

양수 발전소용 SFC 시뮬레이터 구성에 관한 연구

류호선*, 임익헌* 이주현*, 강운중** 김장목**
 한국전력연구원*, 부산대학교**

A Study on the Configuration for SFC Simulator of Pumped storage plant

Ho-Seon Ryu*, Ik-Hun Lim*, Joo-hyun Lee*, Youn-jong Kang**, Jang-mok Kim**
 *Korea Electric Power Research Institute
 **School of Electrical Engineering, Busan National University, Busan, Korea.

ABSTRACT

대용량 동기 발전 전동기 운전의 기동용 시스템으로 주로 사이리스터를 이용한 정지형 주파수 변환(SFC : Static Frequency Converter) 시스템이 사용되고 있다. 본 논문에서는 SFC시스템의 기동부터 회생까지 과정을 5KVA급 동기 전용 발전기 모의실험을 통하여 제시하고 330MVA급 양수 발전소의 실제 과정을 분석하여 알고리즘을 도출하였으며 또한 시뮬레이터 과정과 실제 과정을 비교해 함으로써 양수발전소의 제어 시스템의 운전특성을 유추 및 분석하였다.

1. 서론

국내 발전소는 70년대 초부터 경제 성장과 함께 많이 건설되어 왔으며 입지 조건 및 환경문제 등으로 점차 대형화 되어가고 있는 추세이다. 또한 기존의 20~30년된 발전소들은 경제적 측면에 유리한 수명연장을 실시하여 노후화된 제어설비와 기타 보조기기를 신설비로 교체하여 운전하고 있다.

노후화 된 양수발전소 발전 전동기는 양수모드에서 동기 속도까지 승속시키고, 양수 및 발전모드에서 정지시 회전체가 보유하고 있는 운동에너지를 전력으로 회생 제동시켜주는 SFC(Static Frequency Converter) 설비에서 잦은 고장이 발생하여 기동 및 정지 지연 등의 문제점을 초래한다. 또한 외국기술에 의존하고 있는 SFC 시스템은 유지 보수시 많은 시간과 경비가 소요된다. 이에 SFC 기술의 국내 기술 확립을 위하여 SFC 제어기 분석 및 모의실험을 통한 양수발전소의 실제과정과 실험과정을 비교 및 분석을 함으로써 시스템 고장시 대처 능력을 키우고 향후 SFC의 장기 사용시의 노후화에 대한 대책방안을 모색할 수 있다. SFC시스템은 사이리스터 전력소자를 활용한 부하 전류형 인버터(LCI : Load Commutated Inverter)시스템으로 되어 있다.

본 논문에서는 SFC를 활용한 부하 전류형 인버터 시스템에

관한 일반적인 운전 특성과 5KVA급 동기 발전기 모의 실험 과정과 330MVA급 무주양수 발전소 과정을 서로 비교 분석을 함으로써 축소형 양수 발전소 시뮬레이터 제어시스템의 운전특성을 유추 및 분석하도록 한다.

2. 부하 전류형 인버터의 회로 구성

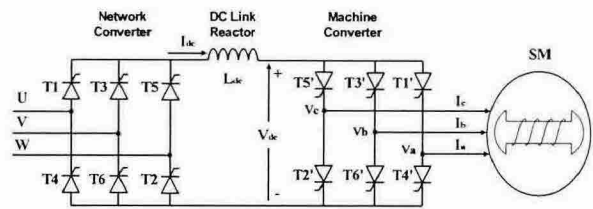


그림 1 부하 전류형 인버터 회로구성
 Fig. 1 Scheme of Load commutated inverter

LCI의 전력회로의 구성을 나타내면 그림1과 같다. 전원측 컨버터와 전동기측 컨버터, 직류단 리액터로 구성된다. 이 시스템에서 전원측 컨버터를 NB(network bridge)라고 하며 모터측 컨버터를 MB(machine bridge)라고 한다. NB측의 동작은 일정 주파수 60Hz로 동작을 하며, MB측은 전동기 속도에 상응하는 주파수에서 동작을 한다. 직류단 리액터는 전류 평활 및 급격한 변화를 방지하기 위한 대용량의 직류 리액터가 직류단에 직렬로 삽입되어 있다. 이 리액터의 작용에 의해 부하측에서 분테브난 등가 임피던스가 상당히 큰 값을 갖기 때문에 일정 전류원으로 가정할 수 있다. 따라서 회로의 동작은 전압이 아닌 전류에 의해 이루어진다.^[1-4]

3. 부하 전류형 시뮬레이터 실험과정^[5]

양수 발전소의 SFC시스템을 모의 실험하기 위해 5KVA, 4극짜리 동기 발전기를 사용하였고 전원으로서는 3상 220V 60Hz 전원을 인가하였다.

