

디지털 조속기의 성능 시험을 위한 HILS 시스템 개발에 관한 연구

장민규* · 조성훈* · 전일영* · 안병원** · 박영산** · 배철오** · 이성근* · 김윤식*
한국해양대학교* · 목포해양대학교**

A Study on the Development of HILS System for Performance Test of Digital Governor

Min-kyu Jang* · Sung-hun Cho* · Il-young Jeon* · Byong-won Ahn** ·
Young-san Park** · Cherl-O Bae** · Sung-Geun Lee* · Yoon-sik Kim*

*Korea Maritime University · **Mokpo National Maritime University

E-mail : osoli@kebi.com

요 약

HILS(Hardware In-the Loop Simulation)은 임베디드(Embedded) 시스템의 개발과 시험에 많이 이용된다. 임베디드(Embedded) 시스템은 시스템의 운전 환경에서 쉽고, 철저하게 그리고 반복해서 시험할 수 없을 때 사용된다. HILS는 빠르고 경제적으로 제품을 개발하는데 유효하다. 또한 생산품이 생산을 시작한 후에 심각한 문제점들이 발견될 가능성을 상당히 줄여주어 생산품 개발 시간동안에 설계 최적화와 하드웨어/소프트웨어 디버깅을 실행하는데 도움을 준다.

본 연구는 Digital Governor의 성능을 확인하기 위해 스팀터빈 플랜트와 동기 발전기를 포함한 시뮬레이터를 HIL(Hardware In-the Loop Simulator)로 구현하였으며, 실시간으로 시스템의 응답을 확인할 수 있도록 소프트웨어로 구성하였다.

ABSTRACT

HILS(Hardware In-the Loop Simulation) is commonly used in the development and testing of embedded systems, when those systems cannot be tested easily, thoroughly, and repeated in their operational environments. HILS can be a useful tool to develop products more quickly and cost effectively and also reduces the possibility of serious defects being discovered after production. During the product development period, Design optimization and hardware/software debugging can be performed using HILS skill.

This paper describes a HILS model for the STG(Steam-Turbine Generator) Simulator to prove the performance of the developed Digital Governor. It is developed using software technics which can confirm the responses of a real-time system

키워드

HILS(Hardware In-the Loop Simulation), 디지털 조속기, 스팀 터빈, 발전기

1. 서 론

산업 플랜트, 발전소 혹은 선박에서의 설비 중에서 증기를 이용하여 구동되는 증기터빈은 그 용도가 주로 발전용으로 많이 이용된다. 증기터빈을 구동시키는 구동원인 증기는 보일러, 주기관 폐열 혹은 여타의 재생열을 이용하고 있다. 이러

한 증기터빈에는 다양한 종류의 조속기들이 사용되고 있다. 이러한 조속기들은 구성방식에 따라 기계식 조속기, 기계유압식 조속기, 전기전자식 조속기 및 디지털 조속기 등 다양한 형태를 보여주고 있다.[1] 이러한 조속기들의 문제점으로는

기계유압식 조속기의 경우, 작동부분의 마모 혹은 주기적인 수리 후의 각 설정 값들의 변동이 문제가 될 수도 있고, 제작 후 오랜 시간의 경과로 제작사의 스페어 부품 공급의 중단도 문제점으로 발생할 수 있다. 전기전자식 조속기의 경우 전자회로를 구성하고 있는 소자들의 특성이 시간이 지남에 따라 변화하여 다양한 설정값 및 그의 출력의 변동 등 다양한 문제가 발생할 수 있다.[2] 근래의 전자산업 및 프로세서를 이용한 산업이 진일보하면서 나타난 디지털 조속기는 그 자체가 가지는 유용성, 효율성, 신뢰성, 경제성 및 정확한 성능 등의 다양한 장점을 지니고 있다.

