

10MW급 인텔리전트 디지털 가버너 국산화 개발 및 섬진강 수력 발전소 적용에 관한 연구

전일영*, 조성훈*, 김윤식*, 전시영**, 신남식**, 박영철**
 *한국해양대학교 전기공학과, **삼창기업(주)부설연구소

Development of 10MW grade Intelligent Digital Governor and It's Application on Sumjingang Hydro-Power Plant

Il-Young Jeon*, Sung-Hun Cho*, Yoon-Sik Kim*, Si-Young Chun**, Nam-Sik Shin**, Young-Chul Park**
 *Korea Maritime University, **Samchang Enterprise Co.

Abstract - This thesis presents a development of intelligent digital governing system and it's application on Sumjingang Hydro-Power plant. The developed system consists of hardware, software and governing algorithm. The feature of hardware is triplex-modular fail safe redundant system for a safe turbine running. The software consists of operating system and application program.

The operating system has real-time and multi-tasking features. And also, application algorithm is composed to run francis type hydro-turbine.

The developed digital governing system is applied to Sumjingang hydro-power plant. Korea Hydro Nuclear Power Corporation.

이중화로 구성된다.

프로세서 모듈은 자기 독립된 프로세서와 메모리를 내장하고 있으며, 외부 센서로부터 입력된 신호(속도, 압력, 밸브 변위, 발전기 출력등)를 세 개의 프로세서 모듈에서 개별적으로 연산하고 처리한후 유효 데이터를 처리하는 방식을 사용하여 유효 출력 제어신호를 결정한다. 선택된 유효 데이터는 디지털 접점출력 모듈(Digital Output Module: DOM), 직렬 데이터 입출력 모듈(Serial Input Output Module: SIOM), 아날로그 출력 모듈(Analog Output Module: AOM)을 통하여 각종 주변장치로 출력된다.

1. 서 론

원동기의 제어에 있어서 가버너(Governor), 즉 조속기의 역할은 발전소에 설치된 증기터빈, 디젤엔진 혹은 수차같은 원동기의 기동 및 정지에 관여하고 회전수와 출력을 제어함으로써 발전량을 조절하는 것이다.

최근 전력수요의 증가추세에 따라 발전기의 고장에 따른 가동률의 저하를 방지하기 위하여 원자력발전과 같은 대용량 시스템에서는 내고장성 및 신뢰성을 고려한 시스템을 적용하는 것이 보편화되어 있다.

본 연구는 32비트 마이크로 프로세서를 이용하고 이를 삼중화된 시스템으로 구현함으로써, 내고장성과 신뢰성을 만족할 수 있도록 하였고, 실시간 제어가 가능한 운영시스템으로 디지털 가버너를 개발하였다. 개발 시스템은 한국수력원자력주식회사 한강수력발전처 섬진강수력발전소의 프란시스 타입의 수차에 적용하였다.

구현된 터빈제어 프로그램은 중고낙차용 프란시스터빈의 제어에 적합하도록 구현하였고, 현장적용 후 시운전과 더불어 성능시험을 수행하였고 현재 성공적으로 연속운전을 하고 있다.

2. 본 론

2.1 인텔리전트 디지털 가버너 시스템의 구성

인텔리전트 디지털 가버너 시스템은 다음에 설명하는 하드웨어(Hardware), 소프트웨어(Software), 응용프로그램(Application Program), 센서 및 신호변환장치 그리고 구동부(Electro-Hydraulic Converter) 6가지의 구성요소로 구성되어 있다.

2.1.1 하드웨어(Hardware)