3.1 기동제어

양수발전소의 양수모드의 정격속도까지 올라가는 과정을 모의실험을 통해 구현을 하였다.

기동시 제어는 컨버터측 제어를 통한 제어가 되며 시뮬레이터의 인버터측은 게이팅각을 150° 로 열어두어 직류단의 모든 에너지를 모터측으로 전달하도록 설정하였다.

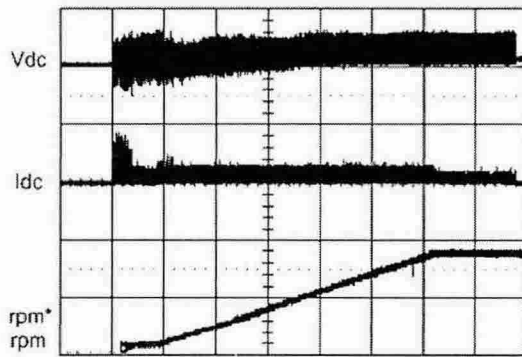


그림 2 기동시의 전압, 전류, 속도지령치, 속도
fig. 2 DC voltage, DC current, speed reference and speed waveform during starting

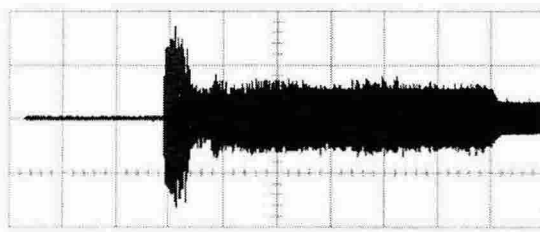


그림 3 기동시 MB 전류
fig. 3 MB current during starting

그림2에서 속도지령치에 기울기(slope)를 주면 속도 값의 왜곡이 발생되지 않고 속도 지령치 값과 일치하게 올라가는 것을 확인할 수 있다. 전류제어기의 전류 제한값은 5A정도인데 가속시 속도지령치가 천천히 올라감에 따라 전류는 3A 정도로 흐르고 있다.

속도제어기의 오차값이 거의 없으므로 전류지령치는 그림3과 같이 나타난다. 만약 속도지령치의 값을 정격속도로 두면 전류를 최대치를 계속 유지하겠지만 대형 시스템에 적용하기에는 위험성이 크므로 속도지령치를 천천히 올려줌으로써 전류를 간접적으로 제한하게 된다. 만약 시스템의 외부적 영향으로 시스템이 지령치값을 올라가지 못할 때에는 전류지령치의 최대치까지 올라갈 수 있으므로 안정하게 속도를 증가시킬 수 있다. 기동순간 전류가 크게 나타나는 것은 엔코더로부터 로터 위치정보를 얻기 위하여 강제적으로 회전시키기 때문이다

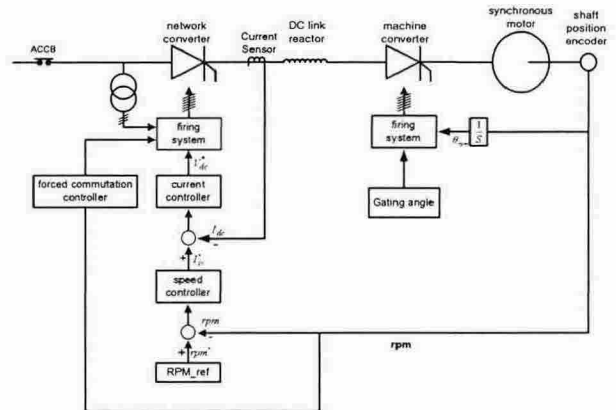


그림 4 기동을 위한 제어 블록도
fig. 4 Block diagram for starting

3.1.1 기동시와 강제전류구간 제어

기동시 인버터측 사이리스터는 모터 저속시의 낮은 역전압에 사이리스터를 오프시키지 못하므로 직류단 전류를 Zero로 하여 사이리스터를 오프시킨다. 이를 강제전류구간이라고 한다.

