

### 산청양수 디지털 여자시스템 개발

류호선, 임익훈  
전력연구원

## Development of Digital Excitation System for San-cheong Pumped Storage Power Plant

Ryu Ho-Seon, Lim Ick-Hun  
KEPRI(Korea Electric Power Research Institute)

**Abstract** - KEPRI developed digital excitation system for San-Cheong pumped storage power plant. This is the very complicated system because of operation connected with SFC(Static Frequency Converter). Many operation modes(stating, regeneration, back to back, line charging, gird connection mode etc) during the commissioning were successfully tested at san-Cheong #2.

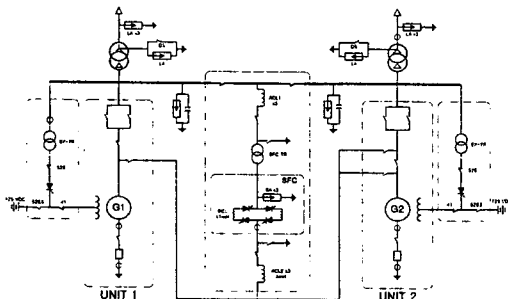
### 1. 서 론

최근 대형 발전소용 발전기 여자시스템은 과도 안정도를 향상하기 위하여 속응성이 있는 정지형 여자방식을 채용하고 있고, 국내에서 개발된 여자시스템은 2중화 하이브리드형(아날로그+디지털)과 3중화 디지털 시스템이 실증적용 되어 상업 운전중에 있다. 이미 개발되어 운전중에 있는 여자시스템은 대형 화력발전소에는 적용되었으나, 아직 대형 동기기 기동장치인 SFC(Static Frequency Converter)가 운전중인 양수발전소에는 실증 적용된 적이 없다. 따라서 본 논문에서는 국내 양수 발전소에서 운전되고 있는 기본 제어 기능 즉, 여자제어의 고유기능인 자동전압제어 (AVR : Automatic Voltage Regulator), 수동전압제어 (MVR : Manual Voltage Regulator)는 물론 양수발전에서는 발전과 펌프를 병행해야 하므로 주로 사용되고 있는 자동역률제어(APFR : Automatic Power Factor Regulator), 자동무효전력제어(AQR : Automatic Power Regulator) 등에 대한 알고리즘을 도출하여 제어 불력에 대한 성능 시험을 실시하였다. 또한, SFC와 연계된 여자시스템의 주요 운전모드인 발전모드, 양수모드(PC Mode), 회생모드, SFC 고장시 운전되는 Back-To-Back 운전모드, 계통전압 붕괴시 사용되는 시흥전 모드 등의 시험을 산청양수 동기기를 대상으로 하여 시운전을 실시하여 성능을 확인 하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 SFC와 연계된 디지털 여자시스템

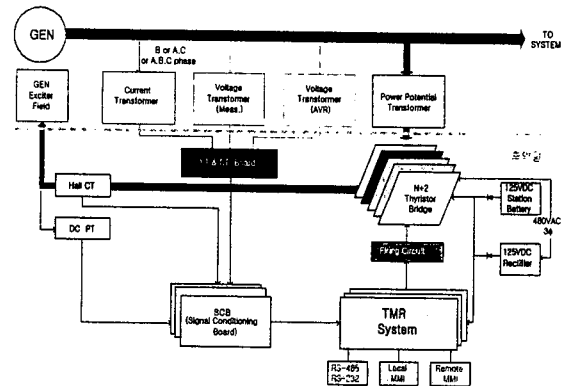
양수발전용 SFC와 연계된 직접여자 형태의 정지형 여자제어시스템은 <그림 1>에서 보는 바와 같이 발전기 출력단자로부터 여자변압기를 통하여 여자전원을 공급받으며, 계자전압은 위상 제어 정류기에 의해서 제어된다. 일부 보조 모션으로부터 변압기를 사용하여 공급받을 수도 있으나 주로 발전/전동발전기의 단자로부터 여자용 전원을 인가 받고 있다. 여자변압기를 통하여 여자 전원을 공급받음으로서 발전기의 응답속도가 상당히 빠르다. 제어 방법은 자동제어와 수동제어로 구분되어 있으며 정상 운전 상태에서는 자동제어로 운전된다. 자동제어를 위해서는 변성기(PT)와 변류기(CT)를 통하여 단자 전압과 부하 보상 계환신호를 입력받아 자동제어 설정기와 비교하여 발전기 단자전압을 제어하여 발전기의 무효전력을 제어하도록 동작된다. 계통연계 운전시에는 자동무효전력, 자동역률 제어를 수행하여 동기기가 전동기로 운전시 효율을 극대화 하기 위해 역률 1.0 제어를 하고 있다. 또한, 양수 발전소의 동기기 여자시스템에는 보통의 화력 발전소와는 달리 동기기가 펌프작용을 하기 위하여 전동기로 동작해야 하기 때문에 싸이리스터 기동장치(SFC)에서 인버터 역할을 하여 전동기운전(펌프운전)시에 속도제어를 담당하고 있다.