디지털 가버너의 구성도는 그림 2-1, 그림 2-2 와 같이 프로세서 모듈(Module)의 삼중화와 입출력 모듈의

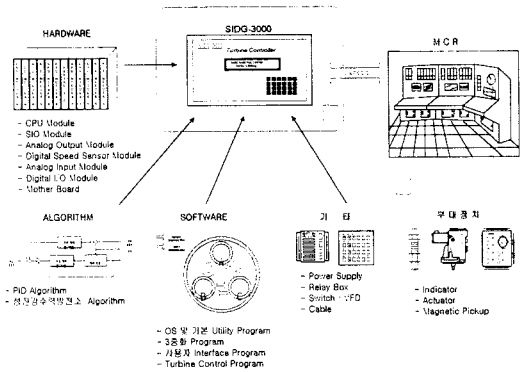


그림 2-1 시스템 구성도

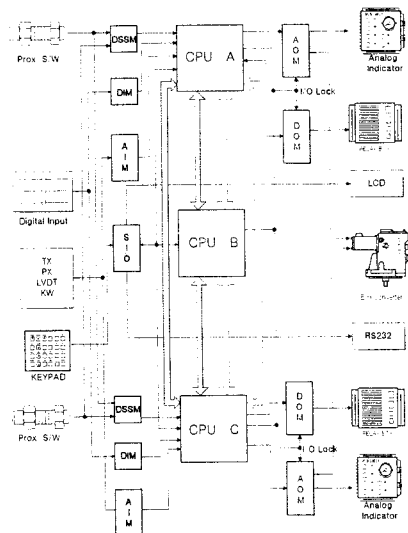


그림 2-2 시스템 전체 계통도

▶ 주 연산기 모듈(CPU Module)

CPU Module에는 산업 현장에서 널리 사용하는 Motorola사의 MC68EC040 32bit 마이크로프로세서를 사용하여 모듈 자체의 높은 성능을 보장하였으며 데이터용 SRAM 과 명령어 SRAM을 분리하고 내부 프로세서 통신 기능과 전원 백업 기능(백업용 SRAM)이 포함되어 있다.

▶ 아날로그 입력 모듈(Analog Input Module)
아날로그 입력 모듈은 현장의 주변입력(압력, 밸브 개도, 발전기 출력)들을 각종 센서를 통한 아날로그 신호(4~20mA, 0~5V 등)를 디지털 값으로 변환하는 모듈이다. 입력은 총 8채널이며, 12비트의 해상도를 가진다.

▶ 디지털 접점 입/출력 모듈(Digital I/O Module)
디지털 접점 입/출력 모듈은 터빈의 운전을 조작하는 운전자가 조작하는 접점 입력을 받아들이기 위한 모듈이다. 접점 조작시의 신호의 노이즈를 방지하기 위하여 광소자로 격리되어 있다. 18채널의 입력 접점을 제공하고 있으며 지시용 램프 및 솔레노이드 구동용 접점 출력을 8채널 제공하고 있다.

▶ 디지털 속도측정 모듈(Digital Speed Sensor Module)
개발된 시스템에서는 속도처리 방식으로 실시간 처리 및 응용이 유연한 디지털 속도측정 모듈을 사용한 디지털 속도검출방식을 채용하였고, 주 연산기로서 TMS320C25 16bit DSP(Digital Signal Processing) 모듈을 사용하여 성능을 향상시키고 저속 및 고속 회전수에서 안정된 카운트를 위한 프리스캐일러 기능을 가지고 있다.

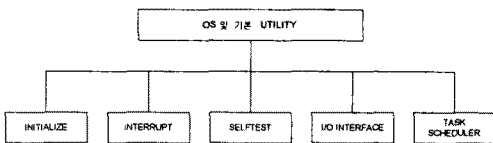
▶ 아날로그 출력 모듈(Analog Output Module)
이 모듈은 주 연산기인 CPU 모듈로부터 디지털 신호를 받아, 외부기기를 위하여 4~20mA의 구동 전류 신호를 발생시킨다. CPU는 이 모듈에 디지털 신호를 보내고, 또한 제어하고 있는 모듈의 출력중 디지털 데이터에 의해 영향을 받는 출력의 번지 정보(Address Information)를 보낸다.

▶ 직렬 입출력 모듈(Serial I/O Module)
직렬 입출력 모듈은 통신 성능의 향상과 키 패드 입력을 독립적으로 처리하기 위해 주 연산기인 Intel 80C196, 16비트 프로세서를 사용하여 시스템의 안정성을 향상시켰다.

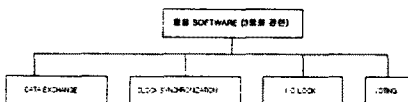
2.1.2 소프트웨어(Software)

디지털 가버너의 소프트웨어는 운영 시스템(Operating System) 프로그램과 DEHC 제어에 필요한 응용 프로그램(Application Program)으로 구분된다.

▶ 운영 시스템(O/S) 및 기본 유틸리티(Utility)



▶ 응용 소프트웨어 (3중화 관련)



2.1.3 센서 및 신호변환장치

섬진강 수력발전소 2호기의 디지털 가버너에 사용되는 외부 센서들과 신호변환장치들은 다음과 같다.

