

**창 립**  
**40주년 화속대회**  
**논문 87-A-20-3**

터빈 시뮬레이터용 수치제어기에 관한 연구

○ 김 석 환  
서울대학교

한 송 업  
서울대학교

Digital controller for turbine simulator

Kim, Seog hwan  
S. N. U

Hahn, Song yop  
S. N. U

ABSTRACT

Hydro turbine, steam turbine and their governors can be described by one general model. To realize the turbine simulator, personal computer, D.C. motor and three phase thyristor converter have been used. In the experiments for the improvement of power system stability, that is, steady state, dynamic and transient stability, the characteristics of turbine simulator proposed by this paper have shown that of real prime mover.

1. 서론

현재 많이 사용되고 있는 발전의 방식에는 수력발전, 화력발전 그리고 원자력발전 등이 있다. 화력발전, 수력발전, 원자력발전은 각각 다른 에너지를 이용하는 발전 방법이지만 그 에너지를 이용해서 터빈을 회전시키고 그 터빈의 회전에 의해 발전기(3상 동기발전기)를 회전시켜 전기 에너지를 얻는다는 것은 모든 발전 방식의 공통된 점이다.

그런데 수력발전, 화력발전, 원자력발전 등의 발전 방법에 따라 해당되는 터빈의 회전 특성이 다르고, 같은 방식의 발전이라 하더라도 발전소에 따라 터빈의 회전 특성이 다르다. 그러므로 전력계통 안정화실험 등의 경우 원하는 특성으로 동작하는 터빈이 있어야 한다. 지금까지도 많은 터빈 모델이 제시되었지만 컴퓨터 시뮬레이션에만 적용되었고, 실험에 모델을 적용하지는 못했었다.

본 논문에서는 수력과 화력 터빈 그리고 조속기를 하나의 모델로 표현하고 그 모델을 직류 전동기로 실현했다. 원하는 특성을 얻기 위해서 직류 전동기를 16비트 컴퓨터를 사용해서 제어했다.

2. 모델링

가. 발전계통

발전계통은 발전기, 터빈, 조속기 그리고 여자계통으로 이루어져 있다. 그림 1은 발전계통과 발전계통에 연결된 1기 무한모선 모델을 나타내고 있다. 터빈 시뮬레이터는 이 중에서 터빈과 조속기를 모델링 한다.

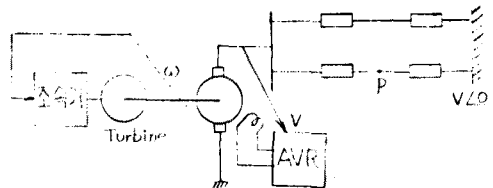


그림 1. 발전계통과 무한모선

나. 조속기

조속기는 그림 2와 같은 모델로서 근사화할 수 있다.  $T_1$ 은 조속기 자체의 시정수이고  $T_2$ 는 서보 시스템의 시정수이다. 그리고  $T_3$ 는 서보에 의해 구동되는 밸브의 시정수이다. 보통  $T_1$ 은 0.3초 이하  $T_2$ 는 0.1초 이하  $T_3$ 는 0.2 - 0.3초 정도의 값을 가진다.

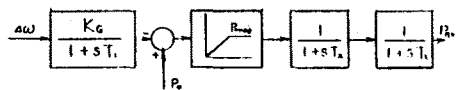


그림 2. 조속기 모델

터빈 시뮬레이터용 수치제어기에 관한 연구

다. 화력 터빈

화력 터빈은 그림 3 과 같이 표현된다.<sup>(1)</sup>  $P_{in}$ 는 조속기에서 나오는 출력 기준값이고  $T_{in}$ 는 steam chest 의 시정수로 0.1 - 0.4초 정도이다.  $T_m$ 는 재열기의 시정수로 4 - 11초의 값을 가지며  $T_{co}$ 는 crossover pipe 의 시정수로서 0.3 - 0.5초 정도의 값을 가진다

여기서  $\frac{1}{1+sT}$ ,  $\frac{1}{1+sT}$ ,  $\frac{1}{1+sT}$  은 1차 지연 요소인데

$T_m$  와  $T_{co}$ 는  $T_{in}$ 에 비해 작으므로 무시하면

$$\frac{P_o}{P_i} = \frac{F_1 + F_2 + F_3 + sF_3 T_m}{1+sT_{in}}$$

그런데  $F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 = 1$  이므로 화력 터빈은 다음 식과 같이 근사화 할 수 있다.

$$\frac{P_o}{P_i} = \frac{1+sF_3 T_m}{1+sT_{in}}$$

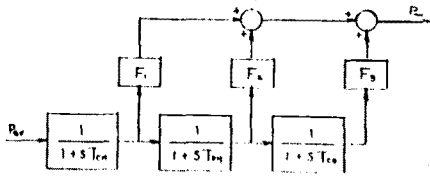


그림 3. 화력터빈 모델

라. 수력 터빈

수력터빈은 그림 4 와 같이 표현된다.<sup>(1)</sup> 여기서  $T_w$ 는 물 낙하의 시정수이다.