그러나 디지털 조속기를 개발하는 데 있어서 그 시험을 위한 환경을 갖추는데 많은 시간과 연구비 투자 및 위험부담이 요구된다. 그래서 이러한 경우 대부분 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션 기법을 선택함으로써 보다 경제적이며 효과적인 연구 개발과 성능 확인이 가능하다. 최근에는 기존의 소프트웨어만으로 구현된 시뮬레이션 루프에 개발하고자 하는 시스템을 실제의 하드웨어로 대체하는 HILS(Hardware In-the Loop Simulation) 기법이 각광을 받고 있다.[3]

본 논문에서는 디지털 조속기를 개발하는데 있어서, 개발된 장치를 실제의 계통에 직접 연결해서 테스트하는 것이 이상적이나 이는 계통의 안정성을 해칠 염려가 있어서, 동일한 조건으로 반복시험이 가능하여 시험의 효율성을 향상시킬 수 있는 HILS 시스템을 제안한다. 본 연구에서 설계 및 구현한 HILS 시스템은 스팀 터빈, 동기 발전기를 포함하여 구성되고, 개발된 HILS 시스템을 통하여 디지털 조속기의 성능 분석 시험을 수행하고자 한다.

II. STG HILS 시스템

2.1 HILS 시스템 설계

스팀 터빈, 동기 발전기를 포함한 시뮬레이터에 실제 하드웨어인 디지털 조속기를 시뮬레이션 루프 속에 포함시킨 전체 HIL 시스템 구성이 그림1에 나타나 있다.

시뮬레이터로부터 D/A보드를 통하여 발전기 출력, 각속도 ω , 그리고 스팀 압력 등의 아날로그 신호가 출력되고 이것이 디지털 조속기의 입력으로 받아들여진다. 한편 시뮬레이터는 A/D보드를 통해 디지털 조속기의 출력인 액추에이터 포지션을 읽어들인다. 그리고 시뮬레이터에서 나온 각속도 ω 를 주파수 f 로 변환할 컨버터가 사용된다.

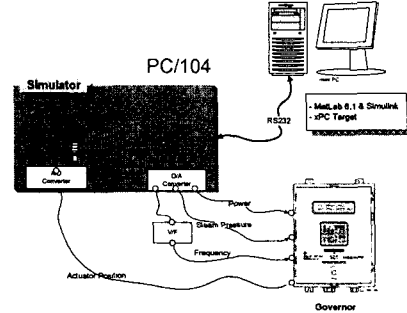


그림 1. STG 시뮬레이터의 구성

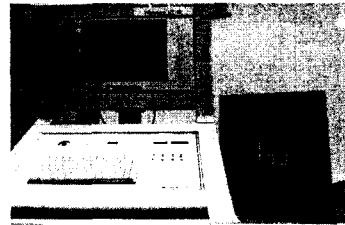


그림 2. STG HILS 시스템

2.2 시뮬레이터 시스템 모델

2.2.1 스팀-터빈 모델

다음은 general steam system model[4]을 나타낸다. 일반적으로 만나게 되는 스팀 시스템의 구성은 그림 2와 같다.

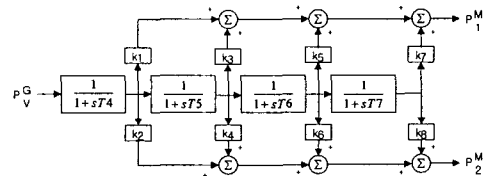


그림 3. 스팀 터빈 시스템 모델링

2.2.2 발전기 모델

발전기는 standard model[5]을 사용하였고, 이를 표현하는 동적 방정식은 다음과 같다.

$$v_d = -R_s i_d - \omega \lambda - (L_{ls} + L_{md}) \frac{di_d}{dt} + L_{md} \frac{di_{fd}}{dt} + L_{md} \frac{di_{kt}}{dt} \quad (1)$$

$$v_{fd} = R_{fd} i_{fd} - L_{md} \frac{di_d}{dt} + (L_{fd} + L_{md}) \frac{di_{fd}}{dt} + L_{md} \frac{di_{kt}}{dt} \quad (2)$$

$$0 = R_{kd}i_{kd} - L_{md}\frac{di_d}{dt} + L_{md}\frac{di_{fd}}{dt} + (L_{lkd} + L_{md})\frac{di_{kd}}{dt} \quad (3)$$

$$v_q = -R_s i_q + \omega\lambda - (L_{ls} + L_{mq})\frac{di_q}{dt} + L_{mq}\frac{di_{kq}}{dt} \quad (4)$$

$$0 = R_{kq}i_{kq} - L_{mq}\frac{di_q}{dt} + (L_{lkq} + L_{mq})\frac{di_{kq}}{dt} \quad (5)$$

