

10MW급 인텔리전트 디지털 가버너의 현장적용 및 성능평가에 관한 연구

조성훈^{*} · 장민규^{*} · 전일영^{*} · 이성근^{*} · 김윤식^{*}
^{*}한국해양대학교

A Study on the Power Station Application and Performance Evaluation of 10MW grade Intelligent Digital Governor

Sung-hun Cho^{*} · Min-kyu Jang^{*} · Il-young Jeon^{*} · Sung-geun Lee^{*} · Yoon-Sik Kim^{*}

^{*}Korea Maritime University

E-mail : k981105g@hanbada.kmaritime.ac.kr

요 약

본 논문에서는 디지털 가버너를 개발후 유효성 검증을 위해 성능평가를 위한 방법들을 제시하고, 현장 적용시에 발생할 수 있는 시행착오를 줄이는 방법의 일환으로 시뮬레이션을 통한 검증방법에 대해 다룬다. 유전알고리즘과 모델 조정기법에 의해 대상 모델을 동정하였고 완성된 모델과 실제시스템의 출력 데이터를 비교하여 유효성을 검증하였다. 한강수력발전처 섬진강수력발전소 2호기에 설치되어있는 기존 기계식 조속기를 개발된 디지털 조속기로 대체하여 현장에 적용하고, 제어기 파라미터의 성능평가를 위해 테스트를 수행하였다.

ABSTRACT

This paper present a methods for performance evaluation of digital governor and we treat the way to reduce the trial and error when the developed digital governing system is applied to station. The parameters of the model are estimated using input-output data, the model adjustment technique and a genetic algorithm(GA). To verify validity of the completed model, the comparison model and real output signals have been carried out. The developed digital governing system is applied to Sumjingang hydro-power plant, Korea Hydro Nuclear Power Corporation, it has replaced mechanical governing system. Test was performed in order to demonstrate the performance evaluation of the digital governor parameters.

키워드

power plant, digital governor, performance evaluation, simulation

1. 서 론

원동기의 제어에 있어서 가버너(Governor), 즉 조속기의 역할은 발전소에 설치된 증기터빈, 디젤엔진 혹은 수차 등과 같은 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.^[1]

본 논문에서는 내 고장성으로 설계된 디지털 가버너의 성능과 실제 적용에 필요한 성능평가 방법과 절차들을 소개하고 시뮬레이션을 통한 사전 특성예측에 대해 논의한다. 본 개발 시스템의 현장적용에 있어서, 개발시스템의 신뢰성 확보를 위하여 기존의 기계-유압식과 병행하여 설치함으로써 기존의 시스템을 기능변경에 의하여 그대로 사용할 수 있도록 하였다. 설치가 완료된 시스템의 성능평가를 위하여 테스트를 수행하였다.

II. 시스템 구성

인텔리전트 디지털 가버너 시스템은 하드웨어(Hardware), 소프트웨어(Software), 응용프로그램(Application Program), 센서 및 신호변환장치 그리고 구동부(Electro-Hydraulic Converter) 6가지의 구성요소로 이루어져 있다^[2]. 디지털 가버너의 구성도는 그림 1에 나타내었으며 내고장성을 위해 프로세서 모듈(Module)의 삼중화와 입출력 모듈의 이중화로 구성된다.

프로세서 모듈은 자기 독립된 32비트 마이크로 프로세서와 메모리를 내장하고 있으며, 외부 센서로부터 입력된 신호(속도, 압력, 밸브 변위, 발전기 출력등)를 세 개의 프로세서 모듈에서 개별적으로 연산하고 처리한 후 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.

디지털 가버너의 소프트웨어는 운영 시스템(Operating System) 프로그램과 DEHC 제어에 필요한 응용 프로그램(Application Program)으로 구분된다. 운영 시스템은 시스템초기화, 인터럽트 처리부, 자기진단부, I/O 인터페이스 그리고 Task 스케줄러로 구성되어 있다. 응용 소프트웨어는 3중화와 관련한 데이터교환, voting, 클럭 동기화 프로그램과 터빈 제어 프로그램으로 구성된다. 그림 2는 터빈 제어 프로그램의 전체 블록도를 보여주고 있다.

III. 시뮬레이션

적용될 수차의 모델을 연구하여^[3], 실제 플랜트에 적용하기 전에 제어파라미터 변화의 효과를 예측하거나 플랜트의 운동을 시뮬레이션을 이용하여 확인하는 과정이 요구된다.