- RVDT(Rotary Variable Displacement Transducer)
- 압력신호 전송기(Pressure Transmitter)
- MW 센서 (Real Power Sensor)
- 속도측정용 센서 (Speed Detector)

2.1.3 구동부(Electro-Hydraulic Converter)

디지털 가버너의 구동부로 사용되는 E/H Converter (Electro-Hydraulic Converter)는 디지털 가버너의 말단장치로서 디지털 가버너에서 설정하고자하는 메인 서보모터의 변위 위치지령을 밸브제어 증폭기 모듈 (Valve Control Amplifier Module)로 주게 되면 이에 대한 지령을 E/H Conv. 상단부에 있는 작동코일 (Moving Coil)로 주게되고 지령에 상응하여 스톱밸브 (Spool Valve)를 동작시켜 닫히는 방향 혹은 열리는 방향으로의 유압을 메인 서보모터로 주게된다.



그림 2-3 개발된 디지털 가버너와 Pilot-Plant

2.2 디지털 가버너 현장적용

그림 2-3은 개발된 가버너 시스템과 Pilot-Plant의 모습이다. 개발된 디지털 가버너 시스템은 전북 정읍시 칠보면 시산리에 소재한 한국수력원자력주식회사 한강수력발전처 섬진강수력발전소에 적용되었다.

2.2.1 개발 시스템의 현장적용

개발시스템의 제어대상의 개요는 다음과 같다.

- 형식 : Vertical Francis Turbine
- 유효낙차에 대한 유량과 발전기의 출력

유효낙차(m)	158.99	150.86	144.20	129.38
유량(m ³ /s)	11.27	10.99	10.67	6.94
수차출력(MW)	14500	14800	18500	11250

- 회전수 : 514 RPM
- 유효낙차 150.86m에서 정격출력 : 14,500kW
- 유효낙차 158.99m에서 최대 무구속속도 : 910 RPM
- 조속기 : 기계-유압식(일본, 미쓰비시 중공업)

개발된 시스템의 현장적용 후, 시운전을 수행하였고 시운전 시에는 터빈제어 응용프로그램의 기능을 시험하

므로 각부의 변수 설정을 현장의 상황에 적합하도록 설정하였다. 다음의 그림 2-4는 터빈제어 응용프로그램의 전체 블록도이다.

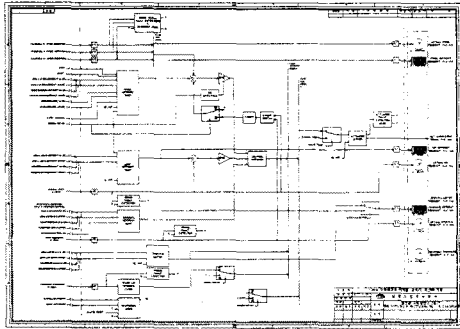


그림 2-4 개발 시스템의 터빈제어 블록도

본 개발 시스템의 현장적용에 있어서, 개발시스템의 신뢰성 확보를 위하여 기존의 기계-유압식과 병행하여 설치함으로써 기존의 시스템을 기능변경에 의하여 그대로 사용할 수 있도록 하였다. 기존의 시퀀스를 변경하여 스위치를 전환함으로써 기계-유압식 조속기나 디지털 조속기를 선택적으로 사용할 수 있도록 하였다.

신설 시스템은 성능시험을 통하여 그 성능을 확인할 수 있었고 기존의 기계-유압식 시스템은 신설된 센서에 의하여 기능변경 후, 그 성능을 확인할 수 있었다. 디지털 시스템의 기동은 운전자에게 다양한 운전 모드를 제공하고 또한 그 성능의 정확성과 MMI 기능을 통한 운전 데이터의 정보를 운전자에게 제공한다. 그림 2-5는 기계-유압식 조속기로 운전한 데이터이며, 기동시 상당히 큰 수압의 변동을 볼 수 있다. 속도의 조정범위는 90~100%이며 저속운전 및 정밀한 속도제어는 어려울 수 있다. 그림 2-6은 디지털 조속기로 운전시 계속한 데이터이다. 자동시 90~110%, 수동시 0~110%의 운전범위를 제공하고, 프로그램으로 조정이 가능하다. 또한 디지털 PID 제어기에 의한 연산수행으로 정밀한 속도제어의 실행이 가능하다.