<그림 1> 산청양수 발전처의 발전 시스템 단선도

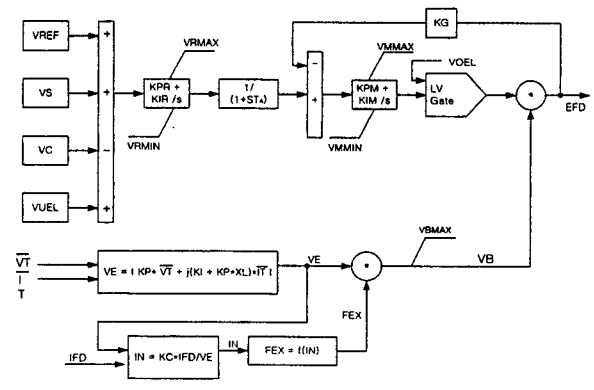
#### 2.2 산청양수 발전처에 적용된 디지털 여자시스템 특징

산청양수 발전처에 적용된 디지털 3중화 방식 여자시스템은 시스템의 신뢰성에 최우선을 두어 디지털 시스템 하드웨어는 신뢰성이 검증된 미국 TRICONEX사의 TMR(Triple Modular Redundant) 3중화 제품을 선정 사용하였고, 응용 소프트웨어 제어 연산 프로그램을 자체 개발하였으며, N+1 다병렬 방식의 싸이리스터 위상제어 정류기를 설계 제작하여 연구원내에 있는 모의시험장치에서 충분한 시험을 실시 하였다. TMR 여자시스템의 제어연산은 완전 3중화로 처리되어 2개 채널이 동시 고장 나는 최악의 상황에서도 안정적으로 운전되고, 입출력 신호처리 모듈은 3중화 입출력을 다시 후비 보호를 두어 6중화시켰으며, 운전원 및 정비원이 안전하고 편리하게 운전 조치가 가능한 화상 MMI(Man Machine Interface), 그리고 정류기 용량은 여자전류 2500A급 2대를 설치하여 1대 고장 시에도 정격운전이 가능하도록 설계되었다.



<그림 2> KDR-2000 여자시스템 제어 구성도

3중화 제어기 하드웨어는 TMR 기술을 이용한 최신판 내고장성 제어장치로서 TMR은 하나의 시스템 속에 3개로 분리된 병렬 제어시스템과 광범위한 자기진단 기능을 집적화 하고 있으며, 단일 부분(Single Point)의 고장으로 인한 고장파급 확산을 방지토록 설계한 것은 물론 고 신뢰성과 예외의 방지 및 공정제어의 지속성을 향상시키기 위해 Two(2) Out of Three(3) 보팅 회로를 사용하고 있다. 디지털 제어기는 Ethernet LAN 통신으로 제어시스템, HMI(Human Machine Interface), 그리고 기타 시스템과 연계가 가능하도록 설계되었다. 다른 회사들의 분산제어 시스템과의 인터페이스는 RS-485 ModBus를 통해서 지원한다.



