류를 보상하는 병렬 Active Filter와 순간적인 전압강하를 보상해주는 직렬 Active Filter로 구성되어 있으며 전원부가 SMES이다. 이때 Load A는 순간적인 전압강하를 발생시키는 부하이며, Load B는 전력반도체 소자를 통한 비선형 부하, Load C는 정상부하이다.

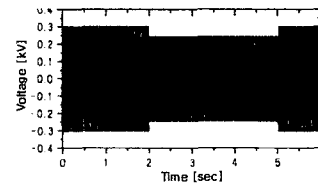


**<그림 1> 전체시스템의 개념도**

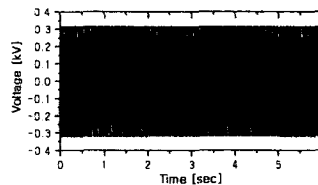
**3. AF-SMES 시스템 시뮬레이션 해석**

**3.1 직렬 Active Filter 시스템 적용**

일반적인 시스템 선로에 Voltage sag를 발생시키기 위해 임의로 3초 동안 15.3[kVA]의 부하를 증가시켰다. 그 결과 그림 2(a)와 같이 Voltage sag가 발생하였다. 순간적인 전압강하를 보상해 주기 위해 3대의 단상 컨버터를 사용, 강하한 만큼의 전압을 컨버터에서 보상해 주게 되며, 이 컨버터는 선로에 직렬로 연결된다.



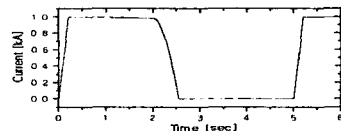
**(a) Voltage sag 발생**



**(b) SMES에 의해 voltage sag가 보상된 파형**

**<그림 2> 순간적인 부하증가로 인해 발생한 voltage sag와 보상된 후 전압파형**

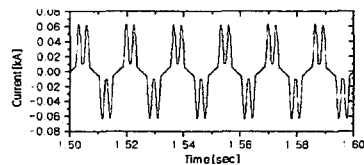
시뮬레이션 시간동안 SMES 시스템에 흐르는 전류는 그림 3과 같다. Voltage sag가 발생된 시점에서 SMES 시스템에 충전된 전류가 방전되는 것을 확인할 수 있으며, Voltage sag가 제거된 후 다시 충전모드로 전환되어 SMES 시스템에 에너지가 저장된다. 이때, 시뮬레이션에 사용된 SMES의 용량은 1[MJ]이다.



**<그림 3> SMES 시스템에 흐르는 전류**

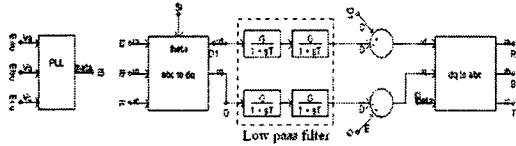
**3.2 병렬 Active Filter 시스템 적용**

우선 기본적인 전력시스템 선로의 정현파 발생을 확인하고 그 선로에 임의로 고조파 전류를 발생시켜주기 위해 3상 풀브릿지 다이오드를 연결하였다. 이때 흐르는 전류는 그림 4와 같으며, 이 전류를 FFT한 결과 위상이 0°인 a상에서는 정상전류성분이 53%의 비율로 나타났고, 5, 7, 11고조파 전류가 각각 21%, 21%, 4%의 비율로 나타났다.



**<그림 4> 풀브릿지 다이오드를 포함하는 정류기에 의한 고조파 전류**

비선형 부하로 인해 발생한 파형은 정상성분과 고조파성분이 함께 있는 파형으로 정상성분을 제외한 고조파성분만을 추출하여 컨버터로 보상하기 위해 그림 5와 같은 제어 블록 다이어그램을 만든다.

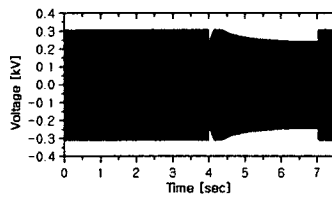


〈그림 5〉 고조파전류보상을 위한 Active Filter 제어 블록 다이어그램

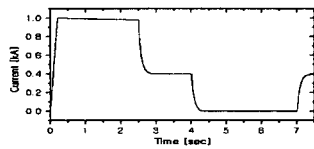
제어 블록 다이어그램을 통과한 출력전류는 정상성분을 제외한 고조파 전류성분만을 포함하게 된다. 이 전류를 컨버터의 출력전류로 하고 전력시스템에 병렬로 연결하면 폴브릿지 다이오드에서 나오는 고조파전류를 상쇄시켜 결국 정상전류성분만이 존재하는 전류가 흐르게 된다.

#### 4. 내부고장 발생으로 인한 보상파형의 변화

초전도 마그네트의 내부고장이 Active Filter 시스템의 동작에 어떠한 영향을 끼치는지 알아보기 위해 우선 내부저항이 발생하는 고장을 가정하였다. 처음에는 0[Ω]으로 영향을 주지 않다가 1.5[sec]가 되면 내부저항의 크기가 25[Ω]로 증가하게 되는데 이때의 파형 변화를 그림 6에 나타내었다. 내부저항이 발생함으로 인해 SMES에 충전된 에너지가 보상에 필요한 만큼 저장되지 못해 결국 Voltage sag를 보상해 주지 못한다.