시뮬레이터의 경우 모터의 정격속도(1800rpm)의 8%정도인 150rpm까지를 강제전류구간으로 두었고, 실제 발전소(16극)에서도 정격속도(450rpm) 8%인 36rpm까지로 설정되어 있다.

그림5를 보면 Forced시 상전류가 나타나지 않는 구간을 확인할 수 있다. 시뮬레이터의 경우 MB측 게이팅 시점 5° 앞에서 게이팅 되도록 프로그램 되어 있지만 MB측의 각은 모터의 속도에 따라 한주기 길이가 변하므로 NB측은 항상 60Hz로 게이팅 되므로 MB측의 5° 는 컨버터의 한주기를 넘을 수도 있다.

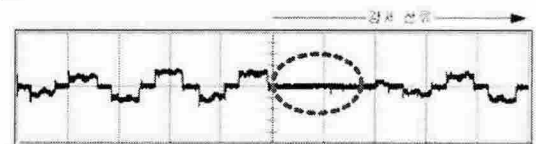


그림 5 강제전류시 NB 전류
fig. 5 NB current during forced commutation

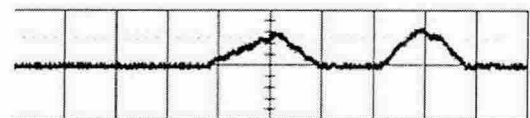


그림 6 강제전류시 MB 전류
fig. 6 MB current during forced commutation

그림6에서는 강제전류구간의 MB측의 상전류를 나타내고 있다. 초기의 강제전류 구간에서는 속도가 낮은 상태이므로 각 게이팅 모드와 모드사이의 전류가 도통되지 않는 부분이 뚜렷하게 구분됨을 확인할 수 있다.

3.2 회생구간 제어

양수 발전소에서는 발전모드, 양수모드에서 회생 제동으로 빠르게 제동되고 이로써 베어링 손상이나 기계적 마모를 방지할 수 있다.

시뮬레이터에서 사용한 회생시스템은 기동시와 같이 속도제어기와 전류제어기로 제어되며 에너지 제어는 기동시와 같이 컨버터측에서 제어가 된다.^[5] 회생시 인버터의 각은 5° 로 두어 에너지를 전원측으로 최대 보낼 수 있게 열어두었다.

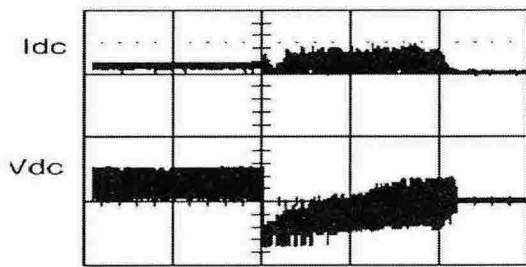


그림 7 회생시 DC단 전류와 전압
fig. 7 DC current and DC voltage waveform during regeneration

회생에서도 속도 지령치에 기울기(slope)를 주어서 속도를 낮추고 있다. 회생시에도 기동시와 같이 제어기를 사용하므로 강제 전류를 구현할 수 있고 또한 강제 전류를 사용함으로써 저속에서도 제어가 원활이 될 수 있다.

부하 전류형 인버터 회생시의 특징은 그림7에서와 같이 직류단의 전압이 음의 값을 가지면서 에너지를 NB측으로 보냄을 알 수 있다. 저속시의 직류단 전압은 양으로 올라가지만 평균전압은 음의 값을 가지다가 정지상태가 되면 평균전압은 전류가 완전히 제거하기 위하여 제어된다.

3.2.1 회생 초기구간 제어

그림8에서 보면 회생시작시 초기 상태의 전류와 전압을 볼 수 있다. 일반적으로 양수모드에서 전원과의 계통연계가 끝나고 회생모드로 들어간다. 시뮬레이터에서는 계통연계가 끝난후 마그넷스위치로 계통측 전원을 끊어주는데 이때 걸리는 시간은 10ms정도로서 이 구간동안은 NB측과 MB측에 게이팅을 하지 않고 있다. 그러므로 초기에 전류와 전압이 0으로 유지되는 것을 볼 수 있다. 10ms가 지나면 MB측의 각은 5° 이 되고 NB측은 제어기에 의해 전류가 증가하게 된다.

