

### 수력발전소 자동제어설비의 현대화

권오극\*, 권영준\*\*, 송영철\*\*\*  
한국수자원공사\*

### The Modernization of Automatic Control facilities of Hydro Power Plant

O-Geuk Kwon\*, Young-June Kwon\*\*, Young-Cheol Song\*\*\*  
K-water(Korea Water Resources Corporation)

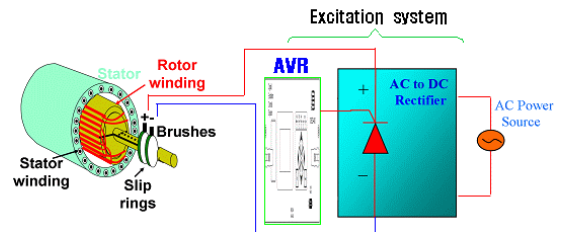
**Abstract** - Automatic control systems(AVR, Governor, Synchronizer) installed 1970~1980 in K-water were considered to be rehabilitated around 2000. Moreover, Korea Power Exchange market system was changed from PPA (Power Purchase Agreement) to a bidding system. Therefore, depending on the power quality, the power provider could achieve additional profits. It is the excitation system and governor that have the functions of enhancing power necessities. During the 20 to 30 years of generator operation, there were many major and minor problems. Examples are SCR burnout (Andong: Excitation system), hunting (Imha: governor), field circuit breaker failure (Chungju 1st: excitation system), the rise of leakage current (Chungju 2nd: excitation system), power supply burnout (Chungju 2nd: governor). These are the typical examples of malfunction which hindered the generator operation and, consequently, diminished the profit of power business. In order to satisfy the needs of the power market and prevent malfunctions mentioned above, the rehabilitation of AVRs and governors were executed. A new system was made to have the flexibility of ancillary service (GF, AGC, etc.), PSS function. With user friendly HMI software, it is more convenient for the operator to fulfill suitable maintenance. It was possible to connect SCADA system by opening protocol of AVR, governor for the efficiency of operation and maintenance.

안동	1976	Doosan	Digital Static	2001.12	Fuji	Analog PMG	설계중
대청	1980	Basler	Digital Static	2003.12	VA-TECH	Digital PMG	2007.06
충주1	1984	Basler	Digital Static	2007.02	VA-TECH	Digital PMG	2007.07
충주2	1984	Doosan	Digital Brushless	2007.02	VA-TECH	Digital SSG	2007.12
합천	1988	Fuji	Analog Static	2009 검토	Fuji	Analog SSG	2009 검토
합천2	1988	Toshiba	Analog Brushless	2009 검토	Toshiba	Digital SSG	2009 검토
주암	1990	Toshiba	Analog Brushless	2010 검토	Toshiba	Digital SSG	2011 검토
임하	1992	VA-TECH	Analog Static	2012 검토	VATECH	Analog SSG	시설 대체중
남강	1998	Alstom	Analog Static	현대화병행 2011	Alstom	Digital PT	현대화병행 2011
용담	2000	Fuji	Digital Brushless	2020 검토	Fuji	Digital SSG	2021 검토

#### 2.2 자동제어설비 현대화 필요성

##### 2.2.1 여자시스템의 주요 문제점

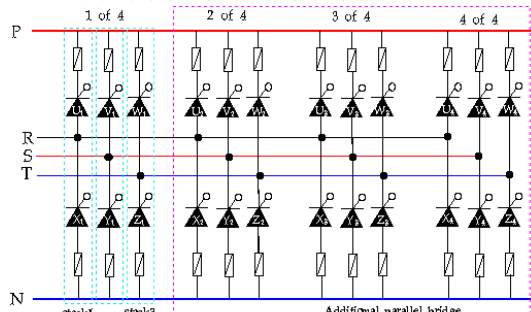
여자시스템은 게이트필스로 싸이리스터의 턴온 위상각을 조절하여 여자전류를 가감함으로써 발전기 단자전압과 무효전력을 조정하는 역할을 그림과 같이 표현할 수 있다.