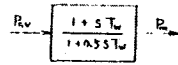


그림 4. 수력터빈 모델

마. 속도-출력 특성

터빈과 조속기가 연결되어 동작할 경우 터빈의 회전 속도와 출력은 그림 5 와 같은 관계를 가진다.

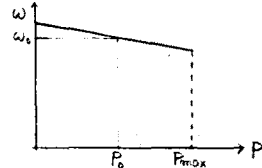


그림 5. 조속기의 회전 특성

바. 전체 모델

조속기, 수력터빈, 화력터빈을 표현할 수 있는 일반화된 모델은 그림 6 과 같이된다.

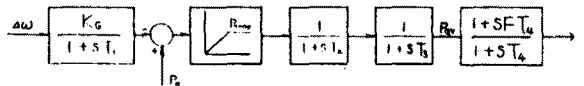


그림 6. 일반화된 터빈 모델

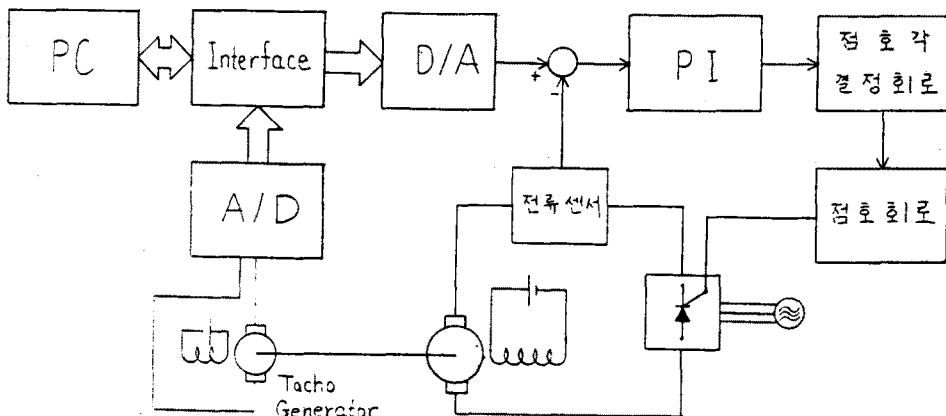


그림 7. 하드웨어 구성도

3. 하드웨어 구성

직류 모터가 터빈 시뮬레이터로서 잘 동작하려면 직류 모터의 출력이 앞 절에서 설명한 터빈의 출력과 같아야 한다. 그런데 계통에 연결된 발전기의 경우와 같이 회전속도의 변화가 아주 작은 경우 출력은 토크(torque)에 비례하고 직류모터의 토크는 전기자전류에 비례한다.

그러므로 원하는 출력을 얻기 위해서는 직류모터의 전기자전류를 제어하면 된다. 그림 7 이 전체 구성도이며 3상 제어 정류 브리지 회로의 감호작용을 조절함으로써 직류모터의 전기자 전류를 제어하는 구조로 되어있다. 인터페이스회로와 전류제어기의 구성이 그림 8 에 나와있다.

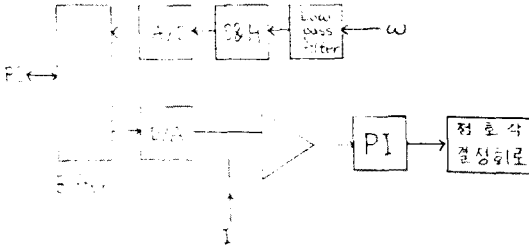


그림 8. 인터페이스와 전류 제어기

4. 시뮬레이션

직류 모터를 블록으로 표현하면 그림 9 와 같이 된다.<sup>(2)</sup> R, L 은 전기자의 저항, 인덕턴스이고 B, J 는 모터의 기계적 마찰계수, 관성계수이다.