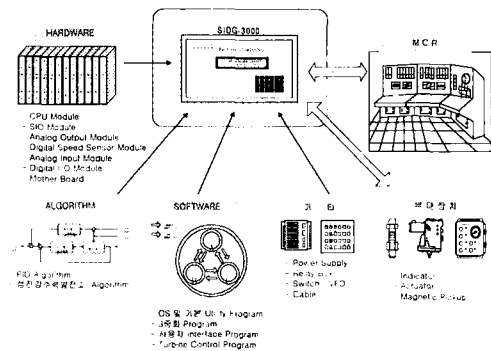


그림 1. 시스템 구성도

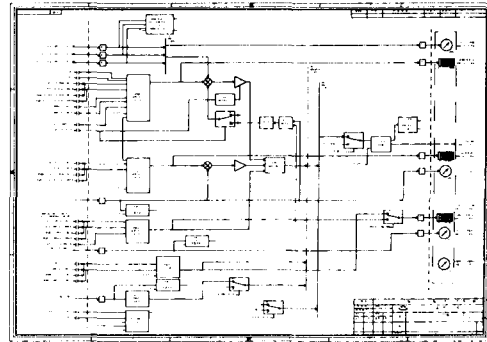


그림 2. 터빈 제어프로그램의 블록도

표 1 추정된 PID 파라미터

제어기형태	제어기 파라미터		
	K_P	K_I	K_D
PID	0.31842	0.05789	0.4378

이는 진보된 컴퓨터 시스템과 응용프로그램의 발전으로 1차의 안정도 시뮬레이션에 적합한 과거의 수력터빈 모델들보다 좀더 정확하고 복잡한 모델의 장시간 과도상태 안정도 시뮬레이션이 가능해졌다. 이러한 모델을 이용함으로써 수력터빈의 물리적인 동작의 해석 및 시뮬레이션이 가능하다

수력발전용 수차터빈을 모델링하고, 결과를 적용 발전소인 섬진강 수력발전소의 수차 데이터를 취득하였다. 이를 최근의 최적화 알고리즘인 유전 알고리즘의 조정모델에 입력으로 인가하여 모델링된 모델의 최적해를 도출하였다. 이러한 모델의 해를 도출한후 모델이용하여 PID제어의 파라미터를 추정하였다^{[4]-[6]}. PID 제어기의 파라미터는 표 1과 같다.

모델의 유효성을 검증하기 위해 실제 시스템의 응답과 모델의 응답을 시뮬레이션 해본 결과는 그림 3에 나타내었다. 각 구간에서 약간의 오차가 있지만, 시스템의 동특성을 해석하는 데 있어 큰 무리는 없을 것으로 사료된다. 이러한 오차의 대부분은 수차터빈시스템의 비선형성, 계측시 오차 및 잡음의 영향에 의한 것이다^[7].

이러한 PID 제어기의 추정된 파라미터는 실제의 현장적용에도 이용될 것으로 기대되나 현장의 외란의 요소와 수차터빈의 근사화 오차로 인해 실질적으로는 PID제어기의 미세조정이 더 이루어져야 할것으로 판단되었으며, 실제 현장 적용시 세부조정이 이루어졌다.

이러한 시뮬레이션 과정을 통해 실제 개발된 디지털 가버너의 현장 적용시에 소요되는 시행착오의 시간과 노력을 절감할 수 있었다.

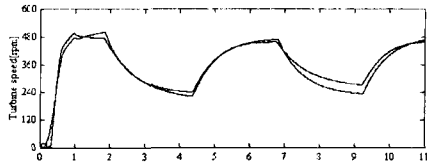


그림 3. 실제 시스템과 모델의 응답비교

IV. 시스템의 현장 적용

섬전강 수력 터빈 시스템에 적용하기 위해서는 먼저 디지털 가버너의 입출력에 관련된 센서 및 구동부, 기구물을 설치하는 것과 개발시스템의 신뢰성 확보를 위하여 기존의 기계-유압식 가버너를 병렬로 연결하는 구조를 가지기 위한 배관, 시퀀스 회로의 구성 및 설치가 선행되어야 한다.

입력 센서로서는 속도측정을 위한 속도측정장치, 발전기의 출력을 검출하는 출력변환장치, 가이드 베인의 변위를 측정하기 위한 변위센서, 그리고 수압철관의 압력을 측정하기 위한 압력신호 전송장치를 설치하였다. 구동부로서는 E/H Converter로 독일의 Voith사의 제품을 사용하였다.

3방향 밸브의 설치로 유압라인을 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 있었다. 성능시험 항목은 아래와 같다.

표 2 디지털 가버너 성능시험항목

시험항목	내용	시험방법
기동특성시험	수차기동시의 기동개도, 수압변동, 속도변동의 특성측정 및 기록	
E/H Converter 및 G/V 서보모터 특성시험	EHC와 GV와의 특성측정 및 기록	
자동기동특성시험	자동기동시의 기동개도, 수압변동, 속도 변동의 특성측정 및 기록	
수동기동 특성시험	수동기동시의 기동개도, 수압변동, 속도변동의 특성측정 및 기록	

기동특성시험에서 기존의 기계-유압식 시스템은 신설된 센서에 의하여 기능변경 후, 그 성능을 확인할 수 있었다. 이 데이터와 신설된 디지털 시

스템의 기동 데이터와 비교하여 성능을 확인할 수 있었다. 그림 4는 기계-유압식 조속기의 운전데이터이며, 기동시 상당히 큰 수압의 변동을 볼 수 있다. 속도의 조정범위는 90~100%이며 저속운전 및 정밀한 속도제어는 어렵다. 그림 6과 7은 디지털 조속기로 운전시 계측한 데이터이다. 자동시 90~110%, 수동시 0~110%의 운전범위를 제공하고, 프로그램으로 조정이 가능하다. 또한 디지털 PID 제어기에 의한 연산수행으로 정밀한 속도제어의 실행이 가능하다.