〈그림 1〉 여자시스템 개념도

##### 2.2.1.1 충주1수력 여자시스템 싸이리스터 용량

충주1수력의 싸이리스터는 6상으로 구성되어 싸이리스터의 용량 문제로 각 상당 4개의 싸이리스터로 구성되어 되어 있었다.



〈그림 2〉 교체전 싸이리스터 스택(충주1수력)

충주1수력의 정격계사전류는 1039[A]로 싸이리스터 1개당 부담하는 전류는 260[A](=1039/4)이며, 정격이 300[A]인 싸이리스터가 사용되었다. 장기간 운영에 따라 싸이리스터의 내부 임피던스가 변화하게 되면 하나의 싸이리스터에 전류가 집중할 수 있게 되어 안동수력과 같은 싸이리스터의 소손이 발생할 수 있으며, 최근 전력소자의 빠른 성장으로 싸이리스터의 허용용량의 증가로 병렬로 구성할 필요가 없다.

#### 1. 서 론

1970년, 80년대 건설된 수력발전소 자동제어설비(조속기, 여자기, 동기 투입장치)는 2000년대에 접어들면서 노후화로 시설대체가 검토되었고 특히 2001년도에 전력시장이 전력수급계약(PPA)에서 입찰방식으로 변경되어 높은 품질의 전력을 공급함으로써 추가적인 수익을 창출할 수 있게 되었다. 이 추가적인 요구항목이 계통보조서비스(GF, AGC)이며 이러한 기능을 담당하는 것이 자동제어설비인 조속기, 여자시스템이다. 20, 30여년의 발전운영 중 자동제어설비의 크고 작은 고장이 다음과 같이 발생하였다. 안동수력의 싸이리스터 소손, 임하수력의 조속기 헌팅, 충주1수력의 계차차단기 실패, 충주2수력 싸이리스터 누설전류 증가, 파워플라이 소손, 이러한 현상은 자동제어설비의 장기간 사용에 따라 나타나는 고장의 전형적인 형태이다. 전력시장의 요구와 고장을 방지하고자 자동제어설비 현대화를 추진하게 되었고 현대화시의 계통보조서비스인 GF, AGC 등 기능의 유연성과 운영의 편의성이 높은 HMI를 구현하였으며 개방형 통신구조로 기존의 SCADA 시스템에 연계가 가능하도록 하여 유지보수와 운영의 효율성을 높이고자 하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 수자원공사 자동제어설비 현황

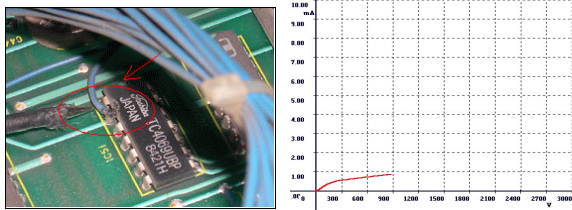
수자원공사의 자동제어설비는 다목적댐이 건설되면서 1973년 소양강댐을 필두로 설치되었으며 남강(Alstom)과 임하(VATECH)를 제외한 제작사는 일본의 Fuji, Toshiba이며 조속기와 여자시스템의 개요는 다음과 같다.