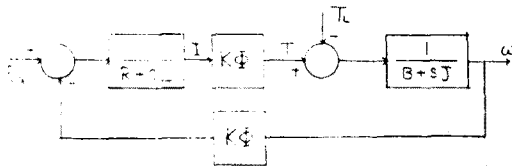


그림 9. 직류 모터의 블록 다이어그램

여기서 모터의 전기적 시정수는  $L/R$  이고 기계적 시정수는  $J, B$  인 데 전기적 시정수는 기계적 시정수에 비해 아주 작으므로 무시할 수 있다. 그리고 전류제어기의 시정수도 기계적 시정수에 비하면 아주 작으므로<sup>(3)</sup> PC 에서 출력되는 전류 기준치와 모터의 전기자 전류 사이에는 시간 지연이

없다고 가정할 수 있다. 그러므로 그림 10 처럼 모델링을 할 수 있다. 컴퓨터로 시뮬레이션 한 결과가 그림 11에 나와있다.

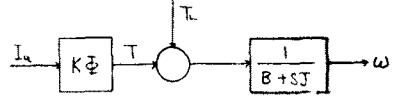


그림 10. 직류모터의 모델링

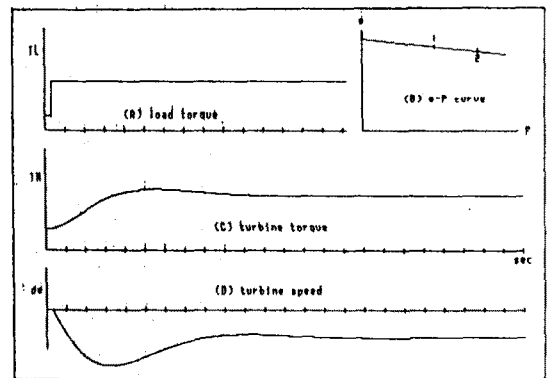
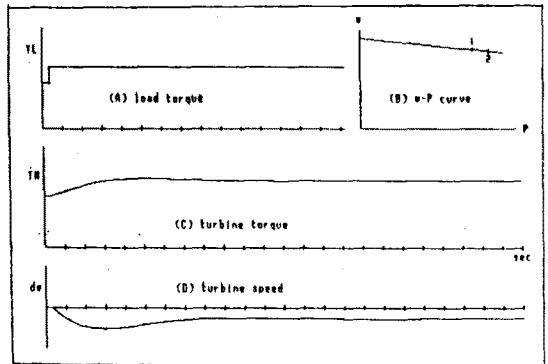
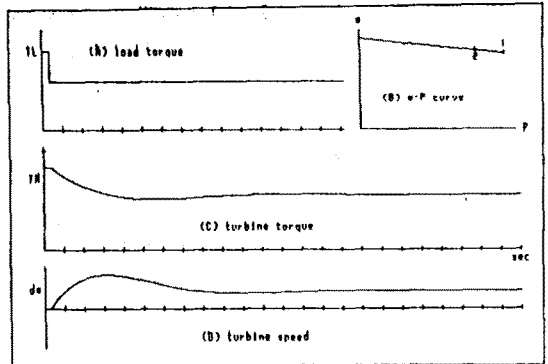


그림 11. 시뮬레이션 결과

## 터빈 시뮬레이터용 수치제어기에 관한 연구

---

### 5. 전력계통 안정화 실험

본 논문에서 모델링을 거쳐서 설계 되고 제작된 터빈 시뮬레이터는 3상 동기 발전기, 모의전력계통과 함께 전력계통 안정화 실험에 사용 된다. 그림 1의 P 점에서 지락사고가 났을 때 발전기의 회전 속도와 부하각의 변동을 컴퓨터로 시뮬레이션하고 실험하여 비교 분석 할 예정이다.

### 6. 결론

여러가지 발전방식의 조속기와 터빈의 회전특성을 하나의 모델로 나타내고 이 모델을 직류모터와 3상 브리지 제어 정류회로를 사용한 터빈 시뮬레이터로 실현했다. 정류회로의 김호각은 16비트 소형컴퓨터를 사용해서 제어했다. 프로그램 상에서 상수값을 알맞게 지정해주면 어떤 터빈으로도 동작시킬 수 있다. 실험 결과와 시뮬레이션 결과 그리고 실제 모델을 비교하였다. 앞으로 터빈 시뮬레이터를 이용한 전력계통 안정화의 계속적인 연구가 요망된다.

### 7. 참고 문헌

1. IEEE Committee, Dynamic models for steam and hydro turbines in power system studies, IEEE Trans. PAS 1964-1915. Nov/Dec, 1973
2. P. C. SEN, Thyristor DC Drives, John Wiley & Sons, New York, 1981
3. F. L. Luo, Digital controller for thyristor current source, IEE Proceeding, vol. 132, no. 1, Jan. 1985
4. Lewis C. Eggebrecht, Interfacing to the IBM personal computer, Howard W. Sams & Co., 1983
5. S. B. Dewan & A. Straughen, Power Semiconductor circuits, John Wiley & Sons, 1975