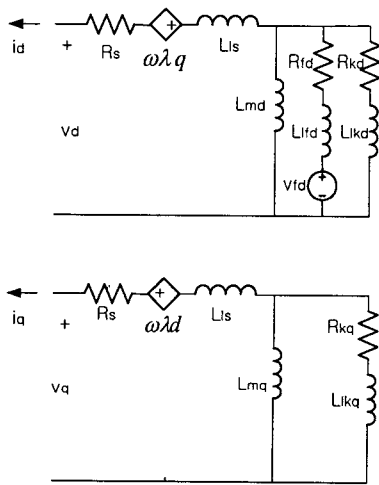


그림 4. 동기 발전기 모델링

2.3 시뮬레이터의 하드웨어 구성

STG HILS 시스템의 하드웨어는 실시간 시뮬레이션을 수행하기 위한 Host PC와 프로세서 보드, 그리고 각종 신호의 입출력을 위한 I/O 보드로 구성된 Target PC로 구성하였다.

Target PC는 486DX2 66/75MHz의 프로세서를 사용하고, I/O 보드로는 Diamond사의 DMM 32을 사용한다.

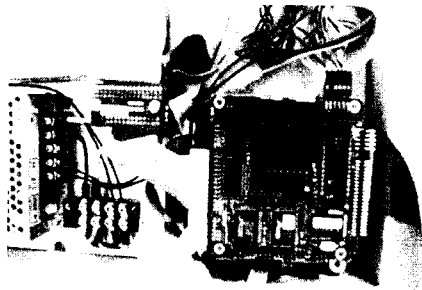


그림 5. Target Board 시스템

2.4 시뮬레이터의 소프트웨어 구성

STG HILS 시스템의 소프트웨어 부분은 Mathwork사의 Matlab/Simulink/Real Time Workshop(RTW)/xpc Target를 사용하였다.

Matlab/simulink를 이용하여 스팀-터빈 발전기의 동역학 모델을 구성하고, RTW를 이용하여 Simulink 스팀-터빈 발전기 동역학 모델에 대한 실시간 코드를 생성하게 된다. 또한 xpc Target을 이용하여 실시간 코드를 실시간 하드웨어로 다운로드 하게 된다.

V. 결 론

본 연구에서 제안한 HILS 시스템은 개발된 디지털 조속기의 성능 시험을 위해, 디지털 조속기를 실제의 하드웨어로 시뮬레이션 루프에 포함시켰으며, 또한 시뮬레이션의 신뢰성을 높이기 위해 고성능 프로세서 보드를 이용하여 동역학 모델을 적용하였다.

향후, 적용된 동역학 모델을 이용하여 구현된 HILS 시스템이 디지털 조속기의 성능분석 시험을 위해 충분히 활용 가능함을 보이고, 더욱이 실시간 모니터링이 가능하도록 구현함과 동시에 데이터를 저장하여 Matlab을 이용한 데이터 분석이 가능하도록 할 예정이다.

참고문헌

- [1] "Governing fundamentals", Manual No. TA-442, Woodward Governor Company
- [2] Ron Platz, Steam and Gas Turbine Control Retrofits, Woodward Governor Company TechTalk No. 83407
- [3] Jim A. Ledin "Hardware-in-the-Loop Simulation", article
- [4] IEEE Power System Engineering Committee Report, "Dynamic models for Steam and Hydro Turbines in Power System Studies" IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-92, No. 6, Nov./Dec. 1973, pp. 1904-1915.
- [5] van Jadric, "Modeling and Control of a Synchronous Generator with Electronic Load"