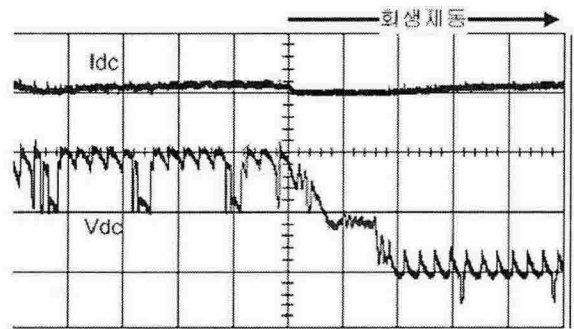


그림 8 회생시 DC단 전류와 전압
fig. 8 DC current and DC voltage waveform during regeneration

3.2.2 정지구간

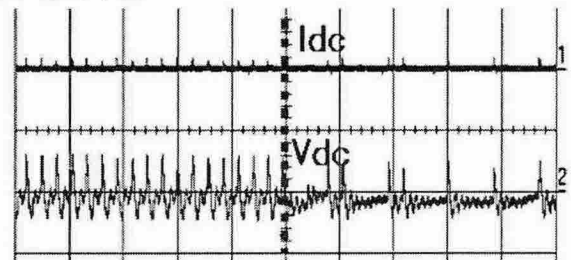


그림 9 정지시 DC단 전류와 전압
fig. 9 DC current and DC voltage waveform during stopping

그림 9은 정지시 직류단 전류와 전압이다. 정지시에도 Vdc는 전류를 제거하기 위하여 제어되고 전류가 완전히 제거되면 사이리스터 게이팅을 모두 off시키게 된다.

4. 무주 양수 발전소 측정 파형

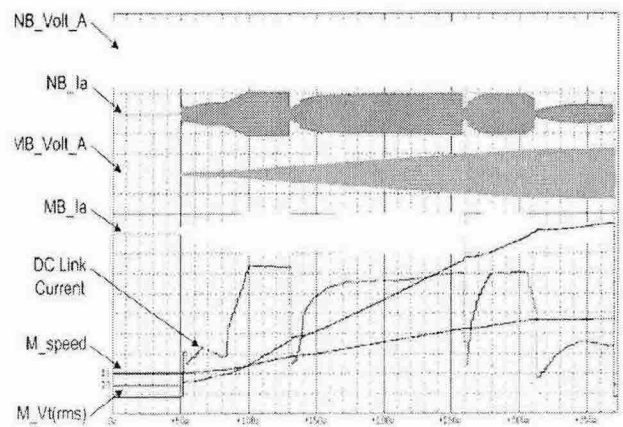


그림 10 무주양수발전소 기동시 출력파형
fig. 10 Output waveform in the Muju pumped storage power plant during starting

그림 10은 무주양수발전소 기동시 출력파형이다. 시뮬레이터에서 기준속도에 기울기(slope)를 주어 가속시켰지만 위의 파형은 기준속도를 스텝을 4번 단계적으로 주어 속도를 증가시킴을 알 수 있다.

기준속도를 스텝으로 주면 직류단의 전류가 급격히 변해야 하는 구간이 생기므로 fault의 원인이 될 수도 있다고 판단하여 모의실험에서는 기울기를 주어서 기준속도를 천천히 올려주었다.