E/H Converter 및 G/V의 특성시험데이터가 그림 5에 나타나 있다. 이 시험에서는 가버너의 출력 구동부인 E/H Converter와 G/V서보 모터와의 관계가 선형성인가 또는 히스테리시스를 가지는가를 확인한다. 그림 5에서 보여주듯이 선형성을 상당히 만족하고 있음을 알 수 있다.

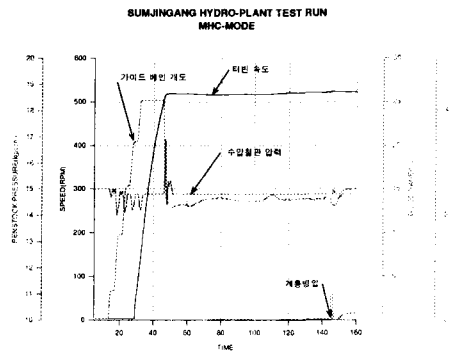


그림 4. 기계-유압식 가버너 기동시험운전

E/H Converter VS Guide Vane Servomotor Relation #2

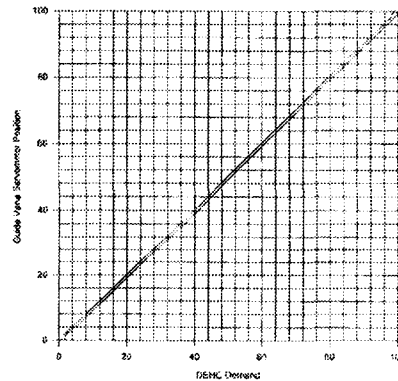


그림 5. E/H Converter 및 G/V 서보모터 특성 시험결과

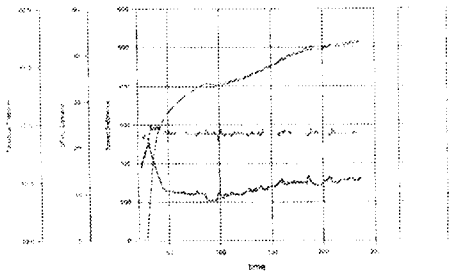


그림 6. 디지털 가버너의 수동기동시 데이터

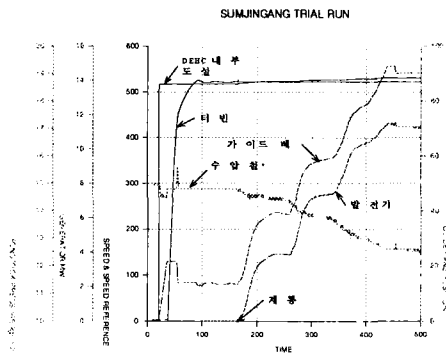


그림 7. 디지털 가버너 기동운전데이터

V. 결 론

국내 최초로 시도된 디지털 가버너 시스템은 한국수력원자력주식회사 한강수력발전처 섬진강수력발전소의 프란시스 타입의 수차에 적용하였다. 이는 최신 디지털 제어 시스템으로서 내고장성 및 신뢰성을 고려하여 설계, 제작되었다. 본 시스템의 개발을 통하여 발전사업분야에서 선진국에서 보유하고 있던 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 설비적용의 엔지니어링 분야에서도 큰 성과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] 신명철, 내고장성 디지털 조속기의 개발 및 신뢰성 해석에 관한 연구, 학위논문, 2000
- [2] 전일영외, "디지털 조속기 개발을 위한 수

력터빈 시스템의 모델동정과 제어기의 최적화에 관한 연구", 해양정보통신학회 2001년도 춘계학술대회, Vol.5, No.1, pp.404-407

- [3] 10MW 인텔리전트 디지털 조속기 개발, 최종보고서, 한국전력공사 전력연구원-삼창기업(주) 부설연구소, 2001
- [4] ASME PTC 20.1-1997, "Speed and Load Governing Systems for Steam Turbine-Generator Units", American Society of Mechanical Engineers, 1997
- [5] Ron Platz, "Steam and Gas Turbine Control Retrofits", Woodward Governor Company TechTalk No. 83407.
- [6] Dave Augustine, "Advanced Software System Lets Control Engineers Concentrate on Control", Woodward Governor Company TechTalk No. 83405.
- [7] 양원영, 장태규 공저, 신호 및 시스템, 홍원堂, 1992