〈표 1〉 자동제어설비 시설대체 현황

발전소	조속기		여자기	
	제조사	Type	제조사	Type
소양강	1973	1993.12 (Unit 1)	1993.12 1(Unit 2)	2000.10
	1973	1993.12 1(Unit 2)	2000.10	

### 2.2.1.2 총주2수력의 여자시스템 누설전류 증가

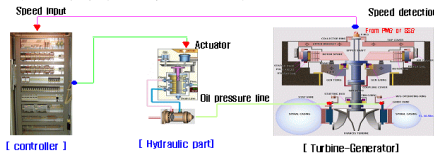
PCB 내부기판의 추가적인 배선과 납땜으로 인한 소자의 열화로 잠재적인 고장원인을 내포하고 있으며 싸이리스터 누설전류 측정결과 정상치보다 증가하는 경향으로 나타났다



<그림 3> PCB 기판 및 누설전류 측정(총주2수력)

### 2.2.2 조속기 시스템의 주요 문제점

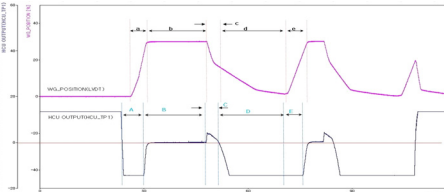
조속기 시스템은 아래 그림과 같이 터빈발전기의 속도를 제어하고 계통병입시 출력을 제어하는 역할을 한다.



<그림 4> 조속기 개념도

#### 2.2.2.1 임하조속기 현상

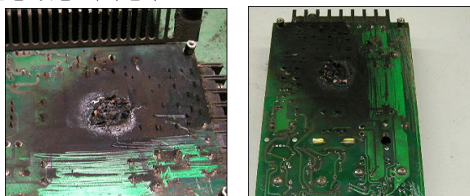
임하조속기는 간헐적으로 가이드벤이 열림과 닫힘을 반복함으로써 정상적인 발전운영이 불가하였으나 장기간의 데이터 취득으로 분석한 결과 아래그림과 같은 파형을 취득할 수 있었으며 비례밸브(Proportional Valve) 불량을 확인하여 교체하였다.



<그림 5> 조속기 현상(임하조속기)

#### 2.2.2.2 총주2수력의 Power supply 소손

조속기 파워서플라이부 내부단락으로 추정되는 소손사고가 발생하였으며 이것은 전기적인 스트레스, 이상 고온현상 등으로 전자소자의 수명한계에 도달한 것을 나타낸다.



<그림 6> 파워 서플라이 소손(총주2수력)

### 2.2.3 계통보조서비스 제공능력 미흡

2001년도 이전까지는 전력수급계약(PPA)으로 전력거래가 이루어졌으나 전력시장개편이후 입찰방식으로 변경된 후 계통보조서비스제공에 따라 전력판매수익의 추가적인 수익을 얻을 수 있게 되었으나 아날로그형 조속기로는 이러한 항목을 충족시키기는 미흡하였다.

<표 2> 보조서비스 요금

기 존		변경
조속기프리(GF)	전력거래량 × 가중치 × a unit cost(185.7Won/MWh)	가이드벤 변화량 × 가중치(SR, DB) × a unit cost (3627Won/MWh)
AGC	20% of GF	공급량의 가중치(Range of operation) × a unit cost (941Won/MWh)

### 2.3 현대화시 주요 기능 개선

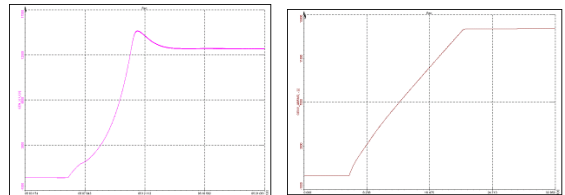
#### 2.3.1 대체된 여자시스템의 기능

##### 2.3.1.1 여자시스템의 이중화

대체된 여자시스템은 싸이리스터부와 콘트롤러부를 독립적으로 분리하여 이중화 시스템으로 구성하였다

#### 2.3.1.2 소프트 스타트 기능

기동시의 오버슈트가 발생하던 기존 시스템과 달리 대체된 조속기는 소프트 스타트 기능으로 오버슈트 없이 기동이 가능하며 소프트스타 시간 설정은 준공시험시 설정하였다.