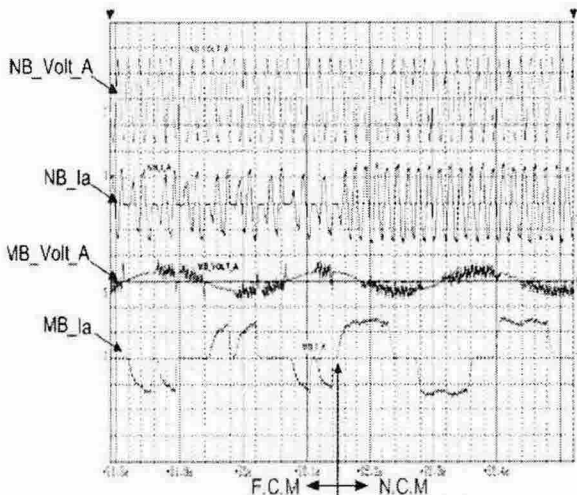


그림 11 기동시 강제 정류모드에서 자연정류모드로 넘어가는 시기

fig. 11 From forced commutated mode to Natural commutated during start

그림 11은 강제전류(Forced Commutation)모드가 끝나고 자연정류(Natural Commutation)모드로 넘어가는 파형으로서 NB측 전류(NB_Ia)와 MB측 전류(MB_Ia)를 비교했을 때 인버터측 각 게이팅 모드가 바뀔때마다 컨버터측 전류를 0으로 만들어주는 것을 볼 수 있다.

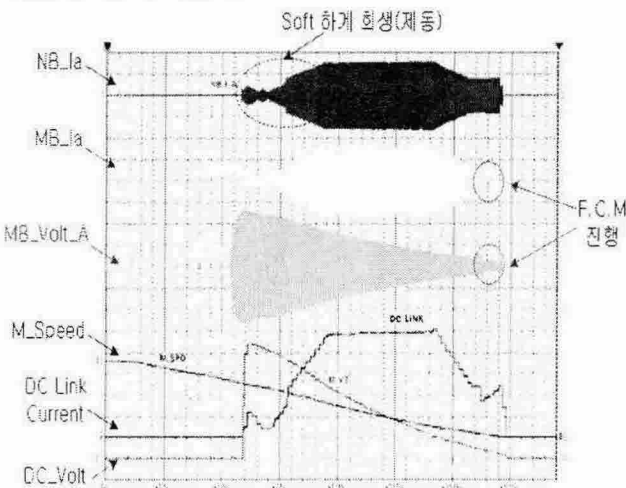


그림 12 무주양수발전소 회생시 출력파형

fig. 12 Output waveform in the Muju pumped storage power plant during regeneration

그림 12는 회생시 전체 파형인데 직류단 전압이 음의 값인데 반전되어 표현하고 있다. 실제 발전소에서는 정격속도에서부터 회생을 시작하지 않고 어느정도 시간이 지난후 천천히 회생을 시작하고 있음을 알 수 있다. NB측 상전압(NB_Volt_A)과 상전류(NB_Ia)에서 강제전류구간에 특성을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문은 거의 자료가 전무한 330MVA급 동기 기 양수 발전소 측정 파형을 분석하여 시뮬레이터를 구성하였다. 외국의 기술에만 의존해오던 SFC 시스템을 실측파형과 모의실험을 통해 측정한 파형을 비교분석하고, 기동에서 회생까지 알고리즘을 도출하였다. 국내 SFC시스템에 관련된 운전 메뉴얼 및 기술 자료가 거의 없기 때문에 산업체의 필요성 혹은 사전 기술 연구로서 얻을 수 있는 정보가 제한되어있다. 특히 LCI시스템에서의 회생은 거의 언급이 되어있지 않아 자체적으로 알고리즘을 구현하였다. 따라서 본 논문은 이러한 기술적 자료의 부족을 보완하고 현재 전량 수입에 의존하고 있는 SFC 시스템에 관한 제어알고리즘을 도출하여 SFC 기술 저변 확대 및 국산화 개발에 기초 자료가 될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] David Finney, "Variable frequency AC motor drive systems" Peter Peregrinus Ltd. 1988 p202-274.
- [2] F. Peneder, R. Lubasch, A. Vonmard, "Static equipment for starting pumped storage plant, synchronous condensers and gas turbine sets", Brown Boveri Rev. 61 1974 (9/10) pp. 440-447.
- [3] O. Kolb, F. Pender, V. Suchanek, "Static starting equipment for gas turbosets", Brown Boveri REV. 66 1979 (2) 104-112.
- [4] Beat Mueller, Thomas Spinanger, and Dieter Wallstein, "Static Variable Frequency Starting and Drive System for Large Synchronous Motors", IEEE IAS 1979, 13B, pp429-438.
- [5] "양수발전소 SFC 시스템의 최적관리 및 제어기법 연구", 최종 보고서, 전력연구원