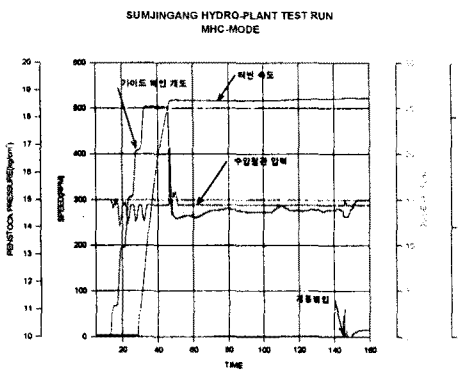


그림 2-5 기계-유압식 조속기 운전 데이터

이러한 디지털 조속기의 기능은 다음의 18가지의 기능부에 의하여 그 기능을 수행한다.

- (1) 디지털 점점 입력부 (2) 디지털 점점 출력부
- (3) 부하 제어부 (4) 부하 설정부
- (5) 개도 설정부 (6) 개도 제한부
- (7) 제어 모드 설정부 (8) 주 제어부
- (9) 아날로그 입력부 (10) 아날로그 출력부
- (11) 속도 설정부 (12) 속도 입력부
- (13) 속도 제어부 블록 (14) PID 변수설정부

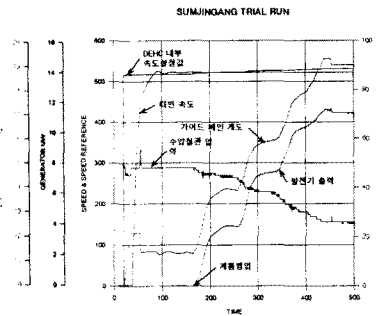


그림 2-6 디지털 조속기 운전 데이터

- (15) 밸브 구동부 블록 (16) 경보부
- (17) 비상정지부
- (18) 디스플레이 및 시험모드부

이러한 기능부의 의한 기존 시스템과의 차이점을 효과 면에서 살펴보면 [표 1]과 같다.

[표 1] 기존시스템과의 차이점

항 목	개선전	개선후	효 과
완기동	기능없음	정리속도 80%에서 동작	· 수압결합의 음력해소 · 가이드 베인 작동부의 음력해소
	-수압급상승(2.9kg/cm) -생도급변동(약 13%) -무리한 가이드 베인 의 용동으로 작동부 음력증가	-수압의 급상승지점 (0.7kg/cm) -유연한 개도변동(약 7%) -유연한 개도변동으로 각부 음력의 해소	
신기동의 추가 저속수동 기능	기능없음	자동 및 수동기동 모드 제공	· 저속운전가능 · 속도조정범위의 확대 · 프로그램으로 조정가능
	-속도조정범위의 제약 : 90%~100% -저속운전의 경우부 단순 Positioning -정밀한 속도제어는 어려움	-광범위한 속도조정범위 자동시- 90~110% 수동시- 0~110% -각속 속도제어가 가능 -정밀한 속도제어 수행(PID 제어)	

3. 결 론

본 연구개발 시스템은 최신 디지털 제어 시스템으로서 내고장성 및 신뢰성을 고려하여 설계, 제작되었다. 본 시스템의 개발을 통하여 발전사업분야에서 선진국에서 보유하던 조속기 분야의 기술을 국내에서 자체 개발하였고, 연구개발품을 실제 현장 플랜트에 적용함으로써 그 상용화의 가능성을 입증하였다. 또한 연구개발 시스템의 알고리즘도 개발하여 다양한 원동기의 제어 알고리즘의 개발의 가능성을 확인하였고, 본 제품의 적용을 통한 설비 적용의 엔지니어링 분야에서도 큰 성과를 얻을 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 양원영, 장태규 공저, 신호 및 시스템, 喜重堂, 1992
- [2] ASME PTC 20.1-1997, "Speed and Load Governing Systems for Steam Turbine-Generator Units", American Society of Mechanical Engineers, 1997
- [3] Ron Platz, "Steam and Gas Turbine Control Retrofits", Woodward Governor Company TechTalk No. 83407.
- [4] Dave Augustine, "Advanced Software System Lets Control Engineers Concentrate on Control", Woodward Governor Company TechTalk No. 83405.