<그림 7> 소프트 스타트 기능(총주1수력)

#### 2.3.1.3 사용자 중심의 평선 구현

여자시스템은 발전기전압 제어의 추가적으로 보호기능, 진단기능 통신기능 등이 있으며, FCR(MVR)기능으로 여자전류의 20~120%까지 설정이 가능하며 이 기능은 준공시험시와 Blackout Start시 사용된다. UEL가 OEL 설정을 소프트웨어적으로 간편하게 설정 및 확인할 수 있어 시장의 요구에 따라 손쉽게 대응이 가능하며 APFR, AQR 기능으로 원격으로 조작되는 발전기 안정성을 높였다.

#### 2.3.2 대체된 조속기 기능

계통보조서비스의 주요항목인 부동대(DB)와 속도조정률(SR)을 담당하는 것이 조속기이며 기존의 아날로그 조속기는 상기항목을 설정하기도 난해하며, 아날로그소자의 특성상 경년열화에 의하여 설정치가 변경이 되나 이것을 재조정하는 것이 많은 비용과 장기간이 소요되므로 시설대체된 조속기는 이러한 설정을 소프트웨어적으로 설정하도록 변경되었다.

##### 2.3.2.1 속도조정률

일반적으로 수력에서 2~6%로 설정되며 소프트웨어적으로 4%로 설정하였으며 HMI를 통하여 상시 변경이 가능하도록 하여 전력계통이 요구에 따라 변경 및 확인이 용이하게 되었다.

##### 2.3.2.2 불감대(Dead Band)

아날로그 조속기는 불감대 설정 후 특성변화의 우려가 있으나 디지털 조속기에서는 소프트웨어 설정방식으로 운영자가 HMI로 변경할 수 있게 되었다.

##### 2.3.2.3 통신기능

원격으로 제어되는 조속기 운영데이터를 확보하기 위하여 개방형 통신기능으로 조속기의 Alarm, fault, 시스템 데이터를 통신으로 원격의 SCADA시스템에서 모니터링이 가능하게 구현하였으며 조속기 제어방법으로 통신, 디지털 입력신호, 아날로그 입력신호로 3중화 하였다.

##### 2.3.2.4 유지보수를 위한 기능 추가

분해점검 후 베어링 포화시험을 위해서 가이드벤을 일정위치로 개방이 필요하나, 아날로그 조속기에서는 조작자 감으로 조작하였으나 Bearing Heat Run시험을 위한 HMI에 가이드벤 개도 설정기능을 추가하였다.

### 3. 결 론

수력발전소 자동제어설비 개·대체는 일반적으로 사용연수 20년이 되는 시점에서 검토를 하며, 고장이력 진단이력과, 필요시 제작사의 정밀진단을 통하여 시설대체를 검토하며 시대환경적인 요구(계통보조서비스)를 반영하여 시설대체를 진행하였다. 고장원인으로 여자시스템의 경우 싸이리스터 병렬사용 문제점으로 소손이 발생하였으며 조속기의 경우 유압장치의 불량으로 인한 현상현상이 있었으며 장기간 사용으로 전자소자자체의 열화와 내부단락으로 소손, 아날로그 소자의 특성상 경년변화에 의하여 여자시스템의 경우 OEL,UEL 보호특성과 조속기의 경우 부동대와 속도조정률 특성이 변화하게 된다. 대체된 설비는 소프트웨어적으로 설정이 가능하여 운영자의 편의를 위하여 HMI에서 손쉽게 변경이 가능하며 유지보수의 편의성을 높이고자 Bearing Heat Run 기능과 통신의 유연성을 통하여 SCADA 시스템에서 감시와 제어를 위한 데이터를 제공할 수 있도록 구성하였다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] IEEE 421.1 "Definitions for excitation systems for synchronous machines", IEEE Power Engineering Society, 1986.01.01
- [2] 육연호, 이은용, "발전기 여자시스템의 에러 해석", 2005하계학술대회 논문집 B권, pp. 1047~1051, 대한전기학회, 2005.7