<그림 3> 산청양수 발전처에 적용된 여자시스템의 IEEE ST4B 모델

### 2.3 시운전 시험 결과

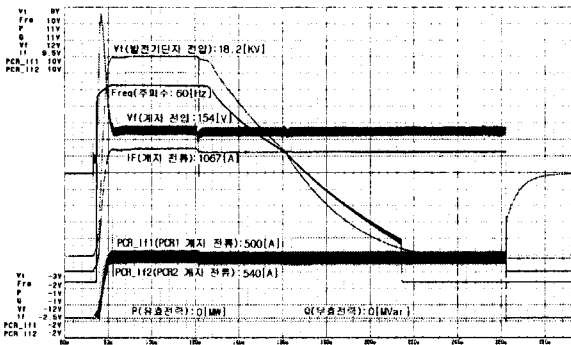
산청양수 2호기 발전기 사양은 다음과 같다.

〈표 1〉 산청양수 2호기 발전기 사양

정격용량	483MVA
정격전압 및 주파수	18kV, 60Hz
정격계자전압 및 전류	330V, 1922A,
정격 RPM	360
역률	0.9

#### 2.3.1 동기 발전/회생모드

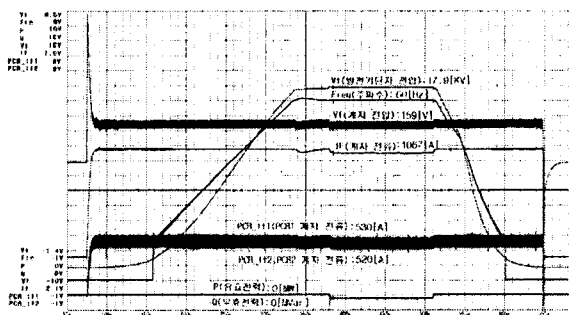
기본적인 동기기의 발전운전으로 상위 PLC에서는 운전하고자 하는 모드 GEN MODE를 선택한 후 가버너에 의해서 제어되는 동기기의 회전속도가 정격 95% 이상에서 여자변압기의 입력전압을 확인한 후 계자 차단기를 투입하게 되어 있다. 이때 여자시스템의 주 제어기는 동기 발전기(18,000VAC)의 전압을 1.0pu로 확립하게 제어됨을 아래 그림에서 확인 할 수 있다. 동기 발전기가 계통에 병입되어 상업 운전후 정상정지시에 계통에서 병해되면 BRAKING SFC 신호가 인가되어 여자시스템은 MVR로 전환되어 무부하 정격 계자 전류 값을 유지하여 SFC로 회생운전이 되도록 계자에 자속을 공급한다. SFC 회생운전이 종료되면 계자 차단기가 개방된다.



〈그림 4〉 발전모드시 발전기 전압, 주파수, 계자전압, 계자전류파형

#### 2.3.2 동기 양수/회생모드

동기기의 양수운전으로 상위 PLC에서는 운전하고자 하는 모드 (PUMP/SFC START MODE)를 선택하면 동기기가 정지되어 있는 상태에서 여자시스템은 MVR로 전환된 후 계자 차단기를 투입하여 무부하 정격 계자전류 값을 유지한다. 이때 SFC는 동기 전동기의 삼상 단자에 회전자계를 주어 동기 전동기의 회전속도가 증가하면서 동시에 동기전동기의 단자 전압도 정격에 도달( $V_t = K\Phi N$ )하도록 운전된다. 회전속도와 단자전압이 정격이 되면 계통병입하여 동기속도로 전동기가 운전된다. 여자시스템은 동기속도 도달시 AVR 모드로 전환되어 계통병입되며, 상위 PLC에 의해서 여자제어는 자동역률모드가 되어 동기전동기 역률을 최상의 상태인 1.0으로 제어한다. 회생모드는 발전모드 일때와 동일하다.