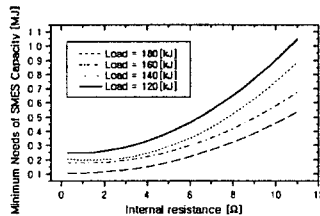
(a) Voltage sag 보상 후의 파형



(b) SMES 시스템에 흐르는 전류

〈그림 6〉 내부저항 발생시 Voltage sag 보상파형의 변화

Voltage sag를 보상해 주기 위한 SMES 용량은 갑자기 증가한 부하의 크기뿐만 아니라 내부저항에 따라서도 결정된다. 그림 7은 내부저항과 Voltage sag 발생시 보상 가능한 최소한의 SMES 용량을 나타낸 것이다.

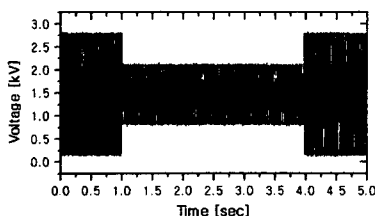


〈그림 7〉 내부저항 발생시 부하에 따라 보상 가능한 최소한의 SMES 용량

#### 5. 직렬 Active Filter System 시제작

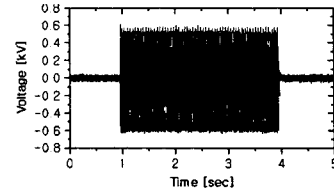
##### 5.1 직렬 Active Filter System

시뮬레이션 결과를 바탕으로 직렬 Active Filter 시스템을 제작하고 동작 결과를 확인하기 위해 우선 전원전압의 50%만큼 Voltage sag를 3초 동안 발생시켰다.



〈그림 8〉 모의적으로 발생시킨 실제 Voltage sag 발생 파형

순간전압강하로 인해 발생한 Voltage sag 보상을 위해 계통에 필요한 전압만큼을 DSP를 이용하여 계산하고 단상 DC-AC converter 3대를 이용하여 그림 9와 같은 전압보상 파형을 출력하였다.

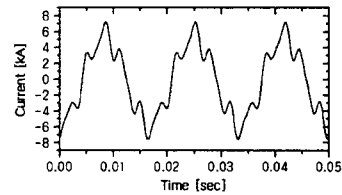


〈그림 9〉 단상 DC-AC converter를 통해 출력된 전압보상파형

그림 9의 전압보상파형은 강하된 만큼의 전압량이며 계통에 직렬로 연결, 그림 8의 파형과 더해져 결국 Voltage sag를 보상하게 된다.

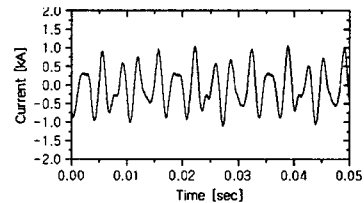
#### 5.2 병렬 Active Filter System

확인된 시뮬레이션 결과를 바탕으로 고조파 성분을 보상하는 병렬 Active Filter 시스템을 제작하였다. 그림 10은 고조파 성분으로 인해 왜곡된 파형으로 정상성분 65%, 5고조파 25%, 7고조파 10%를 포함하고 있다.



〈그림 10〉 고조파 성분을 포함하고 있는 파형

고조파 보상을 위해 그림 11과 같이 정상성분을 제외한 고조파 성분만을 추출한다. 이 성분을 출력으로 하는 3상 DC-AC converter를 계통에 병렬로 연결하면 고조파 성분만을 상쇄시켜 결국 계통에는 정상성분만이 남게 된다.



〈그림 11〉 고조파 성분만이 추출된 파형

#### 6. 결 론

본 논문에서는 전력시스템에서 전력품질을 저해하는 요인으로 작용하는 고조파 전류와 순간전압강하를 AF-SMES 시스템을 이용하여 보상하고 시뮬레이션을 바탕으로 실제 제작한 시스템의 동작결과에 대해 알아보았다. 또한 SMES 시스템의 내부고장 발생시 생성될 수 있는 내부저항을 모의하고 그 저항의 크기에 따라 AF-SMES 시스템에 어떠한 영향을 미치는지를 보상파형의 결과를 통해 확인할 수 있었다. 향후 시뮬레이션을 바탕으로 전 원부에 SMES를 연결, 실제 시스템을 모두 동작시킬 예정이다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신 사업 (RTI 04-01-03)의 지원에 의해 수행된 것임

#### [참 고 문 헌]

- [1] Minwon Park, Nak-Gueon Seong, In-Keun Yu, "A Novel Photo voltaic Power Generation System including the Function of Shunt Active Filter" *Trans. IEE of Korea*, Vol. 121-B, No. 11, pp.1499-1505, 2001
- [2] H.Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae : "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components", *IEEE Trans. on Ind. Application*, vol. IA-20, pp.625-630, 1984.
- [3] Sompob Polmai, Toshifumi Ise and Sadatoshi Kumagai, "Voltage Sag Compensation with Minimum Energy"
- [4] K. C. Seong, H. J. Kim, S. W. Kim, J. W. Cho, Y. K. Kwon, S. R. Hahn, H. J. Jon and I. K. Yu, "Fabrication and Test of a 1MJ SMES System"