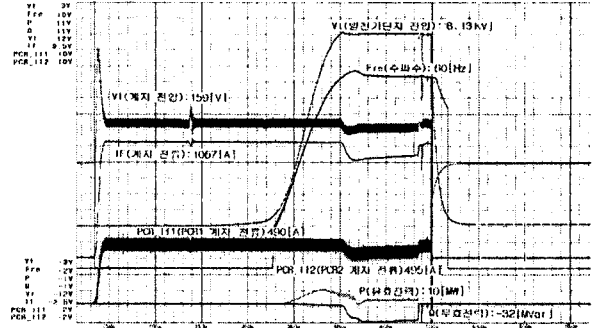


〈그림 5〉 양수모드시 발전기 전압, 주파수, 계자전압, 계자전류, 무효/유효 전력파형

#### 2.3.2 SFC 고장시 운전되는 동기기 BACK TO BACK 운전

2대 동기기의 공통설비인 SFC 고장시에 한쪽은 동기발전기로 다른 한쪽은 동기전동기로 운전하여 동기전동기로 운전되는 부분은 계통 병입하여 펌프운전을 하는 모드이다. 동기기의 양수하는 쪽의 운전으로는 상위 PLC에서 운전하고자 하는 모드(BACK TO BACK

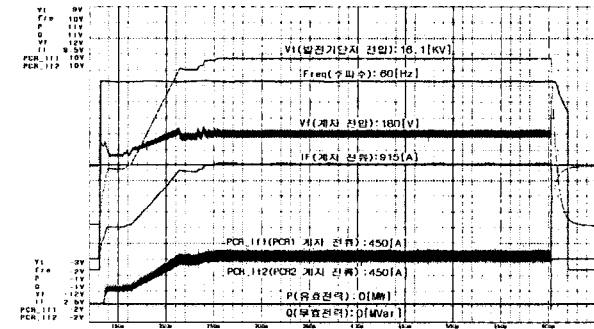
MODE)를 선택하면 동기기가 정지되어 있는 상태에서 여자시스템은 MVR로 전환된 후 계자 차단기를 투입하여 무부하 정격 계자전류 값을 유지한다. 이때 발전기로 동작하는 쪽이 동기 전동기의 삼상 단자에서 회전자계를 주어 동기 전동기의 회전속도가 증가하면서 동시에 동기전동기의 단자 전압도 정격에 도달( $V_t = K\Phi N$ )하도록 운전된다. 회전속도와 단자전압이 정격이 되면 계통병입하여 동기속도로 전동기가 운전된다. 여자시스템은 동기속도 도달시 AVR 모드로 전환되어 계통병입되며, 상위 PLC에 의해서 여자제어는 자동역률모드가 되어 동기전동기 역률을 최상의 상태인 1.0으로 제어한다.



〈그림 6〉 Back To Back 운전시 발전기 전압, 주파수, 계자전압, 계자전류, 무효/유효전력 파형

#### 2.3.4 시충전 모드

시충전모드는 계통전압 상실시에 산청양수 2호기를 시동발전기로 사용하는 운전모드 이다. 기본적인 운전은 발전모드 운전과 같으나, 초기에 여자전압이 생성되어 있지 않아서 계자에 초기 DC 125V의 전원을 저장기를 거쳐 강압하여 공급한다. 발전기 전압은 0.3pu로 초기기동한후 서서히 운전원이 전압을 상승하도록 되어 있다.



〈그림 7〉 초기 시충전시 발전기 전압, 주파수, 계자전압, 계자전류, 무효/유효전력 파형

### 3. 결 론

본 시운전을 수행 완료함으로써 디지털 여자시스템의 첨단 다중화 디지털 신호 처리 기술과 싸이리스터를 이용한 대전력 제어 정류기를 긴급 복구가 필요한 산청양수 발전처에 공급하여 외산 제작 기간 대비 3개월로 단축시켜 단기간 현안 문제를 해결함으로써 설비 신속 공급능력을 제고 하였고, 발전소 디지털 제어 기술 분야를 한 단계 상승 시키는데 크게 공헌하였다. 또한 그동안 SFC와 연계된 양수발전소용 디지털 여자시스템을 국산화 하지 못하여 외산에 의존하던 부분을 해소 하였으며, 고가의 외산 대비 3억원 이상의 투자비를 절감하는 효과를 달성하였다.

#### 〈참고 문헌〉

- [1] P.M. Anderson and A.A. Fouad, "Power System Control and Stability", The Iowa State University Press, U.S.A.,1977.
- [2] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill Inc., 1994.
- [3] F.P. DeMello and C. Concordia, "Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control", IEEE Trans. on PAS, April 1969.
- [4] "동기기 여자계의 사양과 특성", 전기학회기술보고 제536호 1995.2